

國立臺灣師範大學科學教育研究所

博士論文

指導教授：邱美虹 博士

探討模型與建模對於學生原子概念學習之影響

博士生：劉俊庚

中華民國一〇〇〇年一月

誌 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝指導教授 邱美虹老師全力支持，從碩士論文到現今完成博士論文，從 12 年前開始進入科學教育的殿堂，期間跌跌撞撞，在整個研究的過程中，每當我遇到迷惘和困難時，邱老師總能適時地指引出明確的方向，指引我完成碩士論文與博士論文。平時邱老師總以無比的熱忱和耐心，不厭其煩地幫我解決我的疑難，不僅化解心中的焦慮和不安，更加鼓舞我繼續研究的動力，並努力將科學教育帶入實際的科學教學中，最後完成博士學位，都是受到邱老師的啟發與引領，在此獻上最誠摯的謝意。或許有人說完成博士論文，即是人生學習的終點，但我想這將是我的出發點，未來我將奉獻所學於科學教育工作，以不負邱老師對於我的期待。

由衷感謝口試委員張校長 惠博於百忙之中能仔細地指正這本論文，陳教授 竹亭對於化學專業部分的審查工作讓論文中關於原子理論史之敘述能更為完整，陳教授 瑞麟對於模型與建模理論指引我許多迷津，讓我對於科學哲學領域對於理論與模型之間的關係有更清晰的想法，亦讓我嘗試將科學哲學領域的觀點引入科學教育領域，並獲得相當程度的驗證，洪教授 振方則於研究架構給予本論文最寶貴的建議和指導，讓整個研究能更為完整，各研究之間的關係亦更為明確。慶幸能有這些委員的細心指導而使得本論文能更加完善，亦使我在研究工作上獲益不少。此外，亦向科教所老師致上最高的謝意，碩士班與博士班修課期間各位老師於學識上的傾囊相授，使我能在科教專業領域上獲益良多。

最後，感謝我最摯愛的家人，在這段期間由於你們的支持和鼓勵，使我心無掛念，也謝謝 稚純一路的陪伴，使我能在研究與教學工作之間順利進行，博士論文亦得以順利完成，感謝你們！

摘 要

模型（model）在科學理解上扮演非常重要的角色，它不僅作為科學現象的外在表徵，更是作為連結學校科學活動與真實科學之間的橋樑。本研究分為三個部分，首先，探討學生對於模型的認識與理解，以及學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象、概念。其次，採取內容分析法對國、高中教科書「原子理論」單元進行分析，探究模型在我國教科書中所扮演的角色和功能，以及教科書是否具建模歷程的要素。最後，探討不同建模教學策略對於三組學生於原子概念學習之影響。研究結果顯示，彙整如下：

1. 8 和 9 年級學生對於模型之定義，著重於模型是具體的事物，模型是物體的複製品。10 和 11 年級學生對於模型之認識則已慢慢地轉變為著重於模型的功能，並且認為模型不再是實體的複製品，模型亦可如想法等抽象的形式。
2. 學生對於模型認識之架構，分別是語意、本體論、認識論和方法論。語意部分為「實體關係」與「表徵形式」；本體論分為「模型呈現」、「變化關係」和「模型限制」；認識論分為「模型學習」與「模型觀點」；方法論則可分為「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」。
3. 8 年學生對於問題或現象所使用之模型與表徵系統主要以具體形式或示意圖為主，學生所使用之模型表徵以「形態相似性」為主；9 年級學生除使用具體形式的模型外，亦開始使用如化學方程式或物理公式來描述現象。10 和 11 年級學生則受到其化學背景知識的增加與概念理解，其使用模型表徵已經會考量模型與其目標系統之間的結構性關係，如抽象形式的化學方程式、物理公式，或關係圖等。
4. 高中化學教科書完全符合良好模型特徵之比例偏低，顯示教科書內容以陳述科學事實為主，所使用模型著重於模型物件之呈現（完整性）（95.4%），實驗結果與理論運作之間的概念性解釋（概念性）（64.8%）與提供適當的圖像模型（具體性）（68.5%）則較為缺乏。
5. 大部分高中化學教科書著重於描述原子理論內容介紹，「模型描述與選擇」和「模型建立」得分較高（93 分，72.7%；106 分，82.8%），至於「模型效化」與「模型分析與評估」得分較低（66 分，51.6%；48 分，37.5%）。
6. 經過不同的教學活動後，類比建模組和電腦輔助建模組成績皆優於講述教學組，且

原子概念問卷（II）後測亦達到統計上顯著差異（ $p = .027 < .05$ ），此外，原子成就測驗達統計上顯著性差異（ $p = .000 < .005$ ）。此外，三組學生於建模能力測驗之「模型選擇與描述」、「模型建立」、「模型分析與評估」和「平均建模能力」達統計之顯著差異（ $p = .047 < .05$ ； $p = .035 < .05$ ； $p = .027 < .05$ ），惟「模型效化」、「模型調度」和「模型重建」等建模能力則未達統計上顯著之差異（ $p = .062 > .05$ ； $p = .135 > .05$ ； $p = .069 > .05$ ）。

7.分析三組學生於「原子概念問卷（II）後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數，講述教學組未達顯著相關，類比建模組與電腦輔助建模組達高相關，換言之，透過類比建模教學模式除可以能提升學生的概念理解外，亦可以提升學生的建模能力。

模型與建模在教學上扮演非常重要的角色。本研究認為建模能力是豐富科學學習的重要方式，另外，本研究亦主張模型與建模的了解亦將使學生發展後設認知的知識。

關鍵字：原子、模型、建模

Abstract

Models play an important role in the understanding of science. They are not only to explicitly use external representation to express abstract scientific concepts and phenomena in the world, but they also bridge a gap between school scientific activities and real science. In order to investigate this aspect of science education, this study has three parts. First, this study investigates students' conception about the nature of model, and how to they use different models to represent the phenomena or their conception. Second, this study is to adapt content analysis method to evaluate the characteristics of model, structure of atomic theory, and modeling processes in the selected textbooks in Taiwan. Finally, this study is to investigate the effectiveness of different modeling teaching strategies for teaching the atomic conceptions. The analysis results are shown in the following seven parts:

1. For the definition of model, grade 8 and 9 students focus on models are the replicas of the specific things, and view as reality. Grade 10 and 11 students think model is not a reproduction, and can express ideas in abstract ways, such as conception.
2. The framework of students' conception about model includes four perspectives: semantics, ontology, epistemology and methodology. In semantics, students' conceptions were about models that can be divided into: relationship of reality and type of representation. In ontology, appearing, changing the relation, and confine model within certain limits. Epistemology has two parts: learn through models, and view of model. In methodology, students' conceptions were about the functions of model: explanation and reasoning of model, examine and anticipation of model.
3. For question and phenomena, grade 8 students utilize model and representation which focus on the concrete type of model and diagram, student use the representation of model is similarity of shape. Grade 9 students not only utilize model and representation which also focus on the concrete type of model and diagram, but also can use chemical equation and physical formula to represent phenomena. Besides, Grade 10 and 11 students benefit from chemistry knowledge and conceptual understanding, and they will consider the structural relation between model and target system, such as chemical equation, physical formula, or relationship of diagram.
4. The proportion of chemical textbooks which conformed to characteristics of good model is very low, this result shows most textbooks present factual knowledge, and the utility of model focus on appearance of model (complete)(95.4%), and little focus on the conceptual explanation of experiment result and theory application (conceptual)(64.8%) ,

and provide model of diagram suitably (correct)(68.5%).

5. Most upper secondary chemistry textbooks contents emphasize atomic knowledge, and focus on model description and selection, and model construction (93 point, 72.7% ; 106 point, 82.8%), however, little on model validation and model analysis and evaluation (66 point, 51.6% ; 48 point, 37.5%) during the modeling processes were discussed.
6. After different instruction, analogy modeling group and computer assisted modeling group perform better than the control group, and the post test indicates that there is a significant difference between the research groups ($p=.027 < .05$). Besides, the result of achievement test of the atomic conception also indicates there is a significant difference between the research groups. Also modeling ability test indicates there is a significant difference between the research groups in model description and selection, model construct, model analysis and evaluation, average means of model ability scores ($p = .047 < .05$; $p = .035 < .05$; $p = .027 < .05$), however, no significant differences were observed between the research groups in model validation, model deployment, and model reconstruction ($p = .062 > .05$; $p = .135 > .05$; $p = .069 > .05$).
7. The results of Kendall's tau correlation between the post test of questionnaire of atomic conceptions (II) and the test of modeling ability show the control group has no significant differences, and analogy modeling group and computer assisted modeling group have significant differences. In other words, not only can analogy modeling instruction and computer modeling instruction improve students' understanding, but also they can improve students' modeling ability.

In sum, models and modeling has played an important role in teaching. Research suggests develop modeling ability are important ways of enhancing students' learning science. Further we also argue that understanding of model and modeling enables students to develop metacognitive awareness of knowledge.

Key words: atom, model, modeling

目 錄

第壹章 緒論.....	1
一、科學教育研究取向轉變之回顧.....	1
二、本研究概述.....	3
第一節 研究背景.....	4
一、迷思概念與概念改變研究.....	4
二、模型與建模教學研究.....	6
三、原子理論科學發展歷程與教科書分析.....	8
第二節 研究動機.....	11
一、重新審視模型研究.....	11
二、模型與建模在科學史與學習所扮演的角色.....	12
三、設計「原子」概念之建模教學.....	14
第三節 研究目的與問題.....	16
第四節 名詞釋義.....	20
一、模型.....	20
二、建模.....	20
三、以模型為基礎的建模教學.....	20
四、視覺化.....	21
第五節 研究範圍與限制.....	22
一、研究範圍.....	22
二、研究限制.....	22
第貳章 文獻探討.....	23
第一節 模型與模型認識.....	23
一、模型發展史.....	23
二、模型之定義.....	24
三、模型與理論之關係.....	25

四、模型與表徵之關係.....	30
五、模型與類比之關係.....	34
六、模型之分類.....	36
七、模型本質認識與觀點.....	42
八、教科書與模型之關係.....	47
第二節 建模與科學學習之關係.....	48
一、建模－思考具體化的方法.....	48
二、建模歷程與科學學習.....	50
三、影響學生建模能力之因素.....	59
四、建模與概念改變.....	60
第三節 以模型為基礎的建模教學.....	62
一、以模型為基礎的學習理論架構.....	62
二、以模型為基礎的建模與建模能力評估.....	64
三、建模教學策略之探討.....	67
第四節 原子與化學鍵概念之探討.....	71
一、原子理論之歷史發展.....	71
二、關於學生在原子與化學鍵概念之迷思.....	93
第五節 原子理論建模歷程分析.....	100
一、拉塞福原子理論建模歷程分析.....	100
二、波耳原子理論建模歷程分析.....	103
第參章 研究設計.....	109
第一節 研究對象與樣本.....	111
一、跨年級學生之模型認識.....	111
二、跨年級學生於原子概念之模型特徵與演變.....	112
三、建模教學.....	112
四、教科書之分析版本.....	113
第二節 研究工具.....	115

一、模型本質問卷.....	116
二、如何利用模型表徵.....	117
三、原子概念問卷（I）.....	118
四、原子概念問卷（II）.....	120
五、原子概念成就測驗.....	122
六、教科書分析.....	122
七、問題解決問卷.....	125
第三節 教學活動設計.....	126
一、教學目標與課程規劃.....	126
二、教學特點與異同比較.....	127
第四節 研究流程.....	135
第五節 資料處理與分析.....	137
一、學生模型認識與如何利用模型表徵.....	137
二、科學發展、教科書與學生之原子概念與建模歷程.....	138
三、不同建模教學策略學習成效之比較.....	139
第肆章 研究結果.....	143
第一節 學生對於模型的認識.....	143
一、跨年級學生對於模型本質的觀點.....	144
二、利用訪談方式學生對於模型的認識與理解.....	168
第二節 學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念.....	196
一、模型與表徵系統之關係.....	196
二、學生使用表徵系統的來源.....	207
三、影響學生模型選擇與判斷之因素.....	209
四、建立學生如何選擇模型之架構.....	217
第三節 「原子理論」之模型演變與建模歷程－教科書分析.....	219
一、國、高中教科書於「原子理論」模型與類別分析.....	219
二、高中化學教科書於「原子理論」單元內容分析.....	260

三、高中化學教科書於「原子理論」之建模歷程.....	267
第四節 跨年級學生於「原子理論」概念之模型比較.....	280
一、跨年級學生於原子概念測驗（I）之作答情形.....	280
二、跨年級學生模型發展與比較.....	289
第五節 不同建模教學策略對於學生原子概念學習之影響.....	293
一、原子概念問卷（II）前後測結果分析比較.....	293
二、學生原子概念心智模式之影響與改變.....	304
三、原子概念成就測驗結果分析與比較.....	311
四、「類比建模組」與「電腦輔助建模組」學生之學習過程記錄.....	319
五、小結.....	324
第六節 學生概念理解與建模能力之關係.....	326
一、不同教學策略對於學生建模能力之影響.....	326
二、學生「概念理解」與「建模能力」之關係分析.....	329
第伍章 結論與建議.....	331
第一節 結論.....	331
一、學生對於模型本質之認識.....	331
二、學生如何選擇適當的模型及其表徵形式.....	333
三、我國教科書於「原子理論」單元分析及其意涵.....	334
四、跨年級學生於「原子概念」之模型發展歷程.....	337
五、建模教學對於學生原子概念之影響.....	338
六、不同教學策略對於學生建模能力之影響.....	339
七、本研究之貢獻.....	341
第二節 建議.....	344
一、教學與課程設計.....	344
二、未來研究建議.....	346
參考文獻	
中文部分.....	349

英文部分.....	352
附錄 1：原子概念成就測驗評分標準.....	367
附錄 2-1. 國中教科書之模型特徵評量標準與範例說明.....	371
附錄 2-2. 高中教科書之模型特徵評量標準與範例說明.....	372
附錄 3：高中教科書建模歷程評量標準與範例彙整表.....	374
附錄 4-1：科學模型本質測驗問卷.....	376
附錄 4-2. 模型本質半結構訪談工具.....	388
附錄 4-3. 如何利用模型表徵半結構訪談工具.....	390
附錄 5：原子概念測驗問卷（I）.....	391
附錄 6：原子概念測驗問卷（II）.....	393
附錄 7：原子概念成就測驗.....	401
附錄 8. 建模能力測驗－訪談題.....	405

圖 次

圖 1-1-1. 科學學習之理論架構.....	6
圖 1-2-1. 原子結構猶如太陽系的行星運轉.....	14
圖 1-2-2. 化學反應的能量關係猶如跨欄比賽選手跳過柵欄.....	14
圖 1-4-1. 建模架構圖.....	20
圖 2-1-1. 模型與物件之關係.....	26
圖 2-1-2. 理論是用來描述真實世界.....	27
圖 2-1-3. 定律、模型、被說明對象（現象）之關係.....	28
圖 2-1-4. 理論、模型與真實世界系統之關係.....	29
圖 2-1-5. 科學表徵目的性概念的語意描述.....	29
圖 2-1-6. 使用模型的表徵歷程.....	31
圖 2-1-7. 表徵系統的多樣性.....	34
圖 2-1-8. 本研究之模型分類圖.....	38
圖 2-1-9. 學生模型觀點的三面向示意圖.....	45
圖 2-1-10. 本研究之模型本質架構圖.....	45
圖 2-2-1. 建模是建立模型/理論與物件/事件的語意關係.....	49
圖 2-2-2. DDI 建模歷程圖.....	52
圖 2-2-3. 模型建立循環.....	53
圖 2-2-4. 影響學生建模知識的認知交互作用面向.....	60
圖 2-3-1. 以模型為基礎的學習之理論架構.....	62
圖 2-3-2. 以模型為基礎學習的模型.....	63
圖 2-3-3. 建模架構模型.....	65
圖 2-3-4. 模型演化、鷹架和共同建構之圖示.....	69
圖 2-4-1. 長岡半太郎的土星環模型.....	78
圖 2-4-2. α 粒子行進的路徑（雙曲線）.....	81
圖 2-4-3. 波耳的氫原子光譜與軌道關係圖.....	87

圖 2-4-4. 氫原子電子運行的軌道圖.....	90
圖 2-4-5. 週期表元素的原子結構.....	90
圖 2-4-6. 索末菲的原子模型.....	91
圖 2-4-7. 六種原子模型圖.....	94
圖 2-5-1. 物質結構模型之建模歷程.....	100
圖 2-5-2. 波耳的元素週期表.....	106
圖 2-5-3. 原子序與原子體積的關係圖.....	107
圖 3-3-1. 「講述教學組」、「類比建模組」與「電腦輔助模型組」之研究設計.....	126
圖 3-3-2. 電腦輔助建模教學利用電腦模擬連續光譜與不連續光譜.....	131
圖 3-4-1. 研究流程圖.....	136
圖 4-1-1. 8-11 年級學生於模型本質問卷（模型定義）之類型分布.....	145
圖 4-1-2. 學生於模型本質問卷（語意）之作答情形.....	150
圖 4-1-3. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學）之比較.....	151
圖 4-1-4. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）之比較.....	152
圖 4-1-5. 學生於模型本質問卷（語意－物件與過程）之比較.....	153
圖 4-1-6. 跨年級學生於模型本質問卷（語意－物件與過程）之比較.....	154
圖 4-1-7. 跨年級學生於模型本質問卷（本體論－科學與非科學範例）之比較.....	156
圖 4-1-8. 學生於模型本質問卷（認識論－科學與非科學範例）之比較.....	159
圖 4-1-9. 跨年級學生於模型本質問卷（方法論－科學與非科學範例）之比較.....	161
圖 4-1-10. 學生對於模型認識之架構.....	167
圖 4-1-11. 學生判斷是否為「模型」之示意圖.....	181
圖 4-2-1. 跨年級學生於「鹽溶解於水中」使用之模型表徵.....	202
圖 4-2-2. 跨年級學生於「木炭點火燃燒」使用之模型表徵.....	204
圖 4-2-3. 跨年級學生於「重物自由落下」使用之模型表徵.....	205
圖 4-2-4. 跨年級學生於「鈉原子失去電子」使用之模型表徵.....	206
圖 4-2-5. 學生選擇模型與視覺化之歷程.....	218
圖 4-3-1. 大氣中的原子.....	221
圖 4-3-2. 湯木生原子模型.....	221

圖 4-3-3. 國中教科書於拉塞福原子理論示意圖之比較.....	222
圖 4-3-4. 原子理論示意圖.....	223
圖 4-3-5. 波耳原子模型：電子只能在特殊的圓形軌道上運動.....	223
圖 4-3-6. 利用原子說解釋化學反應示意圖.....	225
圖 4-3-7. 道耳吞與湯木生原子模型比較.....	226
圖 4-3-8. 高中化學教科書於「湯木生原子理論」單元使用之模型表徵比較.....	230
圖 4-3-9. 電子在均勻電場的二度空間分布.....	230
圖 4-3-10. α 粒子撞擊金箔的散射實驗示意圖.....	231
圖 4-3-11. 湯木生與拉塞福原子模型 α 粒子散射實驗結果比較.....	232
圖 4-3-12. 拉塞福原子模型的說明.....	231
圖 4-3-13. 高中教科書於波耳原子理論（氫原子光譜）所使用模型之表徵彙整.....	233
圖 4-3-14. 波耳的原子軌道模型.....	234
圖 4-3-15. 電子雲示意圖.....	234
圖 4-3-16. 氫電子雲模型與氫原子模型的比較.....	235
圖 4-3-17. 陰極射線的性質.....	241
圖 4-3-18. 湯姆森原子模型.....	241
圖 4-3-19. α 粒子散射實驗.....	242
圖 4-3-20. α 粒子的散射實驗與結果.....	243
圖 4-3-21. α 粒子散射實驗結果.....	244
圖 4-3-22. 量子化的線光譜.....	246
圖 4-3-23. 拉塞福原子理論之原子穩定性問題.....	247
圖 4-3-24. 電子在 p_x 軌域的空間分布圖.....	249
圖 4-3-25. p 軌域的形狀.....	249
圖 4-3-26. 湯木生的原子模型及其類比物.....	254
圖 4-3-27. 原子和原子核比例示意圖.....	256
圖 4-3-28. 書架中之鎖紙類比於電子能階.....	256
圖 4-3-29. 氫原子的 $1s$ 軌域電子雲輪廓圖.....	257
圖 4-3-30. 由湯姆生原子模型所發生的 α 質點散射情形.....	263

圖 4-3-31. 湯木生模型中 α 粒子通過金箔時之偏轉作用.....	263
圖 4-3-32. 波耳原子理論圖解.....	274
圖 4-3-33. 氫原子的發射光譜譜線圖.....	275
圖 4-4-1. 8-11 年級學生於「物質組成」概念之類型分布圖.....	283
圖 4-4-2. C0 類型之示意圖.....	283
圖 4-4-3. C12 類型之示意圖.....	284
圖 4-4-4. C2 類型之示意圖.....	284
圖 4-4-5. 8-11 年級學生「原子結構」概念之類型分布圖.....	286
圖 4-4-6. 「原子結構」模型—M2 模型.....	287
圖 4-4-7. 「原子結構」模型—M3 模型.....	287
圖 4-4-8. 「原子結構」模型—M4 模型.....	287
圖 4-4-9. 「原子結構」模型—M5 模型.....	288
圖 4-4-10. 8-10 年級學生於「原子結構之描述和說明」之作答情形.....	289
圖 4-5-1. 三組學生於原子概念問卷(II)前、後測總分之關係圖.....	300
圖 4-5-2. 三組學生於「原子結構與結構」之心智模式改變情形.....	306
圖 4-5-3. 三組學生於「量子力學與軌域」之心智模式與改變情形.....	308
圖 4-5-4. 三組學生於「電子組態與週期性」之心智模式與改變情形.....	309
圖 4-5-5. 三組學生於「化學鍵結」之心智模式與改變情形.....	310
圖 4-5-6. s20908 學生(類比建模組)於非選擇題 1-2 之作答情形.....	315
圖 4-5-7. 「電腦輔助建模組」學生(s21001)於連續與不連續光譜問題作答情形.....	319
圖 4-5-8. 「電腦輔助建模組」學生(s21013)於 α 粒子散射實驗結果作答情形.....	320
圖 4-5-9. 「電腦輔助建模組」學生(s21001)於電子運動與軌域形狀作答情形.....	321
圖 4-5-10. 「電腦輔助建模組」學生(s21009)於拉塞福原子模型作答情形.....	322
圖 4-5-11. 「類比建模組」學生(s20902)於電子能階的作答情形.....	323
圖 4-5-12. 「類比建模組」學生(s20935)於電子能階的作答情形.....	323
圖 4-6-1. 三組學生建模能力示意圖.....	327

表 次

表 2-1-1. 研究者對於模型的定義彙整.....	25
表 2-1-2. 學校科學與學生對於模型想法之比較.....	42
表 2-2-1. 不同研究學者建模歷程彙整表.....	54
表 2-2-2. 建模歷程彙整表.....	57
表 2-3-1. 建模能力分析指標.....	67
表 2-4-1. 相同情況下，不同金屬的 α 粒子散射數量.....	83
表 2-4-2. 「原子結構」模型發展之彙整.....	93
表 3-1-1. 8-11 年級學生模型本質問卷測驗人數.....	111
表 3-1-2. 8-11 年級學生原子概念問卷（I）測驗人數分布情形.....	112
表 3-1-3. 「講述教學組」、「類比建模組」和「電腦輔助建模組」人數表.....	113
表 3-1-4. 本研究分析之國中教科書版本彙整.....	113
表 3-1-5. 本研究分析之高中教科書版本彙整.....	114
表 3-2-1. 研究工具與使用目的說明.....	115
表 3-2-2. 模型本質問卷雙向細目表.....	117
表 3-2-3. 原子概念問卷（I）評分標準.....	119
表 3-2-4. 原子概念問卷（II）雙向細目表.....	121
表 3-2-5. 良好模型之特徵.....	123
表 3-2-6. 教科書於「原子理論」內容分析評量標準.....	124
表 3-3-1. 「講述教學」、「類比建模教學」與「電腦輔助建模」之課程規劃.....	127
表 3-3-2. 類比建模教學教案－以「光譜與原子結構」單元為例.....	129
表 3-3-3. 電腦輔助建模教學教案－以「光譜與原子結構」單元為例.....	132
表 3-5-1. 學生於原子概念心智模式認知特徵編碼表.....	140
表 3-5-2. 學生於原子結構（原子穩定性）模式編碼表.....	141
表 4-1-1. 跨年級學生於模型本質問卷（模型定義）之作答百分比.....	145

表 4-1-2. 學生於模型本質問卷（模型定義）單因子變異數分析.....	146
表 4-1-3. 學生模型本質問卷（模型定義）單因子變異數之事後比較.....	146
表 4-1-4. 跨年級學生於模型本質問卷（語意）作答情形.....	148
表 4-1-5. 學生於模型本質問卷（語意）單因子變異數分析.....	149
表 4-1-6. 學生模型本質問卷（語意）單因子變異數之事後比較.....	149
表 4-1-7. 學生於模型本質問卷（語意－表徵形式）作答百分比.....	150
表 4-1-8. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）作答情形.....	151
表 4-1-9. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）配對 T 檢定.....	152
表 4-1-10. 學生於模型本質問卷（語意－過程與物件）作答情形.....	153
表 4-1-11. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）配對 T 檢定.....	154
表 4-1-12. 跨年級學生於模型本質問卷（本體論）作答情形.....	155
表 4-1-13. 學生於模型本質問卷（本體論）單因子變異數分析.....	156
表 4-1-14. 學生模型本質問卷（本體論）單因子變異數之事後比較.....	156
表 4-1-15. 學生於模型本質問卷（本體論－科學與非科學範例）配對 T 檢定.....	157
表 4-1-16. 跨年級學生於模型本質問卷（認識論）作答情形.....	158
表 4-1-17. 學生於模型本質（認識論）問卷單因子變異數分析.....	158
表 4-1-18. 學生於模型本質問卷（認識論－科學與非科學範例）配對 T 檢定.....	159
表 4-1-19. 跨年級學生於模型本質問卷（方法論）作答情形.....	160
表 4-1-20. 學生於模型本質問卷（方法論）單因子變異數分析.....	160
表 4-1-21. 學生於模型本質問卷（方法論－科學與非科學範例）配對 T 檢定.....	161
表 4-1-22. 學生於模型本質問卷（語意）因素分析結果.....	162
表 4-1-23. 學生於模型本質問卷（本體論－非科學範例）因素分析結果.....	163
表 4-1-24. 學生於模型本質問卷（本體論－科學範例）因素分析結果.....	164
表 4-1-25. 學生於模型本質問卷（認識論－非科學範例）因素分析結果.....	165
表 4-1-26. 學生於模型本質問卷（認識論－科學範例）因素分析結果.....	165
表 4-1-27. 學生於模型本質問卷（方法論－非科學範例）因素分析結果.....	166
表 4-1-28. 學生於模型本質問卷（方法論－科學範例）因素分析結果.....	166

表 4-1-29. 模型本質問卷各向度之平均數相關係數.....	167
表 4-2-1. 跨年級學生面對不同現象或概念模型使用次數統計表.....	197
表 4-3-1. 國中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析.....	224
表 4-3-2. 國中教科書於「原子理論」單元類比使用情形.....	229
表 4-3-3. 高中化學教科書於「原子理論」單元之模型定義彙整.....	236
表 4-3-4. 高中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析.....	238
表 4-3-5. 高中教科書模型特徵分析.....	239
表 4-3-6. 高中教科書依課程綱要於「原子理論」單元之模型特徵分析.....	249
表 4-3-7. 分析高中教科書於「原子理論」單元完全符合良好模型特徵版本之內容說明.....	252
表 4-3-8. 高中教科書於「原子理論」單元類比使用彙整.....	259
表 4-3-9. 高中教科書於「原子理論」單元內容重建分析.....	260
表 4-3-10. 依課程綱要分析不同階段高中教科書於「原子理論」單元之內容重建.....	266
表 4-3-11. 高中教科書於「原子理論」單元之建模歷程分析.....	268
表 4-3-12. 16 個版本高中教科書之建模歷程分析.....	268
表 4-3-13. 依課程綱要分析高中教科書於「原子理論」單元之建模歷程.....	278
表 4-4-1. 8-11 年級學生於「物質組成」概念之作答情形.....	282
表 4-4-2. 8-11 年級學生於「原子結構」概念之作答情形.....	284
表 4-4-3. 8-11 年級學生於「原子結構描述和說明」作答情形.....	287
表 4-4-4. 現階段仿問國、高中教科書於「原子理論」單元之模型演變歷程.....	289
表 4-5-1. 原子概念問卷 (II) (前測) 描述性統計.....	294
表 4-5-2. 原子概念問卷 (II) (前測) 單因子變異數分析.....	296
表 4-5-3. 原子概念問卷 (II) (前測) (次概念) 單因子變異數分析.....	296
表 4-5-4. 原子概念問卷 (II) (後測) 描述性統計.....	297
表 4-5-5. 原子概念問卷 (II) 前後測總分配對樣本 T 檢定.....	297
表 4-5-6. 原子概念問卷 (II) (後測) 單因子變異數分析.....	298
表 4-5-7. 原子概念問卷 (II) (後測) 單因子變異數分析之事後比較.....	298

表 4-5-8. 原子概念問卷 (II) (後測) (次概念) 單因子變異數分析.....	299
表 4-5-9. 原子概念問卷 (II) (後測－量子力學) 單因子變異數分析之事後比較.....	299
表 4-5-10. 原子概念問卷 (II) 進步分數之描述性統計.....	300
表 4-5-11. 原子概念問卷 (II) (進步分數) 之單因子變異數分析.....	301
表 4-5-12. 原子概念問卷 (II) (進步分數) 單因子變異數分析之事後比較.....	301
表 4-5-13. 原子概念問卷 (II) (進步分數) 單因子變異數分析.....	302
表 4-5-14. 原子概念問卷 (II) (進步分數－原子本質) 單因子變異數分析之事後比較	303
表 4-5-15. 原子概念問卷 (II) (進步分數－量子力學) 單因子變異數分析之事後比較	303
表 4-5-16. 原子概念問卷 (II) 後測之共變數分析摘要.....	303
表 4-5-17. 原子概念問卷 (II) 後測共變數分析之事後比較.....	304
表 4-5-18. 原子概念心智模式編碼表.....	305
表 4-5-19. 原子概念成就測驗描述性統計.....	312
表 4-5-20. 原子概念成就測驗 (總分) 單因子變異數分析.....	312
表 4-5-21. 原子概念成就測驗 (總分) 單因子變異數之事後比較.....	312
表 4-5-22. 原子概念成就測驗 (選擇題) 單因子變異數分析.....	313
表 4-5-23. 原子概念成就測驗 (選擇題) 單因子變異數之事後比較.....	313
表 4-5-24. 原子概念成就測驗 (非選擇題) 單因子變異數分析.....	314
表 4-5-25. 原子概念成就測驗 (非選擇題) 單因子變異數之事後比較.....	314
表 4-5-26. 原子概念成就測驗 (非選擇題) 之作答情形.....	315
表 4-5-27. 原子概念成就測驗 (次概念) 描述性統計.....	316
表 4-5-28. 原子概念成就測驗 (光譜與原子結構) 單因子變異數分析.....	316
表 4-5-29. 原子概念成就測驗 (光譜與原子結構) 單因子變異數之事後比較.....	316
表 4-5-30. 原子概念成就測驗 (量子力學與軌域) 單因子變異數分析.....	317
表 4-5-31. 原子概念成就測驗 (量子力學與軌域) 單因子變異數之事後比較.....	317
表 4-5-32. 原子概念成就測驗 (電子組態與週期性) 單因子變異數分析.....	317
表 4-5-33. 原子概念成就測驗 (電子組態與週期性) 單因子變異數之事後比較.....	318
表 4-5-35. 原子概念成就測驗 (化學鍵結) 單因子變異數分析.....	318

表 4-6-1. 三組學生於各階段建模歷程之平均得分.....	327
表 4-6-2. 各階段建模能力之 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析統計量表.....	328
表 4-6-3. 各階段建模能力 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析事後檢定統計量表...	329
表 4-6-4. 「後測分數」與「建模能力分數」表現之 Kendall's tau 相關統計.....	330

第壹章 緒論

Hodson (1992) 認為科學教育的目的有下列三個：科學的學習 (the learning of science)，如理解由科學所產生的想法；關於科學的學習 (learning about science)，如理解在哲學、歷史和科學方法的重要議題，和學習去做科學 (learning to do science)，如能夠參與那些獲得科學知識的科學活動，而達成這些目的最為關鍵的角色即是對模型 (model) 認識與建模 (modelling) 的能力。學生在科學的學習過程中，若能理解科學發展過程中模型的本質及其範圍與限制，教師教學亦提供學生機會去建立、表達和檢驗模型，如此將更有助於學生科學的學習。

科學發展過程中，已有許多不同形式的「模型」，並且有許多不同形式的模型作為提供科學方法。模型形態或結構可減少所呈現現象的複雜性，讓抽象理論容易被理解，並可用來預測和推論，更是教師教學時相當重要且不可或缺的呈現方式，以及作為連結學校科學活動與真實科學之間的橋樑。然在科學探究活動教學中，模型與建模能力的培養卻常被忽略 (Gilbert, 1995；引自 Crawford & Cullin, 2004)。

過去，迷思概念與概念改變研究議題對科學教育研究取向產生很大的影響，然相關理論均未能解決學生學習困難的問題 (Greca & Moreira, 2000)。因此，我們將回顧迷思概念和概念改變研究等觀點的代表性研究，說明為何它們無法說明學生的學習困難與研究的侷限性。隨後，則從模型與建模的觀點來探討學生對於模型的認識，以及如何影響學生概念學習和促進學生概念改變。

一、科學教育研究取向轉變之回顧

(一) 迷思概念研究

過去 30 多年，已有許多研究顯示學生進入教室前，對於現象或科學概念有不同的想法，而且這些概念或想法均相當難以改變。關於學生迷思概念 (另有概念) 的研究，由於皮亞傑的研究，其臨床晤談的研究方法影響學生概念的探究方式，並且造成了一股迷思概念研究的風潮。相關的研究與專書也風起雲湧般地出現，自從 1984 年 Duit 開始對學生迷思概念研究進行彙整，至 2009 年 3 月止，相關的研究已達 8,342 篇。¹

¹ 1984 年，Reinders Duit 開始針對學生迷思概念相關文獻進行蒐集與分類，在所建置之 “Students' and Teachers' Conceptions and Science Education” 網站所蒐集之文獻 (文獻來源為期刊、會議論文和研討會論文等)，至 2009 年 3 月，相關的研究文獻已達 8,342 篇。

（二）概念改變研究

回顧科學教育研究取向，對於概念改變議題研究，1980 年代，受到 Kuhn（1962）科學革命觀的影響，科學教育研究也轉為概念改變研究取向，首先是 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog（1982）將學生概念改變類比於 Kuhn 的典範轉移，提出概念改變理論（CCM），對於概念改變研究產生極大的影響。1990 年代，概念改變相關性研究更是如雨後春筍般地出現，各種概念改變理論也相繼被提出，如 Vosniadou（1994）提出架構理論（framework theory），Chi（1992）提出本體論（ontology）類別，Thagard（1992）則從概念改變階層性來探討概念改變的難易程度，近來，則有多向度（multi-perspectives）概念改變的觀點提出（Duit & Treaquist, 2003；Chiu, 2008）。然而，概念改變理論著重於概念的轉變，那概念是什麼？為什麼有些概念難以改變？有些概念則較容易改變？許多理論均嘗試解釋此問題，惟仍未有較為一致的看法，而且許多相關性研究亦缺乏對學習產生有效的結果（Greca & Moreira, 2000），概念改變研究取向似乎已面臨瓶頸。

（三）模型與建模研究的興起

在建構主義的哲學觀下，科學學習需要學生去重新建構概念，以及產生有意義的內在表徵，並且能夠對其提出合理解釋與進行有效的溝通，在此過程中「模型」即提供了一個可以結合想像力與背景知識的橋樑，並形成一個可以運作的工具，因此模型與科學學習之間關係的重要性是無庸置疑的。

從 1980 年代至今已有 30 年的時間，雖有許多概念改變理論被提出，但仍難以解決概念改變所面臨的困境，什麼才是影響學生概念改變難易的機制？為解決此困境，科學教育研究取向已轉變為「模型」和「建模」之研究取向²，相關性研究也正快速地擴展，許多研究學者已開始關注此議題（e.g. Gilbert & Buckley, 2000; Liu, Lai & Chiu, 2009；邱美虹，2007；邱美虹和劉俊庚，2008；賴俊文、邱美虹和劉俊庚，2010）。科學學習中，模型除了可提供解釋和預測外，它們也常被用來將資料做總結，或是啓迪實驗的設計（Craver, 2006）。建模則是包含許多複雜活動的過程，它也伴隨著許多不同能力的發展，因此，它不僅能解釋學生概念改變歷程，而且增添許多概念改變研究所缺乏之額外元素（Shen & Confrey, 2007），如學生對於模型本質之認識，或是推

² 1999 年出版的《歐洲的科學教育研究》（*Research in Science Education in Europe*）裡面許多重要的文章均以心智模式（mental model）、概念模型（conceptual model）和建模（modelling）為研究的主軸。2000 年，I. M. Greca 和 M. A. Moreira 在 *International Journal of Science Education* 期刊發表 Mental models, conceptual models, and modelling。

理、預測和解釋等能力之培養。Shen 和 Confrey (2007) 即認為建模可透過多重表徵的方式來確認學生的推理過程，因此建模理論不僅可用來描述概念改變的機制與動態外，並可提供改進學生在概念學習之教學策略。

但學生對於模型的觀點是什麼？我們如何協助學生進行建模呢？或如何培養學生的建模能力？雖然許多研究對建模提出不同的定義與歷程，但此方面研究仍著重於建模教學活動對於學生學習之影響 (e. g., Halloun & Hestenes, 1987)，對於模型與建模理論發展仍較為缺乏，由於我們缺乏學生關於模型本質認識、模型認識與建模之間較為可信的觀點與理論，因此，本研究即針對此議題發展「模型」與「建模」的相關理論，藉以提供科學教育研究者與教師教學參酌。

二、本研究概述

過去 30 年，關於認知心理學與人工智慧之研究，已給研究者對於問題解決的理解有更多認識，近十多年來，許多以「以模型為基礎的建模教學」均說明建模教學將使學生的學習變得更有意義，並且促進學生建立正確的心智模式與產生有意義的學習。除這些研究結果外，我們需要考慮學習者如何建構問題表徵，即學生如何建構模型，以及如何啟發來促進問題解決和有意義的學習，換言之，本研究著重的問題，分別是模型是什麼？學生如何建立與選擇適當的模型？模型和建模對於教科書之影響？學生如何透過建模教學活動增進其概念的學習？

因此，本研究企圖從語意、本體論、認識論和方法論等多向度來探討學生對於模型本質的觀點，進而利用訪談的方法深入分析學生對於模型認識與如何建立模型。此外，本研究將著重於探討「原子」概念的歷史發展過程，分析我國教科書於「原子理論」所使用之模型與建模歷程為何，並深入分析不同年級學生對於原子概念之發展歷程，探討教科書如何影響學生學習「原子」概念之模型建立。最後，本研究透過以模型為基礎的不同建模教學模式，了解不同建模教學策略對於 11 年級學生原子概念學習之影響，以及學生建模能力與概念改變之相關性，冀能提供未來研究者有參考之依據。

以下將分別就研究背景、研究動機、研究目的與問題詳細說明，隨後則針對研究中所出現的專有名詞加以詮釋與定義，最後則是界定本研究之範圍與限制。

第一節 研究背景

一、迷思概念與概念改變研究

(一) 迷思概念研究取向

1970 年代中葉，科學教育學者與認知心理學家對於小朋友的概念與錯誤理解之研究開始感到興趣，相關研究也有相當幅度的成長。早期，科學教育研究深受皮亞傑研究的影響，研究著重於探討學生對於自然現象了解與學生認知階段表現之間的關係（e.g., Bar, 1989; Shayer & Wylam, 1981），雖然有些研究並沒有如皮亞傑所預期的結果，但大部份研究指出學生認知階段與概念學習之間具有正相關。而此階段科學教育也大多著重於學生的迷思概念研究，1970 年代末期，甚至有了“另有概念運動（the movement of alternative conceptions）”的出現（Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994）。Driver 和 Easley（1978）也建議科學教育研究除專注於學生想法外，也須著重學生的解釋內容。1980 年代，科學教育研究取向有了極大的轉變，除仍專注於學生的迷思概念研究外，更開始關心學生概念如何改變，以及促進概念改變的教學策略，同時亦有許多概念改變理論相繼被提出來，如 Posner 等人（1982）所提出的概念改變理論（CCM）。

儘管在迷思概念的研究上有許多差異存在，但研究具有一項重要的特徵，即表徵學生對於外界物理現象的想法。雖然，許多研究仍無法對學生概念理解等相關問題提供明確的解答，但卻產生許多不同詞彙來描繪學生的想法，如：孩童的科學（children's science）（Gilbert, Osborne & Fensham, 1982）、常識信念（common sense beliefs）（Champagne, Klopfer & Anderson, 1980）和天真信念（naive beliefs）（McCloskey, Caramazza, & Green, 1980）。對於上述描述學生想法的相關術語與詞彙，歸納起來大致有以下幾個特徵：

1. 它們具有穩定的認知結構，有些概念相當難以改變，如力學和化學平衡概念。
2. 它們與專家的想法是不同的。
3. 它們會影響學生如何瞭解自然現象和科學理論。
4. 它們會阻礙學生其他概念的學習，所以它們必須克服、避免或是予以排除。

基本上，學生擁有知識與想法在科學學習過程中扮演非常重要的角色，它影響學生如何知覺與詮釋所看到的世界或現象，當然也影響新概念的學習，特別是迷思概念

與科學解釋相互衝突的時候。而外來訊息與學生知識之間的相互關係將是決定新知識獲得與否之關鍵（Pines & West, 1986）。基於這個理由，教師在教學上不能只是簡單地傳達科學知識，教師更須協助學生進行概念改變。

（二）概念改變研究取向

由於先前學生迷思概念累積相當多的資料，1980 年代，科學教育研究取向轉為概念改變研究的議題，首先是 Posner 等人（1982）從認識論（epistemological）觀點來探討學生的概念改變，並將概念改變類比於 Kuhn 的典範轉移，他們以皮亞傑的認知衝突為理論架構，提出概念改變模型（CCM），並認為概念改變需滿足四個條件，分別是：學習者對現有概念不滿意（dissatisfaction），學習者知覺到新概念是可理解（intelligible），新概念必須是合理的（plausible），並且較原有概念更為豐富（fruitful），若是能符合上述四個條件，則可能達到概念改變。由於其理論在教學上相當容易理解與應用，Posner 等人理論也受到當時許多科學教育學者所接受，但是利用認識論來解釋概念改變並未解決認識論所遺留的問題，其忽略了概念的本質，並且難以解釋為什麼有些概念特別地困難且難以改變。隨後，Strike 和 Posner（1992）即針對原有的理論架構做了部分的修正，強調個體知識結構與環境之間的互動，即認為社會情境也會影響學生的概念改變，由此也看出影響學生概念改變絕非僅有單一因素而已。

隨後，1990 年代概念改變研究更是蓬勃發展，各種理論相繼被提出，如 Vosniadou（1994）提出架構理論（framework theory），她認為學生信念是受制於稱為架構理論的預設，其源自於兒童早期的日常生活經驗，而細部的概念則稱為特定理論（specific theory），源自於個體的觀察或是文化脈絡之下。Chi（1992）則從本體論（ontology）類別來探討概念改變，她認為所有世界上的實體都屬於三種主要本體論類別，分別是：物質（matter or things）、過程（processes）和心智狀態（mental states），概念改變是一個概念重新被置放，由一個類別置放至另一類別（Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994）。Thagard（1992）則從階層性來探討概念改變的難易程度，概念改變包括部份關係（part-relations）和種類關係（kind-relations）兩種類型，所謂「部份關係」是指在概念樹階層裡較為下位的關係；而「種類關係」則是指在概念樹階層裡較為上位的關係，指出概念改變有九個階層，分別是：增加新例子、增加強原則、增加新的部份關係、增加新種類的關係、瓦解部份種類的階層、分枝的跳躍、樹的遷移。近來，概念改變研究已朝向多向度觀點（multi-perspectives）（Duit & Treagust, 2003；Tyson et al., 1997；Chiu, 2008），以 Chiu（2008）的研究為例，提出 RAINBOW 架構來探討學生概念改變，理論架構源於科學教育研究、認知科學和學校環境等，分別從 7 個觀點來

探討學生的概念改變：發展性（developmental）、本體論（ontological）、認識論（epistemological）、情意（affective）、演化（evolutional）、教學（instructional）和整合（integrative）等，由此可知概念改變討論的面向已由單一向度轉變為多向度的研究取向。

二、模型與建模教學研究

整體而言，雖然已有許多概念改變議題的研究，並獲得相當不錯的成果，但概念改變理論在教學上仍面臨許多的困境，Rea-Ramirez, Clement 和 Nunez-Oviedo(2008)認為利用認知方法去探討學生概念改變可能是不夠的，因未能考量情意因素，以及社會學習的角色與學習情境。此外，Rea-Ramirez 等人（2008）亦認為概念改變研究過於強調概念的改變與取代，而非是修正。因此，他們提議概念改變教學宜兼顧認知與社會理論，並透過心智建模理論來解決，即是以模型為基礎之共同建構（Model-based Co-construction），如下圖 1-1-1 所示。

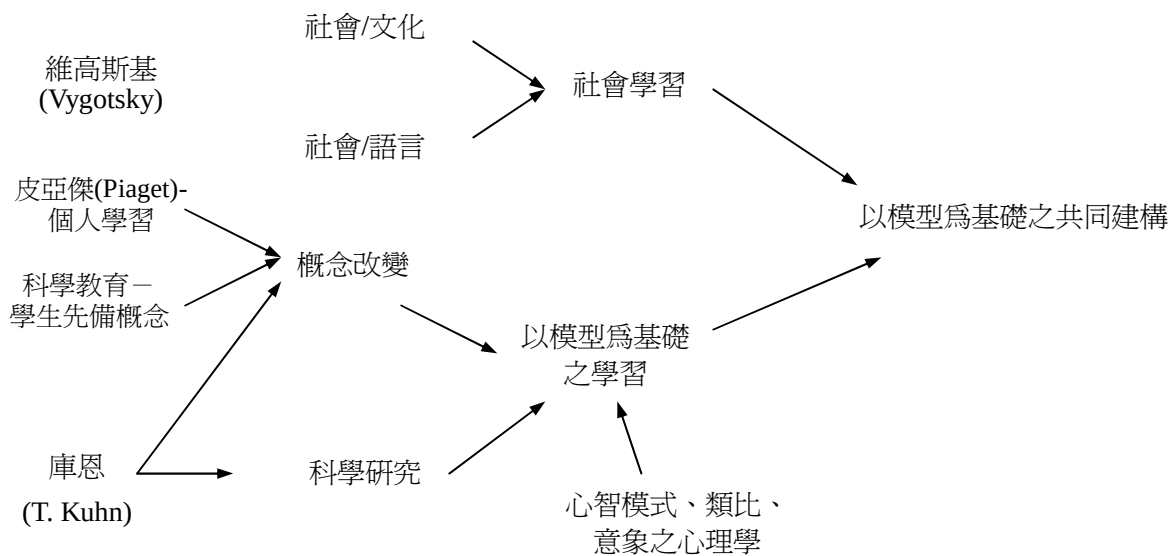


圖 1-1-1. 科學學習之理論架構（Rea-Ramirez, Clement, Nunez-Oviedo, 2008, p. 25）

除此之外，科學教育研究取向也產生轉變，取而代之是「模型」和「建模」之研究，相關研究亦不斷地被提出（Greca & Moreira, 2000; Halloun & Hestenes, 1987; Liu & Chiu, 2010; Stratford, Krajcik & Soloway, 1998），並已逐漸體認到模型與建模在科學教育上的價值（AAAS, 1993；NSC, 1996）。模型與建模是認知與科學探究的基礎，在科學學習過程中扮演非常重要的角色（Maia & Justi, 2009），它包含許多複雜活動的過程，也伴隨著不同能力之發展，它不僅能解釋學生概念改變歷程，也增添許多概念改

變研究所缺乏的額外元素，如建模理論不僅可用來描述概念改變的機制與動態發展，且提供相關的教學策略來改進學生概念學習，或是理解科學模型所扮演的角色等（Shen & Confrey, 2007；張志康，2009）。而且建模教學策略也修正傳統講述－演示之教學缺失，如傳統講述教學，學生學到僅是片斷的知識，學習也採取較為被動的方式，以及難以改變原有的天真信念（Jackson, Dukerich & Hestenes, 2008），建模教學則可以讓學生學習到整個模型架構，透過師生的互動過程，學生能主動學習，進而達到心智模式與概念的改變。

（一）模型的本質與科學發展的重要性

模型在科學發展與理論建立扮演非常重要的角色，它可以用來表徵某些事物，象徵外在世界的某些部分，或是模擬外在世界的某些部分。一般來說，在科學發展上較為著名的模型有原子模型、氣體粒子模型和金屬導電模型等，這些模型均以某種方式表徵它們的目標系統。在化學課程中，教師也常利用模型來解釋或闡述化學變化（如使用化學方程式來描述化學變化），或是利用分子模型來解釋化合物的鍵結情形，而我們也常會使用化學符號來表徵元素或化合物，均可說明模型在科學教學與學習已扮演相當重要的角色。

大部分科學家均同意模型的建立、操弄、實驗結果的比較與調整，或是模型重建是科學發展過程中相當重要的一部分。模型和實驗與理論是不相同的，模型擁有其獨特性，在科學發展上占有相當重要的地位。儘管模型在科學上有其重要性，但仍未有系統化地研究，大多數研究僅著重於學生或教師對於模型的認識（Van Driel & Verloop, 1999; 2002），或是模型在學習上的推理等（Sins, Savelsbergh & van Joolingen, 2005）。科學教育對於模型理論研究仍相當地缺乏，回顧研究文獻主要為 Grosslight, Unger, Jay 和 Smith（1991）的研究，他們訪談受試者關於模型的結構與目的，並依據模型的形成本質與使用，分成三個不同的層次。Treagust, Chittleborough 和 Mamiala（2002）則利用問卷探討學生對於模型的認識，惟兩者的研究結果似乎有所衝突之處。因此，探討學生對於模型本質的認識，以及學生如何選擇適當的模型？將是本研究所考量的重點問題。此外，本研究也將著重於探討原子理論模型之科學發展發展，以及建模歷程理論之建立，藉以提供未來模型研究者參酌。

（二）建模教學對學生學習之影響

什麼是建模？心智模式如何外顯化？建模是認知、科學探究和問題解決的基礎，更是發展科學知識的重要過程。建模能提供思考與知識的外顯化，將實體與過程視覺

化，而去思考問題，如此心智模式將可變成思考操弄的工具，而建模也成為學生理解自我思考方式的工具。

建模並不僅做為科學的補充，而是建構自然世界解釋的核心，為理解與應用模型，學生發展建模的能力是非常重要的。此外，建模也強調學生在操弄與建構模型時扮演主動的角色。因此，建模教學過程中，學生即可透過建模歷程所強調的學習模式來認識模型，以及模型所扮演的角色，建構、分析、調度（deployment）和修正精煉原有的心智模式，並透過主動建構自我形成的模型，如此將可以協助學生理解科學探究的歷程或本質，也可理解建模在科學研究中所扮演核心的角色，如利用模型去分析問題、進行科學探究和問題解決。

但是將「建模」教學策略導入課程中仍有許多問題存在，建模教學對於許多教師而言仍是非常陌生的想法，雖然教師在課堂教學中使用模型，但許多老師仍無法了解模型與建模的想法，教科書對於模型與建模之描述更是付之闕如。綜合上述，本研究企圖分析不同版本教科書於「原子理論」之模型特徵、建模歷程和內容分析，使用以模型為基礎的建模教學策略，探討學生學習上的困難，分析以模型為基礎之建模教學策略對於 11 年級學生在「原子」概念的學習成效與差異，並探討接受不同教學策略後，學生建模能力之差異與概念改變情形。

三、原子理論科學發展歷程與教科書分析

教科書在科學教學扮演非常關鍵的角色，研究亦指出教師相當依賴於教科書來計畫教學的內容與過程（Sanchez & Valcarcel, 1999），但教科書卻缺乏建模的觀點（Gericke & Hagberg, 2009; Liu & Chiu, 2010），因此，教師教學內容與結構若以教科書來計畫與教學，教學過程中將難以發展建模的觀點，更難以培養學生建模的能力。

許多研究指出教科書在「原子理論」發展的描述均有極大的缺失（Justi & Gilbert, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004; 劉俊庚和邱美虹, 2010a），多數仿間高中教科書在「原子理論」發展的敘述上，大多從道耳吞「原子說」，湯木生從陰極射線管實驗發現電子，拉塞福從 α 粒子散射實驗提出核原子（nuclear atom）模型，波耳針對拉塞福原子模型的缺陷提出行星式原子模型，最後，則利用電子出現機率的數學函數（軌域）來描述原子結構。對於原子理論之敘述，大多數教科書僅使用少數或有限的模型來描述原子結構，未能對不同科學家所建立之原子模型有詳細描述，或是採取混合的模型（拉塞福原子模型與電子雲模型）（Justi & Gilbert, 2000）。由於「原子理論」演變是不斷地透過實驗修正的結果，但教科書卻未

能對不同模型之間的實驗修正與限制有相關描述，模型相關性之連結也付之闕如，教科書內容僅描述科學家的實驗結果、發現與其提出的原子模型，採取歸納的觀點，不同模型之間的相關性與競爭均未有任何的說明，模型重新建立更是缺乏（Rodriguez & Niaz, 2004；劉俊庚和邱美虹，2010a）。底下分別以國中和高中教科書為例，即可說明上述的觀點。

十九世紀初，道耳吞的原子說認為原子是構成物質的最小粒子。但到了十九世紀末，逐漸有許多實驗結果發現，原先認為構成物質的最小粒子—原子，能夠再分成更小的粒子。

西元 1897 年，英國的科學家湯木生（Joseph John Thomson，西元 1856~1940 年）發現原子裡面含有帶負電的電子。而到二十世紀初時，他的學生拉塞福（Ernest Rutherford，西元 1871~1937 年）根據實驗結果提出原子模型，認為原子是由原子核與核外的電子組成的。原子核帶正電，位居原子中心，電子受到原子核吸引，環繞原子核運動，就好像太陽系的行星繞著太陽運動般。

電子運動的範圍視為原子的大小，而位居原子中心的原子核體積很小，其半徑約只有原子半徑的一萬到十萬分之一。（康軒，2007，頁 151-152）

西元 1897 年湯姆森（J. J. Thomson, 1856~1940）從陰極射線的實驗推測原子中含有更小的粒子，稱之為電子，並利用陰極射線在電場及磁場中的偏轉，測出電子的電荷對質量的比值（ e/m ）為 1.6×10^{11} 庫倫/千克。

西元 1909 年密立坎（R. A. Millikan, 1856~1953）利用帶電油滴在電板間移動的實驗，測知電子的電荷（ e ）是 1.602×10^{-19} 庫倫。並根據湯姆森的數據，算得電子的質量（ m ）為 9.1×10^{-31} kg。/

西元 1911 年拉塞福（E. Rutherford, 1871~1937）觀察 α 粒子（ ${}^4_2\text{He}$ ）撞擊金箔後散射的狀況，發現絕大部分的 α 粒子穿過金箔，但有少數的 α 粒子產生散射，甚至有極少數大角度的散射。據此提出原子模型：原子是由重而小且帶正電的原子核為中心，極輕且帶負電的電子則分布在核外廣大的空間中。（陳竹亭，2008，頁 111）

教師在「原子」概念教學也專注於學生的解題能力，教學過程中亦忽略不同表徵形式模型的差異，未能闡明不同原子模型的相關概念，對於模型分析、效化與調度運用更是甚少提及，大多僅將原子結構類比於太陽系行星，如此學生將無法對理論與模型之間做適當的連結，學生對於這些經過簡化或是去情境化的模型感到非常地困惑，導致他們無法理解模型與表徵現象或物件之間的關連性（Boulter & Buckley, 2000）。科學史關於湯木生、拉塞福和波耳原子理論之間的轉變可謂為模型重建的歷程，若能提供學生關於「原子理論」模型的重新建構歷程，將可促進學生的概念學習，更讓學生有機會去理解科學家是如何建構理論，了解如何作科學和建立模型的歷程，更可以

影響學生的科學本質觀（劉俊庚和邱美虹，2010a）。本研究將著重於分析科學史關於「原子理論」的演變歷程，教科書關於「原子理論」的模型類型特徵、建模歷程與內容分析，以及跨年級學生「原子理論」的發展歷程，根據 Mayer（1989）所提出之良好模型特徵和 Liu & Chiu（2010）所提出建模歷程（模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析與評估和模型調度）之要素對教科書進行解構，以探討模型在我國教科書中所扮演的角色和功能，以及教科書是否具建模歷程的要素。此外，本研究亦分析跨年級學生於「原子結構」概念的發展歷程，藉以比較科學史發展與學生概念和教科書之間的關係。

第二節 研究動機

在科學的實踐上，模型與建模扮演著非常重要的角色，模型可以減少所呈現現象的複雜性，讓科學理論容易被理解，並可用來預測和推論，當然更是科學教學與學習歷程中相當重要的呈現方式與不可或缺的能力，然而，在科學探究活動與教學中卻常被忽略（Gilbert, 1995；引自 Crawford & Cullin, 2004）。許多研究文獻仍著重於模型的認識，研究結果也似乎有所衝突。因此，有必要重新審視模型的本質，學生對於模型本質的認識與理解為何？再者模型與建模在科學發展、教科書和學生學習所扮演的角色？以及「以模型為基礎的建模教學」如何增進學生學習成效、概念改變和建模能力？上述即是本研究所著重的問題與動機。

一、重新審視模型研究

宣稱模型是科學理解的核心並不是一個新的想法，早在 50 年前，Patrick Suppes（1960）即提出模型的意義與使用在實證科學與數學均扮演相當重要的核心，特別在數學邏輯方面，他認為模型理論與邏輯是密不可分的。對於 Suppes 而言，模型是一種理論性結構，包括一組物件，伴隨著性質、關係和功能等部分，對此定義而言，模型即是特定的物件、性質、關係和功能整合成理論的公理形式，根據此觀點，模型也提供了一組未說明公理的詮釋，因此模型可稱為“詮釋性模型”，其扮演解釋的角色（Giere, 1999）。如此定義方式，即已說明模型的本質、關係與結構，以及模型扮演的角色。

一般來說，模型常被視為所表徵現象或物件的同構物（isomorphic），其擁有結構上的對應關係，在許多科學和數學的運用過程中，我們發現在不同情境下，甚至不同學科之間，我們會使用相同的結構，如成正比的線性關係（如理想氣體方程式 P 與 T ，或 V 與 T ），或是 $1/R^2$ 的數學關係式（如萬有引力與庫倫靜電力大小均與距離平方成反比）。換句話說，相同的結構能簡化目標系統，而且結構擁有多樣的再現性，如此有利於理解複雜的理論與現象。但模型亦可能是錯誤、不正確的表徵，或是結構與目標系統有極大的差異，如湯木生的原子模型，或是原子核液滴模型均是相當著名的模型例子。因此，若以相似的觀點來審視模型將可能會得到有限的結果，我們將無法深入了解模型。既然我們不能單純地以「形態相似」作為分析模型本質的架構，而學生如何透過模型來表徵目標系統？對於某一個特定的現象，我們可以擁有不同的模型來表徵，學生是如何選擇適當的模型？學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或原

理？學生所建立模型與表徵的系統或現象之間有何關係存在？這些因素會隨時間或情境而改變嗎？此外，我們如何來評估學生所建立的模型？上述問題是本研究欲探討之目的。因此，我們整合相似性與同構性來探討學生所使用之模型與所表徵現象或物件之關係，了解學生選擇模型與視覺化的歷程，以及跨年級學生所使用的模型表徵之差異。

Grosslight 等人（1991）的研究結果顯示，大部分學生相信模型與實體之間有 1：1 的對應關係（模型是玩具，或是真實物體較小的複製品），模型應該是正確的，他們不會去尋找模型的形式或目的。由此可看出學生對於模型的認識仍侷限於具體模型，且對於「模型功能之知識」及「建模歷程」較缺乏深入的探討（Van Driel & Verloop, 1999）。因此，為了探討學生對於模型的認識，本研究修改 Chiu 和 Liu（2008）所提出模型本質觀點，分別從語意（semantics）（模型的表徵性功能）、本體論（ontology）（什麼形式的物件屬於模型）、認識論（epistemology）（學生如何認識模型，或是模型如何促進學生理解）和方法論（methodology）（模型的功能）等四個面向來探討學生對模型本質的觀點，並對模型本質之理論架構提出修正，分別探討其四個面向之間的關係為何？換言之，本研究提出以多向度的方式來分析來探討學生對於模型的認識。

二、模型與建模在科學史與學習所扮演的角色

（一）模型與建模在科學史所扮演的角色

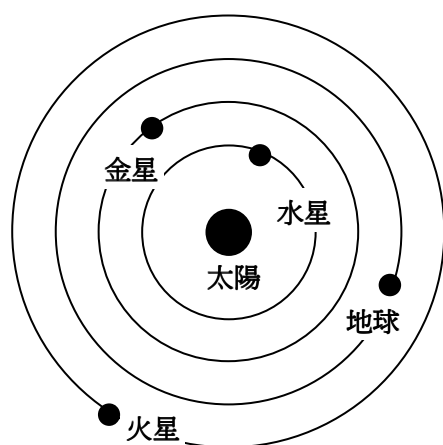
從科學史與科學哲學觀點來看模型與建模在歷史上所扮演的角色，我們即可理解為何它們是不容被忽視的。科學家的工作目標之一就是理解自然世界如何地運作，當物體可能體積太大、太小，現象出現太快或過於複雜，模型將會是一個相當有用的工具來協助科學家進行預測，解釋、理解與科學的發現（Jungck & Calley, 1985）。這在科學史上俯拾皆是（如拉塞福的原子模型），或是在生物學上，達爾文以馬爾薩斯（Thomas R. Malthus）的人口論來類比演化論，在物理學上，利用氣體粒子模型來解釋氣體定律。科學家經由觀察、確認數據的型態，並對這些形態做檢驗和解釋，如此的解釋即稱為科學模型（Grawford & Cullin, 2004）。而科學家為了傳播他們的想法，他們也會使用不同的表徵方式，包括：圖畫、圖片、方程式，或三度空間的結構（如分子模型），這些均屬於模型，由此看來，科學社群使用模型來解釋與預測各種現象。然而，科學家評估模型時並不會去問它是否正確或錯誤，相反地，他們會去問：1.模型是否能解釋所有的觀察？2.模型如何能預測系統的行為，假如它以特殊的方式來運

作的話？3.模型是否與其他想法相互一致。同時，他們會發展不同表徵形式的模型，並且對於相同的現象均是可接受的（Crawford & Cullin, 2004），很明顯地，科學家對於模型主要是著重於模型的功能，至於模型與實體或現象之間的差異，則不是他們所關心的部分，但這卻也是教師教學時常忽略的地方。

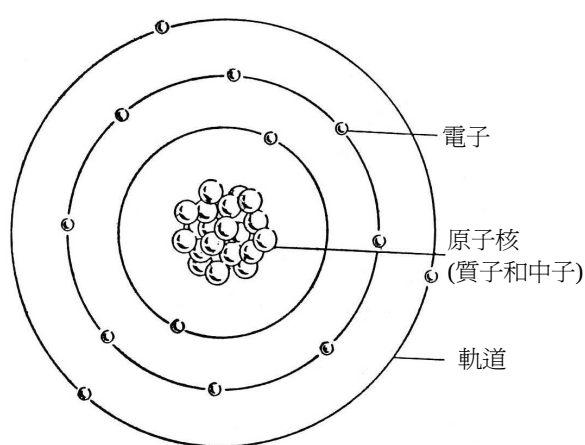
本研究將著重於「原子理論」在科學發展的演變與建模歷程，藉以探討模型與建模在科學史所扮演的角色。此外，本研究亦探討跨年級學生關於原子模型與概念之演變，分析與比較科學史與學生於「原子理論」之模型與建模歷程，藉以了解科學發展於「原子理論」之模型演變與學生概念發展兩者之關係。我們也將著重於教科書於原子理論模型與建模歷程，許多教師相當依賴於教科書來計畫教學的內容與過程（Sanchez & Valcarcel, 1999），若教科書未能呈現易懂的模型和適當的建模歷程，教師如何能接受教科書所呈現的模型，或是教導學生模型在科學上扮演的角色。因此，本研究將透過 Mayer（1989）所提出之良好模型特徵與 Liu & Chiu（2010）所提出之建模歷程指標，建立模型、建模歷程和內容分析指標，採用內容分析法評估不同版本國、高中化學教科書中之模型特徵、建模歷程與概念重建之差異，並且分析跨年級學生原子概念發展與教科書之間的關係。

（二）模型與建模在科學教學和學習之關係

模型是科學教育主要的教學與學習工具。Gilbert, Boulter & Elmer（2000）認為建模與模型能夠在科學教育與科技教育之間建立起一個橋樑。由於科學理論非常抽象，若能透過模型來呈現，將使理論變得容易理解。此外，也有許多模型是在科學教學中使用，如教師平時教學描述原子結構時，他們常會使用太陽系行星模型來類比於原子的結構，原子核對應於太陽，電子則猶如於行星的運轉，如圖 1-2-1 所示；描述化學反應的能量關係（活化能）時，則類似於跨欄比賽選手必須跳過柵欄，如圖 1-2-2 所示。由此更可說明模型在科學教育所扮演的角色。



太陽系的行星



鋁的原子結構

圖 1-2-1. 原子結構猶如太陽系的行星運轉



圖 1-2-2. 化學反應的能量關係猶如跨欄比賽選手跳過柵欄 (Alexander, 1992; 引自 Gilbert, 1993)

建模是形成概念化模型過程中相當重要的方法，許多研究也指出概念改變與建模之間的關係（張志康，2009; Jonassen, Strobel, & Gottdenker, 2005; Nersessian, 1999）。建模教學強調學習者扮演主動的角色，學生在建模過程可以認識科學模型的本質，建構模型、修正原有的心智模式，進而達到概念改變。因此，教學過程中需要培養學生對於模型的認識與建模知識和能力，當然教師也需要擁有建模知識與相關的教學策略。

三、設計「原子」概念之建模教學

根據概念改變的分類，強重建需要心智模式的重新建構，而模型重建在此過程即扮演非常重要的角色，由於概念改變需要學生重新組織心智模式，重新建立模型將使學生重新組織他們原有的心智模式，當學生透過建模歷程發現其概念或心智模式不一致，他們將可能去修正與重建模型，建模是從事概念改變的重要方法（Nersessian, 1999）。換句話說，學生透過建立模型，或是精煉模型將會促進他們進行概念改變，

並且將提供概念改變重要的證據。

近來，「模型為基礎的學習」相關性研究已慢慢地受到許多科學學者的重視（邱美虹，2008；張志康，2009；Clement, 2002），Clement 和 Rea-Ramirez 於 2008 年所編輯的“*Model Base Learning and Instruction in Science*”一書中提及，“以模型為基礎的共同建構”的教學策略，更說明以模型為基礎的教與學已成為科學教育研究取向的重要議題之一。本研究選擇「原子」概念作為探討之議題，企圖了解建模教學如何促進 11 年級學生概念之學習，以及其效益為何？再者探討學生建模教學如何增進學生之建模能力？最後，則是探討不同建模教學（類比建模教學和電腦輔助建模教學）如何影響與促進學生概念理解？以上關於建模教學的問題均有待本研究做更為深入之探討。

第三節 研究目的與問題

許多科學概念（如原子模型、氣體粒子模型），不論是結構或功能均是無法直接看到。因此，心智影像（mental image）或視覺化（visualization）透過模型與建模歷程對於我們理解科學概念將變得非常地重要，科學教育研究也重新關注於模型與建模的議題，如科教著名的期刊 *International Journal of Science Education* 於 2000 年 9 月即針對此議題出版專刊。因此，確有其必要對於模型本質與建模理論做更為深入的探討。

關於視覺化的研究，科教著名的期刊 *International Journal of Science Education* 於 2009 年 2 月針對視覺化的議題出版專刊，且 Gilbert 等人亦分別於 2005 和 2008 年出版專書來探討科學學習與視覺化³之研究。本研究即透過以「電腦輔助建模教學」為基礎探討如何使學生思考具體化，及其心智模式外顯化的歷程，和以「類比建模教學」協助學生透過自發性類比物的建立，轉化為心智模式的建立，如此將會協助我們描繪學生心智視覺化（mental visualization）的歷程與學習歷程，進而探討學生概念或心智模式之演變。

根據上述研究動機，本研究目的可分為三個部分，首先，探討學生對於模型的認識與理解，了解學生對於模型本質的理解情形，以及如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念。其次，探討科學史關於「原子理論」模型特徵與建模歷程，並探討跨年級學生原子概念比較，與教科書「原子理論」單元之模型特徵與建模歷程，藉以比較教科書與學生原子概念之模型發展之相關性，以及不同版本教科書於原子理論單元是否符合建模之要素。最後，探討不同建模教學策略對於學生於原子概念學習之影響，利用前後測驗結果與問題解決（建模歷程）來偵測學生心智模式與概念理解之影響，並探討學生於「概念理解」與「建模能力」兩者之間的關係。最後，綜合上述研究目的，本研究希望透過建模教學活動協助學生概念之學習，並藉此對現有模型與建模理論提出相關的補充與建議。

針對上述之研究目的，本研究意欲深入研究的問題臚列如下：

1. 學生對於模型與建模之認識為何？

1-1. 學生對於模型本質的觀點為何？

³ Gilbert, J. K. (2005). *Visualization in Science Education*. Netherlands: Springer.

Gilbert et al., (eds.)(2008). *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Netherlands: Springer.

- 1-1-1. 從語意來探討學生對於模型本質的觀點為何？
- 1-1-2. 從本體論來探討學生對於模型本質的觀點為何？
- 1-1-3. 從認識論來探討學生對於模型本質的觀點為何？
- 1-1-4. 從方法論來探討學生對模型本質的觀點為何？
- 1-2. 學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念？學生所建立之模型與表徵系統之間有何關係存在？
 - 1-2-1. 分析學生所建構模型的結構（如物件，和物件與物件之間的關係），學生所建立之模型與表徵系統之間有何關係存在？
 - 1-2-2. 探討學生對於某一個特定的現象，若是利用不同的模型來表徵，他們如何選擇適當的模型？
- 2. 「原子理論」之模型演變與建模歷程為何？
 - 2-1. 科學發展中，關於「原子理論」之模型演變與建模歷程為何？
 - 2-1-1. 科學發展中，「原子理論」之模型類型與演變為何？
 - 2-1-2. 科學發展中，「原子理論」之建模歷程為何？
 - 2-2. 探討不同版本教科書於「原子理論」單元之模型與建模歷程為何？
 - 2-2-1. 自民國 57 年後，不同版本國中教科書「原子理論」單元之模型特徵與發展？
 - 2-2-2. 自民國 57 年後，不同版本高中教科書「原子理論」單元之模型特徵與內容差異？
 - 2-2-3. 探討國中與高中階段不同版本教科書於「原子理論」單元之模型表徵有何差異？
 - 2-2-4. 探討不同版本高中教科書於「原子理論」單元之建模歷程有何差異？
 - 2-3. 探討跨年級學生對於「原子概念」之模型發展為何？
 - 2-3-1. 8 年級學生（完全未學習過原子概念）對於「原子概念」之所建立的模型為何？

- 2-3-2. 9 年級學生於「原子概念」所建立的模型為何？
- 2-3-3. 10 年級學生於「原子概念」所建立的模型為何？
- 2-3-4. 11 年級學生於「原子概念」所建立的模型為何？
- 2-3-5. 分析跨年級學生所建立之原子模型，以及建立學生原子概念之發展歷程與比較？
- 2-4. 比較學生與教科書於「原子概念」之模型發展之差異為何？
 - 2-4-1. 比較跨年級學生與教科書於「原子概念」之模型發展，兩者有何差異？
- 3. 不同建模教學策略對於學生「原子概念」之影響為何？
 - 3-1. 不同的建模教學對 11 年級學生「原子概念」的學習成效為何？
 - 3-1-1. 11 年級學生經過「講述教學」後，「原子概念」的學習成效為何？
 - 3-1-2. 11 年級學生經過「類比建模教學」後，「原子概念」的學習成效為何？
 - 3-1-3. 11 年級學生經過「電腦輔助建模教學」後，「原子概念」的學習成效為何？
 - 3-2. 不同的建模教學對 11 年級學生「原子概念」的心智模式改變為何？
 - 3-2-1. 11 年級學生經過「講述教學」後，「原子概念」的心智模式改變為何？
 - 3-2-2. 11 年級學生經過「類比建模教學」後，「原子概念」的心智模式改變為何？
 - 3-2-3. 11 年級學生經過「電腦輔助建模教學」後，「原子概念」的心智模式改變為何？
 - 3-3. 11 年級學生經不同的教學活動後，對於建模能力的影響為何？
 - 3-3-1. 11 年級學生經過「講述教學」後，對於建模能力的影響為何？
 - 3-3-2. 11 年級學生經過「類比建模教學」後，對於建模能力的影響為何？
 - 3-3-3. 11 年級學生經過「電腦輔助建模教學」後，對於建模能力的影響為何？
 - 3-4. 11 年級學生經不同的建模教學後，其「概念理解」與「建模能力」之交互作用關係為何？
 - 3-4-1. 11 年級學生經過「講述教學」後，對於「概念理解」與「建模能力」兩者

之間的關係為何？

3-4-2. 11 年級學生經過「類比建模教學」後，對於「概念理解」與「建模能力」兩者之間的關係為何？

3-4-3. 11 年級學生經過「電腦輔助建模教學」後，對於「概念理解」與「建模能力」兩者之間的關係為何？

第四節 名詞釋義

一、模型 (model)

關於模型 (model) 這個名詞，許多研究者有不同的解釋，在這些不同意義之間，有一個共同的核心意義，即是模型代表在某些情況下所呈現的另有表徵，以及模型的功能。換言之，模型是用以表徵現象、概念、過程、事件，或是物件等，採取不同的表徵形式來呈現（如圖像、文字、符號、肢體動作等方式），藉以達到不同的功能與目的（如描述、解釋、溝通、模擬、預測、推理、檢驗、問題解決），以及將思考或心智模式的外顯化等。

二、建模 (modeling)

建模是認知、科學探究和問題解決的基礎。本研究認為個體藉由模型所表徵的實體或現象來建立其內在的心智模式，而個體又可藉由模型表徵的方式來表達個人對實體或現象的理解。這種內隱知識結構與外顯模型的交互作用，讓我們建立對科學的認識，而內隱的心智模式透過模型來使思考具體或外顯化的方式，即是所謂的建模（圖 1-4-1）。

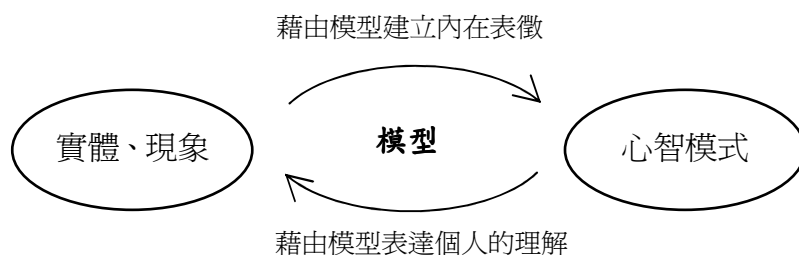


圖 1-4-1. 建模架構圖

三、以模型為基礎的建模教學 (model-based modeling instruction)

基於文獻回顧對於建模教學所提出的觀點，本研究採取兩種不同的建模教學策略，分別是：（一）類比建模教學：教師在教學的問題與挑戰是試著去促進學生在巨觀世界轉移到微觀的世界，而如何促進學生瞭解微觀的世界與抽象概念，類比或許是可以使學生了解微觀粒子模式的教學模式，Harrison 和 Treagust (1996) 認為教學過程中若缺乏類比，則化學教學則會減少到僅僅是巨觀性質的描述而已。因此，科學教學裡，我們應該培養學生在產生類比的能力。教師在教學過程中，透過類比物的介紹、確認類比物與目標之間的對應關係與類比限制等教學方式，並且融入建模的教學過

程，藉以促進學生主動建立類比模型，進而轉化原有的心智模式，並促進學生的概念學習；（二）電腦輔助建模教學：教師利用電腦模擬和相關軟體的操作，讓學生能夠透過電腦模擬的視覺化歷程，增進學生在「原子」概念的學習效益，並提升學生的建模能力。此外，兩種建模教學策略均於文本的設計上，透過第二部分的教科書分析工作後，修改原有的文本內容，並於文本中明確指出相關的建模歷程，讓學生更能理解建模歷程，並應用於學習的歷程中。

四、視覺化（visualization）

許多科學概念（如原子結構、化學鍵），不論是結構或功能均是無法直接看到，因此，視覺化對於理解科學概念將變得非常地重要。本研究認為視覺化是一種在心智表徵與想法、物件或事件之間產生對應關係之運思歷程，換句話說，視覺化即是建立示意圖、圖表和 3D 模型的技術，而視覺化的運作模式是透過雙重媒介，分別作為外界物件以及心智模式之間產生交互影響與作用，即為建模歷程。因此，視覺化可以使我們以可見到的形式來思考，而不是以抽象或符號的形式，並傳達無法輕易看到的訊息，以及思考複雜的關係與空間位置，如此將更有利於學生對於抽象概念的學習。

第五節 研究範圍與限制

茲將本研究之研究範圍與限制敘述如下：

一、研究範圍

本研究為建立完整的模型與建模相關理論，以及探討應用於教學之成效，即針對下列次主題依序做探討，藉以對模型與建模理論有更為深入之了解。

（一）學生對於模型的認識

本研究分別從本體論、認識論、方法論和語意等多向度來探討學生對於模型本質的觀點，進而利用訪談的方法深入分析學生對於模型認識與如何建立模型。

（二）模型與建模之範例

本研究以「原子」概念的歷史發展過程為例，分析我國教科書於「原子理論」單元所使用之模型與建模歷程，並且分析跨年級學生於原子概念之模型發展歷程，探討教科書與學生原子模型演變之關係。

（三）建模教學之應用

為了解不同建模教學策略對於 11 年級學生原子概念學習之影響，本研究設計「類比建模教學」與「電腦輔助建模」等不同教學活動，藉以探討建模教學對於學生學習之影響，以及了解學生建模能力與概念改變之相關性為何？

二、研究限制

（一）本研究主要選取研究對象為臺北市某公立國中和高中學生進行問卷之調查，受試者的選取乃方便取樣。因此，分析所得學生模型本質觀點和跨年級學生原子概念發展歷程不宜推論至其他區域的學生。

（二）本研究對於模型表徵的選擇部分，所謂的「模型表徵的選擇」乃從學生對於本研究所設定的問題情境來加以回答，惟研究者所設定之題目或情境可能未能完全使學生擁有心智模式外顯化，故礙於研究假設的推估，對於學生模型表徵的選擇情形仍有其限制性。

（三）本研究僅針對「原子」概念（原子結構、軌域、電子組態與週期性、化學鍵）設計「類比建模教學」與「電腦輔助建模教學」兩種不同的建模教學策略，並由研究者親自授課，所得結果不宜推論至其他概念的學習。

第貳章 文獻探討

「模型」觀念已被廣泛地使用於日常生活中。對於模型這個名詞，我們可能聯想到模型汽車、飛機等玩具，模型已與我們的生活緊密地結合在一起。在科學發展上，模型也對理論建立扮演非常關鍵的角色，如氣體粒子模型可用方程式來表示： $PV=nRT$ （理想氣體方程式）。依此，本章分成五小節，分別從模型與模型的認識，建模與科學學習之關係，隨後則探討以模型為基礎的建模教學，科學史原子理論之發展，以及學生對於原子結構和化學鍵概念所擁有之迷思概念，最後則透過內容分析方式來分析與探討科學史於「原子理論」之建模歷程。

第一節 模型與模型認識

許多科學哲學家均同意科學的首要目的即是去表徵此世界（Suárez, 2003），而在科學發展上，科學家為了某些特定的目的，使用模型來預測、表徵世界，提供關於現象的解釋，甚至於是理論的建構。許多學科，如生物、心理學、經濟學，甚至於哲學也會使用模型，伴隨著實驗，作為學習某些物件或系統的工具（Hartmann, 2008）。本小節主要先從模型發展史討論「模型」發展的歷程，再討論何謂模型？模型之定義、模型與理論和物件之關係，以及模型之分類。最後，則探討學生與教師對於模型本質之認識，以及教科書與模型之關係。

一、模型發展史

在科學發展歷程中，模型的觀點起源於十九世紀末期馬克士威（James Clerk Maxwell）和波茲曼（Ludwig Boltzmann）（Dalmedico, 2007）。而最為著名模型即是馬克士威所建立的場幾何模型，他把法拉第力線觀念運用於場中力的空間分布，對於馬克士威而言，由法拉第力線理論可以描述場的幾何結構，並表示力的空間分布、方向與壓力。1930 年代，模型的觀點轉變成兩種意義，首先是被描述為“邏輯”（logical），另一則是出現於實證科學領域，其企圖去概念化系統之間的關係，即是它們的形式表徵，除此之外，1930 年代期間，哲學家主要考量模型與理論之間的關係，及模型的表徵性特徵（Dalmedico, 2007）。

根據陳瑞麟（2004）的研究指出，模型與理論之間的關係發展，從法國科學家兼科學哲學家杜恩（Pierre Duhem）否定模型是理論的一部分，並拒絕模型有助於理論的形成，排除它對理論和理論發展的必要性。但英國科學家兼科學哲學家坎貝爾

(Norman R. Campbell)卻反對杜恩模型的論點，堅持模型是理論的必要部分。在 30~50 年代可說是科學理論述句觀點的黃金時期，此時期的論點多半反對「模型」是理論的一部分，如 Hempel 也指出模型的基本假定常過於理想化或簡化，因此在說明和預測價值上有其侷限性。50 年代起，科學哲學開始出現關於理論的新觀點，主張模型不僅是理論的一部分，而且理論的核心即是模型，60 年代之後，「模型」是理論的組成觀更開始興起，Nagel 主張公理系統、對應規則和模型是理論的三種成分，Hesse 則認為要使用「類比模型」來解釋形式公式裡的概念，因為類比模型也正是一種理論性的建構，而她的理論已經預示了模型觀點，並且把模型視為理論本身。

綜觀整個科學發展的歷程，可以說是不斷地提出模型，並且新的模型不斷地修正或取代舊有模型的歷程。但隨著科學技術的發展，慢慢地模型已不再符合其傳統的概念，模型的發展也依其實用目的而有變化。1980 年代，由於電腦科技的興起，更使模型產生不同的意義，即是電腦模擬的產生 (Oreskes, 2007)。模型與模擬並已成為我們想像模型的方式，此外，方法學所考量的議題也轉變為模型效化的問題，即是如何去驗證或是否定模型的預測，換言之，即是著重於模型的功能取向方面。

二、模型之定義

模型可協助學生記憶與解釋，作為理解現象或概念的外在表徵，它們讓學生思考視覺化 (visualization)，並在與他人溝通中獲得回饋。但模型 (model) 是什麼？一般來說，模型會較實體更為簡化 (Bliss, 1994)，其尺度大小可能較表徵的物件為小 (如飛機、汽車)，或是較大 (如病毒、原子和分子)，此外亦可能表徵抽象概念、或是理論 (如牛頓第二運動定律 $F=ma$ ，理想氣體方程式 $PV=nRT$)。模型在此扮演表達科學理論或現象的一種工具，並可用來預測或解釋，換言之，模型扮演理論 (theories) 與現象之間的中介物 (mediators) (Morgan & Morrison, 1999)。

模型可提供解釋、總結資料，或作為設計實驗的啟發 (Craver, 2006)。但模型這個名詞，迄今仍未有一致性的看法。早在 1961 年，L. Apostel 即注意到模型要有一個較為恰當的定義似乎是不可能，因為在科學、邏輯與哲學領域，模型使用均有不同的意義存在 (Hartmann, 1995)。那我們如何說明或定義這些不同意義的模型呢？綜合許多研究者的定義與詮釋，詳見表 2-1-1。

表 2-1-1. 研究者對於模型的定義彙整

研究者	模型的定義
Hestenes (1987)	模型是真實事物的一種概念性表徵。
Tiberghien (1994)	模型是爲了表徵物質情境的某些部分，包括了質化與量化的功能性關係（數學式）。
Glynn 和 Duit (1995)	模型是系統的系統化表徵，或是某些系統簡化的觀點，包括規則、關係、概念和物件。並且，它們用來描述、表徵和解釋外在世界的現象。
Gilbert 和 Boulter (2000)	模型被視爲是一個物件、事件、想法或現象的表徵。
Tregidgo 和 Ratcliffe (2000)	模型是表徵物件、現象或想法的結果。
Gericke 和 Hagberg (2007)	模型是現象的簡化，企圖使用發展現象的解釋。
Sensevy 等人 (2008)	模型是基於關於科學與科學活動的想法系統。
Maia 和 Justi (2009)	模型可定義爲提供實體解釋的特殊目的所產生之物件、事件、過程或想法的簡化表徵。
Niss (2009)	模型是真實物件、情形或過程的簡化表徵，讓我們能去解釋或預測目標系統的行為。
U. S. National Science Education Standards	模型是相對於真實物件、事件的暫時性的基模或結構，並具有解釋的能力。模型協助科學家與工程師理解事物是如何運作。

從上述彙整，我們可以發現模型這個名詞，研究者有不同的解釋，在這些不同意義之間，有一個共同的核心意義，即是模型代表在某些情況下對物件、事件、關係所呈現的表徵，包含特定的目的與功能。如此定義方式，除對模型所表徵的事物和適用範圍有所限制外，也論及模型的功能部分，如模型可被用來解釋與理解，或進行預測。

三、模型與理論之關係

（一）模型與物件之關係

科學家如何使用模型去表徵世界，簡單來說，模型與物件的關係如圖 2-1-1 所示，即是科學家會利用模型來表徵物件。那模型與物件的關係爲何？即是模型與被指稱的真實系統之間關係爲何？Giere 提出相似性（similarity）來探討，其包括特點（respect）的相似和程度（degree）的相似。如「地球—月球系統的地球與月球之位置與速度非常近似於和距離平方成反比的向心力之兩質點的牛頓模型」，在此「位置」和「速度」是特點，而程度的相似即是宣稱爲「非常近似」。如此的說明方式，即闡述模型與真實系統之間存在著特點與程度上的相似性。

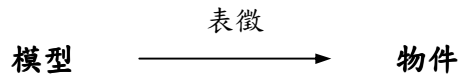


圖 2-1-1. 模型與物件之關係 (Giere, 2010)

Giere (2004) 認為模型與表徵的世界之間的相似性，其並非模型本身與表徵世界具有相似性，它們並沒有如此的關係，而是科學家們會挑選模型的特定特徵來予以表徵，如此即存在了特定的相似性，並且使得模型去表徵世界變得可能。舉例來說，彈簧下方掛一個重物，我們可以利用數學的關係模型，計算真實彈簧振盪的週期，隨後決定模型與真實測量週期之間接近的程度，如此即使用數學模型去表徵彈簧的振盪週期變化。

此外，所有表徵的目的性行為中，我們是無法在成功與不成功的表徵之間做很明確的區分，大部分實驗能夠反映模型是否符合它欲達到的目標，而且我們僅能針對使用模型的目的，或是個體與社群的理解來做判斷。舉例來說，若是我們描述氣體粒子本身的行為，比較好的方式是使用氣體粒子模型，然若是描述氣體巨觀的行為，如氣體受熱膨脹，我們也可以使用體積與溫度成正比 ($V \propto T$) 的模型來表徵，而且我們在使用此兩種模型時也未有所衝突。當然，或許我們會問“氣體是什麼樣子？”我們可以利用氣體粒子的模型來解釋氣體巨觀的現象，若是僅計算溫度與體積的變化，則我們會使用模型 ($V \propto T$) 來做計算與預測結果。換言之，我們仍然會依據我們的目的來選擇或使用適當的模型。因此，目的因素在模型的選擇與使用上將扮演一個非常重要的角色。

(二) 模型與理論的關係

對於科學家而言，他們會發展理論來描述真實世界，如圖 2-1-2 所示。但模型與理論之間的關係為何？確是一個相當令人困擾的問題，許多科學家亦無法理解兩者之間的關係，在 19 世紀末到 20 世紀初，科學哲學認為模型與理論是不同的，當時的觀點為模型是一種透過類比來說明對象的工具，而理論則是以符號句式（或數學等式）來描述對象的定律通則（陳瑞麟，2004）。假如兩者之間無法畫上等號，那模型與理論如何做區分，兩者的關係又是如何？猶如上述，模型與理論之間無法有明顯地區分，那哲學家要問的問題即是：模型是理論的一部分嗎？或只是建立理論的工具（陳瑞麟，2004）？底下即是部分研究者的觀點彙整。

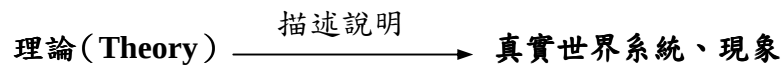


圖 2-1-2. 理論與真實世界之關係

1. 模型是暫時的，獲得證實者為理論

若依據一般的說法，模型與理論是被用來表達某些人對於科學的態度，如模型即顯示此假說仍可能只是暫時的，可能仍有錯誤，然而若是能獲得某種程度的證實，則可稱為理論。但以此方式來區分模型與理論，我們將無法完整理解模型，若理論被證實含有某種程度的錯誤，那理論又將成為模型，模型與理論之間的區分真是如此嗎？

大部分模型均包括某些簡化形式或理想化，忽略某些較不重要的變因，如理想氣體即是符合理想氣體定律的氣體，它忽略氣體粒子之間的作用力與本身所占有的體積。對於大部分科學家而言，模型是一個特定外在世界現象的表徵，理論相較於模型，則是其應用於較為廣泛的現象，且通常是一組越來越複雜的模型，如氣體動力論即是一組理想氣體定律的模型，此模型將氣體分子當作彈性粒子來處理，不考慮分子之間的作用力，且假設氣體粒子是一個質點，此一理論隨後即修正為 $(P + a/V^2)(V-b) = RT$ 。然而，在某些情況下，模型將會描述理論，而模型擁有其理論的依據。換言之，若是以模型是暫時的，獲得證實者為理論來對理論與模型作區分將有極大的偏誤。

2. 模型是理論與現象之間的中介物

關於模型與理論的關係，Morgan 和 Morrison (1999) 針對模型與理論的關係做了較為完整的討論，他們認為模型與理論的關係可以區分為：1. 模型作為理論的互補：理論可能不完整且擁有特定的限制，此時模型可以提供具體且詳細的陳述；2. 模型作為理論與外界世界現象與系統之間的橋樑：儘管模型常被視為建模的產物，但為了解理論如何解釋外界世界的現象，我們亦可以利用模型來解釋，因此模型可視為理論與所經驗世界之間的橋樑，並且將能夠將理論視覺化，如原子太小，我們無法看到其結構形態，此時我們可透過原子模型來了解原子結構；3. 模型簡化理論：當理論過於複雜難以處理時，模型則可以簡化理論，並加以應用來解決問題，如理想氣體即是符合理想氣體定律的氣體，它忽略了氣體粒子之間的作用力與本身所占有的體積；4. 模型作為初步的理論：當科學家在建立理論的初期，科學家常利用模型來檢驗新理論，隨後則用來建立模型表徵，如物理學家使用數學的公式來表徵（如 $F=ma$ ）物理現象。綜合上述的觀點，即是把模型作為理論與現象之間的中介物。

3.模型是理論的要素

從 60 年代起，模型是理論的要素又開始興起，Nagel 主張公理系統、對應規則和模型是理論的三種成分（陳瑞麟，2004）。Baird（2004）則認為從理論的語意觀點（semantic view of theories）來看理論與模型的關係，他認為理論是模型的集合體，模型和理論以同構的認識運作呈現現象的相關知識。

Giere（1988）認為理解理論需要包含兩個元素，分別是：1.模型族群（a population of models）；2.連結這些模型之間不同的假說（hypotheses），在 Giere 的觀點下，理論包括「理論模型」與「理論假說」，Giere 亦定義假說是作為語言學的實體，使用來主張模型與世界之間的關係，假說是真或否，將依他們是否能獲得其主張的關係。換言之，Giere 認為理論即是「理論模型」與「理論假說」的組合，強調模型在理論中的關鍵性角色（陳瑞麟，2004）。

（三）模型、理論與真實世界系統之關係

許多科學哲學研究學者，包括 Margaret Morrison、Mary Morgan 和 Nancy Cartwright 等人認為模型是定律(laws)或理論(theories)與現象之間的中介物(mediators) (Morgan & Morrison, 1999)。科學家除發現定律，仍需考慮定律對於現象的詮釋與說明，即是考慮現象與理論之間的關係，如此將使我們能夠理解理論，引導我們對於現象的解釋與了解，陳瑞麟（2004）即認為模型與現象之間關係是「模釋」或「模映」(modeling)，其關係如圖 2-1-13，科學模型的目的是在於「模釋」現象，用來說明科學理論所欲說明的現象之結構、狀態和行為（陳瑞麟，2003），模型為定律或理論與現象之間的中介物，理論或定律透過模型來對現象進行解釋。

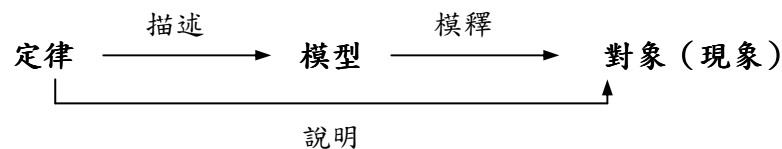


圖 2-1-3. 定律、模型、被說明對象（現象）之關係（陳瑞麟，2004，p. 65）

Giere（1999; 2004）利用相似性（similarity）與同構性（isomorphism）來探討模型與表徵現象之關係。以 DNA 模型為例，華生（Watson）利用硬紙板來表徵 DNA 的結構，他並未明確指出 DNA 相似於他的模型，而是利用模型來說明 DNA 某些相似的特徵。

依此，關於模型、理論與真實世界系統與現象之關係，本研究利用圖 2-1-4 來說明三者之關係，模型作為理論與真實世界系統與現象之中介角色，理論透過模型來解釋真實世界的系統與說明現象，而且理論與模型之間存在著演繹或引導交互作用的關係，即是理論可演繹出模型，或是模型亦可引導理論的產生，而模型與真實世界系統之間則可透過相似與同構的關係來加以探討兩者之關係。

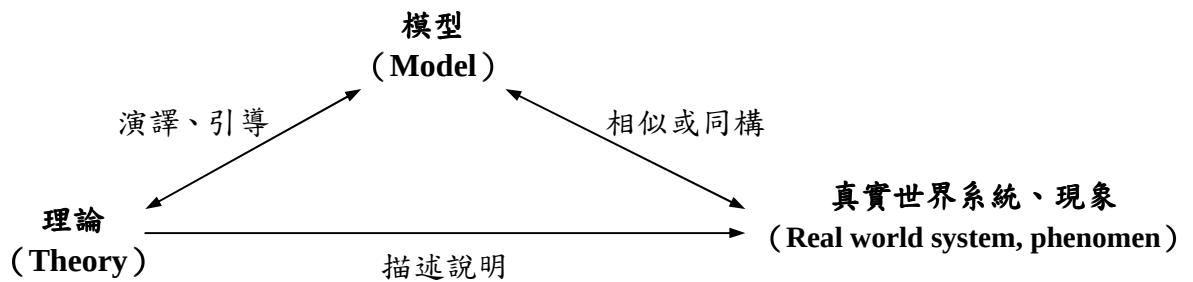


圖 2-1-4. 理論、模型與真實世界系統之關係

(四) 模型的知覺

一般來說，我們大多會著重於表徵的符號意義，基本上，我們並不會關注於符號溝通的目的性。如圖 2-1-1 所示，模型直接表徵物件，然而，當我們考量模型的目的性概念後，圖 2-1-1 將會變得更複雜，對於模型的使用而言，猶如前述，模型的使用通常是為了特定的目的。因此，Giere (2004; 2010) 主張在科學表徵的目的性概念需要將科學的起因和他們的意圖整合於圖 2-1-1 中，並將模型的表徵以公式來表示：1. 意圖；2. 使用模型 M；3. 去表徵部分的世界 W；4. 為了某些目的 P，如圖 2-1-5 所示。在圖 2-1-5 中，行為人 (Agents) 可能是科學家或科學社群，更詳細來討論，即是科學家為了某一特定目的使用特殊形式模型去表徵世界的某個事物或現象。如此即呼應了先前所討論的觀點，目的因素在模型的選擇與使用上扮演非常關鍵的角色。

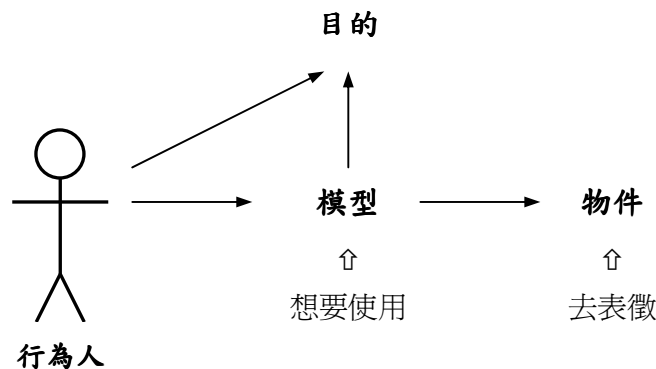


圖 2-1-5. 科學表徵目的性概念的語意描述 (修改 Giere, 2010)

在此我們先區分模型知覺與模型使用，模型知覺主要考量模型是否擁有作為模型的能力，即是模型如何表徵一個特殊的現象或系統，在此將會受到許多因素的影響，例如模型與現象之間的相似性、實驗的結果，或是模型如何符合理論等，另一方面，模型角色則是考量模型的功能。當然，我們要選擇哪一個模型將會受到模型的知覺所影響。

同理，Uttal 和 O' Doherty (2008) 亦從類似的觀點來探討，他們認為每個視覺化（如圖片，3-D 模型）擁有雙重的本質，除了物件本身外，也包括企圖表徵的某些事物。因此，為了使用模型作為某件事物的表徵，我們必須專注於它所期望要表達什麼（即是考量使用模型的目的），而不是物件的性質，換言之，模型的功能在模型的選擇與使用上將扮演相當關鍵的角色。

四、模型與表徵之關係

對於外在世界的現象與物件，我們可以利用不同形式的模型來表徵，如數學家或物理學家常使用數學的公式來表示物理現象或定理，化學家則會使用塑膠原子球模型或化學式（如結構式）來表徵原子的鍵結情形，而當科學家使用模型來表徵某些理論，解釋真實世界現象或系統時，他們會挑選某些模型的特定特徵，並宣稱其與真實世界現象或系統相似。Gilbert, Boulter 和 Rutherford (1998) 認為模型有四種表徵的形式，分別是：物質（material）、視覺（visual）、口語（verbal）和符號（symbolic）。而模型的預測能力與解釋能力主要是基於其表徵能力（Vorms, 2008），若能有適當的表徵，亦將會使模型有更好的預測和解釋能力。

為了解釋模型如何地被使用，或是表徵所研究的系統與現象之間的關係，許多哲學家認為模型與目標系統之間存有相似性（similarity）或同構性（isomorphism）的關係（Giere, 1999; 2004）。但我們認為僅利用相似性與同構性來討論模型與現象之間的關係明顯是不足的，因為它無法解釋科學家是如何表徵、作推論，或是獲得知識。模型是非常複雜的實體，我們不能將模型與所表徵的理論或外在世界現象或系統化約為單純的結構性對應，簡略來說，模型是結構加上表徵形式的選擇，再透過外在表徵加以對應的過程，模型是否能符合所表徵的理論或系統則依使用目的來決定。然而，當使用模型表徵表示某一物件時，有時並不準確，例如有些學生或古老的科學觀點，他們利用平板的模型來表徵地球，即是地球是平板的形狀，若依據現在科學觀點，利用平板模型來表徵地球是錯誤的，其結構與目標系統也不符合，所以也驗證僅利用相似性或同構性來探討模型與目標系統之間的關係是不夠的。此外，理論也常會透過理想

化的方式來建立模型，理想化是建立理論或模型的特徵之一，如理想氣體即忽略粒子與粒子之間的作用力，或是氣體粒子本身的體積為零。綜合上述的觀點，模型本質上是無法表徵所有的事物，為了賦予模型表徵的能力，所以必須加入某些事物，模型是一個複雜性的實體，包含了結構與欲表徵的形式，進而解釋目標系統。

綜合上述的觀點，在模型表徵上，我們認為模型可稱為“表徵性模型”（representative models），其意義在於它們是用來表徵真實世界的物件，或是將心中想法或概念外顯化。而在模型與真實世界之間有表徵性模型存在，用來描述結合模型的結構與表徵形式的選擇。此外，猶如先前所討論，我們亦需考量使用模型來表徵的目的為何，即是表徵形式的選擇，詳見圖 2-1-6 的使用模型表徵歷程。

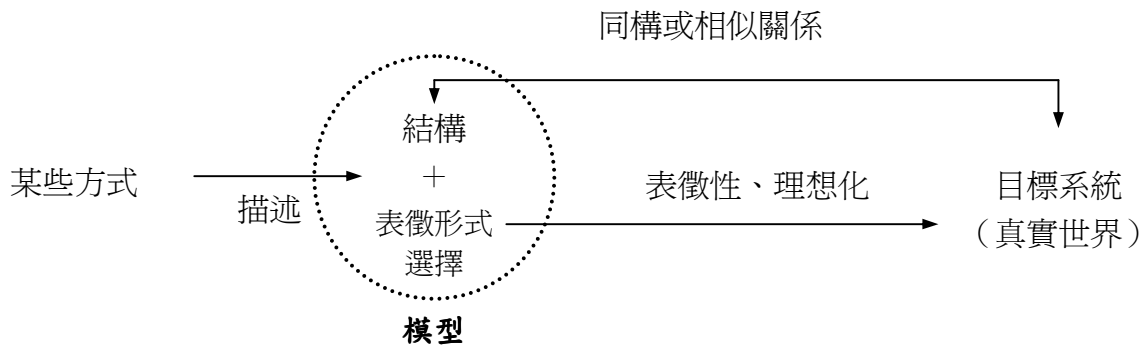


圖 2-1-6. 使用模型的表徵歷程

模型的表徵形式是描述模型如何地被表達或描繪，表達模型（expressive model）可能需要不同的表徵形式來傳達關於現象的訊息，如課本原子模型示意圖即會加上相關文字的說明與解釋。關於表徵性模型的分類模式，許多學者均提出不同的分類方式，如 Boulter 和 Buckley (2000) 的分類方式即透過不同的表徵形式來將模型做分類。底下即討論不同研究者的分類方式。

（一）Achinstein (1968) 的分類型式

Achinstein (1968) 認為表徵性模型可分為四種形式，分別是：1. 真實的模型（True model）：如橋的模型，其長度、寬度依 1/100 的比例縮小；2. 適當的模型（Adequate model）：僅複製某些原型較為重要的特徵，如橋的模型僅針對其彎曲的角度，而不考量其寬度，或是模型小汽車，僅針對車子外型，而不考慮其細部的構造；3. 扭曲的模型（Distorted model）：所有原型重要的特徵均呈現在模型中，但在尺度方面卻有所不同，如橋的模型長、寬分別以 1/50 和 1/100 比例縮小，或是狗的模型，其頭和身

體分別以 1/2 和 1/4 比例來縮小；4.類比模型（Analogue model）：所有原型的特徵並未複製於模型，相反地，在兩個基本上不相同的物件或系統之間加入一個類比物（X 和 Y），並且 Y 被認為是表徵 X，則 Y 可稱為是 X 的模型。如馬克士威描繪電場與不可壓縮之間的類比。

從上述的分類方式，Achinstein 所討論的模型僅侷限於具體模型，作為其分類之依據，如真實的模型、適當的模型和扭曲的模型，並著重於模型與表徵物件或現象之間比例大小的問題，而類比模型則屬於較為抽象的形式，透過類比物的建立來探討原型與模型之間的差異。

（二）Boulter 和 Buckley（2000）的分類模式

Boulter 和 Buckley（2000）所提出分類模式為探討表徵性模型時最常被引用的分類模式，他們主要是從模型的表徵形式來將模型分類，將模型區分為下列 5 種不同的表徵形式，分別是：

- 1.具體的（concrete）：三度空間的實體模型，例如：一個塑膠的心臟。
- 2.言語的（verbal）：指被聽到，或是讀到的、描述的、解釋的、陳述的、辯論的、類比和隱喻的模型，如：心臟是一個泵浦。
- 3.視覺的（visual）：指被看到的模型，例如圖表、動畫、模擬、影像。例如：對於月蝕過程的描述。
- 4.數學的（mathematical）：指式子、方程式，和一些模擬，例如：行星運動的方程式。
- 5.動作的（gestural）：物體或部分的移動。如學生相互圍繞的運動來表示太陽系。

其餘即是上述的混合模式，如視覺混合模式（visual mixed），即包含有語言或數學的視覺模型。例如：附有詮釋的心臟結構圖。

而表徵的層次方面，依 Gilbert（2005）和 Johnstone（1993）的層次分類，可以分為三種層次，分別是：

- 1.巨觀層次（macroscopic level）：主要是從實驗室和日常生活觀察所獲得的經驗，或是有形與可見到的化學藥品，例如化學反應的顏色改變，或產生沉澱。
- 2.次微觀層次（the sub-microscopic level）：化學實體的表徵（如原子、離子和分子），及其關係，或是粒子層次，可用來描述原子、分子的運動，這些表徵的形式主要是

以具體、視覺，或是口語的形式。

3.微觀層次 (microscopic level)：包括許多圖示的表徵，代數和計算的形式，例如化學反應，或是他們之間數量化的關係，如計算平衡常數。

類似地，Gilbert 和 Treagust (2009) 則認為在化學教育的表徵形式，有主要下列三種形式，分別是：1.現象形式 (phenomenological type)：當試著解釋或操弄自然世界時，科學家會尋求範例現象的建立，此層次包括了實證性質的表徵，如固體、液體、氣體等，這些性質在化學實驗室是可察覺到的，並且可觀測（如質量、密度、濃度、pH 值等）；2.模型形式 (model type)：在化學，對於現象的解釋，我們通常會使用利用實體模型來描述原子、離子和分子，這些描述通常是以可視覺的表徵來呈現，如示意圖、圖片或物質模型（如球－棒模型）；3.符號形式 (symbolic type)：此層次包括利用符號 (symbol) 去表徵原子，或利用記號 (sign) 去表徵電荷，或是利用下標的方式顯示原子的數目，如 H_2O 表示 2 個氫原子。

若是比較 Gilbert (2005)、Johnstone (1993) 的表徵層次分類和 Gilbert 和 Treagust (2009) 的表徵形式，我們將會發現兩者有極大相似之處，以 Gilbert (2005) 和 Johnstone (1993) 所提及的巨觀層次，即與 Gilbert 和 Treagust (2009) 所提之現象形式非常相似，三者均討論實驗室和日常生活觀察所獲得的結果，而次微觀層次則是類似於模型形式，均為討論實體的表徵形式，如圖片、具體模型。最後，在微觀層次與符號形式之比較，則是關注於符號在表徵所扮演的角色。

(三) 多重表徵具體模型之呈現

綜合上述討論，可知模型可以採用不同的方式來予以表徵，換言之，對於相同現象或物件，我們可以選擇或使用不同的模型表徵來呈現，而且在化學學習過程中，我們亦常會面對相同的想法或現象時採用不同的表徵系統來描述（圖 2-1-8），如二氧化碳可表徵為 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ 或 $\bigcirc\bullet\bigcirc$ 。由於某一表徵可能較另一表徵有其不同的功能與限制，如 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ 的表徵形式即可描述碳原子與和氧原子之間以雙鍵的形式來鍵結，而 $\bigcirc\bullet\bigcirc$ 的表徵形式則可以了解碳與氧的原子個數與鍵結情形。因此，理解每個表徵的性質、結構與限制，或是能夠在不同的表徵之間進行協調，即是學生若能夠建構不同表徵元素之間的關係，並且知識可以在不同的形式之間做轉換 (van Someren, Boshuizen, de Jong & Reimann, 1997)，或是在不同表徵之間建立新的連接關係 (Tsui & Treagust, 2003)，將會有助於他們在問題解決與概念的理解。沒有單一模型能完全解釋科學的現象，因此，教師應鼓勵學生儘可能地使用多重模型表徵，並且提供更多的機會去理

解模型的多樣性，並且告知學生沒有任何一個模型是完全正確的，均有其限制性，讓學生去了解不同模型之間的差異與連結。

Ainsworth等人（1998；引自林靜雯和邱美虹，2005）即認為利用多重表徵學習具有許多優勢功能，可歸類出互補資訊與過程、限制解釋以及獲得深層理解三大功能。換句話說，利用多重表徵具體模型呈現方式將可以豐富學生表徵的能力，促進訊息的整合，建構更深層的理解（Cook, Wiebe & Carter, 2008）。

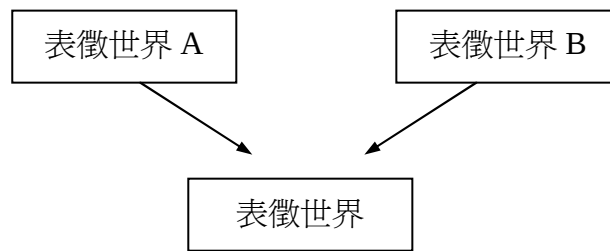


圖 2-1-7. 表徵系統的多樣性（Ogborn & Miller, 1994, p. 44）

多重表徵如何影響學習者的心智模式呢？首先，學習者爲了在不同表徵之間做連結，由於工作記憶容量的限制，他們必須選擇適當的表徵與訊息，隨後爲了提取有意義的訊息，學習者必須了解每個表徵的形式，理解不同表徵之間的差異與限制，最後，他們連結每個表徵所欲表達的部分，即是將內在表徵與訊息的概念部分做連結，建立其心智模式，此外，學習者也會針對不同表徵的相同特徵做參考性的連結，如此將建構更爲完整的心智模式（Cook et al., 2008），如此亦將更有利於學生概念的學習。

表徵系統是否會影響學生對於模型的認識，並且如何影響建模的歷程與結果？Lohner, Van Joolingen, & Savelsbergh（2003）摘錄了表徵的四個功能，分別是：1.作為延伸的工作記憶；2.提供問題空間的設計；3.決定認知的行爲；4.提供溝通的方法。並且，他們假設這些功能的履行是基於使用者如何表達。並且，他們的研究顯示表徵對於建模過程與結果有非常大的影響，例如學生若是以圖示表徵來進行建模，則他們似乎以表徵的使用作為外在工作記憶，因為它較容易使用與表達所擁有的知識。整體而言，培養學生比較不同模型之間差異的能力將是科學學習相當關鍵的一部分，學生若能在分析過程中找到不同模型之間的差異與連結，如此將可促進學生在詮釋、建立模型和評估方面的能力，更可促進其概念的學習。

五、模型與類比之關係

對於大部分的科學哲學家和科學家而言，他們常會使用「模型」與「類比」，但

此兩個概念仍造成研究者相當程度的困擾。底下先介紹幾個科學發展較為著名的類比，再探討模型與類比之關係，藉以釐清「模型」與「類比」之間的差異與關係。

（一）歷史上著名的類比

類比對於科學發展有極大的影響，物理學上許多重要理論都是透過類比提出假設，然後經過實驗的驗證才成為科學理論，如下所述：

- 1.太陽系與原子之間的類比，原子核猶如太陽，原子核外的電子則如太陽系外運動的行星。
- 2.馬克士威的電磁場與想像不可壓縮流體之間類比。
- 3.法拉第的場與力線之類比。他認為場是由力線組成，許多力線組成一個力管，就像流體中許多流線組成一個流管，力線將相反的電荷與磁極聯繫起來，力線上任一點的切線方向就是該點的場方向，力線的疏密程度就是表示不同點場的強度。
- 4.卡文迪許通過靜電力與萬有引力的類比，得出靜電力大小與距離平方成反比。

（二）模型與類比之關係

Clement(1989)認為專家在建立解釋性模型時會利用類比，而根據 Mary Hesse 的觀點，模型與建模之間的關係即是類比（Silva, 2007），並且在1966年出版的《科學中的模型與類比》（Model and Analogy in Science）強調類比模型在理論中的必要性（陳瑞麟，2004）。並且，他將類比區分為兩種不同的形式，分別是：形式類比（formal analogy）和物質類比（material analogy），關於形式類比，即是物件之間擁有相同的演繹關係。如此，關係可透過相似的方程式來加以描述，例如單擺和振盪電流即屬於形式的類比；物質類比即是系統之間有外在世界形體的相似，如氣體動力理論即可利用氣體粒子來加以描述與說明，氣體粒子被概念化為小顆粒的彈性粒子，而氣體粒子則可能作為隨機移動和撞擊，兩者之間存在著相似的關係。

一般來說，因為科學家和教師的教學會使用大量的類比，如此即可透過類比將熟悉的事物對應到未知的事物（目標），例如教師在教電流概念時，即會使用水流來類比為電流，當然也在類比的過程中，將抽象概念視覺化，即是類比模型的產生。當然，類比之間的關係應該以兩個分析物件之間的差異與相似性來考量，故在教學過程中，若是使用模型則需要考量類比的差異性與相似性，學生也才能結構化任何使用於教室中所使用的模型，並且了解不同模型之間的差異。

（三）如何透過類比來建立心智模式

科學家在面臨一個新的現象時，他們會以不同的方式來尋找已知的現象與其相似的地方，將其類比於新的現象，若是已知現象能夠符合於新的現象，如此已知現象的特徵將會成為新現象的特徵之一，因此，藉由類比可做為科學發現或邏輯推理的方法之一。依上述類比的觀點來作推論，亦可稱建模即是透過類比來建立心智模式的過程。以Collins和Gentner（1987）的研究為例，他們提出如何透過類比來獲得心智模式，當個體利用類比對應來建立新的的心智模式，隨後他們即可以獲得關於不同情境下的預測，而當不熟悉的情境過於複雜時，則個體將切割目標系統成一組模型的元素，每個元素即透過類比而得到不同基礎系統的成分，因此，他們將能利用許多不同的類比來獲得一個完整的心智模式。換句話說，即是他們可以透過類比架橋來建立完整的心智模式。

六、模型的分類

先前已討論依據模型的表徵形式來將模型做分類的方式，很明顯地，許多研究均從內容、功能或本體地位來對模型做分類，並且有不同的類型區分。以下將介紹幾位研究者對於模型所做的分類形式。

（一）Harrison 和 Treagust（2000）的類比模型分類

依 Harrison 和 Treagust（2000）的分類，類比模型可以分為四大類，分別是科學和教學的模型（Scientific and teaching models），用以建立概念知識的教育性類比模型（pedagogical analogical model that build conceptual knowledge），用以描述多重概念或過程的模型（model depicting multiple concepts and/or processes），和對實體、理論和過程的個人化模型（Personal models of reality, theories and process）等。

（二）以模型的本體地位來區分模型

為了解模型的角色，根據模型的本體地位來區分模型將會是非常有用的。舉例來說，藉由教師或學生在課堂中所發展的教學模型即可能與課程模型有所不同。Gilbert、Boulter 和 Elmer（2000）根據模型的本體地位來分類，以說明模型的功能。根據 Gilbert 等人的看法，模型有七類，各司其職，如下所述。因此，當研究者在談論模型時宜清楚闡明其所指為何，譬如，當談論到學生的心智表徵時，宜使用心智模式來說明其內在的知識單元的結構以及概念之間的互動與改變的狀態；但是若談到繪圖、類比等則宜視為表達模型等等。茲將各模型簡述如下：

- 1.心智模式（mental model）：心智模式是私人且個人化的認知表徵，它是由個人所形成。而且心智模式對於其他人而言，它是相當難以接近的（inaccessible）（Gilbert, 2005）。
- 2.表達模型（expressed model）：為了使個人的心智模式能夠與他人溝通，模型即需置於個人或群體的公眾領域，並且在與他人的互動過程中，予以表徵和使用，此即為表達模型。
- 3.共識模型（consensus model）：在討論與實驗之後，不同的群體均同意表達模型是有用的，因此，原有的表達模型即成為一致性模型。若是群體是某個特定領域的科學社群，並且是科學中最為重要的一部分，則可稱為科學模型（scientific model）（Gilbert, 2005）。
- 4.歷史模式（historical model）：這些一致的模型是在特殊的歷史情境產生，並且隨後被取代。換句話說，若是模型發生取代的過程，則被取代的模型可稱為歷史模型，歷史模型依然能被使用，因為它仍可以做為特定目的的解釋，如波耳的原子模型仍可在教科書中找到（Gilbert, 2005）。
- 5.課程模型（curricular model）：若是將歷史或是科學模型包含入正式的課程，通常會予以簡化，即是課程模型。
- 6.教學模型（teaching model）：通常一致、歷史和課程模型是非常困難的，而教學模型即是發展來促進理解的歷程，教學模型可藉由教師或學生來發展。
- 7.混合模型（hybrid model）：藉由合併每個不同模型的特徵，而用於課程與課堂的教學，猶如它是一個具一致性的整體。
- 8.教學模型（model of pedagogy）：教師在課堂中使用的模型，並且考量科學的本質、科學教學的本質和科學學習的本質。

雖然 Gilbert 等人（2000）依模型的本體來將模型做分類，但是從分類的結果來看，我們仍無法清楚地釐清模型的本體為何，似乎仍以模型的目的與功能作為分類之依據，仍未能正確地將模型做適當的區分，故本研究嘗試從本體的觀點來對模型做分類。

（三）本研究對於「模型」的分類

從上述對於各研究學者對於模型分類之討論，我們可以發現上述研究學者對於模

型的分類未能有較為一致的理論依據，如 Harrison 和 Treagust（2000）的模型分類方式，主要從模型的內容與功能來對模型做分類，而且從分類結果看來，許多模型有重複置放的問題，如符號模型亦可能為教學類比模型，或是未能如研究者所言的區分依據，如 Gilbert 等人（2000）依模型的本體做區分，但卻未能清楚地釐清模型的本體，而且隨著模型的發展，對於模型的區分已無法完整涵蓋新興事物，如電腦模型，電腦模擬的出現除改變科學研究的生態，亦強化模型在科學活動的重要性（陳瑞麟，2004），如此對於模型的理論發展將會產生不良的影響。因此，我們必須重新提出一個新的分類架構，因為若能清楚地對於模型做分類，將有助於我們對於模型有更進一步的認識與理解，教師也更容易應用模型於教學與課程設計上。

綜合上述各研究學者對於「模型」的分類，我們依模型的本質來對模型做分類，分別為：具體形式、抽象形式和心智形式等三種形式，如圖 2-1-8 所示，分述如下：

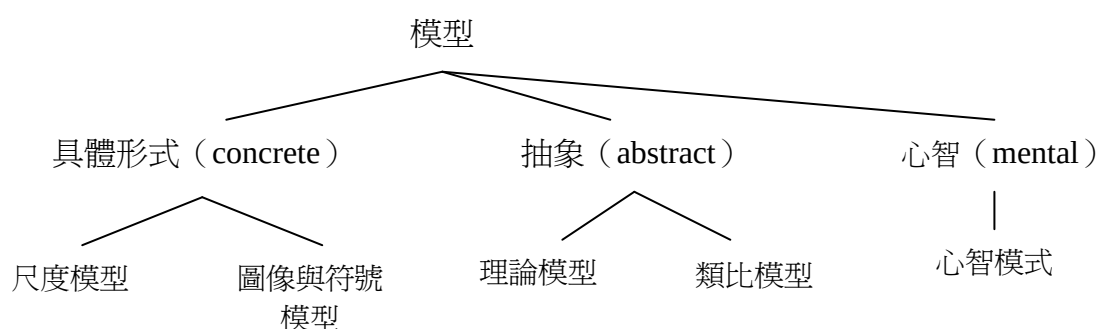


圖 2-1-8. 本研究之模型分類圖

1.具體形式：主要包括尺度模型和圖像模型，其主要是以縮小、簡化的方式來表徵物件或現象，透過具體形式來「再現」或「模擬」。此外，我們也可能無法親自接觸或觀察到欲表徵的現象或系統，即可透過模型來予以表徵。

(1)尺度模型（Scale model）

基本上，尺度模型是其目標系統的放大或縮小的複製，最為典型的範例即是玩具汽車，由於直覺的導引，尺度模型可說是物件的複製品，或是目標的對應影像，然而，在此也產生一個問題，即是模型如何滿足其所對應的目標，其標準在哪裡？因為沒有一個模型能完全準確地對於其目標系統，在某些程度上，模型的準確性是受到限制的，例如玩具汽車可以準確地描繪出汽車形狀，然而在材料部分卻未能如此，通常玩具汽車為塑膠材料，實際汽車卻是以鐵製為主。20 世紀 DNA 雙螺旋結構的發現，真實 DNA 分子與尺度模型之間則僅具有空間和結構的相似與對應性，所建立的尺度模

型是無法實際地表徵 DNA 裡面的每個原子，均說明尺度模型的侷限性。

(2)圖像和符號模型（iconic and symbolic models）

我們常會使用圖像或符號來作為解釋或溝通的工具。例如利用 CO_2 表徵二氧化碳，但依據前述之討論，因模型需具備結構特徵，則需要轉換成 OCO ，或是 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ ，如此才可說明碳原子與氧原子之間的關係，並且稱為模型。此外，圖像模型也可用來表徵類型、路徑與關係，而使學生容易產生視覺化，圖像通常會有許多不同的形式，例如天氣圖、電路圖和血液循環等，透過圖像與顏色均說明路徑與關係，也讓人更容易理解。

2.抽象形式：抽象形式模型可再區分為理論（概念）模型和類比模型。我們常會使用概念的陳述、數學式等非具體的事物來模擬或類比某些現象，其特徵是高度的抽象化，而且大部分抽象模型，特別是理論模型，如牛頓運動定律可能是無法完全符合任何真實的現象，牛頓運動定律所描述的物體應該是一個質點，但我們的世界不可能包含質點、無摩擦運動、完全真空或完全彈性碰撞等，因此當我們應用牛頓運動定律時，我們即需要將物件定義為理想的抽象物件，而非真實的物件（Giere, 1999）。底下即是理論（概念）模型與類比模型之探討。

(1)理論（概念）模型

理論模型是人類所建構，用來描述理論的實體（Harrison & Treagust, 2000）。而理論模型最重要的特徵之一即是數學化的本質，其較為抽象，在某些例子中，它可能被使用來預測、解決問題，或是用來表徵某種關係，如正比或反比的關係，特別是在物理方面，理論常會以數學化模型的形式來呈現（Giere, 1999）。

Greca 和 Moreira（2000）認為數學化模型是概念模型（conceptual model），他們認為概念模型是由一群社群所共同分享的外在表徵，並且與科學知識的社群擁有融貫性。Hartmann（1995）認為理論模型（theoretical model）包含兩個成分，分別是：一般性理論（general theory）和物件或系統（模型物件）的特殊描述。若以氣體粒子模型（billiard ball model of a gas）為例來作討論，牛頓力學即是一般性理論，氣體粒子會撞擊器壁，產生動量的變化；特殊性描述則包括氣體本質的描述，如分子猶如質點粒子以隨機方式在固定的空間運動，所以氣體粒子模型可以利用下列的方程式來表示： $PV=RT$ （理想氣體方程式）。然而，實際上氣體分子並非是質點，粒子本身擁有體積，粒子之間具有吸引力，因此會影響系統的狀態，Van der Waals 加入 2 個參數修正後，理想氣體方程式可修正為：

$$(P + \frac{a}{V^2})(V-b) = RT$$

另外，關於行星系統模型（model of planetary system），我們可以說牛頓力學是一般性理論，兩個行星之間的作用力即屬萬有引力；特殊性描述則是將行星是質點，以固定軌道運轉。換句話說，我們可以說理論模型是模型鑲嵌於理論。綜合上述討論，即是氣體粒子模型與行星系統模型均鑲嵌於牛頓力學，兩者模型的運作乃以牛頓力學作為其理論依據，理論在此所扮演的功能即是作為建模的架構，換句話說，氣體粒子運動與行星運動若無牛頓力學理論加以輔助詳細說明，則將難以檢驗其模型，或是作為現象的解釋與預測。

(2)類比模型（analogical model）

類比形式主要是基於共同性質和對應關係，以地球和月球為例，他們均屬於球體、不發光，從太陽獲得光和熱，然而，性質相同性並非是必然的要素，兩個物件之間的類比也可以是基於它們性質之間的對應關係，如光和聲音，因為它們均有反射現象，聲音的響度對應於光的亮度，聲音的音調對應於光的彩度。此外，類比也可以基於兩個系統的部分相似或對應關係，如父親和小孩的關係即可類比於教師與學生的關係、拉塞福原子模型與太陽系的關係（電子在軌道上運轉猶如行星在軌道上公轉），或是如單擺與電流振盪之間的類比（它們擁有相同的數學方程式）。而且類比模型通常使用於研究、建立、檢驗與溝通想法（Bent, 1984）。

3.心智形式：許多模型並非是物質的模型，而是屬於心智形式，即是模型為想像的形態或物件，如波耳的原子模型或沒有摩擦力的斜面，它們沒有經過實驗做驗證，它們是由人們心智所建構，即為心智模式，存在於人的心智中，是真實世界的結構化類比（Johnson-Laird, 1983），屬於個人化的且不完整的（Norman, 1983; Greca & Moreira, 2000）。綜觀科學史發展，對於科學推理而言，心智形式的模型是不可或缺的，因為許多抽象的理論可透過思考實驗（thought experiment）來做驗證（Nersessian, 1999），如伽利略的落體理論和馬克士威的電磁學理論。所以我們也可以說心智模式擁有啟發性的功能，而不是單純地透過視覺表徵來表徵某個現象或物件而已。那我們如何使用心智模式去表徵外在世界的現象或系統呢？換句話說，如何將心智模式與產生科學理論、現象之間做適當的連結，由於心智模式無法直接接觸，只有透過人類的溝通方式，如肢體、對話和書寫等方式來表徵，此為 Gilbert 和 Boulter（1995）所稱之表達模型（expressed model）。當然，想像在產生科學模型與心智模式是具有相似性，如許多科學史家即明確地將此過程稱為創造的過程。對於心智模式與外顯

化的模型（具體或抽象）之間的關係，現在仍沒有較佳的理解，但我們相信它們之間必定存在動態（dynamic）和相互對等（reciprocal）的關係（Jonassen, 2008）。

綜合上述的分類方式，本研究強調許多模型類型並非是截然分明的類型，許多模型可能同時歸納於二個類型，此外，模型的發展亦隨著科技發展有著不同的演變，如電腦模型則可能無法輕易地將其歸納到某單一類別，即是我們如此的分類模式仍無法包含所有的模型與可能的發展。

（四）模型的角色

模型最重要的基本特徵即是其功能性角色（Johnson-Laird, 1983, p. 403），而我們也發現理論科學特徵之一即是對模型的依賴，如原子理論行星模型、氣體粒子模型和力學模型等。Hartmann（1995）則認為模型可用來結構資料、應用理論，或建構新的理論，而科學家也使用模型作為理論建構的主要工具。依 Hartmann（1999）的研究指出，模型所扮演的角色是：1.應用至基本的理論；2.檢驗理論；3.發展理論；4.改變理論；5.探索理論的特徵；6.協助獲得理解。以波耳原子理論模型為例，它們不僅符合牛頓的運動理論，可以計算出光譜的頻率（巴耳末和帕申系列光譜），更可以推測未知光譜（來曼系列光譜）的存在。

基本上，模型將會告訴一個敘述（story），若是從模型的形成與組成來探討模型的功能，我們需要此敘述來看模型的功能，此敘述透過模型而來。如下所述：

A story is a narrative told around the formalism of the model. It is neither a deductive consequence of the model nor the underlying theory. (Hartmann, 1999, p. 344)

因此，我們可以從兩個不同的研究取向來看模型的功能或角色。在傳統的觀點，我們可能較有興趣於真實世界下的特定情境，此情境是由具體或實體的模型來表徵，如單擺，我們即可利用牛頓力學應用至單擺的理想化。另一種則是建構一個外在世界現象的另一種表徵，如外在世界的現象過於複雜，需要基於一個或多個模型的理論形式，此理論將導致外在世界現象的理論，在此範例中，模型將不再是最後的目的，理論能從模型來解立，即是考量模型在理論建立過程中所扮演的角色。

由於科學理論非常抽象，若教師教學利用模型來呈現，教師計畫教學前需考量所使用的模型是否符合教學目標，為什麼要使用模型？當教學目標是促進學生的概念性理解，那概念性模型將是相當有用的工具，概念性模型可提供學生建立合適的心智模式。換言之，當學生要理解教師呈現給他們的複雜想法，他們必須透過心智運作去形

成與使用模型，藉以理解複雜的科學概念，由此可見模型是思考與科學工作不可或缺的部分。因此，科學教育宜著重模型的探討，探討教師教學如何融入模型，學生如何使用或接觸科學模型以協助他們發展心智模式，以及教科書如何呈現模型，如此將有助於科學教育之發展。

七、模型本質認識與觀點

一般來說，模型常被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵（Gilbert & Boulter, 2000）。然而，學生與科學家對於模型卻有不同的看法，通常學生僅能建構可以見到物件的模型，他們會認為模型是一個實體或一個人工的複製品。但科學家使用模型則考慮無法見到的物體，或甚至於那些僅能想像的現象。因此，科學模型所描述可能是抽象的，並用來對未知物體的結構與過程做描述或預測。Saari 和 Viiri（2003）對科學模型與學生對於模型的想法之進行比較如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2. 學校科學與學生對於模型想法之比較（Saari & Viiri, 2003）

學校科學的模型	學生對於模型的想法
科學模型是表徵一個可能已知或未知的目標	模型是一個物件或是一個行為
模型的目的是表徵一個目標，並且用來協助概念化	模型的目的是複製
對於討論目標的結構和性質，給我們語彙	模型的適當性是基於誰創造了模型，但是此模型必須盡可能地準確
模型能夠被檢驗，並且根據檢驗來改變	假如模型包括錯誤，或是它的創造者想要改變它，則模型是可以改變的

由表 2-1-2 的比較，我們可以發現大部分學生無法察覺模型亦可以為抽象想法，由於日常生活經驗，他們認為模型是具體複製品，透過尋找最符合他們想法的模型，以理解模型的意義。因此，如何使學生從日常生活觀點的模型轉換為科學模型即是教師教學中需考量的地方。

（一）學生對於模型的認識

對於科學模型而言，學生透過個人生活經驗建構出具有個人經驗與獨特的理解，而這些理解可能不正確，有時甚至會導致學生另有概念的產生。為了探討學生對於科學模型角色的理解，Treagust, Chittleborough 和 Mamiala（2002）設計診斷學生科學模型角色認識的工具，分別探討模型是什麼，以及模型所扮演的角色（包括模型如何被使用、什麼因素會導致模型必須改變）。研究結果顯示，學生對於模型的認識可以

分為五種類型：模型是多重表徵、模型是精確的複製、模型是解釋的工具、科學模型的使用和模型變化的本質。同樣的，Justi和Gilbert（2003）研究指出，大部分6-14歲學生對於模型本質的看法與日常生活中關於模型的意義有緊密的相關性，即是認為模型是某事物的複製、模型是一個標準物、模型所表徵的實體並不包括想法、模型是獨特唯一的、或是模型是不能改變的，雖然有50%的學生認為模型具有預測的能力，但他們相信對於模型存在性的判斷是屬於個人化的。綜合上述研究，大部分學生認為模型是某種事物的複製品，模型必須與真實的事物非常地接近，並且他們無法理解科學模型是如何被使用來說明科學想法與理論的發展。根據周金城（2008）研究顯示42.8%的高中生認為模型要與對應物呈現不可呈現扭曲對應的比例，52.9%學生認為模型須完全對應特定事物的結構、性質與關係。同時，有30.9%的學生不認為符號可以算是模型。

（二）教師對模型的認識

近來，關於教師對模型與建模本質的研究有日益增加之趨勢，Van Driel 和 Verloop（1999）的研究指出，教師均認同“模型是簡化的或是實體表徵”的觀點。Harrison（2001）訪談了 10 位有經驗中學教師關於模型本質的理解和模型在解釋上的使用情形。研究結果顯示，所有的教師均同意模型是科學主要的工具，然而其中有 6 位認為模型是科學的主要產物。Justi 和 Gilbert（2003）的研究指出，幾乎所有訪談者均表達超過一個模型本質的觀點，多重模式表徵的使用似乎引發了額外的詮釋。然而，有 36%的教師主張“模型是某事物的複製品”，21%主張“僅有一種模型是可能的”，21%主張“模型是不能改變的”，而有 18%認為“模型是藉由個體來確認的”。此外，Van Driel 和 Verloop（2002）的研究則指出，教師對於學生在模型與建模的知識非常有限，因此無法有效的整合到他們教學活動經驗中，如此將難以引導學生模型的認識與使用模型的機會。

（三）模型認識工具

關於模型工具發展的相關研究，最著名的即是 Grosslight, Unger, Jay 和 Smith（1991）的研究，他們比較 7 年級、11 年級和專家關於模型的結構與目的，並依據模型的形成本質與使用，分成下列三個不同的層次：

層次 1（level 1）：相信模型與實體之間有 1：1 的相對應關係（模型是玩具，或是真實物體較小的複製品），模型應該是正確的，他們不會去尋找模型的形式或目的，大部分 7 年級學生和少部分的 11 年級學生屬於此類別。

層次 2 (level 2)：專注於實體的構成元素，相信模型保持真實世界的物體或事件，而不是想法的表徵。模型的主要目的是作為溝通的工具，而不是探索想法，他們也認為多重模型是用來突顯實體的不同特徵。僅有少部分 7 年級的學生屬於此類別，大部分 11 年級的學生屬於此類別，或是介於層次 1 和 2 之間。

層次 3 (level 3)：理解模型的使用是用來發展和檢驗想法，且這些想法通常是抽象的，而不是實體的描述。同時視模型是多重的、思考的工具，符合建模者認識論的需求目的，他們主要專注於模型的解釋和預測能力。

Grosslight 等人 (1991) 利用學生對於模型的理解來決定他們的建模能力，這樣的結果似乎意謂教學過程中應強調模型的觀念，並且必須確認與發展學生對於模型的想法。Harrison (2001) 則利用 Grosslight 等人的工具訪談 10 位有經驗的高中教師關於模型本質的理解和他們在解釋上的使用情形。研究結果顯示，所有的教師均同意模型是科學的工具，然而其中有 6 位也認為模型是科學的主要產物。而教師對於模型的理解方面，有 2 位教師是介於層次 1 和層次 2，2 位教師是在層次 2，4 位教師是介於層次 2 和 3 之間，僅有 2 位教師是在層次 3。然而，這樣的分類仍僅停留於模型的認識，或是將受試者依上述的層次來加以分類，仍無法表示受試者的建模能力。

如上所述，許多學者對於模型和建模針對他們提出一些看法，但到目前為止較常被引用的仍屬Grosslight等人於1991年發表的研究工具。而且，大多數的研究也著重於特定模型「內容」與「模型認識」的探討，對於「模型功能之知識」及「建模歷程」較缺乏深入的探討 (Van Driel & Verloop, 1999)。數位學者從本體論、認識論和認知／方法論來探討學生對於模型的觀點 (邱美虹, 2007, 2008; 周金城, 2007, 2008; 吳明珠, 2007, 2008; 林靜雯和邱美虹, 2007, 2008; Chiu & Liu, 2008)，研究結果顯示，在本體論方面，學生對模型本質的觀點可區分為三個構念：本質、呈現形式和變化關係，認識論方面則有三個構念，分別是個體表徵、過程和情境。最後，在認知／方法論方面，學生認為模型功能有四個主要構念：現象解釋、推理、建模歷程，以及連結和發展新想法，如圖2-1-9所示。這樣的結果支持先前研究的結果，即學生常以實物的縮小或外觀即為模型的本質，但邱美虹 (2007, 2008) 的研究結果進一步指出，學生對於模型的認識，除受個人經驗或環境影響外，學生在判斷是否是一個模型時亦會考慮模型的功能性，因此其所討論的面向相較於Grosslight等人 (1991) 或Treagust等人 (2002) 的研究更為廣泛與明確，此部分的相關研究仍值得努力，亦是本研究目的的第一部分。

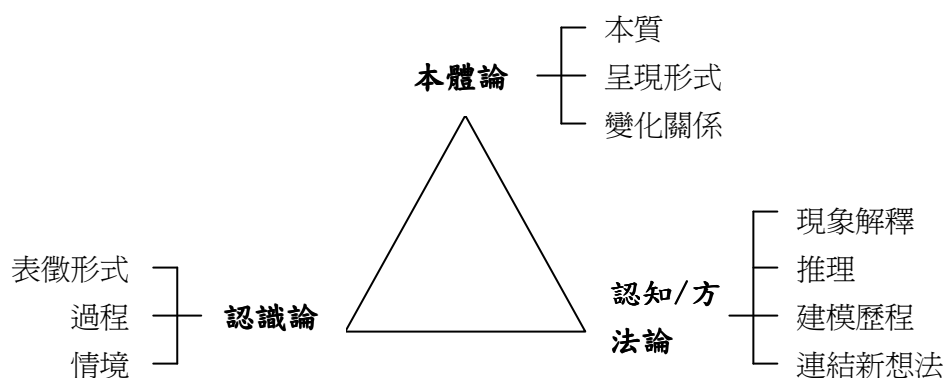


圖2-1-9. 學生模型觀點的三面向示意圖

(四) 模型本質認識架構

本研究修正 Chiu 和 Liu (2008) 所提出模型本質觀點，分別從語意 (semantics) (模型的表徵形式)、本體論 (ontology) (模型與現象或物件之關係，即是模型與參考物之關係)、認識論 (學生如何認識模型，或是模型如何促進學生理解) 和方法論 (模型的功能) 等四個面向來探討學生對模型本質的觀點，模型本質架構如圖 2-1-10。

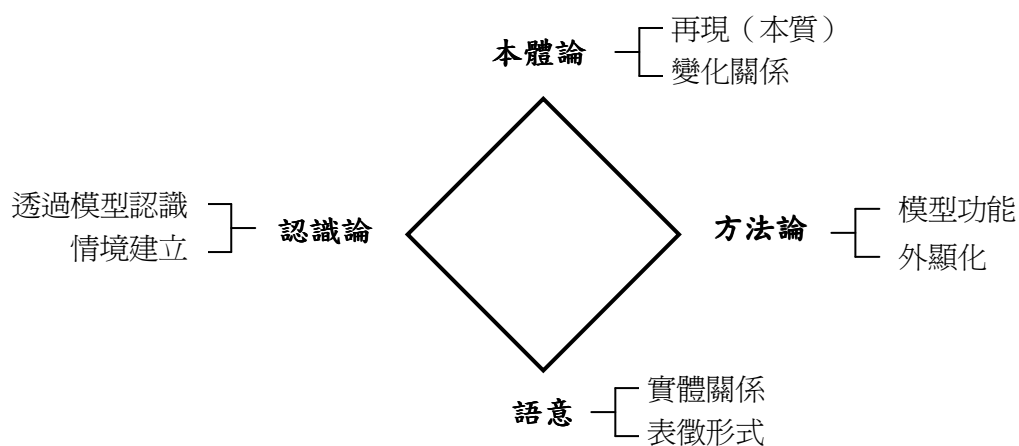


圖 2-1-10. 本研究之模型本質架構

1. 語意 (semantics)

我們對於相同事物可以採取不同的表徵形式，語意即是探討模型表徵與實體之間的關係。一般來說，模型可以有兩個不同的表徵性功能，分別是：基於目標的本質，模型是所選擇部分 (目標系統) 的表徵，此時，模型可能是屬於現象模型或資料模型，如分子模型或地圖。而模型也能表徵理論，即是詮釋定律或理論的規律，如 $F=ma$ 。

語意部分，主要是探討模型表徵與實體之間的關係。因此題目設計上，主要從實體和表徵形式，採取雙向細目表的形式來加以探討兩者之關係。實體包括物件和過程或概念，並再區分為科學與非科學；表徵形式部分則包括具體、圖像、文字、符號、方程式、肢體動作、電腦模擬和混合（圖＋文字）等。

2.本體論（ontology）

許多事物均可稱為是模型，而本體論主要是研究事物的本質，探討客觀事物的存在與其本質為何。因此，透過探討事物或現象與模型之間的差異，我們將可掌握模型的本質與個別特徵，並建立對模型分類之依據。因此，在本體論的探討過程中，將可以協助我們形成與確立學生對於模型的「定義」與模型本質的觀點。

因此，關於「本體論」我們主要回答模型是什麼？模型與現象之間的關係為何？相同的事物或現象能有不同的模型嗎？以及模型需要完全對應真實嗎？此外，模型本質問卷的本體論架構方面，我們也區分為模型再現和模型改變兩個部分。

3.認識論

模型扮演著學習外在物理世界的媒介，許多科學探究的重要部分亦是從模型而來。認識論主要探究其可能性、來源、本質和知識範圍，即是關於人類從模型學習的來源、發展過程，以及認識與實踐的關係，模型作為學習這世界的媒介，在進行科學探究的過程中，最重要的部分是完成與建立模型，因為科學家可藉由模型的建立，發現系統或理論的重要特徵與事實，最後建立理論或定律。換句話說，模型可以讓我們進行解釋和推理。舉例來說，當我們學習氫原子的概念和氣體分布的情形，均是透過研究他們相關的概念模型，換言之，即是以模型為基礎的學習過程，進而理解相關的概念。

關於模型認識主要發生在兩種地方，分別是模型建構與模型操弄，模型建立過程中，透過模型的選擇、效化、分析和修正等規則，建立適當的模型。當模型建立後，為了能引出其深層秘密的部分，我們必須去使用與操弄模型。此外，我們也必須有不同方法去建立和操弄模型，調度與修正模型，當然體認不同情境的建模也是認識模型過程中相當重要的一環（張志康，2009），因為我們可以將建立的模型應用至不同的情境與問題，進而理解模型適用的範圍與限制。

4.方法論

方法論是研究模型扮演的角色，建立模型的目的與功能是什麼？是否能利用模型

去描述、預測，或是其他的目的，如獲得概念的理解。由於許多科學實驗費用過高或具有危險性，則可透過模型的模擬或是預測能力來達到，因此模型具有模擬和預測的功能。Leatherdale（1974；引自Gilbert, 1993）認為模型在科學上有七個功能，分別為：(1)簡化複雜現象，易於思考；(2)提供更容易理解的方式瞭解理論；(3)提供理論的預測能力，一個結構化與機械化的向度；(4)強化理論的預測能力；(5)提供理論發展的方式；(6)提供相關理論深刻理解與想像的媒介；(7)提供實驗與觀察的理論推導關係。同理，Hart（2008）認為科學社群所採用之模型能夠對於某一特定現象做較具信賴的預測，並且可以提供表徵與理解和解釋。此外，由於模型具有高度的合理性（符合數據資料）、融貫性（與其他現象的解釋相互一致）、一般性，所以模型可以做準確的預測，並且符合相關現象的測量結果，也因為其預測與測量結果有高度的對應關係，所以可作為未知現象的預測，如科學家即利用電腦模擬來對天氣做預測。

八、教科書與模型之關係

教科書常使用不同的模型來解釋科學現象，Moyer 與 Mayer（1985）認為大多數教科書呈現給學生都是一些過度簡化的模型表徵，對於各種概念或事實如何產生幾乎沒有提及。類似地，Justi 和 Gilbert（2000）研究亦發現，許多教科書未能說明使用模型的意義、限制與連結性，如此將會導致學生無法對理論與模型做適當的連結，他們對這些經過簡化或是去情境化的模型感到非常地困惑，結果將使他們無法理解模型與表徵現象或物件之間的關連性（Boulter & Buckley, 2000），當然也會使學生誤解模型的本質。

沒有單一模型能完全解釋科學現象，但教科書僅使用非常少且有限的模型，如此將使學生閱讀教科書的過程中產生理解錯誤或迷思概念（劉俊庚和邱美虹，2010a）。Vorms（2008）的研究亦指出模型的預測能力與解釋能力主要是基於其表徵的能力，若能有適當的表徵，模型將有更好的預測和解釋能力，換言之，教科書若能呈現適當且良好的模型表徵，教師透過教科書計畫更好的教學策略，學生將更容易理解教科書所呈現的理論或概念，亦將促進學生科學概念的學習。

第二節 建模與科學學習之關係

建模是科學家發展理論最爲重要的成分之一（Giere, 1994; Greca & Moreira, 2000），學習科學也意謂著學習去執行建模的過程。建模可協助去表達與外顯化他們的思考方式，想像和檢驗他們建立的理論或模型。換言之，模型在促進學生學習、探究技能和系統性思考均扮演非常重要的角色，許多研究均指出建模能豐富學生的學習，促進學生的概念理解（Hestenes, 1987; Halloun & Hestenes, 1987; Jackson et al., 2008），並且連結科學教育與科技教育（Gilbert, Boulter & Elmer, 2000）。Chittleborough 和 Treagust（2007）認為建模技能並非天生即擁有，但卻是需要學習的技能，一般來說，當建模能力改善亦將會促進學生相關概念的理解。那什麼是建模？建模歷程與科學學習之關係為何？以及影響學生建模的因素為何？上述均是本小節要回答的問題。

一、建模－思考具體化的方法

什麼是建模？建模可說是認知、科學探究和問題解決的基礎。科學是一個複雜的模型網絡系統，爲了理解科學需要有能力去建構相關的模型或理論，換句話說，即是需要建模。建模能讓學習者外顯化他們的思考，去對現象和系統建構簡單的概念性表徵，評估與檢驗理論，去應用或甚至做預測。Rubin 和 Norman（1992）研究亦指出，豐富學生的建模技能將會協助他們發展科學過程技能。

關於建模的定義，許多研究學者對建模均提出不同的觀點，邱美虹和劉俊庚（2008）認為個體藉由模型所表徵的實體或現象來建立其內在的心智模式，而個體又可藉由模型表徵的方式來表達個人對實體或現象的理解。這種內隱知識結構與外顯模型的交互作用，讓我們得以建立對科學的認識與理解，而內隱的心智模式透過模型來使思考具體化的方式，即是我們所稱的建模。換句話說，建模可協助學習者表達和外顯化他們的思考，協助他們去視覺化與檢驗概念性想法的組成元素，或是做爲概念架橋（conceptual bridges）（Clement, 1987；引自 Harrison, 2001），並且當心智模式由個體透過語言或書寫來表達，模型將變得可以和其他人相互討論與做詮釋，透過相互的比較與檢驗，將可促進他們思考與建立更完整的心智模式。類似地，Morgan（2004；引自 Frigg, 2009）也強調想像在模型建立的重要性，均可說明想像與思考的外顯化，即是建模對於學生科學理解的影響。

但 Boulter 和 Buckley（2000）研究指出，學生對於經過簡化或是去情境化的模型常感到非常地困惑，對於模型的表徵與現象之間的本質也不了解，而建模活動的核心

主要在於建立抽象與具體之間的關係（Sensevy, Tiberghien, Sylvain Laube, Griggs, 2008），因此，透過建模來使抽象的心智模式與具體實體之間做更好的連結，將可促進學生做更好的學習。

Lopes 和 Costa（2007）從“情境問題”（situation-problem）來考量，他們認為建模是在與情境結合的工作任務之間利用/建構概念的方法，依此觀點，建模是建構或結合科學知識模型之使用，並考量情境的特殊狀況，或情境類別。並且，他們也從三個向度來討論建模能力，分別是：面對方式（way of facing）、概念化（conceptualization）和操作性工作（operative work）。面對方式包括概念性質或關係的使用情況，其是否能小心地驗證解釋的答案或分析的情境；概念化則包括物件、事件的概念化，和評估物件與事件概念化是否融貫，並運用於問題情境。最後，操作性工作則是描述變數的關係、關係的形式，以及驗證答案是否具有可預測性。同理，Justi, Gilbert 和 Ferreira（2009）認為建模是產生、檢驗和修正模型的動態歷程，它是科學探究的核心技能。上述描述方式均已論及建模的歷程。

Devi, Tiberghien, Baker 和 Brna（1996）從理解學生如何建構表徵，探討學生的建模歷程，學生如何從真實的實驗情境到抽象的概念實體，他們即必須選擇實驗情境中相關的物件和事件，並建立與抽象實體（模型和理論）之間的連結（見圖 2-2-1）。Ogborn（1994）則認為建模是依據簡化的人工事物來思考某些事物。

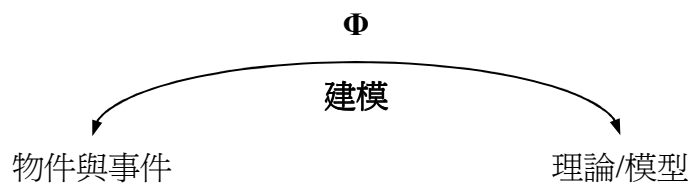


圖 2-2-1. 建模是建立模型/理論與物件/事件的語意關係

模型作為科學理論與經驗世界之間的橋樑，將所觀察實體或現象予以簡化，對於理論抽象化且產生特定的目的。此外，他們也可基於理論的抽象化而作為所想像實體的理想化，並與所觀察的實體作比較（Gilbert, 2005）。而且，當科學家在詮釋或預測實驗結果時，他們不會直接應用理論至實驗的結果上，相對地，他們會建立實驗結果的模型，換句話說，科學家在詮釋或預測時即在進行建模的歷程（Tiberghien, 1994）。Tiberghien（1994）也將建模區分為三個層次，分別是理論（theory）、模型（model）和參考物的實驗領域（experimental field of reference）。

綜合上述觀點，邱美虹和劉俊庚（2008）主要從心智模式與外在實體之間模型的建立與解釋來探討建模，探討心智模式的外顯化歷程，以及心智模式和外在實體之間交互作用關係。相反地，其他研究者則著重於外在現象與理論之間關係的建立，如前述 Morgan 和 Morrison（1999）的觀點，即是模型扮演理論與現象之間的中介物，而建模即是建立兩者之間的關係，如 Lopes 和 Costa（2007）著重於解決問題的方式，探討問題解決歷程需要考量的因素，如描述變數，或是驗證。Devi 等人（1996）則認為建模作為科學理論與經驗世界，或是現象與模型之間的橋樑，透過建模過程將觀察實體或現象予以簡化，並與所觀察的實體相互比較。而 Ogborn（1994）則考量如何將物件予以簡化。換句話說，建模即是作為科學理論與經驗世界，或是現象與模型之間的橋樑，並透過建模過程將觀察實體或現象予以簡化，並與所觀察的實體相互比較。

Shen 和 Confrey（2007）認為在建模的歷程中，最為關鍵的是“轉換建模”（transformative modeling），學習者在不同形式的模型之間作調和，在學習的過程中，學習者能夠精通各種不同形式的模型，並在原先舊有模型的基礎上建立新模型，在轉換的過程中，增加新的元素，尋找和獲得限制，解決不一致性，穩固建構物，建立新連結，溝通想法而促成獲得新的模型。此外，轉換有不同的形式，如考量模型或表徵之間的關係，或是考量模型如何能夠轉換。不同的表徵系統需要學習者去考量資料與表徵如何在轉換的過程中連結。而且，轉換過程中，解決任何不一致亦將會深化個體的理解，轉換建模的特徵之一即是提供回答問題某些啟發。但我們發現在實際教學過程中，學生卻不被鼓勵以不同的模型來思考某一現象或事件，學生若需要發展更深的理解時，若需要建構一致性的心智模式將會非常地困難。因此，我們要改進教學與學習，即需要將模型與建模融入於教學過程中。

二、建模歷程與科學學習

很明顯地，建模是發展科學知識的重要過程，Schwarz 和 White（2005）認為科學建模活動包括：1.具體化理論和資訊成為一個模型－通常是電腦化模型；2.利用準確性和一致性等判準來評估；3.修正模型以調適新的理論想法或實證性發現，由此可看出，建模是一個動態的歷程，它牽涉到個體如何提出假說、建立模型的目的、描述與確認模型的組成與關係、建立適當的模型（產生一個表徵）並進行檢驗與修正，進而重建新的模型。換句話說，建模是企圖去協助學生了解知識是人們所建構的，並且具有促進科學理解和了解科學本質的潛能（邱美虹和劉俊庚，2008）。底下將分別針對各研究者對於建模歷程的觀點、後設建模和建模的限制來加以探討。

（一）建模歷程

建模是發展科學知識與建立理論相當重要的過程，許多研究者對於建模歷程提出不同的想法，大多是從科學家建立科學理論或問題解決來探討。這些歷程也有些共同的特徵，其不外乎模型建立與模型運作兩個主要階段。以下將介紹幾位研究者對於建模歷程所做之探討，並提出本研究對於建模歷程之操作型定義。

1.Hestenes（1987）建模策略

Hestenes（1987）認為解決物理問題即是建模的過程，建模策略包含了四個階段，分別是：(1)描述（Description）階段：描述模型的各種基本變數，決定所發展的模型形式。此外，在交互作用變數的描述部分，則需要描述變數的交互作用與特徵；(2)形式化（Formulation）階段：利用定律和交互作用來形成方程式；(3)分枝（Ramification）階段：描繪模型的不同意義或表徵形式，然教科書常未能清楚地確認這些不同的表徵形式；(4)效化（Validation）階段：效化是考量分枝模型的實證評估。而這些過程僅是在建模歷程中基本的步驟，並非是規定的策略。對 Hestenes 而言，模型即是信息（the model is the message），建模歷程需要考量不斷的修正與效化歷程。但 Shen 和 Confrey（2007）認為 Hestenes 的建模步驟過於強調相對線性的過程，因為科學發展歷程是不斷地建立與修正的過程，所以 Hestenes 提出的建模歷程仍有其缺失。

2. Halloun（1996）的建模歷程

Halloun（1996）提出問題解決的建模歷程分別是：模型選擇（selection）、模型建構（construction）、模型效化（validation）、模型分析（analysis）和模型調度（deployment）。首先，在情境中確認與描述現象的系統組成，接著建模的目的將會被確認，期望結果能有效。在這些步驟之後，選擇適當的理論來評論，並選擇和建構一個適當的模型。隨後，此模型被操弄與分析，若它持續地有效，則可推論問題的結論。然而，在傳統的教學歷程中，有兩個步驟卻常被忽略，分別是模型效化和調度，Halloun 認為互動（interactive）和辯證（dialectic）的過程對於學生發展建模歷程中的效化和調度特別地具有效益。

3.Hughes（1997）之 DDI 模型

根據 Hughes（1997）所提出之 DDI 模式，他認為建模包括三個成分，分別是：本義（denotation）、演示（demonstration）和詮釋（interpretation），其關係如下圖 2-2-2 所示。首先，其藉由建立模型與目標之間的表徵關係，隨後為了演示其特定的

理論性主張，即探究模型的特徵。最後，即需要將所發現的結果轉變成關於目標系統的主張，Hughes 認為此步驟為“詮釋”。並且，他將此建模歷程應用於分析伽利略的 corollary，他認為假如我們在心中以此三個活動來檢驗一個理論模型，我們將可以獲得某些形式的表徵，即是模型。

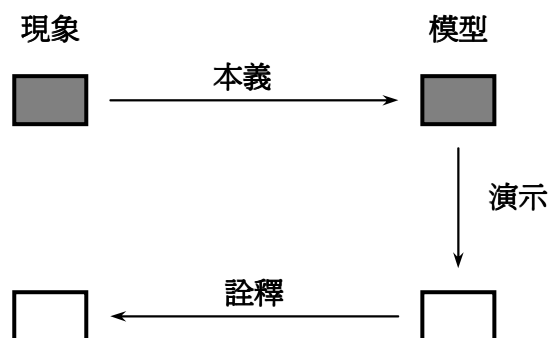


圖 2-2-2. DDI 建模歷程圖 (Hughes, 1997, p.328)

4. Stratford, Krajcik & Soloway (1998) 之認知策略

Stratford 等人 (1998) 認為建模包含五種認知策略，分別是：分析 (Analyzing)、相關性推理 (Relational reasoning)、綜合 (Synthesizing)、檢驗和除錯 (Testing and Debugging) 和解釋 (Explaining)。分析策略包括確認重要的因素或物件，理解、判斷和詮釋他們的模型，以及描繪模型或評論其適當性；相關性推理包含建立和討論相關性，預測將會發生什麼狀況；綜合策略則是決定模型如何以整體的方式運作，討論或評論模型的表徵；檢驗和除錯是檢驗模型如何運作，或指出模型為何無法運作，並試著找出可能的解法；解釋策略則是解釋某一因素為何會導致改變，深入探討想法，陳述某些支持的證據等。Stratford 等人認為建立模型宜提供學生機會去思考與討論科學現象，將它們分成片斷，描述這些片斷的相關性，再整合這些片斷成模型，並驗證這些模型。最後，他們認為建構動態模型有助學生的理解。

5. Sins, Savelsbergh & van Joolingen (2005) 之推理過程

Sins 等人 (2005) 認為與建模相聯結的推理過程包括五個階段，首先是分析 (analyze) 階段，學生將現象做分解，確認模型的重要元素，利用圖表或實證資料來詮釋模型的意義。隨後，歸納推理 (inductive reasoning) 是學生在推測模型元素如何交互作用假說時，產生歸納推理，此過程意謂模型結構與現象之關係（如考量模型如何運作、探討模型的表徵，並且探討模型之間的新關係），然對於學生而言這將是一個複雜的過程；量化 (quantify) 則是建構初步模型後，藉由數學關係的形式來使模型

元素與相關想法更為精確。解釋（explain）是用以區分為什麼模型元素是有相關性，證明為什麼某一個因素會影響另一個因素。最後，評估（evaluate）是爲了評估與檢驗模型，學生必須聯結模型與實驗所獲得的結果。是在評估的過程中，學生必須決定他們的模型是否與信念相互一致，藉此將修正原有的模型。

6. Aegerter-Wilmsen, Janssen, Hartog & Bisseling （2005）之模型建立循環

Aegerter-Wilmsen 等人（2005）提出模型建立循環（見圖 2-2-3），他們認為模型建立包含五個步驟，分別是：建立（build）盡可能簡單的模型來解釋不同情境，隨後選擇（select）實驗來檢驗此模型，詮釋（interpret）實驗的結果，假如需要則調整（adjust）此模型，最後則是比較新模型與先前模型。而模型是基於額外的實驗資料一步一步地修正。

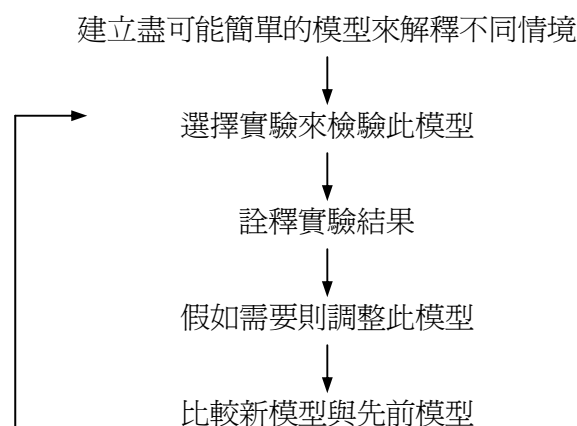


圖 2-2-3. 模型建立循環

7. 邱美虹（2007）

邱美虹（2007）建立之建模歷程指標延續 Halloun 的建模歷程，但加入模型重建的元素，同時設計建模教學各階段活動，探討學生透過建模活動對於電化學概念瞭解之情形，研究結果顯示建模教學的心智模式視覺化經驗有助於科學概念的學習，並在學習過程中提供學生使用形式表徵的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型，更進一步建立科學模型。

8. 綜合不同研究學者之建模歷程

猶如上述，不同的研究學者對建模歷程提出不同的想法。大部分學者對於建模歷程的觀點，不外乎建立模型、檢驗模型、分析、修正，以及調度等階段，如表 2-2-1 所示。

表 2-2-1. 不同研究學者建模歷程彙整表

	Hestenes (1989)	Halloun (1996)	Hughes (1997)	Stratford et al., (1989)	Aegerter-Wilm sen et al., (2005)	Sins et al., (2005)	邱美虹(2007)
模型發展 (Development)	描述 (Description)	模型選擇 (Selection)	本義(denotation)	分析(analysis)	建立 (build)	分析(analyse)	模型選擇
	形式化 (Formulation)	模型建構 (Construction)	演示 (demonstration)	相關性推理 (relational reasoning)	選擇(select)	歸納推理 (inductive reasoning)	模型建構
	分枝 (Ramification)	模型效化 (Validation)		綜合 (Synthesizing)	詮釋(interpret)	量化(quantify)	模型效化
	效化(Validation)	模型分析 (Analysis)		檢驗和除錯 (Testing and Debugging)	調整(adjust)		模型分析
模型調度 (Deployment)		模型調度 (Deployment)	詮釋 (interpretation)	解釋(Explaining)	比較(compare)	解釋(explain)	模型調度
						評估(evaluate)	模型重建

綜合不同建模的學習歷程，建模歷程主要歸納為下列兩個主要階段，分別是：模型發展（model development）和模型運用（model implement）。有關建模歷程各階段的成分及其操作型定義詳見表 2-2-2（Liu & Chiu, 2010；劉俊庚和邱美虹，2010b）。

(1)模型發展階段：可分為模型描述與選擇、模型建立、模型效化與模型分析等 4 個次階段。描述與選擇部分，主要是描述與選擇變數（物件、狀態、交互作用和因果效應）、討論或關係的選擇、選擇最符合現象描述的各種面向與變數，以及符號語言的選擇；模型建立則是透過變數之概念化、定性與定量關係之建立，以及符號語言的建立（選擇表徵與建立），建立初始模型；效化則是決定模型之運作與描述結論、判斷與比較，和初始模型運作結果與詮釋；分析與評估則是模型經驗性證實，透過不斷地檢驗與評估變數，藉以了解模型的適當性、完整性、一致性和融貫性等。此外，模型效化、分析與評估階段也著重於比較與評估不同模型，並檢驗競爭模型，換言之，模型發展階段著重於建立一個可使用與解釋的模型，並利用不同數據或方法進行分析、檢驗與比較。

(2)模型運用階段：此階段主要為模型調度與重新建立新模型。模型調度方面，即是模型的應用與預測、理解模型的限制性、類比建立與發展和模型精煉。模型可以採取不同方式應用至不同的外在情境，模型只有在真實世界中進行描述、解釋、預測等調度歷程後才顯現其重要性及適用性，如此也將慢慢地擴充其使用範圍，且更適用於相對應的理論情境中。教學過程中，提供學生從事適當的調度活動，讓學生發展工具和系統化的規則，透過類比教學或其他建模活動，均可使學生對建模有更多的認識與了解。模型重建則包括建構新模型和從模型中推論其他含意，擴大模型的解釋範圍。由於原有模型可能需要做完全的改變，學生需要重新建構新模型，依 Chi（1992）概念改變的觀點，若是原本模型中所需元素的增減，則是弱重建，屬輕微的概念改變，反之，若模型做結構上大幅度修正，猶如一個概念重新被置放，由一個類別置放至另一類別（Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994），則可謂之強重建，屬於根本的概念改變。

綜合上述建模歷程，建模應該是漸進與循環，學生可採取分離方式來發展個別的描述性模型，慢慢地再發展為解釋性模型。此外，教師可協助學生建立基本模型，隨後不斷地透過驗證與修正，他們將能夠發展較完整的基本模型，學生亦可統整並建構更複雜的模型，而學生的發展速度也會較原先基本模型快，因為他們已從上述歷程中獲得不同的建模成分（Halloun, 2006）。但學生在建模歷程中也可能於模型效化或分析與評估階段，因模型運作結果與原來現象或問題不一致而中斷，並從模型描述與選擇

或建立等階段再重新進行，換句話說，建模歷程並非是線性的過程，而是循環與交互進行。

此外，若從模型功能的建立來看，模型的建立應該是漸進的，學生會先採取分離的單元來發展描述性的模型，隨後則發展為解釋性的模型，當所有基本的模型均已建立，則隨後建模的單元可致力於新模型的全面性建構，當然學生在此階段的發展會較原先基本模型建立時的速度快，並且他們也將慢慢地獲得不同的建模成分，當他們能夠發展完整的基礎模型後，學生也將能夠統整，並且可以成為更為複雜的模型(Halloun, 2006)。

表 2-2-2. 建模歷程彙整表（劉俊庚和邱美虹，2010b）

階段	建模歷程	次項目	操作型定義
模型發展 階段	模型描述 與選擇	描述與選擇現象的各種面向（物件、狀態、交互作用和因果效應） 討論面向與變數的關係 選擇最符合現象描述的各種面向與可能變數（物件、狀態、交互作用和因果效應） 進一步詮釋面向與變數的關係 符號語言的選擇（表徵選擇）	由問題情境中描述與選擇對問題有意義之面向：包括物件面向（物件的基本性質）、狀態面向（隨時間改變的性質）、交互作用面向和因果面向（解釋的形態）等。 討論面向與變數所有可能之關係，並找出彼此間的關係或比例關係。 由問題情境中的各種描述中選擇出有意義之面向：包括物件面向（物件的基本性質）、狀態面向（隨時間改變的性質）、交互作用面向和因果面向（解釋的形態）等。 對所選擇的基本模型和變數作進一步的詮釋。 使用適合的語言類型（表徵）來描述各個面向與變數之間的關係。
	模型建立	理解屬於模型之次項目 變數之概念化 定性關係之建立 定量關係之建立 符號語言的建立（表徵建立）	初步架構問題相關的基本模型（概念、定律、工具和規則）。 將所選擇的面向（物件、狀態和交互作用）與問題情境相關資訊做連結，或是理解問題情境有什麼面向屬性特徵。 建立定性之關係：A 影響 B（即描述所建立之數量關係）。 建立定量之關係：驗證 A 與 B 之間的關係，探討其關係是正比、反比，或是無關。 將使用的符號語言與情境問題做有效的連結。
	模型效化	決定模型之運作與描述結論 判斷與比較 模型運作結果詮釋	操作所建構的模型，尋求可能的解決方法或答案，討論所觀察到的方法和建立的關係，或是如何運作。 將所建立的模型與真實世界事物或問題做比較，討論其是否符合。 操作模型（歸納實驗資料）來支持解釋。
	模型分析 與評估	模型經驗性證實 檢驗變數之適當性 檢驗變數的完整性 檢驗一致性 檢驗模型的融貫性	利用直接或間接證據來做預測，評估模型是否相符合，評論預測結果與證據之間的正確性。 評估所選擇的變數是否適合問題情境。 評估所選擇的變數是否完全符合所建構的模型，或是有忽略的地方。 利用不同方式來檢驗所建立模型之內部一致性 在不同模型之間作辯證，評估不同模型之融貫性。
模型運用 階段	模型調度	模型之應用與預測 理解模型的限制性 模型精煉 類比建立與發展	利用已效化的模型對實證性問題給予解釋、描述或預測，理解模型是否能正確或實現來做為參考依據。 調度所建立的模型，理解模型使用的限定範圍。 修改模型部分參數，並重新檢驗。 建立模型參考物之間的類比發展規則，應用這些規則來設計新的參考物，並試圖突破模型的限制。。
	模型重建	建構新模型 擴大模型的解釋範圍	對於建立的模型感到不滿意，使用不同於先前的面向與變數來重新解釋，建構一個新模型。 討論思考先前未考量因素之間的關係

（二）後設建模之建立

除了上述的建模歷程外，後設視覺化對於科學學習也扮演非常關鍵的角色。學生必須學習如何操縱不同的表徵形式，以及了解為何要使用此表徵形式，即是學生必須擁有“後設視覺化的能力”（metavisual ability），學生關於建模的知識將會影響他們如何進行建模活動，學生若未具備此能力，他們將無法執行教師所賦予的任務（Gilbert, 2005）。換句話說，學生若未擁有後設建模的知識，學生無法完全理解科學本質，並且他們使用與發展科學模型的能力將會受到阻礙（Schwarz & White, 2005）。Niss（2009）的研究則指出，許多教科書亦未能明確地呈現後設建模的知識，由於教科書在學生科學學習過程中扮演非常重要且關鍵的角色，若教科書無法傳達給學生明確的建模知識，學生將無法從閱讀教科書過程中獲得建模的知識。

Halloun（2006）即認為學生自我評鑑與自我調整的目的是提供個體來評鑑他們擁有的知識，所以他們能反思概念化的輪廓，並且做適當的調節。此外，在整個學習過程中，控制也轉變為內在的方式，個體可以控制他們自我的學習狀態，也較不會受到外界老師的壓力驅動，藉由內在動機而了解模型的錯誤與侷限性後，而超越原有的素樸輪廓。而教學為了增加學生建模的能力，宜督促學生發展“後設建模”，即是反思教學過程中建模過程的目的、過程與結果（Etkina, Warren & Gentile, 2005），如此將對於學生建模知識有極大的助益。

（三）專家與生手建模歷程之差異

先前對於科學模型與學生模型之差異做比較，其實專家與生手的建模歷程也不盡相同。從生手到專家的建模歷程，Zhang, Liu & Krajcik（2006）認為其轉變是從知覺模型是複製的實體，到模型接近於實體，最後再轉變為模型是表徵或解釋的想法，而且，專家從操作型定義，計畫、建立和檢驗模型是採取線形的順序。然而，生手則未發現有線形的順序。因此，缺乏線形的建模順序可被視為是生手建模能力的指標。此外，在計畫的階段，專家也會花費較長的時間來思考，如考量物件、變數、關係和預測模型的成果，並且在修正的階段，專家則較少修正，專家模型所考量的因素也會是採取區塊（cluster）的方式，專家不會以物件和變數各自分離的方式來處理問題。

類似地，Hestense（1987）的研究也指出，專家花費較多的時間於描述的階段，若專家在描述的階段未能獲得滿意的描述，則不會轉到公式化的階段，因此，在改進學生學習的建模教學，描述階段將會是非常關鍵的步驟。

（四）建模的限制

由於建模需要抽象思考，特別是在變數的使用方面，此外，模型建立在工作記憶方面也有較多的需求，如理解整合性文本和圖表的訊息，因為學生需要整合多重的訊息來源，如此將導致較高的認知負擔，但伴隨著練習的概念性理解將可減少認知負擔。（Jonassen et al., 2005）。

Bliss（1994）則認為如此的建模形式可能不適合於 10 歲以下的小朋友，他也認為系統化操弄變數需要在同一時間改變某一個變數，其他變數則保持相等，研究顯示 15 歲以下的小朋友無法分離與控制變數，面對包括許多交互作用的複雜模型，學生可能無法將整個系統視為整體。然而，此觀點仍值得關注的地方即是幼小學生是否無法進行建模活動，或是建模教學，由於相關的研究未能有較多的支持，因此本文作者仍持懷疑的觀點。

三、影響學生建模能力之因素

依上述建模歷程所需考量之變項，影響學生建模能力的因素，Hogan 和 Thomas（2001）認為有物件層次、後設層次和情意等因素會影響學生建模知識，如圖 2-2-4 所示。

（一）物件層次

限制學生建立動態模型的可能原因即是對於所建模的現象缺乏完整理解，或是擁有迷思概念，因此物件層次需包括概念理解，視覺抽象和數學抽象部分，在概念理解部分，學生需要理解所建模的概念，並且可能將其從具體的形式轉換為抽象的形式，數學抽象是建模者需要將質化的關係轉換為量化和方程式，雖然在建模的過程中，學生不需要高深的數學知識，但學生仍需要使用算術運算來詳細說明其關係，因此需要考量數學抽象的面向。後設層次則包括了系統觀、建模認識和學習觀點，由於模型是整體、動態的系統，因此需要考量整體的系統觀。

（二）後設層次

建模認識部分，基本上模型是將複雜系統予以簡化，科學家的目標也是建立簡化的系統表徵，而來解釋系統的行為。在學習觀部分，對於學習科學，學生必須擁有不同的觀點，並且能夠利用不同觀點來解釋相同的現象或系統。並且，不管學生學習的觀點來源為何，均是影響學生是否能成為成功的建模者相當重要之因素。

（三）情意部分

情意則包括意志選擇、自我基模和自我效能等三個次面向，自我基模與自我效能對於決定學生動機與意志是非常重要的，因為知覺自我效能則學生將可判斷是否達到所欲之目標，自我基模則是學生的概念是否能夠有完整的自我建構，如此均會刺激學生去調整他們的學習。

此外，每個因素也是交互作用的關係，如學生數學化能力將會增進其量化建模的效能，而正向效能的建模也會促進數學化的表現。藉由協助學生考量模型元素同時也會發生交互作用，學生的系統觀會豐富他們系統化的建模知識，而建模知識隨後會豐富他們的系統觀，因此可看出因素之間的交互作用關係。

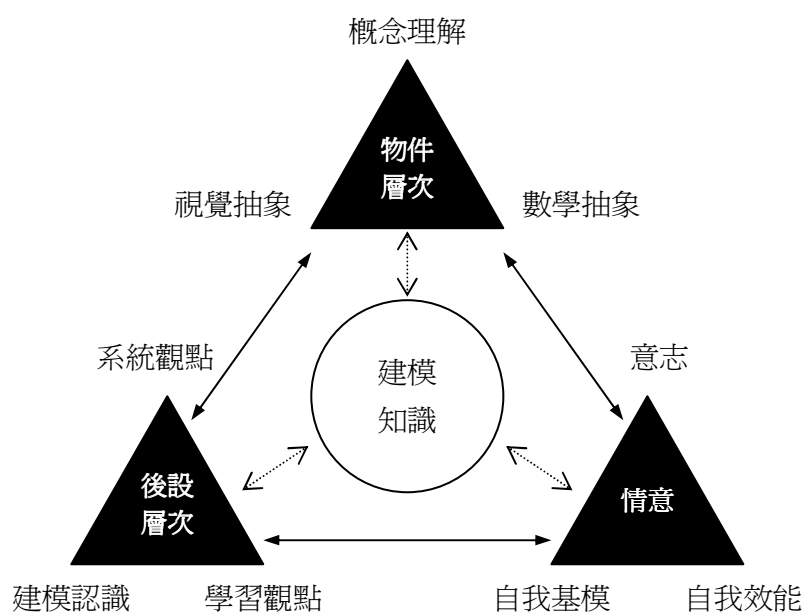


圖 2-2-5. 影響學生建模知識的認知交互作用面向 (Hogan & Tomas, 2001, p. 341)

四、建模與概念改變

建模是形成概念化模型過程中相當重要的方法，許多研究也指出概念改變與建模之間的關係 (Briggs & Bodner, 2005; Jonassen, Strobel & Gottdenker, 2005; Frederiksen & White, 1998; White, 1993)。而從上述影響建模能力之因素，類似於多向度概念改變，故建模可說是概念改變的歷程 (Nersessian, 1999)，並且不論是強或更根本的概念改變均需要概念性模型的重建 (Jonassen et al., 2005)，由此可見建模與概念改變之關係。

至於如何利用建模來評估學生的概念改變？先前概念改變相關研究主要是利用晤談、概念圖或紙筆測驗等方式來評估學生的概念或心智模式，而在建模研究部分，Jonassen 等人（2005）則主張利用電腦來建立所學之外在表徵（概念化模型），模型的建立將可精煉概念化模型，並且學生所建構之模型可提供學生概念化模型發展與重新組織之證據，而概念改變是個人概念化模型建構與重組的過程，模型建立即可用來表徵學生概念架構的改變，由此推論概念改變是建構一個新的模型來改變不正確的模型。此外，建構表徵與詮釋性模型也可提供學生有機會去外顯、重新結構與檢驗他們的概念化模型。因此，我們可以比較學生於不同時期所建構的模型作為學生概念化模型成長與認識的證據，換句話說，學生所建構的模型可用來評估學生的概念改變（Jonassen et al., 2005; Jonassen, 2008）。Tiberghien（1994）則將概念改變區分為兩種形式，分別是語意的概念改變，其相對於物件領域和模型的深層修正，而理論並未改變；第二種形式為理論的概念改變，即是理論層次的改變。如此的區分方式，類似於先前所論述的弱重建和強重建。

第三節 以模型為基礎的建模教學

一、以模型為基礎的學習理論架構

(一) 模型為基礎學習之理論架構

Clement (2000) 提出以模型為基礎的學習 (modeling-based learning) 之理論架構 (圖 2-3-1)，即是希望學生在教學後擁有目標模型或所擬學習的知識與概念。雖然學生可能無法像專家擁有一致或複雜的模型，但此架構呈現學生在教學前的先前概念與自然推理技能會影響後續的建模歷程。在此架構中，先前概念包括與目標模型相互衝突的另有概念，和有用的概念而能與現行科學模型相互兼容，並且能夠被用來建立發展目標模型的基礎。在學習過程方面，即是希望學生從先前概念轉變成目標模型，中間經歷一個或多重中間的模型 (M1、M2....)，最後成為目標模型的部分模型 (M1)。

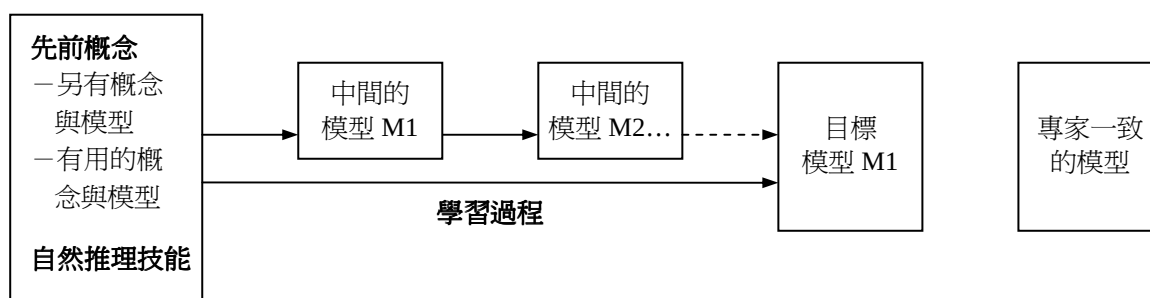


圖 2-3-1. 以模型為基礎的學習之理論架構 (Clement, 2000)

但此歷程僅論述學生模型改變，然而學生如何修正模型呢？以模型為基礎的學習即是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程 (Buckley, 1995)，進行心智模式的建構，並不斷地修正模型，這是一個特殊獲得學習的過程，學生可以利用他們已知的知識，去整合新的訊息，藉以延伸他們的知識或是進行概念改變。從此理論架構便可看出以模型為基礎的學習歷程，學生是基於原有的概念和模型，亦在學習的過程中不斷地修正舊有的模型，最後達到目標模型或與專家一致的模型，即是先前所論述的概念改變歷程。

(一) 以模型為基礎的學習

個體如何改變心智模式呢？若是深入探討以模型為基礎之學習歷程，個體可以透過新舊訊息的交互作用，產生新的的心智模式，並經過精煉、強化、修正的過程，決定模型是否需要被保留或拋棄；在進入模型被使用的階段，面對學習新知識或問題解決的情境。在經歷學習和問題解決的整個過程之後，則可以回饋給個體進行模型的精

煉、效化、修正、或重建，如圖 2-3-2 所示。

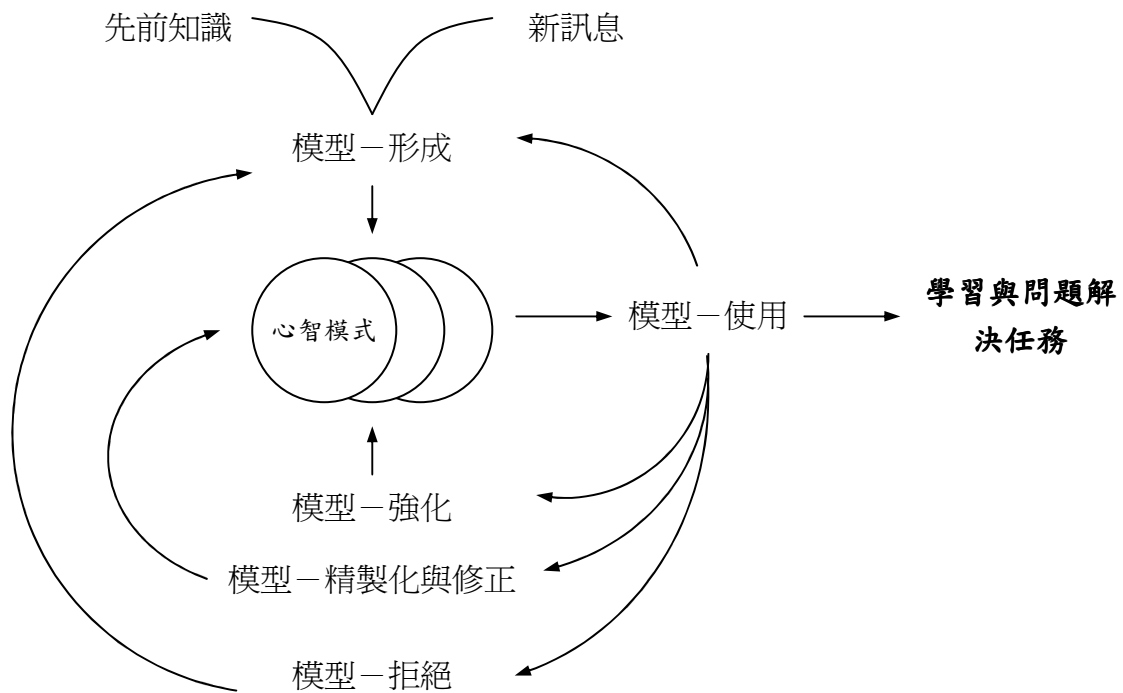


圖 2-3-2. 以模型為基礎學習的模型 (Buckley & Boulter, 2000)

由於心智模式可以整合不同來源的知識、對現象的直接經驗、或是與許多表徵的交互作用，來促成模型的建立與改變。因此在與他人討論的過程中，我們可以利用原有模型去獲得不同形式的模型，我們也可以利用心智模式去理解與評估其他人的模型，檢驗所表達的模型與我們自己的心智模式之差異，以及是否可以進行理解、描述、解釋和預測。假如答案是否定的，則模型必須改變、修正，或是被拒絕。然而，當模型符合我們的需求時，它們將會被強化，或是變得更為穩定，進而利用模型去解決問題。

(二) 模型與視覺化如何影響學生之學習

為什麼視覺化可以協助思考與學習？因為視覺化可以獲得複雜的訊息，且認知上較易處理，簡單地來說，視覺化可以使我們以可見到的形式來思考，而不是以抽象、符號的形式，擁有視覺化，我們除了可以看到外，且可以思考複雜的關係與空間位置之關係 (Uttal & O' Doherty, 2008)。簡單來說，視覺化即可使我們思考外顯化，而非以抽象或符號的形態，如物質的組成—原子和分子，視覺化可以讓我們看到原子的組成形態，並思考原子與分子之間複雜的鍵結關係。此外，視覺化也常包括了顏色的表徵，如利用不同的顏色來表徵帶正電和負電的離子等，如此即可提供顏色所表徵的訊

息，學生不僅看到視覺化的結果，也理解其所代表的訊息，因為視覺化不僅是參考物的複製品，也包括了更多所欲表徵的訊息。

（三）建模模式的架構

Justi 和 Gilbert (2002) 為使建模教學能夠在科學教學中被使用，他們發展建模架構模型 (model of modelling framework)，他們認為所有的建模必須基於其目的，對於所描述的現象去建立其所組成，並從已有的資源或經驗來形成心智模式、修正心智模式，或是重新形成新的模式。當形成心智模式後，則需決定以何種方式來予以表徵，可能是口語、視覺，或是數學關係，接著即是透過思考實驗來探討其意涵，假如模型無法符合思考實驗所產生的結果，則需修正模型，或是整個步驟必須重新運作。然而，若符合其結果，則執行實驗來檢驗，並且評估其結果與模型的差異；若無法符合實驗結果則需修正模型並重新運作，但如通過實驗的檢驗，則所建構的模型將是符合其目的。最後，也需要考量模型所適用的範圍與其限制。此外，他們認為建模也是一個非線性且動態的過程，並且強調階段之間的交互作用，整個建模歷程如下圖 2-3-3 所示。

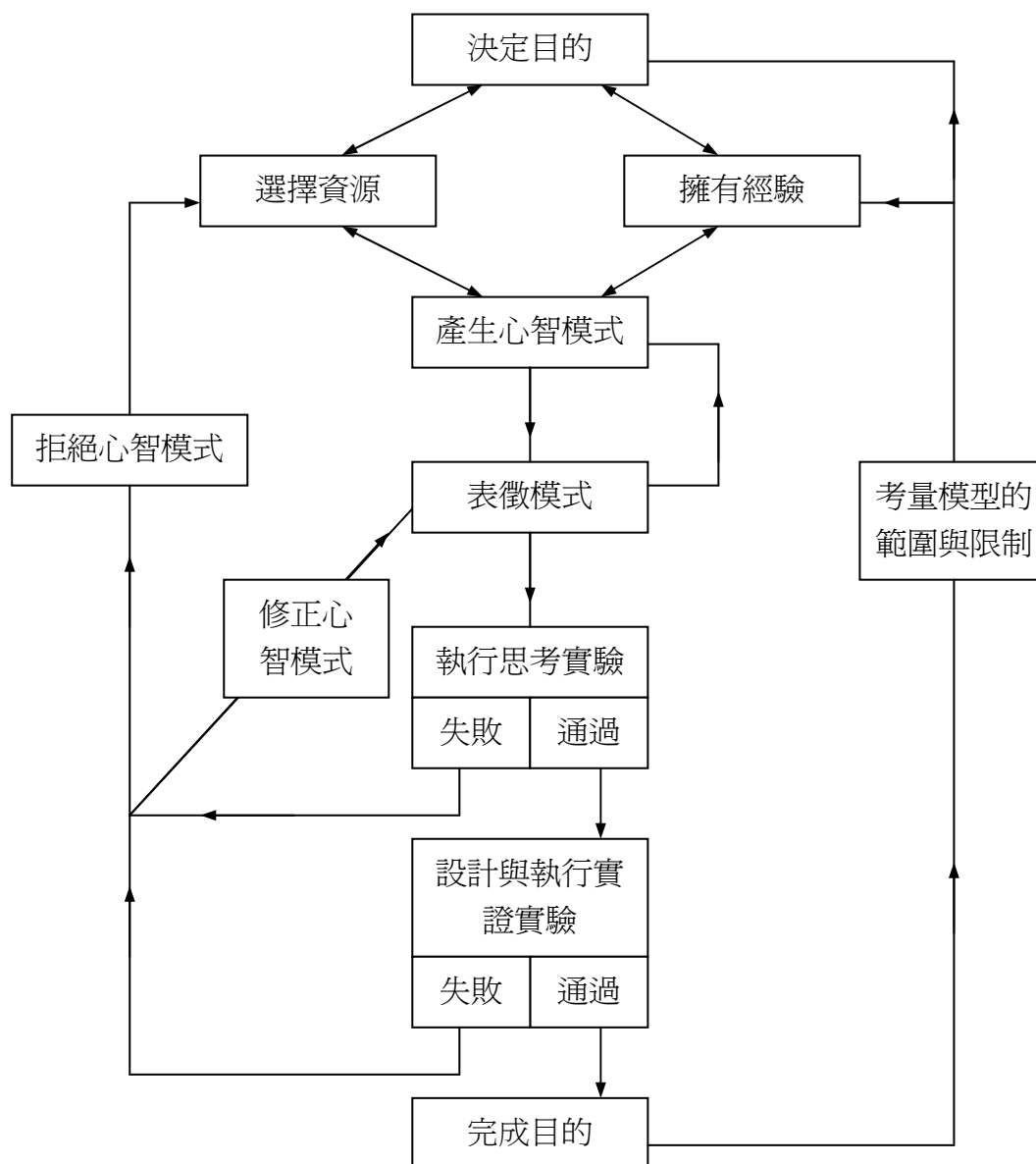


圖 2-3-3. 建模架構模型 (Justi & Gilbert, 2002, p. 371)

二、以模型為基礎的建模與建模能力評估

根據 Grosslight 等人 (1991) 的研究發現，學生在一般的教學後仍無法發展建模的觀念，除非特別強調建模的概念。因此，為了使建模在教學中更具成效，教師不僅應該知道學生關於建模的知識，教師也必須協助學生修正已存在的科學知識，建立科學的模型，當然為了理解科學，學生也必須知道科學模型是如何建構的，以及認識模型。

從科學本質觀之，科學本質的暫時性，強調理論應該會不斷地修正與被評估。然而，學生卻將模型、科學理論與定律視為絕對的知識。因此，了解模型的暫時性，在

建立模型扮演著非常重要的角色，換言之，學生在面對相同的現象時，他們須能發展一個以上的模型，以及科學現象或理論有本質上更深的認識。

爲了評估學生的建模能力，張志康和邱美虹（2009）發展的建模能力評估指標（MMAI），用來診斷學生的建模能力，但因建模能力評估指標僅針對其數量來做層次的分類（Level 0 到 Level 5），未能考量學生對於解釋或完整性等問題。本研究加入另一變數，即是將每個建模歷程分爲高階與低階兩個層次，以模型描述與選擇部分爲例，高階部分學生能正確且完整地描述所選擇或解釋的概念，而低階部分則是對於所選擇或解釋的概念、物件仍有部分的錯誤或不完整。此外，原有建模歷程爲模型選擇、模型建立、模型效化、模型應用、模型調度和模型重建，本研究亦修正建模歷程爲模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析與評估、模型調度和模型重建等六個步驟。修正後之架構如表 2-3-1 所示：

表 2-3-1. 建模能力分析指標

建模歷程		定義	答題反應層次					
程			Level 0 經驗	Level 1 單一因素	Level 2 多重因素	Level 3 關係層次	Level 4 關係延伸	Level 5 科學理論
			無相關因素	反應單一與理論相關的因素	反應兩種以上與理論相關的因素	反應出因素之間的關係或交互作用	將多個因素關係的概念作進一步延伸	更多高階、複雜延伸抽象的反應
模型描述與選擇	從熟悉模型中選擇適當的物件、關係或基本模型	低階	無指出	僅指出單一特徵、物件或因果關係，且描述不完整	指出兩個以上的相關特徵、物件或因果關係，且描述不完整	指出兩個以上特徵因果關係，但關係描述不完整	找出數種因果關係，「判斷各因果關係的合適性」，但描述不完整	找出多重因果關係的交互關係，但部分關係錯誤，或描述不完整
		高階	無指出	僅指出單一特徵，且有完整的描述	指出兩個以上的相關特徵，且有完整的描述	指出兩個以上特徵因果關係，且有完整的關係描述	找出數種因果關係，「判斷各因果關係的合適性」，且有完整的描述	找出多重因果關係的交互關係，關係皆能正確且有完整的描述
模型建立	確認所選物件或模型的相關成分與結構	低階	無確認	確認單一特徵的模型，但特徵描述不完整	確認兩個以上特徵的模型，但特徵描述不完整	確認因果解釋的模型，但解釋不完整	確認數學（抽象）形式的模型，但模型的解釋不完整，或對模型了解不完整	確認多重抽象形式的模型，但模型的解釋不完整，或對模型了解不完整
		高階	無確認	確認單一特徵的模型，且有完整的特徵描述	確認兩個以上特徵的模型，且有完整的特徵描述	確認因果解釋的模型，且有完整的解釋	確認數學（抽象）形式的模型，且有完整的模型解釋	確認多重抽象形式的模型，且有完整的模型解釋
模型效化	利用模型的相關成分進行不同形式的驗證、檢驗或修正模型內部的一致性	低階	無利用	利用單一變數作評估，但評估過程不完整	利用兩個以上變數作評估，但評估過程不完整	利用各變數間的因果關係作評估，但評估過程不完整	利用各種因果關係的交互作用作評估，但評估過程不完整	利用多重因果關係的交互作用作評估，但評估過程不完整
		高階	無利用	利用單一變數作評估，且有完整詳細的評估過程	利用兩個以上變數作評估，且有完整詳細的評估過程	利用各變數間的因果關係作評估，且有完整詳細的評估過程	利用各種因果關係的交互作用作評估，且有完整詳細的評估過程	利用多重因果關係的交互作用作評估，且有完整詳細的評估過程
模型分析與評估	利用其他模型來檢驗模型其融貫性	低階	無使用	使用另外其他單一結構來驗證模型，但可能未能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他多重結構來驗證模型，但可能未能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他關係結構來驗證模型，但可能未能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他關係結構的交互作用來驗證模型，但可能未能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他多重關係結構的交互作用來驗證模型，但可能未能完整分析與評估原建立模型
		高階	無使用	使用另外其他單一結構來驗證模型，且能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他多重結構來驗證模型，且能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他關係結構來驗證模型，且能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他關係結構的交互作用來驗證模型，且能完整分析與評估原建立模型	使用另外其他多重關係結構的交互作用來驗證模型，且能完整分析與評估原建立模型
模型調度	使用已效化的模型解決相似的問題或應用於解決新情境問題。	低階	無使用	使用已效化之模型中的單一結構解決新的問題，但可能無法完全解決	使用已效化之模型中的多重結構解決新的問題，但可能無法完全解決	使用已效化之模型中的關係結構解決新的問題，但可能無法完全解決	使用已效化之模型中關係結構的交互作用解決新的問題，但可能無法完全解決	使用已效化之模型中多重關係結構的交互作用解決新的問題，但可能無法完全解決
		高階	無使用	使用已效化之模型中的單一結構解決新的問題，並可完全解決問題	使用已效化之模型中的多重結構解決新的問題，並可完全解決問題	使用已效化之模型中的關係結構解決新的問題，並可完全解決問題	使用已效化之模型中關係結構的交互作用解決新的問題，並可完全解決新問題	使用已效化之模型中多重關係結構的交互作用解決新的問題，並可完全解決問題
模型重建	察覺模型失效,重新建立新的模型	低階	無察覺	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的單一物件特徵，但不完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中兩個以上物件特徵，但不完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的關係結構，但不完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中關係結構的交互作用，但不完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中多重關係結構的交互關係，但不完全了解修正的目的
		高階	無察覺	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的單一物件特徵，且完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中兩個以上物件特徵，且完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的關係結構，且完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中關係結構的交互作用，且完全了解修正的目的	察覺模型的限制，藉此修正原模型中多重關係結構的交互關係，且完全了解修正的目的

三、建模教學策略之探討

（一）建模的學習活動

學生的建模學習活動大致可分為兩種形式，分別是表達和探索。首先，學生利用模型表達他們的想法，隨後探討這些想法是否與原有的模型相符合或衝突，試驗和修正模型，表徵另有的想法（Bliss, 1994），學生向其他人表達模型與解釋後，原有心智模式即外顯化。探索活動則透過整合情境問題、組成新的情境問題、澄清假設或校正模稜兩可的解釋，轉變概念模式與科學知識成為心智模式，而延伸最初的概念範疇（Lopes & Costa, 2007）。而建模學習活動亦期能整合此上述兩種形式於實際的教學活動中，讓學生能在情境問題中應用模型，修正與檢驗模型。

Halloun（2006）即認為建模教學宜從日常生活有關的活動開始，包括許多熟悉事物的觀察，蒐集相關的實驗數據，教師提供明確的建模目的，使他們位於真實生活的情境，鼓勵學習者分享想法。Halloun 和 Hestenes（1987）認為辯證（dialectical）方式能激發學生分析與評估自己的先前概念，檢驗常識與科學信念。此外，由於學生發展建模能力有相當程度的複雜性，因此教學過程仍需要教師的主動協調與介入（Lopes & Costa, 2007）。

（二）建模的教學活動設計

依上述建模歷程，建模教學需考量三個向度，分別是：1.學生主動建立模型與使用模型，由於建模屬於技能，所以無法如同事實以不斷地記憶方式來學習，建模必須透過實際地練習才能獲得此技能（Robinson, 2000）；2.學生進行探索、轉換，另有模型的比較與對比，即是在多重表徵模型之間建立連結，並且讓學生理解多重表徵模型的合理性與效益；3.學生應用模型與重新建立模型。此外，建模教學仍需考量學生的想法與先前概念。而為培養學生建模能力和建立正確的模型，教學需包含模型效化、調度與重建等元素。在 Clement 和 Rea-Ramirez 於 2008 年所編輯的“*Model Base Learning and Instruction in Science*”一書中提及，以模型為主的教學策略，稱為“以模型為基礎的共同建構”，企圖整合認知與社會元素來描述學生與教師建立與評估模型的過程，並考量三種不同的情境，分別是模型演化（evolution）、教師提供鷹架（scaffolding）和學生－教師共同建構（Co-construction），如圖 2-3-4 所示。模型演化過程源於增加複雜模型，直到目標概念為止，換句話說，使模型的呈現能相互比對，透過模型演化使學生對最初模型做一連串修正，最後達到目標模型為止。為使學生能夠推理，教師需提供鷹架來協助學生推理，如引導問題、暗示、新的觀察、差異性問

題，或是訊息的片斷等。最後，課堂中的主要目標即是概念內容的理解，使教師與學生共同建構模型成為可能，即教師與學生在相互對話的過程中，相互合作促成想法的建立與評估（Clement, 2008）。

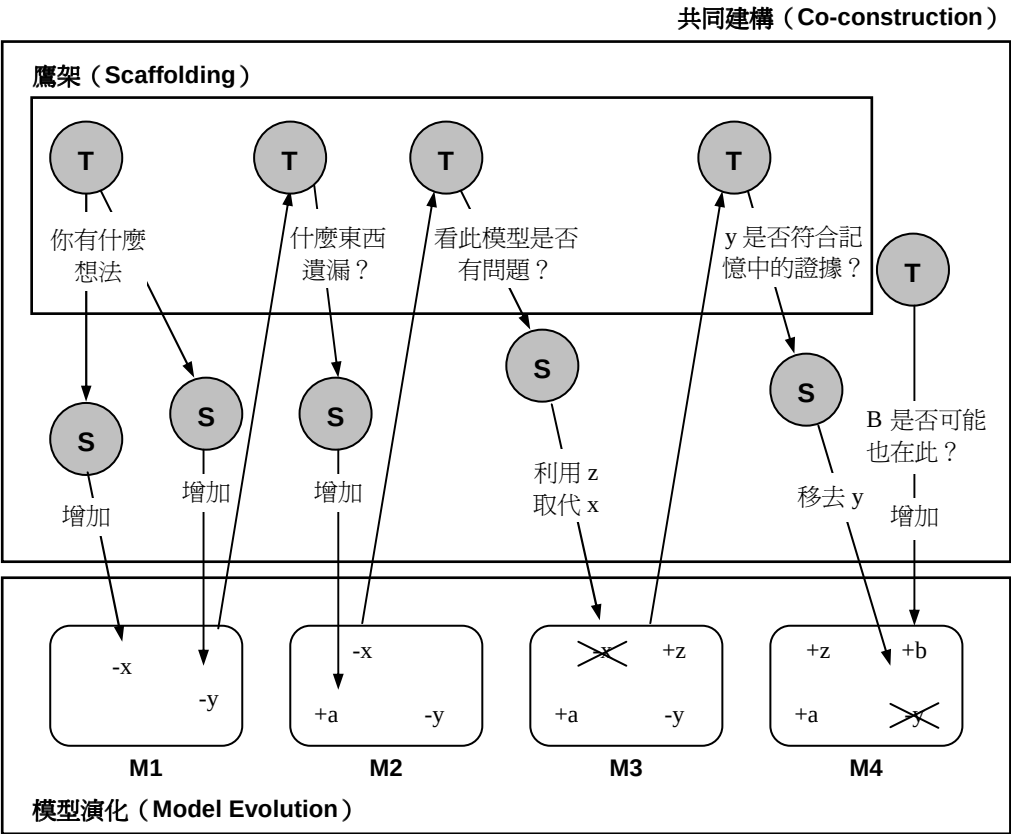


圖 2-3-4. 模型演化、鷹架和共同建構之圖示（Clement, 2008, p. 20）

為使學生建立更為靈活的心智模式，教學活動設計可採取多樣化的形式，如差異性問題、類比、電腦模擬、探究實驗，以及多重表徵模型等，透過這些教學活動加深學生的概念理解與模型認識。

（四）本研究採用之建模教學模式

從上述文獻回顧中，我們已針對各種建模教學策略進行討論，但基於本研究之設計，我們僅採用「類比建模教學」和「電腦輔助建模教學」作為研究之操作變因，其理由有二：(1) 科學教育已慢慢地開始轉向「視覺化」的研究取向，而視覺化的表徵對於科學概念之間的溝通與科學學習扮演非常的重要且關鍵的角色（Gilbert, 2005; Mathewson, 1999），Klein（2006）即主張科學知識應該被看到，而非僅是良好定義組成的部份。許多研究也顯示視覺化表徵有助於科學概念的學習與推理（Buckley & Boulter, 2000；Nersessian, 1999; Ramadas, 2009a）。心智模式可透過視覺化的過程使思考外顯，如此可促進內在心智表徵的運思。以本研究「原子概念」為例，由於原子本

身是無法看到，所以教學過程中需要透過不同形式的表徵讓學生理解，視覺化即可使我們心智的思考變成可見的形式，不論是採取抽象或符號的形態，或是具體的模型等形式。因此，透過視覺化的過程即可以讓我們看到其原子組成與形態，並可以思考原子與分子之間複雜的鍵結關係。本研究採用「電腦輔助建模教學」即是以電腦模擬與操作的方式，讓學生主動建模原子理論的模型，並透過電腦模擬的方式，引導學生了解原有模型的侷限性，並改變已存在或建立新的模型。即可符合此上述的需求。(2)「類比建模教學」則是探討學生從類比物的選擇與描述，以及學生在類比模型建立過程中找到對應關係，透過類比的觀點，讓學生認識與建立模型，並了解模型的限制與適用範圍，再透過學生模型的展示，教師與學生的討論，達到師生的共同建構（co-construction）歷程，進而提升學生在模型效化、分析與評估與調度等能力。

第四節 原子和化學鍵概念之探討

化學的主要目標之一即是能夠基於化合物的組成與結構來預測與理解其性質。而理解原子理論與化學鍵即是達成此目標相當重要的概念，許多研究指出學生在原子理論和化學鍵結概念學習之困難（Harrison & Treagust, 2000; Taber, 2001），並且迷思概念難以改變（Nakiboglu, 2003）。原子理論和化學鍵概念在學習化學過程中是相當重要的概念之一，因為從最初物質是連續的想法到物質是由原子所構成之轉變，以及化學鍵結的探討將會影響學生未來化學概念之學習。因此，本小節將從科學發展歷程來探討原子理論模型的演變歷程，其次，再從相關研究文獻探討學生在原子與化學鍵概念的相關迷思概念與想法。

一、原子理論之歷史發展

自古以來，人們都在探索這麼一個問題：這世界到底是由什麼所構成的？爲了回答這個基本而又深奧的問題，一直是哲學家 and 科學家所追求的目標。早在二千四百多年前，西方古希臘哲學家即開始考慮物質內部構造的基本問題。當時討論的焦點主要是在兩個部分，即是物質是無限可分的連續體呢？還是由不能再分的物質最小單位組成呢？歸納起來，其中最具有代表性的學說即是原子論和元素論。

（一）古代原子與元素論

1. 古代原子論

物質不是連續而是由粒子或原子所組成，這種觀念可以追溯到希臘時代，但經歷很長的一段時間都僅是一種臆測。原子論學說創始人是留基伯（Leucippus, 490 B.C.~?）和他的學生德謨克利特（Democritus, 470 B.C.~?），他利用單一原質來說明萬物的本質，他承認有水、火、土、氣等各式各樣的原子，並認為構成各種原子的材料在本質上沒有什麼不同，不同物質的原子僅是大小、形狀和運動形式不同。

德謨克利特則把素樸的原子論推向最高峰。他認為組成世界萬物的本質，不是水、火、土、氣，而是“原子”和“空虛”，世界上各種物質都是由不可再分割與不可見的原子所組成，物質的變化僅是原子之間分離或重新組合的過程，他也認為各式各樣的原子本質都是相同的，只是形狀和大小不同而已。而且，德謨克利特也認為它們既沒有顏色、嗅味，主張自然界中顏色是由微粒構成的複合物，全靠元素的次序、形狀和位置而獲得顏色。例如，他主張黑色相應於粗糙的原子，白色相應於光滑的原

子。如此即表示巨觀物體的性質是透過本身沒有這些性質微觀原子以不同形式和結構所形成的。所以，他原子理論的基本思想是“原子不具有宏觀物體的一般性質（關洪，2000）。”如此原子是物質更為抽象的部分（范岱年譯，1996）。更甚者，德謨克利特利用原子來解釋人的靈魂，他認為人的靈魂是由光滑精細的原子形成，當這些光滑精細的原子聚集起來，就形成靈魂，原子分散開來，靈魂也就消失（王德勝和朱天娥，1992）。此外，他亦引用 *atomos*（意謂不可分割）表示原子，英文中的 *atom* 即是由這一名詞而來，而德謨克利特原子理論也持續到 19 世紀道耳吞原子說的提出。由上述的討論，此模型的核心即是物質是由很小微粒所組成，並且會有各種不同形式與大小的微粒。

德謨克利特還認為原子是永恆的、不可毀滅的，它們絕不能相互轉化，因此，他利用原子來解釋物質狀態的變化，他認為固體變成液體或氣體，或相反的變化，主要是構成物質的原子排列方式不同所造成（Spangenburg & Moser, 1993）。由此可見，在古時候即可利用粒子觀點來解釋物質的三態變化。

為了解釋各種物質不同的性質，包括物理性質和化學性質，17 世紀的唯理論者致力於發展原子論，他們試圖用物質微粒大小、形狀和運動來解釋物質的特性，認為不需從元素論出發即可探討物質的性質。伽利略便認為原子的運動可決定原子特性，而其重要性更是不亞於原子大小和形狀。法國科學家伽桑狄（Pierre Gassendi, 1592~1625）則提出利用原子論和機械論哲學來解釋自然界現象，他利用原子形狀和大小來說明物質的各種性質。例如熱是由微小的圓形原子所引起；冷是帶有鋒利稜角的椎形原子產生的。他的這種觀點在以後很多年引起許多化學家的重視（趙匡華，1992）。而最早將原子觀念從臆測轉變為研究的人是培根（Francis Bacon），他利用歸納法得出原子假說，並且較物質是連續的假說更能符合實驗結果。整體而言，雖然原子論從希臘時期即已被提出，但至 17 世紀仍停留於思考的階段，無法成為理論或學說。

2. 四元素論

(1) 恩培多克勒理論

西元前五世紀，恩培多克勒（Empedocles of Agrigentum, B. C. 490~435）提出宇宙只存在四種元素，分別是火、氣、水、土，並且它們都由恆定不變的細小微粒所組成，一切物體均含有這四種元素，只是份量有所差異而已。此外，恩培多克勒為解釋物體運動的起因，更進一步假設「力」控制了微粒行為，即愛（love）與憎（hate），元素在愛力的作用下互相結合，在憎力的作用下而分離。由於這四種元素以不同方式

結合，形成所有類型的物質，這也是科學史上首次用明確且客觀的方式來說明物質相互作用的原因。

(2)亞里斯多德理論

亞里斯多德也認為世界是由水、土、氣、火四種原始物質，以及冷、熱、乾、濕等四種原始物性相互聯繫，相互作用構成的，這就是所謂的元素。如下描述：

基本的物性有四種。這四種物性兩兩組合，成為六對。然而，對面立無法成雙共存，因為同一物不可能既是熱的，又是冷是；或者說是既是濕的，又是乾的。由此可見基本的物性只能結合成四對：熱和乾、冷和濕、濕和熱、乾和冷，這四對物性按著與理論相符的原則賦予原初物質，這就構成了明顯可見的四種單體，即火，水，氣和土。即火是熱和乾的，水是冷和濕的，氣是濕和熱的，土是乾和冷的。(趙匡華，1992)

後世將此稱為“四原性說”。這四種組合便構成世界上一切物質實體的四種元素。但亞里斯多德所描述元素顯然不是近代化學意涵上的元素，他認為這些元素只不過是物性的組合，而這些物性的性質是可變化的，即可以使一種元素完全改變成另一種元素，這種觀念也為未來煉金術士提供了理論基礎。

古代關於物質組成的觀點，其共同特徵是：古代的哲學家們未能精密地探討自然界某一細小部分和具體事物，而是將各種具體現象和事物採取較為籠統的解釋，因此常會變成概括性的推測。而且，此時期哲學家的論點是依據邏輯思辨，缺乏實驗結果做為理論的基礎，這與現代科學家處理問題的方式是有很大的差異。

3.道耳吞的原子說

道耳吞（John Dalton, 1766-1844）原子說對於化學發展特別地重要，因為在原子說未發表前，化學發展僅是一堆觀察所得到的事實或記錄而已，無法作連貫的解釋。1803年，道耳吞在一場英國皇家學會的原子論演講中，闡述他的原子論思想，他提出的原子觀如下：

- (1)物質是由原子所組成，原子不可再分割。
- (2)相同元素的原子，其質量和性質皆相同；不同元素的原子，其質量和性質皆不相同。
- (3)不同元素化合時，原子以簡單整數比結合成化合物。
- (4)化學變化只是原子的重新排列，原子的數目、質量不會改變。

19 世紀中期，許多實驗證據均指出道耳吞原子說的缺陷，如比熱（specific heats）的研究已無法藉由道耳吞原子說來解釋（Justi & Gilbert, 2000）。

雖然“原子”的觀點在古希臘時代即已提出，但現代原子理論卻是從 1897 年 J. J. 湯木生發現電子開始。1900 年，Jean Perrin 利用布朗運動去證明原子的存在（Bigg, 2008）。根據庫恩科學革命的觀點，基本上，二十世紀初期原子科學理論可說是處於危機（crisis）的狀態，原先常態科學時期的原子理論與觀點已經無法解決許多實驗所觀察的現象，對於科學家而言，此階段有許多問題亟需解決，如原子光譜問題，電磁輻射連續光譜⁴無法解釋原子光譜的不連續性，以及如何解釋原子放射性或元素的週期性等。面對這些問題，許多科學家即根據自己的實驗結果與觀點，從不同的角度提出不同的原子模型，如，1904 年，開爾文提出電原子模型⁵，1902 年勒納德提出動力子（dynamids）模型⁶。

4. 湯木生（J. J. Thomson, 1856~1940）原子模型

(1) 湯木生陰極射線實驗－電子的發現

1858 年，普呂克爾（J. Plucker, 1801-1868）觀察放電管中的放電現象發現陰極射線。起初，湯木生對於電（electricity）本質觀點是接受馬克士威的電動力學，電是乙太處於緊張的狀態，陰極射線放電則是緊張狀態的釋放，因此會有能量釋放出來（Niaz, 1998）。如此即觸發對陰極射線本質的不同爭議觀點，即是陰極射線是粒子或是乙太中的波。早在 1881 年，湯木生似乎了解到陰極射線是帶電粒子（Niaz, 2009）。1897 年，湯木生透過陰極射線管研究一系列氣體在低壓時的放電現象，發現一種帶負電荷的粒子（corpuscle），並利用不同陰極材質與不同氣體測定此種帶電粒子的電荷與質量比（荷質比 e/m ），實驗結果測得的荷質比在實驗誤差範圍內皆相同，如此說明在各種不同條件下所測得的粒子流都是相同的帶電粒子，與電極材料和氣體成分無關。1897 年 4 月 29 日，湯木生將研究結果發表於皇家組織（Royal Institution）的晚間演講，隨後他將結果發表於 1897 年 10 月的《哲學雜誌》（*Philosophical Magazine*）期刊（Niaz, 1998），節錄部分結果如下：

⁴ 依據馬克士威（Maxwell）方程式的觀點，加速運動的電荷將會以連續的方式釋放出輻射能量。

⁵ 1901 年，開爾文提出“電原子”模型，他認為物質原子是由帶正電的均勻球體所組成，整個原子內負電是依分立電子的形式分布（馬文蔚、唐玄之和周永平，1995）。

⁶ 勒納德（P. Lenard, 1862-1947）認為金屬中的原子並不是相互緊靠著的剛性物質球，其中應有大量的空隙，剛性物質大約只占空間的 10^{-9} ，並且他認為原子內部的每個電子與相對應的每個正電荷組成一個中性的“剛性配偶體”，稱為“動力子”（李艷平和申先甲，2003）。

As the cathode rays carry a charge of negative electricity, are deflected by an electrostatic force as if they were negatively electrified, and are acted on by a magnetic force in just the way in which this force would act on a negatively electrified body moving along the path of these rays, I can see no escape from the conclusion that they are charges of negative electricity carried by particles of matter. The question next arises, What are these particles? are they atoms, or molecules, or matter in a still finer state of subdivision? To throw some light on this point, I have made a series of measurements of the ratio of the mass of these particles to the charge carried by it. (Thomson, 1897, p. 302)

The value of m/e is independent of the nature of the gas, and its value 10^{-7} is very small compared with the value 10^{-4} , which is the smallest value of this quantity previously known, and which is the value for the hydrogen ion in electrolysis. (Thomson, 1897, p. 310)

(2) 湯木生原子模型的建立

1897 年，湯木生除利用陰極射線管研究帶電粒子的荷質比外，也根據電子荷質比的實驗，測得電子質量 $m_e \approx \frac{1}{1836} m_H$ (m_H 為氫原子質量)。並且估計出原子內的電子數目 n 將為原子量 A 的 1000 倍。

他也提出關於原子的假設與模型，如下：

Hypothesis: If we regard the chemical atom as an aggregation of a number of primordial atoms, the problem of finding the configurations of stable equilibrium for a number of equal particles acting on each other ... can be explained by two models:

Model A: Law of force, for example, like that of Boscovitch, where the force between them is a repulsion when they are separated by less than a certain critical distance, and an attraction when they are separated by a greater distance.

Model B: The simpler model of a number of mutually repellent particles held together by a central force. (Thomson, 1897, p. 313)

並且，他提出初始的原子模型，即是物質可以再區分為更小的粒子，並且從不同材質的陰極射線管所獲得的帶電荷粒子，其結果均相同，換言之，原子內含有一種更小的帶電荷粒子。

Thus on this view we have in the cathode rays matter in a new state, a state in which the subdivision of matter is carried very much further than in the ordinary gaseous state: a state in which all matter – that is, matter derived from different sources such as hydrogen, oxygen, etc. – is of one and the same kind; this being the substance from which all the chemical elements are built up. (Thomson, 1897, p. 312)

1904 年，湯木生提出原子是一個帶正電球體，正電荷像流體一樣均勻充滿在球體

內，而負電荷粒子則鑲嵌在球體的某些固定的位置上，帶負電荷粒子會受到正電荷的吸引，粒子之間也會有相互排斥的現象，即是現今所謂的葡萄乾布丁（plum pudding）模型或葡萄乾蛋糕（raisin cake）模型。

The view that the atoms of the elements consist of a number of negatively electrified corpuscles enclosed in a sphere of uniform positive electrification (Thomson, 1904, p. 237)

1910 年，巴克拉（Charles G. Barkla）透過 X 射線散射實驗結果⁷，提供原子中存有電子的證明（高道旭、葉秋塗和高進登，1972）。1910 年，Crowther 的研究更是支持湯木生的假設。

(3) 湯木生原子模型的證實與應用

湯木生為了解釋原子模型內帶負電荷粒子的排列情形，因為帶負電荷粒子會有相互排斥的現象，湯木生假設原子內帶負電荷粒子將會以封閉和穩定軌道的形式來排列，並假定原子的性質是依電子數目來決定，取決於電子在它們同心殼層軌道上的分布情形。湯木生原子模型內自由移動的電子，為要維持穩定平衡狀態，它們會自動地移動於一個圓球面，若一個電子往外移動，離開圓球面，因為在它所處的球面內部有正電荷，它將會感覺到有一股力量將它往球心拉引，所以，電子僅會在同一個圓球面上移動。另外，電子與電子之間的斥力也提供使電子能穩定地在球面上運動。

湯木生並利用邁厄（A. Mayer, 1836-1897）所提出的浮置磁體（floating magnets）平衡模型⁸，把邁厄的磁作用換成靜電作用，並假定一個球面上粒子數目不能超過某一限度，若是超過則需要有 2 個以上的環來排列電子，舉例來說，如果有 8 個粒子，內層會有 2 個，外層則會有 6 個，如此類推至多環系統。如此，粒子數量也將會呈現週期性的增加與變化，進而可以解釋門得列夫週期表中元素的物理和化學性質，以及元素週期性（Thomson, 1897；高道旭、葉秋塗和高進登，1972）。但湯木生在電子數量的預測方面則有較大的偏誤，舉例來說，他認為氧原子有 65 個電子（Hettema, 1995）。

...that of the motion of a ring of n negatively electrified particles placed inside a uniformly electrified sphere. Suppose when in equilibrium the n corpuscles are arranged at equal angular intervals round the circumference of a circle of radius a , each

⁷ 1910 年，巴克拉的 X 散射實驗所得的結果為 $n \approx 2A$ ，而從 β 散射實驗，得到 $n \approx 0.2A$ （郭奕玲和沈慧君，1996）。

⁸ 1878 年，美國物理學家邁厄利用一些小磁針穿過軟木塞，使其飄浮於容器的水面上，在容器上方懸有一塊大磁鐵，在大磁鐵的引力下，互相排斥的小磁針會形成一些有規則的穩定分布（關洪，2000）。

corpuscle carrying a charge e of negative electricity. (Thomson, 1904, p. 237)

...the properties conferred on the atom by this ring structure are analogous in many respects to those possessed by the atoms of the chemical elements, and that in particular the properties of the atom will depend upon its atomic weight in a way very analogous to that expressed by the periodic law. (Thomson, 1904, p. 238)

此外，湯木生亦認為帶負電荷粒子會受到正電荷作用在其平衡位置作簡諧運動，依古典理論的預測結果，原子將可以發射或吸收特定頻率的電磁輻射，故此原子模型可以說明與解釋電磁輻射的特性。但湯木生將模型計算結果與幾個重要的譜線做比對，並沒有得到顯著的成功。

湯木生原子模型意義在於證實原子內部是有結構存在，並打破原子內部帶正、負電荷物體相互對稱的概念。此外，湯木生原子模型亦能滿足氣體動力論的要求，而且也能解釋熱效應與光電效應中的電磁輻射。1891 年，斯托尼 (G. J. Stoney, 1826-1911) 把電的基本單位稱為“電子” (Wayman, 1998)，洛倫茲即採用斯托尼的“電子”來表示發現的帶負電粒子。1897 年，塞曼提出塞曼效應 (Zeeman effect)，他應用測量譜線分裂的頻率間隔而測得電子荷質比，並計算荷質比 (e/m) 約為 10^7 (Zeeman, 1897)，其結果與湯木生陰極射線管所測得的荷質比數量級相同，也進一步證實湯木生所發現的粒子是帶負電荷 (Arabatzi, 1996)。

1906 年，湯木生即依據所提出的原子模型建立散射理論，並且解釋 X 射線散射、氣體對於光的色散，以及 β 射線的吸收等現象 (郭奕玲、林木欣和沈慧君，1996)。

(4) 湯木生原子模型的失效

1909 年，拉塞福學生蓋革 (H. Geiger) 與馬斯登 (E. Marsden) 在測量金屬箔片被散射 α 粒子於不同角度的數量，發現大部分 α 粒子在穿越時直線穿過或幾乎沒有偏差，即大部分 α 粒子以直線路徑穿過金屬箔片，僅有少數 α 粒子產生的偏差較大，且僅有非常少的 α 粒子 (1/8000) 偏向會大於 90° (Geiger & Marsden, 1909; 1913)。很明顯地，湯木生原子模型已無法產生圓滿的解釋此大角度散射現象，必須重新建立新的原子模型。

5. 長岡半太郎的土星環模型 (Nagaoka's Saturnian Model)

1904 年，日本東京帝國大學的長岡半太郎 (Hantaro Nagaoka, 1865-1950) 發表《利用粒子系統動力學來說明線光譜與帶光譜和放射性現象》(Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of Radioactivity) 論

文，提出原子類似行星模型（quasi-planetary model of atom）的觀點，並且，他將原子類比於馬克士威（Maxwell）的靜電力和土星系統（Saturnian system），提出原子內有中心（核的觀念）、原子內部存在著相互作用的庫侖力，以及電子繞著中心旋轉的想法。他認為等質量的電子均勻分佈於環型區域上，而環中央有一個大質量的正電球。他提及：

The system, which I am going to discuss, consists of a large number of particles of equal mass arranged in a circle at equal angular intervals and repelling each other with forces inversely proportional to the square of distance; at the centre of the circle, place a particle of large mass attracting the other particles according to the same law of force. If these repelling particles be revolving with nearly the same velocity about the attracting centre, the system will generally remain stable, for small disturbances provided the attracting force be sufficiently great The present case will evidently be approximately realized if we replace these satellites by negative electrons and the attracting centre by a positively charged particle” (Nagaoka, 1904, p. 445-446)

長岡建議原子結構猶如類似太陽系的土星，因此被稱為土星模型（Saturnian model），如圖 2-4-1 所示。長岡曾試圖用這些電子形成的振動來解釋觀察的光譜，但未能得到滿意的結果。在原子穩定性方面，由於麥克斯威認為粒子之間是相互吸引，但電子會因庫侖斥力相互排斥，如此將會造成原子的不穩定，電子將朝著環圍繞著正電荷運動並逐漸失去能量，所以原子是不穩定的，最終會落入中間區域。由於其模型無法獲得當時科學家的認同，故亦未有進一步的發展。

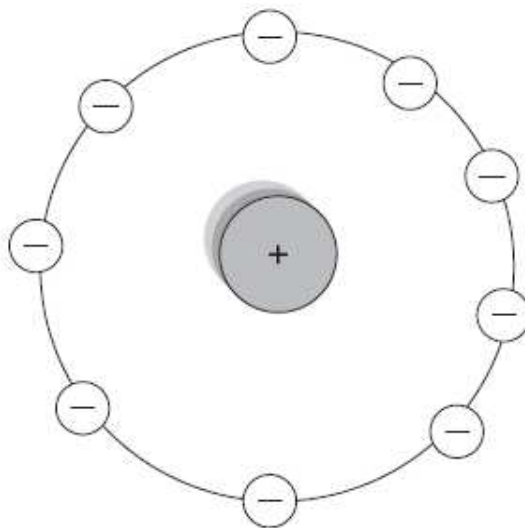


圖 2-4-1. 長岡半太郎的土星環模型（Hentschel, 2009, p. 22）

4. 拉塞福的原子模型

(1) 蓋革（Geiger）和馬斯登（Marsden） α 粒子散射實驗

1909 年，蓋革（Geiger）和馬斯登（Marsden）利用 α 粒子進行金屬箔片散射實驗，觀察到大部分 α 粒子會以直線方式通過金屬箔片，僅有少部分 α 粒子的偏向角很大，約 1/8000 的 α 粒子偏向角會大於 90° ，有些幾乎達到 180° ，即是與入射時相反的方向進行散射（Geiger & Marsden, 1909; 1913）。

In the paper of Geiger and Marsden on the diffuse reflexion of α particles falling on various substances it was shown that about 1/8000 of the α particles from radium C falling on a thick plate of platinum are scattered back in the direction of the incidence. This fraction is deduced on the assumption that the α particles are uniformly scattered in all directions, the observation being made for a deflexion of about 90° . The form of experiment is not very suited for accurate calculation, but from the data available it can be shown that the scattering observed is about that to be expected on the theory if the atom of platinum has a central charge of about 100 e. (Rutherford, 1911, p. 680)

(2) α 粒子散射實驗之解釋

拉塞福為解釋 α 粒子大角度散射的情形，他認為原子包含帶正電且體積非常小的原子核，原子所有質量幾乎集中於原子核，原子核外即是圍繞的電子，使原子呈電中性。此外，他亦認為 α 粒子和原子之間有靜電力存在，此力大小與方向和 α 粒子接近原子中心的程度有關，偏向效應則可歸因於 α 粒子與原子之間的斥力，以及 α 粒子與原子之間的吸引力等作用力之和。因此，如果大量粒子（ m ）通過原子（假設很小），則偏向的數量為 $m^2\theta$ ， θ 是平均偏向角。若是依據湯木生的模型計算，很明顯地，產生大角度的散射比率相較於湯木生模型所計算的結果不符合。

The theory of Sir J. J. Thomson is based on the assumption that the scattering due to a single atomic encounter is small, and the particular structure assumed for the atom does not admit of a very large deflexion of diameter of the sphere of positive electricity is minute compared with the diameter of the sphere of influence of the atom. (Rutherford, 1911, p. 670)

[I]t is assumed that the alpha particles scattered through a large angle suffer only one large deflexion. If, for example, the probability of a single deflexion Φ in passing through a thickness t is 1/1000, the probability of two successive deflexions each of value Φ is $1/10^6$, and is negligibly small. (Rutherford, 1911, p. 675)

拉塞福依據蓋革（Geiger）和馬斯登（Marsden）的實驗結果，他於 1911 年 3 月 7 日的 Manchester Literary and Philosophical Society 會議中首先提出有核模型的假設，並且同年 5 月發表於《哲學雜誌》（*Philosophical Magazine*）期刊（Niaz, 2009），論文題目為《物質對 α 和 β 粒子散射與原子結構》（*The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*），並利用 1904 年長岡的土星模型來計算，計算所

得的結果與實驗大致相符。

It is of interest to note that Nagaoka has mathematically considered the properties of the Saturnian atom which he supposed to consist of a central attracting mass surrounded by rings of rotating electrons. He showed that such a system was stable if the attracting force was large. From the point of view considered in his paper, the chance of large deflexion would practically be unaltered, whether the atom is considered to be disk or a sphere. (Rutherford, 1911, p. 688)

於是，他提出原子可能的結構，即原子包含一個位於中心的正電荷（ Ne ）（半徑小於 10^{-12}cm ），而其周圍均勻分布距離原子核半徑為 R （半徑 10^{-8}cm ）的負電荷電子（ Ne ）。

....consider an atom containing a positive charge Ne at its centre, and surrounded by a distribution of negative electricity Ne uniformly distributed within a sphere of radius R . (Rutherford, 1911, p. 671)

而爲了解釋 α 粒子穿越原子時會有反彈散射的現象，拉塞福認爲原子中心存在原子核， α 粒子若是接近原子核的時候，將會承受極大的斥力，且由於入射 α 粒子質量甚小於原子核質量，故發生碰撞時，將會有反彈散射的現象。此外，他認爲原子核的直徑小於 10^{-12}cm ，並假設 α 粒子擁有下列性質：（高道旭、葉秋塗和高進登譯，1972；張延惠、林聖路和王傳奎，2009）

- A. 由於電子質量遠小於原子核的質量，且電子質量相較於 α 粒子甚小，故影響 α 粒子路徑的作用，只有 α 粒子與核之間的庫侖力，由於斥力，所以 α 粒子穿越原子軌道時，是以原子核爲焦點的雙曲線。
- B. 決定 α 粒子路徑的偏折，可利用牛頓第二運動定律。
- C. 將 α 粒子及原子核視爲一個點（point）。
- D. 由於原子內非常地空曠， α 粒子與原子核相距很近的時候才會發生顯著偏轉。
- E. 由於入射 α 粒子質量甚小於原子核質量，所以原子核在散射過程中相對來說是靜止不動的。

拉塞福認爲當 α 粒子接近原子時，其所受的力（ X ）與電位（ V ）爲

$$X=Ne\left(\frac{1}{r^2}-\frac{r}{R^3}\right)$$

$$V =Ne\left(\frac{1}{r}-\frac{3}{2R}-\frac{r^2}{2R^3}\right)$$

設 α 粒子質量為 (m)，速度為 (u)，電荷為 (E)，其直接射向中心的原子核，則可以推論出其之間的距離 (b) 如下：

$$\frac{1}{2}mu^2 = NeE\left(\frac{1}{b} - \frac{3}{2R} - \frac{b^2}{2R^3}\right)$$

若假設中心核電荷為 100e， α 粒子速度為 2.09×10^{12} cm/s，則計算的 b 值為 3.4×10^{-12} cm，因為 R 假設為 10^{-8} cm，故 b 值相較於 R 值顯得非常小，如此可說明 α 粒子非常接近中心的電荷，而大角度的散射是因為 α 粒子與原子核近距離撞擊的結果。此外，因為 α 粒子行進路徑由於受到排斥力（與距離平方成反比）的影響，所以會以雙曲線的方式進行，如下圖 2-4-2 所示， α 粒子沿著 P 的方向進入原子，離開原子時沿著 P' 方向運動。經過推導，即可得到落在角度 ϕ 單位面積上的 α 粒子數為：

$$y = \frac{ntb^2 \cdot Q \cdot \csc^4(\phi/2)}{16r^2}$$

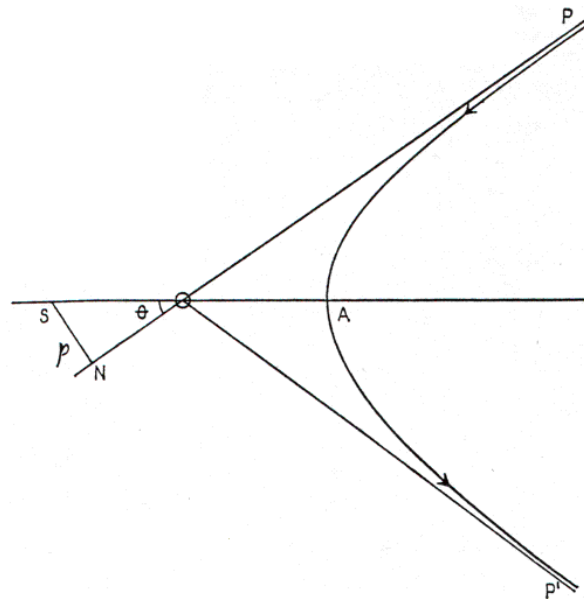


圖 2-4-2. α 粒子行進的路徑（雙曲線）（Rutherford, 1911, p. 672）

(3) 拉塞福原子模型之建立

1914 年，拉塞福發表《原子的結構》（*The structure of the atom*），並通過實驗結果分析和計算，結果顯示，因為電子遠較 α 粒子為輕，故只有帶正電部分可以使 α 粒子偏折，如果正電荷是集中在一個半徑小於 10^{-12} cm 的球體內，則 α 粒子會產生如 180° 的偏向，而 α 粒子會產生 180° 的偏向主要是接近電荷中心，並且落在角度 ϕ 單位面積的 α 粒子數會正比於：（Geiger & Marsden, 1913; Rutherford, 1914）

- A. $\text{cosec}^4(\frac{\phi}{2})$ 或 $\frac{1}{\phi^4}$ (假如 ϕ 很小的話)。
- B. 散射物質每單位體積的原子數目。
- C. 散射物質的厚度 (t)。
- D. 中心核電荷 (Ne) 的平方。
- E. 反比於 $(mu^2)^2$ ，而 m 是 α 粒子的質量， u 是速度。

他在本篇論文中也探討原子核的組成與大小範圍，結果他計算金原子核的大小應該小於 $3 \times 10^{-12} \text{cm}$ ，而氫和氦的原子核會小於 $1.7 \times 10^{-13} \text{cm}$ 。如此也可驗證原先所提出原子核的概念。

(4) 拉塞福實驗的驗證

拉塞福爲了驗證其理論，分別做了下列實驗：散射隨角度的變化、散射隨物質厚度的變化、散射隨原子量 A 的變化，以及散射與射線速度的關係。以散射隨原子量 A 的變化實驗爲例， α 粒子以任何角度穿過金屬箔片時，測得 α 粒子數目將會正比於 $n \cdot A^2 t$ 。若假設中心核電荷正比於原子質量 A ， α 粒子散射反彈的數量將會正比於 $z/A^{3/2}$ ，並且此數值將會是一個常數。此外，拉塞福亦利用蓋革和馬斯登測量不同金屬的 α 粒子散射數量， z 表示散射粒子的相對數量，所得結果如表 2-4-1 所示，很明顯地，實驗結果與理論相符合。

表 2-4-1. 相同情況下，不同金屬的 α 粒子散射數量 (Rutherford, 1911, p. 681)

Metal	Atomic weight (A)	z	$z/A^{3/2}$
Lead	207	62	208
Gold	197	67	242
Platinum	195	63	232
Tin	119	34	226
Silver	108	27	241
Copper	64	14.5	225
Iron	56	10.2	250
Aluminium	27	3.4	243
Average			233

拉塞福依據上述實驗結果，他提出原子中心是一個質點，而 α 和 β 粒子大角度散射主要是粒子通過強的中心領域，若是以湯木生所提出正、負電荷均勻分布於球

的原子模型來解釋 α 粒子散射的情形，明顯無法產生大角度散射現象，除非原子核非常地小。此外，因為 α 粒子以大角度散射的話，其結果將會正比於 $(NeE)^2$ ， Ne 是中心的核電荷，而 E 是偏向粒子的電荷。然而，若電荷是均勻分布於單一個球內，結果將會正比於 Ne^2 ，而不是 N^2e^2 （Rutherford, 1911, p. 687），由此可看出必須拋棄湯木生的原子模型。

....it has been supposed that the atom consists of a central charge supposed concentrated at a point, and that the large single deflexions of the α and β particles are mainly due to their passage through the strong central field. The effect of the equal and opposite compensation charge supposed distributed uniformly throughout a sphere has been neglected. (Rutherford, 1911, p. 686)

(5) 拉塞福原子模型之限制

拉塞福原子理論最重要意義即是提出“有核原子模型”，並將原子結構區分為原子核和核外電子兩個部分，但其所提出原子結構模型與和古典物理學理論相互違背。首先，依據古典電磁理論，電子繞原子核運動，電子將會發射電磁波，電子能量也將隨之減少，所以電子繞核旋轉的頻率將會改變，並且伴隨著發射出連續性光譜，很明顯地，此結果與原子的線光譜是互相矛盾的。其次，由於電子能量減少，電子繞核運動的半徑將會逐漸地減小，並墜入原子核內，這也不符合原子是穩定的狀態。由於拉塞福推導原子模型時，僅確認正電荷集中於原子的中心，並且沒有作過多的推論，而原子穩定性的問題，他在 1911 年論文中即提及“在現階段，不必考量原子的穩定性....：

The question of the stability of the atom proposed need not be considered at this stage, for this will obviously depend upon the minute structure of the atom, and on the motion of the constituent charged parts. (Rutherford, 1911, p. 671)

因此，雖然 α 粒子散射實驗證實了原子核的存在，對於測量原子核大小提供了一種估算方法，但此模型仍有很大的缺陷，原子不穩定性更是拉塞福原子模型最大的缺點（Hettema, 1995）。

5. 波耳的原子模型

(1) 拉塞福原子模型的問題

猶如前述，拉塞福有核原子模型與 α 粒子散射實驗所觀察到的結果相符合，但是電子如何在原子中排列呢？此外，根據古典力學和電磁理論，一個加速運動的電荷，必會放射出電磁波，因此電子繞原子核作圓周運動，它必定要不斷地發射電磁波，而

且能量減少時，電子運動半徑也必須減少。最後，電子必將作螺旋式的運動而墜落於原子核，此時間約為 10^{-8} 秒。同時，根據此模型，由於軌道不斷地縮小，發射電磁波頻率將不斷地增大，所以原子發射的光譜應為連續光譜，但實驗所觀察的原子光譜卻是不連續光譜，兩者之間明顯產生矛盾的現象。

In an attempt to explain some of the properties of matter on the basis of this atom-model we meet, however, with difficulties of a serious nature arising from the apparent instability of the system of electrons: difficulties purposely avoided in atom-models previously considered, for instance, in the one proposed by Sir J. J. Thomson. According to the theory of the latter the atom consists of a sphere of uniform positive electrification, inside which the electrons move in circular orbits. (Bohr, 1913, p. 2)

(2) 波耳原子模型的建立

1913 年，波耳 (N. Bohr, 1885-1962) 為解決原子穩定性問題，以拉塞福原子模型理論為基礎，引進普朗克的量子理論⁹和愛因斯坦的光子概念，發表《論原子和分子的構造》(*On the Constitution of Atoms and Molecules*)，文中認為原子模型類似於行星或太陽系統，即原子組成是由帶正電的原子核，擁有原子大部分質量，以及核外帶負電的電子，且原子核非常地小。由此可看出原子這個極小體系和太陽系之間的確存在著許多相似之處。

According to our present conceptions, an atom of an element is built up of a nucleus that has a positive electrical charge and is the seat of by far the greatest part of the atomic mass, together with a number of electrons, all having the same negative charge and mass, which move at distances from the nucleus that are very great compared to the dimensions of the nucleus or of the electrons themselves. In this picture we at once see a striking resemblance to a planetary system, such as we have in our own solar system. (Bohr, 1923, p. 2)

波耳為了解決電子在不同軌道的能量問題，他提出兩個假設，分別是：(Bohr, 1913; 1923)

假設 1：原子處於穩定的狀態，電子能夠穩定地存在於特定的能階，稱為穩定態 (*stationary states*)，粒子的運動遵循古典力學定律，但此狀態獨特的穩定性無法用力學來解釋。系統運動的改變必須包括從某個穩定態躍遷另一個穩定態。

⁹ 1901 年，普朗克提出量子論，主張輻射不是連續，而是依個別的單元來處理，而輻射出來的能量，與其頻率成正比。

假設 2：相較於古典電磁學理論相衝突的地方是處於穩定態的原子不會發出輻射，只有兩個穩定態之間的躍遷過程才會伴隨著電磁輻射的產生，即是電子從高能階（ W_i ）跳到低能階（ W_f ），才會有電磁輻射發生， $W_i - W_f = h\nu$ ，而 h 為普朗克常數。

波耳更注意到里茲（W. Ritz, 1878-1909）1908 年所發表的“組合原則”（combination principle），即是某元素光譜的每條線頻率可以採用下列方程式來表示：

$$\nu = T'' - T'$$

同時，斯塔克（Stark）效應對波耳的原子理論更是產生直接影響。1914 年，波耳對斯塔克效應作了理論分析，他把斯塔克效應看成是電子在軌道躍遷所引起的現象，波耳將此光譜與能階的想法聯結在一起。即光譜的發射是因為電子在穩定態之間做躍遷，並且釋放能量等於普朗克常數（ h ）乘以光譜的頻率。

對於原子而言，波耳計算電子沿著橢圓穩定態軌道繞旋轉時沒有能量輻射，旋轉頻率為 ω ，軌道主軸為 $2a$ ，將電子移到無窮遠，則提供能量 W 。

$$\omega = \frac{\sqrt{2}W^{3/2}}{\pi e E m^{1/2}} \quad 2a = \frac{eE}{W}$$

當電子在距離原子核極遠的地方，相互作用後進入穩定態的軌道，並假設發射出的頻率等於電子沿著此軌道的旋轉頻率 $\omega/2$ ，故

$$W = \tau h \frac{\omega}{2}$$

原子的能階如下¹⁰：

$$W\tau = \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{h^2 \tau^2} \quad \omega = \frac{4\pi^2 m e^2 E^2}{\tau^2 h^3} \quad 2a = \frac{\tau^2 h^2}{2\pi^2 m e E}$$

因為氫原子 $E = e$ ，所以可改為

$$W\tau = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2 \tau^2}$$

當從某一狀態躍遷到另一狀態，其發射的能量為：

¹⁰ 波耳 1913 年所發表的論文，電子所在能階以 τ 來表示，但在 1923 年的論文，則已修正為 n 。

$$W_{\tau_2} - W_{\tau_1} = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right)$$

$$W_{\tau_2} - W_{\tau_1} = h\nu$$

$$\nu = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right) \quad (11)$$

其中 τ_1 和 τ_2 只能是正整數， m 、 e 分別為電子的質量和電荷， h 為普朗克常數（Planck's constant）。

(3) 波耳原子模型之證實與應用

爲了驗證理論，波耳利用所推論的公式來解釋氫原子光譜，並得到許多光譜研究的證實。即是假如 $\tau_2 = 2$ ， τ_1 可以改變，可以得到巴耳末系列的光譜¹²，說明波耳理論是正確的。假如 $\tau_2 = 1$ 和 $\tau_2 = 4, 5, \dots$ ，我們將可以在紫外光區外或紅外光區觀察到預測的光譜。¹³

We see that this expression accounts for the law connecting lines in the spectrum of hydrogen. If we put $\tau_2 = 2$ and let τ_1 vary, we get the ordinary Balmer series. If we put $\tau_2 = 3$, we get the series in the ultra-red observed by Paschen* and previously suspected by Ritz. If we put $\tau_2 = 1$ and $\tau_2 = 4, 5, \dots$, we get series respectively in the extreme ultra-violet and the extreme ultra-red, which are not observed, but the existence of which may be expected. (Bohr, 1913, p. 9)

根據上述的關係式，氫原子穩定態能階可以表示爲 hK/n^2 ，而圖 2-4-3 是氫原子

¹¹ 同上，氫原子的頻率可表示爲： $\nu = K \left(\frac{1}{n''^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$

¹² 1885年，巴耳末（J. J. Balmer, 1825-1898）分析原子光譜，發現譜線的波長有下列簡單的關係，里德伯（Johannes Rydberg, 1854-1919）則提出光譜的方程式，氫的所有譜線可以用此方程式來表示，其中R即稱里德伯常數，如下所示：

$$\lambda = b \frac{m^2}{m^2 - n^2} \quad b = 3645.6 \times 10^{-7} \text{ mm}, m, n \text{ 爲正整數} \quad (\text{巴耳末公式})$$

$$n = n_0 - \frac{N_0}{(m + \mu)^2} \quad n \text{ 表示波數}, m \text{ 是整數}, N_0 = 109721.6 \quad (\text{里德伯公式})$$

¹³ 1908年，帕申（F. Paschen）在紅外光區發現一系列的光譜。1914年，來曼（Luman）則在紫外光區發現一系列的光譜。

的光譜與軌道的關係圖，爲了簡化處於穩定態的電子軌道，所以以圓形來表示¹⁴，這些箭號表示H_α和H_β線的躍遷過程，此兩條譜線的頻率可從巴耳末公式中的 $n''=2$ 和 $n'=3, 4$ 來求出。此圖也表示 1914 年來曼 (Lyman) 所發現的紫外光譜前三條相對應的躍遷過程，而且此三條線的頻率可以從巴耳末的公式中，假設 $n''=1$ 來求得。而這些預測的頻率與實驗所發現的其他系列光譜亦都能吻合。

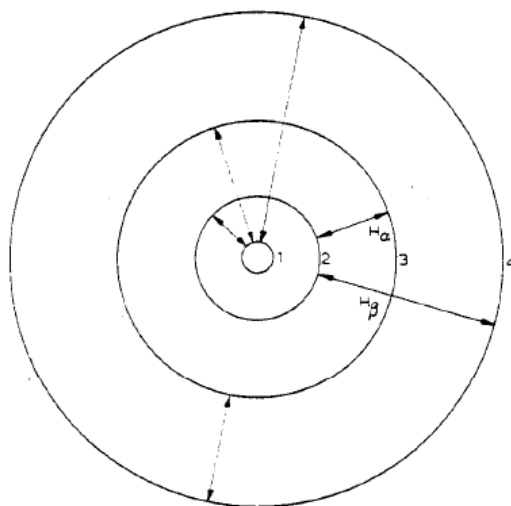


圖2-4-3. 波耳的氫原子光譜與軌道關係圖 (Bohr, 1923, p. 5)

此外，若是將 $e=4.7 \times 10^{-10}$ ， $e/m=5.31 \times 10^{17}$ ， $h=6.5 \times 10^{-27}$ 分別代入，則巴耳末常數 $\frac{2\pi^2 me^4}{h^3} = 3.1 \times 10^{15}$ ，其與實驗值 3.290×10^{15} 非常地接近。很明顯地，實驗結果與理論計算相符合，而此結果亦說明了氫原子光譜與氫原子模型之間的關係。

波耳發表原子理論後，許多物理學家均難以接受此理論，甚至遭到許多物理學家的質疑，因爲波耳的原子理論仍無法解釋爲什麼處於基態的電子不會發射出電磁輻射。1914 年，弗蘭克 (J. Frenck) 和赫茲 (C. Hertz) 利用電子撞擊汞原子使汞原子產生激發，擁有 4.9 伏特的電子會使低壓的汞蒸氣發射出一條明線的光譜，即是當電位差達到某一臨界值時，氣體中的原子將會被電子從某一個穩定狀態激發，而躍遷到另一個穩定狀態，而此臨界電位即是兩個穩定狀態能量的差，而汞原子吸收電子能量的不連續性也說明原子能量的量子化或能階理論 (Perovic, 2006)，而且也對波耳的原子理論給予直接且不靠光譜分析的證明 (吳大猶，1977)。

然而，利用波耳理論來解釋氫原子光譜的巴耳末和帕申系列光譜爲波耳的主要貢獻，受到Niaz (2009) 的質疑，他引用Lakatos的觀點，並認爲波耳理論主要是解決拉塞福原子模型中，原子穩定性的問題，而且波耳在發表其文章前也未聽到這些方程式。

¹⁴ 若是依據古典力學的觀念，電子運動軌道將近似於以核爲焦點的週期性橢圓軌道 (Bohr, 1923)。

Bohr's problem was not to explain Balmer's and Paschen's series, but to explain the paradoxical stability of the Rutherford atom. Moreover, Bohr had not even heard of these formulae before he wrote the first version of his paper. (Lakatos, 1970, p. 147; 引自Niaz, 2009)

但從先前波耳於 1913 年所發表的論文中，波耳確實提及利用其公式可推論出巴耳末系列的光譜，甚至是受到里茲（Ritz）懷疑存在的帕申系。很明顯地，Lakatos 的觀點須做部分的修正。當然，波耳理論主要是解決拉塞福所面臨的問題，惟仍可推論或解釋氫原子光譜巴耳末和帕申系列光譜。

(4) 波耳原子模型的修正

波耳亦將理論應用於氫原子以外的單電子離子（類氫離子），如氦離子，根據拉塞福的理論，氦原子核（2 個質子）是氫原子核（1 個質子）的 2 倍（即是 $E=2e$ ），所以波耳認為氦離子核外的電子將會受到 4 倍於氫原子的力量所吸引。

故原有公式 $W\tau = \frac{2\pi^2 me^2 E^2}{h^2 \tau^2}$ 可改為

$$W\tau = \frac{8\pi^2 me^4}{h^2 \tau^2}, \quad v = \frac{8\pi^2 me^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right)^{15}$$

波耳原子理論除了可以應用至類氫離子外，亦對皮克林譜線做出解釋。1896 年，美國天文學家皮克林（E. C. Pickering）發現皮克林線系，而在皮克林線系中有一些譜線靠近巴耳曼線系，但又不完全重合，另外有一些譜線位於巴耳曼線系兩臨近譜線之間，起初皮克林線系被認為是氫原子光譜的譜線，但波耳認為皮克林線系是類氫離子 He^+ 發出的譜線。¹⁶

¹⁵ 1923 年，波耳將此公式改寫為 $v = N^2 K \left(\frac{1}{n''} - \frac{1}{n'} \right)$ (Bohr, 1923)。

¹⁶ 先前曾討論 τ_1 和 τ_2 為正整數，如此亦將與里德柏和福勒（Fowler）的氫光譜公式不相容，因為其規定 τ_1 和 τ_2 可為半整數。因此，波耳即根據拉塞福的理論，而氦原子是由帶個 $2e$ 正電荷的核和兩個電子所組成，若考量氦原子核僅束縛 1 個電子，則可以將上式改為：

$$v = \frac{8\pi^2 me^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right) = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3} \left(\frac{1}{\left(\frac{\tau_2}{2} \right)^2} - \frac{1}{\left(\frac{\tau_1}{2} \right)^2} \right)$$

如此 τ_1 和 τ_2 就只能是正整數了。

It will be observed that we in the above way do not obtain other series of lines, generally ascribed to hydrogen; for instance, the series first observed by Pickering in the spectrum of the star ζ Puppis, and the set of series recently found by Fowler by experiments with vacuum tubes containing a mixture of hydrogen and helium. We shall, however, see that, by help of the above theory, we can account naturally for these series of lines if we ascribe them to helium. (Bohr, 1913, p. 10)

隨後，英國物理學家埃萬斯（E. J. Evans）在實驗室中觀察了 He^+ 的光譜，更證實波耳理論的正確性。

1932 年，尤雷（H. C. Urey, 1893-1981）觀察到氫同位素氘的光譜，並認為此重氫的質量是氫的兩倍。此外，他也測得氘的里德伯常數（ R_D ），結果與波耳模型的預言符合，從而證實氘的存在，也證實波耳的判斷完全正確。然而，波耳理論仍僅限於單電子，無法解釋稍微複雜一些的氫原子光譜，以及更複雜原子的光譜，直到量子力學的發展才被理解。

(5) 波耳原子模型的重建和索末菲原子模型之提出

1896 年，邁克生（A. Michelson, 1852-1931）和莫立（E. Morley, 1838-1923）觀察到氫原子光譜的 H_α 線（ $n=3 \rightarrow n=2$ ）並非單一線，而是由三條緊密的線所組成。波耳認為此現象可能是電子在橢圓軌道上做慢進動（precesses）所引起，此進動在太陽系亦存在，如水星軌道的進動，並對原先圓形軌道提出部分的修正。圖 2-4-4 為波耳修正後氫原子電子運行的軌道，也表示電子軌道的相對尺寸與形狀，每個軌道以 n_k 表示， n 表示主量子數， k 是副量子數，由於 n 相同，而 k 不同則能量會有差異，故巴耳末公式中的 n' 和 n'' 所對應的氫原子光譜，將會有許多不同的躍遷過程，如此也解釋邁克生和莫立觀察到氫原子光譜的問題。

波耳也利用門得列夫（Mendeleev）的週期表來解釋有限數量的電子可以占據在相同的軌道，當軌道被填滿時，則電子必須填到下一個軌道。此外，波耳也探討週期表中不同元素的電子結構，如圖 2-4-5 所示。圖 2-4-5 中，元素前面的數字是原子序，而原子中束縛的第一個電子在氫原子正常狀態（量子符號 1_1 ）的相對應軌道上運動，其他元素的原子，則必須假設下一個電子也是束縛於 1_1 的第 1 量子軌道上，若有多餘的電子，則需要將電子束縛於 2_1 軌道，依序為 2_2 軌道，一直到原子束縛了 10 個電子，即形成第 2 軌道的結構，若有更多的電子，電子則束縛於第 3 量子軌道，直到週期表的第三週期結束，依序將電子填入不同的軌道中，如此也利用其原子模型解釋元素週期性的想法。

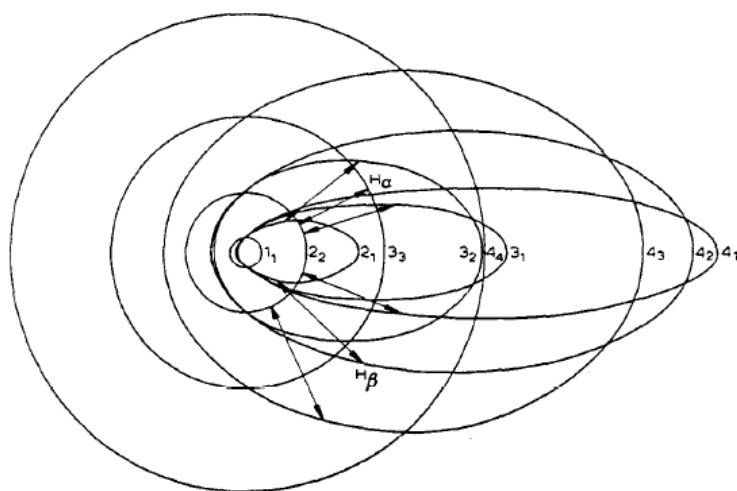


圖 2-4-4. 氫原子電子運行的軌道圖 (Bohr, 1923, p. 10)

	1 ₁	2 ₁ 2 ₂	3 ₁ 3 ₂ 3 ₃	4 ₁ 4 ₂ 4 ₃ 4 ₄	5 ₁ 5 ₂ 5 ₃ 5 ₄ 5 ₅	6 ₁ 6 ₂ 6 ₃ 6 ₄ 6 ₅ 6 ₆	7 ₁ 7 ₂
1 H	1						
2 He	2						
3 Li	2	1					
4 Be	2	2					
5 B	2	2 (1)					
-	-	-					
10 Ne	2	4 4					
11 Na	2	4 4	1				
12 Mg	2	4 4	2				
13 Al	2	4 4	2 1				
-	-	-	-				
18 A	2	4 4	4 4				
19 K	2	4 4	4 4	1			
20 Ca	2	4 4	4 4	2			
21 Sc	2	4 4	4 4 1	(2)			
22 Ti	2	4 4	4 4 2	(2)			
-	-	-	-	-			
29 Cu	2	4 4	6 6 6	1			
30 Zn	2	4 4	6 6 6	2			
31 Ga	2	4 4	6 6 6	2 1			
-	-	-	-	-			
36 Kr	2	4 4	6 6 6	4 4			
37 Rb	2	4 4	6 6 6	4 4	1		
38 Sr	2	4 4	6 6 6	4 4	2		
39 Y	2	4 4	6 6 6	4 4 1	(2)		
40 Zr	2	4 4	6 6 6	4 4 2	(2)		
-	-	-	-	-	-		
47 Ag	2	4 4	6 6 6	6 6 6	1		
48 Cd	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2		
49 In	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2 1		
-	-	-	-	-	-		
54 X	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4		
55 Cs	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	1	
56 Ba	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	2	
57 La	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4 1	(2)	
58 Ce	2	4 4	6 6 6	6 6 6 1	4 4 1	(2)	
59 Pr	2	4 4	6 6 6	6 6 6 2	4 4 1	(2)	
-	-	-	-	-	-	-	
71 Cp	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 1	(2)	
72 -	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 2	(2)	
-	-	-	-	-	-	-	
79 Au	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6		
80 Hg	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2	
81 Tl	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2 1	
-	-	-	-	-	-	-	
86 Em	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	
87 -	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	1
88 Ra	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	2
89 Ac	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 1	(2)
90 Th	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 2	(2)
-	-	-	-	-	-	-	-
118 ?	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	8 8 8 8	6 6 6	4 4

圖 2-4-5. 週期表元素的原子結構 (Bohr, 1923, p. 13)

1916 年，索末菲（A. Sommerfeld，1868-1951；引自 Seth, 2009）將波耳原子模型延伸，將圓形軌道修正為橢圓形軌道，並引入狹義相對論來修正運動物體的質量，也就是以相對論力學取代波耳所使用的牛頓力學（吳大猶，1977），原子核位於橢圓的焦點之一，如圖 2-4-4 所示。由於電子以橢圓運動時，速度會改變，故電子質量在軌道運動一直在改變。他認為質量的改變在愈為橢圓的軌道將更為顯著，當電子靠近原子核時，因其質量增大，使得電子運動路徑愈偏離原來的軌道，如圖 2-3-6 所示。此外，索末菲的理論也計算出 H_{α} 線的精細結構（fine structure），並與實驗結果相符合（Bohr, 1923）。然而，研究更發現，這樣的解釋純屬巧合， H_{α} 線的結構應該有 7 條，所以必須徹底拋棄軌道的概念才能完全解釋光譜的結構，即是採取量子力學的觀點。

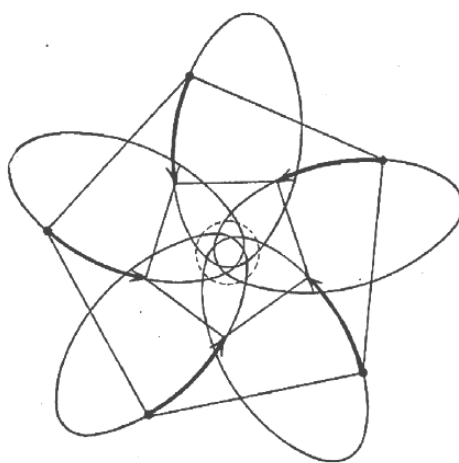


圖 2-4-6. 索末菲的原子模型（Seth, 2008, p. 343）

6. 量子理論的原子模型

1916 年，索末菲除提出電子橢圓形軌道的概念外，他也提出角量子數的觀念（Seth, 2008）。1921 年，波耳依據主量子數和角量子數，提出亞量子數（subordinate quantum number）的概念，索末菲則提出磁量子數，用來解釋電子軌道在磁場作用下所發生的變化，依此描述電子狀態有三個量子數，分別是：主量子數（ n ）、角量子數（軌域的形態）（ l ）和磁量子數（ m ）。1925 年，荷蘭科學家烏倫貝克（g. E. Uhlenbeck）和吉斯米特（S. Goudsmit）提出電子自旋的假設，即是電子除繞原子核運轉外，還繞著本身軸線自轉，即是自旋量子數，分別以 $+1/2$ 和 $-1/2$ 來表示。

1924 年，奧地利物理學家，Pauli 預言電子應該轉動，電子僅會在兩個方向之一轉動，此時加入第四個量子數，即是自旋量子數（ s ）。Pauli 給了討論電子的行為在與實驗一致的原子之內的一個規則。如果電子擁有某一組量子數，則其他電子不可能有相同的一組量子數，稱為「Pauli 的不相容原理」。

當然，此時期仍有其他理論的發展，1923年，德布洛依（de Broglie, 1892-1987）在他的博士論文《關於量子理論的研究》中，提出包括電子在內的一切物質同時具備粒子性和波動性，他認為每個能在空間自由運動的粒子，都具有一種物質波，稱「波一粒二重性」，1926年，英國物理學家G. P. 湯木生（G. P. Thomson, 1892-1975）利用電子繞射實驗，證實運動電子波動性的存在（王玉侖，2004）。1927年，海森堡（Werner Heisenberg, 1901-1976）發表《關於量子論的運動學和力學的直覺內容》論文，提出測不準原理（uncertainty principle）¹⁷，即是在量子力學系統中，一個粒子的位置和動量無法同時確定，電子圍繞在原子核外的運轉，不可能同時精確地測量到電子的位置和運動速度，海森堡的測不準原理更是直接否定了波耳的電子圓周運動模式，並對波耳原子理論提出新的挑戰，開創了電子在核外運動的新模式。

雖然波耳與索末菲的理論可以解釋許多現象，但仍存在許多缺點。1925年，薛丁格（E. Schrödinger, 1887-1961）利用數學函數來描述電子的行為，而為處理電子的波動性及不確定性，提出波動力學模型¹⁸。依此模型，電子是以無限多的可能性，依據不同的機率，在原子核子附近的空間，以不確定的方式存在，形成一團雲霧（電子雲模型），而其結果與海森堡測不準原理相互一致，即是我們無法很準確地測到電子的位置，僅能測得原子核外電子出現的機率。在波耳氫原子模型中，原子在基態時的電子運動半徑，就是波動力學模型，電子最大出現機率的位置。而且，此模型說明電子並不是處於任何一個確定的軌道上運動，而是在原子核外一定範圍內高速地運動，並利用電子雲模型來描述電子最可能出現位置的機率分布區域，即電子密度最大的區域，具有一定的三維空間，這種表示電子機率函數稱為軌域（orbital）。

¹⁷ 測不準原理常以下列數學式來表示：

$$\Delta p \Delta q \geq h$$

它適用於任何情況下的粒子，而對於粒子的一維運動，則常寫為 $\Delta p_x \Delta x \geq \frac{h}{2}$ 。

¹⁸ 薛丁格在其論文中引入波函數 ϕ 的觀念，利用變分原理，得到不含時間的氫原子波動方程（郭奕玲和沈慧君，1996）：

$$\nabla^2 \phi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \phi = 0$$

表 2-4-2. 「原子理論」模型發展之彙整

科學家	模型名稱	模型描述	模型內涵
德謨克利特 (古希臘)		物質由原子組成，構成各種原子的材料在本質上沒有什麼不同，不同物質僅是原子大小、形狀和運動形式不同。	• 關於原子概念仍僅是想法，無法具體化。
道耳告		物質是由原子所構成，原子不可再分割。	• 原子是構成物質的最小單位。
湯木生 (1903)	葡萄乾模型	原子像是一個帶正電的“流體”球，原子質量大部分集中於此，而帶負電的微粒則是有規則地鑲嵌於球體內的固定位置。	• 帶負電電子均勻散布在一個帶正電的球體中。
長岡半太郎 (1904)	土星環模型	原子內有中心（核的觀念），電子繞著中心旋轉的想法。並且，等質量的電子均勻分佈於環型區域上，環中央有一個大質量的正電球，原子結構猶如土星環。	• 原子擁有一個質量集中、體積極小且帶正電荷的原子核。
拉塞福 (1911)	有核模型	原子擁有原子核，電子繞著核旋轉，原子中正電荷和全部質量幾乎集中於原子核。	• 原子擁有一個質量集中、體積極小且帶正電荷的原子核，且電子在核外運動。
波耳 (1913)	行星模型	原子是由帶正電原子核，且擁有原子大部分的質量，以及核外帶負電的電子在不同殼層作圓周運動，原子結構猶如太陽系行星。	• 電子只能在原子核外特定距離的軌道作圓周運動。
索末菲	橢圓形軌道模型	原子核位於橢圓的焦點。	• 電子運動的軌道為橢圓形。
薛丁格 (1925)	電子雲模型	電子圍繞在原子核外運轉，不可能同時精確地測量到電子的位置和運動速度。	• 電子運動具不可預測性。 • 電子出現以數學函數（機率）的觀點來描述。

二、關於學生在原子與化學鍵概念之迷思

（一）原子結構概念

對於原子結構的模型，儘管波耳的原子模型已被放棄超過 80 多年，但它在科學教育仍占有舉足輕重之地位。許多關於原子概念的研究均指出，學生會偏好於波耳或

行星軌道方式，而軌域或電子雲概念則是較為缺乏（Harrison & Treagust, 1996; Tsapalis & Papaphotis, 2002）。以 Harrison 和 Treagust（1996）的研究為例，他們利用圖 2-4-7 呈現給學生，探討學生對於原子結構模型的喜好程度。研究結果發現，有 31 位學生喜愛軌道模式，而有 24 位學生拒絕軌域的模式，至於電子雲模式對於學生學習而言則是難以理解，學生較偏好於軌道模型，即類似於波耳的原子結構模型。

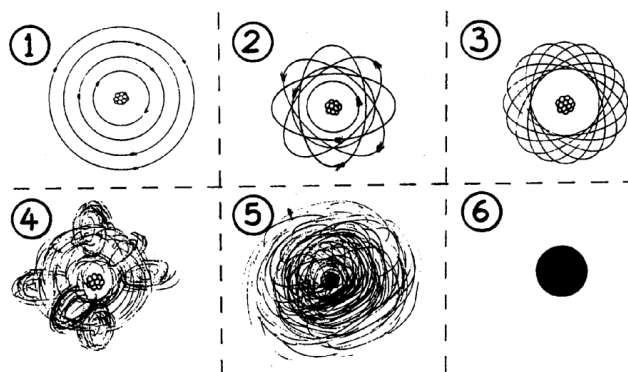


圖 2-4-7. 六種原子模型圖（Harrison & Treagust, 1996）

Nakiboglu（2003）在一項對於職前化學教師研究指出，雖然波耳原子模型與量子力學原子模型在高中化學課程已經教過，但由於太陽系統模型與波耳原子模型較為具體且容易概念化，所以雖然學生已學過更為複雜的原子模型，但仍有 20% 學生使用太陽系統模型來解釋原子結構。由此可知，學生對於波耳原子模型，在經歷相當長的學習歷程，學生已經形成穩定的心智模式，並且深植於長期記憶當中，此外，平時波耳原子模型對於學生問題解決相當具有效益，故已經組成深層的理論建構，且難以改變，Tsapalis 和 Papaphotis（2009）的研究亦有類似的結果，分析學生的作答情形，因為波耳原子模型已在先前的課程學習過，大多數書籍或教科書亦使用此類型的模型，並且它較為簡單。此外，研究亦發現對於學生而言，他們無法在紙上描繪出動態的形式，所以他們容易回到利用行星模型來描述原子結構。類似地，尹基勉（1999）的研究結果亦發現，經過教學之後，大部份高中學生在解釋氫原子結構時，他們仍舊以行星模型來描述電子的運動軌跡，僅有少數學生會使用「1s」來描述電子運動，即利用軌域的概念來描述電子組態。

從上述分析可以了解，學生心目中主要原子模型是波耳原子模型，Chastrette 和 Cros（1985）的教學經驗也發現，似乎難以改變學生對於原子的概念，並且一年後的研究裡（Cros, Chastrette & Fayol, 1988），學生對於原子模型依然未有更進一步清楚的瞭解，他們仍然偏好於波耳原子模型。若從 Vosniadou（1994）架構理論來看，這些行星軌道模型的理論建構（預先命題）已限制學生對於科學訊息的詮釋，如此似乎可

以解釋為什麼難以改變波耳原子模型概念。Kalkanis, Hadzidaki & Stavrou (2003) 則認為這些迷思概念的產生，主要是學生無法區分古典物理和量子物理的概念架構，所以在獲得這些相關概念時會有障礙產生，由此可知學生關於原子模型的另有概念是相當難以改變。

因此，對於原子模型之教學內容，許多研究對此均有不同的觀點，如美國國家科學教育標準 (National Science Education Standards) 即闡述 “*每個原子擁有帶正電的原子核，而帶負電電子在核外環繞*”，很明顯地，在原子模型的問題上，國家科學教育標準已不利用波耳原子模型（行星模型）來描述原子的形態，僅說明原子核與核外電子兩者分布的情形。但 Taber (2001) 卻認為基於量子力學的現代觀點，量子力學的原子模型並不適合於中學生之學習，而擁護波耳原子模型。

（二）原子概念

原子的迷思概念，許多研究均針對此概念企圖了解學生不同的想法 (e.g., Griffiths & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 1996)。綜合學生對於原子概念的迷思概念彙整如下：

1. 泛靈論想法

學生認為原子是活的，他們具有泛靈論的想法 (Griffiths & Preston, 1992)。Harrison 和 Treagust (1996) 的研究則指出有 21% 的學生認為原子是活的，並且會成長與分裂，猶如細胞一樣會進行分裂作用。

2. 原子體積大小

幾乎所有學生會認為原子是非常小的粒子或是球，如此描述似乎是正確的想法，但若是深入分析他們的想法，我們將會發現學生亦認為若是使用高倍率的顯微鏡，或是利用放大鏡即可看到它們存在的情形 (Griffiths & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 1996; Nakhleh & Samarapungavan, 1999)。Harrison 和 Treagust (1996) 的研究結果，有 62% 的學生認為他們可以看到原子，雖然教師於教學過程中強調此另有概念，但學生依然相信他們能夠利用顯微鏡，或放大鏡看到它們。學生想法似乎只停留在「原子很小....」的觀念，對於多少數量級則仍然非常地模糊 (尹基勉, 1999)。

3. 原子結構與軌域

許多研究顯示學生認為原子或分子本身性質是類似於物質的巨觀性質 (Andersson,

1990; Lee et al., 1993)。Andersson (1990) 的研究發現，若是具有顏色的物質，學生相信其組成粒子亦將具有顏色。Harrison 和 Treagust (1996) 在一項探討學生對於原子結構理解的研究中，他們利用堅硬的聚苯乙稀所製成的球，和一個具有堅硬中心的柔軟泡泡來做原子，研究結果顯示有 54% 的學生認為原子是堅硬的，而有 38% 的學生則認為原子是柔軟的。他們大多認為對於一個原子而言，堅硬聚苯乙稀所製成的球太過於具有規則性；而輕微不規則的泡泡則最好用來表徵原子核周圍環繞的電子。

此外，尹基勉 (1999) 研究亦發現學生對於原子的組成與性質具有迷思概念，他們認為原子核中必定有中子 (23.6%)、質子與中子的數目會相等 (14.1%)、質子質量大於中子質量 (46.6%)，甚至於有高達 57.1% 的學生混淆了質量數與原子量的概念。

關於電子運動電子雲之描述，Harrison 和 Treagust (1996) 的研究指出，學生描述電子雲時，他們會以“電子殼層是一種基質 (matrix)，而電子則埋藏在其中”來描述電子的運動，詢問學生關於電子雲概念時，學生會認為電子雲猶如天空中的雲，而電子像是在雲裡頭的小水滴，換言之，學生即以天空中雲（小水滴）來類比於電子，而且把電子運動的情形予以忽略。Tsaparlis 和 Papaphotis (2009) 的研究亦指出，大部分學生可以接受電子雲的圖片即是電子在不同時間可能出現的位置，並且利用不同的點來描繪，但假如可以看到原子的形態，他們無法接受利用電子雲的表徵形式來描述氫原子的形態。

軌域概念的學習部分，Tsaparlis 和 Papaphotis (2002; 2009) 的研究指出，大多數學生對於軌域沒有清楚的理解，特別是機率概念，他們認為軌域為固定、有範圍的空間，並且無法對原子軌域提供一個準確之定義。此外，教師在教導多電子的電子組態時，教師常會利用盒子 (box)¹⁹，學生卻會認為 □ 即為軌域 (Nakiboglu, 2003)。因此，為減少學生對於軌域的錯誤理解或產生迷思概念，教師教學過程宜強調這是為了顯示電子在軌域中的排列方式，軌域並非如盒子般。

(三) 化學鍵

化學鍵是化學教學非常重要的概念之一，理解化學鍵是理解其他化學概念的基本，如判斷物質的熔沸點。由於化學鍵是一個非常抽象的概念，我們無法看到原子、結構，以及原子如何結合互相反應，導致很多教師和學生認為化學鍵是一個相當難以

¹⁹ 教師在教電子組態時常會利用「□」來表示電子組態，如氮原子的電子組態，即可以表示為：

。

了解的概念 (Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein, & Krajcik, 2007; Nicoll, 2001)。傳統上，教師於化學鍵單元教學大多會採取非常簡化的形式來教導學生，導致學生對於化學鍵缺乏深層的了解 (Nahum et al., 2007)，而且無法整合他們原有的心智模式，而形成一個較為完整且融貫的概念架構。雖然關於學生想法或概念的研究文獻數量相當地多，但專注在化學鍵結的相關研究在數量上卻相當地少 (Coll & Taylor, 2002)。本研究從下列幾個次概念來做區分：

1.化學鍵之性質

對於大部份學生而言，化學鍵被視為是物理性質，他們認為鍵的破壞與生成都需要輸入能量，或是認為在破壞化學鍵的過程中，則會放出能量。Boo (1998) 的研究即指出，對於大部份學生而言，化學鍵若被視為物理實體，學生將會把化學鍵視為是物質，並且與日常生活的想法相互連結，學生將會認為當建立任何結構時都需要能量。換句話說，他們認為形成化學鍵需要輸入能量，而破壞化學鍵則會釋放出能量，研究結果亦發現有 48% 的學生擁有此另有概念。此外，有些學生則認為破壞鍵和形成鍵都需要能量之輸入。

Nicoll (2001) 的研究則指出，學生認為當有兩個電子的時候，他們均屬於帶負電的離子，所以他們不會相互結合，他們僅有時會形成化學鍵。在此學生把無法區分電子與離子，把電子視為是離子，而且學生無法以穩定狀態或能量觀點來解釋化學鍵的形成。

2.化學鍵的本質

分析許多不同版本化學教科書，我們常會看到元素可分為金屬與非金屬，有時則會提及半導體，當我們利用二分法來區分元素時，可能導致學生亦採取二分法來對化合物的鍵結形式做分類，將化學鍵結區分為「共價鍵」和「離子鍵」兩種類型。此外，若是教學採取此種二分法的方式，亦將會過於簡化化學鍵的形成 (Nahum et al., 2007)，並且阻礙學生其他概念的學習 (Taber, 2005)。

關於各種化學鍵的形成，有些學生認為離子鍵是透過電子對的分享，而共價鍵則是透過電子對的轉移，或是視為一個電子在兩個原子之間的共享 (Boo, 1998; Nicoll, 2001)。Boo (1998) 的研究也發現學生不曉得如何畫離子鍵，他們認為離子鍵和金屬鍵並非真實的鍵，他們認為兩個相反電荷會相互地抵消，形成中性分子。此外，相當少的學生會認為溶解過程，離子鍵會受到破壞，大部份學生認為離子鍵在溶解過程中不會受到影響，只有微弱的鍵結（凡得瓦力）會受到破壞。而且，他們也認為氯化鈉

的離子鍵被破壞時，鈉離子（正離子）必須從氯離子（負離子）得到一個電子，而予以電性中和。Tan 和 Treagust（1999）評估學生化學鍵結的理解研究，研究顯示僅有 16.7% 的學生能夠指出氯化鈉為離子晶體的形式，並有相當高比率的學生（80.4%）相信氯化鈉是以分子的形態存在。

關於金屬鍵的描述，在一般的教科書裡的描述，大多是說明金屬會形成電子海（electron-sea），而使金屬能夠導電。de Posada（1997）對於金屬內在構造的研究結果顯示，大約只有 50% 10~12 年級的學生會使用電子海來描述金屬為何能夠導電，有 37% 的 10 年級學生持有非連續觀點（缺乏原子分子之粒子概念）。此外，有些學生會認為電池的正極與負極相撞，所以金屬為能夠導電，有些學生則認為在電池裡的電荷傳到金屬，另外有部分的學生甚至認為由於金屬與電池之間的溫度差造成金屬可以導電。並且，雖然許多學生已經學過金屬鍵結模型，但他們卻仍不瞭解電流與電子之間的關係。

3. 八隅體規則（Octet Rule）

傳統上，教師於化學鍵單元教學時常會提供學生許多非科學的概念，如八隅體規則。而學生也常會使用八隅體規則來解釋化學反應與化學鍵，他們通常會假設分子若形成八隅體組態，則分子會較為穩定，並且習慣性的回答“趨向穩定”，而未能思考其真實的意義（Coll & Treagust, 2001; Coll & Taylor, 2002; Nakiboglu, 2003; Taber, 1998; 2001）。因此，Taber 和 Coll（2002）建議教學盡量不要學生學習八隅體架構（octet framework），因為會阻礙學生的學習，Nakiboglu（2003）則認為教師在第一次教導學生有關八隅體的規則時，教師需要聯結其他相關知識，告知學生此規則無法解釋所有的現象，並且需說明此規則的限制性，減少學生對於八隅體規則的錯誤理解。

（四）量子化概念

對於學生而言，許多物質以分子、原子或離子為尺度的重要特徵，學生很難從巨觀世界的現象來理解，這些特徵即可歸為“量子化性質”（quantum properties）（Taber, 2002）。猶如先前所討論，這些量子化性質對於高中學生化學概念的學習，顯得非常地困難，如電子自旋（spin）是電子本身的性質，但並不是意謂著電子是在旋轉。

量子效應對於學生學習物質性質已經變得非常地重要，並且影響學生其他化學概念的學習，如教師利用原子軌域的重疊來解釋分子的形成，形成化學鍵的概念。但由於這些概念均非常地抽象，所以許多研究者認為量子力學概念不適合於高中學生來學習（Ogilvie, 1990; Taber, 2001）。然而，Tsaparlis 和 Papahotis（2002）卻持不同的觀點，

他們認為仍可於高中階段教導量子力學概念，教師雖然在教學過程中使用數學化方程式與函數，但卻不需要利用這些方程式來解釋問題，他們認為量子化概念之理解應該是教學的主要目標。

第五節 原子理論建模歷程分析

從第四節原子理論之歷史發展，可以理解科學史於「原子理論」模型之演變歷程，我們將其演變以圖 2-5-1 來表示。由此圖可看出物質結構的模型由具體轉變為抽象，由不可分割到可分割，以及從原子為實心球轉變為原子內電子在軌道運動，再轉為以機率形態來描述電子的運動。

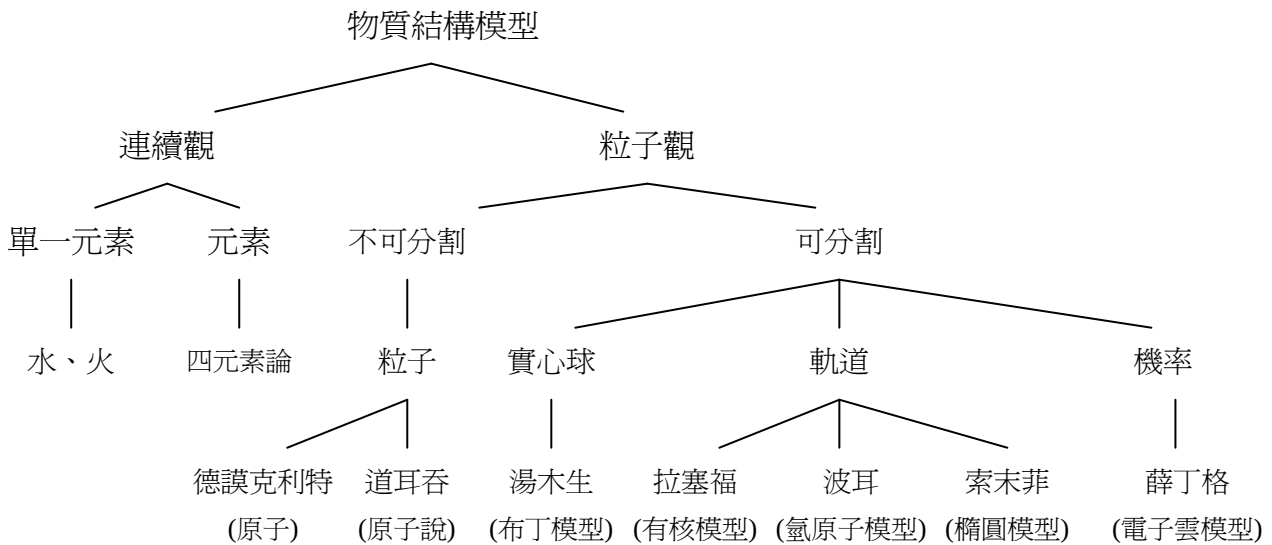


圖 2-5-1. 物質結構模型之建模歷程

此外，為深入探討拉塞福原子理論與波耳原子理論建模歷程，本研究採用 Liu & Chiu (2010) 所發展之建模歷程觀點，實際運用於分析科學史「原子理論」演變之建模歷程，並針對拉塞福和波耳的原子理論做為分析內容，藉以描述「原子理論」發展之建模歷程。

一、拉塞福原子理論建模歷程分析

(一)「模型的描述與選擇」部分

1.問題與假設

1909 年，蓋革 (Geiger) 和馬斯登 (Marsden) α 粒子散射實驗，但拉塞福理解到實驗結果與理論計算不符合，拉塞福針對上述 α 粒子散射實驗結果提出問題，提及若以湯木生原子模型來做計算，則計算結果將與實驗結果不相符合，因為 α 粒子能量和質量較電子大許多，當 α 粒子通過金屬箔片時產生多次反射的機率太低，結果 α 粒子應該是直線通過金屬箔片，那為何會有極少部分 α 粒子產生大於 90° 的反彈？

2.描述與選擇變數（物件、狀態、交互作用和因果效應）

建立模型需要建立於原有的實驗事實與理論基礎之上，經過一系列建模歷程之後，建立相應的模型。因此，在模型描述與選擇階段，首先要由問題情境中描述與選擇對問題有意義之面向：包括物件面向（物件的基本性質）、狀態面向（隨時間改變的性質）、交互作用面向和因果面向（解釋的形態）等做正確的選擇與描述，才有可能建立正確的模型。依此，拉塞福建立有核原子模型的過程中，關於模型描述與選擇變數部分，物件部分為體積非常小的原子核與核外電子，狀態面向為核外電子繞原子核運動，兩者交互作用則是原子核與核外電子之間的靜電力，因果面向則是 α 粒子僅有非常小的機率撞擊到原子核，其機率為1/8000，而且 α 粒子散射的偏轉角度將會與 α 粒子接近原子中心的程度有關係，若是 α 粒子愈接近原子中心，則 α 粒子散射偏轉的角度愈大。

3.討論面向與變數的關係

討論面向與變數的關係部分，主要是討論面向與變數所有可能之關係，並且找出彼此間的關係或比例關係。依據上述模型描述與選擇階段，即是將所選擇的物件、狀態，建立與討論可能的關係，拉塞福針對實驗的結果，分析 α 粒子為何會有偏向的情形發生？他認為主要是由下列作用力之和所造成：(1) α 粒子與原子核之間的斥力，和(2) α 粒子與原子核之間的吸引力。

4.詮釋變數－基本模型的詮釋

除了上述變數關係外，也需對所選擇的基本模型和變數作進一步的詮釋。首先，由於電子質量遠小於原子核質量，且電子質量相較於 α 粒子甚小，故能影響 α 粒子散射過程的路徑，只有 α 粒子與原子核之間的庫侖力，由於庫侖斥力，所以 α 粒子穿越原子軌道時，將以原子核為焦點的雙曲線來通過。其次，若是要決定 α 粒子路徑偏折情形，則可利用牛頓力學定律來計算，除了牛頓力學定律和庫侖靜電力外，更重要的是拉塞福採用1904年長岡所提出的土星模型（有核模型），而這也是後來拉塞福有核模型與湯木生葡萄乾布丁模型差異之處。

（二）「模型建立」部分

1.理解屬於模型之次項目

模型建立初始即是初步架構問題相關的基本模型（概念、定律、工具和規則）。依此拉塞福首先利用庫侖靜電力與牛頓運動理論，即是當 α 粒子穿越原子時，由於原

子中心存在原子核，若 α 粒子非常接近原子核的時候，將會承受極大的斥力，而 α 粒子偏向主要是由兩者之間的靜電斥力所產生。此外，他也提出原子核直徑小於原子的半徑，原子核直徑應小於 10^{-12}cm 。

2.關係形態之建立

此階段主要為定性與定量之關係之建立，即透過驗證 A 與 B 之間的關係，探討其關係是正比、反比，或是無關。拉塞福從先前探討 α 粒子撞擊金屬箔片後，了解 α 粒子為何會有反彈的現象？即假設 α 粒子的質量為（ m ），速度為（ u ），電荷為（ E ），其直接射向中心的原子核，由於原子核是處於強大的電場中，所以 α 粒子接近原子中心產生的碰撞可以產生反彈的現象，並推論下列的結果，建立其定性與定量之關係。

(1) 距離（ b ）

$$\frac{1}{2}mu^2 = NeE\left(\frac{1}{b} - \frac{3}{2R} - \frac{b^2}{2R^3}\right)$$

(2) 落在角度 ϕ 的 α 粒子數

$$y = \frac{ntb^2 \cdot Q \cdot \csc^4(\phi/2)}{16r^2}$$

並且在推論出落在角度 ϕ 的單位面積上的 α 粒子數會正比於：

A. $\text{cosec}^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$ 或 $\frac{1}{\phi^4}$ （假如 ϕ 很小的話）。

B. 散射物質每單位體積的原子數目。

C. 散射物質的厚度（ t ）。

D. 中心核電荷（ Ne ）的平方。

E. 反比於 $(mu^2)^2$ ，而 m 是 α 粒子的質量， u 是速度。

（三）「模型效化與評估」部分

1.決定模型之運作與描述結論

當建立初步模型之後，即操作所建構的模型，尋求可能的解決方法或答案，並且討論所觀察到的方法和建立之關係，或是如何運作。從上述模型之建立歷程，由於入射 α 粒子的質量甚小於原子核質量，故發生碰撞時，將會有反彈散射的現象，由此可驗證拉塞福所提出有核的原子模型。而且，拉塞福也利用中心核電荷（ E ）， α 粒子的

速度 (u)，計算出 b 值，並且比較 b 值與原子半徑 R ，結果 b 值顯得非常微小，更可說明原子核大小相對於原子的大小，兩者的差異非常地大，即是大角度的散射是因為 α 粒子與原子核近距離碰撞的結果。此外，由於 α 粒子行進的路徑會受到原子核斥力之影響，故會以雙曲線的路徑來進行。

2. 模型運作結果詮釋

科學家為了驗證理論，他們必須操作模型（歸納實驗資料）來解釋或驗證理論。拉塞福分別從 α 粒子散射隨角度的變化、散射隨物質厚度的變化、散射隨原子量 A 的變化，以及 α 粒子散射與射線速度之關係等變項來驗證理論與實驗結果之間的相關性，如驗證散射物質隨物質厚度成正比，或散射 α 粒子隨原子量成正比，結果兩者相符合。

（四）「模型調度」部分

科學家運用所建立的模型，理解模型使用的限定範圍。雖然拉塞福原子模型能成功地解釋 α 粒子散射實驗的結果，並且說明湯木生原子模型的缺點，但其與和古典物理學理論相互違背，仍有許多問題亟待解決，如原子不連續光譜與原子穩定性等問題。雖然拉塞福了解其模型之限制，但其仍未能解決。

二、波耳原子理論建模歷程分析

（一）「模型的描述與選擇」部分

1. 問題與假設

波耳提出原子理論之前，湯木生和拉塞福原子理論已經先後被提出，但兩個理論皆有其缺陷，而拉塞福所提出有核模型成為波耳研究的核心，但原子穩定性和原子光譜規律性的問題，卻亦成為波耳研究原子理論之重點。波耳為解釋上述問題，波耳需要建立一個更為完整的原子理論來解決上述問題，故波耳針對原子如何能保持穩定狀態的問題，他提出兩個假設，分別是：(1) 原子處於穩定狀態，即電子能夠穩定地存在特定的能量狀態，稱為穩定態，並不產生電磁輻射的現象；(2) 當電子從一個軌道躍遷到另一個軌道，才會有輻射發生，而此假設即作為波耳建立原子理論之基礎。

2. 描述與選擇變數（物件、狀態、交互作用和因果效應）

波耳以氫原子作為理論推導之依據，由於電子繞原子核做圓周運動，運動軌道是圓形軌道，電子做圓周運動所需的向心力是由電子和原子核之間的庫侖力（庫侖力大

小與距離平方成反比)所提供。關於模型描述與選擇，主要著重於描述與選擇變數，分別針對物件、狀態、交互作用與因果效應來做描述，物件部分有電子和原子核，交互作用則為電子與原子核之間的吸引力，並且透過古典力學理論，如牛頓運動定律和庫侖力，以及近代普朗克理論作為因果變數的解釋（如利用牛頓力學來解釋電子在軌道上的運動情形，庫侖力說明電子做圓周運動所需向心力與電子和原子核之間的庫侖力相等，以及利用普朗克理論來說明電子所發射的能量等於 $h\nu$ ）。

3. 詮釋變數－基本模型的詮釋

關於波耳原子理論之基本模型的詮釋部分，波耳對於電子從高能階躍遷到低能階，才會有輻射發生的假設，波耳採取里茲“組合原則”，和斯塔克的觀點“一個光譜的全部譜線是由單獨一個電子所造成，電子從完全分離狀態逐漸往位能較低的狀態躍遷過程中，電子將會釋放出輻射。”此外，波耳也引入普朗克量子化觀念，作為電子能階所處的狀態，即是 $W_{\tau_2} - W_{\tau_1} = h\nu$ 。而他為解決它和古典電磁體系之間的矛盾，提出“對應理論”（correspondence principle），即量子體系與經典體系兩者之間存在某種確定的對應狀態，他認為量子體系在量子數很大的極限情況下，應當與經典體系趨於一致，而且量子體系在大量子數時的規律，也適用於小量子數的情形（胡鏡寰、王忠烈和劉玉華，1990），藉以作為波耳建立原子理論或理解問題的基本模型與規則。

（二）「模型建立」部分

1. 變數關係之建立

波耳透過斯塔克的電子躍遷觀點，以及普朗克的量子化理論，巧妙地將原本不相關的電子躍遷與光譜兩個觀念連結在一起，即是建立兩者的變數關係。此外，波耳依據其所選擇的物件、交互作用關係和因果變數，以及對應關係等基本模型，作為其建立氫原子理論模型的成份元素，隨即建立氫原子能階公式，如下所示：

$$W_{\tau_2} - W_{\tau_1} = h\nu \quad h: \text{普朗克常數}$$

$$W_{\tau} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2 \tau^2}$$

2. 關係形態之建立

在關係形態建立的部分，波耳透過能階的建立，推論出電磁輻射的頻率：

$$v = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right)$$

因爲 $v = \frac{c}{\lambda}$ ，則波數 $\frac{1}{\lambda}$ 可表示爲

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3 c} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right) = R \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right) \quad R: \text{里德柏常數 (Rydberg constant)}$$

(三)「模型效化」部分

1. 決定模型之運作與描述結論

波耳發表氫原子理論後，許多物理學家均難以接受此理論，1914 年，波耳根據原子光譜所提出不連續能階被法蘭克和赫茲電子轟擊汞蒸氣的實驗所證實，即汞原子內確實存在能量爲 4.9eV 的能階（此 4.9eV 爲水銀的第一激發態），也證實波耳所預測原子具有能階的存在。1920 年代，法蘭克和赫茲又繼續改進實驗裝置，發現汞原子內部有更多的能階狀態，也更加確認波耳氫原子理論的正確性。

2. 判斷與比較

當模型建立後，即需要將所建立的模型與真實世界事物或問題做比較，討論其是否相符合（correspondence）。波耳透過所建立的模型計算出氫原子核外電子的軌道半徑，並計算出電子從高能階跳到低能階時所發射的輻射頻率，結果與實驗所得的氫原子光譜中的譜線相符合。

(四)「模型分析與評估」部分

1. 模型經驗性證實

模型經驗性證實是利用直接或間接證據來做預測，評估模型是否相符合。波耳利用所推導公式來推論巴耳末公式所描述的氫原子譜線，並計算出里得伯常數（ $R = 1.0974 \times 10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$ ）的理論值，事實上，波耳理論的預言和實驗值（ $R_H = 1.09677.567 \pm 0.012 \text{ cm}^{-1}$ ）非常地接近，僅相差千分之一，無疑地，波耳的理論在解釋氫原子光譜中取得了成功。

2. 模型一致性檢驗與融貫性評估

模型的一致性檢驗與融貫性評估即是利用不同形式來檢驗所建立模型之內部一

致性，或是在不同模型之間作辯證，評估不同模型之融貫性。波耳利用 X-ray 光譜和元素週期性來驗證氫原子理論的一致性與融貫性，首先，他認為不同元素的 X-ray 光譜是與原子序有關，並且他也了解門得列夫（Mendeleev）的元素週期性變化，如圖 2-5-2，以及 Lothar Meyer 的研究結果，即是原子質量和密度的比值（原子體積）呈現週期性的變化，如圖 2-5-3 所示。波耳結合上述兩個觀點，他認為 X-ray 光譜隨原子序而變化，而原子體積則相對於元素化學性質有週期性的變化，即是由週期性來解釋有限數量的電子可以占據在相同的軌道，當軌道被填滿時，則電子必須填到下一個軌道。

1 H	3 Li	11 Na	19 K	37 Rb	55 Cs	87 -
2 He	4 Be	12 Mg	20 Ca	38 Sr	56 Ba	88 Ra
	5 B	13 Al	21 Sc	39 Y	57 La	89 Ac
	6 C	14 Si	22 Ti	40 Zr	58 Ce	90 Th
	7 N	15 P	23 V	41 Nb	59 Pr	91 Pa
	8 O	16 S	24 Cr	42 Mo	60 Nd	92 U
	9 F	17 Cl	25 Mn	43 -	61 -	
	10 Ne	18 Ar	26 Fe	44 Ru	62 Sm	
			27 Co	45 Rh	63 Eu	
			28 Ni	46 Pd	64 Gd	
			29 Cu	47 Ag	65 Tb	
			30 Zn	48 Cd	66 Dy	
			31 Ga	49 In	67 Ho	
			32 Ge	50 Sn	68 Er	
			33 As	51 Sb	69 Tm	
			34 Se	52 Te	70 Yb	
			35 Br	53 I	71 Lu	
			36 Kr	54 Xe	72 -	
					73 Ta	
					74 W	
					75 -	
					76 Os	
					77 Ir	
					78 Pt	
					79 Au	
					80 Hg	
					81 Tl	
					82 Pb	
					83 Bi	
					84 Po	
					85 -	
					86 Em	118 -

圖 2-5-2. 波耳的元素週期表（Bohr, 1923, p. 2）

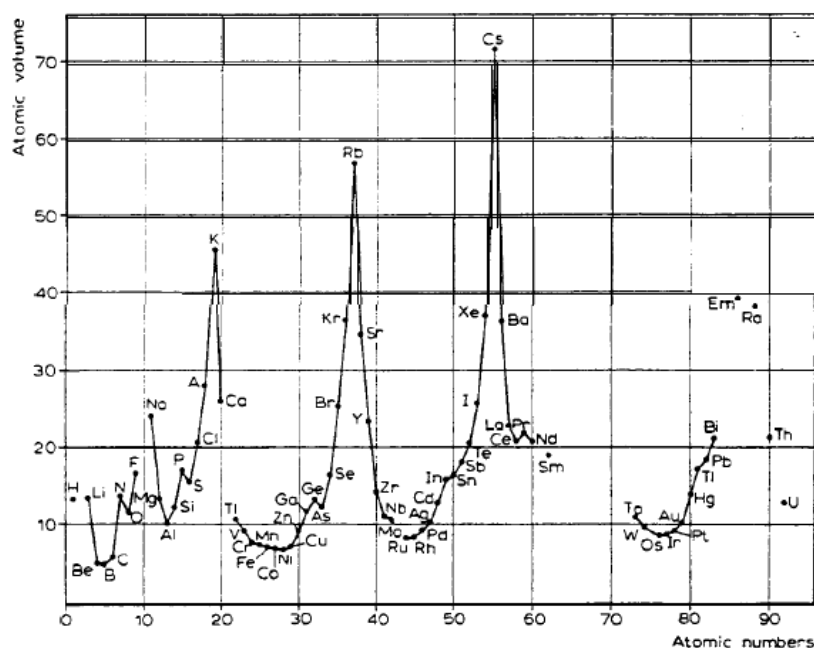


圖 2-5-3. 原子序與原子體積的關係圖 (Bohr, 1923, p. 8)

(五)「模型調度」部分

1.模型之應用

波耳氫原子理論預測一些新譜線的存在，而這些預測為後來實驗物理學家們所證實，如來曼 (Lyman) 於 1914 年發現的紫外光譜系，即是根據波耳之理論預測，後來經實驗證實與計算結果相符合。

2.理解模型的限制性

由於波耳在提出原子理論前即提出兩個假設，雖然波耳原子理論解釋氫原子光譜的問題，然而它仍無法解釋為什麼處於基態的電子不會發出電磁輻射。而且，波耳模型也無法說明氫原子光譜的強度和精細結構，更是無法解釋較複雜原子，如氦原子的光譜。

In case of systems containing more electrons we must -- in conformity with the result of experiments expect more complicated laws for the line-spectra those considered (Bohr, 1913, p.11)

(六)「模型重建」部分

1.擴大模型的解釋範圍

為擴大模型的解釋範圍，需要討論與思考先前未考量因素之間的關係，進而產生模型重建。波耳原有模型無法解釋較為複雜的原子，波耳為使原先建立氫原子理論更

具有解釋能力與較大範圍，波耳將原有氫原子理論做了部分的修正，並將其應用於類氫離子（Hydrogen-like ions）。其式子修正如下：

$$v = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right) \text{ 式子修正爲 } v = \frac{8\pi^2 me^4}{h^3} \left(\frac{1}{\tau_2^2} - \frac{1}{\tau_1^2} \right)$$

而波耳的理論也可以準確地預測 He^+ 的光譜。

2. 建構新模型

模型的重建方面，由於對所建立的模型感到不滿意，所以需要不同於先前的面向與變數來重新解釋，並建構一個新模型。而波耳氫原子理論侷限於圓形的軌道，更是不被物理學界所接受的主要理由（高道旭等人譯，1972）。1896 年，邁克生（A. Michelson, 1852-1931）和莫立（E. Morley, 1838-1923）觀察到氫原子光譜的 H_α 線是雙線，隨後發現是三線。1916 年索末菲即以波耳原子模型為基礎，將圓軌道修正為橢圓形軌道，並引入相對論（電子在原子中的運動速度很大時，電子質量會發生變化，進而影響原子各狀態的能量），提出索末菲模型，電子是橢圓軌道上繞著位於橢圓焦點的原子核運動，並且運動的速度不是一個常數，因為依據克卡勒第二定律，電子距離原子核較近的時候，其運動速度較大，故電子的能量也有不同的修正，並計算出 H_α 線的精細結構，與實驗結果相符合。

3. 弱重建與強重建之區分

模型重建可以包括弱重建與強重建兩種類型，若是原有模型中所需元素的增減，則為弱重建，屬於輕微的概念改變；若是原有模型做結構上大幅度的修正，則可謂之強重建，屬於根本的概念改變。在波耳與索末菲原子理論重建方面，相對於拉塞福的模型，雖然他們的原子理論均引入“量子化概念”，但仍以牛頓力學軌道的觀點為理論基礎，利用古典力學理論來計算電子的軌道半徑，以及穩定態能階，雖然波耳原子理論能成功地解釋氫原子光譜，將原子結構與光譜作很好的結合，但卻從未考慮微觀粒子的波—粒二重性，電子若從波—粒二重性來考量，電子將以機率的方式分布，此時則轉換為量子力學的觀點。換言之，波耳或索末菲原子模型的改變屬於弱重建，而薛丁格量子力學相較於拉塞福或波耳的原子模型，則可歸類於模型重建的強重建類別。

第參章 研究設計

本研究為建立完整的模型與建模相關理論，分別從問卷探討跨年級學生對於模型本質的觀點，以及利用訪談的方式來探討學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或原理？學生所建立模型與表徵的系統之間有何關係，藉以探討學生對於模型本質認識。對於影響學生學習最為重要的因素之一即是教科書，本研究即分析不同版本教科書於「原子理論」之模型特徵與建模歷程，探討跨年級學生於「原子理論」之模型發展，藉以了解教科書對於學生模型發展之影響，並以教科書分析結果作為教學之基礎，編寫與設計適當的教學策略，藉以促進學生概念之學習。最後，科學教育主要目的即如何促進學生概念之學習，本研究為探討模型與建模如何影響學生原子概念之學習，針對 11 年級學生於原子概念單元之學習，分別施予不同建模教學策略，分別是：「類比建模組」、「電腦輔助建模組」及「控制組」（講述教學組），而為評估學生學習前後之差異，本研究也設計「原子」概念測驗問卷（II），並且透過半結構訪談和問題解決測驗，深入了解與比較不同教學策略對於學生在「原子」概念學習效益之影響，探討不同建模教學策略如何促進學生概念改變？以及如何提昇學生建模之能力？本研究之研究架構詳見圖 3-0-1。

依此研究架構，本研究主要分為三個次主題，分別是學生對於模型的認識、模型與建模之範例和建模教學對於學生學習之影響，而三者的關係為了解學生使用之模型表徵與教科書或教學之相關性，建立學生選擇模型之架構，此外，亦可了解學生如何使用模型，以及對於模型的認識，以及解教科書使用之模型特徵與是否符合建模要素，藉以編寫與設計適當的教學活動，促進學生學習，如此將可建立完整的模型與建模相關理論。

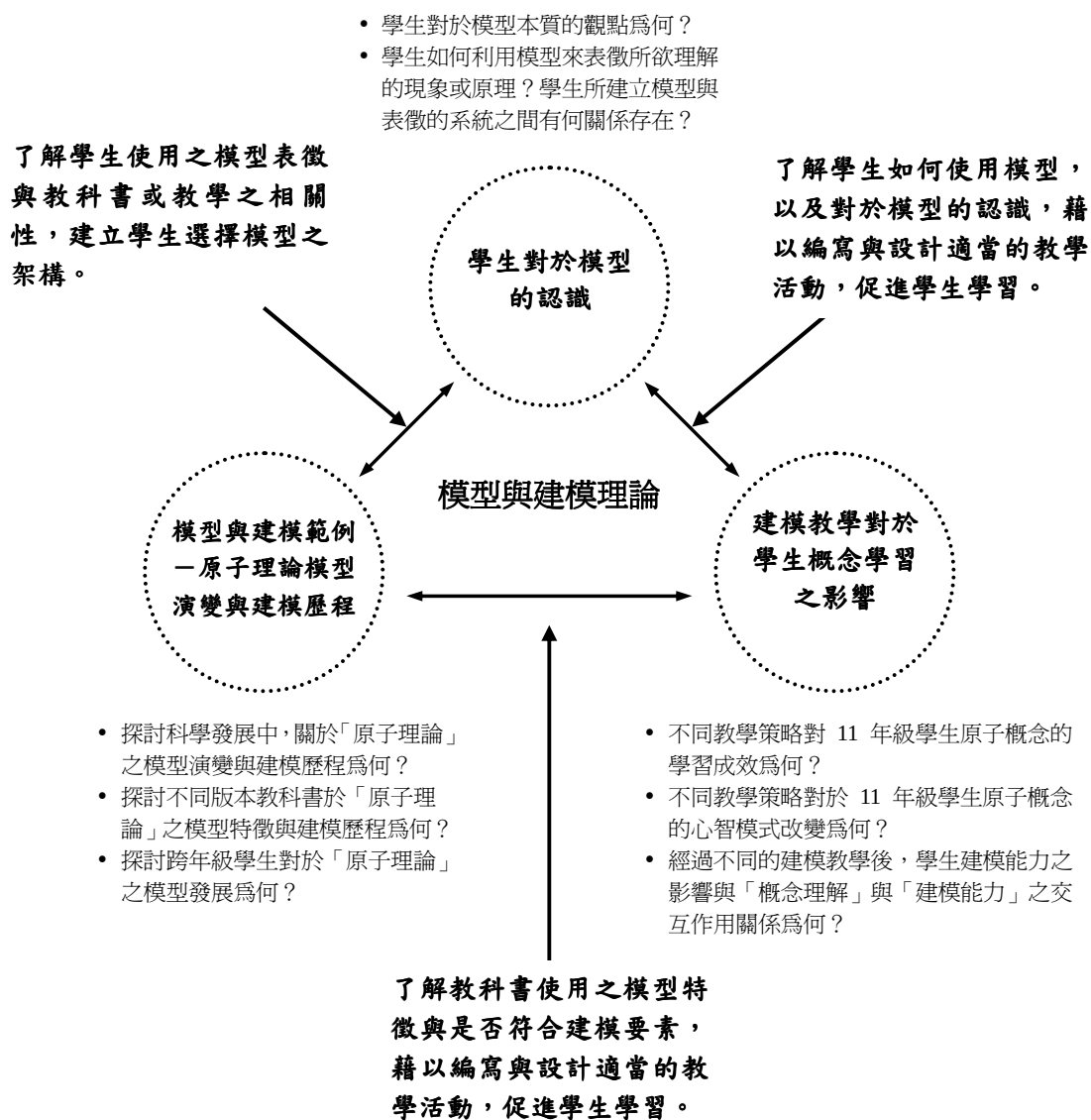


圖 3-0-1. 本研究之架構圖

依圖 3-0-1 所示，研究工作分為三大部分，分別為學生模型認識與選擇、教科書分析以及建模教學活動之進行。以下各節將分別就研究對象、研究工具發展歷程、教學活動設計、研究流程以及資料分析的方法加以說明。

第一節 研究對象與樣本

本研究對象與樣本依研究目的不同而有所變化，研究對象與樣本之選取共計分為四個部分，分別是：第一部分為利用模型本質問卷探討跨年級學生之模型認識，以及利用訪談方式分析學生如何利用模型來表徵物件、概念或現象；第二部分探討跨年級學生擁有原子概念之模型類型與特徵，並分析跨年級學生於原子概念之模型演變；第三部分為探討不同建模教學策略對於 11 年級學生學習原子概念之影響，進行不同教學活動之相關教學實驗。第四部分則為探討不同版本國高中教科書於「原子理論」之模型特徵、建模歷程和內容之差異。底下即針對研究對象與樣本之選取詳述如下：

一、跨年級學生之模型認識

（一）模型本質問卷測驗

第一階段為模型本質問卷施測與訪談，為探討學生對於模型認識與理解，研究對象選取主要為臺北市松山區某完全中學之國中部和高中部學生，選取 8~11 年級學生，每個年級各選取 2 個班級的學生，共計 279 位學生，施予模型本質問卷，參與本研究各年級學生人數如表 3-1-1 所示。

表 3-1-1. 8-11 年級學生模型本質問卷測驗人數

年級	男	女	總人數
8 年級	34	35	69
9 年級	35	31	66
10 年級	36	36	72
11 年級	38	34	72
合計	143	136	279

此外，為深入了解學生對於模型本質之認識與理解，本研究從 8-11 年級各選取 8 位學生，共計 32 位學生進行訪談工作，藉以深入了解與分析跨年級學生對於模型本質之認識與差異。每次訪談時間為 30~40 分鐘，期間並予以錄音。

（二）學生如何利用模型來表徵

第一階段的第二部分為探討學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或原理？學生所建立之模型與表徵系統之間有何關係存在？本研究延續前述訪談學生對模型本質認識的過程，再加入學生如何利用模型來表徵物件、概念或現象等問題，藉以了

解學生如何利用模型來表徵現象或原理，總計訪談 32 位學生，每次訪談時間為 15~20 分鐘，期間並予以錄音。

二、跨年級學生於原子概念之模型特徵與演變

第二階段為原子概念問卷測驗 (I) 與訪談工作，研究對象選取為臺北市松山區某完全中學之 8-11 年級學生進行「原子」概念問卷 (I) 施測。選擇對象 8 年級主要考量為此階段學生仍未學習過任何原子概念，故可了解未學習過任何原子概念學生的想法，9 年級學生則已學習原子相關的概念，隨後 10 年級和 11 年級則慢慢地加深與加廣，如此可完整了解跨年級學生於「原子理論」模型發展之歷程，並進行學生概念之比較。

表 3-1-2. 8-11 年級學生原子概念問卷 (I) 測驗人數分布情形

年級	男	女	總人數
8 年級	36	38	74
9 年級	35	37	72
10 年級	38	40	78
11 年級	39	34	73
合計	148	149	297

三、建模教學

第三階段為探討不同建模教學對於 11 年級學生學習原子概念之影響¹，研究對象為臺北市松山區某完全中學 11 年級學生，共計 3 個班級，分別施以「講述教學」、「類比建模教學」和「電腦輔助建模教學」等三種不同教學策略，參與教學實驗之學生人數如表 3-1-3。

此外，為比較接受不同教學策略學生之建模能力與概念理解之關係，本研究從 3 個班級學生各選取 8 位有意願之學生進行問題解決測驗，學生在進行問題解決過程中，同時利用放聲思考的方式，將解題的過程說出來，並予以錄音進行分析，藉以深入探討不同建模教學策略後學生建模歷程與能力之差異。

¹ 11 年級學生已於高一基礎化學課程中學習物質的形成與原子的核外電子排列之間的關係，即僅學習到以電子點式結構示意圖說明物質形成的基本鍵結概念，以及簡單化學鍵結概念。

表 3-1-3. 「講述教學組」、「類比建模組」和「電腦輔助建模組」人數表

教學策略	男	女	總人數
講述教學組	22	14	36
類比建模組	17	18	35
電腦輔助建模組	17	18	35

四、教科書之分析版本

（一）國中教科書

爲了解不同版本國中教科書於「原子理論」模型特徵之差異，本研究蒐集 1990~2009 年出版之國中教科書，總計 6 個版本，依出版年代依序編號爲 TJ01~TJ06，作爲本研究之樣本，如表 3-1-4 所示。

表 3-1-4. 本研究分析之國中教科書版本彙整

編號	年份	編著者	書名	出版社
TJ01	1990	國立編譯館	國民中學理化（第二冊）	國立編譯館
TJ02	1994	國立編譯館	國民中學理化（第一冊）	國立編譯館
TJ03	2001	國立編譯館	國民中學理化（第二冊）	國立編譯館
TJ04	2005	康軒出版社	自然與生活科技（第三冊）	康軒
TJ05	2008	南一出版社	自然與生活科技（第三冊）	南一
TJ06	2009	翰林出版社	自然與生活科技（第三冊）	翰林

（二）高中化學教科書

爲了解不同版本高中化學教科書於「原子理論」模型特徵、建模歷程和內容之差異，本研究蒐集 1974~2009 年出版之高中化學教科書，總計 16 個版本，依出版年代依序編號爲 TS01~TS16，作爲本研究之樣本，如表 3-1-5 所示。

表 3-1-5. 本研究分析之高中化學教科書彙整

編號	年份	編著者	書名	出版社
TS01	1974	陳國成	新編開明高中化學（上冊） （自然組）	臺灣開明
TS02	1975	車乘會、來世衡、吳德堡和 許瑞蓮	高級中學化學（自然科組） （上冊）	東華
TS03	1976	盧世琴	高中化學（自然組）（上冊）	海源
TS04	1980	徐聖煦、林均輝和唐源	新復興高中化學（自然科 組）（上冊）	復興
TS05	1984	葉強書、黃仁杰和黃恬靜	新編高中化學（上冊）	世界
TS06	1989	國立臺灣師範大學科學教育 中心主編	高級中學基礎理化（下）	國立編譯館
TS07	2001	楊慶成和邱鴻麟	高中物質科學化學篇（上）	翰林
TS08	2002	楊永華、張麗英、羅世焜和 何金錫	高中物質科學化學篇（上）	三民
TS09	2005	黃長司和黃芳裕	高中物質科學化學篇（上）	康熙
TS10	2005	楊寶旺	高中物質科學化學篇（上）	龍騰
TS11	2007	施正雄	高中化學（上冊）	全華
TS12	2009	陳秋炳、盧木生、施建輝、 王瓊蘭、莊崇仁和黃業建	高中化學（上冊）	翰林
TS13	2009	黃長司、黃芳裕和鍾崇桑	高中化學（上冊）	康熹
TS14	2009	方泰山、林如章、張哲政、 何鎮揚、張荆壢和張雅玲	高中化學（上冊）	龍騰
TS15	2009	葉名倉、劉如熹、邱智宏、 陳建華、陳偉民和周芳妃	高中化學（上冊）	南一
TS16	2009	陳竹亭	高中化學（上冊）	泰宇

第二節 研究工具

本研究所使用之研究工具分為量化與質化兩個部分，量化部分主要是診斷式紙筆測驗（包括原子概念問卷（I）和（II）與原子概念成就測驗）與模型本質問卷；質化部分則包括訪談、學習單、教學影帶內容分析和問題解決（利用原子概念問題解決探討學生建模能力）等。表 3-2-1 為本研究使用研究工具與目的之彙整表。

表 3-2-1. 研究工具與使用目的說明

研究工具	設計重點	使用目的
模型本質問卷	採用李克氏量表評量學生對模型本質（語意、本體論、認識論和方法論）之認識	- 了解跨年級學生對模型本質之認識。 - 建立學生模型本質架構。
如何利用模型表徵	採取半結構式訪談的方式進行，探討學生如何利用模型表徵現象或概念	- 了解學生如何利用模型表徵所欲理解的現象或概念？ - 學生所建立模型與表徵系統之間有何關係存在？
原子概念問卷(I)	- 採用開放式問題。 - 利用畫圖的方式評量學生對於原子概念與模型類型。	- 探討跨年級學生於「物質組成」和「原子理論」之概念與模型特徵。 - 分析跨年級學生原子概念發展歷程與比較。 - 結合教科書分析，探討影響學生概念發展之因素。
原子概念問卷(II)	- 原子概念建模教學之概念性問卷。 - 採用二階段測驗。	- 探討 11 年級學生於建模教學之「原子」概念與模型之發展歷程。 - 比較不同教學策略對於 11 年級學生學習之成效與影響。
原子概念成就測驗	「原子」概念建模教學之成就評量（繪圖、計算）。	- 探討 11 年級學生經過不同教學後於原子概念之學習成效。 - 比較不同教學策略對於學生學習之影響。
教科書分析	- 模型數量、表徵、類型與特徵分析 - 建模歷程 - 原子結構內容分析	- 探討不同版本教科書於「原子理論」單元之模型數量、模型表徵、模型類型與特徵。 - 探討不同版本教科書於「原子理論」單元之建模歷程。
學習單	學生上課學習單	分析 11 年級學生對於「原子」概念之概念理解，以及作為資料佐證。
教學影帶	教師教學歷程分析	分析不同建模教學策略之差異，作為資料佐證。
問題解決問卷	原子概念問題評量學生建模能力。	利用「原子」概念相關衍生問題分析學生之建模歷程與能力。

一、模型本質問卷

本研究模型本質問卷工具修正 Chiu 和 Liu (2008) 所提出模型本質觀點，分別從語意 (semantics) (模型的表徵形式)、本體論 (ontology) (什麼形式的物件屬於模型)、認識論 (epistemology) (學生如何認識模型，或是模型如何促進學生理解) 和方法論 (methodology) (模型的功能取向) 等 4 個面向來探討學生對模型本質的觀點，此外，問卷亦採用李克氏量表評量，分為非常同意、同意、不同意和非常不同意等 4 個評量標準。本研究為了解學生對於科學模型與一般非科學模型之認識是否存在差異，模型本質問卷之範例選用亦區分為科學與非科學，雙向細目表詳如表 3-2-3 所示，問卷內容詳如附件 1。

(一) 語意

語意部分為探討模型的表徵，以及與實體之間的關係。因此，題目設計主要從實體和表徵形式來考量，採取雙向交叉形式來探討兩者之關係。實體部分包括物件和過程或概念，並依科學與非科學來做區分；表徵形式則包括具體、圖像、文字、符號、方程式、肢體動作、電腦模擬和混合形式等形式，而混合表徵形式即是結合原有的圖像和文字而成。

(二) 本體論

關於本體論部分，我們主要學生回答模型是什麼？模型與現象之間的關係為何？相同的事物或現象能有不同的模型嗎？以及模型需要完全對應真實嗎？依模型本質問卷的本體論架構，我們將本體論再區分為“模型再現”和“模型改變”兩個部分。模型再現的部分，主要為：1.模型是特定事物的複製品；2.模型是特定事物的部份呈現；3.模型是特定事物的特徵以不一致的比例來呈現；4.模型要完全對應特定事物的結構、性質與關係；5.一個特定的現象，只能有一個正確的模型給予解釋。模型變化關係部分，則為：1.一個解釋特定現象的模型，僅是歷史發展中的多種模型其中之一；2.模型是可以被改變；3.模型（定律和假說）均有限制性；4.若是使用不同觀點來檢驗模型時，若產生不一致的結果，則必須修改模型。關於本體論問卷總計有 20 題，其中 10 題屬於科學範例問題，10 題則屬於非科學範例問題。

(三) 認識論

關於模型本質之認識論方面，本研究再細分為兩個解釋的面向，分別是：透過模型認識和情境建立，探討學生可透過不同表徵形式模型來認識或了解現象或概念，主

要有透過符號、圖像、文字和肢體動作等四種方式；以及模型是某些特定人士對某種事物或現象的觀點，某特定人士可再區分為個人、科學家和社會大眾等。關於認識論問卷總計有 14 題，其中 7 題屬於科學範例問題，7 題則屬於非科學範例問題。

(四) 方法論

本研究測驗工具方法論部分即是針對模型功能和心智模式外顯化來加以探討，模型功能部分，主要有模型可做為描述、解釋、推理、預測、檢驗、產生新想法，而心智模式則需透過模型來予以外顯化等。關於方法論之問題總計有16題，其中8題屬於科學範例問題，8題則屬於非科學範例問題。

表3-2-2. 模型本質問卷雙向細目表

面向	次項目	說明	題號
語意	實體關係	• 分為物件和概念（過程）兩個部分。	A-1~H-4
	表徵形式	• 分為具體、圖像、文字、符號、肢體動作、電腦模擬和混合（圖像+文字）	
本體論	模型再現 (模型本質)	• 某些事物的複製品。	2-1~2-6(非科學)
		• 簡化並呈現特定主要部分。	2-11~2-16(科學)
		• 特定事物的特徵以不一致的比例來呈現。	
		• 完全對應特定事物的結構、性質與關係。	
認識論	變化關係 (模型改變)	• 只能有一個正確的模型來給予解釋這個現象。	
		• 解釋特定現象的模型，僅是歷史發展中的多種模型其中之一。	
		• 「定律」和「假說」是必需沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。	
		• 模型是可以被改變。	2-7~2-10(非科學)
方法論	模型功能	• 模型（定律和假說）均有限制性。	2-17~2-20(科學)
		• 若是使用不同的觀點來檢驗模型時，若產生不一致的結果，則必須修改模型。	
		• 透過符號、圖像、文字、肢體動作可以呈現和了解科學現象或概念。	3-1~3-4(非科學)
		• 模型可以是個人、科學家和社會大眾對某種事物或現象的觀點。	3-8~3-11(科學)
方法論	模型功能	• 模型可以是個人、科學家和社會大眾對某種事物或現象的觀點。	3-5~3-7(非科學)
		• 模型可以做為描述、解釋、推理、預測、檢驗、產生新想法，以及心智模式的外顯化等。	3-14(科學)
方法論	模型功能	• 模型可做為描述、解釋、推理、預測、檢驗、產生新想法，以及心智模式的外顯化等。	4-1~4-8(非科學)
			4-9~4-16(科學)

二、如何利用模型表徵

當學生面對不熟悉的現象，他們會很自然地建構個人化的理論，即以模型來表徵。本研究爲了解學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或原理？以及學生所建立之模型與表徵的系統之間有何關係存在？本研究即針對目標系統與參考物來源，探討其兩者之間的關係。

研究主要採取訪談方式進行，探討學生建立模型與表徵系統之間的關係，以及學生如何選擇適當的模型？從日常生活所見之現象或概念（食鹽溶於水、木材燃燒、重物自由落下和鈉原子失去電子），探討於學生如何選擇已存在模型？學生所建立模型之屬性，以及學生如何判斷模型的真實性及適用性等。此外，學生對於所建立模型系統如何判斷其是否正確？判斷依據又爲何？半結構訪談問題詳如附件 2。

三、原子概念問卷 (I)

原子概念問卷 (I) 主要探討跨年級學生對於「物質組成」之理解，以及「原子結構」之模型類型與描述，並進一步分析跨年級學生於「原子理論」模型之發展歷程。問卷設計流程方面，首先，研究者透過文獻探討工作，界定學生對於物質組成和原子理論模型之理解，藉以歸納出學生對於物質組成與原子理論模型特徵，依此設計原子概念問卷 (I)。整份試卷設計完畢後，先針對 9 年級學生進行預試，總計 36 位學生參與預試之工作，預試結果經修正，隨後研究者商請兩位專家（高中化學教師和科學教育專家）進行效度審查，經多次反覆修正後定稿。

問卷評定方面，主要分爲「物質組成」、「原子結構模型」與「原子結構之描述和說明」等三個部分，依據科學史於「原子理論」之發展歷程，將各部分再做細分，「物質組成」模型分爲 8 種類型；「原子結構」模型分爲 6 種類型；「原子結構描述與說明」部分，則再細分爲 7 個層次，詳細評分標準如表 3-2-3 所示。

表 3-2-3. 原子概念問卷（I）評分標準

	模型類型	評分標準說明
物質組成	連續觀模型(C0)	• 未答、沒有粒子觀，純粹以物質外觀作答，或答案無法分類
	細胞模型(C1)	• 細胞為組成物質的最小物質
	道耳吞原子模型(C2)	• 原子為球形
	混合模型(C12)	• 無生命物體為球形，有生命物體則為細胞
	湯木生原子模型(C3)	• 電子鑲嵌於原子內
	拉塞福原子模型(C4)	• 有核模型，原子含有電子、質中和中子，並且原子區分為原子核和核外的電子，電子未能以分層的方式排列
	波耳原子模型(C5)	• 行星模型，即是原子含有電子、質中和中子，並且原子區分為原子核和核外的電子，電子以分層的方式排列
	電子雲模型(C6)	• 電子分布為電子雲的形式
原子結構模型	M0	• 未答、沒有原子觀，或答案無法分類
	道耳吞原子模型(M1)	• 原子為球形，未能區分原子內含有更小的粒子
	湯木生原子模型(M2)	• 電子鑲嵌於原子內
	拉塞福原子模型(M3)	• 原子模型為有核模型，原子含有電子、質中和中子，並且原子可以區分為原子核和核外電子，但電子未能以分層的方式排列
	波耳原子模型(M4)	• 原子模型為行星模型，即是原子含有電子、質中和中子，並且原子可以區分為原子核和核外電子，電子以分層的方式排列
	電子雲模型(M5)	• 電子分布為電子雲的形式，即是電子出現的情形以點的形式來表徵
原子結構描述	D0	• 未答、圓球或錯誤答案
	D1	• 原子包括原子核和核外的電子
	D2	• 原子包括帶正電的原子核和帶負電的電子，並且電子在外面繞原子核運動
	D3	• 原子包括原子核（質子和中子）與帶負電的電子
	D4	• 原子包括原子核（質子和中子）與帶負電的電子，並且質子數＝電子數
	D5	• 原子包括 Z 個質子、A-Z 個中子和 Z 個電子
	D6	• 原子包括原子核（Z 個質子和 A-Z 個中子）與 Z 個核外電子

四、原子概念問卷（II）

爲了解 11 年學生進行不同教學策略前後，對於原子概念之理解情形，本研究設計原子概念問卷（II）。問卷的發展模式爲研究者經過文獻探討後，從相關文獻設計半結構訪談問卷，針對問卷進行訪談工作，找出學生迷思概念與心智模式，藉以歸納學生學習原子概念的解釋，依此設計原子概念問卷（II）。

問卷題目採取二階層（Two-tier）形式，學生除要回答相關問題外，並且需要從問題中，尋求適當的解釋，此外，題目主要測驗學生之概念理解，學生無法單純採取記憶的方式來回答問題，他們必須經過理解相關概念後才能填答。問卷題目分成四個次概念：分別是：1.原子本質與結構；2.量子力學與軌域；3.電子組態與週期性；4.化學鍵等，大致上已涵蓋教育部所頒佈 95 年《普通高級中學必修科目「化學」課程暫行綱要》所列舉之內容。原子概念問卷（II）之雙向細目表如表 3-2-4 所示。問卷詳如附件 3。原子概念問卷的題目分布情形如下：第 1-1-1~1-2-2 題屬於「原子本質與原子結構」概念，第 2-1-1~2-2-3 題屬於「量子力學與軌域」概念，第 3-1-1~3-3-1 題爲「電子組態與週期性」概念，第 4-1-1~4-4-3 題屬於「化學鍵結」概念，總計有 25 題。

整份問卷設計完畢後，研究者另商請兩位專家（高中化學教師和科學教育專家）針對整份問卷的內容正確性及措辭給予意見。此外，正式施測前，本問卷另經某公立高中一年級學生進行預試，預試結果經修正後，予以定稿。問卷之計分，題目若屬記憶性問題，答對以 1 分計算，理解性問題每小題 2 分，整份問卷總分爲 57 分。

表 3-2-4. 原子概念問卷（II）雙向細目表

	命題陳述	題目
原子本質與結構	- 具有顏色的物質，其組成的粒子不具有顏色。 - 原子核與電子之間的空間為真空狀態。 - 波耳經由氫原子光譜，提出特定軌道的氫原子模型，分別以 $n=1, 2, 3\cdots$ 代表各軌道，其能階大小為 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ 焦耳}$ - 當激發的電子由高能階回到低能階時，其會以光的形式釋放出能量，能量與頻率的關係：$E=h\nu$。	1-1-1、1-1-2 1-2-1、1-2-2
量子力學與軌域	- 電子並非單純地在特定軌道上運轉，而是在原子核附近區域作高速的運動。 - 電子雲界面是指電子出現機率占 90% 的區域，電子在原子核外出現的區域稱為軌域（orbital）。 - 電子運動軌跡無法被預測，只能利用機率描述其分布區域。	2-1-1、2-1-2 2-2-1、2-2-2 2-2-3
電子組態與週期性	- 化學反應中參與反應是最外層或能量較高的電子，稱為價電子，價電子組態決定元素的化學性質。 - 同週期原子，原子序愈大，原子體積愈小。 - 同族原子，原子序愈大，原子體積愈大。 - 同族原子，原子序愈大，活性愈大。	3-1-1、3-1-2 3-2-1、3-2-2 3-3-1
化學鍵	- 形成化學鍵會放出熱量，破壞化學鍵會吸收熱量。 - 金屬元素和非金屬元素反應時，通常是藉著價電子的得失，彼此形成鈍氣電子組態，並藉著陰離子與陽離子間的庫侖作用力形成穩定化合物，這種化學鍵稱為「離子鍵」。 - 共價鍵是兩個原子以共同電子的方式而形成的化學鍵，而形成的化學物稱為共價分子。 - 金屬原子的價電子不固定在兩原子間，而是為所有金屬原子所共有，換言之，維繫金屬原子的結合力稱為金屬鍵。 - 因為金屬本身有自由移動的電子，所以可以導電。	4-1-1、4-1-2 4-2-1、4-2-2 4-2-3 4-3-1、4-3-2 4-3-3 4-4-1、4-4-2 4-4-3

五、原子概念成就測驗

為了解學生經過不同教學策略後學習原子概念之成效，本研究設計原子概念成就測驗。測驗工具參考 95 年《普通高級中學課程暫行綱要》之相關內容，測驗方式採

取紙筆測驗，計有選擇題 15 題，非選擇題 5 大題。試題設計完畢後，研究者商請一位高中化學教師與一位科學教育專家進行效度審查，經多次反覆修正後定稿。計分方面，題目若屬記憶性問題每題 1 分，理解性問題每小題 2 分，統整性問題每題 3 分，整份問卷總分爲 51 分。評分標準詳如附件 2 所示，原子概念成就測驗時間爲教學後 1 個月進行施測。原子概念成就測驗題目詳如附件 4。

六、教科書分析

教科書在科學教育扮演的角色已是無法被忽略，而它們也是教師設計課程時重要的訊息來源 (Kesidou & Roseman, 2002)。儘管教科書中充滿許多模型與建模的範例，然教科書卻未能明確地指出這些模型與建模的範例 (Well, Hestenes, & Swackhamer, 1995)，因此，本研究欲分析教科書於「原子理論」單元使用之模型表徵，利用Liu & Chiu (2010) 與劉俊庚和邱美虹 (2010b) 所提出的建模歷程評估模式來分析教科書於「原子理論」單元之建模歷程，並利用Niaz (1998) 所提出之標準來分析教科書在「原子理論」單元描述之差異。教科書分析過程如下所述，首先，先由研究者進行文獻分析，參考科學史原子理論發展，依「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等四個單元，建立本研究分析標準與範例，經兩位專家(科學教育和化學領域)審查，依專家審查結果修正作爲本研究分析之標準。隨後由研究者與另一位具科學教育背景評分者各自閱讀兩個版本教科書 (TS01和TS02)，並依據分析標準與範例進行分析工作，若有分析不一致之處，兩位評分者透過相互討論的方式達成共識。最後則由研究者完成其他版本之分析工作。

(一) 模型表徵與類別分析

Mayer (1989) 認爲一個良好模型的定義，其必須符合下列 7 個特徵 (7C)，如表 3-2-5 所示。依表 3-2-5 所敘述之 7 個模型特徵向度，本研究亦分別列出作爲國中和高中教科書於「原子理論」單元之評量標準與範例，經兩位專家(科學教育和化學領域)審查，依專家審查結果修正作爲本研究分析之標準，詳如附件 5，並依此作爲評定國中和高中教科書中所呈現模型之標準。總計分析的國中自然與生活科技教科書有 6 個版本(依出版年份依序爲 TJ01~TJ06)，總計分析 1974~2009 年之高中化學教科書有 16 個版本(依出版年代依次爲 TS01~TS16)。

表 3-2-5. 良好模型之特徵 (Mayer, 1989)

向 度	特徵描述

完整性 (Complete)	• 包含所有基本元素與關係，學習者能夠看到系統是如何運作。
簡潔性 (Concise)	• 所呈現的模型適合學習者，但不是提供非常詳細即可，學生將會不知所措，好的模型描述每個部分的一般性功能。
融貫性 (Coherent)	• 好的模型對於學習者來說能夠憑著直覺即獲知，如此將顯而易見。
具體性 (Concrete)	• 模型所呈現的層次適合學習者，包括具體模型或視覺模型。
概念性 (Conceptual)	• 提供清楚的概念性解釋，並能解釋系統如何地運作。
正確性 (Correct)	• 模型主要部分與真實物件或事件之間有對應性。
審慎性 (Considerate)	• 對於學習者而言，利用適當的文字和組織來呈現模型。

為分析教科書所使用之模型，本研究依上述之模型特徵分析向度，分析國中和高中教科書於「原子理論」單元模型使用之差異。此外，為使分析工作能更為精確與完整，本研究亦依下列分類加以評定。如下所述：

- 1.良好符合要求 (Satisfactory, S)：具體陳述或有相關範例提供則可歸於此類別。
- 2.僅提及 (Mention, M)：教科書僅簡單地陳述，或是未能詳細地加以陳述說明。
- 3.沒有提及 (No mention, N)。

(二) 教科書「原子理論」單元之內容分析

教科書於「原子理論」單元內容分析部分，基於科學史發展的觀點，本研究採用 Niaz (1998) 所擬訂之評定標準，但因原有 Niaz (1998) 所擬定之評定標準主要用於分析湯木生、拉塞福和波耳等原子理論，為使分析的內容能更完整與符合我國教科書之內容，本研究加入「量子力學」單元，並增加相關的評量標準與描述。此外，為使評定標準符合我國課程綱要與建立本土化資料，原有 Niaz 之評定標準描述部分亦做部分的修改，結果詳如表 3-2-6。評定標準並經兩位專家（科學教育和化學領域）審查，依專家審查結果修正作為本研究分析之標準。

茲因表 3-2-6 所描述為不同原子理論之間的競爭與理論重建，我國國中自然與生活科技教科書受限於課程綱要僅敘述各個原子理論的內容，完全無法符合本研究所訂定之評量標準，故原子理論內容分析僅針對不同版本高中化學教科書，總計分析 1974~2009 年之高中化學教科書有 16 個版本（依出版年代依次為 TS01~TS16）。

表 3-2-6. 教科書於「原子理論」單元內容分析評定標準（修改自 Niaz, 1998）

原子結構	評量標	標準描述

準符號		
湯木生	T1	利用陰極射線在磁場及電場的偏轉，顯示為帶負電荷的粒子。
	T2	荷質比決定陰極射線是否為離子（比例不相同）或一般帶電的粒子（對於所有氣體均有相同的比例）。
拉塞福	R1	拉塞福透過 α 粒子實驗，提出有核原子模型與競爭的架構（湯木生原子模型）產生衝突。
	R2	當 α 粒子撞擊湯木生原子模型所構成的金箔時，受到均勻的斥力，雖會產生路徑的轉變，但產生大角度散射的機率非常地小。
	R3	拉塞福透過 α 粒子實驗提出有核原子模型，並解釋為何會有大角度 α 粒子散射。
波耳	B1	波耳主要目標即是解決拉塞福原子模型的穩定性問題，並提出一個競爭的架構。
	B2	氫原子光譜解釋或預測（如解釋巴耳末系列或預測萊曼系列光譜）。
	B3	波耳結合普朗克量子理論到古典電磁學理論，提出波耳原子理論。
量子力學	Q1	量子力學是解決波耳理論，並推廣到多電子的原子。
	Q2	量子力學認為電子是無法預測性，並且電子的出現可以用數學函數（機率）來描述，即是軌域。

教科書內文部分，除上述之評定標準外，教科書呈現內容亦依下列的分類與計分，做為教科書之內容分析標準。如下所述：

- 1.良好符合要求（Satisfactory, S）：教科書中能具體陳述關於不同原子模型之間的競爭與限制，則可歸於此類別。
- 2.僅提及（Mention, M）：教科書僅簡單地陳述衝突或競爭的架構，或是未能詳細地加以陳述說明。
- 3.沒有提及（No mention, N）：未能提及衝突的架構。

（三）建模歷程分析

為探討不同版本教科書於「原子理論」單元之建模歷程，本研究利用 Liu & Chiu（2010）所研擬之建模歷程指標，並參考科學史發展歷程，建立本研究建模歷程分析標準與範例，經兩位專家（科學教育和化學領域）審查，依專家審查結果修正作為本研究分析之標準，藉以分析不同版本教科書於「原子理論」單元之建模歷程，詳如附件 6。國中教科書受限於課程綱要僅敘述各個原子模型的內容，完全無法符合本研究所訂定之評量標準，故建模歷程分析僅針對高中化學教科書部分。總計分析 1974~2009 年之高中化學教科書有 16 個版本（依出版年代依次為 TS01~TS16）。除附件 6 之建模歷程分析標準外，亦依下列分類加以評定與記錄，如下所述：

- 1.良好符合要求（Satisfactory, S）：具體陳述或有相關範例提供則可歸於此類別。
- 2.僅提及（Mention, M）：教科書僅簡單地陳述，或是未能詳細地加以陳述說明。
- 3.沒有提及（No mention, N）。

七、問題解決問卷

本研究設計問題解決問卷，主要是採取問題解決的方式探討學生建模歷程與能力，並利用所研擬之建模歷程指標，以及修正張志康和邱美虹（2009）之建模能力指標，比較經過不同教學策略後，學生之建模歷程與能力改變情形，建模能力問題解決測驗主要以拉塞福 α 粒子散射實驗的結果來做分析與探討，分析學生如何從拉塞福 α 粒子散射實驗的結果進行建模，問題解決問卷於教學完畢後實施。施測完畢後，經轉錄後進行學生建模能力之評分。

第三節 教學活動設計

一、教學目標與課程規劃

本研究受試者為臺北市松山區某完全中學 11 年級學生，分別施予「講述教學組」、「類比建模組」和「電腦輔助模型組」等不同教學策略，探討建模教學對於學生「原子」概念學習之影響。建模教學策略方面，主要是著重於視覺化對於學生理解複雜概念之影響，透過電腦輔助教學策略，讓學生理解不同表徵系統之間互補的地方（彌補多重表徵之不足），並希望學生能在不同表徵系統之間做轉換，以及產生概念遷移的現象（如原子結構與電子組態之間轉換）。學習者若是能在不同表徵模型之間作調和，轉換的過程中，增加新的元素，尋找和獲得限制，解決不一致性，聯結它們，溝通想法而促成獲得新的模型，進而增進學生的建模能力與促進概念改變。類比建模教學策略則著重於類比模型之建立，透過類比物的描述與選擇，進而使學生自發地建立類比模型，並找尋類比之間的對應關係，再經過效化、分析與評估和調度等工作，藉以提升學生的學習成效與建模能力。

本研究分為三種不同教學策略，分別是：「講述教學組」（傳統教學組）、「類比建模組」和「電腦輔助模型組」。教學與施測流程如圖 3-3-1 所示，課程規劃時程如表 3-3-1 所示。「類比建模組」和「電腦輔助模型組」兩組課程規劃僅有部分的差異，而「類比建模組」和「電腦輔助模型組」則從原子模型發展單元即開始嘗試將建模歷程教導給學生，透過類比或電腦模擬將建模歷程融入課程，並且講述科學家於原子理論發展歷程中類比與模型之使用，以及說明建模的歷程，加深學生對於模型與建模之認識。而為使「講述教學組」教學總時數與其他兩組的時間相同，故於最後 1 節安排課程綜合練習，教師將整個課程做複習的工作。

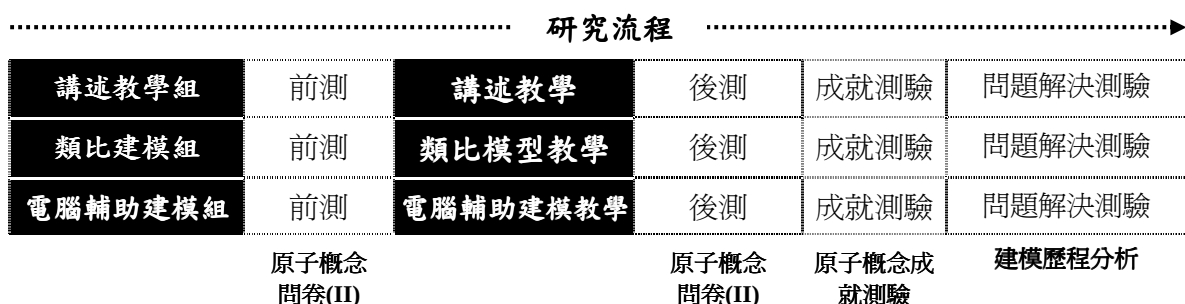


圖 3-3-1. 「講述教學組」、「類比建模組」與「電腦輔助模型組」之研究設計

表 3-3-1. 「講述教學」、「類比建模教學」與「電腦輔助建模」之課程規劃

	講述教學	類比建模教學	電腦輔助建模
	• 傳統講述教學（板書）	• 以類比作為媒介	• 電腦模擬為媒介 • 電腦操作為主
第一節	原子歷史發展和原子結構探索	原子歷史發展	原子歷史發展
第二節	光譜與原子結構	原子結構探索	原子結構探索
第三節	光譜與原子結構	原子結構探索和光譜與原子結構	光譜與原子結構
第四節	原子軌域	光譜與原子結構	光譜與原子結構
第五節	原子軌域和電子組態	光譜與原子結構和原子軌域	原子軌域
第六節	電子組態	原子軌域	原子軌域
第七節	電子組態	電子組態	電子組態
第八節	電子組態與週期表	電子組態	電子組態
第九節	電子組態與週期表	電子組態與週期表	電子組態與週期表
第十節	化學鍵的形成	電子組態與週期表	電子組態與週期表
第十一節	化學鍵的形成	化學鍵的形成	化學鍵的形成
第十二節	綜合練習	化學鍵的形成	化學鍵的形成

（每節課程為 50 分鐘，每週進行 4 節）

在教案內容方面，則依「以模型為基礎的建模教學」和「科學模型」，以及教科書分析結果重新撰寫成研究使用之文本，並經由二位專家學者和二位高中教師針對所有教材內容的正確性與適當性提出建議，以求教材設計符合所欲達成的教學目標，並適合 11 年級學生學習之使用。

二、教學特點與異同比較

為了比較三種不同教學策略，以及釐清三者之異同，在此我們將分別對三種教學策略之異同做進一步之說明。而為使學生建立更為靈活的心智模式，本研究之建模教學活動設計採取多樣化的形式，如 POEC 教學、類比、電腦模擬與操作和多重表徵模型等，透過多樣性的教學活動加深學生「原子」概念理解與模型認識。因此，本研究之建模教學即依據上述的想法，分別設計「類比建模教學」和「電腦輔助建模教學」，藉以比較不同建模教學與講述教學策略對於學生原子概念學習之影響。

（一）類比建模教學

Glynn（1991）認為 TWA 的教學模式具有下列兩種優點，分別是：1.假如教科書

中所使用的類比沒有清楚地解釋，或是安排方式不恰當，則 TWA 可以用來提供教師在教學時的參考；2.我們若是只提供類比教材讓學生自行閱讀，則有可能會導致學生另有概念的產生。因此，如果讓學生瞭解 TWA 的模式，再讓學生自行閱讀，則可以增加學生對科學概念的瞭解。

本研究即參考 Glynn (2007) 所提倡之類比教學模型 (Teaching-with-Analogy Model)，依據其教學流程為：1.介紹所學的目標概念給學生；2.提醒學生他們已知的類比概念；3.確認標的物與類比物之間的特徵；4.連結類比物與目標概念之間對應的特徵；5.指出類比何時會失效；6.提出結論。並針對原子結構、原子結構與光譜、電子組態與週期表，以及化學鍵等概念，設計相關的教學活動。

教學過程中，教師先考量學生的先備概念、模型與疑問，提出不同的問題讓學生思考，培養學生的創造性思考，教師亦提供適當的鷹架，透過師生互動來共同建構模型，亦協助學生自發地產生類比。在教師與學生的互動中，透過教師提問與師生對話的辯證過程來檢驗與分析建立的模型，學生為回答教師問題與各種挑戰，他們將更深化所建立的模型，分享疑難之處，並整合其他同儕的想法至他們模型中，學生可檢驗模型是否具有內部一致性或不同模型之間融貫性，並與其他同儕相互比較與評估，而了解模型的限制，或是不同形式表徵的連結與差異。因此，學生更能對整個類比與建模歷程有完整的理解。

在類比建模教學中，以「光譜與原子結構」單元為例，教師先介紹學生本單元欲學的目標概念（光譜與原子結構）和學生的先備概念，如對於光的理解，或光有不同顏色、頻率和波長。隨後，「模型描述與選擇」階段，學生可以選擇電子能階為「書架」或「樓梯」來類比，「書架」和「樓梯」皆有層級的概念，讓學生可利用此類比物來描述，協助了解電子能階和電子排列皆具有殼層的概念，隨後則是模型建立階段，教師可提供動能與位能的轉換來類比電子從低能階到高能階的過程，當電子吸收能量後，電子會從低能階跳到高能階，猶如物體從低處移到高處獲得位能，而電子從高能階轉移到低能階則會以光的形式釋放出來，此過程猶如物體從高處落下，物體會將原貯存的位能轉變為動能的形式釋放出來。隨後，「模型效化」和「模型分析與評估」，學生則透過建立其他的類比物來探討類比物與目標概念之間對應的相似性，並透過此活動驗證模型的適用性、一致性和融貫性，「模型調度」則是要求學生指出類比何時會失效，並且提出模型的限制性，例如在此範例中，樓梯各階為等距，但電子能階則非等距。最後，「模型重建」階段則是學生所建立模型或類比物無法適用於上述的概念，則需要學生重新尋找類比物，再次尋找類比物與目標概念之間對應的相似

性，並且進行模型重建。詳細類比建模教學過程與內容，如表 3-3-2 所述。

除了詳述建模歷程外，教學使用之類比亦依 Mayer（1989）所訂定良好模型的 7 個標準，設計適當的類比模型，並應用於教學上。

表 3-3-2. 類比建模教學教案－以「光譜與原子結構」單元為例

建模歷程	教學過程說明	科學概念模型																					
模型描述與選擇 - 描述與選擇現象的各種面向（物件、狀態、交互作用和因果效應），並選擇最符合現象描述的各種面向與可能變數。 - 進一步詮釋面向與變數的關係	1. 介紹所學的概念－光譜與原子結構關係 - 光的性質與原子光譜 - 波耳的氫原子模型 2. 類比物的選擇與描述：以「樓梯」為例 - 層級的概念 - 樓梯高度 - 由較低層登階到較高層 - 由較高層登階到較低層 - 位能變化 - 層級固定 - 能量轉換	光譜的概念與模型 波耳氫原子模型																					
模型建立 - 初步架構問題相關的基本模型（概念、定律、工具和規則）。 - 將所選擇的面向與問題情境相關資訊做連結，或是理解問題情境有什麼面向屬性特徵。 - 定性和定量關係之建立	1. 確認標的物與類比物之間的關係 <table border="0"> <tr> <td>• 層級的概念</td><td>⇒</td><td>能階的概念</td></tr> <tr> <td>• 樓梯階層</td><td>⇒</td><td>n 值</td></tr> <tr> <td>• 由較低層登到較高層</td><td>⇒</td><td>低能階到高能階</td></tr> <tr> <td>• 由較高層登到較低層</td><td>⇒</td><td>高能階到低能階</td></tr> <tr> <td>• 位能變化</td><td>⇒</td><td>能階變化</td></tr> <tr> <td>• 層級固定</td><td>⇒</td><td>能階固定</td></tr> <tr> <td>• 能量轉換</td><td>⇒</td><td>能量變化</td></tr> </table> 2. 建立類比物與目標概念之間對應的相似性 - 位能轉換猶如電子從低能階跳到高能階，電子吸收能量後，電子會從低能階跳到高能階，猶如物體從低處移到高處獲得位能。 - 電子從高能階轉移到低能階會以光的形式將所吸收的能量釋放出來，此過程猶如物體從高處落下，物體會將原貯存的位能轉變為動能的形式釋放出來。	• 層級的概念	⇒	能階的概念	• 樓梯階層	⇒	n 值	• 由較低層登到較高層	⇒	低能階到高能階	• 由較高層登到較低層	⇒	高能階到低能階	• 位能變化	⇒	能階變化	• 層級固定	⇒	能階固定	• 能量轉換	⇒	能量變化	光譜模型與氫原子模型結合
• 層級的概念	⇒	能階的概念																					
• 樓梯階層	⇒	n 值																					
• 由較低層登到較高層	⇒	低能階到高能階																					
• 由較高層登到較低層	⇒	高能階到低能階																					
• 位能變化	⇒	能階變化																					
• 層級固定	⇒	能階固定																					
• 能量轉換	⇒	能量變化																					
模型效化 - 操作所建構的模型，尋求可能的解決方法或答案，討論所觀察到的方法和建立的關係，或是如何運作。 - 將所建立的模型與真實世界事物或問題做比較，討論其是否相符合。	1. 從類比物「樓梯」探討概念與關係是否正確 - 能階與電子軌道（n）之關係 - 電子從高能階躍遷至低能階，產生光的頻率與能量差之關係 2. 所建立的類比物「樓梯」與問題做比較，討論是否相符合	光譜模型與氫原子模型結合																					

模型分析與評估 • 評估所選擇的變數是否適合問題情境。 • 利用不同方式來檢驗所建立模型之內部一致性與不同模型之間的融貫性。	1.其他類比物的選擇：「書架」 2.分析與評估「樓梯」和「書架」類比的差異 3.評估「樓梯」和「書架」類比物與光譜與原子結構關係之概念融貫性。	光譜模型與氫原子模型結合
模型調度 • 利用已敎化的模型對實證性問題給予解釋、描述或預測，理解模型是否能正確或實現來做為參考依據。 • 理解模型使用的限定範圍。	1.提出結論 • 能量的高低以能階表示，$n=1$ 能量最低，稱為基態，$n>1$ 能量較高，稱為激發態。 • 高能階的電子回到低能階會放出一定的能量，即是固定頻率的光。 2.模型的應用 • 計算電子從高能階回到低能階時，可產生多少種頻率的光？ • 計算釋放出光的能量來判斷能階的變化？ 3.指出類比何時會失效或類比的限制性 • 多電子是否適用？ • 「樓梯」和「書架」類比物之限制	光譜模型與氫原子模型結合
模型重建 • 對於建立的模型感到不滿意，使用不同於先前的面向與變數來重新解釋，建構一個新模型。 • 討論思考先前未考量因素之間的關係。	1.重新尋找新的類比物，並重新回顧上述的建模歷程。	

（二）電腦輔助建模教學

「電腦輔助建模教學」主要是利用電腦模擬來建立學生關於原子的模型，透過電腦模擬，要求學生檢驗模型在不同情境下的適用性。如原子歷史發展教學單元中，學生所建構之原子結構模型若屬於湯木生或道耳吞模型，則透過電腦模擬的方式來模擬拉塞福的 α 粒子散射實驗，引導學生了解原有湯木生模型的侷限性，改變已存在模型，並重新建立新的模型。

教學策略除了電腦輔助與模擬外，亦提供機會讓學生畫圖，提供學生想像與思考的外顯化，並讓學生能深入探究他們所建立模型之結構與空間關係，而學生也利用畫圖來解釋原子結構與能階的關係，了解量子力學與軌域、電子組態與週期性以及化學鍵等概念，而這些解釋通常是學生所呈現的模型中無法看到或理解的部分。如連續光

譜與不連續光譜比較，學生在教學前僅擁有「連續」的觀念，而對於「不連續」的概念則相當地模糊，因此，本研究即利用電腦模擬方式，讓學生了解連續光譜與不連續光譜之差異，如下圖 3-3-2 所示。

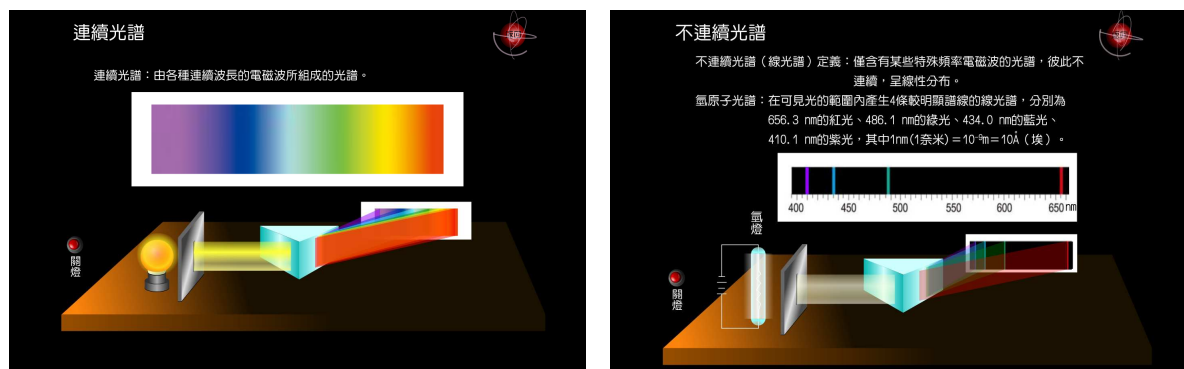


圖 3-3-2. 電腦輔助建模教學利用電腦模擬連續光譜與不連續光譜

教學活動亦鼓勵學生展現建立的模型，隨後即呈現預測活動，教師要學生對特定現象做預測，提供他們有機會表達原有的模型與想法，而教師適時介入則可讓學生了解需關注哪些部分。表達的過程中，學生可選擇適當的模型，並和其他同儕做討論，藉以修正或重新考量所建構的模型。

以「光譜與原子結構」單元的電腦輔助建模教學示例，教師仍會先介紹學生本單元欲學習的目標概念（光譜與原子結構），並針對學生的先備概念，如對於光的理解，或光有不同顏色與波長等概念做介紹。隨後，「模型描述與選擇」階段，學生可以先操作電腦軟體，觀察光有不同的顏色，以及與波長之間的關係。而且，學生亦可透過教師提供的電腦模擬，了解原子結構與模型，協助學生了解電子能階具有殼層的概念，隨後則是「模型建立」的階段，教師可提供電子從低能階躍遷到高能階和高能階轉移到低能階的電腦模擬情形，並詢問能量轉換的情形，並說明釋放的能量是以光的形式釋放出來，並且模擬電子從高能階躍遷到低能階放出的能量與光的顏色（頻率）關係。隨後，「模型效化」和「模型分析與評估」，學生則可自行操作電腦軟體，並透過此活動驗證模型的適用性、一致性和融貫性，「模型調度」則是要求學生指出電腦模擬模型的限制性，並要求學生思考多電子與單電子原子之差異，此外亦要求學生畫出不同能階的變化，教學則檢視學生所畫圖形是否正確。最後，「模型重建」階段則是學生所繪之圖形若無法適用於上述的概念，則需要學生重新建立模型。詳細電腦輔助建模教學過程與內容，請參閱表 3-3-3 的說明。

電腦輔助建模的教學過程是不斷以建模循環來進行整個課程，如此更促進學生了

解建模歷程，提升建模能力。此外，教學過程中亦明確地教導學生建模的歷程，並提供適當的情境讓學生發展建模能力，如教師透過電腦模擬或問題挑戰等教學活動，讓學生修正模型與檢驗模型的適當性。

表 3-3-3. 電腦輔助建模教學教案－以「光譜與原子結構」單元為例

建模歷程	教學過程說明	科學概念模型
模型描述與選擇 - 描述與選擇現象的各種面向（物件、狀態、交互作用和因果效應），並選擇最符合現象描述的各種面向與可能變數。 - 進一步詮釋面向與變數的關係	1. 教師講述所學概念－光譜與原子結構關係 - 光的性質（波動性和粒子性） - 波耳的氫原子模型 2. 電腦動畫分別呈現光譜與波耳氫原子模型 3. 學生操作電腦觀察光有不同的顏色，並探討光的顏色與頻率的關係。 4. 學生操作電腦觀察氫原子軌道的改變。 5. 教師與學生探討氫原子軌道改變，能量會產生何種變化？	光譜的概念與模型 波耳氫原子模型
模型建立 - 初步架構問題相關的基本模型（概念、定律、工具和規則）。 - 將所選擇的面向與問題情境相關資訊做連結，或是理解問題情境有什麼面向屬性特徵。 - 定性和定量關係之建立	1. 確認原子光譜與氫原子模型之關係 - 教師透過電腦模擬，將原子光譜與氫原子模型做結合。 2. 建立氫原子能階（能階與軌道之關係的建立） 3. 建立氫原子能階與光譜線之關係 - 學生操作電腦軟體，建立氫原子能階與光譜線之關係。	光譜模型與氫原子模型結合
模型效化 - 操作所建構的模型，尋求可能的解決方法或答案，討論所觀察到的方法和建立的關係，或是如何運作。 - 將所建立的模型與真實世界事物或問題做比較，討論其是否相符合。	1. 學生操作電腦，並模擬概念與關係是否正確 - 能階與電子運轉軌道（n）之關係 - 電子從高能階躍遷至低能階，產生光的頻率與能量差之關係 2. 所建立的模型與問題做比較，討論是否相符合	光譜模型與氫原子模型結合

模型分析與評估 • 評估所選擇的變數是否適合問題情境。 • 利用不同方式來檢驗所建立模型之內部一致性與不同模型之間的融貫性。	1.利用公式分析與評估光譜的頻率與原子能階。 2.評估電腦模擬與光譜頻率與原子能階關係之概念融貫性。	光譜模型與氫原子模型結合
模型調度 • 利用已效化的模型對實證性問題給予解釋、描述或預測，理解模型是否能正確或實現來做為參考依據。 • 理解模型使用的限定範圍。	1.提出結論 • 能量的高低以能階表示，$n=1$ 能量最低，稱為基態，$n>1$ 能量較高，稱為激發態。 • 高能階的電子回到低能階會放出一定的能量，即是固定頻率的光。 2.模型的應用 • 計算電子從高能階回到低能階時，可產生多少種頻率的光？並利用電腦模擬來做驗證。 • 計算釋放出光的能量來判斷能階的變化？ 3.指出模型何時會失效或模型的限制性 • 多電子是否適用？ • 單電子離子是否適用（如 He^+）？	光譜模型與氫原子模型結合
模型重建 • 對於建立的模型感到不滿意，使用不同於先前的面向與變數來重新解釋，建構一個新模型。 • 討論思考先前未考量因素之間的關係。	1.由於原有的波耳理論僅適用於氫原子，無法解釋單電子離子（如 He^+ ），故需重新尋找適合於單電子離子的新模型，並重新回顧上述的建模歷程。 2.建立單電子離子的光譜與原子結構的關係。	單電子（類氫）離子模型

（三）類比建模教學、電腦輔助建模教學與講述教學之比較

建模教學與講述教學主要的差異在於建模教學需考量三個向度，分別是：1.學生模型的建立與使用；2.學生探索、轉換，另有模型的比較與對比（多重表徵模型的連結）；3.學生如何重新建構模型。此外，建模教學仍需考量學生的想法與先備概念。並為培養學生建模能力和建立正確的模型，教學需包含模型效化、調度與重建等元素。而為達到“以模型為基礎的共同建構”，教師提供鷹架（scaffolding）給學生，並透過師生的對話達到學生－教師共同建構（Co-construction）。此外，建模教學亦讓學生明確地了解「建模的步驟」，並且配合類比或電腦動畫、模擬，將建模活動所要培養的能力融入教學活動中，使學生能在教學與操弄模型的過程中，透過關係的建立、效

化和分析與評估等過程，建構與修正學生的心智模式。在教學過程中，教師並鼓勵學生表達模型（如畫圖方式），選擇適當的表徵形式，預測模型的適用性，如此將協助學生建立多重表徵與模型之間的相關性與連結。

第四節 研究流程

本研究旨在理解學生模型與建模能力。研究流程分成三個階段，第一階段為準備階段，此階段自 96 年 9 月開始，研究者參與國科會研究計畫，期間參與模型本質問卷編製，設計建模教學活動，並持續蒐集資料，透過文獻探討與分析評估「模型」、「建模」和「以建模為基礎的建模教學」之可行性，以及建立本研究之理論基礎。此外，研究者也透過參與國科會計畫確定本研究之目的與問題，設計與發展各項研究工具，並建立各項問卷與測驗之評分標準。

第二階段為正式實施階段，主要工作為各項問卷的施測、教科書分析工作與建模教學活動的進行，並根據問卷施測結果挑選學生進行訪談的工作。由於研究者所任教之學校為完全中學，研究對象乃採取方便取樣，此外，亦由研究者實際擔任「類比建模教學組」與「電腦輔助建模教學組」之教學工作，「講述教學組」則商請另一位教師擔任教學工作，為避免所教之概念或內容有所遺漏之情形，教學前研究者與教師相互討論教學相關內容，藉以確保教學內容與概念均相同。

第三階段為資料分析階段，研究者將研究過程所蒐集的資料，如問卷、訪談錄音等，分別以電腦建檔，並進行訪談錄音逐字稿之轉譯。接著進行資料分析得到結果，並與文獻進行探討比較，最後撰寫論文。研究流程如圖 3-4-1 所示。

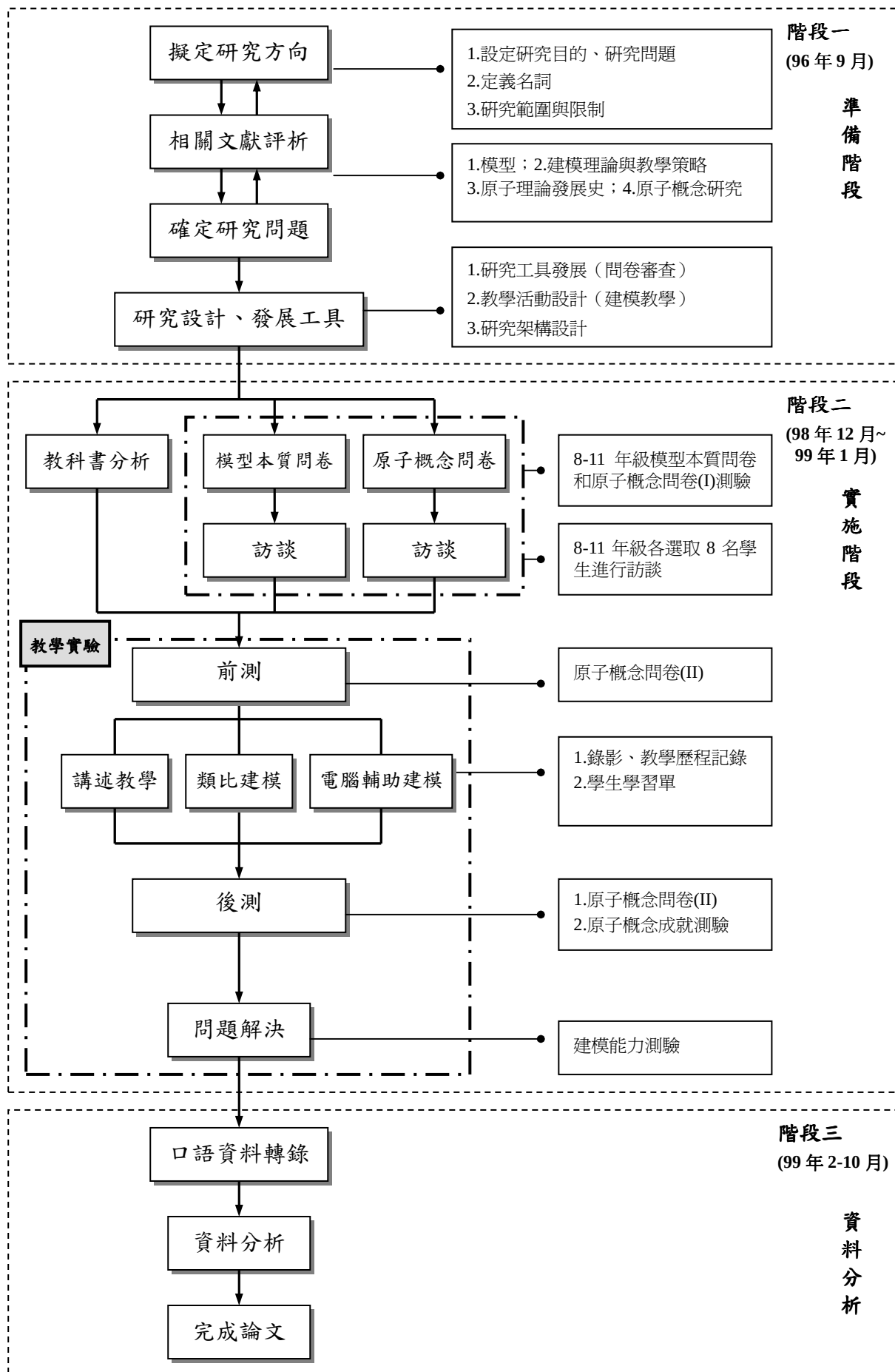


圖 3-4-1. 研究流程圖

第五節 資料處理與分析

本研究蒐集的資料，我們分為三個部分以回應研究目的。首先，學生對於模型本質的認識，並探討學生如何利用不同的模型來表徵所欲理解的現象或概念。其次，探討科學史發展與不同版本教科書於「原子理論」單元之模型特徵與建模歷程，以及跨年級學生對於原子概念之模型與比較。最後，不同建模教學策略對於學生原子概念學習的影響，並利用問題解決測驗來偵測學生之建模能力。在量化研究方面，主要透過統計分析的方式，比較跨年級學生於模型本質認識、原子概念問卷（II）和不同建模教學策略對學生學習原子概念之影響；質性方面，分析學生模型本質認識、如何利用模型、教科書分析、學生心智模式的演變、學生原子概念理解情形和建模能力，以及利用學生訪談與學習單等之質性資料來做彙整分析，藉以補充量化研究所得之結果。茲將本研究之資料處理與分析方式詳述如下：

一、學生模型認識和如何利用模型來表徵

（一）模型本質認識

本問卷採取李克氏 4 點式量表，分別從語意、本體論、認識論和方法論（模型的功能）等四個面向來探討學生對模型本質的觀點。此部分資料處理以量化為主，依學生作答情形：非常同意（4 分）、同意（3 分）、不同意（2 分）和非常不同意（1 分）等 4 個評量標準予以計分。除計算跨年級學生之分布頻率、平均數和標準差外，並採取因素分析的方式，對上述 4 個面向進行因素分析，計算各面向之間的相關係數，藉以分析各面向之間的關係。

此外，本研究為探討跨年級學生於不同面向之差異，利用單因子變異數分析來比較跨年級學生對於模型認識之差異。此外，為深入了解學生對於模型本質之認識與理解，本研究亦採取訪談的方式來蒐集學生資料，將學生訪談資料轉譯後，再將資料做彙整，透過質化分析的方式探討學生對於模型之認識與理解，以及跨年級學生之差異，並且對量化資料做說明與比較。

（二）學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象與概念

學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象與概念部分，本研究採取訪談方式進行探討，將學生訪談資料轉譯後，深入分析與探討學生如何利用模型表徵，以及不同年級學生之差異為何？分析的向度方面，本研究分別從模型屬性，比較模型與目標系統

之間的關係，分別從相似性（similarity）和同構性（isomorphism）兩個面向來探討學生所建構之模型，依 Suárez（2003）對於相似性（similarity）和同構性（isomorphism）之定義，相似性為兩個物件在其視覺表徵有重要的相似，如 A 和 B 具有相似性，即是兩者之間共享某些性質；同構性則是模型與目標系統之間存在結構的對應關係，並且其結構的關係架構（relational framework）是相同的，深入了解學生建構模型之差異。此外，本研究亦將透過學生訪談結果來探討學生如何判斷模型的真實性及適用性等？如何建立模型系統之正確性？判斷依據為何？

二、科學發展、教科書與學生之原子模型與建模歷程

（一）科學發展於原子模型類型演變與建模歷程

本研究透過文獻分析探討科學發展歷程中，對於「原子理論」的模型發展，並利用內容分析的方式，探討「原子理論」之模型發展和建模歷程，作為教科書分析工作之依據。詳見第二章文獻探討的第五節原子理論建模歷程分析。

（二）教科書於「原子理論」單元之模型特徵與建模歷程

教科書分析部分，本研究主要選取之國中（1990~2009 年）和高中（1974~2009 年）教科書相關章節來進行分析，選定分析之範圍為「原子理論」單元。教科書版本選定後，本研究即著重於不同版本教科書於上述「原子理論」單元所使用的模型類型與特徵、內容概念分析，以及是否符合建模歷程要素等三個部分。

1. 模型類型與特徵部分：本研究依據 Mayer（1989）所訂定的 7C 評定標準和擬定之範例來對不同版本教科書所表徵模型予以評定模型良窳與特徵，並依此分析架構，分析國中和高中教科書於「原子理論」單元之模型特徵與類別，並加以統計其數量與分布。
2. 「原子理論」單元之內容分析：本研究修改 Niaz（1998）所擬訂之評定標準，依「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元，建立各階段內容分析指標。此外，亦依下列分類加以評定，分別給予 0-2 分，依序為：良好符合要求（Satisfactory）：具體陳述或有相關範例說明（2 分）；僅提及（Mention）：教科書僅簡單地提及相關內容，未能詳細地說明（1 分）；沒有提及（No mention）（0 分）。分析不同版本教科書於不同原子理論之間的競爭與理論重建。

3.建模歷程：本研究利用 Liu & Chiu (2010) 與劉俊庚邱美虹 (2010b) 和所提出之建模歷程指標，並參考科學史之原子理論發展，依「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元，建立各階段建模歷程之分析標準與範例。此外，亦依下列分類加以評定，分別給予 0-2 分，依序為：良好符合要求 (Satisfactory)：具體陳述或有相關範例說明 (2 分)；僅提及 (Mention)：教科書僅簡單地提及相關內容，未能詳細地說明 (1 分)；沒有提及 (No mention) (0 分)。如在湯木生理論之「模型描述與選擇」階段，其標準如下：(1)陰極射線具有粒子性質；(2)陰極射線會受到電場與磁場的影響；(3)測得電子之荷質比；(4)不論陰極板是由何種金屬組成，均測得同一數值。若是教科書能完整提及上述內容，則評定為“良好符合要求”，若是缺乏其中某一項內容，則評定為“僅提及”，若是教科書內容完全未提及上述任一項內容，則評定為“沒有提及”。隨後經兩位專家(科學教育和化學領域)審查，依審查結果修正作為本研究之分析標準。

(三) 學生原子概念模型類型分析

本研究利用學生原子概念問卷 (I) 來探討跨年級學生原子理論模型之類型，採取量化的方式，分析跨年級學生於物質組成、原子結構與原子結構之描述和說明，並依擬定之評分標準來評量學生之解釋與說明 (評分標準參閱表 3-2-1)。此外，本研究為探討影響學生原子理論發展之因素，本研究亦結合教科書分析與學生原子概念問卷 (I) 施測之結果，分析兩者之相關性，藉以了解教科書於「原子理論」單元之呈現順序如何影響學生模型之建立與發展。

三、不同建模教學策略學習成效之比較

為探討建模教學對於學生原子概念學習的影響，並研究利用學生概念回答情形與建模歷程來偵測學生概念理解與建模能力之關係，此部分的資料分析主要可以分成三個部分：

(一) 原子概念問卷 (II) 前、後測差異

原子概念問卷 (II) 前、後測差異除分析不同教學策略學生在各次概念之答對百分比外，亦將做三組學生之學習成效比較與分析，比較向度如下：

1.前測資料方面：針對各個概念 (原子本質與結構、量子力學與軌域、電子組態與週期性，以及化學鍵結) 做描述性統計，亦使用單因子變異數 (ANOVA) 分析三組學生在原子概念問卷 (II) 前測的表現是否有顯著的差異。

2.教學後之後測資料方面：針對上述各個概念做描述性統計，亦使用單因子變異數（ANOVA）分析，檢驗不同教學策略對學生學習成效之影響。

3.前、後測資料比較方面：利用 t-test 比較三組學生於前、後測總答對率是否有顯著的差異存在，並以三組學生於原子概念問卷（II）前測成績作為共變數，進行共變數分析（ANCOVA），分析不同教學策略對於學生在不同概念與類別學習的影響。

（二）學生原子概念心智模式之演變

為了解三組學生於不同教學策略後之心智模式演變，本研究針對文獻探討、學生訪談結果與學生於原子概念問卷（II）前測回答情形，建立所欲探討概念之認知特徵，編碼考量的特徵共 9 項，茲陳列於表 3-5-1，並根據認知特徵建立學生原子概念之心智模式，如表 3-5-2 為學生於原子結構（原子穩定）之心智模式編碼表。而為比較三組不同教學策略學生於教學前、後之學習成效，本研究亦針對三組學生心智模式改變情形，探討不同教學策略對於學生心智模式改變之情形。

表 3-5-1. 學生於原子概念心智模式認知特徵編碼表

概念	特徵	特徵編碼
原子結構	1.原子本質	連續 1；不連續 2
	2.原子穩定性	原子不穩定 1；電子性 2；阻隔 3；引力 4；軌道 5；科學 6
	3.電子能階	吸熱 1；放熱 2
量子力學與軌域	4.電子運動	固定於原子內 1；圓形軌道 2；隨機 3
	5.軌域	限制範圍 1；無限制範圍 2
電子組態與週期性	6.體積	重量愈大，體積愈大 1；電子數愈多，體積愈大 2；殼層 3、殼層與原子核吸引力 4
	7.活性	重量愈大，體積愈大 1；電子數愈多，體積愈大 2；殼層 3、殼層與原子核吸引力 4
化學鍵結	8.能量	形成吸熱、斷裂放熱 1；形成吸熱、斷裂吸熱 2；形成放熱、斷裂吸熱 3；形成放熱、斷裂放熱 2

表 3-5-2. 學生於原子結構（原子穩定性）模式編碼表

模式	特徵摘要
電中性模式 (A)	原子核內的正電荷與原子核外的負電荷相等，原子會形成電中性，學生即受到原子電中性的影響，他們會認為原子呈現電中性，正、負電荷可以抵消，所以原子可以呈現穩定狀態。
阻隔模式 (B)	學生會認為原子內因為有其他粒子（如中子）的存在，其具有緩衝或阻絕的效果，可以避免電子被吸引入原子核，故可維持原子穩定性。
引力模式 (C)	原子核與電子之間的吸引力可作為電子作圓周運動的向心力，猶如衛星繞地球，所以電子可以穩定地在原子核外運動，但無法解釋為何電子不會被原子核吸引而墜入。
軌道模式 (D)	電子運動有特定的軌道，且有特定的能量，電子雖然仍會受到原子核的吸引，但因有特定的軌道運轉，所以不會被原子核吸入，故原子可以穩定的存在。
科學模式 (E)	電子運動沒有一定的軌道，無法預測其運動軌跡，但有特定的能量，所以可以穩定存在。

（三）原子概念成就測驗差異

三組學生接受不同教學活動後之表現部分，本研究利用原子概念成就測驗評量三組學生之表現，除針對各個次概念（光譜與原子結構、量子力學與軌域、電子組態與週期性，以及化學鍵結）與題型（選擇題與非選擇題）做描述性統計，亦使用單因子變異數（ANOVA）進行分析工作，藉以深入了解不同教學策略對學生於原子概念成就測驗之差異。

（四）不同教學策略對建模能力之影響

本研究透過半結構晤談，探討接受不同教學策略學生在問題解決之建模歷程，並分別從質化和量化的方式來探討對於學生建模能力之影響。質化資料分析部分，依前述所提建模歷程深入探討不同教學策略學生之建模能力之差異；量化資料則由研究者依張志康和邱美虹（2009）修訂之原子概念建模能力測驗來分析學生的建模能力，藉由界定的指標，分析三組學生建模能力之表現，比較不同教學策略對於學生建模能力之差異，並採取 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析，對於三組學生於建模能力測驗之平均建模能力進行統計分析，探討三組學生經過不同教學活動後，其建模能力之影響。

（五）概念理解與建模能力之關係

本研究為原子概念改變之成效與建模能力之關係，採用 Kendall's tau 相關計算三

組學生在「原子概念問卷(II)」與「建模能力測驗」之相關係數，分析不同教學策略對於學生於原子概念之「概念理解」與「建模能力」之關係與影響。

第肆章 研究結論

在科學發展過程中，科學理論的核心即是模型。模型可以減少現象的複雜性，作為定律或理論與現象之間的中介物，讓抽象理論更容易被理解，並可用來預測和解釋，更是教師教學時相當重要且不可或缺的教學工具。建模則是模型創造、檢驗與溝通的過程，藉此說明科學理論。由於許多科學概念均是抽象的形態，建模與模型的使用則可以透過視覺化的過程，讓思考具體化，了解學生的想法與促進概念學習。但科學探究活動教學中，學生對於模型的認識，及其建模能力的培養卻常被忽略（Gilbert, 1995；引自 Crawford & Cullin, 2004）。因此，本研究即著重於學生對於「模型」的認識與理解，教科書如何呈現模型及特徵，以及「建模」對於學生學習之影響。

依研究目的與問題，本章共分六節，分別是：一、學生對於「模型」之認識，分別從語意、本體論、認識論和方法論等四個面向來加以探討；二、學生如何選擇適當的模型及其表徵形式，企圖建立學生選擇模型表徵之架構；三、教科書於「原子理論」使用之模型與建模歷程分析，探討我國教科書於「原子理論」單元之模型特徵、內容結構與建模歷程；四、跨年級學生於「原子理論」之模型發展部分，探討跨年級學生於「原子理論」之模型發展歷程，分析影響學生原子理論模型發展之因素；五、不同建模教學對於學生原子概念之影響，分別從原子概念和學習成就測驗來探討對於學生學習之影響，以及心智模式的改變；六、不同建模教學策略對於學生建模能力之影響，分析學生在經過類比建模、電腦建模與講述教學等三種不同教學活動後，對於學生建模能力之影響與差異，以及探討學生原子概念理解與建模能力之關係。以下分別就各主題做深入之探討。

第一節 學生對於模型之認識

模型是科學教育主要教學與學習的工具，更是建立科學理論不可或缺的要素，由於科學理論通常非常抽象，若能利用模型來呈現，將使理論變得容易理解。但研究指出，學生在模型與建模的知識非常有限（Chiu & Liu, 2008; Van Driel & Verloop, 2002），因此無法有效的整合到他們教學活動的經驗中，如此將難以引導學生有關模型的認識與使用模型的機會（邱美虹和劉俊庚，2008）。本研究分別從語意、本體論、認識論和方法論等四個面向來探討學生對於模型本質的認識，分析跨年級學生於不同問題範例（科學與非科學）之作答情形，並透過研究結果建立本土學生對於模型本質認識之架構。隨後，本研究亦利用訪談方式，深入分析跨年級學生對於模型之認識與

理解。

一、跨年級學生模型本質的觀點

爲了解跨年級學生對於模型之認識，本研究依模型定義、模型本質的觀點（語意、本體論、認識論和方法論）、學生對於模型本質認識之架構，和交互關係之探討等部分做深入之探討。整體而言，跨年級學生於模型本質問卷施測結果，問卷之信度 α 值爲 0.8309。

（一）模型定義

依據 Grosslight 等人（1991）研究結果，學生所擁有模型認識可以分爲三個層次，依序爲：層次 1（level 1）：相信模型與實體之間有 1：1 的相對應關係（模型是玩具，或是真實物體較小的複製品）；層次 2（level 2）：仍專注於實體的構成元素，相信模型保持真實世界的物體或事件，而不是想法的表徵；層次 3（level 3）：理解模型的使用是用來發展和檢驗想法，且這些想法通常是抽象的，而不是實體的描述。本研究修正原有的三個層次，將原有層次 3（level 3）再區分爲兩個層次，更著重於模型的功能取向，即模型是屬於表徵某些事物或是模型可用來發展或檢驗。整體來說，若是與 Grosslight 等人（1991）研究相互對照，選項(A)爲層次 1，選項(B)爲層次 2，選項(C)和(D)則爲層次 3。依此，模型定義可區分爲 4 個選項，分別是：(A)「模型」是玩具，或是真實物體較小或放大的複製品；(B)「模型」是真實世界的物體或事件，但不是理論或想法；(C)「模型」是理論或想法，或是用來表徵某件物體或事件；(D)「模型」是理論或想法用來發展和檢驗想法，這些想法通常是抽象的，不是實體的描述。

全部學生施測結果詳如下 4-1-1 和圖 4-1-1 所示。若進行跨年級比較，很明顯地，8 年級學生主要選項爲(A)和(B)，9 年級主要選項仍爲(A)和(B)，10 年級與 11 年級學生選擇選項(C)或(D)的比例有顯著性增加，但其主要選項仍著重於(B)和(C)，全部學生則以選項(A)之比例最高，選項(D)則爲最低。由此可知，許多學生對於模型定義與認識仍著重於模型是具體的事物，模型是物體縮小或放大的複製品，較少關注於模型亦可爲心中想法，或是著重於模型的功能化取向。

若是依據 Grosslight 等人（1991）的分類，8 年級和 9 年級學生主要爲層次 1 和層次 2，而 11 年級雖然仍有 11.1%的學生選擇(A)，但相對於 8 和 9 年級其比例已明顯地減少，選擇(C)或(D)的比例則有增加之情形，即是屬於層次 2 和 3。整體而言，研究結果亦呼應 Grosslight 等人（1991）的結果。

表 4-1-1. 8-11 年級學生於模型本質問卷（模型定義）之作答百分比 (%)

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
8 年級	<u>47.8</u>	27.5	15.9	8.7	
9 年級	<u>36.2</u>	27.5	23.2	11.6	1.4
10 年級	27.8	27.8	<u>33.3</u>	9.7	
11 年級	11.1	31.9	<u>41.7</u>	15.3	
平均	30.8	28.7	28.7	11.1	0.4

註：底線為該年級出現最高的頻率。

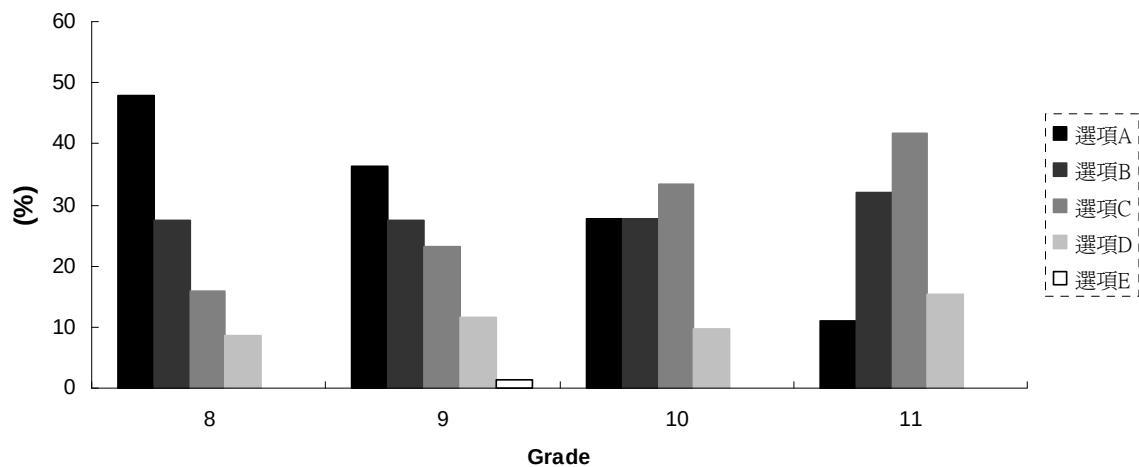


圖 4-1-1. 8-11 年級學生於模型本質問卷（模型定義）之類型分布

為探討跨年級學生對於模型定義之差異，本研究將四組學生於 4 個選項的作答情形分別給予 1-4 分，並進行統計分析。結果顯示如表 4-1-2 所示，四組學生於模型定義之表現達顯著性差異 ($F=7.27$, $p=.000 < .001$)。若進一步以 LSD 進行事後考驗，結果如表 4-1-3 所示，顯示 10 和 11 年級學生均優於 8 年級學生 ($p=.017 < .05$; $p=.000 < .001$)，11 年級學生亦優於 9 年級學生 ($p=.031 < .05$)。

綜合上述分析結果顯示，若依據 Grosslight 等人 (1991) 的分類方式，10 和 11 年級學生於模型認識已轉變為層次 2 或 3，對於模型認識已開始著重於模型亦可如理論、想法等抽象的形式，認為模型不再是實體的複製品，並且開始強調模型的功能，即著重於模型的解釋和預測能力。而從單因子變異數分析結果亦顯示 10 和 11 年級學生與 8 和 9 年級學生之差異，學生隨著年齡增加逐漸增加對於模型的認識，但整體而言，仍然有相當高比例學生對於模型的定義與認識侷限於具體事物，如此的結果類似於 Grosslight 等人 (1991) 和 Justi 和 Gilbert (2003) 的研究結果。

表4-1-2. 學生於模型本質問卷（模型定義）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	21.12	3	7.04	7.27	0.000
組內	265.36	274	0.97		
總和	286.48	277			

表4-1-3. 學生模型本質問卷（模型定義）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
8 年級	9 年級	-0.25	0.17	0.140	-0.58	0.08
	10 年級	-0.40	0.17	0.017	-0.73	-0.07
	11 年級	-0.76	0.17	0.000	-1.08	-0.43
9 年級	8 年級	0.25	0.17	0.140	-0.08	0.58
	10 年級	-0.15	0.17	0.382	-0.48	0.18
	11 年級	-0.51	0.17	0.003	-0.84	-0.17
10 年級	8 年級	0.40	0.17	0.017	0.07	0.73
	9 年級	0.15	0.17	0.382	-0.18	0.48
	11 年級	-0.36	0.16	0.031	-0.68	-0.03
11 年級	8 年級	0.76	0.17	0.000	0.43	1.08
	9 年級	0.51	0.17	0.003	0.17	0.84
	10 年級	0.36	0.16	0.031	0.03	0.68

（二）模型本質－語意

模型本質的語意部分，主要呈現不同表徵形式之模型，學生需要選擇哪些表徵形式可以稱為「模型」。底下將分別從跨年級比較、不同表徵形式，以及不同模型範例（科學與非科學、物件與過程）等部分來深入探討，藉以深入了解跨年級學生對於模型本質（語意）之認識。

1. 跨年級比較

跨年級學生於模型本質問卷（語意部分）作答情形詳如表 4-1-4 所示。整體來說，8 年級學生對於問卷所提供之表徵形式，除具體物件外，所提供之表徵形式認同為模型之比例相對較低，跨年級比較的結果，以 10 年級學生之得分最高，8-11 年級學生認同為模型之比例依序為 36.7%、38.6%、51.6%和 45.5%。各年級於模型本質問卷（語意部分）之最高與最低選項分別為：8 年級（最高 A-4：94.2%；最低 D-1：15.9%）、9 年級（最高 A-4：93.9%；最低 D-1：13.8%）、10 年級（最高 A-1 和 A-4：88.9%；最低 F-4：25.0%）和 11 年級（最高 A-4：91.8%；最低 B-4：18.4%）。

此外，跨年級學生對於判斷哪些表徵形式可稱為模型亦有類似的結果，8-11 年級

學生認同 A-4 選項（在軌道上運動的玩具火車）屬於模型之比例皆非常地高，即大部分學生均認為玩具屬於模型。此外，各年級於 A-1（乙醇分子結構）、A-2（玩具汽車）和 A-3（電子在原子核外運轉）等選項認為可稱為模型之比例亦均超過 70%，推測其屬於實體的複製品，故學生認為屬於模型之比例相對偏高，如此結果亦符合先前學生於模型之定義，以及 Van Driel 和 Verloop（1999）的研究，即是“模型是簡化的或是實體的表徵”的觀點。

對於所提供表徵形式不認同為模型之比例，各年級之表現亦有相同的結果，8-11 年級學生對於 B-4（唐文化向外傳播示意圖）、D-1（ p^+ 表示質子）、D-2（高音譜記號）、D-3（ $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ ）、E-3（牛頓第二運動定律 $F=ma$ ）、E-4（成功 = 9 分努力+1 分運氣）、F-4（拜拜、許願要雙手合十，表示心靈集中的）和 H-4（唐文化向外傳播示意圖：文字+圖像）等較為抽象的模型表徵形式，8-11 年級學生認同屬於模型之比例均低於 40%，特別是 E-3 和 F-4 比例更是僅有 20~30%，顯示若呈現的模型表徵採取抽象形式，如方程式或示意圖等，學生較無法認同此表徵形式可屬於模型。綜合上述結果，學生在判斷問題所提供範例是否屬於模型之依據，主要以模型表徵是否為“具體”形式，若模型表徵為較具體的形式，學生認為屬於模型之比例較高；反之，學生面對較為抽象形式的模型表徵，則較無法認同為模型。

表 4-1-4. 跨年級學生於模型本質問卷（語意）作答情形 (%)

	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 11	Total
A-1	72.5	71.2	88.9	94.4	81.8
A-2	84.1	83.3	86.1	79.2	83.2
A-3	73.5	72.3	81.9	73.6	75.3
A-4	94.2	93.9	88.9	90.3	91.8
B-1	44.9	37.9	70.8	52.8	51.6
B-2	36.8	26.2	45.8	40.3	37.3
B-3	30.4	27.3	50.0	56.9	41.2
B-4	16.2	16.9	26.4	13.9	18.4
C-1	36.2	40.9	51.4	34.7	40.8
C-2	23.2	21.2	36.1	25.0	26.4
C-3	52.9	49.2	56.9	47.2	51.6
C-4	25.0	23.1	27.8	23.6	24.9
D-1	15.9	13.8	36.1	20.8	21.7
D-2	18.8	18.5	30.0	19.4	21.7
D-3	21.7	24.6	28.2	26.4	25.2
D-4	40.6	36.4	47.2	40.3	41.1
E-3	23.9	33.8	30.0	37.5	31.3
E-4	21.2	25.4	27.8	23.6	24.5
F-1	46.4	48.5	52.8	48.6	49.1
F-2	56.5	56.1	58.3	61.1	58.0
F-3	52.9	53.8	60.6	46.8	53.5
F-4	17.4	18.2	25.0	23.6	21.1
G-1	59.4	57.6	68.1	69.4	63.6
G-2	38.2	38.5	55.6	40.3	43.2
G-3	66.7	65.2	70.0	65.3	66.8
G-4	46.4	48.5	44.4	33.3	43.2
H-1	47.8	53.0	61.1	65.3	56.8
H-2	30.4	31.8	52.8	47.2	40.6
H-3	29.4	38.5	51.4	55.6	43.7
H-4	23.2	25.8	36.1	23.6	27.2
Avg.	41.6	41.7	51.6	46.0	45.2

若將 8-11 年級學生於每個選項的作答情形，分別給予 0-1 分（否：0 分；是：1 分），依此進行單因子變異數分析，探討跨年級學生對於模型本質問卷（語意）之差異，結果如表 4-1-5 所示，四組學生之表現達顯著性差異（ $F=4.059$ ， $p=.008 < .01$ ）。但若進一步以 LSD 進行事後考驗，結果如表 4-1-6 所示，顯示 10 年級學生明顯優於 8 和 9 年級學生（ $p=.003 < .005$ ； $p=.004 < .005$ ），11 年級學生雖優於 8 和 9 年級學生之作答情形，但未達統計之顯著性考驗。

表4-1-5. 學生於模型本質問卷（語意）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	428.94	3	142.98	4.059	0.008
組內	9687.72	275	35.23		
總和	10116.65	278			

表4-1-6. 學生模型本質問卷（語意）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
8 年級	9 年級	-0.03	1.02	0.974	-2.05	1.98
	10 年級	-3.01	1.00	0.003	-4.98	-1.04
	11 年級	-1.44	1.00	0.151	-3.41	0.53
9 年級	8 年級	0.03	1.02	0.974	-1.98	2.05
	10 年級	-2.98	1.01	0.004	-4.97	-0.99
	11 年級	-1.41	1.01	0.165	-3.40	0.58
10 年級	8 年級	3.01	1.00	0.003	1.04	4.98
	9 年級	2.98	1.01	0.004	0.99	4.97
	11 年級	1.57	0.99	0.114	-0.38	3.52
11 年級	8 年級	1.44	1.00	0.151	-0.53	3.41
	9 年級	1.41	1.01	0.165	-0.58	3.40
	10 年級	-1.57	0.99	0.114	-3.52	0.38

2.表徵形式比較

若以表徵形式來探討 8-11 年級學生對於模型之認識，其作答情形詳如表 4-1-7。研究結果顯示，8-11 年級全部學生對於具體形態的物件或過程（A），選擇屬於模型的比例偏高，8-11 年級學生認同之比例依序為 81.1%、80.2%、88.9%和 84.4%，而關係式和方程式（E）和符號部分（D）等，選擇屬於模型的比例則較低，關係式和方程式部分，8-11 年級學生認同之比例依序為：22.5%、29.6%、28.9%和 30.6%，符號部分，8-11 年級之比例依序為：24.3%、23.3%、35.4%和 26.7%。由此結果顯示，學生對於判斷所使用之模型表徵是否可稱為模型之回答，仍著重於是否為具體的形式，如具體形態、電腦模擬和肢體動作，學生認同屬於模型之比例均高於 40%，對於較為抽象的表徵形式則較不認同其屬於模型，如圖像、文字、符號和數學式等模型表徵均低於 40%，如此結果亦呼應先前模型定義之研究結果。

此外，若是比較混合形式（H）和圖像形式（B），很明顯地，8-11 年級學生選擇混合形式（圖像＋文字說明）屬於模型之比例均高於圖像形式（B），推測其原因為混合形式的模型表徵能讓學生更容易了解其意涵，故選擇屬於模型之比例較高。

表 4-1-7.學生於模型本質問卷（語意－表徵形式）作答百分比 (%)

	Grade 8	Grade 9	Grade 10	Grade 11	Total
A（具體）	81.1	80.2	88.9	84.4	83.7
B（圖像）	32.1	27.1	48.3	41.7	37.3
C（文字）	34.3	33.6	43.1	32.6	35.9
D（符號）	24.3	23.3	35.4	26.7	27.4
E（數學式）	22.5	29.6	28.9	30.6	27.9
F（動作）	43.3	44.1	49.2	48.1	46.2
G（電腦模擬）	52.7	35.4	59.5	52.1	49.9
H（混合）	32.7	37.3	50.5	47.9	42.1

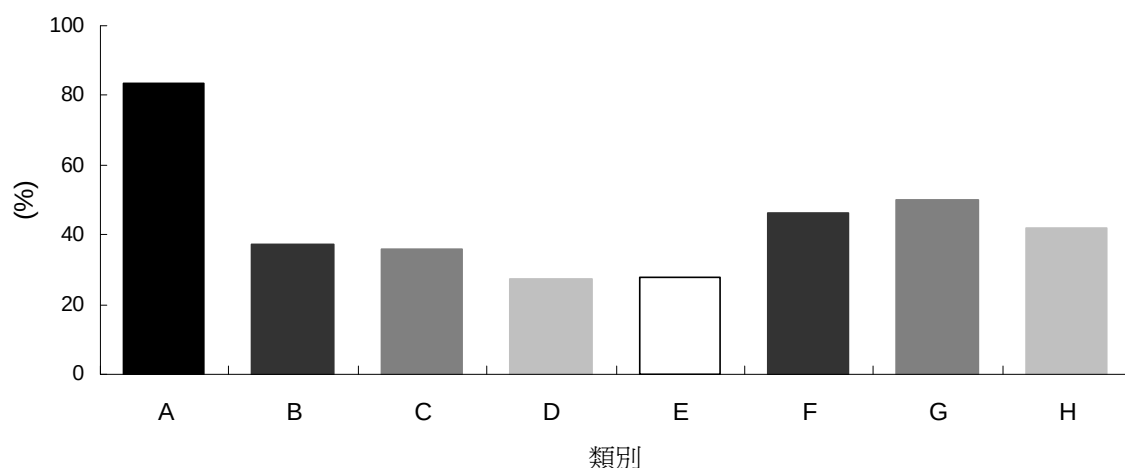


圖 4-1-2. 學生於模型本質問卷（語意）之作答情形

3.模型範例－科學與非科學之比較

8-11 年級於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）作答情形詳如表 4-1-8、圖 4-1-3 和圖 4-1-4 所示。分析跨年級學生於模型本質問卷所提供之範例，在「圖像」、「文字」、「方程式」、「肢體動作」、「電腦模擬」和「混合形式」等科學性表徵形式認同為模型比例相對較高，僅在「具體形式」和「符號」等形式認同非科學性範例為模型之比例相對較高，推測可能原因為具體形式所提供範例為玩具汽車和火車，屬於從小即常接觸到的模型，故認同為模型之比例較高，這亦可從本研究訪談結果得到驗證，學生在模型聯想的問題中，最常提及的模型即是玩具汽車，詳如本小節第二部分之訪談結果所述。由此可知，學生在判斷不同表徵形式是否為模型時，其容易受到範例屬性所影響，若是屬於科學性範例，或是熟悉的玩具模型，學生認同屬於模型之比例均相對較高。

表 4-1-8.學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）作答情形 (%)

	8 年級	9 年級	10 年級	11 年級	Total
As	73.0	71.8	85.4	84.0	78.6
An	89.2	88.6	87.5	84.7	87.5
Bs	37.7	32.6	60.4	54.9	46.4
Bn	26.5	21.5	36.1	28.5	28.2
Cs	44.6	45.1	54.2	41.0	46.2
Cn	24.1	22.1	31.9	24.3	25.6
Ds	18.8	19.2	32.1	23.6	23.4
Dn	29.7	27.4	36.8	29.9	31.0
Es	23.9	33.8	30.0	37.5	31.3
En	21.2	25.4	27.8	23.6	24.5
Fs	49.7	51.2	56.7	48.6	51.6
Fn	37.0	37.1	41.7	42.4	39.6
Gs	63.1	61.4	69.0	67.4	65.2
Gn	42.3	43.5	50.0	36.8	43.2
Hs	38.6	45.7	56.3	60.4	50.2
Hn	26.8	28.8	44.4	35.4	33.9
Xs	43.7	45.1	55.5	52.2	49.1
Xn	37.1	36.8	44.5	38.2	39.2

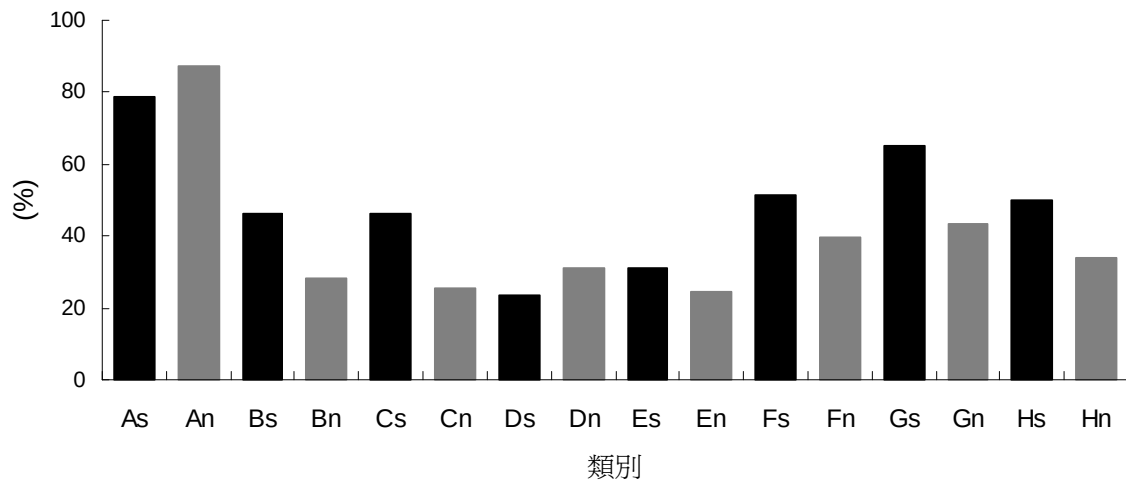


圖 4-1-3. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學）之比較

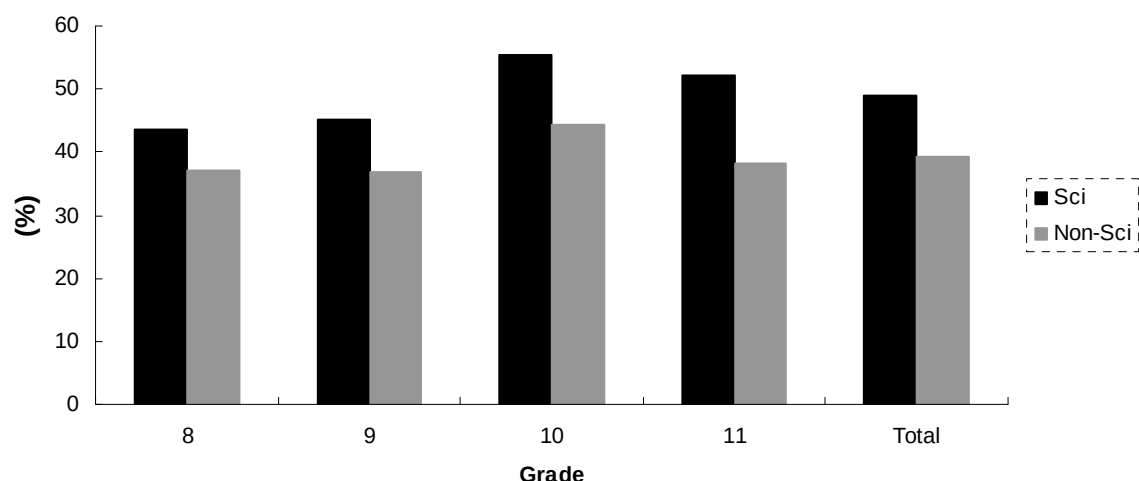


圖 4-1-4. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）之比較

若是針對科學或非科學範例兩者進行相關性之比較，結果顯示兩者之相關係數為 0.516，且達統計上之差異（ $p < .000$ ），即是科學與非科學範例兩者之間存在正相關。此外，若針對各年級於科學或非科學範例進行配對樣本 T 檢定（Paired T-Test），結果詳如表 4-1-9 所示，8-11 年級學生於科學與非科學範例作答情形達顯著性差異（ $p = .000 < .005$ ），即是跨年級學生面對不同範例之作答情形會有不同，此外，從圖 4-1-7 所示，8-11 年級學生於科學範例選項之得分較高，相反地，8-11 年級學生於非科學範例選項之得分較低，依此，可推論學生對於科學課程中所使用之各種模型表徵較為熟悉外，亦可能擁有模型是科學的主要產物之觀點，故認同為模型之比例偏高。

表 4-1-9. 學生於模型本質問卷（語意－科學與非科學範例）配對 T 檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
科學－非科學	1.51	3.43	0.21	1.11	1.92	7.356	278	0.000

4.模型範例－物件與過程之比較

8-11 年級於模型本質問卷（語意－物件與過程）作答情形詳如表 4-1-10、圖 4-1-5 和圖 4-1-6 所示。若分析跨年級學生於問卷所提供之範例，在「具體」、「文字」、「符號」和「電腦模擬」等屬於過程屬性的模型表徵，學生認同屬於模型之比例相對較高，而僅在「圖像」、「肢體動作」和「混合形式」等屬於物件屬性之模型，認同為模型之比例相對較高，推測其可能的原因為過程屬性範例均可提供動態的表徵形式，學生可透過動態的表徵了解其欲表達的現象或概念，故認同為模型之比例較高。

此外，若是進行跨年級之比較，從圖 4-1-6 所示，整體而言，學生在判斷物件或過程屬性之表徵形式是否為模型時，其受到範例屬性所影響，若問題為物件屬性範例，學生認同屬於模型之比例相對較高，反之，表徵形式為過程形式，則學生認同屬於模型之比例相對較低。

表 4-1-10. 學生於模型本質問卷（語意－過程與物件）作答情形 (%)

	8 年級	9 年級	10 年級	11 年級	Total
A(O)	78.3	77.3	87.5	86.8	82.5
A(P)	83.9	83.1	85.4	81.9	83.6
B(O)	40.8	32.0	58.3	46.5	44.4
B(P)	23.3	22.1	38.2	36.8	30.1
C(O)	29.7	31.1	43.8	29.9	33.6
C(P)	39.0	36.2	42.3	35.4	38.2
D(O)	17.4	16.2	33.1	20.1	21.7
D(P)	31.2	30.5	37.7	33.3	33.2
E(P)	22.5	29.6	28.9	30.6	27.9
F(O)	51.4	52.3	55.6	54.9	53.6
F(P)	35.2	36.0	42.8	36.1	37.5
G(O)	48.8	48.0	61.8	54.9	53.4
G(P)	56.5	56.8	57.2	49.3	55.0
H(O)	39.1	42.4	57.0	56.3	48.7
H(P)	26.3	32.1	43.8	39.6	35.5
X(O)	43.6	42.8	56.7	49.9	48.3
X(P)	39.7	40.8	47.0	42.9	42.6

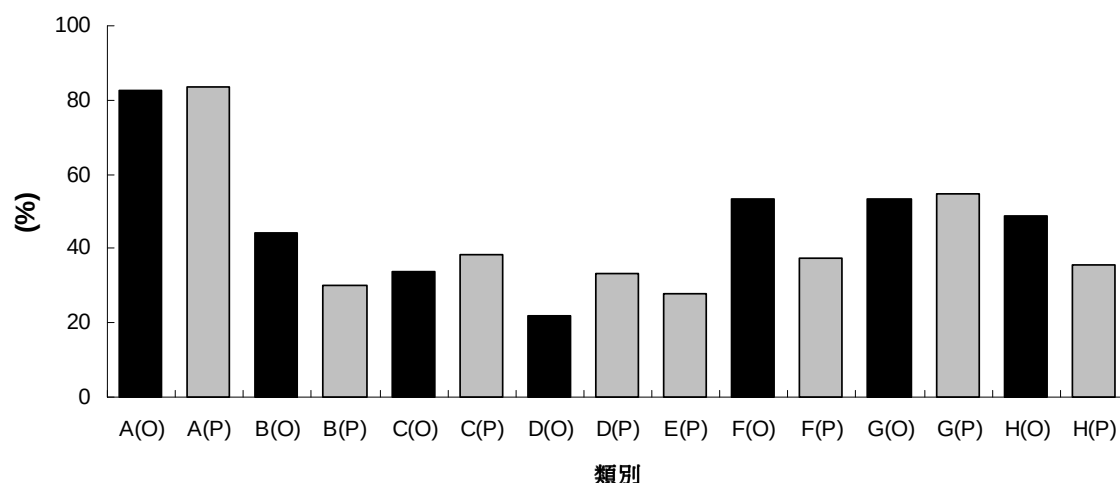


圖 4-1-5. 學生於模型本質問卷（語意－物件與過程）之比較

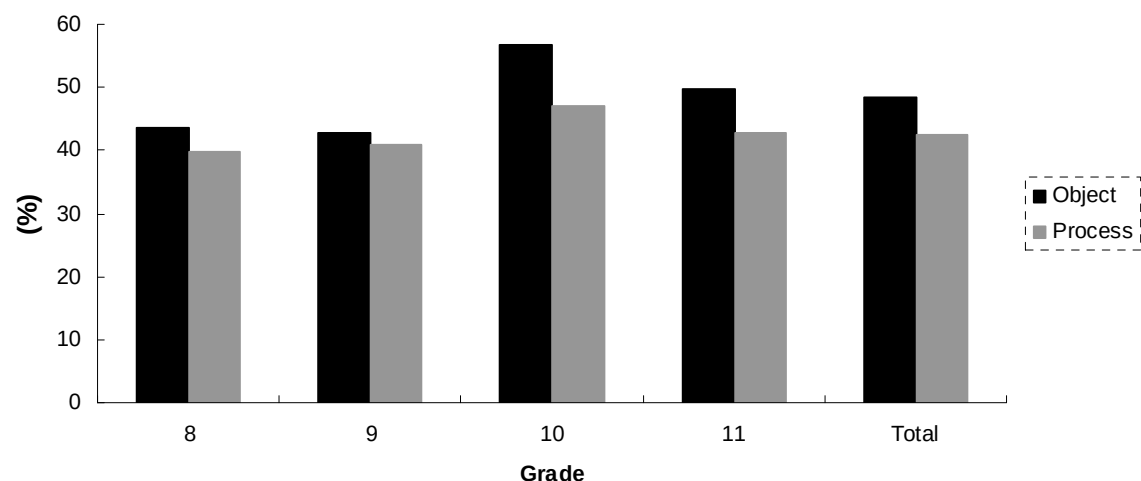


圖 4-1-6. 跨年級學生於模型本質問卷（語意－物件與過程）之比較

若是針對物件或過程範例兩者進行相關性之比較，結果顯示兩者之相關係數為 0.722，且達統計上之差異（ $p < .000$ ），即是物件與過程範例兩者之間存在正相關。此外，若針對各年級於物件或過程範例進行配對樣本 T 檢定（Paired T-Test），結果詳如表 4-1-11 所示，8-11 年級學生於物件與過程範例作答情形未達顯著性差異（ $p = .884 > .05$ ），即是 8-11 年級學生面對不同範例之作答情形未有差異。

表 4-1-11. 學生於模型本質問卷（語意－物件與過程範例）配對 T 檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 下界	95% 信賴區間 上界			
物件－過程	-0.02	2.47	0.15	-0.31	0.27	-0.146	278	0.884

（三）模型本質的觀點－本體論

關於 8-11 年級學生於模型本質問卷（本體論）之作答情形，詳如表 4-1-12 所示。各題作答情形如下，2-1 題和 2-11 題均測驗學生是否認同模型均屬於某些事物的複製品，結果分別有 92.1%和 89.2%的學生認為模型均屬於某些事物的複製品，整體得分分別為 1.61 和 1.80，如此結果亦符合先前語意部分之討論，學生認為具體的事物或模型玩具屬於「模型」之比例較高。此外，亦可推論學生依此認為模型是真實物體較小或放大的複製品。在 2-4 題和 2-14 題部分，模型是否完全對應特定事物的結構、性質與關係，結果顯示分別有 54.8%和 61.7%的學生認為模型與事物之間需要完全對應關係，整體得分為 2.37 和 2.30 分，結果顯示學生對於模型之認識主要以模型與參考物之間的相似程度來判斷是否屬於模型，若是兩者之間相似程度較高，則可能為模型。

表 4-1-12. 跨年級學生於模型本質問卷（本體論）作答情形

item	Grade 8		Grade 9		Grade 10		Grade 11		Total	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
2-1	1.55	0.65	1.58	0.66	1.56	0.60	1.75	0.69	1.61	0.65
2-2	2.88	0.83	2.85	0.83	3.08	0.73	3.11	0.68	2.99	0.77
2-3	3.00	0.79	2.97	0.78	3.06	0.84	2.96	0.88	3.00	0.82
2-4	2.35	0.94	2.36	0.91	2.14	0.86	2.61	0.74	2.37	0.87
2-5	2.96	0.67	2.95	0.67	2.56	0.87	2.96	0.64	2.85	0.74
2-6	3.00	0.82	2.95	0.81	3.04	0.78	3.11	0.57	3.03	0.75
2-7	2.51	1.01	3.42	0.72	3.28	0.74	3.13	0.69	3.08	0.87
2-8	2.54	0.74	2.64	0.74	2.46	0.92	2.78	0.72	2.60	0.79
2-9	2.76	0.74	2.80	0.74	2.63	0.83	2.86	0.59	2.76	0.73
2-10	2.75	0.83	2.77	0.80	2.94	0.80	2.86	0.63	2.84	0.77
2-11	1.78	0.66	1.76	0.66	1.76	0.68	1.89	0.64	1.80	0.66
2-12	2.75	0.74	2.76	0.72	2.93	0.83	2.78	0.63	2.81	0.73
2-13	2.94	0.70	2.92	0.69	3.14	0.70	2.81	0.66	2.95	0.70
2-14	2.32	0.82	2.31	0.81	2.06	0.82	2.53	0.67	2.30	0.80
2-15	2.29	0.77	2.33	0.75	2.17	0.90	2.78	0.72	2.39	0.82
2-16	2.96	0.72	2.92	0.71	3.14	0.61	3.13	0.60	3.04	0.66
2-17	2.93	0.75	2.94	0.72	3.00	0.82	3.00	0.63	2.97	0.73
2-18	2.65	0.80	2.62	0.80	2.43	0.87	2.83	0.63	2.63	0.79
2-19	2.74	0.70	2.79	0.69	2.51	0.84	2.69	0.78	2.68	0.76
2-20	2.86	0.75	2.83	0.74	2.81	0.80	3.01	0.57	2.88	0.72
科學	2.63	0.91	2.73	0.89	2.67	0.94	2.81	0.79	2.71	0.88
非科學	2.62	0.82	2.62	0.81	2.59	0.91	2.74	0.73	2.65	0.82
Total	2.63	0.86	2.67	0.85	2.63	0.93	2.78	0.76	2.68	0.85

底下將分別針對不同年級和模型範例（科學與非科學）做分析比較，藉以了解跨年級學生對於模型本質（本體論）之認識。

1. 跨年級之比較

整體而言，跨年級學生於模型本質問卷（本體論）作答結果，10 年級學生平均值最高，而 8 年級學生平均值則最低。跨年級學生若進行單因子變異數分析（one-way ANOVA），結果如表 4-1-13 所示，顯示 4 組學生達顯著性差異（ $p = .000 < .001$ ），換言之，跨年級學生在模型本質問卷（本體論）作答情形有差異，若進一步以 LSD 進行事後考驗，結果如表 4-1-14 所示，顯示 10 年級學生優於 8、9 和 11 年級學生（ $p = .004 < .005$ ； $p = .001 < .005$ ； $p = .000 < .001$ ），其餘不同年級之間的比較雖有差異，但未達統計之顯著性考驗。

表4-1-13. 學生於模型本質問卷（本體論）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	449.07	3	149.69	7.619	0.000
組內	5402.67	275	19.65		
總和	5851.75	278			

表4-1-14. 學生模型本質問卷（本體論）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
8 年級	9 年級	-0.96	0.76	0.211	-2.46	0.54
	10 年級	-0.21	0.75	0.784	-1.68	1.26
	11 年級	-3.16	0.75	0.000	-4.63	-1.69
9 年級	8 年級	0.96	0.76	0.211	-0.54	2.46
	10 年級	0.75	0.76	0.320	-0.73	2.24
	11 年級	-2.21	0.76	0.004	-3.69	-0.72
10 年級	8 年級	0.21	0.75	0.784	-1.26	1.68
	9 年級	-0.75	0.76	0.320	-2.24	0.73
	11 年級	-2.96	0.74	0.000	-4.41	-1.50
11 年級	8 年級	3.16	0.75	0.000	1.69	4.63
	9 年級	2.21	0.76	0.004	0.72	3.69
	10 年級	2.96	0.74	0.000	1.50	4.41

2.模型範例－科學與非科學之比較

若是以科學或非科學範例來探討跨年級學生表現之差異，8-11 年級學生於模型本質問卷（本體論－科學範例或非科學範例）之作答情形詳如表 4-1-15 和圖 4-1-7，各年級作答情形依序為：8 年級（科學：M=2.70；S.D.=0.89；非科學：M=2.76；S.D.=0.79）、9 年級（科學：M=2.77；S.D.=0.87；非科學：M=2.76；S.D.=0.78）、10 年級（科學：M=2.91；S.D.=0.86；非科學：M=2.91；S.D.=0.82）和 11 年級（科學：M=2.72；S.D.=0.82；非科學：M=2.74；S.D.=0.74）。

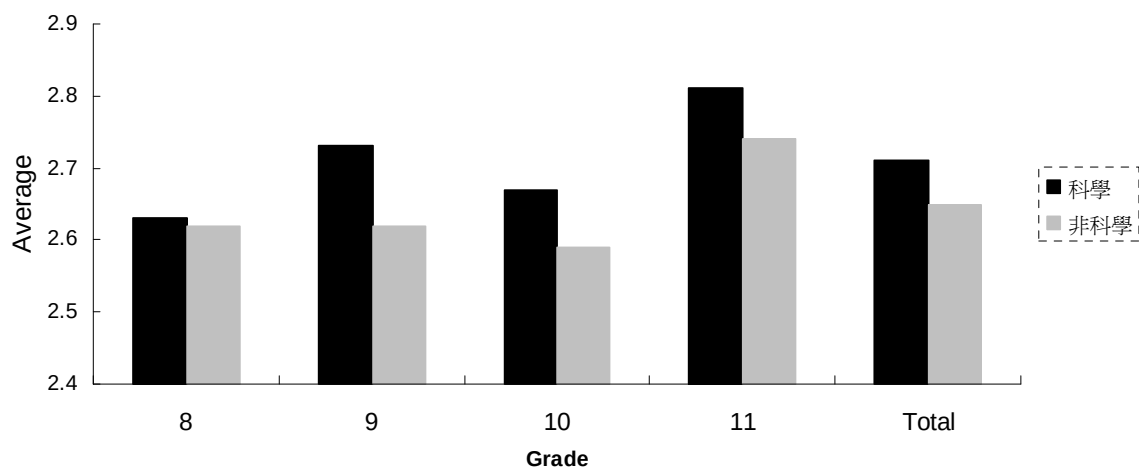


圖 4-1-7. 跨年級學生於模型本質問卷（本體論－科學與非科學範例）之比較

若是針對科學或非科學範例兩者進行相關性之比較，結果顯示兩者之相關係數為 0.402，且達統計上之差異（ $p < .000$ ），即是科學與非科學範例兩者之間存在正相關。此外，若依各年級於科學或非科學範例進行配對樣本 T 檢定（Paired T-Test），結果詳如表 4-1-15 所示，8-11 年級學生於科學與非科學範例作答情形均達到顯著性差異（ $p = .000 < .005$ ），即是 8-11 年級學生面對不同範例之作答情形會有不同，此外，從圖 4-1-7 所示，8-11 年級學生於科學範例得分較高，相反地，8-11 年級學生於非科學範例得分較低。很明顯地，學生對於模型的作答情形會受到問題情境的影響，學生仍偏好於科學範例。

表 4-1-15. 學生於模型本質問卷（本體論－科學與非科學範例）配對 T 檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
科學－非科學	0.66	3.00	0.18	0.30	1.01	3.650	278	.000

（四）模型本質的觀點－認識論

8-11 年級學生於模型本質問卷（認識論）作答情形詳如表 4-1-17。底下將依序進行跨年級和不同模型範例（科學與非科學範例）之比較，藉以了解跨年級學生對於模型本質（認識論）之認識。

1. 跨年級之比較

跨年級學生對於模型本質問卷（認識論）結果詳如表 4-1-16 所示。學生在透過不同形式模型了解概念的問題中，學生對於透過「符號」（3-1 題和 3-8 題）和「文字」（3-3 題和 3-10 題）來了解概念之得分相較於「圖像」（3-2 題和 3-9 題）與「肢體動作」（3-4 題和 3-11 題）為低，即是學生認為較無法從抽象形式的模型來了解概念與現象，學生仍偏好於透過具體且明確的模型來了解概念，在教學的意涵即是教師教學除仍著重於具體形式的模型（如圖像）外，但仍需強調抽象形式的模型（如符號）。

此外，模型是何人對於某種事物或現象的觀點問題中，從 3-5~3-7 題（非科學範例）與 3-12~3-14 題（科學範例）的結果顯示，學生認同模型可以是「專家」對某種事物或現象的觀點之得分高於「個人」或「社會大眾」之觀點，換句話說，學生會認為由於專家具備其專業知識，而模型即是由專家所建立，如此結果類似於 Harrison（2001）訪談中學教師的結果，即是認為模型是科學的主要產物。

表 4-1-16. 跨年級學生於模型本質問卷（認識論）作答情形

item	Grade 8		Grade 9		Grade 10		Grade 11		Total	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
3-1	2.86	0.84	2.88	0.81	2.78	0.91	2.96	0.80	2.87	0.84
3-2	3.22	0.62	3.21	0.60	3.06	0.77	3.03	0.71	3.13	0.68
3-3	2.81	0.69	2.80	0.68	2.93	0.76	2.67	0.75	2.80	0.73
3-4	3.14	0.62	3.14	0.61	3.01	0.81	2.99	0.57	3.07	0.66
3-5	2.54	0.70	2.57	0.68	2.55	0.86	2.61	0.69	2.57	0.73
3-6	2.55	0.80	2.67	0.71	2.79	0.85	2.99	0.64	2.75	0.77
3-7	2.46	0.74	2.49	0.69	2.63	0.97	2.49	0.73	2.52	0.79
3-8	2.90	0.73	2.91	0.68	2.96	0.72	2.85	0.78	2.90	0.73
3-9	3.12	0.56	3.08	0.57	3.11	0.80	3.07	0.66	3.09	0.65
3-10	2.83	0.69	2.83	0.67	2.90	0.79	2.82	0.76	2.85	0.73
3-11	3.01	0.53	3.00	0.50	3.06	0.77	2.94	0.63	3.00	0.62
3-12	2.6	0.80	2.65	0.79	2.54	0.80	2.67	0.58	2.62	0.75
3-13	2.55	0.72	2.64	0.74	2.85	0.90	2.89	0.66	2.73	0.77
3-14	2.39	0.67	2.41	0.63	2.58	0.90	2.75	0.62	2.54	0.73
科學	2.80	0.77	2.82	0.73	2.82	0.86	2.82	0.73	2.82	0.77
非科學	2.79	0.70	2.79	0.69	2.86	0.83	2.87	0.66	2.83	0.73
Total	2.79	0.74	2.81	0.71	2.84	0.85	2.85	0.69	2.82	0.75

若 8-11 年級等四組學生進行單因子變異數分析，結果詳如表 4-1-17 所示，顯示四組學生之間未達顯著性差異（ $F = .388$ ； $p = .761 > .05$ ），即是跨年級學生對於模型本質問卷（認識論）作答情形沒有差異存在。

表4-1-17. 學生於模型本質（認識論）問卷單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	36.71	3	12.24	0.388	0.761
組內	8664.39	275	31.51		
總和	8701.10	278			

2.模型範例－科學與非科學之比較

若以問卷形式之科學或非科學範例來探討，8-11 年級學生於模型本質問卷（認識論－科學與非科學範例）作答情形詳如表 4-1-13 和圖 4-1-8。研究結果顯示：8 和 9 年級學生在科學範例明顯較非科學範例題目之得分為高，但 10 和 11 年級則卻有相反之結果，即是學生在非科學範例較科學範例題目之得分為高。推論 8 和 9 年級學生仍偏好屬於科學模型，即可能擁有模型僅是科學之產物的迷思概念，而 10 和 11 年級學生則已經擴充模型的適用範圍，對於模型理解已較 8 和 9 年級學生為廣。

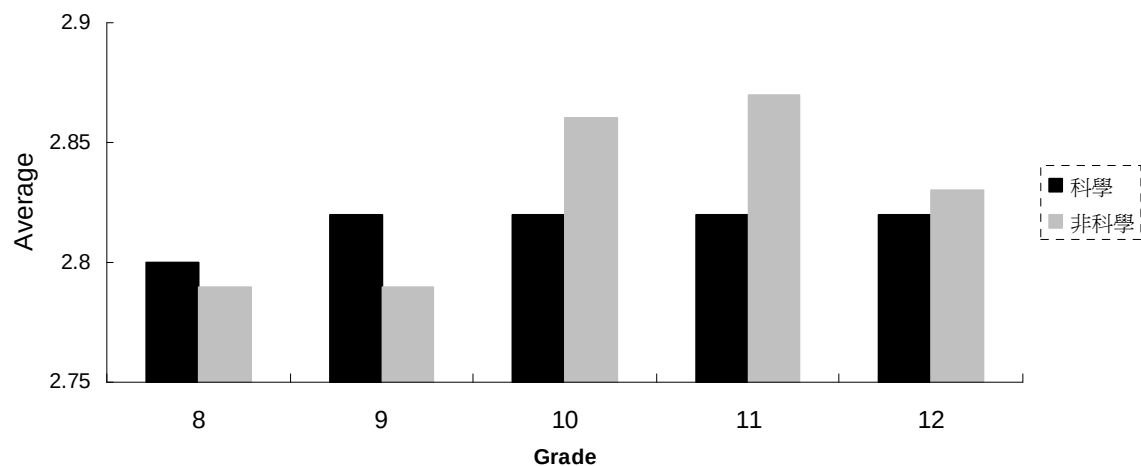


圖 4-1-8. 學生於模型本質問卷（認識論－科學與非科學範例）之比較

若針對科學或非科學範例兩者進行相關性之比較，結果顯示兩者之相關係數（ r ）為 0.654，且達統計上之差異（ $p < .000$ ），即是科學與非科學範例兩者之間存在正相關。此外，若針對各年級於科學或非科學範例進行配對樣本 T 檢定（Paired T-Test），結果詳如表 4-1-18 所示，顯示 8-11 年級學生於科學與非科學範例作答情形未達顯著性差異。

表 4-1-18. 學生於模型本質問卷（認識論－科學與非科學範例）配對 T 檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 下界	95% 信賴區間 上界			
科學－非科學	-0.04	2.56	0.15	-0.34	0.27	-0.23	278.00	0.816

（五）模型本質的觀點－方法論

8-11 年級學生於模型本質（方法論）問卷作答情形如表 4-1-20。底下將分別進行跨年級和模型範例（科學與非科學）之比較，藉以了解跨年級學生對於模型本質（方法論）之認識。

1. 跨年級之比較

表 4-1-19 為跨年級學生於模型本質問卷（方法論－科學範例與非科學範例）施測結果，研究結果顯示 10 年級學生平均值為最高，8 年級學生平均值為最低。

表 4-1-19. 跨年級學生於模型本質問卷（方法論）作答情形

Grade	Grade 8		Grade 9		Grade 10		Grade 11		Total	
item	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
4-1	2.93	0.69	2.47	0.86	3.07	0.72	2.90	0.55	2.85	0.74
4-2	2.44	0.85	2.81	0.72	2.74	0.89	2.79	0.78	2.70	0.82
4-3	2.78	0.68	2.64	0.71	3.01	0.72	2.89	0.64	2.84	0.71
4-4	2.65	0.62	3.12	0.60	2.97	0.84	2.99	0.66	2.93	0.72
4-5	3.05	0.62	3.03	0.61	3.00	0.79	2.82	0.66	2.97	0.68
4-6	3.01	0.61	2.95	0.77	3.07	0.74	2.83	0.68	2.97	0.70
4-7	2.94	0.75	2.98	0.70	3.11	0.70	3.08	0.53	3.00	0.67
4-8	2.75	0.68	3.04	0.62	3.08	0.87	2.83	0.61	2.92	0.72
4-9	2.94	0.68	2.66	0.80	3.18	0.72	3.20	0.43	3.09	0.65
4-10	3.03	0.62	2.85	0.71	3.04	0.74	3.04	0.49	2.99	0.65
4-11	2.80	0.70	2.65	0.79	2.78	0.84	2.83	0.56	2.77	0.73
4-12	2.67	0.78	3.24	0.43	2.88	0.89	2.79	0.80	2.89	0.77
4-13	3.23	0.46	2.91	0.60	3.17	0.79	3.00	0.48	3.08	0.61
4-14	2.94	0.62	2.82	0.76	3.01	0.80	2.92	0.50	2.92	0.67
4-15	2.87	0.78	3.05	0.71	3.00	0.75	2.82	0.59	2.93	0.71
4-16	3.06	0.73	3.05	0.72	3.18	0.79	2.82	0.59	3.04	0.764
科學	2.83	0.72	2.86	0.74	3.01	0.79	2.89	0.65	2.90	0.73
非科學	2.94	0.70	2.95	0.70	3.03	0.80	2.93	0.60	2.96	0.70
Total	2.88	0.71	2.90	0.72	3.02	0.79	2.91	0.62	2.93	0.72

若將 8-11 年級學生進行單因子變異數分析比較，結果如表 4-1-20 所示，8-11 年級學生於模型本質問卷（方法論）作答未達顯著性差異（ $F=2.508$ ； $p=.509 > .05$ ），換言之，跨年級學生於模型本質問卷（方法論）作答情形並未有差異。

表4-1-20. 學生於模型本質問卷（方法論）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	334.20	3	111.40	2.508	0.059
組內	12216.84	275	44.43		
總和	12551.04	278			

2.模型範例－科學與非科學之比較

若以科學或非科學範例來探討，8-11 年級學生於模型本質問卷（方法論）不同問題範例（科學或非科學範例）之作答情形詳如表 4-1-20 和圖 4-1-9。各年級於科學與非科學範例之作答情形依序為：8 年級（科學： $M=2.83$ ； $S.D.=0.72$ ；非科學： $M=2.94$ ； $S.D.=0.70$ ）、9 年級（科學： $M=2.86$ ； $S.D.=0.74$ ；非科學： $M=2.95$ ； $S.D.=0.70$ ）、10 年級（科學： $M=3.01$ ； $S.D.=0.79$ ；非科學： $M=3.03$ ； $S.D.=0.80$ ）和 11 年級（科學： $M=2.89$ ； $S.D.=0.65$ ；非科學： $M=2.93$ ； $S.D.=0.60$ ）。

若針對科學或非科學範例兩者進行相關性之比較，結果顯示兩者之相關係數（ r ）

為0.644，且達統計上之顯著性差異（ $p = .000$ ），很明顯地，科學與非科學範例兩者之間存在正相關。此外，若針對各年級於科學或非科學範例進行配對樣本T檢定（Paired T-Test），結果詳如表4-1-22所示，8-11年級全部學生於科學與非科學範例之作答情形達顯著性差異（ $p = .003 < .005$ ），換言之，學生對於不同屬性範例會有不同的作答情形。

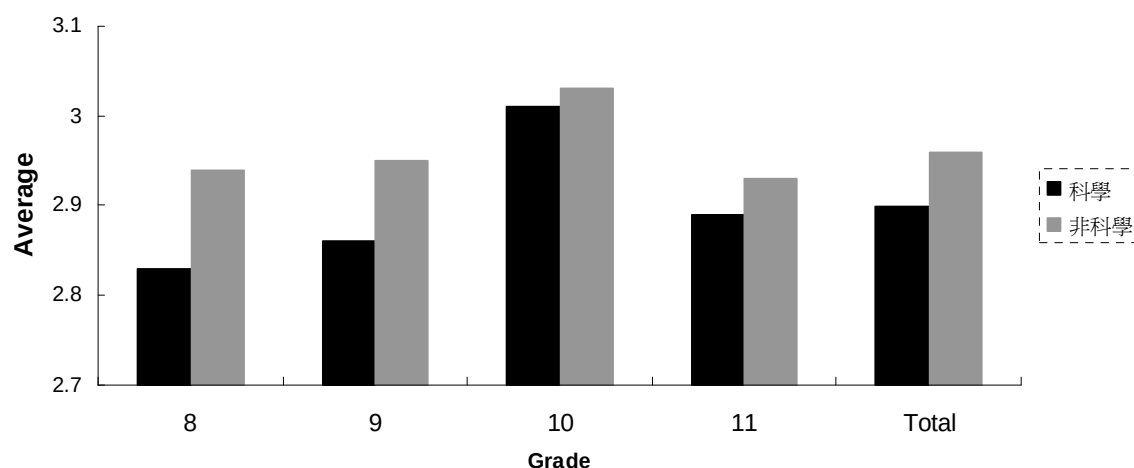


圖 4-1-9. 跨年級學生於模型本質問卷（方法論－科學與非科學範例）之比較

表 4-1-21. 學生於模型本質問卷（方法論－科學與非科學範例）配對 T 檢定

	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間 下界 上界				
科學－非科學	-0.57	3.14	0.19	-0.94 -0.20		-3.01	278	0.003

（五）學生對於模型本質認識之架構

為探討各面向之成分元素，了解本研究所假設四個面向是否能解釋學生對於模型之認識，本研究對語意、本體論、認識論和方法論等 4 個面向依問卷範例類型（科學與非科學性）進行因素分析，結果詳如表 4-1-23~4-1-29 所示。

1. 學生於模型本質問卷（語意）因素分析

表 4-1-22 為學生於模型本質問卷語意面向之因素分析結果，模型語意部分，主要探討模型表徵與實體之間的關係，表徵形式（成分）依序為：抽象形式（符號和方程式）、文字、圖像（科學）、肢體動作、電腦模擬、圖像（非科學示意圖）、具體（非科學）、圖像（地圖）和具體（科學），首要因素可以解釋約 11.02%的變量，第二個因素則可解釋約 8.23%的變量，惟學生於模型本質問卷（語意）因素分析之結果，所得之因素數量較多，且每個因素解釋變量為 5~8%。

整體而言，問卷施測結果大致符合本研究先前之假設，即是語意部分之表徵形式可區分為：抽象形式、文字、圖像、肢體動作、電腦模擬、具體，而圖像部分可區分為科學、非科學性示意圖和地圖等，而模型表徵為具體事物部分，則可區分為科學與非科學性（如玩具）。惟其中 F-4（拜拜、許願要雙手合十，表示心靈集中的）的形式與符號或方程式有較大的差異，然若是從抽象的向度來分析，則似乎與符號和方程式符合。

表4-1-22. 學生於模型本質問卷（語意）因素分析結果

	成分								
	符號、方程式	文字	圖像 (科學)	肢體 動作	電腦 模擬	圖像 (示意圖)	具體 (非科學)	圖像 (地圖)	具體 (科學)
D-2	0.719		-0.147			0.120	0.122	0.159	
E-4	0.712	0.113			0.105	0.102			-0.316
E-3	0.662	0.173			0.131	0.106	-0.185	-0.156	-0.310
D-1	0.624	0.240	0.117	0.124	0.106	0.249	-0.213	-0.231	0.151
F-4	0.586			0.316		0.282	0.133		0.133
D-4	0.562	0.172	0.169			-0.111		0.416	
D-3	0.521	0.151		0.147	0.232		-0.276	0.146	
C-3		0.839	0.117	0.125	0.134		-0.116		
C-1	0.220	0.786	0.143		0.117	0.109			
C-2	0.273	0.643	-0.123			0.226		0.297	0.100
C-4	0.238	0.484	-0.207	0.182		0.345	0.281		0.147
H-3			0.784	0.116	0.138	0.208		0.128	
B-3			0.757		0.121		-0.212	0.119	0.139
H-1	-0.115	0.185	0.575	0.173		0.358		-0.152	0.176
B-1	0.159		0.558	0.134		-0.230		0.190	0.307
F-1	0.142		0.129	0.768	0.122				
F-3		0.118	0.233	0.767	0.135		-0.146		
F-2				0.763	0.239		0.201		
G-1		0.155	0.165	0.233	0.755				
G-3	0.144	0.188	0.157	0.267	0.734				
G-4	0.208				0.639	0.191		0.106	
G-2		-0.116		0.330	0.601	0.174	-0.184	0.201	
H-4	0.258	0.108	0.173		0.123	0.790		0.132	
B-4	0.168		0.143		0.132	0.695	-0.187	0.261	
A-2						-0.165	0.802	-0.167	
A-4	-0.191						0.778	0.208	-0.116
B-2			0.161	0.149	0.119	0.161		0.764	-0.129
H-2	0.233	0.126	0.114			0.410		0.611	0.170
A-1	-0.108		0.118						0.856
A-3		0.380	0.319						0.522
Eigenvalues	6.306	2.823	2.120	1.892	1.841	1.273	1.213	1.111	1.057
% of Variance	11.02%	8.23%	7.84%	7.69%	7.36%	6.73%	5.88%	5.57%	5.13%
Cumulative %	11.02%	19.25%	27.08%	34.77%	42.13%	48.86%	54.75%	60.32%	65.45%

2. 學生於模型本質問卷（本體論）因素分析

本體論面向部分，問卷屬於非科學範例反映 3 個次要因素，依序為「模型呈現」、「模型限制」和「模型改變」，其解釋變量分別為 19.49%、18.26%和 12.44%，累積的解釋變異量為 50.19%。問卷若屬於科學範例亦反映 3 個次要因素，依序為「模型改變」、「模型呈現」和「模型限制」，其解釋變量分別為 19.56%、15.53%、15.21%，累積的解釋變異量為 50.29%。茲將各因素之負荷量及解釋量詳列於表 4-1-23 和 4-1-24。

在非科學範例中，問卷與原先假設不符合之處為 2-4 和 2-6 兩題，2-4 題原屬於「模型呈現」，但施測結果為「模型限制」；2-6 題則原屬於「模型改變」，施測結果則歸類於「模型呈現」。

表4-1-23. 學生於模型本質問卷（本體論－非科學範例）因素分析結果

	成分		
	模型呈現	模型限制	變化關係
2-3. 模型若是以不一致的比例來呈現，我們仍可以稱它們為「模型」	0.729	0.139	-0.210
2-1. 玩具均屬於某些事物的複製品，所以我們可以稱它們為「模型」。	0.704	-0.222	0.136
2-2. 我們常會簡化某些事物，僅呈現特定主要部分，其餘部分均予以簡化，經簡化後我們仍可以稱它們為「模型」。	0.689	0.146	
2-6. 圖片僅是一個解釋特定現象的模型，它是歷史發展中的多種模型其中之一。	0.470	0.128	
2-5. 我們對於某一個日常生活現象，通常只能有一個正確的模型來給予解釋這個現象。		0.784	
2-8. 我認為一個可稱為「定律」或「理論」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。		0.650	0.157
2-9. 我認為一個可稱為「假說」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可適用於所有的問題。		0.645	
2-4. 模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係。	0.350	0.442	
2-7. 「模型」是可以被改變。	0.258	-0.146	0.754
2-10. 我認為使用不同的觀點來檢驗模型時，當描述或解釋產生不一致，則必須修改原有的模型。	-0.158	0.226	0.753
Eigenvalues	2.178	1.616	1.225
% of Variance	19.49%	18.26%	12.44%
Cumulative %	19.49%	37.75%	50.19%

表4-1-24. 學生於模型本質問卷（本體論－科學範例）因素分析結果

	成分		
	變化關係	模型呈現	模型限制
2-12. 我們常會簡化某些事物，僅呈現特定主要部分，經簡化後我們仍可以稱它們為「模型」	0.714		
2-16. 一個解釋特定現象的模型，僅是歷史發展中的多種模型其中之一。	0.682	0.316	
2-13. 模型可以是特定事物的特徵以不一致的比例來呈現。	0.632	0.365	0.209
2-20. 我認為使用不同的觀點來檢驗模型時，當描述或解釋產生不一致，則必須修改原有的模型。	0.621	-0.146	
2-17. 模型是可以被改變。	0.235	0.733	-0.157
2-14. 模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係。	-0.195	0.677	0.345
2-11. 這些塑膠製植物細胞大多是某些事物的複製品，所以我們可以稱為「模型」。	0.289	0.438	
2-19. 我認為一個可稱為「假說」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可適用於所有的問題。			0.728
2-15. 對於某一個日常生活現象，我們通常只能有一個正確的模型來給予解釋這個現象。	0.118	-0.139	0.684
2-18. 我認為一個可稱為「定律」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。		0.291	0.560
Eigenvalues	2.361	1.555	1.113
% of Variance	19.56%	15.53%	15.21%
Cumulative %	19.56%	35.09%	50.29%

3. 學生於模型本質問卷（認識論）因素分析

認識論面向部分，問卷屬於非科學範例反映 2 個次要因素，依序是「模型觀點」和「模型學習」，其解釋變量分別為 29.02%和 27.62%，累積的解釋變異量為 56.64%。若是問卷屬於科學範例亦反映了 2 個次要因素，依序是「模型學習」和「模型觀點」，其解釋變量分別為 28.56%和 25.73%，累積的解釋變異量為 54.30%。茲將各因素之負荷量及解釋量詳列於表 4-1-25 和 4-1-26。整體來說，施測結果與原先預期之架構幾乎完全符合。

表4-1-25. 學生於模型本質問卷（認識論－非科學範例）因素分析結果

	成分	
	模型觀點	模型學習
3-7. 模型可以是社會大眾對某種事物或現象的觀點。	0.815	0.208
3-5. 模型可以是個人對某種事物或現象的觀點。	0.802	
3-6. 模型可以是專家對某種事物或現象的觀點。	0.771	0.148
3-2. 我認為透過圖像可以呈現和了解現象或概念。		0.821
3-3. 我認為透過文字可以呈現和了解現象或概念。		0.742
3-1. 我們常會透過一些符號可以呈現和了解日常生活的現象或概念。	0.293	0.583
3-4. 我認為透過肢體動作可以呈現和了解現象或概念。	0.196	0.550
Eigenvalues	2.464	1.501
% of Variance	29.02%	27.62%
Cumulative %	29.02%	56.64%

表4-1-26. 學生於模型本質問卷（認識論－科學範例）因素分析結果

	成分	
	模型觀點	模型學習
3-12. 模型可以是個人對某種事物或現象的觀點。	0.816	0.208
3-13. 模型可以是科學家對某種事物或現象的觀點。	0.802	
3-14. 模型可以是社會大眾對某種事物或現象的觀點。	0.771	0.148
3-8. 我們常會透過一些符號可以呈現和了解科學現象或概念。		0.821
3-10. 我認為透過文字可以呈現和了解現象或概念。		0.742
3-13. 我認為透過肢體動作可以呈現和了解現象或概念。	0.293	0.583
3-9. 我認為透過圖像可以呈現和了解現象或概念。	0.197	0.550
Eigenvalues	2.346	1.455
% of Variance	28.56%	25.73%
Cumulative %	28.56%	54.30%

4. 學生於模型本質問卷（方法論）因素分析

方法論面向部分，問卷屬於非科學範例反映 2 個次要因素，依序是「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」，其解釋變量分別為 24.74%和 22.11%，累積的解釋變異量為 46.85%。若問卷屬於科學範例亦反映 2 個次要因素，依序是「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」，其解釋變量分別為 24.84%和 19.66 %，累積的解釋變異量為 44.50%。整體來說，施測結果與原先預期之架構僅有部分符合，即是原先預期因素為「模型功能」與「心智模式外顯化」，惟研究結果為「模型解釋與推理」和「模型檢

驗與預測」，即是學生對於模型的功能著重於模型的解釋與推理，以及利用模型作檢驗和預測等。此外，問題 4-5 和 4-7 與其對應問題 4-15 和 4-13 分別置於「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」不同之成分。茲將各因素之負荷量及解釋量詳列於表 4-1-27 和 4-1-28。

表4-1-27. 學生於模型本質問卷（方法論－非科學範例）因素分析結果

	成分	
	模型解釋 與推理	模型檢驗 與預測
4-2. 我認為利用模型可以解釋特定事物或現象的關係。	0.764	-0.123
4-3. 我認為利用模型可以進行推理。	0.684	0.153
4-8. 我認為針對同一個事物或現象，會因為使用目的不同而選擇不同的模型。	0.595	0.327
4-1. 我認為模型可以描述特定的事物或現象。	0.517	0.122
4-5. 我認為利用模型可以產生新的想法。	0.517	0.396
4-7.我認為可利用模型表達內心的想法，而讓其他人了解。	0.112	0.784
4-6. 我認為可利用模型檢驗理論是否正確。	0.134	0.722
4-4. 我認為可利用模型預測事物或現象未來的發展。		0.562
Eigenvalues	2.590	1.158
% of Variance	24.74%	22.11%
Cumulative %	24.74%	46.85%

表4-1-28. 學生於模型本質問卷（方法論－科學範例）因素分析結果

	成分	
	模型解釋 與推理	模型檢驗 與預測
4-9. 我認為模型可以描述特定的事物或現象。	0.719	0.100
4-10. 我認為利用模型可以解釋特定事物或現象的關係。	0.719	0.167
4-16. 我認為針對同一個事物或現象，會因為使用目的不同而選擇不同的模型。	0.597	0.158
4-11. 我認為利用模型可以進行推理。	0.573	
4-15.我認為可利用模型表達內心的想法，而讓其他人了解。	0.429	0.415
4-13. 我認為利用模型可以產生新的想法。		0.782
4-14. 我認為可利用模型檢驗理論是否正確。	0.159	0.728
4-12. 我認為可利用模型預測事物或現象未來的發展。	0.242	0.437
Eigenvalues	2.520	1.040
% of Variance	24.84%	19.66%
Cumulative %	24.84%	44.50%

5.學生於模型本質認識之架構

綜合上述因素分析結果顯示，跨年級學生對於模型認識之架構如圖4-1-10所示。其包括四個面向，分別是語意、本體論、認識論和方法論。各面向又可區分為2-3個次項目，依序為語意部分為「實體關係」與「表徵形式」；本體論分為「模型呈現」、「變化關係」和「模型限制」；認識論分為「模型學習」與「模型觀點」；方法論則可分為「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」。

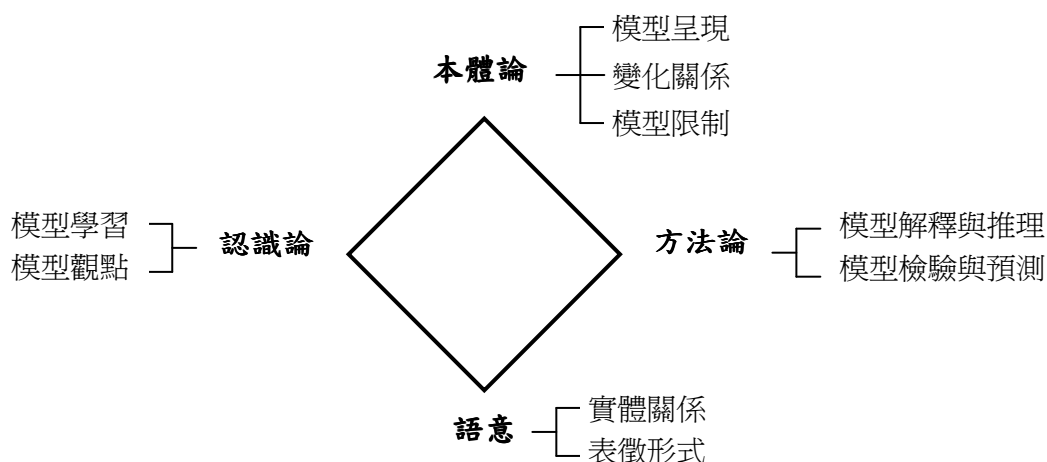


圖4-1-10. 學生對於模型認識之架構

（六）交互關係之探討

對於各面向之間的交互作用，本研究針對各面向進行相關性分析統計，各面向平均數之相關係數如表 4-1-29 所示。從表 4-1-30 的結果顯示，除語意與認識論兩個面向之間未達統計上之顯著性差異（相關係數 $r=0.100$ ），其他 4 個面向之間的關係皆達統計之顯著性差異，顯示此 4 個面向均有正相關存在。特別是語意、本體論、認識論與方法論之相關，均達到統計之顯著性差異，換句話說，學生對於模型本質之認識應如上述所討論之 4 個面向，並且兩兩之間是相互影響，進而建立學生對於模型的認識與理解。

表 4-1-29. 模型本質問卷各向度之平均數相關係數

	語意	本體論	認識論	方法論
語意	1	-.039	0.108	0.185***
本體論		1	0.121*	0.204***
認識論			1	0.496***
方法論				1

二、訪談方式探討學生對模型之認識與理解

除上述量化統計外，本研究為更深入了解跨年級學生對於模型本質之認識，分別從上述 8-11 年級受試學生中，各選取 8 位學生，共計 32 位學生進行訪談工作，藉以深入了解與分析跨年級學生對於模型本質之認識與差異。訪談結果經轉錄後，分析結果彙整如下所述：

（一）模型的定義

關於模型的定義，依據先前的研究結果顯示，學生認為模型是某事物的複製（Justi & Gilbert, 2003；Grosslight et al., 1991）。本研究即針對學生如何對模型下定義，訪談 8-11 年學生對於模型的定義，以及聽到模型時，將會有何聯想。以下即是訪談結果經轉譯後，跨年級學生對於模型之定義，以及所認識之模型與聯想。

1.8 年級學生於模型定義與認識：訪談 8 位 8 年級學生，其中有 7 位學生均認為模型是實際物體的放大或縮小，學生認為模型即是因為無法以肉眼看到的物件（原子），或是原有物件體積過大，所以必須把它放大或縮小，讓我們更容易了解其形態，如 s80542 和 s80531 兩位學生的訪談結果。

師：你有沒有聽過模型這個名詞？

生：有！

師：那你認為模型是什麼？你怎麼對它下一個定義？

生：模型應該就是...比如說鈉原子的模型，就模仿它的結構，把它的結構可能是放大或縮小，放大或縮小，然後呢？你更了解它的內部結構，因為有些地方你是從外部看不出來的，你可能把它解剖以後，就可以比較了解它的結構，就可以深入了解到，不然就從外觀，再加上用講的，你沒有實際看過，你是比較不容易了解的！

師：所以你認為模型就是一個放大或縮小的東西？

生：嗯！（s80542）

師：你聽到模型的時候，你認為模型是什麼？

生：就是一個實際的物體吧！對！就是例如說，就是把一些沒有辦法，把可能比較大的東西，你可以把它縮小，然後變成一樣的東西！（s80531）

僅有 1 位學生（s80533）認為模型是讓他人了解欲表達的想法，但仍認為需要透過具體化的過程來表徵，如此才可稱為是模型。很明顯地，8 年級學生對於模型認識與定義仍侷限於模型需具備實體化的概念，雖有部分學生對於模型的認識已觸及對於模型功能之探討，惟比例仍偏低。

師：你認為模型是什麼？你如何定義模型？

生：給別人了解，就是用來解釋給別人聽的，表示的東西，我覺得只要讓別人了解就好了！

師：那它可以是一個很抽象的東西嗎？

生：其實抽不抽象沒有關係，就是讓別人了解就好了！

師：那如果你有一個想法，那能不能稱為是模型？

生：想法還不行，就是要說給別人聽！可是要讓別人看到，如果別人看不到，就不知道你在想什麼！

師：那我如果用說的，那別人也不能看到，那能不能稱為是模型？

生：那不能！就要把它畫出來！（s80533）

2.9 年級學生於模型定義與認識：訪談結果顯示 9 年級學生除仍以模型是原有物體（參考物）的放大或縮小做為其模型之定義，分析 8 和 9 年級學生之間的主要差異，訪談 8 位學生中，已經有 4 位學生認為模型也可以是把心中想像的抽象事物，透過模型加以具體化來呈現，即是他們不再以外界實際存在的物體作為建立模型之參考物或原型，他們已經認為抽象想法可以透過模型，而將它具體化的呈現出來。此外，學生仍針對模型是否為具體的事物來做討論，對於模型的功能取向部分依舊屬於難理解的部分。底下以 s90514 和 s90446 兩位學生的訪談，說明學生之想法：

師：你可不可以對模型下定義？

生：就是製作模型的人把想到的東西，因為他是想到，所以通常都是比較抽象的，可是他就是藉由模型這個東西，把它化為具體化，去跟別人表達他所想的意思！

師：還有沒有呢？

生：或者是...把它比...像體積比較大的東西，把它縮小化，可是雖然不能看到物體本身，可是你卻可以看到它大致上的形狀，它的樣式，就是把沒有辦法完全呈現的東西，比較具體化的呈現出來！（s90514）

師：你能不能對模型下一個定義？

生：就是一種依照實際放大或縮小的示意圖，就是一個示意啦！

師：那除了這樣子以外，還有什麼呢？

生：幫助我們...可能了解到一般肉眼看不見的狀況，或者是一些...實際上不會發生的事情，但是...就大略的做出來！然後...幫助我們了解！（s90446）

3.10 年級學生於模型定義與認識：10 年級學生仍以模型是物體的放大或縮小做為其模型之定義，或是可以將抽象的想法或是虛構的事物，透過模型具體化的呈現出來，但與 8 和 9 年級學生最主要之差異，即是他們提及模型的功能，主要論及模型可作為說明與解釋，但訪談如果顯示僅有 3 位學生提及相關的想法，比例仍偏低，底下即以 s10717 學生訪談結果加以討論，首先，s10717 學生仍以具體化做為模型的定義，但訪談結果亦顯示模型可以將思考結果予以表達。

師：你如何對模型下定義？你認為模型是什麼？

生：就是代表一個實體，或是一個沒辦法...就是模型可能是原來的縮小版，或是真正的樣子，然後代表一些我們人的眼睛沒辦法看到的，或是一些虛構的。

師：什麼是虛構的呢？

生：就是人物模型，就是沒有那個角色，但是做出來，我們可以看到的！

師：除了這些定義外，有沒有其他的定義呢？

生：讓人知道你想要表達的！（s10517）

4.11 年級學生於模型定義與認識：11 年級的學生仍會以模型是物體的放大或縮小做為其模型之定義外，但訪談結果顯示已經有 4 位學生會以模型可做為推理或問題解決，如此結果類似於 10 年級學生訪談之結果，如 s20935 學生所述：

師：什麼是模型？你怎麼對模型下定義呢？

生：模型的定義喔？

師：嗯！你對模型的定義是什麼？

生：就假設把它從一個比較大的物體，然後你取等比例，或者是有點偏重那個部分，把它做放大縮小製成的物體！

師：還有呢？

生：模型喔！嗯...我想一下！...我覺得模型就是把一個東西想辦法用幾個簡單的物體把它表現出來！你可以有很多個，比如說，像電子的模型，其實不是基本的個體而已，你可能還牽連到其他東西，你要有很多的物件一起出來！這樣也應該可以算是個模型！（s20935）

5. 學生聽到模型時，將會有何聯想：訪談結果顯示，全部 32 位學生聽到模型會有何聯想，其所提及均以具體事物的模型為主，最常提及的模型為：玩具（汽車、飛機或公仔）、建築模型、百貨公司的塑膠模特兒，或是教師於教學過程中使用的具體模型（如原子模型、地球儀）等。此結果亦如先前模型本質問卷所提及，學生主要以「具體性」作為判斷模型之依據，故學生最常聯想到的模型均以具體模型為主，如 s10517、s10523 和 s20926 學生所述：

師：如果你聽到模型，你會聯想到什麼？

生：一開始應該是聯想到汽車，或是一些玩偶之類的，動畫的那些模型！就是一些實體出來，喔！我想到一些模型可能是電腦裡面的程式軟體所繪出來的模型，可能是平面的，對！有可能是平面或是立體的！

師：還有呢？

生：房屋建築的模型！（s10517）

師：如果你聽到模型，你會聯想到什麼？

生：第一個我會聯想到公仔！

師：還有呢？

生：接下來就是手機那種模具！然後就是很多啊！像眼鏡啦！杯子啦！杯子那種模型都有。然後就是一些藝術的模型啊！就這樣！（s10523）

師：如果你聽到模型，你會想到什麼？

生：模型...就大概公仔啊！玩具積木那一種啊！

師：還有呢？

生：地球儀吧！模型的話....還有....做實驗的那種球啊！（s20926）

6.跨年級之比較：

綜合上述訪談結果顯示，跨年級學生於模型定義與認識，由於訪談工作採取開放式問題，而訪談結果顯示，8-11 年級學生著重於模型屬於具體的事物，模型是參考物體或原型的放大或縮小，並關注於模型與參考物之間形態或比例的差異，僅有少數學生會認為模型擁有解釋與說明的能力。然而，對於 10 年級或 11 年級學生，類似於 8 和 9 年級學生的想法，他們仍擁有模型是屬於具體事物的概念，但已有 8 位學生（10 年級：3 位；11 年級：5 位）認為模型主要作為詮釋與表徵某個物件、現象或概念，甚至於可用來進行預測等，很明顯地，他們已關注於模型的功能，如此結果亦呼應在量化資料所呈現之結果。雖然模型本質問卷施測結果顯示，8 和 9 年級學生仍有 8.7% 和 11.6% 於模型定義問題中屬於層次 3，惟訪談結果顯示，學生未能主動描述模型的功能，仍著重於模型的本體部分，如描述模型的形態或與實體之關係。

然而，在模型聯想部分，學生對於模型的認識又侷限於實體模型，如玩具、公仔或教師教學過程中所使用的具體模型（如原子模型或地球儀等），很明顯地，雖然學生在模型定義訪談過程中已提及模型的功能，但對於模型聯想則又侷限於具體複製的模型，換言之，學生對於模型的認識非常地有限，故教師教學宜延伸學生對於模型的想法與認識，並且利用模型作為教學的工具，藉以增進學生應用模型的機會與能力。

（二）模型本質的觀點－語意

此部分利用不同的物件、現象或概念，探討學生對於模型表徵與實體（參考物）之間的關係，主要從語意的觀點來分析學生對於不同模型表徵形式之認識。底下分別從具體事件、圖像、文字、符號、方程式、肢體動作、電腦模擬和混合形式（圖像和文字敘述）等 8 種不同表徵形式來深入探討。

1.具體事物：

訪談結果顯示，總計有 10 位訪談學生（8 年級：6 位；9 年級：4 位）認為若要稱為模型則必須為具體事物，若非具體的事物則不屬於模型，如 s90446 學生即認為若模型無法看到則將會失去意義，故不能稱為是模型。如此的結果亦呼應先前模型定義部分。

師：那模型一定要是一種實體的東西嗎？一定要看得到，或摸的到？

生：我覺得是！

師：為什麼呢？

生：因為它就是要代表...一般我們比較難見到的現象，那如果模型還做得我們看不到的話，我覺得就沒有意義啊！（s90446）

但有 22 位學生則認為模型不一定為具體事物，但具體事物必為模型，底下以 s90403 和 s20926 兩位學生所述為例，s90403 學生認為模型不一定是具體的事物，心中所想像的事物也可以稱為是模型，因為所想像的事物已經虛構成畫面，換言之，學生已經將所想的事物透過視覺化來落實，因此模型不一定為具體的事物，非具體事物仍可稱為是模型。

師：我們常看到模型是具體的事物，那不是具體的事物，像是頭腦裡面想的能不能也稱為是模型呢？

生：算啊！

師：為什麼呢？

生：因為頭腦裡頭想的就已經是一個虛構畫面了啊！那虛構畫面就像是模擬那樣東西，所以可以算是模型！

師：所以你頭腦裡面想的也可以算是模型？

生：對啊！

師：那不一定要表示出來嗎？

生：表示出來我覺得就只是讓別人跟你一樣看到那個東西，那如果自己想，就只有自己知道啊！（s90403）

2.示意圖：

訪談結果顯示，有 15 位學生認為圖像或示意圖不屬於模型，其比例與模型本質問卷相當接近。深入訪談結果顯示，學生主要理由不外乎圖像為平面，或是無法解釋或表現其現象或概念，故無法稱為是模型。如 s20926 學生所述，他認為示意圖並非具體事物，且未有代表性，此外，他亦認為需要將示意圖以具體的方式來呈現，如提及地圖不能算是模型，如血液循環圖（示意圖）不能算是模型，必須是地球儀才可算是模型，即是必須將它做出來才能稱為是模型，很明顯地，s20926 學生是以具體化做為判斷模型之依據。此外，亦有 17 位學生認為圖像或示意圖可稱為模型，其理由為圖像或示意圖可以表達某個物件或某物體的形態，所以可以稱為模型，即模型具有表徵物件或表達其概念之意涵，已論及模型的功能部分，如 s20935 學生所述：

師：那這邊有幾個示意圖，哪幾個可以稱為是模型？

生：我覺得都沒有啊！因為這幾個感覺起來都不是模型？

師：為什麼呢？

生：全部都好像是假想的！就是沒有具體的東西啊！

師：可是你剛剛不是說不是具體的東西也可以是模型啊？

生：可是這都好像是一些文化之類的東西的！沒有特別代表什麼！沒有特別代表某個物體啊！好像都是什麼文化的！

師：可是世界地圖不是代表世界的形態嗎？

生：可是我覺得地球儀比較像！世界地圖就好像是一張平面的，沒有什麼代表！

師：那離子的示意圖呢？

生：那這個就好像這個啊！好奇怪喔！

師：那是不是示意圖都不能稱為是模型？

生：我覺得是這樣子！

師：那如果人體的血液循環圖，那能不能算是模型呢？

生：我覺得要做出來才算！我覺得那些平面的都不算，就要做出來才算，感覺是這樣子（s20926）

師：那平面的地圖啦！它們能不能稱為是模型？

生：地圖模型的話，我想一下....

師：就像我們常看到的天氣圖啦！

生：我覺得也可以！我覺得模型的意思就是要表達一個它的一個狀態，它的一種形態或是狀態，然後也不見得一定要實體，所以我覺得地圖不管是平面或者是凹凸面都沒有關係，像 Google Earth 那一些應該也算！（s20935）

3.文字敘述：

文字的敘述部分，訪談結果顯示，僅有 16 位學生認為文字敘述可以稱為模型，而學生在判斷文字敘述是否可稱為模型之依據時，他們主要的理由均為若是可以想像成具體的形體，則可以稱為模型，而此部分亦是與其他表徵形式不同之處，如 s20926 和 s21034 兩位學生所述，他們提及若是文字敘述可以想像成某立體的東西，則文字敘述可稱為模型，若是無法想像出某種事物，則無法稱為模型。換言之，學生在文字描述認知過程中，需要透過想像來理解其欲表達的概念或物件，進而判斷是否可稱為模型，即是學生仍以是否為具體且可見作為其判斷模型之依據，而此判斷依據亦相當難以改變。

師：那課本裡面有一些文字的敘述，那這些文字敘述能不能算是模型？

生：都可以！

師：為什麼呢？

生：因為它是敘述一個結構吧！然後可以想像出來那個形體，所以我覺得可以稱作是模型吧！

師：就是它雖然是文字敘述，但可以想像出形體出來？

生：對啊！就是可以想像出一種比較立體的，那種感覺啊！

師：所以它可以稱為是模型？

生：嗯！比較有真實感！（s20926）

師：那這第三個部分呢？這幾個都是文字敘述的，哪幾個可以稱為是模型？

生：第一個和第三個吧！

師：第一個跟第三個，為什麼？

生：因為可以想像圖案。

師：可以想像出圖案，就可以算是模型？

生：嗯！

師：那這些呢？

生：這個就比較沒有辦法啦！

師：其他這兩個就比較沒有辦法想出圖案。

生：嗯！

師：那你的判斷就是能不能想像出圖案來，就可以算是模型？

生：嗯！（s21034）

4.符號：

若從哲學的觀點來看符號部分，因為符號本身不具有結構形式，故無法稱為模型。而訪談結果顯示，其中有 27 位學生不認為符號可以算是模型，學生所持之理由為符號太過於抽象，人類創造出來的，或是僅是代稱，無法表達參考物的意義。如 s20926 學生即以符號過於抽象，而不能稱為是模型，s90446 學生則認為符號僅是某物件的代稱，其無法解釋或表達其意義，故不能稱為模型。此外，s21034 學生亦認為若是單純的符號則太過於抽象，然而，若是與其他物件產生連結，形成結構化的形式，則可以稱為模型，換言之，若是符號與物件有較佳的連結，則將建立符號之概念連結，學生亦將可以理解符號之意涵，故可以稱為模型。綜合上述之討論，學生所擁有之觀點與模型理論觀點不相符合，學生以抽象或僅是代稱來作為判斷模型之依據，惟哲學以符號本身的結構性來判斷，兩者仍有其極大的差異。

師：那這裡有一些符號，哪些符號可以算是模型？

生：全部都不是！

師：為什麼呢？

生：因為太抽象了！什麼都看不到啊！因為這都只是人算出來，也不是算出來，就是代表什麼，就自己設的符號，太抽象了，所以應該都不是吧！

師：那這些都不行？

生：對啊！都不行！因為都是人寫出來的符號啊！所以都不算吧！（s20926）

師：哪幾個可以稱為模型？

生：最後一個！

師：為什麼？

生：因為它有這些鍵盤，可以對照，符號可以對照那個，因為它這個符號可以對照到實體。

師：其餘這些呢？

生：其餘這些就比較抽象！

師：所以你認為太抽象就不能稱為是模型？

生：嗯！（s21034）

師：那符號能不能稱為是模型呢？

生：我覺得這符號沒有意義，它只是一個東西的代稱，它並沒有把這東西的狀況給弄出來，所以它並沒有意義，它只是一個符號而已，所以我覺得不能算是模型！（s90446）

4.方程式：

雖然在物理學方面，理論常以數學化模型的形式來呈現，而理論模型最重要的特徵之一即是數學化的本質，但因所呈現之數學方程式（物理公式）過於抽象，研究顯示有 25 位學生不認為數學方程式可以稱為模型，其比例與模型本質問卷相比較，僅有 27.9%的學生認同其為模型，而訪談結果為 21.9%，均顯示認同之比例偏低，兩者結果相符合。底下列出四位學生訪談結果，其認為無法將數學關係式（ $F=ma$ ）或化學方程式加以具體化，清楚地表徵某個具體的物件、過程或實體，且不容易理解，因此不認為其屬於模型，換句話說，學生仍然以是否具體化，是否具有代表性，是否為實體與理解性等做為判斷是否為模型之依據。惟此結果值得注意的地方，猶如前述，數學化為科學的特徵之一，學生在科學學習過程中，即需要接觸到物理公式等數學化模型，惟學生僅認為其屬於公式之運用，對於其隱含之理想化或模型之運作形態均不甚理解，如此將影響學生之概念理解與學習。

師：如果一個數學方程式，請問它能不能稱為是一個模型？

生：模型喔！應該是不行吧！

師：為什麼？

生：因為我們沒有辦法從這個當中看到更細微的東西啊！

師：因為這個不能表示一個實物出來？

生：嗯！對！因為它沒有辦法表示它裡面更細微的東西，因為通常我們需要模型是看到更細微的東西，或是遠看的時候，它整個地方，因為我們可能沒有辦法實際拿起來看，而這個它是沒有辦法表示說，它的某一項或某一個角度的一個特徵，或者畫面，然而把畫面加以複製出來，那我們可以不需要自己去尋找這特殊的角度，而這個角度就可以看到這樣子的畫面。（s80542）

師：方程式可不可以稱為是模型？

生：不行！

師：為什麼不行？

生：因為它不是一個實際放大縮小的東西！就像我剛講的，它沒有實際代表某個東西，或物品！

師：所以它不能稱為是模型？

生：對啊！（s90533）

師：請問 $F=ma$ 或 $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$ ，這兩個方程式能不能稱為是模型呢？

生：模型就是一個實體，是一個實體，要做出來的物質！

師：那模型一定要是實體嗎？若不是實體的話？

生：我覺得這只能叫方程式，不能叫模型！這模型一定要是一個實體！然後這個就真的需要實驗的結構式，然後就拿什麼球來代表各種離子，那才叫做模型！它這只是方程式！（s10738）

師：那這些方程式能不能稱為是模型？像 $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ，或是 $F=ma$ ？

生：那不行啊！

師：為什麼呢？

生：它只是大致上表現說它會有什麼樣的結合，產出什麼東西，但是...其他的東西....我們也看不到，就只是寫出幾個符號，然後...也沒有像地圖那樣，一目了然！

師：喔！因為它不能一目了然，所以不能稱為是模型？

生：對！

師：除了這因素以外，還有呢？

生：它這樣寫我們也看不到它長什麼樣子啊！它並不代表一個實際，它只是一個符號而已！（s10503）

受訪學生中，有 2 位學生則認為方程式需要其他的輔助與說明才能稱為是模型，如 s20933 和 s20911 兩位學生所述均認為物理公式 $F=ma$ 需要解釋或說明才能稱為模型，換言之，僅有物理公式是無法稱為模型。如此的結果顯示，學生需要理解教師使用之模型，否則對於學生而言，可能將 $F=ma$ 僅視為公式，做為問題計算使用，換言之，學生亦難以透過老師所呈現的模型來理解其意涵，更將影響學生概念的學習。

師：那方程式呢？哪一個可以稱為是模型？

生：都不行！因為這只是....，喔！等一下喔！模型喔！....，這只是普通的敘述而已吧！

師：那這個呢？ $F=ma$ ？

生： $F=ma$ 的話....，還不夠吧！

師：那還需要什麼？

生：如果今天有一個圖來解釋 F 為什麼等於 ma，我會覺得這樣就是一個模型！

師：那如果單純是一個方程式？

生：不夠完整！（s20933）

師：那 $F=ma$ ，或是成功等於一分的運氣加上九分的努力，這兩個方程式哪一個能稱為是模型？

生：應該兩個都不行！

師：為什麼呢？

生：就它沒有寫什麼，就單純這樣寫！

師：什麼意思呢？

生：他就寫一個式子，他沒有推導說為什麼會變成這樣，然後它也沒有解釋的話，所以不能算是模型！

師：所以說...就是要一些說明或解釋！如果單純寫一個方程式，那這樣不能算

是模型？

生：嗯！否則他會不曉得是什麼東西！（s20911）

訪談學生中，其中僅 5 位學生認為方程式也可以是模型，以 s90509 學生訪談結果為例，他認為氯化鈉溶於水的過程，氯化鈉會變成鈉離子和氯離子，而化學方程式表徵其溶解的過程，即是有具體化的過程，所以可以稱為模型。很明顯地，學生仍以具體化作為其判斷是否為模型的依據。此外，s10718 學生認為 $F=ma$ 和 $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ 均可稱為是模型，其主要理由為可利用方程式來解釋某個現象與概念，顯示學生已經從模型的功能來考量，並依此作為判斷是否為模型的依據。

師：那方程式可不可以稱為是模型？

生：應該也是吧！

師：為什麼呢？

生：應該就是它的過程啊！它是過程的模型啊！

師：過程的模型？什麼意思呢？

生：就是它原本在裡面，它的過程是變成鈉離子跟氯離子，因為我們看不到，所以我們就把它們寫成方程式的方法來看！

師：可是你剛剛不是說模型要具體的嗎？

生：對啊！過程是具體的啊！（s90509）

師：我們物理上看過 $F=ma$ ，請問 $F=ma$ 能不能稱為是模型？

生：應該可以吧！因為確實可以解釋它們的關係，所以應該可以把它當做是一個模型吧！

師：還有呢？

生：因為這也是實驗出來的結果啊！所以它可以表現出它為什麼這樣！所以把它當模型...應該可以吧！

師：那如果把鈉變成鈉離子表示成 $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ ，那能不能稱為是模型？

生：就是把這種式子當做是模型也是可以！它可以解釋它怎麼...這就是用書寫的方式來表示它們怎麼變化的啊！所以我覺得應該可以吧！（s10718）

5.肢體動作

肢體動作部分，其中有 24 位學生認為透過肢體動作可以稱為模型，其主要理由為可以透過肢體動作表示某個物件，或作為某個物件的替代品，即是學生會以肢體動作是否擁有與參考物的相似形態來做為判斷其是否為模型的依據，若是肢體動作與參考物具有相似性，如波浪舞就與波的形態（高低波）相似，所以波浪舞可以稱為是模型，如 s90410、s90533 和 s21034 學生所述：

師：我們常常會使用一些動作來表示某個東西，那請問肢體動作能不能稱為是模型？

生：可以！

師：為什麼可以呢？

生：因為...像波浪舞的話，就和波相似！

師：所以你會從相似的地方來判斷它是不是模型？

生：嗯！（s90410）

師：那有時候我們會利用肢體動作來表示某個東西，例如用手來代表球，那這樣能不能算是模型？

生：可以，就是你有去代表它的形狀，你也會儘量跟原圖相似，所以應該可以當作是一個模型！

師：所以像老師用手去代表電子繞原子核轉，能不能算是模型？

生：應該可以啊！就是也有代表性啊！（s90533）

師：這幾個都動作的吧！那哪幾個可以算是模型？

生：應該都算！

師：為什麼？為什麼這幾個動作的都可以算是模型？

生：因為它有實體可以去表現抽象，就是有東西可以代替它，代替這些象徵性的東西。

師：代替象徵性的東西。

生：嗯！（s21034）

肢體動作部分，其中僅有 8 位學生不認為肢體動作可以稱為是模型，其中 s20933 學生所擁有的理由為若是肢體動作與參考物之間差異太大，如手代表地球過於簡略，因忽略地球內部的物質，故無法稱為是模型，但分析其訪談內容仍以肢體動作是否可表徵參考物作為判斷是否為模型之依據。綜合上述，學生在判斷肢體動作是否為模型之依據，他們仍以先前所論及模型與參考之間關係的相似程度來作為判斷之依據。

師：你們上課的時候，老師是不是會常用握拳來表示球，那這樣能不能稱為是模型？

生：如果拿一顆球來，我就會覺得那是模型，如果單單比的話，我就覺得不算是！

師：所以模型要是一些實體，或是比較具體的東西，才可以算是模型。

生：就像以前剛教原子，老師都會帶一些模型，就那一種，例如地科啊！就把地球剖面，就可以看到裡面，那今天如果只用一隻手握著一顆球，就說裡面有地核，地函，我覺得那太簡略了！

師：所以抱一顆球，不能算是地球，要有裡面具體的東西。

生：對啊！（s20933）

師：那老師如果用手來比喻某個物體，像是以左手表示原子核，右手表示電子在外面繞，我們手勢來表示，這樣可不可以算是模型？

生：用手勢來表示...

師：就是用肢體動作來表示的，能不能算是一個模型？

生：肢體動作表示出來的...應該不行！

師：為什麼不行呢？

生：因為就像我講的，模型就一定要真的有那個東西給你看到，那應該算是一種動

作的示範！就應該屬於動作這一類的，不能說它是一個模型！（s10738）

6.電腦模擬

電腦模擬部分，訪談的 31 位學生均認為電腦模擬亦可稱為是模型，其主要理由為電腦模擬可以透過影像來表達或模擬某個物體的形態或性質，而讓他人觀察到，換言之，學生會以模型能表達或說明某個事物或概念來作為判斷模型之依據，若是具備上述之特徵則可以稱為模型，如 s90228 和 s20911 兩位學生所述：

師：請問電腦模擬可不可以算是一個模型？

生：可以啊！它可以把它畫成立體的啊！

師：還有呢？

生：因為它能夠表達出這個物體的...你所看到這個東西的...這個東西的形態！

師：還有呢？

生：因為電腦可以畫出立體的，還有可以做出一點立體的效果，所以可以告訴你這個模型是長什麼樣子的！它可以很明顯地告訴你，這個物體你可以把它轉換...就是不拿這物體來，你可以把它轉換....把這個圖像，把這個形態建立在另外一個...可能是電腦，或可能是平面圖，或者是在立體的物體上面！（s90228）

s10738 學生則以廣義與狹義來定義模型，但仍以表徵形式是否為實體作為判斷模型之依據，而訪談結果顯示，電腦模型屬於虛擬模型，並且屬於廣義模型之範圍。

師：這邊有一些電腦模擬的情形，像電腦模擬原子失去電子，或是動畫片，那這些能不能稱為是模型呢？

生：應該都可以吧！因為它都可以顯示出它的特質，然後它之前所講的性質或是特質都可以顯現出來，像原子的結構啦！或是電影動畫都可以表現出來！

師：所以就是可以表現出來，讓你清楚看到，才可以稱為是模型？

生：嗯！（s20911）

師：那電腦模擬的結果能不能算是模型？像是一些動畫片啊！

生：就是電腦裡面，或是 3C 產品弄出來的那種虛擬的影像，我覺得應該特別定義它為虛擬的模型，模型應該就是生活中實際的物體！

師：那虛擬的模型可不可以算是模型？

生：就應該算說...虛擬的模型就是廣義的模型之一，如果以狹義的模型來說，應該是屬於一個實體！（s10738）

7.混合形式

訪談的 32 位學生，其中有 26 位學生認為混合形式（圖像和文字）可稱為是模型，若是比較訪談結果與模型本質問卷施測之結果，訪談結果顯示，認同混合形式為模型之比例高於問卷施測之結果（81.3% > 42.1%）。若是比較與圖像形式相互比較，混合形式之比例較高（81.3% > 46.9%），此結果與模型本質問卷施測的結果類似，均說明透過圖像和文字混合形式，除可以清楚地表達外，亦可透過觀察讓他們更容易了解所

欲傳達的概念或想法，且學生認為若是無法透過此表徵的形式了解其內容，則將無法稱為是模型，換言之，他們以能否理解模型所呈現的概念來做為判斷模型之依據，若是無法理解其相關的概念，則無法稱為模型，如 s21034 和 s20933 兩位學生所述：

師：這邊我有文字跟圖結合在一起了，哪幾個可以稱為是模型？

生：都算！

師：可是你不是這個不算嗎？那為什麼現在就算？（意指圖像部分）

生：因為它有文字告訴你發生什麼事情，這邊就沒有。

師：所以這邊你有文字加進去就可以算是模型？

生：嗯！

師：那這邊只有文字，為什麼就不算？

生：因為沒有圖像！

師：所以你要稱為模型，必須要有什麼東西？

生：圖像、實體、影像...可以看得到的，這樣子！而且圖跟文要配合。

師：可是這邊只有圖而已？

生：它這個箭頭我不太曉得它是什麼意圖。

師：那為什麼這邊你就可以了解它的意思？

生：這邊的話...

師：是你學過這個東西？

生：嗯！可以大概知道它（指離子示意圖）在說什麼，這個（指唐文化傳播圖）就不太了解。

師：就不太了解它的意思，就不可以稱為是模型？

生：嗯！

師：所以你判斷的依據是你能不能理解？

生：對！（s21034）

師：那這幾個哪幾個可以稱為模型？

生：這一樣啊！它只有講這些，但如果把這些字鑲在這圖裡面就可以算是。就是如果今天有一個不知道地圖的小學生，那我看地圖它跟我這樣講，那我不知道這些地方在哪裡，所以還是沒有用啊！

師：所以圖跟內文要說明清楚，如果說明不清楚，就不能算是模型？

生：對！（s20933）

8.小結

綜合訪談結果，學生對於模型的認識，他們在模型表徵形式判斷，主要是依據下列三種形式，分別是具體化、是否屬於抽象的想法，或是能否表徵或說明某個現象或概念。首先，具體化即是以能否透過具體化，或是模型是否為實體等判斷依據，若是屬於具體或實體，則可稱為模型，若不符合，則可能無法稱為模型。其次，學生會利用表徵形式之抽象程度來作為判斷模型的主要依據，若屬於較為抽象的想法或概念，

如 $F=ma$ ，則必須能透過認知的過程予以想像，若是符合上述的情形，則可稱為模型，如 s20926 和 s20909 兩位學生所述：

- 師：那這些例子，請你歸納一下，你判斷模型的依據是什麼？
- 生：就是實體的啊！然後...不會動的吧！然後可以想像出來的！
- 師：可以想像出來的！還有呢？
- 生：就是可以代表一個東西，一個具體的東西！然後...還有...應該就是這些吧！
- 師：那太抽象的呢？
- 生：太抽象的不行啊！
- 師：所以像一些方程式啊！物理公式啊！都不行嗎？
- 生：都不行！還有像是人設的那一些代號啊都不行！（s20926）
- 師：那看了這麼多的情形，請問你判斷模型的依據是什麼？
- 生：看的到，摸的到，然後...基本上摸的到，如果摸不到，就像是電腦模擬的話，就是...你可以仔細觀察它所有的東西，或者如果只是文字敘述，你可以用想像的，想像它，當然你可以 360 度大旋轉，所以...所以應該就這樣！（s20909）

最後，有些表徵形式，如示意圖或肢體動作，訪談結果顯示有部分學生即以是否能表徵或代表某個參考物來作為判斷之依據。而數學方程式、言語和符號關係，大部分的學生會認為若是無法代表某個物件或現象，或是所表徵的事物過於抽象，如此的表徵形式無法稱為模型。綜合上述之結果，以圖 4-1-11 表示之。

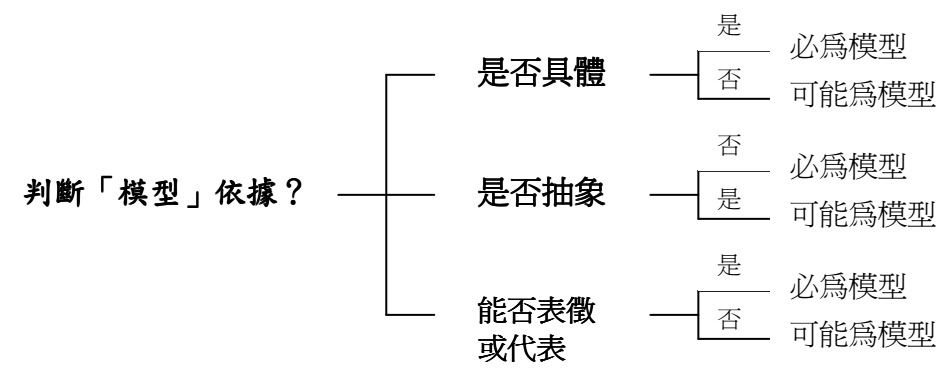


圖 4-1-11. 學生判斷是否為「模型」之示意圖

雖然在 Boulter 和 Buckley (2000) 的分類模式，他們主要是從模型的表徵形式來將模型分類，將模型區分為下列 5 種不同的表徵形式，分別是：具體的 (concrete)、言語的 (verbal)、視覺的 (visual)、數學的 (mathematical) 和動作的 (gestural)。然而，本研究結果卻顯示，學生對於上述的表徵形式頗有不認同的現象，特別是數學形式和言語 (文字) 等兩種模型表徵，認為屬於模型之比例偏低。

上述訪談的結果也意謂著教師如何提高學生對於模型之認識與想法，除平時教學採取學生較為熟悉的形式，對於數學關係式 (理論模型)、方程式、符號等表徵形式

均宜多加著墨，特別是數學關係式，理論模型最重要的特徵之一即是透過數學化來呈現，故擁有預測、解決問題，或是用來表徵某種關係的能力，但學生若忽略其所代表之意涵，將影響概念學習。因此，學生若是能認識或理解理論模型等抽象形式模型在科學學習所扮演的角色，將會促進其相關概念的學習和模型的認識。

（二）模型本質的觀點—本體論

1.模型是某些事物的複製品

大部分的學生認為模型是某種事物的複製品，模型必須與真實的事物非常地接近，並且他們無法理解科學模型是如何被使用來說明科學想法與理論的發展。從量化資料統計結果顯示，有 28 位學生不認為模型是某些事物的複製品，但仍有 4 位學生認為模型是某些事物的複製品，惟此結果與模型本質問卷有極大的差異，模型本質問卷施測結果顯示，分別有高達 92.1%（非科學範例）和 89.2%（科學範例）學生認為模型是複製品，但訪談結果僅有 12.5%學生認為模型是複製品，推測學生在問卷的作答中，仍以具體的事物來加以判斷，而訪談的形式則可讓學生深入思考，故比例有極大的差異。而訪談結果，s10503 學生認為模型是某些事物複製品之理由，如下所述：

師：那模型一定是某些東西的複製品嗎？

生：嗯！

師：為什麼呢？

生：若不是的話就不叫模型啊！它要模擬那個形狀！

師：還有呢？

生：它做出來就是要複製那個東西！（s10503）

訪談結果顯示，學生不認為模型是某些事物的複製品之主要理由為模型與實體（參考物）之間僅需要外觀或形式的相似，而複製品需要外形與大小皆完全相同，故模型不是某些事物的複製品，如 s90446 和 s10517 學生所述，而 s10523 學生則認為某些模型是心中所想或創作，如藝術作品，故模型不單只是某些事物的複製品而已。

師：模型一定是複製品嗎？就是複製出來的結果嗎？

生：我覺得不是！

師：為什麼不是呢？

生：因為所謂複製的話，就必須要把所有的...就是...像玩具車，它只是一個大約的模型，因為車子裡面所有的一些零件、機械，並沒有完整的呈現出來，所以它只是一個大略，了解這東西大略的外觀跟形式，所以我覺得不完全是複製品。
（s90446）

師：模型是否為複製品呢？是不是一些具體的複製品？

生：模型就是有點模仿的感覺啊！所以我覺得模型就是有一些實體...就原本有東西出來，就縮小版，對！我是這樣子認為啦！其實就是模仿別人或複製別人原本

有的，把它縮小就比較好收藏！

師：所以模型是複製品嗎？

生：不算是吧！就可能要表現出來，就像平面的東西，你要把它變成立體的東西！

師：那模型是不是複製品呢？

生：我覺得不是！就模仿跟複製品不一樣！複製就全部一模一樣，或大小、本質都要一樣，那模仿是一點點東西而已，不是全部！（s10517）

師：模型是一些物體的複製品嗎？像你剛剛舉的公仔，就是一個複製出來的東西！

生：我倒覺得不是耶！模型很多...像很多藝術的東西就沒辦法複製啊！藝術家就把頭腦裡面的想法做出來，就不屬於是複製品！（s10523）

2.模型僅呈現特定的部分，其餘均予以簡化

依上述的結果，模型不屬於複製品，而在訪談的學生中，其中有 28 位學生同意模型可以僅呈現特定的部分，其餘部分予以簡化地呈現。猶如前述，訪談的結果顯示，學生判斷模型之依據主要從心中對於參考物即定的外觀特徵，然後依據相似程度來加以判斷，外形特徵若是與參考物之間具有某些程度上之相似，即是描述參考物之主要特徵，則可稱為模型。如 s20926 和 s10718 兩位學生所述：

師：那車子是不是只要車身，四個輪子就可以了？

生：對啊！

師：就是主要只要的東西就好？

生：就是只要看起來像車子！就外形看起來像車子就 OK 了！內部應該不重要！

師：那現在如果我們不要做車子，那你怎麼判斷它是一個模型？

生：看平常的東西啊！就有些地方像就好，不然會變成別的東西！

師：就看平常的東西來決定它的特徵是什麼？

生：對啊！自己的印象是什麼啊！

師：就是只要這個東西只要表現出這些特徵，就可以稱為是模型？

生：對啊！（s20926）

師：如果車子我那如果忽略掉很多東西，那能不能稱為是模型呢？

生：我覺得可以！我看模型是不會看它裡面，所以應該外形看起來像就好了。

師：那為什麼外形看起來像就好？

生：外形像就好，我不會計較它裡面什麼東西。（s10718）

3.模型可以不一致的比例來呈現

猶如上述，模型僅需表現其特徵，但在某種情況下，我們常需要突顯某部分的特徵，並且以不同的比例來放大或縮小某些部分的特徵，如原子結構模型即屬此類型，因原子核與原子大小之間的比例差異過大，故常以不同的比例來表示兩者之間的大小

關係。訪談結果顯示，28 位受訪的學生均認為模型與物件之間的比例不一定要完全正確，或是若是要按照比例，但比例不能差異過大，並且認為模型可以利用不一致的比例來呈現，但仍要呈現其應有的形態或特徵，如此亦能稱為「模型」。如 s80510 和 s90403 兩位學生所述：

師：如果比例不對，能不能也稱為是模型呢？

生：可以！也是要有一個形態，就是也要有個形態出來！

師：那為什麼呢？

生：就是模型也可能表達某一個事情，那只要像就好了！（s80510）

師：那如果比例不對，那能不能稱為是模型？

生：簡陋的模型，算吧！

師：什麼是簡陋的模型？

生：我覺得像那個原子啊！原子的模型就很簡陋啊！它只是讓人家了解原子的結果，但如果是真的話，電子跟原子核的距離應該是很大，但不可能做那麼大的模型啊！（s90403）

師：那有時候我們會在複製的過程，嗯...！這樣說好了，譬如說大頭狗！你把頭做得特別大，身體做得特別小，那這樣能不能算是模型？

生：嗯...可以啊！因為它為了要突顯它頭比較大啊！它著重在它的頭，應該可以讓別人知道它著重在它的頭！

師：所以比例不一定要正確？

生：嗯！對！（s20911）

當然亦有學生認為若是比例不一致，則不能稱為是模型。特別是 8 年級或 9 年級學生，總計有 4 位學生認為模型需與表徵物件大小需相互一致，如 s90533 即認為若是比例不一致則無法代表所欲表徵之物體，因此無法稱為模型。

師：那假如說我在放大的過程比例不對，可不可以稱為模型？

生：不行啊！

師：就假如說狗好了，我們把它做成大頭狗，那比例不對，這樣子可不可以稱為模型？

生：不行！因為它就不再是原本東西的形狀啊！就不能代表那個物體啊！

師：所以你認為模型就是放大或縮小，比例都要對？

生：嗯！（s90533）

4.模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係

模型不須要完全對應特定事物的結構、性質與關係，32 位訪談學生中有 30 位學生認為模型不須要完全對應特定事物，其比例相當地高（93.8%），但若是與模型本質問卷施測結果作比較，分別有 54.8%（非科學範例）和 61.7%（科學範例）認為模型

需要完全對應特定事物的結構，顯示兩者之結果有極大的差異。訪談學生所得理由，他們均認為模型只要能表現原有物體或參考物之特性或特徵，則可以稱為是模型，如 s90528 學生認為若是只要能表現參考物的主要特性或是其形態，雖然模型有簡化的情形，但仍可稱為是模型。

師：那模型要完全的對應嗎？就是說物體有什麼，模型就有什麼？

生：能夠做到這樣當然是最好啊！

師：如果沒有呢？

生：如果是縮小或者是放大，可能要比例尺表示！或者是實際物體它可能太精密，這模型可能沒辦法做出那麼精密的東西，那你旁邊可能要文字表示一下！

師：那如果說，一台車子我們做的很簡略，那這樣能不能稱為是模型？

生：它...它能夠大概表現這個車子的特性的話，就可以稱為是模型！

師：就是說只要特定的部分就可以了嗎？

生：當然...當然就不能太簡略，就是你能夠看到這東西就能反應出就是這東西的模型，而不是把它影射成另一個東西！

師：就是部分的特徵都還要在嗎？

生：對！（s90528）

5.模型是否可改變

假如原有模型是錯誤或不適當，則模型是可以改變的，原子模型即是最為顯著的例子。而受訪的學生中，其中有高達 30 位學生均認為模型是可以改變的，其比例相當地高。如 s90410 學生即是從原子模型演變的歷程來認為模型是可以改變的，而 s10738 學生亦認為模型是某個階段的假設，我們可以透過實驗來對模型或假設進行修正，所以一個好的模型是不斷修正的結果，由此即可看出學生已認為模型是可以改變，並且不斷修正的結果。此結果亦顯示學生已擁有科學模型或事實是暫時的概念，科學不是固定不變的，科學是不斷發展的結果，如此的結果與 Justi 和 Gilbert（2003）研究有極大的差異，在 Justi 和 Gilbert（2003）的研究中，有 21% 教師主張“模型是不能改變的”，而本研究僅有 6.3% 學生主張模型是不可改變的。

師：像有一些模型也會有錯誤，那模型可不是改變呢？

生：就像是剛開始研究原子的時候，那些原子也不一定正確啊！

師：所以模型是可以改變，而變成正確的？

生：嗯！（s90410）

師：請問模型怎樣改變呢？

生：就是...如果做出的模型，然後最後發現...就推測它是這樣，但是最後做實驗發現不一樣，那這個模型可能會被推翻，模型就要改良，模型是要不斷地改良！

師：也就是模型是可收改變的？

生：對！它只是某階段的假設，或印證某階段實驗或假設，那最後會得到正確的模型，那這個模型就是正確的模型！就是任何好的模型都是一修再修，沒有一次就是對的，但是每一個階段都是表現出當時那個時候那個人的那個想法！
(s10738)

6.「定律」或「理論」的模型，由於許多定律是在理想狀況下才能完全符合，如 $F=ma$ 即是需要在沒有摩擦力的情形下才能完全符合，或是氣體定律則是需要假設氣體粒子的體積等於 0，氣體粒子之間的碰撞屬於彈性碰撞，因此定律或理論模型是必須有限制條件，才可應用於問題上。訪談結果顯示，部分 8 和 9 年級學生對於此問題的敘述感覺非常難以理解，推測 8 和 9 年級學生仍未有理想化之概念，學生仍以日常生活實際的操作為主，未能考慮在其他因素忽略下的理想狀態，而大部分 10 和 11 年級學生則已經可以理解定律或理論需要有限制的條件，即是理想化情境。如 s21034 學生即認為像是自由落體運動需要在沒有阻力的情況下才能適用。

師：那像自由落體定律，因為它稱為定律，所以不需要有任何的限制？

生：應該要有一些限制吧！

師：能不能舉一個例子？

生：就像是波以耳定律啊！一定要在定量的氣體，然後同一個溫度，才可以使用！

師：那自由落體定律，有沒有使用的限制？

生：可能要因應當時的情況去改，因為可能就像是月球之類的，空氣阻力很小，可能那個阻力就要改，阻力需要改變，就是沒有阻力的話，加速度會比較快，如果有阻力的話，加速度就會小一點，因為要扣掉阻力。(s21034)

（三）模型本質的觀點－認識論

1.透過符號呈現和了解現象或概念

我們常會透過一些符號可以呈現和了解日常生活的現象或概念，有些符號如 p^+ 可表示質子（質子的英文為 proton，且質子帶正電），故可透過此符號了解其質子的性質，如質子為電荷為正。以 s20911 學生所舉之例子，他認為颱風的符號「6」，除了可看出颱風為低氣壓外，亦可看出颱風的旋轉方向，換言之，即認為可透過符號而將所欲理解參考物之主要特徵表現出來，進而理解參考物或欲學習的概念。

師：我們常看到一些符號，那這些符號能不能讓你了解一些概念？或是一些現象？

生：可以啊！就從…應該先從它的外觀看啊！

師：什麼意思？

生：譬如說這颱風的圖，那颱風不都是低氣壓嗎？所以它應該會往內旋轉，所以當然可以知道！

師：所以這些符號可以表現出一些特徵出來？

生：嗯！（s20911）

但亦有部分學生認為符號需要加入一些解釋或說明，才更容易理解所欲表達之概念與意義，否則單純符號是難以理解或說明其所代表的意義，如此的結果類似於先前混合形式的模型。換言之，教師教學應以學生容易理解的模型來呈現，如此將可促進學生之學習。如 s20933 學生所述：

師：如果像 $F=ma$ ，那 F 能不能幫助你了解力這個概念？

生：那如果單純寫一個 F ，那就沒有辦法。

師：那怎樣幫助你了解？

生：就是寫出來，寫出來 F 代表力，或是什麼代表什麼。

師：就是單純一個符號是沒有辦法讓你了解的？

生：對！

師：那如果科學家發明一個你都沒有看過的符號，那能不能幫助你了解他要表達的概念？

生：沒有辦法，可能要透過他們的解釋，才能了解那是什麼東西。

師：所以還是要透過一些解釋才能夠知道。

生：嗯！（s20933）

2. 透過圖像呈現和了解現象或概念

大部分學生均認為可以透過圖像來了解某個現象或概念，其理由為把一些難以理解或較為抽象的現象，透過圖像（如圖表）的轉換，使之更容易記憶和理解，或是可以與實際物件做連結，如此將更容易了解欲理解之現象或概念，惟在語意部分，學生認為屬於模型之比例偏低。推論會有如此的結果，主要是學生會以示意圖的本體來判斷，其是否具體或清楚呈現某個概念，而在認識論的部分，雖然學生認同可透過圖像來學習，但學生卻以兩者相互獨立的形式來加以判斷，顯見學生對於模型的認識相當地缺乏，雖然學生平時即常使用此種模型表徵，但卻無法了解其所扮演之角色，如此亦將影響學生之概念理解。而透談學生對於透過圖像呈現和了解現象或概念，底下以 s90446 和 s10517 學生所述為例：

師：你認為我們可不可以透過圖表來學習某個概念呢？

生：可以啊！

師：為什麼呢？

生：因為它把看不見的東西，就比如說速度，我們不曉得它有多快，它把看不見的東西轉換成可以理解的事實，而且是有意義的！（s90446）

師：請問我們能不能透過圖像來了解現象？就是我們為什麼可以透過圖片來了解某個東西？

生：就是你看到它比耳朵聽到它更容易記住，像我做筆記的話，我就比較喜歡用圖來做，假如你看圖片的話，就是會促進你的思考，我會這樣認為！就是比較容易記東西！

師：還有沒有其他的理由？

生：假如比較化學式的話，你生活中比較不容易用到，可是你用圖片的話，你會聯想到真正的實體在運作，就是可以聯想到真正的東西在那邊！（s10517）

3.透過文字呈現和了解現象或概念

猶如前述文字敘述，許多學生認為文字敘述過於抽象，所以認為文字敘述之概念不能稱為模型。訪談結果亦顯示，雖然有 20 位學生認為透過文字呈現可以了解現象或概念，但亦有 12 位（37.5%）學生認為僅透過文字的敘述，將無法了解所欲理解之現象或概念，他們認為需要配合較為具體的圖像或物件，如此才可協助他們理解與學習。如 s21033 學生所述：

師：那我們知道可以利用文字來表達事情，就像我們常講二氧化碳是由一個碳和兩個氧所組成的，那你認為利用文字能不能幫助你理解這樣的觀念？

生：不同意！

師：為什麼不同意？

生：因為我知道它的組成，但是我不知道它的架構。

師：所以你的意思就是說，你沒有辦法透過簡單的文字描述來了解這樣的觀念？

生：對啊！

師：那還需要什麼東西？

生：就是圖或是具體的東西，譬如說，你今天拿一個二氧化碳的模型來，那這樣就可以。就像我前面所舉過的例子，有符合那些東西，我才能叫它是模型。（s21033）

從上述的討論，對於科學教育之意涵即是教師若能呈現較為具體且易懂的模型或表徵形式，將更有利於學生之概念學習，換言之，教師如何將抽象概念轉化為具體形式模型將是教學的挑戰。

4.透過肢體動作呈現和了解現象或概念

訪談結果顯示有 22 位學生均認為透過肢體動作的呈現，將可以了解所欲理解之現象或概念，其主要理由為能夠表徵某物體的形態，如大小或長度等，類似於判斷肢體動作是否亦可稱為模型的理由，如 s20909 學生所述，而 s10523 學生除認為肢體動作可作為模型外，亦認為透過肢體動作呈現和了解現象或概念，他認為只要能夠發揮想像力，即可以將某個欲表現的事物具體化，如此即可透過肢體動作（模型）來學習某個現象或概念。

師：我們可不可透過肢體動作來了解某個概念呢？

生：可以啊！就像我們會指啊！就是會擺出那東西動作，就大小啊！就這麼長，這麼寬啊！（s20909）

師：肢體的動作能不能算是模型？

生：我覺得可以！那就要靠想像力，就比如說，球是這樣，然後就想像有東西充滿在手裡面，就感覺起來是一顆球！那感覺是可以表現出來的！我覺得模型要有一點想像，就比如老師這樣用，就有那種感覺！

師：那你能不能透過肢體動作來學習一些想法或概念？

生：應該可以！...我覺得是靠想像力！就有一些想像力的空間，比如說東西這樣，電子，電子失去，然後怎樣怎樣，就是要靠一點想像力！（s10523）

但仍有部分學生認為雖然肢體動作可以協助其了解某個現象，但卻無法從操作過程中獲取相關的經驗，故希望學習是透過實地操作，如實驗課程來進行較為恰當，如s10738學生所述：

師：那我們能不能透過肢體動作來學習某個事物或了解某一個概念呢？

生：是可以，因為我們不可能每次都實地去操作，但是...因為是比的..就會讓人家缺乏真實感，那印象就可能比較沒有真正去體驗過那麼深刻，這就是為什麼要有實驗課的原因！

師：用肢體動作還是可以讓你了解某個東西，對嗎？

生：嗯！但是就沒辦法體會到真實情況是怎樣！但大概會有印象說，它可能會是這樣，但是真實的情況下去，真的去做實驗真的會不一樣！就需要考慮其他因素，產生不一樣的結果！（s10738）

5.模型可以是個人、科學家或社會大眾對某種事物或現象的觀點

深入訪談的結果顯示有 14 位訪談學生認為應該由科學家所提出的觀點才可稱為模型，主要的理由如 s21034 學生所提及，他認為科學家經由嚴謹的研究流程，故提出的觀點較為正確，所以才能稱為模型，如此亦說明學生具有模型是科學產物的概念。

師：當你看到天氣的變化，你提出一個觀點，那請問這能不能算是一個模型？

生：應該不行。

師：那如果是一群人的話，那這樣能不能算是一個模型？

生：應該不行啊！那只是觀點而已！

師：那如果換成是科學家呢？

生：應該可以，因為他有研究的根據。

師：那個人或社會大眾沒有研究根據，所以他們的觀點就不能算是模型？

生：因為那只是個人的觀點，是不是真的，那沒有根據，所以不能算是模型。

師：那科學家有研究的根據，所以他提出的觀點就可以被大眾所信服，所以他的觀點可以稱為模型。

生：對！（s21034）

（四）模型本質的觀點－方法論

關於模型本質的方法論面向，訪談乃著重於學生對於模型功能和心智模式外顯化等議題之探討。底下將先從使用模型之目的，隨後再討論建立模型時，需要考量的最

重要因素為何，最後則是討論是否可以利用模型來表達內心的想法？

1.使用模型的目的－模型的功能

模型可做為描述、解釋、推理、預測、檢驗和產生新想法（邱美虹和劉俊庚，2008；Leatherdale, 1974；引自 Gilbert, 1993）。底下即依照訪談的結果，探討學生對於上述模型功能的認識。訪談的結果顯示，大部分學生認為模型的主要功能在於說明或表達某個現象、容易記憶、幫助他們學習事物，但模型可用來預測之功能，訪談結果顯示僅有 2 位學生提及預測是模型的功能之一，如此的結果符合學生判斷模型之依據。

以下列出部分訪談學生之訪談結果，s10523 學生認為透過模型，讓人更容易理解所欲表達的事物，而且模型是社會大家共同擁有，透過模型的表達，即可讓人容易理解與認識。類似地，s90446 和 s20911 兩位學生則認為透過模型更容易學習與記憶。而 s20935 學生則認為模型可以表達物體的運動，較文字容易理解，可用來做計算，利用星座盤來推算某個晚上天空會出現的星座，以及利用收集的資料，透過模型來進行模擬之工作。

師：那你認為模型功能是什麼？你為什麼要使用模型？

生：我覺得是讓人家更了解所表達的事物，就是一種表現的方式，表現的方式有很多，就文字啊！就有很多！算是一種語言吧！

師：還有呢？它還有什麼樣的功能？你為什麼要使用模型？

生：可能是我對物理很有興趣，就很多東西都是模型，讓我去了解它！然後....就是一種表現的方式，比如說，我如果要跟人家解釋，那模型啊！就感覺比較具體，就不像語言，就看的或聽的人，不知道有沒有那個感觸！如果我講是雪，他如果從來沒有看過雪，就沒有辦法表現出來，那模型的話，大家都會看過啊！所以模型是很共通的，很少人不能夠看的懂，或聽的懂。（s10523）

師：你覺得模型的功能是什麼？

生：就讓我們了解一些事物，然後幫助學習吧！

師：還有呢？

生：就是我們只看文字的時候，就很容易...就對這事物沒有什麼感覺啊！但是如果看了這個東西，比如我們看了原子的排列方式，那我們看過這個，雖然我們以後沒有辦法看到真正的原子，但是我們...就是記憶方面...可以幫助我們記起來這個東西。

師：所以模型可以幫助你記憶，幫助你學習和說明某個東西！

生：嗯！大概是這樣！（s90446）

師：你認為使用模型的目的什麼？為什麼你要使用模型呢？

生：應該可以更深入了解某個東西，還有知道它的性質，比較容易了解！

師：還有嗎？

生：應該就這樣吧！

師：那你為什麼要使用模型？

生：如果說以原子那一個的話，就方便記憶啊！

師：那你認不認為使用模型可以來預測某些事情？

生：有可能啊！像天氣預告啊！它就是一個模型，就知道未來大概會發生什麼事情！
(s20911)

師：那模型有什麼功能？你為什麼要使用模型呢？

生：因為我們一般人可能沒辦法去接觸到或看到像專業的東西，像你如果要看地球是不是在自轉，月球是不是在繞地球轉，其實全世界看到的人就太空人那幾個，然後我們只能靠模型去看這些東西！而一般人基本上都是看不到這些東西，所以就要藉由模型來表達這物體的運動！

師：嗯！還有呢？

生：就因為大眾不容易看到啊！

師：還有呢？模型有沒有其他的功能？

生：第二種功能就是不會死板板的，就假設像是文字的話，大家就可能看不懂，像有一些很深很深的大學用書，就寫一大串文字，然後大家都看不懂，所以我覺得就方便理解！

師：就是可以方便理解，能夠很具體化的呈現出來？

生：對！對！

師：還有呢？

生：然後，再來的話，就假設我寫方程式的話，有時候可以方便計算，因為它是一個簡化的東西，就不用刻意地把圖全部都畫出來，就是一個簡化的東西，讓我們方便地去使用它！像 $F=ma$ 我們就可以估算它，它可能會產生多少能量，然後進而達到我們想要的目標！然後，功能的話...

師：就是我們為什麼要使用模型？

生：就假設我們用星座盤的話，然後...喔！這有點像推算，因為如果我們希望知道今天晚上會有什麼星座，那白天我們可以藉由星座盤直接去比照出來！

師：還有沒有呢？

生：就是我們可以做一些模擬，就比如說我們在北半球看不到南極，南極點的星空，然後我們可以藉由南半球那邊收集到的資料，然後模擬出來，讓別人看到！
(s20935)

從先前討論學生對於模型本質問卷施測的結果，顯示本研究所提出之模型本質四個面向之間是交互作用的關係。在此以 s20926 學生對於模型本質之本體論觀點來說明面向之間的關係，他認為模型僅是那些具體的事物，因此在模型功能面向（方法論），亦僅了解模型可用來表徵某個物件，或是代表某個參考物，未能考量模型的預測或問題解決等功能，如下所述：

師：那你為什麼要使用模型？你使用模型的目的是什麼？

生：為什麼要使用模型...因為有些東西做的比較小啊！

師：什麼意思？

生：就像地球儀啊！它把整個地球做成一顆球，可以讓我們知道地球長什麼樣子！

然後，像是什麼...一些做的比較細的模型...像車子啊！就可以看到裡面的結構啊！就不用特地跑去看，或是什麼的！

師：還有呢？

生：可以代表某個東西啊！

師：代表某一個東西，還有呢？

生：沒有了！

師：那模型能不能用來推理跟預測呢？

生：不行！（s20926）

綜合上述，大部分學生受限於模型本質之本體論的想法，對於模型功能的想法仍著重於解釋、表徵、說明或促進學生學習與記憶等，對於模型可用來推理、檢驗和產生新的想法等模型功能，訪談過程中僅有少數的學生會提及相關概念，如此的結果亦呼應先前模型本質問卷量化統計之結果。

2.建立模型時考量之最重要因素

為什麼要建立模型？還有什麼是建立模型時需要考量的重要因素？許多學生均認為建立模型時需要考量所建立的模型能夠讓他人看得懂、容易理解，或是能夠解釋其建立模型。如 s20933 即認為建立模型需要考量三個因素，分別是正確性、代表性和完整性，如此結果即類似於 Mayer（1989）所定義之良好模型特徵，但 s90446 學生則主要從外觀、大小和目的等因素來考量，兩者之間有很明顯的差異，即是 11 年級學生已能從模型功能來考量為何要建立模型，但 9 年級學生仍著重於模型與表徵物件之關係。

師：你認為你在建立模型的時候，什麼因素你覺得最重要？

生：第一個要正確，第二個就是要代表性。

師：代表性，這什麼意思？

生：就像前面講的，就是你想要表達給別人什麼東西，就是不要沒有意義！

師：還有呢？

生：完整性！就是要完整地描述我們要表達的東西！（s20933）

師：那你在建立模型時，你會考慮什麼因素呢？

生：就外觀的相似！

師：為什麼要考慮外觀的相似？

生：就比如說我們要做一个汽車的模型，但我們把它做成機車，那這樣就沒有讓別人知道我們要做什麼了！

師：還有呢？

生：然後...再來的話，比例大小也不要太誇張！

師：為什麼比例大小不能太誇張？

生：就比如說要讓別人了解玩具車，我們不可能把它做的比真車還大！或是把它做的非常非常迷你小！那這樣都無法達到…清楚告訴它大略的狀態！

師：還有呢？

生：如果我要做成像化學方程式的示意的話，那我們會比較清楚表示這是氧氣，這是二氧化碳！我們會考慮是要哪方面要讓別人知道！就朝這方面去做這模型！就考慮到要做這模型的目的！（s90446）

3.是否可以利用模型來表達內心的想法？

模型一定要是具體的事物嗎？是否可以說是心中的影像或想像的東西呢？透過訪談結果顯示，總計有 10 位學生，其有共同的想法均是認為需要把心中的想法外顯化，不論是透過圖像或口語等方式，否則無法稱為模型，即是想法必須透過模型與建模歷程來呈現，而建模在此將扮演關鍵性的角色。如 s80533 和 s20933 兩位學生所述：

師：那如果你有一個想法，那能不能稱為是模型？

生：想法還不行，就是要說給別人聽！可是要讓別人看到，如果別人看不到，就不知道你在想什麼！

師：那我如果用說的，那別人也不能看到，那能不能稱為是模型？

生：那不能！就要把它畫出來！（s80533）

師：那你心中想要創造一個出來，那這種影像或想像能不能算是模型？

生：比較抽象就不行，除非今天我把它寫出來或做出來。

師：所以你心中所想像的還不能稱為模型？

生：對啊！一定要把它寫出來或做出來。

師：所以心裡面所想的，那些很抽象的東西不能算是模型？

生：對啊！

師：所以心裡面所想的可以分兩個部分，一部分可以做出來的，一部分是不能做出來的？

生：嗯！不能做出來的只是一個想法而已。

師：所以想法不能稱為是模型？

生：嗯！（s20933）

一開始 s20911 學生雖然認為心裡所想事物可以稱為模型，但他希望透過具體化的過程來外顯化，如此將可稱為模型。並且在訪談過程中，他仍強調具體化的過程，並認為心中所想的事物不能稱為模型。而 s10503 學生亦有類似的觀點，他認為因為他人無法了解自己心中的想法，所以對於他人而言，不能稱為是模型，但對於自己而言，因為可以想像得到，所以可以稱為是模型。換言之，s10503 學生的想法即類似於先前心智模式的觀點，即是強調心智模式的個人本質。

師：模型一定要具體的嗎？那如果你心裡面所想的一件事情，或想一個東西，那能不能算是一個模型？

生：可以啊！因為它可以把它化為具體啊！就是要把心裡面所想的把它化為具體才

算是模型！

師：那如果單純在心裡面想而已呢？

生：嗯！它沒有文字的表現出來，所以不能算是模型！

師：什麼意思？

生：就是你只是想而已啊！那你沒有把它具體地放在眼前，別人不一定會認同這一件事情！

師：所以單純地在頭腦裡面想的不能稱為是模型？

生：嗯！（s20911）

s10517 學生一開始認為心中的想法不能稱為是模型，因其認為模型是要有具體的事物，但若是透過思考，並且加以統整後，變成較為完整的概念之後，即類似於所謂的心智模式，如此才能稱為模型。類似地，s10523 學生亦有類似的想法，並且他亦提及心智地圖（mind map）的概念，即是心中的想法若能相互連結，形成一個網絡的形態與結構，如概念亦可稱為模型。

師：假如你心裡面或頭腦裡有一些想法，那這些想法或概念能不能稱為是模型？

生：我覺得不算！

師：為什麼呢？

生：因為就像前面講的，模型就是要有一個具體的東西出來，可是...除非你頭腦已經有一個想法說，你等一下要做出什麼樣子，真正的東西出來，你頭腦可能要統整過，思考過....，我是覺得模型是一個實體的東西。

師：所以頭腦裡的想法不能算是模型？

生：我是覺得不是實體的東西，就可能你頭腦裡有想出一個東西來，你可以你的思考全部用在這裡面，就頭腦裡有這統整的觀念，那這就是模型！可是其他思考沒有統整出來的話，我覺得不是！

師：就是必須要先把頭腦裡的東西先統整好，組織好...

生：對！對！那我覺得是模型！

師：就是要把片斷的知識統整成完整的想法才能算是模型？

生：嗯！就是把全部的概念組織成一個...完整的，還是完整的，對啊！（s10517）

師：請問模型一定要是具體的東西嗎？

生：我認為應該要是！

師：那如果是頭腦裡面的一些想法，可不可以算是模型？

生：喔！如果說是概念的話，概念也算是，概念就是....可能就是慢慢地建造建造，感覺就像是一個模型。比如說，我三角函數這一塊，它是一個大模型，只是在比較說，這模型大不大，它就是一個模型，那種感覺！

師：所以這三角函數這個概念就是一個模型了？

生：就是....可能會慢慢拚成，可能一開始我只懂這一塊，就慢慢把它堆起來，就感覺愈拚愈大！

師：所以模型不需要是具體的東西？

生：應該都有吧！就是我們想法亦可能是一種模型啊！就類似 mind map，就感覺起

來它是一種模型！就想法連起來也算是一種模型。

從深入訪談的結果顯示，跨年級學生於此問題的訪談結果較無差異，他們均認為心中抽象想法僅是想法而已，必須透過認知過程將想法相互連結，形成網絡狀態的心智模式，或是爲了讓自己的想法讓他人能夠理解，必須需要透過具體化的過程，並透過不同方式或形式予以表徵與落實，如此才可以稱爲是「模型」。換言之，若依本研究先前的定義方式，心智模式與外在表徵之間透過模型的外顯化，透過兩者之間的交互作用，建立學生之心智模式，如此的結果亦說明與呼應第二章所提及之建模歷程。

第二節 學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念

許多模型用來表徵現象或概念，那學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念？學生建立之模型與表徵系統之間有何關係存在？他們面對不同現象時如何選擇適當的模型？不同表徵又如何影響學生之學習呢？本研究利用訪談的方式，探討跨年級學生面對不同現象或概念所使用之模型表徵，分析學生在運用不同模型表徵時的認知歷程，並透過認知的觀點來看學生如何選擇或運用模型，並了解及模型之來源。

一、模型與表徵系統之關係

陳瑞麟（2003）利用帕爾默（S. Palmer）的觀點，認為表徵最根本的含義就是「用以代表其它東西的某件東西」，表徵也是一個表徵系統（representational system），而且「被表徵世界」中的對象（object）和「表徵世界」中的對象之間有著對應。許多哲學家認為則模型表徵與目標系統之間具有相似或同構的關係。因此，本研究將從模型表徵與目標系統之間的“形態相似”和“結構相似”做為分析的面向，探討跨年級學生面對不同現象或概念所使用之模型表徵，以及了解學生所擁有模型表徵與目標系統之關係。

相似性是兩個物件在其視覺表徵有重要的相似關係，在此分析為具體形式和圖像形式之模型表徵，即是學生若使用實體來實際操作和畫圖（示意圖）等方式來表徵，則可歸納為形態相似，但圖像（示意圖）若含有結構之關係，則屬形態和結構相似；結構相似則是考量模型與其表徵目標系統之間存在結構的對應關係，如學生會利用化學方程式或物理公式（數學關係式）來表示現象或物件，或是類比模型。物理公式或化學方程式部分，因為其與所表徵的現象或概念不相似，若是學生使用物理公式與化學方程式，且能正確地表徵現象或概念，即可歸納為兩者之間擁有同構或結構性關係。

（一）跨年級學生於模型表徵形式之使用

跨年級學生面對不同現象或概念使用之模型表徵形式，訪談結果經轉譯，並加以統計使用之次數後，結果詳如表 4-2-1 所示。很明顯地，8 年級學生於 4 個問題使用之模型表徵主要為具體形式和文字形式，9 年級學生轉換為文字形式和圖像形式，10 年級仍集中於圖像形式和文字形式，但 11 年級則轉變為圖像形式和方程式或關係式。若是進行跨年級於不用模型表徵使用次數之比較，在此以方程式或關係式作為比較之模型表徵，結果顯示 11 年級學生於 4 個問題中使用數學關係式為其模型表徵的數量最高，總計出現次數為 31 次，而 8 年級學生使用模型表徵之數量為最低，總計出現次數僅有 1 次，其餘 9 和 10 年級學生使用模型表徵之次數分別為 9 和 24 次，很明顯

地，隨著年級的增加，使用方程式或關係式作為模型表徵之比例有增加的趨勢。為深入了解跨年級學生於不同現象或概念使用之模型表徵之差異，底下即針對各個不同現象與概念做深入之探討。

表 4-2-1. 跨年級學生面對不同現象或概念模型使用次數統計表

	問題 1					問題 2					問題 3					問題 4					總計				
	C	P	V	E	O	C	P	V	E	O	C	P	V	E	O	C	P	V	E	O	C	P	V	E	O
8 th	8	7	8	1	1 ^a	8	7	8	0	0	8	3	7	0	0	3	6	7	0	1 ^a	27	23	31	1	2
9 th	3	8	8	2	1 ^a	5	8	8	4	1 ^a	7	8	6	2	0	6	8	6	1	1 ^a	21	24	28	9	3
10 th	6	8	7	5	1 ^a	6	7	6	6	0	7	8	6	7	0	6	8	7	6	0	23	30	26	24	1
11 th	5	8	6	7	2 ^{ab}	6	8	6	8	1 ^a	5	8	5	8	0	6	8	6	7	2 ^{ab}	22	32	23	31	2 ^{ab}

代號：具體事物 (C)：如操作實驗、具體模型等；視覺 (P)：如畫圖、示意圖或影片形式；文字或口語 (V)：方程式或關係式 (E)：如化學方程式、數學關係式；其他 (O)：如類比(a)、肢體動作(b)或無法分類(c)。

1.問題 1：將一顆鹽（氯化鈉）溶於水中

問題 1 主要考量學生對於日常生活現象所使用之表徵，即是鹽溶解於水中。學生可以使用的模型大致有下列幾種類別，分別是具體形式的實際操作、示意圖或影片，若是以較為抽象模型來描述此過程，則可以使用 $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 來表徵食鹽溶解的情形。從表 4-2-1 結果顯示，8 年級學生均從具體形式（實際操作）、視覺（示意圖或影片）或文字（口語）等三種模型來表徵此現象，其出現的次數分別為 8、7 和 8 次，而 8 年級學生使用抽象形式模型表徵（化學方程式）出現之次數非常低，僅有 1 次，以 s80529 學生為例，其僅使用“ $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} = \text{鹽水}$ ”，由此結果觀之，8 年級學生使用之表徵形式仍著重於現象描述與詮釋，並能利用粒子的表徵形式，但僅有少數學生會使用符號表徵方式來描述食鹽溶解的過程。但 s80545 學生面對此問題時使用類比模型（即氣味的擴散來類比溶解的過程），並且能夠舉出類比的限制，如下所述：

師：那用氣味去描述鹽溶解的過程，這是什麼意思呢？

生：就是原本比較密集嘛！然後就慢慢地比較稀疏一點。

師：能不能再解釋清楚一點？

生：氣味喔！

師：對！

生：就是氣味原本一定是很濃的，到最後慢慢地聞不到，就是等於是...有點類似剛開始看得到，成群聚集在一起，然後後面就慢慢看不到！

.....

師：氣味跟真實的鹽溶解在水中有沒有差別的地方呢？

生：有啊！就是要考慮到空間的大小，就是你也沒有辦法計算它有多少量啊！就是本來也不知道有多少！就是...可能...像可能有點模糊吧！

師：就是空間大小可能不太一樣？

生：嗯！就是本來不是很類似的東西，就是它們有些地方剛好相似到啊！（s80545）

9 年級學生除仍以具體、圖像和文字等表徵方式外，並且有 2 位學生會利用化學方程式來表徵此鹽溶解的過程；10 和 11 年級學生除使用上述三種模型表徵外，利用化學方程式來表徵此現象的次數明顯變多，訪談結果顯示，分別有 5 和 7 位學生會將此過程以化學式來表徵，主要為 $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 模型來表徵。此外，大部分學生亦會以微觀與符號形式來詮釋此過程。

而 s90403 學生和 s10523 在訪談的過程中亦分別使用類比模型，如 s90403 學生認為鹽溶解在水中類比於螞蟻將食物分解成小碎片，或是 s10523 學生認為類似隕石落下的過程，隕石的體積會在落下的過程中慢慢地變小，猶如鹽在溶解的過程中，體積會慢慢地變小，如下所述：

師：你可以有什麼樣的比喻呢？

生：就....就假如這邊有個食物，然後呢螞蟻就會過來，然後就分批把食物帶走，然後就會變成很多很多小小的粒子，散布在這空間中！（s90403）

師：除了上述的兩種表示方法，你還有沒有其他的表示方法？

生：就比如說....類似....就比如說東西脫落的感覺，就類似隕石撞擊地面，就一直燃燒，就會有東西一直不見啊！就類似這種感覺，就東西放在水裡會慢慢消失的這種感覺！（s10523）

2.問題 2：木炭點火燃燒

問題 2 類似於問題 1 仍考量學生對於日常生活現象所使用之表徵，即是探究學生對於木炭點火燃燒過程使用之模型。一般來說，若是要描述木炭燃燒的情形，選擇適當的模型表徵，可以利用圖像（示意圖、影片）、文字（口語描述）、化學方程式（ $(\text{C}, \text{H}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ）等不同的表徵方式來描述其化學變化的過程。

表 4-2-1 結果顯示，8 年級與 9 年級學生仍以具體、圖像和文字等三種模型來表徵此現象，其出現的次數分別為：8 年級（具體：8 次；圖像：7 次；文字：8 次）和 9 年級（具體：5 次；圖像：7 次；文字：8 次），但已有 4 位 9 年級學生會使用化學方程式來表徵此現象，並且所使用之方程式均為 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ；10 年級學生則較少提及使用具體的模型表徵，著重於圖像和化學方程式，各模型表徵出現之次數分別為：具體：6 次；圖像：8 次；文字：7 次和化學方程式：5 次。11 年級學生與 10 年級學生作答情形相類似，但有 8 位訪談的學生均能使用化學方程式來表徵此過程，各模型表徵出現之次數分別為：具體：6 次；圖像：8 次；文字：6 次和化學方程式：6 次。若是從跨年級學生作答情形來加以比較，很明顯地，10 和 11 年級學生使用化學方程式的比例較高，且 10 和 11 年級學生在圖像的表徵使用上亦會使用粒子與符號表徵

形式，即是學生所使用之模型表徵受到其擁有的概念理解影響。s90446 學生則提及類比模型，其利用吃冰棒來類比木炭的燃燒，其長度會愈來愈短，如下所述：

師：那你可以用什麼樣的比喻呢？

生：吃冰棒好了！就一直吃一直吃，然後它那個冰棒的長度就會愈來愈短，愈來愈短，到最後可能只剩下棒子！那這樣子我就把它比喻成燒完的灰燼！

師：那你這種比喻跟真實的狀況有什麼不一樣的地方？

生：因為真實的狀況燃燒完會產生二氧化碳，跟那個...會產生二氧化碳，那是吃冰棒不會的！

師：還有呢？

生：因為它燃燒完會產生熱，它會產生熱，那實際的...我們比喻的不可能會產生熱，

那這是實際跟比喻的差別！（s90446）

3.問題 3：重物自由落下

問題 3 主要測驗學生對於外界物理現象所使用之表徵，探討學生對於重物自由落下過程使用之模型表徵。一般來說，描述物體的運動情形，可以利用數學關係式（如 $v=gt$ 或 $s=1/2gt^2$ ），或是 $v-t$ 關係圖，而來表徵物體落下時的速度或高度，或是圖像（示意圖）來表徵其落下情形。

表 4-2-1 結果顯示，8 年級學生因仍未學過相關物理概念，所以面對此現象時，在選擇適當之模型表徵時明顯感受到困擾，結果顯示僅以具體（實際操作）、圖像或文字形式的方式來考量，除原先使用圖像模型（示意圖）表徵的次數變少外，對於口語（文字）表達亦明顯僅描述其現象，或是認為無法利用示意圖來表徵此過程。如 s80533 學生所述：

師：那如果要描述自由落下的物體，你有什麼方法呢？

生：這個喔！就直接弄給他看！還是弄給他看，第二種就用說的，就說的比較簡單，比較容易懂！所以有些可以用說的，那有些就只有做才知道啊！

師：那還有沒有？

生：我是覺得用畫的也沒有怎樣啊！所以我覺得這兩種！就用畫的感覺很奇怪！

師：那你不能說說看物體落下情形？

生：喔！就是它落下，速度會愈來愈快，然後就撞到地上，就這樣！（s80533）

9 年級學生已學習過物體自由落下的相關物理概念，訪談結果顯示，雖仍以具體、圖像（示意圖）和文字等三種模型出現次數較高，次數分別為 7、8 和 6 次，但使用數學關係式（物理公式）模型表徵的次數增加為 2 次，其中 s90228 學生使用之數學關係式為 $s=1/2gt^2$ 和 $mgh=1/2mv^2$ ，即是學生已考量物體落下時位移與時間和能量的變化，很明顯地，學生已能考量模型表徵與參考物之間的關係，即具備結構相似之概念。

整體而言，9 年級學生於問題 3 使用數學關係式（物理公式）模型表徵之次數雖然較問題 1 和 2 使用化學方程式為少，但明顯較 8 年級學生為多。

10 和 11 年級學生使用之模型表徵主要為圖像和數學關係式，使用數學關係式來表徵此現象的次數分別為 6 和 8，相較於 9 年級學生出現次數為高，但 10 和 11 年級僅分別有 2 和 3 位學生會以關係圖（如位移與時間之關係圖，或速度與時間之關係圖）的方式來描述，雖然出現的次數較 9 年級學生為高，但次數仍偏低，顯示學生仍不習慣於使用數學關係圖來表徵此物理現象。

4.問題 4：鈉原子失去 1 個電子

問題 4 主要測驗學生對於概念或不可見現象所使用之模型表徵。鈉原子失去 1 個電子是無法以肉眼看到其變化，一般來說可以使用具體的原子模型或圖像（示意圖）等不同模型表徵來表徵此過程。若是抽象形式模型來描述此過程，則可以使用 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$ ，或是利用電子組態（ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6$ ）來表徵此鈉原子失去電子的過程。

表 4-2-1 結果顯示，8 年級與 9 年級學生提及具體模型、圖像和文字等三種模型表徵來表示此現象，其出現的次數分別為：8 年級（具體：3 次；圖像：6 次；文字：7 次）和 9 年級（具體：6 次；圖像：8 次；文字：6 次），很明顯地，9 年級學生在此問題使用模型的人數較 8 年級為多，且使用方程式來表徵的人數也明顯較多。其中較為特殊的是 8 年級 s80545 學生使用類比模型來表徵鈉原子失去 1 個電子，並且了解其使用類比之限制性。

師：那鈉原子失去一個電子，你可以什麼樣的表示方法來表示此過程呢？

生：就像是太陽系少 1 顆行星！

師：那還有沒有？

生：就可能一個團隊少一個人！雖然表面看起來不重要，但是可能少了 1 個就是關鍵！

師：那這個例子跟實際的情形有什麼差別？

生：就是讓人家只能理解說，那個電子的角色在哪邊，還有它在這原子裡的位置跟重要性！

師：那它能不能完全表達我們要表示的想法？

生：應該不能！

師：為什麼不能呢？

生：因為它是什麼原因而失去一個電子，或者它失去電子以後會發生什麼事情，這都沒有辦法表達出來啊！

師：還有嗎？

生：就是大小長什麼樣子，所以就沒辦法講！（s80545）

10 和 11 年級學生除了會使用上述模型外，亦會使用化學方程式來表徵此概念，此外，某些學生亦會以交互作用的關係來描述此過程，如 s10523 學生所描述的化學方程式為 $\text{Na} + \text{Cl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 。而 11 年級學生會利用電子組態來表徵此過程。很明顯地，因電子組態為 11 年級之教學內容，從上述的結果顯示，已有 4 位 11 年級學生已經會使用電子組態來表徵此概念，即是學生所使用之模型表徵會受到其概念理解所影響。此外，s20935 學生亦利用肢體動作來表示鈉原子失去 1 個電子，且了解其所使用模型表徵之限制性，如人與人之間沒有吸引力，而電子與原子核除分別帶有異性電子，且兩者之間有吸引力存在。

師：如果鈉失去一個電子，你會用什麼樣的模型？

生：可以用鈉原子模型啊！就我剛剛講的，外面有電子那一種，鈉失去一個電子，就把電子拿掉！

師：除了這個以外，你有沒有別的模型？

生：就看電子組態啊！鈉電子組態是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ，鈉現在變成 Na^+ ，失去一個電子就變成 $1s^2 2s^2 2p^6$ ，就這樣！

師：還有沒有其他的模型？

生：就是畫圖啊！這裡有一個鈉原子，這裡有 8 個電子，那它如果變 Na^+ 的話，那外面這個電子就失去了，然後就變成這樣了...。(s20933)

師：還有沒有其他的表示方式呢？

生：再來的話就是...就找同學來示範，就一個同學站中間，做為原子核，其他同學在外面繞啊！之後，把一個同學推出去，推出教室之類的！

師：那你剛用這個表示方法，那跟真實的地方有什麼不一樣？就是跟鈉原子失去一個電子有什麼不一樣的地方？

生：喔！當然不一樣的地方就是同學之間本身是沒有吸引力的，然後鈉本身，電子是負電，原子核是帶正電，所以它原本是會有一個吸引力在啊！那本身可以這樣維持，那人只是去做一個...有點像模擬而已！

師：然後呢？

生：然後就像剛剛說的教室，就只是代表那個範圍。(s20935)

此外，若是進行跨年級學生比較，學生若使用示意圖來表徵此概念，不論是 8 年級或 11 年級學生以均拉塞福或波耳的原子模型（殼層）來表達，很明顯地，學生在此問題所使用之模型表徵受到其所學概念之影響，如 8 年級學生僅會利用簡單的示意圖來表示，並依原有之模型進行複製與表徵。而猶如前述，10 和 11 年級學生已較能關注於交互作用，故所畫的示意圖為鈉原子失去 1 個電子，而氯原子得到 1 個電子。

師：那你怎麼會想到用畫圖的方法呢？

生：因為就是有模型，就仿模型畫下來！

師：那你怎麼知道有這樣的模型？

生：因為我覺得這樣會比較容易了解，那我不知道有沒有這樣的東西？我覺得可能

會比較容易了解？

師：那前面幾個現象可不可以也是這樣？

生：我覺得前面幾個比較不行吧！因為前面幾個就是有的東西，看得到！這個是太小，所以要透過模型放大，或是電腦那些的！因為前面幾個就是有那些了，就不需要模型了！（s80533）

5. 小結

從跨年級學生訪談結果顯示，我們知道對於相同的現象或物件，可以使用不同的模型形式來表徵，而跨年級學生在表徵形態分析結果顯示，8 年級學生對於問題或現象所使用之模型與表徵系統主要以具體形式或示意圖為主，即是以形態相似性為主；9 年級學生除使用具體形式的模型外，亦開始使用如化學方程式或物理公式來描述現象，即其表徵系統亦開始以結構關係來加以考量，而 10 和 11 年級學生則受到其化學背景知識的增加與概念理解，使用之模型表徵除形態相似外，其模型表徵已經會考量模型與其目標系統之間的關係，如使用抽象形式的化學方程式、物理公式，或是關係圖等，此外，學生亦較少使用具體形式的模型，即學生已經會考量兩者之間結構之相似性與關係。

此外，訪談結果亦顯示學生不熟悉類比模型，或是利用肢體動作來表徵某個現象或概念，故學生在四個問題中使用類比或肢體動作次數相對較低。如此的結果，在教學之意涵方面，亦說明教師教學宜多鼓勵學生自發地產生不同的類比模型，除可以讓學生了解不同的模型表徵外，更可了解其結構之對應關係。

（二）學生使用模型表徵與目標系統之關係

從訪談的結果統計顯示，學生使用之模型表徵以現象模型為主，如示意圖、實驗操作或影片，其中圖像（示意圖）則是學生在面對某種現象或概念時最常使用之模型表徵之一。基本上，學生會依不同問題使用不同的模型模型，即是依表徵的功能來使用。首先，模型是目標系統的表徵，基於目標系統的本質，若是屬於日常生活中現象，則學生所使用之模型表徵如同前述的研究結果，以圖像為主，並且所使用之模型表徵與所見現象有極高的相似度。形態相似性是學生在面對問題或表徵外在世界具體現象時，所使之模型表徵時所考量的重要因素之一。底下將分別從學生在面對如鹽溶解於水中、木炭點火燃燒，重物落下和鈉原子失去電子等 4 個問題，學生所使用模型表徵（圖像）與目標系統之間的關係來探討其相似性。

1. 問題 1：將一顆鹽（氯化鈉）溶於水中

問題 1 主要探討鹽溶解於水中情形，大部分學生面對此問題均提及使用圖像之模

型表徵，在圖像（示意圖）部分跨年級學生所使用之模型表徵彙整如圖 4-2-1(a)-(d) 所示。

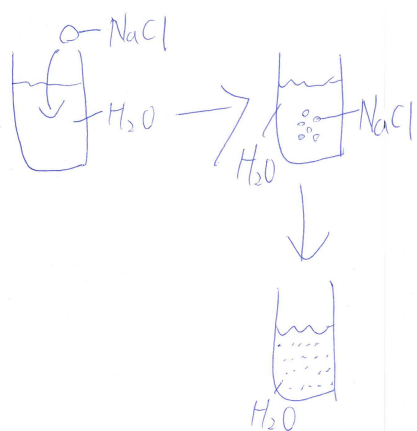


圖 4-2-1(a). s80542 所繪之示意圖

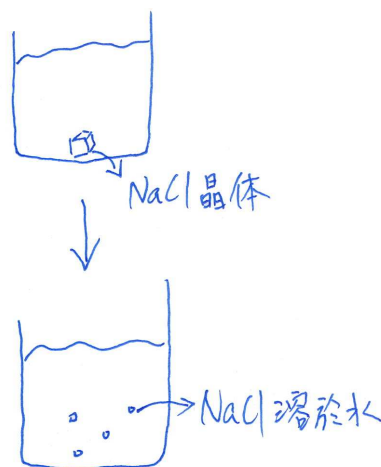


圖 4-2-1(b). s90410 所繪之示意圖

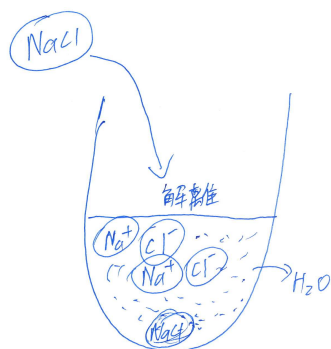


圖 4-2-12(c). s10738 所繪之示意圖

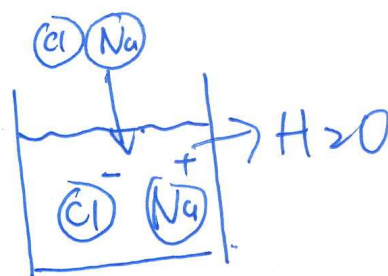


圖 4-2-1(d). s21035 所繪之示意圖

圖 4-2-1. 跨年級學生於「鹽溶解於水中」使用之模型表徵

分析學生在鹽溶解於水中問題所使用之模型表徵，很明顯地學生會從觀察現象中所獲得經驗影響，學生所使用之模型表徵與日常生活所觀察之結果，或實驗操作有極高的相似度，訪談的結果（s90527）亦說明此現象，如下所述：

師：那你為什麼把它畫成這個樣子呢？

生：因為畫成這樣就比較像生活中把鹽丟進去燒杯裡，丟到燒杯裡，它就解離，這樣子！（s90527）

而跨年級之間的差異僅在所使用表徵，如 8 和 9 年級學生仍從顆粒的大小來表徵此現象，而 10 和 11 年級學生則會考量氯化鈉在水中解離成鈉離子與氯離子之情形，即是從化學式與結構來探討溶解的情形，此外，他們亦會使用符號來表徵所欲表達的現象，如 Na^+ 表示解離產生的鈉離子。

2.問題 2：木炭點火燃燒

問題 2 部分，學生亦有類似於問題 1 的情形，學生所使用之圖像（示意圖）模型表徵亦與日常生活所觀察現象有極高的相似度，即是以現象形式（phenomenological type）來解釋，如 s80531 學生所繪製之木炭點火燃燒情形，詳見圖 4-2-2(a)。此外，跨年級學生比較結果亦顯示，8 年級學生僅繪出表面形態，9 年級學生則繪出燃燒過程會產生 CO_2 ，而 10 和 11 年級仍有學生會利用類似於 8 和 9 年級所繪製之圖像，但有部分學生則會使用粒子來表示燃燒的情形，即是以模型形式（model type）來表徵，如圖 4-2-2(c)。

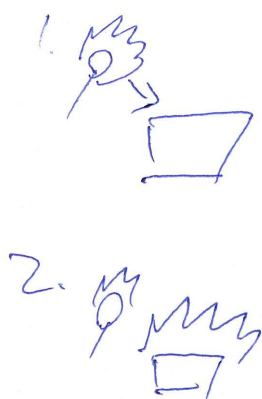


圖 4-2-2(a). s80531 所繪之示意圖

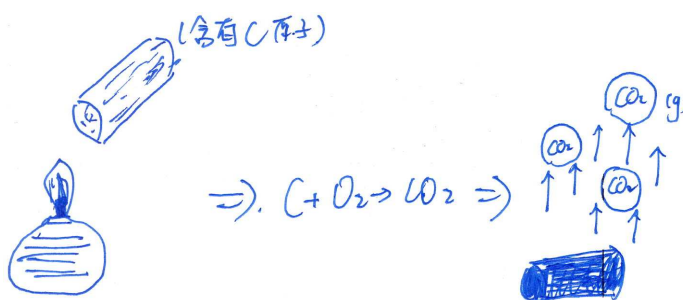


圖 4-2-2(b). s90228 所繪之示意圖



圖 4-2-2(c). s21035 所繪之示意圖

圖 4-2-2. 跨年級學生於「木炭點火燃燒」使用之模型表徵

3.問題 3：重物自由落下

問題 3 部分，學生亦有類似於問題 1 和 2 的情形，學生所使用之圖像（示意圖）模型表徵亦與日常生活所見現象有極高的相似性，學生均以重物落下來表徵此現象，在示意圖部分跨年級學生所使用之模型表徵彙整如圖 4-24 (a)-(d)所示。若是進行跨年級之比較，8 年級學生所使用之模型表徵完全相似於日常生活所觀察現象，如圖 4-2-00(a)，很明顯地，學生繪出重物落下，且未表示落下時物理量的變化；9 年級學生已經考量落下速度的變化，即是相同時間間隔，物體落下的距離愈來愈大，表示物體速度愈來愈快，而 10 和 11 年級學生除了會考慮落下速度，和物體在相同時間內，落下的距離愈來愈大外，亦會考量其他因素會影響物體落下的物理量變化，如空氣阻力之影響，以及利用物理公式來加以輔助說明，如圖 4-2-3(c)和(d)所示。

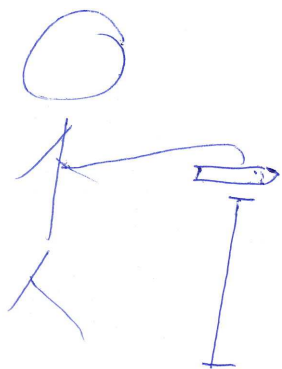


圖 4-2-3(a). s80542 所繪之示意圖

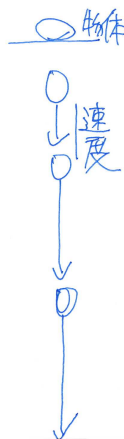


圖 4-2-3(b). s90446 所繪之示意圖

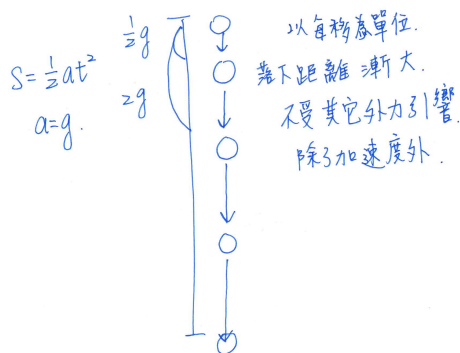


圖 4-2-3(c). s10517 所繪之示意圖

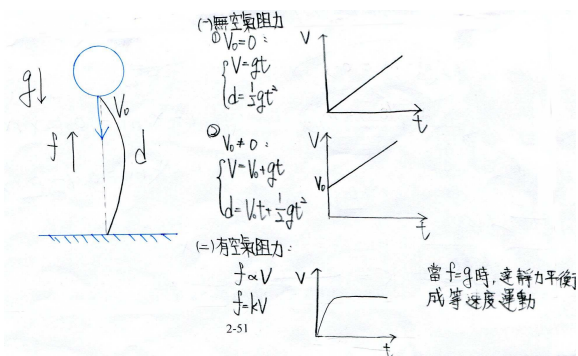


圖 4-2-3(d). s21037 所繪之示意圖

圖 4-2-3. 跨年級學生於「重物自由落下」使用之模型表徵

4.問題 4：鈉原子失去 1 個電子

研究結果顯示，學生於問題 4 最常會使用具體模型來表徵鈉原子失去電子此概念，或是以具體模型轉變成示意圖來表徵，在圖像（示意圖）部分，彙整跨年級學生所繪製的示意圖如圖 4-2-4 所示。若是從跨年級之比較顯示，8 和 9 年級學生所繪製之圖像沒有差異，均表徵為從軌道最外層失去一個電子，如圖 4-2-4(a)和(b)；10 年級學生則會考量鈉原子與氯原子之間的交互作用，鈉會將一個電子丟給氯原子，如圖 4-2-4(c)所示。

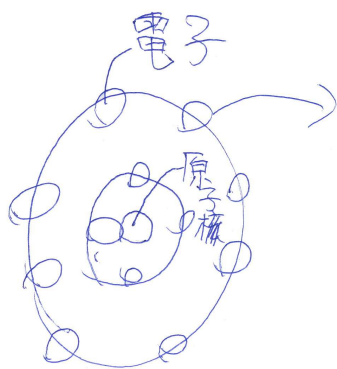


圖 4-2-4(a). s80533 所繪之示意圖

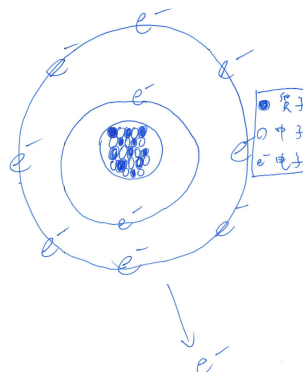


圖 4-2-4(b). s90228 所繪之示意圖

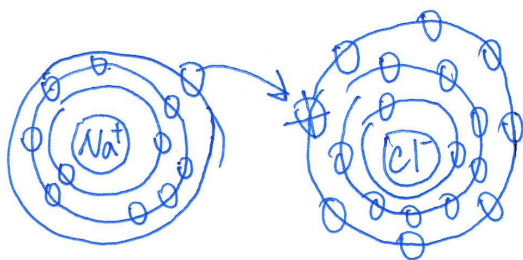


圖 4-2-4(c). s10517 所繪之示意圖

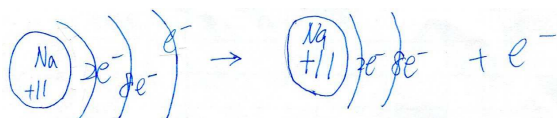


圖 4-2-4(d). s21034 所繪之示意圖

圖 4-2-4. 跨年級學生於「鈉原子失去電子」使用之模型表徵

5. 小結

從上述的討論中，分析學生所建立模型表徵與目標系統之關係，不論在相對的體積大小，以及幾何形態等均有極高的相似度，換句話說，學生使用或建立模型表徵與欲表徵之目標系統（現象）之間有極高的相似度，此結果亦顯示學生會以相似性做為其模型表徵的來源。而我們若從學生對於模型本質的觀點來分析，從先前結果分析結果，大部分學生均認為模型是某事物的另一種表徵或再現，所以他們從觀察某物體的形態所獲得之經驗來表徵與建立模型，故模型表徵與欲表徵之目標系統會有極大的相似度。

若是依據 Gilbert 和 Treagust (2009) 所提及表徵形式進行跨年級之比較，很明顯地，在問題 1 和 2，8 和 9 年級學生主要仍以現象形式（phenomenological type）來解釋或進行操弄，即是他們以可察覺到的性質來描述，而 10 和 11 年學生則已經會利用模型形式（model type）和符號形式（symbolic type）來對現象做解釋。如此亦可顯示跨年級學生表徵能力之差異。

此外，9-11 年級學生除仍以圖像做為模型表徵外，亦開始選擇化學方程式作為食鹽溶於水之模型表徵，而化學方程式與所觀察的現象之間主要為結構關係，因此，學生除以形態相似性做為考量模型表徵的主要因素外，亦開始考量結構性因素，換言

之，學生已擁有表徵「結構相似性」的能力。由此看來，學生所使用之表徵模型與其來源也有同構性存在，如考量原子的實際大小與距離，雖然仍能表徵原子結構之部分關係，但從學生所建構之模型表徵分析看來，形態相似性仍是提供學生在決定表徵時相當重要的來源之一，即是模型的再現部分。而且研究結果亦顯示學生在考量模型表徵時，他們缺乏模型表徵與所觀察現象之間擁有同構的概念，所以他們較少從兩者之間的關係去建立其模型表徵，從訪談的結果亦顯示，僅有相當低比例的學生會考慮模型表徵與目標系統之間的結構關係，進而建立適當的模型表徵。

綜合上述問題 1~4 的研究結果，大部分學生均利用示意圖或圖像來做為其模型的表徵，而示意圖與實際現象或概念主要在幾何形狀和比例相似。而且，我們亦能夠從學生所建立模型表徵，如化學式或關係圖中找到其結構的相似性，此乃意謂學生在建立或選擇模型時，除考量外觀形態方面的相似性外，學生亦會考量同構性部分，惟此擁有此能力的學生比例較低。此外，學生使用模型表徵皆為描述（description）之功能取向，即他們使用模型僅限於描述現象的變化，換言之，著重於模型的再現，較少考量模型與參考物之間的結構關係，換言之，即是同構性問題。此外，從訪談學生的結果亦顯示，學生會挑選模型特定的特徵來予以表徵，如此即表示學生使用的模型表徵與參考物之間存在了特定的形態相似性。

二、學生使用模型表徵之來源

對於學生使用之模型，經訪談的結果顯示，學生使用模型表徵主要可分為兩個來源，分別是日常生活中現象的觀察經驗，與透過教師教學（教科書）之影響。

（一）日常生活的影響

問題 1~3 均為日常生活中常見的現象，很明顯地，學生的模型表徵來源受到日常生活現象所影響，他們常會依據日常生活所見現象來作為其表徵之來源，即是透過平時之觀察經驗，把觀察的結果進行複製，並作為其所建構模型表徵之依據。如 s80533 學生在問題 1 的回答，他認為其所繪製的圖像（示意圖）主要為其曾經觀察過相同的現象，再加上其想像之後，所得到的結果。

師：那你為什麼想要用畫的方式來表示呢？

生：就是...畢竟用說的會讓人去想，那我倒不如說類似用電視的方法，就是把現實告訴大家，就這樣子？

師：那你為什麼會畫成這樣子？

生：因為我看到，然後再加上我想像之後，就畫出來給人家看！

師：就是你看過！

生：對！對！

師：再加上你想像，所以變成這樣的結果！

生：對！（s80533）

同樣地，s80541 在問題 2 亦有類似地回答，他亦認為其所使用之模型表徵主要依據日常生活所觀察的結果或經驗，而作為其模型表徵之來源。換言之，學生日常生活經驗將是影響其學習的主要因素之一。

師：那這個為什麼你會畫成這樣子？

生：就自己想像吧！

師：那為什麼想像成這樣？

生：就直覺吧！

師：那是你看過的關係嗎？

生：看過！就看過木炭差不多是這樣子！

師：可是這個你沒有看過，你為什麼會有這樣的想法？

生：就是需要看過，或是看過的人把它畫成圖形，看到的所畫成一個圖形，把他所認為的圖形畫下來後，後面的人再去看它，再把圖形傳承下去，因為我們不可能實際去看說，那如果你真的要畫出自己的圖形，你也可以再去看！

師：也就是說，你一定要看過，你才能夠描述出來？

生：嗯！也比較能夠描述成自己的樣子！

師：那這些呢？

生：嗯！也都是看過！（s80541）

（二）教師教學或教科書模型之使用

訪談結果顯示，學生表徵模型來源亦受到教師教學或教科書的影響，特別是問題 4，學生平時無法透過觀察而理解此概念，他們即會依據教師教學或教科書所使用之模型，進行重製的過程，所以大多數學生均以此拉塞福或波耳原子模型來表徵此概念。同時亦說明，教師教學過程中若未能理解模型所扮演的角色，或是無法理解模型功能等，如此將影響學生的模型認識與概念學習，而且教師使用的模型，更是影響學生模型表徵重要的因素與來源之一。如 s90533 和 s80545 兩位學生的訪談結果，他們除了認為其表徵來源為教師外，s80545 學生亦認為其參考教科書所使用之圖示，而建立其模型表徵。

師：那你為什麼想到用畫圖或化學式來表達呢？

生：因為別人在教我的時候也是這樣子！

師：那別人是誰呢？

生：學校老師跟補習班老師！

師：也就是老師用這種方式來表達，所以你也就利用這種方式來表達，對嗎？

生：嗯！（s90533）

師：那你為什麼會有這樣的想法或表示方法呢？

生：就是之前有人做過啊！就是這樣做也可以表達出來！

師：那你為什麼會想到用畫圖的表示方法呢？

生：就是通常...因為之前人家在講的時候通常是用畫的，會比較能夠理解！

師：那人家是誰呢？

生：就比如說是老師啊！或者是家教什麼的！然後課本通常也都是圖示啊！用圖示來表示比較好！

師：那還有沒有呢？

生：就是用觀察啊！看到就把它畫下來啊！做實驗看到什麼就把它畫下來！

師：就是你把觀察的結果記錄下來？

生：嗯！（s80545）

三、影響學生模型選擇與判斷之因素

模型的預測能力與解釋能力主要是基於其表徵的能力（Vorms, 2008），若能有適當的表徵，亦將會使模型有更好的預測和解釋能力。因此，學生對於現象或概念所使用之表徵形式則可以定義為其推理的能力。但影響學生選擇適當的模型來表徵目標系統或現象，或是他們判斷模型的真實性、適用性與限制之因素為何？若是依 Gilbert 和 Treagust（2009）所提出的表徵形式，分別是：現象形式（phenomenological type）、模型形式（model type）和符號形式（symbolic type）等，因此，學生面對不同現象時，對於不同模型表徵形式（如實體模型、圖像、示意圖、符號形式和化學式等），其如何影響學生心智模式之建構，及其之間的交互作用關係為何？上述均是本研究探討的議題，以下將分別加以探討。

（一）影響模型選擇之因素

1.具體化與實體化

從上述分析結果顯示，學生所選擇模型表徵（如圖象或文字）與日常生活現象有緊密的相關性，即是學生所使用之模型表徵與現象有極高的相似度。此外，影響學生在模型選擇的主要因素為具體化，學生在模型選擇上，較偏好於具體化或實體化之模型，即是他們會以具體化做為其選擇適當模型之標準，如採用示意圖、圖像或實際物體與操作。在此分別以現象與概念來做討論，即是以問題 1-3 和問題 4 來加以探討學生對於不同表徵形式模型之選擇。

（1）問題 1-3

學生對於現象的模型表徵，不論是 8-11 年級學生均提及以圖像來表徵現象，而 8

和 9 年級學生大多選擇實體或圖像做為其選擇最佳模型的標準。以示意圖為例，訪談結果顯示，學生主要理由大多為示意圖簡單明瞭且直觀，所以認為示意圖為最佳之模型，如 s90509 和 s90533 兩位學生所述：

- 師：那這麼多種表示方法，你認為哪一種表示方法最好？最容易讓人家理解？
- 生：畫圖啊！
- 師：為什麼畫圖呢？
- 生：因為圖示啊！你可以直接看得到，可以比文字或化學式，那些太抽象！
- 師：你可以直接看到？
- 生：嗯！
- 師：還有沒有呢？
- 生：因為可能有人不知道這什麼意思啊！（意指化學式）可是如果你畫圖，就跟人家說這是一個離子！
- 師：然後呢？
- 生：然後一般人看文字會比較厭煩，圖畫就比較簡單明瞭！
- 師：圖畫就比較簡單明瞭，那還有沒有呢？
- 生：應該沒有了！（s90509）
- 師：你覺得要描述物體落下的過程，你覺得用哪一種表示方式比較好？
- 生：畫圖跟關係圖！
- 師：畫圖跟關係圖，那為什麼公式比較不好？
- 生：因為公式就是純粹計算出某一個式子，沒辦法完整表達過程，畫圖也比較直觀啊！
- 師：那關係圖呢？
- 生：它就是...關係圖是一個點一個點慢慢彙集而成，它有代表某一個點，它的切線代表是它的運動速度，
- 師：那還有沒有呢？
- 生：大概就這樣！（s90533）

(2)問題 4

在問題 4 中，因為此問題是無法以肉眼所見，在訪談的過程中，若是要求學生比較何種模型表徵為最佳之表徵形式，大部分學生認為具體實體模型較示意圖為佳，以 s90514 學生為例，其認為利用具體的物件可以協助其思考，並且像是教師教學使用之教具（模型）更可以表現實際的現象或概念。

- 師：那如果有這麼多種的表示方法，你認為哪一種表示方法比較好？
- 生：因為原子失去一個電子，它太小了，所以看不到！可能用具體的東西比較好去想，因為如果沒有看到那具體的東西就去想，就是會想的太抽象，反而會誤導他的想法！
- 師：所以你認為用具體的方式比較好！

生：嗯！

師：還有呢？

生：嗯～...，教具通常都比較立體啊！因為如果用畫的就是平面，反面會想說...就是思考會錯誤，因為電子是在原子核外部，就是沒有方向性的旋轉，如果他畫平面的話，他們會以為...就是一直是...以它為圓心作同心圓的一直旋轉，反而就是會誤導，就是沒有辦法作多個角度地去看，那教具的話，就比較立體，雖然沒有辦法完全呈現，但是至少知道那個意思啊！（s90514）

若是比較圖像（示意圖）與化學方程式，則示意圖會較化學方程式為佳，如 s90533 和 s20935 兩位學生所述，s90533 學生認為畫圖較為直觀，所以示意圖較佳，此外，兩位學生均認為如果利用化學方程式來表徵鈉原子失去 1 個電子，則僅能了解鈉原子失去 1 個電子，但利用圖像的方式則可以理解鈉原子是由最外層的電子失去 1 個電子。

師：那你為什麼認為畫圖會比化學式好？

生：因為鈉原子失去一個電子，你在生活中就感受不太到，如果用微觀的角度看比較清楚！

師：那為什麼化學式比較不好！

生：感覺是用背的！

師：還有呢？

生：因為它沒有辦法直接敘述它原本的電子失去一顆電子造成的影響！

師：所以它只是單純地說明它失去一顆電子而已！

生：對啊！畫圖就可以很明顯地看到它外圍失去一顆電子的過程啊！（s90533）

師：這幾種表示方法，你覺得哪一種表示方法最好，最容易讓人理解？

生：我覺得畫圖會比較清楚一點！

師：為什麼呢？

生：因為畫圖...它是根據我們觀察到的經驗，之後就直接畫出來，假設方程式的話，其實你不了解它這個東西長什麼樣子啊！只知道它丟一個電子啊！不知道是最外層還是最內層丟出來的，那比喻的話會有誤差，然後...電腦模擬的話，基本上可能會有點抽象！

師：還有呢？

生：畫圖的話會比較快，而且也比較簡單！（s20935）

此外，若是比較圖像（示意圖）與文字，則示意圖會較文字的表徵形式為佳，如 s20911 學生所述，他認為如果利用文字來表徵鈉原子失去 1 個電子，則需要再加以想像其過程，而示意圖則是很容易理解，故學生會認為示意圖較文字為佳。

師：你認為鈉原子失去 1 個電子，哪一種表示方法比較好？

生：畫出來的，比較容易理解啊！

師：為什麼畫出來比較容易理解？

生：因為它是一個圖形啊！那如果用寫的只是一行字，那你就還要想說，鈉會變成鈉離子，它會失去一個電子，那如果畫出來的話，一看就知道電子跑掉了！

綜合上述的比較，學生選擇模型表徵之依序為：具體實物→示意圖→方程式或文字。由此可看出，學生選擇模型表徵之順序為具體形式到抽象形式。如此的結果亦呼應學生以具體或實體化做為其選擇模型之依據，學生偏好於具體形式的模型表徵。

2. 認知與表徵能力

對於化學現象的解釋，Chittleborough 和 Treagust (2008) 認為其依賴於次微觀粒子行為的理解，因為在此層次是無法透過肉眼觀察，並獲得觀察之經驗，所以會使用模型、示意圖或方程式來表徵概念，而學生的化學背景知識更是影響他們對於次微觀概念理解的重要因素，因此，學生使用之模型表徵（如具體模型、示意圖或方程式）將受到其擁有的化學背景知識所影響，此外，學生使用這些符號去學習或理解亦需要表徵能力 (Kozma & Russell, 1997)，故影響學生模型選擇與判斷除受到上述所提及平時所見到現象之影響外，亦會受到其表徵與認知能力之影響。

表 4-2-1 的結果顯示，跨年級學生對於現象或概念所使用之模型表徵有所差異，以問題 3—自由落體問題為例，大部分 8 和 9 年級學生僅會使用示意圖或實際操作等較為具體的方式來加以描述與說明，但 10 和 11 年級學生則會使用數學關係式（如 $v=gt$ 、 $s=1/2gt^2$ 等公式）來描述物體的運動情形，很明顯地，學生在認知過程中受到其概念理解影響，同樣地，對於日常生活無法觀察之現象（問題 4—鈉原子失去電子），跨年級學生在模型的選擇上，8 和 9 年級學生仍以使用示意圖、實際操作等較為具體的方式來加以描述與說明，且明顯地受到教師教學使用模型之影響，但大部分 10 和 11 年級學生則會使用化學方程式 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$ ，或 11 年級學生則利用更為抽象的形式來表徵此過程，如利用 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6$ 模型來描述鈉原子失去電子。綜合上述的結果，即是學生會基於其認知與概念理解範圍，尋找最為恰當或適用之模型，進而建立其表徵。

3. 小結

綜合上述討論，學生偏好於使用較為簡單，或顯而易見的模型，但是對於抽象形式的模型則較少考量，惟若需考量較為複雜的現象時，此時學生開始會考量抽象形式的模型，如學生在自由落體問題，部分學生僅會使用示意圖的方式來加以描述與說明，但若是要學生考量物體在沒有摩擦力的作用下，學生則會使用理想化的數學關係式 $s=1/2gt^2$ 來描述物體的運動情形，很明顯地，學生會依其特定的目的選擇適當的模型。

（二）模型判斷－正確性與真實性

學生對於各個問題所使用模型表徵，若是需要判斷模型是否正確其依據為何？從訪談的結果顯示，他們主要提及所使用之模型表徵來源為教師平時課堂的教學、課本、想像的結果，以及曾經擁有類似觀察的經驗，或是操作過相同的實驗，並且依此作為他們判斷所使用模型表徵是否正確的依據，換言之，若是擁有類似的經驗，則可利用經驗來判斷模型是否正確，如 s90403 和 s90446 兩位學生所述：

師：那你怎麼知道你使用的表示方法是對的呢？

生：就上課的時候學到啊！

師：然後呢？

生：所以就知道大概會是怎樣的！對！

師：還有呢？

生：就...想像！就想像跟學校學到的啊！（s90403）

師：那你怎麼知道你所表示的方法是正確的呢？你怎麼判斷你所表示的方法是對的呢？

生：我這邊畫的是因為我眼睛看到（問題 1~3），當然這個是想像的（問題 4）！

師：還有呢？

生：還有一些...就課本上學過它們後來會產生的情形，然後照課本的把它們畫下來！

師：所以你認為這樣表示就是正確的了？

生：嗯！我覺得還是看到跟讀到！還有這個食鹽跟木棒燃燒是我自己做的，就是自己有玩過。（s90446）

此外，若是面對先前未學習過的概念，訪談結果顯示，部分學生會利用假設與驗證來進行判斷，如 s10738 學生所述：

師：你怎麼判斷你所畫的，或是你所講的是正確的表示方法呢？你怎麼判斷的？

生：嗯....，就真的拿東西做給他看啊！

師：那還有呢？

生：因為就理論....因為就那個實驗我就丟下去，然後...之後...再另外有就之前學過的書籍裡面的這些講法，還有前人做出來的成果，所以我丟下去之後，因為它極性，所以它會解離，然後又知道說，那個書...就有看到這個現象，那我真的做的時候，也發現了這個現象，那這個實驗就印證了書上所講的那個東西，那如果沒有透過書，平常我完全沒有聽過的實驗，那就是突然有一個設想，有一個假設，然後看我做的實驗，能不能印證我做的假設是對的！就像愛迪生一樣，他本來什麼都不知道，但是一個一個試之後，最後發現了，原來就是如此！

師：所以你是透過這些方法來判斷你表示的方法是否正確？如果不知道的就透過一些假設，如果知道的，你就會透過你所學的知識或經驗，來判斷這表示是否正確？

生：嗯！（s10738）

（三）模型的限制

學生在判斷模型時，學生需了解模型之限制性，或是模型與現象之間的差異，若學生能擁有上述之能力，則更能促進學生學習相關的概念。本研究為探討學生是否了解模型之限制，以下就問題 1-3 來討論跨年級學生訪談之結果，藉以分析學生對於模型限制之了解，以及跨年級學生之差異。

1.問題 1：將一顆鹽（氯化鈉）溶於水中

從訪談的結果顯示，大部分學生均理解平時所使用之模型表徵與真實情境有其差異存在，即是理解模型有其限制性。但比較跨年級之差異，8 年級學生僅能專注於表面形式（形態）的差異，以 s80545 學生為例，雖已能夠了解使用模型表徵與真實現象兩者差異之處，如大小、形狀等，但這些均屬於表面形式的差異部分，對於結構形式的差異，則未有相關的回答。

師：那你用畫的，你覺得用畫的和真實的情況，有沒有差異的地方？

生：形狀可能不是長這個樣子，再來就是說...那個...就是它流動的方式，不一定一樣！

師：還有呢？

生：然後...再來就是它的大小啊！因為畫這一定是放大啊！

師：還有沒有呢？

生：基本上應該就沒了吧！（s80545）

而 10 和 11 年級學生則已慢慢能轉向關係結構的差異，如鹽在水中游離之情形，或是可以從溶液是否達到飽和，以及溶解最後是否會達動態平衡等來探討模型與真實現象之間的差異。依此，從跨年級學生之比較，雖然 8 年級或 11 年級學生均會利用示意圖的方式來表徵目標系統，並理解兩者之間的差異或模型之限制，但 11 年級學生卻能關注於關係結構之差異（即同構性），而 8 年級學生則仍著重於形態差異（形態相似性），也看出跨年級學生對於模型限制理解之差異。

師：那這些表示方法跟真實的現象相比較，有哪些地方不同？

生：真實的喔！如果真的在做的話...如果用講的話，就這一切很自然，好像很必然會發生，但是真的做的時候，還要考慮其他因素，因為它講的都是在很理想的狀況下，比如說還要考慮它的溶解度，有沒有剛好或怎樣，還有時候會飽和啊！飽和就沒辦法，就會看到鹽塊啊！那這樣就沒辦法完全溶解啊！就可能還有 NaCl 在裡面，然後它會變小，它有一部分解離了，那也有可能說，然後因為過飽和溶液就是說這個一直繼續解離，但是那些已被解離的，因為這水溶液已經過飽和了，它可能又會在結合成 NaCl。所以看起來是這樣子！它是動態平衡！（s10738）

2.問題 2：木炭點火燃燒

如前述，8 年級學生仍無法使用化學方程式來表徵燃燒的現象，主要著重於示意圖的表徵形式，而 9 年級學生雖已經能夠利用化學方程式來表徵木炭燃燒的情形，並且對於化學方程式表徵形式之模型限制亦能有所理解，如 s90514 學生雖認為利用化學方程式來表徵問題時，可能對於中間變化過程是無法表達出來，但對於模型的限制仍侷限於形態的表徵，未能探究模型結構性之限制性。

師：那如果用化學式來表示的話，它可以很明確地表示木炭燃燒的情形嗎？

生：沒辦法！

師：為什麼沒辦法？

生：感覺化學式好像就是太過單調，就是它只有講到它開始...前面跟結果，關於中間燃燒的過程，好像就是沒有講到！然後這樣沒有辦法具體地說它中間的過程，因為你要講的是它點火燃燒，就是也有它的起頭跟尾，它的中間過程就少了很多！

師：好！還有呢？

生：就感覺就是會把它想說...就是炭加上氧，它就自己會變成二氧化碳，而不是純粹地把木炭拿去燃燒！（s90514）

從訪談結果顯示，10 年級和 11 年學生已能利用粒子來描述示意圖和真實現象不同之處，此外亦考量模型結構性之關係，如燃燒後系統質量的變化等（如 s10718 學生），如此可看出其與 8 年級和 9 年級之差異。

師：那你所畫的示意圖跟真實燃燒情形，你覺得會有什麼不一樣的地方？

生：我看到它燃燒的時候，絕對不會看到一個分子一個分子這樣變化的！

師：還有呢？

生：顏色吧！我用畫的看不出它的顏色，我有很多因素無法用圖直接來表示！

師：那什麼樣的因素呢？

生：像是我覺得系統裡面的話，它重量會增加！然後....跟我平常看到的...其實有些因素我可能無法考慮進去！像是如果有其他雜質的話，我就不知道它燒出來會有什麼樣的結果！（s10718）

3.問題 3：重物自由落下

訪談過程中，8 年級學生對於重物落下的現象感到困擾，主要原因為仍未學過相關的概念，除可以從表徵數量來看學生受限仍未學習過相關知識外，亦可從訪談的結果了解，學生常回答不了解或採取沉默的方式。而 9 年級學生則雖能使用物理公式或示意圖來表徵重物落下的情形，但對於模型之限制難以理解。

模型本質上是無法表徵所有的事物，為了賦予模型表徵的能力，所以必須加入某些事物，如理想化過程，特別是物體的運動即屬此類型。從訪談結果顯示，10 和 11

年級學生已能利用理想化來描述重物自由落下的模型限制，其中已有 11 位學生提及物體落下若使用示意圖或物理公式來描述，其是在沒有空氣阻力或摩擦力的作用下，才能適用於上述的表徵形式，然而實際狀況則仍有其他因素會干擾物體的運動，如空氣阻力等，如下 s10503 學生所述：

師：那請問這表示方法與真實的狀況有什麼不一樣的地方？

生：就是有些因素都不考慮！

師：那這些因素是什麼呢？

生：就比如說，空氣阻力啊！就是有時候去做實驗的話，可能會有干擾，就你很難是這樣！

師：還有呢？

生：就是一些條件都是用數字來表示，不用考慮有誤差！

師：所以畫圖的方式跟真實的狀況有哪些差別？

生：光是精準度就有差別了，就比如說你要測這東西的速度，你按下碼錶的時間會跟反應時間也會影響到，所以就是會測出來不準！

師：除了精準度，還有什麼呢？

生：就真實的情況不會像畫圖這樣地理想！

師：為什麼呢？

生：就是外在因素很多！

師：除了你剛說的這兩點，還有嗎？

生：畫圖的話就是它會垂直落下，那真實的情況，它可能會有點偏離！就可能地球轉動也會影響到！

師：還有嗎？

生：沒有了！（s10503）

綜合上述的結果，跨年級學生於物體自由落下的問題時，10 和 11 年級學生則已能轉向關係結構的差異，如上述除利用數學關係式來描述重物自由落下之情形，即已考量模型表徵與目標系統之關係外。而在示意圖部分，雖然 8-11 年級學生均會利用示意圖的方式來表徵目標系統，但 10 和 11 年級學生已能關注於關係結構之差異（同構性：如物體落下速度，是否有考量摩擦力因素，或影響落下因素之理想化），也可看出跨年級學生對於模型表徵使用之差異。

4.小結

跨年級學生在判斷模型之限制性問題時，從問題 1-3 結果均顯示 10 和 11 年級學生已能關注於關係結構的差異，而 8 和 9 年級學生雖能理解模型的限制性，但仍著重於模型表徵與參考物之間形態的差異，換言之，從跨年級之結果顯示，隨著教學歷程，學生對於模型的認識與使用不同模型表徵有逐漸增加的趨勢。

（三）模型使用目的

對於模型與選擇表徵之關係，Giere（2004; 2010）主張需要考量科學表徵的目的性概念，目的因素在模型的選擇上應該扮演非常關鍵的角色，然而從訪談的結果顯示，僅有 2 位學生（11 年級）在訪談過程中提及使用模型時需要考慮目的問題，如 s20933 學生提及模型的使用需要考量其目的，以鹽溶入水為例，若僅是表徵鹽在水中的解離，則僅要 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$ ，但如果要表徵鹽在水中電子的得失，則需使用不同的模型表徵，換句話說，學生在選擇模型表徵過程中已經考量目的因素，如此的結果亦證實 Giere 的觀點。

師：如果把鹽丟入水中，你會用什麼樣的模型來表示？

生：如果我只把鹽丟進去水裡面，我只能看到鹽溶解，我不能看到真正變化是什麼，就像是電子得失的狀況！我這個圖只能告訴我說，氯化鈉會解離而已！

師：那還有沒有其他的方法來解釋呢？

生：Na 變成 Na^+ ，就變穩定，就這樣！

師：那有沒有別的模式來表示？

生：有啊！要考慮你要解釋什麼！

師：就是你會因為目的不同，而使用不同的模型？

生：對啊！看我現在要告訴他什麼啊！如果我只是要告訴他解離而已，我只要用上面這個，如果要講到電子得失，就要用下面這個模型！

師：那模型跟真實的情況有什麼不一樣的地方？

生：第一個就差比較多啊！

師：為什麼差比較多？

生：因為它就只告訴我解離而已，那這個告訴我質子、中子和電子...那這個可以解釋為什麼+1 或-1，所以還是不一樣！（s20933）

四、建立學生如何選擇模型之架構

學生如何使用模型或選擇適當的模型呢？本研究討論的方向即是從「心智模式到表徵形式」。本研究依據上述研究結果，建立學生如何使用模型之架構。首先，當學生面對問題或現象時，他們會從日常生活觀察現象所獲得之經驗，或教師教學（教科書）做為其建立心智模式之來源，並依學生所擁有的認知能力與概念理解，建立其概念系統（心智模式），再透過某些意向或目的建構與選擇不同的模型，即是透過投射的過程建立可落實的模型（陳瑞麟，2003）。若是需要外顯化（表徵或落實），則學生從已建立之模型，以具體化與實體化作為其模型選擇之依據，選擇適當的模型來加以表徵目標系統。此外，對於分析學生所建立模型亦需考量模型表徵與目標系統之關係，其間主要是以形態相似或同構等關係。如下圖 4-2-5 所示。

相較於 Buckley 和 Boulter（2000）所提出「以模型為基礎學習的模型」，他們雖

認為模型的產生是由日常生活觀察所獲得的經驗與心智模式產生交互的作用，以及探討模型建立與修正之過程。但本研究基於學生訪談的結果，建立學生選擇模型與視覺化的歷程。此外，本研究亦結合科學哲學觀點，了解意向或目的為學生建構模型考量的因素，並從模型表徵與目標系統之關係，探討學生選擇模型表徵與視覺化的情形，雖未提及模型修正的部分，但亦補充 Buckley 和 Boulter（2000）所提架構於模型使用之缺陷。

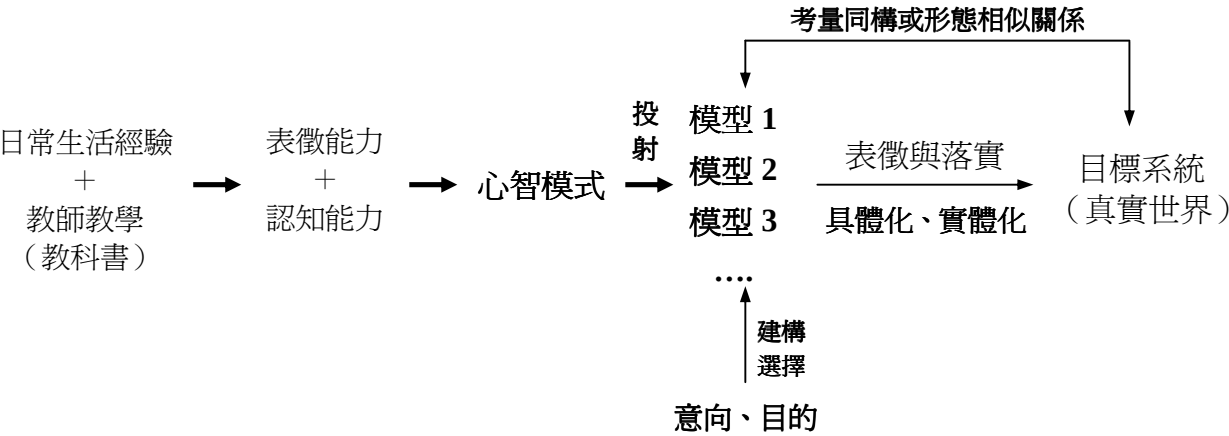


圖 4-2-5. 學生選擇模型與視覺化之歷程

綜合上述的研究結果，許多學生對於模型仍未能發展出完整的認識，或是僅能使用非常有限的模型，推測其可能原因是他們缺乏使用模型的機會與經驗，或是教師教學過程中僅使用非常有限的模型，且未能強調模型的有效性與限制性，因此造成學生的誤解或是缺乏對模型的認識與理解。此外，從跨年級學生訪談結果分析，研究結果顯示大部分學生均認為模型是某事物具體化的表現，其模型與參考物之間的關係為比例大小的差異，而且學生使用模型表徵常是屬於於個人化的，他們均認為使用模型的主要目的為解釋或說明某個想法，或是呈現無法表現的物件，如此的結果亦說明學生對於模型使用理解之缺乏，學生較少關注於模型的預測與問題解決的能力，他們較關心模型是否能表徵或說明某個物件，如此的結果與 Justi 和 Gilbert（2003）的研究相類似。

第三節 「原子理論」之模型演變與建模歷程－教科書分析

許多研究指出教科書在「原子理論」發展的描述均有極大的缺失 (Justi & Gilbert, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004)，多數仿間教科書在「原子理論」單元之發展敘述上，亦僅使用相當少或有限的模型來描述原子理論，未能對不同科學家所建立之原子模型有詳細描述。從文獻探討可知科學史關於原子理論之演變是不斷地透過實驗修正與競爭的結果，學生透過閱讀教科書期望能理解科學上關於原子理論的演變與建模歷程，但教科書是否能協助學生達成此目標？教科書在模型的運用是否能符合良好模型特徵？或是符合建模歷程之要素？

本研究欲了解不同版本教科書於「原子理論」單元模型使用、建模歷程及內容之差異，總計分析 6 個版本國中理化與自然與生活科技教科書（依出版年份依序為 TJ01~TJ06）和 16 個版本高中化學教科書（依出版年份依序為 TS01~TS16）。本小節之內容安排，首先，分析不同版本國中和高中教科書於「原子理論」單元之模型與類別，分別從模型分類模式、模型特徵，以及類比使用等三個部分來探討不同版本教科書之差異，隨後則修訂 Niaz（1998）評定標準，探討不同版本高中化學教科書於「原子理論」單元之內容分析。最後，依據 Liu & Chiu（2010）與劉俊庚和邱美虹（2010b）所提出之建模歷程指標，分析高中化學教科書於「原子理論」單元之建模歷程。

一、國、高中教科書於「原子理論」單元模型使用與類別分析

本研究將從模型分類模式、模型特徵，以及類比使用等三個部分來探討不同版本教科書於「原子理論」單元模型使用與類別。模型分類部分，依先前模型分類方式將模型分為具體形式和抽象形式等兩種形式，具體形式部分，主要為尺度模型和圖像模型，抽象形式部分則為理論或概念與電腦模擬模型，探討不同版本國中和高中教科書於「原子理論」所使用之模型與類別。模型特徵部分則依 Mayer（1989）所訂定之模型特徵，分別為：完整性、簡潔性、融貫性、具體性、概念性、正確性和審慎性等 7 個向度（7C），分析與比較不同版本教科書於「原子理論」單元之模型特徵。最後，類比使用部分，則透過內容分析模式分析不同版本教科書於「原子理論」單元所使用之類比，並描述不同版本於「原子理論」單元使用之類比物與其對應關係，以及不同版本之間的差異。最後，為使本研究分析單位具有一致性與完整性，本研究以概念或理論為主，如「湯木生原子理論」即是作為分析的單元之一。

（一）國中教科書於「原子理論」單元之模型表徵與類別分析

依據 92 年《國民中小學九年一貫課程綱要》自然與生活科技之教材內容細目中，關於原子理論的敘述，提及國中階段學習「原子理論」之重點為：「4g.經由對原子模型（電子、質子、中子）的認識，知道原子的化學性質、元素與化合物。」和「4h.了解元素與化合物之間的組成關係（如可利用積木堆成不同形狀的類比示例），進而經由實驗或模型了解化學反應（例如分解、化合、置換等）以及原子重新排列的概念。」（教育部，2003）。一般而言，我國教科書內容均需符合課程目標，故本研究即依課程綱要作為分析之要點，探討不同版本國中教科書於「原子理論」單元之模型表徵形式與差異。

1.古希臘時期的原子觀

對於古希臘時期的原子觀，分析 6 個版本國中教科書中，大部分國中教科書均以相當簡略的形式來介紹古希臘時期的原子觀，推論可能為課程綱要未提及相關概念，故教科書撰寫者予以忽視或僅以非常少的篇幅來介紹此概念。分析結果顯示其中有 4 個（66.7%）版本（TJ03~TJ06）提及德謨克利特（Democritus）原子觀，主要以抽象形式（概念模型）的表徵方式來呈現，內容對於物質組成的概念描述為“物質是由不可分割的原子，並且原子可經由結合、分離再重新組合成各種物質”。如 TJ06 版本所述：

希臘哲學家德謨克利特（Democritus，西元前 460~370 年）認為：萬物都是由不可分割的微小粒子—原子所構成；藉著原子彼此之間的不同外形、排列與位置，可組成萬物。（TJ06：120）

此外，TJ06 版本教科書亦提及亞里斯多德的四元素論，並以抽象形式（概念模型）來呈現，如下所述：

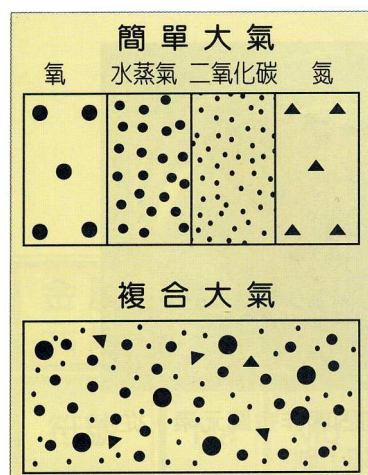
亞里斯多德（Aristotle，西元前 384~322 年）反對此觀點，認為：物質是由四種特殊元素—水、土、火、氣，以不同比例組合而成。（TJ06，頁 120）

2.道耳吞「原子說」

從 92 年《國民中小學九年一貫課程綱要》來分析，國中階段於原子理論概念之教學重點在於探討原子與元素和化合物，或是原子與化學變化之關係（教育部，2003）。分析 6 個版本教科書，結果顯示全部採取抽象形式（理論模型）之表徵形式來說明道耳吞原子說，即是“一切物質都是由稱為原子的微小粒子所組成，這種粒子不能再分割。相同元素的原子，其原子質量與原子大小均相同；不同元素的原子，其原子質量與原子大小均不同。化學變化是原子重新排列結合成另一種物質，原子不會

改變它的質量或特質，也不會產生新的原子，或使任何一個原子消失。”此外，TJ06 版本除採取抽象形式外，亦兼採具體形式（圖像模型）來表徵道耳吞研究混合氣體之行爲，藉以說明原子說概念，如下所示：

十八世紀末，英國化學家道耳吞（J. Dalton，1766~1844）在研究為何氣體可均勻地混在一起，而不會形成最重的氣體在底層，最輕的氣體在上層的分明層次時，使得他重新將原子觀念引入化學，並釐清元素的意義。（TJ05，頁 120）



大氣中的原子—此圖為道耳吞在 1802 年所畫，試圖解釋這些氣體為何能均勻地混合在一起，而發展出了原子說。

圖 4-3-1. 大氣中的原子（引自 TJ06，頁 120）

3.湯木生原子理論

整體而言，分析之國中教科書僅有 4 個版本（TJ03~TJ06）提及湯木生原子理論的內容，而且 TJ03 和 TJ04 兩個版本僅呈現湯木生陰極射線管實驗與其結果，未能描述湯木生原子理論之相關內容。TJ05 和 TJ06 版本教科書則以抽象形式（概念模型）和具體形式（圖像模型）兩者混合的表徵形式來描述湯木生的原子模型，且所使用圖像模型極為類似。在此以 TJ05 版本為例，藉以說明所使用之概念模型與圖像模型，如下所述：

原子應為密度均勻帶正電的球體，電子分布在原子中。（TJ05，頁 125）

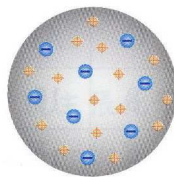


圖 4-3-2. 湯木生原子模型（引自 TJ05，頁 126）

4.拉塞福原子理論

分析 6 個版本教科書中，全部教科書於拉塞福原子理論單元採取抽象形式（理論模型）的表徵形式，即是“原子的結構是由體積極小而質量很大的一個原子核，與環繞此原子核做旋轉運動且帶負電的電子所構成。”而有 5 個（83.3%）版本教科書除抽象形式表徵外，亦輔以具體形式（圖像模型）的表徵方式，分析各版本教科書所使用之圖像模型，結果顯示 TJ01 和 TJ02 極為類似，而且 TJ01、TJ02、TJ03 與 TJ05 等 4 個（66.7%）版本使用 3D 立體圖示之方式來呈現其模型表徵，即是電子沒有在同一個軌道上運動，TJ06 版本則採取平面方式呈現原子結構，全部電子在相同軌道上運動。此外，對於所呈現之模型表徵，僅有 TJ01、TJ02 和 TJ03 等 3 個版本會提及教科書使用之模型未依實際比例來繪製，其餘版本則未提及此模型之限制。彙整不同版本國中教科書之圖像模型表徵形式如圖 4-3-3 所示。

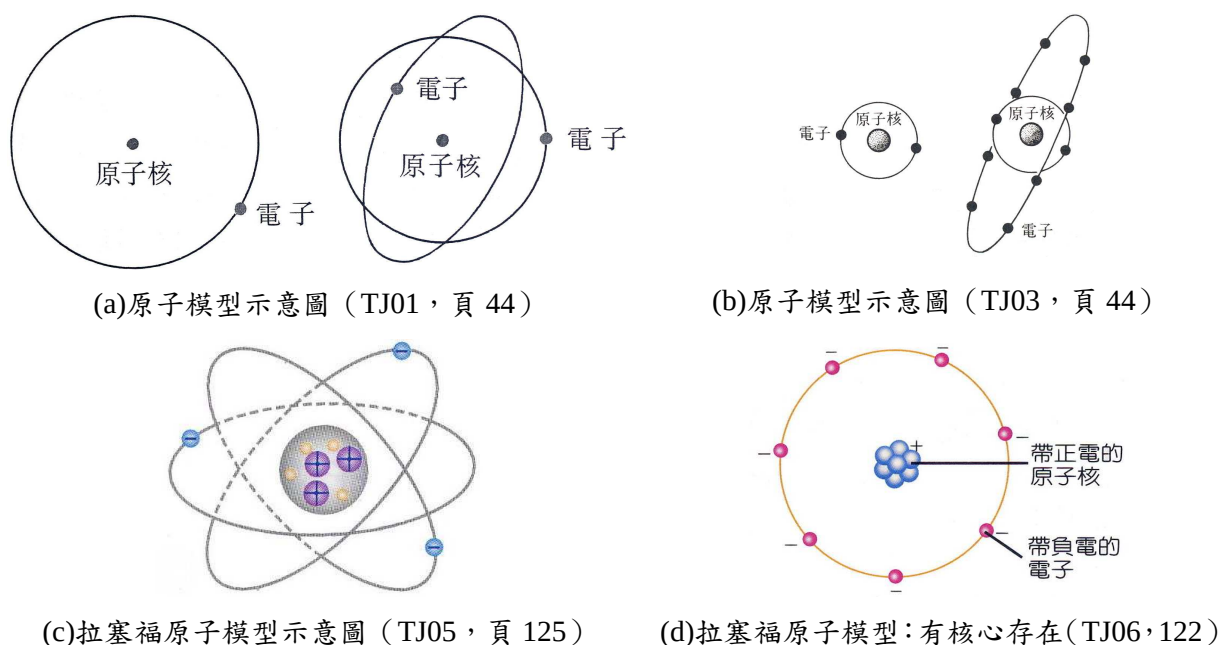


圖 4-3-3. 國中教科書於拉塞福原子理論示意圖之比較

TJ04 版本對於原子理論之呈現方式，雖然於內文主要敘述拉塞福原子理論（原子核概念），惟在圖示部分則是混合拉塞福原子理論與量子理論（電子雲形式），如圖 4-3-4 所示，且概念模型與圖像模型似乎不相符合，如概念模型提及電子運動的範圍視為原子的大小，其半徑約只有原子半徑的 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ，但其呈現之圖像模型卻未能將此比例繪出，或是內文描述所使用之模型未依實際比例來繪製。綜合上述討論，教科書於拉塞福原子理論著重於有核概念之建立，對於電子運動的形態，或模型使用之形式，在教科書內容撰寫上均相當缺乏，如此將造成學生概念理解之困難。

…拉塞福（Ernest Rutherford，西元 1871~1937 年）根據實驗結果提出原子模型，認為原子是由原子核與核外的電子組成的。原子核帶正電，位居原子中心，電子受到原子核吸引，環繞原子核運動，就好像太陽系的行星繞著太陽運動般。電子運動的

範圍視為原子的大小，而位居原子中心的原子核體積很小，其半徑約只有原子半徑的一萬到十萬分之一。(TJ04，頁 120)

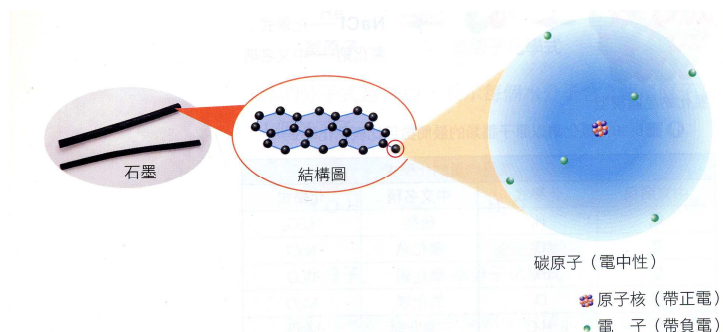


圖 4-3-4. 原子理論示意圖 (引自 TJ04，頁 120)

5. 波耳原子理論

分析 6 個版本教科書中，僅有 3 個版本 (TJ01、TJ02 和 TJ06) 教科書內容提及波耳原子理論模型，而 TJ01 和 TJ02 兩個版本將波耳的原子理論與拉塞福原子理論結合，但教科書內容敘述仍以拉塞福之原子理論模型為主，故不予分析，在此僅以 TJ06 版本作為分析之資料。研究結果顯示，TJ06 版本亦採取具體 (圖像模型) 與抽象 (理論模型) 混合之表徵方式，且使用之圖象模型為電子採取分層的方式來排列，如下所述：

1913 年，一位年輕的丹麥科學家波耳 (Bohr, 1885~1962)，從原子光譜的實驗結果，獲得了啟示，提出與實驗結果非常吻合的假設：

電子可以且只能在一些少數特殊的圓形軌道上運動。

這種特殊的軌道觀念，可以簡單化並清晰地描述許多物質的化學性質。

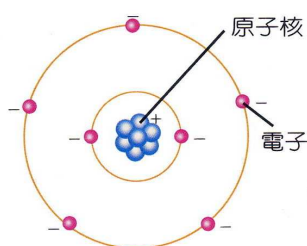


圖 4-3-5. 波耳原子模型：電子只能在特殊的圓形軌道上運動 (引自 TJ06，頁 123)

6. 小結

教科書於教師教學過程中扮演非常重要的角色，教科書仍有錯誤之處。以湯木生從陰極射線管發現電子為例，TJ06 版本提及湯木生將發現的新粒子命名為電子，但科學史上首先命名電子的科學家為斯托尼 (G. J. Stoney)，他把電的基本單位稱為“電子”，洛倫茲採用斯托尼的“電子”來表示發現的帶負電粒子，顯示教科書雖經過審定的過程，但仍有錯誤之處，雖然如此科學事實記載之錯誤，對於學生學習科學概念

影響甚小，但教科書撰寫時仍需留意引用科學史料的正確性。

TJ06 版本於拉塞福原子理論模型的呈現方面，雖然提供學生具體形式的圖像模型，但其模型表徵仍有值得商榷之處，其原子模型以平面的方式呈現，並且全部電子均在相同軌道上運轉，如此將可能使學生在學習原子理論產生迷思概念，即學生認為電子運動為平面軌道的狀態，且電子僅在固定的軌道上運動，如此將影響或阻礙學生於未來電子雲概念模型發展。此外，雖然許多版本教科書均提及原子核與原子大小之關係，但其對應之圖像模型卻未能繪出其比例關係，或是闡述其模型的限制，如此亦可能造成學生閱讀教科書過程中概念理解之困難，或難以達到學習效果。

（二）國中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析

國中教科書於「原子理論」之模型特徵分析部分，茲因「波耳原子理論」僅有 TS06 版本提及相關單元，在此不予分析，故本研究針對「道耳吞原子說」、「湯木生原子理論」和「拉塞福原子理論」等 3 個單元，分析不同版本國中教科書使用模型之特徵。研究結果顯示，分析國中教科書於「道耳吞原子說」、「湯木生原子理論」和「拉塞福原子理論」等 3 單元之 7 個向度模型特徵總分依序為 11.50、6.75 和 11.33，其中以「湯木生原子理論」單元之平均得分偏低，顯示國中教科書於「湯木生原子理論」單元所描述或提供之模型有仍有許多缺失，且 TS01 和 TS02 兩個版本完全未有相關的內容敘述。整體而言，分析教科書於「道耳吞原子說」和「拉塞福原子理論」兩個單元之相對表現較佳，詳如分析結果表 4-3-1 所示。

表 4-3-1. 國中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析

	道耳吞原子說							湯木生原子理論							拉塞福原子理論							總分
	完整性	簡潔性	融貫性	具體性	概念性	正確性	審慎性	完整性	簡潔性	融貫性	具體性	概念性	正確性	審慎性	完整性	簡潔性	融貫性	具體性	概念性	正確性	審慎性	
TJ01	S	S	S	S	S	S	S	—	—	—	—	—	—	—	M	S	S	M	M	S	M	24
TJ02	S	S	S	S	S	S	S	—	—	—	—	—	—	—	M	S	S	M	M	S	M	24
TJ03	S	S	S	S	S	S	S	M	N	N	N	S	N	M	S	S	S	S	S	S	S	32
TJ04	S	S	S	S	S	S	S	M	N	N	N	M	N	N	S	S	S	M	M	M	M	26
TJ05	S	M	N	N	N	N	N	M	M	S	S	N	M	M	S	S	S	S	M	M	M	22
TJ06	S	S	S	S	N	M	M	S	S	S	S	S	M	S	S	S	S	S	S	M	S	36
平均	2.00	1.83	1.67	1.67	1.33	1.50	1.50	1.25	0.75	1.00	1.00	1.25	0.5	1.00	1.67	2.00	2.00	1.50	1.33	1.50	1.33	29.58
總分	11.50							6.75							11.33							

註：「—」表示該版本教科書未提及相關內容。

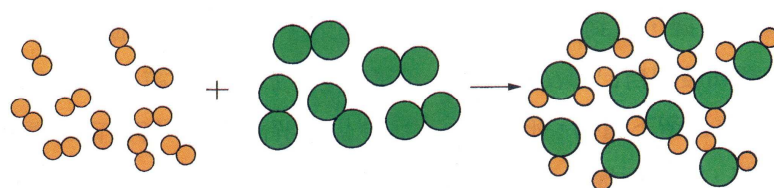
註：S：2 分；M：1 分；N：0 分

1. 道耳吞原子說

表 4-3-1 顯示分析 6 個版本教科書於「道耳吞原子說」單元之分析結果，其中有

4 個（66.7%）版本（TJ01、TJ02、TJ03 和 TJ04）完全符合 Mayer（1989）良好模型特徵，在 7 個向度評量總分爲 11.5 分（總分 14 分），顯示大部分教科書皆能適切地呈現所欲表達的概念，並能利用適當且良好的模型來表徵。其他如 TJ05 版本僅陳述「道耳吞原子說」之要點，未能對「道耳吞原子說」提供具體容易理解的圖像模型，故無法符合融貫性與具體性，或是其他之應用，如利用原子說來解釋化學變化（概念性），故僅符合良好模型特徵之完整性和部分符合簡潔性。TJ06 版本亦如 TJ05 版本，教科書內容僅敘述道耳吞原子說之要點，未能利用原子說來解釋化學變化或質量守恆定律，故未能符合模型特徵之概念性評量向度。值得關注的地方是，TJ05 和 TJ06 等兩個版本均爲現行國中所採用之教科書，卻無法符合評定標準，教科書撰寫者需多加留意，特別是概念性向度，依據現行之課程綱要內容，學生需要理解原子說來解釋化學變化或原子的重新排列，但分析結果卻顯示無法符合評定標準。此結果亦說明，許多教科書對於科學史內容僅著重於科學事實的闡釋，如許多教科書均著重於描述「道耳吞原子說」之要點，惟對於科學理論之間相關性的建立則較爲缺乏，如利用道耳吞原子說來解釋化學變化或質量守恆定律等，故概念性得分偏低，全部平均得分僅有 1.33 分。

底下以 TJ03 版本爲例，藉以說明爲何符合上述之良好模型特徵。TJ03 版本內容完整敘述道耳吞原子說內容，如一切物質都是原子所構成，原子不可再分割（符合完整性），並藉由原子說解釋日常生活化學反應（氫氣在氧氣中燃燒產生水）和質量守恆定律，使原子說與其他定律相互結合，讓學生產生概念之連結（概念性），此外亦利用類比（化學反應猶如積木的重新排列）來解釋化學反應質量守恆的概念（正確性）。而且，教科書呈現之概念模型除內容說明非常詳細外，亦採取不同顏色之原子（圖象模型）來說明其相關概念，如下圖 4-3-6 所示，如此可以使學習者憑著直覺即可理解學習的概念，如一切物質都是由原子所構成，或是化學反應是原子重新組合（符合簡潔性、融貫性和具體性）。依上述內容分析，由於 TJ03 版本能完整地陳述道耳吞原子說的概念，且將概念模型與圖像模型做適當的結合，並能利用原子說來解釋其他化學變化，故符合模型特徵“審慎性”之標準。



氫氣與氧氣反應時，原子重新組合，產生水分子，一個水分子是由二個氫原子與一個氧原子組成

圖 4-3-6. 利用原子說解釋化學反應示意圖（引自 TJ03，頁 37）

2.湯木生原子理論

表 4-3-1 顯示 6 個版本教科書於「湯木生原子理論」單元之模型特徵分析情形，因 TJ01 和 TJ02 兩個版本教科書完全未能提及「湯木生原子理論」之相關內容，故僅探討 TJ03~TJ06 等 4 個版本教科書是否符合良好模型特徵？研究結果顯示，4 個版本教科書(TJ03~TJ06 版本)於「湯木生原子理論」所使用之模型皆未能符合 Mayer(1989)良好模型特徵，如 TJ05 版本僅描述湯木生所提之原子模型，即“原子應為密度均勻帶正電的球體，電子分布在原子中。” TJ05 版本未能對針對原子理論提供更為完整的內容陳述，如陰極射線實驗發現電子，故無法完全符合良好模型特徵之完整性向度。而 TJ03 版本則僅描述陰極射線管之實驗結果，如發現電子，如此僅部分符合完整性，且因未能提供湯木生原子理論模型或相關示意圖，故無法符合簡潔性、融貫性和具體性等評量向度。整體而言，分析之教科書於「湯木生原子理論」單元所使用之模型均不甚理想，平均全部 7 個向度得分僅有 6.75 分。

在此以 TJ06 版本為例，藉以說明為何符合良好模型特徵。TJ06 版本內容除能完整敘述湯木生如何透過陰極射線管發現電子，如透過陰極射線管的實驗，說明陰極射線具有粒子的性質，並且藉由陰極射線管實驗結果推斷電子的存在，也由此說明原子是可分割的概念（符合完整性和概念性）。如下所述：

原子是否真的如道耳吞所言，是不可分割的最小粒子呢？大約經過九十多年後，湯木生為此設計出了高壓放電管，當在其中填入不同氣體元素後，發現皆有攜帶相同負電荷、質量約為氫原子質量千分之一的粒子，被釋放出來。他因此推斷所有的原子內部皆有此種帶負電的粒子——他稱之為電子。

湯木生在 1897 年的實驗推翻了原子無法再分割的理論，從此，原子不再被視為是構成物質的最小粒子。(TJ06，頁 121)

TJ06 版本所呈現概念模型除非常詳細外，亦同時呈現道耳吞原子模型與湯木生原子模型，以具體模型來說明其相關概念，如圖 4-3-7 所示，使學生容易透過所呈現具體模型來做比較與判斷，當然亦可以使學習者憑著直覺即可理解欲學習的概念（符合簡潔性、融貫性和具體性）。依上述內容分析，由於 TJ06 版本能完整地描述湯木生原子理論，且將概念模型與圖像模型做適當結合，故能符合“審慎性”之模型特徵標準。

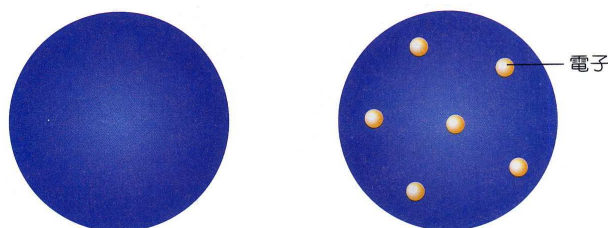


圖 4-3-7. 道耳吞與湯木生原子模型比較（引自 TJ06，頁 121）

3.拉塞福原子理論

6 個版本教科書於「拉塞福原子理論」模型特徵之分析情形詳如表 4-3-1，整體而言，全部教科書之平均總分為 11.33 分。若分析各向度得分的情形，其中融貫性和簡潔性全部 6 個版本均完全符合評量標準，但整體分析結果亦顯示僅有 TJ03 版本完全符合良好模型特徵之標準，其他 5 個版本在概念性和審慎性之評量向度平均值僅為 1.33，顯示分析教科書內容僅著重於拉塞福研究結果之呈現，對於拉塞福原子理論相關概念之連結與建立則相當地缺乏，如 TJ04 版本僅簡略地敘述拉塞福原子理論之內容，或是忽略拉塞福原子模型之應用，如解釋物質帶電是原子失去或得到電子，故未能符合完整性、概念性和審慎等良好模型特徵。除此之外，TJ04 版本無法符合良好模型特徵之正確性，主要因素是教科書的內容與所呈現圖像模型無法做適當的連結，如內容描述原子理論如太陽系的行星繞著太陽運動，但是所呈現的圖像模型卻是混合的原子模型（即是混合軌道與電子雲），故無法符合良好模型特徵之評量標準，如此結果亦類似於 Justi 和 Gilbert（2000）。

底下以 TJ06 版本為例，藉以說明為何符合上述良好模型特徵之理由。TJ06 版本內容完整敘述拉塞福以 α 粒子撞擊金屬箔的結果，說明原子核的概念，並且藉由實驗的結果提出有核的原子模型，並且利用適當的類比（原子核猶如桃子裡的核仁）來描述原子理論（符合完整性、概念性和正確性）。如下所述：

湯木生認為原子內的結構是非常均勻的，電子則分散於其中。…他於 1911 年設計了以帶正電的粒子撞擊金屬薄片的實驗，顯示大部分的粒子皆可穿透金屬，只有極少的粒子不可穿透，且其中有完全反彈回來的情形發生。因此，他推論：

原子內部大部分是虛空的，所有的質量幾乎全集中在中心點上。

他稱此中心為核，好比桃子裡的核仁，此核並帶有正電。由於原子為電中性，等量的負電子，會遠遠的在核心外繞著核（或原子核）運轉著，而又不會脫離開原子核。電子運動範圍可代表原子的大小，原子的半徑約為 0.1 奈米，大約是原子核半徑的十萬倍（TJ06，頁 122）

TJ06 版本所呈現概念模型除非常詳細描述原子模型外，亦採取具體模型來說明其相關概念，使學生容易進行比較與判斷，故可以使學習者憑著直覺即可理解學習的概念（符合簡潔性、融貫性和具體性）。依上述內容分析，由於 TJ06 版本能完整地陳述拉塞福原子的理論，且將概念模型與圖像模型做適當的結合，故能符合良好模型特徵中“審慎性”之評量標準。

4.小結

教科書所提供的模型是否能符合 Mayer（1989）之良好模型特徵，對於教科書撰

寫者而言，確是一項極大的挑戰。綜合上述討論，國中教科書於「原子理論」單元所使用模型著重於各個原子理論要點之呈現，但概念性解釋與模型與概念之間的連結則表現不佳，故「概念性」得分偏低。換句話說，學生將無法透過閱讀教科書的過程中，建立良好的概念性解釋與模型與概念之間的連結。故目前教科書冀以模型來提升教師的教學成效或促進學生的概念學習，仍有許多可以改進的空間。

（三）國中教科書於「原子理論」單元類比使用情形

概念的類比（analogy）是一種科學教師常用的教學方法，因為這樣便可把抽象的概念形象化。例如，在教電流的觀念時，我們常會使用水流來類比為電流。本研究為了解不同版本教科書於「原子理論」單元類比使用之情形，將分別從「道耳吞原子說」、「湯木生原子理論」和「拉塞福原子理論」等三個單元來探討不同版本國中教科書類比使用之情形，結果彙整如表 4-3-2 所示。

關於道耳吞的原子說，依據 92 年《國民中小學九年一貫課程綱要》自然與生活科技之教材內容細目中所提及“可利用積木堆成不同形狀的類比示例”，但分析結果顯示僅有 TJ03 版本教科書利用“積木的排列”來類比於原子說中關於化學變化與質量守恆的概念，進而讓學生透過類比來建立原子概念。現行國中使用之教科書（TJ04~TJ06）完全未能利用任何類比來描述道耳吞原子說。分析 TJ03 版本教科書所使用類比之對應關係為：積木對應於原子；積木總數目與總質量對應於物質的總質量；積木重新排列對應於化學反應。如下所述：

你是否覺得化學反應與我們小時候玩積木的情形相似？我們可以把排好的積木推倒了重新排列，重新排列後的積木雖然整體外觀與原來不同，但積木的總數目與總質量則與原來相同。（TJ02，頁 38）

湯木生原子理論之類比使用，彙整全部教科書類比之使用情形，結果顯示僅有 TJ04 和 TJ05 等 2 個版本教科書使用類比來描述，且分析其類比物與所欲學習的概念，均將葡萄乾對應於原子所包含之電子，布丁則對應於原子，如 TJ04 版本所述：

原子應為密度均勻帶正電的球體，電子分布在原子中，好像是布丁中的葡萄乾。
（TJ04，頁 123）

拉塞福原子理論部分，總計有 3 個（50.0%）版本教科書（TJ03、TJ05 和 TJ06）利用太陽系來類比原子結構，且使用之類比敘述極為相似，均提及“原子就好像太陽系的行星繞著太陽運動般”，若深入探討其對應關係，則為太陽對應於原子核；行星對應於電子。但 TJ06 版本教科書則與其他版本教科書有極大的差異，其利用桃子裡的桃仁來類比原子核，藉此強調原子核的概念，如下所述：

他稱此中心為核，好比桃子裡的桃仁，此核並帶有正電。由於原子為電中性，等量的負電子，會遠遠的在核心外繞著核（原子核）運轉著。（TJ06，頁 122）

表 4-3-2. 國中教科書於「原子理論」單元類比使用情形

原子理論 教科書	道耳吞 (原子說)	湯木生 (原子模型)	拉塞福 (原子模型)
TJ01	No	—	No
TJ02	No	—	No
TJ03	化學反應猶如積木	No	行星環繞太陽運動
TJ04	No	No	太陽系的行星繞著太陽運動
TJ05	No	布丁中的葡萄乾。	太陽系的行星繞著太陽運動
TJ06	No	麵包中的葡萄乾	桃子裡桃仁⇨原子核，核帶有正電。

註：「—」表示該版本教科書未有相關內容敘述。

從上述的結果看來，不同版本國中教科書於「原子理論」單元類比使用極為類似，如「湯木生原子理論」均以“葡萄乾”來類比原子中的電子，或是「拉塞福原子理論」大多以“太陽系”和“行星”來類比原子與原子核外的電子。雖然有 39.9%（7/18）的國中教科書均使用類比物來類比所欲學習之概念，但深入分析其內容卻未能詳述類比的對應關係，或是類比限制也未能說明，即是許多教科書均未企圖使其所運用的類比更為明確，如此將使教科書所使用之類比無法達到其效益，當然也無法促進學生之概念學習與理解。

（四）高中教科書於「原子理論」單元之模型表徵與類別分析

高中教科書於「原子理論」單元之模型表徵與類別分析部分，主要參酌我國歷年高中化學課程綱要於「原子理論」學習之課程內容，然後根據課程內容分析教科書所使用模型之表徵與類別。而為使課程綱要與分析具有一致性與完整性，本研究以概念或理論為主，並將分析單位依科學發展歷程，分為「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元，以下從教科書所使用模型之表徵與類別來加以分析與探討。

1. 湯木生原子理論

分析 16 個版本中，有 11 個（68.8%）版本教科書提及湯木生原子理論，其他 5 個（31.3%）版本教科書（TS05、TS06、TS10、TS15 和 TS16）內容僅提及從陰極射線和電子的發現，未能提及湯木生原子理論或相關的原子結構。研究結果顯示，11 個（68.8%）版本皆以抽象形式（理論模型）來描述湯木生原子理論，而其中有 4 個（25.0%）版本教科書（TS04、TS08、TS11 和 TS12）兼採取具體形式（圖像）的表徵形式。此外，分析大多數教科書於「湯木生原子理論」所使用之抽象形式（理論模

型)，均將湯木生所提及之原子結構模型表徵為“原子為帶正電的圓球，而電子散布於其中。”如 TS11 版本：

原子為一個本身帶正電荷的球體，正電荷均勻的充滿整個原子中，就像布丁一樣，而負電荷就像葡萄乾散布在其中。(TS11 (化學上冊)，頁 109)

分析 4 個版本教科書於「湯木生原子理論」單元所使用之具體形式模型（圖像模型），結果顯示 TS08、TS11 和 TS12 等 3 個（18.8%）版本所使用之具體模型為現今較為熟悉的表徵形式，且其相似度非常地高，即是使用之模型表徵為電子均勻分布於圓球內，整理如下圖 4-3-8 所示。

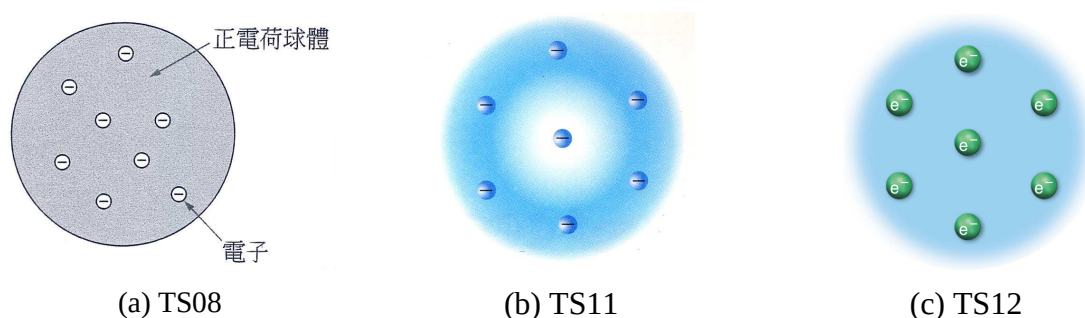


圖 4-3-8. 高中化學教科書於「湯木生原子理論」單元使用之模型表徵比較

而 TS04 版本於「湯木生原子理論」單元之描述則是強調原子內電子的分布情形，內容提及電子因靜電力相互抵消之因素，而分布於適當的位置，此外，TS04 版本亦嘗試以此種模型來解釋元素性質的周期性，內容如下所述：

每個原子占有一定大小的空間，它的正電部分均勻瀰漫於這個空間，電子則分別固定在適當的位置，這些位置可以使其他電子及荷正電部分施於它的靜電力恰相抵消。……湯木生可以標記出電子數為 1, 2, 3... 等各種情況，電子應占用的位置，甚至還用這種模型試著解釋元素性質的周期性及原子間的鍵結等。(TS04，頁 98)

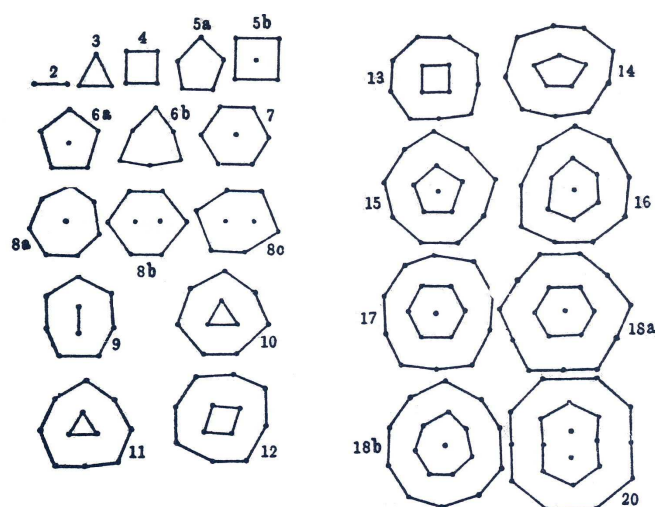
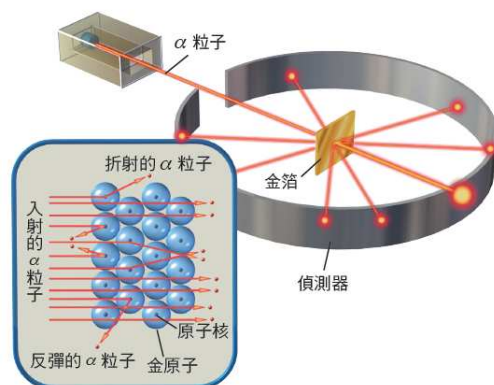


圖 4-3-9. 電子在均勻電場的二度空間分布（引自 TS04，頁 98）

2.拉塞福原子理論

拉塞福原子理論部分，拉塞福透過 α 粒子散射實驗提出有核的原子模型，本研究即依「 α 粒子散射實驗結果」和「拉塞福的原子模型」兩個部分來加以探討。關於 α 粒子散射實驗結果，大部分教科書均著重於此實驗結果與拉塞福原子理論建立之關係，對於 α 粒子散射實驗裝置，其表徵形式以抽象形式（概念模型）和具體形式（圖像模型）相互結合的表徵形式最為常見，總計有 8 個（50.0%）版本教科書（TS02、TS03、TS09、TS11、TS13、TS14、TS15 和 TS16）採取混合的表徵形式。如 TS14 版本所呈現之概念模型與圖像模型（圖 4-3-10）：

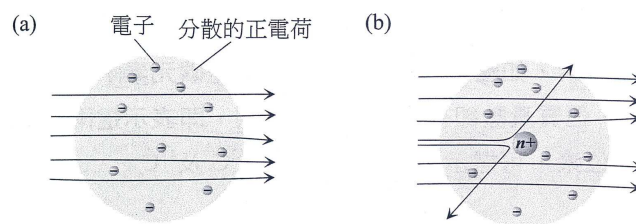
1909 年，拉塞福（E. Rutherford，1871~1937，紐西蘭）進行 α 粒子撞擊金箔的散射實驗時，觀察到絕大部分 α 粒子皆能穿透極薄的金箔，並無偏折現象，但有極少數粒子會有很大的偏角，其中有些粒子的偏角竟高達 180° 。（TS14（化學上冊），頁 111）



α 粒子撞擊金箔的散射實驗示意圖（大部分的 α 粒子穿透金箔），左下圖為二維示意圖。

圖 4-3-10. α 粒子撞擊金箔的散射實驗示意圖（引自 TS14（化學上冊），頁 111）

此外，研究結果亦顯示有相當高比例（81.3%）教科書也著重於 α 粒子散射結果的呈現，總計有 TS02、TS05~TS16 等 13 個版本皆以抽象形式（概念模型）和具體形式（圖像模型）相互混合的表徵形式，即是將 α 粒子散射結果以“大部分 α 粒子穿過金箔未有偏折，少數 α 粒子會有較大角度的偏轉，極少數會產生 180° 的偏轉。”來加以呈現。然而，本研究卻發現大部分教科書均著重於 α 粒子散射結果的呈現，對於湯木生原子模型為何不符合 α 粒子散射結果則較少提及，僅有 TS02、TS05 和 TS09 等 3 個（18.8%）版本以具體形式（圖像模型）來說明為何湯木生原子模型不正確。底下即以 TS09 版本所述，藉此說明湯木生原子模型為何無法符合 α 粒子散射結果。



(a)梅子布丁模型的預期實驗結果 (b)拉塞福原子模型符合實驗結果

圖 4-3-11. 湯木生與拉塞福原子模型 α 粒子散射實驗結果比較（引自 TS09，頁 49）

拉塞福的原子模型部分，分析結果顯示，全部 16 個版本教科書皆以抽象形式（理論模型）來描述，其中有 7 個（43.8%）版本教科書（TS07、TS09、TS10、TS11、TS13、TS14 和 TS15）輔以具體形式（圖像模型）的表徵形式來說明拉塞福原子理論。而模型表徵部分，大部分教科書均將拉塞福的原子結構模型表徵為“原子中心有一個原子核，而電子在核外運動。”在此以 TS11 版本所呈現之抽象形式理論模型與具體形式圖像模型為例，說明如下：

拉塞福根據此結果推知原子內的大部分空間應該是空的，而原子的質量則集中在中間位置，且所占的比例甚小，將之稱為原子核。帶負電荷的電子在原子核四周運動，原子核則帶相同數量的正電荷以維持原子的電中性。（TS11（化學上冊），頁 109）

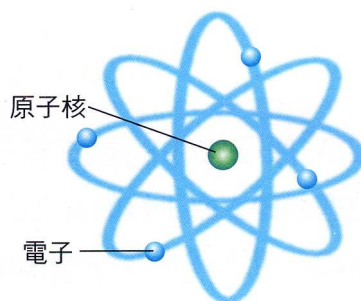


圖 4-3-12. 拉塞福原子結構模型（引自 TS11（化學上冊），頁 109）

3.波耳原子理論

波耳原子理論部分，主要分為氫原子光譜（能階）之解釋與原子模型兩個部分予以探討。氫原子光譜（能階）解釋部分，研究結果顯示，全部 16 個版本教科書除抽象形式（理論模型）的表徵形式外，即是“電子在軌道上運動具有特定的能量，當電子由高能階躍遷至低能階時會以光的形式釋放出能量。”其中有 14 個（87.5%）版本教科書（TS01、TS02、TS05~TS16）仍輔以具體形式（圖像模型）來表徵能階的概念。此外，針對氫原子的能階概念列出幾種較為常見之圖像模型表徵：(a)和(b)圖像模型主要表徵氫原子能階的概念，(c)圖像模型是將氫原子能階與特定之軌道概念做結合，(d)和(e)圖像模型則為結合氫原子能階與光譜，說明不同的能階變化與產生光譜頻率。分

析教科書使用之圖像模型表徵整理如下圖 4-3-13 所述：

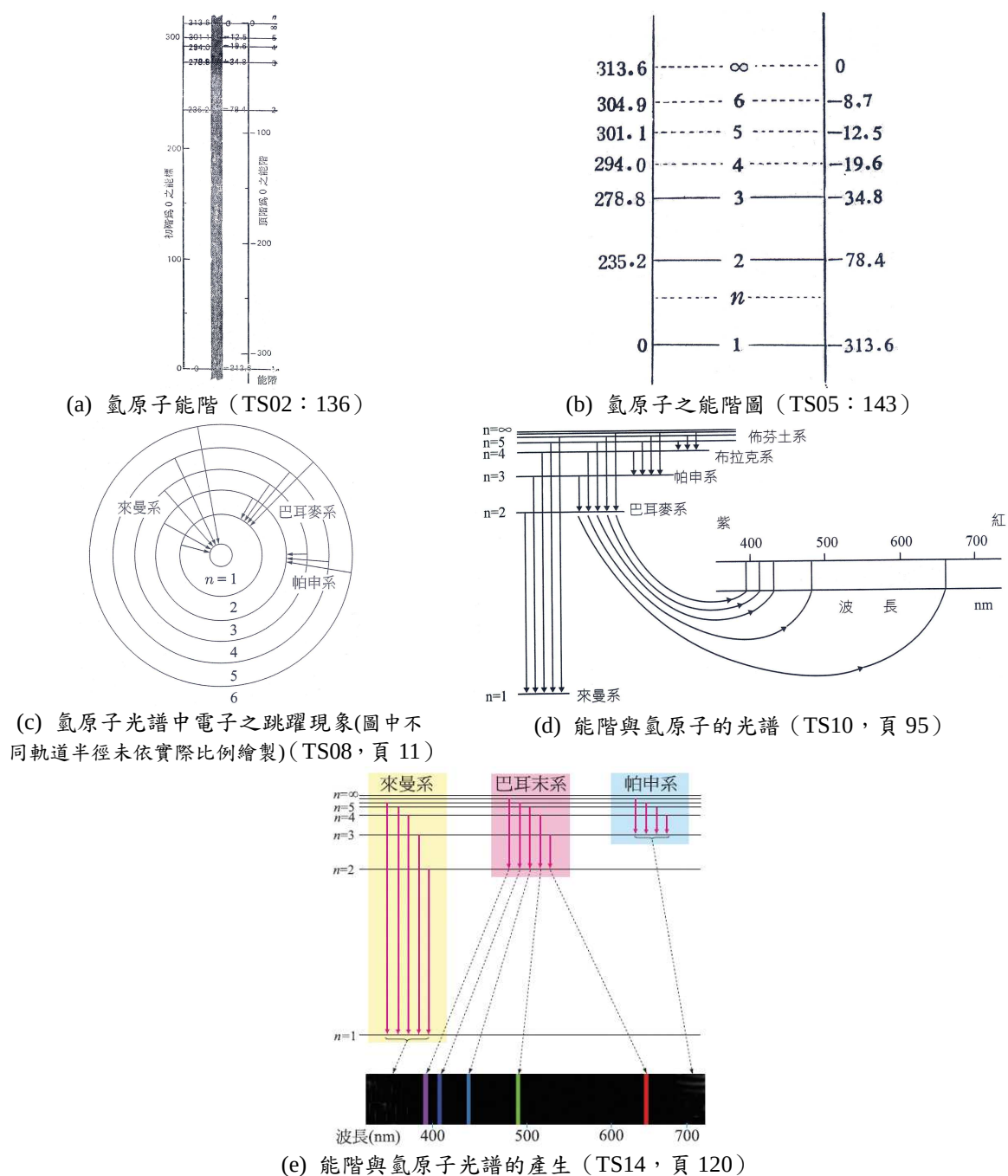


圖 4-3-13. 高中教科書於波耳原子理論（氫原子光譜）所使用模型之表徵彙整

波耳氫原子結構模型部分，全部分析之 16 個版本高中教科書皆以抽象形式（理論模型）來描述，即是氫原子的結構為“氫原子核外的電子只能沿著一定距離的圓形軌道繞核作圓周運動”，但僅有 3 個（18.8%）版本輔以具體形式（圖像模型）的表徵形式，比例偏低，如 TS10 版本：

氫原子的電子，只能在離開原子核一定距離的軌道上做圓周運動。……核外電子的分布情形，由內向外可分為幾個殼層，以 n 的大小表示殼層能量高低的順序。(TS10（物質科學化學篇上冊），頁 94-95）



圖 4-3-14. 波耳的原子軌道模型（引自 TS10（物質科學化學篇上冊），頁 96）

4. 量子力學原子理論

量子力學部分，主要從電子的運動情形與軌域概念來加以探討。研究結果顯示高中教科書均以抽象形式（概念模型）來呈現，即是“電子的軌跡是無法被預測的，電子出現機率 90% 所涵蓋的空間稱為軌域。”其中亦有 11 個（68.8%）版本教科書輔以具體形式（圖像模型）來表徵電子運動的情形，分別是：TS01~TS05、TS07、TS08、TS11、TS12、TS14 和 TS16 等，且教科書均以點狀的形式來表示電子出現的情形，點愈密集代表電子出現的機率愈大，如 TS11 版本所述：



(a) 電子出現以點狀表示，點狀愈密集
處，表示電子出現機率愈高。 (b) 電子出現機率大於 90% 的區域以圓
圈示出。

圖 4-3-15. 電子雲示意圖（引自 TS11，頁 116）

此外，為使學生能理解「軌道」與「軌域」之間的差異，分析結果顯示，僅有 12.5%（TS01 和 TS07 兩個版本）亦針對氫原子軌道模型與電子雲模型進行比較，比例偏低，且兩個版本均以抽象形式之概念模型與具體形式之圖像模型（圖 4-3-16）來呈現兩者之差異，如下所述：

....遂建立量子力學 (Quantum Mechanics) 之基礎。其內容與波耳模型不同之點為：
後者是以電子質點與核心質子在某距離之靜電作用而形成氫原子之電子軌域，猶如行星繞太陽之現象，故有「軌道」之名詞。而量子力學討論氫原子中電子繞核運轉之情形，卻說明電子運動的確切路徑乃無從測定者。 (TS01，頁 163)

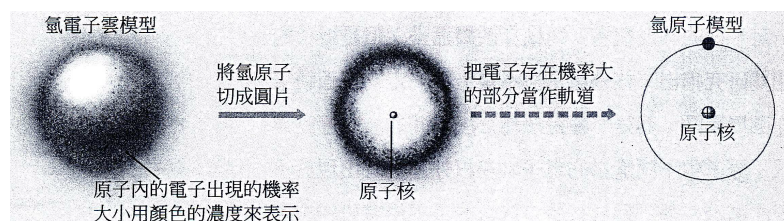


圖 4-3-16. 氫電子雲模型與氫原子模型的比較（引自 TS07（物質科學化學篇（上）），頁 14）

5. 小結

分析之 16 個版本教科書於「原子理論」單元闡述之原子模型彙整如表 4-3-3。由表 4-3-3 所示，關於不同單元之模型表徵形式，其中僅有 11 個（68.8%）版本教科書強調「湯木生原子理論」之建立，而且使用具體形式（圖像模型）之教科書在數量統計上也呈現較缺乏之情形，由此顯示在高中教學上較少強調湯木生原子理論或其相關之概念，如此將可能使學生對於原子理論發展過程產生錯誤的想法。而大部分教科書於 α 粒子散射實驗結果之描述，教科書內容對於 α 粒子通過湯木生原子模型與拉塞福原子模型之間的差異與比較也較少提及，對於軌道模型與電子雲軌域觀念之間的差異，更是僅有 2 個（12.5%）版本能闡釋此概念之間的比較。

對於科學理論發展之研究，每一種合理重建都為科學知識的合理成長提供了一個獨特模式，許多研究亦指出提供科學史的範例給學生亦將協助學生去建立他們的學習經驗。但許多教科書內容對於科學史發展之處理，僅著重於實驗結果的描述，較少強調不同科學家實驗結果之間關係與競爭，如此將使學生難以理解原子理論之發展歷程，而且許多教科書亦缺乏湯木生原子理論或模型之闡述，亦將使學生難以建立完整的原子理論架構。

表 4-3-3. 高中化學教科書於「原子理論」單元之模型定義彙整

	湯木生原子理論	拉塞福原子理論	波耳原子理論	量子力學原子理論
TS01	- 原子乃帶正電之圓球，電子散佈其中。 - 原子間緊密靠著，而原子本身成密度近似均勻之球體。	- 原子之結構很鬆，在原子中有一個重而小，荷正電之原子核。外面有一個或一個以上之電子。 - 核中之總電荷與核外之電子電荷相等，而符號相反。	氫原子中電子祇能在有限數目之軌域上繞原子核旋轉。	電子運動的確切路徑乃無從測定者。所能測知者係在空間中某一點電子出現之機率。
TS02	- 正電荷布滿於原子的整體，像一帶正電荷的圓球，而電子分藏於其中。 - 原子為一密度均勻的球體。	- 原子中心有一原子核，核帶正電荷，其體積甚小，其質量則佔原子質量的絕大部分；所帶電荷為電子電荷的整數倍。 - 核外空間為電子佔據，而形成電子雲層，其密度極小。	氫原子具有各種特定能量的狀態，這特殊的原子理論狀態，稱為“定態”。	電子軌域代表此一類型的電子運動模型。
TS03	原子為一質量及帶正電荷的球，電子為滲附表面的粒子。	原子的帶電及質量部分，集中於一非常微小的原子核上。電子則佔有幾乎全部原子的空間，在原子周圍運動。	- 電子以高速率在核外運動。 - 電子可循一圓形途徑在核外運行，波爾稱之為“軌道”。	未固定電子之位置及電子之途徑，只能推測電子在何處發見之機率最大。
TS04	原子占有一定大小的空間，正電部分均勻瀰漫於這個空間，電子分別固定在適當的位置，這些位置可以使其他電子及荷正電部分施於它的靜電力恰相抵消。	- 原子所含正電部分必須集中在一個半徑約為 10^{-12}cm 的空間內。 - 原子核同時具有很大的質量。	氫原子的每一個固定態，都具有一種固定不變的電子與核的距離 r，電子並以適當速率 v 繞核運動。	- 不認為電子應維持固定距離繞核運動，甚至不討論電子的運動路線。 - 對於電子出現的範圍，沒有半徑的限制。
TS05	- 原子之質量全部集中於帶正電荷之部分，亦就是原子核，但質量極為輕微之電子，均勻地分佈其中。 - 原子各處之密度均勻，原子間緊密地接觸。	- 原子核為半徑約 10^{-12} 厘米所佔空間極小，但為原子質量之集中中心，原子核之外圍，由電子充滿整個原子。 - 原子半徑為 10^{-8} 厘米，約為原子核之 10^4 倍。	電子圍繞著原子核做一定路徑之軌跡運行。	- 電子之運行路徑無法正確的描述其軌跡。 - 電子在瞬間出現，以機率之大小表示。
TS06	No	原子中帶正電的粒子聚集成一原子核而具有原子絕大部分的質量，直徑約為 10^{-13} 公分，電子則略如行星，繞核轉動，而不墜落原子核上。	電子在某些圓形軌道運動。	•
TS07	No	原子核外的電子在一定的軌道上繞核作圓周運動。	氫原子核外的電子只能沿著一定距離的圓形軌道，繞核作圓周運動。	核外電子不是沿著一定的平面軌道作圓周運動，而是一種繞核作三度空間的波狀運動方式。
TS08	原子的質量絕大部分他中在一個帶正電的極小核心上，這核心稱為原子核，	原子的大部分空間沒有任何東西存在，原子中心應該有一個帶正電的原子	電子只能在特定半徑的圓形軌道上運動。	電子並非單純地在一個特定的軌道上運轉，而是在原子核附近的區域高速的

	核外則散布著質量極小的電子。	核，整個原子的質量大部分集中在這個體積甚小的原子核上。		運動。
TS09	原子的正電荷和質量是均勻分布在整個原子中。	- 核外空間散佈著質量極輕的電子。 - 原子模型略似太陽系，原子中的正電和大部分質量聚集在一極小空間，稱為原子核，而電子則如行星般繞原子核作圓周運動。	不同能階對應不同的軌道。	- 電子的軌跡外觀有如雲霧狀，呈現出不同的濃度變化。 - 電子的軌跡是無法被預測的，亦即我們並無法知道電子下一瞬間會出現在何處。電子在空間中某一點的出現機率。
TS10	No	- 原子是由帶正電的原子核與核外帶負電的電子所構成。 - 原子很小，而原子核更小，其直徑約為原子的萬分之一。	氫原子的電子，只能在離開原子核一定距離的軌道做圓周運動。	電子並不是循著一個固定的軌道，繞著原子核作圓周運動，而是以高在在原子核外一定範圍運轉，而成為雲狀分布。
TS11	原子為一個本身帶正電荷的球體，正電荷均勻的充滿整個原子中。	- 原子內的大部分空間應該是空的。 - 原子質量集中在中間位置，且所佔比例甚小，稱為原子核。 - 帶負電荷電子在原子核四周運動，原子核帶相同數量的正電荷以維持原子電中性。	電子以圓形軌道繞著原子核運動，並遵守一定的規則不輻射能量。	- 原子核外電子並非像行星繞太陽一樣有固定的軌道，而是在原子核附近高速運動。 - 電子在核外空間某單位體積中出現的機率，其出現機率有如雲霧狀，呈現出不同的密度變化，稱為電子雲。
TS12	原子的結構是帶負電荷的電子均勻地散布在一個帶正荷的球體中。	- 原子絕大部分的質量集中在帶正電荷的原子核上。 - 核的四周為帶負電荷的電子，繞著原子核運動。	氫原子的電子只能在原子核外特定距離的軌道作圓周運動。	電子的運動方式只能以機率描述其分布的區域，科學家稱之為電子雲。
TS13	原子中正、負電荷是均勻分布。	原子中正電荷和大部分質量聚集在一極小空間，稱為原子核。	電子在某些圓形軌道運動。	- 電子的軌跡是無法被預測的，我們並無法知道電子下一瞬間會出現在何處。 - 電子在空間中某一點的出現機率。
TS14	原子內含有帶負電的電子和帶正電的部分。	原子可視為一球體，其中心有一原子核，核外為繞核運動的電子。	氫原子內電子只能在原子核外數個特定距離的軌道作圓周運動。	電子在核外不同的距離有其出現的機率（電子雲）。
TS15	No	- 原子內大部分空間應該是空無一物，質量集中在極小空間，稱為原子核。 - 帶負電荷電子在原子核四周運動。		無法預測電子的運動軌跡。
TS16	No	- 原子是由重而小且帶正電的原子核為中心。 - 極輕且帶負電的電子則分布在核外廣大的空間中。	氫原子的電子只能在原子核外特定距離軌道做圓周運動。	- 無法預測原子核外電子明確的位置或運動的軌跡，估計電子出現機率。 - 以機率密度（單位體積的電子出現機率）的方式表現（電子雲模型）。

（五）高中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析

高中化學教科書於「原子理論」單元使用之模型特徵分析結果如表 4-3-4 和表 4-3-5。全部教科書於 4 個單元之總分為 35.69 分（總分為 56 分，最高 48 分，最低為 27 分）。此外，「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元之平均總分，分別為：6.32、9.12、8.84 和 11.45。分析各向度之得分，最高為「完整性」向度（103 分，95.4%），顯示教科書於「原子理論」所使用模型著重於各個物件之呈現，但概念性解釋與模型與概念之間的連結，以及呈現適當圖像模型則較為缺乏，故「概念性」與「具體性」兩個向度之得分偏低，分別為 70 分（64.8%）和 74 分（68.5%）。

整體而言，我國高中化學教科書內容著重於呈現科學家的實驗結果，對於實驗結果與理論運作之間的概念性解釋，以及附有相關且適當的圖示或模型表徵則較為缺乏，Justi 和 Gilbert（2000）的研究亦有類似的結果。良好且適當的外在表徵可以更容易傳達給學生所欲學習的概念，促進學生的知識表徵產生新連結，但研究結果顯示我國高中化學教科書未能完整說明模型使用之意義與連結，如此將使學生無法理解理論、模型與表徵現象或物件之間的關連性，也可能無法促進學生概念學習。

表 4-3-4. 高中教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析

	湯木生原子理論							拉塞福原子理論							波耳原子理論							量子力學原子理論							總分
	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	
TS01	S	M	M	N	M	M	M	S	S	S	S	M	M	M	S	M	M	M	M	M	M	S	M	M	S	M	S	S	37
TS02	S	M	M	N	M	M	M	S	M	S	M	M	M	M	S	S	M	S	M	N	M	M	M	S	S	M	S	S	36
TS03	S	M	M	N	M	M	M	S	M	S	N	M	M	M	S	S	M	M	M	M	M	S	S	S	S	M	S	S	37
TS04	M	M	M	M	S	S	M	M	M	N	N	M	N	M	S	M	N	N	S	N	M	S	M	S	S	M	S	S	31
TS05	S	M	M	N	M	M	M	S	S	S	M	M	M	M	S	M	M	N	M	N	M	M	M	S	S	S	S	S	35
TS06	S	M	M	N	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	S	S	M	M	M	N	M	M	M	N	N	M	M	M	27
TS07	M	N	N	N	N	N	N	M	M	M	M	N	N	M	S	S	S	S	M	M	M	M	M	S	S	M	S	S	28
TS08	M	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	M	M	M	M	M	M	S	S	S	S	M	S	S	47
TS09	M	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	M	M	M	S	S	N	N	M	M	M	32
TS10	M	N	N	M	N	N	M	M	M	M	M	N	M	M	S	S	S	S	M	N	M	S	S	S	S	M	S	M	31
TS11	S	S	S	S	S	S	S	M	M	M	S	M	M	M	S	S	M	M	M	M	M	S	S	S	S	M	S	S	44
TS12	M	M	S	S	M	S	M	S	S	M	M	S	S	S	S	S	S	M	S	S	S	S	S	S	M	S	S	S	48
TS13	M	N	N	N	N	N	N	M	M	M	M	N	S	M	S	S	M	M	S	M	S	S	S	S	S	S	S	S	33
TS14	M	M	N	N	M	S	M	S	S	M	S	S	S	S	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	S	S	M	35
TS15	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	S	S	S	M	S	S	M	S	N	N	M	S	S	S	S	S	S	S	39
TS16	M	N	N	N	N	N	N	M	M	M	S	N	S	M	S	S	S	M	M	N	M	S	S	S	S	M	S	S	31
平均	1.38	0.81	0.81	0.56	0.88	1.00	0.88	1.5	1.38	1.31	1.31	1.06	1.31	1.25	1.88	1.69	1.25	1.13	1.13	0.63	1.13	1.69	1.56	1.63	1.63	1.31	1.88	1.75	35.69
總分	6.32							9.12							8.84							11.45							

註： S：2 分；M：1 分；N：0 分

表 4-3-5. 高中教科書之模型特徵分析

	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10	TS11	TS12	TS13	TS14	TS15	TS16	總分	%
完整性	8	7	8	6	7	6	5	6	7	6	7	7	6	5	6	6	103	95.4
簡潔性	5	5	6	4	5	5	4	7	6	5	7	7	5	5	6	5	87	80.6
融貫性	5	6	6	3	6	3	5	7	4	5	6	7	4	3	5	5	80	74.1
具體性	5	5	3	3	3	2	5	7	3	6	7	5	4	4	7	5	74	68.5
概念性	4	4	4	6	5	4	2	6	4	2	5	7	4	6	5	2	70	64.8
正確性	5	5	5	4	4	3	3	7	4	3	6	8	5	7	5	4	78	72.2
審慎性	5	5	5	5	5	4	4	7	4	4	6	7	5	5	5	4	80	74.1
總分	37	37	37	31	35	27	28	47	32	31	44	48	33	35	39	31	81.7	75.6

爲了解不同版本教科書於「原子理論」單元模型使用之差異，本研究針對四個原子理論，分別說明教科書模型使用情形，並列舉分析結果較佳之教科書做爲編寫教科書時之參酌。

1. 「湯木生原子理論」—陰極射線管實驗與原子理論之建立

全部教科書中，其中 5 個版本教科書內容僅提及陰極射線管或湯木生發現電子等說明，未能提及湯木生所提出之原子模型，各向度平均總分僅有 6.32。深入分析各向度之得分，其中簡潔性、融貫性、具體性、概念性和審慎性等 5 個向度，平均皆低於 1.00，僅有完整性與正確性平均高於或等於 1.00，全部教科書中更僅有 TS11 版本教科書完全符合分析標準，整體而言，教科書於「湯木生原子理論」單元使用之模型不甚理想。以下針對各向度來加以探討：

(1)完整性：許多教科書於「湯木生原子理論」單元之內容描述過於簡略，如 TS13 版本僅陳述“原子中正、負電荷是均勻分布的。”未能說明湯木生陰極射線管實驗結果，或陰極射線實驗推翻原子無法分割的觀念。TS09 版本亦有類似的結果，內容如下所述：

英國人湯木生研究陰極射線，證明電子的荷質比 $e/m=1.76 \times 10^{11}$ 庫倫/公斤。

...在湯木生發現電子之後，便有人提出一個梅子布丁模型，表示原子的正電荷和質量是均勻分布在整個原子中，有如布丁，而電子則像嵌在布丁中的梅子。(TS09，頁 48)

(2)簡潔性：完整性是強調教科書能完整描述理論內容，簡潔性則著重教科書是否能提綱切領呈現相關內容，故此向度著重於強調發現電子，以及原子結構之描述。結果僅有 TS08 和 TS11 兩個版本完全符合，有 5 個（31.3%）版本則完全未能符合。整體而言，此向度得分偏低，平均僅爲 0.81。

(3)融貫性：此向度平均僅有 0.81，如上述許多教科書皆未能提供陰極射線功能外，而且提供的模型亦無法透過類比讓學生憑著直覺即可獲得相關知識，故此向度得分偏

低。

- (4)具體性：此向度平均僅有 0.56，顯示教科書於湯木生原子理論單元未能提供適當的圖像模型，如此將使學生在閱讀教科書時無法透過模型的呈現獲得湯木生原子理論的相關概念。深入分析各版本於此向度之表現，其中 10 個（62.5%）版本未能提供適當圖像模型來表徵原子理論，3 個（18.8%）版本僅提供部分圖像模型，僅有 3 個（18.8%）版本（TS08、TS11 和 TS12）能完整提供實驗的圖像模型與原子模型，整體而言，分析教科書於此向度表現不甚理想。
- (5)概念性：此向度著重於提供清楚的概念性解釋，並且解釋系統如何地運作。即教科書內容能描述湯木生利用陰極射線實驗推翻原子無法分割理論，提出新的理論，或是利用原子結構模型解釋元素性質的周期性及原子鍵結等。研究結果顯示，平均僅為 0.88，僅有 TS04、TS08 和 TS11 等 3 個（18.8%）版本能符合評分標準，換言之，分析教科書於「湯木生原子理論」單元使用模型與概念之間的連結不佳。
- (6)正確性：湯木生發現原子含有更小的帶負電荷粒子，並認為負電荷粒子鑲嵌於固定位置，使用模型也說明原子內含有更小的粒子，且帶有負電荷，兩者能相對應。研究結果顯示，此向度平均僅為 0.88，僅有 TS04、TS08、TS11、TS12 和 TS14 等 5 個版本能符合分析標準，比例偏低（31.3%）。
- (7)審慎性：此向度著重於教科書能完整陳述湯木生原子理論，並且將文字與圖示做適當的結合。研究結果顯示，平均僅為 0.88，僅有 TS08 和 TS11 等 2 個（12.5%）版本能符合評分標準，即是許多版本教科書雖然呈現不同模型，但教科書內容與模型之間的關連性不甚理想，即是無法透過模型將所欲學習的概念做適當的呈現。

綜合上述結果，以 TS11 版本來說明，教科書內容完整敘述湯木生實驗結果，如透過陰極射線管的實驗，說明陰極射線具有粒子的性質，並且受到電場與磁場的影響，藉以說明原子是可分割的概念（符合完整性和概念性）。如下所述：

西元 1879 年湯木生（J. J. Thomson, 1856~1940）由氣體放電管的陰極射線實驗，推測原子中應含有更小的粒子，並進一步仔細觀察電場效應和磁場效應對其偏轉角度的影響，發現：

- 1.陰極射線具有粒子的性質，若無外力存在時，會依直線前進。
- 2.陰極射線會偏向正極板，證明它是帶負電粒子流，被命名為電子。
- 3.在垂直陰極射線的方向放置磁場，射線的行進會發生偏轉。
- 4.利用電場及磁場交相作用，算出陰極射線電荷對質量（e/m）的比值，簡稱荷質比。

$$\frac{e}{m} = -1.76 \times 10^{11} \text{ 庫倫／千克}$$

5..不論陰極板面是由何種金屬組成，也不論施加電壓多大，測得「電荷對質量」值皆為同一數值。(TS11, p. 106)

由上述討論可知 TS11 版本所呈現概念模型除內容詳細外，亦說明陰極射線實驗的功能，實驗亦輔以圖像表徵形式來說明其相關概念，如圖 4-3-17 所示，使學習者憑著直覺即可理解學習的概念（符合簡潔性、融貫性和具體性）。此外，亦利用適當的圖像模型來說明湯木生原子模型，如圖 4-3-18 所示（符合具體性）。依上述內容分析，由於完整地陳述湯木生原子的理論，且將概念模型與圖像模型做適當的結合，故能符合「審慎性」之評定標準。

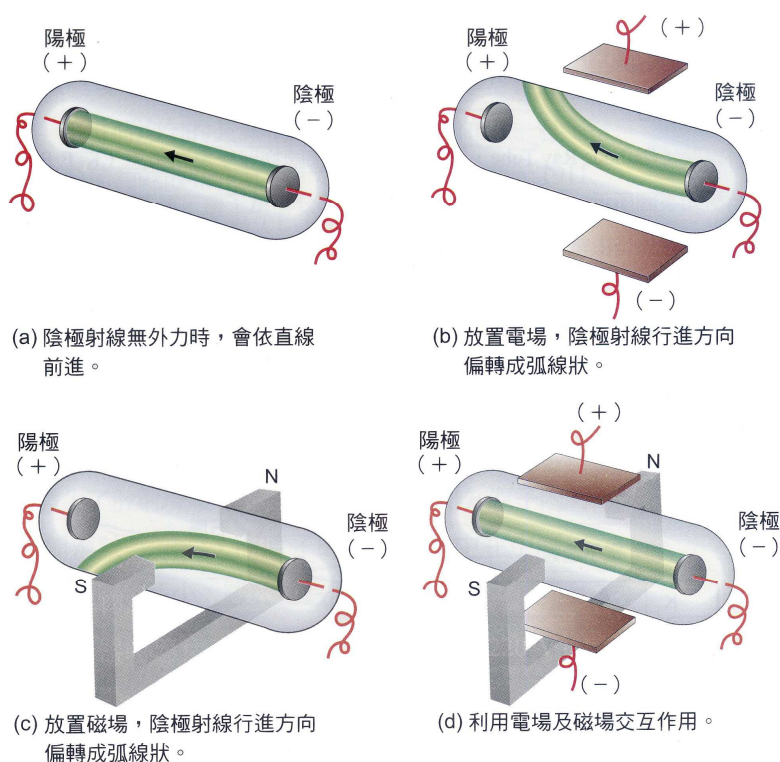


圖 4-3-17. 陰極射線的性質（引自 TS11，頁 107）

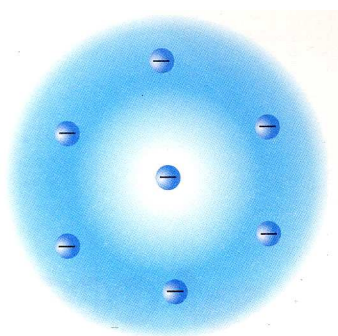


圖 4-3-18. 湯姆森原子模型（引自 TS11，頁 109）

2. 「拉塞福原子理論」—拉塞福 α 粒子散射實驗與有核原子模型之建立

16 個版本教科書於「拉塞福原子理論」單元得分為 9.12，其中以完整性得分最高（1.50），概念性最低（1.06）。而且，僅有 2 個（12.5%）版本（TS08 和 TS09）教科

書能完全符合分析標準，以下針對各向度來加以探討：

- (1)完整性：有 8 個（50.0%）版本在拉塞福「 α 粒子散射實驗」僅著重於實驗結果的呈現，如原子部質量集中於原子核，電子在原子核外運動，但未能呈現實驗結果與湯木生原子模型之差異，結果顯示該向度平均為 1.50。
- (2)簡潔性：此向度強調從 α 粒子散射實驗提出原子核概念，並說明原子核與電子在核外運動的概念。研究結果顯示，10 個（62.5%）版本僅描述原子核概念，未能提及 α 粒子散射實驗，故此向度平均為 1.38。
- (3)融貫性：此向度著重於以圖示或類比描述 α 粒子散射實驗和原子核概念，惟此向度特別之處為 TS10~TS16 版本均未符合分析標準，TS10~TS16 版本為目前高中學生使用之教科書，此向度之平均為 1.31。
- (4)具體性：大部分教科書均能配合模型表徵（圖片）來表徵 α 粒子散射實驗的結果，並說明拉塞福的原子理論模型，但仍有 2 個（12.5%）版本（TS03 和 TS04）教科書完全未有相關的模型表徵，而有 7 個版本教科書僅有其中之一，整體而言，該向度之平均為 1.31，比例偏低。
- (5)概念性：此向度著重於 α 粒子散射實驗結果與拉塞福為何提出原子核的想法做連結，結果有 5 個（31.3%）版本（TS08、TS09、TS12、TS14 和 TS15）教科書除實驗結果呈現外，亦強調實驗結果與相關概念之連結。7 個版本僅提及相關內容，未能做詳細的說明，以 TS06 版本為例，主要陳述實驗結果，概念連結則僅有簡略的說明，如圖 4-3-19 所示，而有 4 個（25.0%）版本（TS07、TS10、TS13 和 TS16）教科書則僅呈現實驗結果，未能將實驗結果解釋與概念做連結，平均僅為 1.06。換言之，教科書於「拉塞福原子理論」單元使用之模型與概念間的連結不佳。如此學生將無法理解為何拉塞福原子理論與湯木生原子理論之間的差異，更無法了解理論具有可改變性。

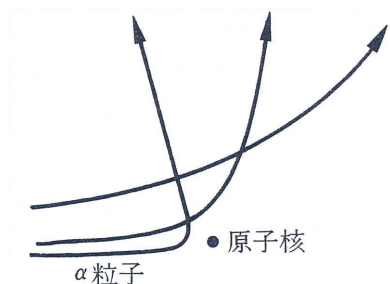


圖 4-3-19. α 粒子散射實驗（引自 TS06，頁 24）

- (6)正確性：拉塞福利用 α 粒子散射實驗提出原子核之想法，說明為何 α 粒子會有大角

度的偏轉，使用模型也說明與解釋上述之觀點。整體而言，有 2 個（12.5%）版本（TS04 和 TS07）完全未提及相關內容，7 個版本能完整解釋與說明 α 粒子會有大角度偏轉主要是 α 粒子接近原子核，因 α 粒子所帶電荷與核電荷相同，所以會造成排斥現象。此向度平均僅為 1.31。

(7)審慎性：分析向度著重於完整陳述拉塞福原子理論（如從 α 粒子散射實驗，提出原子核概念，再描述原子與原子核大小），並且文字與圖示做適當的結合。整體而言，分析 16 個版本教科書，僅有 4 個（25.0%）版本（TS08、TS09、TS12 和 TS14）教科書能符合此向度，平均僅為 1.25，比例偏低。

無法符合良好模型特徵分析標準之教科書中，TS04 版本在全部 16 個版本中得分最低，總分僅有 4 分，因其僅呈現抽象形式之概念模型表徵，故僅部分符合完整性、簡潔性、概念性和審慎性。TS10 版本則僅著重於 α 粒子散射實驗與核原子模型之建立，完全未提及實驗結果說明與解釋（僅以圖示表示，未有任何說明與解釋，如圖 4-3-20 所示），或是利用 α 粒子散射實驗來說明為何會有原子核之想法，故總分僅有 6 分。

核原子模型的建立：1911 年拉塞福（E. R. Rutherford，1871~1937）從 α 粒子（氦原子核，常以 ${}^4_2\text{He}$ 表示）的散射實驗提出核原子的模型。

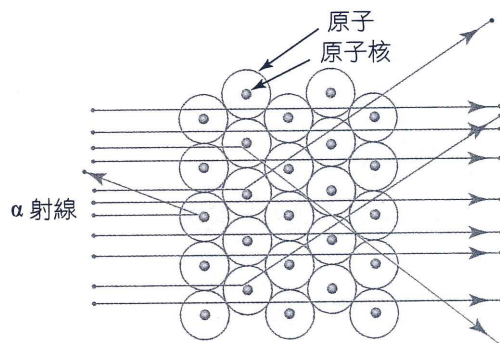


圖 4-3-20. α 粒子的散射實驗與結果（引自 TS10，頁 92）

整體而言，分析 16 個版本教科書於拉塞福原子理論，結果顯示僅有 2 個版本教科書完全符合模型特徵標準，在此以 TS08 版本教科書為例，藉此說明該版本教科書完全符合之理由。TS08 版本在內容上除完整陳述 α 粒子散射實驗的結果（符合完整性），亦透過具體形式的圖像模型來呈現為何無法符合湯木生的原子理論（符合正確性、融貫性和具體性），TS08 版本教科書內容如下所述：

...大部分的 α 粒子通過箔片且方向不變；少部分的 α 粒子產生偏斜，或者甚至以很大的角度反彈折回，如同發生了強烈碰撞，此即 α 粒子的散射。...推知整個原子的質量大部分集中於原子中間，而且原子中間所佔有的體積比例甚小，因此拉塞福提

出他的原子模型：

原子的大部分空間沒有任何東西存在，原子中心應該有一個帶正電的原子核，整個原子的質量大部分集中在這個體積甚小的原子核上。(TS08，頁 6-7)

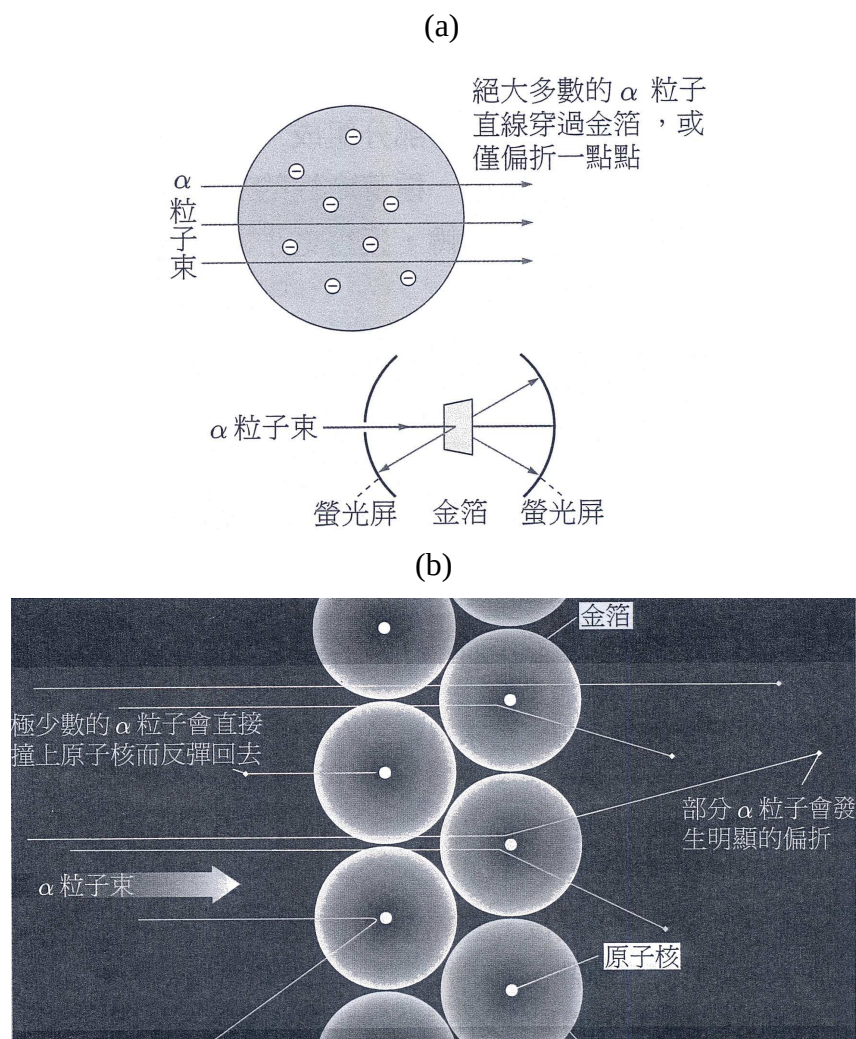


圖 4-3-21. α 粒子散射實驗結果 (引自 TS08，頁 6)

此外，TS08 版本亦輔以類比（核外電子就像行星繞日般地高速旋轉）來加以說明拉塞福有核模型之概念（概念性）。綜合上述，TS08 版本能完整地陳述拉塞福的原子理論，並將概念模型與圖像模型做適當的結合，故能模型特徵標準中的“審慎性”。

3. 「波耳原子理論」—氫原子光譜與軌道模型之建立

全部教科書於「波耳原子理論」單元平均得分為 8.84，其中以完整性得分最高（1.88），具體性（1.13）和概念性（1.13）兩個向度最低，而且沒有版本完全符合評定標準。在此針對各向度來加以說明：

(1)完整性：大部分教科書均能完整敘述波耳氫原子光譜與能階概念，並描述波耳每個假設的功能，整體而言，此向度平均為 1.88，顯示大多數教科書均符合完整性特徵。

- (2)簡潔性：除完整性外，此向度強調教科書能針對下列概念：如電子在各層軌道上有特定能階，電子從高能階躍遷至低能階時會釋放出能量，以及不同能階躍遷造成不同系列光譜等概念做闡釋。研究顯示，此向度平均為 1.69，顯示大部分教科書均能符合分析標準。
- (3)融貫性：該向度著重於良好模型對於學習者來說能夠憑著直覺即獲知，為使學生了解能階的概念（不同能階大小），許多教科書以「樓梯」來類比於「能階」，學生將可透過類比來理解能階的概念。研究結果顯示，此向度平均為 1.25。
- (4)具體性：分析結果顯示，6 個（37.5%）版本（TS03、TS06、TS11~TS14）教科書僅以文字說明波耳氫原子光譜與能階概念，未能呈現具體且容易理解的圖像模型，或是僅呈現能階觀念及其圖像模型，未能針對波耳氫原子模型利用圖像模型來呈現，故評定為部分符合。整體而言，此向度平均為 1.13，為全部 7 個分析向度次低。
- (5)概念性：評定標準著重於說明氫原子內電子如何在不同能階躍遷，解釋不同頻率光譜產生，以及利用能階概念來解決拉塞福原子穩定性問題。換句話說，即教科書若未能將能階與光譜等概念做適當的連結，以及為何波耳要提出能階概念，如此將無法使學生在閱讀教科書過程中，將兩個不同概念作連結，也將無法促進學生概念理解。分析結果顯示，僅有 3 個版本（TS04、TS12 和 TS13）能完全符合評量標準，而有 12 個版本僅描述氫原子會產生不同頻率光譜，未有相關原因的解釋與說明，而 TS15 版本則是完全未提及相關的內容，整體平均數為 1.13，比例偏低。
- (6)正確性：此向度著重於波耳利用能階的觀點來說明氫原子電子在不同能階躍遷如何形成不同光譜系列（來曼、巴耳末和帕申系列），使用模型也能說明不同頻率光譜產生之原因，並且能相互之對應。研究顯示，平均僅為 0.63，顯示大部分教科書雖呈現能階概念，但未能將圖像模型運用於解釋光譜的產生。
- (7)審慎性：此向度著重於教科書能完整地陳述波耳原子理論（如解釋為何拉塞福原子模型之限制、氫原子光譜，提出能階之概念，再描述能階與光譜之間的關係），並將文字與圖示做適當的結合。研究結果顯示，平均僅為 1.13，僅有 TS12 和 TS13 兩個版本教科書完全符合評量標準，即許多教科書僅強調能階或光譜現象，但對於光譜如何與原子理論連結，或是理論、模型和現象之間關係的建立，相對地則較為缺乏。

茲因沒有任何一個版本教科書完全符合模型特徵標準，在此以 TS12 版本教科書為例，TS12 版本在波耳原子模型的內容描述均能完整的闡述波耳氫原子理論假設，

如從氫原子光譜實驗提出能階概念，電子在各層軌道上有特定能階，以及原子全部質量集中於原子核，電子在原子核外特定軌道運動，符合分析標準之「完整性」。如下所述：

1913 年，波耳為了解釋氫原子光譜，提出氫原子理論的模型，其要點如下：

1. 氫原子的電子只能在原子核外特定距離的軌道 (orbit) 作圓周運動，軌道從原子核向外分別以 1、2、3……等正整數表示。 n 值愈大，電子離原子核愈遠，能量愈高。
2. 電子在軌道上運動時具有特定的能量，不同軌道的電子，其能量不同，稱為能階 (energy level)。 $n=1$ 的軌道最接近原子核，其半徑最小，是最低的能階；離開原子核愈遠的軌道，半徑愈大，能量愈高。
3. 電子在 $n=1$ 的能階時，稱為基態 (ground state)。若吸收能量，電子會躍遷至 $n > 1$ 的較高能階，稱作激發態 (excited state)。
4. 激發態的電子不穩定，會從高能階回到低能階，同時釋出兩能階的能量差之能量。電子轉移時以光的形式釋出能量，形成明線光譜。(TS12，頁 117-118)

此外，TS12 版本亦說明每個理論假設的功能，如量子化部分以圖像模型來說明量子化概念（能階概念以樓梯高低來類比於能階）（詳見圖 4-3-22），如此即完全符合「融貫性」之分析標準，而對於波耳原子理論主要為解釋拉塞福原子理論之原子穩定性問題（如圖 4-3-23），以及氫原子的發射光譜，TS12 版本教科書亦輔以適當圖像模型來說明，但因未能提供氫原子模型之圖像模型，故僅部分符合「具體性」。此外，教科書內容亦完整說明如何透過氫原子理論的建立來解釋不同頻率的光譜，以及利用能階概念來解決拉塞福原子穩定性問題，故符合「概念性」之分析標準。最後，TS12 版本教科書除完整地陳述波耳原子理論，且將概念模型與圖像模型做適當的結合，故能符合「審慎性」標準。

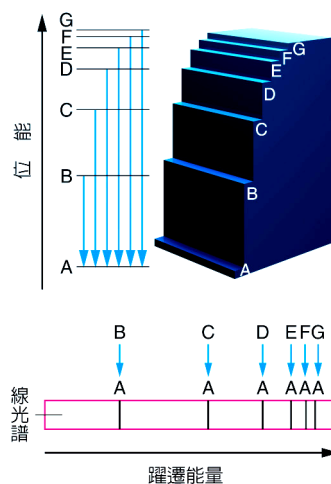
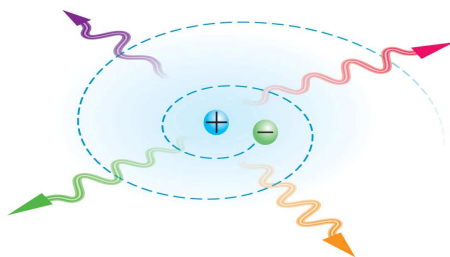


圖 4-3-22. 量子化的線光譜（引自 TS12，頁 111）



依據古典力學理論，電子在軌道上運動，將逐漸輻射出能量，終至掉入原子核內。

圖 4-3-23. 拉塞福原子理論之原子穩定性問題（引自 TS12，頁 116）

4. 量子力學原子理論

全部教科書於「量子力學原子理論」之得分為 11.45，其中以正確性最高，概念性最低，分別為 1.88 和 1.31。整體結果顯示，僅有 2 個（12.5%）版本（TS13 和 TS15）完全符合分析標準，有 5 個（31.3%）版本（TS03、TS08、TS11、TS12 和 TS16 等）僅有 1 個向度未能完全符合，而有 3 個版本有 2 個向度未能完全符合，其他如 TS14 版本僅有 2 個向度（概念性和正確性）符合標準，教科書內容僅陳述波耳原子模型無法適用於多電子原子，電子在核外不同的距離有其出現的機率。底下將針對各向度來說明：

(1) 完整性：此向度之平均僅為 1.69。分析內容包括：電子運行路徑無法正確的描述其軌跡，電子的運動方式只能以機率描述其分布區域，電子雲界面是指電子出現機率占 90% 的區域，界面以外區域中，出現機率很小和以量子數及軌域描述電子之運動情形。以 TS14 版本為例，茲因對於“無法正確描述電子運動的路徑，以及電子雲的界面和電子出現的機率”沒有任何相關內容描述，故無法符合完整性，內容如下所述：

...但對多電子原子（或離子）而言，波耳的模型便無法完全適用。現代科學家認為核外的電子並非像行星繞日般有固定的軌道，而是電子在核外不同的距離有其出現的機率（電子雲）。電子出現的位置，依距離核的遠近，可分為 K、L、M、N... 等殼層；在每一殼層中，另可能有 s、p、d、f... 等軌域（orbital）。（TS14，頁 123）

(2) 簡潔性：針對上述完整性，此向度著重於教科書需針對「軌域」和「電子雲」之意義做詳細說明。研究顯示，平均為 1.56，顯示大多數教科書均能符合簡潔性之特徵。

(3) 融貫性：若以圖示描述電子運動路徑無法預測之概念，並輔以說明量子力學原子理論（軌域），將使學生容易理解教科書所欲描述之概念。研究顯示，平均為 1.63，顯示大多數教科書均能符合融貫性之特徵。

(4) 具體性：由於拉塞福與波耳原子模型（行星軌道模型）較為具體且容易概念化，故

機率概念對於學生學習而言，將會感到非常地困難，若教科書能呈現具體的模型將有助於學生對於量子力學原子理論之學習，故此向度強調教科書須呈現具體且容易理解的圖像，探討教科書是否有利用示意圖（圖像模型）說明量子力學原子模型（電子雲、s 軌域和 p 軌域）。研究顯示，此向度平均為 1.56，顯示大多數教科書均能符合提供適當的圖示來將抽象的量子力學概念視覺化。

(5)概念性：此向度強調利用量子理論原子模型來解釋多電子原子排列方式。結果顯示，平均僅為 1.31，僅有 TS04、TS12、TS13、TS14 和 TS15 等 5 個（31.3%）版本教科書能完全符合，顯示許多教科書雖提出量子力學概念，但未能應用量子力學原子模型去解釋其他的現象，如此將使學生難以透過模型調度來理解量子力學概念，或是將量子力學與電子排列做概念連結。

(6)正確性：由於電子運動具有無法預測性的特徵，故利用軌域來解釋多電子原子的排列方式，並描述各個量子數意義。若教科書使用之模型能附以適當說明與解釋，軌域與電子排列相對應，則符合分析標準。研究顯示，此向度平均為 1.88，顯示大多數教科書均能符合正確性之特徵。

(7)審慎性：分析重點在於教科書是否能完整陳述量子力學原子理論（如從波耳原子模型之限制，提出電子運動軌跡無法預測之概念，以及描述如何利用軌域來描述電子運動），並且將文字與圖像模型做適當的結合，換言之，即是透過模型將量子力學原子理論與電子的運動和排列做連結。研究顯示，此向度平均為 1.75。

綜合上述分析結果，以 TS15 版本為例，教科書內容完整敘述電子運動情形，如電子運動方式只能以機率描述其分布的區域，以及電子軌域是指電子出現機率 90%所涵蓋的範圍，此外，對於軌域描述亦有詳盡說明，如此符合完整性和簡潔性兩個向度。

此外，TS15 版本亦輔以適當圖像模型來說明相關概念，如軌域概念採取電子雲方式來表徵外，亦以示意圖來表徵，如圖 4-3-24 和圖 4-3-25 所示，符合融貫性和具體性之向度，此外，亦透過量子力學與軌域理論之建立來解釋多電子的排列方式（概念性）。整體而言，TS15 版本完整地陳述量子力學原子模型，且將概念模型與圖像模型做適當的結合，故能符合審慎性。

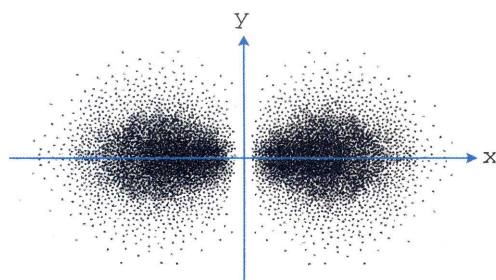


圖 4-3-24. 電子在 p_x 軌域的空間分布圖 (TS15, 頁 129)

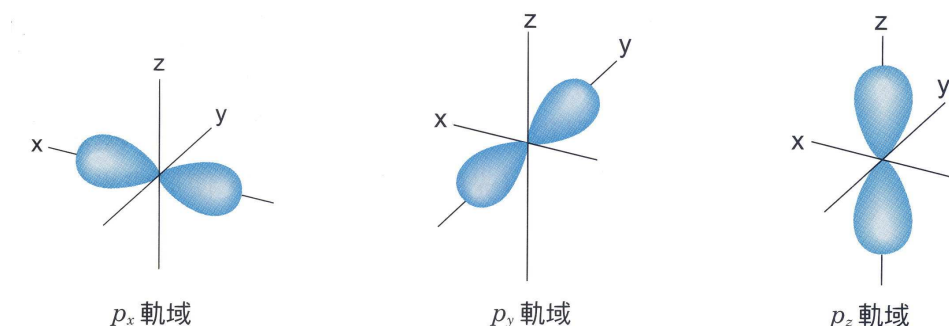


圖 4-3-25. p 軌域的形狀 (TS15, 頁 129)

5.依課程綱要分析

若依課程綱要對於原子理論所使用之模型進行特徵分析，本研究依高級中學課程標準暨綱要修訂歷程，將 16 個版本教科書分成 TS01~TS06, TS07~TS10 和 TS11~TS16 等三個階段，第一階段 (A1) TS01~TS06 等 6 個版本教科書為依據民國 84 年以前之高級中學化學課程標準暨綱要所編寫之教科書，第二階段 (A2) TS07~TS10 等 4 個版本為依據民國 84 年《高級中學化學課程標準》所編寫之教科書，第三階段 (A3) TS11~TS16 等 6 個版本則依據民國 95 年《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》和《普通高級中學必修科目「化學」課程綱要》所編寫之教科書，即是現行普遍使用之高中化學課程教科書。依此，本研究將依課程綱要將各版本於原子理論之模型特徵重新進行計算，結果如表 4-3-6 所示。

表 4-3-6. 高中教科書依課程綱要於「原子理論」單元之模型特徵分析

階段	湯木生原子理論							拉塞福原子理論							波耳原子理論							量子力學原子理論							總分
	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	完 整 性	簡 潔 性	融 貫 性	具 體 性	概 念 性	正 確 性	審 慎 性	
A1	1.83	1	1	0.17	1.17	1.17	1	1.67	1.33	1.5	0.83	1	0.83	1	2	1.5	0.83	0.83	1.17	1.17	1	1.5	1.17	1.5	1.6	1.17	1.83	1.83	
總分				7.33							8.17							8.5						10.67					34.67
A2	1	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	0.75	1.25	1.25	1.5	1.5	1	1.25	1.5	1.75	1.75	1.75	1.5	1	2	1	1.75	1.75	1.5	1.5	1	1.75	1.5	
總分				4.5							9.25							10.75						10.8					35.25
A3	1.17	0.83	0.83	0.83	0.83	1.17	0.83	1.33	1.33	1	1.67	1.17	1.83	1.33	1.83	1.83	1.33	1.17	1.17	1.83	1.33	1.83	1.83	1.83	1.67	1.67	2	1.83	
總分				6.5							9.67							10.5						12.7					39.33

註：S：2 分；M：1 分；N：0 分

從表 4-3-6 所示，第三階段（A3）（TS11~TS16）教科書對於原子理論之模型特徵部分優於第一階段（A1）（TS01~TS06）和第二階段（A2）（TS07~TS10）之教科書（總分：39.33>34.67>35.25），顯示現今教科書於原子理論單元使用之模型較符合 Mayer（1989）之良好模型特徵。若依單元來做區分，各階段於不同單元比較結果如下：湯木生原子模型（A1>A3>A2）、拉塞福原子模型（A3>A2>A1）、波耳原子模型（A2>A3>A1）和量子力學原子模型（A3>A2>A1）。

6.小結

模型是教學過程中主要教學與學習工具，教科書若能提供學生適當且良好模型，除可讓學生更容易透過模型了解教科書所欲傳達的概念外，亦可提供學生機會去理解科學家是如何透過模型建構理論，如何作科學和建立模型的歷程，更可以影響學生科學本質觀。本研究分析高中化學教科書於「原子理論」單元所使用模型是否符合良好模型特徵，分析結果顯示，不同版本教科書完全符合訂定標準之比例，分別是：湯木生原子理論（6.25%）、拉塞福原子理論（12.50%）、波耳原子理論（0.00%）和量子力學原子理論（12.50%）。此外，模型特徵部分，「完整性」向度（103 分，95.4%）得分最高，顯示教科書於「原子理論」所使用模型著重於各個物件部分之呈現，但概念性解釋與模型與概念之間的連結，以及呈現適當圖像模型則較為缺乏，故「概念性」與「具體性」兩個向度之得分偏低，分別為 70 分（64.8%）和 74 分（68.5%）。換言之，大部分教科書使用之模型未完全具備良好模型特徵，顯示我國高中化學教科書於「原子理論」單元所使用模型之缺失與問題。雖然從 2010 年《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》開始強調模型融入課程中（教育部，2010），但現行新課程之教科書是否能符合課程標準仍需未來研究探討議題之一。

從科學史與科學哲學觀點來看模型在歷史上所扮演的角色，我們即可理解為何模型是不容被忽視的（Justi & Gilbert, 2000；邱美虹和劉俊庚，2008）。科學學習目標之一即是希望學生能了解科學理論和概念與現象之間的關係，而模型即是扮演連結此兩者最關鍵之角色，教科書如何設計良好模型將此兩者之間的關係做適當連結，將是教科書撰寫者未來的挑戰。因為教科書撰寫者若不重視或未具有模型本質的認識與理解，以及科學模型在科學學習中所扮演的角色，如何期待我國化學教科書會採用更多或良好的模型來呈現科學概念，更遑論培養學生對於科學概念的認識與理解。我們認為透過模型認識科學概念是必要的，而模型使用也是未來教學的新取向與策略之一。根據本研究分析結果顯示，目前教科書對以模型來提升教學的成效，促進學生的學習，仍有可改進的空間。教學上教師更應充分利用模型表徵來引導學生思考，以了解

科學模型發展與概念學習密不可分之關係。教科書所提供的模型是否能符合 Mayer（1989）之良好模型特徵，對於教科書撰寫者而言，確是一項極大的挑戰。在此彙整各個單元符合分析向度之教科書版本與其闡述之內容（詳見表 4-3-7），藉以提供教科書撰寫者或教師教學時之參酌。

表 4-3-7. 分析高中教科書於「原子理論」單元完全符合良好模型特徵版本之內容說明

特徵	範例說明			
	湯木生原子理論 (TS11)	拉塞福原子理論 (TS08)	波耳原子理論 (TS12)	量子力學原子理論 (TS15)
完整性 (Complete)	- 陰極射線具有粒子的性質，若無外力存在時，會依直線前進。 - 陰極射線會偏向正極板，證明它是帶負電粒子流，被命名為電子。 - 在垂直陰極射線的方向放置磁場，射線的行進會發生偏轉。 - 計算陰極射線電荷對質量（e/m）比值，簡稱荷質比。 - 不論陰極板面是由何種金屬組成，也不論施加電壓多大，測得「電荷對質量」值皆為同一數值。	- 原子大部分空間沒有任何東西存在，中心應該有一個帶正電原子核，整個原子質量大部分集中在這個體積甚小的原子核。 - 核外空間散布著質量極輕的電子。 - 原子核總正電荷數與核外電子總負電荷數相等。	- 氫原子的電子只能在原子核外特定距離的軌道作圓周運動。 - 電子在軌道上運動時具有特定能量，不同軌道電子，其能量不同，稱為能階。 - 電子從高能階回到低能階，釋出兩能階之能量差，並以光的形式釋出能量。 - 利用量子化假設，將芮得柏方程式與 $E=h\nu$ 合併，得到氫原子的能階： $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ (焦耳 / 個)}}{n^2}$ - 氫原子光譜中各系列譜線名稱是由發現者名字來命名，如巴耳末系列、來曼系列和帕申系列。	- 原子核外的電子並不像行星繞太陽一樣有固定的軌道。 - 無法預測電子的運動軌跡。 - 由原子核往外延伸，電子總出現機率 90% 所涵蓋的空間範圍，稱為電子的軌域。
簡潔 (Concise)	強調電子荷質比（e/m）以及原子為一個本身帶正電荷球體，正電荷均勻充滿整個原子。	強調 α 粒子散射實驗，以及原子模型（有核原子模型）。	強調能階（電子在各層軌道上有特定的能階）和能階改變（電子從高能階躍遷至低能階時會釋放出能量，以及不同能階躍遷造成不同系列光譜）等概念。	強調軌域（電子出現機率 90% 所涵蓋的空間範圍）和電子雲之意義（如點狀愈濃密處表示電子在該處出現的機率愈大）。
融貫性 (Coherent)	利用類比來描述原子結構（原子就像布丁一樣，負電荷就像葡萄乾散布在其中）。	利用類比來描述原子的結構（核外電子就像行星繞日般地高速旋轉）。	利用類比來描述原子結構（原子類比為太陽系，提出行星式模型）。	以圖示描述電子運動路徑無法預測之概念，並輔以說明量子力學之原子理論（軌域）。

具體性 (Concrete)	利用圖像模型來說明湯木生原子模型，如圖 5 所示。	利用圖像模型來說明α粒子散射實驗與拉塞福原子模型，如圖 8。	利用圖像模型來說明能階概念、不同系列光譜，以及拉塞福原子模型之缺陷，如圖 9~11，但未能提出氫原子模型。	軌域概念以電子雲和示意圖等方式來表徵，如圖 11 和圖 12 所示。
概念性 (Conceptual)	描述湯木生利用陰極射線實驗推翻原子無法分割的理論，將湯木生原子理論與道耳吞原子說做連結。	- 將 α 粒子散射實驗結果與拉塞福為何提出原子核的想法做連結。 - 利用圖示方式來表示實驗結果為何無法符合湯木生原子理論。	- 利用氫原子電子在不同能階之轉移解釋不同頻率光譜之產生。 - 利用能階概念來解決拉塞福原子穩定性問題。	利用量子理論原子模型來解釋多電子原子的排列方式，如硫的電子組態為$[\text{Ne}]3s^2sp^4$。
正確性 (Correct)	湯木生發現原子含有更小的帶負電荷粒子，並認為負電荷粒子鑲嵌於固定位置，使用模型也說明原子內含有更小的粒子，且帶有負電荷，兩者相呼應。	- 利用α粒子散射實驗提出原子核之想法，說明α粒子會有大角度的偏轉。 - 使用模型也說明與解釋上述觀點。	利用能階與電子在不同能階之躍遷，說明氫原子的電子在不同能階的轉移如何形成不同光譜系列（來曼、巴耳末和帕申系列），並使用圖像模型也能說明不同頻率光譜產生之原因，且相互對應。	電子運動無法預測，故利用軌域來解釋多電子原子的排列方式，並描述各個量子數意義，如軌域的分類、形狀和方位等。
審慎的 (Considerate)	完整地陳述湯木生原子模型，且將概念與圖像模型做適當的結合。	完整地陳述拉塞福原子模型，且將概念與圖像模型做適當的結合。	完整地陳述波耳氫原子模型，且將概念與圖像模型做適當的結合。	完整地陳述量子力學原子模型，且將概念與圖像模型做適當的結合。

（六）高中教科書於「原子理論」單元之類比使用

為了解不同版本高中教科書於「原子理論」概念之類比使用情形，本研究從「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元來探討不同版本教科書之類比使用情形，並且探討其類比物與目標物之間的對應關係，藉以分析不同版本教科書類比使用之差異。

1.湯木生原子理論

分析不同版本教科書於「湯木生原子理論」單元所使用之類比，研究結果顯示教科書對於原子內所含的電子所使用之類比物主要有葡萄乾（梅子）和西瓜子（TS02、TS06 和 TS14）兩種類型。在葡萄乾（梅子）類比部分，總計僅有 5 個版本教科書（TS05、TS08、TS09、TS11 和 TS14）將葡萄乾類比於電子，惟原子部分則略有差異，如 TS09 和 TS11 版本教科書將原子理論類比為“葡萄乾布丁”，而 TS08 版本教科書則將湯木生的原子結構類比為“葡萄乾鑲嵌於麵包”，並輔以圖像模型來予以表徵，讓學生閱讀教科書時能理解類比物與目標物之間的對應關係，如下所述：

湯木生發現電子後，重新建構新的原子構造，他認為原子中可能有一個帶正電荷的球體，以及帶負電荷的電子，就好像是葡萄乾鑲嵌在麵包上。（TS08（物質科學化學篇上冊），頁 5）

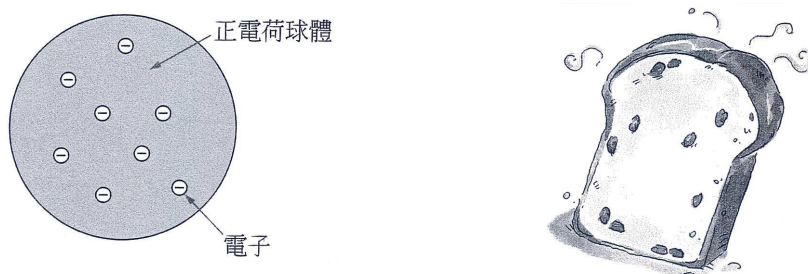


圖 4-3-26. 湯木生的原子模型及其類比物（引自 TS08，頁 5）

西瓜類比部分，研究顯示有 3 個版本（TS02、TS06 和 TS14）將西瓜中的瓜子類比於電子，以 TS02 版本內容為例：

...假定正電荷布滿於原子的整體，像一帶正電荷的圓球，而電子藏於其中，猶如西瓜中的瓜子一樣。（TS02，頁 116）

教科書於「湯木生原子理論」單元所使用之類比，除數量上較為缺乏外，對於使用之類比物亦僅著重於葡萄乾和西瓜子。此外，類比物與目標物之間的對應關係部分，僅有 TS08 版本能針對兩者之關係以圖像模型來予以表徵。整體而言，分析教科書於「湯木生原子理論」單元類比之使用不甚理想。

2.拉塞福原子理論

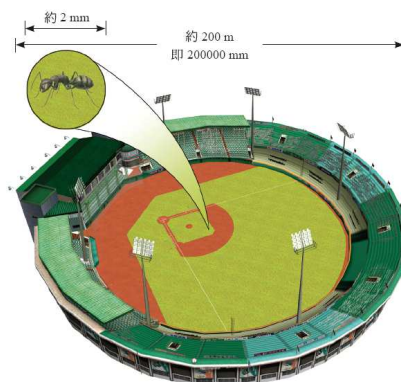
拉塞福原子理論部分，本研究分別從「 α 粒子散射實驗」、「原子結構模型」和「原子與原子核大小比較」等三個部分來討論不同版本教科書類比使用之情形。「 α 粒子散射實驗」部分，僅有相當低比例的教科書使用類比，計有 3 個版本（TS02、TS05 和 TS12）使用類比來描述 α 粒子穿越金屬箔片的情形，深入分析上述三個版本教科書針對 α 粒子所使用之類比，TS02 版本教科書使用“高能的來福槍”，TS05 版本使用“高速行駛卡車”，TS12 版本則使用“子彈穿越空氣”，而為說明「湯木生原子理論」為何不符合 α 粒子散射實驗之結果，均將子彈或高速行駛的車子類比於 α 粒子，而子彈或車子的運動則對應於 α 粒子的運動，換言之，上述教科書均能針對類比物與目標物之間的對應關係做適當之說明與探討。如 TS02 版本所述：

…此初步觀察，與湯姆生的原子模型並無矛盾，因想像 α 質點如高能的來福槍彈，當可直線通過西瓜堆成之牆而不被偏折。…今有少數 α 質點發生如此大角度的偏轉，實因重而快速的 α 質點可掠過輕的電子而不偏轉，但在接近帶正電的原子核時，拒斥力變力，使 α 質點有相當大的偏轉，…。這正如鋼錠可偏轉或反彈來福槍一樣。
(TS02，頁 117)

「原子結構模型」部分，總計有 7 個版本教科書（TS02、TS04、TS08、TS09、TS11、TS13 和 TS14）利用類比來描述拉塞福的原子結構，惟全部均以“行星模型”或“太陽系”來類比拉塞福所提出之原子結構，未有其他類比物之使用，如 TS13 版本即使用太陽系來類比於原子模型，並將電子類比於太陽系之行星，如下所述：

英國物理學家拉塞福（E. Rutherford, 1871~1937）利用 α 粒子的散射實驗結果，提出了原子核的概念。他認為原子模型略似太陽系，原子中的正電荷和大部分質量聚集在一極小空間，稱為原子核，而電子則如行星般繞原子核作圓周運動。（TS13，頁 106）

「原子與原子核大小比較」部分，僅有相當低比例的教科書針對此概念使用類比，計有 2 個版本（TS12 和 TS14）使用類比來說明原子與原子核之大小比較，如 TS12 版本將足球場比喻為原子的大小，而原子核則是在球場中的彈珠。類似地，TS14 版本將原子大小類比為棒球場，原子核則是球場中心的螞蟻，上述教科書均能針對類比物與目標物之間的對應關係做適當之說明與探討，底下為 TS14 版本針對原子與原子核之類比，以及針對此概念使用之示意圖。



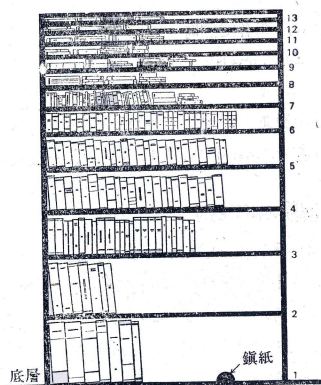
原子和原子核比例示意圖。如果氫原子的大小像棒球場，則原子核的大小就如同一隻螞蟥一般

圖 4-3-27. 原子和原子核比例示意圖（引自 TS14，頁 113）

3.波耳原子理論

波耳的原子理論部分，本研究分別從「氫原子能階」和「氫原子結構」等兩個部分來討論不同版本教科書使用之類比。氫原子能階方面，雖然能階概念對於學生學習氫原子光譜屬於非常重要的概念，但僅有 3 個版本教科書於「波耳原子理論」單元使用類比來說明能階概念，如 TS10 和 TS14 使用“樓梯與斜坡”來類比於能階的連續或不連續性概念。最為特殊的類比為 TS02 版本使用“書架中之鎮紙”之類比物，並能針對類比物與目標物之間的對應關係做適當之說明與探討，如鎮紙對應於氫原子中之電子；書架對應於能階，鎮紙於不同書架高度的位能變化猶如氫原子之電子能階的變化，如下所述：

一書架如圖 6-9 所示，底層放一鎮紙。…設將鎮紙移置第二層，則必須對其作功，以反抗地心吸引力；反之，鎮紙從第二層移置底層時，則有能量釋出。…書架中的鎮紙就如氫原子中的電子，可具不同能量而安定；亦即氫原子可具有各種不同能量的定態。（TS02，頁 137）



書架中的鎮紙，僅能放置於底層上，不能放置於架層空間。

圖 4-3-28. 書架中之鎮紙類比於電子能階（TS02，頁 138）

氫原子結構部分，分析結果顯示，僅有 3 個版本教科書使用類比（TS01、TS05 和 TS12），均將太陽系類比為原子模型，並未有其他之類比物。

教科書於「波耳原子理論」單元所使用之類比，結果顯示，教科書使用類比之數量非常缺乏，對於「氫原子結構」部分使用之類比物亦僅著重於太陽系。此外，類比物與目標物之間的對應關係部分，僅於氫原子能階方面之 TS02、TS10 和 TS14 等三個版本能針對兩者關係加以探討。整體而言，分析教科書於「波耳原子理論」單元類比之使用不甚理想。

4. 量子力學原子理論

量子力學原子理論主要針對教科書於描述原子軌域所使用之類比物，研究結果顯示，總計有 6 個版本教科書（TS01、TS02、TS08、TS10、TS11 和 TS12）於描述原子軌域時使用類比來說明其相關概念，並且全部以“電子雲”做為類比物，藉以描述無法預測電子的運動情形，或是以機率來描述電子出現的情形。如 TS12 版本所述：

電子的運動方式不可能像宏觀運動體那樣有跡可循，只能以機率（probability）描述其分布的區域，科學家稱之為電子雲（electron cloud）；電子雲的界面是指電子出現的機率占 90% 的區域，在界面以外的區域中，電子出現的機率很小，總共僅占 10%。電子在原子核外出現的區域稱為軌域（orbital）。...是氫原子電子的 1s 軌域的電子雲輪廓圖。（TS12，頁 121）

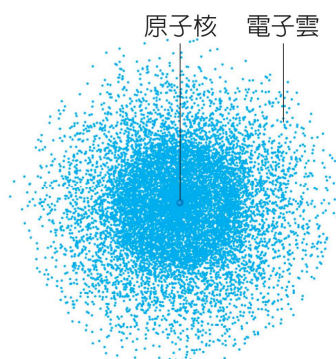


圖 4-3-29. 氫原子的 1s 軌域電子雲輪廓圖（引自 TS12，頁 121）

5. 小結

綜合上述，高中教科書於「原子理論」單元使用類比之情形詳如表 4-3-8 所示。深入分析各版本教科書於不同原子理論單元使用之類比，儘管類比應用在教學時，均都認為類比可協助學生把抽象或看不見的現象具體化，但研究結果卻顯示不同版本於相同原子理論單元使用之類比物數量偏低，且使用之類比物幾乎相同，如教科書於描述「湯木生原子理論」主要類比物分別是“葡萄乾”或“西瓜”，「拉塞福原子理論」之類比物主要為“太陽系”或“行星繞日”。類比思維能協助人們突破不同領域之間的束

縛，並且自由地從一個知識領域過渡到另一個知識領域，激發其創造力，但本研究卻顯示，教科書使用之類比物僅侷限於相同之類比，如此將無法激發學生創造力，教師之教學亦將受到限制。換言之，教學的意涵上，教師所採用的類比能夠對應學生實際的經驗，學生便可以產生一種自發的學習興趣，並且激發學生的創造力。

若是比較國中與高中化學教科書於類比之使用，對於「湯木生原子理論」單元所使用之類比，不論是國中或高中教科書皆不約而同地使用「葡萄乾」來類比原子中的電子，拉塞福原子理論部分，國中與高中教科書亦使用相同的類比，即使用「太陽系行星模型」來類比原子結構或電子運動情形，此外，研究亦發現，雖然許多教科書均使用類比來描述不同原子理論，惟類比之對應關係，或是類比之限制，不論是國中或高中教科書均相當地缺乏。

綜合上述研究結果，教科書在類比物的選取上有極大的侷限性，Thagard (1992) 認為可以從實用性 (pragmatic)、語意 (semantic) 和結構限制 (structural constraints) 三個方面來理解。在此類比之間的語意和結構的相似性，是需要更為清楚的描述，而來提供所要的解釋，若是在類比解釋有不好的類比特徵，則是需要藉由指出類比失效的地方，並且予以克服，或是利用多重類比，利用不同的特徵來比較目標物與類比物之間的差異。

Harrison 和 Treagust (1996) 認為若是沒有類比模式，則化學教學將會縮減到僅是巨觀性質的描述而已，類比模式是化學瞭解過程裡的一種固有的本質。因此教師在教學上宜鼓勵學生產生自發性類比，並透過不斷地討論。從建構主義的觀點，有意義的學習是基於學習者在建立新舊概念之間的連接，當類比物能夠完全地被理解與有效率地使用，則所建立起來的關係將有助於學生的學習。類比在教學上的限制是需要注意的 (Webb, 1985)，因為有些類比可能會使學生產生迷思概念。所以，在教學的意涵上，假如教師未能花費相當長的時間在解釋類比，則類比將可能會失效。

表 4-3-8. 高中教科書於「原子理論」單元類比使用彙整

	湯木生 (原子模型)	拉塞福 (α 粒子散射)、(原子模型)、(原子與原子核)	波耳 (原子模型) (氫原子能階)	量子力學 (原子軌域)
TS01	No	No	行星繞太陽	電子雲
TS02	西瓜 西瓜 $\Rightarrow$ 原子 瓜子 $\Rightarrow$ 電子	鋼錠可偏轉或反彈來福槍彈 太陽系的行星繞太陽運動	書架中的鎖紙 鎖紙 $\Rightarrow$ 氫原子電子 位能 $\Rightarrow$ 能階	電子雲 雲狀 $\Rightarrow$ 電子出現
TS03	葡萄乾嵌在蛋糕表面	鎗彈穿過木板	No	No
TS04	No	太陽系 太陽 $\Rightarrow$ 核 諸行星 $\Rightarrow$ 電子	No	No
TS05	葡萄乾蛋糕 葡萄乾 $\Rightarrow$ 電子	高速行駛卡車 卡車 $\Rightarrow \alpha$ 粒子 小石子 $\Rightarrow$ 電子	書架上的書 書 $\Rightarrow$ 電子 書架 $\Rightarrow$ 能階 太陽系	No
TS06	—	原子模型略似太陽系	No	No
TS07	—	No	No	No
TS08	葡萄乾鑲嵌在麵包上 葡萄乾 $\Rightarrow$ 電子	行星繞日 行星 $\Rightarrow$ 電子 太陽 $\Rightarrow$ 核	No	電子的軌跡外觀有如雲霧狀
TS09	梅子布丁模型 梅子 $\Rightarrow$ 電子 布丁 $\Rightarrow$ 原子	原子模型略似太陽系 行星 $\Rightarrow$ 電子 太陽 $\Rightarrow$ 核	No	No
TS10	—	No	能階量子化 階梯 $\Rightarrow$ 量子化 斜坡 $\Rightarrow$ 連續	雲狀分布(電子雲)
TS11	葡萄乾布丁模型 葡萄乾 $\Rightarrow$ 電子 布丁 $\Rightarrow$ 原子	行星原子模型	No	電子雲
TS12	No	子彈越過空氣，塵埃不影響其運動軌道 足球場比喻原子的大小 足球場 $\Rightarrow$ 原子大小 小彈珠 $\Rightarrow$ 原子核	原子類比為太陽系，提出行星式模型	電子雲
TS13	No	原子模型略似太陽系 行星 $\Rightarrow$ 電子 太陽 $\Rightarrow$ 核	No	No
TS14	葡萄乾布丁模型 西瓜模型 西瓜子 $\Rightarrow$ 電子 西瓜 $\Rightarrow$ 原子	行星繞日 行星 $\Rightarrow$ 電子 太陽 $\Rightarrow$ 核 棒球場比喻原子的大小 棒球場 $\Rightarrow$ 原子大小 小螞蟻 $\Rightarrow$ 原子核	電子能階的不連續性 階梯 $\Rightarrow$ 量子化 斜坡 $\Rightarrow$ 連續	No
TS15	—	No	No	No
TS16	—	No	No	No

註：「—」表示該版本教科書未提及相關內容。

二、高中化學教科書於「原子理論」單元內容分析

爲了解不同版本高中教科書於原子理論單元之內容，本研究依據表 3-2-6 教科書於原子理論內容分析評量標準，分析 16 個版本高中化學教科書於「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元不同原子理論之間的競爭，以及不同原子理論之概念性解釋。結果詳如表 4-3-9 所示，16 個版本教科書於 4 個單元之內容分析得分偏低，平均僅有 11.44 分（總分 20 分），顯示高中化學教科書於原子理論內容描述不甚理想，即是忽略不同原子理論之間的競爭與概念性解釋。以下就各單元之內容加以深入分析與探討。

表 4-3-9. 高中教科書於「原子理論」單元內容重建分析

評量標準	湯木生原子理論		拉塞福原子理論			波耳原子理論			量子力學原子理論		總分
版本	T1	T2	R1	R2	R3	B1	B2	B3	Q1	Q2	
TS01	S	M	M	S	M	N	M	S	M	S	13
TS02	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	18
TS03	M	N	S	M	M	S	M	N	S	S	12
TS04	S	S	S	M	M	S	N	S	S	S	16
TS05	S	N	S	S	S	S	N	M	S	S	15
TS06	S	S	N	N	M	S	N	M	S	S	12
TS07	S	N	N	N	M	S	M	N	M	M	8
TS08	S	S	N	N	S	M	M	M	S	S	13
TS09	N	M	M	S	S	S	M	S	S	S	15
TS10	N	N	N	N	N	N	N	N	M	M	2
TS11	S	M	M	N	M	S	M	N	S	S	12
TS12	M	N	N	N	S	S	S	S	S	S	13
TS13	N	N	N	N	M	S	M	S	S	S	10
TS14	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	5
TS15	S	M	M	N	S	S	N	N	M	S	11
TS16	M	N	N	N	M	N	N	N	S	S	6
平均	1.38	0.75	0.81	0.63	1.31	1.44	0.63	0.94	1.69	1.75	11.31

註： S：2 分；M：1 分；N：0 分

（一）原子理論內容分析

從表 4-3-9 顯示，16 個版本教科書於原子理論之內容分析，總分最高爲 TS02 版本（20 分），最低則爲 TS10 版本（2 分），顯示不同版本之間有極大的差異，如 TS07、TS10、TS14 和 TS16 等 4 個版本教科書得分皆低於 10 分，顯示教科書僅著重於實驗內容的描述，不同理論之間的競爭與差異則較少予以探討。以下將從各個單元內容做深入之分析。

1. 湯木生陰極射線實驗與原子結構

T1 評量向度主要是探討湯木生研究氣體在真空放電管中所產生的陰極射線，以

及湯木生原子理論與道耳吞原子說之間的競爭與限制。研究結果顯示，總計有 9 個（56.3%）版本教科書均能詳細說明湯木生研究陰極射線的結果，如發現帶負電粒子，求得其荷質比（ e/m ），並能具體陳述關於湯木生原子結構與道耳吞原子說之間的差異。此外，有 4 個（25.0%）版本（TS03、TS12、TS14 和 TS16）僅簡略地說明陰極射線實驗的結果，平均數為 1.38 分。在此以 TS15 版本為例，藉以說明符合評量標準之理由。

湯姆森（J. J. Thomson，1856～1940，英國）稱這種能高速飛行、帶負電的粒子為電子，並進一步發現它在磁場或電場中具有下列性質：

1.電子束在電場或磁場的偏轉角度隨電場或磁場強度的增加而變大。

2.電子偏轉的角度和其質量（ m ）及所帶的電量（ e ）有關。因為質量愈輕，物質愈易偏轉；帶電量愈多的物質，和電場或磁場的交互作用力愈大，也愈易偏轉。（TS15：117）

…由陰極射線的實驗中發現電中性的原子既然能分離出帶負電荷的電子，那麼在原子中顯然另有帶正電荷的粒子。它們所占的體積有多大？（TS15，頁 119）

而湯木生發現電子的主要關鍵在於陰極射線受到電場或磁場的影響，即說明陰極射線帶負電荷，並且不論陰極板是由何種金屬組成，測得的荷質比（ e/m ）均為同一數值說明不論何種物質，均會含有一種相同的粒子，即是評量向度 T2，荷質比決定陰極射線是否為離子或一般帶電的粒子。全部 16 個版本教科書於 T2 評量向度之平均數偏低，僅有 0.75 分，深入分析 16 個版本高中教科書，對此關鍵之敘述，僅有 4 個（25.0%）版本教科書（TS02、TS04、TS06 和 TS08）能完整陳述此實驗結果，而有 4 個（25.0%）版本僅部分符合，其中 TS11 和 TS15 兩個版本教科書採取利用問題的形式提及此實驗之關鍵，茲因上述教科書未能詳述其結果，故評定為部分符合，以 TS15 版本為例：

陰極射線的實驗中，不管陰極使用何種金屬，均能得到相同的荷質比（ e/m ）。你認為此一事實代表什麼意義？（TS15，頁 106）

TS04 版本則採取直接的敘述方式來說明湯木生從陰極射線之相同荷質比發現的新粒子，並且說明電子為組成原子的基本粒子，故完全符合 T2 之評量標準，如下所述：

湯木生認為陰極射線中的粒子的質量遠較任何已知元素的質量為小，且由於它們的產生與物質的種類無關，所以它極可能是組成一切原子的基本粒子（elementary particle）之一，也可能就是史東奈認為存在的電子。（TS04，頁 98）

2.拉塞福 α 粒子散射實驗與原子模型

湯木生發現電子提出新的原子模型到拉塞福 α 粒子散射實驗，從表 4-3-7 的結果顯示，評量標準 R1 僅有 4 個（25.0%）版本教科書（TS02~TS05）能完整敘述湯木生所假設原子理論與拉塞福原子理論的競爭，5 個（31.3%）版本則僅簡略地描述，而有 7 個（43.8%）版本則完全未提及此競爭之架構，平均數僅有 0.81 分，如此說明教科書對於湯木生原子理論與拉塞福原子理論兩者之間關係建立非常地缺乏，底下以 TS03 版本為例：

拉塞福初步實驗，似乎所有 α 粒子皆透過金屬箔而撞到螢光幕未受阻礙，看來與湯姆遜模型符合。因為原子若屬均勻，則 α 粒子穿過，可能被阻，可能因 α 粒子動能甚大而穿過，正如鎗彈穿過木板一樣。總之， α 粒子的遭遇如相同，則可表示湯姆遜原子模型無誤。

當再重覆實驗並移動螢光幕時，拉塞福才發見亦同時有極少數的 α 粒子，似遇到強烈碰撞而折回。折回角度竟有大至 180° 者，但確有超過 99.9% 的 α 粒子逕入逕出似經空間。（TS03，頁 79）

對於高中課程而言，拉塞福「 α 粒子散射實驗」屬於相當重要的概念，猶如前述全部 16 個版本教科書均提及拉塞福的 α 粒子散射實驗，惟對於為何湯木生原子模型與 α 粒子散射實驗結果不符合，卻顯少有教科書會提及 α 粒子散射實驗對於不同原子模型會有何差異產生。

評量向度 R2 之評量重點為以湯木生原子模型進行 α 粒子散射實驗結果的概念性解釋，因湯木生原子模型為電子均勻分布，故 α 粒子會受到均勻的斥力，雖然會產生路徑的改變，但不會產生大角度的偏轉。分析教科書內容顯示，僅有 4 個（25.0%）版本教科書（TS01、TS02、TS05 和 TS09）能完整敘述相關的內容，有 2 個（12.5%）版本（TS03 和 TS04）僅提及相關內容，卻未能詳加說明，而有高達 10 個（62.5%）版本教科書則完全未有相關內容之敘述，此評量向度之平均數更是僅有 0.61 分，很明顯地，大部分教科書均忽略此部分之內容，如此將使學生在閱讀教科書時無法理解為何拉塞福會因 α 粒子散射實驗的結果而提出有核的原子模型。以下為 TS02 和 TS05 等 2 個版本教科書對於湯木生原子模型進行 α 粒子散射實驗之內容敘述，藉以說明為何此兩個版本會完全符合評量向度 R2。很明顯地，TS02 和 TS05 等 2 個版本均能完整說明湯木生原子模型進行 α 粒子散射實驗的結果，並且有完整的概念性解釋，如下所述：

湯氏原子模型認為金屬箔具均勻的密度， α 質點射擊時，若能通過，必不會有大角度的偏轉發生，...，由於許多原子碰撞多次所生少許的偏轉而已。（TS02，頁 117）

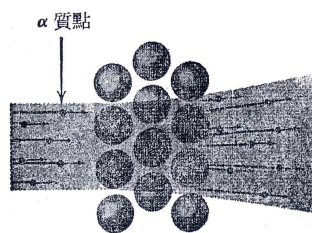


圖 4-3-30. 由湯姆生原子模型所發生的 α 質點散射情形 (引自 TS02, 頁 117)

湯木生認為原子各處之密度均勻，而原子間緊密地接觸，…高速 α 粒子 (He^{+2} 核) 撞擊這種模型構成之金箔時，受到均勻的斥力而產生路徑之變化，故通過金箔後之 α 粒子，略有偏轉。

但在 1911 年拉塞福 (E. Rutherford)，經鐳所放出之 α 射線，分離，並加速去撞擊金箔，而確實觀察這項實驗時，發覺 α 粒子會產生較劇急之偏轉，且有極少數 α 粒子引起反射之現象，才不得不修正，湯木生所提出原子之模型。(TS05, 頁 128-129)

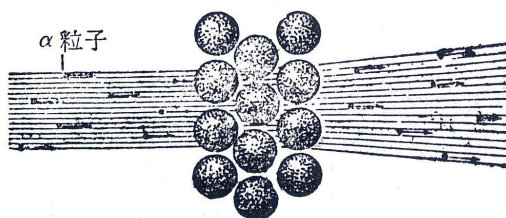


圖 4-3-31. 湯木生模型中 α 粒子通過金箔時之偏轉作用 (引自 TS05, 頁 129)

評量標準 R3 之評量重點在於 α 粒子散射實驗結果之呈現部分，總計有 7 個 (43.8%) 版本教科書能具體陳述 α 粒子散射實驗的結果，並解釋為何會產生大角度的散射現象；8 個 (50.0%) 版本未能完整陳述相關的內容，分析其內容均著重於 α 粒子散射實驗結果，對於實驗結果的概念性解釋則較為缺乏；而有 1 個 (6.3%) 版本則完全未提及實驗結果與解釋，該向度之平均數為 1.38 分。底下以 TS12 版本為例，藉此說明為何符合評量向度 R3 之評量標準，分析 TS12 版本之內容，除利用類比來說明 α 粒子的運動情形外，並且利用斥力的概念來解釋為何會產生大角度的散射現象，如下所述：

因為電子的質量很小，大約只有 α 粒子質量的幾千分之一而已；就好比子彈越過空氣時，塵埃不至於影響其運動軌道，大部分 α 粒子通過金箔的時候，其運動軌跡是不變的；只有少數 α 粒子在接近原子核的時候，由於受到金原子核的排斥力，使得 α 粒子發生了大角度的偏轉；同理，極少數方向正對著原子核的 α 粒子，就被反彈。(TS12, 頁 108)

此結果亦呼應先前模型特徵分析，對於拉塞福原子理論之概念性向度部分。整體而言，大部分教科書仍著重於科學事實與概念的呈現，對於科學家實驗研究結果之詮釋較為缺乏，或是予以忽略，如此將會影響學生學習 α 粒子散射實驗與有核原子模型

關係之建立，以及湯木生原子理論與拉塞福原子理論之間概念的連結。

3.波耳氫原子光譜與原子模型

由於拉塞福原子理論無法解釋電子受到核電荷吸引力時，電子會被吸進原子核中，此外，當電子在原子核外運動時，其會釋放出能量，由於軌道不斷地縮小，發射電磁波頻率將不斷地增大，所以原子發射的光譜應為連續光譜，但實驗所觀察的原子光譜是屬於不連續光譜，兩者之間明顯產生矛盾的現象，換句話說，波耳氫原子理論主要目的即是解決拉塞福原子模型的缺點（評量向度 B1），此評量向度之平均數為 1.44，顯示大部分教科書均會提及此矛盾之處。從表 4-3-7 結果顯示，其中有 11 個（69.8%）版本教科書提及電子在原子核外運動時，其會釋放出能量，最後則撞上原子核，並符合該向度之評量標準。如 TS12 版本所述：

…拉塞福認為，電子必須不斷運動，否則它們會受核電荷的吸引力，而被吸進原子核中。又依據古典力學理論，當電子在原子核所形成的電場中運動時，會一面運動、一面放出電磁波而逐漸失去能量，最後便被吸入原子內而墜毀。（TS11，頁 116）

波耳氫原子理論除解釋與證實巴耳末和帕申系列的譜線外，更預測來曼系列的譜線（評量向度 B2）。從表 4-3-7 顯示，16 個版本教科書均提及相關的內容，然而僅有 1 個（6.3%）版本能詳細說明其相關內容，如 TS12 版本所述：

氫原子光譜中各系列譜線的名稱是由發現者名字來命名，包含下列系列：首先發現的是在可見光區的譜線，稱為巴耳末系列（Balmer series），是從高能階 $n_H=3、4、5…$ 回到 $n_L=2$ 能階時放出的光線。其次是在紫外光區的譜線，稱為來曼系列（Lyman series），是從高能階 $n_H=2、3、4、5…$ 回到基態 $n_L=1$ 時放出的光線。後來，又在紅外光區發現了許多系列的譜線；其中之一稱為帕申系列（Paschen series），其 $n_L=3$ 。（TS12，頁 120）

8 個（50.0%）版本教科書雖提及相關內容，但分析教科書之內容描述卻顯得相當地簡略，而有 7 個（43.8%）版本未能詳細加以陳述說明，整體而言，評量向度 B2 符合評量標準的比例偏低，該向度平均數僅有 0.63。在此以 TS13 版本為例，說明為何僅部分符合評量標準，TS13 版本雖然能提及波耳理論可以用來解釋光譜線，但內容過於簡略，如下所述：

波耳的理論不僅解釋了這兩系列光譜線，也預測了由 $m>1$ 躍遷至 $n=1$ 的來曼系（Lyman series）光譜系。此系列到 1915 年才被發現。（TS13，頁 108）

此外，波耳原子理論更是古典力學模型與量子理論之間的橋樑。從表 4-3-7 顯示，評量向度 B3 之各版本教科書平均數為 0.94，其中 7 個（43.8%）版本除提及波耳原子理論結合普朗克理論外，亦能詳細說明其相關的內容，而有 9 個（56.3%）版本僅提

及相關的內容，卻未能詳細說明，整體而言，評量向度 B3 符合評量標準的比例偏低。底下以 TS05 版本為例，該版本僅指出波耳引進普朗克之量子理論，但對於為何引進普朗克的量子理論，卻未能有詳細的說明，故僅部分符合評量向度 B3，教科書內容如下所述：

1913 年波耳 (Niels Bohr) 針對古典力學描述氫原子模型之困難，首先引進蒲朗克之量子觀念。(TS05，頁 144)

4. 量子力學原子理論與軌域

雖然波耳氫原子理論引進了量子數的概念，並利用電子在不同能階之間的躍遷與譜線頻率之關係來解釋氫原子光譜，然而波耳氫原子模型僅適用於單電子原子（離子），無法適用於多電子原子，量子力學發展則是修正波耳原子理論，並解釋多電子原子的能階與光譜（評量向度 Q1）。研究結果顯示，有 10 個（62.5%）版本教科書能完整描述波耳原子理論僅適用於單電子原子（或離子），對於多電子原子（或離子）即無法完全適用，而量子力學的提出即是解決波耳的原子理論的缺失。此外，其餘 6 個（37.5%）版本雖能提及波耳原子理論與量子力學之差異，但卻未能詳細說明，整體而言，此向度之平均數為 1.69。底下以 TS08 版本為例，藉以說明為何符合 Q1 之評量標準，TS08 版本除解釋氫原子理論外，亦詳細說明波耳理論的限制。

波耳理論在解釋氫原子和其他僅含一個電子的粒子，例如 He^+ 、 Li^{2+} ，固然很成功，但它應用於兩個電子以上的粒子時，立刻遭到難題。例如當它應用於基態氫原子，所計算出來的能量是 -77.5eV （電子伏特， $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ 焦耳），實驗值為 -77.5eV ，兩者約有 5% 的誤差（對於氫原子只有 0.1% 的誤差），它也無法正確的預測雙原子分子的能階。(TS05，頁 144)

原子軌域觀念部分，波耳氫原子模型認為原子核外的電子僅能沿著圓形軌道作圓周運動，評量向度 Q2 即是討論量子力學對於電子運動的描述，依據量子力學的觀點，電子運動是不具有可預測性，並且使用數學函數（機率）來描述電子的出現情形。從表 4-3-7 顯示，總計有 13 個（81.3%）版本能完整提及量子力學的內容，2 個（12.5%）版本僅提及相關內容，但卻未能詳細敘述其內容，而有 1 個（6.3%）版本卻完全未能提及電子運動的不可預測性，此向度之平均數高達 1.75 分，顯示大多數版本教科書均能著重於量子力學對於電子運動情形的描述，並有完整且詳細的說明。底下以 TS02 版本為例，TS02 版本除描述電子運動的情形外，亦以電子密度和電子雲的概念來說明軌域的概念。

...電子，圍繞原子核的運動，祇能以這個電子在某一特殊位置時，可能找到的機率多少來描述。....電子機遇率（electron probability）的觀念，可假想一實驗，對一

具特定能量而圍繞原子核運動的電子，拍攝一套瞬時照片。這些連續拍攝的照片中，電子呈一個小點；再將這些照片一張一張地疊起來，則成一張“雲狀”圖。此電子機遇率密度圖，稱為電子密度（electron density），或電子雲（electron cloud）圖。在圖中某一空間的小點密度，即代表此區域的機遇率密度。近代化學，採用電子軌域（electron orbital）這一名詞代表此一類型的電子運動模型。（TS02，頁 141）

（二）依課程綱要分析不同版本教科書於原子理論之內容分析

從表 4-3-10 所示，第一階段（TS01~TS06）教科書對於原子理論內容的撰寫部分皆優於第三階段（TS11~TS16）和第二階段（TS07~TS10）之教科書（總分：16.16>10.83>10.75）。由此結果顯示，現階段普遍採用之教科書於原子理論的內容描述有極大的缺失，特別是在湯木生原子理論（T1 和 T2）與拉塞福原子理論（R1 和 R2）等評量向度得分均偏低，顯示現階段學生使用教科書於原子理論之內容描述有相當程度缺失。而現今課程雖強調科學史融入教學或教科書，但仍有極大的改進空間，以原子概念為例，原子理論發展即是由不同原子理論之間的相互競爭而發展，但現今教科書卻忽略此關鍵，因此，教科書須著重於兩個原子理論之間的關聯性與概念的重建部分，如此學生將可以透過閱讀科學史，了解科學概念與理論的發展，更可對於科學本質有更深層的理解。

表 4-3-10. 依課程綱要分析不同階段高中教科書於「原子理論」之內容重建

評量標準	湯木生 原子理論		拉塞福原子理論			波耳原子理論			量子力學 原子理論		總分
	T1	T2	R1	R2	R3	B1	B2	B3	Q1	Q2	
TS01~TS06	1.83	1.16	1.50	1.33	1.33	1.67	2.00	1.50	1.67	2.00	16.16
TS07~TS10	1.00	0.75	0.25	0.50	1.25	1.25	1.75	0.75	1.50	1.50	10.75
TS11~TS16	1.17	0.33	0.50	0.00	1.50	1.33	1.67	0.67	1.67	1.67	10.33
平均	1.38	0.75	0.81	0.63	1.38	1.44	1.81	1.00	1.69	1.75	11.44

註：S：2 分；M：1 分；N：0 分

（三）小結

綜合上述分析，不同版本高中教科書於「原子理論」單元之內容分析結果顯示，完全符合各評量向度之比例，分別是：湯木生原子理論（T1：56.3%；T2：25.0%）、拉塞福原子理論（R1：25.0%；R2：25.0%；R3：43.8%）、波耳原子理論（B1：68.8%；B2：81.3%；B3：43.8%）和量子力學原子理論（Q1：68.8%；Q2：81.3%）。如此結果，與先前研究所指出教科書在「原子理論」發展的描述均有極大的缺失結果相類似（Justi & Gilbert, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004）。特別是在評量向度 T2、R1、R2、R3 和 B3，分析所得之平均數均偏低。以評量向度 R1 為例，拉塞福 α 粒子散射實驗的呈現方面，許多版本均著重於 α 粒子散射

實驗的結果，對於拉塞福為何會透過 α 粒子散射實驗推翻湯木生原子理論，或是湯木生原子理論為何無法符合 α 粒子散射實驗的結果，進而提出有核的原子模型，許多版本的教科書皆顯少提及或是內文說明均過於簡略。同樣地， α 粒子散射實驗的結果，許多教科書內文也僅是描述實驗結果，對於實驗結果的概念性解釋，即是為何 α 粒子會有大角度偏轉，許多教科書卻未能有相關的內容陳述。如此亦說明教科書許多概念的呈現僅是科學事實與實驗結果的介紹，對於如何影響科學發展的關鍵實驗與結果解釋，或是不同實驗之間關係的建立和概念的重建，本研究結果顯示許多教科書均顯少提及，或僅是提及卻未能有詳細的描述，如此將可能造成學生對於科學發展的迷思，換言之，若是欲增進學生對於科學發展的理解，撰寫教科書時需要關注於科學概念或模型重建的部分，以及各理論之間的競爭。

三、高中化學教科書於「原子理論」之建模歷程

多數仿問高中化學教科書於「原子理論」發展的敘述上，大多從湯木生發現電子，拉塞福提出核原子理論，波耳氫原子理論，最後再利用機率的數學函數（軌域）來描述電子出現情形以及電子組態。教科書於「原子理論」建模歷程分析結果詳如表 4-3-11 和 4-3-12。各版本建模歷程平均數為 24.3 分（總分 40 分），總分最高為 TS12（32 分，80%），最低則為 TS10（12 分，30%）。若從各建模歷程得分予以分析，16 個版本教科書於「模型描述與選擇」和「模型建立」得分較高（93 分，72.7%；106 分，82.8%），至於「模型效化」與「模型分析與評估」得分較低（66 分，51.6%；48 分，37.5%），顯示大部分教科書著重於描述原子理論內容介紹，對於原子理論運作結果與概念性解釋，或是不同理論之間的競爭與連結則較為缺乏。以下進一步比較各版本教科書於「原子理論」單元之建模歷程。

表 4-3-11. 高中教科書於「原子理論」單元之建模歷程分析

	湯木生原子理論					拉塞福原子理論					波耳原子理論					量子力學原子理論					總分
	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	
TS01	S	S	N	N	N	S	S	N	N	N	M	S	M	M	N	S	S	M	M	S	21
TS02	S	S	N	N	M	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	M	M	S	M	S	26
TS03	S	S	M	N	M	S	S	N	N	M	S	S	N	M	M	S	S	M	M	M	24
TS04	M	S	S	S	M	M	M	N	N	S	M	S	N	N	M	S	S	M	M	M	23
TS05	S	S	N	N	M	S	S	S	S	S	S	S	M	N	M	M	S	S	M	S	29
TS06	S	N	N	N	N	S	S	S	S	S	M	S	N	N	M	M	M	M	N	S	21
TS07	M	N	N	N	N	S	M	N	N	M	M	S	S	M	N	M	M	S	M	S	18
TS08	M	M	N	N	M	S	S	S	S	S	M	S	S	M	S	M	S	S	S	S	30
TS09	S	S	M	N	M	S	S	M	M	S	M	S	N	M	M	M	S	S	S	S	28
TS10	M	N	N	N	N	M	N	N	N	N	M	S	M	N	N	M	M	M	M	S	12
TS11	S	S	N	N	M	S	S	S	N	S	N	S	S	M	S	M	S	S	S	S	29
TS12	M	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	S	S	S	S	32
TS13	N	M	N	N	N	S	S	S	N	S	M	S	S	M	M	M	M	S	S	S	24
TS14	M	S	M	N	M	S	S	N	N	N	S	S	S	M	M	M	M	S	S	S	25
TS15	S	N	N	N	N	S	S	S	S	S	M	S	N	N	M	M	S	S	S	S	25
TS16	M	N	N	N	N	S	S	N	N	N	S	S	S	N	M	M	S	S	S	S	21
平均	1.44	1.25	0.31	0.13	0.5	1.88	1.75	1.06	0.81	1.38	1.31	2.00	1.06	0.63	0.94	1.19	1.63	1.69	1.44	1.88	24.3
總分 (標準差)	3.63 (0.58)					6.88 (0.45)					5.94 (0.52)					7.81 (0.26)					

註：建模歷程代號說明：模型描述與選擇（S）；模型建立（C）；模型效化（V）；模型分析與評估（A）；模型調度（D）。

註：S：2分；M：1分；N：0分

表 4-3-12. 16 個版本高中教科書之建模歷程分析

	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10	TS11	TS12	TS13	TS14	TS15	TS16	總分 (128)
S	7	7	8	5	7	6	5	5	6	4	5	6	4	6	6	6	93 (72.7%)
C	8	7	8	7	8	5	4	7	8	3	8	8	6	7	6	6	106 (82.8%)
V	2	4	2	3	5	3	4	6	4	2	6	6	6	5	4	4	66 (51.6%)
A	2	3	2	3	3	2	2	5	4	1	3	6	3	3	4	2	48 (37.5%)
D	2	5	4	5	6	5	3	7	6	2	7	6	5	4	5	3	75 (58.6%)
	21	26	24	23	29	21	18	30	28	12	29	32	24	25	25	21	

註：建模歷程代號說明：模型描述與選擇（S）；模型建立（C）；模型效化（V）；模型分析與評估（A）；模型調度（D）。

（一）湯木生陰極射線實驗與原子模型之建立

湯木生原子理論之建模歷程，研究結果顯示平均數僅有 3.63 分（總分 10 分），

為 4 個分析單元中最低。此外，大多數教科書均著重於建模歷程之「模型描述與選擇（S）」和「模型建立（C）」兩個階段，其餘 3 個階段教科書則較少提及，特別是「模型分析與評估（A）」階段，平均數僅為 0.13，顯示全部 16 個版本教科書於湯木生原子理論單元中忽略模型分析與評估之建模歷程。底下將從各階段之建模歷程做深入之探討。

1.模型描述與選擇：模型描述與選擇著重於描述與選擇現象的各種面向，其中包括物件、狀態和交互作用等面向，並且能討論或描述各個面向之可能關係與意義，如陰極射線具有粒子性質（物件面向）、陰極射線會受到電場與磁場的影響（交互面向）和電子之荷質比（物件面向）等分析面向。分析的 16 個版本中，有 8 個版本完全符合上述之各個分析面向，7 個版本僅部分符合分析面向，而 TS13 版本則未有陰極射線實驗相關內容說明。整體來說，分析的 16 個版本教科書，此階段之平均數為 1.44。底下以 TS06 版本為例，TS06 版本除完整說明陰極射線管之實驗結果外，且提出湯木生利用陰極射線管證明物質含有帶負電荷的粒子，以及利用荷質比來說明原子內含有新的粒子。

實驗觀察結果約如下：

1.如置一障礙物於管中（如一十字形的金屬片），則此物在面對陰極的管壁上將形成一影子，就如光線之影子一樣。

2.如置一小轉輪於管中（如小風車葉），則轉輪可轉動。

此二觀察，似顯示有「射線」由負極（陰極）以直線射出。

3.如在管外加一磁場（置二磁棒於管外），則此「射線」將偏向；偏向的方向，顯示「射線」像是帶有負電荷的。

此結果顯示由陰極射出的「射線」，不同於一般的光線（電磁波），而似有「電流」的性質。

...湯木生（Joseph John Thomson, 1856~1940）於 1895 年，由許多實驗（用不同氣體的放電管，不同金屬的陰極板），證明所有陰極射線的特性皆相同，皆係帶有負電荷的粒子構成。由陰極射線在電場和磁場中的偏向度量，證明構成這射線的帶負電荷粒子的電荷 e 對質量 m 的比值，皆有同一定值

$$\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^8 \text{ (庫侖／克)}$$

雖然電荷 e 和質量 m 均未分別測定，但上述的其他許多實驗都強烈顯示構成陰極射線的粒子，是帶負電荷的一個基本粒子，它的電荷是一最小的單位。（TS06，頁 20-22）

2.模型建立：模型建立主要是初步理解問題相關的基本模型，並能將所選擇的面向與問題做連結，即是湯木生原子理論的建立，並且說明電子均勻分布於原子。分析的 16 個版本中，有 9 個版本完全符合模型建立之評量標準，2 個版本則是敘述內容過

於簡單，而 5 個版本僅敘述湯木生從事陰極射線管實驗發現電子，並求出電子的荷質比 (e/m)，未有原子模型建立之相關內容敘述，故未有原子理論模型之建立。整體而言，分析 16 版本教科書於湯木生原子理論之模型建立評量向度之平均數為 1.25。如 TS14 版本於湯木生理論之內容敘述相當地完整，除說明電子均勻分布於原子中，且利用西瓜子來類比於電子。

...原子不是構成物質的最小粒子，而是其內含有帶負電的電子和帶正電的部分。湯木生是第一位提出以葡萄乾布丁模型來描述原子結構的科學家，此模型與西瓜模型類似，亦即原子為密度均勻的球體，其質量均勻分布球體中，而電子則是像西瓜子，鑲在瓜肉。(TS14，頁 110)

3.模型效化：分析 16 個版本教科書中，僅有 4 個版本教科書 (TS02、TS03、TS04 和 TS08) 進行模型效化的過程，即是決定湯木生原子模型之運作情形，透過所建立之原子模型與問題做比較，判斷兩者之間是否符合。此外，此階段亦著重於湯木生從陰極射線發現電子並建立原子模型，說明與道耳吞原子不可分割的概念不符合，如 TS08 版本提及“...經由陰極射線實驗，認為帶負電粒子，即電子，可能是原子的部分組成。這無疑地對當時原子的不可分割性概念，是一種革命性的想法。”但其中僅有 TS04 版本完全符合評量標準，整體而言，平均數僅為 0.31，顯示大部分教科書未能針對所建立模型進行效化之過程。

4.模型分析與評估：此階段著重於利用不用的方式來檢驗所建立模型之內部一致性，評估不同模型之間的融貫性，以及模型的經驗性證實。依上述之定義，評量向度將著重於由於帶負電荷粒子會有相互排斥的現象，所以原子內部帶負電荷粒子均勻分布在帶正電的球體中。分析結果顯示，僅有 1 個版本教科書能完全符合此階段之評量標準，全部 16 個版本教科書得分偏低，平均數僅有 0.13，如 TS04 版本即說明電子會與原子帶正電的部分因靜電力的作用，而均勻分布於原子內部，故符合上述之評量標準。

每個原子占有一定大小的空間，它的正電部分均勻瀰漫於這個空間，電子則分別固定在適當的位置，這些位置可以使其他電子及荷正電部分施於它的靜電力恰相抵消。(TS04，頁 98)

雖然許多教科書描述湯木生原子模型為電子在原子內均勻排列，卻未能對電子為何會均勻排列做解釋，顯示教科書對模型分析與評估階段不甚重視，僅著重於科學事實的呈現，未能建立概念之連結，如電荷排斥與電子排列關係之建立。

5.模型調度：模型調度著重於模型之應用與預測，即是利用已效化的模型對實證性問題給予解釋或預測，理解模型是否能正確地做為參考之依據。依此定義，湯木生發

現電子後，希望透過原子模型的建立，進而解釋元素的週期性。分析的 16 個版本中僅有 TS04 版本包括相關的內容敘述，即闡述湯木生利用建立的原子模型來解釋元素的周期性與鍵結等概念，如下所述：

...湯木生可以標記出電子數為 1, 2, 3...等各種情況，電子應占用的位置，甚至還用這種模型試著解釋元素性質的周期性及原子間的鍵結等。(TS04, 頁 99)

模型調度除上述關注的焦點外，亦希望能建立模型參考物之間的類比，即是類比的建立與發展，其中僅有 7 個版本教科書符合上述之標準，有關類比物的描述，請參閱此小節模型特徵之類比使用情形。整體而言，模型調度之平均數僅為 0.5，顯示大多數教科書於湯木生原子理論之調度階段不甚重視。

(二) 拉塞福 α 粒子散射實驗與有核原子模型之建立

從表 4-3-7 顯示，關於教科書於拉塞福原子理論之建模歷程部分，全部 16 個版本中，僅有 3 個版本教科書 (TS02、TS05 和 TS12) 能完全符合全部建模歷程之評量標準。深入分析結果顯示，大多數教科書仍著重於「模型描述與選擇」，以及「模型建立」兩個階段，其他 3 個階段則較少提及，各階段得分為模型描述與選擇 (S) (平均數：1.88)、模型建立 (C) (平均數：1.75)、模型效化 (V) (平均數：1.06)、模型分析與評估 (A) (平均數：1.38) 和模型調度 (D) (平均數：1.31)，全部各建模階段平均數之總和為 6.88。底下即深入探討不同版本教科書於拉塞福原子模型單元之建模歷程。

1. 模型描述與選擇：分析 16 個版本中，14 個版本教科書均提及 α 粒子散射實驗的結果，且能完整敘述實驗結果如大部分的 α 粒子會直線穿過金箔，而有少部分會發生大角度的偏折或反彈現象，均能符合模型描述與選擇階段之描述與選擇現象的各種面向，如物件部分 (α 粒子)、狀態面向 (α 粒子的散射)、交互面向 (α 粒子撞擊金箔) 和因果面向 (α 粒子散射的結果) 的描述。如 TS02 版本的內容描述即符合上述之評量標準，如下所述：

1911 年，拉塞福和他的同事設計一實驗：使用 α 質點 (由鐳放射的 α 射線) 射擊金屬箔，如圖所示裝置。此 α 質點射叢由鉛匣深孔中的鐳射出，射至一薄金屬箔上，該箔約有 104 個原子厚，從 α 質點透過金屬箔後擊中閃爍屏 (scintillation plate) 上時所發生的螢光，而觀察其散射情形。實驗結果：極多數的 α 質點以直線穿透金屬箔而擊中閃爍屏。...但若將閃爍屏繞金屬箔旋轉移動，則發現有極少數閃爍在各種不周的角度處發生，甚至角度大至 1800 亦有。(TS02, 頁 116-117)

而有 2 個版本教科書則僅呈現部分的結果，整體來說，分析 16 個版本教科書於該評量向度之平均數高達 1.88。

2.模型建立：模型建立即是初步架構問題相關的基本模型，並且將模型描述與選擇的面向與問題做連結。全部 16 個版本教科書均提及拉塞福透過 α 粒子散射實驗建立其有核的原子模型，如原子絕大部分的質量集中在原子核，且原子核帶正電荷，電子在原子核外運動，原子核總電荷與核外電子電荷相等，符號相反，以及原子核與原子半徑之比較，即是將原有模型描述與選擇階段之各個面向做結合，並初步架構有核的原子模型。整體來說，分析 16 個版本教科書於該評量向度之平均數高達 1.75。如 TS14 版本除具體說明拉塞福原子模型外，亦利用類比來說明原子模型。

拉塞福因而提出行星繞日的原子結構模型，即原子可視為一球體，其中心有一原子核，核外為繞核運動的電子。原子核帶正電荷，其電荷量為電子電荷量的整數倍，而原子的質量絕大部分存在於原子核中。（TS14，頁 111）

3.模型效化：此階段著重於決定模型之運作與描述結論，即是說明 α 粒子可掠過電子而不偏轉，僅有少數部分偏轉，表示原子中大部分體積是空的，且有原子核存在。分析的 16 個版本教科書中，有 8 個版本所敘述之內容符合建模之模型效化過程，如 TS13 版本所述：

…拉塞福卻在 α 粒子的散射實驗中，利用 α 粒子撞擊金屬薄片，偵測 α 粒子在撞擊後的散射角度分布，發現絕大部分的粒子並未被偏轉，但有極少數的粒子以 180° 角被反彈。這表示原子中大部分的體積是空的，且有一帶正電荷質量極大的區域存在，因此拉塞福提出了核原子模型。（TS13，頁 106-107）。

而有 1 個版本教科書在內容描述上較為簡略。此外，有 7 個版本則完全沒有模型效化的階段，分析 16 個版本教科書於該評量向度之平均數僅有 0.81，為全部建模歷程平均值次低，顯示大部分教科書均忽略此階段之建模歷程對於學生學習的影響。

4.模型分析與評估：此階段著重於利用證據來做預測，評估模型是否符合，即是解釋與說明大部分的 α 粒子會直線穿過金箔表示原子核非常地小，而大角度的散射是因為 α 粒子與原子核近距離碰撞的結果。分析結果顯示，整體平均數亦僅有 0.81。6 個版本完全符合此階段之標準，1 個版本部分符合，而有 9 個版本則未有相關的內容說明。在此以 TS02 版本和 TS09 兩個版本對於 α 粒子為何會產生大角度的偏轉之說明，說明其分析結果：

今有少數 α 質點發生如此大角度的偏轉，實因重而快速的 α 質點可掠過輕的電子而不偏轉，但在接近帶正電的原子核時，拒斥力變大，使 α 質點有相當大的偏轉，甚至被正面彈回。這正如鋼錠可偏轉或反彈來福槍彈一樣。（TS02，頁 117）

此模型也符合實驗的結果：

1.大部分 α 粒子通過原子核外的廣大空間，不發生偏折。

2.通過原子核強近的 α 粒子受核的排斥而偏折，愈接近原子核，偏折角愈大。

3.正對著原子核射來的 α 粒子可反射折回。(TS09，頁49)

兩個版本均說明為何 α 粒子會直線穿過金箔，或是產生偏折的現象，試圖了解原子模型是如何地運作。但 TS02 版本除解釋相關的實驗結果外，並利用類比的方式來進行說明，由此可看出，即是檢驗變數之適當性與一致性，透過類比的建立，利用不同的方式來檢驗所建立模型之內部一致性，故 TS02 版本完全符合評量標準。

5.模型調度：模型的調度部分，著重於模型之應用與預測，即是利用已效化之模型對問題給予解釋、描述或預測，並且理解模型的限制性與使用的範圍。大多數分析的教科書均著重於理解模型的限制部分，大多數的教科書均提及拉塞福原子模型無法解釋原子不穩定和光譜不連續等問題，在分析的 16 個版本中，計有 10 個版本能完整說明拉塞福原子模型的限制，2 個版本部分說明，4 個版本未有任何的說明，整體平均數為 1.38。在此以 TS05 版本為例，藉以說明教科書如何於拉塞福原子理論建立後進行模型調度（模型限制）之建模歷程，TS05 版本闡述拉塞福的原子模型若是依據古典電磁學的概念，電子將會逐漸放出電磁波，而導致原子呈現不安定的狀態。

自從拉塞福以 α 粒子撞擊金箔實驗之成功，提出原子中帶正電荷之原子核及帶負電之電子相關位置後…可描繪成電子圍繞著原子核做圓周運行，但根據古典物理中之力學及電學，則帶負電之電子在與帶正電原子核之電場中運行時，可造成暫時性維持旋轉之繼續，但必因逐漸放射電磁波，導致電子之能量趨於降低，即電子必會漸漸接近原子核…，故由古典物理之學說認為這種氫原子，必極不安定。(TS05，頁144)

（三）波耳氫原子光譜與原子模型之建立

波耳原子理論的建模歷程，從表 4-3-7 的結果顯示，大部分的教科書仍著重於模型描述與選擇和模型建立兩個階段，雖然其他 3 個階段相較於前述兩個原子理論之建模歷程而言，已有更多版本教科書能針對此 3 個階段提出相關的內容敘述，但平均數仍僅有 0.63、0.94 和 1.19，各階段建模歷程平均數總和為 5.94。底下將深入探討不同版本教科書於波耳氫原子光譜與原子模型之建模歷程。

1.模型描述與選擇：分析的 16 個版本中，6 個版本教科書均能完整描述氫原子光譜為不連續光譜、電子繞著原子核做圓周運動，並且能利用普朗克理論來說明光粒子能量與頻率之關係，因此符合模型描述與選擇階段之描述與選擇現象的各種面向，如光的基本性質（物件面向），並能對所選擇的面向做進一步的詮釋，如光具有波一粒二重性。而有 9 個版本則僅簡略敘述相關之面向，如僅描述氫原子光譜為不連續光譜，但未能詳細說明。經過計算，此建模階段之平均數為 1.31。

2.模型建立：波耳原子模型為高中課程中相當重要的一個單元，全部 16 個版本教科書均對波耳氫原子模型之建立在內容上有許多著墨。猶如前述，許多版本教科書均提及波耳為解決拉塞福原子模型之限制，並解釋氫原子譜線，即是初步架構問題相關的基本模型，並且將模型描述與選擇的面向與問題做連結，除對於氫原子模型理論之定性與定量關係之建立外，亦能將所選擇的面向與問題情境做適當的連結，如電子僅能在特定能階（軌道）上運動，並不吸收或發射電磁波，氫原子的能階（ $E_n = -2.179 \times 10^{-18}/n^2$ (焦耳/個))，以及電子從高能階回到低能階，釋出兩能階的能量差之能量。電子轉移時以光的形式釋出能量。 $\Delta E = E_H - E_L$ 。而從表 4-3-7 顯示，全部 16 個版本教科書均能完整地提及上述之內容，故均能符合模型建立之評量指標。如 TS01 版本，除具體且完整闡述電子僅能在特定能階上運動，且以圖示的方式來描述能階的變化，如圖 4-3-32 所示。

波耳假定氫原子中電子祇能在有限數目之軌域上繞原子核旋轉，此外並無其他可能之軌域，氫原子具有之能量依電子所在之軌域而異，電子所在之軌域距原子核愈遠，能量愈大。...而各軌域均各有一定之能階（energy level），電子在一定量子狀態（quantum state）之軌域上作周期轉動時，不發生能之變化。但當受外界能之激動時，得由低能位 n_1 （即基底狀態（ground state）），跳到高能位 n_2 而成激動狀態（excited state）。可是高能位較低能位為不穩定狀態，所以電子要回復其原來狀態，即由 n_2 回歸到 n_1 狀態時，需將其能差以光能輻射之形式而發射，此即發生發射光譜之原因。（TS01：159）

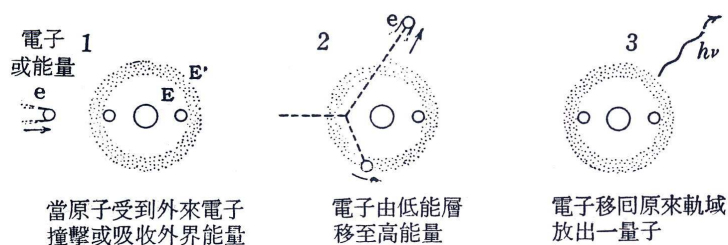


圖 4-3-32. 波耳原子理論圖解（引自 TS01，頁 160）

3.模型效化：整體來說，分析的 16 個版本教科書，模型效化之平均數為 1.06。研究結果顯示，許多教科書仍忽略模型的效化工作，分析的 16 個版本教科書中，7 個版本能符合模型效化之標準，即能透過已建立的氫原子能階理論，運用於計算不同能階之能量變化，故能符合決定模型之運作與描述結論。此外，有 6 個版本則未有任合相關之建模歷程。大部分教科書以問題的形式讓學生閱讀教科書時能利用已建立的氫原子理論。底下以 TS16 版本，藉以說明為何符合模型效化之評量標準。

根據波耳的氫原子模型，回答下列問題：(1)電子由 $n=4$ 能階到 $n=2$ 能階，其變化為吸收能量或放出能量？(2)將氫原子的基態電子移至離原子核無窮遠處（即 $n=\infty$ ），最少需要多少能量？（TS16，頁 117）

4.模型分析與評估：整體來說，分析的 16 個版本教科書，模型分析與評估之平均數僅有 0.63，如此的結果亦呼應先前教科書於「原子理論」單元之內容分析的評量標準 B2。此階段著重於模型的經驗性證實，即是利用建立之波耳氫原子模型去解釋譜線。分析的 16 個版本教科書中，僅有 1 個版本完全符合模型分析與評估之標準，8 個版本部分符合，而有 7 個版本則完全未有模型分析與評估之歷程。底下以 TS12 版本為例，TS12 版本除說明各系列光譜的產生外，亦輔以具體的圖示來呈現，故符合模型分析與評估之評量標準。

氫原子光譜中各系列譜線的名稱是由發現者名字來命名，…可見光區的譜線，稱為巴耳末系列（Balmer series），是從高能階 $n_H=3、4、5…$ 回到 $n_L=2$ 能階時放出的光線。其次是在紫外光區的譜線，稱為來曼系列（Lyman series），是從高能階 $n_H=2、3、4、5…$ 回到基態 $n_L=1$ 時放出的光線。後來，又在紅外光區發現了許多系列的譜線；其中之一稱為帕申系列（Paschen series），其 $n_L=3$ 。（TS12，頁 120）

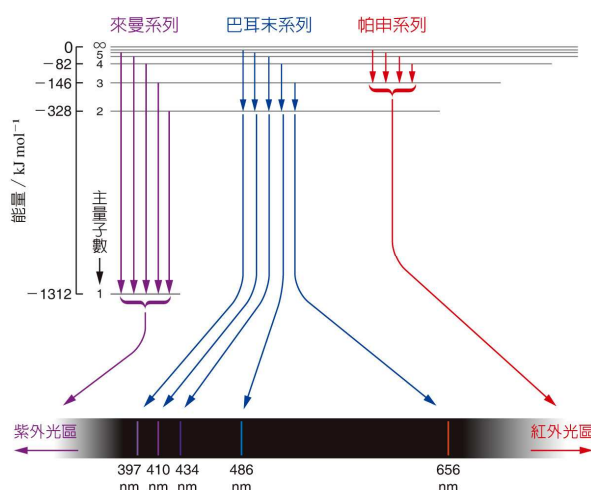


圖 4-3-33. 氫原子的發射光譜譜線圖（引自 TS12，頁 120）

5.模型調度：整體來說，分析的 16 個版本教科書，模型調度之平均數略高於模型效化與模型分析與評估之評量向度，但平均數仍僅有 0.93。在波耳原子理論之模型調度階段著重於模型應用、預測、限制與精煉等 4 個部分。模型應用部分，如利用建立之氫原子能階計算不同能階躍遷所發射的輻射頻率；模型的限制，如說明波耳氫原子模型無法解釋多電子原子的光譜，或是原有模型的精煉，即是原有氫原子理論做部分的修正，並將其應用於類氫離子。分析結果顯示，計有 3 個版本完全符合模型調度之評量標準，9 個版本部分符合，而有 4 個版本則完全未有模型調度之歷程或相關之內容。深入分析其內容，模型應用部分，計有 13 個版本利用問題讓學生計算不同能階的輻射頻率；模型限制部分，計有 12 個版本來提及波耳氫原子模型的限制；而模型精煉部分，則僅有 9 個版本提及相關的內容。

（四）量子力學原子理論

從表 4-3-9 顯示，量子力學原子理論的建模歷程部分，全部 16 個版本教科書中，完全沒有任何一個版本能完全符合全部建模歷程之評量標準。深入分析結果顯示，各階段建模歷程得分為模型描述與選擇（S）（平均數：1.19）、模型建立（C）（平均數：1.63）、模型效化（V）（平均數：1.69）、模型分析與評估（A）（平均數：1.44）和模型調度（D）（平均數：1.88），全部各階段建模歷程之平均數總和為 7.81。

1.模型描述與選擇：TS01、TS03、TS04 和 TS05 等 4 個版本均提及量子力學的建立乃透過海森堡測不準原理、德布洛依波一粒二重性，以及電子的運動方式僅能以機率來描述，並且能對各個概念做敘述，即是符合建模歷程之模型描述與選擇次項目中，討論各個面向與變數所有可能之關係，並且對所選擇的基本模型和變數作進一步的詮釋，如 TS01 版本所述，內容即提及德布洛依所之電子波粒二重性，利用海森堡的測不準原理來說明電子運動的形態，均說明電子運動的不確定性。

量子理論及電子性質之研究，在 1927 年獲得很大的進展。首先由法理論物理學家德布各利（de Broglie）提出電子之粒子及波動雙重性，說明由相對論導出運動物體之動能與量子論之能的關係。德名物理學家海增白（Werner K. Heisenberg）提出著及“測不準原理”（Uncertainty principle）說明原子內電子運動過程是為許多過程的統計，而非為個別的過程。因為對於個別電子質點的探測，欲同時決定質點之位置與動量（momentum，即質點之質量與速度之乘積）者，乃是基本上不可能之事。後奧地利物理學家水丁格（E. Schrodinger）更進一步以波動方程式（wave equation）表明電子之運動。（TS01，頁 163）

但 TS06~TS16 版本僅提及電子的運動方式僅能以機率來描述，故僅部分符合模型描述與選擇。探討其原因可能為受限於課程綱要，僅呈現量子力學與軌域的部分內容，故僅部分符合模型描述與選擇之評量標準。

2.模型建立：對於量子力學原子模型之建立，評量主要著眼於軌域、電子在軌域出現的情形，以及如何利用軌域來描述電子的運動情形。分析的 16 個版本教科書中，10 個版本均能完整描述上述之評量要點，並且對於其相關內容均多所著墨，而有 6 個版本則未能完整描述上述之要點，故評定為部分符合。如 TS12 版本所述：

量子力學認為，電子的運動方式不可能像宏觀運動體那樣有跡可循，只能以機率（probability）描述其分布的區域，科學家稱之為電子雲（electron cloud）；電子雲的界面是指電子出現的機率占 90% 的區域…。電子在原子核外出現的區域稱為軌域（orbital）。（TS12，頁 121）

3.模型效化：此階段著重於決定模型之運作與描述結論，故著重於利用所建立之原子軌域與多電子原子電子填充軌域的原則（構築原理、包立不相容與洪德定則），而來

建立多電子原子的排列方式，如鋰原子的電子組態為 $1s^2 2s^1$ ，或是銅原子的電子組態為 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ 。研究結果顯示，計有 11 個版本教科書符合此項評量標準，僅有 5 個版本部分符合。

4.模型分析與評估：模型分析與評估階段，即是利用所建立之原子軌域與填充電子的原則來解釋多電子原子的排列方式。分析結果顯示計有 8 個版本除能利用利用所建立之原子軌域與填充電子的原則外，並能給予適當的解釋與說明，7 個版本部分符合，但有 1 個版本則完全未提及相關的內容。

5.模型調度：量子力學原子理論的模型調度階段著重於模型應用與類比之建立，即是利用量子力學原子軌域對於多電子原子之電子排列給予適當的練習，藉以提供學生模型的應用，並且利用類比來描述電子的運動方式。研究結果顯示，計有 14 個版本教科書均能符合此項評量標準，僅有 2 個版本教科書部分符合。

（五）依課程綱要分析

若是依課程綱要對建模歷程進行分析，結果如表 4-3-10 所示，第三階段（A3）（TS11~TS16）教科書於原子理論之建模歷程分析結果皆優於第一階段（A1）（TS01~TS06）和第二階段（TS07~TS10）之教科書（總分： $26.0 > 22.1 > 23.8$ ）。由此顯示，雖然現階段普遍採用之教科書於原子理論之建模歷程內容敘述較先前第一和第二階段為佳，但是在湯木生原子理論單元則是劣於第一階段，現階段教科書於「模型效化」、「模型分析與評估」和「模型調度」等評量向度，平均數更分別僅有 0.17、0.00 和 0.33，除說明現階段教科書忽略湯木生原子理論之敘述，亦顯示教科書僅著重於湯木生原子理論之說明，對於原子理論之概念性解釋或其應用均不甚重視。

除此之外，其餘三個單元（拉塞福原子理論、波耳原子理論與量子力學原子理論），第三階段各版本教科書之平均數總分皆優於第一階段與第二階段之平均，特別是波耳原子理論與量子力學理論，除於波耳原子理論於「模型效化與分析」之得分偏低外，其餘平均值皆高於 1 分，如此亦說明現階段教科書於上述兩個單元之內容適合學生學習。

表 4-3-13. 依課程綱要分析高中教科書於「原子理論」單元之建模歷程

階段	湯木生原子理論					拉塞福原子理論					波耳原子理論					量子力學原子理論					總分
	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	
A1	1.83	1.67	0.50	0.17	0.67	1.83	1.83	1.00	1.00	1.50	1.50	2.00	0.33	0.33	0.67	1.50	1.67	1.33	0.83	1.67	
總分	4.84					7.17					4.83					7.00					23.8
A2	1.25	0.75	0.25	0.00	0.33	1.75	1.25	0.75	0.75	1.25	1.00	2.00	1.25	0.75	0.75	1.00	1.50	1.75	1.50	2.00	
總分	2.83					5.75					5.75					7.75					22.1
A3	1.17	1.17	0.17	0.00	0.33	2.00	2.00	1.33	0.67	1.33	1.33	2.00	1.67	0.83	1.33	1.00	1.67	2.00	2.00	2.00	
總分	2.83					7.33					7.17					8.67					26.0

(六) 小結

本研究主要探究我國教科書是否具建模要素？綜合上述結果，大部分教科書仍以陳述科學事實與概念為主，建模歷程之要素著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，至於「模型效化」與「模型分析與評估」則較為缺乏，特別是湯木生原子理論、拉塞福原子理論和波耳原子理論等三個單元，如此結果亦呼應教科書缺乏建模的觀點（Gericke & Hagberg, 2010）。此外，分析教科書中，各版本具建模歷程之要素情形如下：湯木生原子理論各階段得分皆偏低，僅有 TS04 版本得分較高，拉塞福原子理論有 6 個版本（TS02、TS05、TS06、TS08、TS12 和 TS15）完全具備建模歷程之要素，波耳原子理論亦僅有 TS12 版本完全符合建模歷程之要素，量子力學原子理論，雖然各階段得分均高於平均值，但沒有一個版本完全具備建模歷程之要素。

建模是發展科學知識的重要過程，而建模也是一個動態歷程，它涉及個體如何提出假說、建立模型目的、描述與確認模型的組成與關係、建立適當模型表徵，進行檢驗與修正，進而重建新的模型。換句話說，建模是企圖協助學生了解知識是由人們所建構，並具有促進科學理解和了解科學本質的潛能（邱美虹和劉俊庚，2008）。此外，雖然教科書中充滿模型與建模範例，但分析結果亦顯示教科書未能明確地指出這些建模歷程，如此將可能使學生無法完全理解科學本質，並且他們使用與發展科學模型的能力也將會受到阻礙（Schwarz & White, 2005）。

從上述原子理論之建模歷程來看，大部分教科書並未完全具備完整的建模歷程要素，教科書偏重於「模型描述與選擇」和「模型建立」介紹，對於「模型效化」與「模型分析與評估」兩個要素之比例偏低。大多數教科書均著重於科學史的描述，換言之，大多數教科書撰寫者著重於科學史或科學知識的描述，內容以陳述科學事實與概念為主，對於科學模型分析、效化與預測的功能與過程並未加以著墨，這樣的呈現方式將難以使學生透過學習歷程中獲得科學建模知識與能力，進而瞭解建模歷程以及對於模

型功能之認識。當然無可厚非，教科書撰寫者若不重視或是未具科學建模的背景知識與能力，如何期待教科書採用建模方式來呈現科學知識發展的歷程，以及科學模型的功能在科學學習中所扮演的角色，更遑論培養學生建模的素養。

科學教學歷程中，建模技能的培養被視為是科學教育的目標之一。因此教科書應將建模的技能與元素融入課程中，學生透過閱讀教科書的過程中，理解科學模型之建模歷程，將可協助他們發展心智模式，也有助於學生科學概念學習與科學本質的認識。

第四節 跨年級學生於「原子理論」概念之模型比較

為探討跨年級學生對於「物質組成」和「原子結構」之理解與模型類型，並進一步探討跨年級學生於「原子理論」之模型發展歷程與比較，本研究利用原子概念問卷（I），探討 8-11 年級學生於「物質組成」和「原子結構」等概念之作答情形，藉以了解跨年級學生原子概念之發展歷程。

關於「物質組成」和「原子結構」概念，學生主要在 8 年級「自然與生活科技」、10 年級「基礎化學」和 11 年級「化學」等三個階段學習上述概念之相關課程。依據 92 年《國民中小學九年一貫課程綱要》，8 年級所教授之內容，主要是希望學生透過原子模型（電子、質子、中子）的認識，知道原子的化學性質（教育部，2003），從先前國中教科書內容分析結果顯示，國中階段教科書主要敘述道耳吞原子說和拉塞福有核原子模型，理解化學變化是原子的重新排列，以及原子結構是由原子核（質子和中子）與原子核外的電子所構成。10 年級教學內容部分，依據 95 年《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》，教學目標是希望學生建立原子結構具有殼層（Shell）概念，並理解電子在原子核外的分布情形。11 年級部分，依據 95 年《普通高級中學必修科目「化學」課程綱要》，教授內容以拉塞福 α 粒子散射實驗、波耳原子理論和量子力學原子理論為主，內容除氫原子光譜的解釋外，亦提及原子核外電子運動的不可預測性，即是利用機率的概念或是利用電子雲模型來描述電子的運動情形（教育部，2006）。

基於上述的說明，本小節分析跨年級學生於原子概念問卷（I）之作答情形，分別從「物質組成類型」、「原子結構模型」和「原子結構之描述和說明」等三個概念，並輔以學生畫圖與說明，分析學生於「物質組成」與「原子結構」之概念理解與相關模型特徵。此外，從跨年級學生模型類型和比例之關係，分析學生於「物質組成」與「原子結構」之模型演變歷程與比較。最後，為了解影響學生於原子概念模型發展之因素，本研究亦比較學生於原子概念之模型演變與教科書課程之相關性。

一、跨年級學生於原子概念測驗（I）之作答情形

為了解跨年級學生於原子概念測驗（I）之回答情形，本研究將受試學生分為 8 年級、9 年級、10 年級、11 年級等 4 個階段¹，依表 3-2-3 將學生於原子概念測驗（I）作答情形予以分類，並依「物質組成」、「原子結構模型」和「原子結構之描述和說明」

¹本研究原子概念施測時間為 98 年 11 月，8 年級學生雖已修習「自然與生活科技」課程，但仍未學習過原子概念；9 年級學生於 8 年級期間學習過原子概念；10 年級學生則已修習「基礎化學」，已擁有電子殼層和軌域的概念；11 年級學生因施測時間之故，未修習「化學」課程中量子力學之概念，仍未擁有原子核外電子運動不可預測性之概念。

等三個部分來加以探討。

（一）物質組成類型

化學領域中「物質的微觀性質」主要是由粒子所具有性質做為概念學習的基礎(王澄霞和楊永華, 1985)。因為從最初連續觀想法到物質粒子概念的轉變, 將是學生於化學學習過程裡最主要的改變。換言之, 若學生無法以微觀概念來建立相關化學概念, 將會影響他們對於其它抽象化學概念之學習。依此, 本研究探討跨年級學生物質組成概念之發展, 探討學生對於物質的微觀組成之概念類型。研究結果顯示, 8-11 年級學生於原子概念測驗 (I) 之作答情形彙整如表 4-4-1 所示。很明顯地, 高達 93.2% 的 8 年級學生於「物質組成」概念分類為 C0 類型, 顯示大部分未學習粒子概念之 8 年級學生對於「物質組成」概念仍未具備粒子觀(屬連續觀的想法), 僅有 4.1%和 2.7% 的 8 年級學生屬於 C12 類型和 C2 類型, 換言之, 8 年級學生對於物質組成概念幾乎不具有粒子觀的想法, 純粹以連續觀的想法來作答, 如氧氣看不見, 所以無法繪出, 或是銅線組成部分, 學生繪成線狀的銅線, 且對於具生命的物體, 學生認為其組成為細胞, 推測可能是已學習過有生命物體是由細胞組成的概念, 所以細胞是最小組成。整體而言, 粒子概念對於未學習過任何粒子概念的 8 年級學生而言幾乎不具有有任何的意義, 所以其作答均未有任何有關粒子概念的描述。

9 年級學生的作答情形, 仍有 20.0% 的 9 年級學生屬於 C0 類型, 顯示 9 年級學生雖已學習過粒子相關的概念, 可能因遺忘、生活經驗、概念本身屬抽象且複雜(邱美虹, 2000), 或教師在教學過程中忽略學生由巨觀層面進入到微觀層面時所產生的困難(賴俊文, 2010) 等因素, 所以對於物質組成的想法仍未具備粒子觀, 此外, 9 年級學生屬於 C12 類型之比例則迅速增加為 55.4%, 很明顯地, 雖然 9 年級學生已學習過相關的粒子概念, 但因受到先前所學概念影響, 即是“有生命物體是由細胞組成”, 故將物質的組成區分為“生命”與“非生命”, 即若是不具有生命的物體其組成為原子或粒子, 具有生命的物體則為細胞。而且 9 年級學生持有粒子觀 C2 類型之比例偏低, 研究結果僅有 18.5%。很明顯地, 雖然已有部分 9 年級學生從最初連續觀的想法開始轉變成微觀粒子概念, 但仍屬於過渡的階段, 所以純粹粒子觀 C2 類型的學生比例偏低。此外, 本研究亦顯示由於 9 年級學生已學習粒子概念, 也使學生對於化學學習產生極大改變, 從上述的研究結果亦顯現此效應。

10 年級和 11 年級學生於原子概念問卷 (I) 之作答情形均非常類似, 雖然較高比例的學生具備粒子的概念, 10 和 11 年級持有粒子觀 C2 類型之比例則分別有 33.3%和 40.3%, 但大多數學生仍屬於 C12 類型, 10 和 11 年級分別有高達 61.5%和 55.5%的學

生對於「物質組成」概念以爲生命與非生命做爲判斷之依據，認爲沒有生命物體組成爲原子，有生命物體則爲細胞，且比例有增加的趨勢。而僅有非常低比例的學生（10 年級：5.1%；11 年級：4.2%）對於「物質組成」概念會以原子內仍有電子、質子和中子來回答，其中 11 年級有 1.4% 的學生以拉塞福原子模型（有核模型）爲主，2.8% 的學生則以波耳原子模型（行星模型）爲主。

表 4-4-1. 8-11 年級學生於「物質組成」概念之作答情形 (%)

	C0	C1	C2	C12	C3	C4	C5	C6
8 年級	93.2		2.7	4.1				
9 年級	20.0		18.5	36.0		6.2		
10 年級			33.3	61.5		5.1		
11 年級			40.3	55.5		1.4	2.8	

註：連續觀模型（C0）；細胞模型（C1）；道耳吞原子模型（C2）；混合模型（C12）；湯木生原子模型（C3）；拉塞福原子模型（C4）；波耳原子模型（C5）；電子雲模型（C6）

綜合上述討論，8-11 年級於「物質組成」概念之類型分布，其中 C1、C3 和 C6 等三種類型皆沒有任何學生屬於此種類型，但 C12 類型始終維持相當高的比例。8 年級學生仍未修習過原子概念外，其「物質組成」概念之類型爲 C0 類型，9 年級學生主要類型爲 C12 類型，並且已有 18.5% 的學生爲 C2 類型，10 年級學生雖然主要類型爲 C12 類型，但已有 33.3% 的學生爲 C2 類型，11 年級學生屬於 C2 類型則增加到 40.3%。

整體而言，9-11 年級學生屬於 C12 類型之比例均相當地高，很明顯地，學生的作答受到物質是否具有生命所影響，學生將物質組成分爲「具有生命的物質」與「不具有生命的物質」兩者來討論，他們認爲不具生命的物質是由原子所組成，然而具有生命的物質則是由細胞所構成，他們將生物學科中細胞概念結合到原子概念，此結果與 Harrison 和 Treagust（1996）研究相互呼應，即學生物質組成的概念受到了先前生物學的影響，他們結合細胞概念於原子的心智模式。此外，本研究亦顯示 9-11 年級學生屬於 C12 類型之比例均相當地高，換言之，此概念雖然經過教學但仍難以改變。因此，教師在課堂教學上，對於物質組成之概念，應區分細胞核和原子核之間的差異，並且強調物質是由粒子所組成概念，如此才能避免學生學習的困難，以及迷思概念的產生。

此外，綜合上述的結果，若從跨學生作答情形來分析，並依各年級比例較高類型做爲學生擁有類型，可看出學生於「物質組成」概念之演變歷程主要爲 **C0→C12→C2**，即是學生從物質組成連續觀的概念（C0 類型），慢慢發展爲混合觀的想法（C12 類型），即是將物質組成分爲「具有生命的物質」與「不具有生命的物質」兩者來討論，隨後

再發展為物質由粒子所組成的微觀想法（C2 類型）。雖然有部分學生會以拉塞福或波耳原子理論來解釋，但整體而言比例偏低，換言之，雖然問卷希望學生回答組成物質的最小粒子，但學生仍以道耳吞原子說來做說明，除非要求學生畫出原子結構，否則學生仍認為原子為最小的粒子。

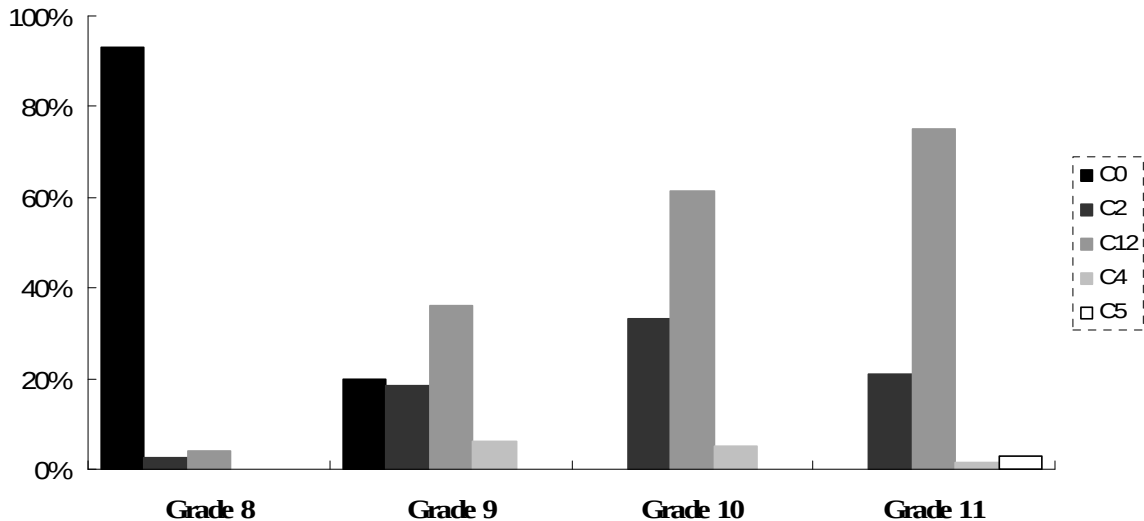


圖 4-4-1. 8-11 年級學生於「物質組成」概念之類型分布圖

為深入了解學生對於「物質組成」的概念，本研究亦要求學生利用畫圖與說明的方式來表達其想法，底下列出受試學生「物質組成」概念之類型，依序以 C0、C12、C2 等 3 項作為主要說明的類型。C0 類型主要是未學習過任何有關原子概念之學生所擁有之類型，以 8 年級學生為主，其特徵為對於「物質組成」未具備粒子觀的想法，學生會以物體外觀特徵作為判斷物質組成之依據，而且物質組成與物體擁有相類似的性質，如學生會認為氧氣無法看到，所以無法畫出來；人類皮膚是由細胞組成，皮膚擁有彈性是細胞本身具有彈性所造成，細胞呈現黃褐色，或是銅線其組成為線狀，且其顏色為紅色，以下圖 4-4-2 為例：

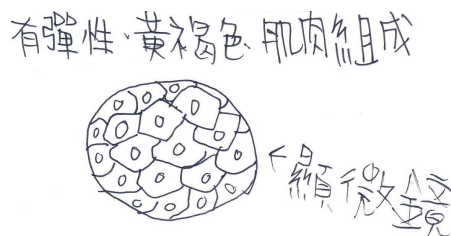


圖 4-4-2(a). 人類皮膚組成



圖 4-4-2(b). 銅線組成

圖 4-4-2. C0 類型之示意圖（s80718）

9-11 年級學生於「物質組成」概念所擁有主要為 C12 類型，學生對於「物質組成」概念擁有混合之概念，其特徵為不具生命的物體，其組成為球形的粒子，類似於道耳

吞原子說的概念，並且將物質最小組成畫成圓球狀；而擁有生命物體的最小組成則為細胞，並且包含細胞的組成，如細胞核和細胞質等。此外，有部分學生認為細胞或原子擁有物體的巨觀性質，如細胞本身具有彈性，或是銅原子本身為紅棕色等，如此結果亦呼應 Andersson（1990）的研究結果，若是具有顏色的物質，學生相信其組成的粒子亦將具有顏色，如下圖 4-4-3 所示：

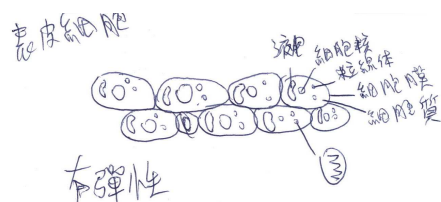


圖 4-4-3(a). 人類皮膚組成

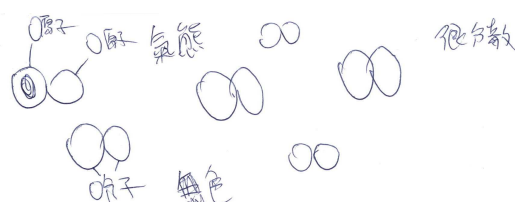


圖 4-4-3(b). 氧氣組成

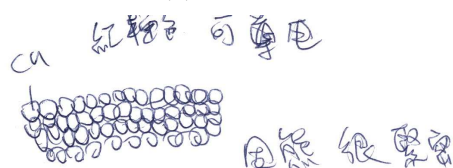


圖 4-4-3(c). 銅線組成

圖 4-4-3. C12 類型之示意圖（s90132）

C2 類型其主要特徵為學生對於「物質組成」概念已具有粒子觀的想法，作答不再受物質是否具有生命所影響，學生已經了解不論物質是否具有生命，物質均是由原子或粒子所構成，類似於道耳吞原子說概念，即一切物質均由原子或粒子所構成，換言之，學生已經擁有物質微觀的想法。但仍有部分的學生認為原子或粒子擁有物體巨觀性質，類似於物質的巨觀性質，如銅線組成為銅原子，銅原子為紅棕色，其類型特徵如下圖 4-4-4 所示：

應該是皮膚色的，有沒有彈性看不出來吧 = "

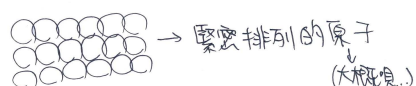


圖 4-4-4(a). 人類皮膚組成

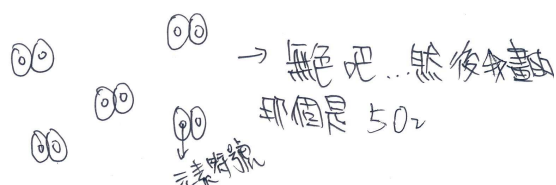


圖 4-4-4(b). 氧氣組成

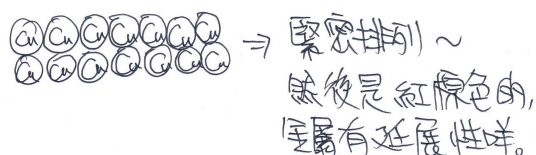


圖 4-4-4(c). 銅線組成

圖 4-4-4. C2 類型之示意圖（s90104）

（二）原子結構模型

關於原子結構模型之研究，從表 4-4-2 所示，有高達 94.6% 的 8 年級學生於原子

概念問卷 (I) 之「原子結構模型」作答結果分類為 M0 類型，僅有 2.7% 的學生屬於 M1 類型和 2.7% 的學生屬於 M3 類型，顯示大部分未學習過原子概念之 8 年級學生對於原子結構模型仍不理解，或是仍未具備微觀的原子想法，如此結果亦呼應先前「物質組成」概念的研究結果。

學生經過原子概念教學後，M3 類型的比例迅速成長，72.3% 的 9 年級學生於「原子結構」之作答情形分類為 M3 類型，即認為原子結構為有核的形態，從學生所畫圖形可知他們將原子區分為原子核和核外的電子，原子核含有質子和中子或是僅有質子，但原子核外電子未能以分層的方式排列。此外，6.2% 的學生屬於 M1 類型，即是學生仍以原子作為物質的最基本組成，類似於道耳吞原子說的概念，僅有 7.7% 學生之「原子結構模型」屬於為 M2 類型（類似湯木生原子結構模型），即認為原子內有質子和電子，並且均勻分布於原子內，但沒有原子核之概念，探究其原因可能是現行教科書未能強調此模型（詳見前述之模型特徵分析），教師教學過程中亦忽略湯木生原子模型，或是學生雖學習過相關之原子模型，惟湯木生原子結構模型在歷史發展過程中已被證實屬於錯誤的原子結構模型，故學生在學習過程中會予以忽略或僅學習有核之原子結構模型，故最後以有核的原子模型來呈現。雖然依據 92 年《國民中小學九年一貫課程綱要》，課程綱要內容並未強調電子以分層的方式排列，但仍有 13.8% 學生的原子結構模型屬於 M4 類型，推測其原因可能為教師平時教學所影響，故學生擁有電子分層的概念。

10 年級和 11 年級階段，若依據 95 年《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》，學生已學習殼層的概念，並了解電子在原子核外的分布情形。研究結果亦顯示 10 和 11 年級學生屬於 M4 類型之比例有增加的趨勢，並成為 10 和 11 年級學生於「原子結構模型」之主要類型，其比例分別為 39.7% 和 45.8%，此外，仍分別有 57.7% 和 47.2% 學生之原子結構模型歸為 M3 類型，顯示學生雖已學習過殼層的概念，但可能因遺忘或原子結構屬抽象概念等因素，故無法將電子以殼層的方式來排列，11 年級僅有 4.2% 的學生屬於 M2 類型，1.4% 的學生屬於 M5 類型，雖然 11 年級學生學習過軌域的概念，但仍以殼層的概念為主。此結果亦呼應許多研究之結果（Harrison & Treagust, 1996; Nakiboglu, 2003; Tsapalis & Papaphotis, 2002），因為電子以殼層的概念來呈現較為具體，故雖然學生已學過軌域概念，但仍以最為熟悉的行星系統模型來解釋或描述原子的結構，換言之，此結果亦說明學生對於行星系統的原子結構模型已經形成穩定的心智模式，雖然經過教師的教學，11 年級學生對於原子結構無法有更進一步清楚的瞭解，他們仍然偏好於波耳的原子結構模型，由此亦可了解學生對於原子概念是相當難以改變的。

表 4-4-2. 8-11 年級學生於「原子結構」概念之作答情形 (%)

	M0	M1	M2	M3	M4	M5
8 年級	94.6	2.7		2.7		
9 年級		6.2	7.7	72.3	13.8	
10 年級		1.3		57.7	39.7	
11 年級		1.4	4.2	47.2	45.8	1.4

註：沒有原子模型（M0）；道耳吞原子模型（M1）；湯木生原子模型（M2）；拉塞福原子模型（M3）；波耳原子模型（M4）；電子雲模型（M5）。

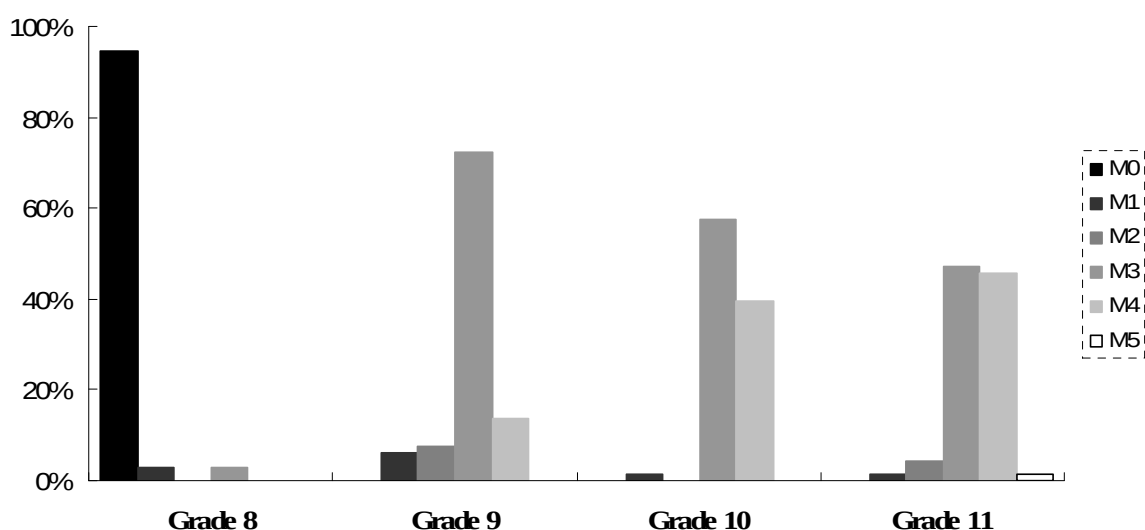


圖 4-4-5. 8-11 年級學生「原子結構模型」概念之類型分布圖

綜合上述，跨年級學生於「原子結構模型」類型發展，8 年級學生主要為 M0 類型，9 年級學生主要為 M3 類型，10 和 11 年級則轉變為 M3 和 M4 兩種類型，換言之，學生心目中主要原子模型為拉塞福與波耳原子模型。由此顯示，跨年級學生於「原子結構」之發展歷程為 **M0→M3→M4**，即是學生從未具備原子的概念，經過教學後，學生擁有原子核的概念（拉塞福原子理論），隨後則發展電子運動且分層的概念（波耳原子理論）。

綜合上述分析，受試學生對於「原子結構」所擁有之模型特徵，在此以 M2、M3、M4 和 M5 等四種模型為例，說明學生所擁有「原子結構」之模型特徵。

M2 模型類似於湯木生原子模型，學生無法理解原子結構可區分為原子核和核外電子，雖然理解原子可以再分割為更小的粒子，如質子和電子，但仍未有原子核的概念，以 s90112 學生之作答為例，其原子結構之模型特徵為原子猶如一顆球，中子、質子和電子全部包括在裡面，很明顯地，學生仍缺乏原子核的概念，僅有擁粒子的概念，如圖 4-4-6 所示：



圖 4-4-6. 「原子結構」模型—M2 模型 (s90112)

M3 模型類似於拉塞福原子模型，即為有核模型，其主要特徵為原子結構可區分為原子核和核外電子，但核外電子未能以分層的方式排列，電子分布於原子核外（如圖 4-4-7(a)），或是電子僅在圓形的軌道運轉（如圖 4-4-7(b)），且原子核通常有質子和中子，但仍有部分的學生則認為原子核僅含有質子。

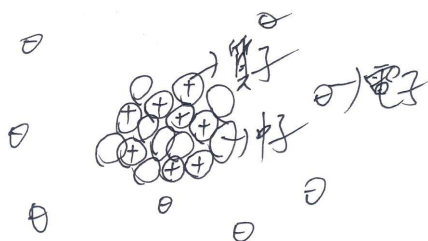


圖 4-4-8(a). 原子結構」模型 (s10419)

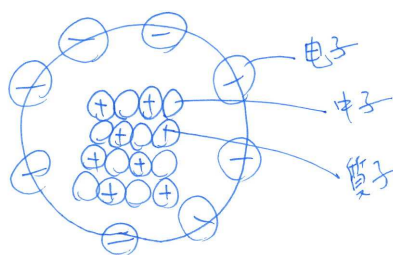


圖 4-4-8(b). 原子結構」模型 (s90536)

圖 4-4-7. 「原子結構」模型—M3 模型

M4 模型特徵為原子結構可區分為原子核和核外的電子，原子核包含質子和中子，且電子以分層的方式排列，通常是以第一殼層填 2 個電子，第二殼層填 8 個電子的形式，即是電子以 (2, 8, 8) 之規則排列，類似於行星系統模型。雖仍有部分學生不了解各殼層之電子數目，但仍歸於此類別，如圖 4-4-8 所示：

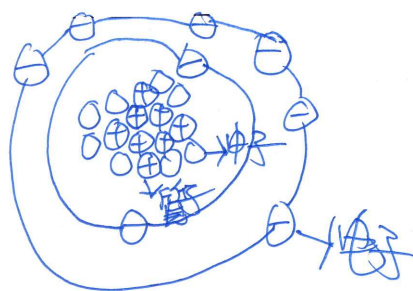


圖 4-4-8. 「原子結構」模型—M4 模型 (s10436)

M5 模型之特徵則為電子運動情形類似於電子雲形式，學生將原子結構描畫為原子核和核外的電子，並且以點的方式來描述電子出現的位置與情形，以點的稠密程度來表示電子出現機率的大小，如圖 4-4-9 所示：

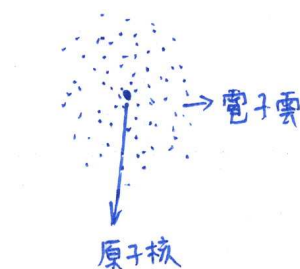


圖 4-4-9. 「原子結構」模型—M5 模型 (s21015)

(三) 原子結構描述和說明

「原子結構描述和說明」著重於學生對於原子內所含更小粒子數目之計算，學生於原子概念問卷(I)之「原子結構描述和說明」概念作答情形經分類後，結果如表 4-4-3 和圖 4-4-10 所示。研究結果顯示，有高達 97.3% 的 8 年級學生於「原子結構之描述與說明」之作答情形經分類為 D0，猶如前述，大部分 8 年級學生未學習過原子相關的概念，仍未具有粒子觀，且仍未學習過原子內所含更小粒子之名稱或組成等相關概念，故無法理解原子是由質子、電子和中子所組成，甚至是原子內各種粒子（質子、中子和電子等）數量之計算。

學生學習原子概念相關教學後，已有 50.7% 的 9 年級學生於「原子結構之描述與說明」能正確地計算質子、中子和電子的數量，但仍有 13.8% 的 9 年級學生認為原子結構仍為圓球，無法理解原子可以區分為原子核與核外電子，24.6% 的 9 年級學生雖然了解原子內含有質子、中子和電子，但未能正確計算各種粒子的數量。

學生經過不斷的教學，10 年級學生於「原子結構之描述與說明」之作答情形，依序為 66.7% 學生已能正確地計算質子、中子和電子的數量，25.6% 學生（D3 和 D4）了解原子內含有質子、中子和電子，但卻未能正確計算各粒子之數量，但比例已降至非常地低。

11 年級學生於「原子結構描述和說明」之回答情形類似於 10 年級學生之結果，對於原子內含有質子、中子和電子等三種粒子，並且能計算各粒子之數量，結果顯示已經有 62.5% 的學生回答正確，但仍有 8.3% 的學生忽略原子內含有中子，屬於 D2 類型，而有 23.6% 學生（D3 和 D4）雖然了解原子內含有質子、中子和電子等更小的粒子，但卻未能正確計算各種粒子的數量。

綜合上述，跨年級學生於「原子結構描述和說明」作答情形，茲因 8 年級學生仍未學習過相關的原子概念，故有 97.3% 的學生屬於 D0 類型，而 9 年級學生已學習過原子的相關概念，有 50.7% 的學生屬於 D6 類型，並且仍有 13.8% 的學生屬於 D0，而 10 和 11 年級則已有高達 60% 以上學生屬於 D6 類型，大部分學生均擁有原子核的概

念，但僅有非常低比例學生無法對於原子內所含之各種粒子數量做正確的計算。

表 4-4-3. 8-11 年級學生於「原子結構描述和說明」作答情形 (%)

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
8 年級	97.3		2.7				
9 年級	13.8	4.6	12.3	12.3	6.2		50.7
10 年級	1.3		6.4	17.9	7.7		66.7
11 年級	1.4	4.2	8.3	19.4	4.2		62.5

註：D0：未答、圓球或錯誤答案；D1：原子包括原子核和核外的電子；D2：原子包括帶正電的原子核和帶負電的電子，並且電子在外面繞原子核運動；D3：原子包括原子核（質子和中子）與帶負電的電子；D4：原子包括原子核（質子和中子）與帶負電的電子，並且質子數＝電子數；D5：原子包括 Z 個質子、A-Z 個中子和 Z 個電子；D6：原子包括原子核（Z 個質子和 A-Z 個中子）與 Z 個核外電子。

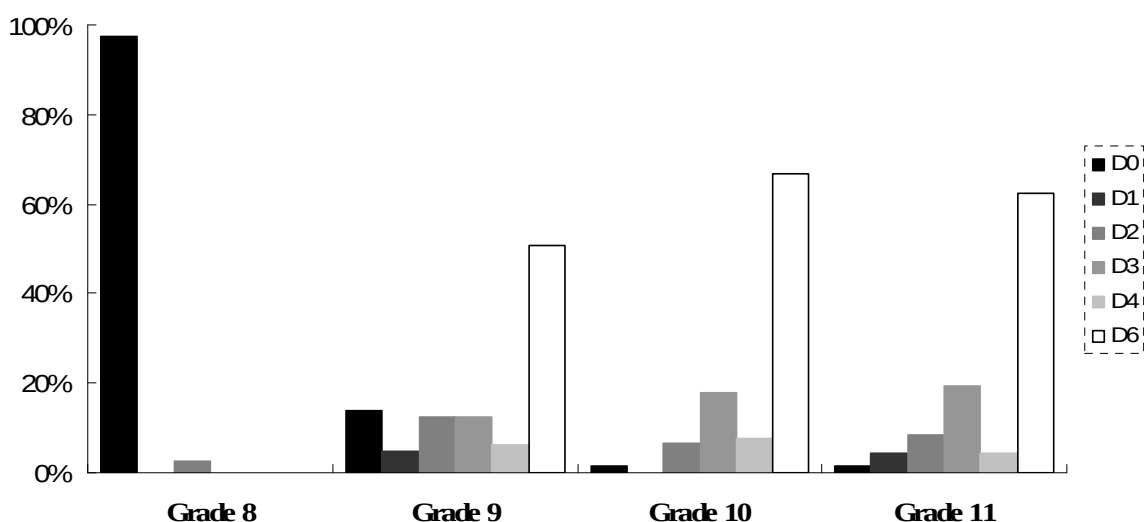


圖 4-4-10. 8-10 年級學生於「原子結構之描述和說明」之作答情形

二、跨年級學生模型發展與比較

（一）跨年級學生於「物質組成」之模型發展

學生對於「物質組成」的想法，若是從連續一粒子的角度，分析跨年級學生的作答情形，研究結果顯示，隨著年齡的增加，學生慢慢從連續觀轉變為粒子觀。從學生作答之情形，學生於「物質組成」概念之演變歷程主要為 C0→C12→C2。對於未學習過任何粒子概念的學生，其物質組成為連續觀概念，主要類型為 C0，若學生學習過粒子概念，其對於物質組成之模型，大部分學生回答則轉變為 C12 或 C2 類型，有相

當高比例的學生屬於 C12 類型，由此可知學生對於物質組成的概念深受物體為具生命或不具生命之影響，而屬於 C2 類型學生，不論是 8 年級或 11 年級屬於此類型的比例均偏低。依此結果顯示，學生對於物質組成概念之理解，以及發展歷程則顯得相當地緩慢，雖然學生從 8 年級至 11 年級階段，期間仍持續不斷地接受物質組成等概念，但擁有 C12 類型的學生，其比例仍相當地高，顯示此概念相當難以改變。此外，C4 和 C5 兩個類型，回答此種類型之學生比例非常少，雖然問卷內容要求學生畫出物質最小的組成，但學生對於物質組成仍認為原子作為物質組成的最小粒子，除非要求學生寫出原子內的組成或結構，學生才有可能以更小的粒子（質子、中子和電子）來回答，很明顯地，學生的作答受到問題情境所影響。

（二）跨年級學生於「原子結構」之模型發展

依上述的討論，學生於「原子結構」之模型發展歷程，主要為 M0→M3→M4。深入分析學生於原子結構之模型發展，未學習過原子概念之學生，如 8 年級學生其原子結構之模型主要為 M0，即是未具有粒子觀，隨後經過原子相關概念之教學，9 年級、10 年級和 11 年級學生對於原子結構所擁有的模型類型主要為 M3 和 M4，9-11 年級學生屬於 M3 模型之比例依序為 72.3%、57.7%、47.2%，M4 模型之比例依序為 13.8%、39.7%、45.8%。

從模型發展歷程看來，M1、M2 和 M5 等三種模型比例偏低，顯示學生對於「原子結構」之模型發展歷程，並未經歷此三個階段，探討缺乏 M1 和 M2 之原因，研究發現不論是 8 年級學生，或是 11 年級學生皆有相當低的比例屬於此種模型，缺乏 M2 模型可能是教科書未能強調湯木生原子理論或模型，從模型分類或模型特徵分析即可見其端倪，另一個可能原因即是教師教學過程中忽略相關概念的教學，教科書在科學教學扮演非常關鍵的角色，研究亦指出教師相當依賴教科書來計畫教學的內容與過程（Sanchez & Valcarcel, 1999），茲因許多版本教科書對於湯木生原子理論未能有相關的內容描述，或教科書未強調此概念，故教師即可能於教學過程中忽略湯木生原子理論，學生亦將無法建立完整的原子理論發展觀。此外，湯木生原子理論在整個原子科學發展過程中已經被證實是錯誤，故學生對於「原子結構」問題即以拉塞福或波耳的原子理論來作答。

此外，M5 類型屬於量子力學原子模型，雖然 11 年級學生已於基礎化學課程中修習過軌域的概念，但仍以殼層的概念為主。此研究結果亦呼應先前的研究結果（Harrison & Treagust, 1996; Nakiboglu, 2003; Tsapalis & Papaphotis, 2002），換言之，學生難以透過一般的教學策略發展原子軌域或機率的概念。

（三）跨年級學生與教科書於「原子結構」模型發展之比較

為探討影響學生於「原子結構」模型之發展歷程，本研究將從教科書於「原子結構」之模型發展歷程來探討影響學生於「原子結構」發展之因素，分析跨年級學生於「原子結構」之模型發展與教科書所呈現之概念與模型之關係。若是依據現今仿間使用之國高中教科書，分析各版本於原子結構之模型演變歷程，整理於表 4-5-4。現行國中使用之自然與生活科技教科書計有 3 個版本(TJ04~TJ06)，分析各版本教科書「原子結構」之模型演變情形，結果顯示 TJ04 版本教科書演變歷程為 M1→M3；TJ05 版本教科書為 M1→M2→M3，而 TJ06 版本教科書則為 M1→M2→M3→M4，顯示國中階段於原子結構之教學內容，著重於 M0→M1→M3 之模型發展，如此結果亦符合課程綱要之內容。

高中教科書部分，現階段我國化學教科書計有 6 個版本，分別是 TS11~TS16 版本，分析各版本教科書於「原子結構」之模型演變歷程，其中有 4 個版本教科書（TS11~TS14）其模型發展順序為 M1→M2→M3→M4→M5，2 個版本教科書（TS15~TS16）之順序為 M1→M3→M4→M5，很明顯上述 2 個版本教科書忽略湯木生原子模型之敘述。

表 4-4-4. 現階段仿間國、高中教科書於「原子理論」單元之模型演變歷程

國中教科書		高中教科書	
版本	模型演變歷程	版本	模型演變歷程
TJ04	M1→M3	TS11	M1→M2→M3→M4→M5
TJ05	M1→M2→M3	TS12	M1→M2→M3→M4→M5
TJ06	M1→M2→M3→M4	TS13	M1→M2→M3→M4→M5
		TS14	M1→M2→M3→M4→M5
		TS15	M1→M3→M4→M5
		TS16	M1→M3→M4→M5

由此結果顯示，M2 模型（湯木生原子模型）為教科書所忽略的概念模型，且從先前高中化學教科書於「原子結構」之模型表徵與類別分析結果顯示，分析 16 個版本教科書中，其中有 5 個版本教科書主要提及從陰極射線至電子的發現，未能描述湯木生提出之原子模型，此外，許多教科書於「湯木生原子理論」單元中所描述之內容，或使用之模型亦未能符合 Mayer（1989）之良好模型特徵。綜合上述討論，教科書於「原子結構」之模型發展歷程，主要是以 M1→M3→M4→M5 為主，即是教科書對於原子結構的發展，主要從道耳吞原子說，再討論拉塞福有核原子模型，其次則是波耳提出殼層模型，最後則是敘述量子力學原子模型。

依據跨年級學生於原子概念問卷(I)測驗結果顯示，學生於「原子結構」之模型發展歷程為 **M1→M3→M4**，兩者相互比較結果顯示，跨年級學生與教科書於「原子結構」之模型發展均符合上述之演變歷程，由此推論學生於「原子結構」之模型演變深受課程內容與順序所影響。而本研究國中階段受測學生使用之教科書版本為 TJ04，且雖然學生可能學習過 M2、M3 和 M4 等類型，但學生了解有核的原子模型（如拉塞福原子模型或波耳原子模型）較湯木生原子模型正確，所以學生會以有核原子模型來作答，研究亦顯示擁有 M2 模型學生之比例偏低，似乎可解釋為何會造成此結果之原因。

第五節 不同建模教學策略對於學生原子概念學習之影響

爲了解建模教學策略對於 11 年級學生學習原子概念之成效，本研究設計「類比建模教學」、「電腦輔助建模教學」和「講述教學」等三種不同教學活動，探討不同教學策略對於學生原子概念學習之影響。此外，教學使用之教材文本亦依先前教科書分析結果修正，明確訂出建模歷程於教材文本中。

底下先從三組 11 年級學生於原子概念問卷（II）前測結果，建立學生於原子概念之心智模式類型，隨後進行原子概念問卷（II）前、後測差異之比較，藉以分析三組學生經過不同教學活動後之影響，以及心智模式改變之情形。

本研究除利用概念性測驗了解學生經過不同教學後之概念理解情形，本研究亦分析三組學生於原子概念成就測驗與模型本質問卷之差異，藉以了解不同建模教學對於學生於模型認識與學習成就之影響。爲使本研究所獲得之資料能更爲豐富，本小節亦加入學生平時上課學習單，藉以深入了解學生學習之情形，並對前述之資料與結果進行更爲深入的詮釋。

一、原子概念問卷（II）前、後測結果分析比較

本研究爲探討不同教學策略對於 11 年學生學習原子概念之影響，分別於教學前、後對三組學生施予原子概念問卷（II），透過三組學生於原子概念問卷（II）施測之結果，分析三組學生經過不同教學活動後之概念理解情形。

（一）三組學生於「原子概念問卷（II）（前測）」成績之比較

1. 三組學生於「原子概念問卷（II）（前測）」描述性統計分析

爲了解三組學生教學前是否有差異，研究者將三組學生於原子概念問卷（II）作答情形，依「原子本質與結構」、「量子力學與軌域」、「電子組態與週期性」和「化學鍵結」等次概念，整理其描述性統計於表 4-5-1，三組學生於原子概念問卷（II）前測之得分，除「化學鍵結」概念外，其餘三個概念皆低於各概念總分之 50%，而三組學生於各題之答對率方面，三組學生於 1-2-1、3-1-1、3-2-1、4-1-1、4-1-2、4-2-2 和 4-5-2 等 7 個題目之第二階層理由之解釋部分，其答對率皆低於 30%，顯示教學前三組學生對於原子概念之理解均不甚理想。

表 4-5-1. 原子概念問卷（II）（前測）描述性統計

	原子本質與結構(10 分)		量子力學與軌域(9 分)		電子組態與週期性(12 分)		化學鍵結(26 分)		總分(57 分)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	4.44	1.75	3.86	1.74	4.72	2.15	13.33	3.75	26.36	5.67
類比建模組	3.97	1.44	3.94	1.64	4.69	1.41	14.57	2.71	27.17	3.98
電腦輔助建模教學	4.37	1.65	4.06	1.63	4.51	1.72	13.97	3.51	26.91	5.06
平均	4.26	1.62	3.95	1.66	4.64	1.77	13.95	3.36	26.81	4.93

底下即針對學生答對率較低之題目作分析，分別針對 1-2-1、3-1-1、3-2-1、4-1-1、4-1-2、4-2-2 和 4-5-2 等題目來進行討論，並探討學生擁有的另有概念與比例，如下所述：

- (1) 題目 1-2-1 為探討電子是否會被吸入原子核內，而使原子呈不穩定的狀態。研究結果顯示，有高達 31.1%的學生認為“原子呈現電中性，所以原子呈現穩定的狀態”；19.8%的學生認為“原子核所帶正電，並且與核外帶負電的電子正負電抵消而達平衡”；11.3%的學生認為“因為中子或其他物質存在，阻絕質子對電子的吸引”；14.2%的學生認為“因為電子可以在固定的軌道作圓周運動，而呈現穩定的狀態”。很明顯地，學生會以先前所學原子呈現電中性的概念，或日常生活經驗（物質的阻檔）來解釋原子穩定性的問題。
- (2) 題目 3-1-1 為比較鈉（ $^{23}_{11}\text{Na}$ ）和鎂（ $^{24}_{12}\text{Mg}$ ）兩種金屬何者較易失去電子？研究結果顯示，48.1%的學生“因為鈉原子最外層有 1 個電子，而鎂原子最外層有 2 個電子，而 1 個電子較易失去，所以鈉原子較容易失去電子”；7.5%的學生認為“鎂的電子數較多，所以較易失去電子”，即是學生以電子數目來做為判斷是否容易失去電子的依據。此外，有 15.1%的學生認為“鈉和鎂均屬第三週期的元素，化學性質相似，所以兩者皆容易失去電子”。
- (3) 題目 3-2-1 為比較鈉原子（ $^{23}_{11}\text{Na}$ ）與氯原子（ $^{35}_{17}\text{Cl}$ ）的「體積大小」？研究結果顯示，有高達 31.1%的學生認為“氯原子的電子數比較多，所以體積比較大”；9.4%的學生認為“氯原子的質量數較大，重量較大，所以氯原子體積比較大”，即是學生受到類似“若 A 較多的話...，則 B 亦較多...”的影響，由於學生受到平時生活經驗的影響，故會做直覺性的推論，所以學生會從電子數目或質量數來探討原子的體積大小，若是原子所含的電子數目愈多，或是原子的重量（質量數）愈大，原子的體積亦會較大；此外，29.2%的學生認為“鈉原子和氯原子最外層電子均為同一殼層，所以鈉原子和氯原子的體積一樣大”。學生僅從單一因素來考量原子的體

積，忽略原子核對電子吸引的因素，故學生認為鈉原子 ($^{23}_{11}\text{Na}$) 與氯原子 ($^{35}_{17}\text{Cl}$) 的體積大小相同。

- (4) 題目 4-1-1 和 4-1-2 為探討氫原子結合成氫分子，此化學反應過程為放熱；研究結果顯示，11 年級於題目 4-1-1 和 4-1-2 作答的情形，分別有高達 22.6%和 40.6%學生認為化學鍵的形成，“兩原子結合需要能量，分解放出能量”；35.8%和 15.1%的學生認為“若要將兩個原子連接起來，則需要有能量，但是也要有能量才能將兩個原子分開”。此結果亦呼應 Boo (1998) 與 Boo 和 Watson (2001) 的研究結果，即學生把化學鍵視為是物質，並且與日常生活的想法相互連結，故學生認為當建立任何結構時都需要能量，所以會擁有“形成化學鍵需要能量，破壞化學鍵則會釋放能量”的另有概念。
- (5) 題目 4-2-2 為探討液態的 NaCl 是否可以導電？研究結果顯示，19.8%的學生認為因為氯化鈉是電解質，所以液態 NaCl 可以導電，很明顯的，學生受到先前所學電解質的概念所影響，故學生認為液態的 NaCl 類似於 NaCl 水溶液，所以可以導電；44.3%的學生認為氯化鈉是離子化合物，加熱後氯離子和鈉離子仍連結一起，無法產生鈉離子和氯離子，所以液態 NaCl 不可以導電，學生了解氯離子和鈉離子之間有離子鍵存在，而離子鍵屬於強化學鍵，故加熱仍無法破壞離子鍵；6.6%的學生誤認氯化鈉是分子化合物，換言之，學生認為氯化鈉是以分子的形態存在，所以無法加熱無法產生鈉離子和氯離子，液態 NaCl 不能導電，此結果類似於 Tan 和 Treagust (1999) 的研究結果。
- (6) 題目 4-5-2 為探討 NO_2 化合物，其中包圍在氮 (^{14}N) 原子價殼層中的電子 (e^-) 共有幾個？研究結果顯示，26.4%的學生認為“穩定的化合物中，氮原子外圍一定有 8 個電子”；29.2%的學生認為“氮原子最外層有 5 個價電子，但因為 8 個電子比較安定，所以 N 原子仍會與氧原子共用電子，而使外圍有 8 個電子”。很明顯地，學生受到八隅體規則的影響，所以認為原子外圍必須有 8 個電子，學生誤用八隅體規則於化學鍵概念，此結果亦呼應許多研究的結果 (Coll & Treagust, 2001; Coll & Taylor, 2002; Nakiboglu, 2003; Taber, 1998; 2001)。此外，學生亦以原子序或價電子數來作為判斷 NO_2 化合物 N 原子外圍的電子數，結果顯示，11.3%的學生認為“穩定狀態下，外圍電子數應和原子序相同，而氮的原子序是 7”；而有 10.4%的學生認為“氮原子最外層有 5 個價電子，所以僅有 5 個電子與氧原子形成化合物”。類似地，Peterson 和 Treagust (1989) 的研究亦指出大部份學生均了解八隅體規則。然而，當要求學生應用此規則去解問題時，將會發現學生認為鍵結過程，非金屬

元素所能鍵結的共價鍵數目是和其價殼層的電子數目是相等的。換句話說，若是考慮 N_2Cl_4 分子時，則氮原子能夠提供 5 個電子來鍵結，換言之，學生未能將八隅體規則應用化學鍵結的概念學習。

2.三組學生於「原子概念測驗（II）（前測）」差異性統計分析

為進一步了解三組學生於原子概念問卷（II）（前測）之表現是否有差異，研究者利用單因子變異數分析，統計結果詳如表 4-5-2 所示，三組學生於原子概念問卷（II）之表現未達顯著性差異（ $F=0.248$ ； $p=.781>.05$ ），亦即教學前三組學生對於原子概念之理解並未有差異。

此外，若進一步針對「原子本質與結構」、「量子力學與軌域」、「電子組態與週期性」和「化學鍵結」等次概念進行單因子變異數分析，結果三組學生於各個次概念之得分亦未達顯著差異，顯示教學前三組學生對於原子概念之理解未有任何差異存在，詳如表 4-5-3 所示。

表4-5-2. 原子概念問卷（II）（前測）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	12.21	2	6.10	0.248	0.781
組內	2536.02	103	24.62		
總和	2548.23	105			

表4-5-3. 原子概念問卷（II）（前測）（次概念）單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
原子本質 與結構	組間	4.57	2	2.29	0.872	0.421
	組內	270.03	103	2.62		
	總和	274.60	105			
量子力學 與軌域	組間	0.69	2	0.34	0.123	0.885
	組內	288.08	103	2.80		
	總和	288.76	105			
電子組態 與週期性	組間	0.87	2	0.43	0.136	0.873
	組內	329.51	103	3.20		
	總和	330.38	105			
化學鍵結	組間	27.22	2	13.61	1.207	0.303
	組內	1161.54	103	11.28		
	總和	1188.76	105			

(二) 三組學生於「原子概念問卷(II)(後測)」成績之比較

1. 三組學生於「原子概念問卷(II)(後測)」描述性統計分析

經過不同教學活動後，三組學生於原子概念問卷(II)後測之作答情形如表 4-5-4 所示，三組學生經過不同教學活動後於原子概念問卷(II)之正確率皆有明顯的提升，除 4-5-2 題之第二階層理由解釋正確率仍僅有 43.4%，其餘各題正確率皆超過 50%。換言之，三組學生經過不同教學活動後，對於原子概念理解均有顯著的進步。

為了解三組學生於原子概念問卷(II)進步之情形是否達統計水準，本研究即進行三組學生於原子概念問卷(II)前、後測總分之配對樣本 T 檢定，結果詳如表 4-5-5 所示。研究結果顯示，三組學生皆達統計顯著性差異，表示三組學生雖然經過不同教學活動後，對於原子概念理解均有明顯的進步。

若比較三組學生於原子概念問卷(II)後測之得分，結果顯示「類比建模組」優於「電腦輔助建模組」和「講述教學組」，且「電腦輔助建模組」優於「講述教學組」，顯示建模教學活動可促進學生於原子概念之學習與理解。

表 4-5-4. 原子概念問卷(II)(後測)描述性統計

	原子本質與結構(10 分)		量子力學與軌域(9 分)		電子組態與週期性(12 分)		化學鍵結(26 分)		總分(57 分)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	6.17	2.40	5.22	2.11	7.06	3.16	16.83	4.78	35.28	8.27
類比建模組	7.37	1.66	6.34	1.83	8.37	2.39	18.29	5.02	40.37	7.68
電腦輔助建模組	6.94	2.52	6.74	1.40	7.09	2.78	18.29	5.52	39.06	8.51
平均	6.82	2.26	6.09	1.91	7.50	2.84	17.79	5.11	38.21	8.37

表 4-5-5. 原子概念問卷(II)前、後測總分配對樣本 T 檢定

	成對變數差異					T	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
講述教學組	8.92	5.96	0.99	6.90	10.93	8.978	35	.000
類比建模組	13.20	6.60	1.12	10.93	15.47	11.830	34	.000
電腦輔助建模組	12.14	7.35	1.24	9.62	14.67	9.770	34	.000

2. 三組學生於「原子概念問卷(II)(後測)」差異性統計分析

猶如上述，三組學生經過不同的教學活動後，學生於原子概念問卷(II)之得分皆有顯著的提升。而為比較不同教學策略對於學生學習原子概念之影響，研究者進一

步將三組學生於原子概念問卷（II）之總分進行單因子變異數分析，結果詳如表4-5-6所示，經過不同教學活動後，三組學生於原子概念問卷（II）之後測表現達顯著性差異（ $F = 3.740$ ； $p = .027 < .05$ ）。若進一步以 LSD 進行事後考驗，結果如表4-5-7所示，顯示「類比建模組」之測驗結果優於「講述教學組」，且達統計上顯著差異（ $p = .010 < .05$ ），亦即「類比建模組」經過類比建模教學後於原子概念問卷之表現優於「講述教學組」，雖然「電腦輔助建模組」之測驗結果優於「講述教學組」，惟未達統計之顯著性差異（ $p = .054 > .05$ ）。此外，「類比建模組」之測驗結果優於「電腦輔助建模組」，惟未達統計之顯著性差異（ $p = .502 > .05$ ）。綜合上述結果，本研究初步得知建模教學有利於學生於原子概念之理解與學習。

表4-5-6. 原子概念問卷（II）（後測）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	498.15	2	249.08	3.740	.027
組內	6859.28	103	66.59		
總和	7357.43	105			

表4-5-7. 原子概念問卷（II）（後測）單因子變異數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-5.09	1.94	.010	-8.94	-1.25
	電腦輔助建模組	-3.78	1.94	.054	-7.62	0.06
類比建模組	講述教學組	5.09	1.94	.010	1.25	8.94
	電腦輔助建模組	1.31	1.95	.502	-2.55	5.18
電腦輔助建模組	講述教學組	3.78	1.94	.054	-0.06	7.62
	類比建模組	-1.31	1.95	.502	-5.18	2.55

此外，本研究為深入了解三組學生於「原子本質與結構」、「量子力學與軌域」、「電子組態與週期性」和「化學鍵結等」等四個不同概念表現之差異，依序對上述四個次概念進行單因子變異數分析，結果詳如表4-5-8所示。三組學生經過不同教學活動後僅在「量子力學與軌域」概念達顯著性差異（ $F = 6.768$ ； $p = .002 < .005$ ），其餘三個次概念皆未達統計顯著性差異。本研究推論透過電腦模擬等視覺化教學活動，讓抽象「量子力學與軌域」概念更為具體化且易於學生的學習與理解，換言之，透過電腦模擬的教學策略來模擬不可見電子的運動情形，並透過畫圖教學，提供機會讓學生將抽象概念視覺化，除提供學生想像與深入探究原子的結構與空間關係外，亦了解所呈現模型中無法看到或理解的部分。換句話說，透過視覺化過程將可以提供學生使用模型表徵

的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生在建模教學活動中學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型等歷程，更促進學生對於抽象原子概念之學習。此外，先前於第四節曾論及學生對於量子力學概念中軌域與電子不可預測性等概念均感到學習困難，即是經過教學，11年級學生仍偏好於波耳原子模型，但本研究認為透過上述的視覺化教學策略將可促進學生於量子力學概念的理解。

表4-5-8. 原子概念問卷（II）（後測）（次概念）單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
原子本質 與結構	組間	26.54	2	13.27	2.674	.074
	組內	511.06	103	4.96		
	總和	537.59	105			
量子力學 與軌域	組間	44.26	2	22.13	6.768	.002
	組內	336.79	103	3.27		
	總和	381.06	105			
電子組態 與週期性	組間	39.70	2	19.85	2.534	.084
	組內	806.80	103	7.83		
	總和	846.50	105			
化學鍵結	組間	50.15	2	25.07	0.960	.386
	組內	2691.29	103	26.13		
	總和	2741.43	105			

若針對「量子力學與軌域」概念以 LSD 進行事後考驗，結果如表4-5-9所示，顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於量子力學與軌域概念之表現優於「講述教學組」，且達統計之顯著性差異（ $p = .010 < .01$ ； $p = .001 < .001$ ），亦即「類比建模組」與「電腦輔助建模組」透過建模教學活動，並且將抽象概念視覺化的過程有利於學生於量子力學與軌域等概念之學習，而講述教學雖仍可以增進學生概念之學習，但其效益略低於「類比建模組」與「電腦輔助建模組」。此外，雖然「電腦輔助建模組」於量子力學與軌域概念之表現高於「類比建模組」之表現，惟未達統計之顯著性差異（ $p = .543 > .05$ ）。

表4-5-9. 原子概念問卷（II）（後測－量子力學）單因子變異數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間 下限 上限	
講述教學組	類比建模組	-1.12	0.43	.010	-1.97	-0.27
	電腦輔助建模組	-1.52	0.43	.001	-2.37	-0.67
類比建模組	講述教學組	1.12	0.43	.010	0.27	1.97
	電腦輔助建模組	-0.40	0.43	.357	-1.26	0.46
電腦輔助建模組	講述教學組	1.52	0.43	.001	0.67	2.37
	類比建模組	0.40	0.43	.357	-0.46	1.26

（三）三組學生於「原子概念問卷（II）」進步分數比較與分析

1.三組學生於「原子概念問卷(II)」進步分數比較之描述性統計

猶如上述，雖然三組學生經過不同的教學活動後，學生於原子概念問卷(II)之成績皆有明顯的提升，但爲了探討不同教學策略對於學生學習原子概念之影響，本研究計算三組學生於原子概念問卷(II)進步分數之差異(即後測－前測＝進步分數)，結果詳如表 4-5-10 和圖 4-5-1 所示，依序爲「講述教學組」($M=6.64$ ； $S.D.=6.18$)、「類比建模組」($M=9.57$ ； $S.D.=5.33$)和「電腦輔助建模組」($M=8.97$ ； $S.D.=5.86$)，整體而言，透過不同的建模教學活動可促進學生於原子概念之學習與理解。但比較三組進步分數之差異，結果顯示三組學生於教學活動後，「類比建模組」於原子概念問卷(II)測驗之進步分數高於「電腦輔助建模組」和「講述教學組」之進步分數($12.69 > 11.91 > 8.92$)，且「電腦輔助建模組」亦優於「講述教學組」($11.91 > 8.92$)，換言之，建模教學較傳統教學更有助於學生原子概念的學習。

表 4-5-10. 原子概念問卷(II)進步分數之描述性統計

	原子本質與結構(10 分)		量子力學與軌域(9 分)		電子組態與週期性(12 分)		化學鍵結(26 分)		總分(57 分)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	1.72	1.77	1.33	2.53	2.33	2.67	3.50	3.31	8.92	5.96
類比建模組	3.40	1.52	2.40	2.25	3.69	2.49	3.71	3.82	13.20	6.60
電腦輔助建模組	2.57	2.20	2.69	2.53	2.57	2.68	4.31	4.39	12.14	7.35
平均	2.56	1.96	2.13	2.49	2.86	2.66	3.84	3.84	11.40	6.84

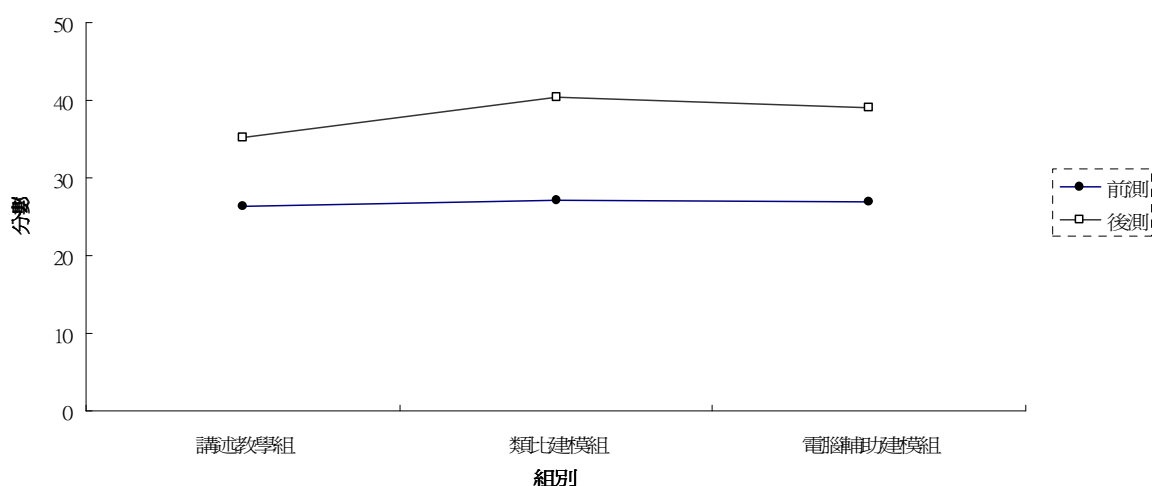


圖 4-5-1. 三組學生於原子概念問卷(II)前、後測總分之關係圖

2.三組學生於原子概念問卷(II)進步分數差異之統計分析

爲進一步了解三組學生經過不同教學活動後表現之差異，本研究將三組學生於原子概念問卷(II)前、後測之進步分數進行單因子變異數分析，結果詳如表4-5-11所示。

雖然研究顯示三組學生於原子概念問卷（II）前、後測之進步分數達顯著差異（ $F = 4.004$ ； $p = .021 < .05$ ）。本研究進一步以 LSD 進行事後考驗，結果如表4-5-12所示，顯示「類比建模組」和「電腦輔助建模組」於原子概念問卷（II）進步分數高於「講述教學組」進步分數，且達統計之顯著性差異（ $p = .008 < .05$ ； $p = .044 < .05$ ），換句話說，透過類比建模與電腦輔助建模教學可促進學生於原子概念之理解。此外，雖然「類比建模組」於原子概念問卷（II）進步分數高於「電腦輔助建模組」進步分數，惟兩者未達統計之顯著性差異（ $p = .508 > .05$ ）。

表4-5-11. 原子概念問卷（II）（進步分數）之單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	354.72	2	177.36	4.004	.021
組內	4562.64	103	44.30		
總和	4917.36	105			

表4-5-12. 原子概念問卷（II）（進步分數）單因子變異數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-4.28	1.58	.008	-7.42	-1.15
	電腦輔助建模組	-3.23	1.58	.044	-6.36	-0.09
類比建模組	講述教學組	4.28	1.58	.008	1.15	7.42
	電腦輔助建模組	1.06	1.59	.508	-2.10	4.21
電腦輔助建模組	講述教學組	3.23	1.58	.044	0.09	6.36
	類比建模組	-1.06	1.59	.508	-4.21	2.10

此外，本研究為了解三組學生於「原子本質與結構」、「量子力學與軌域」、「電子組態與週期性」和「化學鍵結」等四個次概念表現之差異，即將三組學生於原子概念問卷（II）前、後測之進步分數進行單因子變異數分析，結果詳如表4-5-13所示，三組學生僅於「原子本質與結構」概念達顯著性差異（ $F = 6.315$ ， $p = .003 < .005$ ），其餘次概念則未達統計之顯著性差異。

若針對「原子本質與結構」概念以 LSD 進行事後考驗，結果如表4-5-13所示，研究結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」均優於「講述教學組」，且達顯著性差異（ $p = .001 < .001$ ），亦即「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於「原子本質與結構」概念之表現優於「講述教學組」，此外，雖然「類比建模組」優於「電腦輔助建模組」，惟未達統計之顯著差異（ $p = .056 > .05$ ）。「原子本質與結構」概念為讓學生了解不同原子理論之發展，本研究認為會造成如此差異為透過建模教學活動所造

成，在建模教學活動中，教師讓學生自行建立模型，並且針對建立模型與其他同儕所建立之不同原子模型進行分析與評估的工作，透過師生之間的討論活動了解不同原子模型之限制與演變歷程，建立更為完整之「原子本質與結構」概念，故「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於「原子本質與結構」概念之表現會較「講述教學組」為佳。

「量子力學與軌域」概念部分，雖然三組以單因子變異數分析，結果顯示未達顯著性差異（ $p = .052 > .05$ ），但本研究仍以 LSD 進行事後考驗，結果詳見表4-5-15所示。研究結果顯示「電腦輔助建模組」於「量子力學與軌域」概念之表現優於「講述教學組」之表現（ $p = .022 < .05$ ），而「類比建模組」雖然亦優於「傳統講述組」，惟未達統計之顯著性差異（ $p = .069 > .05$ ）。依此推論，「電腦輔助建模組」於「量子力學與軌域」概念優於「講述教學組」主要原因為透過視覺化的建模教學活動，讓抽象的量子力學與軌域概念視覺化，教師以更為具體的模型來呈現軌域，故學生可透過視覺化的過程，了解如何建立模型、修正與評估，更可透過視覺化的過程，建立更具體且容易了解之模型表徵，換言之，擁有視覺化，我們除了可以看到外，且可以思考複雜的關係與空間位置之關係（Uttal & O' Doherty, 2008）。所以「電腦輔助建模組」於「量子力學與軌域」概念之表現會優於「講述教學組」之表現。

表4-5-13. 原子概念問卷（II）（進步分數）單因子變異數分析

		平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
原子本質 與結構	組間	49.97	2	24.98	7.306	.001
	組內	352.19	103	3.42		
	總和	402.16	105			
量子力學 與軌域	組間	36.21	2	18.10	3.037	.052
	組內	613.94	103	5.96		
	總和	650.15	105			
電子組態 與週期性	組間	36.76	2	18.38	2.681	.073
	組內	706.11	103	6.86		
	總和	742.88	105			
化學鍵結	組間	12.59	2	6.29	0.422	.657
	組內	1535.69	103	14.91		
	總和	1548.27	105			

表4-5-14. 原子概念問卷（II）（進步分數－原子本質與結構）單因子變異數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-1.68	0.44	.000	-2.55	-0.81
	電腦輔助建模組	-0.85	0.44	.056	-1.72	0.02
類比建模教學組	講述教學組	1.68	0.44	.000	0.81	2.55
	類比建模組	0.83	0.44	.064	-0.05	1.71
電腦輔助建模組	講述教學組	0.85	0.44	.056	-0.02	1.72
	電腦輔助建模組	-0.83	0.44	.064	-1.71	0.05

表4-5-15. 原子概念問卷（II）（進步分數－量子力學與軌域）單因子變異數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-1.07	0.58	0.069	-2.22	0.08
	電腦輔助建模組	-1.35	0.58	0.022	-2.50	-0.20
類比建模教學組	講述教學組	1.07	0.58	0.069	-0.08	2.22
	類比建模組	-0.29	0.58	0.625	-1.44	0.87
電腦輔助建模組	講述教學組	1.35	0.58	0.022	0.20	2.50
	電腦輔助建模組	0.29	0.58	0.625	-0.87	1.44

（四）三組學生於「原子概念問卷（II）」共變數分析與比較

本研究為了解三組學生於「原子概念問卷（II）」前測與後測分數之比較，雖然三組學生前測成績未達顯著性差異，但本研究仍採 ANCOVA 共變數分析，以原子概念問卷（II）前測分數作為共變項，探討不同教學策略與原子概念理解之間的關係是否具有顯著性，結果詳如表4-5-16所示。從表中可以發現，在「原子概念問卷（II）」以前測作為共變量的前提下，三組學生經過不同教學活動後，三組學生於「原子概念問卷（II）」後測有顯著之差異（ $F = 4.02$ ， $p < .05$ ），顯示三組學生經過不同的教學活動後，學生在原子概念的理解有顯著的差異。

表 4-5-16. 「原子概念問卷（II）」共變數分析摘要

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
校正後的模式	498.15	2	249.08	3.740	.027
截距	154740.57	1	154740.57	2323.608	.000
教學策略	498.15	2	249.08	3.740	.027
誤差	6859.28	103	66.59		
總和	162098.00	106			
校正後的總數	7357.43	105			

若進一步比較三組經教學後之差異，本研究進一步以前測成績為共變量前提下，採用 LSD 法針對不同教學策略與後測成績的關係進行事後比較，結果如表 4-5-18 所示。從表中可知：1.「類比建模組」於原子概念問卷（II）後測成績較「講述教學組」為佳（ $p = .010 < .05$ ），亦即類比建模教學策略可促進學生於學生原子概念之理解；2.「類比建模組」的分數優於「電腦輔助建模組」，但兩者未達顯著性差異；3.「電腦輔助建模組」雖較「講述教學組」表現為佳，但兩者未達統計顯著性差異。整體而言，透過建模的教學策略可增進學生原子概念的學習與理解，且透過類比結合建模之教學活動更可增進學生於原子概念之學習。

表 4-5-17. 原子概念問卷（II）後測共變數分析之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-5.09	1.94	.010	-8.94	-1.25
	電腦輔助建模組	-3.78	1.94	.054	-7.62	0.06
類比建模教學組	講述教學組	5.09	1.94	.010	1.25	8.94
	類比建模組	1.31	1.95	.502	-2.55	5.18
電腦輔助建模組	講述教學組	3.78	1.94	.054	-0.06	7.62
	電腦輔助建模組	-1.31	1.95	.502	-5.18	2.55

二、不同教學策略對於學生原子概念心智模式之影響與改變

為了解與比較三組學生於不同教學活動後之心智模式演變情形，研究者針對三組學生於原子概念問卷（II）前測結果，建立學生原子概念之心智模式，然後依據編碼方式，比較三組學生於前、後測之原子概念心智模式類型與比例，再對學生於原子概念問卷（II）之前、後測之心智模式進行比對分析，探討學生經過不同教學活動後，原子概念心智模式改變之情形。

（一）原子概念之心智模式架構建立

首先，此部分主要是以表 3-5-1 和三組學生於原子概念問卷（II）前測結果為藍圖，建立學生原子概念之心智模式架構。「原子本質與結構」概念分為六種心智模式，分別是：錯誤模式（W）、電中性模式（E）、阻隔模式（D）、引力模式（A）、軌道模式（O）和科學模式（S）；「量子力學與軌域」概念可分為四種模式，分別是：軌道模式（O）、殼層模式（L）、類科學模式（RS）和科學模式（S）；「電子組態與週期性」概念則分為五種心智模式，依序為：電子數模式（N）、重量模式（W）、週期模式（P）、類科學模式（RS）和科學模式（S）等；最後，化學鍵結則分為四種心智模式，依序為：錯誤模式（W）、熱量模式（H）、類科學模式（R）和科學模式（S）等。詳見表

4-5-18 所示。

表 4-5-18. 原子概念心智模式編碼表

概念	心智模式(代號)	心智模式特徵描述
原子本質與結構	錯誤模式(W)	• 原子核正電荷與原子核外電子相互吸引，由於正、負相吸，所以電子會被原子核吸入，使原子呈現不穩定的狀態。
	電中性模式(E)	• 原子核正電荷與原子核外負電荷相等，因為正負電荷可以抵消，原子成電中性，所以原子可以呈現穩定狀態。
	阻隔模式(D)	• 原子內因為有其他粒子（如中子）的存在，具有緩衝或阻絕的效果，故可以避免電子被原子核吸引，而維持原子穩定性。
	引力模式(A)	• 原子核與電子之間的吸引力可作為電子作圓周運動的向心力，猶如衛星繞地球，所以電子可以穩定地在原子核外運動，但仍無法解釋為何電子不會被原子核吸引而墜入。
	軌道模式(O)	• 電子運動有特定的軌道，電子雖然仍受到原子核的吸引，但因有特定的軌道運轉，所以不會被原子核吸入，故原子可以穩定的存在。
	科學模式(S)	• 電子運動沒有一定的軌道，無法預測其運動軌跡，但有特定能量，所以可以穩定存在。
量子力學與軌域	軌道模式(O)	• 電子運動有固定的範圍，且電子運動為圓形單一軌道。
	殼層模式(L)	• 電子運動有固定的範圍，電子運動為圓形軌道，且有殼層分布情形。
	類科學模式(RS)	• 電子運動有固定的範圍，且電子運動為隨機方式，無法預測電子的運動形態，僅能利用機率來描述。
	科學模式(S)	• 電子運動沒有固定的範圍，且電子運動為隨機方式，無法預測電子的運動形態，僅能利用機率來描述。
電子組態與週期性	電子數模式(N)	• 電子數是影響原子體積之主要因素，若是原子所含的電子數愈多，則體積相對亦會愈大，此外，電子數目的多寡亦是影響是否容易失去電子的因素之一。
	重量模式(W)	• 原子重量影響原子體積之主要因素，若是原子的重量愈大，則體積相對亦會愈大。
	週期模式(P)	• 考量原子體積與活性大小時，主要以原子之週期為考量因素，即是僅以價電子殼層數為考量原子體積的主要因素，忽略原子核引力（質子數）亦為影響原子體積與活性的重要因素。
	類科學模式(RS)	• 若比較原子的體積與活性大小，除考量電子殼層外，亦需考量原子核的引力，雖然了解兩者交互作用之關係，但推論錯誤。
	科學模式(S)	• 若比較原子的體積與活性大小，除考量電子殼層外，亦需考量原子核引力（質子數），即是了解兩者交互作用之關係。
化學鍵結(能量)	錯誤模式(W)	• 兩原子結合需要能量，分解放出能量。
	熱量模式(H)	• 不論是形成或破壞化學鍵，均需要吸收熱量，即是必須要有能量才能將兩個原子結合起來，但是也要有能量才能將兩個原子分開。
	類科學模式(R)	• 形成化學鍵結會放熱，破壞化學鍵需要吸收熱量，但其推論部分錯誤。
	科學模式(S)	• 形成化學鍵結會放熱，使物質變得更為安定；破壞化學鍵需要吸收熱量，且物質變得不安定。

（二）三組學生於原子概念之心智模式改變情形

1. 「原子本質與結構」概念

拉塞福原子模型最大問題即是原子穩定性問題，依庫侖靜電力的想法，正、負電荷會相互吸引，原子核帶正電，核外電子帶負電，原子核將吸引核外電子，如此原子將會呈現不穩定的狀態，但實際上原子卻是呈現穩定的狀態。依學生於原子概念問卷（II）前測結果，學生對於「原子本質與結構」概念其心智模式大致可以分為下列幾種類型，依序是錯誤模式（W）、電中性模式（E）、阻隔模式（D）、引力模式（A）、軌道模式（O）和科學模式（S）等六種心智模式，而三組學生於原子結構穩定性之心智模式與演變情形詳如圖 4-5-2。

教學前，三組學生於「原子本質與結構」概念主要心智模式為電中性模式（E）（講述教學組：38.9%；類比建模組：51.4%；電腦輔助建模組：40.0%）和錯誤模式（W）（講述教學組：27.8%；類比建模組：25.7%；電腦輔助建模組：17.1%）。教學後，三組學生主要心智模式轉變成科學模式（S）和引力模式（A），三組學生擁有科學模式之比例依序為 33.3%、60.0%和 62.9%，和引力模式（A）比例依序為 25.0%、17.1%和 14.3%。整體而言，三組學生經過不同教學活動後，對於「原子本質與結構」概念理解均有顯著的教學成效。「類比建模組」和「電腦輔助建模組」於教學後科學模式均增加至 50-60%左右，而「講述教學組」僅增加 25.0%，顯示透過類比模型或電腦模擬建立模型，經由同儕之間的討論、修正與評估，以及模型調度等建模教學活動的經驗，呈現不同模型與表徵之間的交互作用，了解不同模型表徵之差異等，均有助於學生科學模型的建立。

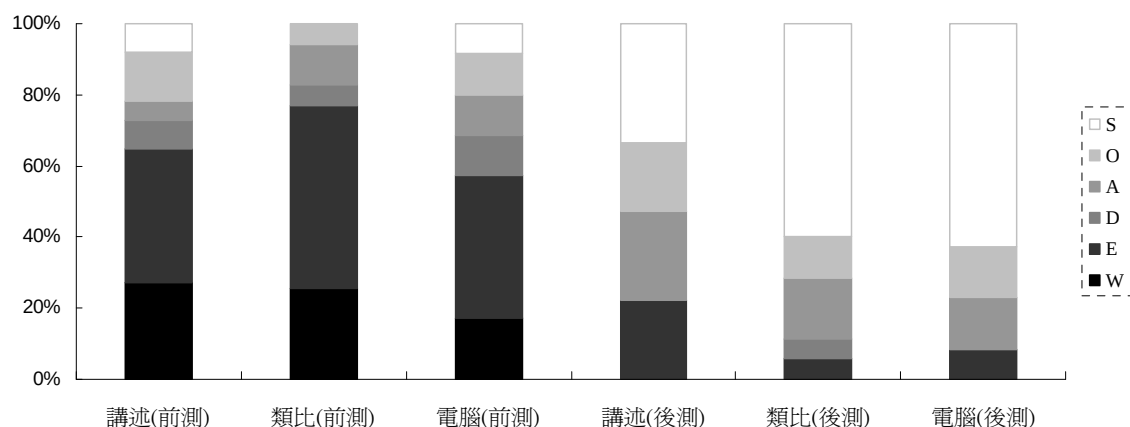


圖 4-5-2. 三組學生於「原子結構與結構」概念之心智模式改變情形

2. 「量子力學與軌域」概念

電子運動方式可以利用機率來描述其分布的區域，學生對於「量子力學與軌域」概念其心智模式大致可以分為下列幾種類型，依序是軌道模式（O）、殼層模式（L）、類科學模式（RS）和科學模式（S）等四種模式，而三組學生於「量子力學與軌域」概念之心智模式與轉變情形詳如表 4-5-3。

研究結果發現，教學前學生於「量子力學與軌域」概念所擁有的心智模式主要為軌道模式（O）（講述教學組：36.1%；類比建模組：28.6%；電腦輔助建模組：37.1%）和殼層模式（L）（講述教學組：22.2%；類比建模組：51.4%；電腦輔助建模組：48.6%），顯示大部分學生雖然擁有原子核的概念，但仍以軌道與殼層方式來描述電子的運動。推論與學生學習原子結構之經驗有關，回顧第四節之研究結果與相關文獻探討，許多學生仍傾向於認為拉塞福和波耳原子模型為原子的結構，即是有核模型和殼層的概念。教學後，學生心智模式則轉變為殼層模式（L）（講述教學組：16.7%；類比建模組：20.0%；電腦輔助建模組：22.9%）和科學模式（S）（講述教學組：52.8%；類比建模組：60.0%；電腦輔助建模組：74.3%）兩種心智模式，顯示學生對於量子力學與軌域已擁有機率或隨機之概念，然而殼層模式之比例仍偏高。類似地，Cros, Chastrette & Fayol（1988）的教學經驗也發現，認為教師若利用波耳原子模型似乎難以改變學生對於原子結構的迷思概念，學生經過教學後對於不同的原子模型依然未有更進一步的理解，他們仍然偏好於波耳的原子模型。

若比較三組學生於「量子力學與軌域」概念之心智模式演變情形，教學前，三組學生擁有科學模式之比例依序為 13.9%、8.6%和 11.4%，以講述教學組為最高，經過不同的教學後，三組學生擁有科學模式之比例依序為 52.8%、58.3%和 74.3%，「電腦輔助建模組」的比例為最高，若比較三組學生教學前後科學模式增加之比例，「電腦輔助建模組」增加之比例為最高（增加 62.9%），而「講述教學組」增加之比例為最少（增加 38.9%），顯示電腦輔助建模教學對於學生於「量子力學與軌域」概念之學習有其效益，透過電腦模擬動畫教學，呈現抽象概念的原子模型，將心智模式的視覺化，均將有助於學生科學概念之學習，而且透過建模過程更可提供學生使用各種形式表徵之經驗，以及學習科學推理的技能，讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型，並進一步建立科學的模型。

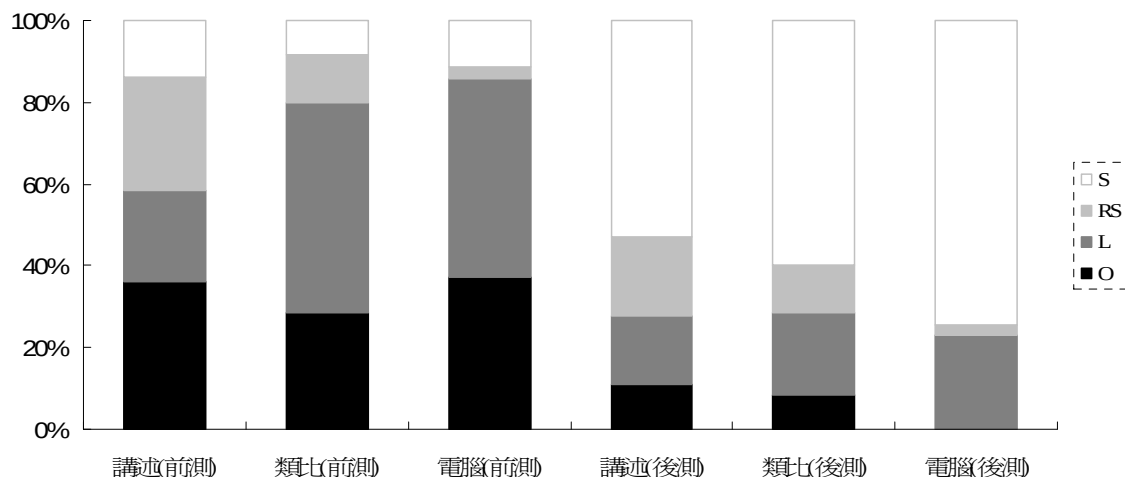


圖 4-5-3. 三組學生於「量子力學與軌域」之心智模式與改變情形

3. 「電子組態與週期性」概念

化學反應中參與反應是最外層或能量較高的電子，稱為價電子，價電子組態決定元素的化學性質。研究結果發現，學生於「電子組態與週期性」概念之心智模式大致可以分為下列五種類型，依序是電子數模式（N）、重量模式（W）、週期模式（P）、類科學模式（R）和科學模式（S）等。而三組學生於「電子組態與週期性」概念之心智模式與演變詳如圖 4-5-4 所示。

教學前，三組學生於「電子組態與週期性」概念之主要心智模式為電子數模式（E）（講述教學組：63.9%；類比建模組：62.9%；電腦輔助建模組：48.6%）和週期模式（W）（講述教學組：25.0%；類比建模組：25.7%；電腦輔助建模組：28.6%）。學生面對比較不同原子體積大小問題時，最常使用「電子數模式」，即是電子數目是影響原子體積之主要因素，若是原子所含的電子數愈多，則體積相對亦會愈大，此外，電子數目的多寡亦是影響是否容易失去電子的因素之一。教學後，仍有相當高比例學生擁有電子數模式，其比例依序為：講述教學組：25.0%；類比建模組：11.4%；電腦輔助建模組：22.9%，顯而易見，此概念相當難以改變。

教學後，三組學生於「電子組態與週期性」概念之心智模式轉變成科學模式（S）和類科學模式（RS），三組學生擁有科學模式之比例依序為 33.3%、37.1%和 17.1%，而類科學模式（RS）比例則依序為 11.1%、31.4%和 34.2%。整體而言，三組學生於不同教學活動後，擁有科學模式（S）之比例仍偏低，顯示不同教學活動對於「電子組態與週期性」概念之理解僅有部分的成效，「類比建模組」和「講述教學組」於教學後擁有科學模式（S）之比例僅分別增加 30.6%和 28.6%，而「電腦輔助建模組」更僅增加 2.9%，顯示建模教學活動雖然透過類比物建立、電腦模擬和同儕之間的討論等

經驗，但對於電子組態與週期性問題，因學生需要判斷較多的因素，學生將難以建立正確的科學模型。

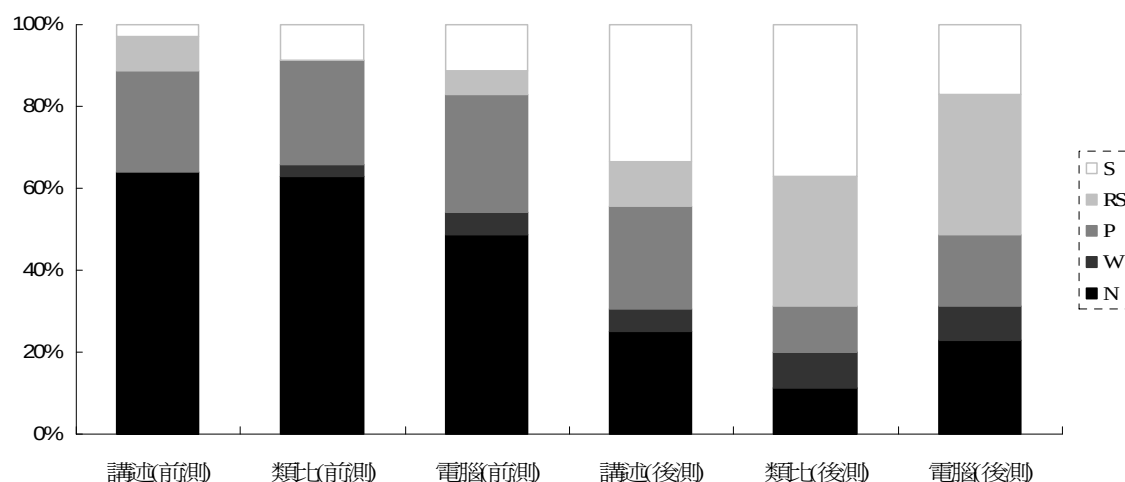


圖 4-5-4. 三組學生於「電子組態與週期性」概念之心智模式與改變情形

4. 「化學鍵結」概念

關於化學鍵的形成，主要探討形成與破壞化學鍵結之能量關係。教學前，大部分學生對於化學鍵與能量之關係之心智模式屬於錯誤模式（W），即是認為形成化學鍵為吸熱，破壞化學鍵則為放熱，其主要理由為吸收能量來維持兩者的鍵結，或是必須施予能量才能將兩個原子連接起來，而破壞化學鍵則是將原有吸收的熱量釋放出來，整體來說，教學前擁有此心智模式的比例為講述教學組：33.3%、類比建模組：57.1%和電腦輔助建模組：68.6%，經過教學後，仍有相當高比例之學生擁有此心智模式（講述教學組：16.7%；類比建模組：28.6%；電腦輔助建模組：17.1%），顯示此概念不易改變。對於大部份的學生而言，化學鍵常被以實體來看，即是將化學鍵視為是物質，當學生將此概念與日常生活的想法相互連結，學生將會認為當建立任何結構時都需要能量，如此的結果類似於 Boo（1998）的研究。

除錯誤模式（W）外，許多學生對於化學鍵結能量之關係擁有熱量模式（H），即不論形成或破壞化學鍵皆需要吸收熱量，換言之，即必須要有能量才能將兩個原子結合起來，但是也要有能量才能將兩個原子分開，教學前擁有此心智模式的比例依序為：講述教學組：36.1%、類比建模組：11.4%和電腦輔助建模組：5.7%，經過教學活動後，仍有相當高比例之學生擁有此心智模式，各組之比例依序為：講述教學組：27.8%、類比建模組：5.7%、電腦輔助建模組：14.3%。此外，教學前擁有正確的科學模式（S）的比例亦有偏低的現象，其比例依序為：講述教學組：11.1%、類比建模組：14.3%和電腦輔助建模組：11.4%，經過不同教學活動後，擁有科學模式之比例增

加為講述教學組：30.6%、類比建模組：51.4%和電腦輔助建模組：48.6%。若比較三組學生教學前、後擁有科學模式（S）之增加比例，「電腦輔助建模組」增加比例為最高（增加 37.2%），而講述教學組增加之比例為最少，僅增加 19.5%，顯示電腦輔助建模教學對於學生於「化學鍵結」概念之學習有其效益，透過電腦模擬動畫呈現化學鍵結的形式與過程，將化學鍵抽象概念以具體形式的模型來呈現，並且探討不同表徵之間的交互作用等關係，均有助於學生科學模型的建立。整體來說，大部分學生對於化學鍵結與能量之學習感到困難外，亦顯示此概念難以改變。

化學鍵是屬於化學裡較為抽象的概念，Nicolli（2001）認為僅管增加教學時數，學生在化學鍵概念所擁有的迷思概念依然難以改變。在現行的教學課程裡，學生並未被要求去做有意義的學習，或是概念性的瞭解。相反地，學生雖然通過了平時的成就性測驗，但他們卻未真正地瞭解鍵結的含義。因此，在教學上教師需強調在符號、巨觀和微觀世界之間的轉換，所以學生才能發展他們在鍵結模式的心智模式。畢竟，當學生瞭解化學的基本概念之後，他們才能理解其他的相關概念。

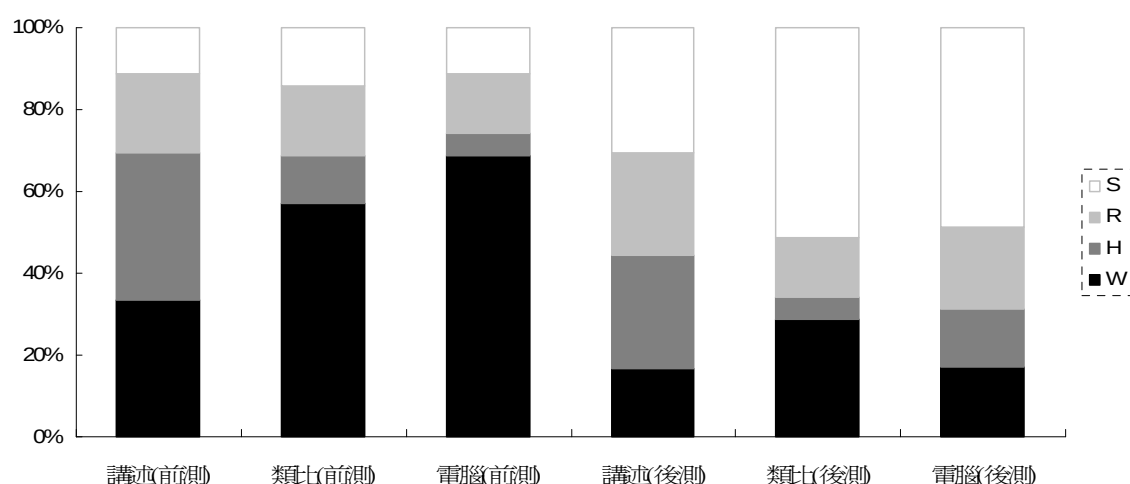


圖 4-5-5. 三組學生於「化學鍵結」概念之心智模式與改變情形

5.小結

綜合上述之結果，不同教學策略對於學生原子概念心智模式之影響，主要有下列四點：(1)整體而言，三種教學活動均有促進學生原子概念心智模式改變的情形，惟以類比建模教學對於學生心智模式之影響最為明顯，在「原子本質與結構」和「量子力學與軌域」等概念，分別有 60.0%和 51.4%的比例修正往科學模式（S），顯示學生透過自發性類比物之建立，透過建模教學活動，學生將更能了解原子相關之概念；而講述教學組前、後測心智模式之變化最不明顯，雖然部分學生教學後之心智模式轉變成科學模式（S），惟其比例相對較低，四個概念擁有科學模式之比例依序為 25%、

38.9%、30.6%和 19.4%，顯示透過講述教學將難增進學生學習抽象的原子概念；(2) 電腦輔助建模教學可促進學生學習「量子力學與軌域」概念，研究結果顯示有 62.9% 的學生修正成科學模式 (S)，顯示透過電腦輔助建模教學，可將原有相當抽象的電子運動形態視覺化，讓學生了解電子運動之情形，並透過模型建立、修正、評估和調度等建模教學活動，故可提升學生於「量子力學與軌域」概念之理解；(3)「電子組態與週期性」概念，三組學生教學後轉變為科學模式之比例偏低，顯而易見，學生面對原子組態與週期性等多重因素問題時，學生難以理解何者為影響原子體積或活性之主要因素，或是判斷原子體積或活性時需選擇何種理由，導致學生難以建立正確的科學模型 (S)，也顯示概念難以改變。(4)電腦輔助建模教學可以增進學生學習「化學鍵結」概念之效益，透過電腦模擬動畫將不可見的化學鍵結的形式與過程視覺化，即是將抽象的化學鍵概念以具體形式模型來呈現，並探討與比較不同表徵之間的交互作用等關係，讓學生建立正確的科學模型。

最後，透過建模教學，除可使抽象概念以模型來呈現外，更可提供多重表徵形式的具體模型，並透過建模教學活動，讓學生了解與比較多重表徵之差異，如此教學活動均可促進學生建立更完整的心智模式，並透過視覺化的推理過程，讓學生對於各種現象與概念更為具體化外，也讓學生有更多面向的理解，此外，更透過學生同儕之間的辯證與討論，進而了解原有心智模式的缺陷，進而改變其心智模式，換句話說，即是促進學生的概念改變。

三、學生原子概念成就測驗結果分析與比較

綜合上述，建模教學可增進學生原子概念與心智模式的改變外，本小節亦將探討建模教學如何影響學生於原子概念學習成就，是故三組學生於不同教學活動後，即施予原子概念成就測驗，三組學生於原子概念成就測驗作答情形詳見表 3-5-17 所示。

(一) 不同教學策略學生於原子概念成就測驗分析

三組學生經過不同教學策略後，本研究即針對學生對原子概念之理解進行成就性測驗，結果之描述性統計整理於表 4-5-19。由表 4-5-19 觀之，三組學生經過不同教學活動後於原子概念成就測驗之得分，平均得分依序為「類比建模組」(M=29.44；S. D.=8.66) > 「電腦輔助建模組」(M=26.64；S. D.=8.44) > 「講述教學組」(M=21.81；S. D.=7.50)。顯示建模教學可促進學生於原子概念成就測驗之表現。若是以測驗題型來區分，「類比建模組」於原子概念成就測驗之表現，不論是選擇題或非選擇題之平均得分均優於「電腦輔助建模組」與「講述教學組」，而「電腦輔助建模組」則優於

「講述教學組」，顯示建模教學除可增進學生概念理解外，亦可增進學生之學習成效。

表 4-5-19. 原子概念成就測驗描述性統計

	選擇題		非選擇題		總分	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	16.86	5.43	4.08	3.13	20.94	7.68
類比建模組	21.66	6.71	7.51	3.57	29.17	8.91
電腦輔助建模組	19.37	6.21	7.09	3.71	26.46	8.68
平均	19.27	6.39	6.21	3.77	25.48	9.04

為進一步了解三組學生於原子概念成就測驗表現之差異，研究者利用單因子變異數進行分析，經統計結果如表4-5-20所示。由表4-5-20的結果顯示，三組學生經過不同教學活動後，三組學生於原子概念成就測驗表現達顯著性差異（ $F=8.794$ ， $p=.000$ ），亦即三組學生經過不同教學活動後於原子概念成就測驗表現不同。

若進一步以 LSD 進行事後考驗，詳見表4-5-21，研究結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於原子概念成就測驗之表現明顯優於「講述教學組」之表現，且達統計上顯著性差異（ $p=.000 < .05$ ； $p=.007 < .05$ ），而「類比建模組」雖然優於「電腦輔助建模組」，但未達統計上顯著水準（ $p=.181 > .05$ ）。綜合上述結果，猶如上述建模教學除了對於學生於原子概念學習有其助益外，更可提升學生平時之學習成就。

表4-5-20. 原子概念成就測驗（總分）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	1250.92	2	625.46	8.794	.000
組內	7325.55	103	71.12		
總和	8576.46	105			

表4-5-21. 原子概念成就測驗（總分）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
講述教學組	類比建模組	-8.23	2.00	.000	-12.20	-4.26
	電腦輔助建模組	-5.51	2.00	.007	-9.48	-1.54
類比建模教學組	講述教學組	8.23	2.00	.000	4.26	12.20
	類比建模組	2.71	2.02	.181	-1.28	6.71
電腦輔助建模組	講述教學組	5.51	2.00	.007	1.54	9.48
	電腦輔助建模組	-2.71	2.02	.181	-6.71	1.28

研究者再以選擇題和非選擇題等不同測驗形式加以分析與比較三組學生學習成就之差異，研究結果如下所述：

1.選擇題部分：選擇題的命題著重於學生之概念理解，除針對拉塞福原子理論或波耳原子模型理解外，亦針對化學鍵結的形成，探討學生對於化學鍵結之理解。學生於選擇題作答情形詳如表4-5-22所示。由表4-5-22的結果顯示，三組學生經過不同教學活動後，三組學生於成就性測驗（選擇題）之表現達顯著性差異（ $F=5.433$ ， $p=.006 < .05$ ），亦即三組學生經過不同教學活動後於成就測驗（選擇題）之表現有所不同。若進一步以 LSD 進行事後考驗，詳見表4-5-23，研究結果顯示「類比建模組」明顯優於「講述教學組」，且達顯著性差異（ $p=.003 < .005$ ）亦即「類比建模組」經過類比建模教學活動後之表現優於「講述教學組」之表現，「電腦輔助建模組」雖優於「講述教學組」，但未達統計上顯著性差異（ $p=.161 > .05$ ），而「類比建模組」亦優於「電腦輔助建模組」，但亦未達統計上顯著性差異（ $p=.099 > .05$ ）。

表4-5-22. 原子概念成就測驗（選擇題）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	408.70	2	204.35	5.433	.006
組內	3874.36	103	37.62		
總和	4283.07	105			

表4-5-23. 原子概念成就測驗（選擇題）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-4.80	1.46	.001	-7.68	-1.91
	電腦輔助建模組	-2.51	1.46	.088	-5.40	0.38
類比建模教學組	講述教學組	4.80	1.46	.001	1.91	7.68
	類比建模組	2.29	1.47	.122	-0.62	5.19
電腦輔助建模組	講述教學組	2.51	1.46	.088	-0.38	5.40
	電腦輔助建模組	-2.29	1.47	.122	-5.19	0.62

2.非選擇題部分：非選擇題著重於學生對於現象或問題的解釋，並利用畫圖與計算等方式來評量學生之表現，如對於原子理論發展之概念性解釋，繪製 p 軌域的形狀與方向，或是解釋 N_2 分子結構如何影響化學反應之活性。由表4-5-24的結果顯示，三組學生經過不同教學活動後，三組學生於非選擇題分數之表現達顯著性差異（ $F=10.315$ ， $p=.000 < .001$ ），亦即不同教學策略對於學生於原子概念成就測驗非選

擇題之表現是有影響的。若進一步以 LSD 進行事後考驗，詳見表4-5-25，結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」之表現明顯優於「講述教學組」之表現，且達統計上顯著性差異（ $p = .000 < .001$ ； $p = .000 < .001$ ），顯示透過建模教學活動對於學生在現象與問題之概念性解釋，以及繪圖之表現有相當大的助益，而「類比建模組」雖然優於「電腦輔助建模組」，但未達統計上顯著差異（ $p = .607 > .05$ ）。

表4-5-24. 原子概念成就測驗（非選擇題）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	249.20	2	124.60	10.315	.000
組內	1244.24	103	12.08		
總和	1493.43	105			

表4-5-25. 原子概念成就測驗（非選擇題）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-3.43	0.83	.000	-5.07	-1.79
	電腦輔助建模組	-3.00	0.83	.000	-4.64	-1.37
類比建模教學組	講述教學組	3.43	0.83	.000	1.79	5.07
	類比建模組	0.43	0.83	.607	-1.22	2.08
電腦輔助建模組	講述教學組	3.00	0.83	.000	1.37	4.64
	電腦輔助建模組	-0.43	0.83	.607	-2.08	1.22

為進一步比較不同教學活動對於學生於非選擇題之作答情形，以及深入了解三組學生於原子成就測驗之異同，三組學生於非選擇題之作答情形描述性統計結果如表4-5-26所示，結果顯示除第 5 題外，「類比建模組」與「電腦輔助建模組」之於非選擇題表現均優於講述教學組，特別是在1-1、1-2和1-3等 3 題，「講述教學組」之得分偏低，顯示「講述教學組」學生對於原子結構之模型演變與科學實驗之概念理解均非常地缺乏，更說明學生忽略科學實驗對於科學理論建立之重要性，進而影響其對於概念之理解。在教學意涵上，教師教學除著重於科學事實的呈現外，更應著重於科學實驗對於概念之連結，如此才能促進學生概念學習。

底下即以1-2題為例，說明「類比建模組」與「電腦輔助建模組」較「講述教學組」表現為佳之理由。1-2題主要評量學生對於從湯木生所假設的原子模型與拉塞福的原子模型」解釋 α 粒子散射實驗之理解，結果顯示「講述教學組」有高達81.6%的學生完全無法評量標準，即是未答，或答案錯誤，而有18.4%學生僅回答 α 粒子射入拉塞福原子模型後，大部分 α 粒子會穿過，或是回答 α 粒子射入湯木生原子模型後，絕大部

分將無法穿透金箔，僅有2.6%的學生完全符合評量標準，並且沒有學生會以作圖的方式來回答，而「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於1-2題之表現，分別有36.1%和36.9學生回答完全符合評量標準，13.9%和27.8%的學生部分符合評量標準，且部分學生會以圖示的方式來作答，如圖4-5-6所示。很明顯地，「類比建模組」與「電腦輔助建模組」的學生經過建模教學後，除在原子概念理解有提升外，對於問題之表達能力，亦有顯著地增加。

表4-5-26. 原子概念成就測驗（非選擇題）之作答情形

組別	題號	1-1	1-2	1-3	2	3	4-1	4-2	5	Total
講述教學組		0.19	0.19	0.31	0.58	0.53	0.83	0.97	0.47	4.08
類比建模組		0.83	0.89	0.51	1.29	0.91	1.20	1.60	0.29	7.51
電腦輔助建模組		0.74	1.09	0.31	1.17	0.63	1.17	1.40	0.57	7.09
平均		0.58	0.72	0.38	1.01	0.69	1.07	1.32	0.44	6.21

如果是湯姆生原子模型進行實驗， α 射線幾乎以直線穿過，極少數發生小角度偏折，反之拉塞福的原子模型有原子核，當 α 射線打中（原子核），則會有大角度偏轉之結果。

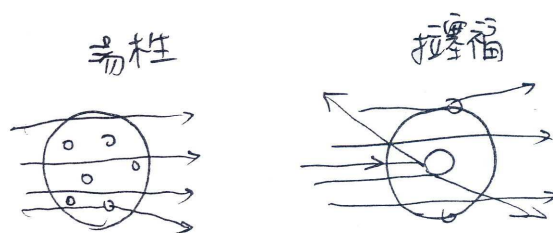


圖4-5-6. s20908 學生（類比建模組）於非選擇題1-2 之作答情形

（二）不同教學策略學生於原子概念成就測驗依概念分析

研究者將三組學生於原子概念成就測驗分為光譜與原子結構（選擇題：1、2、5和10；非選擇題：1-1、1-2、1-3和3）、量子力學與軌域（選擇題：3、4、5和7；非選擇題：2）、電子組態與週期性（選擇題：9；非選擇題：4-1、4-2）、化學鍵結（選擇題：8、11、12、13、14和15；非選擇題：5），彙整三組學生於四個概念之描述性統計整理於表4-5-24。由表4-5-27所示，「類比建模組」與「電腦輔助建模組」在原子概念成就測驗，不論在光譜與原子結構、量子力學與軌域、電子組態與週期性和化

學鍵結等概念均優於「講述教學組」，顯示建模教學對於學生學習原子概念有相當大的效益。此外，研究結果亦顯示，「類比建模組」之表現優於「電腦輔助建模組」。

表 4-5-27. 原子概念成就測驗（次概念）描述性統計

	光譜與原子結構 (總分：15)		量子力學與軌域 (總分：11)		電子組態與週期性 (總分：7)		化學鍵結 (總分：16)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	5.00	2.94	4.58	2.38	3.14	2.27	8.22	3.32
類比建模組	8.54	3.91	7.17	1.93	4.43	2.28	9.03	4.33
電腦輔助建模組	7.46	3.85	6.03	2.58	4.29	2.15	8.69	3.59
平均	6.98	3.85	5.92	2.53	3.94	2.29	8.64	3.74

為進一步了解三組學生於不同概念表現之差異，研究者再進一步對於上述四個概念進行單因子變異數分析，結果如下所述：

- 1.光譜與原子結構：光譜與原子結構概念主要探討各原子理論與氫原子光譜之概念，測驗結果詳如表4-5-28所示。由表4-5-25的結果顯示，三組學生在經過不同教學活動後，三組學生之表現達顯著性差異（ $F=9.116$ ， $p=.000 < .001$ ）。若進一步以 LSD 進行事後考驗，詳見表4-5-29，結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」優於「講述教學組」，且達顯著性差異（ $p=.000 < .001$ ； $p=.005 < .01$ ），而「類比建模組」表現雖優於「電腦輔助建模組」，但未達統計上顯著性差異（ $p=.208 > .05$ ）。

表4-5-28. 原子概念成就測驗（光譜與原子結構）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	234.59	2	117.30	9.116	0.000
組內	1325.37	103	12.87		
總和	1559.96	105			

表4-5-29. 原子概念成就測驗（光譜與原子結構）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間 下限	上限
講述教學組	類比建模組	-3.54	0.85	0.000	-5.23	-1.85
	電腦輔助建模組	-2.46	0.85	0.005	-4.15	-0.77
類比建模教學組	講述教學組	3.54	0.85	0.000	1.85	5.23
	類比建模組	1.09	0.86	0.208	-0.61	2.79
電腦輔助建模組	講述教學組	2.46	0.85	0.005	0.77	4.15
	電腦輔助建模組	-1.09	0.86	0.208	-2.79	0.61

2.量子力學與軌域：此部分主要評量學生對於量子力學理論與軌域等相關概念之理解，如電子運動之不可預測性，測驗結果如表4-5-31所示。由表4-5-30的結果顯示，三組學生在經過不同教學活動後，三組學生於量子力學與軌域概念之表現達顯著性差異（ $F=11.139$ ， $p=.000 < .001$ ）。若進一步以 LSD 進行事後考驗，詳見表4-5-31，結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」優於「講述教學組」，且達顯著性差異（ $p=.000 < .001$ ； $p=.010 < .05$ ），此外，「類比建模組」亦優於「電腦輔助建模組」，且達統計上顯著性差異（ $p=.042 < .05$ ）。

表4-5-30. 原子概念成就測驗（量子力學與軌域）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	119.54	2	59.77	11.139	0.000
組內	552.69	103	5.37		
總和	672.24	105			

表4-5-31. 原子概念成就測驗（量子力學與軌域）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間	
					下限	上限
講述教學組	類比建模組	-2.59	0.55	0.000	-3.68	-1.50
	電腦輔助建模組	-1.45	0.55	0.010	-2.54	-0.35
類比建模教學組	講述教學組	2.59	0.55	0.000	1.50	3.68
	類比建模組	1.14	0.55	0.042	0.04	2.24
電腦輔助建模組	講述教學組	1.45	0.55	0.010	0.35	2.54
	電腦輔助建模組	-1.14	0.55	0.042	-2.24	-0.04

3.電子組態與週期性：電子組態與週期性概念測驗著重於學生對於電子組態之認識，研究結果如表4-5-32所示。由表4-5-32的結果顯示，三組學生在經過不同教學活動後，三組學生於電子組態與週期性概念之表現達顯著性差異（ $F=3.571$ ， $p=.032 < .05$ ）。若進一步以 LSD 進行事後考驗（詳見表4-5-33），研究結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」均優於「講述教學組」，且達顯著性差異（ $p=.017 < .05$ ； $p=.033 < .05$ ），而「類比建模組」雖優於「電腦輔助建模組」，但未達統計上顯著性差異（ $p=.790 > .05$ ）。

表4-5-32. 原子概念成就測驗（電子組態與週期性）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	35.64	2	17.82	3.571	0.032
組內	514.02	103	4.99		
總和	549.66	105			

表4-5-33.原子概念成就測驗（電子組態與週期性）單因子變異數之事後比較

(I) Group	(J) Group	平均數差異 (I) - (J)	標準誤	顯著性 (a)	差異的95%信賴區間 下限	上限
講述教學組	類比建模組	-1.29	0.53	0.017	-2.34	-0.24
	電腦輔助建模組	-1.15	0.53	0.033	-2.20	-0.10
類比建模教學組	講述教學組	1.29	0.53	0.017	0.24	2.34
	類比建模組	0.14	0.53	0.790	-0.92	1.20
電腦輔助建模組	講述教學組	1.15	0.53	0.033	0.10	2.20
	電腦輔助建模組	-0.14	0.53	0.790	-1.20	0.92

4.化學鍵結：化學鍵結著重於評量學生對於化學鍵結、鍵結過程能量變化和預測化合物是否安定之理解。三組學生於化學鍵結概念成就測驗結果如表4-5-34所示。由表4-5-34的結果顯示，三組學生在經過不同教學活動後，三組學生於化學鍵結概念之表現未達統計顯著水準（ $F=0.410$ ， $p=.664 > .05$ ），換言之，三組學生於教學後對於化學鍵結概念之學習成就未有差異。

表4-5-34. 原子概念成就測驗（化學鍵結）單因子變異數分析

	平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
組間	11.64	2	5.82	0.410	0.664
組內	1460.74	103	14.18		
總和	1472.38	105			

5.小結

整體而言，三組學生於光譜與原子結構、量子力學與軌域、電子組態與週期性等三個概念表現，很明顯地「類比建模組」優於「電腦輔助建模組」和「講述教學組」，而「電腦輔助教學組」於光譜與原子結構、量子力學與軌域、電子組態與週期性等三個概念之表現亦優於「講述教學組」。此外，三組學生於化學鍵結概念之表現則沒有任何差異。對於此研究結果，顯示建模教學對學生學習成就亦有所增益。

（三）原子概念問卷（II）與原子成就測驗之相關

本研究利用原子概念問卷（II）與學生成就測驗之得分，進行 Pearson 相關係數檢定，結果顯示兩者相關係數為 $r = .470$ （ $p = .000 < .001$ ），顯示兩者分數達顯著相關。換言之，原子概念問卷（II）與原子成就測驗兩者之間具有相關性，而本研究結果亦顯示，「類比建模組」和「電腦輔助建模組」不論於原子概念問卷（II）或原子成就測驗之表現皆優於「講述教學組」，即是建模教學除有助於提升學生的概念理解外，也有助於提升學生的學習成效。

四、「類比建模組」與「電腦輔助建模組」學生之學習過程記錄

為深入了解「類比建模組」、「電腦輔助建模組」與「講述教學組」表現之差異，本研究即利用「類比建模組」與「電腦輔助建模組」學生上課之學習單來說明他們的學習歷程，分別從畫圖、問題解釋和類比等教學策略來加以討論，藉以比較不同教學策略對於學生學習之影響。

（一）畫圖方式

在科學中，圖片可用來顯示資料、組織複雜的訊息以及促進科學現象的理解（Kozma, 2003；引自 Cook, 2006）。本研究之「電腦輔助建模組」主要採用電腦模擬呈現相關概念，讓學生能將抽象的概念視覺化，亦提供許多的機會讓學生將所觀察到現象或心中的想法以畫圖的方式來呈現，如此除了可以提供學生表達想法外，亦可深入探究他們模型的結構。此外，學生必須學習如何選擇不同的表徵形式，以及了解為何要使用此表徵形式（圖畫），而且學生也利用畫圖來解釋不同的現象與問題，並透過學生繪製的圖畫進行自我解釋，學生在進行自我解釋的同時，也必須監控自我的理解程度，然後根據先備知識和外任知識進行自我推論。在進行外部知識的獲取時，換言之，學生透過圖畫進行自我解釋將可幫助學生建立完善的問題空間，並且促進新舊知識的聯結，達到後設建模（metamodeling）的目的，個體也可以控制自我的學習狀態，如此學生將會更完整了解所欲表達的概念，而這些通常是學生在教師的教學過程中無法看到或理解的部分。

此外，建模教學過程中亦透過畫圖的方式讓學生與科學模型做比較，讓生了解所建立模型的侷限性，並改變已存在或建立新的模型，達到增進學生「模型調度」與「模型重建」的建模能力。如下為「電腦輔助建模組」學生對於連續光譜與不連續光譜（詳見圖 4-5-7），和利用湯木生原子模型與拉塞福原子模型進行 α 粒子散射實驗結果之比較（詳見圖 4-5-8）之作答情形。學生利用所繪圖的方式，了解湯木生原子模型之限制，進而理解拉塞福原子模型進行 α 粒子散射實驗結果。

1.觀察連續光譜與不連續光譜，試比較兩者有何差異？

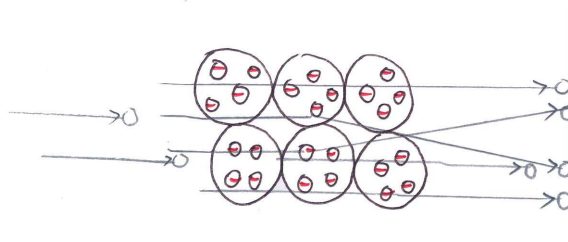
答：不連續光譜：呈線狀，特定頻率才有光出現
連續光譜：在每個頻率都有光出現



圖4-5-7. 「電腦輔助建模組」學生（s21001）於連續與不連續光譜問題之作答情形

1.若是以湯木生的原子模型，則 α 粒子散射會有怎樣的結果？請你把結果畫出來！

答：大部分皆通過，少數產生偏折，但沒有反彈。



3.若以拉塞福的原子模型，則 α 粒子散射會有怎樣的結果？請你把結果畫出來！

答：大部分皆通過，少數產生偏折，約有 $\frac{1}{8000}$ 反彈！！

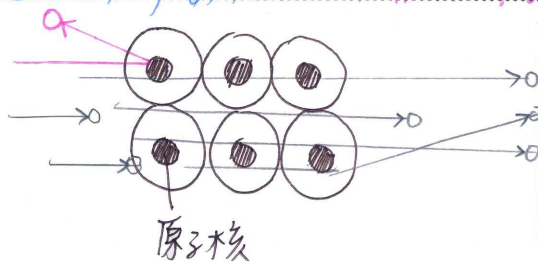
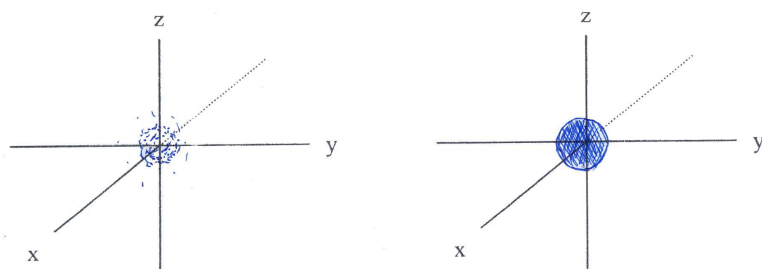
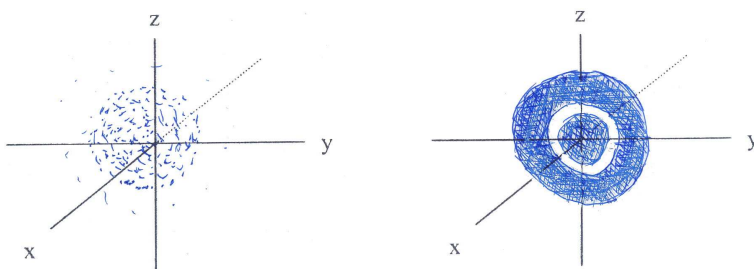


圖4-5-8. 「電腦輔助建模組」學生(s21013)於 α 粒子散射實驗結果之作答情形

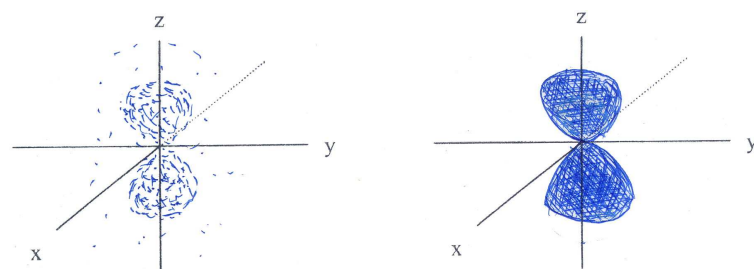
此外，「電腦輔助建模組」教學過程亦著重於繪製所觀察的結果，下圖 4-5-9 為「電腦輔助建模組」學生(s21013)於電子運動與軌域形狀概念之作答情形，很明顯地，學生除會以點的方式來描述電子運動的情形，或是點的密度代表電子出現的機率外，亦透過繪圖了解軌域的形狀，並且將兩者進行比較，即是學生對於不同模型表徵進行比較與對比，換言之，學生可透過此活動在多重表徵間建立概念之連結，故可說明「電腦輔助建模組」學生於原子概念問卷(II)之「量子力學與軌域」概念表現較佳之原因。



(a) 1s軌域：電子運動情形及軌域形狀



(b) 2s軌域：電子運動情形及軌域形狀



(c) 2p軌域：電子運動情形及軌域形狀

圖4-5-9. 「電腦輔助建模組」學生 (s21001) 於電子運動與軌域形狀之作答情形

(二) 問題解釋

學生面對問題的解釋部分，建模教學活動會利用教師提問與師生對話的辯證過程來檢驗與分析建立的模型，教師亦會先考量學生的先備概念、心智模式與迷思概念，提出相關問題讓學生思考與討論，培養學生的創造性思考。在師生的討論過程中，學生爲了回答教師與同儕的問題與各種挑戰，他們將對所建立的模型有更多的理解，此外，他們亦可整合其他同儕想法至所建立的模型中，如此他們即可檢驗模型是否具有內部一致性或不同模型之間融貫性，並透過與其他同儕相互比較與評估，了解模型的限制，或是不同形式表徵的連結與差異。換言之，學生透過上述的活動更能對整個建模歷程有完整的理解。類似地，Tao和Gunstone (1999) 也認為透過電腦模擬的教學模式可以提供學生更能專注於反思與討論。因爲學生在小組討論的互動裡，他們可以主張想法與協商其含義。當面對不同的結果時，他們可以反思他們的想法、討論，並且

試著去尋找新的方式，重新獲得想法，換言之，即是獲得更多的概念理解。底下即是「電腦輔助建模組」學生（s21009）學生對於問題解釋之作答情形。

問題 3：試比較「軌域」與「軌道」之間的差異？

軌域不可預測(空間)

軌道則是固定的(線)

問題 1：拉塞福「原子結構」模型有哪些問題與限制？

我認爲拉塞福「原子結構模型」有下列問題：
1. 無法解釋氫原子光譜
2. 原子穩定性的問題：因電子有電荷，按照古典力學的觀念，電子應旋入原子核中，而使原子崩潰！不過實際上也並未發生。

圖4-5-10. 「電腦輔助建模組」學生（s21009）於拉塞福原子模型作答情形

（三）類比物建立與教學

Dupin和Johsua（1989）認爲類比使用在教學上的重要性，至少具有三個理由：1. 類比推理對於延伸人們知識是一個相當良好的工具，在科學發展過程中，它扮演相當重要角色；2. 許多教育學者在教學上已經強調於類比的使用；3. 知識的建構過程顯示，知識建構並不是新觀念的累積，相反地，它是不停地重新建構的過程。新的知識是透過舊有知識的相互作用而形成，而類比推理是相當有效的。

本研究之「類比建模組」除著重於類比物的建立外，亦強調與建模教學策略的結合，因此教學除著重於學生建模能力的提升外，亦透過教師提供的類比物外，教學過程學生亦可自發地產生類比物，學生透過師生同儕之間的討論，指出類比物與目標概念之間對應的相似性與不同，並透過相互討論活動來驗證所建立模型與類比物的適用性、一致性和融貫性。底下即以電子能階的類比爲例，分別說明兩位「類比建模組」學生所使用的類比及其關係對應，s20902學生認爲電子能階猶如「結婚典禮所使用的分層蛋糕」，每一層蛋糕猶如殼層，每一層的高度即是能階的高低；s20935學生則利用「斜面」來類比於「能階」，其之間的對應關係爲電子猶如球，能階猶如各斜面的高度，球從斜面掉落猶如電子在能階之間的跳躍，詳如圖4-5-11和圖4-5-12所示。此外，學生亦能指出自發產生的類比在有何限制，如s20902學生認爲「蛋糕」的每一層高度幾乎相等，但電子能階則非等距。

綜合上述，學生透過類比物的選擇與建立（模型描述與選擇、模型建立），並指出類比物與目標概念之間對應關係，以及兩者之間的相似性，了解所建立模型與類比

物的適用性、一致性和融貫性，進而獲得「模型效化」與「模型分析與評估」的建模能力，而教學過程中亦要求學生指出類比的限制與應用，學生進而獲得「模型調度」與「模型重建」的能力。

問題 1：你認為「電子能階」像什麼？ 就像有很多層蛋糕

• <u>蛋糕的每一層</u>	⇒	<u>殼層</u>
• <u>每一層的高度</u>	⇒	<u>能階高低</u>
• <u>從外到內越來越小圈</u>	⇒	<u>越在外能階差越小</u>
• <u>從較高層吃到較低層</u>	⇒	<u>釋放能量 激發態→基態</u>

類比的限制：蛋糕每層高度差不多，原子能階高度差不同

圖4-5-11. 「類比建模組」學生（s20902）於電子能階的作答情形

問題 1：你認為「電子能階」像什麼？

• <u>e^-</u>	⇒	<u>王球</u>
• <u>能階</u>	⇒	<u>各斜面高度</u>
• <u>能量</u>	⇒	<u>腳踢球的力道</u>
• <u>$n=4 \rightarrow n=1$ or $n=\infty \rightarrow n=1$</u>	⇒	<u>王球掉下來</u>

類比的限制：①球從斜面掉下來應不是一次釋放能量

圖4-5-12. 「類比建模組」學生（s20935）於電子能階的作答情形

類比建模教學的過程中，我們亦發現在類比模型的創造方面，透過學生自發產生的類比，且學生於小組討論過程中可以有機會來使它的想法更為明確，換句話說，即使學生於問題討論的過程中，能夠判斷不同類比模型之間的差異，如此將更使其建立之模型更為明確，且對於同儕的類比模型有更多的瞭解。

（四）小結

從先前原子概念問卷（II）和原子概念成就測驗所獲得的結果，「類比建模組」與「電腦輔助建模組」學生之表現皆優於「講述教學組」，若是透過學生學習過程之學習單來分析，「類比建模組」和「電腦輔助建模組」學生透過教師教學所獲得的經驗似乎更能突顯學生建模能力的提升，也促進其概念之理解，換言之，由於講述教學組

學生採取傳統的講述教學，教學過程缺乏類比物建立或建模的相關經驗，也影響學生的建模能力與概念理解。

五、小結

綜合上述研究結果顯示，本研究採用不同建模教學策略（「類比建模教學組」、「電腦輔助建模教學組」和「講述教學組」）來探討對於學生學習「原子概念」與成就測驗之影響。研究結果發現，無論是在原子概念問卷（II）和原子成就測驗等，結果均顯示「類比建模教學」與「電腦輔助建模教學」對於學生學習原子概念之助益均優於「講述教學」，其意謂建模教學除可增進學生成效外，亦協助學生於原子概念之理解，並有助於學生心智模式之改變。

若比較三組學生於原子概念問卷（II）不同概念之表現，結果發現於「原子本質與結構」、「量子力學與軌域」和「電子組態與週期性」等概念，不論是「類比建模組」或「電腦輔助建模組」均優於相應的「講述教學組」，雖然，三組學生僅在「量子力學與軌域」概念達顯著性差異（ $F = 6.768$ ； $p = .002 < .005$ ），但整體而言，「類比建模組」或「電腦輔助建模組」仍優於「講述教學組」之表現，換言之，建模教學策略可增進學生原子概念的學習與理解。

此外，若比較「類比建模組」與「電腦輔助建模組」之差異，兩組學生於原子概念問卷（II）和原子成就測驗等表現，「類比建模組」於「原子本質與結構」、「電子組態與週期性」和「化學鍵結」等概念之表現優於「電腦輔助建模組」，但未達顯著差異。若是從教學活動來分析兩者之差異，「類比建模組」主要是透過教師與學生之間共同建構類比物，學生亦可自發性產生類比物，而且教學過程亦不斷地需要學生考量類比的差異性與相似性，讓學生能夠對於自發產生的類比予以結構化，進而不斷修正類比模型，如此增進學生的概念理解。而「電腦輔助建模組」則透過電腦模擬或動畫來協助學生建立模型，透過電腦動畫之呈現，而將心智模式視覺化，更可顯示各個原子模型之限制，要求學生檢驗模型在不同情境下的適用性，如學生所建構之原子結構模型若屬於湯木生或道耳吞模型，則透過電腦模擬的方式來模擬拉塞福的 α 粒子散射實驗，如此將可引導學生了解模型的限制性，並改變已存在或建立新的原子結構模型。並透過建模歷程使學生所建立之模型進行效化工作，以及模型分析與評估之歷程，然而，研究結果亦顯示「類比建模組」學生於建模歷程中透過類比的教學活動，自發產生類比物，為了鼓勵學生去展現他們的模型，隨後即呈現預測的活動，教師要學生去對特定的現象做預測，要求學生做預測將可以提供他們有機會去表達原有的模型與想法，而教師的介入則可讓學生了解需關注於哪些部分。此外，學生在表達的過

程中，亦與其他同儕做討論，藉以修正或重新考量他們所建構的模型，並透過分享與討論等過程，了解類比物與目標物之間的對應關係，並進行模型之分析與評估，進而理解所欲教導之科學概念。

此外，建模教學活動在教師與學生的互動中，透過師生之間對話的辯證過程來檢驗與分析其建立的模型，如此互動的過程中，學生可以檢驗其模型是否具有內部一致性或融貫性，並且可以與其他同儕相互比較與評估，進而獲得「模型分析與評估」的建模能力。此外，也強調學生主動地參與建構模型。而且透過教師所提供多重表徵具體模型，將可促進學生建立更完整的心智模式與視覺化推理過程，此外，對於現象與概念也有更多面向的理解。

第六節 學生概念理解與建模能力之關係

為深入了解 11 年級學生在經過不同教學策略後，對於學生心智模式和建模能力之影響，本研究從「講述教學組」、「類比建模組」和「電腦輔助建模組」等三組各選取 8 位有意願之學生進行問題解決測驗，測驗過程中利用放聲思考的方式，利用修正之建模能力分析指標（表 2-3-1），針對三組學生經過教學後之建模能力的差異，進行 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析（Kruskal-Wallis one way analysis of variance by ranks），並且針對三組學生於各階段建模歷程之建模能力進行統計分析，藉以深入比較不同教學活動後對於學生建模能力之影響與差異。此外，為深入了解學生在概念理解與建模能力之差異，研究者並利用 SPSS 視窗軟體，採用 Kendall's tau 相關計算三組學生在「原子概念問卷（II）」與「建模能力測驗」之相關係數，分析不同教學策略對於學生「原子概念理解」與「建模能力」之影響。

一、不同教學策略對於學生建模能力之影響

茲因研究樣本僅有 24 人，故本小節資料處理改採 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析，對三組學生於問題解決測驗之各階段建模能力與平均建模能力進行統計分析，藉此說明三組學生經過不同教學活動後，對於學生建模能力之影響。

（一）三組學生經過不同教學策略後，對於原子概念建模能力之成效

本研究利用修正之建模能力分析指標（詳如表 2-3-1），分析三組學生經過不同教學策略後於建模能力測驗中之訪談結果，將訪談內容轉譯為「建模能力分數」。三組學生於拉塞福原子模型問題之結果如圖 4-6-1。從圖 4-6-1 可知，「講述教學組」於教學後之平均建模能力仍僅有 Level 2（平均分數為 2.14），而「類比建模組」於教學後測驗結果顯示為 Level 2-3（平均分數為 2.78），「電腦輔助建模組」測驗結果亦顯示為 Level 2-3 之間（平均分數為 2.75）。整體而言，平均建模能力比較，類比建模組（2.78）> 電腦輔助建模組（2.75）> 講述教學組（2.14）。

三組學生經過不同的教學活動後，對於學生建模能力均有不同的影響，其中以「類比建模組」和「電腦輔助建模組」的學生之建模能力已達 Level 2-3 之間，學生已能辨別各因素之間的關係或交互作用，即可以評估各變數間的因果關係，且有完整詳細的評估過程，而「講述教學組」學生僅為 Level 2，學生僅能辨別各因素之間的關係，評估兩個變數的因果關係，且有完整詳細的評估過程。很明顯地，建模教學可提升學生之建模能力，特別是類比建模教學，對於學生建模能力的影響更為顯著。

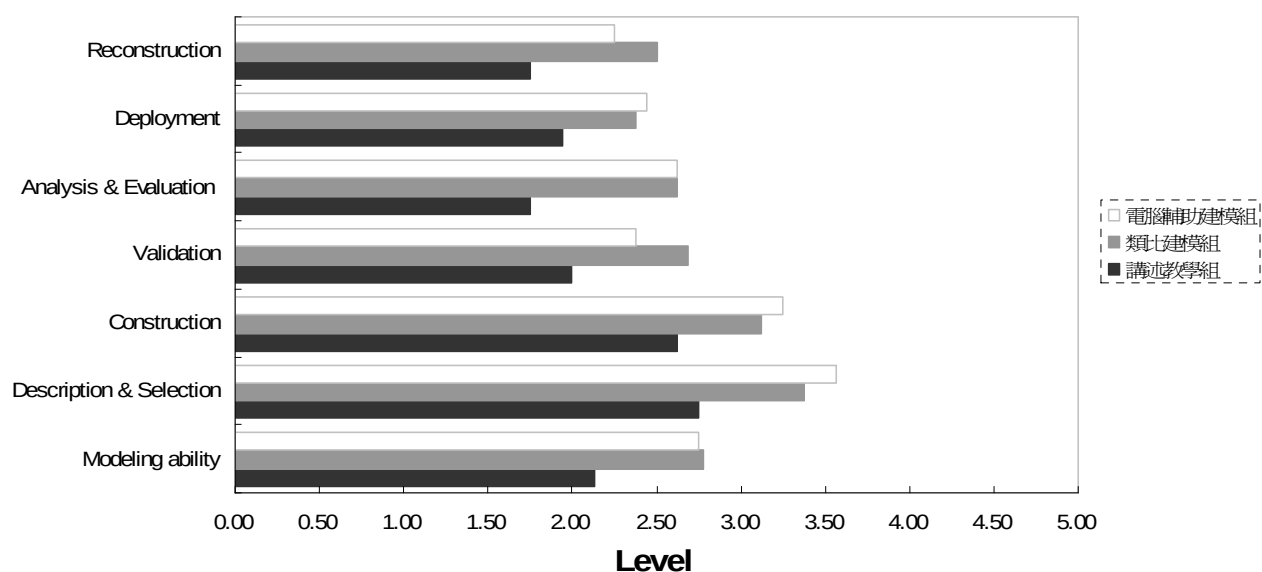


圖 4-6-1. 三組學生建模能力示意圖

(二) 比較三組學生於不同教學策略後，原子概念建模能力之成效

若進一步從各建模歷程階段來分析，即再進一步檢定三組學生於各建模階段能力之異同，三組學生於各階段建模歷程之得分詳如表 4-6-1。若以 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析，結果顯示三組學生於「模型選擇與描述」、「模型建立」、「模型分析與評估」和「平均建模能力」等建模能力達統計之顯著性差異 ($p = .047 < .05$; $p = .035 < .05$; $p = .027 < .05$; $p = .017 < .05$)，亦即三組學生經過不同的教學活動後，三組學生於「模型選擇與描述」、「模型建立」、「模型分析與評估」和「平均建模能力」等建模能力皆達顯著之差異，惟「模型效化」、「模型調度」和「模型重建」等階段之建模能力未達統計上顯著之差異 ($p = .062 > .05$; $p = .135 > .05$; $p = .069 > .05$)，亦即不同教學策略對於學生於「模型效化」、「模型調度」和「模型重建」等階段之建模能力雖然有影響，但未達顯著之差異，整體分析結果詳見表 4-6-2。

表 4-6-1. 三組學生於各階段建模歷程之平均得分

	模型選擇與描述		模型建立		模型效化		模型分析與評估		模型調度		模型重建		平均建模能力	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
講述教學組	2.75	0.71	2.63	0.52	2.00	0.53	1.75	0.71	1.94	0.56	1.75	0.71	2.14	0.48
類比建模組	3.38	0.52	3.13	0.35	2.69	0.59	2.63	0.58	2.38	0.52	2.50	0.53	2.78	0.35
電腦輔助建模組	3.56	0.50	3.25	0.46	2.38	0.44	2.63	0.52	2.44	0.50	2.25	0.46	2.75	0.27
平均	3.23	0.66	3.00	0.51	2.35	0.58	2.33	0.72	2.25	0.55	2.17	0.64	2.56	0.47

表 4-6-2. 各階段建模能力之 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析統計量表

	模型選擇 與描述	模型建立	模型效化	模型分析 與評估	模型調度	模型重建	平均建模 能力
卡方	6.10	6.71	5.58	7.21	4.01	5.35	8.19
自由度	2	2	2	2	2	2	2
漸近顯著性	0.047	0.035	0.062	0.027	0.135	0.069	0.017

若為深入探討三組學生於不同教學活動後，學生於建模能力測驗之表現是否達顯著性差異，即再進一步檢定三組學生於「模型效化」、「模型分析與評估」、「模型調度」和「平均建模能力」等階段建模能力之異同，但 SPSS 視窗軟體未能提供 Kruskal-Wallis H 檢定之事後比較，因此本研究參考 Siegel 和 Castellan（1989，p. 213）所提供之事後比較公式²，依公式計算顯著臨界值為 8.464，並對「模型效化」、「模型分析與評估」、「模型調度」和「平均建模能力」等階段達顯著性差異之建模歷程進行推論的工作，結果詳見表 4-6-3 所示。從上述之事後比較可以發現，只有「類比建模組」與「電腦輔助建模組」相較於「講述教學組」於「平均建模能力」平均等級差異的絕對值大於臨界值，即達到顯著性差異。從上述分析結果顯示，經過建模教學後，「類比建模組」與「電腦輔助建模組」之平均建模能力表現高於「講述教學組」之表現，其兩組之平均等級差異絕對值依序為 8.56 和 8.87，皆大於臨界值 8.464，達到 $\alpha=.05$ 的顯著水準。而「類比建模組」，和「電腦輔助建模組」兩組之平均等級差異絕對值小於臨界值 8.464，亦即「類比建模組」與「電腦輔助建模組」之間是沒有差異存在。

² Siegel 和 Castellan（1989）事後比較公式如下：

$$|\bar{R}_i - \bar{R}_j| \geq z_{\alpha/k(k-1)} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$\bar{R}_i$ ：代表第 i 組獨立樣本的平均等級

$\bar{R}_j$ ：代表第 j 組獨立樣本的平均等級

N：代表全部樣本數量 $N = n_1 + n_2 + n_3$

$z_{\alpha/k(k-1)}$ ：代表在顯著水準 α 及進行 k (k-1) 事後比較之臨界值。如在 α 為 .05，k=3 條件下，

$$z_{\alpha/k(k-1)} = 2.3940。$$

表 4-6-3. 各階段建模能力 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析事後檢定統計量表

建模能力	組別	個數	等級平均數	卡方	K-W 檢定	事後比較
模型選擇與描述	講述教學組	8	8.06	6.10	.047	類比－講述＝5.57
	類比建模組	8	13.63			電腦－類比＝2.18
	電腦輔助建模組	8	15.81			電腦－講述＝7.75
模型建立	講述教學組	8	8.56	6.71	.035	類比－講述＝5.25
	類比建模組	8	13.81			電腦－類比＝1.32
	電腦輔助建模組	8	15.13			電腦－講述＝6.57
模型分析與評估	講述教學組	8	7.38	7.21	.027	類比－講述＝7.68
	類比建模組	8	15.06			類比－電腦＝0
	電腦輔助建模組	8	15.06			電腦－講述＝7.68
平均建模能力	講述教學組	8	6.69	8.19	.017	類比－講述＝8.56 > 8.464
	類比建模組	8	15.25			電腦－類比＝0.31
	電腦輔助建模組	8	15.56			電腦－講述＝8.87 > 8.464

綜合上述結果發現：1.三組學生於問題解決測驗之「模型效化」、「模型調度」和「模型重建」等階段建模能力無顯著之差異，惟「模型選擇與描述」、「模型建立」和「模型分析與評估」和「平均建模能力」等階段建模能力則有顯著的差異；2.經事後比較，結果顯示「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於「平均建模能力」之表現均優於「講述教學組」之表現，且達顯著性差異。由此研究結果顯示，透過不同建模教學活動對於學生建模能力會有不同的影響，而利用建模教學策略對於提升學生建模能力亦有明顯的成效。

二、學生「概念理解」與「建模能力」之關係分析

為深入了解學生在「概念理解」與「建模能力」之差異，本研究採取「Kendall's tau 相關」進行相關係數之統計分析，藉以說明學生經不同教學策略後，對於學生概念理解與建模能力之影響。是故，本研究分析不同教學策略對學生「原子概念問卷(II)後測分數」與「建模能力分數」之相關。結果詳如表 4-6-4 所示。

表 4-6-4. 「後測分數」與「建模能力分數」表現之 Kendall's tau 相關統計

		建模能力分數 原子概念問卷 (II) 後測	
講述教學組	建模能力分數	相關係數	1
		顯著性 (雙尾)	0.400
		個數	8
	原子概念問卷 (II) 後測	相關係數	0.400
		顯著性 (雙尾)	0.170
		個數	8
類比建模組	建模能力分數	相關係數	1
		顯著性 (雙尾)	0.668
		個數	8
	原子概念問卷 (II) 後測	相關係數	0.668
		顯著性 (雙尾)	0.037
		個數	8
電腦輔助建模組	建模能力分數	相關係數	1
		顯著性 (雙尾)	0.769
		個數	8
	原子概念問卷 (II) 後測	相關係數	0.769
		顯著性 (雙尾)	0.011
		個數	8

從表 4-6-4 顯示，除講述教學組外，類比建模與電用輔助建模教學策略對於學生概念理解與建模能力均存在著顯著相關性。分析研究結果顯示：1.「講述教學組」學生於「原子概念問卷 (II) 後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為 .400； $p = .170 > .05$ ，顯示兩者之間關係為未達顯著相關性，即是透過傳統的講述教學模式雖能提升學生的概念理解，但似乎難以提升學生的建模能力。2.類比教學組學生於「原子概念問卷 (II) 後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為.668； $p = .037 < .05$ ，顯示兩者之間關係為高相關，且達統計之顯著水準，即是透過類比建模教學模式除能提升學生的概念理解外，亦可以提升學生的建模能力；3.電腦輔助建模組學生於「原子概念問卷 (II) 後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為.769； $p = .011 < .05$ ，顯示兩者之間關係為高相關，即是透過類比建模教學模式除能提升學生的概念理解外，亦可以提升學生的建模能力。

綜合上述之討論，對於「類比建模組」和「電腦輔助建模組」兩組學生而言，「原子概念問卷 (II) 後測分數」與「建模能力分數」有顯著的相關性，換言之，提升學生的建模能力亦有助於提升學生對於原子概念理解之表現，且有顯著的相關性，然而，茲因「講述教學組」在教學過程中，教師未能使用或強調建模的歷程，學生缺乏建模經驗，也影響學生對於建立與評估模型能力，以及原子概念的理解。

第五章 結論與建議

本研究著重於建立模型與建模之相關理論，分析我國教科書之模型特徵與是否具建模之要素，以及探討建模教學對於學生原子概念學習之影響。過去，迷思概念與概念改變研究對於科學教育研究取向產生極大影響，然相關理論均未能解決學生學習困難的問題。在科學學習與科學理論發展的過程中，模型扮演相當重要的角色，除可以提供學生理論的解釋外，更可簡化複雜的概念或想法。建模不僅能解釋學生心智模式的建構歷程，增添許多概念改變研究所缺乏之額外元素，如學生對於模型本質之認識，推理、預測和解釋等能力之培養，或是心智模式的外顯化，讓教師可以更清楚地了解學生內在的思考模式。換言之，建模理論不僅可用來描述建構心智模式機制與動態外，並可提供改進學生在概念學習之教學策略。因此，本研究嘗試利用不同建模教學策略來探討如何影響學生概念之學習，增進學生建模能力與促進學生概念改變。

關於學生對於模型的看法，目前為止較常被引用的仍屬 Grosslight 等人於 1991 年發表的研究工具，大多數的研究著重於特定模型「內容」與「模型認識」的探討，對於「模型功能之知識」及「建模歷程」較缺乏深入的探討（Van Driel & Verloop, 1999）。是故本研究乃修正 Chiu 和 Liu（2008）所提出之模型本質問卷，從語意、本體論、認識論和方法論等面向來探討學生對於模型本質的認識，試圖從多面向來探討學生對於模型本質之認識，並分析跨年級學生作答情形，以及利用訪談的方式深入了解學生所持有之理由，分別從量化與質化等不同的向度來探討學生對於模型的認識，企圖建立我國本土學生對於模型本質認識之架構。其次，本研究為了解我國教科書於「原子理論」單元使用模型之特徵，以及是否具備建模要素，乃建構評量標準分析不同版本教科書於「原子理論」單元之模型特徵、模型表徵與建模歷程之差異；再者探討跨年級學生於原子概念之模型發展，分析影響學生原子概念模型發展之因素。最後，為了解不同建模教學對於高中學生原子概念學習之影響，利用教科書分析結果修正為本研究之教材文本，並且以三種不同教學策略來進行教學活動，分析學生在經過「類比建模教學」、「電腦輔助建模教學」與「講述教學」等不同教學活動後，學生於原子概念學習、學習成就與心智模式改變之情形，以及探討學生原子概念理解與建模能力之關係。

綜合上述論述，本章研究者彙整研究結論，藉此對模型與建模理論有完整的論述，並且應用於教科書分析與教學過程中，分析教科書之內容與教學之成效，並就研究過程之改進，對於我國教科書撰寫與教學提供建議。最後，本研究亦對模型與建模

的觀點提出適當的理論，以及未來研究方向提出補充與修正。

第一節 結論

本研究從模型本質問卷與訪談方式探討跨年級學生對於模型的認識，以及學生如何利用模型來表徵所欲理解的現象或概念，建立學生模型認識架構與選擇模型與視覺化的歷程架構。並根據 Mayer（1989）良好模型特徵（7C）、Liu & Chiu（2010）以及劉俊庚和邱美虹（2010b）所提之建模歷程，建立分析教科書模型與建模歷程之評量標準，對我國國中和高中不同版本教科書內容進行分析與評量。此外，本研究亦利用不同建模教學活動運用於實際的教學過程中，探討不同教學策略對學生原子概念理解、心智模式轉變和建模能力之影響。研究者根據研究結果，提出下列七點結論，如下所述：

一、學生對於模型本質之認識

（一）跨年級學生對於模型之定義

從跨年級學生於「模型本質問卷」之作答情形，跨年級學生於模型定義部分，8 和 9 年級學生對於模型之定義，仍著重於模型是具體的事物，模型是物體縮小或放大的複製品，較少著重於模型的功能化取向。10 和 11 年級學生對於模型之認識則已慢慢地轉變為著重於模型的功能，並且認為模型不再是實體的複製品，模型亦可如想法等抽象的形式，如此即說明學生隨著年齡與學習經驗的增加已逐漸對模型認識有不同的看法，但仍然有相當高比例學生對於模型認識侷限於具體的事物，換言之，由於學生缺乏以模型基礎的學習經驗，因此對於模型的認識僅侷限於具體形態的模型，如此研究結果類似於 Grosslight 等人（1991）和 Justi 和 Gilbert（2003）的研究結果，而本研究於模型本質問卷施測結果亦有類似的結果，即大部分的學生認為模型是某種事物的複製品，模型必須具體且與真實的事物非常地接近。

（二）跨年級學生模型本質認識之架構

本研究透過跨年級學生施測結果，企圖建立學生對於模型本質認識之架構。此架構包括四個面向，分別是語意、本體論、認識論和方法論。各面向又可分為2-3個次項目，依序為語意部分為「實體關係」與「表徵形式」；本體論分為「模型呈現」、「變化關係」和「模型限制」；認識論分為「模型學習」與「模型觀點」；方法論則可分為「模型解釋與推理」和「模型檢驗與預測」。此外，學生對於模型本質之認識，可

以從上述所討論之四個面向來加以了解，而研究亦指出各面向之間是相互影響，進而建立學生對於模型的認識與理解。本研究結果不僅較 Treagust, Chittleborough 和 Mamiala (2002) 診斷學生科學模型角色認識的工具所討論的面向為廣泛外，亦透過訪談深入了解學生的想法，結合量化與質化之資料，更為完整探討學生對於模型本質的認識。此外，此架構亦結合科學哲學的觀點，將科學哲學領域關於模型的研究引進科學教育研究中，進而建立本土學生模型認識之架構。

此外，跨年級學生於科學與非科學範例作答情形達顯著性差異，換言之，跨年級學生面對不同範例作答情形會有不同，依此研究結果，本研究推論由於學生對於科學課程中所使用之模型表徵較為熟悉，故學生認同科學模型的問題比例較高。此外，學生可能擁有模型是科學的主要產物之觀點，如此結果亦呼應 Harrison (2001) 的研究結果。

二、學生如何選擇適當的模型及其表徵形式

(一) 跨年級學生於模型表徵形式之使用

依跨年級學生訪談結果顯示，8 年學生對於問題或現象所使用之模型與表徵系統主要以具體形式或示意圖為主，學生所繪示意圖與平時所看見現象在外觀形態上有極大的相似程度，換言之，學生所使用之模型表徵以「形態相似性」為主；9 年級學生除使用具體形式的模型外，亦開始使用如化學方程式或物理公式來描述現象，即其表徵系統亦開始以結構來加以考量，而 10 和 11 年級學生則受到其化學背景知識的增加與概念理解，使用之模型表徵除考量「形態相似性」外，其模型表徵已經會考量模型與其目標系統之間的關係，即是結構性，如使用抽象形式的化學方程式、物理公式，或關係圖等，此外，學生亦較少使用具體形式的模型，換言之，10 和 11 年級學生已經會考量模型與參考物之間結構的相似性與關係，換句話說，學生除仍以「形態相似性」做為其模型表徵的選擇外，亦已經擁有利用「結構相似性」表徵的能力。若從跨年級學生訪談結果來分析，結果顯示，跨年級學生在選擇模型表徵能力發展歷程，主要先從「形態相似性」來對參考物進行模擬與參照，隨著認知發展再顯現出「結構相似性」的能力，即是擁有以結構來考量參考物與模型之關係的能力。

此外，雖然學生平時即會利用類比或肢體動作來說明與解釋現象或概念，然而，訪談結果卻顯示學生於四個問題中使用類比或肢體動作次數相對較低。如此研究結果在教學意涵方面，亦說明教師於科學教學過程中宜多鼓勵學生自發地產生類比模型，

除可以讓學生了解不同的模型或是概念，更可了解透過類比了解所欲學習概念與類比物之間的結構對應關係。而且，教師亦可透過肢體動作等動態表徵的模型展現，讓學生更了解所欲呈現的概念，如此將更有利於學生之學習。

（二）學生如何使用模型或選擇適當的模型

學生如何使用模型或選擇適當的模型呢？本研究討論方向是從「心智模式到表徵形式」，即是討論學生如何視覺化的過程。本研究依據訪談結果，建立學生如何使用模型或選擇模型之架構，詳見圖 4-2-5。依此架構，當學生面對問題或現象時，他們常會從日常生活觀察現象所獲得之經驗，或教師教學做為其建立心智模式之來源，並依學生所擁有的認知能力與概念理解，建立其概念系統（心智模式），再透過某些意向或目的建構不同的模型表徵。如此結果類似於 Buckley 和 Boulter (2000) 所提出「以模型為基礎學習的模型」，他們認為以模型為基礎的學習歷程，主要是透過新舊訊息的交互作用，即從日常生活觀察所獲得的經驗與心智模式產生交互的作用，產生新的「心智模式」，隨即經過精煉與不斷修正的過程，決定模型是否需要被保留或拋棄，在進入模型被使用的階段，面對學習新知識或問題解決的情境。而經歷學習和問題解決的過程，又可回饋給個體進行模型的精煉、效化、修正、或重建。

此外，學生如何判斷其所表徵的不同模型呢？研究發現，學生仍以具體化與實體化作為其模型選擇之依據，如此結果類似於學生對於模型的定義或聯想的作答情形。因此，教師教學除使用具體形式的模型外，亦可以於教學過程中經常使用抽象形式模型與建模，透過視覺化的過程，除可使學生思考外顯化，更可讓學生在建立模型的過程中，透過師生的互動與共同建構，進行模型的修正與應用。

三、我國教科書於「原子理論」單元分析及其意涵

（一）教科書於「原子理論」單元之模型特徵分析

教科書是否能良好模型，對於教科書撰寫者而言，確是一項極大的挑戰。本研究依 Mayer (1989) 所訂定之良好模型特徵，分別為：完整性、簡潔性、融貫性、具體性、概念性、正確性和審慎性等 7 個向度 (7C)，分析與比較不同版本教科書於「原子理論」單元之模型特徵。整體而言，教科書的內容僅著重於原子理論內容事實的呈現，對於相關概念的連結與建立則相當地缺乏。換言之，大部分教科書使用之模型未完全具備良好模型特徵，亦顯示我國教科書於「原子理論」單元所使用模型之缺失與問題。底下為各分析單元結果概述彙整：

- 1.道耳吞原子說：國中階段著重於道耳吞原子說的敘述，分析的 6 個版本國中教科書，平均總分爲 11.50 分，且其中有 4 個版本完全符合 Mayer（1989）良好模型特徵，但分析各向度之得分，特別是概念性評量向度得分偏低，僅有 1.33 分，其中 TJ05 和 TJ06 兩個版本均未能利用原子說來解釋化學變化，故無法符合概念性評量標準。
- 2.湯木生原子理論：整體而言，分析之國、高中教科書於湯木生理論所使用之模型均不甚理想，各向度平均總分僅有 6.75 和 6.32 分，且教科書均未能對湯木生原子模型提供完整的內容陳述，如此亦將不利於學生建構完整的原子理論發展歷程。
- 3.拉塞福原子理論：整體而言，分析之國、高中教科書於拉塞福原子理論所使用之模型均不甚理想，各向度平均總分爲 11.33 和 9.12 分，分析之國中教科書於拉塞福原子理論所使用之模型較符合 Mayer（1989）的評量標準，而高中教科書則略爲偏低，特別是在概念性部分，不論是國中和高中教科書於此向度之得分均偏低，顯示教科書內容均著重於實驗結果之陳述，對於實驗結果的概念性解釋或與其他概念之連結則較爲缺乏，換言之，雖然教科書呈現不同形式的模型，但對於模型的解釋與相關概念的連結卻不佳，如此亦將失去模型於教科書作爲解釋理論的效用。
- 4.波耳原子理論：分析高中教科書於波耳原子理論之總分僅有 8.84 分，其中以完整性得分最高，具體性和概念性得分最低，分別爲 1.88、1.13 和 1.13。換言之，大部分教科書均能完整敘述波耳氫原子光譜與能階的概念，且能夠描述波耳每個假設的功能，但卻無法呈現具體且容易理解的圖像模型，或是缺乏完整說明電子在不同能階之間的轉移，以及解釋不同頻率光譜之產生，即是無法將能階的概念與光譜做適當的連結。
- 5.量子力學原子理論：高中教科書於量子力學原子理論之總分爲 11.45，其中仍以概念性得分最低（1.31 分），即是利用量子理論之原子模型來解釋多電子原子的排列方式之部分，顯示教科書仍著重於原子理論的內容介紹，對於理論的應用與概念性解釋則較爲缺乏。
- 6.教科書類比之使用：研究結果顯示，我國歷年教科書於原子理論之類比使用，不論是國中或高中均使用類似或相同的類比物，如湯木生原子模型均以“葡萄乾”來類比原子中的電子，或是拉塞福原子模型大多以“太陽系”和“行星”來類比原子與原子核外的電子。如此將抑制學生的思考，亦將使類比失去其功能，學生僅透過記憶的方式來了解原子結構，或是教科書所提供之類比物即已無法理解，若教師再利用相同或類似的類比物，亦難以促進學生的概念學習。因此，教學意涵方面，教師

宜鼓勵學生發展其他不同之類比物，即是透過學生自發產生類比，並透過建模的歷程，如此將更有利於學生的學習。而雖然教科書使用類比物來類比所欲學習之概念，但深入分析其內容卻未能詳述類比物與所欲學習概念的對應關係，或是類比限制也未能詳細說明，或甚至未能提及相關內容，如此將使教科書所使用之類比無法達到其效益，更無法促進學生之概念學習與理解。

（二）教科書於「原子理論」單元之模型特徵內容結果分析

1.不同原子理論的競爭

分析高中化學教科書於「原子理論」單元之內容大多著重於實驗內容描述，不同原子理論之間的競爭與差異則較少予以探討，即相當少的教科書會提及 α 粒子散射實驗對於不同原子模型會有何差異產生，如此結果亦呼應 Niaz & Rodríguez (2001) 的結果。以利用湯木生原子模型進行 α 粒子散射實驗的結果解釋為例，因湯木生原子模型為電子均勻分布，故 α 粒子會受到均勻的斥力，雖然會產生路徑的改變，但不會產生大角度的偏轉。分析教科書內容亦顯示，僅有 4 個版本教科書（TS01、TS02、TS05 和 TS09）能完整敘述相關的內容，有 2 個版本（TS03 和 TS04）僅提及相關內容，卻未能詳加說明，而有高達 10 個版本教科書則完全未有相關內容之敘述，此評量向度之平均數更是僅有 0.61 分，很明顯地，大部分教科書均忽略此部分之內容。

2.模型表徵的概念性解釋

研究結果顯示，大部分教科書仍著重於科學事實與概念的呈現，對於科學家實驗研究結果之詮釋較為缺乏，或是予以忽略（劉俊庚和邱美虹，2010a，2010b）。以拉塞福 α 粒子散射實驗為例，許多教科書均呈現不同的模型表徵，但教科書若未能利用所呈現的模型表徵來解釋或描述為何拉塞福會因 α 粒子散射實驗的結果而提出有核的原子模型，如此將使學生在閱讀教科書時，無法理解所呈現的模型表徵，或是為何拉塞福透過 α 粒子散射實驗的結果，而提出有核的原子模型，亦將影響學生學習 α 粒子散射實驗與有核原子模型關係之概念的建立。

而教師教學也會利用不同的模型表徵，若未能將模型表徵與概念之間的連結說明清楚，如此將失去模型於現象與概念中介的角色，亦將使模型教學難以達到所欲之成效。因此，教科書除呈現不同的模型表徵外，教科書宜強調所呈現模型表徵與概念性解釋之間的連結，讓模型扮演原理、概念與現象之中介角色，如此將有利於學生之自我學習。

3.科學史融入教科書之意涵

現今的課程強調科學史融入教學或教科書，除讓學生了解科學發展的歷程外，更可增進學生對於科學本質的認識。但研究結果顯示我國教科書關於科學史的編寫仍有極大的改進空間，以本研究之原子理論單元為例，原子理論之科學發展即是由不同原子理論之間的相互競爭而產生更為進步的原子理論，但現今教科書卻忽略此關鍵，大部分教科書僅陳述不同科學家的研究結果，未能提及不同理論之間的競爭，如此將使學生僅記憶片斷的科學發展歷史，難以對整個科學發展有完整的認識，更無法增進科學本質的認識。因此，教科書編寫宜針對兩個原子理論之間的關聯性，以及概念的重建部分，如此學生將可以透過閱讀科學史，了解科學概念與理論的發展，更可對於模型與科學本質有更多的理解與認識。

（三）教科書於「原子理論」單元之建模歷程分析

高中化學教科書於「原子理論」發展的敘述上，大多從湯木生發現電子，拉塞福提出原子核想法，波耳氫原子理論，最後再利用機率的數學函數（軌域）來描述電子出現情形以及電子組態。本研究依 Liu 和 Chiu（2010）和劉俊庚和邱美虹（2010b）所訂定建模歷程，根據建模歷程（模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析與評估和模型調度）之要素對教科書進行解構，以探究模型在我國高中化學教科書中所扮演的角色和功能，以及教科書是否具建模歷程的要素。分析不同版本之建模歷程結果詳述如下：

1.原子理論單元之建模歷程

大多數教科書均著重於建模歷程之「模型描述與選擇（S）」和「模型建立（C）」兩個階段（分別為 72.7% 和 82.8%），至於「模型效化」與「模型分析與評估」得分較低（分別為 51.6% 和 37.5%）。換言之，大多數教科書撰寫者均著重於科學史或科學知識的描述，內容以陳述科學事實與概念為主，對於科學模型分析、效化與預測的功能與過程並未加以著墨，如此呈現方式將使學生難以透過自我學習的歷程中獲得科學建模知識與能力，進而瞭解建模歷程以及模型功能之認識。

2.建模歷程在教學上之意涵

從原子理論之建模歷程來看，大部分教科書仍以陳述科學事實與概念為主，對於建模歷程中之模型效化、分析與評估和模型調度等步驟均相當地缺乏。科學方法的主要元素之一即是模型的形成與檢驗，在科學教學歷程中，建模技能的培養被視為是科

學教育的目標之一。因此，教科書應將建模的技能與元素融入課程中，學生透過自行閱讀教科書的過程中，理解科學模型之建模歷程，將可協助他們發展心智模式，也有助於學生科學概念學習與科學本質的認識。

四、跨年級學生於「原子概念」之模型發展比較

本研究利用原子概念問卷 (I)，探討 8-11 年級學生對於原子概念之作答情形，並透過教科書分析結果與跨年級學生於原子概念模型作相互比較，藉以了解學生原子概念之模型發展歷程。

(一) 學生於「物質組成」概念之演變歷程

從跨年級學生於原子概念問卷 (I) 作答情形來分析，並依各年級比例較高的類型做為學生擁有類型，可看出學生於「物質組成」概念之演變歷程主要為 $C0 \rightarrow C12 \rightarrow C2$ ，即是學生從連續觀的概念，慢慢發展為混合觀，即是將物質組成分為「具有生命的物質」與「不具有生命的物質」兩者來討論，隨後再發展為粒子觀，此結果與 Harrison 和 Treagust (1996) 研究相互呼應。惟雖然有部分的學生會以拉塞福或波耳的原子理論來解釋，但比例偏低。此外，擁有 $C12$ 類型的學生，其比例仍相當地高，顯示此概念相當難以改變，在教學意涵上，教師對於物質組成之概念，應強調細胞核和原子核之間的差異，並強調物質是由粒子所組成之想法，如此可避免學生迷思概念的產生。

(二) 學生於「原子結構」概念之演變歷程

研究結果顯示，跨年級學生於「原子結構」類型分布情形，8 年級學生主要類型於 $M0$ ，9 年級學生主要類型為 $M3$ ，10 和 11 年級則為 $M3$ 和 $M4$ ，依此跨年級學生於「原子結構」之發展歷程為 $M0 \rightarrow M3 \rightarrow M4$ 。即是學生從未具備原子的概念，經過教學後，學生擁有原子核的概念（拉塞福原子理論），隨後則發展電子運動殼層的概念（波耳原子理論）。雖然 11 年級學生已於基礎化學課程中修習過軌域的概念，但結果仍以波耳或拉塞福原子模型為主，此研究結果亦呼應先前的研究結果（Harrison & Treagust, 1996; Nakiboglu, 2003; Tsapalis & Papaphotis, 2002）。而科學發展與教科書於「原子結構」概念之演變歷程為 $M0 \rightarrow M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M4 \rightarrow M5$ ，兩者主要差異在於道耳吞原子模型（ $M1$ ）和湯木生原子模型（ $M2$ ），顯示學生對於「原子結構」之模型發展歷程，並未經歷此三個階段。

(三) 影響學生「原子結構」概念發展之因素

教科書是影響教師教學與學生學習重要因素之一，本研究分析跨年級學生於「原子結構」之模型發展與教科書所呈現之概念與模型之關係，結果顯示跨年級學生與教科書於「原子結構」之模型發展大致符合此歷程，由此推論學生對於原子結構概念之模型演變深受教科書內容與教師教學順序所影響。

五、建模教學對於學生原子概念之影響

（一）三組各項測驗之比較

經過不同的教學活動後，三組學生於「原子概念問卷（II）」和「原子成就測驗」之作答情形，類比建模組和電腦輔助建模組成績皆優於講述教學組，且原子概念問卷（II）後測亦達到統計上顯著差異（ $p = .027 < .05$ ），此外，原子成就測驗達統計上顯著性差異（ $p = .000 < .005$ ）。此外，針對三組學生在原子成就測驗的問題題目表現上，亦建模組學生亦顯現出較佳的結果，如此結果亦顯示，建模教學對於原子概念理解皆能達到促進學生學習之目標與要求。

（二）不同教學策略對於學生原子概念心智模式之影響與改變

1. 原子本質與結構概念：三組學生經過不同教學活動後，對於原子本質與結構理解均有顯著的教學成效，而「類比建模組」和「電腦輔助建模組」於教學後科學模式均增加至 50-60% 左右，但「講述教學組」僅增加 25.0%，顯示透過建模教學活動，藉由類比物的建立、電腦模擬和同儕之間的討論等教學活動所獲得的經驗，將有助於學生科學模型的建立。
2. 量子力學與軌域：三組學生教學後科學模式增加之比例，依序為「電腦輔助建模組」增加之比例為最高（增加 62.9%），其次為「類比建模組」增加 49.7%，而「講述教學組」增加之比例為最少，僅增加 38.9%，顯示透過電腦輔助的建模教學對於學生於量子力學與軌域概念之學習有其效益，茲因透過電腦模擬動畫，抽象概念以具體模型來呈現，或是心智模式由個體藉由語言或書寫來表達，而透過畫圖等活動，將心智模式視覺化的經驗將有助於學生科學概念之學習。此外，建模教學的過程更可提供學生使用各種形式模型表徵之經驗，讓學生了解不同模型表徵之間的差異與互補，故電腦輔助建模組與類比建模組於教學後科學模型增加的比例皆大幅增加，顯示建模教學活動促使學生自主地建立、檢驗和修正模型，並進行多重模型表徵之間的比較，也透過上述的教學過程，學生更容易了解抽象的概念。

3.電子組態與週期性：三組學生經過不同教學活動後，學生擁有科學模式之比例依序為 33.3%、37.1%和 17.1%，而類科學模式(RS)比例則依序為 11.1%、31.4%和 34.2%。從上述結果得知，三組學生於不同教學活動後，擁有科學模式之比例仍偏低，顯示三種不同教學活動對於增進學生電子組態與週期性之概念理解僅有部分的成效。「類比建模組」和「講述教學組」於教學後科學模式僅增加 30.6%和 28.6%，「電腦輔助建模組」更僅增加 2.9%，顯示建模教學活動雖然透過類比物建立、電腦模擬和同儕之間的討論等經驗，但對於電子組態與週期性交互作用的問題，若學生需要判斷較多的因素，學生無法了解選擇適當的因素來判斷，換言之，雖然學生了解影響原子體積、活性的原因，但若無法選擇適當的物件，將無法建立適當或正確的模型，即無法對於各種不同問題做正確的判斷。因此，教師透過多重表徵的模型，透過多重表徵之間的互補功能，讓學生了解不同模型表徵之差異，進而多重概念交互作用關係，即是理解電子組態與週期交互作用之概念。

4.化學鍵結：若比較三組學生經過不同的教學活動後，科學模式增加之比例，依序為「電腦輔助建模組」增加之比例為最高（增加 37.2%），其次為「類比建模組」增加 37.1%，而講述教學組增加之比例為最少，僅增加 19.5%，顯示建模教學對於學生於化學鍵結概念學習有其效益，透過類比物的建立、電腦模擬動畫呈現化學鍵結的形式與過程，將化學鍵抽象概念以具體形式的模型來呈現，即透過視覺化過程讓學生的思考外顯化，並且透過畫圖與討論等相關的視覺化教學活動，讓教師可以實際了解學生對於原子組成形態，以及鍵結關係。此外，教師亦需強調化學鍵結為非實體的概念，如此將可減少學生迷思概念的產生。

六、不同教學策略對於學生建模能力之影響

為分析學生在經過類比建模、電腦建模與講述教學等不同教學活動後，對於學生建模能力之影響與差異，以及探討學生原子概念理解與建模能力之關係。本研究修正建模能力分析指標，依照三組學生經過不同教學活動後訪談結果之量化分數表現，分別從兩個部分作討論，即探討不同教學策略對於學生建模能力之影響，以及分析不同教學策略於「概念理解」與「建模能力」之關係。

（一）不同教學策略對於學生建模能力之影響

1.研究結果發現，三組學生經過不同教學活動後，三組學生於建模能力測驗之「模型選擇與描述」、「模型建立」、「模型分析與評估」和「平均建模能力」達統計之顯著

差異 ($p = .047 < .05$; $p = .035 < .05$; $p = .027 < .05$)，惟「模型效化」、「模型調度」和「模型重建」等建模能力則未達統計上顯著之差異 ($p = .062 > .05$; $p = .135 > .05$; $p = .069 > .05$)。換言之，三組學生經過不同的教學策略後，除學生能夠對不同物件做正確且完整的描述外（模型選擇與描述），對於「模型分析與評估」需要考量不同模型之間的差異，而透過建模教學活動，學生透過同儕和師生之間的討論，對於模型進行效化與分析，故可增加學生的建模能力。

2. 「類比建模組」與「電腦輔助建模組」於「平均建模能力」之表現高於「講述教學組」之表現，且達統計之顯著性差異 ($p = .017 < .05$)，顯示透過不同教學活動對於學生建模能力會有不同的影響，特別是建模教學活動，對於提升學生建模能力有明顯的成效。

（二）不同教學策略於「概念理解」與「建模能力」之關係分析

1. 「講述教學組」於原子概念問卷（II）前後測之配對 T 檢定比較，顯示傳統的講述教學模式雖能提升學生的概念理解，然而在建模能力測驗結果顯示，平均建模能力僅為 2.14，「講述教學組」學生於「原子概念問卷（II）後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為 .400； $p = .170 > .05$ ，兩者關係為未達顯著相關性，如此說明講述教學活動似乎難以提升學生的建模能力。
2. 類比教學組學生於「原子概念問卷（II）後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為.668； $p = .037 < .05$ ，顯示兩者之間關係為高相關，且達統計之顯著水準，換言之，透過類比建模教學模式除可以能提升學生的概念理解外，亦可以提升學生的建模能力。
3. 電腦輔助建模組學生於「原子概念問卷（II）後測」與「建模能力測驗」之 Kendall's tau 相關係數為.769； $p = .011 < .05$ ，顯示兩者之間關係為高相關，即是透過電腦輔助建模教學模式除能提升學生的概念理解外，亦可以提升學生的建模能力。

七、本研究之貢獻

綜合上述研究結果，本研究對於科學教育研究之貢獻可彙整如下：

（一）學生模型本質之認識

本研究分別從語意、本體論、認識論和方法論等四個面向來探討學生對於模型本

質的認識，並利用訪談方式，深入分析跨年級學生對於模型之認識與理解。如此結果不僅較 Grosslight 等人於 1991 年發表的研究工具或 Treagust 等人（2002）的研究更為廣泛與明確，且從大量的資料建立，建立本土學生對於模型本質認識之架構。此外，本問卷亦結合科學哲學觀點，不斷地修正模型本質問卷（Chiu & Liu, 2008），從多面向來探討學生對於模型本質的認識。而且，本研究亦透過實證性研究，建立學生判斷是否為「模型」之架構，雖然在 Boulter 和 Buckley（2000）的模型分類模式中，模型可區分為不同的表徵形式，分別是：具體的（concrete）、言語的（verbal）、視覺的（visual）、數學的（mathematical）和動作的（gestural）。但本研究結果顯示，學生卻僅從具體、抽象和是否能表徵某個物件或現象作為其考量的因素，學生對於模型的認識仍著重於具體的、參考物的再現等。因此，如何使學生認識或理解不用表徵型式的模型在科學學習所扮演的角色（如模型可以解釋現象或理論，或是作為推理其他概等），以及了解不同模型之間的差異與連結，將是未來教師教學工作最為重要的項目之一。

（二）建立學生選擇模型與視覺化之架構

先前雖有研究提出以模型為基礎學習的架構，如 Buckley 和 Boulter（2000）所提出的「以模型為基礎學習的模型」，但這些研究均未有實證性研究做為其架構的基礎，為解決與補充 Buckley 和 Boulter（2000）所提架構之缺陷，本研究透過實證的研究和學生訪談的結果，並結合科學哲學之觀點，從形態相似性與結構相似性來了解學生建構模型考量之因素，並從模型表徵與目標系統之關係，探討學生選擇模型表徵與視覺化的情形，並已獲得良好的研究成果。

（三）分析教科書中「模型」與「建模」之要素

本研究利用 Mayer（1989）所提出之良好模型特徵，建立模型表徵分析指標，並以 Liu & Chiu（2010）與劉俊庚和邱美虹（2010b）所提出的建模歷程評估模式來分析教科書之建模歷程，以探究模型在我國高中化學教科書中所扮演的角色和功能，以及教科書是否具建模歷程的要素，均為科學教育研究之首創。此外，本研究亦針對研究結果提出撰寫教科書之建議，冀能對我國教科書的編寫有所助益。

（四）利用建模教學於實際的教學中

近來，以模型為基礎的學習相關性研究已慢慢地受到許多科學教育研究學者的重視，而建模理論更已成為科學教育研究取向的重要議題之一。本研究利用分析教科書

的結果修正教學使用之文本，並嘗試利用不同的建模教學策略（類比建模教學和電腦輔助建模教學）於實際化學教學中，研究結果亦顯示透過結合不同形式的建模教學所獲得經驗能提升學生的建模能力，也促進他們於原子概念之理解，如此均可說明建模教學之成效。

（五）模型與建模理論應用於科學教育研究

許多科學教育研究均建立於科學哲學的基礎上，本研究將科學哲學領域「模型」與「建模」之相關研究引入科學教育研究，雖然「模型」與「建模」議題之研究在科學教育研究領域仍屬初步的階段，但本研究嘗試從科學哲學觀點建立完整的「模型」與「建模」之理論，對於我國科學教育研究之發展有相當大的幫助。

第二節 建議

本節將依整個研究過程和結果，就研究過程提出檢驗與改進的方法，分別從教學與課程設計，和未來研究建議等兩個部分提出建議。

一、教學與課程設計

（一）教學建議

建模教學法雖可促進學生原子概念之改變與建模能力的提升，且本研究教學時數為 12 小時，仍難以說服他人建模教學對於學生之學習之影響，建議後續的相關研究應嘗試以更長的時間做研究，對於研究結果較具說服力。本研究認為透過模型認識科學理論與概念是必要的，而建模能力也是未來教學的新取向。而如何透過相關研究讓實際教師了解建模教學策略，並能實際運用於教學過程中，除了有更多建模的相關研究外，增加更多研究主題與概念，相關研究的推廣亦是不可缺少的一環。

（二）研究設計

1.研究架構交互作用關係

本研究主要分為三個次主題，分別是學生對於模型的認識、模型與建模之範例和建模教學對於學生學習之影響，但三者的關係之建立仍略為薄弱，本研究宜再增強學生使用之模型表徵與教科書或教學之相關性，學生如何使用模型以及對於模型的認識如何影響學生學習等關係的建立，如此將可建立完整的模型與建模相關理論。

2.增加動態評量，探索學生心智模式之演變歷程

許多學生對於問題的回答常有不一致的心智模式，然本研究僅針對學生前、後測之心智模式的改變，對於心智模式的改變歷程，宜設計動態評量方式，藉以探索學生心智模式之演變歷程，如此更可看出學生完整的學習歷程，更可了解教師的教學策略如何影響學生心智模式的轉變。

3.建立完整的影響學生建模知識理論架構

Hogan 和 Thomas (2001) 認為影響學生建模知識的因素有：物件層次、後設層次和情意等因素。物件層次包括概念理解，視覺抽象和數學抽象部分；後設層次包括建模認識、系統觀點和學習觀點；情意則包括意志選擇、自我基模和自我效能等三個

次面向。本研究著重於物件層次和後設層次等兩個部分，未能針對情意部分作分析探討，未來可針對情意部分和三個層次相互之間的關係做更為深入研究，探討三個層次者之間如何地交互作用，建立更為完整的影響學生建模知識理論架構。

4.問題選擇與建模歷程

本研究許多次主題所選定的問題似乎著重於探討學生模型選擇之差異，難以看到學生完整的建模歷程，如研究問題 1-2 部分。因此，未來宜再針對學生面對不同問題時的建模歷程做更為深入的分析探討，即是不斷的透過問題解決歷程，了解學生在建模歷程中的問題與困境。

（三）教材編寫部分

1.模型融入教學且具備良好模型特徵

科學學習目標之一即是希望學生能了解科學理論和概念與現象之間的關係，而模型即是扮演連結此兩者最關鍵之角色，教科書如何設計良好模型將此兩者之間的關係做適當連結，將是教科書撰寫者未來的挑戰。因為教科書撰寫者若不重視或未具有模型本質的認識與理解，以及科學模型在科學學習中所扮演的角色，如何期待我國化學教科書會採用更多或良好的模型來呈現科學概念，更遑論培養學生對於科學概念的認識與理解。而本研究建模教學之教材已針對原使用之教科書作修正，惟仍無法完全符合良好模型特徵。因此，宜再針對教科書分析結果修正建模教學的教材外，更需進行教科的試教工作，修正教材後再進行研究工作，如此將可促進學生學習與使用。

此外，研究結果顯示大部分教科書使用之模型未完全具備良好模型特徵，顯示我國高中化學教科書於「原子理論」單元所使用模型之缺失與問題。雖然從 99 年《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》開始強調模型融入課程中（教育部，2010），但現行新課程之教科書是否能符合課程標準仍需未來研究探討議題之一。未來，科學教學過程中，模型理論對於教師教學，以及學生科學學習所扮演之角色將更顯其重要性，因此，本文作者認為未來課程綱要需更強調模型的重要性，明確地陳述於課程綱要中，如此教科書撰寫者於撰寫教科書時才能有所依據與參考。

2.教科書需具備建模要素

研究結果顯示大部分教科書仍以陳述科學事實與概念為主，教科書中對於建模歷程著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，至於「模型效化」與「模型分析與評

估」則較為缺乏。本研究建模教學之教材文本已針對原使用之教科書作修正，惟仍無法完全符合建模要素，因此除修正原有教材外，更需進行試教工作後，修正教材再進行研究工作，如此將更可促進學生之學習。

二、未來研究建議

綜覽整個研究結果，研究者提出下面幾點淺見以供教師及課程編寫者於撰寫教科書時之建議：

（一）理論方面之精進

本研究提出模型本質認識之架構，透過語意（模型的表徵性功能）、本體論（什麼形式的物件屬於模型）、認識論（學生如何認識模型，或是模型如何促進學生理解）和方法論（模型的功能取向）等 4 個面向來探討學生對模型本質的觀點。猶如邱美虹（2007, 2008）的研究與本研究結果均指出，學生對於模型的認識，除受個人經驗或環境影響外，學生在判斷是否是一個模型時亦會考慮模型的功能性，因此其所討論的面向相較於 Grosslight 等人（1991）或 Treagust 等人（2002）的研究更為廣泛與明確，亦為模型研究提出新的思考方向，但本研究僅針對上述四個面向做討論，各個面向之間的交互作用，其之間的作用關係與過程為何？以及如何影響學生模型的認識等問題，仍值得未來研究者做更為深入探討與努力。

此外，從 1980 年代，科學教育研究受到 Kuhn（1962）科學革命觀的影響，科學教育研究也轉為概念改變研究取向，Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog（1982）將學生概念改變類比於 Kuhn 的典範轉移，提出概念改變理論（CCM），換言之，科學教育研究建立於科學哲學的基礎上，而關於「模型」與「建模」的相關研究，科學哲學領域已有許多重要的研究結果，惟科學教育對於「模型」與「建模」議題之研究仍屬初步的階段，事實上，從科學哲學觀於模型與建模的觀點或理論有助於科學教育研究取向的發展。因此，本研究認為宜再針對科學哲學領域對於「模型」與「建模」議題做深入的研究，並且應用於科學教育研究，再者從多向度來探討學生對於「模型」與「建模」之認識，如此將有助於科學教育於「模型」與「建模」理論的建立，並可對科學哲學領域的「模型」與「建模」觀點是否適用於教育進行檢驗性工作。

（二）模型與建模理論融入課程與教學

教科書常使用不同的模型來解釋科學現象，但 Justi 和 Gilbert（2000）研究發現，

許多教科書未能說明使用其意義、限制與連結性，如此將會導致學生無法考量模型混用的情形，另一方面也會使學生誤解模型的本質。對於模型與建模理論融入教科書，研究亦發現，我國教科書雖於教材內呈現不同形式的模型，但卻未能有明確的定義與說明，或是模型與概念之間的連結不佳，建模歷程更是缺乏，如此結果均使學生難以對模型本質與建模歷程有完整的認識。

因此，教科書宜將建模技能與元素融入課程活動設計中，學生透過閱讀教科書，理解科學模型之建模歷程，將可協助他們發展正確的科學心智模式，也有助於學生科學概念學習與科學本質的認識。教師教學亦可採用建模觀點，當然若教師平時教學利用模型來呈現，教師計畫教學前亦需考量所使用的模型是否符合教學目標，為什麼要使用模型？並且讓學生透過建模的過程，了解模型限制與適用範圍，並利用模型來思考科學理論與問題解決，再透過師生之間的討論，達到師生共同建構歷程，進而提升學生模型效化、分析與評估與調度等能力。我們認為透過模型認識科學是必要的，而建模能力也是未來教學的新取向。

在教育決策面上，我國現行課程綱要雖已將「模型」列入高中化學課程綱要，但仍未提及建模相關的理論，如何使現行教師了解建模的相關理論與重要性，已成為科學教育最為重要的課題之一。本研究認為宜於課程綱要的教育目標中明確指出培養學生建模能力的重要性，並規範建模能力所應包含的內容。其次，在科學師資培育上，應提升職前和在職科學教師對於模型本質與建模能力內涵的了解、培養教師設計以模型為基礎的教學活動之能力、以及運用以模型為基礎的教學評量方式來提升學生的科學素養。最後，本文作者亦相信，營造良好的建模學習環境和教學策略對於學生建模能力的培養與科學學習有非常大的助益。

（三）跨國性教科書比較

關於教科書的跨國性比較部分，建議未來研究可進行跨國性的教科書比較，透過跨國性比較，科學教育研究者與教科書編寫者將可了解其他國家教科書於相同概念或單元所呈現之模型表徵、內容或類比物，如此將可提供教科書編寫者於撰寫教材時之參考，作為改進我國教科書編寫之方式。

雖然我國教科書已開放由民間負責編輯，但研究卻發現教科書所呈現之內容過於雷同，如大部分教科書於湯木生原子模型均使用葡萄乾布丁模型，或量子力學原子理論對於電子的描述均以電子雲來描述。教科書為教師課程設計時重要的參考依據，如此將使教師於課程設計時受到限制，亦將導致學生的思考受到限制。因此，透過比較

不同之教科書與相關研究，設計更適合我國學生使用之教科書，如此亦將促進學生於閱讀教科書有更好的理解，教師於教學過程中也更能做較佳的說明與解釋。

（四）如何評估學生建立的模型

本研究針對學生面對不同現象或概念時所使用的模型，主要從學生所使用或建立模型與參考物之間的關係來探討，分別以“相似性”與“同構性”作為分析的向度，並建立學生如何使用模型或選擇模型之架構。未來亦可利用 Mayer（1989）所訂定的 7C 評定標準來分析與評估學生對於不同現象所使用的模型，或所建立模型之良窳，如此除可了解學生模型使用情形與限制外，更可以分析學生所使用的模型如何影響其概念之學習，或是其表徵的能力。

（五）教科書應明確地陳述建模歷程

當我們進入實驗室後，便有一套我們熟悉的科學研究流程，從引起動機、研究假設、實驗設計、實際操作和結論。研究人員對此一連串的流程均相當地熟稔，故常未能明確地於研究報告中來呈現。但建模是相當複雜的思考過程，不論是教師或學生對此過程均不熟悉。因此，教師在教學上需特別予以說明，特別是模型效化、分析與評估和調度等關鍵部分，從本研究教科書建模歷程要素分析顯示，我國高中化學教科書均未能強調此部分，或是教科書雖具備建模歷程，但卻採取融入課程且採取隱含的方式，如此教師將無法立即知曉此建模歷程，學生更難以透過閱讀教科書理解其隱含的建模歷程。

未來研究亦可針對教科書是否應明確地陳述建模歷程來進行研究，針對下列兩種不同形式教科書（明確地陳述建模要素與以隱含的方式來述建模要素）進行比較研究，如此將更可驗證此論述的結果，以及了解教科書的呈現方式如何影響學生建模能力，亦可提供教科書編寫之參考。

建模是教師與學生必須學習的運作模式，本研究強烈建議教科書除融入模型與建模理論外，更需明確地將模型定義與建模歷程呈現於教科書的內容中，教師教學若使用不同形式的模型，宜要求學生對於不同形式的模型進行比較，並鼓勵學生對於不同的模型或所建立模型進行效化、分析與評估和調度之工作，透過完整的建模歷程進行反思，進而提昇建模能力，如此將更有助於學生概念之學習。

參考文獻

中文部分

- 王玉侖（2004）。*科學技術史*。北京：中國人民大學出版社。
- 王德勝和朱天娥（1992）。*化學五千年*。臺北市：曉園出版社。
- 王澄霞和楊永華（1985）。中小學科學課程中「物質的粒子概念」之研究。*師大學報*，30，頁 482-506。
- 尹基勉（1999）。「*原子結構*」概念之建構式教學研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 李艷平和申先甲（2003）。*物理學史教程*。北京：科學出版社。
- 吳大猷（1977）。*量子論與原子結構*。臺北：聯經出版事業公司。
- 吳明珠（2008）。科學模型本質剖析：認識論面向初探。*科學教育月刊*，306，2-8。（轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所）。
- 周金城（2008）。探究中學生對科學模型的分類與組成本質的理解。*科學教育月刊*，306，10-17。（轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所）。
- 邱美虹（2000）。概念改變研究的省思與啓示。*科學教育學刊*，8(1)，1-34。
- 邱美虹（2005）。臺灣地區中學生「*粒子與化學平衡*」概念之心智模式與成因之探討（IV）。行政院國家科學委員會專題研究計畫（計畫編號：NSC92-2511-S-003-010），未出版。
- 邱美虹（2007）。化學教育中建模模式的研發與實踐—子計畫四：以認知師徒制探討建模能力與歷程對學生學習物質科學中「*氧化與還原*」之影響。行政院國家科學委員會專題研究計畫（計畫編號：NSC 95-2511-S-003-025-MY2），未出版。
- 邱美虹（2008）。模型與建模能力之理論架構。*科學教育月刊*，306，2-9。（轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所）。
- 邱美虹和劉俊庚（2008）。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。*科學教育月刊*，314，2-20。
- 林靜雯和邱美虹（2005）。整合類比與多重表徵研究取向探究多重類比設計對兒童電

- 學概念學習之影響。《科學教育學刊》，13(3)，317-345。
- 林靜雯和邱美虹（2008）。從認知/方法論之向度初探高中學生模型及建模歷程之知識。《科學教育月刊》，307，9-14。（轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所）。
- 胡鏡寰、王忠烈和劉玉華（1990）。《原子物理學》。北京：北京師範大學出版社。
- 范岱年譯（1996）。《物理學與哲學：現代科學中的革命》（海森堡著）。新竹：凡異文化事業有限公司。
- 馬文蔚、唐玄之和周永平（1995）。《物理學發展史上的里程碑》。新竹：凡異文化事業有限公司。
- 高道旭、葉秋塗和高進登譯（1972）。《基本原子物理學（上冊）》。臺北：大中國圖書公司。
- 康軒出版社（2007）。《自然與生活科技（2上）》。臺北：康軒文教事業股份有限公司。
- 教育部（1999）。《高級中學課程標準》。臺北：教育部。
- 教育部（2003）。《國民中小學九年一貫課程綱要》。臺北：教育部。
- 教育部（2006）。《普通高級中學課程暫行綱要》。臺北：教育部。
- 教育部（2010）。《普通高級中學課程綱要》。臺北市：教育部。
- 陳竹亭編（2008）。《普通高級中學 化學（上）》。臺北：泰宇出版股份有限公司。
- 陳瑞麟（2003）。《科學與世界之間：科學哲學論文集》。臺北：學富文化事業有限公司。
- 陳瑞麟（2004）。《科學理論版本的結構與發展》。臺北：臺大出版中心。
- 郭奕玲、林木欣和沈慧君（1996）。《近代物理發展中的著名實驗》。新竹：凡異文化事業有限公司。
- 趙匡華（1992）。《化學通史（上）》。新竹：凡異文化事業有限公司。
- 張志康（2009）。從概念改變理論探究建模教學對學生力學心智模式與建模能力之影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。
- 張志康和邱美虹（2009）。建模能力分析指標的發展與應用－以電化學為例。《科學教育學刊》，17(4)，319-342。
- 張延惠、林聖路和王傳奎（2009）。《原子物理教程（第二版）》。濟南：山東大學出版社。
- 劉俊庚和邱美虹（2010a）。從模型觀點分析高中化學教科書中「原子理論」單元之模型特徵及其意涵。論文發表於第26屆中華民國科學教育學術研討會，花蓮。
- 劉俊庚和邱美虹（2010b）。從建模觀點分析高中化學教科書中原子理論之建模歷程及

其意涵。科學教育研究與發展季刊，59，23-52。

賴俊文（2010）。探討建模教學對於八年級學生學習物質粒子概念之學習成效與建模能力之影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。

賴俊文、邱美虹和劉俊庚（2010）。探討以動態模型為基礎的建模教學對於八年級學生學習物質粒子概念之影響。論文發表於第 26 屆中華民國科學教育學術研討會，花蓮。

關洪（2000）。物理學史講座。新竹：凡異文化事業有限公司。

英文部分

- AAAS. (1993). *Benchmarks or Science Literacy*. New York: Oxford University Press.
- Achinstein, P. (1968). *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*. Maryland: The Johns Hopkins Press.
- Aegerter-Wilmsen, T., Janssen, F., Hartog, R., & Bisseling, T. (2005). Digital learning material for model building in molecular biology. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 123-134.
- Andersson, B. (1990). Pupil' s conceptions of matter and its transformation (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Arabatzis, T. (1996). Rethinking the 'discovery' of the electron. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, 405-435.
- Baird, D. (2004). *Thing Knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California.
- Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73(4), 481-500.
- Bent, H. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61, 774-777.
- Bigg, C. (2008). Evident atoms: visuality in Jean Perrin's Brownian motion research. *Studies in History and Philosophy of Science*, 39, 312-322.
- Bliss, J. (1994). From mental models too modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (eds.), *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum* (pp. 27-32). Hong Kong: Graphicraft Typesetters.
- Briggs, M., & Bodner, G. (2005). A model of molecular visualization. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 61-72). Netherlands: Springer.
- Bohr, N. (1913). On the Constitution of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, 26, 1-25.
- Bohr, N. (1923). The structure of the atom (Nobel Lecture, delivered December 11, 1922). *Nature*, 1-16.
- Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions, *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Boo, H. K., & Watson, J. R. (2001). Progression in high school students' (aged 16-18)

- conceptualizations about chemical reactions in solution. *Science Education*, 85, 568-585.
- Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert and C.J. Boulter(eds.), *Developing Models in Science Education* (pp.119-135.) Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: implications for learning and discovery in science. In R. Giere (ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The process and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. A. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chiu, M. H. (2008). *Research And Instruction-Based/Oriented Work (RAINBOW) for conceptual change in science learning – an example of students’ understanding of gas particles*. Paper present at the NARST 2008, March 29 - April 2, Baltimore, U.S.A.
- Chiu, M. H., & Liu, C. K. (2008). *Designing research instrument for investigating students’ conceptions about models*. Paper presented at 20th International Conference on Chemical Education, Mauritius.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modeling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover, R. Ronning, & C. Reynolds (eds.), *Handbook of creativity: assessment, theory and research* (pp. 341-381). New York : Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2001). Learners’ mental models of chemical bonding.

Research in Science Education, 31, 357-382.

- Coll, R. K., & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: senior chemistry students' mental models of chemical bonding. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3(2), 175-184.
- Collins, A., & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & N. Quinn (eds.), *Cultural models in thought and language* (pp. 243-265). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cook, M., Wiebe, E. N. & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92(5), 848-867.
- Craver, C. F. (2006). When mechanistic models explain. *Synthese*, 153, 355-376.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. F. (2004). Supporting prospective teachers' conception of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Cros, D., Chastrette, M. & Fayol, M. (1988). Conceptions of second-year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10 (3), 331-336.
- Dalmedico, A. D. (2007). Models and simulations in climate change: history, epistemological, anthropological, and political aspects. In Angela N. H. Creager, E. Lunbeck, & M. N. Wise (eds.). *Science Without Laws* (pp.125-156). London: Duke University Press.
- de Berg, K. C., & Treagust, D. F. (1993). The presentation of gas properties in chemistry textbooks and as reported by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 871-882.
- de Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445-467.
- Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duit, R., & Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.

- Frederiksen, J. R., & White, B. Y. (1998). Teaching and learning generic modeling and reasoning skills. *Journal of Interactive Learning Environments*, 55, 33-51.
- Frigg, R. (2009). Models and fiction. *Synthese*, DOI 10.1007/s11229-009-9505-0.
- Geiger, H., & Marsden, E. (1909). On a diffuse reflection of the α -particles. *Proceedings of the Royal Society*, 82, 495-500.
- Geiger, H., & Marsden, E. (1913). The laws of defluxion of α particles through large angles. *Philosophical Magazine*, 25, 604-623.
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2009). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple history models in school textbooks. *Research in Science Education*. Doi: 10.1007/s11165-009-9136-y.
- Giere, R. N. (1994). The cognitive structure of scientific theories. *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science-A Cognitive Approach*. London: University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (1999). Using models to represent reality. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 41-57). New York: Kluwer.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172, 269-281.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and modeling in science education*. Hatfield: The Association for Science Education.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: a metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 9-27). Netherlands: Springer.
- Gilbert, J. K., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert and C. J. Boulter (eds.)

- Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, part 1: horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: key models in chemical education. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (eds.). *Multiple representations in Chemical Education* (pp.1-8). Dordrecht: Springer.
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: constructing conceptual models. In S. M. Glynn & R. Duit (eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Glynn, S. M. (2007). Methods and strategies: teaching with analogies. *Science & Children*, 44(8), 52-55.
- Greca, I. M., & Moriea, M. A. (2000). Mental model, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Greca, I. M., & Moriea, M. A. (2001). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86, 106-121.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(11), 1365-1378.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling Theory in Science Education*. Netherlands: Springer.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 55(5), 455-462.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31, 401-435.

- Harrison, A. G., & Treagust, D. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atom, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Hart, C. (2008). Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. *Research in Science Education*, 38, 529-544.
- Hartmann, S. (1995). Models as a tool for theory construction: some strategies of preliminary physics. *Poznan Studies in the Philosophy of Science and the Humanities*, 44, 49-67.
- Hartmann, S. (1999). Models and stories in Hadron physics. In M. S. Morgan & M. Morrison (eds.), *Models as mediators: perspectives on natural and social science* (pp. 326–346). New York : Cambridge University Press
- Hartmann, S. (2008). Modeling in philosophy of science. In M. Frauchiger & W. K. Essler (eds.), *Representation, Evidence, and Justication: Themes from Suppes (Lauener Library of Analytical Philosophy; vol. 1)* (pp. 95-122). Frankfurt: ontos Verlag.
- Hentschel, K. (2009). Atomic Models, Nagaoka's Saturnian Model. In D. Greenberger, K. Hentschel and F. Weinert (eds.), *Compendium of Quantum Physics* (pp.22-23). Berlin Heidelberg: Springer.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Hettema, H. (1995). Bohr's theory of the atom 1913-1923: a case study in the progress of scientific research programmes. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 26, 307-323.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an explanation of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 75-96.
- Hughes, R. I. G. (1997). Models and representation. *Philosophy of Science*, 64, 325-336.
- Jackson, J., Dukerich, L., & Hestenes, D. (2008). Modeling instruction: an effective model

- for science education. *Science Educator*, 17(1), 10-17.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- Jonassen, D., Strobel, J. & Gottdenker, J. (2005). Model building for conceptual change. *Interactive Learning Environments*, 13, 15-37.
- Jungck, J., & Calley, J. (1985). Strategic simulations and post-socratic pedagogy: constructing computer software to develop long-term inference through experimental inquiry. *American Biology Teacher*, 47, 11-15.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Giblert, J. K. (2002). Philosophy of chemistry in university chemical education : the case of models and modelling. *Foundations of Chemistry*, 4, 213-240.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The application of a 'model of modeling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of three types of representation. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (eds.), *Multiple representations of Chemical Education* (pp. 285-307). Netherlands: Springer.
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87, 257-280.
- Kesidou, S., & Roseman, J. E. (2002). How well do middle school science programs measure up? Findings from project 2061's curriculum review. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 522-549.
- Klein, P. D. (2006). The challenges of scientific literacy: from the viewpoint of second-generation cognition. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 143-178.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice

- responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 349-968.
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Liu, C. K., & Chiu, M. H. (2010). *Modeling process of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks*. Paper presented at ASERA 2010, Australia, Sydney.
- Liu, C. K., Lai, C. W., & Chiu, M. H. (2009). *Learning the atomic model through model-centered and modeling instruction*. Paper presented at ESERA 2009, Istanbul, Turkey.
- Lopes, J. B. & Costa, N. (2007). The evaluation of modeling competences: difficulties and potentials for the learning of the science. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- Mayer, R. E. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59, 43-64.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: naïve beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141
- Morgan, M. & Morrison, M. (1999). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moyer, W. A., & Mayer, W. V. (1985). *A Consumer's guide to biology textbooks 1985*. Washington, DC: People for The American Way.
- Nagaoka, H. (1904). Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. *Philosophical Magazine*, 6, 445-455.
- Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, 91, 579-603.
- Nakhleh, M. B. & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 777-805.
- Nakiboglu, C. (2003). Instructional misconceptions of Turkish prospective chemistry teachers about atomic orbitals and hybridization. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(2), 171-188.

- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (eds.), *Models are used to represent reality*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education*, 82, 527-552.
- Niaz, M. (2009). Foundations of Modern Atomic Theory: Thomson, Rutherford, and Bohr. In M. Niaz (ed), *Critical Appraisal of Physical Science as a Human Enterprise: Dynamics of Scientific Progress* (pp. 75-95). Netherlands: Springer.
- Niaz, M. & Coştu, B. (2009). Presentation of atomic structure in Turkish general chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 233-240.
- Niaz, M., & Rodríguez, M. A. (2001). Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already ‘inside’ chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice in Europea*, 2, 159-164.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates’ bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Niss, M. (2009). Metamodelling messages conveyed in five statistical mechanical textbooks from 1963 to 2001. *International Journal of Science Education*, 31(5), 697-719.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils’ understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- NSC. (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.
- Ogan-Bekiroglu, F. (2007). Effects of model-based teaching on pre-service physics teachers’ conceptions of the moon, moon phases, and other lunar phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(1), 1-39.
- Ogborn, J. (1994). Overview: the nature of modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (eds.), *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum* (pp.11-15). Hong Kong: Graphicraft Typesetters.
- Ogilvie, J.F., (1990) The Nature of the Chemical Bond - 1990, *Journal of Chemical*

- Oreskes, N. (2007). From scaling to simulation: changing meanings and ambitions of models in geology. In Angela N. H. Creager, E. Lunbeck, & M. N. Wise (eds.). *Science Without Laws* (pp. 93-124). London: Duke University Press.
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301-314.
- Perovic, S. (2006). Schrodinger's interpretation of quantum mechanics and the relevance of Bohr's experimental critique. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 37, 275-297.
- Pines, A. L., & West, L. L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: an interpretation of research within a source of knowledge framework. *Science Education*, 70(3), 583-604.
- Pinto, G. (1998). Using balls from different sports to model the variation of atomic sizes. *Journal of Chemical Education*, 75(6), 725-726.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of ascientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Ramadas, J. (2009a). Visual and spatial modes in science learning. *International Journal of Science Education*, 31(3), 300-318.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). Netherlands: Springer.
- Robinson, W. R. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use. *Journal of Chemical Education*, 77, 1110-1111.
- Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: a history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 409-424.
- Rubin, R. L., & Norman, J. T. (1992). Systematic modeling versus the learning cycle: comparative effects on integrated science process skill achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(7), 715-727.

- Rutherford, E. (1911). The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 6, 669-688.
- Rutherford, E. (1914). The structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 27, 488-498.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Sanchez, D., & Valcarcel, M. V. (1999). Science teachers' views and practices in planning for teaching. *Journal of Research in Science Education*, 36, 493-513.
- Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Sylvain Laube, J. S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92, 424-446.
- Seth, S. (2008). Crafting the quantum: Arnold Sommerfeld and the older quantum theory. *Studies in History and Philosophy of Science*, 39, 335-348.
- Seth, S. (2009). Zweideutigkeit about "Zweideutigkeit": Sommerfeld, Pauli, and the methodological origins of quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Science*, doi:10.1016/j.shpsb.2009.06.005.
- Shayer, M., & Wylam, H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 year-olds. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(5), 419-434.
- Shen, J., & Conferey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: a case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, 91, 948-966.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. J. (1989). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Silva, C. C. (2007). The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study. *Science & Education*, 16, 835-848.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modeling: an analysis of novices' reasoning during computer-based modeling. *International Journal of Science Education*, 14(18), 1695-1721.
- Spangenburg, R., & Moser, D. K. (1993). *The history of science from the ancient Greeks to the scientific revolution*. New York: Facts On File books.

- Stratford, S., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary students' dynamic modeling processes: analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems. *Journal of Science Education and Technology*, 7(3), 215-234.
- Strike, K.A. & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In Duschl, R. & Hamilton, R. (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice* (pp. 147-176). Albany, N.Y: State University of New York Press.
- Suárez, M. (2002). *An inferential conception of scientific representation*. Paper presented at PSA 2002, <http://philsci-archive.pitt.edu/>.
- Suárez, M. (2003). Scientific representation: against similarity and isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(3), 225-244.
- Tan, K-C. D., & Treagust, D. F. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding, *School Science Review*, 81(294), 75-81.
- Taber, K. S. (2001). Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 731-753.
- Taber, K. S. (2001). When the analogy breaks down: modeling the atom on the solar system. *Physics Education*, 36, 222-226.
- Taber, K. S. (2002). Compounding quanta: probing the frontiers of student understanding of molecular orbitals. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3(2), 159-173.
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89, 94-116.
- Taber, K. S., & Coll, R. (2002). Bonding. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justy, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (eds.), *Chemical education: towards research-based practice* (pp. 213-234). Dordrecht: Kluwer.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thomson, J.J. (1897). Cathode rays. *Philosophical Magazine*, 44, 293-316.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning & Instruction*, 4, 71-87.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science*

Education, 24(4), 357-368.

- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3(2), 129-144.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2009). High-school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: the case of basic quantum chemical concepts. *International Journal of Science Education*, 31(7), 895-930.
- Tsui, C. Y. & Treagust, D. F. (2003). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33, 111-135.
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. L., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- Uttal, D. H., O'Doherty, K. (2008). Comprehending and learning from 'visualizations': a developmental perspective. In J. K. Gilbert et al., (eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 53-72). Netherlands: Springer.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- van Someren, M. W. Boshuizen, H. de Jong, T., & Reimann, P. (1997). Introduction, In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen, & T. de Jong (eds.), *Learning with multiple representations* (pp. 1-5). Amsterdam: Elsevier.
- Vorms, M. (2008). *Models and formats of representation*. In British Society for the Philosophy of Science, . Conférence annuelle de la BSPS, 5 et 6 juillet 2007, Bristol (Royaume-Uni).
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). *Research on alternatives conceptions in science*. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science*

teaching and learning. New York: Macmillan.

Wayman, P. A. (1998). Stoney's electron. *Europhysics News*, 28, 159.

Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63, 606-619.

Zhang, B., Liu, X. & Krajcik, J. S. (2006). Expert models and modeling processes associated with a computer-modeling tool. *Science Education*, 90, 579-604.

Zeeman, P. (1897). The effect of magnetization on the nature of light emitted by a substance. *Nature*, 55, 347.

附錄 1：原子概念成就測驗評分標準

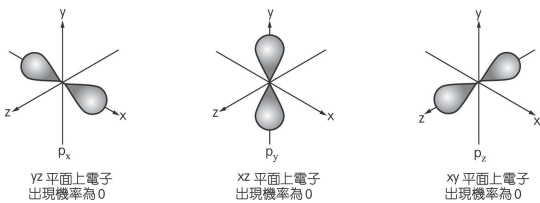
一、選擇題

題號	評分標準說明	評分
1	波耳氫原子學說 本題主要評量學生對於波耳氫原子學說之理解情形，如電子可以在特定能階存在而不會產生輻射，電子由低能階躍遷至高能階時，吸收特定頻率的能量，而電子由高能階躍遷至低能階時的能量是以光的形式釋放。	2
2	拉塞福原子概念 本題主要評量學生對於拉塞福原子概念的理解，如原子質量集中在原子核，原子半徑約為原子核半徑的 $10^4 \sim 10^5$ 倍，原子內部大部分空間為電子所佔據，電子受到原子核的靜電引力而環繞著，以及若是依據電磁理論，原子將會崩潰。	2
3	量子力學的理論 本題主要評量學生對於量子力學理論的理解情形，如電子運動情形的無法預測，電子出現的範圍沒有半徑的限制，以及量子力學的氫原子模型雖然不同於波耳模型，但電子活動於各軌域的能量，亦決定於 n。	2
4	軌域概念 本題主要評量學生對於量子力學理論的理解情形，如 s 軌域為球形對稱，軌域只能描述電子之機率，但無法預測電子軌跡，主量子數愈大，軌域的半徑愈大，軌域的能量也增加，以及電子在原子核外出現的區域稱為軌域。	2
5	氫原子光譜線的頻率 本題主要評量學生對於氫原子光譜頻率之計算，學生除需要解頻率公式外，亦需能夠對電子在不同能階躍遷時，會產生不同的氫原子光譜線的頻率。	3
6	p 軌域之電子出現 本題主要評量學生對於 p 軌域之機率分布的理解情形。	2
7	氫原子軌域 本題主要評量學生對於以量子力學理論來描述氫原子電子運動之理解。	2
8	π 鍵的形成 本題主要評量學生對於 π 鍵的形成之認識。	1
9	電子組態 本題主要評量學生對於電子組態之理解情形，因題目屬統整性問題。	3
10	波耳原子理論	2

	本題主要評量學生對於波耳氫原子學說之理解情形，因題目屬統整性題目，如電子在圓形軌道運動，具有不可預測性，或是電子由 K 殼層轉移到 M 殼層時，會釋放出能量，電子離原子核愈遠，能量愈低，氫原子內電子的能量僅由主殼層 n 值決定，與軌域的形狀無關。	
11	八隅體規則 本題主要評量學生對於八隅體規則之理解，因學生需要能夠將從分子結構來判斷原子是否符合八隅體，故屬統整性問題。	3
12	化學鍵結 本題主要評量學生對於化學鍵結之理解，學生需要理解對每個化學物質為何種鍵結形式，故屬統整性問題。	3
13	氫分子的位能與原子間距離變化的關係 本題主要評量學生對於氫分子的位能與原子間距離變化之理解，學生必須理解形成鍵結之位能圖與原子間距離變化之關係，故屬理解性問題。	2
14	離子鍵形成 本題主要評量學生對於離子鍵結之理解，以 Mg 和 O 形成 MgO 為例。由於學生需要對於離子鍵結有完整性的理解，如價電子的轉移，形成化學鍵時會釋出能量，形成離子化合物後會變較穩定，或離子化合物屬於高熔點的晶體等概念，故屬統整性問題。	3
15	電子點式預測化合物是否安定 本題主要評量學生是否能利用電子點式來預測化合物是否安定，因學生需要將每個化學物質畫出其結構，並且理解若有單一電子時化合物將會不安定，屬於統整性問題。	3

二、非選擇題

題號	評分標準說明	評分
1-1	答案正確，即不論陰極板是由何種金屬組成，測得的荷質比 (e/m) 均為同一數值即說明不論何種物質，均會含有一種相同的粒子，且由於它們的產生與物質的種類無關，所以它極可能是組成原子的基本粒子。	2
	答案部分正確，如所有金屬皆含有電子。	1
	未答，或答案錯誤，如荷質比 (e/m) 是固定的。	0
1-2	湯木生認為原子各處之密度均勻，而原子間緊密地接觸， α 粒子撞擊這種模型構成之金箔時，受到均勻的斥力而產生路徑之變化，故通過金箔後之 α 粒子，僅略有偏轉，不會產生大角度的偏轉。 但拉塞福的 α 粒子散射實驗結果發現，有少數的 α 粒子會產生大角度的偏轉，主要是因為 α 質點可掠過輕的電子而不偏轉，但在	2

	接近帶正電的原子核時，拒斥力變力，使 α 粒子有大角度的偏轉。	
	僅回答其中 1 個答案，如僅回答拉塞福的 α 粒子散射實驗結果。	1
	未答，或答案錯誤，如回答 α 粒子散射實驗結果顯示 α 粒子絕大多數穿越金箔，證明電子是分布在一定的軌道上，或是 α 粒子射入湯木生原子模型後，絕大部分將無法穿透金箔。	0
1-3.	因為電子有特定的能階，故電子在不同能階之間的躍遷會發射出某些特定頻率的光，形成不連續的光譜。	2
	答案部分錯誤，如回答因電子在軌域之間轉移會放出或吸收特定頻率的光。	1
	未答，或答案錯誤。	0
2	軌域形狀與方向均正確。	2
	 yz 平面上電子出現機率為 0 xz 平面上電子出現機率為 0 xy 平面上電子出現機率為 0	
	僅繪出軌域的形狀。如	1
	未答，或答案錯誤。	0
3	答案正確，甲 > 乙 > 丁 > 丙	2
	答案有部分錯誤，如甲 > 乙 > 丙 > 丁	1
	未答，或答案錯誤。	0
4-1	答案正確，[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	2
	答案有部分錯誤，如 [Ar] 3d ⁴ 4s ²	1
	未答，或答案錯誤。	0
4-2	答案正確（第四週期 第 6 族）	2
	答案有部分錯誤，如週期正確，而族數錯誤。	1
	未答，或答案錯誤。	0
5	答案正確，如回答兩個氮原子彼此共用三對價電子，形成參鍵，氮分子可以用 N≡N 表示，而參鍵的鍵能非常地大，故氮氣的化學性質非常地安定。	2
	答案部分正確，如僅回答氮分子可以用 N≡N 表示。	1
	未答，或答案錯誤。	0

附件 2-1. 國中教科書之模型特徵評量標準與範例說明

特徵	特徵描述	範例說明			
		道耳吞原子說	湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型
完整性 (Complete)	它所包含所有基本的元素與關係，所以學習者能夠看到系統是如何運作。	完整敘述道耳吞原子說之內容。 物質是由原子所組成，原子不能再分割。相同元素的原子，其質量與大小均相同。化合物是由不同種類的原子以固定比例組成。化學反應是原子重新排列結合，原子不會改變質量或大小，也不會產生新的原子。	完整敘述湯木生原子模型之內容。 - 陰極射線實驗發現帶負電荷之粒子。 - 實驗推翻原子無法分割的理論。 - 原子內電子均勻分散於其中。	完整敘述拉塞福原子模型之內容。 α粒子散射實驗提出原子核之概念。 - 原子內全部質量集中於原子核，電子則在外面運動。	完整敘述波耳原子模型之內容。 - 氫原子光譜實驗提出能階之概念。 - 原子內全部質量集中於原子核，電子則在原子核外特定的軌道運動。
簡潔 (Concise)	所呈現的模型適合於學習者，而不是提供非常詳細即可，學生將會不知所措，好的模型描述每個部分的一般性功能。	如說明發生化學反應時，原子重新排列，形成新的分子，但是原有的原子不會消失，也不會產生新原子，或是利用原子說來說明質量守恆定律。	描述從陰極射線射出的粒子為帶負電荷的粒子。	原子模型強調原子核之概念（體積極小），以及電子於原子核外運動。	原子模型強調電子在特定的軌道上運動。
融貫性 (Coherent)	好的模型對於學習者來說能夠憑著直覺即獲知，如此將顯而易見。	以不同顏色之圓球來表示不同的原子，並輔助說明道耳吞原子說之概念。	以圖示描述電子均勻分散於原子中，並輔以說明湯木生原子理論之概念。	以圖示描述原子核之概念，並輔以說明拉塞福原子理論之概念。	以圖示描述電子在特定軌道運動之概念，並輔以說明波耳原子理論之概念。
具體性 (Concrete)	模型所呈現的層次適合於學習者，包括具體的模型或視覺的模型。	利用示意圖（圖像模型）說明化學反應，並且說明原子如合結合。	利用示意圖（圖像模型）說明湯木生原子模型。	利用示意圖（圖像模型）說明拉塞福原子模型。	利用示意圖（圖像模型）說明波耳原子模型。

概念性 (Conceptual)	提供清楚的概念性解釋，並且能解釋系統如何地運作。	• 利用原子說解釋化學變化、質量定恆，或定比與倍比定律。	• 利用陰極射線實驗推翻原子無法分割的理論，並提出新的原子理論，即是原子內含有更小的粒子。	• 如利用α粒子散射實驗提出原子核之想法，並利用類比（如太陽系）來加以輔助說明 • 解釋物質的帶電即是原子失去或得到電子。	• 利用氫原子光譜提出能階之想法，並利用類比來加以輔助說明。
正確性 (Correct)	模型的主要部分與真實物件或事件的主要部分之間有對應性。	• 原子說所呈現之模型與所呈現之物質與化學變化均有其相對應性。	• 湯木生原子模型中負電荷粒子鑲嵌於原子內，其使用之模型亦描繪出此內容，並說明此觀點。	• 拉塞福原子模型即是原子內有原子核，電子則在原子核外運動，且其使用之模型亦描繪出，並說明此觀點，且呈現模型示意圖有加註比例未依原比例繪製。	• 波耳原子模型即是原子內有原子核，電子則在原子核外特定之軌道運動，且其使用之模型亦描繪出，並說明此觀點。
審慎的 (Considerate)	對於學習者而言，利用適當的文字和組織來呈現模型。	• 完整陳述道耳吞原子說，並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述湯木生原子理論（如從陰極射線，提出原子可再分割，再提出原子模型），並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述拉塞福原子理論（如從α粒子散射實驗，提出原子核之概念，再描述原子與原子核之大小；或是從實驗結果提出原子核之概念，描述原子與原子核之大小，再闡述物質如何帶電），並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述波耳原子理論（如從氫原子光譜，提出能階之概念，再描述能階與光譜之間的關係），並且將文字與圖示做適當的結合。

附錄 2-2. 高中教科書之模型特徵評量標準與範例說明

特徵	特徵描述	範例說明			
		湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型	量子力學原子模型
完整性 (Complete)	它所包含所有基本的元素與關係，所以學習者能夠看到系統是如何運作。	完整敘述湯木生原子模型之內容。 - 陰極射線實驗發現帶負電荷之粒子，且不論陰極板為何種金屬，均會產生相同的荷質比 (e/m)。 - 實驗推翻道耳吞原子無法分割的理論。 - 提出原子內電子均勻分散於其中。	完整敘述拉塞福原子模型之內容。 - 完整敘述α粒子散射實驗結果。 - 從α粒子散射實驗結果顯示與湯木生原子模型不符合，並提出原子核之概念。 - 原子內全部質量集中於原子核，電子則在外面運動。 - 原子模型無法解釋原子不穩定的問題。	完整敘述波耳原子模型之內容。 - 氫原子光譜實驗提出能階之概念。 - 電子在各層軌道上有特定的能階。 - 電子從高能階躍遷至低能階時會釋放出能量；反之，電子從低能階躍遷至高能階時，會吸收能量。 - 原子內全部質量集中於原子核，電子則在原子核外特定的軌道運動。	完整敘述量子力學原子模型之內容。 - 電子運行路徑無法正確的描述其軌跡。電子的運動方式只能以機率描述其分布的區域。 - 電子雲的界面是指電子出現的機率占 90%的區域，界面以外的區域中，出現機率很小。 - 以量子數及軌域描述電子之運動情形。
簡潔 (Concise)	所呈現的模型適合於學習者，而不是提供非常詳細即可，學生將會不知所措，好的模型描述每個部分的一般性功能。	- 湯木生原子理論中電子的發現，描述從陰極射線射出的粒子為帶負電荷的粒子。 - 描述原子結構是帶負電荷的電子均勻地散布在一個帶正荷的球體中。	- 從α粒子散射實驗結果提出原子核概念。 - 原子模型強調原子核之概念，以及電子於原子核外運動。	- 闡述電子在各層軌道上有特定的能階。 - 電子從高能階躍遷至低能階時會釋放出能量。 - 不同能階之間的轉移造成氫原子光譜上不同光譜系列。	- 因為電子運行路徑無法正確的描述其軌跡，所以必須使用軌域來描述。 - 描述電子雲之意義（如點狀愈濃密處表示電子在該處出現的機率愈大）。
融貫性 (Coherent)	好的模型對於學習者來說能夠憑著直覺即獲知，如此將顯而易見。	利用圖示描述電子均勻分散於原子中，並輔以說明湯木生原子理論之概念。	以圖示描述α粒子散射實驗和原子核之概念，並輔以說明湯木生與拉塞福原子理論（有核模型）之差異。	以圖示描述電子在特定軌道運動之概念，並輔以說明波耳原子理論之概念。	以圖示描述電子運動路徑無法預測之概念，並輔以說明量子力學之原子理論（軌域）。

具體性 (Concrete)	模型所呈現的層次適合於學習者，包括具體的模型或視覺的模型。	• 利用示意圖（圖像模型）說明陰極射線與湯木生原子模型。	• 利用示意圖（圖像模型）說明拉塞福α粒子散射實驗結果與原子模型。	• 利用示意圖（圖像模型）說明波耳原子模型。 • 利用示意圖（圖像模型）說明氫原子光譜。	• 利用示意圖（圖像模型）說明量子力學原子模型（電子雲、s 軌域和 p 軌域）。
概念性 (Conceptual)	提供清楚的概念性解釋，並且能解釋系統如何地運作。	• 利用陰極射線實驗推翻原子無法分割的理論，並提出新的理論，或是利用原子結構模型解釋元素性質的周期性及原子間的鍵結等。	• 利用α粒子散射實驗說明為何會有原子核之想法，並利用類比（如太陽系）來加以輔助說明有核模型之概念。	• 因電子在各層軌道上有特定的能階，故原子可以穩定存在。 • 說明氫原子內的電子在不同能階之間的轉移如何形成與解釋不同頻率光譜之產生。	• 量子理論之原子模型來解釋多電子原子的排列方式。
正確性 (Correct)	模型的主要部分與真實物件或事件的主要部分之間有對應性。	• 湯木生由陰極射線發現更小的帶負電荷粒子，並認為負電荷之粒子鑲嵌在固定位置，使用之模型也說明原子內含有更小的粒子，且帶有負電荷。	• 拉塞福利用α粒子散射實驗提出原子核之想法，說明為何α粒子會有大角度的偏轉，使用之模型也說明與解釋上述之觀點。	• 波耳利用能階的觀點與電子在不同能階之間的躍遷說明氫原子的電子在不同能階之間的轉移如何形成不同光譜系列（來曼、巴耳末和帕申系列），使用之模型也能說明不同頻率光譜產生之原因，並能相互之對應。	• 量子理論原子模型為電子運動的無法預測性，利用軌域來解釋多電子原子的排列方式，並且描述各個量子數其意義。使用之模型也能做適當之說明與解釋。
審慎的 (Considerate)	對於學習者而言，利用適當的文字和組織來呈現模型。	• 完整陳述湯木生原子理論（如從陰極射線，提出原子可再分割，再提出原子模型），並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述拉塞福原子理論（如從α粒子散射實驗，提出原子核之概念，再描述原子與原子核之大小），並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述波耳原子理論（如解釋為何拉塞福原子模型之限制、氫原子光譜，提出能階之概念，再描述能階與光譜之間的關係），並且將文字與圖示做適當的結合。	• 完整陳述量子力學原子理論（如從波耳原子模型之限制，提出電子運動軌跡無法預測之概念，再描述如何利用軌域來描述電子運動之情形），並且將文字與圖示做適當的結合。

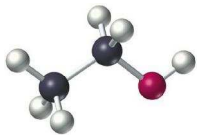
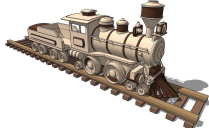
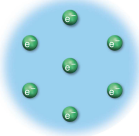
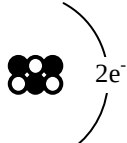
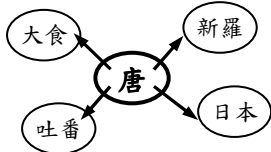
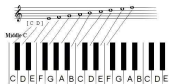
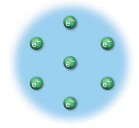
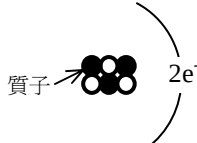
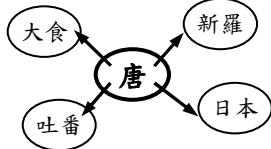
附件 3. 高中教科書建模歷程標準與範例彙整表

階段	建模歷程	湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型	量子力學原子模型
模型發展階段	模型描述與選擇	- 陰極射線具有粒子性質。 - 陰極射線會受到電場與磁場的影響。 - 測得電子之荷質比（$e/m = 1.759 \times 10^8$ 庫侖/克）。 - 不論陰極板是由何種金屬組成，均測得同一數值。	- 大部分的 α 粒子會直線穿過金箔。 - 少數的 α 粒子會發生大角度的偏轉，極少數的 α 粒子會反彈回來。	- 氫原子光譜為不連續光譜。 - 電子繞原子核做圓周運動，運動的軌道是圓形軌道 - 電子做圓周運動的向心力由電子和原子核之間的庫侖力所提供。 - 光具有波一粒二重性，光子的能量為 $h\nu$。 - 利用普朗克理論來說明電子所發射的能量 $E=h\nu$。	- 測不準原理：在量子力學系統中，一個粒子的位置和動量不可同時確定。 - 波一粒二重性：電子在內的一切物質同時具備粒子性和波動性。 - 電子的運動方式只能以機率描述其分布的區域。
	模型建立	- 原子中皆含有一種更基本的粒子—電子。 - 原子為一個帶負電的電子均勻分布在一個帶正電的球體中。 - 原子為均勻的球體。	- 原子絕大部分的質量集中在原子核，且原子核帶正電荷，電子在原子核外運動。 - 原子核總電荷與核外電子電荷相等，符號相反。 - 原子核為半徑約 10^{-12} 厘米所佔空間極小，原子半徑為 10^{-8} 厘米，約為原子核之 10^4 倍。	- 電子僅能在特定能階（軌道）上運動，並不吸收或發射電磁波。 - 氫原子的能階： $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} (\text{焦耳/個})}{n^2}$ $E_n = -\frac{1312}{n^2} (\text{千焦/莫耳})$ $n=1$ 時，E 最小，軌道最靠近原子核，此時能量最低。n 愈大，軌道愈遠離原子核，能量愈高。 - 電子從高能階回到低能階，釋出兩能階的能量差之能量。電子轉移時以光的形式釋出能量。 $\Delta E = E_H - E_L$	- 電子在原子核外出現的區域稱為軌域。 - 軌域的界面是指電子出現的機率占 90% 的區域，在界面以外的區域中，電子出現的機率很小，總共僅占 10%。 - 依照量子力學理論的觀點，需要更多的量子數來描述軌域的特性與電子運動的情形：n（主量子數）、l（角動量量子數）、m_l（磁量子數）及 m_s（電子自旋量子數）。

模型運用階段	模型效化	利用陰極射線實驗推翻原子無法分割的理論。	α 粒子可掠過電子而不偏轉，僅有少數部偏轉，表示原子中大部分體積是空的，而且有一個帶正電荷且質量極大的區域存在。	利用所建立的模型計算電子在不同能階躍遷所發射的輻射頻率。	利用所建立之原子軌域與多電子原子電子充填軌域的原則(構築原理、包立不相容與洪德定則)，而來建立多電子原子的排列方式。
	模型分析與評估	模型經驗性證實：由於帶負電荷粒子會有相互排斥的現象，所以原子內部帶負電荷粒子均勻分布在帶正電的球體中。	模型經驗性證實：大部分的 α 粒子會直線穿過金箔表示原子核非常地小，且原子大部分體積為電子所占據。大角度的散射是因為 α 粒子與原子核近距離碰撞的結果。	模型經驗性證實：利用所建立之模型來解釋巴耳末、帕申系列譜線。	利用所建立之原子軌域來解釋多電子原子的排列方式。
模型運用階段	模型調度				
	模型重建	- 模型的解釋：利用原子模型解釋門得列夫週期表中物理和化學性質，以及元素的週期性。 - 類比的建立：原子猶如比葡萄乾布丁模型，葡萄乾如同電子，分散於當為原子核之整個原子中。	- 模型的限制：按照古典電磁學，作加速度運動的電荷必輻射電磁波，而圓周運動即屬加速度運動。電子若照拉塞福說法作圓周運動，則必輻射出能量，使其能量漸減而逐漸靠近原子核。 - 類比之建立：原子模型略似太陽系，電子如行星般繞原子核作圓周運動。	- 模型之應用：利用建立之氫原子能階計算不同能階躍遷所發射的輻射頻率。 - 模型之預測：預測新譜線的存在—來曼 (Lyman) 於 1914 年發現的紫外光譜系。 - 模型之限制：無法解釋多電子原子，如氫原子的光譜。 - 模型精煉：氫原子理論做部分的修正，並將其應用於類氫離子。	- 模型之應用：利用量子力學的原子軌域對於多電子原子之電子排列給予練習。 - 類比之建立：電子的運動方式只能以機率描述其分布的區域，科學家稱之為電子雲。

附錄 4-1：科學模型本質測驗問卷

問題 1-1：你認為下列選項中，哪些可以稱為是「模型」？請您在空格處□打✓。

A	是□ 否□ 乙醇分子結構 	是□ 否□ 玩具汽車 	是□ 否□ 電子在原子核外運轉 	是□ 否□ 在軌道上運動的玩具火車 
B	是□ 否□ 電子鑲嵌在原子內示意圖 	是□ 否□ 世界地圖 	是□ 否□ 鋰離子 (Li^+) 示意圖 	是□ 否□ 唐文化向外傳播示意圖 
C	是□ 否□ 原子由電子、質子和中子所組成的。	是□ 否□ 地球上的海洋主要是由太平洋、大西洋和印度洋所組成。	是□ 否□ 原子是由原子核（質子和中子）與核外電子所構成，並且電子圍繞著原子核不停的轉動。	是□ 否□ 「紫禁城」是中國古代<u>皇權</u>的象徵。
D	是□ 否□ p^+表示質子 e^-表示電子	是□ 否□ 高音譜記號 	是□ 否□ 鈉失去電子形成鈉離子 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$	是□ 否□ 五線譜與鋼琴之關係 
E			是□ 否□ 牛頓第二運動定律 $F=m \times a$	是□ 否□ 成功 = 9分努力+1分運氣
F	是□ 否□ 利用左手表示原子核，右手表示電子。	是□ 否□ 利用握拳來表示球的形狀。	是□ 否□ 利用左手表示原子核，右手表示電子，並且右手繞著左手旋轉。	是□ 否□ 拜拜、許願要雙手合十，表示心靈集中的。
G	是□ 否□ 科學家利用電腦畫出原子結構圖形。	是□ 否□ 警察利用電腦畫出嫌犯的長相。	是□ 否□ 利用電腦來模擬原子結構與原子如何結合而形成分子。	是□ 否□ 利用電腦來製作電影動畫，如「天外奇跡」或「玩具總動員」電影動畫片。
H	是□ 否□ 原子結構是帶負電荷的電子均勻地散布在一個球體中。 	是□ 否□ 世界分成五大洲，分別是亞洲、歐洲、非洲、美洲和大洋洲。 	是□ 否□ 鋰離子 (Li^+) 示意圖  因為電子數目較質子數目少 1 個，所以鋰離子帶+1。	是□ 否□ 唐朝文化向外傳播到周邊國家地區，如日本、新羅等地。 

問題 1-2：試從上面的 A~H 列中，解釋你判斷哪些為模型的依據。

A：

B：

C：

D：

E：

F：

G：

H：

問題 1-3：下列有幾個「模型」定義的選項，你認為哪一個選項較接近你的想法？

(A) 「模型」是玩具，或是真實物體較小或放大的複製品。

(B) 「模型」是真實世界的物體或事件，但不是理論或想法。

(C) 「模型」是理論或想法，或是用來表徵某件物體或事件。

(D) 「模型」是定律或想法用來發展和檢驗想法，這些想法通常是抽象的，不是實體的描述。

(E) 其他：

我的答案：

右圖是我們小時候百貨公司所販賣的 $\frac{1}{20}$ 等比例縮小的直昇機玩具。

問題 2-1：因為這些玩具均屬於某些事物的複製品，所以我們可以稱它們為「模型」。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



直昇機玩具

有時候日常生活現象或事物常會過於複雜，如車子（包含了許多小零件）。因此，我們在呈現的時候常會予以簡化，我們僅會呈現車子的主要部分，如輪子、車身等，其餘零件則會省略。

問題 2-2：依上述的說明，我們常會簡化某些事物，僅呈現特定主要部分，其餘部分均予以簡化，經簡化後我們仍可以稱它們為「模型」。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



在某種情況下，我們常需要突顯某部分的特徵，且常以不同的比例來放大或縮小，如製作或繪製可愛娃娃，頭的部分以 $\frac{1}{10}$ ，身體以 $\frac{1}{20}$ 的比例縮小，如右圖所示。

問題 2-3：依上述的說明，當我們以不相同比例製作或繪製可愛娃娃仍可稱為「模型」，即是模型若是以不一致的比例來呈現，我們仍可以稱它們為「模型」。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



市面上，某公司出產一隻機械寵物，其不論在大小、功能、動作皆與一般我們飼養的小狗沒有差異，亦可以與人有互動的情形，如右圖所示。

問題 2-4：依上述的說明，機械寵物狗符合所有真實小狗的功能、動作，所以可稱為「模型」。即是要稱為「模型」，模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係。你是否同意這樣的說法？

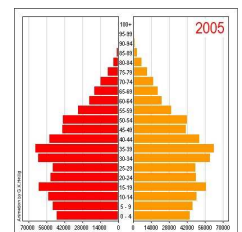
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



當我們要研究某國家人口的分布情形，我們常會使用右圖的人口金字塔。右圖即為某國家 2005 年的人口分布金字塔，而我們僅能利用此圖來表示或解釋該國家的人口分布情形。

問題 2-5：由上述的說明，我們對於某一個日常生活現象，通常只能有一個正確的模型來給予解釋這個現象。對於上述的觀點，你是否同意？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



當我們要研究人類使用工具的情形，可以看到在工具使用方面，由石器慢慢轉變為鐵器，進而轉變為電腦。石器時代，即可以利用右圖來表示。

問題 2-6：依上述的說明，石器時代人類使用石器的圖片僅是一個解釋特定現象的模型，它是歷史發展中的多種模型其中之一。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



當設計師在做室內裝潢時，所設計的室內初稿或模型經過不斷的討論後，再次修正後，最後成為工匠施工的依據。

問題 2-7：依上述的說明，「模型」是可以被改變。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



犯罪學家提出了一個“破窗理論”，即是如果有人打壞建築物的窗戶，這扇窗戶沒有及時的維修，別人就可能受到某些暗示性的縱容去打爛更多的窗戶玻璃。此理論是沒有任何限制條件，並可以應用於所有的問題。

問題 2-8：從上述的說明，我認為一個可稱為「定律」或「理論」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



某報紙上提出一個假說：「近來某地區小偷頻傳現象，可能是因為社會上經濟不景氣所造成」。這些假說可適用所有發生偷竊的地區，並可做為預測發生偷竊事件的徵兆。

問題 2-9：從上述的說明，我認為一個可稱為「假說」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可適用於所有的問題。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



人口學家在預測人口變化時，先利用電腦預設的模型來做模擬預測，若是模擬結果與實際路徑不符合，則人口學家人員必須修正原有的電腦模型，藉以達到更高的準確度。

問題 2-10：從上述的說明，我認為使用不同的觀點來檢驗模型時，當描述或解釋產生不一致，則必須修改原有的模型。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



右圖是生物實驗課程使用的塑膠製的植物細胞複製品。

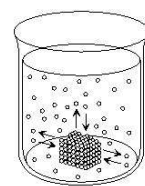
問題 2-11：因為這些塑膠製植物細胞大多是某些事物的複製品，所以我們可以稱為「模型」。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



塑膠製植物細胞

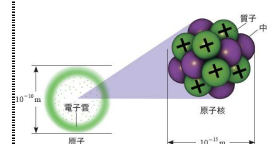
有時候科學的現象或理論常會過於複雜，如蔗糖溶於水的現象，因為蔗糖溶於水後，糖分子與水分子會有相互影響的情形，但我們常會將其簡化為僅有糖分子分布的情形，如右圖所示。



問題 2-12：由上述的說明，我們常會簡化某些事物，僅呈現特定主要部分，經簡化後我們仍可以稱它們為「模型」。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

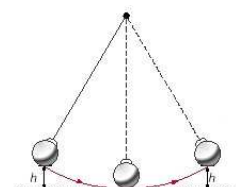
在某些情況下，我們常需要突顯某部分的特徵，且常以不相同的比例來放大或縮小，如繪製原子結構圖，我們會將原子核與原子大小以不同比例來繪製，如右圖所示。



問題 2-13：依上述的說明，若是以不同比例繪製的示意圖可稱為「模型」，即是模型可以是特定事物的特徵以不一致的比例來呈現。對於上述的觀點，你是否同意？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

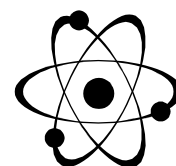
用一條細繩繫上一個重物即成常見的單擺。平時在單擺的實驗中，我們會將單擺繪製成如右圖。若單擺的長度、單擺或擺角皆以實際的情形來描繪。



問題 2-14：依上述的說明，所繪製的單擺示意圖可稱為「模型」，主要是因為單擺示意圖完全符合真實的單擺。因此，模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

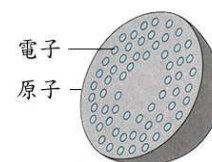
原子包括原子核和核外運轉的電子，且原子結構可以利用右圖來表示。



問題 2-15：依上述的說明，對於某一個日常生活現象，我們通常只能有一個正確的模型來給予解釋這個現象。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

在道耳吞的原子說中，原子是構成物質的最小單位。十九世紀末期，湯木生發現了電子的存在，並提出新的原子理論（如右圖所示）。之後拉塞福發現原子核，拉塞福及波耳等科學家由實驗的結果先後提出不同的原子結構。換句話說，湯木生對於原子所提出的西瓜模型只是許多原子模型的其中一個。



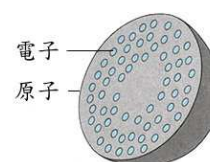
問題 2-16：湯木生對於原子所提出的西瓜模型只是許多原子模型的其中一個，即是一個解釋特定現象的模型，僅是歷史發展中的多種模型其中之一。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

在道耳吞的原子說中，原子是構成物質的最小單位，其不可再分割。十九世紀末期，湯木生在陰極射線實驗，首先發現了原子內有帶電的粒子（後來稱為電子）存在，並提出新的原子理論。

問題 2-17：湯木生提出新的原子理論，因此我們可以說模型是可以被改變。你是否同意這樣的說法？

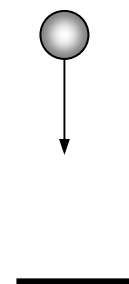
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



我們知道自由落體是從高空掉落的物體，受到重力的作用，它會以每秒 9.8 m/s 的速度增加，公式為 $S = \frac{1}{2} \times 9.8 t^2$ 。因此，若要預測物體落下的高度均可利用此「定律」得到我們要的結果。

問題 2-18：從上述的說明，我認為一個可稱為「定律」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



某科學家提出假說：「當某地區出現動物大量遷徙的情形，這地區可能會發生大地震」。這些假說可適用所有發生地震的地區，並可做為地震的發生前的徵兆。

問題 2-19：從上述的說明，我認為一個可稱為「假說」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可適用於所有的問題。你是否同意這樣的說法？

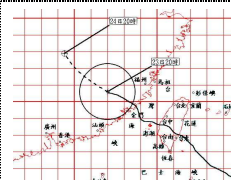
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



中央氣象局在預測颱風路徑時，先利用電腦預設的模型來做模擬預測，若是模擬結果與實際路徑不符合，則中央氣象局人員必須修正原有的電腦模型，藉以達到更高的準確度。

問題 2-20：從上述的說明，我認為使用不同的觀點來檢驗模型時，當描述或解釋產生不一致，則必須修改原有的模型。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



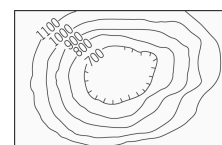
在日常生活中，我們常會利用“\$”來表示美金，或是利用“¥”來表示日元。因此，我們可透過符號的呈現，了解所要理解的現象或概念。

問題 3-1：從上述的說明，我們常會透過一些符號可以呈現和了解日常生活的現象或概念。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

“\$”：美金
“¥”：日元

在地理課中，我們常會利用右圖的等高線來表示某地區的地形，透過此圖像的呈現，了解所要理解的現象或概念，如右圖為某地區為盆地地形。



問題 3-2：從上述的說明，我認為透過圖像可以呈現和了解現象或概念。

你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

在地理課本中我們常見到如下的敘述「等高線是將地表上相同高度的點連接而成的閉合曲線，利用等高線的分布來表示地表高低起伏的地圖，稱為等高線地圖」，我們可以從上述的說明了解等高線所代表的意義。

問題 3-3：從上述的說明，我認為透過文字可以呈現和了解現象或概念。

你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

平時我們將大姆指與食指圈成圓圈來表示“萬事 OK”，如右圖所示。

問題 3-4：從上述的說明，我認為透過肢體動作可以呈現和了解現象或概念。你是否同意這樣的說法？



我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

如果小明經過分析某地區的犯罪資料後，提出「近來某地區小偷頻傳現象，可能是因為社會上經濟不景氣所造成。」那小明個人所提出的觀點可稱為是模型。

問題 3-5：從上述的說明，模型可以是個人對某種事物或現象的觀點。

你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



現在如果有一群社會學家分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區小偷頻傳現象，可能是因為經濟不景氣所造成。」那這些社會學家所提出的觀點可稱為是模型。

問題 3-6：從上述的說明，模型可以是專家對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

現在如果有一群人經過口耳相傳或分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區小偷頻傳現象，可能是因為經濟不景氣所造成。」那社會大眾的觀點可稱為是模型。

問題 3-7：從上述的說明，模型可以是社會大眾對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？

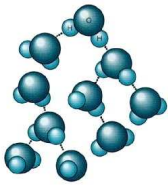
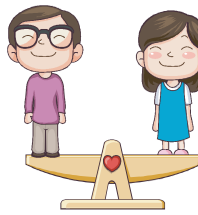
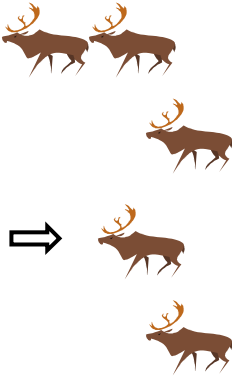
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

在科學上，我們常會利用化學式 H_2 和 O_2 來表示氫氣和氧氣，或是利用 p^+ 和 e^- 來表示質子和電子。因此，我們可透過符號的呈現，了解所要理解的現象或概念。

H_2 ：氫氣

O_2 ：氧氣

p^+ ：質子

問題 3-8：從上述的說明，我們常會透過一些<u>符號</u>可以呈現和了解科學現象或概念。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	e^-：電子
在科學上，我們常會利用右圖表示水分子，我們即可透過此圖像的呈現，了解所要理解的現象或概念，如水分子的分布，或是水分子的組成。 問題 3-9：從上述的說明，我認為透過<u>圖像</u>可以呈現和了解現象或概念。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	
在課本中我們常見到如下的敘述「二氧化碳是由二個氧原子和一個碳原子所構成」，我們可以從上述的說明了解二氧化碳分子組成，或是「原子是由原子核和核外運動的電子所組成」即可以了解原子的結構。 問題 3-10：從上述的說明，我認為透過<u>文字</u>可以呈現和了解現象或概念。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	
在課本中我們常見到兩個人站在蹺蹺板上呈現平衡的情形，即可以了解兩個人質量相同的情形（如右圖），或是棒球比賽的波浪舞，觀眾上下起伏，有如波的前進。 問題 3-11：從上述的說明，我認為透過<u>肢體動作</u>可以呈現和了解現象或概念。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	
如果小明經過分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區動物有異常減少的現象可能是因為地球暖化所造成。」那<u>小明個人</u>所提出的觀點可稱為是模型。 問題 3-12：從上述的說明，模型可以是<u>個人</u>對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	
現在如果有一群生態科學家分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區動物有異常減少的現象，可能是因為地球暖化所造成。」那這些生態科學家所提出的觀點可稱為是模型。 問題 3-13：從上述的說明，模型可以是<u>科學家</u>對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？ 我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐	
現在如果有一群人經過口耳相傳或分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區動物有異	

常減少的現象，可能是因為地球暖化所造成。」那社會大眾的觀點可稱為是模型。

問題 3-14：從上述的說明，模型可以是社會大眾對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

對於世界各國的位置，我們常會使用世界地圖來描述各國的位置與其面積大小。

問題 4-1：從上述的說明，我認為模型可以描述特定的事物或現象。你是否同意這樣的說法？

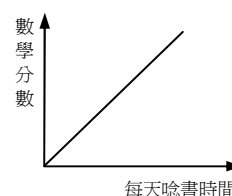
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



當我們希望能解釋「每天唸書時間」和「數學分數」之間的關係，我們可以透過右圖的「每天唸書時間」和「數學分數」關係圖來解釋為什麼每天唸書的時間較多的話，則數學分數會較高。

問題 4-2：從上述的說明，我認為利用模型可以解釋特定事物或現象的關係。你是否同意這樣的說法？

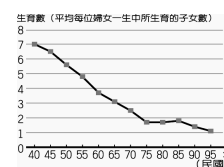
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



右圖是臺灣 50 多年來生育數統計圖，若此趨勢持續下去，臺灣在民國 95 年後，生育數將會低於 1，臺灣地區將會出現少子化與人力資源短缺的問題。

問題 4-3：從上述的說明，我認為利用模型可以進行推理。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



由於現代戰爭日益複雜，軍事專家即會利用兵棋模型預測未來作戰會有什麼樣的變化與發展。

問題 4-4：從上述的說明，我認為可利用模型預測事物或現象未來的發展。你是否同意這樣的說法？

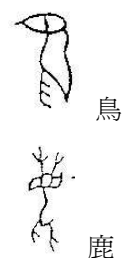
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



我們常會看到許多專家利用模型來產生新的想法，進而建立新的理論。如古代祖先會利用動物的形態創造出各種動物名稱的象形文字。如右圖所示。

問題 4-5：從上述的說明，我認為利用模型可以產生新的想法。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



工程師會使用模型來檢驗理論，例如工程師在建造一座橋時，他們會先以模型來測試是否符合計算的鋼樑數目，若模型不符合而會倒塌，即可說明原有的計算的理論不正確。

問題 4-6：從上述的說明，我認為可利用模型檢驗理論是否正確。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



某位建築師想到可以利用鳥巢的形態來建造運動場，並且將內心的想法建造成一個運動場模型，如右圖所示。

問題 4-7：從上述的說明，我認為可利用模型表達內心的想法，而讓其他人了解。你是否同意這樣的說法？

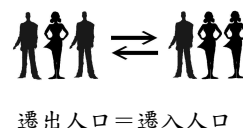
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



我們若欲說明某地區人口平衡的觀念，假如我們需要單純地描述遷出與遷入的關係，即可以“某地區人口總數沒有改變”，或是“以圖示的方式來描述遷出人口數與遷入人口數相等”，如右圖所示。

問題 4-8：從上述的說明，我認為針對同一個事物或現象，會因為使用目的不同而選擇不同的模型。你是否同意這樣的說法？

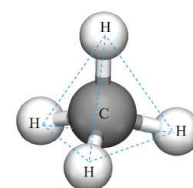
我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



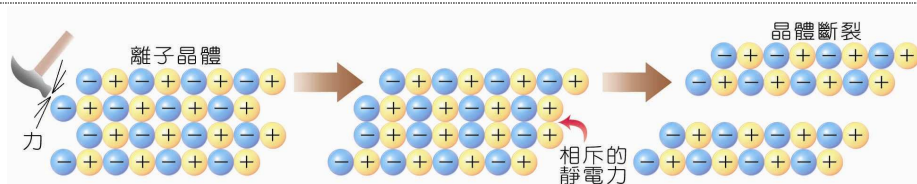
分子是由原子所構成，當我們描述分子內原子的排列方式，我們常會使用右圖來描述甲烷分子（ CH_4 ）內碳原子與氫原子的排列方式。

問題 4-9：從上述的說明，我認為模型可以描述特定的事物或現象。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐



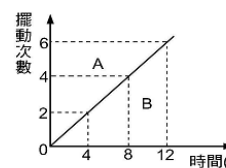
當我們希望能解釋離子晶體不具有延展性，我們可以透過原子結構模型來解釋為什麼離子晶體不具有延展性的問題，如下圖所示。



問題 4-10：從上述的說明，我認為利用模型可以解釋特定事物或現象的關係。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

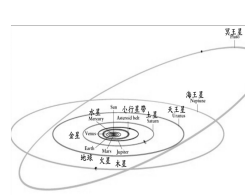
在單擺的問題中，我們常會以擺動的次數與時間作成關係圖，從此關係圖中，我們可以得知擺動 1 次需要 2 秒，故可以推出單擺擺動 10 次需要 20 秒。



問題 4-11：從上述的說明，我認為利用模型可以進行推理。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

20 世紀初期，美國的科學家羅威爾在觀測天王星和海王星的運行中，發現還有沒觀測到的行星對此兩顆星會產生引力的影響，他應用牛頓的萬有引力定律預言在海王星的軌道外可能還有一顆新行星，1930 年，美國人湯波發現太陽系的第九顆行星—冥王星。



問題 4-12：從上述的說明，我認為可利用模型預測事物或現象未來的發展。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

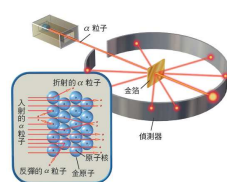
我們常會看到許多科學家利用模型來產生新的想法，進而建立新的理論。如碳-60 (C_{60}) 的發現，科學家即透過足球的模型，建立碳-60 的結構。如右圖所示。



問題 4-13：從上述的說明，我認為利用模型可以產生新的想法。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

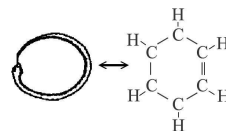
科學家常會使用模型來檢驗理論，例如拉塞福即利用 α 粒子穿過金屬箔實驗來檢驗湯木生的原子模型，結果他發現 α 粒子穿過金屬箔時會產生偏向而不是反彈，即說明湯木生的原子理論不正確。



問題 4-14：從上述的說明，我認為可利用模型檢驗理論是否正確。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

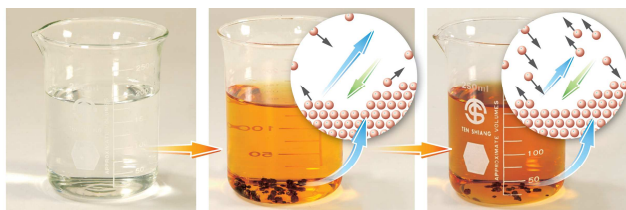
對於苯環的結構，科學家凱庫勒夢到一串 6 個碳原子變成一條蛇，而這條蛇咬住尾巴形成一個環形，不久之後，科學家凱庫勒即提出苯的環形結構。



問題 4-15：從上述的說明，我認為可利用模型表達內心的想法，而讓其他人了解。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

我們若是對於溶解平衡的觀念，假如我們需要單純地描述溶解與析出的速率關係，即可以“直接觀察溶質的量沒有改變”，或是希望描述溶液內粒子的情形，即可“利用圖示的方式來描述溶解平衡”，如下圖所示。



(A)稀的碘化鉀溶液

(B)碘溶於碘化鉀溶液

(C)溶液已達平衡

問題 4-16：從上述的說明，我認為針對同一個事物或現象，會因為使用目的不同而選擇不同的模型。你是否同意這樣的說法？

我的答案：非常同意 ☐ 同意 ☐ 不同意 ☐ 非常不同意 ☐

附錄 4-2. 模型本質半結構訪談

語意

- 這裡有一些圖片和說明，請問哪些可以算是模型？
- 爲什麼這些可以算是模型？請問你判斷的依據是什麼？

本體論

- 當你聽到「模型」的時候，你會想到什麼？
- 我們常聽到模型這個名詞，例如模型汽車，那「模型」一定要是具體的事物嗎？能不能是心中的影像或想像的東西呢？
- 有一些玩具屬於某些事物的複製品，例如塑膠小飛機，我們可以稱它們是「模型」嗎？請問一定要是某些事物的複製品嗎？
- 在某種情況下，我們常需要突顯某部分的特徵，且常以不同的比例來放大或縮小，如大頭狗，請問這樣能不能算是「模型」？
- 模型一定要完全對應特定事物的結構、性質與關係嗎？就像是模型汽車，一定要它的大小比例皆相同才算是模型嗎？
- 「模型」可不可以被改變？如果有時候「模型」跟外界的現象或原理不符合時，那怎麼辦？可以修改模型嗎？
- 一個可稱爲「定律」或「理論」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可應用於所有的問題。例如自由落體定律，它是不需要有任何的限制，可以應用到日常生活中所有的問題嗎？
- 一個可稱爲「假說」的模型，是必須沒有任何的限制條件，並可適用於所有的問題。
- 如果使用不同的觀點或方法來檢驗「模型」的正確性時，如果解釋或結果產生不一致，則必須修改原有的模型嗎？

認識論

- 我們常會透過一些符號可以呈現和了解日常生活的現象或概念。如利用化學式 H_2 和 O_2 來表示氫氣和氧氣。
- 我們可以透過圖像可以呈現和了解現象或概念。
- 我們可以透過文字可以呈現和了解現象或概念。如二氧化碳是由二個氧原子和一個碳原子所構成
- 我們可以透過肢體動作可以呈現和了解現象或概念。如在棒球比賽的波浪舞，觀眾上下起伏，有如波的前進。
- 模型可以是個人、科學家或社會大眾對某種事物或現象的觀點。

方法論

- 你認為使用模型的目的是什麼？
- 你為什麼要使用模型？什麼情況下會使用或建立模型？
- 平時你會使用模型，老師上課也會使用模型，你認為模型有哪些功能？
- 當你在建立模型的時候，什麼是你決定的最重要的因素？
- 你認為你是否可能使用模型來做預測？
- 你認為是否可以利用模型來表達內心的想法？

附錄 4-3. 如何利用模型表徵半結構訪談工具

- 如果「**將一顆鹽（氯化鈉）溶於水中**」，請您詳細描述鹽（氯化鈉）溶解的情形？你可以用任何的方式來表示這樣的反應或現象？
 - 你為什麼要用如此的表示方法呢？你認為如此的表示會比較好嗎？為什麼？
 - 這樣的表示方法跟真實的現象相互比較，你認為有哪些相同的地方？有哪些不同的地方？有沒有不能表示的地方？
 - 除了上述的表示方法，你是否有其他的表示方法呢？
-
- 如果「**木炭點火燃燒**」，請您詳細描述木炭燃燒或反應的情形？你可以用任何的方式來表示這樣的反應或現象？
 - 你為什麼要用如此的表示方法呢？你認為如此的表示會比較好嗎？為什麼？
 - 這樣的表示方法跟真實的現象相互比較，你認為有哪些相同的地方？有哪些不同的地方？有沒有不能表示的地方？
 - 除了上述的表示方法，你是否有其他的表示方法呢？
 - 你認為你的模型比較好嗎？為什麼？你認為你的模型較其他人較佳的理由是什麼？
-
- 如果「**將一個重物自由落下**」，請您詳細描述重物落下的情形？例如速度隨時間的變化等，你可以用任何的方式來描述這樣的現象？
 - 你為什麼要用如此的表示方法呢？你認為如此的表示會比較好嗎？為什麼？
 - 這樣的表示方法跟真實的現象相互比較，你認為有哪些相同的地方？有哪些不同的地方？有沒有不能表示的地方？
 - 除了上述的表示方法，你是否有其他的表示方法呢？
 - 你認為你的模型比較好嗎？為什麼？你認為你的模型較其他人較佳的理由是什麼？
-
- 如果「**鈉原子失去 1 個電子**」，請您詳細描述鈉原子失去電子的情形？你可以用任何的方式來描述這樣的現象？
 - 你為什麼要用如此的表示方法呢？你認為如此的表示會比較好嗎？為什麼？
 - 這樣的表示方法跟真實的現象相互比較，你認為有哪些相同的地方？有哪些不同的地方？有沒有不能表示的地方？
 - 除了上述的表示方法，你是否有其他的表示方法呢？
 - 你認為你的模型比較好嗎？為什麼？你認為你的模型較其他人較佳的理由是什麼？

附錄 5：原子概念測驗問卷 (I)

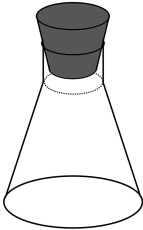
親愛的同學您好：

這是一份關於物質概念的測驗，目的在了解您對於「**物質組成**」的想法。測驗的結果將做為學術研究和教師教學的參考，不會公開您寫的內容，也不會影響您的學業成績，請您安心作答。**每個題目皆要畫圖，請您將心中的想法畫出來，並給予適當的說明與解釋。**謝謝！

自古以來，人們都在探索這麼一個問題：這世界到底是由什麼所構成的？為了回答這個基本而又深奧的問題，一直是哲學家 and 科學家所追求的目標。現在有一個可以看到最小物質的超級顯微鏡(如右圖)，我們用來探索物質的組成，請您試著回答下列的問題：



超級顯微鏡觀察下列的物質

所觀察的物質	請你畫出看到的樣子，並描述每種組成物質的名稱、性質和特性 (例如：是否有彈性、什麼顏色…等)
人類的皮膚 (淡黃褐色) 	
氧氣(無色) 	
銅線(紅棕色) 	

所觀察的物質	請你畫出看到的樣子，並請你描述每種組成物質的名稱
氫原子 (H) 原子序：1 質量數：1	
氧原子 (O) 原子序：8 質量數：16	

所觀察的物質	請你畫出看到的樣子，並請你描述每種組成物質的名稱
氫離子 (H^+) 原子序：1 質量數：1	
氧離子 (O^{2-}) 原子序：8 質量數：16	

1. 我們常會說「**電流**像是**水流**一樣，如**電子**在**電線**裡面流動像是**水**在**水管**中流動」，那請你利用具體的事物來描述「**原子結構**」像什麼？並且加以說明其原因？

.....

.....

.....

.....

.....

附錄 6：原子概念測驗問卷 (II)

親愛的同學您好：

這是一份關於原子概念的測驗，目的在了解您對於「**原子概念**」的想法。測驗的結果將做為學術研究和教師教學的參考，不會公開您寫的內容，也不會影響您的學業成績，請您安心作答。若是需要畫圖的地方，請您將心中的想法畫圖來，並給予適當的說明與解釋。謝謝！

() 1-1-1. 「銅金屬塊」外觀看起來是紅棕色，你認為銅原子本身是什麼顏色？

答：紅棕色 ☐ 無色 ☐ 其他：_____。

() 承上題，哪一個敘述比較合理？

- A. 因為銅原子本身就是紅棕色，所以銅金屬塊看起是紅棕色。
- B. 銅原子本身就是紅棕色的，使得光照射在銅金屬塊會反射紅棕色的光
- C. 銅原子本身是無色，因原子排列因素使得白色光照射在銅金屬塊會反射紅棕色的光
- D. 其他：_____。

() 1-1-2. 以氫原子為例，氫原子具有原子核（質子）以及核外的電子，你認為質子與核外電子之間是否有其他物質存在？

答：是 ☐ 否 ☐

() 承上題，若有物質存在，請問這些物質是什麼？

- A. 正負電荷的吸引力 B. 空氣或其他氣體
- C. 細菌 D. 某一種不知的東西
- D. 其他：_____。

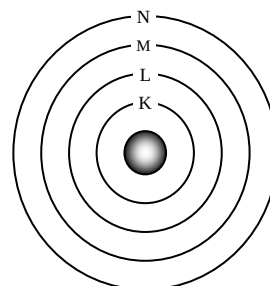
1-2-1. 我們知道正、負電荷會相吸引，以氫原子為例，原子核帶正電，核外的電子帶負電，試問電子是否會被吸入原子核內，而使原子呈不穩定的狀態？

答：是 ☐ 否 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 原子呈現電中性，所以原子呈現穩定的狀態
- B. 因為原子核所帶正電，並且與核外帶負電的電子正負電抵消而達平衡
- C. 因為電子可以在固定的軌道作圓周運動，而呈現穩定的狀態
- D. 因為中子或其他物質存在，阻絕質子對電子的吸引，因此可以達到穩定的狀態
- E. 電子在核外以不同軌道做圓周運動，彼此吸引力可作為電子運動之“向心力”
- F. 電子運動沒有一定的軌道，無法預測其運動軌跡，但電子仍會被原子核所吸引
- G. 電子運動沒有一定的軌道，但有特定的能量，所以可以穩定存在。

1-2-2. 電子在原子核外的分布情形，若是依據電子距離原子核的遠近，由裡到外分別標示為 K、L、M、N。試問有一個電子從 N 層到 K 層的過程中會放出或吸收能量？

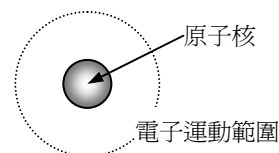


答：吸收熱量 ☐ 放出熱量 ☐ 沒有熱量的變化 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為越接近原子核，相互吸引的力量越強，而力量越強，能量越高，所需的能量越多
- B. 因為電子愈接近原子核，旋轉愈快，所需能量愈大，故需從外界吸收熱量
- C. 因為電子愈接近原子核，旋轉愈慢，所需能量較少，所以會把多餘的能量釋放出來
- D. 因為電子從較高的能量回到較低的能量時，電子會把能量釋放出來
- E. 電子仍在原子內移動，所以沒有能量的變化
- F. 其他：_____。

2-2-1. 假如氫原子內的電子運動範圍如右圖所示，那我們是否可以在氫原子的電子運動範圍外發現電子的蹤跡呢？

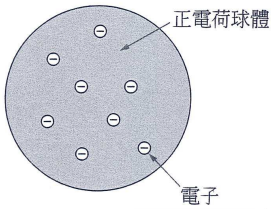
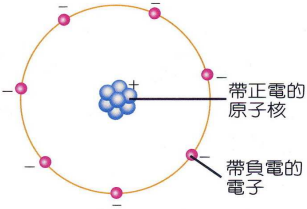
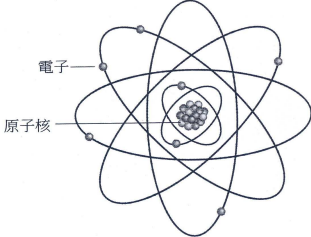
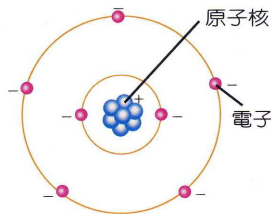
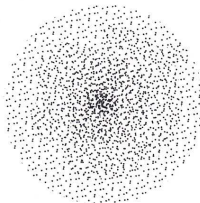


答：可以 ☐ 不可以 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為電子有其特定的運動範圍，所以無法在範圍外發現電子的蹤跡。
- B. 因為電子的運動為其特定的軌道，電子不會在軌道外出現。
- C. 因為電子運動無法預測，但電子仍必須侷限於其範圍內，故無法在範圍外發現電子。
- D. 因為電子的運動無法預測，且電子在任何位置出現，可以在範圍外發現電子的蹤跡。
- E. 電子的運動仍有其特定的軌道，但電子有時會有不穩定的情形，故可以在運動範圍外發現電子的蹤跡。
- F. 其他：_____。

2-2-2. 底下有幾張有關原子結構的照片，你認為你會看到什麼樣子？

		
A. ☐	B. ☐	C. ☐
		
D. ☐	E. ☐	F. ☐ 其他(請你畫下來)

() 承上題，你認為下列哪一個敘述比較合理？

- A. 原子內有更小的電子，正負電荷會相互排斥，所以電子會均勻分布於原子裡面
- B. 原子可以區分為原子核，以及核外的電子，電子會在原子核外固定軌道作圓周運動
- C. 電子以不規則的方式運動，所以無法預測其運動的情形
- D. 原子結構為原子核和核外的電子，電子會在固定的軌道上運動，且會有分層的情形
- E. 其他：_____。

3-1-1. 下列有幾種金屬，分別是鈉 ($^{23}_{11}\text{Na}$)、鎂 ($^{24}_{12}\text{Mg}$)，試問此兩種金屬何者較易失去電子？

答：鈉 ☐ 鎂 ☐ 相同 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 鈉和鎂均可以和水反應，化學性質相似，所以兩者皆容易失去電子
- B. 鈉和鎂均屬第三週期的元素，化學性質相似，所以兩者皆容易失去電子
- C. 鈉和鎂均屬金屬元素，金屬元素容易失去電子，所以兩者皆容易失去電子
- D. 鎂的電子數較多，所以較易失去電子
- E. 鈉有 11 個質子；鎂有 12 個質子，鎂的原子核吸引力較大，所以鈉較易失去電子
- F. 因為鈉原子最外層有 1 個電子，而鎂原子最外層有 2 個電子，而 1 個電子較易失去，所以鈉原子較容易失去電子
- G. 其他：_____。

3-2-1. 試比較鈉原子 ($^{23}_{11}\text{Na}$) 與氯原子 ($^{35}_{17}\text{Cl}$) 的「**體積大小**」？何者較大？

答：鈉原子 ☐ 氯原子 ☐ 一樣大 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為氯原子的電子數比較多，所以體積比較大
- B. 因為氯原子的質量數較大，重量較大，所以氯原子體積比較大
- C. 因為鈉原子和氯原子最外層電子均為同一殼層，所以鈉原子和氯原子的體積一樣大
- D. 因為鈉原子和氯原子的最外層電子均為同一殼層，但氯原子的原子核吸引力較大，所以鈉原子的體積比較大
- E. 因為鈉與氯在週期表的第三週期，所以鈉原子和氯原子的體積一樣大。
- F. 其他：_____。

3-2-2. 試比較鈉原子 ($^{23}_{11}\text{Na}$) 與鉀原子 ($^{39}_{19}\text{K}$) 的「**體積大小**」？何者較大？

答：鈉原子 ☐ 鉀原子 ☐ 一樣大 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 鈉原子和鉀原子為同一族，所以體積一樣大
- B. 鉀原子的電子數目較多，所以體積比較大
- C. 鉀原子最外層電子的殼層較鈉原子最外層電子的殼層為大，所以體積比較大
- D. 因為鈉原子原子核質子數量較少，吸引力較小，而鉀原子原子核的質子較多，吸引力較大，所以鈉原子的體積比較大
- E. 因為鉀原子質量較大，所以體積也較大。
- F. 其他：_____。

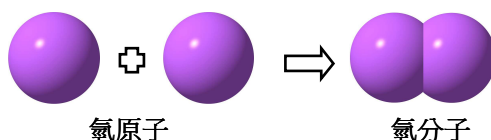
3-3-1. 試比較鈉原子 ($^{23}_{11}\text{Na}$) 與鉀原子 ($^{39}_{19}\text{K}$) 的「**活性大小**」？何者較大？

答：鈉原子 ☐ 鉀原子 ☐ 一樣大 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 鈉和鉀原子最外層都只有 1 個電子，都容易失去 1 個電子，所以活性大小都相同
- B. 鈉與鉀均可以和水產生激烈的反應，所以鈉和鉀的活性大小皆相同
- C. 鈉與水的反應較鉀與水的反應更為激烈，所以鈉的活性大於鉀
- D. 鉀原子最外層電子的殼層較鈉原子最外層電子的殼層為大，距離原子核較遠，所以較易失去電子
- E. 因為鉀原子的電子數較多，比較容易失去 1 個電子，所以鉀的活性較大
- F. 因為鈉和鉀均屬鹼金族，而鹼金族活性大，所以兩者的活性大小皆相同
- G. 其他：_____。

4-1-1. 右圖是兩個氫原子結合成氫分子，試問此化學反應過程需要吸熱或放熱？

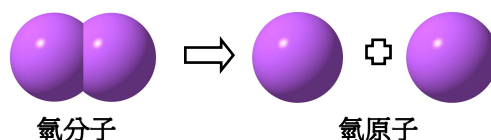


答：吸熱 ☐ 放熱 ☐ 沒有熱量變化 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 兩原子結合需要能量，分解放出能量
- B. 必須要有能量才能將兩個原子連接起來
- C. 因為要形成化學鍵結需要吸收能量來維持兩者的鍵結
- D. 原子要吸收熱量變成激發態，才能與其他原子結合
- E. 因為形成化學鍵結會放熱，使物質變得更為安定。
- F. 其他：_____。

4-1-2. 右圖是氫分子分解成兩個氫原子，試問此化學反應過程需要吸熱或放熱？



答：吸熱 ☐ 放熱 ☐ 沒有熱量變化 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 兩原子結合需要能量，分解放出能量
- B. 必須要有能量才能將兩個原子結合起來，但是也要有能量才能將兩個原子分開
- C. 原子要吸收熱量變成激態，方能與其他原子結合，所以分開則變成放出熱量
- D. 因為物質變得更安定，所以是放熱反應。
- E. 因為破壞化學鍵需要吸收熱量

4-2-1. 我們吃的食鹽即是氯化鈉，試問「氯原子和鈉原子之間的鍵結方式」？

答：離子鍵 ☐ 共價鍵 ☐ 金屬鍵 ☐ 其他：_____。

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為金屬與非金屬結合
- B. 因為鈉原子失去 1 個電子變成鈉離子，而氯原子得到 1 個電子變成氯離子，正負離子相互吸引
- C. 因為鈉原子提供 1 個電子，而氯原子亦提供 1 個電子，兩個原子即靠著電子共用而連結在一起
- D. 其他：_____。

4-2-2. 氯化鈉 (NaCl) 晶體加熱後會變成液態的 $\text{NaCl}_{(l)}$ ，請問 $\text{NaCl}_{(l)}$ 是否可以導電？

答：可以 ☐ 不可以 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為氯化鈉是電解質，所以可以導電
- B. 因為鈉離子是金屬離子，而金屬可以導電，所以 $\text{NaCl}_{(l)}$ 可以導電
- C. 氯化鈉是離子化合物，加熱後氯離子和鈉離子仍連結一起，無法產生鈉離子和氯離子
- D. 氯化鈉是分子化合物，無法產生鈉離子和氯離子，所以不能導電
- E. 氯化鈉是離子化合物，加熱可使 $\text{NaCl}_{(l)}$ 變成鈉離子和氯離子，所以可以導電。

4-2-3. 若是把氯化鈉 (NaCl) 晶體溶入水中成為 $\text{NaCl}_{(aq)}$ ，請問 $\text{NaCl}_{(aq)}$ 是否可以導電？

答：可以 ☐ 不可以 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為氯離子和鈉離子以離子鍵連結在一起，無法產生鈉離子和氯離子，故不能導電
- B. 因為鈉離子是金屬離子，而金屬可以導電，所以 $\text{NaCl}_{(l)}$ 可以導電。
- C. 因為氯化鈉是分子形式，在水中仍無法產生鈉離子和氯離子，所以不能導電。
- D. 因為氯化鈉是離子化合物， $\text{NaCl}_{(aq)}$ 已經變成鈉離子和氯離子，所以可以導電。

4-3-1. 請問氯化氫 (HCl) 中，「**氫原子和氯原子之間的鍵結方式**」為何？

答：離子鍵 ☐ 共價鍵 ☐ 金屬鍵 ☐ 其他：_____。

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為非金屬與非金屬結合，而非金屬之間的鍵結均屬於共價鍵
- B. 因為氫原子失去 1 個電子變成氫離子，而氯原子得到 1 個電子變成氯離子，正負離子相互吸引
- C. 因為氫原子提供 1 個電子，而氯原子亦提供 1 個電子，兩個原子即靠著電子對的共用而連結在一起
- D. 其他：_____。

4-3-2. 若是把氯化氫氣體加壓與降溫變成液態的 $\text{HCl}_{(l)}$ ，請問液態的 $\text{HCl}_{(l)}$ 是否可以導電？

答：可以 ☐ 不可以 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 氯化氫是電解質，所以可以導電
- B. 氫離子與氯離子均是非金屬離子，而非金屬不可以導電
- C. 氯化氫是分子形式，且原子之間的鍵結非常地強，在 $\text{HCl}_{(l)}$ 的狀態是無法產生氫離子和氯離子
- D. 氯化氫是離子化合物，故 $\text{HCl}_{(l)}$ 已經變成氫離子和氯離子
- E. 氫原子和氯原子之間是共價鍵，降溫可使 $\text{HCl}_{(l)}$ 產生氫離子和氯離子。

4-3-3. 若是把氯化氫氣體溶於水中變成 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ，請問 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 是否可以導電？

答：可以 ☐ 不可以 ☐

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 氯化氫是電解質，溶於水，原子之間的鍵結會斷裂，變成氫原子和氯原子
- B. 因為氫離子是非金屬離子，而非金屬不可以導電
- C. 氯化氫是分子形式，且原子間的鍵結非常地強，溶於水無法產生氫離子和氯離子
- D. 氯化氫是分子形式，雖然原子間的鍵結非常地強，但溶於水可產生氫離子和氯離子
- E. 因為氯化氫本身是離子化合物，而 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 已經變成氫離子和氯離子。
- D. 其他：_____。

4-4-1. 試問鈉金屬塊裡面，「鈉原子與鈉原子之間的鍵結方式」為何？

答：離子鍵 ☐ 共價鍵 ☐ 金屬鍵 ☐ 其他：_____。

() 承上題，你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為金屬與金屬之間的吸引力
- B. 因為鈉原子會失去電子變成鈉離子，而會吸引電子，所以正負相吸
- C. 因為鈉原子會與另一個鈉原子透過共用電子的方式把兩個原子吸引在一起
- D. 鈉原子會失去電子，整個鈉離子浸在電子海中，鈉離子與鈉離子相互連結在一起

() 4-4-2. 試解釋「鈉金屬塊」為什麼可以導電？你認為哪一個敘述比較合理？

- A. 因為鈉原子本身就有電子，所以原子本身即可以導電，鈉金屬塊當然也可以導電
- B. 鈉原子與鈉原子之間有金屬鍵，有金屬鍵即可以導電
- C. 鈉原子容易失去電子，使得鈉金屬塊有許多自由移動的電子，所以鈉金屬塊可以導電。

4-5-1. 有一個穩定有機化合物，其中包圍在碳(C)原子價殼層中的電子(e^-)共有幾個？

答：8個 ☐ 6個 ☐ 4個 ☐ 其他：_____。

() 承上題，你的理由是：

- A. 穩定的有機化合物中，碳原子外圍皆有8個電子。
- B. 穩定狀態下，外圍電子數應和原子序相同，而碳的原子序是6。
- C. 碳原子最外層有4個電子。
- D. 每一個碳原子可和4個周遭的原子結合

4-5-2. 有穩定的化合物 NO_2 ，其中包圍在氮(^{14}N)原子價殼層中的電子(e^-)共有幾個？

答：8 個 ☐ 7 個 ☐ 5 個 ☐ 其他：_____。

() 承上題，你的理由是：

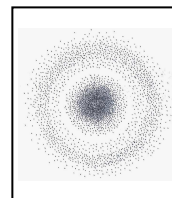
- A. 穩定的化合物中，氮原子外圍一定有8個電子
- B. 穩定狀態下，外圍電子數應和原子序相同，而氮的原子序是7。
- C. 氮原子最外層有5個價電子，所以僅有5個電子與氧原子形成化合物。
- D. 氮原子最外層有5個價電子，但因為8個電子比較安定，所以N原子仍會與氧原子共用電子，而使外圍有8個電子。
- E. 氮原子最外層有5個價電子，原子外圍不一定有8個電子比較安定，氮會與氧共用電子，所以僅會有7個電子。

2-2-3. 某個科學家提出氫原子形態（電子雲）如右圖所示，試問每個點所代表的意義為何？

答：電子 ☐ 電子出現位置 ☐ 存在於質子與電子之間的某種物質 ☐

() 承上題，你的理由是：

- A. 電子雲猶如天空中的雲，而電子則像是在雲裡頭的小水滴
- B. 電子雲只是表示電子出現情形，點的稠密程度代表電子出現機率大小
- C. 每個點代表1個電子
- D. 它是存在質子與電子之間的某種未知的物質。



附錄 7：原子概念成就測驗

親愛的同學您好：

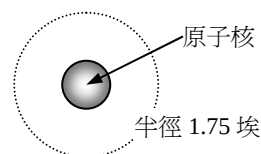
這是一份關於原子概念的成就測驗，目的在了解您對於「**原子概念**」的想法。測驗的結果將做為學術研究和教師教學的參考，不會公開您寫的內容，也不會影響您的學業成績，請您安心作答。**若有題目需要畫圖，請您將心中的想法畫出來，並給予適當的說明與解釋。**謝謝！

一、選擇題：

- 下列敘述中，哪一項**不是**波耳氫原子學說的內容？ (A)電子可以在特定能階存在而不會產生輻射 (B)電子由低能階躍遷至高能階時，吸收特定頻率的能量 (C)電子由高能階躍遷至低能階時的能量是以熱的形式釋放 (D)電子只能在離開原子核一定距離的軌道做圓周運動，以 1、2、3...等正整數表示。(2 分)
- 關於拉塞福的原子概念，下列何者**錯誤**？ (A)絕大部分的原子質量集中在原子核 (B)一般而言，原子半徑約為原子核半徑的 $10^4 \sim 10^5$ 倍 (C)原子內部大部分空間為電子所佔據，電子受到原子核的萬有引力而環繞著 (D)若是依據電磁理論，當電子環繞原子核運動時，會釋放出能量而掉入核中，原子將會崩潰。(2 分)
- 根據量子力學的理論，下列各項敘述，何者正確？ (A) 2p 軌域與 3p 軌域之形狀與方向性均不相同 (B) 電子運動情形可藉由數學計算預測出在某一點何時會出現 (C) 對於電子出現的範圍，仍有半徑的限制 (D) 量子力學的氫原子模型雖然不同於波耳模型，但電子活動於各軌域的能量，亦決定於 n ，且其關係與波耳所導出者相同。(2 分)
- 有關軌域的敘述，下列何項**錯誤**？ (A) s 軌域如在以原子核為球心，半徑為 r 之球面尋找電子時，在此球面上某一點發現電子之機率與在同一球面上之其他點相同 (B) 軌域只能以數學的方法在距離原子核某一段距離處，得到電子之機率，但無法顯示電子是如何從一點，移動到他點之軌跡 (C)對單電子的原子而言，主量子數愈大，軌域的半徑愈大，軌域的能量也增加 (D)電子在原子核外出現的區域稱為軌域，電子運行於此區域的圓形軌道上。(2 分)
- 在原子光譜中，各譜線頻率可以表示為： $\nu = R(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2})$ ， R 為芮得柏常數， n_1 、 n_2 為原子的能階，則下列何者**不是**氫原子光譜線的頻率？ (A) $\frac{9R}{16}$ (B) $\frac{5R}{36}$ (C) $\frac{3R}{4}$ (D) R 。(3 分)
- 若原子核位在 $x=y=z=0$ 之原點坐標上，發現 p_x 軌域之電子出現在 $x=a$ ， $y=z=0$ 處的機率為 1×10^{-5} ，則在 $y=a$ ， $x=z=0$ 處發現 p_x 軌域之電子出現的機率為若干？

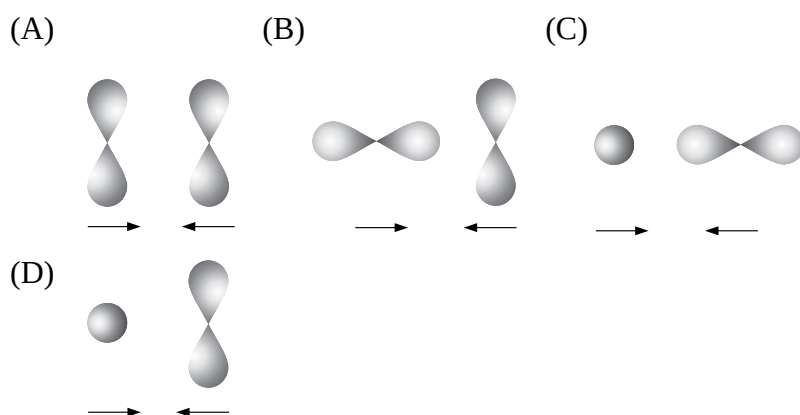
(A)0 (B) 1×10^{-5} (C) 1×10^5 (D)無法確定。(2分)

7.穩定狀態下氫原子之電子經量子力學的計算結果，發現大部分的電子出現在距核 1.75 埃的範圍內，如右圖所示。試問我們是否可以在距離原子核外 10.00 埃處發現電子的蹤跡呢？(A) 因為電子出現機率呈現不同密度的變化，但仍然可以在範圍外發現電子的蹤跡



(B) 因為電子僅可在距核 1.75 埃的範圍內運動，所以無法在範圍外發現電子的蹤跡
(C) 因為電子的運動為半徑 1.75 埃的圓形軌道，故無法在範圍外發現電子 (D)無法確定。(2分)

8.下列何種價軌域互相靠近，可重疊形成 π 鍵？(1分)



9.兩中性原子之電子組態分別為 M： $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ 、N： $1s^2 2s^2 2p^6 4s^1$ 。試問下列敘述中何者正確？(A)N 原子的電子組態違反洪德定則 (B)M 和 N 代表兩種相同的原子 (C)將 M 變成 N 必須經化學變化或核反應 (D)將 M 變成 N 需放出能量。(3分)

10.下列有關波耳的原子理論敘述，何者正確？(A) 電子的運動具有不可預測性 (B) 氫原子內電子由 K 殼層轉移到 M 殼層時，會釋放出能量 (C) 電子離原子核愈遠，能量愈低 (D)氫原子內電子的能量僅由主殼層 n 值決定，與軌域的形狀無關。(3分)

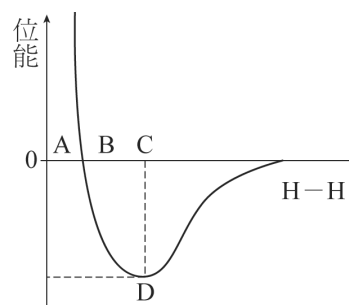
11.下列化合物中的鍵結，何者不符合八隅體規則？(3分)

(A) CO_2 (B) NO (C) NF_3 (D) SO_2

12.下列物質的組成原子間，何者化學鍵結最弱？(A)銅晶體 (B)氯化鈉晶體 (C) 碘晶體 (D)氫氣體。(3分)

13.下圖表示氫分子的位能隨其原子間距離變化的關係圖，下列對於氫分子的敘述，何者正確？

(A) H_2 的鍵長約等於 $\overline{AB}$ (B) $\text{H}-\text{H}$ 間距離為 $\overline{AB}$ 時，氫原子間的引力恰等於斥力 (C) $\text{H}-\text{H}$ 間距離小於 $\overline{AC}$ 時，氫原子間的斥力會急劇增加 (D) $\text{H}-\text{H}$ 間距離為 $\overline{AC}$ 時，氫原子間的引力小於斥力。(3分)



14.當 Mg 和 O 原子形成 MgO 時，下列有關敘述何者**錯誤**？ (A)價電子由 O 原子轉移到 Mg 原子 (B)Mg—O 形成化學鍵時會釋出能量 (C)MgO 在常溫常壓時較 Mg 穩定 (D)MgO 為高熔點的晶體。(2 分)

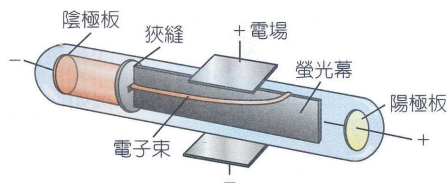
15.以電子點式表示下列各物質時，試推論何者最活潑？ (A)H₂O (B)OH (C)H₂O₂ (D)HOCl。(3 分)

二、非選擇題：

十九世紀末到二十世紀初期，科學家對「原子內部的結構」有許多重要且突破性的發現。從許多實驗結果，不僅推翻「原子不可再分割」的觀念，甚至發現了電子、質子和中子的存在，建立起完整的原子結構模型。

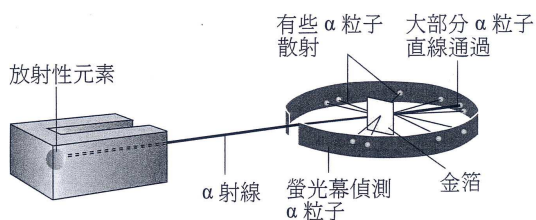
試回答下列 1-1~1-3 題：

西元 1879 年湯木生由研究氣體放電管的「陰極射線實驗」，推測陰極射線具有粒子的性質，並且進一步觀察陰極射線會受到電場與磁場的影響。(實驗裝置如右圖)



1-1.湯木生研究發現不管陰極使用何種金屬，均能得到相同的荷質比 (e/m)。你認為此一事實代表什麼意義？

1911 年，英國科學家拉塞福和其學生在「α 粒子散射實驗」發現，極多數的 α 粒子以直線穿透金箔而擊中閃爍屏，即是絕大部分 α 粒子皆能穿透極薄的金箔，而有極少數的 α 粒子會發生大角度的偏轉，折回角度竟有大至 180° 者，如右圖所示。



1-2.試分別從「湯木生所假設的原子模型」與「拉塞福的原子模型」，解釋利用不同的原子模型進行「α 粒子散射實驗」後，會有如何的結果產生？

下列有關「氫原子光譜實驗」的結果敘述：

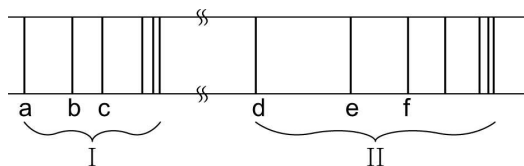
- 1885 年，瑞士中學教師巴耳末在裝有氫氣的真空放電管中，在可見光區觀察到數條有顏色的線條，稱為光譜。
- 來曼和帕申隨後分別在紫外光區及紅外光區也發現氫原子的光譜線。
- 這些譜線均有其特定的頻率，光譜譜線的頻率有如下之關係：

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

1-3.下列為小明實驗所測得的某一光譜，如下圖所示：

- (1)試解釋為何“氫原子光譜為不連續的光譜線”？
- (2)試問紫外光區為何區 (I 或 II)？

(3)巴耳末系列第三條譜線是何譜線（以代號回答）？它是由哪一階跳回到哪一階所產生的？



2.量子力學中，原子軌域的特性即是需要更多的數值來描述。若有軌域之主量子數 $n=2$ ，副殼層軌域為 p 軌域。試繪出其電子的運動軌跡為何？

3.西元 1913 年，丹麥科學家波耳為解釋氫原子的穩定，提出各軌道上運動的電子，都具有其所在的特定能量，並且計算電子在各軌域的能量為 $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18}}{n^2}$ 焦耳。

(1)試問：當氫原子的電子作如下之轉移時，(甲) $n = 4 \rightarrow n = 3$ (乙) $n = 4 \rightarrow n = 2$ (丙) $n = 2 \rightarrow n = 1$ (丁) $n = \infty \rightarrow n = 2$ ，則其所放射光波波長之比較，試由大至小排列。

(2)氫原子光譜中，巴耳末系列最低頻率之譜線與來曼系列中最低頻率之譜線的能量比為何？

4.最近 IUPAC 規定廢除週期表 A、B 兩族，而將元素分為 1~18 族。若某原子的符號為 ${}_{24}\text{X}$ ，試回答下列問題：

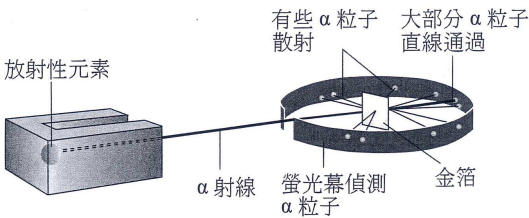
(1)試寫出該原子的電子組態：_____。

(2)它在週期表上的位置為：第_____週期第_____族。

5.空氣中含量最多的氣體是氮氣 (N_2)，其化學性質非常地安定。試解釋為何氮氣的化學性非常安定？（提示：從鍵結的觀點來解釋）

附錄 8. 建模能力測驗—訪談題目

問題 1：自古以來，人類即提出物質由原子構成，而原子不能被創造、不能被消滅、不能被分割。1911 年，英國科學家拉塞福、德國物理學家蓋革和其學生馬士登合作研究 α 粒子的散射實驗。

建模歷程	推理歷程	訪談結果記錄
模型選擇與描述	Q：他們用 α 粒子去轟擊極薄的金箔，結果發現大部分的粒子直線穿過金箔；但是，卻有少數的 α 粒子會發生大角度的偏轉，甚至有極少數的 α 粒子反彈回來，如下圖所示。你會如何解釋上述的現象？ 	
	Q：你會使用何種科學理論來解釋上述的現象？	
模型建立	Q：拉塞福依據上述的實驗結果建立何種形態的原子結構？	
	Q：上述的事實代表原子的結構應該何種形態，請您畫下來！	
模型效化	Q：你如何知道你所畫的結果，或是拉塞福所建立的原子模型是正確的？	
模型分析與評估	Q：你如何分析與評估拉塞福的原子結構模型？	
	Q：你認為利用「湯木生所假設的原子模型」與「拉塞福的原子模型」來解釋「 α 粒子散射實驗」，它們之間會有什麼不同的結果？	
模型調度	Q：根據古典物理中之力學及電學，則帶負電之電子在與帶正電原子核之電場中運行時，固然可由電子之旋轉所產生之向心力及離心力之平衡，但必因逐漸放射電磁波，導致電子之能量趨於降低，即電子必會部漸接近原子核，同時放出連續性之電磁波。那你將如何修正拉塞福的原子模型？	
	Q：你認為你建立的原子模型像是什麼？	
模型重建	Q：請你重新建立一個原子模型，它是可以解釋氫原子光譜是不連續的光譜！	