

國立台灣師範大學科學教育研究所
碩士論文

指導教授：邱美虹 博士

由概念改變探討科學史建模教學對學生熱傳播
概念與建模能力之影響

研 究 生：陳婉妤

中華民國 101 年 1 月

誌 謝

這篇論文能順利完成，首先最要感謝的是我的指導教授 邱美虹老師悉心的教導。在研究所的這段求學期間，經由邱老師的教導，讓我在學業上獲得不少收穫，當我每每遭遇到困難和挫折時，總是不厭其煩的教導我，從老師的身上也學習到身為研究學者的風範，使我在這兩年中獲益匪淺。同時也要感謝口試委員 熊昭弟 博士和林靜雯博士，在論文口試期間所給予的懇切指導與建議，這些寶貴的建議使得本論文更臻完善。

同時也要感謝科教所上曾指導我學習的林陳涌老師、楊芳瑩老師、楊文金老師、吳心楷老師、譚克平老師、張文華老師，從這些課程中不僅豐富了我的學術涵養與知識，更讓我學會了多元的思考，也養成追根究柢的精神。

此外，要感謝亦師亦友的曉蘭學姊，幾乎每個禮拜都會在百忙之中抽空與我討論論文；感謝建坪學長、雪碧和彥丞，在我研究遇到瓶頸時，適時的給我意見與幫助；還有，感謝同一研究室的文龍學長、焙琪學姐、哲銘學長、凱悌、勝安、建章，給我加油及打氣，謝謝各位學長姐、同學和學弟妹們的照顧以及指導。

最後，僅將此論文獻給我摯愛的家人，感謝親愛的老公和我的寶貝一尚宸，全力支持我念書，讓我無後顧之憂；感謝父母對我的支持和鼓勵，他們在假日時幫我照顧小孩，使我能夠順利的完成學業；也感謝板橋國小的同事們，所有曾經幫助過我的朋友們，謝謝你們對我所付出的一切，在此一併致謝。

摘 要

本研究選取教科書在『熱傳播』單元所呈現的概念為課程內容與教材設計的準則，以『傳統教學』、『建模教學』和『科學史建模教學』為教學方式，探討不同教學法對學生學習熱傳播概念成效的影響。再者，基於『建模能力分析指標』(張志康與邱美虹，2009)，探討不同的教學方式對於學生建模能力的影響，更進一步探討不同的教學方式對學生建模能力和概念改變之間的交互作用關係的影響。最後，探討不同教學方式對學生科學模型本質的影響。

本研究對象為國小五年級學生共 84 位，所使用的研究工具包含熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測驗，熱傳播建模能力試卷前測、後測和延宕測驗以及科學模型本質測驗前測和後測。本研究的結果如下：

- 一、『科學史建模教學』和『建模教學』在整體教學成效和3週後科學概念保留的情形都明顯優於對照組。更進一步針對熱傳播各概念的學習成效分析，發現『科學史建模教學』只在延宕測的微觀向度明顯優於『建模教學』。
- 二、熱傳播的科學模型是由熱傳導科學模型、熱對流科學模型以及熱輻射科學模型所組成。熱傳導科學模型在範圍和成分兩個面向較易學習，其次是結構面向，接下來是巨觀行為面向；熱對流是在成分和巨觀行為兩個面向較易學習，其次是結構面向，接下來是範圍面向；熱輻射則是在巨觀行為面向較易學習，其次是成分面向，接下來是範圍面向，三個子概念中最難的都是微觀行為面向，學生不易改變迷思概念，概念回歸的情形也容易發生。
- 三、『科學史建模教學』和『建模教學』在熱傳播建模能力和3周後建模能力保留的情形都明顯優於對照組。更進一步針對各建模步驟的建模能力進行分析，發現在模型效化和模型應用中，『科學史建模組』明顯優於『建模教學』。
- 四、科學史建模組和建模組在後測以及延宕測的熱傳播概念和熱傳播建模能力都達顯著正相關，但對照組僅在後測有相關性。更進一步進行分析，發現唯有『模型建立』的建模能力在後測以及延宕測都與熱傳播概念有顯著相關。
- 五、『科學史建模教學』和『建模教學』對科學模型本質的表現都明顯優於對照組。更進一步針對科學模型本質的三面向進行分析，發現『科學史建模組』只有在科學模型方法論的『情境』主題中明顯優於『建模教學』。

綜上所述，建模教學可以幫助學生理解科學概念、建立科學模型，也可以提升建

模能力和增進對科學模型本質的認識；若在建模教學中加入科學史的教材，更可幫助學生保留在概念的微觀行為向度了解、增進模型效化和模型應用的能力以及科學模型本質的方法論中『情境』主題的認識，本研究旨在探討國民小學實施建模教學及科學史建模教學之可行性，以供其他地區或學校未來在建構相關課程時之參考。

關鍵字：概念改變 concept change、模型 model、科學史建模 science history modeling、
熱傳播 heat transfer

Abstract

In the research, the concept of heat transfer in textbooks was adopted as a guideline for curriculum content and instructional design. To explore the effects of different instructional methods on students' learning of the concept of heat transfer, control group, modeling teaching and science history modeling teaching were used. Moreover, according to Modeling Ability Analytic Index (Chang & Chiu, 2009), the author of the thesis examined the influences of different instructional methods on students' modeling ability. Then, the author made a further exploration of the influence of the interactions between students' modeling ability and concept change. In the end, the author delved into the impact of different instructional methods on students' understanding of the nature of science models.

The research subjects were 84 5th graders. The research tools included the pretest, posttest and retention test of two-tier multiple choice instrument of heat transfer and those of heat transfer modeling ability test and the pretest and posttest of nature of science model text.

The objective of this thesis was to inquire into the feasibility of the use of modeling teaching and science history modeling teaching in elementary schools so as to serve as a reference for the future construction of correlated curricula in other areas or schools. The research results were as follows.

1. Science history modeling teaching and modeling teaching were obviously better than the control group in terms of the overall teaching effects and the science concept retention after three weeks. After the enquiry of the learning effect of each heat transfer concept, the author discovered that science history modeling teaching was better than modeling teaching in the micro behavior dimension of retention tests.
2. The science models of heat transfer were comprised of the ones of conduction, convection and radiation. The ideas in the domain and composition dimensions of the science model of conduction were the easiest to learn. Those in the structure dimension

were the second easiest to learn. The ideas in the macro behavior dimension of the science model of conduction were the hardest to learn. In terms of the science model of convection, the ideas in the composition and macro behavior dimensions were the easiest to learn. Those in the structure dimension were the second easiest to learn. The hardest to learn was those in the domain dimension. As for the science model of radiation, the easiest to learn was those in the macro behavior dimension; the second easiest, the composition dimension; the hardest, the domain dimension. Of the three sub-concepts, the hardest one to understand was the ideas about the micro behavior dimension, in which it was hard for the students to change their false beliefs and the phenomenon of conceptual regression was common in this dimension.

3. Science history modeling teaching and modeling teaching were clearly better than the control group in terms of the heat transfer modeling ability and the modeling ability retention after three weeks. After the inquiry of the modeling ability of each modeling process, the author discovered that science history modeling was far better than modeling teaching in the model validation and model application.
4. There was a significant and positive correlation between the concepts of heat transfer and heat transfer modeling ability in the posttests and retention tests of the science history modeling teaching and modeling teaching. However, in the control group, only in posttests was there a significant and positive correlation between the concepts of heat transfer and heat transfer modeling ability. After making a further study, the author found that there was a significant and positive correlation between the modeling ability of model construction and the concept of heat transfer in posttests and retention tests.
5. In terms of the effects of the nature of science models, the science history modeling teaching and modeling teaching were considerably better than the control group. After a further examination of the three dimensions of the nature of science models, the author discovered that the science history modeling was only significantly better

than modeling teaching in the topic of context in science model epistemology.

According the abovementioned findings, modeling teaching helps students comprehend science concepts, construct science models, improve modeling ability and better understand the nature of science models. If the materials of science history can be added to modeling teaching, students will better comprehend the concepts in micro behavior dimension, increase the abilities of model validation and model application and understand the topic of context in science model epistemology.

目 次

第壹章	緒論.....	1
第一節	研究動機與研究背景.....	2
第二節	研究目的與研究問題.....	4
第三節	名詞釋義.....	7
第四節	研究範圍與限制.....	9
第貳章	文獻探討.....	11
第一節	概念改變的理論.....	11
第二節	模型與建模教學.....	21
第三節	科學史融入教學.....	37
第四節	熱的另有概念.....	42
第參章	研究方法.....	51
第一節	研究設計.....	51
第二節	研究對象.....	51
第三節	教學與教材設計.....	52
第四節	研究工具.....	62
第五節	研究流程.....	68
第六節	資料處理與分析.....	70
第肆章	研究結果與討論.....	73
第一節	三組教學成效之分析.....	73
第二節	各概念主題學習成效之分析.....	77
第三節	熱傳播概念與概念改變的模式.....	95
第四節	三組建模能力之分析.....	154

第五節	各建模步驟中建模能力成效之分析.....	157
第六節	熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係.....	167
第七節	三組科學模型本質之分析.....	174
第八節	綜合討論.....	184
第五章	結論與建議.....	187
第一節	結論.....	187
第二節	建議.....	192
參考文獻.....		194
中文部分.....		194
英文部分.....		195
附錄.....		202
附錄一	熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗.....	202
附錄二	熱傳播建模能力分析問卷.....	217
附錄三	科學模型本質測驗.....	224
附錄四	三組課程教案.....	227
附錄五	科學史建模組 熱傳播教材.....	233
附錄六	建模組 熱傳播教材.....	237

表 次

表 1-1-1	學生熱傳播的迷思概念與熱傳播科學史相似處.....	3
表 1-3-1	科學概念模型五面向的分類.....	7
表 2-1-1	直接過程和突現過程的本體屬性.....	16
表 2-1-2	Thagard 概念改變的九個階層.....	17
表 2-2-1	模型的分類.....	22
表 2-2-2	概念模型的五種結構.....	26
表 3-2-1	研究對象基本資料.....	52
表 3-3-1	熱與粒子觀得先備資料.....	53
表 3-3-2	三種課程規劃.....	54
表 3-3-3	教學內容與主要教學概念.....	54
表 3-3-4	三個子概念模型的五個面向.....	58
表 3-3-5	建模歷程與能力指標的對應表.....	59
表 3-3-6	建模能力與能力指標的對應表.....	60
表 3-3-7	建模能力分析指標.....	61
表 3-4-1	答題理由分析.....	63
表 3-4-2	熱的命題陳述與雙項細目表.....	65
表 3-4-3	建模能力編碼計分表.....	66
表 3-4-4	模型本質向度分析.....	67
表 4-1-1	熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測分析.....	73
表 4-1-2	熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測分析.....	74
表 4-1-3	三組後測的事後比較分析.....	74
表 4-1-4	熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測分析.....	75
表 4-1-5	三組延宕測的事後比較分析.....	75
表 4-2-1	熱傳導概念前測分析.....	77
表 4-2-2	熱傳導概念後測分析.....	78
表 4-2-3	三組後測的事後比較分析.....	78

表 4-2-4	熱傳導概念延宕測分析.....	79
表 4-2-5	三組延宕測的事後比較分析.....	79
表 4-2-6	熱對流概念前測分析.....	79
表 4-2-7	熱對流概念後測分析.....	80
表 4-2-8	三組後測的事後比較分析.....	80
表 4-2-9	熱對流概念延宕測分析.....	81
表 4-2-10	三組延宕測的事後比較分析.....	81
表 4-2-11	熱輻射概念前測分析.....	81
表 4-2-12	熱輻射概念後測分析.....	82
表 4-2-13	三組後測的事後比較分析.....	82
表 4-2-14	熱輻射概念延宕測分析.....	83
表 4-2-15	三組延宕測的事後比較分析.....	83
表 4-2-16	模型範圍面向前測分析.....	84
表 4-2-17	模型範圍面向後測分析.....	85
表 4-2-18	模型範圍面向延宕測分析.....	85
表 4-2-19	三組延宕測的事後比較分析.....	85
表 4-2-20	模型成分面向前測分析.....	86
表 4-2-21	模型成分面向後測分析.....	86
表 4-2-22	模型成分面向延宕測分析.....	87
表 4-2-23	三組延宕測的事後比較分析.....	87
表 4-2-24	模型結構面向前測分析.....	88
表 4-2-25	模型結構面向後測分析.....	88
表 4-2-26	三組延宕測的事後比較分析.....	88
表 4-2-27	模型結構面向延宕測分析.....	89
表 4-2-28	三組延宕測的事後比較分析.....	89
表 4-2-29	模型巨觀行為面向前測分析.....	90

表 4-2-30 模型巨觀行為面向後測分析.....	90
表 4-2-31 三組後測的事後比較分析.....	90
表 4-2-32 模型巨觀行為面向延宕測分析.....	91
表 4-2-33 三組延宕測的事後比較分析.....	91
表 4-2-34 模型微觀行為面向前測分析.....	92
表 4-2-35 模型微觀行為面向後測分析.....	92
表 4-2-36 三組後測的事後比較分析.....	92
表 4-2-37 模型微觀行為面向延宕測分析.....	93
表 4-2-38 三組延宕測的事後比較分析.....	93
表 4-3-1 熱傳導概念人數分布表.....	97
表 4-3-2 熱傳導概念中的『範圍』面向答題人數分布.....	99
表 4-3-3 熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式.....	101
表 4-3-4 熱傳導概念中的『成分』面向答題分布.....	102
表 4-3-5 熱傳導概念的『成分』面向中概念改變模式.....	103
表 4-3-6 熱傳導概念中的『結構』面向答題分布.....	105
表 4-3-7 熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式.....	108
表 4-3-8 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向答題分布.....	109
表 4-3-9 熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式.....	112
表 4-3-10 熱傳導概念中的『微觀行為』面向答題分布.....	113
表 4-3-11 熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式.....	116
表 4-3-12 熱對流概念人數分布表.....	122
表 4-3-13 熱對流概念中的『範圍』面向答題人數分布.....	123
表 4-3-14 熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式.....	125
表 4-3-15 熱傳導概念中的『成分』面向答題分布.....	126
表 4-3-16 熱對流概念中的『巨觀行為』面向答題分布.....	128
表 4-3-17 熱對流概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式.....	129

表 4-3-18	熱對流概念中的『微觀行為』面向答題分布.....	130
表 4-3-19	熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式.....	133
表 4-3-20	熱輻射概念人數分布表.....	139
表 4-3-21	熱輻射概念中的『範圍』面向答題人數分布.....	140
表 4-3-22	熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式.....	142
表 4-3-23	熱輻射概念中的『成分』面向答題分布.....	144
表 4-3-24	熱輻射概念的『成分』面向中概念改變模式.....	145
表 4-3-25	熱傳導概念中的『巨觀行為』面向答題分布.....	146
表 4-3-26	熱輻射概念中的『微觀行為』面向答題分布.....	148
表 4-3-27	熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式.....	150
表 4-4-1	熱傳播建模能力試卷前測分析.....	154
表 4-4-2	熱傳播建模能力試卷後測分析.....	155
表 4-4-3	三組後測的事後比較分析.....	155
表 4-4-4	熱傳播建模能力試卷延宕測分析.....	156
表 4-4-5	三組延宕測的事後比較分析.....	156
表 4-5-1	模型選擇之建模能力前測分析.....	157
表 4-5-2	模型選擇之建模能力後測分析.....	158
表 4-5-3	三組延宕測的事後比較分析.....	158
表 4-5-4	模型選擇之建模能力延宕測分析.....	159
表 4-5-5	三組延宕測的事後比較分析.....	159
表 4-5-6	模型建立之建模能力前測分析.....	159
表 4-5-7	模型建立之建模能力後測分析.....	160
表 4-5-8	三組延宕測的事後比較分析.....	160
表 4-5-9	模型建立之建模能力延宕測分析.....	161
表 4-5-10	三組延宕測的事後比較分析.....	161
表 4-5-11	模型效化之建模能力前測分析.....	161

表 4-5-12	模型效化之建模能力後測分析.....	162
表 4-5-13	三組延宕測的事後比較分析.....	162
表 4-5-14	模型效化之建模能力延宕測分析.....	163
表 4-5-15	三組延宕測的事後比較分析.....	163
表 4-5-16	模型應用之建模能力前測分析.....	163
表 4-5-17	模型應用之建模能力後測分析.....	164
表 4-5-18	三組延宕測的事後比較分析.....	164
表 4-5-19	模型應用之建模能力延宕測分析.....	165
表 4-5-20	三組延宕測的事後比較分析.....	165
表 4-6-1	三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力前測之相關統計量數.....	167
表 4-6-2	三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力後測之相關統計量數.....	168
表 4-6-3	三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力延宕測之相關統計量數.....	168
表 4-6-4	三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力前測之相關統計量數	169
表 4-6-5	三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力後測之相關統計量數	170
表 4-6-6	三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力延宕測之相關統計量數	170
表 4-6-7	三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力之相關性.....	171
表 4-7-1	科學模型本質測驗總分前測分析.....	174
表 4-7-2	科學模型本質測驗總分後測分析.....	175
表 4-7-3	三組後測的事後比較分析.....	175
表 4-7-4	科學模型本體論分數前測分析.....	175
表 4-7-5	本體論中三主題分數前測分析.....	176
表 4-7-6	科學模型本體論分數後測分析.....	176
表 4-7-7	三組後測事後比較分析.....	177

表 4-7-8	本體論中三主題分數後測分析.....	177
表 4-7-9	三組的本體論中三主題事後比較分析.....	177
表 4-7-10	科學模型認識論分數前測分析.....	178
表 4-7-11	認識論中三主題分數前測分析.....	178
表 4-7-12	科學模型認識論分數後測分析.....	179
表 4-7-13	三組後測事後比較分析.....	179
表 4-7-14	認識論中三主題分數後測分析.....	179
表 4-7-15	三組的認識論中三主題事後比較分析.....	180
表 4-7-16	科學模型方法論分數前測分析.....	180
表 4-7-17	方法論中三主題分數前測分析.....	181
表 4-7-18	科學模型方法論分數後測分析.....	181
表 4-7-19	三組後測事後比較分析.....	181
表 4-7-20	方法論中三主題分數後測分析.....	182
表 4-7-21	三組的方法論中四主題事後比較分析.....	182

圖 次

圖 2-1-1	本體樹的組織架構.....	14
圖 2-1-2	本體樹內部階級和橫向分類.....	15
圖 2-1-3	根本與非根本概念改變的圖示法.....	15
圖 2-1-4	Vosniadou(2008)概念改變的理論.....	18
圖 2-1-5	RAINBOW 模型的組成.....	20
圖 2-2-1	心智模型、概念模型和真實世界的交互作用.....	24
圖 2-2-2	『建模模型架構』.....	29
圖 2-2-3	學生模型觀點的三面向示意圖.....	35
圖 2-4-1	熱的最初心智模型示意圖.....	46
圖 2-4-2	孩童對熱的心智模式.....	48
圖 3-3-1	熱傳播模型概念圖.....	55
圖 3-3-2	模型五面向的分類.....	57
圖 3-5-1	研究流程圖.....	69
圖 4-3-1	熱傳導概念人數百分比分布圖.....	96
圖 4-3-2	熱傳導概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布.....	98
圖 4-3-3	三組熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式圖.....	101
圖 4-3-4	熱傳導概念中的『成分』面向答題人數百分比.....	103
圖 4-3-5	熱傳導概念中的『結構』面向人數百分比分布.....	105
圖 4-3-6	三組熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式圖.....	107
圖 4-3-7	熱傳導概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布.....	109
圖 4-3-8	三組熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式圖.....	111
圖 4-3-9	熱傳導概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布.....	114
圖 4-3-10	三組熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖.....	116
圖 4-3-11	三組熱傳導概念模型的概念圖.....	118
圖 4-3-12	熱傳導模型中『範圍』面向、『巨觀行為』面向和『微觀行為』面向的概念 改變過程.....	119

圖 4-3-13 熱對流概念人數百分比分布圖.....	121
圖 4-3-14 熱對流概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布.....	123
圖 4-3-15 三組熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式圖.....	125
圖 4-3-16 熱對流概念中的『成分』面向答題人數百分比.....	127
圖 4-3-17 熱對流概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布.....	128
圖 4-3-18 熱對流概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布.....	130
圖 4-3-19 三組熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖.....	132
圖 4-3-20 三組熱對流概念模型的概念圖.....	135
圖 4-3-21 熱對流模型中『範圍』面向和『微觀行為』面向的概念改變過程.....	136
圖 4-3-22 熱輻射概念人數百分比分布圖.....	138
圖 4-3-23 熱輻射概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布.....	141
圖 4-3-24 三組熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式圖.....	143
圖 4-3-25 熱輻射概念中的『成分』面向答題人數百分比.....	145
圖 4-3-26 熱輻射概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布.....	147
圖 4-3-27 熱輻射概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布.....	148
圖 4-3-28 三組熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖.....	151
圖 4-3-29 三組熱對流概念模型的概念圖.....	153
圖 4-6-1 後測之熱傳播概念和模型選擇建模能力分布圖.....	173
圖 4-6-2 後測之熱傳播概念和模型建立建模能力分布圖.....	173
圖 4-6-3 後測之熱傳播概念和模型效化建模能力分布圖.....	173
圖 4-6-4 後測之熱傳播概念和模型應用建模能力分布圖.....	173

第壹章 緒論

從科學發展的歷史來看，『熱傳播』這個議題一直是許多科學家討論和探究的範圍，科學家企圖找出熱的運動準則和定律，這樣討論和探究的過程直到十八世紀末，科學家才了解熱的本質和熱傳播的方式。

學生對於『熱傳播』的概念學習，也是許多學者關注的焦點和研究的議題(郭重吉，1990; Vosniadou, 1994; Jones, Carter & Rua, 2000; Chi, 2005, 2008; Chiou & Anderson, 2009)，一方面可能是因為有關於熱傳播的這些概念是屬於根本的概念重建(邱美虹，2000)，或者是熱傳播的概念易受生活經驗影響學習。

在國小三、四、五、六年級都會學習到有關於熱傳播的現象或有關於熱傳播後所造成的影響的概念，熱傳播後會影響天氣的變化，受熱可以改變物質狀態，熱傳播可以解釋一些生活現象，有時甚至可以解釋天文觀察到的現象，所以，如何幫助學生建立有關於『熱』和『熱傳播』的正確想法，就顯得十分重要。

基於此項理由，於是研究者就選定國小五年級的『熱傳播』單元進行探究，以科學史當做教材，建模教學策略當做教學方法，結合兩者做課程的探究，希望可以幫助學生建構熱傳播模型，並可藉此幫助學生學習『熱傳播』概念。

第一節 研究動機與研究背景

在教學現場中，為了吸引學生的注意、增進學生學習的興趣和提高學生學習專注力，其中一項不可或缺的法寶就是『說故事』，這項法寶不管是小到幼稚園、一年級，大到六年級，甚至國中、高中，都是十分受用。不過，雖然都是說故事，不同學科之間故事的呈現方式還是有所不同，在自然科學的教學中，我們可以利用科學教育中的不同教學法，讓故事融入科學教學中來教授科學知識、科學方法、科學本質....等，讓自然科學的課程也能利用這種較為不一樣的方式呈現出來，讓學生喜愛。

『熱傳播』這個議題與人類的生活息息相關，例如：熱的傳送可使物質發生三態變化；熱的流動會影響天氣的變化，例如：颱風的形成和海、陸風的吹拂；同時熱的傳播也會讓物質發生改變，例如：溶解和燃燒，都是生活中常見的現象。當學生在學習熱是如何傳播的時候，學生可以藉著生活經驗和巨觀的觀察，說出熱傳播的現象，但是實際上，學生對於『熱是如何傳播』仍擁有許多迷思概念，在經過教學後，這些迷思概念仍不易消除。

人類對於“熱是如何傳送”的探索已有好幾千年的時間，在 2500 年前，人類就已經察覺到熱對人類生活有很重要的影響，中國認為物質由金、木、水、火、土組成；古希臘則認為自然萬物由水、火、土、氣組成，這樣的想法影響著人類對於基本物質的解釋和自然現象演變的看法，且影響人類一、二千年的時間，直到十八世紀，德國斯塔爾(Georg Ernst Stahl)教授提出熱是一種燃素(phlogiston)，拉瓦錫認為熱是一種流體，他把這種物質稱為「卡路里」(calorie)，倫福伯爵(Count Rumford)則是認為熱是一種能量；古希臘哲學家則認為宇宙中存在一種以太(ether 或 aether)，而這種物質可以傳播光和熱，所以，『熱是什麼』和『熱是如何傳播』的這個議題是許多科學家討論和探究的範圍，直到十八世紀末，科學家才漸漸了解原來熱的本質是能量，還發展出熱力學基本的第零~第三定律。

熱傳播現象的科學解釋在科學歷史發展的過程，與學生在熱傳播的科學概念發展上有異曲同工之妙，如表 1-1-1，第一張圖學生認為熱是一顆顆的粒子，這

些熱粒子就是代表著熱，熱會由高溫傳向低溫，這種想法類似於過去的燃素理論；第二張圖學生是認為熱會像一股熱流，從高溫處流向低溫處，類似於過去的卡路里理論；最後一張圖則是學生認為太陽的熱會透過一種輻射的粒子，將太陽的熱傳到地球來，這樣的迷思概念類似於以太理論，所以，科學史融入教學中可以讓學生了解到自己的想法與過去科學史的解釋有相似之處，而知道這些舊的科學解釋的局限之處，進而了解新的科學解釋的發展，幫助學生建立正確的科學概念。

表 1-1-1 學生熱傳播的迷思概念與熱傳播科學史相似處

	類似燃素理論	類似卡路里理論	類似以太理論
學生 迷思 概念			

因此，如何運用有效的教學法，讓這樣的議題可以在科學課室中呈現，就是一個重要的關鍵。在近來的科學教育中，模型(model)和建模(modeling)教學受到很多科學教育家的重視(American Association for the Advancement of Science, 1990, 1993; National Research Council, 1996; Halloun, 1996, 2006; Justi, 2000, 2002)，認為模型可以幫助學生學習、有效的使用知識和了解真實世界，模型也可以協助學生思考，在面對不同情況或現象時，可以根據需求與目的，利用同一模型或不同模型來解釋問題和解決問題。而建模就是建立模型的過程，這樣的過程是有一定的步驟，用一種更有效率、更一貫性的方法調整我們既有的知識架構，將新知識融入調整過後的知識架構中，有系統的建立自己的模型。

在本研究中，研究者選擇『熱傳播』單元，將課程內容融入『熱』和『熱傳播』的科學發展史，澄清學生迷思概念，用建模教學策略當作教學方法，希望可以幫助學生建立一個完整的熱傳播模型，讓學生可以在面對一個熱傳播現象時，有效提取完整的模型，幫助他解決所遇到的問題。

第二節 研究目的與研究問題

本研究選取『熱傳播』概念為教材課程，以傳統教學、建模教學和科學史建模教學為教學方式，探討不同教學對學生學習熱傳播概念和學習成效的影響。再者，基於『建模能力分析指標』，探討不同的教學方式對於學生建模能力的影響，更可進一步探討不同的建模教學對學生建模能力和概念改變之間的交互作用關係。最後，可更進一步探討不同的建模教學對學生科學模型本質認識的影響。本研究主要的研究目的有七個，分別如下：

- 目的 1：探討不同的教學法對於學生熱傳播概念整體學習成效之影響。
- 目的 2：探討不同的教學法對於學生熱傳播概念中各概念主題學習成效之影響。
- 目的 3：探討不同教學法對學生概念改變之影響。
- 目的 4：探討不同的教學法對學生建模能力的總體成效之影響。
- 目的 5：探討不同的教學法對於學生熱傳播模型中各建模步驟的建模能力成效之影響。
- 目的 6：探討不同教學法對學生熱傳播學習成效與建模能力之關係。
- 目的 7：探討不同教學法對學生科學模型本質之影響。

根據各研究目的，有以下待答問題：

- 目的 1：探討不同的教學法對於學生熱傳播概念整體學習成效之影響。

待答問題：

- 1-1 三組學生在教學後，對於熱傳播概念整體學習成效之差異為何？
- 1-2 三組學生在延宕測時，對於熱傳播概念整體學習成效之差異為何？

- 目的 2：探討不同的教學法對於學生熱傳播概念中各概念主題學習成效之影響。

待答問題：

- 2-1 三組學生在教學後，對於熱傳播概念的 3 個子概念—熱傳導、熱對流、熱輻射學習成效之差異為何？
- 2-2 三組學生在延宕測時，對於熱傳播概念的 3 個子概念—熱傳導、熱對流、熱

輻射學習成效之差異為何？

2-3 三組學生在教學後，對於熱傳播模型的 5 個面向—範圍、成分、結構、巨觀行為、微觀行為的學習成效之差異為何？

2-4 三組學生在延宕測時，對於熱傳播模型的 5 個面向—範圍、成分、結構、巨觀行為、微觀行為的學習成效之差異為何？

目的 3：探討不同教學法對學生概念改變的影響。

待答問題：

3-1 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱傳導概念的概念類型與人數分布百分比為何？

3-2 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱傳導概念的概念演變途徑為何？

3-3 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱對流概念的概念類型與人數分布百分比為何？

3-4 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱對流概念的概念演變途徑為何？

3-5 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱輻射概念的概念類型與人數分布百分比為何？

3-6 三組學生在前測、後測及延宕測時，對於熱輻射概念的概念演變途徑為何？

目的 4：探討不同的教學法對學生建模能力的總體成效的影響。

待答問題：

4-1 三組學生在教學後，對於熱傳播建模能力的總體成效之差異為何？

4-2 三組學生在延宕測時，對於熱傳播建模能力的總體成效之差異為何？

目的 5：探討不同的教學法對於學生熱傳播模型中各建模步驟的建模能力成效之影響。

待答問題：

5-1 三組學生在教學後，對於熱傳播模型中各建模步驟—模型選擇、模型建立、模型效化和模型應用的建模能力成效之差異為何？

5-2 三組學生在延宕測時，對於熱傳播模型中各建模步驟—模型選擇、模型建立、模型效化和模型應用的建模能力成效之差異為何？

目的 6：探討不同教學法對學生熱傳播學習成效與建模能力之關係。

待答問題：

6-1 三組學生在教學後，對於『熱傳播學習成效』和『熱傳播建模能力』，兩者之間的關係為何？

6-2 三組學生在延宕測時，對於『熱傳播學習成效』和『熱傳播建模能力』，兩者之間的關係為何？

6-3 三組學生在教學後，對於『各建模步驟的建模能力』和『熱傳播學習成效』，兩者之間的關係為何？

6-4 三組學生在延宕測時，對於『各建模步驟的建模能力』和『熱傳播學習成效』，兩者之間的關係為何？

目的 7：探討不同教學法對學生科學模型本質的影響。

待答問題：

7-1 三組學生在教學後，對於科學模型本質測驗的總體成效之差異為何？

7-2 三組學生在延宕測時，對於科學模型本質測驗的總體成效之差異為何？

7-3 三組學生在教學後，對於科學模型本質的三面向—本體論、方法論和認識論以及其下的 10 主題的科學模型本質之差異為何？

7-4 三組學生在延宕測時，對於科學模型本質的三面向—本體論、方法論和認識論以及其下的 10 主題的科學模型本質之差異為何？

第三節 名詞釋義

本研究中所提到的重要名詞說明如下：

一、模型

在本研究中所定義的模型是參考 Buckley(2004)，Hestenes(1993，2006)和 Hallon(2006，1996)對於模型的定義，發展適合本研究中所要建立的模型--熱傳播模型的面向。所以，將科學概念模型分成五個面向：範圍(domain)、成分(composition)、結構(structure)、巨觀行為(macro behavior)和微觀行為(micro behavior)。

在本研究中，此五個面向可分別代表說明科學概念模型的巨觀維度和微觀維度，如表 1-3-1 所示，『範圍』、『成分』和『巨觀行為』屬於科學概念模型中巨觀的維度；『結構』和『微觀行為』屬於科學概念模型中微觀的維度，以此五面向來建構出科學概念模型，較適合國小以生活經驗和觀察為出發，進一步認識粒子微觀世界的科學課程內容。

表 1-3-1 科學概念模型五面向的分類

二維度	科學概念模型五面向			
巨觀維度	範圍	成分	X	巨觀行為
微觀維度	X	X	結構	微觀行為

二、建模教學

本研究是以邱美虹(2007，2008)的建模歷程做為建模教學和科學史建模教學的建模方法，邱美虹的建模歷程，是基於『科學與建模實務』的考量，以 Halloun(1996)的建模歷程為基礎，輔以『循環作用觀點』，將建模歷程調整為六種序列面向：1.模型選擇 2.模型建立 3.模型效化 4.模型應用 5.模型調度 6.模型重建。

但因本研究的研究對象為國小五年級學生，考量學生學習情形，再將建模歷程和能力指標兩相對照後，將建模歷程調整成四個步驟：1.模型選擇 2.模型建立 3.模型效化 4.模型應用，以適用於本研究的研究對象。

三、科學史建模教學

在本研究中將科學史以『附加式』的方式融入教學內容，即是以建模教學和教科書內的概念為主體，進行教科書內容教學時，將『熱傳播』的科學史內容以增加方式進行教學，亦即教科書內容和科學史內容是獨立、分開的，這種形式的教材是屬於補充教材，再搭配建模歷程的四個階段當作教學方法，就是本研究中的『科學史建模教學』。

四、熱傳播

本研究所指的『熱傳播』概念，其在教學中可拆成『熱傳導』概念、『熱對流』概念、『熱輻射』概念等 3 個子概念來進行教學。

熱是一種能量，能量有不同的形式，可以相互轉換，而熱的傳播就是能量的傳播，傳播方向是由高溫傳向低溫。

熱傳導是物體需接觸傳熱，微觀中固體粒子、液體粒子以及氣體粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使其他的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能，巨觀中的傳播方向是由高溫傳向低溫，將能量傳導出去。

熱對流是流體流動傳熱，微觀中液體粒子、氣體粒子吸收熱能後，粒子間距離加大，使得粒子總重量不變，但總體積變大，產生流動，藉以傳播熱能，巨觀中熱流體上升，冷流體下降補充，將能量傳出去。。

熱輻射是物體不需介質就能傳熱，微觀中固體粒子、液體粒子、氣體粒子吸收熱能後，粒子震動加快，藉以傳播熱能，巨觀中物體會向四面八方傳播輻射熱。

五、 概念改變

本研究以 Chi(2005, 2008)的『本體論』為觀點，作為概念改變的理論架構。她認為所有的實體(entity)可分為三個類別(category)：實體(entities)、過程(processes)、心智狀態(mental state)，「實體」類別下的次類別有：物體和物質；「過程」類別下的次類別有：直接的或突現的；「心智狀態」類別下的次類別有：情緒的和意圖的。

概念改變的過程可分為『類別內的概念改變』和『類別間的概念改變』，近期 Chi(2005, 2008)的概念改變理論著重在過程屬性中若由與『巨觀現象』有關的『直接過程』跳躍到與『微觀現象』有關的『突現過程』，雖然是類別間的概念改變，不過，對學習者來說還是非常困難。

在本研究中，以 Chi(2005, 2008)的以『本體論』為觀點的概念改變理論架構，來探討三組不同教學法的學生在前測、後測以及延宕測中，對於熱傳播的各項子概念的本體屬性，並從中了解學生是否發生了概念改變。

第四節 研究範圍與限制

本研究的研究範圍與限制，列述於下：

- 一、本研究只針對熱傳播概念設計教學活動，且由研究者親自教學，所得的結果不宜過度推論到其他概念的教學和學習。
- 二、本研究中是利用研究者針對熱傳播概念所設計的建模能力問卷，檢測出學生的熱傳播建模能力，而並非學生在面對其他概念或生活問題時，所擁有的建模能力。此外，學生的表達能力，也可能影響判斷學生的建模能力。
- 三、本研究的研究對象為台北縣某國小的五年級學生，樣本人數為 84 人，對於本研究結果不宜過度推論至不同地區或不同年齡。

第貳章 文獻探討

本章共分為四小節來回顧與本研究相關文獻內容，首先，先回顧概念改變的理論與文獻，針對各家學者理論作探討；接下來回顧有關模型本質、建模理論的歷程和建模能力以及各家學者對科學史融入科學教育中的看法和研究；最後，則是回顧與熱傳播概念有關的概念和另有概念。

第一節 概念改變的理論

自從工業革命之後，『科學』就形成一個使社會進步、國家強盛的一個很重要的根基，連帶的使得科學教育也活絡了起來，但是，隨著科學的越來越進步，教科書所呈現的科學概念與學生的迷思概念之間的差距越來越大(徐光台，1999)。所以，研究學生的迷思概念，並在教學中減少學生的迷思概念，建立科學概念便是一件很重要的事。

過去三、四十年來在概念改變的投入與研究中，研究的焦點由學習的結果轉成學習的過程，影響學習的主體對象由教師或外在環境轉變在學習者身上，學習的過程也由學習者『被動接受』轉變成學習者『主動建構』，而這樣改變的風潮從此引領著科學教育的發展。時至今日，概念改變的研究依然是科學教育中相當重要的一環，許多研究者也紛紛提出他們對於概念改變的一些想法與看法，以下擬詳加探討幾個重要的概念改變理論，以作為本研究的奠基。

一、從概念革命來探討概念改變

Tomas Kuhn 是一名物理學家，他在閱讀亞里斯多德、伽利略與牛頓...等不同時代所建立的不同物理解釋與概念時，探討科學的演變和發展，提出科學概念的發展不是累積性的改變，而是革命性的轉變。Kuhn 在 1962 年發表了『科學革命的結構』，認為『常態科學』中擁有其『典範』和『常態科學知識』，當常態科學中出現了不能解決的『異例』，且此異例越來越多時，新的典範會出現解決異例，而新的典範會取代舊典範，新的常態科學就出現了(Kuhn，1962/1989)。

這樣科學革命的過程，許多科學教育家都認為與學生在學習科學時的概念改

變十分相似，徐光台(1999)認為教科書呈現新、舊典範的交替，或新典範的提出供學生學習，呈現革命式的科學發展，可以使擁有迷思概念的學生也能進行一次次的概念革命，學習新的科學概念。

二、從個體發展來探討概念改變

皮亞傑(Jean Piaget)是近代最有名的兒童心理學家，他以開放的問答方式，研究兒童的發展，創立了『認知發展論』(cognitive-development theory)，此理論對於日後概念改變的研究有極深的影響。

皮亞傑認為認知發展過程有幾個重要的概念：『基模』是兒童從事外顯或內隱活動的一般潛能(Hergenhahn, 1976/1989, p.353)，基模可以構成兒童個體的認知結構，用來了解所處的環境。當遇到新的經驗時，若可以用兒童本身既存的認知結構去解釋新經驗，並將新經驗整合至認知結構中，稱之為『同化』；若既有的認知結構無法解釋新經驗，需改變既有的認知結構來迎合新經驗，稱之為『調適』(Hergenhahn, 1976/1989)，而認知結構的不平衡，就是驅動認知結構改變的動力來源。

三、從概念改變的條件來探討概念改變

Hewson(1981)承接 Kuhn 的『科學歷史』發展觀點，認為概念改變的發生有許多不同的方式，例如：透過更多的經驗、個人發展和與他人接觸，『增加新概念』；改變表面或中心的一些概念，『重組既存的概念』；或是『拒絕既存的概念』，進行新概念的置換。所以，Hewson 利用力學中自由落體和物體運動的例子，研究學生在學習此概念時概念改變的過程，提出概念改變的 PSHG 模式，即概念改變的四個條件：

1. 對舊有概念不滿足(dissatisfaction)：不滿足發生的方式可能是：新知識、新經驗已不可忽視，但與原概念不同；或原概念與其認識論的信念不符合。
2. 新概念是可理解的(intelligible)：學習者可以能確認或明瞭此新概念中是有一致的陳述和解釋，讓學習者能理解新概念。

3. 新概念是合理的(plausible)：新概念可以與過去的經驗相符，但新概念比舊概念更好，讓學習者覺得新概念是合理的。
4. 新概念是豐富的(fruiful)：新概念可以解釋更多的情形，幫助學習者解決問題，讓學習者覺得新概念是豐富的。

因此，學習者在進行科學學習時，唯有在符合此四個概念改變的條件下，重組既存的知識，概念改變才得以發生。

四、從概念本質來探討概念改變

Chi(1992)以『本體論』為觀點，提出概念改變的理論架構，她認為所有的實體(entity)可分為三個類別(category)：物質(matter)、過程(process)，和心智狀態(mental state)(Chi, 1992; Chi, Slotta & de Leeuw, 1994; Chi & Roscoe, 2002)，請見圖2-1-1。

Chi(2005, 2008)針對三個類別樹進行修正，修正為：實體(entities)、過程(processes)、心智狀態(mental state)，每一類別的次類別也稍做更動，請見圖2-1-2。這三大類別下又有次類別，一層層發展出樹狀圖，形成三顆類別樹，每一類別樹與其他類別樹在本質上是不同的，所以每顆樹裡面的次類別也有著不同的本體屬性。

「實體」泛指的可被控制，有重量、體積、顏色，佔有空間的”東西”，類別下的次類別有：物體和物質；「過程」，指的是事件隨著時間而發生的，類別下的次類別有：直接的或突現的；「心智狀態」，則指情意的部份，類別下的次類別有：情緒的和意圖的。

這三顆類別樹在本體論屬性是互斥的、本質上也完全不同，是屬於不可共量性，所以Chi等人的概念改變理論，便是新概念的屬性不同於既有的認知結構時，概念會由原先的類別和屬性，轉換到另一類別和屬性，這樣的過程即是概念改變的過程。轉換的過程可分為『類別內的概念改變』和『類別間的概念改變』(Chi, 1992)，請見圖2-1-3：

1.『類別內的概念改變』：概念改變是發生在同一顆本體樹內，只不過是從一個分枝到另一個分枝，將概念重新轉換到同一本體樹中的不同階層或分類中，可視為概念重組、概念修正，屬於弱重建。

2.『類別間的概念改變』：概念改變是發生在不同顆本體樹間，科學概念從一本體樹遷移到另一個本體樹，將概念重新轉換到另一本體樹的階層或分類中，可視為根本的概念改變，屬於強重建。

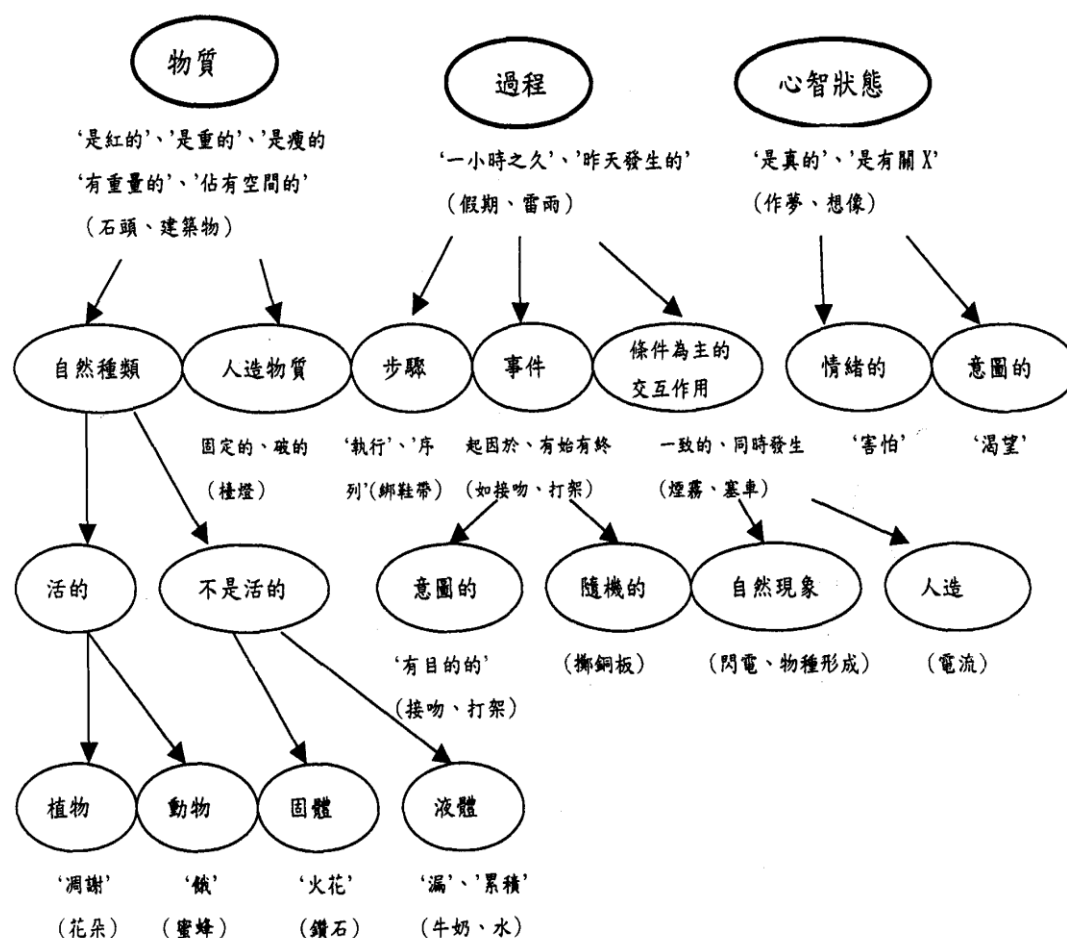


圖2-1-1 本體樹的組織架構(Chi, 1992; 1994 修正;引自邱美虹，2000)

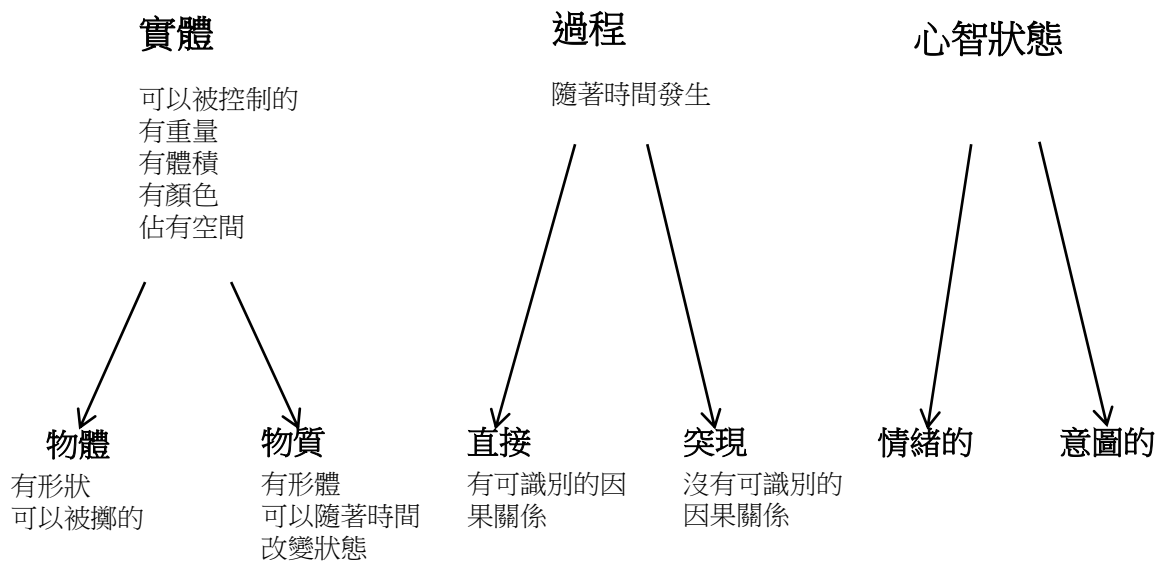


圖 2-1-2 本體樹內部階級和橫向分類(修改自 Chi, 2008)

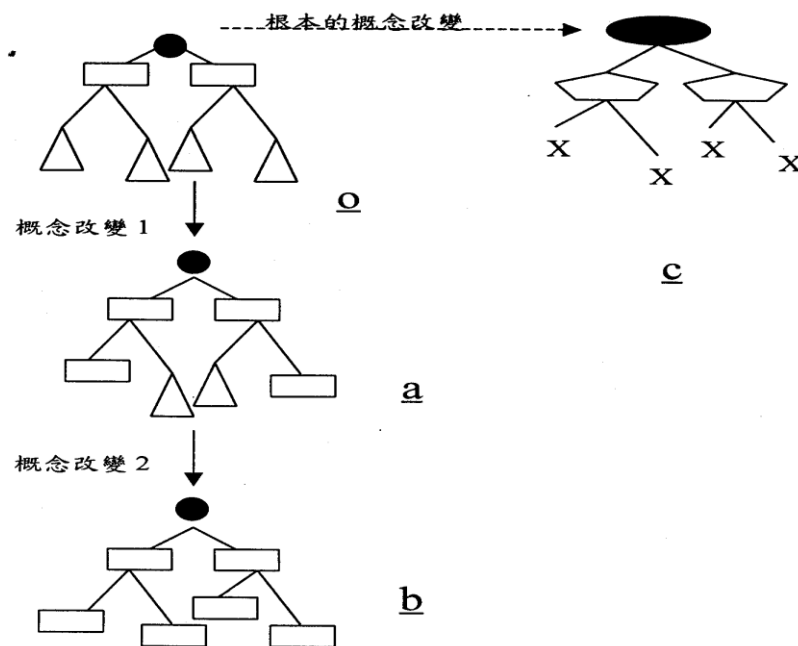


圖2-1-3 根本與非根本概念改變的圖示法(Chi, 1992, 引自邱美虹, 2000)
 《O 代表原來的概念(original concept), C 代表根本的概念改變後的概念, a、b 代表樹狀圖內概念移動或取代概念改變只是樹狀的重組和重建。》

Chi(2005)利用循環系統和擴散概念來解釋在過程屬性中的直接與突現的不同，循環系統的迷思概念和正確的科學概念都是屬於過程屬性中的直接過程，所以較容易發生概念改變，但是學生在擴散的迷思概念是屬於過程屬性中的直接過

程，不過正確的科學概念卻是屬於過程屬性中的突現過程，所以較不易發生概念改變。

直接過程和突現過程在本體屬性上是有所不同的，其分類的屬性如表 2-1-1 所示，直接過程是成分之間是有區別的、各司其職，且有些成分只會和某些成分有交互作用，行為固定；直接過程是有順序、連續的，每一成分之間是有關的，且此過程會有終止的時候；直接過程的組成成分可以分類成不同的類別，直接過程成分的行為直接影響呈現出來的型態，有些成分的行為符合呈現出來的型態，有些組成成分分類的類別有不同的地位，這些成分的行為好像都是為了去完成某一目的或達成某一目標。

突現過程是每一成分的行為是相同的，且成分之間的運動是隨機的，所有成分都是獨立並同時在運動，這樣的過程是連續不斷在發生；突現過程是所有組成成分聚集後呈現出來的成果，突現過程成分的行為不影響呈現出來的型態，成分的行為是不符合呈現出來的型態，組成成分都是同一的地位，沒有成分是為了去完成某一目的或達成某一目標而有行動。早期 Chi 的概念改變理論著重在類別間的概念改變比類別內的概念改變是較為困難，但是，近期 Chi 的概念改變理論著重在過程屬性中若由與『巨觀現象』有關的『直接過程』跳躍到與『微觀現象』有關的『突現過程』，雖然是類別內的概念改變，不過，對學習者來說還是非常困難。

表 2-1-1 直接過程和突現過程的本體屬性(修改自 Chi, 2005)

	直接過程	突現過程
成分的交互影響	有區別的	一致的
	強制的	沒有強制(隨機的)
	連續的	同時發生的
	相依的	獨立的
	有終止的	連續不斷的
成分-型態的關係	小組(分類)	所有的成分(成分的聚集)
	直接的	不直接的
	一致的	分離的
	不同地位	相同地位
	總體的目標或意圖	局部的目標或沒有意圖

五、從概念改變的階層來探討概念改變

Thagard(2008)認為應該從科學歷史中來看科學概念的改變，科學史和科學哲學是可以來解釋科學知識的發展，他舉了三個例子—生命，心智和疾病，從古至今，人們或科學家如何對這些問題產生解釋，而這些解釋或理論是如何改變，藉著探究這些科學史的演變，Thagard 提出概念改變的九個階層(Thagard, 1992, 1999)，其中以種類關係和部分關係特別重要，其階層如表 2-1-2 所示。

Thagard 認為信念的修正、增加概念、簡單重組概念階層在科學知識的發展中常見，但分枝跳躍與樹轉變在概念革命(conceptual revolution)中則較為罕見。

Thagard 進一步指出，一般學習雖然並非僅是簡單的增加新的信念，但也未必是系統性的、革命性的、概念性的科學革命一般(引自邱美虹，2000)。

表 2-1-2 Thagard 概念改變的九個階層 (引自邱美虹，2000)

階層	特質
1.增加新例子	瑣碎的
2.增加弱原則	強弱視其實用性
3.增加強原則	強弱視其實用性
4.增加新的部分關係	分解
5.增加新的種類關係	利用上階關係合併(區辨)兩個概念
6.增加新概念	為解釋新理論而產生新概念
7.瓦解部分種類階層	放棄原有的辨別方式
8.藉由分枝跳躍重組階層性	從一階層樹的分枝轉移至另一分枝
9.樹的轉變	改變已有階層性組織的樹狀原理

六、從個體經驗來探討概念改變

Vosniadou(1994)研究學童對於地球形狀、日夜循環、熱和力的心智模式，從學生回答半開放性的問題中找出學童的心智模式，更進一步發展出概念改變的理論。

Vosniadou(2008)針對她所提出的『架構理論』(framework theory)做出統整性

的說明，如圖 2-1-4 所示，她認為知識理論是先有一個大架構，主要由學童的生活經驗所建構出來，內容包含了信念(beliefs)、預設(presupposition)和心智模式(mental models)三部分，預設又可以分為本體論(ontological)的預設和認識論(epistemological)的預設，而預設會影響學童學習特定理論(specific theory)，學習特定理論時又會被學童平時對此特定理論中所觀察到的現象、文化脈絡和其所持對此特定理論的信念影響。最後，在『架構理論』和『特定理論』的交互作用下會影響學童形成的心智模式

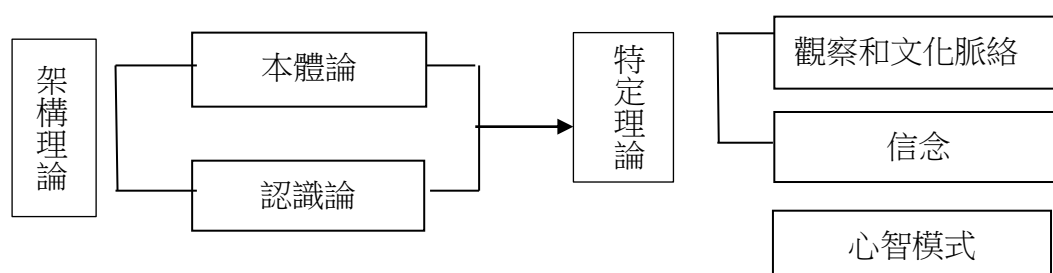


圖 2-1-4 Vosniadou(2008)概念改變的理論

Vosniadou 和 Ioannides(1998)在研究中指出，學生在學習特定理論時，『預設』和『信念』的限制以及缺乏像專家一樣的缺乏『系統性』和『統一性』，是概念改變難以發生的原因，而學童會根據其架構理論發展出對特定理論的『初始模型』(initial models)，當學童在學校接受特定的科學理論時，會與其架構理論發生交互作用，而形成『綜合模型』(synthetic models)，在不斷學習的過程中，綜合模型會不斷的改變，最後形成『科學模型』(scientific models)。

七、從零碎知識來探討概念改變

diSessa (1993)研究兒童與科學家對於運動(motion)概念的關係，提出學童的知識是零碎(fragmented)、不一致的。dissea(1998)以 Carey、Trowbridge and McDermott 的研究為基礎，提出先備的知識和先前經驗對於學習者在學習上有很大的影響，她也認為了解一個概念的過程(knowing a concept)是一系列片段的連結(an articulation of the pieces)，像這樣的概念連結的模型是需要去了解不同概念本質內的特徵和不同種類概念的內涵，在學習者學習時，她是在組合概念，概念

改變不只是改變舊有概念之間的連結，應還要考量新概念與舊有概念之間的關係，以此來判斷新的概念對於學習者來說是否容易學習，以及概念改變是否發生。

所以，diSessa (2008)強調學童的知識比起專家或科學理論來說，他的知識是零碎、不完整的，不過，這些零碎知識是學習的材料，可以組合成不同的學習架構，幫助學生學習。

八、從綜合模式來探討概念改變

在國內的研究中，Chiu(2008)提出『以研究和教學為基礎/導向的工作』(Research And Instruction-Based/Oriented Work，簡稱 RAINBOW)。RAINBOW 理論架構以發展研究、科學教育研究、認知科學和學校環境為方向，有七個向度，每一個向度內又可分為 3 個成分，如圖 2-1-5 所示：

1. 發展面向(developmental approach)：以 Toulmin 概念生態而來，以人類發展的方式解釋概念發展也是漸進式，以至於有些概念被保留下來，有些則沒有。
2. 本體論面向(ontological approach)：源自於 Chi 和其研究團隊所發展的概念改變理論，來解釋概念改變是移動概念至不同的本體樹中，藉此來探討概念改變的難易程度。
3. 認識論面向(epistemological approach)：此面向包含了 Posner 等人所提出的概念改變的 4 個條件和 Vosniadou 所提出的解釋所觀察到的科學現象，在此面向中重點是在學生對於自我學習的體認與覺察。
4. 情意面向(affective approach)：影響學生學習不單單只從理性、認知方面的面向來探討，更要探究學生學習科學時的自我效能、學校和社會情境、預期和動機等，都是需要考量的面向。
5. 演化面向(evolutional approach)：此面向包含了許多科學學習發展的理論，研究學習者在學習的過程中是如何改變他的想法，利用分類的方式找出在教學活動中，概念發展的特徵。

6. 教學面向(instructional approach): 以『教學序列(Meheut, 2004)』為研究的方法，主要是在學習者和科學之間建立一座橋樑，藉著一步一步的步驟幫助學習者學習。
7. 整合面向(Approach with Integration): 利用上述所談論到的各種研究方法，幫助研究者更清楚的了解學生概念改變的過程和演變，而以 RAINBOW 的理論架構提供研究者多向度的解釋來研究學生學習科學的情形。

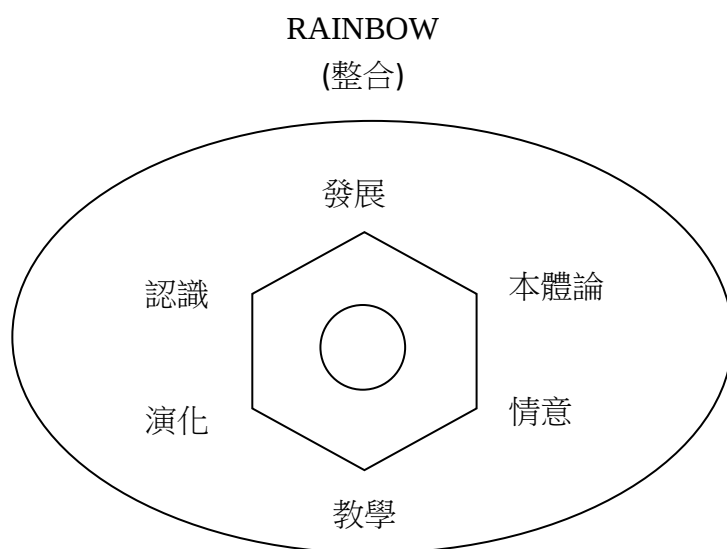


圖 2-1-5 RAINBOW 模型的組成(Chiu, 2007)

學生在學習科學概念的過程是一個動態的過程，概念改變發生的過程也是不斷的在變動中，所以，在探討學生的概念改變面向應做多方面向的考量，從這七個向度中綜合探討學生概念改變的面向。

綜合以上文獻，我們可以知道在科學課室中，我們希望學生在學習科學概念時，不是較低層次的背誦與記憶，而是較高層次的理解，這過程就是我們概念改變的過程，學生在學習科學知識時，要進行知識架構的調整，概念的改變是一件多不容易的事情，且這其中還要考量許多概念改變發生的面向和條件，所以，在進行科學教學時，若能設計幫助學生發生概念改變的教學內容和教學情境，對於學生學習科學概念將有正向的幫助。

在本研究中，以 Chi(2005, 2008)『本體論』為觀點的概念改變理論架構，來

探討三組不同教學法的學生在前測、後測以及延宕測中，對於熱傳播的各項子概念的本體屬性，並從中了解學生是否發生了概念改變。

第二節 模型與建模教學

面對現今的科技時代，有許多關心科學教育的研究團體，例如：American Association for the Advancement of Science (1990, 1993)、National Science Teachers Association (1995)、National Research Council (1996)，都強調模型(models)和建模過程(modeling process)的重要性。Halloun (1996)提出模型是知識的主要成分，而建模是認知真實世界的過程，可以用來建構知識和使用知識。邱美虹(2008)也認為『模型』與『建模』是科學發展中的重要元素，也是科學學習中不可或缺的認知與能力。因此，本節將綜合整理各學者所提出的『模型』與『建模』的相關理論，藉此瞭解模型的內容與定義以及建模的過程與教學。

一、模型

『模型(model)』是什麼？一般人的觀點都可能受了生活經驗或口語的影響，而將模型定位在具體的、實體的，與真實物有比例關係的複製品。因此，我們對於模型的定義在『特定領域(科學概念)』與『普適領域(生活經驗)』的思維屬於截然不同的兩種觀點(張志康，2007)。

在課室中，學生很少有機會可以瞭解他們正在建構模型或使用模型來解釋他們所觀察到的現象，也沒有明確的討論模型的本質或功用(Grosslight et al. 1991; Halloun, 1996; Gilbert, 2000)，所以我們應該讓學生瞭解對於同一現象，我們可以看到不同的面向或有不同的想法，就可以用不同的模型來表示或解釋。建模理論可以幫助學生發展自己的模型，而這個模型是和科學模型一致的(Halloun, 2006)，所以，清楚的定義特定領域(科學概念)中的模型，有助於我們對於模型的認識與瞭解。

在 National Science Teachers Association (1995)中指出模型式可以幫助學生描

述或瞭解科學現象、科學理論、經驗法則和生物的構成....等。National Research Council (1996)提出科學教育學家應該發展幫助科學教學以及學生學習的模型，並且知道這些模型與科學知識相符合之處，但也要知道這些模型的缺失。Glas (2002)認為我們可以在不同的領域知識中建構一個實用且一致的模型，幫助我們解決所面臨的問題，像孔恩理論中的典範的認識就是一種建構模型的方式。

Gilbert and Boulter (2000)認為模型有一個很重要的目的，就是將我們所觀察到的現象簡化，然後試著去解釋它，國內學者邱美虹、劉俊庚(2008)亦有對此有相關解釋，Gilbert 將模型分為 12 種不同模型，並針對每一種模型的特點加以說明和解釋，如表 2-2-1 所示。

表 2-2-1 模型的分類(整理自 Gilbert & Boulter, 2000; 邱美虹、劉俊庚, 2008)

模型名稱	對此模型的解釋
心智模型 (mental model)	心智模式是私人且個人的認知表徵，是由個人或團體討論所形成的。
表達模型 (expressed model)	是個人或小組在公共領域所使用，透過使用表徵的模型和他人進行互動。
共識模型 (consensus model)	不同的團體在討論和實驗後，都同意表達模型是有用的，之後就形成共識模型。
歷史模型 (historical model)	這些共識模型是在特殊的歷史背景下產生，之後會被取代。
課程模型 (curricular model)	包含在正式課程中的歷史模型或科學模型，而這些模型是經過簡化。
教學模型 (teaching model)	教學模型是用來促進理解共識模型、歷史模型和課程模型，可由教師或學生來發展。
混合模型 (hybrid model)	合併不同模型的特徵，在課程和課室教學使用。
教育模型 (model of pedagogy)	教師在教學前、教學中和教學後的教學活動中所使用的模型，並且考量科學本質、科學教學本質和科學學習本質。

另外，Boulter 和 Buckley(2000)則依模型表徵的方式，將模型分為：

- 1.具體的(Concrete)：3D 的實體模型。
- 2.言語的(Verbal)：是指被聽到、閱讀到、描述、解釋、陳述、辯論、類比和隱喻

模型。

- 3.視覺的(Visual)：被看到的模型。
- 4.數學式的(Mathematical)：是指式子、方程式和模擬的模型。
- 5.動作的(Gestural)：身體或部分身體的移動。
- 6.混合型的(Mixed)：將上述的模型作任意組合的結果。

Treagust, Chittleborough and Mamiala (2002)利用測驗工具研究學生對於科學模型的想法，模型是什麼和模型所扮演的角色，經過因素分析後共分為五大類型，分別是：1.模型是多重表徵的；2. 模型是精確的複製品；3. 模型是幫助解釋的工具；4. 科學模型的使用；5. 模型變化的本質。

因此，透過以上的這些分類方式，我們可以知道模型是存在於我們的生活之中，也被我們在各種機會下使用，模型有不同的形式和表徵方式，可幫助我們進一步認識模型。

周金城(2008)針對有關模型的本質來設計問卷，以瞭解高中學生對模型本質的觀點，研究發現學生對於模型本質的迷思有以下三點：1.有 42.8%的學生認為模型要與對應物不可呈現扭曲對應的比例；有 52.9%學生同意模型須完全對應特定事物的結構、性質與關係；2.有 30.9%的學生不同意模型可以是符號；21.5%學生不同意模型可以是過程；3.有 8.8%的學生認為對一個特定的現象只有一個正確的模型能給予解釋。

陳瑞麟(2005)研究哈金(Ian Hacking)在 1983 年提出的觀察與實驗的論證，以科學哲學的觀點來說明『模型』和『建模』。陳瑞麟將哈金所談論到的『模型』做分類，模型可分成：理論模型、可落實模型。理論模型是一個大架構、是高層次的，可落實模型是一個可接近具體的小架構、是低層式的，理論模型要靠可落實模型才能落實和實行。「建構」(construction)是沿用哈金和古汀的意義，意指透過實驗工具的安排和實驗者的行為程序，而「創造」出原本不存在於自然界的現象(陳瑞麟，2005，P.60)，而這樣的過程包含了 2 大部分：首先是科學家在觀察和實驗的過程中，『建構』或『製作』具有科學意義的新現象(陳瑞麟，2005，

P.69)；思想(模型)與行動的交互作用，形成完整的歷程，這歷程中還交織了複雜的社會人際互動。

Hestenes 從 1980 年代以來就長久關注模型在科學教育中的發展和使用，他認為人的思想是主觀的，模型是客觀的，真實世界是不同於主觀和客觀而真實存在的，此 3 種是屬於 3 種不同的世界，3 種世界之間有交互作用，互相影響，可以用圖 2-2-1 來做表示。

心智模型是個人所建構出來，是內隱的，需要使用符號將心智模型表徵出來，然後再和其他個體的心智模型進行交流，創造出和其他個體一致的模型，此模型就是概念模型，概念模型可以用來描述科學、表徵真實的世界，另一方面，觀察真實的世界，可以幫助個人建構個人的心智模式。所以，這三個世界是交互作用、相互影響的，也是一個不斷循環的過程。

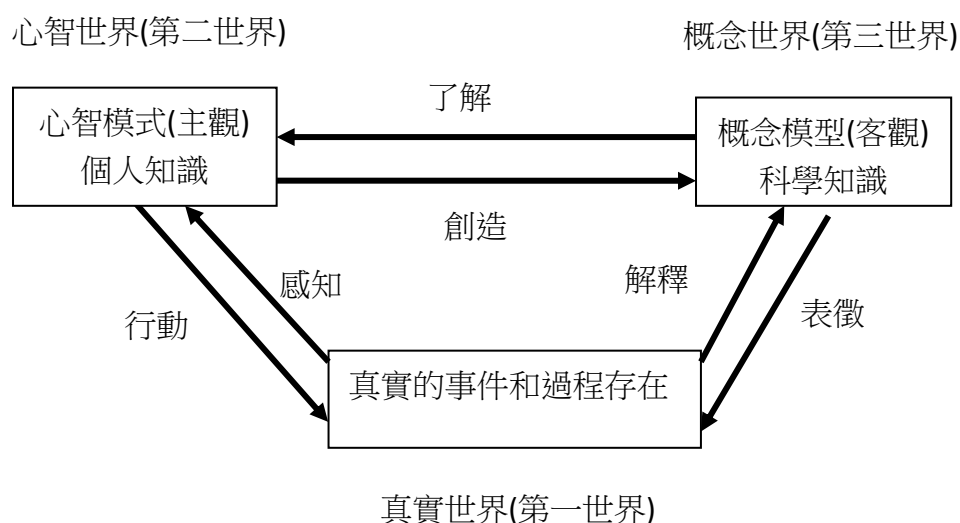


圖 2-2-1 心智模型、概念模型和真實世界的交互作用(修改自 Hestenes, 2006)

Hestenes (1993)進一步針對在談論到『概念模型』(conceptual model)中所使用到的名詞做相關的說明與解釋，概念模型有以下明確的定義：

1. 成分(Constituents)

這一組個別事物之交互作用所處的狀態稱作環境(the environment of the thing)，在這環境中挑選所需要的事物，當做模型最基本的單位。

2. 描述符號(Descriptors)

可分為物件的可變因素(object variable)；狀態的可變因素(state variable)；交互作用可變因素(interaction variables)或直接稱為交互作用(interactions)三種。

3. 法則(Laws)

可分為改變法則(Laws of change)，詳細說明狀態的可變因素(state variable)是如何改變；交互作用法則(Interaction laws)，詳細說明狀態的可變因素(state variable)和交互作用(interactions)的關係(relations)，可以用數學方程式來說明。

4. 解釋(Interpretation)

有關模型模型的描述或物件特性描述。

最後，Hestenes (2006)整理對概念模型的理論，更完整的提出概念模型有 5 種結構：系統性的結構(systemic structure)、幾何的結構(geometric structure)、物件結構(object structure)、交互作用結構(interaction structure)、時空(事件)結構(temporal (event) structure)，如表 2-2-2 所示。

概念模型可分為五種型態的結構，每一結構下又有更細微的部分，所有的模型都須符合使用的目的，從目的來建立或挑選適當的模型，所以，並不是每一種模型都要具備這五種結構。

模型可以被視為藉由學生的覺知，讓學生可以對於這個真實而混亂的世界逐漸理出一個規則，而且透過此規則也讓學生了解這個世界，根據這個想法 Hallon (2006, 1993)把科學模型分成四個面向：科學模型的範圍(domain)、科學模型的成份(composition)、科學模型的構造(structure)、科學模型的組織(organization)，成份和構造是用來定義這個模型，範圍和組織是在說明此模型是屬於哪個理論架構中，其內容說明如下：

1. 科學模型的範圍(domain)：範圍是限制此模型所要表達的要素，可以根據當時的情況或物體行為的特點，挑選適當的模型，幫助我們描述、解釋和預測。模型的範圍是由一組科學系統(此模型的指示物)組成，這一組的科學系統表現

出結構上和行為上的特點，這樣的模型可以幫助我們描述、解釋或概略預測事情。

2. 科學模型的成份(**composition**)：由科學的要素和這個模型顯著的因素所組成，進而形成一個完整的概念系統。科學家在建立科學情況的模型時，第一步驟會試著去收集在這有限系統中所包含的物件。每一個系統包含一個或一個以上的科學實體，而這些實體顯現特殊的特性，這些特性可能會互相影響，在系統內和系統外的科學實體都可以藉由一致模型中的概念實體來表徵出來。
3. 科學模型的結構(**structure**)：能夠研判這個模型中各種因素間的交互作用關係，轉換我們的概念系統，並與我們的科學概念結合，成為一致的系統。模型的結構是由符號之間的關係所組成，而這些符號是表達出模型指示物中的科學特性互相影響的程度。
4. 科學模型的組織(**organization**)：有些模型屬於同一理論架構，但我們可以根據統一的標準把模型加以分層，並能夠建立這個科學模型和其他科學模型之間的關係。

表 2-2-2 概念模型的五種結構(整理自 Hestenes, 2006)

概念模型結構	說明
系統性的結構 (systemic structure)	成分(composition)：在系統內的內在部分(物件)
	環境(environment)：與此系統連結的外在作用者
	連結(connections)： 外在與內在的連結
幾何的結構 (geometric structure)	位置(position)：和外在參考坐標有關
	配置(configuration)：系統各部分之間的幾何結構
物件結構 (object structure)	系統內各部分本身既有的特性
交互作用結構 (interaction structure)	特性的連結或因果關係的連結
時空(事件)結構 (temporal (event) structure)	系統結構隨著時空改變

因此，在科學的教學中，教師協助或引導學生建立科學模型時，若能將模型分成數個較小的部分，一方面可以幫助教師拆解科學模型，設計教學內容和評鑑

教學成效，另一方面可以讓學生先學習模型中較小的四個部分，減輕學生負擔，最後再將四方面的知識做結合，就可以發展出合宜、有意義的模型(Hallon, 1993)。

二、建模

在科學學習的過程中，建模的能力是很重要的，建模的過程是有意義的教學或學習的過程(Halloun, 1996)，而建模的過程是很重要的一般性過程，在建模的過程中科學家會比一般的大眾表現得更有系統性(Hallon, 2006)，我們並不是將外面的知識累加到我們既有的知識中，而是使用一種更有效率、更一貫性的方法調整我們既有的知識架構，將新知識融入調整後的知識架中，形成新的知識架構。

到底什麼是『建模(modeling)』呢？建模包含了哪些步驟或哪些歷程呢？以下將針對各家學者不同的觀點，將建模的理論加以詮釋和描繪。

Justi and Gilbert (2002)將 Hodson (1992)所提出的三個科學教育的目的，轉化成為建模教學的主要內容，學生可以利用建模教學的活動來達成科學教育的目的：

1. 學習科學(to learn science)：學生應該要瞭解科學模型的本質、範圍和限制，這些模型可能是一致的，現在使用的；也可能是一個歷史模型，已經被取代了。
2. 學習有關於科學(to learn about science)：學生應該要了解科學模型的功用就是幫助我們驗證和溝通科學探究的結果。
3. 學習如何作科學(to learn how to do science)：學生應該要能夠創造、表達、測試他們自己的模型。

科學建模的所有活動就是為了達成科學教育的目標，所以建模教學是與科學教育密不可分的，科學就是建模歷程，而學習科學就是學習建模的歷程(Gilbert, 1991)。

邱美虹、劉俊庚(2008)認為，建模即是產出模型的過程，去協助學生了解知

識是人們所建構的，並且增進科學理解和科學本質的潛能，其中的過程牽涉到設定假說、建立模型的目的、確認模型的組成成分、選擇模型、操弄模型中的變因、建立適當的模型（產生一個表徵）並進行檢驗與修正，進而發展出新的模型(邱美虹、劉俊庚，2008，p.11)。

為了使建模理論與科學課程作結合，Clement(1989，引自 Justi & Gilbert, 2002) 提出『建模模型架構』(model of modelling framework)，在科學課程進行時，所有的建模過程都是根據其目的，選擇是否要描述現象、建立其組成、找出原因和影響、預測在這樣的情境下會發生的事情，依據其目的形成既有且一致的模型，修改既有模型、重新形成新的模型，其過程包含了直接或間接的觀察、質與量的分析和實驗...等，也包含了選擇模型的來源、轉化來源與目標之間的關係。當心智模型形成後，可以用具體物、口語、視覺或數學關係來表徵，接著可以透過思考實驗(thought experiment)來檢視所產生的心智模式，假如模型無法在思考實驗中正確的預測結果，則需再修正模型，或者是將此循環步驟再重頭開始；不過，若是模型可以正確預測，就可進行實驗，評估模型和檢測其結果，若是可以在實驗中再次被證實，則所建構出來的模型是與我們的目的符合，不過，若是在實驗中無法被證實，就需再次修正模型，或者是將此循環步驟再重頭開始。最後，值得注意的是，在 Clement 模型中，需考量模型的範圍和限制，而這樣的過程是一直循環的，直到最後的模型產生。

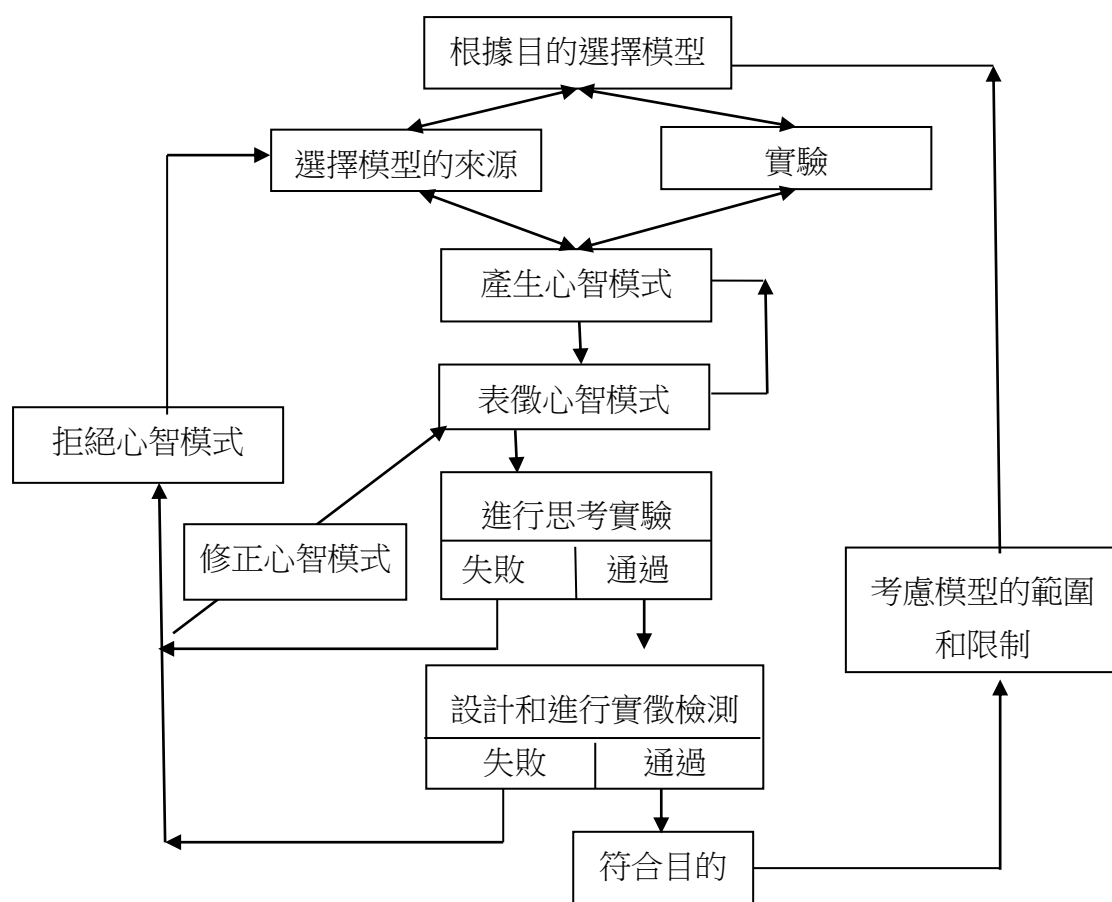


圖 2-2-2 『建模模型架構』 (Clement, 1989，修改自 Justi & Gilbert, 2002)

在課程中加入建模教學，可以幫助一般的學生聚焦問題、組織知識，在科學的範疇下，進行問題解決，並且豐富其知識(Hestenes, 1993)，所以，Hestenes (1996) 建議一般的建模可分為3步驟：模型建立(model construction)、模型分析(model analysis)、模型效化(model validation)。

1. 模型建立(model construction)：仔細評估、分析所遭遇到的情況，確認變因、屬性和特性，藉此找出適當模型，幫助我們面對所遭遇到的情況。
2. 模型分析(model analysis)：當模型被建立後，我們就須對模型進行分析，以了解模型的結構(structure)和內容，做出以模型為基礎的推論，也可以使用教科書上的問題做預測和檢驗。
3. 模型效化(model validation)：評估所建構的模型在特殊的系統或特殊情況下的

適切性，把此模型的結構或此模型所做出的推論與生活經驗相互驗證，看看是否吻合，但是，我們應可知模型不可能百分之百的符合所有情況，因為模型是為符合目的所建構的，有其解釋的極限。

根據這些步驟，我們可以建立準則，幫助我們在著手進行建模歷程時選擇適當的理論、建立適當的模型，而此模型可以更進一步被分析與應用。這樣的建模歷程是不斷的反覆循環的，直到最後推論出最適當的『結論』。

以 Hestenes 的建模步驟為基礎，Halloun(1996, 2006)在教導高中學生和大學學生有關牛頓力學的概念中，設計一系列的問題讓教師進行教學、學生討論和回答，Halloun 將這些問題和課程進行的流程分成五個階段，這些階段並非一定是一個接著一個的，中間三個階段有可能是重疊的，有些步驟可能包含了兩個或兩個以上的階段，這些階段可分為：

1. 模型選擇(Model Selection)：為了達成我們的目的，從經驗中挑選一些合適的模型並組合起來，這些模型能夠有效的解釋我們的問題(Halloun, 2006)。通常由在特定領域中的熟悉(普通)模型中選擇一個適合的模型開始建模的過程，這個選擇的步驟是由每一個模型的範圍 (domain)所指導、帶領，根據建模的目的，做有效的解釋(Halloun, 1996)。
2. 選型建立(Model Construction)：確認所選模型相關成份與結構或重製更廣泛的模型來幫助學生更有效的描述與解釋(Halloun, 2006)。這個步驟，學生應該被引導建立數學模型，幫助學生解決問題，他們建立(或再製)每一個模型的成分 (composition)和構造(structure)，成分和構造不需要在每一個問題中都詳細的說明、陳述(Halloun, 1996)。
3. 模型效化(Model Validation)：在這個階段會利用不同的實驗或評估方法來幫助學生建構模型，並檢視模型的內部一致性(Halloun, 2006)。這個步驟是順著模型的建立，且特別注重內部的一致，效化包含了不同的評估方法，提供學生有機會進行批判思考(Halloun, 1996)。

4. 模型分析(Model Analysis)：學生可以藉由數學模型找出課本上問題的答案，並且能夠解釋和辨別這個答案(Halloun, 2006)。一但模型是有效的，那麼模型就是一致的，模型分析可以回應我們建立模型的目的，模型分析在解決教科書上的問題主要是在使用數學模型，找到問題的解答，並且解釋、辨別這些答案(Halloun, 1996)。
5. 模型調度(Model Deployment)：這個階段是幫助學生發展轉移(transfer)的技巧，能用此模型來解釋新的情況，甚至能延伸此模型再建構一個新的模型(Halloun, 2006)。一但模型是有效的和已被分析了，它不但符合原來的目標，還會涉及其他目標，這個步驟幫助學生發展轉移技巧(Halloun, 1996)。

建模的過程包含反思活動，在新的建模活動中，學生會檢查和重新建構他們既有的知識。另外，Halloun 也指出在傳統教學中不夠強調模型的描述和敘述，模型的效化和模型的調度在傳統教學中常常被忽略。

張志康與邱美虹(2009)根據不同的研究觀點，整理各研究學者所提出的建模歷程後，基於『科學與建模實務』的考量，以 Halloun(1996)的建模歷程為基礎，輔以『循環作用觀點』(邱美虹，2007，2008)，將建模歷程調整為六種序列向度：(一)模型選擇 (二)模型建立 (三)模型效化 (四)模型應用 (五)模型調度 (六)模型重建，第六向度與 Halloun 的建模歷程有所不同，以下再補充說明：邱美虹(2007)認為唯有模型重建，透過修正、強化、或延伸其結構或功能，才能使建模變成持續循環作用的一套思考歷程及漸趨科學化(引自張志康，2009，P.5)。加入建模的第六項度會驅使建模的歷程呈現循環的動態效果，可以使建立的模型發展成更精進、更接近科學真理的科學模型。林靜雯與邱美虹(2008)更進一步探究高中學生對於此建模歷程六項目的知識，在研究中發現建模歷程的六個項目中，學生答題表現最好的是模型的選擇；答題平均較低的則有模型效化、模型分析及模型調度。

Justi(1997)提到若以歷史的發展來看科學模型的時候，我們不要只注重這個科學模型是哪一位科學家所發展的，或是這個科學模型是在哪一段時間使用，而

更重要的是瞭解這個科學模型在這個科學理論架構中，它提供了哪些一致的解釋來解釋這個科學理論架構。所以，科學的模型是可以隨著時代不同產生更替、改變，它所產生更替、改變的過程，可以分為下面幾個步驟(Justi, 2000)：

1. 這個科學模型已有欠缺解釋的可能性。
2. 這個科學模型有些特點已經更正，並且合併新模型中。
3. 這個新模型可以涵蓋之前模型的解釋和定義。
4. 產生新模型的解釋和定義。

所以，在教授某些特定的科學主題時，例如：原子、力學....等，可以以歷史的發展來看科學模型，教師也可融入這樣的課程內容於建模教學中，讓學生可以更了解模型的本質和科學概念的更替。

Buckley(2004)利用模型導向學習(model-based learning)，以電腦影像和電腦模擬讓 10 年級學生學習身體的循環理論，透過學生的紙筆回答和訪談資料，將學生的回答和知識分成四部分，作為分類和編碼的標準：

1. 結構(structure)：次成分(subcomponents)以及次成分之間的空間關係，例如：循環系統的結構包含心臟、血管、血液以及它們的排列。
2. 功能(function)：在這系統中，每一部分所扮演的腳色，例如：心臟負責把血液打出去。
3. 行為(behaviour)：動態的過程和結構的改變，例如：動態行為包含，心臟壓縮血液，血管輸送血液，血液攜帶細胞和化學物質。
4. 因果機制(causal mechanism)：指的是行為的因果關係，把結構和交互作用的行為合起來，就會形成機制。

透過這四個部分，可以把模型分成靜態的結構和功能，動態的行為，以及循環的交互作用關係，這樣的模型導向學習可以幫助學生更清楚的描繪出模型概廓，也可將此四個部分做具體的呈現，更能成為教學和學習之間重要的橋梁。

因此，從上述的各項觀點可知，建模教學中最重要的就是使學生學習如何選

擇適當的模型，然後使用模型，在這過程中，不斷的更新我們的模型，直到它成為合適且正確的，所以，若學生能習得建模的歷程，相信對學生學習科學知識一定有所幫助。

三、建模能力

科學教育期刊International Journal of Science Education在 2000 年9月以模型與建模為主題出版專刊，表示這一議題在科學教育的研究中，有越來越多研究者和學者重視。建模的過程和對模型的認識，除了希望學生可以擁有靜態的科學知識外，也希望學生可以發展出動態的建模能力，但因為建模是一個很複雜的歷程，其中包含了許多的活動和技能，所以要發展出這些能力是需要耗費較久的時間(Justi & Gilbert, 2002)。所以，科學學習的過程中，為了理解與應用模型，發展建模的能力是很重要的(邱美虹、劉俊庚，2008)。

在科學教育界中，首先把建模能力拿出來與大家討論，並造成影響的，應首推Grosslight, Unger, Jay and Smith(1991)的研究，Grosslight 等人訪談了33位7年級學生、22位11年級學生和4位專家，請他們回答有關於在科學中使用模型的情形，利用他們對於模型的理解來決定他們的建模能力，結果發現學生與專家在模型的種類、模型性質、設計與創造模型、相同事物之多種模型和模型的改變，這5個向度的答案都不相同。所以，Grosslight 等人根據學生對於有關模型的訪談內容，並依據其對模型不同的想法，對應到三個不同的層次，將學生對模型的認識分成3個層次：

層次一：認為模型是真實物品的複製品，模型是實際存在於空間中的。

層次二：認為模型可以幫助建構者說明一些觀點，且模型是可以改變的。

層次三：認為模型可以幫助建構者測試想法和解釋現象，模型是可被修正和改變以符合各種情況與目的。

Grosslight等人認為對模型的想法就代表了不同的建模能力，當對模型的想法改變，其建模能力也隨之改變，這樣的結果似乎意謂教學的過程中應強調模型

的觀念，並且必須確認與發展學生對於模型的想法。因此，在建模教學時，教學者應該提供不同的模型供學習者學習，讓學習可以建立對模型較為抽象的想法，也可以了解到可以用不同的模型更精確的表達出自己的想法。

Justi and Gilbert(2002)為了找出專家和生手在建模表現中的差異，他們利用半結構性的問題晤談了國小6年級~大學的39位科學教師，尋找成功建立模型時所需要的知識和想法，最後，提出對於學生學習建模的過程中，培養建模能力有5個步驟：

1. 學習模型(learning models)：這個步驟的重點是教師展現教學模型的能力和如何用適當的表達說明目標模型。
2. 學習使用模型(learning to use models)：在這步驟中應更進一步的在情境脈絡下，用模型來表達我們觀察到的現象。
3. 學習修正模型(learning how to revise models)：學生在學習和使用模型後，可以修正模型，希望學生能再擴大模型使用的範圍和情況，
4. 學習重建模型(learning to reconstruct models)：在這步驟中，希望學生能有自己創造一個模型，評估這個模型，慢慢地將此模型的細節建立得清楚。
5. 學習重新建立模型(learning to construct models de novo)：這個步驟包含了前面的所有步驟，是綜合的建模能力展現。

這五個步驟包含了建立模型架構中的所有基本元素，學生在學習的過程中，會來來回回的使用這幾個方法，直到建立合宜、適當的模型為止。

學者邱美虹(2008)從探討學習者對模型的觀點以及其建模能力的展現，提出了『模型與建模能力之理論架構』，發展出一個三面向的建模架構：

1. 本體論：此面向在談論模型本體和模型本質，可以用模型之間的異同加以分類，或是以表徵的方式來探討模型的本質，模型可以是與實物有相對應的關係，模型也可以是抽象的，可用來預測未知的事物，以學生對於模型本體的想法來推測學生建模能力的高低。

2. 認識論：學生可以透過學習、教學活動來認識模型的本質和功能，了解模型是學習科學的一部份，也能透過這樣的過程建立自己的模型。
3. 認知/方法論：透過建模(modeling)的歷程，發展建模能力，了解模型的功能。

在其研究中初步分析結果顯示，在本體論方面，學生對於模型本質的觀點可分為三類：對應關係、呈現形式、變化關係；在認識論方面有三個類別：個體表徵、過程、情境；在認知方法學方面，學生認為模型功能有三個主要構念：問題解決、了解觀察的現象、連結和發展想法(邱美虹，2007，p.5)。

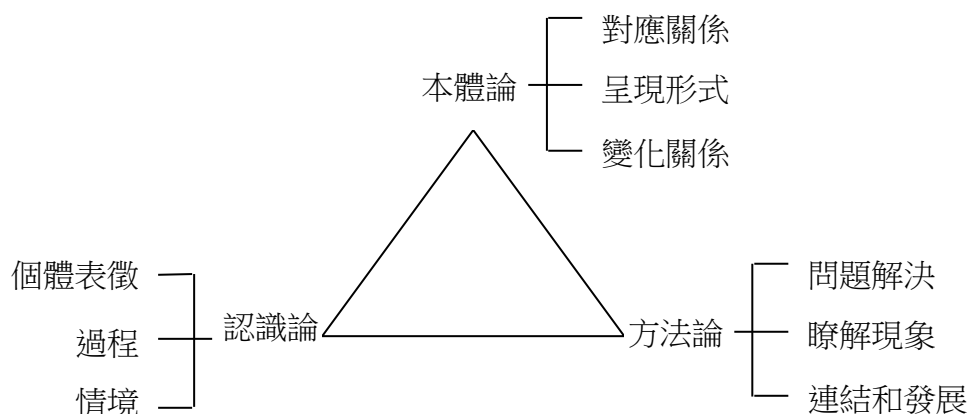


圖 2-2-3 學生模型觀點的三面向示意圖(引自邱美虹, 2008)

在這樣模型觀點的架構下，要培養學生建模的能力，可以從課程活動中設計建模教學活動，也應透過這樣的教學過程讓學生了解模型的本質和功能，增進對於模型本體和模型本質的認識，獲得有意義的科學學習。

國內學者張志康(2009)綜觀各家學者對概念認知能力層次的分類方式，以『Hempel (1958)的科學理論結構』為基礎，納入Bateson、Biggs & Collis、Bloom et al.、Kember 與 Grosslight 等人的分類層次，發展出『建模能力分析指標』(Modeling Ability Analytic Index) (張志康與邱美虹，2009)，將學生建模能力分成了 Level 0~5，詳細說明如下(張志康，2009)：

1. 經驗反應 Level 0：回答是與理論非相關的經驗，無法回答出與理論結構相關的因素(factor)。

2. 單一因素 Level 1：會利用自身的經驗去回答問題，並可以回答出一種與理論相關的因素。
3. 多重因素 Level 2：會利用自身的經驗去回答問題，並可以回答出二種以上與理論相關的因素。
4. 關係層次 Level 3：會將與問題相關的知識相連結後，建構出關係層次，再回答問題，可以回答出因素之間的關係、交互作用或影響。
5. 延伸關係 Level 4：會將知識的關係做延伸的建構，利用延伸關係的概念去回答問題，可以回答多個因素關係間的概念作進一步延伸抽象的反應。
6. 科學理論 Level 5：能用幾近完整的科學理論作答，或是更多高階的、複雜的延伸抽象概念回答問題。

依照學生的作答答案，將學生建模能力做分類，能區分不同層次的建模能力，可以幫助教學者有效的評量學生能力的發展，一方面可以檢測學生學習的結果，另一方面可以教學者有重新檢視教學內容與教學過程的依據。

綜觀以上文獻可知，建模是一個複雜的過程，如何透過建模的過程讓學生可以發展建模能力，更是一件不容易的事，但是，這樣的能力卻是十分重要的，讓學生可以從較為簡單的、具體的因素層次，慢慢發展成較為複雜的、抽象的關係層次，形成正確的科學模型。

在本研究中所定義的模型是參考 Buckley(2004)，Hestenes(1993，2006)和 Hallon(2006，1996)對於模型的定義，發展適合本研究中所要建立的『熱傳播』概念模型的五個面向，包含：範圍、成分、結構、巨觀行為和微觀行為，此五個面向可說明科學概念模型的巨觀維度和微觀維度，再修改邱美虹(2007，2008)、張志康與邱美虹(2009)的建模歷程為：模型選擇、模型建立、模型效化、模型應用為建模歷程，較適合國小以生活經驗和觀察為出發，做統整與歸納的科學課程內容。

第三節 科學史融入教學

科學並不是獨立存在的，科學會受人文的社會、政治、經濟....等的影響，隨著時代的演進，不停的更替，所以，科學史對於科學教育來說，是十分重要。

一、科學史與科學教育

在科學教育文獻中，有許多研究發現科學史哲可以幫助學生學習科學 (許良榮、李田英，1995；洪振方，1997；Hodson, 2008；Justi, 2000)，所以，透過課程將科學史有系統地介紹給學生，是可以幫助學生理解科學，產生有意義的學習。

Thagard(2008)認為應該從科學歷史中來看科學概念的改變，科學史和科學哲學是可以來解釋科學知識的發展，Sequeira 和 Leite(1991)也提到可以透過明確的比較科學史上的另有概念和科學課程中的科學解釋，幫助學生和教師了解到因生活經驗和感官所造成的另有概念，也可以用一種較不脅迫的方式改變學生所擁有的另有概念。Nersessian(1992)指出，科學歷史過程提供學習者一種活動模式，它可以幫助學生對科學理論建構出有意義的表徵，因此用認知的角度分析科學史，透過教學可以讓學生進行有意義的學習。

Hodson(2008)綜合各學者的研究和論點，提出科學史融入自然科學教學有以下三項優點：

1. 科學史可以使科學變得較有人性

科學史可以讓學生明瞭科學的概念和科學理論是在特殊的時空下，為了回答特殊的問題、需求和感興趣的事，由當時的一群人發展出來的。在課程中可強調動機、感覺、想法、信念、憂慮、成功或失敗、錯誤、計畫的改變和科學家的掙扎....等，這樣會讓科學變得更吸引人、更可接受。

2. 科學史可以跨越鴻溝

科學史中一些基本的知識可以幫助國家的公民，包含：工程師、藝術家、商人、政治家....等，讓他們擁有一些基本的科學素養、科學知識和科學技巧，

當這些公民面臨一些社會上的問題時，例如：環境、科技和能源....等問題，能幫助他們做出較好的判斷。

3. 科學史可以增進科學本質

科學史可以強調科學的本質和科學探究精神，可以讓學生去體會”科學的策略”，同時科學史也可以讓學生知道科學家是”真的一群人”，就像你和我一樣，幫助學生打破科學神話和科學萬能主義。

科學史在科學教育中扮演了多重的功能與角色，而許多國外或國內的研究者都認為科學史在學生學習科學上都有許多正面的影響，Oldroyd(1977)也認為利用科學史教學，有下列幾項優點(引自許良榮，1995)：

1. 科學理論的歷史發展均與該理論的邏輯結構相對應；
2. 藉由科學史可以明白科學家面對問題時的思考或實驗探究的歷程，幫助學生建立解決問題的方法；
3. 適當的科學史例子，可幫助學生明白科學家創造理論或解釋事物的過程；
4. 讓學生了解科學理論是持續的改變著，而使學生能接受自己的錯誤；
5. 讓學生了解科學與社會之間的關係，縮小科學與人文的鴻溝。

科學史也是設計教科書不可缺少的成分，如果教科書只是單純地呈現科學假說、事實、理論，讓學生依照著教學的口令，找到題目的解答，Duschl(1990)認為這種”最終形式”的科學教學，有以下的三個危險(risk)：

1. 所有知識地位均為相同：科學理論的結構與其他理論之間的交互作用和關係被省略或簡化了，而使學生把所有的科學知識或理論都一視同仁，沒有角色、地位上的差異；
2. 將科學知識去情境化：學生會認為科學理論與社會、文化是不相容的，科學是獨立運作的產物，不隨社會、文化改變；
3. 科學理論的變化沒有正確的呈現：學生會認為科學知識是一層層的堆疊、累積產生，科學知識是絕對的、只有對和錯，並沒有正確的認識科學本質。

Justi(2000)在科學課室中學習科學，教學者和學習者往往都是只注重科學知

識的傳遞和學習，所以，有些科學教育學家都建議在科學課室中可以教導學生科學的歷史，這樣做的理由是因為：

1. 科學史可以促進學生對於科學的學習興趣(Monk and Osborne, 1997; Justi, 2000)
2. 科學史可以使學生對科學知識有較良好的理解(Monk and Osborne, 1997; Justi, 2000)
3. 以科學史為主軸的討論活動，會讓學生學習批判和反思(Cohen, 1994; Matthews, 1994)
4. 科學史可以增進學生對於科學本質的瞭解(Matthews, 1994; Monk and Osborne, 1997; Justi, 2000)
5. 科學史會使得科學教學更具人性，也讓學生瞭解科學與社會、經濟、科技....等領域交互作用關係(Matthews, 1994; Justi, 2000)
6. 科學史可以幫助教師更瞭解學生素樸的想法和幫助學生進行概念的改變 (Monk and Osborne, 1997; Justi, 2000)。

Justi(2000)也強調科學史融入教學可以增進學生學習科學概念，因為科學史融入教學不只是強調科學概念，還重視這些科學概念產生的過程。

科學和科技是與我們息息相關的，對科學有良好的態度會使得學生願意去親近科學、學習科學、養成良好的科學素養，這些都是我們希望普羅大眾所能擁有的能力，而這些特質可以幫助我們在做一些很重要的決定時，能做出一些好的科學判斷，而不致於被非理性的煽動，做出不正確的決定。

一般人總是認為科學是理性的、恆久的、獨立的，而不願意親近科學，但是綜合以上論述，發現科學是會改變的，與整個社會和文化脈絡相關的、也是有可能會錯的，所以，科學史對科學教育來說是重要的一環，因為它開啟了學生對於科學的另一種認識，縮小學生與科學之間的距離。

二、 科學史融入科學教學

每當談論到將科學史融入現今的課程之中，多數的人都會有所質疑『在授課時間固定的情形下，教科書的內容又是這麼龐雜，授課的時間都快無法完成課程內容了，怎麼還有多餘的時間教授科學史呢？』所以，教學者如何在有限的時間中使用方法，有系統、有效率的在科學課程中呈現出科學史的教材便十分重要。

回首過去科學史融入科學教育的歷史中，首先第一位成功將科學史融入課程中，並影響最為深遠的是 1951 年哈佛大學校長 Conant，他使用科學史個案研究法(historical case study)，編寫了八個以科學發展歷程為主的科學事例，提供不是主修自然科學領域的學生，也有機會接觸基本的科學知識，後來這套教材也成為哈佛大學通識課程的教材之一，也由此開始帶動越來越多的學者投入此方面的課程研究。

美國的 Project 2061 專案資源書 Bench-marks for Science Literacy (AAAS, 1993) 中以強調科學史教材對於科學學習的重要性，建議在科學課程改革中應納進科學史教材，不過在此專案資源書中也強調，教師可在課程中自行加入科學史材料，以符合教學內容與教學目標，且並非將所有課程均以科學史為導向。

Wandersee and Roach(1998)提出”互動式歷史小故事”(Interactive Historical Vignettes)的教學方法，希望可以透過有效率的利用時間和空間，每周上一次，一次 10~15 分鐘，讓學生能有較持久且長期記憶的學習效果，這個教學方法的流程包括：

1. 先選定一位科學家，並閱讀有關此科學家的故事
2. 獲取歷史給予此科學家的多面觀點介紹
3. 選擇一件有關此科學家的中心事件，並引導出科學和科學本質
4. 以標準的格式撰寫此互動歷史小故事
5. 讓學生發表、預測故事發展和結果
6. 進行討論。

透過互動式歷史小故事讓學習不再只是知識的累積，而是透過一種科學過程的呈

現和互動的歷程，讓學生進行有意義的學習。

另外，國內學者洪振方(1997)認為，科學課程中最好的教材就是讓學生有機會去經驗到知識的發展，去分析”who、when、where、what、how、why”等問題，告訴學生真實的故事：科學的發展是歷經一次又一次的挑戰，一次又一次的重建，這樣的過程就在科學史中可以發現，科學史就是我們故事的題材。

科學史能幫助學生澄清另有概念，科學知識發展的過程更能幫助學生理解較為抽象的科學知識，建構正確的科學理論架構(Padill & Furio-Mas, 2008)。綜觀各學者將科學史融入科學教育之中，方式有很多種，我們大致可分為科學史融入教學內容中和科學史融入教學活動中，分別敘述如下：

科學史融入教學內容的編寫方式可分為『附加式』和『整合式』兩種(Matthews, 1994)。『附加式』(add-on approach)以教科書概念為主體，先進行教科書內容教學，再將科學史的內容以增加單元方式進行教學，亦即教科書內容和科學史內容是獨立、分開的，這種形式的教材是屬於補充教材。『整合式』(integrated approach)以科學史歷史發展的順序對科學概念的影響為主體，將科學史內容和教科書內容相結合，當老師在進行科學史的教學時，也是同時在教授教科書上的內容。

洪振方(1997)指出科學史融入教學活動的方式也很多，也讓科學史的教學方法更多元，能針對不同的學習者呈現不同的教學方式，其方法有下列幾種：

1. 扮演科學家，重現當時科學發展時的情境。
2. 戶外科學參觀活動，可參觀科學歷史遺跡、博物館和科學學習場所。
3. 重新操作科學史上一些重要的實驗。
4. 閱讀科學家傳記。
5. 科學家故事和科學書籍的寫作。

以上這些方法可視學生程度、教學目標、課程內容....等因素，靈活運用於設計科學史融入科學教學內，但是，在設計上應避免過多的科學家人名、名詞或科學內容知識，干擾學生學習，也增加了學生的認知負荷，這也是需多加注意的

地方。

綜合以上文獻可知，科學史融入科學教學中，對於學生學習科學知識有正向的幫助，但並非所有科學課程都要融入科學史，可以根據教學目標與教學內容做篩選。此外，科學史並不是只是單純的敘述，在其內容上應包含了科學概念、科學方法或科學本質等議題，用有系統的方式，引導學生學習與討論，這才是科學史融入科學教學最重要的功能。

在本研究中，以『附加式』的方式將科學史與建模教學相結合，在進行建模教學時，以增加補充教材方式進行教學，讓熱和熱傳播的科學史成為課程內容的一部分。

第四節 熱的另有概念

熱與我們人類的生活息息相關，最早的人類會用打火石敲擊產生火花、燒烤食物或陶器....等，2500 年前，中國認為物質由金、木、水、火、土組成；古希臘則認為自然萬物由水、火、土、氣組成。自然科學溯源於古希臘，十五世紀興起於歐洲，十六、十七世紀，英國人培根大力提倡「科學方法」，即通過實驗、列表、比較、排除、歸納而逐步上升到公理，奠定了西方科學嚴謹的研究方法和傳統(賴紹榮、周更生，2004)。所以，一直等到了十七世紀末，才有關於”熱”的科學研究與探討，對於「熱」的本質展開了研究和爭論。

首先德國斯塔爾教授提出熱是一種燃素(phlogiston)，後來荷蘭波哈維教授甚至說熱是一種物質，熱是存在於容易燃燒的物體中的一種物質，可藉由燃燒釋放出來(Gino,2002 田靜如譯)。另外一派是虎克、牛頓....等人都認為熱是粒子的運動，但是這些成分究竟是什麼，還是一個謎。

一八 00 年，拉瓦錫用實驗推翻燃素說，證明熱是一種物質，他認為熱是一種流體，這種流體無色、無味、無重量，且能由一個物質移動到另一個物質，他把這種物質稱為「卡路里」(calorie)，在拉瓦錫的《化學基礎》一書中，還把熱

列在基本物質之中。

真正對熱量測量工作有巨大貢獻的是英國學教授布雷克，他不僅成功地釐清了溫度和熱量這兩個概念，同時提出相變潛熱的概念，並暗示出不同物質具有不同的容量，而他的學生爾灣更是正式地提出熱容量的概念(賴紹榮、周更生，2004，p.10)。

倫福伯爵在慕尼黑兵工廠監督監製加農炮，在大炮鑽孔時，發現大砲溫度會不斷上升，倫福擔心炮筒的卡路里會不斷的散失到空氣中，若炮筒散失卡路里，”熱”會一直減少，等炮筒冷卻，這些散失卡路里的炮筒，就會變成是一堆廢鐵。但是，後來炮筒仍然是原來的炮筒，並沒有改變，倫福因而斷言，熱是因摩擦而產生，由鑽動的機械和炮筒摩擦產生，熱不是物質而是來自運動(賴紹榮、周更生，2004，p.10)。一七九九年英國化學家戴維在真空容器中進行摩擦的實驗，發現即使兩塊冰相互摩擦，也會使冰融化成水，所以他認為因為摩擦進而引起物體微粒的振動，而這種微粒的振動就熱。

最後，英國物理學家焦耳利用實驗，他在一個絕熱的水槽中裝水，中間裝有旋轉的葉片，然後讓一鋼錘落下，帶動葉片旋轉，由於旋轉的葉片和水摩擦生熱，讓水和絕熱水槽溫度都上升，利用機械能和熱能的轉換，成功的找出『熱功當量』和功能互換原理，奠定了「能量守恆定律」，為熱力學的發展確立基礎。

熱是一種傳送中的能量，物體的原子或分子透過隨機運動，把能量由較熱的物體傳往較冷的物體。能量也有各種不同的形式，它們可以通過一定的方式互相轉換，例如：火力發電廠將熱能轉換成電能、汽車行進是將熱能轉換成動能。

熱與溫度是不同的，熱是能量的一種，是因兩點之間的溫度差而造成能量的傳遞，使兩點之間的溫度達到相同；溫度是物質內組成粒子的平均動能之表現。而熱的傳播方式有三種，分別為：

1. 熱傳導：是藉由分子或原子的震動，將能量傳導出去，巨觀而言，物體本身是靜止不動的；但以微觀而言，物體的溫度和組成分子的平均動能

成正比，溫度越高，分子速度越大。以傳導的效能來說固體、液體、氣體都可傳導熱，但效率以固體最好。

2. 熱對流：是由於流體受熱體積膨脹、密度發生改變，而產生流體流動的情形，熱對流現象又可分為二種，自然對流：流體的運動是純靠流體內部密度的不同而產生對流現象；強制對流：經由外力的驅動引起流體的流動，熱也藉由流體的對流，讓熱由高溫傳向低溫。
3. 熱輻射：是任何物體在超過-273度C(絕對零度)以上時都會放出熱輻射；輻射在真空中以光速前進，輻射熱能係以電磁波方式放出，所以兩物體之間無需接觸，兩者間也無需有介質。

Jones, Carter 和 Rua(2000)以 61 位 15 年級的學生為研究對象，利用紙筆測驗、繪製概念圖、卡片分類任務和訪談，探討學生熱和熱傳播的研究，從研究中可以發現學生對熱的概念：

1. 熱是由物體產生的，例如：火爐、火、微波、電流....等。
2. 熱會產生物質，這些物質包括了：煙、蒸氣、太陽能、融化的金屬、灰燼....等。
3. 有些事件是和熱有關連的，例如：夏天、爆破、口渴、煮飯....等等。
4. 有些物體是和熱有關聯的，例如：熔岩、電燈泡、扇子、蒸氣....等等。
5. 經驗的影響或是擬人化的影響，例如：學生會讓熱扮演一個主動、積極的角色，因為有熱，才會有其他的物質、事件發生。

而學生在熱對流方面的想法又可以分成：

1. 有熱傳送的流，這個流會往下流動，然後會對流。
2. 熱會在水中利用流動的方式傳送熱。
3. 熱對流就是熱的蒸發，學生對於熱對流會有傳送流和物質狀態兩個並行的概念。

Chiou & Anderson (2009)以 30 位大學物理系的學生為研究對象，利用半結構式的訪談，誘使學生將其內在的表徵做具體化的呈現，研究者將內在的心智模型

(mental models)是其陳述的模型(expressed models)的來源，藉著陳述模型來建構學生的心智模型，以探討學生對於熱傳導概念的想法。在此研究中，找出參與者對於熱傳導過程的概念，共可分為五類：

1. 行進(marching)：熱傳導的過程是一步步行進，熱進入物體之後，會一個個前進，有規則的到達另一頭。
2. 汨濫(Flooding)：熱傳導的過程是逐步升起汨濫，熱進入物體之後，會突然但平均的分散在物體中。
3. 傾斜(Gradient)：熱傳導的过程是傾斜的樣式，熱進入物體之後，熱會散亂的往前急衝，傳送的熱會沿著物體而下降。
4. 傾斜--行進(Gradient--marching)：熱傳導的过程在不同的階段會有不同的方式，一開始，熱會以傾斜方式傳送，接下來會以行進方式傳送熱。
5. 傾斜—汨濫(Gradient--flooding)：熱傳導的过程在不同的階段會有不同的方式，一開始，熱會以傾斜方式傳送，接下來會以汨濫方式傳送熱。

另外，在此研究中，研究發現參與者對於熱的本體信念，共有三種：

1. 物質(Substance)：熱是存在的實體。
2. 能量(Energy)：熱是沒有質量的流體。
3. 交互作用(Interaction)：從分子碰種造成熱的現象。

Chiou & Anderson 將熱的本體分類和熱傳導的過程結合，以此來探討學生的心智模式，結果發現有高達 46.7%的學生擁有『能量--傾斜』的錯誤模式，只有 16.7%的學生擁有正確的『交互作用--傾斜』科學模式。

從 1970 年代開始，就開始有一些學者開始研究學生對於”熱”這個概念的理解(Clough & Driver, 1985; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Lewis & Linn, 1994; Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000; Wiser & Amin, 2001)，Chiou & Anderson (2009)整理相關文獻後，對於熱有 4 種不同的觀點和架構：

1. 熱被視為物體本身的性質。
2. 熱被視為是固體的物質，熱素(hotness)是一種粒子，會從熱的物體移動到冷的

物體；相反的，冷素(coldness)會從冷的物質移動到熱的物質。

3. 熱被認為是一種想像的實體，卡路里流(caloric flow)，它會從高溫度的物體增加到溫度較低的物體。
4. 熱被認為是熱能的轉換，是所有粒子的總動能的展現。

Vosniadou(1994)認為個體在幼小時即建立了個人科學的素樸架構理論，形成了個人的本體論和認識論，這個架構理論的預設(presuppositions)會成為一種限制條件，會影響個體去解釋、理解他們所觀察到的現象和接受到的科學知識。

Vosniadou 以示意圖的方式呈現出孩童對於熱的最初模型，熱(hotness)和冷(coldness)是物質的特性，最初的預設會影響孩童解釋他們觀察到關於熱的現象。

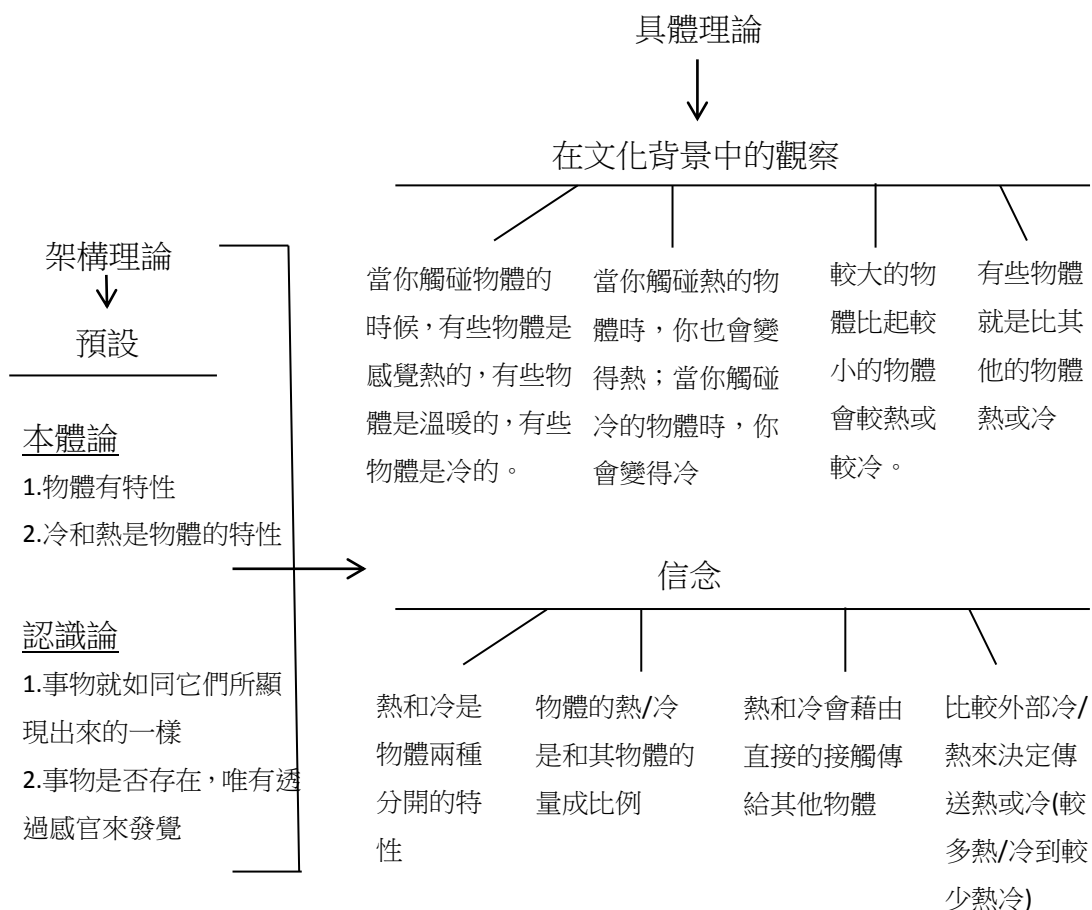


圖 2-4-1 熱的最初心智模型示意圖(Vosniadou, 1994)

Vosniadou 研究國小學童對於熱的心智模式，她發現有些學童會從他最初的

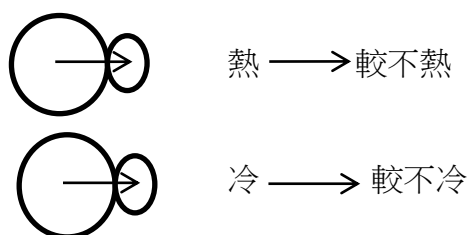
模型發展到與科學模型一致，這樣的過程是逐漸修正他原先架構理論的預設和信念。教學前的起始模式是存在「冷」、「熱」兩個作用物，且須經由直接接觸傳播至另一個物體；不過，經教學後，會產生以下四種綜合模式：

1. 兩個作用物模式，熱度／冷度不須直接接觸也能傳播
2. 兩個作用物模式，熱度／冷度有數量和強度上的差異
3. 熱傳播概念
4. 熱傳播概念，但有數量和強度上的差異

這四種心智模式，從「冷」、「熱」兩個作用物轉變為「熱」一個作用物，並且開始考慮冷和熱存在數量和強度上所造成的影響。

甲.起始模式

- 1.兩個作用物，熱度／冷度須直接接觸傳播



乙.綜合模式

- 1.兩個作用物模式，熱度／冷度不須直接接觸傳播



2. 兩個作用物模式，熱度／冷度有數量和強度上的差異



3. 熱傳播概念



4. 熱傳播概念，但有數量和強度上的差異



圖 2-4-2 孩童對熱的心智模式 Vosniadou (1994)

Reiner、Slotta、Chi 與 Resnick(2000)整理、分析文獻，找出有關熱的另有概念，並且分成四大類：

1. 熱和冷是物體天生固有的性質：

Guesne(1980)研究發現九歲的學童認為熱和冷是熱物質和冷物質所造成的。Erickson (1980)、Tiberghien (1979)和 Engel (1982)研究了較大的學童(約 12~16 歲)，有些學童認為熱是獨立存在於物體內，他認為熱是一種卡路里(caloric)，所以熱有兩種不同的具體化機制，一種是熱是物體與生俱來的；一種是熱是物質的材料。

2. 冷是一種不同的物質而不是比較少熱

Engel、Clough、Driver (1986)、Erickson (1979)和 Tiberghien (1979)的研究中都發現學童把”冷”視為是一種物質，把熱和冷都視為是一種不同的物質。

3. 熱和冷會流動，且會有明確的物體位置。

熱和冷是一種物質且它們存在於不同的位置。Reiner (1982)提出學童認為熱需要一段時間才能到達另一端，且必須接觸物體，不能傳太遠。Erickson (1979)的研究發現，提出學童對於熱的素樸想法有：

- (1)比較大的棒子傳熱比較快，因為他有比較大的空間可以傳熱。
- (2)蠟融化比較快是因為它是軟的物質而且它比較容易讓熱穿越。
- (3)金屬比起木頭或糖更容易熱，是因為金屬較不容易讓空氣進入讓金屬冷卻。

4. 熱和冷可以累積也可以被控制

Tiberghien (1979)的研界中把鐵湯匙和塑膠湯匙擺在同一熱水中，許多參與者都認為鐵湯匙比起塑膠湯匙，它可以累積比較多的熱。Stavy 和 Strauss (1983)把 2 杯 10 度 C 的水倒在一起，許多研究者會說倒在一起的水溫度會變成 20 度 C。

Wiser(1988)研究發現學生認為熱由熱源發散出來，溫度高發散的熱較強，溫度低發散的熱較弱，但一般的物體因其溫度不夠，熱度不強，使得熱無法散出，就不會感覺物體會熱，Wiser & Amin(2001)更進一步指出學生對於熱的概念是由生活經驗中所建立的，與科學概念不相符，所以難以建立熱的科學概念。

Chi(2005)指出學生可以學習到在銀棒中熱傳導的速度較木棒中快，但並不表示學生能了解到內部的組成成分有怎麼樣的行程而構成外部的可觀察到的模式，在先前的研究中(Chi, 1994、2003)發現，學生對於熱的迷思概念在於把熱這個概念的本質誤放於在『實體』(entities)的分類中，而不是放在『過程』(processes)的分類中。例如：學生認為熱是一種實體，可以包含於物體內；或是熱就是一種具體的物體，是一種熱粒子或冷粒子，所以，學生認為在熱傳導中，溫度高的一端有”熱”或”熱粒子”，溫度低的一端較少熱或有”冷粒子”，熱傳導的過程即是熱或熱粒子往較冷的一端移動；或是冷粒子和熱粒子交換位置所導致的結果。

Chi(2005, 2008)認為熱應該是屬於『過程』屬性內，但在過程屬性中又可分為直接(direct)和突現(emergent)，若談論到熱是一種能量，熱會從高溫的物體傳向低溫的物體，這樣的想法即是把”熱”這個概念分類到過程屬性中的直接過程；若是談論到熱會讓原子或分子動得更快，動得快的原子或分子會碰撞動的較慢的原子或分子，使得動得慢的原子或分子加快速度，藉以傳播熱，這樣的想法即是把”熱”這個概念分類到過程屬性中的突現，因此，學生對於熱概念改變的本體屬性從『實體』轉換成『過程』是困難的，從過程屬性中的『直接過程』轉換成『突現』也是困難的。

綜合以上所述，熱和熱傳播的現象或例子在生活中十分常見，學生以巨觀熱的現象來解釋熱的微觀行為，且熱迷思概念的轉換也較為困難，因此，學生很難對熱和熱傳播的迷思概念進行概念改變。所以，在本研究中以科學史建模教學為教學方法，一方面使用熱概念的發展歷史挑戰學生的想法，讓熱和熱傳播的迷思概念有機會進行概念改變；另一方面使用建模教學對巨觀現象的研究與探討外，另外還要對於熱傳播現象背後的微觀機制做更進一步的解釋與釐清，以建立學生正確的科學概念。

第參章 研究方法

本章將針對研究設計、研究對象、研究工具、研究流程、資料處理和分析，在本章中加以呈現和說明。

第一節 研究設計

為探討科學史建模教學對於國小五年級學生在學習『熱傳播』概念的影響，本研究將學生依不同學習教材分為『對照組』、『建模組』和『科學史建模組』三組進行實驗教學。三組學生在教學前都接受熱傳播概念前測、熱傳播建模能力前測和科學模型本質前測，以瞭解學生在教學前的先備知識和已有的建模能力。在教學後，進行熱傳播概念後測、熱傳播建模能力後測和科學模型本質後測，再經過三周後，實施熱傳播概念延宕測和熱傳播建模能力延宕測。

本研究比較不同的教學法下，三組學生的概念學習成效、建模能力和科學模型本質分數進行量的分析，討論概念學習成效與建模能力之間的相關性，再進行質的研究來了解學生在教學前、教學後和延宕學生概念改變的模式與百分比。

第二節 研究對象

本研究的對象可分為二大部分：

一、 預試對象

在研究進行前，為了修正試題、改進研究工具，共有 2 組預測對象。

第 1 組預測對象為台北縣板橋市某國小六年級三個班級共 88 人，且已學過熱傳播單元，請學生填寫”半開放式”的熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗，亦即第一階層為選擇題，第二階層寫下理由，再由其中挑選 9 名學生進行訪談，以了解學生真正想法。

第 2 組預測對象為台北縣板橋市某國小六年級三個班級共 90 人，且已學過熱傳播單元，請學生填寫熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗，亦即第一階層為選擇題，第二階層為理由的選擇題，與熱傳播建模能力分析問卷，在修正與改進之

後，將作為正式的研究工具。

二、 研究對象

本研究對象為台北縣板橋市某國小五年級的三個班級，第一班人數為 30 人，但有 2 名學生因故沒有參與教學活動，實際參與人數為 28 人，第二班人數為 29 人，但有 1 名學生因其智力狀況無法作答，實際參與人數為 28 人，第三班人數為 29 人，但有 1 名學生因故沒有參與教學活動，實際參與人數為 28 人。

本研究在五年級下學期施測，三個班級升上五年級時是採用四年級的成績用 S 型的方式分班，所以三個班級的平均差異不大，研究者將三個班級隨機分派為『科學史建模組』、『建模組』和『對照組』，三組皆由研究者親自教學，以去除因教學者不同而影響研究結果的因素，資料如下：

表 3-2-1 研究對象基本資料

組別	總人數	男生	女生
科學史建模組	28	14	14
建模組	28	15	13
對照組	28	15	13

第三節 教學與教材設計

一、 熱與粒子觀的單元內容

本研究針對『熱傳播』這個單元，配合自然與生活科技領域教材與教學進度，將此單元分成『熱傳導』、『熱對流』、『熱輻射』三個活動進行教學，希望學生能先建立三個子概念的科學模型，每一子概念的科學模型又可分為五個面向：範圍、成分、結構、行為、巨觀行為和微觀行為，再由此三個子概念科學模型組合成熱傳播的科學模型，所以，學生在先前學習的教材中，是否已有足夠的先備知識可以在學習本單元時，來幫助學生建立有關於熱傳播的模型呢？從表 4-3-1 所示，學生在三年級就開始從日常生活中的現象討論中，學習到有關熱的概念，在四年級就已經接觸到較為抽象的『能量』這個概念，也開始慢慢地認識微觀世界，在五年級對於熱、能量和粒子有更深入的學習，這些都是與熱傳播有關的先備知識，

而此內容都是學生在學習熱傳播單元時已學習過的教材，此教材內容有助於學生發展熱傳播的科學模型。

表 3-3-1 熱與粒子觀的單元內容

年級	單元名稱	教科書內容敘述	概念
三年級	神奇的水	把水加熱，水會變少	熱
四年級	鹽到哪裡去了	鹽加入水中，經攪拌均勻的分布開來，而看不見鹽的顆粒。 雖然鹽溶解看不見，但鹽還是存在。	粒子觀
四年級	空氣的秘密	任何東西只要裡面有微小的隙縫，都會有空氣。	粒子觀
四年級	食物與能源	食物可以提供身體活動所需的能量。 能源可以提供機器的動力來源，例如：太陽能、石油、電。	能量
五年級	觀測太陽	太陽是一顆會發光發熱的星球。 太陽的光和熱是地球主要的能量來源，例如：太陽能板、太陽能熱水器。	熱 熱能
五年級	熱對物質的影響	熱會改變物質 大部分固體、液體、氣體受熱後體積會膨脹，溫度降低時體積會縮小。	熱
五年級	熱對物質的影響	一塊方糖是由許多糖粒子組成的。用力敲擊方糖，方糖會碎裂成許多小顆粒，把敲碎的方糖放入水中，會分解成更小的，眼睛看不到的糖粒子。	粒子觀

二、 建模教材設計

本研究針對『熱傳播』這個單元，配合自然與生活科技領域教材與教學進度，將此單元分成『熱傳導』、『熱對流』、『熱輻射』三個活動進行教學，共分為五節課，如表 3-3-2 所示(詳見附錄四)，另外，從表 3-3-3 中可進一步知道科學史建模教學組、建模組和對照組，三組的教學內容都是一致的，每一節課進行的時間、所欲達成的教學目標和熱傳播的學習內容大致上都相同，教學的概念圖，呈現教師在進行教學時，幫助學生學習和建構有關於熱傳播的科學概念模型，如圖 3-3-1 所示，詳細的教學內容以第一~二節的熱傳播子概念--『熱輻射』的教學為例，

其教學內容唯有因教學法所強調的特點不同而會在教學中有不同的特點，如表 3-3-3 所示。

表 3-3-2 三種課程規劃

教學特點	科學史建模組 科學史+建模教學法	建模組 建模教學法	對照組 一般教學
第一~二節	熱傳導	熱傳導	熱傳導
第三~四節	熱對流	熱對流	熱對流
第五節	熱輻射	熱輻射	熱輻射

表 3-3-3 教學內容與主要教學概念

	科學史建模組	建模組	對照組	教學概念
第一節	模型選擇 從科學史中找出 4 種對於熱傳導的不同解釋，從中選擇一種模型，解釋自己的生活經驗。	模型選擇 討論日常生活中熱傳導的現象，並試著解釋，建立熱傳導的經驗模型。	討論日常生活中熱傳導的現象，並試著解釋。	1.熱傳導現象發生在固體、液體、氣體都會，以固體為主 2. 熱是能量 3.藉由粒子碰撞傳遞熱
	模型建立 從所選的模型中，建立熱傳導的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和圍觀行為。	模型建立 藉由討論問題，建立熱傳導的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構和巨觀行為和圍觀行為。	藉由討論問題，說明科學中對於熱傳導的解釋。	
	模型效化 進行實驗 1，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構和巨觀行為和圍觀行為。	模型效化 進行實驗 1，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構和巨觀行為和圍觀行為。	進行實驗 1，討論實驗結果和熱傳導的解釋。	
第二節	模型效化 進行實驗 2，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構和巨觀行為和圍觀行為。	模型效化 進行實驗 2，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構和巨觀行為和圍觀行為。	進行實驗 2，討論實驗結果和熱傳導的解釋	1 熱傳導的效果會受材料影響。 2.熱由高溫傳向低溫 3.傳導材料可分為良導體和不良導體
	模型應用 應用所建立熱傳導的科學模型，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	模型應用 應用所建立熱傳導的科學模型，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	應用對熱傳導的科學概念，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	

註：建模組與對照組不同處，使用藍色作為標記；科學史建模組和建模組不同處，使用紅色作為標記。

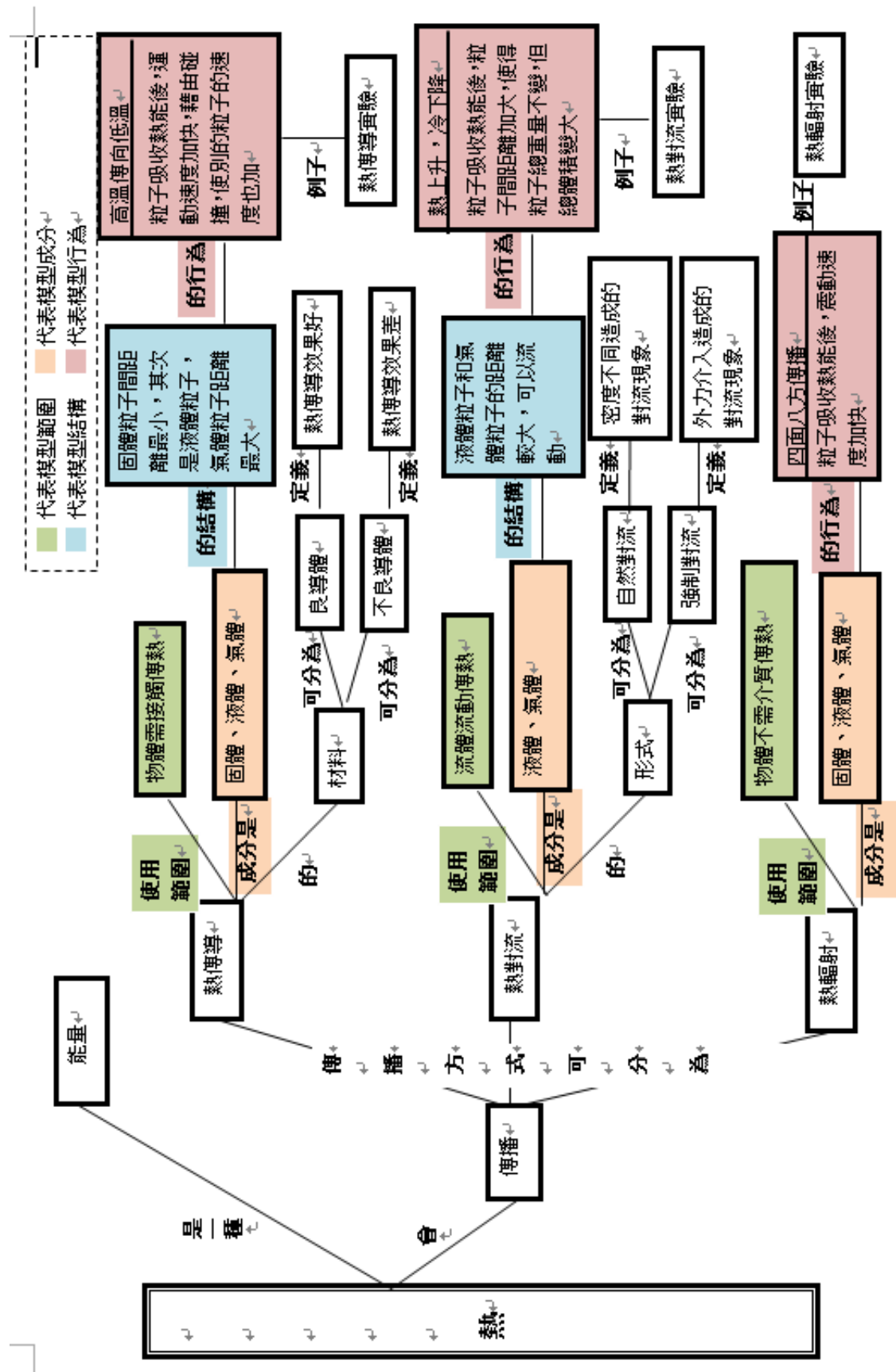


圖 3-3-1 熱傳播模型概念圖

在本研究中所定義的模型是參考 Buckley(2004)，Hestenes(1993，2006)和 Hallon(2006，1996)對於模型的定義，發展適合本研究中所要建立的概念模型--熱傳播模型的面向。所以，將模型分成五個面向：

- (1) 範圍(domain)：Hallon(2006，1996)認為範圍是限制此模型所要表達的要素，表現出結構上和(或)行為上的特點，以挑選適當的模型。在此研究中，研究者把範圍的定義為在日常生活中此模型使用的時機和其他模型不同的特點，也就是在巨觀維度中此模型使用的條件。
- (2)成分(composition)：Hestenes(1993，2006)認為成分是模型系統內部的物件；Hallon(2006，1996)也認為成分是由科學的要素和這個模型顯著的因素所組成，進而形成一個完整的概念系統。在此研究中，研究者把成分定義為在巨觀維度中組成此模型的基本物件。
- (3)結構(structure)：Buckley(2004)認為結構是成分之間的空間關係，Hallon(2006，1996)認為結構是能夠研判這個模型中各種因素間的交互作用關係，又可分為幾何的結構、相互作用的結構、行為的結構。在此研究中，因是在說明微觀粒子在空間上的分布與排列，研究者把結構定義為粒子之間在空間組成上的關係。
- (4)行為(behaviour)：Buckley(2004)定義行為是動態的過程和結構的改變。在此研究中，研究者沿用 Buckley 對於行為的定義，研究者把行為定義為描述動態過程和結構改變的情形，又可分為一般日常生活中可觀察到的『巨觀行為』和說明粒子運動的『微觀行為』。

在本研究中，此五個面向可分別代表說明模型的巨觀維度和微觀維度，如圖 3-3-2 所示，『範圍』、『成分』和『巨觀行為』屬於科學概念模型中巨觀的維度，巨觀維度的內容是與生活經驗相結合，可用肉眼測量與觀察，在本研究中是在說明在日常生活中此模型使用的時機，組成此模型的基本物件和一般日常生活中可觀察到的動態過程和結構改變的情形；『結構』和『微觀行為』屬於科學概念模型中微觀的維度，微觀維度的內容是微小不可見，在本研究中是在說明粒子的結構和粒子運動。

此模型的五個面向可以明確的讓學生知道巨觀維度中模型使用的範圍和時機、構成此模型的成分以及動態過程，微觀維度中粒子的結構和粒子的行為，以此五面向來建構出科學概念模型較適合國小以生活經驗和觀察為出發，進一步認識粒子微觀世界的科學課程內容。

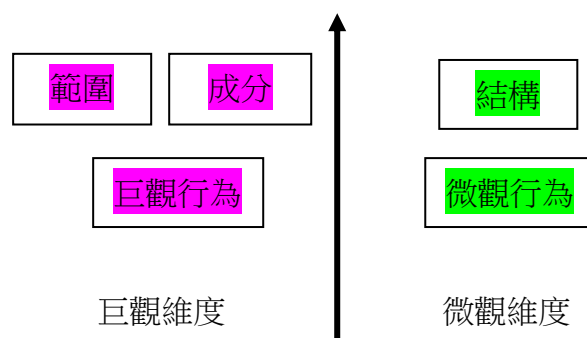


圖 3-3-2 模型五面向的分類

在本研究中，研究者先建立三個子概念模型，分別為熱傳導模型、熱對流模型、熱輻射模型，最後再將此三個次模型組合成熱傳播模型，每一子概念又可分為五個面向：範圍、成分、結構、行為、巨觀行為和微觀行為，內容如表 3-3-4 所示，其中熱傳導模型的『結構』面向與熱對流模型的『結構』面向內容相同，都是在說明固體粒子間距離最小，其次是液體粒子，氣體粒子距離最大，熱輻射模型因只討論到單一粒子的行為，所以就沒有『結構』面向。

在本研究的建模教學是以邱美虹(2007，2008)的建模歷程做為建模教學和科學史建模教學的建模方式，邱美虹的建模歷程，是基於『科學與建模實務』的考量，以 Halloun(1996)的建模歷程為基礎，輔以『循環作用觀點』，將建模歷程調整為六種序列步驟：(一)模型選擇 (二)模型建立 (三)模型效化 (四)模型應用 (五)模型調度 (六)模型重建。

但因本研究的研究對象為國小五年級學生，考量學生學習情形，再將建模歷程和能力指標兩相對照過後，將建模歷程調整成四個步驟，如表 3-3-5 所示：

(一)模型選擇：從多樣生活經驗選擇適合的解決方式，來建立自己的想法，可對應到能力指標 1-3-4-1 能由一些不同來源的資料，整理出一個整體性的看法。

- (二)模型建立：將選擇模型中的成份與結構做再次的確認，做歸納與整理，建立自己的科學模型，可對應到能力指標 1-3-4-2 辨識出資料的特徵及通則性並做詮釋，這樣的過程即是在建立自己的科學模型。
- (三)模型效化：用一些檢測和生活經驗來討論和驗證模型的合理性與適用性，可對應到能力指標 1-3-1-1 、1-3-4-3 、1-3-4-4 、1-3-4-9、 2-3-1-1 都是經由實驗或討論來驗證自己的科學模型。
- (四)模型應用：用此模型類推到相似問題情境，解此解決問題，強化所建立的模型，可對應到能力指標 3-3-0-3 發現運用科學知識來作推論，可推測一些事並獲得證實。

表 3-3-4 三個子概念模型的五個面向

模型	熱傳播模型		
	熱傳導模型	熱對流模型	熱輻射模型
範圍 (domain)	物體需接觸傳熱	流體流動傳熱	物體不需介質傳熱
成分 (composition)	固體、液體、氣體	液體、氣體	固體、液體、氣體
結構 (structure)	固體粒子間距離最小，其次是液體粒子，氣體粒子距離最大	液體粒子和氣體粒子的距離較大，可以流動	無
巨觀行為 (macro behavior)	高溫傳向低溫	熱流體上升、冷流體下降補充	往四面八方輻射
微觀行為 (micro behavior)	粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使其他的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能	粒子吸收熱能後，粒子間距離加大，使得粒子總重量不變，但總體積變大，產生流動，藉以傳播熱能	粒子吸收熱能後，粒子震動加快，藉以傳播熱能

表 3-3-5 建模歷程與能力指標的對應表

建模能力	內容定義	對應能力指標
模型選擇	從個人的多樣生活經驗中加以分類，選擇適合的解決方式，也就是選擇模型，來建立自己的想法。	1-3-4-1 能由一些不同來源的資料，整理出一個整體性的看法
模型建立	將選擇模型中的成份與結構做再次的確認，做歸納與整理，根據這些想法，建立自己的科學模型。	1-3-4-2 辨識出資料的特徵及通則性並做詮釋
模型效化	用一些檢測和生活經驗來討論和驗證模型的合理性與適用性。	1-3-1-1 能依規畫的實驗步驟來執行操作 1-3-4-3 由資料顯示的相關，推測其背後可能的因果關係 1-3-4-4 由實驗的結果，獲得研判的論點 1-3-4-9 由實驗的結果，獲得研判的論點 2-3-1-1 提出問題、研商處理問題的策略、學習操控變因、觀察事象的變化並推測可能的因果關係。學習資料整理、設計表格、圖表來表示資料。學習由變量與應變量之間相應的情形，提出假設或做出合理的解釋
模型應用	用修正完後的模型，類推到相似問題情境，解此解決問題、找出問題答案，強化所建立的模型	3-3-0-3 發現運用科學知識來作推論，可推測一些事並獲得證實

為了讓接受科學史建模教學組和建模教學組的學生，能了解建模歷程中各階段的名稱及其所代表的內容和意義，所以此兩組的學生會在正式施測科學史建模教學和建模教學之前的一個單元--『力的世界』，就接受建模歷程的教學方法，以減低學生對於不熟悉名詞的陌生感和恐懼感，減輕學生的認知負荷，以免此因素影響到研究結果的呈現。

二、建模教學的輔助工具：建模能力分析指標

張志康(2009)綜觀各家學者對概念認知能力層次的分類方式，以 Biggs 與 Collis(1982)所提出的『觀察學習結果架構(Structure of the Observed Learning

Outcome)』為基礎架構，再配合『Hempel(1958)的科學理論結構』與六種分類層次的想法，發展出『建模能力分析指標』(Modeling Ability Analytic Index) (張志康與邱美虹，2009)，將學生建模能力分成了 Level 0~5，但在相關研究中(張志康，2009) 國小學生的建模能力多落在 1~3 之間，且對照國小學生能力指標後，發現在國小階段期望學生能發展的能力能對應到 Level 3，如表 3-3-6 所示，Level 0 是無法回答相關因素，Level 1 是可回答一種與理論相關因素，Level 2 是可回答二種以上與理論相關因素，所以 Level 1 ~2 可對應到能力指標 1-1-1-2-4 和 3-2-3-9，Level 3 則是可答出因素間的交互作用關係，可對應到能力指標 1-1-4-1-9、1-3-4-3-9 和 1-3-3-2-9，但在本研究中期待學生能透過建模教學發展學生更高的建模能力，訂定出在國小階段中可期望學生發展出各階段的建模能力分析指標，將學生建模能力分成了 Level 0~4。

表 3-3-6 建模能力與能力指標的對應表

建模能力	對應能力指標
Level 1 ~2	1-1-1-2-4 察覺物體有些屬性會因某變因改變而發生變化(如溫度升高時冰會融化) 3-2-3-9 相信現象的變化，都是由某些變因的改變所促成的
Level 3	1-1-4-1-9 察覺事出有因，且能感覺到它有因果關係 1-3-4-3-9 由資料顯示的相關，推測其背後可能的因果關係 1-3-3-2-9 由主變數與應變數，找出相關關係

訂立本研究的建模能力後，研究者引用『建模能力分析指標』 (張志康與邱美虹，2009)並將其修改，如表 3-3-7 所示，以期在研究中更精確的了解每階段的建模能力，每一建模步驟會有相對應的判斷標準，可以判對答題者在這建模步驟中的熱傳播建模能力。

表 3-3-7 熱傳播建模能力分析指標(修改自 張志康與邱美虹，2009)

建模歷程	定義	答題反應層次				
		Level 0 經驗	Level 1 單一因素	Level 2 多重因素	Level 3 關係層次	Level 4 延伸關係
		無法反應相關且正確因素	反應出一種與理論相關的因素	反應出兩種以上與理論相關的因素，但無論及因素間的關係	反應出因素間的關係、交互作用或影響	將多個因素關係間的概念作進一步延伸抽向的反應
模型選擇	從熟悉的模型中，選擇出一個合適的模型以解決問題	無指出	指出單一特徵，據此選擇模型	指出兩個以上特徵，據此選擇模型	指出兩個以上特徵之因果關係，據此選擇模型	找出數種因果關係，判斷各因果關係的合適性，據此選擇模型
判斷標準		不知道或都答錯	從經驗中可回答一個熱傳播模型特徵	從經驗中可回答兩個以上熱傳播模型特徵	從經驗中可回答其中一個熱傳播模型的關係	從經驗中可回答熱傳播模型的關係後，再做下一層延伸
模型建立	確認所選模型的相關成份與結構	無確認	確認單一特徵的模型	確認兩個以上特徵的模型	確認因果解釋的模型	確認科學的模型
判斷標準		無法回答出熱傳播名稱和理論內容	可以回答熱傳播中熱傳導、熱對流、熱輻射其中一理論的名稱	可以回答熱傳播中熱傳導、熱對流、熱輻射其中一種以上理論的名稱	正確回答熱傳播理論名稱和理論內容	正確回答熱傳播理論和理論之間的延伸關係
模型效化	利用模型的相關成份進行不同形式的評估，檢驗或修正模型的內部一致性	無利用	利用單一變數作評估，進行模型的效化	利用兩個以上變數作評估，進行模型的效化	利用各變數間的因果關係作評估，進行模型的效化	利用各種因果關係的交互作用作評估
判斷標準		*沒有回答任一條件 *條件不符合情況 答案	可以回答影響熱傳播現象的一個特徵	可以回答影響熱傳播現象的兩個以上特徵	可以回答影響熱傳播現象的出一組的關係	可以回答影響熱傳播現象兩組以上的關係和其交互作用
模型應用	使用已效化的模型解決相似情境的問題	無使用	使用已效化模型中的單一結構解決相似情境的問題	使用已效化模型中的多重結構解決相似情境的問題	使用已效化模型中的關係結構解決相似情境的問題	使用已效化模型中關係結構的交互作用解決相似情境的問題
判斷標準		完全無法理論用理論去解釋新的情境	新的情境可以符合熱傳播理論的某一變因	新的情境可以符合熱傳播理論的一個以上變因	新的情境可以用熱傳導、熱對流、熱輻射其中一種理論說明，並可以說明因素的交互作用	新的情境可以用熱傳導、熱對流、熱輻射回答其中兩種或兩種以上的關係和其交互作用

第四節 研究工具

本研究所使用的研究工具包含熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測驗，熱傳播建模能力試卷前測、後測和延宕測驗以及科學模型本質測驗前測和後測，詳述如下：

一、熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗

本研究的二階層診斷式紙筆測驗試題的設計過程共可分為三階段：

第一階段：收集資料

先找出教科書在『熱傳播』單元所呈現的概念，對照模型的五個面向之後，製作出關於熱傳播的概念圖，如圖 3-3-1 所示。接下來再收集相關文獻中有關熱傳導、熱對流、熱輻射的另有概念，先製作成一份”半開放式”的熱傳播概念二階層紙筆測驗，請第 1 組預測對象填寫，第一階層為選擇題，第二階層讓學生寫出原因，藉此收集學生的另有想法，最後，挑選 9 名學生進行訪談，將有疑慮的答案請學生再做解釋與說明，最後將所有學生所寫出的答題理由做整理與分類，例如 14-3 題：判斷物體在常溫狀態下會不會放出熱量的依據是什麼？將學生在此題的答題理由做整理與分類，找出其中心想法，如表 3-4-1 所示，並將其作成選項：不須介質，熱就能傳播；物體要在燃燒；溫度夠高，才有熱輻射；空氣會傳播熱輻射；要看物體的材質；某些特定的東西會散播輻射熱。

表 3-4-1 答題理由分析

第一層選項對的答題理由：

主題想法	理由陳述	作答人數
輻射定義	不須介質就能傳播熱輻射	10
有溫度	東西都有熱度	5

第一層選項錯的答題理由：

主題想法	理由陳述	作答人數
要達一定的溫度才有熱	不會燃燒，不會傳熱	19
	地球溫度低，不會放熱	13
	溫度低只會吸熱	2
需介質	有空氣才能傳播熱輻射	3
	大氣層能吸收、傳播熱輻射	7
材質	可以燒的東西才會發熱	5
	加熱後不改變的東西	5
特定物質	是恆星	6
	鐵	3
無法判別	熱會傳熱	2
	太陽、地球溫度一樣	2
	水的問題	1
不知道		5

第二階段：製作正式二階層診斷式測驗

以第一階段的半開放式二階層紙筆測驗為主，完成熱傳播概念二階層診斷式測驗，第一階層為選擇題，第二階層則是原因的選擇題，請第 2 組預測對象填寫，將題目中不適宜或語句不清的地方，做再次的修正，在 2-3 題、10-4 題、11-1 題、11-2 題因文字敘述較多，學生建議應搭配圖，以增加對選項敘述的了解，完成熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗(詳見附錄一)。

最後將每一題目所對應的主概念、子概念、次子概念以及其所對應的巨、微觀維度分類，完成熱的命題陳述與雙向細目表，詳細內容如表 3-4-2 所示。

第三階段：信度、效度檢測

試題共由 3 名老師審查，其中一名為高中物理老師，其學識背景為科學教育

博士；一名為國中理化教師，其學識背景為物理碩士，以及一名台北縣國小自然與生活科技領域的輔導員，其學識背景為物理碩士，三位共同審題，就題目的內容、熱傳播的概念和語意表達上進行討論和修正，以建立專家效度；修正完的試題，再由預試對象進行信度檢，Cronbach's Alpha=.702。

二、 建模能力分析問卷

為了瞭解學習者在教學前、後和延宕建模能力進步的情形，研究者設計一份『建模能力分析問卷』（詳見附錄二），共分為四大題，共 18 小題，一方面因考量受試者為國小 5 年級學生無法一直以簡答題的方式作答，難度太高；另一方面因建模能力分析問卷是採全體作答，簡答題有批改上的困擾，所以作答方式以學生較為熟悉的填空題、勾選題、選擇題和簡答題的方式，讓受試者作答並寫出自己的想法，題目分別對應到模型選擇、模型建立、模型效化、模型應用，此份問卷的評分者信度=.943。

在計分方面，改編自張志康、邱美虹(2009)所發展的建模能力分析指標，建模能力分析問卷即是根據此修正過後的建模能力分析指標所設計，以符合本研究的研究設計，將建模能力分析問卷的答題，製作成建模能力編碼計分表如表 3-4-3，若學生在建模能力分析問卷只能答到因素，就落在 Level 1~Level 2 中，例如：編碼 2.3 的學生即是答對了 3 個因素，得分為 $1+3/4=1.75$ 。

表 3-4-2 熱的命題陳述與雙項細目表

主概念	子概念	次子概念	命題陳述	題號		題數	
				巨觀	微觀		
熱	熱本質		熱是能量	1-1， 1-2		1-3	3
	熱傳播	熱傳導	需接觸傳熱	3-1， 3-2 4-2， 6-2			4
			固體、液體、氣體都會發生熱傳導，效率以固體最好。	2-2， 4-1 5-3			3
			固體粒子間距離最小，其次是液體粒子，氣體粒子距離最大			5-1	1
			粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能	2-1 3-3 6-1	2-3 3-4 6-3	2-4 3-5 6-4	9
			良導體傳熱快，不良導體傳熱慢	7-1， 7-2 7-3， 7-4			4
		熱對流	流體流動傳熱	8-2， 9-2 13-3			3
			液體、氣體都會發生熱對流。	8-1， 9-1 10-1			3
			液體粒子和氣體粒子的距離較大，可以流動			10-2 13-2	2
			粒子吸收熱能後，粒子間距離加大，使得粒子總重量不變，但總體積變大，產生流動，藉以傳播熱能	10-3， 11-1 12-1		10-4 11-2 12-3	6
			自然對流為純靠內部密度的不同而產生 強制對流為利用外力使流體流動。	12-2， 13-1 13-4			3
		熱輻射	熱輻射不需依靠任何介質傳遞	14-1， 14-3 18-2			3
			固體、液體、氣體都會發生熱輻射	14-2， 15-1 18-1			3
			熱讓粒子震動，產生熱輻射	15-2 16-1 17-1 17-2		15-3 16-2 7-3	7

表 3-4-3 建模能力編碼計分表

答題層次	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
編碼類型	0	層次.巨觀	層次.巨觀	層次.巨觀關係.微觀 關係	層次.延伸關係.因素 關係
模型選擇	0	1.1	2.2 2.3 2.4	3.1.0 3.2.0 3.3.0	4.1.2~3 4.2.3~4 4.3.4~5 4.4.5
計分方式	0	1	1+(第二碼)/4	2+(第二碼+第三碼)/3	3+(第二碼+第三碼)/9
模型建立	0	1.1	2.2 2.3	3.0.1~5 3.1.0~5 3.2.0~5 3.3.0~5 3.4.0~5 3.5.0~5 3.6.0~5	無
計分方式	0	1	1+(第二碼)/3	2+(第二碼+第三碼)/11	無
模型效化	0	1.1	2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7	3.0.1~3 3.1.0~3 3.2.0~3 3.3.0~3	4.1.2~10 4.2.4~12 4.3.6~14
計分方式	0	1	1+(第二碼)/7	2+(第二碼+第三碼)/6	3+(第二碼+第三碼)/14
模型應用	0	1.1	2.2 2.3	3.0.1~3 3.1.0~3 3.2.0~3 3.3.0~3	4.1.2~6
計分方式	0	1	1+(第二碼)/3	2+(第二碼+第三碼)/6	3+(第二碼+第三碼)/7
各能力層次 最高分數	0 分	1 分	2 分	3 分	4 分

三、科學模型本質測驗

科學模型本質測驗是由邱美虹(2007)由國科會計畫編號 NSC 95-2511-S-241-001-MY2，發展出一份測驗工具(詳見附錄三)，此測驗工具會從一個三面向的建模架構；本體論、認識論、方法論，測驗學習者模型與建模能力(邱美虹，2007)。

問卷內容採用李克式量表，作答選項分為四種：非常同意、同意、不同意、非常不同意，總計有 46 題，此份問卷之信度 $\alpha = .9007$ 。本科學模型本質測驗可分成三個面向，在此三面向下又可分成許多次主題，每一次主題都有對應的題目，如表 3-4-4。在本體論方面可分為三個主題：對應關係、呈現形式、變化關係(周金城，2007)；在認識論方面可分為三個主題：個體表徵、過程、情境(吳明珠，2007)；在方法論方面可分為四個主題：問題解決、瞭解現象、連結和發展、建模歷程(林靜雯與邱美虹，2008)。

表 3-4-4 模型本質向度分析

名稱	面向	主題	題號
科學模型 本質測驗	本體論	對應關係	1~5
		呈現形式	6~12
		變化關係	13~15
	認識論	個體表徵	16~21
		過程	22~26
		情境	27~30
	方法論	問題解決	33、35~37
		瞭解現象	31、32、34、38
		連結和發展	39、40
		建模歷程	41~46

第五節 研究流程

本研究的研究流程可分為四階段：第一階段為準備階段，產生研究動機、確立研究方向，等到研究方向確定後，就可形成研究目的和研究問題，收集文獻和進行研究設計，此三項步驟是互相影響，不斷的修改。第二階段為發展階段，發展教學與教材以及設計研究工具，教學、教材和研究工具藉由預試不斷進行修正，直到教學、教材和研究工具適合於受試者。第三階段為正式階段，在教學前，會進行熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、建模能力分析問卷前測和科學模型本質前測，為了讓科學史建模組和建模組學生能熟悉建模教學中的相關名詞，在正式施測前在前一單元『力的世界』做建模之練習，接著才進入『熱傳播』建模教學，教學後進行熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測、建模能力分析問卷後測和科學模型本質後測，最後經過 3 周後施測熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測和建模能力分析問卷延宕測。第四階段為分析階段，針對量化資料和資料作分析，進行研究結果與討論，最後完成論文。

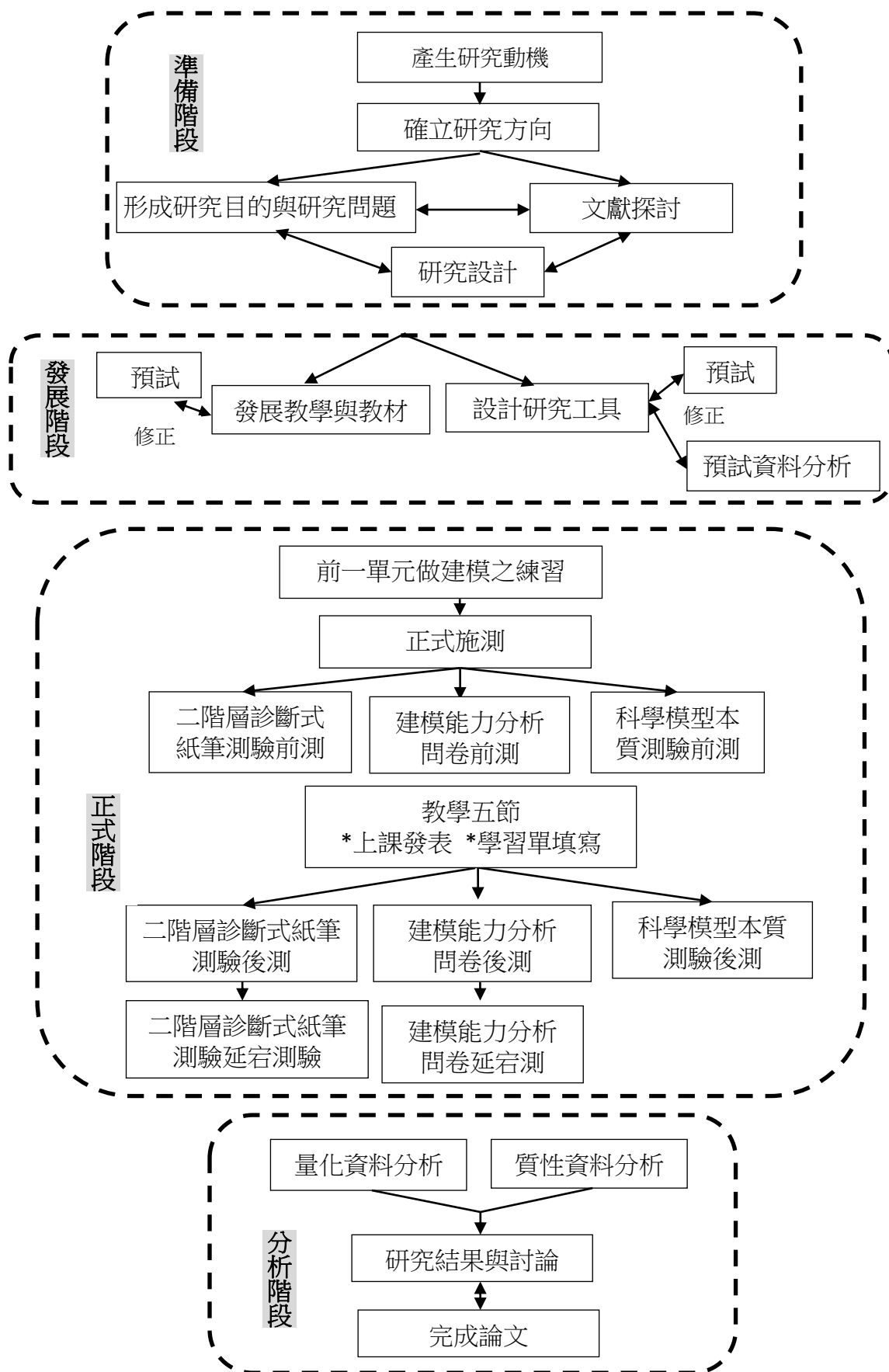


圖 3-5-1 研究流程圖

第六節 資料處理與分析

本研究所蒐集的資料，計有學生的熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測驗，建模能力分析問卷前測、後測以及學習情意問卷，將這些資料針對研究問題，進行量的分析與質的分析：

1. 熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗量化分析，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間熱傳播概念的學習是否有所差異。
 - (1) 計算熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測的答對率，比較科學史建模組、建模組和對照組中之間是否差異。
 - (2) 計算熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測和延宕測驗的答對率，比較科學史建模組、建模組和對照組中之間是否達顯著差異。
 - (3) 計算熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測驗的各子概念答對率，比較科學史建模組、建模組和對照組中的各子概念中前測、後測和延宕測驗之間是否達顯著差異。
2. 熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗質性分析
 - (1) 從熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測檢視科學史建模組、建模組和對照組對於熱傳播概念的概念與另有概念。
 - (2) 從熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測檢視科學史建模組、建模組和對照組經過不同教學活動後，對於熱傳播概念的概念與另有概念，以及各組概念改變的情形。
3. 建模能力分析問卷量化分析，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間建模能力的表現是否有所差異。
 - (1) 計算建模能力分析問卷前測的答對率，比較科學史建模組、建模組和對照組中之間是否差異。
 - (2) 計算建模能力分析問卷後測和延宕測驗的答對率，比較科學史建模組、建模

組和對照組中之間是否達顯著差異。

(3)計算建模能力分析問卷前測、後測和延宕測驗的各建模步驟的答對率，比較科學史建模組、建模組和對照組中的各建模步驟中前測、後測和延宕測驗之間是否達顯著差異。

4. 熱傳播概念與熱傳播建模能力相關性分析，本研究『Pearson 積差相關』計算二者的前測、後測和延宕測的總分，以探討三組間熱傳播概念與熱傳播建模能力的關係。

(1)計算熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測的總分和熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測的總分間，兩種表現的相關程度。

(2)找出學生在前測、後測和延宕測的四項建模步驟的建模分數，再以此四項建模分數分別與熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測的總分間計算相關程度，

5. 科學模型本質測驗

本分測驗工具所設計之量表為 4 點式李克式量表，其分別為「非常同意」、「同意」、「不同意」、及「非常不同意」。其中，非常同意記為 4 點，同意記為 3 點，以此類推。使用 4 點量表之主因乃強迫學生表示意見，避免學生選擇中立選項。

第肆章 研究結果與討論

本章就研究中所收集到的資料進行分析與討論，以回答本研究的研究問題，本章共可分為：第一節三組教學成效之分析；第二節各概念主題學習成效之分析；第三節熱傳播概念與概念改變的模式；第四節三組建模能力之分析；第五節各建模步驟中建模能力成效之分析；第六節熱傳播學習成效與建模能力之關係；第七節三組科學模型本質之分析；第八節綜合討論，共八節。

第一節 三組教學成效之分析

本節主要目的是要比較學生在不同教學法教學下，對於熱傳播概念學習成效之差異，為了準確瞭解學生對熱傳播概念的學習成效，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間熱傳播概念的學習是否有所差異。

一、熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測分析

為了瞭解學生在教學前，對於熱傳播概念的先備知識是否有差異，因此進行熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測並採用變異數分析(ANOVA)進行分析，分析結果如下表 4-1-1 所示，顯示三組在熱傳播概念前測成績中 $p=.85$ ，未達顯著差異。

表 4-1-1 熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	37.12	7.11	.163	.850
建模組	28	36.55	5.20		
對照組	28	37.46	6.13		

* $P<.05$

二、熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測分析

將三組『科學史建模組』、『建模組』、『對照組』的熱傳播概念二階層診斷式

紙筆測驗後測成績進行考驗，為了排除前測成績對後測成績的影響，採用共變數分析法(ANCOVA)，以『熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測成績』為共變量，考驗三組教學後的後測成績，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.42$ ， $p=.248>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-1-2 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=9.513$ ， $p=.000$ ；三組在熱傳播概念後測成績中科學史建模組的平均分數最高，平均分數為 81.48；其次為建模組，平均分數為 78.11；對照組的平均分數最低，平均分數為 67.46。

表 4-1-2 熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	81.48	12.71	9.513	.000***
建模組	28	78.11	14.53		
對照組	28	67.46	11.81		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

進一步進行事後比較，探討兩兩組合間的差異，分析結果如表 4-1-3 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.002$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-1-3 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	3.302	.344
	對照組	3.301	.000***
建模組	對照組	3.301	.002**

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

三、熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測分析

將三組『科學史建模組』、『建模組』和『對照組』的熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測成績進行考驗，為了排除前測成績對延宕測成績的影響，採用

共變數分析法(ANCOVA)，以『熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測成績』為共變量，考驗三組教學後的延宕測成績，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.567$ ， $p=.215>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-1-4 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=19.289$ ， $p=.000$ ；三組在熱傳播概念後測成績中科學組建模組的平均分數最高，平均分數為 75.46；其次為建模組，平均分數為 70.77；對照組的平均分數最低，平均分數為 53.41。

表 4-1-4 熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	75.46	13.85	19.289	.000***
建模組	28	70.77	16.33		
對照組	28	53.41	12.07		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

進一步進行事後比較，探討兩兩組合間的差異，分析結果如表 4-1-5 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-1-5 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	3.712	.227
	對照組	3.713	.000***
建模組	對照組	3.712	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

四、小結

經過上述分析，對於三組學生在熱傳播的概念學習上，『科學史建模組』和『建模組』的學習成效顯著優於對照組，且經教學 3 周後，『科學史建模組』和『建模組』的對於熱傳播的科學概念保留的情形也顯著優於對照組，因此，在教

學上使用科學史建模教學和建模教學對於學生學習熱傳播概念是有正向的幫助，學生的學習成效較佳，亦即建模教學可以幫助學生建構熱傳播概念的科學模型、學習科學概念、建立學習的架構，此結果與多位研究者的研究相似(Gilbert, 1991, 2000; Halloun, 1996, 2006; Buckley, 2004)，建模教學能有效促進學生學習成效，增進學生概念的理解。

不過，在後測與延宕測的分析中，『科學史建模組』的成績雖優於『建模組』，但兩組之間並未達顯著差異，因此需進一步針對於各概念的學習情形，來探討不同的教學組別是否會影響各概念的學習情形。

第二節 各概念主題學習成效之分析

第一節中初步分析結果顯示出『科學史建模組』和『建模組』的概念學習後測和延宕測的成效均顯著優於對照組，然而，『科學史建模組』和『建模組』的概念學習後測和延宕測中都未達顯著差異。在本節中將熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗的題目做不同的分類方式，進一步探討與分析不同教學組在不同的概念主題或分類下，其學習成效是否有所差異，共可分為：第一部分將題目分為熱傳播的 3 個子概念：熱傳導、熱對流和熱輻射；第二部分將題目再依照模型的五個面向重新分類，以探討 3 組的學習成效。

一、熱傳播的 3 個子概念之分析

為了準確瞭解學生在熱傳播的學習成效，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間熱傳播的 3 個子概念學習是否有所差異。

(一) 熱傳導的概念分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 2-1 題~7-4 題作答進行統計分析。

前測

以熱傳導概念題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-1 所示，顯示三組在熱傳導概念前測成績中 $p=.076$ ，未達顯著差異。

表 4-2-1 熱傳導概念前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	14.42	3.58	2.665	.076
建模組	28	12.30	3.20		
對照組	28	14.09	4.23		

* $P<.05$

後測

以熱傳導概念題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.209$ ， $p=.812>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-2 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=7.981$ ， $p=.001$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-3 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.002$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.001$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-2 熱傳導概念後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	30.02	6.84	7.981	.001***
建模組	28	29.50	6.84		
對照組	28	24.54	5.72		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-3 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.683	.655
	對照組	1.639	.002**
建模組	對照組	1.670	.001***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱傳導概念題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=2.990$ ， $p=.056>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-4 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=19.704$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-5 所示，顯示

科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-4 熱傳導概念延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	28.31	6.41	19.704	.000***
建模組	28	26.19	7.07		
對照組	28	17.71	7.19		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-5 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.866	.489
	對照組	1.816	.000***
建模組	對照組	1.851	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(二) 熱對流的概念分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 8-1 題~13-4 題作答進行統計分析。

前測

以熱對流概念題目的前測作答進行分析，分析結果如下表 4-2-6 所示，顯示三組在熱對流概念前測成績中 $p=.312$ ，未達顯著差異。

表 4-2-6 熱對流概念前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	13.16	4.920	1.181	.312
建模組	28	11.77	2.579		
對照組	28	11.84	3.575		

* $P<.05$

後測

以熱對流概念題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=2.515$ ， $p=.087>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-7 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=4.835$ ， $p=.010$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-8 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.004$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.027$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-7 熱對流概念後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	24.67	3.672	4.835	.010**
建模組	28	23.61	4.955		
對照組	28	20.97	4.482		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-8 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.190	.462
	對照組	1.188	.004**
建模組	對照組	1.176	.027*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱對流概念題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.803$ ， $p=.452>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-9 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=7.463$ ， $p=.001$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-10 所示，顯

示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.001$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.002$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-9 熱對流概念延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	22.95	6.880	7.463	.001***
建模組	28	22.09	6.026		
對照組	28	17.00	5.22		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-10 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.648	.680
	對照組	1.646	.001***
建模組	對照組	1.630	.002**

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(三) 熱輻射的概念分析

根據學生在熱輻射概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 14-1 題~18-2 題作答進行統計分析。

前測

以熱輻射概念題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-11 所示，顯示三組在熱輻射概念前測成績中 $p=.083$ ，未達顯著差異。

表 4-2-11 熱輻射概念前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	9.59	3.704	2.570	.083
建模組	28	10.52	3.188		
對照組	28	8.47	3.244		

$P<.05$

後測

以熱輻射概念題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.334$ ， $p=.717>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-12 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=7.005$ ， $p=.002$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-13 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.031$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-12 熱輻射概念後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	20.96	2.851	7.005	.002**
建模組	28	19.71	3.675		
對照組	28	17.72	2.914		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

表 4-2-13 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.857	.138
	對照組	.860	.000***
建模組	對照組	.878	.031*
* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$			

延宕測

以熱輻射概念題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.493$ ， $p=.613>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-14 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=13.291$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-15 所示，顯

示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-14 熱輻射概念延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	18.98	4.780	13.291	.000***
建模組	28	17.99	4.559		
對照組	28	13.09	3.586		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-15 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.169	.349
	對照組	1.173	.000***
建模組	對照組	1.198	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(四)小結

經過上述分析，三組在熱傳播的子概念—熱傳導、熱對流、熱輻射的前測作答上均無顯著差異，經過教學後的後測及延宕測中，科學史建模組和建模組在熱傳導、熱對流、熱輻射三個子概念上均優於對照組，但科學史建模組和建模組在三個子概念的學習上均無顯著差異。

由以上可知，建模教學法對學生學習熱傳播的三個子概念—熱傳導、熱對流、熱輻射是有正向的幫助，可幫助學生建立正確的熱傳播概念，學生學習成就較佳，即使在教學後的 3 周，有使用建模學生仍顯著優於對照組，可以保留正確的科學概念，但在建模教學中再加入科學史的議題，對學生在熱傳導、熱對流、熱輻射三個子概念的學習上並無加成的效果，所以，接下來將熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗題目依熱傳播模型的範圍、成分、結構、巨觀行為和微觀行為等五個面向分類，進一步進行研究與分析。

二、熱傳播模型的五個面向之分析

在本小節中將熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗題目依熱傳播模型的範圍、成分、結構和行為等五個面向進行分析，對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，分析三組間熱傳播的五個面向是否有所差異，以探討 3 組的學習成效。

(一) 模型範圍面向分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 3-1、3-2、4-2、6-2、8-2、9-2、13-3、14-1、14-3、18-2 題共 10 題，進行統計分析。

前測

以模型範圍面向題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-16 所示，顯示三組在模型範圍面向前測成績中 $p=.956$ ，未達顯著差異。

表 4-2-16 模型範圍面向前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	4.43	2.998	.045	.956
建模組	28	4.30	2.144		
對照組	28	4.23	2.411		

* $P<.05$

後測

以模型範圍面向題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.869$ ， $p=.424>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-17 所示，顯示不同教學法對學生後測成績沒有顯著的影響， $F=.366$ ， $p=.695$ ，科學史建模組、建模組與對照組三組之間未達顯著差異。

表 4-2-17 模型範圍面向後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	12.23	3.393	.366	.695
建模組	28	11.44	3.873		
對照組	28	11.97	3.205		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

延宕測

以模型範圍面向題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=2.505$ ， $p=.088>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-28 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=9.183$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-29 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.002$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-18 模型範圍面向延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	12.50	2.965	9.183	.000***
建模組	28	11.64	4.151		
對照組	28	8.47	3.819		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

表 4-2-19 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.989	.392
	對照組	.989	.000***
建模組	對照組	.989	.002**
*P<.05 **p<.01 ***p<.001			

(二) 模型成分面向分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 2-2、4-1、5-3、8-1、9-1、10-1、14-2、15-1、18-1 題共 9 題，進行統計分析。

前測

以模型成分面向題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-30 所示，顯示三組在模型範圍面向前測成績中 $p=.956$ ，未達顯著差異。

表 4-2-20 模型成分面向前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	9.99	3.238	.633	.534
建模組	28	10.91	3.466		
對照組	28	10.32	2.588		

* $P<.05$

後測

以模型成分面向題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.656$ ， $p=.522>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-31 所示，顯示不同教學法對學生後測成績沒有顯著的影響， $F=1.493$ ， $p=.231$ ，科學史建模組、建模組與對照組三組之間未達顯著差異。

表 4-2-21 模型成分面向後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	15.34	1.878	1.493	.231
建模組	28	14.81	2.018		
對照組	28	14.35	2.744		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以模型成分面向題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.262$ ， $p=.289>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-32 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=11.375$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-33 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-22 模型成分面向延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	14.02	3.361	11.375	.000***
建模組	28	13.89	2.644		
對照組	28	10.11	4.199		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

表 4-2-23 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.937	.923
	對照組	.931	.000***
建模組	對照組	.933	.000***
* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$			

(三) 模型結構面向分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 5-1、10-2、13-2、題共 3 題，進行統計分析。

前測

以模型結構面向題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-34 所示，顯示三組在模型結構面向前測成績中 $p=.181$ ，未達顯著差異。

表 4-2-24 模型結構面向前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.24	1.910	1.743	.181
建模組	28	1.78	1.552		
對照組	28	1.45	1.270		

*P<.05

後測

以模型結構面向題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.190$ ， $p=.310>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-2-35 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=3.810$ ， $p=.026$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-36 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.009$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.047$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-25 模型結構面向後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	4.76	1.064	3.810	.026*
建模組	28	4.50	1.377		
對照組	28	3.76	1.710		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

表 4-2-26 三組延宕測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.454
	對照組	.009**
建模組	對照組	.047*

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

延宕測

以模型結構面向題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.769$ ， $p=.177>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-37 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=9.260$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-38 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.001$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-27 模型結構面向延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	4.10	1.625	9.260	.000***
建模組	28	4.30	1.342		
對照組	28	2.38	2.132		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-28 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.460	.521
	對照組	.466	.001***
建模組	對照組	.458	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(四) 模型巨觀行為面向分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 2-1、2-3、3-3、3-4、6-1、6-3、10-3、11-1、12-1、15-2、16-1、17-1、17-2 題共 13 題，進行統計分析。

前測

以模型巨觀行為面向題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-39 所示，

顯示三組在模型巨觀行為面向前測成績中 $p=.779$ ，未達顯著差異。

表 4-2-29 模型巨觀行為面向前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	11.33	3.472	.251	.779
建模組	28	10.73	2.888		
對照組	28	11.13	3.223		

* $P<.05$

後測

以模型巨觀行為面向題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.158$ ， $p=.854>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-40 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=113.674$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-41 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-30 模型巨觀行為面向後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	18.74	2.596	113.674	.000***
建模組	28	18.67	3.045		
對照組	28	10.25	1.602		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-31 三組後測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.943
	對照組	.000***
建模組	對照組	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以模型巨觀行為面向題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.357$ ， $p=.248>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-42 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=8.407$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-43 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.001$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-32 模型巨觀行為面向延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	17.88	3.128	8.407	.000***
建模組	28	17.42	3.358		
對照組	28	14.24	4.274		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-33 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.970	.691
	對照組	.968	.000***
建模組	對照組	.969	.001***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(五) 模型微觀行為面向分析

根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 2-4、3-5、6-4、10-4、11-2、12-3、15-3、16-2、17-3 題共 9 題，進行統計分析。

前測

以模型微觀行為面向題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-2-44 所示，顯示三組在模型微觀行為面向前測成績中 $p=.214$ ，未達顯著差異。

表 4-2-34 模型微觀行為面向前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.31	2.056	1.570	.214
建模組	28	1.45	1.698		
對照組	28	1.72	1.812		

*P<.05

後測

以模型微觀行為面向題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=3.299$ ， $p=.073>.05$)，表示前測成績與後測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-45 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=22.780$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-46 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-2-35 模型微觀行為面向後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	11.44	3.419	22.780	.000***
建模組	28	10.51	4.156		
對照組	28	5.09	3.989		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

表 4-2-36 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.047	.257
	對照組	1.037	.000***
建模組	對照組	1.030	.000***

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

延宕測

以模型微觀行為面向題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.725$ ， $p=.488>.05$)，表示前測成績與延宕測成績間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-2-47 所示，顯示不同教學法對學生延宕測成績有顯著的影響， $F=16.877$ ， $p=.000$ ；進一步進行事後比較，分析結果表 4-2-48 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，達顯著差異， $p=.002$ ；科學史建模組和建模組，也達顯著差異， $p=.010$ 。

表 4-2-37 模型微觀行為面向延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	10.51	4.000	16.877	.000***
建模組	28	7.54	4.698		
對照組	28	4.17	3.174		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-2-38 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	1.096	.010**
	對照組	1.086	.000***
建模組	對照組	1.078	.002**

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

(六)小結

綜合上述分析結果，三組在熱傳播的五個面向—範圍、成分、結構、巨觀行為和微觀行為的前測上，均無顯著差異，表示三組在教學前，對於熱傳播的五個面向的先備知識是相同的。

後測時，三組在範圍和成分二個面向中，無顯著差異，但在結構、巨觀行為和微觀行為等面向中，科學史建模組和建模組均顯著優於對照組，但科學史建模

組和建模組之間並無顯著差異。由以上可知科學史建模教學、建模教學和一般教學都能使學生瞭解熱傳播概念的範圍面向和成分面向，也能有良好的學習成就表現，而範圍面向和成分面向是屬於科學概念模型中巨觀的維度，巨觀維度的內容是與生活經驗相結合，對學生來說，這二種面向的學習內容是較易學習，也較為簡單的，即使透過不同教學法，學生都能習得此二面向中的科學內容；在熱傳播的結構面向和微觀行為面向是屬於科學概念模型中微觀的維度，微觀維度的內容是微小不可見，是在說明粒子的結構和行為，對學生來說學習內容較為困難，學生較不易瞭解；另外行為面向中的巨觀行為雖是屬於科學概念模型中巨觀的維度，但是巨觀行為是在說明動態的過程，對學生來說也是較不易學習，使用建模教學較可以幫助學生了解動態的過程。

使用建模教學的學生可以建立熱傳播概念中五個面向之間的關係，而不是零碎、無組織的概念，符合 Hallon(2006)提出的認為建模的過程是很重要的一般性過程，在建模的過程中會比一般的大眾表現得更有系統性，因此在學習較為困難的結構面向和行為面向時，學習成就明顯優於一般教學的學生，多位科教學者 (Hestenes, 1996; Buckley, 2004; Halloun, 2006)以建模教學融入不同學科中，建模教學可幫助學生學習，建構概念模型並瞭解之間的關係，均能有較提升學生在科學概念上的理解的研究結果相似，但在本研究中可進一步說明，建模教學可增進學生對於較為困難概念上的理解，不過，若在建模學中再加入科學史的議題，對學生在五個面向的學習上並無加成的效果。

延宕測時，科學史建模教學和建模組五個面向的學習表現上都顯著優於對照組，只有在『微觀行為』表現上，科學史建模教學法顯著優於建模教學，其他四個面向，2 組並無顯著差異，研究發現科學史建模教學組和建模組之科學概念對學生是較一般教學有系統、有組織的學習與建立，並且較能可以建構較好的概念模型，瞭解概念五個面向之間的關係，經過一段時間後，因其科學概念是有系統、有組織的學習與建立，有較好的概念保留的情形建至長期記憶(long-term memory)中；反觀對照組，因其所建立的科學概念是較為零碎、無組織的概念，經過一段

時間後，遺忘的較快，在後測本來和科學史建模教學、建模組沒有顯著差異的『範圍』面向和『成分』面向，在延宕測中都呈現出顯著差異。

本研究也發現若在建模教學中再加入科學史的議題，對於學生保留所學到熱傳播的微觀行為面向有正向幫助，科學史融入教學中可以增進學生學習科學概念，因為科學史融入教學不只是強調科學概念，還重視這些科學概念產生的過程 (Justi, 2000)，經過一段時間後，能保留微觀行為面向的科學概念的時間可以更加持久。

第三節 熱傳播概念與概念改變的模式

本節研究者根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中學生的作答，分析出學生對於熱傳播中的熱傳導、熱對流以及熱輻射等 3 個子概念的想法，然後再依據概念圖和模型理論，以範圍(D)、成分(C)、結構(S)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)等五個面向，來探討學生想法的分布情形和改變模式，最後，更進一步以 Chi 的概念改變理論來探討概念改變的情形。

一、熱傳導的概念

在本研究根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 2-1 題~6-4 題以及 10-2 和 13-2 題的作答，整理出學生作答情形以及百分比，其分析結果如圖 4-3-1 和表 4-3-1。

學生在熱傳導概念中擁有對的範圍(D)、成分(C)、結構(S)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)五個面向，即可稱為科學模型，亦即學生可建立對的熱傳導科學模型；若在五個面向中只有對其中的四個面向，錯一個面向，即稱為類科學模型，亦即學生建立的模型尚未到達科學模型，但已接近科學模型；若在五個面向中只有對三個面向，錯二個面向，即稱為綜合模型-2；若在五個面向中只有對二個面向，錯三個面向，即稱為綜合模型-1，綜合模型亦即學生所建立的模型受到生活

經驗和科學解釋的雙重影響之下所建立出的模型；若在五個面向中只有對一個面向，錯四個面向，即稱為初始模型-2；若是都沒有對的面向，即稱為初始模型-1，初始模型亦即學生所建立的模型受生活經驗的影響，較不受科學所影響。

根據圖 4-3-1 中可發現，學生在學習熱傳導概念之前，大多數的學生都是落在初始模型-2 和綜合模型-1 中，經過不同的教學法學習後，從圖 4-3-1 可知科學史建模組有 16 位(57%)的學生、建模組有 15 位(54%)的學生可以進步到科學模型，但對照組只有 4 位(14%)可以到科學模型。再經過 3 周後，發現科學史建模組有 12 位(43%)的學生仍保有科學模型，建模組有 7 位(25%)的學生可以保有科學模型，但對照組只剩 1 位(4%)可以保有科學模型。

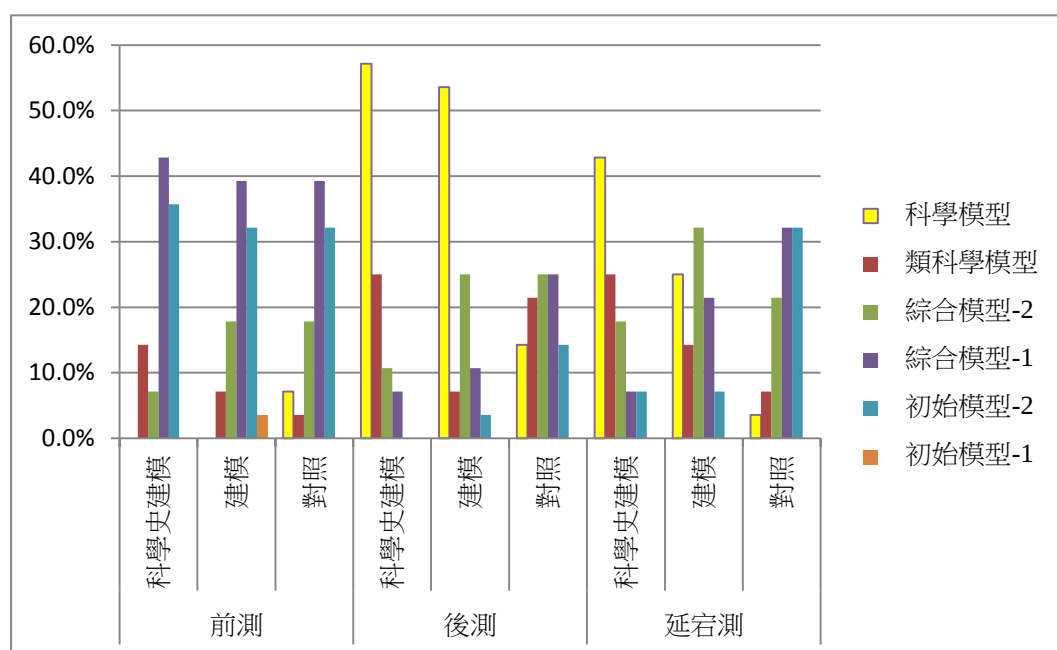


圖 4-3-1 熱傳導概念人數百分比分布圖

另外，在表 4-3-1 中可發現學生在初始模型-2 中，前測、後測和延宕測都是熱傳導的成分答對率最高的，3 組在前測時都有近 1/3 的學生就已經知道會發生熱傳導的物件是什麼；在綜合模型-1 中，前測答錯率最高的是結構、巨觀行為和微觀行為，後測和延宕測答錯率最高的是範圍、巨觀行為和微觀行為；但在綜合模型-2 中，前測、後測和延宕測的熱傳導的巨觀行為和微觀行為是答錯率最高的，在類科學模型中，前測、後測和延宕測答錯率最高的是熱傳導的微觀行為。

綜合以上分析顯示，學生較易擁有或了解在熱傳導概念中的成分和結構這兩個面向，其次是範圍，但是對熱傳導概念中的巨觀行為和微觀行為這兩個面向較不易了解或改變，為求更進一步了解學生對於熱傳導概念的組成與變化，以下將針對學生對於熱傳導概念的五個面向的概念改變的過程與模式來做分析與探討。

表 4-3-1 熱傳導概念人數分布表

		前測	後測	延宕測
		科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照
科學模型	人數	0/0/2	16/15/4	12/7/1
類科學模型	人數	4/2/1	7/2/6	7/4/2
	答錯	D:1(25%)/1(25%)/0 U:3(75%)/3(75%)/1(100%)	D: 2(29%)/1(50%)/0 S: 2(29%)/1(50%)/1(17%) M:0/0/2(33%) U: 3(43%)/0/3(50%)	S:3(43%)/0/0 M:0/2(50%)/0 U:4(57%)/2(50%)/2(100%)
綜合模型-2	人數	2/5/5	3/7/7	5/9/6
	答錯	DU:1(50%)/1(20%)/0 MU:0/4(80%)/5(100%) SU:1(50%)/0/0	MU: 3(100%)/7(100%)/5(71%) SU:0/0/2(29%)	MU: 5(100%)/9(100%)/4(67%) SU:0/0/2(33%)
綜合模型-1	人數	12/11/11	2/3/7	2/6/9
	答錯	SMU: 4(33%)/7(64%)/7(64%) CMU:3(25%)/0/0 DMU: 5(42%)/4(36%)/4(36%)	SMU:0/0/3(43%) DMU: 2(100%)/3(100%)/4(57%)	SMU:0/3(50%)/4(44%) DMU: 2(100%)/3(50%)/5(56%)
初始模型-2	人數	10/9/9	0/1/4	2/2/9
	答錯	CSMU:2(20%)/1(11.1%)/0 DSMU: 7(70%)/8(88.9%)/9(100%) DCSU:1(10%)/0/0	CSMU:0/0/1(25%) DSMU:0/1(100%)/3(75%)	DSMU: 1(50%)/1(50%)/6(67%) DCMU: 1(50%)/1(50%)/3(33%)
初始模型-1	人數	0/1/0	0/0/0	0/0/0

註：反黑部分為答錯比率最高的類型。

(一)熱傳導概念中的『範圍』面向

1.熱傳導概念中的『範圍』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 3-1、3-2、4-2、6-2 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱傳導中『範圍』面向的概念分布情形，如圖 4-3-2 和表 4-3-2。

範圍是限制此模型的所表達的要素，表現出結構上和(或)行為上的特點，以挑選適當的模型。在熱傳導的範圍面向上的科學概念是兩物體接觸傳熱，以『科學』表示，迷思概念有學生認為熱傳導就一定要有冷熱互相傳導，以『冷熱』表示；或是只要是固體就會有熱傳導的迷思概念，以『固體』表示；但還有無法以一致的概念作答的散亂狀態，以『散亂』表示。

依據圖 4-3-2 和表 4-3-2 三組學生在前測即有正確的科學概念，分別為 64.3%、46.4%和 53.6%，教過教學後，科學史建模組有高達 96.4%的學生可以學習到正確的科學概念、其次是建模組的 89.3%和較低的對照組 78.6%，多數的學生都可以經由不同的教學法習得此概念，經 3 周後，仍有多數學生(89.3%、75%、67.9%)保留科學概念。另外，在前測有些學生無法用一致的概念來回答問題，但經過教學後，就沒有混亂概念的學生出現，但值得注意的是仍有部分學生持有冷熱的另有概念，認為傳導就是有冷和熱會相互傳導，此概念不易消除，經過教學 3 周後，又有部分學生從科學概念回到冷熱概念。因此我們仍需進一步探討學生概念改變的途徑與方式。

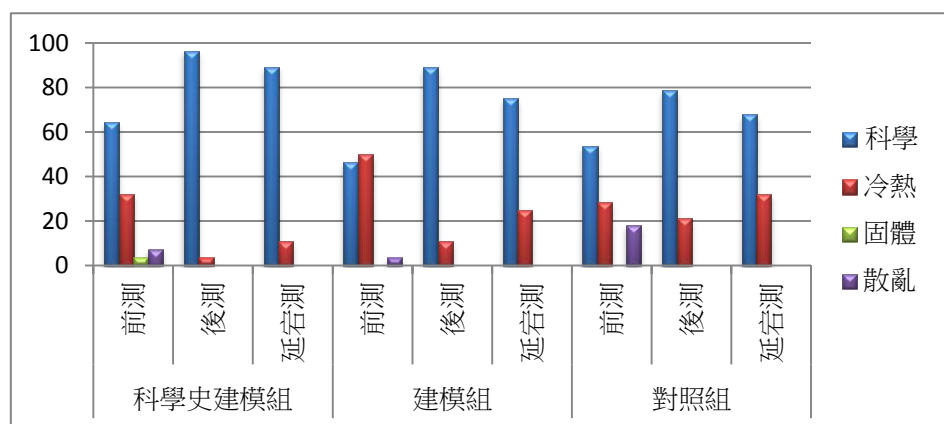


圖 4-3-2 熱傳導概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布

表 4-3-2 熱傳導概念中的『範圍』面向答題人數分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	18*	27*	25*	13	25*	21*	15*	22*	19*
	64.3	96.4	89.3	46.4	89.3	75	53.6	78.6	67.9
冷熱	9	1	3	14*	3	7	8	6	9
	32.1	3.6	10.7	50	10.7	25	28.6	21.4	32.1
固體	1								
	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0
散亂	2			1			5		
	7.1	0	0	3.6	0	0	17.9	0	0

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：物體間有接觸；『冷熱』：冷熱互相傳導；『固體』：只要是固體就會有熱傳導；『散亂』：無法以一致的概念作答。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

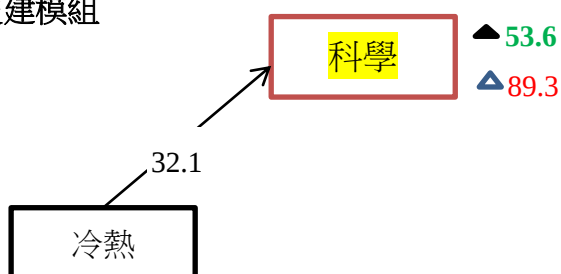
2. 熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式

三組學生在熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式如圖 4-3-3 和表 4-3-3，由圖 4-3-3 中可看到學生對於熱傳導『範圍』面向的概念可分為科學概念、冷熱概念和無一致的散亂，黑色箭頭是學生從前測到後測所答概念的轉變，若從前測到後測都無改變，都是答同一概念，會用黑色實心三角形表示，從圖 4-3-3 可知在教學前，學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能擁有科學概念；經過學習後到延宕測時，藍色虛線箭頭是學生從後測到延宕測所答概念的轉變，若從後測到延宕測都無改變，都是答同一概念，會用藍色空心三角形表示，從圖 4-3-3 可知在教學後到延宕測時，三組中最多的百分比人數都是未發生概念回歸，仍擁有科學概念。由表 4-3-3 中可知：科學史建模組和對照組的學生在熱傳導概念的『範圍』面向中的主要模式是科學-->科學-->科學，建模組的學生主要概念改變的模式是冷熱-->科學-->科學，顯示三組學生在學習熱傳導要發生一定要『接觸』這樣的觀念是較容易的，學生已經具備科學概念，即使學生擁有其他的另有概念，例如：冷熱，或是沒有一致的概念，都可發生概念改變，且學習後也較易保留科

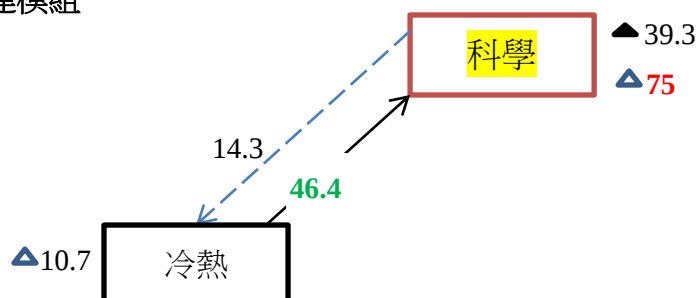
學概念，可能是因為此概念與生活經驗相符，使得學生較易學習。但值得注意，在建模組和對照組都有學生一直保有冷熱的迷思概念，沒有因為教學而發生概念改變，在對照組還有科學-->冷熱-->冷熱的模式，顯示一般教學有可能使學生發生迷思概念。

另外，在表 4-3-3 和圖 4-3-3 也可發現部分學生一直認為熱傳導就是冷和熱的傳遞，與 Chi(2008)、Chiou & Anderson (2009)、Vosniadou(1994)研究相符，學生把熱傳導的『範圍』面向分類在『實體』，認為有冷和熱的實體存在，會有冷、熱的感覺，才是熱傳導發生的時機；但是若熱傳導概念的『範圍』面向中學生需要建立的科學概念是：要『物體間要接觸』才能發生熱傳導，在此面向中沒有討論流動的情形，也就是此概念也尚在『實體』的分支中，在 Chi 的概念改變理論來說此概念改變的發生是屬於類別內的概念改變，屬於弱重建，對於學生是屬於較易學習的概念，也較易發生概念上的改變，所以在本研究中，有相當比例的學生 32.1%、46.4%和 21.4%，可以從實體分類中的『冷、熱迷思概念』轉化成實體分類中的『接觸科學概念』。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

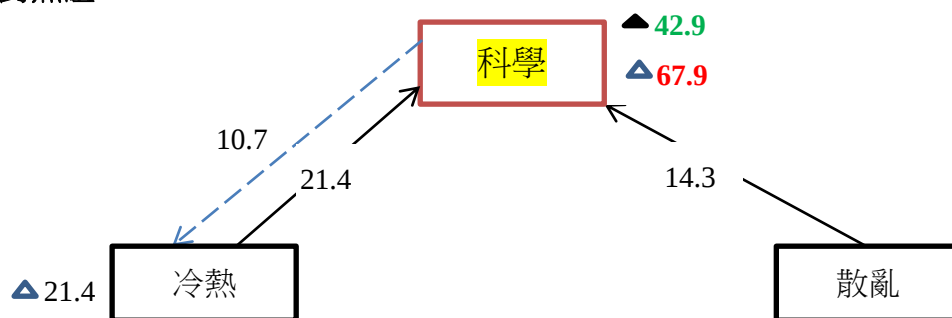


圖 4-3-3 三組熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式圖

—→：前測到後測 —→：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變；數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：物體間有接觸；『冷熱』：冷熱互相傳導；『散亂』：無一致的概念

表 4-3-3 熱傳導概念的『範圍』面向中概念改變模式

單位：%

	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	科學-->科學-->科學 (50)	冷熱-->科學-->科學 (39.3)	科學-->科學-->科學 (39.3)
概念改變模式	冷熱-->科學-->科學 (28.6)	科學-->科學-->科學 (32.1)	冷熱-->科學-->科學 (14.3)
	-----	-----	散亂-->科學-->科學 (14.3)
	-----	-----	科學-->冷熱-->冷熱 (10.7)
未改變	-----	冷熱-->冷熱-->冷熱 (3.6)	冷熱-->冷熱-->冷熱 (7.1)

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：物體間有接觸；『冷熱』：冷熱互相傳導；『散亂』：無一致的概念

(二) 熱傳導概念中的『成分』面向

1. 熱傳導概念中的『成分』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 2-2、4-1、5-3 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱傳導『成分』面向的概念分布情形，如表 4-3-4 和圖 4-3-3。

成分是模型系統内部的物件，會發生熱傳導的物件有固體、液體和氣體，但是以固體的效果最好，在熱傳導的成分面向上的科學概念是固體、液體和氣體，以『科學』表示，迷思概念有學生認為只有固體和液體會發生熱傳導，以『固液』表示；或是只有固體會發生熱傳導，以『固』表示；但還有無法以一致的概念作答的散亂狀態，以『散亂』表示。

由表 4-3-4 和圖 4-3-3 可知：三組學生在學習熱傳導概念前，約 80% 的學生都已經有先備知識知道固體、液體和氣體都可能會發生熱傳導，經過教學後，科學史建模組和建模組甚至答對率可達百分之百，對照組也有 85.7% 的學生可以學習到正確科學概念，經 3 周後，仍有多數學生(89.3%、92.9%、85.7%)保留科學概念。接下來，我們就進一步探討學生概念改變的途徑與方式。

表 4-3-4 熱傳導概念中的『成分』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	23*	28*	25*	25*	28*	26*	22*	24*	24*
	82.1	100	89.3	89.3	100	92.9	78.6	85.7	85.7
固液	4	0	0	3	0	2	0	0	0
	14.3			10.7		7.1			
固	1	0	0	0	0	0			0
	3.6								
散亂	0	0	3	0	0	0			
			10.7						

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：固體、液體和氣體都會發生熱傳導；『固液』：只有固體和液體會發生熱傳導；『固』：只有固體會發生熱傳導；『散亂』：無法以一致的概念作答的散亂狀態。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

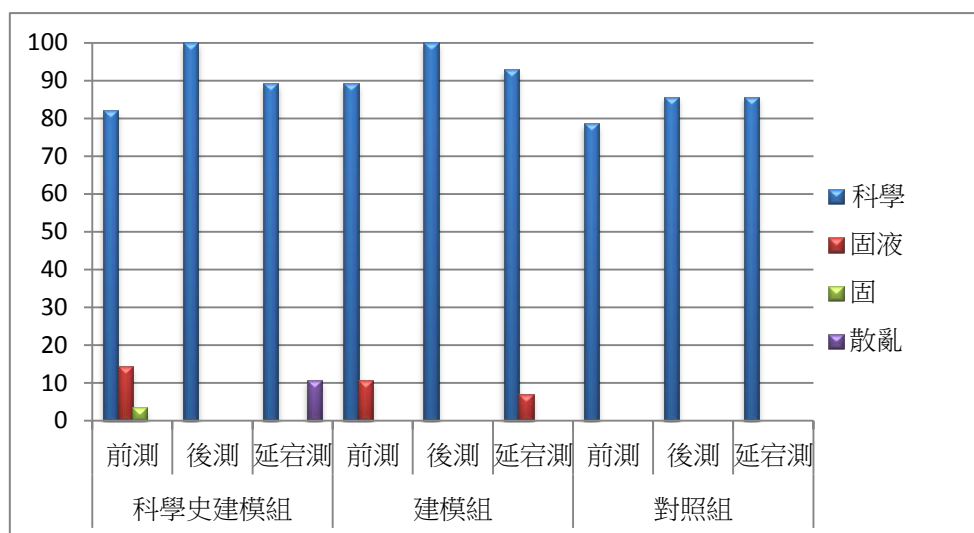


圖 4-3-4 熱傳導概念中的『成分』面向答題人數百分比

2. 熱傳導概念的『成分』面向中概念改變模式

三組學生在熱傳導概念的『成分』面向中的概念改變模式如表 4-3-5，由表 4-3-5 中可知：三組學生在熱傳導概念的『成分』面向中的主要模式是科學-->科學，而概念改變的模式只有一組為固液-->科學-->科學，所以學生在學習前就已有正確的科學概念，但值得注意的是，在對照組有 7.1% 的學生未發生概念改變，由以上可知，熱傳導概念的『成分』面向中科學史建模組和建模組的學習表現是優於對照組。

表 4-3-5 熱傳導概念的『成分』面向中概念改變模式

單位：%

	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	科學-->科學-->科學 (82.1)	科學-->科學-->科學 (89.3)	科學-->科學-->科學 (78.5)
概念改變模式	固液-->科學-->科學 (14.3)	——	——
未改變	——	——	固-->固-->固(7.1)

註：概念改變模式 10% 以下不討論

『科學』：固體、液體和氣體都會發生熱傳導；『固液』：只有固體和液體會發生熱傳導；『固』：只有固體會發生熱傳導；『散亂』：無法以一致的概念作答的散亂狀態。

(三) 熱傳導概念中的『結構』面向

1. 熱傳導概念中的『結構』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 5-1、10-2、13-2 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱傳導『結構』面向的概念分布情形，如表 4-3-6 和圖 4-3-4。

結構為組成此模型基本物件之間在空間組成上的關係，在熱傳導概念中的『結構』面向上的科學概念是氣體粒子間的距離較大，液體粒子間距離次之，固體粒子間距離最小，所以，在概念表示中『科學』代表的是氣體粒子間的距離是最大的，『固』代表固體粒子間的距離最大，『相等』代表氣體粒子、液體粒子和固體粒子的粒子間距離都相等。

依據表 4-3-6 和圖 4-3-4 可知：三組在教學前有 35.7%的學生擁有正確的科學概念；但是也有部分學生(25%、25%、39.3%)認為固體粒子的距離較大；部分學生(35.7%、39.3%、25%)認為不管氣體粒子、液體粒子和固體粒子的粒子間距離都相等，經過教學後，科學史建模組和建模組有高達 96.4%的學生，對照組有 89.3%的學生可以學習到正確的科學概念，經過 3 周後，多數科學史建模組和建模組的學生(78.6%、85.7%)仍擁有對的科學概念，但反觀對照組就下降到只剩 57.1%的學生擁有正確的科學概念，顯示有部分對照組的學生從科學概念又回到迷思概念中。因此，以下將進一步探討學生概念改變的途徑與方式。

2. 熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式

三組學生在熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式如表 4-3-7 和圖 4-3-6，由圖 4-3-6 中可知：學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能擁有科學概念，經過學習後到延宕測時，三組中最多的百分比人數都是未發生概念回歸，仍擁有科學概念。

表 4-3-6 熱傳導概念中的『結構』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	10*	27*	22*	10	27*	24*	10	25*	16*
	35.7	96.4	78.6	35.7	96.4	85.7	35.7	89.3	57.1
固	7	0	2	7	0	1	11*	1	6
	25		7.1	25		3.6	39.3	3.6	21.4
相等	10*	1	4	11*	1	3	7	2	6
	35.7	3.6	14.3	39.3	3.6	10.7	25	7.1	21.4
散亂	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.6								

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：氣體粒子間的距離是最大的，液體粒子間距離次之，固體粒子間距離最小；『固』：固體粒子間的距離最大，，液體粒子間距離次之，氣體粒子間距離最小；『相等』代表氣體粒子、液體粒子和固體粒子的粒子間距離都相等。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

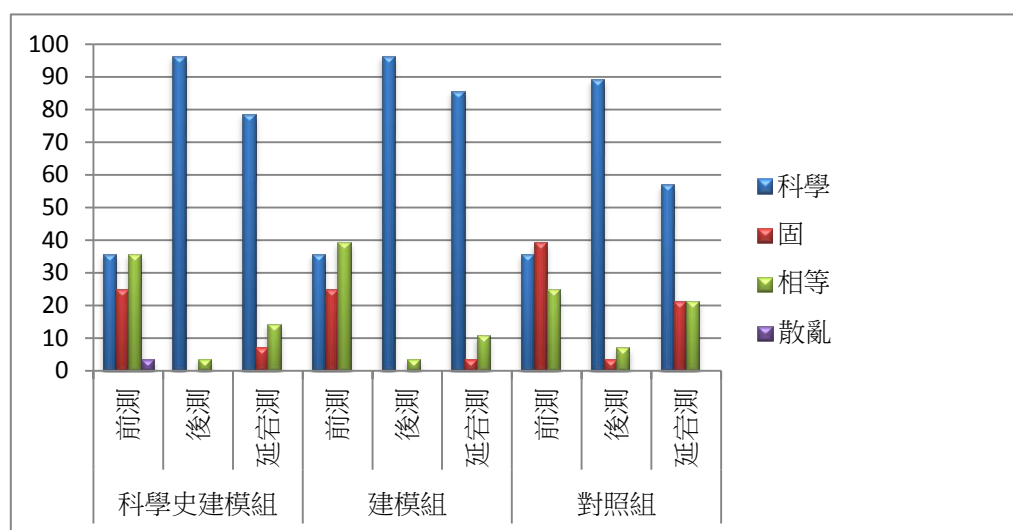


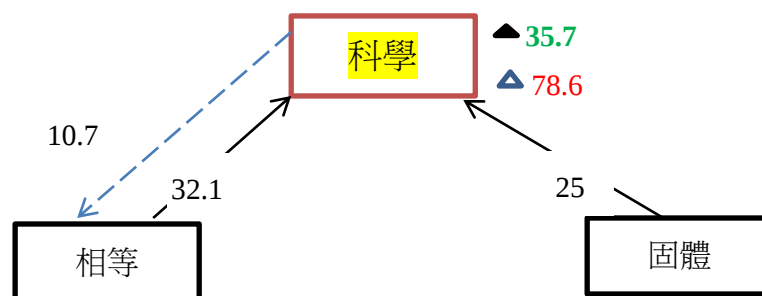
圖 4-3-5 熱傳導概念中的『結構』面向人數百分比分布

由表 4-3-7 中可知：三組的熱傳導概念的『結構』面向中最主要概念學習模式都是為科學→科學→科學，經過教學後，在科學史建模組有 42.8%的學生、建模組有 50%的學生可以發生根本的概念改變，一段時間後仍可以擁有習得的科學概念，例如：固→科學→科學、相等→科學→科學，但對照組只有 17.9%的學生會

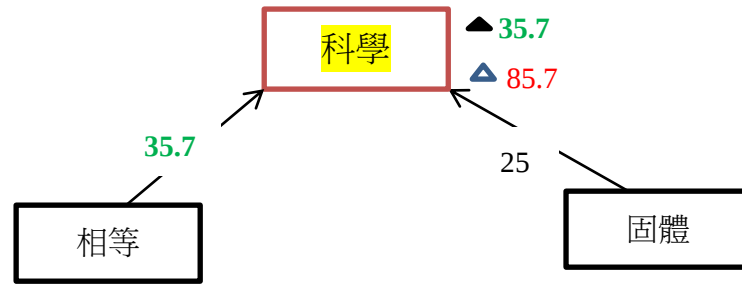
發生根本上的概念改變。另外，在科學史建模組有 10.7%的學生有概念回歸的情形發生，但在對照組有高達 32.2%的學生發生概念回歸，還有 10.7%的學生未改變，比起其他兩組(3.6%)較高，表示對照組的教學方法無法使學生在熱傳導概念的『結構』面向中發生根本上的概念改變，由以上可知，熱傳導概念的『結構』面向中科學史建模組和建模組的學習表現是優於對照組。

以 Chi(2008)的分類中，只討論氣體粒子、液體粒子和固體粒子的空間結構概念，尚未討論動態過程，在本體屬性中是屬於『實體』中的『物質』屬性：佔有空間、具有質量且可以改變狀態，應是屬於較易學習的概念，所以在本研究中，三組有相當高比例的學生(92.8%、96.4%、89.3%)可以建立實體分類中的『粒子空間結構的科學概念』。不過，因粒子結構無法在生活中直接觀察，是較為抽象的概念，由表 4-3-7 和圖 4-3-6 可知，使用科學史建模教學和建模教學，可以幫助學生知道『結構』面向與其他面向之間的關係，建立熱傳播的科學模型，學習粒子間結構的概念，所以，經過學習後到延宕測時，此二組學生能可擁有『結構』面向科學概念，但是用一般傳統教學法則無法建立『結構』面向概念與其他概念的連結，概念較為零碎，在經過學習後到延宕測時，無法保有『結構』面向科學概念，達到根本概念改變的目的。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

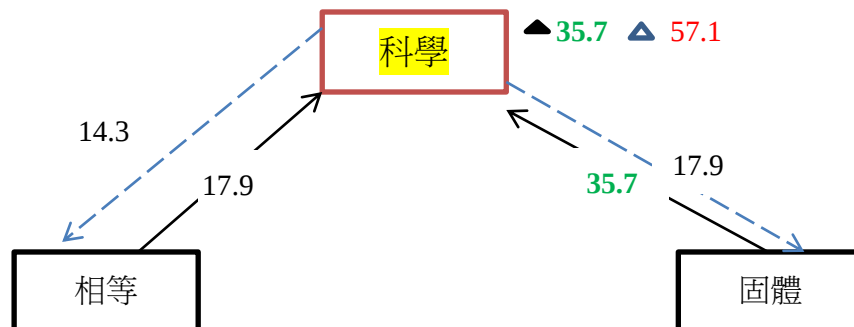


圖 4-3-6 三組熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式圖

→：前測到後測 ->：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變;數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：氣體粒子間的距離是最大的，液體粒子間距離次之，固體粒子間距離最小；『固』：固體粒子間的距離最大，，液體粒子間距離次之，氣體粒子間距離最小；『相等』代表氣體粒子、液體粒子和固體粒子的粒子間距離都相等。

表 4-3-7 熱傳導概念的『結構』面向中概念改變模式

單位：%

主要模式	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
	科學-->科學-->科學 (35.7)	科學-->科學-->科學 (35.7)	科學-->科學-->科學 (35.7)
概念改變模式	固-->科學-->科學 (21.4)	相等-->科學-->科學 (28.6)	固-->科學-->科學 (17.9)
	相等-->科學-->科學 (21.4)	固-->科學-->科學 (21.4)	固-->科學-->固 (17.9)
	相等-->科學>相等 (10.7)	——	相等-->科學>相等 (14.3)
未改變	相等-->相等-->相等 (3.6)	相等-->相等-->相等 (3.6)	相等-->相等-->相等 (7.1)
	——	——	固-->固-->固 (3.6)

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：氣體粒子間的距離是最大的，液體粒子間距離次之，固體粒子間距離最小；『固』：固體粒子間的距離最大，，液體粒子間距離次之，氣體粒子間距離最小；『相等』代表氣體粒子、液體粒子和固體粒子的粒子間距離都相等。

(四) 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向

1. 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 2-1、2-3、3-3、3-4、6-1、6-3 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱傳導『巨觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-8 和圖 4-3-5。

巨觀行為是巨觀下動態的過程和結構的改變，通常是可以被肉眼測量與觀察。在熱傳導的巨觀行為面向上的科學概念為熱是單方向的由高溫傳向低溫，迷思概念是學生會認為單方向的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫；或者是學生會認為高溫會傳冷和熱到低溫、低溫也會傳冷和熱到高溫，互相傳冷和熱。在概念的代表模式中，『科學』代表熱是單方向(one-way)的由高溫傳向低溫，『OCH』是單方向(one-way)的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫，『TCH』是雙向的(two-way)高溫會傳冷和熱到低溫、低溫也會傳冷和熱到高溫。

依據表 4-3-8 和圖 4-3-5 可知：在前測有 53.6%、64.3%和 60.7%的學生認為單方向的由高溫傳熱到低溫、低溫傳冷到高溫，經過教學後，科學史建模組有 75%的學生以及建模組有 67.9%的學生可以學習到正確的科學概念，但反觀對照組只有 39.3%的學生學習到正確的科學概念，經 3 周後，更下降到只剩 28.6%的學生可以保留科學概念。接下來我們將更進一步探討學生在熱傳導概念中『巨觀行為』面向上的概念改變途徑與方式。

表 4-3-8 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	4	21*	18*	3	19*	14*	4	11	8
	14.3	75	64.3	10.7	67.9	50	14.3	39.3	28.6
OCH	15*	5	8	18*	7	12	17*	15*	18*
	53.6	17.9	28.6	64.3	25	42.9	60.7	53.6	64.3
TCH	9	2	2	7	2	2	7	2	2
	32.1	7.1	7.1	25	7.1	7.1	25	7.1	7.1

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：代表熱是單方向的由高溫傳向低溫；『OCH』：單方向(one-way)的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫；『TCH』：雙向的(two-way)高溫會傳冷和熱到低溫、低溫也會傳冷和熱到高溫。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

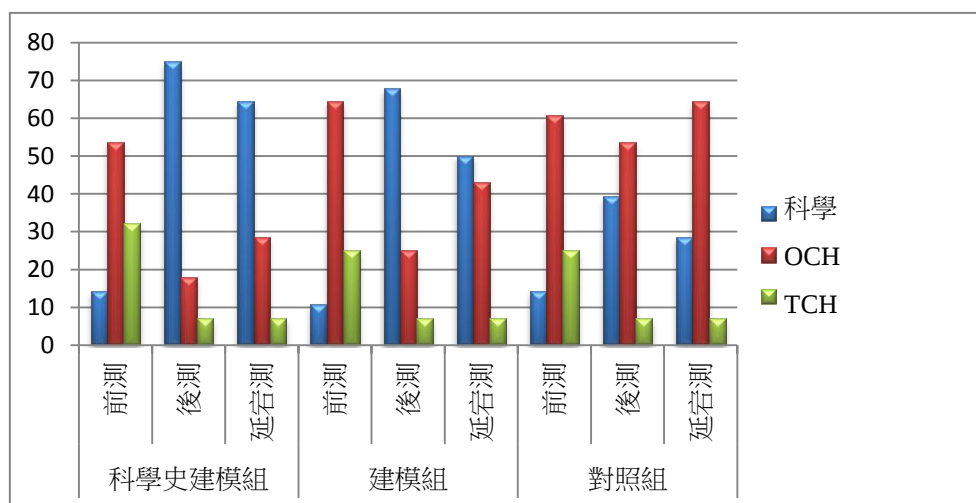


圖 4-3-7 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布

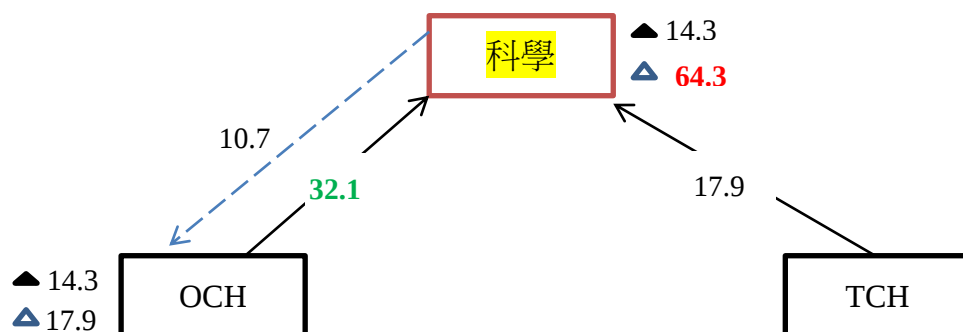
2. 熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式

三組學生在熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式如表 4-3-9 和圖 4-3-8，由圖 4-3-8 中可知：科學史建模組和建模組學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能發生概念改變，學習科學概念，經過學習後到延宕測時，二組最多的百分比人數都是未發生概念回歸，仍擁有科學概念；對照組學生從前測到後測和經過學習後到延宕測，最多的百分比人數都是未能發生根本的概念改變，仍擁有 OCH 由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫的迷思概念。

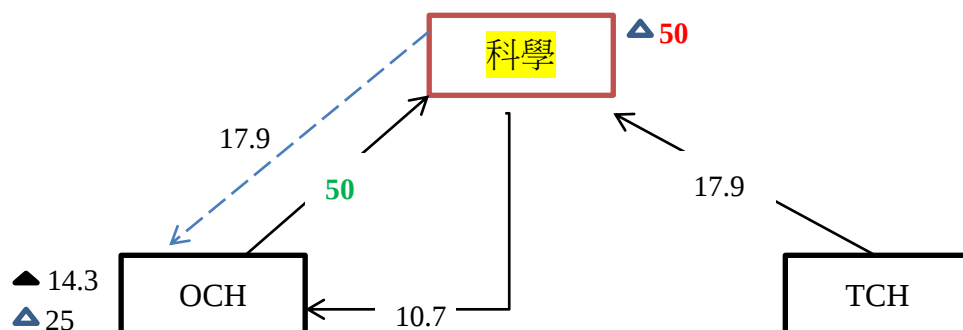
由表 4-3-9 中可知：科學史建模組和建模組在熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變的主要模式都是 OCH-->科學-->科學，在科學史建模組和建模組都約有 50%的學生發生根本的概念改變，且一段時間後仍可以擁有習得的科學概念，例如：OCH-->科學-->科學、TCH-->科學-->科學，但對照組的主模式為 OCH-->OCH-->OCH，顯示多數的人並未改變其迷思概念，只有 17.9%的學生發生根本的概念改變，值得注意的是科學史建模組和建模組也約有 21.4%的學生都一直保有其迷思概念，未因教學而改變其迷思概念，由以上可知，熱傳導概念的『巨觀行為』面向中科學史建模組和建模組的學習表現是優於對照組。

此結果與 Vosniadou(1994)、Chi(2005, 2008)、Chiou(2009)的研究相似，學生認為熱和冷是物質，且可以移動，而造成感覺到冷和熱的感覺。根據 Chi(2005, 2008)的分類中，學生認為高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫，是將此概念置於『過程』分類中的直接過程，在熱傳導概念的『巨觀行為』面向中真正的科學概念也是屬於『過程』的分類中的直接過程，熱是能量由單方向的高溫傳向低溫，是屬於類別內的概念改變，是弱重建，對學生來說是應較不困難，但是，在研究中發現學生無法消除冷、熱是實體的概念，使得學生無法建立正確的科學概念。所以，由表 4-3-7 和圖 4-3-6 可知，學生較不易學習熱傳導概念的『巨觀行為』面向的科學概念，即使在教學時建立了科學概念，但也不易保留，未能發生根本上的概念改變。不過，較於對照組，使用科學史建模教學和建模教學，較可以幫助學生學習熱傳導概念的『巨觀行為』面向，達到根本概念改變的目的。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

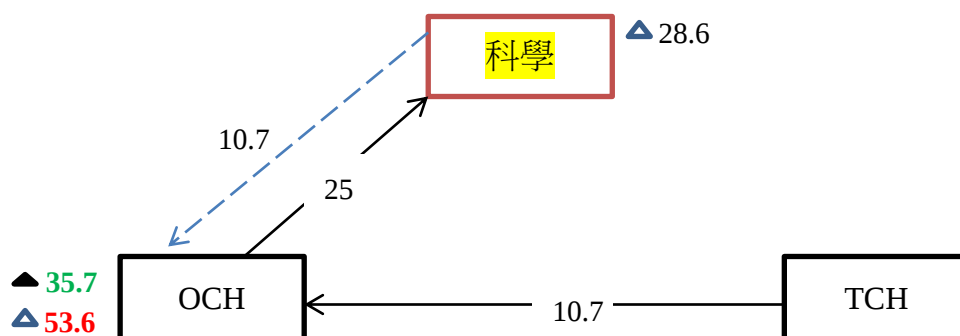


圖 4-3-8 三組熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式圖

→：前測到後測 ->：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變;數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：代表熱是單方向的由高溫傳向低溫；『OCH』：單方向(one-way)的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫；『TCH』：雙向的(two-way)高溫會傳冷和熱到低溫、低溫也會傳冷和熱到高溫。

表 4-3-9 熱傳導概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式

單位：%

	科學史建模組 前測→後測→延宕測	建模組 前測→後測→延宕測	對照組 前測→後測→延宕測
主要模式	OCH-->科學-->科學 (32.1)	OCH-->科學-->科學 (39.3)	OCH-->OCH-->OCH (35.7)
概念改變模式	TCH-->科學-->科學 (17.9) —— ——	TCH-->科學-->科學 (10.7) 科學-->OCH-->OCH (10.7) OCH-->科學-->OCH (10.7)	OCH-->科學-->科學 (17.9) TCH-->OCH-->OCH (10.7) ——
未改變	科學-->科學-->科學 (14.3) OCH--> OCH --> OCH (14.3) TCH--> TCH --> TCH (7.1)	OCH--> OCH --> OCH (14.3) TCH--> TCH --> TCH (7.1)	科學-->科學-->科學 (7.1) TCH--> TCH --> TCH (7.1)

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：代表熱是單方向的由高溫傳向低溫；『OCH』：單方向(one-way)的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫；『TCH』：雙向的(two-way)高溫會傳冷和熱到低溫、低溫也會傳冷和熱到高溫。

(五) 熱傳導概念中的『微觀行為』面向

1. 熱傳導概念中的『微觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 2-4、3-5、6-4 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱傳導『微觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-10 和圖 4-3-9。

微觀行為是微觀下粒子動態的過程。在熱傳導的微觀行為面向上的科學概念為粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能，迷思概念是學生會認為粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去；或者是認為粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。在概念代表的模式中，『科學』代表粒子吸收熱能後，運動速度加

快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能；『CH 碰』是學生會認為粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去；『CH 接』是認為粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。

依據表 4-3-10 和圖 4-3-9 可知：三組學生教學前約有 60.7%、75%、53.6% 的學生認為粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去，經過教學後，科學史建模組有 85.7% 的學生可以學到正確的科學概念，經過 3 周後，仍有 67.9% 的學生保有科學概念；建模組在經過教學有 71.4% 的學生可以學到科學概念，但經 3 周後，只有 42.9% 的學生保有正確科學概念，有迷思概念中粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去的人數上升至 46.4%；反觀對照組，經 3 周後只剩下 17.9% 的學生保有科學概念。

表 4-3-10 熱傳導概念中的『微觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	2	24*	19*	0	20*	12	3	8	5
	7.1	85.7	67.9		71.4	42.9	10.7	28.6	17.9
CH 碰	17*	4	9	21*	5	13*	15*	19*	21*
	60.7	14.3	32.1	75	17.9	46.4	53.6	67.9	75
CH 接	9	0	0	7	3	3	8	1	1
				25	10.7	10.7	28.6	3.6	3.6
散亂	0	0	0	0	0	0	2		1
							7.1	0	3.6

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：代表粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能；『CH 碰』：粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去；『CH 接』：粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

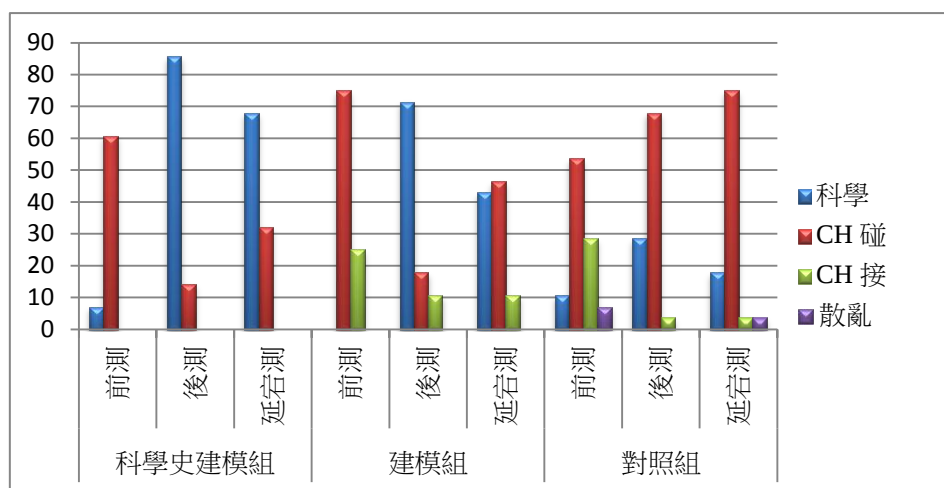


圖 4-3-9 熱傳導概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布

在熱傳導的『微觀行為』面向學習上，科學史建模教學較優於建模組和對照組，接下來我們將更進一步探討學生在熱傳導概念中『微觀行為』面向上的概念改變途徑與方式。

2. 熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式

三組學生在熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式如表 4-3-11 和圖 4-3-10，由圖 4-3-10 中可知：科學史建模組和建模組學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能發生概念改變，學習科學概念，經過學習後到延宕測時，二組最多的百分比人數都是未發生概念回歸，仍擁有科學概念；對照組學生從前測到後測和經過學習後到延宕測，最多的百分比人數都是未能發生根本的概念改變，仍擁有 CH 碰的迷思概念，認為粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去。

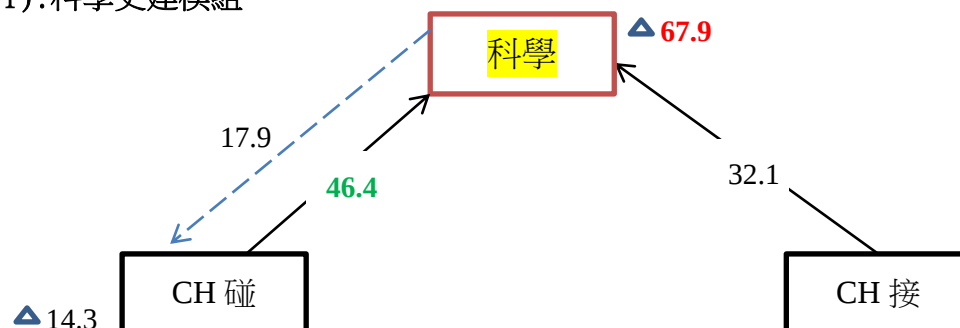
進一步由表 4-3-11 可知：科學史建模組和建模組在熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變的主要模式都是 CH 碰-->科學-->科學，不過，在科學史建模組中還有 CH 碰-->科學-->科學這種根本的概念改變形式，所以在科學史建模組有 60.7%的學生發生根本的概念改變；但是，在建模組只有一種的概念改變的形式，只有 39.3%的學生發生根本的概念改變，25%的學生發生概念回歸，21.4%的學生一直擁有迷思概念，未發生概念改變；在對照組只有 10.7%的學生是因為

教學而發生根本上的概念改變，21%的學生發生錯誤的概念改變，高達 39.3%的學生一直擁有迷思概念，未發生概念改變，由以上可知，熱傳導概念的『微觀行為』面向中科學史建模組的學習表現是優於建模組和對照組。

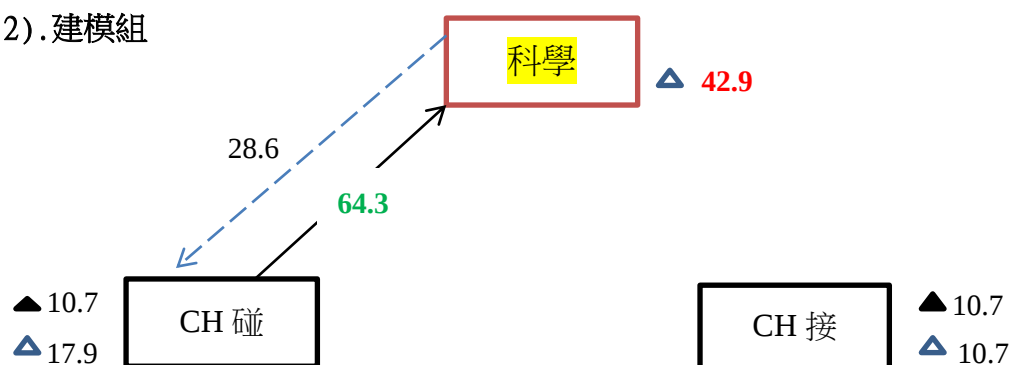
以 Chi(2005, 2008)認為若談論到熱會讓組成物質的粒子動得更快，動得快的粒子去撞擊到動得慢的粒子，藉由粒子間的碰撞將熱傳出去的概念，在本體論中是屬於『過程』屬性的『突現』(emergent)，若學生認為熱和冷是”物質”，可以讓熱和冷碰撞或一個接著一個的把熱和冷傳出去，所以，學生的迷思概念是將熱傳導的『微觀行為』當做是本體論中的『過程』屬性的直接過程。所以，對學生來說從先備知識到正確的科學知識之間的是屬於類別內的概念改變，不過在 Chi(2005, 2008)的研究中顯示直接過程和突現過程在本體屬性上是有所不同的，過程屬性中若由『直接過程』跳躍到『突現過程』，雖然是類別內的概念改變，不過，對學習者來說還是非常困難。

在本研究中也發現了相似的結果，由表 4-3-7 和圖 4-3-6 可知，學生非常不易學習熱傳導概念的『微觀行為』面向的科學概念，即使在教學時建立了科學概念，但也不易保留，未能發生根本上的概念改變，三種教學法中以科學史加入建模教學是最可以幫助學生學習熱傳導概念的『微觀行為』面向，達到根本概念改變的目的。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

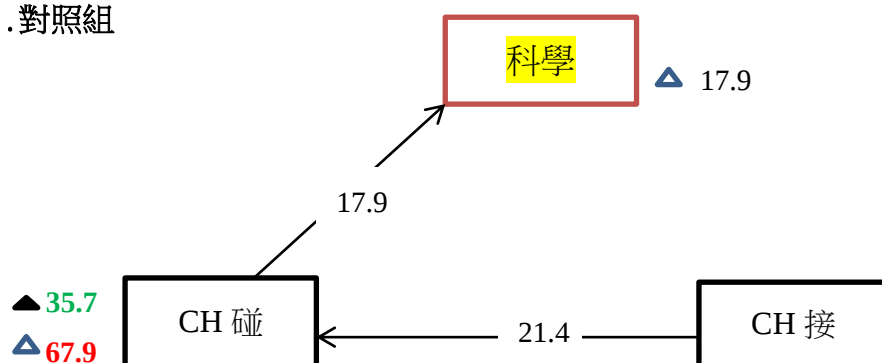


圖 4-3-10 三組熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖

—→：前測到後測 —→：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變;數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

表 4-3-11 熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變模式 (單位：%)

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	→後測	→延宕測	前測	→後測	→延宕測	前測	→後測	→延宕測
主要模式	CH 碰	-->	科學	CH 碰	-->	科學	CH 碰	-->	科學
	(35.7)			(39.3)			(35.7)		
概念改變模式	CH 接	-->	科學	CH 碰	-->	科學	CH 碰	-->	科學
	(25)			(25)			(10.7)		
	CH 碰	-->	CH 碰	CH 碰	-->	CH 碰	CH 接	-->	CH 碰
	(10.7)			(10.7)			(21.4)		
				CH 接	-->	CH 接			
				(10.7)					
未改變	科學	-->	科學	科學	-->	科學	科學	-->	科學
	(7.1)			(7.1)			(7.1)		
	CH 碰	-->	CH 碰	CH 碰	-->	CH 碰	CH 接	-->	CH 接
	(7.1)						(3.6)		

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：代表粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能；『CH 碰』：粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去；『CH 接』：粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。

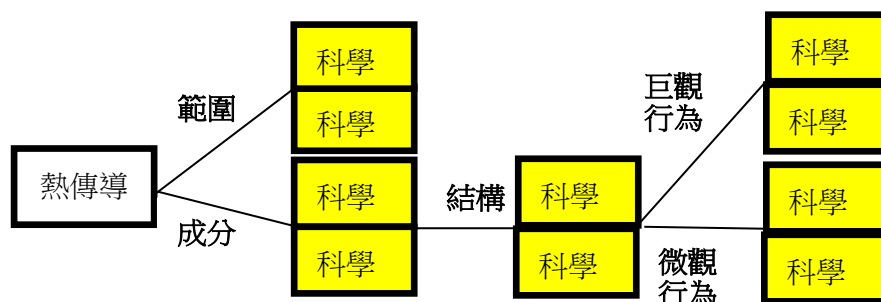
(六)小結

綜合以上分析結果，依據熱傳導模型的五面向，整理出在後測及延宕測中最多學生擁有的概念，製成圖 4-3-11，許多研究(Vosniadou, 1994; Reiner et al., 2000; Chi, 2005, Chiou & Anderson, 2009) 指出，學生因受生活經驗和感覺的影響下產生『冷』、『熱』是兩個作用物，是實體的迷思概念，對照組學生在『巨觀行為』和『微觀行為』都用冷、熱實體來解釋熱傳導的巨觀和微觀的動態過程，但是，用一般教學法無法消除學生這樣的迷思概念，而進行概念改變，然而，從圖 4-3-11 中可以發現科學史建模教學和建模教學可以幫助學生建構正確的科學概念，達到概念改變的目的。

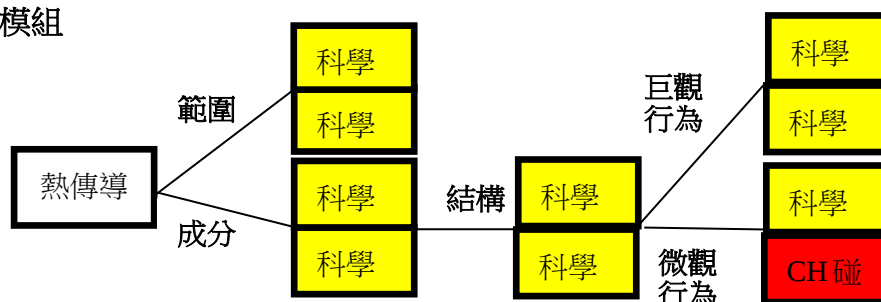
另外，從 Chi(2005, 2008)的概念改變理論來探討熱傳導五面向中範圍、巨觀行為和微觀行為的主要概念和概念改變難易程度，製成圖 4-3-12，學生在學習熱傳導概念中的『範圍』是屬於概念模型的巨觀維度，所擁有正確科學先備知識的人數比例較高，『範圍』的概念本體的轉換是屬於類別內「實體」分類的轉換，較易發生概念改變，三組的人數百分比為 32.1%、46.4%、21.4%，發生概念回歸的人數比例較低；熱傳導概念中的『巨觀行為』雖然是屬於概念模型的巨觀維度，但其科學概念是「過程」屬性中的直接過程，對學生較為困難，所擁有正確科學先備知識的人數比例較低，分別為 14.3%、0、0，概念本體的轉換是屬於類別內「過程」屬性中的直接過程轉換，但與生活經驗不相符，冷、熱是實體的概念無法消除，發生概念改變的比例下降，分別為 32.3%、50%、25%。

最難的則是微觀行為面向，熱傳導概念中的『微觀行為』是屬於概念模型的維觀維度，但其科學概念是「過程」屬性中的突現，沒有學生在教學前擁有正確科學的先備知識，其概念本體的轉換是屬於類別內由「過程」屬性中的『直接』轉換成『過程』屬性中的『突現』，在 Chi 的概念改變理論中雖此是屬於類別內的概念改變，但要跨越概念到突現過程，對學生來說更是困難，教學後發生概念改變的比例較少，三組的人數百分比分別為 46.4%、64.3%、17.9%，但學生不易改變迷思概念，概念回歸的情形也容易發生，三組發生概念回歸的人數百分比分別為 17.9%、28.6%、0%。

1.科學史建模組



2.建模組



3.對照組

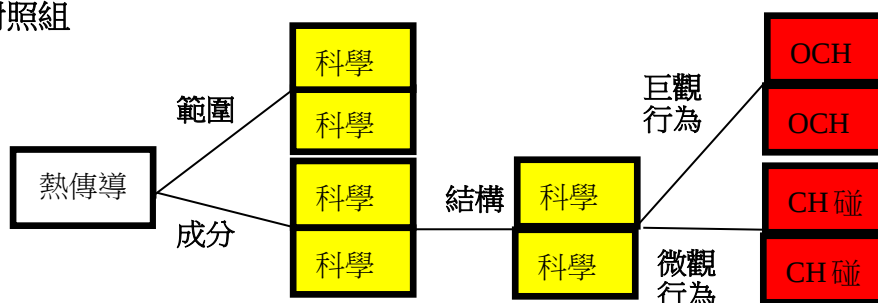


圖 4-3-11 三組熱傳導概念模型的概念圖

註：1.上方為後測中人數比率最高的概念，下方為延宕測概念中人數比率最高的概念。

2.範圍面向的『科學』：物體間有接觸

成分面向的『科學』：固體、液體和氣體都會發生熱傳導

結構面向的『科學』：氣體粒子間的距離是最大的，液體粒子間距離次之，
固體粒子間距離最小

巨觀行為面向的『科學』：代表熱是單方向的由高溫傳向低溫

『OCH』：單方向的由高溫傳熱到低溫和低溫傳冷到高溫

微觀行為面向的『科學』：代表粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使
別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能

『CH 碰』：粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去

熱傳導模型

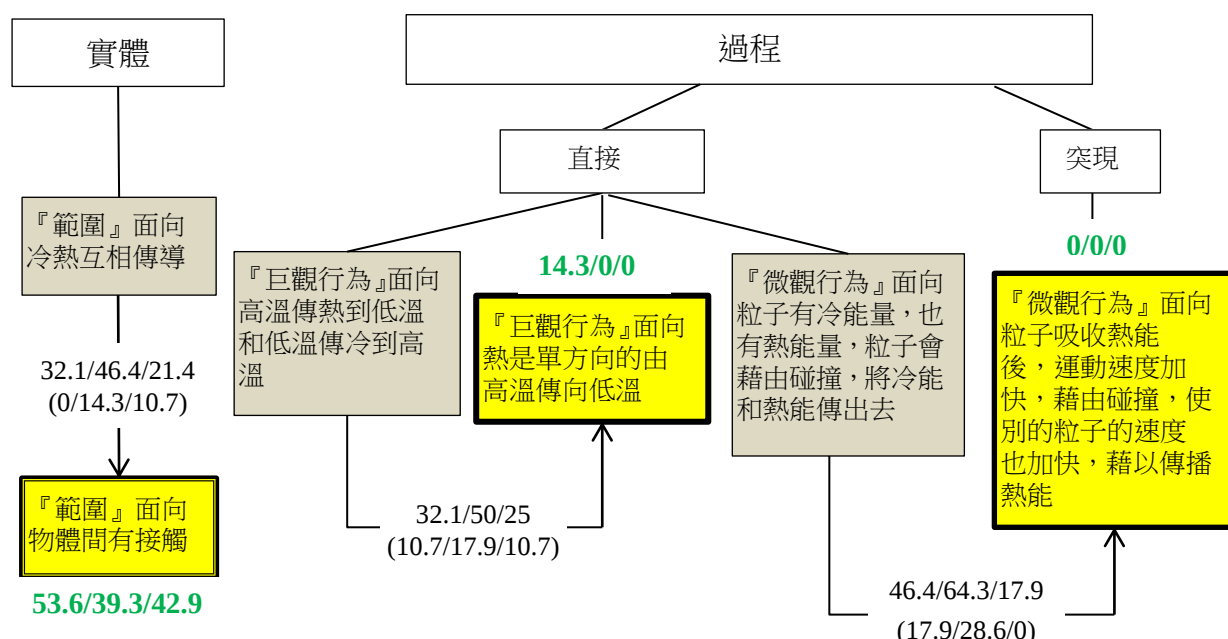


圖 4-3-12 熱傳導模型中『範圍』面向、『巨觀行為』面向和『微觀行為』面向的概念改變過程

註：灰色是學生的迷思概念，黃色為正確的科學概念， $\longrightarrow$ 代表概念改變的方向，數字皆為百分比，10%以下變動不呈現。

綠色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學前即擁有正確科學概念的人數百分比，黑色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學後發生概念改變的人數百分比，括弧內黑色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學 3 周後發生概念回歸的人數百分比。

二、熱對流的概念

在本研究中熱對流的概念組成可分成熱對流的範圍(D)、成分(C)、結構(S)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)五個面向來探討學生對於熱對流概念中此五面向的分布情況，因熱對流的『結構』面向與熱傳導的『結構』面向內容都相同，所以在熱對流的『結構』面向中的答題情況是與熱傳導的『結構』一樣，都是依據相同的題目做判別，所以，根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、

後測和延宕測中第 8-1 題~11-2 題以及 12-3 和 5-1 題的作答，整理出學生作答情形以及百分比，其分析結果如表 4-3-12 和圖 4-3-13。

學生在熱對流概念中擁有對的範圍(D)、成分(C)、結構(S)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)五個面向，即可稱為科學模型，亦即學生可建立對的熱傳導科學模型；若在五個面向中只有對其中的四個面向，錯一個面向，即稱為類科學模型，亦即學生建立的模型尚未到達科學模型，但已接近科學模型；若在五個面向中只有對三個面向，錯二個面向，即稱為綜合模型-2；若在五個面向中只有對二個面向，錯三個面向，即稱為綜合模型-1，綜合模型亦即學生所建立的模型受到生活經驗和科學解釋的雙重影響之下所建立出的模型；若在五個面向中只有對一個面向，錯四個面向，即稱為初始模型-2；若是都沒有對的面向，即稱為初始模型-1，初始模型亦即學生所建立的模型受生活經驗的影響，較不受科學所影響。

根據表 4-3-12 和圖 4-3-13 中可發現：在學生學習熱對流概念之前，大多數的學生都是落在綜合模型-1 和綜合模型-2 中，顯示學生在教學前對熱對流概念已有一定程度的了解，經過不同的教學法學習後，從圖 4-3-13 可知科學史建模組有 20 位(71.4%)的學生、建模組有 18 位(64.3%)的學生可以進步到科學模型，但對照組只有 5 位(17.9%)可以到科學模型。再經過 3 周後的延宕測中，發現科學史建模組有 13 位(46.4%)的學生仍保有科學模型，建模組有 10 位(35.7%)的學生可以保有科學模型，但對照組只剩 1 位(4%)可以保有科學模型。

另外，在表 4-3-12 中也可發現學生在初始模型-2 的前測和延宕測中，熱對流的成分是答對率最高的；在綜合模型-1 的前測、後測和延宕測中，答對最高的是成分和巨觀行為；在綜合模型-2 的前測、後測和延宕測中，答錯率最高的都是熱對流的範圍和微觀行為；在類科學模型的前測、後測和延宕測中，答錯率最高的是熱傳導的微觀行為。

綜合以上分析顯示，學生較易擁有或了解在熱對流概念中的成分和巨觀行為這兩個面向，但是對熱對流概念中的範圍和微觀行為這兩個面向較不易了解或改變，為求更進一步了解學生對於熱對流概念的組成與變化，以下將針對學生對於

熱對流概念的四個面向(註)的概念改變的過程與模式進行來做分析與探討。

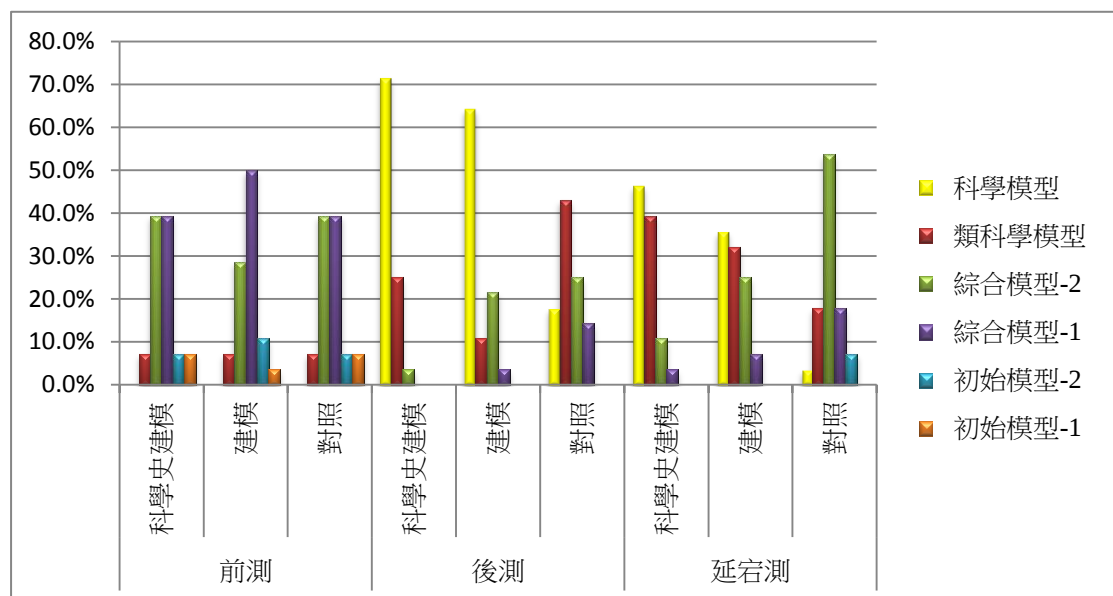


圖 4-3-13 熱對流概念人數百分比分布圖

(一)熱對流概念中的『範圍』面向

1. 熱對流概念中的『範圍』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 8-2、9-2、13-3 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱對流中『範圍』面向的概念分布情形，如表 4-3-13 和圖 4-3-14。

範圍是限制此模型的所表達的要素，表現出結構上和(或)行為上的特點，以挑選適當的模型。在熱對流的範圍面向上的『科學』是流體流動，將熱傳出去，但有些學生認為熱對流就一定要有『外力』的介入，例如：風或者是用手搨；或是不管是水傳熱給其他物體還是其他物體傳熱給水，只要有『水』這個名詞存在，就有熱對流，這都是熱對流的迷思概念。

依據表 4-3-13 和圖 4-3-14 三組學生在前測中，多數學生(50%、50%、39.3%)認為不管任何情況，只要有『水』就是熱對流的情況，教過教學後，建模組有 82.1% 的學生可以學習到正確的科學概念、其次是科學史建模組的 71.4%和較低的對照

註：熱對流的結構面向與熱傳播的結構面向相同，所以就不再行討論。

組 60.7%，表示多數的學生都可以經由不同的教學法習得此概念，經 3 周後，建模組有 78.6% 的學生可以保留科學概念學、其次是科學史建模組的 71.4% 和對照組 50% 的學生。

在前一小節的討論中發現學生在學習熱對流的範圍面向答對率較低，但我們無法從下表中找出學生在熱對流範圍面向的概念學習情形，因此我們仍需進一步探討學生概念改變的途徑與方式。

表 4-3-12 熱對流概念人數分布表

		前測	後測	延宕測
		科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照
科學模型	人數	0/0/0	20/18/5	13/10/1
類科學模型	人數	2/2/2	7/3/12	11/9/5
	答錯	D : 1(50%)/0/1(50%) U : 1(50%)/2(100%)/1(50%)	D : 3(42.9%)/2(66.7%)/4(33.3%) U : 4(57.1%)/1(33.3%)/8(66.7%)	D: 5(45.5%)/2(22.2%)/2(40%) U: 6(54.5%)/7(77.8%)/3(60%)
綜合模型-2	人數	11/8/11	1/6/7	3/7/15
	答錯	DU : 8(72.7%)/6(75%)/8(72.7%) SU : 3(27.3%)/2(25%)/2(18.2%) DS : 0/0/1(9.1%)	DU : 1(100%)/5(83.3%)/5(71.4%) MU : 0/1(17.7%)/0 SU : 0/0/2(28.6%)	DU : 3(100%)/6(85.7%)/10(66.7%) MU : 0/1(14.3%)/2(13.2%) SU : 0/0/3(20%)
綜合模型-1	人數	11/14/11	0/1/4	1/2/5
	答錯	DMU: 2(18.3%)/3(21.4%)/2(18.2%) DCU: 1(9.1%)/0/1(9.1%) SMU : 0/3(21.4%)/0 DSU: 8(72.7%)/8(57.1%)/8(72.7%)	DMU : 0/0/1(25%) DSU: 0/1(100%)/3(75%)	DSU: 1(100%)/2(100%)/5(100%)
初始模型-2	人數	2/3/2	0/0/0	0/0/2
	答錯	DSMU: 2(100%)/3(100%)/2(100%)		DSMU: 2(100%)
初始模型-1	人數	2/1/2	0/0/0	0/0/0

註：反黑部分為答錯比率最高的類型。

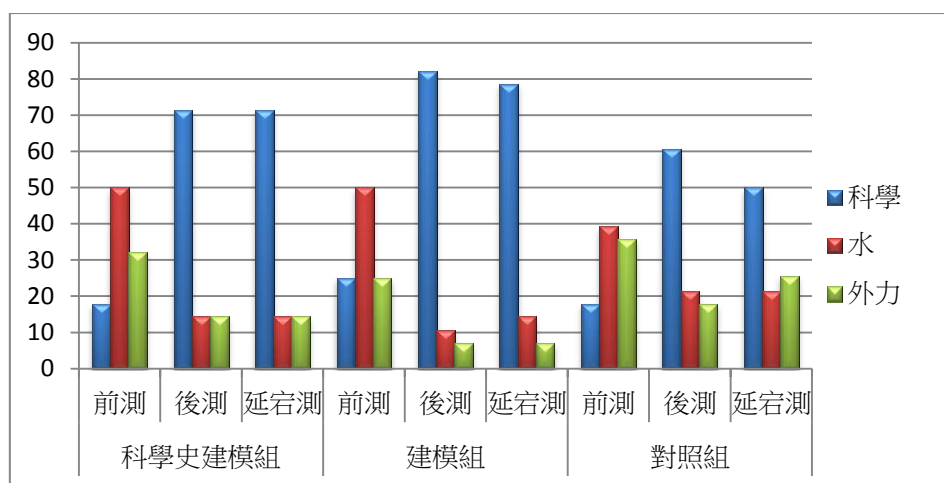


圖 4-3-14 熱對流概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布

表 4-3-13 熱對流概念中的『範圍』面向答題人數分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	5	20*	20*	7	23*	22*	5	17*	14*
	17.9	71.4	71.4	25	82.1	78.6	17.9	60.7	50
水	13*	4	4	14*	3	4	11*	6	6
	46.4	14.3	14.3	50	10.7	14.3	39.3	21.4	21.4
外力	10	4	4	7	2	2	10	5	8
	35.7	14.3	14.3	25	7.1	7.1	35.7	17.9	25.6

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：流體流動，將熱傳出去；『外力』：有外力驅動才能發生熱對流；『水』：不管是水傳熱給其他物體還是其他物體傳熱給水，只要有水就有熱對流。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

2. 熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式

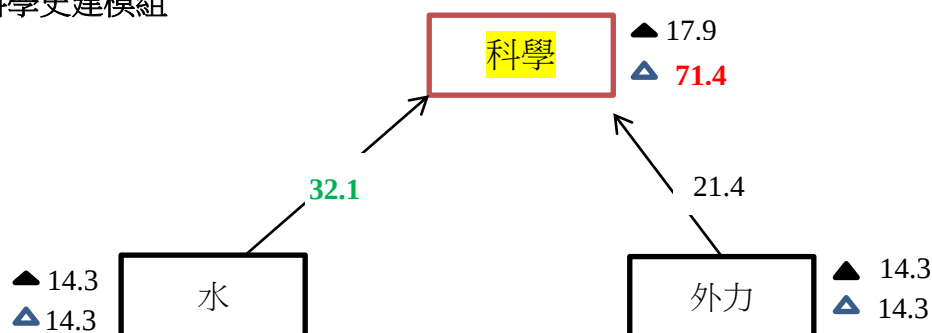
三組學生在熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式如表 4-3-14 和圖 4-3-15，由圖 4-3-15 中可知：三組學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能學習到科學概念，經過學習後到延宕測時，最多的百分比人數是未發生概念回歸，仍擁有科學概念，且由表中可知：科學史建模組、建模組和對照組的學生在熱對流概念的『範圍』面向中的主要模式是水-->科學-->科學，科學史建模組和建模組在概念改變模式中，還有外力-->科學-->科學和科學-->科學-->科學 2 種模式，學生都是可以學到和保留科學概念，但是在對照組中發現學生不易保留學到

的科學概念，其概念改變的模式還有外力-->科學-->外力，且在此『範圍』面向中，三組未發生概念改變的人數都偏多(28.6%、17.8%、39.3%)，尤其以對照組一直擁有相同迷思概念且未發生概念改變的百分比最多。由以上可知，熱對流概念的『範圍』面向中科學史建模組和建模組的學習表現是優於對照組。

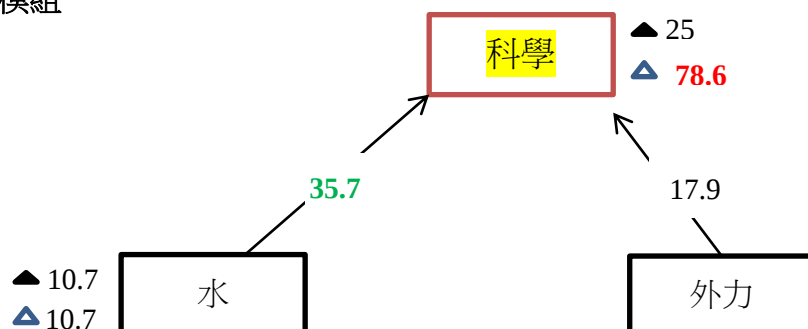
另外，在熱對流概念的『範圍』面向中真正的科學概念是流體流動，將熱傳出去，此概念有因果關係的存在，在概念本體的分類中是屬於『過程』的分類中的直接過程，在表 4-3-14 也可發現超過一半的學生在教學前有迷思概念的存在，只要有『水』就是對流的情況，只認定名詞，與 Jones 等人(2000)的研究結果相似，學生認為熱只會在水中利用流動的方式傳送熱，在 Chi(2005, 2008)的分類架構中是屬於『實體』的分支中的物質屬性，若從此迷思概念跳躍到科學概念是屬於類別間的概念改變，屬於強重建，使得三組分別有 14.3%、10.7%、21.4%的學生未發生概念改變。

另外，也有學生認為需要有外力的驅動才能發生熱對流，因為此概念有因果關係的存在，在 Chi 的分類架構中是屬於『過程』的分支中的『直接過程』，在 Chi 的概念改變理論來說此概念改變的發生是屬於類別內的概念改變，屬於弱重建，但是，因為流體的流動，包含一般液體和氣體，不易在日常生活中觀察得到，但是，學生很容易在日常生活中觀察到用『外力』的方式把熱的物體吹涼或搨涼的經驗，所以，雖然從迷思概念轉換成科學概念是屬於弱重建，但是少了生活經驗的支持，概念改變仍不易發生。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

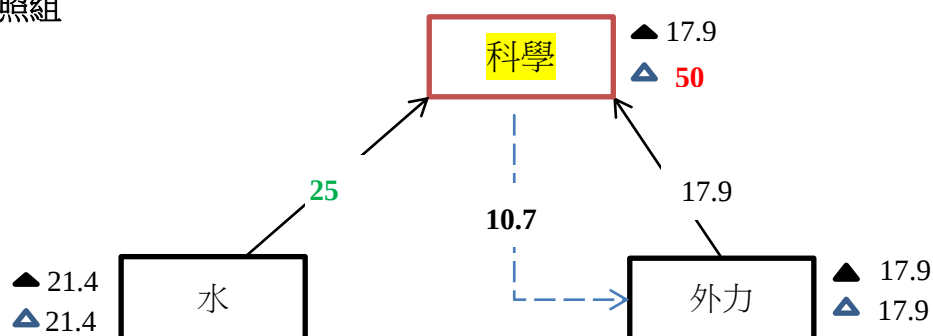


圖 4-3-15 三組熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式圖

→：前測到後測 →→：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變；數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：流體流動，將熱傳出去；『外力』：有外力驅動才能發生熱對流；

『水』：不管是水傳熱給其他物體還是其他物體傳熱給水，只要有水就有熱對流。

表 4-3-14 熱對流概念的『範圍』面向中概念改變模式 單位：%

	科學史建模組		建模組		對照組	
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	水-->科學-->科學 (35.7)	水-->科學-->科學 (35.7)	水-->科學-->科學 (35.7)	水-->科學-->科學 (25)	水-->科學-->科學 (25)	水-->科學-->科學 (25)
概念改變模式	外力-->科學-->科學 (21.4)	科學-->科學-->科學 (25)	科學-->科學-->科學 (25)	科學-->科學-->科學 (17.9)	科學-->科學-->科學 (17.9)	科學-->科學-->科學 (17.9)
	科學-->科學-->科學 (17.9)	力-->科學-->科學 (17.9)	力-->科學-->科學 (17.9)	外力-->科學-->外力 (10.7)	外力-->科學-->外力 (10.7)	外力-->科學-->外力 (10.7)
未改變	水-->水-->水 (14.3)	水-->水-->水 (10.7)	水-->水-->水 (10.7)	水-->水-->水 (21.4)	水-->水-->水 (21.4)	水-->水-->水 (21.4)
	外力-->外力-->外力 (14.3)	外力-->外力-->外力 (7.1)	外力-->外力-->外力 (7.1)	外力-->外力-->外力 (17.9)	外力-->外力-->外力 (17.9)	外力-->外力-->外力 (17.9)

註：概念改變模式 10%以下不討

(二) 熱對流概念中的『成分』面向

1. 熱對流概念中的『成分』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 8-1、9-1、10-1 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱對流『成分』面向的概念分布情形，如表 4-3-15 和圖 4-3-16。

成分是模型系統內部的物件，會發生熱對流的物件是流體，流體包含了液體和氣體，所以熱對流的成分面向上的科學概念是液體和氣體，在熱對流的成分面向上的科學概念是流體，以『科學』表示，迷思概念有學生認為只有氣體才會發生熱對流，以『氣』表示；或是只有固體才會發生熱對流，以『固』表示。

由表 4-3-15 和圖 4-3-16 可知：三組學生在學習熱對流概念前，約 80%以上的學生都已經有先備知識知道液體和氣體都可能會發生熱對流，經過教學後，科學史建模組、建模組和對照組甚至答對率可達百分之百，經 3 周後，所有的學生都保留科學概念。在此表中，我們就可以看出學生概念改變的途徑與方式，就不另行再做討論。

表 4-3-15 熱傳導概念中的『成分』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	23* 82.1	28* 100	28* 100	23* 82.1	28* 100	28* 100	24* 85.7	28* 100	28* 100
氣	4 14.3	0	0	4 14.3	0	0	2 7.1	0	0
固	1 3.6	0	0	1 3.6	0	0	2 7.1	0	0

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：流體；『氣』：氣體；『固』：固體。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

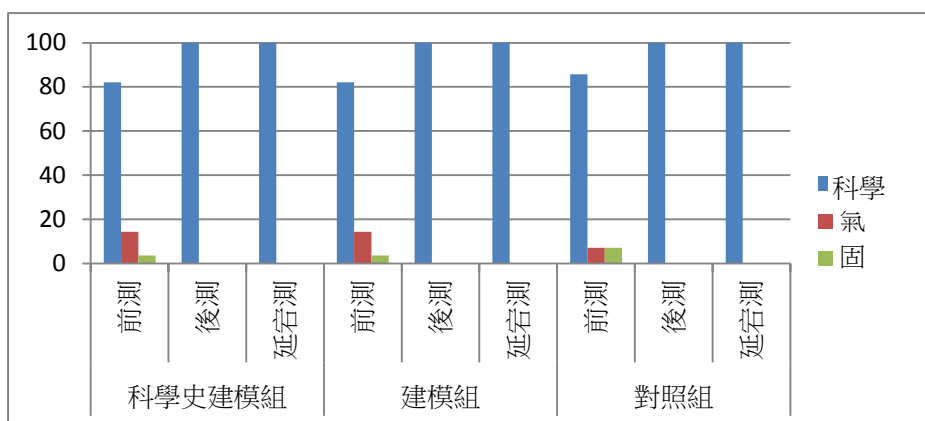


圖 4-3-16 熱對流概念中的『成分』面向答題人數百分比

(三) 熱對流概念中的『巨觀行為』面向

1. 熱對流概念中的『巨觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 10-3、11-1、12-1 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱對流『巨觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-16 和圖 4-3-17。

巨觀行為是巨觀下動態的過程和結構的改變，通常是可以被肉眼測量與觀察。在熱對流的巨觀行為面向上的『科學』概念為流體受熱後體積會膨脹，往上升，冷的流體就會從四面八方補充進來，形成熱上升，冷下降補充的情形，以『科學』表示，迷思概念是學生會認為冷上升，熱下降，以『冷升』表示；或者是學生會認為是沒有方向性的亂流動，以『亂流』表示。

依據表 4-3-16 和圖 4-3-17 可知：在前測有 67.9%、57.1%和 75%的學生就已經有熱的流體會上升，冷的流體會下降、補充，經過教學後，科學史建模組和建模組有 100%的學生，對照組有 96.4%的學生可以學習到正確的科學概念，經 3 周後，三組都還有 92.9%、89.3%、92.9%的學生可以保留科學概念，三組都有很好的熱對流概念中『巨觀行為』面向的概念學習與概念保留，接下來我們將更進一步探討學生在熱傳導概念中『巨觀行為』面向上的概念改變途徑與方式。

表 4-3-16 熱對流概念中的『巨觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	19*	28*	26*	16*	28*	25*	21*	27*	26*
	67.9	100	92.9	57.1	100	89.3	75	96.4	92.9
冷升	3	0	0	2	0	0	4	1	1
	10.7			7.1			14.3	3.6	3.6
亂流	6	0	2	10	0	2	3	0	1
	21.4		7.1	35.7		7.1	10.7		3.6

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：熱上升，冷下降；『冷升』：冷上升，熱下降；『亂流』：沒有方向性的亂流動。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

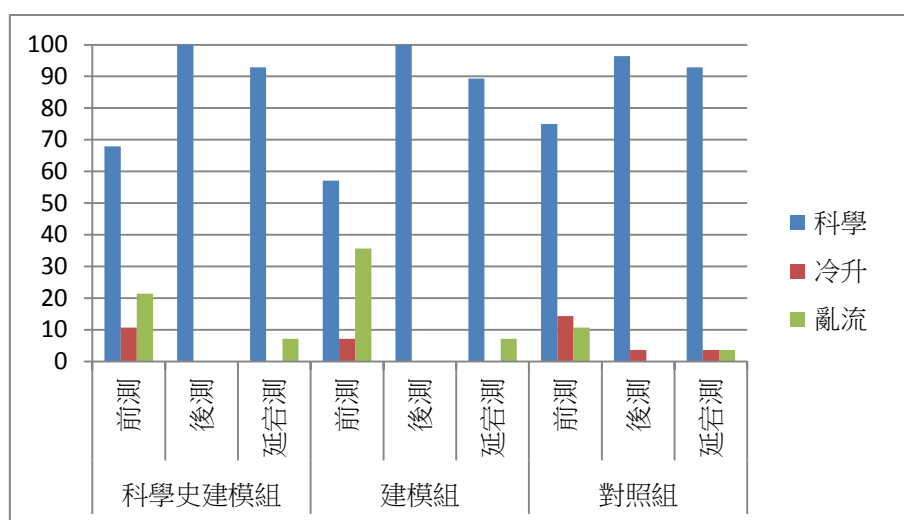


圖 4-3-17 熱對流概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布

2. 熱對流概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式

三組學生在熱對流概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式如表 4-3-17，由表中可知：科學史建模組、建模組和對照組在熱對流概念的『巨觀行為』面向中概念改變的主要模式都是科學-->科學-->科學，顯示多數的學生在學習前就擁有了科學概念，學生在四、五年級的課程中已經有液體或氣體會因為受熱而流動的概念，只剩少數的學生會發生概念改變的模式：亂流-->科學-->科學和冷升-->科學-->科學。

表 4-3-17 熱對流概念的『巨觀行為』面向中概念改變模式

單位：%

	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	科學-->科學-->科學 (67.9)	科學-->科學-->科學 (57.1)	科學-->科學-->科學 (75)
概念改變模式	亂流-->科學-->科學 (14.3) 冷升-->科學-->科學 (10.7)	亂流-->科學-->科學 (25) _____	冷升-->科學-->科學 (10.7) _____
未改變	_____	_____	冷升-->冷升-->冷升 (3.6)

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：熱上升，冷下降；『冷升』：冷上升，熱下降；『亂流』：沒有方向性的亂流動。

(五) 熱對流概念中的『微觀行為』面向

1. 熱對流概念中的『微觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 10-4、11-2、12-3 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱對流『微觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-18 和圖 4-3-18。

微觀行為是微觀下粒子動態的過程。在熱對流的微觀行為面向上的科學概念為粒子吸收熱能後，運動速度加快，粒子間距離加大，使得粒子總重量不變，但總體積變大，產生流動，藉以傳播熱能，使用的代號是『科學』；但學生有的會認為粒子吸收熱能後會變大，才會造成體積的膨脹，使用的代號是『HB』；或者有的是認為粒子吸收熱能後，熱就會夾帶在粒子間，使得體積膨脹，使用的代號是『HC』，還有無法以一致概念回答的散亂模式，使用的代號是『散亂』。

依據表 4-3-18 和圖 4-3-18 可知：三組學生教學前約有 21.4%、21.4%、35.7% 的學生認為熱會夾帶在粒子間，使得整體體積膨脹；有 64.3%、67.9%、50% 的學生認為熱會使粒子本身的體積膨脹，而造成整體體積膨脹，經過教學後，科學史建模組有 78.6% 的學生可以學到正確的科學概念，經過 3 周後，仍有 50% 的學

生保有科學概念；建模組在經過教學有 75%的學生可以學到科學概念，但經 3 周後，只有 46.4%的學生保有正確科學概念；反觀對照組，教過教學後，只有 32.1%的學生可以學到正確的科學概念，經 3 周後只剩下 17.9%的學生保有科學概念，多數的學生無法經由一般的教學學習到科學概念。在熱對流的『微觀行為』面向學習上，科學史建模教學和建模組較優於對照組，接下來我們將更進一步探討學生在熱對流概念中『微觀行為』面向上的概念改變途徑與方式。

表 4-3-18 熱對流概念中的『微觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	2	22*	14*	1	21*	13*	1	9	5
	7.1	78.6	50	3.6	75	46.4	3.6	32.1	17.9
HB	18*	1	7	19*	2	8	14*	6	8
	64.3	3.6	25	67.9	7.1	28.6	50	21.4	28.6
HC	6	3	5	6	3	5	10	10*	12*
	21.4	10.7	17.9	21.4	10.7	17.9	35.7	35.7	42.9
散亂	2	2	2	2	2	2	3	3	3
	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	10.7	10.7	10.7

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：粒子間距離加大，使得粒子總重量不變；『HB』：粒子吸收熱能後會變大；『HC』：熱就會夾帶在粒子間；『散亂』：無法以一致概念回答。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

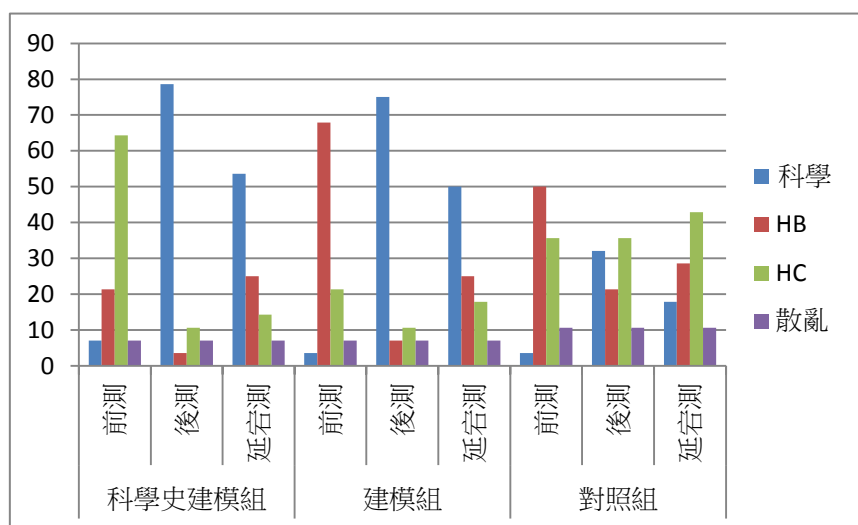


圖 4-3-18 熱對流概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布

2. 熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式

三組學生在熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式如表 4-3-19 和圖 4-3-19，由圖 4-3-19 中可知：科學史建模組和建模組學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能擁有科學概念，經過學習後到延宕測時，最多的百分比人數也是未發生概念回歸，仍擁有科學概念；反觀對照組，能經由教學學習到正確科學概念的人數百分比很低，多數的學生都是未發生概念上的改變，一直擁有原本的迷思概念。

由表中可知：科學史建模組和建模組在熱對流概念的『微觀行為』面向中概念變主要模式都是 HB-->科學-->科學，由迷思概念轉化為科學概念，此外，還有 HC-->科學-->科學這種根本的概念改變形式，所以在科學史建模組有 42.8%的學生，建模組有 46.4%的學生發生根本的概念改變；在概念改變的模式中發現科學史建模組有 25%的學生發生概念回歸，模式為 HB-->科學-->HB，建模組有 28.6%的學生發生概念回歸，模式為 HB-->科學-->HB 和 HC-->科學-->HC；另外，在科學史建模組和建模組都是有 17.8%的學生，沒有發生概念，一直維持相同的迷思概念。

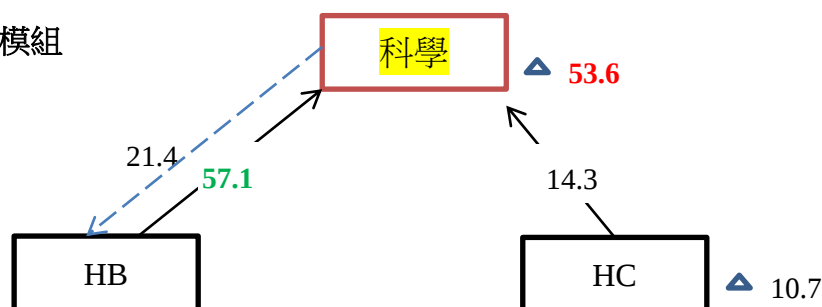
對照組的主要模式 HC-->HC-->HC，顯示學生無法經由一般教學發生概念，學習新的科學概念，而是一直維持相同的迷思概念，百分比高達 50.7%，只有 17.9%的學生發生根本上的概念改變，不過，值得注意的是，三組中沒有一致概念的學生都沒有因為教學而有一致的概念或學習到科學概念，還是呈現沒有一致概念的現象。由以上可知，熱對流概念的『微觀行為』面向中科學史建模組和建模組的學習表現是優於對照組。

以 Chi(2005, 2008)的分類結構中，若談論到粒子吸收熱能，運動速度加快，粒子間距離加大，使得粒子總重量不變，但總體積變大，產生流動，藉以傳播熱能，在本體論中是屬於『過程』屬性的『突現』(emergent)。

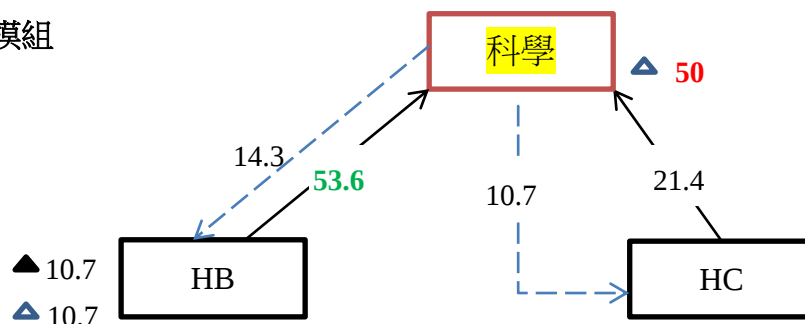
若學生認為粒子吸收熱能後，粒子本身會變大，才會造成體積的膨脹，或者有的是認為粒子吸收熱能後，熱就會夾帶在粒子間，使得體積膨脹，都是把粒子

和熱當作是”物質”，粒子受熱後會”脹大”，熱會”夾”在粒子間，都是用生活中的巨觀現象經驗來解釋微觀現象，所以，學生的迷思概念是將熱對流的『微觀行為』當做是本體論中的『實體』屬性。所以，對學生來說從先備知識到正確的科學知識之間的是屬於類別間的概念改變，是強重建，加上微觀是無法以生活經驗去類推的，也無法用肉眼觀察，對學生來說是更為困難，所以，由表 4-3-19 和圖 4-3-19 可知，學生非常不易學習熱對流概念的『微觀行為』面向的科學概念，即使在教學時建立了科學概念，但也不易保留，未能發生根本上的概念改變。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

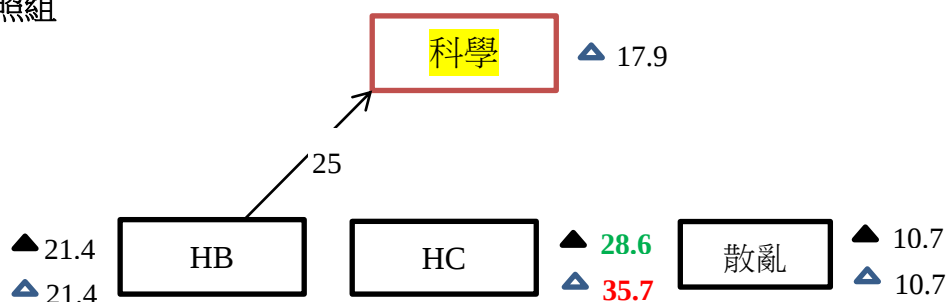


圖 4-3-19 三組熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖

—>：前測到後測 ->：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變;數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：粒子間距離加大，使得粒子總重量不變；『HB』：粒子吸收熱能後會變大；『HC』：熱就會夾帶在粒子間；『散亂』：無法以一致概念回答。

表 4-3-19 熱對流概念的『微觀行為』面向中概念改變模式

單位：%

主要模式	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
	HB-->科學-->科學 (32.1)	HB-->科學-->科學 (35.7)	HC-->HC-->HC (18.6)
概念改變模式	HC-->科學-->科學 (10.7)	HC-->科學-->科學 (10.7)	HB-->科學-->科學 (17.9)
	HB-->科學-->HB (25)	HB-->科學-->HB (17.9)	——
	——	HC-->科學-->HC (10.7)	——
未改變	科學-->科學-->科學 (7.1)	HB-->HB-->HB (10.7)	HB-->HB-->HB (21.4)
	HC-->HC-->HC (7.1)	亂-->亂-->亂 (7.1)	亂-->亂-->亂 (10.7)
	HB-->HB-->HB (3.6)	——	——
	亂-->亂-->亂 (7.1)	——	——

註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：粒子間距離加大，使得粒子總重量不變；『HB』：粒子吸收熱能後會變大；『HC』：熱就會夾帶在粒子間；『散亂』：無法以一致概念回答。

(六)小結

綜合以上分析結果，依據熱對流模型的四面向，整理出在後測及延宕測中後測中人數比率最高的概念，從圖 4-3-20 中可以發現科學史建模組、建模組和對照組等三組不同的教學法，有差異的只有在熱對流概念模型的微觀行為面向，使用一般教學法無法消除學生認為粒子吸收熱能後，熱就會夾帶在粒子間，使得體積膨脹的迷思概念，而進行概念改變，然而，科學史建模教學和建模教學可以幫助學生建構正確的科學概念，達到概念改變的目的。

另外，從 Chi(2005, 2008)的概念改變理論來探討熱對流四面向概念改變難易程度，熱對流概念中的『成分』和『巨觀行為』兩個面向學生在前測時已具備科

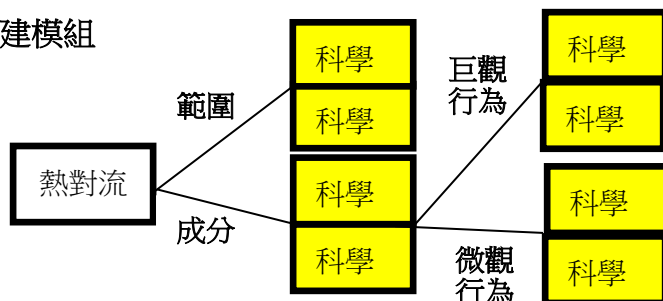
註：熱對流的結構面向與熱傳播的結構面向相同，所以就不再行討論。

學的概念，三組的學習表現相似，高達 90%以上的學生可以回答科學概念，所以僅討論熱對流的範圍面向和微觀行為面向，製成圖 4-3-21：『範圍』面向概念是屬於概念模型的巨觀維度，所擁有正確科學先備知識的人數比例較高，分別為 17.9%、25%、17.9%，學生認為熱只會在水中利用流動的方式傳送熱，在 Chi(2005, 2008)的分類架構中是屬於『實體』的分支中的物質屬性，若從此迷思概念跳躍到科學概念是屬於類別間的概念改變，屬於強重建，發生概念改變的比例為 32.1%、35.7%、25%；學生認為需要有外力的驅動才能發生熱對流，因為此概念有因果關係的存在，在 Chi 的分類架構中是屬於『過程』的分支中的『直接過程』，在 Chi 的概念改變理論來說此概念改變的發生是屬於類別內的概念改變，屬於弱重建，發生概念改變的比例為 21.4%、17.9%、17.9%，三組在此面向中都有擁有迷思概念未發生概念改變的人數，可能是受到概念本體轉換的影響，或者是因生活經驗的影響，學生很容易在日常生活中觀察到『水』受熱後流動現象，只要有『水』這個名詞就是熱對流，與 Jones, Carter 和 Rua(2000)研究結果相似；也常有用『外力』的方式把熱的物體吹涼或搨涼的經驗，所以，少了生活經驗的支持，概念改變仍不易發生。

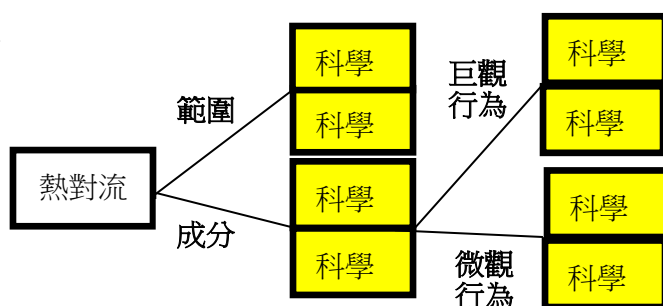
最難的則是微觀行為面向，對流概念中的『微觀行為』雖然是屬於概念模型的微觀維度，且其科學概念是「過程」屬性中的突現，學生在教學前擁有正確科學的先備知識的人數比例分別為 7.1%、3.6%、3.6%，三組在『熱會粒子吸收熱能後會變大』的迷思概念百分比分別為 64.3%、67.9%、50%，但學生不易改變迷思概念，三組發生概念改變的人數百分比分別為 57.1%、53.6%、25%，概念回歸的情形也容易發生，三組發生概念回歸的人數百分比分別為 21.4%、14.3%、0%；三組在『熱會夾帶在粒子間』的迷思概念百分比分別為 21.4%、21.4%、35.7%，但學生不易改變迷思概念，三組發生概念改變的人數百分比分別為 14.3%、21.4%、0%，概念回歸的情形也容易發生，三組發生概念回歸的人數百分比分別為 0%、10.7%、0%。然而，學生的迷思概念是將熱對流的『微觀行為』當做是本體論中的『實體』屬性，其概念本體的轉換是屬於類別間由「實體」屬性轉換成『過程』屬性中的突現過程，在 Chi 的概念改變理論中類別間的概念改變已是困難，再加

上還要跨越概念到突現過程，對學生來說更是困難，教學後發生概念改變的比例較少，也易發生概念回歸。

1.科學史建模組



2.建模組



3.對照組

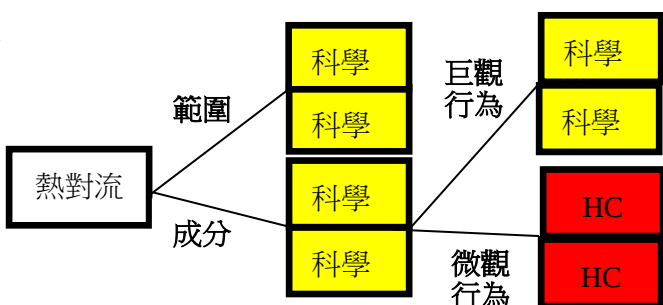


圖 4-3-20 三組熱對流概念模型的概念圖

註：1.上方為後測中人數比率最高的概念，下方為延宕測概念中人數比率最高的概念。

2.範圍面向的『科學』：流體流動，將熱傳出去

成分面向的『科學』：流體

結構面向的『科學』：氣體粒子間的距離是最大的，液體粒子間距離次之，
固體粒子間距離最小

巨觀行為面向的『科學』：熱上升，冷下降

微觀行為面向的『科學』：粒子間距離加大，使得粒子總重量不變

『HC』：熱就會夾帶在粒子間

熱對流模型

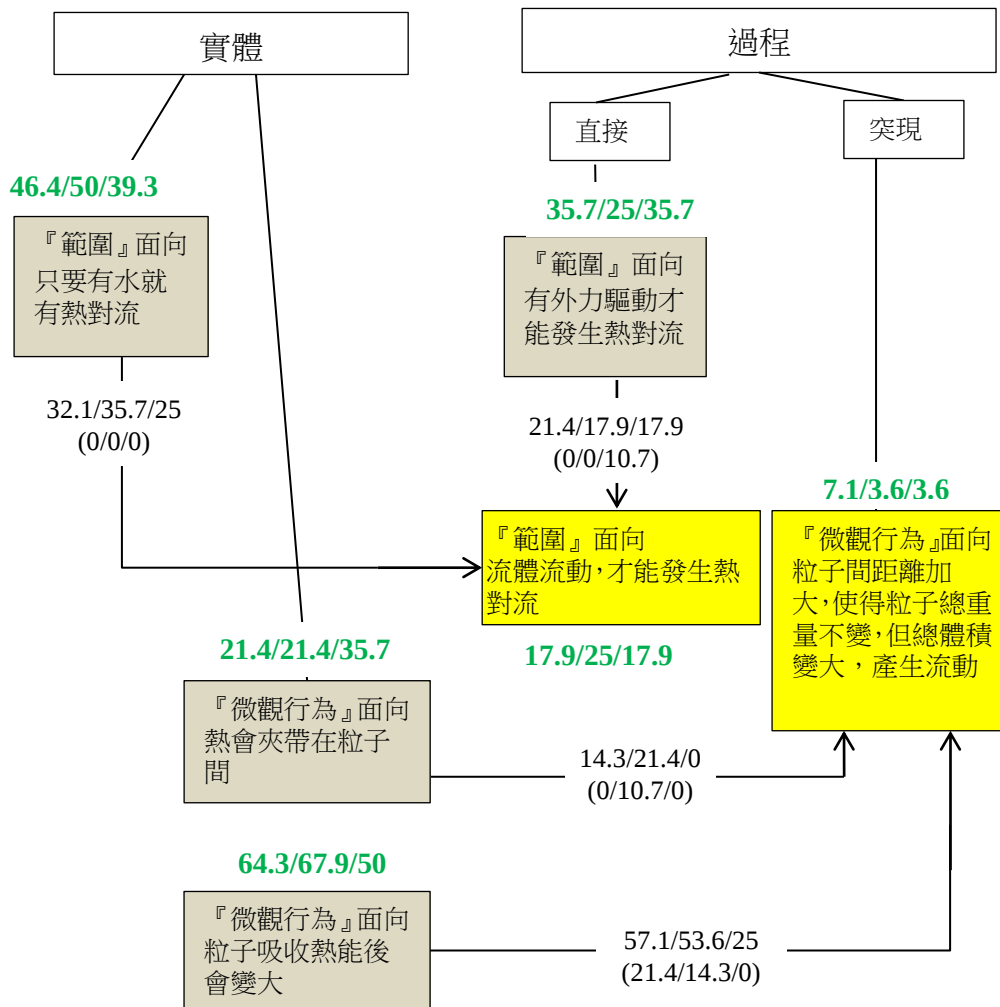


圖 4-3-21 熱對流模型中『範圍』面向和『微觀行為』面向的概念改變過程
 註：灰色是學生的迷思概念，黃色為正確的科學概念， $\longrightarrow$ 代表概念改變的方向，數字皆為百分比，10%以下變動不呈現。
 綠色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學前即擁有正確科學概念的人數百分比，黑色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學後發生概念改變的人數百分比，括弧內黑色數字為科學史建模/建模/對照學生在教學 3 周後發生概念回歸的人數百分比。

三、熱輻射的概念

在本研究中熱輻射的概念組成可分成熱輻射的範圍(D)、成分(C)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)四個面向來探討學生對於熱輻射概念中此四面向的分布情況，根據學生在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的前測、後測和延宕測中第 14-1 題~18-2 題的作答，整理出學生作答情形以及百分比，其分析結果如表 4-3-20。

學生在熱輻射概念中擁有對的範圍(D)、成分(C)、巨觀行為(M)和微觀行為(U)四個面向，即可稱為科學模型，亦即學生可建立對的熱傳導科學模型；若在四個面向中只有對其中的三個面向，錯一個面向，即稱為類科學模型，亦即學生建立的模型尚未到達科學模型，但已接近科學模型；若在四個面向中只有對二個面向，錯二個面向，即稱為綜合模型-2；若在四個面向中只有對一個面向，錯三個面向，即稱為綜合模型-1，綜合模型亦即學生所建立的模型受到生活經驗和科學解釋的雙重影響之下所建立出的模型；若是都沒有對的面向，即稱為初始模型，初始模型亦即學生所建立的模型受生活經驗的影響，較不受科學所影響。

根據圖 4-3-22 中可發現，在學生學習熱傳導概念之前，大多數的學生都是落在綜合模型-2 和綜合模型-1 中，經過不同的教學法學習後，從圖 4-3-20 可知科學史建模組有 15 位(53.6%)的學生、建模組有 14 位(50%)的學生可以進步到科學模型，但對照組只有 6 位(21.4%)可以學習到科學模型。再經過 3 周後，發現科學史建模組有 12 位(42.9%)的學生仍保有科學模型，建模組有 7 位(25%)的學生可以保有科學模型，但對照組只剩 3 位(10.7%)可以保有科學模型。

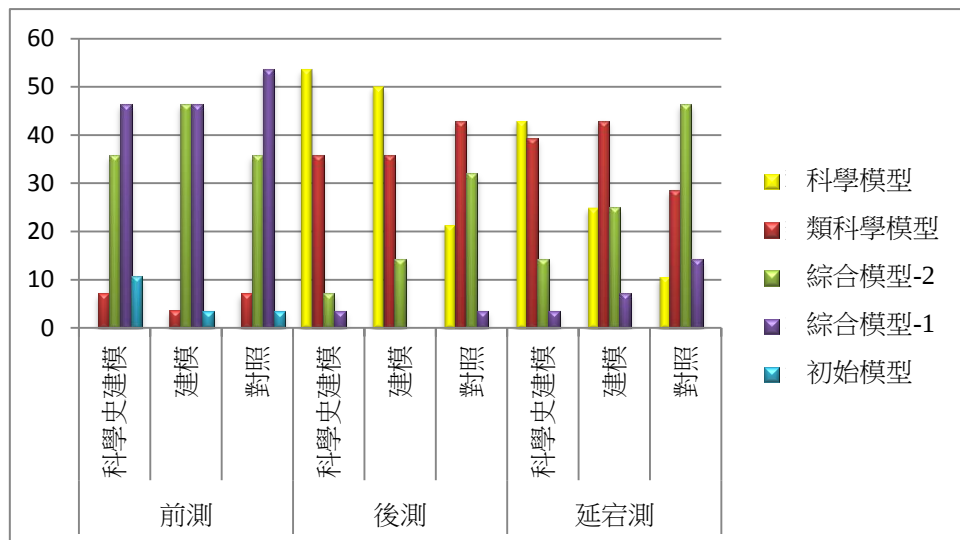


圖 4-3-22 熱輻射概念人數百分比分布圖

另外，在表 4-3-20 中也可發現學生在綜合模型-1 中，前測、後測和延宕測都是熱對流的巨觀行為答對率最高，顯示學生在教學前就已經有先備知識知道在日常生活中熱是如何經由輻射的方式傳播出去；在綜合模型-2 中，前測、後測和延宕測的熱輻射的範圍和微觀行為是答錯率最高的，在類科學模型中，前測答錯率最高的是熱輻射的範圍，後測和延宕測答錯率最高的是熱輻射的微觀行為。

綜合以上分析顯示，學生較易擁有或了解在熱輻射概念中的巨觀行為面向，成分面向次之，但是對熱輻射概念中的範圍和微觀行為這兩個面向較不易了解或改變，為求更進一步了解學生對於熱輻射概念的組成與變化，以下將針對學生對於熱輻射概念的四個面向的概念改變的過程與模式來做分析與探討。

表 4-3-20 熱輻射概念人數分布表

		前測	後測	延宕測
		科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照	科學史建模/建模/對照
科學模型	人數	0/0/0	15/14/6	12/7/3
類科學模型	人數	2/1/2	10/10/12	11/12/8
	答錯	D: 1(50%)/1(100%)/1(50%) U: 1(50%)/0/1(50%)	D: 2(20%)/1(10%)/1(9.3%) U: 8(80%)/9(90%)/11(91.7%)	D: 2(18.2%)/1(9.3%)/2(25%) U: 9(81.8%)/11(91.7%)/6(75%)
綜合模型-2	人數	10/13/10	2/4/9	4/7/13
	答錯	DC: 2(20%)/3(23.1%)/1(10%) DU: 8(80%)/10(76.9%)/9(90%)	DC: 0/0/1(11.1%) DU: 2(100%)/4(100%)/8(88.9%)	DU: 4(100%)/7(100%)/13(100%)
綜合模型-1	人數	13/13/15	1/0/1	1/2/4
	答錯	DCU: 13(100%)/13(100%)/15(100%)	DCU: 1(100%)/0/1(100%)	DCU: 1(100%)/2(100%)/4(100%)
初始模型	人數	3/1/1	0/0/0	0/0/0

註：反黑部分為答錯比率最高的類型。

(一)熱輻射概念中的『範圍』面向

1. 熱輻射概念中的『範圍』面向答題分布

根據熱概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 14-1、14-3、18-2 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱輻射中『範圍』面向的概念分布情形，如表 4-3-21 和圖 4-3-23。

範圍是限制此模型的所表達的要素，表現出結構上和(或)行為上的特點，以挑選適當的模型。在熱輻射的範圍面向上的科學概念是不須介質，熱就能用輻射的方式傳播熱，代號用『科學』表示；但有的迷思概念是認為需要有空氣當作介質，熱才能用輻射的方式傳播熱，代號用『A』表示；有的迷思概念認為須到

達一定的溫度才會有熱輻射的發生，例如：燃燒，代號用『T』表示；或是只有某些特定的物體或特定材質才能用輻射的方式傳播熱，代號用『S』表示，還有無法以一致概念回答的散亂模式。

依據表 4-3-21 和圖 4-3-23 在前測中絕大多數的學生都沒有正確的科學概念，科學史建模組有 42.9% 的學生，無法用一致的概念來回答問題；建模組有 57.1% 的學生和對照組有 46.3% 的學生，都認為須到達一定的溫度才會有熱輻射的發生。經過教學後，科學史建模組有 85.7% 的學生可以學習到正確的科學概念、其次是建模組的 82.1% 和較低的對照組 64.3%，多數的學生都可以經由不同的教學法習得此概念，經 3 週後，科學史建模組和建模組保留科學概念的比例下降至 60.7%，對照組只剩 42.9%。另外，在前測有些學生無法用一致的概念來回答問題，但經過教學後，就沒有混亂概念的學生出現。在熱輻射的『範圍』面向學習上，科學史建模教學和建模組都優於對照組，接下來我們將更進一步探討學生在熱輻射概念中『範圍』面向上的概念改變途徑與方式。

表 4-3-21 熱輻射概念中的『範圍』面向答題人數分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	1	24*	17*	1	23*	17*	3	18*	12*
	3.6	85.7	60.7	3.6	82.1	60.7	10.7	64.3	42.9
A	0	0	0	1	1	1	4	4	4
				3.6	3.6	3.6	14.3	14.3	14.3
T	9	3	6	16*	3	8	13*	4	9
	32.1	10.7	21.4	57.1	10.7	28.6	46.3	14.3	32.1
S	6	1	5	2	1	1	3	2	3
	21.4	3.6	17.9	7.1	3.6	3.6	10.7	7.1	10.7
散亂	12*			8			5		
	42.9	0	0	28.6	0	0	17.9	0	0

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：不須介質；『A』：需要有空氣當作介質；『T』：需到達一定的溫度；『S』：某些特定的物體或特定材質；『散亂』：無法以一致概念回答。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

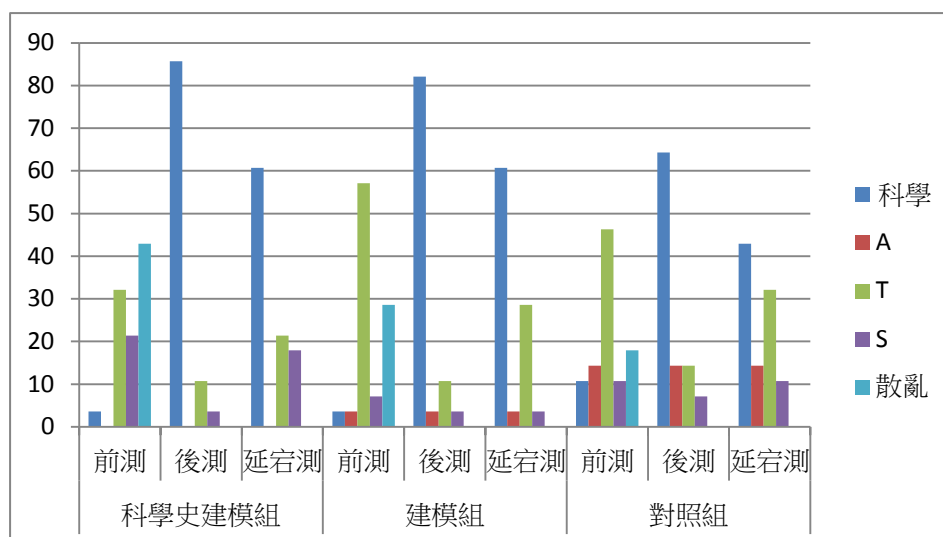


圖 4-3-23 熱輻射概念中的『範圍』面向答題人數百分比分布

2. 熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式

三組學生在熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式如表 4-3-22 和圖 4-3-24，由圖 4-3-24 中可知：三組學生從前測到後測中，最多的百分比人數都是能從迷思概念或散亂的概念中學習到科學概念，經過學習後到延宕測時，三組中最大的百分比人數都是未發生概念回歸，仍擁有科學概念，進一步由表 4-3-22 可知：三組的學生在熱輻射概念的『範圍』面向中的主要模式是亂-->科學-->科學，屬於根本上的概念改變，另外還有 T-->科學-->科學根本上的概念改變，所以科學史建模組有 57.2% 的學生，建模組有 53.6% 和對照組有 32.3% 發生根本上的概念改變。

在表 4-3-22 中也可發現發生概念回歸發生概念回歸和沒有發生概念改變的比例較為偏高，科學史建模組有 28.6% 的學生，建模組有 17.9% 的學生和對照組有 14.3% 的學生發生概念回歸，從後測學習到科學概念，到延宕測又回歸到原本的迷思概念；另外，科學史建模組有 14.3% 的學生，建模組有 17.9% 的學生和對照組有 35.7% 的學生，即使經過不同的教學法教學，也沒有發生概念上的改變，一直保持相同的迷思概念，由以上可知，熱輻射概念的『範圍』面向中科學史建模組和建模組的學習表現較優於對照組。

分析表 4-3-21 和表 4-3-22 可知有部分學生在教學前對於熱輻射的範圍面向是沒有一致的概念，經過教學後，可將不一致的概念改變，學習到科學概念，這與 diSessa (2008)強調學童的知識比起專家或科學理論來說，他的知識是不完整的，不過，這些零碎知識可以組合成不同的學習架構，幫助學生學習的研究相似。

另外，表 4-3-22 和圖 4-3-24 中發現，三組學生在教學前已有須到達一定溫度才會有熱輻射的迷思概念，經過教學後，雖可以學習熱輻射概念的『範圍』面向的概念，即熱輻射不需介質，但是教師在教導學生熱輻射的傳播不須介質時，常常將熱輻射一直與太陽傳播熱的方式做成連結，這有可能造成學生無法消除對於高溫才能產生熱輻射，三組學生在延宕測時，無法主要保留科學概念，而產生或回歸到『T』的迷思概念，容易再次造成此迷思概念的產生。

表 4-3-22 熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式

單位：%

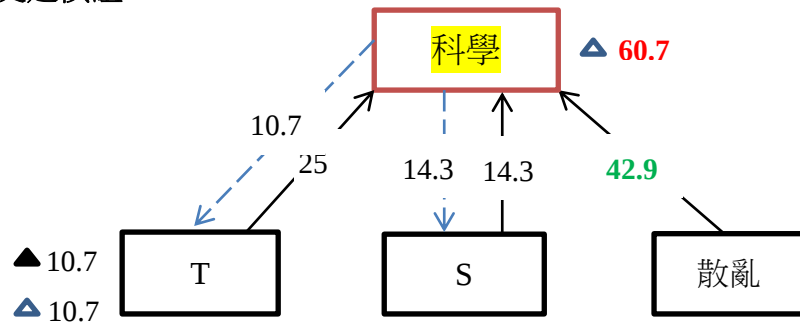
	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	亂-->科學-->科學 (42.9)	亂-->科學-->科學 (28.6)	亂-->科學-->科學 (17.9)
概念改變模式	T-->科學-->科學 (14.3)	T-->科學-->科學 (25)	T-->科學-->科學 (14.3)
	S-->科學-->材質 (14.3)	T-->科學-->T (17.9)	T-->科學-->T (14.3)
	T-->科學-->T (10.7)	——	——
未改變	科學-->科學-->科學 (3.6)	科學-->科學-->科學 (3.6)	科學-->科學-->科學 (10.7)
	T-->T-->T (10.7)	T-->T-->T (10.7)	T-->T-->T (14.3)
	S-->S-->S (3.6)	S-->S-->S (3.6)	S-->S-->S (7.1)
	——	A-->A-->A (3.6)	A-->A-->A (14.3)

註：概念改變模式 10%以下不討論

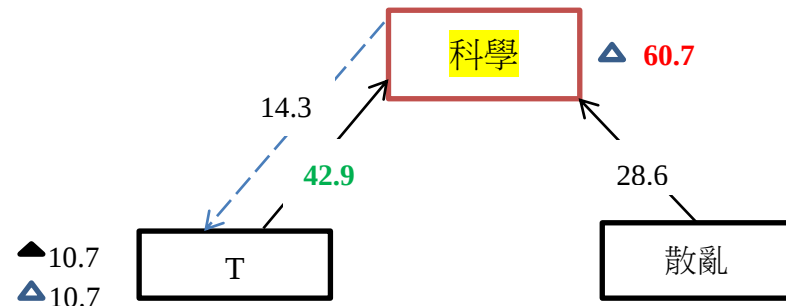
『科學』：不須介質；『A』：需要有空氣當作介質；『T』：需到達一定的溫度；

『S』：某些特定的物體或特定材質；『散亂』：無法以一致概念回答。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3).對照組

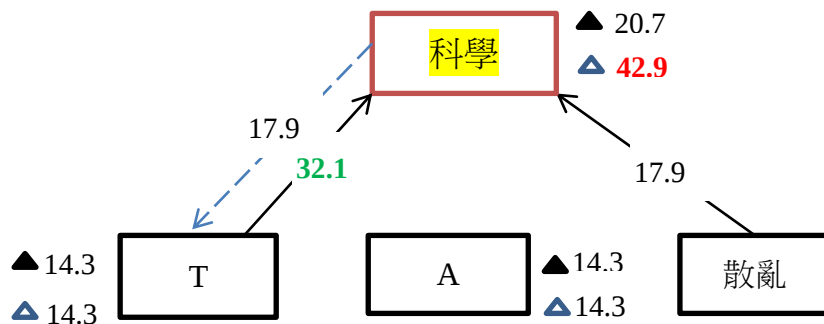


圖 4-3-24 三組熱輻射概念的『範圍』面向中概念改變模式圖

→：前測到後測 →：後測到延宕測 ▲：前測到後測未改變

△：後測到延宕測未改變；數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：不須介質；『A』：需要有空氣當作介質；『T』：需到達一定的溫度；

『S』：某些特定的物體或特定材質；『散亂』：無法以一致概念回答。

(二) 熱輻射概念中的『成分』面向

1. 熱輻射概念中的『成分』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 14-2、15-1、18-1 題，可以找

出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱輻射『成分』面向的概念分布情形，如表 4-3-23 和圖 4-3-25。

成分是模型系統內部的物件，會發生熱輻射的物件有固體、液體和氣體，所以熱輻射的成分面向上的科學概念是固體、液體和氣體，以『科學』表示，有的迷思概念是認為只有氣體和固體可以產生熱輻射，以『氣固』表示；有的迷思概念則認為只有氣體可以產生熱輻射，以『氣』表示；另外還有無法以一致概念作答的散亂狀態。

由表 4-3-23 和圖 4-3-25 可知：三組學生在學習熱輻射概念前，約有 1/3(32.1% 和 35.7%)的學生都已經有先備知識知道固體、液體和氣體都可能會發生熱輻射，經過教學後，科學史建模組、建模組和對照組答對率可達百分之百，經 3 周後，仍有多數學生(89.3%、92.9%、89.3%)保留科學概念。接下來，我們就進一步探討學生概念改變的途徑與方式。

表 4-3-23 熱輻射概念中的『成分』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	9 32.1	28* 100	25* 89.3	9* 32.1	28* 100	26* 92.9	10* 35.7	28* 100	25* 89.3
氣固	1 3.6	0	0	2 7.1	0	0	2 7.1	0	0
氣	10* 35.7	0	3 10.7	9* 32.1	0	2 7.1	9 32.1	0	3 10.7
散亂	8 28.6	0	0	8 28.6	0	0	7 25	0	0

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：固體、液體和氣體；『氣固』：只有氣體和固體可以產生熱輻射；『氣』：只有氣體可以產生熱輻射；『散亂』：無法以一致概念作答。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

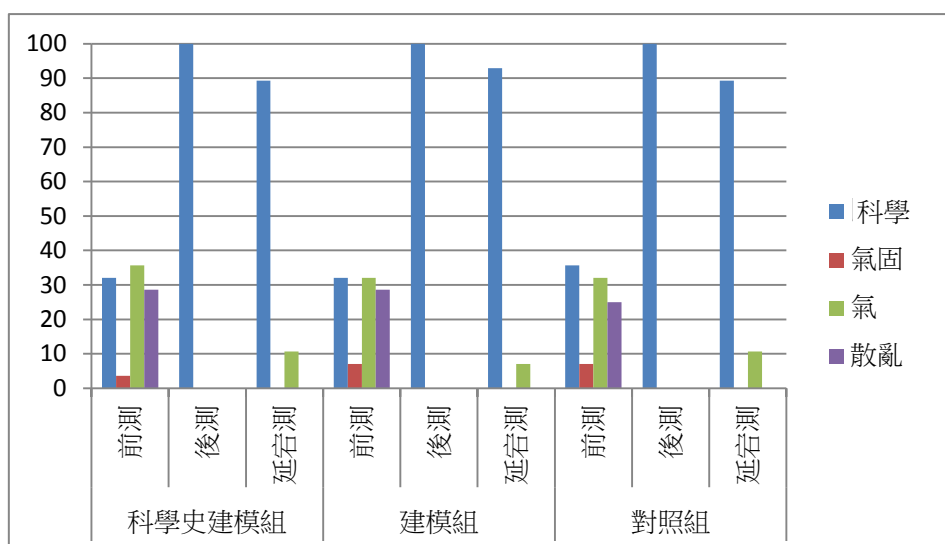


圖 4-3-25 熱輻射概念中的『成分』面向答題人數百分比

2. 熱輻射概念的『成分』面向中概念改變模式

三組學生在熱輻射概念的『成分』面向中的概念改變模式如表 4-3-24，由表 4-3-24 可知：三組學生在熱輻射概念的『成分』面向中的主要模式是科學-->科學-->科學，而概念改變的模式為散亂-->科學-->科學和氣-->科學-->科學，但值得注意的是，在科學史建模組和對照組有 10.7% 的學生發生概念回歸，都是回到氣體的迷思概念，這應該是與教學中將熱輻射概念過於與太陽例子結合，致使學生產生錯誤的連結導致。

表 4-3-24 熱輻射概念的『成分』面向中概念改變模式 (單位：%)

	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	科學-->科學-->科學 (32.1)	科學-->科學-->科學 (32.1)	科學-->科學-->科學 (35.7)
概念改變模式	散亂-->科學-->科學 (28.6)	散亂-->科學-->科學 (28.6)	散亂-->科學-->科學 (25)
	氣-->科學-->科學 (25)	氣-->科學-->科學 (25)	氣-->科學-->科學 (21.4)
	氣-->科學-->氣 (10.7)		氣-->科學-->氣 (10.7)

註：概念改變模式 10% 以下不討論

『科學』：固體、液體和氣體；『氣』：只有氣體可以產生熱輻射；『散亂』：無法以一致概念作答。

(三) 熱輻射概念中的『巨觀行為』面向

1. 熱輻射概念中的『巨觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 15-2、16-1、17-1、17-2 題共 4 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱輻射『巨觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-25 和圖 4-3-26。

巨觀行為是巨觀下動態的過程和結構的改變，通常是可以被肉眼測量與觀察。在熱輻射的巨觀行為面向上的『科學』概念為熱輻射是往四面八方傳播熱，迷思概念是學生會認為熱輻射是單一方向的傳播熱。

依據表 4-3-25 和圖 4-3-26 可知：在前測有 89.3%、92.9%和 96.4%的學生認為熱輻射是往四面八方傳播熱，已具有科學概念，經過不同的教學法教學後，科學史建模組、建模組和對照組甚至答對率可達百分之百，經 3 周後，所有的學生都保留科學概念。在此表 4-3-25 中，我們就可以看出學生概念改變的途徑與方式，就不另行再做討論。

表 4-3-25 熱傳導概念中的『巨觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	25*	28*	28*	26*	28*	28*	27*	28*	28*
	89.3	100	100	92.9	100	100	96.4	100	100
單一方向	3	0	0	2	0	0	1	0	0
傳熱	10.7			7.1			3.6		

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：熱輻射是往四面八方傳播熱

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

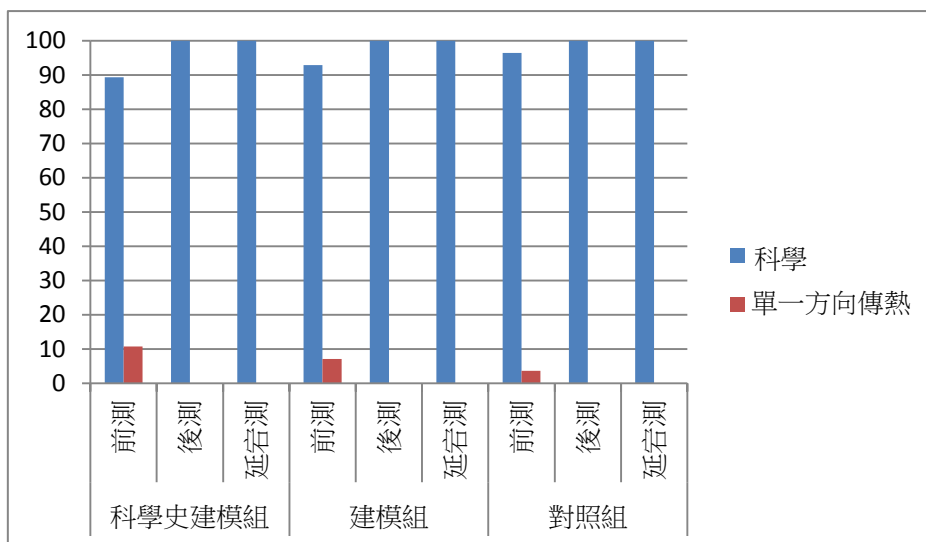


圖 4-3-26 熱輻射概念中的『巨觀行為』面向人數百分比分布

(五) 熱輻射概念中的『微觀行為』面向

1. 熱輻射概念中的『微觀行為』面向答題分布

根據熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗中的第 15-3、16-2、17-3 題共 3 題，可以找出學生在教學前、教學後以及 3 周後對於熱輻射『微觀行為』面向的概念分布情形，如表 4-3-26 和圖 4-3-27。

微觀行為是微觀下粒子動態的過程。在熱輻射的微觀行為面向上的科學概念為粒子吸收熱能後，熱讓粒子震動，產生熱輻射，藉以傳播熱能，以『科學』表示；迷思概念是學生會認為粒子會利用一個接一個的方式，將熱傳出去，以『一個接一個』方式表示，或者是粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去，以『碰撞』表示。

依據表 4-3-26 和圖 4-3-27 可知：在教學前，多數科學史建模組的學生(39.3%)認為粒子會利用一個接一個的方式，將熱傳出去，多數建模組和對照組的學生(39.3%、57.1%)認為粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去，經過教學後，科學史建模組有 64.3%的學生可以學到正確的科學概念，經過 3 周後，仍有 53.6%的學生保有科學概念；建模組在經過教學有 53.6%的學生可以學到科學概念，但經 3 周後，只有 28.6%的學生保有正確科學概念，有碰撞迷思概念的人數比例上

升至 60.7%；反觀對照組，經過教學只有 32.1%的學生可以學到科學概念，經 3 周後更只剩下 14.3%的學生保有科學概念，有碰撞迷思概念的人數比例上升至 67.9%。

表 4-3-26 熱輻射概念中的『微觀行為』面向答題分布

	科學史建模組			建模組			對照組		
	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測	前測	後測	延宕測
科學	0	18*	15*	0	15*	8	0	9	4
		64.3	53.6		53.6	28.6		32.1	14.3
碰撞	9	9	11	11*	10	17*	13*	16*	19*
	32.1	32.1	39.3	39.3	35.7	60.7	46.4	57.1	67.9
一個接一個	11*	1	1	10	3	3	10	3	5
	39.3	3.6	3.6	35.7	10.7	10.7	35.7	10.7	17.9
散亂	8	0	0	7	0	0	5	0	0
	28.6			25			17.9		

註：上列個小欄的上方為答該概念的人數，下方為答該概念的人數百分比。

『科學』：熱讓粒子震動；『一個接一個』：粒子會利用一個接一個的方式，將熱傳出去；『碰撞』：粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去；『散亂』：無法以一致概念回答。

※：為前測、後測和延宕測中答題比率最高的概念類型。

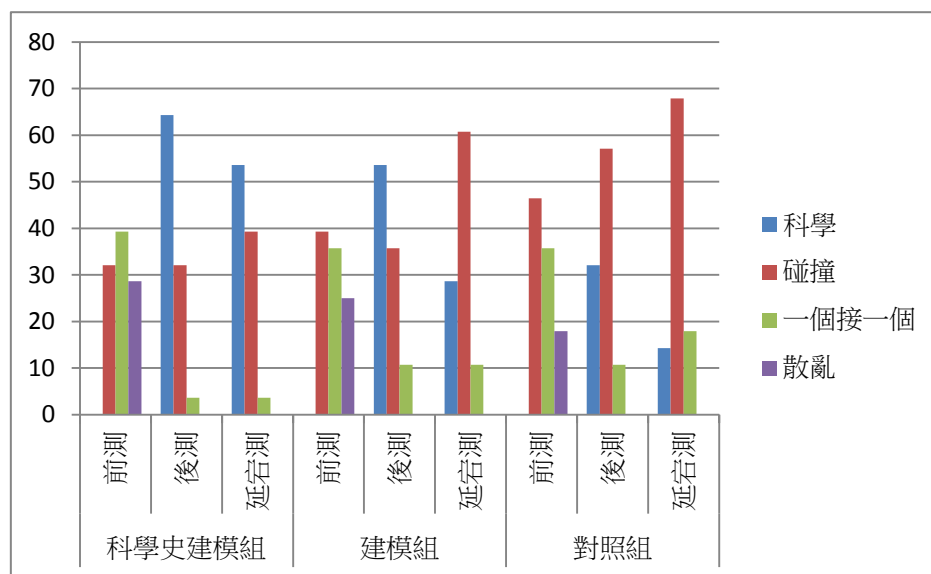


圖 4-3-27 熱輻射概念中的『微觀行為』面向人數百分比分布

由以上可知，在熱輻射的『微觀行為』面向學習上科學史建模教學較優於建模組，而建模組又優於對照組，顯示建模教學相較一般教學來說，教學成效較好，若在建模教學中加入科學史更可幫助學生學習熱輻射概念中的『微觀行為』面向。接下來我們將更進一步探討學生在熱輻射概念中『微觀行為』面向上的概念改變途徑與方式。

2. 熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式

三組學生在熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式如表 4-3-27 和圖 4-3-28 所示，由表 4-3-27 和圖 4-3-28 中知：科學史建模組和建模組在熱傳導概念的『微觀行為』面向中概念改變的主要模式都是接-->科學-->科學，不過，在科學史建模組中還有碰-->科學-->科學和亂-->科學-->科學這 2 種根本的概念改變形式，所以在科學史建模組有 53.6%的學生發生根本的概念改變，10.7%的學生發生概念回歸，21.5%的學生一直擁有迷思概念，未發生概念改變；但是，在建模組只有一種的概念改變的形式，只有 17.9%的學生發生根本的概念改變，14.3%的學生發生概念回歸，14.3%的學生發生錯誤的概念改變，28.6%的學生一直擁有迷思概念，未發生概念改變；在對照組發生根本概念改變模式的人數比例低於 10%，沒有在表格中呈現出來，10.7%的學生發生概念回歸，28.6%的學生發生錯誤的概念改變，高達 39.3%的學生一直擁有迷思概念，未發生概念改變。

以 Chi(2005, 2008)認為若談論到粒子吸收熱能後，熱讓粒子震動，產生熱輻射的概念，在本體論中是屬於『過程』屬性的『突現』(emergent)，若學生認為粒子一個接著一個的把熱傳出去，這樣的想法是把粒子和熱當做是一種存在的實體所發生的情況，將巨觀世界的經驗來解釋微觀世界粒子的行為，所以，學生的迷思概念是將熱輻射的『微觀行為』當做是本體論中的『實體』屬性。所以，若從粒子一個接著一個的把熱傳出去的概念改變成正確的科學知識，這樣的概念改變是屬於類別間的概念改變，是強重建，且也如 Chi 所提到的對學生來說要學習到『突現』過程是很困難的。

另外，在表 4-3-26 和表 4-3-27 也可發現許多學生是將概念改變成粒子會用

碰撞別的粒子的方式將熱傳出去或一直維持此碰撞概念，根據表 4-3-10 原因可能是學生在學習熱傳導的微觀行為面向時，教學中可利用角色扮演的方式讓學生建立粒子碰撞運動的模式，約有 90%以上的學生可以建立粒子相互碰撞的概念，只是無法消除『冷』和『熱』概念的實體屬性，所以當學生學習到熱輻射的突現過程，粒子震動而產生輻射熱的微觀行為面向時，也是非常困難的概念，學生就把粒子碰撞的概念直接與熱輻射結合，而沒有再建立熱輻射概念中粒子的微觀行為。

表 4-3-27 熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式

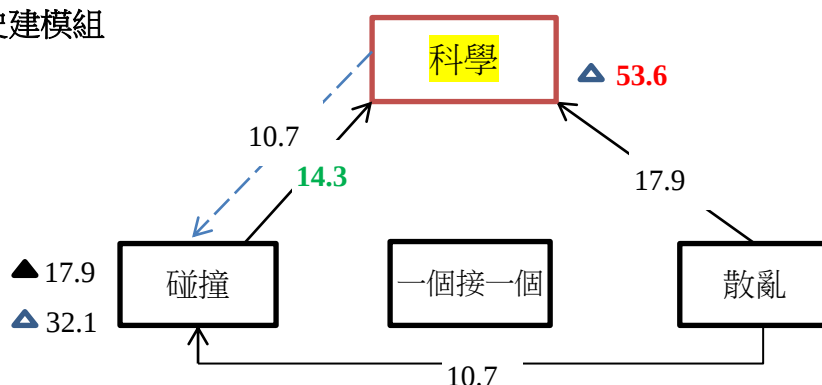
單位：%

	科學史建模組	建模組	對照組
	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測	前測→後測→延宕測
主要模式	接-->科學-->科學(28.6)	接-->科學-->科學(17.9)	碰-->碰-->碰 (28.6)
概念改變模式	碰-->科學-->科學(14.3)	碰-->科學-->碰 (14.3)	接-->碰-->碰 (14.3)
	亂-->科學-->科學(10.7)	亂-->碰-->碰 (14.3)	碰-->科學-->碰 (10.7)
	亂-->碰-->碰 (10.7)	-----	亂-->碰-->碰 (14.3)
未改變	接-->接-->接 (3.6)	接-->接-->接 (10.7)	接-->接-->接 (10.7)
	碰-->碰-->碰 (17.9)	碰-->碰-->碰 (17.9)	-----

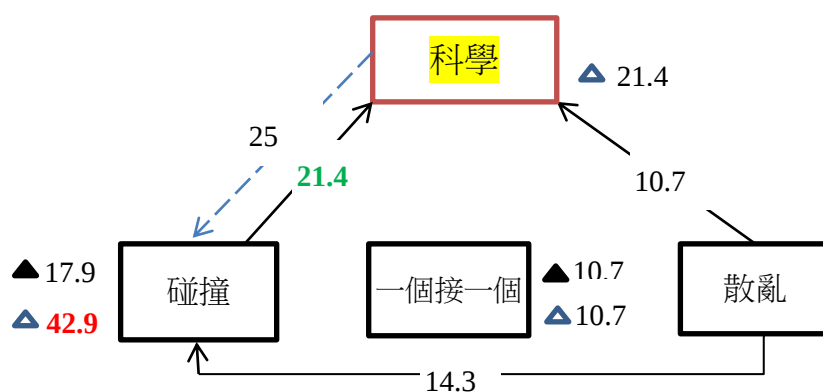
註：概念改變模式 10%以下不討論

『科學』：熱讓粒子震動；『一個接一個』：粒子會利用一個接一個的方式，將熱傳出去；『碰撞』：粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去；『散亂』：無法以一致概念回答。

(1).科學史建模組



(2).建模組



(3). 對照組

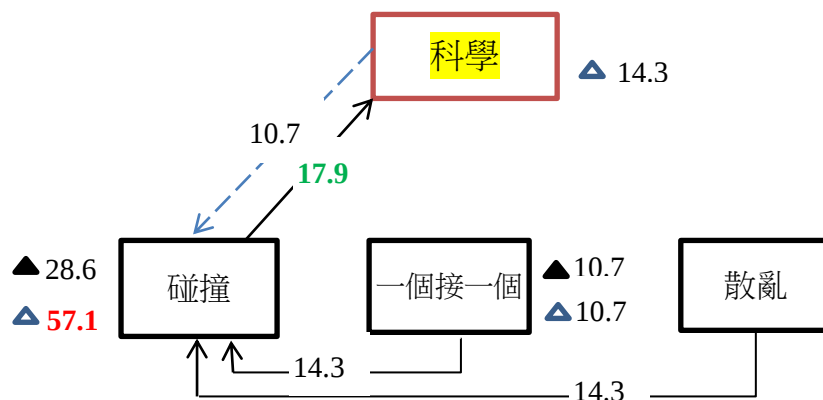


圖 4-3-28 三組熱輻射概念的『微觀行為』面向中概念改變模式圖

→: 前測到後測 -→: 後測到延宕測 ▲: 前測到後測未改變

▲：後測到延宕測未改變；數字皆為百分比，10%以下變動不呈現

『科學』：熱讓粒子震動；『一個接一個』：粒子會利用一個接一個的方式，將熱傳出去；『碰撞』：粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去；『散亂』：無法以一致概念回答。

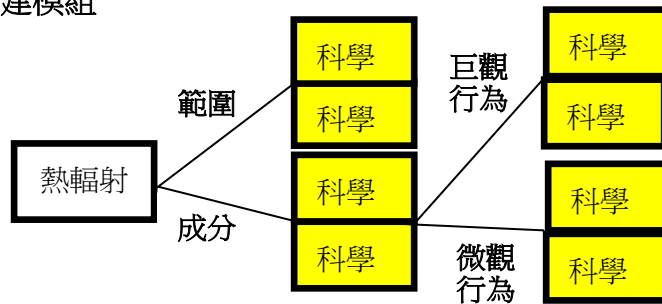
(六)小結

綜合以上分析結果，依據熱輻射模型的四面向，整理出在後測及延宕測中後測中人數比率最高的概念，製成圖 4-3-29，從圖 4-3-29 中可以發現科學史建模組、建模組和對照組等三組不同的教學法，主要有差異的只有在熱輻射概念模型的微觀行為面向，使用一般教學法無法消除學生認為熱輻射是粒子利用碰撞的方式傳熱的迷思概念，而進行概念改變，然而，科學史建模教學和建模教學可以幫助學生建構正確的科學概念，達到概念改變的目的。

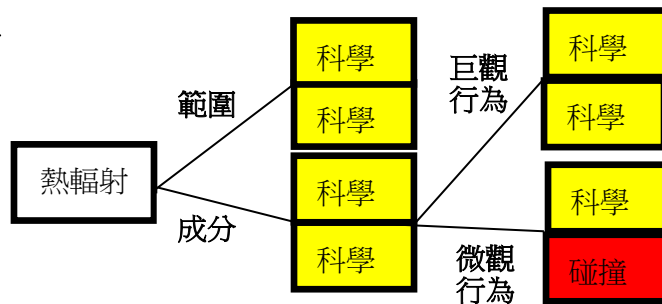
在熱輻射概念的四個面向中，『範圍』面向、『成分』面向和『巨觀行為』面向中，學生在後測可以回答出科學概念，但在延宕測時，因受熱輻射概念與太陽輻射的例子太過結合的結果，『巨觀行為』面向仍可有 100% 的答對率，但在『範圍』面向中學生會認為需要到達一定溫度，才能產生輻射的人數百分比增高許多；在『成分』面向中學生會認為只有氣體才能產生熱輻射的人數百分比也增加了。此外，在教學的順序中，熱傳導會先進行教學，接下來是熱輻射，最後才是進行熱輻射的教學，所以在此研究中發現『熱傳導的微觀行為』面向學習會明顯影響到學生在『熱輻射的微觀行為』面向學習，學生就自動將已學到的熱傳導微觀粒子運動，直接與熱輻射概念相結合，而無建立熱輻射的微觀行為面向。

另外，在本研究中也顯示，大部分的學生對熱輻射概念中成分和巨觀行為兩個面向在前測已具備科學的概念，不管使用何種教學法，三組的學習表現相似；在熱輻射概念中的範圍面向中，科學史建模組和建模組的學生學習表現都優於對照組，在微觀行為面向中，科學史建模組的學生學習表現是優於建模組，而建模組又優於對照組，所以建模教學有助於學生進行概念改變，建立正確的科學概念，而科學史融入建模教學更可以幫助學生學習微觀的粒子行為。

1.科學史建模組



2.建模組



3.對照組

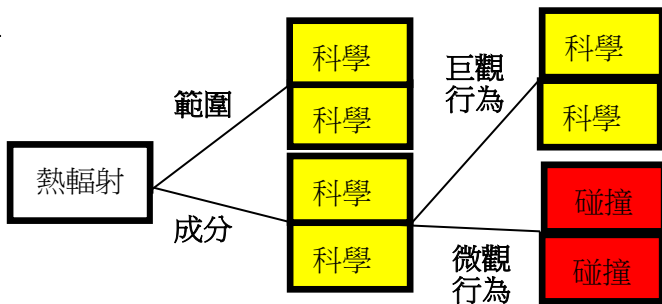


圖 4-3-29 三組熱輻射概念模型的概念圖

註：1.上方為後測中人數比率最高的概念，下方為延宕測概念中人數比率最高的概念。

2.範圍面向的『科學』：不須介質

成分面向的『科學』：固體、液體和氣體

巨觀行為面向的『科學』：熱輻射是往四面八方傳播熱

微觀行為面向的『科學』：熱讓粒子震動

『碰撞』：粒子會用碰撞別的粒子的方式將熱傳出去

第四節 三組建模能力之分析

本節研究者根據熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測中學生的作答，整理出學生對於熱傳播建模能力的分數，比較學生在不同教學法教學下，對於熱傳播建模能力之差異。

一、熱傳播建模能力試卷前測分析

為了瞭解學生在教學前，對於熱傳播的建模能力是否有差異，因此進行熱傳播建模能力試卷前測並採用變異數分析(ANOVA)進行分析，分析結果如表 4-4-1 所示，顯示三組在熱傳播建模能力前測表現中 $p=.976$ ，未達顯著差異。

表 4-4-1 熱傳播建模能力試卷前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	1.14	.406	.025	.976
建模組	28	1.16	.405		
對照組	28	1.16	.389		

* $P<.05$

二、熱傳播建模能力試卷後測分析

將三組『科學史建模組』、『建模組』、『對照組』的熱傳播建模能力試卷後測表現進行考驗，為了排除前測表現對後測表現的影響，採用共變數分析法(ANCOVA)，以『熱傳播建模能力試卷前測表現』為共變量，考驗三組教學後的後測表現，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.760$ ， $p=.179>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-4-2 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=13.954$ ， $p=.000$ ；三組在熱傳播概念後測表現中科學組建模組的平均分數最高，平均分數為 2.41；其次為建模組，平均分數為 2.27；對照組的平均分數最低，平均分數為 1.88。

表 4-4-2 熱傳播建模能力試卷後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.41	.499	13.954	.000***
建模組	28	2.27	.414		
對照組	28	1.88	.409		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

進一步進行事後比較，探討兩兩組合間的差異，分析結果如表 4-4-3 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-4-3 三組後測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.107	.143
	對照組	.107	.000***
建模組	對照組	.107	.000***

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

三、熱傳播建模能力試卷延宕測分析

將三組『科學史建模組』、『建模組』、『對照組』的熱傳播建模能力試卷延宕測表現進行考驗，為了排除前測表現對延宕測表現的影響，採用共變數分析法(ANCOVA)，以『熱傳播建模能力分試卷前測表現』為共變量，考驗三組教學後的延宕測表現，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.586$ ， $p=.559>.05$)，表示前測表現與延宕測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-4-4 所示，顯示不同教學法對學生延宕測表現有顯著的影響， $F=16.326$ ， $p=.000$ ；三組在熱傳播建模能力延宕測表現中科學史建模組的平均分數最高，平均分數為 2.23；其次為建模組，平均分數為 1.98；對照組的平均分數最低，平均分數為 1.23。

表 4-4-4 熱傳播建模能力試卷延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.23	.492	16.326	.000***
建模組	28	1.98	.413		
對照組	28	1.23	.492		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

進一步進行事後比較，探討兩兩組合間的差異，分析結果如下表所示，顯示科學史建模組與建模組，已達顯著差異， $p=.022$ ；科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.001$ 。

表 4-4-5 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.107	.022*
	對照組	.111	.000***
建模組	對照組	.110	.001**

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

四、小結

經由上述分析可以發現，對於三組學生在熱傳播建模能力前測的分數上是無顯著差異，三組成績約在 1.14~1.16 之間。但經過教學後，三組學生在熱傳播建模能力後測的表現上有達顯著差異，科學史建模組的後測分數為 2.41，建模組的後測分數為 2.27，建模組的後測分數為 1.88，『科學史建模組』和『建模組』的建模能力分數顯著優於對照組，但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。經過 3 周後，三組學生在熱傳播建模能力延宕測的分數上有達顯著差異，科學史建模組的後測分數為 2.23，建模組的後測分數為 1.98，建模組的後測分數為 1.23，且『科學史建模組』建模能力分數顯著優於『建模組』和『對照組』，『建模組』建模能力分數又顯著優於『對照組』。

因此，在教學上使用科學史建模教學和建模教學對於增進學生熱傳播建模能力是有正向的幫助，此結果與 Halloun(1996; 2006)、Justi & Gilbert(2002)的研究

結果相似，提供有效的建模學習歷程，勢必能促進學生科學建模能力的發展。且在建模教學中加入科學史教材更能幫助學生保留正確的科學概念，因此接下來將更進一步針對各建模步驟中建模能力的變化情形，來探討不同的教學組別是否會影響各建模步驟中建模能力的變化。

第五節 各建模步驟中建模能力成效之分析

在本節中以建模步驟：模型選擇、模型建立、模型效化和模型應用等 4 步驟，來將熱傳播建模能力試卷的題目做不同的分類，進一步探討與分析不同教學組在各建模步驟中建模能力成效是否有所差異。

為了準確瞭解學生在各建模步驟中建模能力成效，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間各建模步驟中建模能力成效是否有所差異。

一、模型選擇之建模能力分析

根據學生在熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測中第一大題，進行統計分析。

前測

以熱傳播建模能力試卷中模型選擇題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-5-1 所示，顯示三組在模型選擇之建模能力的前測成績中 $p=.994$ ，未達顯著差異。

表 4-5-1 模型選擇之建模能力前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	1.62	.488	.006	.994
建模組	28	1.64	.500		
對照組	28	1.63	.555		

* $P<.05$

後測

以熱傳播建模能力試卷中模型選擇題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.649$ ， $p=.526>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-2 所示，顯示不同教學法對學生後測成績有顯著的影響， $F=4.128$ ， $p=.020$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-3 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.015$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.015$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-2 模型選擇之建模能力後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.94	.357	4.128	.020*
建模組	28	2.95	.282		
對照組	28	2.72	.379		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-3 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.091	.993
	對照組	.087	.015*
建模組	對照組	.090	.015*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱傳播建模能力試卷中模型選擇題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.168$ ， $p=.845>.05$)，表示前測表現與延宕測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-4 所示，顯示不同教學法對學生延宕測表現有顯著的影響， $F=5.223$ ， $p=.007$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-5 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.005$ ；建模組與對照組，也達顯著差異，

$p=.008$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-4 模型選擇之建模能力延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.74	.459	5.223	.007**
建模組	28	2.72	.285		
對照組	28	2.41	.542		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-5 三組延宕測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.856
	對照組	.005**
建模組	對照組	.008**

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

二、模型建立之建模能力分析

根據學生在熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測中第二大題，進行統計分析。

前測

以熱傳播建模能力試卷中模型建立題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-5-6 所示，顯示三組在模型建立之建模能力的前測成績中 $p=.854$ ，未達顯著差異。

表 4-5-6 模型建立之建模能力前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	1.26	.277	.158	.854
建模組	28	1.26	.426		
對照組	28	1.22	.206		

* $P<.05$

後測

以熱傳播建模能力試卷中模型建立題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同

質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.322$ ， $p=.726>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-7 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=4.310$ ， $p=.017$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-8 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.009$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.019$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-7 模型建立之建模能力後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.49	.421	4.310	.017*
建模組	28	2.44	.712		
對照組	28	1.98	.889		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-8 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.188	.772
	對照組	.189	.009**
建模組	對照組	.188	.019*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱傳播建模能力試卷中模型建立題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.084$ ， $p=.343>.05$)，表示前測表現與延宕測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-9 所示，顯示不同教學法對學生延宕測表現有顯著的影響， $F=5.059$ ， $p=.009$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-10 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.004$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.017$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-9 模型建立之建模能力延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.31	.609	5.059	.009**
建模組	28	2.21	.755		
對照組	28	1.77	.590		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

表 4-5-10 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.172	.591
	對照組	1.70	.004**
建模組	對照組	.167	.017*
*P<.05 **p<.01 ***p<.001			

三、模型效化之建模能力分析

根據學生在熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測中第三大題，進行統計分析。

前測

以熱傳播建模能力試卷中模型效化題目的前測作答進行分析，分析結果如下表 4-5-11 所示，顯示三組在模型效化之建模能力的前測成績中 $p=.949$ ，未達顯著差異。

表 4-5-11 模型效化之建模能力前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	1.04	.736	.052	.949
建模組	28	1.07	.606		
對照組	28	1.10	.693		

*P<.05

後測

以熱傳播建模能力試卷中模型效化題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同

質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.747$ ， $p=.181>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-12 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=7.214$ ， $p=.001$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-13 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.022$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-12 模型效化之建模能力後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.12	.792	7.214	.001**
建模組	28	1.91	.414		
對照組	28	1.56	.474		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-13 三組延宕測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.151
	對照組	.000***
建模組	對照組	.022*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱傳播建模能力試卷中模型效化题目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.031$ ， $p=.969>.05$)，表示前測表現與延宕測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-5-14 所示，顯示不同教學法對學生延宕測表現有顯著的影響， $F=18.487$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-15 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.002$ ；但科學史建模組和建模組之間，也達顯著差異， $p=.005$ 。

表 4-5-14 模型效化之建模能力延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	1.93	.496	18.487	.000***
建模組	28	1.64	.413		
對照組	28	1.32	.338		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

表 4-5-15 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.103	.005**
	對照組	.104	.000***
建模組	對照組	.103	.002**

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

四、模型應用之建模能力分析

根據學生在熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測中第四大題，進行統計分析。

前測

以熱傳播建模能力試卷中模型應用題目的前測作答進行分析，分析結果如表 4-5-16 所示，顯示三組在模型應用之建模能力的前測成績中 $p=.945$ ，未達顯著差異。

表 4-5-16 模型應用之建模能力前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	.62	.635	.057	.945
建模組	28	.66	.792		
對照組	28	.69	.773		

*P<.05

後測

以熱傳播建模能力試卷中模型應用題目的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=1.973$ ， $p=.146>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-5-17 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=8.153$ ， $p=.001$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-18 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.018$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-5-17 模型應用之建模能力後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	2.09	.983	8.153	.001**
建模組	28	1.76	.853		
對照組	28	1.24	.742		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-18 三組延宕測的事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.219	.113
	對照組	.218	.000***
建模組	對照組	.218	.018*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

延宕測

以熱傳播建模能力試卷中模型應用題目的延宕測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.129$ ， $p=.879>.05$)，表示前測表現與延宕測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-5-19 所示，顯示不同教學法對學生延宕測表現有顯著的影響， $F=11.102$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-5-20 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，已達顯著

差異， $p=.047$ ；但科學史建模組和建模組之間，也達顯著差異， $p=.006$ 。

表 4-5-19 模型應用之建模能力延宕測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	1.94	.839	11.102	.000***
建模組	28	1.35	.847		
對照組	28	0.95	.752		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-5-20 三組延宕測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.006**
	對照組	.000***
建模組	對照組	.047*

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

五、小結

綜合上述分析結果，三組在建模四步驟—模型選擇、模型建立、模型效化和模型應用的熱傳播建模能力前測上，均無顯著差異，表示三組學生在教學前，對於建模四步驟的熱傳播建模能力都是相同的。

三組學生在熱傳播建模能力後測之各建模步驟的表現有顯著差異，其中科學史建模組與對照組，已達顯著差異；建模組與對照組，也達顯著差異；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

在本研究中顯示使用建模教學的學生表現明顯優於一般教學的學生表現，以建模教學的順序：模型選擇、模型建立、模型效化和模型應用幫助學生建立熱傳播的科學模型，『科學史建模組』和『建模組』都是以建模教學策略當作教學方法，希望可以幫助學生建立一個完整的熱傳播模型，讓學生可以在面對一個熱傳播現象時，可以提取有效且完整的模型，幫助他解決所遇到的問題，因此，建模教學即可提升學生的各階段的建模能力，此結果與張志康(2009)的研究相似。

科學史建模組和建模組之間在後測未達顯著差異，其可能原因為『科學史建模組』是以建模教學和教科書內的概念為主體，將課程內容融入『熱』和『熱傳播』的科學發展史，所以，建模教學在課程中所佔的比例較多，科學史是輔助討論科學發展歷史的順序對科學概念的影響，建模教學在課程中所佔的比例較少，以至於『科學史建模組』與『建模組』在後測的各建模步驟之熱傳播建模能力並無顯著差異。

三組學生在延宕測的各建模步驟之熱傳播建模能力有顯著差異。其中在模型選擇和模型建立中，科學史建模組與對照組，達顯著差異；建模組與對照組，達顯著差異；但是，科學史建模組和建模組未達顯著差異；在模型效化和模型應用中科學史建模組與對照組，達顯著差異；建模組與對照組，達顯著差異；科學史建模組和建模組也達顯著差異。

顯示經過 3 周後，比起一般教學的學生，只要有使用建模教學的學生，在各建模步驟中仍有較好的建模能力，若在建模教學中再加入科學史的議題，對於學生在模型效化和模型應用中的建模能力的保留有正向幫助，因為科學史融入教學不只是強調科學概念，還重視這些科學概念產生的過程(Justi, 2000)，且在本研究中加入熱傳播的科學史就是為了讓學生能了解到過去的科學家如何從生活中巨觀現象產生的錯誤推論和解釋，經歷慢慢的修正，最後找到微觀的正確科學解釋。這樣的教學內容主要在呈現科學家在進行『模型效化』和『模型應用』的這個步驟，科學家會利用不同的實驗或評估方法進行『模型效化』，建構模型；不同時代的科學家如何利用當時所建立的科學模型進行『模型應用』，說明當時與其有關的現象，且解釋有關的生活經驗，所以在建模教學中加入科學史的內容應可以加強學生的模型”效化”和”應用”的能力，使學生真正發展出建模能力後更不易消逝。

第六節 熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係

本節中將深入了解三組的熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係，探討其間的關係，在本節共可分為：第一部分，計算熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測的總分和熱傳播建模能力試卷中的前測、後測和延宕測的總分間，兩種表現的相關程度。第二部分，找出學生在前測、後測和延宕測的四項建模步驟的建模分數，再以此四項熱傳播建模分數分別與熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測的總分間計算相關程度，更進一步探討與分析不同教學組在熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係是否有所差異。

為了準確瞭解學生在熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之間的相關性，且熱傳播學習成效和熱傳播建模能力的分數是屬於連續變數，本研究採用『Pearson 積差相關』作比對分析，進行綜合比對與討論。

一、熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係

為了準確瞭解學生在熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係，本研究『Pearson 積差相關』計算二者的前測、後測和延宕測的總分，以探討三組間熱傳播概念與熱傳播建模能力的關係。

前測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測的總分和熱傳播建模能力試卷前測的總分進行分析，分析結果如表 4-6-1 所示，顯示三組在熱傳播概念前測表現和熱傳播建模能力前測表現中，各組的 $p=.076$ 、 $p=.248$ 、 $p=.280$ ，都未有顯著相關。

表 4-6-1 三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力前測之相關統計量數

	科學史建模組	建模組	對照組
	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分
相關	.341	.226	.211
顯著	.076	.248	.280
人數	28	28	28

後測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測的總分和熱傳播建模能力試卷後測的總分進行分析，分析結果如表 4-6-2 所示，顯示科學史建模組『熱傳播概念後測表現』和『熱傳播建模能力後測表現』中， $p=.000$ 、 $r=.858$ ，有顯著正相關且達極高相關性。建模組『熱傳播概念後測表現』和『熱傳播建模能力後測表現』中， $p=.000$ 、 $r=.795$ ，有顯著正相關且達高相關性。對照組『熱傳播概念後測表現』和『熱傳播建模能力後測表現』中， $p=.000$ 、 $r=.704$ ，有顯著正相關且達高相關性。

表 4-6-2 三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力後測之相關統計量數

	科學史建模組	建模組	對照組
	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分
相關	.858**	.795**	.704**
顯著	.000	.000	.000
人數	28	28	28

* $P<.05$ ** $p<.01$

延宕測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測的總分和熱傳播建模能力試卷延宕測的總分進行分析，分析結果如下表 4-6-3 所示，顯示科學史建模組『熱傳播概念延宕測表現』和『熱傳播建模能力延宕測表現』中， $p=.001$ 、 $r=.603$ ，有顯著正相關且達高相關性。建模組『熱傳播概念延宕測表現』和『熱傳播建模能力延宕測表現』中， $p=.000$ 、 $r=.719$ ，有顯著正相關且達高相關性。對照組『熱傳播概念延宕測表現』和『熱傳播建模能力延宕測表現』中， $p=.213$ 、 $r=.243$ ，未達顯著相關。

表 4-6-3 三組學生在熱傳播概念與熱傳播建模能力延宕測之相關統計量數

	科學史建模組	建模組	對照組
	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分	概念總分 VS 能力總分
相關	.603**	.719**	.243
顯著	.001	.000	.213
人數	28	28	28

* $P<.05$ ** $p<.01$

二、熱傳播學習成效與各建模步驟的建模能力之關係

為了準確瞭解學生在熱傳播概念學習成就與各建模步驟的建模能力間相關程度，且更進一步探討與分析不同教學組在在熱傳播概念學習成就與各建模步驟的建模能力之關係是否有所差異之關係，本研究『Pearson 積差相關』計算二者的前測、後測和延宕測的總分，以探討三組間熱傳播概念學習成就與各建模步驟的建模能力的關係。

前測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測的總分和各建模步驟的建模能力前測表現進行分析，分析結果如表 4-6-4 所示，顯示三組在熱傳播概念前測表現和各建模步驟的建模能力前測表現中，各組的 $p>.05$ ，都未有顯著相關。

表 4-6-4 三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力前測之相關統計量數

		n=28			
概念總分		模型選擇能力	模型建立能力	模型效化能力	模型應用能力
科學史	相關	.187	.140	.276	.172
建模組	顯著	.342	.476	.155	.381
建模組	相關	.202	.260	.028	.174
	顯著	.302	.181	.887	.375
對照組	相關	-.003	.040	.120	.306
	顯著	.990	.842	.544	.114

後測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測的總分和各建模步驟的建模能力後測表現進行分析，分析結果如下表 4-6-5 所示，顯示科學史建模組熱傳播概念後測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達極高相關性， $p=.000$ ， $r=.809$ ；和模型效化建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.000$ ， $r=.758$ ；和模型應用建模能力，有顯著正相關且達普通相關， $p=.026$ ， $r=.421$ 。

建模組熱傳播概念後測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達極高相關性， $p=.000$ ， $r=.830$ ；和模型效化建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.000$ ，

$r=.626$ 。

對照組熱傳播概念後測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.000$ ， $r=.760$ ；和模型效化建模能力，有顯著正相關且達普通相關性， $p=.003$ ， $r=.543$ 。

表 4-6-5 三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力後測之相關統計量數 $n=28$

概念總分		模型選擇能力	模型建立能力	模型效化能力	模型應用能力
科學史	相關	.229	.809**	.758**	.421*
建模組	顯著	.241	.000	.000	.026
建模組	相關	.287	.830**	.626**	.075
	顯著	.138	.000	.000	.705
對照組	相關	.323	.760**	.543**	.174
	顯著	.093	.000	.003	.377

* $P<.05$ ** $p<.01$

延宕測驗

以熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測的總分和各建模步驟的建模能力延宕測表現進行分析，分析結果如下表 4-6-6 所示，顯示科學史建模組熱傳播概念延宕測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.000$ ， $r=.744$ ；和模型應用建模能力，有顯著正相關且達普通相關， $p=.002$ ， $r=.557$ 。建模組熱傳播概念後測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.000$ ， $r=.680$ ；和模型效化建模能力，有顯著正相關且達高相關性， $p=.001$ ， $r=.602$ 。對照組熱傳播概念後測表現和模型建立建模能力，有顯著正相關且達普通相關性， $p=.005$ ， $r=.513$ 。

表 4-6-6 三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力延宕測之相關統計量數

概念總分		模型選擇能力	模型建立能力	模型效化能力	模型應用能力
科學史	相關	-.101	.744**	.306	.557**
建模組	顯著	.609	.000	.114	.002
建模組	相關	.213	.680**	.602**	.122
	顯著	.278	.000	.001	.535
對照組	相關	.149	.513**	.101	.056
	顯著	.448	.005	.608	.776

* $P<.05$ ** $p<.01$

三、小結

經過第一小節分析，三組在前測的熱傳播概念和熱傳播建模能力無顯著相關。經過教學後，科學史建模組在後測的熱傳播概念和熱傳播建模能力達顯著正相關且有極高相關性；建模組和對照組在後測的熱傳播概念和熱傳播建模能力達顯著正相關且有高相關性。經過 3 周後，科學史建模組和建模組在延宕測的熱傳播概念和熱傳播建模能力達顯著正相關且有高相關性；但對照組無顯著相關。

在此研究中發現，經過學習後，學生的概念學習表現與建模能力成現有相關性，此結果與 Halloun(1996)的觀點類似，第二小節進一步探討各建模步驟的建模能力與概念學習表現的相關性，其結果整理成表 4-6-7 所示。

從表 4-6-7 可以發現科學史建模組在後測的模型建立建模能力與熱傳播概念有極高相關，在延宕測有高相關；在後測和延宕測的模型應用建模能力與熱傳播概念有普通相關；在後測的模型效化建模能力與熱傳播概念有高相關，在延宕測則無相關性。建模組在後測和延宕測的模型建立建模能力與熱傳播概念有高相關；在後測和延宕測的模型效化建模能力與熱傳播概念有高相關。對照組在後測的模型建立建模能力與熱傳播概念有高相關，在延宕測的模型建立建模能力與熱傳播概念有普通相關；在後測的模型效化建模能力與熱傳播概念有普通相關，在延宕測則無相關性。

表 4-6-7 三組學生在熱傳播概念與各建模步驟的建模能力之相關性

		模型選擇能力 vs 概念	模型建立能力 vs 概念	模型效化能力 vs 概念	模型應用能力 vs 概念
科學史	後測	X	極高	高	普通
建模組	延宕測	X	高	X	普通
建模組	後測	X	高	高	X
	延宕測	X	高	高	X
對照組	後測	X	高	普通	X
	延宕測	X	普通	X	X

由上述的相關性分析可以發現三組在後測和延宕測中，模型選擇建模能力與熱傳播概念都無顯著的關係，以後測之熱傳播概念和模型選擇建模能力為例，從圖 4-6-1 顯示，因模型選擇建模能力是最為基礎、簡單的能力，學生普遍的表現都是偏高，所以，比較結果模型選擇建模能力與熱傳播概念彼此間之間無顯著的關係。

三組在後測和延宕測中模型建立建模能力與熱傳播概念都有顯著的關係，顯示模型建立能力是較為基礎的能力，也是建立科學模型的能力，所以，模型建立的建模能力較高的學生，可以建立較好且較完善的科學模型，在整體的概念成績表現上也較好；反之，模型建立的建模能力較差的學生，無法建立好的科學模型，在整體的概念成績表現上也較差，以後測之熱傳播概念和模型建立建模能力為例，從圖 4-6-2 可以看出兩者之間的關係，所以，模型建立建模能力與熱傳播概念在後測和延宕測中都有顯著的高關係。

另外，科學史建模組在後測的模型效化建模能力與熱傳播概念有顯著高相關，建模組在後測和延宕測的模型效化建模能力與熱傳播概念也有顯著高相關，顯示使用建模教學當做教學方法可以引導學生發展較為高層次的建模能力，建模教學一方面可以幫助學生概念理解，另一方面可以增進學生建模能力與發展進階的建模能力，以後測之熱傳播概念和模型效化建模能力為例，從圖 4-6-3 可以看出兩者之間的關係，使得科學史建模組和建模組在模型效化建模能力能有效反應出學生在熱傳播概念上的分布情形，可以達到高相關。

從本章第五節的結論中顯示將科學史融入建模教學中，可以幫助學生增進模型效化和模型應用的能力，所以，科學史建模教學可以幫助學生發展較好的模型應用建模能力，呈現出變異，讓模型應用的建模能力與熱傳播概念在後測和延宕測中都有顯著的普通關係，但建模組在此建模步驟中則無顯著相關，以後測之熱傳播概念和模型效化建模能力為例，從圖 4-6-4 可以看出兩者之間的關係。

但相反的，對照組無法幫助學生概念理解的同時，引導學生發展較為高層次的建模能力，只能靠學生本身自行發展出較高層次的建模能力，以後測之熱傳播概念和模型效化建模能力為例，由圖 4-6-3 和圖 4-6-4 可以看出兩者之間的關係，所以導致在模型效化建模能力與熱傳播概念在後測中有顯著的普通關係，模型應用建模能力與熱傳播概念在後測和延宕測中都無顯著的相關，不能有效反應出學生在熱傳播概念上的分布情形。

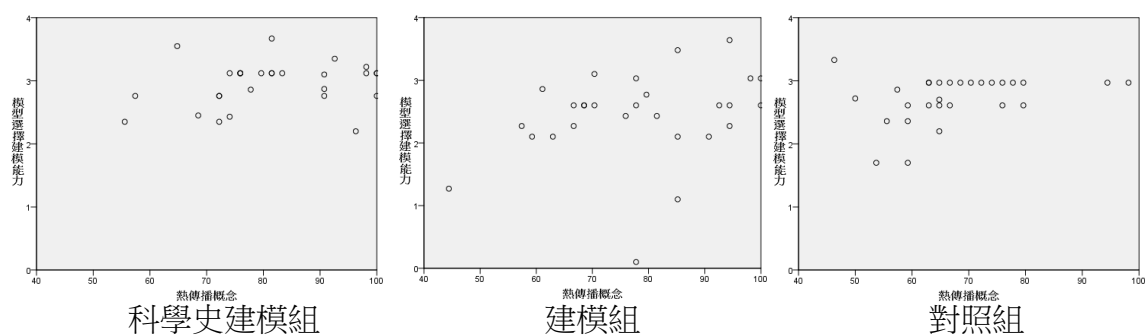


圖 4-6-1 後測之熱傳播概念和模型選擇建模能力分布圖

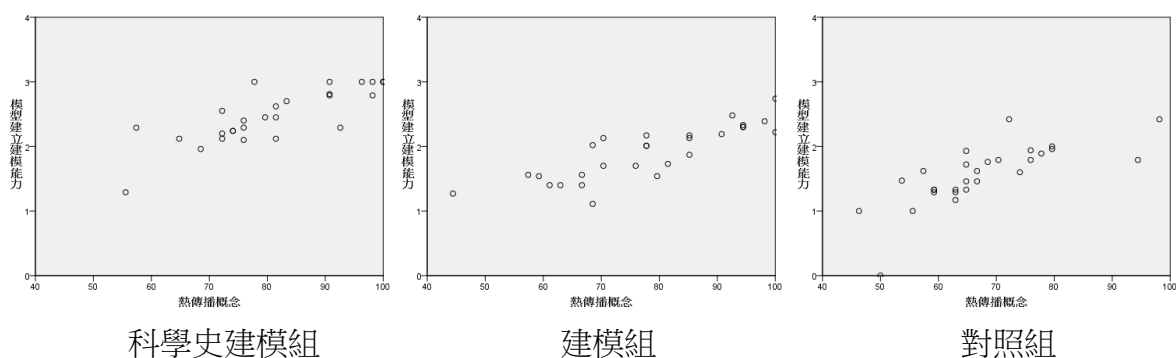


圖 4-6-2 後測之熱傳播概念和模型建立建模能力分布圖

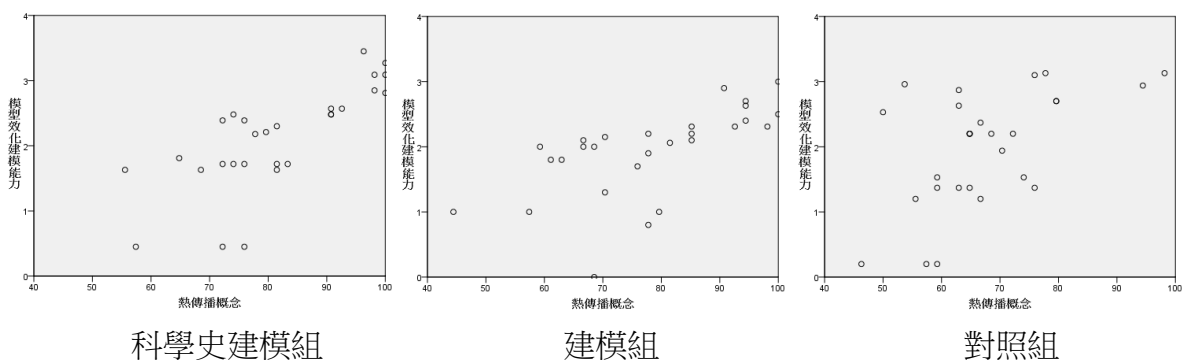


圖 4-6-3 後測之熱傳播概念和模型效化建模能力分布圖

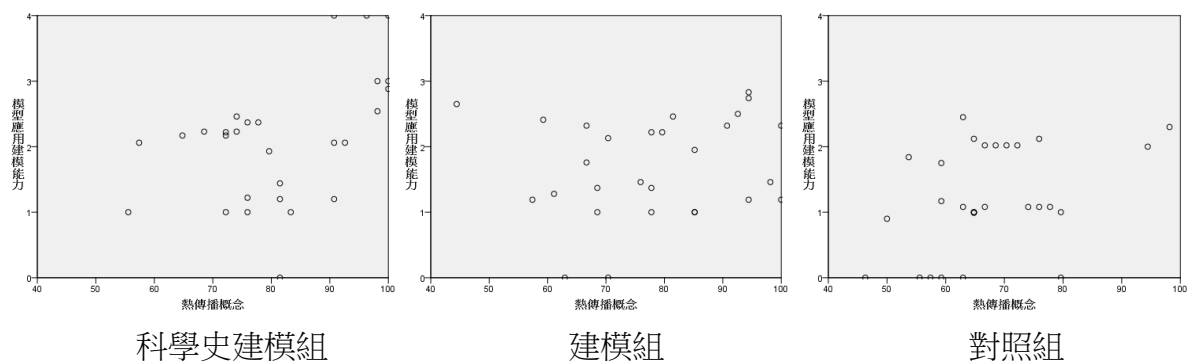


圖 4-6-4 後測之熱傳播概念和模型應用建模能力分布圖

第七節 三組科學模型本質之分析

本節研究者根據科學模型本質測驗的前測和後測中學生的作答，共可分為 2 部分：第一部分，整理出學生對於科學模型本質的總分數。第二部分，再以三面向的建模架構；本體論、認識論、方法論中的 10 個主題，來將科學模型本質測驗的題目做不同的分類，進一步探討與分析不同教學組在各主題中對科學模型本質的認識是否有所差異。

在本節中為了準確瞭解學生對科學模型本質，本研究對前測採用變異數分析法(ANOVA)，後測和延宕測採用共變數分析法(ANCOVA)，以探討三組間對科學模型本質的認識是否有所差異。

一、科學模型本質測驗總分分析

前測

以科學模型本質測驗的前測作答進行分析，分析結果如下表 4-7-1 所示，顯示三組在科學模型本質測驗的前測成績中 $p=.958$ ，未達顯著差異。

表 4-7-1 科學模型本質測驗總分前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.40	.27	.043	.958
建模組	28	2.39	.24		
對照組	28	2.37	.23		

* $P<.05$

後測

以科學模型本質測驗的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.035$ ， $p=.966>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-7-2 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=119.764$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-3 所示，顯示科

學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-2 科學模型本質測驗總分後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	3.32	.236	119.764	.000***
建模組	28	3.27	.202		
對照組	28	2.45	.265		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-7-3 三組後測的事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.407
	對照組	.000***
建模組	對照組	.000***

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

二、科學模型三面向分析

(一) 科學模型本體論之分析

根據科學模型本質測驗的第 1~15 題的學生作答進行分析。

前測

以科學模型本質測驗的第 1~15 題的前測作答進行分析，分析結果如表 4-7-4 所示，顯示三組在科學模型本質測驗中本體論的前測成績 $p=.926$ ，未達顯著差異。

表 4-7-4 科學模型本體論分數前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.50	.447	.077	.926
建模組	28	2.47	.350		
對照組	28	2.46	.333		

* $P<.05$

進一步針對科學模型本體論中的 3 個主題進行分析，分析結果如表 4-7-5 所示，顯示三組在『對應關係』、『呈現形式』、『變化關係』三個主題中都未達顯著差異。

表 4-7-5 本體論中三主題分數前測分析

組別		對應關係	呈現形式	變化關係
科學史 建模組	平均分數	2.67	2.44	2.38
	標準差	.663	.470	.479
建模組	平均分數	2.63	2.43	2.34
	標準差	.466	.507	.452
對照組	平均分數	2.66	2.41	2.32
	標準差	.470	.486	.451
F / P		.090/.914	.303/.970	.100/.905

*P<.05

後測

以科學模型本質測驗的第 1~15 題的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.917$ ， $p=.404>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如下表 4-7-6 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=88.005$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-7 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-6 科學模型本體論分數後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	3.23	.297	88.005	.000
建模組	28	3.26	.242		
對照組	28	2.52	.244		

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

表 4-7-7 三組後測事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.070	.407
	對照組	.070	.000
建模組	對照組	.070	.000

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

另外針對科學模型本體論中的3個主題進行分析，分析結果如表4-7-8所示，三個主題中，科學史建模組、建模組和對照組在『對應關係』主題平均分數最高，分數為3.27、3.38和2.68，從表中也可得知三組在『對應關係』、『呈現形式』、『變化關係』三個主題中都已達顯著差異。

表 4-7-8 本體論中三主題分數後測分析

組別		對應關係	呈現形式	變化關係
科學史	平均分數	3.27	3.26	3.16
建模組	標準離差	.404	.405	.506
建模組	平均分數	3.38	3.14	3.25
	標準離差	.288	.344	.392
對照組	平均分數	2.68	2.43	2.45
	標準離差	.367	.351	.422
F / P		40.549/.000	55.625/.000	31.094/.000

進一步進行事後比較，分析結果表4-7-9所示，顯示科學史建模組與對照組在『對應關係』、『呈現形式』、『變化關係』三個主題中，都已達顯著差異；建模組與對照組在『對應關係』、『呈現形式』、『變化關係』三個主題中，也都達顯著差異；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-9 三組的本體論中三主題事後比較分析

主題	科學史建模組 vs 對照組	科學史建模組 vs 建模組	建模組 vs 對照組
對應關係	***	-----	***
呈現形式	***	-----	***
變化關係	***	-----	***

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

(二) 科學模型認識論之分析

根據科學模型本質測驗的第 16~30 題的學生作答進行分析。

前測

以科學模型本質測驗的第 16~30 題的前測作答進行分析，分析結果如下表 4-7-10 所示，顯示三組在科學模型本質測驗中認識論的前測成績 $p=.991$ ，未達顯著差異。

表 4-7-10 科學模型認識論分數前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.37	.314	.009	.991
建模組	28	2.37	.264		
對照組	28	2.36	.311		

* $P<.05$

進一步針對科學模型認識論中的 3 個主題進行分析，分析結果如表 4-7-11 所示，顯示三組在『個體表徵』、『過程』、『情境』三個主題中都未達顯著差異。

表 4-7-11 認識論中三主題分數前測分析

組別		個體表徵	過程	情境
科學史	平均分數	2.37	2.43	2.30
建模組	標準差	.356	.331	.507
建模組	平均分數	2.33	2.41	2.35
	標準差	.358	.311	.391
對照組	平均分數	2.31	2.45	2.32
	標準差	.403	.391	.471
F / P		.173/.842	.075/.928	.070/.932

後測

以科學模型本質測驗的第 16~30 題的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.273$ ， $p=.762>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-7-12 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的

影響， $F=90.543$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-13 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-12 科學模型認識論分數後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	3.42	.302	90.543	.000
建模組	28	3.27	.279		
對照組	28	2.44	.303		

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

表 4-7-13 三組後測事後比較分析

組別		標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.079	.062
	對照組	.079	.000
建模組	對照組	.079	.000

* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$

另外針對科學模型認識論中的 3 個主題進行分析，分析結果如表 4-7-14 所示，三個主題中，科學史建模組在『情境』主題平均分數最高，分數為 3.54；建模組在『個體表徵』主題平均分數最高，分數為 3.42；對照組在『過程』主題平均分數最高，分數為 2.53。從表中也可得知三組在『個體表徵』、『過程』、『情境』三個主題中都已達顯著差異。

表 4-7-14 認識論中三主題分數後測分析

組別		個體表徵	過程	情境
科學史	平均分數	3.42	3.31	3.54
	標準差	.402	.416	.477
建模組	平均分數	3.42	3.29	3.12
	標準差	.396	.437	.507
對照組	平均分數	2.42	2.53	2.37
	標準差	.363	.331	.484
F / P		65.945/.000	34.257/.000	41.001/.000

進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-15 所示，顯示科學史建模組與對照組在『個體表徵』、『過程』、『情境』三個主題中，都已達顯著差異；建模組與對照組在『個體表徵』、『過程』、『情境』三個主題中，也都達顯著差異；科學史建模組和建模組在『情境』種題中達顯著差異。

表 4-7-15 三組的認識論中三主題事後比較分析

主題	科學史建模組 vs 對照組	科學史建模組 vs 建模組	建模組 vs 對照組
個體表徵	***	-----	***
過程	***	-----	***
情境	***	**	***

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

(三) 科學模型方法論之分析

根據科學模型本質測驗的第 31~46 題的學生作答進行分析。

前測

以科學模型本質測驗的第 31~46 題的前測作答進行分析，分析結果如表 4-7-16 所示，顯示三組在科學模型本質測驗的前測成績中 $p=.875$ ，未達顯著差異。

表 4-7-16 科學模型方法論分數前測分析

組別	人數	平均分數	標準差	F	P
科學史建模組	28	2.35	.239	.134	.875
建模組	28	2.35	.254		
對照組	28	2.32	.262		

*P<.05

進一步針對科學模型本體論中的 4 個主題進行分析，分析結果如表 4-7-17 所示，顯示三組在『問題解決』、『瞭解現象』、『連結和發展』、『建模歷程』四個主題中都未達顯著差異。

表 4-7-17 方法論中三主題分數前測分析

組別		問題解決	瞭解現象	連結和發展	建模歷程
科學史	平均分數	2.34	2.34	2.44	2.29
	標準差	.310	.403	.417	.450
建模組	平均分數	2.37	2.37	2.41	2.27
	標準差	.351	.345	.425	.479
對照組	平均分數	2.41	2.31	2.43	2.15
	標準差	.344	.379	.436	.423
F / P		.268/.765	.163/.850	.024/.976	.795/.455

後測

以科學模型本質測驗的第 31~46 題的後測作答進行分析，由迴歸係數同質性考驗結果得知，F 值未達顯著差異($F=.277$ ， $p=.759>.05$)，表示前測表現與後測表現間的關係，不會因為教學法的不同而有所不同，可進行共變數分析。

根據分析結果如表 4-7-18 所示，顯示不同教學法對學生後測表現有顯著的影響， $F=69.581$ ， $p=.000$ 。進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-19 所示，顯示科學史建模組與對照組，已達顯著差異， $p=.000$ ；建模組與對照組，也達顯著差異， $p=.000$ ；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-18 科學模型方法論分數後測分析

組別	人數	平均分數	標準離差	F	p
科學史建模組	28	3.27	.271	69.581	.000
建模組	28	3.31	.249		
對照組	28	2.47	.365		
*P<.05 **p<.01 ***p<.001					

表 4-7-19 三組後測事後比較分析

組別	標準誤	顯著性
科學史建模組	建模組	.567
	對照組	.000
建模組	對照組	.000
* $P<.05$ ** $p<.01$ *** $p<.001$		

另外針對科學模型本體論中的 3 個主題進行分析，分析結果如表 4-7-20 所示，三個主題中，科學史建模組在『變化關係』主題平均分數最高，分數為 3.27；建模組在『呈現形式』主題平均分數最高，分數為 3.38；對照組在『變化關係』主題平均分數最高，分數為 2.45。從表中也可得知三組在『對應關係』、『呈現形式』、『變化關係』三個主題中都已達顯著差異。

表 4-7-20 方法論中三主題分數後測分析

組別		問題解決	瞭解現象	連結和發展	建模歷程
科學史 建模組	平均分數	3.23	3.36	3.23	3.23
	標準差	.378	.387	.569	.331
建模組	平均分數	3.35	3.24	3.30	3.35
	標準差	.404	.337	.497	.343
對照組	平均分數	2.52	2.28	2.53	2.54
	標準差	.479	.424	.663	.450
F / P		31.639/.000	67.122/.000	15.105/.000	36.807/.000

進一步進行事後比較，分析結果表 4-7-21 所示，顯示科學史建模組與對照組在『問題解決』、『瞭解現象』、『連結和發展』、『建模歷程』四個主題中，都已達顯著差異；建模組與對照組在『問題解決』、『瞭解現象』、『連結和發展』、『建模歷程』四個主題中，也都達顯著差異；但科學史建模組和建模組之間未達顯著差異。

表 4-7-21 三組的方法論中四主題事後比較分析

主題	科學史建模組 vs 對照組	科學史建模組 vs 建模組	建模組 vs 對照組
問題解決	***	-----	***
瞭解現象	***	-----	***
連結和發展	***	-----	***
建模歷程	***	-----	***

*P<.05 **p<.01 ***p<.001

(四)小結

綜合上述分析結果，三組的學生在教學前對於科學模型本質的認識並無顯著差異，三組學生在科學模型本質總平均分數為 2.40、2.39 和 2.37，且在科學模型本質三面向的分數約在 2.32~2.50 之間，與林靜雯、邱美虹(2007)用此份科學模型本質測驗去測量高中學生對於科學模型本質的平均分數約 2.71~3.40 之間，顯得略低，可能是國小學生在科學學習的經驗仍顯不足，還未接觸過科學概念上其他的表徵方式，例如：數學關係、符號...等，在這樣的情況下，學生認為與自身經驗不符時，大多都是勾選不同意，致使平均分數降低。

在前測三面向下的 10 主題中，科學史建模組、建模組和對照組都是在科學本質本體論中的『對應關係』表現最好，平均分數為 2.67、2.63 和 2.66，顯示學生對於模型與事物的對應關係有較高程度的了解。

經過教學後，『科學史建模組與對照組』和『建模組與對照組』，在科學模型本質總平均分數、科學模型本質三面向和三面向下的 10 主題都達顯著差異；科學史建模組和建模組只有在科學模型認識論的『情境』主題中達顯著差異。

科學史建模教學和建模教學因使用建模教學，兩組都有針對『科學模型』的定義做過討論，也明示出『科學模型的五面向』，這樣的過程可以幫助學生對於科學模型本質有更深入的認識與了解；教學中的各建模活動，可以讓學生觀察活動中課堂教學或學生和老師可能使用了許多類型的表徵，來建構模型；另外，教學依『建模步驟』進行，可以讓學生瞭解對模型功能及建模歷程的知識。因此，科學史建模教學和建模教學在模型的本體論、方法論和認識論三方面均有所提升，這是在一般的教學中所欠缺，同時也無法辦到。

另外，科學史建模組將課程內容融入科學發展史，討論在不同的時空背景下，因其科技上的限制、科學上的證據和當時人們的想法，而產生對某一科學現象的解釋，但隨著科技上的發達、科學上新的證據和人們想法的改變，對某一科學現象的解釋也逐漸修正，這樣的教學內容可以增進學生在科學模型認識論中『情境』

主題的瞭解，可以幫助學生建立模型會隨不同情境、不同人、不同時空下而有所改變，因此，科學史建模組在科學模型認識論中的『情境』表現最好，平均分數為 3.54，建模組的平均分數為 3.12，對照組的平均分數為 2.37，讓科學史建模組和建模組在科學模型認識論的『情境』主題中達顯著差異。

第八節 綜合討論

一、建模教學的影響

(一)教學成效之分析

根據本研究的研究結果，發現『科學史建模組』和『建模組』不論是在熱傳播的整體概念或熱傳播的子概念—熱傳導、熱對流、熱輻射，還是熱傳播的五個面向中的結構、巨觀行為和微觀行為，2 組在後測和延宕測中都明顯優於『對照組』，顯示在教學上使用科學史建模教學和建模教學對於學生學習熱傳播概念是有正向的幫助，可以建立熱傳播概念中五個面向之間的關係，學生的學習成效較佳，亦即建模教學可以幫助學生建構熱傳播概念的科學模型、學習科學概念、建立學習的架構，此結果與多位研究者(Hestenes, 1996; Gilbert, 1991, 2000; Halloun, 1996, 2006; Buckley, 2004) 以建模教學融入不同學科中，建模教學可幫助學生學習，建構概念模型並瞭解之間的關係，均能有較提升學生在科學概念上的理解的研究結果相似。

但在本研究中可進一步說明，建模教學可增進學生對於較為困難概念上的理解，後測時，三組在範圍和成分二個面向中，無顯著差異，但在結構、巨觀行為和微觀行為等面向中，科學史建模組和建模組均顯著優於對照組，此結果得以與 Hallon(2006)的結果相呼應，Hallon 認為建模的過程是很重要的一般性過程，在建模的過程中會比一般的大眾表現得更有系統性，因此在學習較為困難的結構、巨觀行為和微觀行為等面向時，學習成就明顯優於一般教學的學生。

(二)熱傳播建模能力之分析

在本研究中，『科學史建模組』和『建模組』不論是在熱傳播的整體建模能力或各建模步驟之熱傳播建模能力，2 組在後測和延宕測中都明顯優於『對照組』，顯示『科學史建模組』和『建模組』都是以建模教學策略當作教學方法，希望可以幫助學生建立一個完整的熱傳播模型，讓學生可以在面對一個熱傳播現象時，可以提取有效且完整的模型，幫助他解決所遇到的問題，因此，要培養學生建模的能力可從課程活動中設計建模教學活動，建模教學即可提升學生的各階段的建模能力，此結果與 Grosslight et al. (1991)、邱美虹(2008)、張志康(2009)的研究相似。

(三)科學模型本質之分析

在本研究中，『科學史建模組』和『建模組』不論是在科學模型本質總平均分數、科學模型本質三面向和三面向下的 10 主題中，2 組在後測和延宕測中都明顯優於『對照組』。

Justi and Gilbert(2002)的研究中提出透過建模的過程提升學生的建模能力，邱美虹與劉俊庚(2008)認為透過以模型為基礎的教學活動，可提供學生適當使用模型的機會，將有助學生對於科學本質的了解。本研究根據科學模型本質的相關研究吳明珠(2008)、周金城(2008)、林靜雯與邱美虹(2008)，進一步發現科學史建模教學和建模教學因使用建模教學，建模教學可以幫助學生對於科學模型本質有更深入的了解，增進學生在模型本體論的認識；教學中的各建模活動，可以讓學生觀察活動中課堂教學或學生和老師可能使用了許多類型的表徵，來建構模型，增進學生在模型認識論的了解；另外，教學依『建模步驟』進行，可以讓學生瞭解對模型功能及建模歷程的知識，增進學生在模型方法論的表現。因此，科學史建模教學和建模教學在模型的本體論、方法論和認識論三方面均有所提升，這是在一般的教學中所欠缺，同時也無法辦到。

二、科學史融入建模教學的影響

在本研究中『科學史建模教學』是以建模教學和教科書內的概念為主體，將

科學史以『附加式』的方式融入教學內容，『科學史建模組』只有在延宕測中熱傳播模型的『微觀行為』表現、延宕測中熱傳播建模能力的『模型效化』能力和『模型應用』能力，明顯優於建模組，至於在科學模型本質中，科學史建模組和建模組只有在科學模型認識論的『情境』主題中達顯著差異。

科學史建模組和建模組之間在後測未達顯著差異，其可能原因為『科學史建模組』是以建模教學和教科書內的概念為主體，將課程內容融入『熱』和『熱傳播』的科學發展史，所以，建模教學在課程中所佔的比例較多，即是以建模教學和教科書內的概念為主體，將『熱』和『熱傳播』的科學史內容以增加方式進行教學，建模教學在課程中所佔的比例較少，以至於『科學史建模組』與『建模組』在後測的熱傳播概念與熱傳播建模能力並無顯著差異。

若在建模教學中再加入科學史的議題，科學史融入教學不只是強調科學概念，還重視這些科學概念產生的過程(Justi, 2000)，且在本研究中加入熱傳播的科學史就是讓學生能了解到過去的科學家如何從生活中巨觀現象產生的錯誤推論和解釋，經歷慢慢的修正，最後找到微觀的正確科學解釋，對於學生”保留”所學到熱傳播的微觀行為面向有正向幫助，可以讓學生發展出的熱傳播模型”效化”和”應用”的能力，更不易消逝，且在建模教學中加入科學史的內容，學生可了解科學史上科學模型改變的過程，可以增進學生在科學模型認識論中『情境』主題的瞭解

第伍章 結論與建議

本研究選取教科書在『熱傳播』單元所呈現的概念為課程內容與教材設計的準則，以『傳統教學』、『建模教學』和『科學史建模教學』為教學方式，探討不同教學法對學生學習熱傳播概念成效的影響。再者，基於『建模能力分析指標』，探討不同的教學方式對於學生建模能力的影響。接下來，更進一步探討不同的教學方式對學生建模能力和概念改變之間的交互作用關係的影響。最後，探討不同教學方式對學生科學模型本質的影響。

本研究對象為國小五年級學生共 84 位，所使用的研究工具包含熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗前測、後測和延宕測驗，熱傳播建模能力試卷前測、後測和延宕測驗以及科學模型本質測驗前測和後測。本章就歸納各項研究結果、在科學教育上的運用以及研究過程的改進和教學和未來研究等各方面提出建議。

第一節 結論

本研究的結論歸納如下：

一、三組教學成效之分析

(一) 在熱傳播概念上，科學史建模組和建模組學習優於對照組

經由一系列的分析後，『科學史建模組』和『建模組』在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測以及延宕測中熱傳播的整體概念、熱傳播的子概念—熱傳導、熱對流、熱輻射，都明顯優於對照組。

在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗後測中熱傳播的五個向度—範圍、成分、結構、巨觀行為和微觀行為上，三組在範圍和成分二個向度中，無顯著差異，但在結構、巨觀行為和微觀行為等三個向度中，『科學史建模組』和『建模組』均顯著優於對照組，但『科學史建模組』和『建模組』未達顯著差異。

建模教學可以幫助學生建構熱傳播概念的科學模型、學習科學概念，此結果與多位研究者的研究相似(Gilbert, 1991, 2000; Halloun, 1996; Buckley, 2000)，顯示建模教學能有效促進學生學習成效，增進學生概念的理解。

(二) 在延宕測的『微觀行為』向度上，科學史建模組優於建模組，建模組又優於對照組

在熱傳播概念二階層診斷式紙筆測驗延宕測中熱傳播的五個向度—範圍、成分、結構、巨觀行為和微觀行為上，『科學史建模教學』和『建模組』五個向度的學習表現上均顯著優於對照組，只有在微觀行為向度表現上，科學史建模教學法顯著優於建模教學，其他四個向度，2 組並無顯著差異。

所以，科學史融入建模教學不只是強調科學概念，還重視這些科學概念產生的過程(Justi, 2000)，讓學生能了解到過去的科學家如何從生活中巨觀現象而產生的錯誤推論和解釋，慢慢的修正，最後找到微觀的正確科學解釋，建立熱傳播的科學概念，這樣過程能使得學生真正了解『微觀行為向度』後更不易忘記，經過一段時間後，能保留科學概念的時間可以更長久。

二、熱傳播概念與概念改變之分析

(一) 熱傳導概念分布與概念改變

熱傳導概念中的『範圍』和『成分』是屬於概念模型的巨觀維度，所擁有正確科學先備知識的比例是較高的，且其概念本體的轉換是屬於類別內「實體」分類的轉換，易發生概念改變；其次是結構面向，『結構』雖然是屬於概念模型的維觀維度，但其概念本體的轉換是屬於類別內「實體」分類的轉換；『巨觀行為』面向雖然是屬於概念模型的巨觀維度，但其概念本體的轉換是屬於類別間由「實體」屬性轉換成過程屬性中的『直接過程』；『微觀行為面向』是屬於概念模型的微觀維度，其概念本體的轉換是屬於類別間由「實體」屬性轉換成過程屬性中的『突現過程』，學生最不易改變迷思概念，概念回歸的情形也容易發生。

學生在建立熱傳導概念模型時，受生活經驗影響，『冷』和『熱』是實體的迷思概念會影響學生學習『範圍』、『巨觀行為』和『微觀行為』等三面向，而無法建構出正確的熱傳導模型。

(二) 熱對流概念分布與概念改變

熱對流概念中的『成分』和『巨觀行為』兩個面向，因在之前的課程已學習過，三組中高達 90%以上的學生可以回答科學概念；『範圍』是屬於概念模型的巨觀維度，其概念本體的轉換是有類別間的分類轉換和類別內的分類轉換，少了生活經驗的支持，概念改變仍不易發生。

熱對流概念中的『微觀行為』是屬於概念模型的維觀維度，其概念本體的轉換是屬於類別間由「實體」屬性轉換成過程屬性中的『突現過程』，學生不易消除熱夾帶在粒子間或熱使粒子脹大的迷思概念，學生不易改變迷思概念，概念回歸的情形也容易發生。

(三) 熱輻射概念分布與概念改變

學生熱輻射概念中的『成分』和『巨觀行為』兩個向度三組擁有正確科學先備知識的比例是較高，學習表現相似；接下來是『範圍』，是屬於概念模型的巨觀維度，最難的則是微觀行為向度，其概念本體的轉換是屬於類別間由「實體」屬性轉換成過程屬性中的『突現過程』，學生不易改變迷思概念，概念回歸的情形也容易發生。

學生在後測可以回答出科學概念，但在延宕測時，因受熱輻射概念與太陽輻射的例子太過結合的結果，在『範圍』、『成分』向度中產生迷思概念。此外，在此研究中發現『熱傳導的微觀行為』向度學習會明顯影響到學生在『熱輻射的微觀行為』向度學習。

三、三組建模能力之分析

(一) 在熱傳播建模能力上，科學史建模組和建模組學習優於對照組

經由一系列的分析後，『科學史建模組』和『建模組』在熱傳播建模能力問卷的後測以及延宕測中之熱傳播建模能力、後測的各建模步驟之熱傳播建模能力都明顯優於對照組，但『科學史建模組』和『建模組』未達顯著差異。

建模教學可以幫助學生建立一個完整的熱傳播模型，讓學生可以在面對一個熱傳播現象時，提取有效且完整的模型，幫助他解決所遇到的問題，因此，建模教學可提升學生的各階段的建模能力，

科學史建模組和建模組之間在後測未達顯著差異，其可能原因為『科學史建模組』是以建模教學和教科書內的概念為主體，所以，建模教學在課程中所佔的比例較多，即是以建模教學和教科書內的概念為主體，將『熱』和『熱傳播』的科學發展史科學史的內容以增加方式進行教學，科學史內容在課程中所佔的比例較少，以至於『科學史建模組』與『建模組』在後測的各建模步驟之熱傳播建模能力並無顯著差異。

(二) 在延宕測的『模型效化』和『模型應用』之熱傳播建模能力上，科學史建模組優於建模組，建模組又優於對照組

三組學生在延宕測的各建模步驟中，『科學史建模教學』和『建模組』在四個建模步驟的熱傳播建模能力表現均顯著優於對照組，但只有在延宕測的『模型效化』和『模型應用』之熱傳播建模能力上，科學史建模組優於建模組，建模組又優於對照組。

在本研究中加入熱傳播的科學史就是讓學生能了解科學家會利用不同的實驗或評估方法進行『模型效化』，建構模型，並檢視模型的內部一致性，進行批判思考；不同時代的科學家如何利用當時所建立的科學模型進行『模型應用』，說明當時與其有關的現象，且解釋有關的生活經驗，雖然科學史建模組和建模組在後測未達顯著差異，但加入科學史融入課程，使得學生真正了解後更不易忘記，

讓學生真正發展出建模能力後更不易消逝。

四、熱傳播學習成效與熱傳播建模能力之關係

經由一系列的分析後，可以發現三組在後測和延宕測中模型建立建模能力與熱傳播概念都有顯著的關係，顯示模型建立能力是較為基礎的能力，也是建立科學模型的能力，所以，模型建立的建模能力較高的學生，可以建立較好且較完善的科學模型，在整體的概念成績表現上也較好。

另外，科學史建模組在後測的模型效化建模能力與熱傳播概念有顯著高相關，建模組在後測和延宕測的模型效化建模能力與熱傳播概念也有顯著高相關，顯示使用建模教學當做教學方法可以引導學生發展較為高層次的建模能力，建模教學一方面可以幫助學生概念理解，另一方面可以增進學生建模能力、發展進階的建模能力。

另外，在本研究中顯示將科學史融入建模教學中，可以幫助學生增進模型效化和模型應用的能力，所以，科學史建模教學可以幫助學生發展較好的模型應用建模能力，呈現出變異，讓模型應用建模能力與熱傳播概念在後測和延宕測中都有顯著的普通關係，但建模組在此建模步驟中則無顯著相關。

五、科學模型本質之分析

(一) 在科學模型本質上，科學史建模組和建模組的表現均優於對照組

經由一系列的分析後，『科學史建模組』和『建模組』在科學模型本質總平均分數、科學模型本質三面向和三面向下的 10 主題都明顯優於對照組。

科學史建模教學和建模教學因使用建模教學，可以幫助學生對於科學模型本質有更深入的認識與了解、增加建模歷程的知識，以及模型的表徵方式，因此，科學史建模教學和建模教學在模型的本體論、方法論和認識論三方面均有所提升，這是在一般的教學中所欠缺，同時也無法辦到。

(二) 在科學模型認識論的『情境』主題上，科學史建模組優於建模組，建模組又優於對照組

科學史建模組和建模組只有在科學模型認識論的『情境』主題中達顯著差異。另外，科學史建模組將課程內容融入科學發展史，討論在不同的時空背景下，因其科技上的限制、科學上的證據和當時人們的想法，而產生對某一科學現象的解釋，但隨著科技上的發達、科學上新的證據和人們想法的改變，對某一科學現象的解釋也逐漸修正，可以增進學生在科學模型認識論中『情境』主題的瞭解，因此，科學史建模組在科學模型認識論中的『情境』主題表現最好。

第二節 建議

本節將根據研究心得與研究結果，分別對研究過程提出檢討和改進，並對於未來教學、教材撰寫和研究方向提出建議。

一、對教學與教材的建議

1. 建模教學有助於提升學生對於概念的理解、科學模型本質的認識以及增進建模能力，但在教學中，學生對於建模教學中的專有名詞，例如：科學概念模型五面向、建模步驟等還是很不熟悉，容易造成學生學習負擔，使得學生覺得課程比一般教學困難。
2. 在教學順序中，學生是先學習熱傳導概念，後學習熱輻射概念，本研究發現熱傳導的微觀粒子行為的解釋會影響學生學習熱輻射的微觀粒子行為，值得教師在教學上注意。
3. 教師在說明熱傳播概念時，主要都是由太陽傳熱到地球的過程來說明熱輻射概念，學生雖然在後測可以回答出科學概念，但過於強化的結果，學生因此在延宕測時出現與此相關的迷思概念。
4. 本研究的『科學史建模組』是以建模教學和教科書內的概念為主體，建模教學在課程中所佔的比例較多，科學史內容在課程中所佔的比例較少，所以，科學史建模組與建模組所呈現出有差異的地方，僅在延宕測的熱傳播概念模型的『微觀行為』和熱傳播建模能力『模型效化』、『模型應用』某一部分，

因此，在一般的測驗中較難看出其效果。

二、未來研究方向

1. 在本研究中，只找出學生在熱傳播的三個子概念—熱傳導、熱對流和熱輻射的概念分布及概念改變情形，但這些概念之間是否有相關，應可再進一步找出三個子概念的心智模式，擴大其解釋的範圍。
2. 本研究為瞭解所有學生的建模能力，使用『熱傳播建模能力分析問卷』，受限於時間和研究工具本身的限制，或者是書寫無法完整的表達學生自己的想法，都有可能讓研究者錯誤判斷學生的建模能力，未來不妨以本研究量化資料為參考，以質性研究的方式，更深入了解學生的想法，判斷學生的建模能力。
3. 本研究以建模教學為主，將科學史以『附加式』的方式融入建模教學中，即是以建模教學和教科書內的概念為主體，進行教科書內容教學時，將『熱』和『熱傳播』的科學發展史內容以增加方式進行教學，較適合一般教師在教學時使用，因此科學史對學生學習的影響較小，未來的研究可以設計『整合式』的教材，以科學史歷史發展的順序對科學概念的影響為主體，融入建模教學步驟，以此來比較科學史和建模教學對學生學習的影響。

參考文獻

一、中文部分

- 王文科(主譯)(1989)。學習心理學—學習理論導論(原作者：B.R.Hergenhahn)。台北市：五南。(原著出版年：1976)
- 田靜如(譯)(2005)。溫度，決定一切(原作者：Gino Segrè)。台北市：天下遠見。(原著出版年：2002)
- 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，307，2-8。
- 邱美虹(2000)。概念改變的省思與啟示，科學教育學刊，8 (1)，1-34。
- 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」之影響研究成果報告。國立臺灣師範大學科學教育研究所。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。(NSC 95-2511-S-003-025-MY2)。
- 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。
- 邱美虹與林靜雯(2002)。以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。科學教育學刊，10(2)，109-134。
- 邱美虹與劉俊庚(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。
- 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，306，10-18。
- 林靜雯與邱美虹(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。
- 洪振方(1997)。科學史融入科學教學之探討。高雄師大學報，8 期，233-246。
- 徐光台(1999)。建構主義與科學教育進步。歐美研究，29，4，153-183。
- 許良榮與李田英(1995)。科學史在科學教學的角色與功能。科學教育月刊，179 期，15-27。
- 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。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文(未出版)。
- 張志康與邱美虹(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。

- 陳瑞麟(2004)。科學理論版本的結構與發展。台北市：臺灣大學出版。
- 陳瑞麟(2005)。科學現象的觀察與建構。東吳哲學學報，11，57-98。
- 郭重吉與吳武雄(1990)。利用晤談方式探查國中學生對重要物理概念的另有架構之研究(I)》。國立彰化師範大學科學教育研究所。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。(NSC78-0111-s-018-04D)。
- 程樹德、傅大為、王道還、錢永祥(譯)(1989)。科學革命的結構(原作者：Thomas Kuhn)。台北市：遠流。(原著出版年：1962)
- 賴紹榮與周更生 (2004)。熱力學的發展簡史。科學發展，377，6-15。

二、英文部分

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). Benchmarks for Science Literacy. ERIC Document Reproduction Service No.ED399180.
- American Association for the Advancement of Science. (1990). Science for All Americans. Project 2061. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). Benchmarks for Science Literacy. Project 2061. New York: Oxford University Press.
- Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). Evaluating the Quality of Learning: the SOLO taxonomy. New York: Academic Press.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), Developing Models in Science Education (pp.41-58.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Buckley, B. B.(2004). Interactive media and model-based learning. In J. Gilbert., The RoutledgeFalmer Reader in Science Education (pp. 110-145). New York: RoutledgeFalmer.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in sciences. 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., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and instruction*, 4, 27-43.
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon and L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 3-27.
- Chi, M.T.H., & Hausmann, R. G. M. (2003). Do radical discoveries require ontological shifts? In L. Shavinina & R. Sternberg (Eds.) *International Handbook on Innovation* (Vol. 3, pp. 430–444). New York: Elsevier Science.
- Chi, M.T.H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14: 161-199.
- Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*(pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chiou, G., & Anderson, O. R.(2009). A Study of Undergraduate Physics Students' Understanding of Heat Conduction Based on Mental Model Theory and an
- Chiu, M. H. (2007). Research And Instruction-Based/Oriented Work (RAINBOW) for Conceptual Change in Science Learning. Paper present at the NICE 2007, July 30-31, Taipei, TAIWAN
- Clement, J. (1989) Learning via model construction and criticism. In J. A. Glover, R. R. Ronning and C. R. Reynolds (eds), *Handbook of Creativity* (New York: Plenum), 341–381.
- Clough, E. E., & Driver, R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: Bringing together scientific and personal views. *Physics Education*, 20(4), 176 – 182.
- Cohen, R.S.(1994). "Individuality and common purpose: the philosophy of science." *Science & Education* , 3, 393-407.
- Hestenes, D. (1993). MODELING is the name of the game. Retrieved From

- <http://scholar.google.com.tw/scholar?q=MODELING+is+the+name+of+the+game&hl=zh-TW&btnG=%E6%90%9C%E5%B0%8B&lr=>
- diSessa, A. A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and instruction*, 10(2 & 3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2008). A Bird's-Eye View of the "Pieces" VS. "Coherence" Controversy (From the "pieces" Side of the Fence). In Vosniadou, S., *International handbook of research on conceptual change* (pp.35-60). New York: Routledge.
- diSessa, A. A. and Sherin, B. L.(1998). What changes in conceptual change?. *International Journal of Science Education*, 20: 10, 1155 — 1191.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modeling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London: Falmer Press.
- Duschl, R. A.(1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teacher College Press.
- Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63(2), 221 – 230.
- Erickson, G. L. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education*, 64(3), 323 – 336.
- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature.
- Gilbert, J. (1993). The role of models and modeling in science education. Paper presented at the 1993 Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA, USA.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and modeling in science education* (Hatfield: The Association for Science Education).
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.) (2000). *Developing Models in Science Education*. Kluwer Academic Publishers, Dordrent , The Netherland.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.

- 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*, 33, 9, 1019-1041.
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education*. Netherlands: Springer.
- Hestenes, D. (1993). Modeling is the name of the game. Retrieved From <http://scholar.google.com.tw/scholar?q=MODELING+is+the+name+of+the+game&hl=zh-TW&btnG=%E6%90%9C%E5%B0%8B&lr=>
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In Bernardini, C., Tarsitani, C., & Vincentini, M. (Eds.). *Thinking physics for teaching*. (pp.25-66.) New York: Plenum.
- Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3 , 383-396.
- Hodson, D. (1992) In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541–562.
- Hodson, D. (2008). Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science. Rotterdam: Sense. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 52 – 84). Philadelphia: Open University Press.
- Jenkins, E.(1989).Why the history of science? In M. Shortland & A. Warwick(eds.), *Teaching the history of science*(p.19-29). Basil Blackwell: The British Society for the History of Science.
- Jones, M. G., Carter, G., & Rua, M. J.(2000). Exploring the Development of Conceptual Ecologies: Communities of Concepts Related to Convection and Heat. *JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING*. VOL. 37, NO. 2, PP. 139–159.

- Jones, R.(1989). The historiography of science: retrospect and future challenge. In M. Shortland & A. Warwick(eds.), Teaching the history of science(p.80-99).Basil Blackwell: The British Society for the History of Science.
- Justi, R. S. (2000). Teaching with Historical Models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), Developing Models in Science Education (pp.209-226.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Justi, R. S., & 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.
- Lewis, E. L.,&Linn,M. C. (1994).Heat and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curriculum improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 657 – 677.
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Matthews, M. *Science Teaching*. (1994). The Role of the History and Philosophy of science. New York: Routledge,
- Monk, M. & Osborne, J.(1997). “Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy.” *Science Education* , 81, 405-424.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Science Teachers Association. (1995). *Scope, Sequence, and Coordination of Secondary School Science. Volume 3. A High School Framework for National Science Education Standards*. Washington, DC: NSTA.
- Nersessian, N. (1992a). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* Minnesota studies in the philosophy of science, Vol. 15. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Nersessian, N. (1993). In the theoretician's laboratory: thoughtful experimenting as

- mental modeling. In D. Hull, M. Forbes, & K. Okruhlik (Eds.), *PSA 1992*, 2 (pp.291-301). East Lansing, MI: Philosophy of Science Association.
- Nersessian, N. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science and Education*, 4, 203-226.
- Oldroyd, D. R.(1977). Teaching the history of chemistry in New South Wales secondary schools. *The Australian Science Teachers Journal*, 23(2),9-22.Ontology–Process Analysis. *Science Education*.
- Padilla, K., & Furio-Mas, C. (2008). The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of “amount of substance” and “model” concepts in chemistry teaching. *Science & Education*, 17(4), 403-424.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1 – 34.
- Sequeira, M., & Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75(1), 45-56.
- 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.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thagard, P. (1999). *How scientists explain disease*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thagard, P. (2008). Conceptual change in the history of science: Life, mind, and disease. In S. Vosniadou (Ed.),
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students’ understanding of the role of science models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Vosniadou, S.(1994). Capturing and modeling the process of conceptual change.

- Learning and Instruction, Vol. 4, pp. 45-69.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From Conceptual Development to Science Education: A Psychological Point of View. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In Vosniadou, S., *International handbook of research on conceptual change* (pp.3-34). New York: Routledge.
- Wandersee, J. H., & Linda, L. M. (1998). Interactive Historical Vignettes. In Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D (Eds.), *Teaching Science for Understanding A Human Constructivist View* (pp.). San Diego, CA : Academic Press.
- Wiser, M. (1988). Can models foster conceptual change? The case of heat and temperature. Cambridge:Harvard Graduate School of Education (ETC Technical Report TR88-7).
- Wiser, M., & Amin, T. (2001). “Is heat hot?” Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11(4), 331 – 355.

附錄一

熱傳播概念試題

親愛的同學，您好：

本測驗的目的是想要深入瞭解你對熱傳播概念的想法，以幫助學生學習熱傳播的相關概念，此份測驗結果不會對你的學業成績有任何的影響。

本份測驗包含了 18 大題，共 57 小題，請同學針對以下的問題做選擇，選出最合適的答案，每一題都一定要作答，你的每一題答案都很重要，請思考過後再作答。

如果在作答過程中有任何問題，請你舉手向老師詢問，謝謝！

班級：

座號：

性別：

姓名：

() 1-1 熱是什麼？

- (1) 熱是液體
- (2) 熱是氣體
- (3) 熱是固體
- (4) 熱是能量
- (5) 熱是火

() 1-2 承 1-1 題，你為什麼會這樣想？

1-1 題答案	本題選項
熱是液體	(1) 熱會流動，流過的地方，溫度升高。 (2) 因為冰遇熱會變成水。
熱是氣體	(3) 熱飄散在空氣中。 (4) 因為熱看不見、摸不著。
熱是固體	(5) 熱是小小的、一顆顆的固體，會滾動。 (6) 熱是固體，有了它，東西才能燃燒。
熱是能量	(7) 熱有很多功用，可以轉換作其他的事。 (8) 有熱會冒煙，煙是能量表現出來的樣子。
熱是火	(9) 有火才有熱。 (10) 火是熱表現出來的樣子。

()1-3 承 1-1 題，從較微小的觀點來看，你的微觀理由是什麼？

1-1 題答案	本題選項
熱是液體	(1) 熱會在粒子之間流動。 (2) 因為熱會讓粒子融化。
熱是氣體	(3) 熱飄散在粒子中。 (4) 因為熱像空氣粒子看不見、摸不著。
熱是固體	(5) 熱是小小的、一顆顆的固體，在粒子間會滾動。 (6) 熱是固體，有了它，粒子才能燃燒。
熱是能量	(7) 熱可以增加粒子的速度。 (8) 熱會使粒子脹大。
熱是火	(9) 熱讓粒子燃燒、著火 (10) 熱讓粒子變紅，呈現出火的顏色

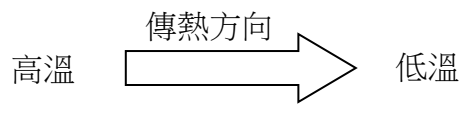
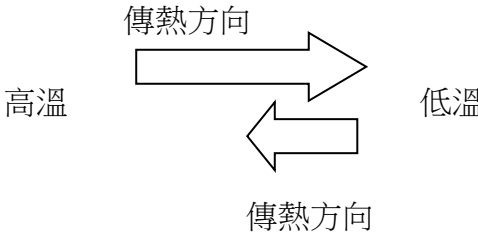
()2-1 你認為一般熱傳導的過程，會傳播什麼？

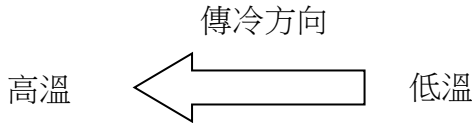
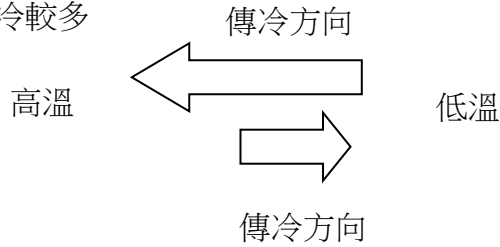
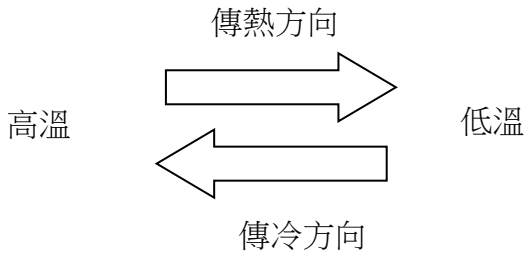
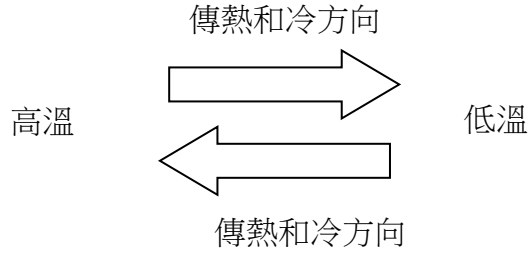
(1)只會傳熱 (2)只會傳冷 (3)會傳熱，也會傳冷

()2-2 熱傳播的過程中，你認為固體、氣體、液體那些可以用熱傳導的方式傳導熱？

(1)固體 (2)固體、液體 (3)固體、液體、氣體

()2-3 承第 2-1 題，熱傳播的過程中，你認為熱傳導的主要方向是什麼？

2-1 題答案	本題選項
只會傳熱	(1) 熱只由高溫傳向低溫  (2) 熱會由高溫傳向低溫，也會由低溫傳向高溫，高溫傳的熱較多 

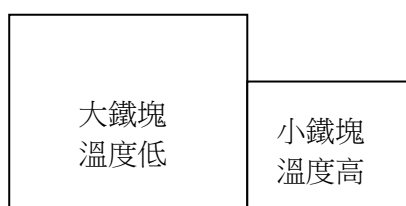
只會傳冷	(3) 只有冷由低溫傳向高溫  (4) 冷會由低溫傳向高溫，也會由高溫傳向高低溫，低溫傳的冷較多 
會傳熱，也會傳冷	(5) 熱會由高溫傳向低溫，低溫傳冷到高溫，互相傳熱和傳冷  (6) 高溫傳熱和冷到低溫，低溫也傳熱和冷到高溫，互相傳熱和傳冷 

()2-4 承 2-1 題，從較微小的觀點來看，你會如何解釋你在 2-1 題中所選的答案？

2-1 題答案	本題選項
只會傳熱	(1) 粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播熱能。 (2) 粒子吸收熱能後，粒子把熱利用一個接一個的方式，將熱傳出去。

只會傳冷	(3) 粒子只有冷的能量，藉由碰撞，使別的粒子也有冷能，藉以傳播冷。 (4) 粒子把冷利用一個接一個的方式，將冷傳出去。
會傳熱，也會傳冷	(5) 粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去。 (6) 粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。

- ()3-1 若有 2 塊鐵塊，大鐵塊溫度低，小鐵塊溫度高，請你判斷 2 塊鐵塊放在一起，熱會傳送，這是不是一個熱傳導的過程？(1)是 (2)不是



- ()3-2 你判斷是不是熱傳導的過程的依據是什麼？
 (1) 2 個物體間有接觸 (2) 只要是固體就會傳導熱
 (3) 熱和冷會互相傳導 (4) 熱會流動，應該是熱對流 (5) 熱沒有傳導

- ()3-3 若有 2 塊鐵塊，大鐵塊溫度低，小鐵塊溫度高，2 塊鐵塊放在一起，請問熱是如何傳送？
 (1) 只有大鐵塊傳冷給小鐵塊 (2) 只有小鐵塊傳熱給大鐵塊
 (3) 大、小鐵塊傳熱和冷

- ()3-4 承 3-3 題，你的理由是什麼？

3-3 題答案	本題選項
只有大鐵塊傳冷給小鐵塊	(1) 大鐵塊比較大塊，會傳冷給大鐵塊。 (2) 大鐵塊溫度低，會傳冷給小鐵塊。
只有小鐵塊傳熱給大鐵塊	(3) 小鐵塊溫度高，會傳熱給大鐵塊。 (4) 小鐵塊比較小塊，會傳熱給大鐵塊。
大、小鐵塊傳熱和冷	(5) 小鐵塊傳熱給大鐵塊，大鐵塊傳冷給小鐵塊。 (6) 大、小鐵塊互相傳熱和冷，沒有固定。

- ()3-5 承第 3-3 題，從較微小的觀點來看，你會如何解釋你在第 3-3 題中所選的答案？

3-1 題答案	本題選項
只有大鐵塊傳冷給小鐵塊	(1) 大鐵塊粒子只有冷的能量，藉由碰撞，使別的粒子也有冷能，藉以傳播冷。 (2) 大鐵塊粒子把冷利用一個接一個的方式，將冷傳出去。
只有小鐵塊傳熱給大鐵塊	(3) 小鐵塊粒子運動速度加快，藉由碰撞，大鐵塊粒子的速度也加快，藉以傳播熱能。 (4) 小鐵塊粒子把熱利用一個接一個的方式，將熱傳給大鐵塊。
大、小鐵塊傳熱和冷	(5) 大、小鐵塊粒子有冷能量，也有熱能量，粒子會藉由碰撞，將冷能和熱能傳出去。 (6) 大、小鐵塊粒子會把冷和熱利用一個接一個的方式，將冷和熱傳出去。

- ()4-1 爺爺用杯子裝了半杯的熱開水，蓋上杯蓋後一段時間，發現杯蓋變熱了，請問在這個例子中，熱傳導到杯蓋的過程中，有哪些東西用熱傳導的方式幫忙傳導熱？

(1) 杯子 (2)杯子和開水 (3)杯子、開水和空氣

- ()4-2 你判斷這些東西會不會傳導熱的依據是什麼？

(1) 物體之間有接觸 (2) 只要是固體就會傳導熱 (3) 熱和冷會互相傳導 (4)熱會流動 (5)熱沒有傳導 (6)其他：_____

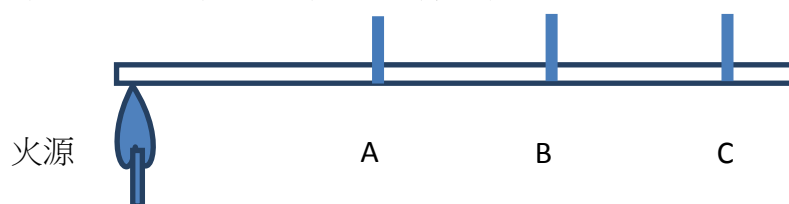
- ()5-1 從較微小的觀點來看，請你由大到小排出固體、氣體、液體粒子間距離，哪一個敘述是對的？

(1)固體>液體>氣體 (2)固體<液體<氣體 (3)固體=液體=氣體

- ()5-2 固體、氣體、液體那些可以用熱傳導的方式傳導熱？

(1)固體 (2)固體、液體 (3)固體、液體、氣體

- ()6-1 有一個鐵尺，圓心在火源上，並用蠟油在鐵尺上固定 3 根蠟燭，如圖所示。請問三根蠟燭掉落的順序為何？



- (1) A 先掉落，接下來是 B，最後是 C
 (2) A 先掉落，接下來 B 和 C 一起掉落
 (3) A、B、C 同時掉落

() 6-2 你判斷鐵尺會不會傳導熱到蠟燭的依據是什麼？

- (1) 物體之間有接觸 (2) 只要是固體就會傳導熱
 (3) 熱和冷會互相傳導 (4) 熱會流動 (5) 熱沒有傳導

() 6-3 承 6-1 題，你為什麼會這樣想？

6-1 題答案	本題選項
A 先掉落，接下來是 B，最後是 C	(1) 熱只由 A 方向傳向 C 方向，使得 A 先掉落。 (2) 熱會由 A 方向傳向 C 方向，冷由 C 方向傳向 A 方向，使得 A 先掉落。 (3) 熱和冷會由 A 方向傳向 C 方向，熱和冷也由 C 方向傳向 A 方向，使得 A 先掉落。
A 先掉落，接下來 B 和 C 一起掉落	(4) 熱由 A 方向平均傳向 B、C。 (5) 熱會由 A 方向傳向 C 方向，冷由 C 方向傳向 A 方向，在 B 中和，使得 B、C 同時掉落。 (6) 熱和冷會由 A 方向傳向 C 方向，熱和冷也由 C 方向傳向 A 方向，使得 B、C 同時掉落。
A、B、C 同時掉落	(7) 熱由 A 方向同時平均傳向 A、B、C。 (8) 熱會由 A 方向傳向 C 方向，冷由 C 方向傳向 A 方向，同時平均傳向 A、B、C。 (9) 熱和冷會由 A 方向傳向 C 方向，熱和冷也由 C 方向傳向 A 方向，同時平均傳向 A、B、C。

() 6-4 承 6-1 題，從較微小的觀點來看，妳為什麼會這樣想？

- (1) A 端粒子吸收熱能後，運動速度加快，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快。
 (2) A 端粒子吸收熱能後，粒子利用一個接一個的方式，將熱傳出去，熱會由最熱端傳出去。
 (3) C 端粒子有冷的能量，藉由碰撞，使別的粒子的速度也加快，藉以傳播冷。
 (4) C 端粒子有冷的能量，粒子利用一個接一個的方式，將冷傳出去。
 (5) A 端粒子藉由碰撞傳播熱能，C 端粒子藉由碰撞傳播冷，熱和冷會交互傳播。
 (6) A 端粒子利用一個接一個的方式，將熱傳出去，C 端粒子利用一個接一個的方式，將冷傳出去，熱和冷會交互傳。

- () 7-1. 若你有一支溫度計可以測量放在教室內的外套和桌子的溫度，請問你哪一個溫度較高？ (1)外套 (2)桌子 (3)一樣高

- () 7-2 承 7-1 題，你為什麼會這樣想呢？

7-1 題答案	本題選項
外套溫度高	(1) 因為外套是布的材質會保溫 (2) 因為外套容易吸熱 (3) 因為外套比較不易傳導熱，溫度比較高
桌子溫度高	(4) 因為桌子容易吸熱 (5) 因為桌子容易傳導熱到溫度計
一樣高	(6) 因為桌子和外套都是放在房間內，感覺溫度一樣高 (7) 因為用同一支溫度計

- () 7-3. 若你觸摸放在教室內的外套和桌子後，感覺哪一個溫度較高？
(1)桌子 (2)外套 (3)一樣高

- () 7-4. 你為什麼會這樣想呢？

7-3 題答案	本題選項
外套溫度高	(1) 因為外套是布的材質會保溫 (2) 因為外套容易吸熱 (3) 因為外套比較不易傳導熱，溫度比較高
桌子溫度高	(4) 因為桌子容易吸熱 (5) 因為桌子容易傳導熱到手
一樣高	(6) 因為桌子和外套都是放在房間內，感覺溫度一樣高 (7) 因為用同一隻手摸

- () 7-1. 煮開水時，雖然只在底部加熱，但是，全部的水都會慢慢變熱，請問這是不是一個熱對流的過程？ (1)是 (2)不是

- () 7-2 請選出你在判斷此過程是否為熱對流的依據是什麼？
(1) 東西傳熱給水，或是水傳熱給東西，只要有水都是熱對流
(2) 因為有風吹造成熱對流 (3) 水會流動，造成熱對流
(4)這是傳熱，而沒有流動 (5)水放著，沒有流動

- () 7-1 地球是一個溫暖的星球，而不會像月球一樣寒冷，是因為地球有什麼東西會利用熱對流的方式，將熱傳播到地球各處？
(1)大氣層 (2)陸地 (3)大氣層和海洋

()9-2 承 9-1 題，你的理由是什麼？

9-1 題答案	本題選項
大氣層	(1) 冬天吹東北風，夏天吹南風，風使空氣流動，造成熱對流。 (2) 只有空氣會流動，造成熱對流。
陸地	(3) 陸地吸熱後，再把熱放到空氣出來。 (4) 陸地飄在海上，形成熱對流。
大氣層和海洋	(5) 海洋或空氣都含有水，只要有水都是熱對流。 (6) 大氣層和海洋都會流動，讓熱傳播出去。 (7) 有風吹動大氣層和海洋，造成大氣層和海洋流動。

()10-1 什麼狀況下會發生熱對流？

- (1) 只有氣體 (2) 氣體、液體都會 (3) 只有固體

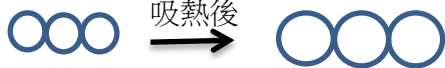
()10-2 承 10-1 題，你為什麼會這樣想呢？

10-1 題答案	本題選項
只有氣體	(1) 氣體粒子間距離最小，只有氣體粒子可以流動。 (2) 氣體粒子間距離最大，只有氣體粒子可以流動。 (3) 氣體、液體、固體粒子間距離都相等，但只有氣體粒子是可以流動。
氣體、液體都會	(4) 氣體粒子間距離最小，液體的粒子間距離次中，二者可以流動。 (5) 氣體粒子間距離最大，液體的粒子間距離次中，二者可以流動。 (6) 氣體、液體、固體粒子間距離都相等，但只有氣體粒子和液體粒子可以隨意流動。
只有固體	(7) 固體粒子間距離最大，只有固體粒子可以流動。 (8) 固體粒子間距離最小，只有固體粒子可以流動。 (9) 氣體、液體、固體粒子間距離都相等，但只有固體粒子是可以流動。

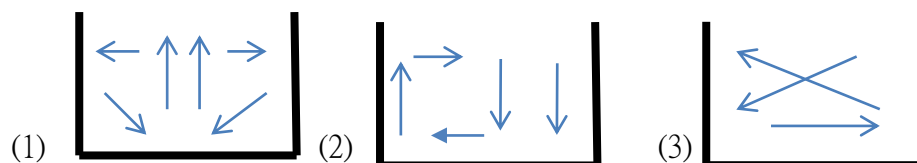
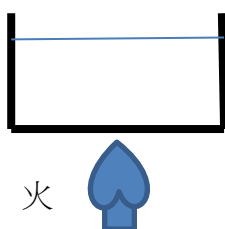
()10-3 熱對流的情況是什麼？

- (1) 冷熱中和，亂流動 (2) 熱上升，冷下降 (3) 冷上升、熱下降

()10-4 承 10-3 題，從較微小的觀點來看，你為什麼會這樣想呢？

10-3 題答案	本題選項
冷熱中和， 亂流動	(1) 熱會夾在粒子中間，如圖示：  粒子會亂流動，將熱散播到每一粒子間。 (2) 熱會讓粒子變大，如圖示：  造成粒子的亂流動。 (3) 熱讓粒子間距離加大，如圖示：  變成與原來距離不同，亂流動。
熱上升，冷 下降	(4) 熱會夾在粒子中間，如圖示：  造成粒子變輕，往上升。 (5) 熱讓粒子變大，如圖示：  粒子變輕，往上升。 (6) 熱讓粒子間距離加大，如圖示：  粒子總重量不變，但總體積變大，往上升。
冷上升、熱 下降	(7) 熱會夾在粒子中間，如圖示：  造成粒子變重，往下降。 (8) 熱讓粒子變大，變重，如圖示：  往下降。 (9) 熱讓粒子間距離加大，如圖示：  總體積變大，往下降。

()11-1 有一鍋水放在瓦斯爐上加熱，如右圖所示，請問鍋中的水會如何對流、流動？



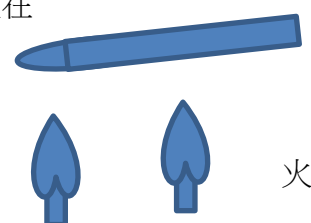
()11-2 承 11-1 題，從較微小的觀點來看，你為什麼會這樣想呢？

11-1 題答案	本題選項
圖(1)	(1) 熱會夾在粒子中間，如圖示： 造成粒子整體變輕，往上升，沒受熱的粒子進來補充，產生流動。 (2) 熱讓粒子間距離加大，如圖示： 粒子總重量不變，但總體積變大，往上升，沒受熱的粒子進來補充，產生流動。 (3) 熱讓粒子變大，如圖示： 粒子總重量不變，但總體積變大，往上升，沒受熱的粒子進來補充，產生流動。
圖(2)	(4) 熱會夾在粒子中間，如圖示： 造成粒子整體變重，往下降，再往旁邊粒子擠，造成旁邊粒子往上升，產生流動。 (5) 熱讓粒子變大，變重，如圖示： 往下降，再往旁邊粒子擠，造成旁邊粒子往上升，產生流動。

	(6) 熱讓粒子間距離加大，如圖示：  總體積變大，往下降，再往旁邊粒子擠，造成旁邊粒子往上升，產生流動。
圖(3)	(7) 熱會夾在粒子中間，如圖示：  粒子不平衡，會亂流動，將熱散播到每一粒子間。 (8) 熱會讓粒子變大，如圖示：  造成粒子大小不一，形成亂流動。 (9) 熱讓粒子間距離加大，如圖示：  變成與原來距離不同，亂流動

()12-1 一個玻璃試管裝滿水，斜斜放置，火源離試管的距離都相同，想要快速將試管裡的水加熱，最好應將火源放在

- (1) 試管中央
- (2) 試管底部
- (3) 哪裡都可以



()12-2 承 12-1 題，這樣做的理由是什麼？

12-1 題答案	本題選項
試管中央	(1) 火放中間傳導比較快。 (2) 高溫向下流動，低溫向上流動，所以放中央。
試管底部	(3) 高溫向上流動，低溫向下流動，所以放下面。 (4) 依習慣性來說，一般都是放在底部。
哪裡都可以	(5) 熱會亂流，所以放哪裡都可以。 (6) 高溫向上流動，低溫向下流動，水都會流動，所以放哪裡都可以。

()12-3 承 12-1 題，從較微小的觀點來看，你為什麼會這樣想呢？

12-1 題答案	本題選項
試管中央	(1) 粒子吸收熱能後，粒子間距離加大，往二邊移動較快。 (2) 粒子吸收熱能後，粒子本身變大，向下移動。 (3) 粒子吸收熱能後，熱夾在粒子之間，直接往二邊移。
試管底部	(4) 粒子吸收熱能後，粒子間距離加大，重量不變，總體積變大，往上升。 (5) 粒子吸收熱能後，粒子本身變大，變輕，往上升。 (6) 粒子吸收熱能後，熱夾在粒子之間，造成粒子往上升，
哪裡都可以	(7) 熱讓粒子間距離加大，變成與原來距離不同，亂流動。 (8) 熱會讓粒子變大，造成粒子大小不一，形成亂流動。 (9) 熱會夾在粒子中間，粒子不平衡，會亂流動，將熱散播到每一粒子間。

()13-1 用杯子裝熱水時，若覺得太熱，常用口吹氣把水吹涼，是因為我們 (1)把『冷』吹進熱水 (2)把熱空氣吹走 (3)把熱水吹走

()13-2 從較微小的觀點來看，請你由大到小排出題目中杯子、氣、水粒子間距離，哪一個敘述是對的？
(1)杯子>水>氣 (2)杯子<水<氣 (3)杯子=水=氣

()13-3 請選出你在判斷此過程是否為熱對流的依據是什麼？
(1) 是熱對流，東西傳熱給水，或水傳熱給東西，只要有水都是熱對流
(2) 是熱對流，因為有口吹風吹造成熱對流
(3)是熱對流，空氣會流動造成熱對流

()13-4 承 13-1 題，你為什麼會這樣想呢？

13-1 題答案	本題選項
把『冷』吹進熱水，把『熱』吹出熱水	(1) 用口吹氣，把冷吹到熱水裡面，中和『熱』，使熱水冷卻。 (2) 用口吹氣，把冷吹到熱水裡面，把『熱』吹走，使熱水冷卻。
把熱空氣吹走	(3) 吹氣時，鄰近空氣發生對流作用，加速熱水的熱空氣上升，使熱水冷卻。 (4) 我們看到的煙是熱，煙會一直往上升，飄散在空氣中，吹氣把熱、空氣和煙吹走。

把熱水吹走	(5) 用口吹氣，把熱水吹走，加速熱對流，使熱水冷卻。 (6) 把熱水吹走，就會出現下面較冷的水。
-------	--

- ()14-1 一般物體在常溫狀態下會不會放出熱量？
(1)會 (2)不會 (3)不一定
- ()14-2 下列哪些物體有可能會在常溫狀態下放出熱量？
(1) 氣體 (2) 氣體、固體 (3) 氣體、液體、固體 (4)都沒有
- ()14-3 你判斷物體在常溫狀態下會不會放出熱量的依據是什麼？
(1) 不須介質，熱就能傳播。
(2) 因為空氣會傳播熱輻射。
(3) 物體要在燃燒。
(4) 溫度夠高，才有熱輻射。
(5) 要看物體的材質。
(6) 某些特定的東西會散播輻射熱。
- ()15-1 下列哪些東西會利用輻射的方式傳播熱？
(1) 氣體 (2) 氣體、固體 (3) 氣體、液體、固體
- ()15-2 物體如何傳播輻射熱？
(1) 四面八方傳輻射熱 (2) 單一放向傳播輻射熱
- ()15-3 承 15-1 題，從較微小的觀點來看，你是怎麼解釋的？你為什麼會這樣想呢？

15-1 題答案	本題選項
氣體	(1) 氣體粒子溫度夠高，且氣體粒子吸熱後會震動。 (2) 氣體粒子是微小粒子利用一個接一個的方式傳熱。 (3) 氣體粒子會用碰撞的方式將熱傳出去。
氣體、固體	(4) 氣體粒子和固體粒子會震動，產生輻射熱。 (5) 氣體粒子和固體粒子可以將熱利用一個傳一個的方式。 (6) 氣體粒子和固體粒子會用碰撞的方式將熱傳出去。
氣體、液體、固體	(7) 氣體粒子、液體粒子、固體粒子震動就產生熱輻射 (8) 氣體粒子、液體粒子、固體粒子利用一個接一個的方式。 (9) 氣體粒子、液體粒子、固體粒子會用碰撞的方式將熱傳出去。

- ()16-1 物體如何傳播輻射熱？
 (1) 單一放向傳播輻射熱 (2)四面八方傳輻射熱

- ()16-2 承 16-1 題，從較微小的觀點來看，粒子如何產生輻射熱？

16-1 題答案	本題選項
單一方向傳播輻射熱	(1) 粒子利用一個接一個的方式，往同一方向，將熱傳出去。 (2) 粒子本身會震動，再震動到另一粒子，有一特定方向。 (3) 粒子碰撞到另一粒子，有一特定方向。
四面八方傳輻射熱	(4) 粒子利用一個接一個的方式，往不定方向、四面八方，將熱傳出去。 (5) 粒子本身會震動，產生熱，往不定方向傳播。 (6) 粒子會不定方向碰撞到另一粒子，往四面八方將熱傳出去。

- ()17-1 太陽是一個氣體星球，太陽的熱會不會將熱傳到地球上？
 (1)會 (2)不會

- ()17-2 太陽傳播輻射熱的方向為何？
 (1) 不會傳熱 (2)四面八方傳輻射熱 (3)單一放向傳播輻射熱

- ()17-3 承 17-2 題，從較微小的觀點來看，你為什麼會這樣想？

21-2 題答案	本題選項
不會傳熱	(1) 太陽太熱，沒有粒子。 (2) 外太空是真空，太陽的熱無法傳遞。
四面八方傳輻射熱	(3) 粒子利用一個接一個的方式，往不定方向、四面八方，將熱傳出去。 (4) 粒子本身會震動，產生熱，往不定方向傳播。 (5) 粒子會不定方向碰撞到另一粒子，往四面八方將熱傳出去。
單一方向傳播輻射熱	(6) 粒子利用一個接一個的方式，往同一方向，將熱傳出去。 (7) 粒子本身會震動，再震動到另一粒子，有一特定方向。 (8) 粒子碰撞到另一粒子，有一特定方向。

()18-1 靠近(沒有碰觸)暖爐、煮沸的水、煮開水上方的水蒸氣，我們會覺得熱，請問這 3 樣東西中，有哪幾樣是用輻射的方式傳播熱？

- (1) 煮開水上方的水蒸氣
- (2) 暖爐、煮沸的水、煮開水上方的水蒸氣
- (3) 暖爐、煮開水上方的水蒸氣

()18-2 你判斷這些東西是用輻射的方式傳播熱的依據是什麼？

- (1) 要燃燒，才能用輻射的方式傳播熱。
- (2) 些微的氣體會用輻射的方式傳播熱。
- (3) 不須介質，熱就能用輻射的方式傳播熱。
- (4) 溫度夠高，才能用輻射的方式傳播熱。
- (5) 某些東西才能用輻射的方式傳播熱。
- (6) 有些材質才能產生輻射熱。

附錄二

建模能力分析問題試卷

親愛的同學，您好：

請針對以下的問題做詳細的回答，回答問題的方式可分為：

- (1) 填空題：在空格內填上你的答案。
- (2) 勾選題：答案可能是 **1 個或 1 個以上**，請勾選出你認為是正確的答案。
- (3) 選擇題：選出你認為最正確的答案。
- (4) 簡答題：請完整的寫下你的想法，答案越詳細越好。

每一題都一定要作答，如果在作答過程中有任何問題，請你舉手向老師詢問，謝謝！

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

中秋節烤肉，爸爸把木炭燒熱後(沒有火焰)，
再把烤肉網架在木炭的上方，在烤肉網上放上
肉片，經過一段時間後，肉片熟了，以下所有
問題都是在這樣的情境下思考答案，
請問：



1.在這樣的情境下，出現的項目有：

(1)木炭 (2)木炭與烤肉網之間的空氣 (3)烤肉網 (4)竹籤 (5)肉片 (6)夾烤肉夾子

1-1 請你選出以上的 6 個選項中，哪些選項會把熱由**高溫傳向低溫**，將熱傳到肉片上，請你寫下來。

答：

1-2 請你將 1-1 題所選的選項做排列和組合，寫出熱由高溫傳向低溫，將熱傳到肉片的過程和順序是什麼？用 **→** 表示傳熱的方向，請填選項號碼，選項可重複寫，答案可能也不只 1 個，後面的空格沒有填寫答案畫 X，請盡量寫下你的想法。

答：

傳熱順序 () → () → () → () → ()



此過程是符合哪種熱傳播請打

()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導
()熱對流	()熱對流	()熱對流	()熱對流	()熱對流
()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射

你還有想到其他的順序嗎？若還有，請繼續填寫

傳熱順序 () → () → () → ()



此過程是符合哪種熱傳播請打

()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導
()熱對流	()熱對流	()熱對流	()熱對流
()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射

你還有想到其他的順序嗎？若還有，請繼續填寫

傳熱順序 () → () → ()



此過程是符合哪種熱傳播請打

()熱傳導	()熱傳導	()熱傳導
()熱對流	()熱對流	()熱對流
()熱輻射	()熱輻射	()熱輻射

你還有想到其他的順序嗎？若還有，請繼續填寫：

2.承第一題，請你把第一題所寫下熱傳到肉片的過程做分類，看看這些過程是屬於那些熱傳播理論，並請你選出你會如此分類的原因。

※如果熱傳到肉片的過程沒有屬於熱傳導理論，則可跳過 2-1 題~2-4 題。

- () 2-1 請選出你在判斷此過程是否為熱傳導的依據是什麼？
- (1) 2 個物體間有接觸 (2) 實際存在的東西就會傳熱
- (3)有些東西就是會傳導熱 (4) 熱會互相傳導 (5)其他：_____
- () 2-2 什麼狀況會發生熱傳導？
- (1) 只有固體 (2) 液體、氣體 (3) 固體、液體、氣體 (4)其他：_____
- () 2-3 請選出正確的粒子觀點，可以說明為什麼此過程會符合熱傳導
- (1) 我不知道什麼叫粒子 (2) 粒子震動會傳熱
- (3) 粒子間會相互碰撞，把熱傳出去 (4) 粒子利用一個接一個的方式，將熱傳出去 (5)其他：_____
- () 2-4 以下的哪一項選項可以正確的說明這些粒子的結構？
- (1) 我不知道什麼叫粒子 (2) 所有粒子之間的距離都相等
- (3) 固體粒子間距離最小，其次是液體粒子，氣體粒子距離最大
- (4) 氣體粒子間距離最小，其次是液體粒子，固體粒子距離最大
- (5)其他：_____

※如果熱傳到肉片的過程沒有屬於熱對流，則可跳過 2-5 題~2-8 題。

- () 2-5 請選出你在判斷此過程是否為熱對流的依據是什麼？
- (1) 東西傳熱給空氣，或是空氣傳熱給東西，只要有空氣都是熱對流
- (2) 因為有風造成流動 (3) 熱會流動 (4) 空氣會流動，把熱傳出去
- (5)其他：_____

- () 2-6 什麼狀況會發生熱對流
(1) 只有氣體 (2) 液體、氣體 (3) 固體、液體、氣體 (4)其他：_____
- () 2-7 請選出正確的粒子觀點，可以說明為什麼此過程會符合熱對流
(1)我不知道什麼叫粒子 (2)粒子本身因受熱會熱脹冷縮，造成流動傳熱
(3)粒子間的距離因受熱而加大，總體積變大，重量不變，造成流動傳熱
(4)粒子會流動，把熱傳出去 (5)其他：_____
- () 2-8 以下的哪一項選項可以正確的說明這些粒子的結構？
(1) 我不知道什麼叫粒子 (2) 所有粒子都可以流動
(3) 固體粒子間距離最小，可以流動
(4) 液體粒子和氣體粒子的距離較大，可以流動
(5)其他：_____

※如果熱傳到肉片的過程沒有屬於熱輻射，則可跳過 2-9 題~2-11 題

- () 2-9 請選出你在判斷此過程是否為熱輻射的依據是什麼？
(1) 不須介質 (2) 因為空氣會傳播熱輻射 (3) 熱會流動
(4) 溫度夠高，才有熱輻射 (5)其他：_____
- () 2-10 什麼狀況會發生熱輻射
(1) 只有氣體 (2) 液體、氣體 (3) 固體、液體、氣體
(4)其他：_____
- () 2-11 請選出正確的粒子觀點，可以說明為什麼此過程會符合熱輻射
(1) 我不知道什麼叫粒子 (2) 粒子會震動，產生熱
(3)粒子像跑接力賽的方式，移動一段距離後，再把熱傳出去
(4)粒子震動，再震動到另一粒子 (5)其他：_____

3.以下什麼因素會影響(加快)熱傳導，熱對流、熱輻射傳播熱的速度。

(每一小題可重複選答案)

(1) 木炭溫度 (2) 烤肉網材質 (3) 當天氣溫 (4) 竹籤長短

(5) 木炭與烤肉網之間距離 (6) 其他：_____

3-1 請填會影響(加快)熱傳導理論的因素(答案可能是 1 個或 1 個以上)，請填號碼並解釋理由。

熱傳播理論	熱傳導		
請填號碼			
請你解釋為什麼此因素會影響熱傳導	因為_____ _____ 就會加快熱傳導的速度	因為_____ _____ 就會加快熱傳導的速度	因為_____ _____ 就會加快熱傳導的速度
請你用粒子觀點再加以說明			

3-2 請填會影響(加快)熱對流理論的因素(答案可能是 1 個或 1 個以上)，請填號碼並解釋理由。(每一小題可重複選答案)

熱傳播理論	熱對流		
請填號碼			
請你解釋為什麼此因素會影響熱傳導	因為_____ _____ 就會加快熱對流的速度	因為_____ _____ 就會加快熱對流的速度	因為_____ _____ 就會加快熱對流的速度
請你用粒子觀點再加以說明			

3-3 請填會影響(加快)熱輻射的因素(答案可能是 1 個或 1 個以上)，請填號碼並解釋理由。(每一小題可重複選答案)

熱傳播理論	熱輻射		
請填號碼			
請你解釋為什麼此因素會影響熱傳導	因為_____， 就會加快熱輻射的速度	因為_____， 就會加快熱輻射的速度	因為_____， 就會加快熱輻射的速度
請你用粒子觀點再加以說明			

4.請你想一想還有其他的例子與熱傳播理論—熱傳導、熱對流、熱輻射有關嗎？

4-1 請你寫出一個例子，此例子只含有熱傳導、熱對流、熱輻射其中一種理論在內。

生活中例子情況	
符合熱傳播理論	熱傳導
請你解釋為什麼此例子會符合這些熱傳導理論	
請你用粒子觀點再加以說明	

生活中例子情況說明	
符合熱傳播理論	熱對流
請你解釋為什麼此例子會符合這些熱傳導理論	
請你用粒子觀點再加以說明	

生活中例子情況說明	
符合熱傳播理論	熱輻射
請你解釋為什麼此例子會符合這些熱傳導理論	
請你用粒子觀點再加以說明	

4-2 請你寫出一個例子，此例子包含了熱傳導、熱對流、熱輻射其中的 **2 種理論** 或 **3 種理論**。

生活中例子情況			
符合 3 種熱傳播理論	熱傳導	熱對流	熱輻射
請你解釋為什麼此例子會符合這些熱傳導理論			
請你用粒子觀點再加以說明			

附錄三

科學模型本質測驗問卷

親愛的同學，您好：

這是一份關於科學模型本質的測驗，目的在了解您對於「科學模型」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。請您針對下列各題目選出您認為最好的答案，在□打勾。謝謝！

班級：

座號：

性別：

姓名：

	非常同意	同意	不同意	非常不同意
1.我認為模型可以是特定事物的複製品。				
2.我認為模型可以是特定事物的一部份呈現。				
3.我認為模型可以是特定事物的特徵以不一致的比例來呈現。				
4.我認為模型可以只對應特定事物的結構、或性質、或關係其中之一。				
5.我認為模型須要完全對應特定事物的結構、性質與關係。				
6.我認為模型可以用數學關係來呈現特定事物之間的關係。				
7.我認為模型是可以用電腦來模擬特定事物之間的關係。				
8.我認為模型的組成可以是符號。				
9.我認為模型的組成可以是實體。				
10.我認為模型的組成可以是過程。				
11.我認為模型的組成可以是概念。				
12.我認為模型的組成可以是圖像。				
13.我認為對一個特定的現象，只有一個正確的模型能給予解釋。				
14.我認為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。				

15.我認為模型是可以 被改變 。				
16.我認為透過 符號 可以呈現和了解模型。				
17.我認為透過 圖像 可以呈現和了解模型。				
18.我認為透過 文字 可以呈現和了解模型。				
19.我認為透過 感官 可以呈現和了解模型。				
20.我認為透過 語言 可以呈現和了解模型。				
21.我認為透過 肢體動作 可以呈現和了解模型。				
22.我認為模型可以是某種事物或現象的 靜態 呈現。				
23.我認為模型可以是某種事物或現象的 動態 呈現。				
24.我認為模型可以是某種事物或現象的 隨機 呈現。				
25.我認為模型可以是某種事物或現象 性質與組成 的呈現。				
26.我認為模型可以是某種事物或現象 數量化 的呈現。				
27.我認為模型可以是 個人 對某種事物或現象的 觀點 。				
28.我認為模型可以是 專家 對某種事物或現象的 觀點 。				
29.我認為模型可以是 社會大眾 對某種事物或現象的 觀點 。				
30.我認為模型可以是某種事物或現象經過 長時間演變 的結果。				
31.我認為模型的功能是可以 描述 特定的事物或現象。				
32.我認為模型的功能是可以提供一個 視覺的圖像 ，讓我「看見」特定的事物與現象。				
33.我認為模型的功能是可以提供一個 參考標準 讓我遵循。				
34.我認為模型的功能是可以 解釋 特定事物或現象的關係。				
35.我認為模型的功能是可以用來 進行推理 。				
36.我認為模型的功能是可以用來 解決問題 。				
37.我認為模型的功能是可以用來 溝通想法 。				
38.我認為模型的功能是可以 預測 事物或現象未來的發展。				
39.我認為模型的功能是可以 模擬 事物或現象實際運作的情形。				

40.我認為模型的功能是可以產生新的想法。				
41.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。				
42.我認為模型的建立應包含事物或現象的組成與結構。				
43.我認為使用不同的方法檢驗模型時，當描述或解釋產生不一致，則必須修正模型。				
44.我認為可以用公認的模型當作標準，以幫助我判斷同類型其他問題的解答是否適當。				
45.我認為遇到全新的問題情境時，可由已有的模型中尋找啟發以解決問題。				
46.我認為一個能有效解決問題的模型，仍然有其解題範圍與限制須要進一步思考。				

附錄四

1.科學史建模組的教案設計

節數	科學史建模組 建模步驟	教學活動	主要教學概念
第一節	模型選擇 從科學史中找出 4 種對於熱傳導的不同解釋，從中選擇一種模型，解釋自己的生活經驗。	1.請學生在黑板上畫出熱是如何由高溫傳向低溫。 2.老師說明科學始終對熱傳導的四種解釋：組成元素、燃素說、卡路里流、能量。 3.請學生從科學史對應自己的想法，然後建立正確的科學模型。	1.熱傳導現象發生在固體、液體、氣體都會，以固體為主 2.熱是能量 3.藉由粒子碰撞傳遞熱
	模型建立 從所選的模型中，建立熱傳導的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和微觀行為。	1.觀看熱傳導粒子模型動畫。 2.討論熱傳導模型的『範圍』、『成份』、『結構』、『巨觀行為』和『微觀行為』。	
	模型效化 進行實驗 1，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和微觀行為。	1.進行鐵棒和鐵盤的熱傳導實驗。 2.透過實驗來檢視熱傳導的科學模型。	
第二節	模型效化 進行實驗 2，檢視所建立熱傳導的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和微觀行為。	1.進行木筷、塑膠筷和鐵筷的熱傳導實驗。 2.透過實驗來檢視熱傳導的科學模型。	1.熱傳導的效果會受材料影響。 2.熱由高溫傳向低溫 3.傳導材料可分為良導體和不良導體
	模型應用 應用所建立熱傳導的科學模型，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	1.找一生活中熱傳導的例子，並用熱傳導的科學模型來解釋。	
第三節	模型選擇 從科學史中找出對於熱對流的解釋，從中建立一種模型，解釋自己的生活經驗。	1.事先發下給每位學生一份阿基里德、牛頓對熱對流現象解釋，請學生閱讀。 2.在課堂中討論阿基里德、牛頓對熱對流現象解釋	1.熱對流現象發生在流體 2.熱對流發生的原因是溫度上升，液體密度變小 3.粒子吸收熱後，粒子間的距離變大。
	模型建立 從所選的模型中，建立熱對流的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和微觀行為。	1.觀看熱對流粒子模型動畫。 2.討論熱對流模型的『範圍』、『成份』、『結構』、『巨觀行為』和『微觀行為』。	

第四節	模型效化 進行實驗 3，檢視所建立熱對流的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構、巨觀行為和微觀行為。	1.進行水加熱的熱對流實驗。 2.透過實驗來檢視熱對流的科學模型。	1.熱對流又可分為自然對流與強制對流
	模型應用 應用所建立熱對流的科學模型，來解釋日常生活中的熱對流現象。	1.找一生活中熱對流的例子，並用熱對流的科學模型來解釋。	
第五節	模型選擇 從科學史中找出 2 種對於熱傳導的不同解釋，從中選擇一種模型，解釋自己的生活經驗。	1.事先發下給每組學生一份資料，1~2 組古時候帶熱輻射解釋；3~4 組以太理論；5~6 組粒子解釋，請各組報告或表演。 2.在課堂中討論熱輻射的科學史演進。	1.熱輻射現象不需任何介質傳遞 2. 粒子震動產生熱輻射
	模型建立 從所選的模型中，建立熱輻射的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、巨觀行為和微觀行為。	1.討論熱輻射模型的『範圍』、『成分』、『巨觀行為』和『微觀行為』。	
	模型效化 進行實驗 4，檢視所建立熱輻射的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、巨觀行為和微觀行為。	1.進行太陽熱輻射實驗。 2.透過實驗來檢視熱輻射的科學模型。	
	模型應用 應用所建立熱輻射的科學模型，來解釋日常生活中的熱輻射現象。	1.找一生活中熱輻射的例子，並用熱輻射的科學模型來解釋。	

備註：在科學史建模組建模步驟中，三組都相同處，使用黑色作為標記；科學史建模組與建模組相同，但與對照組不同處，使用藍色作為標記；科學史建模組與建模組不同處，也與對照組不同處，使用紅色作為標記。

2. 建模組的教案設計

節數	建模組 建模步驟	教學活動	主要教學概念
第一節	模型選擇 討論日常生活中熱傳導的現象，並試著解釋， 建立熱傳導的經驗模型 。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說熱是如何由高溫傳向低溫。 2.老師提問一些熱傳導問題讓學生討論，討論熱傳播的方式。 3.提出正確的科學解釋，然後建立正確的科學模型。	1.熱傳導現象發生在固體、液體、氣體都會，以固體為主 2.熱是能量 3.藉由粒子碰撞傳遞熱
	模型建立 藉由討論問題， 建立熱傳導的科學模型 ，並說明科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	1.觀看熱傳導粒子模型動畫。 2.討論熱傳導模型的『範圍』、『成份』、『結構』、『巨觀行為』和『微觀行為』。	
	模型效化 進行實驗 1， 檢視所建立熱傳導的科學模型 ，評估科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	1.進行鐵棒和鐵盤的熱傳導實驗。 2.透過實驗來檢視熱傳導的科學模型。	
第二節	模型效化 進行實驗 2， 檢視所建立熱傳導的科學模型 ，評估科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	1.進行木筷、塑膠筷和鐵筷的熱傳導實驗。 2.透過實驗來檢視熱傳導的科學模型。	1.熱傳導的效果會受材料影響。 2.熱由高溫傳向低溫 3.傳導材料可分為良導體和不良導體
	模型應用 應用所建立熱傳導的科學模型 ，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	1.找一生活中熱傳導的例子，並用熱傳導的科學模型來解釋。	
第三節	模型選擇 討論日常生活中熱對流的現象，並試著解釋， 建立熱對流的經驗模型 。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說熱的對流現象。 2.老師提問一些熱對流問題讓學生討論，討論熱對流的方式。 3.提出正確的科學解釋，然後建立正確的科學模型。	1.熱對流現象發生在流體 2.熱對流發生的原因是溫度上升，液體密度變小 3.粒子吸收熱後，粒子間的距離變大。
	模型建立 藉由經驗模型， 建立熱對流的科學模	1.觀看熱對流粒子模型動畫。 2.討論熱對流模型的『範圍』、『成份』、『結構』、『巨觀行為』和『微觀	

	型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	行為』。	
第四節	模型效化 進行實驗 3，檢視所建立熱對流的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	1.進行水加熱的熱對流實驗。 2.透過實驗來檢視熱對流的科學模型。	1.熱對流又可分為自然對流與強制對流
	模型應用 應用所建立熱對流的科學模型，來解釋日常生活中的熱對流現象。	1.找一生活中熱對流的例子，並用熱對流的科學模型來解釋。	
第五節	模型選擇 討論日常生活中熱輻射的現象，並試著解釋，建立熱輻射的經驗模型。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說生活中的熱輻射現象。 2.老師提問一些熱輻射問題讓學生討論，討論熱輻射的方式。 3.提出正確的科學解釋，然後建立正確的科學模型。	1.熱輻射現象不需任何介質傳遞 2. 粒子震動產生熱輻射
	模型建立 藉由討論問題，建立熱輻射的科學模型，並說明科學模型中的範圍、成份、結構和行為。	1.討論熱輻射模型的『範圍』、『成分』、『巨觀行為』和『微觀行為』。	
	模型效化 進行實驗 4，檢視所建立熱輻射的科學模型，評估科學模型中的範圍、成份、組織和結構。	1.進行太陽熱輻射實驗。 2.透過實驗來檢視熱輻射的科學模型。	
	模型應用 應用所建立熱輻射的科學模型，來解釋日常生活中的熱輻射現象。	1.找一生活中熱輻射的例子，並用熱輻射的科學模型來解釋。	

備註：在建模組建模步驟中，三組都相同處，使用黑色作為標記；科學史建模組與建模組相同，但與對照組不同處，使用藍色作為標記。

3.對照組的教案設計

節數	對照組	教學活動	主要教學概念
第一節	討論日常生活中熱傳導的現象，並試著解釋。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說熱是如何由高溫傳向低溫。 2.老師提問一些熱傳導問題讓學生討論，討論熱傳播的方式。 3.提出正確的科學解釋。	1.熱傳導現象發生在固體、液體、氣體都會，以固體為主
	藉由討論問題，說明科學中對於熱傳導的解釋。	1.觀看熱傳導粒子動畫。 2.了解熱傳導的科學解釋。	2.熱是能量 3.藉由粒子碰撞傳遞熱
	進行實驗 1，討論實驗結果和熱傳導的解釋。	1.進行鐵棒和鐵盤的熱傳導實驗。 2.透過實驗來了解熱傳導現象。	
第二節	進行實驗 2，討論實驗結果和熱傳導的解釋	1.進行木筷、塑膠筷和鐵筷的熱傳導實驗。 2.透過實驗來了解熱傳導。	1.熱傳導的效果會受材料影響.
	應用對熱傳導的科學概念，來解釋日常生活中的熱傳導現象。	1.找一生活中熱傳導的例子，並用熱傳導的科學概念，來解釋。	2.熱由高溫傳向低溫 3.傳導材料可分為良導體和不良導體
第三節	討論日常生活中熱對流的現象，並試著解釋。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說熱的對流現象。 2.老師提問一些熱對流問題讓學生討論，討論熱對流的方式。 3.建立正確的熱對流的科學解釋。	1.熱對流現象發生在流體 2.熱對流發生的原因是溫度上升，液體密度變小
	藉由學生對於熱對流的解釋，引導出科學中對於熱對流的說明。	1.觀看熱對流粒子模型動畫。 2.建立熱對流的科學解釋。	3.粒子吸收熱後，粒子間的距離變大。
第四節	進行實驗 3，討論實驗結果和熱對流的解釋。	1.進行水加熱的熱對流實驗。 2.透過實驗來檢視熱對流的科學解釋。	1.熱對流又可分為自然對流與強制對流
	應用對熱對流的科學概念，來解釋日常生活中的熱對流現象。	1.找一生活中熱對流的例子，並用熱對流的科學概念來解釋。	

第五節	討論日常生活中熱輻射的現象，並試著解釋。	1.請學生根據自己的生活經驗，說一說生活中的熱輻射現象。 2.老師提問一些熱輻射問題讓學生討論，討論熱輻射的方式。 3.建立正確的科學解釋。	1.熱輻射現象不需任何介質傳遞 2. 粒子震動產生熱輻射
	進行實驗 4，討論實驗結果和熱輻射的解釋。	1.進行太陽熱輻射實驗。 2.透過實驗來檢視熱輻射的科學解釋。	
	應用對熱輻射的科學概念，來解釋日常生活中的熱輻射現象。	1.找一生活中熱輻射的例子，並用熱輻射的科學概念來解釋。	

附錄五

科學史建模組 熱傳播教材

熱傳導模型(1)

一、模型選擇 從古至今科學家認為熱是…，熱如何傳導

熱是…	解釋
元素	
燃素	
流體	
能量	

二、模型建立

模型範圍：_____

模型成分：_____

模型結構：_____

模型巨觀行為：_____

模型微觀行為：_____

三、模型效化

實驗一：()

實驗二：()

四、模型應用

請你用熱傳導模型解釋一個生活中有關熱傳導的現象或例子：

模型範圍：_____

模型成分：_____

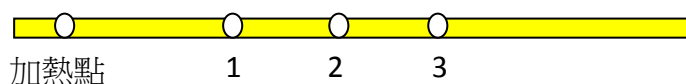
模型結構：_____

模型巨觀行為：_____

模型微觀行為：_____

熱傳導模型(2)

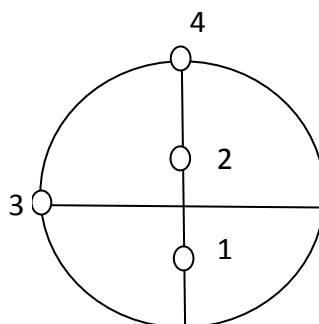
1. 在第一個實驗中，奶油溶化的順序是：_____



2. 若此實驗的加熱點換在中間，3 和 4 到加熱點的距離相同，12 距離、23 距離、45 距離、56 距離，都相等，奶油融化的順序是：_____



3. 在第二個實驗中，圓心為加熱點，1、2 距離圓心距離一樣，3、4 距離圓心距離一樣，奶油溶化的順序是：_____



4. 觀看不同材質熱傳導實驗影片後，請你列出銅、鐵、玻璃、木頭的傳熱效果。
- 傳熱最好的是()，傳熱效果次之的是()，
- 接下來是()，傳熱效果最差的是()

熱對流模型

一、模型選擇

有哪些科學家對熱對流現象提出自己的想法：()、()

二、模型建立

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

三、模型效化

實驗一：請你畫出水加入胡椒粒後，加熱時，水如何流動的。



四、模型應用

請你用熱對流模型解釋一個生活中有關熱對流的現象或例子：

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

熱輻射模型

一、模型選擇

十九世紀以前，科學家都認為是()幫助傳播光和熱。

十九世紀後，科學家才慢慢發現()

二、模型建立

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

三、模型效化

實驗一：()

四、模型應用

請你用熱輻射模型解釋一個生活中有關熱輻射的現象或例子：

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

附錄六

建模組 熱傳播教材

熱傳導模型(1)

一、模型選擇

請你舉出一個生活中有關熱傳導的現象或例子：

()

二、模型建立

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

三、模型效化

實驗一：()

實驗二：()

四、模型應用

請你用熱傳導模型解釋一個生活中有關熱傳導的現象或例子：

模型範圍： _____

模型成分： _____

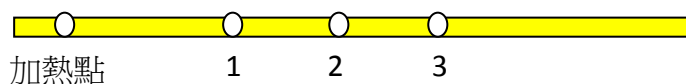
模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

熱傳導模型(2)

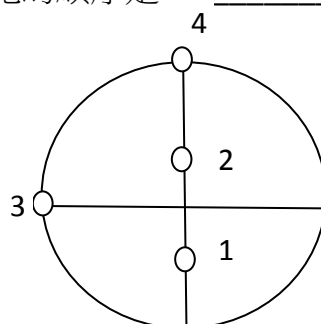
1. 在第一個實驗中，奶油溶化的順序是：



2. 若此實驗的加熱點換在中間，3 和 4 到加熱點的距離相同，12 距離、23 距離、45 距離、56 距離，都相等，奶油融化的順序是：



3. 在第二個實驗中，圓心為加熱點，1、2 距離圓心距離一樣，3、4 距離圓心距離一樣，奶油溶化的順序是：



4. 觀看不同材質熱傳導實驗影片後，請你列出銅、鐵、玻璃、木頭的傳熱效果。傳熱最好的是()，傳熱效果次之的()，接下來是()，傳熱效果最差的是()。

熱對流模型

一、模型選擇

請你舉出一個生活中有關熱對流的現象或例子：

()

二、模型建立

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

三、模型效化

實驗一：請你畫出水加入胡椒粒後，加熱時，水如何流動的。



四、模型應用

請你用熱對流模型解釋一個生活中有關熱對流的現象或例子：

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

熱輻射模型

二、模型選擇

請你舉出一個生活中有關熱輻射的現象或例子：

()

二、模型建立

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____

三、模型效化

實驗一：()

四、模型應用

請你用熱輻射模型解釋一個生活中有關熱輻射的現象或例子：

模型範圍： _____

模型成分： _____

模型結構： _____

模型巨觀行為： _____

模型微觀行為： _____