

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：邱美虹博士

中學生的視覺表徵能力與
分子概念理解之探究

研究生：詹婉約

中華民國 99 年 1 月

謝誌

一本論文最重要的事情在「論理」，而這裡是唯一得以「說情」的地方。完成這一本不完美的論文，不為了什麼，只為了對得起那份做學問的態度，然而對研究的堅持，並不足以支持我完成這一本論文，或者任何一個我對自己碩士班生涯的期許。那些埋頭猛寫、戰戰兢兢的日子裡未能好好訴說的話，就在這裡說吧！

謝謝我的指導老師邱美虹教授，老師帶給我的不僅僅是知識而已，還記得老師辦公室裡那張不算大但溫暖的沙發，老師和我在那裡說過很多的話，這些話語構築了我的夢想，當我在研究中迷失了方向，老師陪著我在紙上畫了又畫，幫助我釐清思緒；還記得每隔一兩個星期，老師再忙都抽空陪我討論研究，我們總是一討論就是兩三個小時；還記得當我惶恐不安時，老師總說「加油」、「沒問題的」。謝謝老師教我們做學問的態度，讓我擁有追求研究的信念，不僅止於達到某個規定的標準；謝謝老師從未說過一句否定的話，給我許多勇氣；謝謝老師給我們許多機會，讓我實現出國參與研討會的夢想。

謝謝我的家人總是默默的支持我，他們承受的遠比我承受的更多，倘若我有一丁點的優點，都是他們帶給我的。謝謝邱美虹老師、吳心楷老師、張欣怡老師在百忙中抽空替我口試，讓我對研究有更新的視野。謝謝邱老師團隊的學長姐，國良學長、慧蓉學姐、俊庚學長、志康學長、煥琪學姐、建坪學長、曉蘭學姐、育倩學姐，謝謝你們對我的幫助與指正，那些一起努力做研究、辦活動的日子，是我碩士班深刻的回憶。謝謝怡瑩、鴻嘉一直以來的心靈支持與照顧，遇見你們很幸福；也很慶幸能在這裡遇到許多良師益友，雅如、秀怡、靜妤、佳穎、憲瑞、春風、惠如、百興；謝謝曾經為我打氣的你們，族繁不及備載。

研究路上能夠遇見志同道合的伙伴，何嘗不易，謝謝作為我的知己，我們想要突破的，是在研究歷程中意識到的門檻，不僅止於一個畢業的最低標準。路很長，但這份期許不會動搖，最後以此句做結，「有筆有書有肝膽，亦狂亦俠亦溫文。」在現在與未來共勉之。

中學生的視覺表徵能力與分子概念理解之探究

摘要

本研究旨在探討學生對視覺表徵及分子概念的理解、以及視覺表徵及分子概念理解之間的關連。本研究發展視覺表徵能力指標(Visual representational ability index, VRAI)，透過解構的方式瞭解視覺表徵能力，視覺表徵能力指標具有兩大向度，一為視覺表徵能力的四個成分，這些成分為化學中重要的視覺化技能，即知覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估；二為視覺表徵能力層級，由層級一到層級五。本研究具有兩個測驗工具，一為視覺表徵能力測驗，一為分子概念理解測驗，預試對象為 25 位九年級學生，信度 Cronbach's Alpha 分別為 0.88 及 0.84，正式施測對象為 343 位國中學生。

研究結果包含視覺化表徵能力、分子概念理解、及視覺表徵能力層級的部分。在視覺化表徵能力方面，第一，由成分一「知覺」的研究結果可知學生對表徵的理解可能與以下因素有關，(一) 當表徵中呈現的是單一訊息時，較多重訊息的表徵理解為佳；(二) 即便表徵所體現的同為巨觀層級的概念，可在日常經驗中觀察的概念較無法在日常經驗觀察的概念理解為佳；(三) 即便只需要對表徵做表面性的描述，微觀表徵對學生而言還是概念負載的；(四) 學生傾向於以化學式的表面特徵詮釋表徵。第二，由成分二「詮釋」的研究結果顯示，(一) 概念負載有助於學生對表徵的語法規則描述；(二) 學生偏向於以表徵所觀察到的表面特徵解釋表徵。第三，由成分三「轉換與連結」的研究結果顯示，大部分學生偏向於以表徵所觀察到的表面特性做表徵間的連結。第四，由成分四「選擇和評估」的研究結果歸納學生對表徵的理解可能有以下趨勢，(一) 當表徵所體現的概念具有過程屬性時，較易被學生理解，當表徵所體現的概念牽涉分子本身

的認識時，學生較不易理解；(二) 學生無法由二維的表徵知覺三維的空間相對位置。

在分子結構概念理解方面，由巨觀層級的研究結果可知，當概念牽涉物質的特性時，則學生的答題表現較那些可直接觀察的概念為低。由微觀層級的研究結果可知，(一) 學生傾向於以物質粒子的觀點詮釋原子與分子；(二) 學生對化學過程相關概念的理解較原子與分子本身的理解為佳。

在視覺表徵能力層級方面，整合四個成分的整體結果進入「視覺表徵能力指標(VRAI)」後，發現以下幾點，(一) 高表現的學生也可能無法在所有解釋表徵的情境下，採取語意層次的解釋；(二) 低表現的學生僅能描述巨觀表徵所體現的現象，即便僅需對微觀表徵的外觀進行描述，也無法選擇出正確答案。

本研究針對教學及研究提出幾點建議，就教學建議來說，(一) 有關原子與分子觀的概念，即便教科書中包含了各種原子與分子相關的視覺表徵，但可能較不容易被學生理解，在教學上需要被強調；(二) 在學習原子與分子之概念時，或許能夠以學生較熟悉的化學過程導入，或者以簡單的過程符號進行原子、分子屬性的解說；(三) 教學時宜幫助學生釐清物質粒子觀與原子分子觀的異同；(四) 加強學生對微觀表徵的閱讀能力。就研究建議來說，(一)「表徵解構架構修正」中不具有將不同能力學習者分級或歸類的標準，為待確立的表徵架構；(二) 閱讀微觀表徵及符號對學習者而言是個複雜的過程，這個過程需要進一步的研究發現。

Investigating High School Students' Visual Representational Ability and Molecular Conceptual Comprehension

Abstract

This research examined students' comprehension of visual representations, conceptions of molecule, and their correlation. In order to deconstruct the visual representational competence, the present study developed a taxonomy of visual representational ability index (VRAI) and an instrument, the components were included in the VRAI framework, that is perception, interpretation, transformation and connection, selection and evaluation. The design of levels of visualization skills were also included in the VRAI. The present study developed two instruments, one is visual representational competence test, and the other is molecule conceptions comprehension test. The internal reliability were .88 and .84 respectively.

The results of visual representational competence revealed that (1) Students comprehended better in representations with single information than in representations with multiple information. (2) Students had difficulties in describing the surface features of representations for the microscopic phenomenon, which were concept-laden to students. (3) Students who held some concepts of molecules could describe the representations based on syntactic rules. (4) Students tended to interpret and connect different representations based on surface features. (5) Students had a lot of difficulties in describing representations which involved the nature of molecule. (6) Students had difficulties in perception of three-dimensional information.

The results of molecule comprehension revealed that (1) Students tended to interpret the concepts of molecule based on the concepts of the nature of particles. (2)

Students comprehended the concepts of chemical process than the concepts of the nature of molecule.

The results of visual representational competence revealed that (1) Some of the high performance students could not interpret representations based on semantic meaning. (2) Low performance students could not describe the surface features of microscopic representations.

Several pedagogical implications could be drawn from this study. (1) It appeared that students had limited comprehension in different molecule-related representations, which need to be emphasized in learning. (2) It seems that understanding of process-related concepts may promote students deep understanding of the concepts of molecule. (3) It may be helpful for students to learn how to distinguish the nature of particles and the perspective of molecule.

目次

第壹章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究背景.....	3
第三節 研究目的與問題.....	5
第四節 名詞釋義.....	7
第五節 研究範圍與限制.....	9
第貳章 文獻探討與分析.....	11
第一節 視覺化表徵.....	11
第二節 視覺化表徵與化學學習.....	27
第三節 分子相關概念與化學學習.....	34
第參章 研究方法.....	37
第一節 研究設計.....	37
第二節 研究對象.....	40
第三節 研究工具.....	42
第四節 資料處理與分析.....	46
第肆章 研究結果與分析.....	49
第一節 視覺表徵能力測驗表現.....	49
第二節 視覺表徵能力層級.....	68
第三節 分子概念理解.....	74
第四節 視覺表徵與分子概念理解.....	85
第伍章 結論與建議.....	91
第一節 結論與討論.....	91
第二節 建議.....	99
參考文獻.....	101
附錄.....	109
附件一：概念理解測驗.....	109
附件二：視覺表徵能力測驗.....	113

表次

表 2-1-1 表徵的維度和層級及其實例	21
表 2-2-1 視覺表徵能力指標(VAI).....	30
表 2-2-1 視覺表徵能力指標(VAI).....	39
表 3-3-1 視覺表徵能力判準與表徵能力試題對應	44
表 3-3-2 分子概念理解測驗雙向細目表	45
表 4-1-1 視覺表徵能力測驗表現在各成分答對率	50
表 4-1-2 視覺表徵的理解在知覺的答對率	51
表 4-1-3 液體的體積答題表現	52
表 4-1-4 溶解與沸點答題表現	52
表 4-1-5 水分子的重量與水分子的形狀答題表現比較	53
表 4-1-6 反應物的判斷與生成物的判斷答題表現比較	54
表 4-1-7 水分子的組成答題表現	55
表 4-1-8 視覺表徵的理解在詮釋的答對率	56
表 4-1-9 原子守恆答題表現	57
表 4-1-10 去概念化命名規則及概念化命名規則答題表現比較	58
表 4-1-11 定比定律答題表現	58
表 4-1-12 H ₂ O 的性質答題表現	59
表 4-1-13 水的生成答題表現	60
表 4-1-14 定比定律答題表現	60
表 4-1-15 視覺表徵的理解在轉換和連結的答對率	61
表 4-1-16 氯化鈉的表徵答題表現	62
表 4-1-17 烷類的表徵答題表現	62
表 4-1-18 視覺表徵的理解在選擇和評估的答對率	63
表 4-1-19 原子的排列答題表現	64
表 4-1-20 熱含量答題表現	64
表 4-1-21 電子的分布答題表現	65
表 4-1-22 分子的結構答題表現	65

表 4-1-23 電子的共用答題表現.....	66
表 4-2-1 視覺表徵能力指標分級標準	68
表 4-2-2 與原架構相符之表徵能力層級人數百分比	71
表 4-2-3 與原架構相異之表徵能力層級人數百分比	72
表 4-3-1 概念理解在巨觀概念的答對率	75
表 4-3-2 液體的狀態答題表現	75
表 4-3-3 物質三態的各種特徵答題表現	76
表 4-3-4 物質狀態的判斷答題表現	76
表 4-3-5 溶解與沸點答題表現	77
表 4-3-6 純物質的判斷與純物質與混合物的特性答題表現比較	78
表 4-3-7 概念理解在微觀概念的答對率	79
表 4-3-8 粒子的堆積答題表現	79
表 4-3-9 氣體粒子答題表現	80
表 4-3-10 粒子的本質答題表現	80
表 4-3-11 水分子的形狀答題表現	81
表 4-3-12 純物質與混合物的特性與水分子的組成答題表現比較	82
表 4-3-13 分子的大小答題表現	82
表 4-3-14 原子與化學反應答題表現	83
表 4-3-15 分子與化學反應與蠟燭的燃燒答題表現比較	84
表 4-3-1 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在液體的狀態答題表現比較	85
表 4-3-2 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在溶解與沸點答題表現比較	86
表 4-3-3 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在水分子的形狀答題表現比較	87
表 4-3-4 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在水分子的組成答題表現比較	87
表 4-3-5 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在原子守恆答題表現比較	88
表 4-3-6 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗答題表現比較	89
表 5-1-1 表徵能力指標修正及定義	97
表 5-1-2 表徵能力指標修正及舉例	97

圖次

圖 2-1-1 模型與現象的交互關係.....	15
圖 2-1-2 語言及非語言符號系統基模.....	17
圖 2-1-3 二元編碼理論的視覺和概念系統.....	18
圖 2-2-1 表徵能力測驗學生答題範例.....	28
圖 3-1-1 研究架構與研究問題對應.....	38
圖 5-1-1 由二元編碼的觀點看視覺表徵能力.....	98

第壹章 緒論

本研究旨在探究中學生的對視覺表徵與分子概念的理解，本章第一節以過去研究的發現為基礎，說明本研究的動機，並由此導出本研究探究的主要議題；第二節說明研究背景，由此導出本研究的兩大主軸；第三節由本研究的兩大主軸衍生出三大研究目的及其對應的研究問題；第四節為名詞釋義，說明本研究採用的名詞及其指涉的內容；第五節說明研究範圍與限制。

第一節 研究動機

化學是一門視覺的科學(Wu & Shah, 2004)。許多研究已經證實視覺表徵與化學學習的相關性(Barnea, 2000; Briggs & Bodner, 2007; Copolo & Hounshell, 1995; Ekstrom, et al., 1976, 引自 Gobert, 2007; Ferk et al., 2003; Gilbert, 2007; Gobert, 2007; Kozma & Russell, 2005; Seddon & Moore, 1986; Tuckey & Selvaratnam, 1993; Rapp, 2007; Wu, Krajcik & Soloway, 2001; 廖焜熙和邱美虹, 1996)，視覺表徵不僅是化學中用以溝通的工具，也是學生學習化學概念的重要媒介。有些學者使用空間能力(Spatial ability)一詞(Seddon & Moore, 1986; Tuckey & Selvaratnam, 1993; 邱美虹和廖焜熙, 1996)，說明視覺表徵在化學學習上扮演的角色，就學習表現的面向來說，邱美虹和廖焜熙(1996)指出，大學生在空間能力測驗上的表現，與立體化學的學習成就有高度相關；就教學面向來說，邱美虹和廖焜熙(1996)透過研究結果闡明實際圖片及分子模型在化學學習中的重要性。

有些學者使用視覺化(Visualization)一詞(Barnea, 2000; Ferk et al., 2003; Gobert, 2007)，說明視覺表徵在化學學習上扮演的角色，就學習的面向來說，分子結構和化學式的使用是理論負載並以概念為基礎的，學生對化學概念的理解受

限於日常生活中的感官經驗，他們傾向以感官的角度來理解並解釋分子結構與化學符號(Ben-Zvi et al., 1986；引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001)；就教學的面向來說，實體模型與電腦模擬都對學生學習分子結構與異構物的概念有所助益(Copolo & Hounshell, 1995)，視覺化的技能應該在每個學習階段被強調，隨著學習階段的提高，所需熟習的視覺化表徵由具體趨於抽象(Ferk et al., 2003)；傳統教學中以二維的表徵呈現三維的分子結構，可能使學生的理解受到限制，例如，化學中常使用的費雪投影(Fischer projection)對學生而言，較球棒式模型(Ball-and-stick model)來的抽象(Gobert, 2007)。也有學者使用表徵能力(Representational competence)一詞，說明個體在社會情境下建構自身化學概念，採用各種表徵作為溝通媒介的能力(Kozma & Russell, 2005)。

雖然上述各家學者採用的詞彙及著重的焦點有所差異，但皆某種程度的強調視覺表徵在化學學習中扮演的角色。總而言之，化學中常用的表徵蘊含了強烈的概念基礎，而化學中的概念也仰賴各種維度及形式的視覺化表徵。

學生對視覺化表徵的理解，不僅受限於內容知識，也受限於視覺空間(Visual spatial)的能力(Wu & Shah, 2004)。在同一個表徵系統下可能包含了多種成分，例如各種層級（巨觀、次微觀、符號）的表徵或兩個以上的概念，究竟視覺表徵具有什麼樣的成分，使得與化學學習具有高度相關性？抑或，視覺表徵的哪些成分，與化學學習具有高度相關性呢？於此，本研究嘗試解構視覺表徵能力，以瞭解視覺表徵之於學習者所具有的成分，以及視覺表徵的理解與化學學習之間的關連。

第二節 研究背景

探討視覺表徵與化學學習的關連，應包含哪些基本的面向？依據二元編碼理論，學生理解化學表徵，可能需要建構三個基本的認知連結，這些連結包含了概念和視覺的資訊，分別為概念資訊的連結(Representational connections between conceptual information)、視覺資訊的連結(Representational connections between visual information)、及概念系統與視覺系統的對應連結(Referential connections between visual and conceptual systems)(Paivio, 1986; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。基於上述架構，本研究具有兩大主軸，一為視覺表徵能力，一為概念理解，本研究關注三個焦點，即學生對視覺表徵的理解、對概念的理解、以及視覺表徵與概念理解之間的關連。

前一節提及過去研究曾強調視覺表徵在化學學習中扮演的角色，換言之，學習者的化學學習成就與視覺表徵能力具有某種程度的相關性，是否有一個標準能界定學習者的視覺表徵能力？而不同程度的視覺表徵能力，又包含了哪些視覺化技能？Kozma & Russell (2005)提出一個具有五個層級的概念結構，用以說明不同表徵能力所具有的特徵，稱為表徵能力層級(Representational competence levels)。表徵能力層級的概念結構具有階段性，由最低層級的生手特徵，描述到最高層級的專家特徵，五個層級分別為表徵描繪(Representation as depiction)、早期符號技能(Early symbolic skills)、正式表徵的語法使用(Syntactic use of formal representations)、正式表徵的語意使用(Semantic use of formal representations)、表徵的反思及修辭使用(Reflective, rhetorical use of representations)。本研究在探討視覺表徵能力的議題時，以 Kozma & Russell (2005)表徵能力層級中提及的視覺化技能(Visualization skills)及表徵能力層級為基本依據，有以下原因，第一，表徵能力層級強調的是學生使用表徵體現化學概念的能力，並非與心智操弄相關的空間能力，這與本研究的取向相符；第二，表徵能力層級中包含多種視覺化技能，

較簡單的視覺化技能包括依據在外現象的表面特性產生表徵，或以一些符號表達動態的過程，較複雜的視覺化技能包括在不同形式的表徵之間做轉換，使用表徵解決問題、進行預測，也就是說，表徵能力層級的架構提供綜合的面向，以探討學習者的視覺表徵能力。Kozma & Russell (2005)表徵能力層級強調的是學習者在社會情境下，運用表徵表達科學概念的能力，而本研究著重於學習者對視覺表徵及化學概念的理解，因此，本研究提取 Kozma & Russell (2005)表徵能力層級中提及的視覺化技能，作為探討視覺表徵能力的基本面向。

第三節 研究目的與問題

基於二元編碼理論(Paivio, 1986; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)，本研究具有兩大主軸，一為視覺化表徵能力，一為概念理解，於此衍生出三個研究目的，研究目的一屬於視覺化表徵能力的部分，研究目的二則為概念理解的部分，研究目的三是為探討研究目的一和二的交互關係。

在研究目的(一)探討學生視覺表徵能力的部分，本研究提取 Kozma & Russell (2005)「表徵能力層級(Representational competence levels)」所提及的視覺化技能，作為探討視覺表徵能力的基本架構，這個架構具有四個基本的成分，分別為知覺 (Perception)、詮釋 (Interpretation)、連結和轉換 (Connection and transformation)、及選擇和評估(Selection and Evaluation)，分別對應到研究問題(一)的四個次問題，而本研究採用的名詞：知覺、詮釋、連結和轉換、及選擇和評估所指涉的視覺化技能，會於本章第四節闡述；在研究目的(二)，探討學生分子結構概念理解的部分，則依照化學概念的層級，分為巨觀層級和微觀層級概念兩部分，五個與分子結構相關的重要概念，則分屬於這兩個概念層級之下；研究目的(三)，則由兩個面向探討目的一與目的二的交互關係，一為答題表現的相關性，一為答題表現的差異。

一、研究目的

- (一) 探討學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解情形。
- (二) 探討學生在解決分子概念相關問題時，對概念的理解情形。
- (三) 探討學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連。

二、研究問題

本研究有三大研究問題，分別對應到三個研究目的，研究問題（一）屬於視覺表徵能力的部分，研究問題（二）屬於概念理解的部分，研究問題（三）為視覺表徵能力及概念理解的關連。

（一）學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解為何？

- 1.學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的知覺為何？
- 2.學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的詮釋為何？
- 3.學生在閱讀視覺表徵時，轉換和連結表徵的能力為何？
- 4.學生在閱讀視覺表徵時，選擇和評估表徵的能力為何？

（二）學生在解決分子概念相關問題時，對概念的理解情形為何？

- 1.學生在解決分子概念相關問題時，對巨觀層級概念的理解情形為何？
 - 1-1.學生在解決物質三態的相關問題時，對概念的理解情形為何？
 - 1-2.學生在解決物質性質的相關問題時，對概念的理解情形為何？
- 2.學生在解決分子概念相關問題時，對微觀層級概念的理解情形為何？
 - 2-1.學生在解決物質粒子觀的相關問題時，對概念的理解情形為何？
 - 2-2.學生在解決原子與分子觀的相關問題時，對概念的理解情形為何？
 - 2-3.學生在解決化學反應的原子與分子觀相關問題時，對概念的理解情形為何？

（三）學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連為何？

- 1.學生在視覺表徵的答題表現與分子概念的答題表現相關為何？
- 2.學生在視覺表徵的答題表現與分子概念的答題表現有何異同？

第四節 名詞釋義

在研究問題一中，為了瞭解學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解有何異同，提取 Kozma & Russell (2005)「表徵能力層級(Representational competence levels)」所提及的視覺化技能，作為瞭解學生視覺表徵能力的基本成分，分別為知覺 (Perception)、詮釋 (Interpretation)、連結和轉換 (Connection and transformation)、及選擇和評估 (Selection and Evaluation)，這些成分構成本研究探討視覺表徵能力以及工具設計的依據，稱為視覺表徵能力指標 (Visual representation ability index, VRAI)。

一、視覺表徵能力指標 (Visual representation ability index, VRAI)：視覺化表徵能力指標具有兩個向度，第一個向度即上述視覺表徵能力的四個成分：知覺 (Perception)、詮釋 (Interpretation)、連結和轉換 (Connection and transformation)、及選擇和評估 (Selection and Evaluation)，這四個成分是化學學習中經常使用的視覺化技能，成分之間彼此互斥但具有關連，也可以說具有難易度的差異，例如，要能對不同表徵進行連結和轉換，首先需要對個別表徵進行詮釋；第二個向度即視覺化表徵的五個層級，由層級一到層級五，每個更高的層級皆包含了前述層級所需具備的視覺化技能。

二、知覺 (Perception)：即學習者對表徵做表面性描述的能力，為視覺表徵能力的第一個成分，此成分具有四個次要成分，包括能描述表徵所體現的巨觀現象、能描述表徵所體現的微觀現象、能描述表徵中的部分符號、能描述表徵中的化學符號。

三、詮釋 (Interpretation)：即學習者解釋表徵的能力，為視覺表徵能力的第二個成分，此成分包括兩個次要成分，一為能依據語法規則詮釋表徵，二為能以語意解釋表徵。

四、轉換和連結(Connection and transformation)：即學習者連結不同表徵或在表徵之間做轉換的能力，為視覺表徵能力的第三個成分，此成分不具有次類別，學習者能將一個特定的表徵轉換為另外一個概念上相對應的表徵，或者學習者能將體現同概念的表徵歸納為同一種化合物。

五、選擇和評估(Selection and Evaluation)：即學習者選擇合適的表徵及與之配對概念的能力，為視覺表徵能力的第四個成分，此成分不具有次類別，學習者能選擇合適的表徵以體現某個特定概念，或者學習者能由某個表徵選擇表徵所體現的特定概念。

六、視覺化表徵(Visual representation)：即外在表徵的一種，具有兩種主要功能，第一，用以外顯個體經日常現象觀察後所得的心智模式，第二，用以表達科學概念，是個體學習科學的媒介。視覺化表徵可以是各種形式，包括各種維度（一維、二維、三維）或各種層級（巨觀、次微觀、符號），化學中常用的視覺化表徵包括化學式、反應方程式、球棒式模型、電子點式、表格、圖片等。

第五節 研究範圍與限制

- 一、依照情境認知學派的主張，社會情境泛指個體與個體間的互動，以及個體與實體的互動。本研究關注的是學習者對視覺表徵以及分子概念的理解，也就是說，本研究的情境僅限於個體與文本的互動，以探討學習者在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解，以及學習者在解決分子概念相關問題時，對概念的理解。
- 二、本研究測驗工具之一「視覺表徵能力測驗」，採用教科書中常見之化學表徵，作為測驗學生視覺表徵能力的媒介。這些表徵的維度大多屬於二維(2D)及二維半(2.5D)的視覺化表徵，依據 Tuckey & Selvaratnam (1993)的觀點，學習者在觀察表徵時，必須由二維的平面表徵知覺三維的空間相對位置。藉由紙筆測驗可能無法得知，學生對二維或二維半表徵的知覺發生困難的過程。
- 三、本研究有兩個測驗工具，一為「視覺表徵能力測驗」，一為「分子概念理解測驗」，皆為單一選擇題的紙筆測驗形式，不採用晤談的形式，採用單一選擇題紙筆測驗的原因為，學習者對視覺表徵的自發性使用，涉及對表徵及化學概念的記憶，本研究關注的是學習者理解視覺表徵的能力，也就是說，學習者是否能藉由閱讀視覺表徵，理解特定的化學概念，因此，本研究於「視覺表徵能力測驗」中呈現各種視覺表徵，以瞭解學習者藉由視覺表徵理解化學概念的能力。本研究只能藉由學生外顯的答題表現推論學生的能力及想法，無法直接瞭解學生答題的過程及原因。

第貳章 文獻探討與分析

本研究具有兩大主軸，一為視覺表徵能力，一為概念理解。本章第一節「視覺化表徵」，探討不同學派對視覺化表徵的定義、談論視覺化表徵的各種面向、以及視覺化表徵的相關技能及評量；本章第二節「視覺化表徵與化學學習」，探討學習者在閱讀及詮釋視覺化表徵的學習表現，以及視覺化表徵在教學上扮演的角色；本章第三節「分子相關概念與化學學習」，探討學習者解釋分子相關概念的學習表現。

第一節 視覺化表徵

在談論視覺化表徵之前，首先要探討視覺化的定義，許多學者採用視覺化一詞指涉一種技能(Ekstrom, et al., 1976；引自 Gobert, 2005; Ferk et al., 2003; Seddon & Moore, 1986；廖焜熙和邱美虹，1996)、過程(Briggs & Bodner, 2007; Johnson-Laird, 1983; Tufte, 2001，引自 Gilbert, 2007)、或物件(Gobert, 2005; Rapp, 2007; Tufte, 2001，引自 Gilbert, 2007)，對視覺化表徵著重的焦點也有所不同，因此本節的第一個部分探討學者對「視覺化的定義」，第二個部分探討學者對「視覺化表徵的定義」，第三個部分探討「視覺化表徵的特性」，第四個部分探討「視覺化表徵的評量及技能」，茲分述如下。

一、視覺化的定義

科學著重的是對自然現象的解釋，並依賴各種模型(Models)以體現自然現象(Gilbert, 2008)，這些模型以三種不同的表徵層級(Representational levels)體現，包括巨觀層級、次微觀層級、及符號層級(Gabel, 1999; Gilbert, 2008; Johnstone, 1993)。這三個表徵層級的心智轉換，是解釋自然現象不可或缺的技能，這些技

能是許多學生學習的困難所在，視覺化(Visualization)即這些重要技能之一(Gilbert, 2008)。視覺化牽涉到外在表徵(External representation)及內在表徵(Internal representation)，外在表徵用以有系統的體現訊息，例如，圖片、圖表、及表格(Tufte, 1983，引自 Gilbert, 2008)；內在表徵即心智的產物、貯存、及使用(Gilbert, 2008)。

有些學者(Gobert, 2005; Rapp, 2007; Tufte, 2001，引自 Gilbert, 2007)以外在表徵的觀點談論視覺化，Tufte (2001，引自 Gilbert, 2007)以視覺化(Visualization)這個字指稱兩種意義，一種是指將資訊有系統的以圖表的形式做視覺呈現，另一種則屬於內在表徵。Rapp (2007)認為視覺化可以定義為將資料以新奇的方式做視覺的呈現(Visual presentation)，包括將資料以線條的形式簡單呈現、以三維度的圖形詳細呈現、及以超媒體為基礎(Hypermedia-based)的環境，視覺化具有兩種功能，一種是可以用來描述複雜機制背後，其個別元素的互動情形，而大多數的科學知識即包含了動態系統中的複雜解釋及因果關係；另一種是幫助人們體驗日常生活中無法經歷、無法觀察的現象，例如地質學家及生物學家研究幾千年前地球所發生的變遷、化學家以微觀的層面描述化學變化的過程，視覺化使學生能夠以可信、可見的方式經歷這些情境。Gobert (2005)歸納視覺化一詞在心理學及教育上常用的三種學術用法，包括外在視覺化(External visualization)、內在視覺化(Internal visualization)、以及空間視覺化技能(Spatial visualization skills)，外在視覺化是指那些常用於學習的表徵，這些表徵是語義豐富的(Semantically-rich)，具有複雜、領域特定的符號系統，例如，圖表、模型、模擬等。這些語義豐富的視覺化表徵有別於那些僅有單純圖像的視覺表徵，例如，停止的標誌。外在視覺化，也就是語義豐富的表徵，常在學習時被使用，且根據它們不同的特徵而在教學上具有不同的意涵，給予學習者不同的幫助。

有些學者(Briggs & Bodner, 2007; Johnson-Laird, 1985; Tufte, 2001，引自 Gilbert, 2007)以內在表徵的觀點談論視覺化，Tufte (2001，引自 Gilbert, 2007)以視覺化(Visualization)這個字指稱兩種意義，一種屬於外在表徵，已於上段論述，另一種

則指單純的在腦中產生對外素樸世界的真實影像，而個體透過眼睛觀察外在現象，進而在腦中建構的知識則不盡相同。Briggs & Bodner (2007)說明視覺化是一種使用表徵(Representations)和操弄(Operations)做心智建模(Mental modeling)的過程，視覺化是一種在心智表徵與指涉物(Referent)之間操弄的過程，而表徵即是操弄的物體和結果。舉例來說，當學習者看到一個印在紙上的二維度表徵，並將它轉化為心智表徵，這樣的操弄過程為視覺化，而操弄的產物稱為表徵。視覺化一詞被用以指稱內在的心智建構(Internal mental constructs)，例如，那些存在於學習者腦中的心智影像、用以解決問題的心智模式(Johnson-Laird, 1985；引自 Gobert, 2005)。

有些學者(Ekstrom, et al., 1976；引自 Gobert, 2005; Ferk et al., 2003; Seddon & Moore, 1986；廖焜熙和邱美虹，1996)則將視覺化視為一種心智操弄的過程，例如，用以描述一種空間技能，視覺化是一種操弄(Manipulate)或轉換(Transform)空間模組(Spatial patterns)，使之成為另一種排列的能力(Ekstrom, et al., 1976；引自 Gobert, 2005)。有些學者則使用視覺化一詞指涉一種空間操弄(Spatial operations)的能力，包括旋轉(Rotation)、翻轉(Inversions)、及反射(Reflections)(Ferk et al., 2003; Seddon & Moore, 1986)。視覺化是一種空間技能，包括空間視覺化(Spatial visualization)、空間方位(Spatial orientation)、及空間關係(Spatial relations)(Barnea, 2000; Tuckey & Selvaratnam, 1993)。

上述的三種視覺化的用法並非相互唯獨的建構或過程，例如，當學習者以外在視覺化作為學習的工具時，同時也建構自己的內在視覺化表徵，而這種建構的過程深受學習者本身空間視覺化能力的影響 (Gobert, 2005)。

二、視覺化表徵的定義

許多學者對視覺化表徵提出看法，有的學者由概念改變的觀點談論表徵(Boulter & Buckley, 2000; Buckley & Boulter, 2000)，有的學者由情境認知的觀點談論視覺化表徵(Kozma & Russell, 2007)，有的學者則由訊息處理的觀點談論表徵(Paivio, 1986; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。

由概念改變的觀點，表徵即模型體現的方式，模型(Model)一詞常用以表達學習者感知外在物理世界時，所產生或具有的內隱及外顯表徵，例如，無論在教室、博物館中，老師或學習者都藉由模型進行意義的建構，模型可以是一個想法、物件、事件、過程或系統的表徵(Gilbert & Priest, 1997，引自 Buckley & Boulter, 2000)。有些學者以心智模型(Mental model)一詞指涉學習者內隱的認知表徵，用以對現象進行推理、並敘述、解釋及預測現象(Gentner & Stevens, 1983; Johnson-Laird, 1983; Rouse & Morris, 1986，引自 Buckley & Boulter, 2000)；有些學者以表達模型(Expressed model)指涉那些用以溝通及推理的外顯表徵(Kindfield, 1993; Larkin, 1989; Larkin & Simon, 1987，引自 Buckley & Boulter, 2000)。心智模型、表達模型、及外在現象三者之間具有交互作用（如圖 2-1-1），心智模型用以理解和創造表達模型，表達模型影響了個體對外在現象的知覺，進而影響個體的心智模型，表達模型也可以用以體現個體的心智模型及外在現象(Buckley & Boulter, 2000)。由上可知，概念改變學者關注的是模型或表徵在教學和學習中扮演的角色，學生如何透過表徵理解科學概念，而表徵如何影響學生理解科學概念。表徵一詞常用以解釋模型的內容或類型，而模型一詞常用以表達完整的表徵系統，兩者密不可分。

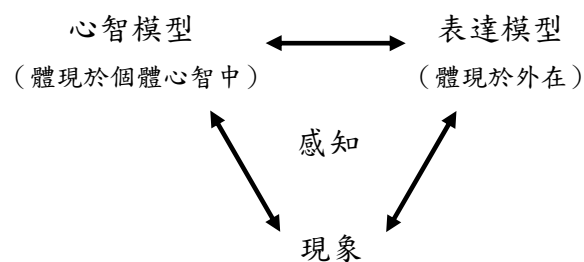


圖 2-1-1 模型與現象的交互關係（引自 Buckley & Boulter, 2000）

由情境認知的觀點，表徵(Representations)在場域中扮演重要的角色，表徵使得場域中發生的人際及心理歷程得以體現或凸顯。所謂表徵，即該場域中用以體現或凸顯人際或心理歷程的資源，例如，文字、符號、手勢或圖表。化學家可以透過表徵來視覺化、討論、理解分子結構及化學過程，表達實驗室中所感知到的化學現象。表徵的意義並非鑲嵌於表徵本身，而是體現在使用表徵的過程中(Kozma & Russell, 2007)。情境認知理論主張，在特定場域下的實體及社會元素，構成了在該場域發生的人際及心理歷程，而這些歷程則涵蓋了學習及理解(Greeno, 1998; Lave & Wenger, 1991; Roth, 2001；引自 Kozma & Russell, 2007)。情境認知理論強調，特定場域下的實體元素，可以激發或抑制發生在該場域的活動，包括談話、思考及理解，舉例來說，實驗室中，時常以化學反應式作為表達思想或溝通的媒介，實驗室即特定的場域，化學反應式即實體元素，化學反應式可以激發與化合物的屬性有關的討論，例如，顏色、黏性及味道，而有關分子的組成、結構或分子構形之間的轉換，則不那麼被激發(Kozma, 2000；引自 Kozma & Russell, 2007)。情境認知理論不僅強調特定場域下實體與個體的互動，也強調個體與個體間的互動，當這些個體參與該場域中所發生的活動時，則被視為一個社群，社群中的個體藉由參與的過程，形成社會認同及彼此間的聯繫，個體間的認同和聯繫則影響了個體參與社群活動的動機(Kozma & Russell, 2007)。

表徵不僅是視覺化的呈現，也是概念的建構，因此，學生要理解表徵，不僅需要具備視覺空間的能力，也要具有足夠的概念知識(Wu, Krajcik, & Soloway, 2001)。由上述情境認知理論及概念改變理論可知，情境認知理論強調個體對表徵自發的使用，在社會情境下用以溝通；而概念改變學者則著重於個體感知日常經驗、或個體感知表徵後，對概念的影響。然而，個體使用表徵或感知表徵的心智過程為何？訊息處理理論提出了個體心智過程的假設性解釋。

Paivio (1986)表徵可以由具體到抽象的程度分為三個層級，最具體的層級即使用表徵體現可觀察的現象；較為抽象的層級即使用表徵指涉個體觀察現象後，內隱的認知歷程或心智模式；最為抽象的層級即以表徵描述認知系統的結構(Structural)及功能(Functional)屬性，即二元編碼理論。就結構來說，認知系統中具有語言的(Verbal)及非語言(Nonverbal)的兩個次系統，兩個系統分別感知及處理語言刺激(Verbal stimuli)及非語言刺激(Nonverbal stimuli)；就功能來說，語言及非語言系統彼此之間可以單獨運作，也可以平行處理，兩系統之間具有交互作用(Paivio, 1986)（如圖 2-1-2）。

Wu, Krajcik & Soloway (2001)以 Paivio (1986)二元編碼理論為基礎，提出個體在解釋視覺表徵時的視覺化過程模型，稱為「二元編碼理論的視覺及概念系統(Visual and conceptual systems of dual coding theory)」。學生理解化學表徵，可能需要建構三個基本的認知連結，這些連結包含了概念和視覺的資訊，分別為概念資訊的連結(Representational connections between conceptual information)、視覺資訊的連結(Representational connections between visual information)、及概念系統與視覺系統的對應連結(Referential connections between visual and conceptual systems)（如圖 2-1-3）。

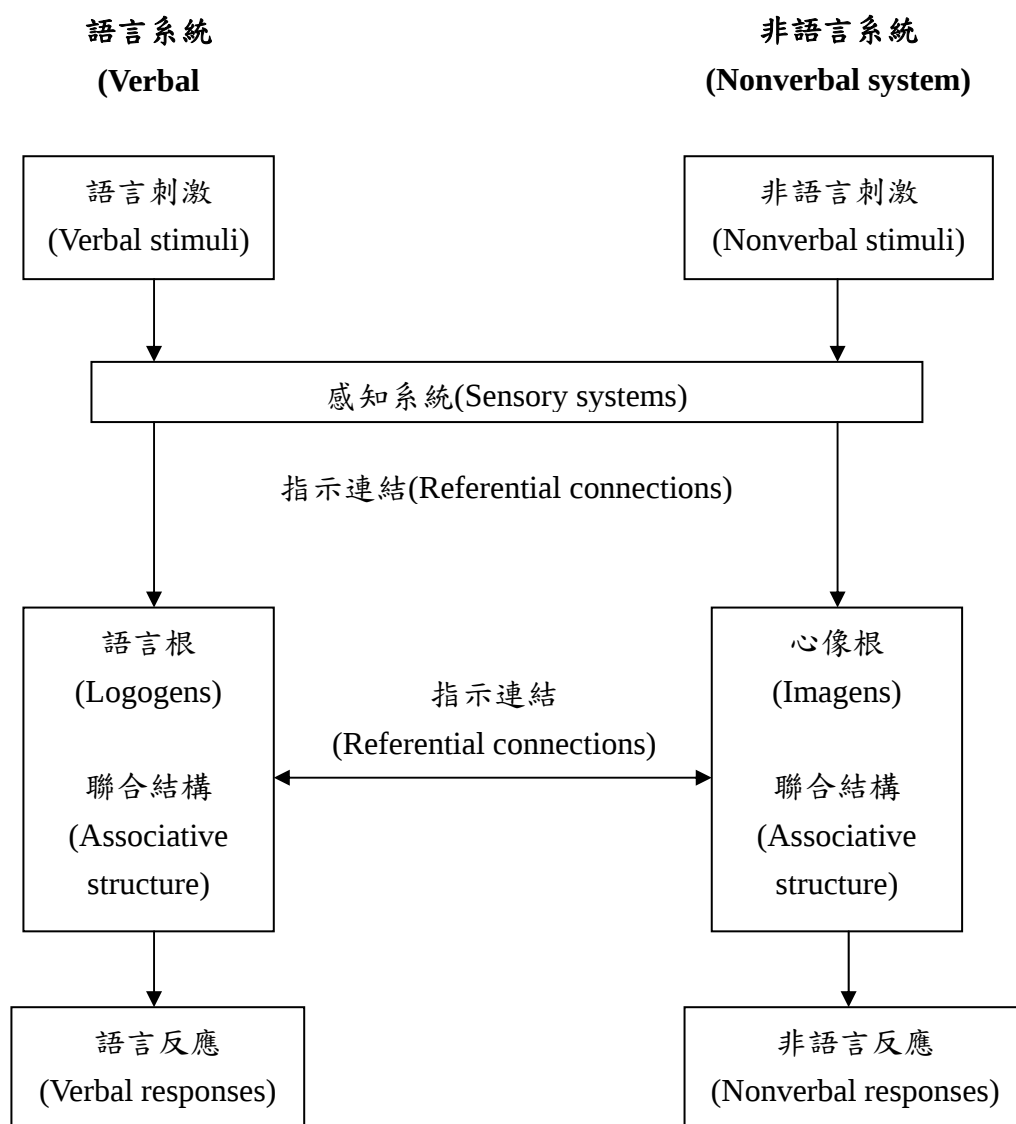


圖 2-1-2 語言及非語言符號系統基模 (引自 Paivio, 1986)

(一) 概念資訊的連結 (Representational connections between conceptual information)：個體接收到外在的概念刺激後，所體現或內化的語言心智表徵，例如，「甲烷的鍵結只有單鍵，是碳氫化合物的一種」屬於外在刺激，則個體所體現或內化的語言心智表徵為，「如果碳原子的數量為 n ，則氫原子的數量為 $2n+2$ 」。這種概念系統內部的連結，即概念及視覺系統中的連結一。

(二) 視覺資訊的連結(Representational connections between visual information)：

個體接收到外在的視覺刺激後，所體現或內化的視覺心智表徵，例如，甲烷的結構式為外在視覺刺激，則個體產生甲烷結構的心像。

(三) 概念系統與視覺系統的對應連結(Referential connections between visual and

conceptual systems)：個體將心智中的語言表徵與視覺表徵做對應的連結，例如，將「甲烷的鍵結中只有單鍵，是碳氫化合物的一種」的概念，與甲烷的結構式做對應的連結。在教學中強化學生概念系統與視覺系統的連結，有助於學生的表徵技能，例如，能在不同的表徵間做轉換。

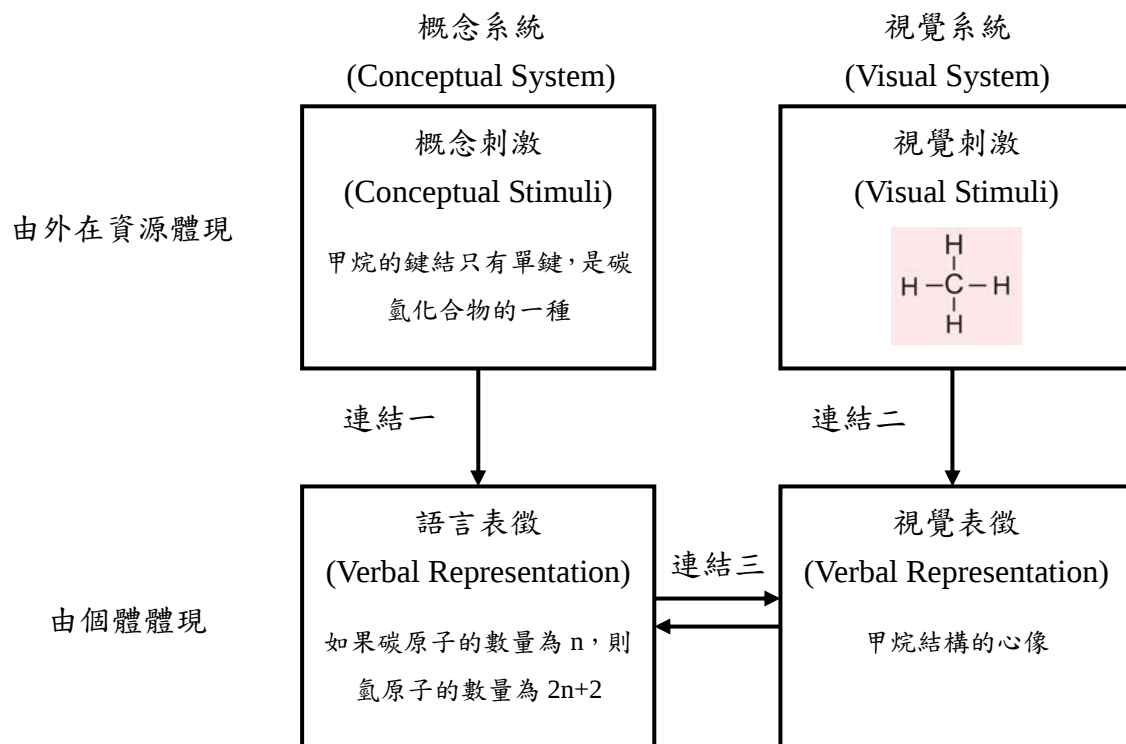


圖 2-1-3 二元編碼理論的視覺和概念系統（引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001）

三、視覺化表徵的特性

(一) 表徵的多重性質

就表徵的類型而言，Boulter & Buckley (2000)認為表徵具有五種基本的類型，包括具體的(Concrete)、言語的(Verbal)、視覺的(Visual)、數學的(Mathematical)、以及動作的(Gestural)；就表徵的屬性而言，Boulter & Buckley (2000)認為表徵的屬性可以由三種面向探討，包括質的(Qualitative)或量的(Quantitative)、穩定的(Static)或動態的(Dynamic)、決定論的(Deterministic)或或然論的(Stochastic)；Buckley & Boulter (2000)則以 Goldsmith (1984)提出的兩種取向，作為分析表徵的依據，這兩種取向分別是符號學的層級(Semiotic levels)和視覺的因素(Visual factors)，符號學的層級包括語法的(Syntactic)、語意的(Semantic)、及實用的(Pragmatic)，視覺的因素包括單位性(Unity)、位置(Location)、重視(Emphasis)、及文本平行(Text parallels)。這些學者以普適且完整的角度對表徵的類型或屬性提出看法，並非聚焦於化學或其他學科的表徵特性。

(二) 表徵的層級

有些學者就表徵的層級(Levels of representation)提出看法，認為與化學理解相關的表徵系統有三種層級(Chandrasegaran & Treagust, 2008; Gable, 1999; Johnstone, 1993)：巨觀表徵(Macroscopic representations)、次微觀表徵(Submicroscopic representations)、及符號表徵(Symbolic representations)。

1. 巨觀表徵(Macroscopic representations)：當學習者在日常經驗中觀察物質屬性的改變，那些具有形體的、可見的現象，例如，顏色的變化、液體的 pH 值、氣體的形成、及化學反應中的沈澱。
2. 次微觀表徵(Submicroscopic representations)：由原子、分子、離子及動力學的角度解釋物質，提供粒子層面的解釋，屬於巨觀層級的背後意義，例如，在鋅粉與硫酸銅溶液的反應中，鋅由原子轉變為離子，溶液中的

銅離子則轉變為銅原子。

3. 符號表徵 (Symbolic representations) : Johnstone (1993) 以表徵化學 (Representational chemistry) 一詞指涉與符號相關的化學知識，這個層級的表徵由質性抽象化 (Qualitative abstractions) 組成，屬於次微觀層級的背後意義，包括符號、方程式、計量化學、及數學。例如，鎂粉在空氣中燃燒的反應，以 $2\text{Mg}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{MgO}_{(s)}$ 表示。

(三) 表徵的維度

有些學者就表徵的維度 (Dimensionality of representations) 提出看法，即三維 (Three dimensional, 3D) 表徵 (Ainsworth, 2006; Gilbert, 2008; 邱美虹和廖焜熙, 1996)、二維 (Two dimensional, 2D) 表徵 (Ainsworth, 2006; Gilbert, 2008; 邱美虹和廖焜熙, 1996)、及一維 (One dimensional, 1D) 表徵 (Gilbert, 2008; 邱美虹和廖焜熙, 1996) (表 2-1-1)。

1. 三維 (Three dimensional, 3D) 表徵：在科學課室中，三維度表徵泛指那些可以實務操作的表徵，包括手勢及具體表徵，例如球棒式分子模型。
2. 二維 (Two dimensional, 2D) 表徵：科學課室中常見的二維表徵有，照片 (科學現象的照片、科學儀器產生的圖，如光譜)、虛擬表徵 (由電腦呈現的偽 3D 圖像)、圖表、表格。
3. 一維 (One dimensional, 1D) 表徵：一維的表徵最為抽象，並由符號組成，科學課室中常見的有化學式、化學方程式、及數學關係式。

表 2-1-1 表徵的維度和層級及其實例（引自 Gilbert, 2008）

表徵維度 表徵層級	三維	二維	一維
巨觀層級	對日常現象的感知	對日常現象的感知	-
次微觀層級	手勢、具體表徵	照片、虛擬表徵、表格、圖表、資料矩陣	-
符號層級	-	-	符號及方程式

四、視覺化表徵的評量及技能

（一）心智操弄的評量及技能

如前述，有些學者(Ekstrom, et al., 1976；引自 Gobert, 2005; Ferk et al., 2003; Seddon & Moore, 1986；廖焜熙和邱美虹，1996)將視覺化視為一種心智操弄的過程。Tuckey & Selvaratnam (1993)認為視覺化具有三種不同的面向，空間視覺化(Spatial visualization)、空間方位(Spatial orientation)、及空間關係(Spatial relations)，空間視覺化，即由一個物體的二維度表徵，理解該物體三維度表徵的能力，這樣的轉換能力並不僅限於平面表徵到立體表徵的轉換，也包括了從符號理解三維度表徵的能力；空間方位，即由不同的角度透視物體形狀的能力，也就是說，即便由不同的角度觀察，也能察覺到這些都是指涉同一物體；空間關係，即視覺化操弄的能力，包括旋轉、反射、翻轉，或者由心像操弄物體的能力。

Tuckey & Selvaratnam (1993)歸納了幾個面向的三維度視覺化測驗，包括深度知覺測驗(Testing of depth perception in pictures)、模型與圖形關連測驗(Tests on ability to relate models to diagrams)、圖形的視覺化操弄測驗(Tests concerning visualization of operations on diagrams)、及化學中的三維度視覺化技能理解測驗(Comprehensive testing of three-dimensional skills needed in chemistry)。深度知覺測驗，即利用二維度的圖形來表達圖中物件的相對位置，並且所用來繪圖的線條都

是實線，Nicholson & Seddon (1977，引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993)以化學中的分子結構測驗學生對深度線索(Depth cues)的知覺能力，由學生對平面分子結構圖形的解釋，探討學生偏向於二維度或三維度的詮釋；模型與圖形關連測驗，即由實體模型，找出配對的圖形選項，每一題的圖形選項都呈現一種深度線索，以瞭解受試者對哪一種深度線索較為理解，Evans & Seddon (1978，引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993)的圖形與模型關連測驗，將模型放置於一個密閉的盒子中，使受試者透過狹縫觀察盒內的模型，並由選項中選出正確的圖形；圖形的視覺化操弄測驗用二維度的圖形表徵三維度的空間關係，並在腦中做旋轉、反射或翻轉的操弄，Shepard & Metzler (1971)以十個方塊組成的圖形，測驗受試者是否具有在心智中做三維度旋轉的能力，研究發現受試者的反應時間隨著旋轉角度的增加而增長；化學中的三維度視覺化技能理解測驗，有許多三維度視覺化技能的測驗，都利用化學中的分子結構，作為試題的元素，Tuckey, Selvaratnam & Bradley (1991)假設視覺化的過程是一連串的邏輯步驟，以分子結構為元素，設計一系列的試題，以測試學生在哪一個視覺化的步驟中發生困難，解決視覺化問題的邏輯步驟依序為，平面圖形的視覺化、識別旋轉軸、瞭解旋轉的意義、視覺化旋轉後的結果、利用深度線索選擇旋轉後的圖形、比較所有選項以選出正確的圖形，測驗結果發現，學生在解決視覺化的問題發生困難，通常只是因為缺乏將技能和概念連結的基本能力而已。

Ferk (2000)發展了一套化學視覺化測驗(Chemistry visualization test)，測驗中包含了各種不同類型的分子表徵，試題共有五種題型，分別是知覺(Perception)、知覺和旋轉(Perception and rotation)、知覺和反射(Perception and reflection)、知覺、旋轉和反射(Perception, rotation and reflection)、知覺和資訊的心智轉換(Perception and mental transfer of information)，每一種題型都具有不同的目的，知覺測驗的目的是要探討學生對哪一種分子結構的表徵較為理解；知覺和旋轉測驗的目的是要探討學生對不同表徵的分子結構做旋轉操弄時，其結果有無差異，以及探討學生

對 X、Y、Z 軸的旋轉操弄有無差異，進而推論哪一種分子表徵最有利於學生解決旋轉的問題；知覺和反射測驗的目的是要探討學生對不同表徵的分子結構做反射操弄時，其結果有無差異，並進而推論哪一種分子表徵最有利於學生解決反射的問題；知覺、旋轉和反射測驗的目的，是為了探討學生同時進行知覺、旋轉和反射操弄以解決問題時，是否發生困難，並進而瞭解學生最能應用哪一種表徵的分子結構解決此類型的問題；知覺和資訊的心智轉換測驗，是為了探討學生是否能由圖片中的分子表徵或者化學式，做心智的轉換並建構實體的分子結構。Ferk 等人(2003)以這一套試題，探討不同學習階段學生的三維度視覺化能力，研究結果發現，學生對三維度分子的知覺能力，是解決視覺化問題的關鍵，隨著問題情境所需的操弄步驟增加，學生的答對率也逐漸減少。

Wu & Shah (2004)歸納三種與化學學習相關的空間能力向度，分別為空間視覺化(Spatial visualization)、形狀變通(Closure flexibility)、及空間關係(Spatial relations)。空間視覺化即反映個體理解、編碼、及心智操弄空間形式的過程；形狀變通關注的是個體接收刺激後，理解及確立視覺模組(Visual pattern)的速度；空間關係與空間視覺化類似，空間關係除了關注個體心智操弄的能力外，也包含了單一結構的心智操弄，例如二維物件的轉換，空間關係也關注於心智操弄的速度。

(二) 表徵能力的評量及技能

由情境認知的觀點可知，言談(Discourse)是知識獲得不可或缺的元素，學生在學習談論科學(Talking science)的過程中理解科學知識(Lemke, 1990；引自 Kozma & Russell, 2007)。Kozma & Russell (2007)以表徵能力(Representational competence)一詞，指涉化學課室中不可或缺的技能 and 實務，個體透過各種表徵或視覺化的方式，體現思考並溝通所感知到的化學現象或知識。更進一步說明，表徵能力即，在意義建構的活動中，個體成功建構化學知識、組織表徵的意義、並

確認自身使用表徵的能力以參與意義建構的活動。當個體所具備的表徵能力較低時，只能透過表徵的表面特性獲取知識(Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; diSessa, Hammer, Sherin, & Kolpakowski, 1991; Kozma & Russell, 1997)，或做符號規則的應用(Krajcik, 1991)；當個體所具備的表徵能力較高時，可以在一個實務的社群中，運用各種正式或非正式的表徵解釋現象、支持論點、解決問題、並進行預測(Amman & Cetina, 1990; Dunbar, 1995; Goodwin, 1995; Kozma, Chin, Russell, & Marx, 2000; Kozma & Russell, 1997; Woolgar, 1990，引自 Kozma & Russell, 2007)。

Kozma & Russell (2005)提出一個具有五個層級的概念結構，用以說明不同表徵能力所具有的特徵，稱為表徵能力層級(Representational competence levels)。表徵能力層級的概念結構如同發展階段一般，由最低層級的生手特徵，描述到最高層級的專家特徵，最低的層級就如同生手所具備的特徵，例如，傾向於以表面特性解釋現象；最高的層級如同專家所具備的特徵，例如，能運用各種表徵在社群中傳達想法，進而取得社群的認同。這個表徵能力的概念結構具有兩個基本的假定，第一個假定為，這五個層級的技能依循著發展的軌跡，然而，這五個層級並不是階段性的發展，像皮亞傑所謂的個人發展進程(Piaget, 1972，引自 Kozma & Russell, 2007)，而是像維高斯基的理念，所謂的發展除了關係到個體自身的發展外，還受到外在實體及社會情境的影響(Vygotsky, 1980, 1986，引自 Kozma & Russell, 2007)；第二個假定為，這五個層級的技能發展，並不是自動或單一的，首先，個體的表徵能力表現可能受到問題解決情境的影響，也就是說，個體可能在某個情境下展現較高的表徵能力層級，也可能在另一個情境下展現較低的表徵能力層級，再者，個體可能對不同形式的表徵具有不同的表徵能力層級，例如，個體在使用化學方程式時，能展現較高的表徵能力層級，在閱讀圖表時，則展現較低的表徵能力層級。經過時間及適當的學習後，個體逐漸培養更高層次的表徵能力，將這些與表徵相關的技能內化，與自身的實務整合(Kozma & Russell, 2005)。總而言之，表徵能力與化學理解兩者互補，個體無法不透過表徵來理解

化學知識，也無法在不理解任何化學知識的情況下使用表徵。Kozma & Russell (2005)提出表徵能力的五個層級，分別為表徵描繪(Representation as depiction)、早期符號技能(Early symbolic skills)、正式表徵的語法使用(Syntactic use of formal representations)、正式表徵的語意使用(Semantic use of formal representations)、表徵的反思及修辭使用(Reflective, rhetorical use of representations)，茲分述如下：

1. 表徵描繪(Representation as depiction)：當使用表徵解釋實體現象時，個體僅能依據現象的表面特性產生表徵，也就是說，這個表徵是對現象圖像式的描述。
2. 早期符號技能(Early symbolic skills)：當使用表徵解釋實體現象時，個體能依據現象的表面特性產生表徵，這個表徵中除了包含對現象的圖像式描述外，也包含了一些符號元素，例如，使用「箭號」來表示一個與時間或動作有關的動態過程。個體可能知道一些正式的表徵，但對表徵的詮釋僅侷限於表面特性的描述而不具備語法(Syntax)和語意(Semantics)特性。
3. 正式表徵的語法使用(Syntactic use of formal representations)：當使用表徵解釋實體現象時，個體能依據表面特性及不可觀察的背後意義產生表徵，這個表徵可能並非完全合乎科學的。個體能夠正確的使用表徵，但僅限於語法的使用(Syntax of use)，而非語意的詮釋。同理，個體能做不同表徵間的連結，然而僅能依據語法規則(Syntactic rules)或表面特性，而非依據表徵背後的意義。
4. 正式表徵的語意使用(Semantic use of formal representations)：當使用表徵解釋實體現象時，個體使用標準的符號系統體現不可觀察或具有背後意義的物體或過程。個體能依據語法規則及語意詮釋，使用表徵解釋現象。同理，個體能依據不同表徵的意義，做表徵間的連結或轉換。
5. 表徵的反思及修辭使用(Reflective, rhetorical use of representations)：當使

用表徵解釋實體現象時，個體使用標準的符號系統體現不可觀察或具有背後意義的物體或過程。個體能依據情境選擇或建構合適的表徵，並解釋表徵合適的原因。個體能理解有些無法直接經驗的現象，僅能透過表徵來理解。個體能運用表徵在社群中進行溝通，進而成為社群的成員。

上述的表徵能力層級，除了包含層次性的技能，也提及了表徵具有的各種元素，例如，表徵的形式是圖像的或符號的、表徵所表達的是表面特性或不可觀察的物體或過程、表徵的使用是語法的或語意的、表徵間的連結和轉換是語法的或語意的、選擇並解釋合適的表徵、運用表徵進行溝通。本研究提取 Kozma & Russell (2007)表徵能力層級中的元素，作為解構視覺表徵的依據，探討表徵的特性與學習理解的關連。

五、小結

綜上所述，本研究將視覺化表徵視為一種外在表徵(Gilbert, 2008)、或稱表達模型(Buckley & Boulter, 2000)，視覺化表徵可以外顯個體經日常現象觀察後所得的心智模式，也可以表達科學概念，作為個體學習科學的媒介。

在視覺化的評量方面，本研究採取 Kozma & Russell (2007)對表徵能力(Representational competence)的觀點，個體透過各種表徵或視覺化的方式，體現思考並溝通所感知到的化學現象或知識。

第二節 視覺化表徵與化學學習

本節旨在探討視覺化表徵與化學學習的關連，共分為兩部分，一為視覺化表徵的特性與化學學習的關連，主要在說明視覺化表徵對學習者的意義；一為視覺化表徵的功能與化學學習，主要在說明視覺化表徵在教學中扮演的角色。

一、視覺化表徵的特性與化學學習

有些學者以表徵的維度說明學生對表徵的理解(Ainsworth, 2006; Copolo & Hounshell, 1995; Gilbert, 2008; 邱美虹和廖焜熙, 1996)。邱美虹和傅化文(1993)指出，化學學習成就較低的大學生，無法藉由二維的平面表徵，理解分子結構的空間相對位置。Copolo & Hounshell (1995)指出，許多學生無法藉由二維的表徵知覺到表徵所要體現的三維相對位置。理論上來說，三維的表徵較二維的簡單，二維的較一維的簡單(Bowen & Roth, 2005; 引自 Gilbert, 2008)。

有些學者以表徵的層級說明學生對表徵的理解(Chandrasegaran & Treagust, 2008; Gable, 1999; Johnstone, 1993)，Johnstone (1993)認為化學家可以自如的在三個表徵的層級間做轉換，即巨觀、次微觀、及符號，例如，能連結屋頂積雪的現象、六邊形的雪花、水的沸點、冰的晶格、 H_2O 。Chandrasegaran & Treagust (2008)研究結果顯示，化學教學中必須強化表徵系統的使用，以幫助學生在巨觀、次微觀、及符號表徵間做轉換。

由表徵的解釋來說，Wu & Shah (2004)指出學生在解釋表徵時具有三個主要的另有概念，一為傾向於以巨觀的層級呈現化學概念，而非以微觀或符號的層級表達化學概念；二為傾向於以表面特性詮釋表徵，或傾向於理解巨觀的表徵；三為以靜態的觀點解釋化學反應。

Michalchik 等人(2008)以「表徵能力層級(Kozma & Russell, 2005)」對學生進行教學前後的評估，其測驗方式為半開放的試題形式，以「四步驟的連續問

題」，引導學生使用表徵解釋化學概念，學生的答題分為繪圖(Drawing)及解釋(Explanations)兩部分（如圖 2-2-1）。本研究對「表徵能力層級(Kozma & Russell, 2005)」的應用提出疑問，「表徵能力層級的評分標準，是否考慮概念的正確性？」在表徵能力的五個層級中，在較低層級（層級二）的敘述中指出，學生在早期符號技能的階段，對符號的使用可能不完全正確，但在較高層級（層級四）則強調表徵與概念的相關性。以圖 2-2-1 的學生範例為例，學生已在教學前，使用 Michalchik 等人（2008）所稱的非正式符號，也就是以箭頭表示化學過程，也使用正式符號，例如化學式及化學反應方程式，依據「表徵能力層級」，此學生應屬於層級二「早期符號技能」，然而，在 Michalchik 等人（2008）的評分範例中，此學生屬於層級一「表徵描繪」。於此，本研究欲以表徵能力層級為依據，對表徵的成分進行解構。

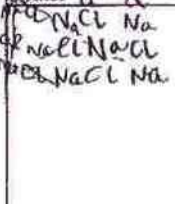
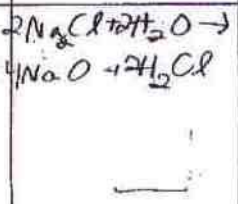
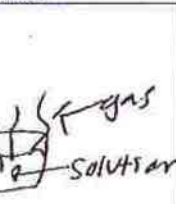
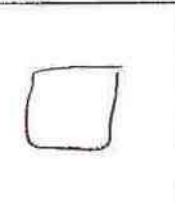
	Before ionic compound is added to water	Ionic compound is added to the water	10 seconds after ionic compound is added to the water	5 minutes after ionic compound is added to the water
Drawings				
Explanations	a crystal lattice is present	reaction begins to take place	gas is given off Sodium oxide Hydrogen chloride	solution has "gone up in smoke" leaving a small residue of sodium

圖 2-2-1 表徵能力測驗學生答題範例（Michalchik et al., 2008）

如上節所述，Kozma & Russell (2005)提出表徵能力層級(Representational competence levels)，共有五個層級，依能力低到高依次為，層級一「表徵描繪(Representation as depiction)」、層級二「早期符號技能(Early symbolic skills)」、層

級三「正式表徵的語法使用(Syntactic use of formal representations)」、層級四「正式表徵的語意使用(Semantic use of formal representations)」及層級五「表徵的反思及修辭使用(Reflective, rhetorical use of representations)」，這五個不同程度的表徵能力層級是由社會情境下的觀察而得，並以陳述的方式，詳細描述表徵能力的五個層級所應具備的視覺表徵技能，層級二的視覺表徵能力包含了層級一的能力，層級三的視覺表徵能力則包含了層級一和二的的能力，依此類推。

本研究將表徵能力層級解構之後，發現此五個表徵能力層級包含了許多視覺化表徵相關技能，這些技能依照性質的不同共分為五類，本研究稱之為視覺表徵能力的五種成分，茲分述如下：

- (一) 知覺(Perception)：用以指涉學習者在描述表徵時，所能達到的表徵層級(巨觀、次微觀、符號)，共包括四種視覺化技能，一為能依據現象的表面特性產生表徵，也就是以巨觀層級的表徵解釋化學概念；二為能依據現象背後不可觀察的意義產生表徵，也就是以次微觀層級的表徵解釋化學概念；三為能以部分的符號表達現象及其背後不可觀察的意義，例如，以箭頭表達化學反應中的動態及時間本質(Kozma & Russell, 2005)；四為運用符號表達現象及其背後不可觀察的意義，例如，以化學式及化學反應式表達化學概念。
- (二) 詮釋(Interpretation)：用以指涉學習者使用表徵詮釋化學概念時，對表徵詮釋的深入程度，共包括兩個層次，一為依據語法規則產生表徵，也可以說使用表面性的描述詮釋表徵，例如，能以化學式的命名規則產生化學式，依據表徵的形式詮釋化合物的種類等；二為依據語意產生表徵，即能詮釋表徵的背後意義，例如，能依據分子結構的形狀解釋分子的極性及其他性質。

- (三) 轉換和連結(Connection and transformation)：用以指涉學習者使用表徵詮釋化學概念時，在不同的表徵之間轉換的能力，共包括兩個層次，一為能依據語法規則做表徵間的連結或轉換，也就是依據表面特性做表徵之間的連結，例如，以分子中原子的個數決定是否為同種化合物；二為能依據語意做表徵間的連結或轉換，也就是依據概念做表徵之間的連結，例如，能在甲烷的化學式、結構式、電子點式之間做轉換。
- (四) 選擇和評估(Selection and Evaluation)：用以指涉學習者使用表徵詮釋化學概念時，選擇適當表徵來表達特定化學概念的能力，即能依據情境選擇或建構合適的表徵，例如，能以電子點式解釋分子中電子共用的情形。
- (五) 修辭學的使用(Rhetorical use)：用以指涉學習者能運用表徵在社群中進行溝通的能力，藉由使用表徵談論知識的過程，建立在社群中的地位。

表 2-2-1 視覺表徵能力指標(VRAI)

成分 次成分 層級	知覺				詮釋		轉換和連結		選擇和評估
	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法	語意	-
Level 1	巨觀				無		無		無
Level 2	巨觀及部分符號				無		無		無
Level 3	巨觀、次微觀、及符號				語法		語法		無
Level 4	巨觀、次微觀、及符號				語意		語意		無
Level 5	巨觀、次微觀、及符號				語意		語意		選擇及評估

本研究提取表徵能力層級(Representational competence levels)的前四個成分，作為評量學生視覺表徵能力的依據，分別為知覺、詮釋、解釋層次、轉換和連結、選擇和評估，並依據原有的表徵能力層級分級標準，將學生依答題表現高低分為五個層級，稱為視覺表徵能力指標(Visual representational ability index, VRAI) (如表 2-2-1)。本研究關注的是學習者對視覺化表徵理解的情形，也就是說，本研究將研究焦點著重於學習者與文本的互動，而非個體與個體間的互動，由表徵能力層級(Representational competence levels)提取出來的第五個成分「修辭學的使用」，涉及廣義的社會情境，非本研究著重的焦點，是以未將修辭學的使用納入本研究視覺表徵能力指標的評量向度。

二、視覺化表徵的功能與化學學習

視覺化表徵在化學學習中扮演重要的角色，Tuckey & Selvaratnam (1993)指出視覺化工具在教學中的重要角色，包括立體圖表及深度線索的使用及系統性的教導視覺化技能，例如旋轉、反射。使用視覺化工具作為教學媒介的最終目的，就是使學習者在不操弄工具的情況下，能擁有視覺化的技巧。Ferk 等人 (2003) 根據不同學習階段學生的三維度視覺化能力測驗結果，建議無論哪一個學習階段的學生，都需要多一點的實務任務(Practical task)，也就是以實際操作的方式增加三維度視覺化操弄的技巧。而高中的學生學習分子結構時，最初可以用實際的分子模型、圖片及電腦模擬的圖形，作為入門的基礎，因為在 Ferk 等人 (2003) 的研究中顯示，即便大學階段的學生，也不全然瞭解抽象的分子結構表徵，例如立體化學結構式、基模式表徵。Wu, Krajcik & Soloway (2001)以視覺化軟體 eChem 進行教學，大多數的學生在透過視覺化工具學習後，都能理解巨觀及微觀層級的概念，並能夠在化學表徵之間做轉換，視覺化工具也幫助學生進行二維及三維模型之間的連結，增進學生在不同維度表徵間轉換的能力，而這樣的能力也可能增進學生對異構物或極性等化學概念的理解，除此之外，視覺化工具能夠幫助低空

間能力的學生對化合物進行操弄。雖然視覺化軟體增進了學生對化學表徵的理解，但將具體模型及電腦模型同時呈現，對不同學習型態的學生而言，更有學習的助益(Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。Michalchik 等人（2008）以視覺化軟體 ChemSense 進行教學，研究結果顯示，學生由教學前對可觀察現象的表現性描述，到教學後使用化學符號對化學概念進行微觀的描述。

依據二元編碼理論(Dual coding theory) (Paivio, 1986)，在訊息處理的過程中，語言和影像的編碼是兩個分開處理的頻道，但兩者之間又相互連接，因此當語言和影像兩者被二元編碼(Dual-coded)時，訊息較容易在長期記憶中被建立及檢索。有許多研究都證實視覺圖像、動畫及動態表徵有助於學習 (Mayer, 1997; Rieber, 1988, 1990, 1991，引自 Ardac & Akaygun, 2005; Yang et al., 2003)。電腦化的學習環境可以將符號系統(Symbol systems)以配位(Coordinated)的方式呈現，幫助學生在不同的符號系統（巨觀-分子-符號）之間轉換(Kozma, 1991; Ardac & Akaygun, 2004)。

Williamson & Abraham (1995)研究動態與靜態視覺表徵的學習效果，結果指出動態的電腦動畫可以產生較深層的理解及較科學的心智模式，然而研究中也指出，僅僅提供動態的視覺表徵並不絕對產生較好的學習效果。導致這樣結果的可能原因為何？Lowe (2003)指出，動態的視覺表徵較靜態的表徵需要耗費更多的訊息處理過程，尤其對於原本在先前知識上程度就較低的學生而言，要在訊息處理的過程中處理較複雜的動態表徵較為困難。雖然動態的視覺表徵可以提供一些靜態表徵所無法呈現的外顯資訊，但其短暫且具有時間性的本質，對訊息處理過程來說則有更大的需求 (Lowe, 2003)。

Mayer & Moreno (1998，引自 Ardac & Akaygun, 2005)指出，由於分散注意力效應(Split attention effect)，使學習者專注於一種表徵時，容易忽略同時存在的另一種表徵。Lowe (2003)指出，分散注意力效應可能是表徵間的分散注意力效應(Intra-representation split attention effect)，也可能是表徵內的分散注意力效應

(Inter-representation split attention effect)，也就是說，當多重表徵呈現在學習者面前，例如文字和圖畫混合的表徵，可能導致學習者的注意力分散，而當學習者只面臨單一表徵時，倘若此表徵具有時間性的變化，例如動畫，也可能導致學習者的注意力分散。Seddon & Moore (1986)以動畫和實體分子模型進行視覺化教學，由研究結果也推測，導致視覺化教學成效不明顯的原因，可能是因為學生無法同時觀察動態的模型及其他圖表，使得動畫所提供的助益因此被抵銷，他們稱之為有害效應(Deleterious effect)。

第三節 分子相關概念與化學學習

一、物質粒子與化學學習

物質粒子具有以下本質，包括物質由粒子組成、粒子是動態的、粒子之間是真空的、粒子之間具有交互作用(Novick & Nussbaum, 1978)。許多研究曾提出學生對粒子所持有的迷思概念及非科學的心智模式(Novick & Nussbaum, 1978, 1981; Benson, 1993)。其中有些文獻所指出的概念屬於粒子在空間中的分布與運動(Novick & Nussbaum, 1978, 1981; Benson, 1993)，例如，在粒子的運動方面，Novick & Nussbaum (1981)提到，許多學生認為氣體粒子之所以不會掉落到容器底部，是因為粒子靜止於容器當中，而當溫度升高時，則會提升粒子運動的比率，溫度降低時，則會使氣體體積縮小，粒子間的引力增大；在粒子的分布方面，Novick & Nussbaum (1978)指出，許多學生認為氣體粒子的比重小，導致粒子集中於容器上方，也有學生認為氣體粒子會沈積於容器底部，Benson (1993)提到學生常認為粒子集中於容器中心、四周、上方或下方。有的文獻則指出有關粒子間隙的概念，Novick & Nussbaum (1981)研究指出，學生常認為粒子之間有空氣及其他灰塵的存在，Griffiths & Preston (1992)也顯示類似的結果。

二、原子分子概念與化學學習

Peterson, Treagust & Garnett (1986)在研究中發展診斷式測驗，以診斷學生對共價鍵及分子結構的理解，研究中以高中生為對象，所診斷的迷思概念類型包括鍵的極性、分子形狀、分子間作用力、分子的極性、八隅體規則、及晶格。有關鍵的極性，學生常認為所有共價鍵中的共用電子對，都是平等共用的；有關分子形狀，學生常認為分子形狀是由於分子鍵間的排斥力所造成的、鍵的極性會決定分子的形狀、及分子形狀是由於未共用電子對間的排斥造成的；有關分子間作用力，學生常認為分子間作用力是屬於分子內部的力量、分子間作用力存在於共價

固體中、當物質的形狀改變時，共價鍵會被打斷；有關分子的極性，學生常認為一個分子中，倘若原子的電負度皆相等，則稱為非極性分子、當分子中有未共用電子對時，負電荷使分子具有極性；有關八隅體規則，學生常認為氮原子能在鍵結的時候共用五個電子；有關晶格，學生常認為共價性的連續晶格中存在著分子間的黏性。

Griffiths & Preston (1992)以 12 年級學生為對象，探討學生具有哪些原子、分子相關的迷思概念，包括分子的結構、分子的組成、分子的大小、分子的形狀、分子的重量、分子的鍵結、分子的能量、原子的結構、原子的大小、及原子的重量。有關分子的結構，學生常認為水分子沒有固定的形狀、水分子是球狀的物體、水分子是由兩個或多個球狀的微小物體構成的；有關分子的組成，學生常認為水分子裡除了氫原子和氧原子外還包含了其他成分、水分子不一定都由相同的原子組成、每種水分子都由不同數量的原子組成；有關分子的大小，學生常認為每個水分子的大小都不盡相同、當水結冰的時候，水分子會變的比原來大或小、當水變成水蒸氣時，水分子會變的比原來大或小、水分子的大小隨著溫度的不同而改變；有關分子的形狀，學生常認為每個水分子的形狀都不盡相同、容器的形狀會影響水分子的形狀、水分子的形狀會隨著三相的變化而改變；有關分子的重量，學生常認為每個水分子的重量都不盡相同、當水結冰的時候，水分子會變的比原來重、當水變成水蒸氣時，水分子會變的比原來輕、水分子的重量隨著水分子的大小而有所不同；有關分子的鍵結，學生常認為當水結成冰時，水分子與水分子之間會被填滿，毫無空隙。

三、分子層面的化學反應概念與化學學習

Teichert 等人 (2008) 提出學生以分子層次解釋化學現象的困難，學生的分子層次解釋隨著問題情境有所不同，即便回答兩個不同情境問題的時間相隔不到幾分鐘，例如，當學生以分子層次解釋氯化鈉溶液的導電度時，傾向於將氯化鈉視

為離子狀態，當解釋同一溶液的沸點時，傾向於以分子狀態的氯化鈉做解釋。Teichert 等人（2008）認為，學生在分子層次的概念隨著問題情境而改變，不具一致性，學生必須在學習化學的過程中，加強以分子層次的觀點對不同情境做解釋。Cokelez, Dumon, & Taber (2008)指出，學生以原子-分子的層次解釋化學變化的過程時容易產生困難，例如，認為化學變化的過程中，分子是守恆的，或認為化學反應時只有原子的互換，忽略了原子及其所帶的電荷。

第參章 研究方法

基於二元編碼理論(Paivio, 1986; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)，本研究具有兩大主軸，一為視覺化表徵，一為概念理解，由此兩大主軸衍生出三個研究目的，分別為（一）探討學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解情形；（二）探討學生在解決分子概念相關問題時，對概念的理解情形；（三）探討學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連。基於上述研究目的，本研究發展兩大測驗工具，一為視覺表徵能力測驗，另一為分子概念理解測驗，以國中學生為對象進行診斷式測驗。

本章共分為五節，第一節研究設計說明兩大研究主軸的內容及其依據，第二節研究對象說明樣本的來源及取樣方式，第三節研究工具說明兩大測驗工具的內容及依據，第四節說明資料分析的方式及其對應的研究目的與研究工具。

第一節 研究設計

本研究有兩大研究主軸，一為視覺表徵能力，另一為概念理解。在視覺表徵能力的部分，本研究發展視覺表徵能力指標(Visual representational ability index, VRAI)作為評量視覺表徵能力的判準，VRAI 以 Kozma & Russell (2005)提出的表徵能力層級(Representational competence levels)為主要依據，在表徵能力的每個層級中，包含四個主要成分，分別為知覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估；在概念理解的部分，本研究以化學學習中不可或缺的分子概念作為評量的主題，並以過去研究所指出的分子相關迷思概念(Cokelez, Dumon, & Taber, 2008; Griffiths & Preston, 1992; Novick & Nussbaum, 1978; Peterson, Treagust & Garnett, 1986; Teichert et al., 2008; Wu & Shah, 2004)以及教科書中提及的重要概念為依據，共分為五的子概念，分別為物質的三態、物質的性質、物質的粒子觀、原子與分子觀、

及化學反應中的原子與分子觀，這五個子概念依據概念的屬性，分屬於巨觀及微觀概念（如圖 3-1-1）。

就研究問題來說，視覺表徵的主題對應到研究問題（一），視覺表徵主題中包含的四個主要成分，則分別對應到研究問題（一）-1 到（一）-4；概念的主題對應到研究問題（二），概念主題中包含的五個子概念，則分別對應到研究問題（二）-1-1 到（二）-2-3；視覺表徵和概念兩者個交互關係，則對應到研究問題（三），就兩個面向進行探討，分別對應到研究問題（三）-1 及（三）-2。

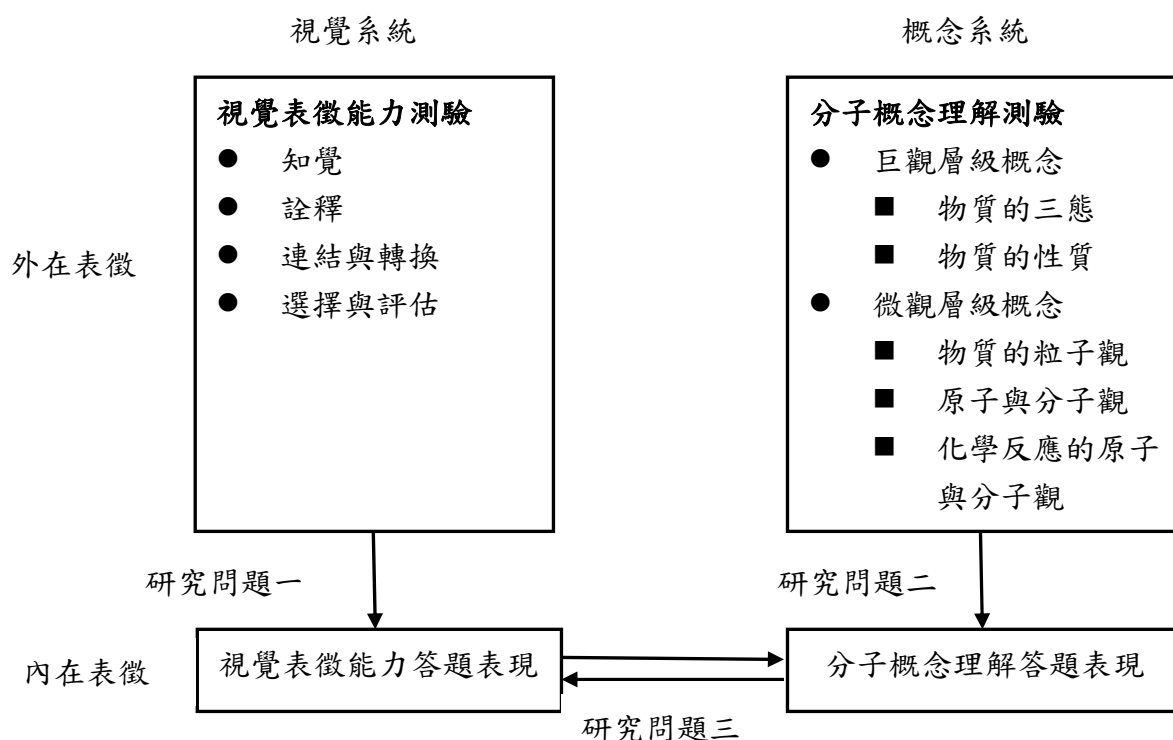


圖 3-1-1 研究架構與研究問題對應

就研究工具來說，本研究以診斷式紙筆測驗，分別探討學生對視覺表徵及概念的理解情形，共有兩個測驗工具，分別為視覺表徵能力測驗、及概念理解測驗。視覺表徵能力測驗主要是為了探討學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解情形，對應到研究問題（一）；概念理解測驗主要是為了探討學生在解決分子概念相關

問題時，對概念的理解情形，對應到研究問題（二）；在表徵能力測驗中有 5 題對應題，測驗的內容與概念理解測驗的其中 5 題一致，這是為了探討學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連，對應到研究問題（三）。

就資料分析來說，本研究以視覺表徵能力指標(Visual representational ability index, VRAI)，作為評量學生視覺表徵能力的依據，「視覺表徵能力指標」是根據 Kozma & Russell (2005)提出之表徵能力層級(Representational competence levels)所設計，已於第二章第二節詳述。視覺表徵能力指標具有兩個向度，第一個向度為視覺表徵的四種成分，包括知覺、詮釋、轉換和連結、選擇和評估；第二個向度為視覺表徵能力的五個層級，由層級一到層級五，層級二的視覺表徵能力包含了層級一的能力，層級三的視覺表徵能力則包含了層級一和二的的能力，依此類推（如表 2-2-1）。

表 2-2-1 視覺表徵能力指標(VRAI)

成分 次成分 層級	知覺				詮釋		轉換和連結		選擇和評估
	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法	語意	-
Level 1	巨觀				無		無		無
Level 2	巨觀及部分符號				無		無		無
Level 3	巨觀、次微觀及符號				語法		語法		無
Level 4	巨觀、次微觀及符號				語意		語意		無
Level 5	巨觀、次微觀及符號				語意		語意		選擇及評估

第二節 研究對象

一、取樣方式

本研究以北、中、南三所國中之七年級到九年級學生為研究對象。七年級的學生尚未正式學習物質的概念，例如，固體、液體、氣體、純物質、及混合物的概念；八年級的學生在正式課程中初學原子的概念，已學習過物質的概念；九年級的學生已於八年級時，學習原子、分子及部分化學反應的概念。

本研究採非隨機立意取樣，其中九年級學生佔研究對象的多數，有以下原因。「視覺表徵能力測驗」及「分子概念理解測驗」涉及的化學概念，以八年級學習的原子、分子及部分的化學反應概念為主要內容。在「視覺表徵能力測驗」中，共有四大類型的試題，即知覺、詮釋、連結與轉換、及選擇與評估，「知覺」的試題主要在測驗學生描述表徵的能力，「詮釋」的試題又分為語法規則的詮釋及語意的詮釋，除了「知覺」及「語法詮釋」的試題之外，其餘類型的試題都蘊含強烈的化學概念基礎；在「分子概念理解測驗」中，共有五個概念主題，即物質的三態、物質的性質、物質粒子觀、原子分子觀、及化學反應的原子分子觀，其中物質的性質、原子分子觀、及化學反應的原子分子觀三個主題的試題描述，皆涉及科學名詞。目前國中各版本的教科書內容編排，大多將化學課程集中於八年級學習，基於上述考量，本研究之施測對象以學習過八年級化學課程之九年級學生為主要施測對象，七年級及八年級之施測人數次之。

二、預試對象

預試對象為桃園縣某國中九年級 25 位學生，已於八年級時，學習原子、分子及部分化學反應的概念，表徵能力測驗的信度 Cronbach's Alpha 為 0.88，概念理解測驗的信度 Cronbach's Alpha 為 0.84。

三、正式施測對象

正式施測對象為桃園縣、台中市、及高雄市三所國中七年級到九年級的學生，七年級 63 人、八年級 64 人、九年級 216 人，共計 343 人。學生的年級與學習成就的關係並非本研究所欲探討的變因，本研究以「視覺表徵能力測驗」及「分子概念理解測驗」分別測驗學生的視覺表徵能力及分子概念理解，學生之化學學習成就，皆以分子概念理解之測驗表現為主要依據，以此依據探討概念理解與視覺表徵能力之關連，並非以年級作為探討的變因。

第三節 研究工具

本研究具有兩個測驗工具，分別為「視覺表徵能力測驗」及「分子概念理解測驗」，兩者所涉及的化學概念，以八年級學習的原子、分子及部分的化學反應概念為主要內容。「視覺表徵能力測驗」以呈現教科書中常見的視覺表徵為主，測驗學生透過視覺表徵理解化學概念的能力；「分子概念理解測驗」以過去研究所指出的分子相關迷思概念(Cokelez, Dumon, & Taber, 2008; Griffiths & Preston, 1992; Novick & Nussbaum, 1978; Peterson, Treagust & Garnett, 1986; Teichert et al., 2008; Wu & Shah, 2004)以及教科書中提及的重要概念為依據，測驗學生對原子、分子相關概念的理解。

一、視覺表徵能力測驗

視覺表徵能力測驗是為了回答研究問題一，試題架構以本研究發展之「視覺表徵能力指標(VRAI)」的四大成分（知覺、詮釋、轉換和連結、選擇和評估）為命題的主要依據，每種成分皆有其對應的試題。

第一個成分「知覺(Perception)」，用以指涉學習者對表徵做表面性描述的能力，「知覺」具有四個次成分，即巨觀、次微觀、部分符號、及符號。「巨觀」用以指涉學習者描述巨觀表徵的能力，例如，能藉由表徵中的資訊，描述兩的不同的容器裝入等量的液體時，液體的形狀會隨容器而改變；「次微觀」用以指涉學習者描述次微觀表徵的能力，例如，能藉由表徵中的資訊，描述水分子的形狀；「部分符號」用以指涉學習者描述部分符號表徵的能力，Kozma & Russell (2005)以非正式符號(nonstandard symbols)指稱用以表達化學反應中動態及時間本質的符號，例如箭頭，但在化學反應方程式中，箭頭屬於正式的科學符號，因此本研究將指稱此類符號的名詞，修改為「部分符號」；「符號」用以指涉學習者描述符號表徵的能力，例如，能描述 H_2O 分子是由 H 和 O 原子所組成的。上述「知覺」

的四個次成分，皆有對應的試題 1 至 2 題，共計 7 題。

第二個成分「詮釋(Interpretation)」，用以指涉學習者詮釋表徵意義的程度，「詮釋」具有兩個次成分，即語法規則(syntactic rules)及語意(semantic meaning)的詮釋。「語法規則」的詮釋，用以指涉學習者依據表徵提供的語法規則詮釋表徵的能力，例如，能詮釋表徵中描述的化學式命名規則、能詮釋化學反應式相關表徵中描述的分子數量比；「語意」的詮釋，用以指涉學習者詮釋表徵背後意義的能力，例如，能詮釋 H_2O 分子並不具有 H_2 的化學特性。上述「詮釋」的兩個次成分，皆有對應的試題 3 至 4 題，共計 7 題。

第三個成分「轉換和連結(Transformation and connection)」，用以指涉學習者連結不同概念，並在不同表徵間做轉換的能力，「轉換和連結」具有兩個次成分，即語法規則(syntactic rules)及語意(semantic meaning)的轉換。「語法規則」的轉換和連結，用以指涉學習者依據表徵的表面特性，連結不同表徵的能力，例如，將同為填充式模型的表徵歸類為同一種類型；「語意」的轉換和連結，用以指涉學習者依據表徵的背後意義，連結不同表徵的能力，例如，能將表達甲烷化合物的立體結構式、球棒式、及填充式模型，歸類為同一種化合物。上述「轉換和連結」的兩個次成分，在試題設計時包含於同一個題目中，換句話說，同一試題同時具有語法規則及語意的選項，共計 2 題。

第四個成分「選擇和評估」，用以指涉學習者選擇合適表徵的能力，「選擇和評估」不具有次成分，學習者在選擇表徵的同時，即對表徵進行評估，例如，能選擇電子密度分布圖，以表達分子中電子分布的概念。「選擇和評估」的題目共計 5 題。

為了使研究結果的陳述能區分視覺表徵能力測驗與分子概念理解測驗，視覺表徵能力測驗的題號設定為 16 到 36 題，共計 21 題（如表 3-3-1）。本測驗工具商請具有化學背景之科學教育領域教授 1 人、具有科學教育碩士背景之國中教師 3 人、以及指導教授，共計 5 人進行專家審查，試題信度 Cronbach's Alpha 為 0.88。

表 3-3-1 視覺表徵能力判準與表徵能力試題對應

成分	次成分	編碼	題號與概念
知覺	巨觀	1-1	16 液體的狀態
			17 溶解與沸點
	次微觀	1-2	21 水分子的重量
			22 水分子的形狀
	部分符號	1-3	23 反應物的判斷
24 生成物的判斷			
符號	1-4	25 水分子的組成	
詮釋	語法規則	2-1	18 原子守恆
			19 去概念化命名規則
			20 概念化命名規則
			27 定比定律
	語意解釋	2-2	26 H ₂ O 的性質
			28 水的生成
29 定比定律			
轉換和連結		3	30 氯化鈉的表徵
			31 烷類的表徵
選擇和評估		4	32 原子的數量及排列
			33 熱含量
			34 電子的分佈
			35 分子的結構
			36 電子的共用

共計 21 題

二、分子概念理解測驗

分子概念理解測驗是為了回答研究問題二，測驗架構分為巨觀層級及微觀層級兩部分，巨觀層級的概念包括物質三態及物質性質，微觀層級的概念包括物質的粒子觀、原子與分子觀、及化學反應的原子分子觀。分子概念理解測驗的試題編號為 01 到 15 題（如表 3-3-2）。本測驗工具商請具有化學教育專長之無機化學領域教授 1 人、具有科學教育碩士背景之國中教師 3 人、以及指導教授，共計 5

人進行專家審查，試題信度 Cronbach's Alpha 為 0.84。

表 3-3-2 分子概念理解測驗雙向細目表

層級	概念	題號與概念
巨觀	物質的三態	01 液體的狀態
		02 物質三態的特徵
		03 物質狀態的判斷
	物質的性質	04 溶解與沸點
		05 純物質的判斷
		06 純物質與混合物
微觀	物質的粒子觀	07 粒子的堆積
		08 氣體粒子
		09 粒子的本質
	原子與分子觀	10 水分子的形狀
		11 水分子的組成
		12 分子的大小
	化學反應的原子分子觀	13 原子與化學反應
		14 分子與化學反應
		15 蠟燭的燃燒

共計 15 題

第四節 資料處理與分析

本研究的資料處理，主要分為三大部分，分別為視覺表徵能力分析、概念理解分析、及視覺表徵能力與概念理解交互關係分析，此三個部分的分析分別與研究問題（一）、（二）、（三）相對應。

一、視覺表徵能力分析

為了回答研究問題（一）：學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解為何？本研究以研究工具一「視覺表徵能力測驗」診斷學生閱讀視覺表徵的能力，視覺表徵能力共有四個主要成分，分別為知覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估。於此，視覺表徵能力分析具有三種分析層次：

- （一）單題分析：以描述性統計及次數分析，分別分析每題的正確率及每個選項的人次分布。
- （二）成分分析：依照視覺表徵能力中的四個成分，分別進行成分內的跨題成對樣本 t 檢定差異比較。
- （三）表徵層級分析：依照學生在表徵能力的四個成分中的表現，探討學生答題表現的趨勢，並依據視覺表徵能力指標(VRAI)，將學生的答題表現編碼，歸類於視覺表徵能力層級中。

二、概念理解分析

為了回答研究問題（二）：學生在解決分子概念相關問題時，對概念的理解情形為何？本研究以研究工具二「概念理解測驗」診斷學生對物質、原子及分子相關概念的理解情形，概念理解測驗共分為兩個層次的概念，一為巨觀概念，另一為微觀概念，巨觀概念包括物質的三態、及物質的性質，共計兩個子概念，微觀概念則包括物質的粒子觀、原子與分子、及化學反應的原子分子觀，共計三個子

概念。於此，概念理解分析具有三種層次：

- (一) 單題分析：以描述性統計及次數分析，分別分析每題的正確率及每個選項的人次分布。
- (二) 子概念分析：依照概念理解測驗中的五個子概念，分別進行相同子概念內的跨題成對樣本 t 檢定差異比較。
- (三) 概念層級分析：依照概念理解測驗中的兩種概念層級，巨觀及微觀，分別進行相同概念層級內的跨題分析與比較。

三、視覺表徵能力與概念理解交互關係分析

為了回答研究問題(三)：學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連為何？本研究以兩個面向進行探討，一為答題表現相關，一為答題表現差異比較。視覺表徵能力與概念理解測驗，在概念上一致的對應試題有：第 1 及 16 題、第 4 及 17 題、第 10 及 22 題、第 11 及 25 題、第 13 及 18 題。

第肆章 研究結果與分析

本章的論述架構對應到研究問題（一）到（三），本章第一節「視覺表徵能力測驗表現」對應到研究問題（一）及其四個次問題；本章第二節「視覺表徵能力層級」整合第一節「視覺表徵能力測驗表現」的研究結果，對應到研究問題（一）；本章第三節「分子概念理解」對應到研究問題（二）及其五個次問題；本章第四節「視覺表徵與分子概念理解」對應到研究問題（三）及其兩個次問題。

第一節 視覺表徵能力測驗表現

本節對應到研究問題（一），學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解為何？依據「視覺表徵能力指標(VRAI)」中的四個成分分別陳述，這四個成分對應到研究問題（一）的四個次問題，並與視覺表徵能力測驗之試題架構一致，包括知覺、詮釋、轉換和連結、選擇和評估。

一、視覺表徵能力各成分表現

此部分回答研究問題（一）「學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解為何？」，依據「視覺表徵能力指標(VRAI)」中的四個成分作為探討視覺表徵能力的四個向度。成分一「知覺」具有四種次成分，分別為巨觀、次微觀、部分符號、以及符號表徵；成分二「詮釋」具有兩種次成分，分別為語法規則及語意詮釋；成分三「轉換和連結」具有兩種次成分，分別為「語法規則的轉換和連結」及「語意詮釋的轉換和連結」，在視覺表徵能力測驗中，「語法規則的轉換和連結」及「語意詮釋的轉換和連結」於同一個題目測驗，當學生以語意詮釋做表徵間的轉換和連結時，則該題答題表現為「正確」，當學生以語法規則（也就是表面特性）做表

徵間轉換和連結時，則該題答題表現為「錯誤」，也就是說，語法規則及語意詮釋包含於同一題目的選項當中；成分四「選擇和評估」不具有次成分，學生在選擇表徵的同時即對表徵進行評估。

由四個成分的成分平均答對率可知，學生在四個成分的答題表現由高而低依次為：知覺、詮釋、選擇和評估、轉換和連結。「知覺」的題目，要求學生對表徵的外觀進行描述，例如，由題目中所呈現的「水分子表徵」，選擇正確描述水分子形狀的答案。「詮釋」的題目，要求學生對表徵進行詮釋，而非僅止於描述表徵的外觀，例如，由題目中所呈現的「水分子生成的反應中，氫氣、氧氣、和水的比值為 2：1：2」，詮釋這個比值所代表的意義。「轉換和連結」的題目，要求學生進行表徵之間的連結，例如，學生依據表徵的表面特性，對表徵進行分類，則屬於「語法規則的轉換和連結」的層級。「選擇和評估」的題目，要求學生在特定情境下選擇合適的表徵，例如，選擇適合用來體現「分子的立體結構」的化學表徵。大體上來說，學生對表徵的外觀進行描述的能力，較對表徵進行詮釋的能力為佳($t=6.932, p<.001$)，而學生對表徵進行詮釋的能力，又較表徵之間的轉換和連結($t=7.709, p<.001$)、選擇和評估($t=8.447, p<.001$)為佳（如表 4-1-1）。學生詳細的答題表現於下段陳述。

表 4-1-1 視覺表徵能力測驗表現在各成分答對率

成分	知覺				詮釋		轉換和連結	選擇和評估
次成分	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法或語意	-
次成分答對率 (%)	71.9	42.1	69.7	46.6	57.3	40.3	-	-
成分答對率 (%)	59.1				50.0		33.8	35.9

二、知覺

(一) 知覺的答對率

此部分回答研究問題(一)-1「學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的知覺為何？」學生對巨觀表徵的理解較對微觀及符號表徵的理解為佳($t=13.530$, $p<.001$)，但在符號表徵中，學生在「部分符號微觀表徵」的答題表現較佳，在「符號微觀表徵」的答題表現較差。「部分符號微觀表徵」的題目，是在測驗學生對化學反應式中表達過程及時間屬性的符號理解，在本研究的設計中，學生需由化學反應式中箭頭的表示，判斷反應物及生成物(如表 4-1-2)。學生對化學反應中用以體現化學過程的符號「箭頭」的理解較佳，此類型的符號對學生而言，較不受到概念的限制。

表 4-1-2 視覺表徵的理解在知覺的答對率

成分	次成分	題號與概念	答對率 (%)	次成分 平均	成分 總平均
知覺	巨觀	16 液體的狀態	79.3	71.9	
		17 溶解與沸點	64.4		
	次微觀	21 水分子的重量	58.0	42.1	
		22 水分子的形狀	26.2		
	部分符號	23 反應物的判斷	70.0	69.7	
		24 生成物的判斷	69.4		
	符號	25 水分子的組成	46.6	46.6	59.1

(二) 知覺的單題答題表現

1. 理解巨觀表徵

由第 16 題「液體的狀態」答題表現可知，79.3%的學生能理解液體的狀態「液

體的形狀會隨容器而改變」，20.7%的學生不理解液體的狀態，認為「液體的形狀不隨容器而改變」，或者認為液體的形狀改變與否，受到某些外在變因的影響，例如液體的溫度、液體的種類（如表 4-1-3）。

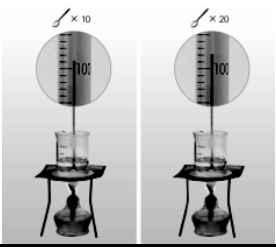
表 4-1-3 液體的體積答題表現

題目		選項	人次(%)
16. 將等量的液體倒入不同的容器中，下列何者正確？		1	6.7
		2	79.3
		3	7.6
		4	6.4

註：灰色網底為正確答案

由第 17 題「溶解與沸點」答題表現可知，64.4%的學生能理解「在等量的水中溶解不同量的食鹽，食鹽水的沸點就不一樣」，26.5%的學生不理解物質的特性，認為食鹽水的沸點不受濃度的影響，例如，在等量的水與不同量的食鹽、或等量的水與等量的食鹽情況下，食鹽水的沸點不會改變、或不一定相同。只有少數的學生認為純水和食鹽水皆有固定的沸點，但對沸點的描述並不正確（如表 4-1-4）。

表 4-1-4 溶解與沸點答題表現

題目		選項	人次(%)
17. 關於水的沸點，下列何者正確？		1	10.5
		2	64.4
		3	16.0
		4	9.0

註：灰色網底為正確答案

2.理解微觀表徵

由第 21 題「水分子的重量」答題表現可知，58.0%的學生能理解「18 克的水有 6×10^{23} 個水分子」，其餘 42%的學生無法理解表徵中「18 克的水」及「 6×10^{23} 個水分子的意義」，其中有 23%的學生誤認 1 克的水有 6×10^{23} 個水分子，18 克的水則有 $6 \times 10^{23} \times 18$ 個水分子。

由第 22 題「水分子的形狀」答題表現可知，只有 26.2%的學生能理解「水分子是由不同的粒子排成彎曲型的」。其餘 73.8%的學生無法理解表徵中的水分子形狀，其中有 35.3%的學生認為水分子是一個球狀的粒子，28.6%的學生則認為水分子沒有固定的形狀。

第 21 及 22 題的資訊呈現於同一個表徵中，然而，只有 16.3%的學生既能理解表徵中所表達的文字意義「18 克的水有 6×10^{23} 個水分子」，又能理解表徵中呈現的視覺資訊「水分子是由不同的粒子排成彎曲型的」。有 36.7%的學生只能理解表徵中的文字資訊，無法理解表徵中的視覺資訊，或者保有他們自己原先對水分子的心像，其中有 19.8%的學生認為「水分子是一個球狀的粒子」，而有 16.9%的學生認為「水分子沒有固定的形狀」（如表 4-1-5）。

表 4-1-5 水分子的重量與水分子的形狀答題表現比較

		22.水分子的形狀(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
21.水分子的重量 (人次，%)	1	1.2	2.3	0.9	2.3	6.7
	2	3.8	3.5	2.0	2.9	12.2
	3	16.9	19.8	5.0	16.3	58.0
	4	6.7	9.6	2.0	4.7	23.0
	總計	28.6	35.3	9.9	26.2	

註：灰色網底為正確答案

3.理解部分符號表徵

由第 23 題「反應物的判斷」答題表現可知，有 70%的學生可能理解表徵中的符號「箭頭」所要表達的意義，認為 H_2 和 O_2 是此化學反應中的反應物。在判斷錯誤的學生中，有 21.3%的學生認為只有 H_2 或 O_2 其中之一是反應物。

由第 24 題「生成物的判斷」答題表現可知，有 69.4%的學生可能理解表徵中的符號「箭頭」所要表達的意義，認為 H_2O 是此化學反應中的生成反應物。其餘有 30.6%的學生將全部或部分的反應物視為生成物。

第 21 及 22 題的資訊呈現於同一個表徵中，有 59.2%的學生完全理解表徵中的符號「箭頭」所要表達的意義，認為在此化學反應中， H_2 和 O_2 是反應物，且 H_2O 是生成物。其餘有部分的學生，僅能正確判斷反應物或生成物的其中一個(如表 4-1-6)。

表 4-1-6 反應物的判斷與生成物的判斷答題表現比較

$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$ 		24.生成物的判斷(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
23.反應物的判斷 (人次，%)	1	0.6	2.6	1.2	3.2	7.6
	2	3.5	2.9	2.0	5.2	13.7
	3	3.8	3.8	3.2	59.2	70.0
	4	1.5	1.2	4.4	1.7	8.7
	總計	9.3	10.5	10.8	69.4	

註：灰色網底為正確答案

4.理解符號表徵

由第 25 題「水分子的組成」答題表現可知，有 46.6%的學生能理解「水分子由氫原子和氧原子組成」。而在 53.4%的答錯學生中，有 25.7%的學生傾向以 H_2O 表徵的表面特徵詮釋水分子的組成，認為「水分子(H_2O)中含有氫氣(H_2)」；其餘 27.7%的學生可能無法理解表徵中的視覺及符號資訊，或者保有他們自己原先對物質組成的觀點，認為「水分子裡除了有氫原子和氧原子外，還包含了其他成分」，或「水分子不一定都由固定的原子組成」(如表 4-1-7)。

表 4-1-7 水分子的組成答題表現

題目	選項	人次(%)
25. 關於水分子的組成，下列何者正確？	1	14.9
$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$	2	25.7
	3	12.8
	4	46.6

註：灰色網底為正確答案

三、詮釋

(一) 詮釋的答對率

此部分回答研究問題(一)-2「學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的詮釋為何？」測驗詮釋的題目具有兩個次類別，一為語法規則，一為語意詮釋，語法規則的題目是為了測驗學生是否能依據語法規則理解表徵，包括化學式的命名規則、表徵的表面意義描述等，都屬於語法規則的層級；語義詮釋的題目是為了測驗學生是否能依據語意理解表徵，包括化學式背後蘊含的化合物性質、數學關係式的詮釋等。由詮釋層次的答對率可知，學生對表徵中體現的語法規則的理解，較語意為佳($t=9.119$, $p<.001$)，語法規則的平均答對率為 57.3%，語意詮釋的平均答對率為 40.3%。語法規則題目的答題表現，答對率大致都介於 50.7%到 60.3%之間，第

19 題「去概念化命名規則」與第 20 題「概念化命名規則」，所需應用的語法規則相同，唯第 19 題採用的是一般代號，第 20 題採用化學式的符號，以瞭解概念的負載對學生詮釋語法規則的影響。學生在第 19 題的答對率為 50.7%，較第 20 題的答對率 57.7%為低，兩題之答題表現達顯著水準($t=2.185, p<0.05$)；語意詮釋題目的答題表現，答對率都介於 37.6%到 43.1%之間（如表 4-1-8）。

表 4-1-8 視覺表徵的理解在詮釋的答對率

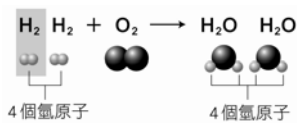
成分	次成分	題目	答對率	次成分平均	成分總平均
詮釋	語法	18 原子守恆	60.3		
		19 去概念化命名規則	50.7		
		20 概念化命名規則	57.7		
		27 定比定律	60.3	57.3	
	語意	26 H ₂ O 的性質	40.2		
		28 水的生成	37.6		
		29 定比定律	43.1	40.3	50.0

（二）詮釋的單題答題表現

1. 語法規則

由第 18 題「原子守恆」答題表現可知，60.3%的學生能理解「發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合」。其餘 39.7%的學生，可能不理解表徵中所體現的原子守恆概念，皆認為化學反應發生時，原子的數量可能會增加或減少，其中有 19.2%的學生認為「發生化學反應時，會產生新的原子，造成原子的數量增加」（如表 4-1-9），選答此選項的學生，可能誤解表徵中的資訊，例如，水分子由三個原子構成，氫氣及氧氣皆由兩個原子構成，也可能受限於對化學反應所持有的先前知識。

表 4-1-9 原子守恆答題表現

題目	選項	人次(%)
18. 關於化學反應時的原子排列，下列何者正確？	1	60.3
	2	10.5
	3	19.2
	4	9.9

註：灰色網底為正確答案

由第 19 題「去概念化命名規則」答題表現可知，50.7%的學生能依據語法規則命名未知的化合物，如題中，某化合物的化學式為 A_nB_{2n+2} ，當 $n=1$ 時，此化合物為 AB_4 。其餘 49.3%的學生無法依據試題中提供的文字線索，理解未知化合物的命名規則。

由第 20 題「概念化命名規則」答題表現可知，57.7%的學生能依據語法規則命名未知的化合物，如題中，烷類的化學式為 C_nH_{2n+2} ，甲烷只有一個碳原子，也就是 $n=1$ 時，此甲烷的化學式為 CH_4 。其餘 42.3%的學生無法依據試題中提供的文字線索，理解烷類的命名規則。

如前述，第 19 和 20 題具有相同的語法規則，有 36.4%的學生能同時在概念化與去概念化的情境中，運用語法規則命名未知化合物。然而，學生在第 20 題「概念化命名規則」的答題表現較第 19 題「去概念化命名規則」佳，經過顯著考驗後，發現兩題之答題表現達顯著水準($t=2.185, p<0.05$)。可能的原因為，學生要透過文字陳述理解語法規則，需要某種程度的邏輯推理能力，而文字本身就屬於一種抽象的表徵，在沒有先備概念的前提下，理解文字所傳達的語法規則，仍然較為抽象，因此，這可能導致學生在概念化情境下的答題表現較去概念化情境下的答題表現為佳。

此外，由學生在第 19 和 20 題的答題趨勢來看，除了兩題都答對的 36.4%學生外，其餘學生只有 9.9%在兩題都選答同一個選項，也就是說，大多數的學生

都沒有察覺兩題屬於相同的語法規則（如表 4-1-10）。

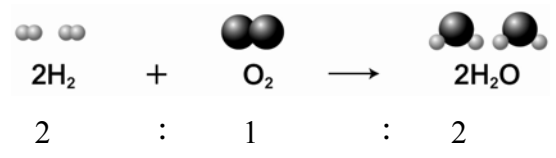
表 4-1-10 去概念化命名規則及概念化命名規則答題表現比較

C_nH_{2n+2}		20.概念化命名規則 (人次，%)				
A_nB_{2n+2}		1	2	3	4	總計
19.去概念化命名規則 (人次，%)	1	2.9	2.6	9.0	3.2	17.8
	2	2.6	5.0	8.8	3.5	19.8
	3	5.5	5.8	36.4	2.9	50.7
	4	2.6	3.5	3.5	2.0	11.7
	總計	13.7	16.9	57.7	11.7	

註：灰色網底為正確答案

由第 27 題「定比定律」答題表現可知，有 60.3%的學生能理解表徵中體現的定比概念，「兩個 H_2 和一個 O_2 反應，會生成兩個 H_2O 」。其餘 39.7%的學生可能無法理解表徵中「2：1：2」及反應方程式中「係數」的意義，其中有 21.3%的學生認為「一個 H_2 和一個 O_2 反應，會生成一個 H_2O 」，選答此選項的學生可能忽略或不理解反應方程式中係數所代表的意義，也可能受限於對化學反應的先前知識，而有 10.8%的學生將原子的個數當作反應物與生成物的比值，認為「四個 H_2 和兩個 O_2 反應，會生成六個 H_2O 」（如表 4-1-11）。

表 4-1-11 定比定律答題表現

題目	選項	人次(%)
27. 關於 H_2O 的生成，下列何者正確？ 	1	7.6
	2	10.8
	3	60.3
	4	21.3

註：灰色網底為正確答案

2.語意詮釋

由第 26 題「H₂O 的性質」答題表現可知，40.2%的學生能理解符號 H₂O 的化學意義，認為「H₂O 包含 H 和 O 原子，是一種純物質」。有 59.8%的學生無法理解符號 H₂O 蘊含的背後意義，其中有 31.5%的學生認為「H₂O 包含 H 和 O 原子，是一種混合物」，而有 19.5%的學生認為「H₂O 分子中會有 H₂ 的性質」，上述兩群學生偏向於以表徵所觀察到的表面特徵詮釋表徵，有 8.7%的學生將 H₂O 視為水的英文代號，無法顯示水的其他性質（如表 4-1-12）。

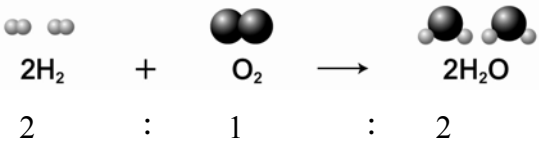
表 4-1-12 H₂O 的性質答題表現

題目	選項	人次(%)
26. 關於 H ₂ O，下列何者正確？	1	8.7
$\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$	2	19.5
	3	31.5
	4	40.2

註：灰色網底為正確答案

由第 28 題「水的生成」答題表現可知，有 37.6%的學生能理解「H₂ 分子和 O₂ 分子反應後，形成 H₂O 分子，H₂O 分子的化學性質與 H₂ 不同」。其餘 62.4%的學生可能無法理解「H₂ 分子和 O₂ 分子反應生成 H₂O 分子」及「H₂O 的性質」，其中有 21.6%的學生瞭解「H₂ 分子和 O₂ 分子反應後，形成 H₂O 分子」，但認為「H₂O 分子具有 H₂ 的特性」，其餘學生則認為 H₂O 分子的生成，是分子和原子、或原子和原子間的反應，且 H₂O 分子具有 H₂ 的特性或 H 和 O 的特性（如表 4-1-13）。

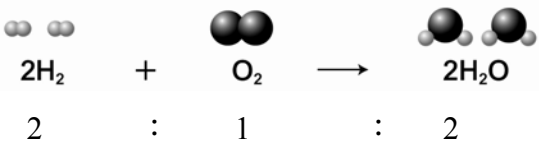
表 4-1-13 水的生成答題表現

題目	選項	人次(%)
28. 關於 H_2O 的生成，下列何者正確？	1	20.7
	2	20.1
	3	21.6
	4	37.6

註：灰色網底為正確答案

由第 29 題「定比定律」答題表現可知，有 43.1% 的學生理解表徵中比值的意義，認為「2 : 1 : 2 代表反應中 H_2 、 O_2 和 H_2O 的分子數量比例」。其餘 56.9% 的學生可能無法理解表徵中比值的意義，其中有 30.6% 的學生認為「2 : 1 : 2 代表反應中 H_2 、 O_2 和 H_2O 的原子數量比例」，有 13.1% 的學生則將表徵中的比值僅僅視為化學中用來計算的一種規則（如表 4-1-14）。

表 4-1-14 定比定律答題表現

題目	選項	人次(%)
29. 圖中的「2 : 1 : 2」代表的意義為何？	1	13.1
	2	43.1
	3	30.6
	4	13.1

註：灰色網底為正確答案

四、轉換和連結

(一) 轉換和連結的答對率

此部分回答研究問題(一)-3「學生在閱讀視覺表徵時，轉換和連結表徵的能力為何？」轉換和連結具有兩種次成分，即依據語法規則的連結與轉換、和依據語意詮釋的連結與轉換。連結與轉換即學生能做不同表徵間的連結，或將一個表徵轉換為表達同一概念的另一個表徵。所謂依據語法規則，即學生能依據表徵間的表面特性，或者可觀察的規則，進行表徵間的連結與轉換；所謂語意詮釋，即學生能依據表徵的意義，進行表徵間的連結與轉換。

測驗轉換和連結的題目只有一個類別，即在同一個題目中，同時包含「語法規則」及「語意」的選項，「轉換和連結」題目的平均答對率為 33.8%，其中第 31 題「烷類的表徵」答題正確率為 43.1%，第 30 題「氯化鈉的表徵」答題正確率為 24.5% (如表 4-1-15)。

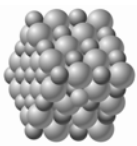
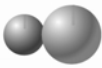
表 4-1-15 視覺表徵的理解在轉換和連結的答對率

成分	次成分	題目	答對率	次成分平均	成分總平均
轉換和	語法規則及	30 氯化鈉的表徵	24.5		
連結	語意詮釋	31 烷類的表徵	43.1	-	33.8

(二) 轉換和連結的單題答題表現

由第 30 題「氯化鈉的表徵」答題表現可知，有 24.5%的學生能以語意詮釋做表徵之間的連結，將氯化鈉晶格堆積、離子化合物、及化學式歸類為同一種化合物。其餘 75.5%的學生以語法規則，或稱表面特性，做表徵之間的連結，有 27.4%的學生將將氯化鈉晶格堆積、及離子化合物歸類為同一類，不認為符號 NaCl 是在指稱同一種化合物，26.2%的學生將所有具有立體球型的表徵歸類為同一種化合物，21.9%的學生將氯化鈉的離子離子化合物及化學式 NaCl 歸類為同一種化合物，推測有部分學生觀察到，這兩個選項表面都看似「兩個原子組合而成」之故 (如表 4-1-16)。

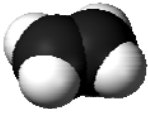
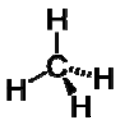
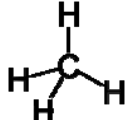
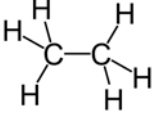
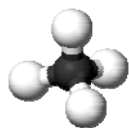
表 4-1-16 氯化鈉的表徵答題表現

題目	選項	人次(%)
30. 下圖 ABCD 中，哪些有可能在表示同一種化合物？	1	26.2
1 ACD AD ABD BD	2	27.4
A.  B. NaCl C.  D. 	3	24.5
	4	21.9

註：灰色網底為正確答案

由第 31 題「烷類的表徵」答題表現可知，有 43.1% 的學生能以語意詮釋做表徵之間的連結，將甲烷的立體結構式、結構式、球棒式、及填充式模型歸類為同一種化合物。其餘 56.9% 的學生以表面特性做表徵之間的連結，有 23.0% 的學生將甲烷和乙烷的結構式歸類為同一種化合物，有 21.3% 的學生將甲烷和乙烷的填充式模型歸類為同一種化合物，有 12.5% 的學生僅將甲烷的立體結構式和結構式歸類為同一種化合物（如表 4-1-17）。

表 4-1-17 烷類的表徵答題表現

題目	選項	人次(%)
31 下列是化學中常用以表示化合物的圖形，哪些可以歸類為同一種化合物？	1	12.5
A.  B.  C. 	2	23.0
D.  E.  F. 	3	21.3
① BC ② CE ③ AD ④ BCDF	4	43.1

註：灰色網底為正確答案

五、選擇和評估

(一) 選擇和評估的答對率

此部分回答研究問題(一)-4「學生在閱讀視覺表徵時，選擇和評估表徵的能力為何？」選擇和評估不具有次成分，所謂選擇和評估，即學生能在特定情境下選擇合適的表徵，學生在選擇表徵的同時，即對表徵的合適性進行了評估。測驗選擇和評估的題目只有一個類別，平均答對率為35.9%。其中第32及33題的答對率較高，介於46.1%到46.6%之間，第34、35及36題的答對率較低($t=6.815$, $p<.001$)，介於28.6%到29.2%之間，第32及33題所體現的概念與化學反應有關，第34、35及36題所體現的概念則與分子本身的屬性有關(如表4-1-18)。

表 4-1-18 視覺表徵的理解在選擇和評估的答對率

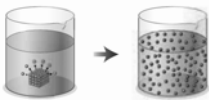
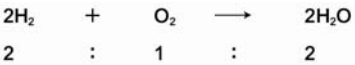
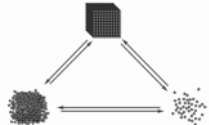
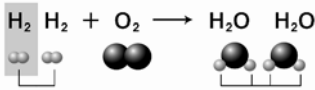
成分	次成分	題目	答對率	次成分平均	成分總平均
選擇和 評估	-	32 原子的排列	46.1	-	35.9
		33 熱含量	46.6		
		34 電子的分布	28.6		
		35 分子的結構	28.9		
		36 電子的共用	29.2		

(二) 選擇和評估的單題答題表現

由第32題「原子的排列」答題表現可知，有46.1%的學生能選擇合適的表徵來表達「發生化學變化時，原子排列方式的改變情形」，此表徵同時包含了化學反應方程式及原子排列的圖像式表徵。其餘53.9%的學生可能無法選擇和評估合適的表徵來表達對應的概念，有28.3%的學生選擇了代表「物質三態的粒子狀態」的表徵，有10.8%的學生則選擇了代表「擴散」的表徵，這兩個表徵表面上都具有「原子排列方式改變的情形」，但都不屬於化學反應；有14.9%的學生選擇了具有反應方程式及比值的符號表徵，但此表徵中不具有「原子排列方式」的訊息，學生可能無法兼顧文字敘述的所有資訊，也有可能受限於對化學反應的先前知識

(如表 4-1-19)。

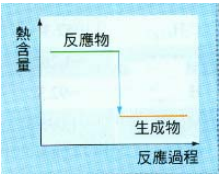
表 4-1-19 原子的排列答題表現

題目	選項	人次(%)
32. 若要表示「發生化學變化時，原子排列方式的改變情形」，下列哪一個圖形最適合用來表達這個概念？	1	10.8
1	2	14.9
 	3	28.3
 	4	46.1

註：灰色網底為正確答案

由第 33 題「熱含量」答題表現可知，有 46.6% 的學生可能能夠選擇表徵及其對應的概念，選擇與評估表徵不但必須瞭解表徵蘊含的語意，也要有評估合適性的後設能力，有 67.0% 的學生能理解此表徵用於表達「熱含量」的概念，但只有 46.6% 的學生理解此表徵體現的是放熱反應。有 17.2% 的學生認為此表徵體現的是「化學反應中溫度的變化」，有 15.7% 的學生認為此表徵體現的是「化學反應中反應速率的變化」(如表 4-1-20)。

表 4-1-20 熱含量答題表現

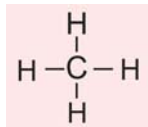
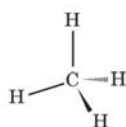
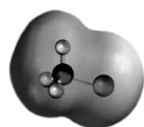
題目	選項	人次(%)
33. 下圖最適合用來表達哪一個化學概念？	1	46.6
	2	20.4
	3	17.2
	4	15.7

註：灰色網底為正確答案

由第 34 題「電子的分布」答題表現可知，有 28.6% 的學生能選擇「電子密度圖」來表示「分子中電子分布的情形」。其餘 71.4% 的學生無法評估並選擇與概念對應的合適表徵，有 31.8% 及 30.3% 的學生，分別選擇結構式及立體結構式來表示分子中電子分布的情形（如表 4-1-21）。

表 4-1-21 電子的分布答題表現

題目	選項	人次(%)
34. 若想要表示「分子中電子分佈的情形」，下列哪一種圖形最適合？	1	28.6
	2	30.3
	3	31.8
1	4	9.3



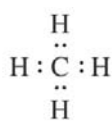
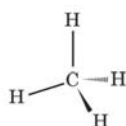
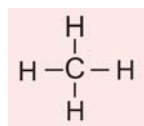
CH₄

註：灰色網底為正確答案

由第 35 題「分子的結構」答題表現可知，有 28.9% 的學生能選擇「立體結構式」來表示「分子的立體結構」。其餘 71.1% 的學生無法評估並選擇與概念對應的合適表徵，有 39.7% 的學生選擇「結構式」來表示分子的立體結構，有 22.4% 的學生選擇「電子點式」來表示分子的立體結構（如表 4-1-22）。

表 4-1-22 分子的結構答題表現

題目	選項	人次(%)
35. 若想要表示「分子的立體結構」，下列哪一種圖形最適合？	1	39.7
	2	28.9
	3	22.4
1	4	9.0



CH₄

註：灰色網底為正確答案

由第 36 題「電子的共用」答題表現可知，29.2%的學生能理解此表徵適合用來體現「有的分子中，電子共用的情形相同；有的分子中，電子共用的情形不同」。有 30.0%的學生則認為此表徵適合用來體現「每一種分子所帶的電荷數量不同」，28.0%的學生則認為此表徵適合用來體現「每一種分子的結構皆不相同」(如表 4-1-23)。

表 4-1-23 電子的共用答題表現

題目	選項	人次(%)
36. 下圖最適合用來表達哪一個化學概念？ 	1	29.2
	2	12.8
	3	30.0
	4	28.0

註：灰色網底為正確答案

六、小結

由四個成分的整體答題表現來說，學生對表徵的外觀進行描述的能力，較對表徵進行詮釋的能力為佳，而學生對表徵進行詮釋的能力，又較表徵之間的轉換和連結、選擇和評估為佳。

由單一成分的答題表現來說，在成分一「知覺」的答題表現顯示，學生對巨觀表徵的理解較次微觀及符號表徵為佳。而在巨觀表徵的兩個題目中，又以「液體的形狀」答題表現較「食鹽水的沸點」為佳，以表徵的角度來說，「液體的形狀」的表徵呈現的是單一訊息，而「食鹽水的沸點」的表徵呈現的是多重訊息，包含了食鹽的量、溶液的溫度等，因此學生對巨觀表徵的詮釋，可能受限於同一個表徵中所呈現資訊的數量，也可能受限於先前知識。在次微觀表徵的兩個題目「水分子的重量」與「水分子的形狀」中，雖然兩題的資訊皆呈現於同一表徵中，但「水分子的重量」偏向於對文字表徵的理解，而「水分子的形狀」則偏向於對

表徵的描述，在此向度的答題表現中，學生對文字表徵的理解較佳，而對表徵的理解較差，學生可能忽略或不理解表徵中的視覺資訊，也有可能持有他們自己原先對水分子的心像，例如，以物質粒子或巨觀的角度詮釋水分子的形狀。在包含符號表徵的題目中，學生在「部分符號微觀表徵」的答題表現較「符號微觀表徵」為佳，學生較能理解表徵中的符號「箭頭」所要表達的意義，可能這一類型的符號對學生而言，較不具有概念負載，而在符號「化學式」的答題表現可知，許多學生傾向以化學式的表面特徵詮釋表徵。

在成分二「詮釋」的答題表現顯示，學生在語法規則的詮釋較語意詮釋為佳，在語法規則詮釋的兩個題目中，學生在「概念化命名規則」的答題表現較「去概念化命名規則」為佳，且達顯著差異，這顯示學生對「以文字表徵體現的語法規則」的理解，可能需要以概念為基礎，因此「概念化命名規則」對學生而言，較「去概念化命名規則」容易理解，但「概念化命名規則」及「去概念化命名規則」兩題屬於同一種語法規則，由答題表現顯示，許多學生未能察覺兩題的相關性。在語意詮釋的答題表現顯示，學生可能偏向於以表徵所觀察到的表面特徵詮釋表徵。

在成分三「轉換與連結」的答題表現顯示，許多學生以原子的數量或表徵的形式對化合物進行分類，學生可能偏向於以表徵所觀察到的表面特徵詮釋表徵。在成分四「選擇與評估」的答題表現顯示，學生對具有過程的表徵評估，較不具有過程的表徵評估為佳，也可以說，當表徵所體現的概念牽涉分子本身的認識時，學生的答題表現較差，此結果與成分一和二中「微觀表徵」的答題表現一致。由「分子中電子分布的情形」及「分子的立體結構」兩題之答題表現可知，學生對表徵中呈現的三維資訊理解有限，例如，將結構式或電子點式視為具有三維資訊的表徵，未察覺立體結構式所體現的三維資訊。研究結果也顯示，許多學生可能無法兼顧文字敘述的所有資訊，或者受限於對化學反應的先前知識，而傾向以表徵中呈現的表面性資訊對表徵及概念進行連結。

第二節 視覺表徵能力層級

依照「視覺表徵能力指標(VRAI)」的向度，本章第一節「視覺表徵能力測驗表現」為視覺表徵能力的縱向探討，由四個表徵成分探討學生在不同成分的表現以及單題答題表現；本節「視覺表徵能力層級」則為橫向的探討，由每一位學生在四個表徵成分的表現，將學生編碼進入視覺表徵能力層級，此部分回答研究問題（一）學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解為何？

一、視覺表徵能力指標分級標準

依據「視覺表徵能力指標(VRAI)」，視覺表徵能力共有四種主要成分，分別為知覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估。每個成分分別有對應的試題二到五題（如表 3-3-1），學生在每個主成分的對應試題中，需達到相對多數的答對率，也就是 50%以上的答對率，才算是具有該成分的能力，例如，成分四「選擇和評估」的對應試題共有 5 題，則學生需有 3 題以上回答正確，才算是具有選擇和評估的能力。視覺表徵能力共有五個層級，依照學生在四種成分的答題表現，編碼進入五個層級中（如表 4-2-1）。

表 4-2-1 視覺表徵能力指標分級標準

成分	知覺				詮釋		轉換和連結		選擇和評估
次成分	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法	語意	-
層級									
Level 5	1	1	1	1	1	1	1		1
Level 4	1	1	1	1	1	1	1		0
Level 3	1	1	1	1	1	0	0		0

Level 2	1	0	1	0	0	0	0	0
Level 1	1	0	0	0	0	0	0	0
Level 0	0	0	0	0	0	0	0	0

註：該成分具有 50%以上答對率為 1；該成分不到 50%答對率為 0

二、與視覺表徵能力層級相符的答題表現

由視覺表徵能力層級的分析結果，整體來說，有 74.6%學生的答題表現與原有的「視覺表徵能力指標(VRAI)」相符，其餘 25.4%學生的答題表現與原有的「視覺表徵能力指標」不一致，由層級高到層級低依序論述。

有 11.4%的學生達到層級五，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象及符號表徵體現的微觀現象，能以語意詮釋表徵，並依照語意做表徵間的連結，能評估並選擇合適的表徵與及對應的概念。這一類的學生在表徵能力的四個主要成分皆達 50%以上的答對率，由此可知，學生在「選擇和評估」的單題答題表現中，雖然單題答對率介於 28.6%到 46.6%之間，但許多學生未能在「選擇和評估」的表徵能力達到 50%以上的答對率，也就是說，有 11.4%的學生能同時在「選擇和評估」的所有題目回答正確，這些學生可以算是具有選擇和評估合適表徵的能力（如表 4-2-2）。

有 10.8%的學生達到層級四，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象及符號表徵體現的微觀現象，能以語意詮釋表徵，並依照語意做表徵間的連結，然而他們無法評估並選擇合適的表徵與及對應的概念，例如，將甲烷和乙烷的填充式模型歸類為同一種化合物。由層級四及層級五的學生分布比率可知，雖然在「轉換和連結」的單題答題表現中，答對率分別為 24.5%及 43.1%，而在「詮釋」的「語意詮釋」單題答題表現中，答對率介於 37.6%到 43.1%但大多數的學生未能

在「轉換和連結」及「語意詮釋」的表徵能力達到 50%以上的答對率，也就是說，有 22.2%的學生能同時在「轉換和連結」的所有題目回答正確，這些學生可以算是具有在表徵之間做轉換和連結的能力（如表 4-2-2）。

有 12.2%的學生達到層級三，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象及符號表徵體現的微觀現象，僅能以語法規則理解表徵，例如， H_2O 分子中會有 H_2 的性質。並依照語法規則做表徵間的連結，他們無法評估並選擇合適的表徵與及對應的概念。這一類的學生無論在概念化或非概念化的情境下，都可以透過抽象的文字表徵理解語法規則，例如，能成功命名未知化合物的化學式。然而，由層級三到層級五的學生分布比率可知，雖然在「語意詮釋」成分的「語法規則」單題答題表現中，答對率介於 50.7%到 60.3%，而在「轉換與連結」中大多數的學生也依據表面特性對表徵進行分類，並且在「符號微觀」的答題表現為 46.6%，但大多數的學生未能同時在「語法規則」及「符號微觀」的表徵能力達到 50%以上的答對率，也就是說，有 34.4%的學生能同時在「語法規則」的題目回答正確，這些學生可以算是具有以語法規則詮釋表徵的能力，分屬於層級三到層級五（如表 4-2-2）。

有 9.0%的學生達到層級二，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象，能理解部分符號表徵體現的化學過程，例如，化學反應式中的箭頭體現反應物與生成物。由單一成分的答題表現可知，學生在「圖像式微觀表徵」的平均答對率為 42.1%，在「部分符號微觀表徵」的平均答對率為 69.7%，這些學生之中有 43.4%算是具有描述圖像式微觀表徵以及理解部分符號的能力，分屬於層級二到層級五。除此之外，有 23.3%的學生達到層級一，這些學生僅能理解表徵體現的巨觀概念。有 7.9%的學生未達到任何表徵能力層級（如表 4-2-2）。

表 4-2-2 與原架構相符之表徵能力層級人數百分比

成分	知覺				詮釋		轉換和連結		選擇和	人次
次成分	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法	語意	評估	(%)
層級										
Level 5	巨觀、次微觀、符號				語意		語意		選擇及 評估	11.4
Level 4	巨觀、次微觀、符號				語意		語意		無	10.8
Level 3	巨觀、次微觀、符號				語法		語法		無	12.2
Level 2	巨觀及部分符號				無		無		無	9.0
Level 1	巨觀				無		無		無	23.3
Level 0	無				無		無		無	7.9
總計										74.6

三、與視覺表徵能力層級不同的答題表現

有 25.4%學生的答題表現與原有的「視覺表徵能力指標」不一致，由層級高到層級低依序論述。有 5.0%的學生達到層級 A，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象及符號表徵體現的微觀現象，能以語意詮釋表徵，但以語法規則做表徵間的連結，能評估並選擇合適的表徵與及對應的概念。這一類的學生在表徵能力的四個成分皆達 50%以上的答對率，包括認識論立場、表徵形式、詮釋、及選擇和評估，唯在轉換和連結表徵時，採用語法規則，也就是以表面特性對表徵進行分類。有 1.5%的學生達到層級 B，這些學生能理解表徵體現的巨觀及微觀現象及符號表徵體現的微觀現象，僅能以語法規則理解表徵，但依照語意做表徵

間的連結，無法評估並選擇合適的表徵與及對應的概念（如表 4-2-3）。

有 3.2%的學生達到層級 C，這些學生可以理解表徵體現的巨觀現象，但無法理解表徵體現的微觀現象，僅以語法規則詮釋表徵，並以語法規則做表徵之間的連結和轉換。有 8.7%的學生達到層級 D，這些學生僅能理解表徵體現的巨觀現象，能以語法規則詮釋表徵，並依據語法規則連結和轉換表徵。當該分類的人數百分比小於 1%時，則併入其他類，有 7.0%學生的答題表現無法歸類，當學生在四個成分中的整體表現越差，與原架構相異的情形則越多，以層級二的學生為例，僅 9.0%學生的學習表現與視覺表徵能力指標原先制訂的標準相符，整體答題表現較差的學生之中，常不具有一定的模組(Pattern)。

表 4-2-3 與原架構相異之表徵能力層級人數百分比

成分	知覺				詮釋		轉換和連結		選擇和	人次
次成分	巨觀	微觀	部符	符號	語法	語意	語法	語意	評估	(%)
層級										
A	巨觀、次微觀、符號				語意		語法		選擇及 評估	5.0
B	巨觀、次微觀、符號				語法		語意		無	1.5
C	巨觀、符號				語法		語法		無	3.2
D	巨觀				語法		語法		無	8.7
其他										7.0
總計										25.4

四、小結

由上可知，75.6%學生的答題表現與視覺表徵能力指標相符合，然而，其中有 32.4%的學生不具有任何視覺表徵相關技能，而有 22.2%學生的答題表現則屬於層級一及層級二，這顯示有許多學生雖然能描述巨觀圖像式表徵所體現的現象，但對符號、微觀表徵的理解以及表徵的詮釋則受到限制，這些學生甚至無法藉由語法規則理解表徵。

層級五、層級四和層級 A 學生的答題表現均屬於高表現，在此群學生之中，只有 1.2%的學生屬於層級五，其餘 9.3%的學生屬於層級四，3.8%的學生屬於層級 A，這顯示即便高表現的學生，也可能無法在所有詮釋表徵的情境下，採取語意層次的詮釋。

第三節 分子概念理解

本節對應到研究問題（二）學生在解決分子概念相關問題時，對概念的理解情形為何？分子概念理解測驗依概念的層級分為巨觀和微觀兩部分，巨觀層級包括物質的三態及物質的性質兩個概念，微觀層級則包括物質粒子觀、原子與分子觀、及化學反應的原子與分子觀。由分子概念理解測驗之整體答對率可知，學生在巨觀層級概念的答題表現較微觀層級佳，巨觀層級的概念總平均為 67.9%，微觀層級的概念總平均為 46.8%。

一、巨觀概念

此部分對應到研究問題（二）-1「學生在解決分子概念相關問題時，對巨觀層次概念的理解情形為何？」巨觀層級包括兩個概念，一為物質的三態、一為物質的性質，分別對應到研究問題（二）-1-1 及研究問題（二）-1-2。物質三態的概念題主要是為了測驗學生對三態現象的巨觀認識，例如，判斷日常觀察可見物質的狀態、三態物質的特徵；物質性質的概念題主要是為了測驗學生對純物質或混合物性質的瞭解，例如，純物質與混合物的區別、日常生活中的純物質或混合物。由巨觀概念的答題表現可知，學生對物質三態的概念理解比對物質性質的理解好，物質三態概念的平均答對率為 76.6，物質性質概念的平均答對率為 59.1。物質三態的答題表現中，學生在第 1 題「液體的狀態」及第 3 題「物質狀態的判斷」表現較好，答對率分別為 82.5%及 87.5%，第 2 題「物質三態的各種特徵」則表現較差，答對率為 59.8%；物質性質概念的答對率則介於 55.1%到 62.7%之間（如表 4-3-1）。

表 4-3-1 概念理解在巨觀概念的答對率

層級	概念	題目	答對率	概念總平均	層級總平均
巨觀	物質的三態	01 液體的狀態	82.5	76.6	
		02 物質三態的特徵	59.8		
		03 物質狀態的判斷	87.5		
	物質的性質	04 溶解與沸點	55.1	59.1	
		05 純物質的判斷	59.5		
		06 純物質與混合物	62.7		

(一) 物質的三態

由第 1 題「液體的狀態」答題表現可知，82.5%的學生能理解液體的狀態「液體的形狀會隨容器而改變」，17.5%的學生不理解液體的狀態，認為「液體的形狀不隨容器而改變」，或者認為液體的形狀改變與否，受到某些外在變因的影響，例如液體的溫度、液體的種類（如表 4-3-2）。

表 4-3-2 液體的狀態答題表現

題目	選項	人次(%)
1. 有關物質三態的敘述，下列哪一個正確？	1	3.8
	2	82.5
	3	6.1
	4	7.6

註：灰色網底為正確答案

由第 2 題「物質三態的各種特徵」答題表現可知，59.8%能理解「雪及霧並非都是水的固態」，40.2%的學生對物質三態的各種特徵可能不甚理解，其中有 18.4%的學生認為「氣體的體積可隨著容器大小不同而改變」是錯誤的選項，而「雪及霧都是水的固態」則是正確的選項。雖然物質的三態屬於巨觀層級的概念，但對學生而言仍有許多無法觀察的性質，例如，氣體的體積（如表 4-3-3）。

表 4-3-3 物質三態的各種特徵答題表現

題目	選項	人次(%)
2. 有關物質三態的敘述，下列哪一個 <u>錯</u> <u>誤</u> ？	1	59.8
	2	10.5
	3	11.4
	4	18.4

註：灰色網底為正確答案

由第 3 題「物質狀態的判斷」答題表現可知，87.5%的學生能理解「貝殼是固態、海水是液態」，其餘 12.5%的學生可能不理解如何判斷物質的狀態（如表 4-3-4）。

表 4-3-4 物質狀態的判斷答題表現

題目	選項	人次(%)
3. <u>小平</u> 到海邊揀貝殼時，發現每一個貝殼 外觀都有所差異，但每一個都具有固定 的形狀和體積，試問他手中的貝殼與眼 前的海水各屬於哪一種狀態？	1	87.5
	2	4.1
	3	6.1
	4	2.3

註：灰色網底為正確答案

（二）物質的性質

由第 4 題「溶解與沸點」答題表現可知，55.1%能理解「在等量的水中溶解不同量的食鹽，會影響食鹽水的沸點」，44.9%的學生可能不理解物質的特性，認為食鹽水的沸點不受濃度的影響，例如，在等量的水與不同量的食鹽、或等量的水與等量的食鹽情況下，食鹽水的沸點不會改變、或不一定相同，其中有 18.1%的學生認為「在不同量的水中溶解等量的食鹽，沸點都是相同的」（如表 4-3-5）。

表 4-3-5 溶解與沸點答題表現

題目	選項	人次(%)
4. 關於食鹽水的沸點，下列哪一個正確？	1	11.1
	2	55.1
	3	15.7
	4	18.1

註：灰色網底為正確答案

由第 5 題「純物質的判斷」答題表現可知，59.5%的學生能理解「酒精是純物質」，40.5%的學生可能對純物質的判斷不甚理解，其中有 26.5%的學生認為「食鹽水是純物質」，其餘 14.0%的學生認為醬油或果汁為純物質。

由第 6 題「純物質與混合物的特性」答題表現可知，62.7%的學生能理解「純物質具有一種成分，混合物具有兩種或兩種以上的成分」，其餘 37.3%的學生可能不理解純物質與混合物的區別，其中有 24.5%的學生認為「純物質組成均勻，混合物組成不均勻」。

第 5 題「純物質的判斷」及第 6 題「純物質與混合物的特性」具有概念的相關性，第 5 題為判斷日常生活中的純物質，第 6 題則需瞭解純物質與混合物的定義，只有 41.1%的學生同時瞭解純物質與混合物的定義，並能正確判斷日常生活中的純物質，有 14.9%的學生能判斷酒精為純物質，但認為「純物質組成均勻，混合物組成不均勻」，有 13.4%的學生能選擇「純物質具有一種成分，混合物具有兩種或兩種以上的成分」的選項，卻判斷「食鹽水為純物質」。這顯示即便物質的性質屬於巨觀層級的概念，仍有部分學生未將科學的定義與日常生活現象做正確的連結（如表 4-3-6）。

表 4-3-6 純物質的判斷與純物質與混合物的特性答題表現比較

		6. 純物質與混合物的特性(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
5.純物質的判斷 (人次，%)	1	7.3	13.4	3.8	2.0	26.5
	2	1.7	2.3	0.6	1.2	5.8
	3	0.6	5.8	0.6	1.2	8.2
	4	14.9	41.1	1.7	1.7	59.5
	總計	24.5	62.7	6.7	6.1	

註：灰色網底為正確答案

二、微觀概念

此部分對應到研究問題(二)-2「學生在解決分子概念相關問題時，對微觀層次概念的理解情形為何？」微觀層級包括三個概念，一為物質的粒子觀、一為原子與分子觀、另一為化學反應的原子與分子觀，分別對應到研究問題(二)-1-1及研究問題(二)-1-2。物質粒子觀的概念題主要是為了測驗學生對物質三態的微觀理解，例如，固體、液體、或氣體的粒子狀態；原子與分子觀的概念題主要是為了測驗學生對原子或分子本身的認識，例如，水分子的形狀、組成、及大小；化學反應的原子與分子觀概念題主要是為了測驗學生對化學反應發生時，原子與分子狀態的理解，例如，原子守恆、物質不滅。由微觀概念的答題表現可知，學生對原子與分子本身的認識較少，答對率為 37.2%，而在物質的粒子觀與化學反應的原子分子觀則表現較好，答對率分別為 52.7%及 50.6%。物質粒子觀的答題表現中，學生在第 9 題「粒子的本質」表現較差，答對率為 34.7%；原子與分子觀的答題表現中，學生在第 11 題「水分子的組成」表現較好，答對率為 52.8%；化學反應的原子分子觀的答題表現，則介於 49.6%到 51.6%之間（如表 4-3-7）。

表 4-3-7 概念理解在微觀概念的答對率

層級	概念	題目	答對率	概念總平均	層級總平均
微觀	物質的 粒子觀	07 粒子的堆積	63.6	52.7	
		08 氣體粒子	59.8		
		09 粒子的本質	34.7		
	原子與 分子觀	10 水分子的形狀	21.9	37.2	
		11 水分子的組成	52.8		
		12 分子的大小	37.0		
	化學反應 的原子分 子觀	13 原子與化學反應	51.6	50.6	
		14 分子與化學反應	50.7		
		15 蠟燭的燃燒	49.6		

(一) 物質的粒子觀

由第 7 題「粒子的堆積」答題表現可知，63.6%的學生能理解「固體是由緊密堆疊的粒子組成的」，其餘 36.4%的學生可能不理解物質三態的粒子狀態，有 28.0%的學生認為氣體或液體是由緊密堆疊的粒子組成的，只有 8.5%的學生對氣體持有連續觀（如表 4-3-8）。

表 4-3-8 粒子的堆積答題表現

題目	選項	人次(%)
7. 有關物質三態的微觀敘述，下列哪一個正確？	1	63.6
	2	13.4
	3	14.6
	4	8.5

註：灰色網底為正確答案

由第 8 題「氣體粒子」答題表現可知，59.8%的學生能理解「氣體是由粒子組成的，彼此之間有空隙，會隨機的運動」，其餘 40.2%的學生可能不理解氣體粒子的觀點，其中有 19.2%的學生認為「氣體是由一團連續的物質組成的，彼此之間沒有空隙，會隨機的運動」，共計 30%的學生對氣體持有連續觀（如表 4-3-9）。

表 4-3-9 氣體粒子答題表現

題目	選項	人次(%)
8. 有關氣體的微觀敘述，下列哪一個正確？	1	10.2
	2	59.8
	3	10.8
	4	19.2

註：灰色網底為正確答案

由第 9 題「粒子的本質」答題表現可知，34.7%的學生理解「組成物質的粒子之間是真空的」，其餘 65.3%的學生可能對粒子的本質不甚瞭解。有 35.9%的學生認為「組成物質的粒子是動態的」是錯誤的選項，20.1%的學生則認為「組成物質的粒子之間具有交互作用」（如表 4-3-10）。

表 4-3-10 粒子的本質答題表現

題目	選項	人次(%)
9. 有關物質的敘述，下列哪一個 <u>錯誤</u> ？	1	9.3
	2	35.9
	3	34.7
	4	20.1

註：灰色網底為正確答案

(二) 原子與分子觀

由第 10 題「水分子的形狀」答題表現可知，21.9%的學生理解「水分子是由不同的粒子排成彎曲型的」，其餘 78.1%的學生可能對水分子的形狀不甚理解。其中有 41.1%的學生傾向以日常經驗的巨觀觀點詮釋水分子的形狀，認為「水分子的形狀是不規則的」，有 25.7%的學生則以物質粒子的觀點詮釋水分子的形狀，認為「水分子是一個球狀的粒子」(如表 4-3-11)。

表 4-3-11 水分子的形狀答題表現

題目	選項	人次(%)
10. 有關水分子的形狀，下列哪一個正確？	1	41.1
	2	25.7
	3	11.4
	4	21.9

註：灰色網底為正確答案

由第 11 題「水分子的組成」答題表現可知，52.8%的學生理解「水分子是由氫原子和氧原子組成的」，其餘 47.2%的學生可能不理解水分子的原子組成，其中有 33.5%的學生認為水分子的原子數量不固定或組成不固定，13.7%的學生則認為水分子裡除了有氫原子和氧原子外，還包含了其他成分。

第 6 題「純物質與混合物的特性」與第 11 題「水分子的組成」具有概念的相關性，只有 35.0%的學生同時理解「純物質具有一種成分，混合物具有兩種或兩種以上的成分」及「水分子是由氫原子和氧原子組成的」，有 20.1%的學生能正確回答純物質與混合物的定義，卻認為水分子的原子數量不固定或組成不固定。這些學生可能沒有將物質的概念與化合物的概念做正確的連結，或者說這些學生將原子與分子的概念類別錯置在不正確的概念系統下(如表 4-3-12)。

表 4-3-12 純物質與混合物的特性與水分子的組成答題表現比較

		11. 水分子的組成(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
6. 純物質與混合物的特性 (人次，%)	1	3.2	3.2	4.1	14.0	24.5
	2	7.6	11.4	8.7	35.0	62.7
	3	2.0	1.7	1.7	1.2	6.7
	4	0.9	1.2	1.5	2.6	6.1
	總計	13.7	17.5	16.0	52.8	

註：灰色網底為正確答案

由第 12 題「分子的大小」答題表現可知，37.0%的學生可以理解「相同溫度下，每個水分子的大小皆相同」，其餘 63.0%的學生可能不理解分子大小的概念。其中有 40.5%的學生認為水分子的大小會隨著三態的變化而改變，22.4%的學生則認為「每個水分子的大小都不盡相同」(如表 4-3-13)。

表 4-3-13 分子的大小答題表現

題目	選項	人次(%)
12. 有關分子大小的敘述，下列哪一個正確？	1	24.2
	2	16.3
	3	22.4
	4	37.0

註：灰色網底為正確答案

(三) 化學反應的原子分子觀

由第 13 題「原子與化學反應」答題表現可知，51.6%的學生能理解「發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合」，其餘 48.4%的學生可能不具有原子守恆的概念，有 21.0%的學生認為「發生化學反應時，會產生新的原子，造成原子的數量增加」，27.4%的學生則認為化學反應發生時，或造成原

子數量的增加或減少（如表 4-3-14）。

表 4-3-14 原子與化學反應答題表現

題目	選項	人次(%)
13. 有關化學反應時原子的組成，下列哪一個正確？	1	51.6
	2	14.6
	3	21.0
	4	12.8

註：灰色網底為正確答案

由第 14 題「分子與化學反應」答題表現可知，有 50.7%的學生能理解「發生化學反應時，一定會產生新的分子」，其餘 49.3%的學生可能不理解化學反應的意義，其中有 21.0%的學生將原子與分子的概念混淆，認為「發生化學反應時，一定不會產生新的分子」，28.3%的學生則認為化學反應的發生一定伴隨著分子數量的增加或減少。

由第 15 題「蠟燭的燃燒」答題表現可知，有 49.6%的學生理解「蠟燭燃燒會產生新的物質，部分產物散失到空氣中」，其餘 50.4%的學生可能不理解蠟燭燃燒的反應，其中有 21.3%的學生認為蠟燭燃燒後質量越來越輕，是因為「蠟燭燃燒後原本固態的物質變為液態」，有 19.2%的學生認為「蠟燭燃燒並不會產生新的物質，只是原有物質消耗不見」。

第 14 題「分子與化學反應」與第 15 題「蠟燭的燃燒」具有概念的相關性，只有 31.5%的學生能將蠟燭燃燒的現象與化學反應的分子變化做正確的連結，有 9.9%的學生認為發生化學反應時，一定不會產生新的分子，卻認為蠟燭燃燒會產生新的物質，6.4%的學生認為蠟燭燃燒不會產生新的物質，卻認為發生化學反應時，一定會產生新的分子。學生可能未將蠟燭燃燒的現象與化學反應的概念做正確的連結，也可能在不同的問題情境下提取不同的概念回答問題（如表 4-3-15）。

表 4-3-15 分子與化學反應與蠟燭的燃燒答題表現比較

		15.蠟燭的燃燒(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
14.分子與化學反應 (人次，%)	1	4.7	9.9	4.4	2.0	21.0
	2	6.4	31.5	8.2	4.7	50.7
	3	5.2	5.5	5.8	1.7	18.4
	4	2.9	2.6	2.9	1.5	9.9
	總計	19.2	49.6	21.3	9.9	

註：灰色網底為正確答案

三、小結

總的來說，學生對巨觀層級概念的理解較微觀層級概念為好。單以巨觀層級的概念來說，當概念牽涉物質的特性，例如，物質的性質、物質三態的特徵時，則學生的答題表現較那些可直接觀察的概念為低。單以微觀層級的概念來說，學生在物質粒子觀的概念表現較原子與分子觀為佳，甚至以物質粒子的觀點詮釋原子與分子，例如，水分子是一個球狀的粒子；而學生在「化學反應中的原子分子觀」答題表現則較「原子與分子觀」為佳，這顯示學生較能理解化學反應時原子與分子可能會產生的改變，例如，不會產生新的原子、會產生新的分子，但學生對原子與分子本身的認識則較少。此結果與學生在表徵能力的表現相呼應，學生在選擇與評估表徵時，對牽涉過程的表徵評估，較未牽涉過程的表徵評估為佳。

第四節 視覺表徵與分子概念理解

本研究有兩大測驗工具，一為概念理解測驗，一為視覺表徵能力測驗，在題號方面，1 到 15 題為概念理解測驗，16 到 36 題為視覺表徵能力測驗。概念理解測驗與視覺表徵能力測驗中，各有 5 題對應題，測驗一致的概念，以瞭解學生閱讀表徵對答題表現的影響，第 1 和 16 題為「液體的狀態」，第 4 和 17 題為「溶解與沸點」，第 10 和 22 題為「水分子的形狀」，第 11 和 25 題為「水分子的組成」，第 13 和 18 題為「原子守恒」。本節對應到研究問題（三）學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連為何？

一、概念理解測驗與視覺表徵能力測驗答題表現比較

學生在第 1 和 16 題的答題表現，相關性為顯著相關($p < 0.001$)，學生在「視覺表徵能力測驗」中閱讀巨觀表徵時，答對率略微下降，但未達顯著差異($t = 1.289$, $p > 0.05$)。有 70.3% 的學生無論閱讀表徵與否，皆選擇正確答案「液體的形狀會隨容器而改變」，有 8.9% 的學生在能閱讀表徵後選擇正確的答案，但有 12.3% 的學生在閱讀表徵後，反而由正確的選項轉為錯誤的選項（如表 4-3-1）。

表 4-3-1 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在液體的狀態答題表現比較

		16 液體的狀態(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
1 液體的狀態 (人次，%)	1	1.2	1.7	0.3	0.6	3.8
	2	4.4	70.3	4.7	3.2	82.5
	3	0.3	2.0	2.0	1.7	6.1
	4	0.9	5.2	0.6	0.9	7.6
	總計	6.7	79.3	7.6	6.4	

註：灰色網底為正確答案

學生在第 4 和 17 題的答題表現，相關性為顯著相關($p < 0.001$)，學生在「視覺表徵能力測驗」中閱讀次微觀表徵時，正確率上升，且達顯著差異($t = -3.089$, $p < 0.01$)。有 43.7% 的學生無論閱讀表徵與否，皆選擇正確答案「在等量的水中溶解不同量的食鹽，食鹽水的沸點就不一樣」，有 20.7% 的學生在能閱讀表徵後選擇正確的答案，但有 11.4% 的學生在閱讀表徵後，反而由正確的選項轉為錯誤的選項，其中有 7.0% 的學生在閱讀表徵後，選擇「在等量的水中溶解等量的食鹽，食鹽水的沸點不一定相同」的錯誤答案（如表 4-3-2）。

表 4-3-2 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在溶解與沸點答題表現比較

		17 溶解與沸點(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
4 溶解與沸點 (人次，%)	1	1.7	6.1	2.3	0.9	11.1
	2	0.9	43.7	7.0	3.5	55.1
	3	2.9	7.3	3.5	2.0	15.7
	4	5.0	7.3	3.2	2.6	18.1
	總計	10.5	64.4	16.0	9.0	

註：灰色網底為正確答案

學生在第 10 和 22 題的答題表現，相關性為顯著相關($p < 0.001$)，學生在「視覺表徵能力測驗」中閱讀次微觀表徵時，答題正確率略微上升，但未達顯著差異($t = -1.812$, $p > 0.05$)。有 14.0% 的學生能無論閱讀表徵與否，皆選擇正確答案「水分子是由不同的粒子排成彎曲型的」，有 12.2% 的學生在能閱讀表徵後選擇正確的答案，但有 7.9% 的學生在閱讀表徵後，反而由正確的選項轉為錯誤的選項。有 20.7% 的學生在閱讀表徵前後，仍持有「水分子沒有固定的形狀」的想法，有 11.7% 的學生在閱讀表徵前後，將原本「水分子沒有固定的形狀」的想法轉換為「水分子是一個球狀的粒子」的想法（如表 4-3-3）。

表 4-3-3 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在水分子的形狀答題表現比較

		22 水分子的形狀(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
10 水分子的形狀 (人次，%)	1	20.7	11.7	3.5	5.2	41.1
	2	3.8	15.7	1.7	4.4	25.7
	3	1.5	3.5	3.8	2.6	11.4
	4	2.6	4.4	0.9	14.0	21.9
	總計	28.6	35.3	9.9	26.2	

註：灰色網底為正確答案

學生在第 11 和 25 題的答題表現，相關性為顯著相關($p < 0.001$)，學生在「視覺表徵能力測驗」中閱讀次微觀表徵時，答題正確率下降，且達顯著差異($t = 2.265$, $p < 0.05$)。有 37.0% 的學生能在閱讀表徵前及閱讀表徵後皆選擇正確答案「水分子由氫原子和氧原子組成」，有 9.6% 的學生在能閱讀表徵後選擇正確的答案，但有 15.7% 的學生在閱讀表徵後，反而由正確的選項轉為錯誤的選項。其中，有 10.5% 的學生在閱讀表徵後，選擇「水分子(H_2O)中含有氫氣(H_2)」的錯誤答案（如表 4-3-4）。

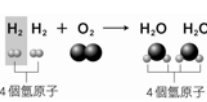
表 4-3-4 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在水分子的組成答題表現比較

$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$ 		25 水分子的組成(人次，%)				
		1	2	3	4	總計
11 水分子的組成 (人次，%)	1	4.4	4.1	1.5	3.8	13.7
	2	4.7	5.5	3.2	4.1	17.5
	3	3.2	5.5	5.5	1.7	16.0
	4	2.6	10.5	2.6	37.0	52.8
	總計	14.9	25.7	12.8	46.6	

註：灰色網底為正確答案

學生在第 13 和 18 題的答題表現，相關性為顯著相關($p < 0.001$)，學生在「視覺表徵能力測驗」中閱讀語法規則表徵時，答題正確率上升，且達顯著差異($t = -3.242, p < 0.01$)。有 43.1% 的學生無論閱讀表徵與否，皆選擇正確答案「發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合」，有 17.2% 的學生在能閱讀表徵後選擇正確的答案，但有 8.4% 的學生在閱讀表徵後，反而由正確的選項轉為錯誤的選項。在閱讀表徵前，有 21.0% 的學生持有「發生化學反應時，會產生新的原子，造成原子的數量增加」的錯誤想法，閱讀表徵後，仍有 9.9% 的學生持有此想法（如表 4-3-5）。

表 4-3-5 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗在原子守恆答題表現比較

		18 原子守恆(人次, %)				
		1	2	3	4	總計
13 原子守恆(人次, %)	1	43.1	2.9	3.5	2.0	51.6
	2	6.7	2.9	3.5	1.5	14.6
	3	5.5	2.9	9.9	2.6	21.0
	4	5.0	1.7	2.3	3.8	12.8
	總計	60.3	10.5	19.2	9.9	

註：灰色網底為正確答案

二、小結

總的來說，學生的概念理解與視覺表徵能力表現具有高度相關。當表徵所體現的概念牽涉化學過程時，學生對表徵的理解較好，具有過程屬性的表徵，可能有助於概念的理解，例如，第 13 和 18 題的答題表現達顯著進步，學生能透過表徵理解「發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合」；當表徵所體現的概念牽涉原子與分子本身的認識時，則學生對表徵的理解有限，例如，第 10 和 22 題的答題表現未達顯著進步，而第 11 和 25 題的答題表現則達顯

著退步，學生在閱讀水分子的圖像表徵和符號表徵後，傾向以水分子表面特徵詮釋水分子的組成；當表徵所體現的概念與日常現象直接相關時，表徵對學生的助益較不明顯，例如，第 1 和 16 題的答題表現未達顯著差異；當表徵所體現的概念與日常現象無直接相關，但屬於巨觀層級時，表徵對學生的助益明顯，例如，第 4 和 17 題的答題表現達顯著進步。

表 4-3-6 概念理解測驗與視覺表徵能力測驗答題表現比較

概念理解測驗與視覺表徵能力測驗對應題		T 值	P 值
主題	1-16 液體的狀態	1.289	.198
	4-17 溶解與沸點	-3.089	.002
	10-22 水分子的形狀	-1.812	.071
	11-25 水分子的組成	2.265	.024
	13-18 原子守恆	-3.242	.001

第五章 結論與建議

本研究有兩大主軸，一為視覺表徵能力，一為分子概念理解，在視覺表徵能力的部分，依據「視覺表徵能力指標(VRAI)」，對學生之視覺表徵能力進行縱向及橫向的探討，縱向的探討為視覺表徵能力指標中的四大成分，橫向探討為視覺表徵能力指標中的五個層級；在分子概念理解的部分，則以概念的巨觀及微觀層級作為探討的面向。本章第一節為結論與討論，說明視覺表徵能力及分子概念理解的研究結果，以及與預期相符合及不符合的結果；第二節為研究建議，分為教學及研究建議。

第一節 結論與討論

本節依照兩個面向論述，一為視覺化表徵與分子概念理解學習表現，一為表徵能力指標，視覺化表徵與分子概念理解學習表現主要在說明學生在視覺表徵能力測驗及分子概念理解測驗中的研究結果，表徵能力指標主要在說明解構表徵的面向調整。

一、視覺化表徵與分子概念理解學習表現

本研究將學習表現分為三個部分，包括視覺表徵能力、分子概念理解、及視覺表徵能力與概念理解的關係。在視覺表徵能力的部分，共分為知覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估五個成分分別探討，分別對應到研究問題（一）及其四個次問題，茲分述如下。

(一) 視覺化表徵的學習表現

1. 學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的知覺為何？

由單一成分的面向來說，成分一「知覺」的研究結果顯示，學生對巨觀表徵的理解（答對率=71.9%）較次微觀表徵（答對率=42.1%）及符號表徵（46.6%）為佳。由巨觀表徵的研究結果來看，學生對表徵的理解可能與兩個因素有關，第一，當表徵中呈現的是單一訊息時（答對率=71.9%），較多重訊息（答對率=64.4%）的表徵理解為佳；第二，即便表徵所體現的同為巨觀層級的概念，當此概念可在日常經驗中觀察（答對率=71.9%）時，較無法在日常經驗觀察的概念（答對率=64.4%）理解為佳。由次微觀表徵的研究結果來看，學生可能忽略或不理解圖像式微觀表徵中的視覺資訊，也有可能持有對分子的先前知識（答對率=26.2%），即便只需要對表徵做表面性的描述，微觀表徵對學生而言還是概念負載的，例如，學生傾向於以物質粒子或巨觀的角度詮釋水分子的形狀，此結果與過去研究相呼應(Ben-Zvi et al., 1986，引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。由符號表徵的研究結果來看，學生對較不具有概念負載的「部分符號微觀表徵」（答對率=69.7%）理解較具有概念負載的「符號微觀表徵」（答對率=46.6%）為佳，且許多學生傾向於以化學式的表面特徵詮釋表徵，此結果與過去研究相呼應(Ben-Zvi et al., 1988，引自 Wu & Shah, 2004)。

2. 學生在閱讀視覺表徵時，詮釋的層次有何異同？

成分二「詮釋」的研究結果顯示，學生在語法規則的詮釋（答對率=57.3%）較語意詮釋（答對率=40.3%）為佳，由語法規則的研究結果來看，學生在「概念化命名規則」的答題表現（答對率=57.7%）較「去概念化命名規則」（答對率=50.7%）為佳，且達顯著差異($p < 0.05$)，此結果與預期不一致，依照學生在視覺表徵能力中其他成分的表現可知，概念負載的表徵對學生而言較不

具有概念負載的表徵困難，例如，符號「箭頭」較「化學式」容易理解，「語法規則」較「語意詮釋」答題表現為佳。然而，由「概念化命名規則」與「去概念化命名規則」的研究結果來看，對學生而言，「概念化命名規則」容易理解，可能原因為，「以文字體現的語法規則」的理解對學生而言較為抽象，因此需要以概念為基礎助於理解。即便上述兩題屬於同一種語法規則，許多學生仍未能察覺兩題的相關性。在語意詮釋的答題表現顯示，學生偏向於以表徵所觀察到的表面特徵詮釋表徵。

3. 學生在閱讀視覺表徵時，轉換和連結表徵的能力有何異同？

成分三「轉換與連結」的研究結果顯示，只有部分學生能依據語意對表徵進行分類（答對率=33.8%），其餘大部分學生偏向於以表徵所觀察到的表面特徵詮釋表徵，例如，以原子的數量或表徵的形式對化合物進行分類。

4. 學生在閱讀視覺表徵時，選擇和評估表徵的能力有何異同？

由成分四「選擇與評估」的研究結果顯示，學生在「選擇與評估」的某一類型題目中的答題表現（答對率=46.1%、46.6%）較另一類型題目的答題表現（答對率=28.6%、28.9%、29.2%）為佳，經過歸納之可能原因有二，第一，當表徵所體現的概念具有過程屬性時，較易被學生理解，換句話說，當表徵所體現的概念牽涉分子本身的認識時，學生較不理解；第二，在答題表現（答對率=28.6%、28.9%、29.2%）較低的題目中，含有一維、二維、及二維半的分子結構表徵，學生對表徵中呈現的三維資訊理解有限，無法由二維的表徵知覺三維的空間相對位置（邱美虹和傅化文，1993；廖焜熙和邱美虹，1996）。此部分研究結果也顯示，學生傾向以表徵中呈現的表面性資訊對表徵及概念進行連結，與成分二「詮釋」研究結果相符。

5.學生在閱讀視覺表徵時，對表徵的理解有何異同？

縱觀五個成分的整体結果，學生對表徵的外觀進行描述的能力（答對率=59.1%），較對表徵進行詮釋的能力（答對率=50.0%）為佳，而學生對表徵進行詮釋的能力，又較表徵之間的轉換和連結（答對率=33.8%）、選擇和評估（答對率=35.9%）為佳。

由表徵能力層級的研究結果可知，高表現的學生（層級四、層級五、層級A）也可能無法在所有詮釋表徵的情境下，採取語意層次的詮釋；低表現的學生（層級一、層級二、層級C、層級D）僅能描述巨觀表徵所體現的現象，可以藉由語法規則理解表徵，但即便僅需對微觀表徵的外觀進行描述，也無法選擇出正確答案；有一部分的學生甚至無法對巨觀表徵進行描述（層級零）。

（二）分子概念的學習表現

在分子概念理解的部分，分為巨觀層級及微觀層級概念，巨觀層級包括兩個概念，分別為物質的三態、及物質的性質，微觀層級包括三個概念，分別為物質粒子關、原子與分子觀、及化學反應的原子與分子觀，分別對應到研究問題（二）及其次問題，茲分述如下。

1.學生在解決分子概念相關問題時，對巨觀層級概念的理解情形有何異同？

總的來說，學生對巨觀層級概念（答對率=67.9%）的理解較微觀層級概念（答對率=46.8%）為好。以巨觀層級的研究結果來說，當概念牽涉物質的特性時，則學生的答題表現較那些可直接觀察的概念為低，此結果與視覺表徵能力測驗「巨觀表徵」一致。

2.學生在解決分子概念相關問題時，對微觀層級概念的理解情形有何異同？

以微觀層級的研究結果來說，學生在物質粒子觀的概念表現（答對率=52.7%）較原子與分子觀（答對率=37.2%）為佳，甚至以物質粒子的觀點詮釋原子與分子；在「化學反應中的原子分子觀（答對率=50.6%）」答題表現較「原子與分子觀」為佳，可能的原因為，現階段學生對化學過程相關概念的理解較原子與分子本身的理解為佳。此結果與學生在表徵能力的表現相呼應，學生在「選擇與評估表徵」時，對牽涉過程的表徵評估，較未牽涉過程的表徵評估為佳。Cokelez 等人(2008)指出學生以原子分子的層次詮釋化學變化的過程時的困難，例如，認為化學變化的過程中，分子是守恆的，此結果與本研究學生之答題表現(21.0%)相符。

（三）視覺化表徵與分子概念學習表現的相關

此部分回答研究問題（三）學生對視覺表徵的理解與分子概念的關連為何？總的來說，學生的概念理解與視覺表徵能力表現具有高度相關，此結果與過去研究呼應(Ekstrom, et al., 1976；引自 Gobert, 2007；Seddon et al., 1982，引自 Seddon & Moore, 1986; Ferk et al., 2003; Gilbert, 2007; Briggs & Bodner, 2007; Rapp, 2007; Gobert, 2007；廖焜熙和邱美虹，1996)。學生在閱讀某些表徵後，答題表現達顯著進步，第一，當表徵所體現的概念牽涉化學過程時，學生對表徵的理解較好，此結果在表徵能力測驗及概念理解測驗中一致；第二，當表徵所體現的概念與日常現象無直接相關，但屬於巨觀層級時，表徵對學生的理解有明顯的助益。學生在閱讀某些表徵後，答題表現達顯著退步，當表徵所體現的概念牽涉原子與分子本身的認識時，則學生對表徵的理解受到限制。

二、視覺表徵能力指標(VRAI)

表徵具有多維度的特徵，學生對表徵的理解更受多面向的變因影響。本研究在探討視覺表徵能力時，共分為四個面向探討，又稱為四種表徵的成分，包括知

覺、詮釋、轉換和連結、及選擇和評估。成分一「知覺」偏向於對表徵本身的描述，成分二「詮釋」偏向於對表徵的語法及語意理解，「轉換和連結」及「選擇和評估」則偏向於對表徵的後設認知。由此可知在解構表徵時，具有三種主要的層次，層次一為表徵的知覺，層次二為表徵的詮釋，層次三為表徵的後設認知，茲分述如下（如表 5-1-1 & 5-1-2）：

（一）表徵的知覺：本研究將表徵的知覺區分為四個成分，分別是巨觀、次微觀、部分符號及符號表徵，學生在巨觀、次微觀及符號三個不同層級表徵以及單一層級內的答題表現皆有差異，這顯示學生對表徵的理解可能受到詮釋表徵的深入程度影響，而表徵本身的層級或屬性，並非單一的變因。

（二）表徵的詮釋：本研究將表徵的詮釋區分為兩個成分，分別是語意詮釋及語法規則，詮釋並非表徵本身的屬性，而是學習者賦予表徵的意義。學習者可以由語法規則描述巨觀表徵，也可以以語意詮釋巨觀表徵，所謂語法規則的詮釋即對表徵的表面描述，所謂語意詮釋即詮釋表徵所體現的概念。同理，學習者可以對微觀表徵及符號表徵做語法規則的描述及語意的詮釋，因此，表徵的詮釋與表徵的屬性、表徵的轉換與連結、表徵的選擇與評估，應該屬於垂直的面向。

（三）表徵的後設認知：由研究結果可知，表徵的連結與轉換、及表徵的選擇與評估，對學生而言難度一致，且都涉及跨表徵的連結與比較，因此，將此二成分歸類於同一種能力當中，稱為表徵的後設認知。表徵的後設認知泛指跨表徵的連結與轉換、選擇與評估。在此具有兩項較高層次的技能，第一，學生或許能夠詮釋單一表徵，但無法連結各種對應到相同概念的不同表徵，這種連結包括了不同層次的表徵連結，例如，巨觀、次微觀及符號表徵的連結；第二，學生或許能夠詮釋單一表徵，但無法在各種不同形式的表徵中，選擇可以表達某些概念特性的適當表徵。表徵的後設認知是牽涉跨層級、跨概念的表徵理解。與表徵的詮釋同理，學習者可以僅止於以

語法規則連結表徵，也就是依據表面特性判斷表徵之間的關連，也可以以語意詮釋表徵之間的連結；學習者可以僅止於以語法規則評估合適的表徵，例如，將具有電子點式的表徵，用以詮釋分子的電子密度分布的概念，而學習者也可以以語意評估適當的表徵。

表 5-1-1 表徵能力指標修正及定義

		表徵的知覺			表徵的後設認知	
		巨觀	微觀	符號	連結與轉換	比較與評估
表徵的詮釋	語法規則	能對巨觀表徵進行表面的敘述	能對微觀表徵進行表面的敘述	能對符號表徵進行表面的敘述	能以表面特性做表徵間的連結與轉換	能以表面特性評估表徵的合適性
	語意詮釋	能理解巨觀表徵所體現物體的性質	能理解微觀表徵所體現物體的性質	能理解符號表徵所體現物體的性質	能依據表徵的意義做表徵間的連結與轉換	能依據表徵的意義評估表徵的合適性

表 5-1-2 表徵能力指標修正及舉例

		表徵的知覺			表徵的後設認知	
		巨觀	微觀	符號	連結與轉換	比較與評估
表徵的詮釋	語法規則	水的形狀會隨容器而改變	水分子是由不同的粒子排成彎曲型的	H ₂ O 分子中會有 H ₂ 的性質	甲烷和乙烷的填充式模型屬於同一種化合物	電子點式適合用來表達「分子中的電子密度分布」的概念
	語意詮釋	液體的體積固定，形狀會隨容器而改變	水分子是由氫原子和氧原子鍵結而成	H ₂ O 除了代表水分子的組成外，還代表水分子的結構	甲烷的電子點式、填充式、球棒式模型、及化學式，都代表同一種化合物	電子密度圖適合用來表達「分子中的電子密度分布」的概念

回到以二元編碼的觀點探究視覺表徵能力，即便學生只接收到視覺表徵的資訊，也需要由概念系統及視覺系統共同處理，當學生在視覺及概念的連結屬於表面性的連結時，則屬於語法規則的詮釋層次，當視覺及概念的連結屬於概念性的連結時，屬於語意的詮釋層次。以概念改變的觀點來說，涉及語法規則的表徵屬性可能較容易透過學習後概念改變，涉及語意詮釋的表徵屬性則可能較不易概念改變（如圖 5-1-1）。

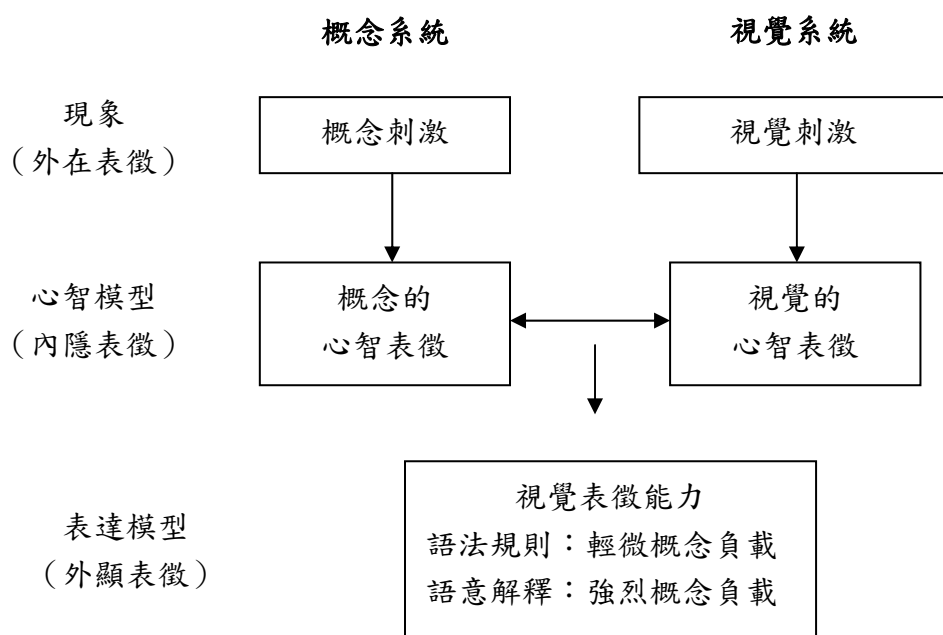


圖 5-1-1 由二元編碼的觀點看視覺表徵能力

第二節 建議

在教學建議上，就概念來說，有關物質性質的概念，雖然無法由日常現象觀察，但透過學習或者表徵的閱讀後，可能較容易概念改變，然而，有關原子與分子觀的概念，即便教科書中包含了各種原子與分子相關的視覺表徵，但可能較不容易被學生理解，在教學上需要被強調；而現階段學生對具有過程屬性的概念，雖然這可能由於現階段與化學過程相關的概念較不牽涉原子與分子的複雜過程，但在學習原子與分子之概念時，或許能夠以學生較熟悉的化學過程導入，或者以簡單的過程符號進行原子、分子屬性的解說；學生常以物質粒子或巨觀的角度詮釋對原子與分子進行詮釋，雖然物質粒子屬於微觀的概念，且在過去研究中受到重視，但在教學時宜幫助學生釐清物質粒子觀與原子分子觀的異同。

就表徵來說，對學生而言，教科書中呈現的微觀表徵較為抽象，學生甚至無法對表徵進行正確的表面性描述，或許在教學中應該強調微觀概念與適當表徵的配合，並加強學生對微觀表徵的閱讀能力；學生對二維、二維半表徵的知覺有限（邱美虹和傅化文，1993；廖焜熙和邱美虹，1996），已有許多研究建議以實體模型或虛擬模型幫助學生對表徵三維資訊的認識(Copolo & Hounshell, 1995; Tuckey & Selvaratnam, 1993; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。

在研究建議上，由學生閱讀微觀表徵及符號的結果推論，或許閱讀微觀表徵及符號對學習者而言是個複雜的過程，這個過程也需要進一步的研究發現。此外，在本章第一節中呈現的「表徵解構架構修正」，並不具有將不同能力學習者分級或歸類的標準，是一個待確立的表徵架構，需要靠觀察或其他實徵研究印證，學習者對表徵的理解才是表徵意義的賦予。倘若能有一個評量學習者表徵能力的指標，將表徵能力中多維度的特徵解構並凸顯，就有可能幫助不同能力的學習者，在不同表徵面向上的學習。

參考文獻

- 邱美虹、傅化文 (1993)。分子模型與立體化學的解題。科學教育學刊，1(2)，161-188。
- 邱美虹、廖焜熙 (1996)。立體化學與空間能力。化學，54(2)，145-151。
- 廖焜熙、邱美虹 (1996)。三維度視覺在技能與化學學習上的探討。科學教育月刊，189，14-36。
- Ainsworth, S.E (2006) DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Amman, K., & Cetina, K. (1990). The fixation of (visual) evidence. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 85-122). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317-337.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- Barnea, N. (2000). Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling system. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Benson, D. L. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 587-597.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 64-66.

- Boulter, C., & Buckley, B. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing models in science education*. (pp. 3-17). Netherlands: Kluwer.
- Bowen, G. M., & Roth, W.-M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (10), 1063-1088.
- Briggs, M., & G. Bodner. (2007). A model of molecular visualization. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education*. (2nd ed.). Dordrecht: Springer.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135): Netherlands: Kluwer.
- Chandrasegaran, AL, Treagust, D. F. & Mocerino, M. (2008). An evaluation of a teaching intervention to promote students' ability to use multiple levels of representation when describing and explaining chemical reactions. *Research in Science Education*, 38(2), 237-248.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152.
- Cokelez, A., Dumon, A., & Taber, K. S. (2008). Upper secondary French students, chemical transformations and the "Register of models". *International Journal of Science Education*, 30(6), 807-836.
- Copolo, C. F., & Hounshell, P. B. (1995). Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 295-305.

- diSessa, A. A., Hammer, D., Sherin, B., & Kolpakowski, T. (1991). Inventing graphing: Meta-representational expertise in children. *Journal of Mathematical Behavior*, 10, 117-160.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sterberg & J. E. Davidson (Eds.) *The Nature of Insight*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Kit of factor-referenced cognitive tests*. NJ: Princeton.
- Ferk, V., Vrtacnik, M., Blejec A. & Gril A. (2003). Students' understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1227–1245.
- Gabel, D.L. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.
- Gentner, D. & Stevens, A.(1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gilbert, J., & Priest, M. (1997). Models and discourse: A primary school science class visit to a museum. *Science Education*, 81, 749-762.
- Gilbert, J. K. (2007). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In Gilbert, J. K. (2nd ed.), *Visualization in science education*. Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In Gilbert, J. K., Reiner, M., Nakhleh, M. (eds.), *Visualization: Theory and practice in science education*. Dordrecht: Springer.
- Gobert, J. D. (2005). Learning technology and cognitive theory on visualization to promote students' science learning and literacy. In J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121-146). London: Kluwer.
- Goldsmith, E. (1984). *Research into illustration: An approach and a review*.

Cambridge: Cambridge University Press.

- Goodwin, C. (1995). Seeing in Depth. *Social Studies of Science*. 25(2) 237-274.
- Greeno, J. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53(1), 5-26.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching* , 29, 611-628.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2001), 'Mental models and deduction', *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 434-442.
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education* , 70 (9), 701-705.
- Kindfield, A. C. H. (1993/1994) *Biology diagrams: Tools to think with*. *The Journal of the Learning Sciences*, 3 , 1-36.
- Kozma, R. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61(2), 179-212.
- Kozma, R. (2000). Students collaborating with computer models and physical experiments. In J. Roschelle & C. Hoadley (Eds.), *Proceedings of the Conference on Computer-Supported Collaborative Learning 1999*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kozma, R.B., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry instruction. *Journal of the Learning Sciences* , 9(2), 105-143.
- Kozma, R.B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of*

Research in Science Teaching , 34, 949-968.

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education*. London: Kluwer. p. 121-146.

Kozma, R., & Russell, J. (2007). Students becoming chemists: Developing representational competence. In Gilbert, J. K. (2nd ed.), *Visualization in science education*. Dordrecht: Springer.

Krajcik, J.S. (1991). Developing students' understanding of chemical concepts. In S.M. Glynn, R.H. Yeany, & B.K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science: International perspective on the psychological foundations of technology-based learning environments* (pp. 117-145). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lemke, J.L. (1990). *Talking Science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.

Lowe, R.K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.

Mayer, R.E., (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions?. *Educational Psychologist*, 32 (1), 1–19.

Michalchik, V., Rosenquist, A., Kozma, R., Kreikemeier, P., Schank, P., & Coppola, B. (2008). Representational resources for constructing shared understandings in the high school chemistry classroom. In J. Gilbert, M. Nakhleh, & M. Reiner (eds.). *Visualization: Theory and practice in science education*, (pp. 233-282).

New York: Springer.

- Nicholson, J. R., & Seddon, G. M. (1977). The understanding of pictorial spatial relationships by Nigerian secondary school students. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 8, 381–400.
- Novick, S. & Nussbaum J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281.
- Novick, S. & Nassumsbaum, J.(1981). Pupils' Understanding of the Particles Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: a dual coding approach (2nd ed.)*. NY: Oxford University Press.
- Peterson, R.F., Treagust, D.F., & Garnett, P. (1986). Identification of secondary students' misconception of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic test instrument. *Research in Science Education*, 16(1), 40-48.
- Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescence to adulthood. *Human Development*, 15(1), 1-12.
- Rapp, D. (2007). Mental models: Theoretical issues for visualizations in science education. In Gilbert, J. K. (Ed.), *Visualization in science education*. Dordrecht: Springer.
- Reiber, L. (1988). The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*, 5, 431–444.
- Reiber, L. (1990). Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 135–140.

- Reiber, L. (1991). Animation, incidental learning and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 318–328.
- Roth, W.-M. (2001). Learning science through technological design. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 768-790.
- Rouse, W.B. & Morris, (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100, 349–363.
- Seddon, G. M., and Moore, R. G. (1986). An unexpected effect in the use of models for teaching the visualization of rotation in molecular structures. *European Journal of Science Education*, 8, 79–86.
- Seddon, G. M., Tariq, R. H., & Dos Santos Viega, A. (1982). The visualisation of spatial transformations in diagrams of molecular structures. *European Journal of Science Education*, 4, 409–420.
- Teichert, M. A., Tien, L. T., Anthony, S. & Rickey, D. (2008). Effects of context on students' molecular-level ideas. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1095-1114.
- Tuckey, H. & Selvaratnam, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualisation skills in chemistry: a review. *Studies in Science Education*, 21, 99–121.
- Tufte, E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire: Connecticut: Graphics Press.
- Vygotsky, L.S. (1980). *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky. (1986). *Thought and language*, MIT Press, Boston.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The Effects of Computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.

- Woolgar, S. (1990). Time and documents in researcher interaction: Some ways of making out what is happening in experimental science. In M Lynch and S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 123-152). Cambridge, MA: MIT Press.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom, *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 821-842.
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning, *Science Education*, 88, 465-492.
- Yang, E., Andre, T. & Greenbowe, T. J., (2003). Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry, *International Journal of Science Education*, 25(3), 329–349.

附錄

附件一：概念理解測驗

試題指導範例

※請將答案欄中的選項○塗黑●作答

答案欄

例題：下列哪一種是人類必須使用複式顯微鏡才能看見的生物？

● ② ③ ④ ① 草履蟲 ② 蚊子 ③ 杜鵑花 ④ 蝗蟲

※此題答案為①，則將①塗成黑色

學校：_____國中

年級：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

年 級 ： ① ② ③

班 級 ： ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

座 號 ： ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

※請將答案欄中的選項○塗黑●作答

答案欄

- ① ② ③ ④ 1. 有關物質三態的敘述，下列哪一個正確？ ① 液體的形狀不隨容器而改變 ② 液體的形狀可隨容器而改變 ③ 液體的形狀改變與否，要視液體的種類而定 ④ 液體的形狀改變與否，要視液體的溫度而定
- ① ② ③ ④ 2. 有關物質三態的敘述，下列哪一個錯誤？ ① 雪及霧都是水的固態 ② 硬度為固體的一種物理性質 ③ 氣體的可壓縮性比液體大 ④ 氣體的體積可隨著容器大小不同而改變
- ① ② ③ ④ 3. 小平到海邊揀貝殼時，發現每一個貝殼外觀都有所差異，但每一個都具有固定的形狀和體積，試問他手中的貝殼與眼前的海水各屬於哪一種狀態？ ① 固態、液態 ② 液態、氣態 ③ 固態、固態 ④ 液態、液態
- ① ② ③ ④ 4. 關於食鹽水的沸點，下列哪一個正確？ ① 在等量的水中溶解不同量的食鹽，不會影響食鹽水的沸點 ② 在等量的水中溶解不同量的食鹽，會影響食鹽水的沸點 ③ 在等量的水中溶解等量的食鹽，食鹽水的沸點不一定相同 ④ 在不同量的水中溶解等量的食鹽，沸點都是相同的
- ① ② ③ ④ 5. 日常生活中我們所接觸的物質中，下列哪一個屬於純物質？ ① 食鹽水 ② 醬油 ③ 果汁 ④ 酒精
- ① ② ③ ④ 6. 純物質與混合物的主要的區別是什麼？ ① 前者組成均勻，後者組成不均勻 ② 前者具有一種成分，後者具有兩種或兩種以上的成分 ③ 前者有一定的形狀，後者無一定的形狀 ④ 前者有特定的顏色，後者無一定的顏色
- ① ② ③ ④ 7. 有關物質三態的微觀敘述，下列哪一個正確？ ① 固體是由緊密堆疊的粒子組成的 ② 液體是由緊密堆疊的粒子組成的 ③ 氣體是由緊密堆疊的粒子組成的 ④ 氣體是由一團連續的物質組成的
- ① ② ③ ④ 8. 有關氣體的微觀敘述，下列哪一個正確？ ① 氣體是由粒子組成的，彼此之間沒有空隙，靜態的充滿在容器中 ② 氣體是由粒子組成的，彼此之間有空隙，會隨機的運動 ③ 氣體是由一團連續的物質組成的，彼此之間沒有空隙，受到外力時才會運動 ④ 氣體是由一團連續的物質組成的，彼此之間沒有空隙，會隨機的運動

- ① ② ③ ④ 9. 有關物質的敘述，下列哪一個錯誤？ ① 物質是由粒子組成的 ② 組成物質的粒子是動態的 ③ 組成物質的粒子之間是非真空的 ④ 組成物質的粒子之間具有交互作用
- ① ② ③ ④ 10. 有關水分子的形狀，下列哪一個正確？ ① 水分子的形狀是不規則的 ② 水分子是一個球狀的粒子 ③ 水分子是由不同的粒子排成直線型的 ④ 水分子是由不同的粒子排成彎曲型的
- ① ② ③ ④ 11. 有關水分子的組成，下列哪一個正確？ ① 水分子裡除了有氫原子和氧原子外，還包含了其他成分 ② 每一種水分子都是由不同數量的原子組成 ③ 水分子的原子組成是不固定的 ④ 水分子是由氫原子和氧原子組成的
- ① ② ③ ④ 12. 有關分子大小的敘述，下列哪一個正確？ ① 當水結成冰時，水分子會變得比原來大 ② 當水變成水蒸氣時，水分子會變得比原來大 ③ 每個水分子的大小都不盡相同 ④ 相同溫度下，每個水分子的大小皆相同
- ① ② ③ ④ 13. 有關化學反應時原子的組成，下列哪一個正確？ ① 發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合 ② 發生化學反應時，原子的數量會減少，有些原子在反應後會消失 ③ 發生化學反應時，會產生新的原子，造成原子的數量增加 ④ 發生化學反應時，原子的種類不會增加，但原子的數量會增加
- ① ② ③ ④ 14. 有關化學反應時分子的敘述，下列哪一個正確？ ① 發生化學反應時，一定不會產生新的分子 ② 發生化學反應時，一定會產生新的分子 ③ 發生化學反應時，分子的數量一定會增加 ④ 發生化學反應時，分子的數量一定會減少
- ① ② ③ ④ 15. 燃燒後的蠟燭，質量會越來越輕，其原因為何？ ① 蠟燭燃燒並不會產生新的物質，只是原有物質消耗不見 ② 蠟燭燃燒會產生新的物質，部分產物散失到空氣中 ③ 蠟燭燃燒後原本固態的物質變為液態 ④ 蠟燭中的粒子因為燃燒而變小

附件二：視覺表徵能力測驗

試題指導範例

※請將答案欄中的選項○塗黑●作答

答案欄

例題：下列哪一種是人類必須使用複式顯微鏡才能看見的生物？

● ② ③ ④ ① 草履蟲 ② 蚊子 ③ 杜鵑花 ④ 蝗蟲

※此題答案為①，則將①塗成黑色

學校：_____國中

年級：_____ 班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

年 級 ： ① ② ③

班 級 ： ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

座 號 ： ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

※請將答案欄中的選項○塗黑●作答

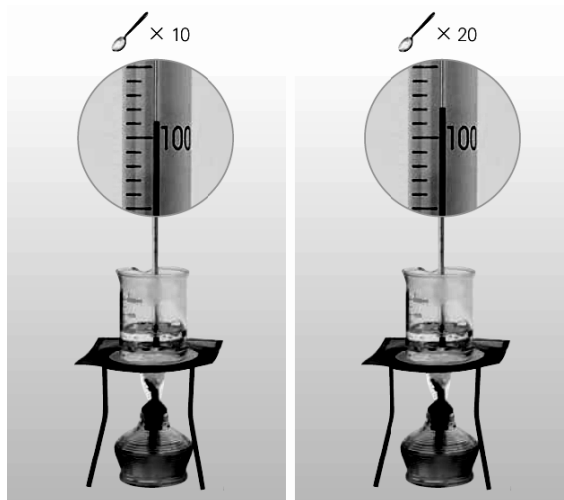
答案欄

- ① ② ③ ④ 16. 將等量的液體倒入不同的容器中，下列何者正確？



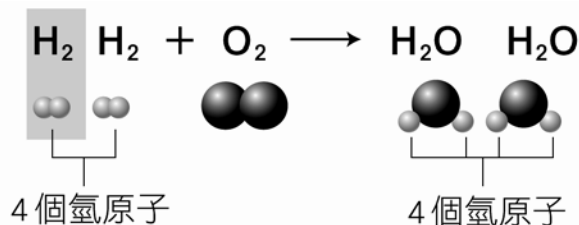
- ① 液體的形狀不隨容器而改變
- ② 液體的形狀會隨容器而改變
- ③ 液體的形狀改變與否，要視液體的種類而定
- ④ 液體的形狀改變與否，要視液體的溫度而定

- ① ② ③ ④ 17. 關於水的沸點，下列何者正確？



- ① 在等量的水中溶解不同量的食鹽，食鹽水的沸點維持不變
- ② 在等量的水中溶解不同量的食鹽，食鹽水的沸點就不一樣
- ③ 在等量的水中溶解等量的食鹽，食鹽水的沸點不一定相同
- ④ 純水的沸點為 100℃，食鹽水的沸點為 120℃

- ① ② ③ ④ 18. 關於化學反應時的原子排列，下列何者正確？



- ① 發生化學反應時，原子的數量不會有所增減，只是重新排列組合
- ② 發生化學反應時，原子的數量會減少，有些原子在反應後會消失
- ③ 發生化學反應時，會產生新的原子，造成原子的數量增加

④ 發生化學反應時，原子的種類不會增加，但原子的數量會增加

- ① ② ③ ④ 19. 有一種化合物是由 A 和 B 兩種原子組成的，這種化合物的化學式為 A_nB_{2n+2} ，化合物 X 和化合物 Y 都屬於這一類的化合物。化合物 X 中有兩個 A 原子($n=2$)，化合物 X 的化學式寫為 A_2B_6 ，請問，若化合物 Y 中只有一個 A 原子，化合物 Y 的化學式寫為？
① A_2B_6 ② AB_2 ③ AB_4 ④ AB
- ① ② ③ ④ 20. 烷類是由 C 和 H 兩種原子組成的，烷類化合物的化學式為 C_nH_{2n+2} ，甲烷和乙烷都屬於烷類。乙烷分子中有兩個 C 原子($n=2$)，其化學式為 C_2H_6 ，甲烷只有一個 C 原子，請問甲烷的化學式為？
① C_2H_6 ② CH_2 ③ CH_4 ④ CH

答案欄 第三大題：題組

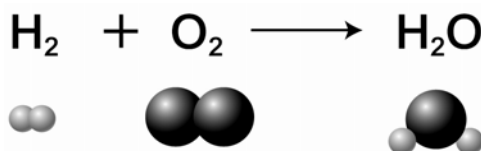
題組一：請根據圖中的訊息回答下列題目



- ① ② ③ ④ 21. 一杯 18 克的水，約有多少個水分子？
① 1800 個
② 18 個
③ 6×10^{23} 個
④ $6 \times 10^{23} \times 18$ 個
- ① ② ③ ④ 22. 關於水分子的形狀，下列何者正確？
① 水分子沒有固定的形狀
② 水分子是一個球狀的粒子

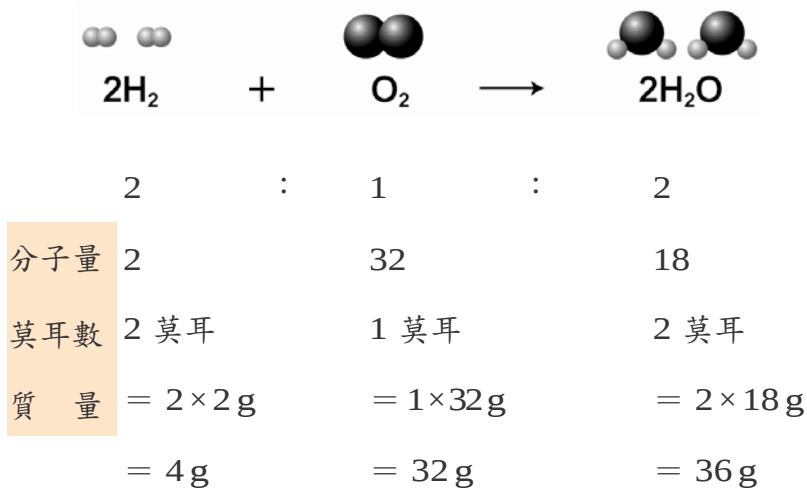
- ③ 水分子是由不同的粒子排成直線型的
- ④ 水分子是由不同的粒子排成彎曲型的

題組二：有一個化學反應方程式如下(H_2 ：氫氣、 O_2 ：氧氣、 H_2O ：水)



- ① ② ③ ④ 23. 何者是反應物（反應前的物質）？
 - ① 只有 H_2
 - ② 只有 O_2
 - ③ H_2 和 O_2
 - ④ H_2O
- ① ② ③ ④ 24. 何者是生成物（反應後的物質）？
 - ① 只有 H_2
 - ② 只有 O_2
 - ③ H_2 和 O_2
 - ④ H_2O
- ① ② ③ ④ 25. 關於水分子的組成，下列何者正確？
 - ① 水分子裡除了有氫原子和氧原子外，還包含了其他成分
 - ② 水分子(H_2O)中含有氫氣(H_2)
 - ③ 水分子不一定都由固定的原子組成
 - ④ 水分子由氫原子和氧原子組成
- ① ② ③ ④ 26. 關於 H_2O ，下列何者正確？
 - ① H_2O 是水的英文代號，無法顯示水的其他性質
 - ② H_2O 分子中會有 H_2 的性質
 - ③ H_2O 包含 H 和 O 原子，是一種混合物
 - ④ H_2O 包含 H 和 O 原子，是一種純物質

題組三：根據下列的方程式回答問題



① ② ③ ④

27. 關於 H_2O 的生成，下列何者正確？

- ① 兩個 H_2 和兩個 O_2 反應，會生成三個 H_2O
- ② 四個 H_2 和兩個 O_2 反應，會生成六個 H_2O
- ③ 兩個 H_2 和一個 O_2 反應，會生成兩個 H_2O
- ④ 一個 H_2 和一個 O_2 反應，會生成一個 H_2O

① ② ③ ④

28. 關於 H_2O 的生成，下列何者正確？

- ① H 原子和 O 原子反應後，形成 H_2O 分子， H_2O 分子具有 H 和 O 的特性
- ② H_2 分子和 O 原子反應後，形成 H_2O 分子， H_2O 分子具有 H_2 的特性
- ③ H_2 分子和 O_2 分子反應後，形成 H_2O 分子， H_2O 分子具有 H_2 的特性
- ④ H_2 分子和 O_2 分子反應後，形成 H_2O 分子， H_2O 分子的化學性質與 H_2 不同

① ② ③ ④

29. 圖中的「2：1：2」代表的意義為何？

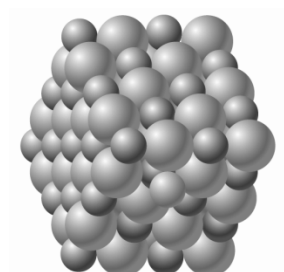
- ① 這個反應中 H_2 、 O_2 和 H_2O 的重量比例
- ② 這個反應中 H_2 、 O_2 和 H_2O 的分子數量比例
- ③ 這個反應中 H_2 、 O_2 和 H_2O 的原子數量比例
- ④ 化學中用來計算的一種規則

題組四：請將圖形分類，並解釋原因

① ② ③ ④

30. 下圖 ABCD 中，哪些有可能是在表示同一種化合物？

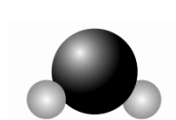
A.



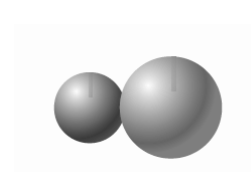
B.

NaCl

C.



D.



① ACD

② AD

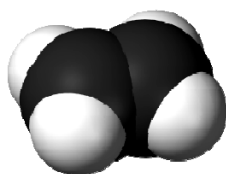
③ ABD

④ BD

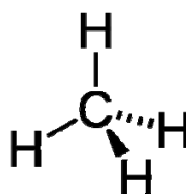
① ② ③ ④

31 下列是化學中常用以表示化合物的圖形，哪些可以歸類為同一種化合物？

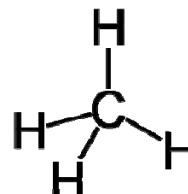
A.



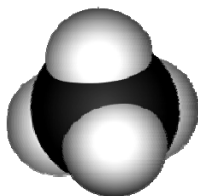
B.



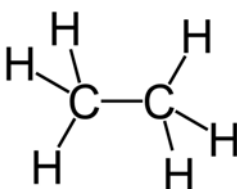
C.



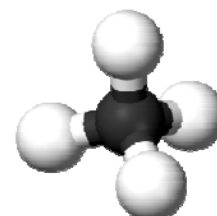
D.



E.



F.



① BC

② CE

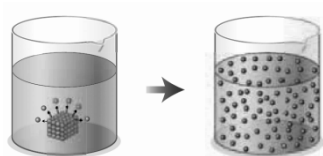
③ AD

④ BCDF

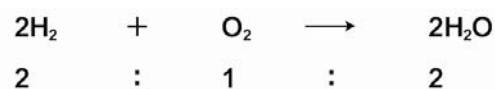
題組六：請閱讀下列題目，並將圖形與概念做適當的配對

- ① ② ③ ④ 32. 若要表示「發生化學變化時，原子排列方式的改變情形」，下列哪一個圖形最適合用來表達這個概念？

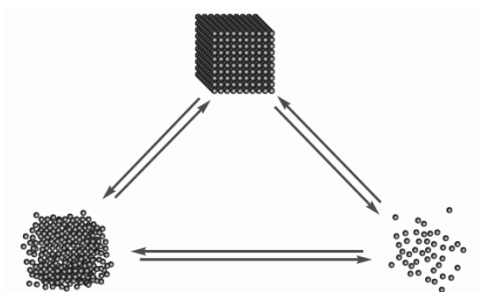
①



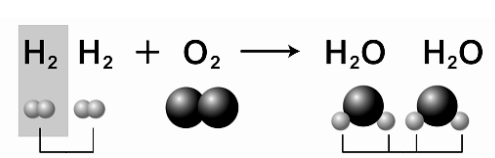
②



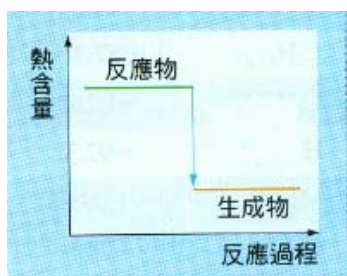
③



④



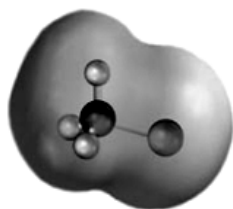
- ① ② ③ ④ 33. 下圖最適合用來表達哪一個化學概念？



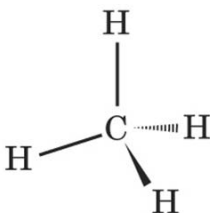
- ① 化學反應中有熱量的變化，此圖為放出熱量的反應
 ② 化學反應中有熱量的變化，此圖為吸收熱量的反應
 ③ 化學反應中有溫度的變化，此圖為溫度下降
 ④ 化學反應中有反應速率的變化，此圖為反應速率下降

① ② ③ ④ 34. 若想要表示「分子中電子分佈的情形」，下列哪一種圖形最適合？

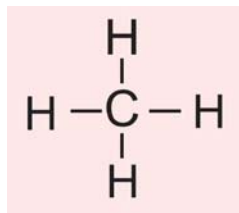
①



②



③

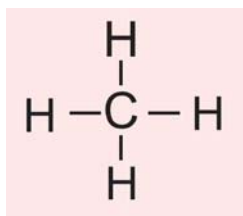


④

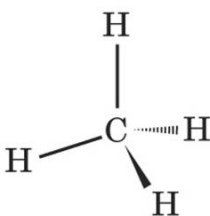
CH₄

① ② ③ ④ 35. 若想要以簡單記號的表示「分子的立體結構」，下列哪一種圖形最適合？

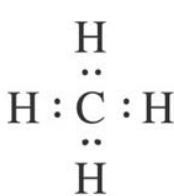
①



②



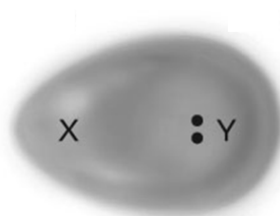
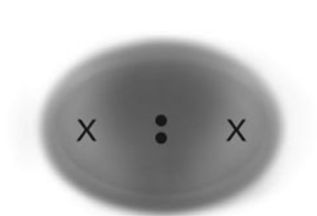
③



④

CH₄

① ② ③ ④ 36. 下圖最適合用來表達哪一個化學概念？



- ① 有的分子中，電子共用的情形相同；有的分子中，電子共用的情形不同
- ② 無論哪一種分子，其內部電子共用的情形皆相同
- ③ 每一種分子所帶的電荷數量不同
- ④ 每一種分子的結構皆不相同