

第一章 緒論

本章共分成五節，內容包括研究背景和研究動機、研究目的、研究問題與假說、名詞釋義、研究範圍與限制。

第一節 研究背景和研究動機

我國自九十學年度起逐年實施九年一貫課程，為配合推動九年一貫課程，教育部明訂許多法規協助教師進行新課程的教學，如運用科技與資訊的能力、激發主動探索和研究的動機、培養獨立思考與問題解決等能力均為現階段九年一貫課程目標 (教育部，1988)。2001 年全國資訊教育總藍圖目標，更說明本國教育將運用科技於教室中，且推動「班班有電腦」，以具體實現在生活中將科技與學習相結合的夢想 (教育部，2001)。而教育部 (2002)更在「九年一貫課程綱要」中提及培育學生『運用科技與資訊的能力：正確、安全和有效地利用科技，蒐集、分析、研判、整合和運用資訊，提昇學習效率與生活品質』，為九年一貫課程所要培養的現代國民所需的十大基本能力之一。由上述相關政策的擬定，不難發現當今教育目標之重點主在將如何結合科技與教學，以促使學生學習成效之提升。

而近年來教學也走向教材多元化，教科書不再是唯一的教材。教學模式由過去傳統教師主導之一元化的教學模式，改變為透過多媒體輔助教學，如利用電腦網路與資料庫所創造的多元化全方位的主動學習環境，學生可依個人能力與興趣自我學習，而老師則扮演啟發者的角色輔導學生學習(韓善民，1997)。

互動式網路教材的設計理念，主要目的除了利用與資訊科技結合，以同時建立視覺和語文的心理表徵，使學習者儲存分別及兩者間的連結；又加上運用兩種不同的媒體呈現，將比只用單一展現方式好 (莊雅茹，1996)，因此研究者將同時運用電腦與網路的特性設計教材，如結合文字、圖表、圖片、音效、動畫、影片等多媒體元素來呈現，以結合自然與生活科技領域教學內容，並採活潑方式帶領學生學習，改善原本枯燥、死板的傳統教學講授模式，同時也能使學習者的注意力集中。且近來研究發現提昇學生情感層面的學習，確實可以輔助其概念上的改變 (Pintrich, Marx, & Boyle, 1993)；另一方面藉由電腦網路的快速發展與硬體頻寬的提昇，使得網路學習成為一種新的學習方法與創新的教學模式 (林奇賢，1999；王千悳，2000)。因此如何融入網路資訊的特性協助概念改變的教學，確實是當今急需重視、突破的教學研究方向。

研究者在教學場域中，發現國中階段的學習教材中，原子單元對學生而言是相當難理解，且原子單元對於學生未來在學習化學反應、酸和鹼、金屬與非金屬等概念上是非常重要的基礎。因為原子是微觀的，必須藉由學生熟悉的事物，利用類比或模型模擬微

觀的抽象概念，促進學生發展其對原子結構的心智表徵，因而結合網路互動課程與類比進行課程設計。

自然與生活科技學習領域的主要目標，即在於提昇國民的科學與科技素養。然而不論教育改革如何變動，培養全民具有科學素養是科學教育最主要的目標之一。一般所稱的科學素養包括認知、情意、科學過程技能等三方面的素養 (Pella, O’Heam & Galle, 1966; Welch, 1985)。「素養」蘊涵於內，即為知識、見解與觀念；表現於外，即為能力、技術與態度。自然與生活科技學習領域所培養之國民科學與科技素養，依其屬性和層次來分項，可分成「過程技能」、「科學與技術認知」、「科學本質」、「科技的發展」、「科學態度」、「思考智能」、「科學應用」、「設計與製作」等八項來陳述。其中在過程技能中的第四階段對七、八、九年級提到與推理能力相符：能執行實驗，依結果去批判或了解概念、理論、模型的適用性；與網路學習相符：善用網路資源與人分享資訊。學生經由科學性的探究活動，可使學生獲得相關的知識與技能。同時研究顯示推理可促進學生的深層思考 (Pallant & Tinker, 2004)，因此在教學中若能經常引導學生去推理一些較難理解的科學問題，學生較容易養成科學的思考習慣和運用科學知識與技能以解決問題的能力，有助於在面對問題及處理問題時，能抱持好奇與積極探討、了解及設法解決的態度，我們統稱以上的各種知識、見解、能力、態度與應用為「科學與科技素養」。因此，本研究同時結合推理與網路互動式學習課程設計，期望可提升學生科學推理能力。

近來科學教育的教學研究的重心已由『學生迷思概念的探討』轉變成『概念改變的教學研究』，過去有許多科教學者發展不同教學策略促進學生概念移轉，如 Wong (1993a) 提到針對空氣壓力的現象，經由一系列的類比教學協助學習者澄清、評量、和修正原有的解釋。Clement (1993) 並提出銜接類比的建立可以促進學生原有知識和新狀況的相互連結，進而促進概念澄清。其他尚有認知衝突教學、概念圖教學策略等的採用。另外，Lawson (1978) 提出推理模式對科學學習的重要性，Pallant 和 Tinker (2004) 運用分子動態模型促進學生對於物質的不同狀態間原子吸引力的推理能力，結果顯示問題答錯率由前測的 54% 降為 23%；且從晤談中也發現 12 人中的 10 人能夠經由推理教學後提高對問題的解釋力。此外，余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b) 提出『雙重情境學習模式 (Dual situated learning model, DSLM) 之教學策略，試圖針對概念本身的階層性與複雜度來詮釋概念改變的可能性，且運用於學生較不易理解的單元概念(如：浮力、大氣壓力、熱的傳導與對流等)學習上，結果顯示學生的概念有實質的改變。因此，本研究將結合推理與類比推理及雙重情境學習模式於網路互動式學習課程的設計，企圖提昇學生科學推理能力及促進科學概念的改變。

第二節 研究目的

本研究目的是依據『雙重情境學習模式』為基礎同時結合推理與類比推理(單元三、四、五使用)的學習模式設計出原子單元的互動式網路學習課程，期望促進學生學習原子概念的改變。其中包括 1.探討結合推理與雙重情境學習模式的網路互動式學習課程(實驗組)與一般傳統的教學模式(對照組)，學生在科學推理能力、原子單元主題相依推理能力、原子概念的學習成就及原子結構心智表徵上，於學習前後與經過一段時間、甚至幾個月後是否發生改變。2.特別針對實驗組的學生進行一對一的訪談，了解學生們在學習前後與經過一段時間後於原子單元的概念(概念數、概念正確分數、概念推理層級、概念改變量)變化。3.探究實驗組學生於原子單元學習歷程與推理層級的改變。

第三節 研究問題與假說

基於前述研究動機與目的，本研究的研究問題與假說如下：

- 一、不同的教學模式(實驗組、對照組)、學業成績(高、中、低分組)與科學推理能力(具體運思期、過渡期分組)對學習者在原子單元的學習成就有何差異？
 - 1-1 不同教學模式學生的原子單元學習成就(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 1-2 不同學業成績分組的學生對其在原子單元之學習成就(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 1-3 不同科學推理能力的學生與其在原子單元之學習成就(後測、追蹤測)達顯著差異。
- 二、不同的教學模式(實驗組、對照組)、學業成績(高、中、低分組)與科學推理能力(具體運思期、過渡期分組)對學習者在原子單元的主題相依推理能力有何差異？
 - 2-1 不同教學模式對學生在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 2-2 不同學業成績分組對學生在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 2-3 不同科學推理能力對學生在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。
- 三、不同的教學模式(實驗組、對照組)、學業成績(高、中、低分組)、與科學推理能力(具體運思期、過渡期分組)對學習者在教學前、後、追蹤上所展現的科學推理能力有何差異？
 - 3-1 不同教學模式學生的科學推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 3-2 不同學業成績分組學生的科學推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。
 - 3-3 不同科學推理能力學生的科學推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。

- 四、不同的教學模式(實驗組、對照組)在教學前、後、追蹤所呈現的原子結構心智表徵有何差異？
- 五、經由三次訪談(教學前、後、追蹤)，分析實驗組學生經網路互動式學習其概念數、概念正確分數、推理層級(包括概述(G), 精緻化(EL), 辯證(J), 解釋(EX))與概念改變量的變化如何？
- 5-1 經由網路化推理學習過程，學生的概念數於教學前、後追蹤的增加達顯著差異。
- 5-2 經由網路化推理學習過程，學生的正確概念分數於教學前、後追蹤的增加達顯著差異。
- 5-3 經由網路化推理學習過程學生的推理層級於教學前、後、追蹤的改變達顯著差異。
- 5-4 經由網路化推理學習過程，學生的概念改變量(前後測、後追測)於進步、維持-全對、維持-半對與全錯、退步(四種)型態有何差異？
- 六、不同的學業成績(高、中、低分組)、科學推理能力(具體運思期、過渡期分組)的學生在網路化學習歷程的改變及其科學推理層級之改變為何？
- 6-1 不同的學業成績(高、中、低分組)、科學推理能力(過渡期、具體運思期分組)在網路化學習歷程中，每一主題各學習事件概念改變(包括答案、理由的答對率)的前後變化情形。
- 6-2 網路化學習歷程中，每一主題各學習事件前後科學推理層級中概述(G), 精緻化(EL), 辯證(J), 解釋(EX)的改變情形。

第四節 名詞釋義

- 一、原子 (atom)：所有的物質都是由原子所組成，而原子可再被分割成質子、中子、電子等三種粒子，其中質子與中子位於原子核內，而電子在原子核外出現。
- 二、建構主義 (constructivism)：建構主義主張學習不可能僅僅只是知識的移植與傳輸，而是個人奠基於原有知識基礎上主動建構的過程。知識雖是個人主動的建構，但個人是社會的組成份子，個人建構的意義必須與整個社會的脈絡(context)相容，如此相互協商的社會建構才有其適存性(viability)。
- 三、概念改變 (conceptual change)：學習者的知識架構經由生活中的學習去擴展而形成既有概念，並無時無刻會隨著周圍環境的刺激或自身經驗的累積而發生改變，可能是概念的部分修正、概念的擴充、新概念加入、概念重建、概念轉移等，都可稱之為『概念改變』。

- 四、科學推理 (scientific reasoning)：建構科學知識過程中，如何運用觀察、分類、操弄具體實物、假設等操控變因和推測的思考判斷過程。
- 五、類比 (analogy)：將教學概念視為『目標物』，且以學生日常生活中熟悉的事物做為類比目標物的『類比物』，並比較兩者的相同和相異之處的教學模式。
- 六、類比推理 (analogical reasoning)：從一個資源(source)到一個標的系統 (target system) 之結構訊息 (structural information)的轉移，此知識的轉移需藉由對應(mapping)或比對 (matching)過程去發現兩系統間的相似與相異之相關程度，其中資源為艱深的科學概念；標的系統為較簡單易懂的類比物，教師能運用類比教學策略讓學生進行推理學習。
- 七、心智表徵 (mental representation)：可以是以命題 (proposition)、語言、文字、圖像 (image)與模型 (model)等將腦中的想法、概念呈現並表達出來。在本研究中是呈現學習者在教學前、後、追蹤的原子模型的結構圖像與文字說明。
- 八、原子概念學習網：附屬於「科學概念的建構與重建數位學習研究」網站，並依據國中「原子概念」內容，同時結合推理、類比推理及雙重情境學習模式等進行教材設計之學習網站。
- 九、語意流程圖 (flow map)：意指將受訪者錄音的陳述內容，依照語意流程圖的方式繪製而得。本研究以語意流程圖 (Anderson & Demetrius, 1993)表徵學習者於教學前、後、追蹤的概念數、概念正確分數、概念改變量、概念推理層級概述(G), 精緻化(EL), 辯證(J), 解釋(EX)等分述如下。
- 十一、概念數：將受訪者回答問題的完整情形(包括答案、理由說明)分成每個概念如「空氣是混合物，因為空氣含有很多氣體」。
- 十二、概念正確分數：針對每個概念數依照回答的正確程度分成 0-3 分，其中全錯為 0 分、概念對深入解釋錯給 1 分、概念對深入解釋半對給 2 分、全對給 3 分。
- 十三、概念改變量：針對各個訪談問題中的前後測(前測到後測)、後追測(後測到追蹤測)的概念改變連結數依照回答對錯情形分成『進步』、『維持』-全對、『維持』-半對或全錯、『退步』等四種型態。
- 十四、概念推理層級：運用 Hogan, Nastasi 和 Pressley (2000)提出的 Generativity(概述，G)、Elaboration(精緻化，EL)、Justifications(辯證，J)、Explanations(解釋，EX)概念分類方式再加以修正。
- 十五、概述(G)：概念推理的最低層級，意旨學生用直觀去描述說明現象並且細分為 G0, G1, G2。其中 G0 為未作答或直接陳述答案，無理由或概念說明如「我不知道」、

「空氣是混合物」等；G1 為用 1 個概念描述現象如「空氣是混合物，因為空氣含有很多氣體」；G2 為用 2 個或以上概念描述現象如「海水是化合物，因為是由很多種東西組成，且含有鹽分所以鹹鹹的」。

十六、精緻化(EL)：概念推理的第二層級，意旨學生可以用科學名詞對概念加以描述說明並且細分為 EL1, EL2。其中 EL1 為用 1 個概念描述現象如「白糖是純物質，因為拿去煮只有一個沸點」；EL2 為用 2 個或以上概念描述現象如「精鹽是純物質，因為只有一個沸點且是經過粗鹽過濾及煮沸後所得」。

十七、辯證(J)：概念推理的第三層級，意旨學生可以用相關理論判斷說明或能用實驗、證據支持概念並且細分為 J1, J2。其中 J1 為用 1 個概念描述現象如「惰性氣體安定因為電子排列穩定，所以不容易和其它氣體產生化學變化」；J2 為用 2 個或以上概念描述現象如「氯跟溴容易跟鈉反應，因為氯比較容易得到一個電子，然後第一族的比較容易失去電子，所以比較容易起反應」。

十八、解釋(EX)：概念推理的最高層級，意旨學生可以用科學機制推斷說明概念並且細分為 EX1, EX2。其中 EX1 為用 1 個概念描述現象如「氯和溴容易跟鈉反應，因為它最穩定的排列是 8，然後氯是 7，所以它容易得到 1 個電子，然後鈉它容易失去，所以兩個剛好互補就會結合」；EX2 為用 2 個或以上概念描述現象如「氯跟溴容易跟鈉反應，因為氯和溴都還需要一個電子，因為它們最外層都少一個電子不是 17 個就是 7 個，所以鈉會給氯或溴一個電子，所以它們容易發生反應」。

十九、網路化開放式推理學習歷程：將學生在網路互動式學習問題中的開放式理由用上述同樣的概念層級分類。

二十、具體推理：科學推理能力位於具體運思期。

二十一、過渡推理：科學推理能力介於從具體運思期到形式運思期之間的過渡期。

第五節 研究範圍與限制

本研究的對象為新竹市某國中二年級的學生，以其中三個班為實驗組和另外三個班為對照組，所以不具有全國國二學生的代表性，且教材範圍以九十三年度育成版的國中自然與生活科技領域內容為主。研究結果若要推論到其他群體或教材領域時，需審慎衡量其適合度。

第二章 文獻探討

本章將依序針對概念建構與改變、雙重情境學習與科學推理、類比推理、原子概念、網路科學學習等五個與本研究相關議題進行分析探討。

第一節 概念建構與改變

一、建構主義

就知識變遷的角度而言，在建構主義(constructivism)崛起之前，是實証主義(positivism)的時代。而 Kuhn (1962)採用培根(Bacon)的歸納法就「邏輯實證主義」和當今科學哲學思潮主流的「建構主義」，從本體論、認識論、方法論在知識本質上做比較，我們可以從表 2-1-1 看出兩者在不同層面的相異之處：實證主義的學者認為科學知識是固定的，不會隨環境而有所改變；而建構主義的學者則主張科學知識是流動的，且會隨著環境的變遷而隨之變化。

表 2-1-1 實證主義與建構主義比較表(從知識本質)

	實證主義	建構主義
本體論	科學知識是唯一的、永久的、客觀中立的 不需經社群認同	科學知識是多樣性、暫時性的、主觀的 需經由社群認同
認識論	科學知識是理性的 單一派典 能互相比較	科學知識是非理性的 有不同派典 不能互相比較
方法論	一套絕對永久適用之科學方法 經由發現找到真理 知識(真理)形成	沒有一套絕對適用的科學方法 經由發明得到新理論 經考驗形成理論

我們再從教學的角度，分別比較實証主義和建構主義於知識、方法、態度三層面的差異。從表 2-1-2 可以發現實証主義所呈現出的是傳統的教學方法與態度，我國中小學教育體制基本上是師法歐、美和日本，以教育學者和教材為中心的教學方式，學習者為被動式學習，且把學習者當成一張白紙的灌輸，主張真理只有課本的內容與教師上課時所傳授的知識，屬於權威式教育；反之建構主義強調的是以學習者為中心的學習模式，教材不僅僅限於書本，而是可從生活中取材，具多元性。且學習者會帶著自己既有的先備知識進入學習環境，經過學習活動、與同儕討論的互動學習後，主動建構知識，因此，建構主義較屬於自主性教育。

表 2-1-2 實證主義與建構主義比較表(從教學環境)

	實證主義	建構主義
知識	科學知識是唯一的、永久的、客觀中立的、絕對的 不需經同儕認同 教材僅侷限於課本	科學知識是多樣性的、暫時的、主觀的、非理性的 需經由同儕認同 與學生先備知識有關
方法	採用食譜式(step by step)教學，經觀察、假設、實驗、真理驗證之歸納整理 將課本知識直接傳授	探索式學習(inquiry) 合作學習，經由同儕討論、腦力激盪與先備知識中建構新知識 呈現多元教材
態度	客觀的發現真理，形成知識 中立的面對知識，不具判斷是非的能力	主觀的質疑，發明新的理論 公開表達意見，需得到多數同儕認同

從哲學角度來區分建構主義，可分成「個人建構」和「社會建構」。在個人建構方面，Piaget 認為學習者在與環境的互動中，經由討論、批判而改變個人對外在世界的主觀看法。就教育學而言，主張個體學習的主動性、自發性、發展性；而在社會建構方面，Vygotsky (1978)認為知識的形成是個體將外在的社會互動結構內化到個人心智基模的過程。就教學上強調知識在建構過程中的「實用性」或「工具性」，而非絕對的真實性或客觀性。簡言之，學生在科學學習上並非單純的將一個空杯子裝滿水即被動的吸收知識。反之，學生的學習應當視為主動的概念的建構、重建或改變。

二、科學概念的建構與改變的困難

根據 Pfundt 和 Duit (1991)回顧近 2000 篇的研究指出，許多科學的迷思概念是很難被改變的，因為學童或成人的科學概念是個人的(personal)、固執的(persistent)、強韌的(robust)、一致的(consistent)、穩定的(stable)，這些特質會阻礙學生在科學學習過程中概念的轉變(Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985; Osborne & Freyberg, 1985; Osborne & Wittrock, 1983)。Kragh(2000)以「強韌的」因素在化學領域提出研究結果，他指出在量子力學上，元素和週期表的概念建立是根深蒂固的，由實證主義觀點更可顯示其堅持，科學家也因此抱持舊有的想法，直到能量守恆和質能互換的觀點被加以證實後，「強韌的」的因素才被減少，概念改變也才能進行；其他影響概念改變的因素則較少研究者涉及，原因可能為：如「固執的」，和「強韌的」因素解釋上較為接近；而「一致的」與

「穩定的」表示已有的想法並未有衝突情形出現，也難有使概念改變的機會。

科學概念涵蓋範圍廣且深，教學上要使學生清楚理解原理內容本來就是非常困難；倘若學生在進入教室前已持有的先存概念 (preconception)，或質樸 (naïve) 的想法，也就是學生會以個人生活上的經驗，自己去架構、採用或借用一些故事，用以解釋以實體表徵故事或現象。學生在學習前若堅持這些既有概念，且和科學的理論相衝突矛盾時(迷思概念)，會增加教師教學上的困難度。Vosniadou (1994)認為兒童對建構地球形狀的概念有困難，是來自於日常生活中的經驗和與相關的地球資訊相衝突時。許多研究顯示學生的迷失概念約包括：Anderson 和 Smith (1987)發現五年級的學生相信植物直接從土壤、水、肥料、陽光中獲取食物，而非植物自己製造，還有他們也相信光在晚上行進速度較快，電是在燈泡內被用完的；Stepans, Beiswenger & Dyché(1986)發現國三學生有75%的學生認為揉成一團的紙比不揉的重，還有解釋物體的浮沉概念時，年齡大者用密度、質量等名詞，而年齡小的用重、重量等名詞，但對概念的理解皆有偏差；邱美虹和翁雪琴 (1995)發現學生認為夏天是因地球距離太陽較近的觀點頗相似。綜觀上述與概念改變相關文獻中，科學的許多迷思概念之所以難改變的原因有 1. 學生所受直覺生活經驗的影響 (Osborne & Freyberg, 1985)。2. 學生難以理解抽象的概念 (Brown, 1993)。3. 學生無法覺察微觀世界中無形的分子 (Gabel, Samnel & Hunn, 1987)。

三、從認知建構學派探討概念改變

1. 認知心理學派

認知心理學派的學者研究概念的改變，是精緻早期 Piaget 基模的調適理論，Chi (1992)等學者皆試著描述概念知識的重組過程。許多研究也針對一些特定(較其他困難)的概念改變形式做解釋 (Carey, 1985, 1986; Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994; Thagard, 1992; Vosniadou & Brewer, 1987)。剛開始的研究方向主要是朝向兒童概念知識的記憶表徵和改變，之後的研究方向逐漸朝向學生學習概念如何轉變。

對於「概念改變」一詞通常包括過程和結果，而 Chi (1992)更指出，概念改變的過程必須產生新的意義，且結果的轉變是有意義的。在其他方面，也可代表概念知識的心智表徵之改變。這學派中有許多學者對概念改變的認知過程有不同的詮釋，其中較具代表性的有 Carey、Chi、Thagard 等。Chi (1992)和 Thagard (1992)皆知覺到改變存在於從微弱的修正到本質重建的連續過程，且他們將本質的概念改變視為知識架構的戲劇化重組。

Chi (1992)從本體論的角度來探討概念改變的內涵：分為類別內(簡稱為概念改變)、類別間(稱為根本的概念改變)，她認為將概念改變作如此的區別，才有助於我們對學習、

發展，和科學發現的了解。Chi 從本體論(ontology)的角度來分析概念結構，她指出所有的實體(entity)可分為三個類別(category)：包括物質(matter)、過程(process)，和心智狀態(mental state) (Chi, 1992; Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994)，表 2-1-3 分別以本體樹的類別探討其意涵：

表 2-1-3 Chi 從本體樹的角度探討概念改變彙整表

	物質	過程	心智狀態	
定義	特定屬性的東西 (石頭、建築物)	事件的發生，反映出特殊屬性(假期、雷雨)	情意的部分 (作夢、想像)	
特性 (範例)	例如：紅色的太陽、有生命的東西、固體等；有重量的、佔有空間的	可能有序列性、有因果關係、或只是機率問題(一小時之久、昨天發生的)	情緒或傾向。(是真的、是有關於....)	
次概念	自然 種類 破的)	人造物質 (固定的、列)	步驟(執行、序 於、有始有 終) 條件為主 的交互作 用(一致的)	情緒的、意圖的

基本上，物質、過程、心智狀態在本質上是相互獨立的，因此三者的轉換屬於根本的概念改變，因概念需從一本體樹遷徙到另一個本體樹，故屬於上述類別間的轉變，如學生在學習氣體動力論時，熱從物質本體樹遷徙到過程本體樹 (Rohr & Reimann, 1988)；倘若概念改變僅發生於同一本體樹內概念上下的轉變，而不是跨越不同的本體樹，即為上述類別內的轉變，如信念的修正，且大多發生於缺乏知識或缺乏練習。事實上科學革命的機制並非都是屬於根本的概念改變(Chi, 1992)，如在生物學上，雖然哈維(Harvey)的血液循環系統在中世紀是一重要的突破，但此發現卻毋需根本的概念改變；但相較於伽利略(Galileo)在物理上的貢獻則需要根本的概念改變。

Carey 的研究則指出，兒童對人和動物的概念會隨著年齡增加，會有較完整的認識，此種形式的概念改變只是在相同的本體樹，屬於本體類別內的轉變。Carey (1985)將僅需局部變化，不需進行認知結構上的重大改變的重組過程，如以增加(addition)、刪減(deletion)、普遍化(generalization)、區分(discrimination)等屬性方式皆屬於校正部分與整體關係者為弱重建(weak restructuring)，也就不屬於根本的概念改變。

Thagard (1992)提出和 Chi 的本體樹相似的觀點：從樹轉換 (tree switching)和分枝跳躍 (branch jumping)來探討概念改變的機制。Thagard 從實質上概念系統的改變，分為種類關係 (kind-relations)與部分關係 (part-relations)，強調從上到下共九種階層概念，其

中他稱第四種為「分解」(decomposition)，通常是因為新的部分關係被發現而改變，其階層性尤其是一先前被認為不可再分的整體，而後因新的發現而再分割，如原子。

Thagard (1992)以一個知識改變 (epistemic change)的方法論來看概念改變，他認為信念的修正包含 Carey 提及的增加或刪減的信念，而概念改變卻是遠超過這些基本特質，應包含除了增加和刪減外，尚有重組概念或重新定義階層的本質 (the nature of hierarchy)。Thagard 同時指出科學知識發展中常見的是信念的修正、增加概念和簡單的重組概念階層，其中簡單的概念重組包含概念間關係的延伸，與分枝跳躍不同。但在概念革命的分枝跳躍與樹轉變則較罕見；也就是大部分的科學革命皆包括概念的增加或刪減，有些則是在原有種類關係或部分關係中重新組織，做如樹枝般的跳躍。綜合來看，Thagard 主張一般學習並非僅是簡單的增加新的信念，但也未必是系統性的、革命的、概念性的如同科學革命一般，此觀點和 Chi (1992)頗一致。

She (2002)提出概念難以改變的原因，除了微觀、抽象與動態外，最主要是因概念本身的階層性愈高，則概念愈難改變。階層愈高的概念，包含愈多的概念，因此概念階層性愈高的概念其若要概念改變成功，則非單一教學類比、衝突事件可達成，將需要一系列緊密相關的事件才能達成。She (2004a)更進一步提到概念改變並非如 Chi (1992)所謂的 ontological shift 如此簡單，若不能針對概念本質、學生對科學概念信念，進而學生所缺的概念設計一系列教學事件，概念改變將難發生。

2. 科學教育學派

科學教育學派的學者深受科學哲學的影響，並描述知識的獲得和重建，如何從社會社群轉移到學習者的相似性 (Carey, 1985; Osborne & Wittrock, 1983; Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982)。當概念的轉變由科學社群逐漸轉移到學生身上，他們也開始從對多樣的科學現象的理解中，組織新知識的架構。在知識的認知建構同時也採用認知心理學派和 Piaget 理論觀點，解釋兒童如何從科學現象中獲得知識。Toulmin (1972)也指出調適的過程中，概念的改變在個體或科學上發生，經由對科學現象觀察理解上產生不一致的想法，個體經由同化或調適而產生概念改變。科學教育學者曾針對提昇科學概念和引發概念改變的理論和策略做過研究 (Brown, 1993; Clement, 1991, 1993; Posner, et al., 1982; Steinberg & Clement, 1997)。

Posner 等人 (1982)提出在學習和知識理解的概念改變觀點，運用在科學教育領域上可解釋為：概念改變如何發生。在此理論裏，調適通常是指較大規模的概念改變，如同 Hewson 將困難的概念改變稱為「概念交換」；而同化指的是學習中僅有小部分概念被要求修正的過程，即 Hewson 將簡單的概念改變稱為「概念捕獲」一般。研究指出當概

念改變發生時，調適多於同化，同時學生的概念生態會影響新概念的選擇 (Hewson & Hewson, 1983)。

Posner 等人(1982)認為要想讓學生的概念發生改變，必須具備下列四條件包括：學生要不滿足他的既有概念、學生對於新概念要有初步的了解、新概念必須有點合理、新概念必須解釋得宜且有預測力。因為學生在進入教室(學習前)必有許多既有概念，在這些既存(另有)概念間的競爭可視為調適的過程。Hewson 和 Hewson (1983)主張當學生知覺到新概念較既有概念易理解且合理時，可將這些新概念變成爭議的問題，接著因為對於既存知識的不滿意進而減少其存在的必要，並擴展新概念的豐富性、增進其存在。當新概念超越既有概念，即達成調適的作用。

著名的科學教育學者曾嘗試修正學生的科學概念：Hewson 和 Hewson (1983)根據 Posner 等人(1982) 概念改變的理論，針對學生的先備知識設計概念改變的教材，並運用於質量、體積、密度等概念的教學；Driver 和 Oldham (1986) 同樣依據學生的先備想法設計改變學生概念的需求；She (2004a)研究顯示雙重情境學習模式 (DSLTM)可有效的促進國中生對於難以改變的概念如熱傳播(heat transfer)單元概念改變成功。

此外，能助於刺激學生概念改變的方法尚有「類比」(analogy)。根據學習的建構觀點，知識是學生而非教師建構的。Duit(1991) 指出介於已知知識與欲獲得的知識間的相似性(或相關性)是相當重要的，而此種相似性就是類比；Brown 和 Clement (1989)利用學生直觀的想法，提出一系列建立在前一個類比且經由不斷修飾後的中間類比引導學生自我思考，稱為銜接類比模式 (Bridging Analogical Model)；此外，Wong (1993a, 1993b)指出經由學生自己發展創造的類比來改善對大氣壓力現象的解釋，將能引發造成許多的討論與修正所提出的類比/解釋模型。尚有許多科學教育學者做過運用類比教學促進概念改變的研究 (Brown, 1993, Brown & Clement, 1989; Clement, 1991, 1993)，雖然類比並非建立理論時的輔助，但卻是理論之中重要的部分 (Hesse, 1996)，因為許多研究報告指出，類比可以增加學生的理解和解決問題的能力 (Vosniadou & Brewer, 1987)，可見類比教學被使用的廣泛性。

第二節 雙重情境學習模式與科學推理

一、雙重情境學習模式(DSLM)的內涵

余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b)認為學生對於某些科學概念的難以改變是因為需針對概念本身的內涵 (複雜度與階層性)來分析概念改變的形式，而不應單以本體論的角度觀測之。若包含的屬性(如：抽象、動態、微觀...等特質)愈多和階層性愈高的概念就愈不易被改變，因此提出了「雙重情境學習模式」(Dual Situated Learning Model)。

情境學習 (situated learning) 表示概念改變的發生必須根據學生所缺少的心智架構去設計一系列由淺入深、環環相扣的情境學習事件，而每一學習事件必須架構在前一事件之上，使能緊密相關，當科學本質和學生對科學概念的信念被改變時，概念改變也隨之發生。雙重(Dual)的含意之一包括當若有情境學習事件時，一方面製造學生在認知上的不協調，另一方面提供新的心智架構；之二是同時在情境學習過程中一方面要激發科學概念重整的動機，另一方面也要挑戰學生原本的科學信念，以及科學概念的本質與學生對科學的信念的雙重交互影響，所以稱為「雙重情境學習模式」。

二、DSLIM 與概念改變

She (2002, 2003, 2004a, 2004b)提出雙重情境學習模式 (Dual-Situated Learning Model)，目的是為促進學生的概念改變。DSLIM 強調概念改變的成功與否須根植於科學概念的屬性與階層性，以及學生對於科學概念本質的信念。再則，其學習事件的設計強調不僅需要造成學生另有概念的不平衡，同時提供學生所欠缺的心智架構，進而修正舊有架構或重新建構新的概念。且在概念改變過程還強調要引發學生重新建構概念的動機，以及挑戰其原有科學概念之信念 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b)。因此，她從國中學生在學習科學概念感到較複雜、困難的單元中挑選壓力和浮力單元，透過晤談法教學促進學生概念改變 (She, 2002, 2004a)；和透過大班教室教學的熱膨脹單元 (She, 2003, 2004b)。DSLIM 的進行可分成六階段，簡述如下：

階段一：分析科學概念屬性。即檢測科學概念的本質與屬性，並能提供建構此科學概念所需的心智架構。

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念。此階段需偵測學生對此概念的理解並了解學生在概念上所存有的迷思概念。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。藉由前兩階段的資料比較分析，便可找出學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，以作為設計一連串的 DSLIM 情境學習事件的依據。

階段四：設計雙重情境學習事件。此階段運用的原理是先設計一連串讓學生另有概念無法解決的衝突情境事件，而產生不平衡、不滿足的認知狀態。接著找出學生可能提出的想法解答，並設計讓學生能親自體驗、操作、思考驗證其答案正確性的學習情境，試著將學生所缺少的心智架構導入，逐漸讓學生建構較接近科學概念的概念輪廓。

階段五：進行雙重情境學習模式的教學。每一情境皆依據學生常見的迷思概念設計問題並引導學習，接著藉由設計好的活動事件，讓學生從親自體驗、操作、思考中驗證其答案的正確性，試著將學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構出較接近科學概念的概念輪廓。為了解學生在教學活動中概念改變的過程，每次只顯示一個問題，且同樣的問題在事件的開始或結束都會提問一次，學生不得更改先前的回答。同時也可以運用晤談法，讓學生『放聲思考』(將思考過程用言語呈現)以了解學生概念改變的過程。

階段六：挑戰情境學習事件。此階段可以檢驗學生是否真的從教學過程中獲得原來缺少的心智架構，並能運用新的科學概念來解決類似的情境學習事件。

雙重情境學習模式(DSLM)的概念改變策略揚棄單以本體論作為概念分析的方式，改以概念本身包含的屬性與階層性的觀點切入，分析概念改變的可能性，是一項創新的觀點。本研究即採用雙重情境學習模式概念改變教學策略，進行原子的概念改變教學設計。此模式的重大特色是概念改變教學設計必須建立在理化概念本質與學生理化迷思概念之本體架構的分析之上，而此概念改變的過程必須挑戰學生的科學知識之本體觀信念(ontological beliefs)，以理解學生究竟缺乏哪些心智結構因而無法建立完整的概念。其次，本模式另一個重點是所設計的雙重情境學習活動必須兼具產生不和諧 (dissonance) 以及提供新的心智結構 (new mental set) 的功能，而該架構對於學習者必須合理的、易理解的、有利的、有效的正如 Posner 等人 (1982) 所建議的，同時學習活動的設計必須要使學生親眼見到具體的實物或模型等促使概念的重新建構得以產生。當產生不和諧的過程中，則同時引發學生的學習動機、興趣、好奇心與挑戰學生科學概念的信念，概念改變才有可能達成。因此，She (2004a) 認為在此六階段的教學過程中，教師應要求學生完成作業單，以確保在整個造成不一致的學習過程中，學生皆能主動參與，並挑戰科學概念的信念，提昇學習動機和建立新的心智模式。

此概念改變模式突破了過去認知心理學領域與科學領域的個別限制，其並成功地應用於學生難以改變的學概念，且達 80% 的學生可以概念改變成功，重新建構科學界所認同的科學概念，如浮力和大氣壓力 (She, 2002) 等。這些實徵研究的結果證明 1. 當概念的

階層愈高則表示其所包含的相關基礎概念愈多，此種概念的建構或改變的困難度則愈高。因此需視其概念的階層性與學生所欠缺的心智架構的數目決定究竟需多少雙重情境學習事件，才能協助學生建構或重建某科學概念。2.用此模式於不同階層的理化概念均可達成 75%~95%的概念轉移等。所以雙重情境學習模式對於不同階層的理化迷思概念有明顯的改變。

此外，此模式突破了過去研究者認為難以改變的概念因素：(1)學生所擁有的概念與所學的概念本體類別不相容時；即物質與過程的理化本質上的差異，並應用於許多學生難以改變的科學概念，且讓 70%~95%的學生達成概念改變成功，並重新建構科學界所認同的科學概念，如浮力 (She, 2002)、熱膨脹 (She, 2003)、熱傳播 (She, 2004a)等。(2)概念本身是微觀的、抽象的、源自於生活經驗的。同時這些實徵研究的結果更證明概念改變不一定需要長時間才能達成，雙重情境教學模式突破了許多研究者 (Vosniadou & Brewer, 1994)所認為概念改變需要漸進、緩慢且長時間才能達成的想法。因此本研究將針對國中生難以理解的原子概念進行探究。

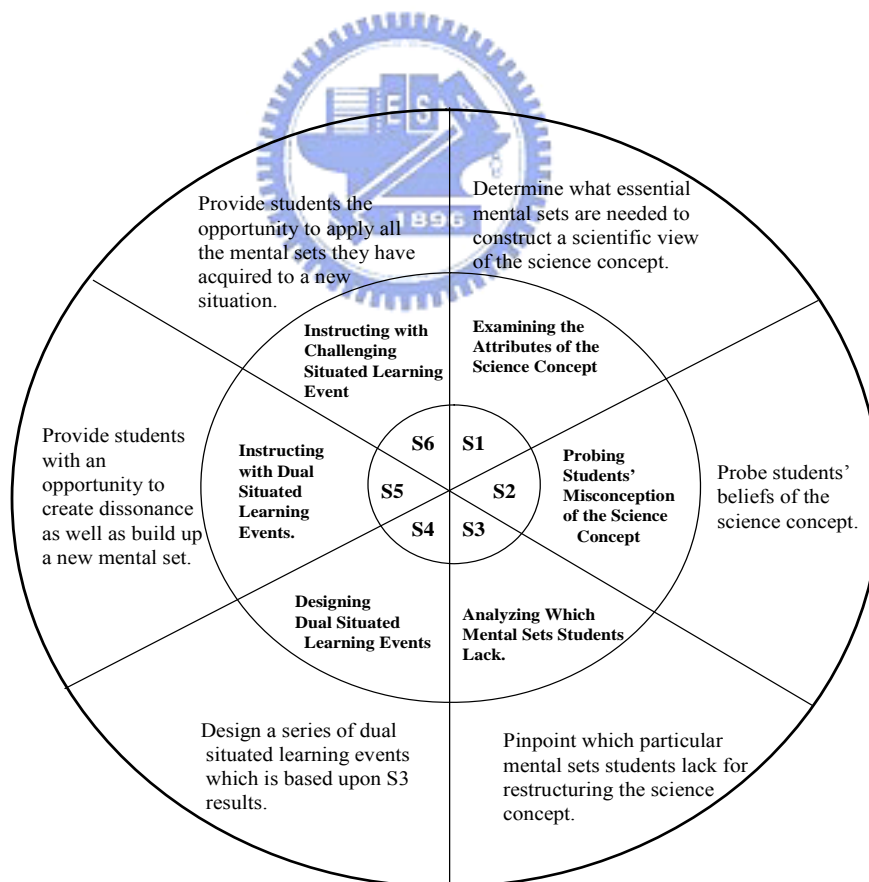


圖 2-2-1 雙重情境學習模式圖(She, 2004a)

三、科學推理(Scientific Reasoning)與科學學習

1.科學推理

大體而言，最常用的兩種形式推理方法為『演繹推理』(Deductive reasoning)和『歸納推理』(Inductive reasoning)，同時也常被用於科學程序中 (Chalmer, 1982)。其中演繹推理是基於已知的一般原理而去推論某個該類事物特殊情況的新知，涵蓋編碼和使用邏輯的連結、傳遞推論、比例推理、三段式推理等的結合陳述 (Watters & English, 1995)，其主要型式是三段論法，即兩個判斷決定第三個判斷的一種方法如：元素在一定條件下產生化學反應(命題一)，倘若惰性氣體是元素(命題二)，則惰性氣體就能在一定條件下產生化學反應(結論)。反之歸納推理是以個別事物抽象出一般規律性，並概括到同類事物上，也就是尋找事物彼此的共通性。Watters 和 English (1995)指出由觀察事物的特質以理解其概念，就是透過歸納推理的學習過程，如因為金可以導電、銀可以導電、銅可以導電，所以金、銀、銅都可以導電，即金屬都能導電為歸納推理出的結論。演繹和歸納看似對立，又是統一，若缺乏其一都無法完整推論出真理，Michalski (1989)指出類比推理 (analogical reasoning)若為統整目標物和類比物的類比建構就為歸納；但類比的使用就為演繹。因為從客觀角度去認識事物必須兩種方法共同發展；演繹需要可靠的歸納基礎才能產生具有信度的結論，而歸納是在一般原理、原則或某種假說、猜想下進行的，所以在推理過程中兩者是相輔相成的。

有學者認為一般使用於教學的『推理』策略事件包括：找出與課本等學習教材中相關的資訊、使用直覺的概念想法、指出形式化書寫部分、並試著提出解釋等 (Keys, 1995)。而形式推理 (formal reasoning)在問題解決上受限於智力活動，需由邏輯系統協助解題(Galotti, 1989)。Keys (1995)提出 11 項可支持寫作能力的科學推理技能與合作學習進行討論，表 2-2-1 就每項技能並以實際教學範例說明之：

表 2-2-1 Keys 以實際範例探討 11 項科學技能與合作式討論和寫作之比較表

1.使用於評估先前模型的技能

提出預測：在學習過程中運用直覺概念、先前科學知識或特定想法對於學習事件辨識可能的結果，並可能不只一個。

範例：預測日常生活中一個月電能的使用量；預測在週期表中原子半徑的增減情形。

評量預測：可自我或與同儕判斷之前預測。

範例：自我提問或對同儕提出問題。

解釋-判斷預測：使用直覺概念、先前科學知識或課本教材去解釋或判斷預測。

範例：為電視會產生高能量的預測所創造的心像做判斷；為燈泡亮度減小解釋其預測，如因為較少電子可通過導線。

2.使用於產生新模型的技能

評量觀察現象：包括 a.科學事件紀錄的適合度；b.結論的關連性。

範例：理解質量的增加與化學變化的直接相關；決定將固體的形成包含於觀察現象中。

辨識型態與特性：陳述資料型態的方式；找出型態以組織資料或指出物體、圖像的共同特性。

範例：將能量由多至少排序；注意到這一系列皆可被 3 整除。

引出結論：陳述科學事件的結果並與預測的結果進行比較。

範例：確認何種電器最耗能；確認燈泡保險絲的有無是否影響其亮度。

形成模型：針對一個科學事件使用所有可能的資料來源建構言語的模型，包括直覺概念、觀察現象、資料、書本、先前教材和與同儕或教師的討論等。

範例：就能源使用上的強度變化建構一個模型；建構一個包含保險絲於導線內時，電子的流動情形。

3.使用於延伸模型的技能

推論：使用所有可能的資源將可解釋的情境與科學事件建立連結。

範例：解釋門得列夫如何使用週期表；解釋白色物體較黑色物體反射較多熱能的原因。

比較/比對：運用言語比較兩個物體或事件間的相似或不同之處。

範例：描述一個模型與真實物體間的相似度；陳述兩個化學反應中的電子轉移情形。

4.使用於支持的技能

討論概念意義：參與討論以建構或澄清科學形式、物體、圖像或事件。

範例：說明教科書上對保險絲意義；定義紅外線可視為熱的波動。

辨識相關資訊：從教科書、圖表、圖片或小組之前的作業中定位或回顧一些特定的資訊。

範例：找出教科書中大多與電子轉移的相關資料；回顧問題與答案形式的相似報告；尋找週期表內的元素位置。

科學推理早在 Lawson 提出完整的科學推理模式之前，科教學者將『學習環』(learning cycle)教學法應用於科學教室的研究已約 30 年。學者也曾試圖將學習環經由解釋和延伸成可在教室內進行的教學法 (Karplus & Their, 1967)。一些針對科學課程發展的研究顯示有加入學習環於教材的學童可加速『守恆』推理的學習 (Renner, Stafford, Coffia, Kellog & Weber, 1973)。但學習環教學法的缺點是：如人類原始知覺過於簡易，而且受限於一般性的教學指引，將特定科學概念的教學和一般推理形式視為主要學習目標 (Lawson, 1992)，易於阻礙推理的進行。Marek 和 Westrook (1990)發現許多國一至高三的學生在參與一年的學習環計畫教學後，於形式操作推理能力或是科學技能的增加皆未達顯著成效。

Lawson, Adey 和 Shanger (1988)曾說明學生另有概念及推理能力之間的關係，另有概念大多來自個人過去的經驗，如何才能夠否決這些另有概念，首先學生必須對科學概

念產生覺醒，產生新的假設，接著要對證據和推理覺醒，了解證據如何支持科學概念並與原有概念相衝突，藉由資料收集、實驗、邏輯演繹的推理和辯論方式，對假設進行驗證。當邏輯推理能力增加時，原有概念的數目自然也就降低了。此外，Lawson (1992) 提及在課程所包含的科學本質與學生推理能力之間的關聯性，可從成人智力發展探討當考量不同假設性的概念型式時，即出現不同的心像，亦即可呈現多樣的心智基模能力(控制變數、相關性、機率式等的推理，學生若能培養到進階的科學推理能力也就能輕而易舉的回答因果相關問題。同時 Lawson, Alkhoury, Benford, Clark & Falconer (2000)把科學推理分成三個層次，Level 3 是屬於描述性層次 (descriptive level)，與皮亞傑的具體操作期相似，只能運用描述性的概念；轉變階層 (transitional level)，介於 Level 3 與 Level 4 之間；Level 4 是屬於進階層次 (advanced level)相似於皮亞傑形式運思期，可運用描述性和假設性的概念，且只能以具體可見物體進行假設；最後，Level 5 是屬於更進階層次 (more advanced level)，可運用一些理論 (theory)的概念進行假設，也就是說此階段的學生具備描述性 (descriptive)、假設性 (hypothetical)和理論性 (theoretical)的概念。

此外，為使學生能輕易推理出日常相關問題，有些學者嘗試將推理分類。Brewer 和 Samarapungavan (1991)從科學推理層面將問題分成三類：1.真實性(factual)問題。試圖測驗學童重要的理論知識，如太陽系中各行星的相對大小、距離和位置。2.解釋性 (explanatory)問題。試圖測驗學童對現象的理解程度，如晝夜交替的現象。3.衍生性 (generative)問題：試圖測驗學童使用已有的概念對問題產生新的看法；而 Tytler 和 Peterson 發展，Driver 等人 (1996) 從知識論推理層面修正而成的科學推理目標可分為 1.現象性 (Phenomenon-based)推理，即無法區分解釋和描述，實驗的目的在於看和觀察。2.關聯性 (Relation-based)推理，用於解釋觀察物和實體之間的關聯性，無需搜尋因果，以明確和不批判為探索目標。3.概念性 (concept-based)推理，需以概念實體的形式呈現其因果和深層解釋，由假設引導實驗，若搜尋不到公認、明確的結果證據，另有解釋被認可是頗有可能的。

而 Hogan, Nastasi 和 Pressley (2000)藉由學生與老師口語互動的推理過程，從社會建構論探討學生的概念建構歷程。因此針對 12 個八年級學生進行訪談，並將學生回答的內容依科學推理分為六個層級：1.概述(Generativity)：學生以直接的觀察結果或質樸的想法及主張等，較為低階的思考來說明待解答的現象；2.精緻化(Elaboration)：以科學的方式敘述待解答的現象，例如加入測量或估計的方式；3.論證(Justification)：可分為「證據取向」及「推論取向」兩類，來確認與判斷待解答的現象，其中學生想法若能運用越多的證據及推論來確認判斷，給分越高；4.解釋(Explanation)：學生以作用機制來說明待

解答的現象，採用的機制越多，得分越高；5.邏輯演繹(Logical coherence)：學生對現象的論述中包含了判斷或解釋，對這些論述不嚴格要求概念的正確性，主要評斷學生所做的判斷及解釋，是否依照原先的前提和假設進行邏輯演繹而得；6.綜合(Synthesis)：評斷學生是否、如何在對現象的論述中，整合相反的觀點，它足以顯現出學生具有辯證思考等高階思考的能力。

Tytler 和 Peterson (2003)提出學童推理的一致性呈現於問題種類而非工作性質。依據 Driver 等人最原始的基模，加上 Tytler 和 Peterson (2003)整理有關於從知識論觀點探討學童推理的分類比較，明列於表 2-2-2：

表 2-2-2 從學童知識論推理觀點架構探討不同面向之關聯表

	特質	探索目標	競爭知識論點	變數處理
現象性推理	表面	即興型探索 描述即解釋	無論如何明確區分 證據都不能產生意 義	變數認知不清楚
關聯性推理	結構對應 (主要)	關聯性搜尋 搜尋解釋型態 真實狀態解釋	傾向於以確認性實 驗建立證據；通常在 缺乏理論下的不確 定想法是無法成立 證據的	變數控制必須有 關聯，但在‘fair testing’中不同變 數間的相關效應 於部分非問題形 式需獲得辨識
概念性推理	結構對應 (次要)	對假設進行檢 測或探索 由蒐集證據回 應想法的真實	為提供明確、不確定 證據以區別知識論 點間的探索	變數在競爭理 論，非辨識型態 中要獲得決定性 掌控

2.科學家的推理與學童推理的比較

Vosniadou 和 Brewer (1994)指出雖然大多數認為科學家有邏輯；學童無邏輯、科學家有一致性；學童無一致性、科學家具客觀性；學童具主觀性、科學家有彈性；學童是堅硬的、科學家具包容性；學童是武斷的、科學家是專家。但是許多科教學者對 Piaget (1930)提議未到特定的邏輯能力時期(型式操作期)無法產生推理的論點提出質疑 (Herron, 1978; Lawson & Renner, 1974)，發現學童是有邏輯的，只是學童具有的推理能力不屬於型式邏輯(formal logic)，而現代的科學界也不再完全是用型式邏輯進行推理；Vosniadou 和 Brewer (1994)發現多數的小學生都能展現科學家的一致性，少部分的學生甚至可以呈現地球、太陽、月球的相關心智模式去解釋日夜循環。而學童因為受到記憶(memory)的限制而沒有看到之間的不一致性時才呈現推理過程的不一致，若讓他看到有不一致的地方，就可以試著修改他的問題而達到一致性；Bloore (1976)提出所有的科學

知識都是主觀的社會學產物，個人的文化和意識型態的信念強度影響科學家在科學的實踐上，因此科學家也非客觀的；Kuhn (1962)提出若要在科學中造成改變，通常是由非此學域的人，或是由一些此領域中比較年輕的學者去改變，才能造成改變，因為要讓一個在這領域做很久的學者去改變其原有的概念是相當困難的。所以科學家不太有彈性改變其想法。Kuhn (1963) 指出由歷史的紀錄顯示科學家會因為遵循著「標準科學」派典而展現較武斷且較無包容力的觀點。所以很近的去看學童對於自然界的推理與科學家的，二者有很多地方是相同的，雖然看起來不一樣，但其間的差異性正快速的減少當中。如高年級的學生會建構較為系統性的心智模式，試圖表徵出可以連結初始模型和可被人所接受的觀點，如地球在固定的位置，太陽與月球每繞著地球運轉一圈為 24 小時、地球自轉時，太陽永遠和月球在地球相對方向的位置 (Vosniadou & Brewer, 1994)；科學家與學童最大的不同點在於：科學家是一種專業，以發展理論、進行實驗檢測理論來維生，而兒童發展理論是認識世界的副作用。因此一些針對學童科學推理的研究如下。

Pallant 和 Tinker (2004)運用分子動態模型促進他們對於物質的不同狀態間原子吸引力的推理能力，結果顯示前測有 54%的學生認為原子和分子的性質可用巨觀描述或不知道，但經過推理學習過程後測僅剩 23%有相同的錯誤概念；且從晤談中也發現 10/12 能夠經由推理教學後，從物質不同狀態間的分子與分子密度觀點轉移其知識並對新的情境解釋之。Browing 和 Lehman (1988)利用推理模式針對國一學生進行生物單元中的進化和遺傳單元的研究，結果顯示形式推理(formal reasoning)型態教學在減少一些生物科迷思概念上是必須的。Saayman (1991)針對大一新生診斷其形式認知操作之科學推理能力，發現組合性(combinatorial)和假設性(hypothetical)的推理問題，至少有 1/4 到 1/3 的學生可以理解，而在比例性(proportional)和機率的(probabilistic)推理問題上僅有 1/3 無法理解。

因此本研究傾向於 Keys、Tytler 和 Brewer 等學者的想法，為研究學生在科學推理的變化，將推理結合在課程中進行教學。研究方向較傾向於 Keys (1995)的推理策略，且為測量學生一般推理能力的量化分析中，採用 Lawson (1978, 1987, 1992)科學推理測驗「Classroom test of scientific reasoning」作為學生科學推理能力的評量工具，測量學生一般的科學推理能力(包括解釋、假設與驗證等科學推理技巧)。但是就之前的文獻探討中，可以歸納出影響學生推理能力的因素有：1.年齡：Piaget 認為學生在不同的時期(如具體運思期或形式運思期等)，推理能力亦不相同；2.科學本質：不同假設性的概念形式時，會呈現出多樣的心智基模能力 (Lawson, 1992)；3.學習背景 (Faulkner, Joiner, Littleton, Miell & Thompson, 2000)；4.教學中的引導 (Vosniadou & Brewer, 1994)；5.學生的知識觀

點 (Hogan, 2000a)；6.根據不同類型的概念，使用不同的推理能力 (Tytler & Peterson, 2004)。因此學生的推理能力，除了一般的科學推理能力之外，還需考慮與學生學習相關主題的概念推理能力，故透過研究團隊的教師群，共同設計電學主題相依兩階段測驗，其主要目的在於探討學生經過教學之後，是否會因為學生對於內容的了解，而增進了學生對該概念的推理能力。

而在判斷學生推理層級上修正 Hogan 等人(2000)的四個推理層級(G、EL、J、EX)，對學生的所應用的推理層級進行質化分析，並於每個推理層級之後加上學生所提供的概念或理由數，以下為推理的四層級之詳細敘述：

- 1.Generativity：學生以直觀的觀察結果或自己猜測的想法或主張等較低階的思考來說明待解答的現象。
- 2.Elaboration：能以科學的方式敘述待解答的現象，例如加入測量或估計的方式。
- 3.Justifications：可分為「證據取向」及「推論取向」兩類的確認判斷待解答的現象。學生的每個想法能運用越多的證據及推論來確認判斷，給分越高。
- 4.Explanations：學生以作用機制來說明待解答的現象，採用的機制越多，得分越高。



第三節 類比推理

一、類比(analogy)與心智表徵(mental representation)

Dagher (1994)提出類比常被視為是人與人溝通的工具，其目的也之一就是用於解說/傳達概念，其應用層面可為政治上的修辭學、宗教上的詮釋、科學的對話等；第二種目的則是用於推理/產生概念，因此類比也可促使新的科學知識產生 (Dreistadt, 1968)，嚴格的說，類比是一個確認不同概念間相似的過程。Indurkha (1992)將類比分成簡單和預測性兩種，如 Bohr 即運用太陽系來描述原子的結構，就是利用太陽系與原子結構間形狀的相似性並能區分其相似性或另創新的；而預測性則是以現有的概念去預測新的事物並顯示出相似性，如我們是否可以將開車的經驗去推理開車與駕駛船的相似情形，亦即會開車的人就能駕駛一艘船嗎？總而言之，簡單的類比是將已知的事物之特徵/關係與未知的相互連接，反之，預測性類比則是超越已知與未知事物間的關係，進而產生出新的解決問題的方式(Dagher, 1994)。且由於建構主義的教學策略希望學生能主動建構知識，如 Clement (1989)證明專家應用類比所擁有的結構相似性去解說標的概念，進而在這些預測的類比推理證據中，提供一種非誘導式的資源產生假設性的模型。也因

科學概念多為複雜且難以理解，教學策略不會只限於簡單類比的運用，同時必須配合預測推理，也就是類比推理於教學中，進而產生問題解決的推論；Wong (1993a)提到針對空氣壓力的現象，經由一系列的類比教學協助學習者澄清、評量、和修正原有的解釋。此外，科學教育學者 Campell (1957)也認為「類比是理論的基本部分，倘若沒有類比，則理論會變得完全沒有意義和價值」，足以見得類比不論在生活或是學習上皆有其重要性及必需性。

教學是一種互動式的學習過程，教師可以使用言語、圖像、科技工具形成經由內在交互作用後所形成的心智模式，Vosniadou (1987a)認為心智模式可用個體在產生認知功能過程中所形成特定的心智表徵(如類比表徵)來呈現，共涵蓋有四個不同的東西，簡單說明如下：

- 1.標的系統 (target system)：供個人學習或使用系統。
- 2.標的系統的概念模型 (conceptual model)：概念模型為在概念系統上提供一適當的表徵，需精確、一致和完全顯示標的物。且概念模型是由教師、設計者、科學家、工程師所建構。
- 3.使用者在標的系統的心智模式：學習者在形成心智模式時不需要精確，但是必需具備功能性。
- 4.心智模式的科學概念化：模式中的模式 (model of model)，呈現腦中心智模式的差異性，例如原子模型的建構。

二、類比、類比推理與概念改變

1.類比和類比推理的型態

一般而言，至今對類比的推理過程被廣為接受的解釋為：從一個資源 (source)到一個標的系統 (target system)之結構訊息 (structural information)的轉移，此知識的轉移需藉由對應 (mapping)或比對 (matching)過程去發現兩系統間的相似與相異之相關程度 (Vosniadou, 1987a)。

- (1)領域間的類比 (between-domain analogies)：類比被視為存在於不同的兩種領域(概念、理論、故事等)之間，基本上屬於不同或有很大差異的系統，但彼此卻又有一些相似且能共同解釋的部分。如在以太陽系類比原子是相似處；而將太陽類比原子核、行星類比電子則是相異之處。Wilbers 和 Duit (2001)認為在基礎(base)、標的(target)之間的相似性與概念之表面(surface)、深層(deep)特質有關係。

- (2)領域內的類比 (within-domain analogies)：類比推理包含的項目屬於相同或至少非常

接近的概念領域，例如如何利用一個陶製杯和塑膠杯來推理類比 (Kedar-Cabelli, 1985)，我們可以從外型、功能..等來判別其相似與相異處。

另外，Gentner (1989)將類比推理分成五個次步驟：

- (1)存取 (accessing)：存取一個類比主要是藉由連結概念表面的特質而幫助學生學習。也有許多研究顯示在類比物與目標物之間連結深層概念的相似性，存取也是有可能發生 (Wilbers & Duit, 2001)。
- (2)對應 (mapping)：概念化過程，主要是比較命題結構的相似性、從類比物到目標物的次結構轉移過程。也有不少證據顯示即使學生對於命題結構很熟悉，對應也不常發生，Gentner 覺得基本關鍵在於參與對應的過程中，由類比物和目標物所呈現學生的心智模式和言詞 (Wilbers & Duit, 2001)。
- (3)評量 (evaluation)：可運用概念圖、兩階段評量、晤談等評量工具得知學生是否已了解類比物和目標物的相似、相異性及其關連程度。
- (4)儲存 (storing)：學生從類比推理的學習過程中，若已自我建構完整的主題概念基模，便可以儲存於大腦的記憶庫。
- (5)歸結 (generalization)：在某主題概念所運用的類比物，是否可應用於其他科學概念，探討其相似、相異性之衝突情境。

2.教學層面的應用

Baker 和 Lawson (2001)運用類比推理的教學策略能協助理論概念的建構並能成功應用於教學上。不過，教師若要運用類比推理的方式教學，應了解學生對於兩系統(資源或類比物、標的或目標物)的理解程度，和目標物與概念間的相似與相異程度、適當與否、是否會造成迷思概念等。Gentner (1977)提出若學生能描述標的概念的普遍適當的層級，他們就能夠解決四種形式的類比問題，且能理解其關聯性的隱喻 (Vosniadou, Ortony, Reynolds, & Wilson, 1984)。同樣的，若要利用類比推理有效的輔助學生產生概念改變，就要對學生的先前概念有清楚的認知，根據 Piaget (1962)提出對於具有先前概念的學童所採用的類比推理是依據一穩定的概念系統，且發展於具體操作期；但許多研究顯示學童能夠早於具體操作期形成具一致性且穩定的推理模式，而且若獲得所需的知識尚能進行演繹式的推理 (Carey, 1985)。Duit (1991)綜觀要使學生的概念能利用類比轉移的必要且成功有兩條件：一為採用的類比物必需是學生所熟悉的；二為學生對於此類比領域是不會產生迷思概念的。因此學生的年紀並不是影響類比推理的主要因素，而是教師所引導的內容和方式才是決定學生概念建構或改變的成敗主因。

Dagher (1994)認為教師也經常運用類比試圖簡化一些困難的概念，且利用類比將一

些生活週遭較熟悉的事物 (包括系統、概念、物體等)與抽象的事物相比較，使抽象的概念具體化。Nersessian (1992)提到類比不僅可以引導學習，同時還能結合邏輯推理更進一步去解決問題；亦即類比的本身不僅可以協助推理，進而可以使問題獲得解決的方式，因此Nersessian (1992)確認類比推理 (analogical reasoning)為許多探索過程中具關鍵性的步驟。如一些著名的科學概念包括 Darwin 的天澤說、Newton 的萬有引力定律、Rutherford-Bohr 提出的原子模型等皆是以類比作為新知識的建構 (Dagher,1994)。但 Harrison 和 Treagust (1996)提出八到十年級的學生對於建構原子和分子模型時會傾向於不連續、具體的結構，而大多數學生會以行星式模型類比原子模型，並與學生的晤談上發現學生對於原子的心像和真實之間有顯著相關，亦即學生在此年紀缺乏以科學模型建構的經驗和智力成熟度的不足，故無法成功的解釋模型的多樣性 (multiple)，且對模型的詮釋與教師的理解不一致。Dagher (1994)提到使用簡單的類比是運用類比物與標的間實際上整體或部分的相似，倘若兩者間潛在一些不相關的特質或關係，則有可能產生干擾而導致錯誤的預測與結論；Genter (1989)指出類比雖然有助於概念的理解，但未必會產生概念的改變。所以教師在使用時，除了分析類比物與目標物之間的屬性與關係(相似、相異處)，還必須對類比限制處多加以說明。

其他尚能運用科學史的認知分析教學輔助學生建構推理模式。如 Nersessian (1992)指出唯有對科學的發現過程以認知的角度加以分析，才有助於學生學習科學家的思維方式、瞭解科學概念的演進、進而建構推理的過程。他也進一步指出歷史的過程提供學習活動一個模式，它有助於學生對科學理論建構出有意義的表徵，因此教學上可透過對科學家的認知分析促進學習的發生。教學範例如：介紹原子模型內含質子、中子、電子的發現過程順序及特性性質等。

三、類比教學的限制

Zeitoun (1984)是首位提出以類比進行科學教學模式之一的研究者，且根據建構學習策略認為，類比是一種可以使非直覺的概念更為有智慧和合理化的工具 (Cosgrove & Osbrone, 1985)，科教學者至今已經發展出數種類比教學的方式以協助學生學習，包括 (1)GMAT (一般類比教學模式)；(2)TWA (類比模式的教學)；(3)銜接類比模式 (Bridging Analogies Model)；(4)多元類比模式 (Multiple Analogies Model)；(5)學生產生類比模式 (Student-Generated Analogies Model)；(6)故事性類比模式 (Narrative Analogies Model)；(7)以實例為基礎的推論模式 (Case-Based Reasoning Model)等。整體而言，類比教學的優點有：生活化、可簡化概念的複雜性、可銜接不同的類比形成推理過程、提昇學生學習興趣、使概念從抽象到具體、可使概念間產生連結等；缺點為：若舉例不當易使學生

產生迷思概念、概念舉例困難等。教師應針對科學概念選擇適合的教學模式。有很多的方法可用來決定科學課本和科學教學中運用類比的有效性 (Dagher, 1995b)。

許多研究發現融入類比的教學模式中，很難讓教學策略與研究結果產生連結。但這些研究卻顯示並非在教學/課本中存在著類比，因而造成學習成就的不同，而是因為以類比進行教學過程中的情境所造成的差異 (Dagher, 1995c)；Holyoak (1985)也提到情境因素(contextual factors)對實際上教學目標的影響。另外，Dagher (1995b)認為這些研究並未針對如何成功使用類比的基本要求進行設計，如類比須比目標物簡單、必須容易理解且與學生背景知識相關、且須討論類比與目標物間的相似與相異性。

從認知科學的角度來看類比教學，由多重限制理論：假設在使用類比時，受到一些一般性的限制所引導，可使這些限制合在一起，鼓勵以整體的方式進行類比思考

(Holyoak & Thagard, 1997)。其限制可從三方面來探討：

- (1)相似性限制：類比是被一些直接相關的組成成分所引導。
- (2)結構上限制：類比受到為了找出類比與目標物角色是否在結構上持續相符的壓力所引導。
- (3)目的上限制：類比思考受思考者的目標所引導，意即受類比所欲達成的目的所影響。

從教學角度來看上述三種限制，也為了解決因情境因素所造成學習成就的差異，必須顯示類比的產生者與詮釋者兩種層次來運作。倘若類比產生者(如教師)有興趣與詮釋者(如學生)進行溝通，教師就會對學生針對其類比的相似性、結構和目標等想法列入考量，及因應不同的學習情境可以修改或改變原有的類比。教師如果能夠知覺到這三種限制對於學生在學習上的困難，將有助於對於在進行類比教學之前的選擇、解說與使用目的等。(1)若學生無法分辨相似性，即使教師知覺到主要關係的相似性還是不夠，如 Gentner 和 Gentner (1983)指出若學生對於水唧筒不理解，將無法因從運用類比教學而得到益處。(2)為增進學生對於結構的相似與相異處之理解，教師可以將目標物與類比物間的關係對學生解釋清楚。(3)廣泛的理解學習概念的目標與目的，可以使用適切的類比與有效的探索適切的課程內容與價值。

從歷史的角度來看類比教學，必須依據下列三種因素進行評量：

- (1)認知上的可使用性：如我們常用水流類比於電流 (Gentner & Gentner, 1983; Stocklmayer & Treagust, 1994)。
- (2)將目標物與類比物進行適當的連接。
- (3)文化上的可用性與適切性：如使用蘇俄娃娃類比來描述地層，但學生未曾見過蘇俄娃娃 (Dagher, 1995c)。

從上述文獻建議若能融入類比或類比推理於課程設計中，將可輔助學生在原子抽象概念的學習，且能協助學生解決問題 (Dagher, 1994; Harrison & Treagust, 1996)。於是本研究結合多位科學教育專家與資深科學教師依據多年教學實務經驗結合文獻，運用類比於原子概念的相關研究，在原子學習網的主題三、四、五融入類比與類比推理(如以動畫呈現原子結構)的教材設計，期望學生歷經教學之後能增進對原子單元內容的了解。

第四節 原子概念

一、學生學習原子概念的困難處

在科學概念的建構上，微觀的粒子理論是化學學習的重心，且對原子和分子概念的理解與使用更是科學教學中最根本的 (Haidar & Abraham, 1991)，但是實際教學中卻發現國中生對於原子、分子及其相關的概念很難理解 (邱美虹和高淑芬, 1999)，且學生無法用原子與分子概念去解釋化學現象 (Andersson, 1986)；Nussbaum (1985)提出學生在物質 (matter)觀點的學習：包括物質即其狀態 (state)、粒子理論上是有困難的。例如：許多中學生雖然熟悉“原子”和“分子”的名詞，但是對於物質的本質上仍保有不一致的另有概念，如有研究顯示各種年齡層的學生持有物質是連續的而非粒子模型的比例達顯著差異 (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986)。且當他們知道物質是由微小的粒子所組成時，多數人相信氣體不是物質，因為看不到也摸不著 (Smith, Grosslight & Davis, 1997)。因此學生不僅對於肉眼看不到的分子的基本性質之理解上有極大的困難，而且難以陳述分子狀態轉變的原因 (Novick & Nussbaum, 1978; Nussbaum & Novick, 1981)，他們認為物質的巨觀特性與分子的原子性質有直接關係，如許多學習者相信冰是冷的、硬的分子所組成且不能移動 (Berkheimer, Anderson, Lee & Blakeslee, 1988)，Andersson (1986)也提出有許多學生將原子世界視為巨觀世界的一部分，能應用於巨觀世界的事物亦能應用到微觀世界。

二、關於原子結構的另有概念與認知研究

基本上“原子結構”單元所包含的概念傾向抽象且牽涉許多科學名詞，加上學生生活經驗的不足，不論國內外的研究都認為該單元屬於較難學習的單元，所以學生在學習上也較易產生另有概念。研究發現年齡層從小學到大學在原子和分子模型學習上持有迷思概念的人數達顯著性 (Ben-Zvi, et al., 1982; Novick & Nussbaum, 1981; Osborne & Cosgrove, 1983)。如 Griffiths 和 Preston (1992)以半結構晤談發現 12 年級學生對於原子結構、大小、重量、擬人化的另有概念，且部分類似科學史的發展；Stepans (1991)提出大多數學生認為原子是可以被壓縮的、伸展或作其他如彩色圈圈的改變，而分子則是以

棒、桿、或彈簧聯結的有色球體；Garnett, Garnett 和 Hackling (1995)則發現學生會將粒子擬人化，並認為巨觀性質視為粒子特性，例如粒子會受熱膨脹、遇冷收縮等。依據國外學者的研究顯示學生在建構“原子結構”時，所可能產生的另有概念包括：

- (1)把原子擬人化：a.有些原子是活的，但有些不是 (Griffiths & Preston, 1992)。b.原子是活的，因為它們會運動 (Garnett, et al., 1995; Griffiths & Preston, 1992)。c.原子具生命力，會成長及分裂 (Harrison & Treagust, 1996)。
- (2)原子的樣子、形狀：扁平的，或為球體 (Giffith & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 1996)。
- (3)一個原子大到足以用顯微鏡觀察得到或是重得可秤量得到 (Garnett, et al., 1995)。
- (4)只有一種原子或所有原子的大小、重量都相同 (Garnett, Garnett & Hackling, 1995; Griffiths & Preston, 1992)。
- (5)原子與原子間有存在著其他物質 (Griffiths & Preston, 1992)。
- (6)外在環境如熱、碰撞或狀態的改變會使原子的大小發生變化 (Garnett, et al., 1995; Griffiths & Preston, 1992; Stepan, 1991)。
- (7)電子僅在固定的軌道上運動、電子只具電荷沒有質量 (Griffiths & Preston, 1992)。
- (8)電子殼層就是殼層上的電子包圍並保護原子，而電子雲為被電子鑲嵌的結構 (Harrison & Treagust, 1996)。

有些學者提及可以利用類比簡化一些困難的概念，使抽象概念具體化，並能引導學生學習，進而使問題獲得解決 (Dagher, 1994; Nersessian, 1992)，減少學生的另有概念。同時，Gentner 等人(1997)指出，類比是知識改變機制中很重要的一環，經由此方式可以促進個體對新事物的洞察。Vosniadou (1987a)則認為可以使用言語、圖像等經由內在交互作用後形成心智模式，如使學生呈現腦中的原子模型。因此本研究運用類比的方式協助學生建構原子的概念。

此外 Cros, Maurin, Amouroux, Chastrette, Leber & Fayol (1986)以自由、半結構晤談及問卷三種方式探究大一學生對於物質的組成及酸鹼概念，發現有 97%很清楚原子和原子核的內部成分，其心目中最主要的原子模型為波耳行星模型，但學生不了解成分間的互動關係或產生另有概念，並且學生的知識傾向定量和形式 (formal)化，且無法與日常生活經驗的連結；Harrison 和 Treagust (1996)對 8-10 歲的學生晤談中也發現，許多學生傾向建構包含抽象(不連續)的和具體(連續)的原子模型之心智模式。因此本研究設計許多類比期望協助學生建構較正確完整的心智模式。

學生對化學反應的理解更是困難，Ben-Zvi 等人 (1982, 1987)發現國三學生對於化學

反應中的結構方面和互動本質持有另有概念，他們認為化學反應為將反應物加成在一起而形成產物，而無法想像出是一連串的斷裂和形成的過程。此外，Yarroch (1985) 晤談 14 位高中生關於平衡化學方程式的知識，其中有 9 位不了解方程式中係數與元素符號下的數字所代表的意義，而認為其中的的箭號與等號差不多，也不能圖示出正確的表徵，僅 5 位學生能正確畫出分子內原子的連結。例如他們無法區分 3H_2 是代表 3 個獨立的氫分子；而其中每個氫分子是由 2 個氫原子鍵結而成，而是認為與 6 個單獨分開的 H 原子無太大不同。

綜觀在教學上教師應針對學生於學習原子概念的另有概念，使用適當且有效的教學策略對症下藥，增加學生在此單元的理解力。除了必須提升學生的一般推理能力，也需加強主題相關概念的推理能力，且研究顯示科學推理能力與原子和分子概念的理解力有極大的關連 (Gabel, *et al.*, 1987)。Gentner 等人(1997)提出概念改變中，類比的四個過程(強調、投射、再表徵、重建)，來說明類比有助於改變知識與理論的結構。而 Baker 和 Lawson (2001)認為類比推理的教學策略能協助理論概念的建構並能成功應用於教學上。因此本研究將結合類比與類比推理協助國中生於原子單元的建構與概念改變。



第五節 網路科學學習

一、互動式網路教學

1. 資訊融入教學：

正如台灣地區中小學資訊教育總藍圖座談會紀錄 (2001) 所述：老師將利用電腦與網路的特性，於適當的主題、適當的時機與各科教學相結合，並以活潑的教學方式改善原本枯燥、死板的教學模式。為因應九年一貫課程與新教學理念所需，關於資訊科技融入教學的教師研習活動被廣泛的宣導與推廣，目前「資訊融入教學」的定義與內涵仍是眾說紛紜，許多研習課程仍只教授電腦與網路軟體技術而已，與「教師能運用資訊科技融入教學活動」的目標有很大的落差 (徐新逸和吳佩謹, 2002)。就 Jonassen (1996) 以 mindtools 說明教學科技有三層次的應用，分別是「學電腦知識 (learning about computer)」、「從電腦學知識 (learning from computer)」、「用電腦學知識 (learning with computer)」，Jonassen 對電腦三層次的應用，對應到我國資訊教育發展分別是資訊概論 (computer literacy)、電腦輔助教學 (Computer-Assisted Instruction, CAI)、資訊融入教學 (technology implementation)。

早期的電腦輔助教學 (CAI) 已展現資訊融入教學的雛型，符合行為主義學派觀點，

以教師為中心，利用學習者與電腦所呈現的訊息進行刺激與反應的連結，產生增強作用以建立新的知識。當學生作答正確或表現出教學目標所預期的行為時，電腦可給予正面的肯定(正增強)，具有鼓勵學習者朝向目標學習並告知已達成之目標 (Godfery & Sterling, 1982)；而後 CAI 更朝向以學習者為中心的電腦輔助學習(Computer-Assisted Learning, CAL)，相較於 CAI，許多研究結果顯示 CAL 的程式控制之教學能產生更多人控制的感覺，且較能增進學習成效 (Park & Tennysun, 1980; Shyu & Brown, 1992, 1995)，並可促進學習者的內在動機，除了符合行為主義學派，也符合認知心理學派主張。故不論從理論和應用層面而言，CAL 比 CAI 在教學上更具實用性與前瞻性。

近年來更重視資訊融入教學，現有融入方式大致有：電腦簡報的展示、電腦輔助軟體、結合網際網路等 (張國恩，1999)。此外，利用電腦多媒體呈現的畫面必能帶給學生更多的感官刺激與震撼，提高學習動機 (陳明溥，1991；蔡東鍾，1997)。Moersch (1995) 將資訊融入的程度可分為：不使用、知覺、探索、融入、整合、擴充、精緻等。教師可依照課程需要採取適當等級應用於教學中，如張俊彥和董佳茗 (2000) 在教授地球科學課時，運用多媒體 (Multimedia) 呈現效果可模擬野外考察的過程，讓學生有身歷其境的感受；She 和 Fisher (2003) 利用 Flash(動畫軟體) 和網路呈現理化科的學習，強調運用電腦科技輔助教學可提昇學生更深層的心智能力，並增進互動的學習過程，學生藉由自行統整與建構完整的知識，頗能符合現今教育重視之建構主義學派的主張。

2. 互動式學習與概念改變

依據建構學習觀點，學習者在學習中必須藉由與其他個體或環境互動後建構出個人知識。所以教師必須提供此種學習環境，才能成功引發學習者對課業的興趣；而學習者需要在教室內主要投入科學活動，並與適合之科學模式互動，用以激發和強化認知的成長 (Lakin & Chabay, 1989)。

學生在學習過程中通常有強烈傾向於建構無標準的概念意義，有些學生在離開教室時，可能會因為沒有得到標準答案而感到沮喪。且在傳統教學模式中，教師藉由板書單向將知識傳授給學生，無法達成互動式學習；反觀 Driver & Oldham (1986) 提出別於傳統式教學的一般性建構主義教學基模可包含三階段：

- (1) 誘發階段：教師提供機會使學生能將其想法展現，並能瞭解同儕的想法。
- (2) 重新結構階段：教師運用能與學生先前想法互動的活動，鼓勵學生將其原先想法朝著學校科學(科學家)的方向思考。
- (3) 回顧階段：學生被要求反省其想法並改變思考方向。

建構式的教學基模的「回顧階段」是為了讓學生有機會省思先前的想法，亦即協助

學生建立恰當的後設認知。Baird 和 Mitchell (1986)指出許多學習者擁有一些共同且常出現的不佳學習傾向，如表面或衝動性的注意力、未成熟的結論、缺乏反思的能力等，以及思考受到阻礙而停滯不前，需讓學習者有再次回顧的機會，才能減少學習障礙，也才能使學習者產生概念改變。

二、網路學習模式與成效

1983 年全球資訊網 (World Wide Web, WWW) 建立後，不但能夠整合文字、圖形、聲音、影像、動畫等資訊，且具有無遠弗屆的超連結功能，並能夠打破時空的限制，持續的學習，營造互動式的學習情境，其豐富的資源使得網路學習的環境更多元化，因此，網路學習逐漸成為資訊融入教學的主要模式。我們將結合建構主義觀點與電腦輔助教學之合作學習，從四方面來探討：

- (1) 資料庫 (data base)：在教室中的討論過程中，因大腦記憶空間有限，易流失部分資訊，然而藉由電腦的資料庫支援強大記憶功能，可以將所有互動的內容紀錄下來，讓學習者可以回顧先前討論的結果，有助於知識的建構。如「COLRAL」系統是利用 BBS 線上討論方式(如電子版、語音或影像會議等)鼓勵學生與同儕、教師互動學習 (Black & McClintock, 1996)。
- (2) 傳輸範圍：透過網際網路可以打破空間的限制，擴大溝通的範圍，讓同儕或專家等不同社群的人可以一起加入討論，使議題呈現多元觀點，不但可豐富知識領域，進而促進互動討論及其品質，真正達到知識無國界的理想。如「SLANT」計畫(關於語言和新科技結合) 為運用網路遊戲學習；「EDG」(電子討論群) 可擴大教室非正式的會議討論；「CMC」(電腦媒介溝通) 以教室廣大的電子討論群形式呈現。
- (3) 視覺化 (visualization)：利用電腦媒體產生多樣的視覺圖像，營造合作視覺學習的環境，這是極具挑戰性的嘗試，一般教學環境較難以做到，且透過視覺資訊的輔助，可提高討論及共同建構知識的深度。「CoVis」(Collaborative Visualization) 是藉由同步和非同步的互動模式，內容包括提昇科學學習、開放式探索的科學視覺化工具、建造討論及合作的網路學習環境，輔助建構學習；利用 VR(虛擬真實)科技和 AR(擴大真實)提供師生面對面合作學習的情境，如數學圓錐的教學，可用虛擬實物影像呈現於電腦上。

此外，別於傳統的紙筆評量方式，近年來配合九年一貫教學，各領域為激發學生多元智慧也呈現了多元的評量準則，譬如自然科有實驗操作評量，英語科有會話評量等，然而隨著電腦融入教學的盛起，網路評量已是未來的趨勢，且許多研究也正在進行。此外還包括基於合作學習的觀點和目標所衍生出的同儕互評，徐雍智、蔡今中、陳明璋

(2000)說明同儕互評是為促進學生思考與學習及良好的心智習性，並由同儕互評與數學創意類比過程中可促進學生較高層次的思考，學校與老師需提供多元化的評量管道評量學生的學習過程；另有些學者也指出，同儕互評是一種合作學習方式，同學們給予初步想法，並藉由小組評量讓同儕給予回饋以刺激他們更深一層的思考 (Tsai, Lin & Yuan, 2002)，如此一來，不但可以回顧同儕作業，也可以修正自己原來的作業，如此更可以達到網路互動學習優於傳統單向學習的成效。

三、網路與科學學習

現今利用網路學習融入科學概念的教育研究模式，大約可分成以下幾種典型：

- 1.鷹架學習理論：教師扮演著架設鷹架的角色，協助學生學習，在學習過程中逐漸將學習的責任引導至學生身上，最後的目標是學生能夠自我學習，主動建構完整的知識。而在網路的開放環境中，教師應能透過網路的功能，更輕易的建設有利學生學習的暫時性鷹架，讓學生在網路的環境中更容易有個別化的思考，獨立學習的優點。例如：Linn 等人 (2003)建立一個以網路為基礎的探索科學的學習平台(The Web-based Inquiry Science Environment, WISE)，提供中小學學生有關於調查、辯論、設計等類型的網路科學探索活動，並能藉由閱讀、提示、筆記、問答、視覺化的網路工具及討論等互動式學習，進行科學概念的探究。
- 2.網路融入 PBL (Problem Based Learning)：問題解決是一複雜的心智歷程，許多亦曾對其過程步驟各自提出不同的見解 (張俊彥 & 董家莒, 2000)。因此，張俊彥等人 (2000)採用改良式的「搜尋、解決、創造、分享」之問題解決教學在國民中學地球科學課堂上，並加上電腦輔助教學軟體確實能更有效的增進學生的學習成效。而對於非結構化的問題，游文楓、余曉清 (in press)的研究結果顯示網路化問題解決策略確實有助於提昇學生非結構化問題解決的追蹤測驗成績。
- 3.探究式(Inquiry)教學：KIE (Knowledge Integration Environment)為美國加州柏克萊分校於網路上架構的一套完整的探究式物理學習的虛擬教室，可以透過各項輔助工具軟體來支援學習者發現問題，並協助蒐集資料，與科學家線上見面討論，而若與其他課程相配合時，也可以當成實驗室使用，因此，學生在此學習情境下，能夠頗具創意的設計出一個經由自己蒐集、統整、分析資料後的問題解決方案。
- 4.後設認知(metacognition)：後設認知是指包括學習者的知識與個人特質外，尚強調了有效的學習策略，以及如何運用知識的重要性。She (2005)和 She & Fisher (2003)透過網路多媒體的電腦動畫與後設認知策略結合，針對學生難以理解的浮力概念進行研究，結果發現此學習模式確實有助於提昇學生科學概念的認知學習成效。

第三章 研究方法

本研究是結合科學推理 (主題一、二)、類比推理 (主題三、四、五)和雙重情境學習模式 (DSLMM)於網路互動學習，針對國中生原子單元的另有概念進行概念改變的探究。資料蒐集包括原子學習網、原子單元成就測驗、原子單元相依推理測驗、科學推理測驗(包括原子結構圖)及訪談等項目。

本章將針對研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計及資料分析等分別敘述說明。

第一節 研究對象

本研究是以新竹市某國中二年級的六個班級學生為對象，學生人數共 224 人，分班方式為常態編班。其中參與本研究教學的兩位教師皆有 10 年以上教學經驗的自然與生活科技領域教師，並分別擔任實驗組與對照組的教學。其中前者採用網路互動式推理課程教材，後者則為傳統式教學。

其次將學生分為兩組，包括實驗組與對照組各三個班，其中實驗組採用網路互動學習模式在電腦教室利用網路學習，共 114 人；而對照組採用傳統教學模式在教室中利用講述、討論與分組實驗等方法進行教學，共 110 人。如表 3-1-1。

表 3-1-1 教學模式與人數整理表

項目	組別	
	實驗組	對照組
教學模式	網路互動學習模式	傳統教學模式
人數	114 人	110 人

為了確保實驗組與對照組學生在自然與生活科技學業成績上無顯著性差異，研究者蒐集這兩組學生在二年級上學期第一、二次段考平均成績進行 t 考驗的統計分析。分析結果如表 3-1-2。

表 3-1-2 實驗組與對照組學生自然與生活科技學業成績差異檢定摘要表

項目	實驗組		對照組		平均差異 (實—對)	t 值
	平均數	標準差	平均數	標準差		
前測成績	81.71	16.29	78.73	18.02	2.98	1.29

註：N=224

第二節 研究設計

依據本研究之研究目的與參考相關文獻，研究者採三因子混合實驗設計法。本研究問題是探討不同自然與生活科技學業成績分組、教學模式、科學推理分組學生在原子單元學習成就、原子單元主題相依推理能力、科學推理能力上的差異。三個自變項包括自然與生活科技學業成績分組(高、中、低)、教學模式(實驗、對照)、科學推理分組(過渡、具體)等。依變項為原子單元成就測驗、原子單元主題相依推理測驗、科學推理測驗。並另外分析實驗與對照二組學生原子結構心智表徵。除此之外，針對實驗組學生在原子概念改變歷程、訪談等進行分析，研究架構如圖 3-2-1。

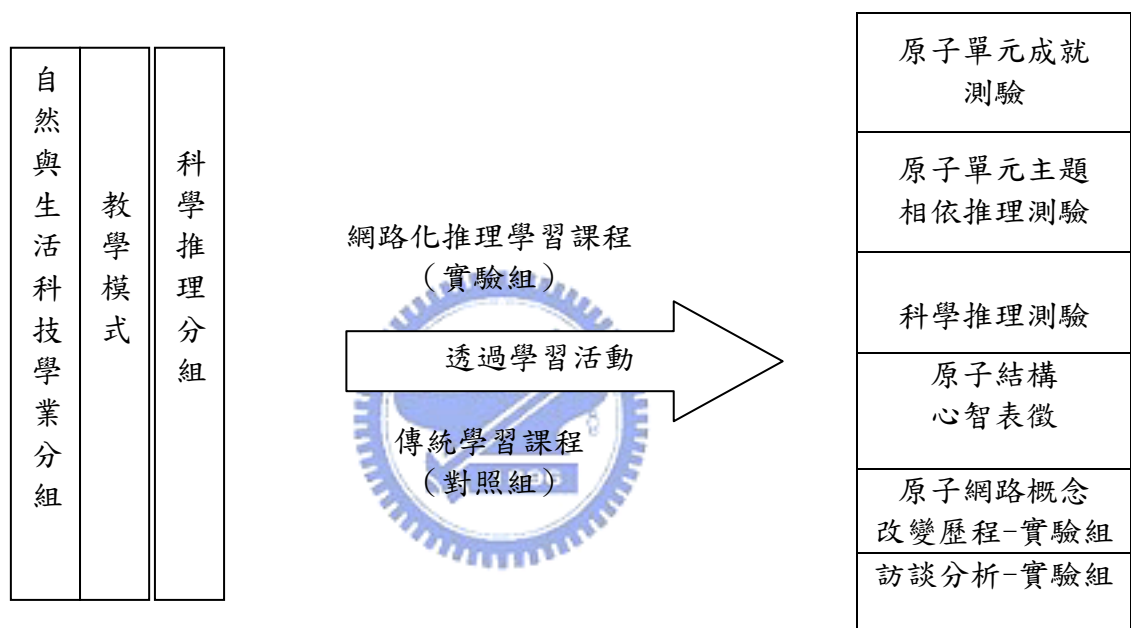


圖 3-2-1 研究架構圖

- 一、自變項：其中「自然與生活科技學業成績分組」以各班平均數為基準，自全體的中位數分成高(91 分以上)共 77 人、中(75-90 分)共 72 人、低(76 分以下)共 75 人三組。將「科學推理分組」依照 0-4、5-8 分，分成 concrete (具體運思期)與 transition (過渡期)兩組。此外，「教學模式」也是本研究的自變項之一，實驗組採用網路化推理學習課程，而對照組則是採用傳統學習課程。
- 二、依變項：本研究的依變項為學生的『原子單元成就測驗』、『原子單元主題相依推理測驗』及『科學推理測驗』。

在原子結構心智表徵上，本研究將探討不同教學模式對於呈現原子模型的結構表徵之差異情形。除此之外，並針對實驗組學生在網路上學習課程概念改變的歷程進行分析，包括原子單元各學習事件前後的學習歷程分析以及推理層級中概述(G)，精緻化(EL)，

辯證(J), 解釋(EX)的改變。而在訪談分析上, 則採用語意流程圖進行分析, 並進一步分析實驗組學生的概念數、正確概念分數及推理層級、概念改變量於教學前、後、追蹤上的差異。

第三節 研究流程

本研究流程分為三階段, 依序為研究準備、概念改變教學及資料分析。分述如下:

第一階段: 首先確立研究目的與問題並蒐集相關文獻及測驗工具的內容設計, 並以同校同年級約 10 個班級的施測進行信度分析, 完成具有信效度的相關測驗。同時依據 DSLM 結合推理與類比推理設計互動式推理學習課程。

第二階段: 概念改變教學階段, 針對不同教學模式進行教學前、後、追蹤各項測驗。教學過程中, 實驗組學生藉由網路進行原子單元的概念建構與改變學習; 對照組則是進行傳統式教學。

第三階段: 對研究期間所蒐集到的所有資料進行彙整分析與結論報告。

研究流程如圖 3-3-1:

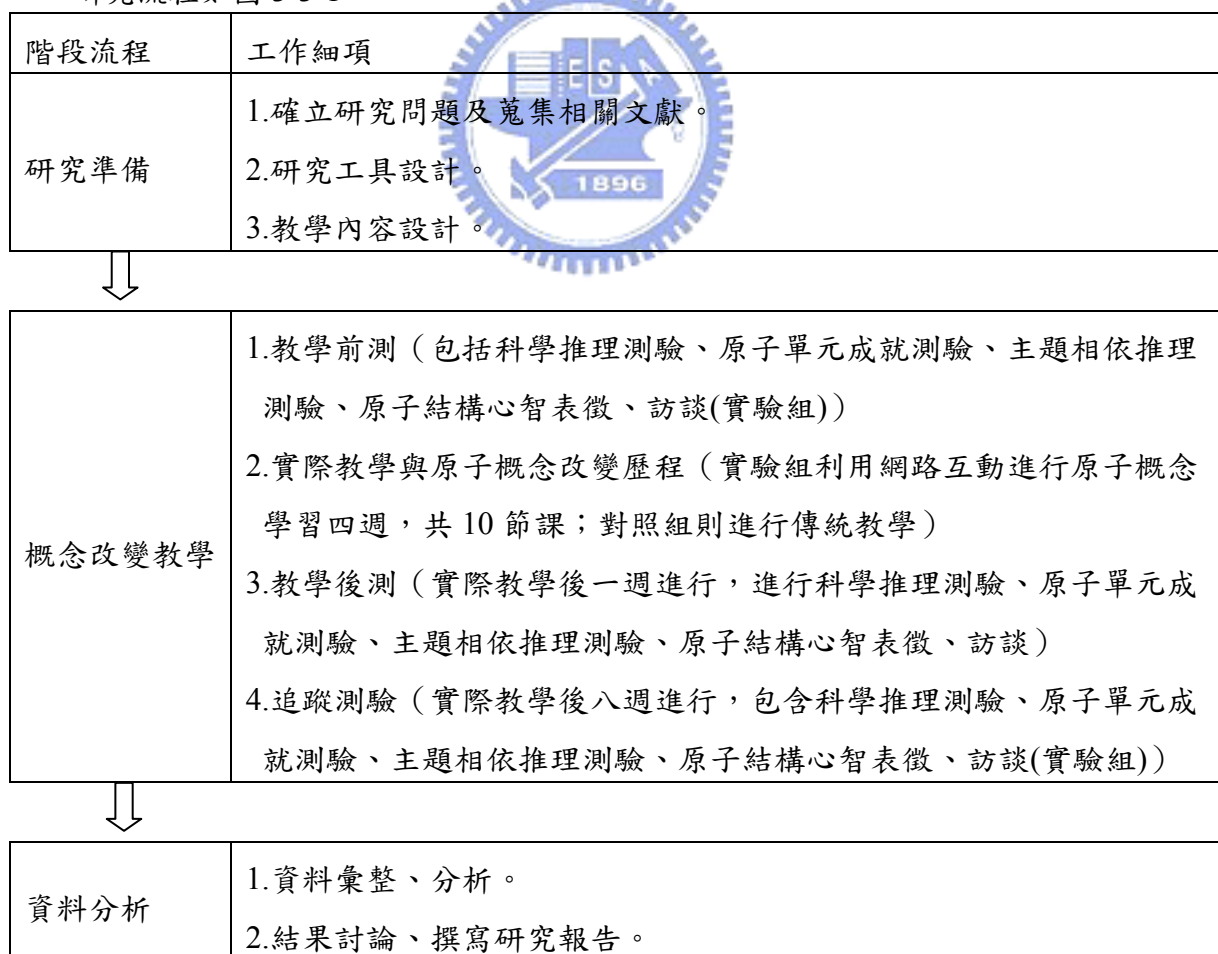


圖 3-3-1 研究流程圖

第四節 研究工具設計

本研究運用的教學工具有原子概念學習網、原子單元成就測驗、主題相依推理測驗、科學推理測驗、原子結構心智表徵、原子概念改變歷程以及訪談。

一、原子概念學習網

為了配合網路化互動推理課程與雙重情境之建構式概念改變教學，研究者建製了原子概念學習網，此學習網是根據類比推理與雙重情境學習模式的概念改變教學理論為基礎，運用推理與類比推理設計了一系列的概念診斷問題、學習情境事件及挑戰情境事件。學習者在學習活動進行時透過網際網路連線至本學習網，進行一系列的概念改變學習活動。

原子概念學習網是建構於“科學概念的建構與重建數位學習研究”的 Web Server 下，Web Server 使用 Apache Serv，主要程式是使用 PHP 語言所撰寫的，再配合 MySQL 資料庫作為資料儲存系統。網頁內容的動畫及互動模擬道具等功能是以 Flash MX 2004 及 MAYA 程式所製作而成的。網站系統建製完成後，先找一班國一班級學生進行實驗教學，以測試系統速度與穩定性並找出相關缺失進行修正，同時針對網站學習內容，由四位國中理化教師與兩位科學教育專家進行校對並給予建議，以求教學內容之正確性。

原子概念學習網各項功能簡介如下：

- 1.學習網站登入首頁：學習者進入科學概念的建構與重建數位學習研究網站時，首先需從會員中心輸入個人帳號、密碼，以登入資料庫系統，監測學習者的學習狀況，接著點選化學的原子單元進入學習。學習網站登入畫面請參考圖 3-4-1。

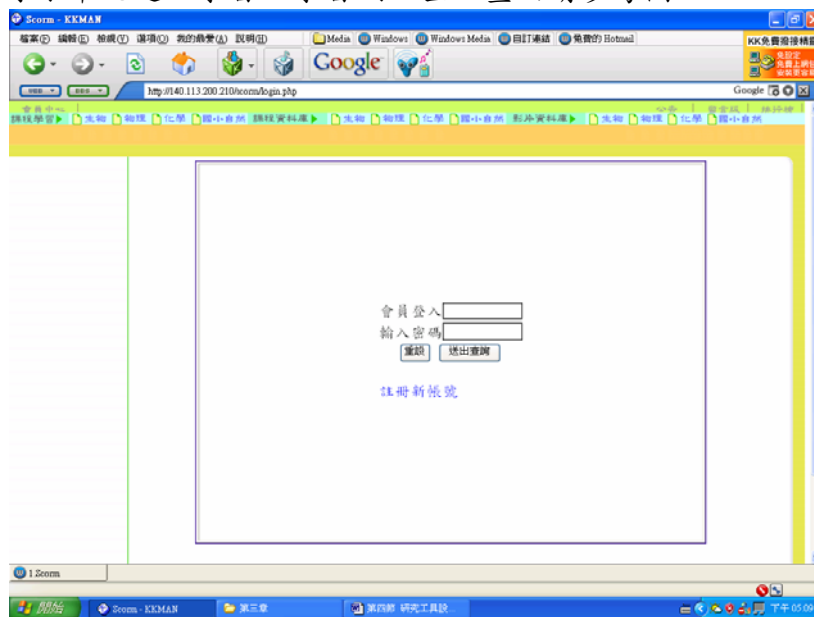


圖 3-4-1 學習網站登入畫面

2.學習狀況：顯示學習者目前的學習進度及顯示回答對錯所得到的獎勵或鼓勵，此動畫設計是用來提高學生的學習興趣並激勵其學習鬥志，由顯示的動畫和聲音讓學習者每完成一題後可獲得立即的回饋。學習狀況畫面請參考圖 3-4-2 及圖 3-4-5。

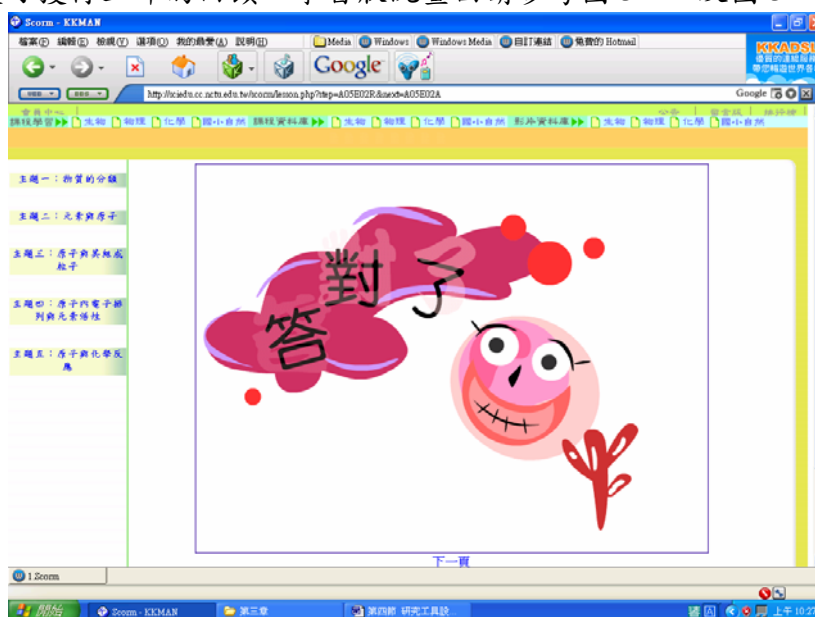


圖 3-4-2 個人學習狀況畫面(一)

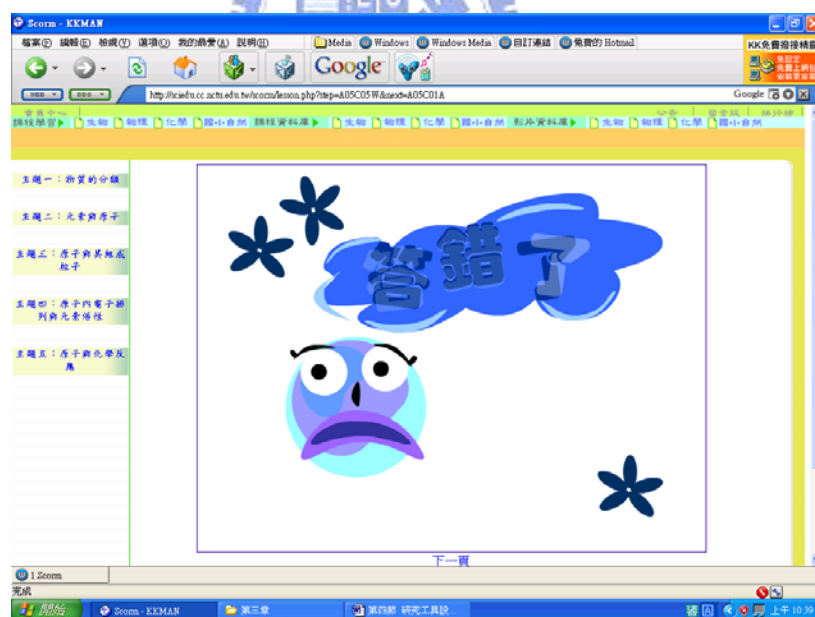


圖 3-4-3 個人學習狀況畫面(二)

3.留言版：留言版是提供師生或同學間互動與溝通的平台，研究者將每一主題所提及較關鍵且重要的科學概念放進此平台成一個非同步討論區，讓學習者可以利用非上課時間隨時和同儕討論以達成互動式學習，且還能分享學習心得和感想等。留言版畫面請參考及圖 3-4-4。

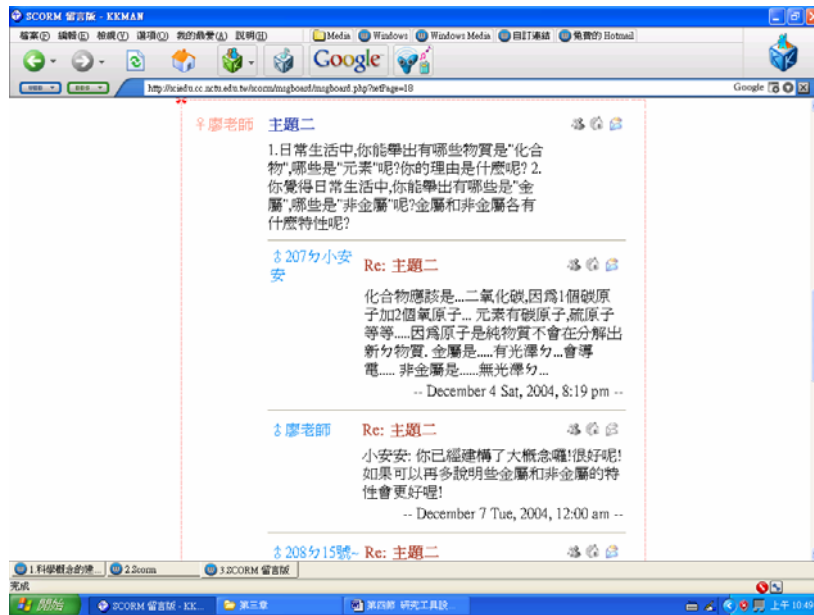


圖 3-4-4 留言板討論與分享畫面

4.學習事件：當學習者開始進行學習時，即進入類比推理及網路化互動學習模式的一連串情境學習事件中。學習者必須依照畫面呈現的進度一一進行概念問題的教學前後測驗及情境事件學習活動。其中情境事件學習活動是由靜態的圖片及動畫類比模擬微觀的概念，並以實際拍攝的實驗影片呈現巨觀的現象等。執行任務畫面請參考圖 3-4-5、3-4-6、3-4-7、3-4-8、3-4-9、3-4-10。



圖 3-4-5 學習事件～概念診斷畫面

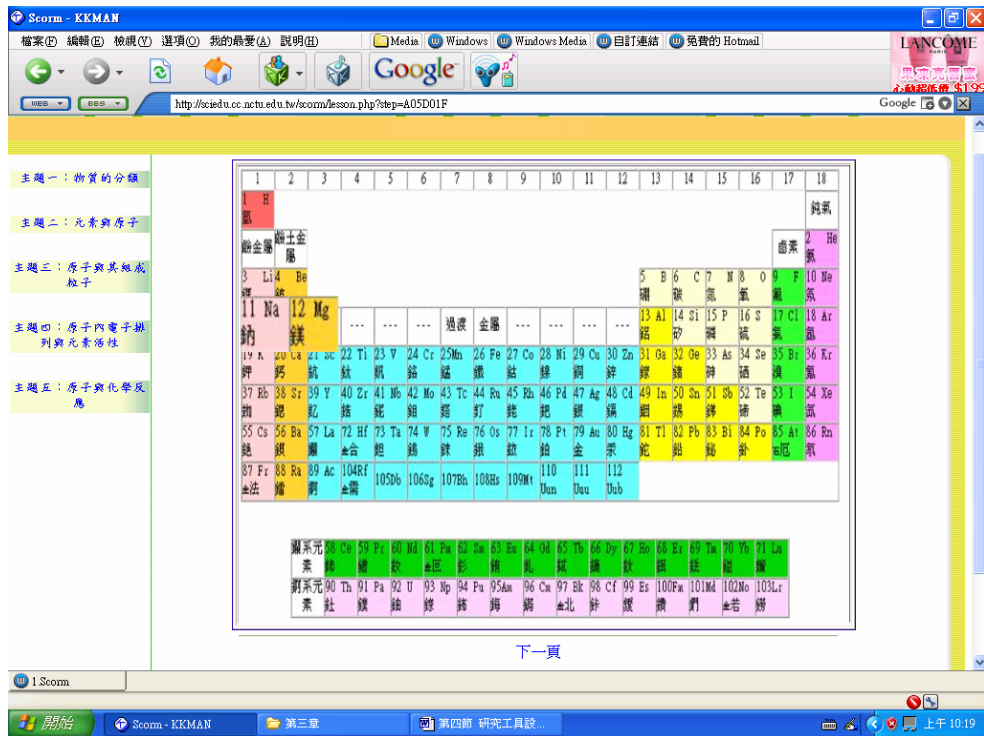


圖 3-4-6 學習事件～學習情境(圖片)畫面

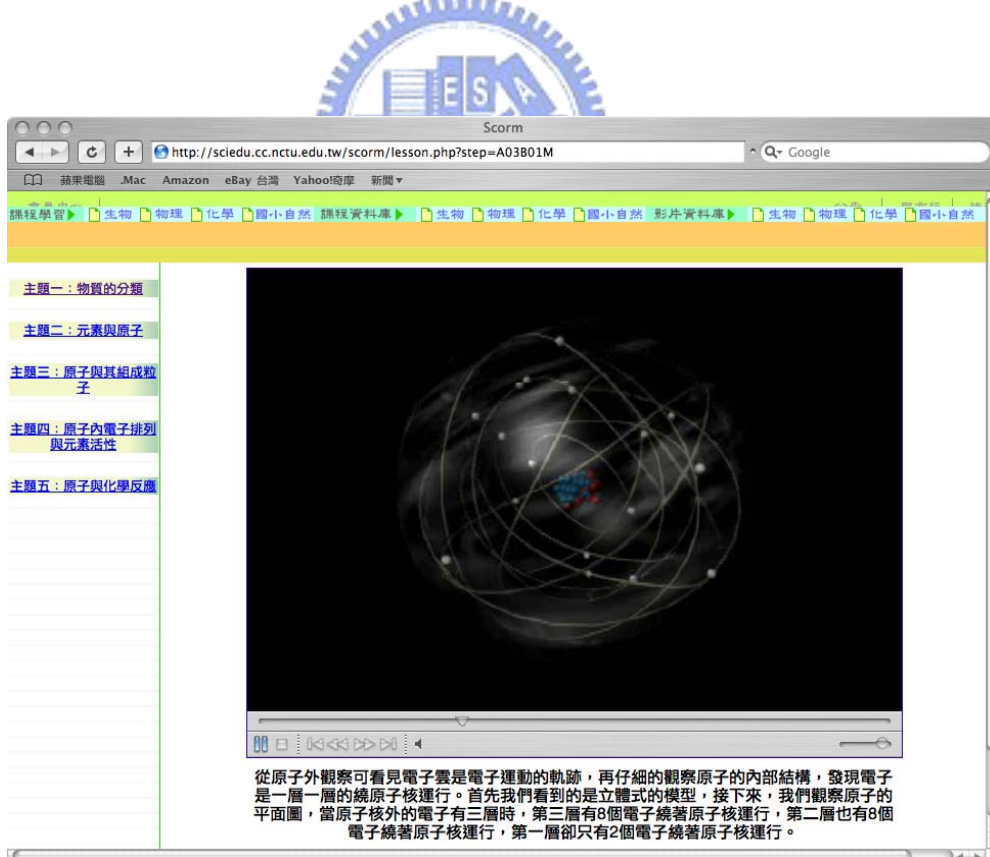


圖 3-4-7 學習事件～學習情境(連續動畫)畫面

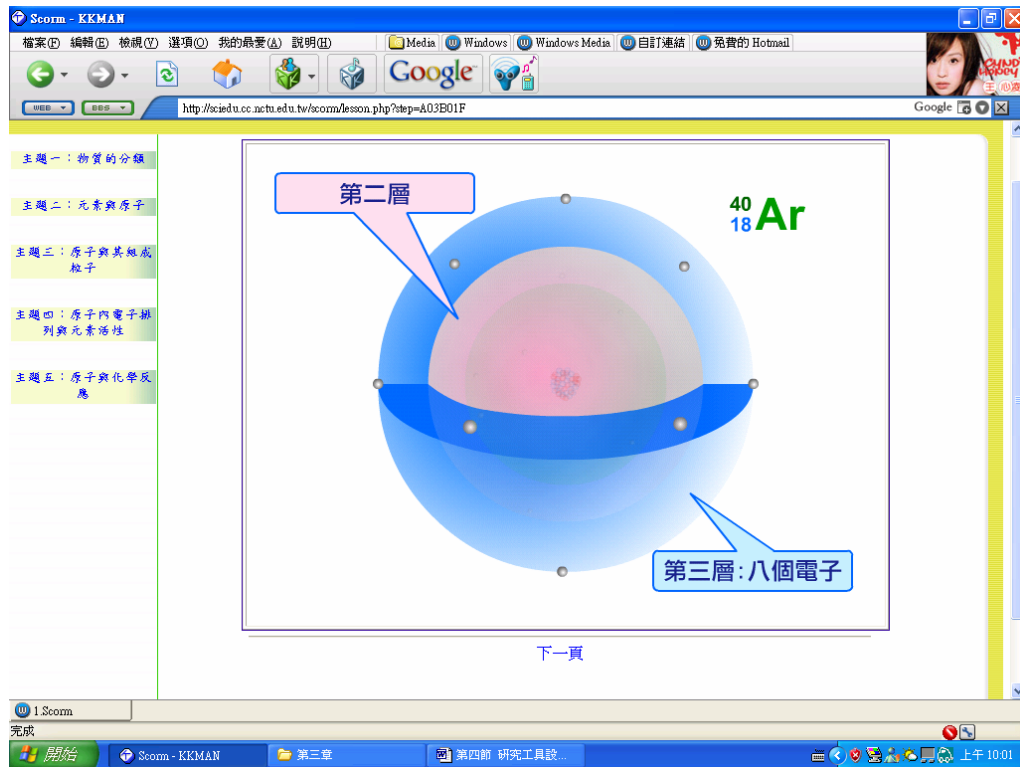


圖 3-4-8 學習事件～學習情境(互動式動畫)畫面

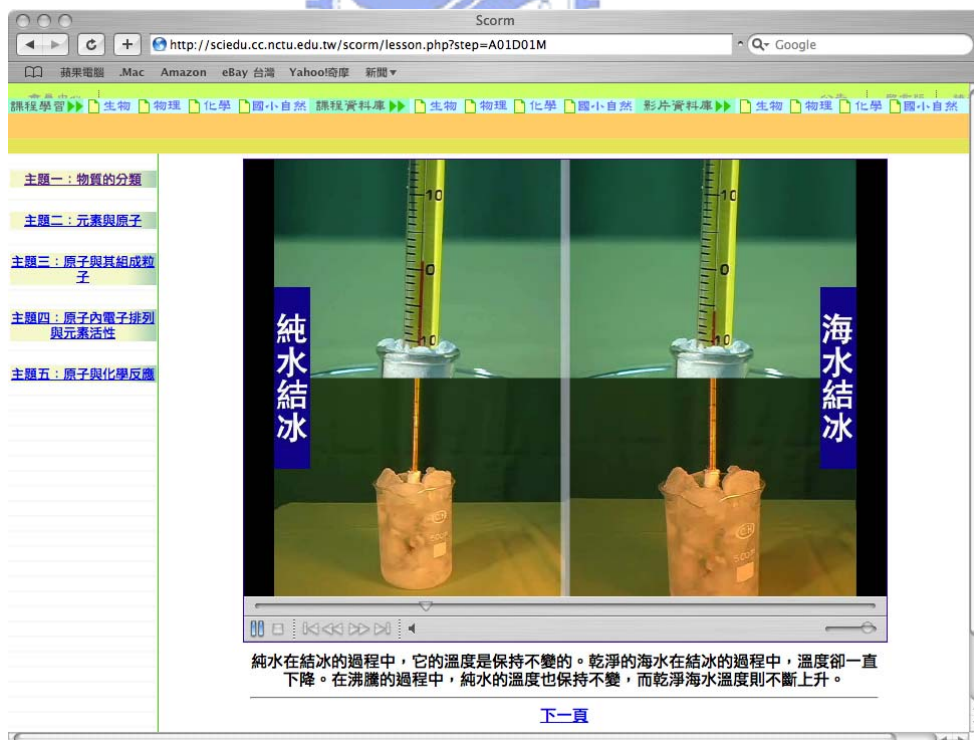


圖 3-4-9 學習事件～學習情境(實驗影片)畫面

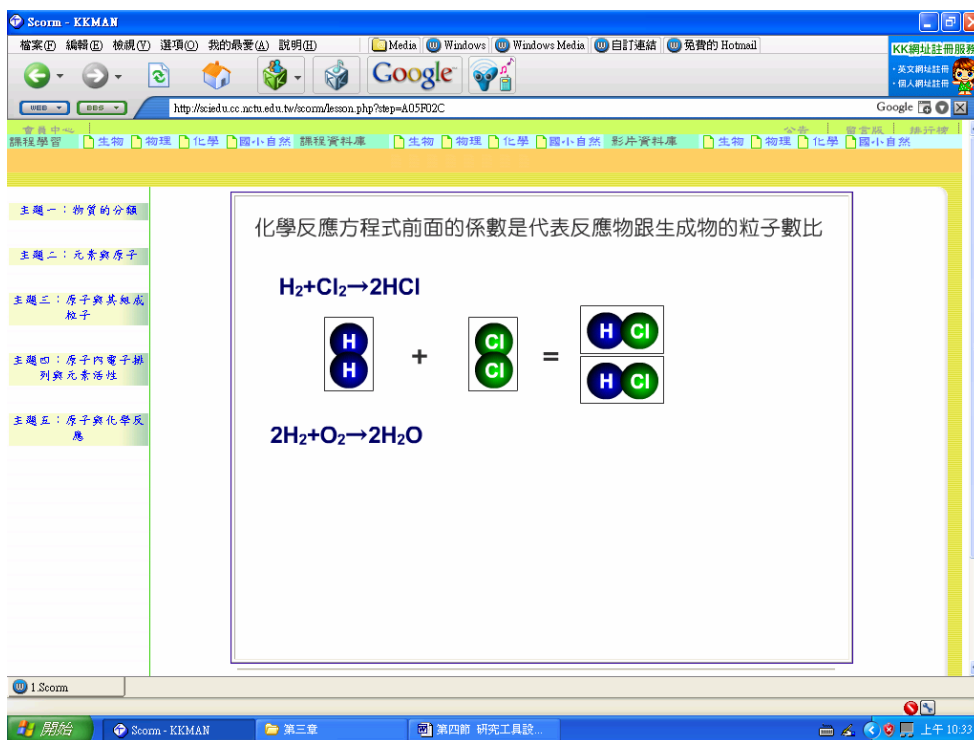


圖 3-4-10 學習事件～學習情境(概念解說)畫面

5.修改資料：提供學習者更改資料及修改密碼。修改資料畫面參考圖 3-4-11。

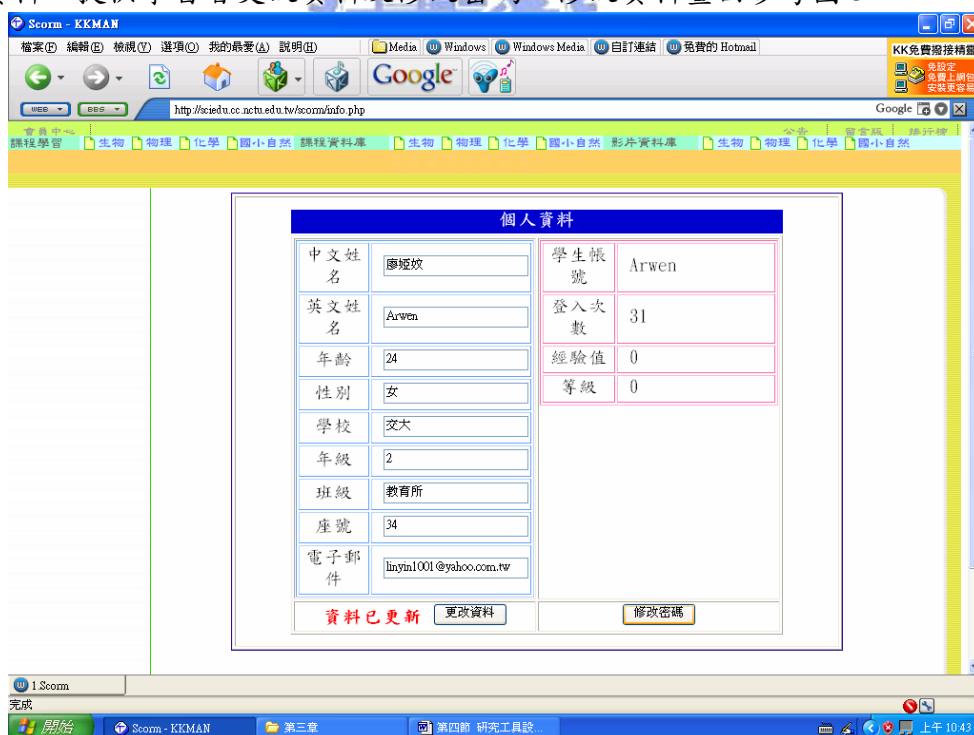


圖 3-4-11 修改資料畫面

6.申請帳號(管理者權限)：學習者在登入此學習網站時需建立使用者帳號，以便利之後的主題學習。申請帳號畫面請參考圖 3-4-12。

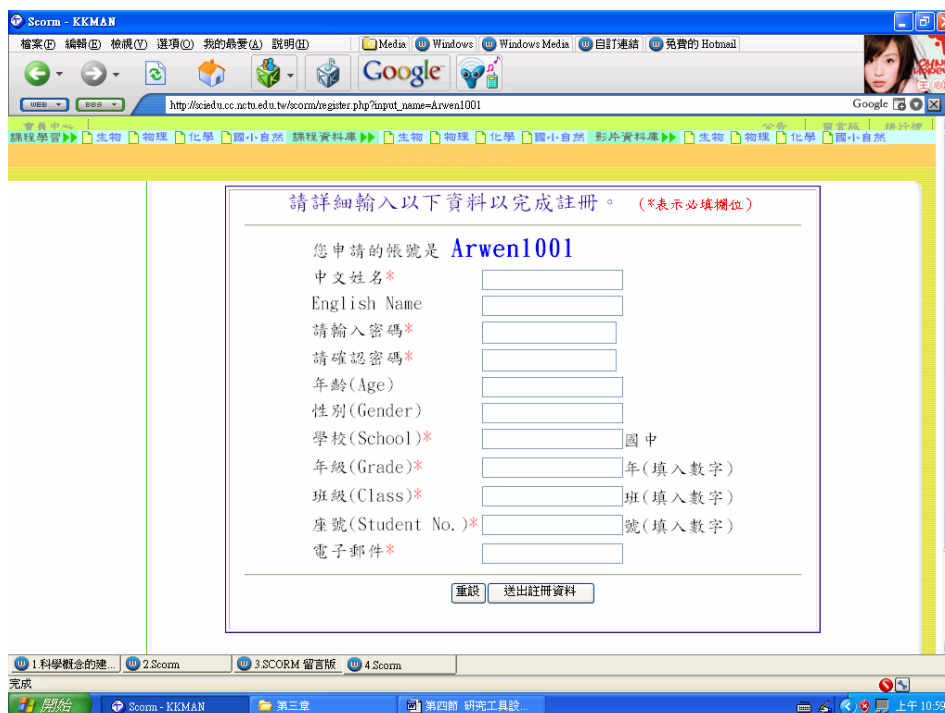


圖 3-4-12 申請帳號畫面 (管理者介面)

7.離開系統：登出科學概念的建構與重建數位學習研究網站，就離開原子概念學習系統。

二、原子網路概念改變歷程

本研究為探討網路化推理學習歷程中，學生在學習事件前後的概念改變以及是否經教學後提升概念推理層級。在研究者在原子單元的每個主題約設計兩題的推理題目，受測者分別在教學前、後作答，且在作答每一題時，必需先選擇第一層的答案選項並寫出理由；然後在第二層選出最接近的理由，藉由受測者教學前後的回答了解其每個概念建構與改變的歷程。此時系統會自動顯示兩次回答情形(包括答案、理由)，同時也顯示相同或不同，並要求針對兩次答案相同與否的理由提出解釋，以觀察其推理過程。問題型式舉例如表 3-4-1：(詳見附錄一)

表 3-4-1 原子概念改變歷程範例表

1-1 原子存在何處？1.生物 2.非生物 3.所有的物質 4.細胞

你的答案_____ 你的理由是_____

1-2 你的理由跟下列哪一個最相近？

1.原子必須存在於有生命的物體中。

2.原子本身沒有生命，所以存在於非生物(沒有生命的物體)中。

3.萬物都是由原子所組成，所以任何物體均含有原子。

4.細胞都由原子組成，而細胞只存在於生物體中，所以原子也只存在於細胞中。

你的理由是：_____

若前後答案相同

(1)你第一次的答案是：_____；你第一次的理由是：_____

(2)你第二次的答案是：_____；你第二次的理由是：_____

你原來和後來的答案相同，你的解釋是_____

若前後答案不同

(1)你第一次的答案是：_____；你第一次的理由是：_____

(2)你第二次的答案是：_____；你第二次的理由是：_____

你原來和後來的答案不同，你的解釋是_____

三、原子單元成就測驗

本研究目的之一是探討經過不同教學方法，國二學生對原子單元學習成就上是否有顯著差異存在。由研究者依據課程內容編製相關的認知部分測驗題目共四十題，共有五個主題，每一主題各有 8 題且內容採選擇題型式，計分方式以答對 1 題給 1 分，總分共 40 分。測驗編製時經由四位國中自然與生活科技領域教師與兩位科學教育專家共同檢驗，以求其專家效度。並在九十三學年度上學期原子單元課程教學前、後時施測。且經由施測學校約 10 個班級於教學前、後、追蹤施測，其整體試卷的前、後、追蹤信度 alpha 值分別為 0.76、0.91、0.93，由此可知此份成就測驗信度達理想範圍。(詳見附錄二)

四、原子單元主題相依推理測驗

本研究目的之二是探討經過不同教學方法，國二學生對原子單元學習相依推理能力上是否有顯著差異存在。研究者依據原子單元課程內容編製成五個主題的相關測驗題目，每一主題各有 8 題共設計了四十題原子題目，且各題內容採兩階段選擇題型式，受測者在作答每一題時，必需先選擇第一階段的選項，然後在第二階段選擇其理由的選項。計分方式必須兩階段都答對才給予 1 分，總分共 40 分。測驗編製時經由四位國中自然與生活科技領域教師與一位科學教育專家共同檢驗，以求其專家效度。並在九十三學年度上學期原子單元課程教學前、後時施測。且經由施測學校約 10 個班級於教學前、後、追蹤施測，其整體試卷的前、後、追蹤信度 alpha 值分別為 0.91、0.96、0.94。由此可知此份主題推理測驗信度達頗理想範圍。(詳見附錄三)

五、科學推理測驗

本研究目的之三是探討經過不同教學方法，國二學生的科學推理能力上是否有顯著差異存在。研究者採用 Anton E. Lawson 於 1978 年編製、且於 2003 年修訂完成的

「Classroom Test of Scientific Reasoning 作為評量施測者的科學推理測驗。內容採選擇題型式並依據六種推理層次：守恆(conservation)概念、比例思考(proportional thinking)、辨識與變數控制(identification and control of variables)、機率思考(probabilistic thinking)、相

關性思考(correlative thinking)、假設演繹(hypothetic-deductive)等共設計成 12 題兩階段科學推理題目，其中包括第一階段的答案選項和第二階段的理由選項。計分方式同樣採取答案、理由兩階段都答對才給予 1 分，總分共 12 分。其中 0-4 分達『具體運思期』(concrete)推理；而 5-8 分達『過渡期』(transitional)推理；9-12 分達『形式運思期』(formal)推理。將測驗原文經由四位國中自然與生活科技領域教師編製成中文，再經兩位科學教育專家翻譯成英文與原試題進行效化檢驗，並經由施測學校約 10 個班級於教學前、後、追蹤施測，其整體試卷的前、後、追蹤信度 alpha 值分別為 0.78、0.76、0.78。由此可知此份科學推理測驗信度達理想範圍。(詳見附錄四)

六、訪談

為深入了解學生經過原子學習網學生概念改變情形，研究者於每一主題設計相關的概念性問題，每班並以上學期前兩次段考平均成績高、中、低隨機各挑選 1 位男生 1 位女生，3 個班級共有 18 位學生在教學前、後、追蹤進行每次約 20-40 分鐘的訪談。(詳見附錄五)



第五節 教學設計

研究者採用余曉清 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b)發展出的雙重情境學習模式 (Dual situated learning model, DSLM)設計出網路化雙重情境學習模式原子概念改變的教學活動，並結合推理與類比推理作為編製網路互動式教材之依據，依階段分述如下：
 階段一：分析科學概念屬性：依據九年一貫自然與生活科技領域之原子概念的課程分析，本研究將原子概念所需擁有的心智架構分成五個主題如表 3-5-1。

表 3-5-1 學生學習原子單元所應具備的心智架構彙整表

主題一 物質的分類
1. 純水的判定
2. 純物質與混合物的判別
主題二 元素與原子
1. 化合物與元素的判別
2. 原子性質的判定
主題三 原子與其組成粒子

1. 原子結構與其組成粒子特性
2. 電子的運動與排列情形
主題四 原子內電子排列與元素活性
1. 惰性氣體的安定性與電子排列關係
2. 電子排列對於元素活性的影響
主題五 原子與化學反應
1. 化學反應發生與電子得失的關係
2. 電子排列對分子中原子個數的影響

在此階段所分析的心智架構中，對學生來說包括抽象的 (Abstract)、微觀的 (invisible or molecular)、物質的 (matter)、過程的 (process) 與階層的 (hierachical)，因此在教學過程中，學生常因為這些心智架構所具備的特質，造成學習概念上建構的困難。以下分別針對不同特質將上述的心智架構進行分類。

- (1) 抽象的 (Abstract)：意旨概念無法以實物呈現或實驗證明，如原子是否都相同，此性質的判定、惰性氣體的安定性與電子排列關係、電子排列對於元素活性的影響、化學反應發生與電子得失的關係、電子排列對分子中原子個數的影響。
- (2) 微觀的 (invisible or molecular)：意旨物質小到無法以肉眼辨識，包括原子結構與其組成粒子特性、電子的運動與排列情形、惰性氣體的安定性與電子排列關係、電子排列對於元素活性的影響、電子排列對分子中原子個數的影響。
- (3) 物質的 (matter)：意旨具有特定屬性的東西，包括純水的判定。
- (4) 過程的 (process)：意旨在事件的發生中反映出特殊屬性，包括混合物的判別、原子結構與其組成粒子特性。
- (5) 階層的 (hierachical)：意旨概念需由低階層先建構完成，再循序漸進到高階層概念的建構。如原子結構與其組成粒子特性、惰性氣體的安定性與電子排列關係、電子排列對於元素活性的影響。其中屬於低階層的包括原子是可以分割的、元素最安定的電子排列，而屬於高階層則包括粒子(質子、中子、電子)的質量及大小關係、元素活性大易造成電子得失。

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念：根據研究者與資深教師群的教學經驗及國內、外文獻研究分析，發現學生在學習原子單元容易持有的迷思概念如表 3-5-2。未標明出處表示研究者與資深教師群的教學經驗。

表 3-5-2 學生學習原子單元常見的迷思概念一覽表

主題一 物質的分類
1.乾淨的東西就是純物質。 2.經過處理過的就是純物質。
主題二 元素與原子
1.化合物是由許多東西混合而成。 2.所有原子的重量都相同 (Giffith & Preston, 1992)。
主題三 原子與其組成粒子
1.原子形狀為球體，裏面沒有其他的東西 (Giffith & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 1996)。 2.原子與原子間存有物質 (Giffith & Preston, 1992)。 3.電子在固定的軌道上運動 (Giffith & Preston, 1992)。 4.電子雲為被電子鑲嵌的結構 (Harrison & Treagust, 1996)。
主題四 原子內電子排列與元素活性
1.惰性氣體因為電子個數少所以安定。 2.鈉、鉀容易和其他物質反應是因為電子會亂跑。
主題五 原子與化學反應
1.化學反應方程式的平衡係數並非與反應物與生成物中的原子個數相關(Ben-Zvi, et al., 1987)。 2.氯化鈉是因為氯的電子個數多、鈉的電子個數少化合而成的。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構：比較科學概念屬性與學生的另有概念，我們可以發現學生可能缺乏的心智架構如表 3-5-3。

表 3-5-3 學生學習原子單元所缺乏的心智架構彙整表

主題一 物質的分類
1.純物質有固定的熔點、沸點特性，多用表面性質做判斷依據。
主題二 元素與原子
1.化合物可經由化學方法分解成元素。 2.組成原子的粒子其性質與構成原因。
主題三 原子與其組成粒子
1.原子是由內部的核心和核外一層層排列且不規則運動的電子所組成。

2.原子核所佔的體積非常小，原子的重量為核內質子、中子的總和。
3.電子以機率出現在特定的軌域。
4.原子呈現最安定時的電子排列情形。
主題四 原子內電子排列與元素活性
1.惰性氣體安定因為電子排列最穩定。
2.鈉、鉀活性大與最外層電子排列的關係。
主題五 原子與化學反應
1.化學反應發生時電子在不同原子間的得失個數及移轉情形。
2.分子的形成與原子間電子排列的關係。

階段四：設計雙重情境學習事件：依據學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，

研究者所設計的一連串情境主題事件依序呈現於表 3-5-4。

表 3-5-4 原子單元情境學習事件一覽表

主題一 物質的分類
1. 以影片呈現分別使純水和鹽水加熱、結冰時的熔點與沸點的變化情形。
主題二 元素與原子
1. 以影片呈現水電解時產生氫氣和氧氣。
2. 以影片呈現實驗室製造氧氣、氫氣並檢驗兩者性質的不同。
主題三 原子與其組成粒子
1. 原子結構的呈現。
2. 以動畫顯示電子的排列與運動情形。
3. 以實物類比原子核與原子大小的比例。
主題四 原子內電子排列與元素活性
1. 介紹惰性氣體的電子排列與個數。
2. 類比惰性氣體的電子個數排列探討其他原子電子排列對活性的影響。
主題五 原子與化學反應
1. 以動畫呈現化學反應中不同原子間電子的得失情形。
2. 以動畫顯示氣體以原子或分子存在的電子排列較為安定。

階段五：進行雙重情境學習模式的教學：研究者以問題引導、實物圖片、實驗影片、模擬動畫、互動動畫、概念探究等活動事件交替進行，教學之間並以教師的輔助說明與線上討論，在十堂課時間內完成整個概念改變教學的學習活動。每一情境主題事件多以問題引導(依據學生常見的迷思所設計)並結合推理，如表 3-5-5 的範例：

表 3-5-5 原子單元類比推理問題設計範例～比例思考 (proportional thinking)

1-1 你認為原子核與原子直徑的比例大約是多少？與下列哪一個選項最接近？(1)1：1

(2)1：10 (1)1：1000 (1)1：100000

你的答案是_____；你的理由是_____

1-2 你的理由跟下列哪一個最接近呢？

- (1)因為原子核和電子的距離可比喻為排球和籃球的直徑大小。
 - (2)因為原子核和電子的距離可比喻為網球和籃球的直徑大小。
 - (3)因為原子核和電子的距離可比喻為拾元硬幣和棒球場的直徑大小。
 - (4)因為原子核和電子的距離可比喻為排球和棒球場的直徑大小。
-

之後讓學生提出自己的概念詮釋，再藉由實物影像、實物影片、模擬動畫、互動動畫、模擬實驗、概念探究等活動事件引發學生的不平衡，同時讓學生親自觀察、體驗、探究與思考推理其答案，同時導入學生所缺少的心智架構，讓學生自行建構出接近科學觀點的概念。為了解學生在教學活動中概念改變的過程，一次只出現一到二個問題，且同樣的問題在情境事件開始與結束時都會提問一次，網頁的設計讓學生無法更改先前的答案，然後再依據兩次回答的一致性與否分別提出解釋。

階段六：挑戰情境學習事件教學：完成所有情境事件教學後，便進入挑戰情境學習事件(挑戰問題)，設計於每一主題的概念結束或教學最後，目的是讓學生藉由挑戰相關情境以檢測學生的概念是否真的經由此學習情境而改變。

第六節 資料分析

當測驗結束後，隨即進行資料的整理與分析，有關於多種測驗的數據資料分析主要是以 SPSS 10.0 套裝軟體進行統計分析，另外針對原子概念診斷的概念改變歷程測驗，是由研究者逐一分析受測者所選擇的選項及開放式問題的答案，整理出受測者所表達的概念，並進行分類彙整及統計分析探討。

- 一、原子單元成就測驗：以原子單元成就前測成績為共變項，比較教學模式(實驗組、對照組)、科學推理成績前測(具體運思期、過渡期)與自然與生活科技學業成績(高、中、低)在後測與追蹤測的成績有何差異。
- 二、原子單元主題相依推理測驗：以原子單元主題相依推理前測成績為共變項，比較教學模式(實驗組、對照組)、科學推理成績前測(具體運思期、過渡期)與自然與生活科技學業成績(高、中、低)在後測與追蹤測的成績上有何差異。
- 三、科學推理測驗：以科學推理前測成績為共變項，比較教學模式(實驗組、對照組)、科學推理成績前測(具體運思期、過渡期)與自然與生活科技學業成績(高、中、低)在後測與追蹤測的成績上有何差異。但因科學推理成績在形式運思期(formal)期僅 3 人，因此僅分別比較具體運思期(concrete)、過渡期(transitional)兩個組別。
- 四、原子結構心智表徵：分別在教學前、後、追蹤讓學生在紙上呈現原子模型的圖像和文字說明，比較實驗組與對照組學生在後測與追蹤測的原子結構心智表徵有何差異。
- 五、原子概念轉變訪談分析：只針對實驗組學生進行晤談，先以錄音檔儲存每位學生的晤談內容，再轉譯成文字進行質化分析，藉以深入了解學生在學習原子概念上的認知轉變，並運用語意流程圖(flow map)(Anderson & Demetrius,1993)依序呈現出歷經訪談(包括教學前、後與追蹤)學生包括：
 1. 概念數：將受訪者回答問題的完整情形(包括答案、理由說明)分成每個概念如「空氣是混合物，因為空氣含有很多氣體」。
 2. 概念正確分數：針對每個概念數依照回答的正確程度分成 0-3 分，其中全錯為 0 分、概念對深入解釋錯給 1 分、概念對深入解釋半對給 2 分、全對給 3 分。
 3. 概念推理類型：依據 Hogan 等人(2000) 所提出包括概述(G)、精緻化(EL)、辯證(J)、解釋(EX)分類方式再加以修正。其中概述(G)為概念推理的最低層級，意旨學生用直觀去描述說明現象並且細分為 G0, G1, G2。其中 G0 為未作答或直接陳述答案，無理由或概念說明如「我不知道」、「空氣是混合物」等；G1 為用 1 個概念描述現象如「空氣是混合物，因為空氣含有很多氣體」；G2 為用 2 個或以上概念描述現

象如「海水是化合物，因為是由很多種東西組成，且含有鹽分所以鹹鹹的」。精緻化(EL)為概念推理的第二層級，意旨學生可以用科學名詞對概念加以描述說明並且細分為EL1, EL2。其中EL1為用1個概念描述現象如「白糖是純物質，因為拿去煮只有一個沸點」；EL2為用2個或以上概念描述現象如「精鹽是純物質，因為只有一個沸點且是經過粗鹽過濾及煮沸後所得」。辯證(J)為概念推理的第三層級，意旨學生可以用相關理論判斷說明或能用實驗、證據支持概念並且細分為J1, J2。其中J1為用1個概念描述現象如「惰性氣體安定因為電子排列穩定，所以不容易和其它氣體產生化學變化」；J2為用2個或以上概念描述現象如「氯跟溴容易跟鈉反應，因為氯比較容易得到一個電子，然後第一族的比較容易失去電子，所以比較容易起反應」。解釋(EX)為概念推理的最高層級，意旨學生可以用科學機制推斷說明概念並且細分為EX1, EX2。其中EX1為用1個概念描述現象如「氯和溴容易跟鈉反應，因為它最穩定的排列是8，然後氯是7，所以它容易得到1個電子，然後鈉它容易失去，所以兩個剛好互補就會結合」；EX2為用2個或以上概念描述現象如「氯跟溴容易跟鈉反應，因為氯和溴都還需要一個電子，因為它們最外層都少一個電子不是17個就是7個，所以鈉會給氯或溴一個電子，所以它們容易發生反應」。

4. 概念改變量：針對各個訪談問題中的前後測(前測到後測)、後追測(後測到追蹤測)的概念改變連結數依照回答對錯情形分成『進步』、『維持』-全對、『維持』-半對或全錯、『退步』等四種型態。

其中概念數與概念推理層級中G、EL、J、EX的評分者間一致性分別為0.89、0.98、0.99、0.98、0.99達理想範圍。如表3-6-1的範例呈現受訪者於問題3-5原子可否再被分割及比較這些粒子的異同之教學前、後、追蹤的語意流程圖，其中每個方框代表一個概念數，文字敘述後的()內的數字顯示每個概念中所包含對其深入解釋的個數，『1』為1個深入解釋的概念、『2』為2個或2個以上深入解釋的概念，如學生回答「粒子性質跟原本原子一樣」屬於概述並用1個概念描述現象為G1類型；「原子可以再被分割成電子跟中間的核」屬於精緻化並用2個或以上概念描述現象為EL2；「質量上中子跟質子差不多，它們兩個加起來就是原子的大小，因為電子很小」屬於辯證並用1個概念描述現象為J1類型。實線代表概念順序，虛線代表有概念改變的連結數，如學生在前測概念為「原子可以再被分割成電子跟中間的核」，而在後測呈現「原子可以再分割成質子、中子、電子」其概念改變量是屬於『進步』；在後

測與追蹤測中，學生概念皆呈現「原子可以再分割成質子、中子、電子」其概念改變量是屬於『維持』-全對；學生在後測及追蹤測中概念皆呈現「原子質量幾乎等於質子加中子的質量，且質子和中子質量差不多，電子質量很小」其概念改變量是屬於『維持』-全對。(詳見附錄六)

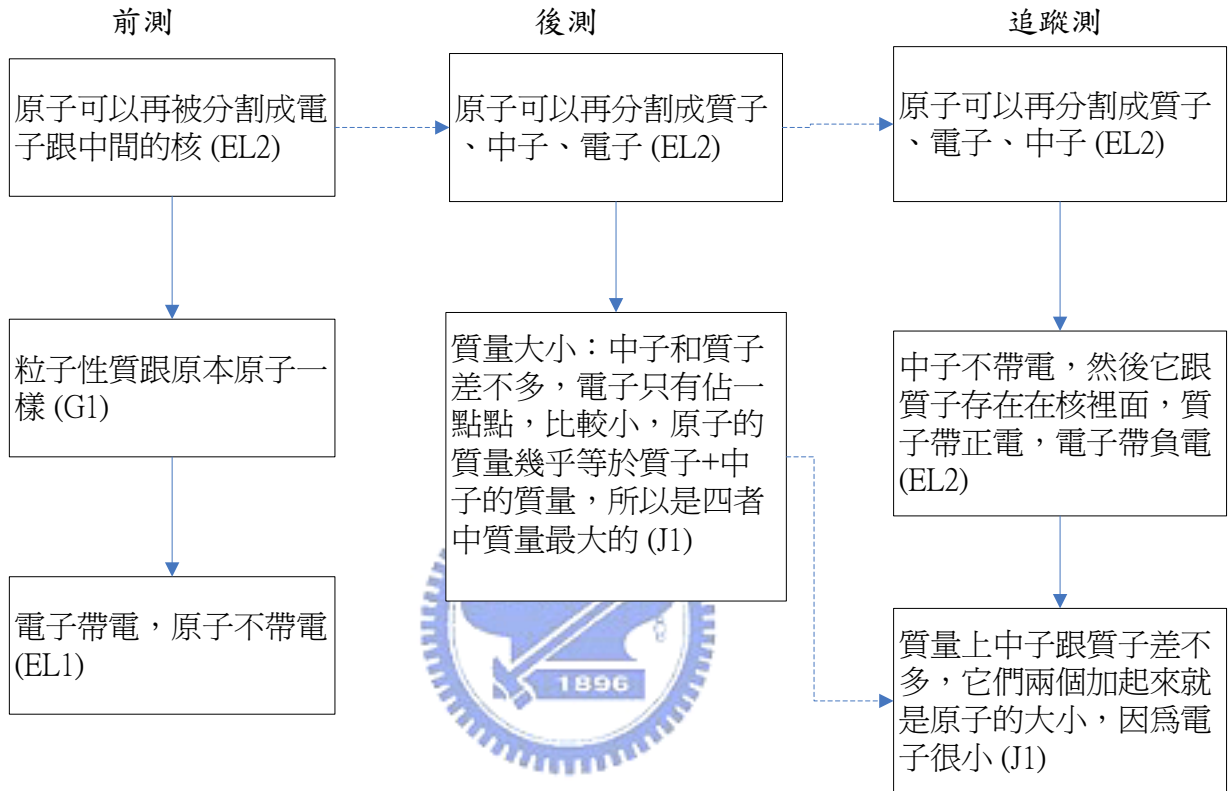


圖 3-6-1 語意流程圖(flow map)

六、原子概念網路化課程改變歷程：以學生在進行網路互動式學習教材之類比教學活動前後，探測學生原子概念改變歷程測驗的結果並將質性結果分類進行量化統計，包括選項式回答(包括答案、理由)與開放式理由作答。並以修改 Hogan 等人 (2000) 後的概念推理層級包括概述(G)、精緻化(EL)、辯證(J)、解釋(EX)後分別進行教學前後開放式理由推理層級的歷程分析。如學生回答類型為 EL2，其推理層級為精緻化推理，理由說明有 2 個以上。(『1』為 1 個理由、『2』為 2 個理由以上)。其中概念推理層級中 G、EL、J、EX 的評分者間一致性分別為 0.86、0.85、0.91、0.93 達理想範圍。之後並針對教學前後的概念層級變化進行分析比較。

第四章 研究結果與討論

第一節 網路化推理學習概念改變教學分析

本節是針對研究問題一為「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在原子單元的學習成就有何差異？」；研究問題二為「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在原子單元的主題相依推理能力有何差異？」；研究問題三為「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在教學前、後、追蹤上所展現的科學推理能力有何差異？」；研究問題四為「不同的教學模式在教學前、後、追蹤所呈現的原子結構心智表徵有何差異？」等四部分呈現結果。其中前三部分為探討兩種教學模式(實驗組、對照組)、自然與生活科技學業成績變項(高、中、低分組)、科學推理成績變項(具體運思期、過渡期分組)對原子單元學習成就、原子單元主題相依推理能力與科學推理能力的影響。第四部分是由分析實驗組與對照組的原子結構圖探討兩種教學模式學生其心智表徵有何差異。因此就學業成績變項，研究者先將實驗組及對照組全體學生，依照其九十三學年度學期前一、二次的自然與生活科技成績以各班平均數為基準，自全體的中位數分成高(91分以上)、中(75-90分)、低(76分以下)三組；而科學推理成績變項則以Lawson(2002)對分數的定義將科學推理前測分成三組，但因科學推理成績在9-12分形式運思期(formal)僅3人，因此將科學推理成績只分成0-4分具體運思期(concrete)、5-8分過渡期(transitional)兩個組別，於形式運思期的3人則併入過渡期。測驗結果分析如下：

一、教學前、後學習成就比較

此部分是為回答研究問題一「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在原子單元的學習成就有何差異？」，以下呈現敘述性及推理統計分析結果。

(一) 原子單元成就測驗之敘述性統計分析

首先針對教學模式(實驗組、對照組)與學業成績分組(高、中、低)的原子單元成就測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表4-1-1。

表 4-1-1 原子單元成就測驗之敘述性統計表(教學模式與學業成績分組)

		N	成就前測		成就後測		成就追蹤測		平均差	平均差
			mean	SD	mean	SD	mean	SD	(後-前)	(追-前)
實驗組	高學業	39	20.28	4.05	31.19	4.71	31.82	4.32	10.91	11.54
	中學業	42	15.88	3.68	20.10	6.52	26.02	6.41	4.22	10.14
	低學業	33	13.48	4.21	24.43	7.55	18.45	7.46	10.95	4.97
	全組	114	16.69	4.81	28.56	6.77	25.95	8.03	11.87	9.26
對照組	高學業	38	21.97	6.24	29.00	7.63	25.68	9.27	7.03	3.71
	中學業	30	18.40	4.26	23.55	8.29	20.23	8.81	5.15	1.83
	低學業	42	13.71	4.68	16.13	7.59	12.00	7.64	2.42	-1.71
	全組	110	17.85	6.24	22.78	9.59	19.04	10.33	4.93	1.19

由表 4-1-1 顯示實驗組與對照組於後測成績上明顯高於前測成績，且高、中、低學業成績分組的學生也於後測成績上明顯高於前測成績。且前後測平均差可呈現實驗組在高學業、低學業都比對照組學生高，尤其在低學業，實驗組(10.95)遠優於對照組(2.42)。而由前測的平均差顯示，實驗組的高、中、低學業組的學生於追蹤測的成績皆優於對照組，尤其在高、中學業組，實驗組遠優於對照組，反之對照組中的低學業組追蹤測甚至低於前測，因此由表 4-1-1 顯示實驗組教學成效優於對照組。

其次針對教學模式(實驗組、對照組)與科學推理分組(過渡期、具體運思期)之原子單元成就測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-2。

表 4-1-2 原子單元成就測驗之敘述性統計表(教學模式與科學推理分組)

		N	成就前測		成就後測		成就追蹤測		平均差	平均差
			mean	SD	mean	SD	mean	SD	(後-前)	(追-前)
實驗組	過渡推理	44	19.07	4.32	31.49	3.97	29.18	6.92	12.42	10.11
	具體推理	67	15.49	4.35	26.32	7.45	23.70	8.11	10.83	8.21
	全組	111	16.91	4.66	28.42	6.75	25.89	8.08	11.51	8.98
對照組	過渡推理	25	22.12	6.41	29.17	8.23	27.32	7.16	7.05	5.2
	具體推理	75	16.69	5.66	21.69	8.87	17.66	9.77	5.00	0.97
	全組	100	18.05	6.28	23.52	9.26	20.10	10.07	5.47	2.05

由表 4-1-2 顯示實驗組與對照組於後測成績上明顯高於前測成績，且過渡期、具體推理期分組的學生也於後測成績上明顯高於前測成績。由前後測平均差、前追測平均差可呈現實驗組的學生不論在過渡期、具體推理期分組都明顯優於對照組的學生，尤其在前追測平均差中發現在具體推理組的學生，實驗組(8.21)高於對照組(0.97)，因此顯示實驗組教學成效遠優於對照組。

(二) 教學模式、科學推理成績、自然與生活科技學業成績對於原子單元學習成就的影響之推論統計分析

將教學模式、科學推理成績、自然與生活科技學業成績等三變項進行多因子共變數分析(Three Factorial MANOVA with covariates)。資料分析時，以『教學模式、科學推理分組、學業成績分組』為自變項，共變量為『成就前測成績』，依變項分別為『成就後測成績』、『成就追蹤測成績』，分別呈現於表 4-1-3，同時將三個自變項對學習成就於成就後測成績、成就追蹤測成績的調整平均數呈現如表 4-1-4。

表 4-1-3 教學模式、科學推理分組、學業成績分組變項對學習成就之三因子多變量共變數分析

變異來源	Wilk's Λ	df1	df2	F 檢定
共變量 (成就前測)	.91	2	180	9.43***
教學模式 (實驗、對照)	.92	2	180	8.17***
推理分組(過渡、具體運思)	.96	2	180	3.60*
學業分組(高、中、低)	.88	4	360	6.17***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 學業分組：學業成績分組，推理分組：科學推理分組
df1：假設自由度, df2：誤差自由度

表 4-1-4 教學模式、科學推理分組、學業成績分組變項對學習成就之調整平均數

依變項	成就後測				成就追蹤測				
	Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤	Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤	
教學模式	實驗組	28.67	.79			25.72	.81		
	對照組	23.74	1.14	5.02	1.39	21.85	1.17	3.87	1.43
推理分組	過渡期	27.62	1.24			25.42	1.28		
	具體運思期	24.88	.62	2.74	1.40	22.14	.64	3.28	1.43
學業分組	高分組	28.28	.90	1.10(a)	1.47(a)	27.91	.92	3.01(a)	1.51(a)
	中分組	27.19	1.19	5.01(b)	1.89(b)	24.90	1.22	9.37(b)	1.94(b)
	低分組	23.27	1.56	3.19(c)	1.98(c)	18.54	1.60	6.36(c)	2.03(c)

註：共變量評估「成就前測成績」=17.58, a:高-中, b:高-低, c:中-低

由表 4-1-3 中顯示就原子單元成就後測、追蹤測而言，在不同教學模式(Wilk's $\Lambda=0.92$, $p=.000$)、不同科學推理分組 (Wilk's $\Lambda=0.96$, $p=.029$)、不同自然與生活科技學業成績分組 (Wilk's $\Lambda=0.88$, $p=.000$)三者均達顯著性差異。

但是因為教學模式、科學推理分組與學業分組間並無交互作用存在，因此進行主要效果分析。所得的數據資料整理如表 4-1-5。首先針對不同教學模式因子進行單因子多變量共變數分析(one-factor MANCOVA)顯示不同教學模式達顯著差異(Wilk's $\Lambda=0.92$, $p=.000$)，再經單因子單變量共變數分析(one-factor ANCOVA)，顯示教學模式在後測 ($F=39.88$, $p=.000$)及追蹤測 ($F=45.99$, $p=.000$)成績上均有顯著差異。事後比較實驗組高於對照組。

針對不同科學推理分組因子進行單因子多變量共變數分析(one-factor MANCOVA)顯示不同科學推理分組達顯著差異 (Wilk's $\Lambda=0.96$, $p=.029$)，再經單因子單變量共變數分析(one-factor ANCOVA)，顯示不同科學推理分別在後測 ($F=15.99$, $p=.000$)及追蹤測($F=19.64$, $p=.000$)成績上均有顯著差異，且過渡期高於具體運思期。

針對不同學業分組因子進行單因子多變量共變數分析顯示不同學業分組達顯著差異 (Wilk's $\Lambda=0.88$, $p=.000$)，再經單因子單變量共變數分析，顯示不同學業分組分別在後測 ($F=14.97$, $p=.000$)及追蹤測 ($F=28.22$, $p=.000$)成績上均有顯著差異。事後比較在後測顯示高分組高於低分組、中分組高於低分組，而在追蹤測中顯示高分組高於中分組、高分組高於低分組且中分組高於低分組。

表 4-1-5 教學模式、科學推理分組、學業成績分組對學習成就之主要效果摘要表

變異來源	多變量 Wilk's Λ	單變量		事後比較
		後測	追蹤	
教學模式	.92***	39.88***	45.99***	後：實>對 追：實>對
推理分組	.96*	15.99***	19.64***	後：過渡>具體 追：過渡>具體
學業分組	.88***	14.97***	28.22***	後：高>低,中>低 追：高>中,高>低,中>低

1. F 值：* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. 學業分組：學業成績分組，推理分組：科學推理分組

高：高學業組，中：中學業組，低：低學業組

實：實驗組，對：對照組，過渡：過渡期，具體：具體運思期

此結果支持研究假說 1-1、1-2、1-3 中，不同教學模式、不同學業成績分組、不同科學推理能力分組學生與其在原子單元之學習成就(後測、追蹤測)達顯著差異。

二、教學前、後主題相依推理能力比較

此部分是為回答研究問題二「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在原子單元的主題相依推理能力有何差異？」，以下呈現敘述性及推論統計分析結果。

(一)原子單元主題相依推理能力測驗敘述性統計分析

首先針對教學模式(實驗組、對照組)與學業分組(高、中、低)的原子單元主題相依推理測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-6。

表 4-1-6 原子單元主題相依推理能力測驗成績之敘述性統計表
(教學模式與學業成績分組)

	N	相依推理前測		相依推理後測		相依推理追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD			
實驗組	高學業	39	17.62	5.23	26.77	5.54	29.23	6.09	9.15	11.61
	中學業	42	15.05	3.97	21.52	6.46	24.05	5.71	6.47	9.00
	低學業	33	9.82	4.56	15.88	8.17	12.29	8.93	6.06	2.47
	全組	114	14.41	5.54	21.73	7.92	22.57	9.66	7.32	8.16
對照組	高學業	38	17.47	7.43	17.94	8.18	17.66	12.43	0.47	0.19
	中學業	30	13.03	6.27	13.43	9.04	13.43	11.19	0.40	0.40
	低學業	42	8.34	5.30	6.69	5.31	6.20	6.93	-1.65	-2.14
	全組	110	12.82	7.42	12.63	8.90	12.18	11.36	-0.19	-0.64

由表 4-1-6 顯示實驗組其後測成績明顯高於前測成績，且高、中、低學業分組的學生其後測成績明顯高於前測成績，但針對低分組的學生僅發現僅有實驗組的後測與追蹤測高於前測。且由前後測平均差可呈現實驗組不論是高學業、中學業或是低學業都比對照組學生高；而由前測的平均差顯示，實驗組的高、中、低學業成就分組的學生皆優於對照組，尤其在高、中學業組，發現實驗組(11.61、9.00)遠優於對照組(0.19、0.40)，因此顯示實驗組教學成效遠優於對照組。

其次針對教學模式(實驗組、對照組)與科學推理分組(過渡期、具體運思期)之原子單元主題相依推理測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-7。

表 4-1-7 原子單元主題相依推理能力測驗之敘述性統計表(教學模式與科學推理分組)

		N	相依推理前測		相依推理後測		相依推理追蹤測		平均差	平均差
			mean	SD	mean	SD	mean	SD	(後-前)	(追-前)
實驗組	過渡推理	44	16.02	5.29	25.64	5.66	26.63	8.19	9.62	10.61
	具體推理	67	13.69	5.42	19.33	8.29	19.91	9.74	5.64	6.22
	全組	111	14.61	5.47	21.83	7.96	22.56	9.70	7.22	7.95
對照組	過渡推理	25	19.16	6.78	19.25	9.46	22.24	13.12	0.09	3.08
	具體推理	75	11.51	6.55	10.99	7.81	9.85	9.04	-0.52	-1.66
	全組	100	13.44	7.37	13.10	8.99	12.98	11.50	-0.34	-0.46

由表 4-1-7 顯示實驗組於後測成績上明顯高於前測成績，且實驗組中過渡期、具體推理期分組的學生也於後測成績上明顯高於前測成績。由前後測平均差、前追測平均差可呈現實驗組的學生不論在過渡期、具體推理期分組都明顯優於對照組的學生，因此可顯示實驗組教學成效遠優於對照組。

(二)教學模式、科學推理成績、自然與生活科技學業成績對於原子單元主題相依推理能力的影響之推論統計分析

將不同教學模式、不同科學推理成績、不同自然與生活科技學業成績等三變項進行多因子共變數分析 (Three Factorial MANOVA with covariates)。以『不同教學模式、不同科學推理成績、不同自然與生活科技學業成就』為自變項，共變量為『主題相依推理前測成績』，依變項分別為『主題相依推理後測成績』、『主題相依推理追蹤測成績』。結果呈現於表 4-1-8，同時將三個自變項對單元主題相依推理能力於主題相依推理後測成績、主題相依推理追蹤測成績的調整平均數呈現如表 4-1-9。

表 4-1-8 教學模式、科學推理分組、學業成績分組變項對單元主題相依推理能力之三因子多變量共變數分析

變異來源	Wilk'sΛ	df1	df2	F 檢定
共變量 (主題前測)	.88	2	186	12.52***
教學模式 (實驗、對照)	.87	2	186	14.00***
推理分組(過渡、具體運思)	.91	2	186	8.94***
學業分組(高、中、低)	.89	4	372	5.68***
教學模式 x 推理分組	.94	4	372	5.66**
教學模式 x 學業分組	.93	4	372	3.17**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 學業分組：學業成績分組，推理分組：科學推理分組
df1：假設自由度, df2：誤差自由度

表 4-1-9 教學模式、科學推理分組、學業成績分組變項對單元主題相依推理能力之調整平均數

依變項	相依推理後測				相依推理追蹤測				
	Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤	Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤	
教學模式	實驗組	22.14	.76			21.63	.90		
	對照組	15.00	1.13	7.15	1.36	17.57	1.34	4.06	1.61
推理分組	過渡期	20.51	1.23			22.85	1.46		
	具體運思期	16.63	.60	3.89	1.37	16.34	.71	6.52	1.64
學業分組	高分組	20.95	.85	.89(a)	1.42 (a)	22.41	1.01	-.34 (a)	1.69 (a)
	中分組	20.06	1.17	6.25(b)	1.80 (b)	22.75	1.39	8.78 (b)	2.14 (b)
	低分組	14.70	1.51	5.36(c)	1.93 (c)	13.63	1.80	9.12 (c)	2.30 (c)

註：共變量評估「成就前測成績」=14.26, a:高-中, b:高-低, c:中-低

由表 4-1-8 中顯示就原子單元主題相依推理後測及追蹤測而言，在不同教學模式 (Wilk's $\Lambda=0.87$, $p=.000$)、不同科學推理分組 (Wilk's $\Lambda=0.91$, $p=.000$)、不同自然與生活科技學業成績分組 (Wilk's $\Lambda=0.89$, $p=.000$)三者均達顯著性差異，且教學模式分別和科學推理分組、學業成績分組兩變項的交互作用上也達顯著水準 (Wilk's $\Lambda=0.94$, $p=.004$)且 (Wilk's $\Lambda=.93$, $p=.006$)。

因為不同教學模式與不同科學推理分組兩變項對原子單元主題相依推理能力具有交互作用的影響，所以接著做單純主要效果比較(多變量分析)，分別針對在不同的教學模式下，不同科學推理分組學生之主題相依推理能力的表現；以及在不同的科學推理分組下，不同教學模式之主題相依推理能力的表現。分析結果如表 4-1-10：

表 4-1-10 不同教學模式、不同科學推理能力分組對原子單元主題相依推理能力之單純主要效果摘要表

變異來源	多變量 Wilk's Λ	單變量		事後比較
		後測	追蹤測	
不同教學模式				
過渡期	.77***	16.91***	2.52	後：實>對
具體運思期	.73***	32.61***	30.19***	後：實>對 追：實>對
不同科學推理分組				
實驗組	.87*	12.31*	8.89*	後：過渡>具體 追：過渡>具體
對照組	.84***	5.02*	17.15***	後：過渡>具體 追：過渡>具體

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 學業分組：學業成績分組，推理分組：科學推理分組

實：實驗組，對：對照組，過渡：過渡期，具體：具體運思期

1. 過渡期學生在兩種教學模式下原子單元主題相依推理能力的表現

以原子單元主題相依推理後測與追蹤測為依變項，教學模式為自變項，進行單因子多變項共變數分析。顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.77$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=16.91$, $p=.000$)達顯著差異。事後比較顯示只有後測時實驗組大於對照組達顯著差異。

2. 具體運思期學生在兩種教學模式下原子單元主題相依推理能力的表現

依前面同樣方法分析，顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.87$, $p=.001$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=32.61$, $p=.000$)與追蹤測 ($F(1)=30.19$, $p=.000$)上均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，實驗組皆大於對照組達顯著差異。

3. 實驗組學生在兩種科學推理分組下原子單元主題相依推理能力的表現

以原子單元主題相依推理後測與追蹤測為依變項，科學推理分組為自變項，進行單因子多變項共變數分析，顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.73$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=12.31$, $p=.001$)與追蹤測 ($F(1)=8.89$, $p=.004$)上均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，過渡期皆大於具體運思期達顯著差異。

4. 對照組學生在兩種科學推理分組下原子單元主題相依推理能力的表現

依前面同樣方法分析，顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.84$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=5.02$, $p=.000$)與追蹤測 ($F(1)=17.15$, $p=.000$)上均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，過渡期皆大於具體運思期達顯著差異。

因為不同教學模式與不同自然與生活科技學業成績兩變項對原子單元主題推理能力也具有交互作用的影響，所以接著做單純主要效果比較(多變量分析)，分別針對在不同教學模式下，不同學業分組之對原子單元主題推理能力的表現，以及在不同學業分組下，不同教學模式之原子單元主題推理能力的表現。分析結果如表 4-1-11：

表 4-1-11 不同教學模式、不同學業分組對原子單元主題相依推理能力之單純主要效果摘要表

變異來源	多變量 Wilk's Λ	單變量		事後比較
		後測	追蹤測	
不同教學模式				
高分組	.56***	33.81***	25.61***	後：實>對 追：實>對
中分組	.76***	14.01***	18.06***	後：實>對 追：實>對
低分組	.64***	28.41***	6.05*	後：實>對 追：實>對
不同學業分組				
實驗組	.66***	7.02**	24.52***	後：高>中,高>低 追：高>中,高>低,中>低
對照組	.87**	6.71**	3.38*	後：高>低,中>低 追：高>低

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 學業分組：學業成績分組，高：高學業組，中：中學業組，低：低學業組
實：實驗組，對：對照組

1. 高分組學生在兩種教學模式下原子單元主題相依推理能力的表現

以原子單元主題相依推理後測與追蹤測為依變項，教學模式為自變項，進行單因子多變項共變數分析。顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.56$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=33.81$, $p=.000$)與追蹤測 ($F(1)=25.61$, $p=.000$)均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，實驗組皆大於對照組達顯著差異。

2. 中分組學生在兩種教學模式下原子單元主題相依推理能力的表現

依前面同樣方法分析，顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.76$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=14.01$, $p=.000$)與追蹤測 ($F(1)=18.06$, $p=.000$)均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，實驗組皆大於對照組達顯著差異。

3. 低分組學生在兩種教學模式下原子單元主題相依推理能力的表現

依前面同樣方法分析，顯示二組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.64$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(1)=28.41$, $p=.000$)與追蹤測 ($F(1)=6.05$, $p=.017$)均達顯著差異。事後比較顯示後測與追蹤測時，實驗組皆大於對照組

達顯著差異。

4.實驗組學生在三種學業分組下原子單元主題相依推理能力的表現

以原子單元主題相依推理後測與追蹤測為依變項，學業分組為自變項，進行單因子多變項共變數分析，顯示三組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.66$, $p=.000$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(2)=7.02$, $p=.001$)與追蹤測 ($F(2)=24.52$, $p=.000$)上均達顯著差異。事後比較顯示後測中高分組高於中分組、高分組高於低分組，追蹤測中高分組高於中分組、高分組高於低分組、中分組高於低分組達顯著差異。

5.對照組學生在三種學業分組下原子單元主題相依推理能力的表現

依前面同樣方法分析，顯示三組教學模式達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.87$, $p=.009$)。繼續進行單因子單變項共變數分析，顯示在後測 ($F(2)=6.71$, $p=.002$)與追蹤測 ($F(2)=3.38$, $p=.038$)上均達顯著差異。經事後比較顯示後測中高分組高於低分組、中分組高於低分組，追蹤測中高分組高於低分組。

此結果支持研究假說 2-1、2-2、2-3 中，不同學業成績分組、不同科學推理能力、不同學業分組與其在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)均達顯著差異，但同時發現兩兩有交互作用。顯示教學模式分別與科學推理分組、學業成績分組與其在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。

三、教學前、後科學推理能力比較

此部分是為回答研究問題三「不同的教學模式、學業成績與科學推理能力對學習者在教學前、後、追蹤上所展現的科學推理能力有何差異？」，以下呈現敘述性及推論統計分析結果。

(一)科學推理能力測驗成績進行敘述性統計分析

首先針對教學模式(實驗組、對照組)與學業分組(高、中、低)的科學推理能力測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-12。

表 4-1-12 科學推理能力測驗之敘述性統計表(教學模式與學業成就分組)

	N	科學推理前測		科學推理後測		科學推理追蹤測		平均差	平均差	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	(後-前)	(追-前)	
實驗組	高學業	39	5.23	1.90	5.67	2.22	6.62	2.40	0.44	1.39
	中學業	42	3.90	1.46	4.22	2.02	5.00	2.24	0.32	1.10
	低學業	33	2.81	1.66	2.57	1.33	2.91	2.28	-0.24	0.10
	全組	114	4.06	1.93	4.28	2.28	4.96	2.72	0.22	0.90
對照組	高學業	38	4.08	2.22	5.31	2.72	4.32	3.24	1.23	0.24
	中學業	30	2.54	1.77	3.19	1.71	2.63	1.96	0.65	0.09
	低學業	42	1.77	1.40	2.66	1.73	1.31	1.51	0.89	-0.46
	全組	110	2.84	2.08	3.81	2.45	2.71	2.66	0.97	-0.13

由表 4-1-12 顯示實驗組與對照組於後測成績上高於前測成績，實驗組高、中、低學業分組學生前追測平均差皆高於前後測平均差；反之對照組高、中、低學業分組學生前追測平均差皆低於前後測平均差。雖然前後測平均差雖然顯示實驗組不論是高學業、中學業或是低學業都低於對照組，但由前追測的平均差卻呈現實驗組的高、中、低學業分組的學生於追蹤測的成績皆優於對照組。因此顯示實驗組學生在教學後無法立即呈現科學推理能力，不過經過一段時間後，實驗組(1.39、1.10、0.10)卻能比對照組(0.24、0.09、-0.46)在科學推理能力上留有較好的學習保留效果。

其次針對教學模式(實驗組、對照組)與科學推理分組(過渡期、具體運思期)之科學推理能力測驗成績(前測、後測、追蹤測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-13。

表 4-1-13 科學推理能力測驗之敘述性統計表(教學模式與科學推理分組)

	N	科學推理前測		科學推理後測		科學推理追蹤測		平均差	平均差	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	(後-前)	(追-前)	
實驗組	過渡推理	44	6.02	1.25	5.30	2.25	5.89	2.54	-0.72	-0.13
	具體推理	67	2.78	0.97	3.63	2.07	4.35	2.62	0.85	1.57
	全組	111	4.06	1.93	4.30	2.28	4.96	2.69	0.24	0.90
對照組	過渡推理	25	5.76	1.09	6.17	2.14	5.36	3.20	0.41	-0.40
	具體推理	75	1.87	1.24	2.97	1.93	2.09	1.93	1.10	0.22
	全組	100	2.84	2.08	3.83	2.44	2.91	2.70	0.99	0.07

由表 4-1-13 顯示實驗全組與對照全組於後測成績上高於前測成績，實驗組的過渡期與具體運思期分組的學生之前追測平均差皆稍高於前後測平均差；反之對照組過渡期與

具體運思期分組的學生前測平均差皆低於前後測平均差。因此顯示實驗組學生在教學後無法立即呈現科學推理能力，不過經過一段時間後，實驗組卻能比對照組在科學推理能力上留有較好的學習保留效果，不過由表 4-1-14 得知教學模式對科學推理能力的影響未達顯著差異。

(二)教學模式、自然與生活科技學業成績、科學推理成績對科學推理能力的影響之推論統計分析

將教學模式、科學推理成績自然與生活科技學業成績等三變項進行多因子共變數分析(Three Factorial MANOVA with covariates)。資料分析時，以『教學模式、科學推理分組、學業分組』為自變項，共變量為『科學推理前測成績』，依變項分別為『科學推理後測成績』、『科學推理追蹤測成績』呈現於表 4-1-14，同時將三個自變項對科學推理能力於科學推理後測成績、科學推理追蹤測成績的調整平均數呈現如表 4-1-15。

表 4-1-14 教學模式、科學推理分組、成績分組變項對科學推理能力之三因子多變量共變數分析

變異來源	Wilk's Λ	df1	df2	F 檢定
共變量 (科學前測)	.83	2	183	18.82***
教學模式 (實驗、對照)	.98	2	183	2.19
科學分組(過渡、具體運思)	.98	2	183	1.58
學業分組(高、中、低)	.85	4	366	7.51***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 學業分組：學業成績分組，推理分組：科學推理分組
df1：假設自由度， df2：誤差自由度

表 4-1-15 教學模式、科學推理分組、學業成績分組變項對科學推理能力之調整平均數

依變項		科學推理後測				科學推理追蹤測			
		Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤	Mean _{adj}	S.E.	平均差	標準誤
教學模式	實驗組	3.87	.23			4.31	.27		
	對照組	3.82	.29	.05	.37	3.44	.34	.87	.43
推理分組	過渡期	3.58	.41			3.34	.48		
	具體運思期	4.11	.21	-.52	.53	4.41	.25	-1.07	.62
學業分組	高分組	4.91	.24	1.11(a)	.36 (a)	4.86	.28	.78 (a)	.42 (a)
	中分組	3.80	.30	2.08(b)	.46 (b)	4.08	.35	2.18 (b)	.54 (b)
	低分組	2.83	.40	.97 (c)	.50 (c)	2.68	.47	1.40 (c)	.58 (c)

註：共變量評估「成就前測成績」=3.58, a:高-中, b:高-低, c:中-低

由表 4-1-14 中顯示就科學推理後測、追蹤測而言，在不同教學模式、科學推理分組

上未達顯著差異，但是在不同自然與生活科技學業成績分組上達顯著性差異 (Wilk's $\Lambda=0.85$, $p=.000$)。但是因為教學模式、科學推理分組與學業分組間並無交互作用存在，因此進行主要效果分析。針對不同學業分組因子進行單因子多變量共變數分析 (one-factor MANCOVA)顯示不同學業分組達顯著差異 (Wilk's $\Lambda=0.85$, $p=.000$)，再經單因子單變量共變數分析 (one-factor ANCOVA)，顯示不同學業分組分別在後測 ($F=10.85$, $p=.000$)及追蹤測($F=10.25$, $p=.000$)成績上均有顯著差異，事後比較在後測顯示高分組高於低分組、中分組高於低分組且高分組高於中分組，而在追蹤測中顯示高分組高於低分組、中分組高於低分組。所得的數據資料整理如表 4-1-16。

表 4-1-16 不同學業分組之主要效果摘要表

變異來源	多變量 Wilk's Λ	單變量		事後比較
		後測	追蹤	
學業分組	.85***	10.88***	10.25***	後：高>低,中>低,高>中 追：高>低,中>低

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 學業分組：學業成績分組，高：高學業組，中：中學業組，低：低學業組

綜合上述分析結果，學生在原子單元主題相依推理能力以及科學推理能力上，無論是在網路化推理模式或是傳統教學模式下，自然與生活科技高學業分組學生都比中、低學業分組的學生得到較高的學習成效與較好的學習保留效果，不過在原子單元學習成就上，低分組高於高分組，高分組高於中分組。而科學推理於過渡期的學生在學習成效及學習保留力上也優於具體運思期的學生。顯示出自然與生活科技學業成績分組、科學推理分組因素對學生的學習成效與學習保留力均具有極大影響力。

其次就不同教學模式中，不論是高、中、低學業成績分組的學生或是科學推理分組於過渡期、具體運思期的學生，皆顯示網路互動式推理課程的學生比傳統教學模式的學生能得到較高的學習成效與學習保留力。

此結果僅支持研究假說 3-2 中，不同學業成績分組與其科學推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。而在研究假說 3-1、3-3 中，不同教學模式、科學推理分組學生在科學推理能力(後測、追蹤測)皆未達顯著差異。

四、教學前、後、追蹤原子結構心智表徵比較

此部分是回答研究問題四「不同的教學模式在教學前、後、追蹤所呈現的原子結構心智表徵有何差異？」。其主要目標之一是協助學生在運用類比推理建構原子模型。表 4-1-17 呈現實驗組(運用類比推理於網路互動式課程)與對照組(傳統教學模式)學生於教學前、後、追蹤的原子結構類型之描述性統計分析結果。

以下針對研究問題四，呈現不同教學模式(實驗、對照)在教學前、後、追蹤的原子結構心智表徵分述如下：



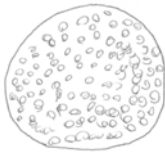
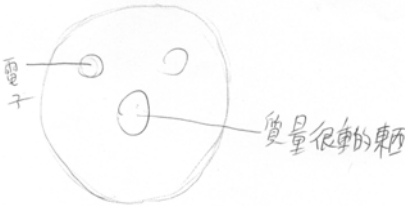
表 4-1-17 呈現教學前，實驗組以『球型』(26.3%)與『葡萄乾麵包型』(11.4%)的無核概念人數最多，而對照組亦是如此包含『球型』(30%)與『葡萄乾麵包型』(8.2%)，因此在教學前大多數學生皆存在無原子核的概念。

本研究發現不管是實驗組或對照組的學生在教學後均呈現『環繞式』模型 c(原子中間有核，外部有粒子環繞的概念)，且兩組學生在後測、追蹤測上的概念都高於前測，追蹤測高於後測，顯示不同的教學模式皆能建構學生原子中有粒子存在的基本概念，即持有此概念比例的學生，教學一段時間後仍具學習保留力。值得注意的是在『環繞式』模型 d(原子核包含不同粒子，外部有粒子環繞且能以文字標明正確的概念)之追蹤測中，比例上實驗組低於對照組，但實驗組學生呈現『太陽系』模型 f、h(原子核含有粒子，外部也有粒子環繞且有殼層)之比例，在後測、追蹤測中皆高於對照組，由此研究結果顯示在學習原子模型的電子殼層概念中，實驗組學生比對照組學生更具有立即學習成效且具學習保留力。而呈現『太陽系』模型 a(原子核包含不同粒子，外部有粒子環繞且有殼層並能以文字標明正確概念)的學生比例，在後測中實驗組稍高於對照組，但在追蹤測中，實驗組卻遠大於對照組 (13.2% > 0.9%)，此結果顯示實驗組於教學後能持續保有包括圖像及文字的太陽系原子結構，且時間越久比例越高。

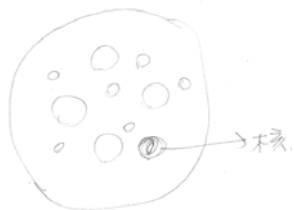
此外，針對呈現『行星式』模型 b(原子核含有粒子，外部也有粒子且各自在軌道上環繞)的人數比例，實驗組與對照組差異不大，因後測中實驗組稍低對照組，但於追蹤測中實驗組稍高於對照組，此結果顯示實驗組『行星式』模型的學習成效稍低於對照組，但教學一段時間後，比對照組還具學習保留力。其餘尚有 11.8% 的對照組學生在後測中仍認為原子是無核的球體，表示這些學生仍無粒子概念。

就以上實驗結果而言，實驗組的學生除了原有的粒子概念外，在網路類比推理教學後更能建構且保留較完整的『太陽系』模型之原子結構；相對的，對照組的學生之前雖具有粒子概念，但於教學後仍無法建構電子殼層的原子結構心智表徵。

表 4-1-17 實驗組與對照組原子結構心智表徵之描述性統計表

原子結構心智表徵	前測		後測				追蹤測						
	實驗		對照		實驗		對照		實驗		對照		
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
1. 球型													
a. 無核		30	26.3	33	30.0	9	7.9	13	11.8	2	1.8	8	7.3
b. 有核		11	9.6	4	3.6	9	7.9	4	3.6	7	6.1	4	3.6
2. 葡萄乾麵包													
a. 無核		13	11.4	9	8.2	2	1.8	1	0.9	1	0.9	1	0.9
b. 有粒子		0	0	1	0.9	6	5.3	1	0.9	1	0.9	1	0.9

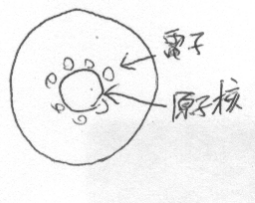
c.有核



6 5.3 3 2.7 0 0 0 0 5 4.4 1 0.9

3.環繞型

a.原子核外



0 0 1 0.9 3 2.6 0 0 4 3.5 0 0

b.原子內



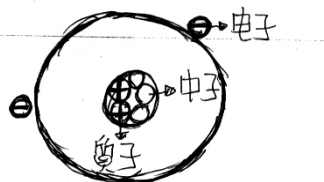
7 6.1 6 5.5 3 2.6 0 0 3 2.6 0 0

c.原子外



9 7.9 10 9.1 13 11.4 14 12.7 16 14.0 18 16.4

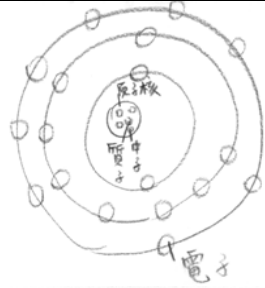
d.原子外
(標示正確)



2 1.8 1 0.9 1 0.9 0 0 7 6.1 13 11.8

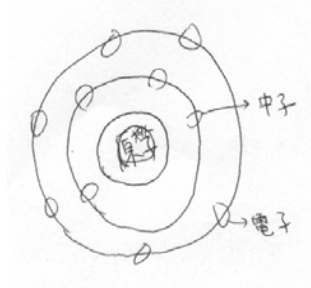
4. 太陽系

a. 有粒子概念
(標示正確)



2 1.8 1 0.9 3 2.6 1 0.9 15 13.2 1 0.9

b. 部分粒子概念
(標示半對)



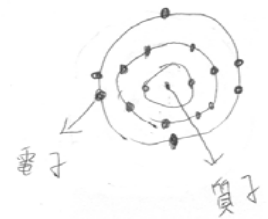
0 0 0 0 0 0 0 0 2 1.8 1 0.9

c. 有核
(標示錯誤)



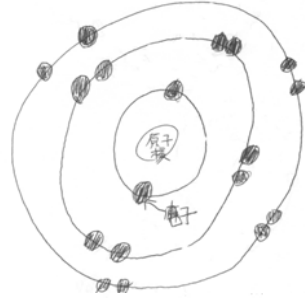
1 0.9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

d. 部分粒子概念
(標示不全)



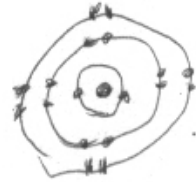
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0.9

e. 有粒子概念
(標示不全)



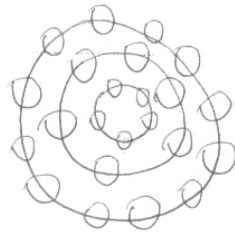
0 0 0 0 3 2.6 0 0 4 3.5 0 0

f. 部分粒子概念



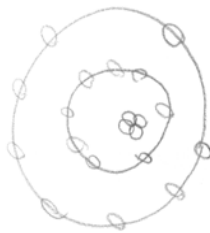
3 2.6 0 0 14 12.3 2 1.8 14 12.3 6 5.5

g. 無核



0 0 1 0.9 3 2.6 0 0 4 3.5 0 0

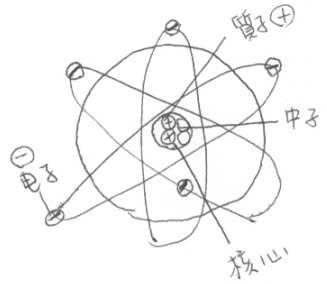
h. 部分粒子概念



2 1.8 1 0.9 9 7.9 2 1.8 13 11.4 8 7.3

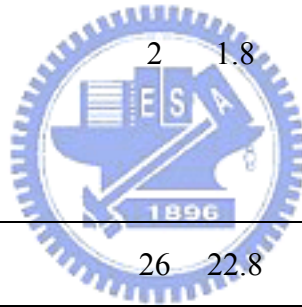
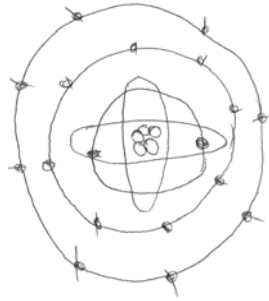
5.行星式

a.有粒子概念(標示正確)



0 0 0 0 2 1.8 0 0 4 3.5 4 3.6

b.部分粒子概念



2 1.8 1 0.9 8 7.0 10 9.1 5 4.4 4 3.6

6.未答或
不明確
總和

26 22.8 38 34.5 26 22.8 62 56.4 7 0.1 39 35.5
114 100 110 100 114 100 110 100 114 100 110 100

第二節 原子概念訪談分析

本節是針對研究問題五「經由三次訪談(教學前、後、追蹤),分析實驗組學生經網路互動式學習其概念數、概念正確分數、推理層級(包括概述(G),精緻化(EL),辯證(J),解釋(EX))與概念改變量的變化如何?」,針對網路化學習課程分析實驗組學生在原子單元 11 個訪談問題,並以語意流程圖分析探討學生在教學前、後、追蹤其概念數、概念正確分數、推理層級的概述(G),精緻化(EL),辯證(J),解釋(EX)、概念改變量的差異情形。以下分成兩部分依序呈現學生在訪談問題中的敘述性及推論統計分析結果。

一、教學前、後、追蹤敘述性統計

首先依序呈現實驗組主題一到主題五中,學生在問題的前、後、追蹤訪談上之敘述性統計,分別以概念數、正確概念分數(依照每個概念對錯計為 0~3 分)、推理概念類型(由低至高分別為 G:概述、EL:精緻化、J:辯證、EX:解釋)等項目的分析。除此之外,在概念改變量的部分則是依各問題的前後測(前測到後測)、後追測(後測到追蹤測)的概念改變連結數的方式呈現其敘述性統計,並將學生在教學前後、教學後與追蹤訪談有連結的概念,依照回答對錯情形進而將概念改變量分成『進步』、『維持』-全對、『維持』-半對或全錯、『退步』等四種型態進行分析,以了解教學前後、教學後與追蹤兩階段的概念改變情形。

二、教學前、後、追蹤重複量數(repeated measurement)推論統計分析：

為探討各變項於教學前、後、追蹤訪談上的差異。首先針對實驗組的概念數、正確概念分數、概念推理類型(G:概述、EL:精緻化、J:辯證、EX:解釋)分別進行重複量數分析,資料分析時以教學前、後、追蹤訪談的各變項為依變項進行組內的比較。並將列出有顯著差異的變項進行事後比較。

以下所有主題將按照上述兩種分析中的概念數、概念正確分數、推理層級包括概述(G),精緻化(EL),辯證(J),解釋(EX)、概念改變量的敘述性統計及概念數、概念正確分數、推理層級包括概述(G),精緻化(EL),辯證(J),解釋(EX)的推論統計依序呈現說明：

主題一：物質的分類

首先將實驗組的學生在訪談問題 1 物質的分類(一)：純物質與混合物的分類進行敘述性統計,結果如表 4-2-1。

表 4-2-1 物質的分類(一)：純物質與混合物的分類之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	6	0	6	0	7.28	1.99	0	1.28
正確概念分數	9.28	3.83	11.06	2.31	16.56	6.23	1.98	7.28
概念推理類型								
概述(G)	3.89	2.08	5.06	1.16	2.05	3.37	1.17	-1.84
精緻化(EL)	1.56	2.38	1.61	2.09	8.11	5.48	0.05	6.55

N=18

由表 4-2-1 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，且由平均差可得知追前訪談的正確概念得分優於後前訪談，顯示實驗組的學生於訪談問題 1 物質的分類的學習上，其學習的保留力遠大於立即成效。而由推理概念 G 類型呈現追前訪談平均差低於後前訪談平均差，但 EL 類型的追前平均差遠高於後前平均差，顯示實驗組學生對於純物質與混合物的分類概念推理類型層級提升，同時 EL 類型在追蹤上保留效果相當好。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 1 物質的分類(一)：純物質與混合物的分類的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-2。

表 4-2-2 物質的分類(一)：純物質與混合物概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.89	1.08	3.11	2.08
維持-全對	0.22	0.55	0.39	0.85
維持-半對或全錯	4.17	1.69	1.78	2.26
退步	0.72	1.27	0.28	0.57

N=18

由表 4-2-2 中呈現『維持-半對或全錯』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示多數學生於教學前到教學後在訪談問題 1 的教學上未立即呈現學習成效，但由『進步』型態的平均數中卻發現後追測高於前後測，同時維持半對或全錯的平均數降低至進步的平均數，由此顯示學生在純物質與混合物的分類的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 1 物質的分類(一)：純物質與混合物的分類的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-3。

表 4-2-3 原子單元訪談問題 1 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	19.59	2	9.80	7.39**	0.30***	追>前,追>後
正確數	570.70	2	285.35	55.14***	0.76***	後>前,後>追
概述(G)	58.93	2	29.46	7.49**	0.31***	後>前,後>追
精緻化(EL)	511.37	2	255.69	30.26***	0.64***	追>前,追>後

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-3 中顯示就問題 1 教學前、後、追蹤訪談而言，在概念數上達顯著性差異 ($F(2)=7.39$, $p=.002$)，且追蹤訪談高於教學前、後訪談；同時在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=55.14$, $p=.000$)，且教學後高於教學前、追蹤訪談；而在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=7.49$, $p=.003$)，且教學後高於教學前、追蹤訪談；在推理概念 EL 類型上同樣達顯著差異 ($F(2)=30.26$, $p=.000$)，且追蹤訪談高於教學前、後訪談。

主題二：元素與原子

首先將實驗組的學生在訪談問題 2 物質的分類(一)：化合物與元素的分類進行敘述性統計，結果如表 4-2-4。

表 4-2-4 物質的分類(二)：化合物與元素的分類之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	6.94	0.24	6.94	0.24	6.50	1.47	0	-0.44
正確概念分數	6.28	2.76	10	4.85	12.89	8.14	3.72	6.61
概念推理類型								
概述(G)	3.83	2.79	3.94	2.44	1.67	2.35	0.11	-2.16
精緻化(EL)	1.33	2.14	2.06	2.39	5.94	5.13	0.73	4.61

N=18

由表 4-2-4 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，且由平均差可得知追前訪談的正確概念得分優於後前訪談，顯示實驗組的學生於在訪談問題 2 物質的分類其學習保留力遠大於立即成效。而由推理概念 G 類型呈現追前訪談平均差低於後前訪談平均差，但 EL 類型的追前平均差卻遠高於後前平均差，顯示實驗組學生對於化合物與元素的分類概念推理類型層級提升，同時 EL 類型在追蹤上保留效果

相當好。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 2 物質的分類(二)：化合物與元素的分類的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-5。

表 4-2-5 物質的分類(二)：化合物與元素概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	1.78	1.48	2.39	2.06
維持-對	0.39	0.70	0.06	0.24
維持-半對或全錯	4.33	1.68	1.61	1.61
退步	0.33	0.59	0.61	0.78

N=18

由表 4-2-5 中呈現『維持-半對或全錯』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示多數學生於教學前到教學後在訪談問題 2 的教學上未立即呈現學習成效，但由『進步』型態的平均數中卻發現後追測高於前後測，同時維持半對或全錯的平均數降低至進步的平均數，由此顯示學生在化合物與元素的分類的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 2 物質的分類(二)：化合物與元素的分類的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-6。

表 4-2-6 原子單元訪談問題 2 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	2.34	2	1.19	1.53	—	—
正確數	395.44	2	197.72	11.40***	0.40***	後>前,追>前
概述(G)	59.37	2	29.69	5.45**	0.24***	前>追,後>追
精緻化(EL)	498.78	2	249.39	26.18***	0.61***	追>前,追>後

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-6 中顯示就問題 2 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=11.40$, $p=.000$)，且教學後高於教學前、追蹤高於教學前訪談；而在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=5.45$, $p=.009$)，且追蹤高於教學前、後訪談；同時在推理概念 EL 類型上也達顯著差異 ($F(2)=26.18$, $p=.000$)，且追蹤訪談高於教學前、後訪談。

主題三：原子與其組成粒子

(一)問題 3-1 原子的形狀和結構

首先將實驗組的學生在訪談問題 3-1 原子的形狀和結構進行敘述性統計，結果如表 4-2-7。

表 4-2-7 原子的形狀和結構之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1.56	0.51	1.17	0.38	1.50	0.62	-0.21	-0.06
正確概念分數	2.94	1.35	2	1.03	3.44	1.29	-0.94	0.50
概念推理類型								
概述(G)	1.11	0.68	0.94	0.24	0.44	0.51	-0.17	-0.67
精緻化(EL)	0.44	0.70	0.22	0.43	0.94	0.80	-0.22	0.50
辯證(J)	0	0	0	0	0.22	0.43	0	0.22

N=18

由表 4-2-7 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的概念數皆低於教學前，顯示實驗組學生於原子的形狀和結構的學習上呈現概念精簡化，而由後前平均差得知於教學後的正確概念分數雖低於教學前，但由追前平均差呈現追蹤測高於前測，顯示實驗組學生在訪談問題 3-1 原子的形狀和結構其學習保留力遠大於立即成效。而由推理概念 G 類型呈現追前訪談平均差低於後前訪談平均差，但 EL 類型的追前平均差卻遠高於後前平均差，同時 J 類型的追前平均差也高於後前平均差，顯示實驗組學生對於原子的形狀和結構概念推理類型層級提升，同時 EL、J 類型在追蹤上保留效果相當好。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 3-1 原子的形狀和結構的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-8。

表 4-2-8 原子的形狀和結構概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.17	0.38	0.72	0.46
維持-對	0.00	0.00	0.11	0.32
維持-半對或全錯	0.61	0.50	0.22	0.43
退步	0.28	0.46	0.00	0.00

N=18

由表 4-2-8 中呈現『維持-半對或全錯』型態的平均數中前後測多於後追測，顯示多數學生於教學前到教學後在訪談問題 3-1 的教學上未立即呈現學習成效，但由『進步』型態的平均數中卻發現後追測高於前後測，同時維持半對或全錯的平均數降低至進步的平均數，由此顯示學生在原子的形狀和結構的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 3-1 原子的形狀和結構的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-9。

表 4-2-9 原子單元訪談問題 3-1 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	1.59	2	0.80	3.83*	0.18***	前>後
正確數	19.37	2	9.69	12.06***	0.42***	前>後, 追>後
概述(G)	4.33	2	2.17	8.19**	0.33***	前>追, 後>追
精緻化(EL)	8.78	2	4.39	16.18***	0.49***	追>前, 追>後, 後>前
辯證(J)	0.59	2	0.30	4.86*	0.22***	追>前, 追>後

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數: 正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-9 中顯示就問題 3-1 教學前、後、追蹤訪談而言，在概念數上達顯著性差異 ($F(2)=3.83$, $p=.032$)，且教學後高於教學前訪談；同時在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=12.06$, $p=.000$)，且教學前高於教學後、追蹤訪談高於教學後；而在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=8.19$, $p=.001$)，且教學前、後皆高於追蹤訪談；在推理概念 EL 類型上同樣達顯著差異 ($F(2)=16.18$, $p=.000$)，且追蹤訪談高於教學前、後訪談，教學後高於教學前訪談；在推理概念 J 類型同時達顯著性差異 ($F(2)=4.86$, $p=.014$)，且追蹤訪談高於教學前、後訪談。

(二)問題 3-2 電子的運動情形

首先將實驗組的學生在訪談問題 3-2 電子的運動情形進行敘述性統計，結果如表 4-2-10。

表 4-2-10 電子的運動情形之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1	0	1	0	1	0	0	0
正確概念分數	0.94	0.54	1.61	0.5	1.94	0.64	0.67	1
概念推理類型								
概述(G)	0.94	0.42	0.28	0.57	0.06	0.24	-0.66	-0.88
精緻化(EL)	0.11	0.32	0.83	0.51	1.11	0.47	0.72	1

N=18

由表 4-2-10 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，且由平均差可得知追前訪談的正確概念得分優於後前訪談，顯示實驗組的學生於訪談問題 3-2 電子的運動情形學習上，其學習的保留力大於立即成效。而由推理概念 G 類型呈現追前訪談平均差低於後前訪談平均差，但 EL 類型的追前平均差高於後前平均差，顯示實驗組學生對於電子的運動情形概念推理類型層級提升，同時 EL 類型在追蹤上保留效果相當好。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 3-2 電子的運動情形的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-11。

表 4-2-11 電子的運動情形概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.50	0.51	0.17	0.38
維持-對	0.11	0.32	0.33	0.49
維持-半對或全錯	0.39	0.50	0.39	0.50
退步	0.00	0.00	0.11	0.32

N=18

由表 4-2-11 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示多數學生於教學前到教學後在訪談問題 3-2 的教學上呈現立即學習成效，但由『維持-對』型態的平均數中卻發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在電子的運動情形的學習上，經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 3-2 電子的運動情形的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-12。

表 4-2-12 原子單元訪談問題 3-2 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	—	—	—	—	—	—
正確數	9.33	2	4.67	29.75***	0.64***	追>前,追>後,後>前
概述(G)	7.70	2	3.85	20.80***	0.55***	前>後,前>追
精緻化(EL)	9.59	2	4.80	37.00***	0.69***	後>前,追>前

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-12 中顯示就問題 3-2 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=29.75$, $p=.000$)，且追蹤高於教學前、後訪談，教學後高於教學前訪談；而在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=20.80$, $p=.000$)，且教學前高於後、後追蹤訪談；同時在推理概念 EL 類型上也達顯著差異 ($F(2)=37.00$, $p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談。

(三)問題 3-3 電子在原子的分佈情形

首先將實驗組的學生在訪談問題 3-3 電子在原子的分佈情形進行敘述性統計，結果如表 4-2-13。

表 4-2-13 電子在原子的分佈情形之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1.61	0.50	1.83	4.28	1.89	0.32	0.22	0.28
正確概念分數	1.89	1.41	4.28	1.13	4.61	1.33	2.39	2.72
概念推理類型								
概述(G)	0.44	0.51	0.06	0.24	0.39	0.70	-0.38	-0.05
精緻化(EL)	1	0.77	2.11	0.83	2.56	1.38	1.11	1.56
辯證(J)	0	0	0.11	0.32	0	0	0.11	0

N=18

由表 4-2-13 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的概念數、正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於電子在原子的分佈情形的學習呈現概念數增加、立即學習成效和學習保留力。而由推理概念 G 類型呈現追前訪談平均差低於後前訪談平均差，但 EL 類型的追前平均差卻遠高於後前平均差，顯示實驗組學生對於電子在原子的分佈情

形概念推理類型層級提升，同時 EL 類型在追蹤上保留效果相當好。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 3-3 電子在原子的分佈情形的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-14。

表 4-2-14 電子在原子的分佈情形概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	1.00	0.59	0.56	0.70
維持-對	0.06	0.24	0.28	0.57
維持-半對或全錯	0.50	0.51	0.50	0.62
退步	0.00	0.00	0.44	0.51

N=18

由表 4-2-14 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 3-3 的教學上呈現立即學習成效，但由『退步』型態的平均數中前後測高於後追測，也顯示其它部分學生在訪談問題 3-3 的教學上無學習保留力。此外由『維持-對』型態的平均數中卻發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生於電子在原子的分佈情形的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 3-3 電子在原子的分佈情形的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-15。

表 4-2-15 原子單元訪談問題 3-3 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	0.78	2	0.39	2.90	—	—
正確數	79.37	2	39.69	35.54***	0.68***	後>前,追>前
概述(G)	1.59	2	0.80	2.60	—	—
精緻化(EL)	23.11	2	11.56	10.46***	0.38***	後>前,追>前
辯證(J)	0.15	2	0.07	2.13	—	—

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-15 中顯示就問題 3-3 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=35.54$, $p=.000$)，且教學後高於教學前訪談，追蹤高於教學前訪談；同時在推理概念 EL 類型上也達顯著差異 ($F(2)=10.46$, $p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談。

(四)問題 3-4 金原子和鐵原子的構成

首先將實驗組的學生在訪談問題 3-4 金原子和鐵原子的構成進行敘述性統計，結果如表 4-2-16。

表 4-2-16 金原子和鐵原子的構成之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1.06	0.24	1.89	1.02	1.39	0.50	0.83	0.33
正確概念分數	1.17	0.71	4.61	3.22	2.83	1.79	3.44	1.66
概念推理類型								
概述(G)	0.33	0.59	0.56	0.78	0.22	0.43	0.23	-0.11
精緻化(EL)	1.06	0.94	1.17	0.79	1.17	1.10	0.11	0.11
辯證(J)	0	0	0.56	0.78	0.17	0.38	0.56	0.17

N=18

由表 4-2-16 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的概念數、正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於金原子和鐵原子的構成的學習呈現概念數增加、立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後的推理概念 G 類型低於較高推理層級 J，顯示實驗組學生對於金原子和鐵原子的構成的立即學習成效隨著較低推理層級(G)的減少也間接提升其推理層級。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 3-4 金原子和鐵原子的構成的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-17。

表 4-2-17 金原子和鐵原子的構成概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	1.22	1.17	0.17	0.38
維持-對	0.11	0.32	0.44	0.62
維持-半對或全錯	0.33	0.49	0.28	0.46
退步	0.00	0.00	0.33	0.49

N=18

由表 4-2-17 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 3-4 的教學上呈現立即學習成效，但由『退步』型態的平均數中前後測高於後追測，也顯示其它部分學生在訪談問題 3-4 的教學上無學習保留力。此外由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生於金原子和鐵原子的構成的學習上，經過一段時間其

概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 3-4 金原子和鐵原子的構成的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-18。

表 4-2-18 原子單元訪談問題 3-4 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	6.33	2	3.17	6.87**	0.29***	後>前,追>前
正確數	106.81	2	53.41	13.70***	0.45***	追>前,後>前,後>追
概述(G)	1.04	2	0.52	1.52	—	—
精緻化(EL)	0.15	2	0.07	0.09	—	—
辯證(J)	2.93	2	1.46	7.76**	0.31***	後>前,後>追

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-18 中顯示就問題 3-4 教學前、後、追蹤訪談而言，在概念數上達顯著性差異 ($F(2)=6.87$, $p=.003$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談；同時在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=13.70$, $p=.000$)，且追蹤訪談、教學後訪談皆高於教學前，教學後訪談也高於追蹤訪談；而在推理概念 J 類型同時達顯著性差異 ($F(2)=7.76$, $p=.002$)，且教學後訪談高於教學前、追蹤訪談。

(五)問題 3-5 原子的分割與粒子的異同

首先將實驗組的學生在訪談問題 3-5 原子的分割與粒子的異同進行敘述性統計，結果如表 4-2-19。

表 4-2-19 原子的分割與粒子的異同之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	2.06	0.94	2.33	0.59	2.83	0.92	0.27	0.77
正確概念分數	2.33	2.40	5.67	1.97	6.50	3.01	3.34	4.17
概念推理類型								
概述(G)	0.89	0.58	0.22	0.65	0.28	0.57	-0.67	-0.61
精緻化(EL)	1.17	1.34	3.28	1.18	3.61	1.61	2.11	2.44
辯證(J)	0	0	0.22	0.43	0.22	0.55	0.22	0.22

N=18

由表 4-2-19 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的概念數、正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於原子的分割與粒子的異同的學習呈現概念數增加、立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後的推理概念 G 類型低於較高推理層級 EL，顯示實驗組學生對於原子的分割與粒子的異同的立即學習成效隨著較低推理層級(G)的減少也間接提升其推理層級。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 3-5 原子的分割與粒子的異同的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-20。

表 4-2-20 原子的分割與粒子的異同概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	1.50	0.86	0.39	0.61
維持-對	0.22	0.65	1.06	1.06
維持-半對或全錯	0.17	0.38	0.22	0.55
退步	0.00	0.00	0.33	0.49

N=18

由表 4-2-20 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 3-5 的教學上呈現立即學習成效，同時由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在原子的分割與粒子的異同的學習上，經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 3-5 原子的分割與粒子的異同的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-21。

表 4-2-21 原子單元訪談問題 3-5 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	5.59	2	2.80	5.17*	0.23***	追>前
正確數	175.00	2	87.50	19.36***	0.53***	後>前,追>前
概述(G)	4.93	2	2.46	8.60**	0.34***	前>後,前>追
精緻化(EL)	63.26	2	31.63	20.39***	0.55***	後>前,追>前
辯證(J)	0.59	2	0.30	1.86	—	—

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-21 中顯示就問題 3-5 教學前、後、追蹤訪談而言，在概念數上達顯著性差異 ($F(2)=5.17$, $p=.011$)，且追蹤訪談高於教學前訪談；而在正確概念分數上達顯著差異

($F(2)=19.36, p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談；在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=8.60, p=.001$)，且教學前高於教學後、追蹤訪談；同時在推理概念 EL 類型上也達顯著差異 ($F(2)=20.39, p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談。

主題四：原子內電子排列與元素活性

(一)問題 4-1 惰性氣體的安定性

首先將實驗組的學生在訪談問題 4-1 惰性氣體的安定性進行敘述性統計，結果如表 4-2-22。

表 4-2-22 惰性氣體的安定性之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1	0	1.11	0.47	1	0	0.11	0
正確概念分數	0.83	0.71	2.44	1.15	2.17	1.10	1.61	1.34
概念推理類型								
概述(G)	0.22	0.55	0.11	0.32	0.06	0.24	-0.11	-0.16
精緻化(EL)	0.44	0.51	0.39	0.70	0.22	0.55	-0.05	-0.22
辯證(J)	0.06	0.24	0.67	0.59	0.61	0.61	0.61	0.55

N=18

由表 4-2-22 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於惰性氣體的安定性的學習呈現立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後的推理概念 G、EL 類型低於較高推理層級 J，顯示實驗組學生對於惰性氣體的安定性的立即學習成效隨著較低推理層級(G、EL)的減少也間接提升其推理層級。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 4-1 惰性氣體的安定性的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-23。

表 4-2-23 惰性氣體的安定性概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.72	0.46	0.11	0.32
維持-對	0.11	0.32	0.61	0.50
維持-半對或全錯	0.17	0.38	0.17	0.38
退步	0.06	0.24	0.11	0.32

N=18

由表 4-2-23 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教

學前到教學後在訪談問題 4-1 的教學上呈現立即學習成效，同時由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在惰性氣體的安定性的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 4-1 惰性氣體的安定性的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-24。

表 4-2-24 原子單元訪談問題 4-1 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	0.15	2	0.07	1.00	—	—
正確數	26.70	2	13.35	23.53***	0.58	後>前,追>前
概述(G)	0.26	2	0.13	0.87	—	—
精緻化(EL)	0.48	2	0.24	0.61	—	—
辯證(J)	4.11	2	2.06	11.87***	0.41	後>前,追>前

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 正確數:正確概念分數

由表 4-2-24 中顯示就問題 4-1 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=23.53$, $p=.000$)，且教學後高於教學前訪談，追蹤高於教學前訪談；同時在推理概念 J 類型上也達顯著差異 ($F(2)=11.87$, $p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談。

(二)問題 4-2 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較

首先將實驗組的學生在訪談問題 4-2 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較進行敘述性統計，結果如表 4-2-25。

表 4-2-25 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1.11	0.47	1	0	1	0	-0.11	-0.11
正確概念分數	1.28	1.02	1.83	1.04	1.78	1.06	0.55	0.50
概念推理類型								
概述(G)	0.22	0.55	0	0	0	0	-0.22	-0.22
精緻化(EL)	1	0.69	0.33	0.49	0.33	0.59	-0.67	-0.67
辯證(J)	0.06	0.24	0.39	0.61	0.22	0.43	0.33	0.16
解釋(EX)	0	0	0.28	0.46	0.22	0.55	0.28	0.22

N=18

由表 4-2-25 中實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較的學習呈現立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後、追蹤訪談中的概念推理 G、EL 類型低於較高推理層級 J、EX，顯示實驗組學生對於鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較的立即學習成效及保留力隨著較低推理層級(G、EL)的減少也間接提升其推理層級。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 4-2 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-26。

表 4-2-26 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.50	0.62	0.28	0.46
維持-對	0.00	0.00	0.28	0.46
維持-半對或全錯	0.50	0.51	0.28	0.46
退步	0.06	0.24	0.17	0.38

N=18

由表 4-2-26 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 4-2 的教學上呈現立即學習成效，但由『維持-半對或全錯』型態平均數的前後測、後追測中顯示部分學生仍無法呈現概念改變。同時由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 4-2 鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-27。

表 4-2-27 原子單元訪談問題 4-2 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	0.15	2	0.07	1.00	—	—
正確數	3.37	2	1.69	3.31	—	—
概述(G)	0.59	2	0.30	2.96	—	—
精緻化(EL)	5.33	2	2.67	8.50**	0.33***	前>後,前>追
辯證(J)	1.00	2	0.50	3.40	—	—
解釋(EX)	0.78	2	0.39	3.40	—	—

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 : ”*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, ω =small; ”***”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, ω =medium;

”****”表示 $d \geq 0.1379$, ω =large。

由表 4-2-27 中顯示就問題 4-2 教學前、後、追蹤訪談而言，僅推理概念 EL 類型上達顯著差異 ($F(2)=8.50, p=.001$)，且教學前皆高於教學後、追蹤訪談。

(二)問題 4-3 氯、溴蒸氣與鈉的反應性

首先將實驗組的學生在訪談問題 4-3 氯、溴蒸氣與鈉的反應性進行敘述性統計，結果如表 4-2-28。

表 4-2-28 氯、溴蒸氣與鈉的反應性之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1	0	1	0	1	0	0	0
正確概念分數	0.83	0.86	1.89	1.02	1.67	1.33	1.06	0.84
概念推理類型								
概述(G)	0.11	0.32	0.06	0.24	0.06	0.24	-0.05	-0.05
精緻化(EL)	0.89	0.76	0.33	0.69	0.22	0.55	-0.56	-0.67
辯證(J)	0.22	0.65	0.33	0.59	0.56	0.70	0.11	0.34
解釋(EX)	0	0	0.50	0.71	0.06	0.24	0.50	0.06
N=18								

由表 4-2-28 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於氯、溴蒸氣與鈉的反應性的學習呈現立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後、追蹤訪談中的概念推理 G、EL 類型低於較高推理層級 J、EX，顯示實驗組學生對於氯、溴蒸氣與鈉的反應性的立即學習成效及保留力隨著較低推理層級(G、EL)的減少也間接提升其推理層級。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 4-3 氯、溴蒸氣與鈉的反應性的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-29。

表 4-2-29 氯、溴蒸氣與鈉的反應性概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.56	0.51	0.28	0.46
維持-對	0.00	0.00	0.28	0.46
維持-半對或全錯	0.39	0.50	0.28	0.46
退步	0.06	0.24	0.17	0.38

N=18

由表 4-2-29 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 4-3 的教學上呈現立即學習成效，但由『維持-半對或全錯』型態平均數的前後測、後追測中顯示部分學生仍無法呈現概念改變。同時由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在氯、溴蒸氣與鈉的反應性的比較的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 4-3 氯、溴蒸氣與鈉的反應性的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-30。

表 4-2-30 原子單元訪談問題 4-3 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	—	—	—	—	—	—
正確數	11.15	2	5.57	7.63**	0.31***	後>前,追>前
概述(G)	0.04	2	0.02	0.24	—	—
精緻化(EL)	4.59	2	2.30	5.07*	0.23***	前>後,前>追
辯證(J)	1.04	2	0.54	1.36	—	—
解釋(EX)	2.70	2	1.35	8.68**	0.34***	後>前,後>追

1. F 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

由表 4-2-30 中顯示就問題 4-3 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=7.63$, $p=.002$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談；而在推理概念 EL 類型也達顯著性差異 ($F(2)=5.07$, $p=.012$)，且教學前高於教學後、追蹤訪談；同時在推理概念 EX 類型上也達顯著差異 ($F(2)=8.68$, $p=.001$)，且教學後高於教學前、追蹤訪談。

主題五：原子與化學反應

首先將實驗組的學生在訪談問題 5 氫原子與氫分子的安定性進行敘述性統計，結果如表 4-2-31。

表 4-2-31 氫原子與氫分子的安定性之敘述性統計表

實驗組	前測		後測		追蹤測		平均差 (後-前)	平均差 (追-前)
	mean	SD	mean	SD	mean	SD		
概念數	1	0	1	0	1	0	0	0
正確概念分數	0.39	0.50	2	1.03	1.89	1.02	1.61	1.50
概念推理類型								
概述(G)	0.56	0.51	0.06	0.24	0.17	0.51	-0.50	-0.39
精緻化(EL)	0.44	0.51	0.56	0.62	0.39	0.61	0.12	-0.05
辯證(J)	0	0	0.28	0.46	0.61	0.70	0.28	0.61
解釋(EX)	0	0	0.17	0.51	0	0	0.17	0

N=18

由表 4-2-31 中顯示實驗組學生於教學後、追蹤訪談的正確概念分數皆高於教學前，顯示實驗組學生於氫原子與氫分子的安定性的學習呈現立即學習成效和學習保留力。而實驗組學生於教學後的概念推理 G 類型低於較高推理層級 EL、J、EX，顯示實驗組學生對於氫原子與氫分子的安定性的立即學習成效隨著較低推理層級(G)的減少也間接提升其推理層級，且由概念推理 J 類型的追前平均差高於後前平均差顯示學生於高推理層級(J)具學習保留力。

以下針對實驗組的學生在訪談問題 5 氫原子與氫分子的安定性的概念改變量(前後測、後追測)進行敘述性統計，結果如表 4-2-32。

表 4-2-32 氫原子與氫分子的安定性概念改變量之敘述性統計表

概念改變量	前後測		後追測	
	平均數	標準差	平均數	標準差
進步	0.61	0.50	0.22	0.43
維持-對	0.00	0.00	0.28	0.46
維持-半對或全錯	0.39	0.50	0.39	0.50
退步	0.00	0.00	0.11	0.32

N=18

由表 4-2-32 中顯示『進步』型態的平均數中前後測高於後追測，顯示部分學生於教學前到教學後在訪談問題 5 的教學上呈現立即學習成效，但由『維持-半對或全錯』型態平均數的前後測、後追測中顯示部分學生仍無法呈現概念改變。同時由『維持-對』型態的平均數中發現後追測高於前後測，即後測到追蹤測的概念改變量稍大於前測到後測，也顯示學生在氫原子與氫分子的安定性的學習上，學習後經過一段時間其概念改變量有提升的現象。

並將實驗組的學生在訪談問題 5 氫原子與氫分子的安定性的概念進行重複量數分析，結果如表 4-2-33。

表 4-2-33 原子單元訪談問題 5 教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之主要效果摘要表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值	淨相關 η^2	事後比較
概念數	—	—	—	—	—	—
正確數	29.15	2	14.57	29.40***	0.63	後>前,追>前
概述(G)	2.48	2	1.24	8.69**	0.34	前>後,前>追
精緻化(EL)	0.26	2	0.13	0.42	—	—
辯證(J)	3.37	2	1.69	7.85**	0.32	後>前,追>前
解釋(EX)	0.33	2	0.17	1.89	—	—

1. F 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. 正確數:正確概念分數

3. η^2 ：“*”表示 $0.0099 \leq d < 0.0588$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.0588 \leq d < 0.1379$, $\omega = \text{medium}$ ；

“***”表示 $d \geq 0.1379$, $\omega = \text{large}$ 。

表 4-2-33 中顯示就問題 5 教學前、後、追蹤訪談而言，在正確概念分數上達顯著差異 ($F(2)=29.40$, $p=.000$)，且教學後、追蹤訪談皆高於教學前訪談；而在推理概念 G 類型也達顯著性差異 ($F(2)=8.69$, $p=.001$)，且教學前高於教學後、追蹤訪談；同時在推理概念 J 類型上也達顯著差異 ($F(2)=7.85$, $p=.002$)，且教學後、追蹤訪談高於教學前訪談。

三、小結：

綜合上述將所有訪談問題與三變項(概念數、正確概念分數、概念推理類型)分析之結果，在前、後、追蹤測上的描述統計如圖 4-2-1、圖 4-2-2、圖 4-2-3，經事後比較的推論統計彙整如表 4-2-34。此外，概念改變量(前-後、後-追)整理如表圖 4-2-4 與圖 4-2-5。

以下將分別從概念數、正確概念分數、概念推理類型：概述(G)、精緻化(EL)、辯證(J)、解釋(EX)三變項由圖 4-2-1、圖 4-2-2、圖 4-2-3 的敘述性分析和表 4-2-34 的推論統計分析逐一加以說明。

(一)概念數：

由表 4-2-34 呈現在教學前、後、追蹤的概念數推論統計上顯示沒有明顯增加，可能是因為訪談人數較少，切的概念數太小，但因為原子概念過於細微，同時研究者希望對學生的每個概念都能有更深入的瞭解，所以呈現出概念的平均數較小。不過在圖 4-2-2 上顯示後測由問題 3-1 到 3-5 屬於原子結構連續性概念則有增加的趨勢。此結果未支持研究假設 5-1 中，經由網路化推理過程，學生的概念數增加於教學前、後、追蹤達顯著差異。

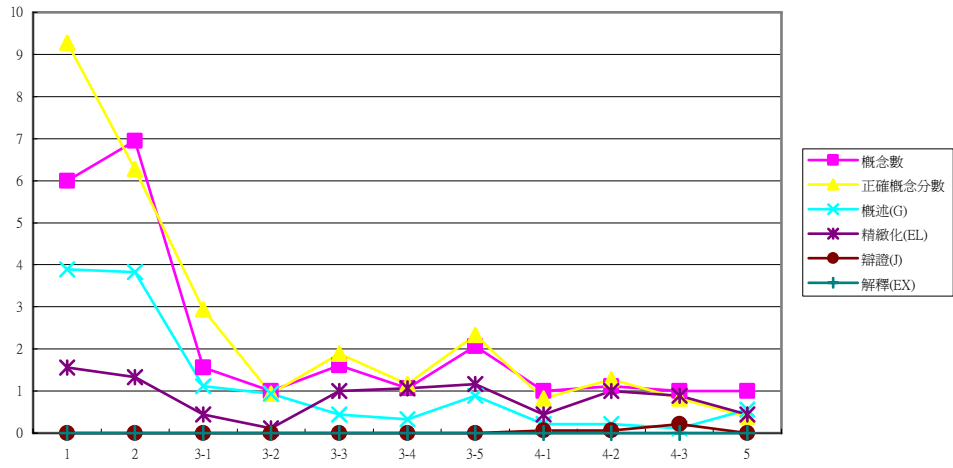


圖 4-2-1 描述統計-前測

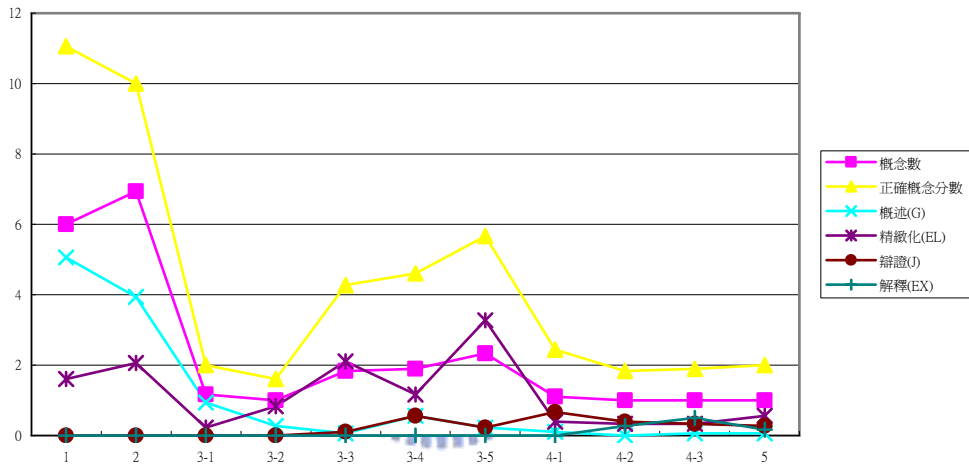


圖 4-2-2 描述統計-後測

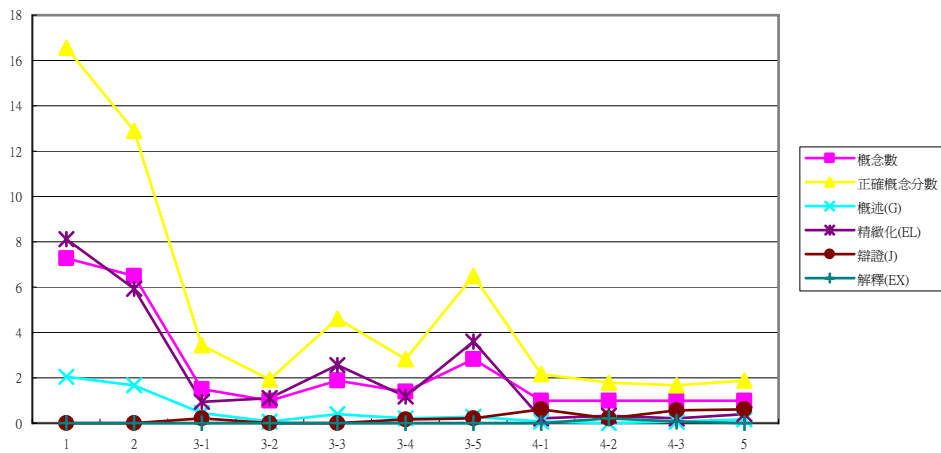


圖 4-2-3 描述統計-追蹤測

表 4-2-34 原子單元訪談問題教學前、後、追蹤訪談重複量數分析之結果彙整表

	事後比較	問題 1	問題 2	問題 3-1	問題 3-2	問題 3-3	問題 3-4	問題 3-5	問題 4-1	問題 4-2	問題 4-3	問題 5
1.概念數	追>後 後>前	**					**					
2.正確概念分數	追>後 後>前	***	***	***	***	***	***	***	***		**	***
3.概念推理類型 概述(G)	後>前	*										
精緻化(EL)	追>後 後>前	***	***	*** ***				***				
辯證(J)	追>後 後>前			*			**		***			**
解釋(EX)	後>前										**	



1.* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2.訪談問題與原子單元學習相關描述包括問題 1：純物質與混合物的分類；問題 2：化合物與元素的分類；問題 3-1：原子的形狀與結構；問題 3-2：電子的運動情形；問題 3-3：電子在原子的分佈情形；問題 3-4：金原子和鐵原子的構成；問題 3-5：原子的分割與粒子的異同；問題 4-1：惰性氣體的安定性；問題 4-2：鈉、鉀與惰性氣體安定性的比較；問題 4-3：氯、溴蒸氣與鈉的反應性；問題 5：氫原子與氫分子的安定性

(二)正確概念分數：

由表 4-2-34 顯示幾乎所有問題的正確概念分數在後測均大於前測且達顯著性，同時圖 4-2-2 的圖也顯示學生在 3-1 到 3-5 屬於原子結構連續性概念的正確分數上則有增加的趨勢。此結果支持研究假設 5-2 中，經由網路化推理過程，學生的正確概念分數增加於教學前、後、追蹤達顯著差異。

(三)概念推理類型：

由表 4-2-34 顯示在愈前面問題顯著差異落在推理層級較低，愈到後面的問題則顯著差異落在推理層級較高的較多。如問題 1 到 3-1 多半落在 G 有顯著進步，而問題 3-1 到 3-5 則多半落在 EL、4-1 到 5 則落在 J、EX。此結果支持研究假設 5-3 中，經由網路化推理過程，學生在不同的問題上，分別在不同推理類型上呈現顯著差異。

(四)概念改變量：概念改變量

以下針對研究問題 5-4，分別呈現實驗組學生前後測、後追測概念改變量於進步、維持-全對、維持-半對與全錯、退步的差異。由圖 4-2-4 可以發現學生在教學前到後的概念改變量中『進步』的題數高於『維持-半對或全錯』，尤其從主題三(問題 3-1 到 3-5)進步比例逐漸升高，而學生回答為維持不變(半對或全錯)的包括：問題 1 為純物質與混合物的分類、問題 2 為化合物與元素的分類、問題 3-1 為原子的形狀和結構。其中學生對於問題 1、2 的回答多為純物質和元素只有一種物質；混合物和化合物有很多物質組成。顯示物質的分類對學生的學習是很困難的。James & Nelson (1981)也指出學生對於物質的概念模糊不清，因此運用學習環(Learning Cycle)的教學模式讓學生澄清純物質與混合物、化合物與元素的概念。在問題 3-1 中，我們的研究顯示學生大多認為原子是球體、原子裡頭有東西，與一些學者指出學生認為原子的形狀為球體 (Giffith & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 1996)和原子內無存在東西或是內部佈滿微粒、有核 (邱美虹和高淑芬, 1999)的想法頗接近。問題 2 呈現『維持-半對或全錯』的比例最高，但在後-追則顯示進步最多，顯示化合物與元素的分類不易經由教學而產生概念改變，但經過一段時間可有所增進。由圖 4-2-5 中從教學後到追蹤測的概念改變量也呈現『進步』與『維持-全對』等級的問題最多。值得注意的是問題 3-5 在教學前後呈現進步的比例最高，且在後測與追蹤測中維持全對的比例也最高，顯示學生在學習原子的分割與粒子(質子、中子、電子)的性質既能呈現學習立即成效且教學後經過一段時間並具保留力。整體而言，多數實驗組學生在學習原子單元都能經由網路推理模式成功達到概念改變。

前後

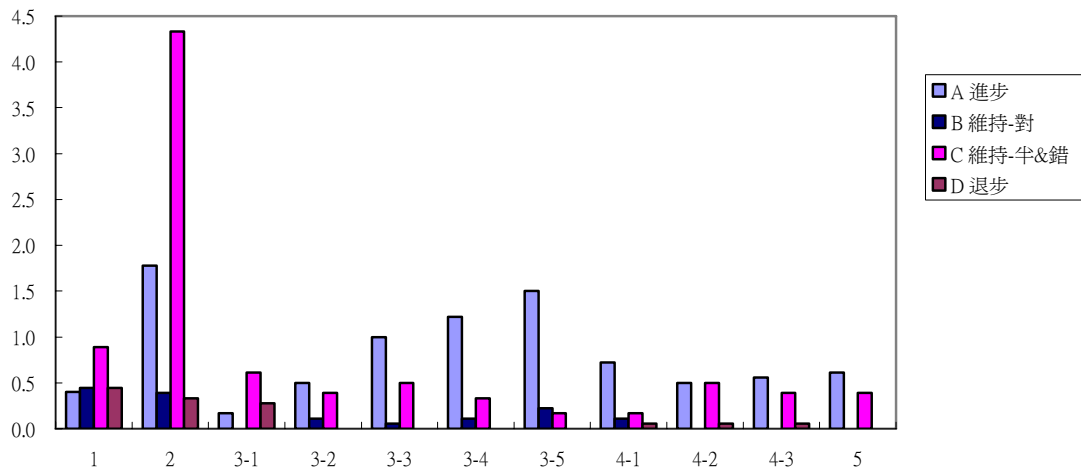


圖 4-2-4 概念改變量(前-後)

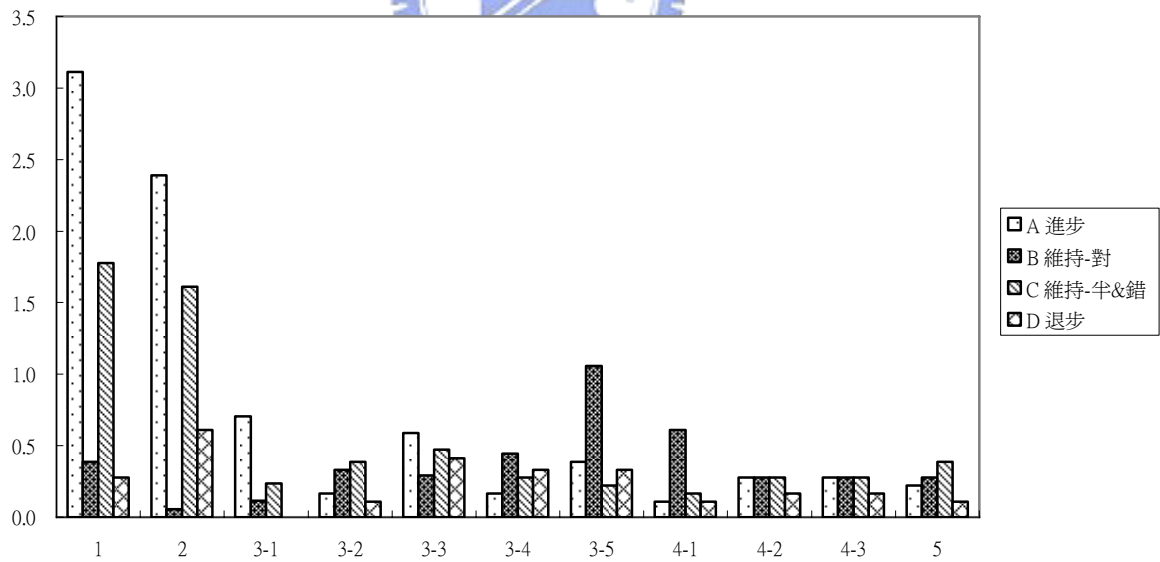


圖 4-2-5 概念改變量(後-追)

第三節 網路互動式學習歷程分析

本節是針對研究問題六「不同的學業成績、科學推理能力的學生在運用科學推理於互動式網路模式下，學生學習歷程的改變及科學推理時回答理由時所運用的推理層級之改變為何？」，比較學業成績高、中、低與科學推理能力於過渡期、具體運思期的學生在運用推理於互動式網路模式下，探討學生學習歷程中概念的改變情形，及科學推理時回答理由時所運用的推理層級之改變。

一、教學前後概念改變歷程分析：

以下針對研究問題 6-1 呈現不同學業成績(高、中、低)、科學推理能力(過渡、具體運思)在網路學習歷程中，每一主題各學習事件概念改變情形。首先針對主題一到主題五個別呈現實驗組學生在一系列的網路互動式教學事件前後概念改變的學習歷程及百分比。事件前後分析需同時考量兩者(答案、理由)，如『事件 1 前後』的『對對』為 61.4，即表示教學前與教學後概念中答案及理由全對的學生比例為 61.4%。

二、教學前後網路開放式理由的推理層級分析：

接著針對研究問題 6-2 分別呈現學生在網路互動式學習問題(開放式理由)學習前後，每一主題各學習事件推理層級的改變情形。根據 Hogan 等人 (2000)將學生於學習原子單元回答的理由依照推理型態分成概述(G)、精緻化(EL)、辯證(J)、解釋(EX)等四個類型，其中再依照理由的概念數分成 0~2 (0 為無概念、1 為僅 1 個概念、2 為兩個概念以上)。(詳見名詞解釋)。資料分析以交叉表呈現學生於網路互動式學習前後變項的卡方獨立性考驗有顯著之學習事件。其中主題二事件 3 與主題三事件 1 無開放式理由，因此不列入事件分析。

以下所有主題將按照上述兩種分析中的概念改變歷程、推理層級包括概述(G),精緻化(EL),辯證(J),解釋(EX)的描述統計結果分析依序加以說明：

主題一：物質的分類

(一) 教學前後概念改變路徑分析

事件 1 教學前後問題同為『由自然界得到乾淨的水(無色的水)就是純水嗎?』。由表 4-3-1 中顯示事件 1 學習前有 64.9%的人是正確，學習後有 87.6%人成功的建構此概念。由表 4-3-2 與表 4-3-3 中，針對事件 1 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體

運思期分別佔組內學生數的 61.4%、67.2%為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別有 27.3%、21.0%的學生，顯示具體運思期的學生於教學前已學會的比例稍高於過渡期，而歷經教學後過渡期學會的比例則稍高於具體運思期，但兩者差異不大；從學業分組中針對事件 1 教學前後全對中的中分組、低分組分別呈現 73.8%、54.5%的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 16.7%、33.5%的學生，顯示中分組學生於教學前已學會的比例雖高於低分組，但低分組經過教學後學會的比例卻高於中分組，顯示低分組的學生多能經過事件 1 的學習成功達成概念改變。

事件 2 教學前後問題分別為『比較運動飲料和礦泉水(顯示成分)何者較接近純水?』、『眼鏡行所販賣洗眼鏡的蒸餾水，還有一般我們到便利超商買的礦泉水，你認為何者是純水?』。由表 4-3-1 中顯示事件 2 學習前有 52.6%的人是正確，學習後有 73.8%人成功的建構此概念。由表 4-3-2 與表 4-3-3 針對事件 2 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 65.9%、44.8%，而在教學前錯而教學後對則分別有 13.6%、25.5%的學生，顯示過渡期的學生雖於教學前已學會的比例高於具體運思期，但歷經教學後具體運思期學會的比例卻高於過渡期，顯示事件 2 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 2 教學前後全對中高、中分組差異不大，不過在中分組、低分組分別呈現 66.7%、21.2%的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 14.3%、30.2%的學生，顯示中分組學生於教學前已學會的比例雖遠高於低分組，但低分組經過教學後學會的比例卻高於中分組，顯示事件 2 能成功協助學生概念改變。

表 4-3-1 主題一學習事件前後百分比統計摘要表

主題一問題	對對(%)	錯對(%)	對錯(%)	錯錯(%)	總和(%)
事件 1 前後	64.9	22.7	0.9	11.5	100
事件 2 前後	52.6	21.2	8.0	18.2	100

N=114

表 4-3-2 主題一 科學推理分組與『物質的分類』之事件前後百分比統計摘要表

主題一問題	過渡期 (N=44)					具體運思期 (N=67)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	61.4	27.3	2.3	9.0	100	67.2	21.0	0	11.8	100
事件 2 前後	65.9	13.6	2.3	18.3	100	44.8	25.5	25.5	4.2	100

表 4-3-3 主題一 學業成績分組與『物質的分類』之事件前後百分比統計摘要表

主題一問題	高學業 (N=39)					中學業 (N=42)					低學業 (N=33)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	64.1	20.5	2.6	12.8	100	73.8	16.7	0	9.5	100	54.5	33.5	0	12.0	100
事件 2 前後	64.1	20.6	5.2	10.1	100	66.7	14.3	4.8	14.2	100	21.2	30.2	21.1	27.4	100

註：事件 1、事件 2 皆為與「純水的判定」相關的學習事件。

(二)教學前後概念的推理層級分析

由表 4-3-4 中呈現主題一中之事件 1 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=66.47$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 0.76，顯示學生於事件 1 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 5 人，於進步、維持、退步的人數各為 31(28.4%)、72(66.1%)、6(5.5%)人，為學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、EL2 層級的各有 10、9 人，顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-4 主題一事件 1 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	G2	EL1	EL2			
無回答	5		5		1	1	12		
G0			2				2		
G1		4	69	2	10	9	94		
G2					1		1		
EL1		1	1		3		5		
總和	5	5	77	2	15	10	114	66.47***	0.76***

1. χ^2 值：* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, ω =small；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, ω =medium；“***”表示 $d \geq 0.5$, ω =large。

3. EL1, EL2(精緻化)：理由為 1, 2 個以上；G0, G1, G2(概述)：理由為 0, 1, 2 個以上

由表 4-3-5 中呈現主題一中之事件 2 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後達顯著性差異($\chi^2=55.36$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 0.70，顯示學生於事件 2 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 4 人，於進步、維持、退步的人數各為 42(38.2%)、64(58.2%)、4(3.6%)人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1 層級的有 29 人，顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-5 主題一 事件 2 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後					總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	EL2			
無回答	4		4	3		11		
G0		1	1	3		5		
G1	1		60	29	2	92		
EL1			3	3		6		
總和	5	1	68	38	2	114	55.36***	0.70***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；
“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1, EL2(精緻化)：理由為 1, 2 個以上；G0, G1, G2(概述)：理由為 0, 1, 2 個以上

主題二：元素與原子

(一) 教學前後概念改變路徑分析

事件 1 教學前後問題同為『你能挑出下列哪些是化合物(條列性質)? A. 氫氣 B. 水 C. 氧氣 D. 二氧化碳』。由表 4-3-6 中顯示事件 1 學習前有 13.2% 的人是正確，學習後有 36.7% 人成功的建構此概念。由表 4-3-7 與表 4-3-8 中，針對事件 1 教學前後全錯於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 53.2%、61.2% 為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別有 27.3%、19.4% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生對於化合物的概念皆難以建構，而歷經教學後過渡期學會的比例則稍高於具體運思期，但兩者差異不大；從學業分組中針對事件 1 教學前後全錯中的高分組、中分組、低分組分別呈現 58.9%、45.3%、84.9% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 23.2%、30.9%、12.1% 的學生，高、中、低分組的學生對於化合物的概念也都難以建構，其中中分組學生多能經過事件 1 的學習成功達成概念改變。且歷經教學後學生於事件 1 全錯(包括答案、理由)的學生比例高達 60.6%，顯示化合物對學生是屬於非常抽象的概念，原本的設計僅用實驗影片呈現是不足的，學生需以動畫輔助學習。

事件 2 教學前後問題同為『你能挑出下列哪些是元素(條列性質)? A. 氫氣 B. 水 C. 氧氣 D. 二氧化碳』。由表 4-3-6 中顯示事件 2 學習前有 36.0% 的人是正確，學習後有 57.4% 人成功的建構此概念。由表 4-3-7 與表 4-3-8 針對事件 2 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 47.7%、29.9%，而在教學前錯而教學後對則分別有 16.0%、22.5% 的學生，顯示過渡期的學生雖於教學前已學會的比例高於具體運思期，但歷經教學後具體運思期學會的比例卻高於過渡期，顯示事件 2 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 2 教學前後全對中高、中分組差

異不大，高分組略高於中分組，而中分組則歷經教學後卻略高於高分組，顯示中分組能經過事件 2 的學習成功達成概念改變，不過在低分組中教學前後皆錯的學生比例仍高達 72.9%，顯示低分組學生不易建構元素概念。

事件 3 教學前後問題同為『原子存在何處？』。由表 4-3-6 中顯示事件 3 學習前有 53.5% 的人是正確，學習後有 62.4% 人成功的建構此概念。由表 4-3-7 與表 4-3-8 針對事件 3 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 59.1%、52.2%，而在教學前錯而教學後對則分別有 6.9%、3.0% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生在教學前已學會的比例差異不大，但歷經教學後兩組學生學會的比例也極低，顯示事件 3 無法協助學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 3 教學前後全對中的高、中、低分組分別佔組內學生數的 74.4%、59.5%、21.2%，高分組遠高於中、低分組，歷經教學後三組學生學會的比例也都極低，尤其低分組教學前後全錯的比例仍高達 63.7%，顯示低分組學生的不易建構原子存在的概念。

事件 4 教學前後問題同為『所有的原子(如金原子、銅原子、氧原子、硫原子等)是否大小、重量、性質都相同呢？』。由表 4-3-6 中顯示事件 4 學習前有 20.2% 的人是正確，學習後有 28.1% 人成功的建構此概念。針對事件 4 教學前後全錯於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 59.0%、68.6% 為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別有 9.1%、7.5% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生對於原子性質的概念皆難以建構，而歷經教學後過渡期學會的比例則稍高於具體運思期，但兩者差異不大；從學業分組中針對事件 4 教學前後全錯中的高分組、中分組、低分組分別呈現 40.8%、73.7%、85.0% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 10.3%、9.6%、3.0% 的學生，顯示高、中、低分組的學生對於原子性質的概念也都難以建構，且歷經教學後學生於事件 2-2 全錯(包括答案、理由)的學生比例高達 65.6%，顯示原子的性質是非常抽象的概念，原本的設計僅以金屬、非金屬的觀察對學生學習上仍顯不足，學生還需要動畫來輔助對概念的理解。

其次從事件 1、2、3 的學習歷程中，無論是科學推理分組(過渡期、具體運思期)或是學業成績分組(高、中、低)，學生於教學前後全錯的比例隨著事件依序降低，顯示事件間具有相關性。

表 4-3-6 主題二學習事件前後百分比統計摘要表

主題二問題	對對(%)	錯對(%)	對錯(%)	錯錯(%)	總和(%)
事件 1 前後	13.2	23.5	2.7	60.6	100
事件 2 前後	36.0	21.4	2.7	39.9	100
事件 3 前後	53.5	8.9	8.9	28.7	100
事件 4 前後	20.2	7.9	6.3	65.6	100

N=114

表 4-3-7 主題二 科學推理分組與『元素與原子』之事件前後百分比統計摘要表

主題二問題	過渡期 (N=44)					具體運思期 (N=67)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	14.9	27.3	4.6	53.2	100	17.9	19.4	1.5	61.2	100
事件 2 前後	47.7	16.0	2.3	34.0	100	29.9	22.5	3.0	44.6	100
事件 3 前後	59.1	6.9	16.0	18.0	100	52.2	3.0	6.0	38.8	100
事件 4 前後	25.0	9.1	6.9	59.0	100	17.9	7.5	6.0	68.6	100

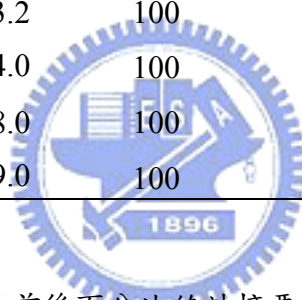


表 4-3-8 主題二 學業成績分組與『元素與原子』之事件前後百分比統計摘要表

主題二問題	高學業 (N=39)					中學業 (N=42)					低學業 (N=33)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	17.9	23.2	0	58.9	100	19.0	30.9	4.8	45.3	100	0	12.1	3.0	84.9	100
事件 2 前後	48.7	20.6	5.2	25.5	100	42.9	28.6	0	28.5	100	12.1	12.0	3.0	72.9	100
事件 3 前後	74.4	5.2	7.7	12.7	100	59.5	4.8	9.6	26.1	100	21.2	3.0	12.1	63.7	100
事件 4 前後	38.5	10.3	10.4	40.8	100	16.7	9.6	0	73.7	100	3.0	3.0	9.0	85.0	100

註：事件 1 關於「化合物的判定」；事件 2 關於「元素的判定」；事件 3 關於「原子的存在」；事件 4 關於「原子的性質」。

(二)教學前後概念的推理層級分析

由表 4-3-9 中呈現主題二中之事件 1 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=112.85$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 0.99，顯示學生於事件 1 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 4 人，於進步、維持、退步的人數各為 32(29.1%)、67(60.9%)、11(10.0%)人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、EL2 層級的各有 13、4 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 EL2 層級的有 7 人，顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-9 主題二 事件 1 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	EL2	總和		
無回答	4	2	2			8		
G0		2	1	2		5		
G1		1	33	13	4	51		
G2				1		1		
EL1			9	31	7	46		
EL2				1	1	2		
總和	4	5	45	48	12	114	112.85***	0.99***

1. χ^2 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. ω ： $**$ 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ； $***$ 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ； $****$ 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1, EL2(精緻化)：理由為 1, 2 個以上；G0, G1, G2(概述)：理由為 0, 1, 2 個以上

由表 4-3-10 中呈現主題二中之事件 2 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=213.50$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.37，顯示學生於事件 2 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 5 人，於進步、維持、退步的人數各為 28(25.7%)、74(67.9%)、7(6.4%)人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、EL2 層級的各有 18、1 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 EL2 層級的有 3 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-10 主題二 事件 2 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後					總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	EL2			
無回答	5	1				6		
G0			4	1		5		
G1			30	18	1	49		
EL1			7	36	3	46		
EL2					8	8		
總和	5	1	41	55	12	114	213.50***	1.37***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：**表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；***表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；

***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1, EL2(精緻化)：理由為 1, 2 個以上；G0, G1(概述)：理由為 0, 1 個

由表 4-3-11 中呈現主題二中之事件 4 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2 = 190.12$, $p = .000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.29，顯示學生於事件 4 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 8 人，於進步、維持、退步的人數各為 18(17.0)、81(76.4%)、7(6.6%)人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、EL2 層級的各有 5、3 人，學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1 層級的有 6 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-11 主題二 事件 4 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	G2	EL1	EL2			
無回答	8		1				9		
G0		9	6	1		1	17		
G1		2	68	1	5	3	79		
G2			1	1			2		
EL1			3		3		6		
EL2					1		1		
總和	8	11	79	3	9	4	114	190.12***	1.29***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：**表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；***表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；

***表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1, EL2(精緻化)：理由為 1, 2 個以上；G0, G1, G2(概述)：理由為 0, 1, 2 個以上

主題三：原子與其組成粒子

(一) 教學前後概念改變路徑分析

事件 1 教學前後問題同為『原子內有什麼東西存在？』。由表 4-3-12 中顯示事件 1 學習前有 27.2% 的人是正確，學習後有 34.3% 人成功的建構此概念。由表 4-3-13 與表 4-3-14 中，針對事件 1 教學前後全錯於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 61.4%、55.1% 為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別僅有 6.8%、7.5% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生對於原子結構的概念皆難以建構與改變；從學業分組中針對事件 1 教學前後全錯中的高分組、中分組、低分組分別呈現 53.8%、42.8%、84.9% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 10.3%、9.5%、0 的學生，顯示高、中、低分組的學生對於原子結構的概念也都難以建構，即原子結構是非常抽象的概念，原本教材僅以模型圖片呈現是不足的，學生需要動畫輔助學習。

事件 2 教學前後問題同為『你認為原子核外每個殼層電子個數的分佈？』。由表 4-3-12 中顯示事件 2 學習前有 8.8% 的人是正確，學習後有 30.7% 人成功的建構此概念。由表 4-3-13 與表 4-3-14 中，針對事件 2 教學前後全錯於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 56.9%、61.1%，在教學前錯而教學後對則分別有 24.9%、20.9% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生對於電子分佈的概念皆難以建構，不過歷經教學後兩組都約有 1/5 的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 2 教學前後全錯於學業成績分組中的高、中、低分別佔組內學生數的 53.8%、59.5%、69.8%，在教學前錯而教學後對則分別有 20.6%、21.5%、24.2% 的學生，顯示高、中、低分組的學生對於電子分佈的概念也都難以建構，即電子排列的概念對學生艱深到難以理解，即使原本的設計已經融入動畫仍顯不足，學生需要更多互動式動畫提升學習成效。

事件 3 教學前後問題同為『你認為原子核與原子直徑的比例大約是多少？』。由表 4-3-12 中顯示事件 3 學習前有 31.6% 的人是正確，學習後有 60.8% 人成功的建構此概念。由表 4-3-13 與表 4-3-14 中，針對事件 3 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 38.6、28.4%，在教學前錯而教學後對則分別有 22.7%、34.5% 的學生，顯示過渡期的學生雖於教學前已學會的比例高於具體運思期，但歷經教學後具體運思期學會的比例卻高於過渡期，顯示事件 3 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 3 教學前後全對中的中、低分組分別佔組內學生數的 42.9%、12.1%，在教學前錯而教學後對高、中、低分組則分別有 30.9%、26.3%、30.2%

的學生，顯示低分組的學生雖於教學前已學會的比例低於中分組，歷經教學後低分組學會的比例卻高於中分組且與高分組相當，顯示事件 3 能協助學生轉變其科學概念。

事件 4 教學前後問題同為『所有的原子大小、重量是否都一樣呢?』。由表 4-3-12 中顯示事件 4 學習前有 13.2% 的人是正確，學習後有 15.9% 人成功的建構此概念。由表 4-3-13 與表 4-3-14 中，針對事件 4 教學前後全錯於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 70.4%、85.3% 為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別有 2.3%、3.0% 的學生，顯示過渡期與具體運思期的學生對於從原子結構解釋原子性質的概念皆難以建構與改變；從學業分組中針對事件 4 教學前後全錯中的高分組、中分組、低分組分別呈現 66.6%、85.8%、85.0% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別僅有 5.2%、2.6%、3.0% 的學生，顯示高、中、低分組的學生對於原子性質的概念也都難以建構與改變。即原子由質子、中子決定質量數，電子排列決定大小的概念非常抽象，原本設計僅以文字、圖片說明是不足的，學生需要動畫輔助學習。

其次從事件 2 到事件 3 的學習歷程中，無論是科學推理分組(過渡期、具體運思期)或是學業成績分組(高、中、低)，學生於教學前後全錯的比例隨著事件依序降低，顯示事件 2 能協助事件 3 的科學概念建立與減少其迷思概念。

表 4-3-12 主題三學習事件前後百分比統計摘要表

主題二問題	對對(%)	錯對(%)	對錯(%)	錯錯(%)	總和(%)
事件 1 前後	27.2	7.1	7.1	58.6	100
事件 2 前後	8.8	21.9	4.4	64.9	100
事件 3 前後	31.6	29.2	2.7	36.5	100
事件 4 前後	13.2	2.7	4.5	79.6	100

N=114

表 4-3-13 主題三 科學推理分組與『原子與其組成粒子』之事件前後百分比統計摘要表

主題三問題	過渡期 (N=44)					具體運思期 (N=67)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	29.5	6.8	2.3	61.4	100	26.9	7.5	10.5	55.1	100
事件 2 前後	9.1	24.9	9.1	56.9	100	9.0	20.9	9.0	61.1	100
事件 3 前後	38.6	22.7	6.8	31.9	100	28.4	34.5	3.0	34.1	100
事件 4 前後	22.7	2.3	4.6	70.4	100	7.5	3.0	6.0	83.5	100

表 4-3-14 主題三 學業成績分組與『原子與其組成粒子』之事件前後百分比統計摘要表

主題三問題	高學業 (N=39)					中學業(N=42)					低學業(N=33)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	30.8	10.3	5.1	53.8	100	38.1	9.5	9.6	42.8	100	9.1	0	6.0	84.9	100
事件 2 前後	12.8	20.6	12.8	53.8	100	9.5	21.5	9.5	59.5	100	3.0	24.2	3.0	69.8	100
事件 3 前後	35.9	30.9	5.1	28.1	100	42.9	26.3	2.4	28.4	100	12.1	30.2	6.0	51.7	100
事件 4 前後	28.2	5.2	2.6	66.6	100	9.5	2.6	2.4	85.8	100	0	3.0	12.0	85.0	100

註：事件 1 關於「原子內部結構」；事件 2 關於「電子個數與排列方式」；事件 3 關於「原子核與原子的比例」；事件 4 關於「原子結構對原子性質的影響」

(二)教學前後概念的推理層級分析

由表 4-3-15 中呈現主題三中之事件 2 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=108.98$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 0.98，顯示學生於事件 2 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 8 人，於進步、維持、退步的人數各為 24(22.6%)、71(67.0%)、11(10.4%)人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、J1 層級的各有 5、4 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-15 主題三 事件 2 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	G2	EL1	J1			
無回答	8	1	3				12		
G0	1	2	10				13		
G1	1	2	60	1	5	4	73		
EL1			5	1	8		14		
J1			1			1	2		
總和	10	5	79	2	13	5	114	108.98***	0.98***

1. χ^2 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. ω ： $**$ 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ； $***$ 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ； $****$ 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1(精緻化)：理由為 1 個；G0, G1, G2(概述)：理由為 0, 1, 2 個以上
J1(辯證)：理由為 1 個

由表 4-3-16 中呈現主題三中之事件 3 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=127.01$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.01，顯示學生於事件 3 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 7 人，於進步、維持、退步的人數各為 40(37.4%)、59(55.1%)、8(7.5%)人，學習前歸屬 G0、G1、G2 而學習後皆屬 EL1 層級的各有 5、18、2 人，學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1 層級的有 13 人，可看出學生經由網路互動式學習後能提高或維持其推理層級與概念數。

表 4-3-16 主題三 事件 3 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						χ^2	ω
	無回答	G0	G1	G2	EL1	總和		
無回答	7	1				8		
G0		5	13		5	23		
G1	2	3	48	1	18	72		
G2				2	2	4		
EL1			3		4	7		
總和	9	9	64	3	29	114	127.01***	1.01***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：**表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；***表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；
 ”***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1,EL2(精緻化)：理由為 1,2 個以上；G0,G1,G2(概述)：理由為 0,1,2 個以上

由表 4-3-17 中呈現主題三中之事件 4 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2 = 170.16$, $p = .000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.22，顯示學生於事件 4 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 5 人，於進步、維持、退步的人數各為 19(17.4%)、81(74.3%)、9(8.3%)人，學習前歸屬 G0 而學習後分屬 EL1、EL2、J1、J2 層級的各有 3、2、2、1 人，學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1 層級的有 5 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-17 主題三 事件 4 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後								χ^2	ω	
	無回答	G0	G1	G2	EL1	EL2	J1	J2			
無回答	5	1	1		1				8		
G0		5	5		2				12		
G1		3	73		3	2	2	1	84		
G2			1	1					2		
EL1			3		2			1	6		
J1			1						1		
J2			1						1		
總和	5	9	85	1	8	2	2	2	114	170.16***	1.22***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：**表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；***表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；
 ”***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1,EL2(精緻化)：理由為 1,2 個以上；G0,G1,G2(概述)：理由為 0,1,2 個以上
 J1,J2(辯證)：理由為 1,2 個以上

主題四：原子內電子排列與元素活性

(一) 教學前後概念改變路徑分析

事件 1 教學前後問題同為『為什麼氦、氖、氬這些元素非常安定呢？』由表 4-3-18 中顯示事件 1 學習前有 71.9% 的人是正確，學習後有 89.4% 人成功的建構此概念。由表 4-3-19 與表 4-3-20 中，針對事件 1 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 88.6%、64.2% 為組內最高，在教學前錯而教學後對則分別有 9.0%、22.4% 的學生，顯示具體運思期的學生於教學前已學會的比例高於過渡期，而歷經教學後具體運思期學會的比例卻高於過渡期，顯示事件 1 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 1 教學前後全對中的高、中、低分組分別呈現 87.2%、71.4%、54.5% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 10.2%、23.9%、18.2% 的學生，顯示事件 1 能成功的協助學生概念改變。

事件 2 教學前後問題同為『為什麼鈉、鉀的活性很大？』，由表 4-3-18 中顯示事件 2 學習前有 16.7% 的人是正確，學習後有 57.9% 人成功的建構此概念。由表 4-3-19 表 4-3-20 針對事件 2 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 29.5%、9.0%，而在教學前錯而教學後對則分別有 36.4%、44.8% 的學生，顯示過渡期的學生雖於教學前已學會的比例高於具體運思期，但歷經教學後具體運思期學會的比例卻略高於過渡期，顯示事件 2 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 2 教學前後全錯中高、中、低分組分別為 23.1%、38.2%、63.3%，顯示事件 2 的科學概念不易建構，不過在教學前錯而教學後對的高、中、低分組分別呈現 46.2%、42.8%、33.4% 的學生比例，顯示學生多能經過事件 2 的學習成功達成概念改變。

其次從事件 1 到事件 2 的學習歷程中，無論是科學推理分組(過渡期、具體運思期)或是學業成績分組(高、中、低)，學生於教學前後全錯的比例隨著事件依序提升，顯示事件 1 未能協助事件 2 的科學概念建立與減少其迷思概念，顯示學生未能藉由惰性安定的電子排列推理到活性與電子排列的關係。

表 4-3-18 主題四學習事件前後百分比統計摘要表

主題一問題	對對(%)	錯對(%)	對錯(%)	錯錯(%)	總和(%)
事件 1 前後	71.9	17.5	0.9	9.7	100
事件 2 前後	16.7	41.2	1.8	40.3	100

N=114

表 4-3-19 主題四 科學推理分組與『原子內電子排列與元素活性』之事件前後百分比統計摘要表

主題四問題	過渡期 (N=44)					具體運思期 (N=67)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	88.6	9.0	2.3	0.1	100	64.2	22.4	0	13.4	100
事件 2 前後	29.5	36.4	4.5	29.6	100	9.0	44.8	0	46.2	100

表 4-3-20 主題四 學業成績分組與『原子內電子排列與元素活性』之事件前後百分比統計摘要表

主題四問題	高學業 (N=39)					中學業 (N=42)					低學業 (N=33)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	87.2	10.2	2.6	0	100	71.4	23.9	0	4.7	100	54.5	18.2	0	27.3	100
事件 2 前後	25.6	46.2	5.1	23.1	100	19.0	42.8	0	38.2	100	3.0	33.4	0	63.3	100

註：事件 1 關於「惰性氣體的安定性」；事件 2 關於「鈉、鉀活性大與電子排列的關係」

(二)教學前後概念的推理層級分析

由表 4-3-21 中呈現主題四中之事件 1 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=255.59$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.50，顯示學生於事件 1 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 2 人，於進步、維持、退步的人數各為 62(55.4%)、46(41.7%)、4(2.9%)人，其中學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、EL2、J1 層級的各有 7、1、22 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 J1 層級的有 22 人，可顯示教學前後推理層級於進步的人數最多，其次為維持，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-21 主題四 事件 1 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後							總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	G2	EL1	EL2	J1			
無回答	2							2		
G0		2					2	4		
G1			26		7	1	22	56		
G2				1	1	1		3		
EL1			3		12	1	22	38		
EL2						2	5	7		
J1							3	3		
J2							1	1		
總和	2	2	29	1	20	5	55	114	255.59***	1.50***

1. χ^2 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1,EL2(精緻化)：理由為 1,2 個以上；G0,G1,G2(概述)：理由為 0,1,2 個以上
J1,J2(辯證)：理由為 1,2 個以上

由表 4-3-22 中呈現主題四中之事件 2 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=286.33$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.58，顯示學生於事件 2 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 2 人，於進步、維持、退步的人數各為 59(52.7%)、46(41.7%)、7(5.6%)人，學習前歸屬 G0、G1、EL1、EL2、J1 而學習後分屬 J2 層級的各有 3、3、18、1、24 人，學習前歸屬 J1、J2 而學習後分屬 EX1 層級的各有 2、2 人，可看出學生經由網路互動式學習後能提高或維持其推理層級與概念數。

表 4-3-22 主題四 事件 2 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後								總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	EL2	J1	J2	EX1			
無回答	2								2		
G0		4						3	7		
G1		1	11	1				3	16		
EL1			1	17	1	2		18	39		
EL2								1	1		
J1			1	6		13		24	46		
J2								1	3		
總和	2	5	13	24	1	15	50	4	114	286.33***	1.58***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1,EL2(精緻化)：理由為 1,2 個以上；G0,G1(概述)：理由為 0,1 個
J1,J2(辯證)：理由為 1,2 個以上；EX1(解釋)：理由為 1 個

主題五：原子與化學反應

(一) 教學前後概念改變路徑分析

事件 1 教學前後問題同為『你認為何者是鈉原子和氯原子結合成氯化鈉的化學式？』。由表 4-3-23 中顯示事件 1 學習前有 36.0% 的人是正確，學習後有 67.7% 人成功的建構此概念。由表 4-3-24 與表 4-3-25 中，針對事件 1 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 43.2%、32.8% 為組內最高，其次在教學前錯而教學後對則分別有 29.6%、32.9% 的學生，顯示過渡期在教學前已學會的人數比例雖高於具體運思期，而歷經教學後具體運思期學會的比例卻稍高於過渡期，表示事件 1 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 1 教學前後全對中的高分組、中分組分別呈現 46.2%、38.1% 的學生比例，而在教學前錯而教學後對則分別有 30.8%、42.8% 的學生，顯示高分組教學前已學會的人數比例雖高於中分組，而歷經教學後中分組學會的比例卻高於高分組，表示中分組學生多能經過事件 1 的學習成功達成概念改變。

事件 2 教學前後問題同為『你認為何者是鎂原子和氯原子結合成氯化鈉的化學式？』。由表 4-3-23 中顯示事件 2 學習前有 14.0% 的人是正確，學習後有 45.7% 人成功的建構此概念。由表 4-3-24 與表 4-3-25 針對事件 2 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 22.7%、7.5%，在教學前錯而教學後對則分別有 27.2%、34.5% 的學生，而教學前後全錯則分別有 47.8%、55.0% 的人數比例，顯示過渡期的學生雖於教學前已學會的比例高於具體運思期，但歷經教學後具體運思期學會的

比例卻稍高於過渡期，顯示事件 2 能協助具體運思期的學生轉變其科學概念，不過約有一半學生未能經由事件 2 的學習建構其科學概念；從學業分組中針對事件 2 教學前後全對中的高、中、低分組分別佔組內學生數的 30.9%、38.1%、24.2%，顯示約 1/3 學生皆能經過中事件 2 的學習成功達成概念改變，不過在教學前後皆錯的學生比例仍分別有 40.9%、54.8%、60.7%，顯示學生未能建構氯化鎂化學式的概念，顯示事件 2 的概念對學生學習上的困難度頗高。

事件 3 教學前後問題同為『你認為氫氣會以何種方式存在較安定(圖示)?』。由表 4-3-23 中顯示事件 3 學習前有 36.8% 的人是正確，學習後有 63.2% 人成功的建構此概念。由表 4-3-24 與表 4-3-25 中，針對事件 3 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 50.0%、29.9%，過渡期遠高於具體運思期，且具體運思期的學生在教學前後全錯尚有 38.6% 的學生，顯示事件 3 無法協助約四成的具體運思期學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 3 教學前後全對中的高、中、低分組分別佔組內學生數的 59.0%、38.1%、9.1%，高分組遠高於中、低分組，中分組遠高於低分組，且低分組的學生在教學前後全錯尚有 57.8% 的學生，顯示事件 3 無法協助約六成的低分組學生轉變其科學概念，即低分組學生不易建構氫氣以雙原子分子存在較安定的概念。

事件 4 教學前後問題同為『你認為氧氣會以何種方式存在較安定(圖示)?』。由表 4-3-23 中顯示事件 4 學習前有 40.4% 的人是正確，學習後有 58.9% 人成功的建構此概念。針對事件 4 教學前後全對於科學推理分組中的過渡期、具體運思期分別佔組內學生數的 52.3%、32.8% 為組內最高，過渡期高於具體運思期，且具體運思期的學生在教學前後全錯尚有 37.2% 的學生，顯示事件 4 無法協助約四成的具體運思期學生轉變其科學概念；從學業分組中針對事件 4 教學前後全對中的高分組、中分組、低分組分別呈現 64.1%、33.3%、21.2% 的學生比例，且低分組的學生在教學前後全錯尚有 54.8% 的學生，顯示事件 4 無法協助約一半的低分組學生轉變其科學概念，即低分組學生不易建構氧氣以雙原子分子存在較安定的概念。

其次從事件 1 到 2 的學習歷程中，無論是科學推理分組(過渡期、具體運思期)或是學業成績分組(高、中、低)，學生於教學前後全錯的比例隨著事件升高，顯示事件 1 要能協助事件 2 的科學概念建立與成功轉變迷思概念的困難度提高，即學生不易由氯化鈉化學式的學習推理到氯化鎂化學式的建構。

表 4-3-23 主題五學習事件前後百分比統計摘要表

主題五問題	對對(%)	錯對(%)	對錯(%)	錯錯(%)	總和(%)
事件 1 前後	36.0	31.7	8.9	23.4	100
事件 2 前後	14.0	31.7	2.6	51.7	100
事件 3 前後	36.8	26.4	5.4	31.4	100
事件 4 前後	40.4	18.5	7.1	34.0	100

N=114

表 4-3-24 主題五 科學推理分組與『原子與化學反應』之事件前後百分比統計摘要表

主題五 問題	過渡期 (N=44)					具體運思期 (N=67)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	43.2	29.6	9.1	18.1	100	32.8	32.9	7.5	26.8	100
事件 2 前後	22.7	27.2	2.3	47.8	100	7.5	34.5	3.0	55.0	100
事件 3 前後	50.0	29.7	0	20.3	100	29.9	24.0	7.5	38.6	100
事件 4 前後	52.3	18.3	9.1	20.3	100	32.8	19.5	10.5	37.2	100

表 4-3-25 主題五 學業成績分組與『原子與化學反應』之事件前後百分比統計摘要表

主題五 問題	高學業 (N=39)					中學業 (N=42)					低學業 (N=33)				
	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)	對對	錯對	對錯	錯錯	N(%)
事件 1 前後	46.2	30.8	5.1	17.9	100	38.1	42.8	2.4	16.7	100	21.2	18.3	18.1	42.4	100
事件 2 前後	23.1	30.9	5.1	40.9	100	7.1	38.1	0	54.8	100	12.1	24.2	3.0	60.7	100
事件 3 前後	59.0	28.4	2.6	10.0	100	38.1	23.9	7.2	30.8	100	9.1	27.1	6.0	57.8	100
事件 4 前後	64.1	15.5	7.7	12.7	100	33.3	23.8	11.9	31.0	100	21.2	15.0	9.0	54.8	100

註：事件 1 關於「電子得失與氯化鈉化學式的寫法」；事件 2 關於「電子得失與氯化鎂化學式的寫法」；事件 3 關於「電子排列與氫氣安定性」；事件 4 關於「電子排列與氧氣安定性」。

(二)教學前後概念的推理層級分析

由表 4-3-26 中呈現主題五中之事件 1 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=185.08$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.27，顯示學生於事件 1 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1、EX1 層級的各有 5、1 人，其中在 114 人中，扣掉無回答的 3 人，於進步、維持、退步的人數各為 45(40.5%)、56(50.5%)、10(9.0%) 人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、J1、EX1 層級的各有 12、13、11 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 J1、EX1 層級的各有 2、1 人，可看出學生經由網路互動式學習後能提高或維持其推理層級。

表 4-3-26 主題五 事件 1 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	J1	EX1			
無回答	3						3		
G0		2	5			1	8		
G1			44	12	13	11	80		
EL1			1	7	2	1	11		
J1			2	7	1		10		
EX1						2	2		
總和	3	2	52	26	16	15	114	185.08***	1.27***

1. χ^2 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. ω ： $''*$ 表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ； $''***$ 表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ； $''****$ 表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1(精緻化)：理由為 1 個；G0,G1(概述)：理由為 0,1 個
J1(辯證)：理由為 1 個；EX1(解釋)：理由為 1 個

由表 4-3-27 中呈現主題五中之事件 2 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=119.43$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.02，顯示學生於事件 2 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 3 人，於進步、維持、退步的人數各為 51(45.9%)、50(45.0%)、10(9.1%) 人，其中學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1、EX1 層級的各有 3、2 人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、J1、EX1 層級的各有 8、9、12 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 J1、EX1 層級的各有 4、6 人，學習前歸屬 J1 而學習後分屬 EX1 層級的有 6 人，顯示教學前後進步與維持的學生相當，經由網路互動式學習後能提高或維持其推理層級。

表 4-3-27 主題五 事件 2 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	J1	EX1			
無回答	3		1				4		
G0		1	3			2	6		
G1		2	41	8	9	12	72		
EL1		1	5	7	4	6	23		
J1				2		6	8		
EX1						1	1		
總和	3	4	50	17	13	27	114	119.43***	1.02***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；
“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1(精緻化)：理由為 1 個；G0,G1(概述)：理由為 0,1 個
J1(辯證)：理由為 1 個；EX1(解釋)：理由為 1 個

由表 4-3-28 中呈現主題五中之事件 3 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2 = 149.84$, $p = .000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.15，顯示學生於事件 3 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 3 人，於進步、維持、退步的人數各為 32(29.4%)、66(60.1%)、11(10.5%)人，其中學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1、EL1 層級的各有 12、2 人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、J1、EX1 層級的各有 6、6、2 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 G1、J1 層級的各有 9、5 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持的人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-28 主題五 事件 3 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後						總和	χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	J1	EX1			
無回答	3		1				4		
G0		2	12	2			16		
G1		1	57	6	6		72		
EL1			9	4	5		18		
J1			1		2		3		
EX1						1	1		
總和	3	3	80	12	13	1	114	149.84***	1.15***

1. χ^2 值：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；
“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1(精緻化)：理由為 1 個；G0,G1(概述)：理由為 0,1 個
J1(辯證)：理由為 1 個；EX1(解釋)：理由為 1 個

由表 4-3-29 中呈現主題五中之事件 4 學習前後的概念推理層級的差異，經由卡方分

析顯示，教學前後有顯著性差異($\chi^2=158.57$, $p=.000$)，進一步分析達顯著差異水準項目之實際顯著程度 ω 值為 1.18，顯示學生於事件 4 概念學習前後推理層級差異之顯著程度高，其中在 114 人中，扣掉無回答的 3 人，於進步、維持、退步的人數各為 31(27.9%)、70(63.1%)、10(9.0%)人其中學習前歸屬 G0 而學習後分屬 G1、EL1 層級的各有 6、3 人，學習前歸屬 G1 而學習後分屬 EL1、J1 層級的各有 6、9 人，學習前歸屬 EL1 而學習後分屬 G0、G1、J1、EX1 層級的各有 1、3、3、1 人，可顯示教學前後推理層級屬於維持人數最多，其次為進步，經由網路互動式學習課程能提高或維持其推理層級。

表 4-3-29 主題五 事件 4 概念推理量化資料卡方考驗結果及效果值彙整表

學習前	學習後							χ^2	ω
	無回答	G0	G1	EL1	J1	J2	EX1		
無回答	3							3	
G0	1	4	6	3				14	
G1		3	55	6	9			73	
G2					1			1	
EL1		1	3	7	3		1	15	
J1			2		4	1	1	8	
總和	4	8	66	16	17	1	2	114	158.57*** 1.18***

1. χ^2 值： $*p<0.05$, $**p<0.01$, $***p<0.001$

2. ω ：“*”表示 $0.1 \leq d < 0.3$, $\omega = \text{small}$ ；“**”表示 $0.3 \leq d < 0.5$, $\omega = \text{medium}$ ；“***”表示 $d \geq 0.5$, $\omega = \text{large}$ 。

3. EL1(精緻化)：理由為 1 個；G0,G1(概述)：理由為 0,1 個
J1,J2(辯證)：理由為 1,2 個以上；EX1(解釋)：理由為 1 個

三、小結：

由表 4-3-1、4-3-6、4-3-12、4-3-18、4-3-23 顯示除了化合物與原子結構及其組成粒子性質概念較難建構外，其餘各事件平均成功率約 50%-90%。而實驗組學生在各主題的學習事件中，自然與生活科技高學業學生都比中、低學業學生擁有較多的正確概念，而科學推理於過渡期學生也比具體運思期學生擁有較多的正確概念，不過研究者也發現，自然與生活科技低學業或科學推理於具體運思期的學生在歷經網路化推理學習課程後，成功達成概念改變的人數比例在某些事件中為組內最高，顯示網路化推理模式能協助低學業成就及具體運思期的學生建構正確的科學概念。

表 4-3-30 為呈現各主題內每一個學習事件教學前後概念推理層級改變量(進步、維持、退步)的敘述性摘要。由表中顯示出各學習事件平均有高於 90%的學生在學習事件前後是屬於進步與維持推理層級的，如主題四學習事件之推理層級進步最多，而主題一、二、三、五的推理層級中維持居多。而從圖 4-3-1 也可顯示同樣的型態，亦即實驗組學生於原子單元網路互動式推理課程學習中於教學前後在主題一、二、三、五(事件 2

除外)的推理層級屬於維持最多，其次為進步，但經過前三主題的推理學習，主題四和事件 5-2 呈現推理層級進步則超越維持的人數，雖然事件 5-1 維持人數較多，但是進步的人數仍比前三主題來的高。因此，學生在原子單元網路化推理課程各事件的學習中，學生於教學前後的層級無論是維持多於進步或是進步多於維持，退步比例一直呈現最低，顯示主題內的各事件皆可視為有效的學習事件。

表 4-3-30 原子網學習事件前後概念推理層級改變量敘述性摘要表

學習事件		進步		維持		退步		N(總答數)
		N	%	N	%	N	%	
主題一	1	31	28.4	72	66.1	6	5.5	109
	2	42	38.2	64	58.2	4	3.6	110
主題二	1	32	29.1	67	60.9	11	10.0	110
	2	28	25.7	74	67.9	7	6.4	109
	4	18	17.0	81	76.4	7	6.6	106
主題三	2	24	22.6	71	67.0	11	10.4	106
	3	40	37.4	59	55.1	8	7.5	107
	4	19	17.4	81	74.3	9	8.3	109
主題四	1	62	55.4	46	41.7	4	2.9	112
	2	59	52.7	46	41.7	7	5.6	112
主題五	1	45	40.5	56	50.5	10	9.0	111
	2	51	45.9	50	45.0	10	9.1	111
	3	32	29.4	66	60.1	11	10.5	109
	4	31	27.9	70	63.1	10	9.0	111

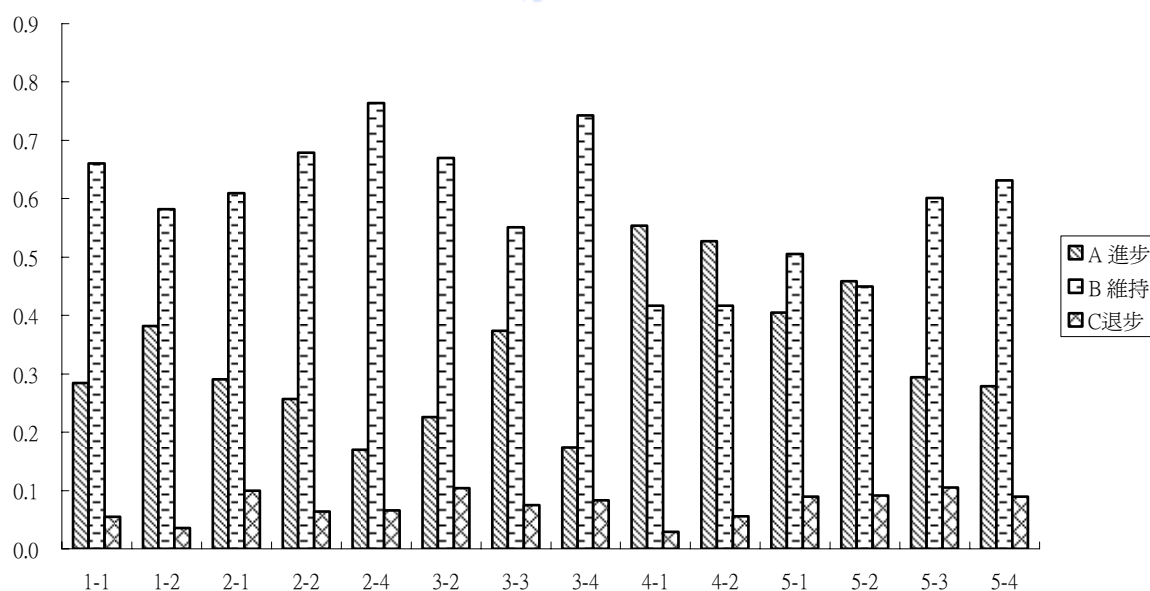


圖 4-3-1 概念推理層級改變量

第五章 結論與建議

本章共分成二節：第一節主要依據第四章的資料分析結果彙整成本研究的結論，第二節為後續相關的研究提出建議。

第一節 結論與討論

本節以第四章研究結果與討論，依據各研究工具類別依序說明本研究的主要發現，並分別探討網路化推理學習模式對於教學前後概念改變歷程、概念推理層級的影響做成結論，依序陳述如下。

一、網路化推理學習概念改變教學分析

(一) 教學前後成就測驗分析

以原子單元成就測驗為依據，研究結果顯示不論實驗組、對照組或是高、中、低學業分組和過渡、具體運思科學推理分組的學生，在成就後測的成績均遠優於教學前測成績，但在追蹤測時發現除了對照組中的低學業學生成績低於前測外，其餘組別皆高於前測。由前後測或前追測平均差可顯示實驗組學生不論是高、中、低學業或是過渡、具體運思期都比對照組學生高，尤其是對於中、低學業或是具體運思期的學生而言，於實驗組的學習成效皆遠高於對照組。

從不同教學模式、不同科學推理分組、不同自然與生活科技學業分組三變項對原子單元學習成就的影響，由分析結果發現：無論是網路互動式推理學習模式或是傳統教學模式下，除了實驗組中低學業呈現最高的學習立即成效外，其餘高學業學生都比中、低學業學生具有較高的學習成效與較好的學習保留效果，同時科學推理於過渡期的學生也都比具體運思期的學生得到較高的學習成效與較好的學習保留效果。另一方面，不管是高(中、低)學業或是過渡(具體運思)科學分組為實驗組的學生在經過網路互動式推理學習模式後，都比接受傳統教學模式(對照組)的高(中、低)學業或是過渡(具體運思)獲得較高的立即學習成效與較好的學習保留效果。

此結果支持研究假說 1-1、1-2、1-3 中，不同教學模式、不同學業成績分組、不同科學推理能力與其在原子單元之學習成就(後測、追蹤測)達顯著差異。因為以前的研究沒有探討過同樣的問題，希望在其它不同主題中再探討相關部分並看是否有重現性。

(二) 教學前後主題相依推理測驗分析

以原子單元主題相依推理測驗為依據，研究結果顯示除了對照組中的低學業學生成績外，不論實驗組、對照組或是高、中、低學業分組和過渡、具體運思科學推理分組的學生，在主題相依推理後測與主題相依推理追蹤測的成績均優於教學前測成績。由前後

測或前追測平均差可顯示實驗組學生不論是高、中、低學業或是過渡、具體運思期都比對照組學生高，尤其是對於高、中學業或是過渡、具體運思期的學生而言，於實驗組的學習成效皆遠高於對照組。

從不同教學模式、不同科學推理分組、不同自然與生活科技學業分組三變項對原子單元主題相依推理能力的影響，由分析結果發現：無論是網路互動式推理學習模式或是傳統教學模式下，自然與生活科技高學業學生都比中、低學業學生具有較高的主題相依推理能力與較好的學習保留效果，同時科學推理於過渡期的學生也都比具體運思期的學生得到較高的主題相依推理能力與較好的學習保留效果。另一方面，不管是高(中、低)學業或是過渡(具體運思)科學分組為實驗組的學生在經過網路互動式推理學習模式後，都比接受傳統教學模式(對照組)的高(中、低)學業或是過渡(具體運思)獲得較高的主題相依推理能力與較好的學習保留效果。

此結果支持研究假說 2-1、2-2、2-3 中，不同教學模式、不同科學推理能力、不同學業分組與其在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)均達顯著差異，但同時發現兩兩有交互作用。顯示教學模式分別與科學推理分組、學業成績分組與其在原子單元之主題相依推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。因為以前的研究沒有探討過同樣的問題，希望在其它不同主題中再探討相關部分並看是否有重現性。

(三) 教學前後科學推理測驗分析

以科學推理測驗為依據，研究結果顯示：雖然由前後測平均差中呈現實驗組與對照組的學習成效於學業分組(高、中、低)與科學分組(過渡、具體運思)中互有消長，但由前追測平均差可發現實驗組學生不論是高、中、低學業或是過渡、具體運思期都比對照組學生來的高，顯示實驗組於教學後經過一段時間的學習保留效果高於對照組。同時 Lawson (2000) 等人也認為只要給予持續的刺激(實驗組學生可隨時上網學習)，科學推理能力將會隨著心智發展而不斷增進，對於學生學習理論性的概念將有很大的幫助。

從不同教學模式、不同科學推理分組、不同自然與生活科技學業分組三變項對科學推理能力的影響，由分析結果發現：無論是網路互動式推理學習模式或是傳統教學模式下，自然與生活科技高學業學生都比中、低學業學生具有較高的科學推理能力與較好的學習保留效果。

此結果僅支持研究假說 3-2 中，不同學業成績分組與其科學推理能力(後測、追蹤測)達顯著差異。而在研究假說 3-1、3-3 中，不同教學模式、科學推理分組與其科學推理能力(後測、追蹤測)皆未達顯著差異。

綜合以上結論，包括教學模式、科學推理分組、自然與生活科技學業分組對於學生

學習原子單元的學業成就與主題相依推理能力、科學推理能力具有高度正向的影響力，而學生運用網路互動式推理學習模式將比傳統教學模式更有助於提升學生對於原子單元的另有概念的改變的學習成效且可獲得更好的學習保留效果。值得注意的是：一般而言，高學業學生應該可以在任何的教學模式中都能夠達到不錯的學習成效，不過研究者卻發現創新的教學模式(網路化推理學習模式)不但能刺激且提供中、低學業學生新的學習方法而增進學習意願，研究結果也顯示對於高、中、低學業學生皆能夠使他們在學習成效與學習保留效果上都達到顯著的進步。

(四)原子結構心智表徵

實驗組(運用類比推理於網路課程教學)與對照組(傳統教學模式)，兩組學生於後測中皆能呈現原子中間有核，外部有粒子環繞的概念，不過實驗組學生已有 28%能呈現『太陽系型』的原子模型，而對照組的學生尚有 11.8%認為原子是無核的球體，顯示仍無粒子概念。而在追蹤測上實驗組有 45.7%已呈現『太陽系』的原子結構心智表徵遠高於對照組的 15.5%。Harrison 和 Treagust (1996)針對 8 到 10 年級的學生所選出來的原子模型與本研究以 10 年級所畫出的分別有球型、太陽系、行星式是相同的，但相異之處為其學生多數偏好行星式模型，而本研究實驗組則偏好於建構太陽系模型，其原因可能為網路教材的設計多融入以太陽系類比推理到電子殼層的動畫製作，因此學生對太陽系的原子結構心智表徵建構最為完整。以上呈現研究問題四中，不同教學模式(實驗、對照)在教學前、後、追蹤的原子結構心智表徵。

二、訪談對於教學前後概念改變歷程與推理層級運用之影響

從訪談分析結果發現在教學前、後、追蹤的概念數統計上顯示沒有明顯增加，Hogan 等人 (2000)也指出學生對於結構性佳 (well-structured)的問題會以簡單正確的方式回答。但由圖 4-2-2 上顯示後測由問題 3-1 到 3-5 屬於原子結構連續性概念則有增加的趨勢。而由統計數據顯示顯示幾乎所有問題的正确概念分數在後測均大於前測且達顯著性，且圖 4-2-2 的圖也顯示學生在 3-1 到 3-5 屬於原子結構連續性概念的正确分數上也有增加的趨勢。在概念改變量上，從主題三(問題 3-1 到 3-5)進步比例逐漸升高，且值得注意的是問題 2 呈現『維持-半對或全錯』的比例最高，但在後-追則顯示進步最多，顯示化合物與元素的分類不易經由教學而產生概念改變，但經過一段時間可有所增進；而問題 3-5 在教學前後呈現進步的比例最高，且在後測與追蹤測中維持全對的比例也最高，顯示學生在學習原子的分割與粒子(質子、中子、電子)的性質既能呈現學習立即成效且教學後經過一段時間並具保留力。以上分別呈現研究假設 5-1、5-2 中，經由網路化推理過程，學生的概念數未達顯著差異、正确概念分數達顯著差異，並顯示研究假設 5-4

中，學生的概念改變量(前後測、後追測)的差異性。

由表 4-2-34 顯示在愈前面問題顯著差異落在推理層級較低，愈到後面的問題則顯著差異落在推理層級較高的較多。如問題 1 到 3-1 多半落在 G 有顯著進步，而問題 3-1 到 3-5 則多半落在 EL、4-1 到 5 則落在 J、EX，即多數與原子概念相關的問題中於教學後甚至經過一段時間，學生對於原子概念相關問題的概念推理類型明顯呈現提升。以上結果支持研究假設 5-3 中，經由網路化推理過程，學生採用的推理層級概述(G)、精緻化(EL)、辯證(J)、解釋(EX)於教學前、後、追蹤達顯著差異。

本研究發現雖然多數學生難以建構化合物與原子結構及其粒子性質概念，不過由訪談資料中顯示學生仍可以在學習經過兩個月後呈現學習效果。因此，網路化推理學習模式不僅能有效建構學生的原子概念並減少迷思概念，且在教學後甚至一段時間的概念改變上具顯著性差異。

三、網路化推理學習模式對於教學前後概念改變歷程與推理層級之影響

研究者發現經由網路化推理學習模式後，除了化合物與原子結構及其組成粒子性質概念較難建構外，其餘各事件平均成功率約 50%-90%。而實驗組學生在各主題的學習事件中，自然與生活科技高學業學生都比中、低學業學生擁有較多的正確概念，而科學推理於過渡期學生也比具體運思期學生擁有較多的正確概念，不過研究者也發現，自然與生活科技低學業或科學推理於具體運思期的學生在歷經網路化推理學習課程後，成功達成概念改變的人數比例在某些事件中為組內最高，顯示網路化推理模式能協助低學業成就及具體運思期的學生建構正確的科學概念。以上分別呈現研究問題 6-1 中，不同學業成績(高、中、低)、科學推理能力(過渡、具體運思)在網路學習歷程中，各學習事件概念改變趨勢。

由表 4-3-30 中顯示出各學習事件平均有高於 90%的學生在學習事件前後是屬於進步與維持推理層級的，且退步比例一直呈現最低，顯示學習事件能有效的提升其推理能力。以上呈現研究問題 6-2 呈現學生在網路互動式學習問題(開放式理由)學習前後，各學習事件推理層級改變趨勢。

本研究顯示在歷經網路化推理學習課程後，學生於原子單元的概念推理層級呈現大幅提升，且愈到後面的概念所呈現的推理類型愈高。

第二節 建議

以下將針對推理(包括類比推理)融入互動式網路教材的設計，根據本研究於過程中的發現，提出幾點建議作為日後的參考。

一、對『原子單元教學』的建議：

由於原子的體積小到肉眼無法辨識，因此學生在建構此科學概念是非常不容易的。Nussbaum(1985)提出學生在學習粒子理論是有困難的，因此在教材上針對學生較易發生的迷思概念結合類比設計，例如以太陽類比原子，九大行星在軌道上繞行類比為電子的運動方式；或是以操場類比原子，十元硬幣類比為原子核等，藉由不同的對應(mapping)過程在發現兩者間的相似與相異之相關程度 (Vosniadou, 1987a)，運用與生活中常見的事物結合，可使學生於原子單元的知識建構更完善。

此外，要能讓學生發生概念改變，必須挑戰學生科學知識的本體觀與認識觀，從學生缺乏的心智結構中去設計雙重情境活動而使之產生不協調以及提供不和諧。本研究根據 She (2004)提出的 DSLM 的概念改變策略於原子單元教學上，試圖突破概念本身是微觀的、抽象的、源自於生活經驗的限制，並配合推理與類比推理的運用於網路化互動式學習，結果顯示學生不但在原子單元學習成就、主題相依推理能力上有顯著的成效與學習保留效果，在一般科學推理也具備學習保留力。

在進行本研究的過程中研究者提出一些在過程中所發生的現象問題，並提出幾點於教學中的建議，以作為教師進行類似活動時的參考。

- (一)了解學生的先備經驗：在教學前除了要知道學生有哪些另有概念外，尚要注重學生的基本電腦能力。因為研究者發現在網路互動式學習過程中，少部分的學生因為不擅於打字反而在原子單元的學習上造成妨礙。
- (二)教師專業與準備：教師除了儲備自己本身的專業能力外，還必須事先勘查網路環境與周邊資訊設備。因為研究者發現在過程中，網路速度過於緩慢易造成學生失去耐性而影響整體學習成效。
- (三)引發並維持學生動機：由於全程的學習都是由學生主動學習，老師的角色只是在學生遇到困難時給予適時的解釋與引導，因此教材的設計必須能吸引學生專注其中，所以除了偏亮色的靜態圖片外，還加上了一些動畫及互動式教材，研究者發現這些多媒體教材不僅讓學生印象深刻，也能協助學生在原子單元上更深入的學習。
- (四)協助學生推理能力的訓練：在進行原子單元網路互動式學習之前，教師需在上課時訓練學生以推理的方式思考問題，而不直接回答學生的問題，逐漸讓學生習慣推理是較好的。研究者發現學生在網路學習過程中，對於教學前後要完成文字的理由作答深感不耐，顯現學生的推理習慣並未養成。
- (五)運用類比推理協助迷思概念的澄清：因為原子模型是無法觀察或實驗的，必須藉由信念系統、觀察力、預測力等展現其心智表徵。因此本研究運用圖像、動畫等來協

助學生類比推理至原子模型所呈現出的心智表徵。研究者發現大多數學生於教學後皆能呈現出與真實模型接近的原子結構之心智表徵。

- (六)教師的合作學習：本研究的教材內容設計是由四位國中自然與生活科技領域教師與兩位科學教育專家共同設計檢驗完成的，其他的如網站的架設、程式的編寫、教材與媒體的製作等仍需專業人才的輔助，因此需比傳統式的教學模式耗費更多的人力和時間，但是因為網路具有共同分享且能打破時空的限制，隨時隨地無限使用，所以教師若能自組團隊相互合作學習，彼此分工且能共享資源，學習資源將能省時省力同時學習者又能相互成長。

二、對『網路化學習』的建議：

根據本研究針對原子單元進行互動式的網路學習，研究者發現學生不論在學習興趣、學習成效及學習保留力上都有明顯的進步，因此對於如何設計及使用網路教學提出以下的建議：

- (一)開放自由的學習空間：根據九年一貫精神，學習的場所應該不只是傳統的教室，而是處處可學習，所以教師們可依照不同程度的學生設計出適性的教材供自由選擇，並讓學生可自行無限次的學習，讓低學業的學生減低對學習的恐懼，進而提升其學習興趣及學習成就。
- (二)與教材及學習模式結合：依據學習的單元並結合適當的學習模式於教材設計中，才能發揮網路學習最大的效能。例如本研究針對原子單元運用推理及類比推理的模式於互動式網路學習，是由於原子概念的建構是微觀、難以理解的，所以需要推理、類比推理輔助學習。
- (三)善用網路資源：現今網路資源相當豐富，但是學生往往不易尋找到所需的資源，因此教師宜先指導學生將學習主題的相關網站進行篩選，讓學習者能學習並有效率的獲得所需資訊。
- (四)即時給予回饋鼓勵：若能隨時與學生保持良好的線上互動，必能瞭解學生在學習上的問題與困擾，且能立即給予回饋與指導，學生必會加倍認真學習，以增強其學習動機。

本研究也建議教學者在運用一些教學策略如類比推理時，應更重視先備知識與教材內容的連結，因為學生的學習易受直覺生活經驗的影響 (Osborne & Freyberg, 1985)，同時也需注意與學習單元的適用性，以減少在建構科學概念時所產生的迷思概念。而且教學者應該採取多元甚至結合不同的教學策略，促進學生科學概念的建構與進行有意義的學習。

參考文獻

中文部分

- 王千悛 (2000)。全球資訊網在教育上的應用。《電腦與教學》，269-283。台北：正中書局。
- 邱美虹、高淑芬 (1999)。類比對應學生建構“原子結構”心智表徵之影響。《師大學報：科學教育類》，44(1&2)，31-59。
- 邱美虹、翁雪琴 (1995)。國三學生「四季成因」之心智模式與推論歷程之探討。《科學教育學刊》，3(1)，23-68。
- 林奇賢 (1999)。網路學習環境的設計與應用。《資訊與教育雜誌》，67，34-49。
- 徐新逸、吳佩謹 (2002)。資訊融入教學的現代意義與具體行為。《教學科技與媒體》，59，63-73。
- 徐庸智、蔡今中 & 陳明璋 (2002)。數學創意類比與同儕評量及其網路案例設計之初探。《師大學報：科學教育類》，47(1)，1-14。
- 莊雅茹 (1996)。CAL 軟體電腦動畫應用與學習成效分析。《視聽教育雙月刊》，38(2)，9-16。
- 教育部 (1998)。國民教育階段九年一貫課程總綱綱要。台北：教育部。
- 教育部 (2001)。中小學資訊教育總藍圖。取自 2004 年 3 月 15 日教育部。網址：
<http://www.edu.tw/moecc/information/itpolicy/itprojects/itmaterplan.htm>
- 教育部 (2002)。九年一貫課程綱要。取自 2004 年 3 月 15 日九年一貫課程與教學網。網址：
<http://teach.eje.edu.tw/9CC/fields/2003/language.php>
- 陳明溥 (1991)。CAI 之發展趨勢—多媒體電腦輔助教學。資訊教育叢書(五)電腦輔助教學 (二)，117-127。
- 張國恩 (1999)。資訊融入各科教學之內涵與實施。《資訊與教育》，72，2-9。
- 張俊彥、董家苕 (2000)。「問題解決」或「無問題解決」？電腦輔助教學成效的比較研究。《科學教育月刊》，8(4)，357-377。
- 游文楓、余曉清 (in press)。網路化問題解決教學策略對學生生物學習成效的影響。《科學教育學刊》。
- 蔡東鐘 (1997)。多媒體在科技素養教育上之應用。《教育科技與媒體》，22，39-45。
- 韓善民 (1997)。資訊教育基礎建設簡介。取自 2004 年 3 月 15 日。網址：
<http://140.111.1.22/moecc/art/8609/8609a5.htm>

英文部分

- Anderson, C. W. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549-563.
- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1987). Teaching science. In V. Richardson-Koehler (Ed). *The educator's handbook: A research perspective*. New York: Longman.
- Anderson, O. R., & Demetrius, O. J. (1993). A flow- map method of representing cognitive structure based on respondents' narrative using science content. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 953-969.
- Baird, J. R. & Mitchell, I. (Eds.). (1986). *Improving the quality of teaching and learning –an Australian case study*. Melbourne Australia: Monash University Printery.
- Baker, W. P., & Lawson, A. E. (2001). Complex instructional analogies and theoretical concept acquisition in college genetics. *Science Education*, 85, 665-683.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1982). *Students vs. Chemistry: A study of student conceptions of structure and process*. Unpublished manuscript, Weizmann Institute of Science, Department of Science Education, Rehovot, Israel.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64-66.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). *Students' visualization of a chemical reaction*. *Education in Chemistry*, pp. 117-120.
- Berkheimer, G. D., Anderson, C. W., Lee, O., and Blakeslee, T. S. (1988). *Matter and Molecules Teacher's Guild*, The Institute for Research on Teaching college of College of Education, Michigan State University.
- Black, J. K., McClintock, R. O. (1996). An interpretation construction approach to constructivist design. In: Wilson, B. (Ed.), *Constructivist Learning Enviroments*. Educational Technology publications, Englewood cliffs, NJ, pp. 25-31.
- Bloore, D. (1976). *Knowledge and social imagery*. London: Routledge & kegan Paul.
- Brewer, W., & Samarapungavan, A. (1991). Children's theories versus scientific theories: Differences in reasoning or differences in knowledge? In R. Hoffman & D. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic process: Applied and ecological perspectives* (pp. 209-232). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brown, D.E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18,

237-261.

- Brown, D.E. (1993). Refocus core intuitions: a concretizing role for analogy in conceptual change, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1273-1290.
- Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in genetics Problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 747-761.
- Campbell, N. (1957). *Foundations of science*. New York, NY: Dover.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA:MIT Press.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 1, 1123-1130.
- Chalmers, A. F. (1982). *What is this thing called science?* St. Lucia, Queensland, Australia: University of Queensland press.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp.129-186).
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to process: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4, 27-43.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity. In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of ceativity* (pp. 341-381). New York: Plenum Press.
- Clement, J. (1991). Nonformal reasoning in science: The use of analogies, extreme cases, and physical intuition. In J. Voss, D. Perkins, & J. Segal (Eds.), *Informal reasoning and education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clement, J. (1993). Using bridge analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. (1985). Lesson framework for changing children's ideas. In R. Osborne & P. Freyberg, (Eds.), *Learning ion science: The implications of school science* (pp.101-111).Auckland, New Zealand: Heinemann.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber. J., & Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *Europe an Journal of Science Education*, 8(3), 305-313.

- Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Scientific Education*, 78(6), 601-614.
- Dagher, Z. R. (1995b). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science education*, 79(3), 295-312.
- Dagher, Z. R. (1995c). What makes an analogy successful? *SMEC Newsletter*, 1 13-14.
- Dreistadt, R. (1968). An analysis of the use of analogies and metaphors in science. *The Journal of Psychology*, 68, 97-116.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Some feature of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Open University Press: Milton Keynes.
- Driver, R. & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105–122.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Sciences. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Faulkner, D., Joiner, R., Littleton, K., Miell, D., & Thompson, L. (2000). The mediating effect of task presentation on collaboration and children's acquisition of scientific reasoning. *European Journal of Psychology of Education*, 15, 4, 418-431.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695–697.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hachling, M. W., (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gentner, D. (1977). Children's performance on a spatial analogies tasks. *Child Development*, 48, 1034-1039.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony, Eds., *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.) *Mental Models* (pp. 99-129). Hillsdale,

- NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gentner, D., Berm, S., Ferguson, R.W., Markman, A.B., Wolff, P., & Forbus, K.D. (1997). Analogical reasoning and conceptual change: A case study of Johannes Kepler. *The Journal of the Learning sciences*, 6(1), 3-40.
- Godfery, D., & Sterling S. (1982). *The elements of CAL*. Toronto, Canada: press Porcepic Ltd..
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.
- Haidar, A. H., & Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particular nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F., (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Herron, J. D. (1978). Role of learning and development: Critique of Novak's comparison of Ausubel and Piaget. *Science Education*, 62, 593-605.
- Hesse, M. B. (1996). *Models and Analogies in science*. Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press.
- Hewson, P. W. & Hewson, M. G. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 731-743.
- Hogan, K. (2000a). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84, 51-70.
- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (2000). Discourse Patterns and Collaborative Scientific Reasoning in Peer and Teacher-Guided Discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.
- Holyoak, K. (1985). The pragmatics of analogical transfer. In G.H. Bower (Ed.), *The Psychology of learning and motivation*, 19, 59-87. Orlando: Academic Press.
- Holyoak, K., & Thagard, P. (1997). *The analogical mind*. *American Psychologist*, 52, 35-44.
- Indurkha, B. (1992). *Metaphor and cognition*. Dordrecht: Kluwer.
- James, H. J., & Nelson, S. L. (1981). A Classroom Learning Cycle: Using Diagrams to

- Classify Matter. *Journal of Chemical Education*, 58(6), 476-477.
- Jonasson, D. H. (1996). Learning from, learning about, and learning with computing: A rationale for mindtools. In *Computers in the Classroom: Mindtools for critical thinking* (pp.1-22). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Karplus, R., & Their, H. D. (1967). *A new look at elementary school science*. Chicago: Rand McNally.
- Kedar-Cabelli, S. (1985). *Purpose-directed analogy*. Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society, Irvine, CA.
- Keys, C.W. (1995). An interpretive study of student' use of scientific reasoning during a collaborative report writing intervention in ninth grade general science. *Science Education*, 79(4), 415-435.
- Kragh, H. (2000). Conceptual Change in Chemistry: The Notion of a Chemistry Element, ca. 1900-1925. *Stud. Hist. Mod. Phys.*, 31(4), 435-450.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of science revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. (1963). The function of dogma in scientific research. In A. C. Crombie (Ed.), *Scientific change* (pp. 347-396). New York: Basic Books.
- Larkin, J. K., & Chabay, R. W. (1989). Research on teaching scientific thinking: implications for computer- based instruction. In L. B. Resnick & L. E. Klopfer(Eds.), *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research*. 1989 Yearbook of the Association for Supervision and Curriculum Development Alexandria.
- Lawson, A. E. (1978). The Development and Validation of a Classroom Test of Formal Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11-24.
- Lawson, A.E. (1987). *Classroom test of scientific reasoning*. Unpublished manuscript, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- Lawson, A. E. (1992). What do tests of "formal " reasoning actually measure? *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 965-983.
- Lawson, A. E. (2003). *The Neurological Basis of Learning, Development and Discovery* (pp.119-134). London: Kluwer Academic Publishers.
- Lawson, A. E., Adey, P., Head, J. & Shanger, M. (1988). *Adolescent Development and School Science*. London: Falmer Press.

- Lawson, A.E., Alkhoury, S., Benford, R., Clark, B. & Falconer, K.A. (2000). What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 996-1018.
- Lawson, A. E., & Renner, J. W. (1974). A quantitative analysis of Piagetian tasks and its implications for curriculum. *Science Education*, 58, 454-459.
- Linn, M. C., Douglas, C., & James, D. S. (2003). WISE Design for Knowledge Intergration. *Science Education*, 87, 517-538.
- Marek, E. A., & Westbrook, S.L.(1990). *Evaluating the implement of learning cycle curricule*. Unpublished raw data.
- Michalski, R. S. (1989). Concept meaning, matching and cohesiveness. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 122-145). Cambridge: Cambridge University Press.
- Moersch, C. (1995). Levels of Technology Implementation:A Framework for Measuring Classroom Technology Use. *Learning and Leading with Technology Use*, 23(3). Eugene, OR: ISTE Publishing. Retrieved November 12, 2001, from the World Wide Web: <http://www.iste.org/L&L/archive/vo126/no8/supplements/moersch/moersch.html>.
- Nersessian, N. (1992). How do scientific think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* (pp.3-44). Minnesota Studies in the philosophy of science, Vol. XV. Minneapolis, MN: University of Minnesota press.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: A Interview Study. *Science Education*, 62,273-281.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Nussbaum, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In R.Driver. E. Guesne, & A. Tiberghien, (Eds.), *Children's ideas in science*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Nussbaum, J., & Novick, S. (1981). Brainstorming in the classroom to invent a model: A case study. *School Science Review*, 62, 771-778.
- Osborne, R. J. & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Osborne, R. J. & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications*

- of children's science*. Auckland, NZ: Heinemann.
- Osborne, R. J. & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, 489-508.
- Pallant, A., & Tinker, R. F. (2004). Reasoning With Atomic-Scale Molecular Dynamic Models. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 51-63.
- Park, O., & Tennyson, R. (1980). Adaptive design strategies for selecting number and presentation order of examples in coordinate concept acquisition. *Journal of educational psychology*, 72, 370-386.
- Pella, M. O., O’Heam, G. T., & Gale, C. W. (1966). Referent to scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 4, 199-208.
- Piaget (1930). *The child’s conception of physical causality*. New York: Harcourt Brace.
- Piaget, J. (1962). *Play, dreams, and imitation in childhood*. New York: Norton.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167–200.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Pfundt, F. & Duit, R. (1991). Bibliography: Students' alternative frameworks and science education (3rd ed.). *Kiel, West Germany: IPN*.
- Renner, J. W., Stafford, D.G., Coffia, W.J., Kellog, D.H., & Webber, M.C. (1973). An evaluation of the Science Curriculum Improvement Study. *School Science and Mathematics*, 73, 291-318.
- Rohr, M. & Reimann, P. (1988). Reasoning with multiple representations when acquiring the particulate models of matter. In M. W. van Someren, P. Reimann, H.P.A. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations*. New York: Elsevier Science.
- Saayman, R. (1991). A diagnosis of the mathematical and scientific reasoning ability of first –year physics undergraduates. *Phys. Educ.*, 26, 359-366.
- She, H.C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: a study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education*, 24(9), 981-996.

- She, H.C. (2003). DSLM Instructional Approach to conceptual change Involving Thermal Expansion. *Research in Science and Technological Education*, 21(1), 43-54.
- She, H.C. (2004a). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 142-164.
- She, H.C. (2004b). Facilitating changes in ninth grade student's understanding of dissolution and diffusion through DSLM instruction. *Research in Science Education*, 34(4), 64-81.
- She, H.C. (2005). The effects of the web-based science learning program on different learning styles students' perceptions and cognitive learning outcome. *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching 2005 World Conference*, Dallas, Texas.
- She, H.C. & Fisher, D. (2003). Web-base E-learning Environment in Taiwan: The impact of the online science flash program on students' learning. In Khine, M. S., & Fisher, D. (Eds.), *Technology-rich learning environment: A future perspective*. Singapore: World Scientific.
- Shyu, H., & Brown, S. (1992). Learner control and versus program control in interactive videodisc instruction. What are the effects for procedural learning? *International journal of instructional media*, 19(2), 85-96.
- Shyu, H., & Brown, S. (1995). Learner control: The effect on learning procedural task during computer-based videodisc instruction. *International journal of instructional media*, 22(3), 217-231.
- Smith, M., Grosslight, L., & Davis, E. (1997). Teaching for understanding: A study of students pre-instruction theories of matter and comparison of the effectiveness of two approaches to teaching about matter and density. *Cognitive & Instruction*, 317-393.
- Steinberg, M. & Clement, J. (1997). Constructive model evolution in the study of electric circuits. In R. Abrams (Ed.), *Proceeding of the Fourth International Seminar on Misconceptions Research*. Santa Cruz, CA: Meaningful Learning Research Group.
- Stepans, J. (1991). Developmental patterns in students' understanding of physics concepts. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. New Jersey: Hillsdale.
- Stepans, J. I., Beiswenger, R. E., & Dyche, S. (1986). *Misconceptions die hard*. *Science Teacher*, 63-69.

- Stocklmayer, S., & Treagust, D. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science & Education, 3*, 131-154.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolution*. Princeton, NJ:Princeton University Press.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Oxford University.
- Tsai, C. C., Lin, S. S. J. & Yuan S. M. (2002). Developing Science Activities through a network peer assessment system. *Computer & Education, 38*, 242-252.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2003). Tracing Young Children's Scientific Reasoning. *Research in Science Education, 33*, 433-465.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2004). From "try it and see" to strategic exploration: Characterizing young children's scientific reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 41*, 94-118.
- Vosniadou, S. (1987a). Children and metaphors. *Child Development, 58*, 870-885.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction, 4*, 45-69.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of educational research, 57*, 51-67.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental Models of the Day/Night Cycle. *Cognitive Science, 18*, 123-183.
- Vosniadou, S., Ortony, A., Reynolds, R. E., & Wilson, P. T. (1984). Sources of difficulty in children's comprehension of metaphorical language. *Child Development, 55*, 1588-1606.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wattets, J. J., & English, L. D. (1995). Children's application of simultaneous and successive processing in inductive and deductive reasoning problems: implications for developing scientific reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching, 32(7)*, 699-714.
- Welch, W. W. (1985). Research in science education: Review and recommendations. *Science Education, 63(3)*, 421-448.
- Wibers, J., & Duit, R. (2001). On the micro-structure of analogical reasoning: the case of understanding chaotic systems. *Research in Science Education, Past, Present, & Future, 205-210*.
- Wong, E. D. (1993a). Self-generated analogies as a tool for construction and evaluating

explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1259-1272.

Wong, E. D. (1993b). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1259-1272.

Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-559.

Zeiton, H.H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science and Technological Education*, 2, 107-125.

