

第五章 結論和建議

本研究以 64 位技術學院化學工程科學生為研究對象，選用層析法科學史和層析法的理論為題材，將科學史和科學哲學融入教學和教學研究。研究分為理論分析和實證研究兩部份。理論分析部份的主旨在藉科學史、以層析法為案例，探討科學理論發展的模式，是質性研究。研究是以拉卡托斯、孔恩和勞丹三個科學哲學家的科學發展觀點作分析的工具，剖析層析法科學史的諸多理論模型的關係。比較三個科學發展觀點對層析法理論發展案例的解釋和歸因程度的大小，本研究認為勞丹研究傳統的科學發展觀點最適用於層析法理論發展案例的說明。第二部份的實證研究是聚焦在學生學習層析理論的教學研究，希望透過融入科學史的模型化教學策略達到層析理論的教學目的。研究利用自行發展的模型表徵類別問卷了解學生對模型，特別是模型的表徵的認識。研究也探討教學期間學生學習層析理論所形成的層析理論模型的類型，學生模型表徵類別和層析理論學習成就、學生模型表徵類別和教學後學生形成的層析理論模型的關係。本章將研究的結論歸納並提出進一步研究的建議。

第一節 理論分析的研究結果

一、科學史層析理論模型

從科學史的角度輔以文獻探討的方式，研究分析各階段層析法操作模式的類型和特質，各類層析儀器的出現、設計、應用範疇，理論背景和相關概念的屬性等素材，以該階段參與層析法研究的主要科學家提出的層析法分離機制為基本考量指認層析法發展史的理論模型。研究確認出層析理論發展的五個理論模型 - 過濾模型、吸附模型、板理論模型（兩相分配模型）、速率模型（隨機兩相分配模型）以及效化熱力學模型。每個模型給定的名稱主要來自各發展階段

使用的術語和分離機制的屬性。由於層析理論持續發展，相關術語的意義可能與原始概念不盡相同；研究盡量以目前一般層析教科書或相關科學社群發表的研究報告使用的概念為依據。

二、層析理論發展模式的哲學分析

研究以科學史文獻分析層析法研究綱領，發現百年來層析法研究綱領歷經多次進步和退化的階段，經驗內容不斷的增加，是一個成功的研究綱領。但是以拉卡托斯的觀點無法說明層析法理論展史的一些關鍵的問題情境，科學家所做的選擇。例如，1941年 Martin 和 Syngé 有別於傳統以固體作靜相的吸附式層析，決定以液體作為層析法的靜相。這樣的轉換源自「靜相」的概念不再是指物質的「物理狀態」而是指操作時物質的「空間狀態」。就層析理論發展史案例，拉卡托斯忽略了歷史情境下科學家的選擇的重要角色。而孔恩的典範科學發展模式，強調科學發現的心理學觀點可解釋層析法發展史中科學家的關鍵抉擇，但孔恩典範的觀點則輕估了科學史層析典範歷經四次常態科學階段所累積的大量經驗事實所產生的效果。科學史顯示層析法連續理論模間是靠共有的經驗事實建立重要的連繫，例如高效液體層析儀的理論源自氣相層析儀模型，但是配合高效液體層析使用液體動相的性質有別於氣相層析儀的氣體動相，動相性質的顯著差異迫使理論模型進行修正。層析法間的聯繫使層析理論具有較大的解釋一致性，也使層析法得以表現其特色持續發展。因此勞丹主張科學是解決問題而不是探究真理的活動的見解對層析法研究傳統的發展是最好的詮釋。從層析法的科學史，層析理論解決靜相、動相的歧異，使物質的分離程序可理解和可預測，也導致許多新方法的發展並擴展應用。因此從勞丹研究傳統的觀點，層析法理論發展模式是理性選擇，是透過聯合、分化和改變的演化歷程。

第二節 實證研究的結果

一、受試學生之模型表徵類別及先備化學能力

研究利用「學生模型表徵問卷」將 64 位受試學生分成「構念 - 理論」、「構念 - 空間」、「實體 - 理論」以及「實體 - 空間」等四組，研究結果發現大多數的受試學生為「實體 - 空間」組，佔總受試人數的 71.9%；而「構念 - 空間」組的人數最少，僅有 4 人，佔總人數的 6.3%。這個結果與 Grosslight (1991) 認為大部分學生模型表徵持有「素樸的實在認識論」的認識觀點可說是一致的。雖然 Grosslight 將學生對模型的認識分為三個層級的分類方式與本研究的二維分析架構與並不相同，兩研究結果的類別不能直接對應。Grosslight 研究關心認知發展（年齡）和認識論的關係，而本研究的對象年齡都在 19-21 歲，但是兩研究基本上都是從認識論的觀點，因此兩研究結果在某些方面是可以互相比較。研究結果顯示年齡即使已經超過具體操作期，大多數學生對模型表徵還是持有實體 - 空間的實在論的觀點。

二、受試學生之模型表徵類別與化學先備能力對學習成就之影響

研究結果顯示學生之模型表徵類別與化學先備能力都顯著影響其層析單元之學習成果。「構念 - 理論」與「構念 - 空間」二組受試學生在層析單元之學習成就較「實體 - 理論」與「實體 - 空間」兩組為高，其中以「構念 - 空間」組最高，「實體 - 空間」組最低。研究結果也顯示在前面幾個單元學習較好的學生，在層析單元的學習也較好，但「模型表徵類別」與「化學先備能力」二因子並無顯著交互作用。進一步對四組模型表徵類別學生之學習成就做事後多重比較，發現能接受模型本體為抽象概念或符號的受試學生的學習成就顯著高於認為模型必須為一實體的學生，對模型功能採理論表徵(模型的目的為進行因果解釋)受試學生之層析單元學習成就顯著高於採空間表徵(模型的目的在於空間參照)的受試學生。

這樣的結果研究結果呼應與 Carey 和 Smith (1993) 及 Bell (1998) 主張伴隨學生認識論的進展，學生對科學內涵也增進的觀點。研究顯示接受構念模型表徵有助於微觀概念的建立和化學符號表徵概念化理解。雖然這樣的結果不足以推論模型化教學有助於層析法理論的學習，但至少提供化學概念教學策略的重要理念。

三、教學前、後學生認知最適當之層析模型與所應用心智模式

本研究在教學前使學生選擇自己認知的層析理論模型，結果顯示選擇吸附模型人數最多(27人)，佔總人數42.2%。不同模型表徵類別受試學生在教學前所選擇之層析模型除了構念 - 理論組學生選擇機率的兩相分配模型比例最高(40%)之外，其餘三組受試學生都以選擇吸附模型之比例最高且無顯著差異。

研究結果也發現受試學生在層析單元教學後，選擇自己認知的層析理論模型以隨機的兩相分配速率理論模型者顯著多於另外三種層析模型；有 41 人選擇隨機的兩相分配模型，佔總人數64.1%，且選擇過濾模型與吸附模型的人數都顯著減少。研究進一步也發現當學生在面對層析應用問題時，則是採過濾模型理論的學生較多(30人，46.9%)且除了過濾模型以外，選擇其它三種模型為最適當模型之受試學生在解釋層析特例時，所採用的心智模式與其認知的模型一致性約只有一成左右。

第三節 結論和建議

綜合本研究的發現，可以推論學生的層析理論模型的發展大致符合科學史的發展，也符合教學之進度。雖然大部分學生在認知上選擇隨機的兩相分配速率模型為最適當的層析模型，但是在解釋層析特例時，卻大都採過濾模型。這樣的結果有兩個可能的原因；一種可能的原因在於兩相分配模型與隨機的兩相分配模型都屬於數學模型，為抽象模型，因此學生在解題時轉向選擇較為簡單的心智模式

運作。解題時學生選擇與認知理論模型不同的心智模式的另外的一種原因，可能是來自特例問題的情境。由於研究是以凝膠層析法為特例，就凝膠層析動相和靜相的物質狀態是屬於液固層析，因此在問題情境的影響下，學生回歸選擇最符合科學史情境的理論模型。

Nersessian (1999) 認為模型可以解釋物理系統的特性和過程，且建構模型或選用模型時都需考量滿足系統的限制的基本要求。因此透過例如類比模型化 (analogical modeling)、視覺模型化 (visual modeling) 和思考實驗 (thought experimenting) 三種模型化為基礎的推理可衍生出概念改變。本研究有關學生模型表徵類別與學習成就的關係顯示學生對科學模型的目的和模型本質的認識論是學生科學概念學習的重要面向。接受以實體和構念作為模型本體，並了解模型因果關係的功能的學生有較高的學習成就呼應 Gobert 等人 (2004) 認為學生選擇使用各種模型作為科學現象的表徵的能力與學生了解模型是科學現象的抽象表徵的能力有關。因此，若學習者的模型認識論有助於科學概念的整合，則模型認識論應該是設計模型為基礎的教學的關鍵特質。誘導學生以模型化學習，使學生以模型化技巧推理，並使學生的認識論和模型化歷程交互作用，應該有助於概念改變；而進一步探究學習者模型表徵的發展應該可提供概念改變理論的機制的一些重要線索。

因此，本研究對未來的相關研究提出下列的建議：

- (一) 本研究進行學生模型表徵類型分類採用的問卷，在設計上使用單一模式的外現模型，呈現的模型範例屬性涵蓋範圍較小。因此發展一個信度更高的模型表徵類型分類工具，將可詳細探討學生對模型的認識。問卷的設計的項目可以晤談的方式蒐集不同年齡層、不同學科領域或學科領域專家和生手等對象有關模型的想法編製，或可釐清縱向 (認知發展) 和橫向 (情境或學科特質) 和模型表徵的關係。
- (二) 本研究採用紙筆測驗選擇題蒐集教學前和教學後學生層析理論模型

的認知和使用的心智模式方式只能觀察到特定時間、特定問題情境時學生持有的心智模式，僅能就學習的產物了解學生概念的理解，無法了解心智模式的動態歷程。以晤談方式進行動態評量，佐以科學史理論發展模式，應該可以建立學生科學理論和概念發展的理論架構。

- (三) 由於層析法的多樣化應用，可設計不同的情境，以互動式電腦模擬軟體呈現，蒐集學生解題歷程的資料，將可進一步釐清學生解題時選擇與認知理論模型不同的心智模式的原因。