

## 第肆章 研究結果與討論

研究分科學史層析理論模型確認、層析理論模型發展進程分析和學生學習層析理論心智模式發展探究等三個階段進行；資料分析包含質性分析和量的分析。研究從層析法發展史的內涵，文獻回顧及層析新型儀器的出現等素材尋找層析理論模型。根據理論發展的背景和相關概念的屬性，指認出層析理論發展的五個模型，每個模型並冠以一個名稱。

研究再以孔恩的科學革命，拉卡托斯的研究綱領和勞丹的研究傳統等三個科學知識增長的觀點對研究確認的五個層析理論模型進行分析，就連續理論模型間的關係和概念的取代表了解層析理論模型發展進程的模式。

第三個階段是利用教學進行實證研究。以自行發展的模型表徵類型問卷了解學生對模型本體和功能的想法，就學生對模型的認識加以分類並探討學生模型表徵類型和模型化教學的關係。層析教學研究是以自行發展的層析概念測驗工具，分別從學生選擇題的選項，學生有關層析理論模型的開放性問題（問答題）的答案提取學生在八週的模型化教學中學習過程形成層析理論模型作為學生外顯的心智模式。研究分析學生學習層析理論心智模式發展的類型，以了解學生概念改變模式，並和科學史中層析理論模型發展作比較。

## 第一節 科學史層析理論模型的確認

科學學 ( science studies ) 和科學社會學 ( sociology of scientific knowledge ) 風潮影響下，近十幾年來科學教育改革大多強調科學事業是一種歷程；科學內涵和科學發展的歷程在科學學習是同等重要。科學史和科學哲學是科學發展歷程的描述，強調科學的動態本質，因此應該融入科學史和科學哲學於科學課程。一些科學教育的研究者 ( Gobert & Pallant, 2004 ; Passmore & Stewart, 2002; Justi & Gilbert, 1999 ) 認為科學各領域重要主題的演化歷程透過可信的科學史和科學哲學的分析可清楚的呈現科學相關模型的發展、應用和取代；融入經過這類經科學史和科學哲學可信分析的科學理論模型及其發展於科學課程中，概念架構被轉譯到在教材中，可誘發學生概念的理解和對理論的洞察力。這樣的科學教學除了有助於學生對科學本質的了解、提升學生批判思考的能力，透過歷史的語言更可使科學知識更為融貫。Nersessian ( 1994 ) 則認為從科學史的資料如科學家的日誌、使用的儀器、留下的圖表、發表的論文或對其他研究者的回應 等進行認知歷史分析，( cognitive-historical analysis ) 可了解科學理論的發明、改變及表徵的本質，也有助於對認知機制的了解。

Justi 和 Gilbert ( 1999 ) 認為透過科學史和科學哲學分析的科學教學必須符合三個條件：( 1 ) 有一致的理論發展分析方案 ( scheme )；這樣在教學時，教學的內涵才具備認識論的理論基礎。( 2 ) 理論討論的現象是一般性的 ( common class of entities )；教學的內容才具備本體論的理論基礎 ( 3 ) 理論必須是課程中主要的課題；如此，不論是認識論或本體論的分析就具有內容的理論基礎。研究根據 Justi 和 Gilbert ( 1999 ) 的觀點，以層析法之分離原理的發展作為範例進行科學史和科學哲學的分析。分析透過文獻，以分離技術和不同層析儀的設計、應用的發展，理論背景和相關概念的屬性，指認出過濾 ( filtration )、吸附 / 去吸附 ( adsorption / desorption )、板理論 ( plate theory )、速率理論 ( rate theory ) 及活化熱力學等五個重要的層析法的理論模型。

## 一、層析法理論模型的發展史

層析分離是基於不同物質在動相、靜止相兩相間遷移速率的微小差異 (differential migration) 而分離物質的方法；是一種動態的程序、分子間作用力集體現象的結果。十九世紀初 M.S. Tswett 預期了層析分析的可能後，層析法不斷的從已有的方法中演化。

1901 Tswett 進行葉綠素生理和化學結構的研究，使用現代稱為「液相層析」的基本操作模式是為層析分析的濫蕩，Tswett 並稱之為『吸附分析的新方法』(Ettre,2000)。幾乎是同時在美洲亦有相似的發現。David 用現今所謂的「邊界層析」(frontal chromatography) 的一些實驗方法證明石油源過濾理論的有效性。兩者最大的差異在 Tswett 使用沖提層析 (elution chromatography)。Tswett 分離出純的化合物而 Day 僅沿管柱得到的石油成分的分佈。發展出系統的層析分離技術就近在咫尺，Day 錯過了機會。由於層析法分離方式相對於當時天然物研究的既有哲學是一種激進的改變，因此終其一生 Tswett 在色素和層析的成就並未受到同儕的肯定。這一段時期，由於科學社群對天然物研究的哲學觀並沒有改變，層析法並未受相關研究者的重視。

1930 年德國海德堡 laboratory of Richard Kuhn 的奧地利年輕化學家 Lederer 成功的使用層析法並引起其他研究者的重視和使用，層析分離法才得以重生。至此，化學用來研究複雜物質分離方法的觀點發生重大的變化，層析法的分離技術的演化也展開。

1941 年 J. P. Martin 及 R. L. M. Synge 研究以水為靜相，矽膠作水的支撐物，含 0.5%酒精的氯仿作動相(mobile phase)的液—液層析法。使以吸附為基礎的非線性程序的古典液相層析轉變為以分配為基礎的線性程序。這樣的古典液 - 液分配式層析法和吸附式液相層析雖然都是以重力作動相的流動驅力，但是分配式層析的分析管柱可重複使用。由於分配式分離程序的線性本質，Martin 和 Synge 得以提出層析法的數學理論模型，包括理論板高的概念，理論板高的概

念使得管柱的分離能力(separation power)都可以定量的表示。Martin 和 Syngge 提出液液分配式的革命性發明並沒有引起其他研究者的立即採用，液液分配式層析是透過濾紙層析技術的使用的數年後才開始流行。濾紙層析法也衍生出方便、快速分析的薄層層析法，薄層層析法在 80 年代被發展成自動化的層析儀。

1950 年以氣相為動相的氣液分配式層析(GLC)被 Martin 和 James 發展出來。由於(1)快速的公開(2)不同科學社群的合作(3)優良的教科書等原因使 GLPC 快速成功。氣液層析提供一個簡單、靈敏的揮發性物質的分析方法。氣體層析的發展也開創了一個新型工業—科學儀器工業 ( instrumentation )。1950 年以前儀器工業是小型工業，至今已是一個好幾百億元的大型工業。

氣體層析的演化經過數個階段的，使 GC 成為 20 年期間最常用的分析技術，直到 1970 年之後才被高效液體層析(HPLC)所凌駕。Martin 和 Syngge 逐漸發展的分析方法不僅提供層析法革命性的改變，也造成生物化學研究模式產生革命性的轉變。1952 年 Martin 和 Syngge 在分配式層析的成就獲頒諾貝爾化學獎。

1965 年基於氣體層析的模型，配置高壓、高壓下注入試樣、流速控制和不會產生波峰變寬的連續監控偵檢器等裝置的第一個液體層析儀由耶魯大學的 Csaba Horvath 設計出來，並建議稱之為高效液相層析儀 ( high – performance liquid chromatography )，現今通稱為 HPLC。高效液體層析法後續的研究持續展開，包括特殊幫浦和注入裝置的改進，逆相液體層析的理論的建立，鍵結相靜相、液相吸附層析的發展等，因此 HPLC 分離技術得以透過操弄水溶液或溶劑極性的不同的特性提供層析法分析的選擇性，使高效液相層析法的應用更廣，也使得 1980 年代分析化學和生物科技的研究領域的聚焦有很大的重疊。

二十世紀初開始的層析法，發展了一百年，至今仍然不斷的演進中；許多新方法發展，也擴展應用。相關的研究分別在 1948 ( Tiselius , 電泳的研究 ) 1952 ( Martin 和 Syngge , 氣相層析的研究 ) 1972 ( Moore 和 Stein , 發展胺基酸分析儀研究核糖核酸酶 ) 獲頒諾貝爾獎。演進從液體吸附層析開始、分配式層析再擴及氣相層析法最後由回到液相層析。分離原則從吸附、分配、離子交換、分

子大小擴展至電層析。動相的流動驅動力可由重力、高壓幫浦、毛細作用及電滲透等多樣的動力源控制。分離溫度、試樣的量也有很大的範圍；分離系統的尺寸也是可變動的，可使用不同長度和直徑的管柱及或平板。整個演進的過程使得層析法由批式的技術轉變為自動化的儀器分析。演進的過程中不但與環境交互作用並對環境產生影響。

Ettre (1990) 和 Grob (1995) 指出參與層析法的演化歷程的主要科學家有 Day、Tswett、Palmer、Lederer、Izmailov、Kuhn、Consdon、Gordon、Tiselus、Martin、Synge、Glueckauf、Golay、van Deemter、Kirkland 和 Horvath 及參與曼哈頓計畫的科學家等近百位的科學家對層析法發展有重要影響。Synder (1997) 認為 Martin 和 Synge 於 1941 在 *Biochemistry Journal* 發表有關小顆粒靜相和高壓分離的條件下的層析的文獻及 Kirkland 1971 編輯的「*Modern Practice of Liquid Chromatography*」一書可視為高效液相層析法 (HPLC) 的發展和商業化儀器發展的里程碑。Karger (1997) 指出在 1950 年之前，層析分離技術發展的貢獻大多數是來自生物領域如 Lederer、Tiselus、Kirchner 等的研究結果。直到 1960 年代氣相層析出現後，化學分析領域的科學家才對層析分析的研究出現較大的興趣。但是 1960 年代至 1970 年代期間，當生物化學家致力於膠體電泳和親和性層析等研究時，分析化學家的焦點則放在逆相液體層析的發展；基本上兩個領域的科學家的研究並沒有顯著的交集。1980 年代逆相液體層析被應用於核酸及蛋白質快速分析，才使得化學分析和生物學兩個領域的科學家對層析分離有共同的興趣。Karger 也認為 1980 年代分析化學家發展出來的毛細管電泳是促成九零年代分離科學統一的主因。

任何分離技術基本上由一個兩相的系統、一個動力系統和達成分離的機制構成。Ettre (1990) 認為當一個分離問題逐漸出現的情境下參與的科學家所做的決定是層析法分析技術能夠持續成長，且成為化學和生物化學上最常被使用的分離技術的關鍵因素；因為情勢往往是層析法並不是最明顯的解答但卻是正確的選擇。研究將層析法發展史的重要特徵整理列表如下表 4-1-1。

表 4-1-1 層析法發展史摘要

|                   |                           |                              |                           |                              |                          |                               |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 操作模式<br>(動相 - 靜相) | 液 - 固層析                   | 液 - 液層析                      | 氣 - 液層析                   | 高效液體層析<br>(液 - 液、液 - 固)      | 逆相分配高效液體<br>層析 (液 - 鍵結相) | 電層析<br>(液 - 帶有電荷之<br>鍵結相)     |
| 發展年代              | 1900 - 1940               | 1940 - 1980                  | 1940 - 1970               | 1960 - 1990                  | 1970                     | 1970                          |
| 科學社群              | 化學工程<br>生物學               | 生物化學                         | 化學工程<br>化學<br>生物化學        | 化學<br>生物化學                   | 化學<br>生物化學<br>生物技術       | 化學<br>生物化學<br>生物技術            |
| 是否有自動化儀器          | 否                         | 否                            | 是                         | 是                            | 是                        | 是                             |
| 操作模式的新<br>概念      | 物質可以同時從其<br>混合試樣中一齊分<br>離 | 靜相不一定要是固<br>體，可以是被固定<br>住的液體 | 流體性質更好的氣<br>體液也可以作為動<br>相 | 在動相在高壓下，<br>靜相填充物的顆粒<br>可以更小 | 靜相的極性可以比<br>動相大          | 電位差可以作為動<br>相的驅動力 (電滲<br>透作用) |
| 分離的機制             | 過濾作用<br>吸附 / 去吸附作用        | 兩相間的分配作用                     | 兩相間的分配作用                  | 兩相間的分配作用                     | 兩相間的擴散和分<br>配作用          | 兩相間的擴散和分<br>配作用               |
| 對應研究指認的<br>層析理論模型 | 過濾模型<br>吸附 / 去吸附模型        | 板理論模型                        | 板理論模型                     | 速率模型                         | 效化熱力學模型                  | 效化熱力學模型                       |

## 二、層析法理論模型的確認

參考上述層析法發展史中各種操作模式、各類層析儀器的出現和層析法分析應用範疇，以層析法的分離機制為基本考量，將百年來層析理論的發展進程分為過濾 (filtration) 吸附 / 去吸附 (adsorption / desorption) 板理論 (plate theory) 速率理論 (rate theory) 及效化熱力學等模型。給定的模型名稱主要來自各發展階段使用的術語和技術。由於層析理論持續發展，相關術語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。如表 4-1-2~4-1-6。表中列舉出每個模型的指稱、參與模型發展的重要科學家、模型的解釋功能、來自模型的創新名詞、技術的應用領域、產出的新儀器的型式、原創研究法及結果、核心概念、理論模型解決之問題、理論模型未能解決之問題等相關資料。

過濾模型是以 Day 的想法作理論模型的核心。Day 將石油源和各產地的石油的關係類比為層析樣品和分離的各成份的關係，岩石對應到管柱內的吸附劑。由於石油為流體，層析法分離的趨力來自重力，據此 Day 以石油成份比重不同作為過濾機制的層析理論模型的證據。Day 的想法是知覺模擬形成的概念，是一種類比問題解決產生的理論模型 (Craig, Nersessian and Catrambon, 2002)，因此概念易受到時間和空間經驗的限制。過濾理論模型的主要目的在說明石油源存在的假說的有效性，故此理論模型可歸類為目的式的解釋模型 (Gilbert et al, 1998a, 1998b)。由於 Day 分離的樣品為石油，而石油為含有數十種以上成份的複雜混合物，Day 當時所用的層析技術還不足以達到如此高的分離效率，因此 Day 沒有達到完全分離。研究將層析法過濾模型的重要特徵整理列表如下表 4-1-2。

源於逆相萃取的原始概念，Martin 和 Synge 決定以液體作為層析法的靜相。顯然的，由於互不相溶的兩溶劑間分配的平衡是萃取分離的原理，分配作用被類比為液 - 液層析法兩相間的作用，因此板理論層析法理論模型是以動相、靜

相兩相間的分配為核心概念。Martin 和 Syngde 將層析管柱視為由無數不連續但相鄰的薄層組成，這些薄層，稱為理論平板。假設在每一平板上，動相中的樣品與靜相中的樣品間達到平衡；當管柱中分離成分向下移動時，表示達到平衡的動相由一平板轉移至另一平板進行下一個平衡。相較於吸附作用，兩相間的分配作用系統具有線性的特性，因此模型能夠以數學關係呈現分離機制的屬性的關係。利用「分配係數」的概念，分離效率用「平板高度」或「理論平板數」定量描述。平板理論模型成功的說明層析波峰的高斯形狀和各成份移動的速率，但是平板理論並無法說明層析波峰變寬的原因。板理論模型可預測層析分離的定性和定量結果，可歸類為預測式的解釋模型（Gilbert et al, 1998a, 1998b）。與前趨的兩個理論模型最大的不同是：過濾模型和吸附 / 去吸附模型兩個理論模型都是先出現層析法的操作模式才發展出理論模型，而板理論模型則是概念發展在先。板理論模型是先有液體靜相的想法，才發展出液 - 液層析法的操作模式並進一步從兩相間的分配作用發展出數學模型。板理論模型也導致氣 - 液分配操作模式的氣相層析儀、胺基酸分析儀等的新型儀器的設計和應用。研究將層析法板理論模型的重要特徵整理列表如下表 4-1-3。

由於萃取是批式程序，層析是連續的程序，所以層析法動相在恆常移動下平衡狀態並無法達成，流動程序是問題的關鍵。層析法研究的焦點由靜相轉向動相的特質。由於氣體或液體等物質狀態均為流體且其流體的重要屬性不同，研究的焦點在氣體動相和液態動相間來回穿梭。速率理論模型以隨機進行的分配作用解釋層析分離的機制。一個理想的層析峰的高斯形狀歸因於無數個樣品成份分子在管柱中隨機運動所相加組合的結果，如此層析峰的寬度與在管柱中滯留時間成正比而與動相的流速成反比。速率理論模型成功地定量說明層析峰的形狀和諸多影響波峰變寬的變因。這個理論模型強調層析法質量傳遞現象的動力學研究，如 van Deemter 方程式和 Knox 方程式。由於缺乏管柱內質量傳遞現象的基本研究，這些方程式多數屬經驗方程式，僅近似的描述層析管柱內如擴散作用、兩相間質量轉移等質量傳遞現象。速率理論模型是透過概念和命題的累積( Thagard, 1992 )



取代了板理論模型。速率理論模型部份吸納板理論模型，也拋棄板理論模型的一小部份。例如，氣相層析以增加管柱的長度來改善分離的效率對液相層析法並不適用。研究將層析法速率模型的重要特徵整理列表如下表 4-1-4。

由於效化熱力學理論模型從相平衡的熱力學觀點，以滯留因素為核心概念。效化熱力學理論模型以動相和靜相兩相間的平衡的熱力學和兩相間質量傳遞的動力學關係說明層析法的分離機制。因為管柱填充物的液－固介面的薄層的厚度的不同，逆相液體層析法的滯留機制不論是吸附作用或分配作用都有支持者，本質上可歸因於語義學的爭議。由於對逆相液相層析內管柱填充物的擴散現象有較多的研究結果，相對於速率理論模型，效化熱力學模型得以使用更精確的數學關係呈現滯留的機制。顯然的，透過吸納（incorporation）效化熱力學理論模型取代了速率理論模型模型（Thagard, 1992）。研究將層析法效化熱力學模型的重要特徵整理列表如下表 4-1-5。

表 4-1-2 層析科學史的模型(1)

| 模型<br>models                | 參與的科學家<br>Contributing<br>scientist | 模型的解釋功能<br>Function of<br>Model*       | 來自模型的<br>創新名詞<br>New-terms<br>or conceptual<br>descendants                | 應用的領域<br>Fields of<br>Applications | 新儀器模式<br>New-type<br>Instrument<br>developed | 原創研究法<br>及結果<br>Methods used<br>and results                                     | 核心概念                                                                  | 解決之問題                                                                                              | 未解決之問題<br>及備註               |
|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 過濾模型<br>Filtration<br>model | Day, D. T<br>(1897-1903)            | 目的式的解釋<br>(intentional<br>explanation) | 過濾理論<br>(filtration<br>theory)<br>邊界層析<br>(frontal<br>chromatograp<br>hy) | 石油化學<br>Petroleum                  | None                                         | 原油通過酸性<br>白土管柱，管柱<br>下層顏色淡，管<br>柱上層顏色<br>深；因為沿管柱<br>的不同位置含<br>比重和沸點不<br>同的石油成分。 | 石灰岩過濾石<br>油（石油成分中<br>分子大小不同<br>穿透能力不同）<br>使石油的成分<br>依沸點比重不<br>同而分成帶狀。 | 離石油源距離<br>不同，石油的組<br>成不同；離石油<br>源距離愈近的<br>油井含較高<br>沸點的石油成<br>分，離石油源距<br>離愈遠的油井<br>含較高較低沸<br>點的石油成分 | 1. 成分的收集、<br>2. 各成分完全分<br>離 |

表 4-1-3 層析科學史的模型(2)

| 模型<br>models                                         | 參與的科學家<br>Contributing<br>scientist                                   | 模型的解釋功能<br>Function of<br>Model*   | 來自模型的創<br>新名詞<br>New-terms or<br>conceptual<br>descendants                                                                                                                                    | 應用的領域<br>Fields of<br>Applications                                                                   | 新儀器模式<br>New-type<br>Instrument<br>developed | 原創研究法<br>及結果<br>Methods used<br>and results                              | 核心概念                                                                                                                                       | 解決之問題                                                                                                                                                      | 未解決之<br>問題<br>及備註                                                                            |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 吸附 / 去吸<br>附模型<br>Adsorption/<br>Desorption<br>model | Tswett,M<br>(1906-1907) ,<br>L.S. Palmer<br>(1887-1944 )<br>Kuhn , R. | 因果式的解釋<br>(causal<br>explanation ) | 色層分析<br>chromatography<br>吸附性複合物<br>adsorption<br>complex<br>吸附分析<br>adsorption<br>analysis<br>洗提分析<br>Elution analysis<br>分段收集<br>Fractional<br>collection<br>化學分離<br>chemical<br>separation | 天然物<br>( nature<br>substance ) 如<br>葉綠素色素<br>(chloroplast<br>pigment)<br>類胡蘿蔔素<br>(carotein )<br>蛋黃素 | 液固管柱層析                                       | 以石油醚使植<br>物葉綠素的萃<br>取液通過碳酸<br>鈣粉末，管柱呈<br>現不同顏色的<br>區帶 ( color<br>zones ) | 天然物中各組<br>成成分和植物<br>的基質形成吸<br>附複合物，極性<br>溶劑可破壞吸<br>附複合物之吸<br>附力；利用逐步<br>吸附沉澱和萃<br>取，在流動系統<br>中使用各種溶<br>劑做選擇性吸<br>附和去吸附的<br>程序，並分段收<br>集各成分 | 極性溶劑對吸附複<br>合物有去吸附作<br>用，才能萃取葉綠<br>素，故葉綠素從植<br>物中被分離後則很<br>容易溶於非極性溶<br>劑（極性溶劑作用<br>力與吸附力的競<br>爭，樣品的分離是<br>樣品組成和分離條<br>件的函數。化學分<br>析(chemical<br>analysis ) | 1.分離是達<br>成各成分<br>完全分離<br>而非僅是<br>分離出其<br>中的某單<br>一成分。<br>2.靜相之限<br>制( 只能用<br>固體 )<br>3.典範遷移 |

表 4-1-4 層析科學史的模式(3)

| 模型<br>models                   | 參與的科學家<br>Contributing<br>scientist                 | 模型的解釋功能<br>Function of<br>Model*                          | 來自模型的<br>創新名詞<br>New-terms<br>or conceptual<br>descendants                                | 應用的領域<br>Fields of<br>Applications | 新儀器模式<br>New-type<br>Instrument<br>developed | 原創研究法及<br>結果<br>Methods used<br>and results                       | 核心概念                                                                                           | 解決之問題                                                                                                         | 未解決之問題<br>及備註                                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 板理論模型<br>Plate theory<br>model | Martin, A. J. P.,<br>Synge, R. L. M<br>(1940-1955), | 預測式的解釋<br>( predictive<br>explanation )<br>線性的定性、定量<br>預測 | 管柱效率<br>Column<br>efficiency<br>理論平板高<br>HEPT<br>分配式層析<br>Partition<br>chromatograp<br>hy | 蛋白質之胺基<br>酸和有機梭酸<br>及有機物           | 液液管柱層析<br>氣體層析<br>濾紙層析<br>薄層層析               | 矽膠等作為液<br>體靜相的固體<br>支持物的管柱<br>層析或以濾紙<br>平面層析可用<br>邊界分析或洗<br>提分別收集 | 利用試樣在<br>動相、靜相兩<br>相間的分配<br>為基礎的分<br>離，以線性的<br>程序分析層<br>析分離，利用<br>熱力學平衡<br>常數預測物<br>質滯留的特<br>性 | 靜相不一定是固<br>體，可以是液體，<br>以液體動相進行流<br>動式層析，組成分<br>別收集，管柱可<br>以重複使用，定量<br>的表示管柱的分離<br>能力 ( separation<br>power )。 | 1.動相的限制<br>( 流速的限制 )<br>2.典範遷移<br>( Nobel prize<br>1948、 1952 ) |

表 4-1-5 層析科學史的模型(4)

| 模型<br>models                 | 參與的科學家<br>Contributing<br>scientist                                                         | 模型的解釋功能<br>Function of<br>Model*                                         | 來自模型的<br>創新名詞<br>New-terms<br>or conceptual<br>descendants        | 應用的領域<br>Fields of<br>Applications | 新儀器模式<br>New-type<br>Instrument<br>developed | 原創研究法及<br>結果<br>Methods used<br>and results                                                       | 核心概念                                                                                                 | 解決之問題                                                 | 未解決之問題<br>及備註                      |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 速率模型<br>Rate theory<br>model | Martin,A.J.P.<br>James,A.T.<br>GlueKauf. E<br>Van Deemter,<br>J.J. (1950-1968)<br>Golay, M. | 預測式的解釋<br>predictive<br>explanation 定量的<br>預測 quantitative<br>predictive | 擴散薄膜<br>Film diffusion<br>選擇性<br>Selectivity<br>解析度<br>Resolution | 揮發性碳氫化<br>合物、有機物<br>無機物<br>高分子     | 離子交換層析<br>大小排斥層析。                            | 使用氣體或液<br>體動相，可程式<br>升溫，使用堆積<br>式或開管式（毛<br>細管式）管柱<br>（ open<br>tubular ,<br>capillary<br>column ） | 以擴散，氣體的<br>速率，粒子性質<br>（粒子大小）與<br>管柱的直徑說<br>明分離的效率<br>和選擇性，並以<br>兩相間質量傳<br>遞的阻力關係<br>來說明高斯分<br>配的速率理論 | 動相不一定是液<br>體，可以是氣體，<br>並以改變管柱來增<br>加分離的選擇性<br>自動化層析儀器 | 非線性系統<br>開創新型工業-<br>科學儀器工業<br>典範遷移 |

表 4-1-6 層析科學史的模型(5)

| 模型<br>models                                                 | 參與的科學家<br>Contributing<br>scientist        | 模型的解釋功能<br>Function of<br>Model*                                                  | 來自模型的<br>創新名詞<br>New-terms<br>or conceptual<br>descendants                                         | 應用的領域<br>Fields of<br>Applications | 新儀器模式<br>New-type<br>Instrument<br>developed                                            | 原創研究法及<br>結果<br>Methods used<br>and results                                                                                       | 核心概念                                                                                                         | 解決之問題                                                                                                             | 未解決之問題<br>及備註       |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 熱力學效化<br>模型<br>Thermo-<br>dynamic<br>optimiza-<br>tion model | Kirkland, J.<br>Harvath, C.<br>(1970-1980) | 預測式的解釋<br>( predictive<br>explanation ) 定量<br>的預測<br>(quantitative<br>predictive) | 結合相、逆相<br>層析、溶解度<br>參數理論<br>Bonded-phase<br>Reverse<br>phase、<br>Solubility<br>parameter<br>theory | 有機、無機物<br>生化、高分子                   | 高效液體層析<br>High<br>Performance<br>Chromatography<br>離子對層析<br>Ion-pairs<br>超臨界流體層析<br>SFC | 使用微細顆粒<br>的靜相支持物<br>( pellicular<br>packing ) 配置高<br>壓系統以及高<br>壓的式樣注入<br>系統、正確的動<br>相流量控制和<br>連續監控的偵<br>檢器，使用多樣<br>化的管柱的效<br>化分離。 | 液體層析的限<br>制在於液體動<br>相擴散太慢，僅<br>約氣體的千分<br>之一，使用均勻<br>之微顆粒因其<br>具備較短的擴<br>散距離，配置較<br>高的壓力，可以<br>改進液體層析<br>的技術。 | 改善傳統液體層析<br>分離耗時，無法自<br>動化，並整合氣體<br>層析的模型使成為<br>一個的現代液體層<br>析儀器，可應用於<br>多樣化試樣，達到<br>unified separation<br>science | Nobel prize<br>1972 |

## 第二節 層析法理論模型的哲學分析

根據上述的觀點，研究以層析法的理論為主題，按 Loving (1991) 科學理論觀點剖析架構選取孔恩的科學革命，拉卡托斯的研究綱領和勞丹的研究傳統等三個科學知識增長的觀點進行層析理論模型的哲學分析。

### 一、分析的理念和架構

Loving (1991) 提出一個科學理論觀點分佈譜圖的剖析架構。剖析架構橫軸的向度為理論價值的判準，以理性(rational)和自然論(natural)為此向度的兩端，代表理論的思維方式。縱軸為理論的表徵 (representations)，按世界觀觀點的偏向，以實在論(realist)和反實在論 (anti-realistic) 為此向度的兩端，代表理論對知識本體的認定。Loving 以孔恩、亨普爾、巴柏等三個哲學家的哲學觀做為此模型的關鍵定位點(keystone)。剖析架構分成四個象限，整個座標軸相對於孔恩，亨普爾和巴柏三位哲學家的位置來排定。參閱第二章圖2-1-2所示。

剖析架構中的 A 象限屬於自然論的反實在主義 (Natural Anti-realists)，是歷史主義走向，科學社會學家被視為一體，屬於此象限。費耶阿本德為代表性人物之一；B 象限屬於理性反實在主義 (Rational Anti-realists)，是反實在論的走向。勞丹為代表性人物之一；C 象限屬於理性實在主義；(Rational Realists)，是邏輯主義的走向，巴柏為代表性人物之一；D 象限屬於自然論的實在主義 (Natural Realists)，是屬於自然論的走向，Giere 為代表性人物之一，Giere 稱之為建構實在論 (constructive realism)。

由於層析分離的研究肇於物質科學分離技術的「工藝」(artifact)目的，是科學家發明的，層析法屬科學研究方法學，層析理論模型乃由科學研究者建構，因此理論模型的本體本質本研究採取反實在偏向的角度；研究從認知心理學和模型為基礎的推理 (model-based reasoning) (Nersessian, 1999) 的觀點，

模型的認識本質傾向採納規範的自然論。因此研究從 Loving 的科學理論觀點的剖析架構的第 B 象限挑出孔恩，拉卡托斯，勞丹三位代表性的科學哲學家進行層析理論模型的分析。研究分別從孔恩的科學革命、拉卡托斯的研究綱領，勞丹的研究方法等科學觀分析五個層析理論模型的內涵和結構，並比較連續模型間概念的取代和改變。透過釐清連續模型間的關係，呈現層析理論模型發展的本質。

## 二、以拉卡托斯「研究綱領」分析層析法理論模型

拉卡托斯認為以科學理論系列或研究綱領為對象才能正確的理解和說明科學發展的繼承性。理論評估應該針對科學研究綱領的整體，而非以單一理論考察科學進步與否。研究綱領是由一些方法論規則組成，包括消極性誘導法則和積極性誘導法則。消極性誘導法則具體規定綱領的硬核，積極性誘導法則是一組提示和暗示，指導科學家如何改變、發展研究綱領，如何修改或精煉保護帶。研究綱領的進化或退化的客觀標準在於它的經驗內容；也就是能否從經驗事實作出更多預言和解釋判定研究綱領的進化或退化。科學研究綱領的進化分為理論上的進步和經驗上的進步。理論的進步是指後一個理論比前一個理論有較多的經驗內容，可預見一些尚未發現的事實；經驗的進步指理論的預測得到了觀測和實驗的檢驗。若不僅在理論，而且在經驗上也是進步的便是一個成功的研究綱領。不論在理論或經驗的進步，拉卡托斯認為理論系列便構成了進步的問題轉換；問題轉換的進步程度、以系列理論引導的新事實發現程度來衡量。



### (一) 連續模型關係分析

研究將層析理論的整體視為研究綱領，按各層析理論模型的屬性和核心概念列出各模型所具備的硬核、保護帶及方法論規則等如表 4-2-1~4-2-5。

以時間為參考面向，雖然過濾模型和吸附 / 去吸附模型兩個模型分別來自不同地理環境（美國和歐洲），且由於發表研究報告的語言限制，兩個理論模型並沒有在同一個科學社群並列，但是對層析法後續研究者選擇理論模型時兩模型是競爭模型。兩者都以欲分離物質的屬性為思維的中心，過濾模型以分子的大小為核心概念，而吸附 / 去吸附模型則以分子間作用力的競爭為核心概念。由於「分子間的作用力」比「分子的大小」屬較為微觀的物質屬性，且透過分子間作用力的競爭作用可使管柱的填充物和溶劑兩者都能與分離的機制連結，因此吸附 / 去吸附模型對層析法實驗結果能作出更多的解釋。根據層析法科學史，後繼的層析法研究者如 Palmer 和 Lederer 選擇吸附 / 去吸附模型，並成功的分離如牛奶、蛋黃等天然物中的黃色素。根據拉卡托斯觀點，過濾模型處於退化階段。

板理論模型吸納了吸附 / 去吸附模型以分子間作用力的競爭的核心概念，但拋棄吸附作用的概念。這樣的觀念轉換源自 Martin 和 Syngde 以「具流體性質的液體」作靜相的新問題情境。當層析法「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」，兩相間的分配競爭便成為思維的中心。層析法的研究綱領透過「靜相」概念轉變的消極性法則的指引，精煉保護帶保護硬核。例如發展將管柱改為濾紙的濾紙層析和管柱改為薄板的薄層層析等。且由於模型的核心概念是分配作用，分配作用的線性屬性使板理論模型發展成為數學模型。至此，理論模型不但對層析法實驗的結果能作出更多的解釋並有預測的功能，也促使後續氣相層析儀的發明；層析法研究綱領有了理論和經驗上的進步，按拉卡托斯的觀點，構成了進化的問題轉換。

追隨板理論模型的層析法速率理論模型是以隨機進行的分配作用解釋層析分離的機制。由於動相在恆常移動的狀態下兩相間的分配平衡實際上並無法達成，且板理論無法解釋層析波峰變寬的原因；板理論模型處於退化階段。此外，

液相分配式層析法操作實務上也有發展可自動化層析儀器設備的需求。直接將氣體層析儀的理論應用於液相層析的限制在於液體動相的擴散太慢，必須克服這種太慢的擴散，才能改進液相層析法的分離效率。按卡托斯的觀點，研究綱領遭遇到經驗事實反駁時，保護帶會將經驗反駁引向自身；根據層析法科學史，層析法的科學家轉向動力學的研究，透過層析管柱內如擴散作用、兩相間質量轉移等質量傳遞現象的描述，速率理論模型成功地以隨機進行的分配作用解釋層析分離的機制、定量說明層析峰的形狀和諸多影響波峰變寬的變因。速率模型繼承了大部份的板理論模型，例如仍然採用兩相分配的分離機制，影響管柱分離效率的因素則延伸至動力學。速率理論模型也預測自動化液相層析儀器設備配有較短擴散距離的小顆粒靜相和高速度的動相的需要並成功的將理論轉化為實務，發展出高效液體層析儀。顯然的，問題的焦點從「靜相」的本質轉換至「動相」的本質，氣相層析儀到高效液體層析儀；在參與科學家竭盡努力下，層析法的研究綱領持續發展。

1980 年代效化熱力學理論模型取代速率理論模型，效化熱力學模型從相平衡的熱力學觀點，以滯留因素為核心概念，動相和靜相兩相間平衡的熱力學和兩相間質量傳遞的動力學關係說明層析法的分離機制。雖然根據速率理論模型發明的 HPLC 在小分子物質的化學分析上的應用有極佳的效果，但是仍然無法應用於勝、蛋白質等的生物大分子。由於最初的分配式層析使用的靜相為水、氯仿等極性物質，沒有現成、適當的非極性物質作為靜相是層析法應用在生物大分子的主要障礙。顯然，層析法研究問題的焦點又從「動相」的本質回到「靜相」的本質，科學家分別從實務和理論同時精煉研究綱領的保護帶；其中 Kirkland 發展出以化學鍵接有長鏈碳氫化合物矽膠的鍵結相靜相、Horvath 發展逆相液體層析的理論。逆相分配層析理論的成功使 HPLC 以逆相分配的分離技術，透過操弄水溶液或溶劑極性不同的特性提供更廣泛的層析法選擇性的調控。使用水溶液動相的概念使得高效液相層析法的應用更廣。按拉卡托斯的觀點，層析法研究綱領又再度有了理論和經驗上的進步。

## （二）層析法研究綱領的理論評估

綜合上述連續理論模型的分析，可以發現層析法研究綱領進化到一定時期，就會轉入退化階段，例如：當過濾模型無法達到石油成份的完全分離、當板理論模型無法說明層析波峰變寬的原因、當速率模型無法達到大分子物質的分析等時期，舊理論模型就被另一個理論模型取代。

百年來層析法研究綱領歷經多次進步和退化的階段，經驗內容不斷的増加，而且仍然持續的活躍，是一個成功的研究綱領。按拉卡托斯的觀點，研究綱領的硬核是科學活動的理性產物，但從層析的科學史文獻可以發現在一些關鍵的問題情境，科學家的一些選擇：如，同期科學家不能接受 Tswett 層析法分離的想法、歐陸的科學家 Lederer 透過美國 Palmer 的研究文獻使 Tswett 的層析法想法重生、Martin 和 Synge 在遭遇逆流萃取分離技術的困難時，提出改變兩種液體溶劑其中一種的「空間狀態」等都是層析法發展的轉捩點。因此雖然拉卡托斯主張科學研究綱領方法論應該建立在科學史的基礎上，並將科學發展歸結為理性的評價和進步，但就層析理論發展史案例，拉卡托斯的研究綱領似乎忽略了歷史情境下科學家的感性選擇的重要角色。

表 4-2-1 以研究綱領理論分析層析科學史模型(1)

| 科學研究綱領<br>層析 |                                          |                                                                                                                                | 方法論                         |                                            |                                                                                 |
|--------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 模型           | 硬核<br>Hard core                          | 保護帶<br>Protective belt                                                                                                         | 消極性法則<br>negative heuristic | 積極性法則<br>positive heuristic                | 實驗的特點                                                                           |
| 過濾模型         | 1、利用重力使物質通過多孔隙的固體，物質分子大小不同因此穿透能力不同使物質分離。 | 1、石油成分中分子大小不同，因此穿透能力不同。<br>2、原油通過酸性白土管柱，沿管柱的不同位置含比重和沸點不同的石油成分。<br>3、油源距離不同，石油的組成不同；離石油源距離愈近的油井含較高沸點的石油成分，離石油源距離愈遠的油井含較低沸點的石油成分 | 1、重力為分離作用的動力來源              | 1、各種的物質其分子大小不同<br>2、分子大小不同，質量不同，受重力不同，沸點不同 | 1、使用較粗較長的管柱，分離效率較低。<br>2、沒有使用溶劑沖提<br>3、分離出區塊分布的成分<br>4、先有模型才有想法。<br>5、應用於石油化學領域 |



表 4-2-2 以研究綱領理論分析層析科學史模型(2)

| 科學研究綱領<br>層析 |                                                    |                                                                                                                      | 方法論                         |                                                             |                                                                                   |
|--------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 模型           | 硬核<br>Hard core                                    | 保護帶<br>Protective belt                                                                                               | 消極性法則<br>negative heuristic | 積極性法則<br>positive heuristic                                 | 實驗的特點                                                                             |
| 吸附 / 去吸附模型   | 1、吸附和溶解兩種分子間的作用力與物質的極性、結構有關，分子間吸附 / 去吸附作用力的競爭使物質分離 | 1. 葉綠素等天然物與基質形成吸附複合物。<br>2. 極性溶劑可破壞吸附複合物之吸附力。<br>3. 非極性溶劑無法破壞吸附複合物之吸附力，因此非極性溶劑無法直接從植物中萃取有顏色的物質。但物質從植物中被分離後便可溶於非極性溶劑。 | 1、流動的液體溶劑的溶解作用是分離作用的動力來源    | 1、吸附 / 去吸附兩作用力競爭。<br>2、不同物質對液體溶劑溶解度不同。<br>3、不同物質對吸附劑的吸附力不同。 | 1、技巧性的使用不同的吸附劑和溶劑<br>2、完全的分離<br>3、分離的純度受同儕質疑<br>4、植物學領域<br>5、實驗操作需要技巧<br>2、<br>3、 |

表 4-2-3 以研究綱領理論分析層析科學史模型(3)

| 科學研究綱領 |                         |                                             | 方法論                                                                                                   |                                                                   |                                                                  |
|--------|-------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 層析     |                         |                                             |                                                                                                       |                                                                   |                                                                  |
| 模型     | 硬核<br>Hard core         | 保護帶<br>Protective belt                      | 消極性法則<br>negative heuristic                                                                           | 積極性法則<br>positive heuristic                                       | 實驗的特點                                                            |
| 板理論模型  | 1、物質在兩相間分配作用的線性過程使物質分離。 | 1、只要能固定不動，靜相不一定是固相。<br>2、靜相和動相相遇，瞬間達到分配及平衡。 | 1、包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、動相是液體溶劑，是流動系統，是分離作用的動力來源。<br>3、分離作用是連續、動態系統。<br>4、分離後的純物質可以分段收集。<br>5. 靜相可以重複使用。 | 1. 靜相、動相競爭，物質在兩相間達成分配的平衡。<br>2. 不同物質在靜相、動相間的分配不同。<br>3. 溫度影響化學平衡。 | 1 矽膠等吸附劑作為液體靜相的支持物的管柱層析。<br>2 濾紙為液體靜相支持物的平面層析<br>3 使用邊界分析或洗提分別收集 |

表 4-2-4 以研究綱領理論分析層析科學史模型(4)

| 科學研究綱領<br>層析 |                                           |                                                                                                                                                                               | 方法論                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模型           | 硬核<br>Hard core                           | 保護帶<br>Protective belt                                                                                                                                                        | 消極性法則<br>negative heuristic                                                                                                                           | 積極性法則<br>positive heuristic                                                                                                                                    | 實驗的特點                                                                                                                                                   |
| 速率模型<br>R    | 兩相間的分配 / 吸附作用的非線性過程( non-linear process ) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、只要能固定不動，靜相不一定是固相。</li> <li>2、氣體的流體性質優於液體。</li> <li>3、動相的動力性質如流速、擴散速率等影響流動系統的流體性質。</li> <li>4、靜相性質如顆粒大小、堆積的形式等影響流動系統的流體性質。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、包含靜相、動相兩相的系統；氣體和液體是流動系統，可作為分離作用的動力來源。</li> <li>2、分離作用是連續、動態系統。</li> <li>3、兩相間的分配 / 吸附的分配作用是非線性過程。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、靜相、動相競爭，物質在兩相間分配。</li> <li>2、不同物質在靜相、動相間的分配不同。</li> <li>3、靜相和動相相遇，物質在兩相分配，瞬間並不一定達到平衡。</li> <li>4、溫度影響化學平衡。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、使用氣體動相，固體或液體靜相。</li> <li>2、控制分離作用的溫度</li> <li>3、使用堆積式或開管式（毛細管式）管柱<br/>（兩相間之競爭為思維的中心，分子的分布為分離技術的機制。）</li> </ol> |



表 4-2-5 以研究綱領理論分析層析科學史模型(5)

| 科學研究綱領<br>層析 |                 |                                                                                                                                            | 方法論                                                                                        |                                                                                                                                                |                                                                                                      |
|--------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模型           | 硬核<br>Hard core | 保護帶<br>Protective belt                                                                                                                     | 消極性法則<br>negative heuristic                                                                | 積極性法則<br>positive heuristic                                                                                                                    | 實驗的特點                                                                                                |
| 熱力學效<br>化模型  | 1、分子間及界面擴散作用    | 1、只要能固定不動，靜相不<br>一定是固相。<br>2、分離作用的動力來源是動相<br>或外力。<br>3、動相的動力性質如流速、擴<br>散速率等影響流動系統的<br>質量傳遞。<br>4、靜相性質如顆粒大小、堆積<br>的形式、靜相液膜厚度等影<br>響界面的質量傳遞。 | 1、包含靜相、動相兩相的<br>系統。<br>2、分離作用需要動力來<br>源。<br>3、分離作用是連續、動態<br>系統。<br>4、分子間及界面擴散作用<br>是非線性過程。 | 1、靜相、動相競爭，物質在<br>兩相間進行動力分布。<br>2、不同物質分子間作用力及<br>界面擴散作用不同。<br>3、靜相和動相相遇，物質在<br>兩相進行質量傳遞。<br>4、物質在兩相間的分布受質<br>量傳遞影響。<br>5、溫度影響物質在兩相的質<br>量傳遞及平衡。 | 1、藉改變實驗條件可減少峰帶變<br>寬或改變分離成分的相對移動<br>速率，以達到層析分離的最適<br>化<br>(兩相間之競爭為思維的中心，<br>分子的質量傳遞動力學為分離技<br>術的機制。) |

### 三、以孔恩「典範」理論分析層析法理論模型

典範或專業基體是孔恩科學發展觀點的核心概念。專業基體包含符號通則、模型或共同的信念、共有價值和範例四個要素，是常態科學解謎的基礎，是科學社群所共有的；典範是科學生產的工具。孔恩認為科學是透過常態科學時期量的累積和科學革命時期非連續的質的跳躍發展。科學從意見分歧的前科學階段達一致後進入常態科學，常態科學以典範作為專業的基礎，精緻典範直到異例陷典範於危機而產生科學革命。常態科學時期科學家擴展現有實驗和理論的範圍、精度，並使實驗和理論更匹配。科學革命時期科學社群放棄一個舊理論採納另一個不相容的新理論，科學家思考方式也隨之改變。孔恩也指出包含：(一) 理論通則發生整體性的變化，使理論或定義不一致(二) 語義的變化，語詞的對象和情境發生變化(三) 模型、隱喻、類比的根本變化等三種類型的科學革命變化。視層析理論的整體為典範，研究按各層析理論模型的屬性和儀器的形式列出各理論模型所具備的通則、共有的信念及範例等如表 4-2-6~4-2-10。比較相繼模型間是否存在量的累積或質的跳躍，以及面對的異例的反應對理論進行評估。

#### (一) 連續模型間關係分析

層析法發展初期，來自不同地理環境(美國和歐洲)的科學家同時研究層析現象但彼此間的想法並不相同。按孔恩的觀點，前科學時期缺乏統一的典範，因此搜集到的事實雜亂無章，有一些是隨意的實驗和觀察的結果，也包含傳統中難以接受的解釋。根據層析法科學史，過濾模型和吸附/去吸附模型兩個模型發展時期屬於層析法典範的前科學時期。由於沒有典範，Tswett 和 Day 兩個研究者作出全然不同的解釋，但都傾向用特設性(ad hoc)說明或將現象列為進一步的研究對象。兩個模型雖然沒有直接競爭，但由於後續的研究者 Palmer 和 Lederer 等科學家的選擇，吸附/去吸附模型成為層析法公認的典範。層析法也進入常態科學時期。

孔恩認為常態科學是革命的必要條件。常態科學時期，科學家在典範指導下科學迅速發展，但也容易引起新事物或異例出現，導致危機而產生科學革命。根據層析法科學史，Martin 和 Synge 遭遇逆流萃取分離技術困難時，引起「具流體性質的液體」作靜相的問題情境。新的問題情境使科學家將原有層析法「靜相」是指物質「物理狀態」的概念轉變為操作時物質的「空間狀態」的概念。孔恩認為革命需要經過哥式塔轉換，一個世界觀的轉換。因此，Martin 和 Synge 的概念轉變是屬於語義變化的革命性變化；「靜相」術語意義的改變產生層析法分類學的改變。層析法分離的機制從吸附 / 去吸附分子間作用力的競爭變為兩相間的分配作用，兩相間分配作用的板理論模型於是取代吸附 / 去吸附模型，液 - 液層析法和氣 - 液層析法都變為可能。按孔恩的觀點，板理論模型取代吸附 / 去吸附模型成為層析法理論新典範是科學革命。在新典範的指導下，層析法理論的發展再度進入常態科學時期。由於分配作用的線性屬性，使板理論模型發展成為數學模型。板理論模型新典範使科學家對層析法實驗的結果能作出更多的解釋並有預測的功能，也促使氣相層析儀的發明。1952 年諾貝爾化學獎頒給 Martin 和 Synge。

以板理論模型為層析法典範的常態科學時期，有一些科學家致力於液 - 液層析法的研究。由於動相在恆常移動的狀態下兩相間的分配平衡實際上並無法達成，且板理論也無法解釋層析波峰變寬的原因。另一方面液相層析法操作實務上也有發展自動化儀器設備的需求，直接將現有氣體層析儀的理論應用於液相層析的限制在於液體動相的擴散太慢，必須克服這種太慢的擴散，才能改進液相層析法的分離效率。按孔恩的觀點，常態科學時期的科學活動是一種累積性的事業，典範也愈精確。當科學社群希望提高液相層析法的分離效率和分離時間時，板理論模型典範將研究問題從「靜相」的本質轉換至「動相」的本質，科學家聚焦於「動相的流速」的關鍵性概念並轉向動力學的研究。透過層析管柱內擴散作用、兩相間質量轉移等質量傳遞現象的描述，速率理論模型成功地以隨機進行的分配作用解釋分離的機制、定量說明層析峰形狀和諸多影響波峰變寬的變因。速率理

論模型仍然採用兩相分配的機制解釋層析分離，影響管柱分離效率的因素則延伸至動力學。因此，速率模型繼承了大部份的板理論模型的內涵並取代板理論模型。速率理論模型並成功的將理論轉化為實務，發展出高效液體層析儀。層析法的分離操作模式也由氣相層析儀擴展到高效液體層析儀。

雖然根據速率理論模型發明的 HPLC 在小分子物質的化學分析上的應用有極佳的效果，但是仍然無法應用於胜?、蛋白質等的生物大分子。由於最初的分配式層析使用的靜相為水、氯仿等極性物質，沒有現成、適當的非極性物質作為靜相是層析法應用在生物大分子的主要障礙。顯然，層析法研究問題的焦點又從「動相」的本質回到「靜相」的本質，科學家分別從實務和理論精緻典範，其中 Kirkland 發展出以化學鍵接有長鏈碳氫化合物矽膠的鍵結相靜相、Horvath 發展逆相液體層析的理論。逆相分配層析理論的成功使 HPLC 以逆相分配的分離技術，操弄水溶液或溶劑極性不同的特性提供更廣泛的層析法選擇性的調控。使用水溶液動相的概念使得高效液相層析法的應用更廣。按拉卡托斯的觀點，層析法研究綱領又再度有了理論和經驗上的進步。

## (二) 層析法典範發展模式

根據上述連續理論模型的分析，可以發現當層析法典範進入常態科學時期，就有許多新的操作模式或新儀器被發明出來、且層析法應用範圍也更為廣泛。例如：吸附 / 去吸附理論模型典範時期成功的分離奶油、蛋黃等有顏色的天然物，板理論模型典範時期發明濾紙層析法 (paper chromatography)、薄層層析法 (TLC)、氣相層析儀 (GC)、離子交換層析 (ion-exchange chromatography) 和大小排除層析 (GPC)，速率理論模型典範時期發明高效液體層析儀，效化熱力學層析法模型典範時期發明鍵結相 (bonded-phase) 靜相並發展逆相分配式層析技術及超臨界流體層析。百年來層析法典範歷經四次常態科學階段和一次的科學革命，有關層析的知識不斷的增加，層析分離系統也而且仍然持續的活躍，是一個成功的研究典範。按孔恩的觀點，科學發展是透過常態科學時期量的累積和科

學革命時期非連續的質的跳躍發展。從層析的科學史文獻也可以發現在一些關鍵的問題情境，科學家的一些選擇：如，同期科學家不能接受 Tswett 層析法分離的想法、歐陸的科學家 Lederer 透過美國 Palmer 的研究文獻使 Tswett 的層析法想法重生、Martin 和 Synge 在遭遇逆流萃取分離技術的困難時，提出改變兩種液體溶劑其中一種的「空間狀態」等都是層析法發展的轉捩點。雖然孔恩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，但從孔恩典範的觀點則可能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，這些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，層析法理論發展似乎無法完全歸結於孔恩典範的發展模式。層析法典範發展模式如下：

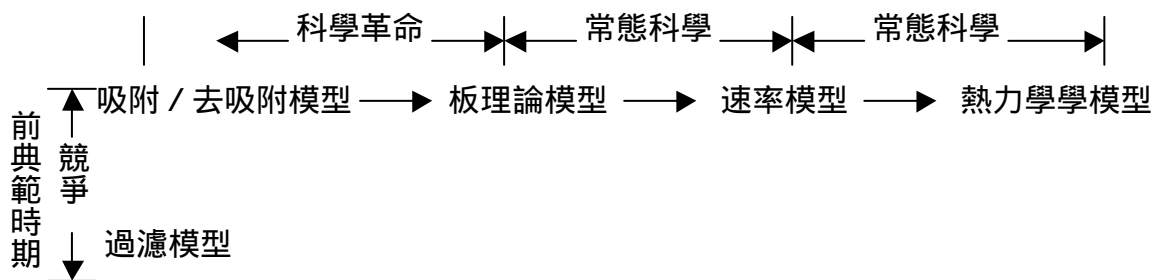


表 4-2-6 以典範理論分析層析科學史模型(1)

| 學科基體 (或典範)(disciplinary matrix or paradigm) |                                                    |                              |                                                                                                          | 理論評估的判準                      |      |    |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------|----|
| 層析                                          |                                                    |                              |                                                                                                          |                              |      |    |
| 模型                                          | 通則<br>(共有的價值)                                      | 模型<br>(共同的信念)                | 範例                                                                                                       | 量的累積                         | 質的改變 | 異例 |
| 過濾模型                                        | 1、各種物質其分子大小不同，且質量不同，沸點不同，所受的重力不同。<br>2、分離作用的需要動力來源 | 1、粒子模型。<br>2、過濾作用是利用重力和孔隙的大小 | 1、與石油源距離不同，石油的組成不同；離石油源距離愈近的油井含較高沸點的石油成分，離石油源距離愈遠的油井含較多較低沸點的石油成分。<br>2、原油通過酸性白土管柱，沿管柱的不同位置含比重和沸點不同的石油成分。 | 液體物質本身的流體性質可作為分離作用所需要的動力力來源。 |      |    |

表 4-2-7 以典範理論分析層析科學史模型(2)

| 學科基體 (或典範)(disciplinary matrix or paradigm) |                                        |                  |                                                                                                                          | 理論評估的判準                             |                                                                   |            |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 層析                                          |                                        |                  |                                                                                                                          |                                     |                                                                   |            |
| 模型                                          | 通則<br>(共有的價值)                          | 模型<br>(共同的信念)    | 範例                                                                                                                       | 量的累積                                | 質的改變                                                              | 異例         |
| 吸附 / 去<br>吸附模型                              | 1、不同物質對液體溶劑溶解度不同。<br>2、不同物質對吸附劑的吸附力不同。 | 1、吸附 / 去吸附兩作用競爭。 | 1、天然物中的各組成成分與植物的基質形成吸附複合物。<br>2、極性溶劑可破壞吸附複合物之吸附力。因此極性溶劑可直接從植物中萃取有顏色的物質。<br>3、非極性溶劑無法破壞吸附複合物之吸附力，因此非極性溶劑無法直接從植物中萃取有顏色的物質。 | 利用外來的液體溶劑使物質變成流體狀態，以形成分離作用所需要的動力來源。 | 1、分離與純化是相同的步驟。(分離後不需要如再結晶等純化操作)<br>2、分離是達成各成分完全分離而非僅是分離出其中的某單一成分。 | 分離物質的純度受質疑 |

表 4-2-8 以典範理論分析層析科學史模型(3)

| 學科基體 (或典範)(disciplinary matrix or paradigm) |                                                                                               |                                       |                                                                                               | 理論評估的判準                                                                |                                                                                                      |            |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 層析                                          |                                                                                               |                                       |                                                                                               |                                                                        |                                                                                                      |            |
| 模型                                          | 通則<br>(共有的價值)                                                                                 | 模型<br>(共同的信念)                         | 範例                                                                                            | 量的累積                                                                   | 質的改變                                                                                                 | 異例         |
| 板理論模型                                       | 1、 分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、 分離作用是連續、動態系統。<br>3、 動相是液體溶劑，是流動系統，是分離作用的動力來源。<br>4、 分離作用是線性的程序。 | 1、 靜相、動相間分離物質的分配競爭。<br>2、 兩相間的分配達到平衡。 | 1、 矽膠等作為液體靜相的固體支持物，液體溶劑作動相的管柱層析。<br>2、 以濾紙作為液體靜相的固體支持物，液體溶劑作動相的平面層析。<br>3 沖提的分離操作。( elution ) | 1、 分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、 作為動力來源的液體溶劑在整個分離過程可以是連續的狀態。<br>(沖提或邊界分析) | 1、 靜相不受限為固體狀態之物質，使用液體靜相或固體靜相。<br>2、 使用不同固體支持物使液體靜相固定。<br>3、 沖提式靜相管柱可重複使用<br>4、 定性和某些範圍內的定量預測物質的滯留性質。 | 難以應用於揮發性物質 |



表 4-2-9 以典範理論分析層析科學史模型(4)

| 學科基體 (或典範)(disciplinary matrix or paradigm)<br>層析 |                                                                                          |                                              |                    | 理論評估的判準                     |                |                           |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|
| 模型                                                | 通則<br>(共有的價值)                                                                            | 模型<br>(共同的信念)                                | 範例                 | 量的累積                        | 質的改變           | 異例                        |
| 速率模型<br>Rate theory<br>model                      | 1、分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、分離作用是連續、動態系統。<br>3、動相必需是流動系統，並作為分離作用的動力來源。<br>4、分離作用是非線性的程序。 | 1、分離物質在靜相、動相間競爭分布。<br>2、兩相間的分配 / 吸附作用的非線性模型。 | 1、氣相層析<br>2、胺基酸分析儀 | 1、氣體的流體性質優於液體，可作為分離作用的動力來源。 | 1、定量預測物質的滯留性質。 | 分離的峰帶變寬 (band broadening) |

表 4-2-10 以典範理論分析層析科學史模型(5)

| 學科基體 (或典範)(disciplinary matrix or paradigm)<br>層析 |                                                                                           |                       |                                              | 理論評估的判準                                                                                           |                                                          |    |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----|
| 模型                                                | 通則<br>(共有的價值)                                                                             | 模型<br>(共同的信念)         | 範例                                           | 量的累積                                                                                              | 質的改變                                                     | 異例 |
| 熱力學效化<br>模型                                       | 1、分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、分離作用是連續、動態系統。<br>3、分離作用的動力來源是動相或外力。<br>4、靜相和動相相遇，物質在兩相進行質量傳遞。 | 1、 粒子模型。<br>2、 界面擴散作用 | 1、 高效液相層析<br>2、 凝膠層析<br>3、 超臨界流體層析<br>4、 電層析 | 1、 分離作用的動力來源是動相或外力。<br>2、 靜相液膜厚度影響界面的質量傳遞。<br>3、 定量預測物質的滯留性質。<br>4、 多樣化的鍵結相 (bonded-phase) 靜相的使用。 | 1、層析分離效率提高<br>2、藉改變實驗條件可減少峰帶變寬或改變分離成分的相對移動速率，以達到層析分離的最適化 |    |

#### 四、以勞丹「研究傳統」分析層析法理論模型

勞丹認為每個領域都有一個系列理論，稱為研究傳統。構成研究傳統的個別理論有經驗證據且可以正確的預測該領域的一些現象；研究傳統則是概括性的，不能對特定的現象有詳盡的說明，因此既非解釋的也不是直接可測試的。研究傳統的功能是提供解決經驗性問題和概念性問題的工具。研究傳統建立方法論並設定研究元素的類型。研究傳統是可以通約的，連續性的主要因素是經驗問題，共有的經驗問題建立前後相繼研究傳統之間的重要關聯，但科學進步不是把舊理論完全包括在新理論中所以是非累積的。勞丹認為新理論修正或取代舊理論，只要後起者比先在者能更有效用的解決問題時就是進步的。

##### (一) 連續模型關係分析

研究將前述科學史之五個系列模型視為層析法研究傳統，按各層析理論模型的屬性和儀器的形式列出各階段模型的特殊理論、認識論和方法論規則等如表 4-2-11 4-2-15。比較相繼模型間解決的經驗性問題和概念性問題進行理論模型分析。

出現在同一時期的過濾模型和吸附 / 去吸附模型兩個模型分別來自不同地理環境（美國和歐洲），兩者都以欲分離物質的屬性為思維的中心。勞丹認為特定理論是研究傳統的案例，是有可能同時出現。且當出現一群競爭理論時科學家會選擇解決問題具有最大適當性的理論，是理性的選擇。根據勞丹的觀點，接受理論是建立在解決問題的「進步」。由層析法科學史，後繼的層析法研究者如 Palmer 和 Lederer 利用 Tsweet 的操作模式成功的分離如牛奶、蛋黃等天然物中的黃色素。顯然的吸附 / 去吸附模型理論擴大層析法分離的應用成為被接受的理論模型。

勞丹認為概念性問題是指經由某些理論所展現的問題，當理論出現了某些內在不一致時，或理論分析的範疇模糊不清時就出現了內在概念性問題。根據

層析法科學史，Martin 和 Synge 遭遇逆流萃取分離技術困難時，引起「具流體性質的液體」作靜相的問題情境。為解決這個概念性問題，科學家將原有層析法「靜相」是指物質「物理狀態」的概念轉變為操作時物質的「空間狀態」的概念。勞丹認為科學理論是解決問題，且問題能為同範疇的理論所解決，否則就不被視為問題。因此，以兩相分配為分離機制的板理論模型取代了吸附 / 去吸附模型。板理論模型吸納了吸附 / 去吸附模型以分子間作用力的競爭的核心概念，但拋棄吸附作用的概念。兩相間的分配便成為層析研究傳統的特殊理論。

因此，層析法的研究傳統指引板理論模型解決問題。例如發展將管柱改為濾紙的濾紙層析和管柱改為薄板的薄層層析等。且由於分配作用的線性屬性使板理論模型發展成為數學模型。至此，理論模型不但對層析法經驗問題能作出更多的解釋並有預測的功能，也促使氣相層析儀的發明；層析法研究傳統有了概念和經驗上的進步。

由於動相在恆常移動的狀態下兩相間的分配平衡實際上並無法達成，且板理論無法解釋層析波峰變寬的原因（概念性問題）。此外，液相分配式層析法操作實務上也有發展可自動化層析儀器設備的需求。直接將氣體層析儀的理論應用於液相層析的限制在於液體動相的擴散太慢，必須克服這種太慢的擴散，才能改進液相層析法的分離效率（經驗性問題）。這個階段，層析法研究傳統又出現未解決問題。根據層析法科學史，層析法的科學家轉向動力學的研究，透過層析管柱內如擴散作用、兩相間質量轉移等質量傳遞現象的描述，速率理論模型成功地以隨機進行的分配作用解釋層析分離的機制、定量說明層析峰的形狀和諸多影響波峰變寬的變因。速率模型解決了概念性問題。速率模型繼承了大部份的板理論模型，例如仍然採用兩相分配的分離機制，影響管柱分離效率的因素則延伸至動力學。速率理論模型也預測自動化液相層析儀器設備配有較短擴散距離的小顆粒靜相和高速度的動相的需要並成功的將理論轉化為實務，發展出高效液體層析儀，解決了經驗性問題。顯然的，在參與科學家竭盡努力下，層析法的研究傳統持續進步。

1980 年代雖然根據速率理論模型發明的 HPLC 在小分子物質的化學分析上的應用有極佳的效果，但是仍然無法應用於勝、蛋白質等的生物大分子。由於最初的分配式層析使用的靜相為水、氯仿等極性物質，沒有現成、適當的非極性物質作為靜相是層析法應用在生物大分子的主要障礙。層析法研究傳統有了問題，問題的焦點從「動相」的本質回到「靜相」的本質，科學家修正理論並解決經驗性問題；其中 Kirkland 發展出以化學鍵接有長鏈碳氫化合物矽膠的鍵結相靜相、Horvath 發展逆相液體層析的理論。逆相分配層析理論的成功使 HPLC 以逆相分配的分離技術，透過操弄水溶液或溶劑極性不同的特性提供更廣泛的層析法選擇性的調控。使用水溶液動相的概念使得高效液相層析法的應用更廣。按勞丹的觀點，層析法研究傳統有經驗上的進步。效化熱力學理論模型取代速率理論模型，效化熱力學模型從相平衡的熱力學觀點，以滯留因素為核心概念，動相和靜相兩相間平衡的熱力學和兩相間質量傳遞的動力學關係說明層析法的分離機制。

## （二）層析法研究綱領的理論評估

綜合上述連續理論模型的分析，可以發現百年來層析法研究傳統發展歷程透過解決一些概念性問題和經驗性問題而發展，例如：過濾模型無法達到石油成份的完全分離、板理論模型無法說明層析波峰變寬的原因、速率模型無法達到大分子物質的分析等問題都能被後續取代的理論模型找到了適當的答案。根據勞丹研究傳統的科學發展觀點，舊理論模型出現待解決問題時，就可能被另一個理論模型取代；且若新理論模型解決問題的程度比舊理論模型大，則新理論模型便取代舊理論模型。根據科學史，至今層析法研究傳統仍然持續活躍，解決物質分離的許多問題。

綜合而言，拉卡托斯的研究綱領忽略了歷史情境下科學家關鍵選擇的重要角色。孔恩典範理論的科學發現的心理學觀點雖然可以解釋層析法發展史中

學家的關鍵抉擇，但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產生的效果對科學理論發展的影響。層析法科學史的資料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，這些聯繫使層析理論具有較大的解釋一致性。勞丹研究傳統的觀點以解決問題的取向解釋科學發展，認為出現待解決問題時，舊理論可能被另一個理論模型取代。這樣的觀點呼應了層析法科學史發展過程經歷解決了靜相和動相的諸多限制等的事實，且層析法迄今仍然持續發展。因此，本研究認為層析法的發展並非完全累積的，而是聯合、分化和改變的演化歷程，較符合勞丹的觀點，其過程是理性的選擇和演化。

表 4-2-11 以研究傳統理論分析層析科學史模型(1)

| 研究傳統（研究的元項和過程的一般假設）<br>層析 |                                                                                                              |                                                                                                          | 理論的評估標準                                                                                                                                                          |          |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 模型<br>models              | 特殊理論<br>（實體和過程的信念）                                                                                           | 認識論和方法論準則                                                                                                | 解決之經驗性問題                                                                                                                                                         | 解決之概念性問題 |
| 過濾模型                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、過濾作用是利用重力和孔隙的大小</li> <li>2、物質分子大小不同、質量不同、因此沸點不同、所受的重力不同。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用必需有動力來源</li> <li>2、物質由分子構成</li> <li>3、各種物質分子大小不同</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、與石油源距離不同，石油的組成不同；離石油源距離愈近的油井含較高沸點的石油成分，離石油源距離愈遠的油井含較多較低沸點的石油成分。</li> <li>2、原油通過酸性白土管柱，沿管柱的不同位置含比重和沸點不同的石油成分。</li> </ol> |          |

表 4-2-12 以研究傳統理論分析層析科學史模型(2)

| 研究傳統（研究的元項和過程的一般假設）<br>層析 |                                    |                                                                  | 理論的評估標準                                                                                              |                                                            |
|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 模型<br>models              | 特殊理論<br>（實體和過程的信念）                 | 認識論和方法論準則                                                        | 解決之經驗性問題                                                                                             | 解決之概念性問題                                                   |
| 吸附 / 去吸附<br>模型            | 1、極性溶劑有去吸附作用。<br>2、 吸附 / 去吸附兩作用競爭。 | 1、液體溶劑是流動系統，是分離作用的動力來源<br>2、不同物質對液體溶劑溶解度不同。<br>3、不同物質對吸附劑的吸附力不同。 | 1、極性溶劑對吸附複合物有去吸附作用，才能萃取葉綠素，故葉綠素從植物中被分離後則很容易溶於非極性溶劑。<br>2、非極性溶劑無法破壞吸附複合物之吸附力，因此非極性溶劑無法直接從植物中萃取有顏色的物質。 | 1、分離與純化是相同的步驟。（分離後不需要純化操作）<br>2、分離是達成各成分完全分離而非僅是分離出其中的某單一成 |



表 4-2-13 以研究傳統理論分析層析科學史模型(3)

| 研究傳統（研究的元項和過程的一般假設）<br>層析 |                                                             |                                                                                       | 理論的評估標準                                                                      |                                                                                |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 模型<br>models              | 特殊理論<br>（實體和過程的信念）                                          | 認識論和方法論準則                                                                             | 解決之經驗性問題                                                                     | 解決之概念性問題                                                                       |
| 板理論模型                     | 1、分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。<br>2、分離物在靜相、動相間分配競爭。<br>3、兩相間分配達到平衡。 | 1、分離作用是連續、動態系統。<br>2、動相是液體溶劑，是流動系統，是分離作用的動力來源。<br>3、只要能固定不動，靜相不一定是固相。<br>3、分離作用是線性的過程 | 1、作為動力來源的液體溶劑在整個分離過程可以是連續的狀態。（沖提或邊界分析）<br>2、沖提式靜相管柱可重複使用<br>3、分離後的純物質可以分段收集。 | 1、靜相不受限為固體狀態之物質，使用液體靜相或固體靜相。<br>2 使用不同固體支持物使液體靜相固定。<br>3、定性和某些範圍內的定量預測物質的滯留性質。 |

表 4-2-14 以研究傳統理論分析層析科學史模型(4)

| 研究傳統 (研究的元項和過程的一般假設) |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                           | 理論的評估標準                                                              |                                                                  |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 層析                   |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                           |                                                                      |                                                                  |
| 模型<br>models         | 特殊理論<br>(實體和過程的信念)                                                                                                                                         | 認識論和方法論準則                                                                                                                                                                                 | 解決之經驗性問題                                                             | 解決之概念性問題                                                         |
| 速率模型                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。</li> <li>2、分離物在靜相、動相相間競爭分布。</li> <li>3、氣體的流體性質優於液體。</li> <li>4、兩相間的分配 / 吸附作用是非線性。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用是連續、動態系統。</li> <li>2、液體溶劑和氣體，是流動系統，可作為動相，是分離作用的動力來源。</li> <li>3、動力性質如流速、擴散速率等影響流動系統的流體性質。</li> <li>4、靜相性質如顆粒大小、堆積的形式等影響流動系統的流體性質。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、氣相層析可應用於揮發性物質分離。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、定量預測物質的滯留性質。</li> </ol> |

表 4-2-15 以研究傳統理論分析層析科學史模型(5)

| 研究傳統 (研究的元項和過程的一般假設) |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                               | 理論的評估標準                                                                                                                                                                                    |                                                |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 層析                   |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                            |                                                |
| 模型<br>models         | 特殊理論<br>(實體和過程的信念)                                                                                                                                                      | 認識論和方法論準則                                                                                                                                                                                                     | 解決之經驗性問題                                                                                                                                                                                   | 解決之概念性問題                                       |
| 熱力學效化模型              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用必須是包含靜相、動相兩相的系統。</li> <li>2、分離作用是連續、動態系統。</li> <li>3、靜相和動相相遇，物質在兩相進行質量傳遞。</li> <li>4、分離物在靜相、動相相間質量傳遞是分子間及界面擴散作用</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用是連續、動態系統。</li> <li>2、分離作用的動力來源是動相或外力。</li> <li>3、動力性質如流速、擴散速率等影響流動系統的流體性質。</li> <li>4、靜相性質如顆粒大小、堆積的形式、靜相液膜厚度等影響界面的質量傳遞。</li> <li>5、溫度影響物質在兩相的質量傳遞及平衡。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、分離作用的動力來源可以是多樣化的外力。</li> <li>2、靜相液膜厚度影響界面的質量傳遞。</li> <li>3、定量的預測物質的滯留性質。</li> <li>4、多樣化的鍵結相 (bonded-phase) 靜相的使用。</li> <li>5、層析分離效率提高。</li> </ol> | <p>改變實驗條件可減少峰帶變寬或改變分離成分的相對移動速率，以達到層析分離的最適化</p> |

### 第三節 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

研究以「學生模型表徵問卷」中有關模型本質的項目共二十七題，由兩位科學教育專家就分析架構兩向度的屬性，選取問題作為模型表徵類別判準，將學生的模型表徵分類。配合研究所提出的模型表徵類架構，題目區分為「實體作為空間參照之表徵」、「構念作為空間參照或理論之表徵」和「實體或構念作為理論之表徵」等三類（參見第三章第四節研究工具）。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。

第一類型屬實體模型作為空間參照的表徵的問題，共有 4 題。學生對這類問題的答案有一致性（95% 以上同意），因此排除此四題，不予計分。第二類型的問題屬構念作為空間參照或理論之表徵的項目，共 8 題；由於研究以利開氏量表回答「非常同意」和「同意」者每題分別給 5 分和 4 分，因此第二類題目得分 32（ $4 \times 8 = 32$ ）分以上（含）為高分組，得分 32 分以下為低分組。高分、低分組再分別以第三類問題各再分成兩組。第三類型屬實體或構念作為理論之表徵的項目，共 15 題，由於學生已經分成高低分兩組，因此第三類題目得分 53 分以上（ $3.5 \times 15 = 53$ ）（含）為高分組，53 分以下為低分組。

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%。表 4-3-1 與圖 4-3-1 為分組結果。

這個結果與 Grosslight (1991)認為大部分學生模型表徵特有「素樸的實在論」的認識觀點可說是一致的。由於 Grosslight 將學生對模型的認識分為三個層級，與本研究的分析架構並不相同，兩研究結果的類別不能直接對應，但是研究基本上都是從認識論的觀點，對學生模型的想法分類，Grosslight 關注認知發展和模型認識的關係，本研究則聚焦在學生模型表徵的形式，因此兩研

究結果在某些方面是可以互相比較。Grosslight 研究指出的學生第二層級可對應至本研究的「實體 - 理論」模型表徵組的學生。

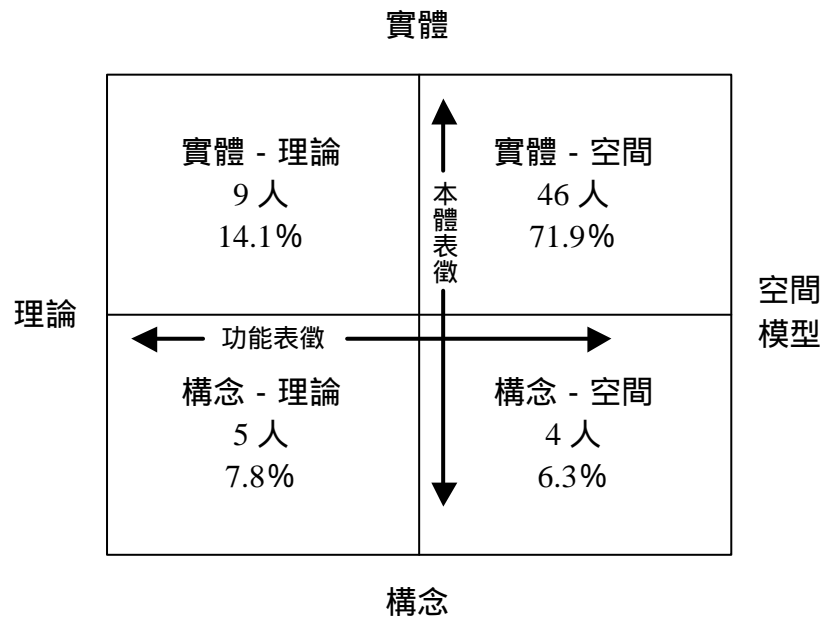


圖 4-3-1 受試學生模型表徵類別分組結果

表 4-3-1 各種模型表徵類別之受試學生人數與百分比

| 表徵類別    | 人數 | 百分比   |
|---------|----|-------|
| 構念 - 理論 | 5  | 7.8%  |
| 構念 - 空間 | 4  | 6.3%  |
| 實體 - 理論 | 9  | 14.1% |
| 實體 - 空間 | 46 | 71.9% |

## 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

### (一) 各組學生之學習成就分析

研究以學生層析概念後測的成績為學生層析單元之學習成就，針對不同模型表徵類別各組學生作描述統計。表 4-3-2 顯示「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(平均分數為 82.0)，「實體 - 空間」組最低(平均分數為 56.7)。因此若以研究模型表徵類別對應到 Grosslight 模型認識論的層級，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。

表 4-3-2 不同模型表徵類別學生之學習成就平均分數與標準差

| 表徵類別分組  | 人數 | 平均分數 | 標準差  |
|---------|----|------|------|
| 構念 - 理論 | 5  | 79.6 | 8.6  |
| 構念 - 空間 | 4  | 82.0 | 9.4  |
| 實體 - 理論 | 9  | 68.0 | 14.6 |
| 實體 - 空間 | 46 | 56.7 | 12.4 |
| 總和      | 64 | 61.7 | 14.9 |

研究以學生在層析教學前儀器分析期中考成績為學生之先備能力，將學生分為高、中、低三組學生（參見第三章第一節研究對象）。分析學生先備能力與層析單元學習成就關係。結果顯示，先備能力高分組的受試學生在層析單元之學習成就較高(平均分數為 68.3)，依序為先備能力中等組(平均分數為 64.5)、先備能力低分組(平均分數 52.1)。這個結果似乎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，本研究稍後將利用變異數分析探討學生模型表徵類型與先備能力對學習成就之影響是否達顯著差異。

表 4-3-3 不同化學先備能力學生之學習成就平均分數與標準差

| 先備能力分組 | 人數 | 平均分數 | 標準差  |
|--------|----|------|------|
| 高      | 21 | 68.3 | 13.0 |
| 中      | 22 | 64.5 | 14.7 |
| 低      | 21 | 52.1 | 12.2 |
| 總和     | 64 | 61.7 | 14.9 |

表 4-3-4 不同模型表徵類別學生先備能力之學習成就平均分數與標準差

| 模型表徵類別*先備能力 | 人數 | 平均分數 | 標準差  |
|-------------|----|------|------|
| 構念 - 理論     | 高  | 4    | 78.8 |
|             | 中  | 1    | 83.0 |
|             | 總和 | 5    | 79.6 |
| 構念 - 空間     | 高  | 1    | 92.0 |
|             | 中  | 2    | 81.0 |
|             | 低  | 1    | 74.0 |
|             | 總和 | 4    | 82.0 |
| 實體 - 理論     | 高  | 3    | 73.7 |
|             | 中  | 3    | 76.7 |
|             | 低  | 3    | 53.7 |
|             | 總和 | 9    | 68.0 |
| 實體 - 空間     | 高  | 13   | 62.1 |
|             | 中  | 16   | 58.9 |
|             | 低  | 17   | 50.5 |
|             | 總和 | 46   | 56.7 |

## (二) 受試學生模型表徵類別與先備能力對層析單元學習成就之二因子變異數檢定分析

本研究利用受試學生之模型表徵類別與化學先備能力對層析單元之學習成就進行二因子變異數檢定分析。根據表 4-3-5 的分析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。但是由於受試學生在

模型表徵類別與細格人數不等，且除了「實體 - 空間」組的人數較多以外，其餘三組的人數都太少(4~9 人)，以變異數檢定分析可能造成誤差，因此本研究再利用無母數之 Kruskal Wallis 檢定方法，針對模型表徵類別因子之顯著效果進行交互確認，結果顯示兩種檢定方式結果一致。由於無母數檢定無法進行事後多重比較 (Post Hoc) 分析，因此後續的統計方法仍使用變異數分析。

表 4-3-5 「模型表徵類別」與「化學先備能力」對「層析單元學習成就」之二因子變異數檢定分析

| 變異來源        | df | F<br>(顯著性)         |
|-------------|----|--------------------|
| 模型表徵類別      | 3  | 8.5**<br>(.00)     |
| 先備化學能力      | 2  | 3.7*<br>(.03)      |
| 模型表徵類別*先備能力 | 5  | 0.55<br>(.74)      |
| 誤差          | 53 | 交互作用項誤差均方<br>131.3 |

\*\*  $p < .01$  ; \*  $p < .05$

表 4-3-6 「模型表徵類別」對「單元學習成就」之 Kruskal Wallis 檢定分析

| 自變數    | df | 卡方<br>(顯著性)     |
|--------|----|-----------------|
| 模型表徵類別 | 3  | 21.9**<br>(.00) |

\*\*  $p < .01$

由於二因子變異數檢定分析結果顯示「模型表徵類別」與「化學先備能力」二因子與層析單元之學習成就均有顯著影響但並無顯著交互作用 ( $F = 0.74$ ,  $p = 0.55$ ) ; 因此只需要個別討論兩個因素對層析單元學習成就所產生之影響。



## 1. 受試學生模型表徵類別對層析單元學習成就之影響

表 4-3-7 與表 4-3-8 顯示四組模型表徵類別對於層析單元學習學習成就之事後多重比較結果；持有「實體 - 空間」模型表徵類別的學生(也是絕大多數的受試學生)學習本單元的成效似乎不如其它三種表徵模式的學生。接下來分別根據受試學生對於模型的本體表徵與功能表徵兩項度進行無母數之 Mann-Whitney U 統計檢定以進一步探討模型表徵類別對於層析理論學習之影響。

表 4-3-7 四組模型表徵類別對於層析單元學習成就之事後多重比較分析

| 組別(A)   | 組別(B)   | 平均數差異(A-B)<br>(標準誤) | 顯著性 |
|---------|---------|---------------------|-----|
| 構念 - 空間 | 構念 - 理論 | 2.4 (8.3)           | .99 |
|         | 實體 - 理論 | 14.0 (7.4)          | .35 |
|         | 實體 - 空間 | 25.3* (6.5)         | .04 |
| 構念 - 理論 | 構念 - 空間 | -2.4 (8.3)          | .99 |
|         | 實體 - 理論 | 11.6 (6.9)          | .42 |
|         | 實體 - 空間 | 22.9**(5.8)         | .01 |
| 實體 - 理論 | 構念 - 空間 | -14.0 (7.4)         | .35 |
|         | 構念 - 理論 | -11.6 (6.9)         | .42 |
|         | 實體 - 空間 | 11.3 (4.5)          | .28 |
| 實體 - 空間 | 構念 - 空間 | -25.3* (6.5)        | .04 |
|         | 構念 - 理論 | -22.9**(5.8)        | .01 |
|         | 實體 - 理論 | -11.3 (4.5)         | .28 |

\*\* p< .01 ; \* p<.05

表 4-3-8 四組模型表徵類別學生在層析單元學習成就之顯著差異檢驗結果

| 組別           | 構念 - 空間 | 構念 - 理論 | 實體 - 理論 | 實體 - 空間 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| 學習成就         | 82.0    | 79.6    | 68.0    | 56.7    |
| (標準差)        | (9.4)   | (8.6)   | (14.6)  | (12.4)  |
| 顯著差異<br>檢定結果 |         |         |         |         |

(1) 不同模型本體表徵類別對層析單元學習成就之 Mann-Whitney U 統計檢定

表 4-3-9 與表 4-3-10 的無母數 Mann-Whitney U 統計檢定結果顯示，對模型採構念表徵(模型可以為抽象的概念、符號)受試學生之層析單元學習成就顯著高於採實體表徵(模型必須為一種實體)的受試學生。由於層析單元內所介紹之內容包含許多微觀的概念，所以此一結果似乎反映構念的模型表徵有助於微觀概念的建構。

表 4-3-9 「構念」表徵和「實體」表徵對於「層析單元學習成就」之 Mann-Whitney U 統計檢定結果 - 等級平均數及等級總和

| 檢定變數 | 分組變數     | 個數 | 等級平均數 | 等級總和 |
|------|----------|----|-------|------|
|      | 模型本體表徵類別 |    |       |      |
| 學習成就 | 構念表徵組    | 9  | 56.6  | 509  |
|      | 實體表徵組    | 55 | 28.6  | 1571 |
|      | 總和       | 64 |       |      |

表 4-3-10 不同「模型本體表徵類別」受試學生「層析單元學習成就」之 Mann-Whitney U 統計檢定結果†

| 檢定統計              | 檢定值<br>學習成就 |
|-------------------|-------------|
| Mann-Whitnet U統計量 | 31          |
| Wilcoxon統計量       | 1571        |
| Z檢定               | -4.2**      |
| 漸近顯著性(雙尾)         | .000        |

†分組變數：模型本體表徵類別；\*\*p<0.01

(2) 不同模型功能表徵類別對學習成就之 Mann-Whitney U 統計檢定

表 4-3-11 與表 4-3-12 的無母數 Mann-Whitney U 統計檢定結果顯示，對模型採理論表徵(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。

表 4-3-11 「理論」表徵和「空間」表徵對於「層析單元學習成就」之 Mann-Whitney U 統計檢定結果 - 等級平均數及等級總和

| 檢定變數 | 分組變數     | 個數 | 等級平均數 | 等級總和 |
|------|----------|----|-------|------|
|      | 模型本體表徵類別 |    |       |      |
| 學習成就 | 理論表徵組    | 14 | 45.6  | 639  |
|      | 空間表徵組    | 50 | 28.8  | 1441 |
|      | 總和       | 64 |       |      |

表 4-3-12 不同「模型功能表徵類別」受試學生「層析單元學習成就」之 Mann-Whitney U 統計檢定結果†

| 檢定統計              | 檢定值<br>學習成就 |
|-------------------|-------------|
| Mann-Whitnet U統計量 | 166         |
| Wilcoxon統計量       | 1441        |
| Z檢定               | -3.0**      |
| 漸近顯著性(雙尾)         | .003        |

†分組變數：模型功能表徵類別；\*\* $p < 0.01$

## 2. 受試學生化學先備能力對層析單元學習成就之影響

表 4-3-13 與表 4-3-14 顯示高、中、低三組不同化學先備能力對於層析單元學習成就之事後多重比較結果；高、中化學先備能力的學生學習本單元的成效顯著高於低學先備能力的學生。

表 4-3-13 化學先備能力分組對於層析單元學習成就之事後多重比較分析

| 組別(A) | 組別(B) | 平均數差異(A-B)<br>(標準誤) | 顯著性 |
|-------|-------|---------------------|-----|
| 高     | 中     | 3.9 (3.5)           | .74 |
|       | 低     | 16.2**(3.5)         | .00 |
| 中     | 高     | -3.9 (3.5)          | .74 |
|       | 低     | 12.4* (3.5)         | .01 |
| 低     | 高     | -16.2**(3.5)        | .00 |
|       | 中     | -12.4* (3.5)        | .01 |

\*\*  $p < .01$  ; \*  $p < .05$  (A) : 先備知識分組, (B) : 層析單元學習成就分組

表 4-3-14 高、中、低先備能力學生在層析單元學習成就之顯著差異檢驗結果

| 組別    | 高      | 中      | 低      |
|-------|--------|--------|--------|
| 學習成就  | 68.3   | 64.5   | 52.1   |
| (標準差) | (13.0) | (14.7) | (12.2) |
| 顯著差異  |        |        |        |
| 檢定結果  |        |        |        |

## 第四節 受試學生層析心智模式改變歷程

### 一、教學前受試學生所選擇最適當之層析理論模式

本研究在教學前讓六十四位受試學生選擇自己所認為較適當的層析理論模型，表4-4-1為統計結果，其中以選擇吸附模型人數最多(27人)，佔總人數42.2%。為了解選擇四種模式的人數比例是否有顯著差異，利用卡方檢定確認四種選項之比例是否與隨機亂猜(1/4)之機率有顯著差異；研究結果顯示除選擇吸附模型的學生有顯著差異外，其他各組學生多屬隨機亂猜，表4-4-2為檢定結果。

表 4-4-1 受試學生在教學前所選擇最適當之層析理論模式

| 理論模式             | 人數 | 百分比   |
|------------------|----|-------|
| 兩相分配理論模型(數學模型)   | 16 | 25.0% |
| 隨機兩相分配理論模型(數學模型) | 11 | 17.2% |
| 過濾的理論模型          | 10 | 15.6% |
| 吸附的理論模型          | 27 | 42.2% |
| 總和               | 64 | 100%  |

表 4-4-2 受試學生在教學前選擇適當層析理論模式之卡方檢定

| 理論模式       | 人數 | 期望人數 | 殘差  | 卡方   | 漸近顯著性 | 修正後的漸近顯著性† |
|------------|----|------|-----|------|-------|------------|
| 兩相分配理論模型   | 16 | 16   | 0   | -    | -     | -          |
| 隨機兩相分配理論模型 | 11 | 16   | -5  | 2.1  | .15   | .60        |
| 過濾的理論模型    | 10 | 16   | -6  | 3.0  | .08   | .32        |
| 吸附的理論模型    | 27 | 16   | -11 | 10.1 | .001  | .004**     |

†由於卡方分配整體有差異之顯著性為.01，但無法同時執行各別選項之顯著性，因此本研究分別進行各選項與隨機選擇之顯著卡方檢定後再修正其顯著性機率( $\times 4$ )；

\*\*  $p < .01$ 。

進一步探討不同模型表徵類別受試學生在教學前所選擇之層析模型之差異。圖4-4-1與表4-4-3為不同表徵類別受試者在教學前所選擇各種層析模型之人數與比例，其中除了構念 - 理論組學生選擇機率的兩相分配模型（對應科學史的速率模型）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。利用Kruskal Wallis卡方檢定發現不同類別學生在教學前選擇層析模型之分佈無顯著差異(卡方 = 2.1， $p=.55$ ；見表4-4-4)。

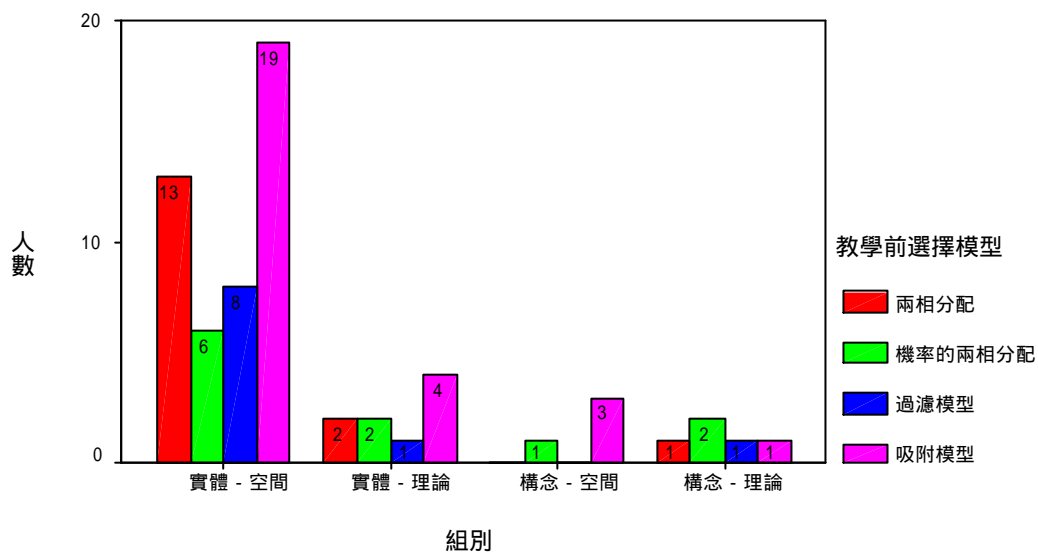


圖 4-4-1 不同模型表徵類別之受試學生在教學前選擇層析理論之人數長條圖

表 4-4-3 不同模型表徵類別之受試學生在教學前選擇層析理論之人數與百分比

| 模型表徵類別*理論模式 |            | 人數 | 百分比   |
|-------------|------------|----|-------|
| 實體 - 空間     | 兩相分配理論模型   | 13 | 28.3% |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 6  | 13.0% |
|             | 過濾的理論模型    | 8  | 17.4% |
|             | 吸附的理論模型    | 19 | 41.3% |
|             | 總和         | 46 |       |
| 實體 - 理論     | 兩相分配理論模型   | 2  | 22.2% |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 2  | 22.2% |
|             | 過濾的理論模型    | 1  | 11.1% |
|             | 吸附的理論模型    | 4  | 44.4% |
|             | 總和         | 9  |       |
| 構念 - 空間     | 兩相分配理論模型   | 0  | -     |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 1  | 25.0% |
|             | 過濾的理論模型    | 0  | -     |
|             | 吸附的理論模型    | 3  | 75.0% |
|             | 總和         | 4  |       |
| 構念 - 理論     | 兩相分配理論模型   | 1  | 20.0% |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 2  | 40.0% |
|             | 過濾的理論模型    | 1  | 20.0% |
|             | 吸附的理論模型    | 1  | 20.0% |
|             | 總和         | 5  |       |



表 4-4-4 「模型表徵類別」對「教學前層析模型選擇」之 Kruskal Wallis 檢定分析

| 自變數    | df | 卡方<br>(顯著性)  |
|--------|----|--------------|
| 模型表徵類別 | 3  | 2.1<br>(.55) |

## 二、教學後受試學生所選擇最適當之層析理論模式

經過六週的教學之後，使六十四位受試學生選擇自己認為較適當的層析理論模型，研究結果如表4-4-5，其中以選擇隨機的兩相分配模型人數最多(41人)，佔總人數64.1%。為進一步了解選擇四種模式的人數比例是否有顯著差異，利用卡方檢定結果(見表4-4-6)顯示，教學後，學生選擇隨機的兩相分配模型顯著較多，而相較於教學前，選擇過濾模型與吸附模型的人數都顯著減少。

表 4-4-5 受試學生在教學後所選擇最適當之層析理論模式

| 理論模式             | 人數 | 百分比   |
|------------------|----|-------|
| 兩相分配理論模型(數學模型)   | 11 | 17.2% |
| 隨機兩相分配理論模型(數學模型) | 41 | 64.1% |
| 過濾的理論模型          | 4  | 6.3%  |
| 吸附的理論模型          | 8  | 12.5% |
| 總和               | 64 | 100%  |

表 4-4-6 受試學生在教學後選擇適當層析理論模式之卡方檢定

| 理論模式       | 人數 | 期望人數             | 殘差  | 卡方   | 漸近顯著性  | 修正後的漸近顯著性 <sup>†</sup> |
|------------|----|------------------|-----|------|--------|------------------------|
| 兩相分配理論模型   | 11 | 16               | -5  | 2.1  | .15    | .60                    |
| 隨機兩相分配理論模型 | 41 | 16               | 25  | 52.1 | .000** | .000**                 |
| 過濾的理論模型    | 4  | 16               | -12 | 12.0 | .001** | .004**                 |
| 吸附的理論模型    | 8  | 27 <sup>††</sup> | -19 | 23.1 | .000** | .000**                 |

<sup>†</sup>由於本研究分別進行各選項與隨機選擇之顯著卡方檢定後再修正其顯著性機率(×4)；

<sup>††</sup>因在教學前只有選擇吸附模型理論人顯著高於隨機期望值(16人)，所以教學後吸附模型以教學前的選擇人數(27人)作為期望值，其餘模型仍以隨機期望值當作檢定值；

\*\* p< .01；\* p< .05。

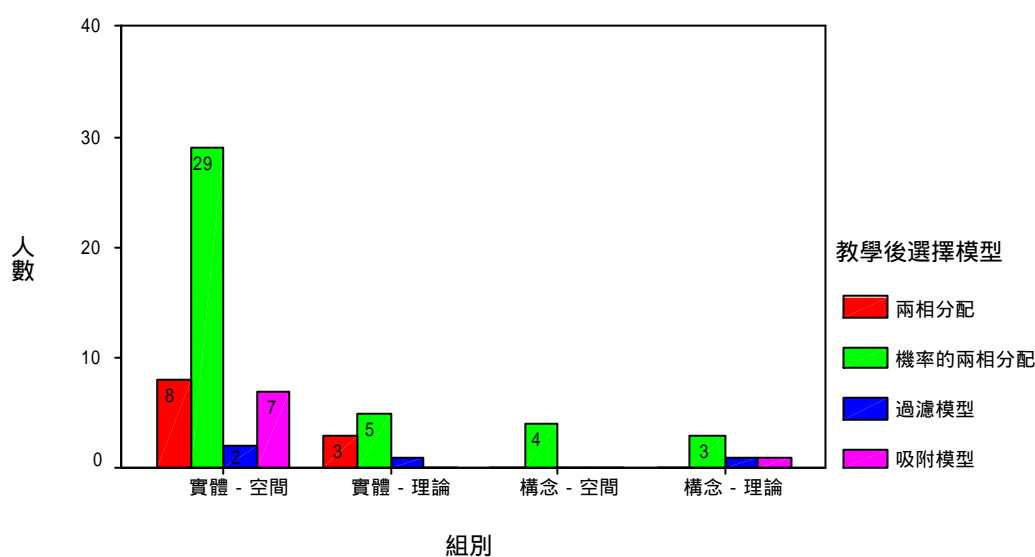


圖 4-4-2 不同模型表徵類別之受試學生在教學後選擇層析理論之人數長條圖

表 4-4-7 不同模型表徵類別之受試學生在教學後選擇層析理論之人數與百分比

| 模型表徵類別*理論模式 |            | 人數 | 百分比    |
|-------------|------------|----|--------|
| 實體 - 空間     | 兩相分配理論模型   | 8  | 17.4%  |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 29 | 60.0%  |
|             | 過濾的理論模型    | 2  | 4.3%   |
|             | 吸附的理論模型    | 7  | 15.2%  |
|             | 總和         | 46 |        |
| 實體 - 理論     | 兩相分配理論模型   | 3  | 33.3%  |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 5  | 55.6%  |
|             | 過濾的理論模型    | 1  | 11.1%  |
|             | 吸附的理論模型    | 0  | -      |
|             | 總和         | 9  |        |
| 構念 - 空間     | 兩相分配理論模型   | 0  | -      |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 4  | 100.0% |
|             | 過濾的理論模型    | 0  | -      |
|             | 吸附的理論模型    | 0  | -      |
|             | 總和         | 4  |        |
| 構念 - 理論     | 兩相分配理論模型   | 0  | -      |
|             | 隨機兩相分配理論模型 | 3  | 60.0%  |
|             | 過濾的理論模型    | 1  | 20.0%  |
|             | 吸附的理論模型    | 1  | 20.0%  |
|             | 總和         | 5  |        |

表 4-4-8 「模型表徵類別」對「教學後層析模型選擇」之 Kruskal Wallis 檢定分析

| 自變數    | df | 卡方<br>(顯著性)  |
|--------|----|--------------|
| 模型表徵類別 | 3  | 3.5<br>(.33) |

進一步探討不同模型表徵類別受試學生在教學後所選擇之層析模型之差異。圖4-4-2與表4-4-7為不同表徵類別受試者在教學後所選擇各種層析模型之人數與比例，可以看出四種不同模型表徵類別的受試者皆以選擇隨機的兩相分配模型比例為最高。再經由Kruskal Wallis卡方檢定發現不同類別學生在教學後選擇層析模型之分佈無顯著差異(卡方 = 3.5 ,  $p=.33$  ; 見表4-4-8)。

### 三、教學後學生認知最適當之層析模型與所應用之心智模式分析

研究者在不同階段(單元教學前、中、後)除了讓受試學生選擇自己所認為最適當的層析模型(認知上的)，研究者也讓受試者解釋一些層析現象的特例，藉以檢視受試者所使用的層析模型(內化的心智模式)，研究結果發現雖然在教學後大多數的學生認為最適當的層析理論模型為隨機的兩相分配模型(41人，64.1%)，但是當他們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%)(見表4-4-9)。表4-4-10為教學後，認知上選擇不同模型為最適當理論之受試學生在解釋層析特例時，所採用不同心智模式之人數與比例，結果顯示除了過濾模型以外，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上所選擇的最適當模型一致性大約都只有一成左右(分別為9.1%、12.2%與12.5%)，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。

進一步以利用Kruskal Wallis卡方檢定發現教學後選擇不同適當層析模型之學生在使用四種心智模式解釋層析特例之比例無顯著差異(卡方=2.2,  $p=.53$ ; 見表4-4-11); 除此之外, 不同模型表徵類別之受試學生在教學後使用不同心智模式解釋層析特例之比例亦無顯著差異(卡方=.70,  $p=.87$ ; 見表4-4-12)。

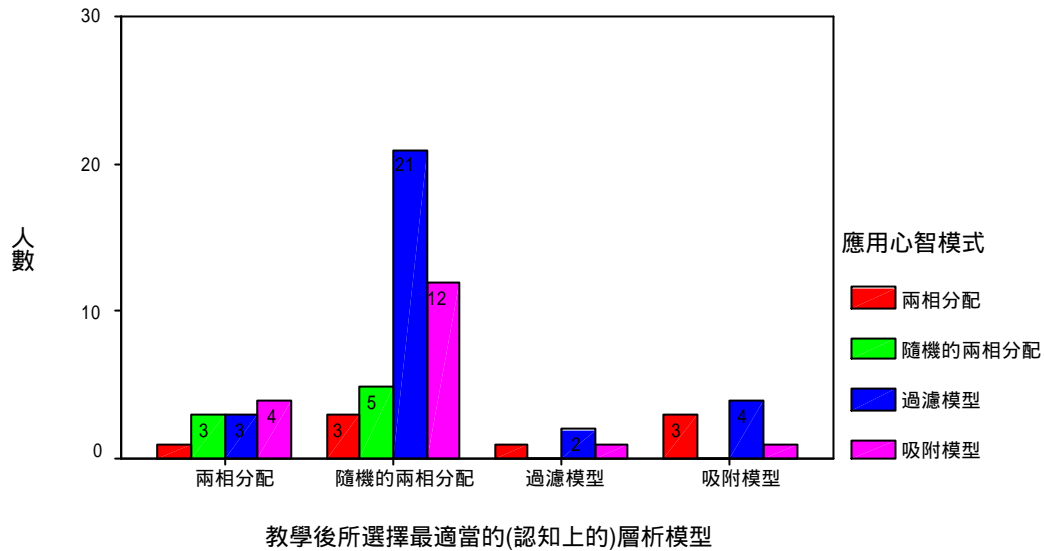


圖 4-4-3 教學後選擇最適當層析理論模型之不同組別學生應用不同心智模式解釋層析特例的人數長條圖

表 4-4-9 受試學生在教學後用以解釋層析特例之心智模式

| 應用心智模式           | 人數 | 百分比   |
|------------------|----|-------|
| 兩相分配理論模型(數學模型)   | 8  | 12.5% |
| 隨機兩相分配理論模型(數學模型) | 8  | 12.5% |
| 過濾的理論模型          | 30 | 46.9% |
| 吸附的理論模型          | 18 | 28.1% |
| 總和               | 64 | 100%  |

表 4-4-10 教學後選擇不同模型為最適當理論之受試學生採用不同心智模式解釋層析特例之人數、比例以及認知與應用之一致性

| 認知上最適當之模型*     | 所應用之心智模式   | 人數 | 百分比   | 認知與應用<br>一致性 |
|----------------|------------|----|-------|--------------|
| 兩相分配理論模型       | 兩相分配理論模型   | 1  | 9.1%  | 9.1%         |
|                | 隨機兩相分配理論模型 | 3  | 27.3% |              |
|                | 過濾的理論模型    | 3  | 27.3% |              |
|                | 吸附的理論模型    | 4  | 36.4% |              |
|                | 總和         | 11 |       |              |
| 隨機兩相分配理論<br>模型 | 兩相分配理論模型   | 3  | 7.3%  |              |
|                | 隨機兩相分配理論模型 | 5  | 12.2% | 12.2%        |
|                | 過濾的理論模型    | 21 | 51.2% |              |
|                | 吸附的理論模型    | 12 | 29.3% |              |
|                | 總和         | 41 |       |              |
| 過濾的理論模型        | 兩相分配理論模型   | 1  | 25.0% |              |
|                | 隨機兩相分配理論模型 | 0  | -     |              |
|                | 過濾的理論模型    | 2  | 50.0% | 50%          |
|                | 吸附的理論模型    | 1  | 25.0% |              |
|                | 總和         | 4  |       |              |
| 吸附的理論模型        | 兩相分配理論模型   | 3  | 37.5% |              |
|                | 隨機兩相分配理論模型 | 0  |       |              |
|                | 過濾的理論模型    | 4  | 50.0% |              |
|                | 吸附的理論模型    | 1  | 12.5% | 12.5%        |
|                | 總和         | 8  |       |              |

表 4-4-11 「教學後最適當層析模型選擇」對「應用心智模式」之 Kruskal Wallis 檢定分析

| 自變數             | df | 卡方<br>(顯著性)  |
|-----------------|----|--------------|
| 認知上最適當<br>之層析模式 | 3  | 2.2<br>(.53) |

表 4-4-12 「模型表徵類別」對「應用心智模式」之 Kruskal Wallis 檢定分析

| 自變數    | df | 卡方<br>(顯著性)   |
|--------|----|---------------|
| 模型表徵類別 | 3  | 0.70<br>(.87) |

