

第參章 研究方法

本研究假設模型化包含本體、認識和認知三個面向，因此研究設計亦以此為主要考量。研究以層析法發展史的內涵為經驗材料，採理性反實在傾向的哲學觀對層析法理論進行理論進程分析。研究也以課程教學進行實證研究；教學模式的形成是整合 Buckley 及 Boulte 和 Johnson, Passmore 及 Stewart 等人的理念，並以科學史提供理論相關的模型作為一部分教學的外現模型。教學時用包含想像、視覺化、類比、範例等不同的教學策略。本研究稱這種教學模式為模型化導向教學模式 (modeling approach teaching)。

本章分別對研究之研究對象、研究流程、研究設計、研究工具的發展和資料分析加以說明。

第一節 研究對象

研究對象是台北某私立技術學院專科部化學工程科五專四年級學生一班共 64 位學生。年齡分布在 19-21 歲，大部分的學生在國中都屬於低學習成就。受試者為研究者任教之班級，因此不是具代表性的樣本。

研究是儀器分析課程的正式教學。所有學生都修習了兩學期的專科化學，有機化學，物理化學和實驗。學生先備知識(如專科化學、有機化學和物理化學等)是在相同的教學環境(老師和教材)中養成。大部分的學生在化學實驗或物理化學實驗課程有濾紙層析的經驗。

研究以層析單元之前儀器分析其他單元的學習成就(期中測驗成績)作為學生化學先備能力之指標。由於受試學生總人數為 64 人，本研究將學生依其期中測驗成績分為高、中、低三組，分組標準與各組人數如表 3-1-1。

表 3-1-1 受試學生化學先備能力分組結果

先備化學能力分組	其中測驗成績	人數	百分比
高	63~90	21	33%
中	44~62	22	34%
低	21~63	21	33%

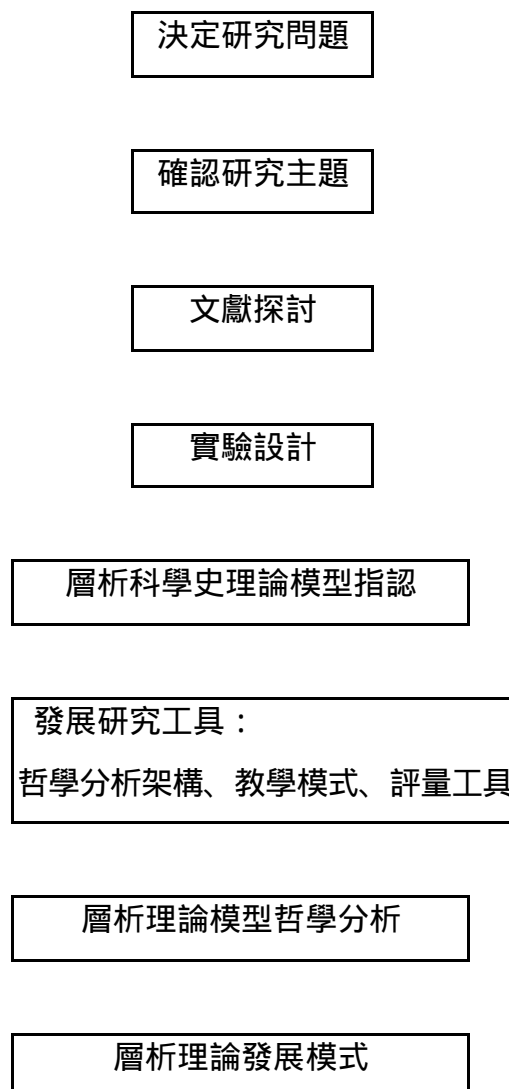
由於研究對象並不具代表性，因此研究結果不能推論至其他樣本。

第二節 研究流程

研究流程分成理論分析和實證研究兩個部份。層析理論模型的理論分析是根據 Justi 和 Gilbert (1999) 的觀點，先透過層析發展史的文獻，確認出五個重要的層析法的理論模型。模型的哲學分析是參照 Loving 科學理論觀點的剖析架構，選取孔恩，拉卡托斯，勞丹三位代表性的科學哲學家的科學哲學觀進行分析。研究透過這樣的分析呈現層析理論發展的本質。

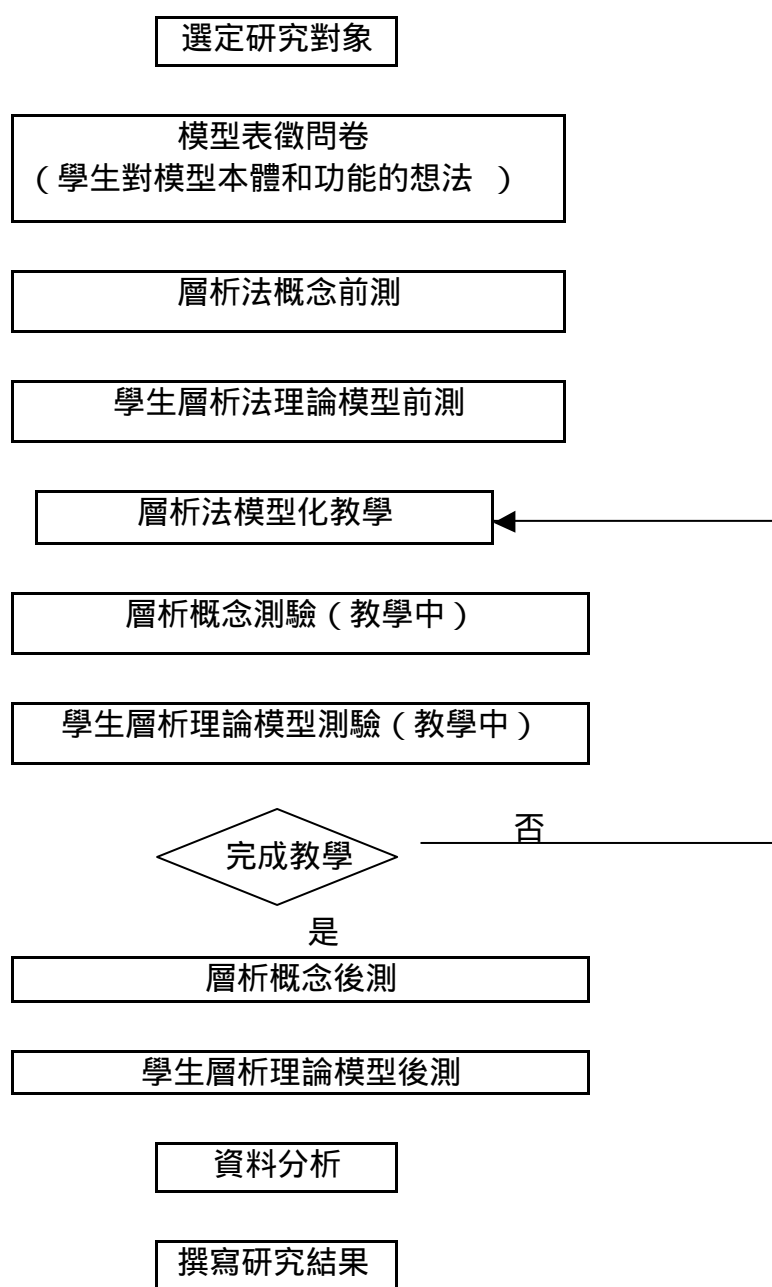
一、層析理論模型分析

層析理論模型分析研究流程如下：



二、模型化導向教學法實證研究

研究的第二部份利用教學進行實證研究。研究以模型為基礎的推理是創造性推理、模型化經驗有助於科學概念的學習，學習者的模型認識論有助於科學概念的整合等文獻探討的結果為理論基礎設計模型化導向教學模式進行教學研究。研究也以 Grosslight 等人（1991）的研究為基礎，設計學生模型表徵類別的分類問卷和分類架構，探討模型化導向教學及學生模型認識論與層析概念理解的關係。模型化導向教學法實證兩部份的研究流程如下：



第三節 研究設計

化學常利用模型呈現一些微觀或複雜的現象幫助概念理解。化學分離的層析法經歷相當長時間的理論發展，層析法發展史應該是相當有吸引力的科學史主題。因此，藉由層析發展史提供相關的理論模型融入教學和教學研究會是有趣的研究。且藉比較層析科學史理論模型發展和學生學習層析理論的概念發展或可獲得概念改變研究的啟示。本研究的脈絡來自科學哲學的相關理論、科學教育的相關研究結果和研究者本身的教學經驗。

研究先從層析法發展史的內涵，文獻及層析新型儀器的出現等素材確認層析法發展史的理論模型。再從 Loving 提出的科學哲學的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理論進行層析理論模型發展的分析。

研究的第三階段則以確認的層析模型融入教材中，進行課程教學的實證研究。利用研究自行發展的工具，探討學生模型表徵類別、學生模型表徵類別和學習成就的相關性並分析教學過程和教學後學生持有的層析法理論模型類別與學生模型類別的關係。

一、科學史層析理論模型確認

以層析法發展史為資料，研究進行層析理論模型的指認。相關的歷史文獻包括 Ettre 等人編輯的『75 Years of Chromatography—A Historical Dialogue.』(1979)、『Preparative liquid chromatography and the Manhattan Project』(1999)、『Chromatography: The separation technique of the 20th century』(2000)，Karger 的『HPLC: Early and Recent Perspectives』(1997) 等史料，以及其他發表於相關期刊的層析科學史資料或參與層析法理論發展的科學家發

表的論文如 Martin 和 Synge 於 1941 發表於 *Biochem. J.* 的研究報告。此外層析法相關專書如 Grob 編著的『*Modern Practice of Gas Chromatography*』(1995)、Mandava 和 Yoichiro 編著的『*Countercurrent chromatography : theory and practice*』(1988), 以及目前大專院校儀器分析和層析法課程採用的教科書的內容都是本研究在進行科學史層析理論模型指認時的參考資料。

從上述有關層析法理論發展的資料中, 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。由於理論模型是對關心現象的重新描述 (re-description), 因此『語言的改變』是科學家建立模型的中心活動 (Sutton, 1992)。語言是符號體系, 具有情境的根源, 又可從情境分離, 語言的分離能力使語言具備客觀的特質 (Berger, Luckman 1985)。研究也參考層析法發展史中特有術語導入的時機, 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) 及活化熱力學等模型。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、 層析法理論模型哲學分析

研究根據 Justi 和 Gilbert (1999) 的觀點, 以層析法理論模型的發展進行科學哲學的分析。層析理論屬科學研究方法學, 理論模型是由科學研究者建構, 因此研究採取反實在和規範的自然論哲學觀進行分析。從 Loving 的剖析架構的第 B 象限挑出孔恩, 拉卡托斯, 勞丹三位科學哲學家的理論進行層析理論模型發展模式的分析。參考第二章圖 2-1-2。

研究分別從孔恩的科學革命、拉卡托斯的研究綱領，勞丹的研究傳統等科學發展觀點分析五個層析理論模型的內涵和歷史背景，比較連續模型間的取代和概念改變，以呈現層析理論模型發展的本質。

三、 模型化層析法教學研究

層析法的分離作用是一種突現性質的隨機程序 (stochastic process)。因此，教學除了應該呈現層析的主要概念和相關概念間的關係給學生外，教學也必須強調分離程序中組成元素（動相、靜相、樣品的成分）的集體行為和組成元素間的交互作用而非個別元素的性質。教學也應提供多元的知識表徵和學生主動建構的機會，使學生透過關聯建立知識結構達到有意義的學習。

（一）課程設計的理念

由於本研究假設模型化包含本體、認識和認知三個面向。就層析法教學的內涵，本體指對物質本質的信念，認識指對模型本質的信念，認知面向則是指建構層析理論模型所需的認知運作。課程設計中，本體部分是以分子大小、吸附、溶解等分子屬性和層析儀的構造、分離應用的範例來呈現物質的本質；認識的面向以科學史的合宜模型、概念發展和理論的演進呈現。而模型化歷程的認知面向則是在課程教學中包含想像、視覺化、類比、數學模型及電腦模擬教學等教學策略。

（二）教學模式

教學模式第一階段為呈現現象。這些現象是層析科學史上前輩科學家創立理論相關的一些現象，希望學生對這些現象產生一些想法。第二階段是誘發概念。誘導學生產生與現象有關的概念和理論。教學介紹吸附、離心、過濾、蒸餾、

萃取等分離方法以引出分離方法的一般特質，並討論一些分離的例子。第三階段進行類比教學。以多次萃取類比層析分離，並強調標的物（層析分離）與類比源（多次萃取）的差異。第四階段是科學的觀點和層析原理數學模型教學。由老師將教科書中的所敘述的現象和概念做正式的教學活動。這個階段分為三次課程：第一次課程說明溶質在靜止相和移動相間的分配的分離現象，使分配係數（partition coefficient）與滯留時間相關連，並討論沖提式層析（elution chromatography）和理論板數（theoretical plate）的概念。第二次課程講授討論解析度（resolution），速率理論（rate theory）及凡狄姆特方程式（van Deemter equation）。第三次課程講授討論層析分離的最適化，操作條件對分析物在動相和靜止相兩相間的微差遷移（differential migration）的影響及以波峰變寬的限制。使學生從數學模型的觀點瞭解層析分離的概念。第五階段為層析範例教學。介紹氣相層析儀構造和離子交換層析分離過渡元素的範例等層析分離的實務。第六階段為電腦模擬教學。以圖像化的層析電腦模擬軟體進行教學。使用美國麻州大學（University of Massachusetts Amherst）發展的互動式多媒體電腦輔助軟體 - Chemland Interactive Analytical Chemistry : Liquid Chromatography (Spaziani, Fermann & Vining, 1999) 透過電腦模擬軟體學生可自行選擇改變如分配係數、容量因子、選擇因子等層析操作條件，電腦軟體層析模擬層析分離操作，並將所得的不同分離結果以層析圖呈現。透過電腦模擬教學使學生了解層析分離所需的最適化條件。教學計畫和相關的研究活動如表 3-3-1。

表 3-3-1 教學計畫及研究

週次	累積上課時數	教學活動的模式	教學活動	資料收集	使用工具
1	3 hrs	前測	層析分析概念前測 (2 hrs) 學生有關模型和模型的想法問卷 (1 hrs)	1、學生基本資料：年齡、性別，是否學過層析分析？是否實作過層析分析？那一種層析？ 2、學生所具有的層析相關概念 3、學生對「模型」之認識的層級	1、層析概念前測 2、模型的想法問卷
2	6 hrs	科學史模型教學	階段一： 科學史層析理論模型範例介紹(1) Tswett 植物葉綠素提取和分離(2) Day 石油的組成成分分離(黑板繪圖說明) (2 hrs)	隨堂開放性紙筆測驗：學生有關層析過濾模型和吸附/去吸附模型的想法	過濾模型和吸附/去吸附模型的想法問答題
		誘發概念	階段二： 內容：分離技術簡介，化學、機械和物理分離程序介紹。 (1 hrs)		
3	9 hr	誘發概念	階段二：分離方法的範例介紹：過濾、萃取、蒸餾(2 hrs)		
		類比教學	階段三：萃取和分配係數(1 hrs)		
4	12 hrs	類比教學	階段三：以多次萃取類比層析分離 (2 hrs)		
			階段四(1) 層析理論介紹：溶質的移動速率、滯留時間、分配係數、容量因子、 (1 hrs)		

表 3-3-1 教學計畫及研究 (續)

週次	累積上課時數	教學活動的模式	教學活動	資料收集	使用工具
5	15 hrs	層析原理的數學模型	階段四 (2) 層析理論介紹：選擇因子、理論板數 (3 hrs)		
6	18 hrs	層析原理的數學模型	階段四：(3) 層析理論介紹：解析度和管柱效率及分離的最適化 (3 hrs)		
7	月考	層析概念測驗	(1 hrs)	1. 層析概念測驗 2. 教學中，學生持有的層析理論模型測驗	1. 層析概念測驗：選擇題、問答題和計算題 2. 學生持有的層析理論模型測驗：選擇題
8	22 hrs	層析範例介紹	階段五：氣相層析儀器構造介紹 (2 hrs)		
			離子交換層析分離 鋅、鐵、鈷、鎳、銅離子(示範實驗或黑板繪圖說明) (1 hrs)		
9	28 hrs	電腦模擬教學	階段六：電腦模擬軟體教學 (6 hrs)		
10	30 hrs	後測		1. 學生對分離技術和層析的概念理解後測。 2. 教學後，學生持有的層析理論模型測驗。	1. 層析概念測驗後測：選擇題、問答題和計算題 2. 教學後學生持有的層析理論模型測驗：選擇題

第四節 研究工具

本研究除了由研究確認的層析模型融入教材中進行課程教學的實證研究外，也自行發展適當的工具，利用這些工具檢視學生模型表徵的類別、學生層析心智模式對應的理論模型、學生層析法相關概念的理解、利用層析理論解決問題的能力及層析理論的學習成就等。研究工具包括學生模型表徵類別之利開氏量表問卷，層析概念前測，層析概念測驗及層析概念後測等，分別說明如下。

一、學生模型表徵類別問卷

研究從 Grosslight (1991) 之研究的晤談問題、學生模型想法的立即答案的內容，發展學生模型表徵類別之利開氏量表問卷，採「非常同意」、「同意」、「不確定」、「不同意」和「非常不同意」五點評定法。問卷內容的主題是模型的重要屬性，分別為(1)模型的本質(2)事物與模型的關係(3)模型的功能(4)建立模型所需考慮的因素(5)科學理論模型的功能(6)修改模型的時機等六項共五十五題。問卷在設計完成後，針對八十位某技術學院學生及三十位某藝術大學學生施測，測驗結果顯示學生的答案有一致性。

研究以 Boulter 和 Buckley(2000)提出的外顯模型的類型學(typology of express models)分類模式，對問卷中有關模型本質的項目作向度分析，發現問卷列舉的模型均可歸類，且屬單一模式、定性或定量的表徵。例如，問卷第一題：玩具汽車、第三題：分子模型、第十八題：地球儀等 3D 模型，屬於單一模式具體、靜態定性模型表徵；第二題：服裝模特兒、第四題：歌手張惠妹等現場紀實，屬於單一模式視覺、動態決定論定性模型表徵；第七題：捷運地圖、第八題：消化系統構造圖等尺寸或距離的描述，屬於單一模式文字、靜態定量模型表徵；第十一題：課本的例題、第十七題：課文、第二十題：溫室效應、第二十一題：牛頓第二定律等類比描述或隱喻，屬於單一模式言詞或口語、靜態定性模型表徵；第九題世紀帝國電玩實境模擬，屬於單一模式具體、動態定性模型表徵；第二十

二題： $F = ma$ 、第二十三題： $4x^2 - 2x + 1 = 0$ 等方程式，屬於單一模式數學公式、靜態定量模型表徵。

根據第二章模型相關文獻探討、Grosslight (1991) 之研究結果及 Boulter 和 Buckley (2000) 提出的外顯模型的類型學 (typology)，本研究提出一個模型表徵類別的二維分析架構，作為研究分析學生模型想法的分類架構。如圖 3-4-1。

研究者從模型的認識觀點，就模型在科學研究的角色，將模型的認識分為「模型本體」與「模型的功能」兩個向度。以「模型本體」作為分類架構的縱軸，此向度的兩端為「實體」(concrete) - 「構念」(construct)，橫軸為「模型的功能」向度，以「空間關係」(spatiotemporal) - 「理論」(theoretical) 為兩端。

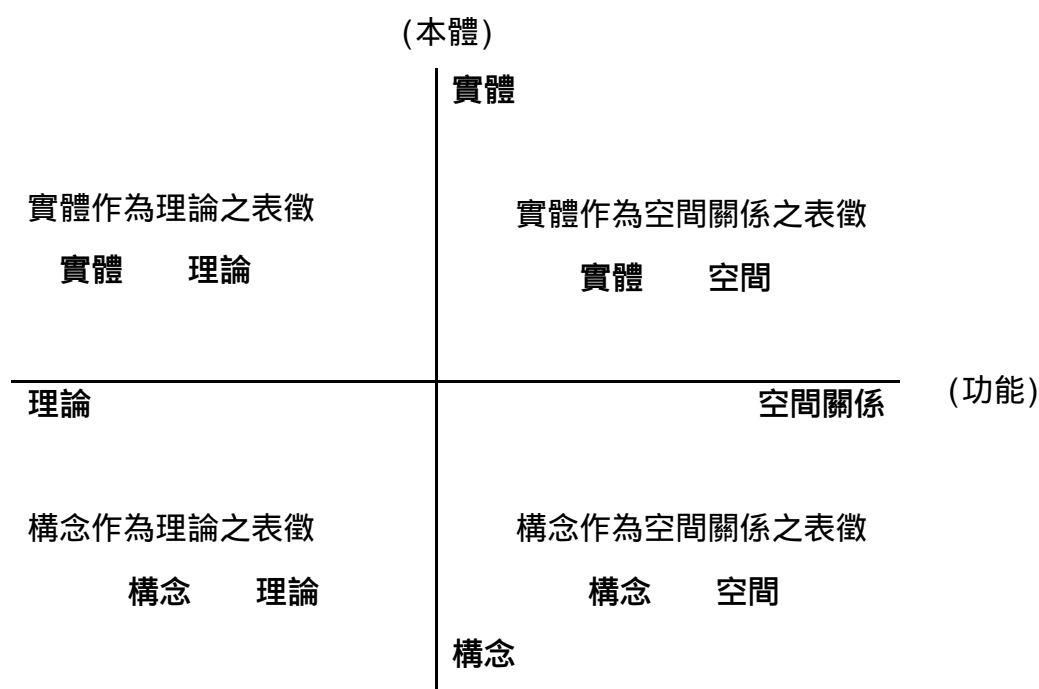


圖 3-4-1 模型想法分類架構 (模型表徵類別)

表 3-4-1 外顯模型的類型學

		單一模式				混合模式					
		具體 物質	視覺 形象	言詞 文字/口語	數學的 公式的	手勢肢體	手勢	數學的	言詞	言詞	具體
表 徵 性 定 量 性	靜態	3D 模型	畫圖	類比描述 隱喻		指示位置	說話並指 示位置		以圖類比	有標示 的圖說	有標示的 3D 模型
	動態： 決定論	動態 3D 模型	卡通			行動演出	說話並 演出			帶言詞 的卡通	
	動態： 隨機論	實境模擬				手勢	說話加 手勢				實際模擬 / 標示
	動態： 隨機論		圖形顯示		公式					圖形顯示	
	動態： 決定論	實際尺寸 複製品	現場紀實		公式 電腦模擬	相關行為 示意	示意姿 勢加定 量描述	電腦模 擬		帶言詞 的錄影	帶言詞的 實際尺寸 複製品
	靜態	比例模型	相片	附帶尺寸或 距離的描述	方程式 化學公式	指示尺寸	說話並指 示尺寸	方程式 附圖說	附帶尺寸 與姿勢的 描述	有標示 的相片	帶言詞的 目標物

這個分析架構將模型的表徵類別分為「實體 - 空間」、「實體 - 理論」、「構念 - 空間」和「構念 - 理論」等四個象限。由於兩個向度兩端是對比的，且座標位置僅代表兩向度次序的屬性，因此座標軸並沒有刻度的意涵。

研究再以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。題目區分為「實體作為空間關係之表徵」、「構念作為空間關係或理論之表徵」和「實體或構念作為理論之表徵」等三類，第一類包括第一、第三、第六和第十八題，第二類包括第十三、十七、十九、二十、二十一、二十二、二十六和二十七共八題。第二類包括第十三、十七、十九、二十、二十一、二十二、二十六和二十七共八題。其餘的問題則為第三類。參見表 3-4-2。

表 3-4-2 模型表徵類型問卷向度分析

類別	屬性	範例	
		題號	模型
1	實體作為空間關係之表徵	1	玩具汽車
		3	化學分子模型
		6	售屋用紙房屋
		18	地球儀
2	構念作為空間關係或理論之表徵	13	H ₂ O 化學式
		17	教科書中之課文
		21	牛頓第二定律
		26	火星人
3	實體或構念作為理論之表徵	4	歌手張惠妹
		19	理想氣體
		23	$4X^2 - 2X + 1 = 0$
		27	課本之例題

按五點評定法，對二十七題學生模型表徵類型問卷的答案編碼，分別是「非常同意」5分、「同意」4分、「不確定」3分、「不同意」2分和「非常不同意」1分。研究根據學生上述模型表徵類別的三個項目的各題答案編碼計分加總，依此以評定學生模型表徵類型。

二、學生層析概念前測

由研究者自行發展的概念測驗工具。包含（1）層析分析的模型（2）層析分析的定義（3）層析分析的分類（4）層析分離的結果等四個與層析分離相關的概念所編製成之層析概念測驗，為 50 選擇題和一題有關濾紙層析的問答題。測驗試卷設計後，由兩位大學相關領域之教授審定修改形成研究之前測。（參見附錄二）

三、學生層析概念測驗

研究自行發展的概念測驗工具。包含（一）層析概念：部份與前測相同的層析相關概念所編製成之層析概念測驗，為 20 選擇題。（二）問答題：教學後學生層析概念的開放性問題（三）計算題：包含與層析相關，如解析度（resolution）理論板數（theoretical plate calculations）等的計算問題。

四、學生層析概念後測

研究自行發展的概念測驗工具，包含：（一）層析概念：部份與前測相同的概念所編製成之層析概念測驗，為 30 選擇題。（二）問答題：教學後學生層析概念的開放性問題（三）計算題：包含與層析相關，如解析度（resolution）理論板數（theoretical plate calculations）等的計算問題。

第五節 資料分析

本研究第三階段探討受試者「模型表徵類別」與「化學先備能力」對於層析模型之建構與層析單元成就之影響。所採用之檢定方法包括二因子變異數分析，與無母數的卡方檢定、Kruskal Wallis 檢定和 Mann-Whitney U 檢定。分析流程如圖 3-5-1。

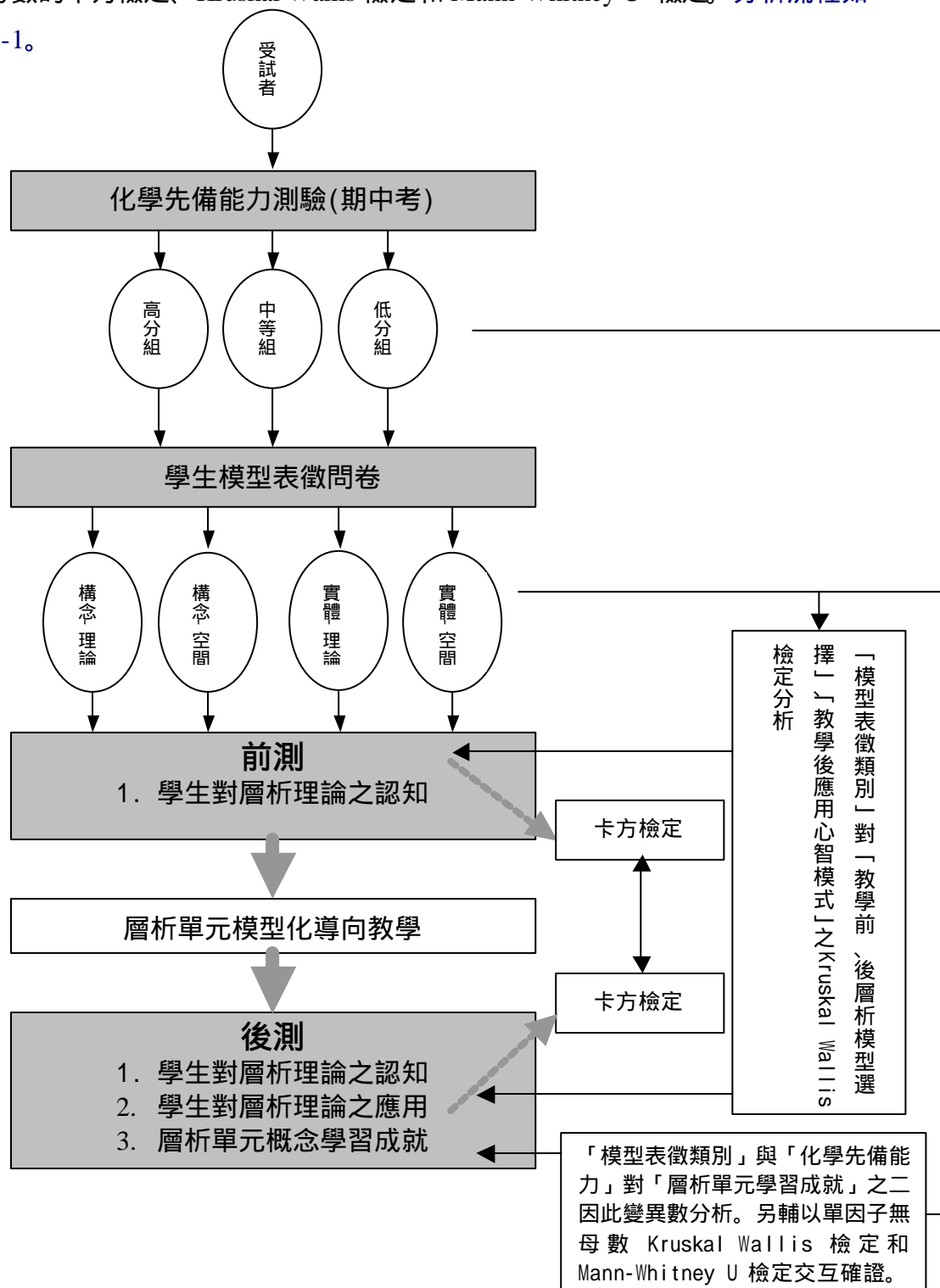


圖 3-5-1 階段三之研究設計及資料分析流程圖