

從「內化與修正」朝向「外推與解釋」的 思考機制：以國中一年級學生質量守恆 概念發展為例

洪振方

國立高雄師範大學科學教育研究所

蔡智文

高雄縣立燕巢國民中學

蔡嘉興

高雄市立明義國民中學

周進洋

國立高雄師範大學科學教育研究所

摘要

本研究旨在探討國中一年級學生質量守恆概念和相關概念範疇發展內容與其思考機制。首先，本研究使用質量守恆概念二階段紙筆測驗針對高雄縣某國中 35 位一年級學生進行施測，並在施測成績高、中、低分組中各選 2 位作為半結構晤談個案。研究者將半結構晤談資料轉錄成逐字稿，並以微小發生分析法分析個案學生概念內容和概念範疇，建構出質量守恆概念發展流程圖，據此分析質量守恆概念發展、相關概念範疇內容與其思考機制。研究結果顯示，個案學生概念發展涉及多個概念範疇內的發展與概念範疇間的轉移，而非僅是核心概念範疇單獨發展。此外，個案學生概念發展的思考機制，呈現出從「內化與修正」朝向「外推與解釋」的趨勢。

關鍵字：微小發生分析法、概念發展、概念範疇、質量守恆概念

壹、前言

一、研究背景與動機

科學教育的目標包括評量與瞭解學生所持有的知識結構、協助學生發展與運用組織化的知識結構、改善學生的認知表現。為完成上述目標，科學教師勢必瞭解如何啟發學生科學概

念發展？概念如何發展？如何促進概念發展？雖從 1970 年代起，諸多學者針對上述問題進行研究並獲得相當豐富的成果，可是這些成果多半屬於「表面的」研究結果，並未能真正瞭解概念發展的過程與認知機制（Mortimer, 2000），造成此種現象的成因如下：

（一）昔日概念發展研究設計忽略多數變因與漸進過程

概念發展為一種連續、動態的改變過程，受到環境、經驗、年齡、文化…等因素的影響（Bell, 1985; Tsai & Chou, 2006），若欲針對概念發展進行探討，則必須考量概念發展的動態特質與改變過程。由於昔日多數的概念相關研究傾向於比較個案學生某段時期前後孤立的科學概念，再根據這些孤立概念推論其概念發展情形，因而遭受許多學者從研究理論到方法學上的批評，並將此類研究歸屬於古典認識論取向的概念研究（Duit & Treagust, 1998; Tyson, Venville, Harrison, & Treagust, 1997; Vosniadou & Ioannides, 1998）。

雖然古典認識論取向的概念研究致力瞭解學生概念，並得到許多與迷思概念、概念改變、認知失調、認知衝突…等豐碩成果，其中例如 Posner、Strike、Hewson 與 Gertzog（1982）提出的概念改變研究結果更是強烈影響科學教育界後續的概念研究，但是此種研究取向對於概念發展過程的內容變化與概念化程度差異的瞭解稍嫌不足（Fensham, 2001）。根據微小發生學（microgenesis）所發展的微小發生分析法（microgenetic analysis）具有在概念發展時期進行研究、具有獲得概念發展動態過程與內容的優點（洪振方、蔡智文，2007；Tsai & Chou, 2005），因此本研究採用微小發生分析法以彌補古典認識論取向概念研究的不足之處。

（二）昔日概念發展研究忽略概念範疇的內容與發展

概念範疇為運用概念所挑選的範例集合，並且具有推論、結合和溝通功能（Smith & Medin, 1981）。由於科學概念的形成源自於人類對於世界事物相似與差異所做的範疇區分，而範疇與範疇之間的規律性、量化關係將會組成科學定律的基礎（陳瑞麟，2004），更因為人們具有使用概念範疇進行推論的傾向，所以概念範疇具有協助科學概念發展與提昇科學學習的能力。此外，由於概念發展涉及相同概念範疇內的發展與不同概念範疇間的轉移，因此概念發展等同於概念範疇的發展，換言之，若欲針對概念發展進行研究，則從概念範疇發展著手應為一可行之道（Tsai & Chou, 2006），綜觀國內外概念發展相關研究，涉及概念範疇的論文並不多見。此外，概念發展具有從簡單到複雜、具體到抽象的發展傾向，此一傾向造成概念發展結果的差異（洪振方、蔡智文，2007），而概念發展傾向亦受到思考機制的主導，假若能瞭解概念發展的思考機制，則應能更深入瞭解概念發展。由於目前科學教育對於物質概念研究偏重於抽象的概念思維，而較為缺乏原發性知覺推理的追蹤，對於概念發展的思考機制探究稍嫌不足（莊麗娟，2008）。綜上所述，概念發展思考機制的研究具有其價值所在。

除此之外，質量守恒概念具有頗高的抽象與複雜性，進而造成許多國中學生對此概念學

習感到困擾(蔡智文, 2001)。研究者統計 1996 至 2006 年國內科學教育類碩、博士論文 1336 篇中僅有 13 篇與質量守恆概念有關, 其內容多半偏重質量概念, 較少涉及質量守恆概念發展, 亦未針對質量守恆相關概念範疇與概念發展思考機制進行探討, 由此可見質量守恆概念發展、相關概念範疇、概念發展思考機制的整體研究有其必要性。有鑑於此, 研究者試圖針對國一學生質量守恆概念與相關概念範疇發展進行探究, 希望能夠藉此協助質量守恆概念的教與學。

二、研究目的與問題

本研究旨在探討國中一年級學生質量守恆概念與相關概念範疇發展, 以及概念發展中個案學生的思考機制, 問題如下:

- (一) 質量守恆概念發展過程內容為何?
- (二) 質量守恆概念發展相關概念範疇的特點與功能為何?
- (三) 質量守恆概念發展的思考機制為何?

貳、文獻探討

一、概念、概念範疇與概念發展

概念 (conception) 為心智表徵的一種, 係由具備可共同分享性質的物體、符號、事件... 等聚集而成的複合體, 其中包含人們如何知道與瞭解外界事物, 並能藉由某個符號或名詞來表達, 而學習者可藉由概念之間的交互作用建構出個人知識體系 (Spalding & Ross, 1994)。概念範疇 (conceptual category) 乃是藉由概念所挑選的範例集合體, 相同概念範疇內的概念具有廣義相似性, 不同概念範疇的概念具有最小的相似與解釋性 (Smith & Medin, 1981; Spalding & Ross, 1994)。就概念與概念範疇的相對關係而言, 概念可因為符合某一準則而被歸類於某個概念範疇, 所以概念範疇宛如概念的綜合體, 亦即概念範疇之內的概念成員擁有共同的關鍵性質, 而不同概念範疇則是具有不可重疊性, 亦即無法運用更高層次的概念範疇來含括兩個異質的概念範疇。對於科學概念的學習而言, 學生可以藉由概念的範疇化來產生個人經驗的詮釋架構, 進而茁壯本身的認知能力 (Frey, 2005), 例如問題解決過程中, 專家比生手具備更清晰的問題範疇, 所以在尋求解答過程中可依問題的原理原則組織本身知識, 進而將新的實例快速分配進入本身的知識架構以解決問題, 亦即人類可憑藉或操作概念範疇進而獲得與建構本身的知識體系。就學生的知識結構而言, 高成就學生知識結構圖形表徵明顯存在概念範疇次網路結構, 而低成就學生沒有明顯的概念範疇次網路 (黃滄翔、江新合、洪振方, 2007)。由上述可知, 概念與概念範疇具有高度的連結關係, 而且概念範疇對概念發

展與科學推理具有重要影響力。

對於概念範疇相關實證研究而言，洪振方與蔡智文（2007）曾經針對國一學生酸鹼中和概念發展進行研究，發現學生概念發展過程等同於概念範疇發展過程，亦即概念範疇可作為概念發展研究的切入點。黃滄翔等（2007）針對 148 位高一學生力學知識結構進行分析，包括：牛頓定律、重力、摩擦力與基本運動學概念、壓力共五個概念範疇，發現高成就組學生在解題的歷程中能靈活運用不同概念範疇的概念進行解題，中、低成就組學生的解題過程，僅依公式或題目的敘述進行，由此可知概念範疇高度影響學生的學習成就。此外，陳瑞麟（2004）曾經針對牛頓古典力學進行「分疇」的工作，例如：「力」的範疇可分成「向心力」、「拘束力」、「碰撞力」，而「運動」的範疇可分成「質點平衡」、「直線運動」、「平面運動」、「旋轉」、「週期運動」，換言之，此種範疇分類方式，可以將不同概念分類至不同的概念範疇之中。本研究採用陳瑞麟（2004）的分類觀點與方法，作為個案學生質量守恆概念過程所涉及的相關概念範疇的分類標準。

對於概念發展的研究而言，1970 年代至今概念相關研究對於概念範疇的關注稍嫌不足，而其研究方法與研究分析亦有可再討論之處。就研究方法而言，科教社群慣於使用橫斷式或縱貫式研究，而非在概念發展同時進行研究；就研究分析而言，科教社群慣於比較個案學生研究期間前後的孤立概念進行比較、分析與推論，忽略真實學習情境中的影響變因。此類研究屬於巨觀的、間接的、靜態的概念研究，對於概念相關研究而言，此種研究方式稍嫌不足（Duit & Widodo, 2002; Fensham, 2001; Smith & Medin, 1981; Tyson et al., 1997），若欲克服此一問題並深入瞭解發展過程動態本質，可行的研究取向與方法之一即為根據微小發生學所發展的微小發生分析法（Siegler, 1996）。

二、具有探討概念發展動態過程與漸進本質潛力的微小發生分析法

相較於巨觀的研究分析與古典認識論取向的概念發展研究而言，微小發生學的微觀觀點與分析取向可以提供方法學上有效的思考方式。Siegler 與 Crowley（1991）提出符合微小發生學研究的三個關鍵特徵：在學生認知能力改變期間進行高密度觀測、研究者觀測頻率與學生認知改變狀態間具有正比關係、對於觀測結果進行反覆分析。微小發生學關心學生心理事件的發生時間而非取樣的物理時間，亦即「微小」並非意指極短觀測時間或取樣間距，而是高密度攫取學生概念發展期間的語言資料、外顯行為或心理事件（Brown, 1995; Góes, 2000; Tsai & Chou, 2006）。

微小發生學目前已被應用於思考過程、策略發展、記憶、注意力、科學推理、算數…等研究領域（Opfer & Siegler, 2004），研究內容包括：探討人類認知發展的不同階段，並考量心智現象結構性發展與認知形成過程模式（Hanlon, 1991）；探討人類認知發展發生時期語言的動態變化過程（Ohta, 2000）；探討社會文化脈絡中，學生的學習過程（Mortimer, 2000）；

探討孩童自發性類比的轉換 (Tunteler & Resing, 2002)；探討立即經驗、心理過程變化與短時間內認知、想法、想像或表達的發展 (Rosenthal, 2002)，由此可知微小發生學適合探討人類概念發展之研究。本研究為了深入瞭解國一學生質量守恆概念發展，採用 Tsai 與 Chou (2005, 2006) 以微小發生學作為理論基礎，結合具有捕捉科學家思考與概念改變動態過程能力的認知歷史分析 (cognitive historical analysis) (Nersessian, 1992)，與能夠重建認知狀態過程的表徵代理 (representing agency) (Gooding, 1992) 三者而成的微小發生分析法作為本研究主要的分析工具。對於概念發展研究分析而言，此法具備高度的有效性 (洪振方、蔡智文, 2007)。綜合上述可知，本研究採用微小發生學所發展的微小發生分析法作為研究的主要分析工具實屬合理。

三、質量守恆概念相關研究

1970 年代初期，質量守恆概念研究比較偏重於物理變化 (宋志雄, 1993)，但是目前化學變化相關研究亦逐漸增多，以下為國內外重要的研究成果：

(一) 溶解實驗部份

Piaget 與 Inhelder (1941/1974) 利用糖溶解實驗探究學生在物質、重量及體積…等概念的守恆推理能力，發現此一能力與邏輯思考密不可分。假若學生一旦獲得守恆推理能力，則此能力的運用將與實驗操作內容無關。陳淮璋、黃萬居與賴文榮 (2002) 針對國小學生水溶液概念的認知與迷思進行研究，發現：1. 學生通常認為物質在溶解後完全消失，此乃學生藉由物質外觀描述溶解過程所致。2. 學生認為微小粒子才能溶解，亦因物質溶解後無法看見，造成物質消失的迷思概念。

(二) 蒸發實驗部份

Osborne 與 Cosgrove (1983) 指出學生根據蒸發現象所建構的質量守恆概念如下：1. 水蒸發後消失不見，質量減少。2. 水分子變成氧與氫氣並逸散至空氣中。蔡智文 (2001) 使用二階段紙筆測驗，針對 31 位國三學生對於密閉瓶中酒精蒸發前後質量是否守恆進行診斷，發現 35% 學生持有另有概念，主要有：1. 蒸發的氣體分子有浮力，會影響質量大小。2. 氣體分子很輕，質量會下降。3. 蒸發影響物質密度，會改變物質質量。

(三) 氧化實驗部份

1. 燃燒反應：Meheut、Saltiel 與 Tiberghien (1985) 使用事件晤談獲得燃燒前後學生最常持有的質量守恆概念如下：(1) 燃燒並未產生新物質，而是從原有物質中部份轉變而來，所以

質量不變。(2) 燃燒是一種破壞而非建構的過程。(3) 「熱」為燃燒反應的生成物。(4) 物質燃燒後變輕，質量不守恆。謝志仁和郭重吉(1993)指出：對於蠟燭燃燒而言，常見的推理與解釋如下：(1) 蠟燭燃燒後生成水分子、二氧化碳及新物質，質量增加。(2) 蠟燭燃燒後某些物質消失，質量減少。(3) 蠟燭於密閉瓶中進行燃燒反應，質量不變。

2. 生鏽現象：Hesse 和 Anderson (1992) 使用鐵釘生鏽事件晤談，獲得學生最常持有的概念內容為：(1) 鐵釘生鏽後質量增加，是因為鐵鏽具有質量之故。(2) 鐵釘生鏽後質量不變，是因為鐵鏽為鐵釘的一部分。(3) 鐵釘生鏽後質量不變，是因為鐵鏽是鐵釘與氧作用的產物，而氧沒有質量。(4) 鐵釘生鏽後質量減少，是因為鐵鏽腐蝕鐵所致。陳恆迪(1992)針對鐵釘生鏽實驗，使用示範群測紙筆測驗、事件晤談探究學生常見的質量守恆概念內容與推論原因，指出：(1) 學生使用「變化」及誤用「化學交互作用」的解釋架構說明物質的出現。(2) 學生使用「置換」與「消失」及物質守恆的「修正」解釋架構做為物質變化時的推理架構。

(四) 沉澱生成實驗部份

謝志仁與郭重吉(1993)根據碘化鉛沉澱反應，指出學生最常持有的質量守恆概念內容如下：1. 碘化鉛沉澱後質量增加，是因為產生固體或粉狀的新物質。2. 碘化鉛沉澱後質量減少，是因為部分物質消失。3. 碘化鉛沉澱前後僅有顏色與狀態改變，反應前後質量守恆。蔡智文(2001)使用二階段紙筆測驗，診測國三學生對於碳酸鈉與氯化鈣產生碳酸鈣沉澱的看法，發現常見的概念內容為：1. 溶液產生沉澱，總質量會增加。2. 在開放瓶子中做實驗，總質量不守恆。

(五) 其他實驗部分

紀宗秀(2005)針對98位國小高年級學生，以「POE教學法」(prediction-observation-explanation, 簡稱POE)進行概念改變教學，並以包含質量守恆概念的直觀法則測驗工具探討學生的心智模式，發現：發生質量守恆概念改變的學生能將所學概念類化到其他情境或未曾接觸的物質，而授課內容與實驗具有「喚醒」學生概念改變的功能。黃湘武等(1985)根據皮亞傑推理測驗(包括：質量守恆、重量守恆、外體積與比例推理四個面向)，針對城市、郊區和鄉村地區學生認知發展與推理能力進行調查研究，發現：1. 質量守恆概念發生於具體操作前期，重量守恆概念需至具體操作後期方會發展，概念推理能力與學習成績呈現正相關。2. 學生推理能力發展為不可逆的過程，順序為：質量守恆 → 重量守恆 → 比例推理 → 外體積觀念。莊麗娟(2004)針對概念檢視情境的明確性與操作性進行提升，發現：3至6歲兒童對於重量的認知來源包括觸感與觀察，而半數兒童俱備宏觀的粒子概念，並能依據「重量」線索推測與思考物質的本質。

綜合上述研究可知，學生較常持有的質量守恆另有概念推論方式與影響因素如下：(一) 感官經驗為質量守恆與否的推論依據，例如：燃燒、溶解後物質不可見，所以質量減少。(二) 物質變化的先備知識不足或迷思概念作用，例如：氣體沒有重量、氣體比固體與液體輕。(三) 缺乏對反應的整體考量，例如：僅考慮沉澱增加或蒸發減少的質量。學生較常持有的質量守恆正確概念的推論方式或內容如下：(一) 具備正確的物質變化過程知識，順利推論反應前後質量不變。(二) 足夠的先備知識，藉此根據定律或定則進行推理。

雖然目前科學教育社群對於質量守恆概念進行探究，並獲得相當豐碩的結果，可惜相關研究多半針對溶解、蒸發、氧化…反應進行研究，藉此探討學生與質量守恆概念有關的迷思概念、概念改變或心智模式，對於質量守恆概念發展過程與涉及的相關概念範疇與思考機制並未有太大著墨，此為可再深入研究之處。因此，研究者企圖使用微小發生分析法，針對質量守恆概念發展與概念範疇發展進行研究，希望獲得更多的研究成果以提供自然科學教師使用與提升教學成效。由於前述研究多半利用具體的物理或化學反應（燃燒、酸鹼中和、蒸發…等）所伴隨的現象（沉澱、生鏽…等）來刺激、啟發與協助學生建構抽象的質量守恆概念，所以本研究亦遵循相似研究方法設計一個與質量守恆概念有關、可自由操作相關藥品儀器的實驗情境，並在此情境中進行半結構晤談以偵測與收集個案學生概念發展相關資料。此外，由於質量守恆概念散見於國中自然課程，因此本研究所欲探討的質量守恆概念並非僅指單純的「反應前後質量不變」概念而已，而是包括燃燒、酸鹼中和、蒸發、電解…等物理與化學反應有關的抽象複雜概念。

參、研究方法與設計

一、研究設計

本研究首先使用質量守恆概念二階段紙筆測驗（蔡智文，2001），針對高雄縣某國中 35 位一年級學生進行前測，再選取 6 位個案學生於實驗情境中進行 45 分鐘半結構晤談。每次晤談僅有一位學生參與，晤談過程中研究者使用質量守恆概念半結構晤談題幹探測、收集學生的語言與非語言資料作為研究分析的資料來源。研究者希望藉由質量守恆概念實驗情境觸發學生質量守恆概念發展，並未針對學生實驗操作、語言與概念內容進行評分，亦未設定質量守恆實驗的教學成效或學習目標。隨後，研究者使用科學概念微小發生分析法（Tsai & Chou, 2006）將收集到的語言與非語言資料進行轉錄、分析、概念範疇編碼、概念範疇歸類、建構質量守恆概念發展流程圖，再根據質量守恆概念發展流程圖探究概念、概念範疇發展的內容與思考機制。

二、研究對象

本研究採用立意取樣，擇定高雄縣郊區某國中、常態編班一年級某班作為抽樣母群，此乃因為國一學生尚未正式學習質量守恆概念，若以國一學生作為研究對象，應能瞭解質量守恆概念從無到有的發展過程與思考機制。此外，由於研究者之一為該班的自然教師，師生平日溝通密切、互動良好，對於研究資料收集具有正面意義。研究者先對班上 35 位學生進行質量守恆概念二階段紙筆測驗，並依成績高低將學生分成高、中、低分組，再於各組選取 2 位（共 6 位）表達能力良好學生進行後續的質量守恆概念相關實驗半結構晤談，個案學生代號如下：（一）高分組：H1、H2（二）中分組：M1、M2（三）低分組：L1、L2。雖然參加半結構晤談的個案學生質量守恆概念二階段紙筆測驗成績有高、中、低之分，不過本研究並非探討測驗成績高低與概念發展間的相互關係，而是藉此提升個案學生的代表性，擴大研究結果的應用範圍。

三、研究工具

研究工具包括質量守恆概念二階段紙筆測驗、半結構晤談、微小發生分析法三種，分述如下：

（一）質量守恆概念二階段紙筆測驗

質量守恆概念二階段紙筆測驗（蔡智文，2001）包括 9 題二階段測驗題，旨在診斷學生對於物理或化學反應前後質量是否守恆的概念內容與另有概念，試題包括：沉澱反應、酸鹼中和、燃燒、鐵釘生鏽、蒸發、溶解、置換反應、氣體生成、電解反應，其信、效度經過檢驗認可，信度 $\alpha = 0.82$ 。此份測驗能夠診斷學生質量守恆概念，因此研究者使用此份測驗作為半結構晤談個案學生的挑選依據，主要藉此提升個案學生的類型與代表性，而非以此評斷學生的優劣。

（二）半結構晤談

本研究半結構晤談設計理念源自 White 與 Gunstone（1992）的概念晤談，希望藉此設計雙向互動、高介入程度的概念晤談以收集個案學生語言與非語言資料，藉此探究學生的概念發展。考慮個案學生先備知識較為不足、語言表達能力與晤談情境…等因素，研究者設計半結構晤談題幹晤談學生，並將個案學生置於科學實驗室情境中，佐以實驗操作引發學生概念發展。為提昇概念發展機會，研究者於實驗情境中準備各式器材與藥品，提醒學生可以自由動手操作各項實驗器材或藥品以回答研究者提問，希望藉上述設計減少學生先備概念不足的影響。研究者希望藉由此種設計，可以使半結構晤談具有事例晤談、預測晤談、過程晤談、

問題解決的效果。

半結構晤談題幹部份，研究者分析被抽樣學校所使用的康軒文教事業股份有限公司於 2006 年出版的自然與生活科技課本 1 至 6 冊內容，挑選與質量守恆概念有關的命題知識陳述與實驗內容，將其融合成 10 題質量守恆概念半結構晤談題幹，亦即題幹內容包括自然課程中與質量守恆概念有關的內容或實驗操作，而非僅是侷限在「反應前後質量不變的」概念內容。所有題幹均由 1 位科學教育專家與 2 位 10 年以上教學經驗自然教師檢視、討論與修正，並對 2 名國一學生進行預試，預試後針對題幹敘述不清、語意不明之處再進行修正，務求題幹確實能探測到個案學生質量守恆概念發展與內容。

最終的半結構晤談題幹共有 10 題，範例如下：如何以天平瞭解反應前後質量守恆？酸鹼中和反應前後質量是否守恆？指示劑變色前後質量是否守恆？吸熱或放熱的現象是否影響質量守恆？…等。半結構晤談的實施則是從最具體的天平操作開始進行，逐漸擴展到學生是否能察覺各種反應現象與推論質量是否守恆（例如：指示劑顏色改變前後質量是否守恆？酸鹼中和前後質量是否守恆？…等），最後提問至更為抽象複雜的題幹（例如：物理與化學變化前後質量是否守恆？…等）。半結構晤談每次約 45 分鐘，研究者於實驗室中準備各式實驗器材與藥品（例如：天平、酚酞、石蕊指示劑、鹽酸、氫氧化鈉…等），學生可以自由動手操作各項實驗器材或藥品以回答研究者提問。晤談過程中，為減少各項變因干擾，研究者並不主動給予概念提示或操作講解，僅在學生出現概念發展停滯或無法理解題幹意義時再予以提示或說明，藉此延續其概念發展。

（三）微小發生分析法

過去大多數概念研究傾向於分析與比較個案學生的孤立科學概念，對於學生真實的學習狀況與概念發展過程、概念化程度與概念範疇的關注稍嫌不足（Tsai & Chou, 2005），為了彌補此種研究方法的不足，本研究採用 Tsai 與 Chou（2005, 2006）發展的科學概念微小發生分析法作為個案學生半結構晤談語言的分析工具，希望藉此瞭解國一學生質量守恆概念發展內容與思考機制。

微小發生分析法共有 7 個主要步驟，分別為：半結構晤談、資料轉錄、逐字稿分析、概念範疇編碼、概念範疇歸類、建立概念發展流程圖、概念發展內容分析。此分析方法除了可以瞭解個案學生概念發展過程中所呈現的迷思概念、概念範疇與概念改變之外，更具備探究古典認識論研究觀點概念研究無法涉及的概念範疇發展領域的有效性（洪振方、蔡智文，2007）。

四、資料收集與分析

資料收集與分析共分 3 個階段，分別為半結構晤談個案學生選取階段、半結構晤談資料

處理階段、概念發展流程圖的建立與分析階段。

(一) 半結構晤談個案學生選取階段

本研究使用質量守恆概念二階段紙筆測驗(蔡智文, 2001), 針對研究者之一任教的高雄縣某國中一年級某班 35 位學生施測。研究者將施測結果分為高分組(答對 7 至 9 題)、中分組(答對 4 至 6 題)、低分組(答對 0 至 3 題), 每組各選 2 位表達能力良好、能清楚說出內心想法的學生參加後續的半結構晤談。

(二) 半結構晤談資料處理階段

本研究屬於質性研究, 有鑑於質性研究並無特定方法或客觀數據用以提供效度與信度判斷, 因此研究者採用多重資料比對方式增加研究信度與效度。

就資料收集而言, 研究者於半結構晤談過程中使用錄音、錄影收集個案學生與研究者語言與非語言資料並相互比對, 確定資料相符無誤後再轉錄成逐字稿。研究者使用微小發生分析法針對逐字稿進行內容分析、概念範疇編碼、概念範疇歸類, 再將所得資料做為建立概念發展流程圖的基礎。此階段的資料處理是由 3 位 10 年以上教學經驗、就讀科學教育研究所博士班的國中自然教師共同逐句分析討論每段晤談內容, 藉此獲得每句晤談所蘊含的概念內容。3 位自然教師根據分析所得的概念內容進行開放式概念範疇編碼, 再將不同概念範疇編碼的概念內容歸類在不同的概念範疇之中。概念範疇的種類與數目完全根據分析結果而定, 研究者並未在研究之初訂定可能出現的概念範疇類別。為使逐字稿分析、概念範疇編碼、概念範疇歸類、概念發展流程圖的建立更具信度, 研究者在此進行分析者信度考驗, 每個步驟的資料均由 3 位自然教師進行分析討論, 假若 3 位教師對於某個資料處理結果看法不一致時, 則進行討論以求相同結果。例如 M1 逐字稿內容分析範例如下(詳如表 1 所示):

表 1 逐字稿內容分析範例

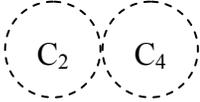
對象	半結構晤談內容	概念範疇	概念內容	表徵代理圖示
研究者	進行酸鹼中和實驗的時候, 指示劑要加到酸或鹼裡面, 還是都可以?	酸鹼中和 指示劑		
M1	我相信指示劑應該加到酸裡面, 因為是酸~鹼~中~和!	指示劑 酸鹼中和	1. 誤解酸鹼指示劑的使用。 2. 根據「酸鹼中和」名稱, 進行指示劑使用推理。	

表 1 中，M1 半結構晤談內容為「我相信指示劑應該加到酸裡面，因為是酸~鹼~中~和！」，從中可以獲得 M1 具有「誤解酸鹼指示劑的使用」與「根據酸鹼中和名稱，進行指示劑使用推理」的另有概念內容，而此二個另有概念內容分別可歸類於「指示劑」與「酸鹼中和」概念範疇。研究者依照相同方式，處理全部個案學生的半結構晤談資料以建立質量守恆概念發展流程圖。

(三) 概念發展流程圖的建立與分析階段

研究者依據 Tsai 與 Chou (2005, 2006) 發展的微小發生分析法，針對個案學生質量守恆概念半結構晤談語言資料與實驗操作進行轉錄、分析、概念範疇歸類，再依照概念發展順序重建可供概念分析、協助研究者探究概念發展內容、特點與思考機制的質量守恆概念發展流程圖。不同概念內容的表徵代理圖示與其定義如表 2 所示：

表 2 表徵代理圖示定義

個案學生部份					
符號	內容	符號	內容	符號	內容
	起始		結束		概念範疇 X 的猜測概念
	概念範疇 X 的科學概念		概念範疇 X 的另有概念		概念範疇 X 的實驗觀察
	概念範疇內的發展	-----	概念改變		
研究者部份					
符號	內容	符號	內容	符號	內容
	與概念範疇 X 有關的提示		與概念範疇 X 有關的提問		

肆、研究結果

一、國中一年級學生質量守恆概念發展過程內容

(一) 個案學生質量守恆概念發展流程圖

研究者根據微小發生分析法分析個案學生半結構晤談語言與非語言資料，發現每位個案

學生質量守恆概念發展過程均出現 6 種與質量守恆概念有關的概念範疇，分別為天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化與質量概念範疇（編號如表 3 所示）。

表 3 概念範疇編號與內容

編號	概念範疇	編號	概念範疇	編號	概念範疇
1	天平	2	指示劑	3	酸鹼中和
4	熱	5	物理與化學變化	6	質量

研究者隨後運用表徵代理圖示將相關概念範疇中的概念內容予以表示，再依照半結構晤談先後順序建立每個概念範疇的發展過程。以 H1 天平概念範疇發展為例（如圖 1 所示），此概念範疇發展過程中總共出現 3 個與研究者有關、5 個與 H1 有關的表徵代理圖示。就研究者而言，第一個表徵代理圖示 A1 代表半結構晤談之初研究者所說：「你覺得這台天平（尚未歸零）可不可以直接拿來使用？為什麼？」第二個 Q1 圖示代表研究者說：「假如天平讀數仍是 78.0 公克的話，要不要加減砝碼或調整天平呢？」第三個 Q3 圖示代表研究者說：「酸鹼中和所放的熱不會影響天平讀數，那麼像教室裡面的熱風流動會不會影響天平讀數？」。就 H1 而言，H1 在半結構晤談中出現 4 個與天平概念範疇有關的正確概念、1 個正確的實驗觀察，例如：實驗初期，H1 說：「天平在使用之前應該要先歸零。」此為與天平概念範疇有關的正確概念。此後 H1 分別說出：「因為天平的指針偏向左邊，所以要將螺絲向右旋出。」、「好的！天平的讀數為 78.0 公克。」、「既然秤盤上物重的讀數一直為 78.0 公克沒有改變，我們就不需要去調整天平。」與「對於天平而言，熱空氣的流動是會造成影響的，所以最好將天平放在盒子當中會比較好一點。」上述資料顯示 H1 瞭解天平的使用操作與正確實驗觀察之外，亦在晤談後期出現熱空氣會影響天平平衡的想法，並推論出要將天平放在盒中以減少誤差的結論。

研究者依照天平概念範疇建立方法依序建立其餘相關概念範疇，最後得到每個相關概念範疇的發展過程。由於半結構晤談資料顯示個案學生概念發展過程並非僅是某個核心概念範疇單獨發展，而是會在不同概念範疇之間進行，因此必須針對整個半結構晤談先後順序來將不同的概念範疇內容進行順序排列。研究者運用表徵代理圖示所規定的虛線線段與箭頭來標示個案學生概念發展過程，其中縱向線段與箭頭表示相同概念範疇內的概念發展，而橫向線段與箭頭表示每次語言或非語言資料中所呈現的相關概念範疇與概念發展方向，亦即意味彼時學生的概念發展涉及多個相關概念範疇內容。例如半結構晤談過程中，研究者提問「酸鹼中和前後，溶液質量是否守恆？」而 H1 說：「酸鹼中和反應之後雖然容易摸起來熱熱的，不過因為熱與質量是不同的，所以並不會對質量產生影響，質量不會改變。」上述對話中，H1 同時呈現出與酸鹼中和、熱、質量概念範疇有關的正確概念，因此研究者將 C_3 C_4 C_6 三個表徵代理圖示置於圖中相同高度，再用橫向線段與箭頭顯示其出現的先後次序。

研究者依序將相關的概念範疇內容進行排列，最後即可得到 H1 質量守恆概念發展流程圖(如圖 2 所示)。

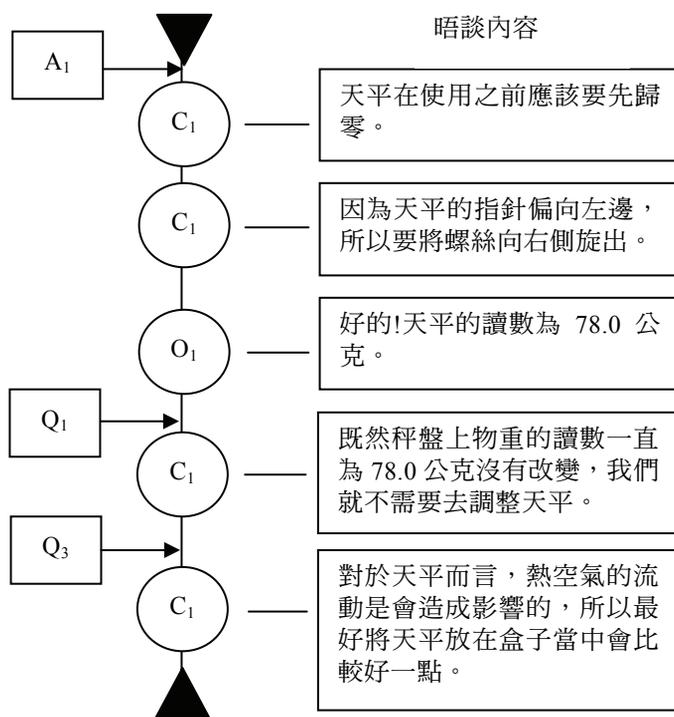


圖 1 H1 天平概念範疇發展

圖 2 從左至右分別表示 H1 質量守恆概念發展過程中涉及的 6 個相關概念範疇，分別為天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量，由上到下表示每個概念範疇的概念內容，包括正確的或猜測的概念、另有概念、實驗觀察...等。若以古典認識論取向前後測方式檢驗 H1 質量概念範疇，僅能發現此概念範疇發生概念改變，但卻無法得知 H1 在質量概念範疇發展過程中涉及 4 個概念內容、1 個正確的實驗觀察與 2 次概念改變，亦無法瞭解 H1 質量概念範疇第一次概念改變與實驗觀察、天平概念範疇有關。針對質量守恆概念發展流程圖的分析說明，研究者再以圖 2 指示劑概念範疇為例，發展初期，H1 說：「酸鹼指示劑應該跟天平沒有關係，它（酸鹼指示劑）應該像是碘酒遇到澱粉變色一樣的作用。」此為正確的猜測概念。此後 H1 說：「我記得書上好像說過酸鹼指示劑一定會有顏色的樣子。」此為與指示劑有關的另有概念。隨後 H1 觀察酚酞在酸鹼中和的顏色改變之後說：「原來指示劑的顏色不一定要有顏色，最重要的是顏色要會改變才行。」此處顯示 H1 藉由正確的實驗觀察使得原先的另有概念改變到正確的科學概念，換言之，H1 在此發生概念改變。綜上所述，H1 質

量守恆概念發展並非僅是單純的概念豐富、連結或是從另有概念轉移至正確科學概念而已，而是歷經相關概念範疇內的成長、修正、不同概念範疇之間的轉移，而實驗觀察、生活經驗、先備知識…等亦會對概念發展產生影響。上述發現與 Davis (2001) 認為「個體的知識架構宛如「概念生態」，在其中，個體所持有的先備知識、認識論信念、不同概念之間均會相互影響」的看法相近。

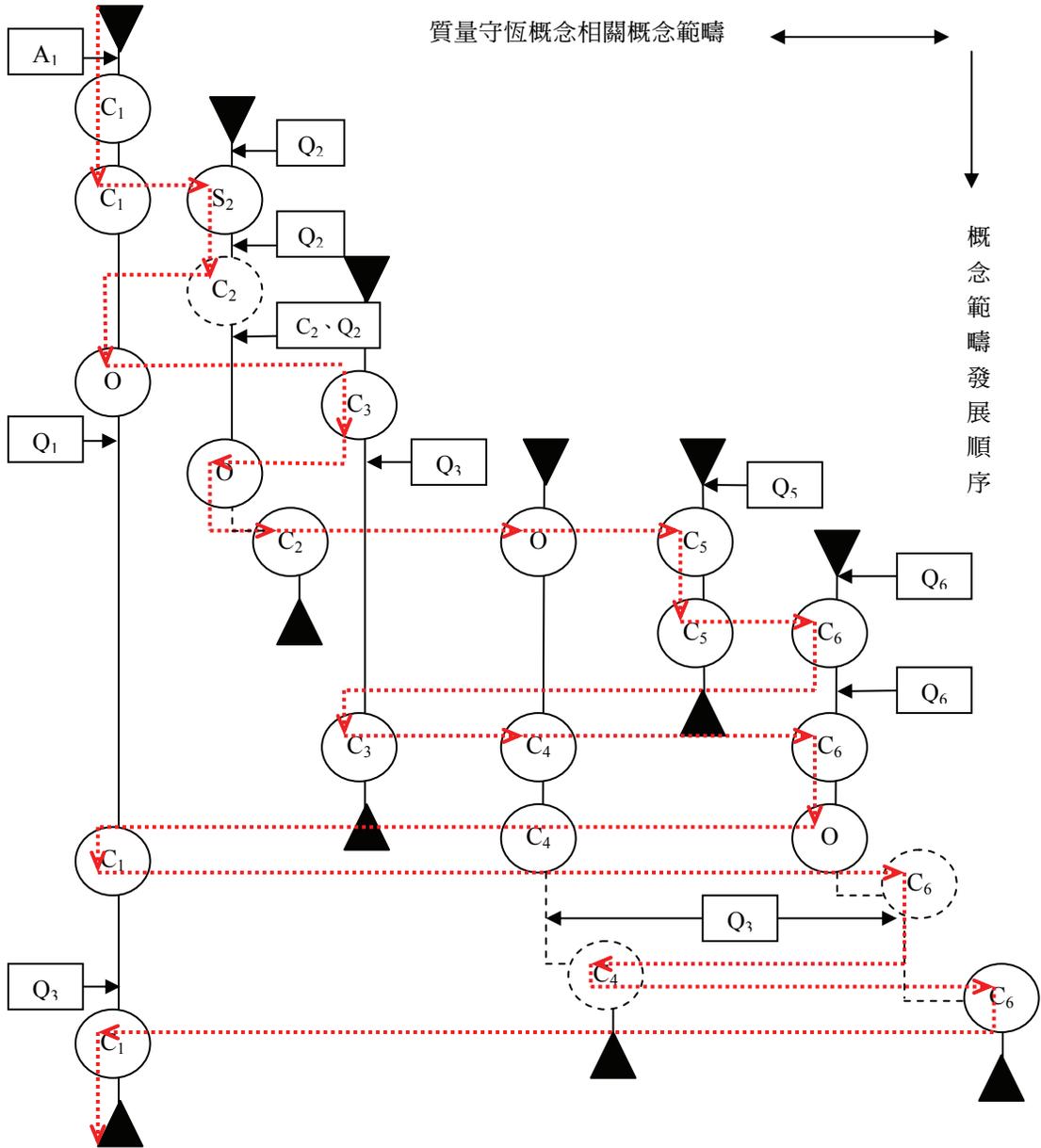


圖 2 H1 質量守恆概念發展流程圖

研究者依照相同方式處理其餘個案學生質量守恆概念發展流程圖（詳如圖 2~3、附錄 1~4 所示）。比較所有個案學生質量守恆概念發展流程圖發現：雖然每位個案學生質量守恆概念發展過程均出現上述 6 種概念範疇，但其出現順序、內容與發展脈絡並不完全相同，每位個案學生的概念發展過程均具有獨特性。

（二）質量守恆概念發展過程涉及概念範疇內的發展與概念範疇間的轉移

從圖 2 可知，H1 質量守恆概念發展過程除了與概念範疇內的發展有關，亦會在不同概念範疇間進行轉移，而每次轉移可能涉及多個概念範疇。此種同時涉及概念範疇內與概念範疇間的發展過程並非僅是高分組學生的特有現象，中、低分組個案學生縱然在質量守恆先備概念不足的情況下，亦能依照實驗觀察與認知思考（諸如：推論、猜測…等）延續概念發展，甚至產生概念改變（如圖 3：低分組個案學生 L2 質量守恆概念發展流程圖）。換言之，概念範疇內的發展與不同概念範疇間的轉移應為概念發展的共同現象，與質量守恆概念二階段紙筆測驗成績高低無關。

此外，個案學生質量守恆概念發展包括多個相關概念範疇共同發展，並非只有某個核心概念範疇單獨發展、豐富或調適而已。由於實驗現象、研究者提問、相關概念範疇轉移…等均會影響概念發展，因此每位個案學生呈現出獨特的概念發展過程，此與洪振方和蔡智文（2007）探討國一學生酸鹼中和概念發展的結論相同。尤此可知，自然教師在進行科學概念教學時，不應只侷限在某個教學目標概念而已，而是應該盡量連結相關的科學概念，並盡量以實驗、事例…等輔助教學，如此方能促進學生科學概念學習。

二、國中一年級學生質量守恆概念發展相關概念範疇的特點與功能

（一）質量守恆概念發展相關概念範疇的特點

研究者檢驗 6 位個案學生質量守恆概念發展流程圖，發現以下特點：1. 概念發展過程均涉及天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量概念範疇，但是每個概念發展過程具有獨特性。2. 概念改變甚少於概念範疇發展初期出現，多半於發展後期出現。3. 概念範疇發展過程中概念改變不易發生，實驗現象觀察為促進概念改變的主因之一。

對於概念發展過程涉及 6 種相關概念範疇與發展獨特性而言，研究者檢驗個案學生質量守恆概念發展流程圖，發現每位學生概念發展過程均始於天平概念範疇，此乃半結構晤談是從最具體的天平操作開始進行所致。但是隨著半結構晤談逐漸擴展到學生是否能察覺各種反應現象與推論質量是否守恆…等較抽象複雜的題幹之後，不同個案學生的概念發展脈絡顯示出頗高的發散。雖然每位個案學生概念發展存有差異，但均會與天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量概念範疇有所關聯（詳如圖 2~3、附錄 1~4 所示）。以質量概念

範疇為例，6 位個案學生呈現的正確概念、另有概念、猜測、實驗觀察與概念改變次數…並不相同，因而造成概念範疇發展脈絡的差異（詳如表 4 所示），此種差異亦出現在相關的概念範疇上面。綜言之，質量守恆概念發展過程具有同中存異、異中存同現象，此與林財庫(2005)主張人類的知識與進化系統內容、狀態、結構、演化的過程、模式、機制，不論如何相似，也必然存在著不同點的看法極為相似。

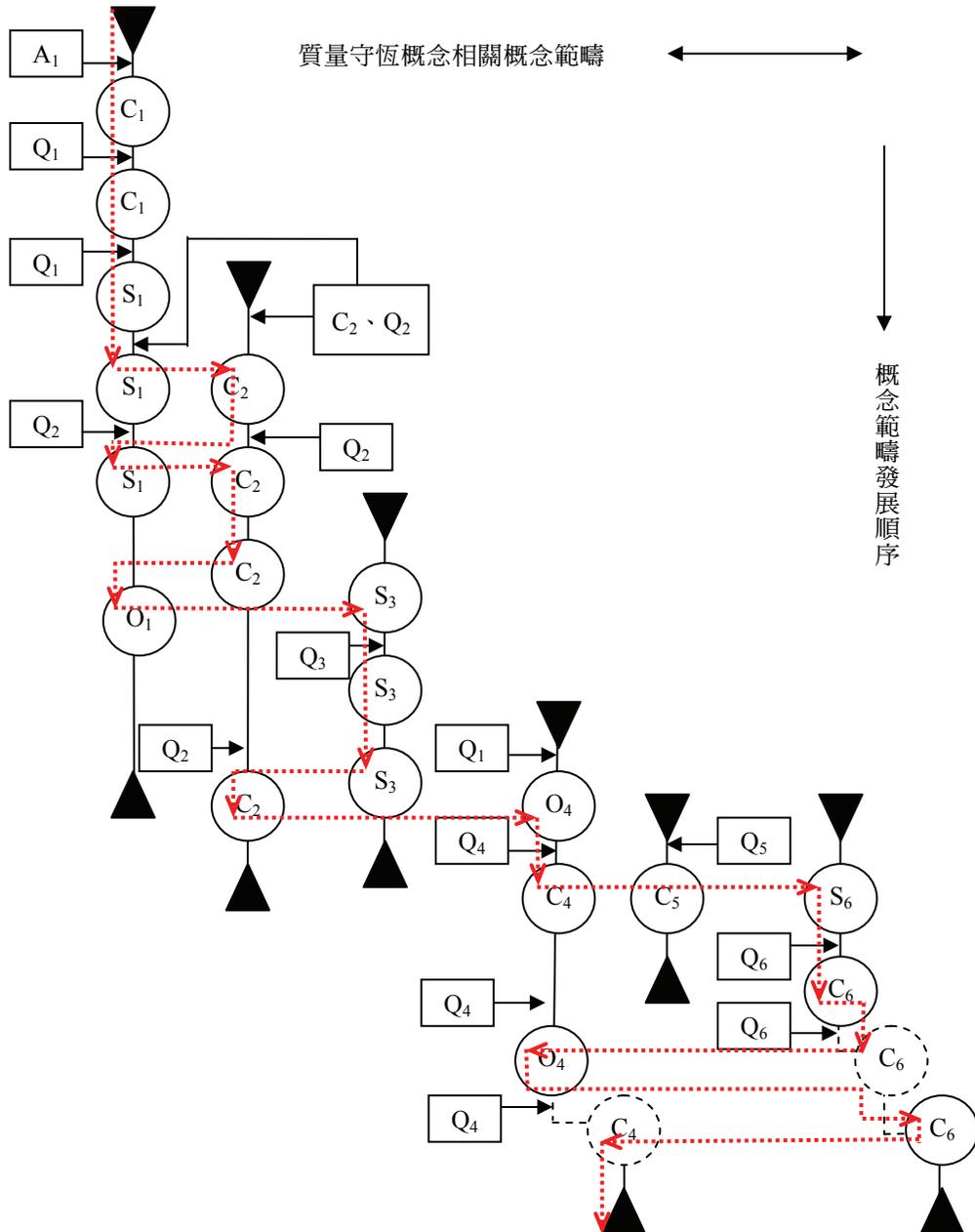


圖 3 L2 質量守恆概念發展流程圖

表 4 個案學生質量概念範疇內容

個案學生	正確概念	另有概念	猜測	實驗觀察	概念改變次數
H1	3	1	0	1	2
H2	6	0	1	0	0
M1	2	2	0	1	1
M2	3	1	1	2	0
L1	2	0	1	1	0
L2	2	1	1	0	2

就概念發展過程中的概念改變而言，研究者發現，6 位個案學生質量守恆概念二階段紙筆測驗成績雖有高中低之分，但其質量守恆概念發展過程中的概念改變均不易發生，而且多半發生於概念發展後期。以質量概念範疇為例，僅有 H1、M1、L2 發生概念改變，其餘 3 位個案學生並未發生概念改變。此外，實驗觀察似乎為國中一年級學生概念發生改變的主因之一，以 M1 為例：

M1：質量應該會因化學反應放熱而變得不一樣。可是熱並不是質量，因為它沒辦法用天平秤出來，而是要用溫度計測量才對。

研究者：你認為放熱真的會對質量產生影響嗎？

M1：(仔細觀察天平上面的砝碼) 嗯！反應前後，天平上面的砝碼沒有變多也沒有變少，那麼摸起來熱熱的杯子與質量應該是沒有關係(用手觸摸杯子)。

研究者：你能不能再確認一下你剛剛的說法，還有你為什麼會如此認為？

M1：現在我覺得質量跟熱不熱沒有關係，因為剛剛在反應前後，天平上面的砝碼都是一樣的。

從上述資料中可知：起初 M1 認為質量會因為放熱而改變、熱不是質量，因此 M1 在此持有一個與質量概念範疇有關的迷思概念、一個與熱概念範疇有關的正確概念。當研究者繼續提問之後，M1 藉由觀察天平上面的砝碼，進而產生熱與質量無關的概念內容，此與之前 M1 認為質量會因放熱而改變的概念不同，亦即 M1 在此藉由實驗觀察而產生概念改變。最後研究者再次確認 M1 此概念是否穩固並詢問概念改變的原因，M1 說出他是以天平的砝碼做為考慮的依據。莊麗娟(2008)研究指出 3 至 6 歲的幼兒物體概念發展過程中，視覺訊息對於認知推理具有主導性的影響力，而多重感官、具體操作可以協助幼兒超越視覺的隱微訊息，進而建立完整的思維機制。對於國一學生而言，實驗觀察所帶來的視覺訊息仍然為概念改變的主因之一，對於概念發展過程具有關鍵的影響力。

(二) 質量守恆概念發展相關概念範疇的功能

研究者發現 6 位個案學生質量守恆概念發展流程圖所顯示的相關概念範疇中（天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量概念範疇）並未出現「質量守恆概念範疇」，此現象暗示質量守恆概念應是一種抽象、複合的概念，亦意味著介於具體操作與形式運思轉換的國一學生若欲發展某一抽象科學概念時，必須藉助與此抽象概念有關的具體概念或事物的協助方能進行抽象的思維運作與概念發展。此種運用多個相關概念範疇表徵某個概念的現象，有別於古典觀點之下對於概念的嚴謹定義，而與範例觀點對於概念的界定更為相近。此乃範例觀點下的「概念」並非意指人們能使用某一特定規則分類所有的事物，而是主張多元一致且相似重要的範例能組成某個概念，進而具有分類與表徵事物的能力所致（Brooks, 1987; Medin & Schaffer, 1978; Spalding & Ross, 1994），此發現再次強調科學實驗與感官經驗對於國中學生概念發展具有啟發的效果。

概念發展除了與學校教學、生活經驗與直觀推論有關之外，亦會因為學生使用概念範疇組成本身知識架構的傾向，進而造成概念發展的複雜性（許良榮、劉政華，2004；Gelman & Markman, 1987），此種現象研究者亦在個案學生質量守恆概念發展流程圖中有所發現。換言之，學生的知識架構基於概念範疇發展，而概念範疇發展是個案學生知識架構建立的必要條件，概念範疇如同編碼系統般的運作，亦即質量守恆概念發展成效取決於相關概念範疇發展。就本研究而言，雖然 6 位個案學生在實驗初期擁有的質量守恆先備知識並不相同，後續概念範疇發展內容亦是有所差異，不過每位學生均顯現運用概念範疇進行推論的現象，此一發現與陳瑞麟（2004）主張科學家可以透過「分疇」與「分類」將對象世界劃分成許多範疇與樹狀分類階層，並藉此定義、組織個體對於物理世界種種現象的理解頗為相似，此外，Tsai 與 Chou（2006）亦主張人們具備使用範疇進行推論的可能性與能力，因而概念建構與其概念範疇的發展具有高度相關。換言之，人類可以藉由範疇的不同內容來論證概念建構的差異。就質量守恆概念而言，許朝欽（2006）認為國中學生在質量守恆方面的物質性質與變化概念進展呈現出多方面的情形，不同概念進展模型存在於不同的物質中，而不同年級學生在概念進展上沒有明顯的概念跳躍並出現極大的重疊性，此與本研究發現概念發展過程會在不同範疇間轉移、多個範疇共同發展、概念改變不易出現的現象吻合。

三、質量守恆概念發展的思考機制

國一學生質量守恆概念發展具有從「內化修正」朝向「外推解釋」的思考機制。對於個案學生而言，感官經驗具有決定概念範疇發展的關鍵影響力，此外像實驗操作、現象觀察或研究者提問…等亦能產生影響。個案學生受到上述影響因素啟動概念發展，進而產生「經驗內化」、「思維實驗」、「概念形成」、「相關概念範疇形成」的內化與修正。假若延續半結構晤談時間，則個案學生具有依據本身已經建立的概念範疇引導概念發展、運用思維實驗解釋外

界經驗現象或推理實驗的趨勢。綜言之，概念發展的思考機制似乎具有從經驗現象的內化 → 思維實驗修正與形成概念 → 概念範疇的外推 → 解釋經驗現象的趨勢（如圖 4 所示）。

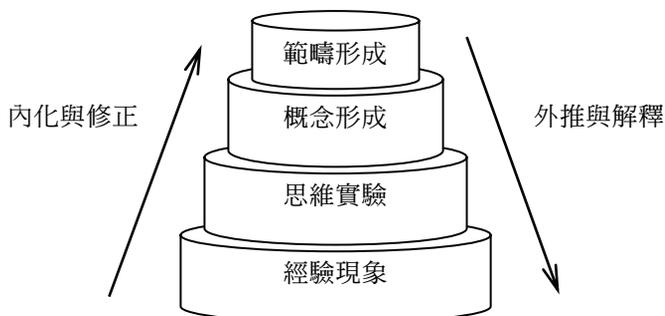


圖 4 概念發展思考機制

以 M2 酸鹼中和概念範疇發展為例（如圖 5 所示），M2 在發展初期知道酸鹼中和是將鹽酸加入氫氧化鈉之中並察覺酸鹼中和會放熱，此代表 M2 能回憶過去經驗並感受實驗現象。隨著實驗進行，M2 猜測酸鹼中和應加入其他物質（指示劑）以偵測反應進行，亦藉由觀察指示劑顏色變化形成指示劑可以幫助酸鹼中和和實驗觀察的概念，此為 M2 運用思維實驗猜測酸鹼中和反應實施並形成指示劑可以協助酸鹼中和觀測的概念。後續發展中，M2 逐步形成質量、指示劑、酸鹼中和與熱 4 個相關概念範疇內容，至此，M2 呈現出對於外界經驗現象的內化、思維實驗修正與形成概念的思考機制，逐步建立與質量守恆概念有關的相關概念範疇與概念內容。

M2 酸鹼中和概念範疇發展並未因為上述思考機制的產生而停頓，M2 持續將不同的科學知識與現象進行範疇歸類與形成概念，並運用思維實驗形成酸鹼中和和實驗與系統總質量的關係之後再用實驗觀察驗證本身的想法。綜言之，酸鹼中和概念範疇發展後期，M2 將概念範疇視做思考的「準則」或「模具」，運用思維實驗將其「外推」到各種未曾遭遇的場景之中，亦或將所遭遇的經驗現象置入此模具當中進行考量。相較 Murphy 與 Medin（1985）指出「概念必須擁有一個內在的結構且須時時修正以適應日常生活的知識」的說法，本研究認為「概念的內在結構」與概念範疇關係密切，而「時時修正以適應日常生活的知識」則是與酸鹼中和概念發展具有從內化與修正朝向外推與解釋的思考機制趨勢相互吻合。

此外，本研究發現概念改變多半出現在概念發展後期，此乃學生會以本身所形成的概念範疇作為思維的準則或模具，進而將外界經驗現象置入其中考量所致。假若學生順利運用本身已發展的概念範疇外推與解釋的話，則概念範疇處於相對穩定的狀況，不易產生認知失調進而發生概念改變。假若學生無法合理解釋實驗現象、回答提問或得到合理結論的話，將造成概念範疇外推與解釋受阻，進而對本身所持有的概念範疇與概念感到懷疑，造成概念改變機會上升，甚至出現正確概念變成另有概念、連續多次概念改變的情形。相較於許朝欽

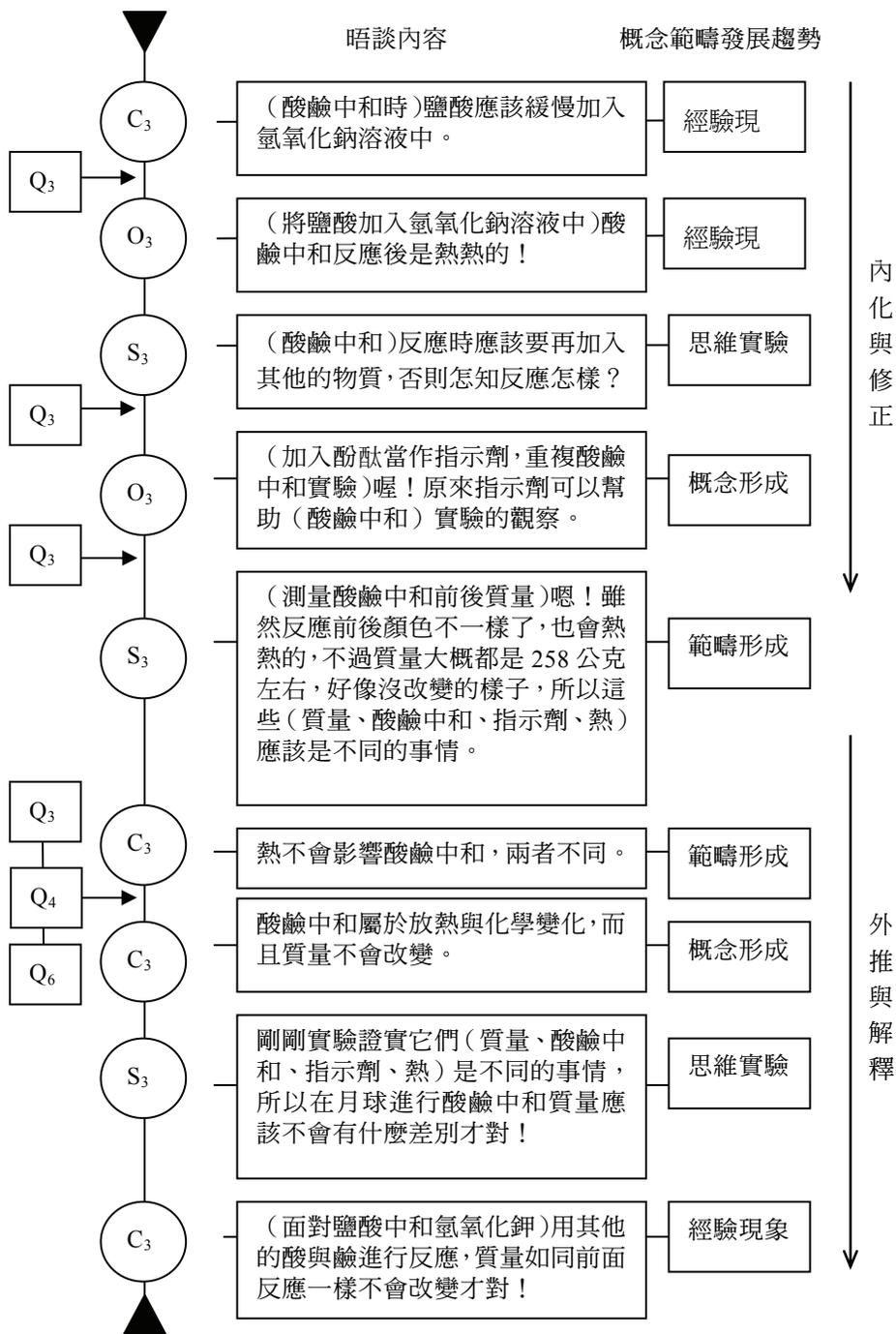


圖 5 M2 酸鹼中和概念範疇發展情形

(2006) 發現國中學生對物質性質與變化概念的理解是從巨觀感官特徵演變到微觀的粒子概念的現象, 本研究發現國一學生除了會將巨觀的感官經驗演變成本身所持有的概念範疇之外, 亦會而運用概念範疇進而解釋巨觀感官特徵。有鑑於此, 國中自然教師或能運用具體事

物、實驗操作以促進質量守恆概念發展。雖然台灣目前的自然科學教育相當重視科學實驗的設計與運用，但有可能出現學生因為誤解實驗現象抑或是教師提問造成學生另有概念的情形，如此將違反科學實驗協助概念學習與發展的用意。因此，對於自然科學實驗教學的設計，除了必須加強學生實驗技能、合作學習、問題解決與歸納推理之外，亦應注意學生可能誤解實驗內容與反應現象的情形，如此方能增強實驗課程的正面價值。

伍、結論與建議

本研究屬於試探性研究，除了藉由微小發生分析法重建與探討國中一年級學生質量守恆概念發展過程之外，亦針對發展過程相關概念範疇的特點與功能、質量守恆概念發展思考機制進行研究。雖然研究者試圖淺化半結構晤談難度、降低題幹抽象度、藉助實驗操作與減少外界干擾以誘發個案學生的質量守恆概念發展，然而因為學生先備知識經驗、表達能力、實驗操作…等因素的限制，造成後續的研究詮釋與推論仍有其適用範圍，若欲將所得結論外推至其他學習場景，則需後續更為深入與廣泛的檢證。

研究發現，質量守恆概念發展涉及天平、指示劑、酸鹼中和、熱、物理與化學變化、質量…等多種概念範疇內的發展與範疇間的轉移，而且每位學生概念發展過程與內容均有其獨特性，換言之，學生的概念發展過程具有同中存異、異中存同的現象。此外，概念發展過程中每個相關概念範疇同時具有發展的傾向，而非某個概念範疇的單獨成長、豐富或調適，顯示自然教師在教學過程中，必須注意教學的主要概念與相關概念範疇之間的連結，如此方能全面提升學生的概念發展。建議後續研究者可針對國中自然課程較為抽象複雜的科學概念(例如，可逆反應、浮力、電流、電壓…等)進行研究，找出共同發展的相關概念範疇以供自然教師參考，進而降低學生學習的困擾。

此外，本研究亦發現質量守恆概念發展主要從個案學生所感知的外在經驗現象出發，經過學生對此現象的內化、思維實驗與概念形成與修正進而逐步建立多個相關概念範疇，再以相關概念範疇為作為思維實驗或意義化外界的經驗現象的「準則」或「模具」。假若學生無法順利解釋實驗現象或回答提問，則易在概念發展後期出現概念改變，此現象出現於前測成績不同的個案學生身上，亦即先備知識的良窳並未能對此思考機制產生影響。不過此一思考機制是否適用於其他科學概念發展、不同年齡的個案學生身上，則需更多的實徵研究方能定論。

對於科學教育而言，自然教師可依循上述思考機制設計實驗活動，再藉由促進學生對於實驗現象的解釋與思考，進而形成各種相關的概念範疇以發展主要的教學概念，亦即自然科學教師應該創造一個能促進學生概念改變的情境以提升學習成效 (Suping, 2003)，涉及鮮明色彩變化、溫度升降…等多重感官知覺的具體操作實驗課程更應受到國中自然教師的重視，藉此促進學生科學概念的發展。謝州恩與吳心楷 (2005) 亦認為自然教師應對教科書中的學

習活動進行改編，使學習活動更具探究特性，進而提升學生科學解釋能力與過程技能，讓學生學習自然科學時不只是累積知識而已，而是為將來生活做準備。此外，雖然本研究發現半結構晤談中的實驗現象或教師提問足以啟動或改變概念發展的發展脈絡，但其結果並未都是正面的，此乃個案學生可能對實驗現象做出錯誤解釋，進而將正確概念轉變成另有概念，更甚者產生多次、連續的概念改變。此種現象容易造成學生的認知失調過久，可能會適得其反影響學生的學習意願。

最後，在未來研究上，由於科學概念發展的探究仍有努力的空間，研究者建議未來研究除了擴充研究樣本的代表性之外（量的研究），亦可針對學校文化、語言、教材、邏輯思考…等因素進行長期追蹤觀察的縱貫研究（質的研究），達到瞭解概念何時發展？為何發展？如何發展？的動態機制，進而探究如何促進學生概念發展？的議題，對於科學教育而言，如此系列研究應是有趣且富有價值的議題。

參考文獻

- 宋志雄 (1993)。探究國三學生酸與鹼的迷失概念並應用以發展教學診斷工具。彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，彰化市。
- 林財庫 (2005)。創造進化觀及其科教應用。科學教育學刊，**13**(2)，141-168。
- 洪振方、蔡智文 (2007)。概念發展等同於概念範疇發展：以國中一年級學生酸鹼中和概念發展為例。高雄師大學報，**22**，39-62。
- 紀宗秀 (2005)。從直觀法則分析學童的迷思概念及概念改變之研究。花蓮師範學院科學教育研究所碩士論文，未出版，花蓮縣。
- 莊麗娟 (2004)。三~六歲幼兒對重量概念的認知：本質認知與保留推理。科學教育學刊，**12**(2)，159-182。
- 莊麗娟 (2008)。三~六歲幼兒對「物、動、影」實存性辨識之試探性研究。科學教育學刊，**16**(1)，1-23。
- 許良榮、劉政華 (2004)。中小學生之溶解概念的形與發展。科學教育學刊，**12**(3)，265-287。
- 許朝欽 (2006)。國中生對物質性質與變化概念理解的進展。臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
- 陳恆迪 (1992)。國中生生物物理概念類比學習之研究。彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，彰化市。
- 陳淮璋、黃萬居、賴文榮 (2002)。國小學童對水溶液概念的認知與迷思概念之初探。科學教育研究與發展季刊，**29**，1-16。
- 陳瑞麟 (2004)。科學理論版本的結構與發展。台北：台大出版中心。
- 黃湘武、劉謹輔、陳忠志、杜鴻模、陸業堯、江新合 (1985)。國中生質量守恆，重量守恆，外體積觀念與比例推理能力之抽樣調查與研究。中等教育，**36**(1)，44-65。
- 黃泮翔、江新合、洪振方 (2007)。知識結構網路表徵分析之研究：高一基礎力學為例。師大學報，**52**，79-104。
- 蔡智文 (2001)。國三學生質量守恆相關概念另有架構之研究。高雄師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，高雄市。
- 謝州恩、吳心楷 (2005)。探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究。師大學報，**50**(2)，55-84。
- 謝志仁、郭重吉 (1993)。國中生化學變化相關概念另有架構之研究。科學教育，**7**，25-51。
- Bell, B. (1985). Students' ideas about plant nutrition: What are they? *Journal of Biological Education*, **19**(3), 213-218.
- Brooks, L. R. (1987). Decentralized control of categorization: The role of prior processing episodes. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 141-174). Cambridge: Cambridge University Press.
- Brown, J. W. (1995). *Implications of microgenesis for a science and philosophy of mind*. Retrieved January 21, 2008, from <http://www.goertzel.org/dynapsyc/1995/Brown.htm>
- Davis, J. (2001). Conceptual change. In M. Orey (Ed.), *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. E-BOOK. Retrieved January 21, 2008, from <http://www.coe.uga.edu/epltt/conceptualchange>.

- Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 3-25). London: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R., & Widodo, A. (2002, February). *Conceptual change views and the reality of classroom practice*. Paper presented at 3th European Symposium on Conceptual Change, Turkey.
- Fensham, P. J. (2001). Science content as problematic-issues for research. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. M. Komorek, A. Kross, & P. Reiska (Eds.), *Research in science education: Past, present and future* (pp. 27-41). London: Kluwer Academic Publishers.
- Frey, M. L. (2005). *Connectionist categorization of concepts*. Retrieved January 11, 2006, from <http://www.ikp.uni-bonn.de/kolloquium/frey.pdf>
- Gelman, S. A., & Markman, E. M. (1987). Young children's inductions from natural kinds: The role of categories and appearances. *Child Development*, 8, 157-167.
- Góes, M. C. R. (2000). A abordagem microgenética na matriz histórico-cultural: Uma perspectiva para o estudo da constituição da subjetividade. *Cadernos CEDES*, 20(50), 9-25.
- Gooding, D. C. (1992). The procedural turn, or, why do thought experiments work. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science, minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 45-76). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Hanlon, R. E. (1991). *Cognitive microgenesis: A neuropsychological perspective*. New York: Springer-Verlag.
- Hesse, J. J., & Anderson, C. W. (1992). Students' conception of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- Medin, D. L., & Schaffer, M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, 85(3), 207-238.
- Meheut, M., Saltiel, E., & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.
- Mortimer, E. F. (2000). *Microgenetic analysis and the dynamic of explanations in science classroom*. Retrieved February 16, 2008, from <http://www.fae.unicamp.br/br2000/trabs/1990.doc>
- Murphy, G. L., & Medin, D. L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review*, 92(3), 289-316.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Ohta, A. S. (2000). Rethinking interaction in SLA: Developmentally appropriate assistance in the zone of proximal development and the acquisition of L2 grammar. In J. L. Lantolf (Ed.), *Sociocultural theory and second language learning* (pp. 51-78). Oxford: Oxford University Press.
- Opfer, J. E., & Siegler, R. S., (2004). Revisiting preschoolers living things concept: A microgenetic analysis of conceptual change in basic biology. *Cognitive Psychology*, 49, 301-332.
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of states of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.

- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities: Conservation and atomism* (A. J. Pomerans, Trans.). London: Routledge & Kegan Paul. (Original work published in 1941)
- 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.
- Rosenthal, V. (2002). *Microgenesis, immediate experience and visual processes in reading*. Retrieved January 30, 2006, from <http://cogprints.org/2489/01/MicroRead.pdf>.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging mind: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Siegler, R. S., & Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46, 606-620.
- Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge: Harvard University Press.
- Spalding, T. L., & Ross, B. H. (1994). Comparison-based learning: Effects of comparing instances during category learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 1251-1263.
- Suping, S. M. (2003). *Conceptual change among students in science*. *ERIC Digest*. Washington, DC: Office of Education Research and Improvement. (ERIC Document Reproduction Service NO. ED482723)
- Tsai, C. W., & Chou, C. Y. (2005, July). *The microgenetic processes of conceptual change*. Paper presented at 36th Annual Conference of the Australasian Science Education Research Association. Hamilton, New Zealand.
- Tsai, C. W., & Chou, C. Y. (2006, February). *Conceptual construction as the development of conceptual categories: The study on the concept about mass for Taiwanese eighth graders*. Paper presented at East-Asian Association of Science Education & Annual Project Meeting for the Year 2005, Hualien, Taiwan.
- Tunteler, E., & Resing, C. M. (2002). Spontaneous analogical transfer in 4-year-olds: A microgenetic study. *Journal Experimental Child Psychology*, 83, 149-166.
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.

作者簡介

洪振方，國立高雄師範大學科學教育研究所，副教授

Jeng-Fung Hung is an associate professor of Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University.

E-mail: t1873@nknuc.nknu.edu.tw

蔡智文，高雄縣立燕巢國民中學，教師

Chih-Wen Tsai is a teacher at Yen-Chao Junior High School, Kaohsiung County, Taiwan.

E-mail: tcw1203@ms29.hinet.net

蔡嘉興，高雄市立明義國民中學，教師

Chia-Hsing Tsai is a teacher at Ming-Yi Junior High School, Kaohsiung City, Taiwan.

E-mail: jason@uninets.com.tw

周進洋，國立高雄師範大學科學教育研究所，教授

Ching-Yang Chou is a professor of Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University.

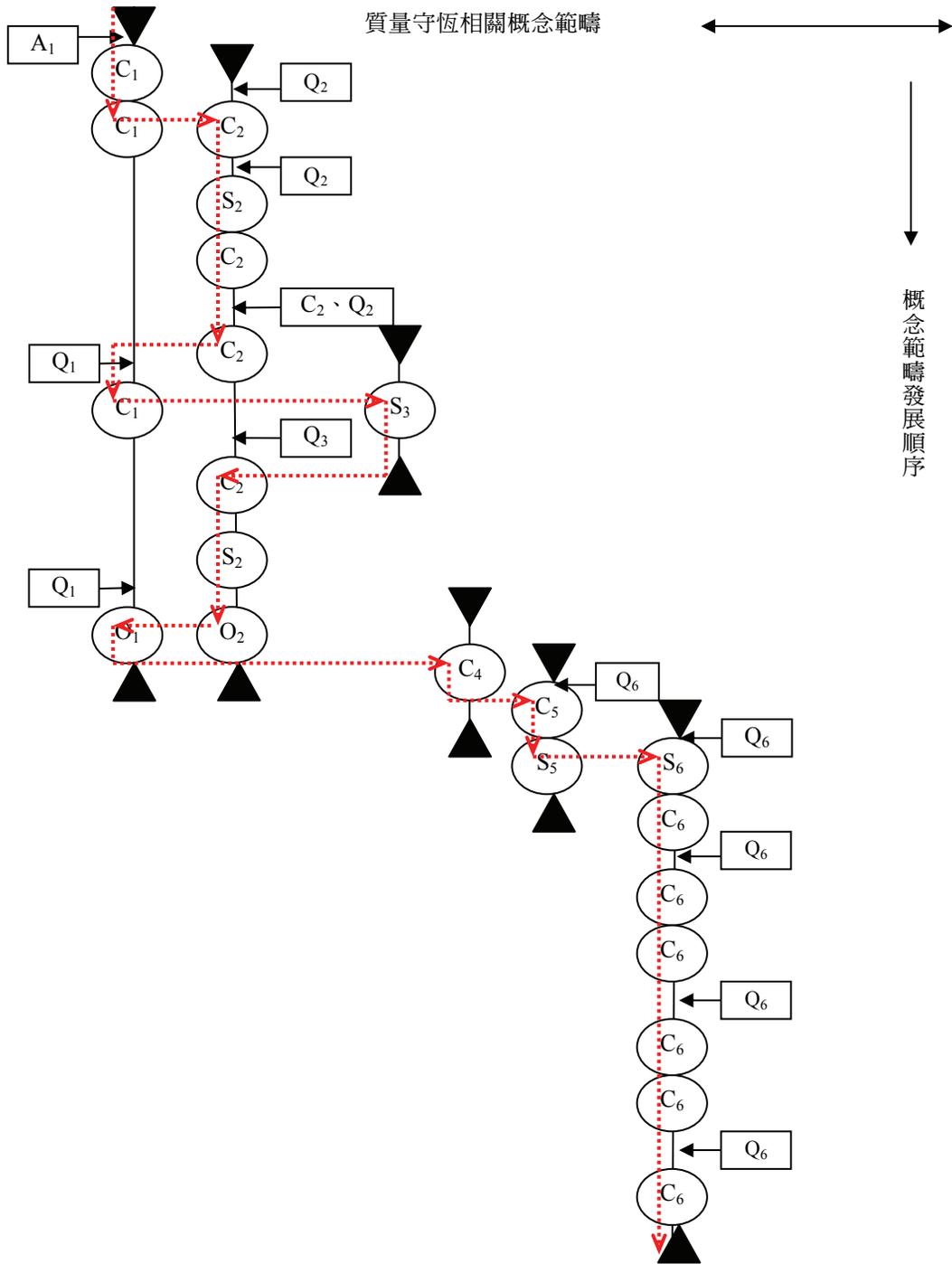
E-mail: chouchingy@yahoo.com.tw

收稿日期：97.04.27

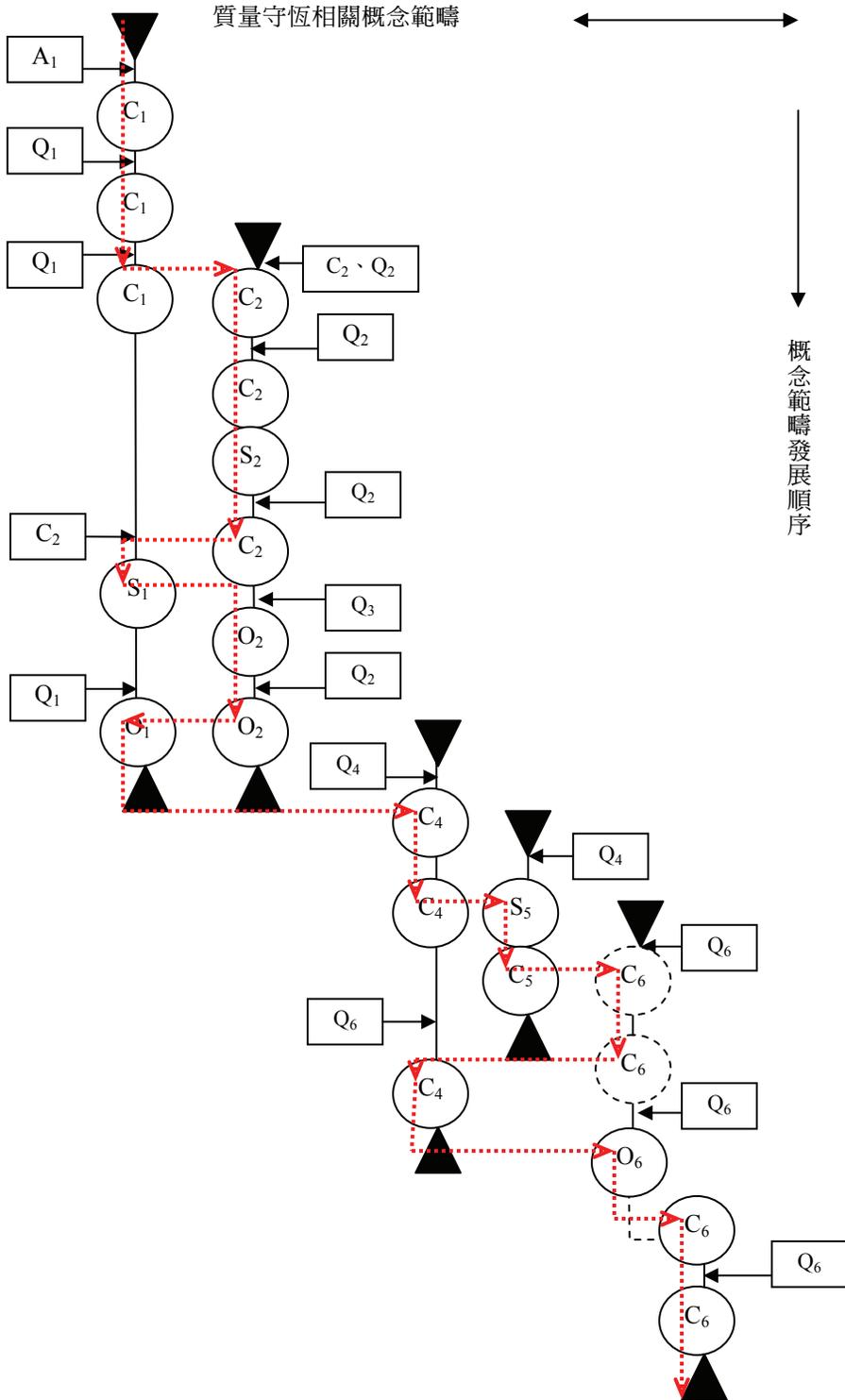
修正日期：97.07.20

接受日期：97.08.25

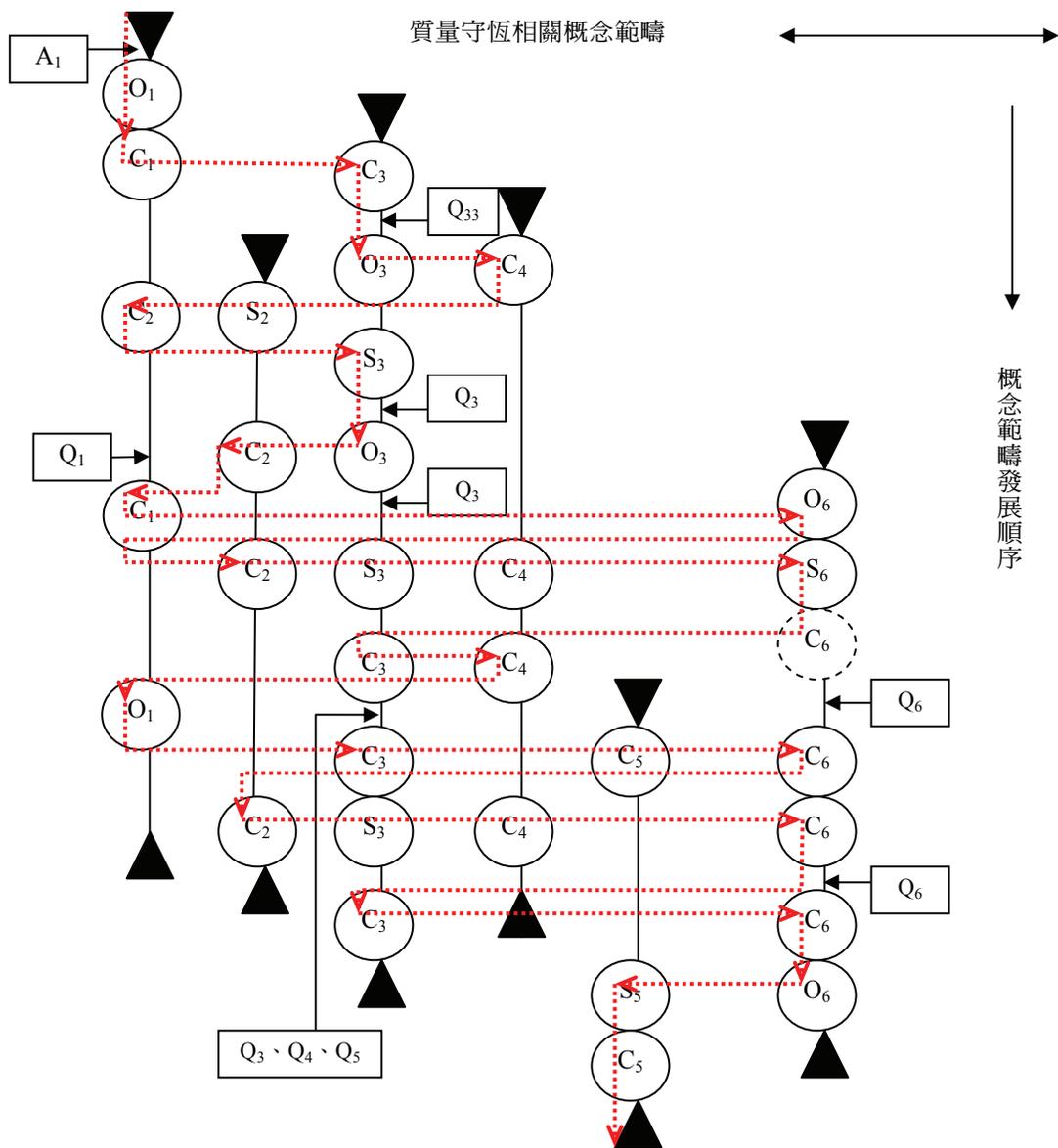
附錄 1：H2 質量守恆概念發展流程圖



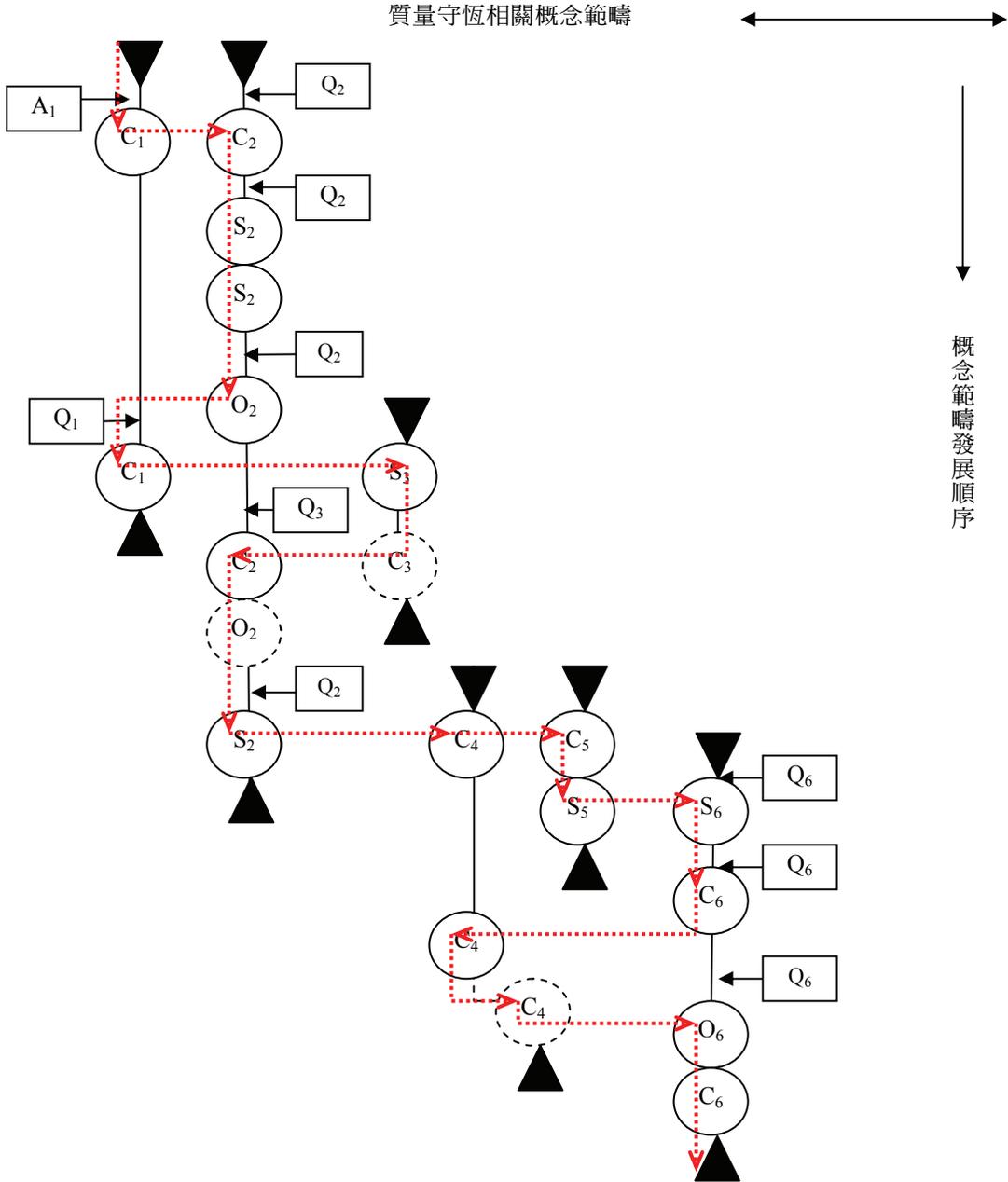
附錄 2：M1 質量守恆概念發展流程圖



附錄 3：M2 質量守恆概念發展流程圖



附錄 4：LI 質量守恆概念發展流程圖



The Movement of Thinking Mechanism from ‘Internalization and Revision’ to ‘Extrapolation and Explanation’: The Study on the Conceptual Development about Conservation of Mass for Taiwanese Seventh Graders

Jeng-Fung Hung

Graduate Institute of Science Education,
National Kaohsiung Normal University

Chih-Wen Tsai

Yen-Chao Junior High School,
Kaohsiung County

Chia-Hsing Tsai

Ming-Yi Junior High School,
Kaohsiung City

Ching-Yang Chou

Graduate Institute of Science Education,
National Kaohsiung Normal University

Abstract

The purpose of this study was to explore the development of conceptual categories and thinking mechanisms relating to the concept of ‘conservation of mass’ for 7th graders. Firstly, the two-tier diagnostic instrument focusing on conservation of mass was administered to 35 7th graders from Kaohsiung County. The participants were divided into high, middle and low groups according their scores in the test. And, 6 participants (with 2 students in each group) were chosen to attend the following semi-structured interviews. Secondly, the microgenetic analysis was employed to analyze the conceptual content and development of conceptual categories to construct the flow chart of students’ conceptual development. The analyses revealed that students’ conceptual development about conservation of mass involved the development and shift intra- and inter- conceptual categories, which all of the relating categories were advanced simultaneously instead of the development of individual category independently. In addition, the thinking mechanism of students showed the tendency from “internalization and revision” to “extrapolation and explanation”.

Keywords: Microgenetic Analysis, conceptual development, conceptual categories, the conception of conservation of mass.

