科學教育學刊
2002, 第十卷第二期, 109-134

Chinese Journal of Science Education
2002, 10(2), 109-134

以多重類比探究兒童電流心智模式之改變

邱美虹[1]　林靜雯[1,2]
[1]國立台灣師範大學 科學教育研究所
[2]台北市立大安國小

(投稿日期：民國90年6月8日，接受日期：91年1月30日)

摘要：由於電流概念的高度抽象性及複雜性，致使學生對此概念無法建立正確的心智模式。Spiro, Feltovich, Coulson 和 Anderson (1989)認為欲教授如此複雜的新概念時，「多重類比」是一解決之道。據此，本研究選取國小四年級學生 32 名，隨機、平均分配至對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組，以探究多重類比教學過程中，學生心智模式改變的情形及其原因。研究結果顯示：

1.多重類比有助於學生電學概念的學習，且互補多重類比組於能量概念的學習上優於其他三組，而相似多重類比組於通路概念的學習成就上雖略高於其他類比組，但並未達顯著差異。
2.經晤談後，學生於簡單及串聯通路的電流心智模式共分六大類，而並聯則有五大類。
3.三類比實驗組的教材明顯較對照組易於提供具體表徵增進後設覺察，進而造成心智模式的轉變。但無論何種教學，學生對於電流經燈泡後衰減的概念仍難以克服。
4.影響學生電流心智模式的因素，主要為：(1)視電池為一儲存槽應發出固定電流或燈泡應獲得固定電流；(2)資源消耗模式；(3)分配電流的觀點；(4)順序推理模式；(5)節點的影響；(6)電路圖形的表徵；(7)封閉通路概念。這些因素顯示學生傾向於將電的世界視為一物質世界，並因而形成學習的預設。

關鍵詞：多重類比、心智模式、電流。

壹、緒論

「電」的世界對學生而言，無異是個既神奇又神秘的領域 通常，教師會利用一顆電池、一個燈泡及幾段電線引領著他們進入這個複雜的領域。一開始時，他們也總以熱情及驚異的眼神回報，認真地建構電、電池及燈泡如何運作的想法。但由於電學本身的高度抽象性及複雜性，國內外許多相關的調查研究咸認為：無論教學如何安排，學生對此概念的理解狀況卻始終不盡理想（陳瓊森, 1993; Shipstone, 1984)。

Arnold 和 Millar (1987)指出，學生學習困難的原因是由於此領域的主概念都是無法直接觀察的。因而許多研究者希冀藉由具體事物的類比來幫助學生學習；但相對的，另一派學者卻憂心類比的黑暗面反而更易彰顯，而學生一旦產生另有概念，這樣的另有概念便根深柢固，無法改變。就類比引發另有概念這項限制而言，Spiro 等人（1989）認為有兩個方法可以加以矯正，而「多重類比」便是其中一個重要的方式，尤其當所欲教授的新概念越複雜、結構越不完整時，便越須利用多重類比和較多已知的概念進行整合，而電學的高度抽象性及「物質」、「能量」之間難以釐清的「混合」特質，正好是值得探討的主題。Tenney 於 1984 年時曾強調多重類比於電學概念教學的重要性（引自 Driver 等人, 1994），但系統性的研究卻始終闕如。因而研究者以電學為內容基礎，初探多重類比於小學四年級電路學習上扮演的角色。

貳、研究目的與問題

本研究主要的目的有二：一是經由不同的教學設計（對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組），初探多重類比在電學概念學習時扮演的角色；其次，進一步探究四組學生在不同教學過程中，其電流心智模式變化的情形，並藉此找出影響學生概念改變的主因。

根據上述研究目的，本研究的研究問題如下：

1.檢驗電學成就測驗成績之虛無假設是否成立？

虛無假設(H_0)：對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組四組的教學對電學成就測驗成績並無差異。

取代假設(H_1)：對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組四組的教學對電學成就測驗成績有顯著差異。

2.若 H_1 成立，則進一步探討：

2-1. 四組學生於電學成就測驗中「能量」概念中的表現是否有顯著差異？

2-2. 四組學生於電學成就測驗中「通路」概念中的表現是否有顯著差異？

3.四組學生的電流心智模式為何？

4.學生電流心智模式改變的情形及其原因為何？

參、文獻探討與分析

以下主要藉由多重類比、心智模式及電學相關研究的探討，作為本研究之理論基礎。

一、多重類比於科學概念學習時扮演的角色

許多學者咸認為多重類比有助於科學概念的學習，而綜覽現有的文獻指出，其在學習方面至少有克服另有概念及形成基模兩項功能，以下就此兩項功能分別論述。

(一)克服另有概念

誠如 Thagard (1992)所言，類比的使用存有危險性，但它的確可以幫助學生從一陌生領域初步了解另一特定領域，特別是建構主義視學習為概念上的改變，類比更是可促成概念改變的利器之一，因此我們實不能因噎廢食。就類比引發另有概念這項限制而言，Spiro 等人(1989)認為有兩個方法可加以矯正：(1)學習者及教師須更加注意類比失效、錯誤引導或不完整的地方，並儘可能地避免它。(2)利用多重類比的整合，傳輸更多困難概念複雜的必需性。

但 Spiro 等人又進一步強調，類比的還原力(reductive force)實不容小覷，因此若僅僅只是警告學生類比的限制是不夠的，尤其當所欲教授的新概念越複雜、結構越不完整時，便越須利用多重類比和較多已知的概念進行整合。

Spiro 等人（1989）認為多重類比中額外附加的類比可以促進概念的理解，因此針對其功能整理出八大向度：

1.（以新類比）補充(supplementation)：較早提供的類比於主題領域中有所遺漏，而由新類比補充。
2.（以新類比）校正(correction)：來源類比錯誤引導主題領域時，新類比在不改變原類比提供的正確資訊情況下提供校正的功能。
3.（原類比的）變更(alteration)：有時原類比不正確的元素可藉由修正處理。
4.（原類比的）增進(enhancement)：增進是原類比的再精鍊，其依賴對於主題領域的理解，這須要克服原類比的表面性(superficiality)而沒有改變其存在的組成物或誇大它。
5.擴大或精緻化(magnification or elaboration): 由尺度改變強調的來源類比所引出的取樣單位(grain size)，導致不正確地獲得主題領域。擴大有兩種可能的處理：(1)引介新的類比以擴大舊類比(2)以不同尺度保有舊類比。當然，取樣單位亦可能以「反擴大」的方式減少。
6.面向的改變(perspective shift)：複雜的領域總是可以由不同的方式引進。新類比可以傳輸和原類比不同的面向。
7.競爭(competition)：一個以上的類比於相同的領域競爭，一類比最終取代其中一個被拋棄的競爭者而獲得特殊位置。
8.序列的安排(sequential collocation)：過程中每個階段由一個類比呈現。單一類比用於一現象中每個可辨明的片段，且類比僅僅是排列而沒有任何整合的需要。

Spiro 等人(1989)強調，上述這些功能僅僅只是初步的探究，並未含括多重類比的所有面向。而教學上多重類比的功能亦非單獨、平行地運用，而是摻雜許多重疊、互補的地方，因此上述的功能也絕非涇渭分明地劃分。

(二)形成基模

多重類比可以幫助學生聚焦於類比根本的因果結構，因此可以協助基模的建構。基模破除了個別範例的專一性，一但以語意架構的方式學習和儲存基模，和概念相關的部分將容易觸接並應用到新奇的問題上(Holyoak 和 Thagard, 1995)。Gick 和 Holyoak (1983)依此想法設計了多重範例收斂基模到腫瘤問題的遷移，結果證實，當學生被問到腫瘤問題的解法時，接受兩來源類比的學生，即使不經提示亦比接受單一來源類比的學生易於產生解法。有關知覺分類學習的研究亦發現，若給予受試者相關的多樣化範例將導致良好的遷移表現，但學習較慢。研究更進一步指出，若一開始便給予學生少量但高度變化的範例會妨礙遷移的表現。

二、心智模式

有關心智模式的陳述，最早由 Kenneth Craik 於 1943 年提出，他主張人類會自動轉譯外來的事件成為內在的模式，並藉由操弄這些符號表徵來進行推理、產生行動，或覺察到這些符號和外在世界的一致性。於此，Craik 的心智模式是一種動態的表徵或對世界的模擬(Johnson-Laird, 1989)。Johnson-Laird (1989)認為心智模式代表著事物的狀態，扮演著直接表徵或類比的角色，其結構反映了世上事物的相關狀態。Vosniadou 和 Brewer(1992)則認為心智模式是為了回答、解決問題或是處理某種狀況所產生的一種動態結構，其源自概念結構，

並受其限制。雖然學者對心智模式的定義不盡相同，但咸接受心智模式是一種符號的表徵，並強調其捕捉特定、非一般性知識的動態特質。

在科學教育實徵研究上，Vosniadou (1994)曾針對地球形狀、日夜循環、熱及力四個概念的心智模式進行研究，並企圖藉此建立物理世界概念改變的模式。她認為知識架構並非由許多小概念經由相似性所聯結而成，而是先有一個大架構之後，才逐漸新增知識去填充細部的概念。她將兒童具有的大架構稱之為素樸的架構理論(naïve framework)，它主要源自於兒童早期的日常生活經驗，我們又可將之分成認識論和本體論兩個預設(presupposition)；至於細部的概念則謂之特殊理論(specific theory)，其根源自個體的觀察或文化的脈絡（圖 1），包括一組相關的屬性或信念，藉以敘述有關物體的行為或屬性，並構成所謂的第二層限制。架構理論或特殊理論於問題解決情境時可提供心智模式的產生，並成為特定表徵的基礎。而兒童之所以會有迷思乃因其想要將新的訊息納入舊有的概念結構所致。另言之，架構理論中的預設會成為兒童建構特殊理論時的限制。

Vosniadou 和 Ioannides (1998)認為學生無法自我察覺到預設和信念的假設限制著他們的學習，因為他們傾向於將之視為物理世界運作的方式而非預設。此外，學生所使用的解釋性架構亦缺乏專家所具有的系統性和一致性，因此概念改變所牽涉的不止特殊信念及預設的改變，同時也須要後設概念省察的發展，以協助學生建立一更龐大、更一致及更具解釋性的理論架構。本研究後續之討論，將藉由 Vosniadou (1994)之架構進行資料分析。

三、電學相關研究

兒童對簡單電路的現象如何解釋呢？Osborne 和 Freyberg (1985)針對紐西蘭的兒童，

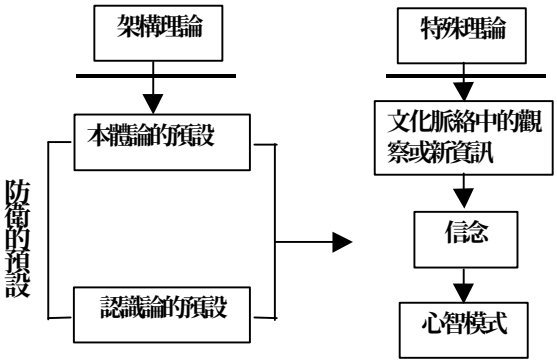


圖 1： Vosniadou (1994)對概念改變架構的看法

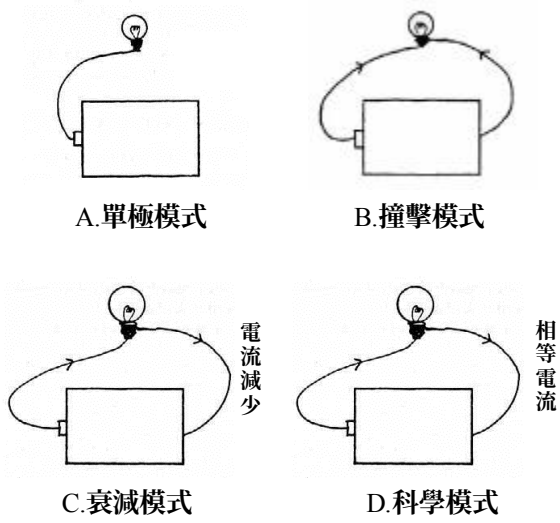


圖 2：學生對簡單電路電流概念之四種模式 (Osborne, 1983, 引自 Driver 等人, 1994)

定義出四種電流的解釋模式：A.單極(unipolar model)、B.撞擊(clashing currents model)、C.電流消耗(attenuation model)、D.電流不變的科學家模式（圖 2）。這在其它國家也都獲致相同的結論(Dupin 和 Johsua, 1984; Gott, 1984; Shipstone, 1985, 引自 Driver 等人, 1994; Shepardson 和 Moje, 1994)。這四種電流的心智模式於不同年齡層的頻率互有消長。大致上，隨著年齡的增長，持有科學家模式的人數亦會上升(Osborne 和 Freyberg, 1985)。

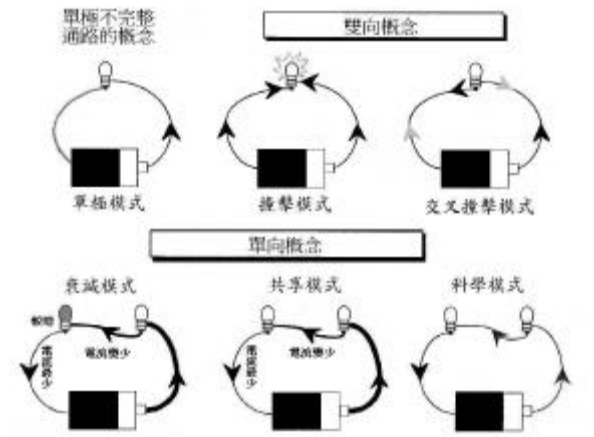


圖 3：學生對簡單電路及串聯電路之電流的六種分類(Magnusson 等人, 1997)

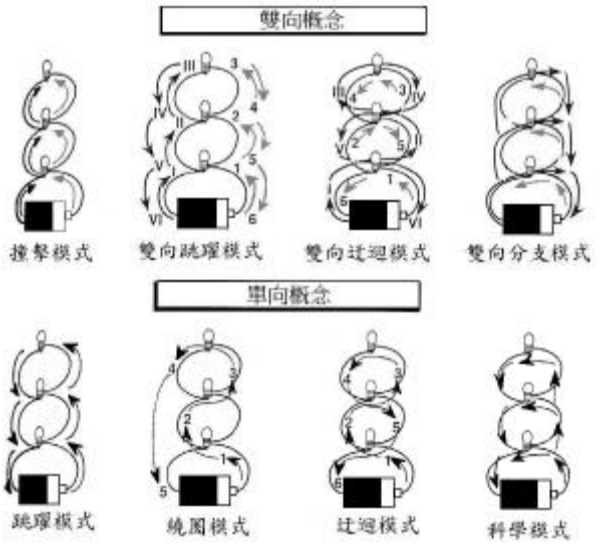


圖 4：學生對並聯電路之電流的八種分類 (Magnusson 等人, 1997)

若將簡單電路擴充成串聯的電路再加以細分，上述四種電路中的 B 模式又可分離出交叉撞擊型(crossing current model)，C 模式亦可再區分為衰減模式及共享模式（圖 3）(Arnold 和 Millar, 1987；Osborne, 1983；引自 Magnusson, Templin 和 Boyle, 1997)。但這套分類僅適合串聯，Magnusson 等人(1997)認為過去的研究過於著重在串聯電路，但串聯與並聯對學生而言，具有不同的知覺，會影響其思考而導致不同模式的發展，因此便設計題目進行探究，研究結果歸納出學生具有八種並聯電路的電流模式：1.撞擊模式、2.雙向跳躍模式、3.雙向迂迴模式、4.雙向分支模式、5.跳躍模式(bouncing model)、6.繞圈模式(loop model)、7.迂迴模式(serpentine model)及 8.科學模式（圖 4）(Magnusson 等人, 1997)。可惜的是此套分類僅止於電流方向的描述，至於電流更深一層的情形則缺乏詳盡的探討。

Arnold 和 Millar (1987)認為兒童對於串聯電路的錯誤解釋，顯見其不具理解並聯電路的能力，但 Magnusson 等人(1997)卻指出三到五年級的兒童，可藉由動態科學評量的實施對並聯電路達到某種程度的理解。綜上所述，本研究除參考 Magnusson 等人的研究外，亦設計題目進一步針對並聯電路的電流加以探討，希冀對學生於並聯電路的電流心智模式有更詳盡的描述。

肆、研究方法

本研究主要目的在於以電學為內容，藉由發展適當的工具，初探多重類比於科學學習上扮演的角色。故此，研究以實驗設計的方式進行，主為心智模式的質性分析，輔以學習成就的比較。以下茲就研究對象、教材設計的原則、研究流程、研究工具的發展過程以及資料分析的方法加以說明（詳見林靜雯, 2000）。

一、研究對象

本研究選擇台北市大安區一小學進行研究。研究對象的選取分為兩階段，第一階段先選擇願意配合的四年級班級共四班，107 人，以瞭解學生在未教授電學之前的起始概念。第二階段則依據研究者自行編製之電學先備知識



A B C

圖 5：本研究所使用三類比之圖示

測驗的成績，篩選出電學先備知識測驗平均成績上下一個標準差範圍之中等程度學生，再以分層抽樣在隨機分配至四組的方式，以確保四組學生成績的平均及分佈狀況皆相當。之所以鎖定中等程度的學生為研究對象，主要是因為國內外之教學研究多以高、低成就學生為對象而忽略了中等程度學生，但這群如同「隱形人」的中間地帶卻是此社群中之大多數，故此，研究者決定「聽聽他們的聲音」！

二、教材設計

本研究主要目的在探討多重類比對學習的影響，所以教材分為四種形式：1.未含類比教材的對照組、2.單一類比教材組、3.相似類比教材組及 4.互補類比教材組。在學習內容上，研究者依據電流物質及能量兩大向度架構出五項主題。這五項主題在物質方面為簡單通路、複雜通路及斷路；在能量方面則分別探討燈泡串並聯時的亮度及電池串並聯時燈泡的亮度。

架構好學習內容後，研究者依照 Gentner 和 Gentner (1983)對電學心智模式的研究，將領域知識中的概念詳細區分為物件、屬性、關係及高階關係（表 1）。除對照表中的概念外，亦考慮以下的因素選擇適當的類比。綜覽文獻，研究者發現「簡單用水系統」及「粒子」類比是最常被引用以解釋電路串、並聯時通路、斷路等概念的類比，其中更以「簡單用水系統」的類比為最，故單一類比便選定「簡單用水系統」模式（圖 5A），而相似性類比的擇選也基於此理由，綜合 Gentner 和 Gentner「移動的人群」、Black 和 Solomon (1987)「粒子類比」以及陳惠江、許遠光、黃國輝、鄺兆榮(1994, 引自邱美虹, 1996)「長跑者與吊橋」的類比，修正為「障礙賽」的類比（圖 5B）。如此修改乃因研究者認為獨木橋的表徵較易表達斷路的情形，且操場上的比賽對小學生而言，是較為熟悉的類比物，故選用之。至於互補性類比主要欲解釋的概念有通路及能量兩大向度，在有關能量闡釋的類比上，以陳恆迪(1993)的水循環水車類比較常被人引用。因此，本研究略修正其引介的模式，將其原有的「直立式水車循環模型」改為「直立式密閉系統水車循環模式」（以下簡稱「複雜用水系統」模式，圖 5C），以更貼近實際電的表徵。

所有教材經四次預試後進一步修改，而後再商請三位物理背景之大學教授、兩位國中理化教師以及兩位國小自然科資深教師針對整份教材的內容正確性及措辭給予建議以確定研究教材之信、效度。

此外，由於類比組的閱讀內容除原有的非類比解釋文字外，相較於對照組，類比的加入可說額外增加了學習機會。為顧及學習機會的公平，凡類比組插入類比文字之處，研究者皆會對照其它沒有插入此類比的教材，於課文旁附註「請讀兩次」的文字，要求受試者確實閱讀兩次非類比解釋的課文，以調整四組學習機會的均等。

表1：電領域與類比領域概念對照表

	電領域	相似類比		
			互補類比	
		單一類比		
物件	電路系統	簡單用水系統	障礙賽	複雜用水系統
	電流	水流流動的情形	競賽人群移動的情形	水流流動的情形
	電線	大水管	跑道	水管
	電池	抽水機	升旗台	抽水機+水塔
	燈泡	小水管	獨木橋	水車
屬性	燈泡亮度	*	*	水車的轉速
	電壓（力）	*	*	抽水機將水抽高造成的力量
	電流的大小	*	*	水流的速度
關係	電池和電線連接	抽水機和大水管相接	升旗台和跑道相接	抽水系統和水管相接
	電線連接燈泡	大、小水管相連	跑道和獨木橋相接	水管和水車相接
高階關係	並聯的迴路，電流依然可以流通	並排的水管堵住了，水仍然可以流過去	並排的橋樑斷裂，選手依舊可以通過	*
	串聯的迴路，電流無法形成	串接的水管堵住了，水流不過去	串接的橋樑斷裂，選手無法通過	*
	電池串聯，電壓變大，電流變大，燈泡亮度變大	*	*	抽水機抽力增加，水位差變大，水流變快，水車轉動變快
	電池並聯，電流不變，燈泡亮度不變	*	*	抽水機並排，水位差不變，水流速不變，水車轉動的速度不變
	燈泡串聯，電流變小，亮度變小	*	*	兩個水車連在同一個水管，水流速度變慢，水車轉動速度變慢
	燈泡並聯，亮度不變	*	*	兩個水車並排在不同的水管上，水車轉速不變

*表閱讀教材未呈現的類比概念

三、研究工具

欲達前述研究目的，本研究設計六種研究工具，包括：電學先備知識測驗、閱讀教材（分為對照組、單一類比組、相似類比及互補類比四組，其設計原則已於上段詳述）、練習教材、互補類比先備知識閱讀教材、互補類比先備知識測驗、後測。茲將上述各項逐一說明如後：

(一)電學先備知識測驗

此測驗的設計配合教材共分為六大主題。其中，前五大題分別是簡單通路的連接、兩個燈泡通路的設計、燈泡串並聯之通路及亮度的問題，以及電池串並聯時燈泡的亮度。而第六

大題則為瞭解學生於電學教學起點時對電流是否持有特定類比？因此題目參考 Black 和 Solomon (1987)的實驗設計，以問答的形式要求學生回答想像中的電流。由於此題無關乎概念，故不計分。整份試題設計完畢後，研究者除商請上述之教材審定的專家針對整份試卷的內容正確性及措辭給予建議及指正外，並檢驗本工具之信度係數為0.85。

(二)練習教材

基於大部分學生平常閱讀時並沒有一邊閱讀一邊解釋、整理的習慣，也不瞭解何謂「類比」，因此本研究特地設計一份練習教材，協助學生熟悉閱讀進行的方式。由於考慮四年級的學童於三上時學過「水的蒸發」（國立編譯館, 1997）一單元，因此練習教材的內容便以此為題，其中類比的部分改編、簡化自高淑芬(1997)研究中之類比教材–物質的三態變化。

(三)互補類比組先備知識閱讀教材及測驗

就本研究使用的三個類比而言，障礙賽類比及簡單用水系統皆屬學童日常生活熟悉的領域，但「複雜用水系統」模式由於牽涉水位及能量的轉換，不但非日常生活容易理解的範疇，亦非小學的教學內容，因此考慮在利用水類比教學前，應先加強來源領域的理解(Shipstone, 1985)。本研究乃改編陳恆迪(1993)研究中的直立式水車循環類比，對照電學閱讀內容中所須的類比知識，詳細闡述水流動的速度如何受到水位高低及水所受阻力兩因素的影響。並讓互補組於正式閱讀前，額外利用約20 30 分鐘的時間進行「複雜用水系統」的閱讀及測驗，以促使學生於閱讀時更加專注，並作為日後資料分析時三角校正之用。

(四)後測

研究者配合前測及閱讀內容的兩大向度：通路、能量，自行編製後測晤談試卷。全部共十大題，前九題著重在陳述性知識，第十題除陳述性知識外，另強調程序性知識，學生須實地設計通路並進行連結。整份測驗總分為 76 分，而通路方面的概念則佔32 分。

全程採一對一的晤談方式進行，每人約30 40 分鐘左右，除錄音外，並輔以學生紙筆繪圖及研究者實地的記錄觀察。

四、資料處理與分析

本研究所收集之資料，分兩大部分進行處理，一為量化分析，另一為質性分析。茲將各項資料的處理方式詳述於下：

(一)電學先備知識測驗

電學先備知識測驗總分計 60 分。各測驗分數經平均及標準差的計算後，作為第二階段研究對象選取之依據。

(二)閱讀教材

閱讀教材採預測－觀察－解釋(prediction-observation-explanation, POE)的晤談方式進行，以收集學生閱讀過程中電學心智模式的動態變化，並追查模式改變的階段及原因。簡單電路連接的心智模式分析主要參考 Shipstone (1985)、Shepardson 和 Moje (1994)的研究；串聯電路的心智模式則以Osborne (1983)、Arnold 和 Millar (1987)研究的分析為基礎。至於並聯電路的心智模式則較為複雜，一般文獻上極少探討，且並聯電路的表徵若稍有變化，學生的心智模式亦會隨之改變。大致上，本研究有關並聯電路的分析植基於 Magnusson 等人(1997)的研究，但此研究的通路設計更為複雜，和本研究所欲探討之兩個燈泡與一個電池連接的情形仍有差異，因而僅供參考。

(三)後測

後測分析的向度有二：一、比較四組於閱讀後學習成就的差異；二、檢驗學生教學後的心智模式。茲分述如下：

1.四組閱讀後學習成就的差異

後測的設計原則共分兩個向度：通路及能量。研究者修改King (1994, 引自邱美虹, 1996)

表2：發問問題的給分標準類型與範例（修改自 King, 1994, 引自邱美虹, 1996）

問題類型	問題範例
思考性問題： 要求學生不僅要記得上課的內容，還須以某種方式去思考那些問題。	
(一)理解性問題（2 分）： 確定你是否已完全瞭解、能否以自己的話語（非教師或教材的言詞、文字）說明、表達某一定義或某些所學的知識。	三、1.請用鉛筆畫出電線連接電池和燈泡，使小燈泡可以發光。 2.為什麼你認為這樣接會亮呢？ 3.請在畫好的連接圖中畫出電流流動的方向。
(二)統整性問題（3 分） 將課文中兩三個或更多的觀點連結在一起。 包括： 解釋有關為什麼（Why）的問題。 解釋如何發生（How）的問題。 解釋 A 和 B 有何相同。 解釋 A 和 B 有何不同。 解釋 A 或 B 在某種情況下可以如何被使用。 解釋 A 與過去我們所學過的 B 有何相關。	九、比比看，哪一個圖中的電池壽命比較長？為什麼？ （請填上>、<或=） 

發問問題的給分標準（表 2），訂定學生答題類型之評分標準。評分標準制訂完畢後，研究者另請兩名評分者同就隨機抽樣的四份後測謄錄卷進行評分內容架構的檢驗，三者的一致性為 92.9%。

後測晤談結果評分後以 SPSS 統計軟體考驗各組不同形式類比的閱讀對有關通路、能量的概念及整體成績上是否有所差異。由於每組人數僅 8 人，因此本研究不考慮 ANOVA 而以 Kruskal Wallis Test 加以考驗。若各組成績達顯著差異，研究者再進一步探究四組中兩兩之間的差異。

2.學生的心智模式

此部分主要欲探究經閱讀後，學生的心智模式是否產生改變或具有概念回歸的現象，其分析原則同閱讀教材。

伍、結果與討論

一、學習成就的比較

為瞭解多重類比對學生電學學習成就的影響，研究者根據前述分析原則，以 Kruskal Wallis Test 對四組整體、通路及能量方面的成績加以考驗。茲將所得結果呈現於下：

(一)整體學習成就

就整體答題情形觀之，無論是否接受類比教學，大部分學生在答題的正確率上，都有明顯提升。若將四組成績以 Kruskal Wallis Test 加以考驗則顯示四組的確具有顯著差異（表 3），於是進一步進行事後的多重比較(multiple comparisons) (Conver, 1999)（表 4）得 M.C.值為 6.068，且發現兩兩之間的六個比較中，僅有單一類比組與相似類比組之間未達到顯著差異，顯示本研究中安排的類比的確有助於電學

表3：四組學生後測整體成績之 Kruskal Wallis Test 比較

	中數	Mean Rank	Chi-Square
對照組	31	8.13	14.767***
單一組	38	14.50	
相似組	41.5	17.56	
互補組	54	25.81	

***p < .001(1-tailed)，每組人數各 8 人

表4：四組學生後測整體成績 Kruskal Wallis Test 事後比較

組 別	對照組	單一組	相似組	互補組
Mean Rank	8.13	14.50	17.56	25.81

p = .05 (1-tailed)

表5：四組學生通路成績之 Kruskal Wallis Test 比較

	中數	Mean Rank	Chi-Square
對照組	15	8.81	7.571*
單一組	22.5	18.88	
相似組	26	20.56	
互補組	23	17.75	

*p < .05 (1-tailed)，每組人數各 8 人

表6：四組學生通路成績之 Kruskal Wallis Test 事後比較

組 別	對照組	互補組	單一組	相似組
Mean Rank	8.81	17.75	18.88	20.56

p = .05 (1-tailed)

學習，且互補性類比教材的教學成效優於其他三組。

(二)通路概念之學習成就

至於通路成績方面，由表 5 的結果顯示四組經 Kruskal Wallis Test 考驗後具有顯著差異，於是進一步進行事後的多重比較(表 6)得 M.C. 值為 7.277，且發現兩兩之間的六個比較中，無論哪一個類比組和對照組相較皆具有顯著差異，不過三類比組之間雖可看出相似類比組的成績略高於另兩組，但其差異並未達到顯著水準。

表7 ：四組學生能量成績之 Kruskal Wallis Test 比較

	中數	Mean Rank	Chi-Square
對照組	17	13.00	17.237***
單一組	15.5	12.00	
相似組	16	12.63	
互補組	28	28.38	

***p < .000 (1-tailed)，每組人數各 8 人

表8：四組學生能量成績之 Kruskal Wallis Test 事後比較

組 別	單一組	相似組	對照組	互補組
Mean Rank	12.00	12.63	13.00	28.38

p = .05 (1-tailed)

(三)能量概念之學習成就

就學生的原案內容看來，由於能量部分的概念較通路部分更為抽象，所以除了互補類比組有以「電力」解釋燈泡亮度的傾向外，其餘三組多以「電流」的向度來回答能量的問題，即以「電流多則燈泡較亮；電流少則燈泡較暗」的原則來解題。例如：

互補組#912 <亮度閱讀階段>

S：（畫出正確的電流圖，右圖）..這個就是說啊電池像抽水機，電是水，抽水機把水打上來的時候，兩個燈泡就像水車的管子啊！..所以水這樣水塔流下去，兩個管子就像這樣(只有一個管子的情形)，是一樣快的，是一樣多的 … 所以[燈泡]會一樣亮。

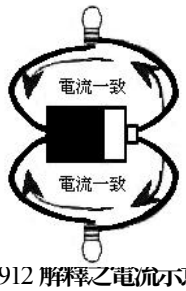
相似組#703 <燈泡的亮度預測階段>

T：你可以把原因整個說一次嗎？

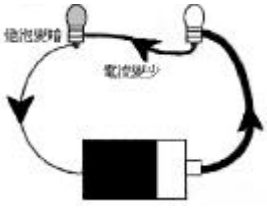
……

S：…..因為它過去，全部的電流 ..就是可能三分之一 ..就是它的，然後再流出來，有些電流就被用光了，到這邊就只剩下 ..只剩下，這邊（電池）是三分之三，這邊（第二個燈泡）只剩下三分之一，其他的電流都被它（第一個燈泡）用光了。

若再就此部分的學習成績進一步加以探討，顯示四組經 Kruskal Wallis Test 考驗後具有顯著差異（表 7），若再經事後的多重比較（表 8）得 M.C.值為 5.570，且兩兩之間的六個比較中，互補組的成績與其他三組相較具顯著差異，至於對照組、單一組與相似組之間則不具



#912 解釋之電流示意圖



#703 解釋之流示意圖

表9：學生簡單通路暨串聯電路之電流模式總整理

	電流模式	子類型	特徵摘要
簡單通路暨串聯電路	A.單極	/	不具封閉電路的概念，電流自電池的一端經由電線傳送到燈泡的底部
	B.雙極	B-1	電池從兩極發出兩股電流流向燈泡，但兩燈泡間電流因被忽略而不具電流
		B-2	電池從兩極發出兩股電流流向燈泡，且兩燈泡間電流會互相傳輸。因電流已先經過一個燈泡再往下一個燈泡傳輸，所以燈泡的亮度會變得較暗
		B-3	電池從兩極發出兩股電流流向燈泡，至中點後反彈。因電流沒有耗損，所以兩燈泡的亮度和只有一個燈泡的簡單電路一樣亮
		B-4 交叉撞擊	電流輪流由電池的兩端出發，各自完成通路。且因電流首先遭遇的燈泡會阻礙後來的電流，因此燈泡的亮度會較簡單通路來得暗
	C.衰減	C-1	電流經燈泡後因被吸收或遭受阻礙而衰減，且電流首先遭遇的燈泡會吸收較多電流，比較亮，而第二個燈泡則較為黯淡
		C-2 共享	電流經燈泡後因被吸收或遭受阻礙而衰減，但兩燈泡共享電流，一樣暗
	D.科學	D-1	具正確通路方向、電流一致，電流強度為實際兩倍，兩燈泡和簡單通路中的燈泡一樣亮
		D-2	具正確通路方向、電流一致，但電流強度比簡單電路弱且非正確電流強度，兩燈泡較簡單通路中的燈泡暗
		D-3	具正確通路方向、電流一致，且電流強度亦正確
	E.燈泡本身有電	/	燈泡中本來就有電，但是電流必須重回電池才能繼續發光，或者越來越亮
	O.不會亮	/	尚未建立完整的通路概念，燈泡不會亮

任何差別。這樣的結果顯示本研究中安排的複雜用水系統類比的確有助於電學中能量概念的學習。

二、心智模式

究竟兒童對簡單電路具有哪些心智模式呢？本研究由學生閱讀教學及後測的過程中整理出各模式的特徵，再進一步探究學生於教學過程中心智模式變化的情形及原因。以下擬就「簡單通路暨串聯電路」以及「並聯電路」兩大向度加以探討：

(一)簡單電路暨串聯電路之電流心智模式

關於學生「簡單電路暨串聯電路」的心智模式，大致上可分成 A.單極、B.雙極、C.電流消耗、D.電流不變的科學家模式四大類（詳見前述之文獻）。而研究者於晤談過程中，又另外發現兩種無法歸於上述四種類型的心智模式，因而將其擴充為六大類，即加入了：E.燈泡本身有電及 O.不會發亮兩大類（詳見圖 6）。

持有 E.模式的學生認為燈泡中本來就有電，但是電流必須重回電池才能繼續發光，或者越來越亮。例如：

單一組#728 <簡單通路教學前>

T：此時電流流動的情形是怎樣的呢？你可不可以用箭頭畫上去？

S：（學生先畫由燈泡底部往電池正極，電池再往燈泡）這樣，從這裡（燈泡）…通過電池，再流到燈泡。

T：為什麼你覺得是這樣流呢？為什麼你覺得是從燈泡，再通過電池，再回到燈泡？

S：因為..如果燈泡..嗯..，..因為燈泡如果它本身就有電的話，然後它就可

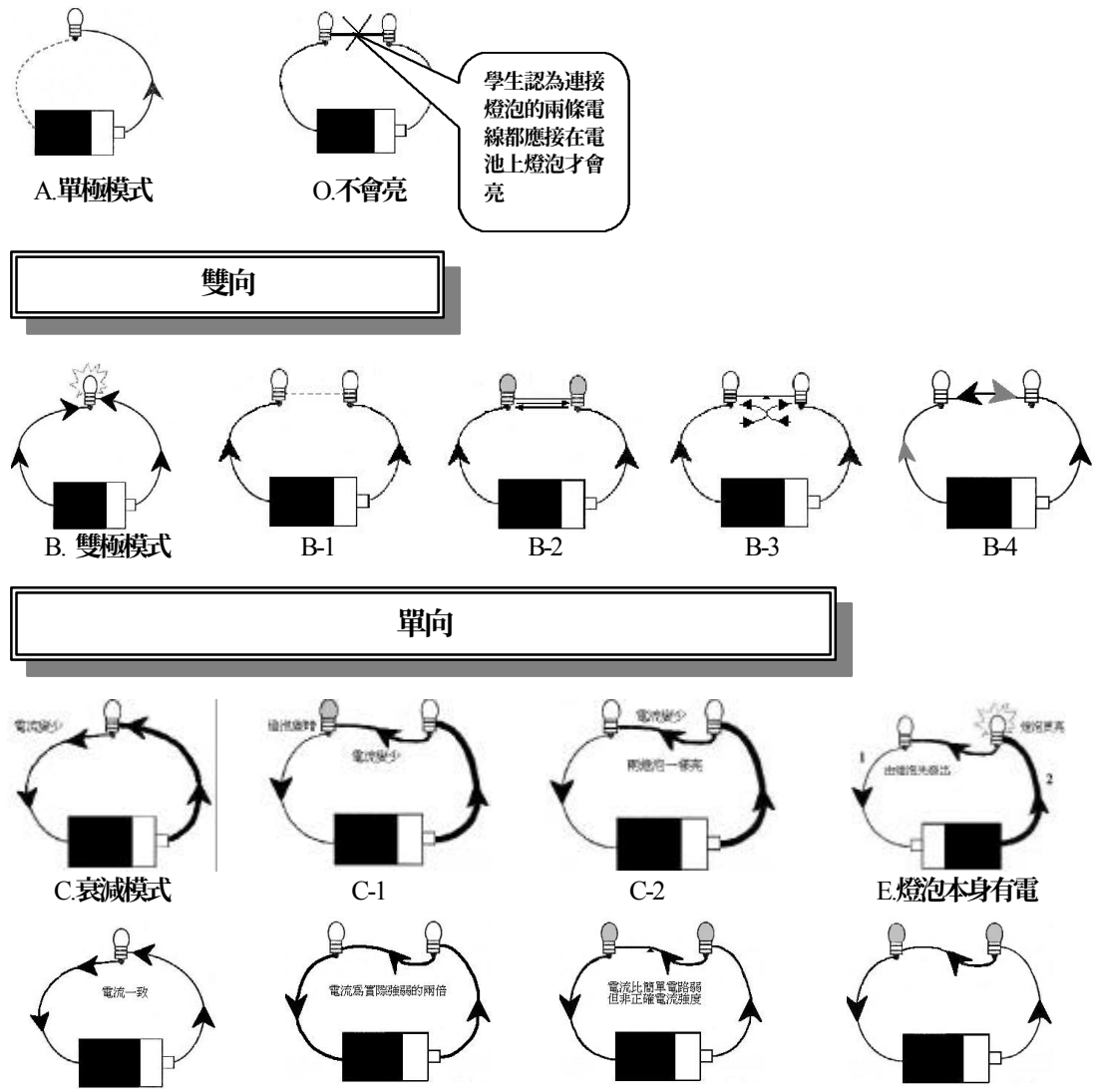


圖 6：學生對於簡單通路及串聯電路所持之心智模式總整理

以從這裡（燈泡），然後傳到這（電池），然後走到這裡（電池）的時候比較有電。

而持有「O.不會發亮模式」的學生則多未建立完整的通路概念，因此會認為串聯的燈泡不會發光。例如：

對照組#914 <複雜通路教學前>

T：你認為圖 2 的燈泡（兩燈泡串聯，參見圖 6 O.不會亮類型）會亮嗎？

S：…..嗯 …（搖頭）。

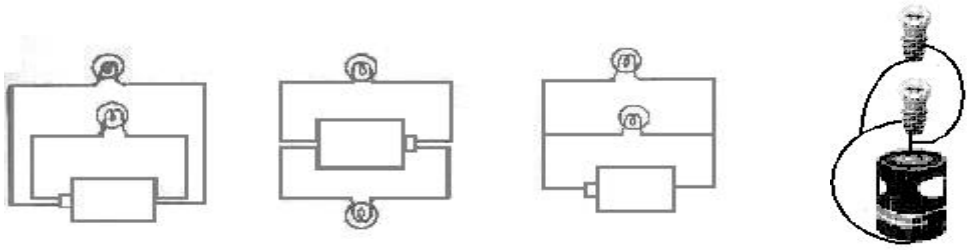
T：為什麼圖 2 不會亮呢？

S：..因為圖 2 ..這一個線應該要兩條，可是它卻只有一條而已。

T：兩條？是什麼意思？

S：那個 ..兩條|電線|是要接在電池。

若再加以考量電流的強弱，則串聯電路又可衍生出 12 種子類型（表 9 及圖 6）。以下分就各心智模式之子類型的特徵詳加說明：



(甲) 兩並聯燈泡位於同側　(乙) 兩並聯燈泡位於異側　(丙) 其中一燈泡未直接以電線與電池相接　(丁) 其中一燈泡未直接以電線與電池相接的複雜線路

圖 7：本研究中出現的四種並聯電路形式

表 10：學生並聯通路之電流模式總整理

	電流通路模式	子類型	特徵摘要
並聯電路	BO.跳躍	/	電流由電池出發到下一個燈泡後，並不直接回到電池而繼續跳到下一個燈泡，之後跳回原燈泡再跳回電池的情形
	B.雙極	B-(1)	電池從兩極發出兩股電流流往燈泡，而後於燈泡處會合使其發光，但學生會以電線長短或燈泡距離分配電流，距電池較遠的燈泡分配到較少電流，燈泡較暗；反之，內圈的燈泡分配到較多的電流，較為明亮
		B-(2)	電池會從兩極發出兩股電流流往燈泡，而後於燈泡處會合使其發光，且電池會將電流平分給兩個燈泡，兩燈泡亮度一樣暗
		B-(3)	電池會從兩極發出兩股電流流往燈泡，而後於燈泡處會合使其發光，電流的大小和簡單通路時一樣，燈泡亮度亦和簡單通路一樣亮
	S.迂迴	S-(1)	電流以連續不斷、曲折迴旋的方式經過兩燈泡，且經過燈泡後，電流會因逐次被燈泡吸收，而越來越弱。當學生用此模式解釋燈泡亮度時，會認為電流先經過的燈泡較亮，後經過的燈泡略為黯淡
		S-(2)	電流以連續不斷、曲折迴旋的方式經過兩燈泡，且流經第一個燈泡後，會有一半被其吸收，剩下的一半再流到電池，而後被下一個燈泡吸收。此時兩燈泡的亮度都會較簡單通路來得暗
		S-(3)	電流以迂迴方式由電池發出，經其中一個燈泡後衰減，但因為再度回到電池時補充了電流，因此再往下一個燈泡前進時，兩燈泡和簡單電路中的燈泡一樣亮
		S-(4)	電流以連續不斷、曲折迴旋的方式經過兩燈泡，且電流一致，因此兩燈泡和簡單電路中的燈泡一樣亮
並聯	C.衰減	C-(1)	電流方向和科學模式相同，但經過燈泡後電流會被燈泡吸收或因遭遇阻礙而衰減，且兩條電線所分配的電流並不相等。兩燈泡中電線較短或距電池較近者亮度較大，另一個則較為黯淡
		C-(2)	電流方向無異於科學模式，電流平均分成兩半同時由電池出發，各自經過燈泡被吸收後再回到電池。兩燈泡較簡單通路中的燈泡暗
		C-(3)	電流方向、強度及燈泡亮度皆無異於科學模式，但電流經燈泡而衰減
	D.科學	D-(1)	電流具正確流向、強弱一致，電流強弱為實際的兩倍，故燈泡亮度與簡單通路時一樣
		D-(2)	電流具正確流向、強弱一致，但電流會平均分配給兩條電線，所以電流較簡單通路時來得小，燈泡的亮度降低
		D-(3)	電流方向正確、強度正確而一致

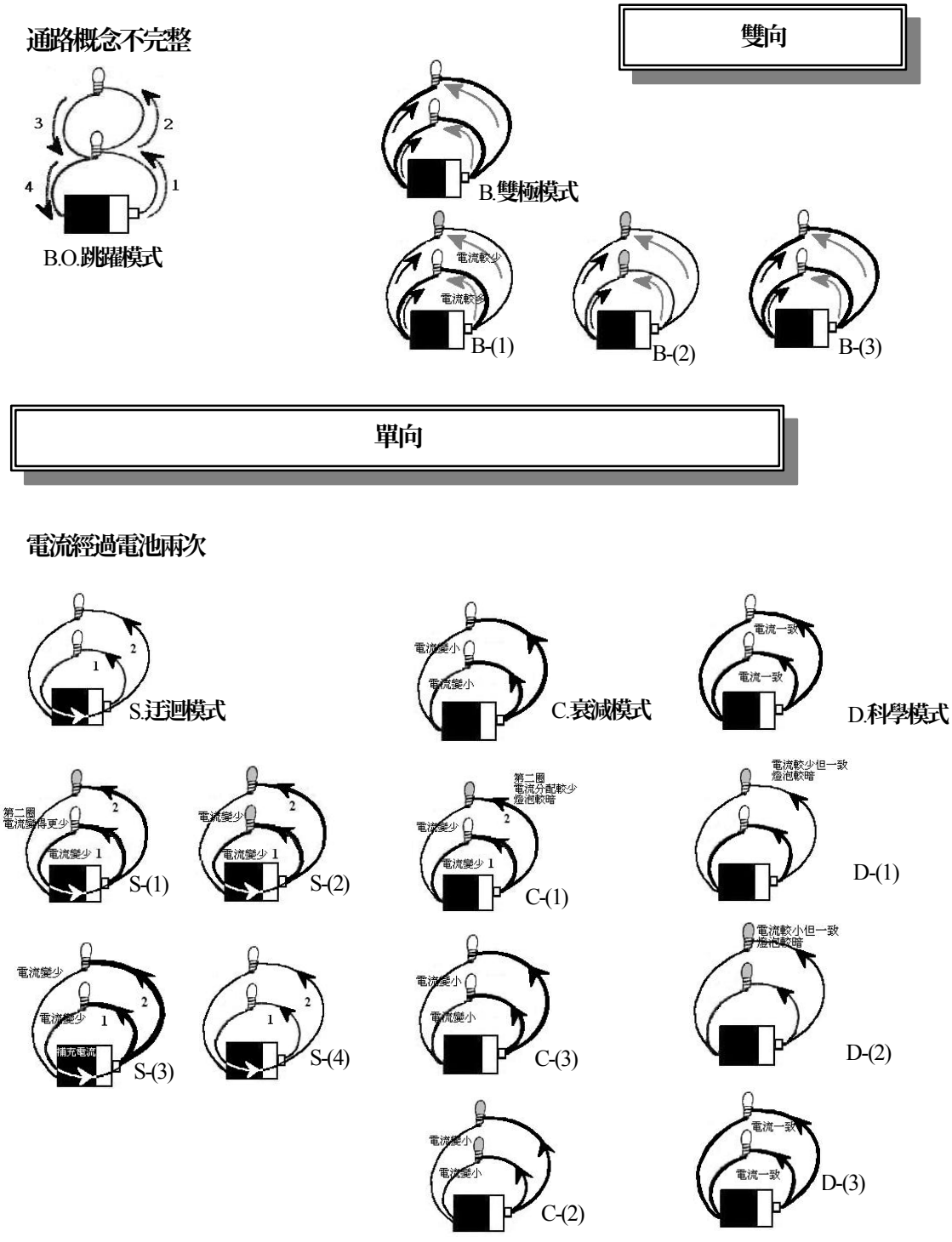


圖 8：學生對於並聯電路所持之心智模式總整理

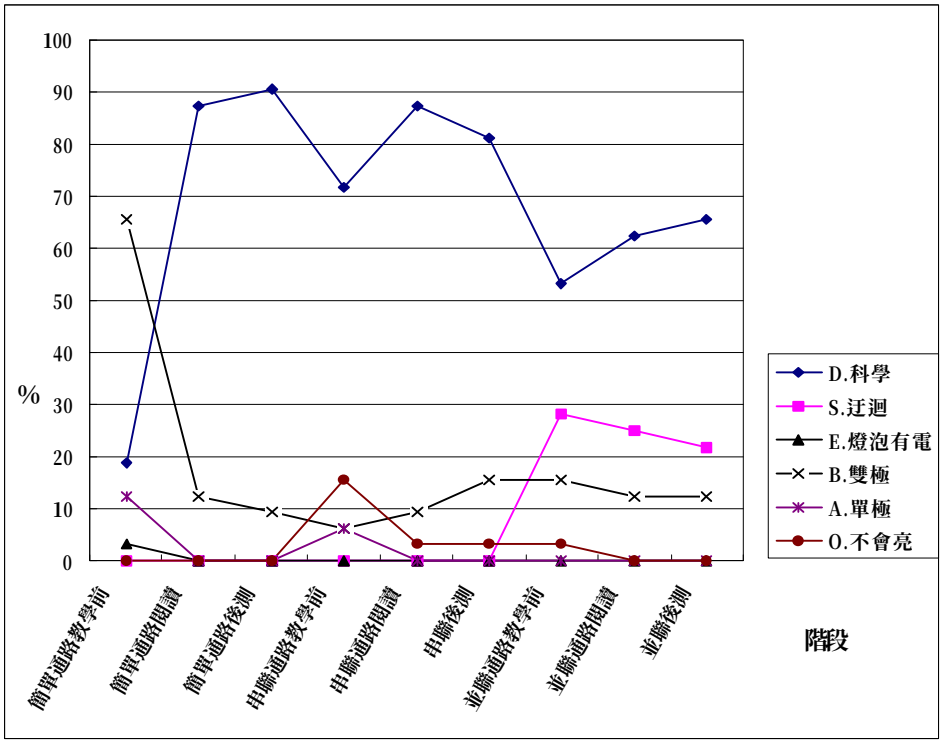


圖 9：學生於各階段持有之電流心智模式百分比（僅考量電流方向）

(二)並聯電路之電流心智模式

相較於串聯電路，學生並聯電路的心智模式更為繁複。之所以如此，影響的因素很多，舉凡：電路方向的旋轉、線路的表徵，甚或是電線連接的節點等等，對學生而言，都會引發不同的知覺而衍生不同的心智模式（陳瓊森, 1993; Magnusson 等人, 1997）。在本研究閱讀教學及後測階段所出現的並聯電路有圖 7 中的四種形式，但唯恐上述因素的干擾，僅著重於（甲）、（乙）兩種較為基本的電路深入探討，除此之外，研究者亦嘗試對電流強度做進一步的詮釋。

學生在並聯電路中所出現的模式大致可分為 B.雙極模式、S.迂迴模式、C.衰減模式及 D.科學模式四種，若同時考量較為複雜的（丁）電路，則亦有 BO.跳躍模式的出現，總計共有 14 種子類型（詳見表 10 及圖 8）。茲就每種心智模式之特徵詳述於表 10。

三、電流心智模式的改變

根據上述電流心智模式，我們可將簡單通路及串聯電路中有關通路理解的部分分成 O.不會亮、A.單極、B.雙極、E.燈泡本身有電及 D.科學模式五個層次。而其中 C.衰減模式若單就通路理解而言，實和科學模式無異，因此在接下來的討論中便將它與科學模式合併；而在並聯電路中，上述電流模式亦適用，只是額外增加了獨有的 S.迂迴模式。因此，研究者將此六種模式予以整合，以探討心智模式改變的情形及原因。

(一)通路理解的心智模式

若僅考量電流方向，學生於教學前所擁有的心智模式以 B.雙極模式為最（65.63%），其次是 D.科學模式（18.75%）。即使經過教學，

我們仍可由圖 9 看出在複雜通路教學階段，學生對串聯通路持有最多的錯誤模式依然為 B.雙極模式；至於並聯通路中，學生持有的錯誤模式比例最高者雖非 B.雙極模式，而是 S.迂迴模式，但 B.雙極模式持有的比例卻較串聯通路階段為高。相較於其他錯誤模式，B.雙極模式不但持有比例較高，且較難以改變。研究者認為這可能是因為 B.雙極模式比起 D.科學模式更符合大部分學生所持有的「資源消耗模式」所致。

若我們再進一步比較多重類比對四組學生心智模式改變的影響，結果發現：於簡單通路閱讀後，對照組及相似組仍有 3 人未能完全掌握「通路」的概念，而單一組及互補組則各有 2 人及 1 人。若再經串聯電路的閱讀後，則只剩下對照組的#922、#906 及相似組的#515 未能完全理解，且對照組這兩名學生自始至終皆未持有過 D.科學模式，主要原因可能是由於對照組的教材較難提供具體的表徵，因此學生無從檢視自我概念與科學概念之間到底有何異同。若我們再由串聯的後測階段審視學生所持有的模式，則又發現對照組於此時不但持有錯誤模式的人數（4 人）為各組之冠，且和閱讀階段相較，概念回歸的人數（2 人）亦最多。這樣的結果，研究者認為亦和對照組的教材缺乏類比輔助，而使學生較難理解抽象概念、產生具體的心像，因而導致概念搖擺的情形較為嚴重有關。至於其他三類比組，模式改變的情形則較為雷同，並不因為相似組多了一個類比的教學，或各組使用的類比不同而有所差異，這也可以和前述學生學習成就的高低相呼應。

至於並聯電路方面，由預測到教學階段，修正至 D.科學模式者共有 3 人，而這 3 位學生分屬單一組（#432）及相似組（#523、#708），而對照組及互補組持有錯誤模式的學生各為 5 人及 4 人，但經過閱讀後卻絲毫沒有任何改善。研究者推測修正模式的 3 人乃受益於簡單水類比之故，而互補組雖亦有障礙賽類比幫助通路概念的理解，但此類比對於並聯通路的理解效果有限。

(二)併入電流強弱考量時的心智模式

若將電流強弱併入考量，可分別就串聯及並聯兩種不同的電路加以分析：

1.串聯電路心智模式的改變

由圖 10 觀之，在串聯電路燈泡亮度預測階段，學生存有的模式極為多樣化，其中尤以 C-2（40.63%）、D-1（21.88%）及 C-1 模式（15.63%）所持有的人數最多。這樣的結果顯示大部分學生在初次闡釋電路時有兩種反應，一類以燈泡分配電流為主要考量，另一類則以連接於電池上電線的數量為分配依據。以燈泡為考量者，多持有 C.衰減模式，認為電流會被燈泡吸收或用掉；而以電線為考量者則大多持有 D.科學模式，認為電流會「穿過」或「流經」燈泡。

經實際電路連接後，學生會因實驗的結果而對原持有的模式進行修正。其中，由於 B-2、C-2 及 D-3 三種模式都具有電流共享、燈泡變暗的特徵，和觀察結果相符，因此持有此三模式的學生多由閱讀進行概念的修正。但值得一提的是，有 2 名原持有 C-2 模式的學生（相似組#704、互補組#912），在觀察後改以 C-1 模式來解釋，即認為先遇到電流的燈泡會拿較多的電，比較亮，第二個燈泡則拿較少的電，比較暗。之所以如此，研究者推測乃因此類學生原持有的模式較傾向 C-1，但由於教學活動乃串、並聯的電路一併呈現，而串、並聯對學生而言，實具有不同的知覺，一旦同時呈現，學生便會將之合併比較，因而產生 C-2 的同化模式。另就持有率 21.88%的 D-1 模式而言，此模式的電流為實際的兩倍，因此燈泡亮度會比實際觀察來得亮，所以當學生實際觀察後常會由「電線數」的考量轉成以「燈泡數」為考量，而變成 C-2 模式。由此觀之，持有 D.科學模式

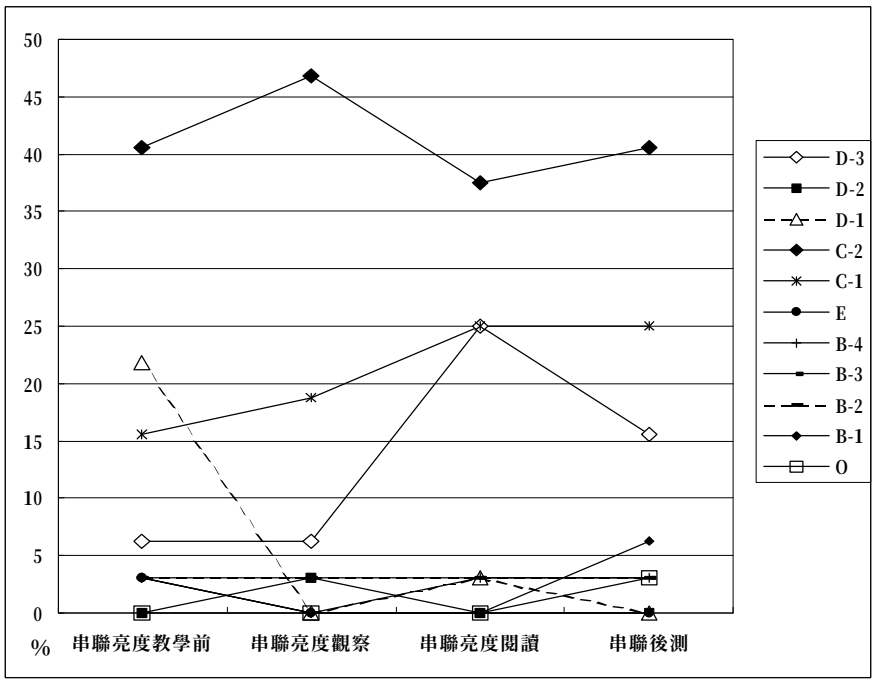


圖 10：學生於各階段持有之串聯電路的心智模式百分比

的學生並非不具有資源消耗的想法，而是因為在某些特定情境中，思慮較不周密而未顯現而已。

此外，閱讀階段時持有 C-1 模式的比例卻不減反增。詳究學生口語內容，研究者認為之所以有這樣的影響，乃由於教材內容提及「阻力」之故。例如：

對照組#414 <串聯亮度閱讀階段>

S：（讀完教材）哈哈哈 ..。

T：什麼意思？

S：阻力的意思。電流的阻力啊！電燈如果是一個的話，電流會比較小，過去的力會比較小，那如果是兩個，剛好過了一個又要過一個，所以是很累的。

Shipstone (1984)認為兒童對電阻最早的觀念即是一個阻礙電荷的「阻礙物」，這樣的想法容易結合順序推理的模式使得電流受到電路中相繼元件的影響而遞減。而本研究的教材中雖然沒有明顯教授「電阻」的概念，但「阻力」這樣的字眼便極容易強化學生原有的順序推理模式，因而使得和實驗結果及閱讀內容皆不符合的 C-1 模式之比例不減反增。

若再比較四組後測階段的模式，由表 11 觀之，無論就符合觀察結果的模式或就完全正確的 D-3 科學模式來看，互補類比組所持有的人數都較其他三組多，且在解釋燈泡亮度時，亦較不像其他組僅著重在電流的向度，而會同時考量電池的角色。例如：

互補組#525<串聯亮度閱讀階段>

S 念：（教材內容）

S：就是在講讓燈泡亮的整個系統，就好像用水系統。

T：那你可以瞭解他們的對應關係嗎？燈泡就好像 …

S：燈泡就好像水車，水車轉動的比較快，就好像燈泡會比較亮，水車的

表 11：四組於後測階段串聯電路心智模式的比例

組別 / % / 心智模式類型	對照組	單一組	相似組	互補組
D-3	0	12.5	12.5	37.5
D-2	0	0	0	0
D-1	0	0	0	0
C-2	50	37.5	25	50
C-1	0	37.5	50	12.5
E	0	0	0	0
B-4	0	12.5	0	0
B-3	0	0	12.5	0
B-2	12.5	0	0	0
B-1	25	0	0	0
O	12.5	0	0	0

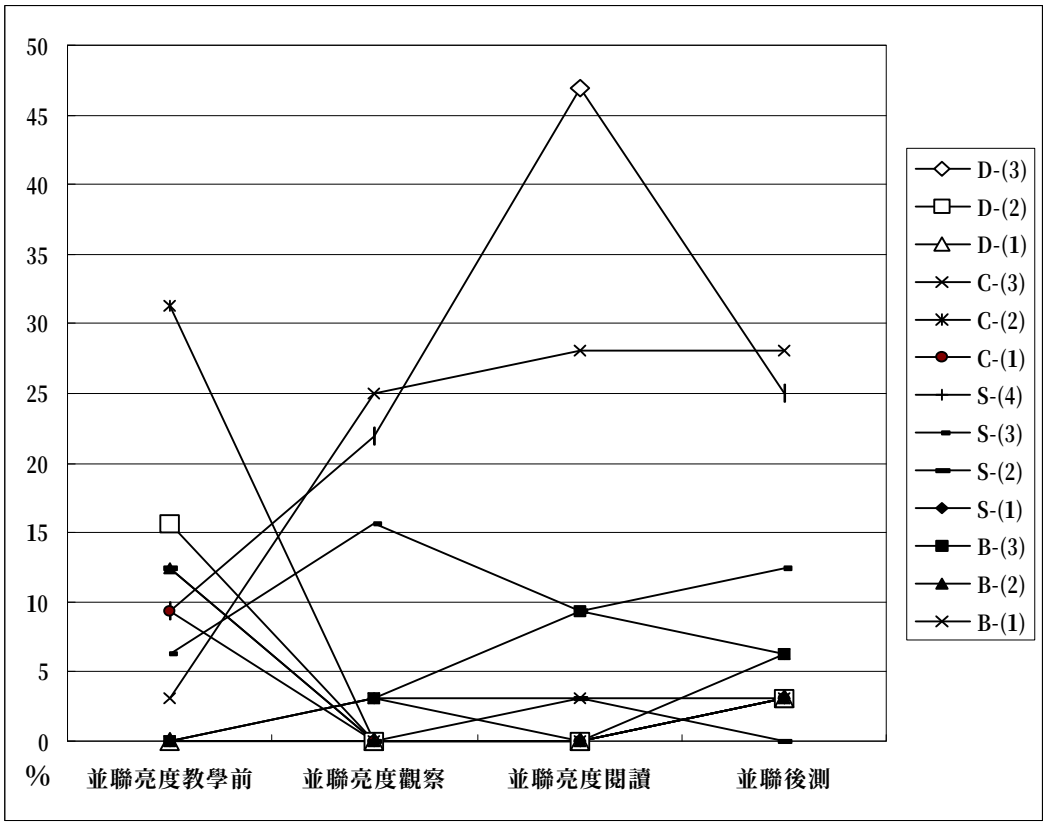


圖 11：學生於各階段持有之並聯電路的心智

轉速是快慢的，燈泡的亮度是暗亮。電池，是等於抽水機加水塔的抽水系統，電池電力很大的話，就想水塔的高度很高。電流是水流動的情形，電流的大小就像水流流動的速度，也就是電流如果大的話，表示水流流得比較快。電線等於水管。

2.並聯電路心智模式的改變

由圖 12 觀之，於並聯電路亮度教學前學生持有比例最多的心智模式為C-(2)(31.25%)、D-(2)(15.63%)、S-(2)及 B-(2)(12.5%)，其中更以 C-(2)模式為最。這樣的結果和串聯電路的結果一致，都顯現學生一開始時並不會考慮電路的形式，一律傾向於以燈泡數分配電流的方式來解釋燈泡亮度，並多認為電流會被燈泡吸收而衰減。而此階段心智模式大致屬於同一層次間的修正，以並聯電路連接活動後的轉變為例，由於 D-(3)、C-(3)、S-(4)、S-(3)及 B-(3)這五種模式皆符合實際觀察的結果，因此原持有 D-(2)模式者便會修正成 D-(3)；C-(2)則修正成 C-(3)；S-(2)修正成 S-(3)，而 B-(2)則傾向於修正為 B-(3)。

值得注意的是，即使在亮度閱讀階段，亦只有 46.88%的學生對電流模式具有正確的理解，但這並不意味著學生模式的改變。就圖 10 而言，轉變模式者多為亮度觀察後回答不知道的學生，且到了並聯後測階段，每種模式持有的比例數大致又回歸到並聯亮度觀察後的結果。亦即教材內容對於學生電流模式的改變成效有限，在並聯電路階段，學生最主要的改變來自於實驗觀察，且模式之間的轉換多為同一層次。

3.多重類比對四組心智模式改變的影響

若就四組心智模式改變的情形加以比較，由於對照組於通路階段便沒有良好的理解，因此再併入電流強弱進一步加以討論的心智模式也缺乏理想的表現。至於各種類比對此四組的影響主要顯現於通路上面的改變，若連帶考量電流的強弱，則三類比組並無明顯不同。而互補組在接受複雜水類比的教學後，雖傾向於以「電力」的觀點解釋燈泡的亮度，但這樣的觀點並未能協助學生克服「燈泡吸收電流」的想法。換言之，學生可同時以電力及電流兩種想法解釋燈泡亮度。

陸、結論與建議

本研究以 32 位中等程度的四年級學童為研究對象，經閱讀教學及後測晤談，希冀能略窺多重類比於電學概念中對於學習成就及心智模式改變的影響。以下將總陳研究結論，進一步討論後再就研究過程的心得提出建議。

一、研究結果與討論

茲將本研究之主要發現歸納如下：

(一)教材成效的比較

1.在整體學習成就上，四組具顯著差異，且發現兩兩之間的六個比較中，僅單一類比組與相似類比組之間未達到顯著差異。

2.至於通路成績方面，亦顯示四組具有顯著差異，而兩兩之間的六個比較中，無論哪一個類比組和對照組相較皆具有顯著差異，不過三類比組之間雖可看出相似類比組的成績略高於另兩組，但並不具顯著差異。

3.在能量概念之學習成就上，四組具顯著差異，且兩兩之間的六個比較中，互補組皆優於其他三組。

綜上所述，類比對於電學概念的學習成就的確有所助益，且多重類比組之互補性類比因有助於學生將注意力聚焦在能量的觀點上，以矯正學生用電流多寡解釋燈泡亮度的問題，致使其於能量及整體學習成就上皆優於其他三

組。至於對照組、單一組及相似組的成績則不分軒輊，這顯示電學中有關能量的概念對四年級學生而言的確是一難以理解的主題，但若教材順序安排適當，輔以合宜的教材設計，例如：「複雜用水系統類比」，學生理解的情形卻可大幅改善。此外，有學者認為首次介紹電壓時，便應強調它是獨立電池的特質，以促使學生注意到此項概念(Cohen, 1984; Psillos 等人, 1988; Von Rhoneck, 1984; 引自 Driver 等人, 1994)。於本研究中，互補性類比組的學習情形亦可佐證一開始便聚焦於電壓之相關概念，有助於學生對於能量概念的理解。

至於通路方面，三類比實驗組的成績皆優於對照組，而其中，相似多重類比組的成績雖略高於單一及互補類比組，但並未達到顯著。研究者認為之所以如此，可能的原因有三：(1)通路的概念並不是極為困難的概念，只要一個類比便足以協助學生理解。(2)水類比或粒子類比雖不盡然在教學前即存在於學生的原有概念中，但卻極易受到教學所引發，因此單一組或互補組的學生雖然在通路概念上僅接受一個類比的教學，卻極易自發產生另一種類比模式。若此，那麼即使僅接受一個類比的教學，也和接受兩個類比的教學相差無幾。當然，這也須建立在此概念對學生而言並不過於困難，以致於自發性的類比和教學設計的類比所產生的結果才會如此相近。(3)Black 和 Solomon (1987)以水類比教授電學的類似研究中，對照組及類比實驗組對於簡單問題的學習成就亦無太大差異，但於預測分支電流時，則彰顯出類比的功效。他們認為光由成功解題率的數字，並不能完全呈現出專家與生手的差別，因為此二者的主要差別在於解題後以理論模式判斷答案的正確性及其解題時所使用的方法。若上述觀點成立，則相似性類比有助於基模的形成，其實際影響的情形亦無法完全由解題的成功率反應出來。

(二)心智模式

在本研究所設計之兩燈泡串、並聯的通路中，串聯通路共有 6 類模式，分別是：A.單極、B.雙極、C.衰減、D.科學模式以及文獻上沒有記載的 E.燈泡本身有電及 O.不會亮。其中 E.模式由於以往的研究皆採用繪圖的方式而缺乏口語晤談的輔助，因此可能不易診斷而容易誤以為此種類型和 C.衰減模式為同一類；而並聯則有 5 類，分別是 B.雙極、C.衰減、S.迂迴、BO.跳躍及 D.科學模式。其中，雙極、迂迴、跳躍及科學四模式亦可見於 Magnusson 等人(1997)的分類中，而衰減模式則因 Magnusson 等人並未涉及電流強度的探討而無從比較。至於本研究並未出現 Magnusson 研究中另 3 種雙向電流的模式（雙向跳躍、雙向迂迴及雙向分支模式）則可能是因為本研究的電路設計較 Magnusson 簡單之故。若再加以考量電流的強弱，則串聯電路可衍生出 12 種，而並聯電路亦可歸納出 14 種子類型。Magnusson 等人認為串聯與並聯對學生而言，具有不同的知覺，會影響其思考而導致不同模式的發展。研究者的研究結果則認為學生之並聯電路的心智模式雖因圖形拓樸及電線節點的影響而較為多元，但主要影響學生心智模式的主因並無不同，茲於下段陳述。

(三)心智模式改變的原因

當考量電流強弱時，電流的心智模式雖可衍生出種類繁多的子類型，但歸究其影響因素卻不外乎：

(1)視電池為一儲存槽應發出固定電流或燈泡應得致固定電流
(2)資源消耗模式
(3)分配電流的觀點
(4)順序推理模式
(5)節點的影響
(6)電路圖形的表徵
(7)封閉通路概念

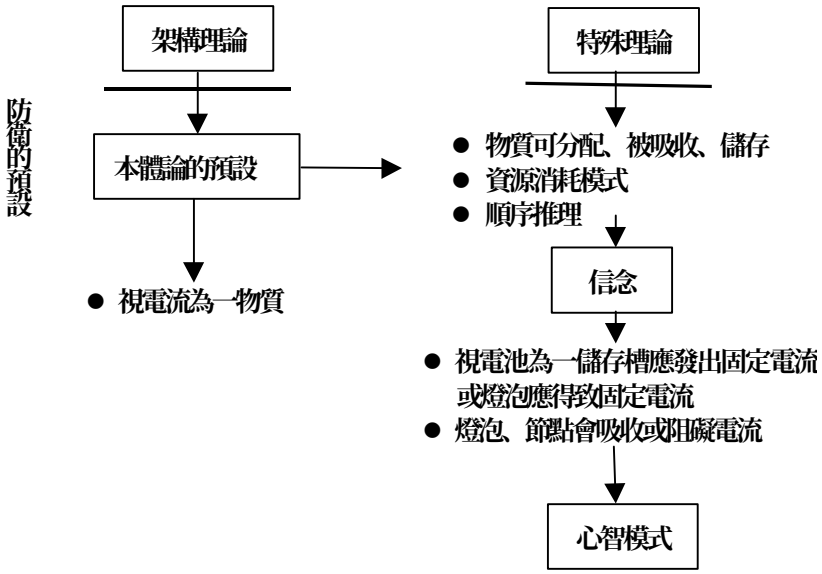


圖 12：學生電流的概念架構

而這些因素又可分為兩大類，其中 1 5 項便和 Chi (1992; Chi 等人, 1994)所言的「物質」本體相互呼應。另言之，學生傾向於將電的世界視為一個物質世界，且這樣的本體預設為其難以撼動的概念硬核。若我們由 Vosniadou (1994)架構理論的觀點觀之，則上述幾點或可整理成圖 12。

而多重類比對心智模式的轉換扮演怎樣的角色呢？由研究結果觀之，在通路概念上，三類比組的教材明顯較對照組易於提供具體的表徵，除協助理解外，學生亦得以有機會審視自我概念與科學概念之間到底有何不同，進一步造成心智模式的轉變，這由對照組於所持有錯誤模式的人數為各組之冠，及概念回歸人數較多的情形可見一斑。至於併入電流強弱為考量後，無論是否接受類比教學，學生心智模式的轉變都極為有限。

研究者推測學生之所以無法產生概念改變，乃因為學生無法領略複雜水類比中水經水車僅作了能量的轉換，並沒有因而消耗掉，而研究者原預期大部分學生經由這樣的教學即能理解此點，因而沒有特意於教學內容中提出。但研究結果顯示，此點正好抵觸學生原有的物質預設，衰減的概念早被視為理所當然，因而不經教材明顯點出，學生並無法自我產生對應，也因而互補組的學生雖接受類比教學，對電池的角色有較清楚的認識，但並無法產生概念改變。換言之，研究者認為通路的概念並未涉及學生的本體預設，因此屬於較易改變的概念，至於電流強弱的主題，則牽涉到 Chi 等人 (1992；Chi 等人, 1994)所言之物質本體至過程本體的轉換，因此是較難改變的概念。相較於 Magnusson 等人(1997)的研究，其認為並聯電路雖和串聯電路不同，不易學習，但三到五年級的兒童卻可藉由動態科學評量的實施對並聯電路達到某種程度的理解，亦是因其研究的討論僅止於通路的理解，若併入電流強弱加以探討，則學生概念改變的情形仍有待進一步的研究證實。

二、建議

(一)給教師及教材編寫者的建議

1.學生一旦接觸電學，便極易由「電流」及「物質」的向度解決後續能量問題的學習，而目前國小階段部分教科書已論及燈泡串、並聯時亮度的比較，而此種教學實已涉入能量的考量，但教科書的教學方式卻僅止於現象的觀察，而沒有對其中的原理深入探究。根據研究結果顯示，此種學習方式極易導致學生傾向於以分配電流的物質本體詮釋此一能量轉換的現象，且此種觀點極難移除。因此研究者建議一開始學習電學時便應同時聚焦在電能和電流這兩個向度，而以多重類比引入此一主題是極具潛力的作法。這是因為多重類比於教學初始時便劃分出截然不同的表徵，學生便較易區分出通路與能量兩領域概念的差異，也因而較不會產生另有概念。

2.在教學及課程設計前，教師及教材編輯者應重新考量學生獲得概念的順序，這除了有利於多重類比的設計與安排外，更對學生概念改變有所助益。以本研究而言，學生若先學習水的位能轉換成水車轉動所須之動能的概念，將有助於電能轉換成燈泡發光之光能的理解，而有助於多重類比的學習，更進而促使學生改以過程本體的本質解決能量的問題。

3.類比有助於後設概念的覺察，但教師除應注意類比的負向向度，尚應注意教授概念的預設。

(二)未來研究的方向

1.並聯電路不似串聯電路單純，而極易受到圖形拓樸的影響，因此在探究並聯電路的心智模式時，若鎖定同一類型的電路圖進行深入的探討，應可收集到更為完整的資料。

2.心智模式雖具有動態改變的本質，但卻須以多個衍生性的問題以確保所捕捉模式之一致性(Vosniadou, 1994)。因此建議即使在教學階段，仍須設計多個衍生性的題目以捕捉學生最真切的心智模式。

3.由本研究結果觀之，學生對於電流的概念實鑲嵌於物質的情境脈絡中，因而妨礙其後續能量觀點的學習。未來研究應積極探尋其他學科、概念是否亦具有某種預設以阻礙概念改變？若有，則這些預設究竟為何？又受到哪些因素的影響？Vosniadou 和 Ioannides (1998)認為概念改變通常與社會文化的過程相結合，並受其引動及促進。若未來研究的結果亦符合此點，則概念改變的研究除描述受試者認知及專門技術表現的層級，尚應進一步探討情境脈絡和文化之所以影響改變的角色及機制，以進一步釐清概念改變的詳細「過程」。

致　謝

本論文之完成部分經費承蒙行政院國家科學委員會補助（NSC 89-2511-S-003-049），特此致謝。

參考文獻

1. 邱美虹（1996）：學習策略與科學學習。科學教育月刊, 第 191 期, 2-15。
2. 邱美虹 (1996)：從 STS 和類比談科學學習。高中化學輔導團期刊, 1-7。
3. 林靜雯（2000）：由概念改變及心智模式初探多重類比對國小四年級學生電學概念學習之影響。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
4. 高淑芬（1997）：類比對國二學生科學概念學習之影響。國立臺灣師範大學科學教育研

究所碩士論文（未出版）。
5. 國立編譯館（1997）：國民小學自然科學第六冊（三上）改編本七版。台北市：國立編譯館。
6. 陳恆迪（1993）：國中學生物理概念類比學習之研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
7. 陳瓊森（1993）：高一學生直流電路概念結構之研究。彰化師範大學學報，第四期, 511-542。
8. 陳惠江、許遠光、黃國輝和鄺兆榮（1994）：香港新綜合科學。香港, 雅集出版社。
9. Arnold, M., & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, *9*, 553-563.
10. Black, D. E., & Solomon, J. (1987). Can pupils use taught analogies for electric current? *School Science Review*, *69*, 249-254.
11. Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science*: Minnesota Press.
12. Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts [special issue]. *Learning and Instruction*, *4*, 27-43.
13. Cohen, R. (1984). Causal relations in electric circuits: students. In R. Duit, W. Jung, & C. von Rhoneck, (Eds.), *Aspects of Under-standing Electricity*, Proceedings of the International Workshop, 10-14 September, Ludwigsburg (Schmidt and Klauning, Kiel, 1985)；*IPN-Arbeitsberichte*, *59*: 107-113.
14. Conver, W. J. (1999). Wiley series in probability and statistics: Applied probability and statistics section (3rd edition). New York: Willy.
15. Driver, R., Sauires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's Ideas*. London and New York: Routledge.
16. Dupin, J. J. & Johsua, S. (1984). Teaching electricity: interactive evolution of representations, models and experiments in a class situation. In R. Duit, W. Jung, & C. von Rhoneck, (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*, Proceedings of the International Workshop, 10-14 September, Ludwigsburg (Schmidt and Klauning, Kiel, 1985)；*IPN-Arbeitsberichte*, 59: 331-341.
17. Gentner, D. & Gentner, D. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner, A. L. Stevens, (Eds.), *Mental models*. New Jersey and London: Lawrence Erlbaum.
18. Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, *15*(1), 1-38.
19. Gott, R. (1984). *Electricity at Age 15: Science report for teachers, No 7*. Assessment of Performance Unit, Department of Education and Science, HMSO London.
20. Holyoak, K., & Thagard, P. (1995). The Construction of similarity. *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*. London: MIT.
21. Johnson-Laird P. N. (1989). Mental models. In M. I. Posner (Ed.), *From foundation of cognitive science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
22. King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching

children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, *31*(2), 338-368.

23. Magnusson, S. J., Boyle, R. A., Templin, M. (1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. The Journal of the Learning Science, 6(1), *91*-142.
24. Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Heinemann, Auckland and London.
25. Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about ideas about electric current. *Research in Science & Technological Education*, 1(1), 73-82.
26. Psillos, D., Koumaras, P., & Tiberghien, A. (1988). Voltage presented as a primary concept on DC circuits. *International Journal of Science Education*, *10*(1), 29-43.
27. Shepardson, D. P., & Moje, D. B. (1994). The nature of fourth graders' understandings of electric circuits. *Science Education*, *78*(5), 489-514.
28. Shipstone, D. (1985). Electricity in simple circuits'. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien, (Eds.), *Children's ideas in science,* 33-51. Open University Press, Milton Keynes.
29. Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, *6*(2), 185-198.
30. Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L., & Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advanced know-ledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press.
31. Tenney, Y. J. (1984). What makes analogies accessible: experiments on the water-flow analogy for electricity. In R. Duit, W. Jung, & C. von Rhoneck, (Eds.), *Aspects of understanding electricity*, Proceedings of the International Workshop, 10-14 September, Ludwigsburg (Schmidt and Klauning, Kiel, 1985); *IPN-Arbeitsberichte*, *59*: 311-318.
32. Thagard, P. (1992). Analogy, explanation and education. *Journal of research in science teaching,* 29(6), 537-544.
33. Von Rhoneck, C. (1984). The instruction of voltage as an independent variable-the importance of preconceptions, cognitive conflict and operating rules. In Duit, R., Jung, W. & von Rhoneck, C. (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*, Proceedings of the International Workshop, 10-14 September, Ludwigsburg (Schmidt and Klauning, Kiel, 1985)； *IPN-Arbeitsberichte*, *59*: 275-286.
34. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction*, *4*, 45-69.
35. Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, *24*, 535-585.
36. 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.

Using Multiple Analogies for Investigating Changes of Children's Mental Models of Electricity

Mei-Hung Chiu[1] and Jing-Wen Lin[1,2]

[1]National Taiwan Normal University Graduate Institute of Science Education

[2] Taipei Municipal Ta-An Elementary School, Taipei City

Abstract

Due to high abstractness of electric current and its "mixed" role between matter and energy, students' understanding of this concept is always incomplete and incorrect. Spiro, Feltovich, Coulson and Anderson (1989) suggested that the use of multiple analogies might open an avenue for learning high complexity of science concepts. Thirty-two fourth graders were randomly assigned to a control group or there treatment groups (namely a group with one single analogy, a group with similar analogies, and a group with complementary analogies).

The results of this study are as follows:

First, it shows that multiple analogies are helpful to learning of concepts in electricity, in particular, the students in the complementary analogies group outperr form than the students in other groups in learning energy concepts in electricity. The students in similar analogies group outperform the other analogies group, but not reaching at significant level.

Second, the researchers identify six mental models of series and simple circuits and five parallel ones.

Third, although three experimental groups provide concrete analogies for students to link with abstract concepts, students still hardly overcome their incorrect mental model about current decreasing after through a bulb.

Fourth, the main causes influencing students' mental models, are 1. treating battery as a tank, which supplies consistent electrical current, 2. source-consumer model, 3. the view of repartition current, 4. sequential-inference model, 5. the effect of nodes, 6. the representations of circuit diagram, and 7. the concepts of closed circuit. These causes indicate that students tend to treat the electric world as a matter concept, thus forming the presupposition of learning the concepts of electricity.

Key words: Multiple Analogies, Mental Model, Electricity.