

探究以學生心智模式為設計基礎之教-學序列對 學生電學概念學習之影響

林靜雯 邱美虹

國立台灣師範大學科學教育研究所

jwlin@ntnu.edu.tw mhchiu@ntnu.edu.tw

摘 要

過去數十年來科學課程的發展與學生概念的研究存有極大的落差，概念改變的取向雖重視兒童的先備概念，但對於教室中的教學仍鮮少著墨。是故，研究者選擇具有 M_1 、 M_2 及 M_{mix} 三種心智模式的國一學生各 10 人平均分配至實驗組及對照組，並依據科學概念之結構及學生心智模式演化路徑針對這些不同心智模式的學生設計相應的電學教-學序列、進行小組的教學實驗，並以電學成就測驗、診斷測驗及遷移應用測驗檢驗所設計之教-學序列的成效。結果顯示本研究所設計之教-學序列顯著優於對照組，而能同時達成現行教科書具體目標的要求、協助學生克服電學之另有概念，並有助於電學概念的遷移與應用。

關鍵詞：心智模式、教-學序列、電學

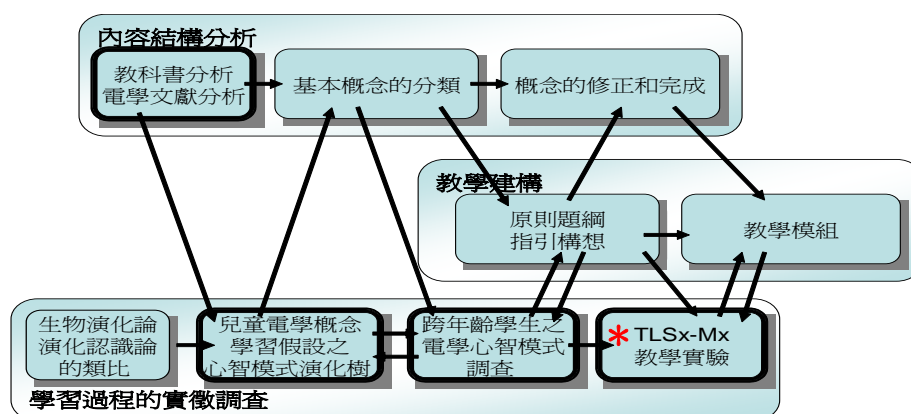
一、緒論

過去數十年來，科學教育從 1960 年代對學科結構的關注，乃至於 1980 年代科學-技學-社會理念的推展 (Bybee & deBoer, 1994) 及學生另有概念的探索在在投注了龐大的心力 (Tyson, Venville, Harrison, & Treagust, 1997)。但就認知學習而言，這種大尺度課程的發展與學生概念之間的研究存有極大的落差，並且忽略了學習與教學之間緊密的關聯。而後，持有建構主義觀點的研究者借助概念改變的理論及研究，將學生的先備知識納入考量，進一步提出改良的教學策略。雖然這些策略隱含著「意義是建構的」、「概念無法由教師傳遞到兒童身上」的理念，但事實上卻很難落實到實務上，其中最主要的原因乃在於其對如何在教室中進行教學仍鮮少著墨 (Lijnse, 1995)。據此，在 1980 年代初期，探究教學中興起一條值得注意的研究路線，其所關注的焦點與上述之大尺度的課程設計大相逕庭，改以特定科學主題為導向，重視適當教-學序列 (teaching-learning sequence, TLS) 的設計以作為改進學生學習的利器。此條路線以逐步演化的研究過程為基礎，主要瞄準科學概念與學生先備概念之間相互交織所形成的複雜作用 (Méheut & Psillos, 2004)，並期望藉由此種中、微尺度課程的循環發展與真實教室場景中深度教學的過程相連，形成新概念性的課程結構，最後促使學生成功學習 (Lijnse, 1995)。

在教-學序列的相關研究中，Komorek 和 Duit (2004) 所提之教育重構 (educational reconstruction) 的架構最為詳盡及條理清晰 (圖 1)，其共分有三個重要的組成，分別為「學習過程的實徵調查」、「內容分析」及「教學建構」。本研究的主要目的乃希望由概念演化的觀點，因應學生不同類型的心智模式，設計相應的教科書教-學序列，以協助學生電學概念的學習，是故以教育重構的組成為主要研究的設計架構，分成四個階段並

以四個子研究來進行。這四個階段的前兩個階段分別為「學習過程的實徵調查及驗證」第三個階段則為教科書相關電學教-學序列的「內容結構分析」。最後，本研究結合學生心智模式演化的結果及教科書內容結構的分析，以 Komorek 和 Duit 所引介之教學實驗的研究法針對不同心智模式的學生設計不同的教-學序列，進而以小組教學互動的方式進行教學實驗，藉此探討不同教-學序列之設計對不同心智模式學生電學概念學習之影響，希冀形成教學模組以作為最後「教學建構」之用。本篇論文為主研究第四階段中量化檢驗的部分（其他尚有質性資料及情意向度的分析，囿於文長僅針對量化的結果加以討論），其研究目的主要希望瞭解針對學生不同心智模式演化過程所發展的教-學序列是否有助於不同心智模式學生的電學概念學習？據此，本研究主要的研究問題如下：

1. TLS 設計組 (TLS₁-M₁組、TLS₂-M₂組及 TLS₁-M_{mix}組) 的電學成就測驗成績是否優於對照組 (TLS₀-M₁組、TLS₀-M₂組及 TLS₀-M_{mix}組) ？
2. TLS 設計組 (TLS₁-M₁組、TLS₂-M₂組及 TLS₁-M_{mix}組) 的電學遷移應用測驗之成績是否優於對照組 (TLS₀-M₁組、TLS₀-M₂組及 TLS₀-M_{mix}組) ？
3. TLS 設計組 (TLS₁-M₁組、TLS₂-M₂組及 TLS₁-M_{mix}組) 的電學診斷式測驗成績是否優於對照組 (TLS₀-M₁組、TLS₀-M₂組及 TLS₀-M_{mix}組) ？
4. TLS 設計組 (TLS₁-M₁組、TLS₂-M₂組及 TLS₁-M_{mix}組) 的電學測驗總成績是否優於對照組 (TLS₀-M₁組、TLS₀-M₂組及 TLS₀-M_{mix}組) ？



註：圖中 處與主研究四個研究目的相呼應，* 為本篇論文之研究目的

圖 1 本研究 TLS 設計架構

二、 文獻探討

(一)、電學學習主要的困難

許多兒童電學概念學習的研究指出：兒童常將電、電流和電能三者視為同義 (Osborne & Freyberg, 1985; Shipstone, 1985)。至於為什麼會造成這樣的混淆？部分學者認為此乃肇因於教學過早將注意力集中於電流所致 (Cohen, 1984; Von Rhoneck, 1984)。若再將這些學習困難用心智模式的方式表徵，Osborne 和 Freyberg (1985) 便針對紐西蘭 8-12 歲的兒童，定義出四種電流的解釋模式：A.單極(unipolar model)、B.撞擊(clashing currents model)、C.衰減 (attenuation model)、D.電流不變的科學家模式。這在其它國家也都獲致相同的證明 (Shipstone, 1985; Shepardson and Moje, 1994)。

(二) 電學相關的教-學序列

就電學概念的教-學序列而言，Härtel (1982) 指出過去電學的教學常以電流→電量→電壓→電阻的線性教學，串連起個別的單一主題。這樣的教學容易使學生認為「電壓等同於電流」(Cohen, 1984)。因此有學者建議首次介紹電壓時，便應強調它是電池的獨立特質以促使學生注意 (Cohen, 1984; Psillos, Koumaras, & Tiberghien, 1988)。但另一方面，亦有學者認為兒童首次接觸電學時，引入「流體的比喻」來表徵電再自然也不過 (Dupin & Johsua, 1987)，只是因為此種「流體」具有難以釐清的「混合」身份，因此教師於教學時須同時考量「物質」和「能量」兩個向度，否則，學生將無法理解為何相同的流體會被消耗掉。綜合上述對電流與電壓的探討，我們得見前者主要考量電學概念的架構，而後者則較重視兒童的先備概念，但何種教-學序列的安排較有利於學生學習電學尚未可言，只是這樣的爭議的確突顯出電學教-學序列應如何編排的重要性。

三、 研究方法

(一) 研究對象

研究者依據自行編製之電學診斷式測驗從 212 名國一受試者中篩選出心智模式為 M_1 、 M_2 、 M_{mix} 的學生。其中， M_1 的學生主要持有文獻探討中所謂的 C. 衰減模式，而 M_2 則是持有撞擊模式，至於 M_{mix} 的學生並不具有一致性的心智模式，但與持有 M_1 心智模式的學生具有較多相似的認知特徵。接著，研究者尚考量其電學成就測驗分數相當，且口語表達不感羞赧的學生。最後選定具 M_1 心智模式的學生 10 名， M_2 心智模式的學生 10 名及 M_{mix} 心智模式的學生 10 名後，研究者再以隨機且平均分配的方式將這三種心智模式的學生分別編入 TLS 設計組 (TLS₁- M_1 、TLS₂- M_2 及 TLS₁- M_{mix}) 及對照組 (TLS₀- M_1 、TLS₀- M_2 及 TLS₀- M_{mix})，其分配情形如圖 2 所示。

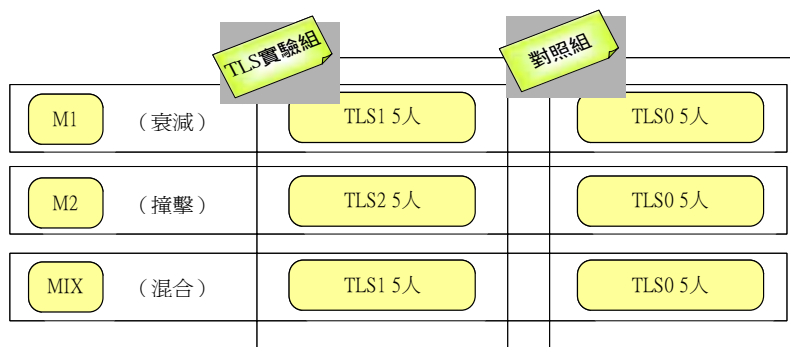


圖 2 TLS_x-M_x 教學實驗研究對象分組總覽

(二) 教-學序列的設計

本研究主要目的在探討不同教-學序列對不同心智模式學生之影響，所以教材分成三種形式：1. 未經特別設計之 TLS₀ 教-學序列、2. 針對 M_1 (衰減模式) 心智模式設計之 TLS₁ 教-學序列及 3. 針對 M_2 (撞擊模式) 心智模式設計之教-學序列。

教-學序列設計首要考量教學目標，根據 TLS 心理學與知識兩者整合建構的理念，TLS 的設計應依循學童對於物理世界之概念及科學概念雙重參照。故此本研究之雙重參照之一為國編本第二冊理化教師手冊 (2003) 中所擬訂的單元教學目標。另一則來自文

獻探討及本研究前兩階段調查並已實證之學生電學概念演化路徑：極性（錯誤，雙極）、通路方向（錯誤，雙極）→封閉性、燈泡角色（錯誤，會合）→分配電流→燈泡角色（錯誤，吸收）、完整通路的概念、正確通路方向→極性→系統性、電流共享→燈泡角色（正確，電流通過、電能轉換）、非順序推理、錯誤電流強度、無分配電流的概念→修正資源消耗模式、電流守恆。最後所發展之教-學序列之順序為：電能、電流分化→燈泡角色→簡單電路的封閉性、電流方向、元件雙元性及通路→非順序推理→串、並聯電路的封閉性、電流方向、雙元性及通路斷路的情形→電流守恆、電路系統性→克服資源消耗模式→電路系統性及非順序推理。而後，根據衰減及撞擊兩種不同心智模式的主要學習障礙，研究者另外設計相應的教學活動以協助學生克服這些另有概念。本研究希望所設計之教-學序列能同時達成現行教科書具體目標的要求，亦能協助學生克服電學之另有概念。至於對照組之教-學序列，本研究完全依循國編本第二冊理化教師手冊（2003）中所擬訂的單元教學目標，及其教材內容和教-學序列的設計。

在進行正式的教學實驗之前，本研究所有教材另經兩位國中自然生活與領域教師針對內容的正確性及措辭給予建議及指正，並經一所完全中學自然科中等學習成就之國一學生進行 2 人一組的教學實驗預試。

（三）研究工具及其實施流程

本研究使用的研究工具扣除不同組別所使用的教-學序列外，另有三項。所有工具除經上述教-學序列審定專家審查外，另經兩位具物理及科教背景的大學教授審查。茲將其內容及實施流程說明如下（圖 3）：

1. 電學診斷式測驗：本測驗於前測及後測階段實施，題目設計主要奠基於文獻探討中學生重要的另有概念，其實施目的在於瞭解並歸納學生電學心智模式以及相關認知特徵的頻率分佈。有關理解的部分，每小題 2 分，至於統整題則每小題 3 分，選項中若同時包含現象與理由者，一題為 3 分，同時答對現象與理由者給 3 分，若僅答對現象則給 1 分，總分為 56 分。此份測驗之 α 為.70。

2. 電學學習成就測驗：於前測及後測階段實施。主要乃依據國編本第二冊理化(2003)之教學目標所編制，其計分原則同電學診斷式測驗，滿分為 104 分，其 α 為.86。

3. 電學遷移應用測驗：共 4 小題，皆為統整性題，總分 12 分。僅在後測實施。

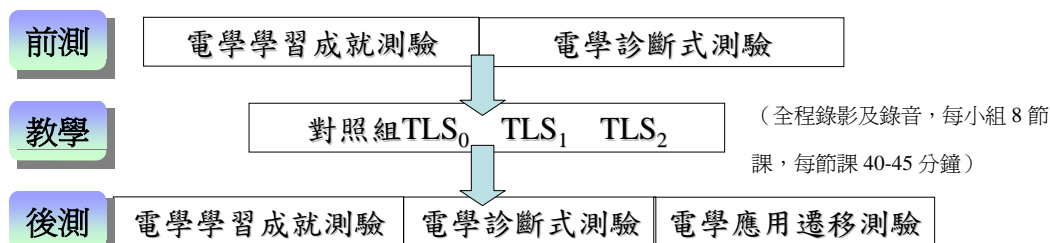


圖 3 TLS_x-M_x 教學實驗之研究工具及其實施流程總覽

（四）資料分析

有關學習成效之比較，又可分為對照組與 TLS 設計組兩組之間整體的比較，以及再細分各自針對 M_1 、 M_2 及 M_{mix} 這三種心智模式時對照組及 TLS 設計組之間兩兩的比較。由於研究對象的選取乃基於相同的心智模式（ M_1 、 M_2 及 M_{mix} ）及相同的電學學習成就

測驗成績，再隨機分配到對照組及 TLS 設計組，是故兩組研究對象乃相依樣本。包括電學學習成就測驗、診斷測驗、遷移應用測驗及總分，皆以 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 加以考驗。

四、結果與討論

由於 TLS 設計組乃各自針對不同心智模式設計適合的教-學序列，因此研究者預期 TLS 三個小組及整體 TLS 設計組無論在電學診斷式測驗、電學學習成就測驗或電學遷移應用測驗上的成績都會較對照三個小組及整體對照組優異，故本研究採 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 單尾考驗。此外，因本研究之配對小組僅五對，因此其下的分析，另外補充平均值及標準差以作為這些小組之間比較的參考。茲將結果描述於下：

(一) TLS 實驗組與對照組各項測驗成績的比較

表 1 為對照組及 TLS 實驗組學生各項測驗成績之描述性統計。由表 1 可見無論何種測驗，實驗組之平均值皆高於對照組，且除了遷移測驗外，實驗組之標準差亦皆小於對照組。若再進一步進行兩組 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test，則在電學成就測驗 ($Z=-2.244, p<.05$)、診斷式測驗 ($Z=-2.030, p<.05$)、遷移應用測驗 ($Z=-2.462, p<.05$) 或總分 ($Z=-2.756, p<.01$) 上，TLS 實驗組的學習成績亦顯著優於對照組。這顯示本研究依據兒童電學心智模式演化路徑及教科書分析後所設計之教材及教-學序列能同時達成現行教科書具體目標的要求，亦能協助學生克服電學主要之另有概念，並有助於電學概念的遷移與應用。

(二) 不同心智模式學生各項測驗成績的比較

若進一步比較不同心智模式學生在進行專為其設計之教學實驗後，於各項測驗成績上的表現，則其描述性統計如表 2 所示。由表 2 的結果發現使用 TLS 實驗教材（包括 TLS₁ 及 TLS₂）的小組，無論哪種心智模式（M₁、M₂ 或 M_{mix}），其電學成就測驗、電學診斷測驗、電學遷移應用測驗及總分皆優於相應的對照組。若進一步進行 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test，則發現這些小組在總分上皆顯著優於對照小組（TLS₁-M₁—TLS₀-M₁, $Z=-1.625, p<.05$ ；TLS₁-M_{mix}—TLS₀-M_{mix}, $Z=-1.753, p<.05$ ；TLS₂-M₂—TLS₀-M₂, $Z=-2.023, p<.05$ ），但在電學成就測驗、電學診斷測驗及電學遷移應用測驗這些分測驗上，便僅有 TLS₁-M₁—TLS₀-M₁ ($Z=-2.032, p<.05$) 及 TLS₂-M₂—TLS₀-M₂ ($Z=-1.633, p<.05$) 組於電學遷移應用測驗中達統計上的顯著差異。Sheskin(1997)提到若配對小於等於五對時進行雙尾 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test，其 p 值不可能小於等於.05。而本研究雖採單尾考驗，但每小組配對數亦僅五對，是造成這些小組配對未達統計上顯著差異的可能原因之一。

此外，無論 TLS 實驗組或對照組，這些不同心智模式的小組在電學診斷測驗、電學成就測驗及總分數的平均分數排序中皆呈現 M₁>M_{mix}>M₂ 的趨勢，唯一的例外為成就測驗中 TLS₀-M₂>TLS₀-M_{mix}。在 Osborne 和 Freyberg (1985) 的研究中，衰減模式（即 M₁）是較為接近科學模式的心智模式，相對的，撞擊模式（即 M₂）則偏離科學模式，因此這種排序的趨勢顯示心智模式的正確性有助於教學後克服另有概念及協助電學概念的理解。至於在電學遷移應用測驗中，TLS 實驗組的遷移應用成效優於對照組，但各心智模式分組之間並無沒有 M₁>M_{mix}>M₂ 的情形出現。事實上，學生具較佳遷移效果者，多

是因為憶起適用的類比所致。

表 1 對照組及 TLS 實驗組學生之後測各項測驗之描述性統計

測驗	組別	人數	平均	標準差	最小值	最大值
成就測驗	對照組	15	64.33	17.07	34	89
	TLS 實驗組	15	73.93	12.89	51	93
診斷式測驗	對照組	15	40.87	8.99	21.00	54.00
	TLS 實驗組	15	46.07	4.65	35.00	54.00
遷移測驗	對照組	15	3.73	2.15	0	7
	TLS 實驗組	15	6.73	3.26	1	12
總成績	對照組	15	108.93	22.11	74	138
	TLS 實驗組	15	126.73	17.88	100	151

表 2 對照組及 TLS 實驗組下六心智模式小組之後測各項測驗之描述性統計

測驗	組別	小組別	人數	平均	標準差	最小值	最大值
總分	對照組	TLS ₀ -M ₁	5	115.20	19.38	85	138
		TLS ₀ -M _{mix}	5	106.20	22.73	82	133
		TLS ₀ -M ₂	5	105.40	27.27	74	134
	TLS 實驗組	TLS ₁ -M ₁	5	135.8	13.22	117	148
		TLS ₁ -M _{mix}	5	123.20	22.37	100	151
		TLS ₂ -M ₂	5	121.20	16.93	101	140
診斷測驗	對照組	TLS ₀ -M ₁	5	46.00	7.48	38	54
		TLS ₀ -M _{mix}	5	40.00	7.84	28	48
		TLS ₀ -M ₂	5	36.60	10.43	21	48
	TLS 實驗組	TLS ₁ -M ₁	5	48.80	5.72	41	54
		TLS ₁ -M _{mix}	5	46.00	1.41	44	48
		TLS ₂ -M ₂	5	43.4	4.77	35	46
成就測驗	對照組	TLS ₀ -M ₁	5	67.40	15.40	43	82
		TLS ₀ -M _{mix}	5	61.40	21.41	34	89
		TLS ₀ -M ₂	5	64.20	17.37	43	84
	TLS 實驗組	TLS ₁ -M ₁	5	79.40	4.83	73	85
		TLS ₁ -M _{mix}	5	71.80	18.10	51	93
		TLS ₂ -M ₂	5	70.60	13.16	58	85
遷移測驗	對照組	TLS ₀ -M ₁	5	1.8	2.05	0	5
		TLS ₀ -M _{mix}	5	4.8	1.48	3	7
		TLS ₀ -M ₂	5	4.6	1.67	2	6
	TLS 實驗組	TLS ₁ -M ₁	5	7.6	3.13	3	11
		TLS ₁ -M _{mix}	5	5.4	3.91	1	10
		TLS ₂ -M ₂	5	7.2	2.95	5	12

五、結論與建議

為瞭解基於學生心智模式設計之教-學序列對不同心智模式學生電學學習之影響，本研究設計電學學習成就測驗、診斷測驗及遷移應用測驗，並用 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 針對對照組、TLS 設計組整組及其下各自針對 M₁、M₂、M_{mix} 這三種心智模式進行考驗，結果發現無論在哪一種測驗中，TLS 實驗組的成績皆顯著優於對照組。這顯示本研究所設計之教-學序列能同時達成現行教科書具體目標的要求，亦能協助學生克服電學主要之另有概念，並有助於電學概念的遷移與應用。

總覽整個研究結果，研究者認為課程設計者編寫教材時，應奠基於兒童的另有概念及概念發展順序設計課程，而尋求最佳教-學序列應是科教研究人員應該負起的責任，而非教師應該擔負的重責。也許教科書教-學序列的安排較難顧及所有不同心智模式的

學生，但本研究在電學學習上提出了一個一般性的教-學序列，可作為整體教科書設計的考量，而其他持有比例較少之心智模式的學生，研究者則建議納入教師手冊以做為教師針對個別學生特質設計個別教-學序列時的參考。此外，本研究雖已屬較為長期、小組式的教學實驗，並且初步得到教學成效的支持，此種教學實驗的優點在於雖已儘量貼近真實教室場景，且將變因控制到最少，但畢竟仍非真實教室場景。怎樣在變因及真實場景中取得平衡或突破，這一點仍待科教專業研究人員繼續努力！

六、主要參考文獻

- Härtel, H. (1982). The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education*, 4(1), 45-55.
- Klaassen, C. W. J. M., & Lijnse, P. L. (1996). Interpreting students' and teachers' discourse in science classes: An underestimated problem? *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 115-134.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Koumaras, P., Psillos, D., & Kariotoglou, P. (1997). Causal structures and counter-intuitive experiments in electricity. *International Journal of Science Education*, 19, 617-630.
- Lijnse, P. (1995). "Developmental research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, 79(2), 189-199.
- Osborne, R., & Freyberg, R. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland: Heinemann.
- Sheskin, D. (1997). *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. Boca Raton, Fla. : CRC Press.