科學教育學刊
2009, 第十七卷第六期, 481-507

Chinese Journal of Science Education
2009, 17(6), 481-507

探究以學生心智模式為設計基礎之教-學序列對學生電學學習之影響

林靜雯[1]　**邱美虹**[2]

[1]台北市立教育大學　自然科學系

[2]國立臺灣師範大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 97 年 8 月 25 日，修訂日期：98 年 11 月 18 日，接受日期：98 年 12 月 7 日）

摘要：本研究整合了支序分類之概念演化取向所獲得的學生電學心智模式演化路徑，與歐洲教-學序列研究典範之一的「教育重建」，設計以學生心智模式為基礎之教-學序列以協助學生電學學習。研究者從 212 位國一學生中篩選 30 位學習成就及診斷式測驗成績相當者，根據學生所持有的三種主要心智模式分成六小組（三種心智模式 × 實驗組與對照組），分別進行八節課「教學實驗」。而後，再度進行學習成就與診斷式測驗，並加測情意態度。研究結果顯示本研究所設計的教-學序列，能幫助學生達成教科書目標並克服電學另有概念，且學生情意態度之結果亦支持此一結論。此結果除可作為真實教室中教學的參考外，亦支持支序分類之概念演化取向有助於有效教-學序列的設計。

關鍵詞：心智模式、支序分類之概念演化取向、教-學序列、電學

壹、緒　論

1960年代左右的傳統科學課程主要以科學基本概念為基礎，此種課程設計的概念組成方式與順序反映了科學的基本「邏輯」結構，適用於一般範例式的理想情境。而後，於1980年代興起科學-技學-社會（STS）的理念，以此種理念所設計的課程雖然嘗試將課程與生活情境結合以尋求改變，但 Lijnse（1995）認為此種設計下之概念結構和順序在本質上並未有所改變。換言之，這種策略主要由上到下傳遞概念，即便教學過程中的確涵蓋了討論和發現的活動，但由於未考量學童的先備概念及其認知學習的結果差異，因此或多或少地強迫了學童概念的發展。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，進一步提出改進的教學策略。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，但卻很難落實到實務上，最主要的原因乃在於其對如何在教室或小組中進行教學仍鮮少著墨（Lijnse, 1995）。在這樣的時空背景下，歐洲於1980

年代初期興起一值得注意的研究取向，此取向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。此研究領域以逐步演化的研究過程為基礎，主要聚焦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，使學生能成功學習（Lijnse, 1995）。

在 TLS 的相關研究中，Komorek 與 Duit（2004）所提之教育重建（educational reconstruction）的架構最為詳盡及條理清晰（圖1），適合作為其他研究者設計 TLS 時的參考。此架構共有三個重要的組成，其分別為「學習過程的實徵調查」、「內容分析」及「教學建構」。另一方面，本研究計劃為一大型研究，中心目的乃希望由概念演化的觀點，探究學生不同類型心智模式的演化歷程，進而基於這些歷程設計相應的 TLS，以協助學生電學概念的學習。是故研究者以教育重建的組成為主要研究的設計架構，分成四個階段來進行。首先，研究者將教育重建中「學習過程的實徵調查」進一步分成學習過程的實徵「調查」及「驗證」。在此階段，研究者引介生物學上之支序分類觀點，提出支序分類之概念演化取向（cladistics approach in conceptual evolution），以電腦軟體建立了學生假設性電學心智模式演化路徑（林靜雯，2006；Lin & Chiu, 2006）（圖2）。接著，研究者設計440位國小三年級至國中三年級學生參與之跨年級調查，以電學診斷式問卷檢驗此分析取向所獲得之學生心智模式演化路徑的假設，研究結果支持此創新研究取向的預測（林靜雯，2006；林靜雯、邱美虹，已接受；Lin & Chiu, 2007）。第三個階段則為教科書中與電學相關之 TLS 的「內容結構分析」（林靜雯，2006；林靜雯、邱美虹，2007），其與教育重建之第二個組成相應。最後，研究者結合前三階段學生電學心智模式演化的路徑及教科書內容結構的分析，以 Komorek 與 Duit 所引介之「教學實驗」（teaching experiment），針對具有不同電學心智模式（M_1、M_2、M_{mix}）的學生設計相應的 TLS（TLS_1、TLS_2），進而以小組教學的方式進行教學實驗，藉此探討不同 TLS 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

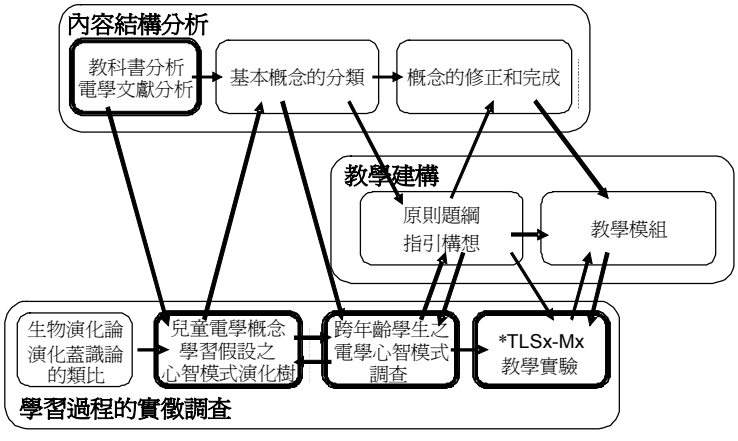

圖 1：本研究教-學序列設計架構

註：圖中▭處與主研究四個研究階段的研究目的相呼應，*為本篇論文之研究目的（修改自 Komorek & Duit, 2004）

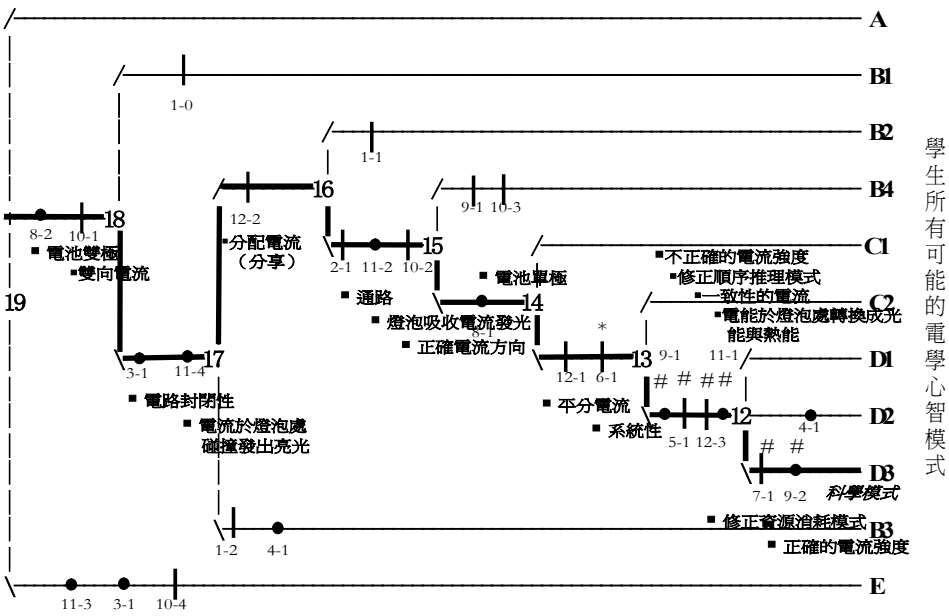

圖 2：兒童電學心智模式演化路徑之假設（林靜雯，2006）

模組以作為最後教室中「教學建構」之參考。本篇論文為此大型研究計劃第四階段中量化檢驗及情意向度的分析。在此，情意向度的分析主要是因為教學實驗的過程中，有許多變因的融入，Méheut 與 Psillos（2004）認為這些變因在 TLS 實施的過程中不易釐清，因此本研究擬藉由學生自我評鑑情意態度來釐清究竟是哪些因素影響教學實驗的成效。據此，本研究之目的希望瞭解針對學生不同心智模式演化過程所發展的 TLS 是否有助於不同心智模式學生的電學概念學習，詳細的研究問題如下：

一、針對學生不同心智模式演化過程所發展的 TLS 是否有助於不同心智模式學生的電學概念學習？

(一)TLS 實驗組（包括 TLS_1-M_1 組、TLS_2-M_2 組及 TLS_1-M_{mix} 組共 15 人，以下簡稱 TLS 組）的學習成就是否優於對照組（包括 TLS_0-M_1 組、TLS_0-M_2 組及 TLS_0-M_{mix} 組共 15 人）？

1.TLS 組的電學測驗總分是否優於對照組？

2.TLS 組的電學成就測驗之成績是否優於對照組？

3.TLS 組的電學診斷式測驗之成績是否優於對照組？

(二)持有不同心智模式（M_1、M_2 及 M_{mix}）的學生，經不同 TLS（TLS_1、TLS_2 及 TLS_0）教學後，其電學概念學習情形為何？

二、比較 TLS 組與對照組的學生對其相應之 TLS 設計的情意態度為何？

貳、文獻探討

一、學生電學學習的主要困難

電學在科學學習中扮演著極為重要的角色。根據 Pfundt 與 Duit（2007）學生概念文獻資料庫的統計發現：有關電學的相關研究約近15%，是僅次於力與運動一主題外，最多研究者關注的焦點。雖然這些研究者所使用的研究方法不同、關注的學習階段各異，

但這些累積的研究成果皆指出由於此領域的主概念極為抽象、無法直接觀察，因此學生具有許多迷思概念（Arnold & Millar, 1987; Carlton, 1999）。而在大量迷思概念的調查後，近來的研究趨勢逐漸朝往以較完整的概念架構（如：心智模式）來詮釋兒童電學的學習。

兒童具有怎樣的電學心智模式呢？Osborne 與 Freyberg（1985）調查紐西蘭8-12歲的學生對電路封閉性、電路元件的雙極性及電流方向的想法，定義出四種解釋模式，其分別為 A.單極、B.撞擊、C.電流衰減、D.電流一致的科學模式，這在其它國家也獲得相同的證明（Butts, 1985; Dupin & Johsua, 1984; Gott, 1984; Shipstone, 1985，引自 Driver, Sauires, Rushworth, & Wood-Robinson, 1994）。Magnusson, Boyle 與 Templin（1997）則奠基於前人的研究上，將上述四種電路中的撞擊模式又細分出如交流電一般分從電池兩極出發的交叉撞擊模式（crossing current model），而針對衰減模式，其亦再區分出兩燈泡亮度不平均的「分享模式」及兩燈泡亮度一致的「共享模式」。截至目前為止，有關電流心智模式的調查最為詳盡的可能是 Chiu 和 Lin 一系列的研究（邱美虹、林靜雯，2002；Chiu & Lin, 2005）。她們深入探討學生在處理電路問題時心智模式的類型及轉變。其研究結果顯示學生在串聯電路的表現可歸納出六大類心智模式，這六大類除涵蓋 Osborne 與 Freyberg（1985）所整理的四大類外，還包括過往文獻中未論及的 E.燈泡本身有電及 O.不會發亮兩大類。總覽這些心智模式的研究，研究者整理出學生電學主要學習困難共13類，且這13項學習困難，為本研究研究工具設計之主要依據。茲將其與相對應的科學概念列如表1。

二、學生電學概念的發展

學生概念發展的路徑是設計以學生為中

表 1：電學科學概念與學生學習困難對照表

	科學概念	學生學習困難
1	導線、電源、電器須連接成封閉迴路	導線、電源、電器不須連接成封閉迴路
2	電池由正極發出電流	電池正極與負極都可以發出電流
3	電流由電池的一端出發，經過電路元件再回到電池，這樣繞一圈形成通路，也才有電流	不具通路概念
4	電路中的元件具雙極性，有正極與負極，正極須與負極相連	電路中的元件不具雙極性
5	電流是電荷的移動而電荷守恆，所以電流一致	電流會被分配到電路中的各種元件，電流不守恆
6	燈泡能將電能轉換成光能與熱能，因此發光	燈泡因為阻礙或吸收電流而發光
7	兩串聯燈泡間具有電流，且電流方向正確	忽略串聯兩燈泡間的電流，或由電池發出的兩股電流在兩燈泡間撞擊
8	電流方向為由電池正極出發經電路元件回到電池負極	電流方向由電池正極與負極出發，形成兩股電流
9	電以各種形式做功、產生能量的能力即為電能，與電荷流動形成電流不同	將電流與電能視為同義
10	電池造成電位差，驅使電子在導線中流動	具資源消耗模式，電池如同蓄水池，釋放出電流
11	環路電壓的總合為零	環路電壓的總合不為零
12	不具順序推理模式	順序推理模式，當電離開電池後，經過元件再回到電池的過程就如同電路中一連串發生的事件
13	以系統性思考電路	無法以系統觀點思考電路

心之課程的主要參考依據，一般皆以大樣本的跨年級調查或個案之學習路徑的研究方式獲得（Chiu & Lin, 2008）。關於電學這個主題，自1980年代開始即有研究者陸續以紙筆測驗、實地操作或晤談的方式希冀獲得學生電學概念發展的情形（Dupin & Johsua, 1987; Osborne & Freyberg, 1985）。研究結果顯示上段所介紹的這些電流的心智模式於不同年齡層的比例互有消長。大致上，幼童較易持有單極模式，而撞擊模式則一直到13歲的中學生都還頗為常見。隨著年齡的增長及與教學互動的結果，持有科學模式的人數亦會上升，但這樣的影響對電流衰減模式則影響不大（邱美虹、林靜雯，2002；Borges & Gilbert, 1999; Osborne & Freyberg, 1985; Shipstone, 1984, 1985）。之所以如此，許多研究者認為此乃因學生「順序推理」模式左右之故，亦即學生容易認為電離開電池後，經過元件電流逐漸消耗再回到電池的過程就如同電路中一連串發生的事件（Shipstone, 1984）。

有關跨年級調查或學習路徑的研究雖能詮釋學生單一概念發展的情形，但對於概念之間如何互動以及概念與課程之間的連結卻不易闡明，更甚者，這兩種研究方法皆面臨耗時費力的缺點（Chiu & Lin, 2008）。據此，研究者乃基於認識演化論（Campbell, 1974; Hull, 1988; Toulmin, 1972）及支序分類學（Wiley, Siegel-Causey, Brooks, & Funk, 1993）的類比，提出支序分類觀點的概念演化取向，並經由生物資訊軟體 PAUP* 4.0，建立了假設性兒童電學心智模式演化路徑（圖2）（林靜雯，2006；Lin & Chiu, 2006）。

兒童電學心智模式演化路徑的表徵顯示了大部分學生電學學習的集體趨勢為8-2，10-1→3-1，11-4→12-2→2-1，11-2，10-2→8-1→12-1，6-1→9-1，5-1，12-3，11-1→7-1，9-2（圖2）。此趨勢代表大多數學生電學心智模式演化的趨勢一開始會先發展出電池雙極的概念，此時電池兩端會分別「發射」出電流，而後，學生會發展出電路具有封閉性的概念，此時電流會在燈泡的地方會合。接著，多數學生會產生分配電流的概念，傾向於認為串聯電路中的兩燈泡會分配電流。逐漸地，學生開始具有正確的通路概念及正確電流方向，但卻傾向於認為燈泡會吸收電流。接著，學生才發展出電池具有正負極的概念。而後，也才發展出電路系統性的觀點，此時學生雖仍持有電流分配的想法，但大多數學生會將電流平分給兩個燈泡，而非一個燈泡「拿」或「吸收」得多，另一個燈泡少。接著，學生會修正順序推理的模式，瞭解電流在電路中不會消耗以及電能轉換的概念，此時雖逐漸趨往科學模式了，但電流強度卻是錯誤的，要一直等到最後修正了資源消耗模式（source-consumer model），學生才不會認為電池是電或能量的儲存槽，在封閉電路中傳送一定的電流而非維持一定的電壓（李賢哲、張蘭友，2001；Driver et al., 1994; Psillos, Koumaras, & Tiberghien, 1988），也才能對電流強度有正確的理解。由於越往路徑後段的認知特徵顯示了較晚新增或修正者，因此為學生較難以學習或克服的概念，是故這樣的演化過程顯示了修正資源消耗模式、正確電流強度、電流一致、修正順序推理、燈泡轉換電能的角色為國一學生最難概念修正的部分。此外，此表徵也揭示了某些概念/另有概念之間錯綜複雜的關係。例如：在節點15與16之間有三個認知特徵，其分別為通路（2-1）、燈泡吸收電流發光（11-2）及正確電流方向（10-2）。這三個認知特徵之所以被歸在同一節間，意謂著這三個概念會相互影響。另言之，當教師教授正確的通路概念及正確的電流方向時，若不經特別教學設計，學生很容易被引發燈泡吸收電流的另

有概念。Heller 與 Finley（1992）以及 Shipstone（1984）的實徵研究中曾提醒教師在教授電學時須注意此點，而透過支序分類分析方法，研究者（林靜雯，2006；Lin & Chiu, 2006）無須透過實徵，就已預測到概念之間錯綜複雜的相互影響性。由於此假設路徑已經由跨年級調查的支持（林靜雯，2006；林靜雯、邱美虹，已接受；Lin & Chiu, 2007）及過去部分文獻得到佐證，是故其預測的路徑適合用於設計以兒童先備概念為基礎的相關課程。

三、教-學序列及電學相關教-學序列的研究

(一)教-學序列

教-學序列（TLS）並非一種教學策略，而是一種中、微尺度的課程設計，其可溯源於1980年代歐洲興起的一種以逐步演化的研究過程為基礎之課程設計風潮。此風潮重視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，並期望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，以促使學生成功學習。關於 TLS 的研究有許多理論，其中，Kattmann, Duit, Gropengieber 與 Komorek（1995）整合了德國對科學內容的解釋傳統與建構主義教學的取向，提出所謂的「教育重建」的架構（Komorek & Duit, 2004; Méheut & Psillos, 2004），是 TLS 研究理論中最為明確的架構，亦為本研究設計 TLS 的主要架構。

此架構有三個重要的組成（圖1）：其一為內容結構分析，主要分析科學的觀點及整組教育目標。其二乃一系列學習和教學上的實徵研究。至於發展和評鑑初始的試驗性教學及教學模組則是第三個組成（教學建構）中的重點要項。這三個組成之間相互影響，交織著複雜的關係，在其中一個組成中所獲得的知識必然動態地影響到其他組成中的解釋和活動的結果，可謂牽一髮而動全身（Komorek & Duit, 2004）。

教育重建的架構有許多重要的特點，其中之一便在於其警示著教學內容的設計必須根據學生教學前的概念以及其學習的路徑加以發展。研究者須嘗試基於前人的研究回答諸如：「學生概念架構中最重要的元素是什麼？」「學生概念或觀點中的哪些元素提供了哪些學習機會？」「學生的哪個概念與科學概念一致？我們如何因勢利導提供學生更充分、更有成效的學習？」等問題（Kattmann et al., 1995）。畢竟，科學模式和兒童個人對世界的觀點極為不同，為了橋架這樣的差距，連結內容的教育重要性以及學生的學習困難以進行科學模式的「教育重建」是必須的。目前，此架構已被其他基於建構認識論及教室中新試驗性教學取向的研究所採用（Duit & Komorek, 1997; Linn & Songer, 1991; Viennot, 1996，引自 Aiello-Nicosia & Sperandeo-Mineo, 2000）。

(二)電學相關教-學序列的研究

就電學相關的 TLS 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。這樣的爭議凸顯了電學 TLS 應如何

安排的重要性。

在電學相關之 TLS 設計研究中，Schwedes 的研究團隊貢獻最力。他們的 TLS 設計著重於「同時」考量電的「物質」和「能量」兩向度，十分重視學生學習的路徑及 TLS 設計的知識面向（Méheut & Psillos, 2004），其主要特色在於以類比及認知衝突討論其對學童學習的真實助益（Schwedes & Schmidt, 1992）。舉例而言，在 Schwedes 與 Dudeck（1996）的研究中，他們以系統的層次描述並檢驗特殊的水類比模式是否協助11位10年級學生電路的理解。其 TLS 的設計先介紹雙重水柱裝置（Double water column, DWC）這個水類比中詳細的概念內容，例如：討論水流的強度為每秒流過的水量，使學生瞭解連續的條件；或讓學生自由建構多種水循環迴路，並藉由討論質性與量化地探索水流循環迴路中的壓力和液體分佈、水流阻力管中的壓力（差），並試圖以並聯或串聯的方式改變水流阻力，而後再引介電學重要的概念。例如：簡單電路運作的機制，再讓學生自由實驗建構電路、測量電壓和電流，接著闡明電路中電流、電阻及電壓的規則，而後以類比導向的方式整理整個電路系統。20節課下來，Schwedes 和 Dudeck 發現學生可藉由類比推理輕易產生推論而達成電路系統性的觀點，但對電路的理解會受限於水流的理解。

另一方面，Niedderer 與 Goldberg（1995）的主要研究目的則在於分析教學過程中學生的學習路徑。其教學理念奠基於建構主義，因此所設計的 TLS 第一步便是抽取學生先備概念，接著進行連接電池的實驗。中間的過程，教師會要求學生寫下自己形成的一般性連接原則。而後，教師利用電荷移動的模型以較科學的方式解釋電流，再根據歐姆定律質性和半量化地解釋電壓。研究結果顯示學生的學習路徑始於日常生活的電流觀點，接著在連接電池的實驗後會形成正極和負極的電流撞擊的模式，而教學後才會建立微觀的電流觀點及電壓驅動電流的概念，此時也才能給予證據支持知識建構的假設性解釋。此外，研究亦顯示移動粒子模型有助於學生理解電流，但教師設計的壓力概念無助於電壓的理解。

四、教-學序列的效化

有關 TLS 的設計可以基於研究者的理念而有多種組合，但隨之而來的，我們關注的焦點便在於如何知道所設計的 TLS 是否適當？是否協助學生有更好的科學理解？有關於 TLS 的檢驗方式主要有「前測/後測」以及「學習路徑」這兩種方式，前者著重於量化的檢驗，後者則著重於質性的分析。本研究兼採這兩種效化方式，唯本文礙於篇幅，僅呈現前者的研究結果，後者則另為文討論（林靜雯，2006；林靜雯、邱美虹，2008）。

檢測「前測/後測」的方式又可區分為內在評鑑與外在評鑑。內在評鑑意味著檢驗同一名學生是否於 TLS 實施後即能完成我們初始所設定的標準（Andersson & Bach, 1996; Asoko, 1996; Boohan, 1996）。外在評鑑則是和其他學生的組別比較。這種比較通常須先經過一道篩選學生的程序，接著再將這些學生分成兩組，進行小組的實驗比較（Chang & Barufaldi, 1999）。但這種檢驗的類型囿於目前的研究方法，在控制變因、實驗教學的再現性以及對於特定因素如何影響所設計的 TLS 上容易受到質疑（Hewson & Thorley, 1989; Méheut & Psillos, 2004）。因此，Johsua 與 Dupin（1989）宣稱其觀察可經得起其他研究者再現性的考驗，而 Rainson（1995）則詳實公開其研究設計和內容。至於 Andersson 與 Bach（1996）則根據其實驗誠實

地表明：究竟是設計中的哪個因素導致教學的改進的確還未能回答（Méheut & Psillos, 2004）。上述研究結果凸顯了 TLS 效化的困難，因此許多研究者嘗試以各種方式來突破這些效化的困境。符合教育重建模式的「教學實驗」是突破此效化困境的研究方法之一。有別於一般大班教學不易掌握相關變因，教學實驗適當修改一對一晤談的研究程序，而成了2-4人的小組教學與晤談兼具的研究方法，這使得描述性統計、推論統計等方式得以用於檢驗 TLS 的效化情形，而教學實驗中教師於教學過程中拆解教學步驟和序列，進行類似 POE（Predication-Observation-Explanation）的過程，也有助於質性資料的描述（Komorek & Duit, 2004）。

有關教學的相關變因，Seidel 與 Prenzel（2006）經由跨主題、跨教室和長時間的教室觀察研究歸納了三個可能涉及的重要變因，其分別為：教學活動的組織、師生互動以及學生對於學習條件（condition）的知覺，這些變因在 TLS 的教學實驗中，相關研究者也嘗試用各種研究方法希望獲得進一步的研究結果。舉例而言，Lijnse（2000）十分強調「動機」與「情意」在 TLS 中扮演的角色，其藉著不同的佈題方式和內容來引發學生動機與對知識的渴望，並藉此建構教-學序列，以觀察個案學生的學習路徑中動機的演變。Niedderer 與 Golberg（1995）亦強調學習的目標與興趣，其研究亦是透過個案學生和教師、同儕、教材之間互動的觀察，瞭解學生的學習路徑。而在本研究中，研究者則嘗試從學生自我評鑑情意態度的角度來釐清相關問題。

參、研究方法

一、研究對象

研究者修改 Chiu 與 Lin（2005）之電學測驗自行編製了電學診斷式測驗（此工具於研究工具之段落會詳細說明），並依據此測驗從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的學生主要持有上節文獻探討中所謂的 C.衰減模式，而 M_2則是持有 B.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，研究者考量被篩選出學生的電學成就測驗分數，進一步選出成績相近且口語表達不感羞赧的學生，最後選定具 M_1、M_2及 M_{mix} 心智模式的學生各10名，並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 組（TLS_1-M_1、TLS_2-M_2及 TLS_1-M_{mix}）及對照組（TLS_0-M_1、TLS_0-M_2及 TLS_0-M_{mix}），每對配對學生皆具有相同的診斷式測驗成績、成就測驗成績以及相同的心智模式。其詳細分配情形如圖3所示。

二、教-學序列的設計

本研究主要目的在探討不同 TLS 設計對 M_1（衰減模式）、M_2（撞擊模式）及 M_{mix} 三類心智模式學生電學學習的影響。據此，本研究教材分成三種形式：1.以國編本第二冊理化教師手冊（2003）為依據，未經特別設計之 TLS_0，適用於所有對照組；2.針對 M_1 心智模式設計之 TLS_1，適用於持有 M_1及 M_{mix}

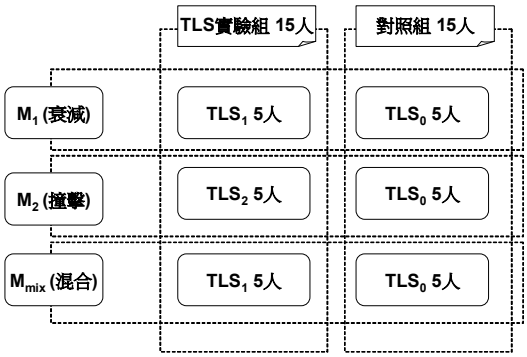

圖 3：TLS_X-M_X 教學實驗研究對象分組總覽

的實驗組，以及3.針對 M_2心智模式設計之 TLS_2，適用於持有 M_2心智模式的實驗組。所有教材編製完成後，研究者首先商請兩位國中自然與生活科技領域教師針對所有教材的內容正確性及措辭給予建議及指正，每份教材另經台北市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。茲就教材及 TLS 之教學目標及設計原則詳述如下。

(一)教學目標

TLS 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（Méheut & Psillos, 2004）。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，另一則為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。此路徑清楚地表徵了學生各種電學心智模式演化的過程及學生電學學習時重要的另有概念及概念與另有概念之間互動的情形，因此對於 TLS 的設計極有助益。針對這兩個教學目標，研究者分別設計電學學習成就測驗以及電學診斷式測驗加以檢驗學生的學習是否達成教學目標。至於這兩個測驗的詳細內容及實施情形，筆者將於稍後詳細介紹。

(二)教-學序列設計原則

由於 TLS 設計的內涵為本研究的核心，是故以下詳細說明 TLS 組中各 TLS 設計的原則，其分別為1.教學活動編排的順序：預測-解釋-觀察-解釋（predict-explain-observe-explain, PEOE）；2.學生心智模式演化的路徑以及3.類比設計的安排。

1.預測-解釋-觀察-解釋

為瞭解學生在各教學活動中電學心智模式的演化及促進學生電學概念的理解，研究者針對第二教學目標－「克服學生常見另有概念」設計十題相應問題，並依 PEOE 的順序實施。PEOE 的精神主要根據 White 與 Gunstone（1992）POE（predict-observe-explain）的理念。在 White 和 Gunstone 的研究中，其主要提供學生一個動手實驗狀況，要求學生預測會產生何種改變，學生須仔細觀察其中的改變，並思考預測與觀察之間的異同，想出可能造成不同的原因進而獲得結論。而在本研究的 TLS 設計中，學生須先針對所設計的問題記錄下自己的預測並給予解釋後，才進行主要的教-學活動。教-學活動不一定是動手實驗，有可能是一段講述、動畫模擬、小組討論等等。TLS_0對照組亦須進行十題相應問題的預測及解釋，而其問題乃安置於教材相關單元之前（例如：靜電感應）。

2.學生心智模式演化路徑

在 TLS_0對照組方面，其教-學順序主要為靜電感應→電路→電壓→電流的線性教學；主要的教學活動則多是講述、對照講述、舉例應用、示範及實驗（此份國編本教材的詳細分析，請參考林靜雯與邱美虹（2007）），但 TLS 組中之 TLS 設計則依據心智模式演化路徑的假設路徑而來（其詳細內容請見林靜雯（2006））。依據心智模式演化路徑（圖2），研究者發現學生從開始發展對串聯電路的理解到形成科學模式（D3）的過程中，資源消耗模式、電流強度、電流分配或平分、非順序推理、燈泡轉換電能的角色為學生最難克服的部分，而這幾個因素都與學生認為電流經過燈泡後會衰減的概念息息相關。其中，電流衰減又和電路系統性密切相關，若學生可以儘早理解電路系統性的概念，便有助於電流衰減概念的克服，是故電路系統性一概念實居電學學習之樞紐地位。此外，燈泡角色及通路方向則是最容易混淆學生學習的關鍵之一，應儘早釐清，而燈泡角色又和順序推理的特徵結合，若燈泡角色未能釐清

會強化學生順序推理的概念，而通路方向則和極性相關，儘早理解電池通路方向是單極的概念，可以避免學生衍生許多錯誤的通路模式。是故，本研究之教學順序主要依照學生心智模式演化的路徑，再參考科學主題內容之間的關係發展 TLS，主要的教學概念序列之設計為：電能、電流分化→燈泡角色→簡單電路的封閉性、電流方向、元件雙極性及通路→非順序推理→串、並聯電路的封閉性、電流方向、元件雙極性及通路斷路的情形→電流一致、電路系統性→克服資源消耗模式→電路系統性及非順序推理。

本研究中共有兩個 TLS 設計，其中 TLS_1 乃針對 Chiu 與 Lin（2005）中 C1（衰減模式）的心智模式加以設計，而 TLS_2則針對 Chiu 和 Lin 中之 B 模式（撞擊模式）所設計。由於 C1模式有最多國一學生持有，和科學模式相較，主要在於電、電流及電能尚未分化、學生持有順序推理、缺乏系統性、電池具資源消耗、電流衰減、對燈泡之角色詮釋錯誤等另有概念；而 B 模式除具有 C1模式的另有概念外，最顯著的不同在於其尚未具備電路封閉性、電流方向是錯誤的雙極模式，並且對於兩燈泡間的電流有錯誤的理解。是故研究者於設計完適用於大部分學生使用之 TLS_1後，再針對電流方向設計以指南針追蹤電流方向的實驗活動，另外以兩燈泡間具電流的實驗形成差異性事件形成 TLS_2，希望藉此協助 B 模式的學生克服其另有概念。另言之，TLS_1可視為一較一般性的 TLS，而 TLS_2則是依據 TLS_1的架構進一步修正的設計。

3.類比設計的安排

本研究主要依照 D. Gentner 與 D. R. Gentner（1983）對類比的研究，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2），藉此確立電領域與類比領域概念的對應關係，以選擇出最佳的類比。最後，研究者選擇水循環系統作為主類比，原因是此類比可以含括較多電流領域的特徵。此外，本研究另外選擇吸管串接及並排讓學生質性地實地感受電阻串聯與並聯時等效電阻的大小。有關電阻的串聯與並聯這部分，水循環系統亦可以進行此部分的類比，故這兩個類比對應到電阻領域乃相似多重類比的運用。

有關類比在教材中的引介，研究者採 Glynn, Duit 與 Thiele（1995）TWA（Teaching-with-Analogy）教學的六個步驟，針對水循環系統，不斷重複循環其前五個步驟，直到最後一次引用再和學生共同討論模型的限制。這六個步驟分別是：1.介紹要學的目標概念（標的物）；2.利用線索尋找類比物；3.確認標的物與類比物之間的關係；4.對應類比物與目標概念的相似性；5.對標的物提出結論；6.指出類比何時失效。

綜上所述，針對學生對電學的這些另有概念，研究者所設計的教學活動整理如表3。

六小組教學實驗各8節課，共48節課，每節課40～45分鐘，皆採全程錄影、錄音，此外，每節課後研究者亦會進行教學與反思紀錄。研究者主要利用午休、早自習及自習課等非學生上課的時間，從各班邀請各小組研究對象（小組成員大多來自於不同的班級）至一間特別為研究準備的教室進行小組教學。

三、研究工具

本研究使用的研究工具包括不同組別的 TLS 教材外，另有三項測驗工具。所有工具除經上述審查 TLS 之專家給予建議外，另經兩位同時具物理及科教背景的大學教授審查。以下茲分別說明各項測驗工具之內容及實施時機：

(一)電學診斷式測驗

此測驗用以測驗學生之另有概念，於前

表 2：電領域與類比領域概念對照表

	電路系統	封閉水流水壓模型	吸管
物件	電流	水流流動的情形	氣流流動的情形
	電線	水管	--
	電池	抽水機＋水塔	口
	燈泡/電阻	水車	吸管
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	吹氣的力量
	電流的大小	水流的速度	氣流的速度
關係	電池和電線連接	抽水系統和水管相接	--
	電線連接燈泡	水管和水車相接	--
高階關係	並聯的斷路，電流依然可以流通	並聯的斷路，水流依然可以流通	--
	串聯的斷路，電流無法形成	串聯的斷路，無法造成水的流動	--
	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	兩根吸管串接，氣流速率減弱
	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	兩根吸管並排，氣流速率不變

註：「--」表無此對應關係

測及後測實施。研究者首先經由文獻探討一節中的調查，界定學生電學各類心智模式及心智模式的認知特徵，藉此歸納出13項學生主要電學學習之困難，並依此設計試題，其雙向細目表請見表4。

試卷共分四大題，由於是診斷式問卷，是故問題無法純由記憶回答，而須經理解、統整並給予解釋方能填答。第一大題為填填看，乃有關學生對電流、電能及電壓的看法。第二大題則為選擇題，選項的設計採雙層式診斷試題的設計精神（Haslam & Treagust, 1987; Peterson, Treagust, & Garnett, 1989），部分問題同時包含現象及理由。第三大題為是非題，主要測驗學生電流與電壓守恆的概念。至於最後一大題則是是非及繪圖題，學生須先判斷圖示電路裝置中的燈泡是否能發亮，再判斷裝置中是否具有電流，若有，須繪出電流流動的方向為何。在計分方面，理解題每小題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。此份試卷的信度值 α 為 .70。

(二)電學學習成就測驗

研究者為瞭解學生教學前後電學概念學習的狀況，因此依據國編本第二冊理化教師手冊（2003）中所擬訂的單元教學目標制訂雙向細目表（表5），設計了「電學學習成就測驗」，分別於前測及後測實施。試卷共七大題，其計分原則同電學診斷式測驗，滿分為104分，α 為 .86。

(三)教-學序列情意態度問卷

由於以小組長時間的教學方式進行研究容易摻入許多變因影響教學，須以其他方式

表 3：另有概念與教學活動對照表

心智模式		另有概念	教學活動
B	C1	電、電流及電能尚未分化	◆ 動畫演示電流的形成 ◆ 加上對燈泡角色的詮釋，瞭解化學能-電能-熱能及光能的能量傳遞 ◆ 以封閉水流水壓模型水車轉動的情形闡述能量轉換的過程 ◆ 動畫演示電池內部化學反應的過程
		對燈泡角色詮釋錯誤	◆ 動畫演示燈泡發光是電能轉成熱能及光能的結果
		學生持有順序推理	◆ 以一打看開關，燈泡馬上就亮形成差異性事件 ◆ 以封閉水流水壓模型水車轉動的情形闡述電路的系統性
		電池具資源消耗	◆ 以 3 號電池換成 1 號電池燈泡亮度沒有變化形成差異性事件 ◆ 動畫演示電池內部化學反應的過程
		電流衰減	◆ 以封閉水流水壓模型水車轉動的情形闡述電流沒有衰減而是能量轉換的過程 ◆ 以串聯、並聯電路中燈泡的明暗度形成差異性事件 ◆ 以安培計測試電路中的電流大小 ◆ 以多重表徵整理電流守恆的概念
		電壓守恆	◆ 以伏特計測試電路中的電流大小 ◆ 以多重表徵整理電壓守恆的概念
		系統性	◆ 以封閉水流水壓模型水車轉動的情形闡述電路的系統性 ◆ 以串聯、並聯電路中燈泡的明暗度形成差異性事件 ◆ 以吸管串接及並排吹氣實際感受電阻組合時等效電阻的變化
		封閉性	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向 ◆ 以封閉水流水壓模型水流動的情形類比電路的封閉性
		電流方向	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向 ◆ 以封閉水流水壓模型水流動的方向類比電流的方向
		極性	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向 ◆ 以封閉水流水壓模型水流動的方向類比電流的方向時加以強調
		通路	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向 ◆ 以封閉水流水壓模型水流動的情形類比通路的情形
		元件雙元性	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向 ◆ 以封閉水流水壓模型水流動的情形類比通路的情形時加以強調
		兩燈泡間電流	◆ 以指南針測試電流的存在及追蹤電流的方向

進一步討論相關變因對教學實驗的影響（Méheut & Psillos, 2004）。據此，本研究主要參考 Seidel 與 Prenzel（2006）所提影響教學的相關變因，以及高淑芬（1997）、林靜雯與邱美虹（2005）針對學生學習類比以及學習電學時的態度量表，進一步設計一份情意態度問卷於後測結束後實施，讓學生主觀評估其他變因對其學習成效及心智模式演化的影響。問卷內容主要以李克式五點量表的方式讓學生評鑑四個向度：1.教科書內容及順序安排是否有助於理解、是否有趣、是否能協助克服另有概念以及是否喜歡；2.與小組成員一起上課的觀感；3.對任課老師的感覺，以及4.對自我表現的評估。部分問題並接著

表 4：電學診斷式測驗十三個學習困難之雙向細目表

題號	封閉性	極性	通路	元件雙極性	燈泡角色	電流分配	兩燈泡間的電流	電流方向	電流與電能分化	資源消耗模式	電壓守恆	順序推理	系統性
一									◎				
二 1.										◎			
二 2.					◎	◎			◎				
二 3.		◎	◎		◎	◎	◎	◎				◎	◎
二 4.	◎	◎	◎									◎	◎
三 1.											◎		
三 2.											◎		
三 3.						◎							
三 4.						◎							
四 1.	◎		◎	◎									
四 2.	◎	◎	◎	◎			◎	◎					

量表的問題設計簡答，讓學生進一步陳述自己的想法。

四、資料分析

一、學習成效之比較

有關學習成效之比較，又可分為對照組與 TLS 組兩組之間整體的比較，以及各自針對 M_1、M_2及 M_{mix} 這三種心智模式時對照組及 TLS 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}）、相同的診斷式測驗成績以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 組，而這三項變數，為影響教學後學生電學心智模式、電學診斷測驗以及學習成就測驗最重要的影響因子，是故兩組研究對象乃相依樣本。並據此進行電學診斷式測驗及電學學習成就測驗兩部分成績的比較。

在對照組與 TLS 組兩組學生的比較上，研究者先分別對上述三種測驗結果檢驗其變異數同質性、常態分佈及獨立性，如檢驗結果同時符合這三個條件，研究者則以 paired-samples t test 加以考驗，若不符合，則以 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 加以考驗。至於針對 M_1、M_2及 M_{mix} 這三種心智模式再分組之 TLS 對照小組及 TLS 設計小組，由於受試者僅5人，本研究謹慎起見，主要呈現各小組後測之平均數、標準差等描述性統計以回應待答問題中「持有不同心智模式的學生，經不同 TLS 教學後，其電學概念學習情形為何」的問題。至於小組之間的兩兩比較，由於每配對組5人的數目符合使用 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks 檢定的最小值（Sheskin, 1997），參酌一般使用小樣本研究（配對數介於5～10之間）的心理學或教育心理學（Mann & Sumt, 1999; Nash, Fraser, & Kupper, 2003）、生理學（Airaksinen & Nikinmaa, 1995; Cropper, Price, Tenenbaum, Kupfermann, & Weiss, 1990）、醫學（Woodroofe, Hayes, & Cuzner, 1989），及動物行為學（Lotem, Nakamura, & Zahavi, 1995）研究，由於樣本數的限制使得研究檢驗的結果很難達到顯著，因此這些研究多會補充平均值、標準差或效應值（effect size）（Nash, Fraser, & Kupper, 2003）以補充說明研究結果。因此本研

表 5：電學學習成就測驗之測驗項目雙向細目表

	電路			電壓			電流		
單元教學目標 / 題號	認識電路各元件及表示法	學習電路上燈泡的連接	瞭解電路的串聯及並聯的意義和方法	瞭解電壓的定義	瞭解電壓的單位是伏特	認識伏特計	學習用伏特計量測電池、燈泡的電壓	知道電流的單位是安培，以及安培的定義	認識安培計	學習用安培計量測電路中的電流
一 1.				◎						
一 2.	◎									
二 1.								◎		
二 2.								◎		
二 3.		◎								
二 4.			◎							
二 5.			◎							
三 1.		◎								
三 2.		◎								
四					◎	◎				
五 1.										◎
五 2.										◎
五 3.										◎
五 4.										◎
五 5.							◎			
五 6.							◎			
五 7.							◎			
五 8.							◎			
六 1.							◎			
六 2.							◎			
六 3.										◎
七						◎			◎	

究參考這些研究的作法，雖亦以對照組與 TLS 大組之間的考驗方式進行，但補充效應值（Cohen's *d* 法）用以說明所設計之 TLS 對研究結果影響的程度。

二、情意態度的分析

研究者統計 TLS 情意態度問卷中各選項的百分比，藉此獲得學生對各 TLS 中教學活動之安排的看法是否具有某些趨勢。至於開放式問題的部分，則採綜合歸納的方式整理結論。

肆、結果與討論

由於 TLS 組乃各自針對不同心智模式設計適合的 TLS，因此研究者預期整體 TLS 組無論在電學診斷式測驗或電學學習成就測驗上的成績都會較整體對照組優異。經常態性檢驗、變異數同質性檢驗及獨立性檢驗後，研究者以 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks

test 針對對照組、TLS 組整組進行單尾考驗。茲將結果描述於下：

一、學習成效的比較

(一)TLS 組與對照組各項測驗成績的比較

1.總分

總分包含電學成就測驗、電學診斷式測驗及電學遷移應用三個測驗，總分共172分。由表6觀之，實驗組的最高分及平均分數皆高於對照組，且標準差較小。若進一步進行兩組 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表7），則發現兩組比較之 Z 值為-2.756，且 TLS 組的後測總分與對照組相較達非常顯著差異（$p=.003, p<.01$, 1-tailed）。

2.電學成就測驗

由表6觀之，我們可以發現此項測驗的結果與總分的部分類似，亦即實驗組的最高分及平均分數皆高於對照組，且標準差較小。若再進行兩組 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表7），則發現兩組比較之 Z 值為-2.244，且 TLS 組的電學診斷式測驗分數與對照組相較達顯著差異（$p=.013$, p

表 6：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
總分	對照組	15	108.93	22.11	74	138
	TLS 實驗組	15	126.73	17.88	100	151
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	54
	TLS 實驗組	15	46.07	4.65	35	54

表 7：TLS 實驗組及對照組後測成績之 Wilcoxon signed ranks test 比較

測驗	Group		*N*	Mean Rank	Sum of ranks	Wilcoxon signed ranks test *Z*
總分	TLS 實驗組–對照組	Negative Ranks	2	5.75	11.50	-2.756[a]**
		Positive Ranks	13	8.35	108.50	
		Ties	0			
		Total	15			
成就測驗	TLS 實驗組–對照組	Negative Ranks	3	6.83	20.50	-2.244[a]*
		Positive Ranks	12	8.29	99.50	
		Ties	0			
		Total	15			
診斷式測驗	TLS 實驗組–對照組	Negative Ranks	3	5.50	16.50	-2.030[a]*
		Positive Ranks	10	7.45	74.50	
		Ties	2			
		Total	15			

[a] Based on negative ranks

* $p<.05$ (1-tailed)，每組人數各 15 人

** $p<.01$ (1-tailed)，每組人數各 15 人

＜.05, 1-tailed）。

3.電學診斷式測驗

在此項測驗中，最低分為21，落於對照組（TLS_0-M_2），而最高分為54，對照組（TLS_0-M_1）與TLS組（TLS_1-M_1）各有2位。雖然如此，但 TLS 組的平均成績高於對照組，且其標準差亦較對照組小（表6）。若進行兩組 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表7），則顯示兩組比較之 Z 值為-2.030，且 TLS 組的電學診斷式測驗分數與對照組相較達顯著差異（p＝.021, p＜.05, 1-tailed）。

(二)不同心智模式學生各項測驗成績的比較

以下針對持有 M_1、M_{mix} 及 M_2心智模式的學生分別接受相應實驗組與對照組的教學後之各項測驗結果加以討論。

1.總分

由表8觀之，TLS 組三個小組的平均皆高於相應之對照組三個小組。而在標準差上，除了 TLS_1-M_{mix} 外，實驗組的標準差也明顯較對照組來得小。若依照六組後測總分的平均數加以排序，則 TLS_1-M_1 > TLS_1-M_{mix} > TLS_2-M_2 > TLS_0-M_1 > TLS_0-M_{mix} > TLS_0-M_2。這樣的排序顯示 TLS 組的平均優於對照組，TLS 組的 TLS 有助於於學生後續電學主題的學習。此外，值得一提的是，無論是實驗組或對照組，其下的三種心智模式小組之平均分數皆呈現 M_1 > M_{mix} > M_2的現象。

若再進一步進行這六個小組兩兩之間的 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表9），則發現 TLS_1-M_1–TLS_0-M_1比較之 Z 值為-1.625，且 p＝.050；而 TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix}比較之 Z 值為-1.753，且 p＝.04；至於 TLS_2-M_2–TLS_0-M_2比較之 Z 值則為-2.023，其 p＝.0215。三個 TLS 實驗小組之後測整體成績皆優於對照小組，且達顯著差異（p＜.05, 1-tailed）。

而由表9效應值的分析顯示，則發現

表 8：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
診斷式測驗	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

表 9：TLS 實驗組及對照組下六心智模式小組後測成績之 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 及 Effect Size 值之比較

測驗	Group		*N*	Mean Rank	Sum of ranks	Wilcoxon signed ranks test *Z*	Effect Size
總分	TLS_1-M_1–TLS_0-M_1	Negative Ranks	1	1.50	1.50	-1.625[a]*	.52
		Positive Ranks	4	3.38	13.50		
		Ties	0				
		Total	5				
	TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix}	Negative Ranks	1	1.00	1.00	-1.753[a]*	.35
		Positive Ranks	4	3.50	14.00		
		Ties	0				
		Total	5				
	TLS_2-M_2–TLS_0-M_2	Negative Ranks	0	0.00	.00	-2.023[a]*	.33
		Positive Ranks	5	3.00	15.00		
		Ties	0				
		Total	5				
成就測驗	TLS_1-M_1–TLS_0-M_1	Negative Ranks	1	2.00	2.00	-1.483[a]	.47
		Positive Ranks	4	3.25	13.00		
		Ties	0				
		Total	5				
	TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix}	Negative Ranks	1	2.00	2.00	-1.483[a]	.25
		Positive Ranks	4	3.25	13.00		
		Ties	0				
		Total	5				
	TLS_2-M_2–TLS_0-M_2	Negative Ranks	1	2.50	2.50	-1.355[a]	.20
		Positive Ranks	4	3.13	12.50		
		Ties	0				
		Total	5				
診斷式測驗	TLS_1-M_1–TLS_0-M_1	Negative Ranks	1	4.00	4.00	-.368[a]	.21
		Positive Ranks	3	2.00	6.00		
		Ties	1				
		Total	5				
	TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix}	Negative Ranks	1	1.00	1.00	-1.461[a]	.47
		Positive Ranks	3	3.00	9.00		
		Ties	1				
		Total	5				
	TLS_2-M_2–TLS_0-M_2	Negative Ranks	1	2.00	2.00	-1.483[a]	.39
		Positive Ranks	4	3.25	13.00		
		Ties	0				
		Total	5				

[a] Based on negative ranks

* $p < .05$ (1-tailed)，每組人數各 5 人

TLS_1-M_1–TLS_0-M_1 、 TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix} 以及 TLS_2-M_2–TLS_0-M_2之效應值介於 .33～.52，為尚可至中等效應的範圍，且效應值的排序，與總分數之平均分數相呼應。

2.電學成就測驗

就表8觀之，實驗組三個小組的電學成就測驗成績皆高於相應之對照組。而在標準差上面，實驗組的標準差也明顯較對照組來得小。此外，實驗組各小組的最小值及最大值皆明顯高於對照組各小組。

若依照六組電學成就測驗之平均分數加以排序，則 TLS_1-M_1 > TLS_1-M_{mix} > TLS_2-M_2 > TLS_0-M_1 > TLS_0-M_2 > TLS_0-M_{mix}。這樣的順序排列和總分的排列情形相似，我們從這樣的排序中，得以清楚看見經過教學後，TLS 組的平均優於對照組，且連實驗組的最低分都高於對照組的最高分。此外，這兩大組之下三種心智模式的表現亦呈現 M_1 > M_{mix} > M_2 的現象，唯有排序中 TLS_0-M_2 > TLS_0-M_{mix} 的現象略有不符。

若再進行這六個小組兩兩之間的 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表9），則發現三個 TLS 實驗小組之後測整體成績雖優於對照小組，但皆未達到統計上的顯著差異。

而表9效應值的分析則顯示，TLS_1-M_1–TLS_0-M_1 、 TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix} 以及 TLS_2-M_2–TLS_0-M_2三組電學成就測驗之效應值介於 .20～.47。這顯示僅 TLS_1-M_1–TLS_0-M_1（effect size＝.47）之效應近中等效應，TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix} 以及 TLS_2-M_2–TLS_0-M_2兩組的效應值則偏低。效應值排序之結果亦呈現 M_1 > M_{mix} > M_2的現象，與平均數的結果一致。

3.電學診斷式測驗

以平均數而言，實驗組三個小組皆高於相應之對照組（表8）。而在標準差上，實驗組也明顯較對照組小。此外，實驗組各小組的最小值皆明顯高於對照組各小組，但在最大值的部分這三個配對組的表現則極為相近，實驗組甚至於 TLS_2-M_2心智模式這個小組以46分輸給對照組 TLS_0-M_2小組的48分。

若依照六組電學診斷式測驗之平均分數加以排序，則 TLS_1-M_1 > TLS_0-M_1 > TLS_1-M_{mix} > TLS_2-M_2 > TLS_0-M_{mix} > TLS_0-M_2。這樣的排序顯示經過教學後，TLS 組的平均優於對照組，只是不若後測總分的平均排序一般，連實驗組的最低分都高於對照組的最高分。但這仍顯示 TLS 組的 TLS 有助於學生後續電學主題的學習。此外，這兩大組之下的三種心智模式亦和後測總分一樣，呈現 M_1 > M_{mix} > M_2的現象。

若再進一步進行這六個小組兩兩之間的 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test（表9），則發現三個 TLS 實驗小組之後測整體成績雖優於對照小組，但皆未達到統計上的顯著差異。

而由表9效應值的分析則顯示 TLS_1-M_1–TLS_0-M_1 、 TLS_1-M_{mix}–TLS_0-M_{mix} 以及 TLS_2-M_2–TLS_0-M_2之效應值介於 .21～.47，除 TLS_1-M_1–TLS_0-M_1組之外，另兩組之效應值在尚可至中等效應的範圍。

整理上述研究結果發現使用 TLS 實驗教材（包括 TLS_1及 TLS_2）的小組，無論哪種心智模式（M_1、M_2或 M_{mix}），其電學成就測驗、電學診斷測驗及總分皆優於相應的對照組。若進行 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，但在電學成就測驗及電學診斷測驗上，則未能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。

二、情意態度的比較

(一)學生對教科書內容及順序安排的態度

有關教科書內容及順序安排又分為「課程內容與順序」以及「教學活動」兩個向度加以深入比較兩組學生態度觀感的差異：

1.課程內容與順序

此向度共有四個問題，由表10觀之，TLS組的同意與非常同意之比例加總於各問題中略高於對照組6%-13%（1-2人），其中 TLS組在「1-1課程內容及順序的安排有助於我理解電學」獲得最高的同意度（100%）。

2.教學活動

而在教學活動的四個項目上，TLS 組的同意與非常同意之人數比例加總較對照組高20%-33%（3-5人）。若逐項分析，在「1-5教學活動的方式有助於我理解電學」方面，同意與非常同意之人數比例的加總，TLS 組為87%，而對照組為53%。在這些項目中學生們尚須進一步填寫出最有助於理解電學概念的教學活動。在 TLS 組中，學生所提到的教學活動前三名為動畫（20%）、實驗（27%）以及水循環系統的類比（40%），其中又以水循環系統的類比為最。相較於對照組，學生所提到的教學活動為小組討論（27%）、實驗（27%）與老師講解（20%），另外有27% 的學生此項目填「無」或空白。而在「1-6教學活動方式的安排有助於我修正電學原有和科學家不同的觀念」這個項目，TLS 組之同意與非常同意比例加總亦為87%，而對照組為53%。至於「1-7教學活動的方式很有趣」這個項目，TLS 組為93%，而對照組為60%。若細究哪些活動讓學生覺得比較有趣，在TLS組，學生提到了呈現水循環系統的類比或電流的形成的動畫（50%）、實驗（50%）、吹吸管（5%）、發表想法（5%）、PEOE（5%），相對於對照組，學生覺得最有趣的教學活動有實驗（47%）、小組討論（7%）、設計電路使兩個燈泡的複雜電路發亮（7%），此外，有高達40% 的學生在此項目填「無」或空白。而在「1-8我喜歡課程所安排的教學活動」中，TLS 組之同意與非常同意比例加總為87%，而對照組為67%。至於喜歡的教學活動，在TLS 組，學生提到實驗（65%）、動畫（18%）及小組討論（6%），而對照組則除實驗（67%）外便沒有其他喜歡的活動（33%）。

(二)對小組教學的態度

此部分共有五個問題，由表10觀之，除了在「2-1小組成員的發表或討論有助於我理解電學」這個項目中，TLS 組中持有同意與非常同意之比例（87%）略高於對照組（73%）外，其他題目兩組的比例都相當。

(三)對任課教師的態度

此部分共有四個問題，由表10觀之，TLS組與對照組對於這四個項目的同意與非常同意的比例加總，僅有「3-4我喜歡老師及其教學方式，因此喜歡上課」這個項目未及90%，其餘項目則在93%～100% 之間。有關第四個項目比例較低的原因並非學生不喜歡老師及其教學方式，而是因為學生欲表達並非因為喜歡老師及其教學方式，連帶地就喜歡上課。以 TLS_0-M_2組的#11213為例，其在問卷上便特別把「因此喜歡上課」劃上底線，特別強調出這個題目之所以給予比較低的評比的原因。

大致而言，學生們對於教師的教學在各向度皆給予正向評價，且兩組之間沒有太大差別，並非影響其學習成效的主要原因。

(四)對自我學習態度的評估

此向度又分成五個項目，由表10觀之，兩組在這些項目之同意與非常同意的加總比例都低於60%。這一方面研究者由每節下課

表 10：TLS 組及對照組學生學習情意態度問卷

向度	題號	問卷內容		組別	非常同意與同意的比例%
教科書內容及順序安排	1-1	課程內容和順序	幫助理解電學概念	對照組	87
				TLS 組	100
	1-2		幫助修正和科學家不同的觀念	對照組	67
				TLS 組	73
	1-3		有趣	對照組	53
				TLS 組	60
	1-4		喜歡	對照組	67
				TLS 組	73
	1-5	教學活動	幫助理解電學概念	對照組	53
				TLS 組	87
	1-6		幫助修正和科學家不同的觀念	對照組	53
				TLS 組	87
	1-7		有趣	對照組	60
				TLS 組	93
	1-8		喜歡	對照組	67
				TLS 組	87
小組合作	2-1	幫助理解電學概念		對照組	73
				TLS 組	87
	2-2	有趣		對照組	60
				TLS 組	60
	2-3	喜歡一起上課		對照組	53
				TLS 組	53
	2-4	喜歡共同解題		對照組	53
				TLS 組	53
	2-5	認真參與		對照組	47
				TLS 組	47
科學教師	3-1	幫助概念理解		對照組	93
				TLS 組	100
	3-2	教學準備認真		對照組	100
				TLS 組	93
	3-3	喜歡教師對待學生的方式		對照組	93
				TLS 組	93
	3-4	喜歡教師本身及其教學		對照組	73
				TLS 組	87
學生自評努力和興趣	4-1	認真參與		對照組	60
				TLS 組	60
	4-2	樂於發表		對照組	40
				TLS 組	47

表 10（續）

4-3	喜歡和小組合作	對照組	53
		TLS 組	60
4-4	喜歡研讀自然課程	對照組	40
		TLS 組	67
4-5	更理解小組成員發表	對照組	53
		TLS 組	60

後與學生互動之紀錄與反思中推測，可能是因為之前其他三個向度都涉及「他人」，在中國人人情傳統的壓力下，會顯得較不好意思給予較低的評比，但更可能的因素則是因為此課程和國一現階段的教學無關，學生們必須從不同的班級找出共同的自習課或午休等課程額外上課，因此學習態度偏低。而此點亦正好反應教學研究的困境。

整體而言，兩組學生於此向度的自評，除「4.我原本便喜歡自然科學的課程與學習」上，TLS 組高於對照組27% 外，其餘比例大致相當，這顯示 TLS 組學生之前便對自然科學的課程與學習有較為正向的態度，是可能影響最後學習成效的原因之一。

伍、結論與建議

本研究之特色為依照學生心智模式演化路徑設計 TLS，以進行長期、小組式的教學實驗，希冀儘量貼近真實教室場景，除比較學生的學習成就、另有概念修正情形外，並藉學生的主觀觀點評估嘗試釐清小組教學中可能影響的變數，主要之研究結論如下：

一、以心智模式為設計基礎之 TLS 有助於學生電學學習

為瞭解基於學生心智模式設計之 TLS 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及診斷式測驗，並用 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test 針對對照組、TLS 組整組及其下 M_1、M_2、M_{mix} 這三種心智模式小組進行考驗，結果發現無論在哪一種測驗中，TLS 組的成績皆顯著優於對照組。這顯示本研究利用支序分類之概念演化取向所得之學生心智模式演化路徑所設計之 TLS 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。此外，若針對不同心智模式（M_1、M_2 及 M_{mix}）小組加以比較亦發現：使用 TLS 實驗教材（包括 TLS_1及 TLS_2）的小組，無論哪種心智模式，其電學成就測驗、電學診斷測驗及總分皆優於相應的對照組。

二、心智模式的正確性有助於科學學習

本研究比較 TLS 組或對照組中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，結果發現前測分數相近的這些小組，教學後大致呈現 $M_1 > M_{mix} > M_2$的趨勢。在 Osborne 與 Freyberg（1985）的研究中，衰減模式（即 M_1）是較為接近科學模式的心智模式，相對的，撞擊模式（即 M_2）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。

三、學生的情意態度支持所設計之 TLS 的有效性及可行性

本研究結果顯示 TLS 組學生除了在「對自我學習態度的評估」中的「之前便對自然

科學的課程與學習」這個項目上有高於對照組27% 的正向評比外，其他最大的差異皆顯現於其對於「教科書內容與順序」之態度的評估。這顯示了「教科書內容與順序」是影響學生學習成效不同的可能原因，此外，也間接支持了本研究所設計之 TLS 的有效性及可行性。其中，TLS 組的學生對於課程所運用的各種教學活動協助理解電學概念、克服另有概念、有趣及喜歡的程度上高於對照組甚多，且「水循環系統的類比」最有助於學生理解，其次為實驗以及動畫，而不包括 PEOE 此項認知衝突的活動。此點與 Schwedes 與 Dudeck（1996）的研究結果相符，皆佐證水循環系統類比的益處。此外，動畫與實驗的活動讓學生感到最有趣，而兩組學生都最喜愛的教學活動是實驗。在未來課程設計時可善加運用這些教學活動，以促進學生的電學概念學習。

總覽整個研究過程，研究者認為 Komorek 與 Duit（2004）所提出的教學實驗設計方式，的確有助於 TLS 效化方式的突破，但由於每小組的人數仍屬極小樣本，且不易再擴大樣本，因此在統計量化分析的使用上，研究者建議可採用統計的上拔靴法（bootstrap）等重取樣（re-sampling）的方式，以降低統計威脅，另外亦建議採用質量合併的研究方法相互引證。至於研究結果方面，研究者認為心智模式的正確性在學生的科學學習中扮演著重要的角色。即使仍非科學模式，但正確性高的心智模式後續學習的表現要優於具相同前測成績但心智模式正確性較低的學生。此外，這也建議了課程設計者編寫教材時，應奠基於兒童的心智模式發展情形設計課程。然尋求最佳 TLS 應是科教研究人員應負起的責任，而非教師應擔負的重責。也許教科書 TLS 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 TLS（TLS_1），可作為教科書設計的考量，而其他持有比例較少之心智模式（例如研究中的 TLS_2），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 TLS 時的參考。

致　　謝

本研究感謝科學教育學刊段總編輯曉林教授及多位審查委員撥冗審閱，給予諸多寶貴建議，特致謝忱。此外，論文得以刊行，部分經費承蒙行政院國家科學委員會補助（NSC 97-2628-S-133-001-MY2），在此亦一併致謝。

參考文獻

1. 李賢哲、張蘭友（2001）。國小學童「電池」概念之探究－理論與實證。**科學教育學刊，9**（3），253-280。
2. 林靜雯（2006）。**由概念演化觀點探究不同教科書教-學序列對不同心智模式學生電學學習之影響**。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，台北市。
3. 林靜雯、邱美虹（2005）。整合類比與多重表徵研究取向探究多重類比設計對兒童電學概念學習之影響。**科學教育學刊，13**（3），317-345。
4. 林靜雯、邱美虹（2008）。**以概念演化樹探究學生電學心智模式演化之歷程**。論文發表於中華民國第二十四屆科學教育學術研討會。彰化市：國立彰化師範大學。
5. 林靜雯、邱美虹（2007）。以概念演化觀點分析我國電學教科書之教-學序列。**國立編譯館館刊，35**（2），3-14。
6. 林靜雯、邱美虹（已接受）。探究學生串聯電路認知特徵演化歷程之跨年級研究。**教育**

科學研究期刊（原師大學報：教育類）。

7. 邱美虹、林靜雯（2002）。以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。**科學教育學刊，10**（2），109-134。
8. 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，台北市。
9. 國立編譯館（2003）。**國民中學理化第二冊**。台北市：作者。
10. Aiello-Nicosia, M. L., & Sperandeo-Mineo, R. M. (2000). Educational reconstruction of physics content to be taught and of preservice teacher training: A case study. *International Journal of Science Education, 22*(10), 1085-1097.
11. Airaksinen, S., & Nikinmaa, M. (1995). Effect of haemoglobin concentration on the oxygen affinity of intact lamprey erythrocytes. *The Journal of Experimental Biology, 198*, 2393-2396.
12. Andersson, B., & Bach, F. (1996). Developing new teaching sequences in science: The example of "gases and their properties". In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in europe* (pp. 7-21). London/ Washington, DC: Falmer Press.
13. Arnold, M., & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education, 9*(5), 553-563.
14. Asoko, H. (1996). Developing scientific concepts in the primary classroom: Teaching about electric circuits. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in europe* (pp. 36-49). London/Washington, DC: Falmer Press.
15. Boohan, R. (1996). *Using a picture language to teach about processes of change*. Paper presented at the Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes, London, UK.
16. Borges, A. T., & Gilbert, J. K. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education, 21*(1), 98-117.
17. Butts, W. (1985). Children's understanding of electric current in three countries. *Research in Science Education, 15*, 127-130.
18. Campbell, D. T. (1974). Evolutionary epistemology. In G. Radnitzky & W. W. Bartley, III (Eds., 1987), *Evolutionary epistemology, rationality, and the sociology of knowledge* (pp. 413-463). IL: Open Court.
19. Carlton, K. (1999). Teaching electric current and electrical potential. *Physical Education, 34*(6), 341-345.
20. Chang, C. Y., & Barufaldi, J. P. (1999). The use of a problem-solving-based instructional model in initiating change in students' achievement and alternative frameworks. *International Journal of Science Education, 21*(4), 373-388.
21. Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(4), 424-468.
22. Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2008). Research on learning and teaching of students' conception in science: A cognitive approach review. In I. V. Eriksson (Ed.), *Science education in the 21st century* (pp. 291-316). New York: Nova Science Publishers.
23. Cohen, R. (1984, September). Causal relations in electric circuits: Students. In R. Duit, W. Jung, & C. von Rhoneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity*, *proceedings of the in-*

ternational workshop (pp. 107-113). Ludwigsburg: IPN-Arbeitsberichte.

24. Cropper, E. C., Price, D., Tenenbaum, R., Kupfermann, I., & Weiss, K. R. (1990). Release of peptide cotransmitters from a cholinergic motor neuron under physiological conditions. *Proceedings of the National Academy of the United States of American, 87*(3), 933-937.
25. 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.
26. Duit, R., & Komorek, M. (1997). Understanding the basic ideas of chaos theory in a study of limited predictability. *International Journal of Science Education, 19*, 247-264.
27. Dupin, J. J., & Johsua, S. (1984, September). 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* (pp. 331-341). Ludwigsburg: IPN-Arbeitsberichte.
28. Dupin, J. J., & Johsua, S. (1987). Conceptions of French pupils concerning electric circuits: Structure and evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 24*(9), 791-806.
29. Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 99-129). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
30. Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in school: Research reforming practice* (pp. 247-273). Mahwah, New Jersey: Lawence Erlbaum Associates.
31. Gott, R. (1984). *Electricity at age 15: Science report for teachers. No 7, assessment of performance unit*. London: Department of Education and Science.
32. Härtel, H. (1982). The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education, 4*(1), 45-55.
33. Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education, 21*(3), 203-211.
34. Heller, P. M., & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(3), 259-275.
35. Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education, 11*, 541-553.
36. Hull, D. L. (1988). *Science as a process: An evolutionary account of the social and conceptual development of science*. Chicago: The University of Chicago Press.
37. Johsua, S., & Dupin, J. J. (1989). *Repr´esentations et mod´elisations: Le 'd´ebat scientifique' dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne: Peter Lang.
38. Kattmann, M., Duit, R., Gropengieber, H., & Komorek, M. (1995). *A model of educational reconstruction.* Paper presented at the National Associate of Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
39. 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.

40. Lijnse, P. (1995). "Developmental research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education, 79*(2), 189-199.
41. Lijnse, P. (2000). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 308-326). Buckingham: Open University Press.
42. Lin, J. W., & Chiu, M. H. (2006, April). *Students' conceptual evolution in electricity - The cladistical perspective.* Paper presented at the NARST 2006, San Francisco, U.S.A.
43. Lin, J. W., & Chiu, M. H. (2007, April). *Students' conceptual evolution in electricity - An empirical evaluation of cladistical perspective*. Paper presented at the NARST 2007, New Orleans, U.S.A.
44. Linn, M. C., & Songer, N. B. (1991). Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive demands? *Journal of Research in Science Teaching, 28*, 885-918.
45. Lotem, A., Nakamura, H., & Zahavi, A. (1995). Constraints on egg discrimination and cuckoo-host co-evolution. *Animal Behaviour, 49*, 185-1209.
46. 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.
47. Mann, J., & Smuts, B. (1999). Behavioual development in wild bottlenose dolphin newborns (tursiops sp.). *Behaviour, 136*, 529-566.
48. Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education, 26*(5), 515-535.
49. Nash, J. K., Fraser, M. W., & Kupper, L. L. (2003). Early development and pilot testing of a problem-solving skills-training program for children. *Research on Social Work Practice, 13*(4), 432-450.
50. Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995, April). *Learning pathway and knowledge construction in electric circuit*. Paper presented at the European Conference on Research in Science Education, Leeds, UK.
51. Osborne, R., & Freyberg, R. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland, NZ: Heinemann.
52. Peterson, R. F., Treagust, D. F., & Garnett, P. J. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade 11 and 12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 26*, 301-314.
53. Pfundt, H., & Duit, R. (2007). *Bibliography-Students alternative frameworks and science education*. Kiel, Germany: University of Kiel Institute for Science Education.
54. 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.
55. Rainson, S. (1995). *Superposition des champs ´electriques et causalit´e*. Unpublished Thesis, Universit´e D. Diderot, Paris, France.
56. Schwedes, H., & Dudeck, W. G. (1996). Teach-

ing electricity by help of a water analogy. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in europe* (pp. 50-63). London/Washington, DC: Falmer Press.

57. Schwedes, H., & Schmidt, D. (1992). *Conceptual change and theoretical comments*. Paper presented at the Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Kiel, Germany.
58. Seidel, T., & Prenzel, M. (2006). Stability of teaching patterns in physics instruction: Finding from a video study. *Learning and Instruction, 16*, 228-240.
59. Sheskin, D. (1997). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
60. Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education, 6*(2), 185-188.
61. Shipstone, D. M. (1985). Electricity in simple circuits. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 33-51). Milton Keynes: Open University Press.
62. Toulmin, S. (1972). *Human understanding: The collective use and evolution of concepts*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press
63. Viennot, L. (1996). *Raisonner en physique, la part du sens commun*. Bruxelles: De Boeck.
64. White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
65. Wiley, E. O., Siegel-Causey, D., Brooks, D. R., & Funk, V. A. (1993). *The compleat cladist: Primer of phylogenetic procedures* (2nd ed., Vol. 19, Special publication). Lawrence: Museum of Natural History.
66. Woodroofe, M. N., Hayes, G. M., & Cuzner, M. L. (1989). Fc receptor density, MHC antigen expression and superoxide production are increased in interferon- gamma-treated microglia isolated from adult rat brain. *Immunology, 68*, 421-426.

Investigating the Influences of Mental Model Based Teaching-Learning Sequences on Students' Learning in Electricity

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

[1]Deaprtment of Natural Science, Taipei Municipal University of Education

[2]Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

Because the increase of teaching-learning sequence research in Europe, the development of middle or micro scale science curriculum emphasizes students' conceptual evolutionary pathways. Therefore, this study adopts a novel approach– a cladistical approach to obtain students' conceptual evolutionary pathways in electricity. It then integrates this approach into the research framework of "educational reconstruction" to design teaching-learning sequences (TLSs), which are based on developmental pathways of students' mental models. Thirty 7th graders with equal achievement and diagnostic test scores were selected from 212 7th graders and then assigned to 6 groups (experimental and comparison groups × 3 mental models), which were based on their mental models. After 8 classes of teaching experiments, 30 students took achievement tests and the diagnostic test again. In addition, they also took a test for transfer and an affective questionnaire to examine the effectiveness of the designed TLSs. The results indicate the designed TLSs could help students in the TLS group or its sub-groups to attain the objectives of current curriculum and to overcome alternative conceptions more efficiently. These results are also supported by the students' affective questionnaire. Furthermore, they also reveal that the cladistical approach is helpful in designing effective TLSs indirectly. The designed TLSs could be reference resources for instruction in real classrooms in advance.

Key words: Mental Model, Cladistics Approach in Conceptual Evolution, Teaching-Learning Sequence, Electricity