

以概念演化觀點分析我國電學教科書之教—學序列

林靜雯 邱美虹

臺灣師範大學

本研究以概念演化的觀點分析民國57年後國中八個版本的電學相關教科書之教—學序列，研究結果發現：這些教科書電學相關單元共有靜電與電量、電路、電壓、電流、電阻及電能這六大次主題之命題陳述，共69個，而九年一貫實施後的版本更加著重於電流、電壓與電路這三個次主題，而忽視與電能的區辨。所有版本都沒有考慮到學生的另有概念，且多使用講述、圖示和實驗為主要教學活動。而主要的教學順序，九年一貫的版本大致遵守著靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻的線性關係；但年代較為久遠的三個版本的安排，則傾向於非簡單的複雜關係。所有版本皆與 Härtel 所陳之電流→電量→電壓→電阻的線性教學相左，這顯示電流的教學並非妨礙我國學生電壓學習的原因。而目前九年一貫實施後的版本一味精簡刪併課程，卻忽視學生的另有概念、概念演化的過程和結果，不但無法協助學生學好電學，反而可能影響學生後續電學概念的學習。

關鍵詞：教—學序列、電學、概念演化、教科書分析

壹、前言

科學教育的研究，將兒童概念發展與科學知識發展做一類比，其來有自。其中受到 Kuhn (1962) 科學革命的觀點影響，因而形成一股「概念改變」的研究風潮，但許多實徵研究顯示，兒童科學概念的學習鮮少如 Kuhn 所言之格式塔的轉換 (Mitchell, 1993; Tytler, 1998)，反而是概念演化的情形，更能適當描述兒童概念學習的過程 (e.g. Duschl & Gitomer, 1991; Harrison, Grayson, Treagust, 1999; Mitchell, 1993; Taber, 2001; Vosniadou, 1994)。故此，1980年代初期，一批歐洲物理教育的研究者倡導教—學序列 (teaching-learning sequence, TLS) 的研究，此種研究取向以特定科學主題之設計為導向，不但重視學習與教學間的緊密關聯、強調學生動機及後設認知，更著重以學生的先備概念及思考路徑為基礎，針對真實教室情境中適用的長期課程規劃。此批研究者希望能為科學學科內容及教學之間建立一系統性規劃的橋梁，是種與概念演化觀

點相應的研究取向 (Komorek & Duit, 2004; Lijnse & Klaassen, 2004; Méheut & Psillos, 2004; Niedderer, 1997; Schwedes & Dudeck, 1996; Viennot, 1996)。

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」、「內容結構分析」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。在「學習過程的實徵調查」方面，本研究擬藉由生物演化論及演化認識論的類比，利用生物系統發育分類分析方法 (Cladistics) 建立兒童電學概念學習假設之心智模式演化樹，由於此種研究取向應用於科學教育中實屬首創，因此研究者進一步以跨年齡學生之電學心智模式的調查，檢驗學生心智模式的一致性及其心智模式演化樹的假設。而在「內容結構分析」方面，本研究則針對國內民國57年後，八個版本之國中教科書電學相關單元內容結構、教—學序列之安排及

林靜雯，臺灣師範大學科學教育研究所博士。邱美虹，臺灣師範大學科學教育研究所教授。

通訊作者：林靜雯，116 臺北市汀州路四段 88 號，師大分部科學教育研究所。E-mail: jwlin@ntnu.edu.tw

國內外學生電學學習之相關研究進行分析。最後，結合學生心智模式演化樹的結果及教科書內容結構的分析，本研究以 Komorek 和 Duit (2004) 所引介之教學實驗的研究法，針對不同心智模式的學生，設計不同的教科書教一學序列，進而以小組教學互動的方式進行教學實驗，藉此探討不同教科書教一學序列之設計，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。本篇論文為主研究的第三階段，其研究目的主要希望分析並比較我國民國57年後國中教科用書電學相關單元之內容結構、教學順序之安排，以作為發展適當教一學序列之重要根據。據此，本研究主要的研究問題如下：

1. 各版本教科書中電學相關單元之次主題（電流、電壓、電量、電阻、電路、電能等）的命題陳述為何？
2. 各版本教科書中電學相關單元之次主題命題陳述出現的比例為何？
3. 各版本教科用書中與電學相關單元之次主題之命題陳述相應的教學活動為何？
4. 各版本教科用書中針對學生主要電學另有概念所設計之教學活動為何？
5. 各版本教科用書中電學相關單元之教學順序的安排為何？

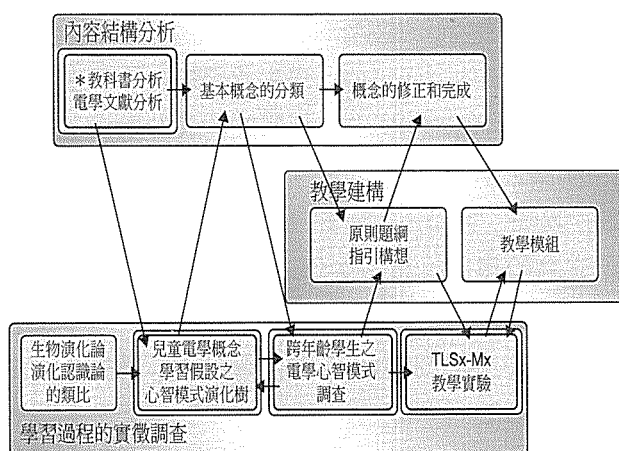


圖1 本研究教一學序列設計架構

註：圖中  處與本研究四個研究目的相呼應，* 為本篇論文之研究目的

資料來源：本圖修改自 Komorek 和 Duit (2004)。

貳、文獻探討與分析

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 (Von Rhoneck, 1981; Osborne & Freyberg, 1985; Shipstone, 1985)。他們對電池維持一定電壓的想法不但所知極微，且多無法體察電壓是使電流流動的先備條件，而傾向於認為電壓具有電流的特質，是電流的力量或強度；此種混淆是兒童電學概念學習中最大的障礙之一。至於為什麼會造成「電壓等同於電流」這樣的混淆？學者之間有各種推測。有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)，其中生活經驗及追蹤電流流動的教學活動，常會使兒童形成所謂順序推理的模式，認為電離開電池後，經過元件再回到電池的過程就如同一連串發生的事件，然而，這卻妨礙了將電路視為完整系統的想法 (Closset, 1983; Tiberghien, 1983; Duit, 1984, 引自 Driver et al., 1994)。

Chiu 和 Lin (Chiu & Lin, 2005; Lin & Chiu, 2006) 更進一步，他們不從單一的另有概念出發，而從兒童的概念架構開始，結合文獻及實際對四年級學生的晤談與教學，歸納出11種燈泡串聯的心智模式與14種並聯的心智模式，並根據這些模式的組成元素進行細部分析，發現影響這些模式的主要學習困難為：電路的封閉性、極性、元件雙極性、燈泡於電路中扮演的角色、電流衰減、節點的影響、電流與電壓、電能未能分化、資源消耗模式、電壓未能守恆及順序推理等因素，而這些因素之間環環相扣，有些概念會互相影響。

二、電學相關的教科書教一學序列

傳統科學教科書教學順序的安排有兩種取向，其一強調以科學基本概念為基礎，其概念組成的方式與順序反映了基本的「邏輯」結構，適用於一般範例式的理想化情境 (Lijnse, 1995)，此種取向通常以科學家領軍，希望藉由這些學科專家對學術領域基本觀念的掌握，架構出學習內容的整體結構 (Bruner, 1960)。另一則偏重學習者的智力能力階段，此種課程多以皮亞傑理論的延伸來架構課程。

例如：澳洲的科學教育計畫 ASEP 以及英國 5/13 的教材，就是藉著特定領域的邏輯要求和學習者智力能力的階段相對應所設計的（Tytler, 2000）。

但愈來愈多的發展心理學家並不同意皮亞傑階段論的說法，而改以概念改變與理論取代來描述孩童科學知識的成長（Thagard, 1992）。另一方面，也有愈來愈多科學教育研究者除考量學科內容結構，更開始重視兒童先備概念在科學教學內容設計上扮演的角色，並將此跟建構主義視為科學教與學的一種理論性的參照指標，大家開始利用這些重要的實徵和理論改進科學教學（Psillos, 2004）。這些研究著重於兩個特別的研究方向，以達到更有效的科學教學建構取向。其一著重在學生學習，重視監控和微分析學生在科學主題情境中概念的演化及結果，並且藉著學生所持有的概念進行建模的活動（Niedderer, 1997）；另一則強調科學知識的表徵（概念或程序），研究著重於根據教學目標將科學知識轉化成對兒童概念和概念演化合宜的知識。這些科學教育學者的努力主要在於建立科學與教育之間的橋梁，以學生概念的研究、特定科學領域的特徵、認識論的假設、學習觀點以及目前教學取向和教育情境的種種特徵為主要考量，希冀能發展出最適合學生科學學習的教材序列。

Driver, Leach, Scott 和 Wood-Robinson（1994）便主張應將大量的研究與學生的概念結合，對許多領域中兒童的概念做出更廣泛的特徵，以提供課程設計者更有價值的資訊。他們主張科學教育應進行跨年齡的研究，其最主要的原因乃在於此類研究可以從知識獲得的演化觀點進行解釋。從這樣的觀點，一特殊領域中的學習可透過概念化一序列的進展描繪出知識在這特定領域中的重要步驟，並藉著研究學生在特定年齡的表現提供一些想法的洞察，而這些洞察可以將之整合到教學順序中，並做進一步的發展（Driver et al., 1994；引自 Tytler, 2000）。此外，Driver 等人亦提出應尋求基本本體和認識論的轉變以描繪兒童在不同內容領域的概念改變，並應深入探索兒童概念發展和教室中學習之間的關係。

就電學概念的教科書教—學序列而言，Härtel（1982）指出過去電學的教學便常是以電流→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; Von Rhoneck, 1984）。因此有研究者建議首次介紹電壓時，便應強調它是電池的獨立特質，而促使學生注意到此項概念（Cohen, Eylon & Ganiel, 1983; Von Rhoneck, 1981, 1984; Cohen, 1984; Psillos, Koumaras & Tiberghien, 1988，引自 Driver et al., 1994）。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」身分，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，我們得見前者的主要考量偏重於電學概念的架構，而後者則較重視兒童的先備概念，但何種教科書教—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凸顯出教科書對電學次主題應如何編排的重要性。整體而言，由於電學相關的學生概念之調查已趨於完備，相應於這些片段迷思概念的教學策略也有相當程度的進展，因而研究者應有更豐富的資源可以進行更全面性之電學教—學序列的設計及探索。是故，究竟教科書對電學次主題應如何安排最能促進學生電學概念的學習，是研究者亟欲深入探索的重要問題。

參、研究方法

一、分析版本與範圍

有關教科書分析，本研究主要選取民國57年實施九年國教後國民中學教科書電學相關的章節進行分析。所欲分析的教科書共八套，其中，以民國89年九年一貫暫行綱要為課程編排依據的版本有四個版本，另外四個版本則分別依據民國57年至民國74年之課程標準加以編排。至於分析單元的選取，研究者主要以九年一貫暫行綱要自然與生活科技之教材內容細目中，與電學直接相關之次主題「交互作

用」(編號222)為主,特別針對「4a.探討靜電現象」及「4b.探討電路中,電壓、電流與電阻的關係」深入分析。各套教科書詳細的出版年、冊別、章節、版本及所依據之課程綱要詳如表 1。

表 1 本研究所分析之教科書的詳細資訊

編號	教科書	冊別	章節	版本	課程綱要
A	93年國民中學自然與生活科技教科書	第五冊	Ch1	育成	89年9月國民中小學九年一貫暫行綱要
B	93年國民中學自然與生活科技教科書	第六冊	Ch1	康軒	89年9月國民中小學九年一貫暫行綱要
C	93年國民中學自然與生活科技教科書	第五冊	Ch4	一	89年9月國民中小學九年一貫暫行綱要
D	93年國民中學自然與生活科技教科書	第六冊	Ch1	翰林	89年9月國民中小學九年一貫暫行綱要
E	92年國民中學理化教科書	第二冊	Ch11	國立編譯館	83年10月國民中學理化課程標準
F	81年國民中學理化教科書	第四冊	Ch21~Ch23	國立編譯館	74年4月國民中學理化課程標準
G	61年國民中學物理教科書	第四冊	Ch16、Ch17	國立編譯館	61年10月國民中學物理課程標準
H	57年國民中學物理教科書	第四冊	Ch17、Ch18、Ch20	國立編譯館	57年1月國民中學物理暫行課程標準

資料來源：作者自行整理。

二、資料處理與分析

(一) 命題陳述相關分析

Finley 和 Stewart (1982) 認為命題陳述能確定相關連結的主題和架構,因此是課程發展與教學時的首要考量。Novak 和 Gowin (1984) 則認為可以用概念圖間之命題連接語連結起概念間的關係以形成命題陳述。是故本研究首先確立電流、電壓、電量、電阻與電路等電學主題的次主題,並就各版本課文內容及教師手冊的教學目標發展概念圖,使概念圖與欲研究的主題相關,呈現一特殊教學情境下概念的連結,以找出重要的命題陳述 (Treagust, 1988; 1995)。

研究者編制完概念圖後,另請具科學教育研究背景之國中物理教師一名,以國立編譯館 92 年國民中學理化教科書 (2003) 為樣本,進行專家概念圖的編制。之所以以此本教科書為樣本,乃因九年一貫各版教科書多以此版本為基礎編制。完成概念圖後,研究者與此名專家相互比對及討論,以確定教材中主要概念的定位。當概念圖完成後,研究者再根據教材及概念間的關係整理相關概念間的命題陳述。完成後的命題陳述一樣經由上述之專家進行效度檢驗,並予以適度修正。

界定重要命題陳述後,研究者以此為依據,將各版本教科書中之內容逐一與各自之命題陳述對應、計數出與之相關的次數,並參考教師手冊中與此命題陳述相應之教學活動為何,最後進行次數的加總,以比較教科書對電學次主題命題陳述安排之比例、順序及相關的教學活動。

(二) 另有概念設計之探查

本研究根據文獻探討,以電學心智模式中常見之12項另有概念為判準,針對各版課文內容及教師手冊中教學目標、教學活動及教學注意要項加以整理,若在上述資料中,編輯者有書寫到其設計目的及注意事項與學生之另有概念相關則計數一次。這12項另有概念分別為:1.封閉性、2.極性、3.通路、4.元件雙極性、5.燈泡角色、6.電流守恆、7.電流方向、8.電流與電能分化、9.資源消耗模式、10.電壓守恆、11.順序推理、12.系統性。其它與電學相關之

另有概念，若編輯者在教師手冊中有明言其設計理念與之相關，則研究者亦另闢「其它」一欄加以統計。此外，研究者亦分析教科書中針對此 12 項另有概念的科學內容，是否有相應的教學活動，若有，研究者亦對此進行分析與整理。

肆、研究結果與討論

一、教科書命題陳述之內容

本研究共整理出靜電與電量、電路、電壓、電流、電阻及電能，這六大次主題之命題陳述共 69 個。其中，靜電與電量方面 12 個，電路方面 11 個，電壓方面 14 個，電流方面 14 個，電阻方面 10 個，而電能方面則有 8 個。若整理八個版本中共有的命題陳述以找出共同認為是電學中基本的概念者，則共有 16 個命題陳述（表 2），每個次主題皆有 2~4 個重要的命題陳述，但在電能方面沒有任何共有的命題陳述，八個版本的重視程度較為分歧。

若再進一步考量出現次數，從表 2 中可見命題陳述 2-4、5-5、3-3 及 1-4，是各版本中出現次數最多者。另言之，從民國 57 年至今的電學教學皆重視的概念為「電路圖簡單表徵的表示」、「歐姆定律」、「伏特計用來測量電壓」、「瞭解電荷具有正負兩種，因而具有相斥或相吸的現象」及「安培計用來測量電流」。此外，若比較依據九年一貫暫行綱要設計的 A~D 課本與之前的 E~H 版本，則得見 A~D 版本重視的命題較為一致，相反的，E~H 則較為分歧，特別是年代最為久遠的 H 版本，其中許多重視的命題已經被移至高中，因此命題重要性的安排和他版相較最為不同。

二、教科書電學次主題之比例分析

圖 2 為八個版本教科書的內容比例分配，其主要顯示所有版本教科書在闡述電路中電壓-電流-電阻的關係時，皆鮮少納入電能這個領域的概念加以區辨或藉此協助學生更加理解電壓-電流-電阻之間的關係。有關電能的概念大多與電流的熱效應放在一起獨立介紹。若再進一步比較各版本則發現：九年一貫新課程及 83 年版對於電阻、電能及靜電與電

表 2 八個版本共有的命題陳述

命題陳述
一、靜電與電量 *4.質子與電子所帶的電量相等，電性相反。 11.將帶電體移近一金屬物體時，金屬物體會成為帶電體的現象稱為感應起電。
二、電路 2.導線、電源、電器連接成封閉迴路即為通路，電路形成通路，電器便能運作。 3.切斷電路即為斷路，形成斷路電器便無法運作。 *4.可以用簡單、特定的電路符號表徵電路圖。
三、電壓 1.電池造成電位差，驅使電子在導線中流動。 2.電位差（電壓）的單位是伏特（V）。 *3.伏特計用來測量電壓。 4.相同電池串聯，電壓等於兩個電池電壓的兩倍。
四、電流 1.形成通路時，負極放出電子流向正極形成電子流。 3.每秒鐘通過導線某一截面的電量為電流的大小。 4.電流的單位是安培（A）。 *5.安培計用來測量電流。
五、電阻 1.電阻為電子通過導線的難易度，定義為兩端電壓V與通過該電阻之電流I的比值。 4.電阻的單位是歐姆。 *5.歐姆定律意味著改變電壓和電流，V/I 皆能保持定值。

*表出現在多版本，且出現次數為前五名的命題陳述。

資料來源：作者自行整理。

量這三個次主題的闡述比例略微下降，而更加著重於電流、電壓與電路這三個次主題。較大的歧異出現於 B 版本。由於 B 版本將「以伏特計測量電壓」及「以安培計測量電流」的相關命題陳述拉出置於彈性時間教授，若不考慮這些在彈性時間教授的命題陳述，B 版本電流及電壓兩領域次主題的總和僅為 36.06%，遠低於另外四個版本的 42.49%~46.59%。

三、與命題陳述相應的教學活動

本研究共整理了 69 個電學相關的命題陳述，數目眾多，因此以下有關命題陳述之相應的教學活動僅聚焦於八個版本中共有的 16 個命題陳述加以分析，其分析結果如表 3。

由表 3 可見，八個版本共出現 11 種教學活動。其中，每個命題陳述皆會使用的教學活動為講述，

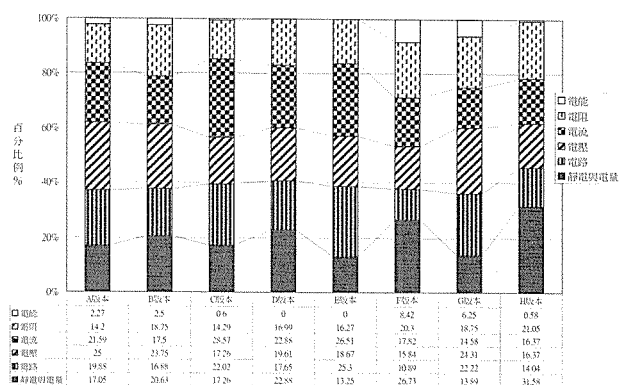


圖 2 各版本教科書次主題比例圖

資料來源：作者自行整理。

其次為圖示，再次為實驗。在圖示方面，使用最多的是命題陳述 2-4「可以用簡單、特定的電路符號表徵電路圖」（85次），編輯者傾向於以圖示教授約定俗成的電路符號，通常以實體電路圖搭配表徵電路圖加強學生對於表徵電路圖的熟悉度。至於實驗則主要集中於命題陳述 3-3 與 4-5，這兩部分主要是以實作的方式，讓學生學會以伏特計測量電壓與以安培計測量電流。至於科學史及類比則是較少出現的教學活動，不但僅出現在特定的命題陳述且數量極少。在科學史方面，共有三個命題陳述以科學史教學活動的方式進行，其分別為命題陳述 1-4、1-11 及 5-4。在命題陳述 1-4 上，主要的科學史例有三。其一為二千五百年前，希臘人泰利司發現經毛皮摩擦過的琥珀能吸引微小的輕物（B、G、H 版）。另一為四百年前英國人吉伯發現利用其它物質的相互摩擦也可以產生「帶電體」，並且知道電有兩種（G、H 版）。待十八世紀，美國科學家富蘭克林將與絲絹摩擦後的玻璃棒所帶的電荷稱為正電，與毛皮摩擦後的塑膠棒所帶的電荷稱為負電（D、B 版）。在命題陳述 1-11 上，H 版本提到感應起電機的構造及其為英人威木赫士特所發明。至於命題陳述 5-4，七個版本皆僅用簡單講述的方式，而唯一例外的 D 版本還額外引入歐姆的科學家小傳，講述歐姆對電學的貢獻，因此後人將電阻的單位命名為「歐姆」，以加強學生的印象和興趣。而在類比方面，亦僅命題陳述 3-1 與 5-1 有相關的教學活動。在命題陳述 3-1「電池造成電位差，驅使電子在導線中流動。」上，類比為其最重要的教學活動，八個

版本皆有提及，且皆為水類比，若再細究，八個版本的差異在於類比的對應程度，以及是否明確指出對應關係。而在命題陳述 5-1 上，八個版本都著重在以講述的方式呈現，而後加上公式的表徵，以連結歐姆定律。值得一書的是，年代最久遠的 H 版本，在解釋此命題時，還以「小球滾下山坡時受到阻礙物」的類比來進行。

四、電學教科書針對另有概念所設計的教學活動

本研究根據文獻探討，以電學心智模式中常見之 12 項另有概念為判準，進行另有概念相應教學活動之分析。結果發現，縱使近來建構主義大興其道，重視學生另有概念的呼聲甚囂塵上，且部分教科書之編輯理念亦明載其編輯理念雖仍以科學概念做為教材結構的核心，但更重視學生對自然現象原有的看法和想法，並以此為基礎設計課程（例如：翰林出版社，2004），但在研究者所分析之教科書與電學相關的單元中，並沒有任何一個版本提及學生之另有概念，更遑論針對學生之另有概念與相關之教學活動或策略進行連結。

既然各版本教科書的編輯者皆未提及學生之另有概念，那麼，編輯者是否可能基於科學概念的結構，而設計了相應的教學內容？經過地毯式的內容分析後，研究結果如表 4 所示。表 4 顯示八個版本中可能協助學生克服另有概念之相關教學內容共計 30 處，平均每個版本 3.75 次。其中，數量最少的為 D 版本（一個），而最多的則為 G 版本（六個）。此外，值得注意的是，也許因為九年一貫政策要求學科精簡與統整，因此許多電學的主概念在這樣的要求下予以刪減，是故，除了 A 版本外，B~D 這三個版本皆低於平均值 3.75。至於高於平均值的 A 版本，則無論教學活動、教學順序或命題陳述，則大部分與未實行九年一貫前的 E 版本大致雷同。

總覽八個版本，哪個另有概念受到最多的關注呢？由表 4 觀之，「封閉性」及「電流守恒」受到編輯者最多的關注，而「電流方向」、「電流與電能」的分化以及「系統性」這三部分，則並未有任何版本提及。在「封閉性」方面，所有版本皆提

表3 電學教科書之命題陳述與其相應的教學活動

命題陳述	活動	示範 實驗	列表 講述	科學史	討論	啟發	講述	圖示	實驗	例題	公式	類比	總計
1-4 陳述質子與電子所帶的電量相等，電性相反													
小計		4	1	5	14	4	54*	6	22	0	0	0	109
1-11 將帶電體移近一金屬物體時，金屬物體會成為帶電體的現象稱為感應起電													
小計		0	0	1	5	0	17*	9	8	0	0	0	40
2-2 導線、電源、電器連接成封閉迴路即為通路，電路形成通路，電器便能運作													
小計		3	0	0	7	1	13	8	17*	2	0	0	51
2-3 切斷電路即為斷路，形成斷路電器便無法運作													
小計		0	0	0	1	0	9*	4	9*	1	0	0	24
2-4 可以用簡單、特定的電路符號表徵電路圖													
小計		0	1	0	0	0	4	85*	0	0	0	0	90
3-1 電池造成電位差，驅使電子在導線中流動													
小計		0	0	0	2	0	9	0	0	0	0	13*	24
3-2 電位差的單位是伏特 (V)													
小計		0	0	0	0	0	19*	0	0	0	0	0	19
3-3 伏特計用來測量電壓													
小計		0	0	0	3	0	30	17	47*	0	0	0	97
3-4 相同電池串聯，電壓等於兩個電池電壓的兩倍													
小計		0	0	0	9	0	19*	7	12	2	1	0	50
4-1 形成通路時，負極放出電子流向正極形成電子流													
小計		0	0	0	0	0	12*	4	0	0	0	0	16
4-3 每秒鐘通過導線某一截面的電量為電流的大小													
小計		0	0	0	0	0	19*	0	0	5	5	0	29
4-4 電流的單位是安培													
小計		0	0	0	0	0	10*	0	0	0	0	0	10
4-5 安培計用來測量電流													
小計		0	0	0	3	0	27	24	54*	0	0	0	108
5-1 電阻為電子通過導線的難易度，定義為兩端電壓 V 與通過該電阻之電流 I 的比值													
小計		0	0	0	3	0	31*	2	4	4	6	5	55
5-4 電阻的單位是歐姆													
小計		0	0	1	0	0	10*	0	0	0	0	0	11
5-5 歐姆定律意味著改變電壓和電流， V/I 皆能保持定值													
小計		0	0	0	11	0	24	3	25*	10	6	0	79

*表該命題陳述最常使用的教學活動。

資料來源：作者自行整理。

及，其多以課文陳述配合實體圖或示意圖，讓學生瞭解或歸納要讓電路上的小燈泡發亮必須使電路形成封閉迴路。較不一樣的為 H 版本，其另外使用「從儲水桶引水到用水處」的類比，且明確地指出了此類比的限制。至於「電流守恆」方面，共有五個版本提及，且其安排的方式，都是藉由安培計實

測電路中各部分的電流並未衰減後，藉由問題與討論的方式讓學生瞭解電流守恆的概念。而 A 與 E 這兩個版本另外還使用了水流類比與電流類比，藉著水流與電流的比較，讓學生瞭解並聯電路總電流為各電流的和，串聯電路中則是總電流等於個別電流。

表4 各版本教科書中可能有助於學生克服另有概念之教學活動分析表

版本 另有概念	A	B	C	D	E	F	G	H	小計
封閉性	1	1	0	1	1	1	1	2	8
極性	0	0	0	0	0	0	1	0	1
通路	1	0	0	0	1	0	0	0	2
元件雙極性	1	1	0	0	0	0	1	1	4
燈泡角色	0	0	0	0	0	0	2	0	2
電流守恒	2	0	1	0	2	0	1	1	7
電流方向	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電流與電能分化	0	0	0	0	0	0	0	0	0
資源消耗模式	0	0	0	0	0	1	0	0	1
電壓守恒	0	0	0	0	0	1	0	1	2
順序推理	0	0	1	0	0	1	0	0	2
系統性	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其它	0	0	0	0	0	1	0	0	1
小計	5	2	2	1	4	5	6	5	30

資料來源：作者自行整理。

總括各版本可能克服另有概念的教學活動不外乎：課文陳述、圖解、實驗及類比，其中又以課文陳述及實驗佔最多數。在「封閉性」一概念上，以「課文陳述」的方式引導國中程度的學生理解是可行的，因此階段的學生已累積了相當的實際觀察經驗，足以瞭解封閉性對電路運作的重要，但在「資源消耗模式」、「順序推理」這兩個十分難以克服的另有概念中仍使用此種教學活動，學生便很難從隻字片語中即得到完全的理解。至於實驗教學則多出現於「電流守恒」概念及「元件雙極性」的處理。有關電流守恒的部分若單以實驗教學的方式處

理，已有許多研究證實，學生仍難以理解電流經過燈泡為何不被消耗，若一定要使用則可能年紀較大的學生會較適合（Gunstone & Mitchell, 1998），至於配合類比進行此部分的教學，則或可協助學生理解，但宜注意提醒學生類比的限制。

另言之，總覽上述分析研究者發現，各家版本對於學生另有概念的關注過少，因此其所設計的教學活動無法有效協助學生克服另有概念。此外，九年一貫實施後，許多教材內容已予以精簡刪除，這些被精簡刪除的概念，若能在之後的課程以設計過的教學活動呈現或有助於學生克服另有概念，強化電學概念的學習，但若未能在後續課程補上，而僅一味刪除，那麼九年一貫課程的實施，將使得學生對於電學的理解不夠完整，其另有概念便沒有任何學習的時機得以修正。

五、電學教科書之教學順序分析

究竟我國電學相關的教科書教學順序如何編排？研究者將我國這八個版本的教科書的教學順序整理如表5。

表5 教科書教學順序總覽

版本	教學順序
九年一貫	A 靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻
	B 靜電與電量→電路→電壓/電能→電流→電壓/電流→電阻（→電壓→電流）
	C 電量→電路→電壓→電流→電阻
	D 靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻
	E 靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻
	F 電量→電壓/電能→電流/電壓→電路→電壓→電阻→電路/電阻
	G 電路→電壓/電路→電流/電阻→電壓/電阻→電量
	H 電路→電流/電壓/電路→電流→電阻→電壓→電阻→電量→電流/電壓/電阻→電量

註：（）表B版本將這部分的内容獨立於彈性時間教授。
資料來源：作者自行整理。

從表 5 可見在電學部分，我國教科書並沒有雷同的趨勢。這八本教科書中，A~F 版本乃以靜電與電量為起始，而年代較為久遠的 G 及 H 版本則是以電路為起始，教完整個電路中電流、電壓與電阻的關係後，才教授靜電與電量等電的原子觀點。此外，A~D 這四個九年一貫的版本乃脫胎於 E 版本，而這五個版本的教學順序都是較為線性的，大致遵守著靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻的線性關係，少數例外出現於 B 版本，其除了將伏特計及安培計的認識獨立抽出於彈性時間教授外，在電壓的部分會引入部分電位能的概念，在電流的部分也會跟電壓有所關聯。而 F~H 這三個版本的命題陳述之數量遠較 A~E 版本來得多且難，其電學次主題的安排傾向於非簡單的線性關係。至於使用策略上，大部分版本多是先講述而後引入實驗，再經由討論加以啟發，最後再以一段課文總結，C 版本明確指出其教科書的安排，乃運用「參與→探索→解釋→精緻化（→評量）」的學習環，其它版本雖未明言，但也大致符合此種模式。唯有 G 及 H 這兩個年代較為久遠的版本，其課文陳述都較為扼要，常常一個段落即涵蓋多個相異的命題陳述，且其章節的起始較常以實驗直接切入，缺乏陳述讓學生更進一步瞭解實驗的目的及引發學生實驗的動機。

伍、結論與建議

本研究分析民國 57 年後八個版本的電學相關教科書，研究結果發現：這些版本皆重視的基本概念為「電路圖簡單表徵的表示」、「歐姆定律」、「伏特計用來測量電壓」、「瞭解電荷具有正負兩種，因而具有相斥或相吸的現象」及「安培計用來測量電流」。而這些教科書在闡述電路中電壓—電流—電阻的關係時，皆鮮少納入電能這個領域的概念加以區辨。大體而言，九年一貫實施後的版本更加著重於電流、電壓與電路這三個次主題。至於教學活動，雖共整理出 11 種，但使用最多者主要為講述、圖示與實驗。大部分版本多是先講述而後引入實驗，再經由討論加以啟發，最後再以一段課文總結。整體而言，針對同一個命題陳述，八個版本所

使用的教學活動差異不大。而在對於學生另有概念的考量上，縱使近年來有關學生另有概念的研究快速且大量的累積，但在研究者所分析之教科書與電學相關的單元中，並沒有任何一個版本提及學生之另有概念，更遑論針對學生之另有概念與相關之教學活動或策略進行連結。且可能由於實施九年一貫政策，要求學科精簡與統整，因此許多電學的主概念在這樣的要求下予以刪減，這使得學生的電學心智模式在較難以學習的主概念上有了缺漏，可能更容易導致另有概念。而在教學順序上，九年一貫的版本大致遵守著靜電與電量→電路→電壓→電流→電阻的線性關係。但年代較為久遠的三個版本的安排，則傾向於非簡單的複雜關係。所有版本皆與 Härtel (1982) 所陳之電流→電量→電壓→電阻的線性教學相左。這顯示電流的教學並非妨礙我國學生電壓學習的原因。

綜上所述，研究者認為我國各版本電學相關的教科書對於電壓次主題在內容比例上給予的關注並不亞於其它次主題，且幾乎所有版本電壓的教學都先於電流，因此學生在有關電壓與電流及電能的區分上產生困難，研究者認為並不能歸因於教科書的編排上電流的教學先於電壓之故。事實上，我國的教科書教學活動過份依賴講述—實驗—討論的形式，忽略學生另有概念對於學習的影響，並未以此為出發點設計相應的教學活動，甚至教—學序列恐怕才是學生一直無法克服另有概念、學好電學的主要原因。因此研究者建議之後電學相關教科書的安排，應以科學教育的研究結果為導向。其中，以 Komorek 和 Duit (2004) 所倡之教育重構，徹底瞭解學生電學心智模式中各個認知特徵組成的演化路徑，並基於這些演化的過程，設計一系列相應的教—學序列是其中一種架構詳盡且條縷分明的可行架構。而教—學序列的設計除了考量學生概念演化的過程與結果外，更應考量電學概念的本質（例如：物質或能量向度）及目前教學取向和教育情境，設計適合在真實教室實施的教學活動，而不是罔顧這些重要元素，一再重複著「講述—實驗—討論」的單調教學活動，或單純僅以內容精簡企圖克服電學概念難學的課題。事實上，從分析得見，單純地精簡內容，不但無法協助學生克服電學學習的障礙，反而

可能造成難以彌補的另有概念，課程編輯者實不能不慎！

參考文獻

- 育成出版社（2004）。國民中學自然與生活科技教科書第五冊。臺北市：育成。
- 南一出版社（2004）。國民中學自然與生活科技教科書第五冊。臺南市：南一。
- 國立編譯館（1968）。國民中學物理教科書第四冊。臺北市：國立編譯館。
- 國立編譯館（1972）。國民中學物理教科書第四冊。臺北市：國立編譯館。
- 國立編譯館（1992）。國民中學理化教科書第四冊。臺北市：國立編譯館。
- 國立編譯館（2003）。國民中學理化第二冊。臺北市：國立編譯館。
- 康軒出版社（2004）。國民中學自然與生活科技教科書第六冊。臺北市：康軒。
- 教育部（2000）。國民中小學九年一貫暫行綱要。臺北市：教育部。
- 翰林出版社（2004）。國民中學自然與生活科技教科書第六冊。臺南市：翰林。
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Cambridge: Harvard University Press.
- 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.
- Cohen, R. (1984). Causal relations in electric circuits: students. In Duit, R., Jung, W. & von Rhoneck, C. (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*. Keil, Germany: Schmidt & Klaunig.
- Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75-100.
- Duit, R. (1984). The meaning of current and voltage in everyday language and its consequences for the physical concepts of the electric circuit. In Duit, R., Jung, W. & von Rhoneck, C. (Eds.), *Aspects of Understanding Electricity*. Keil, Germany: Schmidt & Klaunig.
- 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.
- Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 839-858.
- Finley, F. N., & Stewart, J. (1982). Representing substantive structures. *Science Education*, 66, 593-611.
- Gunstone, R. F., & Mitchell, I. J. (1998). Metacognition and conceptual change. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. San Diego: Academic Press.
- Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 55-87.
- Härtel, H. (1982). The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education*, 4(1), 45-55.
- 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.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lijnse, P. (1995). "Developmental research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, 79(2), 189-199.
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- Lin, J. W., & Chiu, M. H. (2006). *Students' conceptual evolution in electricity--The cladistical perspective*. Paper presented at the NARST 2006, April, 3-6, 2006, San Francisco, USA.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Mitchell, I. J. (1993). *Teaching for quality learning*. Unpublished Ph. D. thesis, Monash University.
- Niedderer, H. (1997). *Learning process studies in physics*:

- A review of concepts and results.* Paper presented at the American Educational Research Association, Chicago, USA.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Osborne, R., & Freyberg, R. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland: Heinemann.
- Psillos, D. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555-578.
- 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.
- Schwedes, H., & Dudeck, W. G. (1996). Teaching electricity by help of a water analogy. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe*. London/ Washington, D. C.: Falmer Press.
- Shipstone, D. M. (1985). Electricity in simple circuits. In R. Driver, Guesne, E. & Tiberghien, A. (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 33-51). Milton Keynes: Open University Press.
- Taber, K. S. (2001). Shifting sands: A case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 731-753.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tiberghien, A. (1983). Critical review of research concerning the meaning of electric circuits for students aged 8 to 20 years. In *Research on Physics Education*, Proceedings of the First International Workshop, 23 June-13 July, La Londe les Maures, France, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (1984), 109-123.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-169.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn, & R. Duit. (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice*, (pp 327-346). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tytler, R. (1998). Children's conceptions of science education. *International Journal of Science Education*, 20(8), 929-958.
- Tytler, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22(5), 447-467.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Bruxelles: De Boeck.
- Von Rhoneck, C. (1981). Students' conceptions of the electric circuit before physics instruction. In Jung, W., Pfundt, H. & Rhoneck, C. von (Eds.), *Proceedings of the International Workshop on Problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge*, 14-16 September, Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg, 194-213.
- 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.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.

初稿收件：民國 95 年 8 月 1 日

完成修正：民國 95 年 9 月 7 日

正式接受：民國 95 年 9 月 11 日

Analyzing the Teaching-learning Sequences of Taiwanese Textbooks in Electricity from the Perspective of Conceptual Evolution

Jing-Wen Lin Mei-Hung Chiu

National Taiwan Normal University

This study adopts the perspective of conceptual evolution to analyze eight versions of textbooks about electricity produced after 1968. The results show that there are totally 69 proposition statements in six sub-themes (static electricity and coulomb, circuit, voltage, electric current, resistance and electric energy) in all versions of textbooks. The versions after implementing Grade 1-9 Curriculum emphasize more on the sub-themes of electric current, voltage as well as resistance and ignore to differentiate electric energy, electricity and voltage. All versions do not address students' alternative conceptions and adopted more teaching activities in lecture, figure and experiment. The main teaching sequences of Grade 1-9 Integrated Curriculum versions almost follow the linear sequence of static electricity and coulomb, circuit, voltage, electric current and resistance, while others show more complicated sequences than the rest. All versions differ from the one which Härtel investigated (the sequence of electric current, coulomb, voltage, and resistance). It indicates that the teaching of current is not the reason to interfere with the learning of voltage. However, the versions of Grade 1-9 Integrated Curriculum nowadays pay more attention to courses simplification rather than focusing students' alternative conceptions, the processes and the results of their conceptual evolution. Instead of promoting students' understanding of electricity, they will interfere students successive learning in electricity.

Keywords: teaching-learning sequence, electricity, conceptual evolution, textbooks analysis