科學教育學刊
2005, 第十三卷第三期, 317-345

Chinese Journal of Science Education
2005, 13(3), 317-345

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

林靜雯　邱美虹
國立台灣師範大學 科學教育研究所

（投稿日期：民國 93 年 4 月 13 日，修訂日期：93 年 10 月 26 日，接受日期：93 年 12 月 15 日）

摘要：多重類比的使用有助於克服複雜抽象概念所形成之另有概念，但卻有增加認知負荷之虞，而設計良好的多重類比則有助於緩和可能造成的認知負荷（Spiro et al., 1989）。鑑於目前研究尚缺乏對多重類比設計原則的闡明，本研究特經文獻探討，整合類比的設計原則（Glynn, 1991; Gentner & Gentner, 1983; Zeitoun, 1984）及多重表徵之評鑑、轉化原則（Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 1998; de Jong et al., 1998）開發合適的多重類比設計原則，並以之設計電學相關教材。接著，本研究以實驗方式選取國小四年級學童 32 名，隨機、平均分配以閱讀對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組四種教材，分別探究各種教材對學生電學學習成就、認知負荷的影響及學生對所設計教材的態度。結果顯示整合類比與多重表徵研究取向所設計的多重類比教材能有效促進電學概念的深層理解、緩和可能的認知負荷，且學生對教材所設計的類比有助於概念學習、多重類比有助於察覺類比限制皆持正向看法，顯見所開發之設計原則可作為多重類比教材設計時的參考依據。

關鍵字：多重表徵、多重類比設計原則、類比。

壹、緒論

在科學教育研究中，以類比作為教學策略已證實可獲致良好的學習成效，但不可諱言地，類比的使用有其限制性，在教授複雜概念時，教師及課程設計者尤須特別小心，以避免使用不當反而造成學生的另有概念。針對如何克服另有概念，Spiro, Feltovich, Coulson 和 Anderson（1989）認為有兩個方法可以加以矯正，其一為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；另一則是利用多重類比的整合，傳輸更多困難概念複雜的必需性。就第一點而言，已有許多學者基於類比理論或實際教學經驗，深入探討了類比設計及教學呈現的細節，以期促進類比使用的效益並減少限制帶來的傷害(Gentner & Gentner, 1983; Glynn, 1991; Glynn, Duit, & Thiele, 1995; Harrison & Treagust, 1993; Zeitoun, 1984)，但

Spiro 等人更進一步強調，類比的還原力（reductive force）實不容小覷，故而僅只是警告學生類比的限制是不夠的，因此他們特別站在理論的角度，大力倡導應以多重類比整合、矯正以克服另有概念的作法。但值得注意的是，此項利器的使用並非全然不須付出代價，Spiro 等人認為多重類比會增加額外的認知負荷，另一方面，Gentner 和 Jeziorski（1990）亦直陳教學時若運用設計不良的混合式類比容易造成學習的干擾。正如同單一類比是把雙刃劍（Glynn, 1991），設計不良的多重類比對學生學習所造成的傷害可能更甚於單一類比。那麼，我們究竟應如何設計，方能不減損其優於單一類比的效果，且不至於造成額外的認知負荷呢？

事實上，雖有許多學者盛讚多重類比的益處，而在實徵上，多重類比的使用也的確陸續獲得研究證據的支持（Burstein, 1988; Chiu & Lin, 2005; Clement, 1993; Gentner & Gentner, 1983; 邱美虹和林靜雯, 2002）。但我們若在 ERIC（Educational Resource Information Center）資料庫中鍵入“multiple analogies”搜尋相關文獻，卻只能尋得兩篇會議論文（Costner & Herman, 2000; Spiro et al., 1988），而有系統設計實驗以證實多重類比於教學與學習上之影響的實徵更僅見於邱美虹與林靜雯的一系列相關研究（Chiu & Lin, 2005; 邱美虹和林靜雯, 2002），這樣的現象凸顯了多重類比系統性研究及嚴謹設計原則探討的欠缺及迫切性。而近年來科技在科學教育上的應用發展一日千里，有關多重表徵在各種科技媒體應用的設計原則上有著極為詳盡的闡明（Ainsworth, 1999; de Jong, Ainsworth, Dobson, van der Hulst, Levonen, Reimann, Sime, van Someren, Spada, & Swaak, 1998）。廣泛而論，類比可說是一種具特殊結構的表徵（Thagard, 1988），因而本研究擬藉由多重表徵設計研究上的豐碩成果，結合文獻上有關單一類比設計的探討，設計一適當的多重類比教材，並進一步檢測此教材於概念學習及緩和認知負荷上的成效。藉此探討，本研究希望能對日後教科書及教學上多重類比的設計提供實質的回饋。

綜覽文獻，有關多重類比的功能大致可歸納為形成基模（Gick & Holyoak, 1983; Holyoak & Thagard, 1995）與克服另有概念（Clement, 1993; Collins & Gentner, 1987; Spiro et al., 1989）兩種（引自邱美虹和林靜雯, 2002; 林靜雯, 2000）。故此，本研究特別針對多重類比的功能設計兩種相應的多重類比呈現方式：相似類比—主要希冀藉由兩個結構相似的類比形成基模，強化學生通路概念的學習；互補類比—主要利用兩個資訊互補的類比，希望協助學生克服電學的另有概念。據此，本研究所欲探討的研究問題如下：

1. 多重類比是否有助於學生電學概念的學習？
   (1)四組（控制組、單一類比組、相似類比組與互補類比組）學生於電學成就測驗的整體測驗成績是否具有差異？
   (2)互補類比組相對於其它三組於電學成就測驗中的能量概念成績是否有顯著差異？
   (3)相似類比組相對於其它三組於電學成就測驗中的通路概念成績是否有顯著差異？
2. 多重類比的使用是否造成學生額外的認知負荷？
   (1)單一類比組與相似類比組學生於類比認知負荷時間測定之測量中回憶時間是否具有差異？
   (2)相似類比組與互補類比組學生於類比認知負荷時間測定之測量中回憶時間是否具有差異？

(3)單一類比組與相似類比組學生於類比認知負荷時間測定之測量中類比單位時間回憶的正確率上是否具有差異？

(4)相似類比組學生與互補類比組學生於類比認知負荷時間測定之測量中類比單位時間回憶的正確率上是否具有差異？

3.比較三類比組的學生對於所設計之類比教材所持之態度有何不同。

貳、文獻探討與分析

類比是種具特殊語法、語意及實用關係的表徵（Thagard, 1988），含括知識及形式兩個層面。所謂知識層級是由學生所知所信的觀點敘述出發，並不企圖明確闡釋知識所呈現的符號或資料的結構；反之，形式的層次則和符號的意義接近，乃由認知操弄者—學生所操弄的角度出發，傾向於以基模、命題網路、心智模式或規則等方式表現（Newell, 1982; Rohr & Reimann, 1998）。而類比表徵的良窳對後續檢索、利用及學習的成效影響深遠（Thagard, 1988）。但綜觀歷來的研究取向，研究者卻發現類比的研究多焦注於知識結構的層面（Gentner & Gentner, 1983），反之，關乎表徵的研究則偏重於形式的探討（de Jong et al., 1998）。但事實上，知識與形式都是影響類比學習的情境因子，二者並非獨立存在，而是彼此互補、相輔相成（Rohr & Reimann, 1998; Solomon, 1994），因此即便是單一類比的設計，便須同時考慮內容和形式兩大向度，遑論多重類比的教材。故此，本文主要關注如何設計良好的多重類比以促進學生電學概念的深層理解、協助其克服另有概念，並意欲瞭解其是否造成學生的認知負荷，因而文獻主要藉由類比及多重表徵之研究取向的分析探討多重類比的設計原則，並細探認知負荷與類比遷移的歷程以作為本研究理論之基礎。最後，本研究以電學為教材主題，故而亦針對學生於電學學習時的相關迷思概念加以介紹。

一、多重類比的設計

鑑於多重類比應如何設計的研究與文獻始終闕如，以下筆者將整合類比與多重表徵的研究成果進一步提出多重類比的設計原則。

(一)由類比研究取向的啟示

Zeitoun（1984）根據 Rumelhart 和 Norman（1981）的基模理論加上實用性的考量，發展出一套類比教學模式，稱之為 GMAT（The General Model of Analogy Teaching）。在此教學模式的前幾個步驟，我們可將之視為 Zeitoun 對類比設計的原則闡明。Zeitoun 認為類比設計首應評估學生的特性及瞭解學生對欲學習內容的先備知識。再者，設計者可藉由屬性檢查表檢視類比的熟悉度及複雜度，以判斷類比的適宜性及特性，進而考慮呈現類比的形式（單一或多重類比）、方式（混合或獨立使用）和適用的媒體（實體、圖片或語文說明）。綜觀類比教學的研究歷史，Zeitoun 是少數同時關注類比知識層面及形式層面，並同時提及教學時可考量選擇單一類比或多重類比的學者，雖然如此，但 Zeitoun 亦僅蜻蜓點水地提醒教師及教材設計者有這些形式和方式可茲考量，並未再進一步對其設計原則有更詳細的闡明。

Glynn（1991）認為類比的設計首應以學生熟悉的事物為基礎，再依其達成目的的程度決定所設計類比的優劣。一般而言，如果類比的使用欲達到解釋的目的，則應注意兩領域間用以比較之特性的數目、類比領域中作為比較特性者的相似程度以及類比領域中概念的顯著性這三點。其中，一個類比的解釋力最主要取決於標的物與類比物之間相

似特性之數量，而這即是 Gentner 等人（Gentner & Gentner, 1983; Gentner & Jeziorski, 1990）所強調的結構映射。然而一個好的類比亦有可能僅跟標的領域有著極少的相似特性，但這些特性是直接與設計者所欲表達的特殊目的相關。故而類比的設計並非一定得兼具這三個條件，如何評斷類比的優劣，端視其是否達成目標。

(二)由多重表徵研究取向的啟示

Ainsworth等人(Ainsworth, 1999; Ainsworth, Bibby, & Wood, 1998）則基於多重表徵於學習科技上的研究出發，提出多重表徵設計時如何轉化的洞見。Ainsworth 等人（1998）指出利用多重表徵學習時，學生同時也須承受額外的認知負荷，這樣的負荷來自三方面：(1)學生必須額外學習每個表徵的形式和操弄（operator）；(2)學生必須能理解表徵和被表徵領域之間的關係；(3)學生必須瞭解表徵之間如何產生關連。如何有效降低這些認知負荷則可依據多重表徵所欲達致的功能考慮適當的轉化方式。

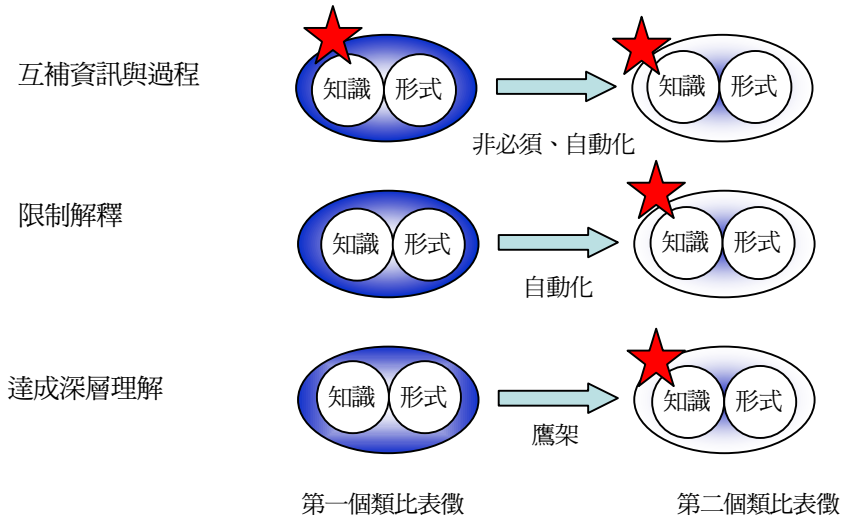
Ainsworth等人(Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 1998）認為利用多重表徵學習具有許多優勢功能，但至少可歸類出互補資訊與過程、限制解釋以及獲得深層理解三大功能。當多重表徵的功能主要欲呈現資訊或過程的互補時，學習環境應自動表現表徵間的轉化，並考慮各表徵適當呈現的順序，以鼓勵表徵的協調。故而此階段的設計應減輕學習者理解表徵間關係等細節。舉例而言，當欲以多重表徵支持不同的計算屬性，且已知不同策略和不同計算屬性的表徵有關時，設計者便須檢測學習者是否理解每個表徵的語法、語意及其所支持的策略。而當多重表徵用以限制解釋時，第二個表徵通常設計以支持較不熟悉表徵的解釋，並且不提供額外資訊。此處須把握的原則在於我們並不預期學習者去建構表徵間的關係，而是希望他們能藉著探索已呈現的關係理解更複雜的表徵。而由於兩表徵間的形式和操作差異越大，學習者體察兩表徵間的關係便益發困難，因此包括表徵的標註、形式、介面、策略、解釋以及不同抽象層次的問題都應加以考量。在此階段，設計者須評估個別表徵的表現，以掌握多重表徵於限制學生解釋時是否增進了理解的效果。最後，Ainsworth 等人建議以多重表徵協助學生達成深層理解實可考慮將時近性理論（contingency theory）融入鷹架支持的設計原則中，當學習者成功完成目標，鷹架便應淡出，反之，則應及時給予適當的協助。

上述原則當然可進一步推展至類比這種具特殊語法、語意及實用關係的表徵，只是上述的原則或偏重於表徵的形式，但在設計多重類比時，則應同時將知識的層面一併考量。故而，研究者將多重類比的設計原則簡單歸納如下，並設計圖 1 的圖示以協助讀者理解：

1.若多重類比的使用主要在於提供互補的資訊與過程時，則設計類比時應減少類比表徵之間的轉化；
2.若多重類比的使用主要在於藉由相似性或類比與生俱有的屬性形成基模，則設計者應使類比間的轉化變成自動化；
3.而若藉多重類比欲達致深層理解的話，則設計時應注意如何使用鷹架轉化類比之間的關係。

另一方面，de Jong 等人（1998）則以五個向度評鑑一學習環境中多重表徵的使用，茲將此五個向度分述如下：

1.觀點（perspective）：即表徵所欲呈現之特別理論觀點。
2.精確性（precision）：對於現象描述的準確性，又可區分為質性與量化方式的描



註：★代表所呈現的類比表徵是學習的重要角色，並不隨著學習過程而淡出

圖 1：多重類比的三大用途及其主要評鑑原則示意圖

述。

3.形式（modality）：意指展現知識的特殊形式，例如：命題或圖形。

4.特殊性（specificity）：意味著該表徵的所承載的「特殊目的」和「特殊的表徵特質」，這兩者皆牽涉到個體的認知技能。

5.複雜性（complexity）：一表徵所呈現的資訊量的複雜程度。表徵中可能同時承載許多資訊，這些資訊彼此交織成一個複雜的訊息系統。

針對上述五個向度而言，「形式」是其中清楚連結符號層次者，其次，複雜性亦有此特性。其餘的三個向度，觀點與知識層級密切相關，精確性和特殊性則同時可用在知識與符號兩個向度（de Jong et al., 1998）。

(三)小結

整合上述兩大研究取向，筆者認為欲評鑑一系列多重類比設計的良窳至少可分前置階段、單一類比的設計及多重類比的設計三個階段加以檢視。在前置階段中，由於 Duit（1991）批評 Zeitoun（1984）對於學生特性之評估可有可無的作法目前並無確實的證據可茲證明，故而筆者結合 Zeitoun（1984）及 Glynn（1991）的觀點將之簡化為「評估學生的認知能力及其對所欲學習內容的先備知識」。而對於單一類比設計的評鑑則以 Gentner 和 Gentner（1983）的結構映射為最主要標準，並考量 Glynn（1991）認為優良類比應同時考量兩領域之相似度、概念之顯著性及學生對類比之熟悉度等原則。至於協調多個類比設計之判準，筆者認為可結合 Ainsworth（1999）對於多重表徵轉化的原則及 de Jong 等人（1998）對表徵向度的區分，進一步細探多重類比於觀點、精確性、形式、特殊性及複雜性之間轉化的情形。此外，Zeitoun 對於類比熟悉度及複雜度的各項檢視建議，筆者亦認為這些建議不應侷限於單一類比的設計，而應將之置於多重類比轉化時五個向度考量中同時檢視。故此，筆者認為多重類比設計時可茲評鑑的原則如表 1 所示。

表 1：評鑑多重類比設計之原則

	評鑑原則	內容
前置階段	原則 1：是否評估學生的認知能力及其對所欲學習內容的先備知識	使用口頭發問、問卷、臨床晤談、成就測驗或文獻探討以瞭解學生的認知能力及先備知識
針對每個單一類比	原則 2：學生對類比的熟悉度	是否是受試者日常生活可經驗且容易體察的，或者受試者是否經歷過相關的教學
	原則 3-1：兩領域間用以比較之結構特性數 原則 3-2：兩領域的相似程度 原則 3-3：類比領域中概念的顯著性	兩領域間具有許多物件、屬性、關係、高階關係的對應為主要原則。但有時亦考慮使用類比之目的而考量原則 3-2、3-3。
針對多重類比	原則 4：類比表徵使用的向度	觀點 精確度 形式 特殊性 複雜性
	原則 5：表徵間的轉化	針對多重表徵欲達到的功能（互補資訊與過程、限制解釋或深層理解）考慮轉化、鷹架的程度

藉由這些原則的闡明，或有助於多重類比的設計更能得其利而捨其弊。

二、認知負荷與類比遷移歷程

何謂認知負荷？大體而言，學者論述認知負荷有兩層含意，其一討論學習內容所造成的學習負擔（Paas, 1992），另一則是與工作記憶體所能負荷的記憶寬度有關（Sweller, 1988）。

Paas（1992）認為所謂的認知負荷乃指學習者在心智上所耗費的「努力」強度。如果學習者對學習內容感知到困難，便構成了認知負荷。依此觀點，Paas, Van Merriënboer 和 Jeroen（1994）發展李克式量表（Likert-type scale）讓學生對所學任務加以評估以評測學生認知負荷的程度，其結果顯示此種測量方式具充分的敏感度並極具信度。Gellevij, van der Meij, de Jong 和 Pieters（2002）在比較學生利用多模態（multimodal）及單模態（unimodal）學習時效益及認知負荷的差異，亦採用 Paas 等人（1994）的量測方式，此外，他們更進一步測量學生處理多模態及單模態中文字與圖片的時間以進行認知負荷的相關評估，結果顯示此種測量方式的結果與 Paas 等人所採用的量表結果可以相互佐證，提高研究的可信度。其他以測量時間進行認知負荷的研究在神經認知及心理生理研究領域亦多有所見(e.g. Green, 2000; Montirosso, Brambilla, Felisari, Sclaunich, Filipponi, Pozzoli 和 Bresolin, 2002; Verney, Granholm, & Dionisio, 2001），這些研究的共同理念與 Sweller（1988）對認知負荷與工作記憶體所能負荷的記憶寬度有關，咸認為當認知負荷加大時反應的時間會加長或完成任務的精確度會降低。

Keane（Keane, 1990; Keane, Ledgeway, & Duff, 1994）認為進行類比心智運作時，若認知負荷過大，會使某些訊息遺失而影響到類比運作的過程，就此情形觀之，Keane 對認知負荷的看法類似於 Sweller(1988)的定義。

而就類比教材而言，對應、完成樣式與改編是類比遷移與學習的核心條件，學習成果的優劣端視標的物與來源類比間這三個過程是否能有效完成（Holyoak, Novick, & Melz, 1994）。所謂「對應」的過程源於一組介於來源物和標的物之間的相關元素，這些元素包含物件、述詞及建議，而對應便植基於此二領域間之初始表徵所呈現元素間的一致性。而當對應建立後，基於類比對應形成的推論便是所謂的「完成樣式」。至於「改編」和完成樣式之間角色的區辨則有賴於來源物及標的物兩領域間的同質性及表徵同質性。其中，完成樣式具有實質上的同質性，而改編則否。改編是一開放性的過程，超越類比本身所能提供的資訊，而依賴一般推論的程序及記憶搜尋的過程。由於在真實複雜的領域範例中鮮少同質性，因而改編在科學學習中便顯得格外重要（Holyoak et al., 1994）。

若我們將 Holyoak 等人（1994）對遷移歷程的組成與 Sweller（1988）認知負荷的觀點及 Ainsworth 等人（1998）對多重表徵運用時可能造成認知負荷的因素加以比較，即可發現：若我們所設計的類比教材可以有效提供組成物之間的對應，則可協助學生對應過程的完成，此外，若我們在設計類比時能有效闡明表徵與領域之間的關係，則能協助學生有效完成後對應的過程。

綜上所述，本研究對認知負荷的定義，同時採 Paas（1992）及 Sweller（1988）的看法，除在類比教材態度問卷中設計問題以類似李克式量表輔以問答的方式瞭解學生在各種類比教材學習時所需耗費的努力強度，更進一步以時間及單位時間正確完成類比遷移的答對率測定學生在完成類比遷移時所能負荷的記憶寬度。本研究希望藉由這兩種方式的相互對照，更深入瞭解多重類比設計的良窳對學生認知負荷的影響。

三、電學相關研究

許多兒童電學概念學習的研究指出：小學生初次接觸電學，大多會認為電池是電的單極給予者、是電或能量的儲存槽（Psillos, Koumaras & Tiberghien, 1988），在封閉的電路中傳送一定的電流至燈泡而形成所謂的「資源消耗模式」（Osborne, 1981; Tiberghien, 1983）。此外，以兒童的觀點，電、電流和電能三者幾乎同義（von Rhoneck, 1981; Osborne & Freyberg, 1985; Shipstone, 1985）。他們對電池維持一定電壓的想法不但極其有限，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。

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）。故此，學者建議首次介紹電壓時，便應強調它是電池的一項重要特質，而促使學生注意到此項概念（Cohen et al., 1983; Von Rhoneck, 1981; 1984; Cohen, 1984; Psillos et al., 1988, 引自 Driver et al., 1994）。但另一方面，則有學者認為這是因為電學教學時常引入水循環的類比來表徵電的緣故。由於此種類比直接強化了學生電流的物質概念，因此教師在教學時應該調整語言，避免使用此種類比（Slotta, Chi, & Joran,

1995）。

有關水類比的使用，Dupin & Johsua（1987）認為這是兒童自發產生的比喻，Black & Solomon（1987）亦認為一般社會上的慣用語對於電「流」這個字眼會自動在教學前使學生形成半成形的流體類比。若然如此，此種類比便源於學生自發，與語言和日常生活密切結合，那麼光就教學語言的調整便顯得緣木求魚而徒勞無功。那麼如何促使學生瞭解電流這種「物質」與「能量」混合的概念呢？Tenney（1984）認為多重類比是一項極有潛力的作法，故此，本研究特設計實驗以深入探究多重類比對兒童電學概念學習的影響。

叁、研究方法

本研究主要目的在於以電學為內容，在整合類比與多重表徵的理論研究基礎下設計適當的多重類比教材，以探索此教材對學生科學概念理解及認知負荷的影響。同時，研究者亦希望從中瞭解學生對各種類比教材的態度以進一步回饋多重類比教材的設計及設計原則。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。

一、研究對象

本研究以台北市一小學進行研究。研究對象的選取分兩階段，第一階段先選擇願意配合的四年級班級共四班，107 人，以研究者自行編製之電學先備知識測驗進行前測，以評測學生在未教授電學之前的起始概念。第二階段則依據前測的成績，篩選出成績於平均上下一個標準差範圍之中等程度學生 32 人，再以分層抽樣再隨機分配至四組的方式（每組 8 人），以確保四組學生成績的平均及分佈狀況皆相當。

二、教材設計

本研究之教材分為四種形式：1.未含類比的控制組、2.單一類比組、3.相似類比組及 4.互補類比組。此外，在正式進行教材閱讀前，四組皆接受練習教材，互補組另接受先備知識閱讀教材。以下便就多重類比教材設計原則及練習、先備知識閱讀教材的目的及實施方式加以詳述。

(一)多重類比教材設計原則

本研究之教材分為四種形式：1.未含類比的控制組、2.單一類比組、3.相似類比組及 4.互補類比組。在學習內容上，研究者依據電流通路及能量兩大向度架構五項主題。這五項主題在通路方面為簡單通路、複雜通路及斷路；在能量方面則是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，研究者依據上述文獻分析所整合之多重類比設計之原則進一步設計教材。首先，研究者從電學相關文獻探討先瞭解學生的先備知識及電學概念的發展情形（**原則 1**），接著，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 2，**原則 3-1**）。除對照表中的概念外，亦依 Glynn（1991）對類比優劣的判準，考慮文獻中常被引用的類比、學生對類比物的熟悉度、類比物可能造成的限制等因素選擇適當類比（**原則 2**）。

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通路概念的類比，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 2 甲），而相似性類比的選擇也基於此理由，加以考量學生對類比的熟悉度，而將粒子類比修正為「障礙賽」的類比（圖

表 2：電領域與類比領域概念及遷移歷程對照表

	遷移歷程	電領域	相似類比		
			單一類比	互補類比	
物件		電路系統	簡單用水系統	障礙賽	複雜用水系統
屬性	對應	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
		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	完成樣式	電流經過電池，電位回復	*	*	*水流經過抽水機，水位回復
		電流通過燈泡，電位降低	*	*	*水流經過水車，水位降低
	改編	並聯的斷路，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	*
		串聯的斷路，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

註：本研究中的學習內容並無涉及「完成樣式」的部分，故以灰底示之。

2 乙）。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 2 丙），以更貼近實際電的表徵。而對於這些類比若



甲　乙　丙

圖 2：本研究所使用三類比之圖示

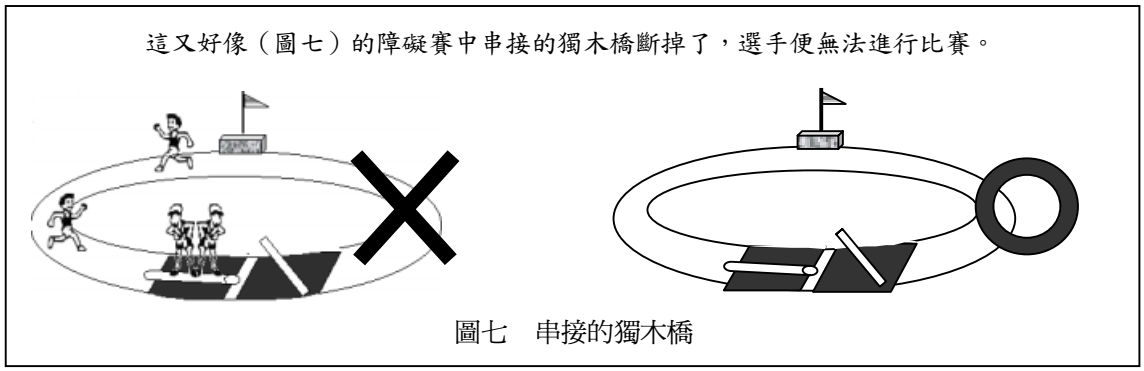


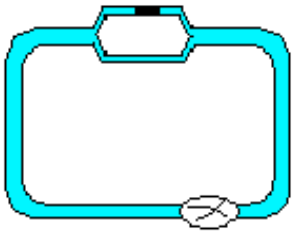
圖 3：以圖形表徵提示學生類比可能的限制

文獻中已載明其可能出現的限制，研究者亦會事先設計適當表徵以提醒學生可能產生的限制（**原則 1**、**原則 3-1**）。舉例而言，以障礙賽的類比類比電路斷路的情形，學生可能會因順序推理模式的影響，而以為電子（參與障礙賽的選手）會堆積在斷路處（停留在斷掉的獨木橋上）（Tiberghien, 1983; Cohen, 1984; Duit, 1984; Arnold & Millar, 1988, 其他可能限制請參閱上述文獻探討或林靜雯, 2000），研究者便以圖 3 的表徵凸顯此項類比的限制。

而在多重類比教材（相似類比組及互補類比組）的設計上，研究者則考量 Ainsworth 等人（Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 1998）對多重表徵設計的建議（**原則 4**、**原則 5**）。在相似類比教材方面，由於其目的在於形成基模以限制解釋，故應儘量使類比表徵間的轉化變成自動化。此方面，研究者認為兩相似類比表徵所欲呈現的觀點、精確度、承載的特殊目的及複雜性皆相當，故而彼此之間的轉化困難度低，但仍安排文字及圖像兩種形式表徵協助學生自動化表徵之間的轉化，這主要呈現在文字或圖像的比鄰呈現，以及確實掌握文與文之間、圖與圖之間具明確的對應關係。試將其中一個命題的呈現方式例舉說明於下（表 3）：

而在互補類比教材方面，由於兩類比各司電領域中通路及能量兩個不同的次領域，有著相異的觀點，因此研究者主要考量在於所選擇的類比表徵是否能清楚呈現出截然不同的觀點而毋須額外的轉化及鷹架。首先，研究者考量相近的類比可能造成學生的混淆，故而選取障礙賽類比而捨棄簡單用水系統類比以表達通路的概念。而障礙賽類比與

表 3：相似類比組多重類比的呈現的說明

說明	相似類比組多重類比的呈現
課文	如果兩個燈泡沒有接在同一條通路上，拿掉其中一個燈泡，電流還是會在另一條電路上形成，所以另一個燈泡還是會亮。
兩類比文字說明皆以標楷體凸顯，並注意二者間句型結構的對應	這就好像（圖八）的小水管，其中一條小水管堵住了，水沒辦法經由這條小水管流回馬達，但另外還有一條小水管沒有堵住，水還是可以經由這條小水管流回馬達形成通路。 這又好像（圖九）的獨木橋，兩座獨木橋沒有接在一起，所以其中一座獨木橋斷掉了，選手還是可以經由另外一座獨木橋跑回升旗台，完成比賽。
兩類比圖示比鄰而出，且二者間圖形元件亦注意對應	 圖八　並排的小水管堵住了
	 圖九　並排的獨木橋斷了

複雜用水系統類比之間清晰、迥然各異的圖像表徵亦顯示兩類比間並無轉化的必要，但這樣安排的結果將使得三類比組沒有共同的類比，犧牲了三組一起比較的機會，而只能單就單一類比與相似類比、相似類比與互補類比之間的共同處進行兩兩的比較。此外，值得一提的是，複雜用水系統類比相對於國小四年級而言是較不熟悉的類比物，故在進行教學前，研究者額外設計複雜用水系統的教材，以加強其來源領域的理解（原則 1），並以類似表格的方式一對一凸顯類比領域與標的領域之間的對應（圖 4）。故而在本研究中研究者所進行的鷹架轉化並非兩類比之間，而是特別注意標的領域與類比領域之間的轉化。

上述所有教材皆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建立研究教材效度。

此外，由於類比組的閱讀內容除原有的非類比解釋文字外，尚加入了類比的表徵。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，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。

附帶一提的是，本研究教材除考量上述類比及多重類比的設計原則外，閱讀教材另經預測－觀察－解釋（prediction-observation-explanation，POE）的方式安排，在學生閱讀教材的過程中研究者以深度晤談的方式收集學生閱讀過程中電流心智模式的動態變化，並追查模式改變的階段及原因。其研究結果詳見邱美虹與林靜雯（2002）對兒童電流心智模式之動態改變的探討。

(二)練習教材

由於大部分學生平常閱讀並沒有放聲思考（think aloud）習慣，也不瞭解何謂「類比」，因此本研究特地設計練習教材以協助學生熟悉閱讀進行的方式。內容為學生三上時學過之「水的蒸發」（國立編譯館, 1997），改編、簡化高淑芬（1997）研究中之類比教

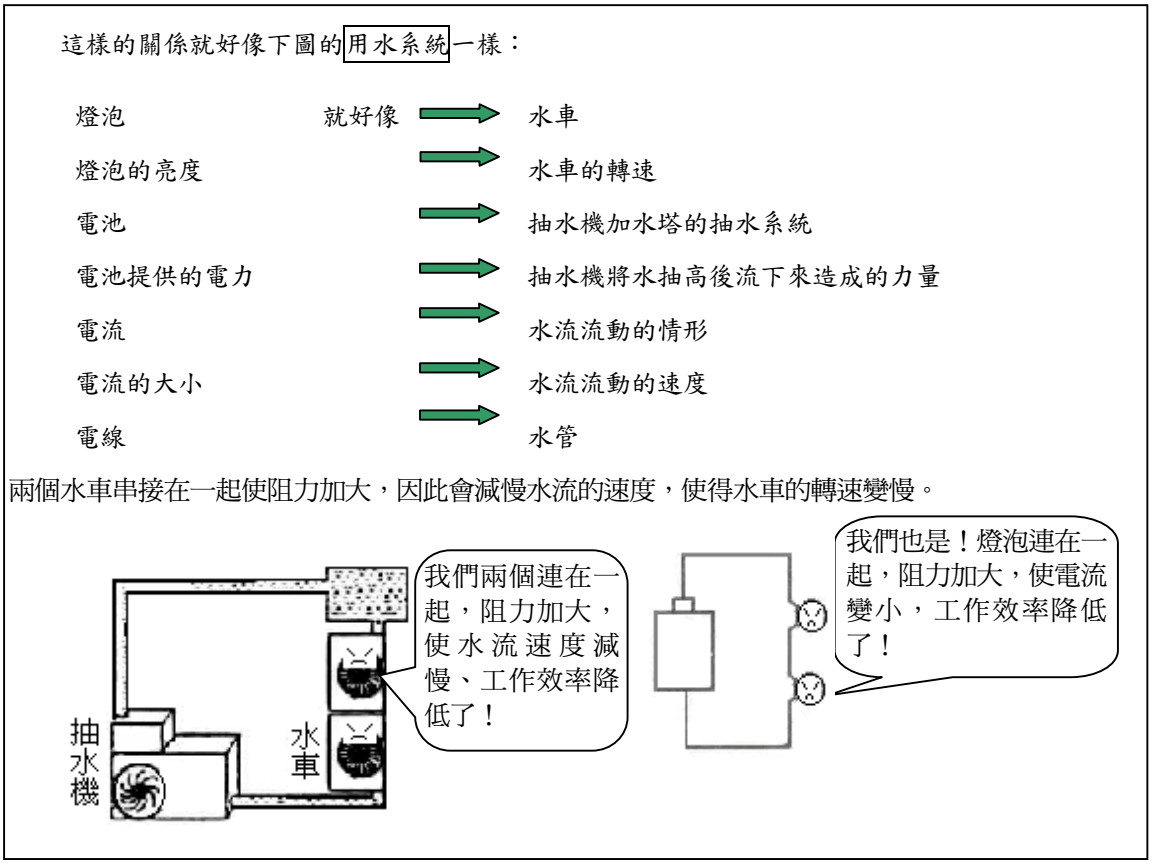


圖 4：互補組類比教材示例

材—物質的三態變化。

(三)互補類比組先備知識閱讀教材

就本研究使用的三個類比而言，「複雜用水系統」模式不但非日常生活容易理解的範疇，亦非小學的教學內容，因此本研究在利用水類比教學前，特別對照電學閱讀內容中所須的類比知識，詳細闡述水流的速度如何受到水位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，以增進學生於正式閱讀時的理解。

三、研究工具

欲達前述研究目的，本研究設計四種研究工具，包括：電學先備知識測驗、後測、認知負荷的時間測定及類比教材態度問卷。所有試題、問卷和教材設計相同，皆由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所有研究工具的內容正確性及措辭給予建議以建立效度。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五大主題。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。題目皆為理解性問題，Cronbach α 為 0.85。

(二)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。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記錄加以觀察。

(三)認知負荷的時間測定

研究者對於認知負荷的時間測定乃依據 Sweller（1988）對認知負荷的觀點，並依據 Holyoak 等人（1994）等人對遷移歷程的定義，將三類比與電學領域的概念對應關係再細分為對應、完成樣式及改編三個階段（但本研究缺乏完成樣式的內容，詳見表 2）。再將各組中所有類比的概念逐一謄寫到 Microsoft Power Point 的投影片中，一個概念以一張投影片呈現（例：圖 5）。

由於單一類比組與相似類比組共有「簡單用水系統」的類比，而相似類比組與互補類比組亦共有「障礙賽」的類比，因此研究者希冀藉由組間共同的類比，進一步探討多重類比於遷移歷程的回憶時是否加重學生的認知負荷。為避免類比對應的回憶對後測的結果造成影響，此部分於後測結束後進行。收集的資料包括回憶的時間及回憶對應的口語。整個過程以 Microsoft Power Point 計時，並以錄音機記錄學生口語，每位學生約 5-10 分鐘不等。

(四)類比教材態度問卷

為瞭解學生對於類比教材的態度，本研究參考高淑芬（1997）的論文，就閱讀教材的不同，設計了三種類比教材態度問卷（分別針對單一組、相似組及互補組的類比使用設計）。問卷內容包括各種類比是否有助於理解概念、學生是否喜歡類比教材的設計。除此之外，針對使用兩種類比的相似類比組及互補類比組，研究者額外設計題目，希望學生自評是否較能察覺目標領域與類比領域之間的差異以及兩種類比的設計是否增加學習的認知負荷，以作為另一項認知負荷檢測的向度，以和上述認知負荷時間測定的實驗相互對照。進者，慮及情意因素可能會影響學生學習類比的情形，研究者另請學生針對教材選用的兩個類比比較喜好的程度，並說明原因。由於四年級學生的書寫表達能力可能還不成熟，故研究者待學生問卷填寫完畢後，研究者會再針對開放性問題的部分再次晤談學生，以求獲得更為完整深入的資料。整個填、答過程約 5-10 分鐘。

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：

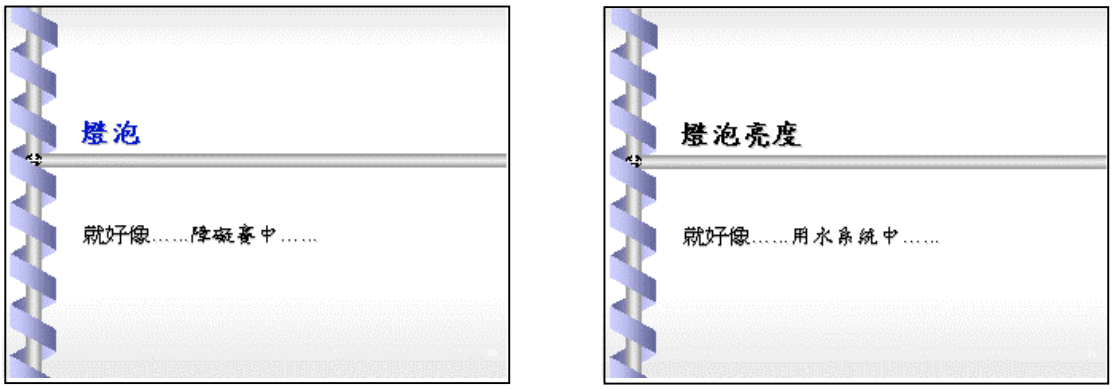


圖 5：認知負荷測驗工具示例

(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)後測

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）發問問題的給分標準，訂定理解性問題為 2 分，而統整性問題為 3 分的給分標準（表 4），並進一步制訂得分類型。

茲以第五大題的答題類型及得分情形為例說明如下：

第五大題答題類型及得分：

A1（2 分）：正確模式。

A2（1 分）：正確模式，但電流方向錯誤。

B1（0 分）：雙極模式。

B2（0 分）：單極模式。

B3（0 分）：並聯，8 字形模式。

B4（0 分）：其它。

由於題目欲測試學生有關不規則複雜電路電流方向的概念，屬於理解性問題，故滿分為 2 分。而得分類型中 A 屬於有得分者，B 屬於沒有得分者，根據這樣的得分類型，研究者除可清楚明確地計算學生的得分，亦有助於學生電流心智模式及其迷思概念的歸類。

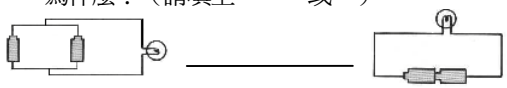
評分標準及得分類型制訂完畢後，研究者另請兩名評分者同就隨機抽樣的四份後測謄錄卷進行評分內容架構的檢驗，三者的一致性為 92.9%。

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，並以 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。

(三)認知負荷的時間測定

此部分的比較又可分為兩部分加以探討。其一為單一類比組與相似類比組於共有的「簡單用水系統」類比，以及相似類比組與互補類比組於共有之「障礙賽」類比之回

表 4：發問問題的給分標準類型與範例（修改自 King, 1994）

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）： 確定學生是否已完全瞭解、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。	九、比比看，哪一個圖中的電池壽命比較長？ 為什麼？（請填上 >、< 或 =） 

憶對應時間的比較。由於各組人數僅 8 人，因此研究者以 Mann-Whitney U Test 加以考驗。另一則同上述兩兩之間的比較，但多加考慮了回憶對應的正確率，以計算單位時間回憶對應率。回憶對應率的分析先將施測過程全程錄音的口語資料，逐字謄錄轉成文字形式，再與表 2 中正確的電概念對照，計算出對應率，而後除以對應時間而得。相同的，此階段亦以 Mann-Whitney U Test 加以考驗。

(四)類比教材態度問卷

就類比教材態度問卷中選項的部分，乃採統計比例的方式呈現，以得知學生對類比及多重類比之設計是否增進其電學概念的理解？又是否會造成其認知負荷？以瞭解各組之間的趨勢。至於開放式問題的部分，則採綜合歸納的方式整理出結論。

肆、研究結果與討論

一、電學學習成就之比較

(一)整體學習成就

就整體概念學習的情形觀之，研究者將四組成績以 Kruskal Wallis Test 加以考驗，由表 5 可知四組確有顯著差異，於是進一步進行事後的多重比較（multiple comparisons）（Conver, 1999）（表 6）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概念的理解，且互補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 7 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 8）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

表 5：四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 6：四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）。

（表格中「—」表兩組之間未達顯著差異）

表 7：四組學生通路成績之 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 8：四組學生通路成績之 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）。

（表格中「—」表兩組之間未達顯著差異）

並未達顯著水準（表 8）。

(三)能量概念之學習成就

就學生的晤談原案觀之，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能以「能量」解釋燈泡亮度的傾向外，其餘三組多以「電流多則燈泡較亮；電流少則燈泡較暗」之「電流」向度來回答能量的問題。若再就此部分的學習成績進一步加以探討，則顯示四組經 Kruskal Wallis Test 考驗後具有顯著差異（表 9），若再經事後的多重比較（表 10）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任何差別。這樣的結果顯示本研究安排複雜用水系統類比作為互補的確有助於電學中能量概念的學習。

表 9：四組學生能量成績之 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 10：四組學生能量成績之 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）。

（表格中「—」表兩組之間未達顯著差異）

(四)小結與討論

一直以來，學者皆憂心追蹤通路的教學會加強學生順序推理的錯誤觀念，而阻礙學生電學能量的學習（Arnold & Millar, 1988, 引自 Driver et al., 1994; Cohen, 1984; Duit, 1984; Dupin, & Johsua, 1987; Tiberghien, 1983），其中簡單水循環的類比更因直接面臨唯物概念，而被視為首應避免的教學策略（Slotta, Chi, & Joran, 1995）。但由上述研究結果顯示，類比教學的確有助於整體電學概念的學習，而對照組、單一組及相似組三組之能量主題學習的比較並無軒輊，這亦顯示了並不因為類比強化通路的教學而使得學生於能量學習上有更清晰的理解或產生更大的障礙，另言之，此項另有概念並非因類比而起。此外，多重類比組之互補性類比的教材設計更進一步協助學生將注意力聚焦在能量的觀點上，致使其能以系統性的觀點克服通路類比可能造成的順序推理而在能量及整體學習成就上皆優於其他三組。這顯示電學中有關能量的概念對四年級學生而言雖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」互補性的運用及降低互補類比表徵之間各種轉化的必需性，學生理解的情形確可大幅改善。此外，有學者認為首次介紹電壓時，便應強調它是電池的獨立特質（Cohen, 1984; Cohen et al., 1983; Psillos, et al., 1988, 引自 Driver et al., 1994; Von Rhoneck, 1981; 1984）。於本研究中，互補類比組的學習情形亦可佐證教材的設計若能清楚區分通路與能量兩領域，使學生一開始便聚焦於電壓之相關概念，將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。研究者認為可能的原因如下：(1)通路的概念並非極為困難的概念，大部分學生僅須一個類比便足以協助學生理解。(2)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。因此他們認為專家與生手的差別並非依據成功解題的比率，而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。此觀點亦與本研究的結果有所呼應。在本研究中相似組學生有兩種類比可茲選擇，他們可藉由偏好的類比模式快速且肯定地判斷答案，特別是在遇到電流分支之預測時更為明顯，故而相似性類比的設計仍有助於基模的形成，只是實際影響的情形沒有完全由解題的成功率反應出來，而是反應在解題方式、速度及正確性的判斷。

值得注意的是，研究結果雖顯示多重類比有助於電學概念學習及克服另有概念，但從上述量化的結果我們看到的是多重類比克服了原來電學領域中可能有的另有概念，而非由單一類比所造成的另有概念。關於此項結果，研究者由質性晤談學生對於類比負向向度覺察的晤談中發現：多重類比的運用的確有助於學生察覺單一類比的負向向度，而較不會將類比物誤認為即是標的物，只是此種負向向度在後測的概念晤談內容中並無法完全顯現。例如：

（單一組，#423）：水可以喝，電不可以喝。

（單一組，#913）：水是可以結冰的，電是不可以結冰的。…

……

（相似組，#710）：如果選手跑到中間，獨木橋斷了，又沒有其它的路可以走…，如果是水流會掉下去，就是洩漏出去（簡單用水系統類比），然後，是人類的話，它就不會繼續跑（障礙賽類比）。

（互補組，#525）：…喔！電流本來就那個樣子（指會比較像複雜用水系統類比），不會一段比較快一段比較小[慢]，可是選手一開始跑很快，在跑獨木橋的時候會慢慢慢下來（障礙賽類比）。

由上面的晤談原案我們可看到單一類比組由於沒有另一個類比加以比較，所以所提出的限制品質較差，且以生活化的屬性為主，而非著重在電學領域與類比領域的比較，但反觀多重類比組（相似組及互補組），我們則可以看到學生藉著兩個類比的比較更能發覺科學概念的深層結構，而較不會產生另有概念。

二、認知負荷時間測定之比較

本研究所設計的多重類比教材的確有助於學生電學概念的深層理解，但於此同時，多重類比的使用會否增加學生的認知負荷呢？以下將以 Holyoak 等人（1994）對類比推論歷程的分類為基礎，分析各類比組學生於回憶對應時間及單位時間回憶正確率上是否有所差異來加以檢測。

(一)回憶對應時間

1.單一類比組與相似類比組回憶時間的比較

研究者將單一組及相似組學生針對簡單水類比與電學領域的回憶對應的時間加總後，分就對應時間、改編時間及總對應時間進行 U Test，結果發現無論就整體、對應及改編階段的時間而言，單一組皆略高於相似組，但僅在改編回憶的時間上達顯著差異（U = 11.5）（表 11）。

2.相似類比組與互補類比組回憶時間的比較

同樣皆是運用兩個類比幫助學生學習，互補類比組所運用的兩個類比所要教授的概念不同、結構各異，其回憶觸接的時間是否會較相似類比組來得長呢？研究者將兩組學生針對障礙賽與電學領域的回憶對應的時間加總後，以 U Test 進行考驗，由表 12 結果發現兩組無論於總時間及改編的回憶時間上，互補組皆較相似組來得長，但皆未達顯

表 11：單一組與相似組對應回憶時間之差異考驗

	單一組		相似組		U
	Medium	Mean Rank	Medium	Mean Rank	
對應回憶時間（s）	70	9.69	65	7.31	22.5
改編回憶時間（s）	57.5	11.06	51.5	5.94	11.5*
總回憶時間（s）	137.5	10.38	117.5	6.63	17

*$p < .05$（exact sig., 1-tailed）

表 12：相似組與互補組對應回憶時間之差異考驗

	相似組		互補組		U
	Medium	Mean Rank	Medium	Mean Rank	
對應回憶時間（s）	68.5	9.06	62.0	7.94	27.5
改編回憶時間（s）	41.0	6.50	52.0	10.50	16.0
總回憶時間（s）	103.0	7.50	117.5	9.50	24.0

*$p < .05$（exact sig., 1-tailed）

著標準。

(二)單位時間回憶正確率

慮及時間長短或許仍無法完整表示學生於目標領域與類比領域間回憶對應的情形，因此此部分特別加入回憶正確率，進一步探討各類比組間單位時間回憶正確率的差異。

1.單一類比組與相似類比組單位時間回憶正確率的比較

將單一組及相似組學生針對簡單水類比與電學領域的回憶對應的答對率除以時間後加總，進一步以 U Test 加以考驗，結果發現無論在單位時間的對應、改編及整體回憶正確率上，相似組皆略高於單一組，但僅在改編階段達顯著差異（$p < .05$, exact sig., 1-tailed）（表 13）。這樣的結果和前面單獨討論回憶對應時間的檢驗相符，顯示相似組於改編階段的差異並非僅在觸接時間上，其單位時間的正確率亦同樣優於單一組。

2.相似類比組與互補類比組單位時間回憶正確率的比較

至於同是多重類比的相似類比組與互補類比組，研究者將兩組的回憶對應的答對率除以時間後加總，進行 U Test，結果發現兩組於單位時間對應、改編及整體的回憶正確率上不但未達顯著差異，且兩組極為雷同（表 14）。

(三)小結與討論

由上述實驗結果顯示：單一組及相似組的比較顯示相似組中兩相似類比的設計，不但沒有增加學生的認知負荷，反之，可能因為兩個類比強化目標領域與類比領域之間的結構關係，協助學生形成基模，因而有助於兩領域關係及高階關係之改編關係上的觸接。而這樣的結果，除與上述後測晤談時學生顯現解題速度較快及運用模式檢視答案正確性的結果相互呼應外，我們也可以由學生的口語原案獲得進一步的佐證。由學生的口語原案中，研究者發現，單一組的學生於改編階段時，多回答物件上的對應，至於改編所須要的關係對應，學生則通常無法順利回答。例如：

表 13：單一組與相似組單位時間對應回憶正確率之差異考驗

	單一組		相似組		
	Medium	Mean Rank	Medium	Mean Rank	
單位時間對應回憶正確率	30.80	7.75	40.65	9.25	26.00
單位時間改編回憶正確率	1.60	6.00	2.70	11.00	12.00*
單位時間總回憶正確率	32.60	7.63	44.70	9.38	25

*$p < .05$（exact sig., 1-tailed）

表 14：相似組與互補組單位時間對應回憶正確率之差異考驗

	相似組		互補組		U
	Medium	Mean Rank	Medium	Mean Rank	
單位時間對應回憶正確率	43.10	8.00	48.38	9.00	28
單位時間改編回憶正確率	4.55	8.38	5.14	8.63	31
單位時間總回憶正確率	43.74	7.88	50.4	9.13	27

*$p < .05$（exact sig., 1-tailed）

單一組#908

（題目：？聯的斷路，電流依然可以流通）

S：就好像水流。

Gentner 等人（Gentner & Gentner, 1983; Gentner & Jeziorski, 1990）認為好的類比設計須在物件、屬性、關係及高階關係上與標的領域產生結構對應，且當類比達成效果後，這些低層次的屬性應該淡出，以免造成學習干擾。而由本研究實驗結果顯示，相似類比的設計以圖像及文字兩種表徵形式的嚴格對應，凸顯類比表徵之間及類比領域與標的領域之間的關係結構，協助障礙賽類比、簡單用水系統類比及電學通路領域之間的轉化自動化，而非僅止於物件上的對應，以減少低層次屬性的額外記憶應可符合 Gentner 等人的期許。

而由相似組及互補組之間障礙賽的比較結果觀之，兩多重類比組的情形極為相似，但研究者進一步就學生回答的口語加以分析，結果發現：相似組與互補組於統計考驗上雖無顯著差異，但其回答的內容卻有明顯不同。由相似組改編階段的口語觀之，有四題對應錯誤的原因是由於障礙賽與簡單水類比兩類比的混淆，而這種情形，在互補組中僅有一例。例如：

相似組#711＜障礙賽類比干擾簡單水類比＞

（題目：？聯的斷路，電流依然可以流通＜用水系統＞）

S：並聯，兩條獨木橋斷掉一個依然可以通過。

故而研究者推測這樣的結果可能是因為

互補組的兩個類比的設計確實清楚地劃分出兩類比領域專司的觀點（perspective），因此學生能明確地區辨出障礙賽類比適用於通路概念，而複雜水類比則利於燈泡亮度的表徵，毋須額外消耗認知負荷以區別兩個類比表徵，因而減低類比相互混淆的情形。

三、學生對類比教材之態度

除了瞭解多重類比對於電學學習及回憶對應之認知負荷的影響外，本研究亦從學生角度出發，瞭解其對於所設計之類比教材的態度。茲將問卷結果整理如下：

(一)學生對各類比幫助概念學習的態度

圖 6 及圖 7 呈現三類比組的學生對於所教授之類比是否有助於概念學習的同意程度。由此二圖觀之，學生普遍認為所教授之類比有助於電學概念的學習，且其中最為明顯的是互補組對於複雜用水系統的高同意度，其次則是相似組與單一組對於簡單用水系統的同意程度。此外，相似組的學生對於簡單用水系統的類比幫助概念學習之肯定度優於同組教授的障礙賽類比，而同樣是障礙賽類比，相似組對其評比同樣也較互補組略低。這樣的情形可能由於相似組接受兩個類比的教學後有所比較，自覺受益於用水系統較多之故。

(二)學生對多重類比教材的態度

互補多重類比之設計的最大目標在於克服另有概念，而相似多重類比則著眼在形成基模，但就學生的觀點來看，是否真能達成這些目標呢？抑或僅是徒增學習的負擔呢？

由圖 8 觀之，學生咸認為多重類比的設計有助於察覺類比領域與目標領域之間有所不同，且以互補組的同意度較高，可見學生大多同意多重類比有助於克服另有概念這項功能。反之，相似類比的功能其實是限制解釋，因而學生若能察覺類比領域與目標領域之不同，多在物件層次的對應。至於兩個類比對於相似組之通路學習是否有所助益？8 位學生中有 6 位同意這樣的說法，2 位認為非常同意，可見學生對於多重類比有助於基模形成這項功能亦持正面肯定的態度。

若問及多重類比是否增加學習負擔，相似組與互補組的意見並不一致。由圖 9 看來，相似組咸認為多重類比並不會增加學習負擔（包括非常不同意及不同意），反之，互補

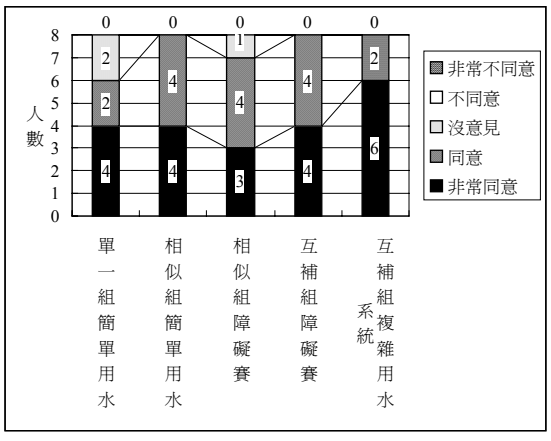


圖 6：各組對「教材所用之類比是否幫助瞭解概念」的同意程度

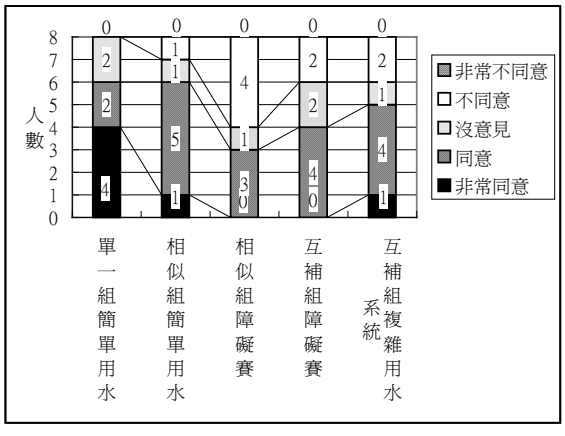


圖 7：各組對「缺乏該類比，概念學習會有困難」的同意程度

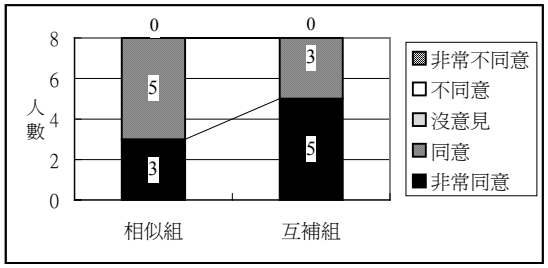


圖 8：「教材中用兩種比喻，較能察覺電和比喻之間有不同地方」的同意度

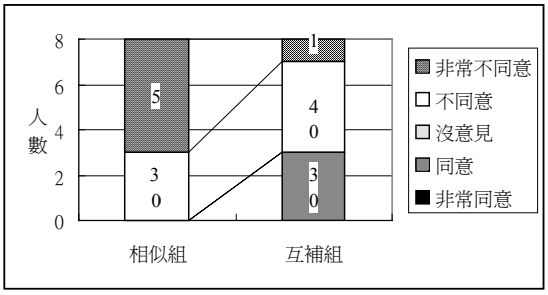


圖 9：「多重類比會增加學習負擔」的同意度

組雖有 5 人認為兩個類比不會增加學習負擔，但亦有 3 人持反對的看法。

多重類比組的學生對於所閱讀的兩個類比的喜好會否不同？其理由又是什麼呢？由表 15 觀之，相似組的學生較喜歡簡單用水系統與較喜歡障礙賽者皆為 4 人。其中，喜歡簡單用水系統的學生有 2 人認為此類比較能幫助通路概念的瞭解，另有 2 人認為水和目標領域較為相似，而其中 1 人更明確提到相像的部分在於水流的速度較人跑步的速度為快，因此和電流較為相似。至於喜歡障礙賽的學生則有 2 人因為自己喜歡運動、跑步，所以較喜歡這個類比，此外，有 1 人認為簡單用水系統中以「堵塞」來比喻斷路的情形，因此覺得獨木橋斷掉的比喻跟燈泡「拿起來」較為相像。

至於互補組喜好複雜用水系統與喜好障礙賽的學生也各為 4 人。由表 16 觀之，喜好複雜用水系統者，多因為此類比和目標領域的情形較為相近，而喜歡障礙賽的學生則多認為障礙賽的類比較簡單、生動、易於瞭解。值得注意的是，其中有一名學生（#428）自發地覺察到複雜用水系統亦可同時表徵通路的概念，因此認為此類比較佳。

綜上所述，無論是互補組或相似組，選擇障礙賽類比的學生似乎較偏向情意方面或表面相似性，這樣的情形是否會影響學習成就？此外，相似組的學生提到因為「喜歡運動」所以選擇障礙賽，而這兩名學生恰巧都是男生，性別與興趣是否會影響類比喜好的選擇，進而對學習有所影響？這些因素也許都是影響類比設計的重要因子而待後續研究進一步探查。

(三)對類比教材的態度

就三類比組 24 位學生的問卷整理發現，全部的學生皆喜歡以類比方式設計的教材。由表 17 所整理的理由看來，大部分學生喜歡此種教材的原因在於類比能幫助學習，若再細分有助於學習的因素，則又以幫助理解的認同度最高。至於其他的理由，則以「趣味性」及「學到更多東西」居次。

(四)小結與討論

從學生的觀點檢視這些類比及多重類比教材的設計，結果發現學生普遍認為所設計之類比有助於電學概念的學習，且其中最為明顯的是互補組對於複雜用水系統的高同意度，而複雜用水系統類比與電學領域的確有較多可茲比較的結構特性數，故而此點與本研究多重類比設計原則 **3-1** 相互呼應。而在通路的表徵上，相似組學生對於障礙賽類比有助於概念學習的評比則略低於簡單用水系統類比，而若就同樣接受障礙賽類比閱讀的相似組及互補組觀之，相似組對障礙賽的評比同樣也較互補組略低。這樣的情形可能由於相似組接受兩個類比的教學後有所比較，

表 15：相似組學生喜好該類比的理由

相似組	理由	人數
簡單用水系統	水的簡單、較清楚、容易、速度快	4
	可以幫助瞭解（2 人）	
	比較像真正的電路	
障礙賽	獨木橋斷掉了跟一個電燈拿起來比較像	4
	喜歡跑步、喜歡運動（2 人）	
	比較好瞭解	

表 16：互補組學生喜好該類比的理由

互補組	理由	人數
複雜用水系統	比較瞭解電線的接法	4
	障礙賽有速度的差別，無法對應，用水系統的道理大部分一樣	
	等於告訴我們水車轉速、燈泡亮度及通路概念，障礙賽只告訴通路	
	跟實際情形比較相像	
障礙賽	用人比喻電流，可以瞭解電流的流動，比較容易記清楚	4
	簡單	
	較生動，比較聽得懂	
	比較像我們在說的電流	

表 17：學生喜歡以比喻方式教學的理由

理由		學生原案舉隅	人數*
幫助學習	理解	比較容易瞭解、不用死背瞭解到要教的東西（#432）	15
		只是講沒聽清楚，用熟悉的東西比喻，容易明白（#525）	
	具體	用比喻能讓我們知道它像什麼東西（#710）	3
	容易記憶	比較容易記（#908）	2
趣味性		像故事比較有趣、好玩（#917）	4
學到更多東西		比喻的方式讓我們知道更多課外知識（#429）	4
增加想像力		可以發現許多想像（#703）	1

*註：學生共 24 位，但人數重複計數。

自覺受益於用水系統較多之故。若就多重類比設計之原則觀之，此種現象顯示學生覺得簡單用水系統類比的概念顯著性優於障礙賽類比（**原則 3-3**）。但值得注意的是，若就情意向度加以考量，進一步詢問學生對於所閱讀的兩個類比的喜好會否不同？則簡單用水系統及障礙賽類比卻受到相同程度的支持。雖然選擇障礙賽類比的學生似乎較偏向情意方面或表面相似性，但這樣的情形是否會影響學習成就？又是否應成為設計類比及多重

類比教材時的一項重要考量，實值得進一步研究加以評估。

而就認知負荷的觀點觀之，有 3 名學生認為互補多重類比會增加其學習負擔，若將這樣的結果與上述認知負荷的測定結果相較，則顯示兩者之間似有些微不同。上述之認知負荷測定雖可見互補類比組的學生須花較多的時間進行標的領域與類比領域之間的對應回憶，但兩組之間的統計考驗並未達顯著。深究學生之所以認為學習負擔加重，乃因互補組學生在進行正式閱讀前須額外接受 20-30 分鐘有關類比領域的閱讀，而閱讀內容中水位、能量轉換的概念並不在小學的課程範圍內，因此有學生會回答負擔較重。而研究者所測定的回憶對應的認知負荷乃測定其完成學習後心智操弄得運作，故而兩個面向略有不同，因此有 3 名學生同意加重了認知負荷是可以理解的。此外，若就這 3 名學生的學習成就（平均：50.7 分）與另 5 位學生（平均：52.2 分）相較，其間並無太大差異，且都高於另三組許多，亦顯示此種認知負荷乃源於事前的先備知識閱讀，而非電學多重類比教材所引致的結果。易言之，學生的反應再次強調了設計類比時考量學生對類比熟悉度的重要性（**原則 1**），亦提醒教材設計者教材編排順序的重要性，此外，當單一類比或多重類比的設計受到先天條件限制時（例如：本研究中學生並未學習過複雜用水系統的概念），如何轉化或鷹架類比表徵之觀點、精確度、形式、特殊性及複雜性，更是值得教材設計者深思再深思的考驗。

伍、結論與建議

本研究整合類比及多重表徵研究取向開發多重類比設計原則並以之發展多重類比教材，意欲藉由檢驗學生學習成就、認知負荷時間測定及對教材的態度瞭解此套多重類比設計原則的適用性，以下總陳研究發現。

在電學概念整體學習成就上，三類比組（單一類比、相似類比及互補類比組）皆優於控制組，而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顯著差異，這樣的表現足見類比對於概念學習的確有極大的助益。若再細究各組於通路及能量主題上的表現，則顯示在通路主題上三類比組皆優於控制組，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。這樣的結果乃因相似類比教材的安排主要希望達成形成基模的目的，而學生形成基模或有助於其回答較為困難的電流分支問題，或有助於其解題方式、速度及對答案正確性的檢視（Black & Solomon, 1987）。有關前者，由於本研究後測並無太多困難的電流分支問題，故而學生的學習成就雖高於他組但未能達顯著差異；至於後者的表現，雖無法藉由學習成就測驗的量化結果顯現出來，但卻與認知負荷時間測定中，相似組較單一組具有較快且正確的改編過程相互佐證，並與大部分學生自評兩種類比的使用有助於其通路概念的學習的結果相互呼應。至於在能量主題上四組亦具顯著差異，且兩兩之間的六個比較中，互補組皆優於其他三組。這樣的結果顯示互補類比教材的安排有效協助學生克服用電流多寡解釋燈泡亮度的另有概念，致使其於能量及整體學習成就上皆優於其他三組。類似的結果亦反應在學生對於所設計教材的看法，大部分學生皆同意所設計的類比教材有助於概念的深層理解，且以複雜用水系統類比為最。此外，兩種多重類比的設計皆有助於學生察覺類比領域與標的領域之間的不同。

而在多重類比可能造成認知負荷的質

疑上，研究者認為相似類比的運用可能促進學生通路基模的形成，因而相似類比組與單一類比組在關係改編的結果比較上顯示了相似類比組有較快且正確的觸接，認知負荷較低。至於相似類比組與互補類比組之間的比較則較不突出，這可能是因為相似組兩類比（簡單用水系統類比及障礙賽類比）的運用除形成基模外，亦可能相互干擾增加認知負荷，而互補類比所學習的是兩個截然不同的類比（障礙賽類比及複雜用水系統類比）運用在不同的次領域，相互干擾的情形可能不嚴重，但增加學習的認知負荷可能是難以避免的。但由研究結果顯示，多重類比組與單一類比組在共有的類比與標的領域的對應上，無論是回憶時間及單位時間回憶正確率皆無顯著差異，唯一有顯著差異者則出現在相似類比組與單一類比組改編階段的回憶時間及單位時間回憶正確率上。若再對照學生的口語原案及對類比教材的態度問卷，研究者發現經過設計的多重類比或有可能對學生的學習造成干擾，但程度不大，因而其反應在多重類比組與單一類比組的認知負荷測定皆未達顯著，而唯一讓學生認為認知負荷加重的主要原因則在於學生對於「複雜用水系統類比」的先備知識不足，須額外補充類比領域的知識，是整個教材設計美中不足之處。

綜上所述，多重類比的確對於克服另有概念有著極佳的成效，但亦可能造成認知負荷，而設計良好的多重類比則有助於緩和可能造成的認知負荷。本研究整合 Zeitoun（1984）、Glynn（1991）對類比的評鑑判準、Gentner 和 Gentner（1983）對類比結構映射的原則及 de Jong 等人（1998）對多重表徵向度的區分、Ainsworth 等人（Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 1998）對多重表徵之間的轉化原則開發合適的多重類比教材，經由量化統計及質性口語晤談分析等多種方式檢測教材的成效，結果顯示教材能有效促進概念的深層理解，並緩和可能的認知負荷。值得一提的是，本研究中各組人數僅 8 人，其量化統計分析的結果實不宜過度推論，但本研究另外呈現豐富質性的資料，除與量化資料相互佐證外，更深入探討每個多重類比設計原則的應用機制。研究者之目的不僅僅只是呈現量化上是否達統計上的顯著差異，更希望能藉由詳盡地探討與原則闡明，以瞭解究竟應如何設計出良好的多重類比，又這些類比是以怎樣錯綜複雜的方式影響著學生的科學學習。此外。本研究所設計的相似類比主要僅應用到**原則 4** 與**原則 5** 中類比形式的轉化，而互補類比亦只應用到類比觀點的區分以促使轉化自動化，尚未涉及多重表徵間「精確度」、「特殊性」及「複雜性」向度的實證，但初步探究結果已顯現整合二者的設計原則作為多重類比教材設計時參考依據的潛力。但顯然的，多重類比的運用並非徒然不須付出代價，除了認知負荷的考量外，Gentner 和 Jeziorski（1990）亦提醒我們設計不良的多重類比反而會造成學習的障礙。如同 Ainsworth（1999）所言，若多重表徵的使用反而讓人覺得衝突和困惑就應避免。教材設計者應首重類比運用的必需性，待確定其使用的潛力和結果，接著才有進一步考量如何評鑑和支持其使用的問題。此外，類比是一種具特殊結構的表徵，不同的學習者擁有不同的先備知識，因而對於如何鷹架類比領域與標的領域便是一項艱鉅的考驗。幸而目前電腦科技的發達，藉由電腦科技更為彈性、動態、創新及精確的特質，結合類比與多重表徵設計原則應可更明確地掌握如何因應不同的學生提供不同層次的鷹架，而提升多重類比對科學學習的助益。

致　　謝

感謝本所吳心楷教授對本文撰寫給予諸多寶貴建議，而本文在投稿過程中，亦復蒙審稿委員提供甚多卓見與建議，均此致謝。

參考文獻

1. 邱美虹和林靜雯（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。
2. 林靜雯（2000）：由概念改變之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。台北市：國立臺灣師範大學碩士論文（未出版）。
3. 高淑芬（1997）：類比對國二學生科學概念學習之影響。台北市：國立臺灣師範大學研究所碩士論文（未出版）。
4. 國立編譯館（1997）：國民小學自然科學習六冊（三上）改編本九版。台北市：國立編譯館。
5. 陳恆迪（1993）：國中學生物理概念類比學習之研究。彰化市：國立彰化師範大學碩士論文（未出版）。
6. Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, *33*, 131-152.
7. Ainsworth, S., Bibby, P., & Wood., D. J. (1998). Costs and benefits of multi-representational learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen and T. de Jong (Eds.), *Learning with Multiple Representations*. (pp. 120-134). New York: Pergamon.
8. Arnold, M., & Millar, R. (1988). Teaching about electric circuits: a constructivist approach. *School Science Review*, *70*(251), 149-151.
9. Black, D. E., & Solomon, J. (1987). Can pupils use taught analogies for electric current? *School Science Review*, *69*, 249-254.
10. Burstein, M. H. (1988). Incremental learning from multiple Analogies. In A. Prieditis (Ed.), *ANALOGICA: The First Workshop on An Analogical Reasoning*. (pp. 37-62). Boston: Pitman.
11. 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), 429-464.
12. Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring instruction to deal with students preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(10), 1241-1251.
13. Closset, J. L. (1984 July). *Sequential reasoning in electricity*. Paper presented at the Research on Physics Education, La Londe les Maures, Paris, France.
14. Cohen, R. (1984). *Causal relations in electric circuits: students*. Paper Presented at the Aspects of Understanding Electricity, Ludwigsburg.
15. 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.
16. Collins, A., & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & Quinn (Eds.), *Cultural Models in Language and Thought* (pp. 243-265). Cambridge University Press.
17. Consnter, K. M., & Herman, M. F. (2000). MSaTERs: Mathematics, Science, and Technology Educators & Researchers of The Ohio State University. *Proceedings of the Annual Spring Conference (4th, Columbus, Ohio, May*

6, 2000). (ED452096)

18. Conver, W. J. (1999). *Wiley series in probability and statistics: Applied probability and statistics section* (3rd ed). New York: Willy.
19. de Jong, T. Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., Sime, J., van Someren, M. W. Spada, H., & Swaak, J. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics: The use of multiple representations in technology-based learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with Multiple Representations* (pp. 9-40). Pergamon: New York.
20. 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.
21. Duit, R. (1984). *The meaning of current and voltage in everyday language and its consequences for the physical concepts of the electric circuit.* Paper presented at the Aspects of Understanding Electricity, Ludwigsburg.
22. Duit, R.(1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, *75*(6). 649-672.
23. 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.
24. Gellevij, M., van der Meij, H., de Jong, T. & Pieters, J. (2002). Multimodal versus unimodal instruction in a complex learning context. *The Journal of Experimental Education*, *70*(3), 215-239.
25. 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.
26. Gentner, D. & Jeziorski, M. (1990). *Historical shifts in the use of analogy in science*. Reports for Office of Educational Research and Improvement (Ed), Washington, DC.; Office of Naval Research, Arlington, ED318987.
27. Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, *15*(1), 1-38.
28. Glynn, S. M. (1991). The explanation of science concepts: An analogical teaching model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton. (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. Mahwah, New Jersey: Lawence Erlbaum Associates.
29. Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In M. Shawn, S. M. Glynn, Reinders, & R. Duit (Eds.), *Learning Science in School: Research Reforming Practice*. Mahwah, New Jersey: Lawence Erlbaum Associates.
30. Green, M. (2000). "How long does it take to stop?" methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, *2*(3), 195-216.
31. Harrison A. G., & Treagust D. F. (1993). Teaching with analogy: A case study in grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(10), 1291-1307.
32. Holyoak, K. J. & Thagard, P. (1995). *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought.* London: MIT.
33. Holyoak, K. J., Novick, L. R., & Melz, E. R. (1994). Component processes in analogical transfer: Mapping, pattern completion and

adaptation. In K. J. Holyoak & J. A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory: Vol 2. Analogical Connections* (pp. 113-180). Norwood, NJ: Ablex.

34. Keane, M. T. (1990). Incremental analogizing: Theory and model. In K. J. Gilhooly, M. T. Keane, R. Logie, & G. Erdos (Eds.). *Lines of thinking: Reflections on the psychology of thought* (vol. 1). New York: Wiley.
35. Keane, M. T., Ledgeway, T., & Duff, S. (1994). Constraints on analogical mapping: A comparison of three models. *Cognitive Science*, 18, 387-438.
36. 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.
37. Montirosso, R., Brambilla, D., Felisari, G., Sclaunich, F., Filipponi, E., Pozzoli, U., & Bresolin, N. (2002). Electrophysiological analysis of cognitive slowing in subjects with mitochondrial encephalomyopathy. *Journal of the Neurological Sciences*, *194*(1), 3-10.
38. Newell, A. (1982). The knowledge level. *Artificial Intelligence*, *34*, 87-127.
39. Osborne, R. (1981). Children's ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, *29*, 12-19.
40. Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: the implications of children's science*. Auckland and London: Heinemann.
41. Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 429-434.
42. Paas, F., Van Merriënboer, & Jeroen J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, *6*(4), 351-371.
43. Peterson, M. J., Meagher, R. B., Chait, H., & Gillie, S. (1973). The abstraction and generalization of dot patterns. *Cognitive Psychology*, *4*, 378-398.
44. 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.
45. Rohr, M., & Reimann, P. (1998). Reasoning with multiple representations when acquiring the particulate model of matter. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen and T. de Jong (Eds.), *Learning with Multiple Representations* (pp. 41-66). New York: Pergamon.
46. Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1981). Analogical processes in learning. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive Skills and Their Acquisition* (pp. 335-359) Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
47. Shipstone, D. (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.
48. Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Joran, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, *13*(3), 373-400.
49. Solomon, I. (1994). Analogical transfer and "functional fixedness" in the science classroom. *Journal of Educational Research*, *87*(6), 371-377.

50. Spiro R. J., & Others (1988). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advanced knowledge acquisition. *Technical Report*, No. 439. (ED301873)
51. 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 knowledge acquisition. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning*. New York: Cambridge University Press.
52. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, *12*, 257-285.
53. Thagard, P. (1988). Dimensions of analogy. In D. H. Helman (Ed.), *Analogical Reasoning* (pp. 105-124). Boston: Kluwer Academic Publishers.
54. Tenny, Y. J. (1984). *What makes analogies accessible: Experiments on the water-flow analogy for electricity*. Paper presented at the Aspects of Understanding Electricity, Ludwigsburg.
55. 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.
56. Verney, S. P., Granholm, E., & Dionisio, D. P. (2001). Pupillary responses and processing resources on the visual backward masking task. *Psychophysiology*, *38*(1), 76-83.
57. Von Rhoneck, C. (1981). *Students' conceptions of the electric circuit before physics instruction*. Paper presented at the International Workshop on Problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge, Ludwigsburg.
58. 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.
59. Zeitoun, H. H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science and Technology Education*, *2*, 107-125.

Integrate the Research Approaches of Analogy with Multiple Representations to Investigate the Design of Multiple Analogies Effecting Pupils' Electricity Concepts Learning

Jing-Wen Lin and Mei-Hung Chiu
Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

Spiro et al. (1989) thought multiple analogies could overcome alternative conceptions, but care should be taken to avoid increasing cognitive load. Well designed multiple analogies could contribute to moderate possible cognitive loading. In order to investigate this issue, the authors designed instructional materials for teaching electricity. These materials were based on literature reviews which integrated the design views of analogy (Glynn, 1991; Gentner & Gentner, 1983; Zeitoun, 1984) as well as the transformation views of multiple representations (de Jong et al., 1998; Ainsworth, 1999; Ainsworth et al., 1998). Furthermore, researchers selected 32 middle achievement students from fourth grade and randomly assigned them to a control group, a single analogy group, a similar analogies group and a complementary analogies group to investigate the effect on pupils' electric current learning achievement, measurements of cognitive loading and attitudes toward the designed teaching materials. The results showed that the teaching materials which integrated the approaches of analogy and multiple representations could promote understanding of electricity concepts, moderate possible cognitive loading, and positive attitudes toward concept learning as well as highlighting the differences between the analogy and target domain. It is noticeable that the design principles integrated with the research approaches of analogy and multiple representations could contribute to the design of multiple analogies teaching materials.

Key words: Analogy, Multiple Representations, The Design Principles of Multiple Analogies.