科學教育學刊
2006, 第十四卷第一期, 55-81

Chinese Journal of Science Education
2006, 14(1), 55-81

以述詞分析法探究多重類比對兒童電學概念改變之影響

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 92 年 3 月 13 日，修訂日期：93 年 10 月 22 日，接受日期：94 年 3 月 1 日）

摘要：近二十年來，有越來越多科學教育的研究支持類比及多重類比對於學生學習複雜概念之成效的卓越貢獻（Chiu & Lin, 2005; Duit, 1991; Glynn, 1989; Spiro, Feltovich, Coulson, & Anderson, 1989; Venville & Treagust, 1996; 邱美虹和林靜雯, 2002），但論及類比對於概念改變的助益時卻顯得眾說紛紜。Dagher（1994）認為此乃因檢測類比對於概念改變的意涵時，缺乏層級及視野之定義之故。據此，本研究利用多重類比的設計，選取國小四年級中等程度學生 32 名，隨機、平均分配至對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組，以探查多重類比對電學概念學習的影響，並藉 Chi（Chi, 1992; Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994）之本體架構，以述詞分析（Slotta & Chi, 1995）為判准，釐清類比於概念改變中的定位。研究結果顯示：多重類比有助於電學概念的學習，且學生對於電流概念的本體分類經述詞分析後發現，互補性多重類比有助於兒童於電學概念學習時，由物質本體跨越至過程本體的概念改變。再者，唯物類比並非阻礙學生概念改變的主因，真正妨礙學生概念改變的是其將電流視為物質的預設。反之，只要類比的設計慮及欲教授概念的本質及預設，將有助於提供具體表徵，協助學生審視自我概念與科學概念的異同，進而造成概念改變。

關鍵詞：多重類比、述詞分析、概念改變

壹、緒論

根據國內外相關研究指出，由於電領域中的主概念具有高度的抽象性、複雜性且無法直接觀察，因此學生不論於何種年齡學習，皆容易產生與科學家或課堂中教師所教授之科學知識迥異的另有概念（陳瓊森, 1993; Arnold & Millar, 1987; Shipstone, 1984）。因而科學教育學者嘗試根據學習理論研發出各種教學策略以幫助學生學習。其中，「類比教學」便是廣被研究者所推崇的一種策略（Duit, 1991; Harrison & Treagust, 1993），而 Spiro, Feltovich, Coulson 和 Anderson（1989）

更進一步指出，當所欲教授的新概念越複雜、結構越不完整時，便越須利用多個類比和較多已知的概念進行整合，藉由多個類比間多重表徵之互補或加強的特質，幫助學生建構科學概念並有效克服另有概念，而電學正好是值得探討的主題（Tenney, 1984）。

據此觀點，研究者特別針對電學概念設計多重類比，系統性地探究學生電流心智模式改變的情形及其原因（Chiu & Lin, 2005; 邱美虹和林靜雯, 2002），研究結果發現：多重類比有助於學生電學概念的學習，且互補性多重類比有助於學生克服能量學習方面的另有概念，而增進此概念的學習，至於相似性多重類比組則藉著穩固通路概念的基模，而對此概念的理解略有助益，在此又進一步肯定了類比對於教學的助益。而在此研究中，學生的心智模式之所以轉變、學習概念之所以增進，最主要的原因乃由於多重類比有助於提供多重具體表徵以增進後設覺察之故。但另一方面，研究者亦發現許多學生對於特定心智模式具有某種程度的一致性，且並非所有類比的設計皆有助於概念改變。為什麼會這樣呢？究竟類比於概念改變中的定位為何呢？研究者擬先整理各家對於類比是否有助於概念改變的觀點，接著再進一步探討多重類比於兒童電路學習之概念改變的影響，以釐清類比於概念改變中的定位。

貳、研究目的與問題

本研究主要欲深究的目的有二：一是比較不同多重類比設計對於學生（對照組、單一類比組、相似類比組及互補類比組四組）電學概念之學習成就的影響；再者，則經由學生口語邏輯的使用，進一步探查四組學生經不同教學後，其概念本體變化的情形，以釐清類比於概念改變中的定位。

根據上述研究目的，本研究所欲深入探討的研究問題如下：

1.四組學生在電學成就測驗成績上是否有所不同？

若有不同，則進一步探討：

1-1 四組學生於電學成就測驗中以「物質」本體為主的概念之表現是否有顯著差異？

1-2 四組學生於電學成就測驗中以「過程」本體為主的概念之表現是否有顯著差異？

2.不同學習組的學生於以過程本體為主的概念中所使用的述詞是否有所不同？

若不同，則進一步探討：

2-1 各組學生在物質述詞上的表現如何？

2-2 各組學生在過程上述詞的表現如何？

2-3 各組學生在心智狀態上述詞的表現如何？

3.不同學習組的學生其概念改變情形的比較？

叁、文獻探討

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（e.g. Duit, 1991; Glynn, 1989; Venville & Treagust, 1996），但無可諱言地，類比的使用有其限制性，若使用不當反而會造成學生的另有概念。針對如何克服另有概念，Spiro 等人（1989）認為以多重類比加以整合、矯正是項極具潛力的作法，許多學者亦盛讚此種方式的可行性。故此，本研究植基於此種論據，希冀藉由不同多重類比的設計加以探討其對於電學概念學習成就及概念改變的影響。以下便就概念改變、類比與概念改變及電學之迷思概念之

間的文獻交互探討，奠定多重類比之研究的理論基石。

一、概念改變

科教上概念改變的議題肇始於 1980 年代另有概念運動的蓬勃，其強調知識的獲得是建構的過程，學習者會主動地產生另有命題（Tyson, Venville, Harrison, & Treagust, 1997）。而截至目前為止，有關概念改變的理論仍處於百家爭鳴之期，故而欲對概念改變的觀點提出一操作型定義實屬不易（Keil, 1999），而研究者綜覽各家概念改變的理論，認為 Chi 由本體論觀點闡述學生的概念改變，不但提供了概念改變一個清晰的理論架構，更提出了一套有實徵佐證的具體判準，故本研究選擇其理論及方法，針對多重類比於電學上所扮演的角色詳加探究。茲將 Chi 的理論及判準方式詳述於下：

(一)Chi 之本體論的概念改變理論

Chi（Chi, 1992; Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994）基於認識論、形上學及心理學的假設提出不相容假說（incompatibility hypothesis）。他認為科學學習之所以困難乃由於學生在表徵某科學概念的類別時，常與其在科學上真正隸屬的類別相左，因此學生很難對這個概念產生徹底的理解。

據此，Chi（1992）提出本體論的概念改變觀。他指出世界上的實體分屬不同類別，而當討論科學概念學習時，研究者可以將焦點著重在物質、過程與心智狀態這三個相互獨立的概念樹。所謂的「物質」泛指含有特定屬性（attributes）者，「過程」則指事件的發生，而「心智狀態」則指關乎情意的概念（Chi et al., 1994）。至於所謂的概念改變即指概念類別的轉換，又可區分為本體類別內的概念改變和跨本體類別的概念改變。當類別內的概念改變發生時，概念本身並不改變其原有的基本意義，因此可視為概念的遷徙或重組，屬於較易進行的概念改變，至於跨類別的根本概念改變乃指概念由原屬的類別轉移到另一個不相容的類別，屬於較難進行的概念改變。

(二)概念改變本體論的判準

究竟我們如何知道概念改變發生了？又如何判斷概念改變的情形呢？以電流為例，Chi 等人（Chi, 1997; Slotta, Chi, & Joram, 1995）認為生手初始學習電學概念時常認為電池會「發射」「固定」的電流，而燈泡會「吸收」或「阻礙」電流，此種語言邏輯的表現顯見其將電流視為「**物質**」的類別。但根據科學家認可的物理理論而言，電流實際上應被視為**滿足限制條件之交互作用**（constraint-based interaction, CBI）的「**過程**」概念，乃由「兩點之間的電位差」所致。而此種過程本體中特殊的 CBI 概念，不但迥異於物質本體，甚至與其它過程次類別的特質亦完全不同（詳見表 1），而大部分較難學習的科學概念正是歸屬於此（例如：光、熱、電）（Chi, 1992）。故此，若學生將電流當作是似液體的物質在電線裡面流動，或有助於其通路概念的學習，因而能獲得較高的通路學習成就，但根據不相容假說，他們在後續的學習中，將極難瞭解電流是平衡條件下電荷淨移轉的結果（Slotta et al., 1995）。因此 Chi 等人認為概念成就測驗的對錯或高低無法反應出學生概念改變的情形，而希冀藉由分析學生答題時運用語言邏輯的微小差異，判斷出學生預測的種類究竟屬於那個本體。

針對 Chi 等人以述詞分析作為學生概念改變的判準，有學者批評其脫離了概念的情境，過於偏向語法，是武斷、瑣碎、二分的（Vosniadou & Ioannides, 1998; Rohr & Reimann, 1998），但 Chi 等人在接續理論的實徵研究上卻實實在在地顯示了此種僅是判斷語言邏輯

表 1：事件概念與滿足限制條件的概念所具有的特質（Chi, 1997; Ferrari & Chi, 1998）

事件概念	以限制為基礎之交互作用的概念
1.明顯的行動（distinct actions）	1.一致的行動（uniform actions）
2.有界限的（bounded）（含起點和終點）	2.無界線的（unbounded, ongoing）
3.序列的（sequential）	3.同時發生的（simultaneous）
4.偶然的事件、因果關係的（contingent and causal）	4.獨立事件、隨機的（random）
5.目的導向的（goal-directed）	5.淨效應（net effect）
6.終止的（terminates）	6.持續不斷的（continuous）

而非概念正確性的作法支持了其假設。首先，在 Slotta 等人（1995）的研究中，其分析專家與生手於領域內與領域間概念改變之表現，確立了專家與生手使用述詞的差異性。接著，在 Slotta 和 Chi（1996）的電學研究中，他們先設計無關乎電流概念而僅關乎 CBI 本體特質的教學，再利用之前研究的述詞編碼為判準（Slotta et al., 1995），檢驗接受 CBI 訓練的大學生在面對電流之 CBI 屬性的情境時，述詞使用是否有所差異。實驗結果顯示接受訓練的實驗組較對照組更能掌握 CBI 屬性，是電流概念改變的一項有力證據；再者，其於天擇概念的研究時（Ferrari & Chi, 1998），更進一步顯示了即便瞭解正確的達爾文演化原則，卻亦可能因錯誤使用本體而致使演化的迷思根深柢固，相反的，當學生擁有正確的本體類別時，將有助於天擇概念的概念改變。

Slotta 等人（1995）認為 Chi 之本體分類論若是成立，我們應藉由教學語言的調整避免某些隱喻和類比。例如水類比即為一種極流行的電流教學模式，但其直接面臨主題的唯物概念，因此便須避免。於此，針對此論點及整個述詞分析法，筆者認為有幾點仍是值得我們深思與商榷的：

1.概念系統可以分解成許多次系統，而電流系統本身並不單純只有 CBI 的屬性。所以當受試者的年齡層不同時，教學所著重之概念本質的視野是否應有所不同？
2.過程的描述在語言上的確較物質的描述錯綜複雜，但 Slotta 等人認為這樣的複雜性對九年級的學生尚非難以得致的境地。但換成是四年級或是其它程度的學童是否亦是能力所及呢？
3.Slotta 等人認為調整教學語言可以避免直接衝擊學生的唯物核心因而在電學教學時應避免水類比的教學，但筆者認為若學生在未以此種類比教學前便已先擁有此種唯物特質，那麼究竟應消極避免比喻性文字，或是積極設計類比教學以協助學生學習電學便是值得深入探討的議題。

而這些問題，筆者亦將在研究過程及結果中一一回應。

二、類比與概念改變

類比對於教學的貢獻實無庸置疑，但論及類比對概念改變的助益時則眾說紛紜。為什麼會這樣呢？以下擬整理各家的說法，藉以初步瞭解類比於概念改變中的定位。

(一)類比有助於概念改變

Duit（1991）認為類比在概念改變上扮演著重要的核心，因為它具有衍生（generative）

的特質，可以同時再建構新、舊兩領域的資訊。Brown（1992, 1993）則指出當學生具有迷思概念時，單以支持性的例子說明原理和應用範圍可能是無效的，若協助學生加入類比，則能充實學生對標的領域的表徵，因此可以幫助學生對問題的聚焦，衝擊其核心直覺，進而發生深層的概念改變。

在實徵方面，Stavy（1991）以丙酮和碘在密封試管中加熱揮發的類比性實驗，改變了學生原本以為丙酮揮發後就變少了的迷思概念。而 Clement（1993）的類比橋策略更被認為是眾多概念改變教學中極著名的的一種（Harrison & Treagust, 1993）。

(二)有關類比幫助概念改變的反駁

Chi（1993）認為類比是一種以既有知識結構同化新知識的學習方式，其實並不算是概念改變。以 Johsua 和 Dupin（1987）的火車類比電流之研究為例，Chi（1992）認為此研究的結果只停留在對應的推理上，並未達到真正的概念改變。至於前面所提到有關 Clement（1982）針對正向力理解所設計的類比橋，Chi 認為如此雖能達到概念改變的目的，但並不代表新概念和已存的迷思概念間建立起橋樑，而是意謂著新知識可在合適的本體樹內同化或建立。更甚者，Chi, Bassok, Lewis, Reiman, & Glaser（1989）更指出類比有時會變成概念改變的絆腳石，因為低成就者於解題時通常會參照範例，但他們僅僅利用表面特徵解題，而非如專家一般運用深層的結構對應，因此低成就者的類比解題並未能促進概念的獲得或改變。

(三)綜合性的評價

針對上述兩面的評價，Dagher（1994）也藉由對三個類比研究的回顧提出他的看法，其中亦包含了 Clement 的類比橋（Brown & Clement, 1989）及 Joshua 和 Dupin 類比電流的研究（Dupin & Johsua, 1989），此外，他另外還分析了 Harrison 和 Treagust（1993）有關 10 年級光學的類比教學。Dagher 指出在 Treagust 及 Clement 的研究中，類比的角色如同參考指標，以審核學生最初的解釋或臆測，進而提供修正概念的機會。而這三個研究中，雖然 Treagust 以及 Dupin 和 Johsua（1989）皆利用準實驗設計的方式，顯示出類比的正向貢獻，但僅 Clement 的研究清楚地指出其概念改變的層級。至於 Chi（1992）認為 Dupin 和 Johsua（1987）的研究僅限於局部的對應，而非深層且根本的概念改變。Dagher 則認為此研究雖非根本的概念改變，但可歸屬到非根本（nonradical）的概念改變。而 Treagust 的研究則因未討論到概念改變的類型或顯示出其以何種範例偵察，因此無法分析出類比於概念改變中的定位。另言之，作者認為是否歸屬到根本概念改變，尚須考量概念本質，而非根本的概念改變也應視為概念或教學上的重要意義！這樣的觀點和 Chi 於 1998 年所言：「只要類比能考慮到概念本質的部分，仍能成功地達到科學學習的目的」實有異曲同工之妙（引自邱美虹, 2000）。而相對於前面所述 Chi（1992, 1993）對類比的強勢反對，此時似有較為軟化的趨勢。另外，近年來，有關概念改變的構念於各方面都對根本概念改變有更卓越的定義，因此，為了給類比一個公平的評估，概念改變的派典須給予概念改變一個較寬的定義，以聯結命題和程序性知識以及考量和教育有關的情意和創造過程，而非僅將視野鎖定在特殊的科學概念上。

三、電流相關迷思概念

許多研究調查兒童對電的原始想法之後指出：8-12 歲的兒童一開始企圖使燈泡發光，大都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（source-consumer model）（Osborne, 1981; Tiberghien, 1983）。此外，在兒童的世界裡，電、電流和電能三者幾乎同義（von Rhoneck, 1981; Osborne & Freyberg, 1985; Shipstone, 1985），兒童傾向於認為電壓具有電流的特質，是電流的力量或強度，而非使電流流動的先備條件，顯見大部分學生對於電池維持一定電壓的想法極其有限。

在電學概念中，電流是學童最早學到的，因此有些研究者（Cohen, 1984; Von Rhoneck, 1984）認為「電壓等同於電流」的想法實根源於教學過早將注意力集中在電流所致。因此他們建議首次介紹電壓時，便應強調它是獨立電池的特質，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，亦有學者認為兒童首次接觸基本電學時，自然而然便會引入「流體的比喻」來表徵電（Dupin & Johsua, 1987），只是這樣的流體卻具有難以釐清的「混合」身份，而須同時考量「物質」和「能量」兩個向度：在串聯電路中，電流就像是「物質」的流體以固定的速率流動，水流便是極佳的代表；相對的，熱流的擴散作用便較能以「能量」的觀點來表徵電壓的消耗。教學時若沒有區分這兩個向度，學生將難以理解為何相同的流體會被消耗掉。

另者，兒童通常認為當電離開電池後，經過元件再回到電池的過程就如路中一連串發生的事件，而形成所謂順序推理的模式。Shipstone（1984）發現 13 歲的受試者中有 80% 持有這樣的觀點; Heller 和 Finley（1992）晤談 14 位中小學教師，亦發現無論是串聯或並聯的電路，這樣的觀點可說是電學知識的核心，強而有力地支持一致的命題。其它相關研究也支持這樣的結果，無論受試者的年齡為何，此項概念儼然是電路概念的硬核，極難改變（Closset, 1983; Shipstone, 1984; 陳啟明和陳瓊森, 1992; 陳龍川, 1992; 楊文金, 1992; 葉俊豪和陳瓊森, 1995）。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），且當電線未連接時，順序推理的模式會導致電流停滯而非流動的看法；而當完成通路時，這個模式也會和燈泡在瞬間發光的事實相衝突。許多研究者認為生活經驗及追蹤電流流動的教學是導致這種順序推理模式的原因，因此建議引介電的時候應同時聚焦在電能和電流這兩個向度（Tiberghien, 1983; Cohen, 1984; Duit, 1984; Arnold & Millar, 1988, 引自 Driver et al., 1994）。

肆、研究方法

本研究主要目的在於以電學為內容，藉由發展適當的工具，深入探討多重類比於概念改變時扮演的角色。以下將分就研究對象、教材設計的原則、研究流程、研究工具的發展過程以及資料分析的方法加以說明（詳細內容請見林靜雯碩士論文, 2000）。

一、研究對象

本研究選擇台北市一所小學進行研究。樣本的選取分為兩階段，第一階段先選擇願意配合的四年級班級，共四班 107 人，以深究學生在未教授電學之前的起始概念。第二階段則依據研究者自行編製之電學先備知識測驗的成績，以篩選出其中中等程度的學生 32 名。

有關這 32 名學生的選取程序如下：首先將班級界線打破，再依電學先備測驗選取

成績於總平均一個標準差以內的學生（Mean = 30.40; S.D. = 9.69）。但由於研究只須 32 人為施測對象，而原訂一個標準差的範圍過大，因此研究者便在此範圍內以分層抽樣再隨機分配至四組的方式進行，以確保四組學生成績的平均及分佈狀況皆相當。亦即由總平均成績上下開始選取，若得某成績的人數大於等於四人時，則隨機抽樣分配到四組；若某成績的人數少於四人，則捨棄此一層級。

二、教材設計

本研究教材分為四種形式：1.未含類比教材的對照組、2.單一類比教材組、3.相似類比教材組及 4.互補類比教材組。在學習內容上，分為電流通路及能量兩大向度，其中，通路乃以物質本體為主的概念，而能量則是以過程本體為主的概念。而在類比的選擇上，研究者考慮文獻上最常被引用的例子、學生的先備知識及欲教授的主要概念與類比領域間的結構對應關係（Gentner & Gentner, 1983）而選用簡單水循環類比、障礙賽類比及複雜水循環類比。其中，簡單用水系統及障礙賽類比主要用以表徵電學裡的通路概念，而複雜用水系統則的類比則用以表徵能量的向度。四組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確定研究教材之信、效度。茲將各組使用類比的情形及電領域與類比領域之概念對照列於表 2：

三、研究工具

本研究使用的研究工具連同上述之閱讀教材共 6 項，這些工具亦皆經上述之教材審定的專家的建議與修正，其使用流程如圖 1 所示：

茲將各項研究工具之內容及使用情形說明如下：

(一)電學先備知識測驗

此測驗的設計配合教材共分為六大題。題目皆為理解性問題，其 Cronbach α 為 0.85。

(二)練習教材

此練習教材的內容簡化自高淑芬（1997）研究中之類比教材—物質的三態變化，以協助學生熟悉一邊閱讀一邊解釋、整理的方式，並藉此瞭解何謂「類比」。

(三)互補類比組先備知識閱讀教材及測驗

互補組共使用「障礙賽」及「複雜用水系統」兩個類比，而其中「複雜用水系統」模式牽涉水位及能量的轉換，不僅非學童日常易見之物，學生在之前學校課程中亦未曾學習過，因此相對於單一組及相似類比組所使用的另兩個類比而言，兒童並不熟悉。故此，研究者在利用水類比教學前先加強學生來源領域的理解（Shipstone, 1985）。本研究改編自陳恆迪（1993）研究中的直立式水車循環類比，對照電學閱讀內容中所須的類比知識，詳細闡述水流動的速度如何受到水位高低及水所受阻力兩因素的影響，並讓互補組於正式閱讀前進行測驗，以瞭解學生先備知識的學習情形。但除此之外，先備知識閱讀教材內容並未有絲毫涉及電學的相關內容，以避免干擾後測成績的公平性。

(四)後測

研究者配合前測及閱讀內容的兩大向度：物質（通路）及過程（能量）自行編製晤談試卷，以瞭解學生學習成就及概念改變的情形。全部題目共十大題，二十小題，其中有十個小題除用以了解學生能量概念的迷思，也用以檢驗學生對於電流中屬於過程本體之語言邏輯的使用。茲以其中七-1 題為例（題目內容詳見附錄），藉以說明學生於此類

表 2：各組類比使用情形及電領域與類比領域之概念對照表

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
	電流	水流流動的情形	競賽人群移動的情形	水流流動的情形
	電線	大水管	跑道	水管
	電池	抽水機	升旗台	抽水機 + 水塔
	燈泡	小水管	獨木橋	水車
屬性	燈泡亮度	--	--	水車的轉速
	電壓（力）	--	--	抽水機將水抽高造成的力量
	電流的大小	--	--	水流的速度
關係	電池和電線連接	抽水機和大水管相接	升旗台和跑道相接	抽水系統和水管相接
	電線連接燈泡	大、小水管相連	跑道和獨木橋相接	水管和水車相接
高階關係	並聯的斷路，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

--表閱讀未呈現的類比概念

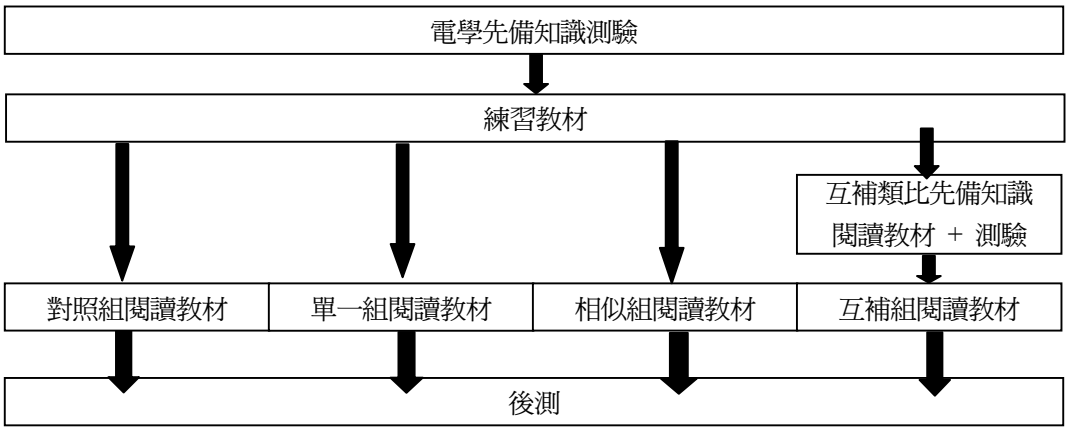


圖 1：研究工具使用流程

問題中若具有不同的概念本體時，其所可能展現之不同的語言邏輯：

學生對此類電流問題若將之歸於**物質本體**，可能口語舉例如下：

（對照組#913）

S：……就是這兩個[電流]到這裡（電線分岔處）會分散一點，分到這裡可能會亮一下又回來，所以一樣亮，分給它們的是一樣的量。

但若其具有過程本體的概念，此類問題的口語可能如下：

（互補組#424）

S：因為它們是並聯的，所以亮度就會同時下降，所以亮度就[和簡單電路一樣]沒有差別。

此外，整個晤談的過程採一對一的方式進行，除錄音外，並輔以學生紙筆繪圖及研究者實地觀察之紀錄，以捕捉學生思考的真實情境。

四、資料處理與分析

(一)電學先備知識測驗

電學先備知識測驗共分為六大主題，總分計 60 分。各測驗分數經平均及標準差的計算後，以作為第二階段研究對象選取之依據。

(二)後測

後測欲分析的向度有二：一、比較四組於閱讀後學習成就的差異；二、查驗學生教學後概念改變的情形。茲將分析方法詳細說明如下：

1.四組閱讀後學習成就的差異

後測的評分原則乃研究者根據修改自 King（1994, 引自邱美虹, 1996）發問問題的給分標準，就學生的答題類型訂定評分標準。評分標準制訂完畢後，研究者另請兩名評分者同就隨機抽樣的四份後測謄錄卷進行評分內容架構的檢驗，三者的一致性為 92.9%。至於各項成就比較上的考驗，由於每組人數僅有 8 人，因此本研究不考慮 ANOVA 而以 Kruskal Wallis Test（Conver, 1999）加以考驗。

2.利用述詞分析法檢驗概念改變

述詞分析法是 Slotta 等人（1995）根據 Chi 之本體分類的概念改變觀點所發展出的一套系統化、具體化的分析方式，在此詳細介紹此方法於本研究中實施的方式：

本研究中針對電流的概念區分為通路及能量兩部分。當講述通路概念時，便較著重在電流的「物質」向度，而講述「能量」部分時，則牽涉到電流的「過程」面向。因此在分析之前，研究者先將後測中屬於過程本體之題目挑出，再著手進行分析的工作。其中，過程屬性及物質屬性的述詞判定，筆者以 Slotta 等人（1995）的編碼判准（表 3、表 4）為主，但由於 Slotta 等人的研究乃以九年級學生為對象，概念層級隸屬 CBI 的類別，而本研究的受試者才四年級，所學的電流概念系統還未如此細分而僅止於過程層級，因此研究者輔以 Chi 本體樹的組織架構（Chi et al., 1994; Chi, 1997）作為分析判准。

分析的第一步，先由學生口語解釋資料中所包含的字詞、句子或想法，藉由本體屬性的基礎進行述詞歸類的分析。而 Slotta 等人（1995）提醒我們：過程屬性的分類有時會包含物質的元素或特質，因此於編碼時，研究者必須謹記這些編碼僅針對特定的概念。故此，計數時並非計算所有出現於編碼表中的字詞於解釋時出現的次數，而是針對學生就特定概念解釋時，這些特定字詞出現的頻率。分類建立後，研究者另請一位物理相關背景的評分者，就分類編碼架構進行檢驗，二者的評分一致性達 90% 以上再進行下一步

表 3：物質述詞的編碼及原案範例（Slotta et al., 1995）

物質述詞	原案範例
阻礙（Block）	保持、保存（keeps）；撞擊（hits）；撞擊、跳回（bounces off）；停止（stop）
包含（Contain）	含有；持有（holds in）；儲存（stores）；保有（keeps in）
移動*（Move）	去、前往（go）；留下（leaves）；來（comes）；流經（flows through）
停止*（Rest）	停止（stops）；停留（stays）；位於（sits）
消耗*（Consume）	耗盡（gets used up）；燒盡（gets burned up）；燒光、燒壞（burns out）；排去（drains）
吸收*（Absorb）	吸收、併吞（absorbs）、吸收（soaks up）、接受（takes in）
量*（Quantify）	一些（some）；全部（all）；最多（most）；最少（less）；沒有（none of）；很多（lots）；有一點（little bit）；一樣多（as much）
加色（ColorAdd）	加些像是裝飾用的顏料（adds like colored paints）；紅色加藍色變成紫色；就像用顏料上色（just like with paints）
累積（Accumulate）	填滿（fills up）；促進、發展（build up）；另外加上去（add on）；持續建造（keeps building）
補給*（Supply）	提供（provides）；發出（gives off）；來自（comes from）；從…出來（comes out of）
等量（Equivalent amounts）	每個燈泡具有相同的量（the same amount to all of the bulbs）；相等的分割（divides up equally）

*就電流而言，生手最常使用的物質述詞（Slotta & Chi, 1996）

表 4：歸為 CBI 的過程述詞編碼及原案範例（Slotta et al., 1995）

過程述詞	原案範例
移動過程*（Movement process）	電子在電場中移動
遷移（Transfer）	能量經過（杯子）傳播（energy propagate）；由這一個遷移到另外一個（transfer from one to another）
激發（Excitation）	須要很多能量激發它們（need a lot of energy to excite them）
交互作用（Interaction）	電子和磁場的交互作用（the interaction of the electric and magnetic fields）
尋求平衡*（Equilibrium seeking）	系統有自己的方式達到平衡（The system finds its way into equilibrium）
整個系統*（Systemwide）	這些都是並聯的（These are all in parallel）；…整個電線具有電場（……there's an electric field throughout the wire,…）；導線中從頭到尾都有電場…（there's a field present throughout the wire,）；每點的電壓皆相同（all see the same potential.）
同時*（Simultaneous）	他們同時具有相同的電壓（they all see (the potential) at the exact same time）
光是波的組合（Light as combined waves）	會有紅色和綠色的（光譜）線在上面（It would have red (spectral) lines and green lines in it）

*就電流而言，專家最常使用的 CBI 述詞（Slotta & Chi, 1996），另外還有一致的狀態（uniform state）以及獨立事件（independence）兩個述詞，但並未在 Slotta et al.（1995）的研究編碼表中出現。

驟。第二步驟即是先刪除與後測問答無關的口語，再將每位受試者的口語解釋依照分類表進行編碼。在此研究者參照 Slotta 和 Chi（1996）的作法，以每題的回答為一個大單

位，同一題中所有出現之相同屬性的述詞僅計數一次，繼而計數這些特殊述詞出現的次數。茲舉例說明如下：

對照組#406<後測六-1 題>

S：一樣亮？……，因為這個電池[流]到<移動>一個燈泡，再到<移動>一個燈泡，電流會比較快<速度 1>，…會比較慢<速度 2>，這個就是電..一個電池一下子就要用<供給>兩個燈泡，所以會比較快<速度 1>，所以電流就會用得<消耗>比較快沒電<數量>。

以此例而言，此名學生的口語中雖出現了 2 次有關「移動」、3 次有關「速度」、1 次有關「消耗」、1 次有關「數量」及 1 次有關「供給」的物質述詞，且其中有關速度的述詞一個是「快」，另一個是「慢」，亦非同一個述詞，但實際計數時，僅計數「移動」、「速度」、「消耗」、「數量」、「供給」這些屬性分類，因此其物質述詞出現的總計數為 5。

此外，顧及受試者口語的長度會影響述詞出現的頻率，因此第三步驟須進行標準化（normalized）的處理。首先，將每一位受試者解釋中未處理過的述詞頻率列成一覽表，再區分出物質及過程兩大類別，緊接著將這些頻率數除以總述詞單位總數。最後，再將這些經標準化的頻率輸入 SPSS 後，以 Kruskal Wallis Test 加以考驗四組學生概念改變的情形是否達顯著差異。

伍、結果與討論

一、學習成就的比較

為了解多重類比對學生電學學習成就的影響，研究者將四組閱讀後的成就差異經 Kruskal Wallis test 加以考驗後發現：

1. 在整體學習成就上，四組具顯著差異（表 5），於是進一步進行事後的多重比較（multiple comparisons）（Conver, 1999）得 M.C.值為 6.068，發現兩兩之間的六個比較中，僅單一類比組與相似類比組之間未達到顯著差異。
2. 在以「物質」本體為主的概念成績方面，四組具顯著差異（表 5），而進行事後的多重比較得 M.C.值為 7.277，且發現兩兩之間的比較中，任一類比組和對照組相較皆具有顯著差異，不過三類比組之間雖可看出相似類比組的成績略高於另兩組，但並不具有顯著差異。
3. 在以「過程」本體為主的概念學習成就上，四組具顯著差異（表 5），若再經事後的多重比較得 M.C.值為 5.570，這顯示兩兩之間的六個比較中，互補組皆優於其他三組。

由上述各項測驗成績的比較又再度佐證類比於學習成就上的助益，但類比於概念改變上所扮演的角色為何呢？研究者將於下段藉由學生口語原案之述詞分析以一

表 5：四組學生後測整體、物質概念、過程概念成績之 Kruskal Wallis Test 比較

	整體概念成績			物質概念成績			能量概念成績		
	中數	Mean Rank	Chi-Square	中數	Mean Rank	Chi-Square	中數	Mean Rank	Chi-Square
對照組	31	8.13	14.767***	15	8.81	7.571*	17	13.00	17.237***
單一組	38	14.50		22.5	18.88		15.5	12.00	
相似組	41.5	17.56		26	20.56		16	12.63	
互補組	54	25.81		23	17.75		28	28.38	

*p < .05（1-tailed）***p < .001（1-tailed），每組人數各 8 人。

窺究竟。

二、原案中出現的述詞及其屬性

於概念改變的比較上，研究者針對四組學生於後測中有關過程本體之問題進行述詞分析。在 32 份原案中共編集到物質、過程、心智狀態三本體樹中相關屬性 769 個單位(表 6)。其中物質述詞最多，佔總述詞出現頻率 89.60%，其次是過程述詞，佔 8.71%，而心智狀態方面則僅佔全部述詞的 1.69%。若分就四組所編集到的述詞總數觀之，則以對照組最少（137 個），至於另三類比組的數量則相去不遠，但以相似組為最多。對照組之所以數量最少的原因，一方面可能由於教材缺乏適當的類比，造致學生整體理解的情形較其他三組為弱，因此在後測時純粹只能以電路表徵直接判斷或以不知道回答，而缺乏深入的解釋，而這些電路表徵或「不知道」的口語並不屬於三本體樹中的任何一支，故並未加以編碼；另一方面，類比除幫助理解外，本身亦具有解釋的功能，因此對照組相較於其他三組，明顯欠缺可茲輔助的解釋語言，故口語都較為簡短。舉例而言：

對照組#431<後測六-2 題>（題目內容詳見附錄）

S 寫答案：(1 甲、2、4)

T：我們先看 2[圖]、4[圖]好了，再回頭看 1 甲（學生覺得 1 圖中兩燈泡不一樣亮，故自行編上甲、乙以茲區別)。2[圖]、4[圖]為什麼一樣亮？

S：不知道！

T：一定有原因的啊！

S：那我這跟這個不同的是它繞過去再繞過來，然後就一樣（學生於此陳述電流流動的方向)。

T：同一條線路繞過去？

S：嗯。

T：同一條線繞過去為什麼就一樣亮？

S：……嗯。不知道。

以下研究者將再就學生於物質、過程及心智狀態三類本體的表現加以探析：

(一)物質述詞

在物質述詞方面，研究者共編集到 689 個單位，分屬 16 種相異屬性（表 6)，而學生於回答電流相關問題時常用的物質述詞及原案範例如表 7 所示。其中「移動」(157 個)、及「數量」(152 個）出現的次數遠超過其他屬性，顯見學生傾向於以電流通路的概念來解釋能量的問題，且視電流為一可計數的物質。

若由四組物質述詞出現的頻率進一步加以探討，研究者發現互補組於「移動」、「數量」及「供給」三大屬性的頻率較其他三組明顯為低，但對於其他使用頻率稍低的屬性，互補組和其他組的表現則無太大差異。主要的原因可能在於互補組並非完全以通路的概念解釋能量的問題，而是用了較多過程述詞來加以詮釋。同樣以六-1、六-2 題為例，以下所列舉的口語中我們得見單一組的這名學生（#917）以「移動」「數量」及「分配」的物質屬性來解決過程本體的問題，而互補組的這名學生（#918）的口語邏輯則顯現了過程本體中的「系統性」及「事件」屬性：

單一組#917<後測六-2 題>

S：因為它是串聯嘛！對啊！串聯。就是分分分分分<分配>，就像是本來有六個糖果<數量>，分給<分配>兩個燈泡各三個<數量>。...我是覺得這邊（電池尾部）出發<移動>，...一半<數量>給<供給>它，一半<數量>給<供給>它，然後從這邊（電池頭部）回來<移動>。

互補組#918<後測六-1 題>

S：因為那個它們（1、3、5、6 圖）就是..好像是電..電流..電子的...，嗯，我把它想成

表 6：學生後測中出現之述詞及其屬性次數統計表

	屬性		控制組		單一組		相似組		互補組		總計	
			次數	頻率%	次數	頻率%	次數	頻率%	次數	頻率%	次數	頻率%
物質述詞	吸收		1	0.73	5	2.51	1	0.87	5	2.44	13	1.69
	累積		9	6.57	15	7.54	13	5.68	10	4.88	47	6.11
	消耗		19	13.87	24	12.06	16	6.55	15	7.32	74	9.62
	包含		9	6.57	9	4.52	6	2.63	7	3.4	31	4.03
	撞擊		0	0	1	0.5	3	1.31	1	0.49	5	0.65
	阻礙		14	10.22	5	2.51	6	2.62	8	3.9	33	4.29
	獲得		2	1.46	7	3.52	11	4.37	3	1.46	22	2.86
	移動		28	20.44	43	21.61	49	21.4	37	18.05	157	20.42
	品質		0	0	0	0	0	0	1	0.49	1	0.13
	數量		31	22.63	45	22.61	44	19.21	32	15.6	152	19.77
	分配		6	4.38	12	6.03	13	5.68	15	7.32	46	5.98
	速度		4	2.92	6	3.02	4	1.75	2	0.98	16	2.08
	供給		13	9.49	23	11.56	40	17.47	11	5.37	87	11.31
	連續性		0	0	0	0	1	0.44	0	0	1	0.13
	重力		0	0	0	0	1	0.44	0	0	1	0.13
	洩漏		0	0	1	0.50	2	0.88	0	0	3	0.39
	小計		136	99.27	196	98.49	210	92.1	147	71.71	689	89.60
過程述詞	CBI		1	0.73	0	0	1	0.44	7	3.41	9	1.17
	事件	因果關係	0	0	0	0	1	0.44	22	10.73	23	2.99
		明顯的行動	0	0	0	0	1	0.44	2	0.97	3	0.39
		目的導向	0	0	0	0	0	0	1	0.48	1	0.13
	步驟		0	0	0	0	0	0	6	2.93	6	0.78
	系統性		0	0	3	1.51	2	0.88	20	9.76	25	3.25
	小計		1	1.73	3	1.51	5	2.19	58	28.2	67	8.71
心智狀態述詞	意圖		0	0	0	0	9	3.95	0	0	9	1.17
	情緒		0	0	0	0	4	1.75	0	0	4	0.52
	小計		0	0	0	0	13	5.70	0	0	13	1.69
	總計		137		199		228		205		769	

水的..那個叫什麼水..水水那個..用水系統<系統性>，那等於說那個..這個電池是那個水塔，電池是水塔，然後兩個燈泡是水車，那..那個等於說是它們兩個燈泡是分開來的，它們並沒有像這個（2 圖）一樣重疊在一起，等於說它們兩個是分開來的，互不相干嘛！所以等於說水沖下來了沖擊力還有那個阻擋力、阻力一樣，同樣

表 7：學生常用的物質述詞及原案範例

物質述詞	原案範例
吸收	吸收（進）；輸入
累積	增加；合起來；合作；集中；混合；兩個電池的電比較多；一臂之力
消耗	用完了；用過了；消耗；浪費；減弱；排出來
包含	電池裡面有電；在電池裡面
撞擊	碰撞；競爭；一直相交
阻礙	阻力；阻礙；堵住；只有一個燈泡的阻力；遇到一個阻礙
獲得	得到；拿到
移動	到這裡；到達；繞一圈；環繞；傳到；傳送；流到；跑；走；停；回去（來）；從這邊；斷掉；轉過來；卡住；串來串去
品質	不是很好
數量	一樣；多；少；沒有；一半；兩個電池的量；兩倍；一點點；全部；剩下的
分配	分電；分送；分給；分成兩部分；各歸各的；搶電
速度	比較快；比較慢
供給	給它；發出；發電；發射；輸出；送出；出去（來）；提供
連續性	後面有跟著它走
重力	下來；有地心引力，所以會很快流下來
洩漏	漏電；流出來；外漏

都是一個水車..的阻力，所以它的亮度還是會一樣<事件>。

此外，我們可以發現相似組於「供給」的屬性特別突出，這顯示學生解題時多以電池為主體，視電池為一給予燈泡某些物質的儲存槽。至於對照組方面，我們則發現其「消耗」及「阻礙」的屬性較其他組略高，這意味著對照組的學生於解題時較其他組強調燈泡「消耗」或「阻礙」電流的迷思概念，但整體而言，對照組學生的表現不若相似組有一較為特定主導的中心概念。另言之，對照組在解題時容易因電路表面表徵的改變而轉換解題的方式，時而以電池主導，時而以燈泡主導，這可能是因為生手的本體類別分類乃依賴不同的本體屬性，而此屬性又主要受到問題表面特徵左右所致（Chi, 1992; Chi et al., 1994）。

(二)過程述詞

在過程述詞方面，研究者則共編集到 67 個單位，分屬 CBI、「事件」、「步驟」及「系統性」這 4 種相異的屬性，其中又以「事件」（27 個，佔全部 3.5%）及「系統性」（25 個，佔全部 3.25%）出現的次數最多（表 6），而學生常用之過程述詞的編碼及原案範例則如表 8 所示。若由四組過程述詞出現的頻率進一步加以分析，則發現這些述詞的使用有 86.57% 集中於互補組。在「事件」方面，互補組的學生在解決過程本體相關的能量問題時，雖仍多伴隨著物質概念的通路概念的述詞，但較傾向於將能量的問題視為一種事件的因果關係。不過值得注意的是，學生在進行解釋時，幾乎沒有人能直接解釋能量轉換的現象，而須藉助「複雜用水系統類比」來協助解釋（詳見表 8 過程述詞的原案範例

表 8：學生常用之過程述詞的編碼及原案範例

過程述詞		原案範例
CBI		不會形成電流； 因為這裡有兩個風[水]車，水會整個慢下來，但是兩個是一樣慢； 亮度就會同時下降
事件	因果關係	只能把它抽到一樣的高度，並不能把它抽到更高的高度，所以水塔衝下來的力量還是一樣，水車轉動的速度也一樣；
		你看雖然它的速度沒有變快，但是它的壽命會用得比較久，因為它們兩個分擔工作；
		假如說這是兩個風[水]車這樣子，那它（丙燈泡）阻力慢的話，它（丁燈泡）也跟著，假如說它（丙燈泡）水的速度慢的話，它（丁燈泡）也跟著慢
	明顯的行動	那這邊是比較暗，所以是…水車轉速比較…慢
	目的導向	電流就好像就知道說這個電線就已經斷掉了，所以電流就無法形成
步驟		可是如果抽水機是一個抽水機把它抽到一個高度，另外一個抽水機再把它抽到更高的高度，再到水塔衝下來的力量比較大； 它是升高再升高，電力比較大
系統性		跟用水系統裡面的一樣、它們是串（並）聯的

及上述之互補組#918<後測六-1 題>原案口語示例）。此種現象和通路的問題大相逕庭，在通路問題的解釋上，無論接受哪一種類比教材，學生都傾向於跳脫類比的輔助直接進行解釋。而在「系統性」方面，則說明了互補組學生，較傾向於將整個電路視為一個整體，因此在解題時不易因電路表面表徵改變所影響。這和對照組的情形恰巧成一鮮明的對比。上述兩點在後測學習成就中亦可得到印證。

(三)心智狀態述詞

Chi 等人（1994）認為一般論及物理科學的迷思概念時主要聚焦於物質與過程兩本體樹中概念屬性的錯置，而一些生物概念的素樸迷思則可能源自於心智狀態。例如：幼兒可能將生物的成長視為生物本身「想要」成長（心智狀態本體樹下之「意圖」），或是將一些生物現象當作是生物的「渴望」（心智狀態本體樹下之「情緒」），而非將其視為一種生理上的需求。而本研究則於相似組 4 位學生（#515、#523、#710 及#703）的原案中編集到 13 個單位的心智狀態述詞，這或許暗示著心智狀態的本體和學科之間並無必然相關。

學生常用之心智狀態述詞的編碼及原案範例如表 9 所示。這 13 個單位中，又分為 4 個「情緒」及 9 個「意圖」的屬性。在「情緒」中，學生傾向於將電流擬人化，認為複雜的電路會使電流很累，或者因為跑錯路而生氣因而使得燈泡較暗。而在「意圖」方面，學生會認為燈泡「想要得到」電流，或者以為有些特定的電流是要給某些燈泡的，而當得不到這些電流時，燈泡便會互相競爭。

三、概念改變情形的比較

為比較四組概念改變的情形，研究者經由後測原案的述詞分析後，進一步統計各組過程述詞的頻率，以 Kruskal Wallis Test 對四組過程述詞的使用頻率加以考驗，以比較四組在三本體樹間述詞使用的頻率是否有所差異。

表 9：學生常用之心智狀態述詞的編碼及原案範例

心智狀態述詞	原案範例
意圖	因為它過去，..它也知道它也要工作了，它也過去，遇到它們兩個分工合作，過去，再回來； 它以為說它是要給它，另外以為也是要給它，兩個競爭
情緒	會跑錯的話會比較煩，所以壽命比較短； 會氣壞身子啊！ 比較累！

四組學生過程述詞的使用頻率經分析統計後發現：互補組的使用頻率最高，經 Kruskal Wallis Test 進一步考驗後，茲將結果整理成表 10。表 10 顯示四組過程述詞的使用頻率具有顯著差異（$X^2(3) = 17.839$，$p < .000$ (2-tailed)），於是進一步進行事後的多重比較得 M.C.值為 6.154，且發現兩兩之間的六個比較中，僅互補組明顯和其他三組不同而具顯著差異（$p = .05$(2-tailed)）。至於其他三組兩兩之間則無顯著差異。雖然如此，但值得一提的是相似組的過程述詞使用頻率並沒有降低，反而是三組中頻率較高的一組。事實上，這樣的結果顯示無論是否經過唯物的類比教學，學生都傾向於以物質的本體解決電流能量的問題。

進者，若我們將學生述詞邏輯運用的情形與其學習成就相較（圖 2）則可發現：若光就物質本體概念的學習成就而言，所有類比組皆優於對照組，但互補組並不特別突出，其平均答對率反而是三類比組中最低的。但反觀四組過程本體概念的學習成就及過程述詞使用的頻率則截然不同，互補組不但在與能量相關的過程本體概念上有較為優異的表現，且在述詞的使用上亦是如此，反之，另外三組無論是否有類比的輔助，對於能量相關之過程本體概念的表現皆落後互補組甚多。

四、小結與討論

由上述研究結果顯示多重類比的確有助於學生電學概念的學習，且互補多重類比組於能量之過程本體的概念學習上優於其他三組，而相似多重類比組則於通路之物質概念本體的學習成就上有較為突出的表現。若是以往，當我們面對這樣的結果，我們僅能再次肯定多重類比或類比對學習的助益而無法斷言類比對於概念改變的影響，此乃由於過往對於概念改變的層級及視野缺乏定義之故。但本研究藉 Chi（1992）之概念改變本體論的定義，採用其微單位述詞分析的技巧，分析學生解決問題時口語邏輯中概念的本體類別，因而區分出本體類別內的概念改變以及跨本體類別的概念改變。前者僅可視為一般信念的修正，而後者則牽涉到本體樹的遷移，是謂真正的概念改變。

表 10：四組學生過程述詞頻率分析之 Kruskal Wallis Test 比較

	中數	Mean Rank	Chi-Square
控制組	0	12.00	17.839***
單一組	0	12.13	
相似組	1.67	14.13	
互補組	32.70	27.75	

***$p < .000$(2-tailed)，每組人數各 8 人

一般物理學習由微觀的向度出發，因而將電流的概念歸屬於過程本體中的 CBI 屬性。而在本研究中，由於受試者僅小學四年級，因此電流概念的視野僅著重在電能與光

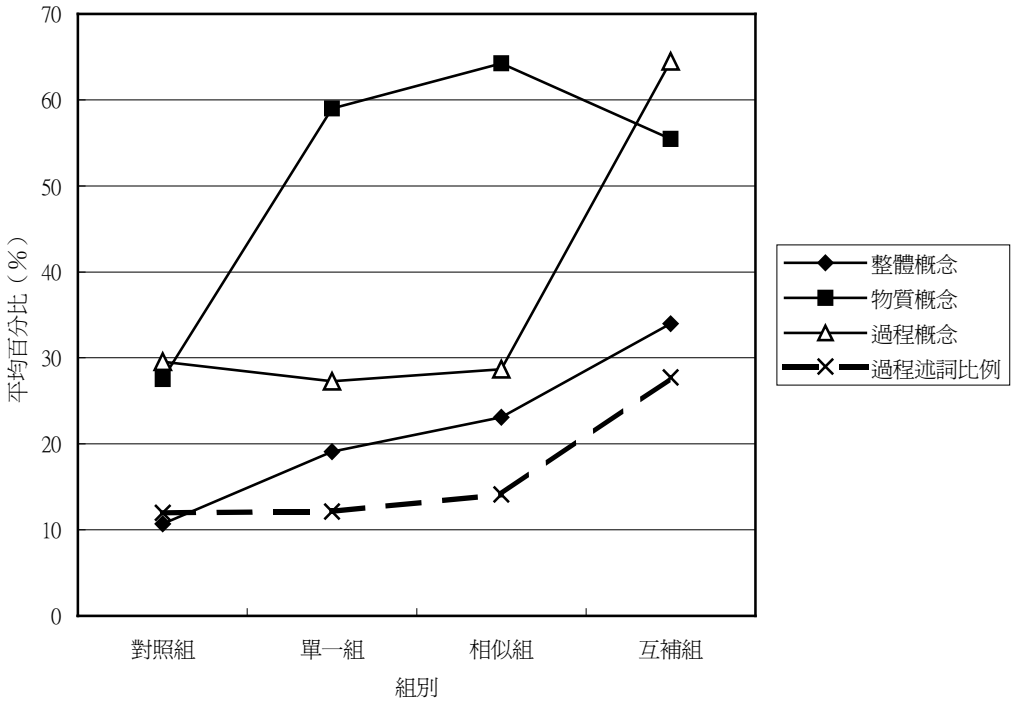


圖 2：四組學生整體學習成就、物質概念成就、過程概念成就之平均答對率及過程述詞的平均使用頻率比較圖

能之間的轉換以及電路設計與燈泡亮度之間的關係，若欲區分其本體屬性，則應當歸屬於過程本體樹中的「事件」及「系統性」之列。研究結果顯示：對照組、單一組及相似組的學生經過電路通路及能量的教學後，仍傾向於以物質本體的向度解釋電流能量的問題，且其中亦不乏心智狀態本體述詞的使用。反之，互補組則有 28.2% 過程述詞的使用。若 Chi 之概念改變本體論適用於詮釋學生的概念改變，那麼即使經此階段的教學，學生亦無法達到CBI屬性的層級而僅止於「事件」的層次，但由於「事件」與 CBI 同歸屬於過程本體，因此日後進一步學習電流的 CBI 屬性時，僅須進行本體內的概念改變，預期應較跨本體的概念改變來得容易。此外，互補組使用了 28.2% 的過程述詞，表面看起來似乎並不突出，但相較於其他三組已達顯著差異（$X^2(3) = 17.839$，$p < .000$(2-tailed)）。

再者，就學生的口語原案觀之，互補組學生經過適當教學後，其概念與其他組相較的確有由物質本體轉移至過程本體的傾向，但在過程述詞的使用上卻多以水類比的方式闡釋而非直接以電流的情境加以說明。這可能是因為能量概念對於四年級的學生而言仍略嫌困難，所以須要水類比的輔助，或者因為此階段的學生對於過程述詞的使用仍無法完全掌握之緣故。在 Slotta 等人（1995）的研究中，曾對照分析專家與九年級學生過程述詞的使用，最後獲致九年級的學生亦會使用專家常用的過程述詞，而認為九年級的學生具有運用過程述詞的能力。而在本研究中，四年級的學生雖使用了過程述詞，但和

專家使用的述詞相較似乎明顯不同。若以類比加以解釋的情形乃源於此階段學生對於過程述詞尚無法運用自若，那麼學生實際概念改變的情形便應高於 28.2% 的頻率。回顧整部科學史，根本性的概念改變都極為不易，更遑論僅是透過一、兩個類比教學的回饋即要求學生大幅度的概念改變呢？在此，我們應給類比一個較為公平的評估。至於四年級的學生究竟是否具有運用過程述詞的能力呢？或許尚待其他概念研究進一步地檢測及釐清，如此才能提高述詞分析法在判定概念改變上的價值。

Slotta 等人（1995）認為電流教學模式中的「水類比」直接面臨主題的唯物概念，若概念改變的本體論觀點成立，那麼此種教學模式便須避免。但若由本研究的結果看來，相似組、單一組及對照組於過程述詞的使用上並無不同，且經由兩唯物類比教學的相似組不但沒有因此增加物質述詞使用的頻率，反倒是三組中過程述詞使用頻率最高的一組。而同樣亦使用水為類比物的互補組則和其他三組有顯著差異。

綜上所述，研究者認為學生之所以傾向於以唯物概念解釋物理現象，乃在於其原具有的本體預設（Vosniadou, 1994），而非唯物類比之罪。相反的，若類比的設計考慮到所欲教授概念的本質，仍能達到科學學習的目的（Chi, 1998, 引自邱美虹, 2000）。

陸、結論與建議

以下將總陳研究結論，並就個人研究過程的心得提出建議。

一、結論

(一)多重類比有助於學習成就

無論就學生整體學習成就的表現或針對其有關物質本體、過程本體的概念加以檢視，我們都可以發現多重類比對於學生學習成就的助益。其中，互補組類比的安排特別有助於學生過程本體概念的學習，是四組中學習成就最佳的一組。此外，相似類比組雖用了兩個以物質本體為主的簡單水循環類比及障礙賽類比，但與對照組及單一類比組相較並不因此而致使其過程本體概念的學習產生障礙，相反的，其在物質本體的表現還略高於其他三組。這些在在顯示多重類比有助於學生電學概念的學習。

(二)原案中出現的述詞及其屬性

在 32 份原案中學生所使用的述詞含括物質、過程及心智狀態三支本體樹，而在這三支本體樹中，以物質述詞使用的頻率最高（89.60%），過程述詞次之（8.71%），心智狀態方面的述詞最少（1.69%）。而其中，在物質述詞本體樹中，學生使用最多的述詞為「移動」及「數量」兩屬性，而在過程本體樹中則以「事件」及「系統性」的使用最為突出。若分就四組所編集到的述詞總數觀之，則以對照組最少（137 個），至於另三類比組的數量則相去不遠，但以相似組為最多（228 個）。對照組之所以數量最少，研究者推測乃因教材缺乏適當的類比，造致學生整體理解的情形較弱，因此只能以電路表徵直接判斷或以不知道回答，而缺乏深入的解釋性口語。此外，類比除幫助理解外，本身亦具有解釋的功能，因此對照組相較於其他三組，明顯欠缺可茲輔助的解釋語言。

若再就四組於三本體樹中述詞使用的頻率加以比較，則發現：

1. 在物質本體樹中，互補組於「移動」、「數量」及「供給」三大屬性的頻率上較其他三組明顯為低，另者，相似組解題時多以「電池」為主體，是故「供給」的屬性特別突出，而對照組則因缺乏較

為中心的概念主導，因此在「消耗」及「阻礙」的屬性使用上略高於其他組。

2.在過程述詞的使用上有 86.57% 集中於互補組，且其於「事件」及「系統性」兩次類別上有較佳的表現。而由口語觀之，互補組的學生在解決過程本體概念時，雖仍多伴隨著物質類別的述詞，但較傾向於將能量的問題視為一種事件的因果關係。而在「系統性」方面，則說明了互補組學生，較傾向於將整個電路視為一個整體，因此在解題時不易因電路表面表徵改變而影響。

3.至於心智狀態述詞則僅出現於相似類比組，使用心智模式述詞的學生傾向於將電流擬人化，研究者推測這或許和相似組所教授的「障礙賽類比」有關。

(三)多重類比有助於由物質本體轉換至過程本體之概念改變

四組學生過程述詞的使用頻率經 Kruskal Wallis Test 考驗後，顯示具有顯著差異，且發現兩兩之間的六個比較中，互補組明顯和其他三組不同，至於其他三組兩兩之間則不具顯著差異。此外，相似組的過程述詞使用頻率並沒有降低，反而是三組中頻率較高的一組。

這樣的結果若再與學習成就的結果相較，則顯示：

1.互補組不但在與能量相關的過程本體概念上有較為優異的表現，且在述詞的口語邏輯使用上亦出現較多相應的過程述詞，而與其他組迥然不同。

2.若 Chi 的概念改變本體論成立，那麼即使經此階段教學後學生仍無法達到 CBI 屬性的層級而僅止於事件的層次，但由於事件與 CBI 同歸屬於過程本體，因此日後進一步學習電流的 CBI 屬性時，僅須進行本體內的概念改變，預期應較跨本體的概念改變來得容易。

3.無論是否經過唯物的類比教學，學生都傾向於以物質的本體解決電流能量的問題。

二、建議

以下將針對研究結果對現行教材、教學活動及未來研究方向提出個人淺見：

(一)現行國小教材應斟酌加入考慮概念本質及負向向度的類比教學

1.本研究以 Chi 的本體論檢驗學生以多重類比學習時概念改變的情形，初步結果顯示若類比的設計涉及概念的本質，其便具有引發概念改變的潛力。若 Chi 的論點是正確的，那麼愈早將 CBI 的特質融入科學教學將有助於學生瞭解一些與原有知識架構具不相容特性的科學概念（邱美虹, 2000）。

2.唯物類比並非阻礙概念改變的主因。反之，設計更精緻的類比以教授電學概念實值得進一步推廣。但值得注意的是，無論任何類比用於任何概念，教師與教材編輯者都應仔細考量概念深層的本質，以助於學生概念改變的發生。

3.學生並非如同白紙一般，而是滿載著表徵、信念以及有關物理世界運作的預設進入教室，以致於對於科學教學有難以改變的情形。因此教師教學時應營造一可幫助學生後設概念覺察的學習環境，以助於學生對其原有預設的省察。在此，類比除可幫助目標概念的具體化之外，尚提供額外的情境讓學生比較其原有的想法，因而有助於學生後設概念的覺察，進而產生概念改變，因此是教科書編排時值得參考的教學模式。

(二)電學初學之始可以多重類比的方式協助瞭解電的抽象性及複雜性

學生一旦接觸電學，便極易由「電流」

及「物質」的向度解決後續能量問題的學習，而目前國小階段部分教科書已論及燈泡串、並聯時亮度的比較，而此種教學其實已涉入能量的考量，但教科書的教學方式卻僅止於現象的觀察，而沒有對其中的原理深入探究。依研究結果顯示，此種學習方式極易導致學生傾向於以分配電流的物質本體觀詮釋此一能量轉換的現象，且此種觀點極難移除。因此研究者建議一開始學習電學時便應同時聚焦在電能和電流這兩個向度，而以多重類比引入此一主題，於教學初始便劃分出截然不同的表徵，是極具潛力的作法。

(三)未來研究的方向

由本研究結果觀之，Chi 等人(Slotta et al., 1995; Slotta & Chi, 1996）針對概念改變判準而衍生之述詞分析法再度獲得證實。雖然此法不但具有理論根據，且亦有許多實徵研究佐證，對學生概念改變與否而言實為一明確的判準，但由於此法分析之單位微小，耗時費力，且脫離了概念的情境，而被學者批評過於偏重語法（Vosniadou & Ioannides, 1998; Rohr & Reimann, 1998），因而未來如何根據概念改變理論開發設計或修正此法，以釐清概念改變的視野及層級，是科學教育研究者下一步可茲努力的方向。進者，目前利用本體觀於科學概念上概念改變研究仍偏重於物質及過程兩支本體樹的探討，而對於心智狀態方面甚少著墨，而在本研究中對於此支本體樹已有初步的探究，但仍須更多的實證加以佐證。此外，未來的研究方向應可朝向認知發展研究與科學教育之間的架橋，以進一步解釋認知表現及認知改變如何發生的機制。

致　　謝

本研究感謝本文兩位審查委員撥冗審閱並給予許多寶貴建議，特致謝忱。

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

參考文獻

1. 林靜雯（2000）：**由概念改變及心智模式初探多重類比對國小四年級學生電學概念學習之影響**。台北市：國立台灣師範大學碩士論文（未出版）。
2. 邱美虹（1996）：學習策略與科學學習。**科學教育月刊**, **191**, 2-15。
3. 邱美虹（2000）：概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊**, **8**(1), 1-34。
4. 邱美虹與林靜雯（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, **科學教育學刊**, **10**(2), 109-134。
5. 高淑芬（1997）：**類比對國二學生科學概念學習之影響**。台北市：國立臺灣師範大學碩士論文（未出版）。
6. 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）。
7. 陳啟明和陳瓊森（1992）：探究高一學生對直流電路的迷思概念。**科學教育**, **3**, 22-72。
8. 陳龍川（1992）：花蓮師院學生簡單直流電路迷思概念類型及其分佈調查。**花師數理教育學報**, **1**, 65-80。
9. 陳瓊森（1993）：高一學生直流電路概念結構之研究。**彰化師範大學學報**, **4**, 511-542。
10. 楊文金（1992）：在職國小教師對基本電路之概念研究。載於**中華民國第八屆科學教育學術研討會論文彙編**, 499-518。高雄市：國立高雄師範大學。
11. 葉俊豪和陳瓊森（1995）：利用定性與定量測驗來探究高二學生對直流電路的知識結

構。科學教育, **6**, 156-178。

12. Arnold, M. & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, *9*, 553-563.
13. Arnold, M. & Millar, R. (1988). Teaching about electric circuits: a constructivist approach. *School Science Review*, *70*(251), 149-151.
14. Brown, D. E. & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, *18*, 237-261.
15. Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, *29*(1), 17-34.
16. Brown, D. E. (1993). Refocusing core intuitions: A concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(10), 1273-1290.
17. Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, (pp. 129-186). University of Minnesota Press: Minneapolis, MN.
18. Chi, M. T. H. (1993). *Barriers to conceptual change in learning science concepts: A theoretical conjecture*. Paper presented at the Fifteenth Annual Cognitive Science Society Conference. Hillsdale, NJ.
19. Chi, M. T. H. (1997). Creativity: Shifting across ontological categories flexibly. In T. B. Ward, S. M. Smith, & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: An investigation of conceptual structures and process*, (pp. 209-234). Washington, DC: American Psychological Association.
20. Chi, M. T. H. (1998). Personal communication.
21. Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reiman, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, *13*, 145-182.
22. Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts [special issue]. *Learning and Instruction*, *4*, 27-43.
23. 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.
24. Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, *50*, 66-71.
25. 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.
26. Closset, J. L. (1983). *Sequential reasoning in electricity*. Paper presented at the Research on Physics Education, La Londe les Maures, Paris, France.
27. Cohen, R. (1984). *Causal relations in electric circuits: Students*. Paper presented at the Aspects of Understanding Electricity, Ludwigsburg.
28. 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.

29. Conver, W. J. (1999). *Wiley series in probability and statistics: Applied probability and statistics section* (3rd ed). New York: Willy.
30. Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, *78*(6), 601-614.
31. 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.
32. 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.
33. Duit, R.(1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, *75*(6), 649-672.
34. 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.
35. Dupin, J. J., & Johsua, S. (1989). Analogies and "modeling analogies" in teaching: some examples in basic electricity. *Science Education*, *73*(2), 207-224.
36. Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naïve explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, *20*(10), 1231-1256.
37. 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.
38. Glynn S. M. (1989). The teaching with analogies model: Explaining concepts in expository texts. In K. D. Muth (Ed.), *Children's comprehension of narrative and expository text: Research into practice* (pp. 185-204). Neward, DE: International Reading Association.
39. 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.
40. 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.
41. Johsua, S., & Dupin, J. (1987). Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, *4*, 117-135.
42. 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.
43. Osborne, R. (1981). Children's ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, *29*, 12-19.
44. Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: the implications of children's science*. Heinemann, Auckland and London.
45. 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.
46. Rohr, M., & Reimann, P. (1998). Reasoning with multiple representations when acquiring the particulate model of matter. In M. W. V. Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. D. Jong (Eds.), *Learning with Multiple Repre-*

sentations (pp. 41-66). New York: Pergamon.

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. Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, *6*(2), 185-198.
49. Slotta, J. D., & Chi, M. T. H. (1996). Understanding constraint-based processes: A precursor to conceptual change in physics. In G.W. Cottrell (Ed.), *Proceedings of the Eighteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 306-311). Mahwah, NJ: Erlbaum.
50. 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.
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*(pp. 498-531). New York: Cambridge University Press.
52. Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, *28*(4), 305-313.
53. 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.
54. Tiberghien, A. (1983). *Critical review of research concerning the meaning of electric circuits for students aged 8 to 20 years*. Paper presented at the Research on Physics Education the First International Workshop. France, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
55. Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, *81*, 387-404.
56. Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*, *4*, 71-87.
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*. Paper presented at the Aspects of Understanding Electricity, Ludwigsburg.
59. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change [special issue]. *Learning and Instruction*, *4*, 45-69.
60. Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, *20*(10), 1213-1230.

附錄　後測

一、你想像中的「電流」是什麼樣子？如果要向別人說明「電流」，你會怎麼說？

二、玩具小汽車突然不能動了，換上新電池，它又可以動了。為什麼電池可以使玩具小汽車動呢？

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。



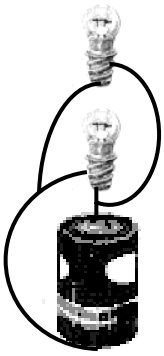


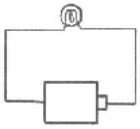
四、1.如果將燈泡增加為兩個，而且要使兩個燈泡都會發光，應該怎麼連接？把你的想法畫下來！

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。

五、在下圖中畫出電流的方向。



六、請將下列六個圖中的燈泡亮度和  比一比，

1.哪些圖的燈泡和它一樣亮？＿＿＿＿＿＿為什麼？

2.哪些圖的燈泡比較暗？＿＿＿＿＿＿為什麼？

3.如果把各圖中的燈泡拿掉一個，另一個燈泡會亮的圖有哪些？

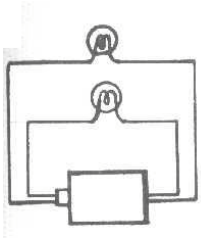
＿＿＿＿＿＿為什麼？

4.不會亮的圖有哪些？＿＿＿＿＿＿為什麼？

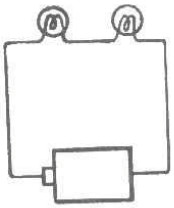
5.哪些圖中的燈泡是串聯？＿＿＿＿＿＿哪些圖中的燈泡是並聯？＿＿＿＿＿＿你怎麼

判斷？

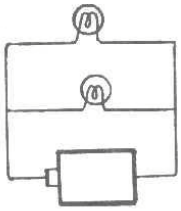
6.如果把圖(4)的電線剪斷，電流會怎樣呢？



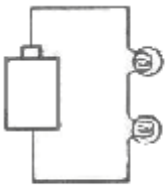
(1)



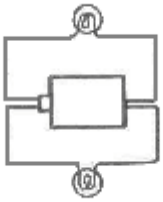
(2)



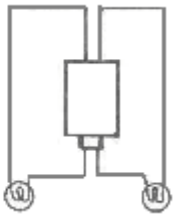
(3)



(4)



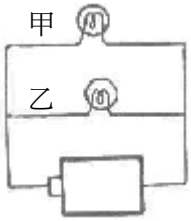
(5)



(6)

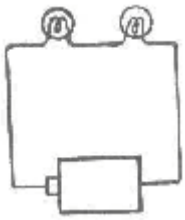
七、比比看，哪一個燈泡比較亮？為什麼你這樣認為？

(1)



甲＿＿乙

(2)

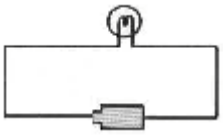


丙＿＿丁

八、請將下面四個圖和圖一比較。

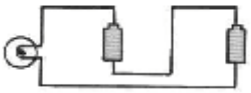
1.哪些圖中的燈泡比（圖一）亮？＿＿＿＿＿＿＿＿為什麼？

2.哪些圖中的燈泡和（圖一）一樣亮？＿＿＿＿＿＿＿＿為什麼？

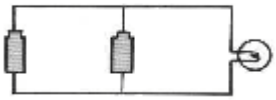


圖一 *請和我比較*

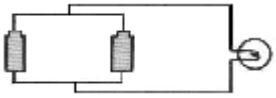
(1)



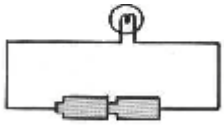
(2)



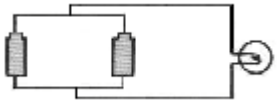
(3)



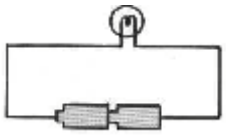
(4)



九、比比看，哪一個圖中的電池壽命比較長？為什麼？（請填上 >、< 或 =）



＿＿＿＿



十、有兩個電池、三個燈泡，請你組合一種使燈泡不但<u>會亮</u>，而且<u>最亮</u>的連結方式，並說明為什麼你這樣做。

Investigate the Use of Multiple Analogies Promoting Pupils' Conceptual Change of Electric Current via Predicates Analysis

Jing-Wen Lin and Mei-Hung Chiu

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

For the past two decades, a growing amount of research has shown that the use of analogies and multiple analogies in science teaching and learning promotes meaningful understanding of complex scientific concepts (Spiro, Feltovich, Coulson, & Anderson, 1989; Glynn, 1989; Duit, 1991; Venville & Treagust, 1996; Chiu & Lin, 2002; 2005). However, researchers can't get a common view of how analogies promote conceptual change. Dager (1994) supposed the main reason is that the examining of analogies locks the definitions of conceptual change's levels and eyeshot. Based on their arguments, this research designed multiple analogies of electric current, selected 32 middle achievement 4th grade students, and randomly assigned them to a control group, a single analogy group, a similar analogies group and a complementary analogies group. The researchers hoped to investigate the role of analogies in pupils' electric current understanding, and find its position in conceptual change. The results of this study show that multiple analogies are helpful to the learning of electricity concepts, and the comparisons of conceptual change via predicates analysis also indicate that complementary analogies can help pupils shift their electricity concepts from a MATTER to a PROCESS ontology. Besides, materialistic analogies are not a barrier to conceptual change; the intrinsic factor is the presupposition that students treat electric current as matter. To the contrary, when we design analogies, we should consider the nature and presupposition of the concepts we want to teach. These then, will be helpful to supply concrete representations to help students become aware of the difference between self-concepts and scientific concepts. It this happens, conceptual change will take place.

Key words: Multiple Analogies, Predicates Analysis, Conceptual Change