

建構主義式的科學學習活動對國小高年級學生認知結構之影響—以「電與磁」單元為例

吳穎田 蔡今中

國立交通大學 教育研究所

(投稿日期：民國 93 年 2 月 10 日，修訂日期：93 年 10 月 14 日，接受日期：93 年 11 月 3 日)

摘要：本研究主要探討建構主義式的科學學習活動對於國小高年級學生認知結構的影響，並探討這樣的學習活動對於學習者在單元主要概念學習成效的影響。本研究之研究對象為兩班國小五年級學生，在分別實施三週的「電與磁」單元的建構主義式科學學習活動與一般教學活動後，研究者以錄音訪談方式收集資料，再以「概念流程圖析法」將訪談內容繪製成「概念流程圖」，並配合內容分析法分析學生在單元的核心概念之學習情形。研究結果發現：在經過建構主義式的科學學習活動之後，學習者在認知結構中「概念的數量」與「概念間的連結」均獲致較佳的科學學習成果；而且建構主義式的科學學習環境亦有效促進學習者「電與磁」單元的核心概念學習。而本研究也進一步建議教學者可以結合「衝突圖」策略和 POE (Predict-Observe-Explain) 教學策略作為建構取向教學活動設計的依據，以促進學習者的科學概念學習與意義建構。

關鍵詞：建構主義、認知結構、核心概念、概念流程圖

壹、緒論

一、研究背景與目的

長久以來，人類獲得知識的歷程一直是教育心理學者、哲學家和研究者關心的重大議題 (Tsai & Huang, 2002)，而近年來，建構主義的理論也受到許多科教研究者與教學者的重視，因此，建構主義者對於學習的觀

點對當今的科學教育的理論基礎與教學實務均有非常重大的影響 (Matthews, 2002; Staver, 1998)。

許多研究者 (例如 Appleton, 1993; Glynn, 1991; Novak & Gowin, 1984; White & Gunstone, 1992) 根據建構主義的觀點提出不同的教學策略以促進學習者的科學學習。Mintzes, Wandersee 和 Novak (1998) 認為應該要用更多元的方式來評量學習者的學習成果，這

樣的觀點也逐漸受到許多研究者與教學者的重視。因此，認知結構的評量也被視為是學習者科學學習成果的重要的指標之一（Anderson & Demetrius, 1993; Tsai & Huang, 2002）。

雖然在過去已經有許多研究探討建構主義式的學習活動對於學習者科學學習成果的影響，然而卻很少有研究是透過分析學習者的認知結構以探討建構主義式的學習活動對於學習者科學學習成果的影響，因此，本研究主要探討建構主義式的科學學習活動對於國小五年級學生認知結構的影響，並進一步探討這樣的學習活動對於學習者在單元的「核心概念」（key ideas）學習成效的影響。

二、研究問題

根據上述之研究背景與目的，本研究之研究問題如下：

- (一)經過建構主義式與一般教學兩種科學學習活動之後，國小高年級學生的認知結構有何差異存在？
- (二)經過建構主義式與一般教學兩種科學學習活動之後，國小高年級學生在「電與磁」單元的「核心概念」學習上有何差異存在？

貳、文獻探討

一、建構主義

雖然建構主義在科學教育的領域中仍是一個備受爭議的議題（Matthews, 1997, 2002; Phillips, 1995），但是建構主義的理論可以說是當今科學教育理論的主流。因此，近年來無論是在科學課程發展或教學實踐都可看見建構主義的理論對當今的科學教育的深遠影響（Tsai, 1998b, 2003）。

建構主義是一個有關於知識與學習的理

論（Bettencourt, 1993; Fosnot, 1996），主要在描述「什麼是認知」（knowing）及「個體如何認知」（how to know）（Bodner, 1986）。而建構主義對於知識與學習的觀點與傳統知識論有很大的不同，傳統的學習觀點認為學習者就如同一張白紙般進入學習情境之中，而教師的角色在於傳播科學知識。因此，科學學習就成為事實記憶與累積的過程；然而建構主義主張知識是由學習者主動建構的，無法直接由教學者的腦中轉移到學習者的腦中（Driver & Bell, 1986; 張靜譽, 1996; 郭重吉, 1995），而且教師是學生建構知識過程中的促進者與媒介者。

此外，建構主義也特別強調學習者的先備知識對於其後續學習的重要性，許多建構主義者認為學習者的先備知識是影響其後續學習的重要因子之一（例如：Ausubel, 1968; Bischoff & Anderson, 1998, 2001; Driver & Bell, 1986; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994），而 Ausubel（1968）甚至認為「先備知識」是影響學習最重要的因子。若根據這樣的觀點，學習者現在所學習的概念即是後續學習時的先備知識，因此將在後續相關概念學習時扮演重要的角色，如果學習者在現在的單元學習中學到愈多重要的核心概念，則對於後續相關概念的學習將會愈有幫助。

而建構主義不是一派一家之言，一般認為 Piaget 和 Vygotsky 的理論影響建構主義者甚深，許多建構主義者根據 Piaget 或 Vygotsky 的理論，分別從不同的觀點對科學學習提出他們的詮釋，有的建構主義者依循 Piaget 的理論，認為內在認知結構對學習的影響最大；有的建構主義者則認同 Vygotsky 的觀點，強調個體外在情境對於學習的深遠影響。而我們可以就各派別所主張影響學習的最重要因素來加以區分，其中最為人熟知的有強調認知主體的內在認知運作與認知結構

對於學習有重大影響的「激進建構主義」(von Glasersfeld, 1989, 1993);以及主張學習者的外在的情境脈絡,特別是教室中學習者與同儕或是教學者的社會互動對於學習有深遠影響的「社會建構主義」(Solomon, 1987),但也有其它的建構主義者則將兩者的主張加以調和(例如: Fosont, 1996; Novak, 1993)。

二、建構主義式的科學學習活動

許多科教研究者根據建構主義對於學習的觀點提出許多不同的教學策略與教學設計模式以促進學習者的科學學習,例如:「概念圖」(Novak & Gowin, 1984)、「類比教學模式」(Glynn, 1991; 邱美虹, 1993)、「學習環」(Lawson, 2001)、「POE 教學策略」(White & Gunstone, 1992)、「衝突圖」(Tsai, 2000a)。而許多研究結果也顯示這些教學策略可以有效促進學習者的「有意義的學習」(Lawson, 2001; Kinchin, 2000; Marinopoulos & Stavridou, 2002)。

其中「衝突圖」(conflict map)是 Tsai (2000a) 根據 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog (1982) 所提出的「概念改變的條件」以及「差異性事件」(discrepant event) 的概念改變教學策略所提出的,特別強調讓學習者發生認知衝突,且有效促使學習者發生概念改變。因此,「衝突圖」是比較符合「激進建構主義」觀點的教學策略。而衝突圖中的要素包括有「差異性事件」、「教學目標概念」、「關鍵性事件或解釋」、「其他相關科學概念」、「可支持的經驗」,透過在教學過程中依序呈現這些要素,「衝突圖」可以有效促使學習者發生概念改變, Tsai (2000a) 也特別指出衝突圖可以用來幫助教學者設計教學單元活動(衝突圖的相關內容詳見 Tsai, 2000a)。

而 White 和 Gunstone (1992) 所提出的 POE 策略包含「預測」(predict) — 「觀察」(observe) — 「解釋」(explain) 三個程序,可以幫助教學者瞭解學生的先備知識,並且給予學生機會去觀察自己周遭的世界並加以詮釋,最特別的是 POE 策略可以提供學生更多的機會和同儕分享、協商他們個人的想法,因此 POE 策略(White & Gunstone, 1992) 被視為是與建構主義的主張相符合的教學策略(Liew, 1995)。POE 策略過去一直被廣泛使用在國、高中的物理教學上,而 Palmer (1995) 認為 POE 策略也適合使用於國小的科學教室之中(POE 策略的相關內容詳見 White & Gunstone, 1992)。而就「激進建構主義」的主張來看,POE 策略強調學習者透過觀察現象到建構詮釋等內在認知的過程,然而卻也同時強調「社會建構主義」所主張的意義分享、協商等社會互動對於意義與知識建構的重要性,因此 POE 策略可說是兼採「激進建構主義」與「社會建構主義」兩者學習主張的教學策略。

然而許多研究也指出教學策略的整合可以有效增進學習者科學概念學習與知識的建構(例如: Bean, Searles, Singer & Cowen, 2001; Odom & Kelly, 2001)。因此,本研究將以「衝突圖」的觀點為架構,依序呈現單元的教學內容,並以兼採「激進建構主義」與「社會建構主義」兩者學習主張的 POE 策略作為教學策略,以作為本研究中的建構主義式的科學學習活動設計的依據。

三、認知結構及其評量

在過去,選擇題、雙層次測驗、配合題與簡答題等工具被研究者及科教者大量使用於評量學習者的科學學習成果(例如 Alparslan, Tekkaya & Geban, 2003; Bean *et al.*, 2001; Christianson & Fisher, 1999; Marinopoulos &

Stavridou, 2002; Odom & Kelly, 2001; Soyibo & Evans, 2002), 有研究者則建議應該要用更多元的方式來評量學習者的學習成果 (Mintzes, Wandersee & Novak, 2001), 而這樣的觀點也漸受研究者及科教者重視。

而建構主義強調先備知識在後續學習時的重要性, 因此學習者的已有知識架構會影響學習者的後續學習。近年來, 許多研究者以「認知結構」(cognitive structure) 來表徵儲存在學習者腦中的知識架構, Shavelson (1974) 指出「認知結構」是一個假想的結構, 可以用以表徵學習者的長期記憶區 (long-term memory) 中概念與概念之間的關係。從字義上來看, 「認知的」(cognitive) 表示「在腦中的」、「可以知道、分辨、表達的能力」、「和個人知識獲得相關的」; 而「結構」(structure) 意指「某樣東西的組成形式或其各成分元素之間如何結合在一起」(Pines, 1985)。因此, 「認知結構」有兩個重要組成: 第一個是存在於概念結構中的知識內容 (knowledge bits), 亦即認知結構中「概念的數量」; 而另一個則是這些知識組織的方式, 亦即認知結構中「概念與概念間的連結情形」(West, Fensham & Garrard, 1985)。

而近年來, 許多研究者開始將認知結構的評量視為是學習者學習成果的另一重要指標 (Anderson & Demetrius, 1993; Tsai & Huang, 2002), 因此, 學者們也發展出許多的工具來表徵學習者的認知結構, 例如「隨意字義聯想法」(free word association), 「控制字義聯想法」(controlled word association), 「樹狀圖」(tree construction), 「概念圖」(concept map) (Novak & Gowin, 1984) 和「概念流程圖析法」(flow map method) (Anderson & Demetrius, 1993; 黃昭銘, 2001)。而「概念流程圖析法」相較於前面四個方法而言是一個比較新的方法, 這個方法可以在訪談者最少

的干預下, 提供受訪者認知結構的相關訊息 (Anderson & Demetrius, 1993)。因此, 可以作為分析學習者認知結構的有用工具。Tsai 和 Huang (2002) 則認為在上述的幾種認知結構表徵方法中, 「概念流程圖析法」在幾種方法之中是較能有效表徵學習者的認知結構的方法, 能夠幫助研究者得到最多認知結構的相關資訊。因此, 本研究將利用「概念流程圖析法」以瞭解學習者在單元學習後所得認知結構中的「概念數量」與「概念與概念間的連結情形」。此外, 概念流程圖析法也可以幫助研究者進一步針對學習者的核心概念的學習情形進行分析。

叁、研究方法

一、研究對象

本研究的對象為新竹市某國小的兩班國小五年級學生, 其中一班為 35 人, 為本研究中的實驗組; 而另外一班為 34 人, 為本研究中的對照組。本研究自上學期開學後就開始進行, 雖然該校在學生升上五年級時會進行重新編班, 而兩班學生可視為常態分佈, 但為力求研究過程的嚴謹, 在研究進行前, 研究者分別針對兩班學生的四年級自然成績及其對建構主義式學習環境的覺知與偏好進行 *t* 檢定, 以瞭解其起點行為是否相同。因此, 本研究在進行實驗處理前先以 Tsai (2000b) 改編自 Taylor 和 Fraser (1991) 所開發的 CLES 問卷 (Constructivist Learning Environment Survey) 中文版問卷的「偏好 (prefer) 版」與「實際 (actual) 版」(本中文版問卷共有四個向度: 「社會性協商」(social negotiation)、 「先備知識」(prior knowledge)、 「學生自主」(autonomy)、 「以學生為中心」(student centredness), 問卷採 Likert 五點式法編製 (量表各向度之信度以

Tsai (2000b) 為例，分別為 0.84、0.78、0.78、0.72) 分別對兩組學生施測，以瞭解兩組學生在研究進行前對於學習環境的偏好與實際感受的學習環境是否有差異存在。而在本研究中，一共有四位自然教師共同參與，其中有兩位自然科教師參與本研究之教學，而其他兩位教師則是一同參與本研究中的「電與磁」單元的核心概念分析（教師之基本資料如表 1 所示）。

二、研究設計與流程

本研究採準實驗研究法，由兩位有兩年教學經驗的自然科男性教師（表 1 之教師 A 與教師 B）分別以兩種不同的教學法對兩組學生實施三週「電與磁」單元的教學活動，第一週的教學內容主要在讓學生瞭解指北針的磁針也是小型的磁鐵以及通電的導線附近會產生磁場，使指北針偏轉；而第二週則讓學生製作電磁鐵，並找出讓磁力增強的方法；最後一週則讓學生瞭解生活中可見的電與磁的相關應用，以及電能可以轉換成其他形式的能量。

在本研究中，兩班的單元教材內容均依據南一版五年級自然科課本中的內容，只是呈現順序及方式有所不同。其中實驗組所實施之學習活動為整合了 POE 策略與「衝突圖」的建構主義式的科學學習活動，例如：教學者首先會透過實際展示讓學生發現電磁鐵通電後也可以吸起鐵製的迴紋針，以作為

「衝突圖」理論中引發學生產生認知衝突的「差異性事件」（學生通常認為只有磁鐵才會吸起鐵製的迴紋針）。而在讓學生學習「通電的導線附近會產生磁場，可以使指北針偏轉」的概念時，教學者會採取 POE 策略，先讓學生預測並寫下當電路連通時，置於電線上的指北針會產生什麼樣的變化；再讓學生透過實際的活動觀察；最後解釋說明自己的預測與觀察之間的差異；而對照組所實施之學習活動則為依照南一版的教學指引之一般教學活動（實驗組之單元活動設計如附錄一）。

在三週的「電與磁」單元學習活動結束後，研究者以錄音訪談方式蒐集資料，並利用「概念流程圖析法」分析錄音訪談所得的資料，以瞭解兩組學生在單元學習後所得到的認知結構是否有顯著差異存在。而研究者也進一步將所有學生的概念流程圖中出現的概念進行內容分析；由四位自然專任教師（表 1 中的四位教師）分析後得到「電與磁」單元的核心概念（key ideas），最後再依據「電與磁」單元的主要概念在兩班學生的概念流程圖中的出現情形，以瞭解兩班學生在「電與磁」單元核心概念的學習情況。

本研究之研究架構如圖 1 所示。

三、資料收集

為了將不必要的人為干擾因素減至最少，在單元教學活動結束後，研究者以不具

表 1：參與本研究教師之基本資料表

	性別	年齡	專業背景	教學年資	自然科教學年資
教師 A (實驗組)	男	30 歲	師院畢業，取得合格教師證。(學士)	五年	兩年
教師 B (控制組)	男	31 歲	師院畢業，取得合格教師證。(學士)	四年	兩年
教師 C	女	32 歲	研究所畢業，取得合格教師證。	五年	五年
教師 D	女	36 歲	師院畢業，取得合格教師證。(學士)	十年	八年

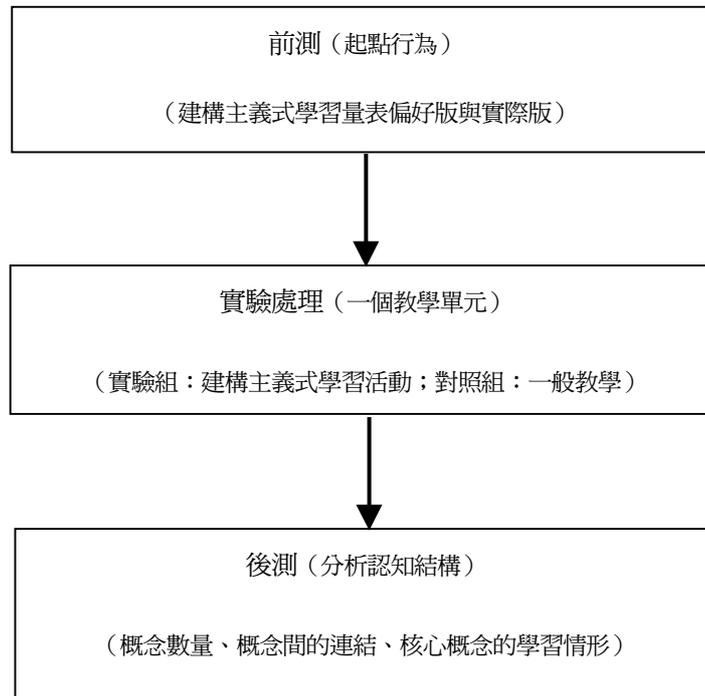


圖 1：研究架構圖

引導性的問題對兩組學生進行錄音訪談，以收集兩組學生「電與磁」認知結構的相關資料。訪談的問題如下：

1. 請問你在「電與磁」這個單元學到哪些概念或是想法？
2. 可不可以請你將剛才你所提到的那些內容說得更詳細一點呢？
3. 請你告訴我剛才你所提到的那些概念之間有什麼關係？

研究者再將錄音帶中受訪者所陳述的概念依照陳述先後順序轉譯成概念流程圖。

圖 2 為實驗組其中一位學生的概念流程圖。基本上，概念流程圖是按照受訪者陳述概念的先後順序來繪製的，每一個陳述概念前的數字代表該概念的陳述順序。舉例來說，圖二表示受訪學生所陳述的概念是由「指北針是一個小型的磁鐵」開始，依序最後為「地球本身可以看成是一個大磁鐵，而且指

北針也是小型的磁鐵，所以我們才能用指北針辨別方位」。而如果受訪者後來所提到的概念與先前已經陳述過的概念相關時，則在後來與先前的概念之間畫一條「回歸連結」。舉例來說，圖 2 中受訪者陳述的第三個概念為「磁鐵有 N 極和 S 極」，和第一個陳述的概念（「指北針是一個小型的磁鐵」）有關的（兩者都提到「磁鐵」），所以就在第一個概念與第三個概念間劃上一條「回歸連結」。因此，在概念流程圖中有兩種類型的連結線，一種為「直線連結」，用來表示受訪者的敘述順序；而另外一種為「回歸連結」，用來表示概念流程圖中相關概念的連結（概念流程圖析法的相關詳細內容請參考 Bischoff & Anderson, 1998; Tsai, 2001）。而圖 3 也是依同樣的方法繪製而得到的另一個較為複雜的概念流程圖。

最後，本研究也進一步對概念流程圖中



圖 2：實驗組中一位學生「電與磁」之概念流程圖

的每一個陳述概念進行內容分析 (content analysis)，以深入瞭解兩班學生在「電與磁」單元的核心概念之學習情形。

四、資料分析

(一)概念流程圖之量化資料分析

本研究利用錄音訪談蒐集學生認知結構的相關資料，最後繪製得到 69 張的概念流程圖，以表徵兩組學生在「電與磁」單元學習後所得到的認知結構。而每一張概念流程圖中的「直線連結」數目可以代表該學生學習後所得的認知結構中的「概念數量」的多寡；而概念流程圖中的「回歸連結」的數目可以用來表示該學生學習後所得的認知結構中「概念與概念間的連結情形」。舉例來說，圖 2 中該學生概念流程圖中的「概念數量」為 5，「回歸連結」的數目為 4；而圖 3 中該學生概念流程圖中的「概念數量」為 9，

「回歸連結」的數目為 7。

而在本研究中，研究者會將所得到的 69 份錄音訪談資料隨機抽取 10 份，讓第三者也依照相同的繪製規則，獨力完成語意流程圖內各概念的內容分析編碼工作，最後針對這張語意流程圖的內容分析結果，比較研究者與第三者的「概念分析相似比例」與「回歸連結相似比例」，分析之後所得到的概念分析的相似比例為 0.93；而回歸連結的相似比例為 0.89。而在 Anderson 和 Demetrius (1993)、Tsai (1999) 及 Tsai 和 Huang (2001) 的研究報告中，他們已經算出的概念相似比例值分別為 0.95、0.95 與 0.90；而回歸連結的相似比例值為 0.89、0.92 與 0.83。可見本研究不論是在語意流程圖的「概念分析相似比例」與「回歸連結相似比例」均介於先前研究所報告的相似比例值之間，可見本研究在語意流程圖的繪製上有良好的信度。

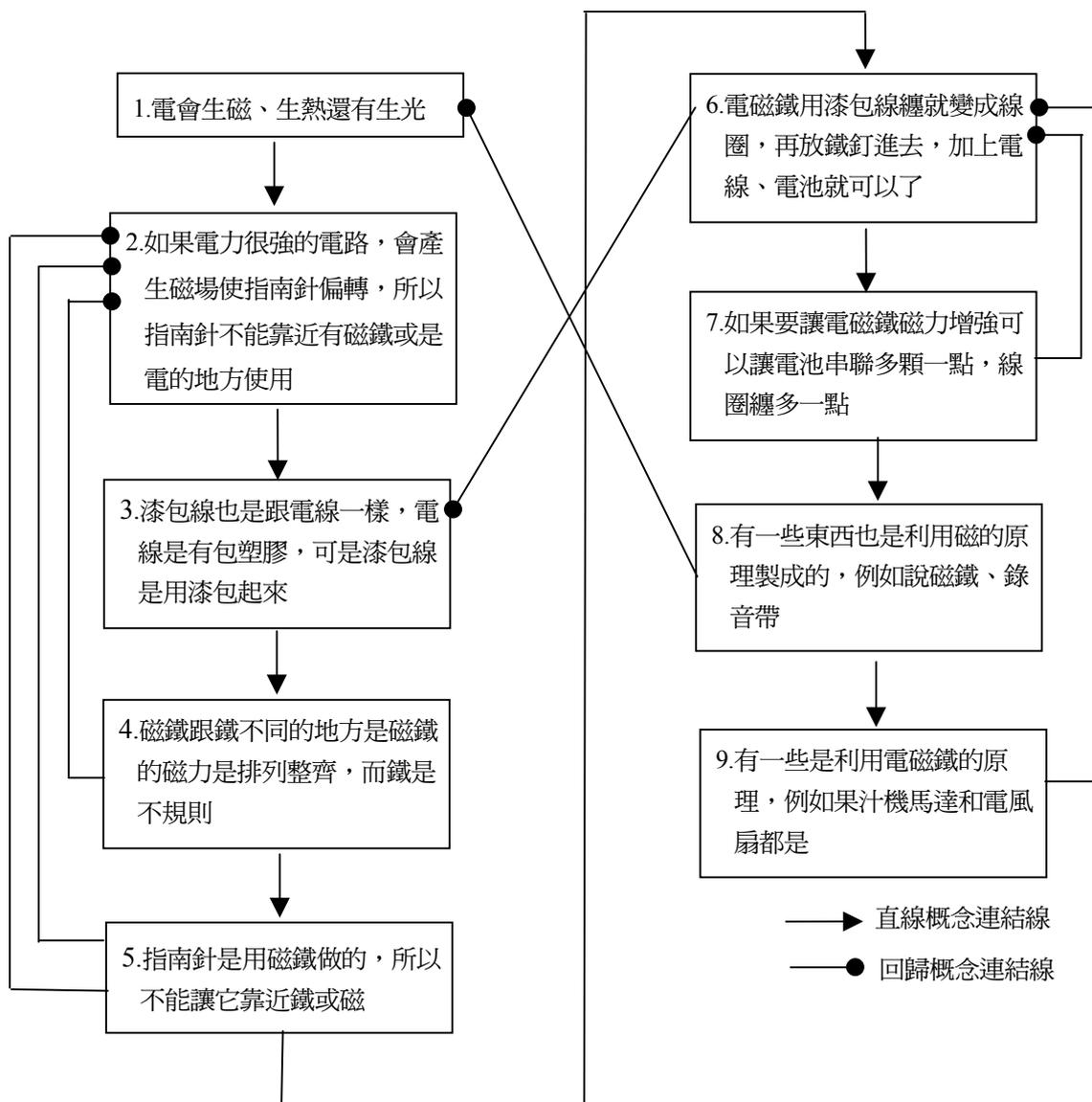


圖 3：實驗組另一學生之「電與磁」概念流程圖

(二)「電與磁」單元的核心概念學習情形分析

研究者首先將兩班所有學生的概念流程圖中所有出現的概念加以歸納整理，分成「先備概念」與「單元概念」兩大類概念，最後再對這些概念進行編碼。其中「先備概念」是指學生在之前自然課程中所應學過且與

「電與磁」單元有關的概念。換言之，即是與本單元相關之先備知識，這類概念的首位編碼字母為 P，舉例來說，圖 2 中的第三個概念「磁鐵有 N 極和 S 極」是學生在以前單元學習中應該學習過的概念，因此被歸類在「先備概念」中；而「單元概念」是指學生在單元教學後所學習到的概念，這類概念的

首位編碼字母為 C，例如圖 2 中的第二個概念「做電磁鐵的時候，漆包線的圈數越多或是電池數，磁力就會越強」是這個單元才學到的概念，因此被歸類在「單元概念」中。因此，根據先前繪製所得的 69 張概念流程圖，最後整理出本研究中的「電與磁」概念編碼表如表 2，而這 69 張概念流程圖中出現的所有概念都可以在表 2 中找到其編碼。

研究者再依據表 2 逐一累計在全班學生的概念流程圖中（實驗組有 35 張，而對照組有 34 張）某一概念被提及的張數，以作為全班學生成功學習該概念的人數。如果在一張概念流程圖中某一概念重複出現，則還

是以一次計算，舉例來說，在圖 2 的概念流程圖中，第一個概念（「指北針是一個小型的磁鐵」）與第四個概念（「地球本身可以看成是一個大磁鐵，而且指北針也是小型的磁鐵，所以我們才能用指北針辨別方位」）都提及與 C1 相同的內容，可是在計算全班學生成功學習 C1 概念的人數時還是只累加一次而已；而如果概念流程圖中的某一個敘述同時包括兩個概念，則在計算全班學生成功學習此兩個概念的人數時，都應該分別累加一次。例如：在圖 2 的概念流程圖中，第四個概念（「地球本身可以看成是一個大磁鐵，而且指北針也是小型的磁鐵，所以我們

表 2：「電與磁」概念編碼表

編號	概念內容
P1	磁鐵有 NS 極，同極相斥，異極相吸
P2	地球本身可以看成是大磁鐵，所以指北針會指向南北
P3	磁鐵兩端的磁力最強
P4	電池串連與並聯的相關內容
C1	指北針是一個小型的磁鐵
C2	電磁鐵可以讓指北針發生偏轉
C3	電路會使指北針產生偏轉
C4	製作電磁鐵的方法或用具
C5	漆包線的特性
C6	增加電池數及或將電池連接方式由並聯改成串聯可以增加電磁鐵磁力
C7	增加漆包線圈數可以增加電磁鐵磁力
C8	電磁鐵通電才会有磁性
C9	電磁鐵與磁鐵都有 NS 極
C10	把電磁鐵的電源關掉時，電磁鐵還會有餘磁
C11	電能會生磁能、光能和熱能
C12	日常生活中利用磁的原理的物品有錄音帶、錄影帶等等
C13	利用電磁鐵原理製成的物品有果汁機、馬達等等
C14	有人不喜歡住在高壓電塔旁的理由
C15	如何利用電磁鐵玩遊戲
C16	磁性物質的保存方法
C17	指北針不能靠近有磁鐵或是電的地方使用

才能用指北針辨別方位」)同時提到概念 C1 與 P2,所以,在計算全班學生成功學習 C1、P2 這兩個概念的人數時,都要分別累加一次。

而本研究所謂之「核心概念」是依據四位自然專任教師之評比而決定,因此,本研究接著由四位自然專任教師(如表 1)分析出「電與磁」單元的重要先備知識與核心概念。四位自然教師將「先備概念」P1~P4 對於「電與磁」單元學習的重要性加以排序,

研究者再將每個概念所得的四個名次累加,累加結果越小則該概念對於「電與磁」單元的學習越重要,再選出最重要的兩個「先備概念」;而這四位教師也將從 C1~C17 這些「單元概念」中選出十個核心概念,並依照其重要性由 1 至 10 加以排序,被四位教師都評定為重要的單元概念則被視為本研究中「電與磁」單元的核心概念,而其重要性則由四位教師所給的排序累加結果來看,累加結果越小則被視為是越重要的核心概念,而

表 3:「電與磁」單元之核心概念分析表

編號	概念內容	教師 A	教師 B	教師 C	教師 D	加總	排序
P1	磁鐵有 NS 極,同極相斥,異極相吸	1	1	1	1	4	1
P2	地球本身可以看成是大磁鐵,所以指北針會指向南北	3	3	3	3	12	3
P3	磁鐵兩端的磁力最強	2	4	4	4	14	4
P4	電池串連與並聯的相關內容	4	2	2	2	10	2
C1	指北針是一個小型的磁鐵	—	7	9	10	—	—
C2	電磁鐵可以讓指北針發生偏轉	—	—	—	2	—	—
C3	電路會使指北針產生偏轉	7	6	10	2	25	6
C4	製作電磁鐵的方法或用具	3	1	3	5	12	3
C5	漆包線的特性	—	—	—	—	—	—
C6	增加電池數及或將電池連接方式由並聯改成串聯可以增加電磁鐵磁力	1	2	1	6	10	1
C7	增加漆包線圈數可以增加電磁鐵磁力	1	2	1	6	10	1
C8	電磁鐵通電才會有磁性	4	4	4	1	13	4
C9	電磁鐵與磁鐵都有 NS 極	5	4	4	4	17	5
C10	把電磁鐵的電源關掉時,電磁鐵還會有餘磁	8	—	—	7	—	—
C11	電能會生磁能、光能和熱能	—	8	6	—	—	—
C12	日常生活中利用磁的原理的物品有錄音帶、錄影帶等等	—	—	—	—	—	—
C13	利用電磁鐵原理製成的物品有果汁機、馬達等等	6	9	7	9	31	7
C14	有人不喜歡住在高壓電塔旁的原因	9	—	—	—	—	—
C15	如何利用電磁鐵玩遊戲	—	10	—	8	—	—
C16	磁性物質的保存方法	10	—	8	—	—	—
C17	指北針不能靠近有磁鐵或是電的地方使用	—	—	—	—	—	—

註:加灰底之項目表示該概念為本研究中之「電與磁」單元之核心概念
P1~P4 與 C1~C17 的排序是分開排名

整個分析結果如表 3。

由表 3 可以發現：在先備知識部分，依據四位自然教師的排序結果，P1、P4 這兩個概念是在「電與磁」單元學習時兩個較為重要的相關先備概念；而 C3、C4、C6、C7、C8、C9、C13 這七個概念則是「電與磁」單元的核心概念。

最後，本研究也將根據表 3 的分析結果，以檢視兩組學習者在「電與磁」單元相關先備概念及核心概念的學習情形。

肆、研究結果

本研究首先分析兩組學生的起點行為，之後在對研究中蒐集所得之資料進行分析，所得的結果經整理後分成三大部分：兩組學生之起點行為分析結果、兩組學生認知結構之相關變項分析結果與兩組學生「電與磁」單元的核心概念學習成效分析結果。

一、兩組學生起點行為分析結果

在本研究進行前，研究者分別針對兩班學生的四年級自然成績及其對科學學習環境的覺知與偏好進行 t 檢定，結果如表 4，由表 4 可知：兩班學生的四年級自然成績並無顯著差異存在 ($p > 0.05$)。

在本研究開始進行之前，研究者也分別對兩組學生以建構主義式學習環境量表的「偏好 (prefer) 版」與「實際 (actual) 版」施測。此外，在進行本量表的資料分析時，量表中學生的得分應被視為序列尺度資料，而當所要檢定之資料不屬於等距或比率尺度資料時，或是所要檢定之資料不能符合 t 檢定的基本假設時， U 檢定是代替 t 檢定來檢定兩個母群差異的好方法。因此本研究將以無母數檢定方法中的曼－惠特尼 U 檢定 (Mann-Whitney U test)，以檢驗兩組學生在建構主義式學習環境量表的「偏好 (prefer) 版」與「實際 (actual) 版」上的得分是否有顯著差異，而檢定結果如表 5 與表 6 所示。

由表 5 與表 6 可知：兩組學生在建構主義式學習環境量表的「偏好 (prefer) 版」與「實際 (actual) 版」之總分或是各個向度上的表現上均無顯著差異存在。因此，兩組學生在研究開始進行時，對學習環境的偏好及對所覺知學習環境的建構取向程度均無顯著差異存在 ($p > 0.05$)。

而綜合表 4、表 5 和表 6 的結果，我們可以發現兩組學生在研究進行前，無論是其自然成績、對學習環境的覺知與偏好均無顯著差異存在，因此，兩組學生在本研究進行前之起點行為並無顯著差異存在。

表 4：實驗組與控制組四年級自然成績之 t 考驗摘要表

		人數	分數範圍	平均數	標準差	t 值
上學期自然成績	實驗組	35	67-98	84.63	7.19	-0.03
	控制組	34	68-96	84.68	6.91	
下學期自然成績	實驗組	35	70-98	87.30	6.31	0.60
	控制組	34	75-96	86.15	5.88	
上下學期自然平均成績	實驗組	35	71-98	85.83	6.23	0.28
	控制組	34	72.5-94.5	85.41	6.04	

表 5：兩組學生「建構主義式學習環境量表偏好 (prefer) 版」U 檢定結果

		Mean/per item	S.D	U 值	<i>p</i> 值
向度一：社會性協商	實驗組	3.74	0.71	583	0.89
	對照組	3.68	0.96		
向度二：先備知識	實驗組	3.79	0.86	581	0.87
	對照組	3.82	0.78		
向度三：學生自主	實驗組	3.33	0.90	530	0.44
	對照組	3.18	0.96		
向度四：以學生為中心	實驗組	3.80	0.87	464	0.12
	對照組	3.15	0.97		
四個向度之總得分	實驗組	14.66	2.88	542	0.53
	對照組	14.13	3.18		

表 6：兩組學生「建構主義式學習環境量表實際 (actual) 版」前測結果彙整表

		Mean/per item	S.D	U 值	<i>p</i> 值
向度一：社會性協商	實驗組	3.46	0.84	556	0.63
	對照組	3.46	0.61		
向度二：先備知識	實驗組	3.49	0.75	582	0.87
	對照組	3.47	0.62		
向度三：學生自主	實驗組	3.00	0.87	526	0.41
	對照組	2.92	0.82		
向度四：以學生為中心	實驗組	3.39	0.81	595	1.00
	對照組	3.39	0.83		
四個向度之總得分	實驗組	13.33	2.72	585	0.90
	對照組	13.24	2.17		

二、兩組學生認知結構之相關變項分析結果

而為了要瞭解兩組學生在「電與磁」單元學習後所得的認知結構之差異，本研究首先將訪談所得到之兩組學生的認知結構相關資料整理，並進行一連串的 *t* 考驗，得到研究結果如表 7。

由表 7，我們可以發現兩組學生在「概念數量」與「回歸連結數」都有顯著差異存

在 ($p < 0.01$)，換句話說，在經過「電與磁」的單元教學後，接受建構主義式的學習活動的實驗組學生不論是在認知結構的「概念數量」或是「概念與概念間的連結」的表現都優於接受一般教學的對照組學生，而且兩組學生「概念數量」和「概念與概念間的連結」的 *Cohen's d* 值都大於 0.8，表示實際顯著程度 (practical significance) 均為高 (Cohen, 1988)。這樣的結果也顯示學習者透過建構主義式的學習活動可以比透過一般教學活動

表 7：兩組學生之認知結構變項 *t* 考驗結果摘要表

	建構主義教學組 (n = 35)		一般教學組 (n = 34)		t	Cohen's <i>d</i> ¹
	Mean	SD	Mean	SD		
概念數量	6.34	2.85	3.12	1.72	5.71**	1.37
回歸連結數	4.63	3.04	1.74	1.96	4.71**	1.10

¹ Cohen's *d* 值表示兩組在達顯著水準項目的「實際顯著程度」。當 *d* 值 > 0.8 時，表示「實際顯著程度」為高。

** *p* < 0.01

表 8：兩班學生概念流程圖中出現的概念之敘述性統計資料

編號	概念內容	實驗組 n(%)	對照組 n(%)
P1	磁鐵有 NS 極，同極相斥，異極相吸	21(60) ^a	19(55.9) ^a
P2	地球本身可以看成是大磁鐵，所以指北針會指向南北	3(8.6)	1(2.9)
P3	磁鐵兩端的磁力最強	0(0)	1(2.9)
P4	電池串連與並聯的相關內容	11(31.4) ^a	0(0)
C1	指北針是一個小型的磁鐵	20(57.1) ^a	15(44.1) ^b
C2	電磁鐵可以讓指北針發生偏轉	2(5.7)	1(2.9)
C3	電路會使指北針產生偏轉	8(22.9) ^b	1(2.9)
C4	製作電磁鐵的方法或用具	19(54.3) ^a	10(29.4) ^b
C5	漆包線的特性	6(17.1)	0(0)
C6	增加電池數及或將電池連接方式由並聯改成串聯可以增加電磁鐵磁力	12(34.3) ^b	2(5.9)
C7	增加漆包線圈數可以增加電磁鐵磁力	18(51.4) ^a	5(14.7)
C8	電磁鐵通電才會有磁性	18(51.4) ^a	15(44.1) ^b
C9	電磁鐵與磁鐵都有 NS 極	16(45.7) ^b	7(20.6)
C10	把電磁鐵的電源關掉時，電磁鐵還會有餘磁	1(2.9)	0(0)
C11	電能會生磁能、光能和熱能	7(20)	3(8.8)
C12	日常生活中利用磁原理的物品有錄音帶、錄影帶等等	12(34.3) ^b	2(5.9)
C13	利用電磁鐵原理製成的物品有果汁機、馬達等等	11(31.4) ^b	2(5.9)
C14	有人不喜歡住在高壓電塔旁的原因	2(5.7)	1(2.9)
C15	如何利用電磁鐵玩遊戲	2(5.7)	3(8.8)
C16	磁性物質的保存方法	5(14.3)	1(2.9)
C17	指北針不能靠近有磁鐵或是電的地方使用	1(2.9)	0(0)

1.^a 該概念之全班陳述比例 > 50%，^b 該概念之全班陳述比例 > 25%

2.有網底之項目為四位自然教師評定之「電與磁」單元之核心概念。

學習到更多的科學概念以及更為整合的認知結構，而較為整合的認知結構可能有助於學

習者在其長期記憶區中儲存更多的概念，也可以更有效的提取他們儲存在認知結構中的

相關概念。

三、兩組學生「電與磁」單元主要概念學習成效分析結果

接下來，本研究也針對兩組學生的概念流程圖中出現的概念進行敘述性統計，所得之結果如表 8。由表 8，實驗組一共有 12 個概念在全組的概念流程圖中出現的比例（出現次數÷全班人數）大於 25%，而其中有六個概念在全組的概念流程圖中出現的比例大於 50%；而對照組只有 4 個概念在全組的概念流程圖中出現的比例大於 25%，其中只有一個在全組的概念流程圖中出現的比例大於 50%。

而本研究也進一步針對表 9 中兩組學生在「電與磁」單元的重要先備概念及核心概

念（由表 3 中之四位科學教師所歸納而來）的學習結果逐一進行卡方考驗（chi-square test）中的同質性檢驗（test for homogeneity），以檢定兩組學生在這些概念的學習上是否具有顯著差異，所得之結果如表 9。

由表 9，兩組學生在「電與磁」單元的核心概念的學習成果經卡方分析後顯示：在分別經過一般教學與建構主義式的學習活動後，兩組學生在先備概念 P4、核心概念 C3、C4、C6、C7、C9、C11 的學習成果均有顯著差異存在。其中，特別是兩組學生在七個「電與磁」單元的主要概念中有六個的學習成果有顯著差異存在。而研究者亦進一步計算其 w 值，以瞭解在卡方檢定中達顯著項目之實際顯著（practical significance）程度（Cohen, 1988）。而由表 9 可以發現：先備

表 9：兩組學生在「電與磁」單元重要先備概念及核心概念之同質性檢驗結果摘要表

概念內容	實驗組 ($n = 35$)	對照組 ($n = 34$)	Pearson χ^2 值	w^1
P1	60% ^a	59% ^a	0.12	—
P4	31% ^b	0%	12.71*	2.15
C3	29% ^b	2.9%	6.03*	1.02
C4	54% ^a	29% ^b	4.04*	0.68
C6	34% ^b	5.9%	8.60*	1.45
C7	51% ^b	15%	10.47*	1.76
C8	51% ^a	44% ^b	0.37	—
C9	46% ^b	21%	4.90*	0.83
C13	31% ^b	5.9%	7.36*	1.24

¹ w 值表示兩組在達顯著水準項目的「實際顯著程度」。當 w 值 > 0.5 時，表示「實際顯著程度」為高。

^a 該概念之全班陳述比例 $> 50\%$ ，^b 該概念之全班陳述比例 $> 25\%$ 。

* $p < .05$ 。

在計算表中每個概念的 Pearson χ^2 值時，首先將資料轉換成 2×2 的交叉表（contingency table）之後再逐一計算，例如：在計算兩組學生提及 C3 概念的人數比例是否有差異存在時，首先畫出下列表格，再計算出其 Pearson χ^2 值。

	實驗組	對照組
有提及 C3	29%	2.9%
無提及 C3	71%	97.1%

概念 P4、核心概念 C3、C4、C6、C7、C9、C11 的實際顯著程度均為高 (large)，而其中 C6、C7 是四位自然教師公認最重要的單元概念 (表 3 排名均為 1)。由此可見，以整體來說，相較於一班教學而言，建構主義式的學習活動對於學習者在「電與磁」單元核心概念的學習成果是比較有幫助的。也就是說建構主義式的科學學習活動可以讓學習者獲得更多自然教師認為重要的概念，所以建構主義式的學習活動除了可以讓學習者認知結構中概念的數量、認知結構的整合性或是高階訊息處理策略的使用上都獲致較佳的科學學習成果之外，也讓學習者學到更多教學者認為重要的主要概念。

伍、討論與應用

Driver, Asoko, Leach, Mortimer 和 Scott (1994) 認為科學學習是一個包含個體認知以及社會互動兩種層面的知識建構過程，根據他們的觀點，建構主義式的科學學習活動不但要提供學習者更多的機會建構自己對於周遭世界的詮釋，並且也要促進學習者與同儕分享、協商他們的想法，最後共同達成對科學知識的意義建構。而在本研究中，實驗組的建構主義式的科學學習活動整合了「衝突圖」及 POE 策略，舉例來說，在實驗組的教學活動中，一開始有學生寫下他的預測，認為在導線附近的指北針在導線通電後不會發生任何的變化，而在與同儕討論過程中，發現有的同儕跟他有不同的看法，尤其是觀察之後，他發現觀察的結果與他的預測不符，而在與同儕討論原因及教學者講解之後，他也能夠瞭解並接受這個概念。這樣的學習活動不但強調個體認知的重要性，也同時兼顧社會互動的過程，而本研究的研究結果也顯示這些學習活動可以促進學習者的科

學學習成果，特別是在認知結構方面，這樣的結果也支持 Driver 等人 (1994) 的觀點。因此研究者建議教學者可以整合包含個體認知以及社會互動兩種不同層面的教學策略以促進學生科學概念學習與意義的建構。

而根據本研究的研究結果，以下將就學習者的認知學習成果 (cognitive learning outcomes) 及單元主要概念的學習兩大部分進行討論。

一、認知結構學習成果

Bischoff 和 Anderson (2001) 認為如果學習者的認知結構中有足夠數量的概念，則可以促使學習者發展出更為複雜模式的認知結構。換言之，學習者認知結構中「概念數量」的增加將有助於其發展較為整合的認知結構，而這些概念也可能將成為學習者認知結構「整合性」增加的鷹架。由本研究的研究結果來看，建構主義式的科學學習活動確實幫助實驗組的學習者學到較多數量的概念，而且本研究中也發現實驗組學習者在認知結構中「概念間的連結」顯著優於對照組的學習者，因此，本研究之研究結果可以支持 Bischoff 和 Anderson (2001) 的論點。

Tsai 和 Huang (2001) 指出學習者認知結構發展的過程可以分為三個階段：「知識發展階段」(knowledge development stage)、「知識擴展階段」(knowledge extension stage)、「知識精鍊階段」(knowledge refinement stage)，其中在「知識發展階段」，學習者的認知結構會出現「概念數量」及「概念間的連結」的急遽增加；而在「知識擴展階段」時學習者的「概念數量」仍然會急遽增加，而「概念間的連結」與高階訊息處理策略的使用並不一定增加；而在「知識精鍊階段」時會開始大量使用高階的訊息處理策略。本研究之研究結果也發現建構主義式的科學學

習活動可以讓學習者學習到更多數量的概念及較為整合的認知結構，因此，若綜合 Tsai 和 Huang (2001) 所提出之認知結構發展的三個階段與本研究之研究結果來看，建構主義式的科學學習活動至少在 Tsai 和 Huang (2001) 所提到的認知結構發展的前兩個階段：「知識發展階段」與「知識擴展階段」對於學習者認知結構發展的助益是顯著大於傳統的教學活動；然而建構主義式的科學學習活動對於學習者在認知結構發展的第三個階段：「知識精鍊階段」的效果則需要後續的相關研究探討。

綜合來說，國小高年級學生經由建構主義式的科學學習活動之後，不論是在認知結構中概念的數量或是認知結構的整合性都能獲致較佳的科學學習成果。而且相較於一般教學活動而言，建構主義式的學習活動在認知結構發展的前兩個階段中 (Tsai & Huang, 2001)，都更能增進學習者認知學習的成果。

二、核心概念的學習成果

有些建構主義者認為科學本身是一種文化 (culture) 或價值觀，而科學學習就是這種文化的分享過程，學習者透過教師引導而在學習的過程中慢慢融入 (encultured) 到這樣的文化之中 (Hodson, 1999)，換言之，科學學習是是一種由教師導引的「認知見習」 (cognitive apprenticeship) 的過程 (Collins, Brown & Newman, 1988)，學習者也透過這樣的歷程分享由科學社群所共同建構的科學知識。而各個單元中的主要概念即是由科學社群所共同建構的科學知識，因此，本研究也針對兩組學習者在「電與磁」單元核心概念的學習情形進行分析。而從本研究的結果發現：相較於一般教學活動而言，建構主義式的學習活動讓實驗組學生在「電與磁」單元核心概念的學習明顯優於對照組，而或許

建構主義式的學習活動的確更重視學習者的先備知識與新概念的連結，也因此學習者才會陳述出較多與先備知識的相關概念，而這些結果也呼應於先前許多研究者 (例如: Bischoff & Anderson, 1998; Lawson, 2001; Taylor & Fraser, 1991; Tsai, 1998a, 1999; White & Gunstone, 1992) 所提出的「建構主義式的學習活動有助於學習者的科學學習成果」。

此外，就教學者的角度來看，建構主義式的學習活動除了可以讓學習者認知結構中概念的數量、認知結構的整合性都獲致較佳的科學學習成果之外，也讓學習者學到更多教學者認為重要的主要概念，這些概念即是在科學社群中被認為重要的科學核心概念 (big ideas)，所以建構主義式的學習活動讓學習者學到的是架構性的知識，而非只是片段的事實或記憶，而這也與建構主義的精神是相符的。

Tsai (2001) 也指出透過概念流程圖析法，除了可以得到讓教學者獲得學習者認知結構的相關資訊之外，也可以透過進一步的內容分析，評量學生在單元核心概念的學習情形，透過這樣的分析方式，教學者可以作為自我單元教學成效評量的相關線索，並作為改進教學的依據。因此，本研究的研究結果也可以支持教學者將建構主義對於科學學習的主張融入教學中，以幫助他們在單元活動中可以學習到更多的核心概念。

而總結本研究的結果，可以發現建構主義式的科學學習環境不但可以促進學習者認知結構的發展，而且也可以有效幫助學習者學習單元中的核心概念。在認知結構發展方面，相較於傳統的科學學習活動，國小高年級學生經過建構主義式的科學學習活動後，不論認知結構的「量」與「質」上都能獲致較佳的認知結構成果；而且更能有效學習單元中主要的科學概念。

根據建構主義的觀點，學習者必須透過各種不同的方式來學習、建構自己的知識 (Driver & Bell, 1986; Driver *et al.*, 1994; Tsai, 1998c, 2001)，因此教學者應該採取更多元的教學策略，甚至結合不同的教學策略，促進學生意義的建構與概念的學習。本研究結合「衝突圖」策略和 POE 教學策略作為建構取向教學活動設計的依據，而研究的結果也說明了這是一個在一般科學教室的教學情境中可以採用的教學模式。因此，本研究也進一步建議教學者可以結合「衝突圖」策略和 POE 教學策略作為建構取向教學活動設計的依據，以促進學習者的科學概念學習與意義建構。

最後，除了探討建構主義式的學習活動對於學習者的認知結構的影響之外，研究者也建議可以以學習者的科學認識觀或是後設認知能力為變項進行後續研究，從各個不同的角度更深入探討建構主義式的學習活動對於學習者科學學習成果的影響。

註：本研究中之表 5 及表 6 為背景變項，係改編自 Science Education, 89: 822-846 中之 Table 1 及 Table 2，本研究與該研究之樣本相同，但主要研究目的及資料搜集有所不同。

誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會補助經費 (計畫編號：NSC 91-2511-S-009-008，NSC 92-2511-S-009-016)，始得以完成，謹此敬致謝忱。

參考文獻

1. 邱美虹 (1993)：類比與科學概念的學習。教育研究資訊, 1(6), 79-90。
2. 黃昭銘 (2001)：國小高年級學童學習生物繁殖之認知結構分析。花蓮市：花蓮師範學院碩士論文 (未出版)。
3. 張靜馨 (1996)：建構教學：採用建構主義如何教學？。建構與教學, 7, 1-7。
4. 郭重吉 (1995)：建構主義與科學教育的革新。科學教育學刊, 49, 213-224。
5. Alparslan, C., Tekkaya, C., & Geban, O. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37(3), 135-139.
6. Anderson, O. R., & Demetrius, O. J. (1993). A flow-map method of representing cognitive structure based on respondents' narrative using science content. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 953-969.
7. Appleton, A. (1993). Using theory to guide practice: Teaching science from a constructivist perspective. *School Science and Mathematics*, 93, 269-274.
8. Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive viewpoint*. New York: Rinehart & Winston.
9. Bean, T. W., Searles, D., Singer, H., & Cowen, S. (2001). Learning concepts from biology text through pictorial analogies and an analogical study guide. *Journal of Educational Research*, 83(4), 233-237.
10. Bettencourt, A. (1993). The construction of knowledge: A radical constructivist view. In K. Tobin (Ed.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 39-50). Hillsdale, New Jersey: LEA.
11. Bischoff, P. J., & Anderson, O. R. (1998). A case study analysis of the development of knowledge schema, ideational network, and higher cognitive operations among high school

- students who studied ecology. *School Science and Mathematics*, 98(5), 228-237.
12. Bischoff, P. J., & Anderson, O. R. (2001). Development of knowledge frameworks and higher order cognitive operations among secondary school students who studied a unit on ecology. *Journal of Biological Education*, 35(2), 81-88.
 13. Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63(10), 873-878.
 14. Christianson, R. G., & Fisher, K. M. (1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. *International Journal of Science Education*, 21(6), 687-698.
 15. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science* (2nd ed.). Hillsdale, New Jersey: Lawrence.
 16. Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1988). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, New Jersey: LEA .
 17. Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
 18. Driver, R., & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science Review*, 67(240), 443-456.
 19. Fosnot, C. T. (1996). Constructivism: A psychological theory of learning. In C. T. Fosnot (Ed.), *Constructivism: Theory, perspectives and practice* (pp. 3-7). New York: Teachers College Press.
 20. Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 220-240). Hillsdale, New Jersey: LEA
 21. Hodson, D. (1999). Building a case for a sociocultural and inquiry-oriented view of science education. *Journal of Science Education and Technology*, 8(3), 241-249.
 22. Kearney, M., Treagust, D. F., Yeo, S., & Zadnik, M. G. (2001). Student and teacher perceptions of the use of multimedia supported predict-observe-explain tasks to probe understanding. *Research in Science Education*, 31, 589-615.
 23. Kinchin, I. M. (2000). Concept mapping in biology. *Journal of Biological Education*, 34(2), 61-68.
 24. Lawson, A. E. (2001). Using the learning cycle to teach biology concepts and reasoning patterns. *Journal of Biological Education*, 35(4), 165-169.
 25. Liew, C. W. (1995). A predict-observe-explain teaching sequence for learning about students' understanding of heat and expansion of liquid. *Australian Science Teachers' Journal*, 41(1), 68-71.
 26. Marinopoulos, D., & Stavridou, H. (2002). The influence of a collaborative learning environment on primary students' conceptions about acid rain. *Journal of Biological Education*, 37(1), 18-24.
 27. Matthews, M, R. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6(1-2), 5-14.
 28. Matthews, M. R. (2002). Constructivism and

- science education: A further appraisal. *Journal of Science Education and Technology*, 11(2), 121-134.
29. Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1998). *Teaching science for understanding*. London: Academic Press.
30. Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2001). Assessing understanding in biology. *Journal of Biological Education*, 35(3), 118-124.
31. Novak, J. D. (1993). Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. *International Journal of Personal Construct Psychology*, 6, 167-193.
32. Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). Concept mapping for meaningful learning. In J. D. Novak & D. B. Gowin (Eds.), *Learning how to learn* (pp. 15-54). NY: Cambridge University Press.
33. Odom, A. L., & Kelly, P. V. (2001). Integrating concept mapping and learning cycle to teach diffusion and osmosis concepts to high school biology students. *Science Education*, 85, 615-635.
34. Palmer, D. (1995). The POE in the primary school: An evaluation. *Research in Science Education*, 25(3), 323-332.
35. Phillips, D. C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5-12.
36. Pines, A. L. (1985). Toward a taxonomy of conceptual relations and the implications for the evaluation of cognitive structures. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structures and conceptual change* (pp. 101-115). Orlando: Academic Press.
37. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
38. Shavelson, R. J. (1974). Methods for examining representations of a subject-matter structure in a student's memory. *Journal of Research in Science Teaching*, 11, 231-249.
39. Staver, J. R. (1998). Constructivism: Sound theory for explicating the practice of science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 501-520.
40. Solomon, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
41. Soyibo, K., & Evans, H. G. (2002). Effects of co-operative learning strategy on ninth-graders' understanding of human nutrition. *Australian Science Teachers' Journal*, 48(2), 32-35.
42. Taylor, P. C., & Fraser, B. J. (1991, April). *CLES: An instrument for assessing constructivist learning environments*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva, WI.
43. Tsai, C.-C. (1998a). An analysis of Taiwanese eighth graders' science achievement, scientific epistemological beliefs and cognitive structure outcomes after learning basic atomic theory. *International Journal of Science Education*, 20, 413-425.
44. Tsai, C.-C. (1998b). Science learning and constructivism. *Curriculum and Teaching*, 13, 31-52.
45. Tsai, C.-C. (1998c). An analysis of scientific epistemological beliefs and learning orientation of Taiwanese eighth graders. *Science Education*,

- 82, 473-489.
46. Tsai, C.-C. (1999). Content analysis of Taiwanese 14 year olds' information processing operations shown in cognitive structures following physics instruction, with relations to science attainment and scientific epistemological beliefs. *Research in Science & Technological Education, 17*, 125-138.
47. Tsai, C.-C. (2000a). Enhancing science instruction: The use of "conflict maps". *International Journal of Science Education, 22*, 285-302.
48. Tsai, C.-C. (2000b). Relationships between student scientific epistemological beliefs and perceptions of constructivist learning environments. *Educational Research, 42*(2), 193-205.
49. Tsai, C.-C. (2001). Probing students' cognitive structures in science: The use of a flow map method coupled with a metalistening technique. *Studies in Educational Evaluation, 27*, 257-268.
50. Tsai, C.-C. (2003). The interplay between philosophy of science and the practice of science education. *Curriculum and Teaching, 18*(1), 9-36.
51. Tsai, C.-C. & Huang, C.-M. (2001). Development of cognitive structures and information processing strategies of elementary school students learning about biological reproduction. *Journal of Biological Education, 36*, 21-26.
52. Tsai, C.-C. & Huang, C.-M. (2002). Exploring students' cognitive structures in learning science: A review of relevant methods. *Journal of Biological Education, 36*, 163-169.
53. von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese, 80*, 121-140.
54. von Glasersfeld, E. (1993). Questions and answers about radical constructivism. In K. Tobin (Ed.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 39-50). Hillsdale, New Jersey: LEA.
55. Wanderse, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). NY: Macmillan.
56. West, L. H. T., Fensham, P. J., & Garrard, J. E. (1985). Describing the cognitive structures of learners following instruction in chemistry. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structures and conceptual change* (pp. 29-48). Orlando: Academic Press.
57. White, R. & Gunstone, R. (1992). Prediction-observation-explanation. In R. White & R. Gunstone (Eds.), *Probing understanding* (pp. 44-64). London: The Falmer Press.

附錄一：實驗組之建構主義式的學習活動

建構主義式科學學習活動教案設計

一、說明：

本教案結合 Tsai (2000a) 的「衝突圖」策略和 POE 教學策略作為活動設計的依據。研究者以「衝突圖」策略為整個主要的單元教學架構，融入 POE 策略於實際教學活動中，期望能促進學生的概念改變，達成有意義的學習。

二、單元「衝突圖」：

本單元為「電與磁的奇妙世界」，圖 A-1 為本單元之「衝突圖」：

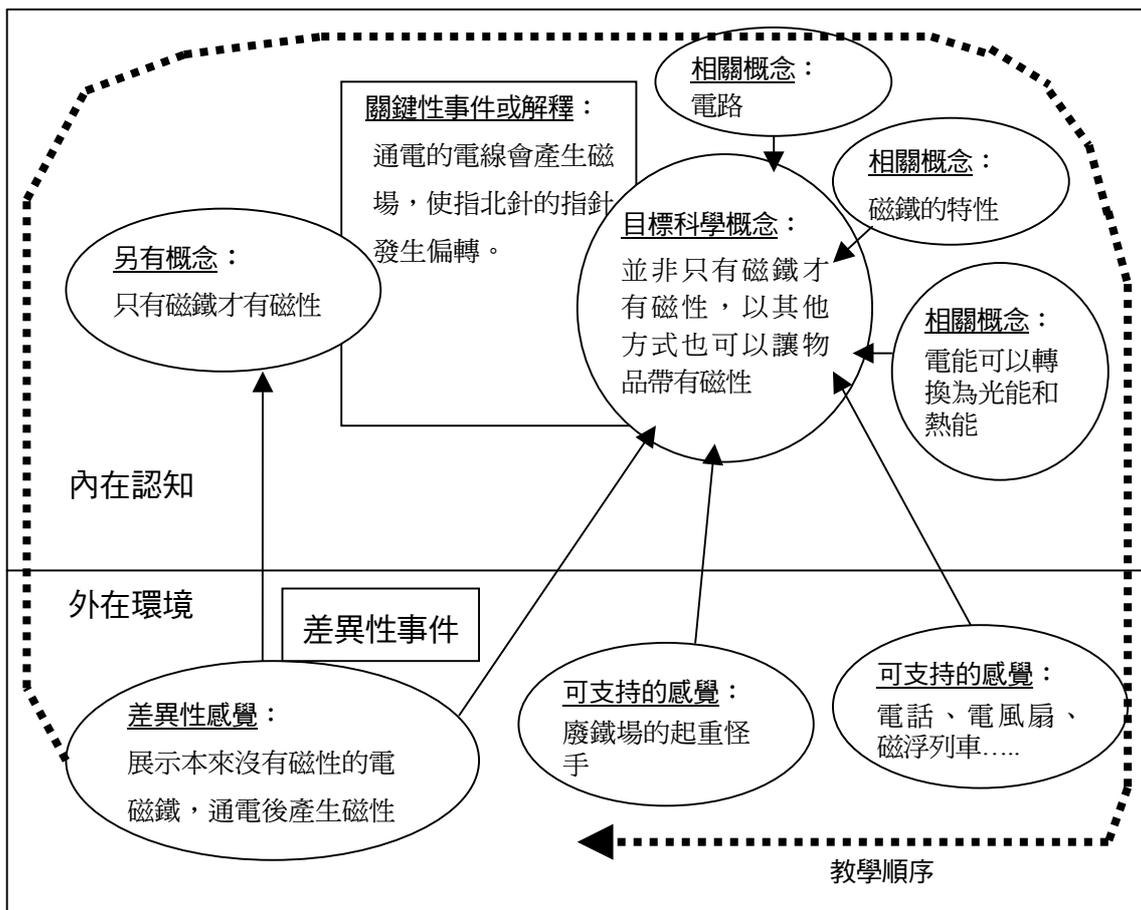


圖 A-1：「電與磁的奇妙世界」單元「衝突圖」

三、教案：

- 科目：自然科
- 教學年級：國小五年級
- 單元名稱：電與磁的奇妙世界
- 教學時數：九節（共 360 分鐘）
- 單元目標：
 1. 學生能瞭解指北針的指針就是小型的磁鐵，並瞭解指北針的特性。
 2. 學生能觀察到置於通電的電線附近的指北針之指針會發生偏轉，並驗證其原因。
 3. 學生能利用「電生磁」的原理製作「電磁鐵」，並能找出使「電磁鐵」磁力增強的方法。
 4. 學生能舉例說明電與磁在生活中的運用。

衝突圖要素	教學目標	教學活動	教學用具	時間配置
差異性事件	<ul style="list-style-type: none"> • 引發學生的認知衝突（學生通常認為只有磁鐵才具有磁性），並引起學習動機。 	<ul style="list-style-type: none"> • 教師示範： 教師分別示範未通電的電磁鐵並不是磁鐵，也未具備磁性；而通電後的電磁鐵卻可以吸起迴紋針。 	電磁鐵	10 分鐘
	<ul style="list-style-type: none"> • 連結學生之先備知識並活化之（磁鐵的特性（二上）、電路（四上）） 	<ul style="list-style-type: none"> • 教師講述： 教師利用磁鐵及簡單電路裝置複習「磁鐵的特性」與「電池的並聯、串聯」 	幻燈片 磁鐵	30 分鐘
關鍵性事件或解釋	<ul style="list-style-type: none"> • 使學生瞭解通電的電線附近會產生磁場，使指北針的指針發生偏轉 	<ul style="list-style-type: none"> • POE 策略： 1. 預測： 教師發問：「將指北針置於通電的電線附近會有什麼現象發生呢？為什麼？」，請學生寫下預測之後分組討論上述問題。 2. 觀察： 教師展示「將指北針置於通電的電線附近時，指北針會發生偏轉的現象」，學生觀察之。 3. 解釋： 讓學生分組討論，協調預測與觀察之間的差異，並加以解釋。教師扮演學習的媒介者和促進者，鼓勵學生思考各種的可能性。等學生分組報告完後，教師最後提出目前科學上的解釋。 • 學生分組合作學習： 1. 實作「通電的電線會使指北針的指針發生偏轉」。 	指北針 簡單電路	10 分鐘 10 分鐘 20 分鐘 40 分鐘
			指北針 簡單電路	40 分鐘

		2.學生分組討論「如何使指北針的偏轉角度變大？」後報告，並歸納學生討論之結果：加大電流或將電線多繞幾圈。	電池		
相關的科學概念 (電磁鐵)	電磁鐵的特性	<ul style="list-style-type: none"> 教師示範與說明： <ol style="list-style-type: none"> 教師展示小馬達的內部構造，並說明漆包線的功用。 教師複習「通電的電線附近會產生磁場」及「將電線多繞幾圈可使磁場變強」的概念，並進一步解釋電磁鐵的原理。 學生實作電磁鐵： <p>每個學生實作一個電磁鐵。</p> POE 策略 <ol style="list-style-type: none"> 預測： <p>教師發問：「(1)除了線圈數不同之外，其他條件都相同的兩個電磁鐵，吸起迴紋針的數目會相同嗎？(2)除了中心的材質不同之外，其他條件都相同的兩個電磁鐵，吸起迴紋針的數目會相同嗎？」(3)除了電池的數目不同之外，其他條件都相同的兩個電磁鐵，吸起迴紋針的數目會相同嗎？」，請學生寫下預測後分組討論上述問題。</p> 觀察： <p>教師展示三組不同的電磁鐵吸起迴紋針的情形，學生觀察。</p> 解釋： <p>讓學生分組討論，協調預測與觀察之間的差異，並加以解釋。教師扮演學習的媒介者和促進者，鼓勵學生思考各種的可能性。等學生分組報告完後，教師最後提出目前科學上的解釋。</p> 學生製作強力的電磁鐵： <p>教師提供材料，讓學生分組競賽，製作強力的電磁鐵。</p> 	小馬達	10 分鐘	
	學生能找出使電磁鐵 磁力增強的方法		鐵棒 漆包線 電池電線	10 分鐘	
				電磁鐵數組	30 分鐘
				鐵棒 漆包線 電池 電線	100 分鐘
相關的科學概念 (各種能量間的 轉換)	使學生瞭解電能可以 轉換成其他能量，例 如光能及熱能	<ul style="list-style-type: none"> 教師講述： <p>以電燈及電鍋為例，說明電能可以轉換成光能及熱能。</p> 	圖片	20 分鐘	

可支持的經驗 (生活中的磁製品)	使學生瞭解生活中有許多的「磁」有關的物品，並知道如何保存這些物品。	<ul style="list-style-type: none"> • 學生分組合作學習： 1. 請學生收集生活中和磁有關的物品並分組報告，教師歸納各組報告的結果。 2. 學生分組討論該如何保存這些磁製品，教師歸納之。 		30 分鐘
可支持的經驗 (生活中利用電與磁的原理製成的用具)	使學生瞭解生活中有許多的「磁」有關的物品，	<ul style="list-style-type: none"> • 學生分組合作學習： 1. 請學生討論生活中和電與磁的原理有關的用具並分組報告，教師歸納各組報告的結果。 		30 分鐘

The Effect of Constructivist-oriented Science Instruction on Elementary School Students' Cognitive Structures about Basic Electromagnetism

Ying-Tien Wu and Chin-Chung Tsai

Institute of Education & Center for Teacher Education,
National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

Abstract

This study was conducted to explore the effects of constructivist-oriented instruction on fifth graders' cognitive structures about basic electromagnetism. Furthermore, such effects on learners' acquisition in key ideas about basic electromagnetism were investigated. The subjects of this study were sixty-nine fifth graders in Taiwan, who were assigned to either a constructivist-oriented instruction group or a traditional teaching group. The research treatment was conducted for three weeks, and the interview data were gathered a week after the instruction about basic electromagnetism. The interview narratives were transcribed into the format of 'flow maps.' In addition, the key ideas about basic electromagnetism shown in the flow maps were also investigated through a series of content analyses. The results of this study revealed that the students in the constructivist-oriented instruction group, in general, attained better learning outcomes about basic electromagnetism after instruction, either in terms of the extent of concepts or the integration within their cognitive structures. Furthermore, the students in the constructivist-oriented instruction group likely learned more key ideas about basic electromagnetism. This study suggested that science teachers could combine the POE (Predict-Observe-Explain) strategy and the conflict map strategy to promote learners' conceptual learning and knowledge construction in science classrooms.

Key words: Constructivist, Cognitive Structure, Key Ideas, Flow Map