

運用不同電子元件教學探討電流方向心智模型之改變-以四年級學生補救教學為例

楊志強* 洪振方** 林日宗***

本研究主要運用不同特性之電子元件，探討電流方向心智模型建立之補救教學成效。藉由電流模型的評測工具以及晤談診斷，確定 91 位四年級國小學生的心智模型類別後，選出 18 位補救教學對象，隨機分成三組，提供學生不同性質的電子元件，包括傳統燈泡、馬達、LED 燈泡，透過實際操作的過程以及類比說明的方式，引導學生建立電流方向心智模型。以卡方檢定分析三組學生的學習成效差異，結果顯示 LED 燈泡組以及馬達組的效果優於傳統燈泡組，研究者推論是由於 LED 及馬達的電子元件特性，可以顯現出電流的方向性，進而提升學生對於電流方向性的理解。最後，本研究提出對電流心智模型教學的反思及建議。

關鍵詞：補救教學、電流方向、心智模型

* 作者現職：國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所博士候選人

** 作者現職：國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所教授

*** 作者現職：國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所博士候選人

通訊作者：楊志強，e-mail: nzm.john@gmail.com

壹、研究目的與動機

電流方向性是電磁學概念的核心概念之一，在國小課程內容中，電路能否形成通路、產生磁場的方向均受到電流方向性概念學習的影響；在國中課程內容中，對於電解池中的氧化還原反應、電路中各電子元件的電流及電壓計算等概念，也同樣必需考慮到電流方向性。電流方向性在科學課程中佔有極重要的角色，能否建立正確的核心概念影響日後的學習深遠。然而，對兒童而言，電流方向性的學習卻是困難的（黃朝琴，2003）。

長久以來，國小四年級電流的教學都是使用傳統燈泡，研究者認為由於傳統燈泡形成通路時，無法顯示出電流方向特性，甚至容易導致另有概念的形，但是以前的研究卻很少將重點聚焦在電子元件的特性上，Arnold和Millar（1987）認為，學生學習困難的原因是由於此領域的主概念無法直接觀察的，研究者認為若能改採用不同電子元件取代傳統燈泡，能夠顯示出電流方向的特性，即可使學生建立正確的電流方向心智模型，為達此目的，研究者先藉由研究工具選出具有雙向模型的18位學生，進行補救教學活動，嘗試提供不同的電子元件，探究其對於電流方向性心智模型的影響，並探討心智模型難以改變的原因。





貳、文獻探討

一、學生常見的電流心智模型

由於電學的本質是偏向抽象，對學生而言，是不易瞭解的概念。即使具理工背景之碩士與國小教師也會在電學概念上具有相似的迷思概念（曾耀霆，1999；楊文金，1993）。針對學生對電流的想法，許多研究者將學生想法圖像化，並加以解釋，Osborne和Freyberg（1985）分析出對電流的解釋四種常見的模型（如表1），研究指出在不同年齡層中，這四種電流的心智模型的比率互有消長。Arnold和Millar（1987）以及Magnusson、Boyle和Templin（1997）分別以Osborne和Freyberg的研究為基礎，將簡單電路擴充成串聯及並聯燈泡的電路後，再從上述四種模型中增加了幾個分類，在碰撞模型及消耗模型中又新增了許多不同的模型。

邱美虹和林靜雯（2002）曾進行電流心智模型的測驗，發現在32名學生中，共有12種串聯通路的電流模型，14種並聯通路的電流模型。相關文獻（陳瓊森，1993；Magnusson et al., 1997）也指出影響電流心智模型的因素包含電路方向、線路的表徵、連接節點等，對學生而言，這些因素都會衍生不同的心智模型。

表 1 兒童對於簡單電路電流解釋模型

心智模型名稱	圖示	電流方向性質說明
單極模型 (unipolar model)		只用電線連接單一電極，就可使燈泡發亮，電流方向可視為往電極流往燈泡或不需考慮。
碰撞模型 (clashing currents model)		電流由正負極同時出發流往燈泡，在燈泡處衝擊。
消耗模型 (attenuation model)		電流由單一電極出發後，流往燈泡後，經過燈泡之後電流減少，轉換成電能，剩下的電流再流回另一電極。
科學模型 (scientific model)		電流由單一電極出發後，流往燈泡後，經過燈泡之後電流沒有減少，再流回另一電極。

資料來源：整理自Osborne和Freyberg（1985）。

綜上所述，對於電流模型的解釋有賴各種電子元件的不同組合變化，並加以說明現象及解釋原因，電流方向性的解釋基本上可分為單極、單向、雙向或其他四種模型，而電流大小在電路的變化可分為科學、消耗與碰撞消失三種。其他研究發現（邱美虹、林靜雯，2002；陳啟明、陳瓊森，1992；曾耀靈，1999）電流方向性的雙向概念模型在教學前佔有極高的比例，經過教學後仍有許多人難以改變這些概念模型，推測可能是因為雙向概念模型比科學模型更符合大部分學生所持有的「資源消耗模型」所致。但上述研究對不同電子元件的影響卻少有解釋，值得進一步探討，本研究設法藉由不同電子元件的特性，讓學生實際操作並觀察其結果，藉以了解學生對電流方向性的心智模型變化。

二、電學概念教學之相關研究

由於電流概念的高度抽象性及複雜性，致使學生對電流概念不易建立正確的心智模型，因此在教學上會藉由具體操作及類比等方法進行教學，但各有其限制，以下分段說明：

（一）具體操作與 POE 教學法

Baroody（1987）主張抽象概念的理解必須先從具體操作階段開始，才能將新獲得的知識加以內化。陳龍川（1992）曾在電學教學上應用具體操作，配合認知衝突策略，使學生達成良好的學習效果。Driver（1988）利用實驗、示範、觀察現象或討論的方式，引導學生先了解自己的既有概念後，接著透過認知衝突的情境或實驗示範的方法所引導出的科學概念，再經由討論、講解等過程幫助學生挑戰和澄清既有概念，最後經過評鑑和應用使學生理解科學概念，發展

出所謂的POE (Predict, Observe and Explain) 的概念改變教學法。李燕文 (2011) 曾針對國小低成就學生進行POE式的概念改變教學，結果發現學生的電學概念中普遍都可以獲得不錯的提升。

(二) 類比教學法

此外，有研究 (Dagher,1995; Duit, 1991) 指出，使用類比教學可以促進抽象概念理解，因為新概念之間的關係被轉化成類比的例子，而類比的例子是從學習者生活經驗所感受而得到的，使用類比學習可以提供建立新概念的有效協助。許多研究 (林靜雯、邱美虹, 2005; 楊文金, 1995; Clement & Steinberg, 2002; Glynn, 1991) 也利用類比教學來協助學生理解電學概念，Glynn (1991) 以簡單水流來類比電流，Clement和Steinberg (2002)，則利用空氣的性質來類比電學相關概念。Gentner和Gentner (1983) 曾使用類比策略進行電路教學、水流模型以及粒子模型。學生在教學後傾向於使用當初教學時所採用的模型，這也顯示類比的例子會影響學生概念的發展，並讓解釋過度單純化。Schwedes和Dudeck (1996) 指出，用水流來類比電路教學後，學生對於預測電流在電路中的情況有所助益，但是卻會讓學生以水流概念架構一直固著使用於電學領域，難以改變。由於單一類比的教學對目標概念的學習有所限制，因此讓許多研究者紛紛提出強化對於電學類比教學的看法。White和Frederiksen (1986) 建議在電路的教學上最好彈性使用多重模型，他們使用電腦動畫去模擬電流及電壓的巨觀及微觀二個不同層次的世界，提供學習者綜合兩個層次，對概念有更深入的理解。

(三) 教學法限制

POE的教學方法雖提供了概念改變的動機，但是針對某些抽象概念的領域，學生無法藉由現象的觀察，自行發展出合適的心智模型，教學者需要提供適當的引導才能協助學習者發展出較正確的心智模型 (Magnusson et al., 1997)。而於類比教學的批判上，Adúriz-Bravo、Bonan、Galli、Chion和Meinardi (2005) 指出，由於類比案例符合學生日常生活經驗，溝通性也較強烈，學生往往會忽略其他訊息，產生誤解或擴大解釋。Guerra-Ramos (2011) 也指出類比教學的使用有其限制，教學者必需在進行教學之前，先做好教學規劃並了解類比的潛在影響及其限制，以避免誤用。James和Scharmman (2007) 認為類比只是協助學習者理解目標概念的工具，並不能將類比案例的性質完全取代或套用到目標概念之中，更不可過度依靠或完全使用類比的方式進行教學。Niedderer和Goldberg (1996) 則認為電流教學要針對學生發展概念困難之處，重視學生原有心智模型使用情況，並以此為基礎去引導學生發展對電流的心智模型。Steinberg和Clement (2001) 則是利用特定事件或情況去引發與學生原有心智模型互相矛盾，讓學習者修正原有因類比教學所產生的心智模型。

電學概念對國小學生而言，是一項既抽象又新奇的領域，綜合上述的文獻，研究者認為電學概念的理解可以從具體操作階段開始以POE的方式，配合多重類比教學，有系統地引導學生沿著半具體的學習階段，進一步將這些知識心像化，再配合實作的驗證，完成正確心智模型建立的補救教學。

三、心智模型的建立

在既有心智模型下，可藉由概念改變理論運用在心智模型建構歷程之中，完成補救教學的目的，Justi和Gilbert（2002）認為所有心智的模型建構是對所描述的現象去建立組成內容，由既有的資源或經驗來形成心智模型、修正心智模型或重新形成新的模型。在形成心智模型後，會以口語、視覺，或是數學符號的關係加以表徵，再由思考實驗進行檢驗及修正。楊志強和洪振方（2011）指出Justi和Gilbert所提出的心智模型建立的架構，可以提供教學者幾個重要的啟示，第一，除了考慮個人先備知識與學習情境外，學習目標的建立有賴於以實驗去考驗心智模型的適用性。第二，在學習者產生心智模型後要能夠表徵心智模型，以提供與實驗進行互動的物件，進而確認或修正原有的心智模型。第三，教學者需要提供或引導建構心智模型環境的相關條件，如目的選擇、心智表徵方式、思考實驗與真實實驗設計，並於心智模式通過實驗後，提示其範圍與其限制。

Johnson-Laird（1983）指出心智模式是儲存於記憶的概念組織，可定義為內在表徵或模型，心智模式是物理世界的連結類比。Buckley與Boulter（2000）認為心智模型的建構即建模，是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程，是以「模型」為基礎的學習（model-based learning）。Clement（2000）指出以模型為基礎的學習架構必須考量學生的既有概念和推理能力。Harrison和Treagust（2000）發現，學生在模型的建立與使用上存在著困難，教學前必先規劃如何幫助學生建模以學習新的概念，提出聚焦、活動、反省三個教學步驟。而在實際進行心智模型的建構教學上，Schwarz等人（2009），綜合心智模型建構的相關研究，提出建模序列的步驟指標，從概念定錨、建構模型、測試模型、評價模型、檢驗模型、修正模型、使用模型預測或解釋等模型建構的步驟，如表2，強調藉由師生互動逐步修正並產生共同模型。許多研究（邱美虹、劉俊庚，2008；洪振方、莊敏雄、宋國城，2011；張志康、林靜雯、邱美虹，2009）均指出教師應提供適當的鷹架讓學生學習使用資料來發展與檢驗他們模型，提供學生示範以及練習的機會。

表 2 模型建構序列的步驟

模型建構序列主要主驟	行為描述
定錨現象 Anchoring phenomena	為特定概念檢提出驅動性的問題與現象。
建構模型 Construct a model	創造初始模型以代表一個想法或假說。
實際測試模型 Empirically test tem model	藉由模型探討被預測與解釋的現象。
評價模型 Evaluate the model	將模型與實際現象作比較。
用其他想法測試模型 Test the model against other ideas	將模型與其他理論及定律比較。
修改模型 Revise the mode	修正模型以符合新事證。
使用模型去預測和解釋 Use the model to predict or explain	使用模型去預測和解釋其它的現象。

資料來源：Schwarz等人（2009）。

綜觀上述各學者對於心智模型建立所提出的教學取向，可以發現心智模型建構的學習架構皆包含起始概念、教師引導模型建構、測試及修正模型，並用之解釋與進行預測，實際上，這些步驟已也包含了POE以及提供多重類比模型的內涵，教師若能提供有系統的引導，將可協助學生心智模型的建構。本研究希望藉由心智模型相關的教學理論，對具有另有概念的學生進行補救教學，藉此探討並驗證相關理論在補救教學的執行上的可行性及成效。

四、常見的國小電子元件電流特性

目前在國小課程中有關電路的介紹，最早在國小三年級時，其使用的電子元件除了電池及電線之外主要是以傳統的（3~5瓦）小燈泡，做為電路是否為通路的一種測試工具，但是對於電流的方向卻無法有效驗證，如圖1，若將電池電極或小燈泡電極以不同的方向連接，若電池能提供電力、且小燈泡沒有燒毀的情況下，形成通路時，都可以使小燈泡產生發亮的結果，因此對於電流單向的方向性無法提供明確證明。國小的教材中，直到六年級時，才藉由不同電流方向的產生的磁場引起指北針的偏轉，方能證明出電流方向性（教育部，2003）。

除了傳統小燈泡之外，發光二極體（Light-Emitting Diode，簡稱LED）是應於於五年級水溶液的導電性檢測，用來測試或檢驗電流通路的工具之一。LED是二極體的一種，二極體是由半導體的結合型成，而半導體材料的導電性介於導體和絕緣體之間，半導體僅具有少量自由電子，經由熱運動或是外加電場的

作用，可使部份價電子脫離原子，而留下帶正電的「電洞」，兩者運動方向相反。半導體即是藉由自由電子和電洞，這兩種電載子來傳導電流。二極體是指只能讓電流單向流通的半導體組合，發光二極體在電流單向流通時發光的電子元件（周秋香，2005）。研究者認為若能妥善運用LED讓單向流通性質於電路上，在學生開始接觸電流教學時，藉由學生操作及教師說明，應能逐漸建立電流方向性概念，減少另有概念的產生。



圖 1 形成通路之電池與傳統小燈泡不同方向接法

國小教材中，有關電流方向性質的概念，最早出現在六年級教材的電磁鐵單元中（教育部，2003）。馬達具有形成電流通路而轉動的功能，廣泛應用於各種生活用品之中，如玩具車、小電扇等。國小中年級學生對其功能並不陌生，教材亦曾以馬達為例證明電路是否接通，而且不同電極的接法會使其轉向不同，形成判斷電流方向的依據，研究者期望藉由提示馬達的轉動方向性質，建立電流方向性概念，因此，將馬達的使用加入補救教學的設計中。電子元件種類眾多，但燈泡、LED燈泡、馬達等三種電子元件在使用於國小教材之中，且常見於日常生活之中，其中用LED讓單向流通性質以及馬達在不同電極的接法會使其轉向不同的特性，相對於傳統燈泡對於電流方向無法有效驗證，因此本研究補救教學以此三種電子元件做為實際操作教具，並比較其成效果否有所差異。

五、補救教學

李燕文（2011）指出，現行的補救教學的範圍僅包含國語文、英語文、數學三門學科，自然科學付之闕如，但這並不代表學生在學習時僅需要重視國語文、英語文、數學即可使學生科學學習成就獲得提升，或修正其心智模型，其研究並指出學生電流方向性概念經過實作及解釋過程後仍無法修正的部分，會在往後的現象觀察中仍維持其另有架構，很難成為科學心智模型。同樣地，邱美虹與林靜雯（2002）也指出教學前學生擁有的心智模型以雙向模型最多，即使經過教學後，仍有相當高比率的學生難以改變，因此對於建立正確的電流方向模型，需要有效的補救教學供協助。

補救教學是一種臨床教學模型（clinical teaching），在診斷出學生的學習困難後，所進行的教學活動（邱上真，1992），補救教學的重點是先了解學生的學

習困難，再針對學生學習困難之處設計教學內容，協助學生克服學習障礙，達成該階段的學習目標。在補救教學的相關研究上，Stein、Smith、Henningsen及Silver（2000）認為進行補救教學要更加注意學生的反應，並提供豐富的具體操作活動，結合具體與半具體的操作學習於補救教學活動中，給予學生多方面的經驗。

有關補救教學適用的教學策略，有學者指出，使用直接教學法、合作式學習、精熟教學，以及個別化學習等教學策略，能夠有效幫助低成就學生（McLaughlin & Vacha, 1992; Slavin, 1989）。Stein、Remillard和Smith（2007）認為教材應善用多種不同形式呈現，並以具體物幫助學生學習，以達成補救教學的目標。徐偉民和林潔慧（2010）認為補救教學需要考慮學生的起始能力與個別差異，建議透過解題歷程的分析，瞭解學生的起點行為與思考採取的教學策略，且補救教學應符合彈性、個別化的原則，根據學生個別的獨特性來做調整；藉由學生的反應與結果，不斷修正與調整教學策略，並建議以學生感覺有興趣的情境作為學習環境的鋪陳。楊德清和洪素敏（2008）指出，教師若能適時運用不同的表徵方式，如圖形表徵、口語表徵等，可以幫助孩童數學概念的發展。

補救教學的課程設計與一般教學設計相同，設計學習活動時要考慮學生能力、學習動機、學生的接受程度及注意廣度。對中、低程度的學生簡化教材，且學習活動應更富有變化。一般補救教學的課程設計，應考慮下列項目：（1）分析學生基本能力、（2）進行教材分析及設計、（3）循序漸進，提供練習及回饋機會、（4）提供學習鷹架及具體操作活動（張新仁，2001；Stein et al., 2000）。針對低成就學生進行分數理解的教學研究，Empson（2003）提出三個影響個案學生的學習成長因素：第一是進行的活動能夠引發學生呈現先備知識；第二是創造多重的學習情境以促使低成就者能夠成為課室內的主要解題者、論點提出者、以及解答的報告者；第三是為低成就學生創造較多參與群體討論的機會，以增強個體自我認同。

綜上所述，本研究的補救教學，先以研究工具分析出學生既有概念，篩選出具有電流雙向心智模型之學生，再提供具體物以及透過心智模型的建構步驟進行補救教學，期望學生能夠建立正確的電流方向心智模型，並探討不同電子元件對學生建構心智模型的影響是否有所差別。


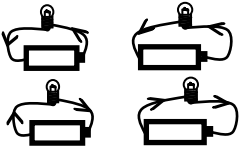
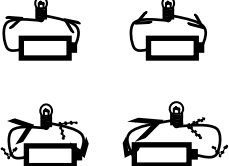
參、研究方法

一、研究評測工具發展

電流方向的屬性包含動態的表現並難以使用一般的是非題、選擇題來收集學生的想法，本研究綜合Magnusson等人（1997）、黃朝琴（2003）、李燕文（2011）、林靜雯和邱美虹（2005）的作法，採用紙筆測驗加上晤談的方式，分析學生對於電流方向性的心智模型。基於大部份學生在表達心智模型時多以語言或手勢等表徵方式表達，研究者讓學生進行答題訓練，以方便確認其想法，學生可以使用繪製線條的方式說明電流的性質，以箭頭說明電流方向，以粗細代表電流的大小，在答題過程提供粗細不同口徑鉛筆，並於施測同時進行影像錄製，同時分析其口語回答內容與圖型繪製情況，再依心智模型答題檢核表核對學生的表現情況，進行學生心智模型分類，本研究將學生的電流心智模型分為單極、單向、雙向以及其他四種類型，並以具有雙向電流方向心智模型的學生做為補救教學之主要對象。

本研究以「國小學生電流心智模型評測工具」對學生心智模型加以分類，選出具有雙向心智模型的學生做為補救教學的對象，在進行補救教學後，則做為檢視學生心智模型變化的工具，本研究依文獻探討內容及預測結果，將學生對電流的心智模型特徵摘要加以分類形成心智模型答題檢核表，如表3。並分別以單一燈泡簡單電路、二個燈泡串聯、二個燈泡並聯為題目組內容，分別測試學生電流的心智模型。

表 3 單一燈泡簡單電路心智模型答題檢核表

心智模型	常見圖示說明	電流方向特徵說明
單極模型		不具封閉電路的概念，電流自電池的一端或任一部位經由電線傳送到電子元件，不必回到電池。
單向模型		具封閉電路概念，電子元件的電極與電池的電極會因不同接法而有幾種的組合情況，電池從單一極發出電流向電子元件，後再回到電池。電流經過電子元件後並不會反彈或有消耗的情況。
雙向模型		具封閉電路概念，電池同時從兩極發出兩股電流向電子元件，經過電子元件會碰撞消失。或電池往兩極發出一個，經電子元件碰撞後，繼續向另一端或是反彈回原來方向，電流再由電子元件流向電池兩極。
其他	不屬於上述三種心智模型者	不屬於上述三種心智模型者，或學生想法不清楚無法確定者。

整份試題設計完畢後，研究者商請一位科學教育背景之大學教授、二位科學教育背景之國小自然科教師，針對整份針對整份工具的內容、施測方式以及檢核表的正確性及措辭給予建議及修正後，先對國小七名學生進行小規模預試，並以屏東縣另一所國小四年級某班25人進行預試，以確認本研究工具之信效度。施測過程允許學生以語言或手勢等表徵方式表達其心智模型，研究者請二位評量施測者進行評定分類，事前進行想法溝通並詳閱評分說明以及答題檢核表，建立內容效度。再以四位學生案例進行評定分類後，再次溝通想法，確定其分類方式。二位評量施測者依據施測說明及晤談大綱進行評測工具的施測，配合學生答題訓練，初步了解受試者的心理狀態，掌握學生的反應。在正式施測時，並以兩位評量施測者之評定結果進行分析，求其評分者信度，結果對於學生心智模型的分類結果Kappa一致性係數為.896，顯著性 $p < .05$ ；再以Cronbach Alpha求其內部一致性係數，得到係數值前測為.934，後測為.927。

二、研究對象與主要過程

本研究經過預試後，選取四年級三班共91名同學進行施測，了解學生心智模型的分佈情況，從中篩選出具有電流雙向心智模型的21名學生為補救教學對象，徵求家長同意後，正式成為進行補救教學之對象。以其中3名學生為預試樣本，完成補救教學預試並修正補救教學教材後，將另外的18名學生隨機分派至三個不同組別，再進行正式補救教學及施測。

三、教材設計

本研究教材內容主要依據Schwarz等人（2009）心智模型的建構步驟，設計出教學序列流程，並運用楊德清和洪素敏（2008）所建議之補救教學的做法，運用不同的表徵方式，協助學生概念的發展，同時配合張新仁（2001）對補救教學的建議，分析學生基本能力、提供練習及回饋機會、提供具體操作活動等等步驟，針對具有雙向模型的學生進行補救教材的設計。在教師提供其他想法引導上，本研究以林靜雯和邱美虹（2005）的互補多重類比的方式，以複雜用水系統及障礙賽跑步的類比進行說明，同時參考Empson（2003）提供參與討論機會，協助學生建構正確的電流方向心智模型。所有教材經試教並修改，再商請一位科學教育背景之大學教授、二位國小自然科教師針對整份教材的內容適切性給予建議。此外，由研究者充份與教學者溝通使其熟悉心智模型的建構過程，並對教學者進行示範教學，使教學者先經歷教學的實況，體會心智模型建構的本質，再由教學者對學生進行試教與修正，並建立教學檢核表，確保教學內容符合研究設計。主要教學流程設計，包含模型建構序列及教學活動描述之說明如表4。

表 4 國小學生電流方向性補救教學建模流程設計

模型建構序列	教學活動描述
定錨現象	教師對三組學生分別使用傳統燈泡、LED 燈泡、馬達三種不同性質的電子元件，以及電線、電池相關教具引起學生學習動機，並以水流類比說明方式引導建立初始概念。
建構模型	學習者以繪圖方式呈現自己理解的電流模型。
實際測試模型	請學生說出自己理解的電流模型所代表意義，並試著以模型去解釋電子元件發亮或轉動的現象，讓學生自行操作並測試各項相關教具。測試項目包括要求學生將電池電極反接及觀察電子元件的反應。
評價模型	引導學習者的模型與學習內容作比對，探討符合與不符合之處，討論是否修改模型。
用其他想法測試模型	教師提供其他想法及多重類比做為學生修正模型的參考及誘發思考，並討論其他想法與原有想法的差異及適用性。
修改模型	從上述過程中引導學生發現自己所理解的電流模型不足的地方，要求學生試著進行模型修正，形成新的模型。
使用模型去預測和解釋	使用修正後的模型解釋電流方向性，並能夠預測電子元件在不同電路發亮或轉動的現象。

本研究以一週內的時間進行三節課的教學，第一節進行概念定錨、建構模型及實際測試模型，第二節進行評價模型、用其他想法測試模型，第三節進行修改模型及使用模型去預測和解釋。

四、資料分析方法

本研究使用「國小學生電流心智模型評測工具」做為對學生心智模型的分類之工具，研究者透過工具的施測，分析學生心智模型的類別，以學生原有班級做為學生編號的第1碼，組別做為第2碼，在該組的編號為第3碼，例如編號為411代表原有班級為四年4班被分派於傳統組的1號學生，並將晤談結果加以整理分析，將其說明或動作關鍵之處標示底線。

肆、結果與討論

一、不同電子元件進行補救教學成效的差異性

為了解不同元件進行補救教學對學生電流方向性模型的影響，研究者以卡方獨立性檢定，對三組教學分別在單一燈泡簡單電路、二個燈泡串聯、二個燈

專論

泡並聯三種題型的表現進行分析，探討補救教學後學生心智模型變化個數上是否有所差異，藉此了解三組不同教學之間對學生的影響是否有所差異。待分析結果三組之間的差異達到顯著時，再進一步以事後分析，進階探討了解各組之間實際的差異情形，茲將所得結果呈現於下表5、表6以及表7。

表 5 三組教學之學生電流方向性心智模型個數及百分比交叉表 (N=18)

		第一題 單一燈泡簡單電路			第二題 二個燈泡串聯			第三題 二個燈泡並聯		
		傳統	LED	馬達	傳統	LED	馬達	傳統	LED	馬達
		心單	個數	1	6	4	2	6	5	1
智向	百分比	16.7	100	66.7	33.3	100	83.3	16.7	100	83.3
模雙	個數	5	0	2	4	0	1	5	0	1
型向	百分比	83.3	.0	33.3	66.7	.0	16.7	83.3	.0	16.7

表 6 三組教學之學生電流方向性心智模型卡方獨立性檢定摘要表 (N=18)

	第一題 單一燈泡簡單電路		第二題 二個燈泡串聯		第三題 二個燈泡並聯	
	漸近顯著性.		漸近顯著性.		漸近顯著性.	
	數值	(雙尾)	數值	(雙尾)	數值	(雙尾)
卡方	8.883	.012*	7.200	.027*	10.500	.005*
概似比	11.012	.004	8.225	.016	12.101	.002
線性對線性的關連	2.981	.084	3.531	.060	5.667	.017

* $p < .05$

表 7 三組教學之學生對心智模型改變的事後比較摘要表

組別	卡方值	題號		
		第一題 單一燈泡簡單電路	第二題 二個燈泡串聯	第三題 二個燈泡並聯
傳統 Led		29.93*	12.02*	29.93*
Led 馬達		2.996	1.203	1.203
馬達 傳統		4.135	4.153	9.566*
事後比較結果		LED>傳統	LED>傳統	LED>傳統 馬達>傳統

* $p < .05$

如表5所示，原先三組所有學生的心智模型都是雙向，經過補救教學後，三組學生都有人改變為單向，但人數不同，其中LED教學組人數變化最大，傳統

燈泡教學組人數變化最少。以卡方檢定獨立性檢定後，結果如表6所示，各類型題目的 Pearson Chi-Square 值分別為 8.883、7.200、10.500，p 值分別為 .012、.0270、.005均小於 .05，達到顯著水準，表示不同電子元件補救教學與其心智模型變化間是有關聯的。

由於共有三種不同教學處理，因此需進行事後比較，採用百分比差異的區間估計來進行（林清山，1992；陳正昌，2004），本研究主要目的乃探討不同電子元件對學生心智模型補救教學的差異，經計算結果如表7所示，學生的表現在單一燈泡簡單電路、二個燈泡串聯的題型中，LED組優於傳統組；在二個燈泡並聯的題型中，LED組與馬達組均優於傳統組。

相關文獻指出（全中平，1996），學生普遍具有電流從正負極同時流向電子元件的雙向心智模型，本研究依研究工具篩選出具有此心智模型之樣本，運用三種不同電子元件的補救教學後，均有學生改變心智模式，以下依三組的差異性進行討論。

（一）傳統燈泡組與 LED 組的相異性

學生表現在所有題型中，LED組優於傳統組，使用LED做為電子元件進行補救教學時，可使本研究有6位學生皆能建立單向電流的心智模型，效果顯著，但傳統燈泡組則仍有仍有4~5位學生仍維持雙向電流的心智模型，效果不佳。Stein等（2007）認為教材應善用能夠清楚表達概念之具體物幫助學生學習，以達成補救教學的目標。研究者認為，LED組所提供的電子元件，能夠呈現電流單向流通時發光的特性，配合教學建模流程設計的補救教學可使原有具有雙向心模型組者，使學生進行具體操作時，藉由教師引導說明，逐漸建立單向電流的概念，修正另有概念的產生。

（二）傳統燈泡組與馬達組的相異性

學生表現在燈泡並聯的題型中，馬達組優於傳統組，在簡單及串聯電路的題型中，雖然事後比較未達顯著差異，但就單向電流人數上比較而言，馬達組仍比傳統組表現較佳，研究者認為由於馬達在電池電極方向變換接法後，旋轉的方向不同，學生若注意到這點的話，即可做為區別電流方向的依據，建立單向電流的概念。

（三）LED 組與馬達組的相異性

學生表現在所有題型中，LED組與馬達組均未達顯著差異，但就數上變化的差異，LED組表現比馬達組較佳，楊德清和洪素敏（2008）指出學生透過足夠的具體物操作活動，才能建構出對自己有意義的概念，而具體物要能夠使學

生注意到所呈現的表徵與概念相關性。雖然馬達與LED燈皆可展現電流方向特性，但是因為電池電極方向變換接法後，馬達都可以旋轉，有些學生將認知集中於電流集合使馬達旋轉，而非馬達旋轉的方向。LED亮或不亮，相對於馬達轉或不轉，較為顯著，可以做為電流方向的判斷的依據，學生會注意到馬達轉動，再注意到馬達的轉動方向。因此，馬達組的效果不如LED組，有學生在補救教學後，仍然以雙向模型去加以解釋電流的方向。

二、心智模型無法改變的原因

許多研究認為（邱美虹、林靜雯，2002；陳啟明、陳瓊森，1992；曾耀霆，1999）教學難以改變學生電流雙向概念，Schwedes和Dudeck（1996）指出，用水流來類比電路教學後，會讓學生以水流概念架構有固著的現象。本研究藉由質性資料的呈現，探討學生的想法，結果亦發現使用傳統燈泡的補救教學後，許多學生仍然以雙向模型去加以解釋電流的方向，例如：

編號411學生 <傳統燈泡組 後測階段 簡單電路題型>

T:你認為把燈泡用電線連接電池後電流的流動情況是如何？請你說出或畫出來。

S:（指著接正極的電線）電會沿著電線流向電燈。

T:只有這一邊嗎？

S:兩邊都會。

T:請你畫出來可以嗎？

S:（由電池負極畫出電流往燈泡後，再由電池正極畫出電流往燈泡）...

T:像這樣。

S: 嗯

T:可是老師後來有說明，可以把電流看成水流，那你怎麼解釋在燈泡地方的水去哪裡了？

S:兩個水會在這裡（指著燈泡）碰撞，產生水花，就是產生電，讓燈泡發亮，然後就不見了。

T:不見了？

S: 嗯。就是讓燈泡發亮，電就消失了。

T:所以後的這二種也都是這樣嗎？（顯示出串聯及並聯電路）你可以再說明一次，這二種的電會從哪邊出發？

S: 都是從電池出發的。（指著電池正負極向外）

反觀使用LED或馬達的補救教學後，多數學生則修正原有雙向模型成為單向模型，林靜雯和邱美虹（2005）曾以不同類比教學進行電流概念的教學，結

果亦顯示出提供學生不同類比會影響學習成效，本研究三組補救教學雖然都是提供具體物進行操作，但是由於具體物所能呈現的特性不同，引導學生建構出的電流方向模型的結果亦有所差異。

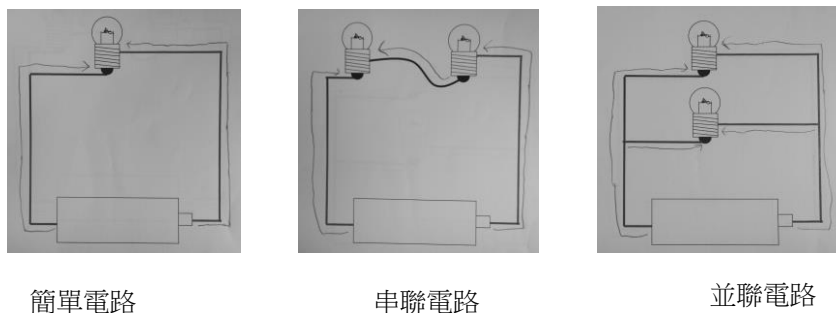


圖 2 編號 411 學生後測電流方向心智模型之圖型表徵

伍、結論與建議

本研究以18位具有電流雙向心智模型為研究對象，經實施補救教學發現各組學習結果各有不同，張新仁（2001）指出補救教學，應提供練習及回饋機會、提供具體操作活動等等步驟。雖然提供學生自由驗證的機會，有助於建立心智模型，但由於傳統燈泡並無法將電流方向性的關鍵特性展現出來，對於具有雙向心智模型的學生，反而提供了驗證雙向心智模型的機會，無法改變其原有雙向的心智模型，並強化其原有想法。而馬達教學組中的少數學生，則會因為觀察到馬達轉動，沒有注意到轉動方向的不同，因此結果也和傳統燈泡組的學生相同。因此，在提供不同具體操作物時，應考慮其特性是否能夠呈現出所要學習概念的特質，依本研究結果顯示，國小四年級學生對於電流方向性概念的學習情況，以利用LED進行具體操作效果最佳，以下總陳本研究之結論，並提出教學反思與研究建議。

一、研究結論

（一）三種補救教學後學生在電流方向性心智模型變化的比較

以三種不同電子元件進行補救教學後，LED為電子元件的教學，對學生電流方向的心智模型改變的情況最為顯著，傳統燈泡為電子元件的教學，心智模型改變情況較不明顯。

(二) 心智模型無法改變的原因

研究者認為，當教學提供讓學生可以自由操作環境，用以驗證其心智模型，但在操作時無法顯現電流的單向方向性質，因此仍無法改變學生電流雙向的心智模型，即使透過類比的說明與引導，效果仍受到限制，若能提供能夠具體呈現電流方向特性的具體物如LED或馬達，相對於傳統燈泡而言，可使學生較易建構出單向的電流模型。

二、補救教學歷程之反思

(一) 不同電子元件的操作，影響學生建立電流方向性的心智模型

藉由傳統燈泡教學時，許多老師在教學上都會有一個疑惑：我明明講解得很清楚了，且一再地強調，為什麼學生還是不懂？事實上，學生的雙向心智模型，即使經過教學也難以修正（邱美虹、林靜雯，2002）。經過本研究設計之補救教學發現，教學時，由於使用電子元件的不同，對學生所建立雙向電流心智模型的效果也有所不同，研究者認為雙向模型的電流心智模型的修正，應藉由建模教學配合LED燈泡，進行補救教學，可達成最佳效果，並避免使用傳統燈泡，以免其雙向電流心智模型仍無法修正。

(二) 充分操作具體物有助於確認心智模型

Clement和Steinberg（2002），認為與學生經驗不一致的現象，有時會使學生產生驚奇，進而促進學生學習動機，引發心智模型的改變。在本單元的實驗中，有許多情況，足以呈現出與學生經驗不同的結果，進而影響學生學習及心智模型的建立。但是在科學學習的領域中，當學生已對某種科學概念有了既有的心智模型，若無法親自進行操作，或操作時缺乏適當的引導，對於同一現象的觀察，就容易變成不同的看見。這就是為什麼在科學課室中已提供學生許多訊息，學生仍然無法理解，可見當新概念引進來時，教師應先了解學生既有心智模型的特質，再讓學生進行充分的具體物操作，兩者都是建立正確的心智模型所不可少的工作（Ross & Kurtz, 1993）。

三、研究建議

(一) 對教師教學的建議

科學教學是一種不斷精緻化的歷程，以本研究為例，要將學生從原有的雙向電流方向模型，改變為單向電流方向模型，教師對抽象概念的教學應能適時運用類比方式進行說明，並配合適當的電子元件，方能有效率地幫助孩童建構正確心智模型。楊德清和洪素敏（2008）也認為適當的練習以及適時運用不同

的表徵方式，如圖形表徵、口語表徵等，可以幫助孩童抽象概念的發展。因此，我們建議教師應鼓勵孩子使用多元的表徵方式去表達他的想法，使教師能夠具體檢視學習情況，再設法使其心智模型獲得驗證或修改進而強化學習。

(二) 對於具體操作工具的建議

徐偉民和林潔慧(2010)的研究指出，教學方法應根據學生的反應與結果，不斷修正與調整，才能使學生達到補救教學的成效，為有效建立電流方向性的概念建立，建議教學可採用LED作為具體操作工具，教學策略也應該符合學生的認知發展。林靜雯與邱美虹(2005)也指出學生在電學方面的學習會發生困難，乃是因為學生會以物質觀點去理解電學概念。雖然從「電流」本身字義即透露出電具有的方向性，但學生卻往往因為燈泡同時接觸兩極的電線才會發亮而產生雙向電流的另有架構。本研究透過比較，發現不同電子元件的特性會影響學生建構心智模型，為使學生對電流方向性的概念有正確發展，教學過程應提供學生自由驗證的機會，並且配合能夠呈現出電流方向特性的電子元件，使學生能夠逐漸修正原有雙向電流心智模型，建立單向電流的心智模式。

參考文獻

- 全中平(1996)。以教材發展形成性評量的觀點探討國民小學二年級學生學習自然科有關簡單電路之通路及電流概念。**國教學報**，**8**(11)，165-175。
- 李燕文(2011)。**探究四年級低成就學生於 POE 教學過程中簡單和串聯電路之電路心智模式變化及其異例反應和影響因素**(未出版之碩士論文)。臺北市立教育大學科學教育碩士學位學程，臺北。
- 邱上真(1992)。學習障礙兒童的教育評量－認知取向。**特殊教育季刊**，**43**，1-6。
- 邱美虹、林靜雯(2002)。以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。**科學教育學刊**，**10**(2)，109-134。
- 邱美虹、劉俊庚(2008)。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。**科學教育月刊**，**314**，2-20。
- 林清山(1992)。**心理與教育統計學**。臺北：東華。
- 林靜雯、邱美虹(2005)。整合類比與多重表徵研究取向探究多重類比設計對兒童電學概念學習之影響。**科學教育學刊**，**13**(3)，317-345。
- 周秋香(2005)。**自然科學與生活科技概論**。臺北：心理。
- 洪振方、莊敏雄、宋國城(2011)。建模教學對國小學生的模型認知及地質概念理解之影響。**科學教育學刊**，**19**(4)，309-333。

- 徐偉民、林潔慧（2010）。利用教學模組進行國小四年級四則運算兩步驟文字題補救教學之行動研究。**屏東教育大學學報-教育類**，**34**，211-242。
- 張新仁（2001）。實施補救教學之課程與教學設計。**國立高雄師範大學教育學系教育學刊**，**17**，85-106。
- 張志康、林靜雯、邱美虹（2009）。跨年級中學生串並聯電路心智模式的研究。**科學教育月刊**，**317**，2-17。
- 陳啟明、陳瓊森（1992）。發展紙筆測驗以探究高一學生對直流電路的迷思概念。**科學教育（彰師大）**，**3**，21-73。
- 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。
- 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。
- 陳正昌（2004）。**行為及社會科學統計學**。臺北：巨流圖書公司
- 教育部（2003）。**國民中小學九年一貫課程綱要**。臺北：教育部。
- 黃朝琴（2003）。**國小中年級兒童電學想法類型與概念改變之研究**（未出版之碩士論文）。國立嘉義大學國民教育研究所，嘉義。
- 曾耀靈（1999）。**國小學生電學概念之研究**。國科會專題研究成果報告（編號：NSC88-2511-S153-009），未出版。
- 楊文金（1993）。多重現實與電學概念理解研究。**科學教育學刊**，**1(2)**，135-160。
- 楊文金（1995）。常識與電學概念的理解，**師大學報**，**40**，549-582。
- 楊德清、洪素敏（2008）分數補救教學之歷程的研究。**教育研究與發展期刊**，**4(2)**，85-118。
- 楊志強、洪振方（2011，12月）。運用概念改變理論於兒童方位概念建模教學。「中華民國第28屆科學教育學術研討會」發表之論文，高雄。
- Adúriz-Bravo, A., Bonan, L., Galli, L. G., Chion, A. R., & Meinardi, E. (2005). Scientific argumentation in pre-service biology teacher education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *1(1)*, 76-83.
- 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.
- Baroody, A. J. (1987). *Children's mathematical thinking: A developmental framework for preschool, primary, and special education teachers*. New York, NY: Teachers College Press.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and

expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. J., & Steinberg, M. S. (2002). Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A “learning-aloud” case study. *Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389-452.
- Dagher, Z. (1995). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 259-270.
- Driver, R. (1988). Theory into practice 2: A constructivist approach to curriculum development. In P. Fensham (Ed.), *Development and dilemmas in science education* (pp. 133-149). London, New York, Philadelphia: Falmer.
- Duit, R. (1991). The role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Empson, S. B. (2003). Low-performing students and teaching fractions for understanding: An interactional analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*, 34(4), 305-343.
- Gentner, D., & Gentner, D. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.99-129). New Jersey and London: Lawrence Erlbaum.
- Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. Glynn, R. Yeanny, & B. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp.219-241). New Jersey: Erlbaum.
- Guerra-Ramos, M. T. (2011). Analogies as tools for meaning making in elementary science education: How do they work in classroom settings? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(1), 29-39.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- James, M., & Scharmann, L. (2007). Using analogies to improve the teaching performance of preservice teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 565-585.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling teachers' views on the nature of modelling and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Magnusson, S. J., Boyle, R. A., Templin, M. (1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. *The Journal of the Learning Science*, 6(1), 91-142.
- McLaughlin, T. F., & Vacha, E. F. (1992). The at-risk student: A proposal for action. *Journal of Instructional Psychology*, 19, 66-68.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1996, April). Learning processes in electric circuits. *Paper presented at NARST Annual Meeting in St. Louis, Missouri*.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland and London: Heinemann.
- Ross, R., & Kurtz, R. (1993). Making manipulatives work: A strategy for success. *Arithmetic Teacher*, 40(5), 254-257.
- Schwedes, H., & Dudeck, W.-G. (1996). Teaching electricity by help of a water analogy: How to cope with the need for conceptual change. In G. Welford, J. Osborne J., & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: Current issues and themes* (pp. 50-63). London: Farmer.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L. O., Acher, A., Fortus, D., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression of scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *The Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Slavin, R. E. (1989). Students at-risk for school failure. In R. E. Slavin & N. L. Karweit (Eds.), *Effective programs for students at-risks* (pp. 689-733). Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Stein, M. K., Smith, M. S., Henningsen, M. A., & Silver, E. A. (2000). *Implementing standards-based mathematics instruction: A casebook for professional development*. New York, NY: Teachers College Press.
- Stein, M. K., Remillard, J., & Smith, M. S. (2007). How curriculum influences student learning. In F. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 319-369). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Steinberg, M., & Clement, J. (2001). Evolving mental models of electric circuits. In H. Behrendt et al. (Eds.), *Research in science education – Past, present, and future* (pp. 235-240). Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1986, August). Intelligent tutoring systems based upon qualitative model evolutions. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, Philadelphia, Pennsylvania.

附錄一 電流方向性補救教學教案設計內容

一、學習領域：自然與生活科技領域

二、教學單元名稱：電流方向性補救教學

三、設計理念：

電流方向性是重要且基本的自然科學概念之一，本教學活動利用 Schwarz、Reiser、Davis、Kenyon、Acher、Fortus、Hug和Krajcik（2009）所提出之建模序列的步驟指標，從概念定錨、建構模型、測試模型、評價模型、檢驗模型、修正模型、使用模型預測或解釋等模型建構的步驟，以模型來促進學生建立符合科學的心智模型觀念。由於電流方向性在國小課程中屬於基本概念，本教學針對具有雙向電流心智模型之學生，依建模教學理論設計出補救教學內容，並運用多元類比的方式引導學生，避免學生產生誤解或擴大解釋，期望藉此強化學生電流方向性正確的心智模型。

研究者依據九年一貫課程中年級自然與生活科技領域相關主題內容改編教材，在各項活動之中除了讓學生觀察某些既定的現象，也要求讓學生進行思考、討論、發表與評論，讓學生能持續精練自己的心智模型。除了可以促進學生對於科學概念之理解外，還可以培養學生高層次的思考能力和問題解決的能力，更進一步地養成學生正確地科學態度及增進學生對模型的正確理解。

四、教學目標：

- (一)能了解電池所供應的電流具有方向性。
- (二)能夠建立正確電流方向性心智模型。
- (三)能夠以正確電流方向性模型作對現象做出解釋
- (四)能夠對不正確模型加以評論或指出模型與現象不符之處，並作出修正。
- (五)能夠以所學到的正確電流方向心智模型進行問題解決。
- (六)能夠對自己或他人的問題解決方式進行評價與反思。

五、對應能力指標：

- 1-3-4-1 能由各不同來源的資料，整理出一個整體性的看法。
- 1-3-5-2 用適當的方式表述資料。
- 1-3-5-3 清楚的傳述科學探究的過程和結果。
- 1-3-5-5 傾聽別人的報告，並做適當的回應。
- 2-3-1-1 提出問題、研商處理問題的策略、學習操控變因、觀察事象的變化並推測可能的因果關係。學習資料整理、設計表格、圖表

來表示資料。學習由變量與應變量之間相應的情形，提出假設或做出合理的解釋。

3-3-0-3 發現運用科學知識來作推論，可推測一些事並獲得證實。

7-3-0-2 把學習到的科學知識和技能應用於生活中。

六、教學序列行為描述及教學活動描述

主要序列	主要行為描述	教學活動描述
定錨現象	為特定概念檢提出驅動性的問題與現象。	教師對三組學生分別使用傳統燈泡、LED 燈泡、馬達三種不同性質的電子元件，以及電線、電池相關教具引起學生學習動機，並以水流類比說明方式引導建立初始概念。
建構模型	創造初始模型以代表一個想法或假說。	學習者以繪圖方式呈現自己理解的電流模型。
實際測試模型	藉由模型探討被預測與解釋的現象。	請學生說出自己理解的電流模型所代表意義，並試著以模型去解釋電子元件發亮或轉動的現象，讓學生自行操作並測試各項相關教具。測試項目包括要求學生將電池電極反接及觀察電子元件的反應。
評價模型	將模型與實際現象作比較。	引導學習者的模型與學習內容作比對，探討符合與不符合之處，討論是否修改模型。
用其他想法測試模型	將模型與其他理論及定律比較。	教師提供其他想法及多重類比做為學生修正模型的參考及誘發思考，並討論其他想法與原有想法的差異及適用性。
修改模型	修正模型以符合新事證。	從上述過程中引導學生發現自己所理解的電流模型不足的地方，要求學生試著進行模型修正，形成新的模型。
使用模型去預測和解釋	使用模型去預測和解釋其它的現象。	使用修正後的模型解釋電流方向性，並能夠預測電子元件在不同電路發亮或轉動的現象。

七、教學對象：四年級學生

八、教學研究：

(一) 學生經驗：

1. 已知道電池及電線組成電路可以使電燈發亮。
2. 能依上指示操作並組合簡單電路。
3. 能夠以紙筆進行圖形的繪製，表達出電流的方向性。
4. 能夠仔細觀察各種不同的模型的呈現方式。

(二) 教學重點：

- 1.佈置教學情境，引起學生學習動機要求學生。
- 2.詳細說明各項電子元件的功用，並以水流類比方式說明電流的意涵。在學生建立心智模型後，引導學生以繪圖方式表徵出心智模型。
- 3.鼓勵學生參與討論、進行發表與評論，並應用所學概念進行問題解決。

九、教學流程說明：

【第一節】

學習活動內容	教學資源	時間
<p style="text-align: center;">定錨現象</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.教師在教室裡事先佈置各種電流教學相關圖卡，提供各組相關的電子元件。 2.教師請學生操作相關的電子元件（傳統燈泡、LED燈泡、馬達）及電線、電池連接，試著使傳統燈泡、LED燈泡或馬達產生反應（發亮或轉動）。 3.教師以問題營造一個情境，讓各組學生開始討論分享彼此所擁有的方位心智模型。（教師提問：請你在第一張學習單中畫出如何讓電子元件產生反應的圖示）。 	<p>各種教學圖卡（電器用品、各種電池...等）、相關的電子元件（傳統燈泡、LED燈泡、馬達）及電線（含鱷魚夾）、電池（含電池座）、學習單（一）第一題</p>	<p>20分</p>
<p style="text-align: center;">建構模型實際測試模型</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.教師挑出幾組學生的成品，並請學生上台發表說明，由教師介紹圖示來是為在訊息溝通時，能夠有共同的想法，提示學生以何種圖示表達電池、電線及電子元件（傳統燈泡、LED燈泡、馬達）。並將電流以水流方式來類比，讓學生說出電流在電路中如何流動。 2.教師引導學生依自己操作的結果，以繪圖方式呈現在簡單電路中，自己所理解的電流模型。（利用箭頭代表電流的方向，粗細代表電流的大小，讓學生自己表達出電流從何處出發，流往何處） 		<p>10分</p>
<p style="text-align: center;">建構模型實際測試模型</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.教師讓學生上台輪流發表自己的簡單電路的電流模型圖，由同學互相觀摩。 		<p>10分</p>

<p>2.教師針對學生在簡單電路所提出的電流模型，要求學生說明不同情況下（如將電子元件的電極反接時、電線只接一條、以串聯或並聯電路連接時）可能會發生什麼事情，並要求學生試著以圖示表徵出心中的想法。</p> <p>3.學生回到小組後，針對預測的現象開始繪製圖示並討論如何進行操作（先要求電極反接時及並聯的電路）。</p>	<p>學習單（一） 第二題、第三題</p>	
---	---------------------------	--

【第二節】

學習活動內容	教學資源	時間
<p style="text-align: center;">評價模型</p> <p>1.教師引導學生依據其設計圖示（電極反接時的狀況），進行操作，實際觀察發生的現象。</p> <p>2.討論自己所預測的現象是否發生，如果不是，原因為何？是否修改自己的設計或電流電動的方向圖，如何做才能使自己的電流方向的想法與真實現象相符。</p> <p>3.教師引導學生依據其設計圖示（並聯電路時的狀況），進行操作，實際觀察發生的現象。</p> <p>4.討論自己所預測的現象是否發生，如果不是，原因為何？是否修改自己的設計或電流電動的方向圖，如何做才能使自己的電流方向的想法與真實現象相符。</p>	<p>除上一節的教具外，再發給二條電線（含鱷魚夾）、一個相關的電子元件（傳統燈泡、LED燈泡、馬達）</p>	<p>10分</p> <p>10分</p> <p>20分</p>
<p style="text-align: center;">用其他想法測試模型</p> <p>1.教師以人在跑步過橋、抽水馬達在水管、打氣幫浦、等類比方式說明電流在電路的流動，引導學生討論，提供學生產生有關電流從何處出發，流往何處的心智模型。</p> <p>2.討論是否其他不同組所提出的看法，引導學生其他想法與原有想法的差異。</p> <p>3.請學生用其他想法（單極模型、單向模型或雙向模型）測試看看，在簡單電路及電極反接的電路和並聯電路中的實際情況。</p>	<p>各種類比圖卡（人在跑步過橋、抽水馬達在水管、打氣幫浦）</p>	

電流方向性補救教學
傳統燈泡組學習單（一）

班級： 座號： 姓名：

<<第一題>>

小朋友，你可以讓燈泡發亮嗎？你是如何做到的？請你畫出如何讓燈泡發亮的圖示，和大家一起分享吧！

<<第二題>>

小朋友，依照你的想法，請你畫出如果將燈泡上的電極反接時，電路中的電流又是怎麼進行的？燈泡是否會發亮？請用圖示表達出來。

<<第三題>>

小朋友，依照你的想法，請你畫出如何讓二個燈泡並聯和一個電池一起發亮的圖示，想一想要如何設計？在電路中的電流又是怎麼進行的，請你把它畫出來。

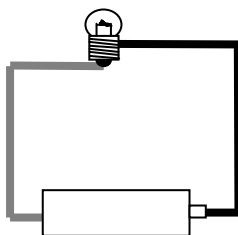
電流方向性補救教學學習單

傳統燈泡組學習單（二）

班級： 座號： 姓名：

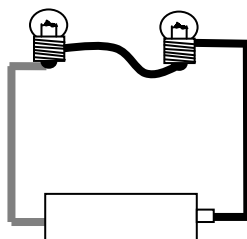
<<第一題>>

老師提供了許多有關電路中電流如何流動的想法，也讓其他組說出他們的想法，請你想一想，哪一個想法最好？把電流在電路中是如何流動的，燈泡是否會發亮，請用繪圖的方式表達出來。



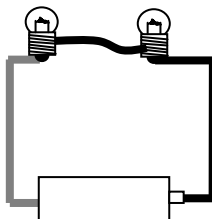
<<第二題>>

依據你的想法，請你畫出電流在串聯電路時的流動，以及燈泡是否發亮的情況。



<<第三題>>

依據你的想法，電極在串聯的電路中方向不同時，會發生什麼事，為什麼？請你畫出電流在串聯電路時的流動，以及燈泡是否發亮的情況。

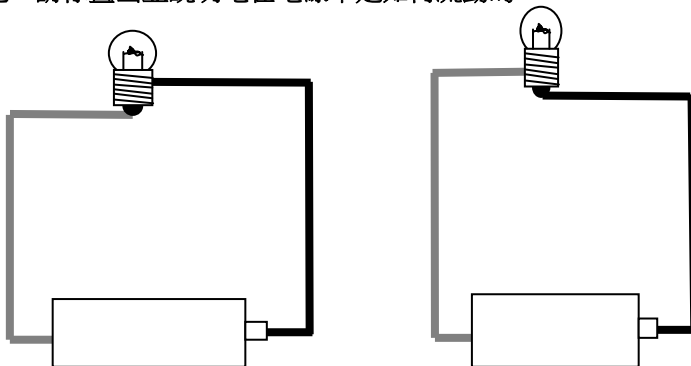


附錄二

國小學生電流心智模型評測工具

編號： 班級： 姓名：

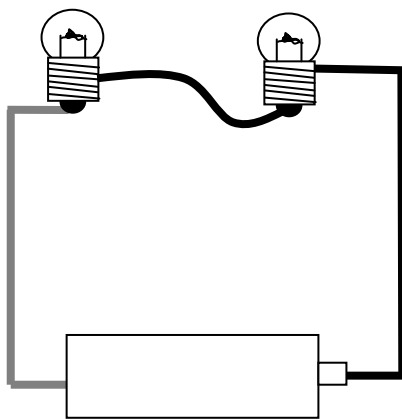
第一題、請你畫出並說明電在電線中是如何流動的



單一燈泡簡單電路心智模型答題檢核表

心智模型	常見圖示說明	電流方向特徵說明
單極模型		不具封閉電路的概念，電流自電池的一端或任一部位經由電線傳送到電子元件，不必回到電池。
單向模型		具封閉電路概念，電子元件的電極與電池的電極會因不同接法而有幾種的組合情況，電池從單一極發出電流流向電子元件，後再回到電池。電流經過電子元件後並不會反彈或有消耗的情況。
雙向模型		具封閉電路概念，電池同時從兩極發出兩股電流流向電子元件，經過電子元件會碰撞消失。或電池往兩極發出個，經電子元件碰撞後，繼續向另一端或是反彈回原來方向，電流再由電子元件流向電池兩極。
其他	不屬於上述三種心智模型者	不屬於上述三種心智模型者，或學生想法不清楚無法確定者。

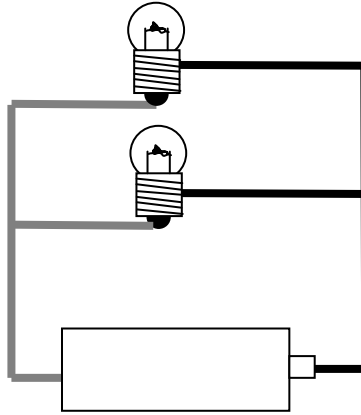
第二題、請你畫出並說明電在電線中是如何流動的



串聯燈泡簡單電路心智模型答題檢核表

心智模型	常見圖示說明	電流方向特徵說明
單極模型		不具封閉電路的概念，電流自電池的一端或任一部位經由電線傳送到電子元件，不必回到電池，兩個電燈泡之間的電流方向應與從電流流出的方向一致。
單向模型		具封閉電路概念，電子元件的電極與電池的電極會因不同接法而有幾種的組合情況，電池從單一極發出電流流向電子元件，後再回到電池。電流經過電子元件後並不會反彈或有消耗的情況。
雙向模型		具封閉電路概念，電池同時從兩極發出兩股電流流向電子元件，經過電子元件會碰撞消失。或電池往兩極發出個，經電子元件碰撞後，繼續向另一端或是反彈回原來方向，電流再由電子元件流向電池兩極。兩個電燈泡之間的電流方向應與從電流的方向可為任何一個方向。
其他	不屬於上述三種心智模型者	不屬於上述三種心智模型者，或學生想法不清楚無法確定者。

第三題、請你畫出並說明電在電線中是如何流動的



並聯燈泡簡單電路心智模型答題檢核表

心智模型	常見圖示說明	電流方向特徵說明
單極模型		不具封閉電路的概念，電流自電池的一端或任一部位經由電線傳送到電子元件，不必回到電池，電流在分叉點可以呈現分流及匯流的情況。
單向模型		具封閉電路概念，電子元件的電極與電池的電極會因不同接法而有幾種的組合情況，電池從單一極發出電流流向電子元件，後再回到電池。電流經過電子元件後並不會反彈或有消耗的情況，電流在分叉點可以呈現分流及匯流的情況。
雙向模型		具封閉電路概念，電池同時從兩極發出兩股電流流向電子元件，經過電子元件會碰撞消失。或電池往兩極發出個，經電子元件碰撞後，繼續向另一端或是反彈回原來方向，電流再由電子元件流向電池兩極，電流在分叉點可以呈現分流及匯流的情況。
其他	不屬於上述三種心智模型者	不屬於上述三種心智模型者，或學生想法不清楚無法確定者。

Using Electronic Devices with Different Characteristics to Change the Mental Model of Electric Current Direction--Taking Fourth Graders' Remedial Instruction as an Example

Chih-Chiang Yang * Jeng-Fung Hung **
Jih-Tsung Lin ***

The purpose of this study was to investigate the progress and effects of remedial instruction of mental model built by electric current direction through the use of different electronic devices. 91 4th graders participated in a diagnostic instrument and later were asked about the electric current direction. Then 18 of them were assigned randomly into three groups for a remedial instruction. The three groups were offered with electronic devices with different characteristics. For the mental model built by electric current direction, students were encouraged to operate the objects with analogy illustrated. The results showed that the performances of the LED group and the motor group were better than the traditional group. This could be that the characteristics of the LED and motor show better for the electric current direction which promotes a clear understanding for students about the electric current direction. A further review and some suggestions are also addressed.

Keywords: remedial instruction, electric current direction, mental model

* Corresponding Author: Chih-Chiang Yang, PhD candidate, Graduate Institute of Science Education & Environmental Education, National Kaohsiung Normal University

** Jeng-Fung Hung, Professor, Graduate Institute of Science Education & Environmental Education, National Kaohsiung Normal University

*** Jih-Tsung Lin, PhD Candidate, Graduate Institute of Science Education & Environmental Education, National Kaohsiung Normal University