

# 由教學演示活動看學習者對「感應產生電流」之另有概念

鄒佩琪 葉蓉樺

國立自然科學博物館科學教育組

(投稿日期：94年6月24日；修正日期：94年7月29日；接受日期：94年8月18日)

## 摘要

一些科學教育的文獻，指出在學習電學相關概念時，由於無法親眼觀察到電子或電子流的形成，並且多數的解說都以簡化的線路圖進行，易形成迷思概念。為促進大眾對於電學相關知識中，有關電如何產生，以及使器具運作之瞭解，特別參考有關電學常見的迷思概念研究，設計在科博館進行演示的公眾教育活動，特點在引發觀眾想法、製造認知衝突，以實際體驗和觀察作為概念轉變的管道。在2年的演示期間，歸納出親子團體、兒童同儕、中學生同儕及成人等觀眾，慣用的的教具操作偏好，及其在操作時後電與磁的感應產生、負載等概念的想法。並提出引導不同類群學習者思考的建議方式。

**關鍵詞：**電、演示活動、冷次定律、電與磁的感應、負載

## 一、背景與目的

人類在二十世紀後期對電的瞭解，使我們得以隨心所欲的駕馭電，使人類的社會活動不再受到日照長短的限制，人類的溝通也得以突破空間或時間的限制。在新世紀到來之時，對於電的瞭解將是進行各種公民判斷重要的依據，然而電學知識是由一些相當抽象的概念所組成，在教師進行教學時，經常透過舉例、類比等方式來協助學生們瞭解。但是在學校教學時，受限於空間或教具的不足，教師經常只能以口頭描述或者輔以繪圖來介紹類比或例子，多數的類比或例示其實並未考慮到學生的先備知識，或者他們既有的概念、經驗等，因此使得協助學生進行學習的效果受到影響(邱美虹，1993)。

在近期科學教育方面的研究顯示，營造概念衝突(cognitive conflict)為一個重要的教學策略(D'Ambrosio & Campos, 1992; Dreyfus, Jungwirth & Eliovitch, 1990; Johnson & Howe, 1978; Rowell & Dawson, 1983, 1985; Thomas, 1989)。而 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog(1982)的研究中提出的概念改變模型(conceptual change model, CCM)，亦將概念衝突視為造成概念改變的要件。Posner 等(1982)提出的 CCM 模型，係以學習者感知到正確概念是可以被瞭解(intelligible)、合理的(plausible)，並且比原有的概念有效(fruitful)，進而願意以新的概念取代原有的概念進行思考或解題，而達到學習的目的。

國立自然科學博物館劇場教室「物質與能」單元的「伊電園」教案，於推行期間，發現許多觀眾對於電產生的方式、產生的電以何種方式存在、串聯和並聯情況下電流與電壓間的關係變動，存有許多迷思概念。既有的「伊電園」教案，利用線路與燈泡連接的示範實驗，汽球磨擦產生靜電說明電的來源，以及圖示對這些概念進行說明，然其設計可能忽略了觀眾本身具有的迷思概念，以致於未能達到最佳的展示說明效果。

因此，本實驗活動的設計，參考 Posner 等(1982)提出的 CCM 模型，以營造一個引發觀眾產生認知衝突的狀況為前導，並以實驗進行現場驗證，配合多媒體動畫解說電學概念，讓觀眾感覺到電學知識與他們的原有概念一樣是可以被瞭解、合理的，並且比原有的概念可以有效的應用在解決問題或進行思考推理上。

## 二、研究及演示活動的設計

### (一)研究設計

本研究採質化研究的設計。觀眾操作展示品的程序和模式，由兩種方式獲得研究資料：1.解說者主動報告 2.研究者現場觀察記錄。教具展示的現場有壹位解說員在展覽期間負責安全維護及回應觀眾問題，展覽時間結束後由解說員主動報告其對觀眾操作行為的觀察；展示期間，研究者在不同時段至展示區對觀眾操作進行觀察與記錄。由解說員的主動報告及研究者的觀察記錄，歸納出不同觀眾類型操作程序與模式。

觀眾的操作與對電學概念的詮釋，採參與式晤談蒐集資料。研究者在展示區觀察特定對象的操作並記錄，在觀眾停頓或討論時，趨前記錄其討論內容，並適時提問關於操作的動作是否具有求證特定現象的用意。

研究期間自 2003 年至 2005 年間，本組電學教具讀 6 次公開展示，每次展示為期 3 天，每日約有 300-2000 人次參觀。

### (二)演示活動設計

為了達到引發認知衝突的目標，以兩個活動營造這樣的效果。活動一：以磁鐵和同樣大小的銅塊垂直落下，通過鋁質管，讓觀眾發現銅塊落下的速度遠快於磁鐵；活動二：同樣以磁鐵和銅塊通過冷次定律演示管，提示觀眾注意磁鐵通過線圈處，線圈上的燈泡會發亮，而銅塊經過時不會發亮。接著以圖片說明冷次定律。以擺錘發電機示範。

關於發電量與負載的觀念之介紹，以重力發電機的操作來展現負載越多，轉動發電機需要的力量就越大。最後再讓觀眾搖動擺錘發電機，分別打開一個燈泡開、兩顆燈泡，實際感受一下讓桌燈維持一定的亮度需要多麼大的力量。藉以體驗負載越多、發電所需的能量要越大，是因為有能量間的轉變，而非電子的消耗。

演示目的是經由實際的操作經驗，讓中小學生瞭解下列概念(1)電流與磁場的感應相

生；(2)耗電是能量轉換的型式而非消耗電子；(3)負載。

活動包含的科學原理：冷次定律—運動中的磁鐵，其磁場切穿導線時，導線為了產生一個與磁場運動方向相反的磁場(以抵消磁場穿越的慣量)，而感應產生電子的流動。

實驗器具：

器具 1.冷次定律演示管(圖 1)器具 2.擺錘發電機(圖 2.)器具 3.重力發電機(圖 3)

解說程序分為教室型演示與攤位式演示兩案。

教案一：教室型演示

媒體	內容	解說要點
圖片	遊樂設施大怒神、海盜船	提示觀眾思考這些設備怎樣進行煞車
圖片	簡單的機械煞車系統	機械煞車耗損率高的構造 另有更有效率、維修簡便的煞車系統
教具	銅塊、磁鐵、鋁管	請觀眾協助，接住通過直立的鋁管落下的銅塊 再以磁鐵重複同一動作 提示觀眾注意兩種物體落下的速度不同 導引問題： 1. 兩個東西通過鋁管後,落在手上的感覺有何不同？ 2. 兩者通過鋁管的速度為何會不同？ 3. 磁鐵通過鋁管落下的速度為何變慢？
教具	擺錘發電機	讓擺錘發電機上的磁擺自由擺動一陣子，將導線接通。 提示觀眾注意接成通路，會使擺動停止。
教具	冷次定律演示管、磁鐵、銅塊	分別讓磁鐵和銅塊經過冷次定律演示管 提示觀眾注意磁鐵通過線圈時速度減慢，同時能讓燈泡發亮。
動畫	磁力線通過線圈，線圈上產生電流流動。	說明：當磁場切穿線圈時，線圈會相應產生電流。切過線圈的磁力線方向不同，感應電流的方向亦不同。
教具	冷次定律演示管	不同的磁極通過線圈時，線圈上燈亮的方向不同。
圖片	捷運、磁浮列車	利用磁鐵通過線圈能產生相反的磁場來減速的原理，可應用於捷運列車和磁浮列車的控制。

教室型演示，係模擬教室上課的講演方式，配合具有提示功能或引起動機的圖片或多媒體。演示的場地在本館劇場教室。由於這種型態的觀眾多為學生團體，且有不受其他觀眾干擾的獨立空間，學習者的注意力較容易集中，可以介紹較多科學概念與名詞。

### 教案二：攤位型演示

媒體	內容	解說要點
遊戲	銅塊和磁鐵通過鋁管	請觀眾試著接住從鋁管一端落下的銅塊，第二或第三次時改以磁鐵投下。讓觀眾驚訝於落下的速度之慢。 引導觀眾思考變慢的可能原因
教具	冷次定律演示管	提示觀眾注意只有磁鐵經過線圈的時後能讓燈發亮
教具	擺錘發電機	提示觀眾注意磁鐵擺動時，線圈接成通路能讓磁擺停止。 示範接上燈泡組的效果。
遊戲	塑膠小球	每個人兩手各持一個小球排成圈，以不讓球落地的前提傳遞球，以此代表通路上的電流；讓其中一個人站得遠些，以同樣的原則傳球，表徵電流通過電器用品中並未消失，只是傳回的效率較低。
教具	重力發電機	說明電流驅動電器時消耗能量，不消耗電流
教具	擺錘發電機	讓學生在通路和斷路狀況下，親身體驗發電需要付出較多力量才能推動發電機。
教具	腳踏發電機	讓觀眾親身體驗桌燈發亮有多費力。

本館除了在館內的展示區進行教育活動之外，亦常需應各教育機構邀請，在類似園遊會型的活動中設置與科學教育有關的攤位。在這組電學教具的演示發展出來之前，奉派的活動為「位向學」的演示逾五年以上，由於位向學操作的參與相當有趣，但原理並不容易在沒有圖說、吵雜的環境中解釋到觀眾可瞭解，使其娛樂性往往遠勝教育性。電學與日常生活息息相關，且透過教具的操作，有助挑戰學習者既有的概念，輔以簡單的解釋即有助於瞭解。本組教具研發完成後，已奉派參加多場活動(2003年2月臺北市臺灣科學教育館、2003年12月第19屆科學教育年會會場、2004年8月新竹市國立清華大學、2004年12月第20屆科學教育年會會場、2005年2月物理教學與演示研討會會場、6月台中市國立自然科學博物館)。

### 三、教具組設計特色：

1. 在國小教材中，關於電路、電流、電與磁的關係，慣以電池作為介紹線路及產生電磁鐵的電源。因此，許多學生產生了「被產生的電有個固定的量，其運作如同一種物質量般，會消耗殆盡」，進入國中後，學習化學電極時，又加深了此種想法「產生電的(化學)物質用完，就沒有電(流)可以再產生」。
2. 在電能的轉換與消耗方面，許多人都認為「電燈發亮是消耗發電機產生的電子或電流」之想法，透過擺錘發電機與重力發電機，可以清楚地呈現與解說位能、動能、電能、光能、熱能間相互轉變的現象與概念。
3. 重力發電機透過加上越多砝碼可以讓越多燈泡發亮的現象，讓觀眾瞭解「發電需要消耗能量」；而擺錘發電機則幫助觀眾實際體驗到讓電燈維持一定的亮度需要付出相對推動發電機的力量，每增加一顆燈泡的亮度，如果仍以原來的力量推動發電機，則兩個燈泡運作的功效都會下降(亮度減弱)。
4. 這套教具與配合的演示腳本，採取漸進誘導的方式，讓觀眾看到出乎意料之外的現

象、動手印證、挑戰既有想法，再介紹學理及應用。

5. 這些教具的構造都以能夠產生電流的最簡單構造，直接呈現在觀眾眼前，有助於挑戰觀眾在學習過程中產生的迷思概念。
6. 每一件教具都可以讓觀眾動手操作，透過感覺與觀察，釐清自己對於電流、能量轉換、發電負載所產生的認知衝突。

#### 四、觀眾操作教具的常見模式

攤位型演示的觀眾常是自主地決定停留或離開，比較喜歡有自己動手的機會，不像教室演示有領隊老師維持秩序且期待解說員的示範。通常觀眾動手之後，感到驚奇、有趣便會開始尋找週邊是否有更多關於此項物件的介紹或說明。所以本文所描述的觀眾操作模式，是由外派設置攤位的解說員對觀眾行為的觀察報告歸納而成。

##### (一) 攤位設置



圖 1.攤位配置。由左而右分別為擺錘發電機、冷次定律演示管、重力發電機與腳踏發電機。

一般活動提供的攤位空間幾乎都相近，因此在布設時都有一定的方式。這組教具與本館其他的演示活動不同之處，是將教具當作互動式展品陳設在現場，讓觀眾主動操作。解說員的角色是引發觀眾操作的興趣，鼓勵觀眾將幾件教具操作後獲得的感官經驗作聯結，歸納出對電運作的瞭解。

制式的解說文本包含操作說明及原理介紹。這樣的文本架構是假設觀眾會依照文本進行操作，然後注意到操作造成的現象，接著參考文本對科學概念的介紹。但實際在展示場中，觀眾常先以自己認定的方式操作，期望看到物體因操作造成的顯著改變，然後再參考介紹科學概念的文本。

配合這組教具的解說文本，將操作說明和原理介紹區分為兩種不同的樣式：壁貼文本除了以不同的字體配合圖解，說明這組裝置的操作方法，語意上也誘導觀眾動手進行操作，並且導引觀眾專注於思考這個現象形成的關鍵裝置；桌板說明文本，以圖解配合文本說明造成此種現象的科學概念，觀眾可揭起翻板閱讀。壁貼文本的標題利用一般人初見到展品的感覺，以醒目的字體吸引觀眾繼續閱讀說明文本。如果說明文本直接以小字說明冷次定律的操作型定義，緊密排放在有限的版面內，那麼觀眾可能因版面擁擠而減低閱讀的意願、不易瞭解定律與現象之間的關係。因此，以另壹種式樣呈現解說科學概念的文本，除了讓展示看起來有點變化，也讓觀眾可以自行選擇是否接受更詳細的概念說明。



2a 壁貼文本



2b. 桌面文本封面



2c. 桌面文本內容

圖 2. 解說文本照片

## (二) 觀眾操作次序

參觀科學類展示的觀眾，主辦單位預期的中小學生之外，還有帶領學生來的老師、家長、部分大學物理相關科系的教授，及主辦單位安排的大專學生。以下分成親子觀眾、兒童同儕、中學生同儕、成人分別介紹。

### 1. 親子觀眾。

由成人與至少一人的兒童形成的團體，成人與兒童為親子關係。此類團體的成人會刻意阻止兒童的操作，要求兒童先閱讀週邊的文字，以便瞭解如何操作及觀察的焦點。閱讀解說面板後會要求兒童依照指示操作。

進入擺設區後的操作序常為：冷次定律演示管或腳踏發電機 $\rightarrow$ 重力發電機 $\rightarrow$ 擺錘發電機 $\rightarrow$ 離開。通常此種團體會受到冷次定律演示裝置的標示吸引，因為上面的操作以圖解標示，最容易瞭解操作過程。兒童主導性較強的親子團體，會因兒童喜好體力消耗型展示的關係，先操作腳踏發電機，再嘗試冷次定率演示管。

### 2. 兒童同儕。

這裡所指的兒童同儕定義為無成人陪伴的同年齡國小學生至少 2 人以上。出現在科學園遊會之類的兒童同儕多半為中年級以上，低年級的兒童則常以親子團體成員的方式參加。其操作的次序為：腳踏發電機 $\rightarrow$ 重力發電機 $\rightarrow$ 冷次定律演示管 $\rightarrow$ 擺錘發電機。這種操作次序剛好是攤位擺設入口到出口的次序。根據兒童自行報告採此種操作序的原因是腳踏發電機很好玩，解說面板的標題「發電大不易」讓他們想試試是否真的很難。在充分耗力踩踏發電機驗證發電的困難後，覺得這個攤位真的很有趣，於是依序操作每件展品。

兒童同儕在最後一件展品耗費的時間通常最少。可能的原因是擺錘發電機擺放方式較貼近牆面(因為前面放置翻閱型輔助文本，見圖 3)，兒童的身高使他們要推動單擺，或操作燈泡開關較為不便。再者，推動單擺後啟動燈泡開關的效果是使單擺停止，小學生認為此種效果「單調」，沒什麼好玩。



圖 3.擺錘發電機的陳列

### 3. 成人

個別的成人觀眾常是大學教授或高中教師，他們會反覆操作同一件展品許久，操作時有思考、參閱解說面板、想找人討論等行為，雖然單獨前來，但在操作後會試著與觀看自己操作的其他成人攀談討論。

結伴的成人觀眾除了大專學生，就是中小學老師。他們與個別成人同樣會重覆操作壹件展品很長的時間，但在期間他們有較少參看解說標示，採取與同伴討論再決定接著要如何驗證自己想法再一次操作。

成人操作展品沒有明顯的偏好次序。有時是站在一旁看別人操作某件教具一陣子後，等原來的操作者離開，他們再上前嘗試該教具的操作。

### 4. 中學生同儕

參觀展覽攤位的觀眾當中，較少遇到單獨前來的中學生。但有不少 2-3 人結伴的國中生。他們的操作次序常是：重力發電機 $\rightarrow$ 冷次定律演示管 $\rightarrow$ 擺錘發電機。

根據參觀者的自行報告，顯示國中生普遍覺得上去踩腳踏發電機很好笑。除了少數學校一起來參觀的中學生，因為同學起鬨而有人試踩之外，國中生較少主動操作腳踏發電機。他們選擇先操作重力發電機的理由，是這個東西與參考書上的圖形很像，引發他們的好奇，想知道書上畫的東西是否真的能夠發電。

### (三) 操作演示教具後觀眾對電與磁相關概念的詮釋

國小學童及國中生習慣將「電流」和「電能」當成「不同的東西」。踩腳踏發電機時能感覺到開啟燈泡線路時有較大的阻力，因此能聯想到「產生電流要消耗能量」。但是在看到冷次定律演示裝置中，磁鐵經過鋁管的速度減慢，以及重力發電機的燈泡發亮時，重錘落下的速度變慢等現象時，無法推測出這種使重物減速的力量就是產生電流時需要額外對抗的力量。國中生可以透過操作冷次定律演示管，感覺磁鐵通過導通的線圈時速度頓減、燈泡同時發亮，藉由燈泡亮的一瞬間，瞭解電流產生的同時會有個與磁鐵運動方向相反的力產生，推知搖動發電機要讓燈泡發亮時出的力是在對抗這個與磁鐵運動方向相反的力。小學生普遍沒有辦法連結這幾個現象間的關係，但擺錘發電機的燈泡線路開啟下，讓他們試著推動單擺，使燈泡亮起。這個動作同時將施力、轉動發電機、燈亮(有電流產生)連結起來，學生可透過這個操作而認同「轉動發電機付出的力量，透過產生電流轉變為電能」之陳述。

成人觀眾對於磁鐵通過鋁管速度減慢的效應、擺錘發電機開啟通路後會瞬間停止等現象大感驚奇，多位大學物理系教師及大學物理相關科系學生皆表示沒有想到這種效果這麼明顯。中學生、物理系學生，先選擇操作擺錘發電機時，用「動能轉變為電能消耗在線路上，所以燈泡只閃一下就滅了」，解釋這個現象。有趣的是被問及動能如何轉變為電能時，中學生比大學生容易推想到是經由「產生電流」。數為大學生觀眾提及因為

他們會從「能量」的觀點思索「位能、動能到電能之間還有什麼轉變」，所以一時無法想通「產生電流」跟「轉變為電能」之間有什麼關係。

在一個會場中，現場的大專工讀生操作腳踏發電機後，被工作人員指引，將磁鐵丟入鋁管。當這個學生看到磁鐵掉落速度變慢，提出他的解釋：「因為我踩發電機的時候身上帶了靜電，所以靜電讓這個金屬(指磁鐵)跟金屬(鋁管)有吸引力。」，兒童觀眾第一件操作選擇磁鐵丟入鋁管時，也常會聯想到是因為「有靜電」所以會變慢。顯示多數人只熟悉靜電一詞，但對於靜電產生的要件、維持電位差才有互相吸引的現象產生等觀念並未真正瞭解。

#### 五、研究建議

根據多次教具展示的經驗，發現對觀眾學習最佳的引導，不是解說文字或圖解，而是現場解說者對觀眾自行提出的可能解釋所作的質疑。這四件教具的效果對觀眾來說都有足夠的趣味性，引發他們思考可能解釋的動機。觀眾對於電的另有概念是否確實獲得衝突而必需尋求替代概念，往往要靠現場的討論對象，就他提出的初步解釋再次質疑才能使觀眾感受到自己原有推測的矛盾。因此，在場解說者如果能跳脫既有的「解說使用方式、說明原理」框架，扮演一個與觀眾「對談」、引發討論者的角色，相信更能讓觀眾確實獲得對科學概念理解。

有些教授亦建議應增加有關原理與演示時看到的現象關聯性的圖解，以及物理原理的說明文字。但根據解說員觀察的結果顯示，以類似物理課本圖解的解說圖板，觀眾通常會假定自己無法看懂而略過。因此解說使用的圖解，應該避免看似「學術專用」的圖解格式，宜採類比的方式表現科學概念，美編呈現採取卡通化，鼓勵觀眾閱讀。

誌謝：本文承國科會 NSC90-2511-S178-001 計畫補助。

#### 六、參考文獻

邱美虹(1993)：類比與科學概念的學習。《科學教育》，1(6)，79-90。

D'Ambrosio, B. S. & Campos, T. M. M. (1992). Preservice teachers' representations of children's understanding of mathematical concepts: conflicts and conflict resolution. *Educational studies in mathematics*, 23, 213-230.

Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change— some implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74, 555-569.

Johnson, J. K., & Howe, A. C. (1978). The use of cognitive conflict to promote conservation acquisition. *Journal of research in science teaching*, 15, 239-247.

Joseph, S. (1996). *Targeting students' science misconceptions: physical science concepts using the conceptual change model*. pp.119-122. Florida: Idea Factory.

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.

Rowell, J. A., & Dawson, C. J. (1983). Laboratory counterexamples and the growth of



understanding in science. *European journal of science education*, 5, 203-215.

Rowell, J. A., & Dawson, C. J. (1985). Equilibration, conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European journal of science education*, 7, 331-344.

Thomas, M. A. (1989). Cognitive conflict and development: is course demand enough? *International journal of science education*, 11,287-296.

# Learners' Concepts toward "Induction Producing Electric Current" — Some Inductions from Demonstration Activities for Teaching

Pei-Chei Tsou      Jung-Hua Yeh

Science Education Department, National Museum of Natural Science

## Abstract

Some literature of science education point out that it is apt to form misunderstandings while people study relevant concepts about electricity. That is because people are unable to observe electrons or the formation of electron flow with their bare eyes and simplified charts are used for most explanations. In order to promote the public's understandings about the formation of electricity and operations of equipment related to knowledge of electricity, some educational activities were designed referring to research focusing on common misunderstood concepts toward electricity and demonstrated in the National Museum of Natural Science. The characteristics of those demonstration activities include stimulating the audience to think, making cognitive conflict and utilizing personal experience and observation as channels to transform concepts. During 2 years of demonstrations, the authors induce the audience's preferred operations of habitual teaching aids and concepts related to electromagnetic induction and load from family groups, children peer groups, high school students peer groups and adults. The authors also provide some approaches for guiding different groups of learners to think.

**Key words: electricity, demonstration activity, Lenz's law, electromagnetic induction, load**