

一波未平一波又起

談電磁波

□ 涂世雄

電磁學簡史

古典電磁學發展史基本上可以分為三期：

法拉第之前，是電與磁的發現

法拉第時期，是電磁感應現象的萌芽與發展

馬克士威時期，則是馬克士威的方程式以及電磁波的發現



第1時期：電與磁的發現

本時期人類逐漸累積電與磁的知識，這時候的電學與磁學是分開發展的。

西元前約 600 年，當時希臘的婦女很喜歡將琥珀做為裝飾品，但琥珀擦拭乾淨後卻很快又蒙上灰塵，泰勒斯（Thales）細心觀察，發現起因於琥珀與絲綢衣服的摩擦，經小心實驗，發現絲綢摩擦過的琥珀，具有吸引灰塵等輕小東西的作用；這是摩擦產生靜電。

十六世紀中期，英國吉爾伯特（Gilbert），發現除了琥珀外，金鋼

石、水晶、硫磺、玻璃、松香等，都能夠摩擦生靜電，吸引一些重量輕的小東西。他同時也提出「地球是一個大磁石」的看法。吉爾伯特被尊稱為「電學之父」。

1746 年，荷蘭萊頓大學馬森布羅克（Musschen）發明萊頓瓶蓄電。萊頓瓶是一個內外貼上錫箔的玻璃瓶，內壁錫箔透過一條金屬鏈與瓶口木塞上的金屬球相通。馬森布羅克意外發現，帶電的鐵釘放在玻璃瓶內，玻璃瓶用絲綢吊起，他無意間觸電了。此外，玻璃瓶內留半瓶水，木栓塞住瓶口，木栓上插了一條鐵線，鐵線的一端剛好碰到水面，另一端連到靜電產生器，有位學生一手拿住瓶子，通電

後想要用另一手卸下鐵線，碰到鐵線時竟然受到激烈電擊，而甩破玻璃瓶。

1729年，英國的格雷（Gray）發現，除了摩擦能夠使物體帶電，傳遞也可以帶電。他同時提出，絕緣體能夠長期保存摩擦所生的電，但導體無法長期保存住摩擦產生的靜電。

1752年，美國的富蘭克林（Franklin）與兒子威廉在大雷雨中做實驗，他使用了一個鐵絲與絹布糊成風箏，將閃電接引下來，發現閃電就是空中正負電中和的結果，從而證實了雷電與摩擦電是一模一樣的東西。同時又由此發明了避雷針，保障了許許多多人的安全。

1775年，法國的庫倫（Coulomb）經由實驗結果，提出靜電力與距離平方成反比的庫倫定律。



第2時期：電磁感應的發展

本時期最主要的兩個重大發現是厄斯特（Oersted）發現電流會產生磁場，以及法拉第（Faraday）發現變化磁場能夠產生電流。

1820年，厄斯特發現電流的磁效應，通電的導線四周會產生磁場，使得磁針偏轉；這是電與磁統一的開

端。有了厄斯特的發現，人們得以製造電磁鐵。同年安培（Ampere）發表了安培右手定則；並發現平行導線之間的作用力，也就是電流與電流的磁效應；安培也把正電荷流動的方向訂為電流方向。

1831年，法拉第發現電磁感應必定「與某種變化有關」，最後發現電磁感應定律，也就是由磁場產生電流；並設計了人類第一部發電機。電磁感應所產生的電流方向，可以使用冷次定律（Lenz）來解釋，即磁場變化產生電流，電流又產生磁場，而產生的磁場方向是「阻止」原來磁場變化的方向。



第3時期：電磁波的發現

本時期主要的兩個重大發現，是馬克士威（Maxwell）提出電磁學方程式，預言空間存在電磁波，以及赫茲（Hertz）以實驗證實了電磁波的存在。

1855年，馬克士威在劍橋哲學學會宣讀一篇「論法拉第的力線」的論文，使用場論的概念闡明法拉第力線的意義，讓這些觀念更精確化、量化。1862年，他在英國的哲學雜誌上發表第二篇「論物理的力線」，提出了

電流產生磁場

位移電流的觀念，在建立馬克士威描述電磁理論的方程式裏，這是一個相當重要的關鍵。

1864年馬克士威在倫敦皇家學會宣讀（1865年發表）論文「電磁場的動力學理論」，這篇論文將他之前的科學家在電磁學這個領域所有的發現做了一次總整理，並且再加入自己的研究成果，成功地將所有的電磁現象統一起來，而建立起電磁學領域裡，著名的馬克士威方程式。

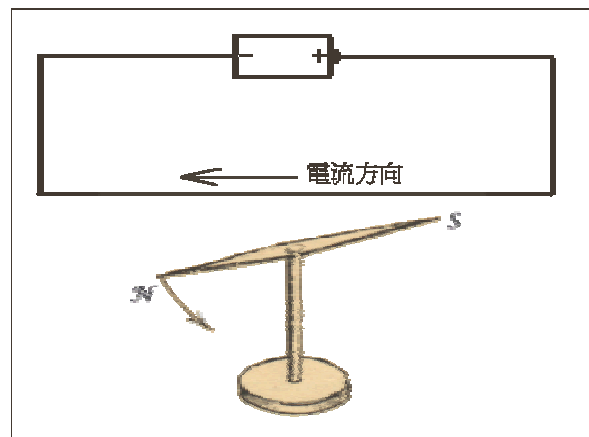
1873年，馬克士威出版「電磁通論」，歷經兩世紀庫倫、厄斯特、安培、法拉第等人的努力，最後在馬克士威的手中，古典電磁學終於統一。這部巨著闡述電磁學理論，其重要性媲美1687年牛頓在力學上的巨著「自然哲學數學原理」，更與1859年達爾文在進化論上的成果「物種起源」相提並論。

馬克士威提出的方程式，「預言」了電磁波的存在，並沒有去「證實」它；1879年馬克士威逝世，享年49歲，八年以後赫茲終於以實驗發現了電磁波，驗證了馬克士威的預言；雖然他未能親眼目睹，但自此電磁學的理论更加完備，各類相關發展也更多采多姿。

導線通電後，周圍會產生磁場，這個現象稱為「電流的磁效應」，這個現象是由丹麥物理學家厄斯特（Oersted）發現的。

自從十八世紀80年代末，庫倫依據電荷可以傳導、磁荷不能傳導的事實，進一步肯定電和磁是不同的實體以後，當時的物理學家如安培、必歐等人，普遍都認為電和磁不會有任何關聯，但厄斯特卻是堅信電力和磁力有著共同的根源。

厄斯特發現電流磁效應是很偶然的。1820年4月，厄斯特做完一場演講，在觀眾面前拿出電池、導線、指北針，他將導線擺在指北針旁通上電，不過指北針並沒有任何變化，但是當他將導線轉個角度擺放時，指北針偏轉了。指北針偏轉，代表著周圍有個磁場產生，但厄斯特所做的只是



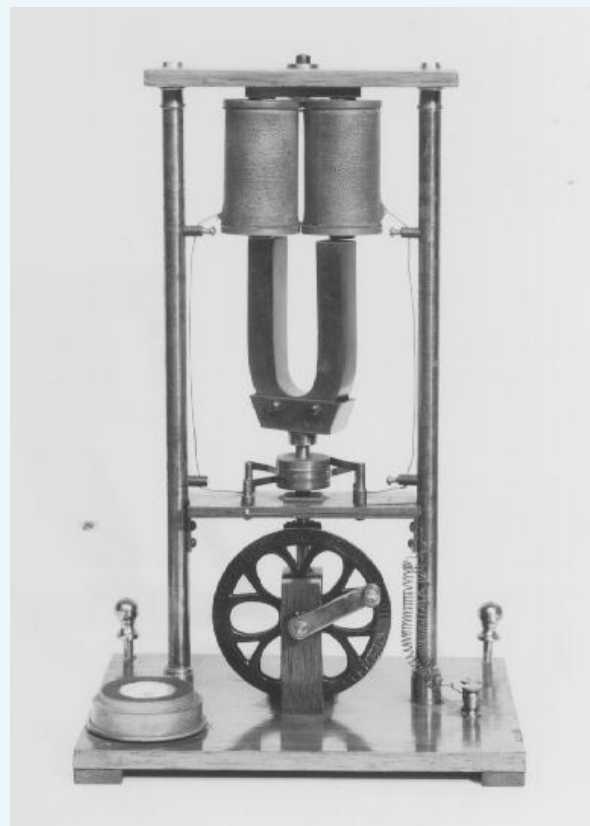
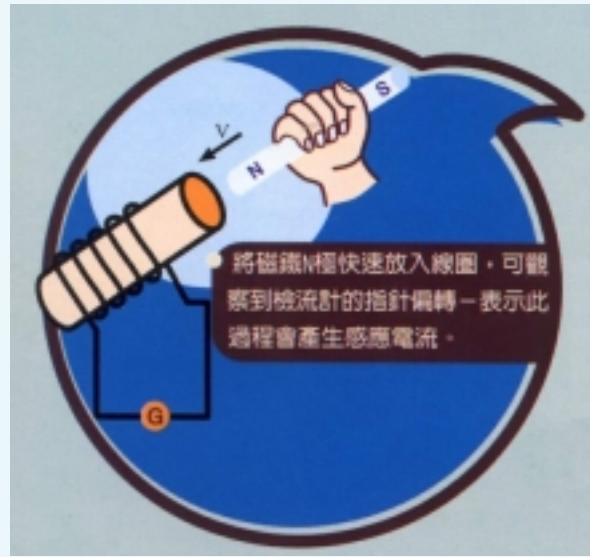
將導線通電而已，旁邊並沒有擺放永久磁鐵。這是人類史上第一次發現電流的磁效應，從而徹底否定了那種不正確的觀點。

電流磁效應的論文在7月21日發表後，在歐洲引起了極大的迴響。厄斯特的發現是產生電磁學的契機，促進了安培對電磁力的研究，這方面的研究工作發展迅速，並導致電與磁關係的一系列發現以及應用廣泛的電磁鐵的出現。也由於這個原因，厄斯特被稱為「電磁學之父」。

電流的磁效應描述著，導體或線圈通電流，會在四周建立磁場；而且電流越大，磁場強度也越強；當電流方面相反過來，磁場方向也會跟著相反過來。

變化磁場產生電流

自從厄斯特在1820年發現電流的磁效應，證明電與磁是相關的，不少物理學家試著探索磁是否也能產生電，他們曾進行過不少的實驗，但均未成功。從1824年起，法拉第也開始進行探索，當年，他曾把磁鐵放在接有檢流計的線路內，結果沒有發現檢



流計指針偏轉。1825年，他將導線迴路放在另一個通電迴路附近，期望在導線迴路中能感應電流，因為他當時認為，既然帶有電荷的導體能使附近

導體感應電荷，那麼，具有電流的導體也能使附近導體感應電流，二者應該有相似的性質。但是他在實驗的過程並未研究電流變化時的效應，而沒有得到任何結果。

1828年，他又設計了專門的裝置，使導線和磁鐵處於不同位置，都仍然未見導線內產生電流。經過反覆思索和實驗，終於在1831年8月29日第一次觀察到感應的效應。法拉第用一鐵環繞了兩組線圈，其中一組兩端連接起來擺在磁針旁邊，另一組接上電池；法拉第發現接通電池的瞬間，磁針會來回擺動，最後穩定在原來的位
置；移開電池的瞬間，磁針再度出現偏轉，然後又恢復到原來位置。接著他改進檢測電流的裝置，經過數次實驗後，發現電池接通和移開的瞬間，磁針偏轉方向不同，這表示接通和移開電池的瞬間，磁針附近的磁場方向不同，由此推測出流經磁針旁電線的電流方向不同。這個結果出乎他的意料之外，感應效應不是持續的而是短暫的。

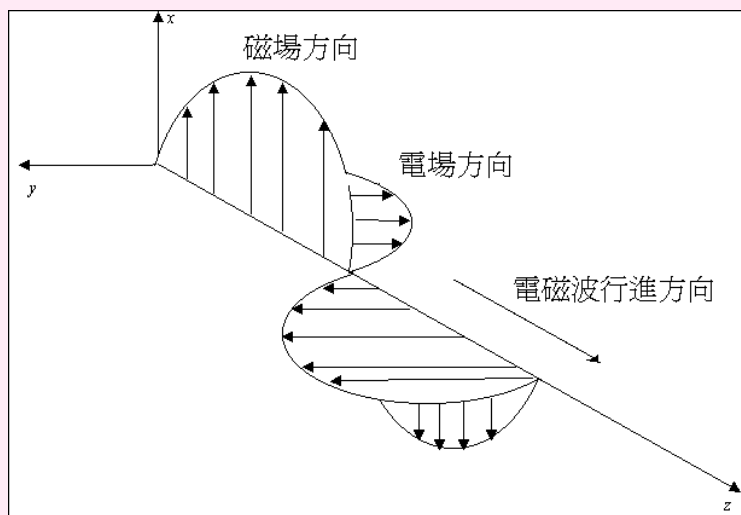
之後法拉第進一步做了一系列實驗，用來判斷產生感應電流的條件和決定感應電流的因素。他觀察了磁棒插入線圈和從線圈內移出時的感應現象，也做了電源接通和斷電時兩個同軸線圈的感應實

驗，並用鐵蕊增強感應效應；法拉第還借用皇家科學院大型磁鐵增強感應效果，並用圓盤在磁場中的旋轉獲得連續的電流，這是世界上第一臺利用感應原理的發電機。此外，他還做了許多其他感應現象的實驗。

透過廣泛的實驗和細心的思索，法拉第終於揭開了感應現象的奧秘：當導線切割磁力線運動時，會產生感應電流。

何謂電磁波

電磁波是電磁場的一種傳播型態，這種傳播以光速在空間中行進。由於交變場中電場與磁場互相依賴而同時存在，所以電磁波也常被稱為電波。



1864年，馬克士威建立了關於電磁場的方程式，首次從理論上預言了

電磁波的存在，同時也提出光的電磁波理論，而電磁波的運動規則，可由馬克士威的方程式來描述。

馬克士威的方程式表示，變化的磁場會產生電場，而位移電流造成變化的電場，又會產生磁場；如此反覆不斷，在空間中形成電磁波。由此可知，位移電流的概念是電磁波理論的前提。

馬克士威藉由這些簡單又美麗的方程式，闡述了電磁學的理論基礎，同時揭示了電磁現象和光現象之間的統一性，而這都是在人類尚未「發現」電磁波之前。不過，假如世界上不存在電磁波，那這些方程式不就毫無意義了？證明電磁波存在的科學家，就是赫茲。

1887年，赫茲首先用實驗方法證實了電磁波的存在。赫茲使用電感和電容充放電的高頻振盪，成功的產生了電磁波。他的發射器其實就是一組高壓放電裝置，這是個開路的導線迴路，放電時可以看到兩金屬圓球間有電荷穿過空氣，產生火花；接收器也是個開路的導線迴路，兩端都是黃銅製的圓頭，當發射器做高壓放電的同時，接收器端出現了微弱的火花，就可以知道檢測到了從發射器射來的電磁波。

赫茲還模擬各種光學設備，將電磁波聚焦，確定其極化方向，使電磁波反射和折射，進行干涉、繞射等實驗，並測量波長等等。赫茲的實驗不僅證實了電磁波的存在，而且顯示了光和電磁波的同源性。

