

## 9-5 電磁波

在前幾章中，分別介紹了電磁學的幾個重要的定律。透過這些定律，我們知道靜止電荷在空間中能產生穩定的電場；均勻分布的電荷以等速在導線中運動時，將形成穩定的電流，則在周圍的空間產生穩定的

5 磁場。在這兩種情況中，空間中各點的電場強度或磁場強度都恆為一定，並不會發生變化。但是當電荷作加速運動或電流不穩定而發生變化時，將會產生什麼現象呢？

由本章所介紹的法拉第電磁感應定律知，若通過線圈中的磁場隨時間而變動時，在導線中會產生應電動勢，表示在空間中將產生應電

10 場。換句話說，隨時間而變的磁場會產生電場。馬克士威推想隨時間而變的電場也能產生磁場，並統整了電學與磁學的相關定律，在 1864 年發表描述電學與磁學的四個方程式，被後人稱之為**馬克士威方程式**（Maxwell's equations），建構成電磁學理論的核心內容。



### 穩定的電場與磁場不會產生電磁波

依電場或磁場都恆為一定，不會發生變化，因此就不會觀察到引起波動的現象。

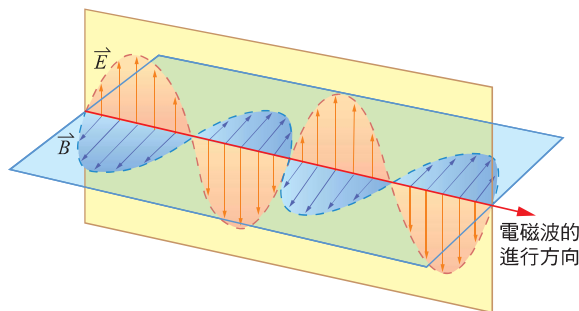
### 1. 電磁波的產生

15 馬克士威在 1861 年發表有關電學的研究論文《論物理力線》，對變化的磁場能產生應電動勢的現象作了深入的分析，認為即使沒有實際的線圈或迴路存在，變化的磁場在周圍的空間也會激發出應電場。這個應電場的存在，導致了導線上產生應電動勢，若導線形成迴路時，其上才會有應電流的出現。

20 在 1864 年馬克士威發表了《電磁場的動力學理論》，有系統的總結了庫倫、安培、法拉第以及他自己的研究成果，推出著名的馬克士威方程式，不但說明了電磁場理論，也預言了電磁波的存在。

什麼是電磁波呢？電磁波係依據電磁感應原理，在空間變化的電場與磁場交互相生而傳遞的電磁場波動現象。當電荷振盪運動或電流隨時間而變時，所產生的電場與磁場也會隨時間而變。因為隨時間變動的磁場會生成電場，而隨時間變動的電場也同樣會產生磁場，兩者交互影響，向外傳播出去，便產生了電磁波。馬克士威推算出電磁波可在真空中傳播，不需要依靠介質，其傳播速率為  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，恰和真空中的光速相等，故認為光是一種電磁波。

由馬克士威的電磁理論可知，電磁波是電場和磁場振盪產生的擾動現象，如圖 9-26 所示，圖中電場  $\vec{E}$  和磁場  $\vec{B}$  的向量積 ( $\vec{E} \times \vec{B}$ ) 的方向，為電磁波的行進方向，而電場與磁場的振動方向皆與波的行進方向垂直，因此我們可將電磁波視為橫波。當電荷以某一頻率振盪時，產生相同頻率的電磁波，而電磁波在真空中傳播時，其速率恆為一定值，與頻率無關。

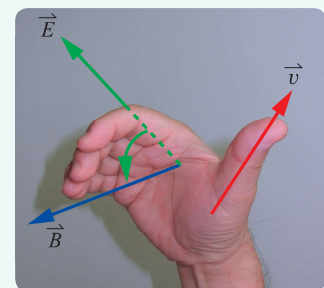


▲ 圖 9-26 電磁波之電場、磁場和行進方向關係圖。



### 電磁波方向的判定

電磁波為橫波，其電場方向、磁場方向和傳播方向三者恆相互垂直。這三個方向間的關係，可以使用右手來判定。將右手掌張開，五指手指在同一平面上，並使大拇指伸直且與其他四指垂直。再將四指彎曲，由電場的方向彎向磁場的方向時，則大拇指所指的方向就是電磁波傳播速度的方向，如圖 9-27 所示。



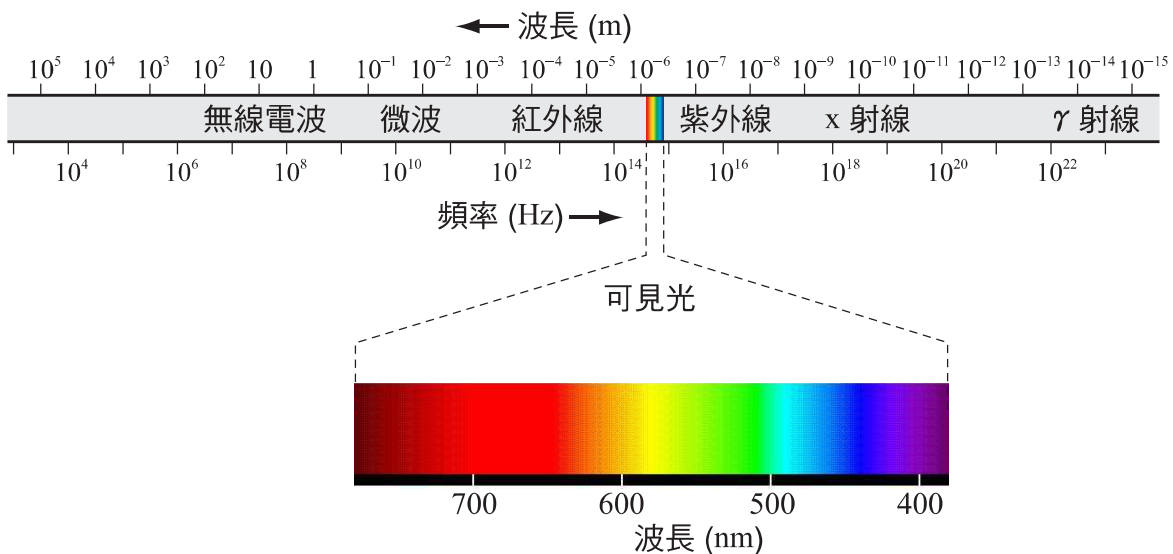
▲ 圖 9-27 用右手判斷電磁波的電場、磁場及行進的方向。

在 1886 至 1888 年期間，德國物理學家赫茲（Heinrich Rudolph Hertz, 1857-1894）在實驗室中進行了一系列的實驗，以簡單的電流振盪裝置產生了電磁波，並證實電磁波有反射、折射、繞射及偏振等現象，與光波有類似的性質，驗證了馬克士威的電磁理論。

從 1895 年起，義大利人馬可尼 (Guglielmo Marconi, 1874-1937) 致力於研究電磁波的發射與接收，並大幅改進赫茲的實驗儀器。在 1901 年，他成功地傳送無線電橫越大西洋，開始電磁波的實際應用，並於 1914 年，在義大利建立了一所無線電報站。今日我們所接收的廣播、無線電視和無線通訊，都是由振盪電流或振盪電壓所產生的電磁波。

## 2. 電磁波譜

電磁波的頻率範圍或波長範圍均甚廣，因產生的原因及方式不盡相同，大致上可以區分為無線電波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X 射線及  $\gamma$  射線等不同的波段，其頻率範圍並無明確的分界線。圖 9-28 表示電磁波各個波段的頻率或波長的分布，稱為**電磁波譜** (spectrum of electromagnetic wave)。



▲ 圖 9-28 電磁波譜

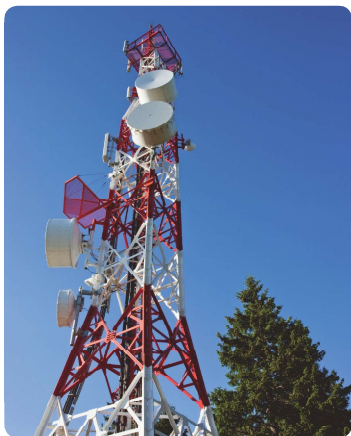
### 1. 無線電波

無線電波 (radio wave) 又稱為射電波或射頻波，是由交流振盪電路產生的電磁波。常見的無線電波可依波長的長短區分為長波、中波、短波及超短波等波段，其頻率約介於 3 kHz 至 300 MHz 之間，波長則介於 100 公里至 1 公尺之間。無線電波多應用於廣播、電視、行動電話等無線通訊，以及雷達定位、距離量測等用途，與日常生活有密切的關係。

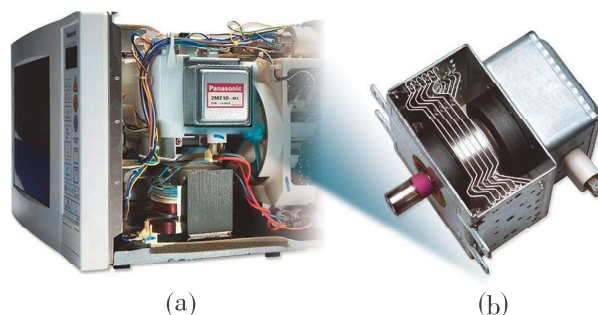
## 2. 微波

微波 (microwave) 是頻率約介於  $3 \times 10^8$  Hz 至  $3 \times 10^{11}$  Hz 之間的電磁波，波長則約介於 1 公尺至 1 毫米之間。微波較紅外線或雷射不易為環境所干擾，常應用在雷達、衛星通訊 (圖 9-29)。微波能量可以產生熱效應，故常應用於微波爐 (圖 9-30)。

5



▲ 圖 9-29 中華電信的微波發射站



▲ 圖 9-30 由微波爐內部的磁控管發出微波：圖(a)為微波爐；圖(b)為其內部的磁控管。

## 3. 紅外線

紅外線 (infrared, 簡寫為 IR) 主要是由常溫下物體的熱輻射所產生，又稱為熱射線，其頻率約介於  $3 \times 10^{11}$  Hz 至  $4 \times 10^{14}$  Hz 之間，波長則約介於 1000 微米至 0.7 微米之間，因頻率低於紅光而得名。常作為家用電熱器或烤箱的熱源，也應用在遙控、偵測、及紅外線攝影等 (圖 9-31)。



▲ 圖 9-31 紅外線攝影照片，圖中頭髮藍色部分表示溫度較低；背部紅色部分表示溫度較高、白色部分表示溫度更高。

10

## 4. 可見光

可見光 (visible light) 為人類肉眼可見的電磁波，其頻率約介於  $3.9 \times 10^{14}$  Hz 至  $7.9 \times 10^{14}$  Hz 之間，波長則約介於 780 奈米至 380 奈米之間。由紅、橙、黃、綠、藍、紫等色光依波長由長而短分布，在電磁波譜中僅占相當狹窄的範圍，見圖 9-28。藉著可見光的觀察，讓我們可以看見這五彩繽紛的世界。

15

20

## 5. 紫外線

紫外線（ultraviolet，簡寫為 UV）是波長小於可見光的電磁波，可由高溫物體（如太陽）或氣體放電管等發出，在地球表面的紫外線大多是來自太陽。其頻率約介於  $7.5 \times 10^{14}$  Hz 至  $3 \times 10^{16}$  Hz，波長則約介於 400



▲ 圖 9-32 紫外線殺菌燈

奈米至 10 奈米之間，因頻率高於紫光而得名。紫外線照射物體時可引起光化學反應，故又稱為化學線，為傷害性的電磁輻射，會引起細胞病變，故常用於殺菌（圖 9-32）。

## 6. X 射線

X 射線（X-ray，或 X 光）通常由高電壓的氣體放電管中，由加速的電子撞擊金屬靶產生，其頻率約介於  $3 \times 10^{16}$  Hz 至  $3 \times 10^{19}$  Hz 之間，波長則約介於 10 奈米至 0.01 奈米之間，因發現初期並不明瞭該射線的性質，故名之為 X 射線。因可穿透肌肉、黑布，但無法穿透骨骼及厚金屬板，常使用於醫學診斷（圖 9-33）。又因為 X 射線的波長與晶體內原子之間的距離接近，故常用來研究晶體的結構。



▲ 圖 9-33 小腿骨折的 X 光照片

## 7. $\gamma$ 射線

$\gamma$  射線（ $\gamma$ -ray 或 gamma ray）通常由放射性元素在原子核衰變或分裂時所放射，是波長最短的電磁波，其頻率高於  $10^{20}$  Hz，波長極短，因此能量極大，穿透力很強，可以殺死癌細胞，故可作為放射醫學之用；但也因為會引起細胞突變、以致破壞造血功能或引起癌症。

紫外線、X 射線及  $\gamma$  射線均為對人體有危險性的電磁波，因為可以使原子或分子游離，故稱為游離輻射。