

微波及 微波的應用

微波爐、手機已是日常生活中不可或缺的工具，
它們都使用微波，但是微波是什麼？微波會用在哪些場合？
國內在微波研究上又有哪些突破呢？

■ 演講人 朱國瑞 整理／呂淑雅 林士雄 李旺龍

微波是電磁波的一個頻段，波長在1毫米和1米之間，我們首先從電磁波的發展史談起，再討論電磁波的學理和主要頻段，然後談談微波的各種應用，並挑幾個與台灣有關的應用來做說明，最後介紹微波爐及微波加热的原理。

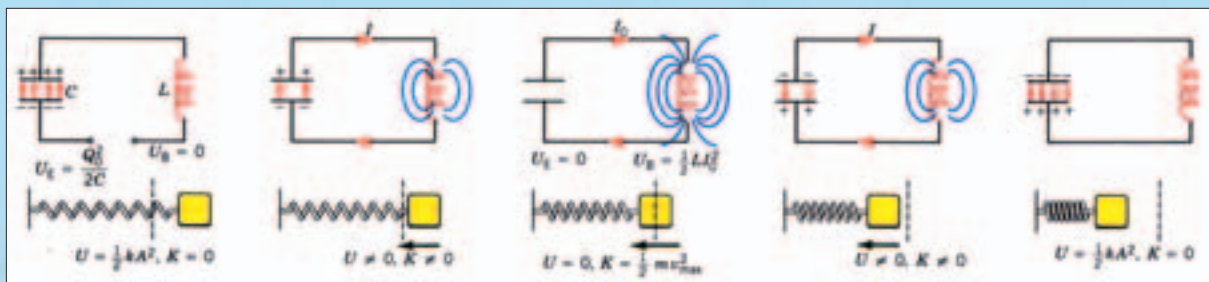
電磁波的學理

電磁波發展史中最重要的一個人是法拉第和馬克士威爾，這兩人都堪稱物理學家的前10名，他們最主要的貢獻就是我們要談的。法拉第出生於1791年，他在1831年經由實驗發現了「法拉第定律」：隨時間變化的磁場會產生電場。例如把磁鐵通過線圈，線圈上就會感應出電壓及電流。法拉第定律之所以重要，是因為在這之前只知道一種方法可以產生電場，就是電荷，而法拉第發現了另一種產生電場的方法。

在發現法拉第定律的同年，馬克士威爾也誕生了。1873年馬克士威爾提出一個重要的理論：隨時間變化的電場會產生磁場。這又是一個劃時代的里程碑，因為在當時只知道電流能產生磁場。馬克士威爾的學說因為是推理，到1879年他去世前都沒有被接受，一直到了1887年赫茲用LC振盪器產生電磁波，馬克士威爾的理論才終於獲得證實！

當時大家只知道光是波，光的波動現象可以用干涉儀探測出來，但不知道光究竟是什麼東西。馬克士威爾說光波就是電磁波，由電場和磁場構成的，可是因為太創新，以至於抱憾而終。法拉第和馬克士威爾偉大的地方就是，分別發現一個嶄新的方法產生電場和磁場。

在這裡我們用質塊和彈簧來比擬電磁波的振盪現象。彈簧上綁一質塊，把彈簧自平衡位置移開，便有位能產生，鬆手後位能逐漸變成動能，在動能最大位能最小的時候，動能開始化為位能，最後又全部變成位能。下半個周期開始相同的循環，所以彈簧和質塊的振盪就是動能和位能之間的相互轉換。



振盪原理 電容器充電後，接通電路，由於電容器上的正負電荷造成電壓，所以有電流，電流流過電感器就產生磁場。這時電容器內的電場能量隨電荷減少而變小，當電荷流光時，電場也沒有了，能量全部變成磁場能量。磁場最大時電流也最大，可是因為電流一直在流，無法一下子降為零，於是又有電荷流到電容處，然後磁場能量又逐漸變回電場能量，最後全部變成電場能量。下半個周期又開始相同的循環，這是一種電磁振盪的現象，赫茲就是用這方法產生電磁波。



能夠看到這個景致，是因為大自然中具有一個奇特的現象。在狹窄的可見光波段中，水分對於電磁波的吸收係數突然降低 $1 \sim 100$ 億倍，就好像在大氣中開出一扇窗，太陽光就是由這扇窗照到地面來的。如果沒有這個奇特現象，陽光就進不來，地球會是一片漆黑，你就看不到這個景象了。

相同的道理可應用在具有一個電容器和一個電感器的電路上。電容器充電後，接通電路，由於電容器上的正負電荷造成電壓，所以有電流，電流流過電感器就產生磁場。這時電容器內的電場能量隨電荷減少而變小，當電荷流光時，電場也沒有了，能量全部變成磁場能量。磁場最大時電流也最大，可是因為電流一直在流，無法一下子降為零，於是又有電荷流到電容處，然後磁場能量又逐漸變回電場能量，最後全部變成電場能

量。下半個周期又開始相同的循環，這是一種電磁振盪的現象，赫茲就是用這方法產生電磁波。

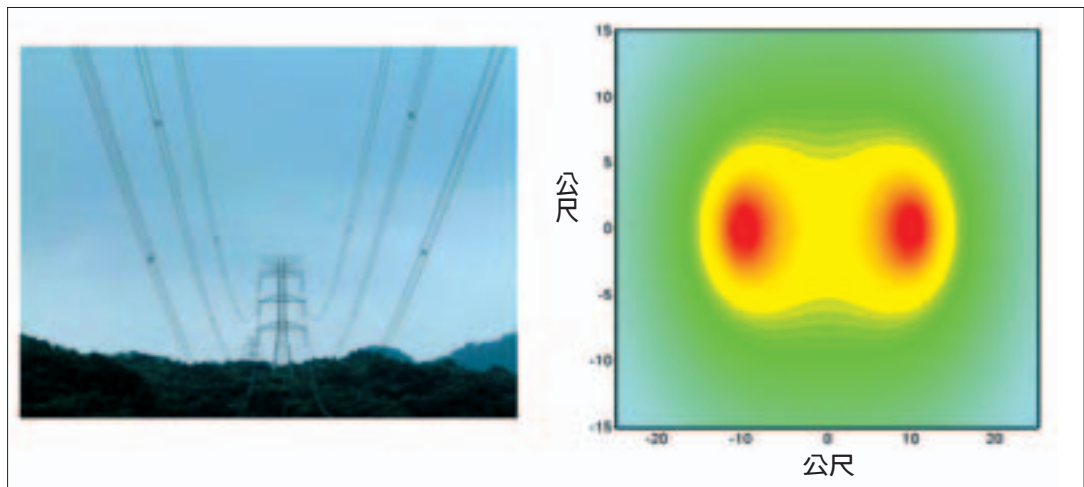
總結這兩種振盪形式，可看出一個振盪現象的通則：

能量形式一 \longleftrightarrow 能量形式二

由這個通則可以看出振盪需要兩種儲存能量的機制，比如質塊和彈簧機械震盪的能量儲存機制是動能及位能，LC 振盪器和電磁振盪的能量儲存機制是電場及磁場。此外，還需要有能量交換的機制，比如質塊和彈簧的能量交換機制是彈簧的復原力，LC 振盪器的能量交換機制是電流和電荷。

電磁波雖然也是藉著電場和磁場儲存能量，但能量交換的機制則截然不同，是藉由電場和磁場的時間變化來交換。電磁波由於不需要藉由電流產生磁場，也不需要透過電荷產生電場，因此可以存在於沒有介質的空間，例如外太空。

赫茲利用 LC 振盪器產生電磁波，其過程是在振盪時，用電感耦合出一部分能量，經傳輸線傳到電偶極天線，在天線上，電流會產生磁場，也會累積電荷，於是也產生電場。電場和磁場在天線處產生，兩者大致相互垂直，之後便根據馬克士威爾及法拉第的理論相互變換，



高壓線四周是電磁場大洪流區，這是高壓線要放得很高的原因。人們很不喜歡高壓線，懷疑住在高壓線附近易得癌症。然而美國物理學會在檢視許多傷害事例後，仍無法證明這些傷害是高壓線所造成的，所以曾在1995年發表聲明表示：「高壓線導致癌症的臆測沒有科學證據。」



<http://www.cma-ipinfo.gov.cn/81/servlet/News?Node=14218>

電磁炸彈爆炸示意圖 「電磁珍珠港事件」並非聳人聽聞。電磁作為自然界中一種無形能量，以我們肉眼無法辨識的特殊形式，奠定了現代資訊社會的物質基礎。電磁脈衝武器是依靠特定技術產生電磁脈衝，在一定地區或目標周圍空間造成瞬間的強大破壞性電磁場，毀傷敵方電子設備的一種新概念武器。目前已經開發出的具有實戰價值的電磁脈衝武器可分為3大類：核電磁脈衝武器、高功率微波炮和超寬頻電磁輻射器。核電磁脈衝武器是指以核武器爆炸產生的電磁脈衝輻射，對敵方軍事或民用目標實施打擊的武器。早在20世紀70年代，前蘇聯和美國的專家對原有核武器的設計進行了改造，使核彈爆炸時能把更多的核能量轉換為電磁脈衝能量。高功率微波炮能產生GW量級的微波，可瞬間擊毀電子元件。在高功率微波武器開發方面，美國和俄羅斯（前蘇聯）居領先地位。超寬頻電磁輻射器是近年研發的一種新型電磁脈衝武器，它就像雷公電母的兵刃，由於頻帶很寬，可瞬間大範圍覆蓋目標系統的響應頻率，使跳頻通信變得毫無意義，因此對電子設備有很大的威脅。這類武器的最大優點是體積小、操作方便，置於車輛、飛機和衛星上，可破壞敵方的電子資訊系統、信號接收機或阻塞對方雷達。

形成了電場和磁場完全垂直的電磁波，並以光速傳播出去。

電磁波的主要波段

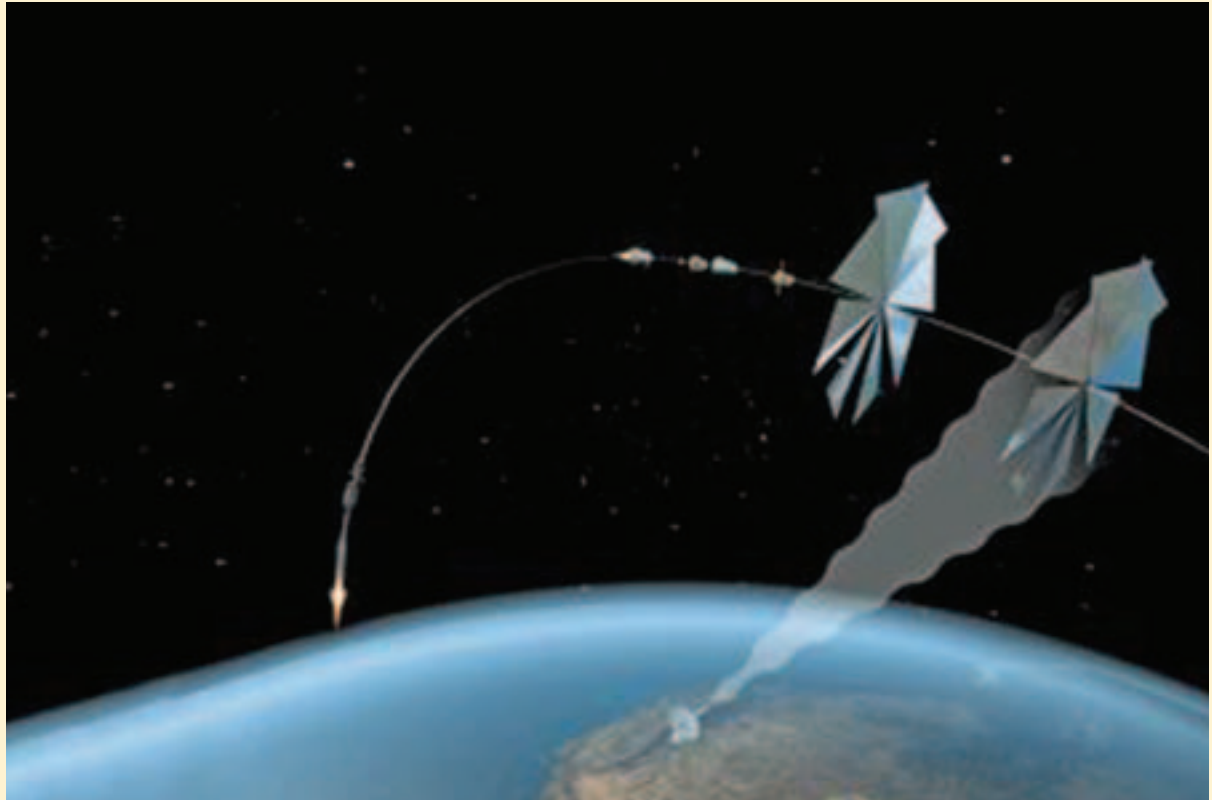
電磁波的頻率，從幾個赫茲（1赫茲等於每秒鐘振盪1次的頻率，用Hz表示）以下，一直到 10^{24} 赫茲以上，範圍可以說很廣。整個頻譜區可大致分為長波、無線電波（無線電波中包括了微波），還有紅外線、可見光、紫外線，接著還有X光、 γ 射線等。

有一個很有趣的現象，就是水對電磁波的吸收係數與頻率之間的關係。大氣裡有很多水蒸氣，在很窄的可見光頻段，水的吸收係數就像峽谷一樣，突然下降1~100億倍，讓大氣像

是有一扇窗戶，使太陽光能夠穿透水蒸氣到地面來。假如沒有這麼一個神奇的大峽谷，現在的地球會是一片黑，沒有植物也沒有光合作用，能量都沒有了，吃的東西、燒的汽油通通不存在，當然我們也都不存在！所以水對電磁波的吸收係數看來像是一個自然奇景，是其他物質所沒有的，幾乎像是超自然的力量所設計的。

再來談談低頻波段。60 Hz 是每秒鐘振動60次的低頻，跟我們很有關係，這是家用電所使用頻段，高壓線就是在60 Hz 傳輸能量。大家都很討厭高壓線，可是我們又必須靠它傳輸能量。那高壓線如何傳輸能量呢？

它是藉著電磁波的電場、磁場傳輸能量。



用微波的能量推動太空船 微波將推動世界上第一艘太陽帆飛船在太空中前進。按計畫，行星協會會再次嘗試發射「宇宙1號」太陽帆飛船，一枚俄羅斯彈道導彈會把這艘飛船送入距離地球82.5萬公尺的近極地軌道。飛船上太陽帆的直徑是30公尺，由厚度只有5微米的鋁聚酯膜製成。在它們充分展開後，飛船看上去就像是一朵在太空中盛開的巨大雛菊。像憑藉風力在海上航行的帆船一樣，這艘太陽帆飛船同樣不需要發動機—從各個不同角度打在太陽帆表面上的光子產生的壓力將推動它前進。如果這個計畫能夠成功，今後會有大量更先進的太陽帆飛船在太陽系內的行星之間穿梭—它們根本不需要燃料。然而，要迅速地擺脫地球的束縛，僅僅依靠陽光是不夠的。

高壓線的電流會產生磁場，電壓差會產生電場，電場和磁場正好互相垂直，因此可以傳輸能量。這樣看來，高壓線的四周像是一條電磁場的大洪流，反而是高壓線的裡面不能傳輸能量。高壓線要擺這麼高的原因不僅是因為碰到線會有危險，而是一進到電磁場的洪流區就很危險。

除了高壓線外，只要是傳播訊號或傳輸能量的電線，都利用相同的原理。汽、機車的電瓶是直流電，但是直流電線中也有電壓及電流，電場、磁場也是互相垂直的，照樣可以傳輸能量。

微波的應用

說完了微波兩側的光波和低頻波之後，開

始進入另一個主題：微波的應用。我們先從電磁波的頻譜中，介紹幾個與通訊及雷達有關的頻段。

光纖通訊利用光波，除此之外，就是無線電波。無線電波頻段裡面有中波，由早期的收音機所使用，還有短波、AM、FM、及VHF電視頻道等波段，而其中最重要的一段是微波，這是通訊和雷達最主要的頻段。國際組織把無線電波頻段劃分為很多頻道，甚至規定了軍事設備使用的頻道，不然就會彼此干擾，所以軍用設備、民用設備、衛星、電視等等，都各有劃定好的頻道。太空通訊又有往上及往下的頻道，都與地面通訊所用的頻道不一樣。

接下來談談日常通訊。電視表演要送到遠處播放，需要在地面轉接，一個轉接站收到訊

號後，再把它放大傳送到另一個轉接站，最後送到接收地的電視台播放，也可以經過衛星送到更遠的地方。越洋電話、電信也是經過衛星送出訊號，所用的都是微波。

再說到國防系統，這當然也是絕對重要的。以美國為例，全球美軍 24 小時都在指揮之下，裡頭有軍艦、飛機、坦克，分散在地球不同的角落，彼此藉著衛星通訊串在一起。此外，每一艘作戰船上面都有各種雷達及通訊設備，光是微波發射器就數以百計，新型戰機上面也有好幾十個，發揮各種各樣的功能，包括通訊、偵測、導航、干擾、火力控制等等。

例如飛行中的飛彈，要擊中目標，需要雷達導航，作戰的飛機要射出訊號干擾敵方的雷達，讓敵方的雷達無法抓住它的位置，聰明一點甚至還可以發出欺騙訊號，讓敵方雷達把它的位置搞錯，結果浪費一顆飛彈。飛機和指揮部通訊也都要靠微波，其他像戰車等等，也是類似的情形。

所以說微波對我們的影響非常大。軍艦、戰機保護我們，是間接的影響，地面通訊是直接的影響，現在幾乎每個人都在撥打手機，就是微波在幫我們服務。

國內相關的微波研究

接下來談談幾個跟國內相關的實際應用例子。筆者在清華大學專門研究高功率微波，而國內進行這方面研究的團隊極少，所以就用清華大學的工作舉例。先從微波的產生談起，清華大學的「高頻電磁實驗室」跟中科院合作，一起研製微波發射器，經過多年的努力，製造出一系列的微波發射器。我們發展的一些技術，一個一個都要從頭建立。

例如要產生微波，首先要用電子鎗產生電子流，然後把電子流的能量變成電磁波的能量。電子鎗是微波發射器裡面的核心組件，電腦模擬設計後，要做工程設計，再來是精密加工，製造各種零件，然後焊接起來。其他各種



tech.qianlong.com/28/2005/03/29/711@2572347_2.htm

科學家發現，宇宙微波輻射在所有地方都保持相同的頻譜，儘管宇宙兩端的距離相隔 280 億光年。



國家同步輻射研究中心

各樣的組件製造流程也一樣，最後把全部組件焊接成一個發射器，裡面的接觸面超過100個以上，在不同的溫度一次又一次地焊，只要一次出錯，就前功盡棄。製造出成品後，再用高壓電源測試，如果不合格，又是前功盡棄。

製程中需要一再地焊接，是因為發射器中必須保持高真空，以免電子碰撞到氣體，如同真空管一樣，因此這種高功率微波發射器，通常簡稱為「微波管」。由於微波管的製造如此不易，頻率越高又越困難，在先進國家，毫米波段的微波管都列為輸出管制品。我們的研究重點，也就在毫米波段，所以這項工作，對我們的國防相當重要。

前面提到的都是已經成熟的技術，微波是二次世界大戰時開始發展的，現在已經進入工業界，是非常成功的一項研究，但也需要不斷的創新。清華大學主要是在「磁旋行波放大器」及「單陽極磁控電子鎗」這一類的研究上面鑽研，所研創的磁旋行波放大器能夠把一個訊號放大1,000萬倍，不論在功率、效率、增益或頻寬上，都超越了傳統的極限，在應用上帶來了新的契機。

磁旋行波放大器

清華大學所研創的磁旋行波放大器能夠把一個訊號放大1,000萬倍，不論在功率、效率、增益或頻寬上，都超越了傳統的極限，在應用上帶來了新的契機。



像美國這樣的先進國家，已準備把磁旋行波放大器應用到太空科技上。美國有不少太空偵測設施，裡面有各種各樣的雷達偵測太空物件，例如敵人及自己的飛彈、天空上的衛星、甚至天上的太空碎片等。太空碎片速度非常快，太空船一不小心被打到，就會像中了炮彈一樣，只是碎片的密度還不高，被打中機會不大。碎片有大有小，要看到1公分大小的太空碎片，就必須用磁旋行波放大器這一類的新設備。

再拿最近在清華大學進行的另外一項應用為例，這項應用和工研院合作的很密切，是用微波加熱處理材料。大家所熟悉的微波爐，用的是一個封閉的作用腔，而現在用的掃描式近光學微波加熱作用腔是一個光學式作用腔，有如一個聚焦鏡，微波射進去後聚焦，就會產生很強的電磁波，用來處理材料。一般處理材料用的微波爐，功率大概是二、三千瓦，但在這個作用腔中，只要幾十瓦就可以看到效果了。這是一個新的方法，正在申請專利，希望這個設備能夠給我們的研究工作帶來一些突破。

這個計畫的目的之一是要製造新一代、可扭曲式的電子模組，它既是紡織品又是電子模組，包含一個底層及上面的功能層，所以製造時需要把不同的材料層結合在一起。結合的過程從粉末開始，上層要加熱到上千度的高溫才能融合在一起，但是底層是另一種材料，具有另一種功能，因此底層的溫度不能太高，太高的話就會被燒熔掉。在這樣的限制下，把功能不一樣的各層結合在一起，必須快速加熱。

構思的方法是上層用吸波快的粉末，因為吸波快，可以立刻熱到一千多度，很快就完成了緻密的融合，而底層還在五、六百度的熔點之下。做這樣的工作不能用一般的高溫爐，因為在一般的高溫爐中溫度都一樣，沒辦法達到這樣的效果，放在封閉的微波爐中恐怕也不行，因為還不夠快。在我們設計的「掃描式近光學微波加熱作用腔」中，就可以很快地完

成，可是只能在一個小聚焦點上完成，如果需要的產品是一塊布料那麼大的，就要放在一個移動式機械平台上，進行二維掃描，連續地處理。

微波除了用在通訊、雷達及材料處理之外，還可用在加速器。加速器的核心是一個高頻共振腔，電子或離子在裡面被電場加速。台灣有一個相當具有代表性的加速器，這個加速器位在新竹科學園區的同步輻射研究中心，內有加速環及儲存環各一個，用的是 500 MHz 的微波。

加速環把電子加速到 1.3 GeV，速度已經是 0.999999 的光速，送到儲存環裡面轉七、八個鐘頭，在轉彎時，會輻射出很強、頻率接近 X 射線的光。儲存環外的周圍，擺了各種的儀器進行科學或工業應用研究，在每一個轉彎處都引出 3 道光，可做 3 組實驗，一圈共可做 18 組實驗，這是同步輻射研究中心的大概情況。

電子在加速環裡轉的時候，每經過一次高頻共振腔，就被踢一腳，加速一點，從慢速度變成非常高的速度。送到儲存環之後，在旋轉時會輻射出光，耗損能量，儲存環裡頭也有兩個高頻共振腔，每經過一次就補充能量，好像加油站一樣。

電子在儲存環裡頭，每秒鐘走 3 百萬圈，要走 8 個鐘頭不碰到牆，可見這個技術需要相當精確的計算。比如說光速是 3×10^{10} cm/sec，對不對？這個數據不是很好，因為在同步輻射研究中心如果把光速當成 3×10^{10} cm/sec，這個 1 億美金的設備就要泡湯了。在那裡光速要用 2.9979×10^{10} cm/sec，這其實還不是精確的光速，光速的精確值在後面還有好多個位數，只是加速器計算的精確度到小數第 4 位即可。

加速環裡的高頻共振腔，就是加速的地方，可是加速不是唯一的需求，裡頭還有各式各樣的磁鐵，可以讓電子轉彎，並自動修正軌道的偏差。電子要在儲存環裡面轉那麼久而不

碰到東西，裡面的真空度必須非常高，所以到處都是真空泵，另外還有電源供應器等等，這就是加速器大致的構造。

電子在儲存環輻射出來的光，要做各式各樣的處理，因此需用到很多的設備，也就構成一個龐大的實驗站。在同步輻射研究中心裡，這樣的實驗站一圈下來將近有 20 個左右，但還是有很多人排隊等著做實驗。這個光源，全台灣很多學校都在用，大約有幾十個機構、一兩百個研究小組，有些還來自國外。

加速器除了產生輻射之外，我們還可以用裡頭的高能粒子發掘宇宙的奧秘。比如原子核裡面是什麼？原子核裡面的質子又是什麼？固然有一些奧秘是理論可推論的，但必須用實驗證明後大家才相信。實驗時，把一個帶電粒子加速到很高的能量，並用它來把另一個粒子打散掉，以產生各式各樣的其他粒子，比如產生夸克等。科學家就可以說我們看到了理論預測到的，或者看到了理論沒有預測到的。

丁肇中先生在二、三十年前看到一個理論預測到的粒子，得到諾貝爾獎，用的就是加速器。但這種應用需要的粒子能量極大（例如 1 TeV），需要的加速器可以長達幾十公里，有千百個高頻共振腔，可見現代的

加速器有多複雜。光是從粒子加速器這個應用，大家就可以想像微波對科學研究有多大的重要性。

再回頭來說高頻共振腔，就是剛剛所謂的電子加油站。把電磁波送進高頻共振腔裡，就會激



高頻共振腔 加速器的核心是一個高頻共振腔，電子或離子在裡面被電場加速。

發共振膜產生電場，電子進來的時候會被電場加速。這裡用的頻率是 500 MHz，也就是每秒中振動 5 億次、改變方向 5 億次，在改變方向以後，再進來的電子，不但不加速反而還減速，因此在加速器裡面，電子一定是一團一團的，中間有一減速時段是沒有電子的，時間算好了，電子一來就被加速。500 MHz 是微波的低頻邊緣，屬於 UHF 頻段。

高頻共振腔和很多其他附帶器件構成一個高頻系統，其中有一個速調管，這是電視台所用的微波源，產生 60 千瓦的功率，其他還有冷卻系統、微波循環器、控制系統、同軸傳輸線等。60 千瓦那麼高的功率相當於三、四十台冷氣機，到處都會留下熱，所以高頻系統的各個地方都需要冷卻，要是不冷卻，馬上就燒掉。因此只要有哪個地方不對，控制系統就會在百萬分之一秒內下令自動停機。

微波循環器是用來保護速調管的，高功率微波射出後萬一反射回來，絕不能讓它回到原來的

地方，這就好像一門大砲射出砲彈，如果反射回到砲口，是會吃不消的。當然砲彈發生這種情況的機會並不存在，但是微波發生的機會就多了，通路一有不對，馬上就沿原路回來，循環器能讓它回來時走另一條路，被吸波材料吸收，這時候就不會造成傷害了。

微波加熱的原理

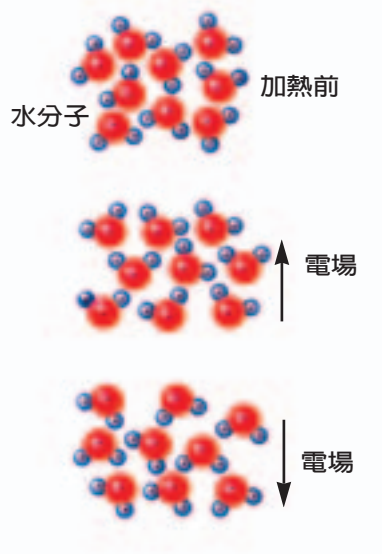
最後介紹微波爐。微波爐是大家最熟悉的，和我們的關係也很密切。也許大家還沒想到，跟各位關係最密切的不是微波爐裡的微波，而是自己身上射出的微波。由我們體溫所放射出的熱，就是電磁波，其中微波的成分還蠻高的。微波爐的主體是一個作用腔，是個用金屬封閉的箱，微波射進去加熱食物。箱上有一個可看進去的視窗，可是微波漏不出來。其他還有磁控管、高壓電源、風扇、波導管等，這是整個微波爐的機械結構。

磁控管是微波爐裡面最主要的器件，它是一個微波發射器。因為磁控管可應用在家用的微波爐中，產量動不動就是幾百萬個，這裡面的商機就很多，而最尖端雷達所使用的磁控管通常賺不了錢，因為需要量常常只是一兩個，所以微波爐才是商家真正在追逐的利基產品。加速器也是一樣，要找人做還得四處拜託，因為量太少沒利潤。現在為了競爭，磁控管可以做到一個不到 10 元美金，量產能使價格便宜到這種程度，相當不可思議，而太空偵測用的微波管可能一個要價百萬美金，簡直不成比例。

微波加熱是利用什麼原理？這就得談到水。水是一個很奇特的分子，前面講到水在吸收電磁波時，竟然在可見光頻段有那麼一個大峽谷。同樣神奇的是，水一直冷縮到攝氏 4 度，然後在攝氏 4 度以下開始膨脹，這又是少有的。假如水在攝氏 4 度以下繼續冷縮，水面結成的冰就會沈到水底，明年夏天來時，因為隔了那麼深的一層水，水底的冰無法融掉，然後冬天來了，又有一堆冰沈下去，大概幾十年後整



微波感應器和紅外感應器的區別 微波感應器：又稱微波雷達，對物體的移動進行反應，因而反應速度快，適用於行走速度正常的人員通過的場所。它的特點是一旦在門附近的人員不想出門而靜止不動，雷達便不再反應，自動門就會關閉，有可能出現夾人的現象。紅外感應器：對物體的存在進行反應，不管人員是否移動，只要處於感應器的掃描範圍內，它都會反應。紅外感應器的反應速度比微波感應器慢。



專題報導 物理固自然

微波及微波的應用

萬一微波漏出來時有沒有危險呢？物理學家的看法是：我們身上的血液循環是一個很好的冷卻系統，吸到熱以後，這套系統會把熱分散掉，何況感到燙時我們也會本能地閃開；但是眼睛例外，因為眼球角膜沒有血液流過，所以眼睛較易受微波傷害。

個湖都是冰，即使夏天也一樣。生物是從水裡發展出來的，如果水沒有這個特性，可能就不會有生物，也沒有人類。

為什麼水和微波爐的關係這麼密切？因為水分子另外還有一個特性：它天生就有電偶極。在水中，水分子的電偶極通常排列很紊亂，微波爐作用時，作用腔內就有電場產生，水分子在電場中受到力矩作用，電偶極就會朝著電場方向排列，電場方向不斷改變時，水分子的方向也就一直跟著改變，不斷地打轉。

是否每打一個轉就增加一點能量呢？這倒不見得。例如船在水波上面，每來一個波峰，船就上升一點，波峰過後船又下降，下一個波峰來了，又做相同的動作，一再重複相同的動作，船的能量並沒有一直增加。這個道理運用到水分子的轉動上也是一樣，能量不會一直增加，所以並沒有加熱。要加熱，水分子周圍必須要有東西，這樣才能在轉動的同時，因彼此之間碰撞而加熱。

比如一塊肉，電磁波讓裡面的水分子轉動，去擠動旁邊肉的組成分子，這時就能加熱。如果全是一杯水也可以，只要水分子之間互相擠動就會變成熱能。我們都清楚，熱能就

是亂無次序的動能，在空氣裡頭的熱能就是如此。風的動能就不叫熱能，因為風是往同一個方向吹，是有序的動。水分子在電場裡一起有序的動，也不是熱能，能量還可以再回傳給電場。可是當水分子和其他分子擠在一起動的時候，相互擦撞，這時大家的方向就亂了，變成了熱能，這就是微波爐的加熱原理。

微波加熱不但要使微波能進到食物裡面，還要能被吸收。頻率太低，大部分都穿透過食物，頻率太高，在食物表面上就被吸收，進不到裡面，微波加熱的頻率（大都是 2.45 GHz）就是在這個條件下所選擇的，這是微波爐專用的頻率，所以不會干擾通訊。由於微波能進到食物裡面，同時加熱各處，所以加熱速度快。此外，金屬作用腔壁吸熱慢，溫度不高，散熱少，這種加熱方法效率高達 50% 左右，比傳統烤箱加熱效率（約 10%）大得多，所以也省電。 □

演講人／朱國瑞

清華大學物理系

整理／呂淑雅 林士雄 李旺龍

高雄應用科技大學機械系