

無線充電技術

李宗勳

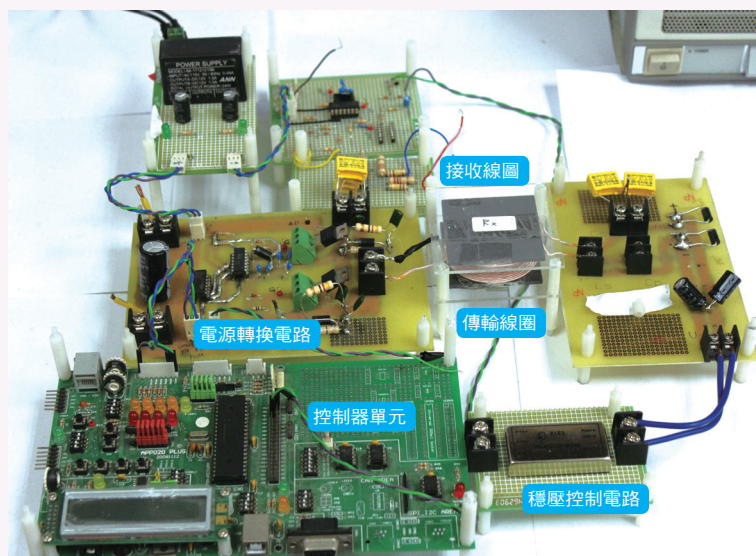
無線充電技術是透過磁場感應或共振而把電能傳遞到待充目標，由於無線而省去了惱人的連接線，這技術的發展已逐步使人們的生活更便利了。

無線充電與生活

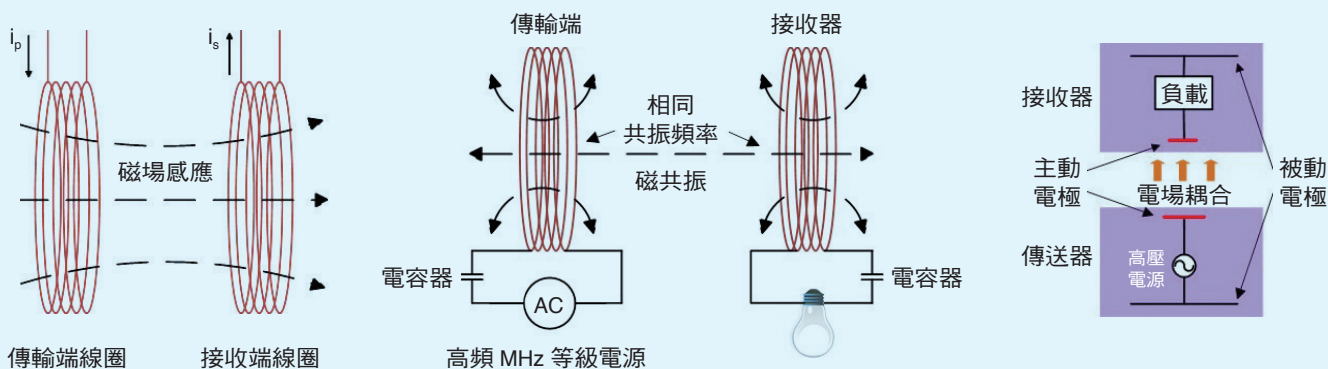
現代生活諸事都求便利，想像一下周遭的家庭電器或電子產品若不需連接電線就可充電或供電，使用起來是否會更簡便？近年來無線電力傳輸技術已融入日常生活中，舉凡電動牙刷、刮鬍刀、家用無線電話與早期的低功率 PHS 行動電話等，都可見到無線充電應用的蹤跡。

這類充電方法不僅可省略電源線接頭與電器連接的限制，無接點的設計也避免了插頭老舊、腐蝕等接觸不良所造成的問題，因此不但有助於產品外觀的精簡與精品化，更能提升防水與防塵等級。無線充電也可克服不同品牌之間接頭不相容的問題，免除了每項電器產品都需獨立供電裝置的困擾。

無線電能傳輸的技術早在千禧年初就有學者探討，其研究重點在於提升功率傳遞的效率，而最具代表性的突破則是在 2007 年，美國麻省理工學院研究團隊採用了 9.9 MHz 的磁場共振技術，成功點亮了兩公尺外的 60 瓦特球型燈泡。這一成功的例子鼓舞了眾多的科學家陸續投入研究。



智慧型手機的充電模組雜型

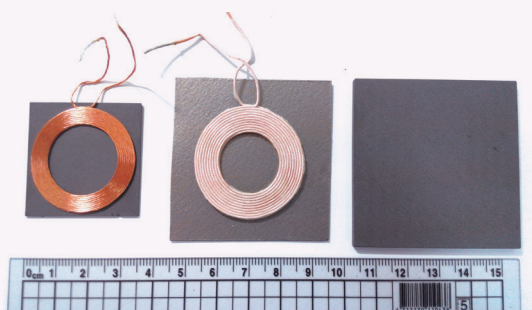


電磁感應

磁場共振

電場耦合

無線電力傳輸技術分類



感應線圈與導磁性鐵芯

磁力線，並由手機內的接收線圈轉換為感應電壓，再經由電源穩壓電路升壓為 5 伏特以利於手機充電。至於兩線圈間的磁場強度與耦合係數，可藉由在兩感應線圈間加入導磁性鐵芯材料的小技巧予以強化，並能屏蔽金屬物體及電子元件的干擾。現階段，無線充電技術的應用已從小功率 5 瓦特的手機發展到大功率千瓦等級的電動車，並且逐步改變了人們的生活習慣。

無線充電技術在 2012 年應用於智慧型手機，但初期僅具備 5 瓦特的傳遞功率，經逐年研發改進後功率漸升，而採用於平板裝置、穿戴式裝置、筆記型電腦、3C 電子產品周邊與智慧家電等，並於 2016 年應用到電動車。據估計，預期 2017 年會有 10% 左右的智慧型手機搭載無線充電功能，並於 2020 年無線充電市場可望達 10 億套，由此可見無線充電已成為未來電子產品的標準配備。

目前常見的智慧型手機的無線充電功能是在充電座內設計一組傳輸感應線圈，另在手機背殼內嵌入一組微型接收線圈。當電源饋入充電座端的傳輸線圈後，立即感應發射

充電標準化

無線電力傳輸為充電裝置提升了使用的便利性，當然標準化的設計與充電規範就成為產品開發的選擇重點。目前常見的無線充電標準有：無線充電聯盟（Wireless Power Consortium, WPC）、無線電力聯盟（Alliance for Wireless Power, A4WP）與電力事業聯盟（Power Matters Alliance, PMA）3 種規範。

無線充電聯盟採電磁感應理論以傳遞無線電力，藉由電流通過傳輸線圈而產生磁力線與交替變化的磁場，接收線圈感應到這交替變化的磁場後就可把它轉換為交

無線充電機制是否會對人體與其他醫療器材產生不良影響， 仍需進一步考量使用環境審慎評估。

流電訊號，達成能量傳遞的目的。另需一提的是，這無線充電的原理類似於變壓器耦合傳輸電能，不同的是兩感應線圈間距較遠，導致磁場漏感較大與低耦合係數。因此，有研究建議於感應線圈兩端分別串聯或並聯電容器做為共振補償電路，以提升整體傳輸功率與轉換效率。

目前無線充電聯盟已制定「Qi」標準，其規範 100 kHz ~ 205 kHz 的操作頻率範圍與 5 瓦特輸出功率的充電模組已被眾多智慧型手機所採用。因此，若充電裝置與待充裝置都符合「Qi」認證標章，可相容使用任意品牌的充電器與手機進行無線充電，並兼具設備環保與應用便利性。

無線電力聯盟採磁場共振技術傳遞無線電能，磁共振採用高頻 MHz 等級的共振電路，並搭配銅材質線圈與共振電容器，也設定了發射端與接收端的線圈及電容器參數，使其達成相同的共振頻率，就可把電能由傳輸端送達接收端。這技術具有較遠的傳輸距離，以及具備單一傳輸線圈可同時傳遞電能給多個接收線圈的能力。

電力事業聯盟的無線電力傳遞，最具代表性的應用就是美國連鎖咖啡店星巴克的無線充電桌，消費者僅需在智慧型手機 USB 接點插入接收線圈就可現場使用無線充電。在 2015 年，無線電力聯盟和電力事業聯盟合併更名為 AirFuel Alliance，並同步整合雙方的磁場共振與電磁感應技術以建立一致性的充電標準。

除了電磁感應與磁場共振技術外，採用電場耦合方式也是達成無線充電的可行方案。電場耦合是應用於兩電極間的能量

傳遞，是在傳輸端與接收端分別設置主動與被動導電極板，且兩電極在鄰近之際會形成靜電容量，這時若施加高電壓的交流電源於傳輸端電極，就可藉由靜電誘導以傳送電力到接收端。

這技術不需感應線圈就可達到無線充電，並具備彈性的偏移位置、輕薄的電極設計、無感應渦電流發熱等優點。惟目前其可傳輸的功率較低、傳輸距離也短，並需採用高電壓交流傳遞，因此影響了市場的接受度。

上述各種技術的應用為無線充電提供了眾多可行的方案，惟不同的技術會影響整體的效能，包含：傳送效率、可傳輸距離、障礙物的屏蔽影響、金屬異物入侵的保護機制、感應線圈設計便利性、錯位充電的可行性等。至於無線充電機制是否會對人體與其他醫療器材產生不良影響，這一疑慮仍需進一步考量使用環境以進行審慎的評估。

智慧型手機充電模組

智慧型手機促使人類得以進步到即時的網路資訊時代，當長時間使用智慧型手機時，對手機內部鋰電池充電確實成為每日生活的必要動作。智慧型手機現階段採用 Mini USB 或 Micro USB 轉接頭做為充電標準，當 USB 5 V 電壓輸入後，就可經由手機內部的充電管理電路對 3.6 V ~ 4.2 V 的鋰電池充電。

當手機採用無線充電時，由於接收線圈所獲得的感應電壓並非一穩定電源，

需再經由後級穩壓控制電路轉換輸出穩定的 5 V 電壓，以給予手機內部充電管理電路使用。但因使用者的手機擺放方式常導致充電距離改變而影響可充電性，因此充電座內必須設計一組可調變操作頻率與傳輸功率的電源轉換電路，以調整饋入傳輸線圈的交流電壓振幅。這可達成主動調整線圈感應磁通量，並使接收線圈可感應出符合負載需求的電源。

另為了使手機與充電座間達到閉迴路傳遞回授控制訊號，以實現手機端的充電電壓與功率控制，需在手機端與充電座端分別設計一整合通訊介面的控制器單元。目前常見的控制器溝通方式包含在無線傳輸電源訊號上載入高頻數位訊號，或採用藍芽晶片與其他無線通訊積體電路做為通訊協定，便可達到充電座與手機間進行數據連線與無線電能傳輸充電。無線充電嵌入閉迴路控制設計，可使手機在充電電流變化、傳輸線圈間距改變與擺放位置錯誤時，充電座可隨時調整操作頻率與工作模式，讓手機處於可正常充電的狀態。

探討目前智慧型手機所採用的無線充電概況，可知目前概以磁場感應技術為開發主軸，且多數設計都以符合無線充電規範「Qi」的 5 瓦特傳輸標準為目標。另為使感應線圈能嵌入更多手持式行動裝置應用，投入研發超薄型的感應線圈，以及把感應線圈印刷於電路板與玻璃基板的走線方式會成為設計重點。

依據雛型系統開發過程可以確知，未來無線充電技術可藉由感應線圈的外觀幾何設計與補償電路的應用逐步朝向大功率



住宅式無線充電電源裝置

發展，這成果將使無線充電快速滲透而應用於筆記型電腦、家用電器、電動汽車等。另外，充電線圈具備精準的對位機制、較高位移自由度與長距離傳輸能力，也是未來研究的主要課題。

電動車定點充電

現階段的電動車多數採取充電槳插入連接充電，若能把無線充電應用於電動車，預期能提升整體充電便利性。目前電動車無線充電尚無全球標準化的規範，美國國際汽車工程師協會（Society of Automotive Engineers, SAE）則提出了一套 SAE TIR J2954 標準，其規範宗旨是建立電動車及插電式混合車的無線充電準則，以確保充電機制及安全性能符合要求。

這規範完成評估電磁感應及磁場共振技術，期使各應用場合的無線充電具備共通性。J2954 訂定的電動車充電型態可分為

**未來無線充電技術可藉由感應線圈的幾何設計與補償電路的應用
逐步朝向大功率發展，而應用於筆記型電腦、家用電器、電動汽車等。**



電動車無線充電設計考量要點

住宅式、定點式及移動式充電 3 類，其一般住宅充電就在地面裝設 3.7 kW 傳輸功率的充電電源裝置與感應線圈，並透過充電控制器顯示充電狀態及調控充電量，待電動車停妥後立即可無線充電，省去了插入充電槳的不便。

電動車無線充電設計須考量四大要點，包含傳輸系統、車輛定位偵測、充電安全與通訊協定。其中，充電安全性是首要發展重點，諸如金屬異物入侵的保護機制、感應線圈溫升損壞與異常的中斷處理、車輛瞬間需求大電源等調整情況，而為確保感應線圈可安全嵌入車子底盤，線圈尺寸在設計時也須審慎評估。

另充電電源傳輸系統的考慮要點，在於操作頻率、需求轉換效率、可傳輸功率、轉換器電源架構等，因此，J2954 規範電動車的無線充電操作頻率範圍是 81.38 kHz 至 90.00 kHz 間，且需求 80% 以上的轉換效率，以提升無線充電裝置的共通性與整體效能。

此外，電動車與充電電源裝置間的通訊協定，常見的方式包含 Wi-Fi 模組、ZigBee 通訊模組與藍芽模組 3 種通訊介面。其中，Wi-Fi 有 5 GHz 與 2.4 GHz 兩種通訊頻帶，且具較高的傳輸速度與較遠的距離；

ZigBee 主要特點是低成本、低耗電及支援大量網路節點，惟隨著傳輸距離的增長而減慢傳輸速度；而藍芽使用的頻率範圍是 2.4 GHz ~ 2.4825 GHz，且採用跳頻技術傳輸資料，可降低資料碰撞機率以及避免傳輸干擾。因此，在考慮傳輸距離及速度、未來系統整合性、擴充性及抗雜訊干擾能力，已有充電站採藍芽做為通訊介面。

在充電感應線圈模組規劃上，首先需要考量汽車與地面間的傳輸間距。目前 J2954 規範標準是 10 公分至 25 公分間，另由於傳輸感應線圈將裝置在道路上或停車格內，而接收線圈必須裝置在車體上，因此需同步考量汽車軸距與車寬尺寸以進行接收線圈最大外徑規畫。另為了提升傳輸效能與耦合係數，感應線圈繞製可採多股數的絞線進行並聯繞製，且藉由導磁材料鋪放於傳輸線圈下方以及接收線圈上方，以屏蔽磁場與提升耦合係數，有助於提升充電效能。

對於定點式電動車的充電應用，感應線圈在未來設計上需朝向縮小線圈體積、改良結構、提升錯位容忍度，以及增加系統穩定性為發展目標，並基於符合 J2954 規範以提升無線電能傳輸效率，這將有助於

若能對行駛中的電動車動態式移動充電，
將可提升可行駛里程，也解決了電池儲存量不足等問題。

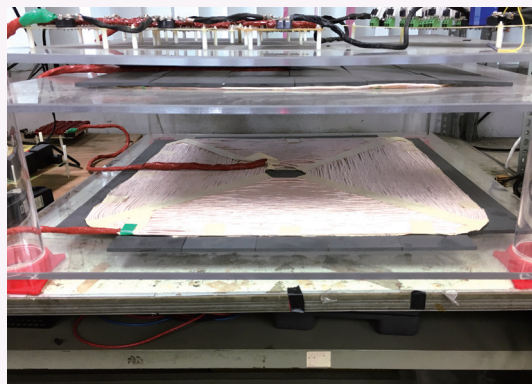
定點式電動車無線充電系統更具未來發展性、實用性與可行性。

動態移動充電

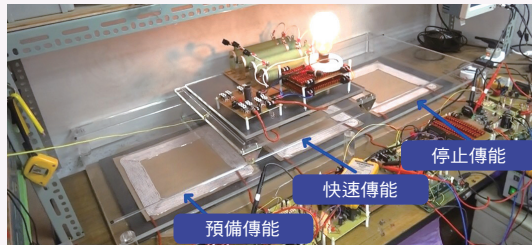
常見的電動車是定點式充電，若能對行駛中的電動車進行動態式移動充電，將可提升電動車可行駛里程，也解決了電池儲存量不足等問題。動態式的無線充電設計，就是在道路上鋪設多個模組化的一次側傳輸線圈與電源轉換裝置，並可分別偵測電動車的行駛位置而獨立提供不同傳輸功率的磁場感應電能，使移動中的電動車輛在充電道路上行駛時，可兼具初期臨近傳輸線圈時的預備充電、位於傳輸線圈上方時的定位快速充電，以及離開傳輸線圈時的停止充電。

這類動態充電概念預計可強化電動車磁場轉換效能與提升充電功率，並省略定點充電所需的等待時間與避免多餘能量的損耗。這技術特點是採用偵測二次側電動車系統的反射阻抗參數及電壓與電流間的相位角關係，進行控制演算以達到電動車移動位置定位，並經控制器獨立驅動每個電能轉換器以分別調整輸出電壓，使系統兼具多種充電模式，而達到調節一次側感應線圈傳輸磁場與功率量的功能。這項反射阻抗計算技術有別於採用近場通訊與藍芽通訊的方法，預期可減省設計成本與強化動態充電反應效果。

對於未來電動車移動充電發展，如何精準計算電源傳輸裝置與電動車的移動位置及速度，以及多模組傳輸線圈間的耦



電動車感應充電線圈模組雛型



動態式移動充電系統雛形

合程度是可研究的課題。另如何達到正確回授、參數設定、控制器演算程式撰寫、功率輸出調節與建構硬體系統，也是這一研究的重點。期望未來能儘速在台灣的道路上看到電動車進行動態充電，省去了定點式充電的等待時間與延長可持續行駛的里程，電動車不插電環島將不再是夢想。

李宗勳
南臺科技大學電機工程系