

5G 突破極限新應用：無線輸電

5G Breaks through the Limits of New Applications: Wireless Power Transmission

September 17, 2025



IEK Consulting

朱財生 Tsai-Sheng Chu



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

5G 突破極限新應用：無線輸電

5G Breaks through the Limits of New Applications: Wireless Power Transmission

朱財生 Tsai-Sheng Chu



隨著 5G 技術的快速發展，無線輸電作為一項新興技術受到廣泛關注，它利用無線電波（如微波或毫米波）進行能量傳輸，消除了傳統有線充電的連接不便和磨損問題，為各類設備提供靈活的電源解決方案。本文探討了無線輸電的歷史背景以及 5G 技術如何增強其效率與應用潛力，隨著物聯網、電動車和智慧家居的興起，市場對無線輸電的需求日益增長，成為推動技術創新的重要因素，然而，無線輸電仍面臨能量轉換效率低、安全性和健康影響的擔憂，以及傳輸距離和功率輸出方面的限制，許多企業和研究機構正努力突破這些技術瓶頸，以促進無線輸電的成熟與商用化，未來，隨著技術進步和政策支援的加強，無線輸電有望在智慧城市、物聯網設備和電動車領域發揮更大作用，5G 無線輸電技術的發展前景廣闊，但仍需克服諸多挑戰以實現全面應用。

一、5G 與無線輸電技術背景

無線輸電(Wireless power transmission, WPT)技術的歷史可以追溯到 19 世紀末，當時尼古拉·特斯拉首次提出利用電磁波進行能量傳輸的概念，特斯拉的無線能量傳輸系統基於他的“特斯拉線圈”，這是一種能夠產生高頻、高電壓的交流電的裝置。他設想的無線電力系統能夠通過空氣傳輸電力，無需有線連接，這一理念在當時引起廣泛的關注，雖然當時的技術條件限制這一想法的實現，但特斯拉的理念為未來的無線輸電奠定了基礎。進入 20 世紀，無線輸電技術逐漸演進，1950 年代，米爾頓·阿賓的實驗表明，通過電磁波進行能量傳輸是可行的，隨著技術的進步，無線充電技術開始應用於小型設備，如電動牙刷和無線電池充電器，根據財富商業洞察資料，2022 年全球無線充電市場的價值達到 221.7 億美元，預計到 2030 年將成長至 1290.2 億美元，年複合成長率為 25.8%，顯示出強勁的成長潛力。在現代無線輸電技術中，主要有兩種方法：感應耦合和磁共振(又稱電磁波)傳輸，感應耦合技術利用交變磁場在發射端和接收端之間建立能量轉移，通常用於短距離應用，而磁共振傳輸則依賴於將能量轉換成微波或毫米波，適用於更長距離的能量傳遞，根據目前的研究，電磁波傳輸技術的能量傳輸效率可達到 70%至 90%之間，這顯示出它在長距離應用中的潛力。

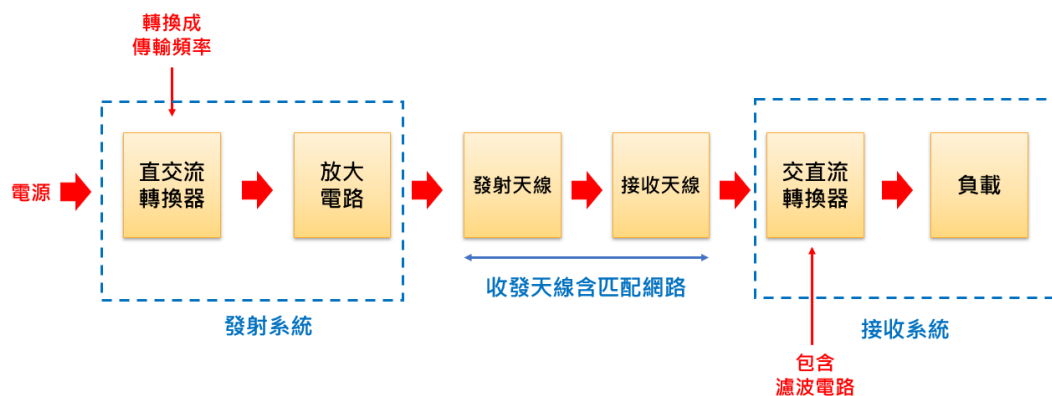
5G 技術的出現標誌著無線通訊的一次重大變革，與 4G 相比，5G 具有更高的頻寬、低延遲和大連接數量等關鍵特性，5G 的理論下載速度可達 10Gbps，這是 4G 速度的 10 倍以上，使其能夠支援更大規模的數據傳輸，例如使用 5G 網路下載一部 2GB 的高清電影僅需幾秒鐘的時間，這一速度的提升不僅提高了用戶體驗，也為物聯網 (IoT) 和智慧城市的應用提供了基礎；低延遲是 5G 的另一個重要特徵，典型的延遲時間低至 1 毫秒，這使得即時通訊和遠端操作成為可能，這一特性對於自駕車、遠端醫療等應用尤為重要，因為這些應用要求迅速的反應和即時數據處理，根據 3GPP (第三代合作夥伴計劃) 的標準，5G 網路能夠支援每平方公里高達 100 萬個連接，這使其成為大規模物聯網設備的理想選擇，5G 技術的核心在於其使用的頻譜，包括低頻 (600MHz 至 1GHz)、中頻 (1GHz 至 6GHz) 和高頻 (24GHz 以上) 頻譜，高頻段的毫米波具有更高的頻寬，但其傳輸距離有限，因此需要更密集的基站佈局來保證訊號覆蓋，這些技術特性為無線輸電技術的發展提供了新的可能性，尤其是在設備連接和數據傳輸需求日益增加的背景下。

5G 技術的特性為無線輸電提供了新的契機，二者的結合能顯著提升輸電效率和應用範圍。首先，5G 網路的高頻寬使得數據傳輸速度加快，能夠實現即時監控和控制無線輸電過程，根據研究，透過 5G 技術，無線輸電系統能夠實現高達 99% 的數據傳輸成功率，這對於保證能量傳輸的穩定性來說相當重要，其次，5G 的低延遲特性允許即時調整無線輸電的功率輸出，從而提高能量傳輸的效率。例如，在電動車充電應用中，根據車輛的即時需求，系統可以迅速調整輸出的功率，最大限度地減少能量損失，此外 5G 支援的海量連接能力使得多個設備能夠同時連接至無線輸電系統，這在智慧城市和物聯網應用中具有極大意義，研究顯示，利用 5G 無線輸

電系統，可以在城市環境中支援上千個 IoT 設備的同時充電，顯著提升能量管理效率。綜上所述，5G 技術的發展為無線輸電技術的提升提供了堅實的基礎，未來，隨著這些技術的進一步融合，無線輸電有望在各個領域實現更廣泛的應用，包括電動車的無線充電、智慧家居的能量管理以及各類物聯網設備的供電等，這些變革將有助於推動智慧生活的實現，並使能源使用變得更加高效和靈活。

二、5G 無線輸電的最新技術發展

5G 無線輸電技術的實際應用正在逐步擴展，在 IoT 設備方面，隨著連接數量的增加，無線充電技術可以為各種設備提供無縫的電力支援。根據 Statista 的數據，2025 年全球物聯網設備數量將達到 750 億，這一需求為無線輸電技術的應用提供了強勁的推動力。近年來，無線輸電技術取得了顯著的進展，特別是在微波和毫米波技術的應用上，微波技術通常在 300 MHz 至 300 GHz 的頻率範圍內運作，利用高頻訊號進行能量的無線傳輸，這項技術的發展讓無線輸電可以在更遠的距離內進行能量轉移，研究表明，使用微波進行的無線能量傳輸距離可達數百米，且在某些情況下，能量轉換效率可達到 70% 以上。毫米波技術則是指頻率在 30 GHz 至 300 GHz 範圍內的電磁波，這類技術具有更高的頻寬和更小的波長，使其適用於短距離高功率的能量傳輸，根據 2020 年的研究，毫米波無線輸電的能量傳輸效率可高達 90%，例如，MIT 的研究團隊在其開發的毫米波系統中，成功實現了長達 10 米的能量傳輸，並在能量效率上達到了 83%。這一技術不僅能提升充電效率，還能大幅減少能量損失，特別是在快速充電應用中，展現出極大的潛力。



資料來源：工研院產科國際所

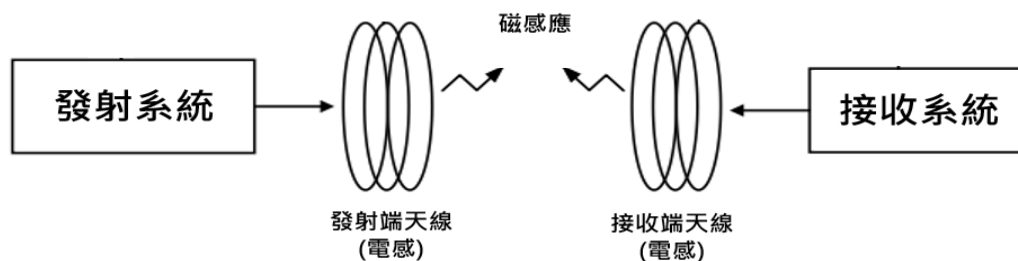
圖一、無線輸電架構

(一) 無線輸電技術原理

無線輸電利用電磁波來傳輸電能，無需傳統的導線連接，從而使得能量傳輸更為靈活便捷，這項技術的核心原理是電磁場的產生與傳播，當電流通過導體時，周圍空間便會產生一個電磁場，這個電磁場可以被另一個導體捕捉，轉換回電流，實

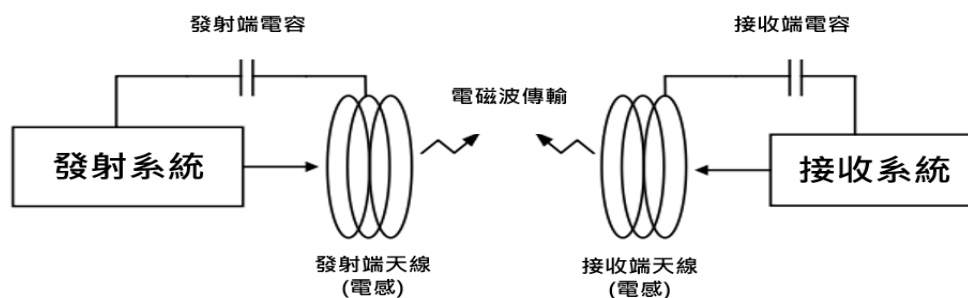
現能量的無線傳輸，在許多無線輸電系統中，發射器和接收器的頻率經過調整，使它們能在相同的頻率下共振，這樣可以顯著提高能量的傳輸效率，因為共振狀態下的能量傳輸損耗較小，這項技術特別適合於短距離的無線充電應用，例如智慧手機和電動牙刷的充電。除了短距離應用，無線輸電技術還在尋求更遠距離的傳輸解決方案，利用高頻電磁波，例如微波，無線輸電能夠在更長的距離內有效運作，這在一些特定的場合中，例如太空能源傳輸，展現了強大的潛力與應用，在未來我們可以想象從太陽能衛星將能量無線傳輸到地球的場景，這將會是一種極具吸引力的能源解決方案。

隨著對這些理論的深入理解，無線輸電技術將能在多個應用領域中實現更高的效率，並推動未來智慧城市和物聯網的發展，此外無線輸電的安全性也在不斷提升，現今的技術已經可以有效減少電磁波對人體的潛在影響，根據國際非電離輻射保護委員會 (ICNIRP) 的指導原則，現代無線輸電系統的運作範圍通常低於這些標準，使其更具安全性，不僅推動了無線輸電的商業化進程，也為未來的應用提供了更堅實的基礎。能量傳輸效率的計算涉及到微波傳輸的相位匹配和功率密度分佈，在理想情況下，透過高效的天線設計，微波訊號可以被有效地傳送到接收端，實現高達90%以上的能量轉換效率，然而，實際操作中，由於空間損失、環境干擾及天線不匹配等因素，傳輸效率往往會降低，因此，精確的阻抗匹配和天線設計對於提高無線輸電系統的性能來說相當重要。



資料來源：工研院產科國際所

圖二、磁感應無線輸電架構



資料來源：工研院產科國際所

圖三、磁共振無線輸電架構

(二) 5G 無線輸電的應用案例

在消費性電子領域，無線充電技術被廣泛評估智慧型手機、智慧手錶等可攜式裝置、智慧家電和醫療電子設備等產品；在工業領域，無線充電技術的應用不斷擴大，該技術有望實現工廠自動化或作為充電站的感測器電源等工業與物流領域；在電動車領域，無線充電技術正逐步商業化，特斯拉和其他電動車製造商正在探索基於無線輸電的充電方案，研究顯示，使用 5G 無線輸電系統可以實現更高效的電動車充電，充電效率可達 90% 以上，且能在車輛移動的過程中進行充電。比如，韓國首爾的無線充電路面項目允許電動巴士在行駛過程中進行充電，這項技術已在實際營運中取得成功。無人機的無線充電也在持續發展，隨著無人機在各行各業的應用成長，無線充電技術能夠有效解決其續航問題，美國國防部的研究計劃已經探索在戰場上利用無線輸電技術為無人機進行即時充電，實現無人機的持續運作。未來幾年內，無線充電將成為無人機運營的標準配置。

無線輸電技術的應用範疇也在不斷擴大，除了手機無線充電和電動車充電系統，醫療植入裝置如心臟起搏器也可以受益於這項技術，傳統上，這些裝置需要定期更換電池，無線輸電技術的出現使得這一過程得以簡化，患者的生活品質得以提升。然而，無線輸電技術在實際應用中仍然面臨不少挑戰，例如效率、成本、安全性和傳輸距離等問題，都是目前技術發展亟待克服的瓶頸，隨著科學技術的進步，這些挑戰有望被逐步解決，研究者們正在探索新材料和新方法，以提高能量轉換效率和安全性，這將為無線輸電技術的商業化應用鋪平道路，無線輸電技術作為一種創新性的能源解決方案，正逐步改變我們的生活方式，它的發展不僅可能提高能源使用的便利性，還能促進可再生能源的利用，為未來的可持續發展提供更多可能性，隨著技術的不斷成熟，無線輸電將在未來的生活中扮演越來越重要的角色。

(三) 主要參與研究的企業與機構

在 5G 無線輸電技術的發展過程中，多家企業和研究機構扮演了關鍵角色，推動了這一領域的技術創新與應用。首先，高通公司 (Qualcomm) 作為無線通訊技術的領導者，已經在無線輸電方面進行了大量研究，其推出的高效能無線充電解決方案，結合了 5G 技術的優勢，提高了充電效率並擴大了應用範圍。另外，Witricity 是一家專注於無線電力傳輸技術的公司，其開發的專利技術已經在多個國家實現商業化應用，包括電動車的無線充電系統，根據其報告，Witricity 的無線充電系統在某些實際應用中達到 90% 的能量轉換效率。

在學術界，麻省理工學院 (MIT) 和斯坦福大學的研究團隊也在無線輸電技術的創新中發揮了重要作用，MIT 的研究顯示，毫米波技術在短距離內的能量傳輸效率達到了 83%，並探索了如何應用於智慧家居和城市基礎設施中。斯坦福大學則進行了關於無線電力傳輸系統的實驗，研究其在環境監測和智慧設備中的潛在應用，這

些企業和機構的合作不僅加速了技術的發展，也促進了無線輸電市場的成熟，隨著 5G 技術的推廣和無線輸電應用的多樣化，這些參與者將在未來的科技革命中持續發揮重要作用。

三、5G 無線輸電技術瓶頸

無線輸電技術的快速發展帶來了諸多應用潛力，但同時也面臨多重技術瓶頸。本章將探討效率、安全性和距離限制等挑戰，以理解其對商業化的影響和未來發展的方向。

(一) 效率問題

無線輸電技術的效率是其商業化應用的關鍵指標之一，然而，實際的能量轉換效率面臨多方面的挑戰。根據目前的研究，無線輸電系統的效率通常在 70%到 90% 之間，但具體效率會受到多種因素的影響，包括技術選擇、距離、環境條件和系統設計等。在感應耦合技術中，效率往往受到線圈設計和材料的影響，根據研究，當距離在幾厘米範圍內時，感應耦合系統的效率可以達到 90%以上；但隨著距離增加，效率急劇下降。例如，當距離增至 10 厘米時，效率可能降至 50%以下。這是因為磁場強度隨距離平方反比衰減，使得能量轉移變得困難，儘管有一些新型材料和設計的應用，例如使用高導電性材料和改進的線圈結構，但在實際應用中，如何平衡成本和效率依然是一個挑戰。

在微波和毫米波傳輸技術中，能量轉換效率的挑戰主要來自於訊號的衰減和傳輸損失。根據研究，微波的能量轉換效率可以達到 80%至 90%之間，但隨著距離的增加，訊號衰減會影響整體效率，根據自由空間損失模型，訊號的損失可由發射和接收之間的距離與訊號頻率影響，意味著在高頻下，無線輸電的傳輸效率將受到更大的距離衰減影響，限制了其應用範圍。此外環境因素（如雨、霧和建築物）也會對無線輸電的效率造成影響，根據研究，降雨量增加時微波訊號的衰減可達 0.2 dB/km，每增加降雨量，傳輸效率將顯著降低，以頻域來說，在 Ku 波段（18 GHz）下，如果降雨率為 50 mm/h，衰減量能達到 15 到 20 dB；而在 Ka 波段（30 GHz）下，這一衰減量將達到 30 dB 甚至更多，這表明環境變化可能會顯著影響無線輸電的穩定性和可靠性，因此，如何提高環境適應性和抗干擾能力是未來技術發展的一個重要方向。

(二) 安全性與健康影響

無線輸電技術的安全性和潛在健康影響一直是社會關注的焦點，儘管目前的研究結果顯示無線輸電技術在設計上是相對安全的，但仍需進一步探討其長期影響，特別是對人體健康和環境的潛在風險。根據世界衛生組織 (WHO) 的報告，無線電波的輻射被分類為非電離輻射，這意味著它的能量不足以破壞化學鍵或引起離子化，大多數國家的安全標準 (如 ICNIRP) 對無線輸電系統的電磁輻射設置了嚴格的限值，對一般公眾的電磁場暴露限值為每平方米 10 W/m^2 ，這遠低於可能引起生物效應的閾值，因此，在設計和實施無線輸電系統時，只要遵循相關的安全標準，通常不會對人體造成明顯的健康危害。

然而，對於長期暴露在無線輸電場中的工作人員及特殊環境下的受眾，潛在的健康影響仍需進一步研究，例如，長期接觸高強度電磁場可能與某些健康問題相關，包括頭痛、疲勞和免疫系統功能下降等，這使得在設計無線輸電系統時，必須考慮到操作人員和周圍環境的安全，並制定相應的安全操作程序和防護措施，此外無線輸電技術的環境影響也是一個值得重視的問題，高強度的無線輸電可能對野生動物和植物生長產生影響，強電磁場可能干擾動物的行為，因此在部署無線輸電系統時，需要進行環境影響評估，以確保技術的可持續發展。

(三) 距離與功率限制

目前無線輸電技術在能量傳輸距離和功率輸出上仍存在明顯的局限性。首先，距離的增加對能量傳輸的效率和可靠性影響顯著，在感應耦合技術中，能量的有效傳輸範圍通常限於幾厘米到十幾厘米，當距離超過這一範圍時，能量轉移效率會急劇下降，難以達到商業化應用的要求，根據針對感應耦合充電系統的研究，當距離增加到 10 厘米以上時，傳輸效率會下降至 50% 以下，這使得在實際應用中，該技術無法滿足高功率設備的需求，而對於微波和毫米波傳輸技術，距離的限制同樣明顯，儘管這些技術在短距離內的能量轉換效率可達 90%，但隨著距離增加，能量損失的比例會急劇上升，例如在 500 米的距離上，能量損失可能高 70% 至 80%。

功率輸出方面，目前的無線輸電系統通常受到法律和安全標準的限制，根據國際標準，無線輸電系統的最大輸出功率一般限制在幾十瓦至幾百瓦之間，這意味著其在提供大功率電源時的應用受到限制，對於需要高功率的應用 (如電動汽車快速充電)，目前的無線輸電技術尚無法達到理想的輸出功率，這限制了其在更大範圍內的商業化應用。綜上所述，無線輸電技術在效率、安全性和距離等方面面臨著多重挑戰，未來的技術發展需要針對這些瓶頸進行深入研究，以推動無線輸電技術的成熟和廣泛應用。

(四) 訊號干擾挑戰

5G 無線通訊主要運行於超高頻 (如毫米波) 範圍，這些訊號的波長非常短，傳播特性與傳統的低頻無線訊號有很大的不同，在近場效應中，電磁波的能量集中在

能量源設備周圍，訊號強度隨距離的增長而迅速衰減，這使得無線輸電技術在傳輸過程中，尤其是近距離時，產生的高頻電磁場可能會與 5G 訊號干擾，尤其是在充電器或其他無線電力傳輸設備附近，對 5G 訊號來說，遠場效應則表現為訊號的輻射範圍較大，波長短且頻率高，這使得訊號不易穿透障礙物，並容易受到周圍環境的反射或折射，當無線充電設備等產生強烈的電磁波時，會在局部區域創造干擾，影響到周圍 5G 基站的接收品質。

5G 訊號的輻射範圍與無線電力傳輸設備的工作頻率若有重疊，也會引發互相干擾，尤其是在多頻段的情況下，為了減少兩者間的干擾，可以通過物理距離來減少無線充電設備與 5G 基站之間的相互影響，此外合理設計天線及使用頻率選擇性濾波器，也能有效降低干擾風險，透過強化電磁兼容性 (EMC) 設計減少對於設備間的相互影響，這意味著對 5G 基站和無線輸電設備的電磁干擾進行精密設計，通過屏蔽、濾波、以及降低功率等方式，確保兩者之間能夠在同一空間內穩定運行。

四、無線輸電應用場景

隨著科技的迅速發展，無線輸電技術正迎來前所未有的市場機遇。本章將深入探討無線輸電在三個主要應用場景中的潛力：物聯網 (IoT) 的蓬勃增長如何推動技術需求，電動汽車市場的無線充電前景，以及智慧家居和智慧城市的應用。隨著這些領域對便捷、高效能源解決方案的需求不斷增長，無線輸電技術有望成為未來生活和城市發展的重要支柱。這一章節將揭示無線輸電技術如何在多樣化的應用中發揮關鍵作用，並展望其潛在的市場影響力。

在 2025 年國際消費電子展(CES 2025)上，無線充電技術迎來多項重要進展，無線充電聯盟宣布推廣基於 MagSafe 的 Qi2 標準，更多 Android 設備將支援此技術，例如三星 Galaxy S25 將透過磁吸保護殼實現無線充電、Google 亦承諾支援 Qi2 的高功率無線充電技術，同時，松下推出移動線圈車載無線充電系統，透過內建線圈自動對齊手機位置，提高充電效率，Belkin 則展示了採用高達 90%再生材料製造的環保充電器，展現其對可持續發展的承諾。此外，Baseus 創新推出聚合移動熱點功能的 EnerGeek MiFi 行動電源，支援 67W 快速充電並可連接多個設備。這些進展展現無線充電技術從標準化到多功能化的全方位發展，推動行業邁向高效、環保與智慧化的未來。

(一) IoT 市場應用

物聯網 (IoT) 技術的快速增長正深刻改變著各行各業的運作模式，並驅動無線輸電技術的需求，在 IoT 生態系統中，數十億的连接設備依賴持續的電力供應，以實現數據收集、傳輸和即時反應，無線充電技術能消除傳統充電設備的複雜性，讓

用戶能夠輕鬆為各類智慧設備（如智慧音箱、智慧燈具和穿戴設備等）充電，在工業 IoT 應用中，無線輸電技術的需求同樣在增長，隨著工業 4.0 的推進，越來越多的工廠開始實施自動化和智慧化設備，如無人機、傳感器和機器人等。這些設備通常需在惡劣的工作環境中運行，傳統的有線供電方式不僅成本高昂，還可能因磨損而頻繁維護，而無線輸電技術則能夠提供靈活的電源解決方案，顯著降低維護成本，提高設備的運行效率。

(二) 電動汽車的潛力

隨著全球對環境保護意識的提升和可再生能源技術的發展，電動汽車（EV）的市場正在迅速擴張。根據國際能源署（IEA）的數據，2021 年全球電動汽車的銷售量達到 680 萬輛，預計到 2030 年，電動汽車的銷售將突破 2300 萬輛，這一增長潛力為無線充電技術的應用提供了新的機會。無線充電技術能解決傳統電動汽車充電過程中的不便之處，如插頭磨損和充電樁佈局不足等問題，無線充電系統通過電磁感應或微波傳輸技術，可以在不需要物理連接的情況下為電動汽車充電，這不僅提高了充電的便捷性，還降低了設備的維護成本，在公共充電基礎設施方面，無線充電技術能夠在路邊或停車場的地面上嵌入充電裝置，汽車駛入時可自動充電，實現“停車即充電”的理想場景。例如有無線充電的公共汽車，這些公交車在行駛過程中通過路面埋設的充電裝置實現無縫充電，從而減少了充電站的需求和等待時間。

根據目前研究，車用無線充電技術可以實現高達 90% 的能量轉換效率，並支援更高功率輸出，能夠在短時間內為電動汽車充滿電，此外隨著電池技術的進步，無線充電的成本預計將隨著技術的成熟而逐漸降低，使其成為電動汽車市場的一個可行選擇。然而，無線充電技術在電動汽車的廣泛應用仍面臨一些挑戰，例如高昂的安裝成本和較低的充電速度，為了克服這些挑戰，許多企業和研究機構正在加大對無線充電技術的投資，以提升其性能和降低成本，例如有些企業已經開始開發新型的超導材料和高效能的線圈設計，以提高無線充電的效率，隨著電動汽車市場的持續增長和無線充電技術的進步，未來無線充電有望成為電動汽車的重要充電解決方案，推動電動汽車的普及和發展，並為環保交通系統的建立提供支援。

(三) 智慧家居與智慧城市

預期智慧家居和智慧城市的發展為無線輸電技術提供了廣闊的應用前景，隨著智慧設備的普及，越來越多的家庭和城市開始尋求高效、便捷的能源解決方案，以提升生活品質和營運效率。在智慧家居領域，無線充電技術可廣泛應用於各類智慧設備，如智慧音箱、燈具、安全防護設備等。這些設備通常需要穩定的電源供應以實現其功能，而無線充電技術能夠提供一種無需插拔的便捷解決方案，例如，許多消費電子產品正逐步支援無線充電標準（如 Qi 標準），使得用戶在家中只需將設備放在指定的充電區域即可完成充電。此外無線輸電技術在智慧城市中的應用同樣潛

力無限，例如，在智慧交通系統中，無線充電可以為路邊的交通感測器和鏡頭提供穩定的電力支援，這些設備能即時收集和分析交通數據，提升交通管理的智慧化水平，減少交通擁堵與事故發生的概率。

在環境監測方面，無線輸電技術能為各類傳感器提供持續的電源，確保其能夠長時間運行而不需頻繁更換電池，這不僅提高了監測系統的可靠性，也減少了電池廢棄物對環境的影響。根據研究，利用無線輸電技術的環境監測系統可以提高數據收集的頻率和準確性，為城市的可持續發展提供支援，然而，智慧城市的建設也面臨著一些挑戰，包括基礎設施的佈局、成本控制和安全性等問題。因此，無線輸電技術在這些應用中的推廣需要與城市的發展規劃相結合，並考慮到多方面的需求和標準，總體而言，隨著智慧家居和智慧城市的發展，無線輸電技術將成為推動智慧化和可持續發展的重要力量。

五、5G 無線輸電技術的市場與未來性

根據 Research Nester 研究報告，無線充電市場在 2023 年達到 73 億美元，預計在 2036 年將成長至 1100 億美元，年複合成長率超過 23.1%，這顯示出其巨大的成長潛力，無線輸電技術的未來發展將受到多個因素的驅動，包括技術創新、材料科學的進步以及市場需求的增長，隨著 5G 技術的普及，無線輸電的效率和應用範圍有望迎來顯著的突破。首先，材料科學的進步將推動無線輸電系統的性能提升，例如超導材料的應用可能顯著提高能量傳輸的效率，研究顯示，使用高溫超導材料可以使能量損失降至接近零，這將對無線輸電系統的商業化應用帶來革命性影響，使用超導材料的無線輸電系統能夠在距離達到幾十米的情況下仍然保持 90% 以上的能量轉換效率；其次，微波和毫米波技術的進步也將促進無線輸電的廣泛應用，隨著 5G 技術的推廣，無線電頻譜的利用將變得更加高效，未來 5 年內，微波和毫米波的市場需求將以每年超過 20% 的速度增長，將進一步促進無線輸電技術的成熟和應用，不僅可以實現更高功率的傳輸，還能在更遠的距離上保持穩定的性能，對於電動汽車、物聯網設備等應用場景來說相當重要；此外人工智慧和物聯網的結合將促進無線輸電技術的智慧化，通過 AI 算法的應用，可以優化無線輸電系統的設計和運行，實現即時監控和自動調整，提高整體效率，將 AI 應用於無線輸電系統可以提高系統的運行效率約 15% 至 30%，未來的無線輸電系統將更加智慧化、靈活化，能夠適應多變的市場需求。

隨著無線輸電技術的成熟和應用場景的多樣化，全球市場對 5G 無線輸電技術的需求正在穩步成長，根據 Knowledge Sourcing Intelligence 的報告，預計到 2029 年，全球無線輸電市場的規模將達到近 400 億美元，年複合成長率將達到 20%，這一成長趨勢主要受到物聯網、電動汽車和智慧家居等多個領域需求成長的驅動，隨

著智慧設備的普及，對持續電力供應的需求日益成長，無線輸電技術將成為支撐物聯網生態系統的重要基礎。根據 Compotech Asia 報告，物聯網設備的數量到 2025 年將達到 300 億台，為無線輸電技術提供了廣闊的市場空間。電動汽車市場的擴張也是推動的重要驅動力，根據 IEA 的報告，全球電動汽車的銷售量在未來十年內將持續成長，無線充電技術在電動汽車的應用前景廣闊。隨著各國政府對電動汽車的政策支援和基礎設施建設的加快，無線充電有望成為電動汽車充電的主流方式之一。

此外智慧家居和智慧城市的建設也將進一步促進無線輸電市場的增長，隨著消費者對智慧家居產品需求的增加，無線充電技術的應用將變得越來越普遍，根據 Statista 和 Strategy Analytics 公佈資料顯示，智慧家居市場的規模預計在 2026 年將達到 1952 億美元，這對無線輸電技術的推廣形成了強大的市場驅動力。整體而言，隨著技術的進步和市場需求的成長，無線輸電技術在未來將迎來更加廣闊的應用前景，企業和研究機構需要緊跟市場趨勢，積極投入研發，以推動無線輸電技術的持續創新和商業化應用。

無線輸電技術的普及與發展，不僅依賴於技術創新，還需要政府和產業標準的支援，需要考慮安全性、環境影響及技術發展的需求，以創造一個有利於無線輸電技術發展的環境。許多國家已經開始在無線充電和無線輸電領域進行投資，歐盟在 2020 年啟動了無線能量傳輸的研究計劃，預計投入超過 2000 萬歐元的資金，不僅提供了資金支援，還促進了產業間的合作，產業標準的建立將有助於推動無線輸電技術的廣泛應用。目前，無線輸電技術的標準化進展仍相對滯後，導致市場上出現了多種不同的技術和規範，這在一定程度上阻礙了技術的普及，目前約有 60% 的無線充電產品缺乏統一的標準，使得用戶在選擇時面臨困難，為了解決這一問題，商業協會和標準化組織需要攜手合作，制定統一的無線輸電技術標準，以提高市場透明度和產品相容性。環保政策和可持續發展目標的推動也將有助於無線輸電技術的發展，許多國家和地區已經將可再生能源和減少碳排放列為發展戰略的重要組成部分，無線輸電技術能夠支援可再生能源的整合，通過提高電能的使用效率和降低能量損失，為實現可持續發展目標提供有力支援。

IEKView

5G 無線輸電技術在未來通訊和能源領域將扮演關鍵角色，對於台灣廠商來說是一次創新機會，尤其在技術研發和應用拓展方面，台灣擁有強大的半導體和電子製造能力，如台積電、聯發科等廠商可以在 5G 無線輸電的關鍵技術（如高效能天線、射頻技術、高頻電力傳輸等）方面進行深度研發。此外陣列天線在 5G 無線通訊與無線能量傳輸中扮演關鍵角色，透過多個天線單元組成陣列，運用波束成形技術，實現訊號的高效傳輸與能量聚焦，在 5G 毫米波頻段（24 GHz 以上），訊號傳輸速度快但容易衰減，陣列天線能透過集中能量於特定方向補償高頻訊號的缺點，

同時提高訊號強度與抗干擾能力。另外，結合大規模多輸入多輸出技術，基站能同時與多個設備通訊，顯著提升頻譜效率，動態波束成型技術可減少鄰近設備間的訊號干擾，讓 5G 網路在訊號傳輸中表現更為穩定，陣列天線的波束形成技術能將電能集中傳輸到接收設備上，大幅提升能量轉換效率，實現長距離無線供電，這在智慧城市感測網路、無電池設備及無人機無線充電等領域可具有廣泛應用，然而，該技術仍面臨硬體成本高、設備對準精度要求高及環境干擾影響大的挑戰，隨著人工智慧和天線技術的進步，未來陣列天線在 5G 通訊及無線能量傳輸中的應用將更加高效且多元化，為現代通訊與能源技術帶來更具突破性的發展契機。

除了技術創新，台灣企業還可成為整合方案的提供者，像鴻海、華碩等公司可以將無線輸電與 5G 基站、物聯網設備結合，提供全面的解決方案，滿足智慧家居、智慧城市及自駕車等新興領域對無線充電和能源的需求。此外台灣廠商還可透過與國際 5G 設備公司及能源公司合作，攜手開發基於 5G 的無線輸電技術和商業模式，隨著電動車、物流及消費電子等市場的需求增加，台灣廠商可進一步拓展無線輸電技術的應用範圍，從而在全球市場中占據一席之地。

以上報告所提供之資訊，在尖端科技發展與產業變動中，無法保證資訊的時效性及完整性，使用者應自行承擔因使用本報告資料可能產生之任何損害。著作權歸工研院所有，非經書面允許，不得以任何形式進行局部或全部之重製、公開傳輸、改作、散布或其他利用本報告資料之行為。



會員服務專屬：<http://www.iek.org.tw>

☎ 服務專線：03-5912340

☎ 傳真電話：03-5820302

✉ 客服信箱：iekconsult@itri.org.tw



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute