

出國報告(出國類別：考察)

赴美國考察電動車輛供電設備計量 管理及檢測技術

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：曾稟儒技正(度量衡行政組)

方寧寧技佐(臺南分局)

派赴國家：美國

出國期間：中華民國 114 年 3 月 24 日至 3 月 31 日

報告日期：114 年 5 月 15 日

摘要

本次與國家度量衡標準實驗室(NML)何宗翰研究員及財團法人台灣大電力研究試驗中心呂俊良經理共同組團拜訪美國加州商務暨經濟發展廳(Go-Biz)零排放車輛市場發展辦公室(Office of Zero Emission Vehicle Market Development, OZEV)、美國加州度量衡主管機關-加州食品與農業部(CDFA)計量標準司(Division of Measurement Standards, DMS)，針對電動車輛供電設備(Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE)計量管理制度及檢測技術進行交流；另參加 2025 EV Charging Summit & Expo 電動車充電設備博覽會、參訪美國特斯拉汽車弗里蒙特工廠及 Hallcon 公司弗里蒙特充電站，以瞭解電動車輛供電設備國際最新發展方向及無線 EV 充電(Wireless EV Charging)、百萬瓦充電系統(Megawatt Charging System, MCS)等先進技術。

目次

壹、 目的.....	1
一、 美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)	1
二、 美國加州食品與農業部計量標準司(DMS)	2
三、 電動車充電設備博覽會(EV Charging Summit & Expo: Las Vegas 2025).....	3
四、 美國特斯拉弗里蒙特工廠(Tesla Fremont Factory).....	4
五、 本計畫出國目的.....	5
貳、 過程.....	7
一、 參訪行程簡述.....	7
二、 參訪團名單.....	7
三、 參訪紀要.....	8
(一)拜訪美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)	8
(二)拜訪加州食品與農業部計量標準司(CDFA-DMS)	12
(三)參觀 2025 EV Charging Summit & Expo 電動車充電設備博覽會	18
(三)參訪美國特斯拉弗里蒙特工廠	35
(四)參觀 Hallcon 公司弗里蒙特 3.3 MW 電動車充電站.....	41
參、 心得及建議.....	44

壹、目的

一、美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)

美國加州商務暨經濟發展廳(California Governor's Office of Business and Economic Development, GO-Biz)是加州政府專門推動就業成長、經濟發展及企業支援的官方機構，由加州州長直接領導，下設多個專責部門，職掌涵蓋：商業投資服務、引領社區及在地發展、小型企業協助、國際事務、行政許可、零排放車輛市場發展、能源政策、基礎建設與發展銀行 (IBank)、加州影視委員會，以及旅遊推廣(Visit CA)等。

加州政府於近期提出三項具前瞻性且具法律效力之氣候政策目標，作為引導未來永續發展之核心方向。

1、2045 年前實現全州碳中和

根據第 1279 號議案(AB 1279)，加州明確訂定 2045 年前達成碳中和的法定目標，這意味著全州溫室氣體排放將與碳吸收量達到平衡，實現淨零排放。

2、2045 年前達成 100%潔淨電力零售銷售

根據第 1020 號議案(SB 1020)，加州將實現全州電網的潔淨化，要求 2045 年前所有零售電力均來自潔淨能源。加州將大幅提升風能、太陽能等再生能源的裝置容量，並推動交通運輸電氣化與電力需求管理。

3、建立碳污染捕捉與去除監管架構

依據第 905 號議案(SB 905)建立了碳捕捉與去除技術的監管架構，避免碳捕捉技術被用作延續使用化石燃料的手段。

這三項政策共同構成加州未來永續發展的基石。為加速交通運輸電氣化的零排放車輛(Zero-Emission Vehicles, ZEV)市場發展，GO-Biz 設立零排放車輛市場發展辦公室(Zero-Emission Vehicles Market Development Office, OZEV)強化州府部門間協調、促進產業合作、支援 ZEV 相關企業，並協助縮短充電與加氫基礎設施的許可流程，全力推動 ZEV 發展。

目前加州 ZEV 領域領先全美，不僅擁有全美最大 ZEV 市場、新車

ZEV 占比最高(每 4 輛新車就有 1 輛為 ZEV)，還有超過 60 家製造商及領先的出口量。加州提前達成 ZEV 銷售、充電樁布建及潔淨卡車推廣目標，展現政策與產業雙重領先地位。

二、美國加州食品與農業部計量標準司(DMS)

美國加州食品與農業部(California Department of Food and Agriculture, CDFA)為加州政府負責農業發展、食品安全及市場交易秩序的主管機關，致力於保障農業相關產業發展、消費者權益及交易的公平性，其轄下之計量標準司(Division of Measurement Standards, DMS)負責加州度量衡標準維持、度量衡器的管理與法規制定，包括傳統度量衡器如加油站流量計及計價用電子式非自動衡器，以及近年快速成長的電動車輛供電設備(Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE)。

加州是全美最早將 EVSE 列入法定計量管理體系，自 2023 年 1 月 1 日起，商業用途新安裝交流(AC)和直流(DC)EVSE 的準確度、標示、計費方式，須符合加州法規要求。另外，依據加州法律，於加州境內銷售商業用途使用之新型式 EVSE，應依加州型式評估計畫(California Type Evaluation Program, CTEP)由 DMS 測試、審核與認可。

為辦理 EVSE 型式認證測試與審核，DMS 依據美國國家標準與技術研究院(NIST)Handbook 44 制定審查程序概要(Examination Procedure Outline, EPO) No. 52，EPO-52 內容詳述 EVSE 規格要求、功能要求與允差標準，以及各項測試程序。經過型式認證認可後，須由具資格之註冊服務機構(Registered Service Agency, RSA)或持有執照的服務代理人(Registered Service Agent)安裝、維修、調整或翻新，以保障交易公正與公平。

CALIFORNIA STATE GOVERNMENT – THE EXECUTIVE BRANCH

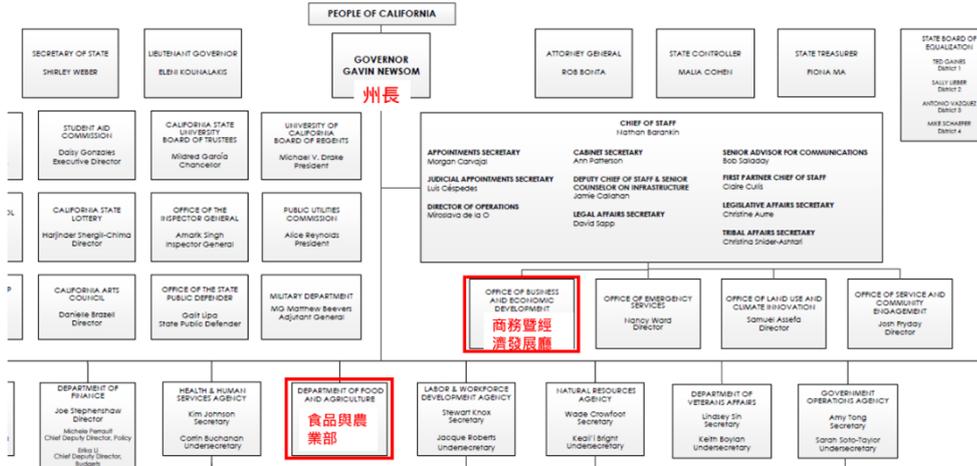


圖 1、加州商務暨經濟發展廳及食品與農業部組織定位



圖 2、加州食品與農業部計量標準司

三、電動車充電設備博覽會(EV Charging Summit & Expo: Las Vegas 2025)

2025 年電動車充電設備博覽會於美國時間 2025 年 3 月 25 日至 27 日，在美國拉斯維加斯 Westgate Las Vegas Resort & Casino 盛大舉行，本博覽會為北美地區最具規模與影響力的電動車充電產業盛會，活動聚焦充電基礎設施技術創新、政策趨勢與市場發展，吸引超過 5,000 名全球專業人士、

240 家參展廠商及 180 位講者參與。

展覽重點涵蓋直流快速充電設備(DCFC)、Level 2 交流充電樁、V2G(車輛到電網)雙向充電技術、智慧充電管理系統與微電網應用，國際品牌如：ABB、ChargePoint、EVBox、Siemens、Blink Charging、Flo 等展出最新模組化、高效率充電解決方案超過 240 項產品，從 AC/DC EVSE、移動式充電設備、充電連接組件到電網整合與能源分配技術，完整呈現電動車充電基礎設施生態系。



圖 3、美國拉斯維加斯電動車充電設備博覽會會場

四、美國特斯拉弗里蒙特工廠(Tesla Fremont Factory)

特斯拉是全球電動車市場的領導者，市佔率約 14%，居全球第一，其生產之電動車均以高性能與長續航著稱。特斯拉的先進技術涵蓋 Autopilot 自動駕駛系統，結合多重感測器與強大車載電腦，實現高速公路自動駕駛與自動召喚功能，所有車款車內設計簡潔，以大尺寸觸控螢幕為主，透過 Tesla App 強化車主深度體驗，並支援無線軟體更新(Over-The-Air programming, OTA)，持續優化功能與用戶體驗。特斯拉還建立全球 Supercharger 超級充電站網絡，充電快速且覆蓋廣泛，提升電動車便利性。

這些創新技術和完善基礎設施使特斯拉在全球電動車市場保持領先，推動電動車普及與潔淨能源發展。

特斯拉位於美國加州弗里蒙特工廠，是特斯拉最早且最具代表性的生產基地。該工廠最初由通用汽車於 1962 年建設，1982 年轉交給通用與豐田合資成立的新聯合汽車製造公司(NUMMI)營運，直到 2009 年結束營運。2010 年，特斯拉以 4,200 萬美元收購該廠，開始進行大規模升級改造。2012 年 6 月，第一台 Model S 生產出廠，代表著特斯拉電動車量產的開始。

弗里蒙特工廠也是全球最大的汽車製造工廠之一，每年產能可達約 65 萬輛電動車，主要生產 Model S、Model 3、Model X 及 Model Y 等主力車型，也是特斯拉在美國的主要製造基地，員工數量超過 2 萬人。



圖 4、美國特斯拉弗里蒙特工廠

五、本計畫出國目的

為促進電動車普及，充電樁布建為關鍵影響因素，世界各國積極推動充電基礎設施建設，特別是在公共區域與高速公路系統加速布建公共充電樁，以解決里程焦慮(Range anxiety)問題，提升電動車使用意願。美國加州透過聯邦及州府自有資金支持，投入大量資源建構電動車充電網絡，並由商務暨經濟發展廳零排放車輛市場發展辦公室(OZEV)及食品與農業部

計量標準司(DMS)，負責充電樁政策推動、技術標準制定及計量管理。

我國自 2022 年起，參考美國 NIST Handbook 44 部分測試項目，制定電動車輛供電設備檢定檢查技術規範(CNMV 207)，並自 2023 年 1 月 1 日起將以電能計量供交易使用之充電樁列入檢定範圍，迄今已累積超過 2 年之檢測實務經驗。

鑑於充電樁產業日新月異，為強化我國計量管理制度及檢測技術與國際接軌，爰由經濟部標準檢驗局度量衡行政組與臺南分局會同國家度量衡標準實驗室及受託檢定機構—財團法人台灣大電力研究試驗中心組成參訪團，於 2025 年 3 月 24 日至 3 月 31 日赴美國進行實地考察與交流。

此行重點包括拜訪美國加州充電樁相關主管機關及實驗室、參加電動車充電設備博覽會，考察充電設施及先進技術交流等，主要議題如下：

1、拜訪美國加州商務暨經濟發展廳零排放車輛市場發展辦公室(OZEV)

針對加州推動電動車充電基礎設施發展之政策規劃、技術標準制定及產業促進策略進行深入交流，瞭解其充電樁管理制度、未來發展藍圖及技術創新方向。

2、拜訪美國加州食品與農業部計量標準司(DMS)

探討加州在電動車充電樁計量檢測及法規執行情況，對於準確性測試標準、認證程序、測試設備規格及校正方法等技術細節進行交流，作為我國計量管理政策修正之重要參考。

3、參加 2025 EV Charging Summit & Expo 電動車充電設備博覽會

該展為北美地區最具規模與影響力的產業展會之一，深入瞭解國際充電技術應用及趨勢，並蒐集業界關注之技術重點、發展方向與當前挑戰。

4、參訪特斯拉弗里蒙特工廠與充電站

與國際領先電動車製造商討論無線 EV 充電、MCS 等前瞻補能技術，並實地參觀 Hallcon 公司建置之 3.3 MW 電動車充電站，蒐集其設施配置與營運模式，作為我國充電基礎設施政策規劃及實務管理參考。

貳、過程

一、參訪行程簡述

日期	行程
2025/03/24-25	從臺灣搭機前往美國/加州
2025/03/26	拜訪美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)及美國加州食品與農業部(CDFA)
2025/03/27	移動至美國/內華達州
2025/03/28	參加 2025 EV Charging Summit & Expo 電動車充電設備博覽會，會後返回美國/加州
2025/03/29	參訪美國特斯拉弗里蒙特工廠
2025/03/30	參觀 Hallcon 公司弗里蒙特 3.3 MW 電動車充電站
2025/03/31	從美國/加州搭機返回臺灣

二、參訪團名單

單位	姓名	職稱
經濟部標準檢驗局	曾稟儒	技正
經濟部標準檢驗局臺南分局	方寧寧	技佐
國家度量衡標準實驗室(財團法人工業技術研究院量測技術發展中心)	何宗翰	研究員
財團法人台灣大電力研究試驗中心	呂俊良	經理

本次美國加州政府充電樁相關主管機關行程安排主要透過駐舊金山台北經濟文化辦事處經濟組協助幫忙，居中協調促成此次能和州府權責部門直接接觸，並由該組邱秘書宇璇陪同參與討論及交流，特此表達感謝。

三、參訪紀要

(一)拜訪美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)

2025 年 3 月 26 日(美國時間 2025 年 3 月 25 日)前往位於美國加州沙加緬度的加州商業與經濟發展廳(GO-Biz)拜會，並由 GO-Biz 助理副主任 Heather Hickerson 及市場開發分析師 Lance Dornan 親自接待，GO-Biz 副主任 Gia Vacin 同時以線上視訊方式參與本次會議。此外，駐舊金山台北經濟文化辦事處秘書邱宇璇陪同參與本次會議討論及交流，增進雙方互動與理解。

以下將針對 GO-Biz 簡報與雙方交流內容作重點摘要說明：

1、加州淨零排放政策與電動車充電基礎設施之建置現況

GO-Biz 副主任 Gia Vacin 表示，自州長 Gavin Newsom 於 2019 年上任以來，加州即全面推動於 2045 年前達成溫室氣體淨零排放(Net Zero Emissions)的長期目標。此政策涵蓋能源、交通、工業、建築、農業等多部門協作，強調跨領域減碳行動與制度整合，展現加州在應對氣候變遷與推動永續轉型的高度企圖心。

在交通運輸電氣化方面，加州目前為全美電動車數量最多的州，累計銷售量已突破 200 萬輛，市場流通量約為第二名佛羅里達州的 4 倍，展現強勁的市場接受度與政策推力。充電基礎建設方面，加州亦擁有全美最大電動車充電網絡，州內已建置超過 17 萬具公共充電樁，並配有超過 50 萬具私人充電樁。截至 2025 年 3 月，州內公共與私人充電樁總量已超越傳統加油站油槍數量 48%，顯示電動車使用環境持續改善。

為進一步擴大建設州內充電基礎建設，州府實施教州電動車基礎設施計畫(California Electric Vehicle Infrastructure Project, CALeVIP)，該計畫為全美規模最大的電動車充電獎勵方案，透過補助機制促進充電站布建與區域平衡。州府亦於 2025 年額外投入 14 億美元預算，以擴大公共與私人領域的充電基礎設施建設，加速全州充電網絡普及率，為邁向 2045 年淨零排放目標奠定穩固基礎。

2、各郡審核不一拖慢加州充電樁建置進程

GO-Biz 說明加州雖已制定統一之充電樁檢測標準與執行法規，但於實際執行層面，州內各郡仍保有一定之自由裁量權，特別是在建置許可(permit)審核流程方面。各郡可自行決定申請所需文件、審查基準與作業時程，導致申請規範缺乏一致性，審查時間落差大，進而影響整體行政效率與投資落地速度。此現象凸顯在高度地方分權體系下，中央標準與地方執行落差仍需透過行政協調與制度設計進行整合與改善。

3、加州電動車充電設施未來發展與規劃

針對我國刻正委由財團法人工業技術研究院研究目前業界關注之無線 EV 充電技術(Wireless EV Charging)，參訪團請益是否已有政策規劃或推動策略。GO-Biz 回應指出，目前州府對無線 EV 充電技術已有所瞭解，亦曾與多家提供無線 EV 充電解決方案之業者會面，知悉該技術在特定應用場域(如電動巴士、無人計程車等高頻次停靠車輛)具有潛在效益。然而，鑑於技術成熟度、基礎建設成本與大規模部署的可行性尚待評估，該技術目前尚未被列為加州電動車充電基礎建設推動之主軸策略。即便如此，加州政府仍對其未來發展保持高度關注，並持續觀察在公共運輸或封閉場域內之試點與應用成果。

另一方面，加州目前在推動電動車充電基礎建設方面，著重於提升充電系統的標準化與使用者便利性。其中，以由特斯拉提出之北美充電標準(North American Charging Standard, NACS)為核心，加州鼓勵各車廠與充電營運商採用統一接頭介面，以解決車輛與充電站之相容性問題，促進跨平台應用。此外，加州亦積極推動即插即充(Plug & Charge, PnC)技術，透過車輛自動辨識與無感支付，免除傳統需透過 APP 或實體卡片操作的流程，進一步強化充電體驗、提高效率與用戶接受度。整體而言，加州目前聚焦於可立即擴展的實用技術，並持續對新興技術(如無線 EV 充電)保持開放態度與技術追蹤。

綜上所述，加州在推動電動車產業發展與充電基礎設施布建方面，展現出高度的政策前瞻性與技術整合能力。雖無線 EV 充電尚屬初步探索階

段，未列為優先推動項目，但相關單位對其技術潛力與應用場景已有充分掌握，並持續關注其進展。當前政策重點聚焦於充電標準的統一化與使用流程的簡化，藉由推廣北美充電標準及即插即充技術，加速提升電動車普及率與用戶便利性，進而為加州邁向零排放交通目標奠定基礎。

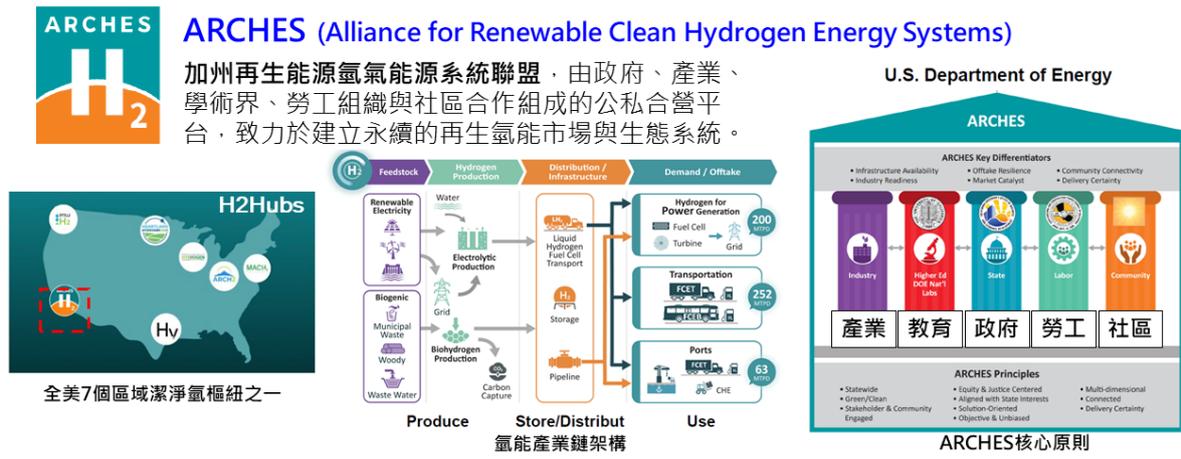
4、加州推動再生氫能政策與氫能中心計畫之發展現況

為加速實現低碳能源轉型目標，加州於 2024 年 7 月獲得美國能源部核撥之 12 億美元資金，正式啟動全美首座氫能中心計畫「ARCHES」(The Alliance for Renewable Clean Hydrogen Energy Systems)，如圖 5。同時，加州政府亦承諾將投入 19 億美元公共資金，並整合民間企業參與，總投資規模預估達 130 億美元，展現其在推動再生氫能產業上的政策決心與資源整合能力。GO-Biz 副主任 Gia Vacin 強調，ARCHES 並非傳統意義上的單一設施中心，而是一個跨部門、跨領域之公私協力平台，結合產業界、政府機關、學術研究、勞工組織與社區資源，涵蓋超過 400 個成員單位。該平台目前推動逾 30 項涵蓋製氫、儲氫、氫燃料應用等領域之項目，預計未來每日可生產達 500 噸再生氫，足以供應 5,000 輛氫能卡車與 1,000 輛氫能巴士營運，為交通部門之去碳化提供關鍵支撐。

目前 ARCHES 已進入啟動階段，主要生產基地集中於加州中部地區，並預計於 2027 年前完成建置並全面運作。惟受聯邦預算撥付時程與政治變數影響，部分進度仍待持續觀察。但副主任 Gia Vacin 強調，加州已建立完整的再生氫能產業鏈與政策生態系統，具備長期推動與擴展之韌性與能力。此外，ARCHES 目前已於舊金山灣區建置並啟用加氫站，未來亦將以舊金山為北加州氫能設施聚落發展重心，預計逐步推展更多相關設施於灣區及周邊地區。

參訪團詢問，鑑於氫氣具有高度易燃性，儲存與運輸均涉及高風險控管，加氫站設置地點附近民眾易對潛在安全風險有所疑慮。對此，副主任 Gia Vacin 表示，加州透過「產業主導、地方參與、社區導入」的模式，優先於低收入與空氣污染嚴重地區進行氫能設施布建，兼顧環境正義、就業創造與健康效益，預估該計畫將創造超過 22 萬個就業機會，並為醫療健

康支出節省高達 30 億美元，相關執行經驗未來可提供作為我國推動參考。



5、加州零碳運輸轉型挑戰與未來展望

加州作為美國最繁忙的港口州之一，擁有 12 座主要海港及多處內陸港，長期肩負全國物流與貨運運輸的重任。然而，貨運車輛所產生的大量碳排放與空氣污染，對當地社區健康與環境造成嚴重衝擊，加州政府提出「港口卡車零碳排放轉型策略」，自 2036 年起全面禁止銷售化石燃料動力卡車，並要求大型商用運輸企業須於 2042 年前，完成其中型與重型貨車的電氣化或氫能化，邁向低碳交通轉型。

然而，前項計畫近年面臨顯著挑戰，主要來自聯邦政策的劇烈轉向。自美國總統川普於 2025 年 1 月重新執政後，聯邦政府明顯收緊對氣候與潔淨能源政策的支持，導致全國電動車充電基礎建設計畫出現延宕，部分項目資金縮減甚至停滯，對地方政府造成資源與執行層面的雙重壓力。即便如此，加州政府並未因此放棄氣候政策方向。副主任 Gia Vacin 明確指出，加州仍將堅定推動 2045 年實現淨零排放的長期目標，並強調不會過度依賴聯邦撥款。為克服資金缺口與政治不穩定性，加州採取多元策略，包括透過公私協力(Public-Private Partnership, PPP)機制，結合產業資金與民間力量推動電動車與充電基礎設施建設；持續由 GO-Biz 擔任政策協調平台，整合加州政府與企業資源，協助爭取各項可用資源，維持政策的連貫性與推動動能。

最後，參訪團與 GO-Biz 助理副主任 Heather Hickerson 會後合影留念，如圖 6。



圖 6、參訪照片(左至右：方寧寧技佐、NML 何宗翰研究員、駐舊金山代表處邱宇璇秘書、GO-Biz 助理副主任 Heather Hickerson、曾稟儒技正、台灣大電力呂俊良經理)

(二)拜訪加州食品與農業部計量標準司(CDFA-DMS)

2025 年 3 月 26 日(美國時間 2025 年 3 月 25 日)另前往加州食品與農業部計量標準司(CDFA-DMS)拜會，由計量標準司司長 Kevin Schnepf、組長 John Larkin、研究員 Jack Witt 與 Beth Nordeen 等人親自接待。此外，駐舊金山台北經濟文化辦事處邱宇璇秘書亦陪同參訪討論，增進雙方交流及理解。

以下將針對與 CDFA-DMS 雙方交流內容作重點摘要說明：

1、電動車輛供電設備檢測設備及其校正系統

CDFA-DMS 使用美國 TESCO 公司研製之電動車輛供電設備檢測設備(T4000 EVSE Tester)及可程式化負載(PL4000 Programmable AC Load Box)，作為執行型式認證與現場驗證作業之檢測設備(如圖 7)。該設備支援 SAE J1772 規格，電能量測準確度 AC $\pm 0.08\%$ 、DC 0.05%，並具備測試 AC Level 1、Level 2 及 DC 快充模式之能力，可精準量測電壓、電流、

功率及累計電能等參數。在本次參訪過程中，研究員 Jack Witt 特別拆解舊款設備(T400 EVSE Tester)讓參訪團觀察該設備內部構造(見圖 8)，可見其設計包含高功率導電銅排、功率模組、負載切換繼電器、數據擷取與通訊轉換電路板等關鍵單元，並具備風扇與散熱器等主動散熱機制，提升設備於長時間量測作業中的穩定性與準確性。下方艙體配置直流電源模組與控制繼電電路，並預留擴充端子與安全保險機制，整體配置符合測試場域移動操作與現場即測即判需求。



圖 7、加州 EVSE 檢測設備(TESCO T4000 Tester 及 PL4000 Programmable AC Load Box)

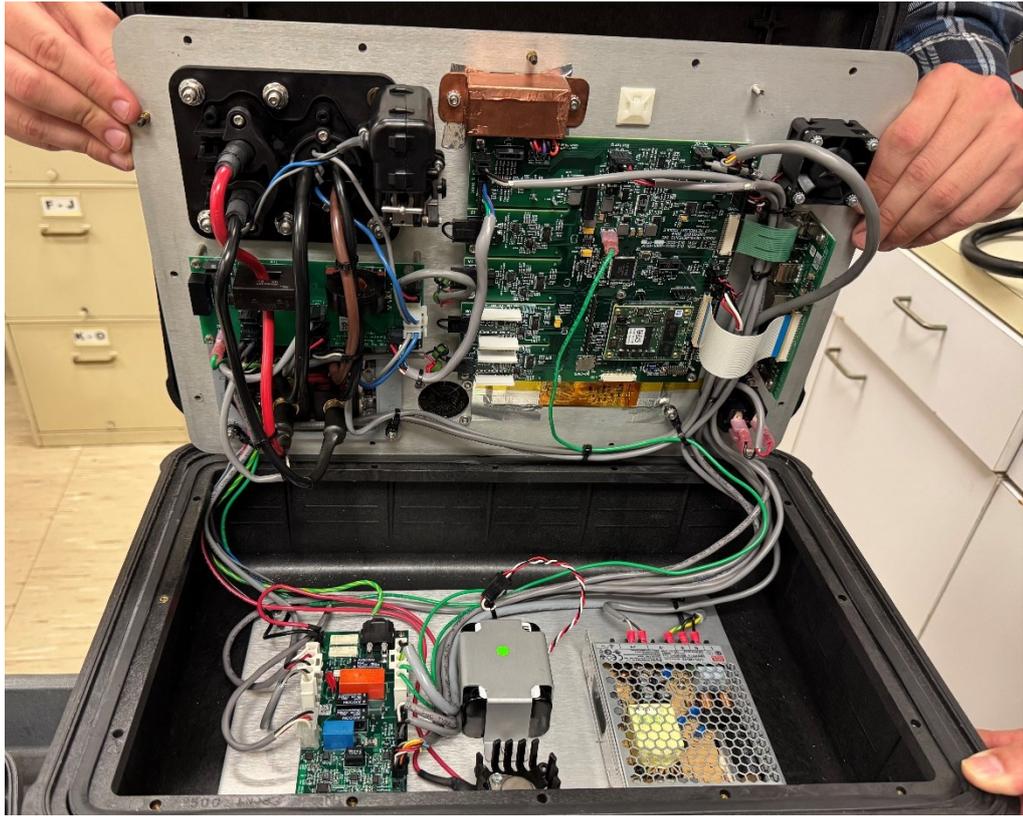


圖 8、舊款 EVSE 檢測設備(TEESCO T400)內部構造

T4000 EVSE Tester 使用同公司研製之 EVSE 檢測設備校正系統 (TEESCO ACT100/DCT350 Reference Test Systems)(如圖 9)進行校正，校正系統內部標準器溯源至 NIST，確保量測結果之法定有效性與技術一致性。

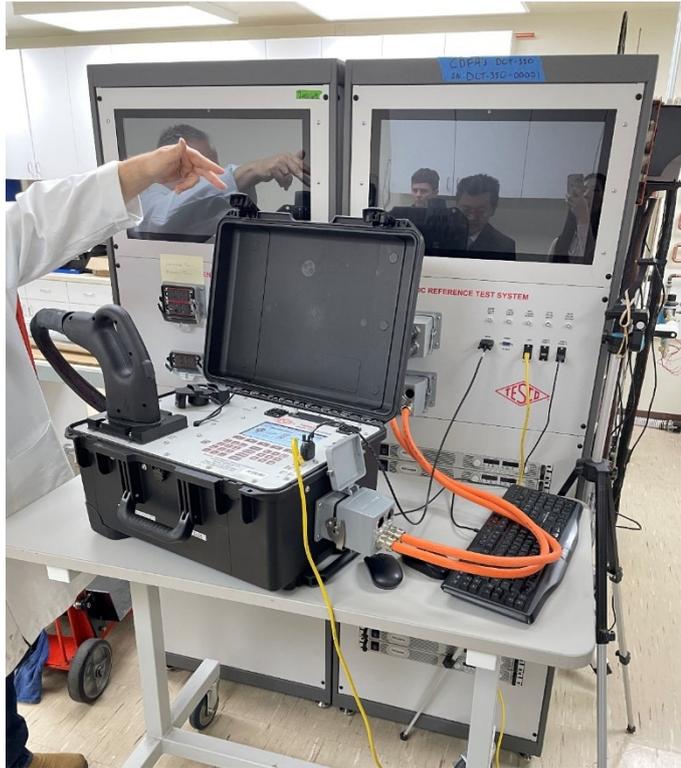


圖 9、EVSE 檢測設備校正系統(TESCO ACT100/DCT350 Reference Test Systems)

2、現場觀摩執行電動車輛供電設備計量檢測

研究員 Jack Witt 實際示範如何進行 EVSE 之檢測(如圖 10)，所使用之檢測設備為 TESCO T4000 EVSE Tester，該設備已校準溯源至 ISO/IEC 17025 認證的校正實驗室。待測充電樁送電前，研究員 Jack Witt 先確認輸出連接是否符合標準接腳排列與絕緣規範，接著透過檢測設備前面板操作界面，設定對應充電模式並開啟負載模擬功能。TESCO T4000 EVSE Tester 會依照設定模擬一輛電動車的實際充電行為，啟動後即開始即時記錄充電過程中電能輸出的數據。該設備會同步顯示並儲存各階段電流(A)、電壓(V)、功率(W)與累計電能(kWh)，可與待測充電樁所顯示及記錄的計量值進行比對。整體測試會歷經低、中、高不同負載條件，以模擬使用者不同充電情境。根據 NIST Handbook 44 及加州 CCR 規定，誤差需控制於 $\pm 1\%$ (型式認證)或 $\pm 2\%$ (現場驗證)範圍內。測試結束後，檢測設備所紀錄數據將轉出為測試報告並附上校正證明，作為型式認證(CTEP)或現場驗證作業之佐證依據。

不過，研究員 Jack Witt 補充說明，除對待測充電樁累計電能誤差確認外，依照加州法規，型式認證測試還需確認計費顯示金額、充電紀錄資訊等涉及交易相關的功能。參訪團詢問，關於充電相關資訊之提供是否必須顯示於充電設備本體顯示器或是互動式資訊服務站(Interactive kiosk, Kiosk)，研究員 Jack Witt 說明，加州法規允許充電資訊可顯示於手機 APP、車載螢幕或專用網頁，這項規定與我國目前規範明顯不同。



圖 10、研究員現場解說 EVSE 檢測流程

3、無線 EV 充電之計量認證能量規劃

根據 CDFA-DMS 之回應，目前無線 EV 充電技術(Wireless EV Charging)尚未納入其計量監管與建置測試能量。研究員 Jack Witt 指出，現階段的重點仍聚焦於傳統傳導式充電設備(如 AC Level 1/2 與 DC 快充)的型式認證、現場檢測與驗證程序之制度化建立，尚未接到業界提出無線 EV 充電設備申請型式認證或用於商業計量。由於無線 EV 充電系統的能量傳輸方式、量測機制與介面特性均與既有有線充電有顯著差異，未來若其於商業應用逐步普及，將可能涉及新的電能測量架構與檢測方法。該司亦認為，針對該類新興技術的計量介入時機應建立在技術成熟度與商業規模明確

之基礎上，屆時將配合州府整體政策方向，評估制定相應之型式認證準則與現場驗證流程。目前則持續與 GO-Biz 等跨部門保持橫向溝通，密切關注無線 EV 充電技術的技術驗證、示範場域進展與國內外標準制定趨勢，為未來計量監理預作準備。

此外，儘管加州已建立電動車輛供電設備之計量管理制度，包括型式認證與現場驗證的流程，且型式認證項目與允差標準亦依據 NIST Handbook 44 及 EPO-52，皆訂有明確依據，整體法規架構已趨完整，然於實際執行層面仍面臨數項挑戰。首先，各郡在檢測流程、法規適用與執行細節上解釋不一，造成制度落實過程中出現作業差異與行政落差，加重業者合規與溝通成本。此外，隨著全州大規模建置電動車充電基礎設施，DMS 目前亦面臨測試需求急遽上升與人力、檢測設備嚴重不足之情形。儘管州府層級已建立校正標準與程序指引，但部分郡仍缺乏符合規範之檢測設備，導致執行能量與進度受到一定程度限制。

未來雙方將就 EVSE 之檢測技術、驗證流程與法規制定等持續深化交流，此次拜訪在雙方良好互動中圓滿結束，並於會後合影留念(如圖 11)。



圖 11、參訪照片(右 3：CDFE-DMS 研究員 Jack Witt)

(三)參觀 2025 EV Charging Summit & Expo 電動車充電設備博覽會

2025 年 3 月 28 日(美國時間 2025 年 3 月 27 日)主要是參觀以電動車充電設備為主題的產業技術及相關產品發表博覽會(如圖 12)。綜觀 2025 年電動車充電產業明顯朝向高功率化、智慧化與平台化發展。隨技術進步，快充設備功率已從 50kW 提升至 480kW，並支援智慧分流與雙槍輸出，以提升效率並降低對電網衝擊。未來充電設備將普遍採用模組化與液冷技術，強化穩定性與擴充性。智慧化方面，充電設備正轉型為整合 AI、感測與雲端分析的智慧終端，能即時監控與預測性維護，降低營運成本並提升設備可用率。同時，整合能源管理系統與虛擬電廠(VPP)，可根據負載動態調整充電策略。平台化則是未來規模化營運關鍵，透過開放 API 打造的管理平台，可串聯設備商、營運商與維運單位，實現數據整合、遠端監控與標準化營運。



圖 12、NML 何宗翰研究員、方寧寧技佐與曾稟儒技正於展場合影

1、參展廠商亮點產品及技術介紹

(1) ZEROVA Technologies

來自我國的馳諾瓦科技(ZEROVA Technologies)是全球領先的電動車充電設備製造商，於全球銷售超過 5 萬座充電樁，服務遍及歐洲、美洲與亞洲。本次展示的旗艦產品，是與 Shell Recharge 合作的 480 kW DQ480 直流獨立式充電樁(圖 13)，具備雙槍高功率輸出，支援 CCS1(500A 液冷)與 NACS(380A)接頭，並擁有智慧電力分配，符合 ISO 15118(Plug & Charge)、及 OCPP 1.6 JSON 2.0.1 等國際標準，配備 21.5 吋多媒體觸控螢幕與多元支付方式(RFID、QR Code)，具 NEMA 3R / IP55 防護等級與遠端韌體更新功能，適用於高流量場域及車隊營運，提升維運效率與用戶體驗。



圖 13、ZEROVA Technologies 480 kW 高功率直流充電樁

(2) XCharge

XCharge 成立於 2015 年，總部位於德國漢堡，是全球智慧充電與儲能解決方案領導廠商，核心技術涵蓋 400kW 超高速充電樁、儲能充電一體化設備(Net Zero Series)及智慧化維運後台系統(Cloud-based Management

System)。本次展出的主力產品為 400 kW C7 超高速直流充電樁(圖 14)，搭載液冷充電槍與動態功率分配功能，大幅提升充電效率與站點使用率，其結構設計採用高導熱材質與分層散熱通道，有效降低設備在極端負載下的熱衰退風險，同時是展場內唯一符合德國規定，以獨立直流電度表計量，且外殼鏤空顯露其電度表讀值。可搭配 Net Zero Series，將儲能與充電深度整合進行離峰儲電、尖峰放電，減輕電網負載並降低營運成本。配合雲端管理平台與智慧調度系統，XCharge 為充電與儲能提供高度整合、永續且高效的解決方案。

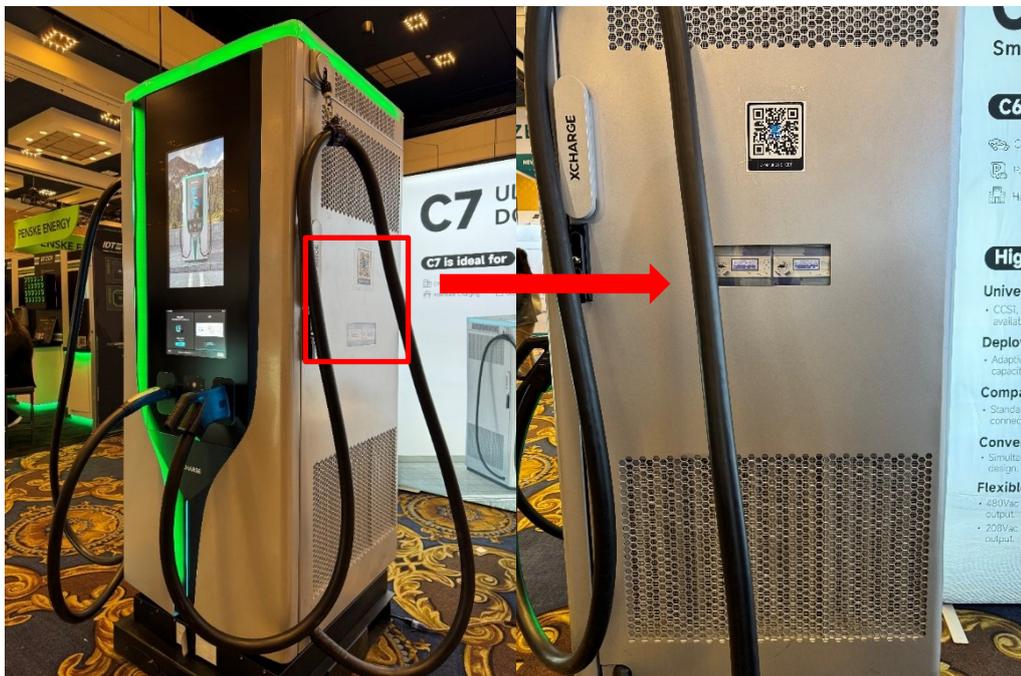


圖 14、XCharge 400 kW 高功率直流充電樁及其內直流電度表

(3) BTC POWER

BTC POWER 是美國本土領先的電動車充電設備製造商，產品完全符合 NEVI 補助計畫的美國製造(Buy America)要求，適用於聯邦補助的高速公路充電站建置。最新 Gen 4 系列直流快充(DCFC)專為北美市場設計(圖 15)，於美國加州生產，並通過 OCPP 2.0.1 認證，整合 Plug & Charge 功能，強化安全與互通性。Gen 4 具備模組化設計，最高可達 360kW 輸出，支援 CCS1、CHAdEMO 與即將上市的 NACS 接頭，可同時為兩輛車快速充電。設備搭載液冷電纜、15 吋觸控螢幕、雲端管理平台，並支援多元支

付(信用卡、RFID、行動支付)、遠端監控、韌體升級與動態功率分配，操作簡便、維護效率高，特別適合高速公路、商業場站與大型車隊應用。



圖 15、BTC POWER Gen 4 直流充電樁

(4) ChargePoint

ChargePoint 是美國最大的電動車充電網絡營運商，擁有超過 15,000 個充電站點與近 5 萬個充電接口，覆蓋全美主要城市、高速公路及鄉村地區。公司自成立以來，專注於提供從硬體設備到雲端管理平台的完整解決方案，並積極與汽車產業龍頭如通用汽車(GM)合作，計畫在 2025 年底前於全美再設 500 座超快充電站，進一步擴大市場領先地位。ChargePoint 的充電站支援多種主流充電規格，並結合智慧軟體、即時監控與多元支付，致力於為駕駛者打造便捷且高效的充電體驗。

ZERO 60 是 ChargePoint 最新推出的直流快充設備(圖 16)，採用垂直

一體式設計，搭配黃灰配色與頂部 LED 光條，提升戶外可視性與品牌辨識度。該設備配備 CCS1 與 NACS 雙輸出介面，整合大型高亮度觸控螢幕，支援車輛識別、即時資訊顯示與人機互動。ZERO 60 最高輸出可達 400 kW，具備動態功率分配，可同時為兩輛車提供快速充電。內部採模組化電源架構與整合式冷卻系統設計，便於維修與擴充，降低維運成本。後台則透過自有雲端平台進行遠端監控、統計與費率調整，並支援 OCPP 標準及多元支付，完全符合美國 NEVI 補助建置標準。



圖 16、ChargePoint ZERO 60 直流充電樁

(5) Heliox

Heliox 是全球知名的快速充電基礎設施供應商，專注於城市交通、公車車隊與商用電動車市場。其展示的 Heliox 60 kW 快速充電設備(圖 17)適用於城市交通、公車車隊與商用電動車。該設備支援動態雙輸出，可智慧分配兩部車輛的充電功率，提升效率與場站彈性。具備高解析度 7 吋 LCD

螢幕，即時顯示輸出功率、累計電能、電壓、電池百分比與充電時間，並整合 QR Code 身份驗證與側邊 LED 狀態指示燈，操作簡便且用戶友善。採用模組化設計，支援硬接線或可攜式(portable)配置，並可壁掛、座架或移動推車安裝，兼具靈活性與便利性。設備具備 NEMA 3R 防護等級，適合室內外使用，並支持遠端監控、韌體更新及多種通訊協議(如 OCPP 2.0)，是中功率充電市場中具代表性的產品。



圖 17、Heliox 60 kW 可攜式快速充電設備

(6) Power Innovations International

Power Innovations International (Pii) 展出的 Indoor Mobile 30 kW Charger 是一款專為室內及車隊充電需求設計的可攜式直流快充設備(圖 18)，具備多項移動式優勢。首先，其模組化設計與堅固金屬機殼，搭配工業滾輪與緊急停止開關，確保充電過程中安全穩定且方便移動。其次，支援多種輸出電壓和充電協定，並內建 RFID 身份識別與網路管理功能，便於與車隊系統或能源管理平台整合，提升場域部署彈性。相比固定式充電樁，移動式充電設備能快速部署於空間受限或臨時需求場景，解決充電車

位不足、布建期長及車輛輪替頻繁的問題，特別適用於機場、物流中心及工業園區等多元場域。此外，移動式充電方案如 Pii 產品能有效填補快速充電缺口，提升充電網絡的靈活性與應變能力，為電動車充電基礎設施提供重要補充。整體而言，移動式快充設備以其便捷、安全與高效的特性，成為未來充電策略中不可或缺的彈性解決方案。



圖 18、Pii Indoor Mobile 30 kW 室內移動式充電設備

(7) Potter EV

Potter EV 展出 Fleet Master Series 行動式充電能源平台(圖 19)，採多軸掛拖式設計，強調機動性與快速部署，適用於偏遠地區、展會活動、工地及緊急應變場域，提供 60 kW 至 360 kW 快充功率，支援多車同時充電與多種充電標準，解決即時充電需求。平台具備完全離網運行能力，內建以可再生燃料驅動的發電系統，無須依賴市電即可獨立供能，搭載智慧控制系統與遠端監控功能，大幅提升能源使用效率與操作便利性。所採用的

可再生丙烷(RLP)與可再生天然氣(RNG)來源於動植物廢料與廢棄物回收，具低碳、可持續特性，協助減碳並推動綠色能源普及與應用。



圖 19、Potter EV Fleet Master Series 行動式充電能源平台

(8) NovaCHARGE

NovaCHARGE 自 2008 年致力於發展電動車充電技術，本次展出 FlexX 是其專為應對戶外與緊急需求所打造的高機動性移動充電系統(圖 20)。FlexX 系統整合直流快充、110V / 220V 交流電及 12V 直流輸出，支援主流快充規格(如：CCS1/CCS2)，可廣泛應用於活動現場、臨時用電、災害應變與救援場景。系統安裝於平板拖車上，具備極高的靈活部署能力，內建大容量電池模組，有效減少充電頻率、提升作業續航與效率。



圖 20、NovaCHARGE FlexX 高機動性移動充電系統

(9) AutoChargit

AutoChargit 為美國創新行動充電技術開發企業。本次展出所開發的 Mobile UTV Twin Level 2 行動充電車(圖 21)，具備絕佳機動性與高功率充電能力。車體寬僅 60 吋，配備雙 40 安培充電器與雙發電機，能在無基礎設施的地區快速部署，支援長達 8 小時的行動快充作業，備有可延伸纜線、模組化設計與遠端監控功能，適用於鐵路車廂、偏鄉、災區及大型活動等場域，對我國未來偏鄉或山區 EV 推廣極具參考價值。



圖 21、AutoChargit Mobile UTV 全地形應用與緊急支援的能源機動車

(10)MTE(Meter Testing Equipment)

瑞士 MTE 公司是全球知名的電力測試與量測設備製造商，專注於高準確度電能計量測試系統與儀器，產品廣泛應用於公用事業單位、校正或檢測實驗室及電力設備製造商，特別在校正與驗證領域享有極高信賴度。MTE 的設備以準確、穩定著稱，其最新展出的 MTE PTS 3.1 genX DC 是一款專為直流充電系統測試與驗證設計的可攜式高準確度裝置(圖 22)，整合大型觸控螢幕與堅固防撞運輸箱，攜帶便利、現場部署靈活，裝有電子負載(Phantom Load)，在現場對直流充電樁內建計量模組的電能量測準確度進行校正與驗證，無需使用實際高功率負載。PTS 3.1 支援 DC+、DC- 接口及 CP、PP、PE 等信號接腳，符合國際充電介面通訊標準，可模擬車端負載或充電樁輸出，精確檢測電壓、功率效率及安全保護機制，高度模組化與可擴充設計，能依需求搭配專用模組，支援多種國際測試標準，確保各類充電設施皆符合法規與品質要求。操作直觀、維護簡便，特別適用公共快充站、車隊充電場域及研發實驗室等實地測試，協助工程人員快速判斷設備效能與安全性，提升系統可靠性。



圖 22、MTE PTS 3.1 genX DC 直流充電系統可攜式測試設備

2、電動車輛供電設備發展歷程

本次博覽會特別設置「電動車充電樁的歷史與技術演進」專區，以實體展示結合詳盡的文字說明，完整呈現自 20 世紀初以來電動車充電技術的發展與變革。參觀者不僅能親眼見到早期鉛酸電池充電設備的實物，還能深入了解現今具備 V2X(Vehicle-to-Everything)雙向充放電功能的高階智慧型充電系統。這個展區突顯了電動車與能源基礎設施間的深度整合，讓人反思充電樁不僅是能源補給工具，更是智慧城市發展與能源轉型的關鍵樞紐。

展區詳細整理了充電樁從早期手動操作到逐步標準化的發展過程。19 世紀末至 20 世紀初的充電設備設計極為簡單，僅能滿足鉛酸電池的基本充電需求，電壓與電流需人為調節，缺乏自動保護機制，安全風險高且效率低下。當時充電設施多設於固定場域，且不同品牌間缺乏統一標準，導致「技術孤島」現象嚴重，例如 1914 年 General Electric (GE)打算推出公共 DC 充電站，但當時車廠商採用各自的充電槍頭彼此不兼容，造成難以推動的窘境。隨著電動車逐漸普及，國際間開始推動充電標準化，例如 CHAdeMO 與 CCS 等協定的出現，大幅提升了不同品牌與地區間的互通性。這一過程不僅促進了產業合作，也為後續技術創新與市場擴展奠定了基礎。

隨著能源轉型與再生能源佔比提升，充電樁技術迎來重大突破，但同時也面臨新挑戰。近十年來，充電樁已從單純的電能轉換設備，進化為結合通訊、演算法、資料分析與安全防護的智慧終端。V2X 技術的出現，使電動車能將剩餘電能回饋至建築或電網，成為可調度的儲能資源，提升能源效率並降低尖峰負載壓力。現代高階充電樁普遍支援 ISO 15118 通訊協定、即插即充(Plug & Charge)、遠端維運等功能，並結合 EMS(能源管理系統)，成為智慧城市與微電網建構的關鍵。同時，為因應快速變動的軟體需求與法規調整，充電樁普遍支援 OTA(Over-The-Air)韌體升級，確保系統持續更新與安全。然而，電動車產業競爭力不僅來自車輛本體，更取決於能否建立安全、穩定、智慧且永續的充電基礎設施體系。

(1) 早期電動車時代的起點：20 世紀初期手動操作充電設備

20 世紀初期，電動車與燃油車在汽車市場展開激烈競爭。當時電動車因其啟動簡單、行駛安靜且無廢氣排放，成為城市交通的理想選擇，市場佔有率一度高達三成以上，甚至在 1900 年代的美國，電動車市占率達 38%，遠高於燃油車的 22%。這段黃金時代中，電動車被視為潔淨、低噪音且操作便利的交通工具，深受富裕消費者青睞。然而，電動車的續航力受限於當時鉛酸電池技術，充電時間長且充電基礎設施匱乏，成為其發展的主要瓶頸。相較之下，燃油車在速度、續航力及燃料補給便利性上逐漸占優，尤其隨著石油資源普及及價格下降，燃油車的成本逐漸降低，成為大眾可負擔的選擇。此外，福特汽車的生產線生產大幅提升了燃油車的產量與標準化，進一步壓低價格，促使燃油車迅速取代電動車成為市場主流。

在這樣的市場背景下，20 世紀初期的電動車充電裝置展現了當時技術的特點與限制。這些充電器主要服務於如 Baker Electric、Detroit Electric 等品牌的鉛酸電池電動車(圖 23)，採用基本的變壓與整流系統，將家用交流電轉換為直流電，並以手動旋鈕和類比儀表調整電壓與電流，完全依賴人工操作與監控(圖 24)。由於電池容量有限，充電效率低，完整充電通常需 8 至 12 小時，且操作過程中需注意氣體排放與過熱風險。儘管設備相對原始，但它已能與家庭 110V 或 220V 電網連接，展現早期電動車納入家庭充電場景的前瞻性設計，且可調整輸出電壓的功能可視為模組化思維的雛形。這些充電裝置體現了當時電動車作為潔淨交通工具的技術基礎，雖然後來因燃油車崛起而被市場邊緣化，但其設計理念為後世充電基礎設施的發展奠定了重要基石。



圖 23、1914 Detroit Electric Model 46 鉛酸電池電動車



圖 24、20 世紀初直流充電樁

(2) 感應式標準的先驅，開啟現代電動車充電介面規格化之設備

1996 年，通用汽車推出 EV1 電動車，配備創新的 Edison EV Charger 與 SAE J1772-A 連接器(圖 25)，開創感應式充電技術先河。該系統利用電磁場進行非接觸式充電，具備槳狀(Paddle-Shaped)充電器以避免電氣接觸並提升安全性，同時減少觸電風險與環境損耗。雖採用鉛酸電池，充電需 5-8 小時，但這套系統具備自動檢測與安全設計，已具現代標準雛形。儘管 EV1 因成本與效率劣勢未普及，Edison EV Charger 不僅是無線 EV 充電技術的雛型，更開啟了充電介面規格化與安全性優化的發展方向，為現代電動車充電標準奠定了重要基礎。



圖 25、1996 年通用汽車 Edison EV Charger 充電樁

(3) 智慧充電時代的開端，網聯型公共充電樁

2008 年 ChargePoint 推出的公共 EV 充電設備(圖 26)，開創了聯網化與智慧化的充電新模式，成為電動車基礎設施轉型的重要技術里程碑。該設備採用 SAE J1772 標準接頭，支援 Level 2(240V、6.6kW)充電，並內建 LCD 顯示與 RFID 身份驗證模組，實現用戶自助啟動與即時費用顯示。其最大創新為雲端管理平台的導入，具備遠端監控、數據報表、動態定價等功能，使營運商可即時掌握站點狀態並調整策略。同時支援 OCPP 通訊協定，實現與不同廠牌設備的互通整合，並具備 OTA 韌體更新與 GPS 定位功能，奠定智慧電網協同調度基礎。此設備不僅提升用戶體驗，也引領產業邁向標準化、模組化與可擴展的充電網絡架構，成為現代 EV 充電生態系統的技術典範。

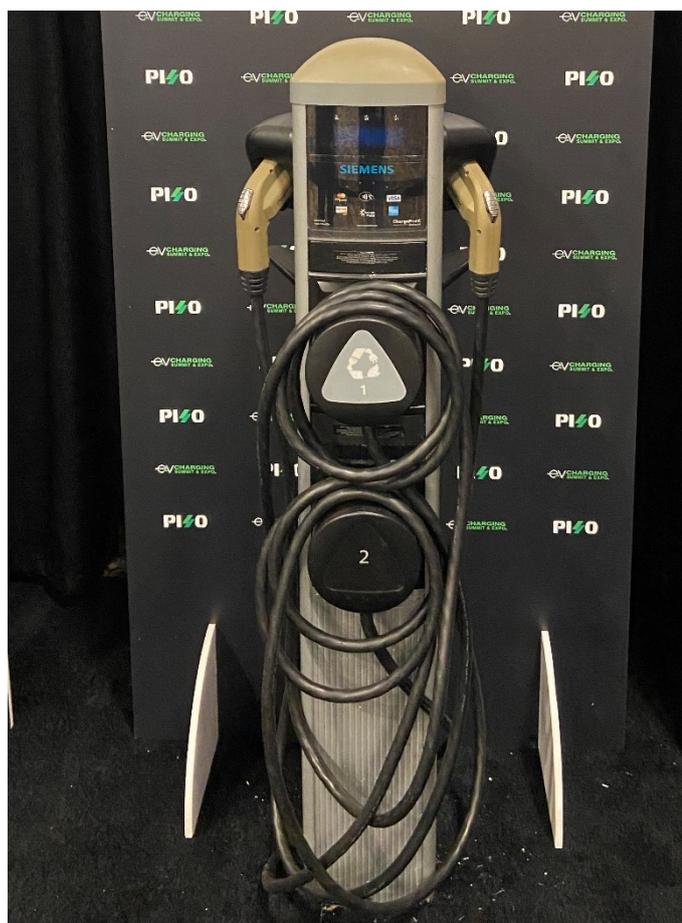


圖 26、2008 年 ChargePoint 推出的公共 EV 充電樁

(4) 智慧連網 AC 充電樁的設計與應用典範

2011 年通用電氣(GE)推出 WattStation 充電樁(圖 27)，作為當時電動車基礎設施的重要創新。WattStation 支援 SAE J1772 標準 Level 2 充電，提供 240 伏特、最高 7.2 kW 的輸出功率，滿足多數電動車日常需求，其最大特色在於後期機型內建 Wi-Fi 無線通訊模組，並支援手機應用程式，讓用戶可即時查詢、遠端啟動與監控用電狀況，帶來前所未有的智慧互動體驗。WattStation 同時強調現代感設計，外型流線且易於融入各種空間。雖然 GE 後來退出充電業務，但 WattStation 以其無線連網與行動應用的創新，為後續公共充電樁智慧化發展樹立了典範，推動充電基礎設施從單純電氣設備，邁向軟硬整合與雲端管理的新時代。



圖 27、2011 年通用電氣(GE)WattStation 充電樁

(5) 未來智慧電網節點，能源交換中樞，驅動車電整合未來

本展區展出的 ChargeTronix 60kW 雙向充電樁(圖 28)，代表當前電動車能源技術的最先進發展。該設備支援 CCS1 與 NACS 等多種車輛介面，更結合 ISO 15118 通訊協議與 OCPP 1.6J V2G 標準，成為智慧電網與能源交換的核心中樞。其最大特色在於雙向能量流設計，能將電力快速輸入電動車，同時也能將車輛儲存的電能回饋至電網、建築或其他負載，協助用戶與營運商最佳化能源調度、降低成本並提升電網穩定性。這款設備具備 ≥94%高效率、NEMA 3S 與 IK10 等級防護，適應嚴苛環境，並支援 Ethernet 網路、Wi-Fi 與 4G 遠端監控及用戶驗證。其模組化、耐用的設計不僅提升維運效率，更促進儲能與再生能源的整合應用。ChargeTronix 60kW 雙向充電樁已超越傳統充電設備，成為推動未來城市能源數位化、分散化與淨零排放策略的關鍵節點，真正實現能源交換中樞與智慧雙向能量流。



圖 28、ChargeTronix 60kW 雙向充電樁

(三)參訪美國特斯拉弗里蒙特工廠

2025 年 3 月 29 日(美國時間 2025 年 3 月 28 日)，參訪團前往美國加州矽谷核心地區的特斯拉弗里蒙特工廠(Tesla Fremont Factory)進行實地技術交流，由特斯拉資深工程師 Sean Lui 全程接待(圖 29)。



圖 29、參訪照片(右 2：TESLA 資深工程師 Sean Lui)

1、美國特斯拉弗里蒙特工廠導覽

位於美國加州弗里蒙特的特斯拉工廠，導入高度自動化產線與模組化設計，包含鋁合金一體式車體(Aluminum Monocoque)、自製電池與馬達模組，並率先採用義大利 IDRA 公司 Giga Press 壓鑄技術，可一次壓製 Model Y 後底盤，取代超過 70 個焊接零件，大幅減輕車重、提升剛性並節省生產時間，是全球最具代表性的電動車製造基地之一。

在現場參觀時，參訪團搭乘廠內電動聯結車，依序進入各大製造區段，包括衝壓成型區(Stamping Shop)、焊接區(Body Shop)、塗裝區(Paint Shop)、動力系統組裝區(Drive Unit Assembly)、電池模組整合區(Battery Module & Pack Line)與整車組裝區(General Assembly)。

各區域配有自動化物流輸送系統(Conveyor System)、AGV(自動引導車)、工業機器人與人機協作(Cobots)平台，提升生產效率與靈活性。特斯拉採行高度垂直整合策略，關鍵零組件如驅動馬達、變頻器、電池模組及自行研發的 FSD(Full Self Driving)晶片皆自製，確保成本控制與系統整合最佳化。導覽人員指出，Fremont 工廠可依市場需求彈性切換生產車型，並與 Giga Texas、Giga Berlin 等超級工廠透過雲端平台協同作業，實現全球即時供應鏈調度與排程最佳化。

導覽人員特別取出新一代 4680 電池樣品向參訪團說明，特斯拉車款目前主要採用由 Panasonic 協力生產的 2170 圓柱型電池，但正逐步測試導入 4680 無極耳電芯技術。新款電池設計顯著提高電流承載能力，降低內部電阻，優化熱管理效率，並實現更高能量密度，而且為充分發揮 4680 電池效能，特斯拉同步升級了電池模組化製程，整合液冷管路系統、高壓匯流排技術與先進的整合式電池管理系統(BMS)。這些技術整合不僅強化了整體系統安全性，更大幅提升單位體積電量表現，顯現特斯拉在電動車核心技術上的持續突破。

參訪團在廠內參觀時，特別注意到特斯拉工廠在製造數據治理方面展現出高度智慧化，透過自行研發的製造執行系統(MES)整合了現場感測器與 PLC 控制器，能即時回傳數據並透過大量螢幕以視覺化儀表板分析生產進度、良率變異、機台稼動率與能源消耗曲線，提升生產透明度與效率。此外，導覽人員強調特斯拉工廠建構了數位孿生(Digital Twin)模擬環境，讓工程團隊能預測設備維修週期與產能瓶頸，實施預測性維護，有效降低非計畫性停機風險。廠內也積極發展無人化搬運系統，導入具視覺與 AI 判斷能力的自主移動機器人(AMR)，取代人力搬運重型模組與零件，推動物流自動化，這些創新措施展現出強大的產業整合與智慧製造能力。

2、充電樁電能計量議題討論

參觀完工廠後，參訪團與特斯拉資深工程師 Sean Lui 進行面對面討論電能補充技術議題，台灣特斯拉充電樁團隊經理 Mark Hsieh 與工程師 Ken Jiang 同時以線上視訊方式參與本次會議。

首先，特斯拉團隊提供之 supercharger V4 直流充電樁內計量用電度表的相關技術文件(包含 NMI 認證報告 NMI-3682303-01、02、05 與 TC12707-DE、TC12712 等)，說明其內所使用的 DC Meter(型號：CS-615-E2)與內建能量感測器 STEM-1000，通過歐洲 MID(Measuring Instruments Directive)及德國 MessEV 法規認證，並依據 EN 50470-4、IEC 62052-11 與 WELMEC 7.2 軟體規範進行測試，涵蓋項目包括資料完整性、簽章驗證、遠端顯示與使用者資料保護等項目。

特斯拉團隊強調，特斯拉充電系統採用自我驗證的數位計量晶片模組，具備數位簽章、加密傳輸與錯誤偵測機制，支援用戶透過車載介面、App 或支付終端查詢充電數據。其「透明化計費架構」允許消費者查核與驗證充電紀錄，資料涵蓋充電量、時間、交易編號與簽章資訊，皆以數位方式封存並可追溯，確保計量公正性與不可否認性。系統符合 WELMEC 7.2 規範，導入硬體安全模組(HSM)進行加密簽章，實現韌體版本管理與記錄封存，保障資料「可稽核、不可竄改、可授權查驗」，同時滿足德國等國對充電計費的合規要求。

特斯拉團隊補充說明，特斯拉充電樁出廠計量檢測，主要採用第三方認證機構(Netherlands Measurement Institute, NMI)認證特斯拉自有實驗室的方式。特斯拉每台充電樁在出廠前，均需由其經 NMI 認證的實驗室進行逐具測試，NMI 會在認證期間不定期抽驗，監督實驗室品質，確保檢測公正與準確。另外，CDFA-DMS 目前尚無直流(DC)充電樁型式認證測試能力，改派員到特斯拉實驗室使用該公司儀器監督試驗。這種做法結合第三方認證與監督試驗，降低政府資源投入，或可提供我國計量管理制度之參考。

另一方面，特斯拉團隊針對我國法規求充電樁本體或現場具有顯示電能裝置與內部實體封條提出建議，目前歐美多國接受透過車載螢幕或手機 App 等遠端裝置顯示計量及收費資訊，由於未來的計費機制將透過強化軟體簽章、區塊鏈式資料驗證及雙向 API 橋接，實現無紙化、無介面化且具高度可稽核性，以支援遠端驗證、智慧計量與無接觸支付等創新應用，建

議我國可參考他國作法因應未來潮流。

3、充電樁先進(無線 EV 充電及 MCS)技術討論

特斯拉資深工程師 Sean Lui 向參訪團說明，特斯拉設計 Semi 卡車時面對的最大挑戰，就是如何兼顧長途運輸的高效率與充電便利性。一般商用電動卡車使用的 CCS 快充系統，最大功率僅約 350~500kW，充電時間往往超過 1.5 小時，對每日需行駛數百公里、時程緊湊的物流業來說根本不實用，使用特斯拉專為 Semi 開發的超高功率充電系統 Megacharger，約在 30 分鐘內即可補足 70%以上電量，顯著降低營運停滯時間，未來可能導入 Megawatt Charging System(MCS)將充電功率提升至百萬瓦。Megacharger 還搭配液冷線纜與專屬音叉式插頭，兼顧高功率與使用安全，遠勝傳統系統。但是 Semi 卡車充電系統並沒有開放其他車廠電動車使用，目前並未考量其計量或是計費交易相關問題，也許未來導入相關標準後，以已經成熟的 Supercharger V4 內計量用電度表作為解決方案。

在無線 EV 充電技術(Wireless EV Charging)議題上，參訪團詢問特斯拉內部研發應用現況及未來推動的技術瓶頸與挑戰。特斯拉資深工程師 Sean Lui 表示，特斯拉目前僅在尚未對外營運的無人自駕車平台 Robotaxi 上測試無線 EV 充電技術，並且僅限於特定小範圍的試驗場域。其主要考量在於，無人車無法由駕駛者進行傳統插槍式充電，因此無線 EV 充電在此應用場景中具有高度必要性。至於一般銷售車款，尚無導入無線 EV 充電的規劃，主因在於該技術於工程實作與商業模式上仍待進一步發展。

特斯拉資深工程師 Sean Lui 特別解釋無線充電(Wireless Power Transfer, WPT)技術，其主要採用磁感應式(Inductive)或磁共振式(Resonant Inductive)技術，基本架構包括發射端線圈(Tx Coil)與接收端線圈(Rx Coil)，透過高頻交變磁場進行能量傳輸。在理想的實驗室條件下，無線充電效率可達約 90%；但車輛停車位置的對準精度、發射與接收線圈之耦合係數、接收端與地面之高度及角度偏差、外部金屬物體干擾，以及非目標物體(如地面積水或砂礫)，都會影響 WPT 系統的能量傳輸效率，尤其是在戶外實際操作環境中，若停車位置偏差超過 10 公分，效率可能驟降至 70%至 80%，

因此，降低在實際環境中的商業應用可行性。

若無線 EV 充電技術欲大規模導入於公共或商業應用場域，勢必須整合高精度的停車導引技術，如自動駕駛泊車系統或感測器輔助機制，以確保充電對位準確、維持穩定的能量傳輸效率。針對此一挑戰，部分系統開發商已著手導入超寬頻(Ultra-Wideband, UWB)定位技術與 AI 視覺辨識方案，並同步研發具可調式多線圈設計的動態充電平台，以降低效率衰減風險、強化整體系統效能與可靠性。

除了效率議題外，特斯拉資深工程師 Sean Lui 亦指出，計量與收費機制是目前無線 EV 充電最具爭議性的技術與法規挑戰之一。以傳統插槍式充電為例，其電能計量裝置通常設置於充電樁(供電端)內部，能明確記錄電能交付的時間與用量，與車輛實際接收的電能幾乎一樣。然而，在無線充電架構下，由於供電端(發射端)與車輛(接收端)之間無實體接觸，電能傳輸過程中存有諸多不確定性。舉例而言，若接收線圈偏離標準對位中心，即使供電端輸出相同電量，車輛實際接收的電能可能顯著下降，用戶對於計費結果將可能產生質疑。若改由車輛端設置計量裝置，則必須考量其計量模組是否通過當地法規驗證，並具備資料加密簽章、防篡改與可稽核性等要求。

因此，歐盟包括德國在內計量權責機關與產業界，曾就無線 EV 充電電能計費基準點應設於何處初步討論，目前多數意見傾向將計費裝置設置於車輛接收端(如圖 29 所示位置 3)，即以車輛實際接收到的電能作為計費依據，以保障用戶權益，並減少因傳輸效率差異所產生的爭議。但採取車輛端計費亦引發一系列新的挑戰，包括：其計量模組是否具備國際公認計量能力(如歐盟 MID 認證)；資料回傳機制是否採用數位簽章與加密傳輸，以防止資料被竄改；以及如何與供電端營運平台(如 CPO、APP)完成計費結算與稅務申報流程。目前上述機制仍缺乏一致性的國際標準，尚待各界協調與完善。

此外，特斯拉資深工程師 Sean Lui 認為，若未來大規模部署無線充電技術，可能導致電磁輻射干擾(EMI)與電磁相容性(EMC)問題上升。為滿足

國際電磁安全標準(如 IEC 61980 系列與 SAE J2954)，無線充電模組須整合電磁屏蔽技術、電場抑制機制與金屬異物偵測功能，以防止人體誤觸造成燙傷，或因異物金屬加熱引發火災等潛在風險。

綜上所述，雖然無線 EV 充電對於無人車、自動停車與特定場域(如物流倉儲、機場、無人車)具備高度潛力與應用價值，但其在技術、法規與營運層面仍處於試驗與探討階段。特斯拉對此技術已展開研究，並持續與各國政府部門、標準制定組織協商，期望能在不犧牲效率與透明度的前提下，打造新一代電動車充電模式的標準與框架。

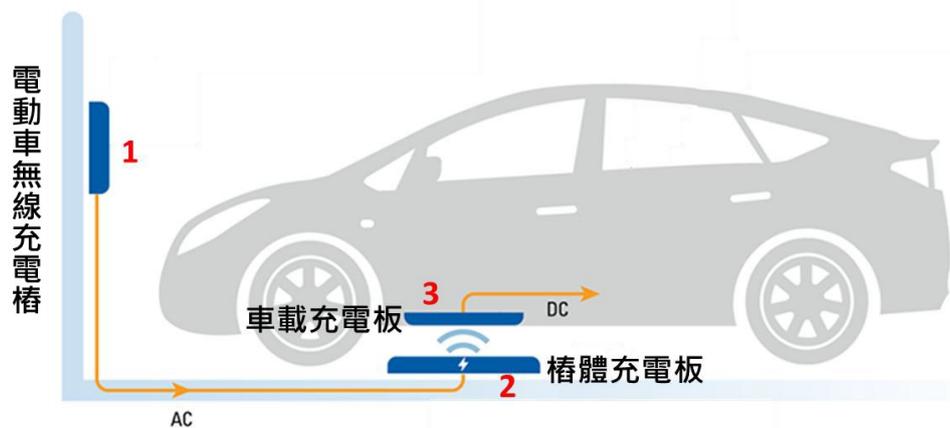


圖 29、無線電能計費之擬定基準點

4、體驗 Tesla Cybertruck 自動駕駛

最後，特斯拉特別邀請參訪團試駕全球關注的電動皮卡車款 Tesla Cybertruck(圖 30)，並體驗自動駕駛功能。路線自 Fremont 廠區出發，沿途經過 Living Spaces 商場與 Tesla Service Fremont，全程由特斯拉自動駕駛(Full Self-Driving, FSD)主動駕駛，包括停等紅綠燈、變換車道均不需人工操作，展現出對路況與環境的高感知能力與精準決策。特別是在自動停車與重新啟動階段，Cybertruck 能夠自動辨識停車格、動態調整角度與距離，完成停車後再依照即時環境重啟並安全上路，讓參訪團深刻感受到其 AI 駕駛系統的成熟與穩定。整體駕乘過程平穩流暢，轉向與加減速皆自然，幾乎無違和感。

試駕過程中，最讓參訪團驚豔的是 FSD 採用純視覺架構與端對端神經網路技術，不僅大幅減少傳統系統延遲，還能精準模擬人類駕駛邏輯。這場試駕路徑，參訪團從控制介面設定、導航任務輸入、FSD 啟動條件、駕駛介面監控到緊急手動接管的全面完整且實際操作經驗，不僅體驗特斯拉在整車設計、車電整合與軟體優化上的成熟度，更加深了我方對未來車輛智慧化、平台化與多功能轉型的認知。



圖 30、本次試駕車款—Tesla Cybertruck

(四)參觀 Hallcon 公司弗里蒙特 3.3 MW 電動車充電站

2025 年 3 月 30 日(美國時間 2025 年 3 月 29 日)，參訪團參觀 Hallcon 公司弗里蒙特 3.3 MW 電動車充電站(圖 31)。Hallcon 公司為北美地區專門從事交通接駁與通勤車隊營運的重要業者，近年積極推動車隊電氣化轉型。該場站為 Hallcon 公司在車隊電氣化過程中所建構的重要基礎設施節點，代表其在大型商用車隊轉型策略中的關鍵部署。

本次參觀的充電場域總裝置容量達 3.3 MW(圖 32)，配置多座高功率直流充電設備(DCFC)及安全開關(heavy duty safety switch)(圖 33)，每座充電樁輸出功率超過 220 kW，採用 CCS1 規格，並具備雙槍設計，可同時為兩輛車充電。系統整合動態功率分配與即時監控機制，能根據現場實際充電需求自動進行負載調整，提升整體營運彈性與效率。場站亦導入能源

管理系統(EMS)，實施充電排程最佳化與離峰用電策略，並預留太陽能與儲能系統布建空間，具備未來發展微電網與尖離峰調度之潛力。

本次參觀使我方實地瞭解北美商用車隊電氣化的推進策略，以及高功率直流快充設備在實務部署上的配置邏輯。對於日後國內於物流、公務或接駁車等領域大型充電基礎設施規劃，特別是在設備選型與空間配置等方面，具有具體且實用的參考價值。遺憾的是，現場設置充電樁未被檢查(inspection)，其樁體上均未黏貼檢驗合格貼紙(sticker seals) (圖 34)。



圖 31、曾稟儒技正、方寧寧技佐與何宗翰研究員於場區入口合影



圖 32、場域配置

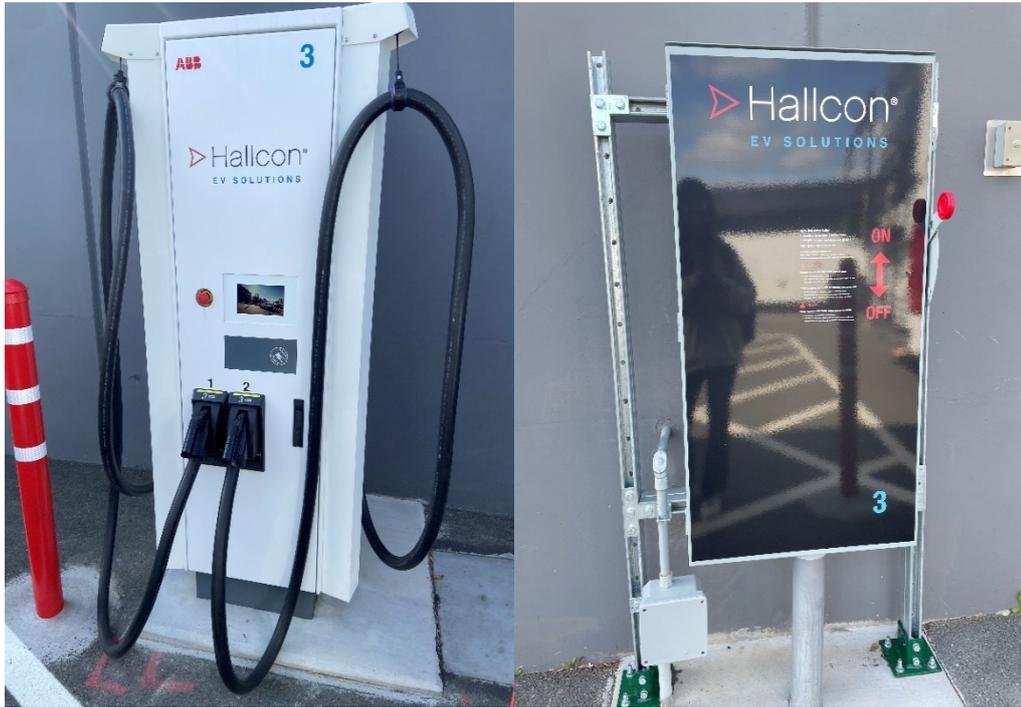


圖 33、220 kW 直流充電樁及安全開關



圖 34、Alameda 郡及 San Mateo 郡檢驗合格貼紙(sticker seals)

參、心得及建議

- 一、加州為全美電動車發展最成熟、制度最健全的州，全州電動車累計銷售量居全美之冠，展現出強勁的政策推動力與高度的市場接受度，同時建置了全美規模最大的充電網絡，並積極推動多元創新服務。本次赴美考察期間，與政策推動機關—加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)及度量衡主管機關—加州食品與農業廳(CDFA)等加州政府機關進行直接交流，深入了解其在制度設計、計量檢測與地方整合方面的實務經驗，對我國未來充電樁計量管理制度規劃極具參考價值，建議我國未來持續關注加州制度演進，並強化雙邊實務經驗交流，以提升我國在充電樁計量管理與檢測技術領域的國際領先地位。
- 二、我國自 2023 年 1 月 1 日起，將電動車供電設備(EVSE)納入法定計量管理體系，並建立具備 400 kW 檢測能力的第三方型式測試實驗室。參訪美國加州食品與農業廳計量標準司(CDFA-DMS)後，發現雙方在制度設計理念與檢定流程上具有高度相似性，均強調設備準確性與消費者權益保護。然而，在設備能力與現場檢測效率方面，我國明顯優於加州。CDFA 目前檢測設備僅支援至 150 kW，且由於各郡執行人力與設備資源有限，現場檢驗的速度與效能受到影響。相比之下，我國採用工廠、實驗室與現場多元併行的檢測模式，使得檢測執行具有更高的彈性與效率。為應對高功率充電技術發展的未來需求，建議我國持續精進檢測設備與機制，確保能夠滿足日益增長的充電需求與技術挑戰。
- 三、美國加州食品與農業部計量標準司(DMS)研究員現場示範使用經 ISO/IEC 17025 認證實驗室校正的檢測設備進行充電樁試驗，同時實地觀摩應用於加州型式認證的檢測設備，涵蓋電力、水、天然氣及電動車充電設備等項目。加州度量衡制度採多層次管理，從源頭即設有型式認證機制，由 DMS 進行度量衡器型式測試，確保產品在上市前符合標準。後續安裝、維修、調整或翻新則須由註冊服務機構(RSA)及通過考試的服務代理人執行，並配合定期標準器校正。各郡市負責市場監督，實地驗證設備使用情形，形成州、郡市與業者三方協力的管理體系，值得我國參考。

- 四、加州政府已評估無線電動車充電技術在特定應用場域的潛力，特別是針對電動巴士與無人計程車等高頻次停靠車輛。然而，基於技術成熟度、基礎建設成本及大規模部署可行性等考量，目前尚未將其納入電動車基礎設施發展主軸策略。特斯拉亦指出，無線充電技術現階段僅應用於未商用的無人自駕「Robotaxi」平台，主要作為解決無人操作環境下無法手動插槍充電的必要解決方案，尚未延伸至一般市售車款。由於無線充電缺乏實體連接可能導致供電與實際接收電量存在落差，國際間目前傾向採用車端實際接收電量作為計費依據，以確保用戶權益。建議我國持續關注加州在公共運輸系統及封閉場域中進行的無線充電試點計畫與應用實績，因應後續產業發展衍生的計量需求。
- 五、加州在零排放車輛(ZEV)推動上展現明確且前瞻的政策目標，並計畫於 2045 年達成淨零排放目標。此次赴美國加州商務暨經濟發展廳(GO-Biz)拜訪，深入了解加州在淨零排放與能源轉型方面的高度前瞻性，特別是在充電技術標準化、設施布建、氫能發展等領域展現的整合能力，未來我國國家度量衡標準實驗室(NML)將協助本局研議充電樁型式認證之可行性，強化我國充電樁檢測技術；對於氫能及其他新興能源技術，則將投入壓力、流量、質量等基礎量測技術研究與參考標準建立，為政策推動初期提供技術支撐。
- 六、參觀 2025 年拉斯維加斯電動車博覽會揭示電動車充電基礎設施正朝三大方向發展：高功率化、智慧化與平台化。展會特色之一是車載移動式充電設備的亮相，這類靈活可移動的產品適用於緊急救援、偏遠地區或臨時活動場域，雖在亞洲尚未普及，但具有明顯發展潛力。目前我國針對以電能計量供交易使用之移動式或是可攜式充電樁，無論電力來自儲能、可再生燃料發電系統或是再生能源均已列入計量管理，可充分保障消費者權益。
- 七、本次赴美考察有助深入理解美國充電設備技術與檢測制度，並瞭解我國在檢測能量與法規建構上的優勢與可持續強化面向。建議未來持續整合產官學研資源，持續針對新型充電技術(如 MCS 與無線 EV 充電)進行前瞻研究與型式認證評估外，並追蹤國際法定計量組織(OIML)建議規範制定情形，適時修正技術規範以符合國際趨勢。