

加油站提供電動汽車快速充電服務之最佳選址分布研究—以臺北市為例

曾麟惠¹ 黃韻勳^{2*}

摘 要

近年來氣候變遷對全球環境造成了嚴重的影響，因此全球各國已陸續宣示2050年淨零排放目標。然而全球最終能源消費的主要部門中，運輸部門占比高達27%，而公路運輸的能源需求占運輸部門的比例達75%，因此為達成2050年淨零排放目標，各國開始推行禁售內燃機引擎汽車，並加速推廣電動車及高效能運具。我國亦針對運具電氣化及無碳化設定目標，預計2030年新售小客車30%為電動車、2035年進一步達到60%，最終目標則為2040年新售小客車全面電動化。為達成所設定的電動車發展目標，增設快速充電設施至關重要。基此，本研究以臺北市作為研究案例，建立一個電動車快速充電站的最佳選址規劃模型，納入設置快速充電站的主要考量因素(分別為交通幹道沿途、該區域人口數及該區域電動車數量)，以評估哪些現行加油站適合優先設置快速充電站，使規劃結果兼顧學術理論與實務應用性。研究中蒐集了臺北市內各區域的相關資料，以估算充電站服務半徑及充電站數量，接著使用K-means演算法進行分群，使充電站能均勻分散，並以與交通幹道距離最近為目標函數，進行最佳化求解，以獲得各情境下所需設置之快速充電站數量及充電站最佳選址分布結果。最後，本研究將臺北市各情境下快速充電站最佳選址的分布情況以視覺化方式加以呈現，這些分析結果有助於臺北市加油站未來進行建置快速充電站之參考，以進一步推動電動車發展，達成淨零排放目標。

關鍵詞：淨零排放，電動車，充電站選址，K-means演算法

1. 前 言

近年來氣候變遷對全球環境造成了嚴重的影響，因此全球各國紛紛提出減碳政策。聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於2018年發布一篇全球升溫1.5°C (Global Warming of 1.5°C)特別報告(IPCC, 2018)，呼籲

全球平均升溫幅度應控制在攝氏1.5度以內，並提出2030年前全球溫室氣體排放量須比2010年減少45%，以及在2050年達成淨零排放的目標。

依據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於2022年發布的能源效率報告(Energy Efficiency 2022)指出，全球最終能源消費的主要部門為工業、住宅、服務業及運輸

¹國立成功大學資源工程學系 研究生

²國立成功大學資源工程學系 助理教授

*通訊作者，電話：06-2757575 #62825，電郵：z10808014@email.ncku.edu.tw

收到日期: 2023年08月31日

修正日期: 2023年10月17日

接受日期: 2023年10月27日

(IEA, 2022)；其中，運輸部門占比高達27%，而公路運輸的能源需求占運輸部門的比例達75%。為達成2050年淨零排放目標，至2030年時，石油產品在運輸部門的能源消費占比應從目前的91%降至80%。若能加速推廣電動車(Electric Vehicle, EV)及高效能運具，可有效降低石油的使用量；而相較於傳統燃油車，電動車在能源轉換效率方面更具有優勢，因此全球電動車使用量正逐步上升。依據國際能源總署於2023年發布的全球電動車展望報告(Global EV Outlook 2023)指出，2022年電動車的銷售量占有新車銷售量的14%，截至2022年底，全球電動車總數已達到2,600萬輛。此外，目前許多國家開始推行禁售內燃機引擎汽車(Internal Combustion Engine Vehicle, ICEV)的計畫，以達到2050淨零排放之目標，如：歐盟(European Union, EU)，而中國、美國、加拿大亦規劃從2035年開始禁售燃油車。

我國政府亦於2021年4月22日「世界地球日」宣示推動2050淨零排放目標，行政院國家發展委員會於2022年3月正式公布「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，制定「十二項關鍵戰略」以達成2050淨零轉型目標。十二項關鍵戰略包含「風電/光電」、「氫能」、「前瞻能源」、「電力系統與儲能」、「節能」、「碳捕捉利用及封存」、「運具電動化及無碳化」、「資源循環零廢棄」、「自然碳匯」、「淨零綠生活」、「綠色金融」、「公正轉型」。其中，運具電氣化及無碳化著重於運具技術的改變(如：推動運具電動化)，以公共運輸先行及政府帶頭示範，優先推動 2030年公務車及市區公車之電動化。私人運具為主之小客車，參考電動車國產化之發展歷程，預計2030年新售小客車30%為電動車、2035年進一步達到60%，最終目標則為2040年新售小客車全面電動化。

然而電動車的普及推廣，除受到價格因素影響外，充電的便利性亦為影響消費者購買電動車的關鍵因素之一；且隨著電動車的快速成長，充電需求亦將大幅增加。然而並非所有電動車皆能於住家自行充電，因此為達成我國所設定的電動車發展目標，增設快速充電設施至關重要。若能於現行加油站提供電動車快速充電之服務，不僅可減少設置快速充電站所需的空間，也可使加油站轉型為提供多種能源服務的場所，並進一步加速電動車發展。然而快速充電站的設置須考慮多項因素，若能建立一最佳選址規劃模型，並納入設置快速充電站的主要考量因素，務實評估哪些現行加油站適合優先提供快速充電服務，以作為我國未來建立快速充電設施之重要參考，實有其必要性與重要性。

因臺北市為臺灣的主要都會區，具有高人口密度和發達的交通網絡，同時亦為充電需求高度集中的地區。因此本研究主要以臺北市的加油站作為研究案例，建立一個電動車快速充電站的最佳選址規劃模型，並利用此模型評估在各類情境下之快速充電站最佳選址分布結果，以作為臺北市加油站未來進行能源轉型之參考。全文共分為五節，除第一節為前言外；第二節為文獻回顧；第三節說明本研究所採用的研究方法與資料處理；第四節為結果分析與討論；最後則提出本研究之結論與建議。

2. 文獻回顧

因本研究主要目的為建構一個電動車快速充電站的最佳選址規劃模型，因此本節主要針對國內外電動車充電站選址之相關文獻進行探討，茲分別說明如下：

2.1 國外文獻

孫勇等(2012)提出一種電動汽車充電站選址最佳化方法，此方法考慮充電站服務半徑的限制，以確保充電者能夠享受便捷的充電服務。通過最佳化充電站的數量並根據子區域的用地性質以確定充電站的初始位置，進而最佳化充電站的投資成本。此外，此研究利用Voronoi圖的特性進行合理的負荷分配，並以充電站選址相關的投資和費用作為最佳化目標。在每個Voronoi多邊形內進行選址最佳化，以確定充電站的位置、數量和服務範圍。

Chung and Kwon (2015)提出三種多周期規劃充電站選址的方法，並將這三種方法與2011年韓國高速公路網的實際交通流量數據進行比較，以分析其對充電站位置之影響。

Brandstätter *et al.* (2017)利用兩階段隨機最佳化方法，以求解電動車共享系統的策略最佳化問題。該研究結合了整數規劃和啟發式演算法以求解最佳化問題，並以維也納市實際的網格圖進行分析，研究中探討不同參數對整體績效與管理策略的影響。研究結果顯示，所發展的方法適用於中等規模的案例，如：維也納內城區。

Brandstätter *et al.* (2020)利用整數線性規劃模型，建立充電站的最佳選址模型和規模的最佳化問題，通過最佳化充電站位置和規模，提高電動車共享系統的經濟和環境效益，也提供了更多關於車輛的彈性選擇。

Bao and Xie (2021)利用雙層混合非線性整數規劃模型，在擁擠的區域中，求解電動車最佳充電地點。其中，模型的上層在給定的預算限制下調節充電站位置的選擇，下層模型則表示電動車在最短時間路徑上運行，且具有充足的充電機會所形成的均衡流動模式。模型結果可使其在有限的建設預算下，找到一組最佳的充電站位置，讓所有車輛都選擇一條具有必要充電機會的最佳路線以完成其行程，同時避免

可能造成的網絡壅塞。

Li *et al.* (2022)提出了城際高速公路網絡的最佳充電站選址問題，為減少繞行頻率和額外里程，因此以最小化可能的繞行里程為目標函數，在不同的網絡模式下建構了兩個混合整數線性規劃模型，並考慮了充電站建設的投資預算限制以及對個別路線和充電選擇的行駛里程限制，以確定充電站最佳選址分布。

Zhou *et al.* (2022)從總社會成本的角度出發，建構了基於總社會成本的充電站最佳分布模型，為模擬充電站最佳分布提供了理論基礎。此研究採用基因演算法對最佳充電站分布進行了疊代運算和模擬。在參數設置方面，模型並非使用傳統的歐幾里得距離，而是導入道路彎曲係數以計算電動車與充電站間的距離，使模型結果能更符合實際需求，進而確定充電站的最佳分布位置。

Zu and Sun (2022)利用多目標規劃，在考慮用戶的行為能力下，透過最小化建置成本、最大化用戶滿意度及最小化電動車在前往充電站途中消耗的電力，建立充電站的選址規劃模型。此外，動態分析關鍵參數與模擬結果間的關係，以獲得最佳的充電站位置規劃。此研究對城市電動車充電站和電池交換站的位置規劃提供了重要的參考，且協調充電站和電池交換站的位置和布局。

Zhang *et al.* (2023)建立多準則決策模型，用於評估電動車充電站的位置。研究方法使用正常擺動猶豫模糊集描述模糊的決策信息，並使用K-means演算法將不同領域的專家進行分組。將改進的相關係數和標準差用於確定準則權重，提出了結合前景理論和加權總和乘積評估方法的綜合排名模型。最後將此方法應用於電動汽車充電站選址問題，並進行敏感性分析和對比分析，以證明其有效性和優勢；與其他方法相比，此方法在參數選擇上更具有彈性。

2.2 國內文獻

劉祥宇(2013)利用混合整數規劃模型，建構了一個包含充電站設施成本、維護成本和電池運送成本的規劃模型。在此模型中，以最小化總成本為目標函數，以求解最佳的充電站位置和規模，分析結果可作為柴油公車逐步汰換至電動公車過程中換電站區位及規模規劃設計之參考。

鄭竹軒(2017)利用數學規劃模型，以最小化總充電器數量為目標，最佳化臺灣高速公路上需要設置充電站及每個站點中充電器的數量，並考慮臺灣高速公路交流道的充電站建設和通勤者的充電便利性。透過模型分析，可得到更佳的位置選擇方案，為高速公路服務區和交流道的電動充電站選址問題提供新的研究視角。

陳柔君(2020)利用多目標混合整數規劃的方法，最小化總建置成本和總體燃油車主與電動車主所減少的利益，同時根據車主距離容忍度和充電需求量的變動，將問題劃分為不同的情境。此研究透過建立最佳化模型，最小化兩個目標函數的最大偏差，在點線段空間中權衡兩個目標，並求解穩健柏拉圖最適解，以提供適當的電動車充電站選址規劃。

黃祺寶(2020)探討歐盟、美國、中國電動車現況與未來發展，以及各國設立快速充電站之現狀及營運模式，並透過專家質性訪談找出建構快速充電站之關鍵評估因素。接著利用層級分析法得出臺灣中油加油站建構快速充電站各構面之權重，以確定關鍵因素的順序，並作為臺灣中油未來設立快速充電站之參考，以因應未來快速變遷的能源市場。

盧宗成、林季萱、簡佑勳(2023)利用雙層規劃模型解決公共充電設施的選址問題。在該

模型中，上層決策者以最小化系統總成本為目標，求解最佳充電站的位置；下層為使用者均衡路徑流量指派問題，考慮到不同類別用戶的里程焦慮程度差異。此外，此研究還使用不同規模的案例評估演算法求解效率，為公共充電設施的選址決策提供了學術理論貢獻及實務應用價值。

上述電動車充電站選址模型之國內外文獻可分別彙整如表1與表2所示。綜言之，由於充電站的發展為推動電動車普及化的關鍵因素之一，文獻分析結果顯示藉由充電站選址規劃模型之分析，可為各國提供不同情境下之充電站最佳選址分布，以作為未來設置充電站之參考。不過各研究由於研究目的不同，所使用的目標函數亦有所不同。其中，有設定最小化的繞行里程，以減少用戶前往充電站所需的行駛距離和時間；亦有設定最小化建置成本，包含考慮土地價值和相關建置成本，以確保充電站的建設和營運具有可行性。此外，亦有使用最大化用戶滿意度作為目標函數，透過提供便利的充電服務和良好的使用體驗以增加用戶對電動汽車的接受度。最後，亦有選址規劃模型考慮最小化電動車於前往充電站途中的能源消耗，以減少能源使用。有別於既有文獻，由於建構充電站需要考量多項因素，故本研究結合「台灣中油加油站提供快速充電服務考量因素之研究」中「決定加油站建構快速充電站之各構面考量因素權重」(黃祺寶，2020)，將我國加油站未來設立快速充電站最主要考量的前三項因素(分別為：交通幹道沿途、該區域人口數及該區域電動車數量)納入選址規劃模型之建構，並以臺北市作為分析案例，以評估哪些現行加油站適合優先設置快速充電站，可使快速充電站規劃結果兼顧學術理論與實務應用性。

表1 電動車充電站選址模型之國外文獻

作者	文獻題目	研究方法	研究目標
孫勇等 (2012)	一種電動汽車充電站選址優化方法	Voronoi圖	最佳化充電站的數量
Chung and Kwon (2015)	Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways.	多周期規劃方法	與實際交通流量進行比較
Brandstätter <i>et al.</i> (2017)	Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand.	兩階段隨機最佳化方法	電動車共享系統的策略最佳化
Brandstätter <i>et al.</i> (2020)	Location of charging stations in electric car sharing systems.	整數線性規劃模型	最佳化充電站位置和規模
Bao and Xie (2021)	Optimal station locations for en-route charging of electric vehicles in congested intercity networks: A new problem formulation and exact and approximate partitioning algorithms.	雙層混合非線性整數規劃模型	預算限制下調節充電站位置的選擇
			最短時間路徑上運行
Li <i>et al.</i> (2022)	Optimal en-route charging station locations for electric vehicles: A new modeling perspective and a comparative evaluation of network-based and metanetwork-based approaches.	混合整數線性規劃模型	最小化可能的繞行里程
Zhou <i>et al.</i> (2022)	Location optimization of electric vehicle charging stations: based on cost model and genetic algorithm.	基因演算法	最小化總社會成本
Zu and Sun (2022)	Research on location planning of urban charging stations and battery-swapping stations for electric vehicles.	多目標規劃	最小化建置成本
			最大化用戶滿意度
			最小化電動車前往充電站消耗的電力
Zhang <i>et al.</i> (2023)	A novel normal wiggly hesitant fuzzy multi-criteria group decision making method and its application to electric vehicle charging station location.	多準則決策模型	提出結合前景理論和加權總和乘積評估方法的綜合排名模型

資料來源：本研究整理。

3. 研究方法

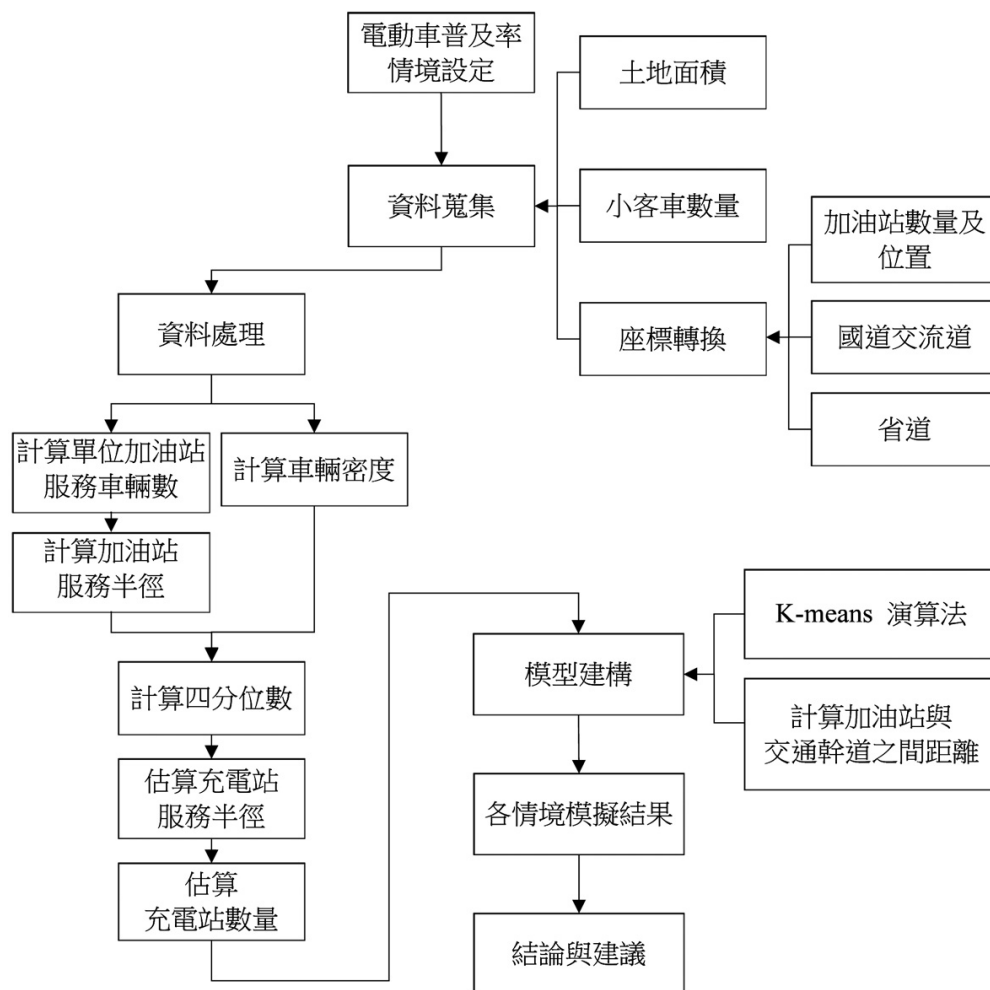
圖1彙整本研究之研究方法架構圖，首先蒐集「加油站提供快速充電考量因素」中權重最高的前三項因素，分別為臺北市內的國道交

流道、省道與小客車數量。另蒐集模型建構時所需資料，如：土地面積、加油站數量與位置，再利用Geocoding將國道交流道和省道的地址及加油站位置皆轉換成座標資料，以進行後續的資料分析。

表2 電動車充電站選址模型之國內文獻

作者	文獻題目	研究方法	研究目標
劉祥宇 (2013)	市區電動公車換電站之 區位選擇研究	混合整數規劃模型	最小化總成本
鄭竹軒 (2017)	高速公路服務區電動充電站 之設址問題探討	數學規劃模型	最小化總充電器數量
陳柔君 (2020)	在點線段空間中最佳化 電動汽車充電站佈署	多目標混合整數規劃	最小化總建置成本 最小化總體燃油車主與 電動車主所減少的利益
黃祺寶 (2020)	台灣中油加油站提供快速 充電服務考量因素之研究	層級分析法	確定關鍵因素之權重
盧宗成、林季萱 與簡佑勳 (2023)	考慮使用者路徑選擇行為之 電動車公共充電設施設址 最佳化模式與演算法	雙層規劃模型	最小化系統總成本

資料來源：本研究整理。



資料來源：本研究整理。

圖1 研究方法架構圖

此外，根據國家發展委員會公布的未來我國電動車普及率目標，分別於2030年、2035年及2040年達成電動小客車普及率7.3%、20.3%及43.2%，故本研究依照此普及率目標分別建立低、中、高三種發展情境，再透過2022年底的小客車數量作為基礎，估算各情境下的電動小客車數量。緊接著計算目前單位加油站所需服務的車輛數，以推估各情境下需要建置快速充電站的加油站數量及該區域的加油站服務半徑。再透過四分位數的計算，將車輛密度及加油站服務半徑切分成五個級距，並根據此區域的車輛密度的高低，重新估算充電站的服務半徑，使得車輛密度位於同一級距的區域，擁有相同的充電站服務半徑，即可根據充電站服務半徑估算出該區域所需的充電站數量。

最後，本研究建構電動車快速充電站最佳選址規劃模型，先將各情境下估算出的充電站數量應用集群分析法中的K-means演算法進行分群，使得充電站可均勻分散，不會僅集中在單一區域。接著以與交通幹道(包含國道交流道及省道)距離最近為目標函數，針對每個群集進行最佳化求解，以確定各情境下的最佳充電站選址分布，以下茲針對這些資料處理過程與模型建構步驟進行說明。

3.1 情境設定

行政院國家發展委員會於2022年3月發布

「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」後，於當年12月進一步宣布「淨零轉型12項關鍵戰略行動與計畫」；其中，「運具電動化及無碳化關鍵戰略行動與計畫」中規劃電動運具的未來發展目標(彙整如表3所示)。

由發展目標顯示，電動小客車市售占比將於2030年與2035年分別達到30%及60%，並於2040年達到100%。在此規劃下，電動小客車普及率將於2030年與2035年分別達到7.3%及20.3%，並於2040年達到43.2% (國家發展委員會，2022)。基此，本研究對應國家發展委員會所規劃的電動小客車普及率目標，分別建立低度發展情境、中度發展情境、高度發展情境三類情境；其中，低度發展情境的電動小客車普及率為7%，中度發展情境的電動小客車普及率為20%，而高度發展情境的電動小客車普及率為43%。此外，本研究之模型建構係以與交通幹道(包含國道交流道及省道)距離最近為目標函數，針對每個群集進行最佳化求解，以確定各情境下的最佳充電站選址分布。然而，並非所有區域皆有國道經過，因此本研究將國道設為主要幹道，省道作為次要幹道，若該區域內無主要幹道經過，則以次要幹道距離最近進行最佳化求解，各情境之參數設定可彙整如表4所示。

3.2 資料蒐集

表3 臺灣電動小客車成長目標

車種	類別	電動運具成長目標		
		2030年	2035年	2040年
電動小客車	市售比	30%	60%	100%
	普及率	7.3%	20.3%	43.2%

註：市售比 = 新車當年登檢領照數／全部當年登檢領照數；普及率 = 公路監理機關車籍登記數／總車輛車籍登記數。

資料來源：(1)國家發展委員會(2022)；(2)本研究整理。

表4 各情境之參數設定

情境	普及率	交通幹道
低度發展情境	7%	主要幹道(國道)
		次要幹道(省道)
中度發展情境	20%	主要幹道(國道)
		次要幹道(省道)
高度發展情境	43%	主要幹道(國道)
		次要幹道(省道)

資料來源：(1)國家發展委員會(2022)；(2)本研究整理。

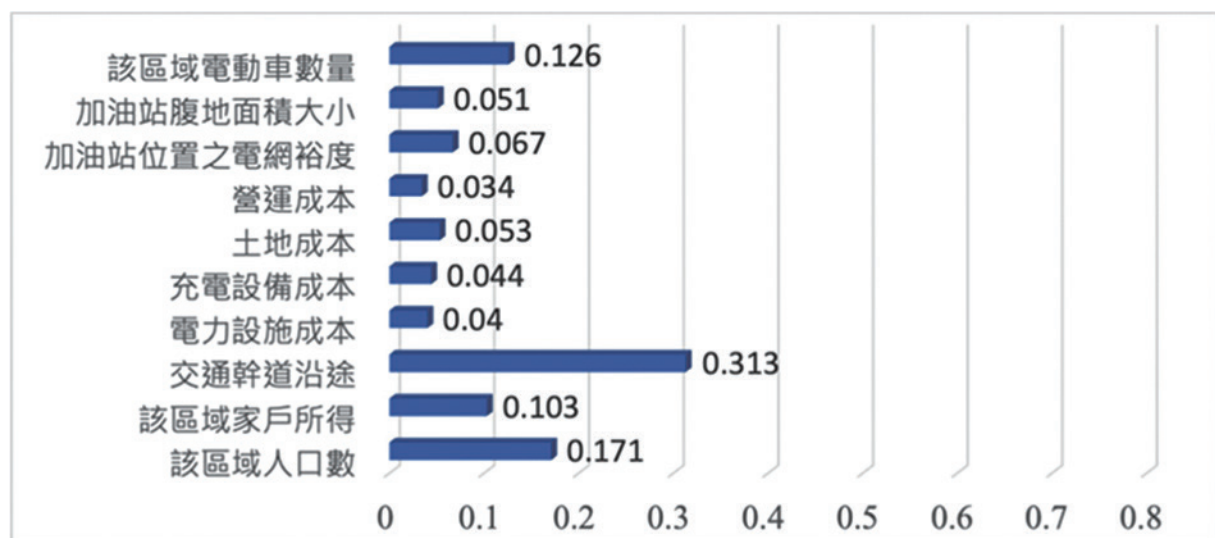
本研究主要參考「台灣中油加油站提供快速充電服務考量因素之研究」(黃祺寶，2020)中「決定加油站建構快速充電站之各構面考量因素權重」(如圖2所示)，權重最高的前三項因素分別是交通幹道沿途、該區域人口數及該區域電動車數量。本研究將因素一「交通幹道沿途」設定為臺北市內的國道交流道及省道，並利用Geocoding轉換為座標資料；因素二「該區域人口數」設定為臺灣人口密度最高的區域，亦即選定臺北市，因素三「該區域電動車數量」設定為臺北市內各區域的小客車數量(包

含：電動車)。

另蒐集模型建構時所需資料，如：土地面積及加油站數量與位置，同樣利用Geocoding將加油站位置轉換為座標資料。以下茲針對臺北市的土地面積、小客車數量及座標轉換分別說明如下：

3.2.1 土地面積及小客車數量

臺北市各區域的土地面積彙整如表5所示。其中，臺北市土地面積約為271.80平方公里。另外，本研究蒐集臺北市各區域截至2022



資料來源：黃祺寶(2020)。

圖2 決定加油站建構快速充電站之各構面考量因素權重

表5 臺北市各區域土地面積及至2022年底之小客車數量

直轄市	區域	土地面積(平方公里)	小客車數量
臺北市	松山區	9.2878	63,576
	信義區	11.2077	54,931
	大安區	11.3614	101,292
	中山區	13.6821	95,919
	中正區	7.6071	42,769
	大同區	5.6815	29,269
	萬華區	8.8522	34,664
	文山區	31.5090	63,163
	南港區	21.8424	32,276
	內湖區	31.5787	99,307
	士林區	62.3682	64,450
	北投區	56.8216	57,951
	總計	271.7997	739,567

資料來源：(1)內政部、交通部；(2)本研究整理。

年底的小客車數量(如表5所示)，以計算不同情境下的電動車數量。

3.2.2 Geocoding地址轉換座標

Geocoding是地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)中常用的功能，可將地址轉換為座標數據，以便在地圖上標示準確的位置。本研究透過Geocoding將加油站位置、國道交流道及省道轉換成座標，再進行後續資料分析。

1. 加油站數量及位置

蒐集完臺北市各區域的加油站資料後，進一步利用Geocoding將這些加油站的位置皆轉換為座標資料。截至2023年4月，臺灣共有2,502間加油站，其中臺北市共有73間。透過每個加油站的地址進行座標轉換，可得到每個加油站的經緯度座標，有助於後續在地圖上標示出各

加油站的位置，及作為集群分析之基礎。

2. 國道交流道

本研究同樣蒐集臺灣各國道交流道的詳細資訊，包含交流道的名稱和所在地區，再透過Geocoding將這些國道交流道的地址轉換為經緯度座標，以便在地圖上標示出相對位置及瞭解各國道交流道的空間分布特徵，如：各加油站與國道交流道間的距離和相對位置，以進行後續之最佳化求解。

3. 省道

在省道資料方面，本研究參考SheetHub所提供的省道地理座標資料。SheetHub是一個資料搜尋、協作、分享、使用的平臺，將臺灣的省道進行分段處理，每1公里顯示一個座標點。此細分方式可在地圖上準確標示出省道每公里的位置，更精確地瞭解臺灣省道的地理特徵和路線情況，以進行後續之最佳化求解。

3.3 資料處理

蒐集完模型所需資料後開始進行資料處理，包含：計算單位加油站服務車輛數及各情境下的加油站服務半徑，並根據各區域的車輛密度，估算該區域的充電站服務半徑和充電站數量，茲分別說明如下：

3.3.1 單位加油站服務車輛數

因本研究旨在探討於現行加油站設置電動車快速充電站，故在估算充電站數量時，須先瞭解該區域的加油站平均服務車輛數，使後續估算充電站數量能符合實際狀況。單位加油站服務車輛數表示在特定區域內，平均每個加油站所需要服務的車輛數目，計算公式如式(1)所示。本研究透過計算單位加油站服務車輛數，進一步推估各情境下的加油站的服務半徑：

$$\text{單位加油站服務車輛數} = \frac{\text{區域小客車數量}}{\text{區域加油站數量}} \quad (1)$$

3.3.2 各情境的加油站服務半徑

為計算每個情境的電動小客車數量，本研究使用2022年底的小客車數量作為基礎，並根據各情境的普及率，推估各情境下的電動小客車數量。在計算單位加油站服務車輛數後，本研究將各區域的單位加油站服務車輛數視為固定值，接著將上述各情境下估算出的電動小客車數量，除以式(1)所計算出的單位加油站服務車輛數，即可得到各情境下所需的加油站數量，計算公式如式(2)所示：

$$\text{加油站數量} = \frac{\text{各情境下的電動小客車數量}}{\text{單位加油站服務車輛數}} \quad (2)$$

確認出各情境下所需的加油站數量後，本研究接著參考「一種電動汽車充電設施建設的

選址方法」之研究(孫勇等，2012)。此文獻提出充電站服務半徑約束條件式，以確定充電站的適當數量，充電站服務半徑約束條件如式(3)所示：

$$N = \left\lceil \frac{S}{\pi r^2} \right\rceil + 1 \quad (3)$$

其中：

N為最少充電站數量；

S為區域總面積；

π 為圓周率；

r為充電站服務半徑；

[]表示取整數。

式(3)係以不同的充電站服務半徑，估算該區域所需的充電站數量。本研究將此概念應用在計算加油站服務半徑，並進一步將公式(3)簡化為公式(4)。不過在式(4)中，本研究將服務半徑(r)視為待估算的參數，利用式(2)所求得之加油站數量，並依據區域的面積(S)，以計算出該區域的加油站服務半徑(r)。

$$N = \frac{S}{\pi r^2} \quad (4)$$

此外，在計算加油站服務半徑時，本研究會將加油站服務半徑為離群值之區域加以排除，以避免離群值影響整體估算結果，使估算結果能更符合實際情況。

3.3.3 車輛密度

依據「台灣中油加油站提供快速充電服務考量因素之研究」建構快速充電站的各構面考量因素權重中，權重第三的考量因素為該區域的電動車數量，此表示電動車數量亦為影響該區域建置充電站的關鍵因素之一。換言之，在電動車數量較多之區域，將存在較高的充電需求；然而，因各區域的土地面積及人口數並不同，因此不能僅以電動車數量的多寡決定該區域的充電站需求。基此，本研究透過計算車輛

密度，以確認各區域的充電站需求，車輛密度公式如式(5)所示，為小客車數量相對於該區域的土地面積的比例，亦即單位土地面積的電動小客車數量，將用於後續充電站服務半徑之估算。

$$\text{車輛密度} = \frac{\text{各情境下的電動小客車數量}}{\text{區域土地面積}} \quad (5)$$

3.3.4 估算充電站服務半徑

前述依據式(4)所計算出的各區域加油站服務半徑，僅考量各情境之電動小客車數量，並未納入各區域之車輛密度，而為更精確的估算出各情境下各區域的充電站服務半徑及充電站數量，本研究將同時考量加油站服務半徑和車輛密度這兩個指標，分別計算此兩指標的四分位數，以進一步估算各情境下各區域的充電站服務半徑，估算步驟說明如下：

首先計算該區域車輛密度及加油站服務半徑的四分位數，並將計算結果以0.5為區間進行無條件進位，再將車輛密度及加油站服務半徑的四分位數分為五個區間，分別為最小值、1%~25%、26%~50%、51%~75%、76%~最大值。接著將加油站服務半徑的四分位數與車輛密度區間的四分位數相對應，此係由於較低的車輛密度表示該區域的單位面積下的電動車數量較少，因此充電站就需要服務更廣泛的區域，故對應的充電站服務半徑較大。依據此原則進行對應，本研究將車輛密度最小值對應到加油站服務半徑的最大值，車輛密度1%~25%對應到加油站服務半徑的75%，車輛密度26%~50%對應到加油站服務半徑的50%，車輛密度51%~75%對應到加油站服務半徑的25%，車輛密度76%~最大值對應到加油站服務半徑的最小值，藉由此對應方式即可估算出該區域的充電站之服務半徑。

此外，針對前述所排除的離群值區域，其充電站的服務半徑則是依據計算出的加油站服務半徑，以0.5為區間進行無條件進位，因此離群值之區域估算出的充電站服務半徑與加油站服務半徑無顯著差異。

3.3.5 估算充電站數量

估算完充電站服務半徑後，本研究再次利用公式(3)的充電站服務半徑約束條件式，進一步計算出各情境下所需的充電站數量。然而當估算出的充電站數量超過現有的加油站數量時，將以目前的加油站數量作為充電站數量，以確保增設的充電站數目不會超過現行加油站數量。

3.4 模型構建

本研究接著建構一個電動車充電站最佳選址規劃模型，模型使用集群分析法中的K-means演算法以達到充電站均勻分散，並以與交通幹道距離最近作為目標函數，針對每個集群進行最佳化求解。

3.4.1 K-means演算法

由於加油站分類屬於非標籤型資料，而K-means演算法為非監督式學習，相當適合應用於非標籤型資料之分群，且求解速度快、分群效果佳，故本研究採用K-means演算法進行分析。而K-means演算法為非階層式的集群分析方法，其進行步驟如下：假設資料分成K群，首先隨機選擇K個點作為群集中心。再根據每個個體到中心點的距離，將每個點分類到離自己最近的中心點所屬的群體中。接著取該群體內所有點的平均值，重新計算每個群體的新中心點。再重複進行上述步驟，直到群體的中心點不再移動為止。

本研究將各情境下所估算出的充電站數量

應用K-means演算法進行分群，採用加油站座標做為分群變數，各區域所估算出充電站數量做為分群數，進行分群的目的在於讓充電站在地理上可均勻分散，不會僅集中設置在單一區塊，進而提高充電設施的服務範圍。

3.4.2 最佳化求解

最後，本研究再從每個分群中進行最佳化求解，分別以主要幹道(國道)或次要幹道(省道)距離最近為目標函數，以確定最佳的充電站配置方案，此方法能夠考慮到加油站與交通幹道間的距離，並確保充電設施便利性，使加油站能提供更便利的充電服務。在計算每個加油站與交通幹道間的距離，本研究係利用Haversine公式(如式(6)所示)，此公式使用正弦函數(sine function)，可準確地計算球面上兩點間的距離。綜言之，本研究採用的最佳化求解為Unconstrained optimization，以主要幹道或次要幹道距離最近為目標函數(Minimize d)，找出距離主要幹道或次要幹道距離最近的充電站，並未考量其他限制條件。

$$d = 2r \arcsin \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \quad (6)$$

其中：

d 為兩點之間的距離；

r 為地球半徑；

ϕ_1 、 ϕ_2 為點1和點2的緯度；

λ_1 、 λ_2 為點1和點2的經度。

4. 結果分析與討論

4.1 各情境分析結果

本研究旨在探討臺北市在不同電動小客車普及率情境下，估算出各區域既有加油站設置

電動車快速充電站的數量，接著再分別以與主要幹道距離最近及與次要幹道距離最近進行最佳化求解。以下茲分別說明臺北市所設置的快速充電站的數量及位置分布。

4.1.1 臺北市各情境需設置之快速充電站數量

依據統計數據顯示，截至2023年4月，臺北市共有73間加油站；在電動車低度發展情境下，臺北市之加油站需設置12座快速充電站，而在中度發展情境與高度發展情境下，分別需設置16座及27座快速充電站，臺北市各區域在各發展情境下需設置之快速充電站數量可彙整如表6所示。

依據表6臺北市加油站在不同情境下的快速充電站建置量結果顯示，在低度發展情境下，由於電動車的普及率較低，因此對快速充電站的需求也相對較少。因此在低度發展情境下，臺北市僅有12座加油站需要建置快速充電站。而隨著電動車發展數量的提升，特別在高度發展情境下，充電需求迅速增加，導致快速充電站建置量亦大幅上升。因此在高度發展情境下，臺北市的快速充電站數量增加至27座。分析結果顯示充電站建置量與電動車普及率存在明顯相關性，隨著電動車的普及，對充電設施的需求亦相對應增加，因此需要適時建置充電站以滿足日益增長的充電需求。

4.1.2 各情境之最佳模擬結果

此外，本研究亦將臺北市各區域於各發展情境下所求出之快速充電站分布之最佳解彙整如表7所示。

4.1.3 各情境下皆為最佳解之加油站

臺北市於低度、中度、高度發展情境下所估算之快速充電站數量分別為12座、16座、27

表6 臺北市各區域於各發展情境下需設置之快速充電站數量

直轄市	區域	加油站數量	需設置之快速充電站數量		
			低度	中度	高度
臺北市	松山區	6	1	1	2
	信義區	2	1	1	2
	大安區	8	1	1	2
	中山區	7	1	2	2
	中正區	3	1	1	2
	大同區	1	1	1	1
	萬華區	4	1	1	1
	文山區	7	1	2	3
	南港區	2	1	1	2
	內湖區	16	1	2	3
	士林區	9	1	2	4
	北投區	8	1	1	3
	總計	73	12	16	27

資料來源：本研究整理。

座，而在三種情境下皆為最佳解之加油站共有3座，分別為中正區林森北路站加油站、大同區民權西路站加油站及信義區忠孝東路站加油站(彙整如表8所示)。由於大同區僅有一座民權西路加油站，因此各情境之最佳解皆為此加油站，若將大同區排除後，中正區林森北路站與信義區忠孝東路站這兩座加油站為臺北市應優先建置快速充電站之加油站。主要由於此兩座加油站的地點皆位於交通要道上，故能提供車主便利的充電服務，以滿足電動車快速充電之需求。

4.1.4 各情境之最佳選址分布結果

本研究同時將臺北市各情境下快速充電站最佳選址的分布情況以視覺化方式加以呈現，彙整如圖3至圖4所示。其中，地圖上呈現之灰

色地標為未興建快速充電站之加油站，紅色、綠色、藍色地標分別為低度、中度、高度發展情境興建快速充電站之加油站。

5. 結論與建議

5.1 結論

因應溫室氣體排放增加所造成的氣候變遷衝擊，全球許多國家已設定淨零排放目標，我國亦於2022年3月公布臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明，制定十二項關鍵戰略以達成2050淨零轉型目標。其中，一項關鍵的戰略為運具電氣化及無碳化，著重於推動運具電動化，預計2030年新售小客車30%為電動車、2035年進一步達到60%，最終目標則為2040年新售小客

表7 臺北市各區域於各發展情境之最佳模擬結果

直轄市	區域	加油站名稱	最佳解(國道)			最佳解(省道)		
			低	中	高	低	中	高
臺北市	中正區	汀州路加油站			Y			Y
	中正區	林森北路站加油站	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	大同區	民權西路站加油站	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	中山區	中崙站加油站				Y	Y	Y
	中山區	陽光建北加油站	Y	Y	Y		Y	Y
	中山區	新生北路站加油站		Y	Y			
	松山區	光復北路站加油站			Y			Y
	松山區	松山機場站加油站	Y	Y	Y			
	松山區	復興北路站加油站				Y	Y	Y
	大安區	陽光市民加油站				Y	Y	Y
	大安區	勝利加油站			Y			
	大安區	信義路站加油站	Y	Y	Y			Y
	萬華區	桂林路站加油站				Y	Y	Y
	萬華區	山隆華中加油站	Y	Y	Y			
	信義區	忠孝東路站加油站	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	信義區	松山路站加油站			Y			Y
	士林區	文林路站加油站			Y			Y
	士林區	全國臺北交流加油站	Y	Y	Y			
	士林區	社子站加油站				Y	Y	Y
	士林區	陽明山站加油站		Y	Y		Y	Y
	士林區	全國洲美加油站			Y			Y
	北投區	北投站加油站				Y	Y	Y
	北投區	中央北路站加油站			Y			Y
	北投區	石牌愛心加油站						Y
	北投區	台亞承德加油站			Y			
	北投區	國泰民安加油站	Y	Y	Y			
	內湖區	西湖站加油站						Y
	內湖區	協記加油站				Y	Y	Y
	內湖區	康寧加油站		Y	Y			
	內湖區	紫陽加油站	Y	Y	Y			
	內湖區	安康站加油站					Y	Y
	內湖區	全國港墘路加油站			Y			
	南港區	全國南港加油站	Y	Y	Y			Y
	南港區	南港站加油站			Y	Y	Y	Y
	文山區	木柵站加油站					Y	Y
	文山區	世新加油站	Y	Y	Y			
	文山區	車容坊辛亥加油站			Y			
	文山區	萬隆站加油站				Y	Y	Y
	文山區	福華加油站						Y
	文山區	政大加油站		Y	Y			

註：Y表示該情境有設置充電站。

資料來源：本研究整理。

表8 臺北市各區域於各發展情境下皆為最佳解之加油站

直轄市	區域	加油站名稱	地址
臺北市	中正區	林森北路站加油站	臺北市中正區林森北路11號
	大同區	民權西路站加油站	臺北市大同區民權西路194號
	信義區	忠孝東路站加油站	臺北市信義區忠孝東路五段69號

資料來源：本研究整理。



圖3 臺北市快速充電站之最佳選址分布(與主要幹道距離最近)

車全面電動化。電動汽車作為替代傳統燃油車的重要選擇之一，其推廣和普及需要充電便利性的支持，若能於現行加油站提供電動車快速充電之服務，不僅可減少設置充電站所需空間，亦可使加油站轉型為提供多種能源服務的場所。基此，本研究以臺北市的加油站作為研究案例，建立了一個電動車快速充電站的最佳選址規劃模型。研究中結合「台灣中油加油站提供快速充電服務考量因素之研究」中「決定加油站建構快速充電站之各構面考量因素權

重」，將我國加油站未來設立快速充電站最主要考量的前三項因素(分別為：交通幹道沿途、該區域人口數及該區域電動車數量)納入最佳選址規劃模型之建構，以評估哪些現行加油站適合優先設置快速充電站，可使快速充電站規劃結果兼顧學術理論與實務應用性。

研究中蒐集了臺北市內各區域的土地面積、小客車數量、加油站數量及位置、國道交流道及省道等資料，並進行座標轉換，接著透過計算單位加油站服務車輛數、加油站服務半

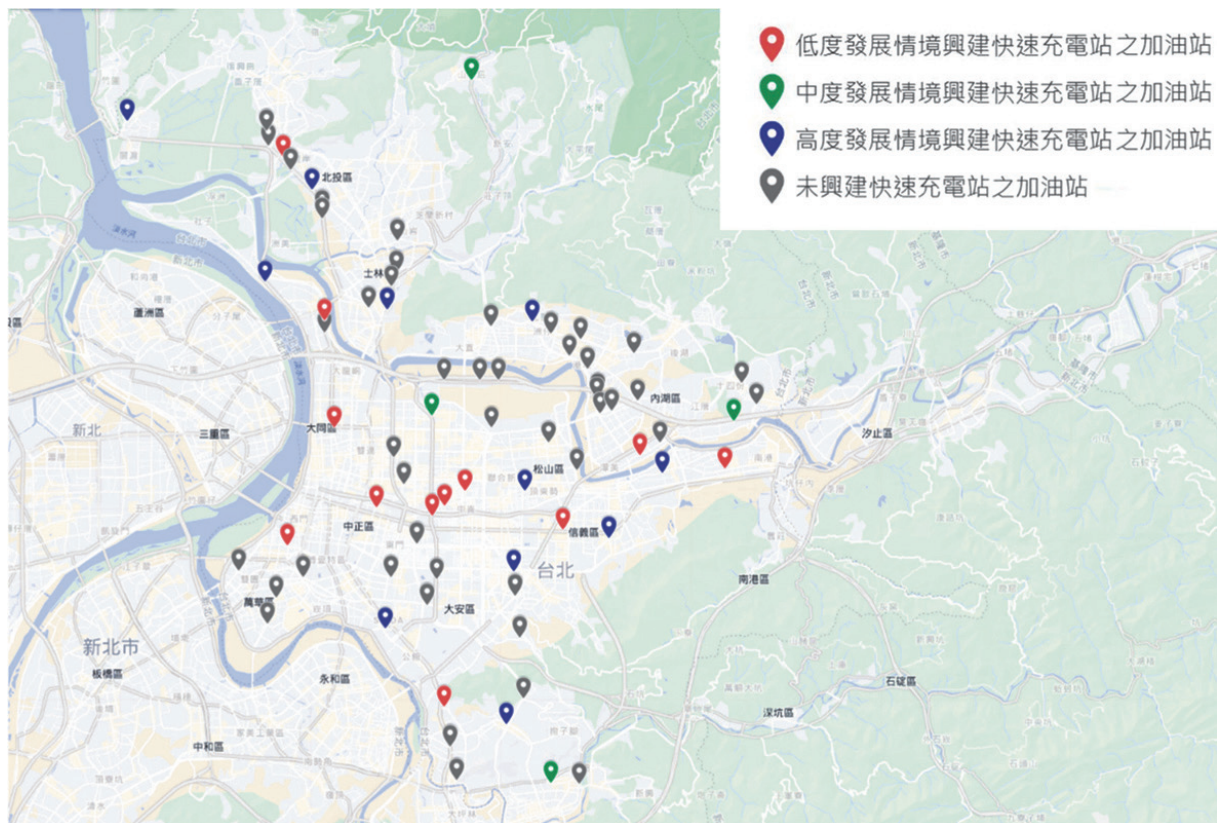


圖4 臺北市快速充電站之最佳選址分布(與次要幹道距離最近)

徑、車輛密度，以估算充電站服務半徑及充電站數量。最後使用K-means演算法進行分群，使充電站能均勻分散，並以與主要幹道距離最近為目標函數，進行最佳化求解，以獲得低度、中度與高度發展情境下所需設置之快速充電站數量及各情境之最佳選址分布結果，這些分析結果有助於臺北市加油站未來進行建置快速充電站之參考，以進一步推動電動車之發展，達成淨零排放目標。主要結論彙整如下：

1. 臺北市於低度發展情境下的總充電站數量為12座、於中度發展情境下的總充電站數量為16座、於高度發展情境下的總充電站數量為27座。顯示充電站建置量與電動車普及率存在明顯相關性，隨著電動車的普及，對充電設施的需求亦相對應增加，因此需要適時建置充電站以滿足日益增長的充電需求。
2. 此外，模擬結果顯示，臺北市在三種情境下皆為最佳解之加油站共有3座，若將區域內

只有1座加油站之區域排除後，其餘2座充電站為臺北市應優先建置快速充電站之加油站，分別為臺北市中正區林森北路站與信義區忠孝東路站，這些加油站的地點皆位於交通要道上，故能提供車主便利的充電服務，以滿足電動車快速充電之需求。

5.2 建議

本研究針對後續研究建議包含下列幾點：

1. 本研究目前僅針對臺北市加油站設置快速充電站進行探討，後續研究可擴展至臺灣其他縣市。
2. 本研究僅考量快速充電站的選址規劃，並未考量慢速充電站，後續研究可納入不同類型的充電站加以規劃。
3. 本研究所建構的充電站最佳選址規劃模型，並未考慮到充電站的建置成本、營運成本、加油站之電力負載及駕駛者感受等因素，後

續研究可視資料之可得性，將這些因素納入模型中考量。

此外，依據本研究的模擬結果提出的政策建議如下所示：

1. 根據模擬結果，電動車高度發展情境下充電需求迅速增加，建議政府加快充電站的建置，可選擇在交通密集的主要幹道和次要幹道上優先建置充電站，以滿足快速增加的電動車充電需求。
2. 為促進充電站建置，政府可與加油站營運商合作，共同推動充電站的建置和營運。
3. 為方便電動車用戶使用充電站，政府可考量建立充電站訊息平臺，提供即時的充電站訊息和導航服務，使用戶能夠輕易的找到距離最近的充電站。

參考文獻

- 孫勇、杜學龍、劉志珍、王建、厲志輝與李建祥，2012。「一種電動汽車充電站選址優化方法」。
- 國家發展委員會，2022。臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明。
- 陳柔君，2020。「在點線段空間中最佳化電動汽車充電站佈署」，碩士論文，國立臺灣大學工業工程學研究所。
- 黃祺寶，2020。「台灣中油加油站提供快速充電服務考量因素之研究」，碩士論文，國立中山大學管理學院高階經營碩士學程在職專班。
- 劉祥宇，2013。「市區電動公車換電站之區位選擇研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學研究所。
- 鄭竹軒，2017。「高速公路服務區電動充電站之設址問題探討」，碩士論文，國立中央大學工業管理研究所。
- 盧宗成、林季萱與簡佑勳，2023。「考慮使用者路徑選擇行為之電動車公共充電設施設址最佳化模式與演算法」，運輸學刊，35(1)，61-91。
- Bao, Z. and C. Xie, 2021. Optimal station locations for en-route charging of electric vehicles in congested intercity networks: A new problem formulation and exact and approximate partitioning algorithms. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 133, 103447.
- Brandstätter, G., M. Kahr and M. Leitner, 2017. Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 104, 17-35.
- Brandstätter, G., M. Leitner and I. Ljubić, 2020. Location of charging stations in electric car sharing systems. *Transportation Science*, 54(5), 1408-1438.
- Chung, S. H. and C. Kwon, 2015. Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 677-687.
- IEA, 2022. Energy Efficiency 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>, License: CC BY 4.0.
- IEA, 2023. Global EV Outlook 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>, License: CC BY 4.0
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and re-lated global greenhouse gas emission pathways, in the

- context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24.
- Li, J., C. Xie and Z. Bao, 2022. Optimal en-route charging station locations for electric vehicles: A new modeling perspective and a comparative evaluation of network-based and metanetwork-based approaches. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 142, 103781.
- Zhang, P., Z. Zhang, D. Gong and X. Cui, 2023. A novel normal wiggly hesitant fuzzy multi-criteria group decision making method and its application to electric vehicle charging station location. *Expert Systems with Applications*, 223, 119876.
- Zhou, G., Z. Zhu and S. Luo, 2022. Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm. *Energy*, 247, 123437.
- Zu, S. and L. Sun, 2022. Research on location planning of urban charging stations and battery-swapping stations for electric vehicles. *Energy Reports*, 8, 508-522.

A Study on Optimal Siting of Electric Vehicle Fast Charging at Existing Gas Stations – A Case Study of Taipei City

Lin-Hui Zeng¹ Yun-Hsun Huang^{2*}

ABSTRACT

Many countries are pursuing net-zero greenhouse gas emissions to reduce the severity and speed of climate change. The International Energy Agency's Energy Efficiency 2022 Report found that the transportation sector accounted for 27% of global energy consumption, with road transportation contributing 75%. Many countries and regions have begun to set targets for banning the sale of internal combustion engine vehicles and vigorously promoting high-efficiency, low-emission electric vehicles (EVs). In March 2022, Taiwan revealed its 2050 net-zero strategy, featuring twelve key targets with an emphasis on EVs. It is intended that by 2030, 30% of all new passenger cars will be EVs, increasing to 60% EVs by 2035, and full electrification by 2040.

The adoption of EVs, however, depends on an accessible charging infrastructure. The installation of fast EV charging at gas stations makes it possible to repurpose existing facilities as multi-purpose energy hubs. This study developed a model by which to optimize the installation of EV fast charging stations based on land area, passenger car density, the location of gas stations, and proximity to highways and major roads in Taipei city. The proposed system calculates the number of vehicles served by a given station as well as the coverage radius and vehicle density to estimate the number and reach of charging stations. The K-means algorithm was used to ensure a balanced distribution of charging stations in various scenarios, prioritizing proximity to major roads. The clustering of facilities underwent further optimization to achieve a rational distribution, i.e., minimizing the distance to major transportation arteries.

The simulation results were analyzed in terms of the number of fast charging stations required for each scenario (slow, moderate, and rapid development) and optimal distribution of these stations. Our results could serve as valuable references for the establishment of fast charging stations at existing gas stations to promote the adoption of EVs for net-zero emissions in Taipei City.

Keywords: Net-zero emissions, Electric vehicles, Charging station site selection, K-means algorithm.

¹ Master's graduates, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University.

² Assistant professor, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University.

*Corresponding Author, Phone: +886-6-2757575#62825, E-mail: z10808014@email.ncku.edu.tw

Received Date: August 31, 2023

Revised Date: October 17, 2023

Accepted Date: October 27, 2023