

臺灣電動車輛均化充電成本評估 與敏感度分析

ASSESSMENT AND SENSITIVITY ANALYSIS OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING COSTS IN TAIWAN: A LEVELIZED COST MODEL APPROACH

譚竣文 Chon Man Tam¹

謝依芸 I-Yun Lisa Hsieh²

(112年6月14日收稿，112年8月28日第一次修正，112年11月9日第二次修正，
113年3月8日接受)

摘要

臺灣政府訂立了 2050 年淨零排放目標，其中交通部門被視為關鍵領域。達成此目標的重要策略之一是推動電動車輛的普及。然而，在推廣電動車輛的過程中，了解其成本是至關重要的。過去的研究主要集中在比較電動車輛與傳統燃油車的總擁有成本，考慮了購買成本和後續運營成本，但在計算燃料成本時，通常僅考慮單一的電價費率作為充電成本。然而，充電成本實際上受到多個因素的影響，包括充電地點、時段、車輛使用情況、充電功率和充電設備購置與安裝成本等。為了全面地評估臺灣目前的電動車輛充電成本，本研究採用均化充電模型 (Levelized Cost of Charging)，考慮了不同充電場所 (住宅、辦公大樓和公共充電)，並納入不同的電價方案 (累計電價、時間電價)、充電時段 (尖峰、離峰) 和車輛行駛里程等關鍵因素。結果指出，在「電動車專用電價方案」下，在離峰時段進行充電能顯著減少充電成本，特別是對公共充電運營商而言。研究同時發現，由於居民的車輛使用習慣和行駛里程在不同縣市間有顯著差異，這些

-
1. 國立臺灣大學土木工程學系碩士。
 2. 國立臺灣大學土木工程學系副教授 (聯絡地址：10617 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號，電話：(02) 3366-4259，E-mail: iyhsieh@ntu.edu.tw)。

差異導致住宅充電成本在各地區間存在不均等現象。另外，辦公大樓和社區大樓是均化充電成本最低和最高的場所。進一步的敏感度分析顯示，在住宅場所中，行駛里程是影響均化成本的關鍵因素；而對於辦公大樓和公共充電站而言，充電時間是最重要的影響因素。此外，提高充電樁的使用率可以顯著降低均化充電成本。目前，辦公大樓和公共場所的均化充電成本已足以與傳統燃油車的燃料成本相互競爭。當使用率高於 5.20% 至 7.95% 時，辦公大樓和公共場所的電動車每單位公里能量成本將低於臺灣歷史最低的燃油車燃料成本。本研究的發現提供政策制定者具學術與實務價值的參考依據，有助於推動電動車輛的發展和普及化。

關鍵詞： 電動車、充電成本、均化成本、時間電價、電動車專用電價、敏感度分析

ABSTRACT

This study examines the cost implications of electric vehicles (EVs) in Taiwan, with a focus on promoting their widespread adoption to achieve the government's 2050 net-zero emissions target. Previous research has primarily compared the total ownership costs of EVs and conventional fuel vehicles, considering purchase and operational expenses. However, such studies often simplify charging costs by using a single electricity price rate. In reality, charging costs are influenced by various factors, including location, charging time, vehicle usage patterns, charging power, and equipment-related expenses. To comprehensively assess the current charging costs in Taiwan, this research employs a Levelized Cost of Charging (LCOC) model. The analysis considers different charging sites (residential, workplace, and public charging), electricity pricing schemes (stepwise power tariff, time-of-use tariffs), charging times (peak and off-peak), and vehicle driving distances. The results indicate that utilizing the "Electric Vehicle Special Utility Rate" during off-peak hours can significantly reduce levelized charging costs, which is especially advantageous for operators of public charging facilities. The study also uncovers substantial regional disparities in residential charging costs across different counties and cities, attributed to the considerable differences in residents' vehicle usage patterns and driving distances. Workplace and community (residential) charging sites exhibit the lowest and highest LCOC, respectively. Sensitivity analysis highlights driving distance as a key cost factor for residential charging, while charging time significantly impacts workplace and public charging costs. Moreover, increasing the utilization rate of charging infrastructure substantially lowers LCOC. Currently, the LCOC for workplace and public charging sites is competitive with the fuel costs of conventional gasoline vehicles. Notably, when the utilization rate exceeds 5.20% to 7.95%, the per-kilometer energy replenishment cost of EVs in workplace and public settings becomes lower than the historically lowest fuel costs of gasoline vehicles in Taiwan. These findings

offer valuable academic and practical insights for policymakers to support the development and widespread adoption of EVs, aligning with Taiwan's emission reduction goals.

Key Words: *Electric vehicle ; Charging cost ; Levelized cost ; Time-of-use tariffs ; Electric vehicle charging infrastructure rate ; Sensitivity analysis*

一、前言

各國政府因應全球氣候變遷，紛紛開始制定減碳政策，以應對氣候變化對環境和經濟的影響。臺灣政府也制定了 2050 淨零排放路徑的減碳目標，其中交通部門被視為淨零排放目標的重點領域之一。根據 2020 年的統計，臺灣交通部門的溫室氣體排放量佔臺灣總排放量的 14.17%，為第二大碳排佔比(行政院環境保護署^[1])。因此，降低交通運輸的碳排放量對實現 2050 淨零排放路徑目標至關重要。為達成淨零排放計畫，交通運輸轉型是必須且急迫的；其中，交通運具電氣化被認為是實現目標的重要途徑。

電動運具在行駛過程中不排放任何溫室氣體，可減少環境污染並提升空氣品質，因此其普及化已被視為永續淨零發展不可忽略的重要一環。然而，儘管消費者知道電動運具對環境永續有正向影響，但消費者主要因成本考量才會選擇將傳統燃油運具汰換成電動運具。因此，了解電動運具成本是實現交通部門完全電氣化願景中十分重要。過去的國際文獻中，許多學者研究比較電動化與傳統運具的總擁有成本 (Total Cost Ownership, TCO)；總擁有成本是指擁有車輛的生命週期裡所需要的總成本，包括車輛購買成本，生命週期的燃油或充電成本、維修成本以及折舊成本等。Ouyang et al.^[2] 提出一個全面的 TCO 模型，綜合考慮了電動汽車的內部及外部成本。在假設 2023 年後政府終止補貼政策，並基於消費者特性的前提下，研究評估並預測了從 2020 年至 2030 年，中國各種大小的傳統燃油汽車 (Internal Combustion Engine Vehicle, ICEV)、插電式油電動車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) 和純電動車 (Battery Electric Vehicle, BEV) 的 5 年與 10 年總擁有成本。研究結果表明，在 2025 年之前，小型純電動汽車的 TCO 將與傳統燃油汽車相似，而中大型純電動汽車的 TCO 預計將在 2030 年達到此一水平。儘管在 2023 年取消補貼政策後，部分純電動汽車在 2030 年之前的 TCO 可能仍與傳統燃油汽車相當或更低。研究最後指出，當前的財政激勵政策在推動汽車電動化進程中扮演了關鍵角色。Liu et al.^[3] 比較電動車與內燃車的 TCO，發現純電動車需擁有較高的購買成本，但其較低的維修與燃料成本可讓 TCO 在 5 年內與傳統燃油汽車相同；若純電動車的行駛里程較短，則需要 8 年才會與傳統燃油汽車的 TCO 達到平衡。Chien et al.^[4] 站在生命週期的角度上，綜合評估了臺灣 156 款機車在成本和碳排放方面的權衡；與燃油機車相比，低碳排放的電動機車擁有更高的總擁有成本，但不一定會有更昂貴的初期購買成本；他們的結果表明所有七期排放標準的燃油機車都能滿足臺灣 2030 年的減碳目標，提供了從傳統化石燃料向電動化轉型的低成本

途徑。這些研究結果都表明，在生命週期總擁有成本面向上，電動運具已接近傳統燃油運具，甚至在某些條件下更具有經濟優勢。

充電成本通常是電動汽車 TCO 中，除了車輛購置價格之外，排名第一至第三的主要開銷 (國際潔淨運輸理事會^[5], Palmer et al.^[6])。然而，前述研究在計算電動運具總擁有成本的生命週期總充電成本時，僅採用單一電費率來估算，並未考慮到可能影響電動運具充電成本的多種因素。Ouyang et al.^[2] 的研究對於充電成本的假設是以中國主要城市 (北京、上海、廣州等) 的工業和居民電價及服務費計算得出的，並沒有考慮充電設備成本等因素；Liu et al.^[3] 研究美國市場的電動車 TCO 中，僅簡單假設 0.1\$/kWh 作為充電成本，雖然他們在 TCO 計算中有考慮家用充電設備成本，但並沒有考慮到電動車在除了住宅外之場所的充電成本。更多的既有文獻 (Palmer et al.^[6], Parker et al.^[7], Lee and Clark^[8]) 亦是只考慮單一場所的單一電價並假設之為充電成本。

過去的文獻裡，即使已經對充電設備成本的經濟性進行了研究，但亦無法完全表達實際的充電成本。Funke et al.^[9] 的研究旨在解決德國商業車輛市場中有限電池續航里程和公共快速充電基礎設施可用性的經濟成本效益方法。該研究通過等值年度成本分析計算德國商業車輛的總擁有成本，發現快速充電基礎設施非常具有經濟成本效益，能在較低的基礎設施密度下實現高比例的電動商業車。Hsieh et al.^[10] 研究了中國計程車的電動化經濟性，考慮了不同營運類型的計程車，且包括充電型和換電型兩種電動車；在計算中，他們納入了不同充電策略以及不同類型充電設備的成本。然而，這些研究僅以車輛總擁有成本的角度納入充電設備，並未捕捉其他可能影響充電成本的因素，例如不同充電場所、充電時間的影響。除此之外，Nicholas^[11] 則詳細統計了美國住宅、辦公場所和公共場所的各種充電設備的購置、安裝和維修成本。他們假設不同充電需求情境，計算了不同類型的充電設備在滿足美國總體充電需求下的總成本。儘管他們詳盡評估了各場所和類型的充電設備總擁有成本，但並未考慮不同地方的零售電價之差異，也未將其轉化為可以與傳統汽車燃料成本進行比較的單位成本。總體而言，過去的研究雖然在車輛擁有成本和充電設備成本方面進行了探討，但未能全面性地評估消費者的充電成本，尤其是忽略了充電地點和時間對充電成本造成的影響。

針對此無法有效分析充電成本以及簡化假設造成的成本計算結果不準確之問題，Borlaug et al.^[12] 首次提出考慮多項因素的電動汽車充電成本計算模型，並提出了均化充電成本 (Levelized Cost of Charging, LCOC) 之概念，指出充電成本不僅取決於電價，還需要考慮充電地點 (住宅、工作場所和公共場所)、電價方案 (電動車計價方案和低壓時間電價)、充電時段 (尖峰和離峰電價) 以及充電設備類型 (例如一級、二級和直流快充)。他們計算美國不同州的均化充電成本，並詳細評估各因素對充電成本的影響；結果顯示，若充電成本僅用單一電費並不考慮上述因素，以住宅為例，充電成本會被低估 45.2%，偏離真實的充電成本。另外，Lanz et al.^[13] 基於 Borlaug 所提出的均化充電成本計算模型進一步擴充與改善，額外考慮了充電樁效率和充電交易成本的因素，並研究不同歐洲國家的 LCOC；除了考慮不同場所和不同充電設備的選項，也提出充電設備使用率對 LCOC 的影響評估方

法。他們的研究結果顯示，歐洲充電設備的使用率只要達到 5~10%，充電價格便已經低於歐洲歷史平均傳統汽車的燃油成本。對於各國運輸部門的淨零轉型，符合在地情況的電動汽車總擁有成本或是充電成本是至關重要的。截至目前，針對臺灣電動汽車的總擁有成本或充電成本的相關研究方面尚為非常缺乏；在面臨國際淨零轉型的浪潮下，是有其需要與急迫性的。充電成本是電動汽車總擁有成本的基礎部分，因此需要先對臺灣的電動車充電成本進行全面評估，並針對重要參數進行敏感度分析，以更準確了解消費者的實際總擁有成本與不確定性，進而協助中央與縣市政府制定相應的政策，促進電動運具的普及。

對於臺灣政府而言，推動電動車市場發展一直是國家達成淨零目標的主要手段之一。自中華民國 101 年 1 月 6 日起開始推出了電動車免稅政策(全國法規資料庫^[14])，以降低民眾購買電動車的成門檻，支持電動車市場的持續成長。除了政府提供的免、減稅政策，台灣電力公司(以下稱：台電)也公佈「電動車專屬時間電價」，供電動車用戶或充電營運業者申請(台灣電力公司^[15])。這項電價方案具有高尖離峰價差與離峰時間長的特色，有望借此引導電動車於避開電網尖峰時段充電，強化整合電動車與電網管理；此外，這項電價方案所繳交的基本費用較傳統電價方案為低，可降低電動車用戶或充電營運業者的負擔，以鼓勵充電設備在全國的建設。不同的充電場所可申請的電價方案都不盡相同，電動車專屬電價方案並不一定適用所有的充電用戶，但目前的文獻中，並沒有對不同的電價方案作比較。因此，針對「電動車專屬時間電價」和其他電價方案如何影響充電成本的差異性研究有其必要性，以協助充電用戶及營運業者清楚明瞭何種電價方案對自身情況更合適。

綜上所述，本研究將針對臺灣各縣市的四輪電動車充電成本進行系統性地評估，透過收集各項成本相關的變數，包括行駛里程、充電時間、設備和安裝成本等，計算臺灣電動車用戶在不同地點和不同充電時間(電價方案)下的均化充電成本。本研究結果具有重要的啟示和應用價值，對國家電動車充電策略的發展和電動車的普及化作出貢獻：首先，本研究發現對往後臺灣電動運具總擁有成本提供重要的參考價值，補足過去文獻中常使用單一充電費率之不足。其次，本研究成果能讓政策制定者了解當前各縣市的均化充電成本與電價方案之有效性，以更好制定未來充電相關的政策激勵策略。最後，本研究也能讓民眾了解真實的充電成本與不同條件(充電場所與電價方案)下的成本差異，協助做出更適合自己的充電策略。

二、研究方法

均化充電成本是指充電設備生命週期內提供電能的成本以及零售電價的每單位充電成本，考慮多項電動車用戶因素(如車輛使用強度與電動車耗能等)以及不同場所不同設備的各項成本，首次為 Borlaug et al.^[12] 提出(式(1))；本研究站在四輪電動車用戶的角度出發，蒐集臺灣四輪電動車的車輛年行駛里程與電動車耗能等因素，分別研究住宅、辦公大

樓及公共充電站等場所，並收集各場所充電設備之購置成本、維修成本以及零售電價，再運用 Lanz et al.^[13] 所提出的均化充電成本模型 (式(3)) 評估當前臺灣四輪電動車用戶在各場所的均化充電成本，最後將透過敏感度分析深入研究各因素對於均化成本的影響，並且把均化充電成本與傳統燃油汽車的燃料成本作比較，提供一個全面的充電成本評估。

2.1 均化充電成本模型

Borlaug et al.^[12] 首次提出一個考量充電設備購置與安裝成本、生命週期維修成本、零售電價以及充電樁的生命週期總提供電量的均化充電成本模型 (LCOC; NTD/kWh) 如式 (1) 所示：

$$LCOC = \frac{C_{\text{capital}} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{O\&M,i}}{(1+dr)^i}}{E_{\text{life}}} + C_{\text{el}} \quad (1)$$

其中， C_{capital} 為充電樁的購置與安裝成本 (Capital cost)； $C_{O\&M,i}$ 為 i 年的營運與維護成本 (Operating and Maintenance cost)； C_{el} 為零售電價 (Electricity cost)， E_{life} 為充電樁生命週期總提供電量 (Energy throughput)； dr 為折舊率 (Discount rate)， N 為充電樁的使用壽命。此模型能夠計算出住宅、辦公大樓及公共場所的均化充電成本，並根據電動車在不同場所的充電習慣 (即充電比率, Charging Mix) 進行加權平均，計算出綜合的均化充電成本 ($LCOC_{\text{comb}}$; NTD/kWh)，如式 (2) 所示。這個模型突破了過去僅能討論單一場所充電成本的限制，並且納入了零售電價等關鍵因素。

$$LCOC_{\text{comb}} = \sum_s CM_s \times LCOC_s \quad (2)$$

其中， CM_s 是在 S 場所的生命週期充電比率 (Charging Mix)， $LCOC_s$ 是在 S 場所的均化充電成本；當中 S 包括住宅 (Res)、辦公大樓 (Work)、公共場所 (Pub)。

然而，Borlaug 的模型 (式(1)) 仍存在一些局限性：首先，電動汽車的充電效率和消費者在支付充電費用時產生的交易成本並未被納入。其次，模型計算充電樁生命週期總提供電量 (E_{life}) 時並未考慮時間價值性。為此，Lanz et al.^[13] 基於 Borlaug 的模型，建構一更全面且更為合理的均化充電模型，如式 (3) 所示；除了納入了包括充電樁效率和交易成本的因素之外，在分母計算當中更將每年所提供的電量進行折現，這是原自於均化能量模型 (Levelized cost of energy, LCOE) 中的公式推導^[16]，使評估出的均化充電成本更具代表性。

$$LCOC_s = \left(\frac{C_{\text{capital},s} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{O\&M,s,i}}{(1+dr)^i}}{\sum_{i=1}^N \frac{E_{i,s}}{(1+dr)^i}} + \frac{C_{\text{el},s}}{\eta} \right) \times (1 + TF_s) \quad (3)$$

其中， $LCOC_s$ 為不同場所 S 的均化充電成本； $C_{capital,s}$ 為充電樁在場所 S 的購置與安裝成本 (Capital cost)； $C_{O\&M,S,i}$ 為在場所 S 、 i 年的營運與維護成本 (Operating and Maintenance cost)； $C_{el,S}$ 為在場所 S 的零售電價 (Electricity cost)， dr 為折舊率 (Discount rate)； S 為充電場所 (Site)，包含住宅 (Residential)、辦公大樓 (Workplace) 及公共充電 (Public)； η 為充電設備的充電效率； N 為充電樁的使用壽命。 $E_{i,s}$ 為充電樁在場所 S 第 i 年所提供電量 (Energy throughput)； TF_s 為充電站交易費用，指電動汽車充電完成後透過信用卡或其他金融平台交易時，金融公司向營運商收取的一筆費用，為基於支付金額的某一百分比。

綜上所述，本研究將參考 Borlaug et al.^[12] 的研究框架，以電動車用戶劃分住宅、辦公大樓與公共場所，並收集各場所的充電設備類型與成本、零售電價等資料，透過 Lanz et al.^[13] 的模型 (式(3)) 分別計算出各場所的均化充電成本，並且分析各因素對於充電成本之影響。

2.2 電價方案

零售電價為電動車最主要的充電成本項，因此是有必要先瞭解不同的電價方案，尋找出適合自身的用電方案。台電制定多個電價方案以切合不同住商用電需求，主要分別為「非時間電價」與「時間電價」，以下為主要的電價方案說明 (詳細內容可參考台灣電力公司^[17])。

2.2.1 非時間電價

非時間電價亦稱「累計電價」，是普遍住宅所使用的電價方案，臺灣目前有 98% 以上的用戶都使用累計電價 (呂國璋^[18])。累計電價是指一種用電價格隨用電量增加而逐漸上升的計價方式，住戶的用電量分為不同的級距，每個級距對應一個電價。在這種計價方式下，用戶使用越多電，其支付的電價就越高。本文研究將以各縣市的住宅用電量推算縣市級家庭平均電價，以此分析住宅的均化充電成本 (詳細計算請看附錄 1)。

2.2.2 簡易二段式時間電價

簡易二段式時間電價 (以下稱：簡易電價) 是適合月用電量在 800 度~4,400 度之間的住商用戶 (台灣電力公司^[17])；時間電價指電價根據用電時間不同而變化。通常，電力負載高峰時段的電價會較高，而低峰時段的電價則較低。簡易電價的尖峰與離峰的電價差為 2.54 倍；夏月與非夏月之平均尖峰電價為 4.3NTD/kWh，離峰電價為 1.75NTD/kWh。因此，選擇在離峰充電可有效降低用電成本。此外，此方案的用戶另需每月繳交 75NTD 為基礎電費，離尖峰時間比率 (以下稱：離尖比率) 為 9:15，分別為 22:30 至 07:30，以及 07:30 至 22:30。

2.2.3 標準二段式時間電價

標準二段式時間電價 (以下稱：標準電價) 是適合用電量超過 4,400 度的住商用戶 (台灣電力公司^[17])。與簡易型相同，標準型也是以不同用電時間有不同的用電價格，同樣是

以 9:15 的離尖比率；與簡易電價不同之處，它的平均尖峰電價為 3.36NTD/kWh，離峰電價為 1.41NTD/kWh，增設週六半尖峰的時間段，其電價為 2.087NTD/kWh。另外，需繳交基礎電費每月 262.5NTD 及根據用戶所申請功率容量 (以瓩為單位) 收取經常契約費用，為 194.2 NTD/kW。

2.2.4 高壓二段式時間電價

高壓二段式時間電價 (以下稱：高壓電價) 適合契約容量在 100 瓩以上的商業用戶。與上述時間電價方案同樣是以 9:15 的離尖峰時間比率；至於它的平均尖峰電價為 3.21NTD/kWh，離峰電價為 1.34NTD/kWh，週六半尖峰的時間段電價為 1.90NTD/kWh；每月亦需繳交經常契約費，為 189.1 NTD/kW。

2.2.5 電動車專屬時間電價

電動車專屬時間電價 (以下稱：專用電價) 盼透過拉高尖離峰價差，引導充電用戶避開尖峰時段進行充電。此平均尖峰電價為 8.20 NTD/kWh，離峰電價為 1.98NTD/kWh，每月基本電費除固定按戶每月計收 262.5 元，另經常契約平均每瓩每月收 38.8NTD/kWh。離尖比率與上述所有的時間電價方案不同，其為 18:6，分別為 22:00 至 16:00，以及 16:00 至 22:00。用電價方案大大提升每天離峰時間段的佔比，以鼓勵各民眾與營運業者布建充電設備。

2.3 各場所之均化充電成本假設

本章節將詳細說明以 Lanz et al.^[13] 所提出的均化充電模型 (如式(3)所示) 下的住宅、辦公大樓及公共充電站的成本參數的假設。以下是不同場所中都有適用參數假設； $C_{O\&M,S,i}$ 場所 S、i 年的營運與維護成本) 是包含電價方案的基礎電費部分與年維護部分，並假設為購置安裝成本的 1%； dr 為折舊率 (Discount rate) 假設為 6% (Chien et al.^[4])；由於各類文獻當中缺乏對充電樁的使用壽命(N)的研究，因此本研究以 Borlaug 等人^[12] 中的 15 年作為 N 的假設。表 1 詳細列出本研究中計算所需的主要參數。

2.3.1 住宅充電

住宅充電是為電動用戶最方便的充電方式，當車主擁有自家充電樁時，便可隨時在自家地方充電。本文在住宅充電的 $LCOC_{res}$ 的研究裡，以獨棟公寓與社區大樓分別作探討。本文對獨棟公寓之定義為低矮連棟住宅和透天房屋，它們大多沒有公共設施，如游泳池、健身房和大型停車等，且通常沒有成立管委會 (黃芸媚^[19])；另外，社區大樓為多位住戶共同生活及能安裝多個充電樁的集合式公寓，並有管理委員統一管理停車場內的所有建設。住宅 $LCOC_{res}$ 是透過式 (3) 計算，其充電樁第 i 年的提供電量 ($E_{i,res}$) 可透過式 (4) 作計算：

$$E_{i,res} = VKT \times FCR \times CM_{res} \quad (4)$$

表 1 各項參數之假設與資料來源

模型參數	值				資料來源
折舊率 (%)	6% (2%~10%)				Chien et al. ^[4]
電動車能耗 (kWh/100km)	15.59				附錄表A2
充電樁生命週期 (年)	15				Borlaug et al. ^[12]
住宅充電 (Res)					
家用充電比率	80%				Ou et al. ^[20]
充電樁購置安裝成本 (7kW) (NTD)	獨棟		社區大樓		台灣電力公司 ^[15] 、 DDCAR ^[21]
	100,000		90,000		
維護成本 (NTD/yr)	1%的購置安裝成本				Borlaug et al. ^[12]
年行駛里程 (km)	縣市平均				附錄表 A1
電價方案	獨棟		社區大樓		台灣電力公司 ^[15]
	簡易二段	累計	電車專用	低壓二段	
充電樁效率 (%)	92				Channewowda et al. ^[22]
交易成本 (%)	0				Lanz et al. ^[13]
辦公充電 (Work)					
充電樁購置安裝成本 (NTD)	90,000				台灣電力公司 ^[15] 、 DDCAR ^[21]
維護成本 (NTD/yr)	1%的購置安裝成本				Borlaug et al. ^[12]
每天使用時數 (hr)	4.5				
電價方案	電車專用		低壓二段		台灣電力公司 ^[15]
充電樁效率 (%)	92				Channewowda et al. ^[22]
交易成本 (%)	0				Lanz et al. ^[13]
公共充電 (Pub)					
充電樁購置安裝成本(NTD)	3,000,000				台灣科技媒體中心 ^[23]
營運維護成本(NTD/yr)	1%的購置安裝成本				Borlaug et al. ^[12]
負債比	0.5				
年利率 (%)	6				
債期 (年)	15				
每天充電樁能量輸出 (kWh/dy)	133				
電價方案	電車專用	高壓二段			台灣電力公司 ^[15]
充電樁效率 (%)	93.1				Lanz et al. ^[13] 、 Channewowda et al. ^[22]
交易成本 (%)	2.5%				行銷小學堂 ^[25]
汽油車					
臺灣燃油汽車平均油耗 (L/100 km)	9.90				經濟部能源局 ^[26]
歷史平均油價 (NTD/L)	27.00				附錄表 A6

其中，VKT 是車輛年行駛里程 (Vehicle kilometer traveled) (附錄表 A1)；FCR 是電動車

電耗率 (Fuel consumption rate)，為取 2022 年臺灣前 15 名暢銷的電動汽車款之加權平均 (附錄表 A2)； CM_{res} 是車輛生命週期於住宅充電時間的比率，假設此比例為 80% (Ou et al. [20])。

大部份車主想擁有較 Level 1 (3 kW) 快速的充電速率，故多會在住家選擇安裝功率為 Level 2 (7kW) 之充電樁。對於獨棟公寓，在電錶拉線的部分相較簡單，普遍做法為把線路拉至原本的居家電錶，且安裝充電樁與電錶拉線費用都需要獨自承擔，讓其購置安裝成本 $C_{capital,res}$ 較高；本研究假設為 100,000 NTD (台灣電力公司 [15], DDCAR [21])；至於電價方案，由於上述所提及充電樁線路接著自家電錶，故須分別評估累計電價與簡易電價下的 $LCOC_{res}$ ，零售電價 ($C_{el,s}$) 即為電價方案的尖峰與離峰價格。另外，對於社區大樓，集合式停車場需要規劃電路分佈，個別安裝新的專用電錶，以防止社區大樓的電力超載；但因為社區大樓的用戶較多，電錶拉線與安裝充電樁的成本可以平均攤分，讓前期的購置與安裝成本較低；本研究假設為 95,000 NTD (台灣電力公司 [15], DDCAR [21])；根據台電指引，社區大樓是適合「標準二段式時間電價」和「電動車專屬時間電價」，因此本研究以此兩方案作為住宅社區大樓的零售電價 ($C_{el,s}$) 計算之基礎；充電效率 (η) 以 Level 2 的充電樁作假設為 92% (Channegowda et al. [22])；住宅充電通常都不會有款付的動作，所以 TF_{res} 假設為零。

2.3.2 辦公大樓充電

隨著政府積極鼓勵私營企業和各大校園安裝 Level 2 充電樁，員工將有更多機會在辦公地方為自己的電動車充電。本研究使用式 (1) 計算辦公場所的 $LCOC_{wor}$ ；辦公大樓充電的購置安裝成本 ($C_{capital,wor}$) 與社區大樓的 Level 2 購置安裝成本相同為 95,000NTD，因為商業大樓的停車場管理大多與社區大樓相近，即可多用戶共同均攤前期的建設充電樁成本；其充電樁年提供電量 ($E_{i,wor}$) 是以式 (5) 所計算：

$$E_{i,wor} = E_{daily} \times D \quad (5)$$

其中， E_{daily} 為充電樁每天提供的電量，以 7kW 充電樁使用 4.5 小時作估算 (Borlaug et al. [12])； D 為充電樁年使用天數，假設為 261 天；辦公大樓的零售電價 ($C_{el,s}$) 為電價方案上的尖峰與離峰的零售電價，電價方案以標準電價和專用電價為辦公樓的充電情景。充電效率 (η) 同樣假設為 92% (Channegowda et al. [22])。辦公大樓充電通常也不用款付，因此 TF_{res} 假設為零。

2.3.3 公共直流充電

對於沒有住宅充電樁的電動車用戶而言，公共充電是至關重要。目前，公共充電通常使用 Level 2 或直流 (Direct Current; DC) 快速充電，因辦公大樓充電與公共充電安裝 Level 2 充電設備的情況相近，故本研究在分析公共充電 ($LCOC_{pub}$) 時只針對直流充電設備作分析。本研究將以站在營運商的角度，假設其商業模式達生命週期收支平衡 (Break-even price) 的均化成本視為電動車用戶的均化充電成本 (Borlaug et al. [12])，並以 100kW 直流

公共充電樁作假設，以式 (6) 計算 $LCOC_{pub}$ ：

$$LCOC_{pub} = \left(\frac{C_{capital, pub} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{O\&M, pub, i+I_i}}{(1+dr)^i} + \frac{C_{el, pub}}{\eta}}{\sum_{i=1}^N \frac{E_{i, pub}}{(1+dr)^i}} \right) \times (1 + TF_{pub}) \quad (6)$$

當中購置安裝成本 ($C_{capital, pub}$) 為 3,000,000NTD (台灣科技媒體中心 [23])；大多營運公共充電樁之服務商是以借貸的方式開始營運，因此 $LCOC_{pub}$ 上會多考慮借貸成本， I_i 為年借貸成本，假設融資負債比率為 50%，即 $C_{capital, pub}$ 的 50% 以借貸方法獲得，年利率為 6% (Borlaug et al. [12])，以此計算出 15 年內的借貸成本 (I)；第 i 年提供電量 ($E_{i, pub}$) 以式 (5) 所計算， E_{daily} 為 133kWh (自由時報電子報 [24])，年使用天數 D 假設為 365 天；電價方案的選擇上，因直流充電樁一般都是高功率設備，因此選擇高壓電價和專用電價作分析是最為合適的。充電樁裡的變壓器會影響流電樁效率，假設變壓器的效率為 98% (Lanz et al. [13])，而直流充電樁的效率為 95% (Channegowda et al. [22])，則總體效率 (η) 為 93.1% (即 $98\% \times 95\%$)。

三、研究結果

本章節將說明根據上述之研究方法與搜集的模型參數，進行均化充電成本之計算與結果分析。研究結果分別針對四個場所：獨棟公寓、社區大樓、辦公大樓與公共充電站進行討論；每個場所的均化充電成本結果分成尖峰與離峰兩者來呈現，使讀者了解與比較不同場所與不同時段的 LCOC 差異，並且讓 (潛在) 電動車車主也可依照個人的充電習慣，做加權平均估算實際整體充電的均化成本。除此之外，本章節進一步透過敏感度分析了解各項參數的變動如何影響 LCOC。其中，臺灣整體的平均住宅場所之均化充電成本 LCOC 是透過先計算各縣市的均化充電成本，再以各縣市之人口 (附錄表 A7) 作加權平均所得。

3.1 各場所之均化充電成本

3.1.1 住宅充電

臺灣獨立式公寓 LCOC 如圖 1 (a) 所示，其中兩個充電情景，分別為累計電價方案 (沒有尖離峰之區分) 以及簡易時間電價方案 (分為離峰、尖峰兩者)。結果顯示，簡易電價尖峰 LCOC 高於其方案離峰 24.28%，同時也比累計電價 LCOC 高出 16.78%；其中，流動電費分別佔累計電價、簡易時間離峰、尖峰 LCOC 的 27.52%、16.72%、32.99%。雖然申請簡易電價需要繳納基礎電費，但其費用低，只佔 LCOC 的 4.94%~6.15%，讓離峰簡易電價比累計電價 LCOC 更具優勢。

圖 1 (b) 顯示社區大樓在專用電價與標準電價兩個充電情景的 LCOC；結果顯示，選擇專用電價方案，且避開尖峰時段充電是可為電動車車主省下 30.90% 的充電成本，如果對比

標準電價，專用電價之離峰 LCOC 更可下降 38.79%~43.63%。儘管專用電價的平均流動電費成本 (3.85 NTD/kWh) 高於標準電價 (2.86 NTD/kWh)，但其基礎電費成本 (4.99NTD/kWh) 是遠低於標準電價 (15.15 NTD/kWh)，導致在同樣的行駛里程下，基礎電費在社區大樓專用電價 LCOC 裡佔比僅為 22.86%~33.13%，而其在標準電價 LCOC 的佔比則是 56.71%~61.58%。從綜合分析來看，相較於其他場合，社區大樓在專用電價方案下的離峰時間的 LCOC 要高出 22.34%至 261.15%。這一顯著的差異主要由於社區大樓中充電樁的購置及安裝成本以及固定電費相對較高。由於社區大樓的電動車車主通常僅為個人車輛安裝充電樁，這導致充電樁僅供單一車主使用，使得能量補給的總里程有限。這樣的使用模式減少了充電樁提供電量的可能性，從而使得初期的購置安裝成本和固定電費無法在多個用戶間有效分攤，結果使得社區大樓成為在專用電價方案下離峰時段 LCOC 最高的場所。

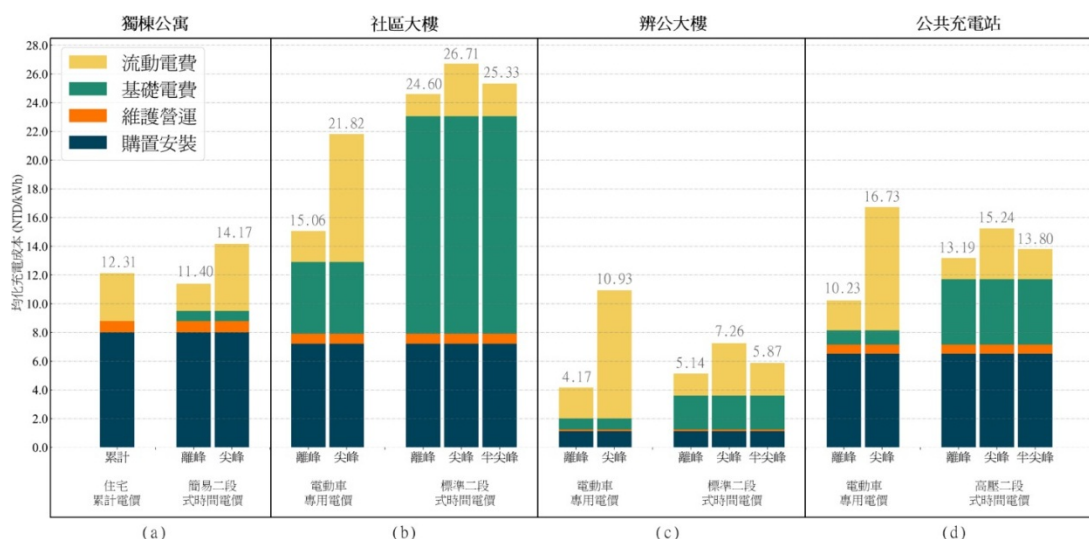


圖 1 各場所之均化充電成本項比較：(a) 住宅充電-獨棟公寓；(b) 住宅充電-社區大樓；(c) 辦公大樓；(d) 公共充電站

圖 2 展示了縣市級住宅 LCOC，反映了各時間電價 LCOC 按尖峰與離峰時段比例進行加權平均的結果。結果顯示，獨立住宅如申請累計電價分案，在臺北市、嘉義市和臺中市的 LCOC 是最高的三縣市；反之，苗栗縣、新竹縣與基隆市是擁有較便宜的 LCOC。電動車用戶不管是在獨棟公寓或社區大樓充電，只要使用的電價分案為時間電價，臺北市、高雄市和嘉義市都擁有較昂貴的 LCOC，而苗栗縣、新竹縣與南投縣則是較便宜的。由此可見，不同縣市之間住宅 LCOC 存在明顯差異，其範圍從 146.38%至 212.22%不等。直轄市如臺北市、新北市、桃園市、臺中市、臺南市和高雄市普遍面臨較高的 LCOC，主要由於車主的行駛里程差異所造成：一般來說，電動車的行駛里程越長，其充電需求也相對增加，

這會直接提高充電樁的使用率，導致充電樁在其生命週期內輸出的總電量增加，從而降低了充電設施的均化建設成本。另外，因本研究是透過各縣市的家庭用電量數據，推估每縣市累計電價方案的零售電價(附錄 1)，因此在累計電價方案下各縣市的 LCOC 會因家庭用電量的不同進一步擴大或縮小差異，進而導致累計電價與各時間電價方案下的縣市級 LCOC 排名之不同。

最終，我們認為 LCOC 較低的縣市對於電動車普及具有優勢。儘管臺北市 LCOC 最高，但仍然擁有全臺最高的電動車掛牌數量，這顯示臺北市居民對車輛成本較不敏感，且整體收入水平較高，從而有更多能力選購電動車，推動充電基礎設施的發展，並吸引更多消費者選擇電動車。隨著電動車購置及總擁有成本的逐漸降低，我們預期對成本更敏感的消費者將轉向使用電動車。在 LCOC 較低的縣市，車主將享有更低的總擁有成本，成為推動電動車購買的重要動力。此外，對於充電事業營運業者而言，低 LCOC 的縣市意味著較低的運營成本，激勵他們投資於更多充電設施，解決消費者充電的問題，進一步促進電動車的普及。

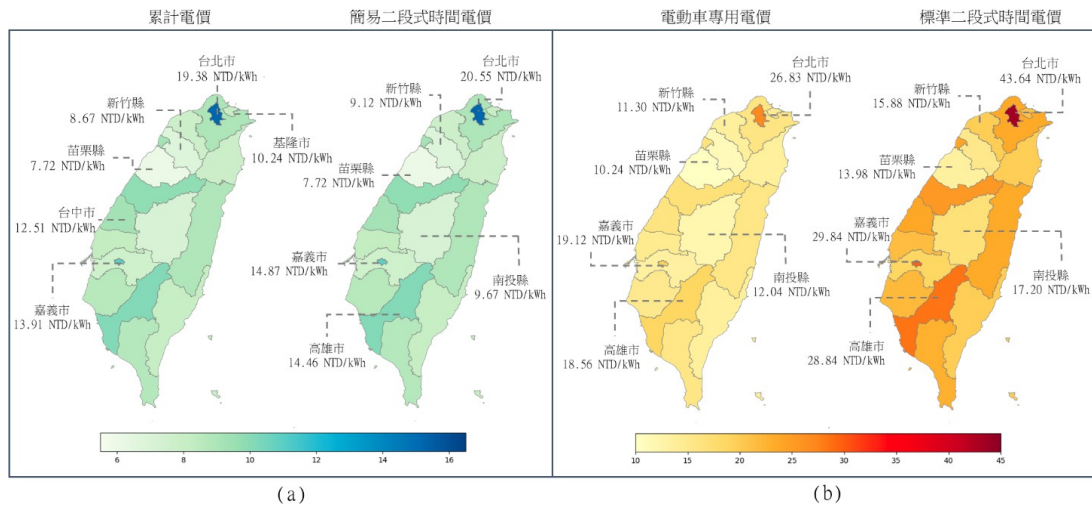


圖 2 住宅均化充電成本縣市級差異：(a)獨棟公寓；(b)社區大樓

3.1.2 辦公大樓

辦公大樓的離尖峰 LCOC 是所有充電情景中最為便宜，如圖 1 (c) 所示；其專用電價離峰 LCOC 僅為 4.17 NTD/kWh 比其標準電價 LCOC 低於 13.23%~42.28% (離峰 5.14 NTD/kWh、尖峰 7.26 NTD/kWh、週六半尖峰 5.87 NTD/kWh)，但專用電價尖峰的 LCOC (10.93 NTD/kWh) 則遠高於低壓時間電價 LCOC (50.67%~112.70%)。由此可見，在辦公大樓採用專用電價的營運用戶，只需要避免該大樓的電動車車主使用尖峰時段充電，即可以享受非常低價的充電成本。雖然辦公大樓與住宅社區大樓有同樣的購置安裝成本假設，但辦公大樓充電樁的能量輸出遠高於社區大樓，讓其專用電價的購置安裝成本、營運維修成

本和基礎電費在 LCOC 總佔比裡從社區大樓的 59.13%~85.68% 下降為 18.44%~46.70%；這突顯出充電樁能量輸出 (即充電樁使用率) 為當前決定充電均化成本的主要因素。

3.1.3 公共充電站

圖 1 (d) 為公共充電的 LCOC。過往公共充電站的營運業者只能選擇高壓電價方案 (LCOC 從離峰的 13.19 NTD/kWh 到尖峰的 15.24 NTD/kWh)，但現今因專用電價方案的推出，若以各方案之尖離峰時段比率作加權平均作比較，可讓整體的 LCOC 降低約 18.09%。從基礎電費細項來看，專用電價的基礎電費 (1.00 NTD/kWh) 對比高壓電價基礎電費 (4.55 NTD/kWh) 大幅度下降 78.10%，說明專用電價可有效降低營運業者經營充電設施成本。對比高壓電價 9 比 15 的離尖比率，選擇專用電價的另一大優勢為其高離尖比率 (18 比 6)，其長時間在離峰時段的流動電費可讓營運業者一日之內的成本波動更為平坦，不僅讓營運者更好管理其成本，也提供消費者在日間更多時段較低的充電價格。儘管公共直流充電樁需要高昂的初始建置成本，達 3,000,000 新臺幣，但因其總能量輸出比社區大樓更高，使其離峰 LCOC 卻比社區大樓 LCOC 低於 32.07%~61.70% 不等，表現更具競爭力。

3.2 敏感度分析

上述之電動汽車 LCOC 成果取決於多個因素 (表 1)。為了解模型參數變化如何影響 LCOC 與捕捉未來成本的變化等不確定性 (如充電樁購買成本上升與下降、充電樁因老化維修成本上升等)，因此本研究針對折現率、電動車電耗率、行駛里程、購置安裝成本、維護成本等重要參數進行敏感度分析 (Sensitivity analysis)。表 2 為敏感度分析之參數設計，並設定三個情景「Low case」、「Baseline Case」以及「High case」，最終的評估結果以龍捲風圖的方式呈現 (如圖 3)，當中黑色垂直線為 Baseline Case 的 LCOC 離尖峰比率之加權平均數值。值得注意的是，由於均化充電成本是計算消費者電動車總擁有成本的關鍵要素，雖然本敏感度分析不能直接代表各充電參數對於總擁有成本的影響程度，但讀者亦能透過本章節的結果了解哪一個因素會讓充電成本有較大的影響，進一步較大程度地影響總擁有成本。

3.2.1 各場所均化充電成本之敏感度分析

住宅均化充電成本之敏感度分析如圖 3 所示。結果顯示，在住宅的四個情景中，車輛行駛里程為影響住宅 LCOC 最大的因素，它相對於 Baseline 的敏感程度在 -36.35%~70.40% 之間；其他因素則在不同情景有著不同量級的影響，電動車能耗是三個情景中第二大的影響因子，除在社區大樓專用電價方案之外 (排名第三)，其敏感程度落在 -30.56%~25.01% 之間；充電比率以 -18.01%~30.02% 的敏感程度，成為各情景中第三或四排名的影響因素。從式 (3) 中，上述這三個因素都是計算充電樁能量輸的參數，由此可見，充電樁能量輸出因素大幅度地決定了 LCOC 之價格。過往以總擁有成本 (TCO) 而言，能耗越高導致所需要更

表 2 敏感度分析各情景之假設參數

	Low	Baseline	High
折現率	2%	6%	10%
住宅充電			
電動車電耗 (Wh/100km)	270	155.8	122
住宅充電比率	100%	80%	60%
年行駛里程 (km)	5,782	11,121 (全國平均)	20,788
獨棟：購置安裝成本 (NTD)	70,000	100,000	130,000
社區：購置安裝成本 (NTD)	70,000	90,000	110,000
年維護成本 (%購置安裝成本)	0.5%	1%	2%
充電時間	離峰	離尖峰平均	尖峰
辦公大樓與公共充電站			
辦公：購置安裝成本 (NTD)	70,000	90,000	110,000
公共：購置安裝成本 (NTD)	2,000,000	3,000,000	4,000,000
年維護成本 (%購置安裝成本)	0.5%	1%	5%
充電時間	離峰	離尖峰平均	尖峰

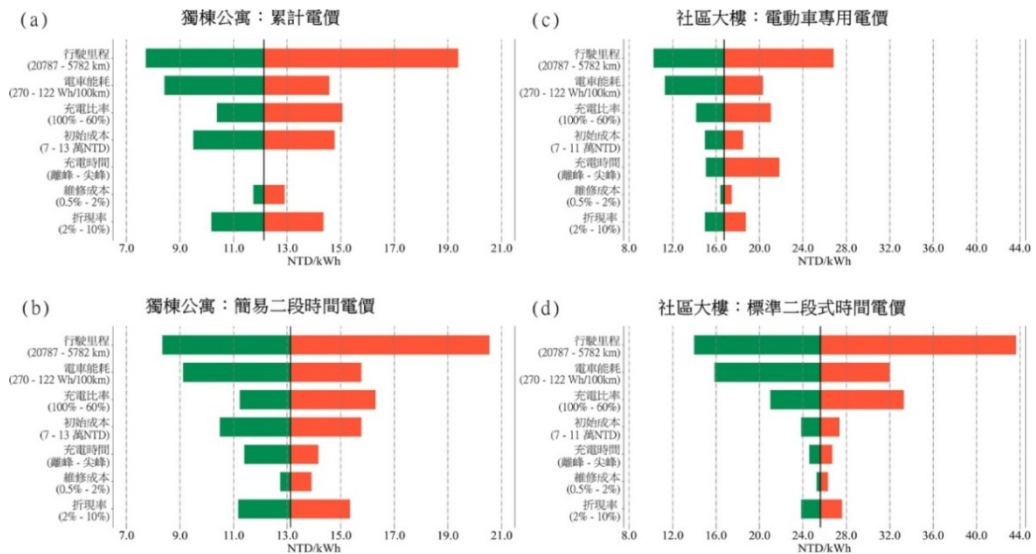


圖 3 住宅均化充電成本之敏感度分析

高的能量補及成本，但我們發現，如果從 LCOC 的角度來看，電動車能耗越高，自家的充電樁使用率提升，可讓充電的均化成本下降。此外，充電樁購置安裝成本在 LCOC 的影響也不能忽視，特別在獨棟公寓的充電情景，「High case」與「Low case」可相差達 150.28%~155.57%，而社區大樓之充電情景則相差 114.74%~123.46%。除累計電價外（因沒離尖峰價差），選擇離峰充電可替電動車車主省下 3.95%~13.52% (1.01 NTD/kWh ~1.73 NTD/kWh)，特別是社區專用電價，要謹慎避開尖峰時段充電，不然 LCOC 會增加 25.68% (4.30 NTD/kWh)。折現率的改變在各情景中會有一定程度地影響 LCOC，其敏感範圍在 -16.13%~18.29%，主要是因為每月需固定繳納的基礎電費以及維修成本都會因利率折現而變得敏感。維修成本則是在各情景中影響 LCOC 最小的因素，其敏感度僅在 -1.37%~6.42%。

圖 4 是辦公大樓 ((a)、(b)) 與公共充電站 ((c)、(d)) 均化充電成本的敏感度分析結果。對辦公大樓 LCOC 而言，充電時間是影響最大的因素，其敏感度範圍落在 -28.83~86.50%；不管在專用電價或標準電價，折現率都是對 LCOC 第二的影響因素，它的敏感度僅為 -4.69%~5.32%；至於購置安裝成本與營運成本是影響辦公大樓充電最低的因素，它們的敏感度分別僅為 -4.47%~4.69%和 -0.93%~1.87%。對於公共充電站場所中，不同電價方案面對不同影響因數有不一樣的表現：充電時間在專用電價中是影響 LCOC 的最大因素，若能在離峰時間充電，可讓 LCOC 下降 13.72%；反之，在尖峰時段充電則會增加 41.16%；充電時間若在高壓電價方案中的影響則相對較低，離峰與尖峰充電只下降 6.87%與提升 7.64%。公共充電站高昂的購置安裝成本對 LCOC 有著較高的影響，在兩電價方案的敏感程度介於 -20.12%~20.12%。營運成本與折現率則是影響公共充電 LCOC 最小的因素，其敏感程度僅為 -2.67%~21.38%和 -6.96%~7.69%。

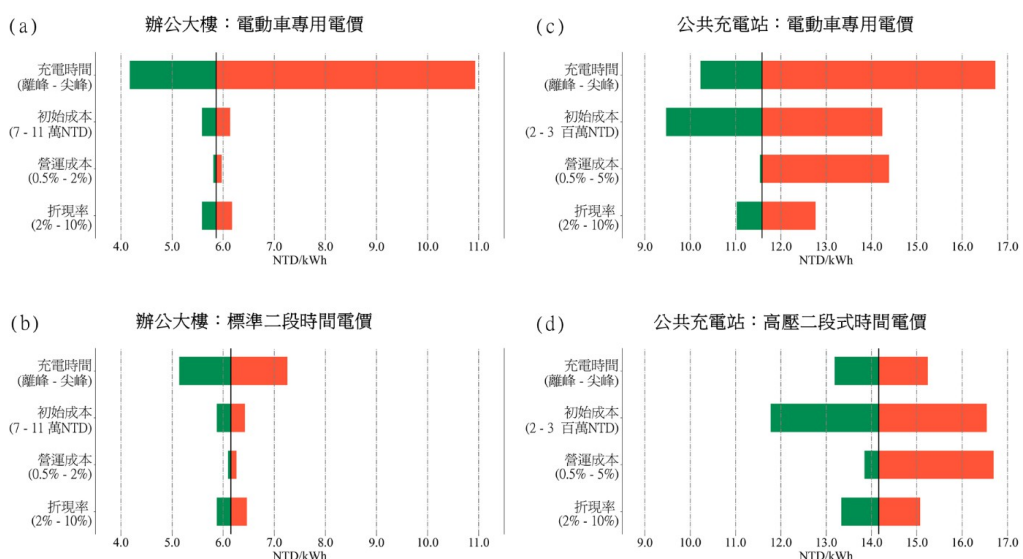


圖 4 辦公大樓與公共充電站均化充電成本之敏感度分析

3.2.2 辦公大樓與公共充電站之使用率影響

第 3.1 節裡明確表明充電樁的使用率(即能量輸出)主導決定充電價格。為了模擬未來電動車充電需求的變化對於均化成本的影響，本小節對充電樁的使用率此參數進行敏感度分析，並與現有傳統燃油汽車之燃料成本做比較；結果顯示在圖 5 中，縱軸的利用率是充電樁年能量輸出與固定功率下可實現最大能量輸出的比率。另外，為比較電動汽車 LCOC 和傳統汽油車的燃料成本，圖 5 的右邊 Y 軸顯現 LCOC (NTD/ kWh) 和汽油價格 (NTD / L) 轉換為相同的測量單位—每行駛 100 公里車主所需花費的均化成本，當中假設電動車和傳統汽油車的能量消耗率分別為 15.59 kWh/100 km 和 9.9 L/100 km (行政院環境保護署, 2022)，並考慮汽油價格的波動，取臺灣 2000 年至 2023 年的最低和最高汽油價格作轉換 (台灣中油股份有限公司^[27])。

我們發現在所有的充電情景裡，當使用率增加時，LCOC 都呈指數型趨勢所下降；另外對比傳統燃油車，只要使用率高於 5.20%~7.95%，LCOC 便低於臺灣歷史燃油車每單位公里的成本。現今臺灣的辦公與公共場所 LCOC 已足以與傳統燃油車的燃油成本相互競爭，但從 Baseline 情境來看，當前辦公大樓充電樁使用率約為 18.75%使用率(日使用 4.5 小時)，直流充電樁 100kW 不考慮能量損耗下最多可提供 2,400kWh，公共充電樁日充電 133kWh，使用率僅約為 5.54%，仍然是相對較低，有較大的進步空間。本研究的成果將有助於民眾對於電動車在充電成本上的優勢，有望進而提升電動車在臺灣市場之普及程度，從而使充電樁的使用率增加，進一步擴大電動車充電成本的優勢，建立一個電動車銷量增長與 LCOC 下降的持續正循環。

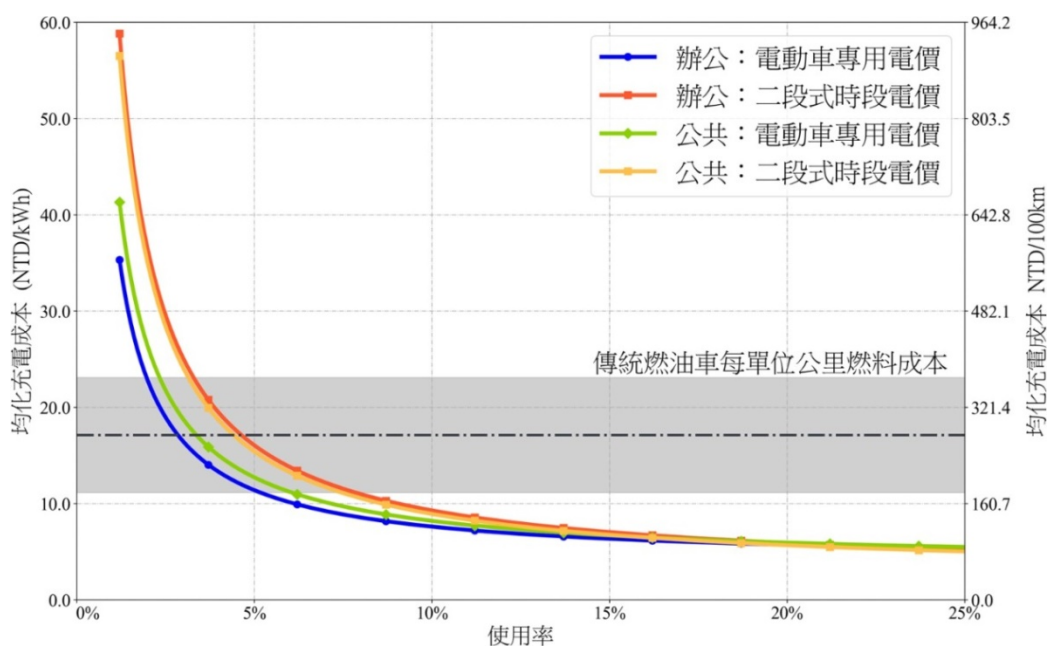


圖 5 充電樁使用率對均化充電成本之影響

四、結論與建議

4.1 結論

本研究考慮了不同場所(例如：住宅、辦公地方或公共場所)、不同電價方案(例如：專用電價或標準電價)、充電時間(例如：離峰或高峰時段)以及行駛里程等因素，詳細評估當前臺灣四輪電動汽車之均化充電成本 LCOC，填補了現今的文獻缺口。此外，本文還針對不同變數進行了敏感性分析，以評估這些因素的變化會如何影響 LCOC 的結果。最後，本文探討了電動汽車均化充電成本與充電設施使用率之間的關係，並與臺灣歷年的燃油汽車之燃料成本作比較。

當前臺灣電動汽車均化充成本在不同場所中有著不一樣的表現：首先，從臺灣整體的四個場景的均化成本結果來看，社區大樓場景是擁有最貴的 LCOC，相反辦公大樓的 LCOC 則是最低；即便社區大樓選用專用電價方案，離峰時段的 LCOC 還是比辦公大樓專用電價尖峰的 LCOC 高出 37.78%。若單從 LCOC 結果的層面上作充電地點的決策，總體而言，如有機會在辦公的地方充電，應優先考慮，再來是公共的充電場所，最後才是選擇社區大樓的住宅充電；縣市級的情況略有差異，雖然都是以優先考慮辦公的地方充電為主，但若像擁有最便宜住宅 LCOC 的苗栗而言，社區大樓或獨棟住宅則是第二個選擇，最後才是公共場所。第二，研究發現，在離峰時段實行電動車專用電價方案可在各地區有效降低 LCOC，尤其對公共充電設施的營運商而言更為明顯。由於這些營運商能享受更低的基礎電費和更高的離尖比例，這為他們提供了長時段內的低成本電力供應，從而創造出更具成本效益的營運環境。此外，在各縣市的住宅充電成本分析中，我們觀察到明顯的地區差異，這些差異主要源自於不同縣市居民的車輛使用習慣和行駛里程的顯著不同。例如，苗栗縣的年行駛里程大約為 20,787 公里，大約是臺北市的 3.6 倍，這種里程數的大幅差異會進一步放大每公里的基礎電費及充電設施購置與安裝成本的攤銷差距。最後，辦公大樓之專用電價與社區大樓之標準電價 LCOC 分別是所有情景中最便宜與最昂貴，社區大樓因充電樁能量輸出低，讓其購置安裝成本和基礎電費不能有效分攤，相反，辦公大樓較高的充電樁使用率，讓充電成本大幅下降。

從敏感度分析的結果可衍伸出以下發現：第一，對於住宅而言，車輛行駛里程是影響 LCOC 最關鍵的因素；此外，電動車能耗和充電比率也對住宅 LCOC 產生相當影響，而折現率和維修成本對成本的影響相對較小。其次，對於辦公大樓，充電時間對 LCOC 的影響最大，折現率和購置安裝成本、營運成本的影响較小。對於公共充電站，不同電價方案有不同的影響因素，充電時間是最重要的影響因素，購置安裝成本也對 LCOC 有較高的影響，而折現率對高壓電價方案的影响則較大，營運成本則是影響公共充電 LCOC 最低的因素。最後，在充電樁使用率的分析中，隨著公共充電樁使用率增加，LCOC 呈指數下降趨勢。與傳統汽油車相比，只要使用率高於 5.20% 至 7.95%，電動車的 LCOC 就會低於臺灣歷史最低的燃油車每單位公里成本。然而，目前臺灣公共充電樁的使用率仍相對較低，我

們預期未來隨著市面更多的電動車車型可供消費者購買，電動車的普及化將會進一步被推進，有望讓公共充電樁之使用率進而改善。

基於本研究的發現，我們提出四點主要的建議。第一，鼓勵辦公大樓的充電基礎建設：車主週一至週五通勤上班，車輛停放在辦公大樓的時間是除了住宅之外最久的地方之一，一般每日停放約八到九小時（即上班時間），是一個很好的閒置時間來讓電動車補充電能；加上辦公大樓的 LCOC 是非常具有競爭力，因此從企業或學校推廣充電樁之部署，不但可讓電動車用戶利用車子的停放閒置時間以低 LCOC 充電，也為擁有傳統燃油汽車的員工提供汰舊換電動車的誘因，更重要的也可為國家永續發展作出貢獻，提升企業或學校的公共形像。其次，鑑於各縣市之間在住宅 LCOC 上的顯著差異，地方政府應根據當地實際情況規劃和推動適宜的充電設施鼓勵政策。以臺北市與苗栗縣為例，其住宅 LCOC 相差可達 146.38% 至 212.22%，顯示地區間充電成本的懸殊。在一些縣市，住宅充電的成本遠高於公共充電成本，而其他地方則相對較低。因此，對於那些住宅 LCOC 較高的縣市，政府可考慮重點推廣辦公大樓和公共場所的充電設施建設並制定相應的補助政策。與此同時，對於住宅充電成本相對較低的地區，則可透過提供補助來鼓勵居民在家中安裝充電設備。這種差異化的策略將有助於更經濟高效地推動充電設施的普及，從而為電動車的廣泛使用創造更多機會。

第三，推出「住宅型電動車專用電價」：從社區大樓的兩個情景結果來看，縱使使用電動車專用電價方案，其 LCOC 依然對於其他場所來說昂貴許多；然而，考慮到住宅的充電樁使用率很難提升（因取決於電動車用戶自身的行駛習慣），因此若政府能推出住宅型專用電價，如設計更低的基礎電費，以進一步降低社區大樓的 LCOC，將也有助於臺灣的電動車市場發展。另外，以往社區大樓安裝充電設備會自行拉線接到自家電錶當中，並使用簡易二段式時間電價，這可能會引發社區大樓裡用電負荷安全問題且電線路凌亂之現象（CP 值^[28]）；而專用電價方案裡，會經由台電評估與額外安裝獨立電錶為電動車充電，解決上述安全性問題；但由於離峰時段的獨棟公寓時間電價情境對比目前社區大樓專用電價方案的 LCOC 可省下 23.59%，這會提供社區大樓的電動車用戶經濟誘因以自家拉線的形式去安裝充電設備，因此造成社區用電安全性問題；假如推廣出更低的基礎電費住宅型專用電價，有望有效壓制這樣的情況發生，也可以縮小社區大樓 LCOC 與其他場所的差距。最後，充電樁購置安裝成本之補助：購置與安裝成本在 LCOC 有著較高的佔比，且在敏感度分析中可看見其重大的影響程度；補助購買安裝充電樁將可明顯降低所有場所中的 LCOC，不論是為營運業者直接降低經營充電站的進入門檻或為社區大樓車主裝設充電樁的初始成本，這都能讓相關利益者有十分正面與直接的幫助，加速臺灣電動車充電的基礎設施之部署。

往臺灣 2050 淨零排放目標邁進的路徑裡，電動汽車扮演非常重要的角色。從電動車需求端來看，消費者極有可能會因為充電樁的不足而產生里程焦慮（Pevce et al.^[29]），進而不選擇電動車的購買（創市際^[30]）。從充電站投資方或營運業者的角度，也極有可能會因市場上的電動車保有量低、充電樁使用率低，變相導致營運成本的上升，加上充電行業的

投資回收年限較長 (DIGITIMES^[31])，都將導致投入充電營運行業的參與者較少。不論是對於消費者或投資人而言，購買電動車或投資充電產業都是需要較高的資金，因此是存在著巨大的不確定性與多方風險。政府在淨零交通轉型中扮演不可或缺且至關重要的角色，肩負起為整體電動汽車產業作協調的責任，以克服這先有電動車還是先有充電樁的「雞生蛋，蛋生雞」困境。

4.2 研究限制與建議

本研究雖然針對當前臺灣充電成本進行詳細評估，以提供政策決策者、電動車車主以及公私營運業者相對應的決策資訊價值與重要啟示，兼具學術與實務之價值，但仍存在一些局限性，需要進一步研究。首先，本研究的結果建立於現有文獻與成本資料基礎上，並透過敏感度分析來瞭解假設變數與未來成本波動的影響。但是，部分關鍵參數，如車輛的行駛里程和平均住宅電費，由於來自間接統計，可能存在誤差，這些誤差有可能會影響研究結果的精確度。另外，臺灣對於充電設備購買、安裝成本、維修成本以及充電樁老化等方面的研究與數據資料尚不完善，使得一些參數不得不以假設的形式或是參考國外其他地方的數值作計算，進而影響分析結果。此外，成本因數據資料不完善讓未來變動難以預測，例如發電成本就取決於多項因素，包括再生能源占比、國際能源價格、電力市場供需等，這些未來的變化都難以預測，也可能導致本研究中的敏感度分析未能全面涵蓋其不確定性範圍。未來充電樁數量隨電動車增加持續增長，充電樁成本的資料有望更充足且價格透明，建議後續研究者可以建立臺灣充電設備成本的資料庫，以更好地了解其價格趨勢以及對消費者充電成本的影響。

其次，本研究主要著眼於內部成本，如充電設備的成本和零售成本，未全面探討其他相關活動的外部成本，如生命週期碳足跡、充電過程時長以及建置充電基礎設施的障礙。生命週期內的碳足跡是重要的外部成本，然而目前尚缺乏完整的充電設備生產製造碳足跡、水足跡等相關資料，因此難以將其成本量化。此外，雖然我們可以從台電提供的電力排碳係數估算發電端的每年每度平均碳排放，但仍無法了解不同充電時段的碳排放差異，因此若納入發電的碳排放，在既有資料下，也僅能在每個場景和電價方案中皆增加一樣的固定值，無法區分不同充電情景之間的差異。在時間成本的面向上，充電過程時長是一大額外的成本，這包括尋找充電設施、排隊等充電以及充電過程。此外，建置充電基礎設施的障礙亦是另一時間成本，如在社區大樓中建置充電設備必需經過諸多關卡，包含社區管委會和工程評估等。然而，因為目前缺乏這些耗時的相關數據與研究，且每一個人看待時間的價值是不同的，所以難以合理地貨幣化上述的等待時間以及障礙成本。建議未來研究可往以下兩方面探討：第一，深入研究充電樁的運營與提供電量的碳排放。未來當越多的充電樁被佈署，可望更容易蒐集製造充電樁以及不同場所運營充電樁所生產的碳足跡資料，並可利用離尖峰時發電的能源組成作準確的碳排放計算；後續再加上碳定價，如未來臺灣將實施的碳費徵收(Judy Chao^[32])，可以進一步將碳足跡量化為貨幣單位，以更好地將之納入在均化充電成本裡面。第二則是研析充電所造成的時間成本。透過蒐集不同類型的充電

設備之所需充電時長、尋找充電樁之時長以及排隊情況，探討充電過程中所產生的外部成本；另外，對於建置充電基礎設施的障礙可以以個案研究出發，對住宅、辦公大樓以及公共場所，以已成功建置的案例，分別討論其建置之難題與阻撓，最後透過研究電動車用戶群體的收入情況，量化成貨幣單位，綜合討論在均化成本之中。

最後，本文僅針對四輪電動客車進行均化充電成本分析，未來的研究方向可以擴展至其他車種，如兩輪機車、貨車和巴士等電動運具。尤其是兩輪機車在臺灣民眾中的使用度高，其充電、換電的成本研究亦應予以重視。拓展更多運具的均化成本研究有助於政策制定者更深入地了解充電成本，並為推動交通工具的電動化提供更多依據。

參考文獻

1. 行政院環境部氣候變遷署，「溫室氣體排放清冊報告」，<https://www.cca.gov.tw/climatetalks/emission-and-reduction/national/1867.html>，民國 111 年。
2. D. Ouyang, S. Zhou, and X. Ou, “The total cost of electric vehicle ownership: A consumer-oriented study of China’s post-subsidy era”, *Energy Policy*, Vol. 149, 2021, 112023.
3. Z. Liu et al., “Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles”, *Energy Policy*, Vol. 158, 2021, 112564.
4. Y.-H. Chien, I.-Y. L. Hsieh, and T.-H. Chang, “Beyond personal vehicles: How electrifying scooters will help achieve climate mitigation goals in Taiwan”, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 45, 2023, 101056.
5. 國際潔淨運輸理事會，「中國電動汽車成本收益評估（2020-2035）」，<https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/EV-costs-benefits-china-CH-apr2021.pdf>，民國 110 年。
6. K. Palmer, J. E. Tate, Z. Wadud, and J. Nellthorp, “Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan”, *Applied Energy*, Vol. 209, 2018, pp. 108–119.
7. N. Parker, H. L. Breetz, D. Salon, M. W. Conway, J. Williams, and M. Patterson, “Who saves money buying electric vehicles? Heterogeneity in total cost of ownership”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 96, 2021, 102893.
8. H. Lee and A. Clark, “Charging the Future: Challenges and Opportunities for Electric Vehicle Adoption”, *SSRN Electronic Journal*, 2018, doi:10.2139/ssrn.3251551.
9. S. Á. Funke, P. Plötz, and M. Wietschel, “Invest in fast-charging infrastructure or in longer battery ranges? A cost-efficiency comparison for Germany”, *Applied Energy*, Vol. 235, 2019, pp. 888-899.
10. I.-Y. L. Hsieh, A. Nunes, M. S. Pan, and W. H. Green, “Recharging systems and business operations to improve the economics of electrified taxi fleets”, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 57, 2020, 102119.
11. M. Nicholas, “Estimating electric vehicle charging infrastructure costs across major U.S. metropolitan areas”, The International Council of Clean Transportation, 2019.

12. B. Borlaug, S. Salisbury, M. Gerdes, and M. Muratori, "Levelized Cost of Charging Electric Vehicles in the United States", *Joule*, Vol. 4, No. 7, 2020, pp. 1470-1485.
13. L. Lanz, B. Noll, T. S. Schmidt, and B. Steffen, "Comparing the levelized cost of electric vehicle charging options in Europe", *Nat Commun*, Vol. 13, No. 1, Art. no. 1, 2022.
14. 全國法規資料庫, 「使用牌照稅法」, <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=G0340095>, 民國 110 年。
15. 台灣電力公司, 「電動車充換電設施電價」, <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=6594>, 民國 111 年。
16. K. Branker, M. J. M. Pathak, and J. M. Pearce, "A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 9, 2011, pp. 4470-4482.
17. 台灣電力公司, 「詳細電價表」, <https://www.taipower.com.tw/2289/2290/46940/46945/normalPost>, 民國 106 年。
18. 呂國璋, 「2023 電費調漲 | 一度電多少錢? 夏季電費怎麼算? 台電電費試算!」, <https://www.stockfeel.com.tw/台電電費-夏季電費-電費計算/>, 民國 112 年。
19. 黃芸媚, 「透天百百種! 獨棟雙拼連棟有差嗎? 大樓透天哪個好?」, <https://today.line.me/tw/v2/article/oxmyop>, 民國 110 年。
20. S. Ou, Z. Lin, X. He, S. Przesmitzki, and J. Bouchard, "Modeling charging infrastructure impact on the electric vehicle market in China", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 81, 2020, 102248.
21. DDCAR, <https://www.ddcar.com.tw/>, 民國 112 年。
22. J. Channegowda, V. K. Pathipati, and S. S. Williamson, "Comprehensive review and comparison of DC fast charging converter topologies: Improving electric vehicle plug-to-wheels efficiency", 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2015, pp. 263-268.
23. 台灣科技媒體中心, 「特斯拉超級充電站設置專家意見 - 台灣科技媒體中心」, <https://smctw.tw/6742/>, 民國 109 年。
24. 自由時報電子報, 「〈財經週報-電動車充電商機〉投資成本大 充電樁電費價差難賺 - 自由財經」, <https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1543316>, 民國 111 年。
25. 行銷小學堂「開店創業老闆必讀! 餐廳如何申請刷卡機? 刷卡機手續費是多少?」, <https://www.quickclick.cc/blog/credit-card-machine/>, 民國 108 年。
26. 經濟部能源局, 「車輛能源效率管理」, https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=8754, 民國 108 年。
27. 台灣中油股份有限公司, 「台灣中油全球資訊網」, <https://www.cpc.com.tw/cp.aspx?n=92&Create=1>, 民國 112 年。
28. CP 值, 「【電動車專用電價】更省錢! 電費計算/充電樁安裝費用及設置廠商一起看 - CP 值」 <https://cpok.tw/27108>, 民國 111 年。
29. D. Pevec, J. Babic, A. Carvalho, Y. Ghiassi-Farrokhfal, W. Ketter, and V. Podobnik, "Electric

- Vehicle Range Anxiety: An Obstacle for the Personal Transportation (R)evolution?”, 2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 2019, pp. 1-8.
30. 創市際，「電動車購入意願過半，環保省油錢為需求賣點」，https://www.ixresearch.com/news/news_05_25_21，民國 110 年。
 31. DIGITIMES，「扶植電動車產業 公共充電站設置成為發展關鍵」，https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?cnlid=14&id=0000420112_SA80EOI622F_BRL1C5SA8W，民國 104 年
 32. Judy Chao，「2024 年台灣碳費應該收多少才合理？」，<https://www.infolink-group.com/energy-article/tw/topic-how-muc2h6-taiwan-should-price-carbon-credits-for-2024>，民國 112 年。
 33. 行政院環境保護署，「空氣品質改善維護資訊網」，https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_6.aspx，民國 111 年。
 34. 車輛耗能研究網站，「車輛耗能研究網站-車輛能效查詢-電動車查詢」，https://auto.itri.org.tw/iv_ecar_qry.aspx，民國 112 年
 35. 葉毓中，「2022 年台灣電動汽車市場深入分析！除了 Tesla 一支獨秀以外，還有啥值得我們深思？ - 2GameSome - 有車賞」，<https://2gamesome.com.tw/article/view/3635>，民國 112 年。
 36. 台灣電力公司，「縣市用電資訊 - 資訊公開 - 業務公告」，<https://www.taipower.com.tw/2289/2406/2437/49978/49988/normalPost>，民國 109 年。
 37. 中華民國內政部戶政司，「中華民國內政部戶政司全球資訊網」，<https://www.ris.gov.tw/app/portal/346>，民國 112 年。

附 錄

附錄 1 加權平均住宅累計電價

累計電價將月電力消耗分為幾個階梯，每個階梯對應一個電價。基於家庭縣市級夏月(6~9月)與非夏月(1~6月, 10~12月)用電量(表 A3)與累計電價的階梯電價(表 A4)，以式 S1-S5 計算各縣市的加權平均累計電價；

$$E_{C,T} = \frac{\sum_{i=6}^9 E_{C,i}}{4} + \frac{VKT}{12} \times FCR \times CM_{res} \quad (T = \text{summer}) \quad (S1)$$

$$E_{C,T} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_{C,i} + \sum_{i=10}^{12} E_{C,i}}{8} + \frac{VKT}{12} \times FCR \times CM_{res} \quad (T = \text{non - summer}) \quad (S2)$$

其中， $E_{C,T}$ 為不同縣市C在T季節(夏月與非夏月)； $E_{C,i}$ 為C縣市在i月份裡的用電量； VKT 是車輛年行駛里程 (Vehicle kilometer traveled) (表 A1)； FCR 是電動車電耗率 (Fuel consumption rate) (表 A2)； CM_{res} 是車輛生命週期於住宅充電時間的比率，假設此比例為

80% (Ou et al. [20])。

$$P_{C,T} = (E_{C,T} - S_{t-1,T}) \times p_{S_{t-1,T}} + \sum_{i=1}^{t-1} (S_{i,T} - S_{i-1,T}) \times p_{S_{T,i}} \quad (S_{t-1,T} < E_{C,T} < S_{t,T}) \quad (S3)$$

$P_{C,T}$ 是C縣市在T季節的總電費； $S_{i,T}$ 為在*i*階梯裡的季節用電上限；其中*t*為 $E_{C,T}$ 所處的階梯， $p_{S_{T,i}}$ 為*i*階梯中每度電的零售電價。

$$P_{C,AVG,T} = \frac{P_{C,T}}{E_{C,T}} \quad (S4)$$

$$P_{C,AVG} = \frac{P_{C,AVG,summer}}{E_{C,summer}} \times \frac{4}{12} + \frac{P_{C,AVG,non-summer}}{E_{C,non-summer}} \times \frac{8}{12} \quad (S5)$$

$P_{C,AVG,T}$ 為縣市季節平均每度零售電價；最後以月份加權平均方式計算縣市平均每度電成本 $P_{C,AVG}$ ，結果呈現在表 A5。

表 A1 各縣市自用小客車年平均行駛里程 (行政院環境保護署 [33])

縣市名稱	年平均行駛里程(km)
臺中市	10,206
臺北市	5,782
臺東縣	13,478
臺南市	11,934
宜蘭縣	13,446
花蓮縣	11,149
南投縣	16,216
屏東縣	11,463
苗栗縣	20,787
桃園市	13,424
高雄市	9,035
基隆市	12,465
雲林縣	12,193
新北市	11,047
新竹市	10,837
新竹縣	17,827
嘉義市	8,705
嘉義縣	14,154
彰化縣	10,948

表 A2 臺灣 2022 電動車銷量與其能源效率 (車輛耗能研究網站^[34], 葉毓中^[35])

電動車型號	2022 電動車銷量	能源效率 kWh/100km
Tesla Model 3	37931	15.1
Tesla Model Y	3644	16.5
BMW iX	728	19.6
Volvo XC40 Recharge	653	21.2
Kia EV6	626	15.9
Porsche Taycan	445	26.4
Hyundai IONIQ 5	266	17.5
BMW i4	230	15.8
Audi e-tron sport	186	23.8
Mercedes-Benz EQS	147	22.4
Porsche Taycan Cross	134	27.0
Toyota bZ4X	128	12.2
Nissan Leaf	110	17.0
Audi e-tron	106	22.6
Hyundai Kona Electric	101	12.7
	Weight AVG:	15.59

表 A3 臺灣 2021 年各縣市之家庭用電量 (kWh) (台灣電力公司^[36])

縣市	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
新北市	568	604	603	560	553	720	915	991	1009	964	830	620
臺北市	639	670	659	616	613	808	1008	1110	1113	1094	916	686
桃園市	563	617	616	567	542	692	777	884	872	891	741	604
臺中市	510	527	548	510	505	636	756	754	804	805	754	580
臺南市	433	454	466	457	450	589	640	650	651	690	628	516
高雄市	449	435	455	449	468	586	671	649	680	675	647	523
宜蘭縣	471	505	492	464	434	539	615	691	706	692	583	482
新竹縣	503	567	551	536	489	653	735	864	836	878	728	594
苗栗縣	422	432	462	424	421	530	637	649	708	688	626	466
彰化縣	411	441	458	453	427	542	571	610	617	663	592	486
南投縣	444	461	490	459	439	526	528	552	560	586	548	490
雲林縣	351	351	407	398	409	507	511	476	528	523	522	401
嘉義縣	369	356	420	389	399	485	523	477	534	516	526	397

屏東縣	427	425	443	449	459	576	581	565	575	586	560	486
臺東縣	480	499	514	511	481	597	640	695	690	702	609	530
花蓮縣	493	545	539	540	493	632	674	772	754	763	626	546
基隆市	516	576	547	527	476	605	714	849	827	839	689	566
新竹市	533	573	558	532	516	714	838	931	933	956	794	598
嘉義市	450	468	482	467	456	602	667	660	672	699	651	532
澎湖縣	582	522	634	543	589	640	844	742	913	784	829	601
金門縣	563	649	613	610	525	634	705	874	883	965	790	655

表 A4 住宅累計電價之計費標準 (台灣電力公司^[17])

階梯	每月用電度數分段		夏月	非夏月
			6月1日~9月30日	非夏月時間
1	120 度以下	每度	1.63	1.63
2	121~330 度		2.38	2.10
3	331~500 度		3.52	2.89
4	501~700 度		4.80	3.94
5	701~1000 度		5.83	4.74
6	1001 度以上		7.69	6.03

表 A5 各縣市加權平均住宅累計電價

縣市	平均每度電價 (NTD/kWh)	縣市	平均每度電價 (NTD/kWh)
臺中市	3.340	高雄市	2.632
臺北市	3.419	基隆市	2.731
臺東縣	3.315	雲林縣	2.870
臺南市	3.160	新北市	3.006
宜蘭縣	3.003	新竹市	3.080
花蓮縣	2.965	新竹縣	3.299
南投縣	3.300	嘉義市	3.228
屏東縣	2.931	嘉義縣	3.051
苗栗縣	3.095	彰化縣	3.237
桃園市	2.885	-	-

附錄 2 補充資料數據

表 A6 臺灣歷史 95 鉛油加權平均價格 (2000/01/01-2023/4/10) (台灣中油股份有限公司^[27])

最高	36.4 NTD/L
加權平均:	27.0 NTD/L
最低	17.6 NTD/L

表 A7 臺灣 111 年底各縣市人口統計 (中華民國內政部戶政司^[37])

縣市名稱	人口	縣市名稱	人口
臺中市	2,814,459	高雄市	2,728,137
臺北市	2,480,681	基隆市	361,526
臺東縣	212,551	雲林縣	664,092
臺南市	1,852,997	新北市	3,995,551
宜蘭縣	449,062	新竹市	452,473
花蓮縣	318,892	新竹縣	580,503
南投縣	479,595	嘉義市	262,924
屏東縣	798,703	嘉義縣	488,158
苗栗縣	535,132	彰化縣	1,245,239
桃園市	2,281,464	-	-

