運輸計劃季刊
第五十五卷 第三期
民國一一五年九月
頁 221～頁 242

Transportation Planning Journal
Vo1. 55 No. 3
September 2026
PP. 221～242

電動汽車能源效率之影響因子探討：空調及動能回充之調節效果[1]

INVESTIGATING THE INFLUENCING FACTORS OF ENERGY EFFICIENCY IN ELECTRIC VEHICLES: THE MODERATING EFFECT OF AIR CONDITIONING AND REGENERATIVE BRAKING SYSTEM

林欣慧 Shin-Hui Lin[2]
鍾易詩 Yi-Shih Chung[3]

(113 年 3 月 1 日收稿，113 年 6 月 2 日第一次修正，113 年 9 月 9 日第二次修正，113 年 10 月 1 日接受)

摘 要

本研究蒐集兩台電動汽車實驗室新歐洲行車型態(New European Driving Cycle, NEDC)、全球調和輕型車輛測試型態(World Light Vehicle Test Cycle, WLTC)及市區道路行駛三種不同情境能源效率資料，納入空調使用及再生制動動能回充實驗因子，並再與尖離峰道路測試值進行比較。結果顯示，相對於 WLTC，NEDC 開空調對能源效率影響較大，車輛啟動後將空調強度調至最大或隨高車速占比增加，NEDC 有較低能源效率值。道路測試值低於實驗室結果，且 NEDC 與道路實測值差異大於 WLTC，道路行駛時動能回充比例高於實驗型態約 4%，若避免將空調設為最大負載，行駛中動能回充比例可提升 4.7%；空調設定最大對能源效率影響效果顯著大於空調關閉時，動能回充設定對能源效率影響則無顯著差異，駕駛人於路面行

1. 本研究係經濟部能源局 111 年度「車輛能源效率管理策略執行與基準研究計畫(4/4)」(計畫編號: 111-E0416)之部分成果，作者在此感謝能源局之經費支持，使本研究得以順利進行；另經濟部能源局已於 2023 年 9 月升格為「經濟部能源署」。
2. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系博士候選人、財團法人工業技術研究院資深工程師 (聯絡地址：10044 臺北市忠孝西路 1 段 118 號 4 樓，E-mail: EmilyLin@itri.org.tw)。
3. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系教授。

駛時選擇適宜之動能回充設定，且避免過度使用空調，在市區道路環境許可下，行駛時速避免超過 50(km/h)，且 WLTC 相對於 NEDC 更適合應用於國內電動汽車能源效率測試。

關鍵詞： 電動汽車、能源效率、空調、再生制動動能回充

ABSTRACT

This study selected two electric vehicles and compared the energy efficiency data under three different scenarios: The New European Driving Cycle (NEDC), the World Light Vehicle Test Cycle (WLTC), and real-world driving on the urban road. For laboratory tests, we also considered the experimental factors: air conditioning usage (off or on at largest load) and regenerative braking (maximum or normal). Finally, compare the results of laboratory tests with road test values under peak and off-peak conditions to understand the discrepancies and the influencing factors of energy efficiency between laboratory and road tests on EVs. The results show that the impact of turning on the air conditioning during the NEDC test is greater on energy efficiency compared to WLTC. Moreover, if the vehicle's air conditioning is set to maximum after start or as the proportion of high vehicle speed increases, there are lower energy efficiency values. The energy efficiency on real roads during urban peak hours is lower than during off-peak hours. This result shows the test values of WLTC are relatively closer to the real-world values compared to NEDC. For the proportion of regenerative braking while driving, the value of the real road is approximately 4% higher than the lab test. Furthermore, avoiding setting the air conditioning to the largest load can increase 4.7% in the proportion of regenerative braking. This shows that braking behavior is one of the key factors influencing the energy consumption of EVs. The impact of setting the air conditioning to the maximum on energy efficiency is significantly greater than when the air conditioning is turned off. On the other hand, there is no significant difference in energy efficiency between regenerative braking settings (maximum and normal). However, when the regenerative braking level is set to the maximum, it can reduce comfort. This study suggests that drivers should maintain the suitable regenerative braking setting while driving on the road, avoid excessive use of air conditioning, and keep the speed below 50 km/h on urban roads. WLTC is more suitable for domestic electric vehicle energy efficiency testing compared to NEDC.

Key Words: *Electric Vehicle (EV)；Energy Efficiency；Air Conditioning；Regenerative Braking*

一、前　言

溫室氣體 (Greenhouse gases, GHGs) 普遍被視為導致氣候變遷及造成全球暖化的原因，隨著環境的日益變遷，聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change，以下簡稱 IPCC)[4] 在 2018 年研究報告[5] 也證實，氣候變遷正影響著全世界的人類、生態系統及生計，各國也多採取積極策略來對抗全球氣候變遷與暖化的議題，希望能減低溫室氣體的排放。

ICCT (2012)[1] 比對德國數據庫 spritmonitor.de 中 28,000 多個用戶和歐洲最大汽車社團 Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (簡稱 ADAC) 所測試的 1,200 多種車型數據，發現實驗室認證測試的能源效率值 (及 CO2 值) 與實際道路的差距從 2001 年的 8%增加到 21%，尤其是自 2007 年起差距更為明顯；該報告中也指出，可能發生此問題的主要原因在於：(1) 型式認證中選用道路負載、車重、實驗室測試溫度及換檔時間的漏洞；(2) 新歐洲行車型態 (New European Driving Cycle, 簡稱 NEDC) 無法代表真實世界的駕駛條件；(3) 使用空調系統之車輛占比增加。

為減少實際道路與實驗室測試值差異，歐盟於 2017~2018 年間，實驗室測試導入較符合車輛實際行駛狀態的「全球調和輕型車輛測試程序 (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures, 簡稱 WLTP)」，並新增實車道路排放 (Real Driving Emission, 簡稱 RDE) 的測試要求，以反應現實世界的 CO2 排放值及能源消耗量。觀察 2018 年歐盟實驗室與實驗道路測試值差異分別為 WLTP 7.7%，NEDC 則高達 32.7%[2]，然而國內現行新車能源效率管制規定中，除實驗室測試同時認可 NEDC 與 WLTP 外，也尚未納入 RDE 測試要求，此也將增加不同車型間、實驗室與實際道路值相互比較之困難度，降低消費者對能源效率標籤之信心及政府能源效率政策的影響程度[3]。

車輛實驗室測試是在特定的環境條件下執行，如溫度控制 (NEDC：20~30°C、WLTP：23 ± 3°C)、車上空調不作動等，依規定測試程序與方法，於動力計上進行行車型態測試，同車型在不同國家生產或因送測車輛不同，其產品差異可能有不同的能源效率值。車輛在真實道路行駛時，可能因輪胎與路面的摩擦力、車輛行駛中的風阻、車輛引擎的效率、駕駛習慣、天候及路況、使用空調系統等，影響車輛的能源消耗。

其中，汽車車上空調系統關係到乘客的熱舒適度，臺灣年平均溫度約為 24.1°C，但夏季天氣炎熱，高溫可達 35°C 以上，為使車內更為舒適，多數消費者有使用車上空調系統的習慣，而車上空調系統的冷氣壓縮機運轉，會對車上引擎額外增加負載，造成額外的能

4. IPCC 為 Intergovernmental Panel on Climate Change (政府間氣候變遷專門委員會) 的簡稱，為附屬於聯合國之下的跨政府組織。
5. IPCC, 2018.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 related 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.

量使用需求。1995 年，美國環保署[4]曾針對胎壓、環境溫度、坡度、惡劣路面、交通擁擠環境、車上空調 (最嚴苛環境)、駕駛習慣 (急加速) 等影響車輛能源效率因子進行研究，指出影響程度最大者為啟動車上空調系統 (平均能源效率降低 21%)，次為駕駛習慣 (急加速相對於平緩者，平均能源效率低 11.8%)，交通擁擠環境 (車輛速度降低，平均能源效率降低 10.6%)。使用空調後對車輛的能源效率明顯減少，且其影響程度隨車輛型式、環境狀況、行車型態而異[5]。由此可知，空調使用對於能源效率數值影響程度之重要性。

為因應國際社會對於溫室氣體減量與節能減碳之訴求，各國車輛能源效率 (或 CO_2 值) 標準逐漸加嚴，相關政策也多納入低碳節能車輛 (如電動車) 獎勵措施，以導引車廠積極引進與開發低碳車輛，推廣車型中又以電動車輛為主。國內電動小客車每年均呈正向成長，統計 2018~2024 年，電動小客車掛牌數已達 60,775 台[6]。比對經濟部能源署 (以下簡稱能源署) 電動車輛能源效率標示登載資訊，國內 70%電動汽車車型仍採用 NEDC 辦理認證申請[7]，而當電動車輛於實際道路行駛的能源效率與認證值差異案例越多時，也不利電動車輛的推廣。

過去雖有不少文獻針對實際道路與實驗室差異進行討論，且多為燃油車輛的研究[1] [2] [3] [8]，近年來討論電動車能源效率議題日益增加，在電能消耗量議題上，用電量預測、能源效率提升也成為討論之重點。電動車的能量儲存能力較低，使用空調可能會消耗既有已儲存的電量，進而大大降低車輛的續航里程[9]，因空調規格及車輛的駕駛型態不同，使用空調系統會導致行駛里程平均減少約 30-40%[10]，車上空調除有降溫效果外，也有暖氣及通風功能，且為減少電動車空調系統的直接能量消耗，已開發了各種技術[10,11]。但針對電動車既有系統特性 (如再生制動剎車動能回充) 與空調議題的研究相對較少。故本研究以探討國內市售電動汽車車型的能源效率為主要研究範疇，了解電動汽車實驗室測試值與道路測試值的差距，同時考量國內駕駛人習性，解析當駕駛人空調與剎車動能回充 (再生制動) 設定條件不同時，對能源效率之影響。

二、文獻回顧

2.1 電動汽車能源效率影響因子

經濟部能源局 (2005) 曾委託工業技術研究院[12]於實驗室測試環境下，針對 10 台汽油小客車進行特定因子，如使用空調、保養前後、車重、車速等對車輛耗用能源影響程度測試調查，結果顯示調查因子中以空調影響程度最大，觀察 NEDC 型態測試結果，在 25℃條件下，市區及高速行駛開啟空調的能源效率值，分別較未開啟時下降 15.1%及 13.6%。同時，該研究也針對 4 台柴油小客車進行使用空調測試調查，結果顯示 25℃NEDC 型態下，開啟空調之能源效率也降低 24.3%。

6. 統計自交通部公路局統計查詢網[6]

Zhang et al.[13]分析 2017~2018 年中國大陸國家監控及管理平台的同車型電動計程車旅次行駛資料，將影響電能消耗的因子分為三類：第一為「車輛相關」因子，包括：車速、加速度、再生制動 (Regenerative Braking System，即剎車動能回充)、第二為「環境相關」因子，包括：環境溫度、交通狀況、坡度，第三為「駕駛者相關」因子，包括：駕駛型態與行為。結果顯示，在速度因子中，依據不同行駛狀態 (啟動、加速、滑行及減速)，隨著加/減速度增加時，會增加電能消耗率 (Energy Consumption Rate, ECR)，但在減速時，再生制動才會發生效果，以節省電能消耗；低溫時 (冬天) 的電能消耗率會高於夏天，加/減速度頻繁的駕駛者，對電能消耗的影響就越大。此外，Zhang et al.[13]也提到影響的因子仍有風速、道路狀況、路線規劃、電池劣化及充電習慣。

觀察不同車種在電池和電動馬達的驅動系統 (電池到車輪) 過程中的能量損失，電動車為 15%~20%，汽油引擎車輛為 64%~75%[14]，代表電動車相對於汽油引擎車具有較好的效率，同時電動車輛還可以透過再生制動 (Regenerative Braking) 系統，將行駛過程中剎車將損失的動能轉換為電能儲存起來。換言之，再生制動就是當車輛剎車時，電動馬達會轉為發電機，產生電力並儲存在電池中，而這些儲存起來的電力也會回饋給電動馬達，提供能量給車輪，進而驅動車輛往前行駛。

針對電動汽車驅動時的能量損失，美國 FuelEconomy 網站[14]提到在市區與高速型態下有不同的比例值，市區再生制動動能回收比例為 34%，高速時因剎車時間較少，其比例則降為 6%，且除電動車外，複合動力汽車也同樣有再生制動的節能功能。Zhang et al.[13]分析中國大陸的電動計程車行駛數據，發現再生制動對於單一旅次下電能消耗的影響，約有 7.6~28.7%的節省效果，也顯示動能回充比例會受不同行車狀況而有較大比例的差異。

Lee et al.[15]選用韓國建國大學 (Konkuk University) 鄰近道路的駕駛環境測試路線，探討不同再生制動階段 (如：0、1、2、3、I 踏板) 設定值的電能消耗量，結果顯示，在不使用煞車的情況下，隨著再生制動階段的增加，煞車時間和距離減少，各階段的能源消耗量依序降低了 19.8%、26.1%、35.9%、41.0% 和 41.7%，回收的能量分別為 2.761 (度)、3.778 (度)、5.641 (度)、6.715 (度) 和 6.891 (度)，表示當再生制動階段逐漸增加時，有更多的能量被回充入電池中，Lee et al.[15]同時也指出車輛停止和加速頻率多寡，也會影響能源消耗量，即使在同一路線上行駛，能源效率也會根據車速、交通號誌、交通量和環境溫度等駕駛條件而變化，並建議可透過底盤動力計的實驗室測試，進一步定量各種參數的影響。

2.2 車上空調

Mebarki et al.[9]使用 Matlab-Simulink 模擬電動汽車鋰電池的電能消耗量，並比較不同溫度環境有無開啟空調之差異，結果顯示，隨車外溫度升高，空調系統需提供更多功率才能確保車內熱舒適性，故 SOC 迅速下降，當環境溫度為 24℃時，空調系統所需能量約佔車輛總功率 2.71%，當溫度上升至 40℃時則上升至 7.93%，若在未開啟空調狀態下，則空調所需能量則維持不變，故代表車上空調系統所需功率與戶外環境溫度有關。

Yang et al.[16]採用過去研究之數學模型，比較在美國各州氣候狀況與行駛條件下，特定車型 (Nissan Leaf) 的電池劣化與電力消耗量差異，研究結果發現，Nissan Leaf 在 22℃下電動行駛里程約 160 (km)，在零下-18℃低溫環境行駛時，行駛里程會下降 40~57%，在高溫 35℃環境行駛時，行駛里程會下降 10~27%。代表若能降低電動車輛動力負載或透過電動車電池的熱管理可防止電池過早劣化及衍生的容量損失[10]。

Xu et al.[17]為探討高低溫環境對純電動車能源消耗量的影響，採集了 8 輛純電動客車 8 個月的實際道路數據，分析不同溫度下空調因子對車輛行駛速度及怠速時之耗用能源關係，結果顯示，相對於空調關閉，開啟空調的能源消耗量在高溫和低溫環境下，分別增加 17.12%和 47.48%，空調開啟時空調能源消耗量會增加，並隨著車速增加而減少，且在 85~90(km/h)時，開關空調的兩者差距最小。

Liu et al.[18]選用最小平方法及多層次迴歸法探討日本愛知縣電動車行駛數據的環境溫度對電力消耗之影響，結果指出環境溫度會藉由影響輸出的能量損失與車輛輔助負載，進而顯著影響能源效率，最經濟的環境溫度範圍介於 21.8－25.2℃間，若忽略環境溫度與車輛輔助負載的交互影響，會高估使用暖氣的能源消耗量、低估車上空調的能源消耗量。

Zhao et al.[19]為了解電動車在不同環境溫度的能量流向，執行實驗室不同溫度條件的 WLTC 型態測試，結果指出電動車在常溫 (23℃) 下的能量利用率遠高於低溫 (-7℃) 和高溫 (35℃)，故可行駛里程較長，再生制動回收能量也較多，且 SOC 在-7℃時下降最快，其次是 35℃，顯示電動車在 23℃的電源系統和裝置的效率要高於-7℃和 35℃。

ICCT 在 2018[3]報告中提到，雖 WLTP 的行駛條件所涵蓋的範圍比 NEDC 更大，但實車道路排放 (Real Driving Emission, 簡稱 RDE) 測試規範更能代表實際道路駕駛行為；此外，當實際道路和官方型式認證的能源效率值 (或 CO2 值) 間之差距越來越大時，會減輕能源效率政策的影響程度。再者，當實際道路的能源效率值與官方型式認證批准的數值不一致時，會降低消費者對能源效率標籤和政府認證的信心。

因國內電動車尚未普及，且礙於車載設備讀取行駛數據困難度、實驗室及實際道路測試成本，故仍無相關研究進行大規模實車調查研究，過去研究也多著重在傳統汽柴油車輛。觀察使用車輛空調是國內駕駛必要之行駛條件設定，且動能回充為電動車輛之特性，故本研究在探討不同條件因子設定將針對空調與動能回充設定進行調節效果分析，探討電動車輛能源效率(km/度)之影響差異，研究成果也可做為國內政府機關擬定策略與消費者購車時參考。

三、研究方法

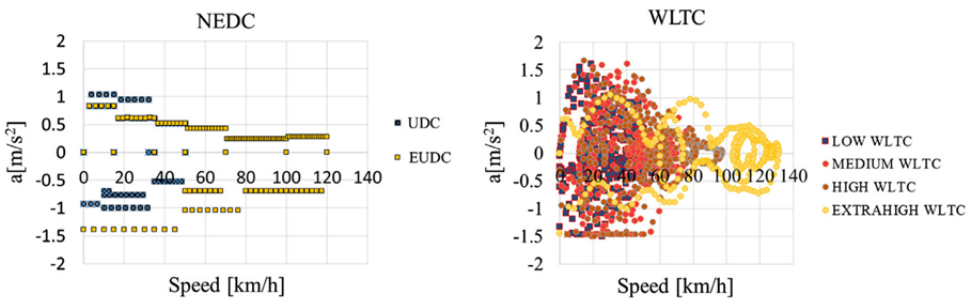
為了解電動汽車於道路行駛的能源消耗，並解析其與國內目前新車能源效率型式認證的實驗室測試值之差異，本研究選用 2 台市售電動車輛分別進行實驗室與實際道路行駛測試。藉由因子的條件設定，如：實驗室駕駛型態、動能回充強度及空調開關，與市區道路

尖離峰路況環境，估算電動汽車行駛所需之電量與能源效率值。

3.1 國內法規測試型態說明

NEDC 與 WLTC 我國目前輕型車輛能源效率(能源署主責)及廢氣排放型式認證檢測(環境部[7]主責) 主要採用之行車型態。NEDC 由市區 (Urban，簡稱 UDC) 和非市區 (Extra Urban，簡稱 EUDC) 兩階段所組成，而 WLTC 是由低速 (Low)、中速 (Medium)、中高速 (High) 和高速 (Extra-high) 四個階段所組成。

圖 1 比較 WLTC 與 NEDC 的速度與加速度變化，WLTC 相對 NEDC 有更多的車輛動態移動特性，其加速度與速度變化範圍較廣；表 1 列出此兩型態的行駛特性，WLTC 除測試時間較長外，最大車速也高達 131.3 (km/h)，惰轉比例則僅有 12.6%，低於 NEDC 的 23.7%。NEDC 與 WLTC 兩型態時間與行駛速度之關係圖則分別如圖 2 與圖 3，其中 NEDC 型態執行兩次循環也是國內現行電動汽車的能源效率認證值的標準測試方法之一。



資料來源：Costagliola et al. [20]

圖 1　NEDC 與 WLTC 的速度與加速度變化

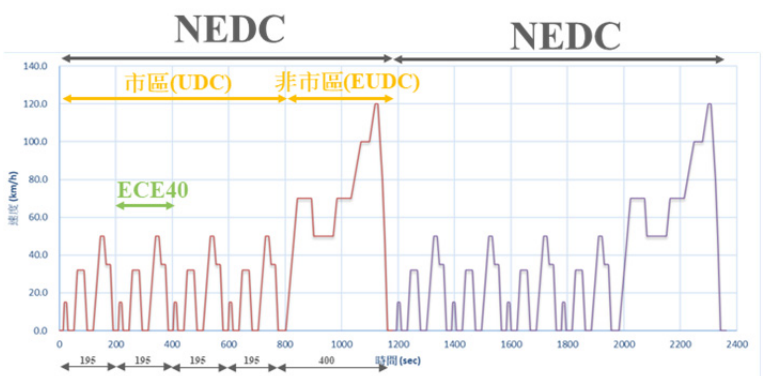


圖 2　本研究電動汽車實驗室測試型態：NEDC 兩循環

7. 行政院環保署已於 2023 年 8 月升格為環境部。

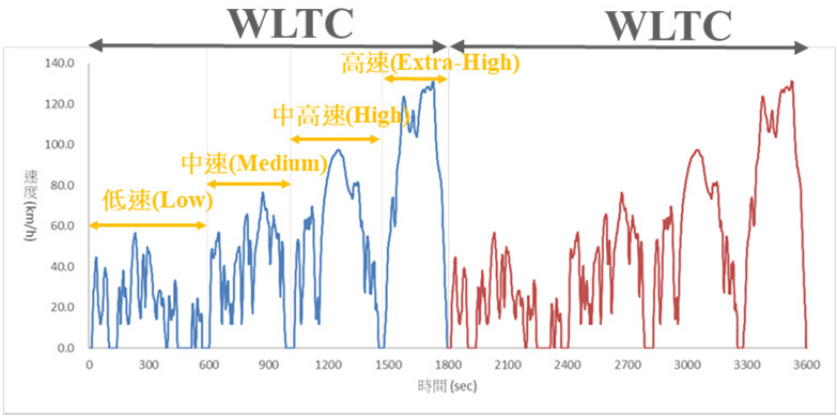


圖 3　本研究電動汽車實驗室測試型態：WLTC 兩循環

表 1　實驗室 NEDC 與 WLTC 行車型態特性比較

行車型態	NEDC			WLTC				
行駛階段	市區 UDC	非市區 EDUC	總計	低速 Low	中速 Medium	中高速 High	高速 Extra-High	總計
行駛距離(km)	4.052	6.955	11	3.10	4.76	7.16	8.25	23.26
測試時間(s)	780	400	1180	599	433	455	323	1800
平均車速(km/h)	18.7	62.6	34	18.9	39.5	56.6	92.0	46.5
最大車速(km/h)	50	120	120	56.5	76.6	97.4	131.3	131.3
惰轉比例(%)	30.8	10	23.7	25.4	11.1	6.6	2.2	12.6
最大加速度(m/s^2)	1.05	0.83	1.05	1.61	1.61	1.67	1.05	1.67

資料來源：能源知識庫網站[21]。

3.2　實驗車輛

測試車輛除為國內已販售之車型需徵求車主同意在不拆卸與破壞車輛原則下租借外，另因電動車輛並無互通性車載設備可讀取行駛數據，經洽詢原廠，實驗車輛以車輛製造商提供之原廠診斷器進行車輛監控與數據擷取。本研究選用 2 台不同廠牌車輛分別進行每車 12 筆的測試，解析電動車輛的行駛與電池的充放電狀態。兩車也均具備動能回充強度設定，表 2 為選用之測試車型資訊，Model (B) 相較於 Model (A) 有較大的馬力、扭力及電池容量等，且為四輪驅動之車型。

表 2　本研究電動汽車測試車輛基本資訊

編號	Model(A)	Model (B)
車型年	2021	2022
電池模組	固定式	固定式
車輛總重	1761 (kg)	2020 (kg)
最高車速	160 (km/h)	160 (km/h)
最大馬力	201(HP)/150(kW)	215(HP)/160(kW)
最大扭力	30.6(kgf.m)	34.4(kgf.m)
電池容量	153 (Ah)	201 (Ah)
額定電壓	355.2 (V)	355
動能回充設計	有(不可關閉)，且使用調節撥片將剎車力道分為 4 等級	有(不可關閉)，且使用調節撥片將剎車力道分為 4 等級
傳動方式	前輪傳動	四輪驅動
續航力(km)	556 (NEDC)	502(NEDC)

3.3 實驗設計

測試項目依據測試地點，區分為實驗室測試及新竹市區道路測試。車輛進行車況檢查後，分別進行測試，且均執行兩次駕駛循環；測試過程中分別納入不同條件因子進行比較，如：行車型態 (NEDC、WLTC)、空調條件 (關/開且負載最大) 及動能回充設定 (一般/最大)、道路路況 (尖峰/離峰)。

目前國內實驗室標準測試方法是以關空調方式進行，本研究除關空調外，另進行空調最大負載測試，即設定空調全開與溫度最低之條件。針對動能回充設定，因兩車動能回充強度均是採用 1~4 等級的撥片設計，為利於比較，本研究以原廠建議的預設值 (一般等級) 與最大等級來進行測試。本研究規劃的實驗室與道路測試流程與項目如圖 4。

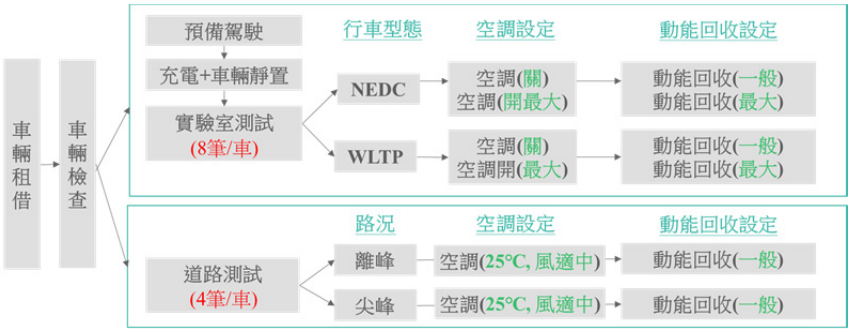


圖 4　本研究測試流程與測試項目

3.3.1 實驗室測試

本研究執行實驗室測試地點為財團法人工業技術研究院車輛檢驗室 (地址：新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號)，也是目前國內環境部與能源署所認可之機動車輛法規檢測實驗室，其可執行之測試有污染、蒸發、能源效率、耗電量等，實驗室測試概況如圖 5。



資料來源：工業技術研究院 [22]。

圖 5　執行車輛實驗室測試示意圖

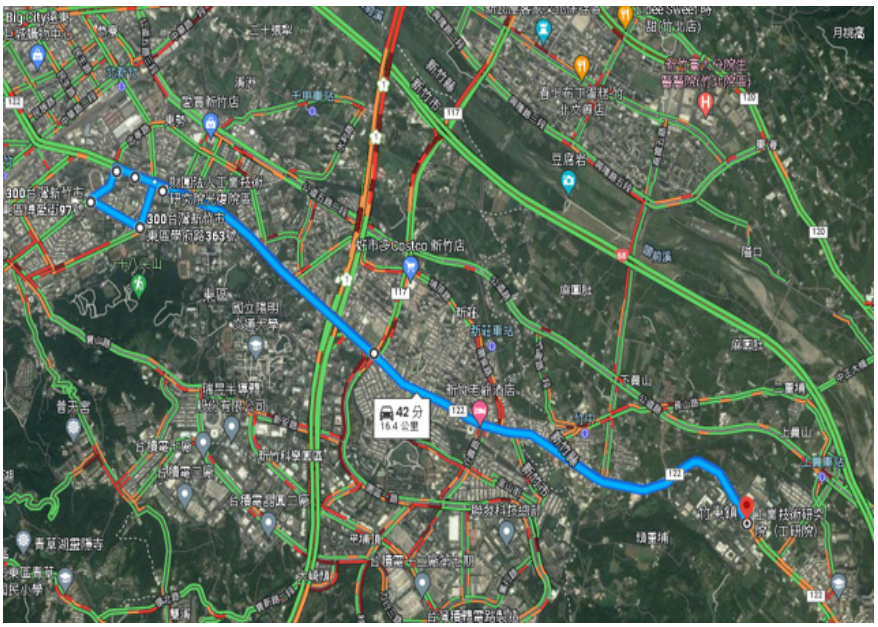
3.3.2 道路測試

1. 測試路線

針對日常使用者主要行駛之市區路段進行道路測試，探討民眾日常使用情況下，尖峰與離峰時段的耗電量差異，故空調設定為 25 度、風量中等 (相當於 3 格)。

測試起點與終點均為新竹工業技術研究院竹東中興院區，路線空間地理區域如圖 6，其路徑為：中興院區→ 中興路四段→ (直行) 光復路一段→ (直行) 光復路二段→ (左轉) 學府路→工研院光復院區 (側門) → (右轉) 博愛街→ (右轉) 食品路→ (右轉) 光復路二段→ (直行) 光復路一段→ (直行) 中興路四段→ 中興院區，總計路線長度約 32 (km)，預估行駛速度為 18~30 (km/h)。

另因道路行駛易受路況影響，如週五與其他平日、尖峰與離峰的差異，故道路測試規劃於固定時段行駛。本研究參考新竹市易塞車路段資訊，其時段為平日上午 7 至 9 時、下午 5 時至 7 時，此與一般尖離峰定義雷同，故以此定義作為尖峰及離峰時段之區分。綜上所述，本研究離峰測試時間為：週一~週四非尖峰時間，尖峰測試為週五晚間 17:00~19:00，以了解路況對於電動車耗電量之影響。



資料來源：工業技術研究院[22]。

圖 6　本研究電動車輛新竹市市區道路行駛測試路線

2. 測試資料檢核條件

因路況可能因車輛事故等因素造成測試結果差異，針對道路測試結果參考歐盟實際道路 (RDE) 測試的市區條件規範，設定測試樣本數據檢核條件，並針對尖峰之惰轉時間進行調整，以符合實際情境 (表 3)。

表 3　本研究電動汽車道路測試資料檢核條件

檢核項目		說明
測試環境	環境溫度	0~35℃
	高度	海拔高度≦700 公尺起點與訖點高度差小於 100 公尺
	旅程累積爬升高度	小於 1,200 公尺/100 公里
旅程要求	車速	行駛車速小於道路速限、平均車速介於 15~40 (km/h)
	停等時間	占市區時間的 6~30% (一般)、30~45% (尖峰) 單次停等時間不得超過 300 秒
其他條件	操作要求	引擎發動後，不得怠速超過 15 秒。 空調系統與其他輔助裝置依消費者於道路駕駛時之使用狀況進行設定。

資料來源：工業技術研究院[22]。

3.3.3 電能補充設施電量量測記錄設備

本研究電動汽車均採用原廠診斷電腦進行電池充放電狀態監控與行駛紀錄，儀器紀錄欄位有：電壓、電流、車速、SOC、環境溫度、加速踏板狀態、總行駛里程、空調使用之電能消耗量等；但取樣頻率受限於原廠診斷器設計，Model (A) 每筆數值約為 0.70 秒，而 Model (B) 則約為 1.5 秒，因兩車使用設備與取樣頻率不同，可能有計算誤差產生。每趟測試結束後，為估計實際耗電量，採用電能補充設施進行充電時，將同時以經定期校正的電力紀錄儀 (HIOKI 3390) 進行紀錄，了解實際充電量數值，圖 7 為選用之電能補充設施與充電量量測記錄設備。



圖 7　本研究電動汽車電能補充設施與電量量測記錄設備

3.4 分析方法

藉由原廠診斷器讀取車輛的即時電壓(V_t)、電流(C_t)、及車速等數據，以公式 (1) 計算測試車輛的電能消耗量及能源效率值，並依測試時間，再細部區分出表 1 中不同行駛階段之數值以進行比較。另為了解每筆測試數據的動能回充狀態，透過即時的紀錄資料，以公式 (2) 中，充電量除以放電量來觀察該筆測試的動能回充比例。為了解各因子之影響，後續分析選用變異數分析分別探討空調與動能回充及行車型態之交互作用效果。

$$\text{能源效率(km/度)} = \frac{\text{電能消耗量}}{\text{行駛距離}} = \frac{\sum_1^t \frac{C_t \times V_t \times \Delta t}{3600 \times 1000}}{\text{行駛距離}}, \quad (1)$$

其中：C = 電流值(A)；V = 電壓值(V)

$$\text{動能回充比例(\%)} = \frac{\text{充電量}}{\text{放電量}} \times 100 \quad (2)$$

四、實驗與分析結果

4.1 新竹市區道路測試因子比較

表 4 為新竹市區道路測試之計算結果，針對行駛時間，尖峰為 96~105 分鐘、離峰為 67~77 分鐘；平均速度部分，尖峰與離峰分別為 18 (km/h) 與 26 (km/h)，且尖峰均低於 20 (km/h)；尖峰平均惰轉時間為 37%、而離峰 27%；針對動能回充比例，實驗室 NEDC 階段 (UDC) 與 WLTC 低速階段 (Low) 之動能回充比例分別為 29%與 36%，本研究道路測試則介於 31.2%~38.6%，尖離峰平均數值約為 36%。

觀察兩車型耗電量，Model (A) 的耗電量低於 Model (B)，顯示 Model (A) 每公里所需電量較少。能源效率部分，Model (A) 尖峰數值為 6.76 及 5.84 (km /度)、離峰為 7.47 及 7.69 (km /度)；Model (B) 尖峰時能源效率分別為 6.18 及 6.21 (km /度)、離峰時為 6.62 及 6.50 (km /度)。總體而言，Model (A) 兩筆尖峰與離峰數據平均能源效率分別為 7.58 (km /度) 及 6.30 (km /度)；車型 (B) 平均能源效率分別為 6.56 (km /度) 及 6.19 (km /度)，顯示離峰平均能源效率會高於尖峰時段，故在尖峰行駛時，所需的電量會高於離峰。

比較 NEDC 中的市區階段 (UDC)、WLTC 低速階段 (Low) 與市區道路測試結果之差異，尖峰時段與實驗室市區型態之差異會高於離峰時段，且兩車型市區道路能源效率值與 NEDC 市區階段 (UDC) 測試值之差距 (10%~32%，平均約 18%) 會高於其與 WLTC 低速階段 (Low) 之測試值 (3%~20%，平均約 12%)，其原因除實驗室型態差異外，與路況及道路行駛開啟車上空調等有關。

4.2 實驗室測試因子比較

表 5 為實驗室測試計算結果，WLTC 比 NEDC 有較長的行駛距離及較高的行駛速度。當測試型態與空調條件相同時，動能回充 (最大) 的「平均減速度 (m/s2)」會高於動能回充 (一般) 之測試值;圖 8 及圖 9 顯示當測試型態與動能回充條件相同時，空調開 (最大) 的「動能回充比例 (%)」(平均 18.1%) 會低於空調關之測試結果 (平均 22.8%)。

實驗室探討因子共包含三大類：駕駛型態、空調開關、動能回充強度。因本研究測試車輛國內均是以 NEDC 辦理能源效率數值的型式認證，故進行實驗室測試之模擬阻力值均採用原廠提供之 NEDC 做為基準。

觀察能源效率數值，對 NEDC 型態而言，開空調對於能源效率的影響為 15~23%，而採用相同阻力設定的 WLTC，其開空調對於能源效率的影響為 9~14%。由此可知，當空調設定為最大負載時，對能源效率的影響程度在不同駕駛型態下也不同，對 NEDC 的影響 (四筆平均值為 21%) 會高於 WLTC (四筆平均值為 12%)。

表 4　本研究電動汽車新竹市區道路測試結果

車輛	測試型態/狀態	動能回充設定	空調設定	行駛距離(km)	行駛時間(分)	平均速度(km/h)	平均加速度(m/s^2)	平均減速度(m/s^2)	惰轉時間比例(%)	行駛時動能回充比例(%)	耗電量(Wh/km)	能源效率(km/度)
Model (A)	UDC(NEDC)	一般	關	7.9	26.0	18.3	0.67	0.68	30.3	29.5	116.6	8.57
	Low(WLTC)	一般	關	6.0	19.5	18.4	0.70	0.59	26.4	36.4	118.6	8.43
	離峰(1)	一般	開(中)	29.6	67.7	26.2	0.72	0.69	26.1	35.9	133.9	7.47
	離峰(2)	一般	開(中)	30.9	68.8	27.0	0.71	0.70	28.4	37.3	130.0	7.69
	尖峰(1)	一般	開(中)	31.3	104.9	17.9	0.71	0.68	38.8	36.7	147.9	6.76
	尖峰(2)	一般	開(中)	31.3	104.0	18.0	0.75	0.65	39.7	31.2	171.1	5.84
Model (B)	UDC(NEDC)	一般	關	7.8	26.2	17.8	0.57	0.57	30.9	28.5	130.0	7.69
	Low(WLTC)	一般	關	6.0	19.6	18.2	0.53	0.44	26.3	32.1	146.4	6.83
	離峰(1)	一般	開(中)	30.2	77.2	23.5	0.56	0.51	27.4	37.6	150.9	6.62
	離峰(2)	一般	開(中)	30.3	67.2	27.0	0.56	0.53	24.6	38.3	153.8	6.50
	尖峰(1)	一般	開(中)	30.6	115.3	15.9	0.56	0.48	36.3	37.1	161.9	6.18
	尖峰(2)	一般	開(中)	30.6	95.8	19.2	0.58	0.53	34.5	38.6	161.0	6.21

表 5　本研究電動汽車實驗室測試計算結果

車輛	測試型態	動能回充設定	空調設定	行駛距離(km)	行駛時間(分)	平均速度(km/h)	平均加速度(m/s^2)	平均減速度(m/s^2)	惰轉時間比例(%)	行駛時動能回充比例(%)	耗電量(Wh/km)	能源效率(km/度)
Model (A)	NEDC	一般	關	21.5	39.3	32.8	0.60	0.71	23.4	21.5	134.7	7.43
	NEDC	最大	關	21.1	39.4	32.0	0.58	0.80	22.9	23.6	137.7	7.26
	WLTC	一般	關	45.5	59.8	45.6	0.64	0.65	13.3	22.0	151.2	6.62
	WLTC	最大	關	45.6	59.8	45.7	0.64	0.68	12.6	21.5	151.4	6.61
	NEDC	一般	開(最大)	21.4	39.3	32.7	0.59	0.72	23.3	15.8	171.3	5.84
	NEDC	最大	開(最大)	21.3	39.8	32.2	0.58	0.79	23.5	17.4	179.8	5.56
	WLTC	一般	開(最大)	45.5	59.8	45.7	0.64	0.65	13.1	17.9	172.5	5.80
	WLTC	最大	開(最大)	45.4	60.0	45.4	0.63	0.68	13.0	17.5	173.3	5.77
Model (B)	NEDC	一般	關	21.2	39.2	32.4	0.47	0.60	23.1	21.2	147.7	6.77
	NEDC	最大	關	21.0	39.2	32.2	0.47	0.60	23.1	25.4	148.7	6.72
	WLTC	一般	關	44.8	60.0	44.9	0.46	0.47	13.3	20.9	168.5	5.93
	WLTC	最大	關	44.8	60.0	44.8	0.46	0.48	12.9	26.2	159.4	6.27
	NEDC	一般	開(最大)	21.1	39.4	32.2	0.47	0.59	23.7	14.9	192.4	5.20
	NEDC	最大	開(最大)	21.1	39.3	32.2	0.47	0.64	22.8	21.7	175.1	5.71
	WLTC	一般	開(最大)	44.8	60.0	44.8	0.46	0.47	12.9	16.6	195.7	5.11
	WLTC	最大	開(最大)	44.7	60.0	44.7	0.46	0.48	12.9	22.7	175.9	5.68

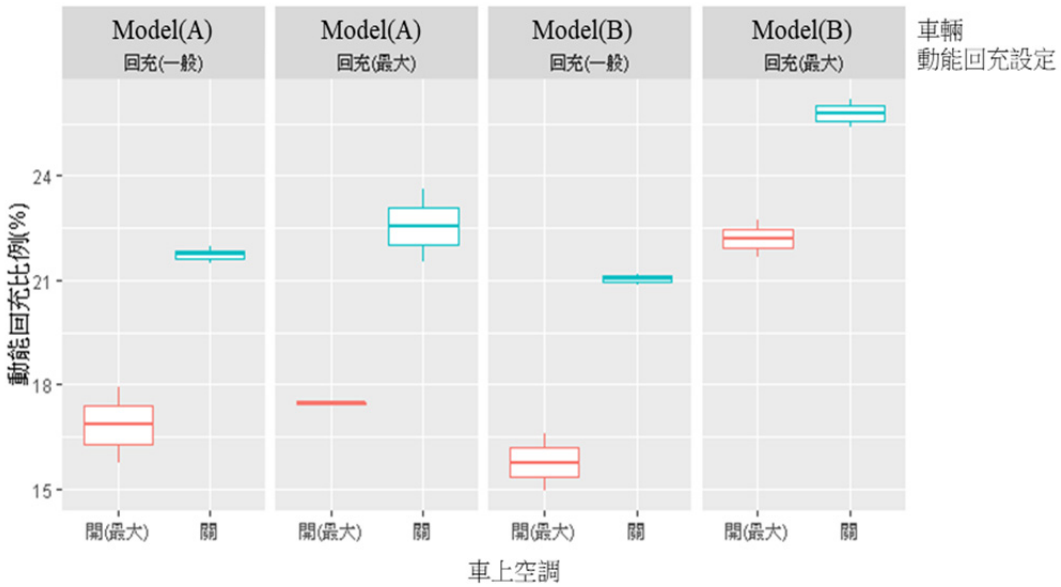


圖 8　本研究電動汽車不同空調設定下動能回充比例數值

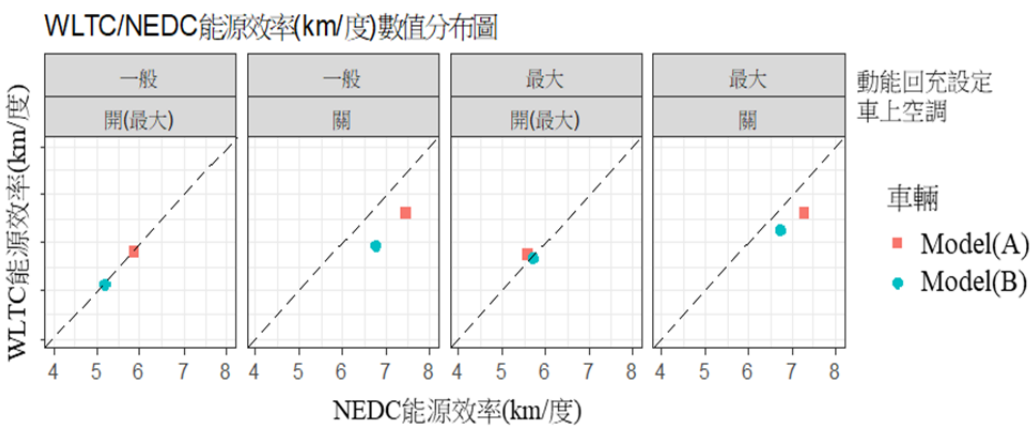


圖 9　本研究電動汽車兩行車型態能源效率測試結果值比較

圖 10 觀察實驗室各行駛階段的平均能源效率表現，在相同動能回充的設定條件下，兩測試車輛以 WLTC 之中速階段 (Medium) 數值最高，WLTC 高速階段 (Extra-High) 數值最低；而車輛剛啟動的 NEDC 市區階段 (UDC) 及 WLTC 低速階段 (Low)，若將空調設定全開時，因需提供較多能量給予車上空調系統，故與未開啟空調相比，兩者電能源效率有較大差異，隨著車輛空調達到設定的溫度後，兩者的差異會逐漸縮小。

進一步將速度區間區分為 14 個等級，計算兩車在實驗室測試條件下，不同速度區間

的能源效率值。圖 11(a)為空調關閉且動能回充設定為一般條件之測試結果，圖中顯示 Model(A)及 Model(B)分別在平均速度介於 30~40(km/h)與 40~50(km/h)有較高的能源效率。觀察 2 車空調開啟及動能回充設定的變動在不同速度的能源效率值，整體而言，以 30~50(km/h)速度下數值較高，此與上圖 10 中 WLTC Medium 中速階段(平均速度 39.5km/h)相對於其他階段有較大能源效率數值之結果一致。此外且平均速度大於 50(km/h)後，此二車型的能源效率有逐漸降低趨勢，速度越大，能源效率的變化越趨平緩。比較圖 11(a)與圖 11(d)，兩車型能源效率值差距之平均值自 0.91(km/度)降至 0.03(km/度)，顯示空調全開且動能回充設定最大時，馬力及扭力較低的 Model(A)因負載增加，故相對 Model(B)需再給予更多能量來帶動車輛行駛。

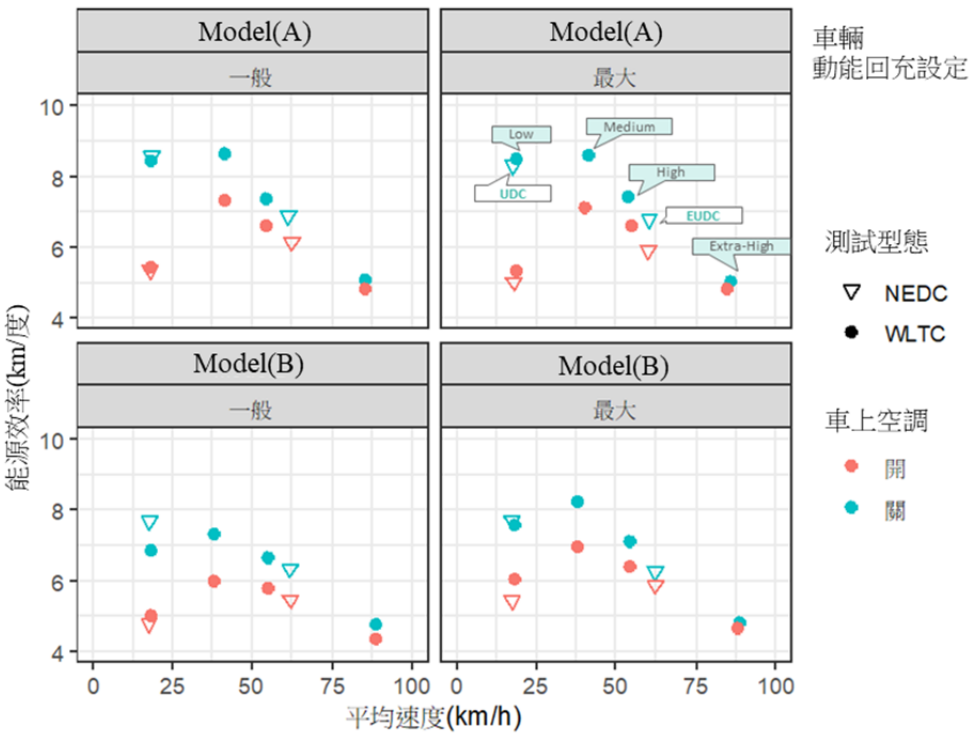


圖 10　本研究電動汽車實驗室各階段行車型態能源效率測試結果值比較

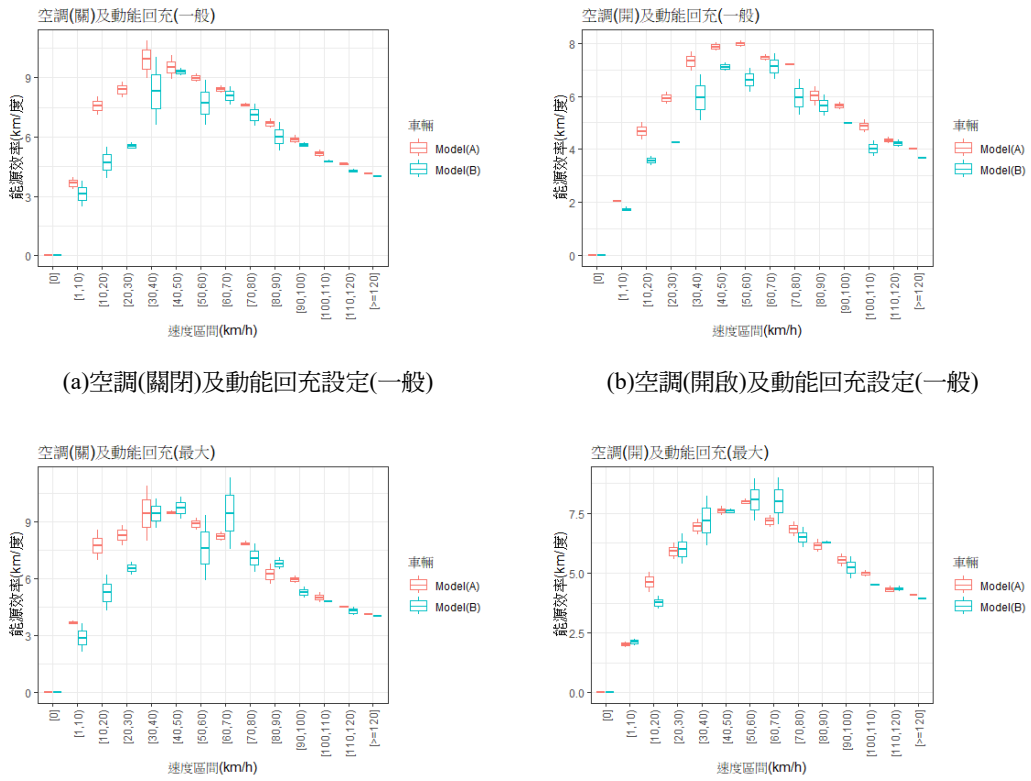
4.3 因子交互作用

4.3.1 ANOVA

1. 空調與動能回充

選用實驗室兩行車型態 (NEDC 及 WLTC) 測試結果值，探討實驗室空調 (X1) 與不同動能回充設定條件 (X2) 下之交互作用，表 6 為雙因子變異數分析結果。結果顯示兩變數

交互作用之 p-value 為 0.698，無法拒絕虛無假設，空調與動能回充兩因子間並無交互作用。對空調設定因子而言，p-value < 0.05，故拒絕虛無假設，空調設定因子 (關/最大) 兩平均數不相等，因無交互作用，表示空調設定最大負載時的影響效果顯著大於關空調時；對動能回充設定因子而言，其 p-value > 0.05，故無法拒絕虛無假設，動能回充設定因子 (最大與一般) 並無顯著差異。



(a)空調(關閉)及動能回充設定(一般)　(b)空調(開啟)及動能回充設定(一般)

(c)空調(關閉)及動能回充設定(最大)　(d)空調(開啟)及動能回充設定(最大)

註：速度小於 1(km/h)者視為 0(km/h)；圖中(a)(b)(c)(d)為測試條件。

圖 11　實驗室行車型態不同速度區間能源效率值比較

2. 動能回充與行車型態

表 6 為實驗室不同動能回充設定 (X2) 與行車型態 (X3) 的雙因子變異數分析結果，表中顯示行車型態與動能回充兩因子間並無交互作用，對動能回充設定因子而言，其 p-value > 0.05，表示動能回充設定因子 (最大與一般) 並無顯著差異；對行車型態因子而言，p-value < 0.05，表示兩行車型態 (NEDC 及 WLTC) 的有顯著差異。

3. 空調與行車型態

表 6 為實驗室空調設定 (X1) 條件對兩行車型態 (X3) 之雙因子變異數分析結果，顯示兩變數交互作用之 p-value 為 0.049 (< 0.05)，故拒絕虛無假設，代表變數間有交互作用，故在空調設定因子 (關/最大) 條件下，會影響行車型態因子 (NEDC/WLTC) 對於應變數 (能源效率) 的影響程度。對於空調設定因子而言，其 F 值 = 48.568、p-value < 0.05，故拒絕虛無假設，表示空調設定因子 (關/最大) 兩平均數不相等，因有交互作用，表示空調設定條件會影響行車型態測試結果。

表 6　空調、不同動能回充設定及行車型態 ANOVA 計算結果

變數	應變數：能源效率		應變數：能源效率		應變數：能源效率	
	F 值	p-value	F 值	p-value	F 值	p-value
X1:空調設定(關/最大)	28.501	**<0.001**	-	-	48.568	**<0.001**
X2:動能回充設定(一般/最大)	0.296	0.596	0.296	0.596	-	-
X3:行車型態(NEDC/WLTC)	-	-	28.501	**<0.001**	4.418	0.057
X1*X2	**0.159**	**0.698**	-	-	**-**	**-**
X2*X3	-	-	**0.159**	**0.698**	**-**	**-**
X1*X3	-	-	-	-	**4.805**	**0.049**

4.3.2 拔靴法(Bootstrap)

本研究因樣本有限且非常態分佈，另採用 Bootstrap 法以隨機抽取、抽取後放回的方式，重覆抽取各速度區間下之樣本並再次以 4.3.1 節流程進行分析，以有效萃取樣本資訊並減少統計模式假設對分析結果的影響。

表 7 為對每秒之電能消耗量 (公式 (1)) 分別進行拔靴樣本數為 10、30、50、100 之分析結果，由分析結果可發現，空調設定(X1)不論在何種拔靴樣本數與變數組合下皆具顯著性；而行車型態 (X3) 在樣本數到達一定規模後，即呈現顯著性。動能回充設定 (X2) 在不同拔靴樣本下，皆呈現接近顯著水準。空調設定與行車型態交互作用 (X1* X3)，僅在樣本數為 50 時，呈現接近顯著水準。

空調設定 (X1) 與行車型態 (X3) 拔靴法的分析結果與 4.3.1 節一致，顯示此兩變數對能源效率的確有顯著影響。動能回充設定 (X2) 雖在 4.3.1 節分析結果未達顯著水準，但在拔靴法分析結果穩定呈現接近顯著狀態；若未來有機會能增加實驗樣本，預期應具顯著影響。空調設定與行車型態交互作用 (X1* X3) 在 4.3.1 節呈現接近顯著結果，拔靴法分析結果不穩定，此交互作用效果明顯需進一步研究。

表 7　空調、不同動能回充設定及行車型態 Bootstrap 計算結果

拔靴樣本數	變數	應變數：電能消耗量		應變數：電能消耗量	
		F 值	p-value	F 值	p-value
10	X1:空調設定(關/最大)	7.355	**0.007**	4.390	**0.036**
	X2:動能回充設定(一般/最大)	0.294	0.588		
	X3:行車型態(NEDC/WLTC)	3.321	0.069	2.244	0.134
	X1*X3			0.088	0.767
30	X1:空調設定(關/最大)	13.379	**<0.001**	13.379	**<0.001**
	X2:動能回充設定(一般/最大)	2.030	0.154		
	X3:行車型態(NEDC/WLTC)	2.437	0.119	2.030	0.154
	X1*X3			2.437	0.119
50	X1:空調設定(關/最大)	13.269	**<0.001**	13.269	**<0.001**
	X2:動能回充設定(一般/最大)	2.632	0.105		
	X3:行車型態(NEDC/WLTC)	2.815	0.093	2.632	0.105
	X1*X3			2.815	0.093
100	X1:空調設定(關/最大)	24.785	**<0.001**	15.058	**<0.001**
	X2:動能回充設定(一般/最大)	2.596	0.107		
	X3:行車型態(NEDC/WLTC)	6.168	**0.013**	4.729	**0.030**
	X1*X3			0.350	0.554

五、結論與建議

5.1 研究結論

歐盟因 NEDC 行車型態與實際道路行駛的污染物排放值差異過大，於 2017 年導入 WLTC，國內輕型車輛能源效率與及廢氣排放型式認證檢測認可之行車型態有 NEDC 與 WLTC 兩種，且電動汽車仍以 NEDC 辦理認證申請者為多數 (約 70%)[7]。當實際道路與標準測試型態下能源效率值的差異過大時，除會降低消費者對能源效率標籤之信心外，也會減低政府能源效率政策的影響程度[3]。

為了解國內電動車輛實際道路行駛與實驗室測試值差異，選用 2 台電動汽車探討實驗室不同駕駛型態、動能回充強度及空調開關，與實際道路尖離峰條件下對能源效率的影

響，研究結果顯示：

1. 針對測試樣本行駛時可獲得的動能回充比例 (%)，新竹市區道路測試數值會高於實驗室測試環境；而在實驗室測試情境下，當空調強度設至最大時會減低動能回充比例數值會下降，道路行駛時剎車動能回充比例高於實驗型態約 4%，若避免將空調設為最大負載，行駛中動能回充比例可提升 4.7%。道路測試的整體能源效率表現低於 NEDC 及 WLTP 實驗值 (關空調與剎車動能回充一般條件設定)，但道路行駛時之剎車動能回充比例 (36%) 高於實驗型態 (32%)，顯示剎車行為是電動汽車能源效率數值良窳之關鍵因子之一。
2. 在相同動能回充的設定條件，實驗室各行駛階段的平均能源效率表現，以 WLTC 中速 (Medium) 數值最高，WLTC 高速 (Extra-High) 數值最低，顯示 WLTC 型態中，隨著高車速占比增加，能源效率有降低趨勢。觀察實驗室未開啟空調及動能回充設定為一般條件的情境下，不同速度區間的能源效率值，Model (A) 及 Model (B) 分別於速度介於 30~40 (km/h) 及 40~50 (km/h) 有較高之能源效率值。
3. 綜整實驗室不同速度測試結果，以速度介於 30~50 (km/h) 下能源效率數值較高，在平均速度大於 50 (km/h) 後，能源效率有逐漸降低趨勢，速度越大，能源效率的變化越趨平緩，此趨勢也與 Xu et al.[17] 研究一致。故在市區道路環境許可下，行駛時速避免超過 50 (km/h) 可維持較高之能源效率值。
4. 空調關閉時，NEDC 能源效率 (km/度) 會高於 WLTC；比較 NEDC 與 WLTC 兩行車型態空調設定狀態 (負載最大與關閉) 對能源效率的影響程度，NEDC (15~23%，平均 21%) 會大於 WLTC (9~14%，平均 12%)。空調負載最大的實驗室第一階段 (UDC 及 Low) 測試結果值，因車輛啟動後需立即提供空調，導致發電機負載增加，造成較低之能源效率值。表示車輛啟動後，應避免將空調調至最大負載，增加電動車輛的電能消耗量。
5. 選用 ANOVA 雙因子變異數分析及 Bootstrap 拔靴法探討實驗室不同空調設定、動能回充設定及行車型態間對能源效率的交互作用，僅有 ANOVA 結果顯示空調設定與行車型態間有交互作用產生，表示空調設定不同時，對能源效率的影響程度在不同駕駛型態下也不同，Bootstrap 在隨機取樣的有限樣本下，並未發現此二變數有交互作用產生，建議未來持續累積測試數據進行後續驗證。單一因子中，ANOVA 與 Bootstrap 均顯示，不同空調設定條件 (關與最大) 與不同行車型態 (NEDC 與 WLTC) 有顯著差異，動能回充設定因子 (最大與一般) 在 Bootstrap 分析結果穩定呈現接近顯著差異。動能回充設定為最大時，會有明顯車輛煞停感受，駕駛人於路面行駛時，可權衡行駛舒適度與節能需求，選擇適宜之動能回充設定。
6. 新竹道路實測之市區尖峰時段能源效率值會低於離峰時段 (兩車平均約為 10%)，與實驗室市區型態測試值相比，其差距分別為 NEDC (UDC) 10%~32% (平均 18%)、WLTC (Low) 3%~20% (平均 12%)，顯示 WLTC 測試結果值相對於 NEDC 更貼近道路實測值。建議國內針對現行 NEDC 型態之適宜性與單一測試型態 (如 WLTC) 著手進行檢討，並評估納入 RDE 測試規範，同步修訂能源效率標示及其說明，提供消費者解讀實

驗室與實際道路數值差異參考。

5.2 研究建議

因國內電動車尚未普及，車輛數有限，且現行電動汽車並未如燃油車輛可藉由互通性的車載設備讀取車輛的行車電腦資訊，礙於原廠診斷器取得限制、車輛租借期較長 (至少兩周)、實驗室及實際道路測試成本，故測試規模僅選用 2 台電動汽車進行實車調查研究。

本研究已初步解析電動車在空調使用條件、動能回充條件、實驗室測試行車型態及道路行駛條件下的能源效率 (km/度) 表現，也分析空調開啟、實驗室行車型態對電動車能源效率之影響。建議政策執行單位，持續檢討現行實驗室標準測試程序之適宜性，並評估將實際道路行駛條件與空調測試納入管制項目，或鼓勵車廠商自主揭露。此外，因電動車與燃油車的動力來源不同，在駕駛人節約能源的議題上，應給予不同的駕駛技巧與情境訓練，如燃油車的最佳能源效率行駛速度為 60~70 (km/h) [12][23]，而電動車因再生制動之動能回收，更適宜行駛於市區道路中。

隨著國內電動汽車日益增多，後續研究除可再增加研究車型的多樣性外，對於實際道路的測試路線可再納入其他路線及高速行駛路段，或藉由使用者提供實際充電與能源效率數據，累積電動汽車實際使用數據，解析不同車型於實際道路行駛的能源效率值 (及用電量)，與最節電之行駛車速，做為駕駛人或車隊駕駛行為訓練參考。

參考文獻

1. ICCT, “Discrepancies between type-approval and real-world fuel consumption and CO2 values in 2001-2011 European passenger cars”, 2012.
2. ICCT, “On the way to “real-world” CO2 values? The European passenger car market after 5 years of WLTP”, 2024.
3. ICCT, “Evaluation of real-world fuel consumption of light-duty vehicles in China”, 2018.
4. United States Environmental Protection Agency, “Fuel Economy Impact Analysis of RFG”, EPA 420-F-95-003, 1995.
5. Welstand, J. S., Haskew, H. H., Gunst, R. F., and Bevilacqua, O. M., “Evaluation of the effects of air conditioning operation and associated environmental conditions on vehicle emissions and fuel economy”, *SAE Transactions*, Vol.112, 2003, pp. 1993-2006.
6. 交通部公路局統計查詢網，「新車領牌數 - 按使用燃料別分」，https://stat.thb.gov.tw/hb01/webMain.aspx?sys=100&funid=11200，2024 年 5 月 10 日。
7. 車輛耗能研究網站，「電動車能效查詢」，https://auto.itri.org.tw/，2023 年 8 月 31 日。
8. ICCT, “From laboratory to road international: A comparison of official and real-world fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe, the United States, China, and Japan”, 2017.
9. Mebarki, B., Draoui, B., Allaou, B., Rahmani, L., and Benachour, E., “Impact of the air-conditioning system on the power consumption of an electric vehicle powered by lithium-ion battery”, *Modelling and Simulation in Engineering*, Vol. 2013, Iss.1, 2013, Article 935784.

10. Zhang, Z., Wang, J., Feng, X., Chang, L., Chen, Y., and Wang, X, “The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, 2018, pp. 443-463.
11. K. Kambly and T. H. Bradley, “Geographical and temporal differences in electric vehicle range due to cabin conditioning energy consumption ” , *Journal of Power Sources*, Vol. 275, 2015, pp. 468-475.
12. 工業技術研究院，**建立低耗能車輛測試程序與耗能影響因素評估及省能車輛推廣策略研究計畫**，經濟部能源局委辦計畫 (計畫編號: 94-D0237)，民國 94 年。
13. Zhang, J., Z. Wang, P. Liu and Z. Zhang, “Energy consumption analysis and prediction of electric vehicles based on real-world driving data”, *Applied Energy*, Vol. 275, 2020, Article 115408.
14. FuelEconomy.gov，「Where the Energy Goes: Electric Cars」，https://fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml，2023 年 8 月 31 日。
15. Lee, G., Song, J., Han, J., Lim, Y. and Park, S., “Study on energy consumption characteristics of passenger electric vehicle according to the regenerative braking stages during real-world driving conditions”, *Energy*, Vol. 283, 2023, Article 128745.
16. Yang, F., Xie, Y., Deng, Y., and Yuan, C., “Predictive modeling of battery degradation and greenhouse gas emissions from US state-level electric vehicle operation”, *Nature Communications,* Vol. 9, 2018, Article 2429.
17. Xu, H., Liu, Y., Li, J., Yu, H., An, X., Ma, K., Liang, Y., Hu, X., and Zhang, H. , “Study on the influence of high and low temperature environment on the energy consumption of battery electric vehicles”, *Energy Reports*, Vol. 9, 2023 , pp. 835-842.
18. Liu, K., Wang, J., Yamamoto, T. and Morikawa, T., “Exploring the interactive effects of ambient temperature and vehicle auxiliary loads on electric vehicle energy consumption”, *Applied Energy*, Vol. 227, 2018, pp. 324-331.
19. Zhao, Z., Li, L., Ou, Y., Wang, Y., Wang, S., Yu, J. and Feng, R., “A comparative study on the energy flow of electric vehicle batteries among different environmental temperatures”, *Energies*, Vol. 16, Iss.14, 2023, Article 5253.
20. Costagliola, M. A., M. Costabile and M. V. Prati., “Impact of road grade on real driving emissions from two Euro 5 diesel vehicles”, *Applied Energy*, Vol. 231, 2018, pp. 586-593.
21. 能源知識庫網站，「汽車能效測試採用 WLTC 與 NEDC 行車型態差異說明」，https://ea01.moeaea.gov.tw/a0101/01/article/expert-knowledge/8343，2020 年 12 月 3 日。
22. 工業技術研究院，**車輛能源效率管理策略執行與基準研究計畫(4/4)**，經濟部能源局委辦計畫 (計畫編號: 111-E0416)，民國 111 年。
23. Mamarikas, S., Doulgeris, S., Samaras, Z. and Ntziachristos, L., “Traffic impacts on energy consumption of electric and conventional vehicles”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 105, 2022, Article 103231.