

電動車的發展對我國電網級儲能系統之影響

黃郁青^{1*} 陳治均² 葛復光³

摘要

為減緩傳統化石燃料造成的環境汙染，近年來政府積極推動使用節能車輛，節能車輛以電動車發展較快，目前已受到世界各國的重視，電動車成本的關鍵在於車用電池，然而國內外的研究機構對於車用電池價格的推估差異甚大。因此，本研究設計參考情境、保守情境及積極情境，利用TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)模型分析評估車用鋰電池成本的差異對於電動車發展的影響，以及評估車用鋰電池以V2G (Vehicle-to-Grid)充電站的形式應用於電網儲能，對電網級儲能系統發展之影響。分析顯示參考情境在無減碳壓力下，模型選擇以傳統火力為主之電力結構，使得電動車的減碳效果不佳，儲能的發展也受限，保守情境顯示電網級儲能以鋰電池發展較快，液流電池藉由提高蓄電量可提前至2025年與鋰電池同時發展，樂觀情境顯示，當鋰電池成本快速下降，電動機車與電動大客車將提前至我國中期發展，液流電池發展亦因此受限，並須進一步提高能量密度進而降低能量成本以提高其競爭力。本文對於電動車以及電網級儲能的發展亦提出相關建議。

關鍵詞：電動車，碳排放，能源服務需求，儲能系統

1. 前言

運輸部門溫室氣體排放占全球排放量約23%，在過去10年以每年1.9%的速度持續成長，國際能源總署(International Energy Agency, IEA)所發布「Energy Technology Perspectives 2016」指出，假如運具持續使用化石燃料，代表運輸成長將直接提高溫室氣體排放，因此必須採取有效的政策來降低運輸部門溫室氣體排放以達成設定之減碳情境，深度去碳發展路徑(Deep Decarbonization Pathways Project, DDPP)於2015年發布之「Pathways to deep decarbonization 2015 report」提出有效降低運輸部門溫室氣體排放的策略，主要著重在公路運

輸，包括：透過穩定的私人運具運量移轉至大眾運輸工具、提高車輛使用效率以及推行電動車，其目的為降低運輸部門最終能源消費量。本文利用國際通用的TIMES能源工程模型，探討大規模間歇性發電併網以及電動車擴增以後，如何利用車用鋰電池或其他儲能系統進行調節。相較於其他類型供需模型，電力供給端無法參考消費端用電行為的差異進行規劃，TIMES模型為Bottom-up工程模型，TIMES模型細緻化時間切分(Time slice)的優點，可以模擬消費端在日夜、尖離峰及季節用電行為的差異進行規劃，供給端也可以考量發電機組的特性進行調整，因此在探討大規模間歇性發電併網後的調節，能更貼近實際情形。TIMES

¹行政院原子能委員會核能研究所 研究助理

²行政院原能會核研所 副工程師

³行政院原子能委員會核能研究所 研究員

*通訊作者電話: 03-4711400#2728, E-mail: fred501146@iner.gov.tw

收到日期: 2018年03月13日

修正日期: 2018年07月12日

接受日期: 2018年07月31日

模型1996年由國際能源總署開發至今，目前已被70個國家中的250個研究機構所使用，為MARKAL (MARKet and ALlocation)與EFOM (The Energy Flow Optimization Mode)模型的結合，旨在改進MARKAL不足之處，相較於MARKAL模型與其他供需規劃模型無法細緻評估每小時之供需，TIMES模型可呈現燃氣機組搭配儲能在日夜及尖離峰間調節情形。

隨著電動車在全球逐漸蓬勃發展，利用電動車充電站調節電力供需的模式也逐漸受到重視，國內有關運輸部門的研究主要著重於運輸能源消費的分析，然而目前國內尚無大規模電動車擴增後，利用V2G充電站的模式，將車用鋰電池應用於電力系統進行調度之研究，本文利用TIMES模型時間切分的特點，探討車用鋰電池成本的差異對於電動車發展的影響，以及評估車用鋰電池以V2G充電站的形式應用於電網儲能，對電網級儲能系統發展之影響。

2. 文獻回顧

本節將回顧國內外相關文獻，藉以掌握最新研究之脈動並與國際接軌。以下針對英國、美國、工業技術研究院(以下簡稱工研院)、核能研究所(以下簡稱核研所) 近期TIMES模型之研究以及國內運輸部門有關的研究進行說明，分述如下：

2.1 TIMES模型近期研究成果

英國早期以MARKAL模型提供能源及氣候變遷部(Department of Energy and Climate Change, DECC)相關策略建議，隨著能源政策的變化，其所用的能源模型也有不同，由MARKAL演變至UKTM (UK TIMES Model)，英國TIMES模型UKTM為倫敦大學學院(University College London, UCL)主導的wholeSEM (Whole Systems Energy Modelling Consortium)團隊開發，近期DECC運用TIMES模型進行減碳目標分析，DECC在「政府間氣

候變化專門委員會」宣布了相當積極的目標，希望在2028年至2032年間的CO₂e排放能夠被控制在1,725 Mt，相當於2030年的排放達到1990年總排放減量57%，此目標的訂定強化了英國在全球減排過程中的主導性(Ekins *et al.*, 2014)。

美國加州通過了全球暖化對策法(Global Warming Solutions Act, GWSA)，設定2020年之溫室氣體減排目標，為達到氣候穩定，未來溫室氣體排放量必須遠低於目前水平，2050年的排放必須低於1990年的80%，但此長期目標必須依靠各種減緩溫室氣體手段，例如：技術效率提升、利用再生能源、更先進的車輛與替代燃料等，但美國加州當時並無能源系統模型，可全面用於量化分析這些方案及其帶來的效應。有鑒於此，美國加州開發了一套整合包括能源供應(能源、燃料生產與轉換、電力生產)和能源需求(住宅、商業、運輸、工業和農業的最終需求)的綜合能源系統模型CA-TIMES (California TIMES Model)，希望可藉此了解各部門間的互動，該模型是一個優化模型，在滿足資源和技術可用性的前提，可了解各種技術和政策選擇的作用，例如：加州大學戴維斯分校交通與發展政策機構(UC Davis Institute of Transportation Studies)於2014年的研究(Yang *et al.*, 2014)，提出為滿足2050年的減排目標所需要的能源系統轉型之具體做法，希望幫助加州空氣資源委員會(California Air Resources Board, ARB)政策實行。

國內目前使用TIMES模型進行能源議題研究的單位為工研院以及核研所，工研院(郭謹璋等，2015)應用TIMES模型可考量季節性、每日及每小時電力供需狀態的特性，更完整評估我國中長期電力供需規劃，工研院(廖孟儀等，2016)考量火力電廠效率、污染物排放係數及電廠所在區位之污染物擴散情形等因素，利用TIMES模型建立整合人體健康衝擊評估模組，作為能源開發規劃時考量對於人體健康影響評估之參考依據。核研所(陳治均等，2016)

對於社會經濟發展及能源服務需求推估進行設定並完成基準情境分析，而後藉由TIMES模型的細緻化時間切分(Time slice)特色，探討對於大規模間歇性發電併網後，如何利用台電規劃機組搭配電網級儲能進行電力調度(黃郁青等，2016)。

2.2 國內運輸部門研究回顧

國內有關運輸部門的研究主要著重於運輸能源消費的分析，包括：能源消費調查、運輸部門能源密集度分析以及運輸部門碳排放等議題，說明如下：

從能源平衡表有關運輸部門的統計資料並無法區分不同特性車輛的使用量，因此經濟部能源局2011年委託臺灣綜合研究院，針對運輸部門能源消費行為進行調查研究，藉由運輸部門能源消費之抽樣問卷訪查方式，調查我國運輸部門能源使用情形、消費特性及消費型態(臺灣綜合研究院，2011)，核研所參考能源平衡表統計的能源消費量，以及臺灣綜合研究院對於運輸部門能源消費調查的結果，進行運輸部門能源消費量校準，校準工作包括歷史年能源服務需求校準以及2015-2050年能源服務需求更新(陳治均與葛復光，2013)。隨著全球運具逐漸電動化，運輸部門能源消費趨勢已有結構性變化，運輸研究所(傅強等，2015)對於我國運輸部門能源消費趨勢及未來需求進行分析，以及時掌握我國運輸部門中長期能源使用需求，建立運輸部門能源消費預測模式，並推估未來運輸部門能耗情形，運輸研究所賡續前述研究基礎，導入城際運輸需求模式及擴充決策支援系統於城際運輸政策之評估功能(胡以琴等，2017)，期能更精確評估我國運輸部門未來能源消耗及溫室氣體排放基線，並涵蓋私人運具使用管理、節能運具推廣、促進公共運輸等策略，以及更具體評估達成我國節能減碳政策目標。延續運研所之研究，節能車輛以電動車的發展最具潛力，而電動車成本的關鍵在於電池，然而國內外的研究機構對於電池成本的推

估具有相當大的差異，因此本文對於電池成本進行情境設計與分析，以評估電池成本對於電動車發展的影響。

3. TIMES模型架構介紹與技術建置

3.1 TIMES模型時間切分架構

TIMES模型時間切分的特色，使得模型在不同的時間切分呈現電力供需情形，本研究將技術的階層共分為Annual、Season以及Daynite階層，Daynite階層可以再細分一天內不同時段的電力供需情形。各研究機構對於時間切分具有差異，工研院共區分為24個時間切分，分為夏月、非夏月、平日、假日，為了充分捕捉夏季日負載曲線，將每日24小時分為6個時段，對於主要耗電技術在每個時段內的用電進行估算，使得供給端能配合電力需求的變異並進行規劃。本研究將模型共區分為16個時間切分，在四季下，再區分為白天離峰、晚上離峰、夜間尖峰以及日間尖峰，以夏季日間尖峰為例，日間用電最高值定義為日間尖峰，白天離峰為扣除日間尖峰之其餘時段用電量的平均值，夜間用電最高值定義為夜間尖峰，夜間離峰為扣除夜間尖峰之其餘時段用電量的平均值，日間離峰以及夜間離峰在每日各占11小時，以分析尖離峰用電以及再生能源在日、夜及季節之間的差異。為了讓時間切分契合台電實績負載，參考台電103年用電占比，將工業電子電機、石化及住宅、服務用電技術，導入需求曲線，如表1所示。

在發電技術方面，目前在Daynite階層包括燃氣、燃油、風力以及太陽光電發電，其中燃氣、燃油為可調度電力，由模型內生自行調節，而風力、太陽光電為不可調度電力，必須搭配儲能調節。由於風力、太陽光電受到季節、天候及日夜變化的影響，為了模擬風力、太陽光電在時間切分內的變化，TIMES

表1 TIMES模型用電占比

春季	日間離峰	11.19%	秋季	日間離峰	11.90%
	夜間離峰	10.21%		日間離峰	10.79%
	日間尖峰	1.34%		夜間離峰	1.45%
	夜間尖峰	1.31%		日間尖峰	1.41%
夏季	日間離峰	13.26%	冬季	夜間尖峰	10.17%
	夜間離峰	12.24%		日間離峰	9.53%
	日間尖峰	1.48%		夜間離峰	1.15%
	夜間尖峰	1.41%		日間尖峰	1.15%

資料來源：1.台電類別小時發電量 2.本研究彙整。

定義時間切分的可用率AF¹ (Time slice specific Availability Factor)及全年可用率AFA² (Annual Availability Factor)，AF與AFA的關係式，詳如備註說明。

本研究估算離岸風力參考澎湖中屯99~102年台電類別小時發電量，太陽光電及陸域風力

參考103年台電類別小時發電量，以呈現間歇性發電在日夜及季節的變化，估算之容量因數(Capacity Factor, CF)如表2所示，並將估算值設定於TIMES模型，以區分上述發電量在不同時間切分的變化。本研究假設天氣為可預測性，當氣候瞬時變化而不可預測時，尚待其他預測

表2 離岸風力、太陽光電及陸域風力CF值

		太陽光電	陸域風力	離岸風力
春季	日間離峰	0.18	0.31	0.38
	夜間離峰	0	0.23	0.37
	日間尖峰	0.25	0.30	0.38
	夜間尖峰	0	0.27	0.37
夏季	日間離峰	0.33	0.13	0.13
	夜間離峰	0	0.12	0.13
	日間尖峰	0.47	0.13	0.13
	夜間尖峰	0	0.13	0.13
秋季	日間離峰	0.37	0.35	0.49
	夜間離峰	0	0.33	0.49
	日間尖峰	0.52	0.35	0.49
	夜間尖峰	0	0.32	0.49
冬季	日間離峰	0.21	0.62	0.61
	夜間離峰	0	0.52	0.61
	日間尖峰	0.28	0.62	0.61
	夜間尖峰	0	0.57	0.61

資料來源：1.台電類別小時發電量 2.本研究彙整。

¹電廠的可用率AF (Availability Factor)為全特定時數內的可供電時數，TIMES模型提到的可用率與電廠定義的可用率相同，在時間切分內的可供電時數 $AF = \text{可供電時數}(\text{Time slice}) / \text{時數}(\text{Time slice}) = (\text{可供電時數}(\text{年}) \times \text{供電時數占比}(\text{Time slice})) / (\text{時數}(\text{年}) \times \text{時間占比}(\text{Time slice}))$ 。

²全年可用率AFA = 可供電時數(年)/時數(年)，因此，利用上述AF之定義，可推導AF與AFA值的關係式為： $AF = AFA \times \text{供電時數占比}(\text{Time slice}) / \text{時間占比}(\text{Time slice})$ 。

方法探討。

3.2 國內電網級儲能技術的現況

隨著我國再生能源發電占比逐年增加，為了緩解部分再生能源的間歇性，儲能系統將成為關鍵，本研究參考國內研究報告，建置電網級化學儲能技術，包括：鉛酸電池、鋰電池、鈉硫電池以及液流電池等(鄭婉真，2012)，對於儲能有關功率成本、能量成本以及轉換效率的技術資料，本研究參考國內外相關研究單位的推估，整理如表3及圖1，分述如下：

- (1) 鈉硫電池：功率密度高，但因使用高腐蝕的鈉及硫，且反應溫度高(約為300°C)，有遇水爆炸的危險，滅火時比普通火災更為困難，因此發展受限。
- (2) 鉛酸電池：為最成熟的化學儲能技術，在汽車工業上已廣泛使用，但因為循環壽命低，因此應用在大型儲能上的儲電成本過高。

(3) 液流電池：系統設計相當地靈活，輸出功率和儲能容量之獨立設計為其優勢，美國猶他州建置250 kW/2,000 kWh，蓄電量8小時，能量功率比值(kWh/kW = 8)的全鈎液流電池(Vanadium Redox Battery, VRB)儲電系統，國際能源研究期刊(International Journal of Energy Research, IJER)更推估未來大型VRB可達成kWh/kW = 15的蓄電能力。

(4) 鋰電池：具有高的能量密度與功率密度，因此體積小、重量輕，且轉換效率可達90%以上，Tesla公司於2017年底已於澳洲成功建置100 MW等級儲能系統，未來將隨著電動車的發展而成本快速下降，具有絕佳的發展契機。

相較於化學儲能技術，抽蓄水力由於蓄電量大及使用壽命長，儲電成本相對較低，目前國內現有明潭及大觀兩座發電廠，合計約2.6 GW，另外參考環保署委託計畫之推估，尚未

表3 電網級化學儲能技術現況

電池總類	容量範圍 (MW)	功率成本 (USD/kW)	能量成本 (USD/kWh)	循環壽命 (次)	效率 (%)	能量/功率 N2P
鉛酸電池	50-100	660	660	500	80	1
鈉硫電池	1-100	2,500	500	10,000	80	5
鋰電池	2-10	950	950	5,000	90	1
液流電池	0.05-10	2,140	536	10,000	80	4-8

資料來源：Electronics and Telecommunications Research Institute, 2014。

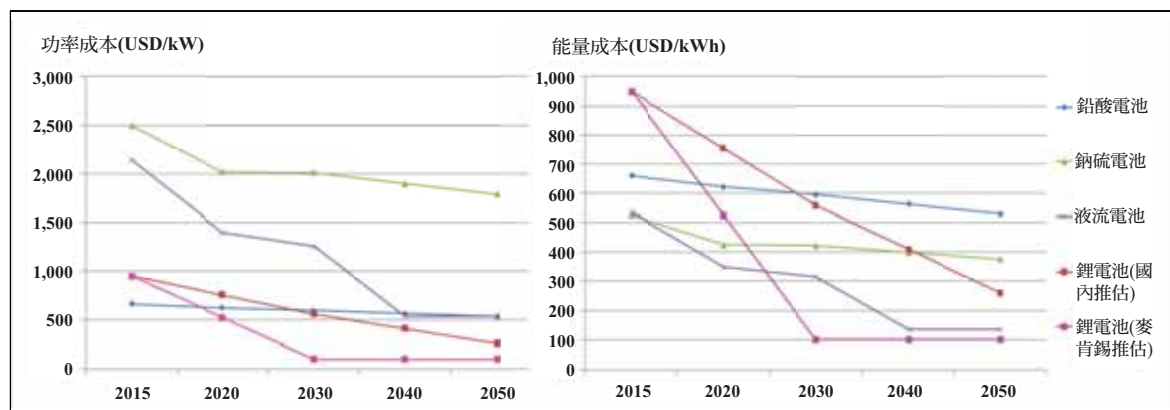


圖1 電網級化學儲能成本變化推估

資料來源：1. Electronics and Telecommunications Research Institute, 2014；((McKinsey&Company, 2017)；(胡以琴等，2015)；2. 本研究繪製。

開發抽蓄水力高達20 GW(中興工程顧問公司, 2014), 其中以光明水庫與翡翠水庫水位的落差大, 較具有開發潛力, 目前世界各國已建置之電網級儲能以抽蓄水力最高, 約占9成5以上, 技術已相當成熟, 但受限於地形及環保因素, 且近年來極端氣候常造成水庫的侵蝕及破壞, 因此各國均致力於化學儲能的研究, 本研究假設在抽蓄水力發展受限下, 參考國內外研究單位對於車用鋰電池不同的成本推估結果, 設計保守與積極的情境, 分析車用鋰電池發展對於電網級儲能系統發展的影響, 並且對於儲能系統的研究方向提出策略建議。

3.3 運輸部門技術盤查與限制

公路系統的能源消費量佔運輸部門能源消費量百分比均超過90%, 公路系統又以小客車、機車及大客車能源消費占最大宗, 因此公路客運為運輸技術盤查的重點, 本研究參考國內相關研究之作法, 將公路車輛節能分為傳統車輛效率提升與導入新型節能車輛兩部分(胡以琴等, 2017), 盤查項目如表4所示。公路貨運減碳參考國外之作法, 以提升傳統汽(柴)油貨車效率及移轉至軌道貨運為主, 因此新型節能貨車暫不納入。國內航空及國內船舶由於能源消費量較低暫不納入。智慧紅綠燈及道路工程改善雖然可改善交通順暢度進而降低油耗, 但影響交通順暢度的外部因數較多, 難以評估及區分(例如: 紅綠燈秒數、國際油價的高低等), 且外部成本較難合理計算故暫不納入。

3.4 充電站的效益與現況

電池將用電離峰多餘的電力儲存提供給尖峰使用, 可降低缺電的風險及新增電廠的數量, 如果V2G (Vehicle-to-Grid)充電站能配合實施時間電價, 在尖峰時段減少用電, 可獲得電力公司電價回饋機制, 則電力回充還可獲利, 相當具有經濟效益以及環保效益, 因此國外相當多的車廠也投入V2G充電站的研發, 將電動車充電與電網配電系統結合, 以提高電動

車附加的價值。南韓車商現代莫比斯(Hyundai Mobis)宣稱, 成為當地第一家針對電動車開發雙向車載充電器OBC (On-board charger)的公司。義大利電力公司(Enel Energia)、日產汽車(Nissan)與義大利技術研究院(Italian Institute of Technology)已簽署協議, 將推動V2G充電站共享計畫, 同時義大利電力公司與日產合作在丹麥為電力公司(Frederiksberg Forsynin)推出全球首個商業化的V2G中心, 購買十輛Nissan e-NV200電動商用車, 並安裝了十座V2G充電站。隨著我國再生能源發電占比逐年增加, 儲能系統將成為關鍵, 考量我國電動機車目前已有相當成熟的供應鏈與充電站, 應該將電動機車充電站與電力配電系統結合, 以提高電動機車的附加價值, 並投入電動車雙向車載充電器OBC的研發, 使得電動車更具有經濟效益。

4. TIMES模型能源服務需求推估

4.1 社會經濟發展假設

TIMES模型在建置上所考量的四類社會經濟發展主要影響因子的成長趨勢推估如表5所示。國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)成長率於未來年將呈現緩慢降低, 這是邁入已開發國家普遍存在的現象。人口數成長率預測在2025年以後會開始呈現負成長(行政院國發會, 2017), 此後將會持續加快人口負成長現象, 同時小家庭的社會現象, 連帶使家戶數成長率持續至2031年以後才開始出現負成長現象。在人均國內生產毛額(GDP per capita, GDPP)成長率方面, 雖然GDP在未來的成長率是逐漸滑落的, 但同時人口數也在下降, 因此GDPP成長率呈現緩慢的增長趨勢至2050年大致維持在1.3%左右, 且分析表5為的數據可得知, 四個主要影響因子的變動幅度在2025年前後有很大的轉變, 即2017~2025年間與2025~2050年間的成長率有很明顯的差異性,

表4 公路車輛技術盤查之內容

盤查項目	車輛種類	說明
傳統車輛效率提升	汽、柴油小客(貨)車	<ul style="list-style-type: none"> ● 低耗能車輛包括車身、引擎及傳動設計等因素，車身每減少100 kg車重，每公里約減少0.006公升油耗，約降低8%~10% (車輛耗能研究網站，2005)，除了車輛小型化可減輕重量，新材料的應用可更直接有效降低車重。 ● 為避免車型大小影響耗能的評估，本研究參考美國能源資訊局(Energy Information Administration, EIA)於2017年「Annual Energy Outlook 2017」(以下簡稱AEO)的評估，採用國人最常使用的中型車(Mid-Size)進行分析。 ● 另一個油耗的改良重點為引擎設計，包括電子點火系統、進氣歧管及進氣道。 ● 科技部委託高雄第一科大研究指出，電子點火系統改良能降低3%~5%的油耗(沈志隆，2015)。 ● 綜合以上低耗能因素，AEO評估未來汽柴油車節能30%應有機會達成。
	柴油大客車	<ul style="list-style-type: none"> ● 柴油大客車成本參考華德動能官網的評比資料。 ● AEO評估柴油大客車油耗有15%的成長空間，其中引擎改善有限，主要關鍵因素為大客車骨架結構輕量化，以降低整體車重。
導入新型節能車輛	複合動力小客車	<ul style="list-style-type: none"> ● 複合動力車搭配電動機運作，以減少內燃機於怠速以及低速耗油區運轉，我國常見的複合動力車為油電混合車及插電式油電車。 ● 科技部委託臺北科技大學產學合作計畫，研發之油電車比汽油車改善30%以上，故未來油電小客車效率以汽油小客車推估之效率再提高30%計算(吳浴沂，2017)。
	電動大客車	<ul style="list-style-type: none"> ● 電動大客車目前國內以華德動能的技術較為成熟，除了車軸與電池模組為外購，其他零件均自行生產。 ● 由於電池模組的售價仍偏高，華德目前電池模組採租賃方式，每年租金約50萬元。(華德公司，http://www.racev.com/bus.htm.)
	電動小客車	<ul style="list-style-type: none"> ● 國內電動車周邊技術已臻成熟，目前研發重點在於突破電池技術，國產電動車以納智捷為主，進口電動車由於受到關稅、貨物稅的影響，尚難普及。 ● 國內由於電池的售價較高，目前車廠將電池以租賃提供使用與更換，每年租金約10萬元。 ● 本研究電動小客車2015年參考納智捷的資料，2016年以後效率與成本採用AEO的資料進行推估。
	電動機車	<ul style="list-style-type: none"> ● 國內機車的供應鏈相當成熟，尤其政府近年來對於環保議題的重視，購置效率較高的新型汽油機車及電動機車可獲得環保署相當多的補助。 ● 由於電動機車在使用一段時間後(約5年)必須更換電池以維持續航力與電池效率，因此使用上仍然有電池維護成本過高的疑慮，本研究電池參考2017年的售價，更換約20,000元，攤提計入運維成本。 ● 購車成本及效率參考Gogoro 2資料，本研究在不考慮補貼政策下，評估電池成本對於電動機車發展的影響。
	燃料電池小客車	<ul style="list-style-type: none"> ● 質子交換膜燃料電池已成功被運用在車輛，國內業者已具有相當多的技術，包括燃料電池組及加濕器開發、可商業化燃料電池系統開發並能掌握測試設備關鍵技術。 ● 國際上常用的產氫技術為天然氣重組製氫及電解水產氫，其中天然氣重組製氫的技術較為成熟，亞電公司已成功商業化，價格約為每公斤5.8美元。 ● 本研究燃料電池車2015年為日本豐田進口車(Mirai)的價格(含進口關稅)，2016年以後成本及效率的變化趨勢參考美國能源資訊局的研究進行推估。

表5 社會經濟發展影響因子及成長率說明

社會經濟項目	成長率說明
國內生產毛額	2017-2025平均成長率1.4%，2026-2050平均成長率0.7%
人口數	2017-2025平均成長率0.002%，2026-2050平均成長率-0.6%
家戶數	2017-2025平均成長率1.08%，2026-2050平均成長率-0.3%
人均國內生產毛額	2017-2025平均成長率1.4%，2026-2050平均成長率1.3%

大概都呈現先升後緩甚至是負成長的趨勢，而此結果也將影響後續TIMES模型整體能源服務需求的推估及BAU (Business as Usual, BAU)情境整體能源消費趨勢。

4.2 能源服務需求推估

在TIMES模型中，「能源服務需求」並非指能源需求量，而是能源供給所能滿足之「服務量」或「生產量」，例如：交通之旅運需求、鋼鐵業之生產、服務業與住宅空調、照明等。藉由各技術效率參數之設定，可反映出能源使用效率的改進及能源消耗量，而TIMES模型能源服務需求分類主要分為工業部門的鋼鐵、石化原料、水泥、造紙、電子電機、其他

工業用電、其他工業用熱等七項；運輸部門的小客車、大客車、小貨車、大貨車、機車、軌道運輸、國內貨運船舶、國內航空客運等八項；服務業部門的空調、照明、其他用電、其他用燃料等四項；住宅部門的電腦、電視、開飲機、烹調、熱水、照明、冰箱、冷氣、其他電器等九項，另尚有農業部門與非能源使用的能源服務需求共計30項，如表6所示。以下係針對各類能源服務需求的未來成長率推估加以說明：TIMES模型中未來年度的各類能源服務需求，是透過社經發展假設推估而得，主要係利用前節四種影響因子與能源服務需求之彈性關係加以估算求得，彈性值之推估乃是將上述之影響因子與能源服務需求之歷史資料利用多

表6 能源服務需求成長趨勢

需求類別	需求名稱	2017-2025 成長率(%)	2026-2050 成長率(%)	需求類別	需求名稱	2017-2025 成長率(%)	2026-2050 成長率(%)
工業部門	鋼鐵	1.49	0.91	服務部門	空調	1.90	0.36
	水泥	1.91	1.17		照明	1.90	0.36
	造紙	0.16	0.10		其他用電	1.90	0.36
	石化原料	0.73	0.45		其他用料	1.90	0.36
	電子電機	3.64	2.22	住宅部門	電腦	0.01	-0.56
	其他用電	0.69	0.42		電視	1.07	-0.34
	其他用熱	0.57	0.35		開飲機	1.07	-0.34
運輸部門	機車	-0.45	-0.40		烹調	0.01	-0.56
	小客車	1.52	-0.48		熱水	0.01	-0.56
	小卡車	1.58	0.96		照明	1.07	-0.34
	大客車	0.03	-1.00		冰箱	1.07	-0.34
	大卡車	1.76	1.08		冷氣	1.69	1.05
	鐵路	0.04	-1.51		其他電器	1.69	1.05
	航空客運	0.68	0.66	其他部門	農林漁牧	0.14	0.09
	貨運船舶	0.42	0.25		非能源使用	1.51	1.15

資料來源：袁正達等，2017。

表7 需求部門彈性值對照表

需求類別	需求名稱	彈性值	需求類別	需求名稱	彈性值
工業部門	鋼鐵	-0.18	服務部門	空調	-0.38
	水泥	-0.21		照明	-0.42
	造紙	-0.21		其他用電	-0.42
	石化原料	-0.19		其他用料	-0.42
	電子電機	-0.09		電腦	-0.12
	其他用電	-0.45		電視	-0.12
	其他用熱	-0.30		開飲機	-0.12
運輸部門	機車	0.91	住宅部門	烹調	-0.28
	小客車	-0.13		熱水	-0.39
	小卡車	-0.26		照明	-0.33
	大客車	-0.01		冰箱	-0.30
	大卡車	-0.46		冷氣	-0.39
	鐵路	-0.93		其他電器	-0.12
	航空客運	0.26		其他部門	農林漁牧
貨運船舶	-2.02	非能源使用	-0.12		

資料來源：郭春河等，2018；楊皓荃，2017。

重指數迴歸模型加以校估後而得(郭春河等，2018；楊皓荃，2017)，彈性值如表7所示，為求能充分反映出與現況相符之彈性關係，各項能源服務需求所參照的影響因子略有不同，而利用影響因子與能源服務需求彈性所推估之能源服務需求成長趨勢可由表6之數據得知，能源服務需求於2017~2025年間2026~2050年間的成長率有很明顯的差異性，也呼應了本節針對四個主要社會經濟發展影響因子的變動幅度將會影響整體能源服務需求成長趨勢的論述，藉由2016年歷史實績的能源服務需求與表6的成長趨勢即可推估未來年的能源服務需求的變化。

5. 情境說明及限制

本節主要針對參考情境、保守情境、積極情境的設計進行說明，模型在滿足用電需求、資源供應限制及其他限制條件下，利用線性規劃方法求解全期能源系統總成本現值極小化規劃之最小成本求解。

隨著特斯拉電動車價格的持續下降，麥肯

錫預測車用鋰電池的價格，已經遠低於國內外其他研究單位的預測值，為了評估車用鋰電池成本的差異對於電動車發展的影響，本研究規劃參考、保守與積極情境，參考情境評估在無減碳目標下，以最低成本決定技術自然發展情形，而保守與積極情境為減碳情境，主要的差異在於鋰電池成本，詳如表8、表10情境說明，再生能源2030年以前的裝置容量上限參考政府規劃目標，2030年以後太陽光電及離岸風力分別參考國內相關研究的推估(張嘉諳及韓佳佑，2016；陳美蘭及胡哲魁，2014；呂學德等，2015)，再生能源潛力上限如表9所示，再生能源技術發展情形由模型內生最小成本求解。由於儲能不發電，必須搭配其他技術，以發揮削峰填谷的作用，因此情境設計上，儲能必須與間歇性發電搭配，以探討間歇性發電的發展對於儲能的影響，儲能技術發展的假設條件為在抽蓄水力發展受限下，由模型選擇最適方案。

本研究設計上仍有限制，在儲能系統方面，電動車大規模擴增後，可利用V2G充電站的形式，發展分散式儲能系統，然而電力供給

表8 情境設計之說明

情境名稱	參考情境	保守情境	積極情境
燃煤發電	2017~2028 ^(註1) ；2028~2050參考2018年以後0.4%的年均成長率為上限		
燃氣發電	2017~2028 ^{(註1)(註2)} ；2028~2050參考2018年以5.5%的年均成長率為上限		
燃油發電	燃油機組參考台電10610案如期除役		
再生能源	2017-2050自定上限 ^{(註2)(註4)} ，內生求解		
核能發電	無延役(核四封存)		
汽電共生	參考能源局，我國能源供需展望報告，進行2020-2050汽電共生裝置容量上限的設定		
抽蓄水力	抽蓄水力因氣候因素及環保議題而發展受限		
儲能系統	2030年以前參考運研所之估算，2030年以後鋰電池成本線性遞減至2050年(2050年為ETRI推估值)	國內鋰電池成本大幅下降，2030年達到麥肯錫推估值(100 USD/KW)	
減碳目標	無目標	2020年(2005年碳排放量再減2%)，2025年(2005年碳排放量再減10%)、2030年(INDC)、2050年(溫減法)	

註1：2017~2028年參考台電電源開發方案(10610案)設定裝置容量上限。

註2：保守以及積極情境達成2025年燃氣發電占比50%、再生能源發電占比20%。

註3：2025年提高燃氣進口量上限至3,270萬噸，並由模型內生求解燃氣裝置容量。

註4：2017-2030年參考政府政策目標，2030-2050太陽能、離岸風力推估可開發上限。

資料來源：本研究彙整。

表9 未來再生能源潛力上限假設

MW	實績值		政策目標			本計畫推估潛能上限			
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	
離岸風力	0	520	5,500	5,500	7,650	10,100	12,550	15,000	
太陽光電	842	6,500	20,000	20,000	22,504	25,008	27,512	30,016	
陸域風力	647	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	
水力發電	2,089	2,100	2,150	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	
深層地熱	0	0	0	50	370	735	1,200	1,835	
淺層地熱	0	150	200	200	315	315	315	315	
生質電力	741	768	813	855	1,354	1,496	2,004	2,488	
波浪發電	0	0	0	50	170	320	520	720	
洋流發電	0	0	0	20	150	300	600	1,050	

資料來源：本研究參考2018.3能源轉型白皮書彙整。

端仍有集中式儲能系統的需求，以TIMES模型目前的架構，僅能估算電力供需規劃最佳化所需整體儲能系統的裝置容量，對於分散式儲能系統與集中式儲能系統兩者的區分，仍待後續的研究建置更細緻的分區模型加以探討。在微電網及先進資通技術方面，由於模型為供需均衡最佳化求解，已隱含技術達商業化之節能效

益，然而微電網及先進資通技術細部的成本較難估算，因此暫不列入。在需量反應方面，目前僅由TIMES模型ED (Elastic Demand)模組內生調整服務需求，對於不同區域微電網形成的需量反應與節能效益，仍待後續研究建置更細緻的分區模型，以探討各區電力供需情形。

表10 情境設計說明比較表

情境名稱	參考情境	保守情境	積極情境
傳統機組	1. 汽電共生: 2020至2050汽電共生裝置量依經濟部能源局「我國能源供需展望」報告規劃為上限並且導入燃氣汽電共生機組。 2. 核能: 目前運轉中核電廠永久停止運轉時間分別為：核二廠1號機110年12月、核二廠2號機112年3月、核三廠1號機113年7月、核三廠2號機114年5月/核四封存。 3. 火力機組: 2028年以前舊有的的燃煤、燃氣與燃油機組依既定期程除役，新增的火力機組以台電10610方案規劃上限。2028年以後，參考2017-2028年均成長率，設定成長率上限。		
	模型以最低成本決定燃氣發電占比。	2025年達成燃氣發電占比50%，2025年以後由模型決定燃氣發電最適化占比，以達成我國之減碳目標。	
再生能源	模型以最低成本決定再生能源發電占比。		
	2025年達再生能源發電占比20%之政策目標，2025年以後由模型決定再生能源最適化占比。		
碳補存	無		
儲能系統	保守情境設定鋰電池成本下降較為緩慢，2030年以前趨勢參考運研所的推估(胡以琴等，2015)，2030年後線性遞減至2050年ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute)推估值。		由於鋰電池技術成熟成本快速下降，2030年以前假設成本線性遞減至麥肯錫2030年推估值，2030年以後因鋰電池技術已相當成熟，麥肯錫並無推估，假設2030年以後成本差異不大，維持2030年成本。
抑低用電	無	以TIMES模型ED (Elastic Demand)模組的功能評估需求部門最適減量方案，進而降低用電。	
減碳目標	評估在無減碳目標下，以最低成本決定技術自然發展情形。	參考環保署2017年公布之第一期溫室氣體階段管制目標，設定2020年溫室氣體排放量較基準年2005年減量2%，2025年則較基準年減量10%及2030年較基準年減量20%，2050年參考溫減法較基準年減量50%。	

資料來源：本研究彙整。

6. 情境分析結果

本節針對參考情境、樂觀情境以及保守情境進行模型分析，情境設計說明如表10所示，分析結果如下：

6.1 參考情境

參考情境分析顯示，在無減碳壓力下，模型選擇發展以傳統火力為主之電力結構，使得電動車的減碳效果不佳，公路車輛仍以傳統的汽、柴油車為主力，在節能車輛無政策補貼的情況下，除了車輛汰舊換新較容易推動，電動機車、電動巴士及電動小客車受限於電池成本過高暫無發展空間，油電混合車受限於車價過

高以及低油價情境暫無發展空間，燃料電池車受限於燃料成本以及車價過高暫無發展空間。再生能源的發展方面，以淺層地熱與陸域風力較有發展機會，太陽光電與陸域風力裝置容量並無明顯上升，因此也不利於化學儲能系統的發展，模型選擇現有2.6GW抽蓄水力，搭配燃氣機組進行日夜間以及尖離峰的用電調節。

6.2 保守情境

保守情境分析結果，如圖2，在減碳壓力下，電動機車、電動大客車在2040年將具有競爭優勢，而保守情境之電池價格下降較緩，且電動小客車車體價格仍然偏高，2040年以前推行電動小客車減碳成本仍然偏高，相較之下，

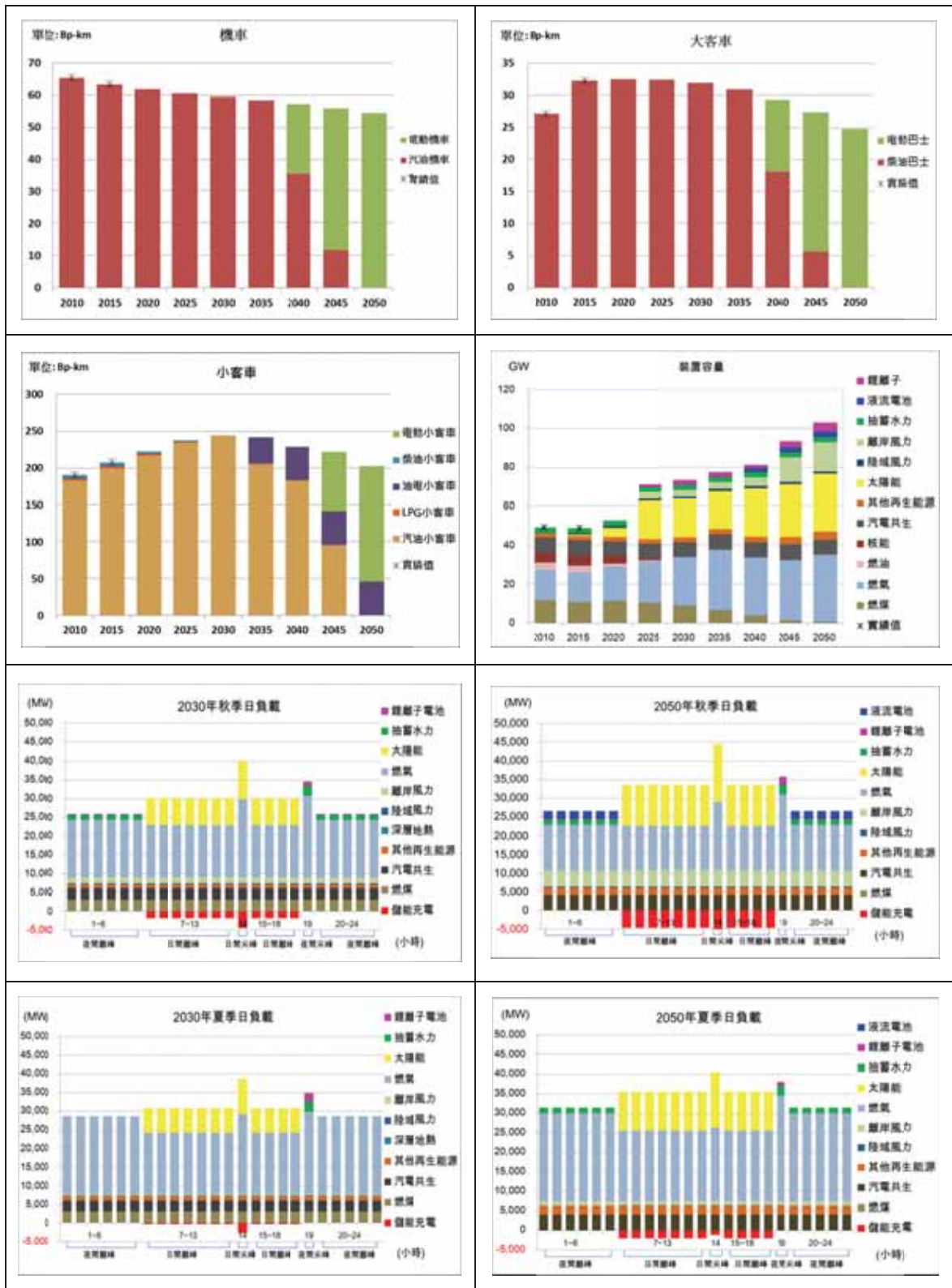


圖2 保守情境分析結果(本研究繪製)

油電小客車的發展較快，可作為過渡時期選項，因此建議利用現有電動機車充電站以及電動巴士場站的充電設備，將其提升為V2G充電

站的模式，以增加附加價值。參考圖2儲能系統裝置容量，2040年以前鋰電池較具有競爭優勢，分析其原因，由於鋰電池的儲電效率高且

功率成本較低，僅次於鉛酸電池，然而鉛酸電池的循環壽命較低因此發展受限，相較之下，液流電池由於循環壽命長，如果液流電池能提高能量功率比值(kWh/kW)，使得每度電的儲電成本降低，將更具有發展性，本研究參考國際能源研究期刊(International Journal of Energy Research, IJER)的推估，未來大型VRB儲電系統能量功率比值可達成kWh/kW=15的能力，經模型分析顯示液流電池以蓄電量12小時(日間離峰及日間尖峰合計12小時)效益最大，當液流電池kWh/kW=12，可提前至2025年發展與鋰電池同時發展。

2030年電力調節情形，以圖2秋季日負載為例，2030年由於太陽光電發電量的提升，大幅減少燃氣機組日間出力度，電力系統尖峰供電時段將由下午1~2點延後至傍晚7-8點夜間尖峰用電時段，太陽光電容量因素此時降為零而無法發電，燃氣機組必須快速昇載以避免發生缺電，由於化學儲能的調節，使得燃氣昇載的幅度降低，因此未來在應用上，可結合車用鋰電池的調度，通常運輸工具上下班的尖峰時段較傍晚7-8點夜間用電尖峰提前，到了傍晚7-8點場站電動巴士及電動機車的電池已經較少使用，此時可與配電端電網連結發揮調節功能。另外，電力調節較為艱困的時間最常發生在夏季夜間尖峰，由於太陽光電發電量隨著溫度的升高而遞減，且夏季的下雨的時間較長，因此夏季日間可以儲存的電量低於秋季，如圖2之2030年夏季日負載所示，到了夜間太陽光電的容量因素已經降為零，且夏季的離岸風機發電量明顯低於秋季，因此夏季的夜間用電將比秋季更為嚴峻，模型選擇新增鋰電池並且利用現有之抽蓄水力儲能，將日間多餘的電力儲存給夏季夜間尖峰使用，除此之外，燃氣機組在夏季夜間的出力度必須高於秋季，以避免發生電力供應不足的情形。綜上所述，在保守情境下，電網級化學儲能以鋰電池及液流電池較具有發展性，鋰電池由於轉換效率高及功率成本低特點，適用於尖峰時段供電，可將離峰時

段的多餘的電力儲存，提供給尖峰時段使用，減少尖峰時段對於燃氣發電的需求，液流電池由於蓄電量高、能量成本較低，適用於長時間電量平移，隨著我國再生能源發電占比逐年增加，建議化學儲能應提早布局，以提升電力系統的穩定度。

6.3 積極情境

積極情境分析結果，如圖3，當鋰電池成本快速下降，在我國中期電動機車以及電動大客車已具有競爭優勢，相較於保守情境，電動機車將由2040年提前至2030年發展，電動巴士將由2045年提前至2035年發展，電動小客車由於售價偏高，即使電池成本快速下降，中期仍以油電小客車較具優勢，2040年以後隨著減碳目標的日益嚴峻而逐漸發展，由於電動車輛以電動機車的發展較快，2030年已經較傳統汽油機車便宜，建議2030年左右可將電動機車充電站升級為V2G充電站的模式，以供應夜間尖峰用電，並且降低集中式電網級儲能系統的建置及燃氣機組昇載的幅度。積極情境模擬顯示，當鋰電池成本快速下降，液流電池無法藉由提高(能量/功率)比值與之競爭，因此2025-2050年僅有鋰電池單獨發展，建議現有液流電池，如：全釩、鋅/溴及鐵/鉻等氧化還原液流電池，應持續提高能量密度以降低建置成本，並結合鋰電池與液流電池兩者的優點，發展鋰液流電池(包括氧化還原鋰液流電池及半固態鋰液流電池兩種形式)，以提高液流電池的競爭優勢。

7. 結論與建議

經本文積極情境分析顯示，當鋰電池成本快速下降，電動機車、電動大客車及電動小客車分別提前至2030年、2035年及2040年具競爭優勢，因此建議將現有電動機車交換站及電動巴士場站充分利用，建置V2G充電站所需的設備，例如：車用電池、充電器、饋線設備予以

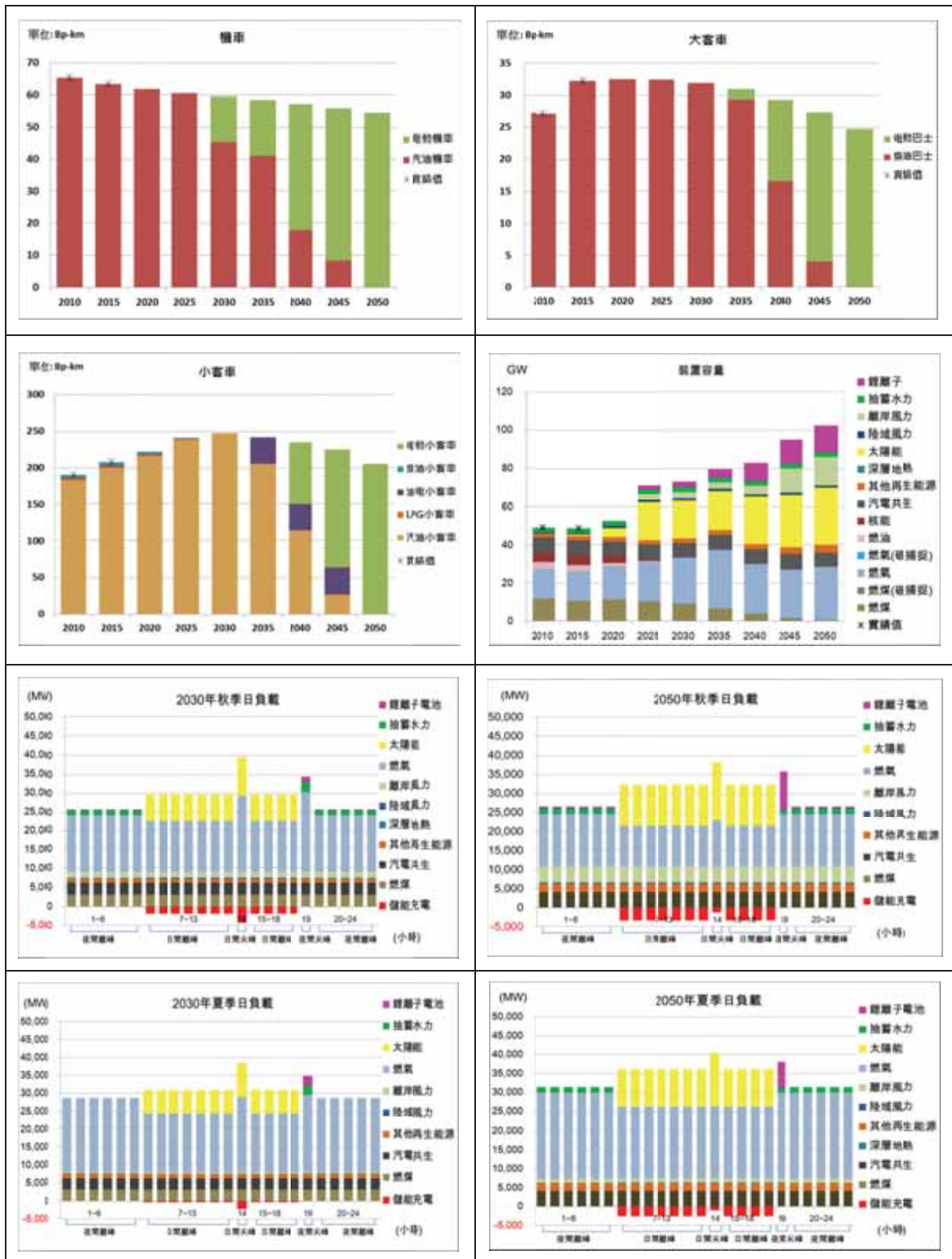


圖3 積極情境分析結果(本研究繪製)

補助，以提高業者將現有廠址改建的意願。除了固定式的充電站，為了因應2040年以後電動小客車的發展，我國目前應該積極投入電動車

雙向車載充電器 OBC的研發，讓電動車本身具有充電站的功能，結合國內資通科技的優勢，使得電動車電池與智慧家電能相互整合，能降

低夜間尖峰時段的用電量，以因應大規模太陽光電併網後，所衍生夜間尖峰供電吃緊的問題，也能藉由V2G充電站的發展提高電動車的附加價值。

在電動車發展的建議上，本研究評估在我國中期2035年之前以電動機車及電動巴士較具有發展空間，並藉由情境模擬說明即使電池成本快速下降，電動小客車2035年以前仍然無法與油電小客車競爭，分析其原因，國內電動小客車以中型(2,000 CC)以上休旅車型為主，因此售價偏高，建議推動電動車小型化，並且建議汽車業者能與國內外電池業者進行異業聯盟，鼓勵推出平價的車款並給予更多賦稅上的優惠，以提高民眾購買電動車的意願。另外，本研究假設2025年再生能源達到發電占比20%的情境下，電網級化學儲能已經有發展的空間，然而即使電池成本快速下降，電動機車的發展仍然較慢，代表對於電動機車的補助應該持續進行，以利充電站的發展，且電動機車主要汰換的對象為性能與其較為接近的二行程機車，對於空氣污染的改善有極大的幫助，值得繼續補貼政策。

在化學儲能發展的建議上，為因應鋰電池成本將快速下降，液流電池除了提高(能量/功率)比值降低每度電儲電成本，也建議結合鋰電池及液流電池兩種電池的優點，發展鋰液流電池，以解決大規模太陽光電併網後衍生的問題，除此之外，液流電池應改善能量密度低的缺點，以減少建立大型儲能系統所需的基地面積，才能與抽蓄水力競爭，彌補抽蓄水力受天候影響的缺點。

誌 謝

本文承蒙科技部「我國能源供需結構階段性發展策略規劃(1/2)」計畫經費支持，特此誌謝。惟文中若有訛誤，當屬作者自負文責。

參考文獻

- 中興工程顧問股份有限公司，2014。我國抽蓄水力發電潛能先期調查及規劃專案工作計畫，行政院環保署委辦計畫，頁10-1-10-7。
- 行政院國家發展委員會，2017。中華民國2016年至2061年人口統計。
- 車輛耗能研究網站，2005。車輛新技術對耗能影響評估。
- 呂學德、何無忌、呂威賢、胡哲魁、陳美蘭與連永順，2015。臺灣離岸風力潛能與優選離岸區塊場址研究，工業技術研究院，頁3-6。
- 沈志隆，2015。可節省油耗及降低車輛廢氣排放之新型高效率電子點火系統，科技部委託高雄第一科技大學研究計畫。
- 吳浴沂，2017。混合動力系統之內燃機節能技術研究，科技部委託臺北科技大學車輛科技研發中心研究計畫，2017。
- 胡以琴、周諺鴻與李宗益，2015。城際運輸節能減碳策略評估模組開發及應用，交通部運輸研究所，頁2-27。
- 胡以琴、周諺鴻與李宗益，2017。城際運輸節能減碳策略評估模組開發及應用，交通部運輸研究所估模組開發及應用，頁2-66。
- 袁正達、楊皓荃與郭春河，2017。TIMES模型能源服務需求長期預測—工業與其他部門，核能研究所研究報告。
- 郭謹璋、周裕豐、洪明龍與劉子衙，2015。應用臺灣TIMES模型進行我國長期電力供需規劃，臺灣能源期刊，第2卷，第4期，頁363-382。
- 郭春河、袁正達、柴蕙質與葛復光，2018。運輸部門、住宅部門及服務業部門能源需求價格彈性推估，臺灣能源期刊，第5卷，第1期，頁27-45。
- 陳美蘭與胡哲魁，2014。臺灣地區風能評估與離岸風電開發潛能分析，工程論著，

- No.103, 頁47-48。
- 陳治均、張耀仁、韓佳佑、張嘉諳與葛復光, 2016。TIMES模型建置與BAU情境分析, 核能研究所研究報告。
- 陳治均與葛復光, 2013。INER-MARKAL運輸部門校準分析報告, 核研所報告。
- 張嘉諳與韓佳佑, 2016。太陽光電達20GW之輸配電問題與建議, 能源資訊平台, <http://eip.iner.gov.tw/>。
- 傅強、朱珮芸與許義宏, 2015。運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析, 交通部運輸研究所, 頁51-58。
- 黃郁青、陳治均與葛復光, 2017。利用TIMES模型進行我國電網級儲能分析, 臺灣能源期刊, 第4卷, 第1期, 頁45-58。
- 華德動能科技股份有限公司網址, <http://www.racev.com/bus.htm>。資料擷取於2018年3月。
- 楊皓荃, 2017。TIMES-ED模型能源服務需求價格彈性推估-工業部門, 核研所報告。
- 臺灣綜合研究院, 2011。100年運輸部門能源消費調查, 經濟部能源局委辦計畫。
- 廖孟儀、馬鴻文、李孟穎、洪明龍與李沛濠, 2016。臺灣火力發電健康衝擊外部成本分析。臺灣能源期刊, 第3卷第3期, 頁277-292。
- 鄭婉真, 2012。電網用電化學儲能市場發展趨勢分析, 經濟部能源局委辦計畫。
- Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP), 2015. Pathways to deep decarbonization 2015 report -executive summary, SDSN - IDDRI.
- Ekins, P., P. Dodds & H. Daly, 2014. TIMES Energy System Models at UCL, WholeSEM/DECC Stakeholder Workshop, UK.
- Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), 2014. Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050, European Commission, pp.86-100.
- Energy Information Administration (EIA), 2017. Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050, Washington, US, pp.89-99.
- International Energy Agency (IEA), 2016. Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems, OECD/IEA, Paris, France, pp.102-104.
- McKinsey&Company, 2017. How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability, Advanced Industries, Visual Media Europe, pp.10-12.
- Yang, C., S. Yeh, K. Ramea, S. Zakerinia, D. McCollum, D. Bunch & J. Ogden, 2014. Modeling Optimal Transition Pathways to a Low Carbon Economy in California: California TIMES (CA-TIMES) Mode, Institute of Transportation Studies.

The Impaction of the Development of Electric Vehicle on Grid-Level Energy Storage System in Taiwan

Yu-Ching Huang^{1*} Jyh-Jun Chen² Fu-Kung Ko³

ABSTRACT

In order to reduce environmental pollution caused by traditional fossil fuels, the government is actively to promote the use of EEVs (Energy Efficient Vehicles). The development of electric vehicles is most rapidly among EEVs and has attracted the attention all over the world. The key part of electric vehicles is battery whereas the research institutions all over the world have great differences in the estimation of vehicle battery prices. Therefore, this study designs reference case scenario, conservative scenario and positive scenario, and uses TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) model to simulate the influence of differences in the cost of lithium batteries for vehicles and evaluate the influence of grid-level energy storage systems when lithium batteries apply in the form of V2G (Vehicle-to-Grid) for grid. Reference case scenario shows that regardless of carbon reduction, TIMES model chooses power mix dominated by fossil-fired plants, resulting in the effect on carbon emission reduction from electric vehicles is limited, and the development of grid-level energy storage system is also limited. Conservative scenario shows that lithium batteries will develop faster, and flow batteries can develop simultaneously with lithium batteries in 2025 by increasing the amount of stored electricity. Positive scenario shows that when the cost of lithium batteries drops rapidly, electric motorcycles and electric buses will develop in mid-term in Taiwan, and the development of flow batteries will be limited. It is recommended that the energy density of flow batteries should be improved, so that energy cost will be reduced to improve competitiveness. Suggestions for the development of electric vehicles and grid-level energy storage in our country are also addressed in this study.

Keywords: Electric Vehicle, Carbon Emission, Energy Service Demand, Energy Storage System

¹ Research Assistant, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council.

² Associate Engineer, INER, Atomic Energy Council.

³ Senior Research Fellow, INER, Atomic Energy Council.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400#2728, E-mail: fred501146@iner.gov.tw

Received Date: March 13, 2018

Revised Date: July 12, 2018

Accepted Date: July 31, 2018