

# 應用能源工程模型評估運輸電氣化對能源系統影響

郭瑾瑋 (工業技術研究院綠能與環境研究所)

周裕豐 (工業技術研究院綠能與環境研究所)

## 文章資訊

接受日期：2020.08

關鍵詞：

- 能源工程模型
- 運輸電氣化
- 電動車
- 車輛到電網

## 內文摘要 (Abstract)

因應減碳與永續發展目標，能源轉型為各國能源政策主軸，透過再生能源發電占比逐漸提昇，藉由電氣化將終端能源使用由化石燃料轉為電力可帶來環境效益，因而電氣化成為未來主要發展趨勢。這一趨勢體現在國際間掀起的電動車熱潮，世界各國相繼制定電動車推動計畫與階段性目標，如挪威與荷蘭宣佈2025年禁售燃油車、德國與印度宣佈2030年禁售燃油車、英國與法國等宣佈2040年禁售燃油車輛。然隨著愈來愈多人使用電動車，預期在減少汽柴油等化石燃料使用的同時，也將造成電力需求的增加，且如果每個人都在用電高峰期充電，則將造成國家電網負荷與供電穩定等問題。為了評估運輸電氣化對於電力供需與能源系統產生之影響，本研究利用能源工程模型分析運輸電氣化對於需電量、時段別負載變化、減少化石燃料使用及碳排放影響。根據分析結果，顯示運輸電氣化雖造成電力需求增加，但電動車滲透率增加所造成的負面影響，可藉由電動車智慧充電管理降低衝擊，預期智慧充電管理發生在剩餘負載低的時段，如清晨5-6點、正午PV發電高峰期。此外，利用電動車車載電池作為儲能(車到電網V2G)，將其視為系統彈性資源，有助於變動性再生能源併網，並減緩尖峰時段對調度機組的需求，若僅考量電力系統操作，V2G將發生在剩餘負載高的時段，如傍晚18:00~20:00。而在減碳效果影響分析，因其取決於充電時的發電結構，若整體發電結構維持政府能源轉型目標(燃氣發電占比至少50%，再生能源2025年發電占比20%)，則電動車發展預估2035年可減碳4.6百萬噸，2050年可減少12百萬噸CO<sub>2</sub>。

## APPLYING AN ENERGY ENGINEERING MODEL TO EVALUATE THE EFFECTS OF TRANSPORTATION ELECTRIFICATION ON ENERGY SYSTEM

Kuo, Ching Wei ( Green Energy & Environment Research Laboratories, ITRI )

Chou, Yu Feng ( Green Energy & Environment Research Laboratories, ITRI )

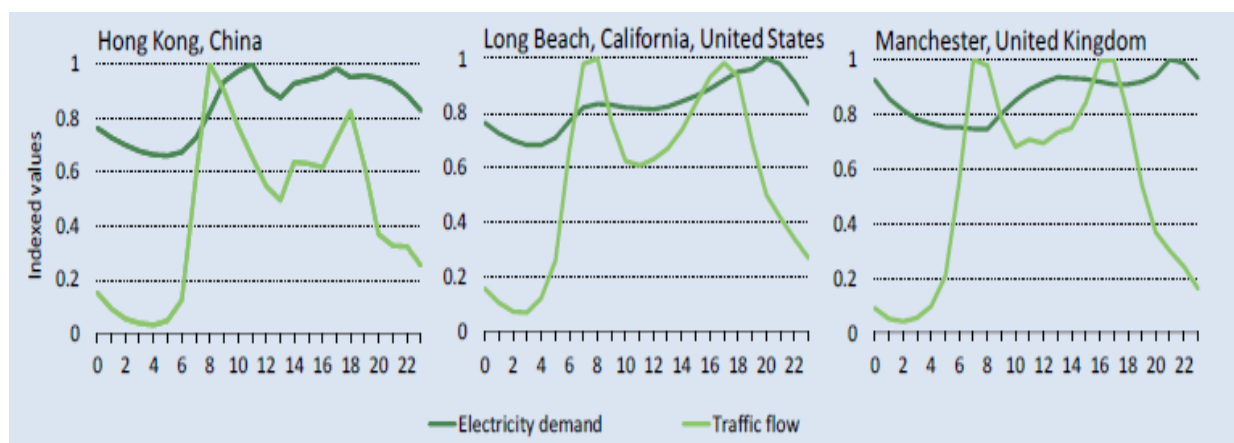
| Information                                                                                                                                                                                   | Abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Accepted date : 2020.08<br>Keywords : <ul style="list-style-type: none"><li>• Energy system model</li><li>• Transportation Electrification</li><li>• Electric Vehicle</li><li>• V2G</li></ul> | Energy transition have played a great role in reaching a sustainable low carbon target. Electrification is regarded as one of critical strategies by more renewable power replacing fossil fuel in use. Many countries have accelerated the deployment of electric vehicles (EVs) and announced to prohibit the sales of internal combustion engines (ICEVs) in the near future, like Norway and Netherlands. However, widespread EV adoption implies the increasing the electricity demand to replace the consumption of gasoline and diesel. If EVs' owners charge the EV batteries at the peak demand period, it may cause the issues of grid load and power system stability. This study applied an energy engineering model to explore the impacts of Taiwan's EV promotion plan on energy system, including carbon emission reduction, load change and electricity demand. |

## 壹、前言運輸電氣化對能源系統的影響

因應長期減碳目標，各國積極進行能源轉型，再生能源發電占比逐漸提昇，藉由電氣化將終端能源使用由化石燃料轉為電力可帶來環境效益，且隨著技術進步，有效電氣化不僅可帶來經濟效益，亦提高能源使用效率，因而電氣化成為未來主要發展趨勢。這一趨勢體現在國際間掀起的電動車熱潮，世界各國相繼制定電動車推動計畫與階段性目標，如挪威與荷蘭宣佈2025年禁售燃油車、德國與印度宣佈2030年禁售燃油車、英國與法國等宣佈2040年禁售燃油車輛。2017年6月，第八屆清潔能源部長會議 (Clean Energy Ministerial)亦於會中通過由電動車倡議(Electric Vehicles Initiative)提出的「EV30@30行動」計畫，設定在2030年電動車(含BEVs, PHEVs, FCEVs)占新售汽車(所有客車、輕型商業車、公車、貨車)的30%。為順應世界發展趨勢，我國行政院於2017年12月21日提出的「空氣污染防制行動方案」，亦提出我國電動車發展目標，即2030年新購公務車及公車全面電動化、2035年新售機車全面電動化、2040年新售汽車全面電動化的政策目標(考量市場機制，政府於2019年5月2日宣布暫緩新售車輛全電動化政策)。

然隨著愈來愈多人使用電動車，預期在減少汽柴油等化石燃料使用的同時，也將造成電力需求的增加。根據IEA全球電動車展望報告，2018年全球電動車約使用580億度電，約相當於瑞士2017年的總用電需求，其中又以輕型車輛(light duty vehicle, LDV)用電量增加最為快速。儘管目前電動車輛數增加對於電力供需影響仍有限，但隨著技術進步、基礎建設投資及政策的支持，電動車預期將快速成長，IEA預估在新政策情境下，2030年全球電動車用電量將提升至6,400億度電，凸顯出運輸電氣化對能源系統的影響。

電動車對電網的影響主要是受使用技術與充電模式決定，在發電與電力批發市場階段，因電力需求增加，需額外建置電廠，將造成電價增加；在傳輸與系統營運階段，因影響尖峰負載波動，為穩定供電品質，需更多系統服務，如頻率控制與備用容量；最後在配電階段，因可能導致電線與變壓器的超負載及電壓下降，其中超額負載將加速電網設施老化，最終影響傳輸服務，需進行電網與變壓器升級投資。但電動車影響程度又受充放電是否可調度與可控制決定，圖1為IEA整理中國香港、美國長灘與英國曼徹斯特三個城市週間運輸活動與電力需求平均日小時曲線，圖中顯示兩者特性相似，每日約有二次尖峰需求發生於白日與傍晚時間，夜間為離峰需求。而在傍晚時間，電力需求通常緊隨著交通尖峰，若電動車於此時充電將使傍晚尖峰問題更加惡化，顯示電動車最佳充電時間為白天使用前的夜間時段，其對新增發電容量與電網的影響最小。



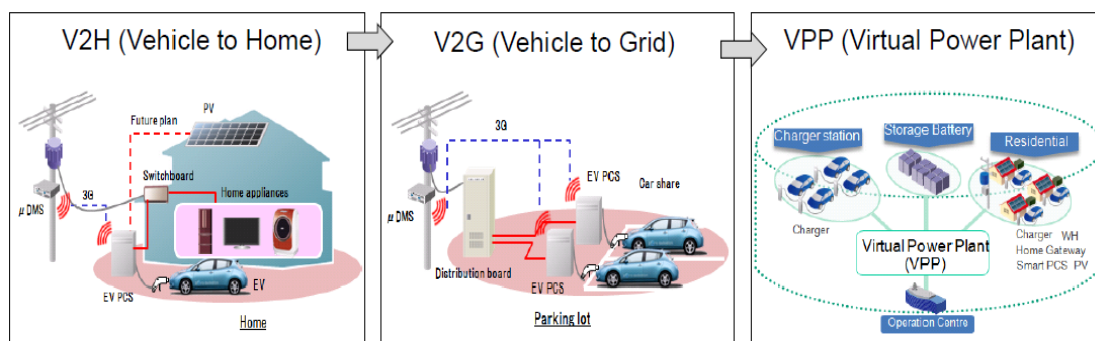
資料來源：IEA (2018), Global EV Outlook 2018.

圖1：運輸活動與電動車電力平日小時曲線

除透過充電管理有效降低對尖峰負載的影響，利用電動車與油電混合車(PHEV)等車輛停車時將閒置可用電力連接至電網，不僅可減少電動車對尖峰負載的影響，更能提昇電力系統的穩定性。隨電動車技術發展，電動車續行力已大幅提昇，部分車款已達300哩以上，已遠大於一般人每日50哩至100哩的平均行駛需求，意即電池用於運輸需求僅15%-30%，其餘50%-75%可做為儲能用。V2X的發展即是將電動車視作儲能設備，定義為可協調、可雙向控制車載動力與家用/商業建築/電網間的能源傳輸，並維持有效且可信賴的操作，包括車載電池到家庭的V2H(Vehicle to Home)與車載電池到建物的V2B(Vehicle to Building)，及可到電網的V2G(Vehicle to Grid)。

## V2X

### 1) V2H/VPP

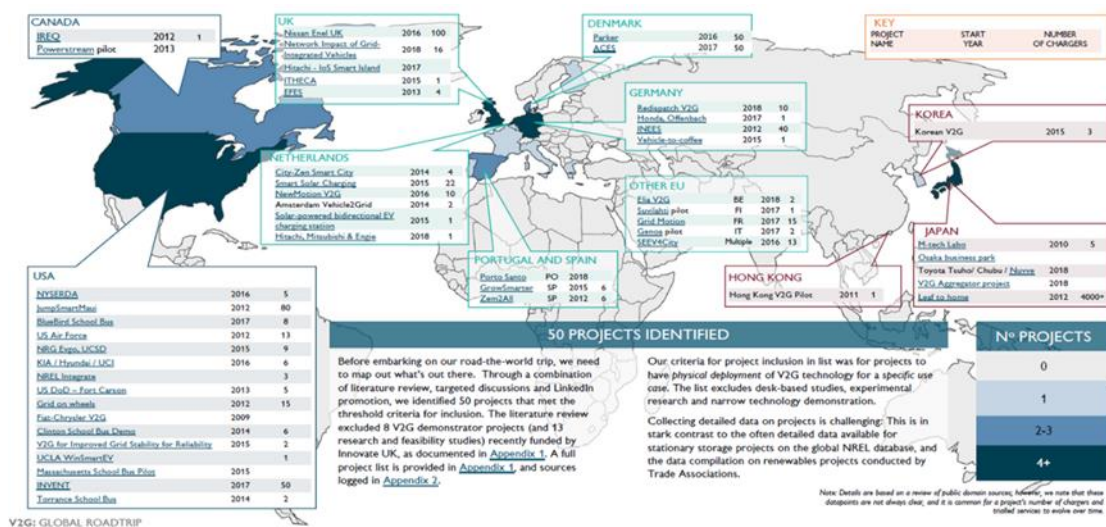


資料來源：NEDO (2017), Case studies of resources aggregation, V2G and others.

圖2：V2X應用類型

## 貳、全球 V2G 應用案例分析

為瞭解V2G應用是否能實質減緩運輸電氣化對能源系統的影響，本研究蒐集整理目前全球主要的V2G應用案例。根據Everoze (2018)研究調查，全球約有50個V2G計畫，其中歐洲有25個，以北歐、荷蘭、丹麥、英國與德國為主，北美有18個，主要是在加州、夏威夷與德拉瓦州，亞洲則有7個，主要集中在V2H/V2B服務，且多著重於與製造商合作，如圖3。2015年前計畫多集中在技術可行性的驗證，2016年以後則逐漸朝向探索商業化模式與價值。



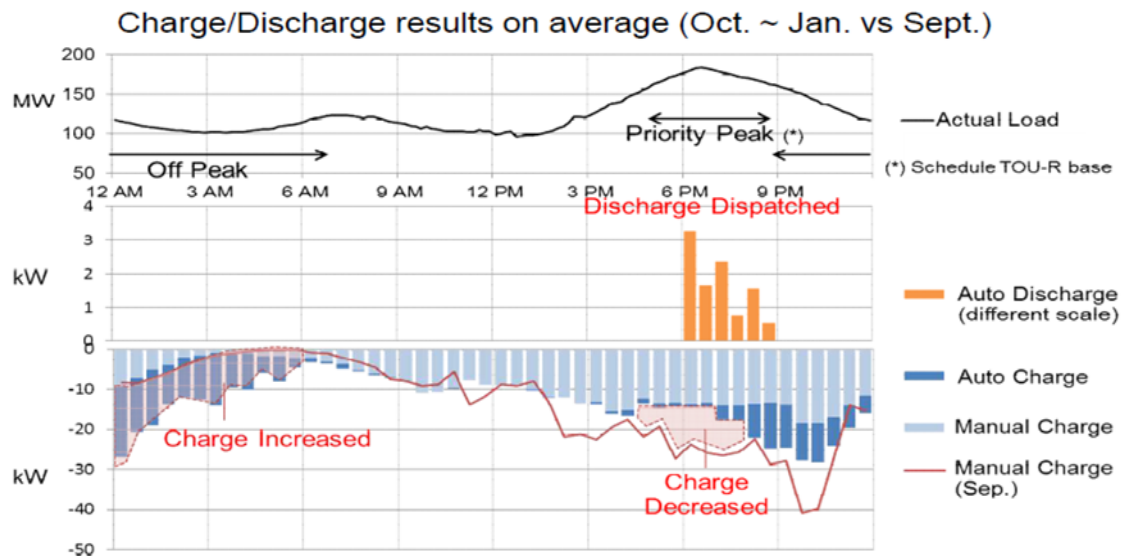
資料來源：Everoze (2018), V2G Global Roadtrip: Around the World in 50 Projects.

圖3：全球V2G計畫分布圖

V2G將車載電池視作儲能設備，因此可利用車載電池消化多餘的再生能源發電，實現需量反應、降低電網負擔、提高供電穩定性，甚至可以降低尖峰所需新建電廠的需求，且未來V2G反向送電至電網更有助於提供電網穩定。目前V2G的概念在國際上已經有許多應用試驗計畫，如日本新能源產業技術總合開發機構(NEDO)在夏威夷州茂宜島推動「JUMP Smart Maui」智慧電網示範計畫(以下簡稱JSM計畫)，進一步研究太陽能、風力和電動車的能源整合應用。JSM計畫於2011年6月啟動，計畫目標是將智慧電網、再生能源和全電動車解決方案融入，希望達成最大限度利用再生能源。JSM示範計畫大致分為兩個階段，其中包括三個EV相關計畫「快速充電站計畫」、「充電管理計畫」、「V2G計畫」。計畫執行成果顯示充電管



理可以達到移轉負載與削減棄風量，而V2G造成夜晚充電量增加，傍晚尖峰負載(18:00-21:00)時放電，如圖4。



資料來源：NEDO (2018), NEDO Smart Community Demonstration Projects.

圖4：V2G計畫負載變化-充放電時段與電量

JSM計畫驗證電動車可提昇電力系統彈性。但電動車仍以提供運輸為主，並非隨時與電力系統連結，因此電動車車載電池的荷電狀態是影響關鍵。計畫執行成果顯示電動車在尖峰時段放電僅有14%至31%可被視為有效能源。此外，白天電動車連結充電器比例很少，且多數待命汽車幾乎已充飽電，因此，只有總容量的2%到4%可被視為有效能源，如表1。

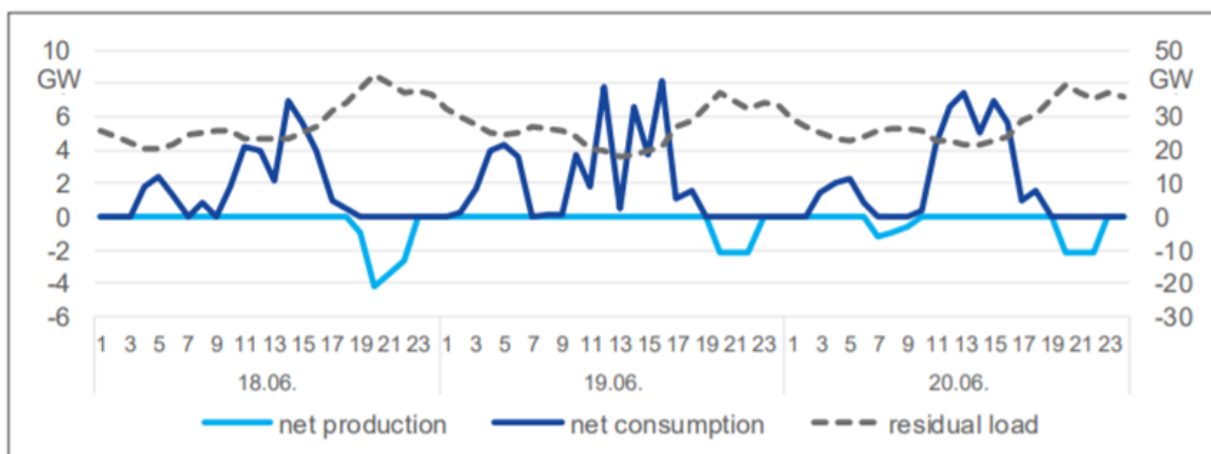
另外，全球首個商業化V2G中心是由義大利電力公司Enel與Nissan合作設置，位於丹麥的Frederiksberg Forsyning，屬於丹麥Parker V2G示範計畫，於2016年8月啟動，由丹麥能源技術開發與示範計畫支助(EDUP)，該計畫探討以現行電動車技術，可在電力系統提供的電網應用為何，並進行實證研究。主要集中在調頻服務(因對於反應時間與V2G的要求最苛刻，且是目前丹麥最具商業價值的電網應用)。從7個構面-EV數量、品牌、服務項目、電池大小、電網區域、服務時間、資訊量來探討V2G的應用是否具規模化。該計畫購買10輛日產e-NV200零排放貨車和10台Enel的V2G充電器，由Nuvve aggregator提供調頻服務(Frequency Regulation, FCR-N)至丹麥DK2電網，並從中獲取利潤。計畫實際運作結果發現平均每車每年可獲得1,860歐元的收益。

表1：JSM計畫電動車電力資源價值估算

|              | (A)<br>每個EV-PCS<br>可提供的電力 | (B)<br>參與示範案車輛<br>實際連接到EV-<br>PCS情形 | (C)<br>參與示範計畫電<br>動車剩餘荷電狀<br>態 | (D)<br>參與示範計畫80輛電動車<br>可被視為有效能源<br>(A)*(B)*(C)*80 | (E)<br>有效能源(D)占<br>總容量的比例 |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 放電<br>(尖峰小時) | 6.0 kW                    | 27-41%                              | 50-75%                         | 67-149 kW                                         | 14.0-31.0%                |
| 充電(夜間)       | 5.4 kW                    | 28-43%                              | 30-70%                         | 36-130 kW                                         | 8.3-30.1%                 |
| 充電(白天)       | 5.4 kW                    | 8-11%                               | 20-35%                         | 9-17 kW                                           | 2.1-3.9%                  |
| 放電(午後)       | 6.0 kW                    | 9-20%                               | 70-80%                         | 30-77 kW                                          | 6.3-16.0%                 |

註1：EP-PCS為與電動車連接的電力控制系統(Electricity Conditioning System)

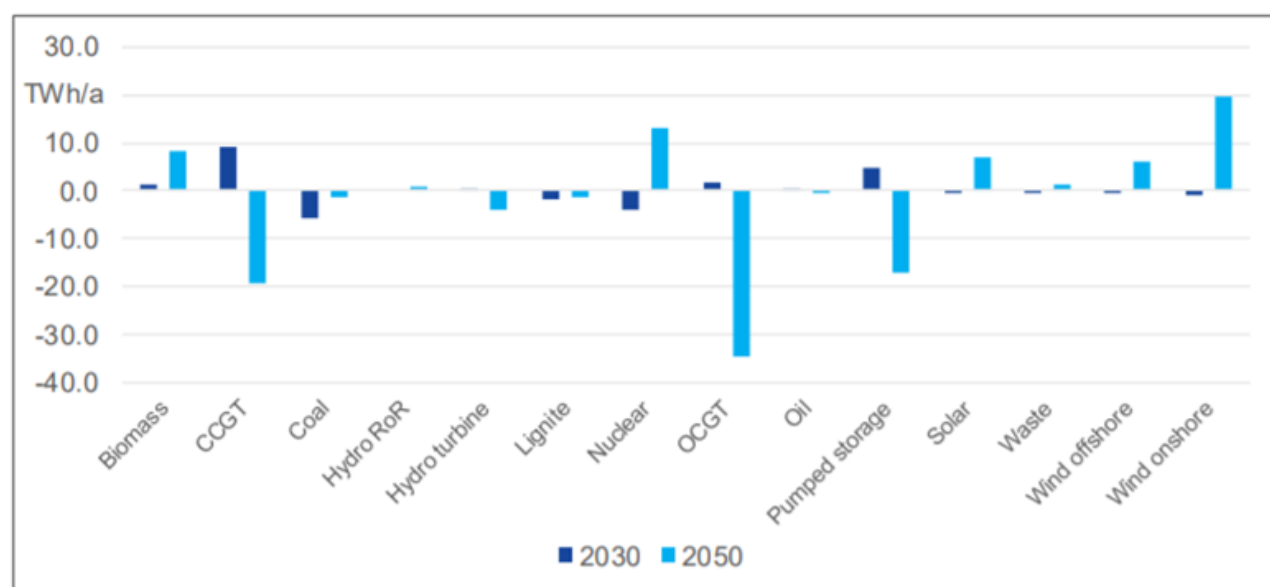
資料來源：NEDO (2018), NEDO Smart Community Demonstration Projects.



資料來源：European Commission (2018), Effect of electromobility on the power system and the integration of RES S13 Report.

圖5：2030年法國夏日V2G與負載情況

除實際應用案例，歐盟亦針對運輸電氣化對電力系統影響進行評估，透過情境分析方式，分析不同充電策略、不同電動車占比及V2G與電網傳輸限制對於電力系統的影響。情境分析結果顯示V2G會發生在負載比較高的時段，如圖5，皆約傍晚17時開始出現V2G情況。另V2G對於調度的機組容量亦有顯著影響，如圖6，2030年與2050年較具彈性電廠發電下降，如天然氣複循環機組。此外，因V2G使再生能源發電增加，核電等基載電廠也增加使用。



資料來源：同圖5。

圖6：不同情境下的發電量差異

彙整前述實證計畫與模型評估結果，可歸納出以下結論：

- V2G對電力系統是正向的，電動車可作為彈性的電網資源
- 電動車充電管理可移轉負載，並降低再生能源削減量
- 電動車仍以提供運輸為主，並非總是與電力系統連結，且荷電狀態對所能提供的服務亦是影響關鍵
- 電動車車種、充電策略、V2G為影響電力系統的關鍵
- V2G可促進再生能源占比提高、減少再生能源削減量
- V2G發生在剩餘負載高的時段
- V2G對調度機組有影響



## 參、評估模式與分析架構

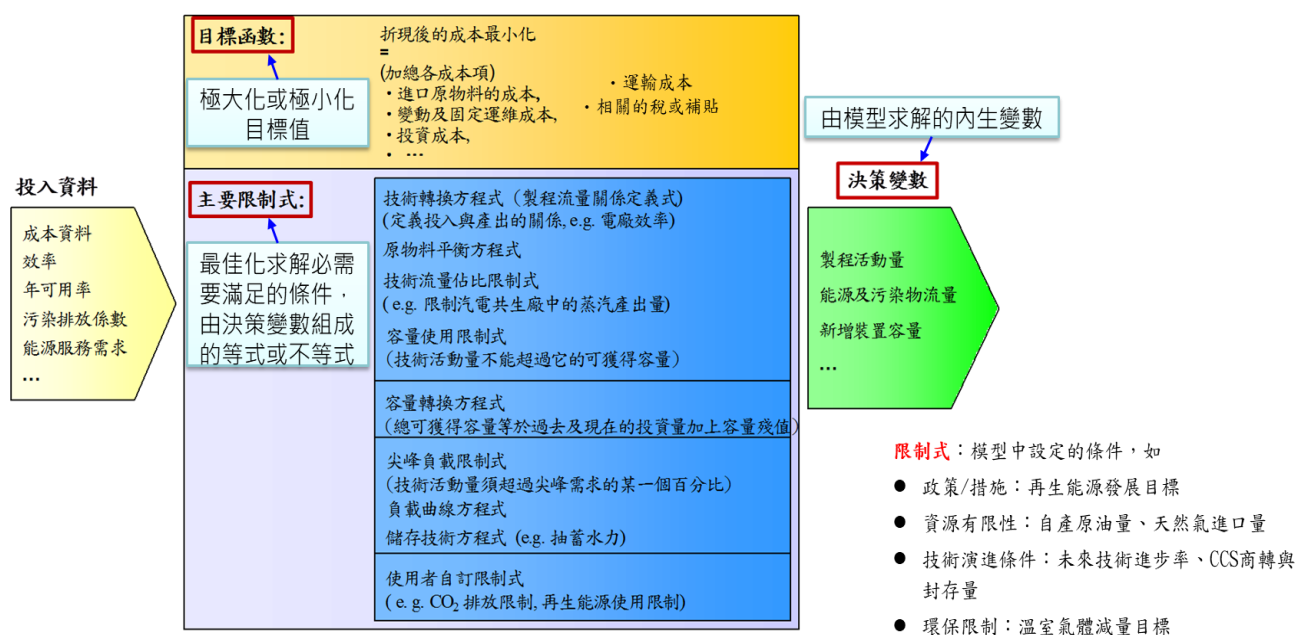
### 3.1 評估模式

為能同時反應電動車技術發展、充電模式對電力需求與電力系統的影響，本研究採用臺灣TIMES( The Integrated MARKAL-EFOM System)能源工程規劃模型<sup>1</sup>，模型特色是具有豐富的技術資料，透過各技術項目間投入產出關係，以線性規劃模式描述各種能源自開採、進口，經過煉油、發電等能源轉換過程產生次級能源，再藉由管線運輸或電網提供能源給各部門終端設備(工業鍋爐、照明器具、交通運具等)，以滿足最後能源服務需求(工業用熱、照度、延人公里等)的整個流程。其中能源服務需求為TIMES模型模擬能源供需規劃最主要的驅動力，各部門的能源服務需求係在社經條件假設前提下，透過其他推估模式規劃，再輸入TIMES模型作為外生變數，以運輸部門為例，運輸服務需求依其功能不同，可區分為客運及貨運兩類，分別定義為延人公里與延噸公里，本研究透過迴歸模型建立各類運具之服務需求推估模式，考量變數包括經濟發展、能源價格、人口變化趨勢與各運具服務需求歷史變化等。

模型求解的主要變數有技術投資量、技術活動量、裝置量、各燃料別能源消費量與碳排放等。因此模型可分析電力需求技術(如電動車)與電力供給技術(火力機組、再生能源機組)間鏈結關係，如透過各技術投入產出關係所產生的商品流量平衡式，可分析電動車增加下，為滿足電力供需平衡，電廠裝置量與發電量受到的影響。此外，也可反應運輸技術電氣化對電力需求與燃料燃燒CO<sub>2</sub>排放的影響。圖7為模型基本架構，主要是根據能源/電力供需平衡原則，將諸多變數、參數以及使用者自定的限制條件，組成聯立線性方程式/不等式，構建而成線性模組，並以成本最小化為目標函數<sup>2</sup>求解。

<sup>1</sup> TIMES模型為國際能源總署能源技術系統分析計畫(Energy Technology Systems Analysis Programme, ETSAP)開發，主要作為能源系統規劃、能源技術影響與溫室氣體減量策略評估。工研院係在能源局經費支持下於1993年引進並本土化該模型架構與參數。模型詳細說明可參閱Loulou等人 (2016)。

<sup>2</sup> TIMES模型是以極小化能源系統之總成本作為目標函數，各項能源系統成本包含投資成本(INVCOST)、投資相關稅與補貼(INVTAXSUB)、除役成本(INVDECOM)、固定運維成本(FIXCOST)、固定運維相關稅與補貼(FIXTAXSUB)、變動運維成本(VARCOSt)、需求替代衍生的福利損失(ELASTCOST)、能源商品重新取得之收益(LATEREVENUES)及技術或能源商品殘餘價值(SALVAGE)。



註: 上述目標函數、方程式與限制式均為線性方程式, 因數量眾多不詳列於此, 可參考Loulou等人 (2016)。

資料來源: 本研究

圖7: 模型基本架構

此外, 為考量電動車充電管理對尖離峰負載需求影響, 以及車載電池搭配變動性再生能源發電的季節性、每日及每小時間的特性, 以更完整評估運輸電氣化與V2G應用對我國能源系統影響, 將臺灣TIMES模型時段分析尺度細緻為一年66個時段(如圖8), 以評估電動車導入在有無充電管理與V2G應用對電力系統的影響。

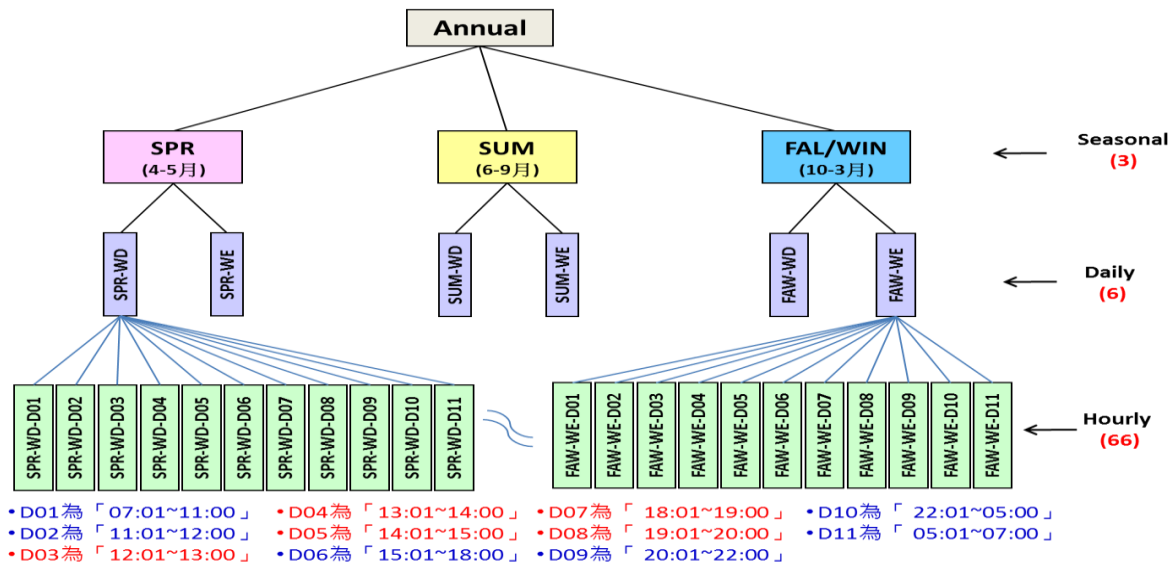
### 3.2 評估架構

因應本研究目標所建置之評估架構如圖9所示, 首先根據國發會對於我國人口預估成長情況等因素, 推估未來小客車與機車的運輸服務(延人公里), 以及我國電動車目標下的車輛數, 並參考各項國際資料建置評估所需參數, 如國際能源總署IEA所出版的Energy Technology

$$EQ\_OBJ(z, r) \quad \exists z \in MODELYEARS, r \in REG$$

$$REG\_OBJ(z, r) = \sum_{y \in (-\infty, +\infty)} DISC(y, z) \times \left\{ \begin{aligned} & INVCOST(y) + INVTAXSUB(y) + INVDECOM(y) + FIXCOST(y) \\ & + FIXTAXSUB(y) + VARCOST(y) + ELASTCOST(y) - LATEREVENUES(y) \end{aligned} \right\} - SALVAGE(z) \quad (B)$$

Perspectives能源技術展望系列報告對於未來電動車占比假設、美國能源供需展望報告AEO對於未來新售電動車技術效率與成本趨勢等；透過設計不同情境來評估對於電力需求影響、電力供給結構影響及運輸部門排碳分析。



資料來源：本研究

圖8：模型時段別劃分

## 肆、評估結果

### 4.1 情境設計

政府車輛電動化政策原規劃為(1) 2030年公務車及公車全面電動化、(2) 2035年新售機車全面電動化、2040年新售汽車全面電動化。本研究以此政策規劃為基礎，並設計四種情境方案分析運輸電氣化與導入V2G對電力系統的影響，各情境內容詳表2。

表2：情境內容

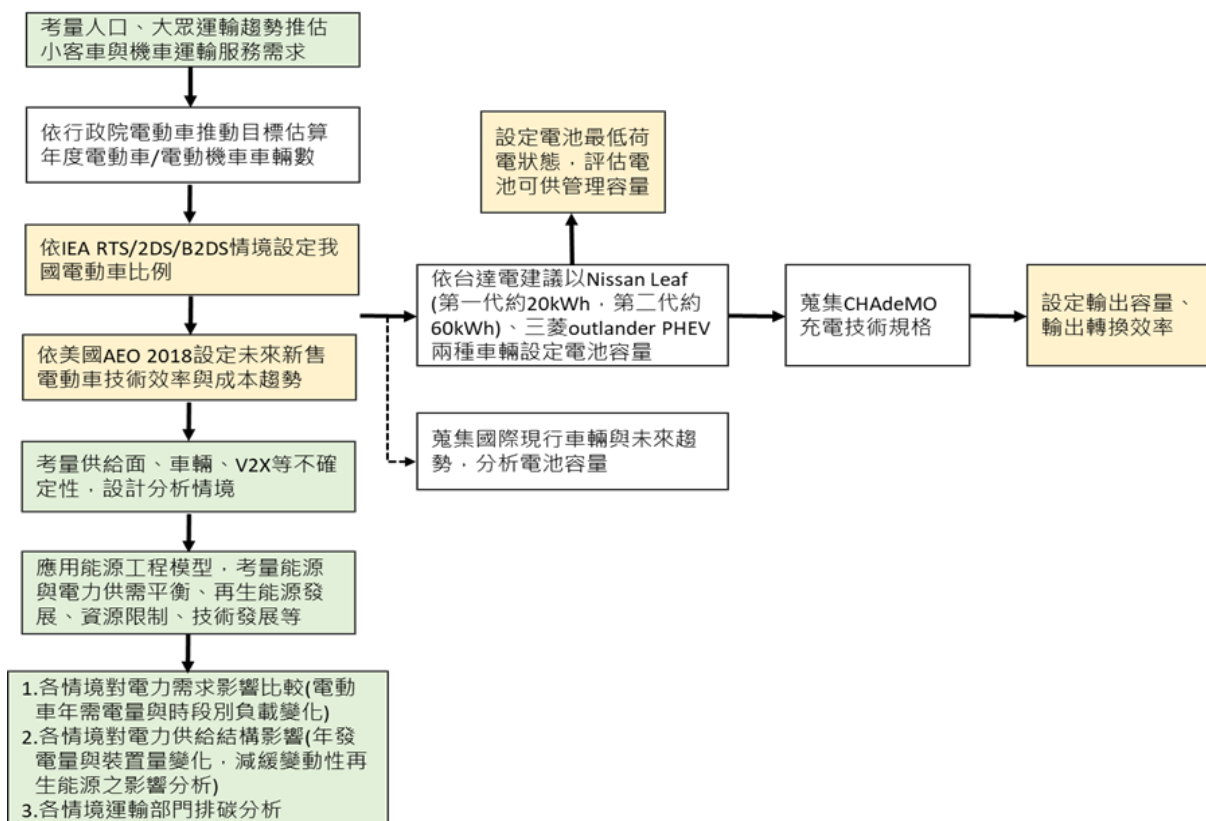
| 條件                 | 情境一                    | 情境二  | 情境三  | 情境四                       |
|--------------------|------------------------|------|------|---------------------------|
| 電動車發展目標中BEV占比 (註1) | 無                      | 高占比  | 高占比  | 高占比                       |
| 車載電池是否可以回饋至電網      | 無V2G                   | 無V2G | 有V2G | 有V2G                      |
| 電力配比與再生能源目標 (註2)   | 符合能源轉型願景<br>(減煤、增氣、展綠) |      |      | 再生能源符合目標，煤氣占比與電廠規劃由模型內生決定 |

|             |               |  |
|-------------|---------------|--|
| 電源開發方案 (註3) | 依電源開發方案新增燃氣機組 |  |
|-------------|---------------|--|

註1：電動車發展目標依行政院於2017年12月21日公佈，惟電動車包括油電混合車、插電式油電混合車與純電動汽車(BEV)，為突顯電動車推動成效，設定情境二至情境四新售車輛全數為BEV(即新售車輛100%為BEV)；而情境一則假定電動車維持現狀(電能小客車占小客車總登記數0.15%)

註2：能源轉型願景為現行政府能源發展目標，朝減煤、增氣、展綠邁進，2025年達非核家園且再生能源發電占比達20%。

註3：電源開發方案係依政府公投後能源政策檢討之開發方案。



資料來源：本研究

圖9：評估架構

## 4.2 評估結果

我國自1997年推動溫室氣體減量專法立法工作，環保署草擬「溫室氣體減量法（草案）」，於2006年通過行政院審查，函送立法院進行審議，雖進入立法程序，惟始終未能通過，直至2015年將法案名稱修正為《溫室氣體減量與管理法》，立法院三讀通過，2015年7月總統公布施行。《溫室氣體減量及管理法》明定我國溫室氣體長期減量目標為2050年降為2005年的50%，第五條之三明訂「依二氧化碳當量，推動進口化石燃料之稅費機制，以因應

氣候變遷，並落實中立原則，促進社會公益」，提供我國實施碳稅或碳費的法源依據，但是迄今政府仍未開始依法推動碳稅或碳費。

### (1) 電動車需電量推估

依情境設計與前述效率值設定，推估我國電動機車至2035年需電量為9.5億度，電動汽車2040年所需電量為52.8~82.2億度(依純電動車比例不同而有所影響)，此與台電過往所推估的146億度差異原因為以下幾點：

- 台電是以現行車輛數直接進行全面電動化估算，遠高於本研究推估之電動車數輛(考量新售全面電動化目標，推估各目標年累計電動車輛數)，且電池容量機車為 2.5kW、汽車為 75 kW，本研究根據國際車款與發展趨勢由現階段的 40 kW，未來逐漸加大電池容量為 100 kW。
- 台電車輛均以純電動汽車估算需電，但考量政策目標中並未明訂僅計入純電動車，而本研究電動車導入除參考 IEA(2017)能源展望報告 B2DS (Beyond 2°C Scenario)情境設定，另為突顯電動車推動成效，亦考量新售車輛全數為 BEV，後續情境分析皆設定新增電動車全數為 BEV。
- 其他如本研究考量未來車輛需求隨大眾運輸與人口而有遞減趨勢，並考量技術效率的演進，綜前述原因本研究推估電動車的需電量明顯較台電預估值低。

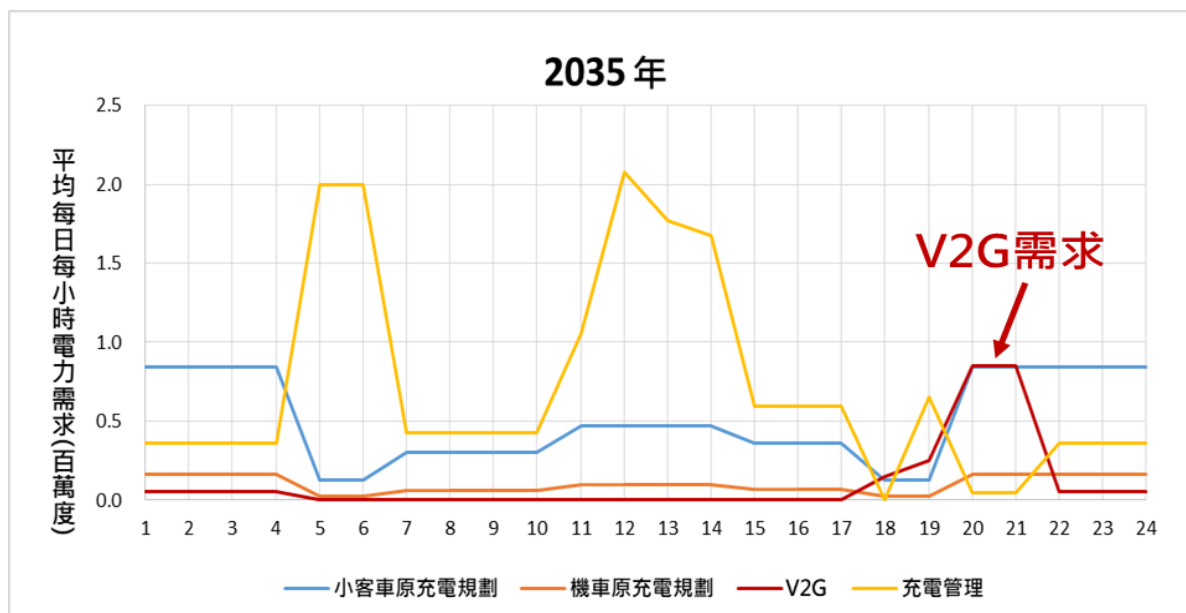
表3：推估電動車需電量與台電評估結果比較

|           | 電動機車  |                | 電動汽車  |                  |            |
|-----------|-------|----------------|-------|------------------|------------|
|           | 台電    | 本研究            | 台電    | 新增電動車<br>BEV占51% | 新增電動車全為BEV |
| 電動車輛數(萬輛) | 1,376 | 930<br>(2035年) | 793   | 314<br>(2040年)   |            |
| 考量市場需求變化  | 無     | 有              | 無     | 有                |            |
| 電池容量      | 2.8   | 3.5            | 75    | 40-100           |            |
| 效率(公里/度)  | 41.67 | 42.26          | 5.56  | 4.87~6.88        |            |
| 效率進步      | 無     | 有              | 無     | 有                |            |
| 需電量(億度)   | 16.0  | 9.5            | 130.4 | 52.8             | 82.2       |

資料來源：台電預估汽機車全面電動化將造成需電量146億度，詳陳文姿（2018）；本研究整理。

## (2) 電動車充電時間與 V2G

在自用電動汽車方面，根據交通部2016年自用小客車使用行為調查，自用小客車主要是以通勤、探視或接送、休閒為主，每天平均行駛里程為29.96~87.86公里，顯示小客車單次充電電可滿足一日所需的旅運需求，故本研究假設電動車應用於通勤、洽公業務使用、休閒屬固定充電模式，若為家用充電，充電時間配合上下班時間、離峰電價等因素，當未進行智慧充電管理前設定充電時間為傍晚8點以後，若為辦公室充電則設定在上午9:00~下午5:00時充電。其他用途則屬於不規律充電，充電時間將平均分散在各時段。後續情境分析設定持有電動車的車主有70%會於家庭充電、30%則於辦公室充電。在電動機車方面，根據2016年機車使用行為調查，機車應用於通勤/學、洽公業務使用、休閒屬固定充電模式，當於家用充電時，設定充電時間為傍晚8點以後，辦公室充電則設定在上午9:00~下午5:00。其他用途則屬於不規律充電，充電時間將平均分散在各時段。後續情境分析同前設定，假設持有電動車的車主有70%會於家庭充電、30%則於辦公室充電。



資料來源：本研究

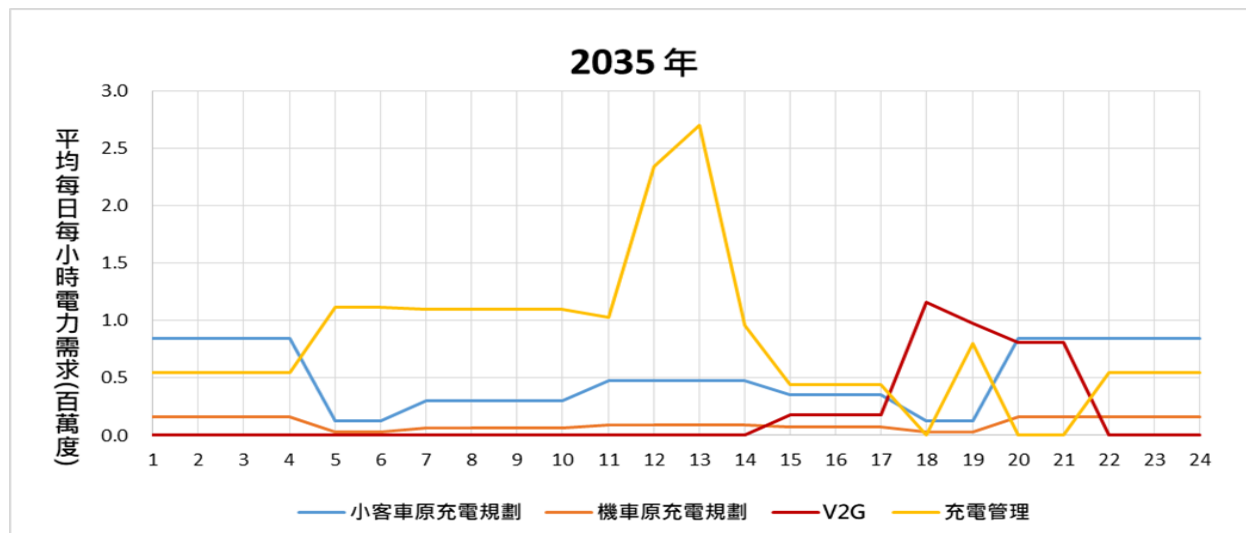
圖10：2035年電動車充電與V2G時段別分析-情境三

由於本研究所使用的模型是以最小成本規劃符合政策限制下且供需平衡的電力系統，因此模型在允許可調整充電時間的設定下，其充電時間與是否將電力回饋至電網均是反映各時段別電力調節狀態，評估結果顯示在當電動車可移轉充電時，充電時間將由傍晚與夜間移至清晨與正午前，並於下午及傍晚前放電回饋至電網，此時電動車電池相當於分散式儲能設



備，用於配合電力系統所需穩定供電。若檢視各季節的狀態，因模型評估考量充放電的電力損失問題、整體電力系統供需平衡、間歇性再生能源發電時段別特性、發電成本與電廠狀態，模型分析結果顯示V2G發生以夏季為主，春季傍晚少許，而秋冬季則僅進行充電時間移轉，但不需要回饋至電網。

鑑於情境一至情境三模型已依政府現行電源開發及發電配比規劃建置於內，此意謂著不論成本模型均需符合該規劃。為了評估V2G對電力系統的實際影響，本研究設計情境四來分析若車載電力可以回饋至電網，整體電源開發，尤其是作為調度機組的燃氣電廠裝置量是否受其影響。下圖為情境四電動車充電時間與V2G分析，顯示當無電源開發方案與發電配比限制時，模型會選用更多的V2G以減少燃氣發電量與裝置量。



資料來源：本研究。

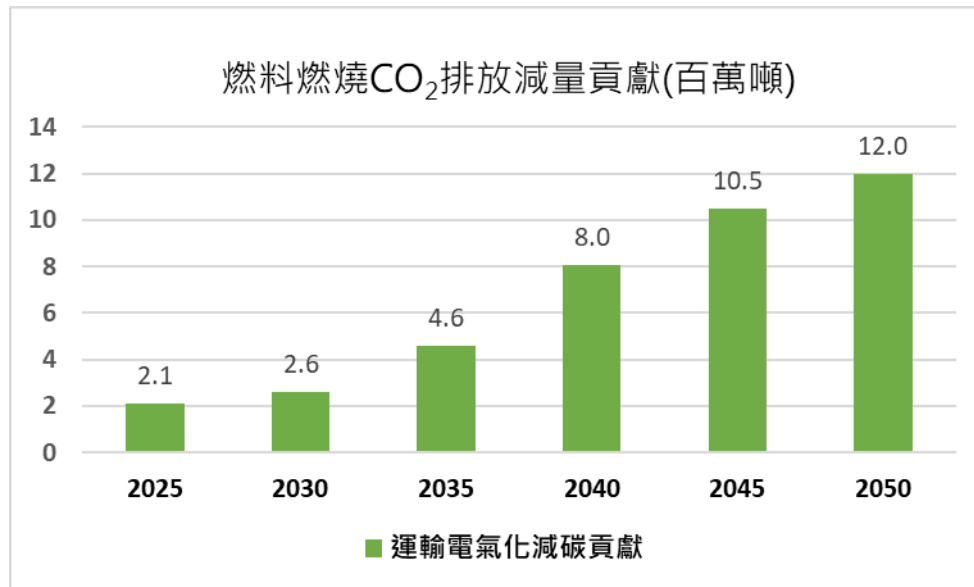
圖11：2035年電動車充電與V2G時段別分析-情境四

### (3) 運輸電氣化與 V2G 對發電量與裝置容量的影響

模型評估電動車儲能對電力系統的影響，顯示在可充電管理下，模型會依成本原則與時段別電力供需平衡調整電動車充電時間，由傍晚與凌晨時段移至清晨與正中午前，且配合電力需求於下午至傍晚回饋電力至電網，可平緩電力負載，降低該時段燃氣機組的發電量。此外，由發電裝置量結果來看，若以情境四與情境三比較，當車載電池可作為儲能使用時，在不受限於電源開發方案所規劃的燃氣裝置量下，可減少燃氣機組的裝置量。

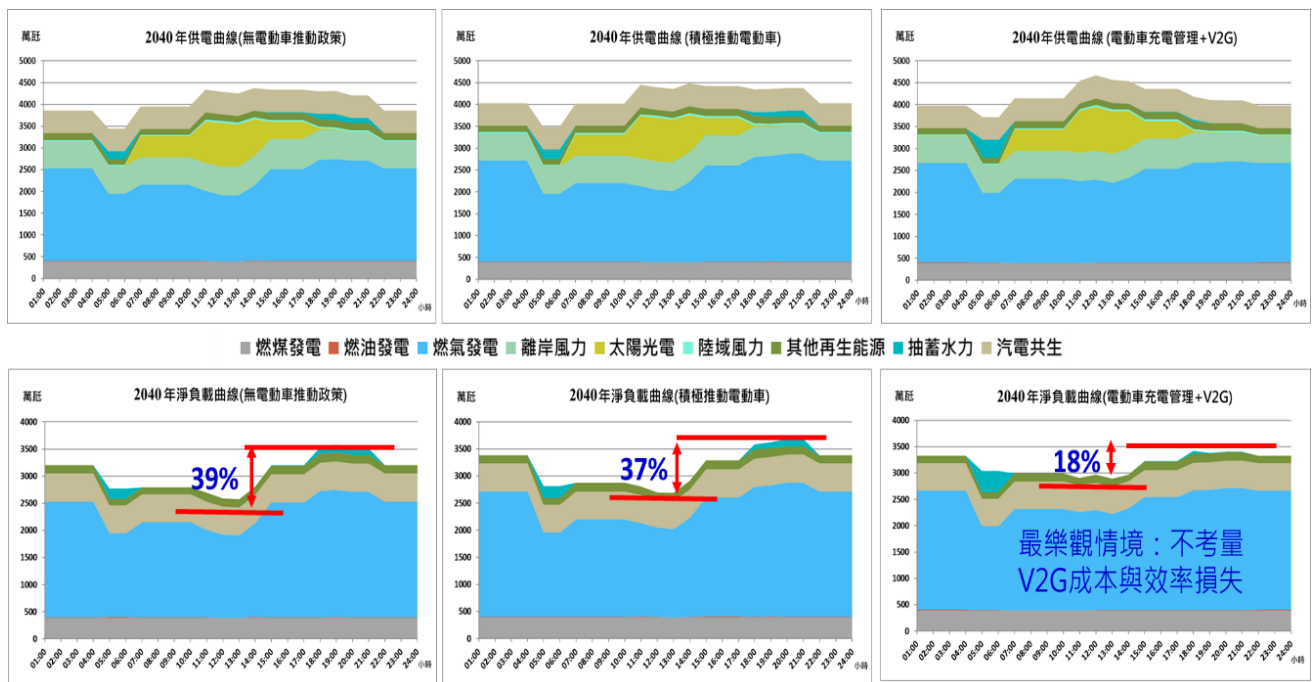
### (4) 運輸電氣化對燃料燃燒 CO<sub>2</sub> 排放量影響

運輸電氣化對減碳效果的影響取決於充電時的發電結構，電動車發展預估2035年可減碳4.6百萬噸，2050年可減少12百萬噸CO<sub>2</sub>，但若考量車載電池可以回饋至電網，倘若考量V2G的效率損失，對於碳排放會有負向影響，但影響不大。



資料來源：本研究。

圖12：運輸電氣化對燃料燃燒CO<sub>2</sub>排放量影響



資料來源：本研究。

圖13：電動車發展與V2G對供電曲線與淨負載曲線影響

## 伍、結論

運輸電氣化雖造成電力需求增加，但電動車滲透率增加所造成的負面影響，可藉由電動車智慧充電管理降低衝擊，此外，利用車載電池作為儲能(車到電網V2G)，將其視為系統彈性資源，可促進再生能源整併，並減緩再生能源對電網的衝擊與尖峰時段對調度機組的需求。依本研究分析結果，智慧充電管理發生在剩餘負載低的時段，如清晨5-6點、正午PV發電高峰期，而V2G則發生在剩餘負載高的時段，如傍晚18：00~20:00。

## 致謝及說明

本文承蒙台達電子文教基金會贊助「108年度電動車導入V2G對電力供需影響評估」研究經費，謹此誌謝。惟文中論述不代表贊助單位或工研院立場，報告中論述、文字、數據、圖表如有疏誤之處，當屬作者之責。

## 參考文獻

### 一、中文部分：

1. 交通部統計查詢網，<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100>.
2. 電動機車產業網，<https://www.lev.org.tw/default.asp>.
3. 陳文姿，2018。【2040 電動車化】供電受影響？台電估：全部電動車化也不怕。報導日期：2018 年 1 月 17 日。取自：<https://e-info.org.tw/node/209501>。

### 二、英文部分：

1. BMW, 2017. I ChargeForward PG&E's Electric Vehicle Smart Charging Pilot.
2. European Commission, 2018. Effect of electromobility on the power system and the integration of RES S13 Report.
3. Loulou, R., G. Goldstein, A. Kanudia, A. Lettila, and U. Remme, 2016. Documentation for the Times Model, Part1. Available from: <https://iea->

---

etsap.org/docs/Documentation\_for\_the\_TIMES\_Model-Part-II\_July-2016.pdf

4. IEA, 2019. Global EV Outlook 2019. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
5. IEA, 2018. Global EV Outlook 2018. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018>.
6. NEDO, 2017. Case Studies of Resources Aggregation, V2G and Others. Available from: [https://www.icef-forum.org/platform/speakers/2017/topic9/session2/ICEF2017\\_CS3-1\\_Kazuyuki\\_Takada\\_fin.pdf](https://www.icef-forum.org/platform/speakers/2017/topic9/session2/ICEF2017_CS3-1_Kazuyuki_Takada_fin.pdf).
7. Nuvve Corp., 2018. Grid Applications- Demonstrating How Electric Vehicles can Support Our Power system. Available from: <https://parker-project.com/wp-content/uploads/2018/12/VGI-Summit-Day-1-Parker-Practical-experience-1.pdf>.
8. World Economic Forum, 2017. The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge. Available from: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Electricity\\_2017.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf).