

## 推廣電動車輛之電力需求預測與環境衝擊分析

張宇琦 ( 台灣電力公司綜合研究所 )

柏雲昌 ( 中國文化大學經濟系 )

### 文章資訊

接受日期：2021.09

關鍵詞：

- 純電動車輛
- 綠色電力
- 溫室氣體
- 空氣污染
- ARIMA 模型

### 內文摘要 ( Abstract )

從我國溫室氣體和空氣污染物的排放量報告中發現運輸業的占比相對頗高，故我國在減少溫室氣體和空氣污染物排放量的壓力下，勢必須加強訂定許多相關的因應政策。其中，以2008年推動之電動車輛汰換燃油車輛的政策，最受產業和民眾的注意。本文以時間序列模型預測短期(2020年底)和長期(2025年底)電動車輛成長數量，並假設電動車輛使用綠電、電動車輛使用灰電、和繼續使用燃油車輛等三種情境，檢測我國綠電供給壓力和對環境的影響。實證結果發現假設在當前再生能源發展政策成功且可完全供給電動車輛使用的前提下，推論綠電是可充分供應電動車輛對電力的需求。但癥結是如何能確保電動車輛的電力是來自於綠電而不是來自於灰電，以及其他產業綠電需求對電動車輛綠電需求的排擠效應。此外，對環境衝擊而言，除電動車輛使用綠電情境呈絕對優勢外，其餘情境都會對環境產生衝擊。所以綠電供應的基礎建設發展是否能成功，實乃改善環境衝擊之關鍵所在。

---

## **ELECTRICITY DEMAND FORECAST AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR PROMOTING ELECTRIC VEHICLES IN TAIWAN**

Yu-Chi Zhang (Taipower Research Institute)

Yunchang Jeffrey Bor (Department of Economics, Chinese Culture University)

---

<u>Information</u>	<u>Abstract</u>
Accepted date : 2021.09 Keywords : <ul style="list-style-type: none"><li>• Electric vehicles</li><li>• green electricity</li><li>• greenhouse gases</li><li>• air pollution</li><li>• ARIMA model</li></ul>	<p>It is found that the transportation industry accounts for a relatively high proportion of greenhouse gases and air pollutants in Taiwan, therefore, under the pressure, the government decide to strengthen the policy of replacing fuel-fueled vehicles with electric vehicles. In order to test the pressure of local green power supply and to detect the environmental impacts, the present paper developed a time-series model to predict the growth of electric vehicles in the short-term (end of 2020) and long-term (end of 2025). The empirical results found that green electricity can fully supply the electricity demand of electric vehicles, assuming that the current renewable energy development policy is successful and can be used to supply electric vehicles only. However, the crux of the matter is how to ensure that the electricity for electric vehicles comes from green electricity instead of gray electricity. In addition, the crowding out effect on the demand for green electricity from other industries is also a difficult problem. In terms of environmental impact, all other scenarios, except the scenario where electric vehicles fully use green electricity, will have serious impacts on the environment. Therefore, the successful development of green power supply is the key to solve both the problems of promoting electric vehicles and improving the environmental quality.</p>

---

## 壹、背景說明

自1997年《京都議定書》訂定減少溫室氣體排放量的目標開始，發展至今。計有195個國家在2015年聯合國氣候峰會上，通過讓《巴黎協定》取代《京都議定書》。到2019年止共有187個國家簽約成為締約國<sup>1</sup>。在全球減少溫室氣體的趨勢下，我國也據以訂定減碳目標，積極發展綠色電力<sup>2</sup>（簡稱綠電）取代化石能源發電，和建置溫室氣體、空氣污染物的排放量資料庫等措施<sup>3</sup>。本文從溫室氣體和空氣污染物的排放量資料庫（行政院環境保護署，2020b）發現溫室氣體的排放量以二氧化碳為大宗，並且又以使用能源的部門排放最多的二氧化碳，約占95%。其中，又以能源產業和運輸業為排放大宗，分別占能源部門的66%和13%。

雖然能減碳或降低空氣污染的新能源車輛技術有很多樣，如燃料電池和氫能車輛等，但推廣電動車輛政策一直是被政府所偏愛的交通減碳和降低空汙政策之一，長期受到補貼的好處。推廣電動車輛政策的關鍵之一，就是探討其電力的來源是否為再生能源電力？如不是，就難以達到減碳的目的。本文運用時間數列預測電動車輛的電力需求，來檢討目前的再生能源發電能量是否可能滿足其需求。同時，也一併檢討和比較電動車輛降低空汙的能力。本文以此為出發點，討論的對象除電力本身和二氧化碳外，燃油車輛所排放的甲烷、氧化亞氮、一氧化碳、氮氧化物、和PM2.5懸浮粒子等空氣污染物；灰色電力排放的一氧化碳、甲烷、氮氧化物、二氧化氮、和PM懸浮粒子等空氣污染物，也將一併探討之。

我國市售電動車輛依據車輛驅動方式略可分成三種，分別是混和電動車輛(Hybrid Electric Vehicles, HEV)、插電式混和電動車輛(Plug-in HEV, PHEV)、和純電動車輛(Battery Electric Vehicle, BEV)。混和電動車輛(HEV)結合傳統引擎的馬達和電瓶，具有使用燃油驅動內燃機和電池驅動電動機的混和驅動系統。在車輛電池電量消耗殆盡前，會自動啟動內燃機引擎提供動力及電力能量。插電式混和電動車輛(PHEV)從英文字義即可發現，插電式混和電動車輛與混和電動車輛的動力驅動系統十分相像。其唯一的差別為插電式混和電動車輛可直接透過住宅或充電槽的插座為車輛進行充電。純電動車輛(BEV)僅有電池驅動電動機系統來驅動車輛。根據交通部2016年訂定的「車輛能源種類登載作業原則」<sup>4</sup>，將電動車輛的主要驅動能源

<sup>1</sup> 聯合國氣候變遷綱要公約（2020）取自：<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

<sup>2</sup> 綠色電力（綠電）係採用再生能源發的電力。

<sup>3</sup> 行政院環境保護署（2020a），取自：<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/1f112d09-91b5-4899-9603-88df5fe7a668>

<sup>4</sup> 交通部車輛安全審驗中心（2016），取自：<https://stat.thb.gov.tw/hb01/energy.pdf>

放在前面和是否具有汽油加油口或是充電接頭做進一步的細分，本文將其對應的三種類別整理如表1所示。

**表1：市售電動車輛及使用燃料分類**

電動車類別	政府資料庫名稱
混和電動車(HEV)	汽油(油電)、柴油(油電)
插電式混和電動車(PHEV)	汽油/電能、柴油/電能、電能/汽油、電能/柴油、電能(增程)
純電動車(BEV)	電能

註：參見「車輛能源種類登載作業原則」，見註腳 4。

至2019年底我國此三種電動車輛的比例為插電式混和電動車輛(PHEV)占73%，具有95,251輛；混和電動車輛(HEV)占23%，具有30,878輛；純電動車輛(BEV)占4%，具有5,100輛。雖然純電動車輛(BEV)僅占4%，車輛空氣汙染物排放量大小依序則為混和電動車輛(HEV) > 插電式混和電動車輛(PHEV) > 純電動車輛(BEV)。加上從以往文獻發現尚無相關預測研究可參考，本文為簡化分析起見，以純電動車輛(BEV)做為計算標的，相對也較具有節能減碳的代表性。據此，本文以下所稱的「電動車輛」，除政策外，所有數據及規格皆指純電動車輛(BEV)。

本文共分成五節，第壹節為背景說明。本文從政府節能減碳和降低空氣汙染的政策角度出發，探討推廣電動車輛政策的重要性；第貳節為再生能源政策回顧和電動車輛規格；第參節為電動車輛數量預測。本文蒐集交通部公路局公布的電動車輛數據，並應用R軟體的ARIMA模型和內插法進行電動車輛數量預測；第肆節為綠色電力和環境壓力測試。本文將預測的車輛數帶入電力、溫室氣體、和空氣汙染物排放量的轉換公式。計算出電動車輛對電力需求量及對綠電發電的壓力，並估計其減少溫室氣體和空氣汙染物排放量對於環境衝擊的效果。最後，第伍節為政策和結論。本文檢討推廣電動車輛政策的成效、影響、和提出對政策的建議和討論。

## 貳、再生能源政策回顧和電動車輛規格

本節先簡介我國再生能源的政策歷程及目標，作為後續電動車輛的綠電供給壓力衡量標準。其次，說明我國電動車輛的推動政策，並建置電動車輛的標準規格供後文作為模擬計算之基礎。

### 一、再生能源政策與供給現況

我國在經歷1979年、1984年兩次石油危機，及1990年代波斯灣戰爭導致國際油價大幅波動，還同時面臨全球環保意識提升、降低溫室氣體排放等永續發展議題的情況下，越來越重

視再生能源的發展。政府迄今分別於1997年、2005年、2009年、2015年共召開過4次全國能源會議，每次會議皆重新調整能源政策主軸及能源結構。例如，2002年公布之「再生能源發展方案」，設立2020年能源供給中再生能源占1-3%之目標。2008年行政院核定「永續能源政策綱領」(行政院，2008a)，其中之節能減碳行動方案設立2025年能源供給中再生能源占8%以上之目標。2018年經濟部能源局「能源轉型白皮書」提到，我國將能源政策劃分成法制定位(能源管理法、能源政策發展綱領)、推動機制(能源轉型白皮書)、及檢討機制三層架構，以更具系統性推動再生能源。最新的再生能源政策目標為經濟部能源局(2017a, 2017b)的「太陽光電2年計畫」與「風力發電4年計畫」，並期望於2025年時提昇再生能源發電比例至我國供應電力的20%。此兩項計劃訂定的再生能源目標整理於表2中。

表2：再生能源目標裝置容量(MW)與發電量(億度)

年份/能源別	2015年		2020年		2025年		平均成長率	
	裝置容量	發電量	裝置容量	發電量	裝置容量	發電量	裝置容量	發電量
太陽光電	842	9	6,500	81	20,000	250	41.5%	41.7%
陸域風電	647	15	814	19	1,200	29	9.5%	10.5%
離岸風電	-	-	520	19	3,000	111	95.4%	96.8%
地熱能	-	-	150	10	200	13	6.7%	6.0%
生質能	741	36	768	56	813	59	1.2%	1.1%
水力	2,089	45	2,100	47	2,150	48	0.5%	0.4%
燃料電池	-	-	23	2	60	5	33.3%	30.0%
總計	4,319	105	10,875	234	27,423	515	30.4%	24.0%

資料來源：經濟部能源局(2017a, 2017b)。

根據台灣電力公司(2020a)，我國2018年總再生能源發購電量為140.48億度，約占台灣電力公司系統總能源發電量2,324.7億度的6%，其詳細的發電狀況整理於表3。結合表2和表3發現雖然我國目前再生能源裝置以水力發電比例最高，但是所設立的政策目標卻以太陽能和風力發電為主，在2025年的政策目標中，離岸風力發電量甚至超過水力發電量，可見政府發展綠色電力的強大決心。

## 二、電動車輛政策與規格

最早的電動車輛計劃始於行政院2008年核定的「因應景氣振興經濟方案」(行政院，2008b)。此長達10年之久的方案略可分成兩個階段實施。第一階段為2009年至2013年期間建立我國電動車輛組裝能力；第二階段為2014年至2017年期間建立電池、馬達、和控制器等關

鍵零組件供應鏈，並且設立推動4萬輛電動機車的政策目標。其間尚有2010年經濟部工業局的「智慧電動車輛發展策略與行動方案」(經濟部工業局，2015)，主要在普及電動車輛的市占率和使用率。例如打造健全電動車輛使用環境、電動車輛先導示範運行計劃等。除了此兩大計劃外，尚有2017年交通部推動電動大客車的「公路公共運輸補助電動大客車作業要點5」，和2017年行政院環保署推動特種車的「空氣汙染行動方案」，設定在2030年特種車及大客車全面汰換成電動車輛的政策目標。另為整合電動車輛產業鏈及開發消費族群需求，並且擴大能源補充設施裝置，經濟部工業局(2017)的「電動機車產業創新躍升計畫」，設立2018年至2022年期間推動電動機車 22.6 萬輛及能源補充設施 3,310 站的政策目標。

表3：我國綠色電力累積發電量

綠電能源類別	總裝置容量(萬瓩)	總發電量(度)
太陽光電	351.9 萬瓩	36 億 4,730 萬度
風力發電	84.1 萬瓩	15 億 6,641 萬度
水力發電	209.15 萬瓩	53 億 5,658 萬度
地熱發電	預計 2020 年建置示範電廠	
海洋溫差(潮流)發電	技術開發階段	

資料來源：台灣電力公司(2020b)。

經濟部工業局(2018)指出，在政府積極的推動下，電動機車已經逐漸融入人民的日常生活中。例如外送服務、社區巡邏、旅遊租賃、警衛巡邏、路邊停車開單、和中華郵政公司的送信服務等。另本文蒐集至2019年底的臺灣地區電動車輛市場資訊，工業技術研究院鼻整車輛測試研究中心、工業技術研究院電動機車產業網、各大新聞媒體報導，及網友分享心得的數據後，列出各廠牌中最暢銷車款作為各類交通工具的研究標的。交通部公路總局2020年統計6至2019年底的資料顯示我國電動小客車發行的品牌共有8種，電動重型機車則共有18種。從有限的電動車輛品牌數量可知，我國的電動車輛市場尚在萌芽發展階段。

電動小客車依照2019年底的市占比發現，特斯拉汽車占89%、納智捷汽車占6%、日產汽車占3%、BNW占2%、裕隆酷比占0.47%、豐田汽車占0.39%、三菱汽車占0.08%、和中華汽車占0.06%。本文將依照其排名及官網公布的車款規格整理於表4。

<sup>5</sup> 交通部(2017)，取自：<https://motclaw.motc.gov.tw/webMotcLaw2018/Law/Info?LawID=E0344004>

<sup>6</sup> 交通部公路總局統計查詢網(2020)，取自：<https://stat.thb.gov.tw/hb01/webMain.aspx?sys=100&funid=11200>

表4：電動小客車規格

廠牌	型號	版本	續航里程 <sup>1</sup>	最高時速	電池容量	充電方式	電量耗能
特斯拉 TESLA	Model 3	Performance	530 公里(WLTP 預估)	261 Km/hr	76 kWh	住宅充電、 戶外充電站	143 Wh/km
		Long Range	560 公里(WLTP 預估)	233 Km/hr	80kWh		144 Wh/km
		Standrad Range Plus	409 公里(WLTP 預估)	225 Km/hr	53 kWh		130 Wh/km
特斯拉 TESLA	Model S	Performance	593 公里(WLTP 預估)	261 Km/hr	100 kWh	住宅充電、 戶外充電站	169 Wh/km
		Long Range	610 公里(WLTP 預估)	250 Km/hr			170 Wh/km
納智捷	S3	EV+ (2018 年版)	203 公里(NEDC 預估)	138 Km/hr	33 kWh	住宅充電、 戶外充電站	163 Wh/km
日產 NISSAN	leaf	E+ (2019 年版)	311 公里(NEDC 預估)	-	40 kWh	住宅充電、 戶外充電站	129 Wh/km
BNW	i3	無	300 公里(NEDC 預估)	-	33 kWh	住宅充電、 戶外充電站	110 Wh/km

註 1：以 2017 年為分界，2017 年前歐盟油耗測試採用 NEDC(New European Driving Circle)行車型態，2017 年後採用將 NEDC 結合 RDE 的 WLTP ( Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure )。兩者最大的差別為 WLTP 是真實路面駕駛數據，NEDC 則為理論上的數據。

2020年交通部公路總局統計至2019年底時，全台灣地區的大客車共有33,288輛，其中電動大客車共有707台；約占大客車總數2%的比例。雖然電動大客車因為政府的推動計劃，曾經呈現眾多廠商的盛況。但是至2020年初時僅剩下華德動能尚在經營電動大客車，其餘廠商皆是退出市場狀態。故本文僅納入華德動能的電動大客車規格作為計算（華德動能科技股份有限公司，2019a，2019b），其規格整理於表5。

表5：電動大客車與特種車規格

廠牌	型號	類型	續航里程	最高時速	電池容量	充電方式
華德	RAC-700	大型巴士	250 公里	110 Km/hr	282 kWh	戶外充電站
華德	RAC-300	中型巴士	140 公里	110 Km/hr	107 kWh	戶外充電站
廠牌	型號	版本	續航里程	最高時速	電池容量	充電方式
中華跟三菱聯合	e-Veryca	CHE32/CJE32	140 公里 (NEDC 預估)	110 Km/hr	31.1 kWh	住宅充電、 戶外充電站

特種車包含救護車、警備車、消防車、郵車等。但直至2018年時僅有郵車仍在使用純電動車輛。中華郵政公司配合2017年行政院環境保護署的「空氣汙染行動方案」，從2017年開始購置中華跟三菱聯合出產的電動廂型貨車和電動機車，將陸續汰換燃油車輛成電動車輛。至2020年1月時，我國共有42台電動廂型貨車。其規格亦整理於表5中。

根據2020年交通部公路總局統計至2019年底台灣地區電動機車廠牌市占比為：睿能機車占74.67%、中華汽車占12.51%、光陽工業占5.23%、山葉機車占1.38%、宏佳騰機車占1.07%、三陽機車占1.04%。其規格整理於表6中。本文所列舉的電動車輛標的規格，如表5和表6所示。這些標的規格將成為後文的計算基礎。

表6：電動機車規格

廠牌	型號	最大馬力(HP)	續航里程	最高時速	電池容量	充電方式
睿能機車	2 Delight	8.58 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	88 km/hr	1.4 kWh (每顆)	能源交換站、電池充電座、住宅充電
中華汽車	iE 125	8.05 HP 普通重型	155 公里	100 km/hr	3.1 kWh	戶外充電站、住宅充電
光陽工業	New Many 110 EV (導航版)	4.35HP 普通輕型	60 公里 (定速 30 km/hr)	61 km/hr	0.66kWh (每顆)	能源交換站、電池充電座、住宅充電(整車)
宏佳騰機車	Ai-1 Sport	10.18 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	100 km/hr	1.4 kWh (每顆)	能源交換站
山葉機車	EC-05	10.18 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	90 km/hr	1.4 kWh (每顆)	能源交換站
三陽工業	e-WOO	3.08 HP 普通輕型	75 公里 (定速 30 km/hr)	50 km/hr	1.4 kWh (每顆)	住宅充電(整車、電池)

## 參、電動車輛數量預測

本文將透過2020年交通部公路總局公布的電動車輛數，從2012年9月至2020年1月，共89筆連續型時間序列月資料進行預測。由於本文的資料類型分別屬於民間自發性購買及政府計畫性購買兩類，故將民間自發性購買的自用小客車、計程車、輕重型機車以ARIMA模型的方式預測其波動趨勢；政府計畫性購買的特種車和遊覽車根據政策目標以內插法推算車輛數。



### 一、ARIMA模型

本文使用R軟體<sup>7</sup>建立ARIMA模型，其研究流程如圖1所示。ARIMA模型是以過去的資料為基礎，再建立模型和預測未來的方法。輸入的資料必須符合資料平穩性、自我相關性等限制，如圖1所示。本文的資料透過ADF檢定方法與兩次差分處理後才趨於穩定，其檢定過程則彙整於表7。

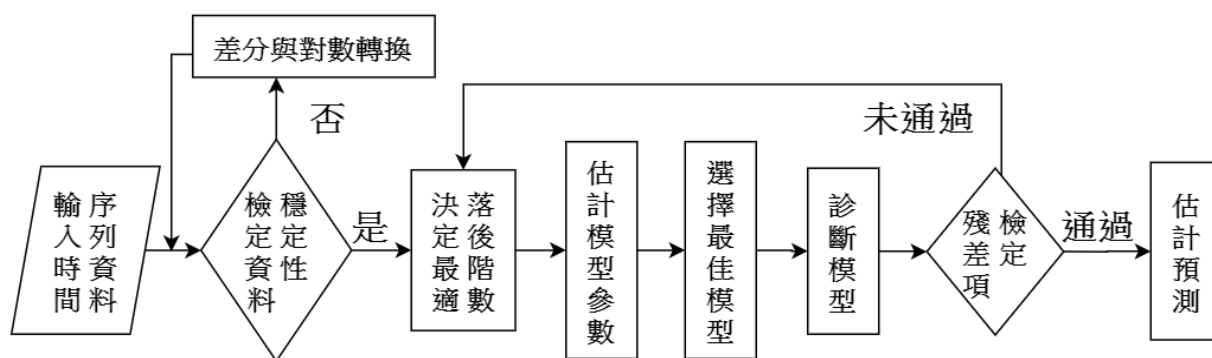


圖1：ARIMA模型研究流程

表7：檢定資料穩定性

電動車類別	初次 Augmented Dickey-Fuller Test			第二次 Augmented Dickey-Fuller Test		
	Dickey-Fuller	p-value	結果	Dickey-Fuller	p-value	結果
重型機車	2.5948	0.99	不顯著	-5.2061	0.01	顯著
輕型機車	-0.58198	0.9763	不顯著	-5.2918	0.01	顯著
自用小客車	3.9852	0.99	不顯著	-8.1331	0.01	顯著
計程車	3.5009	0.99	不顯著	-9.3941	0.01	顯著

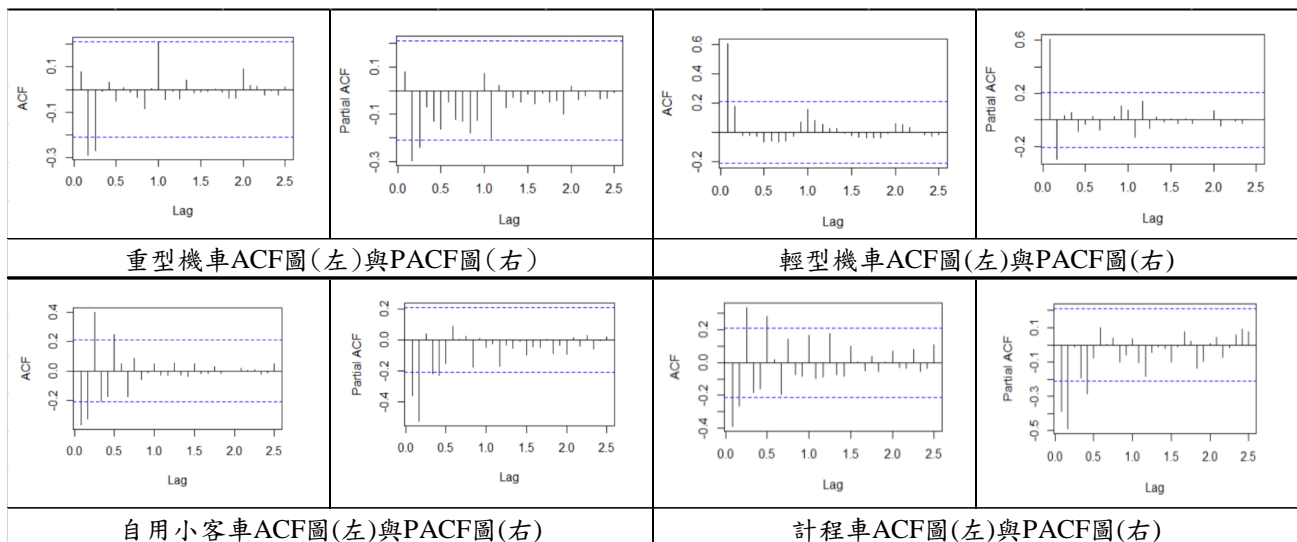
本文先透過ACF、PACF圖形用視覺初步判斷最適落後階數後，再透過較精準的AICc方法確認之。首先ACF、PACF圖形如圖2所示，並將其結果彙整於表8所示。本文將前文兩種方法比較的結果彙整於表8中，最後根據AICc方法顯著性判斷的結果，作為本文預測模型的最適落後階數判定。

<sup>7</sup> R-project, <https://www.r-project.org/>

**表8：最適落後階數**

交通工具	ACF 與 PACF 圖判斷結果	AICc 判斷結果
重型機車	MA(2)、MA(3)、MA(1)[12]、MA(2) [12]	ARIMA(0,2,1)(0,0,2)[12]
輕型機車	AR(1)、AR(2)、MA(1)、MA(2)、MA(1)[12]、MA(2) [12]	ARIMA(0,2,2)(0,0,2)[12]
自用小客車	AR(1)、AR(2)、MA(1)、MA(2)、MA(3)	ARIMA(1,2,2)
計程車	AR(1)、AR(2)、AR(4)、AR(5)、MA(1)、MA(2)、MA(3)	ARIMA(2,2,2)

本文將最適落後階數帶入R軟體內建套件中的函數，以最大概似估計法(maximum likelihood estimation, MLE)建立模型中的參數。其結果彙整於表9。為節省篇幅，本文以自用小客車的模型為例，如下式(1)，其餘公式可參照表9建立。



**圖2：ACF、PACF判斷**

$$\Delta^2 Y_t = -0.597 \Delta^2 Y_{t-1} + \varepsilon_t + 0.1592 \varepsilon_{t-1} - 0.7658 \varepsilon_{t-2} \quad (1)$$

接著，本文透過R軟體內建套件中的LB函數檢定殘差項的多階自我相關性；ADF檢測殘差項的平穩性；和JB檢定殘差項的常態分佈。其結果彙整於表10。陳景祥(2012)提到既使獨立性呈現檢定不顯著的状态，但是若常態性檢定呈現顯著性即足以通過診斷檢定。本文表10結果顯示都通過檢定。在確定模型後即可透過R軟體進行預測。本文結合政府的綠電供應量政策目標，將預測出短期(2020年底)和長期(2025年底)的電動車輛數。其預測結果如表11所示。舉例而言，從平均成長率發現電動車輛數在第一年以自用小客車成長最高，為83%。

表9：參數估計

a. 重型機車模型：ARIMA(0,2,1)×(0,0,2)[12]				c. 自用小客車模型：ARIMA(1,2,2)			
變數	係數	標準誤	判斷準則	變數	係數	標準誤	判斷準則
MA(1)	-0.7014	0.075	AIC 1569.17	AR(1)	-0.5970	0.130	AIC 1036.27
SMA(1)	0.3364	0.179	AICc 1569.66	MA(1)	0.1592	0.086	AICc 1036.76
SMA(2)	0.3176	0.153	BIC 1579.04	MA(2)	-0.7658	0.064	BIC 1046.14
最大似估計值			-780.59	最大似估計值			-514.14
b. 輕型機車模型：ARIMA(0,2,2)×(0,0,2)[12]				d. 計程車模型：ARIMA(2,2,2)			
變數	係數	標準誤	判斷準則	變數	係數	標準誤	判斷準則
MA(1)	-0.2054	0.082	AIC 1445.68	AR(1)	-0.8277	0.150	AIC 852.45
MA(2)	-0.6930	0.089	AICc 1446.42	AR(2)	-0.7213	0.140	AICc 853.19
SMA(1)	0.6383	0.174	BIC 1458.01	MA(1)	0.0785	0.151	BIC 864.77
SMA(2)	0.2862	0.148		MA(2)	-0.3574	0.137	
最大似估計值			-717.84	最大似估計值			864.77

表10：診斷檢定

a. 重型機車					b. 輕型機車						
Box-Ljung test(獨立性檢定)					Box-Ljung test(獨立性檢定)						
卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果
0.891	1	0.345	不顯著	1.910	1	0.167	不顯著				
Augmented Dickey-Fuller Test(平穩性檢定)					Augmented Dickey-Fuller Test(平穩性檢定)						
Dickey-Fuller	Lag order	p 值	結果	Dickey-Fuller	Lag order	p 值	結果	Dickey-Fuller	Lag order	p 值	結果
-4.4619	4	0.010	顯著	-3.770	4	0.024	顯著				
Jarque Bera Test(常態性檢定)					Jarque Bera Test(常態性檢定)						
卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果
4776.9	2	2.2E-16	顯著	745.78	2	2.2E-16	顯著				
c. 自用小客車					d. 計程車						
Box-Ljung test(獨立性檢定)					Box-Ljung test(獨立性檢定)						
卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果
2.907	1	0.088	不顯著	0.022	1	0.883	不顯著				
Phillips-Perron Unit Root Test(平穩性檢定)					Augmented Dickey-Fuller Test(平穩性檢定)						
Dickey-Fuller(Z 值)	Truncation lag parameter	p 值	結果	Dickey-Fuller	Lag order	p 值	結果	Dickey-Fuller	Lag order	p 值	結果
-109.92	3	0.010	顯著	-4.631	4	0.010	顯著				
Jarque Bera Test(常態性檢定)					Jarque Bera Test(常態性檢定)						
卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果	卡方值	自由度	p 值	結果
802.5	2	2.2E-16	顯著	495.96	2	2.2E-16	顯著				

**表 11 ARIMA 預測電動車輛數**

時間	重型機車		輕型機車		自用小客車		計程車	
	預測值 (輛)	平均成長率	預測值 (輛)	平均成長率	預測值 (輛)	平均成長率	預測值 (輛)	平均成長率
2020/2 月	279,436		91,713		3,886		1,543	
⋮								
2020/12 月	410,942	54%	116,175	25%	6,574	83%	2,669	78%
2021/12 月	572,861	39%	140,650	21%	9,759	48%	3,908	46%
2022/12 月	729,844	27%	164,469	17%	12,944	33%	5,157	32%
2023/12 月	889,814	22%	189,125	15%	16,129	25%	6,406	24%
2024/12 月	1,049,784	18%	213,782	13%	19,314	20%	7,656	20%
2025/12 月	1,209,755	15%	238,438	12%	22,499	16%	8,906	16%

## 二、內插法

本文在假設2030年全部特種車和遊覽車都汰換成電動車輛的情境下，透過線性內插法的方式推論短期(2020年底)和長期(2025年底)時，全國共有的電動特種車和電動遊覽車數量，整理於表12中。從表12發現前兩年的成長率十分高，甚至出現30倍成長率的狀況，由此透露出目前實際車輛數與政策目標車輛數實在相差太遙遠，需再檢討政策的可行性。

**表 12：內插法推論電動車輛數**

時間	遊覽車		特種車	
	預測值(輛)	平均成長率	預測值(輛)	平均成長率
2020/2 月	159		550	
⋮				
2020/12 月	1,361	3,390%	5,595	12,333%
2021/12 月	2,803	106%	11,650	108%
2022/12 月	4,244	51%	17,705	52%
2023/12 月	5,686	34%	23,759	34%
2024/12 月	7,128	25%	29,814	25%
2025/12 月	8,570	20%	35,867	20%

## 肆、綠色電力和環境壓力測試

本節將帶入第參節預測出的短期(2020年底)和長期(2025年底)預測電動車輛數，及假設2019年底的總機動車輛數全部汰換成電動車輛數等三種數據，對我國的綠色電力供給作壓力測試。並且分成電動車輛使用綠電、電動車輛使用灰電，及原預測的這些電動車輛繼續使用燃油等三種情境，探討對於我國環境的影響。

### 一、電力需求估計和綠電壓力測試

本文依據電動小客車、電動計程車、電動遊覽車、電動特種車、電動重型機車、和電動輕型機車為順序進行電力需求估計。透過電池容量及使用車輛頻率轉換成各式運具用電需求量。計算方法分為兩步驟，首先將計算電動車輛每年每輛的平均消耗電力為：行駛公里數÷電池續航里程數×電池容量（如公式2）。其次計算出的平均消耗電力乘上上一節預測出的每年車輛數，即得到該年的總消耗電力需求（如公式3）。

$$\text{電動車輛每年平均消耗電力} = \text{行駛公里數} \div \text{電池續航里程數} \times \text{電池容量} \quad (2)$$

$$\text{電動車輛每年需求電力} = \text{電動車輛每年平均消耗電力} \times \text{預測的電動車輛數} \quad (3)$$

2019年交通部自用小客車調查報告透過有效樣本10,431位自用小客車駕駛進行分析，發現自用小客車主要用途為通勤、探視或接送小孩和親人、洽公和業務使用、休閒、購物等。這些用途中上下班占42.7%、上下學占1.2%、探視或接送小孩和親人占20.4%、洽公和業務使用占10.4%、休閒占19.0%、購物占5.4%、其他用途為1.0%。本文將這些使用用途依照交通部2019年自用小客車調查報告中的每週使用頻率、每天使用次數、每次行駛時間、每次行駛里程加權計算後，整理於表13。

表13：自用小客車每週公里數

平均每天 使用次數(次)	平均每次 行駛時間(小時)	平均每次 行駛里程(公里)	平均 每週行駛里程	比例	加權公里數
1.5	1.2	31.1	228.6	43.9%	100.3
1.6	1.4	35.0	168.0	20.4%	34.3
2.2	2.0	41.2	380.7	10.4%	39.6
1.4	1.9	48.3	128.5	19.0%	24.4
1.3	1.3	22.2	60.6	5.4%	3.3
1.6	1.6	41.3	185.0	1.0%	1.9
				總計	203.7

表13的加權計算結果為平均結果，以自用小客車每週行駛里程數為203.7公里為例。將203.7公里×52週，即為自用小客車每年平均共行駛10,595公里。將此公里數帶入公式4.1計算出每台車每年需要的電量。以特斯拉汽車(TESLA, 2020a, 2020b)Model 3的Performance版本為例，10,595公里÷530公里×76kWh為1,519度(kWh)，即等同於平均每輛相同版本的車每年需要1,519度電力。其他廠牌的自用小客車，以相同的計算方式整理於表14。

計程車據2018年交通部調查報告的6,879位專職計程車駕駛有效樣本及交通部統計處公布的最新統計數據顯示，平均標準而言，計程車司機每月休息3.7天，每天營業9.8小時中空車3.1小時，其中營業時行駛139.6公里、空繞里程數為41.1公里，等於每日共行駛180.7公里。在每年營業320天的情況下，共行駛57,824公里。帶入公式4.1，計算出每台計程車每年需要的平均電量。再次以特斯拉汽車(TESLA, 2020a, 2020b)Model 3的Performance版本為例，57,824公里÷續航里程530公里×電池容量76 kWh為8,292度。等同於平均每輛相同版本的計程車每年耗費約8,292度電力。其他廠牌的計程車，以相同的計算方式整理於表14。

表14：小客車每年所需電力估計

廠牌	型號	版本	自用小客車(度)	計程車(度)
特斯拉 TESLA	Model 3	Performance	1,519 度	8,292 度
		Long Range	1,514 度	8,261 度
		Standard Range Plus	1,373 度	7,493 度
特斯拉 TESLA	Model S	Performance	1,787 度	9,751 度
		Long Range	1,737 度	9,479 度
納智捷	S3	EV+(2018 年版)	1,722 度	9,400 度
日產 NISSAN	leaf	E+(2019 年版)	1,363 度	7,437 度
BNW	i3	無	1,165 度	6,360 度

2017年交通部統計數據<sup>8</sup>顯示，平均而言，遊覽車司機每年行駛200天，共51,334公里。以華德動能甲類大客車的RAC-700車款為例，帶入公式4.1，得到51,334公里÷電池續航里程250公里×電池容量282 kWh為57,905度，意即平均每台相同版本的遊覽車每年需要57,905度電量。其餘版本的遊覽車按照相同的計算方式列於下表15A。

<sup>8</sup> 交通部統計查詢網，(2020)，取自：<https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100#>

表 15 遊覽車和特種車每年所需電力估計

A. 遊覽車						
廠牌	型號	類型	續航里程	電池容量	遊覽車(度)	
a. 華德	RAC-700	大型巴士	250 公里	282 kWh	57,905 度	
b. 華德	RAC-300	中型巴士	140 公里	107 kWh	39,234 度	
B. 特種車						
廠牌	型號	版本	續航里程	最高時速	電池容量	特種車(度)
中華跟三菱聯合	e-Veryca	CHE32/CJE32	140 公里 (NEDC 預估)	110 Km/hr	31.1 kWh	12185 度

另由於目前特種車部分僅有郵務車仍在使用的電動車輛，故本文僅探討郵務車的電力需求。特種車的郵務車由於無相關管道及政府公開資訊提供關於行駛里程數的數據，故本文的里程數數據以相近的汽車貨運取代。2018年交通年鑑報告將汽車貨運分為汽車貨運業、汽車貨櫃貨運業等類別。截止至2018年底共有5,318家廠商、85,724輛車輛，整年共行駛470,218萬車公里。車公里為每台車行駛的里程數。將行駛470,218萬車公里 $\div$ 85,724輛車輛即為平均每輛車每年行駛54,853公里。以此作為郵務車的里程數，帶入公式4.1，得出54,853公里 $\div$ 140公里 $\times$ 31.1 kWh為12,185度，即為平均而言每輛郵務車每年需要12,185度電量。其結果列於表15B。

2017年交通部統計數據<sup>9</sup>顯示，機車騎士平均每週使用5.1天，每天行駛53.8分鐘、及13.3公里。經過計算得出每週行駛67.83公里，一年365天共行駛24,757.95公里。以睿能的2 Delight為例，在定速30km/hr的情況下，帶入公式4.1，得出24,757.95公里 $\div$ 170公里 $\times$ 1.4 kWh為204度。即是平均而言每輛相同款式的機車每年需要204度電量。其餘版本的機車按照相同的計算方式列於表16。

由於本文為總量預測，並沒有根據廠牌及型號作個別預測，所以將依據各電動車輛類別分別挑出高、中、低三等需求分別加總計算，以求得總需求電量的統計可能敏感分析的範圍。以自用小客車與計程車為例，最高電力需求的廠牌為特斯拉( TESLA, 2020a, 2020b) Model S的Performance版本，分別使用1,787度和9,751度電力。則高電力需求以特斯拉( TESLA, 2020a, 2020b) Model S的Performance版本為代表，帶入公式4.2後，得出2020年底、2025年底預測的車輛數和2019年底總機動車輛汰換成電動車輛所需高電量。同理，除了郵務車、輕型機

<sup>9</sup> 同註腳 8。

車及遊覽車不變外，其他類別電動車輛的高、中、低需求電量將仿此類推，計算結果整理於表17中。

**表 16：輕重型機車每年所需電力估計**

廠牌	型號	最大馬力(HP) <sup>1</sup>	續航里程	電池容量	機車(度)
睿能機車	2 Delight	8.58 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	1.4 kWh (每顆)	204 度
中華汽車	iE 125	8.05 HP 普通重型	155 公里	3.1 kWh	495 度
光陽工業	New Many 110 EV (導航版)	4.35HP 普通輕型	60 公里 (定速 30 km/hr)	0.66kWh (每顆)	272 度
宏佳騰機車	Ai-1 Sport	10.18 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	1.4 kWh (每顆)	204 度
山葉機車	EC-05	10.18 HP 普通重型	170 公里 (定速 30 km/hr)	1.4 kWh (每顆)	204 度
三陽工業	e-WOO	3.08 HP 普通輕型	75 公里 (定速 30 km/hr)	1.4 kWh (每顆)	462 度

註 1：馬力是引擎輸出的功率單位，現今常用的兩種馬力為英制馬力和公制馬力，英制馬力約為 745.7W，公制馬力約為 735.5W。主要為創造機車的極速表現，當馬力越大時會跑出越快的極速。

從表17發現在預測結果下，高電量皆是重型機車所需電量占比最高；中和低電量皆是遊覽車所需電量占比最高。但若是從目前我國的車輛結構情況而言，在假設2019年總機動車輛全數汰換成電動車輛時，高、中、和低電量皆是小客車所需電量最高。綜合言之，目前我國電動車輛中重型機車的推動最為成功，這將導致跟我國現行車輛結構不同的電力需求結果。但如未來小客車全換成電動車輛時，狀況就會改變。

**表 17：電動車輛所需電量**

	2020 年底預測電動車輛數		2025 年底預測電動車輛數		2019 年總機動車輛數	
電動車類別	高消耗電量(度)					
小客車	37,773,157	8.5%	127,048,119	7.2%	12,841,193,313	61.1%
重型機車	203,416,290	46.0%	598,828,725	33.8%	6,493,862,232	30.9%
輕型機車	53,672,850	12.1%	110,158,356	6.2%	405,868,430	1.9%
遊覽車	78,808,705	17.8%	496,245,850	28.0%	917,852,155	4.4%
特種車	68,175,075	15.4%	437,039,395	24.7%	370,416,975	1.8%
總消耗電量	441,846,077	100.0%	1,769,320,445	100.0%	21,029,193,106	100.0%
電動車類別	中消耗電量(度)					



小客車	32,117,254	10.1%	108,024,533	7.7%	10,919,375,476	71.4%
重型機車	83,832,168	26.5%	246,790,020	17.6%	2,675,399,004	17.5%
輕型機車	53,672,850	17.0%	110,158,356	7.9%	405,868,430	2.7%
遊覽車	78,808,705	24.9%	496,245,850	35.5%	917,852,155	6.0%
特種車	68,175,075	21.5%	437,039,395	31.3%	370,416,975	2.4%
總消耗電量	316,606,052	100.0%	1,398,258,154	100.0%	15,288,912,040	100.0%
電動車類別	低消耗電量(度)					
小客車	24,633,550	8.6%	82,853,495	6.2%	8,376,310,398	66.6%
重型機車	83,832,168	29.2%	246,790,020	18.6%	2,675,399,004	21.3%
輕型機車	31,599,600	11.0%	64,855,136	4.9%	238,876,112	1.9%
遊覽車	78,808,705	27.5%	496,245,850	37.4%	917,852,155	7.3%
特種車	68,175,075	23.8%	437,039,395	32.9%	370,416,975	2.9%
總消耗電量	287,049,098	100.0%	1,327,783,896	100.0%	12,578,854,644	100.0%

根據表17計算的電力需求結果，對2020年台灣電力公司公布的2018年我國綠電發電量，和2020年、2025年的綠電發電量政策目標分別作壓力測試，測試結果整理於表18。從表18的測試結果發現不論短和長期的預測電力需求量，我國現今的綠電供應力原則上都十分充沛。但是若假設2019年總機動車輛全部汰換成電動車輛時，以2018年的綠電供應量而言，除了低需求電量能夠勉強支撐外，在中和高需求電量皆呈現供應不足的情況。以2020年綠電發電政策目標而言，雖然全部都足以供應，估計電動車輛將需要耗掉6成至9成的綠電供應量；若以2025年綠電發電政策目標而言，則電動車輛將耗費3成至4成的綠電供應量。綜合言之，若是綠電供應量沒達到2020年和2025年的政策目標時，則電動車輛使用綠電的情況將會出現供應不足的情況。以上分析僅考慮綠電全用來供應電動車輛使用的情境，但實際上別的行業對綠電的需求也不遑多讓，特別是高科技資通訊業<sup>10</sup>。因此，本文的分析結果可謂是保守的綠電壓力測試判斷。

表 18：綠電壓力測試

綠電年度	車輛年度	高電量		中電量		低電量	
		電量(度)	綠電需求(%)	電量(度)	綠電需求(%)	電量(度)	綠電需求(%)
2018	2019 總	21,029,193,106	149.7%	15,288,912,040	108.8%	12,578,854,644	89.5%
2018	2020 預	441,846,077	3.1%	316,606,052	2.3%	287,049,098	2.0%
2018	2025 預	1,769,320,445	12.6%	1,398,258,154	10.0%	1,327,783,896	9.5%
2020	2019 總	21,029,193,106	89.9%	15,288,912,040	65.3%	12,578,854,644	53.8%
2020	2020 預	441,846,077	1.9%	316,606,052	1.4%	287,049,098	1.2%

<sup>10</sup> 例如，2020年是台灣綠電交易元年，台積電一家公司就買走10,522千度綠電，占首批交易的99.7%。

2020	2025 預	1,769,320,445	8.0%	1,398,258,154	6.0%	1,327,783,896	5.7%
2025	2019 總	21,029,193,106	40.8%	15,288,912,040	29.7%	12,578,854,644	24.4%
2025	2025 預	1,769,320,445	3.4%	1,398,258,154	2.7%	1,327,783,896	2.6%

## 二、環境衝擊

本文將分為電動車輛使用綠電、電動車輛使用灰電、繼續使用燃油車輛三種情境探討對於環境的衝擊。其中，電動車輛使用綠電對於環境的衝擊為零<sup>11</sup>，其餘情境的環境衝擊將以溫室氣體和空氣汙染物的排放量作為衡量標準。

按2018年經濟部能源局公告每度電約排放0.553公斤CO<sub>2</sub>；2018年交通部運輸研究所公布每度電約排放0.000193公斤CH<sub>4</sub>和0.001859公斤N<sub>2</sub>O；2019年台灣電力公司公布每百萬度約排放158公斤NO<sub>x</sub>和14公斤PM(台灣電力公司，2020c)，本文分別以此數據做為電動車輛使用灰電情境污染排放的計算基礎。帶入表4.5電動車輛所需總電量後，得到結果整理於表19。以CO<sub>2</sub>為例，在2020年預測的電動車輛442百萬度電力需求中，442百萬度×0.553公斤CO<sub>2</sub>/度=217,388公噸CO<sub>2</sub>，意即2020年底時電動車輛使用灰電將會排放約217,388公噸CO<sub>2</sub>。

表 19：電動車輛使用灰電情境之環境衝擊估計

年度	溫室氣體			空氣汙染物		
	電量(度)	碳排放量	CH <sub>4</sub> 排放量	N <sub>2</sub> O 排放量	PM 排放量	NO <sub>x</sub> 排放量
高電量						
2019 總	21,029,193,106 度	11,629,144 公噸	2,428 公噸	23,384 公噸	1,987 公噸	176 公噸
2020 預	441,846,077 度	217,388 公噸	85 公噸	821 公噸	6.2 公噸	69.8 公噸
2025 預	1,769,320,445 度	697,112 公噸	341 公噸	3,289 公噸	24.8 公噸	279.6 公噸
中電量						
2019 總	15,288,912,040 度	8,454,768 公噸	2,951 公噸	28,422 公噸	2,416 公噸	214 公噸
2020 預	316,606,052 度	155,770 公噸	61 公噸	589 公噸	4.4 公噸	50.0 公噸
2025 預	1,398,258,154 度	550,914 公噸	270 公噸	2,599 公噸	19.6 公噸	220.9 公噸
低電量						
2019 總	12,578,854,644 度	6,956,107 公噸	4,059 公噸	39,093 公噸	3,323 公噸	294 公噸
2020 預	287,049,098 度	141,228 公噸	55 公噸	534 公噸	4.0 公噸	45.4 公噸
2025 預	1,327,783,896 度	523,147 公噸	256 公噸	2,468 公噸	18.6 公噸	209.8 公噸

<sup>11</sup> 這是狹義指電動車輛使用的能源而言，並非廣義指電動車輛生產消費的生命週期環境衝擊。

在探討繼續使用燃油車輛的情境時，溫室氣體的部分需要先帶入公式4.3換算得到每輛車每年平均耗油量後，再乘上2018年交通部運輸研究所公告公路運輸類別中車用汽油和柴油排放標準為，每公升車用汽油排放2.263公斤CO<sub>2</sub>、1.078公克CH<sub>4</sub>和0.105公克N<sub>2</sub>O；每公升車用柴油排放2.606公斤CO<sub>2</sub>、0.137公克CH<sub>4</sub>和0.137公克N<sub>2</sub>O（如公式4）。

表 20：交通工具空氣汙染物排放係數

	自用汽油小客車	計程車	特種車	遊覽車	重型機車、輕型機車
PM <sub>2.5</sub>	0.057	0.057	0.058	0.326	0.035
NO <sub>x</sub>	0.280	0.311	0.385	7.171	0.202
CO	1.236	1.355	1.236	1.962	1.567

空氣汙染物部分為將車輛行駛公里數乘以2020年行政院環境保護署依照交通工具類別公告(行政院環境保護署，2020c)，每公里排放公克空氣汙染物量的排放係數（如公式5和表20），即為該年燃油車輛排放的空氣汙染量。以計程車為例，每年行駛57,824公里×0.311NO<sub>x</sub>=18,003公克，意即每輛計程車每年排放18,003公克NO<sub>x</sub>，其餘交通類別的溫室氣體和空氣汙染物以相同計算方式後，彙整於表21。

$$\text{平均每年每輛油耗量} = \text{每年行駛公里數} \div \text{能效標準} \quad (4)$$

$$\text{平均每年每輛溫室氣體排放量} = \text{平均每年每輛油耗量} \times \text{溫室排放係數} \quad (5)$$

$$\text{平均每年每輛空氣汙染排放量} = \text{平均每年每輛行駛里程數} \times \text{空汙排放係數} \quad (6)$$

表 21：平均每輛燃油車輛每年溫室氣體和空氣汙染物排放量

交通工具類別	自用小客車	計程車	重型機車	輕型機車	遊覽車	特種車
每年行駛公里數	10,595	57,824	24,758	24,758	51,334	54,853
能效標準(km/L)	10.5	9.2	35.5	48.2	3.3	10.5
油耗量(公升)	1,009	6,265	697	514	15,556	5,209
CO <sub>2</sub> 排放當量(公斤)	2,283.6	14,177.8	1,578.3	1,162.4	40,538.3	11,789.0
CH <sub>4</sub> 排放量(公克)	1,087.4	6,751.5	751.6	553.6	2,133.6	5,613.9
N <sub>2</sub> O 排放量(公克)	105.4	654.7	72.9	53.7	2,133.6	544.4
PM <sub>2.5</sub> 排放量(公克)	607.1	3,307.5	856.6	856.6	16,734.9	3,165.0
NO <sub>x</sub> 排放量(公克)	2,970.8	18,002.9	4,990.7	4,990.7	368,110.5	21,129.4
CO 排放量(公克)	13,098.6	71,487.8	38,785.4	38,785.4	100,735.6	67,814.8

表21和公式5中自用小客車的能效標準採用2019年交通部公路總局汽車排氣量比率，依照2020年經濟部能源局公布的汽車排氣量對應能效標準，做加權平均的計算值處理，得到自用小客車的能效標準為10.53(km/L)。計程車的能效標準並沒有因為車輛總排汽等級而作區別，故統一用2018年交通部運輸研究所研究報告中9.23(km/L)的耗能標準作為計算基礎。重型機車和輕型機車的能效標準採用2020年經濟部能源局公告的35.5(km/L)和48.2(km/L)。遊覽車的能效標準亦是採用2018年交通部運輸研究所研究報告中3.3(km/L)的耗能標準作為計算基礎。特種車的能效標準由於沒有相關數據，在此統一採用自用小客車的能效標準10.53(km/L)。根據公式4-6計算出平均而言每輛交通工具所排放的溫室氣體和空氣汙染物後，即在假設電動車輛皆為燃油車輛的情境下，分別乘上2020年、2025年預測電動車輛數、和2019年總機動車輛數，作為該年電動車輛為燃油車輛時總共排放的溫室氣體和空氣汙染物，其排放量彙整於表22。

表 22：燃油車輛年排放溫室氣體和空氣汙染物

	車輛數 年份	CO <sub>2</sub> 排放當量 (公噸)	CO <sub>2</sub> 比例	CH <sub>4</sub> 排放量 (公斤)	CH <sub>4</sub> 比例	N <sub>2</sub> O 排放 量(公斤)	N <sub>2</sub> O 比例	PM <sub>2.5</sub> 排放量 (公斤)	PM <sub>2.5</sub> 比例	NO <sub>x</sub> 排放 量(公斤)	Nox 比例	CO 排放量 (公斤)	CO 比例
自用小客車	2019 總	15,267,167	38.4%	7,270	39.0%	705	38.4%	4,059	24.1%	19,862	20.1%	87,573	13.6%
	2020 預	15,012	1.6%	7,149	1.7%	693	1.6%	3,991	0.8%	19,530	0.6%	86,110	0.4%
	2025 預	51,378	1.6%	24,466	1.8%	2372	1.6%	13,659	0.9%	66,841	0.6%	294,705	0.5%
計程車	2019 總	1,302,915	3.3%	620	3.3%	60	3.3%	304	1.8%	1,654	1.7%	6,570	1.0%
	2020 預	37,841	4.0%	18,020	4.2%	1747	3.9%	8,828	1.7%	48,050	1.4%	190,801	0.9%
	2025 預	126,268	4.0%	60,128	4.5%	5830	4.0%	29,457	1.9%	160,334	1.4%	636,670	1.1%
重型機車	2019 總	20,698,957	52.1%	9,857	52.9%	956	52.0%	11,234	66.8%	65,452	66.4%	508,660	79.1%
	2020 預	648,591	67.7%	308,857	71.4%	29950	67.2%	352,023	69.7%	2,050,891	61.8%	15,938,570	75.0%
	2025 預	1,909,359	60.9%	909,232	67.6%	88168	60.0%	1,036,306	67.3%	6,037,533	53.1%	46,920,891	77.7%
輕型機車	2019 總	1,020,881	2.6%	486	2.6%	47	2.6%	752	4.5%	4,383	4.4%	34,062	5.3%
	2020 預	135,047	14.1%	64,309	14.9%	6236	14.0%	99,518	19.7%	579,795	17.5%	4,505,900	21.2%
	2025 預	277,170	8.8%	131,988	9.8%	12799	8.7%	204,252	13.3%	1,189,974	10.5%	9,247,925	15.3%
遊覽車	2019 總	642,573	1.6%	34	0.2%	34	1.8%	265	1.6%	5,835	5.9%	1,597	0.2%
	2020 預	55,173	5.8%	2,904	0.7%	2904	6.5%	22,776	4.5%	500,998	15.1%	137,101	0.6%
	2025 預	347,413	11.1%	18,285	1.4%	18285	12.4%	143,418	9.3%	3,154,707	27.8%	863,304	1.4%
特種車	2019 總	780,489	2.0%	372	2.0%	36	2.0%	210	1.2%	1,399	1.4%	4,490	0.7%
	2020 預	65,959	6.9%	31,410	7.3%	3046	6.8%	17,708	3.5%	118,219	3.6%	379,424	1.8%
	2025 預	422,835	13.5%	201,353	15.0%	19525	13.3%	113,520	7.4%	757,847	6.7%	2,432,312	4.0%
總量	2019 總	39,712,982	100.0%	18,639	100.0%	1838	100.0%	16,824	100.0%	98,585	100.0%	642,952	100.0%
	2020 預	957,623	100.0%	432,649	100.0%	44576	100.0%	504,844	100.0%	3,317,483	100.0%	21,237,906	100.0%
	2025 預	3,134,423	100.0%	1,345,452	100.0%	146979	100.0%	1,540,612	100.0%	11,367,236	100.0%	60,395,807	100.0%

## 伍、政策與結論

政府歷經十年推動電動車輛汰換燃油車輛的政策，既使現在台灣地區的電動車輛仍然不夠多，但是已經釀造出我國越來越友善的電動車輛環境，並且以補助提高電動車輛購買誘因，建置製造電動車輛的產業鏈（蔡宜良、陳憲政，2014）。本文透過電動車輛的能源供給來源為出發點，結合政府的綠電政策目標，以時間序列預測結果和市售電動車輛規格標的來檢測綠電供應壓力及環境衝擊。結果分述如下文。

### 一、綠電壓力測試

本文利用ARIMA模型和內插法預測出短期(2020年底)和長期(2025年底)的電動車輛數。各類電動車輛至2025年底時的占比分別為：重型機車占9%、輕型機車占27%、自用小客車占0.3%、計程車占10%、遊覽車和特種車占54%。此預測電動車輛數顯示我國的電動車輛在五年內仍然處於初步成長階段的趨勢，市占率都不高。如單就電動車輛全部使用綠電來看，不論是2018年的綠電供應量，或是2020年和2025年的綠電發購量政策目標，都能滿足其電力的供應。但癥結是如何確保電動車輛的電力能源來自於綠電而不是灰電，畢竟我國目前的電力結構仍以灰電為大宗。若以現行車商據點式建造電動車輛使用綠電的環境觀察，得知目前電動車輛主要的充電環境皆是戶外或住宅的固定據點為主，但其使用的電能並非是綠電。少數純粹使用綠電的案例如，特斯拉汽車建造太陽能屋頂供應系統，專門供應住宅中的電動車輛電力。未來或可以拓展到戶外據點，例如加油站、便利商店、和大型賣場等屋頂。但仍需解決法規和補貼誘因問題方能成功。至於整體式電動車輛使用綠電環境，則需建立專屬於綠電供應力的電網、儲能和加充電站基礎設備，才能專門供應電動車輛綠電。若此基礎建設普及後，或可同時提升購買電動車輛和綠電發電的誘因。

如前文，雖然能減碳或降低空氣汙染的新能源車輛技術有很多樣，如燃料電池和氫能車輛等，但推廣電動車輛政策一直是被政府所偏愛的交通減碳和降低空氣汙染政策之一，長期受到補貼的好處。其中，包含所得補貼和設置電動車充電樁補貼等。但除前述私有電動車輛廠商為推廣自家品牌電動車輛而設置的充電樁外，就只有在部分國營事業加油站推廣設置的充電樁計畫。一般商業、住宅大廈，除非是新的大廈在設計時就有考慮安裝車位充電樁設備和申請供、輸、配電系統和網路。舊住宅大廈要加裝充電樁設備是十分困難的事。基本原因有：(1)舊住宅用電負載太小，無法承載，可能會發生跳電、漏電、漏水和火災等意外，(2)費用太高，用戶不願負擔。以100個停車位的大廈估算，從申請用電到配電網路等公共工程，就高達3百萬元至2千萬之譜。這還不算購買充電樁本體的費用。故很難通過管委會和住戶的同意。就算政府有購買充電樁本體的補助也是杯水車薪。以台北市為例補助管委會申請電動車

充電設備安裝與維護管理費用，補助上限10至20萬元整。電動車用戶比例不高，難以獲得多數住戶的認同。(3) 如前文，電動車輛長途旅行充電基礎設備不足，難以大量推廣。

既使在目前預測電動車輛成長和完全提供給電動車輛使用的狀況下，五年內的綠電不會有政策供給壓力不足的問題。例如，以2020年綠電發電政策目標而言，約需要耗費6成至9成的綠電供應量給電動車輛；以2025年綠電發電政策目標而言，則需要耗費3成至4成的綠電供應量給電動車輛。但假設2019年總機動車輛全數汰換成電動車輛情況下，本文發現以2018年的綠電供應量而言，除了低需求電量能夠勉強支撐外，在中、高需求電量皆會呈現供應不足的瓶頸。另若是綠電供應量沒達到2020年和2025年的政策目標時，則電動車輛使用綠電的情況也將會出現電力供應不足的情況。此外，在現實環境下，綠電是不可能全部都供給電動車輛使用。其他產業，如高科技資通訊業，也都亟需綠電來降低其產品的含碳量。故，如果政府要大力推動電動車輛替換燃油車輛，顯然目前的綠電政策是不足的，更遑論綠電電網、儲能設備、和充加電站等基礎建設都不足夠。除非政府下定決心要全面廢止販賣燃油車輛，並大力布建電動車輛的綠電輸配電基礎設施，否則推廣電動車輛政策的成效將很有限。但問題是未來科技的走向仍不明，有可能其他新能源車輛的技術先突破，如氫能車輛，反而取代電動車輛，造成投資浪費。

## 二、環境衝擊

為和電動車輛使用綠電的情境做比較，加上現實面的電力供給結構中我國仍以灰電占大宗（如前文，綠電僅占6%），故本文納入電動車輛使用灰電和不使用電動車輛（繼續使用燃油）的情境。時間端則以2019年全數機動車輛汰換成電動車輛、短期(2020年底)預測、和長期(2025年底)預測等三種數據做估算。如圖3，除氧化亞氮為電動車輛使用灰電狀況的排放量較高之外，其餘物染物如二氧化碳、甲烷、粒狀汙染物、氮氧化物皆是使用全燃油車輛的情況為高。可見推動電動車輛的政策的确對於改善環境影響（特別是空汙）是有正面且積極的效果。

本文在模擬2019年總機動車輛全部汰換成電動車輛且使用灰電時，發現將會比使用綠電時額外產生全國二氧化碳約2%至4%的排放量，粒狀汙染物約1%至2%的排放量，氮氧化物約2%至3%的排放量。可見使用灰電確實還是會對環境衝擊產生不良結果。既使退一步而言，電動車輛將使用灰電情境對環境的衝擊大部分也都小於使用燃油車輛情境的結果，對環境也相對友善些。綜合比較結果，可以推論發展電動車輛仍需朝向全使用綠電才是正確的環保方向。此外，本文因無噪音統計資料，故無法做比較。有興趣的讀者可嘗試做實驗以得到不同環境下的比較結果。

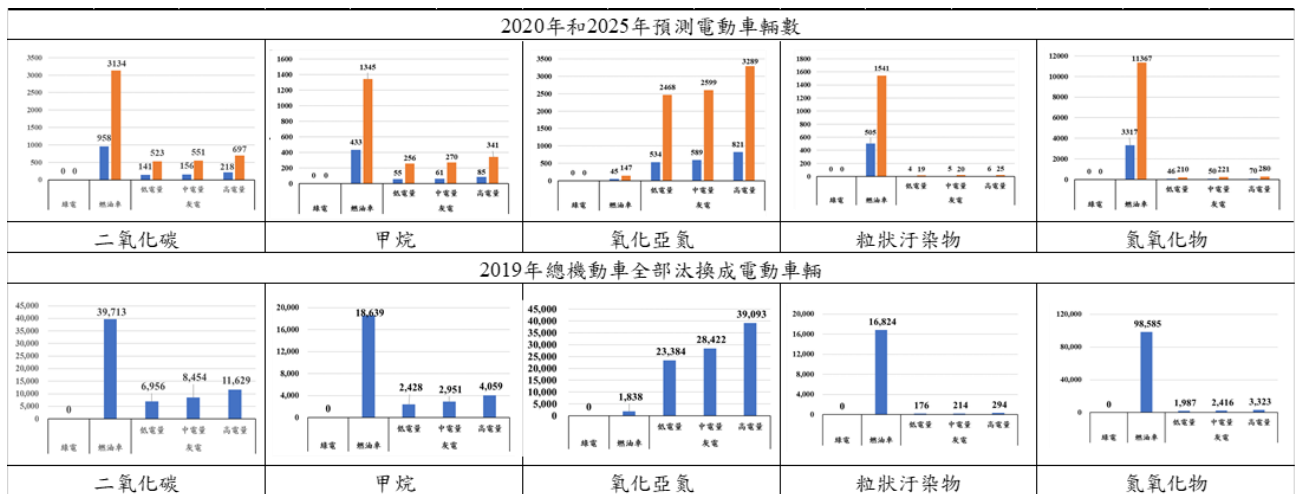


圖 3：綜合比較

### 三、未來研究方向

台灣地區由於人口老化，機動車輛不論是汽車或機車都已呈現進入飽和階段。2020年的機動車輛數<sup>12</sup>為22,297,000輛，年成長率只有0.8%。每百人機動車輛數為94.6輛；汽車數只有34.8輛。因此，新購電動車輛多半是因汰換舊有機動車輛需求所致，故應不至於對國內經濟成長有太大或明顯的貢獻。本文對此並不列入討論。但讀者如對國內機動車輛產業對經濟成長的影響有興趣，或可另開題列入未來研究。

由於本文僅從純電動車輛的電力能源供給來探討綠電供給壓力和環境衝擊，因此，未來研究可建議幾個方向進行。一是電動車輛生產其實也有負面環境衝擊的問題。例如，車身的各種材料製造和後續回收的環境衝擊等問題。其中，最重要的是電動車輛電池的廢棄、回收、和處理環保問題需要深入研究。二是納入前文其他類別的油電混合電動車輛一起計算，俾更客觀表現出推動電動車輛汰換燃油車輛政策的環境影響力。三是目前我國電動車輛市場尚處於動盪的草創時期。實務上還有其他替代燃料車科技在繼續發展，例如，氫化燃料電動車輛、磁浮車、太陽能電動車輛等。導致很多廠商擔心電動車輛的出現只是曇花一現而舉止不前。所以若是隨著未來更長的時間推移時，電動車輛的相關技術將會更穩定，不確定影響變數也將會減少。可以更精準估計電動車輛和其他替代燃料車對於能源和環境的衝擊。最後是本文的資料預測方法為ARIMA模型和內插法，未來或可更進一步採用類神經網路等其他預測方法作比較分析。

<sup>12</sup> 機動車輛數包含汽車和機車。



## 參考文獻

### 一、中文文獻：

1. 工業技術研究院 (2015) · 取自：<https://car.itri.org.tw/cartest/webHotNewsView.aspx?HotNewsId=2ff6c3e0-c7f3-4040-91d2-3d53b26d5eab>
2. 工業技術研究院電動機車產業網 (2020) · 取自：<https://www.lev.org.tw/subsidy/query.asp>
3. 中華汽車工業股份有限公司 (2019) · 取自：<https://www.china-motor.com.tw/e-veryca>
4. 中華汽車工業股份有限公司 (2020) · 取自：[https://www.e-moving.com.tw/iE125.php?utm\\_source=eMOVING&utm\\_medium=footer](https://www.e-moving.com.tw/iE125.php?utm_source=eMOVING&utm_medium=footer)
5. 台灣山葉機車 (2019) · 取自：[https://www.yamaha-motor.com.tw/motor/motor\\_EC-05.aspx](https://www.yamaha-motor.com.tw/motor/motor_EC-05.aspx)
6. 台灣電力公司 (2020a) · 取自：<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=212&cid=120&cchk=f3a1b1e0-03e5-45fa-b72e-b28c5cb94f37>
7. 台灣電力公司 (2020b) · 取自：<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=204&cid=154&cchk=0a47a6ed-e663-447b-8c27-092472d6dc73>
8. 台灣電力公司 (2020c) · 取自：<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=216#b03>
9. 交通部 (2017) · 取自：<https://motclaw.motc.gov.tw/webMotcLaw2018/Law/Info?LawID=E0344004>
10. 交通部 (2018) · 『計程車營運狀況調查報告』。臺北：交通部。
11. 交通部 (2019) · 『自用小客車使用狀況調查報告』。臺北：交通部。
12. 交通部公路總局 (2020) · 取自：<https://stat.thb.gov.tw/hb01/webMain.aspx?sys=100&funid=11200>
13. 交通部車輛安全審驗中心 (2016) · 取自：<https://stat.thb.gov.tw/hb01/energy.pdf>
14. 交通部統計查詢網 (2020) · 取自：<https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100#>
15. 交通部運輸研究所 (2018) · 取自：<https://dsstransport.iot.gov.tw/WebPage/DataBaseModule/GHGData/pagTaiwanPowerParm.aspx>
16. 行政院 (2008a) · 『永續能源政策綱領』。臺北：行政院。
17. 行政院 (2008b) · 『因應景氣振興經濟方案』。臺北：行政院。
18. 行政院環境保護署 (2017) · 「空氣汙染防制行動方案」。臺北：行政院環境保護署。
19. 行政院環境保護署 (2020a) · 取自：<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/1f112d09-91b5-4899-9603-88df5fe7a668>

20. 行政院環境保護署 (2020b) 。『2019我國國家溫室氣體排放清冊報告』。臺北：行政院環境保護署。
21. 行政院環境保護署 (2020c) 。『全國空氣汙染物排放量清冊』。臺北：行政院環境保護署。
22. 宏佳騰動力科技股份有限公司 (2019) 。取自：<https://ai.aeonmotor.com.tw/pages/ai1-sport>
23. 陳景祥 (2012) 。『R軟體：應用統計方法』。臺北：臺灣東華書局。
24. 華德動能科技股份有限公司 (2019a) 。<http://www.racev.com/product/jR>
25. 華德動能科技股份有限公司 (2019b) 。<http://www.racev.com/product/k5>
26. 經濟部工業局 (2015) 。『智慧電動車輛發展策略與行動方案執行進度報告』。臺北：經濟部工業局。
27. 經濟部工業局 (2017) 。『電動機車產業創新躍升計畫』。臺北：經濟部工業局。
28. 經濟部工業局 (2018) 。『智慧電動車產業輔導推廣計畫』。臺北：經濟部工業局。
29. 經濟部能源局 (2017a) 。『太陽光電2年推動計畫』。臺北：經濟部能源局。
30. 經濟部能源局 (2017b) 。『風力發電4年推動計畫』。臺北：經濟部能源局。
31. 經濟部能源局 (2018) 。『能源轉型白皮書』。臺北：經濟部能源局。
32. 經濟部能源局 (2019) 。『我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析』。臺北：經濟部能源局。
33. 經濟部能源局 (2020) 。『車輛油耗指南』。臺北：經濟部能源局。
34. 蔡宜良、陳憲政 (2014) 。「台灣智慧電動車發展策略與行動方案執行成果」，車輛研測資訊，第98期，8-13。
35. 聯合國氣候變遷綱要公約 (2020) 。取自：<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>。

## 二、英文文獻：

1. Box, G.; Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
2. GOGORO (2019), available from: <https://www.gogoro.com/tw/smartscooter/2-series/delight/>
3. NISSAN (2018), available from: <http://event.nissan.com.tw/EV/history/>
4. NISSAN (2019), available from: [https://new.nissan.com.tw/nissan/cars/LEAF/?utm\\_source=GSM&utm\\_medium=PAID%20SEARCH&utm\\_campaign=202001SEARCH&utm\\_content=LEAF&utm\\_term=136](https://new.nissan.com.tw/nissan/cars/LEAF/?utm_source=GSM&utm_medium=PAID%20SEARCH&utm_campaign=202001SEARCH&utm_content=LEAF&utm_term=136)
5. R-project (2020), <https://www.r-project.org/>
6. TESLA (2020a), available from: [https://www.tesla.com/zh\\_tw/models](https://www.tesla.com/zh_tw/models)
7. TESLA(2020b), available from: [https://www.tesla.com/zh\\_tw/model3](https://www.tesla.com/zh_tw/model3)