

105-071-6185
MOTC-IOT-104-TAA007

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

中華民國 105 年 9 月

105-071-6185
MOTC-IOT-104-TAA007

運輸部門能源消費趨勢 及未來需求分析

著者：張瓊文、傅 強、朱珮芸、許義宏

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 9 月

運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析

著 者：張瓊文、傅強、朱珮芸、許義宏

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版 > 圖書服務 > 本所出版品)

電 話：(02)23496874

出版年月：中華民國 105 年 9 月

印 刷 者：承亞興圖文印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 10 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：非賣品

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN (平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 105-071-6185	計畫編號 104-TAA007
主辦單位：綜合技術組 主管：張瓊文 計畫主持人：張瓊文 研究人員：傅強、朱珮芸、許義宏 聯絡電話：(02)23496871 傳真號碼：(02)27120223			研究期間 自 104 年 1 月 至 104 年 12 月
關鍵詞：運輸部門能源消費分析、能源消費成長趨勢模式、能源消費需求模式			
摘要： <p style="text-indent: 2em;">為減緩化石能源環境衝擊，運輸部門積極推動公共運輸與新闢軌道運輸路網，並鼓勵使用電力驅動車輛。隨著前述政策持續推動，運輸部門能源消費趨勢與使用需求已有結構性變化，對電力使用需求日增，逐漸減少對化石燃料依賴。為及時效掌握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，推估未來運輸部門能耗情形，實為必要工作。配合本所運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統系列研究，前業以近似無相關迴歸模式(Seemingly unrelated regression, SUR)建立運輸系統別(鐵路、公路、海運與空運)能源需求預測模式，惟因解釋變數與因變數因果關係不佳，於運輸政策聯結性尚有檢討空間。爰本研究以更具嚴謹學理基礎之多變量自相關移動平均模式(Multivariate Autoregressive Moving Average Models, MARMA)建立運輸部門能源消費需求模式，且蒐集更具運輸部門代表性變數，優化目前提出能源消費需求模式。同時，建立以多變量迴歸為基礎之運輸部門能源消費成長趨勢模式，分析近年運輸部門各能源別消長趨勢，俾強化能源消費模式預測精確性與政策評估應用性。最後，依據分析結果提出運輸部門能耗發展可能面臨情境，以及影響能耗消長之影響因素。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
105 年 9 月	80		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: The Analysis on Energy Consumption and Future Demand for Transport Sector			
ISBN(OR ISSN) ISBN (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 105-071-6185	PROJECT NUMBER 104-TAA007
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Chiung-Wen Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiung-Wen Chang PROJECT STAFF: Chiang Fu , Pei-Yun Chu, Yi-Hung Hsu PHONE: (02)2349-6874 FAX: (02)2712-0223			PROJECT PERIOD FROM January 2015 TO December 2015
KEY WORDS: Energy Consumption Analysis on Transport Sector, Energy Consumption Growth Model, Energy Consumption Demand Model			
ABSTRACT: <p>To mitigate the environmental impacts of fossil energy, the transport sector are positively promoting public transport, constructing rail transport network, and encouraging the use of electric driving vehicles. As the preceding policies continue push forward, the transport sector energy consumption trend and demand are transformed. The electricity demand is increasing, and the dependence for fossil fuel is gradually reducing. To evaluate the midterm and long-term energy on transport consumption trend and needs, constructing energy consumption growth and demand models for transport sector is very critical. To coordinate with the series of "Climate Change Policy Decision Support System for the Transportation Sector" studies, the research re-estimates the Seemingly unrelated regressions (SUR) for Rail, Highway, Maritime and Aviation energy needs, to enhance the linkage between explanatory variables and the dependent variables. Therefore, the revised models improve the applicability in policy making. In the current study, the Multivariate Autoregressive Moving Average Models, (MARMA) are developed to depict transport sector energy demands. Additionally, the research collected better representative variables, to strengthen the precision of proposed energy demand model. Meanwhile, establishing multivariate regression models captures the energy consumption trends for transport sector. The multivariate regression models analysis the recent transport energy consumption trends. The proposed two methods increase the prediction and policy evaluation capability. Lastly, the study demonstrated the future energy consumption scenarios for transport sector from preceding findings. Additionally, the study also showed the influence factors on transport energy demand.</p>			
DATE OF PUBLICATION September 2016	NUMBER OF PAGES 80	PRICE	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 文獻回顧.....	3
第三章 研究方法.....	7
3.1 多變量迴歸模式.....	7
3.2 自相關移動平均模式.....	9
3.2.1 單變量模式.....	9
3.2.2 多變量模式.....	11
3.3 模式配適度準則.....	12
3.3.1 概似比指標.....	12
3.3.2 預測績效指標.....	12
第四章 資料蒐集與分析.....	15
4.1 資料來源.....	15
4.2 運輸部門能源消費概況.....	15
4.3 相關分析.....	19
4.4 運輸部門能耗影響變數.....	22
第五章 能源消費模式估計結果.....	25
5.1 運輸部門能源消費成長趨勢模式.....	25
5.1.1 模式建立.....	25
5.1.2 估計結果.....	26
5.2 運輸部門能源消費需求模式.....	31
5.2.1 模式建立.....	31
5.2.2 估計結果.....	32
第六章 結果應用與討論.....	41
6.1 能源消費趨勢分析.....	41
6.2 需求彈性分析.....	47
第七章 結論與建議.....	51
7.1 結論.....	51
7.2 建議.....	57
參考文獻.....	59
附 錄 計畫摘要.....	附 1-1

表目錄

表 4.1 運輸部門各能源別之相關分析表.....	21
表 4.2 運輸部門能耗影響變數統計.....	24
表 5.1 陸路運輸部門推估結果.....	27
表 5.2 國內水運、空運部門推估結果.....	28
表 5.3 國際海空運部門推估結果.....	29
表 5.4 公路運輸部門推估結果.....	33
表 5.5 軌道運輸部門推估結果.....	36
表 5.6 國內水運、空運部門推估結果.....	37
表 5.7 國際海空運部門推估結果.....	39
表 6.1 運輸部門能源需求模式彈性估算結果.....	49

圖目錄

圖 4.1 車用汽油、公路柴油消費概況.....	16
圖 4.2 公路液化石油氣消費概況.....	17
圖 4.3 軌道電力能源消費概況.....	17
圖 4.4 軌道柴油消費概況.....	17
圖 4.5 國內航空燃油、水運燃油與柴油消費概況.....	18
圖 4.6 國際航空燃油、海運燃油與柴油消費概況.....	19
圖 6.1 公路運輸部門能源消費趨勢.....	42
圖 6.2 軌道運輸部門能源消費趨勢.....	43
圖 6.3 國內水運、空運部門能源消費趨勢.....	44
圖 6.4 國際海空運部門能源消費趨勢.....	45
圖 6.5 總體運輸部門能源消費趨勢.....	46

第一章 前言

能源使用供需問題影響國家社會與經濟之發展，也與國民日常生活息息相關，對國家安全的重要性亦不可言喻。因此，倘能掌握未來能源需求變化趨勢，預先規劃相關因應措施，實為國家發展當務之急。近期全球氣候變遷、環境保護意識提升與國際油價的漲跌之影響，使得能源需求遭遇相當大的不確定性。

運輸部門消耗的化石能源，占總能源消耗的比重日益增加，運輸活動對環境所產生的負面影響（如 PM_{2.5}、CO₂ 及 NO_x 等溫室氣體及廢氣排放）也與日俱增，這些問題已成為全球氣候變遷及溫室效應所關切的焦點之一。為減緩環境衝擊，近期運輸部門積極推動公共運輸與新闢軌道運輸路網，並鼓勵民眾使用電力驅動車輛。然而，隨著前述趨勢演進，運輸部門的能源消費趨勢與需求已產生結構性變化，對電力使用需求日增，並逐漸減少對原油及石油之依賴。因此，為能及時掌握運輸部門中長期能源消費趨勢與未來需求，妥為規劃節能減碳措施，探討運輸部門能源消費趨勢，並建立運輸部門能源需求預測模式推估能耗情形，實為必要工作。

本所自 99 年度辦理運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統系列研究，為與決策支援系統中核心模式可計算一般均衡模式 (Computable general equilibrium, CGE) 做交互驗證，另以「近似無相關迴歸模式 (Seemingly unrelated regression, SUR)」方法建立運輸部門能源消費預測模式，就本所 (民 92) 提出對運輸部門能源預測模式之歸類中，CGE 模型為可計算一般均衡模型，而 SUR 模型為總體經濟模型。

其次，就基線推估結果，CGE 與 SUR 兩模式績效並無明顯差異。然而，兩者在目標年解釋變數處理上有所出入，SUR 模式目標年之相關條件(例如客貨運量、行駛營業里程與經濟成長情形)需外生假定，CGE 模式雖能內生求解，卻無法掌握基年與目標年推估詳細歷程，並且需於基年假設比 SUR 目標年更為繁複之經濟假設條件(例如能源替代彈性、技術進步率，以及生產份額與消費份額等資訊)。爰此，就政策應用上，兩類預測模式各有其優劣處。本所建置之 CGE 模式

係由運輸部門觀點，探討基年投資對目標年經濟產業與環境之影響，而能源需求量為其多項評估結果之一，SUR 模式則著重中長期政策目標達成對能源消費之影響。因此，在產業經濟環境無明顯結構性轉變，透過 SUR 模式評估目標年能源需求量係政策應用上較具效率與直接之方法。

回顧近期 SUR 模式估計結果，為與 CGE 模式變數結果進行比較，並兼顧估計結果一致性，故多採用與經濟發展(油價、國內生產毛額與政策虛擬變數)相關之解釋變數，因此於運輸部門能耗聯結關係相當薄弱；直觀上，運輸部門能耗應與運輸部門經營概況(服務班次、行駛里程與登記持有數)密切相關。本所「運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之應用」(民 104 年)實證結果，雖選用與運輸部門經營概況變數，但為符合相關統計配適與顯著性指標(例如 R^2 與 P 值)之要求，解釋變數與因變數因果關係於運輸政策聯結性仍有強化空間。

本研究將以經濟部能源局 103 年「能源平衡表」資料為基礎，透過多變量迴歸模式建立運輸部門能源消費成長模式，分析近年運輸部門各能源別之消長趨勢，並以該模式為基礎考量自相關(Autoregressive Regression, AR)和移動平均(Moving Average, MA)等時間序列誤差，另建立多變量自相關移動平均模式(Multivariate Autoregressive Moving Average Models, MARMA)，並於該模式納入更具政策意涵之解釋變數，優化本所運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之能源消費需求模式，強化模式預測精確性與政策評估應用性。綜上，本研究有以下 2 項辦理目的：

- 一、配合本所同期進行運輸部門節能減碳政策評估模組開發系列研究，更新模式資料庫，並建立更具政策應用性(變數因果關係合理性)之運輸部門能源需求預測模式。
- 二、回顧相關國內運輸部門能源消費趨勢研究，並分析歷史年統計資料探討國內運輸部門能源消費趨勢之消長，以及影響運輸部門能源需求之因素。

第二章 文獻回顧

為利本研究後續進行運輸部門能源消費趨勢及未來需求之研究，因此，首先回顧近期運輸部門能源消費趨勢與需求分析之相關研究，俾從中尋求能源消費成長趨勢模式與能源需求模式之發展概念，以及影響運輸部門能源需求之重要影響變數。

目前有關國際對運輸部門能耗推估之研究(Samimi, 1995; Lin and Xie, 2013; Azlina et al. 2014; Shahbaz et al., 2015)多著重探討運輸部門能耗、碳排(CO₂)與相關經濟變數之關係(如 GDP、油價與所得水準)，並透過時間序列共整合(co-integration method)探討三者間之成長關係，藉此透過簡單 GDP 成長關係掌握運輸部門能耗之消長脈絡，歸納其研究結果指出三者關係將互為影響，並且共榮共生。惟此類研究對運輸部門能耗因果關係上忽略在運具活動量與運具本身能源效率特性之影響分析。

針對運輸部門各能源別之分析，Melikoglu (2014) 以分析年度(1980-2010)為解釋變數，建立能源消費成長趨勢模式探討土耳其陸路運輸能源(車用汽油、柴油、LPG 與生質燃料)至目標年(2023 年)之能源消費成長趨勢，據其分析車用汽油於 2023 年將遞減至 2 億立方米(m³)、柴油與液化石油氣將增加至 1,640 萬與 880 萬立方米(m³)，並高於世界平均趨勢；此外生質燃料與生質柴油 2023 年將分別達到 30 萬與 140 萬立方米(m³)，然研究也指出倘汽油價持續上揚，生質柴油之需求係相當有可能達到 340 萬立方米(m³)。有關該研究所建立能源消費成長趨勢模式方式對於基線掌握直接易懂，可作為本研究運輸部門能源消費成長模式建立之重要依循。

有關國內運輸部門能源消耗之研究方面，黃運貴、曹壽民(民 94 年) 蒐集整理運輸部門的運輸活動量與能源消費量，並就各運輸系統的延人公里數及延噸公里數進行推估，並且利用迪氏對數平均指數分解法分析運輸部門客貨運之活動需求強度、各運輸系統之市場占有率及能源密集度等影響因素對運輸部門能源消費量變動的影響效果。該研究發現無論是客運或貨運，活動強度與能源密集度為運輸能源消費量主要之影響因素，該兩項因素之影響效果則均主要來自公路系統。

鑒於交通部與本所統計資料多無法配合「能源平衡表」之公告期間，多數需經由內外插方式補足，因此有關該研究所採用影響運輸部門能耗之消費影響因素，以及推估缺漏年度能耗與消費因素資料內容之方法，可作為本研究資料處理之依循方式。

李正豐、林勻浙 (民 96) 應用分解分析對數平均數迪氏指數法探討 1995-2005 年影響臺灣公路運輸溫室氣體排放之關鍵因素，結果發現人均能源消費量及人口成長，為造成公路運輸溫室氣體排放量增加關鍵因素，並以人均能源消費量為最主要因素，且其所造成排放增量效應有急速擴大的現象；人口成長雖為次要排放因素，惟隨著臺灣人口出生率逐年降低，使得排放增量效有減少趨勢。因此，研究結果顯示降低公路運輸人均能源消費量是減緩此部門溫室氣體排放的重要策略方向，而大眾運輸系統則係有效降低人均能源消費量的重要關鍵。從該研究實證結果可知影響運輸部門能耗因素不僅侷限於運輸部門營運特性之相關影響因素。

黃銘崇、林成蔚、葉文健，(民 99) 針對運輸部門節能政策問題特性予以瞭解，建立完整之相關基礎資料，嘗試應用簡單迴歸與時間序列模型建立運輸能源需求預測模式，結果顯示應用時間序列模型在短期預測方面，較之簡單迴歸模型有較佳的預測效果，其結果不僅可作為後續評估的重要資料與工具，且可提高評估的合理性及正確性，最後該研究建議後續研究可透過時間序列搭配迴歸模式，以及將各能源別獨立模式轉為聯立模式方式，優化能耗預測模式。有關該研究所提出建議將於本研究一併解決。

吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢，(民 99) 進行我國 2010 年至 2050 年我國三大部門（工業、住商及運輸部門）各類能源服務需求（Energy Service Needs）推估，其中有關運輸部門能耗之推估，首先透過迴歸分析方式建構交通部門各運具能源服務需求與相關解釋變數之因果關係，並據此估算未來交通部門能源服務需求。有關該研究所採用預測運輸服務需求之解釋變數，以及評估建立模式績效指標，將提供本研究資料蒐集與建立模式時參用。

吳芳瑜(民 101) 以時間序列分析模型推估公路、鐵路、國內水運、國際航空與國內航空各部門之能源消費量，係透過過去之消費情形為

基礎推估未來趨勢，另加入實質 GDP 之成長率變數作調整，最後加總成為運輸部門總消費量，在假定 2012~2030 年 GDP 成長率與累積節能率，分析運輸部門 3 種不同節能情境下之能耗。該研究在運輸部門能耗所作推論結果，將提供本研究參照，並作為檢視研究推估結果合理性之依據。

本所(民 104) 建構運輸部門之能源消費模型，主要係運用「近似無相關迴歸模型(Seemingly unrelated regression, SUR)」估計模型係數，其分別係為能源平衡表中國內運輸部門之 7 項能源消費別(1)公路汽油；(2)公路柴油；(3)鐵路電力；(4)鐵路柴油；(5)國內水運燃油；(6)國內水運柴油；(7)國內航空燃油，建立需求模式。資料係取 1991 年至 2013 年間共計 23 筆時間序列能耗數據，其中國內水運部分，考量其特殊資料特性，則與其他運具之能耗分開推估。有關其能耗趨勢推估結果，公路運輸部分，公路汽油耗用量呈現持平趨勢、公路柴油耗用量呈現緩步成長趨勢。軌道運輸部分，鐵路電力耗用維持平穩上升，柴油能耗則逐步減緩。國內航空燃油能耗量至 2030 年呈現平緩減少趨勢。國內水運部分推估結果顯示，水運柴油將維持從 2008 以來之走勢，國內水運燃油推估至 2030 年將呈現逐年萎縮情形。惟該研究因為符於相關統計配適與顯著性指標之要求，相關解釋變數與因變數因果關係於運輸政策聯結性顯有不合理，故政策應用性不佳。爰此，本研究係奠定於該研究之基礎上，蒐集 1982 年至 2014 年之能耗統計資料，擴大分析樣本，另於該模式內納入更具運輸部門代表性解釋變數，以及考量自相關(AR)和移動平均(MA)等時間序列誤差，藉此改善該研究建立模式之精確性與政策應用性。

此外，因應運輸部門在溫室氣體減量之重要性，國內研究開始著重從能耗碳排放關係之推估研究，國內曾有研究分別針對公路部門（吳懿哲，民 96）、航空部門（尹相隆、黃運貴、楊智凱、蔡綦霓，民 99）、水運部門（王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，民 99）與軌道運輸部門（張蓓琪、張美香、黃宗煌，民 99）做過探討，前揭能耗與碳排之研究在分析各部門能耗趨勢所得出之結論可提供於本研究作實證結果之驗證，以及發展實證模式之相關假設。

第三章 研究方法

3.1 多變量迴歸模式

由於整體運輸系統來看，各運具間並非獨立，不僅在運量與能源使用上存有互補與替代之關係，也同時受共同社經變數所影響。因此，後續在模式校估上，將採聯立方式加以改善（黃銘崇、林成蔚、葉文健，民 99）。因此，本研究為掌握研究運輸部門中不同子部門(運輸系統)之成長趨勢，並考量相關聯能源需求消長之互補與替代性，本研究擴展 Melikoglu (2014)之分析方式，建立以部門為基礎之時間趨勢迴歸，爰本研究係以多變量迴歸模式(multivariate regression model)為基礎，分別建立國內陸運部門、海空運部門與國際海空運部門之能源消費成長趨勢模式。

多變量迴歸模式為單變量迴歸模式 (univariate regression model) 之通式(generalization model)，其模式建立目的為建構一組解釋變數 (explanatory variable vector) \tilde{X} 與一組反應變數(response variable vector) \tilde{Y} 間之函數關係。若其關聯可以線性函數表示，則可建立多變量線性迴歸模型(multivariate linear regression model)，其函數型態說明如下公式(3.1)。

$$\tilde{Y} = \tilde{X}\tilde{\beta} + \tilde{E} \quad (3.1)$$

其中反應變量 \tilde{Y} 為 $n \times q$ 矩陣，並假定為連續型分配資料，另解釋變量 \tilde{X} 為 $n \times p$ 設計矩陣(design matrix)，未知係數 $\tilde{\beta}$ 為 $p \times q$ 矩陣，隨機誤差 \tilde{E} 為 $n \times q$ 矩陣，說明如公式(3.2)：

$$\tilde{E} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \cdots & \varepsilon_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{1q} & \cdots & \varepsilon_{nq} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

公式(3.2)矩陣之每項元素 ε_{ij} 假定為平均數為 0，即 $E(\varepsilon_{ij})=0$ ，變異數為 σ_{ij} 的隨機變數，即 $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = \sigma_{ij}$ ，並且為服從多變量常態分配，因此 $\tilde{E} \sim N(0, \Omega)$ ，另此共變異數矩陣 Ω 為 $q \times q$ 之對稱正定矩陣 (symmetric positive definite matrix)，說明如公式(3.3)。

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{q1} & \cdots & \sigma_{qq} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

在公式(3.4)中對角線 $\sigma_{11} \dots \sigma_{qq}$ 為變異數，即 $Var(\varepsilon_1)$ 與 $Var(\varepsilon_q)$ ，其餘非對角線如 σ_{n1} 與 σ_{1q} 為共變異數，表示 $Cov(\varepsilon_1, \varepsilon_q)$ 與 $Cov(\varepsilon_q, \varepsilon_1)$ ，並經由估計矩陣內變異數與共變異數後，可再進一步估算代表反應變數間關聯性之相關係數矩陣 $\tilde{\rho}$ ，說明如公式(3.4)。

$$\tilde{\rho} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & \frac{\sigma_{1q}}{\sigma_1\sigma_q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\sigma_{q1}}{\sigma_q\sigma_1} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

公式(3.4)內所求算之相關係數倘為正負 1，表示完全相關；介於正負 0.7~0.9 者為高度相關；介於正負 0.3~0.6 者為中度相關；介於正負 0.3 以下者，則為低度相關。因此，在上述多變量迴歸模式建立中，除需估計各解釋變量係數矩陣 $\tilde{\beta}$ ，尚包括隨機誤差的變異數矩陣 \tilde{E} ，而在假定前項隨機誤差假定為常態分配下，可透過最大概似法估計多元常態分配下對數概似函數((log-likelihood function))之相關係數 $\tilde{\beta}$ ，以及 \tilde{E} 矩陣內變異數與共變異數，說明如公式(3.5)。

$$\text{LogL}(\tilde{\beta}|\tilde{Y}, \tilde{X}) = -\frac{Nq}{2(1+\text{Ln}(2\pi))} - \frac{N}{2\text{Ln}(\det(\frac{\tilde{E}\tilde{E}}{N}))} + N\text{Ln} \left| \det\left(\frac{\partial \tilde{E}}{\partial Y}\right) \right| \quad (3.5)$$

在本研究運輸部門能源消費成長趨勢模式建立中，反應變數為運輸部門中不同子運輸系統之能源消費量(C_t)，而惟一採用自變數為各能源消費量之分析年度(t)，由於分析年度係從民國 71 年度(1982 年)至 103 年度(2014 年)，故 $t=1,2,\dots,33$ 。此外，考量各種能源別本質消費型態之差異，故本研究運輸部門能源需求量(C_t)與期間(t)之關聯性，係參考 Melikoglu (2014)之研究提出公式(3.6)至公式(3.15)等 10 種關係式進行嘗試，俾更精確捕捉各能源別之消長趨勢，以及利於解讀能源別成長趨勢之意涵：

$$\text{線性式：} \quad C_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

$$2 \text{ 次項式： } C_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon_t \quad (3.7)$$

$$3 \text{ 次項式： } C_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

$$\text{冪次式： } C_t = \beta_1 t^{\beta_2} + \varepsilon_t \quad (3.9)$$

$$\text{指數式(1)： } C_t = \beta_0 + \beta_1 \exp(\beta_2 t) \varepsilon_t \quad (3.10)$$

$$\text{指數式(2)： } C_t = \beta_1 \exp(\beta_2 t) \varepsilon_t \quad (3.11)$$

$$\text{對數式(1)： } C_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(t) \varepsilon_t \quad (3.12)$$

$$\text{對數式(2)： } C_t = \beta_1 \ln(\beta_2 t) \varepsilon_t \quad (3.13)$$

$$\text{Gaussian式： } C_t = \beta_1 \exp \left[-0.5 \left(\frac{(t-t_0)}{\beta_2} \right)^2 \right] + \varepsilon_t \quad (3.14)$$

$$\text{Lorentzian式： } C_t = \beta_0 + \frac{\beta_1}{1 + \left(\frac{(t-t_0)}{\beta_2} \right)^2} + \varepsilon_t \quad (3.15)$$

3.2 自相關移動平均模式

本研究除透過建立多變量迴歸掌握長期成長趨勢，為分析影響運輸部門能源需求之政策變項，本研究以前述多變量迴歸為基礎，進一步建立多變量自相關移動平均模式(Multivariate Autoregressive Moving Average Models, MARMA)，透過 ARMA 的資料處理程序，可反應前後期運輸部門各能源別能耗前後統計資料存在序列相關(serial correlation)問題，以下先就單變量 ARMA 時間序列模式進行說明。

3.2.1 單變量模式

一般而言，影響時間序列資料變動的主要因素可分為兩種(Box and Jenkins, 1970)，第一種係藉由序列中的歷史資料來推估未來的趨

勢，稱此序列符合自我迴歸過程(Autoregressive Process, AR Process)；若當期的不規則變異可以藉由過去的不規則變異所估計，則稱此數列符合移動平均過程(Moving Average Process, MA Process)。

ARMA 模型，就是一種時間數列的「資料產生過程」(Data Generating Process, DGP)，而所謂的 DGP，在時間序列的理論來看，及代表現在的變數和過去的變數的函數 $y_t = f(y_{t-1})$ 或統計關係。ARMA 是由自相關(AR)和移動平均(MA)兩種 DGP 結合而成，其中 AR 之關係式說明如公式(3.16)；另外，MA 之關係式說明如公式(3.17)。

$$AR(p) : y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

公式(3.16)中， a_0 迴歸式常數之截距項； p 代表落後期數； a_i 代表 y_{t-i} 的係數，本身亦是常數， ε_t 是白噪音；另一方面 y_t 為應變數， y_{t-i} 為自變數。AR(p)，簡單而言， y_t 變量和過去 n 個 p 期的 y 變數都有關係。

$$MA(q) : y_t = a_0 + \sum_{i=1}^q b_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.17)$$

公式(3.17)中， a_0 表示常數的截距項； q 代表落後期數； b_i ：代表 ε_{t-i} 的係數，本身亦是常數， ε_t ：白噪音； y_t 為應變數， ε_{t-1} (自變數) = y_{t-1} (實際值) - \hat{y}_{t-1} (預測值)。簡而言之，MA (q) 表示 y_t 和過去 n 個 q 期的隨機變項 ε_{t-q} 有關聯，並 MA 模型隱含經濟行為體系的結構中，含有誤差修正之特性(楊奕農，民 98 年)。

綜合(3.16)、(3.17)得知：ARMA(p, q)模型之正式定義如公式(3.18)。

$$ARMA(p, q) : y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q b_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.18)$$

ARMA 時間序列模式係由資料的過去實際值和隨機振動(Random Vibration)所組成，故稱為自相關移動平均模式(Autoregressive Moving Average Models, ARMA)。

惟前述 ARMA 模型只利用單一反應變數之過去時間資訊解釋當

下變數走向，而未考慮其他可能反應變數之相關資訊，惟在運輸部門能耗模式建立上，不同運輸系統(如公路系統與軌道運輸系統)因為運輸服務的彼此競爭，亦或是互相關聯而影響彼此能源消耗趨勢。

3.2.2 多變量模式

基於不同運輸系統的使用能源別可能有相互關聯性，因此本研究建立 MARMA 模型，係預先將運輸部門各能源別按運輸系統營運性質再細分部門別(例如公路部門與軌道部門)，並以 ARMA 模型結構再將相同部門所有消耗能源別(以公路部門為例，包括車用汽油、柴油與液化石油氣)，共同建立解釋模型，因此 MARMA 模型除了能解決各能源別前後期序列相關(serial correlation)問題，亦可反映相同部門內(或運輸系統別)不同能源別之關聯性。

以下本研究以 q 個反應變數，並假定存在 1 階自相關與 1 階移動平均，MARMA 公式說明如(3.19)。

$$\text{MARMA } (p, q) : \widetilde{Y}_t = \widetilde{\alpha} + \widetilde{\varphi}\widetilde{Y}_{t-1} + \widetilde{\theta}\widetilde{E}_{t-1} + \widetilde{\gamma}\widetilde{x}_t + \widetilde{E}_t \quad (3.19)$$

上述公式(3.19)中， \widetilde{Y}_t 代表一組當期(t)之反映變數： $\widetilde{Y}_t = \begin{pmatrix} y_{1t} \\ \vdots \\ y_{qt} \end{pmatrix}$ 。

$\widetilde{\alpha}$ 表示模型一組之截距項向量： $\widetilde{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_{1t} \\ \vdots \\ \alpha_{qt} \end{pmatrix}$ 。 $\widetilde{\varphi}$ 為一階自相關係數：

$\widetilde{\varphi} = \begin{pmatrix} \varphi_{1t} \\ \vdots \\ \varphi_{qt} \end{pmatrix}$ 。 \widetilde{Y}_t 代表前組當期(t-1)之反映變數： $\widetilde{Y}_{t-1} = (y_{1t-1} \cdots y_{qt-1})$ 。

\widetilde{E}_t 向量為 MARMA 模式之白噪音，即當期之誤差項； $\widetilde{E}_t = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{kt} \end{pmatrix}$ ； $\widetilde{\theta}$

為一階移動平均係數： $\widetilde{\theta} = \begin{pmatrix} \theta_{1t} \\ \vdots \\ \theta_{qt} \end{pmatrix}$ ； \widetilde{E}_{t-1} 為前期之誤差項： $\widetilde{E}_{t-1} =$

$(\varepsilon_{1t-1} \cdots \varepsilon_{qt-1})$ 。另 \widetilde{x}_t 為影響運輸能耗之解釋變數向量： $\widetilde{X}_t =$

$(X_{1t} \cdots X_{kt})$ 。 $\tilde{\gamma}$ 為解釋變數之待估計係數向量： $\tilde{\gamma} = \begin{pmatrix} \gamma_{1t} \\ \vdots \\ \gamma_{kt} \end{pmatrix}$ 。

值得注意的是，本研究所建立之 MARMA (p, q) 模式與常見於時間序列之向量自我迴歸(vector autoregression, VAR)最大不一致之處，在於 VAR 模式係將所有的變數均以內生變數來處理，可以克服內生、外生變數認定的質疑，VAR 模式應用於運輸部門能耗研究，係將各運輸系統所使用之能源別設定為彼此間之解釋變數，例如，以公路柴油解釋車用汽油之變化。爰以 VAR 模式係難以探討影響運輸部門能耗需求之因果關係，或實證相關理論所形成之假設。

3.3 模式配適度準則

為描述與驗證前述多變量迴歸與 MARMA(p, q) 等模式之配適能力，本研究透過概似比指標 ρ^2 ，以及相關預測績效指標：平均絕對百分比誤差 (MAPE)與均方根誤差 (root-mean-square error, RMSE)進行模式績效之評估，茲說明如下：

3.3.1 概似比指標

在相同分析基準下，概似比指標 ρ^2 可用以初判建立模式之相對優劣，在本研究中其計算公式說明如下。

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (3.20)$$

式 (3.20) 中， $LL(\beta)$ 為將所有顯著變數及常數項均納入模式時之對數概似函數值。一般而言，納入顯著變數之顯著水準 (confidence interval) 多設定於 10%，亦即 ($|t| > 1.645$) 之條件。 $LL(M)$ 為模式僅考量常數項及離散係數之對數概似函數值， K 則為顯著變數個數， ρ^2 計算值愈高，則表示模式整體配適程度愈佳。

3.3.2 預測績效指標

本研究採用預測績效指標為平均絕對百分比誤差 (*Adj*-MAPE)

以及均方根誤差 (RMSE), 且 MAPE 與 RMSE 計算值皆是愈小愈佳, 分別說明如式 (3.21) 及式 (3.22)。

$$\text{MAPE} = \frac{1}{T} \sum_t^T \frac{|P_t - A_t|}{A_t} \quad (3.21)$$

公式 (3.21) 中, A_t 為第 t 個年度的實際能耗量, P_t 為第 t 個年度模式預測能耗數, T 為分析年度期數。MAPE 主要在衡量模式中未被解釋部份之百分比。MAPE 之值愈小, 表示模型正確預測能力愈強, 預測模式估計結果與歷史資料吻合精確度愈大。Lewis(1982)依據 MAPE 值之大小, 將模式預測能力分為四種等級, $\text{MAPE} < 10\%$, 表示預測能力有高精確度; 界於 $10\% \sim 20\%$, 表示預測能力良好; 界於 $20\% \sim 50\%$, 表示預測能力正確; $\text{MAPE} > 50\%$, 則表示預測能力不正確。

另一方面, 均方根誤差 (RMSE) 為模式預測績效另一項參考指標, 參見公式(3.22), 公式內相關符號如前所說明。RMSE 同樣可評估預測值與實際值離散程度, 藉此判定往後研究之預測能力, 其為相對績效指標, 僅適宜於相同模式基礎下進行比較, 作為 MAPE 外之參考指標。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T A_t - P_t}{T}} \quad (3.22)$$

第四章 資料蒐集與分析

4.1 資料來源

本研究運輸部門能源消費資料係統計於經濟部能源局公布民國 71 年度至 103 年度之「能源平衡表」，另按能源平衡表對不同運輸系統與能源型態分類，共可區分 13 種能源別。其中，國內運輸部門使用能源主要為液化石油氣、車用汽油、公路柴油、軌道電力、軌道柴油、國內航空燃油、國內水運燃油與國內水運柴油等 8 種；國際運輸部門則為國際航空燃油、海運燃油與海運柴油等 3 種。

一般而言，運輸部門之統計與相關管制措施係不考慮國際運輸部門，運輸部門各系統之「場站用電」係計入服務業部門，故後續研究運輸部門能源消費分析範疇將著重於國內運輸部門，並且未考慮各運輸系統「場站用電」消耗情形。

另一方面，後續本研究建立能源消費成長趨勢模型係以前述 33 年度 13 種能源之原始當量做為分析變數。同時，為配合分析期間(民國 71 年度至 103 年度)之能耗統計資料，本研究蒐集同期本所與交通部發布國內相關交通運輸統計資料(客貨運班次數、汽機車輛登記數、行駛里程、客貨運量與公路興建長度等)，以及經濟部與主計總處發布社會經濟統計資料(實質國內生產 GDP、人口數與原油價格)。而統計期間資料不足處則透過內外插方式補足。

4.2 運輸部門能源消費概況

研究將民國 71 年至 103 年「能源平衡表」運輸部門能源消費資料，可將各運輸系統消費概況，分別繪製如圖 4.1、圖 4.2、圖 4.3、圖 4.4 與圖 4.5；另前述消費統計係按能源平衡表之原始單位進行繪製，各圖也標示其統計單位。首先在公路系統長期消費趨勢上，主要能源需求為車用汽油與公路柴油(參見圖 4.1)，而兩者消耗量在民 95 年成長有明顯趨緩持平之趨勢，另車用汽油能源消耗量成長相對公路柴油迅速。此外，由於液化石油氣(LPG)消耗量相對前公路前 2 項能源消耗量相當懸殊(消耗量相差超過 10 倍)，故將其另繪製於圖 4.2，俾利說

明公路 LPG 消耗量趨勢。

總結歷年公路部門能源消耗趨勢，車用汽油與 LPG 為公路系統能源消耗量成長最為迅速之能源別，民 103 年已較民 71 年成長幅度達 5 倍以上，惟 LPG 於 99 年達消耗量高點後已開始逐步下滑，此因與政府近年不再大力補助 LPG 營業車輛政策有關。此外，有關 LPG 消耗量係自民 84 年能源平衡表方才對運輸部門進行統計，故於 85 年前之 LPG 消耗量皆無統計資料；然而，前揭年度 LPG 早已使用於工業與住商部門，並微量用於相關示範運輸工具之試行，故為配合後續模式有充足樣本進行推估，LPG 民 80 年至民 84 年之能耗係本研究按歷史年趨勢外插推估而得，其餘年度(71~80)則假定為 0。

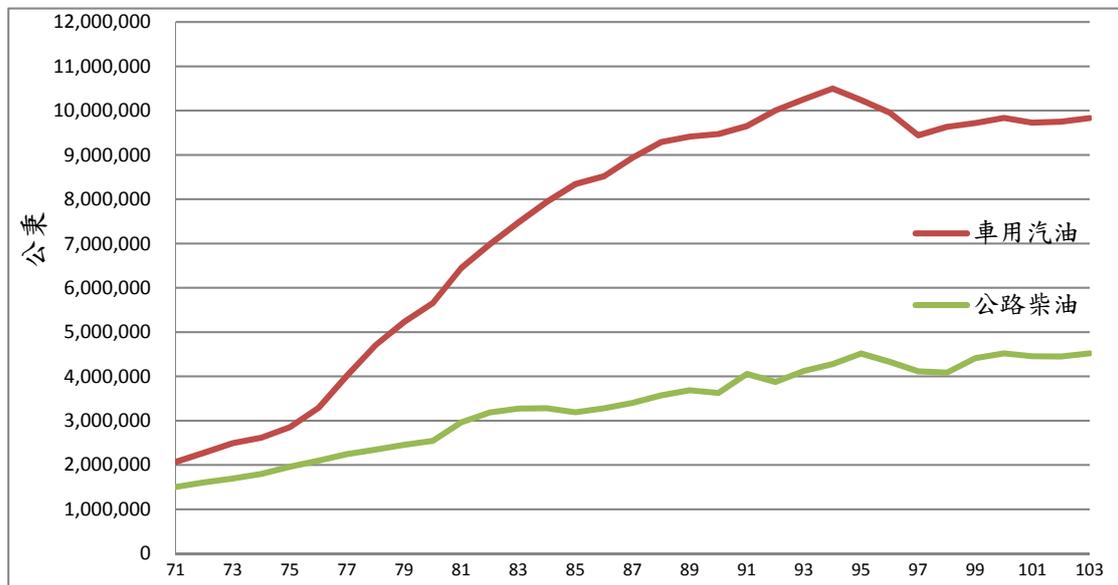


圖 4.1 車用汽油、公路柴油消費概況

其次，在軌道方面長期消費趨勢上，軌道系統則係以電力成長最為迅速(參見圖 4.3)，民 103 年已較民 71 年成長幅度達近 7 倍，我國運輸部門用電趨勢與重大軌道運輸系統營運有關，臺北捷運通車前(民國 85 年)為第 1 階段，用電量平均約為 2 億度；自臺北捷運通車後(民國 86 年)至高鐵通車前(民國 95 年)為第 2 階段，此時臺鐵已開始有電氣化工程，同時大量汰換電聯車，且臺北捷運路網已逐步開通，以致用電量已呈現逐年成長，並成長速度迅速，而隨高鐵(民國 96 年)、高雄捷運陸續通車營運(民國 97 年)後為第 3 階段，軌道系統用電量大幅躍昇，2013 年已超過 12 億度。

另一方面，有關歷年軌道柴油消費概況說明如圖 4.3，歷年軌道柴油僅有臺鐵柴油動力列車使用，惟於民 88 年後有逐年遞減之趨勢，此與臺鐵逐年汰換柴油列車為電聯車政策之緣故。

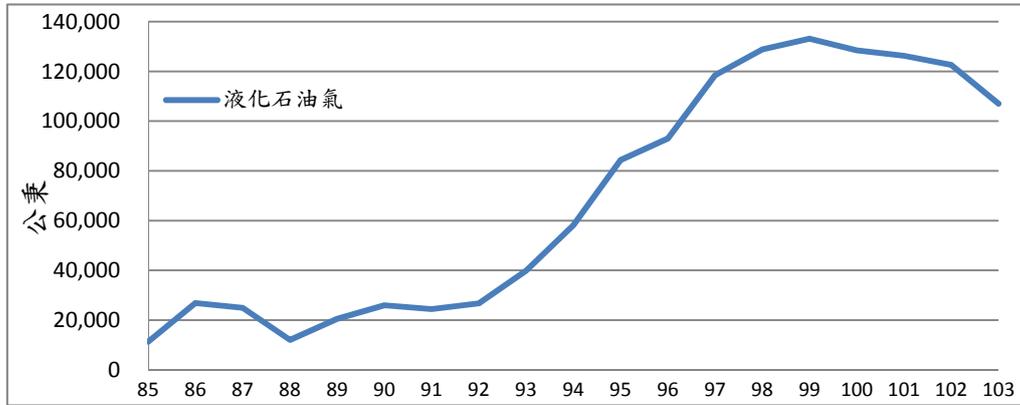


圖 4.2 公路液化石油氣消費概況

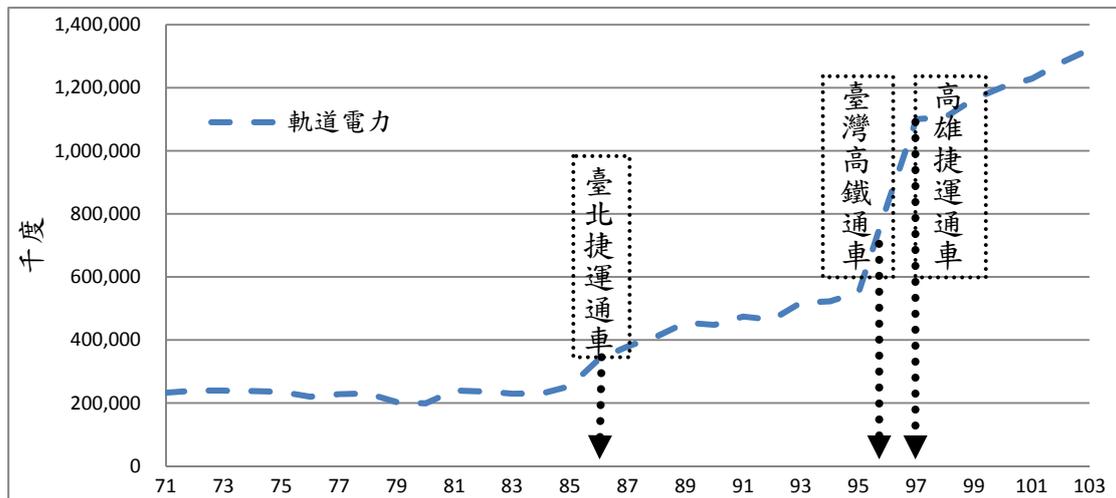


圖 4.3 軌道電力能源消費概況

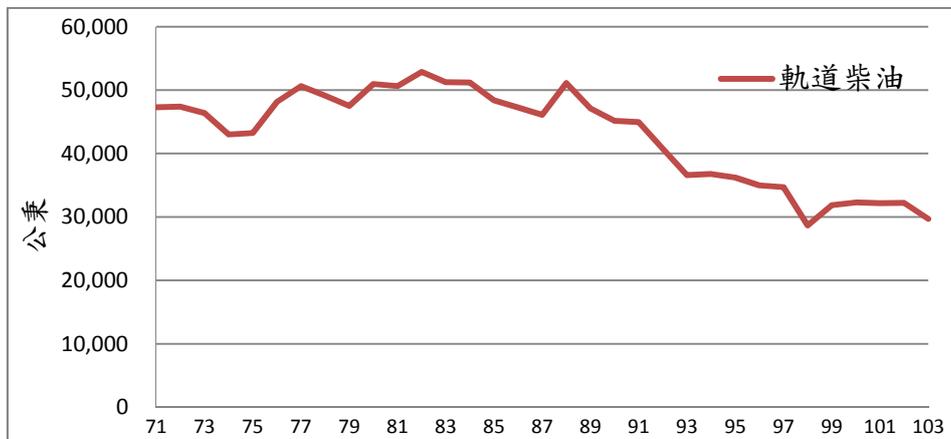


圖 4.4 軌道柴油消費概況

國內航空燃油、水運燃油、柴油消費概況繪製如圖 4.5。首先在國內空運方面，受私人運具、國道客運、臺鐵與高鐵等城際運具競爭下，航空旅運量急遽萎縮，國內航空燃油消耗量自民 85 年後呈現逐年下降，並於民 97 年後下降趨緩持平，於約 6 萬公秉左右微幅波動。國內水運能源類別可區分水運燃油與柴油兩部分(參見圖 4.5)，其中水運柴油多用於中小型船舶，故常見於漁船；水運燃油自 73 年大幅上升，其後緩升至民 95 年後，消耗量則逐步下滑；水運柴油於民 85 年增長至民 90 年到高點，惟其後恢復至接近民 76 年至民 84 年水準，並於 10 萬公秉左右微幅波動。

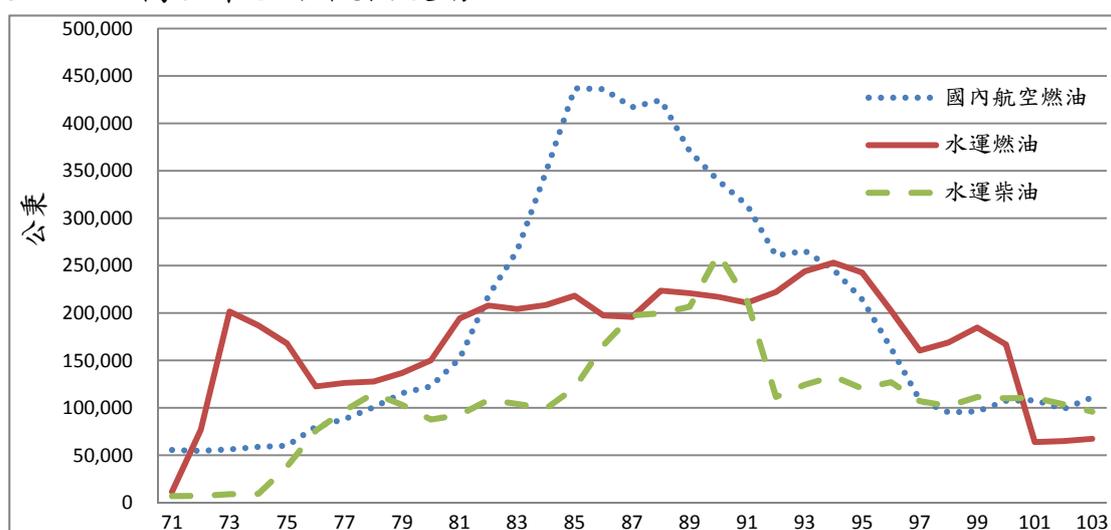


圖 4.5 國內航空燃油、水運燃油與柴油消費概況

國際海空運消費概況繪製如圖 4.6。國內航空方面，自民國 71 年以來，我國人民生活水準提高刺激國民對外觀光需求、加以國內對外國與中國大陸公商務往來更加密切，以及出口高價值與高科技產品，前揭因素對我國國際航空客貨運量有顯著提升，是以國際航空燃油消耗量成長相當迅速，民 103 年已較民 71 年成長幅度達 6 倍以上。國際海運能源類別區分為海運燃油、柴油，而主要消耗類別為海運燃油，海運柴油多用於船舶機械使用為輔助性質燃料，國際海運能源消耗趨勢略與歷年整體我國港埠貨運與貨櫃吞吐競爭力有所關聯，於民 88 年達到頂端，其後因中國大陸沿岸鄰近港口競爭下，減少商用船舶停靠與購置燃料需求。

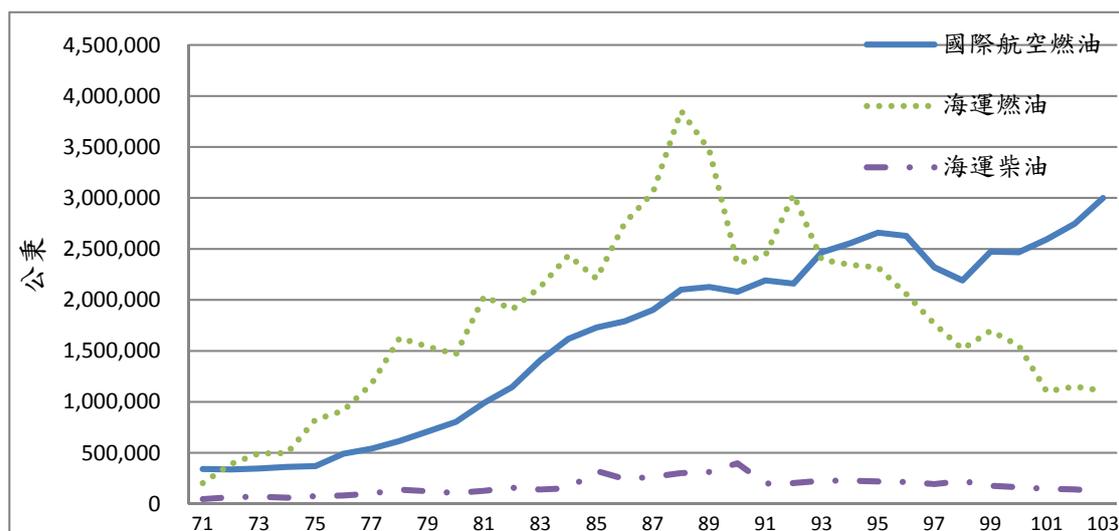


圖 4.6 國際航空燃油、海運燃油與柴油消費概況

4.3 相關分析

表 4.1 茲將前述運輸部門 11 項能源消費數量作一相關分析，初步探討未考量其它影響因素前，各能源別之消長關係，而表 4.1 相關係數計算結果，係數越高表示直行相交兩變數之間關係越高，係數正負號則表示兩變數間之正負向關係。再者本研究按運輸系統營運特性將軌道與公路系統歸類為陸路運輸、國內海空運與國際海空運等 3 部門作相關係數之討論。因此，在純粹考量能源消費量消長關係下，可大致觀察相同部門內兩能源別的依存關係。

首先在陸路運輸部門，公路運輸系統主要能源別之車用汽油與公路柴油之關聯係數為 0.968 表示兩者有強烈正向關係，結果表示研究分析期間內車用汽油與公路柴油成長趨勢一致，而軌道電力則與軌道柴油兩者關係係數為-0.903 有強烈負向關係，表示分析期間內軌道電力與軌道柴油消耗成長趨勢相左。液化石油氣雖分別與軌道電力、軌道柴油等軌道能源有強烈正向、負向關係，但非公路系統主要能源，分析結果僅作參考。

其次，在國內水運、空運部門方面，國內空運與水運相關係數界於 0.62~0.76 呈現正向關係，惟國內海空運部門成長趨勢彼此間關係不算高，尚不如其與國際海運燃油與海運柴油之關係，惟就無其他影響變數控制下，較難解讀跨部門間關係。在國際海空運部門，海運燃

油與海運柴油兩者有較明顯相依關係，關係係數為 0.810，表示分析期間內兩者之消長趨勢似有一致性。最後，值得注意的是，國際航空燃油消耗趨勢與國內公路系統能源消耗成長趨勢有一致性。

表 4.1 運輸部門各能源別之相關分析表

相關係數表	陸路運輸部門						國內海空運部門				國際海空運部門			
	液化石油氣	車用汽油	公路柴油	軌道電力	軌道柴油	國內航空燃油	水運燃油	水運柴油	國內航空燃油	國際航空燃油	海運燃油	海運柴油		
液化石油氣 Pearson. Sig. (2-tailed)	1.000	.655**	.791**	.970**	-.925**	-0.206	-0.146	0.130	.776**	-0.023	0.183			
車用汽油 Pearson. Sig. (2-tailed)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.418	0.469	0.000	0.901	0.307			
公路柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	.655**	1.000	.968**	.621**	-.543**	.519**	.418*	.705**	.963**	.682**	.727**			
軌道電力 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.000	-	0.000	0.000	0.001	0.002	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000			
軌道柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	.791**	.968**	1.000	.761**	-.686**	0.316	0.290	.575**	.980**	.511**	.571**			
國內航空燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.073	0.102	0.000	0.000	0.002	0.001			
水運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	.970**	.621**	.761**	1.000	-.903**	-0.229	-0.253	0.130	.758**	-0.057	0.142			
水運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.200	0.156	0.472	0.000	0.754	0.429			
國際航空燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	-.925**	-.543**	-.686**	-.903**	1.000	0.315	0.143	0.012	-.696**	0.147	-0.085			
海運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.000	0.001	0.000	0.000	--	1.000	.621**	.755**	.373*	0.415	0.638			
海運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	-0.206	.519**	0.316	-0.229	0.315	--	0.000	0.000	0.033	.871**	.800**			
水運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.250	0.002	0.073	0.200	0.074	0.621**	0.000	0.000	0.260	0.000	0.000			
水運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	-0.146	.418*	0.102	-0.253	0.143	1.000	1.000	.480**	0.260	.703**	.595**			
國際航空燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.418	0.015	0.102	0.156	0.427	0.000	--	0.005	0.144	0.000	0.000			
海運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.130	.705**	.575**	0.130	0.012	.755**	.480**	1.000	.582**	.823**	.871**			
海運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.469	0.000	0.000	0.472	0.947	0.000	0.005	--	0.000	0.000	0.000			
水運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	.776**	.963**	.980**	.758**	-.696**	.373*	0.260	.582**	1.000	.519**	.618**			
水運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.144	0.000	-	0.002	0.000			
國際航空燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	-0.023	.682**	.511**	-0.057	0.147	.871**	.703**	.823**	.519**	1.000	.810**			
海運燃油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.901	0.000	0.002	0.754	0.415	0.000	0.000	0.000	0.002	--	0.000			
海運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.183	.727**	.571**	0.142	-0.085	.800**	.595**	.871**	.618**	.810**	1.000			
海運柴油 Pearson. Sig. (2-tailed)	0.307	0.000	0.001	0.429	0.638	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	--			

4.4 運輸部門能耗影響變數

本研究主要目地為透過探討影響運輸部門能源消費需求因素，建立運輸部門能源消費預測模式，並推估未來消費趨勢。運輸部門整體能耗與我國經濟發展與運輸需求轉變息息相關(黃運貴、曹壽民，民 94 年)，爰此，配合分析期間(民國 71 年~103 年)運輸部門之能耗統計資料，本研究同步蒐集交通部與本所發布相關國內交通運輸經營概況統計，以及經濟部與主計總處發布社會經濟統計(實質國內生產 GDP 與原油價格)，其中，統計期間資料不足處則透過內外插方式補足。

表 4.2 係針對後續運輸部門能耗消費需求模式建立因素進行敘述統計如，並按其意義，區分為「經濟發展」、「運輸設施」、「汽機車持有」與各個「運輸部門經營概況」，目前所採用變數除「運輸設施」係本研究額外考量外，其餘採用之解釋變數係參酌本所之運輸部門能源需求預測之研究(民 92)、運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之應用(民 104)與黃銘崇、林成蔚、葉文健(民 99)之研究。此外，由於各統計變數因單位數量差異懸殊，少至個位數、多至百億，將影響模式邊際係數估計，故研究預先將各變數進行單位換算處理，俾利後續運輸部門能耗消費需求模式建立。至於有關能源消費需求模式內運輸部門能耗影響變數篩選準則，敬請參閱「5.4.2 模式建立」有更詳細之說明。

國家經濟成長將提高國家整體對能源消耗需求，尤其係以工業與製造業為發展重點之國家(吳芳瑜，民 101)，運輸部門為工業部門、服務業與農業部門等經濟活動之重要聯結，因此經濟成長也影響運輸部門之能耗需求增長。按表 4.2，本研究用以表示「經濟發展」對運輸部門能耗影響因素有 GDP、國際原油價格與經濟成長率，因此考量我國目前以工商業為主之產業結構，預期 GDP 與經濟成長率等因素成長應有帶動各能源別之需求，惟原油價格上漲將增加能源使用成本，故對各能源別將預期有負向影響(吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢，民 99)。以運輸需求觀點，整體運輸設施改善將提高國家整體可及性，而使得國民旅行更加便利，創造更多旅次，本研究係以全國道路長度代表全國整體運輸設施之改善。

另一方面，國家整體汽機車持有數增加將提高民眾對車輛使用之機會，而在本研究中係以汽機車登記數表示之。前揭 2 項影響因素皆是提高運輸部門能源消耗之直接影響因素，尤其針對私人運具旅次而言。

最後，在個別運輸部門經營概況上，本研究係按陸路運輸、軌道運輸、國內海空運與國際海空運等分別蒐集相關經營概況數據，其中將後續本研究運輸部門能耗消費需求模式實證有顯著影響效果之變數列於表 4.2。此外，研究預期各運輸系統部門服務之客貨需求量越高，將提供更多服務供給，而對自身系統部門能耗預期將會提高，爰本研究多蒐集各業之客貨運產出績效(載客人次、延人公里與延噸公里)，以及服務水準(班次數、延車公里)。另一方面，其它系統部門之經營概況越佳，也會對自身系統部門有競爭之影響，而減少其使用能耗。值得一提，在本研究國內水運實證過程中，由於與國內水運相關經營概況變數皆未獲實證(例如：國內貨運量、裝卸貨物噸數、進出港船舶數與船舶總噸位數等)，故未列於該統計表中。

表 4.2 運輸部門能耗影響變數統計

估計變數 【補充說明】	單位	平均值	標準差	最大值	最小值
經濟發展					
GDP 【實質】	千萬美元	0.84	0.41	1.55	0.24
國際原油價格	百美元/桶	1.13	0.09	1.34	1.03
經濟成長率	%	6.00	3.00	13.00	-2.00
運輸設施					
全國道路長度	萬公里	3.21	0.80	4.25	1.75
汽機車持有					
汽機車登記數 【汽車與機車】	百萬輛	15.02	5.51	22.73	6.05
公路運輸經營概況					
汽車客運(延人公里) 【市區公車與公路汽車 客運】	十億人公里	19.49	5.37	30.67	14.25
公路貨運(延噸公里)	十億噸公里	192.54	95.69	384.74	87.27
公路貨運(噸數)	百萬公噸	394.10	166.61	653.27	179.87
軌道運輸經營概況					
高鐵客運(延車公里)	千萬延車公里	744.80	186.88	923.52	352.02
臺鐵列車(班次數)	十萬車次	4.08	0.38	4.88	3.62
臺鐵貨運(噸數)	千萬公噸	14.89	3.28	19.78	9.58
城際鐵路列車(延車公里) 【臺鐵與高鐵】	千萬延車公里	38.85	3.62	47.83	35.17
捷運旅客(人次)	億人次	3.78	2.20	7.41	0.11
國內空運經營概況					
國內班機飛行架次	千個起降班次	2.71	1.56	5.96	1.01
國際海空運經營概況					
國際商港船舶(艘次) 【基隆、花蓮、臺北、臺 中、高雄與安平等主要國 際商港統計】	萬艘次	6.07	1.68	8.28	3.25
國際航空客運(人次)	千萬人次	1.67	0.77	3.31	0.42
國際航空貨運(噸數)	百萬公噸	1.14	0.71	2,34	0.20

第五章 能源消費模式估計結果

本節茲就研究前述所提之模式理論，利用 GUASS 軟體透過最大概似法，自行撰寫概似函數程式，加以估計之。茲說明如后：

5.1 運輸部門能源消費成長趨勢模式

本研究係以前述多變量迴歸模式建立運輸部門能源消費成長趨勢模式，旨在設法建立各能源別歷史年能耗趨勢，並據此延伸至目標年，俾分析未來年運輸部門能源消費成長趨勢。表 5.1 至 5.3 分別為研究消費成長趨勢模式之推估結果，有關模式建立之準則與估計結果說明如下。

5.1.1 模式建立

為確立模式結果之代表性，運輸部門能源消費成長模式建立原則說明如下：

- 一、理想上，倘所蒐集能耗資料分析期間夠長，樣本數充足，本研究能源消費成長趨勢模式應將運輸部門 10 項能源別全部納入，共同建立統一解釋模式，惟受限本研究分析期間數目(民國 71 年~103 年)。因此，本研究預先以運輸系統特性，以及各運輸系統能源消耗占運輸部門重要性，自行將 10 種能源別分別歸類於研究所命名之陸路運輸部門、國內海空運部門與國際海空運等 3 個主要部門。
- 二、因考量同部門之能源消費單位差異，各部門模式建立需透過估計單位處理，以避免估計係數過大或小，難以比較，並將估計單位處理方式同步列於各部門模式推估結果中參照。
- 三、承前所述，由於各能源別能源消費消長趨勢本質上之差異，以至於各能源別估計型式應有所差異，故本研究也將各部門不同能源別所嘗試之最佳估計式列結果於各部門推估結果表說明。
- 四、另為確認各能源別常用之估計式確能符於統計上之檢定，故各估計係數之顯著性律定應達到信心水準 5%以上(即 $|t| > 1.96$)

之估計結果才列入本研究能源消費成長趨勢模式考慮。

5.1.2 估計結果

綜觀本研究所建立之 3 個部門能源消費成長趨勢模式推估結果，有下列 4 項實證發現：

- 一、觀察各部門推估模式整體配適度，可解讀為純粹透過不同能源別消費量趨勢關係之關聯性。從本研究實證結果可知，國際海空運部門整體推估結果最佳，整體配適度 ρ^2 達0.781(即78.1%)，其次則為陸路運輸部門之0.393(即39.3%)，國內水運、空運部門的0.149(即14.9%)。由此可知，本研究共同將國際海、空運所使用能源(海運柴油、燃油與國際航空燃油)歸類並命名之國際海空部門，其部門內能源消長趨勢關聯性高，故其所建立能源消費成長趨勢模式，解釋效果最佳。國內水運、空運使用能源(水運柴油、燃油與國內航空燃油)所共同建立模式解釋效果低，顯示國內水運、空運部門之能源別消費趨勢彼此間關聯性不高，此有可能為能源平衡表中國內空運能源消費量係以客運使用為主，國內水運則以貨運為主(黃運貴、曹壽民，民94年)，因此國內水運、空運發展狀況有所差異，爰本研究自行將國內水運柴油、燃油與國內航空燃油等非陸路運輸系統使用能源別共同建立模式有欠妥適。
- 二、就各部門模式下各能源別預測績效評估結果，請參考各部門推估結果內 MAPE 與 RMSE 之計算結果，重點說明如下。
 - (一) MAPE小於10%之能源別為公路運輸柴油，11%~25%為公路運輸車用汽油、軌道運輸電力、柴油、國際海運燃油，以及國際航空燃油；26%~50%為國內水運柴油、國內航空燃油與國際海運柴油；大於51%為公路運輸液化石油氣、與國內水運燃油。另一方面，各部門計算之RMSE結果(在同部門下RMSE越低，預測能力越好)也與MAPE一致，支撐MAPE評估結果。
 - (二) 整體而言，本研究能源消費成長趨勢模式對陸路運輸之能源別(公路運輸液化石油氣除外)掌握較佳，其次為國際海空運能源別，國內海空運能源別趨勢最難掌握。另外就各別能源別而言，公路運輸液化石油氣與國內海運燃油之能

源消費趨勢結果掌握差。

表 5.1 陸路運輸部門推估結果

估計係數	公路運輸						軌道運輸			
	液化石油氣		車用汽油		柴油		電力		柴油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值	係數	t值	係數	t值
β_0	-0.441	-4.10	0.662	38.25	0.000	-	0.131	4.37	0.446	39.16
β_1	0.000	-	0.310	15.76	0.282	69.18	0.000	-	-0.062	-5.09
β_2	0.571	6.65	0.000	-	0.405	23.63	0.103	17.36	0.000	-
β_3	-0.013	-1.87	0.000	-	0.000	-	0.000	-	0.000	-
相關係數										
液化石油氣	1.000		-		-		-		-	
車用汽油	-0.280		1.000		-		-		-	
公路柴油	-0.023		0.711		1.000		-		-	
電力	0.839		-0.429		-0.333		1.000		-	
鐵路柴油	-0.828		-0.007		-0.170		-0.575		1.000	
估計單位	十萬公乘		千萬公乘		千萬公乘		十億度		十萬公乘	
估計型式	公式 3.8		公式 3.12		公式 3.9		公式 3.7		公式 3.12	
模式績效										
MAPE(%)	61.356		16.756		5.216		22.858		13.411	
RMSE	0.270		0.093		0.018		0.111		0.062	
$\rho^2(K)$										0.393 (11)
N(樣本數)										33

三、另一方面，綜整此 3 部門各能源別估計型式之實證結果，有以下 4 點發現：

- (一) 各能源別解釋能力較差估計形式皆是 3 次項式(公式 3.8)之能源別(公路運輸液化石油氣)，表示該能源別消費未來成長趨勢在短期內歷經先升後降又升、或是先降後升又降等較難以掌握之走向，屬 3 次項式能源別消費成長趨勢，故幾乎無法掌握其後續成長趨勢。
- (二) 研究實證結果為冪次式(公式 3.9)與對數式(公式 3.12)之能源別(公路運輸車用汽油、柴油、軌道運輸柴油與國際航空燃油)，呈現未來為消費邊際量遞減之成長趨勢，是以成長趨勢有漸緩漸進之走向，後續成長空間有限。
- (三) 軌道運輸電力實證結果為 2 次項式(公式 3.7)能源別，惟因研究設定其 1 次項為 0，故其估計結果將無法判斷最高與最低之頂點，故其成長趨勢將介於線性模式(公式 3.6)與指數

模式(公式3.10與公式3.11)之推估結果，消費邊際量有類似指數模式，有隨年期遞增之成長趨勢，但消費邊際量成長幅度不如指數模式迅速，目前實證結果可解讀為近年臺北捷運新闢路網、高速鐵路與高雄捷運等軌道系統營運，以及臺鐵電氣化等運輸部門電氣化措施，大幅影響軌道系統電力使用，故其能耗成長呈現消費邊際量隨期間延長，而有持續遞增之趨勢。另一方面，陸續新啟用捷運系統(桃園捷運與臺中捷運)勢必加劇電力消耗量之成長速度，故預期軌道運輸電力消耗量將隨前揭軌道系統啟用後大幅增加。

表 5.2 國內水運、空運部門推估結果

估計係數	國內水運				國內航空	
	柴油		燃油		燃油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值
β_0	0.000	-	0.000	-	0.000	-
β_1	0.188	10.08	0.201	12.43	0.389	10.48
β_2	-0.834	-7.40	2.006	4.29	0.694	6.97
相關係數						
柴油	1.000		-		-	
燃料油	-0.453		1.000		-	
航空燃油	-0.056		-0.037		1.000	
估計單位	百萬公秉		百萬公秉		百萬公秉	
估計型式	公式 3.14		公式 3.14		公式 3.15	
模式績效						
MAPE(%)	39.905		54.628		46.816	
RMSE	0.0321		0.0507		0.0746	
$\rho^2_M(K)$						0.149(6)
N(樣本數)						33

(四) 國內水運、空運部門與國際海運等使用能源別，歷史發展趨勢有達高點後逐漸下滑之趨勢，似可透過2次項式(公式3.7)捕捉其未來成長趨勢，惟以傳統之2次項式探討未來年能源消費成長趨勢，雖能捕捉頂點，但將有估算目標年為負值之不合理結果。因此，在考量其與國內水運、國內航空與國際海運之產業發展息息相關(尹相隆、黃運貴、楊智凱、蔡茶霓，民99；王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，民99)，而假定前揭產業未來將有另一波新的發展契機下，將其改以Gaussian與Lorentzian等具長周期之震幅擺盪實

證關係式，隱含前揭能源別將隨著我國國內水運、空運與國際海運之產業復甦，邁向下一個消費高點，其後恐將再遭遇產業之發展困窘，而減少能源使用。

表 5.3 國際海空運部門推估結果

估計係數	國際海運				國際航空	
	柴油		燃油		燃油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值
β_0	0.000	-	0.000	-	0.000	-
β_1	2.887	12.87	2.814	21.68	1.103	18.90
β_2	0.976	7.22	0.921	15.30	0.814	13.06
β_3	0.000	-	0.000	-	0.000	-
相關係數						
海運柴油	1.000		-		-	
海運燃料油	0.084		1.000		-	
航空燃油	-0.050		0.323		1.000	
估計單位	百萬公秉		十萬公秉		百萬公秉	
估計型式	公式 3.14		公式 3.15		公式 3.9	
模式績效						
MAPE(%)	22.633		16.085		19.516	
RMSE	0.338		0.395		0.218	
$\rho^2_M(K)$						0.781(6)
N(樣本數)						33

四、表 4.1 相關係數結果為各能源別彼此兩兩相關之關聯性探討，惟該結果忽略同時受其它能源別關聯性之影響，因此易高估兩能源別間之關聯性。本研究以多變量迴歸模式建立消費成長趨勢模式，亦可計算隸屬於同部門內各能源別之相關係數，並該結果已將同部門間各能源別交互影響納入，茲就各部門相關係數計算結果分述如后：

(一) 首先就陸路運輸部門推估結果而言，液化石油氣分別與軌道運輸電力(0.839)與柴油(-0.828)有相當高關聯性，惟陸路運輸部門模式對液化石油氣解釋能力差，且該能源別消費趨勢不穩定，故其未來與軌道運輸能源走向尚待觀察。車用汽油與公路柴油有正向之關聯性係數，實證結果為(0.711)，表示2能源的消長趨勢有高度一致性。

(二) 其次，就軌道運輸部分，電力與柴油兩能源別計算之關聯係數為(-0.575)，顯示有相當程度負向關聯。在模式考量

陸路運輸部門其它能源別關係後，軌道運輸兩者能源別仍能實證消耗成長趨勢相異之現象，而此相關係數要相關分析結果低，顯示相關係數結果確有忽略能耗間消長關聯性之影響。

- (三) 國內水運、空運部門推估結果方面，國內水運柴油與燃料油之相關係數為-0.453，係部門內關聯性最高者，惟呈現負相關，另國內航空燃油與海運柴油與燃料油幾乎無關，前項實證結果與表4-1相關分析內容均有出入。實證結果指出國內航空與水運能源消費趨勢確無關，國內水運柴油與燃料油間消長關係亦不一致。
- (四) 最後，在國際海空運部門推估結果，與前述相關分析一致結果為國際航空燃油與國際海運燃油，相關係數為0.323，兩者消長關係有正向與中度關聯。

5.2 運輸部門能源消費需求模式

本研究係以多變量自相關移動平均模式建立運輸部門能源消費需求模式，並進一步探討影響運輸部門各能源別消耗之影響因素，並同時捕捉各能源別時間序列關係；表 5.4 至 5.7 分別為各運輸部門能源消費需求模式推估結果，有關模式建立準則與估計結果說明如下。

5.2.1 模式建立

為確立所建立能源消費需求模式結果之代表性，運輸部門能源消費需求模式建立原則說明如下：

- 一、如同運輸部門能源消費成長模式構建之限制，由於本研究蒐集能耗資料分析期間有限，尚無法將運輸部門 11 項能源別全部納入考量。再者，本研究建立能源消費需求模式，尚需納入相關解釋變數，以及時間序列係數，爰此本研究進一步將陸路運輸部門拆分為公路與軌道運輸部門，俾減少各部門所涵蓋之能源別。
- 二、顧及同部門間能源消費量與估計變數單位上差異，是以各部門模式內能源消費量，以及其估計變數皆經由適當處理。各能源消費量之單位處理同列於各部門模式推估結果中參照，估計變數處理結果可參照表 4.2。
- 三、由於各能源別消費需求特性並不相同，因此所納入估計變數與所考量時間序列相關係數皆會有所差異，惟為確認各能源別常用之估計式確能符於統計上之檢定，是以各估計變數（含時間序列相關係數）除有特別說明，大致均符合信心水準設定於 10% (即 $|t| > 1.645$) 之估計結果才列入本研究考慮。前項信心水準之設定之考量係因部分估計變數顯著性與解釋效果易受其他變數相互影響，故信心水準略較能源消費成長模式放寬。
- 四、此外，在本研究中係以誤試法針對蒐集各部門影響變數，故各能源別之實證變數較難有一致性估計單位，此隱含各運輸系統能耗先天上差異，以及原始各運輸系統統計資料涵蓋面向（國內海運能耗多統計自貨運、國內海運能耗多統計自客運）。
- 五、為能精確捕捉估計變數與能源消費需求量之關係，各部門之估

計變數除了線性關係，同時也嘗試自然對數 (Natural Log)、指數 (Exponential) 與二次項 (Quadratic) 等指定效果，惟在實際各能源別估計實證工作上，係以線性與自然對數之解釋效果最佳。

5.2.2 估計結果

綜合本研究 4 個部門能源消費需求模式推估結果，有下列 6 項實證發現：

一、觀察各部門推估模式整體配適度，可判斷本研究能源需求消費模式之部門別分類妥適性。從本研究實證結果可知，除國外海空運部門模式整體配適能力僅有 41% 左右，解釋效果稍差外，其餘公路運輸、軌道運輸與國內海空運需求模式實證結果之整體配適度 ρ^2 皆達 0.60(即 60%) 以上，解釋效果均佳，並以軌道運輸部門模式效果最佳，已趨近 0.70(70%)。

二、有關各部門模式能源別推估結果之優劣，請參考各部門模式能源別之 MAPE 與 RMSE 之計算結果，謹說明如后：

(一) 預測誤差小於 10% 之能源別為公路運輸車用汽油、柴油、軌道運輸之電力、柴油、國際海運柴油，以及國際航空燃油；11%~20% 為公路運輸液化石油氣、國內航空燃油、以及國際海運燃油；21%~50% 為國內水運燃油、柴油；其中，液化石油氣之正式統計係自 1995 年(民 84 年)開始，顧及推估樣本數，因此，本研究另行以外插方式推估 1991 年(民 80 年)至 1994 年(民 83 年)之能耗值，並考量官方統計值自 2001 年(民 90 年)方才有較穩定成長趨勢，爰其 MAPE 計算基準係以該年為計算基準。

(二) 由此可知，本研究能源消費需求模式在陸路運輸部門能源別(公路運輸、軌道運輸)與國際海空運部門解釋效果較佳，其次為國內航空運輸能源別，而在國內水運能源別之掌握程度較差。最後由各部門計算 RMSE 結果大致也與 MAPE 評估結果一致。

三、整體而言，比較運輸部門能源消費需求模式與運輸部門能源消費成長趨勢模式，需求模式之整體預測效果較佳。此部分原因

係因陸路運輸部門進一步再劃分為公路運輸與軌道運輸部門；另一方面，運輸部門能源消費需求模式除考慮相關估計變數，並也納入時間序列之 ARMA 誤差結構，而強化同部門能源別間之關聯性，同時也反映序列相關之影響，並且模式估計變數亦切實為影響運輸部門能源消耗之因素。

表 5.4 公路運輸部門推估結果

估計變數	液化石油氣		車用汽油		公路柴油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值
常數	-1.382	-3.59	-1.681	-1.33	-0.964	-2.15
經濟發展						
GPD	1.188	15.03	-	-	0.223	4.18
國際原油價格	0.742	2.34	-0.253	-4.09	-	-
經濟成長率(Ln.)	-0.644	-1.69	-	-	-	-
運輸設施/汽機車持有						
全國道路長度(Ln.)	-	-	0.430	4.14	-	-
汽機車登記數(Ln.)	-	-	0.243	3.78	0.058	2.02
軌道運輸部門經營						
軌道列車(臺鐵/高鐵)車行公里(Ln.)	-	-	-	-	-0.016	-2.34
捷運旅客人次數	-	-	-	-	-0.125	-2.60
公路運輸部門經營						
公路汽車客運延人公里(Ln.)	-	-	-0.075	-1.98	-	-
公路貨運延噸公里(Ln.)	-	-	-	-	0.048	2.88
時間序列相關係數						
AR(1)	-	-	0.846	13.80	0.420	2.42
MR(1)	0.872	10.01	-	-	-	-
相關係數						
液化石油氣	1.000		-		-	
車用汽油	-0.681		1.000		-	
公路柴油	-0.067		0.360		1.000	
估計單位	十萬公秉		千萬公秉		千萬公秉	
模式績效						
MAPE(%)	19.177 ^a		6.185		1.181	
RMSE	0.095		0.044		0.004	
$\rho^2(K)$						0.668(18)
N(樣本數)						33
備註	a：僅計算2001年~2014年之樣本。					

四、以下為本研究對各能源別所納入「經濟發展」、「運輸設施」、「汽機車持有」與「運輸部門經營概況」等估計變數進行說明：

- (一) 首先，本研究需予以提醒為各估計變數之係數因涉及估計單位轉換問題，因此既使為同部門之估計係數結果，亦不宜直接予以比較，僅能對其關係符號進行說明，而有關各解釋變數係數對能耗之影響將留於後續彈性計算結果進一步說明。
- (二) 液化石油氣部分，由於政府鼓勵，目前大多數使用液化石油氣車輛，多為營業車輛，特別為計程車。需求模式實證結果顯示LPG幾乎與經濟發展相關變項(GDP、原油價格與經濟成長率)有關。其中，值得注意為原油價格上漲時，其需求量反而上升，表示其消長趨勢確實有替代車用汽油之功能。
- (三) 在車用汽油實證結果方面，有下列2點發現：
1. 最直接關聯經濟發展因素為原油價格，當原油價格上漲時，影響國內油價，提高開車使用成本，減少民眾開車機會，以及對車用汽油之需求量，此與本所(104)在公路汽油實證結果相同。運輸設施方面，全國道路長度增加，將提高汽機車可及性，正向影響車用汽油之需求，另因變數指定為對數關係，故道路長度增加對提高車用汽油需求量邊際量將逐漸遞減。此外，有關本研究採用全國道路長度變數探討與能耗關係，係本研究相較以往研究不同考量處，該結果與Shahbaz et al. (2015)對突尼西亞運輸部門能耗實證有相同發現，不過在其使用之解釋變數，表示係以每人享有之道路設施面積(每人每平方公尺)。
 2. 除此之外，汽機車持有(汽機車登記數)增加，將提高汽機車使用機會與需求，並呈對數關係影響車用汽油需求量。惟在公路運輸部門內運輸業經營因素中，公路汽車客運延人公里增加，則有助降低車用汽油需求，而此也隱含車用汽油需求多為私人運具所消耗。
- (四) 公路柴油結果部分，有以下3點發現，說明如后：
1. GDP為正向影響且獲得實證，此可能因公路柴油多為營業車輛使用，因此GDP增加時，提高整體產業需求，進而增加營業車輛使用需要，特別是公路貨運，故正向影響公路

柴油之需求，此與本所(104)在公路柴油實證結果相同。另一方面，與車用汽油相同之處，汽機車持有(汽機車登記數)增加會提高其能源需求，惟其邊際增量將逐漸遞減。

2. 其次，公路柴油實證結果中也考量軌道運輸部門經營概況統計，以反映軌道運輸對公路運輸之競爭，並同時影響公路運輸能源需求，研究實證結果發現列車(高鐵/臺鐵)車行公里與捷運旅客人次數增加時，將降低柴油需求，軌道運輸經營概況確實會影公路柴油之需求，此也與本所(104)在公路柴油實證結果有類似之發現。
3. 另外，在公路運輸部門內經營概況之實證結果，公路貨運延噸公里可獲得實證，惟客運延人公里因不具顯著性而剔除，表示公路貨運營運相較公路汽車客運對公路柴油需求影響大，此可能因公路汽車客運之替代方式多，尤其係軌道運輸之競爭，故分散客運量對公路系統服務需求，間接影響公路柴油之需求量。

(五) 軌道運輸電力與柴油部分，有下列2點發現：

1. 軌道運輸電力需求與經濟發展因素有關，如前所述，此因GDP成長正向影響，提高整體產業需求，進而正向影響整體運輸服務需求，以及連帶電力能源需求，另此項結果與本所(104)在軌道電力有相同之發現。此外，代表長短程軌道運輸部門服務供給與營運績效之高鐵(延車公里)、臺鐵(班次數)與捷運(旅客人次數)等相關變數對電力使用有正向影響，表示軌道運輸服務水準(班次越密集、車公里越多)與營運績效(載客人數越多)越佳，將提高軌道運輸對電力需求。惟將代表公路運輸部門經營之公路貨運噸數納入，可發現該變數負向影響軌道運輸電力需求，顯示公路貨運服務績效提升將減少軌道運輸之能源使用。
2. 最後，在軌道柴油部分，目前軌道運輸使用柴油僅有臺鐵，並臺鐵貨運噸數實證有正向影響柴油需求，此因臺鐵多數高級列車已汰換電力趨動機車頭，並僅提供客運使用，而保留柴油列車大多提供為貨運使用，故臺鐵貨運營運績效軌道運輸柴油需求息息相關。

表 5.5 軌道運輸部門推估結果

估計變數 (指定型式/單位)	電力		柴油	
	係數	t值	係數	t值
常數	-0.081	-0.62	0.276	4.47
經濟發展				
GPD	0.239	3.69	-	-
公路運輸部門經營				
公路貨運噸數	-0.123	-1.84		
軌道運輸部門經營				
高鐵延人公里	0.315	21.86	-	-
臺鐵列車班次數	0.051	2.11	-	-
捷運旅客人次數	0.381	3.89	-	-
臺鐵貨運噸數	-	-	0.135	4.06
時間序列相關係數				
AR(1)	0.555	2.90	0.799	6.31
相關係數				
電力		1.000		-
柴油		-0.215		1.000
估計單位	十億度		十萬公乘	
模式績效				
MAPE(%)		2.408		4.638
RMSE		0.011		0.025
$\rho^2(K)$			0.692(10)	
N(樣本數)				33

(六) 觀察國內水運、空運部門推估結果，有下列2點發現：

1. 國內水運柴油、燃油之實證因素皆與經濟發展GDP有正向關聯，並可發現陸路運輸服務對國內水運貨運服務競爭之影響，城際鐵路列車行駛公里負向影響國內水運柴油、燃油之能耗需求，並公路貨運延噸公里會影響水運柴油之能耗，前揭推估結果應係能源局對國內水運能源消費統計多源自國內水運貨運用途之統計。
2. 國內航空燃油與國內水運類似，其實證結果同時包括公路汽車客運延人公里與軌道列車車行公里等變數。國內航空能耗需求亦受國內陸路運輸經營競爭影響大，尤其係航空客運，因為能源平衡表內國內空運能源消費量則全歸屬於國內空運客運運輸。最後，屬空運部門運輸業經營概況之國內班機飛行架次指定至國內航空燃油別有顯著之影響效果，並與本所(104年)在航空燃油實證結果一致，表示

飛行架次越多，將增加國內航空燃油需求量。

表 5.6 國內水運、空運部門推估結果

估計變數 (指定型式/單位)	國內水運				國內航空	
	柴油		燃油		燃油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值
常數	0.219	2.68	0.439	3.13	0.731	4.07
經濟發展						
GPD(Ln.)	0.152	5.65	0.151	4.45	-	-
陸路運輸部門經營						
公路貨運延噸公里(Ln.)	-0.056	-1.70	-	-	-	-
公路汽車客運延人公里(Ln.)	-	-	-	-	-0.190	-4.21
軌道列車(臺鐵/高鐵)車行公里(Ln.)	-0.037	-3.26	-0.059	-2.25	-0.027	-2.81
空運部門運輸經營						
國內班機飛行架次	-	-	-	-	0.050	6.62
時間序列相關係數						
AR(1)	0.350	2.02	0.817	4.48	-	-
MA(1)	0.830	7.65	-	-	0.464	3.85
相關係數						
柴油		1.000		-		-
燃料油		-0.144		1.000		-
航空燃油		0.282		-0.058		1.000
估計單位	百萬公秉		百萬公秉		百萬公秉	
模式績效						
MAPE(%)	40.851		31.193		15.623	
RMSE	0.025		0.032		0.012	
$\rho^2(K)$						0.648(15)
N(樣本數)						33

(七) 國際海空運推估結果方面，歸納以下2點發現：

1. 國內相關經濟發展與其他部門運輸經營概況等相關變數，皆無法於國際海運部門需求模式獲得實證，幾經嘗試僅有與海運部門經營概況相關之港口船舶艘次數可獲得實證，船舶進出港口艘次數越多，相關其所需柴油與燃油需求量增加。
2. 國際空運與國際海運實證結果相同，國內相關經濟發展與其他部門運輸經營概況等變數均無法於國際航空燃油考量，惟國際航空燃油需求與該部門客運(航空客運人次)與

貨運(航空貨運噸數)經營概況皆有關聯，並可獲本研究實證。

五、至於各能源別所估計之時間序列相關係數部分，可觀察各部門能源需求消費量於時間延滯之關係，茲說明如后：

(一) 時間序列關係指定為AR(1)能源別，包括公路運輸車用汽油、柴油、軌道運輸電力、柴油、國內水運柴油、燃油、國際海運柴油等7種，表示前揭能源別各自消費量於時間上有落後1期之關係，即前期消費量(y_{t-1})與當期消費量(y_t)密切相關。因此，透過前揭能源別前期消費量去預估當期消費量將相當接近真值。

(二) 另一方面，時間序列關係指定為MA(1)之能源別有公路運輸液化石油氣、國內水運柴油、國內航空燃油、國際海運燃油與國際航空燃油等5種，此表示前列能源別各自消費量誤差於時間上有延遲1期關係，即前期消費量與估計均值差額(ε_{t-1})與當期差額(ε_t)有所關連。因此，當期消費量誤差與前期消費量誤差存有一致變化趨勢，倘前期消費量之變化有遞增(減)情形時，當期消費量會有同步遞增(減)趨勢相當高。

六、本研究運輸部門能源消費需求模式估計結果，亦能計算隸屬同部門內各能源別之相關係數，而該估算結果除將相同部門內能源別交互影響納入，同時也考量各部門模式內相關解釋變數。值得注意的是，運輸部門能源需求模式與前述相關分析，以及能源消費成長趨勢模式所計算相關係數，因計算基礎不一致，因此3者結果僅能交互參照，並無法比較優劣與計算精確性。以下本研究再按各部門需求模式計算相關係數進行分述：

(一) 首先就陸路運輸部門結果進行說明，陸路運輸部門細分公路運輸與軌道運輸後，液化石油氣與車用汽油相關係數為(-0.681)，該結果要前述相關分析與能源消費成長趨勢模式推估結果凸顯，但車用汽油與公路柴油相關係數(0.361)變低。此外，軌道運輸部門推估結果，電力與柴油相關性結果也較低(-0.215)，但仍是負相關。

(二) 國內水運、空運相關係數計算結果要較前述相關分析與能

源消費成長趨勢模式推估結果更低，並係數符號與前述分析結果皆不一致，因此，國內水運、空運之能源別彼此應幾乎無關聯。

- (三) 有關國際海運柴油、燃油與航空燃油相關係數計算結果，比較前述相關分析與消費趨勢模式一致之推估結果為：國際航空燃油與國際海運燃油有中度之正相關、國際海運柴油與燃油有低度正向關聯。

表 5.7 國際海空運部門推估結果

估計變數 (指定型式/單位)	國際海運				國際航空	
	柴油		燃油		燃油	
	係數	t值	係數	t值	係數	t值
常數	0.000	0.05	-0.010	-0.28	0.048	4.03
國際海空運部門運輸經營						
港口船舶艘次(Ln.)	0.016	4.31	0.179	5.23	-	-
航空客運人次(Ln.)	-	-	-	-	0.041	2.41
航空貨運噸數	-	-	-	-	0.090	6.25
時間序列相關係數						
AR(1)	0.420	2.74	-	-	-	-
MA(1)	-	-	0.836	10.78	0.817	8.72
相關係數						
柴油	1.000		-		-	
燃油	0.360		1.000		-	
航空燃油	0.423		0.314		1.000	
估計單位	千萬公秉		千萬公秉		千萬公秉	
模式績效						
MAPE(%)	8.536		15.464		9.132	
RMSE	0.002		0.034		0.010	
$\rho^2(K)$						0.411(10)
N(樣本數)						33

第六章 結果應用與討論

本節將以前述推估模式進行運輸部門能源政策意涵之討論，並據此研提運輸部門能源消費未來發展情境，以及影響需求之關鍵因素。

6.1 能源消費趨勢分析

依據本研究所建立之能源消費成長趨勢模式推估結果，挑選 10 類運輸部門具代表性能源別(不含液化石油氣)，並按運輸系統分別繪圖說明運輸部門能耗消費趨勢與隱含可能發展情境(圖 6.1 至圖 6.4)。

- 一、綜觀下列 4 分析圖係從 1982 年(民 71 年)延伸至 2035 年(民 124 年)，而 2015 年(民 104)年至 2035 年(民 124 年)成長趨勢係從模式推估而得，惟其前提係假定各能源別消費趨勢與時間關係，與歷史年(民 71 年至民 103)消費趨勢有一致性，不致有結構上轉變。因此，在未來年社會、經濟與運輸需求與歷史年有相近成長趨勢，研究推估結果方可符於未來年能源消費趨勢。
- 二、此外，為比較說明同部門不同能源別消耗量，各能源別皆已按能源局「能源產品單位熱值表」轉換為公秉油當量。經轉換可知，公路運輸部門車用汽油分別於 2014 年(103 年)達 850 萬，並與 2035 年(民 124 年)推估近 1,026 萬；另同為公路運輸部分之公路柴油分別於 2014 年達 440 萬、2035 年推估近 546 萬，前揭結果均要其它同期其他能源別消耗量要高。因此，公路部門目前至未來仍是運輸部門主要能耗消費部門。此外，國際運輸部門之能耗亦不能小覷，國際海運燃油於 2014 年已達 118 萬，2035 年推估近 168 萬、國際航空燃油於 2014 年推已達 299 萬，2035 年推估近 382 萬，故其能耗需求僅次於公路運輸部門，惟國際運輸部門之能耗因涉及各國間分攤之問題，故現階段仍不列於我國管制之內。
- 三、本研究以下再針對各部門結果分述如下：
 - (一) 依公路運輸部門能源消費成長趨勢模式推估結果知，車用汽油與公路柴油推估績效較佳，故挑選其做為公路運輸部門代表性能源別，並將其轉換為公秉油當量後之推估結果

如圖6.1。由該圖知，2015年(民104年)起後2能源別之耗用量將呈現成長趨緩趨勢，並且車用汽油將於2031年(民120年)後突破1,000萬公秉油當量。公路柴油將於2025年(民114年)突破500萬公秉油當量。參酌公路部門能源需求模式結果，研究認為此結果在未來年度原油價格與歷史年平均價格接近，國內GDP仍持續成長，並汽機車登記數成長趨緩(甚至減少)，以及相關道路設施仍持續新建與改善趨勢下，相信係公路運輸部門能耗極有可能之發展情勢。

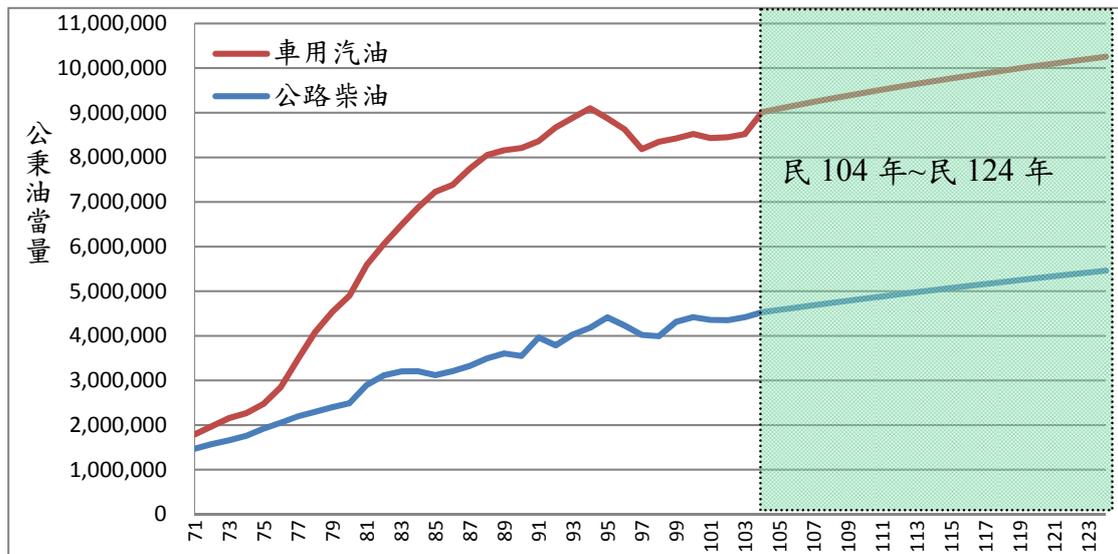


圖 6.1 公路運輸部門能源消費趨勢

(二) 有關軌道運輸部門推估結果如圖6.2，另有關其成長趨勢討論如下：

1. 檢視軌道運輸歷年電力成長趨勢，臺北捷運通車前(民國84年)階段之年均成長率為2.42%，而民國85年度電力成長率達33.65%。臺北捷運通車後(民國86年)至高鐵(民國96年)與高捷通車前(民國97年)之年均成長率為11.29%，而民國96年與民國97年度之年均成長率分別達到44.35%與32.45%，其後迄今之年均成長率有近4%之成長。因此，近10年度歷史能耗趨勢影響軌道趨勢線之延伸趨勢，斜率隨年期成長而成長。
2. 從圖6.3推估結果顯示鐵路電力耗用自2015年(民104年)起將迅速上升，並將於2026年(民115年)突破50萬公秉油當量、2030年(民119年)達到60.1萬公秉油當量、目標年2035

年(民124年)達到72.3萬公秉油當量，就2030年之推估結果與本所提送「2015年全國能源會議」議題背景資訊有關運輸部門電力需求純粹軌道運輸部門之預測結果(54.8萬公秉油當量)約高9.61%，而兩者推估基礎之差異，在於該研究推估基礎歷史年期為2008年(民97年)至2014年(民103年)，故預測成長趨勢較平緩。另方面，軌道柴油能耗則呈現有逐漸減緩之趨勢，惟尚不至於完全被電力取代。

3. 參酌鐵路部門能源需求模式分析結果暨本所提送「2015年全國能源會議」議題背景說明資料結論，軌道運輸電力趨勢係假設於國內GDP持續成長(2011~2025年間年平均成長率假定為3.14%¹)，並相關軌道建設上，西部走廊高速鐵路完成苗栗站、彰化站、雲林站與南港站增設後(預計於民國104年~106年)，且持續增加高鐵列車服務能量。此外，臺鐵完成全線環島鐵路電氣化，以及完成東部地區增設第3軌與第4軌(預計於民國115年)。同時都市地區，臺北環狀線、桃園與臺中等都市軌道運輸系統(含相關輕軌系統)如期建設營運後(預計於民國110年)，方才可能達成之情境。

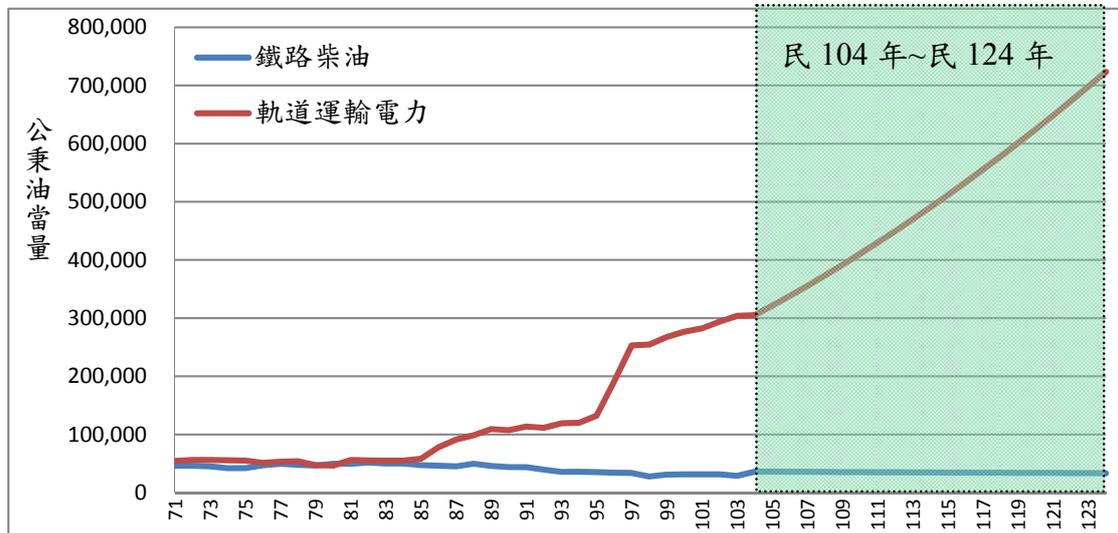


圖 6.2 軌道運輸部門能源消費趨勢

- (三) 國內水運、空運部門推估結果如圖6.3所示，國內水運、空運歷史年消長趨勢波動大，並有達消費高點而後消耗量

¹「2015年全國能源會議」會議全體大會資料之「引言報告『核心議題(一)』簡報第27頁」。

急遽下滑之現象。參酌國內水運、空運部門能源需求模式結果，其受陸路運輸部門客貨運服務競爭影響大，尤其為軌道運輸。爰此，本研究樂觀假設近年為因應國內港口與機場設施閒置，而開始重視國內水運、空運扮演之角色，調整國內水運、空運發展策略。因此，研究建立模式推估時已假定其能耗消長有長周期發展趨勢，並因假定國內水運、空運經營績效將於預測目標年期間之2025年(民114)達到高峰，故連帶使其3能源別之能耗可於2025年(民114)達消費高峰，惟假定高峰量應不高於歷史年發生量。綜合而言，目前國內水運與空運能耗推估趨勢，係本研究對其所屬產業未來將創造下一波產業高峰前提下所作之樂觀推估。

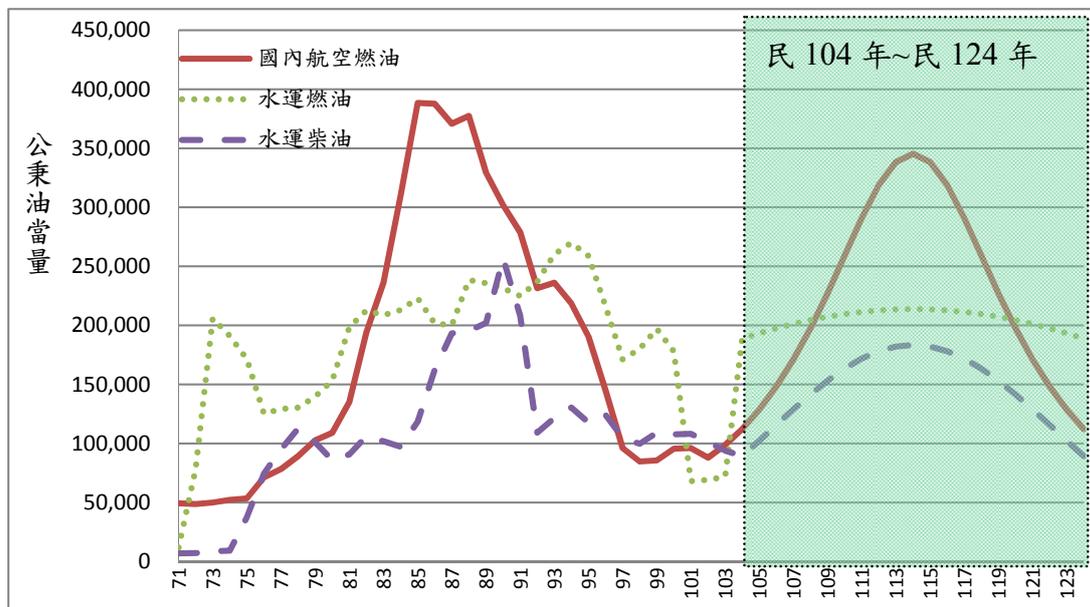


圖 6.3 國內水運、空運部門能源消費趨勢

(四) 國際海空運部門部分如圖6.4，國際海運選擇以海運柴油與海運燃油等模式推估績效尚可之能源別進行分析。國際海運能耗發展趨勢與國內水運、空運歷史年消長趨勢相仿，受其它國家國際港埠競爭激烈力影響，尤其為中國大陸，故已造成海運貨運外移（王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，民99），呈現達到能耗高點後又急遽下降消長趨勢。因此，參照國內水運、空運推估方式，假定我國國際港口營運在因應國際競爭轉型後，將於2025年(民114)在創營運高峰，帶動更多船舶停靠，進而於同年度達到能耗高峰。

(五) 最後，在國際空運能耗趨勢部分，該能源別實證有持續穩定接近直線成長之趨勢，並於2030年(民119年)超過350萬公乘，參照需求模式結果，僅要未來航空客運與貨運皆能持續穩定成長，此將係國際空運能耗極有可能之發展情勢。

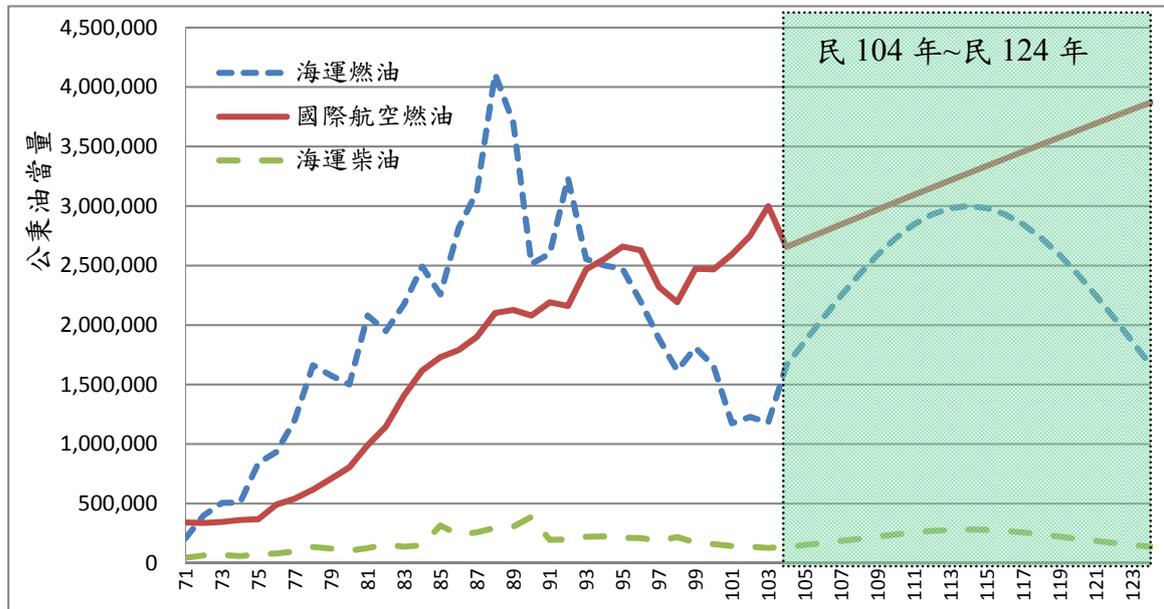


圖 6.4 國際海空運部門能源消費趨勢

四、綜合以上各運輸系統之分析，針對我國整體運輸部門能耗趨勢(如圖 6.5 所示)有以下說明：

- (一) 我國運輸部門(不含國際海、空運部門)總體能耗迄今至2030年仍有持續成長之趨勢，2014年至2030年每年接近1.04%之平均成長速度，於2030年運輸部門能耗估算將接近1,652萬公乘油當量，增幅約為2014年(民103年)之21.4%。此外，國際海空運部門能耗量亦相當龐大，相當公路運輸部門一半左右之消費量，惟其尚不列入我國運輸部門統計中。
- (二) 我國運輸部門總能源需求平均年成長率未來將逐步遞減，但整體消費量趨勢則仍呈現增長，而此研究結果與吳芳瑜(民101)以ARIMA模式推估結果一致。
- (三) 另外，公路運輸部門能耗占總體運輸部門(不含國際空運、國際海運)能耗之佔比已由2014年之95%下降至2030年之90%，並從本研究推估消費趨勢觀察，公路能耗佔比將會隨年期有下降趨勢，因為如在新的軌道運輸系統逐步建設

營運，在運輸部門能耗佔比將會逐漸提高。

(四) 另本研究比較近期吳芳瑜(民101)以ARIMA模式推估2030年運輸部門2,375萬公秉油當量、本所「運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之應用」(民104)推估2030年2,000萬公秉油當量之基線結果，分別減少30.4%與17.4%，但高於本所104年在行政院國家自定預期貢獻運輸部門研提約接近1,600萬公秉油當量約3.3%。

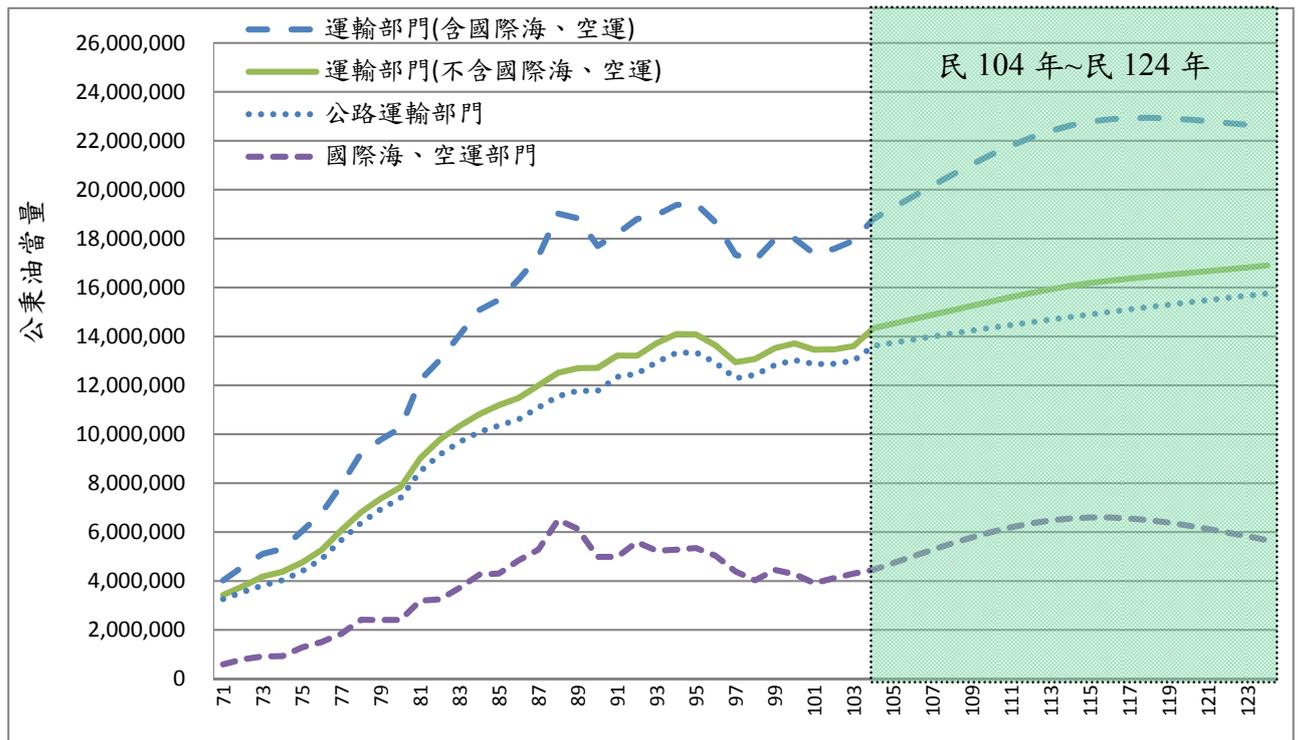


圖 6.5 總體運輸部門能源消費趨勢

6.2 需求彈性分析

依據本研究運輸部門能源消費需求模式推估結果，可進一步估算各影響變數之需求彈性，因此當彈性值倘大於1時則表示具彈性，並在該變數與運輸部門能源消耗為正向關係為前提下，倘變數變化(假設為增加)比例達1%時，則其對能源消耗之增加比例會大於1%；反之(小於1)為無彈性，表示該變數變化(假設為增加)比例達1%，對能源消耗增加幅度比例將不達1%。鑑於彈性符號多與模式係數一致，故其影響關係可參照前述模式說明，以下僅對各部門彈性影響較顯著之因素進行說明：

一、首先，在公路運輸部門實證結果部分，有下列3項實證發現：

(一) GDP對液化石油氣之彈性效果相對較大，其次為國際原油價格，並就彈性幅度觀察，國際原油價格上揚對液化石油氣增加之影響效果，相較國際原油價格上揚對減少車用汽油的效果大。

(二) 在車用汽油分析結果有下列3項發現，值得進一步說明：

1. 彈性效果較明顯為代表運輸設施改善(全國道路長度)對公路運輸系統效果較大，而有關本研究在全國道路長度之實證結果，係以往研究所未考慮之處。
2. 為國際原油價格彈性為-0.336，表示全樣本期間價格成長率增加1%，汽油能耗量下降0.336%，雖有效果，但彈性不高，而此研究結果與林淑娟、陳致綱、蘇欣玫，(民103)所作結果一致。
3. 公路汽車客運量成長，雖確實對車用汽油有能耗減量效果，惟效果並不高，甚至未達0.1%。

(三) 公路柴油估算結果有下列2項實證發現：

1. 公路柴油受GDP之正向影響相對其它變數大，如前所述，因公路柴油多為營業車輛所使用。其次，則為車輛持有之影響，而公路貨運(延噸公里)有正向影響，惟影響效果低。
2. 此外，代表鐵路系統競爭對公路柴油能耗之影響變數有城際鐵路列車(延車公里)與捷運旅客(人次)，惟其彈性計算

值並不高。

- 二、軌道運輸部分，估算臺鐵列車班次增加相對高鐵延車公里、捷運人次對電力能耗影響大，另外 GDP 增加之影響僅次於臺鐵列車班次。鐵路柴油部分則估算臺鐵貨運噸數增加之影響，相較公路貨運延噸公里減少之影響大。
- 三、國內水運分析結果，彈性計算結果顯示其能耗需求受 GDP 與長距離軌道運輸(城際鐵路列車公里)影響。對水運柴油而言，GDP 成長與城際鐵路列車車公里數之增加，皆具有彈性，水運燃油結果則以城際鐵路列車車公里數較具有彈性。
- 四、國內航空燃油能耗彈性估算結果上，公路運輸部門客運延人公里增加對能耗之影響大於城際鐵路列車延車公里，此因係該變數係同時包含高鐵與臺鐵列車行駛公里，其中臺鐵列車行駛公里統計基礎除了臺鐵長途對號列車行駛里程，亦涵蓋臺鐵短程區間列車之範圍，此恐低估城際鐵路列車延車公里對國內航空燃油能耗之影響。
- 五、有關國際海空運部門之估算結果，國際商港船舶(艘次)對燃油影響相對柴油大，此外，國際航空燃油估算結果發現，航空貨運噸數對能耗之影響效果相對航空客運人次影響高。
- 六、綜合各部門彈性分析結果，有下列 2 項實證發現：
 - (一) GDP 為運輸部門重要之影響變數，在液化石油氣、公路柴油與國內水運柴油等 3 種使用能源中，計算彈性相對其他變數大。此外，GDP 為研究探討運輸部門能源別中最易被實證之影響變數，11 項能源中有 5 項使用能源可獲得實證，且皆集中於國內運輸部門之使用能源。
 - (二) 其次，鐵路延車公里對國內公路、水運與航空部門等非軌道運輸部門能耗皆有負向影響，僅彈性效果在不同部門有所差異，於國內水運能源別影響最大，公路柴油影響最小。此外，原油價格、全國道路長度與汽機車持有等非運輸部門經營概況因素對於公路運輸部門能耗有所影響，且彈性效果明顯。

表 6.1 運輸部門能源需求模式彈性估算結果

估計變數	公路部門			軌道運輸		國內水運		國內航空		國際海運		國際航空
	液化 石油氣	車用 汽油	公路 柴油	電力	鐵路 柴油	柴油	燃油	柴油	燃油	柴油	燃油	燃油
經濟發展												
GPD	0.871	-	0.206	0.223	-	1.476	0.474	-	-	-	-	-
國際原油價格	0.524	-0.336	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
經濟成長率	-0.419											
運輸設施												
全國道路長度	-	0.494	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
汽機車持有												
汽機車登記數	-	0.279	0.075	-	-	-	-	-	-	-	-	-
運輸部門經營概況												
汽車客運(延人公里)	-	-0.086	-	-	-	-	-	-0.459	-	-	-	-
公路貨運(延噸公里)	-	-	0.062	-	-	-0.543	-	-	-	-	-	-
公路貨運載(噸數)	-	-	-	-	-0.095	-	-	-	-	-	-	-
高鐵客運(延車公里)	-	-	-	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-
臺鐵列車(班次數)	-	-	-	0.309	-	-	-	-	-	-	-	-
臺鐵貨運(噸數)	-	-	-	-	0.357	-	-	-	-	-	-	-
城際鐵路列車(延車公里)	-	-	-0.081	-	-	-1.428	-0.912	-0.275	-	-	-	-
捷運旅客(人次)	-	-	-0.024	0.052	-	-	-	-	-	-	-	-
國內班機飛行架次	-	-	-	-	-	-	-	0.228	-	-	-	-
國際商港船舶(艘次)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.441	0.542	-	-
國際航空客運(人次)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.195
國際航空貨運(噸數)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.240
備註	1.有關各解釋變數詳細之單位與敘述統計請參閱表 4.2。 2.以上變數彈性為能源需求模式解釋變數之實證嘗試結果，參閱本研究「5.4.2 模式建立」有更詳細之說明。											

第七章 結論與建議

本研究為能有效掌握運輸部門中長期能源使用需求，爰建立運輸部門能源消費成長模式與運輸部門能源需求模式，推估運輸部門未來能耗情形，以及尋求影響運輸部門能耗需求之因素，俾作為運輸部門節能減碳路徑規劃方向之參考，茲將相關重要研究結論，以及本研究建議說明如后：

7.1 結論

一、在本研究進行運輸部門能源消費趨勢模式實證與應用後，獲得以下重要結果：

(一) 在本研究運輸部門能源消費模式建立方面，歸納2項結論：

1. 本研究以國際海空運使用能源別歸類命名之國際海空部門，共同建立能源消費成長趨勢模式，解釋效果最佳，其次為以公路運輸與軌道運輸能源別命名之陸運部門，而以國內水運、空運能源別所建立並命名之國內水運、空運部門模式解釋效果最差，顯示國內水運、空運部門能源別消費趨勢彼此間幾乎無關聯。
2. 本研究能源消費成長趨勢模式對陸路運輸之能源別(公路運輸液化石油氣除外)掌握較佳，其次為國際海空運能源別，國內水運、空運能源別趨勢最難掌握。另外就個別能源別而言，公路運輸液化石油氣與國內海運燃油之能源消費趨勢結果掌握差。

(二) 在運輸部門各能源別成長趨勢之實證上，摘錄以下4項發現：

1. 公路運輸液化石油氣能源別消費趨勢呈現3次項式成長趨勢，是以幾乎無法掌握其未來成長趨勢。
2. 公路運輸車用汽油、柴油、軌道運輸柴油與國際航空燃油之成長趨勢呈現消費邊際量遞減之趨勢，是以前述能源消費成長趨勢已逐漸趨緩，後續成長空間有限。

3. 軌道運輸電力成長趨勢，因近年地方捷運新闢路網、高鐵營運，以及臺鐵電氣化等措施，使其能耗成長呈現消費邊際量遞增之趨勢，預期陸續新啟用捷運系統(桃園捷運與臺中捷運)更將加劇電力消耗量成長速度，故後續軌道運輸電力消耗需求量將會大幅增加。
 4. 本研究國內水運、空運部門與國際海運之使用能源別之發展趨勢，因以2次項式探討未來年能源消費成長趨勢，將有不合理現象，故假定以Gaussian與Lorentzian等具長週期之關係式，俾說明前揭能源別將隨著產業復甦邁向下個消費高點，其後再因遭遇產業發展困窘，而減少能源使用。
- (三) 運輸部門各能源別消費成長趨勢之實證結果討論，歸納以下7項發現，以說明各能源別未來發展趨勢：
1. 各能源別消費趨勢分析皆假定與歷史年消費趨勢有一致性，不致有結構上轉變。在未來年社會、經濟與運輸需求與歷史年有相近成長趨勢，研究推估結果方可符於未來年能源消費趨勢。
 2. 公路運輸部門目前至未來仍是運輸部門主要能耗消費部門，車用汽油與公路柴油經分析皆較同期其他能源別消耗量要高。國際海運與國際航空能耗雖不列入我國管制但其能耗亦不能小覷。
 3. 我國車用汽油與公路柴油等公路運輸能源別之發展情勢，在未來原油價格波動與歷史年平均價格趨近、GDP仍持續成長、汽機車登記數成長趨緩(甚至減少)，以及相關道路設施持續新建與改善等發展情勢下，車用汽油自2015年(民104年)起後耗用量將呈現成長趨緩趨勢，並將於2031年(民120年)後突破1,000萬公秉油當量。公路柴油將於2025年(民114年)突破500萬公秉油當量。
 4. 軌道運輸電力之發展在未來國內GDP持續成長，城際與都會大眾捷運軌路網亦持續新闢，且相關軌道運輸服務容量增加等條件下，自2015年(民104年)起年迅速上升，成為軌道運輸部門主要使用能源，並將於2026年(民115年)突破50萬公秉油當量、2030年(民119年)達到60.1萬公秉油當量、目標年2035年(民124年)達到72.3萬公秉油當量，而柴

- 油能耗則有逐漸減緩趨勢，惟尚不至於完全被電力取代。
5. 國內水運、空運歷史年消長趨勢波動大，並受陸路運輸部門競爭影響，而有達消費高點而後消耗量急遽下滑現象。因此，本研究樂觀假設近年為因應國內港口與機場設施閒置，而開始重視國內水運、空運扮演之角色，調整國內水運、空運發展策略之可能情境。爰此，假定3能源別能耗有長週期消長趨勢，並隨國內水運、空運產業經營績效於預測目標年期間內2025年(民114)達高峰，連帶使其能耗量於2025年(民114)達高峰。
 6. 國際海運歷史能耗消費量受我國國際港埠競爭力影響大，有達能耗高點後急遽下降趨勢，爰參照國內水運、空運推估方式，在假定我國國際港口營運在因應國際競爭轉型後，將於2025年(民114)再創營運高峰，進而於該年度達到能耗高峰。另一方面，在國際空運能耗趨勢部分，有持續穩定接近直線成長之趨勢，並於2030年(民119年)超過350萬公秉，而此發展情境係假定在未來航空客運與貨運皆能持續穩定成長之前提下。
 7. 綜合上述分析，我國運輸部門總體能源消費量至2030年仍有持續成長之趨勢，至2030年每年接近有1.04%之平均成長速度，至2030年運輸部門能耗將可達到1,652萬公秉油當量，增幅約為2014年(民103年)之21.4%，爰我國運輸部門總能源需求平均年成長率未來將逐步遞減，但整體消費量趨勢則仍呈現增長，其中公路運輸能耗仍占有運輸部門能耗90%以上比例。

二、本研究進行運輸部門能源消費需求模式實證與應用後，獲得以下重要結果：

(一) 在本研究運輸部門能源需求模式建立方面，歸納以下2項結果：

1. 本研究實證結果除國際海空運部門模式解釋能力稍差外，其餘公路運輸、軌道運輸與國內海空運需求模式解釋效果皆佳，並以軌道運輸部門模式解釋能力最佳。在各個能源別預測績效，本研究能源消費需求模式在陸路運輸部門能源別(公路運輸與軌道運輸)解釋效果較佳，其次為國際與

國內航空運輸能源別，而在國內水運與國際海運等能源別掌握較差。

2. 比較運輸部門能源消費需求模式與能源消費成長趨勢模式，需求模式整體預測效果較佳。部分原因為陸路運輸部門再畫分為公路運輸與軌道運輸部門；此外，運輸部門能源消費需求模式因納入相關估計變數與ARMA誤差結構，強化同部門能源別間之關聯性，並且所採用估計變數亦能強化在運輸政策之聯結性。

(二) 在運輸部門能源需求模式中各能源別之實證結果上，摘錄各能源別之重要估計結果：

1. 液化石油氣：實證結果與經濟發展相關變項GDP、原油價格與經濟成長率有所關聯。
2. 車用汽油：其直接關聯之經濟發展因素為原油價格，原油價格上漲時，提高開車使用成本，減少車用汽油之需求量。另外，全國道路長度與汽機車登記數因素影響汽機車使用可及性與需求，正向影響汽油需求，惟兩者在需求邊際量有遞減趨勢。此外，公路汽車客運延人公里增加，則降低汽油需求。前揭因素隱含汽油需求多為私人運具所消耗。
3. 公路柴油：GDP增加提高營業車輛使用機會，增加柴油需求。長短程軌道運輸服務供給與經營績效(城際鐵路列車車行公里與捷運旅客人次數)增加時，將降低柴油需求，顯示軌道運輸競爭將影響其需求。實證亦發現公路貨運延噸公里相較客運延人公里有顯著影響，此可能因客運之替代方式多，分散客運對公路系統服務需求，間接影響公路柴油需求。
4. 軌道運輸電力與軌道柴油：GDP成長將帶動軌道運輸服務需求，並提高電力需求。另長短程軌道運輸服務供給與經營績效提升，如高鐵(延車公里)、臺鐵(班次數)與捷運(旅客人次數)，將正向影響電力需求。臺鐵貨運噸數實證正向影響軌道柴油需求，此因軌道柴油多僅提供臺鐵貨運列車使用。
5. 國內水運燃油、柴油與航空燃油：GDP對國內水運燃油、柴油能耗有正向影響。另一方面，國內水運貨運與航空客運

能耗實證結果也顯示軌道運輸之競爭影響其國內水運、空運能耗使用。

6. 國際海運燃油、柴油與航空燃油：國際水運之兩能源別實證結果僅與進出港口船舶艘次數有關，而與其他因素均無關；國際航空燃油需求僅與國際航空客運(航空客運人次)與貨運(航空貨運噸數)經營概況有所關聯。

(三) 在運輸部門各能源別需求彈性討論，摘錄以下7項發現：

1. 車用汽油：彈性結果指出公路汽車客運量成長對車用汽油減量效果低。整體而言，汽油消耗受能源價格、汽機車持有與交通可及性改善影響相對高。
2. 公路柴油、液化石油氣：公路柴油能耗受GDP影響相對較大，公路貨運延噸公里雖有影響，但彈性效果低。另發現液化石油氣之國際原油價格彈性增加幅度大於車用汽油減少幅度。
3. 軌道電力、柴油：臺鐵列車班次增加對電力能耗影響大於GDP增加影響，另臺鐵貨運噸數對鐵路柴油消耗影響效果明顯。
4. 國內水運燃油、柴油：彈性結果顯示兩者能耗需求皆受GDP與城際鐵路列車公里影響。對水運柴油而言，GDP成長與城際鐵路列車車公里數之增加，皆具有彈性，水運燃油結果則以城際鐵路列車車公里數較具彈性。
5. 國內航空燃油：彈性分析發現公路運輸部門客運延人公里增加對能耗之影響大於鐵路延車公里，而此實證效果似與近期高鐵營運對國內航空之影響效果有所出入，此應係鐵路延車公路變數，涵蓋臺鐵所有長短途車種(包括區間列車)列車行駛公里，而低估在城際鐵路列車延車公里之影響。
6. 國際海運燃油、柴油與空運燃油：國際商港船舶(艘次)對海運燃油影響相對柴油要大。此外，航空燃油估算結果發現，航空貨運噸數對能耗影響效果相較航空客運人次影響大。
7. 綜合彈性分析結果，GDP為運輸部門實證最重要影響變數，在液化石油氣、公路柴油與國內水運柴油等3種使用能源

計算彈性相對其他變數大，並研究探討11項能源中有5項使用能源可獲得實證，且皆集中於國內運輸部門之使用能源。其次，城際鐵路列車延車公里對國內公路、水運與航空部門等非軌道運輸部門能耗皆有負向影響，對國內水運能源別影響最大，公路柴油影響最小。原油價格、全國道路長度與汽機車持有等因素對於公路運輸部門能耗有所影響，且彈性效果明顯。

三、歸納前述相關分析與模式推估相關係數具一致性結果如下：

- (一) 陸路運輸部門：液化石油氣與車用汽油能耗趨勢有中度負相關、車用汽油與公路柴油能耗趨勢有中度正相關，以及軌道運輸電力與柴油能耗趨勢有至少接近中度負相關。
- (二) 國內水運、空運、國際海運、空運部門：國內水運、空運部門內能源別彼此幾乎無關聯；國際海運柴油與燃油有低度正向關聯，另國際航空燃油與國際海運燃油有中度正相關。

7.2 建議

- 一、為探討運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析，研究分別建立運輸部門能源消費成長趨勢模式與能源消費需求模式。能源消費成長趨勢模式可協助本研究推估能耗趨勢基線，惟無法掌握影響能耗之變因，作深入討論。能源消費需求模式雖能尋求影響能耗需求之變量，惟應用上需同步掌握解釋變量變化趨勢，使得能耗推估遭遇另項挑戰(黃運貴、曹壽民，民 94 年；黃銘崇、林成蔚、葉文健，民 99 年；吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢，民 99)。因此，後續運輸部門能耗發展情境之推估作業，建議可先透過能源消費趨勢模式掌握基線，再透過能源消費需求模式彈性估算結果進行政策敏感度分析與政策模擬。
- 二、回顧我國國家自定預期貢獻(INDCs)中運輸部門策略，交通運輸部門係以提升公共運輸市占率(如強化軌道運輸與公車服務)，提升車輛能源效率標準，以及推動電動公車、機車為主要策略，主要針對減少公路運輸部門油耗為主。依據研究需求模式之結果，汽車客運延人公里與城際鐵路列車車公里、捷運旅客旅次提升改善分別有助於減少公路運輸部門車用汽油與柴油等能源別能耗。至於在提升車輛能效與推動電動公車、機車等策略因交通部現有統計未有完整長期(71 年~103 年)對於各型車輛之車齡(區別能效排放標準)與使用能源別(電動車輛與非電動車輛)進行掌握，故尚無法納入研究需求模式予以反映，建議後續研究持續努力。
- 三、依據公路運輸需求模式之彈性計算結果指出公路汽車客運量成長，對車用汽油有減量效果不如受能源價格、汽機車持有與交通可及性等效果影響。爰建議我國公路運輸部門相關節能措施除了公共運輸之改善，更需兼顧在私人運具管理、車輛效率提升與推動替代性燃油車輛等減少私人運具能耗與汙染之改善措施(郭瑾璋，民 99)，此需仰賴其他部門，以及中央與地方協力合作。
- 四、國際運輸部門能耗量(國際空運與海運)係僅次於公路運輸部門，目前兩者不列入國內管制，惟因應國際民航組織(ICAO)

對航空汙染管制作法(尹相隆、黃運貴、楊智凱、蔡棻霓，民 99)，以及國際海運航商在綠色航運節能技術投入(王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，民 99)，爰所屬主管機關應協助思考相關因應作法，以強化國籍航空與海運業者之競爭力。

- 五、本研究目前能耗預測方法，主要以總體變數直接解釋運輸能耗排放情形，並未將未來運輸行為轉變之影響納入。因此，當運輸系統產生相當大轉變時(例如：引進新運具、增加路網)，就無法由現有計量模型預知運輸行為之改變結果。爰此後續本所運輸部門溫室氣體評估模型，應結合運輸需求模型以改善運輸部門能源消費模式之缺憾。
- 六、限於本研究辦理時程，未進一步以建立之能源消費成長模式與能源消費需求模式，針對當前欲施行重大交通政策方案進行案例評估，實際模擬我國交通條件改善(例如快速公路建設，以及鐵路營業里程與客貨運量之成長)，以及政經環境(如油價與經濟成長)改變對未來能耗之影響，此一課題後續應進行探討。

參考文獻

- 【1】交通部運輸研究所，(民 92 年)。運輸部門能源需求預測之研究。
- 【2】交通部運輸研究所，(民 104 年)，運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之應用。
- 【3】「第 4 次(2015 年)全國能源會議」全體大會會議資料(民 105 年)，http://2014energy.tw/general_assembly.php
- 【4】李正豐、林勻浙，(民 96 年)，我國公路運輸溫室氣體排放變動因素分解分析，運輸計劃季刊，第 37 卷第 4 期，頁 363-380。
- 【5】黃運貴、曹壽民，(民 94 年)，我國運輸部門能源消費量分解分析，運輸學刊，第 17 卷第 2 期，頁 175-208。
- 【6】黃銘崇、林成蔚、葉文健，(民 99 年)，台灣運輸部門 GHG 排放預測模式與實證分析，碳經濟，第 17 期。
- 【7】吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢，(民 99)，工業、運輸、住宅及服務業部門能源服務需求長期預測，臺灣銀行季刊，第 61 卷第 4 期，頁 133-176。
- 【8】吳芳瑜，(民 101 年)，台灣運輸部門能源需求概況與未來趨勢之探討，臺灣經濟研究月刊，第 35 卷 12 期，頁 144-152
- 【9】吳懿哲，(民 96 年)。台灣公路運輸部門能源需求預測模式與二氧化碳減量策略評估之研究。國立台灣海洋大學河海工程學研究所碩士論文，基隆市。
- 【10】張蓓琪、張美香、黃宗煌，(民 99 年)，軌道運輸溫室氣體排放推估，碳經濟，第 17 期。
- 【11】郭瑾璋，(民 99 年)，各國綠能汽車政策措施與我國節能成效評估，碳經濟，第 17 期。
- 【12】尹相隆、黃運貴、楊智凱、蔡茶霓，(民 99 年)，我國航空部門能源消耗與 CO₂ 排放研析，碳經濟，第 16 期。
- 【13】王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，(民 99 年)，台灣水運之溫室氣體排放趨勢與減量建議，碳經濟，第 16 期。
- 【14】林淑娟、陳致綱、蘇欣玫，(民 103)，台灣地區汽油消費型態實證分析，103 年中華民國能源經濟學會年會暨學術研討會入選論文。
- 【15】楊奕農，(民 98 年)，時間序列分析-經濟與財務之應用，二版，雙葉書廊有限公司。

- 【16】 Azlina A.A., Law S. H., Mustapha N. H. N.(2014), “Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO2 emission in Malaysia”, *Energy Policy*, Vol. 73, pp.598-606
- 【17】 Lewis,C.D.(1982), *Industrial and Business Forecasting Method*, London, Butterworths.
- 【18】 Lin B., Xie C.(2013), “Estimation on oil demand and oil saving potential of China's road transport sector”, *Energy Policy*, Vol .61, pp.472-482.
- 【19】 Melikoglu M. (2014) “Demand forecast for road transportation fuels including gasoline,diesel, LPG, bioethanol and biodiesel for Turkey between 2013 and 2023”, *Renewable Energy*, Vol. 64, pp.164-171.
- 【20】 Samimi R.1995, "Road transport energy demand in Australia:A cointegration approach",*Energy Economics*, Vol.17, No.4, pp.329-339
- 【21】 Shahbaz M., Khraief N., Jemaa M. M. B. (2015) “On the causal nexus of road transport CO₂ emissions and macroeconomic variables in Tunisia: Evidence from combined cointegration tests”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 51, pp.89-100.

附錄

計畫摘要

計畫摘要

一、研究緣起與目的

能源使用供需問題影響國家社會與經濟之發展，也與國民日常生活息息相關，對國家安全的重要性亦不可言喻。因此，倘能掌握未來能源需求變化趨勢，預先規劃相關因應措施，實為國家發展當務之急。近期全球氣候變遷、環境保護意識提升與國際油價的漲跌之影響，使得能源需求遭遇相當大的不確定性。

運輸部門消耗的化石能源，占總能源消耗的比重日益增加，運輸活動對環境所產生的負面影響（如 PM_{2.5}、CO₂ 及 NO_x 等溫室氣體及廢氣排放）也與日俱增，這些問題已成為全球氣候變遷及溫室效應所關切的焦點之一。為減緩環境衝擊，近期運輸部門積極推動公共運輸與新闢軌道運輸路網，並鼓勵民眾使用電力驅動車輛。然而，隨著前述趨勢演進，運輸部門的能源消費趨勢與需求已產生結構性變化，對電力使用需求日增，並逐漸減少對原油及石油之依賴。因此，為能及時效掌握運輸部門中長期能源消費趨勢與未來需求，妥為規劃節能減碳措施，探討運輸部門能源消費趨勢，並建立運輸部門能源需求預測模式推估能耗情形，實為必要工作。

本所自 99 年度辦理運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統系列研究，為與決策支援系統中核心模式可計算一般均衡模式(Computable general equilibrium, CGE)做交互驗證，另以「近似無相關迴歸模式 (Seemingly unrelated regression, SUR)」方法建立運輸部門能源消費預測模式，就本所 (民 92)提出對運輸部門能源預測模式之歸類中，CGE 模型為可計算一般均衡模型，而 SUR 模型為總體經濟模型。

其次，就基線推估結果，CGE 與 SUR 兩模式績效並無明顯差異。然而，兩者在目標年解釋變數處理上有所出入，SUR 模式目標年之相關條件(例如客貨運量、行駛營業里程與經濟成長情形)需外生假定，CGE 模式雖能內生求解，卻無法掌握基年與目標年推估詳細歷程，並

且需於基年假設比 SUR 目標年更為繁複之經濟假設條件(例如能源替代彈性、技術進步率，以及生產份額與消費份額等資訊)。爰此，就政策應用上，兩類預測模式各有其優劣處。本所建置之 CGE 模式係由運輸部門觀點，探討基年投資對目標年經濟產業與環境之影響，而能源需求量為其多項評估結果之一，SUR 模式則著重中長期政策目標達成對能源消費之影響。因此，在產業經濟環境無明顯結構性轉變，透過 SUR 模式評估目標年能源需求量係政策應用上較具效率與直接之方法。

回顧近期 SUR 模式估計結果，為與 CGE 模式變數結果進行比較，並兼顧估計結果一致性，故多採用與經濟發展(油價、國內生產毛額與政策虛擬變數)相關之解釋變數，因此於運輸部門能耗聯結關係相當薄弱；直觀上，運輸部門能耗應與運輸部門經營概況(服務班次、行駛里程與登記持有數)密切相關。本所「運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之應用」(民 104 年)實證結果，雖選用與運輸部門經營概況變數，但為符合相關統計配適與顯著性指標(例如 R^2 與 P 值)之要求，解釋變數與因變數因果關係於運輸政策聯結性仍有強化空間。

本研究將以經濟部能源局 103 年「能源平衡表」資料為基礎，透過多變量迴歸模式建立運輸部門能源消費成長模式，分析近年運輸部門各能源別之消長趨勢，並以該模式為基礎考量自相關(Autoregressive Regression, AR)和移動平均(Moving Average, MA)等時間序列誤差，另建立多變量自相關移動平均模式(Multivariate Autoregressive Moving Average Models, MARMA)，並於該模式納入更具政策意涵之解釋變數，優化本所運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之能源消費需求模式，強化模式預測精確性與政策評估應用性。

綜上，本研究有以下 2 項辦理目的：

- (一) 配合本所同期進行運輸部門節能減碳政策評估模組開發系列研究，更新模式資料庫，並建立更具政策應用性(變數因果關係合理性)之運輸部門能源需求預測模式。
- (二) 回顧相關國內運輸部門能源消費趨勢研究，並分析歷史年統計資料探討國內運輸部門能源消費趨勢之消長，以及影響運輸部門能源需求之因素。

二、研究範疇與內容

(一) 研究範疇：

1. 本研究以經濟部能源局於網上公布民國 70 年~103 年期間統計各年度「能源平衡表」之運輸部門項目(國內航空、公路、軌道、管線運輸與國內水運)，以及國際海運、空運項目能源油當量做分析，並區分「原油及石油」與「電力」兩項能源產品需求量做探討。
2. 解釋變數：配合分析期間(民國 70 年~103 年)之能耗統計資料，本研究將蒐集同期本所與交通部發布國內相關交通運輸統計資料(客貨運班次數、汽機車輛登記數、行駛里程、客貨運量與公路興建長度等)，以及經濟部與主計總處發布社會經濟統計資料(實質國內生產 GDP、人口數與原油價格)。統計期間資料不足處則透過內外插方式補足。

(二) 研究內容：

1. 文獻回顧：回顧本所 99~103 年運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統系列研究有關能源消費模式之相關成果，以及國內外相關能源經濟需求預測之研究，俾利建立本研究模式理論架構，另說明能源需求模式於能源研究領域之重要性。
2. 運輸能源消費趨勢分析：蒐集經濟部能源局所公布之歷年「能源平衡表」資料，交通部與本所相關交通運輸統計資料，以及主計總處及經濟部全國社經背景資料。另依蒐集資料進行基礎統計分析，以探討國內各運輸系統別能源消費趨勢。

3. 模式建立與驗證：依據本研究研提模式理論與蒐集解釋變數，建立替選模式集合，並依相關統計配適指標及因果關係合理性，驗證與選擇最佳預測模式。
4. 政策意涵探討：依據最佳模式估計結果，計算彈性值，探討影響因素之政策意涵，並假設情境模擬交通與政經條件改變對未來能源需求之影響，以展示模式於政策評估之應用性。
5. 課題與對策探討：由國內運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析結果，探討運輸部門推動節能減碳所面臨之課題及未來努力方向。另探討研究模式於學理上限制與修正方向，以及如何配合本所 104 年決策支援系統計畫增加城際運輸節能減碳模組，併同應用。

三、研究成果

(一) 完能運輸能源需求預測模式之建立。

1. 完成運輸部門能源成長趨勢模式暨運輸部門能源需求模式之建立。
2. 完成運輸系統別(國內航空、公路、軌道、管線運輸與水運，以及國際海、空運)能源消費之關聯性分析，以及探討能源需求影響變數之敏感程度(彈性分析)。
3. 完成總體政策變數對能耗使用之平均趨勢與離散(變異)趨勢評估，並探論其政策意涵。

(二) 完成檢視及優化本所建置運輸部門節能減碳政策決策支援系統之政策評估應用性，俾強化模式精確性。

(三) 完成運輸系統別之能源消費趨勢及未來需求分析，提出運輸部門推動節能減碳所面臨之減碳情境。

四、結論

(一) 本研究進行運輸部門能源消費趨勢模式實證與應用後，獲得以下重要結果：

1. 在本研究運輸部門能源消費模式建立方面，歸納 2 項結論：

- (1) 本研究以國際海空運使用能源別歸類命名之國際海空部門，共同建立能源消費成長趨勢模式，解釋效果最佳，其次為以公路運輸與軌道運輸能源別命名之陸運部門，而以國內水運、空運能源別所建立並命名之國內水運、空運部門模式解釋效果最差，顯示國內水運、空運部門能源別消費趨勢彼此間幾乎無關聯。
 - (2) 本研究能源消費成長趨勢模式對陸路運輸之能源別(公路運輸液化石油氣除外)掌握較佳，其次為國際海空運能源別，國內水運、空運能源別趨勢最難掌握。另外就個別能源別而言，公路運輸液化石油氣與國內海運燃油之能源消費趨勢結果掌握差。
2. 在運輸部門各能源別成長趨勢之實證上，摘錄以下 4 項發現：
- (1) 公路運輸液化石油氣能源別消費趨勢呈現3次項式成長趨勢，是以幾乎無法掌握其未來成長趨勢。
 - (2) 公路運輸車用汽油、柴油、軌道運輸柴油與國際航空燃油之成長趨勢呈現消費邊際量遞減之趨勢，是以前述能源消費成長趨勢已逐漸趨緩，後續成長空間有限。
 - (3) 軌道運輸電力成長趨勢，因近年地方捷運新闢路網、高鐵營運，以及臺鐵電氣化等措施，使其能耗成長呈現消費邊際量遞增之趨勢，預期陸續新啟用捷運系統(桃園捷運與臺中捷運)更將加劇電力消耗量成長速度，故後續軌道運輸電力消耗需求量將會大幅增加。
 - (4) 本研究國內水運、空運部門與國際海運之使用能源別之發展趨勢，因以2次項式探討未來年能源消費成長趨勢，將有不合理現象，故假定以Gaussian與Lorentzian等具長週期之關係式，俾說明前揭能源別將隨著產業復甦邁向下個消費高點，其後再因遭遇產業發展困窘，而減少能源使用。
3. 在運輸部門各能源別成長趨勢之實證結果討論，歸納以下 7 項發現，以說明各能源別未來發展趨勢：
- (1) 各能源別消費趨勢分析皆假定與歷史年消費趨勢有一致性，不致有結構上轉變。在未來年社會、經濟與運輸需求與歷史年有相近成長趨勢，研究推估結果方可符於未

來年能源消費趨勢。

- (2) 公路運輸部門目前至未來仍是運輸部門主要能耗消費部門，車用汽油與公路柴油經分析皆較同期其他能源別消耗量要高。國際海運與國際航空能耗雖不列入我國管制但其能耗亦不能小覷。
- (3) 我國車用汽油與公路柴油等公路運輸能源別之發展情勢，在未來原油價格波動與歷史年平均價格趨近、GDP仍持續成長、汽機車登記數成長趨緩(甚至減少)，以及相關道路設施持續新建與改善等發展情勢下，車用汽油自2015年(民104年)起後耗用量將呈現成長趨緩趨勢，並將於2031年(民120年)後突破1,000萬公秉油當量。公路柴油將於2025年(民114年)突破500萬公秉油當量。
- (4) 軌道運輸電力之發展在未來國內GDP持續成長，城際與都會大眾捷運軌路網亦持續新闢，且相關軌道運輸服務容量增加等條件下，自2015年(民104年)起年迅速上升，成為軌道運輸部門主要使用能源，並將於2026年(民115年)突破50萬公秉油當量、2030年(民119年)達到60.1萬公秉油當量、目標年2035年(民124年)達到72.3萬公秉油當量，而柴油能耗則有逐漸減緩趨勢，惟尚不至於完全被電力取代。
- (5) 國內水運、空運歷史年消長趨勢波動大，並受陸路運輸部門競爭影響，而有達消費高點而後消耗量急遽下滑現象。因此，本研究樂觀假設近年為因應國內港口與機場設施閒置，而開始重視國內水運、空運扮演之角色，調整國內水運、空運發展策略之可能情境。爰此，假定3能源別能耗有長周期消長趨勢，並隨國內水運、空運產業經營績效於預測目標年期間內2025年(民114)達高峰，連帶使其能耗量於2025年(民114)達高峰。
- (6) 國際海運歷史能耗消費量受我國國際港埠競爭力影響大，有達能耗高點後急遽下降趨勢，爰參照國內水運、空運推估方式，在假定我國國際港口營運在因應國際競爭轉型後，將於2025年(民114)再創營運高峰，進而於該年度達到能耗高峰。另方面，在國際空運能耗趨勢部分，有持續穩定接近直線成長之趨勢，並於2030年(民119年)超過

350萬公秉，而此發展情境係假定在未來航空客運與貨運皆能持續穩定成長之前提下。

- (7) 綜合上述分析，我國運輸部門總體能源消費量至2030年仍有持續成長之趨勢，至2030年每年接近有1.04%之平均成長速度，至2030年運輸部門能耗將可達到1,652萬公秉油當量，增幅約為2014年(民103年)之21.4%，爰我國運輸部門總能源需求平均年成長率未來將逐步遞減，但整體消費量趨勢則仍呈現增長，其中公路運輸能耗仍占有運輸部門能耗90%以上比例。

(二) 本研究進行運輸部門能源消費需求模式實證與應用後，獲得以下重要結果：

1. 在本研究運輸部門能源需求模式建立方面，歸納以下 2 項結果：

- (1) 本研究實證結果除國際海空運部門模式解釋能力稍差外，其餘公路運輸、軌道運輸與國內海空運需求模式解釋效果皆佳，並以軌道運輸部門模式解釋能力最佳。在各個能源別預測績效，本研究能源消費需求模式在陸路運輸部門能源別(公路運輸與軌道運輸)解釋效果較佳，其次為國際與國內航空運輸能源別，而在國內水運與國際海運等能源別掌握較差。
- (2) 比較運輸部門能源消費需求模式與能源消費成長趨勢模式，需求模式整體預測效果較佳。部分原因為陸路運輸部門再畫分為公路運輸與軌道運輸部門；此外，運輸部門能源消費需求模式因納入相關估計變數與ARMA誤差結構，強化同部門能源別間之關聯性，並且所採用估計變數亦能強化在運輸政策之聯結性。

2. 在運輸部門能源需求模式中各能源別之實證結果上，摘錄各能源別之重要估計結果：

- (1) 液化石油氣：實證結果與經濟發展相關變項GDP、原油價格與經濟成長率有所關聯。
- (2) 車用汽油：其直接關聯之經濟發展因素為原油價格，原油價格上漲時，提高開車使用成本，減少車用汽油之需求量。另外，全國道路長度與汽機車登記數因素影響汽

機車使用可及性與需求，正向影響汽油需求，惟兩者在需求邊際量有遞減趨勢。此外，公路汽車客運延人公里增加，則降低汽油需求。前揭因素隱含汽油需求多為私人運具所消耗。

- (3) 公路柴油：GDP增加提高營業車輛使用機會，增加柴油需求。長短程軌道運輸服務供給與經營績效(城際鐵路列車車行公里與捷運旅客人次數)增加時，將降低柴油需求，顯示軌道運輸競爭將影響其需求。實證亦發現公路貨運延噸公里相較客運延人公里有顯著影響，此可能因客運之替代方式多，分散客運對公路系統服務需求，間接影響公路柴油需求。
- (4) 軌道運輸電力與軌道柴油：GDP成長將帶動軌道運輸服務需求，並提高電力需求。另長短程軌道運輸服務供給與經營績效提升，如高鐵(延車公里)、臺鐵(班次數)與捷運(旅客人次數)，將正向影響電力需求。臺鐵貨運噸數實證正向影響軌道柴油需求，此因軌道柴油多僅提供臺鐵貨運列車使用。
- (5) 國內水運燃油、柴油與航空燃油：GDP對國內水運燃油、柴油能耗有正向影響。另一方面，國內水運貨運與航空客運能耗實證結果也顯示軌道運輸之競爭影響其國內水運、空運能耗使用。
- (6) 國際海運燃油、柴油與航空燃油：國際水運之兩能源別實證結果僅與進出港口船舶艘次數有關，而與其他因素均無關；國際航空燃油需求僅與國際航空客運(航空客運人次)與貨運(航空貨運噸數)經營概況有所關聯。

3. 運輸部門各能源別需求彈性討論，摘錄以下 7 項發現：

- (1) 車用汽油：彈性結果指出公路汽車客運量成長對車用汽油減量效果低。整體而言，汽油消耗受能源價格、汽機車持有與交通可及性改善影響相對高。
- (2) 公路柴油、液化石油氣：公路柴油能耗受GDP影響相對較大，公路貨運延噸公里雖有影響，但彈性效果低。另發現液化石油氣之國際原油價格彈性增加幅度大於車用汽油減少幅度。
- (3) 軌道電力、柴油：臺鐵列車班次增加對電力能耗影響大

於GDP增加影響，另臺鐵貨運噸數對鐵路柴油消耗影響效果明顯。

- (4) 國內水運燃油、柴油：彈性結果顯示兩者能耗需求皆受GDP與城際鐵路列車公里影響。對水運柴油而言，GDP成長與城際鐵路列車車公里數之增加，皆具有彈性，水運燃油結果則以城際鐵路列車車公里數較具彈性。
- (5) 國內航空燃油：彈性分析發現公路運輸部門客運延人公里增加對能耗之影響大於鐵路延車公里，而此實證效果似與近期高鐵營運對國內航空之影響效果有所出入，此應係鐵路延車公路變數，涵蓋臺鐵所有長短途車種(包括區間列車)列車行駛公里，而低估在城際鐵路列車延車公里之影響。
- (6) 國際海運燃油、柴油與空運燃油：國際商港船舶(艘次)對海運燃油影響相對柴油要大。此外，航空燃油估算結果發現，航空貨運噸數對能耗影響效果相較航空客運人次影響大。
- (7) 綜合彈性分析結果，GDP為運輸部門實證最重要影響變數，在液化石油氣、公路柴油與國內水運柴油等3種使用能源計算彈性相對其他變數大，並研究探討11項能源中有5項使用能源可獲得實證，且皆集中於國內運輸部門之使用能源。其次，城際鐵路列車延車公里對國內公路、水運與航空部門等非軌道運輸部門能耗皆有負向影響，對國內水運能源別影響最大，公路柴油影響最小。原油價格、全國道路長度與汽機車持有等因素對於公路運輸部門能耗有所影響，且彈性效果明顯。

(三) 歸納前述相關分析與模式推估相關係數具一致性結果如下：

1. 陸路運輸部門：液化石油氣與車用汽油能耗趨勢有中度負相關、車用汽油與公路柴油能耗趨勢有中度正相關，以及軌道運輸電力與柴油能耗趨勢有至少接近中度負相關。
2. 國內水運、空運、國際海運、空運部門：國內水運、空運部門內能源別彼此幾乎無關聯；國際海運柴油與燃油有低度正向關聯，另國際航空燃油與國際海運燃油有中度正相關。

五、建議

- (一) 為探討運輸部門能源消費趨勢及未來需求分析，研究分別建立運輸部門能源消費成長趨勢模式與能源消費需求模式。能源消費成長趨勢模式可協助本研究推估能耗趨勢基線，惟無法掌握影響能耗之變因，作深入討論。能源消費需求模式雖能尋求影響能耗需求之變量，惟應用上需同步掌握解釋變量變化趨勢，使得能耗推估遭遇另項挑戰(黃運貴、曹壽民，民 94 年；黃銘崇、林成蔚、葉文健，民 99 年；吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢，民 99)。因此，後續運輸部門能耗發展情境之推估作業，建議可先透過能源消費趨勢模式掌握基線，再透過能源消費需求模式彈性估算結果進行政策敏感度分析與政策模擬。
- (二) 回顧我國國家自定預期貢獻(INDCs)中運輸部門策略，交通運輸部門係以提升公共運輸市占率(如強化軌道運輸與公車服務)，提升車輛能源效率標準，以及推動電動公車、機車為主要策略，主要針對減少公路運輸部門油耗為主。依據研究需求模式之結果，汽車客運延人公里與城際鐵路列車車公里、捷運旅客旅次提升改善分別有助於減少公路運輸部門車用汽油與柴油等能源別能耗。至於在提升車輛能效與推動電動公車、機車等策略因交通部現有統計未有完整長期(71 年~103 年)對於各型車輛之車齡(區別能效排放標準)與使用能源別(電動車輛與非電動車輛)進行掌握，故尚無法納入研究需求模式予以反映，建議後續研究持續努力。
- (三) 依據公路運輸需求模式之彈性計算結果指出公路汽車客運量成長，對車用汽油有減量效果不如受能源價格、汽機車持有與交通可及性等效果影響。爰建議我國公路運輸部門相關節能措施除了公共運輸之改善，更需兼顧在私人運具管理、車輛效率提升與推動替代性燃油車輛等減少私人運具能耗與污染之改善措施(郭瑾璋，民 99)，此需仰賴其他部門，以及中央與地方協力合作。
- (四) 國際運輸部門能耗量(國際空運與海運)係僅次於公路運輸部門，目前兩者不列入國內管制，惟因應國際民航組織(ICAO)

對航空汙染管制作法(尹相隆、黃運貴、楊智凱、蔡茶霓，民 99)，以及國際海運航商在綠色航運節能技術投入(王鐘雄、林澄政、黃新薰、楊智凱，民 99)，爰所屬主管機關應協助思考相關因應作法，以強化國籍航空與海運業者之競爭力。

- (五) 本研究目前能耗預測方法，主要以總體變數直接解釋運輸能耗排放情形，並未將未來運輸行為轉變之影響納入。因此，當運輸系統產生相當大轉變時(例如：引進新運具、增加路網)，就無法由現有計量模型預知運輸行為之改變結果。爰此後續本所運輸部門溫室氣體評估模型，應結合運輸需求模型以改善運輸部門能源消費模式之缺憾。
- (六) 限於本研究辦理時程，未進一步以建立之能源消費成長模式與能源消費需求模式，針對當前欲施行重大交通政策方案進行案例評估，實際模擬我國交通條件改善(例如快速公路建設，以及鐵路營業里程與客貨運量之成長)，以及政經環境(如油價與經濟成長)改變對未來能耗之影響，此一課題後續應進行探討。