



# 重車節能技術導入之 成本效益分析

◎林大鈞、溫蓓章、王傳賢

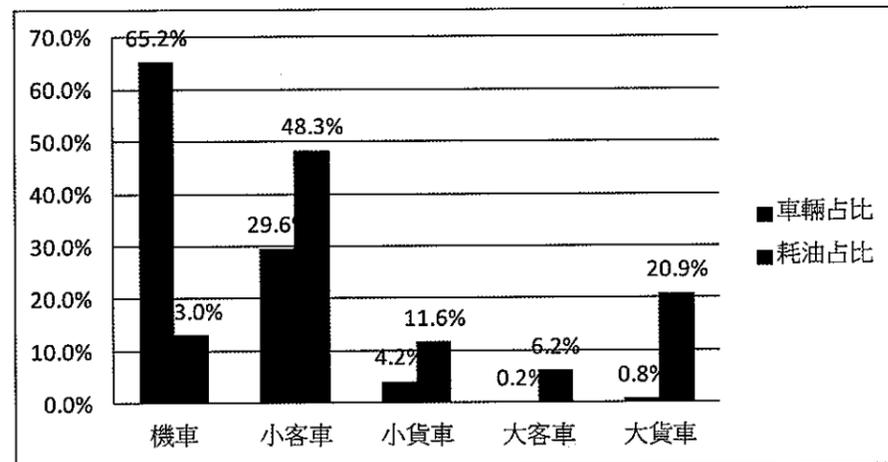
## 摘要

依據交通部運輸研究所推估，2012年底，國內機動車輛中，大客車、大貨車兩者合計占總機動車輛1.0%，但所造成的能源消耗占公路總能耗的27.1%，且大貨車總能耗20.9%是僅次於自小客車48.3%的車種，以1.0%的車輛數貢獻27.1%的能耗，凸顯重型車輛在能耗議題上的重要性。本研究透過對國內客貨運車隊資料的蒐集，瞭解國內客貨運輸業者的車隊規模、行駛型態與營運績效，以及業者應用車輛節能技術的現況，且業者在節能技術投資決策時之主要考量因子，並依據所蒐集資料，進行節能輪胎、空氣動力套件(側裙)、車輛輔助單元APU 共計3項節能技術導入國內客貨運車隊之經濟效益分析。分析結果可知，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)適合導入城際型運輸，且2年內可還本，適合業者導入；車輛輔助單元(APU)則視業者營運時，每日使用時間的長短決定投資效益，較適合導入都會型運輸。

關鍵詞：客運業者、貨運業者、能耗、節能技術、效益分析

## 一、前言

國際間針對重型車輛之能源效率與CO<sub>2</sub> 排放，已陸續提出各式新管制策略與實施方法，以有效改善運輸部門能源消耗與溫室氣體排放。國內過去對於重型車輛的營運與能耗情形掌握程度較有限，特別是貨運車隊的部分，然而，依據交通部運輸研究所推估，2012年底，國內機動車輛中，大客車、大貨車兩者合計占總機動車輛1.0%，但所造成的能源消耗占公路總能耗的27.1%，且大貨車總能耗20.9%是僅次於自小客車48.3%的車種(如圖1所示)，以1.0%的車輛數貢獻27.1%的能耗，凸顯重型車輛在能耗議題上的重要性。



資料來源：運輸部門溫室氣體排放清冊，交通部運輸研究所，2013年

圖1 2012年各車種數量與能耗占比

近年來，關於車輛能源效率提升之節能技術，已發展為多項商業產品，例如空氣動力套件、節能輪胎、電動車、Hybrid、Stop/Start 系統等，且根據AEA Technology plc的研究顯示，各種技術的節能效果，更與車輛主要的營運與行駛型態有密切關聯，例如，Stop/start 系統與Hybrid在市區短程類型的節能效果明顯優於城際和長途運輸。

## 二、客貨運業者之營運特性觀察

本研究蒐集客貨運業者提供行車記錄器資料，分析行駛型態，客運的部分，主要可分為國道客運與市區公車兩類，兩者所呈現的行駛型態也有極大的不同，以圖2為例，城際型的國道客運可長時間維持在高速行駛，因此定速的占比高達61%，而市區公車呈現走走停停，且怠速狀態的占比達42%，由於行駛型態的差異，對油耗表現影響甚鉅。

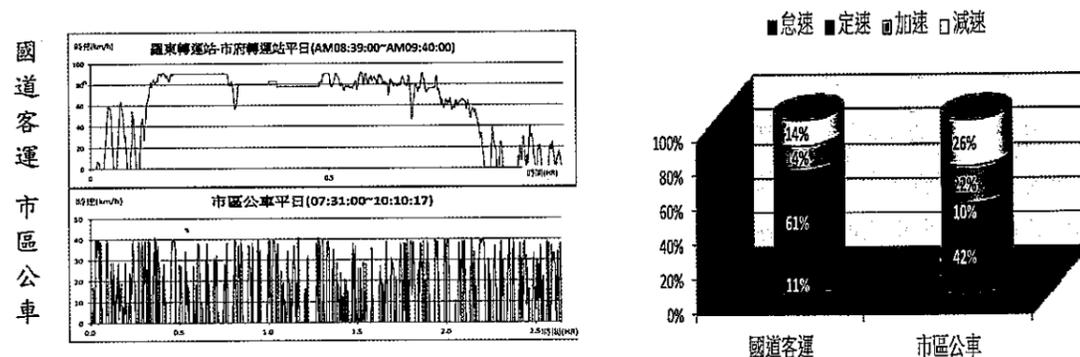


圖2 國道客運與市區公車行駛速率分布之比較



貨運部分，營運型態較客運更為複雜，由於運輸距離的差異(長途、中途、短途運輸)，當總運輸距離越長，行駛高速公路的占比越高，整體而言有較高的平均速率與較少的停等占比；在市區道路中，以號誌停等導致油耗效率下降最為明顯，除此之外，裝卸貨行為是貨運車輛油耗效率不彰的另一個主因，在裝卸貨地點之作業過程，若未確實實施怠速熄火，便會增加怠速時間的占比，增加油耗。以圖3為例，貨車在高雄港區因為作業環境的需求，導致停等未熄火的怠速狀態在港區的時間約有1小時之久。

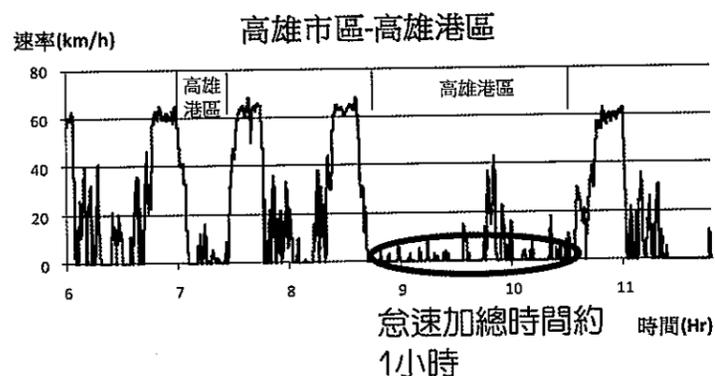


圖3 貨車單日行車速率分布圖

綜合來說，客貨運車隊的行駛型態，可分為城際型與都會型兩大類，城際型具有行駛距離長、行車速率高、可保持高速巡航、停等占比低的特性；都會型則容易受到交通狀況的影響，多呈現與城際型相反的情況。

### 三、客貨運業者之投資決策關鍵因素

透過問卷調查，客貨業者對於節能策略之看法歸納如下：

#### 1. 節能策略首重環保駕駛教育訓練養成

駕駛行為的改善是最能夠在短期間內便得到顯著效果的方法，而且與其他節能技術不同的是，駕駛行為的改善不需要投入太多的成本。

#### 2. 導致油耗效率不彰的主要原因

由營運特性來看，客運業油耗效率不彰的原因包括：(1)市區公車在市區內行駛時，主要受交通狀況影響，停等時間產生怠速油耗；(2)國道客運行駛路線長，管控駕駛較為不易。

貨運業者的原因包括：(1)宅配物流業者在市區內繞行送貨，經常重複起步又停止導致油耗增加；(2)港口貨櫃裝卸貨物的情況，不適合停等熄火；(3)冷凍貨櫃車輛裝卸貨物時，若熄火將影響貨櫃的供電；(4)垃圾清運車輛按表定時間操作，為準時抵達目的地，而不得不採行較不節能的駕駛方式，且清理車必須使用到壓縮機器，亦還無法用怠速熄火的方式節能。



### 3. 影響業者節能技術投資決策的關鍵因素

彙整業者對於節能技術的投資決策關鍵影響因素，主要包括投資利潤與還本年期、政府補貼與配套措施之研擬、節能設備效能、車輛裝設節能設備後的顧慮...等，其中，由於運輸業者皆以營利為目的，因此投資利潤與還本年期是業者最重視的因子，大部分業者均認為投資一項節能技術設備，應能夠在2-4年還本，才願意投資，現況業者對於節能技術的投資，多數仍採取較為保守的態度，因此一項節能技術要能夠吸引業者，除了要確實具備節能效益，還要得到公信力的支持，若能夠提供經濟效益分析的模型，對於一項好的節能技術之推廣，給予業者投資決策的參考，均是有益處的。

### 四、經濟效益分析方法與參數選擇

客貨運車隊之行駛型態與能耗關聯性較高的關鍵，主要與行駛路線為城際型或都會型有關，受影響的重要參數則包括：(1)行車速率；(2)高速與低速區間占比；(3)行駛距離；(4)貨櫃車滿載或空載。

經濟效益分析的部分，本研究採成本效益分析法(Cost Benefit Analysis)，從民間投資決策角度出發，車輛導入節能技術的成本項目可能包括：設備成本、工程改裝成本、審驗成本、設備維修成本、訓練成本等；以及評估期滿時設備之殘值，可視為成本減項；而效益項目則主要考量燃油節省，至於空氣污染、噪音等難以轉化為實質資金流動的外部成本，則不予計算，效益部分，則以節油貨幣價值為主要效益。

此外，本研究折現率採用運輸服務業者期望投資報酬率6.8%，所採用之評估指標和決策判斷，為還本期、淨現值、益本比3項。

### 五、節能技術之成本效益分析

本研究總共對3項節能技術進行經濟效益分析，分別是節能輪胎、空氣動力套件(側裙)、車輛輔助單元(APU)。分析過程中，假設車輛每年使用330日，油價根據2013年10月超級/高級柴油價格為32.4元/升計算。

#### 1. 節能輪胎

比較分析耐磨型(R156)與節能型(R159)兩種輪胎，在城際客運路線下的節能效益。輪胎特性依據輪胎廠商提供之售價與磨耗壽命，節能率則依據車輛中心2013年定速巡航測試輪胎結果，詳表1。

節能輪胎之成本效益分析結果如表2所示，2路線的行駛型態的參數設定依據實際營運資料設定，可知節能型(R159)輪胎之節油效益遠大於耐磨型(R156)輪胎，且在城際型路線下，約6-9個月即可還本，淨效益與益本比均超過決策門檻。



表 1 耐磨型 (R156) 及節能型 (R159) 輪胎特性

輪胎型號	輪胎價格 (新台幣 元/條)	磨耗壽命 (km, 註 1)	定速巡航測試(註 2)			瞬態對定 速巡航折 減因子 (註 3)	推估瞬態(註 4)	
			速率(kph)	燃油經濟 性 (FE,km/l)	FE(km/l) 提升率%		行駛路線	FE(km/l) 提升率%
耐磨型 (R156)	14,200	395,500	65	5.80	1.58%	0.29%	市區道路	0.45%
			85	4.84	0.21%	0.75%	高速公路	0.16%
節油型 (R159)	15,600	350,000	65	6.03	5.60%	0.29%	市區道路	1.62%
			85	5.01	3.73%	0.75%	高速公路	2.95%

註 1：市區折減因子 50%。

註 2：依據車輛中心 2013/09 試車場大客車定速巡航測試結果。

註 3：依據車輛中心 2010 及 2011 年試車場小客車定速巡航與實驗室 FTP 測試結果。

註 4：瞬態 FE(km/l) 提升率 % = 瞬態對定速巡航折減因子 × 定速巡航測試 FE(km/l) 提升率 %

資料來源：車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之效益分析，鼎漢公司 (102.11)

表 2 節能輪胎之成本效益分析結果

路線別	耐磨型(R156)					節能型(R159)				
	節省 燃料 (l/年)	輪胎使 用壽年 (年)	還本 期(年)	壽年內 淨效益 (NTD)	壽年內 B/C Ratio	節省 燃料 (l/年)	輪胎使 用壽年 (年)	還本 期(年)	壽年內 淨效益 (NTD)	壽年內 B/C Ratio
臺北 高雄	128	1.54	NA	-7,467	NA	1,834	1.36	0.54	40,082	2.52
臺北 臺中	133	1.69	NA	-6,567	NA	1,489	1.50	0.68	31,352	2.19

註：「NA」表示在使用壽年內無法達成。

資料來源：車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之效益分析，鼎漢公司 (102.11)

## 2. 空氣動力套件(側裙)

本研究分析之側裙為安裝於貨櫃車頭之整流裝置，分析對象為聯結大貨車。參數部分，側裙特性依據廠商提供之設備成本、安裝工程成本、維護成本、使用壽年、殘值，節能率則依據車輛中心2013年側裙定速巡航測試結果(詳表3)。另依據本研究蒐集之貨運業者資料設定各種假設情境後，分析結果如表4。可知，在本研究的各種假設情境下，均可於2年以內還本，側裙是相當具有成本效益的節能技術，即便對於節油效益降低之因子等參數效果提升，側裙雖然效益因此減少，但仍然具備投資價值。



表 3 側裙定速巡航節能率測試數據

燃油效率(km/l)	測試車速(km/h)	空力套件	耗油量 (km/l)
空載 16T	60	卸	4.76
		裝	4.82
	90	卸	3.58
		裝	3.78
負載 26.25T	60	卸	3.97
		裝	4.02
	90	卸	2.98
		裝	3.15

資料來源：財團法人車輛研究測試中心 (102)。

表 4 側裙之不同情境測試下之成本效益分析結果

分析項目	原始 情境	敏感度測試情境		
		市區里程 占比	年平均行 駛里程	平均燃油 經濟性
平均年行駛里程(公里)	184,000	184,000	110,000	184,000
行駛市區道路占比 (%, 以車公里估算)	11%	47%	11%	11%
空櫃里程占比 (%, 以個數估算)	27%	27%	27%	27%
目前高級柴油價格(元/升)	32.4	32.4	32.4	32.4
目前(未裝設側裙之前)平均燃 油經濟性(公里/升)	2.26	2.26	2.26	3.79
車隊數量(輛)	1	1	1	1
投資成本(萬元/車隊)	6.0	6.0	6.0	6.0
還本年期(年)	1	2	2	2
每年節油量(升/車)	3,096	1,844	1,851	1,847
第一年節油金額(萬元/車隊)	10.0	6.0	6.0	6.0
前 5 年累計淨效益(扣除裝置成 本, 當年幣值, 萬元/車隊)	48.1	26.2	26.3	26.3
全生命週期(10 年)累計淨效益 (淨現值, 萬元/車隊)	84.7	48.2	48.4	48.3

資料來源：車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之效益分析，鼎漢公司 (102.11)

## 3. 車輛輔助單元(APU)

分析兩種APU系統，分別是插電式冷凍系統與車載電力系統，分析對象為冷凍貨櫃大貨車。參數部分，APU特性依據廠商提供之設備成本、維護成本、使用壽年、殘值，節能率部分，2種系統所產生的耗能(功)率如表5所示。其它參數部分，車輛引擎怠速號由率依據車輛中心實驗測試資料為2.36(l/hr)，使用成本74.9元/hr(2013年價格)，電價6.5元/度。



分析結果如表6所示，當使用時間相同時，插電式冷凍系統之還本期較車載電力系統佳，二種系統(壽年10年)在每日使用時間超過106分鐘的情況下，節油效益可大於投資成本，若要能夠4年還本，插電式冷凍系統每日至少須使用186分鐘，車載電力系統232分鐘。

表5 APU 耗功率測試數據

APU 效率	插電式冷凍系統	車載電力系統
	三相為：功率(P)公式= $\sqrt{3} \times \text{使用電壓}(V) \times \text{使用電流}(I) \times \text{功率因素}(\cos\theta)$	單相為：功率(P)公式= $\text{使用電壓}(V) \times \text{使用電流}(I) \times \text{功率因素}(\cos\theta)$
使用電壓(V)	220	220
使用時間(分)	30	75
電流(A)	12.0	13.6
功率因素(cosθ)	0.80	0.75
功率(kW)	3.66	2.24
耗功率(kW-hr)	1.83	2.81

資料來源：財團法人車輛研究測試中心(102)。

表6 APU 之成本效益分析結果

分析項目	插電式冷凍系統				車載電力系統			
	81	106	186	232	81	106	186	232
每日使用時間(分鐘)	81	106	186	232	81	106	186	232
每年增加用電(度/年)	815	1,066	1,871	2,334	1,250	1,635	2,870	3,579
每年減少用油(升/年)	1,030	1,348	2,366	2,951	1,030	1,348	2,366	2,951
淨現值(萬元新台幣)	2.42	10.36	35.75	50.35	-7.14	0.08	23.19	36.48
益本比	1.09	1.36	2.08	2.41	0.81	1.00	1.51	1.74
還本年期(年, 註解)	10	8	4	4	NA	10	5	4

註解：NA 表示在評估期間內(10年內)無法達成。

資料來源：車輛能源效率經營投資策略與節能技術導入之效益分析，鼎漢公司(102.11)

## 六、結論與建議

### 1. 結論

(1) 國內客貨運車隊行駛型態，應分為城際型與都會型兩大類

城際型多屬長途運輸類型，有行駛於高快速路網上，特徵是行駛距離長、行車速率高、可保持高速巡航、停等占比低；都會型屬於短途運輸類型，行駛於都會區內為主，特徵與城際型相反，此外，貨運營運型態較客運複雜，怠速占比容易受到裝卸貨作業環境的需求而提高，特別是港區貨運。



(2) 節能技術導入重型車輛的效益與營運型態關聯密切

各類型的節能技術，導入重型車輛的節能效益，與車隊的營運型態關聯密切，而本研究分析之3項節能技術，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)為適合導入城際型的節能技術，車輛輔助單元APU則較適合導入都會型。

(3) 節能輪胎與空氣動力套件(側裙)為短期內較具投資價值的節能技術，適合業者評估導入

經由本研究的經濟效益分析可知，節能輪胎與空氣動力套件(側裙)導入城際型運輸具有效益，且可於2年以內還本，適合業者評估導入；車輛輔助單元(APU)則視業者營運時，每日使用時間的長短決定投資效益。本研究的經濟效益分析乃採用蒐集到的資料，提供假設情境，實際上業者進行評估時，可依據業者自身情況評估。

## 2. 建議

(1) 節能技術的推廣，應具備公信力，並提供業者參考的資訊

現況國內客貨運業者，大部分對於節能設備的投資仍趨於保守，主因在於節能技術無法保證其效益之成熟，本研究建議，未來若要推廣節能技術，應提供具有公信力的數據，或是由具備信譽的政府部門或單位推廣，在各項指標屬於可接受範圍內，方可降低業者投資決策的門檻。本研究亦提供節能技術的經濟效益分析，未來也可利用資訊平台，供業者試算，增加參考依據。

(2) 未來應更廣泛蒐集相關參數，以利節能技術推廣效益之評估

本研究雖於研究期間蒐集不同運輸型態之客貨運行車型態，但若要使經濟分析模型更趨成熟，建議未來應更廣泛蒐集相關參數，以利節能技術推廣效益之評估，並可做為車隊節能減碳改善之分析基礎。

## 誌謝

本研究承蒙經濟部能源局100-102年度「車輛節能應用技術研究計畫(1/3-3/3)」贊助，始得完成，謹此致謝。

## 參考文獻

- [1] 交通部統計查詢網，交通部。
- [2] 運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台，交通部運研所。
- [3] 林志明、吳玉珍、林信得、林繼國、黃新薰、朱珮芸、楊智凱、張益城、林忠欽(民101)，101年
- [4] 運輸政策白皮書—綠運輸，交通部。
- [5] 陳偉業、陳柏君、劉千豪、劉定一、王穆衡、翁美娟、史習平(民95)，商用運輸系統智慧



化整體研究發展計畫—商用車輛智慧化車上單元設備需求調查、系統整合模組規劃及研發(第一期)，交通部運輸研究所。

[6] 陳偉業、陳柏君、陳柏安、劉定一、王穆衡、翁美娟、史習平(民96)，商用運輸系統智慧化整體研究發展計畫—商用車輛智慧化車上單元設備需求調查、系統整合模組規劃及研發(第二期)，交通部運輸研究所。

[7] 倪佩貞、劉國棟、郭明哲、洪義順、楊玉妃、鍾慧諭、陳柏君、李宗益、莊沅融、費雅琴、陳賓權、黃新薰、黃運貴(民98)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所。

[8] 王傳賢等(民100)，車輛節能應用技術研究計畫(1/3)，經濟部能源局。

[9] 王傳賢等(民100)，車輛節能應用技術研究計畫(2/3)，經濟部能源局。

[10] 林大鈞、陳柏君、王傳賢(民國102)，國內貨運車隊行駛型態特性之分析，地理資訊系統 Vol.7 NO.4

[11] Characteristics of Fuel Consumption and Vehicular Operations of Buses on Taipei's Exclusive Bus Lanes, The Technical Committee for the ASCE publication, Y. C. Hu, Ph.D., PE, W. T. Lin, G. P. Chen and Y. W. Yang, 2011

[12] Reduction and Testing of Greenhouse Gas(GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles, AEA, Feb2011

(本文作者林大鈞現任鼎漢國際工程顧問公司規劃師；溫蓓章現任中華經濟研究院研究員；王傳賢現任財團法人車輛研究測試中心環保能源部環能研究課課長)



# 美國加州舊金山 「灣區單車共用」開跑 民眾反應熱烈

◎ 編輯部



美國舊金山「灣區單車共用」系統  
資料來源：bayareabikeshare.com

舊金山灣區「灣區單車共用」計畫(Bay Area Bike Share)於2013年8月29日上路。管理當局表示，第一週騎乘人次已達4,838人，單車共用計畫也已經有不少粉絲。

為鼓勵灣區民眾減少開車，並能以自行車通勤，以幫助節能減碳達到空氣淨化的目的，灣區空氣