

# 大客車節能技術導入之影響因素探討：以液壓混合動力系統為例<sup>1</sup>

## What factors matter for introducing fuel saving technology onto buses: a case of hydraulic hybrid system

溫蓓章 Wen, Pam Pei-Chang<sup>2</sup>

陳學恆 Chen, Hsueh-Heng<sup>3</sup>

廖慶復 Liao, Ching-Fu<sup>4</sup>

### 摘要

隨著國際間對於運輸部門能源效率與 CO<sub>2</sub> 排放減量的重視，提升重型車輛的燃油效率與降低排放量，成為當前的重要議題之一。雖然主要車廠與車輛技術工程研究機構對於車輛節能技術的投入遞增，研究產出的諸多可行技術導入之節能率也具顯著性；但是，實際營運的重型車隊中，仍鮮少見到這些技術的實際應用。在車廠主張的技術成果，與車隊營運業者所重視的營運成效，二者之間存有需要強化連結之處，使節能技術能夠導入於車隊實際營運之中。否則技術可行的節能技術，將無法實現對於運輸部門節能減碳的貢獻。

因此，本研究以重型車輛節能技術之中潛在節能率最高的液壓混合動力系統 (Hydraulic Hybrid System, HHS) 為例，探討大客車導入節能技術的影響因素。本研究採取成本效益分析方法，根據國內大客車實際營運參數及業者投資意向，設算新技術導入的成本效益評估指標。除了傳統的淨現值、益本比、內生報酬率之外，並加入業者營運所重視的還本年期 (Payback Period Method, PPM) 財務指標，以討論節能技術導入的影響因素。

本研究分析顯示，節能技術導入是否具有成效，深受車隊營運形態影響。新技術車輛導入的決策應該採取技術中立的立場，根據車隊營運形態審慎評估特定技術的成本效益。而攸關新技術成本效益的關鍵影響因素包括：未來油價、技術實際應用之節油率、導入新技術之總成本。在未來油價、技術實際應用之節油率等因素難以確認的情境下，車隊營運者將等待新技術的總成本降低至相當幅度，才樂意採用。因此，主要車廠與車輛技術工程研究機構必需提供符合車隊營運形態的技術實際應用之節油率案例資料，同時也必需致力於降低新技術的總成本，才有利於車隊導入搭載新技術，使之貢獻於運輸部門節能減碳。

<sup>1</sup> 本研究係經濟部能源局與(財)車輛研究測試中心合作辦理「車輛能源效率管制策略與節能技術導入之效益分析」的部分成果；研究團隊包括：(財)中華經濟研究院、(財)車輛研究測試中心。

<sup>2</sup> 財團法人中華經濟研究院國際研究所研究員。

<sup>3</sup> 財團法人中華經濟研究院國際研究所輔佐研究員(聯絡地址：台北市大安區長興街 75 號，電話：02-27356006 轉 533，E-mail: hsuehcheng@cier.edu.tw)。

<sup>4</sup> 財團法人車輛研究測試中心副工程師。

**關鍵詞：**液壓混合動力系統、成本效益分析、大客車

## Abstract

*Since international community started to pay more attention on transportation energy efficiency and carbon dioxide emission, improvement of heavy duty vehicle's fuel efficiency is one of the fashion and movement for vehicle designers and their users. Car manufactures and related research institutions have inputted efforts and have developed devices that increasing energy-saving efficiency; however, major typology of heavy duty vehicles in services are still the types that haven't equipped with energy-saving technologies. Therefore, there are gaps between existing energy-saving technologies and its commercial feasibility otherwise reduction on carbon dioxide in transportation sector will still be fantasy.*

*This research will take an operational approach to investigate different aspects of buses with HHS (Hydraulic Hybrid System). The research will base on current operation parameters and investing preference of Taiwanese bus industry to estimate indexes namely, benefit cost ratio, internal rate of return and PPM (Payback Period Method) by using cost and benefit analysis method.*

*According to our study, the effectiveness of energy saving technologies does deeply relate to the way how industry operates their fleets. The decisions of introducing energy saving buses into existing fleet should be made based on their duty cycle to measure its cost-benefit relationship without any biases. However, the cost and benefit relation on the sector deeply connect to future fuel price, total cost of new technology adaption and actual fuel saving rate. While future fuel price and actual fuel saving rate are highly uncertain, proprietor are likely to wait until the cost of new technologies dropped to a level that acceptable for bus industry. Therefore, the tasks for manufactures and researchers have to take operational aspects into their design blueprint in order to reduce the cost of new energy-saving technologies and to provide effective, cheap, business feasible opportunities for the movement.*

**Keywords:** hydraulic hybrid system, cost benefit analysis, bus

## 一、前言

隨著國際間對於運輸部門能源效率與 CO2 排放減量的重視，提升重型車輛的燃油效率與降低排放量，成為當前的重要議題之一。雖然主要車廠與車輛技術工程研究機構對於車輛節能技術的投入遞增，研究產出的諸多可行技術導入之節能率也具顯著性；但是，實際營運的重型車隊中，仍鮮少見到這些技術的實際應用。在車廠主張的技術成果，與車隊營運業者所重視的營運成效，二者之間存有需要強化連結之處，使節能技術能夠導入於車隊實際營運之中。否則技術可行的節能技術，將無法實現對於運輸部門節能減碳的貢獻。

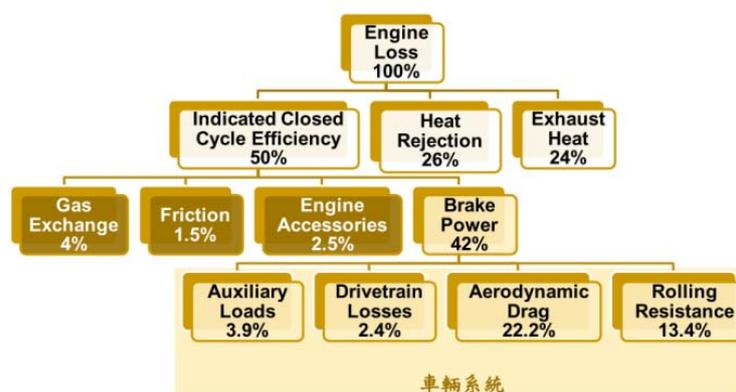
因此，本研究以重型車輛節能技術之中潛在節能率最高的液壓混合動力系統 (Hydraulic Hybrid System, HHS) 為例，探討大客車導入節能技術的影響因素。選擇大客車為討論對象，係因大客車較其他重型車輛 (大貨車、貨櫃車) 更易於採購搭載新技術的車輛，以符合法規的使用年限。本研究採取成本效益分析方法，根據國內大客車實際營運參數及業者投資意向，設算新技術導入的成本效益評估指標。除了傳統的淨現值、益本比、內生報酬率之外，

並加入業者營運所重視的還本期 (Payback Period Method, PPM) 財務指標，以討論節能技術導入的影響因素。

## 二、國際間重型車輛節能技術成效探討

### 2.1 重型車輛節能技術之節能貢獻率

依據 TRB (2010) 指出重型車輛高速行駛之引擎運轉損失之中，50%用於指示閉式循環效率 (indicated closed cycle efficiency)。其中制動占總能耗 42%，包括滾動阻力、空氣阻抗等，詳見圖 1。而與車輛牽引動力相關之進氣 (gas exchange)、摩擦 (friction)、引擎附屬品 (engine accessories) 占總能耗之 8%。前者之前在節能技術如低滾動阻力輪胎、擾流板等，屬於車輛系統技術，與車輛動力系統相關性較低。後者之潛在節能技術則屬於引擎、變速箱等動力系統技術。



註：以總重 33,000 磅以上聯結車 (tractor trailer)，滿載，時速 65mph 行於平坡路段為例。中文為本研究所加。

資料來源：本研究改寫轉引自 TRB (2010)

圖 1 重型車輛引擎運轉損失

重型車輛節能技術依照動力系統可區分為柴油引擎相關節能技術、汽油引擎相關節能技術、變速箱與傳動技術以及混合動力系統等 4 類。另一方面，如果依照車輛系統則重型車輛節能技術可以分為空氣動力相關技術、輔機負載 (auxiliary load) 相關技術、滾動阻力相關技術、車重相關技術、減少惰轉相關技術以及智慧車輛技術等 6 類。其中對於高速行駛的重型車輛而言，減少空氣阻力之能源消耗是最為關鍵的節能技術。不過空氣動力相關技術的節能優勢將隨車輛速率降低而快速消失。故低速行車狀態下，無法仰賴空氣動力相關技術產生節能效益。此時，如果車廠可以依照不同行車狀態搭配節能技術，則將更具有加乘節能效果。而其他節能技術之發展趨勢說明如表 1。

表 1 車輛系統節能技術彙整表

節能技術	發展說明
輔機負載 (auxiliary load) 相關技術	混合動力車輛應用電能提供 auxiliary load，有助於節省 auxiliary load 之能源消耗。
滾動阻力相關技術 <sup>註1</sup>	自 1990 以來輪胎技術已經降低滾動阻力約 50%，未來滾動阻力技術難以再有大幅進展。採用低滾動阻力輪胎可以節省 4%~11% 的燃油消耗，但節能率須視行車路線之坡度、車重而定。
車重相關技術	車重對於能源消耗的影響需視車輛本身的重量、運行狀態與行駛路段地理特性而定。
減少惰轉相關技術	針對 33,000 磅以上的大型聯結貨車已經有數項技術可以減少惰轉，節能率在 5%~9%。
智慧車輛技術	例如預應性巡航控制 (predictive cruise control)、導航與路徑最佳化等。最新研究顯示 33,000 磅以上大型聯結貨車應用電動牽引桿 (electronic tow bar) 概念縮短跟車距離，形成車輛間的串連，也可以顯著降低燃油消耗 8%~15%。

註 1：以 2009/EC1222 低滾動阻力輪胎之分類，C2 tyres 可分為 A (RRC < 5.5)、B (5.6 < RRC < 6.7)、C (6.8 < RRC < 8.0)、E (8.1 < RRC < 9.2)、F (9.3 < RRC < 10.5)、G (RRC > 10.6) 六級。C3 tyres 可分為 A (RRC < 4.0)、B (4.1 < RRC < 5.0)、C (5.1 < RRC < 6.0)、D (6.1 < RRC < 7.0)、E (7.1 < RRC < 8.0)、F (RRC > 8.1) 等六級。

資料來源：經濟部能源局 (2011)，車輛能源效率管制策略與節能技術導入之效益分析。

TRB (2010) 評估 2015~2020 年間重型車輛之能耗節省與可應用之節能技術如圖 2 與表 3。該研究報告指出混合動力系統為提升重型車輛燃油經濟性之主要技術。尤其是廂式大貨車或車斗式大貨車、垃圾車、市區公車、輕型貨卡車與廂型車等，混合動力技術之節能率相當顯著。但是應用於連結型大貨車、城際客運車輛時，混合動力系統並非最主要的節能技術，而是以空氣動力、變速箱及傳動相關技術等較為重要。美國研究評估相關技術的節能貢獻率如表 3，顯見車隊營運形態將顯著影響同一類節能技術的實際節能貢獻率。因此，新技術車輛導入的決策應該採取技術中立的立場，根據車隊營運形態審慎評估特定技術的成本效益。

表 2 2015~2020 年間中重型新車可能應用之節能技術

Technologies	Tractor Trailer	Urban Bus	Motor Coach	Class 3-7	Class 2b	Refuse Truck
Trailer aerodynamics	X					
Cab aerodynamics	X		X	X	X	
Tires and wheels	X	X	X	X	X	X
Weight reduction	X	X	X	X	X	X
Transmission and driveline	X	X	X	X	X	X
Accessory electrification	X	X	X	X	X	
Overnight idle reduction	X					
Idle reduction	X	X	X	X		
Engine efficiency	X	X	X	X	X	X
Waste heat recapture	X		X			
Hybridization	X	X	X	X	X	X
Dieselization				X	X	

註 1：車輛類別如下：

Tractor Trailer：連結大貨車，總重 33,000 磅以上；

Urban Bus：市區公車，總重 26,000 磅以上；

Motor Coach：城際客運車輛，總重 26,000 磅以上；

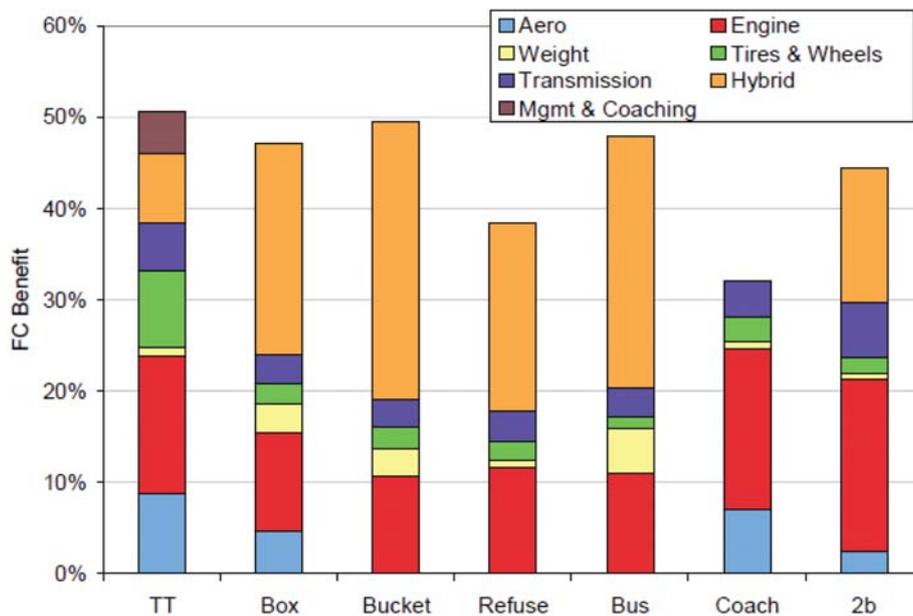
Class 3-7：中型貨車，總重 10,000~26,000 磅；

Class 2b：輕型貨卡車與廂型車，總重 6,000~10,000 磅；

Refuse Truck：垃圾車，總重 33,000 磅以上。

註 2：X 表示該項節能技術應用於該類車輛可能具有節能效益。

資料來源：本研究改寫轉引自 TRB (2010)。



註 1：車輛類別如下：

TT：連結大貨車，總重 33,000 磅以上；  
 Box：箱型大貨車，總重 10,000~26,000 磅；  
 Bucket：車斗式大貨車，總重 10,000~26,000 磅；  
 Refuse：垃圾車，總重 33,000 磅以上；  
 Bus：市區公車，總重 26,000 磅以上；  
 Coach：城際客運車輛，總重 26,000 磅以上；  
 2b：輕型貨卡車與廂型車，總重 6,000~10,000 磅。

註 2：節能技術類別如下：

Aero：空氣動力相關技術；  
 Engine：引擎相關技術；  
 Weight：車體輕量化相關技術；  
 Tires & Wheels：輪胎及車輪相關技術；  
 Transmission：變速箱及傳動相關技術；  
 Hybrid：混合動力系統技術；  
 Mngt & Coaching：駕駛行為管理相關技術

註 3：駕駛行為管理相關技術之節能率部分，由於原始研究僅探討總重 33,000 磅以上連結大貨車，未探討其他類別車輛，故其他類別車輛並無相關數據，但應也會對其他類別車輛發揮節能率。

註 4：應用多種節能技術的節能率並非各別節能技術節能率相加，而是以後述公式 2-3 計算。  
 資料來源：本研究改寫轉引自 TRB (2010)。

圖 2 2015~2020 年間重型新車導入節能技術之節能率

表 3 各類車輛之節能技術貢獻率

Application	Engine	Aerodynamics	Rolling Resistance	Transmission and Driveline	Hybrids	Weight
Tractor trailer	20	11.5	11	7	10	1.25
Straight truck box	14	6	3	4	30	4
Straight truck bucket	11.2	0	2.4	3.2	40	3.2
Pickup truck (gasoline)	20 <sup>a</sup>	3	2	7.5	18	1.75
Pickup truck (diesel)	23 <sup>b</sup>	3	2	7.5	18	1.75
Refuse truck	14	0	1.5	4	35	1
Transit bus	14	0	1.5	4	35	1.25
Motor coach	20	8	3	4.5	NA	1.05

註 1：車輛類別如下：

Tractor Trailer：連結大貨車，總重 33,000 磅以上；  
 Straight Truck Box：箱型大貨車，總重 10,000~26,000 磅；  
 Straight Truck Bucket：車斗式大貨車，總重 10,000~26,000 磅；  
 Pickup Truck (gasoline)：汽油引擎輕型貨卡車，總重 6,000~10,000 磅；  
 Pickup Truck (diesel)：柴油引擎輕型貨卡車，總重 6,000~10,000 磅；  
 Refuse Truck：垃圾車，總重 33,000 磅以上；  
 Transit Bus：市區公車，總重 26,000 磅以上；  
 Motor Coach：城際客運車輛，總重 26,000 磅以上。

註 2：節能技術類別如下：

Engine：引擎相關技術；  
 Aerodynamics：空氣動力相關技術；  
 Rolling Resistance：滾動阻力相關技術；  
 Transmission and Driveline：變速箱及傳動相關技術；  
 Hybrids：混合動力系統技術；  
 Weight：車體輕量化相關技術。

註 3：a 與 2008 年類似車款汽油引擎相比；b 與 2008 年類似車款柴油引擎相比。

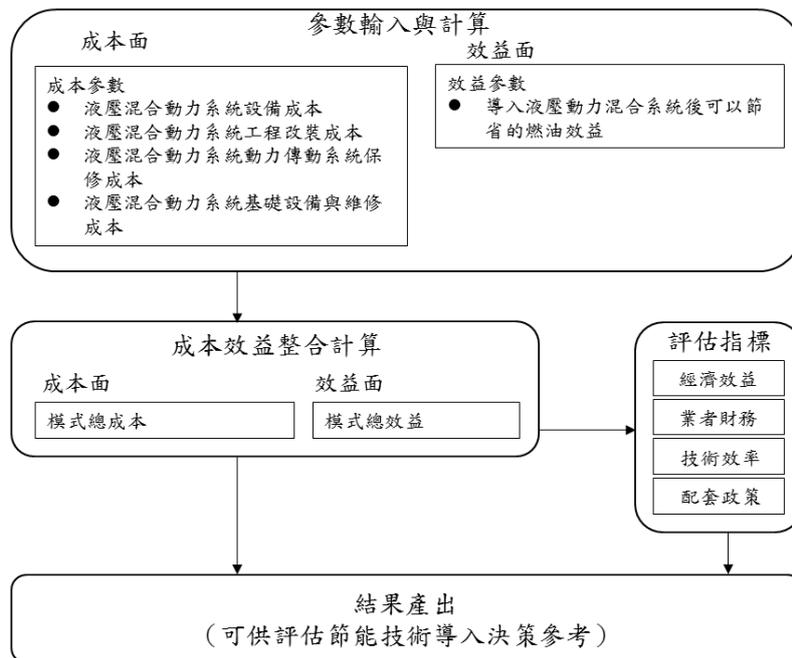
註 4：應用多種節能技術的節能率並非各別節能技術節能率相加。

資料來源：本研究改寫轉引自 TRB (2010)。

## 2.2 重型車輛節能技術成本效益評估模式與評估指標

### 2.2.1 成本效益評估模式

本研究以成本效益分析方法作為車輛節能技術成效評估模式建構的基礎。成本項為液壓混合動力系統之相關成本，效益項則為液壓混合動力系統導入後可以為業者帶來的貨幣化節能效益。透過成本與效益的計算，即可建立一套適用於液壓混合動力系統之成效評估模式，同時此模式也可以適用於其他的節能技術成效評估。本研究建構的成效評估模式主要包含四個部分，分別為參數輸入與計算、成本效益整合計算、評估指標與結果產出，如圖 3 所示。



資料來源：本研究改寫轉引自能源局（2011）。

圖 3 節能設備系統之成效評估模式架構圖

本研究擬採用該車輛之車年度行駛里程、液壓混合動力系統的節能率以及每公升燃油可行駛公里數，據以求得車輛導入液壓混合動力系統於第  $i$  年可以節省的燃油量如式 (1)。接續再將液壓混合動力系統可節省的燃油量換算為貨幣化節能效益 (元) 後，即可求得車輛導入液壓混合動力系統於第  $i$  年的貨幣化節能效益，如式 (2) 所示。

然而，式 (1) 與式 (2) 僅可求得液壓混合動力系統第  $i$  年之節能效益。欲求得液壓混合動力系統於使用期間  $T$  年的總節能效益，必須將逐年節省的貨幣化節能效益累積加總，如式 (3) 所示。

$$FS_{\text{rechet}} = (MTM_i * FST_{\text{rechet}}) / CM_i \quad (1)$$

$$MP_{\text{rechet}} = FS_{\text{rechet}} * FP_i \quad (2)$$

$$TMP_{ss} = \sum_{i=1}^T MP_{techei} \quad (3)$$

其中：

$FS_{techei}$ ：導入單一節能技術後，第  $i$  年可以節省的燃油量（公升/年）。

$MTM_i$ ：第  $i$  年行駛里程（公里/年）

$FST_{teche}$ ：節能技術的節能效益（%）

$CM_i$ ：第  $i$  年燃油經濟（每公升燃油可行使公里數，單位：公里/公升）

$MP_{techei}$ ：導入單一節能技術後，第  $i$  年可以節省的貨幣化節能效益（元/年）。

$FP_i$ ：第  $i$  年燃油價格（元/公升）

$TMP_{ss}$ ：單一車輛導入單一節能技術後，在使用期間  $T$  可以節省的貨幣化節能效益（元/ $T$  年）。

### 2.2.2 成本效益評估指標

一般採用成本效益分析（Cost benefit Analysis, CBA）方法來計算。做法係將技術導入後，所產生之成本項及效益項，予以量化為貨幣單位，並計算其淨現值（Net Present Value, NPV）、益本比（Benefit-Cost Ratio, B/C Ratio）及內生報酬率（Internal Rate of Return, IRR）等評估指標，用以顯示新技術系統導入後，是否具有效益。如表 4 所示。

### 2.2.3 業者財務評估指標

技術還本期係以業者之觀點評估導入節能技術的成效，為業者最為關切的評估指標。透過此指標，業者可以瞭解其投入節能技術之總成本相等於總效益所需的時間，以作為後續評估是否導入液壓混合動力系統之依據。

表 4 評估指標與決策判準

評估指標類別	指標	定義	計算公式 (註)	決策判準
經濟效益	淨現值 (NPV) Net Present Value	估計每期淨現金流量以適當折現率將各期現金流量折現並加總	$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t}$	NPV ≥ 0 or 最大 接受 NPV < 0 拒絕
	經濟益本比 (B/C ratio) Benefit-Cost Ratio	產出效益總額/投入成本總額 投入成本之單位效益	$B/C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+i)^t}}$	B/C ≥ 1 接受 B/C < 1 政策決定
	內部報酬率 (IRR) Internal Rate of Return	使 NPV=0 的折現率 評估互斥計畫時，可能會與 NPV 法相反。	$IRR = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0$	IRR > RRR 接受 IRR < RRR 拒絕 RRR: 最低可接受報酬率 (企業要求報酬率)
業者財務	技術還本期 (Payback Period Method, PPM)	追求投入節能技術之總成本等於總效益所需的時間	$\sum_{t=0}^T B_t - \sum_{t=0}^T C_t = 0$	L <sub>t</sub> > T 接受 L <sub>t</sub> < T 拒絕 L <sub>t</sub> : 節能技術使用期間

註：其中 B<sub>t</sub>：第 t 年之效益、C<sub>t</sub>：第 t 年之成本、i：折現率、T：評估年期、FS<sub>t</sub>：節能技術第 t 年可以節省的燃油量、FC：節能技術可以節省的燃油消耗、TFC：總燃油消耗、FP：燃油價格、VMT：車輛行駛里程、%FCR<sub>package</sub>：多節能技術之綜合節能效益

資料來源：本研究。

### 三、液壓混合動力系統之成本效益評估

藉由前述節能技術文獻回顧可知其依照動力系統與車輛系統有不同種類形式，且各節能技術對應的節能率與成本效益亦不相同。其中，依據表 3 可知混合動力系統為最具有節能率與成本效益之節能技術，為可能推廣之技術。因此，本研究將以混合動力系統裡最具成本效益的節能技術—液壓混合動力系統為例進行成效評估。以下將分別就模式建構、參數設定以及評估指標進行說明。

#### 3.1 液壓混合動力系統成本說明

節能設備依照裝置方式可分為前裝式與後裝式兩種。前裝式係為車輛本身已將節能技術列為車輛標準配備。故當業者購買車輛時，節能技術成本已包含於車輛購買成本裡。相較於無此設備車輛的購車成本差額，即為業者為此節能設備所付出的成本。無工程改裝成本亦無審驗成本。而後裝式則為車輛本身沒有將節能技術列為車輛標準配備，節能技術依業者自行選擇加裝，業者須支付設備成本、工程改裝成本。如後裝設備涉及車輛安全必須重新送

審時，業者還需多支付車輛審驗成本。以液壓混合動力系統而言，業者購買此節能技術需要支付的成本詳如表 5 所示。

表 5 液壓混合動力系統成本

成本項目		說明
一次性成本	設備成本	液壓混合動力系統設備成本
	工程改裝成本	液壓混合動力系統裝設所需的成本
其他	動力傳動系統保修成本	車輛加裝液壓混合動力系統增加的保修成本
	基礎設備與維修成本	蓄壓維修件及油壓濾網

資料來源：本研究整理。

### 3.2 基本參數

本研究建構之液壓混合動力系統成效評估模式投入參數可分為業者營運參數、政府政策參數以及車輛行駛參數三類。本研究以 2011 年作為評估基準年，評估期間則為 8 年（考量台北市低底盤公車使用年限為 8 年設定）。業者每年若有確實落實系統維護與保養，則液壓混合動力系統使用年限可達 15—20 年，且在市區公車的節能效益可達 35%（TRB，2010）。

本研究係採用經濟效益評估中 Before/After 分析，即為液壓混合動力系統導入後可節省的燃油量，並將其乘上油價，即為本研究用以評估成效的貨幣化節能效益。油價資訊方面，則以 2011/01/01-2011/12/31 平均油價作為本研究估算貨幣化節能效益之依據。而在車輛行駛參數方面，透過客運業者訪談取得車輛平均每日行駛里程與燃油效率資訊。詳細參數設定詳見表 6。

表 6 液壓混合動力系統導入之參數設定

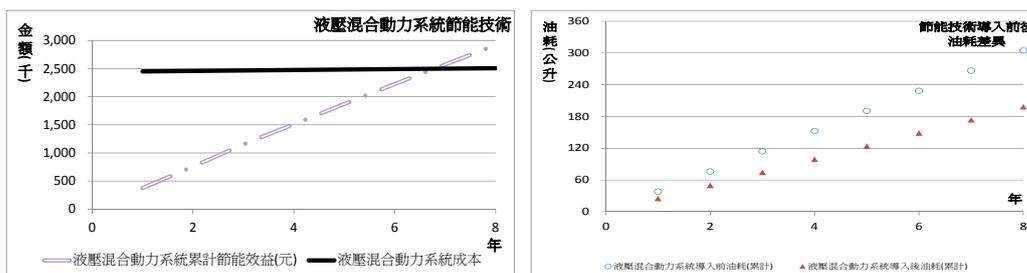
假設與參數類別	使用參數	資料來源或假設依據	
業者營運參數	評估基礎年 (幣值基年)	2011 年	依據本研究規劃設定
	評估期間	8 年	車輛測試中心 ARTC
	液壓混合動力系統設備成本	2,470,000 元/個	車輛測試中心 ARTC
	基礎設備與維修成本	50,000 元/使用年期	車輛測試中心 ARTC
	動力傳動系統保固成本	100,000 元/使用年期	車輛測試中心 ARTC
	工程改裝成本	60,000 元/輛	車輛測試中心 ARTC
	液壓混合動力系統節能效益	35%	TRB (2010)
	液壓混合動力系統使用年限	15-20 年	車輛測試中心 ARTC
	期望報酬率	3.73%	公路客運合理報酬率

			(公路汽車客運路線費率調整機制)
政府政策參數	燃油價格	29.2 元/公升 (2011/01/01-2011/12/31)	經濟部能源局網站 ( <a href="http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/">http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/</a> ，2012/07 擷取)
	社會折現率 (中長期公債平均值利率)	1.88% (2007-2010)	中央銀行網站 ( <a href="http://www.cbc.gov.tw/lp.asp?ctNode=690&amp;CtUnit=347&amp;BaseDSID=7&amp;mp=1">http://www.cbc.gov.tw/lp.asp?ctNode=690&amp;CtUnit=347&amp;BaseDSID=7&amp;mp=1</a> ，2011/09/11 擷取)
車輛行駛參數	車輛平均每日行駛里程(公里)	172.5	客運業者訪查資料 (2011/05)
	車輛平均行駛天數(天/月)	30	
	燃油效率(公里/公升)	1.63	

資料來源：本研究整理。

### 3.3 液壓混合動力系統導入之成本效益分析

擬定投入參數設定後，本研究運用式(1)～式(3)估算評估年期8年可節省的貨幣化節能效益為2,919,307元，大於導入成本2,507,109元，顯示液壓混合動力系統導入市區公車時，節能效益可以涵蓋導入成本，客運業者可獲得412,198元的效益。然而，節能效益固然為客運業者評估導入節能技術之決策考量因素，但還本期亦為業者評估導入關鍵因素之一。本研究估算之液壓混合動力系統還本期與評估期間內燃油消耗如圖4。



資料來源：本研究。

圖4 液壓混合動力系統累積成本效益與評估期間燃油消耗

由圖4可知液壓混合動力系統節能效益與導入成本存在交點，表示液壓混合動力系統導入市區公車存在回本期為第7年。此外經濟益本比B/C ratio為1.16，表示業者導入液壓混合動力系統於使用期間(8)不僅可以涵蓋導入成本，亦可獲得額外的貨幣化節油效益。內部報酬率IRR為8.78%，大於客運業者期望報酬率3.73%，顯示業者若導入此節能技術，其實際報酬率將大

於業者期望報酬率。

## 四、導入液壓混合動力系統成本效益分析之影響因素探討

### 4.1 液壓混合動力系統設備成本下降之影響

雖然客運業者導入液壓混合動力系統具有回本期(第七年)，但根據客運業者訪談以及相關報告研究(OECD, 2010)指出基於對節能技術節能率的不確定，業者可以接受的回本期為2~4年。此意味業者投入的節能技術導入成本如果沒有在2~4年回本，除非法規明文規定，否則業者並不會主動導入節能技術。換言之，若以現況液壓混合系統成本水準，除非該節能設備成本下降，否則業者不會主動導入此節能技術。因此，本研究分別估算當設備成本下降10%~80%時，評估指標變化如表7所示，如果要將回本期縮短至4年以下，則液壓混合動力系統設備成本需要下降50%以上。換言之，業者可接受的設備成本上限為1,235,000元，若超過此成本上限，則業者將不會導入液壓混合動力系統。然而，如何使液壓混合動力系統設備成本降低至業者可接受範圍，可從兩方面討論。其一，提升液壓混合動力系統廠商技術能力使得設備成本下降。其二，增加液壓混合動力系統量產規模，達到降低設備成本之目的。此部分將於4.3節討論。

表7 液壓混合動力系統成本下降之影響

設備成本 下降幅度		評估指標與決策判準			
		經濟效益			業者財務
		NPV (千元)	B/C Ratio	IRR	PPM (年)
%	業者 自付額	>0 or 最大	>1	>業者期 望報酬率	越小越好
0	2,470,000	606.36	1.1644	0.0877	7
10	2,223,000	848.80	1.2866	0.1245	7
20	1,976,000	1091.24	1.4375	0.1698	6
30	1,729,000	1333.68	1.6284	0.2274	5
40	1,482,000	1576.12	1.8778	0.3047	5
<b>50</b>	<b>1,235,000</b>	<b>1818.56</b>	<b>2.2174</b>	<b>0.4164</b>	<b>4</b>
<b>60</b>	<b>988,000</b>	<b>2061.00</b>	<b>2.7071</b>	<b>0.5983</b>	<b>3</b>
<b>70</b>	<b>741,000</b>	<b>2303.44</b>	<b>3.4742</b>	<b>0.9708</b>	<b>3</b>
<b>80</b>	<b>494,000</b>	<b>2545.89</b>	<b>4.8480</b>	<b>2.3409</b>	<b>2</b>

資料來源：本研究。

### 4.2 液壓混合動力系統節能率與燃油價格變動之影響

承前所述，雖然文獻顯示混合動力系統節能率相當高，但實際應用的節能率，需視其應用情境、運行狀態(duty cycle)而定。舉例來說，液壓混合

動力系統適用於走走停停頻率高的路線，因此市區公車的營運型態將較城際運輸適合導入該節能技術。故本研究除了基礎情境（詳見 4.2、4.3 節）之成效分析試算外，在此小節亦分別估算節能率 35%、20%、10% 之節能成效分析與回本期。此外，考量液壓混合動力系統為一項使用年限長的節能技術，且業者導入年期也不一定與本研究建構之模式基準年相同，故本研究於燃油價格亦採用 25 元/公升、30 元/公升以及 35 元/公升搭配前述節能率分別估算節能成效分析與回本期變動情況如表 7 所示。

如表 8 所示，在節能設備成本無下降的情境下，隨著液壓混合動力系統節能率與燃油價格的遞減，業者本益比也會呈現遞減趨勢，而回本期則呈現上升趨勢。此結果表示節能技術的節能率與燃油價格會顯著影響業者評估導入該節能技術，一旦節能技術的節能率未達預期，或是政府實施降低燃油價格政策，將會降低業者的節能效益，使得益本比與回本期均呈現反趨勢成長。還言之，如果業者可以審慎評估營運路線導入節能技術之適用性，或降低節能技術導入成本，則應可大幅提升業者導入意願。

表 8 液壓混合系統節能率與燃油價格變動之影響

燃油價格 \ 節能率		35%	20%	10%
35 元/公升	NPV (千元)	1234.68	-390.30	-1473.62
	IRR (%)	15.66	-2.80	-18.29
	B/C ratio	1.3957	0.7975	0.3988
	回本期	6	11	12 年以上
30 元/公升	NPV (千元)	693.02	-699.82	-1628.38
	IRR (%)	9.73	-6.74	-21.13
	B/C ratio	1.1963	0.6836	0.3418
	回本期	7	12 年以上	12 年以上
25 元/公升	NPV (千元)	151.36	-1009.34	-1783.14
	IRR (%)	3.63	-10.99	-24.30
	B/C ratio	0.9969	0.5697	0.2848
	回本期	9	12 年以上	12 年以上

資料來源：本研究。

### 4.3 液壓混合動力系統還本期 4 年時之節能率、燃油價格與設備成本之討論

既然液壓混合動力系統具有如此高的節能率，且回本期小於八年，表示業者導入此節能技術獲得的節能效益除了可以涵蓋導入成本外，亦可獲得額外的節能效益。但根據客運業者訪談以及相關報告研究（OECD，2010）指出基於對節能技術節能率的不確定，業者可以接受的回本期為 2~4 年。故除非燃油價格上漲或降低節能技術導入成本，否則業者並不會主動導入節能技術。燃油價格上漲（或降低）屬於政府政策，故本節僅就節能技術導入成本做一探討，燃油價格不在本節分析範疇。

欲使業者主動導入節能技術，則回本期應當控制在 2~4 年。在此前提下，現況液壓混合動力系統節能設備成本對於業者而言仍屬偏高，業者並不會導入該節能技術。此時如果液壓混合動力系統設備廠商技術成熟，或增加液壓混合動力系統量產規模降低設備成本，則應可有效協助業者導入液壓混合動力系統。故本研究將回本期設定在 4 年，並嘗試以節能率 35%、20%、10%，以及燃油價格 35 元/公升、30 元/公升、25 元/公升嘗試找出設備成本的下降幅度，詳見表 9。

表 9 還本期 4 年時液壓混合動力系統節能率、燃油價格與設備成本

燃油價格 \ 節能率		35%	20%	10%
		35 元/公升	28%~45%	61%~70%
35 元/公升	下降幅度	28%~45%	61%~70%	84%~87%
	業者自負額	1,358,500~ 1,778,400	741,000~ 963,300	321,100~ 395,200
30 元/公升	下降幅度	39%~53%	67%~75%	86%~89%
	業者自負額	1,160,900~ 1,506,700	617,500~ 815,100	271,700~ 345,800
25 元/公升	下降幅度	50%~62%	73%~79%	89%~91%
	業者自負額	938,600~ 1,235,000	518,700~ 666,900	222,300~ 271,700

資料來源：本研究。

## 五、結論與建議

隨著國際間對於運輸部門能源效率與 CO<sub>2</sub> 排放減量的重視，提升重型車輛的燃油效率與降低排放量，成為當前的重要議題之一。雖然主要車廠與車輛技術工程研究機構對於車輛節能技術的投入遞增，研究產出的諸多可行技術導入之節能率也具顯著性；但是，實際營運的重型車隊中，仍鮮少見到這些技術的實際應用。在車廠主張的技術成果，與車隊營運業者所重視的營運成效，二者之間存有需要強化連結之處，使節能技術能夠導入於車隊實際營運之中。否則技術可行的節能技術，將無法實現對於運輸部門節能減碳的貢獻。

因此，本研究以重型車輛節能技術之中潛在節能率最高的液壓混合動力系統 (Hydraulic Hybrid System, HHS) 為例，探討大客車導入節能技術的影響因素。選擇大客車為討論對象，係因大客車較其他重型車輛 (大貨車、貨櫃車) 更易於採購搭載新技術的車輛，以符合法規的使用年限。本研究採取成本效益分析方法，根據國內大客車實際營運參數及業者投資意向，設算新技術導入的成本效益評估指標。除了傳統的淨現值、益本比、內生報酬率之外，並加入業者營運所重視的還本年期 (Payback Period Method, PPM) 財務指標，以討論節能技術導入的影響因素。

根據本研究分析得到以下幾點結論：(1) HHS 對於長途客運車輛而言，節能貢獻率並不顯著；但應用於市區公車時，則在 8 年內可以跨越決策判準。(2) HHS 應用於市區公車，雖然實際節油金額將高於 HHS 導入的總成本，但還本年期長達 7 年，不符合客運業者的投資條件，客運業者仍然不會實際導入。若設備成本可降 40%，還本年期可降至 4 年，客運業者可能考慮導入。(3) 油價高低與 HHS 實際應用的節能率二者，將顯著影響前項試算結果；除非柴油價格上漲至 35 元或 HHS 節油率確實可達 35%，否則還本年期將會比 7 年更長，更不利於客運業者採購搭載 HHS 技術車輛。(4) 客運業者期望的還本年期實際上低於 4 年；若以還本年期 4 年設算，可以找出油價、技術節能率與 HHS 成本的三者組合情境，符合客運業者投資意願。由於新技術導入當時，客運業者無法預知未來的油價和技術實際應用節能率，因此降低設備導入應用總成本，便成為新技術導入的關鍵因素。HHS 目前估價約 247 萬台幣，但在技術進步、量產使製造成本降低至約 150 萬元時，預期客運業者應樂於採購此項新技術。

綜言之，節能技術導入是否具有成效，深受車隊營運形態影響。新技術車輛導入的決策應該採取技術中立的立場，根據車隊營運形態審慎評估特定技術的成本效益。而攸關新技術成本效益的關鍵影響因素包括：未來油價、技術實際應用之節油率、導入新技術之總成本。在未來油價、技術實際應用之節油率等因素難以確認的情境下，車隊營運者將等待新技術的總成本降低至相當幅度，才樂意採用。因此，主要車廠與車輛技術工程研究機構必需提供符合車隊營運形態的技術實際應用之節油率案例資料，同時也必需致力於降低新技術的總成本，才有利於車隊導入搭載新技術，使之貢獻於運輸部門節能減碳。

## 參考文獻

David GREENE (2010), why the market for new passenger car generally undervalues fuel economy. OECD, 2010.

Ecofriend(2011), 2011/09/11 擷取自

<http://www.ecofriend.com/entry/students-develop-hydraulic-hybrid-school-bus>.

Transportation Research Board (2010), Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles. Committee to Assess Fuel Economy Technologies for Medium- and Heavy-Duty Vehicles; Board on Energy and Environmental Systems, Division on Engineering and Physical Sciences, Transportation Research Board. National Academies Press.

中央銀行。2011/09/11 擷取自

<http://www.cbc.gov.tw/lp.asp?ctNode=690&CtUnit=347&BaseDSD=7&mp=1>。

中華經濟研究院（民 98）。蘇花公路改善可行性研究之經濟效益評估。中興工程顧問股份有限公司(2010)，《蘇花公路改善可行性研究》，台北：交通部鐵路改建工程局。

經濟部能源局。2011/09/11 擷取自 <http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/>。

經濟部能源局（民 100）。車輛能源效率管制策略與節能技術導入之效益分析。