

大貨車定速行駛條件能源效率評估方法研究

陳偉仁*、高實祥、王家閔
財團法人車輛研究測試中心(副工程師)

E-mail*: ryanchen@artc.org.tw
能源署委辦計畫編號: 113-E0404

摘要

本研究以實車能效測試方法(封閉道路)進行實驗設計，並以單體大貨車來進行實驗規劃，探討重型燃油車之能效測試程序與參數設定建議，供後續國內燃油重車應用研究的參考。實驗結果顯示車輛在 65 km/h 及 85 km/h 定速狀態下，空載與全載能效差異介於 3.1%~11.9%之間；在使用燃油流量計與車載診斷系統(On-Board Diagnostics, OBD)量測差異介於 2%~3.9%之間；與歐盟模擬計算能效比較，實驗能效高出 22~31%。綜合評估低總重車輛於高速行駛時，引擎轉速高於經濟轉速區間，定速試驗下較無法反應真實使用情境，故此車速設計之定速測試程序較符合長途運輸之使用情境；OBD 量測部分，因 OBD 數據擷取方式為一種簡單且高效的方法，亦可透過此量測方法進行路線能效普查。經比較本研究實驗能效與歐盟模擬能效數據呈現高度相關，其 R^2 為 0.959，顯示本研究數據具有相當參考價值，可作為國內應用參考。

關鍵詞：實車道路測試、定速、車載診斷系統。

的排放限制置於同一套規範，以確保更嚴格、更長期地遵守環境標準[2]。國際重車能效管理方法如表 1 所示。

表 1：國際重車能效管理方法

國家	歐盟	美國	日本	中國大陸	印度
管理單位項目	氣候行動部	• 環保署 • 交通部	國土交通省	工信部	能源部
管理時間	2025 起	2014 起	2015 起	2014 起	2018 起
標準管理對象	逾 16 噸燃油大貨車/聯結車	燃油大客/貨車/聯結車			
測試方法	模擬計算			• 實車 • 模擬計算	實車
管理方法	• 提報 • 加權平均+罰款 • 年度彙整公告	• 加權平均+罰款 • 年度彙整公告	限值+禁止銷售		

資料來源：各國法規，車輛中心整理

1. 前言

聯合國工業發展組織提出，溫室氣體全球總排放量中交通運輸部門占一席之地，商用車整體保有量規模雖然遠低於乘用車，但商用車平均能耗高、行駛里程長，對道路交通碳排的占比相當高，故在全球淨零排放規劃，公路交通運輸使用零排放技術，儼然成為各國政府極力推廣的政策。在 2050 淨零排放的情境下，電動化將在公路運輸脫碳上發揮重要作用，然而商用客貨車電動化的進程相對緩慢，主要原因包含續航里程短、載貨重量低、購置與維護成本高以及充電時間長等，其中貨車對於載重、長距離應用的使用需求較高，亦為影響電動化發展之因素。因此現階段提高重型燃油車輛的能源效率仍是必要措施。國際上有大量生產及使用重型燃油車輛的國家自 2014 年起陸續導入法規管理，並從二氧化碳排放及能源效率等不同角度進行管理。對於重車能源效率標準管理美日中印等國皆有管理做法，歐洲也預計 2025 年起納管重型車輛二氧化碳排放[1]。同時歐盟理事會及歐洲議會於 2024 年 4 月 24 日簽署歐盟 7 期車輛排放標準規範法案，並於同年 5 月 8 日公告，針對車輛引入更嚴格的環保標準，將轎車、貨車、巴士及卡車

國際間重型車輛能效測試分為底盤動力計、模擬計算、實車道路測試三種方法，底盤動力計測試可控制測試環境條件、模擬車輛行駛阻力，實驗結果能穩定重現，但對於重型車輛而言，底盤動力計價格昂貴且需有適當場地建置廠房設施；模擬計算方法原為車輛動力學教學或車輛研發過程使用，近年來隨著模擬技術進步且準確度不斷提升，已作為管理重型車輛能效或二氧化碳排放的方法之一；道路測試由車輛行駛距離與用油量計算能效，但量測過程容易受到道路條件、交通狀況與天候氣象等外在因素影響，實驗結果變異較大。歐美日等國對於能源效率或二氧化碳管理以模擬計算(如零組件性能測試)為主要的測試方法；中印兩國的能源效率管理則以實車測試為主，中國針對代表車型以底盤動力計測試為主，衍生車款則由模擬分析為輔，印度則是針對封閉道路進行能效測試，中印兩國的管理方法皆採不符合限值則禁止銷售處理；印度對於重型車輛的車種管理為大客車、大貨車與曳引車，採取封閉場域且平坦道路，量測車輛為全載狀態，車速為定速 40 km/h 及 60 km/h 進行測試，並依受測車輛軸組型態與限值進行比較。國際間實車能效測試條件與量測設備如表 2 所示，

其中環境條件部分，因實車道路測試，環境氣候不可控，故對風速、氣溫及濕度等參數設立規範，以降低變異；車輛條件部分則主要為對於測試車輛載重進行要求；同時考量測試數據客觀性，執行測試時會關閉冷暖器系統及附屬電器設備；量測設備方面皆使用燃油流量計進行量測，歐盟另要求使用扭力計及風速計以進行量測數據校正。國際間執行實車能效測試用途均不相同，國際公共交通運輸聯會使用標準行車型態執行測試以比較不同客車之能效值，行車型態參考客車實際營運車速進行評估，定義了三種循環模式(E-SORT 1(市區)/E-SORT 2(市/郊混合)/E-SORT 3(郊區)，每個循環對應測試車型實際使用情境，以標準化規範及客觀方式來比較不同車輛間的能效[3]；歐盟則依照規範之各道路類型行駛距離比例進行測試，包含市區 2~8%、郊區 7~13%、高速 79%以上，測試結果作為驗證模擬計算比較使用[4]；印度執行定速行車型態(40 kph、60kph)，其能效值做為能效管理使用[5]。

表 2：國際重型車輛實車能效測試

項目		國際		
		國際公共交通運輸聯會	(EU) 2022/1379 (2022.07.05 版)	印度
		客車	客/貨車	客/貨車
環境條件	風速要求	• 風速<3 m/s • 陣風<8 m/s	-	• 1.5 m 高之平均風速在 3 m/s 以下
	外部溫度	• 溫度 0° ~30° C • 濕度<95%	• 溫度 5~30° C	• 溫度 15° ~35° C • 濕度<75%
車輛條件	車重	• UITP 載重	• 16 噸以下:總重 55%~75% • 逾 16 噸:總重 90%	• 全載
	磨合	• 傳動系統磨合>20,000km 或 60,000km/年	-	• 車輛依製造商建議進行磨合
附屬系統	電器使用	• 近光燈開啟 • 移除或關閉冷暖器系統 • 關閉內部照明	• 所有電器均關閉 • 關閉冷暖器系統	• 所有電器均關閉 • 關閉冷暖器系統
量測設備		• 燃油流量計	• 燃油流量計 • 扭力計 • 風速計	• 燃油流量計

資料來源：車輛中心整理

2. 實驗方法與步驟

本研究於封閉場域採定速方式進行試驗，選取單體大貨車 5 輛，測試過程同時記錄燃油流量計與 OBD 訊號量測之 10 公里燃油消耗量，並將燃油消耗量(L)換算為能效值(km/l)，車速的設定則參考國內大貨車行駛高速公路平均車速 85 km/h 及行駛於郊區道路 65 km/h 進

行速度參數設定；試驗配重以空載與車輛核定總重(配重方式為平均分配沙包鋪於車廂底板)進行測試；油耗量測方法分為燃油流量計與 OBD 量測兩種，以燃油流量計執行測試因需安裝設備，安裝時間視車輛油路配置而有差異，而使用 OBD 系統之量測方式可直接連接診斷電腦進行測試，節省車輛整備時間。測試流程如圖 1，相關測試條件如表 3，最終測試結果將與歐盟模擬計算能效比較，以了解數據相關性。



圖 1 燃油大貨車測試流程示意圖

表 3：能效測試環境與車輛測試條件

環境條件	風速要求	• 1.5 m 高之平均風速在 5 m/s 以下
	外部溫度	• 35°C 以下，不下雨之天候進行
車輛條件	車重	• 全載 • 空載
	檔位	• 手排檔位為符合引擎經濟轉速區間之最高檔位，自排則以 D 檔行駛
	胎壓	• 輪胎之胎壓依胎邊標示最大荷重胎壓值
	電器使用	• 開啟近光燈 • 關閉空調 • 關閉行車時使用之相關電器用品
量測設備		• 燃油流量計 • OBD 訊號量測

2.1 實驗車輛

測試車輛遴選依歐盟大貨車二氧化碳排放管理總重等級挑選 7.5~10 噸、逾 10~12 噸、逾 12~16 噸、逾 16 噸等四個級距，另於逾 16 噸級由於噸數涵蓋範圍較廣，因此增加挑選一輛代表車型，挑選原則為參考國內 112 年符合六期污染標準車輛生產數量，依各級距挑選出目標噸數後再依該噸數引擎族銷售數量最多之單體大貨車為代表車型進行測試，測試車輛相關規格如表 4。

表 4 能效測試所採用燃油大貨車規格

年份	2021	2022	2022	2024	2023
車輛總重(噸)	9.5	11	13.5	18.5	26
排檔型式	自排	手排	手排	自排	自排
車輛空重(噸)	7.1	5.5	8.1	9.7	15.1
總排氣量(c.c.)	5193	5123	7545	7700	12913
最大馬力(ps)	190 / 2600 rpm	240 / 2300 rpm	240 / 2270 rpm	284 / 2100 rpm	410 / 1400-1800 rpm
最大扭力(kg-m)	52 / 1600 rpm	81 / 1400 rpm	76 / 950-2270 rpm	107 / 950-1700 rpm	220 / 1100-1300 rpm

2.2 實驗場地與儀器設備

本次道路實車油耗測試部份，規劃於車輛研究測試中心試車場內進行試驗，其實驗設備包括封閉測試跑道、體積式燃油流量計、車速計、OBD 診斷器等，其規格說明如下。

- 封閉測試道
車輛中心高速周回路測試道周長 3,575m，測試車速範圍 0- 210 km/h，為橢圓形車道。
- 燃油流量計
本次試驗之油耗量測儀器採用德國 Kistler 體積式燃油流量計，規格如表 5 所示。

表5 Kistler 體積式燃油流量計規格

感知器量測範圍(l/h)	0.5 to 250
幫浦最大流量(l/h)	120
量測精度(範圍 1...50 l/h)(%)	±0.5
再現性(%)	±0.2
最大操作壓力(bar)	5
壓降(bar)	0 to 0.5
解析度(cm ³)	0.33

- 車速計
速度量測採用英國 RACELOGIC VBOX，其速度量測原理使用全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)，進而獲得距離等相關資訊，規格如表 6 所示。

表 6 RACELOGIC VBOX 規格

廠牌/型號	項目	精確度	解析度
RACELOGIC/ VBOX	速度	0.1km/h	0.01km/h
	距離	0.05%	1.0cm
	時間	0.01s	0.01s
	方向	0.1°	0.01°
	加速度	0.5%	0.01°

● OBD 診斷工具

包含診斷電腦、診斷軟體、車輛 OBD 診斷接頭與訊號線材，且須滿足 ISO 15031-4 和 SAE J1978 中規定的功能性技術要求。診斷軟體除具備至少 SAE J1939、SAE J1979 及 ISO 27145 等通訊相容性外，亦符合所有法律規定的汽車和卡車 OBD 規範。Silver Scan-Tool™診斷軟體規格如表 7。

表 7 Silver Scan-Tool™診斷軟體規格

控制單元	所有相容OBD控制單元皆可使用
規範	OBDII, EOBD, HD OBD, WWH-OBD
標準	SAE J1979, SAE J1939, ISO 27145

資料來源：RA CONSULTING

3. 實驗結果

3.1 車速、車輛載重與能效關係

試驗配重以空載與車輛核定總重進行測試，以取得車輛於不同載重狀態下之能效範圍，彙整車重與能效結果(圖 2~圖 3)，由測試結果可看出車輛空載與全載能效差異介於 3.1%~11.9%之間，其中 11 噸車型因空車重量較 9.5 噸車型為輕，在 65 km/h 車速下空載能效優於 9.5 噸車型；在相關性部分，分析不同總重與能效表現之 R^2 介於 0.67~0.78 之間。透過試驗可了解車輛在定速狀態下能效值及不同載重能效範圍以作為能效推估應用參考。

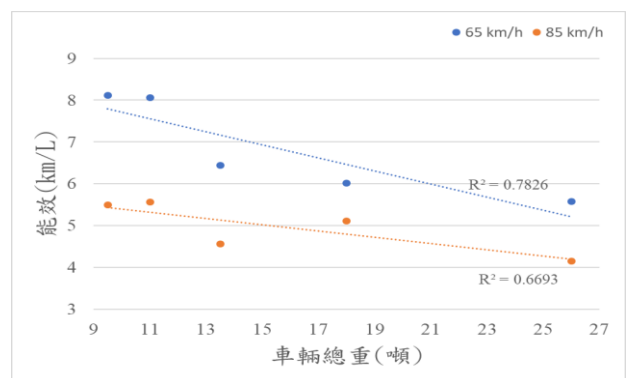


圖 2 不同車速條件下，車輛載重(空載)與能效關係

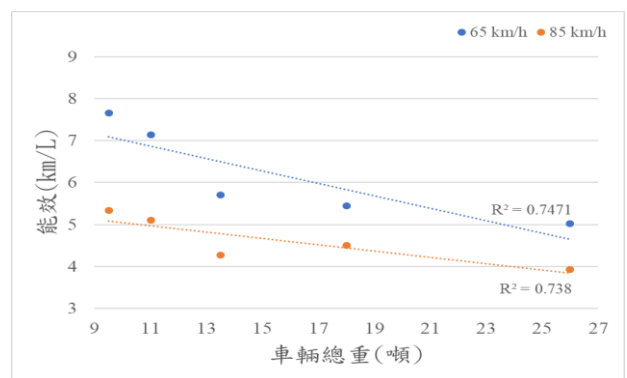


圖 3 於不同車速條件下，車輛載重(全載)與能效關係

3.2 引擎轉速操作點與能效關係

車輛行駛時因變速箱齒比設計，於不同車速會對應不同引擎轉速，本次試驗車輛 11 噸、13.5 噸為手排車型，以試驗設定之兩種車速條件下使用最高檔位執行試驗；9.5 噸、18.5 噸及 26 噸為自排車型，執行試驗時由車輛自動進行換檔操作，不使用手自排功能介入換檔。圖 4 為試驗車輛在兩種車速下之引擎轉速操作點，車輛空載與全載之轉速操作點相同，其中綠色長條圖範圍為該車經濟轉速區間。圖中可看出 9.5 噸、11 噸、13.5 噸車輛因其設計使用情境較偏向於市/郊區，故 85 km/h 車速下其引擎轉速已超出經濟轉速區間；反觀 18.5 噸、26 噸等逾 16 噸車輛引擎操作轉速皆可落於經濟轉速區間範圍內，其中 18.5 噸車型由於變速邏輯設計因素，在兩種車速下轉速差異較小，因此在 85km/h 車速下能效優於 13.5 噸車型。依試驗結果，此車速設計之定速測試程序較符合長途運輸之使用情境。

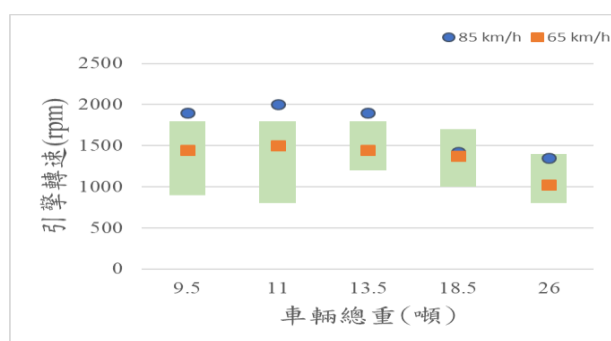


圖 4 不同車速條件下，車輛總重與引擎轉速關係

3.3 不同量測方式能效差異

依實驗結果得知，在 9.5 噸、11 噸、26 噸車輛燃油流量計與 OBD 系統量測差異介於 2%~3.9% 之間，差異比較如表 8，13.5 噸及 18.5 噸因車輛 OBD 通訊協定未提供即時燃油消耗資訊故不納入比較。歐盟指令要求從 2021 年 1 月 1 日起註冊的所有汽車和商用車必需可提供讀取車載燃油消耗監控(On Board Fuel Consumption Monitoring, OBFCM) [6]，國際潔淨運輸理事會(International Council on Clean Transportation, ICCT)就 OBFCM 數據提出精度要求建議，其中對於柴油車輛於實際道路測試時 OBFCM 的綜合精度建議值為±3.3% [7]，本次 OBD 量測差異大致符合，因此若是以 OBD 進行數據擷取將可大幅降低測試時間與測試成本。

表 8 油耗計量測與 OBD 量測差異比較

	9.5 噸		11 噸		13.5 噸		18.5 噸		26 噸	
速度 (km/h)	65	85	65	85	65	85	65	85	65	85
油耗計 (km/l)	7.65	5.33	7.14	5.11	5.7	4.27	5.44	4.51	5.02	3.93
OBD (km/l)	7.96	5.52	7.39	5.27	--	--	--	--	5.17	4.01
差異 (%)	3.9	3.4	3.4	3.0	--	--	--	--	2.9	2.0

3.4 歐盟模擬計算能效比較

歐盟依據車輛縱向動力學(Longitudinal Vehicle Dynamics)原理開發 VECTO(Vehicle Energy Consumption Calculation Tool)作為管理重型車輛二氧化碳排放的模擬計算工具，如圖 5。針對大貨車設計有長途運輸(Long Haul Truck Cycle)、城際運輸(Regional Delivery Truck Cycle)、市區運輸(Urban Delivery Truck Cycle)等行車型態。其中，長途運輸行車型態與本研究之定速 85km/h 操作較為相近，如圖 6。歐盟長途運輸行車型態以聯結車方式進行模擬，如圖 7。

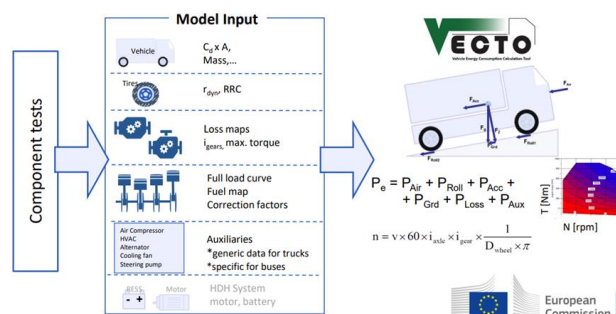


圖 5 歐盟重型車輛二氧化碳排放模擬計算介紹

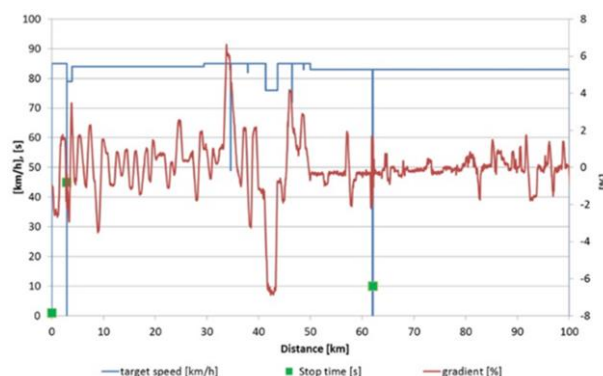


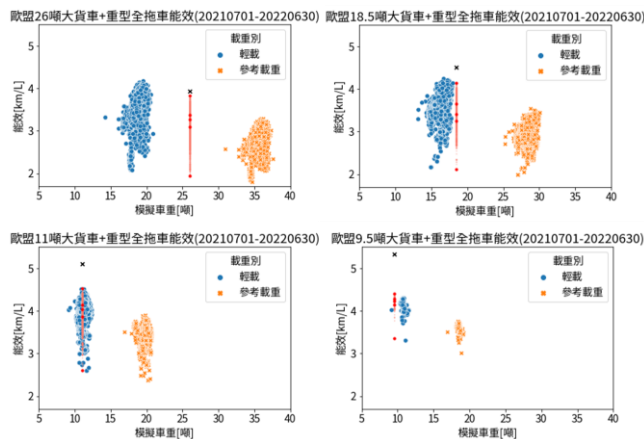
圖 6 歐盟長途運輸行車型態



圖 7 歐盟長途運輸行車型態模擬之車輛狀態

歐盟長途運輸行車型態用於總重 10~12 噸、逾 16 噸大貨車及曳引車，每款車要求模擬輕載及參考載重(定額配重)兩種裝載狀態，模擬結果由歐盟環境部(European Environment Agency, EEA)彙整公開，本研究擇取 2021/7/1~2022/6/30 總重與實驗車±1 噸範圍區間的資料，依線性內插方法計算相當於單體大貨車總重之模擬能效，如圖 8(紅色點)。因歐盟模擬計算能效時採全聯結車狀態，相較於本研究大貨車定速能效測試採單體

大貨車狀態之輪胎滾阻、輪軸阻力及車輛風阻較大，且歐盟行車型態包含坡度變化在內，因此造成歐盟能效值較小，實驗能效值與歐盟數據比較高出 22~31%，如表 9。但兩數據間仍呈現高度相關，實測與模擬(推估)的 R^2 為 0.959，如圖 9。



X 為國內大貨車實測結果●為依輕載及參考載重內插

圖 8 歐盟能效推估與實測能效關係

表 9 歐盟能效與實驗能效差異

擇取歐盟大貨車 總重[±1 噸]	歐盟車款 數量[款]	推估能效 [km/L]	全載定速 85 km/h 能效 [km/L]	差異 [%]
8.5~10.5 噸	170	4.20	5.33	27
10~12 噸	5692	3.97	5.11	29
12.5~14.5 噸	N/A	N/A	4.27	N/A
17.5~19.5 噸	7101	3.43	4.51	31
25~27 噸	16156	3.22	3.93	22

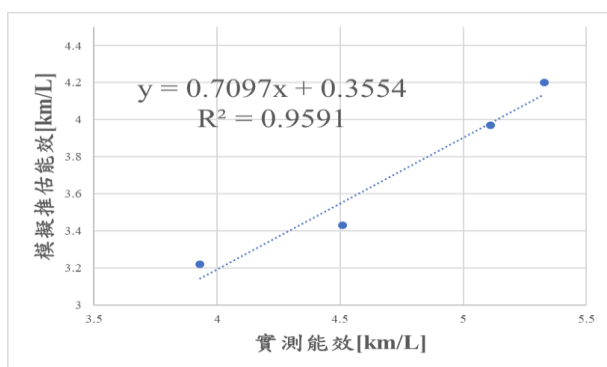


圖 9 模擬/推估與實測能效間關係(85km/L、全載)

4. 結論

國際間對於重型車輛運具節能，大多從研究各種節能技術、提升車輛及零組件效率展開，並致力傳遞節能資訊、協助擬定採購決策、提供財務稅費獎勵及使用環境，促使車廠提升節能技術。本研究參考國際間實車能效測試方法進行實驗設計進行實車道路油耗測試，評估

車輛在定速狀態下能效值及不同載重能效範圍以作為能效應用參考，由於車輛型態與實驗路線設計不同，實驗能效雖較歐盟數據高出 22~31%，但兩數據間仍呈現高度相關，其 R^2 為 0.959，顯示本研究實驗設計與能效表現具有相當參考價值，且透過 OBD 介面擷取車輛 CAN BUS 即時燃油消耗資訊方式為一種簡單且高效的方法，使用此量測方法進行能效研究可大幅降低測試所需時間成本。

5. 致謝

本研究承蒙經濟部能源署 113 年度「重型車輛能源效率提升研究與輔導推廣計畫」(2/3)贊助，計畫編號 113-E0404，始得完成，謹此致謝。

6. 參考文獻

- [1] EUR-Lex ,REGULATION (EU) 2019/1242 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
- [2] EUR-Lex ,REGULATION (EU) 2024/1257 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
- [3] <https://www.uitp.org/publications/uitp-sort-e-sort-brochures/>, UITP SORT & E-SORT brochures
- [4] EUR-Lex ,COMMISSION REGULATION (EU) 2022/1379
- [5] India Standard,AUTOMOTIVE VEHICLES-METHOD OF EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION
- [6] EUR-Lex ,COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/392
- [7] ICCT," Real-world accuracy requirements for vehicle on-board fuel and energy consumption monitoring",2022.