

## 駕駛艙電動空調系統應用於重型車輛之可行性評估

溫智升、廖慶復、陳銘旭

財團法人車輛研究測試中心 副工程師

E-mail: cswen0828@artc.org.tw

能源局計畫編號: 103-E0404

### 摘要

車輛在停止熄火期間，由於引擎未運轉使得車上空調系統停止運作，在炎熱的天氣下造成駕駛艙溫度上升。若使用電動空調系統作為輔助功能的製冷設備，為可行之解決方案，並可有效的節省能源消耗與污染排放。本實驗藉由引進國外駕駛艙電動空調技術，安裝於FUSO-11噸實驗測試車進行節能效益評估與適用性探討。透過實驗測試結果得知，經由一個提領貨櫃之模擬情境測試，可節省約2公升之燃油消耗，換算後之節能效益可達16.8%，其節能效益將隨著電動空調的使用時間增加而隨之提升。除此之外，電動空調使用亦可以維持駕駛艙舒適的溫度(約27°C)，與使用引擎模式之車用空調相似。

**關鍵詞：**電動空調、能源消耗、污染排放、節能效益

### 1. 前言

近年來，環保和節能相關議題成為世界關注的焦點，亦成為影響車輛產業技術發展的關鍵因素，各種替代能源與節能技術因而蓬勃發展。

國際間之車輛節能技術可分為整車技術、動力系統及燃料技術等三大領域，與重型商用車輛相關之各項節能技術項目則整理如表1所示。由於重型車輛類型多，使用條件差異也大，在節能技術上也有不同的適用方案，例如市區內運輸與長途高速運輸即有很大的差異，同一個有效的節能技術對應不同使用條件的車輛則會有很大的節能效果差異。其中，由表2可看出替代能源之車身動力源因減少主引擎在低轉速下的低效率運轉時間，而由其它高效率的輔助發電系統或外部插電電力供應，具有明顯的CO<sub>2</sub>減量幅度(約15%)，其應用如貨車惰轉熄火之獨立空調、低溫運輸車之停車 Stand-by 插電式電動冷凍機組等，在國際上已有相關產品並有相關的推動政策，在國內的應用上則須進一步進行基礎供電設施等配套措施。

表1 重型商用車輛節能技術項目彙整 [1]

類別	次類別	項目
整車技術	1. 空氣動力	拖車頭：車頂導風板、駕駛室後端整流 拖車：拖車前端整流、車尾導流、拖車側裙
	2. 滾動阻力	低滾動阻力輪胎、寬基輪胎(Single Wide-based Tyres)、自動胎壓調整
	3. 駕駛行為	節能駕駛(Eco-driving)、預測巡航控制(Predictive Cruise Control)
	4. 輕量化	引擎、傳動、輪圈及輪胎、懸吊、拖車貨櫃等輕量化
	5. 替代能源之車身動力源	全電動化冷凍貨櫃、垃圾車電動化舉升與壓縮系統
動力系統	6. 引擎效率	後處理器、燃燒系統、減少引擎附屬系統損失
	7. 廢熱回收	機械式複合增壓(Mechanical turbocompound)、電子式複合增壓、熱電式系統(Thermoelectrics)
	8. 替代動力系統	燃料電池車、純電動車、複合動力車(尚可分為 Hybrid Electric Vehicle、Hydraulic Hybrid Vehicle 及 Flywheel Hybrid Vehicle 等)
	9. 變速系統	自動手排變速系統(Automated Manual Transmission)
燃料技術	10. 生質燃料 Biofuel	Biodiesel、BTL(Biomass to Liquid)、HVO(Hydrogenated Vegetable Oils 氫化植物油)
	11. 替代能源燃料	CNG(壓縮天然氣)、Biogas(沼氣)、氫燃料(用於火花點火內燃機引擎)等。

表 2 各項節能技術之 CO<sub>2</sub> 減量效果彙整表

技術項目	車種 (行駛特性)				
	市區運輸車輛 (快遞/宅配等)	政府公務車輛 (如垃圾車)	城際運輸車輛	長途運輸車輛 (拖車/貨車/國道高速巴士)	市區公車
	頻繁起步/煞停	低速+頻繁起步煞停	涵蓋高速定速+市區起步煞停	高速定速+少部份市區行駛	低速+頻繁起步煞停
空氣動力-拖車/車體	1%	0%	11%(貨車)	11%	0%
空氣動力-整流裝置	0%	0%	1%	0.4%	0%
低滾動阻力輪胎	1%	1%	3%	5%	1%
寬基輪胎 (single wide tyres)	4%	4%	6%	5%	4%
自動胎壓調整	1%	—	2%	3%	1%
輕量化	2.2%	4.7%	2.2%	2.2%	6.0%
廢熱回收-電子式複合增壓	1%	1%	2.5%	3%	1%
廢熱回收	1.5%	1.5%	2.5%	5%	1.5%
電動車	100%	100%	100%	100%	100%
Stop/start 系統 (怠速熄火/起步輔助)	6%	6%	3%	1%	4%
Full Hybrid EV	20%	20%	10%	7%	30%
飛輪式 (Flywheel) Hybrid	15%	15%	7.5%	5%	20%
液壓式 Hybrid	10%	15%	0%	0%	15%
自動手排系統 AMT	5%	5%	1.5%	1.5%	5%
替代能源之車身動力源(電動化)	0%	15%	15%(貨車)	15%	0%

資料來源：Reduction and Testing of Greenhouse Gas(GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles, AEA, Feb 2011

在地處亞熱帶的台灣地區，車輛的空調提供，對於駕駛而言是不可缺少的配備。為使車輛在停等或怠速熄火時仍可維持空調運作，解決方案之一即為採用輔助電動空調設備，意指車輛的空調系統，壓縮機除可透過引擎皮帶去驅動，亦可進一步經由電動馬達來帶動，使得車輛引擎在不運轉的情況下，仍可透過電動壓縮機來使空調系統持續運作，以維持駕駛艙舒適的溫度。

本研究先針對國內貨運實際營運模式進行研究分析，探討怠速停等之相關問題，包含怠速停等因素、時間及頻率等。之後安裝駕駛艙電動空調系統於測試實驗車輛，搭配模擬實際行車型態情境於車輛中心試車場高速周迴路進行相關測試與節能效益評估。

於歐系車輛原廠已有相關產品可供選配安裝於天窗位置(如 Scania [2])，但國內重型車輛以日系車輛居多，且其駕駛艙大部份無天窗設計，因此需利用分離式設計的機組進行安裝測試，如圖 1 所示。本研究於駕駛艙後端加裝空調壓縮機組搭配駕駛艙內出風循環裝置，並連結車上電源(12 或 24 VDC)即可達到冷房功能，藉此維持駕駛艙內舒適溫度，除了可免除引擎怠速停等之燃油消耗，期間更可減少污染排放與噪音產生，駕駛艙電動空調相關規格如表 3 所示。

測試程序規劃如下：

- (1) 測試車輛及節能套件取得或研製：找尋適合之運輸業者，選定車輛，針對該型式車輛進行設備調查、供應商協調確認及規格設計，並將相關設備儀器搭載於研究車輛。
- (2) 車輛使用型態調查分析：車輛於營運路線實際使用情況進行研究分析(油耗、停等時間等)，以作為模擬測試情境之依據。
- (3) 實車驗證測試：包含規劃測試項目、作業紀錄、環境參數及量測設備操作流程等，以作為測試作業執行之依據。
- (4) 測試結果分析：透過相關數據擷取進行節能技術安裝前後之節能效益驗證。



圖 1 電動駕駛艙空調系統[3-4]

表 3 駕駛艙電動空調系統相關規格[4]

冷房功率	1.2 kW (4,094 BTU/h)
工作電壓	24 VDC
工作電流	10-20 Ah
機組重量	5kg(室內機)、22kg(室外機)
尺寸	308*650*128 mm <sup>3</sup> (室內機)、785*630*197 mm <sup>3</sup> (室外機)

## 2. 實驗設備

### 測試實驗車輛

利用 FUSO-11 噸實驗測試車輛進行試安裝(車輛規格如表 4 所示)，可事先了解系統特性與相關安裝及操作方式，並進行節能效益初步評估，如圖 2 所示。並透過 102 年度與貨櫃車運輸業者合作所記錄之行車型態[5]，簡化後的模擬情境，搭配速度軌跡跟隨系統與定速控制系統於高速周迴路進行測試驗證，其簡化模擬之行車型態如圖 3 所示。其模擬情境為 40 與 50 km/h 定速、加減速與怠速停等之組合，怠速停等 60 分鐘為模擬提領貨櫃等待所需之時間。實車節能效益測試驗證分為原況(怠速運轉)與使用電動空調(怠速熄火)兩種進行比較，測試過程中同步擷取車輛特性與環境溫度相關數據，並安裝燃油流量計，其將可記錄當下瞬時油耗與累積油耗。

表 4 實驗測試車輛規格

廠牌	FUSO-6D16
排氣量	7545 c.c
測試載重	空重
總重	11 噸
最大馬力	165.5kW/2600rpm
最大扭力	637N.m/1600rpm



圖 2 駕駛艙電動空調於 FUSO-11 噸測試車安裝



圖 3 貨櫃車提領貨櫃簡化之模擬情境

### 實車油耗測試場地與儀器設備

本次道路實車油耗測試部份，規劃於車輛中心試車場內進行試驗，其實驗設備包括有封閉試車跑道、資料紀錄器、體積式燃油流量計其規格說明如下。

#### ● 封閉測試道

對於道路實車油耗測試部份選擇於車輛中心封閉試車跑道中進行試驗，以確認試驗品質一致性外亦可兼具試驗安全，本試車場面積共 119 公頃，如圖 4 所示。



圖 4 實車測試實驗室試車場地圖

#### 高速周回路：

(a)測試道規格：周長 3,575 m，最大彎道坡度 38°，設計車速為 160 km/h，為橢圓形 3 車道。

(b)測試道應用：可執行各國法規及共同標準(如 CNS,ECE,SAE 等)，主要測試項目有：

加速、最高速率、速度/里程計校正、燃料消耗、排污耐久、里程累積、高速操安、乘適性能與高速耐久等測試。

#### ● 資料紀錄器

本次研究實驗所使用之資料紀錄器，主要功用為接收、儲存各感測器輸出之類比、數位或 CAN Bus 訊號，透過內建功能將訊號資料即時轉換為物理量呈現，並同步透過軟體進行資料擷取分析，RACELOGIC VBOX II 10 Hz 為整合精密速度與多功能資料紀錄器，其速度量測原理即使用 GPS 全球衛星定位系統，利用都普勒效應 (Doppler effect) 之頻率傳輸與每一衛星建置通訊，透過演算器建構精確之速度之量測，進而獲得距離等相關資訊，並搭配內建資料儲存功能執行 CNS D3017、ECE R83 等滑行測試外，亦可進行加速、最高速率、煞車等車輛性能試驗，其相關規格及用途如表 5 所示[6]。

表 5 RACELOGIC VBOX II 10Hz 資料紀錄器設備規格

廠牌	型號	規格
RACELOGIC	VBOX II 10Hz	量測經/緯度、速度、方向、距離、時間、加速度等。 1.速度部份 量測範圍：0.1~1600km/h 更新頻率：10Hz 精確度：0.1km/h 解析度：0.01km/h 2.距離部份

	精確度：0.05% (< 50cm per km) 解析度：1.0cm 3.時間部份 精確度：0.01s 解析度：0.01s 4.方向部份 精確度：0.1° 解析度：0.01° 5.加速度部份 量測範圍：0~20G 精確度：0.5% 解析度：0.01° 6.類比輸出入 電壓(± 50VDC、解析 24bit) 7.數位輸出入 CAN Bus 及 TTL 數位訊號
--	---

● 體積式燃油流量計

本次研究之油耗量測儀器採用德國 Kistler 體積式燃油流量計，可精確量測動態油量消耗量，常使用於機車、小客車及重型客貨車之回油或不回油式引擎，且具有熱交換及冷卻泵浦溫控系統維持油溫穩定，確保流量量測之精確度。其量測原理利用一轉軸連接 4 個精密活塞，當油箱燃油進入並充滿活塞室時，推動活塞並使其移動，相對轉動中央之轉軸旋轉，因轉軸上安裝非接觸式之霍爾感應器進而產生脈波訊號，提供資料記錄器記錄燃油之流量或消耗量本次研究採用，其相關規格及用途如表 6 所示。

表 6 Kistler 體積式燃油流量計規格

量測範圍 (感知器) (l/h)	0.5 to 250
最大流量 (幫浦) (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 <sup>3</sup> )	0.33

### 3. 結果與討論

#### 3.1 數據擷取說明

為了方便比對引擎模式(怠速運轉)與電動化空調模式(怠速熄火)之燃油使用效率與節能效益，本實驗測試過程中同步擷取車輛特性與駕駛艙環境溫度相關數據，如表 7 所示。為求實驗數據之準確與客觀性，每組控制參數下皆進行兩次以上測試實驗，並進行再現性比對與平均值計算。

表 7 測試數據擷取項目

1	時間(sec)	
2	車速(km/h)	
3	引擎轉速(rpm)	
4	累積油耗(c.c)	
5	電瓶電壓(Volt)	
6	電動空調電瓶輸出電流(Amp)	
7	室外溫度(C)	
8	電動空調入風口溫度(°C)	
9	電動空調出風口溫度(°C)	
10	車室溫度(°C)	

#### 3.2 燃油使用效率影響之比較

分別利用引擎模式與電動空調模式，搭配提領貨櫃之模擬情境進行實車測試。於引擎模式測試時，不論車輛行走或怠速停等皆保持引擎運轉，以提供車上空調所需之動力。而電動空調模式測試時，僅車輛行走時還保持引擎運轉以提供車上空調所需之動力，但在怠速停等時，引擎熄火且開啟電動空調系統。透過怠速停等熄火的機制來節省燃料消耗，以提升燃油經濟性。由圖 5 可明顯看出，利用電動空調模式之累積油耗表現較引擎模式低，累積油耗從 12.73 降至 10.6 公升，亦即透過模擬情境一個循環的測試可節省約 2 公升之油量。經由換算後得知其節能效益可達約 16.8%。而此模擬情境的一個循環測試，其行駛總距離約為 91.6 公里，透過換算其平均油耗可從引擎模式的 7.19 km/l 提升至電動空調模式的 8.64 km/l。此為一個循環的測試結果，於實際營運模式每台貨櫃車一天約有 2-3 個類似的循環發生，也就是一天可省下約 4-6 公升之油料。車隊車輛數多及使用時間相對增加，其節能效益也隨之增加。

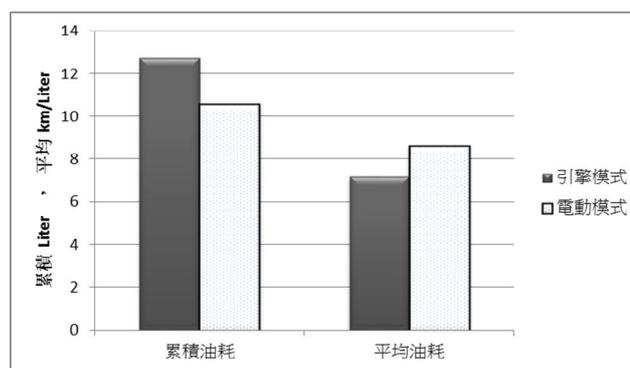


圖 5 不同模式下之油耗表現

電動空調所使用之電力為車上既有之電瓶所提供，並透過車輛行駛過程之回充電力進行儲存，以提供下次停等所需之電力。本實驗透過怠速停等 60 分鐘進行耗電測試，並針對引擎發動後回充時所需之油耗進行比較。由圖 6 可看出，經由 60 分鐘之電動空調開啟運轉後，其電瓶電壓從 26.92 降至 24.65 Volt，電力消耗功率約為 400 W。重型商用車輛電瓶一般使用 100-150 Ah，對於此消耗功率運轉下，應付 2 至 3 個小時的電動空調使用時間非常足夠，且此系統有設計電壓安全保

護裝置，當電壓低於約 23 Volt 時，系統將自動關閉，以確保車輛下次啟動可正常發動運轉。本實驗亦探討電動空調使用後造成電瓶電壓下降，車輛重新發動後，車上發電機為了快速回充補給電力，而使得引擎負載加大，其是否造成油耗提升的影響。模擬情境於 60 分鐘停等間格前後分割成兩個區域，分別利用充滿電力與使用完 60 分鐘電動空調的電瓶狀態進行油耗測試分析，其兩者油耗結果顯示相差約 0.014 公升，幾乎無差距，亦即經由 60 分鐘電動空調使用後之電瓶電力補給的過程中，對於油耗表現無明顯的影響。

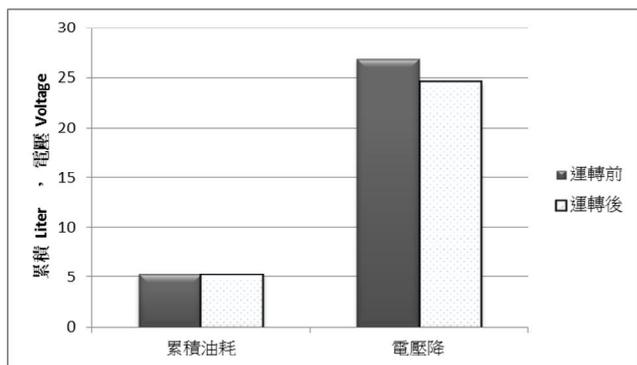


圖 6 電動空調使用前後之電壓與油耗關係

### 3.3 駕駛艙環境溫度影響之比較(停等過程)

為了了解電動空調與車上空調系統於車輛停等期間的冷房能力差異，安裝了兩支 K-type 的熱電偶分別於電動空調的出風口與入風口位置。圖 7 為使用電動空調時之出風與入風口溫度，車輛於停等過程，引擎熄火而關閉車上空調系統，並同時開啟電動空調系統，其入風口溫度從約 20 °C 提升至 28 °C，之後皆維持於約 27 至 28 °C 之間。透過入風口吸入之氣體經由電動空調之蒸發器冷卻後，其出風口氣體溫度慢慢下降，於三分鐘內溫度可從 20 °C 降低至 12 °C 左右。此電動空調系統設計為輔助的功能，主要應用於車輛熄火停等過程中，保持駕駛艙於舒適的溫度，使駕駛得以舒服休息。車上空調冷房功率一般約為 3 至 4 kW，而本實驗所使用之電動空調系統冷房功率為 1.2 kW，因此其出風口溫度無法與車上既有之空調系統相互比較。車輛上量測過程干擾源較多，使得溫度量測過程偶爾有雜訊發生(約 7000、20000 與 30000 msec)，而本實驗的量測時間與數據量皆足夠，其準確性與可靠度將不造成影響。

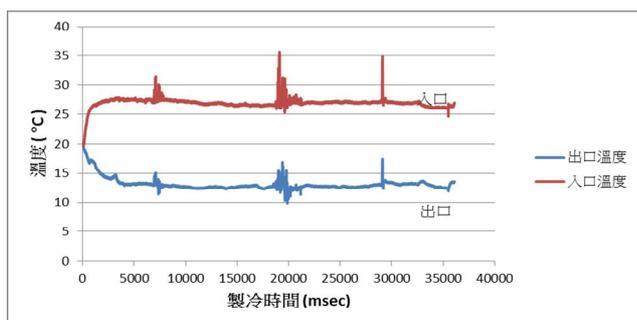


圖 7 電動空調進出口溫度變化

車輛停等引擎熄火過程中，為了探討電動空調是否可維持駕駛艙舒適的溫度，本研究於駕駛艙內中間座位處安裝一支 K-type 熱電偶，其針對 60 分鐘停等的過程進行駕駛艙環境溫度擷取。分別利用引擎模式(車上空調)與電動空調模式(引擎熄火)進行測試，其溫度擷取結果如圖 8 所示。引擎模式的測試結果可看出，車上空調系統可持續降低駕駛艙溫度，於 60 分鐘停等過程中從初始溫度約 29 °C 可降低至 25 °C 左右。而使用電動空調的測試結果顯示，初始溫度約為 27 °C，在引擎熄火停等的 60 分鐘過程中，其駕駛艙溫度僅能維持在初始溫度的正負 2 °C 之間，而無法持續降溫。正如前述，此電動空調設計為輔助保持舒適溫度的功能，而非主要降溫所需設計。

實驗測試當天溫度約為 31 °C，且實驗測試車輛無貼附隔熱紙或窗簾，測試車道亦無任何遮蔽物，因此駕駛艙溫度呈現較理論值高。而實際之營業車隊車輛多數亦無裝設隔熱紙或窗簾，因此本實驗測試之操作條件符合實際應用狀況。透過此實驗結果可得知，於引擎熄火停等的過程中利用電動空調提供製冷，可維持駕駛艙舒適的溫度供駕駛者休息。

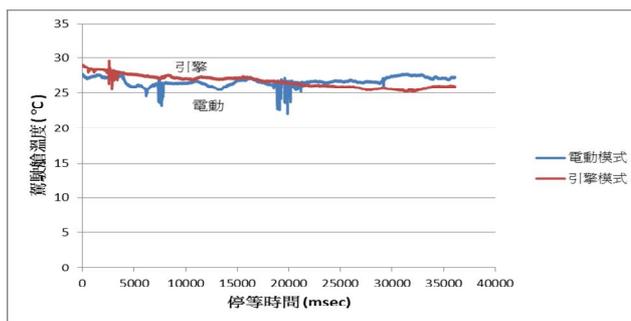


圖 8 60 分停等時間不同模式之駕駛艙溫度變化

最後，透過平均溫度的方式進行比較，本實驗針對整個模擬行車型態循環與單純 60 分鐘停等過程之平均溫度進行比較，分別利用引擎模式與電動空調模式進行測試，其結果如圖 9 所示。由圖中可看出整個模擬行車型態循環之平均溫度部分，停等過程利用電動空調系統來維持駕駛艙之溫度，其溫度略低於使用車上空調時約 1.5 °C。有此 1.5 °C 溫度差的結果，可能是因為測試時外界環境溫度影響，使得駕駛艙內之初始溫度不同所致。單純利用 60 分鐘停等過程之平均溫度進行比較，其結果顯示利用引擎模式與電動空調模式之平均溫度幾乎相同。此結果亦呼應了前述討論，利用電動空調系統於停等過程中替代車上空調系統，其可維持駕駛艙舒適的溫度，且與引擎模式運轉下相似。

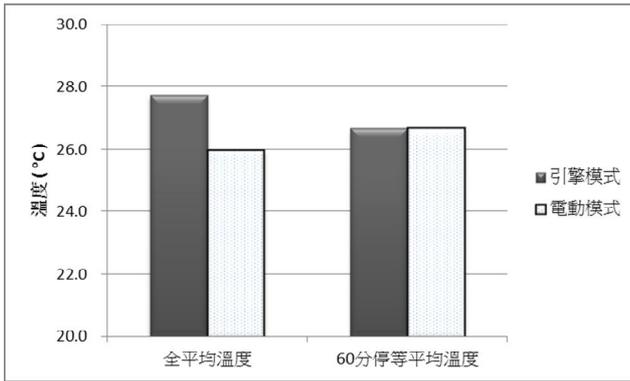


圖 9 不同模式下駕駛艙平均溫度比較

#### 4. 結論

102 年與貨運業者合作研究，發現貨櫃車於碼頭或客戶端怠速停等的頻率與時間皆很高，多半是為了維持車上駕駛艙空調供應，因而維持引擎怠速運轉。因此本研究引進駕駛艙電動空調技術，安裝於實驗測試車輛進行安裝，藉此評估其系統之可行性與適用性，相關測試結論如下所述：

1. 透過模擬情境一個循環的測試可節省約 2 公升之油量。經由換算後得知其節能效益可達約 16.8%。車隊車輛數多及使用時間增加，其節能效益則隨之提升。
2. 電動空調系統之電力消耗功率約為 400 W，對一般重型商用車輛使用之 100-150 Ah 電瓶，經測試可提供 2 至 3 小時(停等過程)電動空調運轉。
3. 於引擎熄火停等過程中，利用電動空調進行駕駛艙製冷，可維持舒適的溫度供駕駛者休息。除此之外，駕駛艙電動空調之應用，不僅可節省怠速停等之燃料消耗，以提升燃料使用效率，更可降低污染排放與噪音產生。

#### 5. 致謝

本研究係經濟部能源局委託財團法人車輛研究測試中心辦理之「重型車輛耗能管制與節能應用技術推廣計畫(1/3)」(計畫編號：103-E0404 的部分成果)，謹此致謝。

#### 6. 參考文獻

- [1] 100年車輛節能應用技術研究計畫(1/3)結案報告，車輛研究測試中心，12月，2011
- [2] <http://www.scania.com/>
- [3] <http://www.dirna.com/company-ing.php>
- [4] Drina mini cool-Dinamic 1.2/24V 使用手冊，2010
- [5] 102 年車輛節能應用技術研究計畫(3/3)結案報告，車輛研究測試中心，12月，2013
- [6] RACELOGIC VBOX II 10Hz 使用手冊，2012