

汽車使用電動輔助空調之效益評估

石育岑、林克衛

財團法人車輛研究測試中心

摘要

車輛在怠速熄火期間，由於引擎停止運轉使得空調系統無法運作，而造成車廂悶熱。若使用電動馬達來作為車用空調壓縮機的輔助動力，為可行的解決方案，並可提高傳統車輛搭載怠速熄火系統的接受度。

本文探討在怠速熄火期間，使用電動馬達來作為車輛空調壓縮機動力時的功率消耗，與車輛使用空調的油耗及污染排放差異，藉以評估車輛使用電動輔助空調系統的效益。研究結果顯示，當環境溫度 30°C、開啟空調使車內溫度維持 23°C 的熱負載下，車輛在怠速運轉使用空調的油耗率較未開空調時高約 14.2%，但污染排放量則差異不大。車輛在市區行駛時對發電機充電來供應電動馬達驅動壓縮機，雖然可以減少車輛怠速時的燃油消耗與污染排放，卻會明顯增加行駛中的油耗率，與怠速下使用傳統空調相較需增加約八成，才足以供應車輛怠速熄火時的冷房需求。若是在高速行車型態下對電瓶充電，則使用電動輔助空調會較傳統皮帶帶動的空調減少 30% 以上的油耗。

此外，以油耗累積量與車輛怠速運轉時間的關係來看，並考慮使用電動輔助空調時車輛需重新啟動的影響，可知累積油耗量在怠速 35 秒後較未開啟空調時低 12%，怠速 65 秒後則低約 17%。顯示利用車輛在高速行駛時引擎運轉效率高，間接提高充電效率的情況下，使用電動輔助空調系統才會具有明顯的節能效果。

關鍵詞：車輛、空調、馬達、怠速熄火、效益

1. 前言

近年來，環保和能源問題成為世界關注的焦點，亦成為影響汽車業發展的關鍵因素，各種替代能源動力車的出現，為汽車空調業提出了新的課題與挑戰。

大型車輛(如大貨車、大客車)在停車時的空調系統是採用獨立式空調，以輔助發動機作為動力源，其最大特點是致冷效果不受汽車行駛速度的影響，但空調系統的體積和質量較大，佈置較複雜，製造與使用成本較高，因此一般小客車並不採用此類空調系統。

在地處亞熱帶的台灣地區，車輛的空調尤其是冷氣的提供，對於使用者而言是不可缺少的配備。為使小客車在停車時或怠速熄火時仍可供應空調，可行的方案是採用電動空調或是電動輔助空調，這是指車輛的空調系統中，壓縮機的帶動不僅僅透過引擎皮帶來驅動，需進一步藉由電動馬達來帶動，使車輛在引擎不運轉的情況下，仍能透過電動馬達來使空調系統持續作用，以維持車內駕駛者或是乘員的舒適性。

當引擎停止運轉時，車輛空調系統的運作方式可依動力來源與應用的車輛種類來區分，如表1所示[1][2]。

(1) 傳統車輛(Conventional ICE)

傳統車輛的空調壓縮機是由引擎透過皮帶來帶動，在引擎運轉時除提供車輛行進的動力，亦提供空調系統壓縮機所需的能量。因此當引擎熄火，車內空調亦無法繼續供應。

(2) 輕複合動力車輛(Micro-hybrids with stop & start)

這是指配備有怠速熄火系統(Idle stop system)的傳統汽車，另配有啟動馬達(Starter)可使引擎自動從熄火狀態中重新啟動。但其空調壓縮機仍以引擎皮帶來帶動，意即引擎熄火後也將不提供空調使用。或是當空調系統作用時，車輛便不會在怠速運轉時自動熄火。

(3) 中複合動力車輛(Mild-hybrids)

複合動力車輛具有較高電壓的電源，其馬達可用來提供車輛行進的動力。若車上搭載混合式空調壓縮機(hybrid compressor/2-way driven compressor)，則可由電動馬達或引擎來驅動壓縮機，當引擎運轉時由引擎皮帶來驅動壓縮機，而引擎停止時，則由馬達來帶動壓縮機。由表1中可知，此類型車輛用於空調的電系為42V，約為傳統車輛電系的3倍。

(4) 強複合動力車輛(Strong-hybrids)

電系規格大於100V的複合動力車輛，如Honda Civic Hybrid，其空調系統可採用混合式壓縮機，由皮帶與馬達分別或共同帶動空調壓縮機。或是TOYOTA發展的Prius複合動力車，使用純電動壓縮機，由儲存在電池內的電力提供空調系統的電力來源，而不再使用引擎皮帶來驅動空調壓縮機，即使在汽油引擎沒有運轉的狀態下，仍能讓車內持續保持涼爽。

表 1 引擎停止運轉時的空調動力型式

	傳統車輛	輕複合動力車輛	中複合動力車輛	強複合動力車輛
電系	12V	12V 或 42V	42V 以上	大於 100V 以上
空調驅動方式	引擎皮帶	引擎皮帶 / 混合式(皮帶 + 電動馬達)	引擎皮帶 / 混合式(皮帶 + 電動馬達)	混合式(皮帶 + 電動馬達) / 電動馬達

1.1 使用汽車空調的影響

傳統汽車的空調系統是透過電磁離合器的頻繁閉

合，來使壓縮機開始或停止工作，以維持車廂內的溫度，無法根據致冷的需求而自動改變功率輸出，此對引擎油耗的影響很大。根據過去的研究顯示[3]，車輛使用空調會使燃油經濟性減少(油耗增加)約 12~21%，圖 1 所示為 FTP-75 行車型態下車輛使用空調對於油耗的影響，市區油耗相差約 20%，高速油耗相差 12%，整個行車型態下平均則相差 17%。

日本 Denso 公司針對其開發的電動壓縮機空調系統，探討使用電動空調對於舒適性與功率消耗的影響[1]。研究結果指出，使用電動空調不僅可平穩地維持車廂內的溫溼度，提高駕駛舒適性，更藉由電動壓縮機運轉條件的控制，使空調系統更有效率。在相同的冷房能力下，電動壓縮機的消耗功率較低，可提高車輛續航力達 10% 以上(相較於引擎皮帶帶動)。日本 Matsushita 的研究亦指出[4]，當車輛處於 Idling Stop 期間，透過變頻控制技術，車廂溫度仍不致有太大的變化。

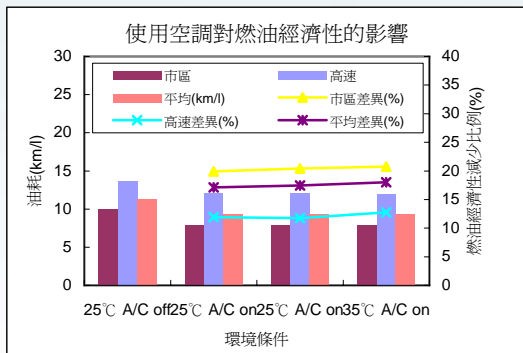


圖 1 使用空調對於汽車油耗的影響

1.2 混合式空調的優勢

Denso 針對混合動力車設計一款可使用引擎皮帶帶動與馬達驅動的雙向混合式壓縮機(2-Way Driven Compressor)[5]。其壓縮機的動力切換策略，在車輛加速時，由引擎同時驅動車輛與空調壓縮機；車輛減速或停止時，引擎不運轉，則改由馬達來帶動壓縮機。透過馬達驅動壓縮機可延長引擎停止運轉的時間，進而降低車輛的油耗。相較於傳統空調系統，透過混合式壓縮機的動力切換策略，可節省引擎的燃油消耗達 8%。

Yuji 等人[6]亦研發混合動力式的空調壓縮機(Dual Scroll Hybrid Compressor, DSHC)，透過雙渦卷結構的設計，在引擎皮帶帶動壓縮機時，冷煤排量為 70 cc/rev.，而馬達帶動時，冷煤排量可為 15 cc/rev.。此壓縮機除了可以分別由皮帶帶動或是馬達驅動外，亦可皮帶與馬達同時來帶動壓縮機。其控制模組的使用策略亦有別於傳統空調：(a)在引擎停止時，控制馬達轉速以維持車內溫度；(b)控制雙動力驅動(皮帶與馬達)，以保持最大的冷房能力。(c)在可維持相同冷房效果的前提下，透過功率消耗的計算，選擇最佳的驅動模式(皮帶或馬達)來降低壓縮機的功率消耗，以達到最大的省能效果。該研究亦比較使用 DSHC 與變排量壓縮機(Externally Controlled Variable Displacement Compressor, ECVC)的燃油消耗，結果顯示在市區行車型態下，DSHC 的燃油消耗較

ECVC 明顯低約 20% 以上；高速行車型態的差異較小，但 DSHC 的燃油消耗仍優於 ECVC，顯示透過馬達驅動壓縮機控制策略的使用，可有效降低空調系統的能量損耗。

由以上的研究可知，電動壓縮機或是混合動力式壓縮機除了可有效降低空調系統的能耗，更針對未來車種的動力來源提供因應策略。雖然這些壓縮機的使用皆應用在複合動力車上，但從其使用策略仍可思考現今傳統車輛對於空調系統改善的方法。

2. 研究方法

車輛在怠速熄火期間，由於引擎停止運轉使得空調系統無法運作，而造成車廂悶熱的問題。若使用電動馬達來作為車用空調壓縮機的輔助動力，為可行的解決方案，並可提高傳統車輛搭載怠速熄火系統的接受度。

電動馬達所使用的電力來自於電瓶，這是引擎透過發電機充電儲存至電瓶而來，在經過多次能量的轉換之後會因轉換效率而產生一些能量損耗。以整體效益來看，電動輔助空調系統在怠速期間所消耗的功率，必須低於原引擎在怠速運轉時啟動空調所使用的總能量(包括引擎運轉本身的油耗與供應空調的額外負載)，才會具有節能的效果。因此，電動輔助空調系統的能量消耗與傳統直接使用引擎皮帶來供應空調的差異有多少，是一個值得探討的問題。

過去 Guyonvarch 等人[2]曾針對車輛在引擎熄火期間，車廂內的溫度維持進行不同空調解決方案的評估。該研究以車輛在三種不同的停等(Engine stop)情況下，包括怠速熄火期間(Stop in stop&start)、臨時停車(Short parking stops)與預先開啟空調(Pre-conditioning)等，依冷卻量與停等時間分別計算熱負載。研究結果指出，若以效率與增加的設備重量來考量，搭載怠速熄火系統的車輛應使用 2 種以上動力來驅動空調，如使用皮帶+儲熱器(thermal storage)，或是皮帶+電動馬達；而為使車內舒適度達到消費者需求，最佳的方案則是使用燃料電池作為獨立的輔助動力單元(Auxiliary power unit, APU)，以提供空調所需的動力。

本文參考過去的文獻，並透過油耗與污染排放測試，探討車輛在怠速熄火期間，使用電動馬達來驅動空調壓縮機時其功率消耗的情形，與車輛使用空調對於油耗及污染排放的影響，藉以評估車輛搭配電動輔助空調系統的效益。

3. 測試方法與系統條件設定

本文探討電動輔助空調系統效益，系統組成包括引擎、發電機、電瓶、電動馬達、壓縮機等，其中引擎運轉時由引擎透過皮帶來帶動壓縮機，當引擎停止則由電動馬達直接驅動壓縮機。以下分別敘述本文進行車輛使用空調的油耗與污染排放測試方法，以及系統評估時的條件設定。

3.1 測試方法與設備

本文以一台 2003 年出廠的 SAVRIN 作為測試車，並在車輛研究測試中心的標準實驗室進行怠速運轉測試，燃油則使用 FTP 四期測試用油(標準 95 無鉛汽油)，圖 2 所示為本文所進行的測試流程。這是在車輛怠速運轉狀態下，以污染分析儀與油耗計來量測開啟空調前後，車輛油耗與污染排放的變化情形，藉以探討車輛怠速運轉時使用空調的影響。進行測試前，先將測試車發動使引擎達到工作溫度，之後在怠速情況下量測其油耗與污染排放，環境溫度設定在 30°C；接著開啟車輛空調，待車廂內溫度達到 23°C 後，重覆量測步驟。

此外，為探討開啟空調對於車輛熱啟動的影響，本文亦進行在車輛怠速運轉 10 秒後，將引擎熄火 20 秒，再重新啟動，模擬搭載怠速熄火系統的車輛，在等停 30 秒紅燈的情況，量測其熱啟動的油耗及污染排放情形。表 2 為本文進行測試時所使用的量測設備，測試時的實驗配置則如圖 3 所示。

表 2 本文所使用的測試設備

測試條件	測試設備	設備規格
	測試車	Mitsubishi Savrin 2.0 (2003 年 11 月出廠)
怠速測試	油耗計	AVL 733S 質量法油量計
	污染分析儀	HORIBA MEXT-554JA

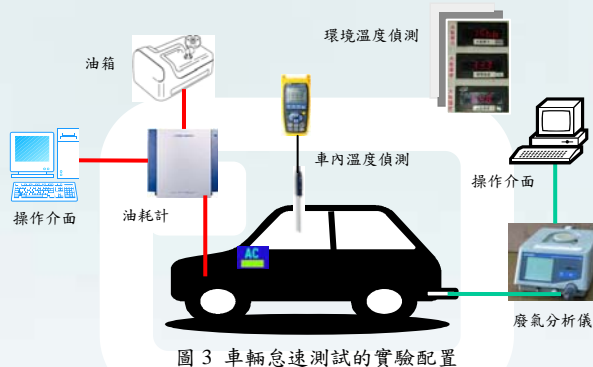


圖 3 車輛怠速測試的實驗配置

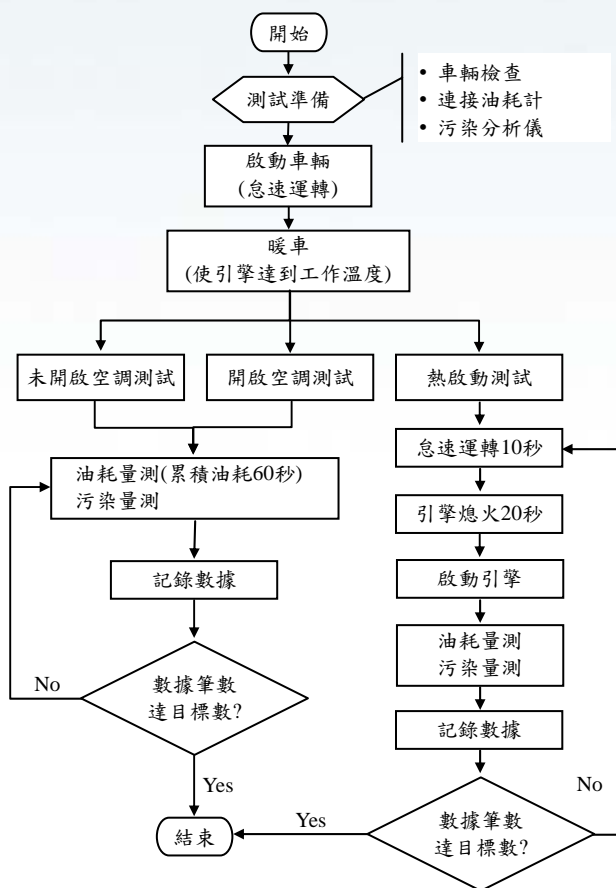


圖 2 本文進行車輛使用空調的測試流程

3.2 系統條件設定

以下分別敘述本文在進行系統評估時的條件設定值，圖 4 所示為本文探討電動輔助空調系統效益之示意圖，並將各設定值列如表 3 所示。

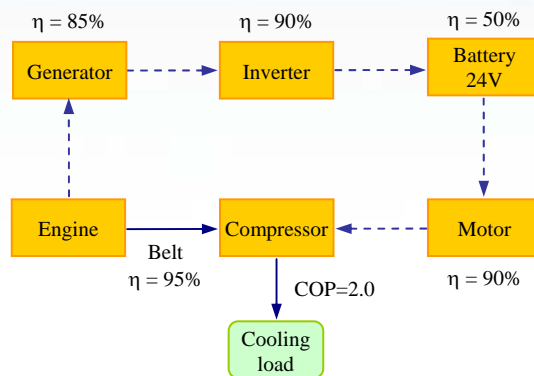


圖 4 電動輔助空調系統效益評估之系統架構

表 3 系統評估時的條件設定值

項次	項目	設定值	備註
1	車輛的最大空調負載	7.1 kW	環境 35°C、車內 23°C [7]
2	引擎怠速轉速	750 rpm	[7]
3	停等期間的空調負載	3717.4 W	環境 30°C、車內 23°C
4	空調效率(COP)	2.0	[7]
5	壓縮機消耗功率	1858.7 W	環境 30°C、車內 23°C
6	皮帶傳動效率	95%	[2]
7	馬達轉換效率	90%	[9]
8	發電機效率	85%	[10]
9	電瓶放電效率	50%	[11]
10	轉換器(inverter)效率	90%	[2]
11	電瓶電壓	12V × 2	串聯
12	電瓶供電量	40Ah	
13	車輛停等時間	180 sec 以內	

(1). 車輛的最大空調負載

台灣地區夏季酷熱高濕，汽車之最大空調負載遠大於歐美及日本地區，張炯堡等人[7]以熱流理論進行推導及估算，將最大空調負載分成 18 個來源，提出一套可迅速計算車輛空調系統最大負載與冷凍能力估算的方法，並以國內中華三菱所生產之 SAVRIN 車款(雙廂式車輛)作為計算模式的驗證對象。研究結果顯示，模式計算所得之該車款最大空調負載與冷凍能力為 6115.7 kcal/hr(外界溫度 35°C，車室內溫度 23°C，有日照情形下)，相當於 7.1 kW，其中穩態空調負荷為 4203 kcal/hr，額外熱負荷為 1912.7 kcal/hr。本文參考其研究成果，設定空調負載的使用情境。

(2). 車輛停等時的冷卻量

由張炯堡等人的定義可知[7]，車輛剛啟動不久的空調熱負荷最大，包括「穩態空調負荷」與「額外空調負荷」；在車輛行駛中空調的熱負荷主要為「穩態空調負荷」，壓縮機的作動是用來維持車廂內的溫溼度。因此，可知 SAVRIN 車款在停等期間的空調負載為 4203 kcal/hr(4880.2 W)，若 COP 值為 2.0，則壓縮機消耗功率為 2440.1 W(環境溫度 35°C，車室內溫度 23°C，有日照情形下)，這是指保持車廂溫溼度不變的情況下壓縮機所消耗的能量，且此條件的設定在於夏季高溫下，可視為車輛停等時最嚴苛之空調負載。

在車輛停等期間，若僅使用馬達來驅動壓縮機，根據 Denso 的研究結果[5]，在引擎停止運轉且冷房量為 1500 W 時(30°C、半日照的環境下)，可使車廂內溫度維持低於 18°C 達兩分鐘以上，這與張炯堡等人的研究結果差異較大。Guyonvarch 等人所做的一項研究亦指出[8]，要維持車輛停等時的舒適性，在 35°C、1000W/m² 的日照強度下，需要 3 kW 之冷卻量(車廂內溫度約 22°C)；若要使車內的溫度變化在人員可接受的舒適度(5°C 以內)，需要提供 2 kW 的冷卻量；即使無日照的狀況下，也需要 1 kW 的冷卻量，才能維持車廂內的溫度不變。

本文參考張炯堡等人的研究成果，估算環境溫度 30°C、車廂內溫度為 23°C 時的「穩態空調負荷」，計算結果為 3717.4 W，此為本文評估車輛在停等期間空調負荷量的依據。

(3). 性能係數

車輛空調系統的效率可由性能係數(Coefficient of Performance, COP)來表示，這是指空調系統所造成的冷卻量與消耗功率的比值，在相同冷房能力下，消耗的功率愈低，則 COP 值愈大，空調效率愈高。目前車用空調的 COP 值約在 2.0 以下，本文在進行系統效益計算時，設定空調 COP 值為 2.0。

(4). 壓縮機消耗功率

傳統車用壓縮機所需的功率來自於引擎提供，其功

率消耗可由性能曲線得知。本文在進行評估時，由於使用之測試車為 SAVRIN，壓縮機為 Denso 10S17C，與張炯堡等人用以驗證的對象相同。因此，可得壓縮機消耗功率為 1858.7 W。

(5). 馬達轉換效率

本文用以驅動空調壓縮機的馬達為永磁無刷馬達(Permanent Magnet Brushless DC Motor)，根據過去的研究[9]，此型式的馬達效率約 90~95%之間，為效率較高的馬達型式。

(6). 電能轉換效率

這包括發電機的轉換效率、電瓶的電能轉換效率，以及轉換器(Inverter)的效率。車輛上電能的供應來源為發電機，而發電機所需的機械能則來自於引擎作功，本文設定發電機由機械能轉換成電能的效率(generator efficiency)為 85%[10]。發電機所產生的電能會儲存至電瓶，以電容量為 40Ah、電壓 12V 的車用電瓶而言，大電流放電條件下(2C)放電效率約為 50%[11]。此外，轉換器(Inverter)的效率本文則設定為 90%[2]。

(7). 電瓶供電量

一般車用的電瓶電壓為 12V，電容量為 40~60Ah。本文評估時使用兩顆 12V 的電瓶串聯，提供壓縮機驅動馬達所需之電壓與供應電流。若以一最大電流值 127A、相電流為 90A 的馬達規格來計算，使用 40Ah 的電瓶，約至少可維持馬達運轉 10 分鐘。前述之電流值為啟動壓縮機瞬間所需，在馬達連續運轉的情況下，所需之電流會較低。

(8). 停等時間

台灣地區各縣市的交通號誌中，大多數的紅燈倒數時間(秒數)只有兩位數，即單次停紅燈的時間最多為 99 秒。只有少數會有三位數的紅燈倒數器，且部分停紅燈時間超過 100 秒的，停等時間多在 2 分鐘以內，最長也很少超過 3 分鐘。此外，部分縣市為響應環保節能政策，實施機動車輛怠速運轉時間不能超過 3 分鐘未熄火，並執行取締與稽查，用意在降低車輛怠速運轉的污染排放。

4. 研究結果

以下分別敘述本文探討車輛怠速下開啟空調對於車輛油耗與污染排放的影響，以及使用電動輔助空調系統效益的研究結果。

4.1 使用空調對車輛怠速運轉的影響

為探討車輛怠速運轉狀態下，開啟空調對於車輛油耗與污染排放的影響，本文先讓測試車運轉一段時間，待引擎達到工作溫度後，量測車輛怠速運轉的油耗與污染排放。表 4 所示為車輛怠速時開啟空調前後的量測結果，表中數值為連續取樣 12 次之後的平均值，實驗時環境溫度設定在 30°C，開啟空調後的車廂溫度則為 23

°C。由表中可知，車輛在未開啟空調時，平均油耗率為 0.246 g/sec，因車輛怠速時並無功率輸出，這一部分的燃油消耗用於維持引擎本身的運轉。在車輛開啟空調後，因負載增加，引擎需輸出功率來驅動空調，其油耗率增加為 0.281 g/sec，較未開啟空調時增加 14.2%，污染排放量則變化不大。

表 4 中亦列出車輛熱啟動的污染排放，這是在車輛怠速運轉 10 秒後，將引擎熄火 20 秒，再重新啟動後的結果。車輛在啟動時，會供應較多的燃油以使引擎順利啟動，根據本文的量測結果，熱啟動的時間平均 2.1 秒即可啟動成功，油耗率則平均為 0.066 g/sec，約為車輛怠速運轉時油耗率的 27%。由於車輛在啟動時，污染排放並非穩定值，其中 HC 排放會在引擎啟動過程持續增加達一峰值後，再下降至怠速穩定值，故本文以 HC 的峰值為取樣點，代表車輛熱啟動時的污染排放最大值。

表 4 使用空調對車輛怠速運轉的影響

		無空調	有空調	熱啟動
油耗 (g/sec)		0.246	0.281	0.066 ⁽¹⁾
污染 排放	CO (%)	0	0.01	1.18
	HC (ppm)	3	3	677 ⁽²⁾
	CO ₂ (%)	18.6	18.86	16.14
	O ₂ (%)	1.09	1.04	2.59

(1) 引擎平均啟動時間為 2.1 秒。

(2) 污染排放值以 HC 排放量達最大值時為取樣點。

4.2 電動輔助空調的能量消耗

傳統車輛的空調系統中，壓縮機是透過皮帶由引擎來帶動，當壓縮機的消耗功率為 1858.7 W 時，若皮帶的傳輸效率為 95%，如表 3 所示，則引擎至少需輸出 1956.5 W 的功率才能使壓縮機運轉。這相當於車輛在行駛中或是怠速時，開啟空調後引擎需額外負擔的輸出功率。

相同的冷房條件下，若改以電動馬達來帶動壓縮機，最明顯的效益是車輛在怠速期間可減少其污染排放，又可供應車廂內空調的使用。但電瓶供應馬達所使用的電能來自於引擎運轉，且經過多次能量的轉換之後產生，在能量轉換過程中會因轉換效率而產生損耗。因此，馬達運轉時雖然沒有污染排放，但消耗的功率卻會增加引擎的負擔。以馬達的轉換效率為 90% 而言，馬達需消耗電瓶的功率為 2065.2 W；而由引擎運轉提供的功率則為 5399.3 W，約 5.4 kW，才足以供應馬達來帶動壓縮機使用，且此部分的能量是引擎在車輛行駛間，便透過發電機預存在電瓶內的。

本文估算行車型態下，引擎提供給馬達運轉的功率，相當於引擎需要多增加的油耗量。計算方法可表示如下：

由方程式(1)可計算行車型態下車輛有無開啟空調的油耗率。

$$\dot{m} = \frac{d}{FC_{driving}} \times \frac{S_{driving}}{t_{driving}} \quad (1)$$

其中 \dot{m} : 行車型態下的油耗率(g/sec)

d : 汽油的密度(g/L)，為 737.7 g/L。

$FC_{driving}$: 行車型態下的油耗(km/L)

$S_{driving}$: 行車型態的行駛距離，FTP-75 行車型態為 17.77 km。

$t_{driving}$: 行車型態的行駛時間，FTP-75 行車型態為 1874 秒。

而引擎提供給馬達運轉所需要多增加的油耗率，則可利用方程式(2)來計算。

$$\dot{M}_{motor} = W_{motor} \times \frac{\dot{m}_{withA/C} - \dot{m}_{withoutA/C}}{W_{belt}} \quad (2)$$

其中 \dot{M}_{motor} : 引擎供給馬達運轉的油耗率(g/sec)

W_{motor} : 引擎供給馬達運轉的輸出功率 (W)，本文設定為 5399.3 W。

W_{belt} : 引擎皮帶驅動空調的輸出功率 (W)，本文設定為 1956.5 W。

$\dot{m}_{withA/C}$: 行車型態下開啟空調的油耗率 (g/sec)

$\dot{m}_{withoutA/C}$: 行車型態下未開啟空調的油耗率 (g/sec)

利用圖 1 中的測試結果與方程式(1)、方程式(2)即可估算出行車型態下，引擎用來提供給馬達運轉的功率相當於引擎多增加的油耗率。以市區行車型態而言，未使用空調的油耗為 9.93 km/L ($FC_{driving}$ with A/C off)，開啟空調後油耗降為 7.90 km/L ($FC_{driving}$ with A/C on)，經計算後可得引擎需額外提供 0.502 g/sec 的耗油率，才足以供應馬達在車輛怠速停止時驅動空調所使用的電能。

意即在車輛怠速熄火時使用電動輔助空調(壓縮機消耗功率為 1858.7 W 的情況下)所需的電能，若是引擎透過發電機在市區行駛下對電瓶充電所得，則會使引擎需額外增加 0.502 g/sec 的油耗，才足以供應車輛怠速熄火時的冷房需求。

比較怠速運轉的測試結果與市區行車型態的計算結果，可知怠速下開啟空調的油耗率為 0.281 g/sec，相

同狀態下使用電動輔助空調系統則會使引擎在市區行車型態下需額外消耗 0.502 g/sec 的燃油，油耗較使用傳統空調增加約八成。顯示車輛若在市區行駛時對發電機充電來供應電動馬達驅動壓縮機，雖然可以減少車輛怠速時的燃油消耗與污染排放，但卻會增加行駛中的油耗率。這是因為車輛在市區行駛時，引擎熱效率低使得油耗較高，相對用來儲存電能的效率也會變低。

4.3 不同情境下的使用效益

車輛在道路上行駛的路況很複雜，其車速與加速度變化與行車型態有關，本文以標準 FTP-75 行車型態來代表車輛的行駛狀況，藉以評估車輛在不同情境下使用電動輔助空調的效益。

利用前述的計算方法，可得不同行車型態下使用電動輔助空調的效益，包括市區行車型態(State 2)、高速行車型態(State 3)以及加權平均後的 FTP-75 行車型態(State 4)等，結果如表 5 所示。由表可知車輛在高速行車型態下(State 3)，開啟空調後車輛每公升可行駛的里程數，較未開啟空調時減少約 12%；若在此行駛狀態下，讓引擎帶動發電機對電瓶充電，儲存之後的電能在車輛怠速時提供給電動輔助空調使用，相較於傳統皮帶帶動的空調(State 1)可減少 30% 以上的油耗，且因為引擎怠速時熄火不運轉，所以亦可減少車輛的污染排放。若以整個行車型態(State 4)而言，則會使車輛行駛中的油耗增加 28.8%。

表 5 不同情境下使用電動輔助空調的效益

	State 1	State 2	State 3	State 4
行車型態	怠速	FTP-75 市區	FTP-75 高速	FTP-75 平均
車輛熱負荷(W)	3717.4(環境 30°C、車內 23°C)			
空調 COP 值	2.0			
壓縮機消耗功率(W)	1858.7			
引擎輸出功率(W)	1956.5	5399.3		
$FC_{driving}$ with A/C off (km/L)	-	9.93	13.71	11.34
$FC_{driving}$ with A/C on (km/L)	-	7.90	12.10	9.36
油耗率 with A/C off (g/sec)	0.246	0.704	0.510	0.617
油耗率 with A/C on (g/sec)	0.281	0.885	0.578	0.747
引擎輸出單位功率的油耗率 (g/sec/kW)	-	0.093	0.035	0.067
引擎提供馬達運轉的油耗率(g/sec)	-	0.502	0.189	0.362
使用電動輔助空調的效益(油耗)	-	↑ 82.6%	↓ 32.7%	↑ 28.8%

此外，車輛若使用電動輔助空調，需考慮引擎重新啟動時的油耗，本文將表 5 中不同條件下的油耗率表示

成油耗累積量與車輛怠速運轉時間的關係，其中使用電動輔助空調時考慮車輛熱啟動的影響。而怠速時間的設定，則包括兩種情況，如圖 5 所示：

(1)紅燈 35 秒：車輛以怠速運轉 10 秒後熄火 20 秒，再加上引擎重新啟動的時間 2.1 秒，最後行駛前約有 2.9 秒的怠速時間，一共有 35 秒，代表一般常見的停等紅燈時間；

(2)紅燈 65 秒：這是以較長的停等時間來設定，車輛在怠速 10 秒後熄火 50 秒，引擎重新啟動需 2.1 秒，最後行駛前約有 2.9 秒的怠速時間，一共有 65 秒，代表當車輛停等紅燈達 60 秒以上的情形。

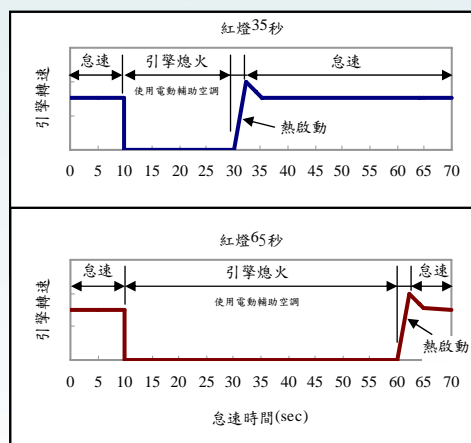


圖 5 車輛怠速時空調動力來源的切換時間

圖 6 為一般停紅燈的時間下(35 秒)，使用電動輔助空調系統與傳統車輛空調的累積油耗變化，由圖可看出 State 3 的累積油耗量在怠速 10 秒後開始即較傳統車輛開啟空調時低(State 1 with A/C on)，這是因為 State 3 的油耗率較低的緣故；而在怠速 20 秒以後，State 3 的累積油耗量已低於車輛未開空調時(State 1 with A/C off)的累積油耗量，而在 35 秒時包含重新啟動引擎的油耗，已較未開啟空調低 12%。顯示車輛高速行車型態下充電，在怠速時改使用電動輔助空調，其累積油耗量不僅低於傳統車輛開啟空調時的油耗，甚至在怠速 20 秒以上可低於未開空調時的累積油耗。

State 2 的油耗率較傳統空調高，至 35 秒時其累積油耗量已高約 40%；而以 State 4 的狀態，也在怠速運轉 35 秒後較傳統空調高 12%。圖 7 為等紅燈 65 秒的油耗累積情形，與圖 6 的變化類似，而至 65 秒重新啟動引擎後，State 3 的累積油耗已較未開啟空調低約 17%。

因此，以整體效益來看，使用電動輔助空調並非在所有的狀態下都具有效益，需要搭配引擎對發電機充電的時機。其中，利用車輛在高速行駛時引擎運轉效率高，間接提高充電效率的情況下，才會具有明顯的節能效果。

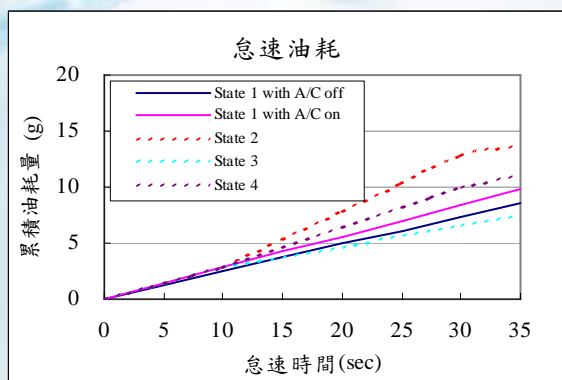


圖 6 車輛油耗量與怠速時間的關係(紅燈 35 秒)

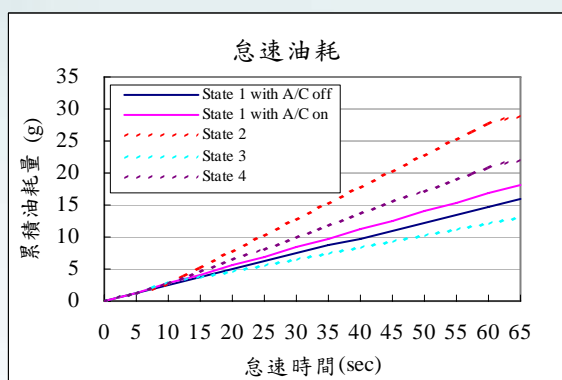


圖 7 車輛油耗量與怠速時間的關係(紅燈 65 秒)

5. 可能的問題點

電動輔助空調系統的開發在解決傳統車輛於怠速熄火期間，空調系統沒有動力來源所造成車廂悶熱的問題。本文以系統能量使用與污染排放來評估使用電動輔助空調的效益，對於系統技術發展方面，可預期的技術困難與商品化問題有下列幾點：

(1). 電瓶電量供應

傳統汽油車上所使用的電瓶為 12V，但驅動壓縮機所需要的電壓至少需要 24V 以上。在不變動傳統車輛電系的前提下，若以兩顆 12V 的電瓶串聯使用，則需考量電瓶的充電配置。此外，電瓶所能儲存的電量可以維持馬達運轉的時間，以及發電機需充電時間長短也需列入考量。

(2). 系統整體效益

使用電動輔助空調系統雖然在馬達運轉時沒有污染排放，但消耗的功率會增加引擎運轉時的負擔，也會影響引擎的污染排放情形，此部分也應再持續評估。

而如何令電動輔助空調系統的使用達到最佳化，在不增加過多能量消耗，甚至還可有節能效益的情況，則需透過更多的研究才能確認。

(3). 系統成本

與現有空調系統不同的是，電動輔助空調系統尚包含了壓縮機驅動馬達與控制器的使用，且需重新設計馬達與壓縮機之間傳動軸的連接。另外，電池電壓(24V

以上)與現行傳統車輛的電系不同，增加的電池重量與成本也會使得空調系統的整體成本增加，進而影響市場接受度，未來也應對此進行評估。

6. 結論

本文探討車輛在怠速熄火期間，使用電動馬達來作為車輛空調壓縮機動力時的功率消耗，與車輛使用空調的油耗及污染排放差異，藉以評估車輛在停車或怠速熄火時，使用電動輔助空調系統來供應空調的效益。

當環境溫度 30°C、開啟空調使車內溫度維持 23°C 的熱負載下，根據測試結果，車輛在怠速使用空調的油耗率較未開空調時高約 14.2%，但污染排放量則差異不大。而引擎熄火後再重新啟動，平均 2.1 秒即可啟動成功，油耗率則約為車輛怠速運轉(未開空調)時的 27%。

本文利用車輛怠速運轉的測試結果與過去已發表的數據，估算電動輔助空調的能量消耗。傳統車輛的空調系統是透過皮帶由引擎來帶動壓縮機，當冷房能力為 3717.4 W(環境溫度 30°C、車內溫度 23°C)時，引擎至少需輸出 1956.5 W 的功率才能使壓縮機運轉。相同的冷房條件下，若改以電動馬達來帶動壓縮機，引擎需提供的功率則約為 5.4 kW，且此部分的能量是引擎在車輛行駛間，透過發電機預存於電瓶內。

計算行車型態下，引擎提供給馬達運轉的功率所相當於引擎需要多增加的油耗，結果顯示車輛在市區行駛時對發電機充電來供應電動馬達驅動壓縮機(State 2)，雖然可以減少車輛怠速時的燃油消耗與污染排放，卻會明顯增加行駛中的油耗率，與怠速下使用傳統空調相較(State 1 with A/C on)，約需增加八成才足以供應車輛怠速熄火時的冷房需求。若是車輛在高速行車型態下(State 3)，讓引擎帶動發電機對電瓶充電，儲存之後的電能在車輛怠速時提供給電動輔助空調使用，則相較於傳統皮帶帶動的空調可減少 30% 以上的油耗。

此外，以油耗累積量與車輛怠速運轉時間的關係來看，並考慮使用電動輔助空調時車輛需重新啟動的影響，可知累積油耗量在怠速 35 秒較未開啟空調(State 1 with A/C off)低 12%，怠速 65 秒後則低約 17%。也就是說車輛高速行車型態下充電，在怠速時改使用電動輔助空調，其累積油耗量不僅低於傳統車輛開啟空調時的油耗，甚至可低於未開空調時的累積油耗。顯示利用車輛在高速行駛時引擎運轉效率高，間接提高充電效率的情況下，使用電動輔助空調系統才會具有明顯的節能效果。

以整體效益來看，使用電動輔助空調並非在所有的狀態下都具有效益，需要搭配引擎對發電機充電的時機。在實際系統的使用上，則需再考量電瓶電量供應、增加引擎運轉負擔的污染排放，及系統整體成本等，以提高市場接受度。

7. 致謝

本研究承蒙經濟部「車輛潔能動力關鍵技術開發」計畫贊助，計畫編號 97-EC-17-A-16-127-0790，以及台北科技大學黃國修教授、中興大學盧昭暉教授提供相關技術諮詢，始得完成，謹此致謝。

8. 參考文獻

- [1] Koji TAKAHASHI, Ken MATSUNAGA, Kiwamu INUI, “Product Development of Air Conditioner System with Electrically-driven Compressor for Hybrid Vehicles,” *DENSO TECHNICAL REVIEW*, Vol. 10, No. 1, pp.24-27, 2005.
- [2] Gwénaél Guyonvarch, Régine Haller and Loïc Lepetit, “A Comparison Between Climate Control Systems Providing Thermal Comfort during Vehicle Stops”, SAE paper 2003-01-1073, 2003.
- [3] 工研院機械所，「使用中車輛能源效率評估與提升」研究計畫，經濟部能源局委託計畫，93-D0201，2004。
- [4] M. Makino, N. Ogawa, Y. Abe and Y. Fujiwara, “Automotive Air-conditioning Electrically Driven Compressor”, SAE paper 2003-01-0734, 2003.
- [5] Takuo Sakai, Motohiko Ueda, Masao Iguchi, Taku Adaniya and Akinobu Kanai, “2-Way Driven Compressor for Hybrid Vehicle Climate Control System”, SAE paper 2004-01-0906, 2004.
- [6] Yoshii Yuji and Tsuboi Masato, “Development of Hybrid Compressor”, SAE paper 2004-01-0912, 2004.
- [7] 張炯堡、黃志達、高浚富、李俊承，「台灣地區車輛最大空調負載與冷凍能力研究」，*車輛工程學刊*，2007年第四期，第19-36頁，2007。
- [8] Gwénaél Guyonvarch, Régine Haller and Loïc Lepetit, “The Specific Issues of Climate Control in Stop&Go Vehicles”, SAE paper 2002-01-2225, 2002.
- [9] 莊瑞旭、陽毅平，“電動汽車直驅式軸向磁通永磁直流無刷馬達最佳化設計”，國立臺灣大學92學年度碩士論文，2003。
- [10] Tarun Malik and Clark Bullard, “Air Conditioning HEV While Stopped in Traffic,” SAE paper 2004-01-1513, 2004.
- [11] GS Battery Inc., GS Portalac PE12V40 General Specifications, USA, 2000.