

電動車熱泵空調採暖系統研究

鄭彥廷¹、林博煦²、鄭光廷³

^{1,2,3} 車輛研究測試中心(工程師)

¹E-mail:ytcheng@artc.org.tw

摘要

在現今市面上的電動車或油電力混合車上搭載的電熱式暖氣，因其電熱轉換效率與熱傳效率差等問題使得空調系統能源使用率低弱，進而造成電動車續航里程縮減。為了解決電熱式暖氣的缺點，本論文中提出一以熱泵系統為基礎之多功能空調系統，嘗試改善電動車暖氣系統效率問題。該系統藉由回收電動車上次系統所產生之廢熱，作為暖氣熱量來源。本論文中選用電池組作為回收廢熱之目標，藉由實驗數據比對來修正電池單元模型放電時之發熱狀況，而後再據以獲得整車電池組在放電過程中的放熱情形。由模擬結果可得知，若將電池放電過程中所產生的熱回收使用於車上的暖氣系統中，可提供約 10% 的車廂所需暖氣功率，可有效減少空調系統耗能，亦驗證了本論文提出之多功能空調系統之可行性。

關鍵詞：電動空調、熱泵、電動車。

1. 前言

隨著石油能源匱乏與環保意識抬頭，促使電動車發展日漸蓬勃，其中空調系統亦為電動汽車中不可或缺的系統之一。空調系統包含了製冷與採暖兩種功能，以維持使用者於駕駛過程中的舒適度。一般車輛所使用的暖氣熱量是來自於冷卻引擎之高溫循環水，當循環水流經加熱蕊(heat core)後即與流入車廂的空氣進行熱交換，藉以提供車廂內所需之暖氣。電動車上缺少了內燃機引擎提供熱量，因此需使用其他技術來採暖，如現行電動車常見的電熱式暖氣系統需透過電力以產生熱量，並經由加熱循環水後，再與空氣進行熱交換，以提供車廂所需之暖氣，如 Mitsubishi i-MiEV 車上所搭載之暖氣系統即為此方式，如圖 1，但電熱式暖氣由於電熱轉換效率與熱傳效率差等問題，使得暖氣系統能源使用率相當低，進而造成電動車續航里程縮減達 50%，如圖 2 所示。

為了解決傳統電熱式暖氣系統的缺點，本論文中提出一以熱泵系統為基礎之多功能空調系統，如圖 3 所示，除了由環境擷取熱量外也利用回收電動車上次系統所產生之廢熱作為暖氣所用，其中次系統可為電動車上之動力馬達、變頻器與電池模組等，藉此可減低熱泵系統需消耗的電力，進而提升電動車之續航力。



圖 1 i-MiEV 搭載之電熱水暖系統[1]

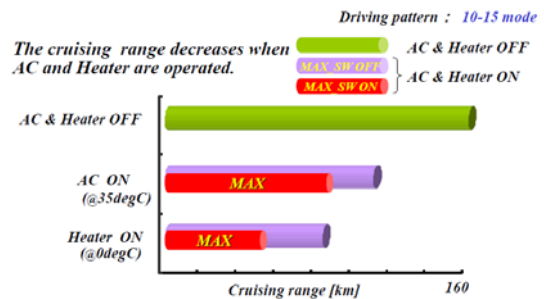


圖 2 i-MiEV 的空調對續航力之影響[1]

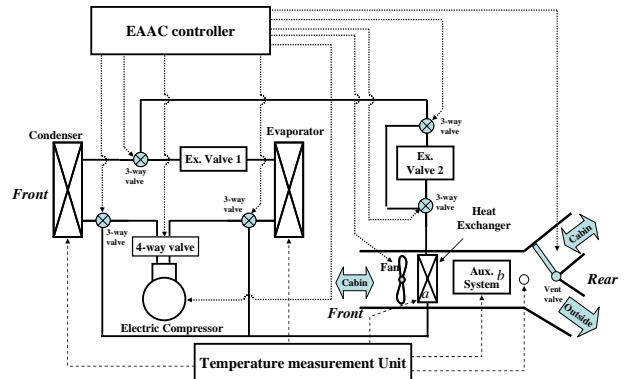


圖 3 多功能空調系統架構

2. 系統架構

本論文提出之熱泵系統架構包含冷暖氣並存的冷媒循環控制迴路，整體系統架構如圖 4 所示，透過引入室內空氣並經過一熱交換器，可針對次系統(如電池)進行溫度控制；於寒冷環境時，可將次系統產生的廢熱導引至車廂內，以有效降低暖房負荷。

多功能空調架構說明如下：

1. 溫度量測單元：

量測包含車廂內與車外空氣溫度、次系統溫度、次系統環境通風空氣溫度、冷凝器出口冷媒溫度、冷凝器

入口冷媒溫度、蒸發器出口冷媒溫度、蒸發器入口冷媒溫度、熱交換器出口冷媒溫度與熱交換器入口冷媒溫度等；其中以冷凝器出、入冷媒溫度評估冷凝溫度，以蒸發器出、入冷媒溫度評估蒸發器過熱度，以熱交換器出、入冷媒溫度評估熱交換器過熱度。

2. 冷暖氣冷媒迴路

包含電動壓縮機、冷凝器、蒸發器、四通換向閥、儲液筒與毛細管等。其中冷凝器為車頭處的熱交換器，蒸發器位於儀表區風箱內；與蒸發器連接的毛細管因應冷暖空調需求而不同規格。

3. 次系統溫控單元：

次系統位於一通風之空間中，其中包含風扇、熱交換器、次系統(如電池)與通風閥門切換等。熱交換器與毛細管連接，通風模式可選擇車廂內循環或車外循環模式；與熱交換器連接的毛細管因應電池冷熱管理需求而不同規格。此外，風扇靠車頭處，靠車頭位置有一通風通道通車廂；通風閥門靠車尾處，靠車尾位置有通風通道通車廂以及通外氣，兩流道由閥門切換控制。

4. 開/關閥：

藉由控制或限制冷媒流向，使系統元件發揮所預定之功能。

5. 空調控制器：

包含開/關閥、電動壓縮機轉速、四通換向閥、次系統風扇正反轉、次系統通風閥門位置，甚至冷凝器散熱風扇與次系統風扇轉速。

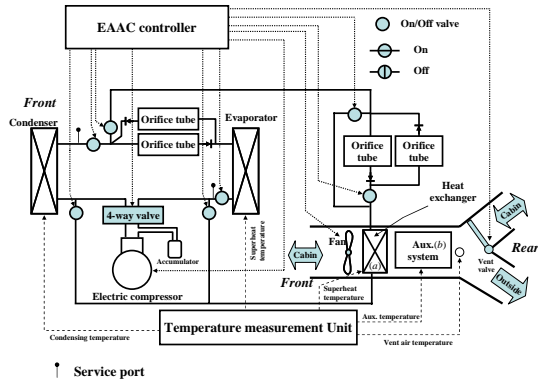


圖 4 多功能空調架構

3. 冷/暖系統之切換機制分析

本論文所提出之熱泵架構，可經由開/關閥、四通換向閥、通風風扇正反轉與通風閥門位置控制切換，可同時達到冷/暖氣切換與次系統熱管理之功能，表 1 為系統控制時所使用的相關溫度資訊代號。

表 1 控制流程的名稱說明

變數名稱	說明
T_{sh}	蒸發器或熱交換器出口過熱度(入口與出口冷媒溫度溫差，出口溫度-入口溫度)
T_{env}	車室外環境空氣溫度
T_{aux}	次系統溫度
$T_{aux, uplimit}$	次系統溫度上限
$T_{aux, lowlimit}$	次系統溫度下限
T_{pre1}	冷暖氣模式切換之預定溫度

T_{pre2}	蒸發器或熱交換器出口過熱度期望值，如 5°C 。
------------	--

3.1 冷氣與次系統冷卻功能

當 $T_{env} \geq T_{pre1}$ 時，則為冷氣模式(Cooling Mode)。若次系統溫度(T_{aux})大於次系統溫度上限($T_{aux, uplimit}$)時，且熱交換器內的冷媒完全蒸發($T_{sh} \geq T_{pre2}$)，表示此時冷媒已無降溫的能力，故需透過車廂中較冷之空氣，來輔助次系統冷卻，利用風扇把氣流由熱交換器(a)吹向次系統(b)，以將次系統的廢熱排出車外，詳細冷媒流通情形如圖 5 所示。在相同情形下，若冷媒蒸發不完全時($T_{sh} < T_{pre2}$)，表示冷媒尚具有散熱的能力，因此將氣流由次系統(b)吹向熱交換器(a)，透過冷媒吸收次系統的熱量，以達到降溫的效果，並且將氣流回流至車廂當中，詳細冷媒流通情形如圖 6 所示。

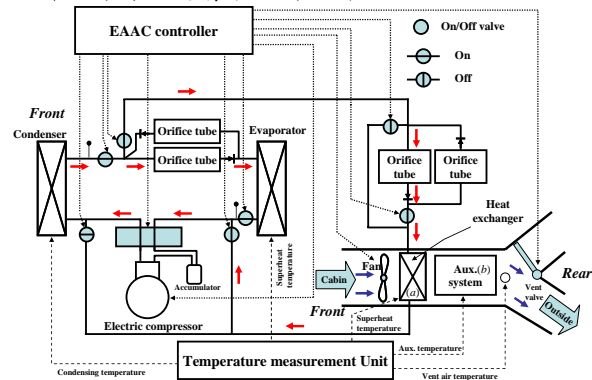


圖 5 車廂冷氣與次系統冷卻模式(冷媒完全蒸發)

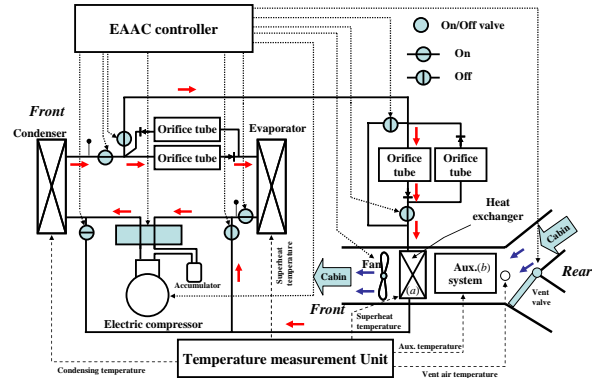


圖 6 車廂冷氣與次系統冷卻模式(冷媒蒸發不完全)

3.2 暖氣與次系統加熱功能

當 $T_{env} < T_{pre1}$ 時，則為暖氣模式(Heating Mode)。當次系統溫度(T_{aux})低於溫度下限($T_{aux, lowlimit}$)時，表示次系統溫度過低，為了對次系統加熱，則風扇從車廂抽取空氣，氣流由熱交換器(a)經次系統(b)，同時將廢熱回流至車廂，藉以進行車廂暖氣與次系統之溫控，並輔助暖房降低熱泵負荷，詳細冷媒流通情形如圖 7 所示。

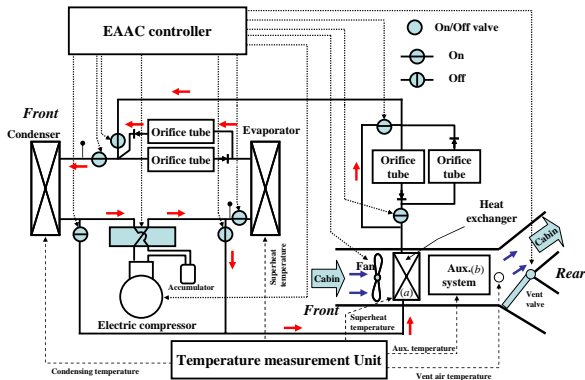


圖 7 車廂暖氣與次系統加熱模式

3.3 暖氣與次系統冷卻功能

當 $T_{env} < T_{pre1}$ 時，則為暖氣模式(Heating Mode)。當次系統溫度(T_{aux})高於溫度上限($T_{aux, uplimit}$)時，表示次系統溫度過高，且熱交換器內的冷媒完全蒸發($T_{sh} \geq T_{pre2}$)，此情形下由於冷媒已無冷卻功能，為了對次系統進行冷卻，則此時風扇從車廂抽取較冷的空氣，氣流由熱交換器(a)流經次系統(b)，以將次系統廢熱回收吹至車廂內，以輔助暖房降低熱泵負荷，詳細冷媒流通情形如圖 8 所示。若熱交換器內的冷媒蒸發不完全($T_{sh} < T_{pre2}$)，表示冷媒尚具有冷卻功能，此時將氣流由次系統(b)吹向熱交換器(a)，並將氣流回流至車廂，以輔助暖房降低熱泵負荷，詳細冷媒流通情形如圖 9 所示。另外，此模式操作，冷媒由旁通進入通風流道內的熱交換器，冷媒未流經冷凝器，冷凝器無結霜問題。

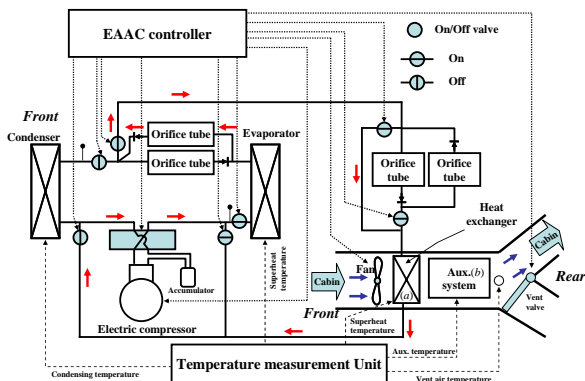


圖 8 車廂暖氣與次系統冷卻模式(冷媒完全蒸發)

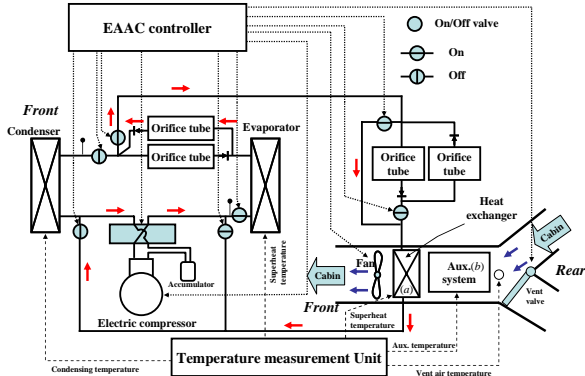


圖 9 車廂暖氣與次系統冷卻模式(冷媒蒸發不完全)

3. 車廂所需暖房功率計算

由於車廂元件蘊含熱量估算較為複雜且隨材質改變而不同，因此於本研究中暫不考慮此一部份熱負載。對於進入車廂中之熱負載依據熱傳遞方式及來源可分為下列幾個類型[2][3]:

1. 太陽光由前後擋風玻璃以及車輛兩側之玻璃進入車廂之輻射熱；
2. 外界經由車頂、前後車身、車底及兩側車身板金熱傳導進入車廂之熱量；
3. 車廂內乘坐人員本身所散發之熱量；
4. 外氣進入車廂內所帶進的熱量；
5. 其他儀器設備所散發之熱量。

除了車輛乘坐人員以及其他儀器所散發熱量兩項熱負載之外，其餘均與車輛本身架構及尺寸規格有關。於本論文中所選用之車輛規格列於表 2 中。

表 2 車身規格尺寸

車體規格			
車頂面積 (m ²)	3.348	車側面積 (m ²)	3.9626
車底面積 (m ²)	6.552	車尾面積 (m ²)	1.5353
車頭面積 (m ²)	1.393	前擋風玻璃面積 (m ²)	0.858
前擋風玻璃角度(deg)	52.33	後擋風玻璃面積 (m ²)	0.6832
後擋風玻璃角度(deg)	64.53	車側玻璃面積 (m ²)	1.0864

暖氣系統運作環境設定參數如表 3 所示，其中環境溫度採用較低之數值以符合較高緯度國家之環境需求；另外日照強度為 0 用以模擬較極端之使用環境；而人體潛熱及顯熱設定為 0，這是由於厚重之衣物使得人體產生之熱量無法散失至車廂空氣當中。而透過以空調系統負載計算後，可得到此時暖氣功率需求約 3.4kW。考慮到系統實際運作條件可能比設定狀況為嚴峻，因此取系統暖房需求功率為設定條件下計算值之 1.2 倍，規格訂立為 4kW。

表 3 暖氣功率需求模擬條件參數設定

操作條件及環境參數			
環境溫度 (°C)	-10	室內溫度 (°C)	23
太陽日照量 (W/m ²)	0	人體潛熱及顯熱 (W)	0
外界風速 (m/s)	0	換氣量 (kg/s)	0.003
環境相對濕度 (%)	30	車室內相對濕度 (%)	50
到達設定溫度時間(分)	5		

4. 電池發熱功率模擬

為驗證系統可行性以模擬方式確認次系統發熱量與車輛暖氣需求之關係。本論文中所使用的次系統為電池模組，而後採用計算流體力學套裝軟體 SC/Tetra，且以有限體積法(FVM)建立電池單元模型，並藉由實驗數據比對來修正模擬電池單元放電時之發熱狀況，據以獲得整車電池組在放電過程中的放熱情形。圖 10 為模擬

電動車整車電池組模型，圖 11 為整車電池組分佈以及散熱風扇配置狀況，而整車電池組溫度分佈模擬結果如圖 12 所示，由圖上可見到不同階層的電池溫度有所差異，且靠近風扇的電池有較佳之散熱效果。藉由模擬軟體完成進出電池組以及其內部所產生之能量後，可得到電池組總發熱功率約為 356.4W，而藉由能量平衡可換算得到風扇出口所帶出的熱量約為 331.8W。由於此一發熱量為總共 11 組電池模組共 176 個電池單元之累積發熱量，因此按照比例推算，以車輛中心電動車 i-EV2 上共搭載 400 個電池單元共可提供最大 754W 之熱量可以回收，另外考量到熱交換器效率問題，故此處假設廢熱回收率為 50%，因此實際可回收之熱量約為 377W。

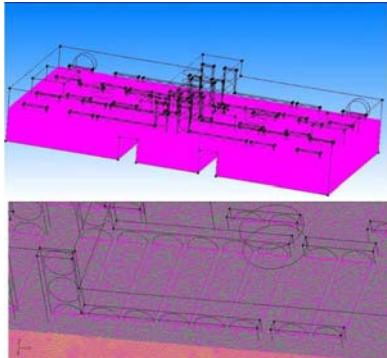


圖 10 整車電池組網格示意圖

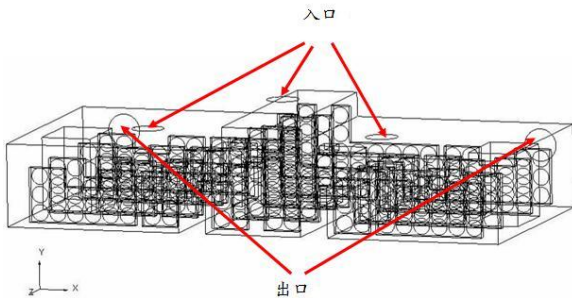


圖 11 整車電池組分佈以及散熱風扇配置狀況

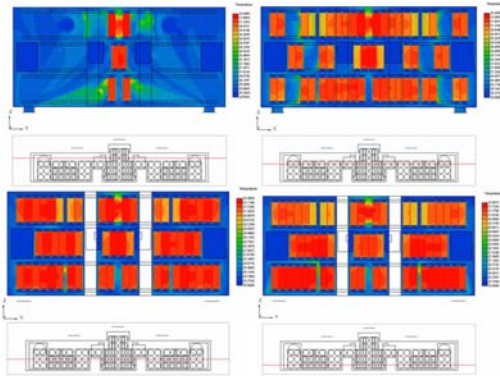


圖 12 整車電池組溫度分佈模擬結果

5. 結論

為了解決傳統電熱式暖氣系統的缺點，以減低電動車使用空調系統下所耗費的電力，因此本論文中提出以熱泵系統為基礎之多功能空調系統，利用回收電動車上次系統所產生之廢熱作為暖氣所用，本研究選擇利用電池作為廢熱回收的次系統，並透過流體力學套裝軟體 SC/Tetra 模擬，可得知電池於放電過程中，約可回收

377W 的熱功率供暖房系統使用，依照本研究選用的車型計算出之所需暖房需求約 4kW，故可得知次系統所產生的廢熱約可節省約 10% 的暖房功率需求，進而節省電動車於空調系統的耗電量，提升整體續航里程。

6. 致謝

本研究承蒙經濟部技術處「電動車輛系統模組與關鍵技術開發計畫」贊助，計畫編號 100-EC-17-A-04-02-08 89，得以完成，謹此致謝。

7. 參考文獻

期刊論文：

- [1]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，pp.19~36，2007.
- [2]林博煦、施駿達，「電動空調驅動馬達設計及空調系統效能比較」，第十四屆車輛工程學術研討會，雲林，台灣，2009。

其他：

- [3]<http://www.sae.org/events/aars/presentations/2010/W2.pdf>, SAE International.