

國立臺灣師範大學 工業教育學系
108 學年度專題製作成果報告書



工業教育學系 編印

中 華 民 國 1 0 9 年 6 月

目錄

◎車輛技術組

◆奈米石墨烯機油基礎性質分析

許展華、馬遠碩..... 1

◆電動機車設計與製作

呂祖懿、陳泯亨、曾品浩..... 11

◎能源應用組

◆熱電晶片之瓦斯熱水器廢熱回收應用及效率改善

盧仕欣、林凡瑞、黃泓維..... 21

◆蒸發式鋰電池散熱裝置

吳尚育、張哲瑋、陳少淮..... 29

◆再生能源知識的教具開發-電力公司

黃泓銘、黃昱勳、簡祥宇..... 35

◆混合動力散熱平台之建構與控制

陳宗育、許昱仁、陳靖文..... 41

奈米石墨烯機油基礎性質分析

許展華^{1*}、馬遠碩²

國立臺灣師範大學工業教育學系車輛技術組^{1,2}

指導老師：呂有豐 教授

*Email: hsu611103@gmail.com

摘要

本研究係將奈米Gr粉末加入KYMCO 15W/40原廠機油，製備並探討NGLO之基礎性質影響，並進一步進行分析與比較。為後續研究引擎的摩擦性能、燃油消耗率、廢氣污染及散熱效率之基礎，實驗以不同比例奈米Gr添加到機油中，並分析出能有效提高原廠機油性能之最佳比例。實驗內容分別為沉降、黏度、比熱、磨潤與導熱實驗，藉以評估原油與不同濃度的NGLO (0.005 wt%、0.01 wt%、0.02 wt%、0.03 wt%) 的特性，並找出提升機油基礎性質的最佳奈米Gr濃度比例。由沉降試驗結果顯示，懸浮性最佳濃度為0.005 wt%及0.01 wt%。黏度試驗結果顯示，溫度90 °C時，0.01 wt%黏滯係數為最低；溫度50~110 °C的NGLO黏度係數相當。比熱試驗結果顯示，0.03 wt%的比熱值在20~90 °C相較於原油平均提升6.19 %；0.02 wt%的比熱值則是最高。磨潤試驗結果顯示，0.005 wt%改善率為28.02 %；0.02 wt%磨潤效果最突出，改善率高達90.43 %。導熱試驗結果顯示，熱傳導最佳濃度為0.02 wt%及0.03 wt%。綜合5項基礎試驗結果，最後選擇出0.01 wt%為本研究之最佳濃度比例。

關鍵字：奈米石墨烯機油、沉降、黏度、比熱、磨潤、導熱。

1. 前言

1.1 研究背景與動機

在全球氣候極端，環保意識抬頭，提升能源運用效率成為近年各個國家政策的推動重點，市面上的移動載具逐漸從燃油引擎汽機車轉換為電動汽機車。在這段運輸工具交替的過渡期間，除了發展環保能源外，改善移動載具之能源效率仍然具有研究價值。要改善並且延長運輸工具之能源效率與壽命，最重要的便是提升潤滑系統的性能。

機油（潤滑油）廣泛使用於各種機動車輛和機械設備中，由於長時間處於高溫的工作環境，不斷與金屬和空氣接觸，機油的潤滑性能容易被破壞，任何累積的氧化產物、金屬碎屑雜質、灰塵與積碳等有害物質，將導致其潤滑、減磨、冷卻、密封及減振等性能降低，不但難以滿足實際需求，也可能起不到應有的作用。

為了解決以上問題，近年來許多學者開始研究奈米流體的特性，Shuang Yi et al.[1]研究石墨烯（Graphene, Gr）基切削液對Ti-6Al-4V的加工影響，實驗用三種不同濃度的氧化石墨烯（GO）奈米流體，並分析使用新型奈米流體對鈦合金進行車削時的刀具磨損及振動。結果證明，使用GO奈米流體的車削振動明顯低於使用基礎流體的振動，當施加0.1 wt%、0.3 wt%和0.5 wt%的GO，磨損的減少分別達到44.1 %、53.9 %和71.3 %。

Francesca Curà et al.[2]研究將Gr添加到標準潤滑劑中以產生高性能的化合物，選擇了商用潤滑脂和兩種商用油作為基礎潤滑劑，藉由實驗評估不同組成的潤滑Gr化合物的摩擦係數（COF）。結果說明，添加到黏性潤滑劑中的奈米Gr會降低材料和組件的摩擦係數。上述文獻顯示，奈米Gr添加在機油中對於動力機械的潤滑系統將會有很好的性能改善。

1.2 研究目的

製備奈米石墨烯機油（Nano Graphene Lubricant Oil, NGLO），分析流體特性，並找出提升機油基礎性質的最佳濃度比例。研究流程如圖1所示。

1.3 研究方法

實驗使用奈米Gr粉末添加至KYMCO 15W/40原廠機油，如圖2所示。以電磁加熱攪拌器、超音波震盪製備NGLO，靜置一段時間觀察沉降程度。以手持式音波黏度計量測黏度係數。以熱示差分析儀與機械冷卻系統量測比熱。以迴轉式多功能磨潤機量測磨潤程度。以熱傳導係數分析儀量測熱傳導率。藉由沉降、黏度、比熱、磨潤與導熱試驗，比較不同濃度的NGLO，並以其綜合特性表現，挑選出最佳的濃度比例。

1.4 名詞解釋

(1) 石墨烯(Graphene, Gr)：

是由碳原子以sp²混成軌域組成六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維材料。2004年，英國曼徹斯特大學物理學家Andre Konstantin Geim和Konstantin Novoselov，成功從石墨中分離出石墨烯，證實它可單獨存在。石墨烯目前是最薄也是最堅硬的奈米材料，導熱係數高達5300 W/(m·

K)，高於奈米碳管和金剛石，而電阻率只約 $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，比銅和銀更低，為目前世上電阻率最小的材料。

(2) 比熱容(specific heat capacity)：

簡稱比熱，用來表示物體吸熱或散熱的能力，比熱值越大，代表物體吸、散熱能力越優異，其國際單位制中的單位為焦耳/(千克·凱氏溫度)[J/(kg·K)]，代表1 kg的物質溫度上升1 K所需的能量。

(3) 機油黏度：

美國汽車工程學會SAE制定了「黏度指數」，不同於黏度，黏度指數代表的是溫度對應黏度的關係，W前的數字代表機油低溫時的黏度指數，W為Winter之意；後者則是代表高溫時的黏度指數，數字越大代表黏度越高。

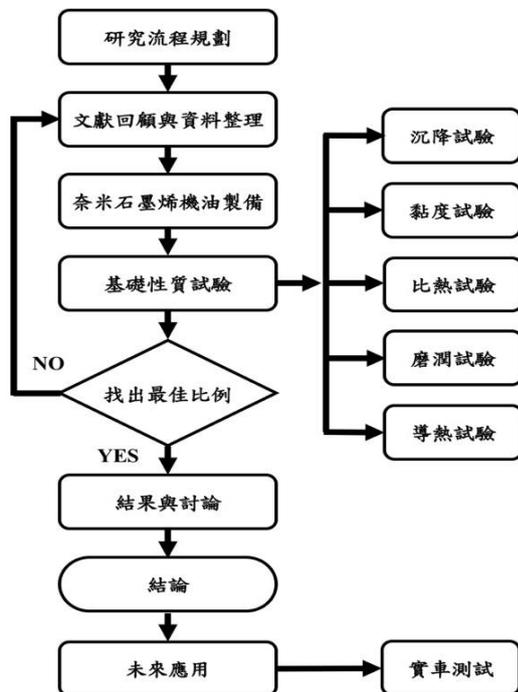


圖 1 研究流程圖



圖 2 KYMCO 15W/40 原廠機油

2. 文獻回顧與分析

2.1 奈米流體

奈米流體是指基本液體（水、乙二醇及油類）中，具有1至100 nm懸浮奈米粒子的流體。添加奈米粒子可以改變流體的熱物理性質，如黏度、熱傳導率[3]。由於奈米粒子體積非常小，在容積相同的情況下，奈米粒子能產生更大的接觸表面積，並於摩擦表面形成潤滑薄膜。

E.D.Ramón-Raygoza et al.[4]研究添加有多層石墨烯(MLG)、含銅的多層石墨烯(MLG-Cu)和含聚苯胺的多層石墨烯(MLG-PANI)奈米潤滑劑可用於汽車引擎，在工作溫度 100°C ，濃度為0.5 wt%和2 wt%的條件下進行測試，MLG-Cu機油，分別使摩擦係數降低43%和63%，此外，還觀察出生產3個月後的奈米機油中都沒有任何MLG、MLG-Cu和MLG-PANI沉澱。

Mohammad Fares et al.[5]研究Gr奈米流體對立式管殼式換熱器熱性能的影響，結果證明，使用0.2%的Gr/水奈米流體可使傳熱係數最大增加29%，透過使用Gr/水奈米流體，熱交換器的平均熱效率也提高了13.7%。

Zhanxiu Chen et al.[6]使用Cu-EGW、 Al_2O_3 -EGW、 Fe_3O_4 -EGW奈米流體，對電加熱器進行傳熱實驗。結論Cu-EGW的傳熱性能顯著高於 Al_2O_3 -EGW和 Fe_3O_4 -EGW，且Cu-EGW奈米流體的加熱效率隨Cu顆粒的質量濃度而增加，與基礎流體相比，加了2%Cu-EGW、1% Al_2O_3 -EGW和1% Fe_3O_4 的電加熱器平衡溫度(處於熱穩定狀態時的溫度)分別增加了13.18%、3.77%和4.52%。

2.2 奈米機油(潤滑油)

近年來許多學者積極研究改善機械的摩擦性能，多數使用在機油中加入奈米顆粒來進行試驗，Bo Wu et al.[7]成功製作了奈米氫氧化鏷/氧化石墨烯(Nano-La(OH)₃/RGO)複合材料作為柴油引擎機油的抗磨添加劑。透過RGO和Nano-La(OH)₃純粒子的摩擦行為來作比較，結論為Nano-La(OH)₃/RGO複合材料可顯著改善邊界潤滑條件下柴油引擎機油的抗磨性能，在溫度 80°C 和接觸壓力1.62 GPa下，添加0.1 wt%的複合材料後，柴油引擎機油的抗磨性能提高了44%。

A.K.Rasheed et al.[8]使用四行程IC引擎試驗台測試Gr奈米潤滑劑的性能，使用符合API 20W50 SN/CF規格的機油和Gr奈米薄片配製奈米潤滑劑。在機油中添加0.01 wt%的Gr，可在 80°C 條件下提高23%的導熱係數(k)，並降低21%的摩擦係數(μ)，添加有Gr的潤滑劑，引擎的傳熱率也提高了70%，引擎運轉100小時後蒐集的活塞環SEM圖顯示，與不含Gr的基礎油相比，含有Gr的油降低了活塞的磨損。

Mohamed Kamal Ahmed Ali et al.[9]使用Gr奈米潤滑劑來改善摩擦，並依據ASTM G181標準來評估Gr奈米潤滑劑的減摩和抗磨效果，在新歐洲行駛週期（NEDC）下使用AVL動力計對引擎性能進行測試。結果顯示出使用Gr奈米潤滑劑，邊界潤滑系統的抗磨性和耐磨性分別提高了29~35%和22~29%，在NEDC測試期間，透過道路負載模擬，顯示使用Gr奈米潤滑劑的引擎燃油消耗減少了17%，此外，廢氣排放（CO、HC和NO_x）也減少了2.79~5.42%。

Liu Yang et al.[10]研究透過添加氧化鋅奈米顆粒來增強SAE 50機油的熱性能，在溫度25~55℃，體積0.125~1.5%，對奈米潤滑劑進行熱傳導實驗，結果顯示增加溫度和濃度，熱傳導率呈上升趨勢，最大熱傳導率提高為8.74%。

綜觀上述研究，奈米機油（潤滑油）確實能改善引擎的摩擦性能、燃油消耗率、廢氣污染及提高引擎的散熱效率。

3. 實驗設備及方法

3.1 NGLO 製備與外觀檢測

本研究使用商用奈米Gr粉體(厚度1~3 nm，高達光有限公司，台灣)，進行形體表觀檢測。使用場發射槍穿透式電子顯微鏡(FEG-TEM, Tecnai F30, FEG, USA)和高解析度場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM 6500F)，來確認奈米Gr粒子的形貌，以下為廠商提供之資訊，如圖3及表1所示。

表1 FNG-320 奈米Gr性質表

性質	數據	單位
製作方式	複合型機械剝離法	
純度	>99	wt%
其他碳黑雜質	<1	wt%
片徑分佈範圍	0.1~20	μm
厚度	<3	nm
比表面積	>400	m ² /g
鬆密度	~0.1	g/cm ³
壓片電阻	<2	ohm
導熱性	>1,000	W/(m·k)

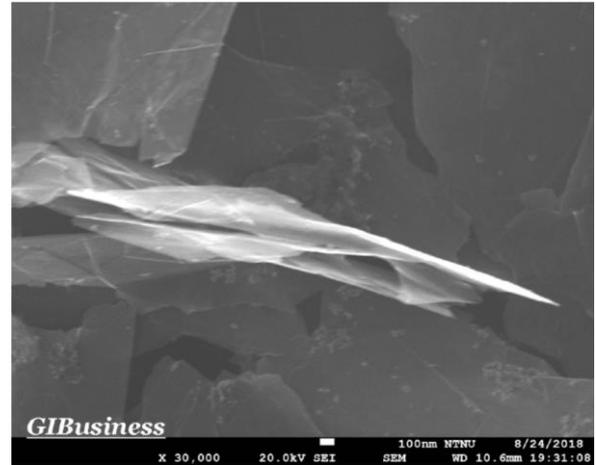


圖3 FNG-320 奈米Gr SEM圖

3.2 NGLO 製備與基礎性質研究

基於參考國外相關文獻，本研究決定將奈米Gr的調配比例設定為0 wt%(原油)、0.005 wt%、0.01 wt%、0.02 wt%、0.03 wt%，與原廠機油混合成NGLO，依據NGLO中奈米Gr的重量百分濃度作為實驗測試參數，進行相關基礎性質試驗，NGLO比例參數如表2所示。NGLO製備過程使用電磁加熱攪拌器(HMS-102, FARGO, Taiwan)，如圖4所示，攪拌3 h(轉速設定650 rpm)，再以超音波震盪器，如圖5所示，震盪1 h，每次量測前都進行攪拌，確保實驗樣本均勻分散，維持樣本的一致性與準確性。

表2 NGLO 比例參數

NGLO (wt%)	Gr (g)	溶劑重量 (g)	溶液重量 (g)
0(原油)	0	200	200
0.005	0.01	200	200.01
0.01	0.02	200	200.02
0.02	0.04	200	200.04
0.03	0.06	200	200.06



圖4 電磁加熱攪拌器



圖 5 超音波震盪器

3.3 NGLO 沉降試驗

將濃度 0 wt%(原油)、0.005 wt%、0.01 wt%、0.02 wt%、0.03 wt% 的 NGLO 放入比色槽，如圖 6 所示，靜置 1、7、14、21、28 天，藉由短期的靜置，目的為能及時地觀察 NGLO 當中奈米 Gr 的懸浮及分散狀況，並評估樣本是否能夠運用於後續試驗。



圖 6 比色槽

3.4 NGLO 黏度試驗

使用電磁加熱攪拌器 (HMS-102, FARGO, Taiwan) 控制各 NGLO 樣本溫度在 20~110 °C，取樣間隔 20 °C，溫度誤差 ±3 °C，每個溫度點記錄 10 筆，共 60 筆資料，並取平均值增加試驗準確度，記錄不同溫度和濃度的黏度之變化。再以手持式音波黏度計 (VL700-T15, Hydra motion, U.K) 量測黏滯係數，綜合數據分析各濃度 NGLO 在不同溫度的黏滯係數。試驗參數如表 3 所示，試驗圖如圖 7 所示。

表 3 黏度試驗參數

試驗項目	樣本重量 (g)	樣本溫度 (°C)	NGLO (wt%)
黏度	2*10 ²	20~110 (取樣間隔 20)	0(原油)
			0.005
			0.01
			0.02
			0.03



圖 7 黏度試驗圖

3.5 NGLO 比熱試驗

使用熱示差分析儀 (DSC-Q20, TA, USA) 與機械冷卻系統 (RCS-40, TA, USA) 進行 5 種濃度之 NGLO 的比熱量測試，溫度設定範圍 20~140 °C，每個濃度的溫度點各記錄 10 筆，並取平均值以增加試驗準確度。測量出 NGLO 比熱值後，以標準藍寶石 (TN-8) 為基準值來進行比較，計算公式如公式(1)所示。其中 Cp 為比熱值；E 為校準常數；H 為絕對熱流；Hr 為加熱速率；M 為樣本質量。

$$C_p = \frac{E \times H \times 60}{H_r \times M} \quad (1)$$

使用熱示差分析儀前，先以 2 個空樣品盆來求得背景熱流值，再以空的樣品盆和標準藍寶石的樣本盆進行實驗，測得標準藍寶石樣本盆熱流值減去背景熱流值即為絕對熱流值。由於標準藍寶石樣本的比熱值為已知，經由公式(1)可以推得校準常數值，其他施測樣本即可由此計算出比熱值。本試驗參數如表 4 所示，加熱速率為 10 °C/min。使用熱示差分析儀時，將 1*10⁻² g 的樣本置入高純度氮氣 (5 N) 中，置於有蓋鋁製樣品盆 (Tzero Pan, No.:T100915) 內以維持量測準確。試驗圖如圖 8 所示。

表 4 比熱試驗參數

試驗項目	樣本重量 (g)	樣本溫度 (°C)	NGLO (wt%)
比熱	1*10 ⁻²	20~140 (取樣間隔 10)	0(原油)
			0.005
			0.01
			0.02
			0.03

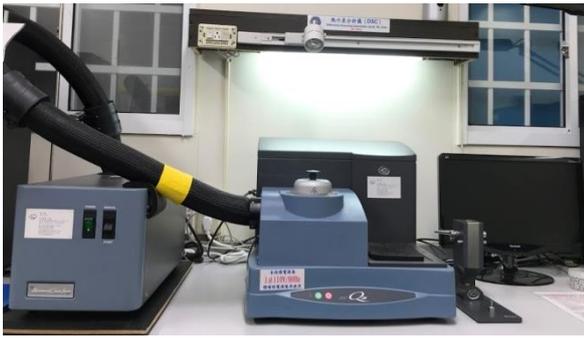


圖 8 比熱試驗圖

3.6 NGLO 磨潤試驗

使用迴轉式多功能磨潤機臺，如圖 9 所示，並參考 ASTM G99 [11] 標準進行磨潤試驗。磨耗試片由軸承鋼製成並用十字螺絲固定於機台上，軸承上使用 3 顆鋼珠(6mm, AISI 1045)安裝在轉盤的鋼珠孔洞中。進行各濃度 NGLO 之磨潤試驗，試驗參數包含正向力、轉速、旋轉總圈數及濃度，每項濃度各試驗 10 片試片，磨耗損失重量誤差 ± 0.05 g，試驗參數如表 5 所示。藉由精密電子天平(XS-125A, Precisa, Swiss)，如圖 10 所示，量測試驗前後試片的磨耗損失重量，並加以分析試驗數據，進而取得各不同試驗參數 NGLO 的磨耗量，評估綜效表現較佳的 NGLO 濃度。

表 5 磨潤試驗參數

試驗項目	正向力 (N)	轉速 (rpm)	旋轉總圈數	NGLO (wt%)
磨潤	300	800	10000	0(原油)
				0.005
				0.01
				0.02
				0.03



圖 9 迴轉式多功能磨潤機臺



圖 10 精密電子天平

3.7 NGLO 導熱試驗

取出不同濃度之 NGLO 樣本，注入 5×10^1 g 至鐵試管中，將鐵試管放入裝有鐵砂之玻璃燒杯，然後放到磁石加熱攪拌器上，控制樣本至指定溫度，再利用熱傳導係數分析儀(KD2)進行數值量測，每個溫度點記錄 10 筆，共 40 筆資料，並取平均值增加試驗準確度，記錄不同溫度和濃度的導熱之變化，試驗參數如表 6 所示，試驗圖如圖 11 所示。

表 6 導熱試驗參數

試驗項目	樣本重量 (g)	樣本溫度 (°C)	NGLO (wt%)
導熱	5×10^1	30~90 (取樣間隔 20)	0(原油)
			0.005
			0.01
			0.02
			0.03



圖 11 導熱試驗圖

4. 實驗結果與討論

4.1 NGLO 外觀檢測

使用高解析度場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM 6500F) 和場發射槍穿透式電子顯微鏡(FEG-TEM, Tecnai F30, FEG, USA), 來確認奈米 Gr 粒子的形貌, 結果發現奈米 Gr 屬於片狀奈米材料, 如圖 12 及圖 13 所示。

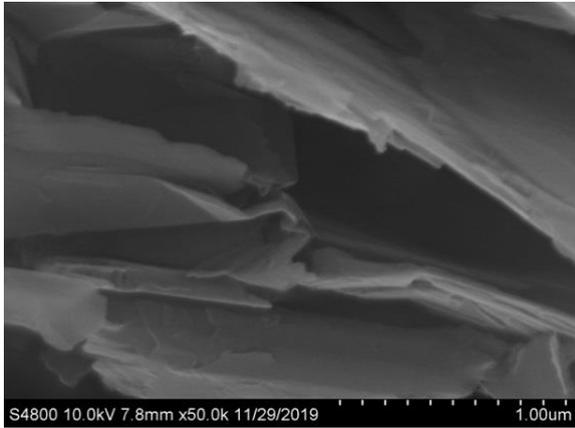


圖 12 奈米 Gr 粉末 FESEM 圖

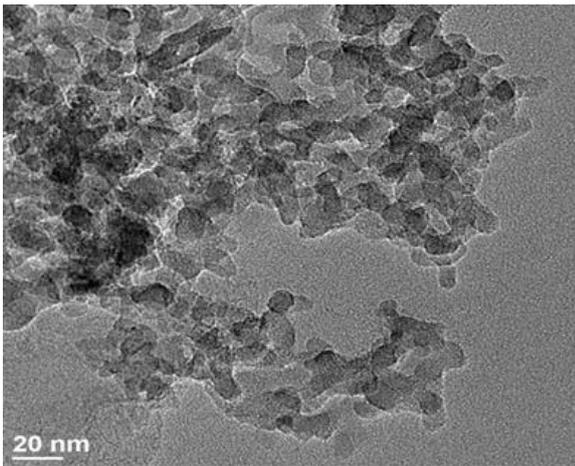


圖 13 奈米 Gr 粉末 FEG-TEM 圖

4.2 NGLO 沉降試驗

NGLO分別靜置1、7、14、21、28 天, 比較不同濃度NGLO的沉降效果, 並觀察發現, 第1 天到第 7 天所有濃度皆沒有明顯的沉降; 到第14 天時, 0.02 wt%及0.03 wt%有些許沉澱; 第28 天時, 0.02 wt%及 0.03 wt%出現一層明顯沉澱。透過上述觀察可發現懸浮性最佳濃度為0.005 wt%及0.01 wt%, 如表7、表8、表9及表10所示。

表 7 NGLO 靜置 1 天

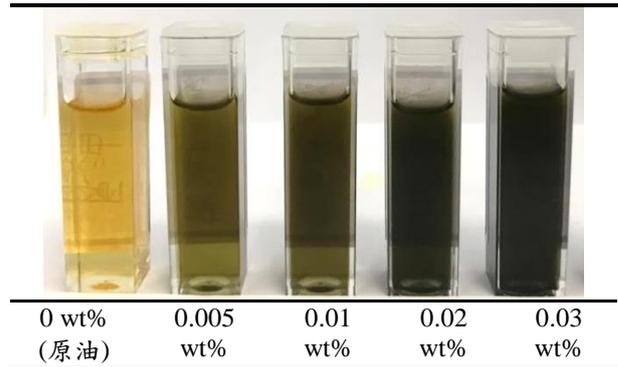


表 8 NGLO 靜置 7 天

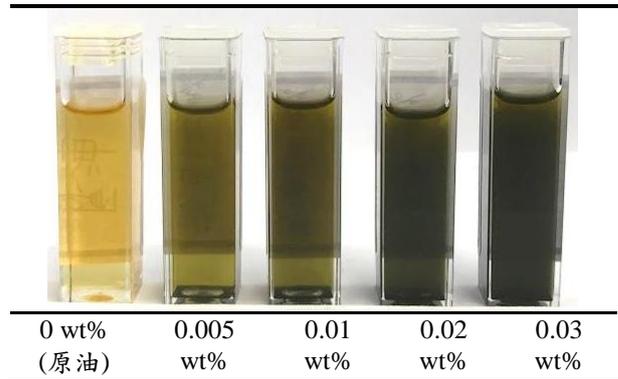


表 9 NGLO 靜置 14 天

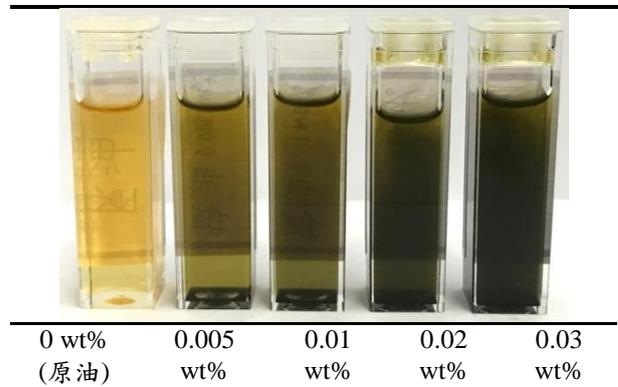
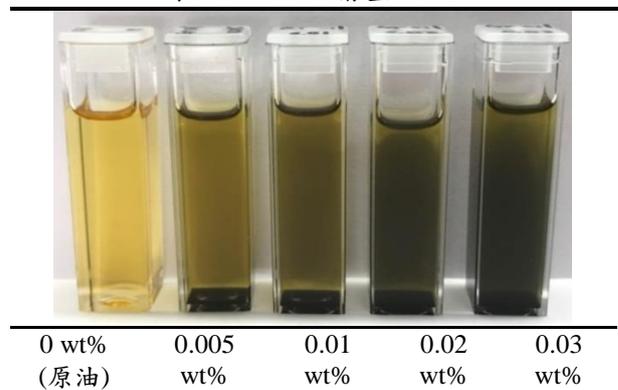


表 10 NGLO 靜置 28 天



4.3 NGLO 黏度試驗

在黏度試驗結果可看出 NGLO 黏滯係數都較原油來得低，這樣機油在引擎中能有較佳的流動性；在溫度 90 °C 時，0.01 wt% 黏滯係數低於其他濃度樣本；NGLO 在溫度 50~110 °C 時的黏滯係數相當，綜合各項數據來評估，0.01 wt% 為最佳濃度，如圖 14 所示。

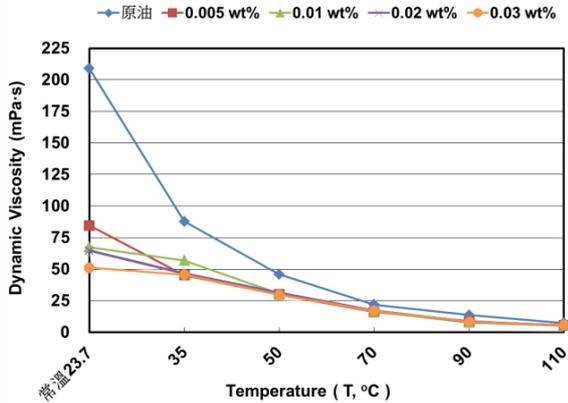


圖 14 不同溫度及濃度 NGLO 之黏滯係數

4.4 NGLO 比熱試驗

在結果中顯示 0.03 wt% 的比熱值在 20~90 °C 相較於原油平均提升 6.19 %；0.02 wt% 的比熱值則是最高的，如圖 15 所示。

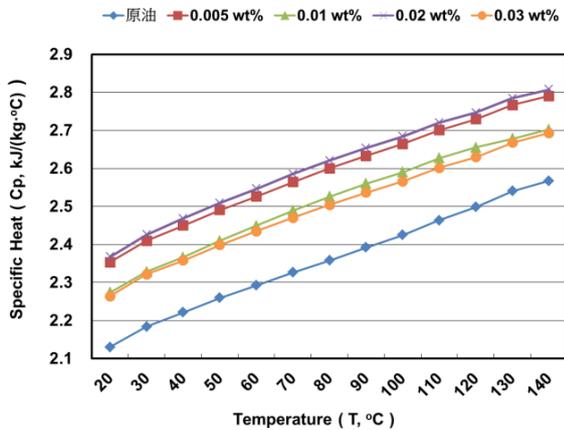


圖 15 不同溫度及濃度 NGLO 之比熱值

4.5 NGLO 磨潤試驗

數據顯示添加奈米 Gr 有良好的改善率，0.005 wt% 改善率為 28.02 %；0.02 wt% 磨潤效果最突出，改善率高達 90.43 %，故 0.02 wt% 為磨潤最佳濃度，如表 11 所示。

表 11 NGLO 磨潤試驗前後試片重量差異

NGLO (wt%)	0 (原油)	0.005	0.01	0.02	0.03
磨潤後樣本					
磨耗損失重量 (g)	0.2905	0.2091	0.2411	0.0278	0.2614
改善率 (%)	0 (基準)	28.02	17.01	90.43	10.02

4.6 NGLO 導熱試驗

考慮試驗器材等級及試驗環境，規劃為溫度 30~90 °C 取樣間隔 20 °C。結果顯示添加奈米 Gr 確實可以提升熱傳導率，有助於改善引擎的散熱，熱傳導最佳濃度為 0.02 wt% 及 0.03 wt%，如圖 16 所示。

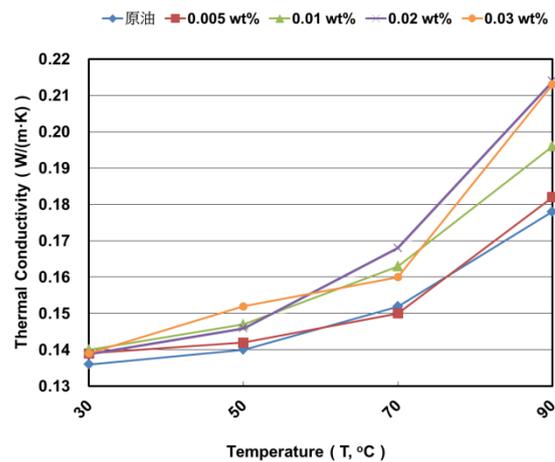


圖 16 不同溫度及濃度 NGLO 之熱傳導率

5. 結論

本研究將奈米 Gr 調配比例與原廠機油混合成 NGLO，並分別進行基礎試驗，5 項基礎試驗結果如下：

1. 沉降試驗：懸浮性最佳濃度為 0.005 wt% 及 0.01 wt%。
2. 黏度試驗：溫度 90 °C 時，0.01 wt% 黏滯係數為最低；溫度 50~110 °C 時的 NGLO 黏滯係數相當，綜合各項數據來評估，0.01 wt% 為最佳濃度。
3. 比熱試驗：0.03 wt% 的比熱值在 20~90 °C 相較於原油平均提升 6.19 %；0.02 wt% 的比熱值則是最高的。

- 磨潤試驗：0.005 wt% 改善率為 28.02 %；0.02 wt% 磨潤效果最突出，改善率高達 90.43 %，故 0.02 wt% 為磨潤最佳濃度。
- 導熱試驗：熱傳導最佳濃度為 0.02 wt% 及 0.03 wt%。

藉由沉降、黏度、比熱、磨潤與導熱試驗，比較不同濃度的 NGLO，並判斷其綜合特性表現，最後挑選出 0.01 wt% 為本研究之最佳濃度比例。

6. 未來展望

現階段目標以找出「最佳比例」之 NGLO 為主，未來將利用四象限底盤動力計、廢氣分析儀及粉塵微粒測定器，如圖 17、圖 18 及圖 19 所示，對本研究最佳濃度之 NGLO 進行實車試驗，以探討該研究對引擎摩擦性能、燃油消耗率、廢氣汙染及散熱效率之改善，並強化該研究的結論。



圖 17 四象限底盤動力計



圖 18 廢氣分析儀



圖 19 粉塵微粒測定器

7. 致謝

本研究得以順利進行，首先要感謝專題教授呂有豐教授的指導與鼓勵，給予研究團隊方向和信心，也感謝鄧敦平教授提供實驗室及設備器材供我們使用。接著要感謝煌傑學長，常常留下來加班協助我們一起做實驗，也分享了許多實驗的經驗，提高我們做實驗的效率，讓我們少做白工，減少實驗的誤差；感謝昱榮學長，指導我們撰寫論文，及協助論文的校稿工作，讓實驗數據結果得以清楚地被整理出來。另外也感謝暉亮學長、麒原學長、德耀學長、顯皓學長、其霖學長，和學長們共事愉快，不僅習得許多專業領域的知識跟經驗，也增進了學長學弟之間的感情。最後再次地感謝老師與學長們的協助，因為有了你們的幫忙，讓本研究團隊得以將研究成果完美的呈現出來。

8. 參考文獻

- [1] Shuang Yi, Jinjin Li, Jiahua Zhu, Xiangzhi Wang, John Mo, Songlin Ding, "Investigation of machining Ti-6Al-4V with graphene oxide nanofluids: Tool wear, cutting forces and cutting vibration", Journal of Manufacturing Processes, Volume 49, Pages 35-49, January 2020.
- [2] Francesca Curà, Andrea Mura, Federica Adamoa, "Experimental investigation about tribological performance of graphene-nanoplatelets as additive for lubricants", Procedia Structural Integrity, Volume 12, Pages 44-51, 2018.
- [3] S.U.S Choi, "Thermal Conductivity of Fluid With Nanoparticles", Proc.ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo, Vol. 66, pp.99-105, 1995.
- [4] E.D.Ramón-Raygoza, C.I.Rivera-Solorio, E.Giménez-Torres, D.Maldonado-Cortés, E.Cardenas-Alemán, R.Cué-Sampedro, "Development of nanolubricant based on impregnated multilayer graphene for automotive applications: Analysis of tribological properties", Powder Technology, Volume 302, Pages 363-371, November 2016.
- [5] Mohammad Fares, Mohammad AL-Mayyahi, Mohammed AL-Saa, "Heat transfer analysis of a shell and tube heat exchanger operated with graphene nanofluids", Case Studies in Thermal Engineering, Volume 18, 100584, April 2020.
- [6] Zhanxiu Chen, Dan Zheng, Jin Wang, Lei Chen, Bengt Sunden, "Experimental investigation on heat transfer characteristics of various nanofluids in an indoor electric heater", Renewable Energy, Volume 147, Part 1, Pages 1011-1018, March 2020.
- [7] Bo Wu, Hui Song, Chuan Li, Ruhong Song, Tianming Zhang, Xianguo Hu, "Enhanced tribological properties of diesel engine oil with Nano-Lanthanum hydroxide/reduced graphene oxide composites", Tribology International, Volume 141, 105951, January 2020.

- [8] A.K.Rasheed, M.Khalid, A.Javeed, W.Rashmi, T.C.S.M.Gupta, A.Chan, “Heat transfer and tribological performance of graphene nanolubricant in an internal combustion engine”, *Tribology International*, Volume 103, Pages 504-515, November 2016.
- [9] Mohamed Kamal Ahmed Ali, Hou Xianjun, Mohamed A.A.Abdelkareem, M.Gulzar, A.H.Elsheikh, “Novel approach of the graphene nanolubricant for energy saving via anti-friction/wear in automobile engines”, *Tribology International*, Volume 124, Pages 209-229, August 2018.
- [10] Liu Yang, Mao Mao, Jia-nan Huang, Weikai Ji, “Enhancing the thermal conductivity of SAE 50 engine oil by adding zinc oxide nano-powder: An experimental study”, *Powder Technology*, Volume 356, Pages 335-341, November 2019.
- [11] ASTM G99-95a, Standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus, method for wear testing.

The Study of Basic Properties of Nano Graphene Lubricant Oil

C.H. Hsu^{1*}, Y.S. Ma²

Department of Industrial Education-
Vehicle Technology Group,
National Taiwan Normal University^{1,2}

*Email: hsu611103@gmail.com

Abstract

In this research, nano Gr powder was added to KYMCO 15W / 40 original engine oil to prepare and investigate the basic properties of NGLO, and to make further analysis and comparison. The basis for future research on the friction performance, fuel consumption rate, exhaust pollution, and the efficiency of heat dissipation of engine, add different proportions of nano Gr to engine oil, and analyzed optimal proportion that can effectively improve the performance of the original engine oil. The content of the experiment is the experiments of sedimentation, viscosity, specific heat, tribology and thermal conduction to evaluate the properties of original engine oil and different concentrations of NGLO (0.005 wt%, 0.01 wt%, 0.02 wt%, 0.03 wt%), and find out optimal nano Gr concentration to improve the basic properties of the engine oil. The results of the sedimentation experiment show that the suspension of the 0.005 wt% and the 0.01 wt% is the best. The results of the viscosity experiment show that the 0.01 wt% viscosity coefficient is the lowest at a temperature of 90 °C; the viscosity coefficient of NGLO at a temperature of 50 to 110 °C is equivalent. The results of the specific heat experiment show that the specific heat value of 0.03 wt% is 6.19 % higher than original engine oil at 20 to 90 °C, and the specific heat value of 0.02 wt% is the highest. The results of the tribology experiment show that the improvement rate of 0.005 wt% is 28.02 %, and the tribology effect of 0.02 wt% is the most prominent, and the improvement rate is as high as 90.43 %. The results of the thermal conduction experiment show that the thermal conduction of the 0.02 wt% and the 0.03 wt% is the best. Based on the results of the five basic experiments, the 0.01 wt% is optimal concentration for this study.

Keywords: Nano Graphene Lubricant Oil, Sedimentation, Viscosity, Specific Heat, Tribology, Thermal Conduction.

電動機車設計與製作

呂祖懿^{1*}、陳泯亨²、曾品浩³

國立臺灣師範大學工業教育學系車輛技術組^{1,2,3}

指導老師：張俊興 講師

*Email: ab212048@gmail.com

摘要

隨著燃油法規日漸嚴苛且民眾的環保意識抬頭，而路面上的電動汽、機車也日益增多，可想而知電動車的發展已成未來的趨勢，而電動車與燃油車最大的差異主要是在於動力系統的設計，所以我們打算設計出一台使用直流無刷馬達與 18650 鋰離子電池為動力系統的電動機車，它可以大幅的減少噪音又可以免除廢氣的排放；並且為了追求車身輕巧的設計，所以我們打算使用鋁合金為主要材質設計一台輕量化車架，它可以使得車身重量輕量化，而又不失原本的堅固性，並兼顧節能與環保，最後在將過程當中的一些收穫編輯成一份電動車教材。

關鍵字：鋁合金、輕量化、電動車、直流無刷馬達、48V、鋰離子電池

1. 前言

1.1 研究背景與動機

台灣為了對抗空氣污染的問題，行政院提出好幾項與電動車相關的具體政策，包含了在 2018 年起，將現行公車逐年汰換為電動車，並預計在 2030 年公務車輛與公共運輸全面電動化、2035 年在台禁售燃油機車、2040 年禁售汽、柴油車；此外，搭配台灣油耗法規的草案，預計在 2022 年達到 20.9Km/L 的標準，但是以現有的純內燃機引擎技術是很難實現的目標，勢必一定要加入電能做為輔助，由此可以發現電動車已經逐漸成為現代交通運輸的發展趨勢。市面上電動機車也正在崛起中，但是現在的電動機車或燃油機車銷售車款都是採用鋼製車架，由此我們所觀察到的電動機車還有更多可能性，因此我們決定以現在市面上現有的機車為參考，並採用不一樣的合金來打造車架，希望可以減輕重量提升機動性及續航力。[4]

機車對大眾來說是日常中較常使用的交通工具，尤其是學生更容易在生活中使用到機車，而且機車也比起汽車更具有方便性、機動性、實用性等功能。同時結合現在的環保意識和空氣污染的問題，勢必未來交通工具的發展將朝向節能、低污染的發展趨勢作為考量，因此機車電動化一定是市場的趨勢，因為這些原因，我們透過這次的專題做出一台電動機車，並在過程中了解其優勢、困境，以及未來的發展走向。

1.2 研究目的

這次專題我們想要做出一台相當於 50c.c 燃油機車之電動機車，透過製作的過程，可以學習到相關知識以及分析目前所需要突破的限制，也可以建構出相關的設計概念，以利於未來在電動機車的發展，首先我們會先了解動力系統模組的原理以及作動過程，例如馬達與控制器，改變控制器的參數設定來控制馬達輸出，並根據我們的需求、想法，將我們的動力模組設定到符合我們所預期的目標，同時在此過程中學習；其次針對電池模組進行設計，並透過電池管理系統監控與管理電池，讓電池發揮最大效率，同時計算出電池續航力，最後與實際測試做比較，再者針對燃油與電動之間的差異進行比較，從其性能到能源消耗，瞭解兩者目前的優缺點；並且設計並實際做出輕量化車架以達到節能的效果，且在輕量化的前提下仍然堅固耐用達到節能又提升續航力的車架；最後是由我們所製作的動力系統與車架組做結合，讓電動機車能夠正常行駛，同時能夠成為上課教材的使用，進而讓我們的努力更有價值。

1.3 研究方法

從零開始打造一台電動機車。從打造電力系統規劃動力分配、電池容量的設計等等到製作鋁合金車架；車架部分比對各種合金的物理性質，以及價格方面後，以比重輕以及價格為一般民眾可以負擔下，來決定我們所使用的合金材質；在以參考過實際車輛後，再加上人性化考量後，並先使用 3D 繪圖軟體設計出整體架構，確認架構後實際製作出車架，最後在搭載上動力系統，以實測使用狀況，對比現有車輛將理論與實際數據做對比，並把數據資料做統整，提出可能造成差異的原因，並提出自己的觀點，最後除了成品以外，將過程當中的學習彙整並成為一份教材。

1.4 名詞解釋

1. 續航力:只在充滿燃料或電的情況下，消耗完其所儲存的電或燃料所需的時間。
2. 電動車:使用電動馬達作為動力的車輛。
3. 記憶效應:由於電池重複地部份充電與放電不完全所致，導致電池暫時性的容量減小。[1]
4. 減速比:傳動齒輪大小的比值；透過小齒輪帶動大齒輪的方式，來降低轉速提高扭力。

5. 直流無刷馬達:使用由電晶體等電子元件構成的電子回路(驅動器回路),透過電氣性的電流切換來使馬達轉動,且具有免維護、轉速的穩定、轉速範圍廣、平穩轉矩、薄型大功率等優點。[2]

6. 降伏強度:降伏點強度,即降伏強度,降伏應力,或稱強韌度,在機械與材料科學的定義是有延展性的材料受力在彈性限以上時產生應力應變比值反覆變化的情形,再稍微增加受力後就會產生破斷的應力值。當一材料受力時,其應力應變比值呈直線狀態之最高應力值稱為彈性限,彈性限以下,材料之變形屬於彈性變形,在負載卸除之後,材料會回復到原來的形狀;若受力持續加大,應力值增加而超過降伏點強度,則此時材料會產生塑性變形,當負載卸除後,材料將無法回復到原來的形狀,呈現永久變形。例如:圖 1 [11]

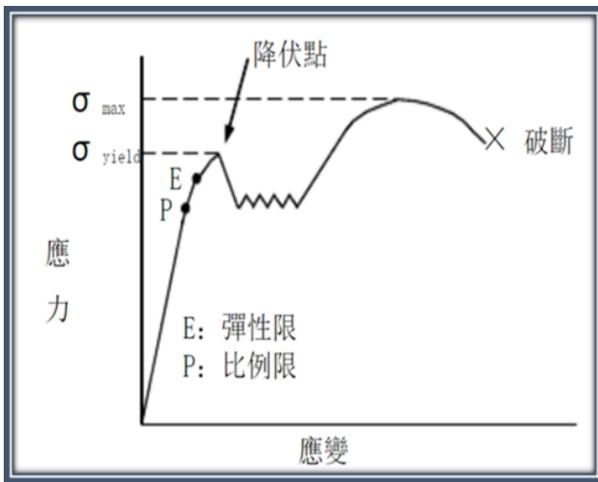


圖1 降伏強度圖

7. 莫氏硬度:莫氏硬度標準將十種常見礦物的硬度按照從小到大分為十級。具體鑒定方法是,在未知硬度的礦物上選定一個平滑面,用上述已知礦物的一種加以刻劃,如果未知礦物表面出現劃痕,則說明未知礦物的硬度小於已知礦物;若已知礦物表面出現劃痕,則說明未知礦物的硬度大於已知礦物。如此依次試驗,即可得出未知礦物的相對硬度。例如:表 1 [10] [12]

莫氏硬度	礦物或材料
0.2 - 0.3	絕、鉛。
0.5 - 0.6	鋁、鈉、鉀。
1	滑石。
1.5	錫、錫、銅、鉍、鉛、鋁、銅、石墨、皮膚。
2	石膏、六方氮化硼、鈣、磷、硫、砷、碲、鉍。
2 - 3	金、銀、鋁、錫、錳、銅、錳、黑玉(一種瑪瑙)、冰塊、指甲。
3	方解石、銅、磷、錳、鈷、牙本質。
4	螢石、鐵、錳。
4 - 4.5	鈷、銅。
5	磷灰石、鈣、鈦、鈷、牙釉質、黑曜岩。
5.5	鈷、銅、鉛。
6	玻璃、正長石、鈉、錳、鎳、鈦、鈉、鈷。
6 - 7	二氧化矽[1]、黃鐵礦、砂、鈦、銀、鋁、蛋白石。
7	石英、鐵、錳、鈦。
7.5 - 8	錳、祖母綠、尖晶石。
8	黃玉、方晶錳石。
8.5	金綠寶石(chrysoberyl)、錳、氮化矽、碳化鈷。
9 - 9.5	剛玉、碳化矽、碳化鎢、碳化鈦、碳化硼、新石英。
9.5 - 10	硼、氮化硼、二硼化鎂、二硼化鈦。
10	鑽石、黑鑽石、所有鑽石類。
10 - 10.5	聚合鑽石奈米棒。

表1 莫氏硬度

8. 前傾角&拖曳距:「前傾角」指的是前叉和地面,或者說車架的前支架(減震管)和地面的角度。現在市面的摩托車都是採用三角架來固定住前叉或者前減震的,所以這裡前傾角的計算方式是一樣的。通過改動車架,或三角架其中一項或者兩者同時改動都會改變拖曳距,或者說,改變車輛的操控。「拖曳距」比較難解釋。它指的是前叉轉向軸線的延長線與地面的交點跟前輪軸到地面的垂線之間的距離。拖曳距是關係你車輛操控特性的一個很重要的參數。例如:圖 2 [14] [15]

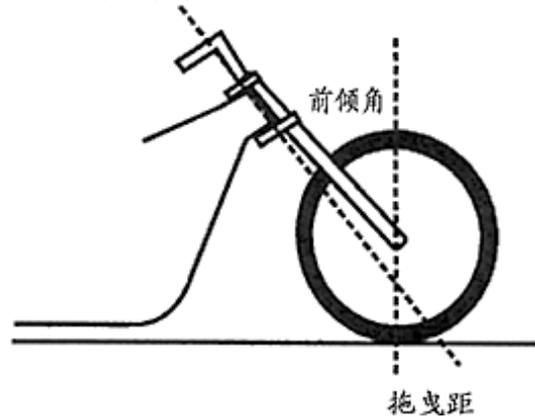


圖2 前傾角

2. 文獻回顧

2.1 台灣電動機車發展史 例如:表2 [3]

年份	重大事件
1992	經濟部能委會委託工研院進行電動機車研究

1995	環保署公告「行政院環境保護署補助新購電動機器腳踏車執行要點」開始補助民眾購置電動機車。
1998	行政院通過環保署所提「發展電動機車行動計畫」。
1999-2000	三陽、台灣山葉、台鈴、永豐、偉士伯、摩特動力合組策盟工業，共同開發推出 EVER 電動機車。光陽推出 Air 舞風電動機車。
1995-2003	政府共投入 17 億 5 千萬補助款，補助消費者購買電動機車
2008	行政院於「現階段政府施政策略與工作要點」裁示將推廣可抽換電池電動機車四年達 10 萬輛。
2009	行政院核定「電動機車產業發展推動計畫」，規劃改採抽換式鋰電池。補助民眾購置、獎勵廠商擴大量產、補助廠商設立充電設施，目標 4 年 16 萬輛內銷及 3.65 萬輛外銷。
2010	交通部正式核發電動車專屬牌照
2011	環保署訂定「電動機車電池交換系統補助辦法」
2012	修正使用牌照稅法，12 英制馬力以下電動機車免牌照稅，並授權地方政府免徵各種電動車牌照稅三年。
2013	主計總處完成作業規定修訂，電動機車納入各機關公務車優先租用對象。
2009-2013	電動機車產業發展推動計畫第一階段 2009-2013，達成電動機車總銷量 32,127 輛。
2014	行政院核定「智慧電動車發展策略與行動方案」及「電動機車產業精進計畫」，整併為「智慧電動車輛發展策略與行動方案」。
2015	GOGORO 上市記者會。環保署公告施行「淘汰二行程機車及新購電動二輪車補助辦法」，範圍涵蓋電動機車、電動自行車、電動輔助自行車。同日廢止電動自行車與電動輔助自行車之新購補助辦法。
2016	GOGORO 佔電動機車新車市佔率八成。
2017	行政院核准經濟部呈報「智慧電動機車能源補充設施普及計畫」。規劃五年期方案新增建置 3310 站能源補充設施(331 站充電站及 2979 站換電站)。其中由經濟部工業局分期補助中油於 2018-2022 年建置電動機車能源補充站 1000 站，採中油自營或委託經營等模式營運。餘 2310 站由民間業者自行投入建置。

2018 經濟部正式公告「電動機車固定式交流及直流傳導式供電系統產業標準」，其中包括電氣安全性規範與充電式之公規接頭形式；換電式未定公規。

GOGORO 與臺灣師範大學進行產學合作，開設「Gogoro 電動機車維修人才認證培訓師大專班」，2019 年將開設 10 至 12 梯次。

2019 GOGORO 宣布 2019 年夏導入 2170 電芯，延長續航力。

2020 光陽喊出「油電平權」，要求政府同額補助燃油機車。

表2 台灣電動機車發展史

2.2 政府法規推動

各個國家都為了減少交通工具的所排放的溫室氣體而訂定相關政策，其中一項主要的政策是禁售燃油車，以達到改善空氣汙染的問題，而台灣也在 2017 年宣布要在 2035 年機車電動化、2040 年禁售燃油車。其他國家的禁售燃油車時間表。例如：表 3[4]

國家	禁售汽、柴油車
荷蘭	2025 年
挪威	2025 年
德國	2030 年
印度	2030 年
法國	2040 年
英國	2040 年
台灣	2040 年
中國	2040 年

表3 禁售燃油車時間表

2.3 電動機車動力系統介紹

2.3.1 無刷直流馬達發展史與優點

(1) 發展史

無刷直流馬達是根據有刷直流馬達發展出來的，有刷馬達剛發明時，因為它有優良的轉矩控制特性而得名，但是因為使用了機械式相位轉換，而降低了可靠性，因此後來才發明出了無刷直流馬達，無刷直流馬達剛發展時，因為科技並不是很發達，造成可靠性差、價格昂貴、永磁材料與控制水平的限制，使得無刷直流馬達發展停滯了一段時間，但隨著半導體快速發展，加上高磁能積永磁材料出現，使得無刷直流馬達得到了迅速的發展，朝向了實用的階段。 [5]

(2) 優點

1. 免保養
2. 高效率
3. 容易控制
4. 噪音低
5. 耗電降低

2.3.2 電池管理系統(Battery Management System, BMS)

電池管理系統 BMS 與電能管理系統 EMS 是發展電動車的一大關鍵，電池管理系統用來對電池進行監控和管理，像是可以監控與管理電池的充放電電流、充放電電壓、放電溫度等等的，用來提升電池的效能，而電能管理系統是透過適當的控制策略來達成整車最佳的能量流管理，增加車子的行駛距離。電池管理系統的監控方法是在構造的最底層的電池芯有溫度、電壓、電流的偵測與紀錄，並將資訊傳送到電池模組管理單元，以監控電池芯，另一個功能是進行主/被動電池平衡，以補償電池之間的匹配問題，有效延長電池的工作壽命，因此只要透過 BMS 與 EMS 的結合就能達到有效且高效的使用電池，並增加使用電池的安全性。 [7]

2.4 鋰離子電池介紹和特點

鋰離子電池是由正極、負極、電解液、隔離膜所組成的，隔離膜是為了防止正極和負極碰觸而造成短路，而隔離膜也可以在高溫時自動封閉自身的孔洞結構，隔離鋰離子的通路來達到保護電池的效果；而鋰離子電池有許多優異的特性，如 [9]

1. 工作電壓高
2. 能量密度高
3. 使用壽命長
4. 無記憶效應
5. 可快速充放電
6. 工作溫度範圍廣
7. 低自放電

2.5 三角函數

使用三角函數計算出所有車架尺寸，以及龍頭車架角度對比地面車架角。例如:圖3

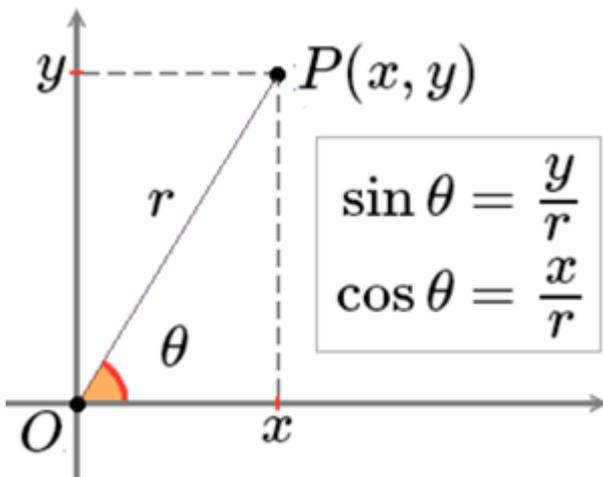


圖3

2.6 圖學應用

利用Solidworks繪圖軟體來畫出3D車架圖形，藉此可以在製作前先分析整體架構，加以修改錯誤的地方，並且標示出尺寸角度等等係數，用來計算設計外的所有尺寸，用電腦計算來減少人工計算的誤差，以及鑄造或焊接上不必要的浪費。

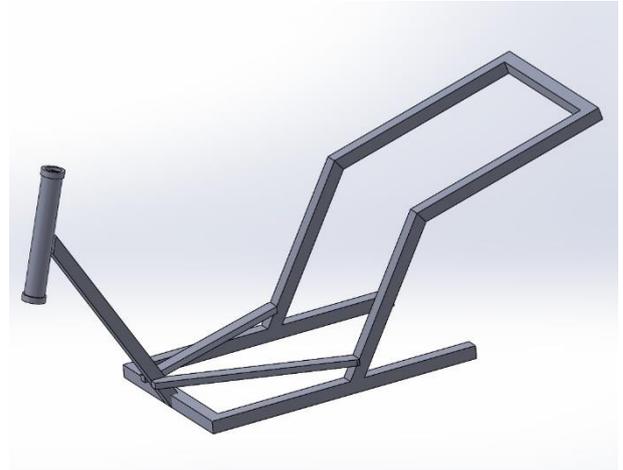


圖4 solidworks設計圖

2.7 應用力學

利用力矩力偶的力學觀點，特殊加強應力點及受力點處對於這些脆弱點進行補強。

3. 實驗設計

3.1 研究系統(動力部分)

3.1.1 電池電流輸出

1. 數位式三用電表
2. 電流勾表
3. 一般手工工具

3.1.2 控制器參數調整

1. 電腦
2. 參數設定軟體
3. 一般手工工具
4. 連線接頭

3.1.3 電池續航力

1. 計時器
2. 錄影機
3. 手工工具
4. 套用公式: $P=I*V$

3.2 實驗方法

3.2.1 池電流輸出

1. 無負載狀態
2. 電池充電至滿格(54V)
3. 勾表量測電池輸出端

3.2.2 控制器參數調整

1. 連接控制器輸入端
2. 啟動電源
3. 修改參數
4. 實車測試

3.2.3 電池續航力

1. 主電池狀態滿電(54V)
2. 以師大羅馬廣場為測試跑道(260m)
3. 以單人騎乘方式(駕駛 85kg)
4. 定速(20km/h)測量主電池耗盡的時間(主電池 44V 視為沒電停止測量)

3.3 研究步驟

3.3.1 傳動與動力系統配置

1. 動力系統性能規劃
2. 計算減速比
3. 修改零件設計
4. 設計齒輪箱
5. 傳動系統零件整合

3.3.2 電池系統配置

1. 計算電池所需電容量
2. 結合教具需求設計
3. 規劃電池佈局
4. 結合傳動與動力系統

3.3.3 動力與車架整合

1. 比對車架與動力系統之誤差
2. 修改兩者誤差
3. 配置電路



圖5 線路焊接

4. 結合動力與車架

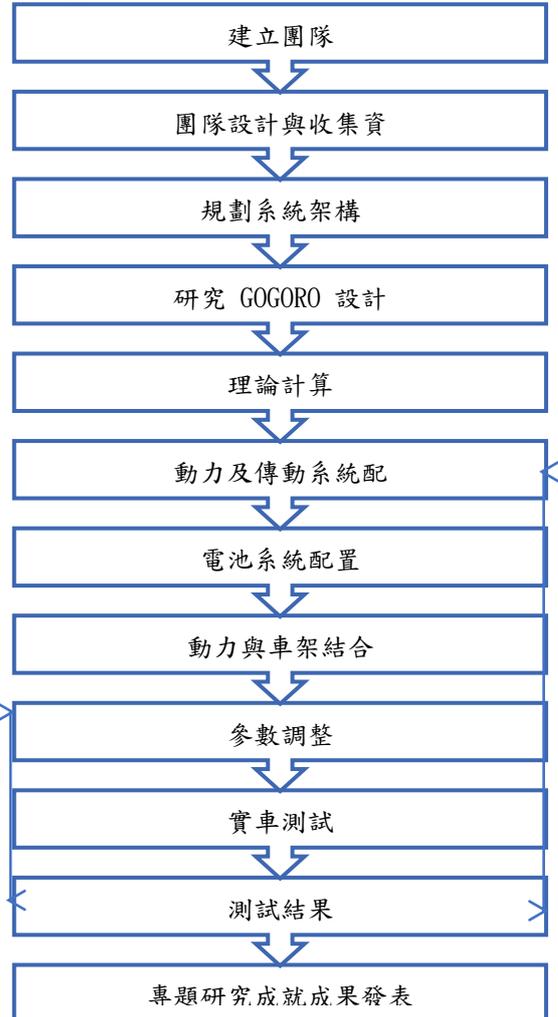
3.3.4 實車測試

1. 修改電池系統參數
2. 修改控制器參數

3. 電池續航力測試

4. 傳動系統測試

3.4 實驗過程



配合動力與傳動系統，調整各項參數

透過測試結果，修改動力系統及傳動系統問題

圖6 實驗過程

1. 動力及傳動系統配置



圖7 傳動配置

動力及傳動系統是馬達透過齒輪箱、皮帶、皮帶輪去做動力傳遞，動力會輸出到後輪，讓後輪驅動

2. 電池系統配置

電池串聯13顆成一排，並排4顆為一組，主電池共為2組配置，使用專用模組組裝而成，有效運用電池盒空間

3. 實車測試

透過實車測試，可以了解實際的續航力以及整車的行駛狀況，並依據這些條件來調整我們的馬達控制器，以達到行駛最佳條件。



圖8 校正車輛數據

3.5 研究系統(車架部分)

我們主要研究於車架的結構以及材質的使用，結構方面不僅要考慮車架形狀還要顧及到連結方式，材質部分我們考慮重量與強度的對比數據，來推測出我們所採用的金屬材料，另外還要考慮成本問題。例如：圖9



圖9 研究系統示意圖

3.6 實驗方法

對於整體車架結構進行設計，並製造出車架並進修改最後在搭載上動力系統，使車架可以在路面上，跟一般車輛一樣運作，並且進行一定時間的連續運行測試，證實強度能夠正常使用。

3.7 研究步驟

1. 研究所需金屬材質
我們先找尋相關資料以及現有的車輛作為參考，探討最適合我們用來做這次車價的結構
2. 車架的設計
觀察實際車輛及文獻後，以3D繪圖設計出初步的車架設計圖
3. 配合材質的情況下設計出適合的結構
在車架的初步設計上，對於所使用材質的優缺點，進行近一步的改善，設計出此材質最堅固、耐用、簡易的結構
4. 開始尋找材料廠商
前往市面尋找能夠供給我們，所需要材質原料的廠商
5. 學習焊接及切割、研磨等技術
對於製造上所需要的技術，加以學習並且精進，讓製作時能夠用較完美的技術，製作出品質更加優良的車架
6. 購入所需材料
依照設計圖的架構進行計算，得出所需的材料量，並進行購買材料
7. 材料切割、研磨加工
依照設計圖的尺寸，對材料進行切割的動作，使得每段材料能夠合乎設計圖，並且進行研磨加工，使得材料接合處更加穩合、細緻
8. 加工完成後進行拼接的動作
加工完成後初步的組裝，並與設計圖進行比對，將不吻合處進行修改



圖 10 車架完工圖

9. 焊接作業
在確認各組件後，進行焊接加工，使整體車架能夠牢固接合
10. 車架修改
為配合動力系統，在車架大體成形後，進行最後的切割、研磨、鑽孔等動作，使得動力系統可以固定在車架上
11. 置入動力系統進行測試並加以改良
將動力系統安裝上車架，進行多次的騎乘測試，並對於異樣處進行改良後，再次進行測試，反覆此動作直到無需改良後測試得出結果



圖 11 車架距離調整

12. 最後與現有車輛進行比對
與現在市售車進行比對，得出整體實驗成果

3.8 實驗過程

例如：圖 12

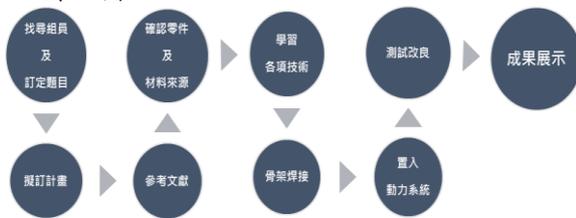


圖 12

4. 結果與討論

4.1 電池電流輸出

4.1.1 結果

1. 兩組電池模組第一次設計為一組 15A，總輸出 30A，測試後發現電池電流輸出不足造成起步困難。
2. 兩組電池模組第一次設計為一組 30A，總輸出 60A，測試後發現電池電流輸出穩定，實車測試正常。

4.1.2 討論

1. 第一次測試時發現起步困難，初步判定為電池電流輸出不足導致，所以決定將電池輸出電流放大一倍，以改善起步困難之問題。

2. 第二次測試時發現在平坦路面可行駛穩定且加速性良好，所以決定固定總電池電流輸出為 60A。

4.2 控制器參數設定

4.2.1 結果

1. 原廠設定值並不適用於我們的動力系統，進行修改後，可以初步對電池保護的同時，也能夠正常運轉。
2. 為了讓扭力能夠在進一步的提升，修改馬達及電門把手的輸出電流，並調整馬達逆轉電流數值。

4.2.2 討論

1. 原廠數值並不符合我們專題車身參數，此結果會造成在控制器運轉時，有運算誤差的問題產生，所以將各項可修改數據進行輸入，但起步扭力仍有不足，判斷可能是輸出電流設定不足導致。
2. 測試結果，起步扭力有改善，但目前可乘載重量為 85kg，若超過 85kg 以上，便會造成起步不順的問題。

4.3 實車負載測試

4.3.1 結果

經過實車測試後，發現能正常起步且順暢行駛於平坦路面的行車條件為單人騎乘且負載不可超過 85kg。

4.3.2 討論

礙於控制器電流最大輸出為 120A 與減速比 1:4 的情況下，輸出扭力無法負荷更多重量的負載；而後續將把控制器電流最大輸出調為 160A，減速比調為 1:6 的情況下，預計可以達成雙人乘載負載重量 160kg 的目標。

4.4 續航力測試

4.4.1 結果

行駛條件：電池滿電狀態(54V)

電池跳機電壓(44V)

圓環測試一圈:260m

空車重:88.4kg+一位乘客:85kg=173.4kg

定速:20km/h

路況:平坦路面

實測值:行駛距離 22.51km

行駛時間:64分鐘19秒

平均速率:21.04km/hr

4.4.2 討論

理論續航時間:

1. 馬達平均功率=2200W
2. 電池電容量:23.2Ah
3. 馬達平均電流:2200W/48V=45.83A
4. 續航時間:23.2Ah/45.83A=0.50h=30min

測試結果與理論值有明顯的差距，初步判定有可能是控制器內部的電能回充的功能造成續航力時間有所增加，但並不排除有人為因素的影響，因為在測試時的速度，尚未控制相當精確，有機會低於 20km/hr 的速度下去行駛，造成騎乘時間比預計的更長。

4.5 鋁材挑選

經過多方面的探討後，為了能夠達到輕量化、堅固、價格親民、材料取得容易等因素，因此決定用 6061 的鋁鎂合金，來做為此次研究的材料。例如：表 4、表 5

	鋼	鋁	鈦
價格 NT/KG	10	90	1900
重量 g/cm ³	8.9	2.8	4.5
降伏強度 MPa	1000	260	300
莫氏強度	4-4.5	2-3	6

表 4 各材質特性比較

鋁系列	材質	質別	鋁合金機械性質標準			
			抗拉T.S. kg/mm ²	0.2%降伏σ _y kg/mm ²	伸長率(%)%EL % d 12.7mm	硬度 kg/mm ²
6000系列	6061	O	15	11	16	30
		T6、T651	27	25	10	54
	6063	T5	11	16	12	40
	6066	O	11	6	18	43
		T6	35	32	8	70
	6082	T6	27	24	10	55
6463	T5	15	11	7	HV60	

表 5 6 系列鋁性質 [13]

當下遇到的第一問題在於圓形鋁管的加工不便處在於鋁材質彎曲後容易破裂，而且彎管的模具成本非常高，圓形鋁管的焊接點容易產生偏移造成點與點連接而不是線連接或是面連接，所以最後我們採用方型鋁管來組合車架，焊接步驟為以小組大的方式，以拼接組裝的方式來建構車架。

我們所得出的車架如附圖，連結方式我們採用鋁合金脈衝焊接，為了可以達到應該有的鋁合金強度，所以鋁合金的厚度以及結構必須要有一定的要求，關於厚度的問題我們採用全周三釐米的圓形鋁管。如圖 13、圖 14、圖 15



圖 13 車架側面圖

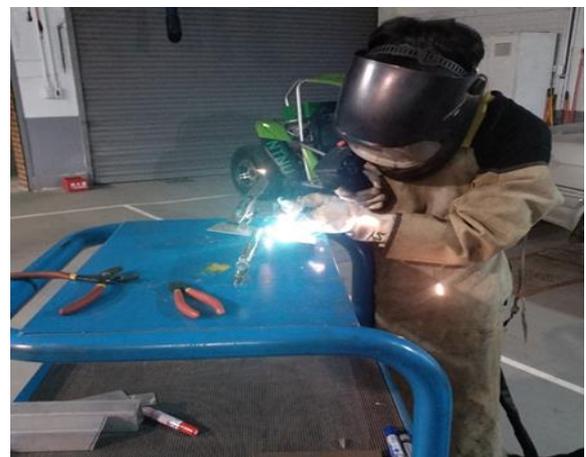


圖 14 焊接示意圖



圖 15 焊接示意圖

車架整體可以承受兩個成年人的體重，並能夠平穩的行駛，主要歸功於車架整體設計方向，寬厚的後搖臂與避震器能夠將重量分散於車架兩旁，行駛中所遇到的震動不會直接衝於人體，還是經由懸吊系統分散於車架與避震器上，一般來說，10cm的拖曳距應該可以說是在穩定性和反饋性上能得到較好的平衡

的距離。還有前方特殊的前傾角，為了使得平穩行駛以及重量分散有著很好的效果，使往下傳動的部分力量轉變為旋轉力矩，我們所設計的焊接連接對於旋轉力矩的承受力還要大於上下移動的應力，不僅如此，對於後傾角的好處在於，安全性，一旦招受來自前方的撞擊時，靠錢的輪胎與懸吊結構會承受大部分的衝擊力，從而保護駕駛與乘客的安全。[14] [15]

且在進行上百次的平地運行測試及坑洞運行測試後，車架結構仍然完好無損，無任何明顯的變形量，也證實了鋁合金車架能在道路上使用的實用性。

4.6 編寫教材

因為在製作電動車的過程都中都有逐漸了解各元件的構造及功能，所以希望在做專題之餘，也可以將這些知識與原理編寫成一份教材，讓更多的學生了解電動車的構造與原理後也可以更了解此專題的設計與概念，這都中有電動車未來趨勢、電池、電池管理系統、馬達等等介紹。例：圖16、17、18

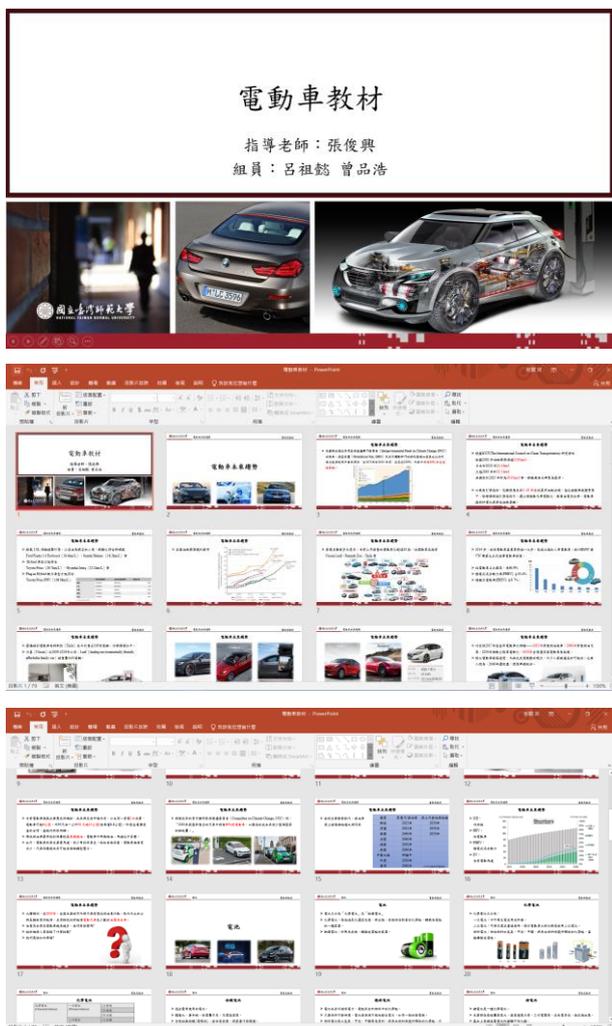


圖16-18 電動車教材

5. 結論

本次專題研究完成電動機車製作，起初我們先設計我們的傳動與動力系統配置，再者根據我們的理念，選擇合適的馬達與電池的規格，並透過馬達控制器與電池管理系統讓其發揮最大的效率，最後依據測試的路況條件，選擇最合適的設定，來做各種不同的實車測試；在車架製作上鋁製車架的效能確實比一般市售車的效能來的好，但是在價格與製造上面看來，卻都比一般的鋼鐵來的昂貴且複雜許多，或許量產規格化後，或許可以解決昂貴的問題，但還是缺少呵許多置物空間，因此可以著G牌一代的車，以沖壓來成行可以減少一些結構加強的支架，所以鋁製車架確實是可以實現的，但是要能普及化，就得看未來的技術，能不能更簡單的量產這一套車架。

本次的專題研究有以下重點

1. 控制器參數設定
2. 電池模組設計
3. 實車負載測試
4. 實車續航力測試
5. 車架製作

建議

1. 控制器參數設定目前只著重在起步扭力以及提高車輛時速這兩方面，未來可以再根據不同的情況，調整控制器的各種參數輸出，已符合各種需求。
2. 根據電池電容量與馬達輸出功率，計算出理論的電池續航力以及實車測試的電池續航力，未來可以考慮再多加一組電池，以增加續航力。
3. 實車負載測試條件為正常起步且順暢行駛於平坦路面的行車條件為單人騎乘且負載不可超過 85kg，為了改善此情況，可以再傳動系統的細節做改進以及輕量化調整，來達到雙人騎乘的目標。
4. 未來可以再調整動力系統之齒輪比，或是加上不同形式的減速機構，以提高起步扭力。
5. 關於此專題的後續研究，建議可以從更換不同的材質下手，說不定會找到更好的材質

6. 參考文獻

1. 國立臺灣師範大學物理系，物理問題討論區，黃福坤教授，電池記憶效應。
2. 台灣東方馬達股份有限公司，何謂 DC 無刷馬達。
https://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_28/
3. 痞客邦，You don't know，台灣電動機車發展大記事。
<https://hector958.pixnet.net/blog/post/34725865-%C3%A8%E2%80%A1%C2%BA%C3%A7%C2%81%C2%A3%C3%A9%E2%80%BA>
4. 維基百科，禁售燃油車。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A6%81%E5%94%AE%E7%87%83%E6%B2%B9%E8%BB%8A>
5. 陳偉哲，模糊控制器應用於無感測器無刷直流馬達，碩士論文，國立臺灣師範大學工業教育學系(所)，九十七年六月。
6. 葉宗憲，低價位多功能車用無刷馬達控制器設計，碩士論文，義守大學電子工程學系，96年9月。
7. ARTC 財團法人車輛研究中心，車輛研究測試中心綠能車輛發展處許家興，電動車成敗的關鍵技術-- 電池管理系統，2011。
https://www.artc.org.tw/chinese/03_service/03_02_detail.aspx?pid=1909
8. 台灣塑膠公司塑膠事業部技術處，鋰離子電池機能性電解液開發及應用。
http://www2.fpg.com.tw/html/mgz/Mgz_epaper/12/6/43-6p13-18.pdf
9. 維基百科，鋰離子電池
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%94%82%E7%A6%BB%E5%AD%90%E7%94%B5%E6%B1%A0>
10. 維基百科-鋁合金
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%8B%81%E5%90%88%E9%87%91>
11. 維基百科-降伏強度
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B1%88%E6%9C%8D>
12. 維基百科-莫氏硬度
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8E%AB%E6%B0%8F%E7%A1%AC%E5%BA%A6>
13. 鋁合金機械性質表
<http://www.yuan-tai.com.tw/images/table02.pdf>
14. 每日頭條-前傾角
<https://kknews.cc/zh-tw/car/l6onz49.html>
15. 機車網-前傾角
<http://www.jiche.com/article/weixiubaoyang--486.html>

教材參考:

1. 李添財-2019 電動汽機車第三版(全華)
2. <https://wolflsi.pixnet.net/blog/post/49173314>
3. <http://www.tfci.org.tw/Fc/>
4. <https://kknews.cc/zh-tw/digital/amo9xjx.html>
5. <https://www.facebook.com/DIY.Electric.car/posts/1528629413903478>
6. <https://www.bnxt.com.tw/article/56794/tesla-battery-plan>
7. <https://twgreatdaily.com/DP2L5WwBJeJMoPMfFLZ.html>
8. <https://read01.com/zh-tw/PMKa7y.html#.XtEwVDozZPY>
9. <https://www.renesas.com/tw/zh/support/technical-resources/engineer-school-tw/brushless-dc-motor-01-overview-tw.html>
10. <https://techfeed.today/2015/11/09/%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BB%8A%E7%82%BA%E4%BD%95%E9%81%B8%E7%94%A818650%E9%9B%BB%E6%B1%A0%EF%BC%8C%E5%8C%85%E6%8B%AC%E7%89%B9%E6%96%AF%E6%8B%89%EF%BC%9F/>
11. <https://sites.google.com/site/87yuan881/tong-bu-ma-da>
12. https://www.orientalmotor.com.tw/om/knowledge/uroko_bl/bl02.html
13. <http://www.tbnet.org.tw/files/Journals2/No.4611.pdf>

熱電晶片之瓦斯熱水器廢熱回收應用及效率改善

盧仕欣^{1*}、林凡瑞²、黃泓維³

國立臺灣師範大學工業教育學系能源應用組^{1,2,3}

指導老師：鄧敦平 教授

*Email: a22078596@gmail.com

摘要

最近地球溫室效應日益嚴重。溫度越高，人民開冷氣的天數也會持續增加，產生的溫室氣體也會跟著增加。然而這樣惡性循環將導致地球暖化越來越嚴重。而近年來，藉由京都議定書以及蒙特婁公約使得這項問題成為全球共識，因此對於許多汽機車所排放的廢氣或瓦斯熱水器等家電的廢熱之回收成為重要課題。溫差發電被認為具高度潛力之最新的廢熱回收相關技術。現今瓦斯熱水器提供人類在清潔與沐浴等方面的便利性已是人類不可或缺的一項設備。然而周遭也發散出不可忽視的廢熱值得深入評估回收廢熱的可行性。本專題針對每人家中都有的熱水器以熱電晶片發電的方式進行廢熱回收，並評估熱回收進行充電儲能的可行性。研究結果顯示在一般瓦斯熱水器的內部周遭廢熱溫度的範圍內確實可以將所產生的廢熱轉換成電能以充電儲能的方式進行廢熱回收。

關鍵字：熱電晶片、充電效應、熱電轉換效率、廢熱回收、散熱轉換效率

1. 前言

1.1 研究背景及動機

我們發現熱水器再加熱水溫時，產生了許多熱能，但我們想到如果能將此熱能加以利用，既能節省能源，也能減少不必要的浪費，因為這些熱是藉由能源產生的二次能源，為能將二次能源加以運用，使得能源浪費降到最低。為了發展更好的節能裝置，人們必須不斷的研發及發掘更多關於熱回收的可行性及能有更好的應用效率，減少二次污染並回收再利用，改善地球暖化更進一步降低能源不足的危機。在眾多再製能源中，我們選用熱電晶片來做為此專題討論的主題，因為它的體積相較於太陽能發電小、轉換條件要求不高、可應用的範圍很廣的特點。此晶片係利用一面溫度高一面溫度所造成的溫度差來產生電力，溫差越大所能產生的電力就越大，為了使晶片兩面產生極大溫差值就成為我們主要研究的對象。但市面上大多高效率的散熱方式都需要供應能源，利用熱管和鰭片散熱才能符合我們的需求，

何種類型的散熱方法可達到我們利用瓦斯熱水器的廢熱所產生最大效能則是我們這次的研究目標。

1.2 研究目的

本專題主要為研究熱水器加熱時所產生的廢熱以及廢熱回收的可行性評估。櫻花牌熱水器內部與外殼之間各點實測溫度數據做為模擬實驗溫度的範圍並利用此一溫度範圍進行熱電晶片發電。此外溫度與充電的關係未來亦可應用於其他廠牌與型號熱水器進行熱電回收應用的參考。

熱水器所有點位的溫度相差甚大，從50~170°C都有，所以我們在此區間都能做為廢熱回收使用，結合Datalogger能有效的測出最有效率的發電區間。本次實驗的熱電晶片額定溫度範圍：-40度到180度剛好符合熱水器溫度區間，所以以熱電晶片適合用在熱水器廢熱回收。此外本熱電晶片發電範圍：0-4.8伏特可應用於多種充電電池進行充電來回收熱能。

1.3 研究方法

首先本次研究是使用文獻探討、數據分析以及實驗研究，經由量測櫻花牌熱水器各元件位置在運行過程中溫度範圍，並評估有效能利用模擬溫度，而挑選出較適合運用的熱電晶片、充電模組、等設備，加以建立一套合適的模擬環境、器具。進而利用監測設備量測熱電晶片冷熱面溫差，並監測實驗過程中各數據變化及環境條件，對熱回收發電效應的影響，進而找出最適合該研究熱回收溫度，及有效利用的時間點。

1.4 研究流程

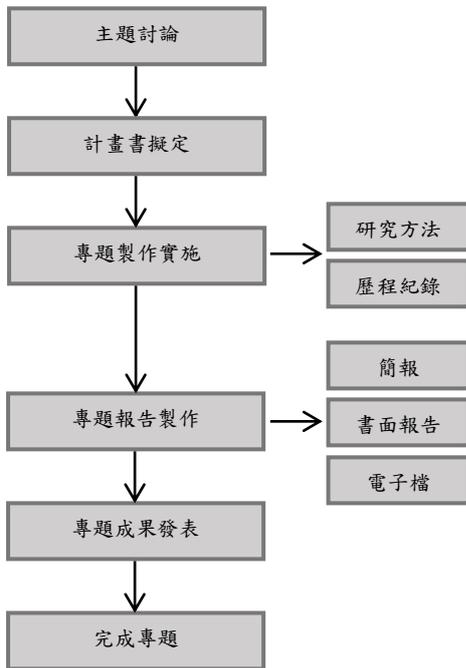


圖1 研究流程圖

2. 理論分析與文獻回顧

2.1 席貝克效應(Seebeck Effect)[1]

德國物理學家托馬斯·約翰·席貝克於 1821 年發現，將二種不同金屬各自的二端分別連接構成的迴路，如果兩種金屬的兩個結點處溫度不同，就會在這樣的線路內發生電流。這種現象稱為席貝克效應(Seebeck Effect)。

當兩種不同金屬組成閉合迴路且兩結點處溫度不同時，指南針的指針會發生偏轉。於是他認為溫差使金屬產生了磁場。但是當時席貝克並沒有發現金屬迴路中的電流，所以他把這個現象叫做「熱磁效應」。後來，丹麥物理學家漢斯·奧斯特重新研究了這個現象並稱之為「熱電效應」。

不同的金屬導體（或半導體）具有不同的自由電子密度，當兩種不同的金屬導體相互接觸時，在接觸面上的電子就會擴散以消除電子密度的差異，在兩塊金屬的另兩個端點形成穩定的電壓，電子的擴散速率與接觸區的溫度成正比。由此產生的電壓通常每克耳文溫差只有幾微伏。而不同溫度的相同金屬（或半導體）也具有不同的自由電子密度，所以只要維持金屬兩端的溫差，也能使電子持續擴散，在金屬的兩個端點形成穩定的電壓。

不同的金屬與半導體具有不同的席貝克係數（所產生席貝克效應大小不同），半導體與金屬的主因略有不同。半導體在不同的溫度下具有不同的載流子密度，當單一半導體兩端具有溫度差時，載子會擴散以消除密度的差異，因而造成電動勢。兩端的溫度相差越大，則產生的席貝克電位差越大。而金屬的自由電子密度與費米能階幾乎不會隨溫度改變，因此金屬的席貝克效應遠小於半導體。金屬的席貝克效應由電子的平均自由徑來決定。若平均自由徑隨溫度上升，則熱端的自由電子有較高的機會向冷端移動，此時的席貝克係數為負值。反過來說，若電子的平均自由徑隨溫度上升而下降，則冷端的自由電子有較高的機會流向熱端，席貝克係數為正值。

在電路中，若電壓計兩端的溫度同為 T_r ：

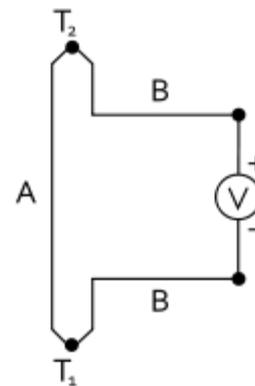


圖 2 熱電效應電路圖

由席貝克效應產生的電壓可以表示成：

$$V = \int_{T_1}^{T_r} S_B(T) dT + \int_{T_2}^{T_1} S_A(T) dT + \int_{T_r}^{T_2} S_B(T) dT = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT.$$

S_A 和 S_B 是金屬 A 和 B 的席貝克係數， T_1 和 T_2 是兩塊金屬結合處的溫度。席貝克係數取決於溫度和材料的分子結構。如果席貝克係數在實驗的溫度範圍內接近常數，以上方程式可以近似成：

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1).$$

將兩種不同的金屬連接，並在兩接點給予溫度差，兩種金屬會分別產生各自的溫差電動勢。選用適當的二種不同金屬製成熱電偶，利用席貝克效應可以直接測量溫差，或者將金屬的一端設定到已知溫度來測另一端的溫度。當幾個溫差電偶連接在一起時叫做熱電堆，用來製造更大的電壓。席貝克效應還可以用來鑑定合金的成分：將未知金屬和已知

金屬連接，並保持溫度不變，根據測得的電壓可以算出未知金屬的席貝克係數，從而判斷它的材料。若使用相同的金屬形成迴路，則會因為溫差造成的電動勢互相抵銷而無法觀察到席貝克效應。

2.2 帕爾帖效應 (Peltier effect) [2]

傳統上有時稱帕爾帖效應是席貝克效應，但此說法並不嚴謹。

帕爾帖效應 (Peltier effect) 由 Jean-Charles Peltier 發現與席貝克效應不同，帕爾帖效應可以產生在兩種不同金屬的交界面，或者一種多相材料的不同相界面間，也可以產生在非勻質導體的不同濃度梯度範圍內。

當對上述三種材料嵌入迴路中並施加電流時，金屬 1 會對金屬 2 或相 1 對相 2，或濃度點 C1 與 C2 間) 產生放熱或吸熱反應。

帕爾帖效應即為席貝克效應的反效應，即當在兩種金屬迴路中加入電源產生電位後，不同的金屬接觸點會有一個溫差。

2.3 湯姆森效應 (Thomson effect) [3]

當電流在溫度不均勻的導體中流過時，導體除產生不可逆的焦耳熱之外，還要吸收或放出一定的熱量(稱為湯姆森熱)。湯姆森效應(英語:Thomson effect)是英國物理學家威廉·湯姆森於1854年發現的：將一根導線通恆定電流，由於導線有電阻而發熱。再將這根帶電的導線的某小局部加熱；使它產生溫度梯度。這根導線就在原有發熱的基礎上，出現吸熱或放熱的現象。或者反過來，當一根金屬棒的兩端溫度不同時，金屬棒兩端會形成電位差。

一個金屬(或半導體)材料的帕爾帖係數並不是一個定值，也會隨著溫度而改變。在一個具有溫度梯度的導體中，每個位置都可以視為是具有不同帕爾帖係數的材料。當電流通過時，不同的位置會各自產生帕爾帖效應，造成局部的吸熱或放熱。由於金屬的熱導率較高，這些局部的吸收或放出的熱能會分散至整個導體，因而造成導體整體的吸熱或放熱。吸熱或放熱要由恆定電流的方向和導線熱梯度的方向而決定。這種現象稱為湯姆森效應，湯姆森效應並不會在均勻溫度的通電流導體中出現。

2.4 熱電晶片之原理與結構[4]

圖3為典型熱電致冷晶片的外觀與內部結構示意圖。致冷晶片外部由上下兩片絕緣的陶瓷基板所構成，內部由多組的P型與N型碲化鉍系列(Bismuth Telluride Based)熱電材料及導電銅電極串聯構成。

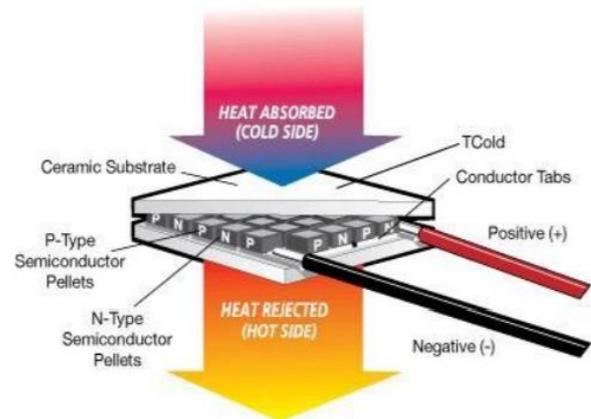


圖 3 熱電晶片結構圖[4]

當電流由電極進入熱電材料，或是由熱電材料進入電極時，由於帕帖爾效應(Peltier Effect)的緣故，在異質材料接合的界面位置將會分別產生吸熱與放熱的現象，使得該處的溫度降低與升高，如圖 4 所示；同時藉由控制直流電通電量的大小和方向，可以決定吸/放熱量的大小及相對位置，結合溫度感測裝置，就可達到精確溫度控制與冷卻至低於環境溫度的結果。此外，由於致冷晶片吸/放熱的位置在熱電材料與電極接合處，再透過基板傳到外部用，因此除了熱電材料本身特性外，提高晶片基板的熱傳導性也能夠增加致冷晶片實際可用的性能。

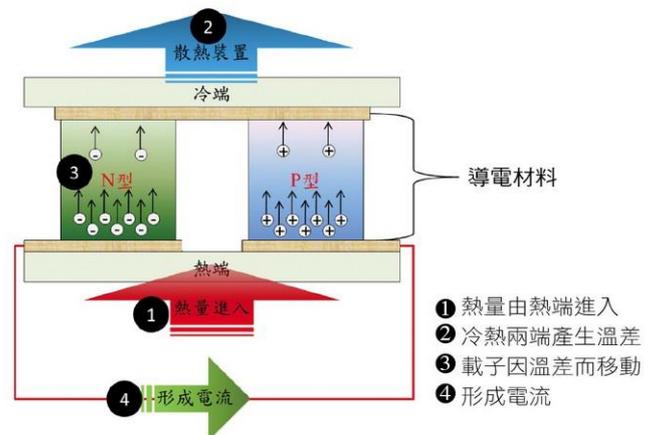


圖 4 溫差發電原理示意圖[5]

3. 實驗設計

3.1 研究設備

本專題使用櫻花牌型號(SH-1220RSK)熱水器如圖 5 所示，先量測各點溫度，再找能最大化廢熱發電的點位溫度進行模擬，結合升壓及穩壓模組和熱水器五點溫度透過熱電偶及 Datalogger 測量五點約 19 分鐘如圖 6 所示後記錄結果，彙整出溫度與時間關係圖如圖 7 所示。

經過多次選擇後，發現熱水器機體的溫度範圍從 50 度至 170 度，熱水器重要資訊如表 1 所示，T1 會是最具研究價值的點。



圖 5 櫻花(SAKURA) 熱水器



圖 6 量測點所示

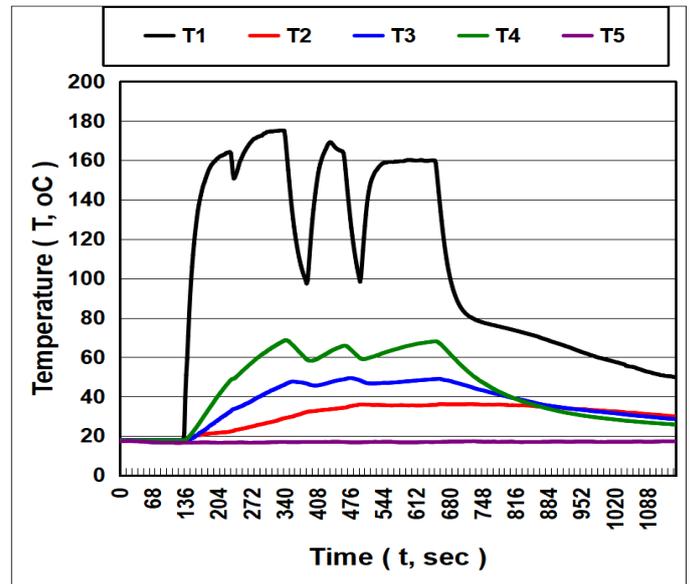


圖 7 各量測點溫度變化圖

表 2 資料收集相關參數

量測點規劃 (五點量測)					
編號	T1	T2	T3	T4	T5
位置	熱水器煙 窗排氣口 空氣溫度	熱水器外 殼內側上 方空氣溫 度	熱水器外 殼內側中 間空氣溫 度	熱水器外 殼內側下 方空氣溫 度	環境空氣 溫度 (距 離熱水器 下方約 1.2m 處)
熱水器 廠牌與 型號	櫻花(SAKURA) (SH-1220R5K, SAKURA, Taiwan) 戶外防風型熱水器 點火方式：電池供電點火				
資料收 集時間 及型號	2 sec/次 Datalogger (TRM20, TOHO, Japan)				
實驗記 錄時間	整個量測時間約 19 分鐘 (1144 秒)，實際熱水器 使用區間由 132 秒到 650 秒，約 518 秒(8.63 分鐘)，				
溫度感 測線	T-type 熱電偶線 ($\pm 200^{\circ}\text{C}$, accuracy: $\pm 0.75\%$)				

3.2 實驗步驟

3.2.1 架設熱電晶片相關電路

利用麵包板及平板加熱器模擬出溫度，使熱電晶片發電，以及量測其輸出電壓如圖 8 所示。



圖 8 平板加熱實驗

3.2.2 製作電壓與溫度特性曲線

因為平板加熱器呈現效果不佳，改成利用西卡紙製作簡易風管如圖9所示和電風扇以及Datalogger進行特性曲線的製作如圖10所示，後來發現我們風管的長度差距不大導致發電效果幾乎無差異，因此風管長度差異在我們的實驗中可以忽略不記，跟發現散熱片不夠大導致散熱效率不佳，製作出的曲線不是我們要的效果，所以只好更換成更適當的散熱片如圖11所示再重新進行量測一次。



圖9 西卡紙簡易風管 黃(25cm) 綠(40cm)



圖10 量測過程



圖11 散熱片更換

3.2.3 架設充電電路

因為熱電晶片輸出電壓不足4.8伏特得以驅動充電模組(圖12)，所以加裝升壓模組(圖13)只需0.6伏特得以驅動整體電路為1號充電電池(圖14)充電。

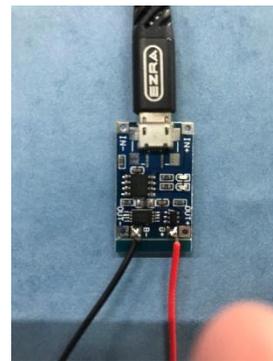


圖12 充電模組

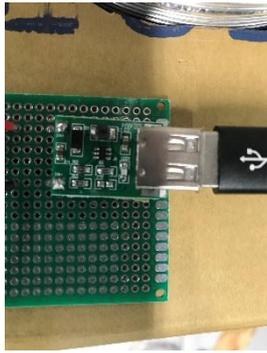


圖13 升壓模組



圖14 一號電池

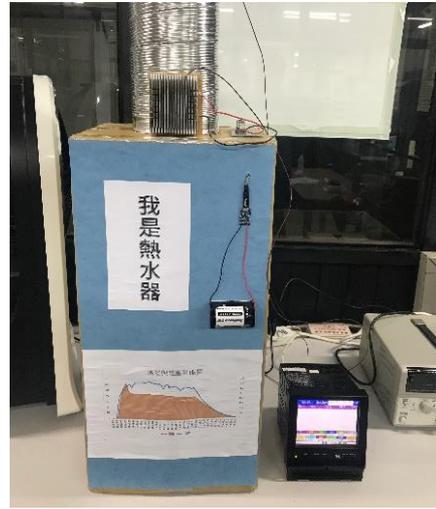


圖16 完成成品

3.2.4 組裝成品

利用紙箱及家用風管製作熱水器模型，將紙箱挖洞裝入風管，再將風管切割出可以放入熱電晶片熱面散熱片的大小，再以矽利康黏牢，並將所有電路用泡棉膠黏在紙箱上，最後進行裝飾。

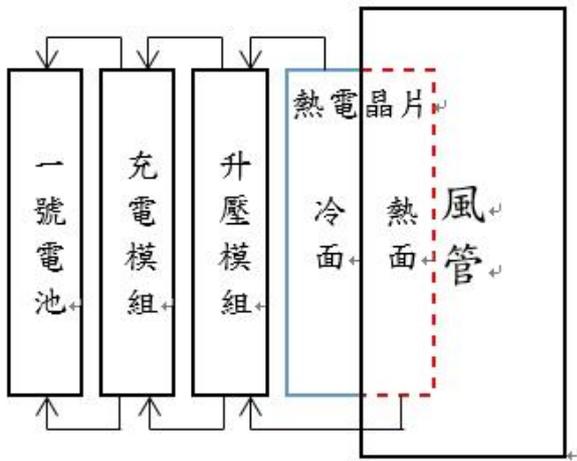


圖15 成品配置圖

4. 結果與討論

如圖17所示我們分別使用不同歐姆值的電阻 (47、100、47000)量測，量測結果發現在相同溫度下47000歐姆的電阻值發出來的電壓最大，與負載效應相符。

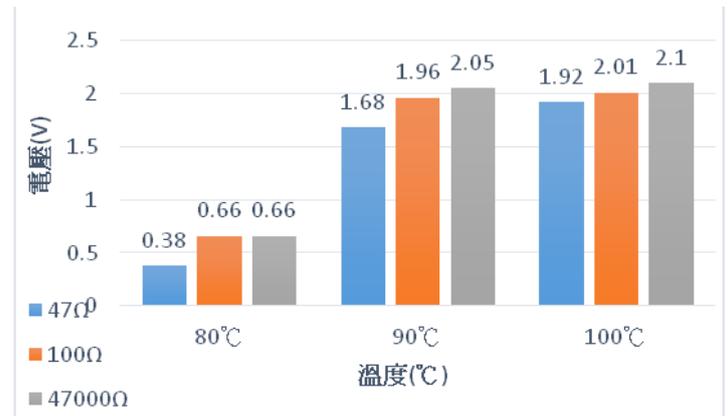


圖17 負載、電壓及溫差關係圖

如圖18所示當溫差達到90度，輸出會是0.59伏特，超過啟動電壓時，LED會亮紅燈，並且充電電路啟動，所以得知唯有圖5.T1煙囪位置符合該研究所需溫度。

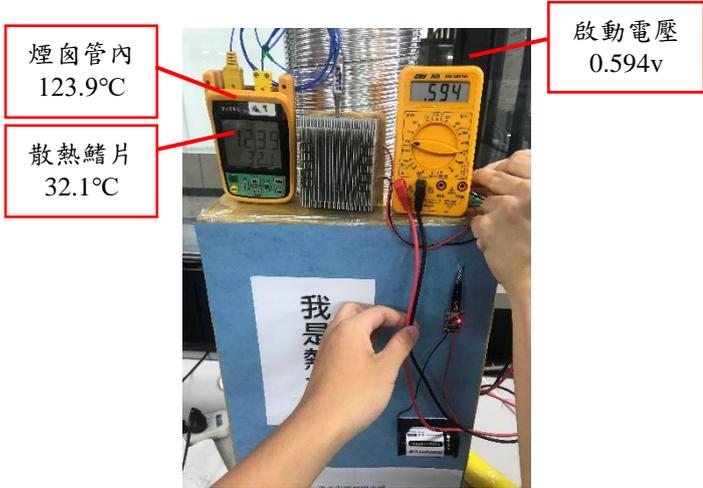


圖18 最小啟動電壓量測

在圖19中發現電壓在不同溫度時段情況下，電壓輸出的起伏不大，除了前置加熱段與後期散熱段，幾乎保持穩定，能有效進行充電行為。

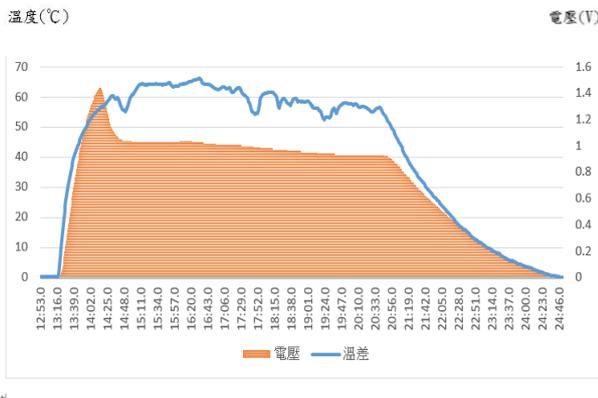


圖19 溫差電壓關係圖

5. 結論

本專題成功地開發出熱水器廢熱回收充電裝置，並可實際為充電電池進行充電。本專題未來若能夠增加充電模組數量、耐熱範圍與發電效率更進一步提升，並且結合像是煙霧警報器、小夜燈等……，將能運用在能源回收之餘並兼顧到安全性。另外我們發現此設備亦可以運用到其它會產生廢熱的地方，像是焚化爐、火力發電廠、溫泉業者、汽機車排氣管等等場所，把此技術加強並普及化到生活之中以強化本專題研究成果的實用性。

6. 誌謝

本專題研究感謝國立臺灣師範大學工業教育學系在研究設備與經費上的支持。此外在此對於給予本研究相關支援與建議的人士一併致上謝忱。

7. 參考文獻

1. 許學舜，三圍熱電微型製冷元件之研製，碩士論文，國立臺灣大學機械工程學系，台北，台灣，2010。
2. 吳誌中，N型與P型熱電材料製作與物性研究，碩士論文，國立臺灣大學物理學系，台北，台灣，2013。
3. 張明宗，電化學沉積技術應用於微型熱電致冷器之研製，碩士論文，國立臺灣大學機械工程學系，台北，台灣，2007。
4. 朱旭山，熱電製冷晶片之特性與應用，工業材料雜誌374期，工研院材化所，桃園，台灣，2018。
5. 黃振東、徐振庭，熱電材料，材料大觀圖，工研院材化所，桃園，台灣，2013。
6. 熱電效應裝置，普物演示廳，中興大學物理系 <http://experiment.phys.nchu.edu.tw/device/exp44.html>
7. 熱電效應，維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%86%B1%E9%9B%BB%E6%95%88%E6%87%89>
8. 席貝克效應，維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E9%9B%BB%E6%95%88%E6%87%89%E5%A1%9E%E8%B4%9D%E5%85%8B%E6%95%88%E5%BA%94>

蒸發式鋰電池散熱裝置

吳尚育*、張哲瑋、陳少淮

國立臺灣師範大學工業教育學系能源應用組

指導老師：鄧敦平 教授

*Email: 0326wu@gmail.com

摘要

目前鋰電池已被廣泛使用於各種裝置上。隨著科技的進步，鋰電池的負載與自身的溫度也會越來越高。因此，鋰電池的散熱裝置也越加重要。本專題模擬汽車空調冷凝水的蒸發潛熱對於鋰電池進行散熱。此外經由溫度控制器控制冷卻水供應將電池溫度控制在最佳工作溫度，以利於提升電池性能與延長電池使用壽命。

實驗結果顯示蒸發冷卻的散熱方式對於鋰電池的冷卻效果優於傳統自然對流氣冷的方式。此外，在本研究的實驗溫度範圍與放電電流條件之下，電池輸出性能的差異並不明顯。然而，蒸發冷卻確實能有效的降低鋰電池溫度而能延長鋰電池的使用壽命。

關鍵字：鋰電池、冷凝水、蒸發散熱、潛熱

1. 前言

1.1 研究背景與動機

鋰電池的散熱系統，對於鋰電池自身來說是非常重要的，由於鋰電池的工作溫度會影響鋰電池的放電、鋰電池的內阻甚至會影響鋰電池的壽命，故鋰電池的散熱系統主要目的就是將鋰電池的溫度維持在最佳工作溫度的範圍內，而在電動車內，鋰電池的工作溫度常常高於最佳工作溫度，故我們發想，利用不同的方式對鋰電池進行散熱，並製作此專題。

1.2 研究目的

由於目前電動車鋰電池的冷卻方式為利用冷卻水循環進行冷卻，較不易將鋰電池的工作溫度維持在最佳工作溫度，故我們引入電動車冷氣之冷凝水，並利用溫度較低的冷凝水對較高溫的鋰電池進行散熱，使鋰電池的溫度在大部分時間能夠維持在鋰電池的最佳工作溫度上，使用最少的水量使鋰電池擁有最佳的工作溫度。

1.3 研究方法

我們設計一裝置，以吸濕排汗布料將鋰電池包覆、於鋰電池下方擺放置水盤，並對鋰電池進行溫度檢測。當鋰電池放電，其溫度高於我們設定之溫度時，會引入冷水，淋濕該布料，使布料含有水分，並以此利用水的蒸發將鋰電池的熱帶離，達成將鋰電池的溫度控制在最佳工作溫度。在實驗的過程中，我們設計不同的電池放電電流、利用熱風循環箱模擬環境溫度、並

控制放水量、水溫，實驗在不同的環境溫度及放電功率下，是否利用冷凝水進行冷卻，並分別觀察電池的溫度變化。

2. 理論分析與文獻回顧

2.1 蒸發熱

液體在低於沸點溫度下汽化所需的熱量稱為蒸發潛熱；若液體在沸點溫度時汽化則常稱為汽化熱或沸騰相變熱。水的蒸發熱或汽化熱為539 cal/g，表示水蒸發成水蒸氣時，每公克須吸收539 cal的熱量[1]。

2.2 鋰電池之最佳工作溫度

大部分鋰電池最佳工作溫度為20°C-40°C，高於此溫度範圍時，電池將會有降低壽命、內阻升高以及放電效率降低的風險[2]。

3. 實驗設計

3.1 研究設備與材料

如表1所示及表2所示

表1 使用設備與材料

1. 鋰電池 規格：天能鋰電池48V 12Ah 用途：實際電池發熱狀態。	
2. Arduino [3] 規格：Arduino-UNO 用途：處理溫度信號與控制散熱裝置的給水。	
3. 溫度感測器 規格：DS18B20 用途：感測鋰電池之溫度。	

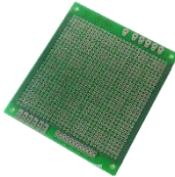
<p>4. 電路板 規格：文華69-8.7*9.7cm 用途：電路佈線設計。</p>	
<p>5. 電晶體 規格：2N2222 用途：接受經過Ardiuno輸出信號並驅動電晶體。</p>	
<p>6. 超小型繼電器 規格：SHS-4100 用途：接受電晶體的開閉信號並控制電磁閥的開閉。</p>	
<p>6. 可充式鋰電池 規格：DHT 18650 用途：供給散熱裝置所需之電力。</p>	
<p>7. 液晶顯示器 規格：1602 螢幕 + M036 IIC/I2C 轉接板 用途：顯示量測溫度。</p>	
<p>8. 直流升壓模塊 規格：XL6009 用途：提供水電磁閥所需之較高電壓。</p>	
<p>9. 水電磁閥 規格：UL 429 216806 用途：視繼電器作動與否決定啟閉，為冷凝水排放之出口。</p>	
<p>10. 矽膠軟管 規格：3*5mm 用途：連接水電磁閥及吸濕排汗布料。</p>	
<p>11. 吸濕排汗布料 規格：UNIQLO-AIRism 用途：包覆鋰電池外殼增加蒸發冷卻表面積。</p>	

表 2 研究儀器

<p>1. 電子負載 規格：IT8904A-600-280 用途：模擬電池負載。</p>	
<p>2. 資料擷取器 規格：TRM-20 用途：擷取鋰電池表面溫度。</p>	
<p>3. 熱風循環箱 規格：JA-72 用途：模擬環境溫度。</p>	

3.2 研究步驟

1. 構思發想。
2. 草擬規劃(繪製電路、模型架構、程式架構)。
3. 定稿電路圖、模型架構圖。
4. 機構面實作、模型搭架、程式撰寫。
5. 電路面實作、電路焊接。
6. 完成電路焊接、測試、修改。
7. 完成機械面、模型架構、測試、修改。
8. 機構模型與電路面組裝。
9. 設計實驗程序(控制溫度、放電量、有無水冷卻)。
10. 進行實驗模擬。
11. 偵錯並修改實驗程序。
12. 整體測試、修改、精進。
13. 分析、評估實驗之數據(定電流並依照電池溫度及放電後電壓大小評估)。

3.3 立體架構

1. 選定鋰電池(天能鋰電池)為實驗電池，並用電子負載以定電流15安培的方式放電。
2. 以適當吸濕排汗布料包覆鋰電池。
3. 模型以木板(長40公分、寬35公分、高40公分)搭架。
4. 以量杯連接水管進行並對鋰電池放水(水溫26°C)。
5. 水經過水電磁閥，使吸濕排汗布料濕潤(水的流速約為6.61毫升/秒)。
6. 水蒸發並使鋰電池降溫。
7. 以資料擷取器擷取電池各個溫度(分別為正面、背面、左側面、右側面、頂側左及頂側右，共6個點)。

3.4 程式架構

如圖1所示

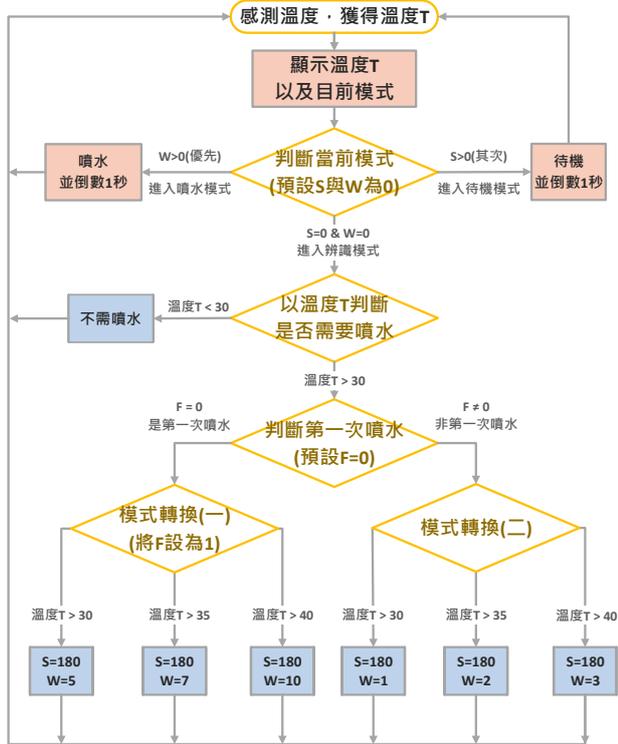


圖1 程式流程圖

3.5 電路架構

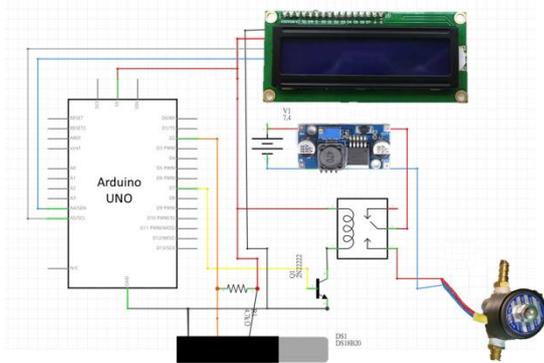


圖2 電路圖

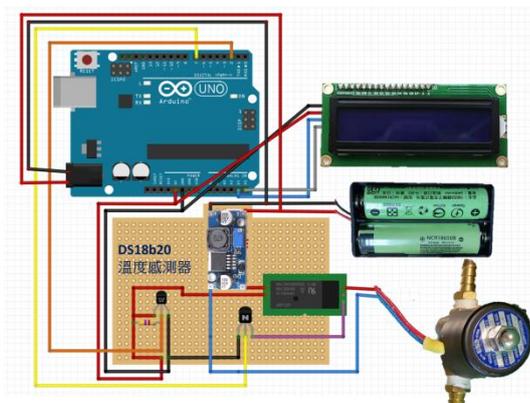


圖3 實際電路示意圖

4. 結果與討論

如圖4、圖5及圖6所示，可得知各環境溫度下，針對鋰電池進行蒸發式冷卻以及氣冷式冷卻在定電流輸出模式15A放電時間為30分鐘時，普通氣冷式溫度從32°C一路上升至42°C足足有10°C的溫升，相較於加裝蒸發散熱裝置的溫度控制在39°C以下。

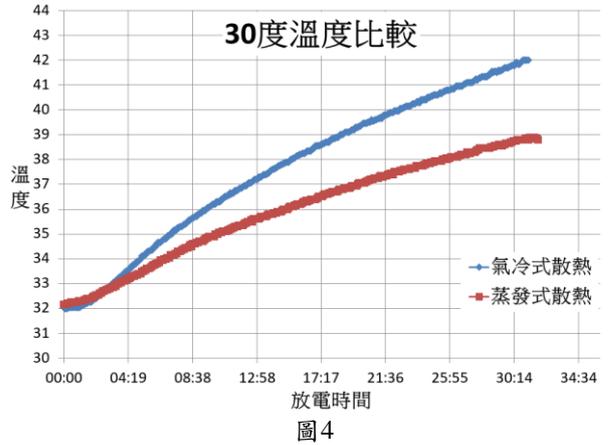


圖4

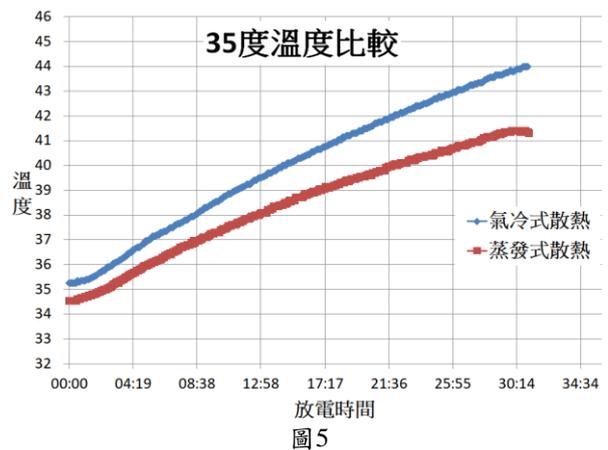


圖5

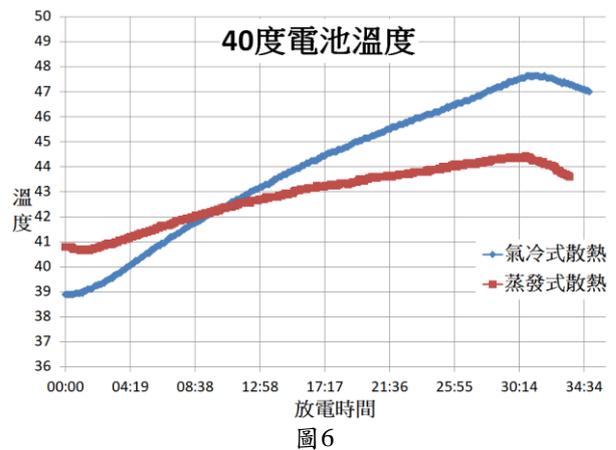


圖6

如圖7、圖8及圖9所示，可得知各環境溫度下，針對鋰電池進行蒸發式冷卻以及氣冷式冷卻在定電流輸出模式15A放電時間為30分鐘時電壓並無太大差異。放電過程中有些電壓浮動，我們推測可能是因為電池本身不適合長時間大功率輸出，所以會有些不穩定，但幅度都在可接受的3V以內，所以環境溫度與散熱方式對於負載或是電池的影響應該不大。

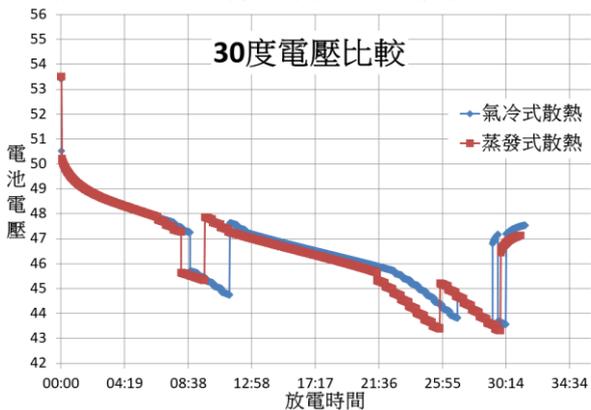


圖7

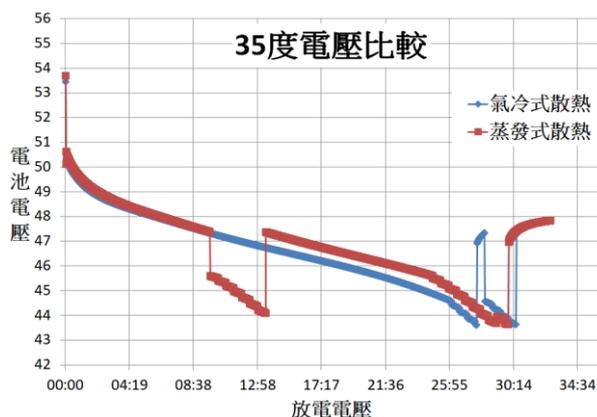


圖8

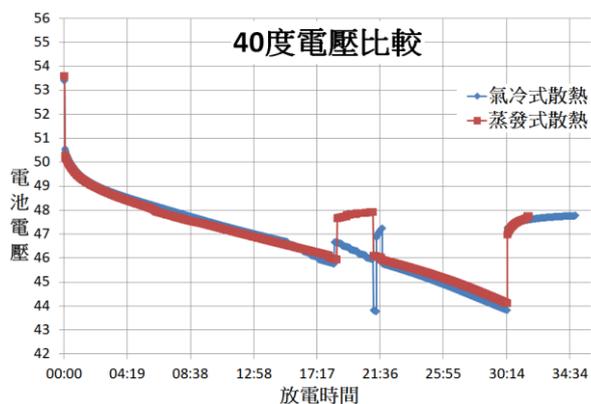


圖9

5. 結論

本專題所使用的溫控蒸發水冷降溫裝置，主要運用溫控電路搭配水電磁閥，讓鋰電池的溫度維持於最佳工作溫度。透過與自然對流的氣冷式進行比較，得出下列幾點結論：

1. 蒸發水冷式較於傳統氣冷式散熱方式，能夠顯著降低鋰電池外部溫度，進而延長電池壽命
2. 相較於溫度之差異，電壓變化曲線以及最終穩定電壓的幅度，兩者差異甚小。

實驗限制：

1. 受限於實驗器材中熱風循環箱的大小，無法忠實模擬環境的溼度與風速，可能會造成熱風循環箱內濕度不斷提升，使得蒸發水冷式降溫效果降低。如果將來有更大的循環空間或是實際在室外運行的話我們相信蒸發量一定會更多，散熱效果也一定會有顯著的增加。
2. 溫度提高，相對濕度下降，蒸發的水量也越高，帶走的熱也越多，相對的散熱效果也越好。但是因為實驗電池較小，發熱量也較小，使得散熱溫差較不明顯，如果是較大的電池應該會更熱，我相信散熱效果應該會更明顯。

蒸發式冷卻的散熱方式利用蒸發潛熱大，用少量的水就可以達到最佳的散熱效果，如果搭配具有空調系統的設施上，例如電動車、電動公車...就可以直接利用空調的低溫冷凝水直接進行散熱或是搭配循環水冷式在鰭片上也會有最佳的散熱效果。本專題研究成果雖然呈現散熱方式與環境溫度對於電池的輸出電壓影響並不明顯。然而，良好的散熱不僅可以延長電池壽命、提升效能也降低電池的危險性，減少電池廢棄物安全又環保。

6. 致謝

本專題研究感謝國立臺灣師範大學工業教育學系在研究設備與經費上的支持。此外在此對於給予本研究相關支援與建議的人士一併致上謝忱。

7. 參考文獻

1. 教育百科
<https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E8%92%B8%E7%99%BC%E7%86%B1>
2. 鋰電池的最佳工作溫度:
<http://www.benzobattery.com/blog/advantages-and-operating-temperature-range-of-18650-lithium-ion-battery/>
3. Arduino UNO:
<http://yehnan.blogspot.com/2013/09/arduinoleonardouno.html>

Evaporative Cooling Device for Lithium Battery

S.Y. Wu*, C.W. Chang, S.H. Chen
Department of Industrial Education- Energy
Application Group, National Taiwan
Normal University

*Email: 0326wu@gmail.com

Abstract

At present, lithium batteries have been widely used in various devices. The load of the lithium battery and its own temperature will become higher with the advancement of technology. Therefore, the heat dissipation equipment of the lithium battery is very important. This topic simulated the evaporative latent heat of condensate in automobile air conditioners to dissipate lithium battery. In addition, the cooling water supply was controlled by the temperature controller to control the battery temperature at the optimal working temperature, which is beneficial to improve battery performance and extend battery life. The experimental results showed that the cooling effect of evaporative cooling for lithium batteries is better than the traditional natural convection air cooling. In addition, under the experimental temperature range and discharge current conditions of this study, the difference in battery output performance was not obvious. However, evaporative cooling can effectively reduce the temperature of the lithium battery and extend the life of the lithium battery.

Keywords: Lithium battery, condensed water, evaporative heat, latent heat

再生能源知識的教具開發-電力公司

黃泓銘*、黃昱勳、簡祥宇

國立臺灣師範大學工業教育學系能源應用組

指導老師：鄧敦平 教授

*Email:fuzzydonw@gmail.com

摘要

因應108年課綱的精神「自發、互動、共好」，利用桌遊的方式，引發學生的學習動機，讓學生能夠在遊玩的過程中，建立關於「再生能源」的基礎知識，目標主要以國小高年級以上，設計了一款類大富翁的教具，在學生擁有大富翁的基礎知識上能夠更快的上手。最後以Arduino的方式來輔助遊戲的進行，未來也可在規則上或是道具卡上進行改良，去更加豐富遊戲，讓學生能夠「做中學，學中做」。

關鍵字：桌上遊戲、再生能源、108年課綱、教具

1. 前言

1.1 研究背景與動機

綜觀市面各類教學器材，並沒有太多與能源相關的教具，然而目前能源的議題仍蓬勃發展，而身為教育界龍頭的臺灣師範大學學生，希望能透過教具的方式，結合專業領域的知識，將再生能源的議題在國中小等學齡層中傳授，製作出適合在此學齡教學的能源教具。

1.2 研究目的

設計此桌遊，目的在提高國小國中之學齡接觸再生能源等議題之機會，透過玩樂中學習，傳授基礎之再生能源知識。而風力及太陽能為台灣目前主流發展的再生能源，故桌遊內容主要是風力及太陽能的相關知識。

2. 作品構思

2.1 理念-「做中學，學中做」

藉由類桌遊的教材設計，去引發學生的學習動機，使學生能夠透過遊玩的方式去主動學習，並利用桌遊互相競賽的過程，讓學生培養自我與他人的互動能力，最後透過教材的設計，使得學生在玩樂的過程中，也能夠學習到關於再生能源的相關知識。

2.2 作品特色-「傳統再創新」

使用傳統桌遊獨特的吸引力，結合電路的演算，讓整體可玩性再提升，教育性與可玩性相輔相成，也透過實體的道具讓教學者能更生動的講述教育知識。

2.3 推廣再生能源

從遊戲世界觀便開始建立再生能源的重要性，乃至遊戲勝利條件，由最先達成條件需求的再生能源數量即可獲得勝利。

2.4 耗能問題-「碳足跡的探討」

雖然擁有越多地區，能夠成長越快，但是相對所需要消耗的電力也越多，藉此了解不可隨意浪費資源的重要。

2.5 遊玩性-「提升學習意願」

豐富的道具牌，增加互相合作或是競爭的機會，增加可玩性，也透過刺激的遊戲體驗，吸引學習者學習相關知識。

2.6 卡片知識

每張道具卡皆有不同有關「再生能源」的知識內容，透過耳濡目染的方法，漸漸將相關知識烙印在學習者的腦海中。

2.7 臺灣地圖-「能源區的由來」

總共16個地區，根據臺灣氣象局提供的十年數據【1】，取全部地區中一年日照時數和風速年平均的中位數，大於中位數的地區給予相對應的「能源區」設定。

3. 遊戲設計

3.1 遊戲世界觀

科技蓬勃發展，在環保意識的抬頭下，再生能源逐漸的成為了台灣政府所看重的一大工程，也因此再生能源的發電廠成為了相當重要的能源供應商，而太陽能與風能的能源區成為了發電場的目標。

玩家要扮演發電商遊走於台灣各地，將各個能源區劃為己用，建造發電廠，為台灣的能源盡一份心力，碳足跡為遊戲中相當重要的一部分，進行任何動作都將消耗電幣，若為了生產再生能源，而產生了更多的汙染，就違背了環保的目的了，而這樣的發電商便會失去這次的機會。

3.2 遊戲玩法-「遊戲之基本規則」

1 該遊戲必須要四位玩家，完成『目標卡』即獲勝。

2. 一局定義為四個人各執行一個『行動』，有先後順序。

3. 每一局開局可以抽一張『功能卡』，上面標有啟動需要『電幣』，最多擁有三張功能卡。
4. 當玩家擲完骰子移動時，每骰一點扣一單位電幣。
5. 每回合只能執行一個行動，『移動』、『簽約』、『建造』以及使用『功能卡』。
6. 每一塊地分別代表0-2種『能源區』，每個能源區都可以簽約，集滿2個能源區即可開始建造發電機。
7. 玩家經過其他玩家的區域時，必須付相對應的電幣(能源區代表能源數+1)。
8. 建造能源板需擁有相應的能源區，且需花費兩個發電機及電幣。
9. 每局結束後全部玩家固定消耗一定『維修費』(能源區數量)。

3.3 遊戲流程

遊戲流程為每局每人所能做的所有事情順序，順序如下。

結算(獲得電幣)→抽卡→行動(使用功能卡、擲骰子、簽約、建造能源板)→結束回合

3.4 名詞解釋

遊戲中有許多專有名詞，如前所使用之紅字名詞，其解釋如下。

1. 目標卡(獲勝條件):
 - (1)太陽能卡：共累積3個能源板(太陽)獲勝。
 - (2)風力能卡：共累積3個能源板(風力)獲勝。
 - (3)發電大師：共累積4個能源板(任意)獲勝。
2. 行動(一回合只能選擇一個動作執行)：
 - (1)移動：擲骰子後根據數字移動幾步，每點消耗1點電幣(例如：骰至5點，需繳5點電幣)。
 - (2)簽約：只可在無人擁有之能源區發動，使用功能卡佔領現處於之能源區。
 - (3)建造：建造能源版：需擁有相應的能源區，且需花費兩個發電機及4點電幣。
建造發電機：需抽到建造發電機之卡牌，每回合增加額外收入。
 - (4)使用功能卡：每一局接會抽一張功能卡，可選擇要不要使用，上限為3張。
3. 功能卡：
 - (1)迴轉：選擇一位玩家，讓玩家倒著走。
 - (2)徵收：選擇一個能源區，當自己經過該能源區時，全部玩家必須付該能源區的電幣。
 - (3)指地為王：選擇一個其他玩家的能源區，當經過此能源區時，占為己有。
 - (4)建造：建造發電機。
 - (5)拆除：拆除發電機。
 - (6)隱身：經過其他玩家能源區時，可以不用付電幣。
 - (7)法槌：可以平均每位玩家的電幣。
 - (8)轉移：可以選擇一個自己的能源區與其他

玩家的能源區交換。

- (9)重擔：下一位玩家，移動時花費電幣變成兩倍。
 - (10)先遣：玩家可以額外獲得兩次行動。
 - (11)自食惡果：本局其他玩家，擲到x點，必須付固定的電幣。
 - (12)詐騙集團：發電機與維修費皆兩倍。
 - (13)成本分析：行動成本減半(小數點無條件進位)。
 - (14)收購：只能在所處能源區屬於其他玩家時發動，支付該能源區之價格，佔領此能源區
4. 電幣：
若無法支付電幣即失去遊戲資格，用來支付各項花費，開局擁有30電幣。
 5. 能源區：地圖上每塊地代表0-2種能源區，擁有能源區才能建造發電機及能源版，亦能對其他玩家徵收過路使用費
 6. 維修費：每局結算維修費，及自身擁有能源區數量

3.5 地圖設計

遊戲地圖以臺灣氣象局據點做參考位置，劃分以下3種地區。

1. 臺灣地區(依宜蘭為起點逆時針)
宜蘭、基隆、臺北、新竹、臺中、嘉義、澎湖、臺南、高雄、屏東、大武、藍嶼、臺東、成功、花蓮、蘇澳。
2. 太陽能區
新竹、臺中、嘉義、澎湖、臺南、高雄、屏東、大武。
3. 風能區
基隆、新竹、澎湖、臺南、屏東、蘭嶼、成功、蘇澳。

3.6 卡片設計

除了增加遊戲性的各種功能外，也包含了許多關於再生能源的知識，包含了以下內容。

1. 運用再生能源最廣泛的國家是奧地利，佔比約70%【2】。
2. 2018年，全球風力發電占全球總發電量4.8%【3】。
3. 大多數風力發電機從風中汲取能量的實際效率範圍從20%到40%不等【4】。
4. 風力發電的噪音其實很大【4】。
5. 受到東北季風的影響，每年 1-3 月以及 10-12 月所產出的電量約佔整個年度的七成【5】。
6. 風力發電過程中完全不需要消耗燃油更不會產生二氧化碳，可以說是零污染的永續資源【5】。

7. 全球前20名離岸風場，有16處位於台灣海峽內【6】。
8. 近10年來，太陽能發電量每年平均成長89.6%【7】。
9. 能源效率標示，共分為五個等級，數字越小，效能越高【8】。
- 10 凡是貼有節能標章的產品，代表此產品較節省能源【8】。
- 11 LED燈用電量低且易調光的強弱，為目前節能光源之一【8】。
- 12 再生能源有分為太陽能、地熱能、海洋能、生質能、風力.....【9】。

3.7 電路設計

1. 利用簡易的分壓觀念，感測電阻電壓對應數值製作簡易的顯示裝置，如圖1所示。

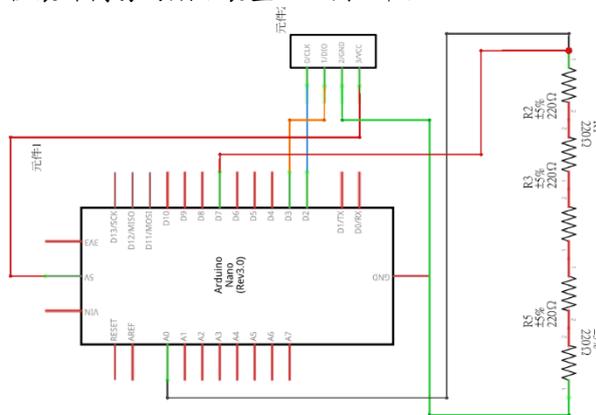


圖1 Arduino電路圖

2. 利用Arduino檢測電阻電壓，轉換成0-5的數值，每顆電阻分壓1電幣並顯示於7段顯示器上，程式如表1所示。

表1 Arduino程式示範

```
#include <Arduino.h>
#include <TM1637Display.h>

#define CLK 2
#define DIO 3

TM1637Display display(CLK, DIO);

const byte analogPin = A0;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    uint8_t data[] = { 0xff, 0xff, 0xff, 0xff };
    uint8_t blank[] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
    display.setBrightness(0x0f);

    // 全部顯示
    display.setSegments(data);
    delay(1000);
}
```

```
void loop()
{
    int k;
    int coin;
    int vo = 7;

    digitalWrite(vo,HIGH);
    k = analogRead(analogPin);

    if(k >385){ coin =5;}
    else if(k>300){ coin =4;}
    else if(k>220){ coin =3;}
    else if(k>140){ coin =2;}
    else if(k>0){ coin =1;}
    else{ coin=0;}
    display.showNumberDec(coin, false);
    delay(1000);
}
```

4. 結果與討論

4.1 成品照片

如圖2至圖6所示為本專題開發的能源教具（電力公司）實體照片。由圖中可以看出共有地圖、功能卡、目標卡、結算器、整體遊戲照片。



圖2 能源教具（電力公司）實體照片



圖3 功能卡實體照片



圖4 目標卡實體照片

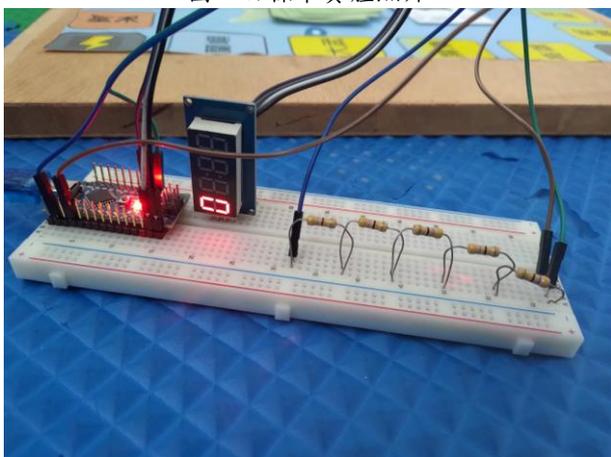


圖5 Arduino設計的結算器



圖6 遊戲地圖實體照片

4.2 結果與討論

(1)由於資源上的限制，無法進行實地教學演練，僅找了幾位同學由玩並給予回饋，望未來能以實地教學為目標，收集上課後的回饋資料加以探討是否有其餘缺失及改進的方向。

(2)程式目前僅能運算每個玩家所能增加之電量，無法及時演算所有電幣的增減，望未來能透過整張地圖的模組化，及時演算所有玩家之收益，不僅能增快

遊玩速度，對於可玩性應該也會大大提升。

(3)電路未佈及整張地圖，造成地圖的互動性較低，遊玩過程中較沒有能夠介紹再生能源的機會，望未來能將風機與太陽能板放入地圖中，對於教學會較有效果

(4)電路目前皆為裸露在外的狀態，對於國小高年級的受教者來說，使用起來可能會有些許陌生，也容易發生電路遭破壞的現象，望未來能以外觀完整的狀態提供給受教者學習，除了較好分辨的按鈕接口等等外，對於美觀亦有加分的效果。

5. 結論

本專題成功地製作出寓教於樂的能源教具（電力公司）。該教具仍有相當改進與成長的空間。針對教具整體而言，須有更加容易操作學習的程式及電路布置，讓受教者於0基礎知識下，亦能淺顯易懂的操作學習再生能源之相關知識，讓受教者操作更加便利更加值觀，重點在於學習再生能源知識之上。

6. 誌謝

本專題研究感謝國立臺灣師範大學工業教育學系在研究設備與經費上的支持。此外在此對於給予本研究相關支援與建議的人士一併致上謝忱。

7. 參考文獻

- 1.交通部中央氣象局(2010)。台北市。
<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlymean.html>
2. 經濟部溫室氣體減量資訊網(2015)。奧地利最大州下奧地利州宣布，全州使用100%再生能源。
(https://www.go-moea.tw/message_info.php?id=9680&cid=7&list=1)
- 3.維基百科(2020)。風能。
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E8%83%BD>)
- 4.能源教育知識網。風力。國立中央大學。桃園市。
(<http://www.enedu.org.tw/GreenEnergy/ge-4.php>)
- 5.楊政玳(2016)。臺灣風力發電現況。台大氣候變遷與永續發展研究中心。台北市。
- 6.The News Lens關鍵評論(2018)。你知道臺灣擁有全球看好的風力發電區嗎?
(<https://www.thenewslens.com/feature/save-ourselves-and-go-green/105494>)
- 7.Daisy Chuang(2019)。十年來臺灣太陽能發電量成長近九成。成為第二綠電主力。
(<http://technews.tw/2019/12/16/taiwan-solar-power-generation/>)
- 8.能源小知識。經濟部能源局(2013)。臺北市。
(https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=2103)
9. 維基百科(2020)。可再生能源。
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90>)

混合動力散熱平台之建構與控制

陳宗育*¹、陳靖文²、許昱仁³

國立臺灣師範大學工業教育學系能源應用組^{1,2,3}

指導老師：洪翊軒 教授

*Email: yu19990324@gmail.com

摘要

本研究為建立一創新機電平台，來模擬電動馬達與電池產生之熱量，並透過加熱系統與散熱系統之多進多出元件，來進行溫度的模擬及控制。透過本系統，可模擬電動車行駛時，將電池與燃料電池之工作效率運轉在最佳的溫度範圍內，使電池保持最高效益輸出。本平台分為加熱與散熱部分，以可程式電源供應器輸出定功率對模擬加熱器進行加熱，並透過不同功率的搭配組合，觀察各模擬熱源的溫度，使用熱交換器與風扇的配合進行散熱，透過實驗來驗證本平台加熱與散熱能力的評估。

關鍵字：鋰電池、燃料電池、散熱系統、複合電能系統

1. 前言

1.1 研究背景與動機

人類活動在工業科技發展與運輸方面造成了大量的二氧化碳排放，引發全球暖化及海平面上升，將來低海拔國家或是島嶼地區即面臨淹沒的風險，而其燃燒石油為最大宗汙染，嚴重破壞地球生態。所以綠能科技已經成為趨勢。根據國際能源總署(IEA)統計，2010 年全球交通運輸二氧化碳排放量佔31%，為抑制交通運輸排碳量增長，各國皆制定更嚴格排碳標準，尤以先進國家中歐盟訂定的汽車二氧化碳排放標準最為嚴苛，希望2020 年目標為95 g/km，而以大型車輛為主要運輸工具的美國，亦希望2025 年迅速降至107 g/km。[1]

目前政府的能源相關政策是在2025年時，達到綠色能源占整體發電之25%[2]。更可以發現，目前全球各大車廠在電動汽車及電動機車的製造與研發日益普及，全球電動車需求也急速成長，2018 年全球有超過 510 萬輛電動車上路[3]。而本實驗係由上述對環境保護為基準，同時參考自混合動力散熱模組之機電系統設計與控制[4]，以此實驗作為核心概念，欲透過散熱控溫系統，使電池、燃料電池及電動馬達能穩定保持在其高效率操作溫度區間，將能源的使用最大化。

綜上所述，如何運用最佳的散熱控制系統將模擬之鋰電池及燃料電池之溫度能有效散熱，對於混合散熱系統將是未來研究的新議題，並且將燃料電池與

鋰電池的特性及優勢能發揮到最大化，將會對電動車的輸出功率及續航力有所助益。

1.2 研究目的

現今電動車在整車散熱系統普遍採用的散熱方式仍為水冷式散熱系統。若燃料電池、鋰電池與馬達各具有一套散熱系統，則於車內之有限空間，將較難發揮其效益，且於系統成本、體積、重量等部分將會對電動車造成負擔。因此，本實驗將模擬鋰電池與燃料電池、馬達內部產生廢熱，並且僅透過一組散熱系統，將各元件維持最高效率的工作溫度，以提高整車的續航力表現。而本平台初步建設將建立散熱系統及加熱系統各元件之設計，以實車規格進行元件匹配，並透過實驗設計及規劃進行各元件最大加熱功率及最大散熱功率的研究探討及實驗評估。

1.3 研究方法

本研究模擬車輛散熱系統，搭建一工作平台，將其分為加熱系統與散熱系統兩部分：

- a. 加熱系統：
為模擬車輛運行之廢熱，本研究建立動力源廢熱動態模型，依序為燃料電池本體及鋰電池本體之散熱系統。
- b. 散熱系統：
實體控制散熱元件及相關配置包含：冷卻風扇、冷卻水泵、雙比例式電動控制閥及三段冷卻管路。以三個加熱器模擬電動車內不同熱源的發熱情形，分別為鋰電池、燃料電池以及大功率驅動馬達，用耐壓油管將其與其他元件作連接，透過水箱與泵浦給水及回水，以及雙比例閥控制水流的方式經過各熱源，最後藉由熱交換器與風扇的搭配，將模擬熱源所產生的熱帶走，讓冷水回流至水箱。因電池在特定溫度範圍內之工作效率為最好，觀察相異功率情形(166/167/167W、300/100/100W、400/50/50W)下，如何透過比例閥的調整，來帶走適當的熱能，並以資料擷取器回傳之讀值來記錄歸納，在實驗過程中，我們也預設不同的發熱情形與流量變化，呈現各變因帶來的不同散熱品質。

1.4 論文架構

本研究將以五個章節進行論述，根據研究流程內容架構如下論述之：

第一章 前言：為說明本研究之前言、研究動機、研究目的、研究方法、架構。

第二章 文獻回顧：了解先前關於此研究之先備知識，以論文內容構思並設計實驗策略與規劃。

第三章 實驗設計：元件設計以及實驗方法紀錄。

第四章 實驗結果與討論：由基礎流體性能實驗結果進行數據分析。

第五章 結論與建議：實驗討論與結果推論並歸納整理,說明未來研究建議與可行方向。

2. 文獻回顧

2.1 鋰離子電池

鋰電池活性大，由於鋰電池是由正極鋰合金氧化物、液體有機電解液和負極碳材所組成，當內部溫度持續上升且無法控制時，分開正負極的隔離膜就會開始熔化、穿破，造成大量電流短路，使得電池溫度瞬間急遽升高，產生熱能爆升，因此長期未能獲得廣泛應用(如圖1所示)。但隨著精密電子技術的迅速發展，甚至奈米科技的應用層進入，開始能以材料塗層以及特殊材質解決相關問題。在現行的市場上，3C產業為了獲得更大的儲能和動力，多會選擇鋰電池(瞬間能給予大電流)，市場面甚至涵蓋電動車、電動手工具、航太設備、充電電池等。

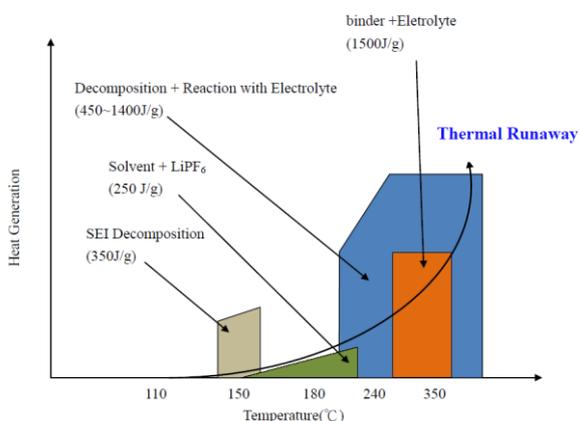


圖1 鋰電池升溫過程中產生之熱量[6]

2011年Z. Xiongwen [7]以鋰電池進行熱分析，提出鋰電池在放電過程中會產生54%的電阻產熱、及約有30%的電化學的反應熱，若能有效散熱將可提升鋰電池輸出之效率；因此，有效控制電池溫度在大功率輸出時產生的廢熱，因此，在進行熱傳與廢熱回收系統的設計與散熱首為重要。2001年A. A. Pesaran[8]開發建模純電動車(Electric Vehicles, EVs)與混合動鋰車(Hybrid Electric Vehicles, HEVs)鋰電池熱動態與冷卻系統模組，並探討出電池散熱系統使用於被動散熱、主動散熱及水冷式及氣冷式，來解決高功率輸出時溫度過熱的問題。2011年Y. Yonghuang [9]提出熱管理可提高充放電效率和循環鋰的壽命的關鍵，以模擬與實

驗方式進行驗證，結果證明若有冷卻系統輔助電池散熱，將使電池可以在較高的額定功率充電與放電。2013年R. Zhonghao [10]提出對電動車的熱管理控制，目的為了提升電池的循環壽命與降低電動車的總成本，藉此增加續航力、提升電池循環壽命。

2.2 燃料電池

目前車輛載具適用之燃料電池種類為質子交換膜燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)。所具優勢包含:a.與其他種類比較之下，溫度較低，內部作用溫度介於50度到100度之間(一般為60-80度間，因此冷卻液溫度可控制在攝氏55度);b.質子交換膜燃料電池與其他燃料電池相比具備快速啟動的特性，c.且具有較佳導電性之固態電解質。

2.3 電動車用馬達

直流無刷馬達具有輕薄短小、無碳粉污染、壽命長等特點，不僅容易融入各種系統設計，而且配備致冷風扇，不用外加氣冷或水冷系統，任何天候都能保持最佳狀況，可應用在小型電動車、農用電動搬運車、電動區間車、電動沙灘車。直流無刷馬達採全密封防水設計，馬達可以達到IP66的防水等級[11-12]。

2.4 電動車散熱系統

本研究平台主要以精確的電控方式進行溫度控制，有效管理混合電能系統之廢熱，使混合電能電動車輛可以維持在適當溫度，使之有最佳效益輸出。平台模擬當車輛以不同駕駛模式，使動力源產生不同的廢熱功率，透過系統並將此廢熱，藉由系統將溫度控制在最佳操作區間。

3. 實驗設計

3.1 元件設計

本系統分為三部分，散熱與加熱系統及感測元件，為配合實際電動車電池狀態做設計，散熱系統：水箱水量設定為500ml；而系統內的水經過加熱，以及需承受泵浦打水之壓力，因此水管的選用為耐溫耐壓油管；比例閥部分，使用電源供應器調整其電壓控制開度，以分配流至各熱源的水量；後透過熱交換器與風扇進行散熱。其中風扇的風速藉由調整變頻器改變；泵浦則將冷卻水抽回水箱完成循環。加熱系統：三模擬加熱器分別模擬鋰電池、燃料電池及驅動馬達，透過可程式電源供應器以三熱源總和500W，給予不同比例分配之功率進行加熱。感測元件：流速計顯示之流量能依照比例閥的開度進行數值回傳；透過溫度感測器回傳給資料擷取器的電壓訊號，約乘以10(固定倍率)，以得知三熱源溫度及其變化。實驗過程中所使用之設備如表1所示。

表1.使用器材

<p>1.水箱 規格：500ml</p>		<p>6.風扇 型號： STK SA12038S2HT 規格： AC220-240V 50/60Hz 0.17A</p>	
<p>2.耐壓耐溫油管 規格：3/8"X2B W.P.300PSI B.P.1200PSI</p>		<p>7.變頻器 型號： JNTHBCBA0002BC-U 規格：2HP/1.5kW INPUT：AC 3phases 50/60HZ 200-240V(+10%,-15%) 11A OUTPUT：AC 3phases 0-400HZ 0-240V 7.5A</p>	
<p>3.比例式電動控制閥 型號：AN-01-AMD-360 規格： AC110V/60HZ-300mA INPUT/OUTPUT： 0~5VDC OPERATION TIME： The max. ON 16 (19) sec. DUTY CYCLE 100%</p>		<p>8.泵浦 型號：U85B1 規格：230V 50/60HZ 3000RPM PH1</p>	
<p>4.電源供應器 型號：SPD-3606 規格： AC115V/230V±15% 50/60Hz</p>		<p>9.模擬加熱器 規格：1000W</p>	
<p>5.熱交換器冷排 型號：OC-1405 規格： 15 7/8"long 10"high 3/4"thick</p>		<p>10.可程式電源供應器 型號：PSW 80-40.5 規格： 額定輸出電壓80V 額定輸出電流40.5A 額定輸出功率1080W 功率比3</p>	
<p>11.流速計 型號：NW10-PTN 規格：0~1MPa(at20°C) 0~+60°C 1.5~20L/min</p>		<p>11.流速計 型號：NW10-PTN 規格：0~1MPa(at20°C) 0~+60°C 1.5~20L/min</p>	

12.溫度感測器 型號：TRH-301 S 規格： Power：12~40VDC Output：0~10VDC Temp：0~100°C	
13.資料擷取器 型號：TRM-20 規格： 100-240V~50/60HZ 25VA MAX	

3.2 實驗內容

1. 基礎量測：以 PV1(比例閥1)：1.5：0.2：3.5V 及 PV2(比例閥2)：1.5：0.2：3.5V，泵浦/風扇：5V，之結果製成三張流速表(圖)。
2. 熱泵：只流過 pipe1(管路一)，以PV1=0V，PV2=0V；加熱分配為 100/300/500W，透過溫差計算帶走之熱量 = $m \cdot C_p \cdot \Delta T$ 。
3. 各種熱量分配：166/167/167W 與 300/100/100W 與 400/50/50W，泵浦/風扇：5V，PV1：2.8V，PV2：2.6V 溫度變化曲線。
4. 散熱制動元件：泵浦電壓 4：0.5：8V，風扇電壓 5：0.5：8.5V，PV1=2.8，PV2=2.6V，功率分配 200/150/150W。
5. 散熱制動元件：泵浦電壓 5V，風扇電壓 5：0.5：8.5，PV1=2.8V，PV2=2.6V，功率分配 200/150/150W。
6. PV1：PV2 = 2.8：2.6V，PV1：1.5：0.2：3.5V 測量三溫度。
7. PV1：PV2 = 2.8：2.6V，PV2 = 1.5：0.2：3.5V。

3.3 實驗步驟

研究步驟分為九步驟：

1. 文獻探討。
2. 系統設計(繪製水管路徑、模型架構)。
3. 各元件設計。
4. 平台架設。
5. 測試管路狀況。
6. 細節修繕及調整。
7. 各元件之電源與訊號之配線。

8. 完整系統之整合。
9. 實驗進行與紀錄。

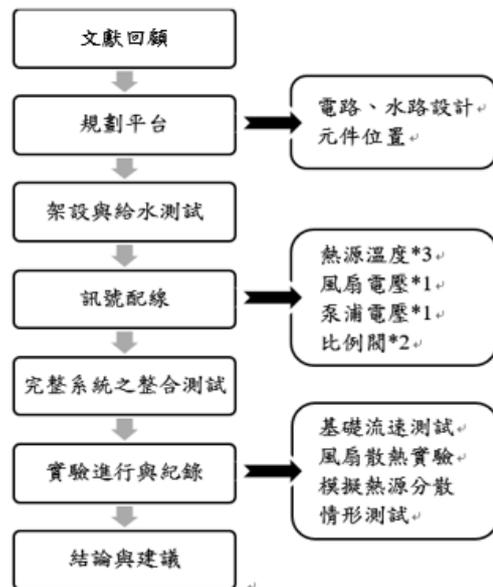


圖3 實驗程序

3.4 實驗方法

平台搭建完成後，我們先將整體水路運作一遍，檢查是否有漏水情形，先做水路之運作模擬，以免之後與電力系統搭配後，因漏水而導致儀器故障；再來用直流電源供應器控制比例閥之開度測試比例閥是否運作正常，接續測試可程式電源供應器、泵浦以及風扇，除了檢查元件儀器是否正常之外，也順便紀錄散熱風扇，透過調控訊號電壓大小測試何時能讓風扇達到最大風速。

本實驗先測試各元件之基礎量，如比例閥之開度測試、模擬加熱器之加熱測試以及風扇之散熱測試，後固定風扇及泵浦電壓使三線路流速相同(PV1：PV2=2.8：2.6V)，於整體加熱量固定500W之情況下，自熱量平均分配到熱量分配不均時的差異做討論。首先將三處熱量均控制在幾乎無差異的166W/167W/167W實驗，後以調整至熱量稍有不均的300W/100W/100W，最後模擬較極端的可能400W/50W/50W，分別比較三次整體水溫上升的變化曲線；再者針對各單一元件散熱之效果做測試(各元件基礎數值 PV1:2.8V / PV2:2.6V / 泵浦:5V / 風扇電壓:5V / 三熱源: 166W/167W/167W)，先將泵浦作為變動因素，其他均固定，將泵浦由3V開始每0.5V做一次10分鐘的實驗，直到泵浦電壓6V，記錄在各電壓下泵浦對散熱效果表現的影響；接下來將風扇電壓作為變動因素，其他均固定，將風扇由5V開始每0.5V都做一次10分鐘的實驗，直到風扇電壓8.5V(最大轉速)，記錄在各電壓下風扇對散熱效果表現的影響；最後是比例閥的開度實驗，調整PV1之電壓由

1.5V開始每0.5V做一次10分鐘的實驗直到3.5V(最大開度)，兩台比例閥都須做實驗，以比較各單一元件為變動因素的情況下所影響的散熱表現。

4. 結果與討論

4.1 基礎量測

固定泵浦給水及風扇能力下，管線於比例閥各開度之流速變化：

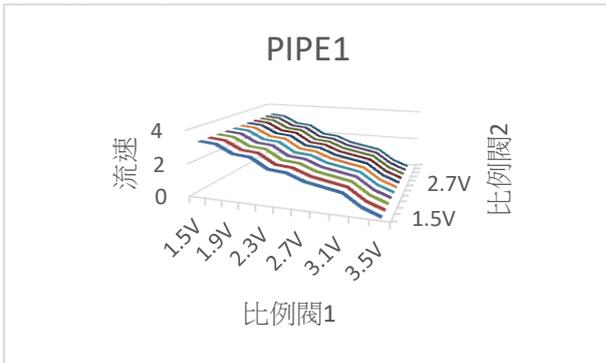


圖4 管路1流速變化

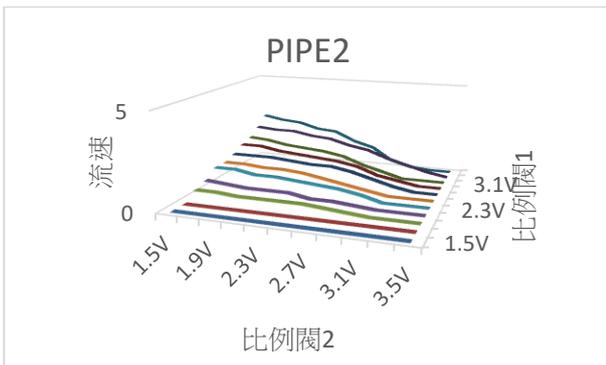


圖5 管路2流速變化

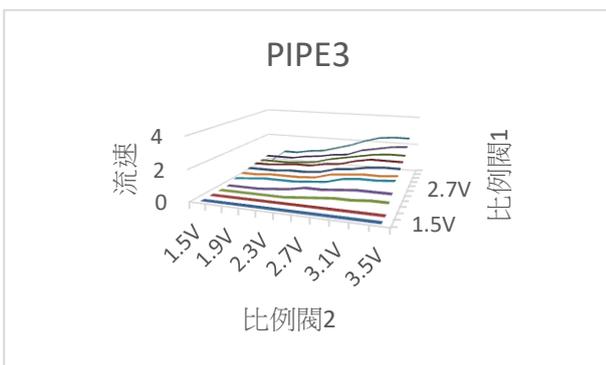


圖6 管路3流速變化

4.2 風扇散熱能力測試比較

熱源於固定功率下，所產生之熱與固定風扇能力下所帶走之熱量比較：

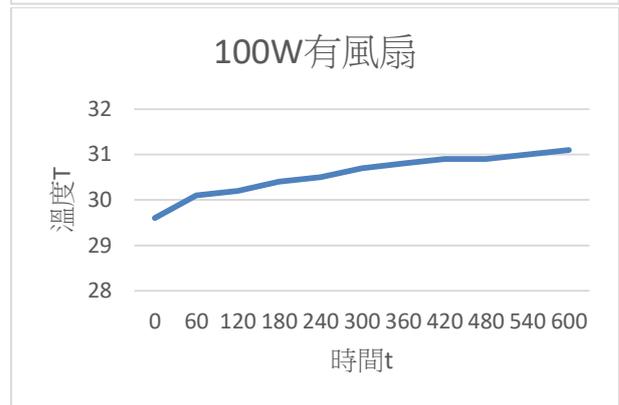


圖7 100W下有無風扇之散熱情形

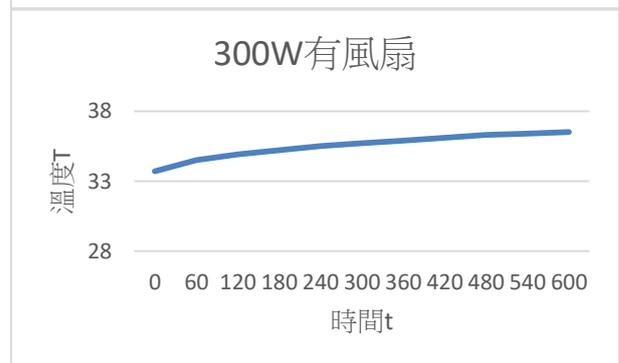
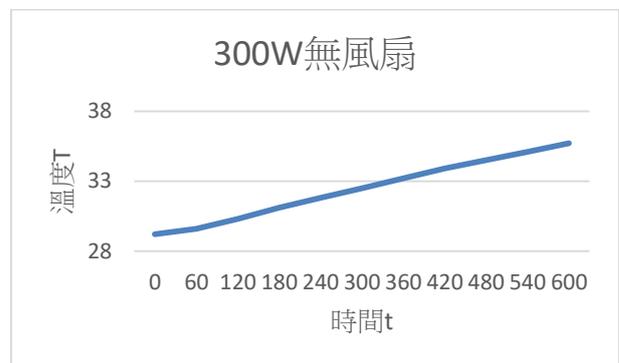


圖8 300W下有無風扇之散熱情形

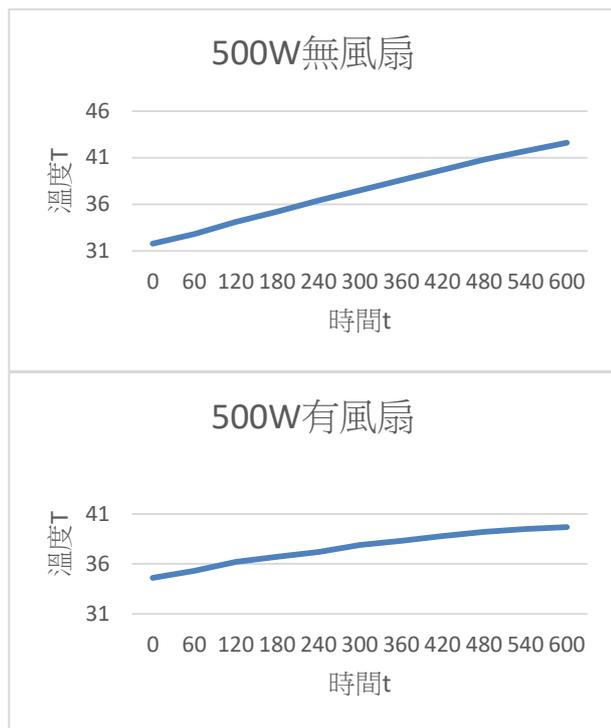


圖9 500W下有無風扇之散熱情形

4.3 總熱量相同情形下，熱量分配不均實驗結果

PV1：PV2=2.8：2.6V的情況下，三條管路之流速相同，在此情況下，熱量最高之熱源溫度變化與其他熱源差異會逐漸擴大(急遽上升)，由此可知，散熱能力將為最差。

5. 結論與未來方向

5.1 結論

電動車的行進完全仰賴電池電力，並利用電動馬達做為車輛的動力來源，完全取代傳統內燃機引擎與油箱的配置。電池性能與電力匹配決定了電動車的最大行程，而車輛動力系統與車上電子系統均會消耗電池能量，直接影響電動車的續航里程，如何使電動車續航力發揮至極致是當前重要的議題。本文所提混合式散熱策略，不但能使系統元件能做到較佳的溫度控制，更可藉由動力系統元件的溫度控制，使其運轉於高效率區間，能有效增加電動車的續航里程。溫度管控期間可以減少水泵的運轉時間，相對也減少電動車的耗能。以馬達為例，其高效率運轉之溫度介於40°C至55°C區間，馬達便可溫度達到55°C後啟動散熱。綜觀以上混合式散熱策略之應用，符合對電動車的節能減碳的原則，也能使電動車的能量的匹配更加完善。

5.2 未來展望

1. 理想控制策略：若能以精確的電控方式進行能源溫度控制，包含泵浦、比例閥、風扇等，之最佳切換時機，來維持理想效益輸出，以達到系統最佳散熱，控制策略能提升對於各種功率之燃料電池與鋰電池和馬達的散熱方式。

2. 即時溫度監控系統：透過輸入與輸出及監控參數的設計，以溫度感測器與控制器控制各元件，達到將系統之混合動力源，操作在最佳工作溫度範圍，使電池壽命提升，延長續航力，增加電池動力輸出，更能迅速穩定控制整體系統之溫度。

6. 誌謝

本專題感謝國立臺灣師範大學工業教育學系的支持，使本專題實驗得以順利進行，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

1. 呂承璋，蔡季勳，林昱宏，黃瑞雄，應用於電動車輛之電池與材料，機械工業雜誌；409期，P42-52，2017。
2. 能源政策專案報告 - 行政院，台北，台灣，2018。
3. 林茂文，全球電動車發展之挑戰與契機，石油季刊 第56卷 第1期，1-28，2020。
4. 林煜軒，混合動力散熱模組之機電系統設計與控制，碩士論文，國立臺灣師範大學工業教育學系，台北，台灣，2015。
5. Y. H. Hung, C. H. Wu, "An integrated optimization approach for a hybrid energy system in electric vehicles," *Applied Energy*, Vol.98, pp.479-490, 2012.
6. 施顯章，創新混合動力散熱系統之建模與控制設計，碩士論文，國立臺灣師範大學工業教育學系研究所，台北，台灣，2011。
7. Z. Xiongwen, "Thermal analysis of a cylindrical lithium-ion battery," *Electrochimica Acta*, Journal of power sources, Vol.56, pp.1246-1255, 2011.
8. A. A. Pesaran, K. Keyser, "Thermal Characteristics of selected EV and HEV Batteries," *Proceedings of the 16th Annual Battery Conference: Applications and Advances*, Journal of power sources, Vol.161, pp.6-18, 2001.
9. Y. H. Yea, Y. X. Shia, N. Caia, J. Leeb, X. G. He, "Electro-thermal modeling and experimental validation for lithium ion battery," *Journal of Power Sources*, Vol.199, pp.227-238, 2012.
10. Z. Raoa, and S. Wanga, M. Wua, Z. Lina, F. Lib, "Experimental investigation on thermal management of electric vehicle battery with heat pipe," *Energy Conversion and Management*, Vol.65, pp.92-97, 2013.
11. 工商時報，直流無刷馬達 無污染、壽命長，2015。
12. 陳煒超，效率最佳化之單相無刷直流風扇馬達使用霍爾感測器或無感測控制，2009。

Mechatronics System and Control of a Hybrid Cooling Platform

Z.Y. Chen^{1*}, J.W. Chen², Y.R. Hsu³

Department of Industrial Education- Energy
Application Group, National Taiwan
Normal University^{1, 2, 3}

*Email: yu19990324@gmail.com

Abstract

The research proposes a novel mechatronics system to simulate the actual waste heat from the vehicle battery and the traction motor of electric vehicles. Through the design using the combination of cooling water tank and cooling system, we can control the operation temperatures for high battery working efficiencies by regulating the optimal temperature ranges. Hence, by controlling the battery and fuel cell temperatures, we can keep a hybrid system working at the most desirable conditions. This system is divided into two subsystems of heating and cooling. By implementing the output power from the programmable power supplies to emulate the waste heat, we can observe the temperatures of simulated heat sources in different power output cases. Then through the different combinations of pumped coolant rates, voltages of electric fan, and voltages of proportional valves, the constructed system can verify the cooling ability successfully.

Keywords: Lithium battery, Fuel cell, Heat dissipation system, hybrid electric energy system