

國立臺灣師範大學 工業教育學系  
105 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 6 年 6 月

# 目錄

## ◎車輛技術組

### ◆排氣發電系統設計與電源管理之研究

柯冠宇、楊仕吉、陳冠廷、黃川瑋..... 1

### ◆奈米二氧化矽機油性質實驗

林華邦、卓岱緯、鍾芳妤、蔡婷婷..... 11

### ◆混合動力能量控制策略之研究

陳信融、張峻豪、陳昀辰、林丞軒..... 29

### ◆智慧型燃料電池/鋰電池電動機車設計與動力計性能驗證

林羿妘、蕭郁齡、王懷萱、曾馨儀..... 43

### ◆模擬 TOYAYA PRIUS 動力分配裝置

盧信智、曾俐文、簡子恒、侯宗輝..... 61

### ◆IVIS 最適放置區域之實驗研究

邵勸誠、鄭智鴻、邢祥義、陳預晏..... 75

### ◆承德 B100 精煉生質柴油使用追查報告

許璟軒、蔡名洲、方凱禾、陳威漢..... 97

### ◆機車怠速安全控制系統-以 Arduino 程式控制為例

陳培愷、楊易學、郁文傑、何浩平..... 105

◎ 能源應用組

◆就生命週期的觀點進行交通工具之碳排放比較研究

吳秉寰、洪揚、陳維邦..... 111

◆冰箱環保冷媒換裝性能研究

林瀚森、陳致霖、曾承銘、阮德魁..... 145

◆工業用冰水機運用在工具機的探討

劉禹廷、杜哲維、崔廣峰..... 163

# 排氣發電系統設計與電源管理之研究

國立臺灣師範大學工業教育學系

指導老師：李景峰教授、張俊興講師

學生：柯冠宇、楊仕吉、陳冠廷、黃川瑋

## 摘要

為了提升能源再利用率，本團隊研發出一套能將引擎排放出來的廢氣(動能)，透過帶動葉片與發電機(機械能)，產生出有效可利用的電源(電能)，並且結合電源管理系統(研究)，來控制原車發電機與排氣發電機的做動時機，使車輛的電力能達到最佳的分配效率。

關鍵字：排氣發電、混和動力渦輪(Hybrid turbocharger)、MGU-H、電源管理系統(BMS)

## 1. 前言

### 1.1 研究背景與動機

現今基於環保與能源議題，各車廠都以節約能源與降低汙染作為車輛的開發目標，不論是電動車、混合動力車、燃料電池車...等各式新能源車種，其中不難發現電力系統是每部車都需搭載且廣泛的應用在各系統中，所以“電力”對於各車種來說是非常重要且影響節能效果最具關鍵的系統。

雖然新能源車種的市佔率在往後會漸漸提高，但依照目前來說，還是以燃油車為大宗，所以在燃油車未被新能源車完全取代之之前，勢必還會有個過渡時期，不過為了降低過度時期的能源消耗，所以本團隊想設計出一套可將能源再利用率提高的系統，在加上適當的電源管理後，可減少原車發電機的工作時間，進而達到省油、降低廢氣排放的節能表現。

### 1.2 研究目的

本團隊鑑於目前新世代能源車輛還尚未普及前的空窗期，想研發出一套能將引擎排放出來的廢氣(動能)，透過帶動葉片與發電機(機械能)，產生出有效可利用的電源(電能)，並且結合電源管理系統(研究)，來分別控制原車發電機與排氣發電機的做動時機與檢測電瓶性能狀況，藉此達到以下幾個目：1. 降低燃油消耗率 2.降低廢氣排放汙染 3. 提升車輛性能 4. 提升電瓶壽命。

### 1.3 研究方法

本設計概念係將原車排氣管尾段出口端先加裝一組 Y 型排氣管，此排氣管稱為延伸排氣管，上頭能裝載著排氣發電系統的所有元件；接續著再加裝一組閥門(結和排氣流量閥位置感知器)，以便控制排氣流量與排氣回壓，此組稱為排氣流量閥；排氣流量閥後端再由一組葉片與發電機組合而成的風力發電機，能將引擎排放出的廢氣動能(機械能)轉換成可利用的電源(電能)，此組稱為排氣發電機模組；產生出來的有效電源在輸入至電源管理系統，藉此管理原車發電機與排氣發電機模組的作動時機，此電源管理又稱之為 PMS。

### 1.4 名詞解釋

(一) 設計 — 延伸排氣管：此元件是將原車的排氣管另外加長，以便安裝排氣流量閥、排氣流量閥位置感知器、排氣發電機模組。

(二) 設計 — 排氣流量閥：此元件能依照引擎轉速的變化，來調節進入排氣發電機模組的廢氣流量，藉此來控制排氣發電機模組的轉速並能與排氣回壓之間取得平衡。

(三) 設計 — 排氣流量閥位置感知器：此元件能將當下排氣流量控制閥的位置訊號，輸入至 PMS，做為控制排氣流量閥的訊號。

(四) 設計 — 排氣發電機模組：此元件能將排氣流量閥調節後的廢氣流量，做為驅動排氣發電機模組的葉片動能，再藉由葉片帶動發電機使產生電源，並將電源輸入至 PMS 作管理。

(五) 設計 — PMS：PMS 亦稱為電源管理系統，功用有以下五項：(1) 偵測電瓶的充電電壓、電流、溫度 (2) 穩壓並整流排氣發電機模組所輸入的電源 (3) 控制原車發電機作動時機 (4) 控制排氣流量閥 (5) 控制回充至電瓶的電壓與電流。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 發電機種類

-----重新編製-----

### 2.2 電源管理系統原理

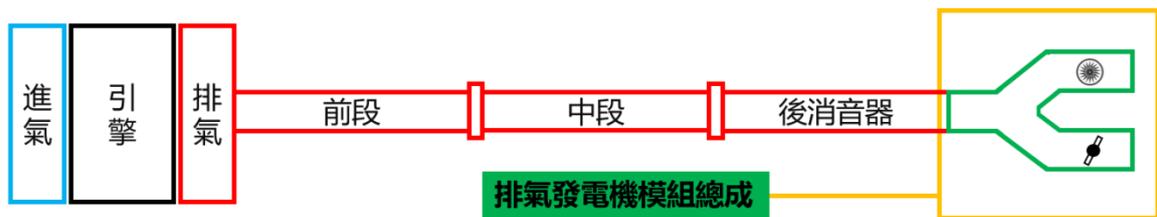
-----重新編製-----

### 2.3 設計原理

### (1) 排氣發電機模組總成設計概念



### (2) 排氣發電機模組總成設計架構



本設計概念是將原車排氣管出口(尾段消音器出口端)加裝一組排氣發電機模組總成，排氣發電機模組的主要動力來源是依靠引擎所排放出的廢氣去推動發電機葉片。但因考慮到排氣量較小的車型，可能會有推不動發電機葉片的情形，所以 PMS 電源管理系統會先送出電壓，提供給排氣發電機模組，此時排氣發電機模組會先轉換成電動機，等葉片開始運轉後，PMS 送出的電壓會立即切斷，再由廢氣去推動發電機葉片。

然而引擎所排放出來的廢氣並不是直接驅動發電機葉片，而是會先經由 PMS 參考引擎轉速後，同時偵測當下排氣流量閥的位置訊號與排氣發電機的輸出電壓，再由 PMS 去控制排氣流量閥的開啟角度，盡可能的在引擎各個轉速域下，提高排氣發電機模組的發電效率。

### (3) PMS 電源管理系統概念



為了使排氣發電機模組發揮最大的效益，勢必要將排氣發電機模組所產生的

電源進行適當控制，而這個控制系統就是本團隊要研究的 PMS 系統，英文稱之 Power Management System。

本團隊所研究的 PMS 系統類似於現今 BMS 的電源管理系統，除了一般我們熟悉的偵測電池電量狀態(State of Charge，即 SOC)的功能以外，增加了控制原車發電機與排氣發電機的工作時機，也就是說要對電瓶進行充電之前，都需經過 PMS 來進行控制。而 PMS 的控制原理解說如下：

當引擎開始運轉後，排氣發電機模組也隨之產生電源，而電源會先輸入至 PMS 系統進行穩壓與整流，同時 PMS 會去偵測當下的電瓶電壓，假設以下 2 種狀況：

- (1) 當下電壓若低於 13V，排氣發電機與原車發電機會同時工作，並將電瓶充至 14V 為止。
- (2) 當下電壓若高於 13V 時，原車發電機會被停止工作，單純由排氣發電機來進行充電。

所以綜合以上條件，可以發現原車發電機與排氣發電機模組會不停的被切換工作，甚至同時運作，經由這樣的控制模式下，就能減少原車發電機的工作量，進而減少引擎負荷，故能達到降低油耗，降低廢氣排放量等目標。

### 3. 實驗設計

#### 3.1 研究系統

##### A. DEMO CAR: TOYOTA TERCEL

##### B. 測量 100W 直流風力發電機輸出性能

1. 數位式三用電表-電壓表
2. 紅外線轉速計
3. 電鑽
4. 虎鉗

##### C. 測量原車排氣溫度

1. 數位式三用電表-轉速表
2. 數位式三用電表-溫度計
3. 電風扇
4. 排氣抽風機

#### D. 測量排氣發電機模組性能

-----等廠商製作中 -----

### 3.2 實驗方法

#### A. 測量 100W 直流風力發電機輸出性能

1. 輸出電壓(發電機 300rpm 至 1000rpm)
2. 輸出電流(發電機 300rpm 至 1000rpm)

#### B. 測量原車排氣溫度

1. 出口端溫度(車輛 1000rpm 至 4000rpm)

#### C. 測量排氣發電機模組性能

1. 輸出電壓(車輛怠速至 4000rpm)
2. 輸出電流(車輛怠速至 4000rpm)
3. 採取 2000rpm 至 3000rpm(實際用車常用轉速範圍)充電電壓與電流。

### 3.3 研究步驟

#### A. 測量 100W 直流風力發電機輸出性能

- 一. 將 100W 直流風力發電機安裝在虎鉗上。
- 二. 將 100W 直流風力發電機的軸心夾在電鑽鑽頭。



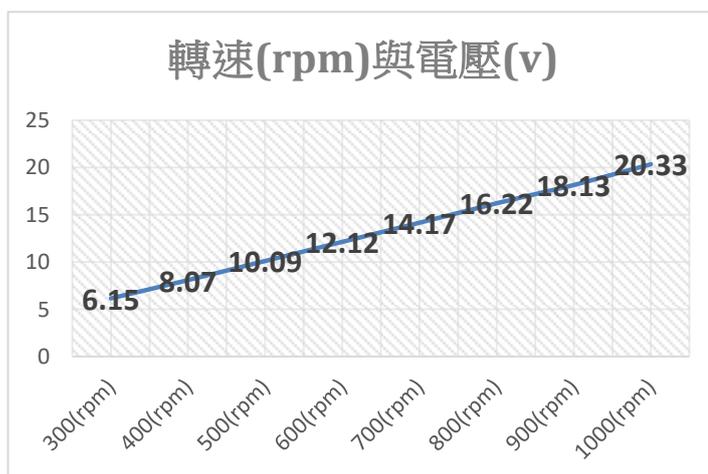
<<將發電機固定在虎鉗上並夾取電鑽>>

- 三. 使用數位式三用電表-直流電壓檔，量測 100W 直流風力發電機輸出電壓。
- 四. 使用紅外線轉速計來記錄 100W 直流風力發電機的轉速。



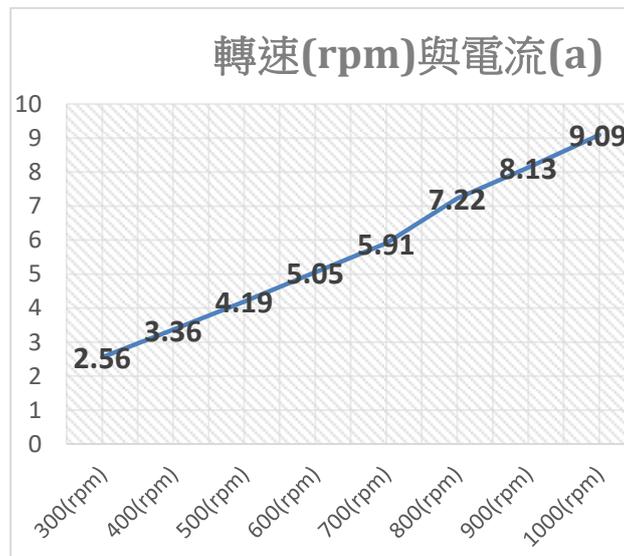
<<使用三用電表與紅外線轉速計>>

五. 採取 300rpm 至 1000rpm 範圍內的電壓(100rpm 為區間)。



<<100W 直流風力發電機輸出電壓與轉速關係圖>>

六. 採取 300rpm 至 1000rpm 範圍內的電流(100rpm 為區間)，以發電機電阻  $2.4\Omega$  下去推算。



<<100W 直流風力發電機輸出電流與轉速關係圖>>

#### B. 測量原車排氣溫度

- 一. 將車輛停妥，並在車前方擺置電風扇，進行散熱。
- 二. 安裝數位式三用電表-溫度計於排氣出口端。



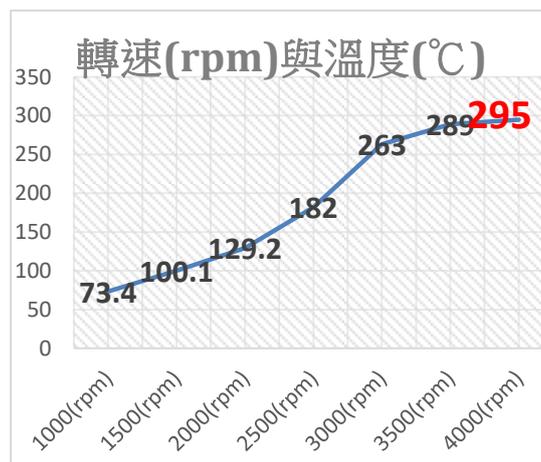
<<溫度計測量位置，此圖為未發動時室溫  $25.4^{\circ}\text{C}$ >>

- 三. 量測溫車後 1000rpm 至 4000rpm 範圍內的排氣溫度(500rpm 為區間，15 分鐘後紀錄最高值)。



<<讀取各個轉速下的排氣溫度，並用電腦紀錄 >>

四. 紀錄溫車後 1000rpm 至 4000rpm 範圍內的排氣溫度(500rpm 為區間，15 分鐘後紀錄最高值)。



<<溫車後的排氣溫度與轉速關係圖，最高溫度為 295°C>>

C. 測量排氣發電機模組性能

-----模組等待廠商製作中-----

#### 4. 結果與討論

-----模組等待廠商製作中-----

#### 5. 結論與建議

-----模組等待廠商製作中-----

## 參考文獻

1. 行政院環保署-官方網站:<http://www.epa.gov.tw/mp.asp?mp=epa>。
2. 經濟部能源局:<http://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>。
3. 綠能趨勢網:<http://www.energytrend.com.tw/knowledge/20120709-4584.html>。
4. ARTC-電動車成敗的關鍵技術電池管理系統:  
[https://www.artc.org.tw/chinese/03\\_service/03\\_02detail.aspx?pid=1909](https://www.artc.org.tw/chinese/03_service/03_02detail.aspx?pid=1909)。
5. NREL 美國能源部-交通運輸研究:<https://www.nrel.gov/transportation/>。
6. INFINITI:<https://www.infiniti-me.com/infiniti-f1/hybrid-performance.html>
7. Honda Racing:<http://en.hondaracingf1.com/honda-lab/MGU-H.html>。
8. JALOPNIK:  
<http://jalopnik.com/how-formula-ones-amazing-new-hybrid-turbo-engine-works-1506450399>。



# 奈米二氧化矽機油性質實驗

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：呂有豐副教授

學生：林華邦、卓岱緯、鍾芳妤、蔡婷婷

## 摘要

現今奈米材料用途廣泛，透過文獻了解奈米材料添加於機油中有助於改善機油性質，減少磨耗，所以我們決定把奈米二氧化矽添加於機油中，透過性質實驗觀察是否會有改善磨耗的現象，我們實驗中的機油分別為重量百分濃度 0%、0.5%、1.5%、2.5%、3.5%、4.5% 的奈米二氧化矽機油，透過沉降實驗、黏度實驗、磨潤實驗的結果，發現重量百分濃度 3.5% 的機油成效最好；希望未來有機會可以透過實車測試探討奈米機油是否可以改善耗油量和廢氣排放的 PM 值。

關鍵字：二氧化矽、機油、磨耗、潤滑

## 1. 前言

### 1.1 研究背景和動機

現今人類使用石化能源的需求比例非常高，雖然各國致力於開發新能源與新興技術來替代石化能源，但是就短期之內石化能源還是人類不可或缺的能源之一，隨著國際原油價格上漲與石油的蘊藏量有限等情形，人類當前最重要的就是將有限的石化能源，做最有效率的應用，添加奈米粉體於機油中，可以有效改變機油性質，例如：黏度、比熱、抗磨耗等等，不同的材料對機油得性質有不同的影響，改變機油性質可以使得機油的磨潤效果改變，二氧化矽有良好的懸浮性與抗磨耗性質，因此做出二氧化矽奈米機油以探討其改變的性質以及磨潤效果。

### 1.2 研究目的

本研究希望利用二氧化矽奈米粉體添加至原廠機油，使原廠機油的性質獲得改善，使元件在運作時，可以獲得較低的磨耗，進而降低運轉時的磨損，若是可以運用此特性去開發奈米機油，添加到使用的機車中，相信未來必定是有前景也可以為我們的環境盡一份心力。

### 1.3 名詞解釋

二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ): 是一種酸性氧化物, 對應水化物為矽酸; 二氧化矽是最複雜和最豐富的材料家族之一, 既是多種礦物質, 又是被合成生產的; 應用範圍從結構材料到微電子學到食品工業中使用的成分。

機油: 內燃機引擎各部的活動機件, 在工作時會因互相的摩擦而生熱, 若繼續的工作, 則將造成更大的阻力與極高的熱, 而使機件損壞, 降低工作的能力, 甚至於而無法工作。故為使引擎不因摩擦的阻力而降低工作的能力, 通常在活動的機件上加以潤滑油, 使機件的直接接觸轉為間接接觸, 藉由機件間的油膜油壓, 將兩接觸面完全的分離, 讓摩擦降為最小。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 奈米二氧化矽相關研究

奈米機油應用在車輛上, 有許多研究者提出許多不同奈米材料用來降低車輛的耗油量以及提升車輛的燃燒效率, 進而改善大氣中的空氣汙染率。而添加奈米材料的機油, 藉由奈米材料的許多特性, 使車輛可以不需要去修改原先的機械結構, 即能達到預期的成效。

謝妲莎希娜莎等人「Enhancing lubricant properties by nanoparticle additives」發現在機油添加奈米添加劑的優點是奈米粉體的尺寸大小能很輕易的進入摩擦面、並改變熱穩定性, 並有效降低摩擦損失及提升耐磨性, 這也是影響機油好壞很重要的因素, 機油添加奈米添加劑是可以很有效使摩減少摩耗[1]。

謝紅梅等人, 「Lubrication performance of  $\text{MoS}_2$  and  $\text{SiO}_2$  nanoparticles as lubricant additives in magnesium alloy-steel contacts」此研究將  $\text{MoS}_2$  奈米粉體與  $\text{SiO}_2$  奈米粉體與鎂合金混合形成的潤滑性流體使用在球平面上的往復滑動摩擦並研究之, 奈米潤滑劑在使用前均先使用超音波攪拌器攪拌 2 小時, 以確保均勻分散和良好的懸浮穩定性, 研究結果顯示  $\text{SiO}_2$  奈米潤滑劑的摩擦係數首先隨著奈米  $\text{SiO}_2$  含量的增加而降低, 但在含量到達極限值後反而因  $\text{SiO}_2$  含量的增加而增加。因此, 當奈米  $\text{SiO}_2$  的量達到最佳濃度, 獲得明顯的減磨效果。有此可知, 如果將過量的奈米  $\text{SiO}_2$  粉體加入到基礎潤滑劑中, 奈米  $\text{SiO}_2$  將形成不可逆的附聚物, 附聚物將參雜在接觸界面之間導致減磨效

果降低[2]。

艾普拉辛達當等人，「Effect of suspending hybrid nano-additives on rheological behavior of engine oil and pumping power」本研究使用 SiO<sub>2</sub> 奈米粉體混合發動機油備製出奈米潤滑劑，研究結果顯示，混合奈米粉體的流體之黏度將會隨著奈米粉體添加劑的濃度增加而增加[3]。

### 3. 實驗設計

#### 3.1 研究系統

主要敘述為奈米二氧化矽機油的材料性質檢測分析、奈米二氧化矽機油的製備過程、基礎性質量測與實際應用之實驗設計。本實驗將奈米二氧化矽機油使用二階合成法製成，而每種樣本將使用奈米二氧化矽粉體與原廠指定專用機油之間使用不同的重量百分比濃度來做為實驗測試參數，進行相關的基礎性質量測與磨潤測試實驗研究。藉由磨潤實驗量測到的數據結果加以分析與探討，將可以了解到在四行程機車所使用的機油中添加奈米二氧化矽粉體後，機油性質的差異。

實驗最終會將綜合效益表現較佳的奈米二氧化矽機油應用於機車實車測試中，將可以評估奈米二氧化矽粉體添加在機油中的可行性與效益。實驗研究架構如圖 3-1 所示。

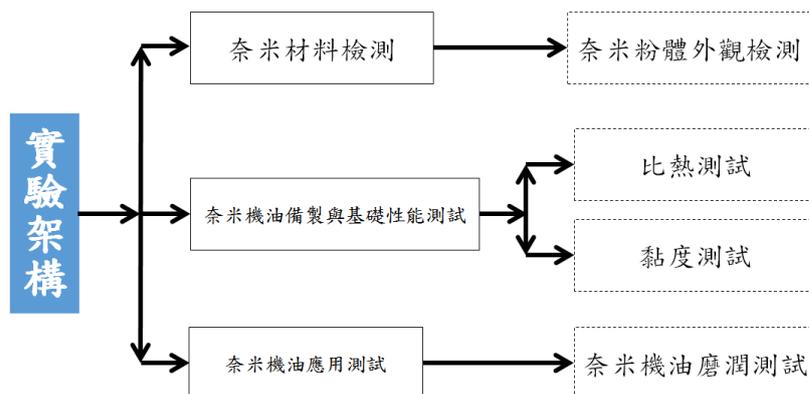


圖 3-1 實驗架構圖

#### 3.2 奈米材料檢測

##### 3.2.1 奈米粉體外觀檢測

本研究使用商用奈米二氧化矽粉體(20 nm, gamma phase, Al-13P, Yong-Zhen Technomaterial, Taiwan)，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)，如圖3-2及表3-1所示，用來確認奈米二氧化矽粉體的形貌與廠商提供的資訊是否一致。

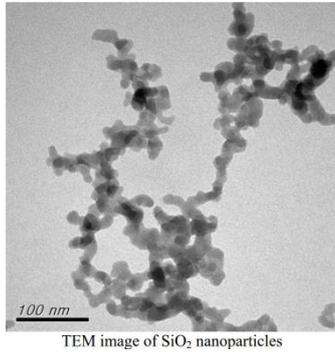


圖3-2奈米二氧化矽



圖3-3場發射槍穿透式電子顯微鏡

奈米二氧化矽粉體外觀量測流程圖，如圖 3-3 所示。

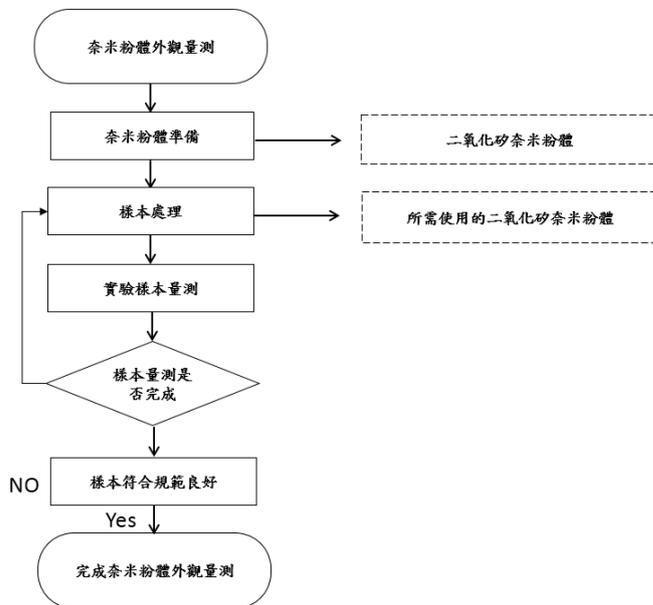


圖 3-4 奈米二氧化矽粉體外觀量測流程圖

表 3-1 電子顯微鏡重要規格

項目	規格
電子源	熱陰極電子槍
倍率	50~1*10 <sup>6</sup> 倍
傾斜角度	正負 30 倍
Microprobe	25 ~ 1 nm
Nanoprobe	2 ~ 0.2 nm
影像擷取方式	CCD

### 3.3 奈米二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)機油製備與基礎性質量測

#### 3.3.1 實驗樣本製備

本實驗研究使用商用 20 nm SiO<sub>2</sub> 奈米粉體、四行程機車專用機油 YAMAHA Y4 20W-40 900cc，採用二階合成法製成 SiO<sub>2</sub> 奈米機油，而奈米機油的重量百分比濃度分別為 0.5wt. %、1.5wt. %、2.5 wt. %、3.5 wt. %、4.5 wt.%，實驗樣本製備流程如下所示：

1. 使用精密電子天平(XS-125A, Precisa, Swiss)秤取出 0.5wt.%(0.00025kg)、1.5 wt.%(0.00075kg)、2.5wt.%(0.00125kg)、

- 3.5wt.%(0.00175kg) 、4.5wt.%(0.00225kg)的 SiO<sub>2</sub> 奈米粉末。
2. 將步驟 1 秤量好的 SiO<sub>2</sub> 奈米粉末，依上述比例添加於四行程機車專用機油中(溶質、溶劑重量分配如下表 3-2 所示)。
  3. 將 SiO<sub>2</sub> 奈米機油使用電磁加熱攪拌器(HMS-102, FARGO, Taiwan)攪拌三個小時，使奈米粉體與機油混合均勻。
  4. 使用超音波震盪器(B5510-DTH, BRANSON, USA)震盪 1 小時，溫度設定 343.15K，使 SiO<sub>2</sub> 奈米粉體能更平均分散於機油中。
  5. 重複步驟 3-4 數次，使機油中的奈米粉體能更均質的分布，使奈米機油中的奈米粉體具有較佳的懸浮性能。
  6. 完成實驗樣本的製備流程。

濃度(wt.%)	溶劑(*10 <sup>-3</sup> kg)	溶質(*10 <sup>-3</sup> kg)	溶液重(*10 <sup>-3</sup> kg)
0.5	49.75	0.25	50
1.5	49.25	0.75	50
2.5	48.75	1.25	50
3.5	48.25	1.75	50
4.5	47.75	2.25	50

表 3-2 SiO<sub>2</sub> 奈米機油實驗樣本之濃度配置表

實驗樣本製備過程使用之儀器，如下圖 3-5~3-8 所示。



圖 3-5 精密電子天平

產品項目	產品規格
型號	xs1220m
最大負重	1220g
防風罩	高 60mm
精準度	0.001g
校正方式	自動辨識標準砝碼
秤盤尺寸	135x135mm 鍍鉻不鏽鋼

表 3-3 精密電子天平細部規格表

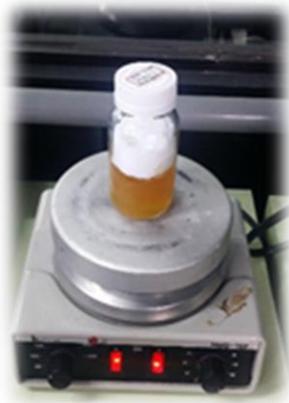


圖 3-6 電磁加熱攪拌器圖

產品項目	產品規格
最高溫度	0~350°C
加熱板材質	$\phi 1.5 \times 10^{-1}$ m
轉速	90~1500rpm
攪拌量	0.05~3 L

表 3-4 電磁加熱攪拌器細部規格表



圖 3-7 超音波震盪器

產品項目	產品規格
內槽容量	9.5 L
洗淨頻率	40KHZ
定時器	數字調整型 1~99 分鐘
內槽材質	不鏽鋼 SUS#304
體積	0.406*0.393*0.035 m

表 3-5 超音波震盪器細部規格表

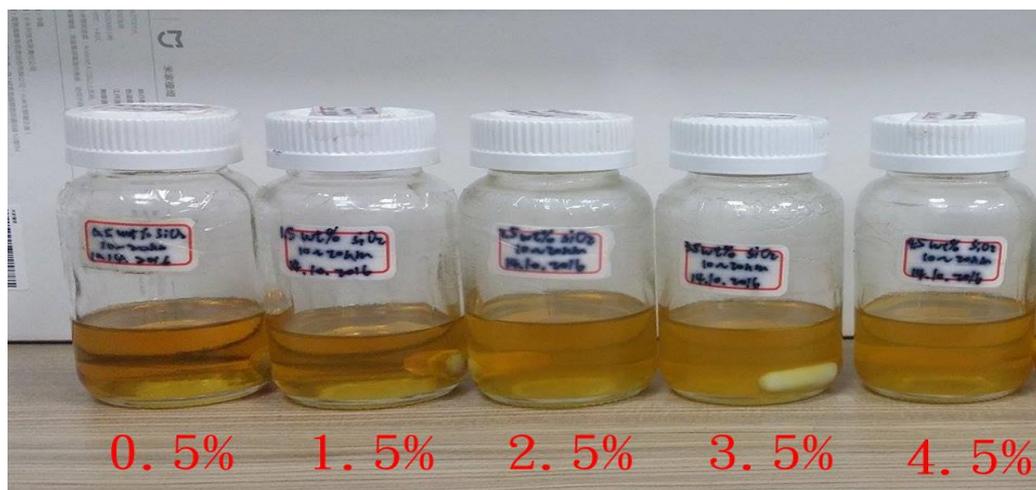


圖 3-8 各個重量濃度百分比之外觀

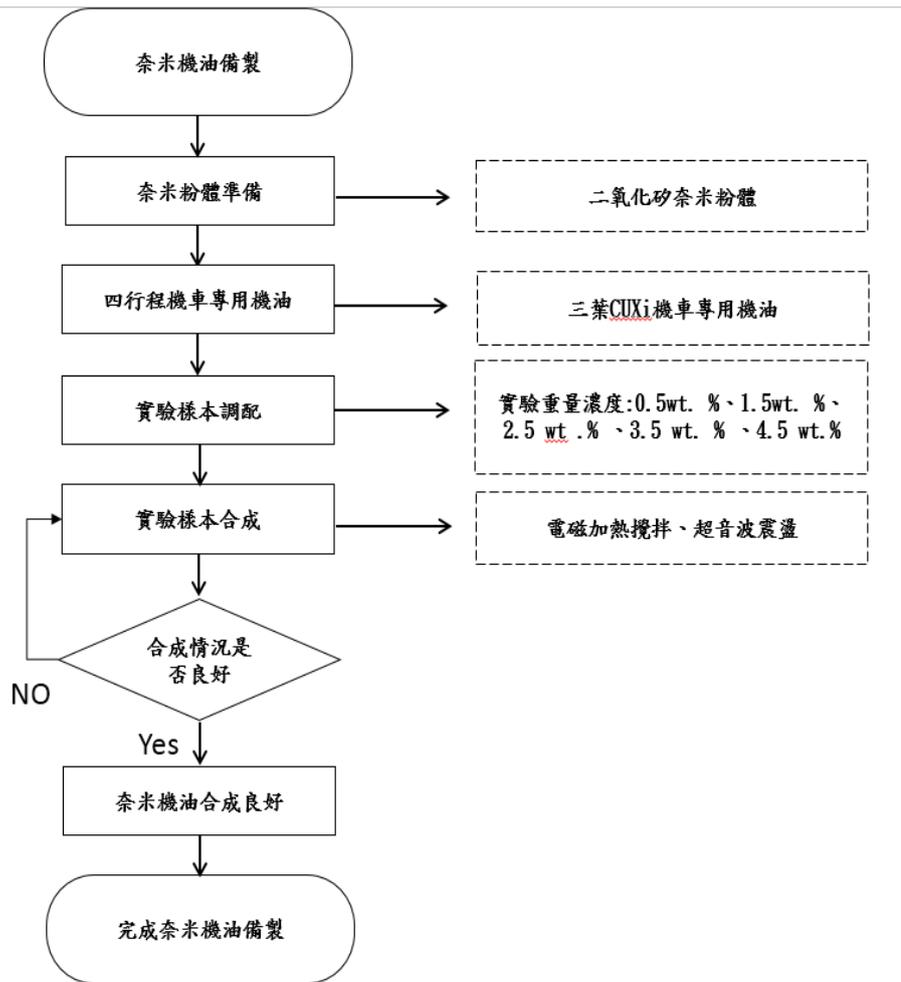


圖 3-9 奈米二氧化矽機油製備流程圖

### 3.3.2 沉降實驗

本實驗研究使用商用 20nm SiO<sub>2</sub> 奈米粉體、四行程機車專用機油，採用二階合成法製成 SiO<sub>2</sub> 奈米機油，進行沉降實驗。

降實驗主要是將調製好不同重量百分濃度的奈米機油(0.5wt. %、1.5wt. %、2.5 wt. %、3.5 wt. %、4.5 wt. %)，經過一段時間(5、10、15 天)的靜置，如圖所示為靜置 15 天的奈米機油，觀察添加進機油中的奈米氧化物沉降的情形，進行評估是否適合後續的研究實驗。依據實驗的結果可以推測出，沉降反應較不明顯的二氧化矽奈米機油，表示其奈米氧化物分散在機油中的情況較佳，較適合用於實際摩潤及實車測試中。本實驗所配置的重量百分比濃度分別為 0.5 wt. %、1.5 wt. %、2.5 wt. %、3.5 wt. %、4.5 wt. % 進行沉降實驗測試。



圖 3-10 沉降實驗之外觀

### 3.3.3 黏度量測實驗

實驗架構圖如圖 3-10 所示，使用恆溫循環設備(YSC 20L, Yeong Shin, Taiwan)控制奈米機油的溫度及手持式音波黏度計(VL700-T15, Hydramotion, U.K.)量測奈米機油之黏度，綜合數據進行分析，得出奈米機油在不同濃度與溫度的黏滯係數。而量測前會先使用電磁加熱攪拌器與超音波震盪器，使實驗樣本能更均勻的分散，增加實驗上的準確性。本實驗參數如表 3-6 所示，實驗流程圖如圖 3-12 所示，而黏度量測流程如下所示：

1. 將恆溫循環設備設定至實驗預設溫度。
2. 將實驗樣本裝入 0.05 L 玻璃試管中，放置在恆溫循環設備中，等待樣本溫度達到實驗預設的溫度，並持續恆溫一段時間，使奈米機油能更穩定地控制在預設溫度之內。
3. 使用手持式音波黏度計進行量測並記錄樣本數值。
4. 為提高實驗準確性和減少數據誤差，每個實驗樣本均進行 5 次量測。
5. 更換不同樣本，重複步驟 2~4。
6. 改變恆溫循環設備溫度參數，重複步驟 1~5。
7. 實驗結果分析。

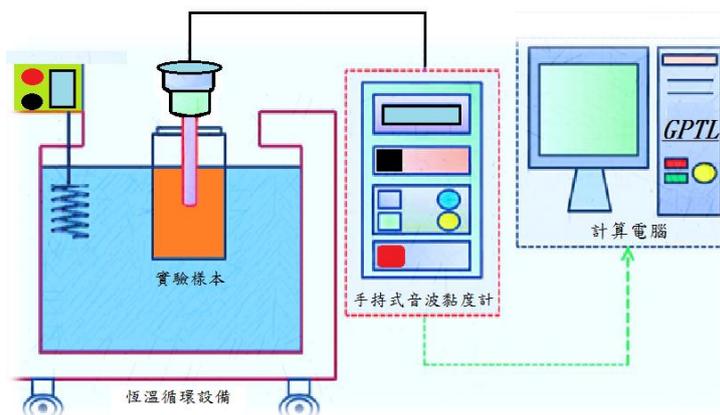


圖 3-11 奈米二氧化矽機油黏度實驗架構圖

量測項目	樣本容量(L)	樣本溫度(°C)	流體濃度(wt.%)
黏度	$5 \times 10^{-2}$	30~110°C (樣本間隔:20°C)	0
			0.5
			1.5
			2.5
			3.5
			4.5

表 3-6 奈米二氧化矽機油黏度量測參數配置表

實驗樣本密度量測過程所使用之量測儀器，如下圖 3-11 及表 3-7 所示

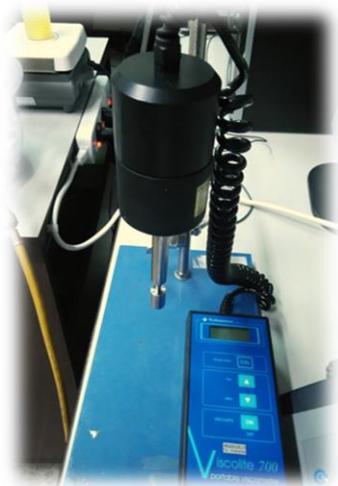


圖 3-12 手持式音波黏度計

產品項目	產品規格
量測範圍	0.1~5000 cP
溫度範圍	-40~150°C
最小樣本量	0.005 L
探棒材質	不鏽鋼 SUS#316
防水防塵等級	IP65
主機體積	0.018*0.095*0.005 m
主機重量	0.42 kg

表 3-7 手持式音波黏度計詳細規格圖

奈米二氧化矽機油黏度量測流程圖，如圖 3-10 所示

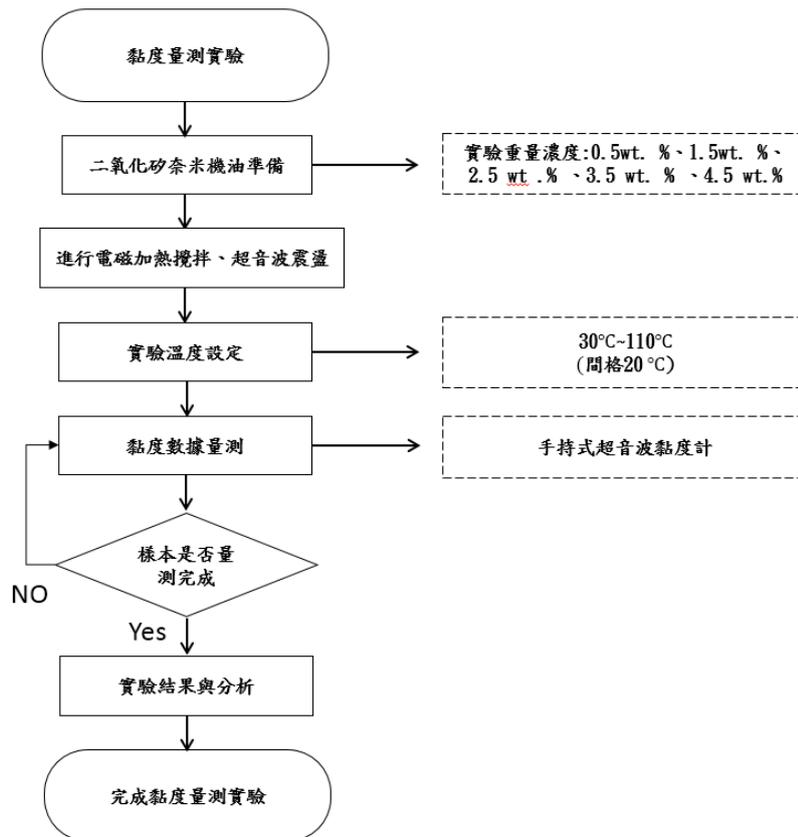


圖 3-13 奈米機油黏度量測流程圖

### 3.3.4 比熱量測實驗

本研究之實驗架構圖如圖 3-11 所示，使用熱示差量熱儀(DSC-Q20, TA, USA)與機械冷卻系統配合(RCS-40, TA, USA)來量測二氧化矽奈米機油的比熱，熱示差量熱儀需要在高純度氮氣(5 N)中來進行實驗，秤定樣本重量  $1 \times 10^{-5}$  kg 置於有蓋的鋁製樣品盆(Tzero Pan, No.:T100915)內。

測量出的奈米二氧化矽機油比熱，會用標準藍寶石(TN-8)為基準值來進行比較。比熱量測計算公式如(3.1)所示，先以絕對熱流值除上加熱速率後再乘以校準常數，其中  $C_p$  為比熱值； $E$  為校準常數； $H$  為絕對熱流； $H_y$  為加熱速率； $M$  為樣本質量。

$$C_p = (E \times H \times 60) / (H_y \times M) \quad (3.1)$$

而使用熱示差量熱儀量前，需先使用兩個空的樣品盆來求得背景熱流值，接著再以空的樣品盆與裝有標準藍寶石的樣本盆進行實驗，將測得的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，而因為標準藍寶石樣本

的比熱值為已知，經由式(3.1)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。本實驗參數如表 3-8 所示溫度範圍 0~160 °C、加熱速率為 20 °C/min，由於實驗在初始即結束狀態會較不穩定，為了降低實驗誤差，因此取用 0~160 °C 的實驗數據來計算出比熱值，本實驗流程圖如圖 3-18 所示。

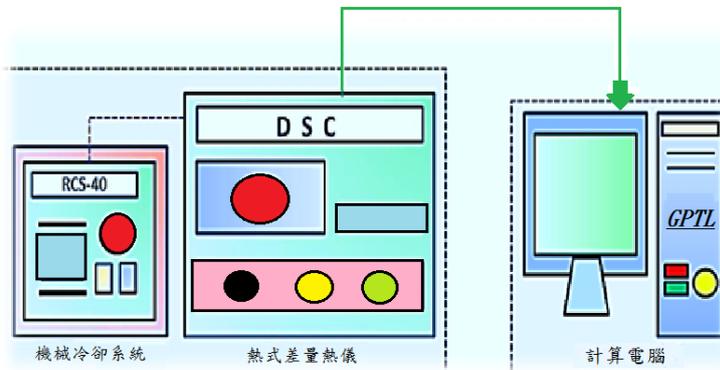


圖 3-14 奈米機油比熱實驗架構圖

量測項目	樣本重量(L)	樣本溫度(°C)	流體濃度(wt.%)
比熱	1*10 <sup>-5</sup>	0~160°C (樣本間隔:20°C)	0
			0.5
			1.5
			2.5
			3.5
			4.5

表 3-8 奈米二氧化矽機油比熱量測參數配置表



圖 3-15 熱示差量熱儀

產品項目	產品規格
溫度範圍	-120~725 °C
升溫速率	0.1~20 °C/min
樣本載入量	<2*10 <sup>-5</sup> kg
靈敏度	1*10 <sup>-6</sup> W
溫度準確度	±0.05 °C

表 3-9 熱示差量熱儀詳細規格表

奈米二氧化矽機油比熱量測流程圖，如圖 3-13 所示

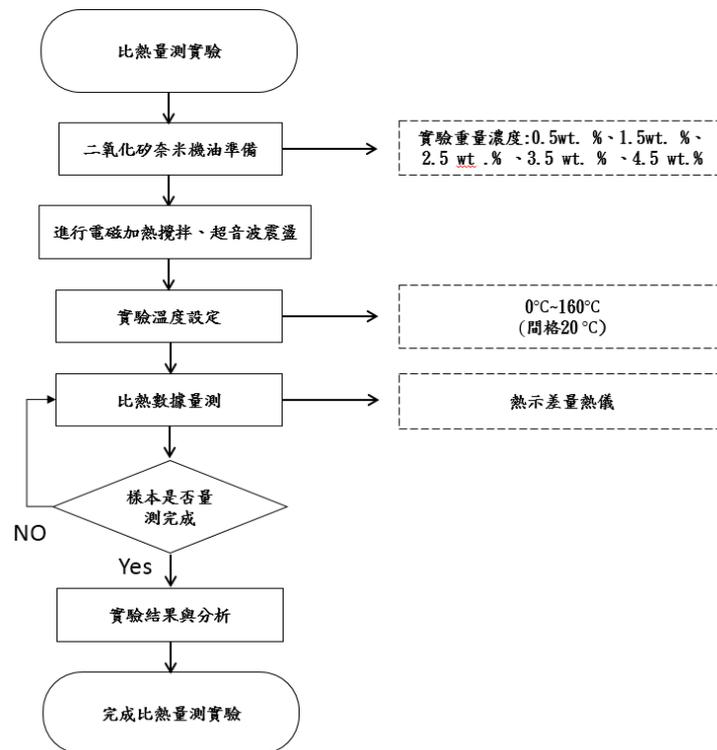


圖 3-16 比熱量測流程圖

### 3.4 奈米機油磨潤實驗

本研究參考ASTM G99[19]標準進行磨潤實驗，磨耗試片(disk)由軸承鋼(SUJ2)製成並用十字螺絲固定於試台上；pin是使用3顆碳鋼珠(6mm, AISI 1045)安裝在轉盤的鋼珠孔洞中，並以內六角螺桿固定在迴轉式多功能磨潤機臺以避免鋼珠在磨潤試驗中因摩擦發生滾動的現象，降低實驗誤差。藉由精密電子天平(XS-125A, Precisa, Swiss)量測在添加奈米二氧化矽機油進行磨潤實驗，本實驗將旋轉總圈數設定為10000圈，測驗實驗前後磨耗試片的重量差異，進而推測出奈米機油所造成的磨耗成效為何，並加以分析實驗數據，找出綜效表現較佳的奈米機油。而在進行實驗量測之前，奈米機油會先使用電磁加熱攪拌器與超音波震盪器，使實驗樣本能夠更加均勻的分散，增加實驗的準確性。

奈米機油磨潤流程如下所示：

1. 將奈米機油透過電磁加熱攪拌器與超音波震盪器充分均勻攪拌與分

散。

2. 使用迴轉式多功能磨潤機臺進行磨潤試驗並記錄樣本數值。
3. 為提高實驗準確性和減少數據誤差，每個實驗樣本均進行 3 次量測。
4. 更換不同樣本，重複步驟 2~3。
5. 改變恆溫循環設備溫度與迴轉式多功能磨潤機臺參數，重複步驟 1~4。
6. 實驗結果分析。

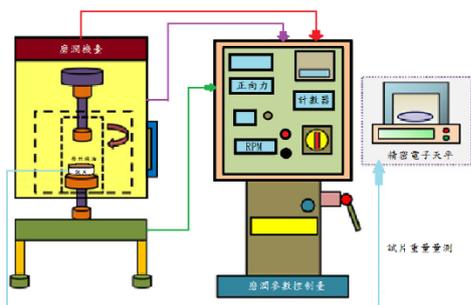


圖 3-17 奈米機油磨潤實驗架構圖



圖 3-18 實體配置與 pin-on-disk 配件圖

量測項目	正向力(N)	轉速(rpm)	時間(s)	流體濃度(wt.%)
				0
磨潤試驗	250	500	1200	0.5
	350	800	750	1.5
	400	1000	600	2.5
				3.5
				4.5

表 3-10 機油磨潤實驗量測參數配置表



產品項目	產品規格
機台轉速	0~1500 rpm
正向力負載	0~500 N
加載型式	氣壓加載
冷卻型式	水冷循環式
圈數紀錄	0~99999 圈

圖 3-19 迴轉式多功能磨潤機臺實體圖

表 3-11 迴轉式多功能磨潤機臺詳細規格表

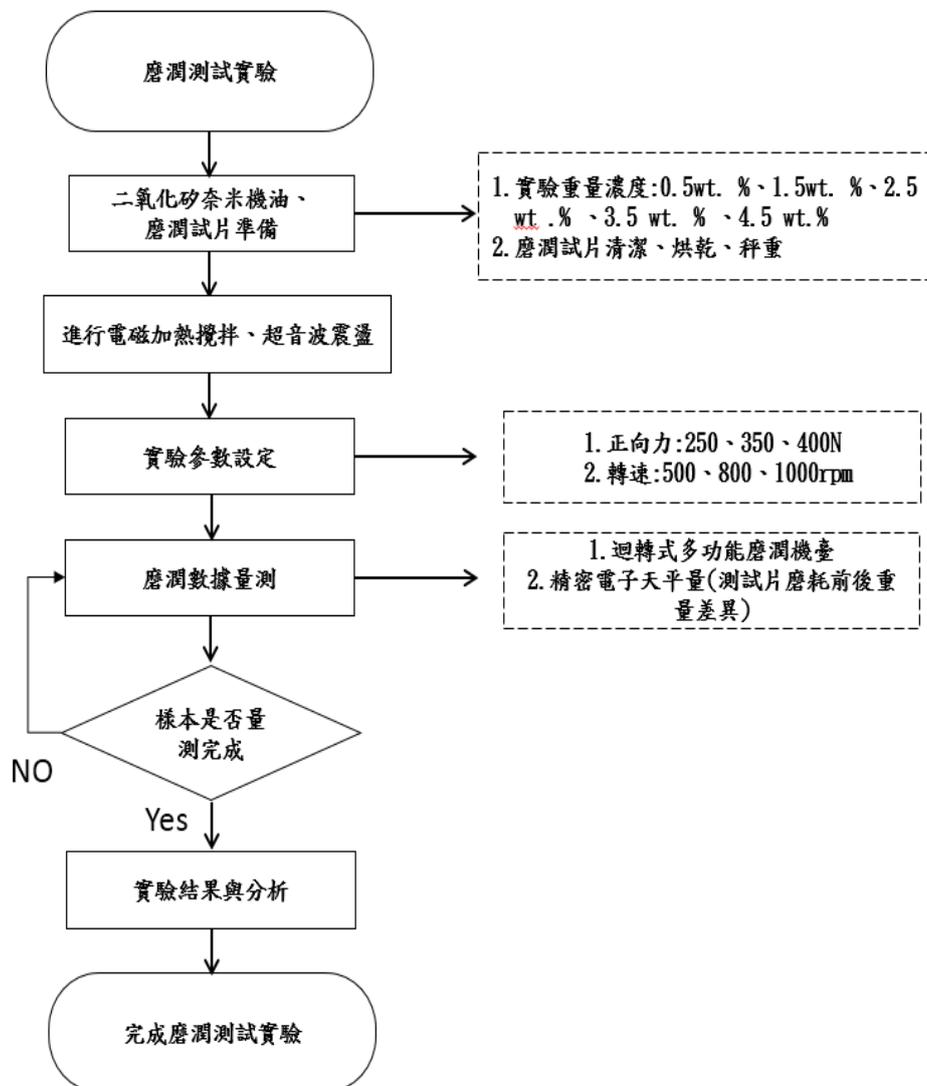


圖 3-20 磨潤測試實驗流程圖

## 4. 結果與討論

### 4.1 比熱實驗結果

如表 4-1 所示機油添加奈米二氧化矽會使比熱將低，濃度越高比熱值越低，單位重量下吸收的熱量變低，所以散熱能力會變差。

因為奈米粉體的比熱較小，所以奈米機油比熱會下降，是符合理論的。

比熱(Cp) (J/g-°C)	Cp 重量濃度0(%)	Cp 重量濃度0.5(%)	Cp 重量濃度1.5(%)	Cp 重量濃度2.5(%)	Cp 重量濃度3.5(%)	Cp 重量濃度4.5(%)
溫度(T)° C 10	2.009	1.979	1.963	1.928	1.879	1.743
溫度(T)° C 20	2.009	1.955	1.955	1.923	1.873	1.798
溫度(T)° C 30	2.048	2.001	1.992	1.966	1.913	1.837
溫度(T)° C 40	2.084	2.042	2.028	2.000	1.951	1.866
溫度(T)° C 50	2.121	2.085	2.064	2.042	1.991	1.906
溫度(T)° C 60	2.161	2.124	2.098	2.078	2.030	1.941
溫度(T)° C 70	2.204	2.175	2.144	2.121	2.073	1.980
溫度(T)° C 80	2.243	2.223	2.181	2.157	2.112	2.017
溫度(T)° C 90	2.282	2.264	2.219	2.202	2.153	2.053
溫度(T)° C 100	2.324	2.306	2.258	2.252	2.193	2.090
溫度(T)° C 110	2.367	2.351	2.303	2.296	2.230	2.161

### 4.2 黏度量測實驗

本研究之實驗架為使用恆溫循環設備控制奈米機油的溫度及手持式音波黏度計量測重量濃度百分比 0%、0.5%、1.5%、2.5%、3.5%、4.5% 奈米機油之黏度，綜合數據進行分析，在高溫時黏度並無明顯差異，但在低溫時重量百分比 3.5% 的機油黏度相對比較低，得出奈米機油在重量濃度百分比 3.5% 時黏滯係數最好。

黏度(mPs)	重量濃度(%) 0	重量濃度(%) 0.5	重量濃度(%) 1.5	重量濃度(%) 2.5	重量濃度(%) 3.5	重量濃度(%) 4.5
溫度(T)30	126.7	149.7	165.1	184.6	156.6	186.0
溫度(T)50	64.8	84.8	85.8	91.2	106.2	114.8
溫度(T)70	45.7	47.2	49.7	64.7	69.8	73.4
溫度(T)90	28.9	29.0	34.0	34.4	34.9	35.8
溫度(T)110	25.8	18.7	20.6	21.7	26.9	27.6

表 4-2 度測試數據

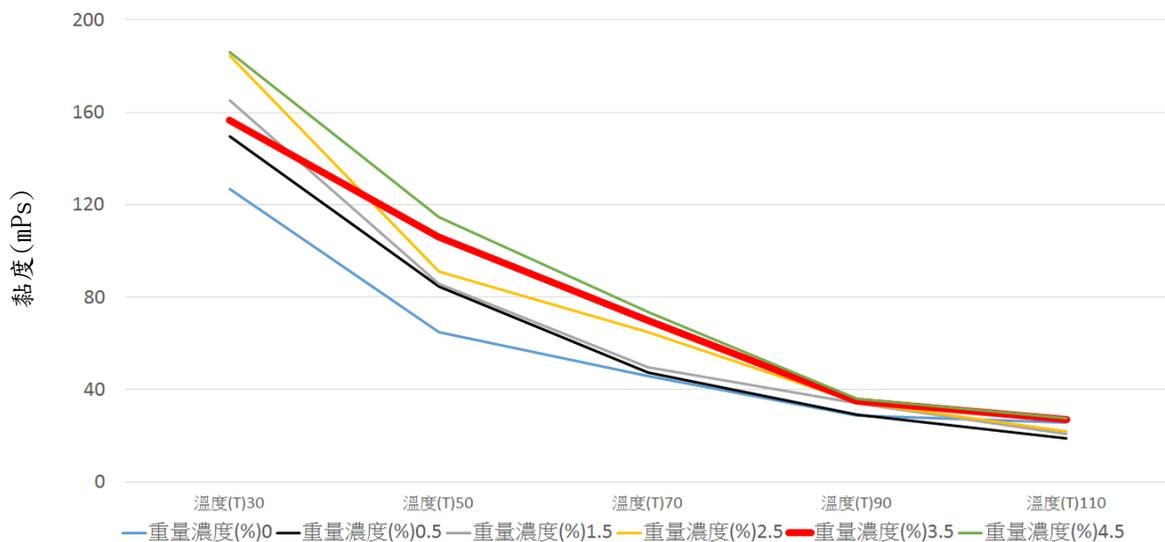


圖 4-1 黏度測試曲線圖

### 4.3 奈米磨潤實驗

本研究透過磨潤機依正向力、轉速、時間的不同，對試片進行磨潤，測驗實驗前後磨耗試片的重量差異，進而推測出奈米機油所造成的磨耗成效為何。

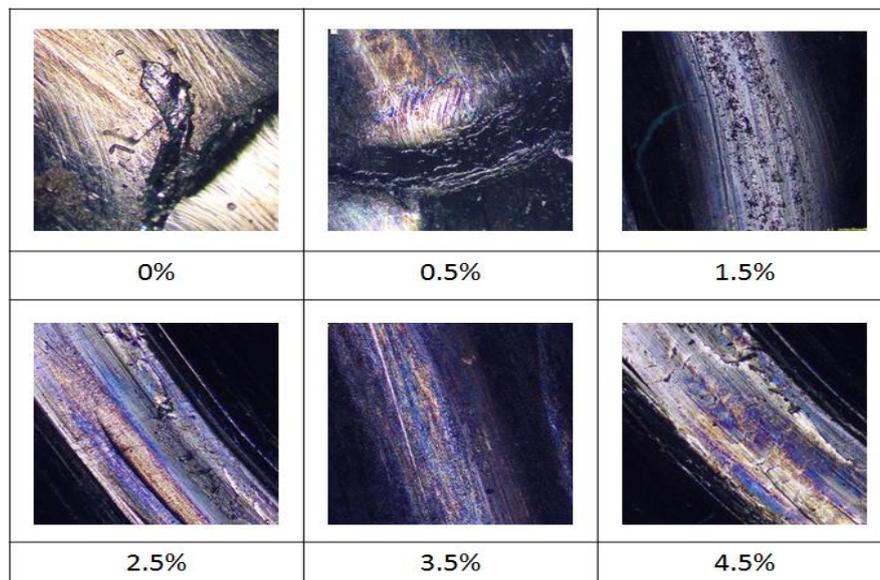
從磨潤實驗結果得知如圖 4-2 所示重量百分比 3.5% 的奈米機油再進行磨潤實驗時所產生的磨耗最少(0.0035g)，找出綜效表現較佳的為重量百分濃度 3.5% 奈米機油。

0wt.%磨潤前重量:21.8291g	0.5wt.%磨潤前重量:21.8321g	1.5wt.%磨潤前重量:21.8166g
0wt.%磨潤後重量:21.8003g	0.5wt.%磨潤後重量:21.8231g	1.5wt.%磨潤後重量:21.8087g
 相差0.0288g	 相差0.0090g	 相差0.0079g
2.5wt.%磨潤前重量:21.8697g	3.5wt.%磨潤前重量:21.8487g	4.5wt.%磨潤前重量:21.8364g
2.5wt.%磨潤後重量:21.8647g	3.5wt.%磨潤後重量:21.8452g	4.5wt.%磨潤後重量:21.8318g
 相差0.0050g	 相差0.0035g	 相差0.0046g

圖 4-2 磨潤實驗數據

#### 4.4 光學顯微鏡觀察結果

透過光學顯微鏡去觀察磨痕的深度如圖 4-3 所示，重量百分比 0% 磨疤及磨痕最深、重量百分比 0.5% 磨疤有明顯改善、重量百分比 1.5% 已無磨疤、重量百分比 2.5% 磨痕明顯改善、重量百分比 3.5% 磨痕平滑為最佳、重量百分比 4.5% 磨痕增加，原因為濃度過高，奈米材料沉澱增加磨耗，並加以分析實驗數據。



4-3 光學顯微鏡觀察結果

## 結論與建議

### 5.1 結論

本研究係將奈米  $\text{SiO}_2$  粉體依各調配比例添加於機車用機油中，進行基礎性質量測、磨潤試驗，藉由實驗所得的數據，比較出有無添加奈米  $\text{SiO}_2$  顆粒的機油，是否具有降低磨耗消耗量的功效。藉此評估奈米  $\text{SiO}_2$  顆粒添加於四行程機車使用的機油中是否具有可行性。經過實驗結果分析與討論後，將歸納出下列結論：

1. 將奈米  $\text{SiO}_2$  顆粒添加於四行程機車使用的機油中，經由基礎性質量測後，可以推論出奈米  $\text{SiO}_2$  機油是否可以保有原有奈米顆粒的特性。
2. 奈米  $\text{SiO}_2$  機油用於磨潤試驗中，可以藉由改變不同的正向力、轉速與不同添加比例的奈米  $\text{SiO}_2$  機油，測驗出試片的磨耗量，發現重量百分比 3.5% 的磨耗量最少且磨痕較平滑。

### 5.2 建議

根據我們的實驗結果，證實在機油中加入奈米二氧化矽，確實提升抗磨耗的效果；所以我們未來可以朝著在汽機車各種潤滑油內添加奈米添加物，看是否能改善磨耗量或是其他有益於降低污染的方式，替降低世界污染盡一份心力。

## 參考文獻

- [1] Enhancing lubricant properties by nanoparticle Sheida Shahnazar International journal of hydrogen energy 41 (2016) 3153-3170
- [2] Lubrication performance of  $\text{MoS}_2$  and  $\text{SiO}_2$  nanoparticles as lubricant additives in magnesium alloy-steel contacts Hongmei Xie Tribology International 93 (2016) 63-70
- [3] Effect of suspending hybrid nano-additives on rheological behavior of engine oil and pumping power

# 混合動力能量控制策略之研究

國立臺灣師範大學工業教育學系

指導老師：張俊興 講師

學生：陳信融、張峻豪、陳昀辰、林丞軒

## 摘要

近年來環境議題備受重視，為了能建立一個健康舒適的生活環境，環保法規逐年修改，特別是針對廢氣排放，我們常見的內燃機載具廢氣排放始終不理想，本專題研究目的希望能混合三種動力來達到減碳及節能，並使用模擬平台減少研究時間與金費。本混合動力平台包含空氣馬達模組、電動馬達模組、汽油引擎模組、傳動系統、數據監控系統以及磁粉煞車模組，傳動系統功能是調配引擎、電動馬達、氣動馬達輸出型態，磁粉煞車目的是模擬實際行車型態。使用 Matlab/Simulink 進行實驗對個別動力源做性能使驗了解最佳運作時機，使用離合器讓不同動力源做搭配找出最佳組合方式，收集完整資料並進一部撰寫控制策略，將 Matlab/Simulink 設計控制策略寫入 Micro-box 使混合動力平台獨立運行。

關鍵字：混合動力平台、空氣馬達、控制策略、Mirco-box、Matlab/Simulink

## 1. 前言

### 1.1 研究背景與動機

近年來環境議題越來越受到大眾的重視，再加上環保法規越來越嚴苛，我們熟悉的內燃機排放規範逐漸下修，為了能遵守法規車廠紛紛開始轉向研發混合動力車及純電動車，可見能源的應用將是未來的關鍵，每一種能源都有它的優缺點，如何去整合在一起達到能源運用的最大效益，以及優良的駕駛感，這是我們研究的動機。

### 1.2 研究目的

我們選用動力來源有電動馬達、氣動馬達以及汽油引擎；以電動馬達來說，現今的街道上都能看到為數不少的電動機車在大街小巷行走，可見環保意識已經深植民眾的心，純電動力單元也發展成熟，再加上取得電力的方式較多元我們能選擇環保的方式製電，所以選用此能源做為我們研究動力分配來源之一；再來我們選擇第二個動力源是空氣馬達，空氣既容易取得，排放時也僅是排放出空氣並

無汙染，與其他動力源做搭配可增加整體動力輸出的續航力以及扭力，以車輛維修常使用的氣動扳手等工具，就是利用壓縮空氣可見其普遍性，因此我們也將空氣設為輸入動力源之一；最後選擇的輸入動力源是汽油引擎，汽油引擎發展至今技術成熟，結合以上三種動力源到混和動力平台並透過 Matlab/Simulink 設計閉迴路並透過 Micro-box 使混合動力平台獨立運行。

### 1.3 研究方法

本專題在實驗前透過文獻的閱讀來了解過往相關研究，在文獻探討查找針對氣動馬達、氣動馬達控制方法、控制策略、動力混合為重。

- 實體部分:透過混合動力平台上各動力單元及數據計監控系統來進行動力特性實驗並使用傳動系統中的離合器來做各動力組合實驗。
- 模擬部分:使用 Matlab/Simulink 進行實驗的操作，控制個動力源輸出動力大小、離合器接合、讀取即時數據、紀錄數據、撰寫控制策略。

### 1.4 名詞解釋

**混合動力平台：**

此平台包含空氣馬達模組、電動馬達模組、汽油引擎模組、傳動系統、數據監控系統，並利用磁粉煞車來模擬實際行車的狀態。

**空氣馬達：**

以氣壓來產生動力的機構。

**控制策略：**

針對不同需求而使用不同操作方式稱為控制策略。

**Mirco-box：**

多功能整合性空置平台能寫入各種控制策略快速建造一個即時控制系統。

**Matlab/Simulink：**

能進行高階數學計算軟體/設計動態系統、多領域仿真設計的工具。

## 2.文獻回顧

隨著能源危機與全球暖化之議題，全球汽車產業正掀起一波綠色革命風潮，複合動力車輛在市面上逐漸興起，由於複合動力車輛的多動力源輸出以及複雜結構的關係，使得複合動力車輛的控制比純引擎車來的複雜多，因此需要引入一個能源管理系統針對車輛上各次系統的能量或動力進行合理的分配，即所謂整車能量管理控制策略(energymanagementstrategy)，其控制策略的目標主要包括：

1. 滿足駕駛者駕駛需求的同時，優化動力系統的工作效率。
2. 電池組或儲能系統的荷電狀態必須維持在一定範圍內以延長系統的壽命。
3. 增強燃油經濟效益，及保持較高的車輛驅動性能。[1]

本專題希望能夠寫出一閉迴路程式來讓三種動力源自行調配所需負擔之能量多寡。

### 1. 空氣馬達控制之文獻回顧

在下列許多文獻中可以發現到，許多學者在空氣馬達花了很多時間和精力在研發，我們現在也可以看到路上的，漸漸地找到了轉速的最佳化控制之方法。2006年，許雲峰[2]，利用數位訊號處理器將氣動馬達的轉速透過控制器監控，最後結果顯示此研究方法能有效提高馬達轉速的響應速度。2007年，黃衍任、黃詩堯[3]，指出在工業上時常使用空氣馬達做為主要動力源，並提出透過PI、Fuzzy、MRAC能成功穩定的控制氣動馬達之轉速。2008年，Lin L.H. et al.[4]，採用魯棒控制理論將非線性的空氣馬達進行魯棒控制，結果顯示在精度控制方面有很高的控制性能約在5%之內。2009年，Shen et al. [5]，將葉片式氣動馬達與高壓氣瓶裝置在真實機車上，採用PI控制與模糊控制之設計，以控制死區和磁滯現象來提升性能。2015年，龔聖賢[6]，利用比例積分微分、比例積分微分類神經網路、比例積分微分模糊類神經網路及適應性動態滑動模式控制，分析最佳空氣馬達轉速控制之控制器，結果顯示適應性動態滑動模式控制較其他控制方法較佳，在無載情況下平均誤差為9.52rpm。[7]

## 2. 空氣馬達應用之文獻回顧

希望能實現在輕小型之載具上，例如機車，鑒於空氣馬達技術之成熟、成本低之優點，慢慢在實體機車上呈現。2011年，許克仲[8]，提出電動馬達在起步時消耗大電流，往往是降低電池壽命之主因；並提出使用氣動馬達先行帶動電動馬達，使電動馬達有一反電動勢後，再將電動馬達運轉，藉此減少電流之消耗達到延長電池之壽命。2011年，Yoshida K. et al.[9]，利用空氣馬達架設於自行車上，希望透過空氣來推動自行車，在自行車減速時則，空氣馬達將會壓縮正要驅動馬達之空氣，進行回收，此系統最大速度為 10km/h。2014年，李法緯[10]，提出利用空氣馬達結合電動機車，可提高續航力及加速性能；並藉由 Matlab/Simulink 進行空氣與電動馬達建模，並分析各次系統之響應狀態；最後與實車進行結果驗證，其驗證結果顯示：空氣電動混合動力機車較純電動機車節省 3 倍之耗電能，以及有效降低大功率電能輸出。2014年，Hung et al. [11]，開發了一個透過空氣推動的輕型車輛模擬器，透過 15 階狀態方程組導出系統動力學，並利用 Matlab/Simulink 建模並分析系統質量、壓力、溫度、能量流，最後結果說明實驗與模擬之結果誤差經度是相當高的，分別為 6.15% 和 5.34% 以內。2016年，Hung et al. [12]，建置車用多功能補充站，其中包含有電能、高壓空氣、氫氣，利用空壓機、氣體增壓缸、高/低壓儲氣桶，並提供高壓氣體快速填充機制及車用氣體鋼瓶交換等機制。[7]

## 3. 控制策略與模擬分析之文獻回顧

2003年，吳建勳[13]，利用 Matlab/Simulink 建構正向並聯式混合動力車輛動態模擬與分析，其中提出混合動力車之動力系統控制，以及各次系統間模擬與評估方法，且可計算主動源之能量消耗效益及空汙排放，故透過此方法可提供給予車輛關鍵零組件或車輛設計者參考。2009年，吳宜霖[14]，透過等效油耗最小策略加比例控制器及基礎規則策略進行油電混合機車之控策設計，並且利用 Matlab/Simulink 建立油電混合機車之模組進行整車模擬，實驗結果指出透過此策略手法能有效減少油耗的產生，對於不同行車型態亦有良好之適應性。2013年，張晉嘉[15]，利用 Matlab/Simulink 建立電動車煞車回充系統，系統包含高功率馬達、機械煞車、鋰電池模組與煞車控制器，並建立最佳化煞車控制，實際與模擬

兩者差距相當接近。2014 年，董又銘[16]指出由於地球石油資源遭新興國家大肆開採，使油價不斷飆高，各地區研發學者不斷投入新能源車之研究；利用 Matlab/Simulink 進行混合動力車之系統設計，透過等效最小油耗策略將油耗控制在最低消耗點，最後結果顯示控制策略能有效改善燃油消耗。2015 年，黃振倫[17]，利用 Matlab 建立混合動力機車之模型，透過 ECE 40、NEDC、WMTC 來建立不同模擬條件，且透過全區域搜尋法讓車輛的操作點落在最佳化之區塊，並探討對於電池及行車上之影響。

經由上述的空氣馬達之應用和控制策略的文獻回顧，可以清楚了解到許多學者已在研發一省能源之能量控制策略，也提供諸多想法給後續研究之人員，以利能完成節約能源之方法。

#### 4. 國內外混合動力車輛之研究

Toyota Prius 是第一款量產銷售(1997 年底)的混合動力車輛，動力系統架構採用並聯是動力系統，結合了典型汽油引擎與電動馬達來驅動車輛，並且搭配一組鎳金屬電池以及一個高效率永久磁性同步發電機，做為系統動力傳輸與能量轉化的基本零件架構，因為控制策略設定汽油引擎於高效率低污染的工作範圍，使得 Prius 每公升可跑 28 公里，排氣量亦大幅降低，二氧化碳比傳統汽油引擎將低了 50%，其他排氣污染物：CO、HC、Nox 則指答日本標準法規的十分之一。

2000 年 M.Salman, Niels J.Schouten, and Naim A. Kheir 則提出：主要並聯是混合動力車輛零件，內燃機引擎、電動馬達與電瓶間，最佳操作性能的能量控制方式。

控制器設計方面，主要是以模糊控制(Fuzz Logic)做為控制方式，模糊邏輯控制是個相當適合混合是動力車輛的控制方法，因為模糊邏輯系統是以"不是非常明確的定義"來構成系統架構，並且可以趨近所設定的目標值。[18]

### 3. 實驗設計

#### 實驗設計：

為了要達成閉迴路運作，我們要先了解各能源的運作特性，以及各能源的銜接情形，才能針對此特性進行閉迴路的設計，因此實驗設計分成兩個部分：

- 一、各動力源測試
- 二、各動力源連接情形

## 一、動力源測試：

第一次測試：

- 氣動馬達：

1. 設定氣壓在 1.4、2.8、4.2、5.6 以及 7(kg/cm<sup>2</sup>)。
2. 設定氣閥門開度 1~5 之間。
3. 手動控制磁粉煞車扭力值，使氣動馬達達到目標轉速。
4. 記錄在特定壓力和閥門開度，馬達轉速與扭力之間關係。

1. 電動馬達：

2. 設定電動馬達運轉開度 1~5 之間
3. 手動控制磁粉煞車扭力值，使電動馬達達到目標轉速。
4. 記錄在特定開度，馬達轉速與扭力之間關係。

- 汽油引擎：

1. 設定油門開度
2. 手動控制磁粉煞車扭力值，使汽油引擎達到目標轉速。
3. 記錄在特定油門開度，馬達轉速與扭力之間關係。

第二次測試：

- 氣動馬達：

1. 設定氣壓在 1.4、2.8、4.2、5.6 以及 7(kg/cm<sup>2</sup>)。
2. 設定氣閥門開度 1~5 之間。
3. 由電腦控制磁粉煞車扭力值，達到輸入之目標轉速。
4. 記錄在特定壓力和閥門開度，馬達轉速與扭力之間關係和耗能狀況。

- 電動馬達：

1. 設定電動馬達運轉開度 1~5 之間
2. 由電腦控制磁粉煞車扭力值，達到輸入之目標轉速。
3. 記錄在特定開度，馬達轉速與扭力之間關係和耗電狀況。

- 汽油引擎：

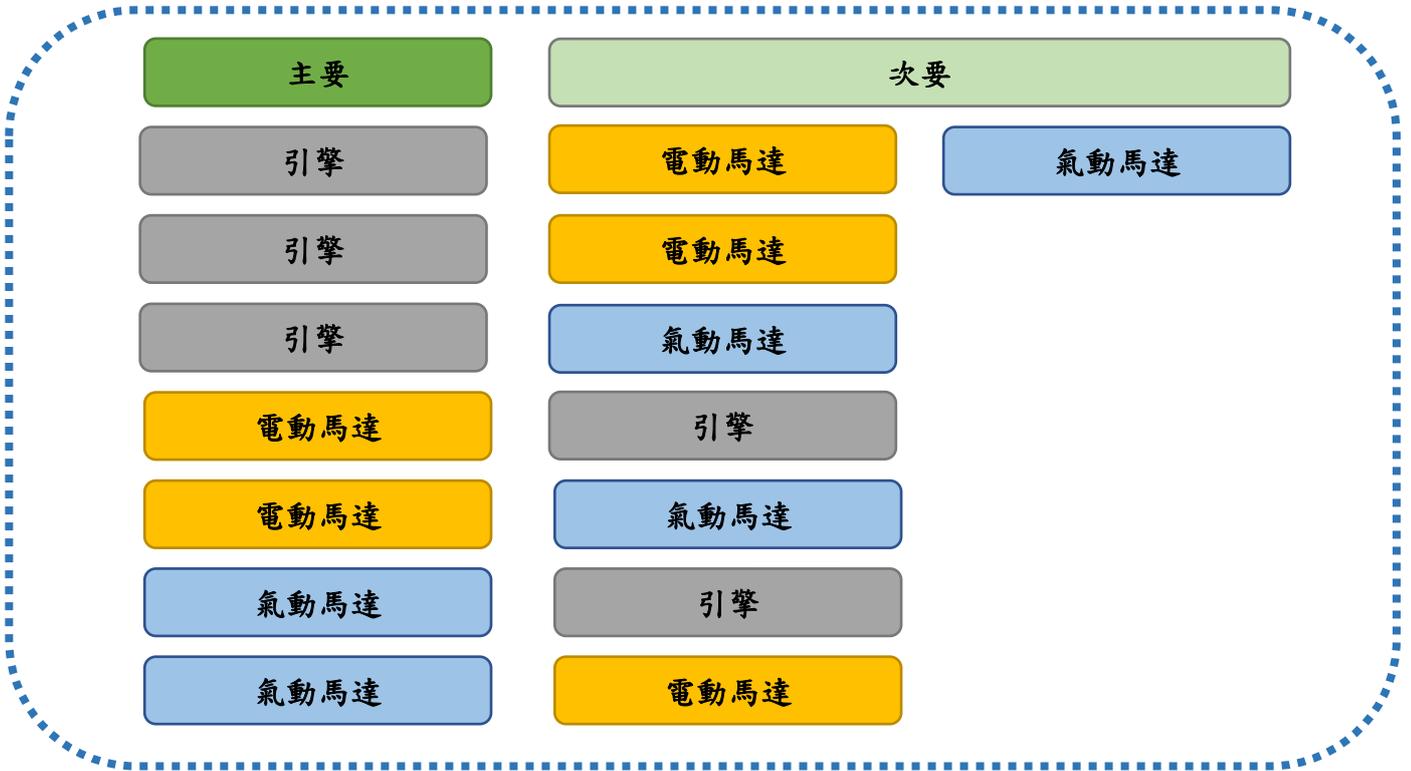
1. 設定油門開度
2. 由電腦控制磁粉煞車扭力值，達到輸入之目標轉速。
3. 記錄在特定油門開度，馬達轉速與扭力之間關係和耗油情況。

## 二、各動力源連接情形：

依據三種動力源進行操作，會有七種動力連接情形，如下圖：

紀錄以上數據，設計多動力源平台在閉迴路時的動力分配。

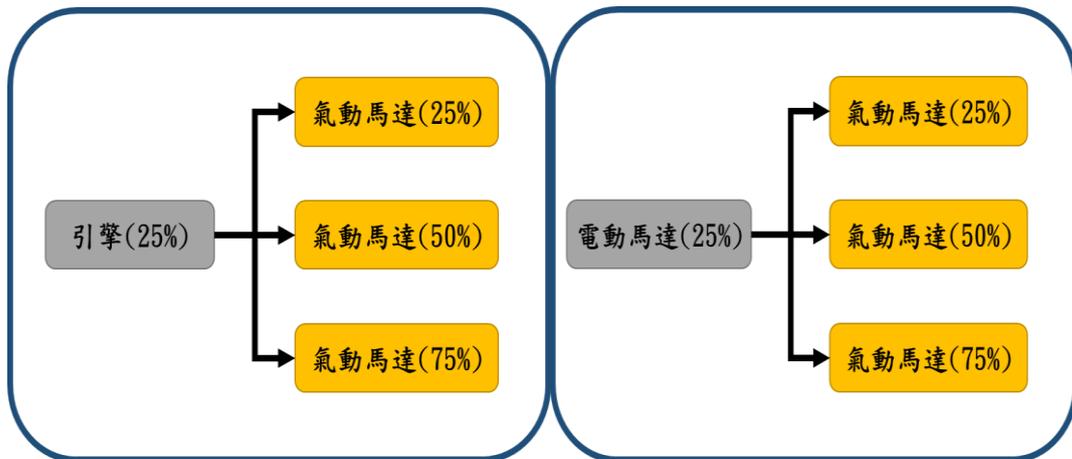
動力組合方式



測試方式：

將其中一項動力源分別將閥門設置在全開的 25%、50%、75%，以引擎(25%)

連接氣動馬達和電動馬達(25%)連接氣動馬達為例：



動力接合組合方式

陸續在以此規則進行把七種配對種類測試，並記錄下來，利於撰寫控制策略動力分配程式。

## 4. 結果與討論

### 一、動力源測試結果

#### ● 氣動馬達:

1. 設定氣壓在 1.4、2.8、4.2、5.6 以及 7(kg/cm<sup>2</sup>)。
2. 設定氣閥門開度 1~5 之間。
3. 由電腦控制磁粉煞車扭力值，達到輸入之目標轉速。
4. 記錄在特定壓力和閥門開度，馬達轉速與扭力之間關係和耗能狀況。

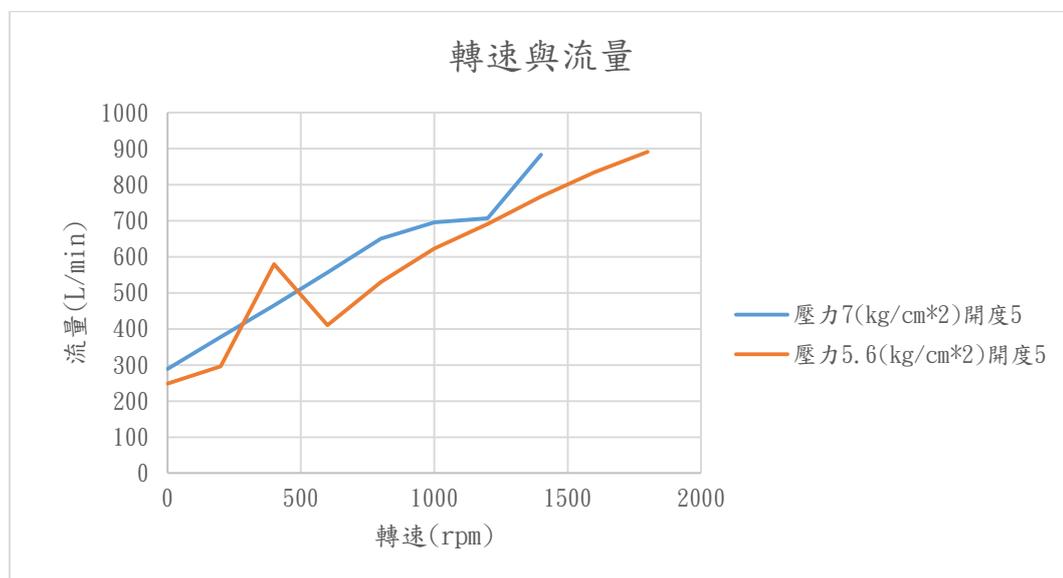
#### ● 討論:

1. 數據為什麼會有跳動?

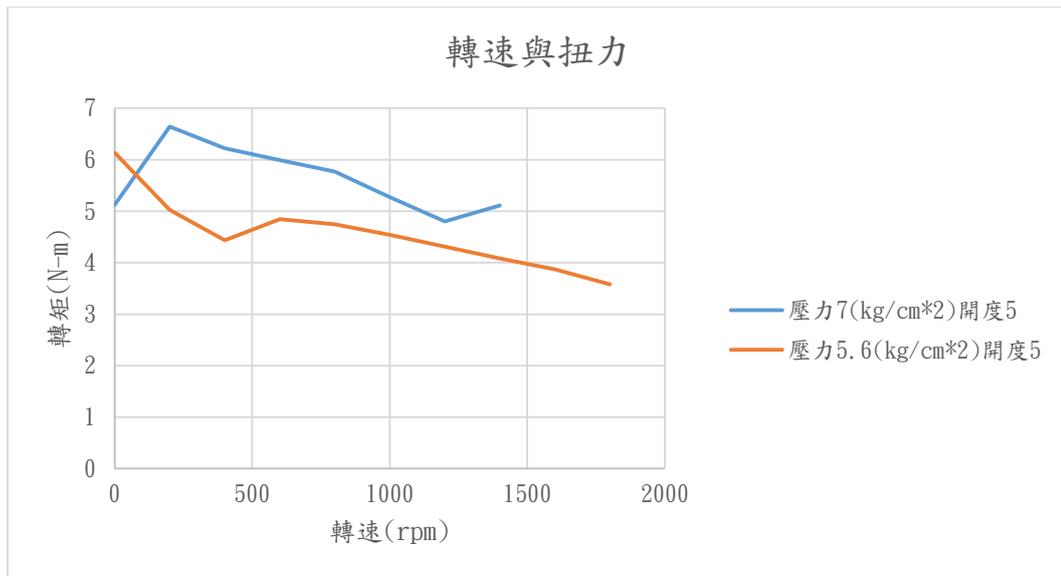
在實驗操作過程會有些許時間差導致數據產生誤差但仍可以判讀。

2. 氣動馬達最佳運轉時機?

從實驗紀錄可以看出最佳的運轉時機為低轉速此時消耗流量低產生扭力大。



轉速與流量關係圖



轉速與扭力關係圖

## 二、各動力源連接情形：

- 討論：

1. 動力接合的情形是否理想？

是的，透過轉速紀錄可以看到當離合器接上時轉速相同。

2. 透過實驗數據是否能計算出能耗？

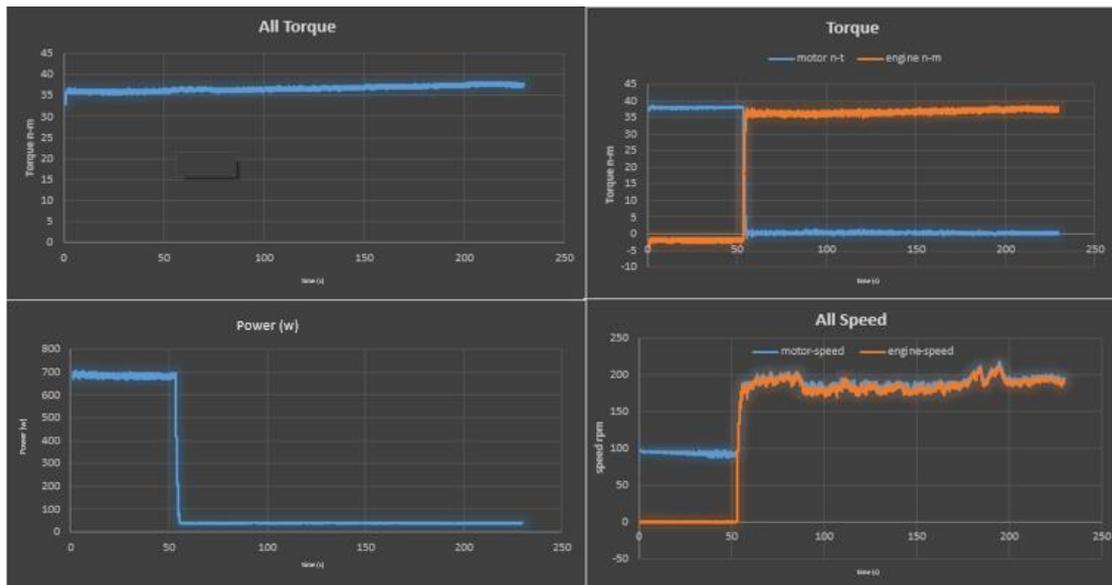
是的，每一種動力源都有詳細的資料都能計算能耗。

- 引擎與電動：

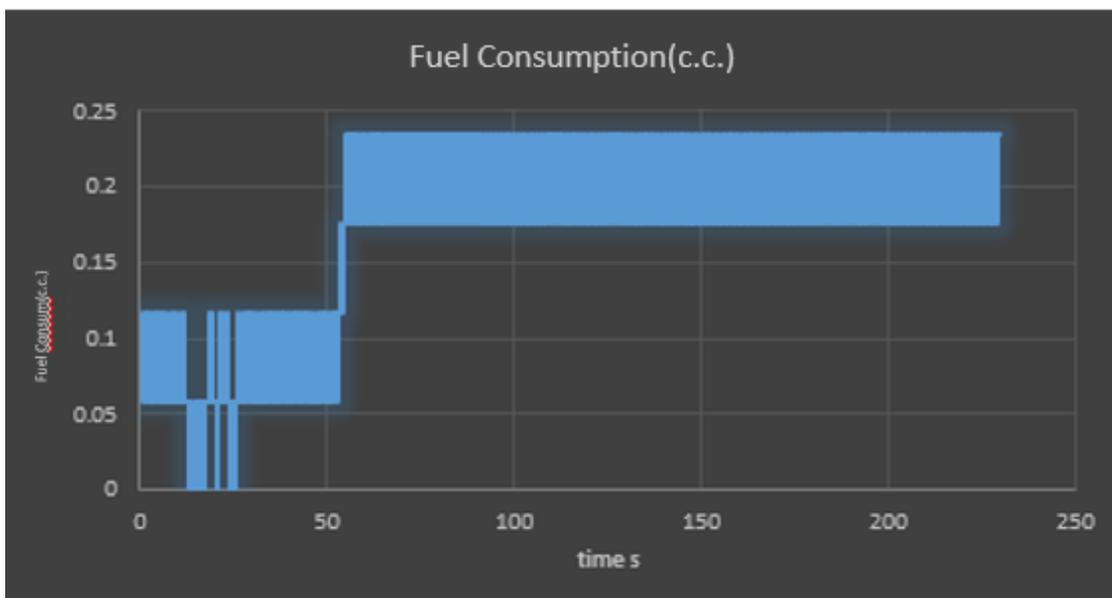
1. 電動馬達先執行 50 秒達穩定

2. 汽油引擎加速至油門設定

3. 當兩者轉速差達小於設定值並接合

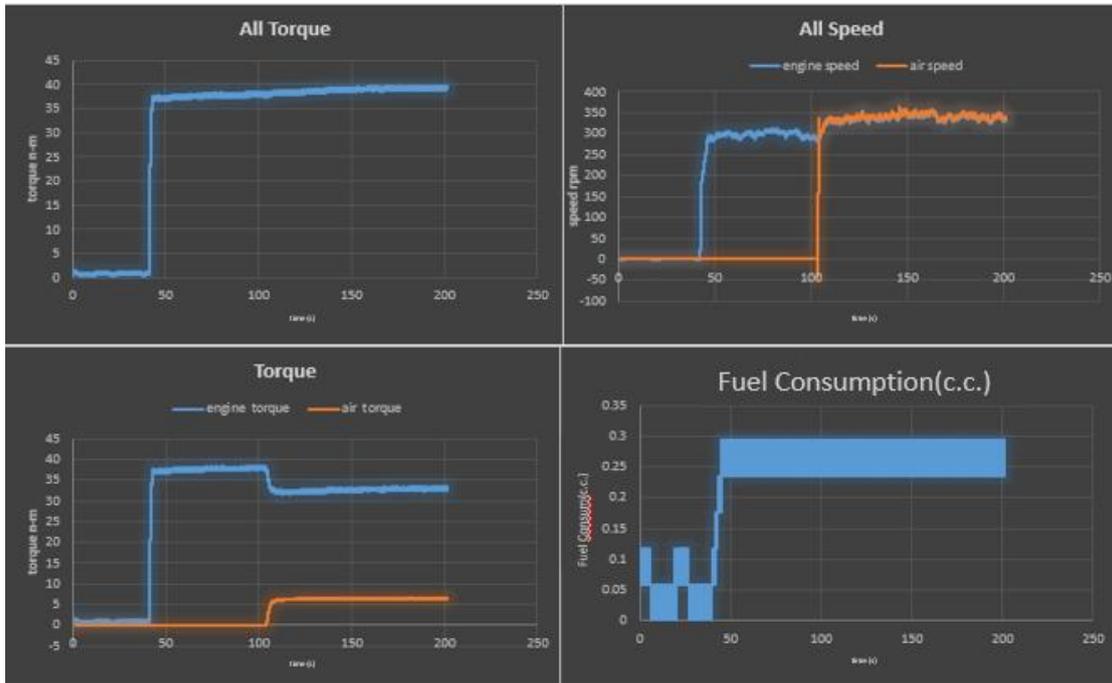


動力接合數據



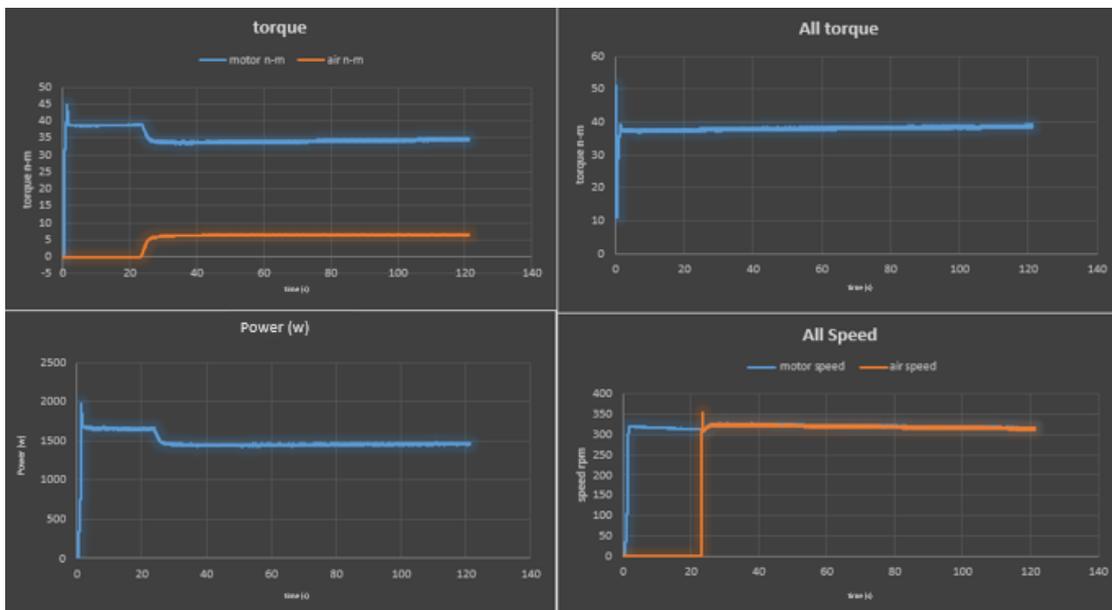
燃油消耗數據

- 引擎與氣動:
  1. 引擎發動運轉至目標轉速達穩定
  2. 氣動馬達運轉至目標轉速
  3. 當兩者轉速差達小於設定值並接合



動力接合數據

- 電動與氣動:
  1. 電動馬達先執行 50 秒達穩定
  2. 氣動馬達運轉至目標轉速
  3. 當兩者轉速差達小於設定值並接合



動力接合數據

## 5. 結論與定義

本研究完成實際實驗平台更新，同時透過 Matlab/Simulink 建立氣動、電動、引擎三動力機車模擬平台，用以取得各動力源系統特性與性能曲線建立動力源系統特性與性能曲線，最後運用 Matlab/Simulink 來建立系統閉迴路設計，將行車型態、控制策略及機車動態模組寫入至 Micro-Box，實際模擬，達到機電整合的目的。

此次的研究可說是有所突破，更上一層樓，實驗的過程中雖遇到很多問題，但是都逐一解決，也持續的更新整個混和動力的平台，為的就是要取得更好更準確的數據，來完成我們最後所設定的目標，完成混和動力能量策略的設計，讓我們所設定的三動力源可以有完善的接合，搭配上我們之後所設定的模擬實際路況，使這三動力源能夠互相銜接匹配，有效的去達到節能的效果，使此控制策略在未來的實境應用能有所增長。

這次的研究具有以下特點：

1. 修正空氣和電動馬達及引擎模組、離合器、行車型態、機車動態模組。
2. 完成空氣馬達、電動馬達、引擎混合之九種動態性能與實驗整合。
3. 增加平台實驗之安全性。
4. Matlab/Simulink 的實際運用。
5. Micro-Box 角位學習，模擬實車動態。

## 參考文獻

- [2] 許雲峰，2006，“氣動馬達的適應控制”，國立台灣大學碩士論文。
- [3] 黃衍任、黃詩堯，2007，“運用 MRAC 及模糊法則於氣動馬達 FPGA 控制器之研發”，中國機械工程協會。
- [4] Lin L. H. , Yen J. Y, 2008, "Dynamic Modeling and Robust Controller Design for Air Motor", Proceedings of the 27th Chinese Control Conference.
- [5] Shen Y. T., Hwang Y. R, 2009, "Design and implementation of an ir-powered motorcycles", Applied Energy, 86, pp. 1105-1110.
- [6] 龔聖賢，2015，“以數位訊號處理器實現智慧型氣動馬達速度控制系統”，國立臺灣師範大學碩士論文。
- [7] 田正弘，2016，“空氣電動混合動力機車之系統設計與控制發展”，國立虎尾科技大學碩士論文。
- [8] 許克仲，2011，“氣動馬達與電動馬達混合動力之開發與研究”，國立中央大學碩士論文。
- [9] Yoshida K., Iijima A., Shoji H., 2011, "Performance of Air Motor with Regenerating System Designed for Propulsion of Bicycle", SAE.
- [10] 李法緯，2014，“空氣/電動混合動力機車系統設計與實作驗證”，國立臺灣師範大學碩士論文。
- [11] Hung Y. H., Tung Y. M., Li H.W., 2014, "A real-time model of an automotive air propulsion system" Applied Energy, 129, pp. 287-298.
- [12] Hung Y. H., Chen J. H., Wu C. H. ,Chen S. Y., 2016, "System design and mechatronics of an air supply station for air-powered scooters", Computers and Electrical Engineering, vol. 000, pp. 1-10, January .
- [13] 吳建勳，2003，“正向混合動力車輛動態模擬與分析”，大葉大學碩士論文。



# 智慧型燃料電池/鋰電池電動機車

## 設計與動力計性能驗證

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：洪翊軒教授/副教授

學生：林羿妏、蕭郁齡、王懷萱、曾馨儀

### 摘要

電動車輛使用電能為驅動源，其基本電能系統架構包含電池、馬達及馬達驅動器等。相較於高效能馬達及驅動器的快速發展，電池技術尚無重大突破。常見的電動車電池問題有：能量密度及功率密度不足、充電時間太長與充電不便、電池使用壽命過短等。電能模組的性能對整車動力及續航力的表現影響重大，本研究提出與燃料電池結合及利用粒子群最佳化法能量管理之方式，將焦點從純電池技術研究轉移至以系統整合及多電源電能控制方式克服上述問題，此外更針對潛在電動車市場需求加入長期研究構思之前瞻設計元素，使此設計具高系統相容性及商品化可行性。為了達成最佳能耗管理，特別針對非線性系統元件結合運用，例如：質子交換膜燃料電池、鋰電池……等，將質子交換膜燃料電池整合並放在混合動力電動機車上進行實測，以取得各項元件的操作數據，再以 Matlab/Simulink 模擬軟體為基礎，導入規則庫控制最佳化法之能量管理，以達到最佳電能分配比，使整車能耗最小化。最後，透過行駛 ECE-40 與 FTP-72 行車型態，比較各種條件的輸出性能、續駛距離及能耗情形。

關鍵字：Matlab/Simulink、能量管理、規則庫控制、鋰電池、質子交換膜燃料電池

## 1. 前言

### 1.1 研究背景和動機

近年來 PM2.5（微細懸浮粒子）問題日益嚴重，根據大紀元報導[1]，科學家首次發現 PM2.5 可以入侵人體細胞，破壞人體的自我保護和免疫機制，可能引發一系列急性併發症。依照我國空氣污染物排放清冊資料，環保署將空污主因歸到汽機車排放，全國 PM2.5 總排放量為 7 萬 3855 公噸/年，其中車輛來源一年

達 1 萬 6756 公噸，與工業排放（1 萬 6865 公噸/年）不相上下，占全國 PM2.5 排放量比率同為 23%。而根據 2015 年的研究資料[2]指出，國內機車機車登記數已達 1 千 3 百餘萬輛，即每 1.7 人擁有一輛機車，機車在臺灣空汙排放中佔相當重的比例。

## 1.2 研究目的

基於上述目前所遇到的環境議題，我們研究小組決定以電動機車取代傳統內燃機引擎機車為題，並參考[3].[4]等研究，使用低操作溫度、高效率、低污染質子交換膜燃料電池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell，PEMFC）搭配大功率密度、可能量回充、啟動性快的鋰離子電池，透過兩者混合動力輸出，延伸單電池供應電動機車的續駛里程，並改善能源消耗，進行研究使其成為新型電動機車動力來源，在複合動力的電動車相關結構與能源載體混合動力輸出上，本研究參考[5].[6]之仿生控制之粒子群演算法（Particle Swarm Optimization，PSO）此一運算方法，並透過 Matlab/Simulink 驗證最佳節能控制策略，以尋找最佳續航力與動力性能表現之車輛結構。

## 1.3 研究方法

本專題之研究在構思階段採文獻探討法，最終係透過模擬分析與實體驗證交互等方式做為研究方法。在研讀相關文獻之後，理解了鋰離子電池[7]應用於電動車相關之架構和背景，以及質子交換膜燃料電池(PEMFC)[8].[9]在電動車輛相關之應用、DC/DC 轉換器[10]搭配功率元件與電動機車操作性能表現，研讀前述燃料電池、與電動機車相關電系結構之搭配與作動方式後。本研究接著進行實車組裝，並參考本系相關研究[11].[12]，以機車底盤動力計進行電動機車整車行駛運轉測試，以取得各項系統輸出數據，例如：車輛車速、馬達轉矩、車輛油門控制訊號與回朔訊號、並取得電池負載電流、電池負載電壓、效率及能耗.....等。

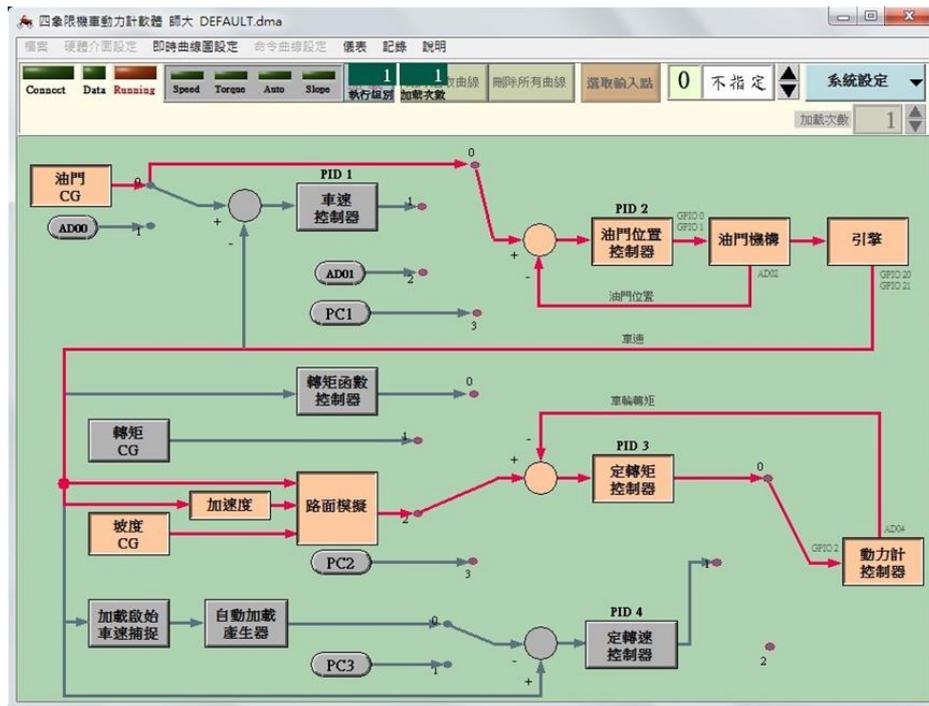


圖 1 本研究之機車底盤動力計方塊與資料擷取示意

透過底盤動力計取得實體運行各項次系統參數加以運用的過程中，本研究參考相關研究[13]之方法，在整合各項系統操作數據與模擬軟體模塊後，比對模擬軟體中各系統運行結果與實測值是否增加能源效率。驗證各項系統運作方式，確認可行後，考量質子交換膜燃料電池為非線性模式，運作時可能隨氫氣、氧氣供應之變化而造成電壓升降之特殊現象，影響電動機車的行車性能。將前述複雜之各次系統運作情形，藉由 Matlab/Simulink 軟體建立不同操作模式及仿生理論控制策略，進而達成燃料電池搭配電池混合系統最佳控制能耗目標。

#### 重要儀器使用情形:

臺灣師範大學(本系): (a).1kw 之氣冷式質子交換膜燃料電池組 (b).低壓金屬儲氫罐 (c).DC/DC 轉換器 (d).機車底盤動力計(e).Matlab 模擬軟體(f).Microbox 快速離型控制器 (g).輕型電機車數台等之相關研究設備。



圖 2 本研究使用之各項重要儀器設備示意圖

## 1.4 名詞解釋

**MATLAB**：MATLAB 是一種用於演算法開發、資料視覺化、資料分析以及數值計算的高階技術計算語言和互動式環境。除了矩陣運算、繪製函式/資料圖像等常用功能外，MATLAB 還可以用來建立使用者介面及與呼叫其它程式語言編寫的程式。

**質子交換膜燃料電池**：是一種以含氫燃料與空氣作用產生電力與熱力的燃料電池，以高分子質子交換膜為傳導媒介，沒有任何化學液體，發電後產生純水和熱。質子交換膜燃料電池相對低溫與常壓、能量轉換效率高、高能量密度 等特性，加上對人體無化學危險、對環境無害，被公認為最佳替代現今內燃機引擎車輛的動力。

**鋰離子電池**：是一種充電電池，它主要依靠鋰離子在正極和負極之間移動來工作。鋰離子電池使用一個嵌入的鋰化合物作為一個電極材料。具有大功率密度、可重複充放電、啟動性快等特性。

**DC/DC 轉換器**：直流/直流轉換器是一電力電子元件組成之系統，本研究參考[14]之數據擷取方法，透過實車測試時所接上的直流-直流轉換器，透過實體之

輸入、輸出端之電壓、電流值，換算出效率，再透過數值轉換器估算效率與輸出功率。

規則庫控制：建立以基礎規則庫操作模式作為基礎控制理論，並同時考慮到全域搜尋最佳化方法，進而發展出複雜的能源管理系統[15]。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 燃料電池的最佳搭配[16],[17]

燃料電池搭配鋰離子電池之燃料電池電動車的總能量效率和燃料經濟性，根據 Freeborn 的研究[18]指出，燃料電池搭配鋰離子電池之電系結構，較燃料電池搭配鎳氫電池及燃料電池搭配鉛酸電池為佳。其原因為鋰離子電池具有高的能量及功率密度，因此整體的性能較其他型式的蓄電池高。但由於鋰離子電池的成本高，且電解質具有易燃性，所以在設計鋰離子電池時需考慮安全性的問題，本研究所採用之系統測試平台為中華汽車所開發之 E-Moving EM50/80 系列之電動車，其結構即採用鋰離子電池，因此是為燃料電池之最佳配置。

### 2.2 混合動力機車與傳統機車的比較[19]

針對 HEM(整車模擬結果)作動原理，本研究參考[20]之整車模擬結果之燃料電池混合動力輸出之驗證測試方法，結合以規則庫為基礎的控制概念，參考 Bentley 等學者運用之 bang-bang charge control solutions 理論[21]，並根據鋰電池電量過低或過度充電都會縮短電池的壽命[22]，故在本研究中我們採用使用該理論，將鋰電池 SOC 維持在 40/80 之間以提高效率延長電池壽命。

本研究依駕駛者所決定的動力需求配合鋰電池的充電狀態為依據，設計全新之能源管理控制策略。使用 Matlab/Simulink 分別建立傳統機車與混合動力機車整體之系統動態模型。

## 3. 實驗設計

### 3.1 研究系統

本研究將不同操作模式的電能控制策略透過 Matlab/Simulink 軟體建立，以全域最佳化搜尋方法計算出最佳模式切換時機點，將此參數整合至電腦控制策略之模塊中，便可判斷操作模式及模式切換時機，而達到鋰電池與燃料電池混和最佳效能之目標。

以基礎規則庫(rule base)操作模式作為基礎控制理論，並同時考慮到全域搜尋最佳化方法，進而發展出複雜的管理系統。在正式建立能量管理控制策略前，首先需定義驅動馬達、燃料電池模組及鋰電池組三者的功率。透過 Stateflow 軟體進行各項操作模編輯及各模式運作。其中輸入為需求功率、馬達轉速、鋰電池電量等值。而輸出包含:燃料電池功率命令、鋰電池功率命令及馬達功率命令等輸出。透過模塊可適切控制各次系統，以完成整車能順利運作。

質子交換膜燃料電池，主要透過氧化還原反應，將化學能轉換為電能的裝置。單電池的操作電壓大約為 0.6~0.9V 之間，其單電池所能提供的能量有限，通常必須將多片質子交換膜燃料電池串聯連接，本次專題採用圖 3 之 Horizon 1kW 氣冷式質子交換膜燃料電池組。



圖 3 1kw 之氣冷式質子交換膜燃料電池

快速離型控制器(Microbox)是一個多功能的整合性控制平台，對於一個需要即時分析、應用測試控制系統的工程師來說，Micro-Box 提供一個高效能、輕巧、堅固以及 I/O 可擴充性的系統，能進行快速原型化的需求，降低複雜的套裝軟體之需求與依賴，更提供設計者自主發展的空間，可與 Matlab\Simulink 以及各種相關的控制模組加以結合，完全免除控制程式撰寫、除錯等繁雜的過程，如圖 4 所示。



圖 4 快速雜型控制(Microbox)

直流/直流轉換器(DC/DC Converter)是一電力電子元件組成之系統，本研究由實車測試時所接上的直流-直流轉換器，如圖 5 所示，透過實體之輸入、輸出端之電壓、電流值，換算出效率，再透過數值轉換器估算效率與輸出功率。



圖 5 被動式直流-直流轉換器實體結構

### 3.2 實驗方法

採用探討文獻、行車系統動態分析、動力分配模擬等三種方式進行研究，取得各項次系統參數後再與模擬軟體模塊加以整合，並對照模擬軟體中各次系統模塊之運行是否符合實測結果。再藉由 Matlab/Simulink 軟體建立不同操作模式之電能控制策略，並結合規則庫能量管理策略探討不同儲能元件系統之組合與控制策略，之後再將 Simulink 模塊與能量管理策略燒錄至 Microbox 中，與備好硬體(質子交換膜燃料電池、鋰電池、DC/DC 轉換器)之實車做結合，在進行行走距離與能耗分析模擬。進而達成多電源混合系統最佳效能之目標。其研究架構如圖 6 所示。

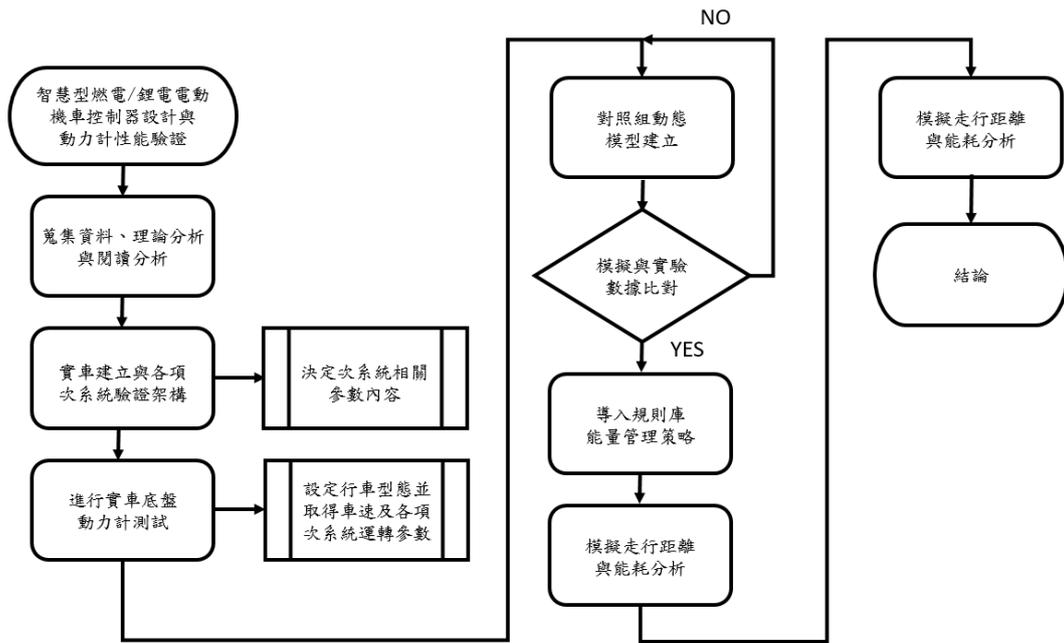


圖 6 研究架構

### 3.3 研究步驟

以穩定電量狀態下的鋰電池作為供給車輛主要的動力，在低電量狀態下改以燃料電池供給車輛主要電力，並同時對鋰電池進行充電，兩種電池分別透過雙向 DC/DC 轉換器進行主動式功率輸出，進行兩電池之能量分配，進而驅動馬達抽取電流，將電能轉換成機械能，透過傳動元件將機械能傳至輪胎。系統架構如圖 7 所示。

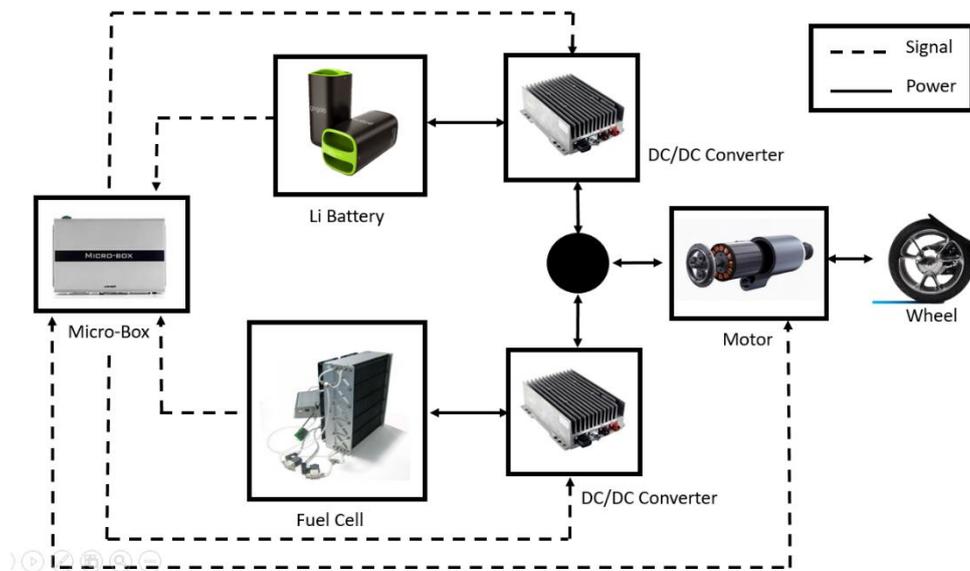


圖 7 系統架構圖

將能量管理策略以及 Simulink 模塊燒錄 Microbox，輸入轉速(rpm)以及鋰電池電流(Ibat)，轉速會轉換為車速(km/h)，開始追隨行車型態，而如跟行車型態有差異時，即會有一個 $\Delta V$ ，進行增益後得到我們所需功率(Pdem)，而鋰電池電流(Ibat)進行模塊轉換成 SOC，兩者進入能量管理策略成為最佳化的依據，能量管理策略判斷式為：

If SOC > 80% ,then Vb/dc=輸出, Vfc/dc=0

此時 Microbox 給予鋰電池的 DC/DC 轉換器訊號，進行抽電，供電給馬達，而燃料電池不供電，供電狀況如圖 8 所示。

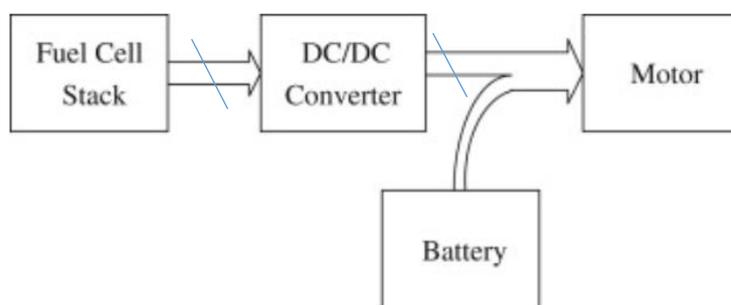


圖 8. 高 SOC 下之供電情形

Else if SOC < 40% ,then Vb/dc=0, Vfc/dc=輸出，此時其功率元件驅動馬達圖如圖 9 所示。

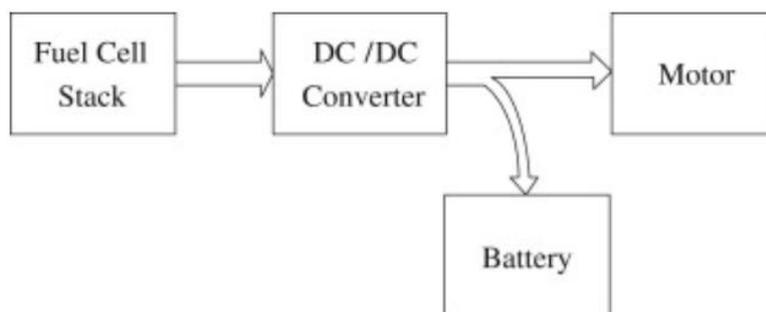


圖 9. 鋰離子電池於低 SOC 下之供電情形

此時 Microbox 給予燃料電池的 DC/DC 轉換器訊號，進行抽電，供電給馬達，而燃料電池不供電。

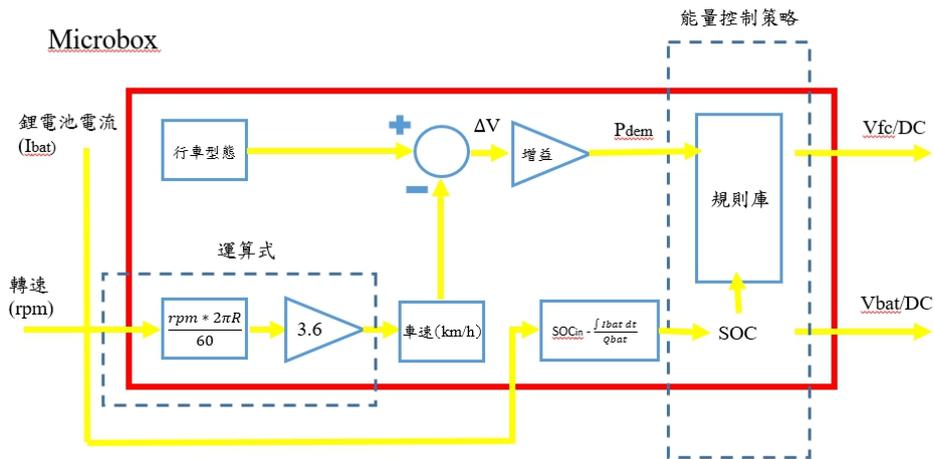


圖 10. Microbox 內部示意圖

在正式建立能管理控制策略前，需先定義驅動馬達、燃料電池模組以及鋰電池組三者的功率：

- $P_m$  為驅動馬達輸入/輸出功率，當動力由馬達傳向驅動端，表示驅動功率，符號設定為正；當回收再生煞車能量時，馬達可作為發電機，可將電回充至電池，符號設定為負。
- $P_{fc}$  為燃料電池模組輸出功率，其只具備單向傳送電力至驅動馬達或對鋰電池進行充電，但無法自行回收儲存能量。
- $P_b$  為鋰電池組充放電功率，當電池提供電能至驅動馬達，表示放電功率，符號設定為正；當回收再生煞車能量或接收燃料電池模組充電功率時，符號設定為負。

上圖 10 介紹的馬達輸入/輸出功率、可燃料電池模組輸出功率與鋰電池組充放電功率可由下述公式描述其動力傳遞之間的關係。

$$P_m = P_b + P_{fc}$$

在規則庫管理策略中，透過 Stateflow 軟體進行各項操作模編輯及各模式運作。其中輸入為需求功率、馬達轉速、鋰電池電量等值。而輸出包含：燃料電池功率命令、鋰電池功率命令及馬達功率命令等輸出。透過模塊可適切控制各次系統，以完成整車能順利運作。

## 4. 結果與討論

### 4.1 實車結構實驗

本次實驗採被動式結構進行 ECE40 行車型態的模擬測試,並進行數趟測試後,採追隨車速較相似於 ECE40 行車型態之命令車速的來做深入探討。

燃料電池搭配原廠鋰電池的結構,可使燃料電池機車行駛完整行車型態並排除單獨採鋰電池在 ECE-40 行車型態中第三段加速(140~160 秒)中之追隨車速誤差,相關測試車速與追隨車速之工作情形如圖 11 所示,圖 11 中之綠色為命令車速,紅色則為實際運行之車速。

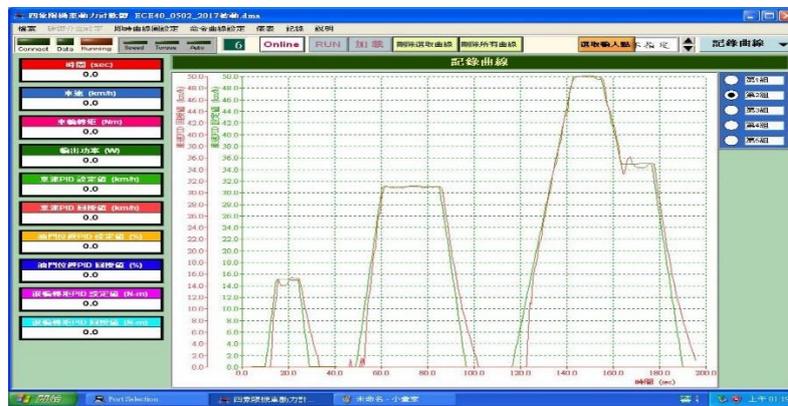


圖 11 被動式結構 ECE40 行車型態的實車運行測試

實車運行過程中,觀察鋰電池之工作情形如圖 12 與圖 13 所示,在進行動態運行 ECE40 行車型態的實車測試過程中,鋰電池之工作電壓與電流圖如圖 12 所示,電壓持續隨著功率輸出而逐漸降低,在第三段加速的最高負載時,電壓一度壓降至約 51 伏特,而輸出電流相關參考數值如圖 13 所示,瞬間輸出最高電流出現在第三段加速的終端約 142 秒時,約 18 安培。

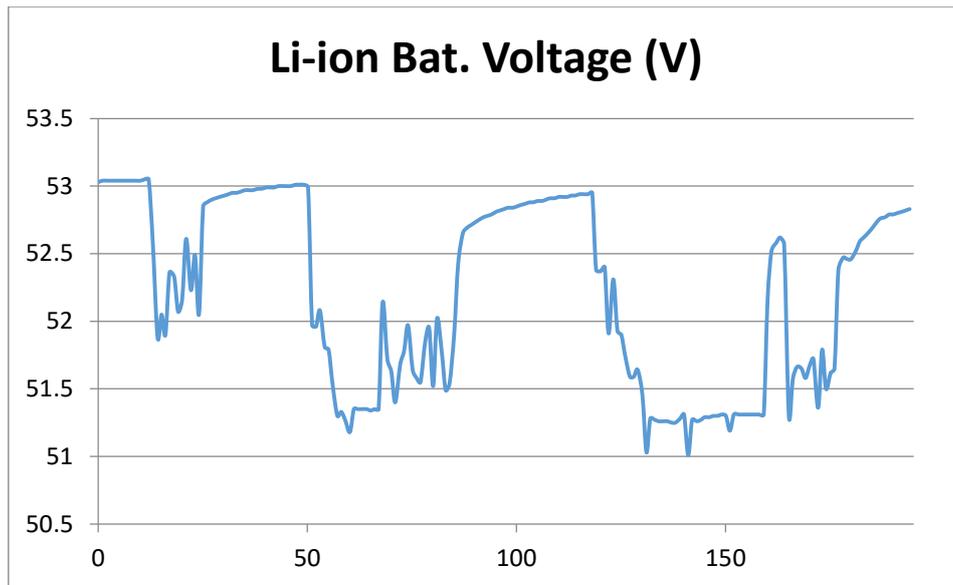


圖 12 運行 ECE40 行車型態的之實車鋰離子電池電壓

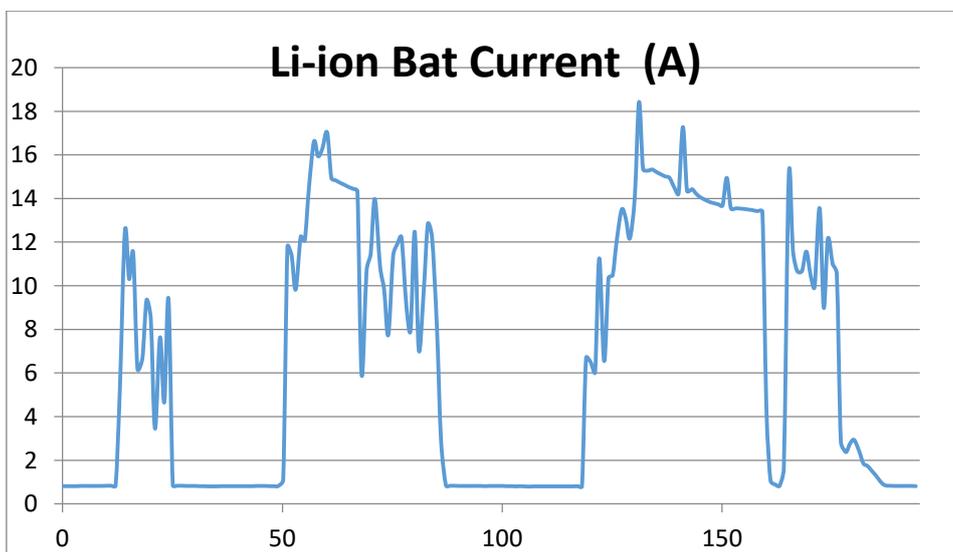


圖 13 運行 ECE40 行車型態的之實車鋰離子電池電流

在本研究中之燃料電池的電壓與電流的測定上，我們透過電流勾表進行擷取，燃料電池在空載時之電壓(DC/DC 元件前端)是維持在 43 伏左右，在 ECE 行車形態第三段最高附載時，即第三段加速約 130~140 秒的時間，會出現 25 伏左右的壓降，如圖 14 之時間續約 140 秒時所示，也因如此在燃料電池實車運行上需在後端要加上 DC/DC 元件，以維持穩壓輸出，在圖 15 中則呈現了燃料電池在整個運行 ECE40 行車形態的附載電流，其中最高輸出電流則出現在第三段加速趨近於 50 公里的 133 秒左右，為 35 安培。

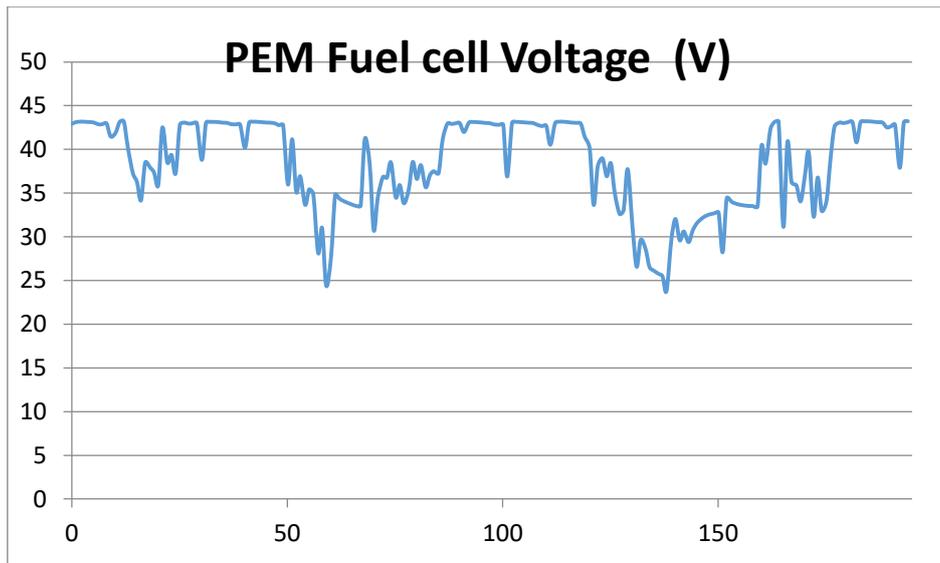


圖 14 運行 ECE40 行車型態的之實車搭載燃料電池支負載電壓

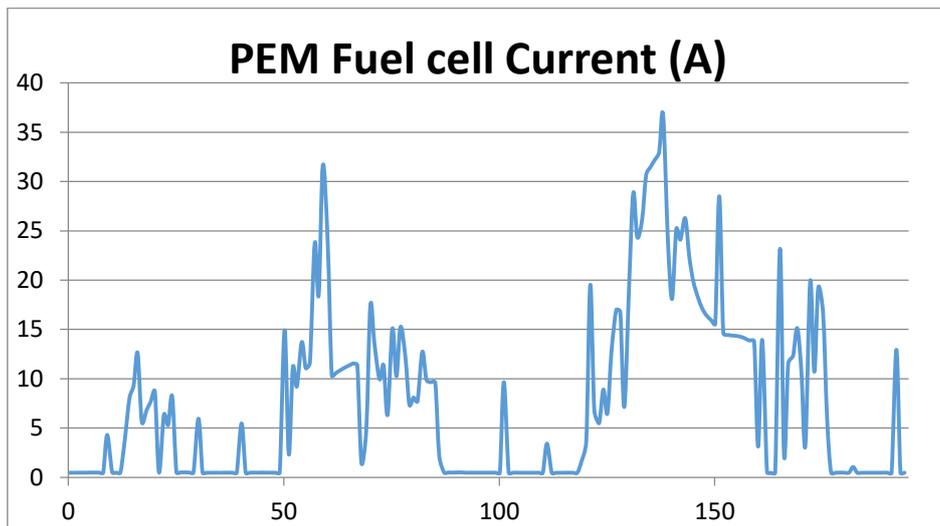


圖 15 運行 ECE40 行車型態的之實車搭載燃料電池支負載電流

圖 16.17.18 則是透過前列電流電壓相關數據將鋰電池和燃料電池的電流電壓乘積加以整理後所得，圖 16 中所呈現之鋰離子電池在第二段和第三段加速時的輸出高達 880~950 瓦，圖 17 則可觀察得知，燃料電池在第三段加速時最高瞬間輸出高達 890 瓦，而總功率輸出的圖 18 是由圖 16 與圖 17 兩者相累加而來，可得知瞬間輸出功率最高值出現在第三段加速時，約 1700 瓦。

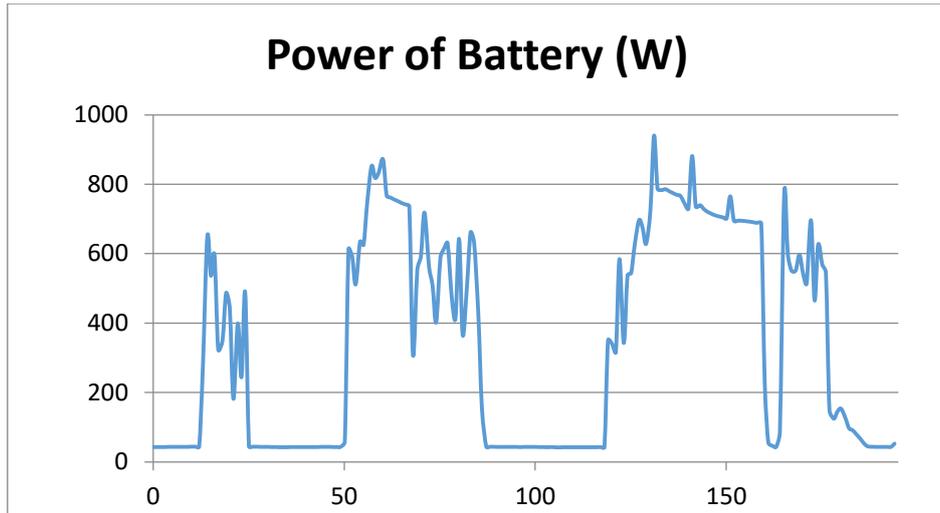


圖 16 運行 ECE40 行車型態的之實車搭載鋰離子電池輸出功率

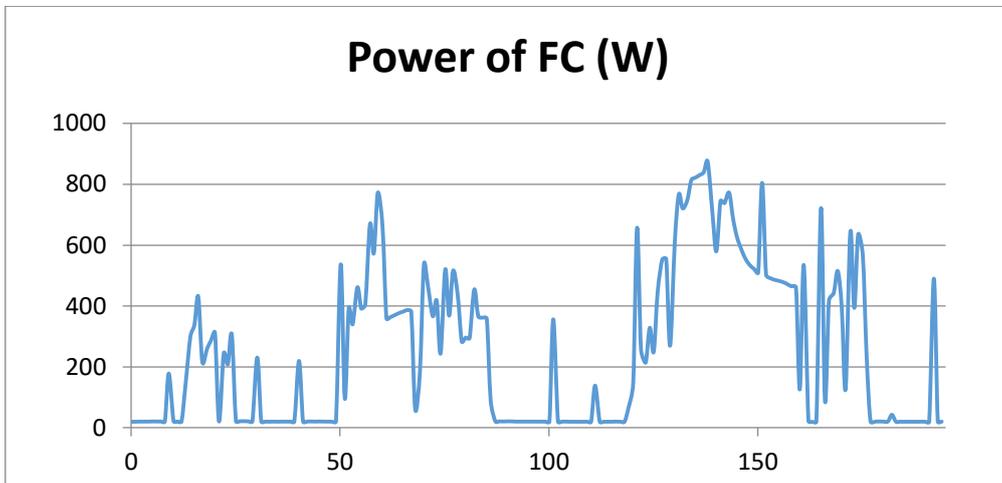


圖 17 運行 ECE40 行車型態的之實車搭載燃料電池輸出功率

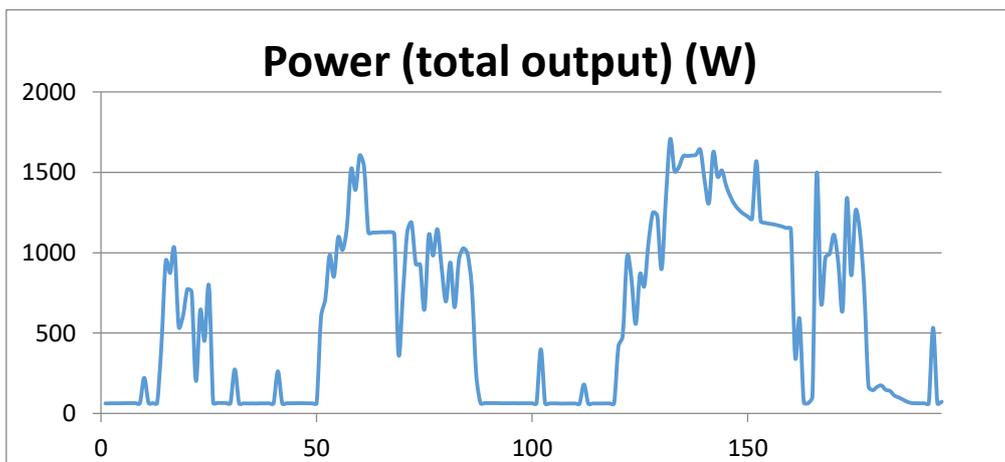


圖 18 運行 ECE40 行車型態的之實車總輸出功率

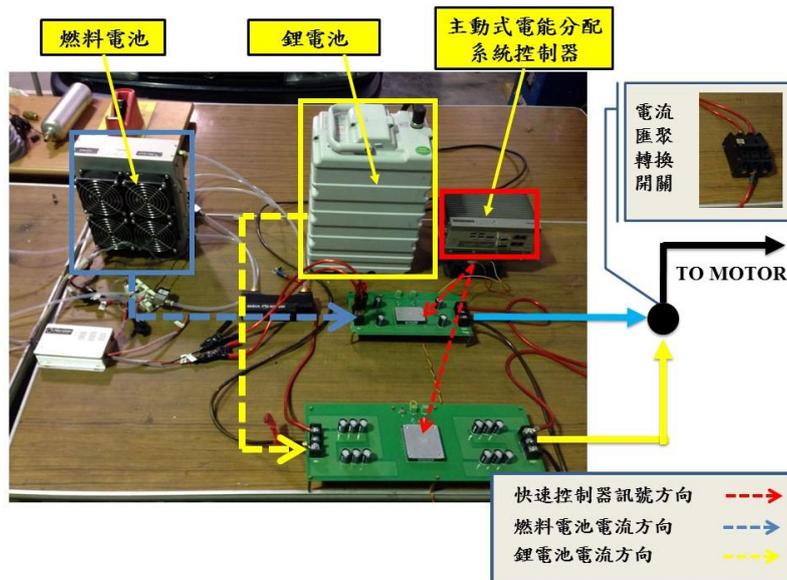


圖 19 主動式實驗結構

主動式實驗結構之測試數據說明詳以海報呈現。

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論與建議

本研究結合了理論與實作，建立了搭載 1kW 氣冷式質子交換膜燃料電池和 20Ah 鋰離子電池的混合動力輕型電動機車，透過置入硬體嵌入式系統(Real-time)模擬，進行能耗、車速、以及行車型態的實體運行，對於工業和學術貢獻如下：

#### 1. 建立高等物理模型

由於本研究僅透過簡化之物理模型進行能耗比較，缺乏較多的物理或數學公式推倒，因此建議未來延續本研究之實驗可使用複雜之物理模型進行模擬，使得能量管理策略反應能夠更加真實化。

#### 2. 元件尺寸最佳化

受限於實驗規模，本次研究採用之能源載體(包含鋰離子電池、氣冷式燃料電池和金屬儲氫罐)皆為相關產業量產之套件，未來如需進行商品設計或開發，可採用 Advisor 等軟體於先期開發階段，即進行最佳化動力規格配置，使此一複合動力車輛在設計階段中，能在規格上具最佳化匹配。

#### 3. 先進能源管理控制策略開發

本次研究中，針對 DC/DC 元件之控制命令，透過 HIL 系統加以實現的成功經驗，可減少 HIL 系統建立與驗證之時間，未來可開發不同控制策略如導入蜂

群演算法等高度仿生之智慧型演算法應用於新世代多能源車輛上，將可使能源使用效率更為提高。

#### 4. 實車應用提升

透過本研究可以建立簡單之控制策略開發模式，未來導入不同之演算法可立即導入控制器開發，使未來混合動力車實車運行與各功率元件之搭配最佳化，並維持最佳之能量管理。

## 參考文獻

1. 環境資訊中心TEIA,「機車島」交通空品測站竟不足 PM2.5污染不容忽視,環境資訊中心TEIA,2016。 <http://e-info.org.tw/node/117117>
2. 羅文垣,應用機車駕駛模擬遊戲於機車安全認知之學習成效評估,碩士論文,淡江大學運輸管理學系碩士班,2016。
3. 車輛測試中心ARTC,台灣燃料電池車發展現況,2010, [https://www.artc.org.tw/chinese/03\\_service/03\\_02detail.aspx?pid=1617](https://www.artc.org.tw/chinese/03_service/03_02detail.aspx?pid=1617)
4. 汪志豪,燃料電池動車之性能分析與動力匹配,碩士論文,大葉大學機械工程研究所,彰化,台灣,2015。
5. Hegazy, O., Van Mierlo, J., Barrero, R., Omar, N., & Lataire, P. (2012). PSO algorithm-based optimal power flow control of fuel cell/supercapacitor and fuel cell/battery hybrid electric vehicles. *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, Vol. 32, No.1, pp. 86-107, 2012.
6. Bigdeli, N. Optimal management of hybrid PV/fuel cell/battery power system: A comparison of optimal hybrid approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 42, pp. 377-393, 2015.
7. Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M.. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, Vol. 226, pp. 272-288, 2013.
8. Cha, M. Y., Kim, M., Sohn, Y. J., & Yang, T. H. Design, Control and Evaluation Methods of PEM Fuel Cell Unmanned Aerial Vehicle: A review. *Transactions of the Korean hydrogen and new energy society*, Vol. 25, No.4, pp. 405-418, 2014.
9. Sulaiman, N., Hannan, M. A., Mohamed, A., Majlan, E. H., & Daud, W. W. A review on energy management system for fuel cell hybrid electric vehicle: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 52, pp.802-814, 2015.
10. Kolli, A., Gaillard, A., De Bernardinis, A., Bethoux, O., Hissel, D., & Khatir, Z. A review on DC/DC converter architectures for power fuel cell applications. *Energy Conversion and Management*, Vol. 105, pp. 716-730, 2015.
11. Hung, Y. H., Chen, J. H., Wu, C. H., & Chen, S. Y. (2016). System design and mechatronics of an air supply station for air-powered scooters. *Computers &*

- Electrical Engineering, 54, 185-194.
12. 李方盛，添加奈米氧化鋁於四行程機車機油中引擎性能影響之研究，碩士論文，國立台灣師範大學工業教育所車輛組，2015。
  13. Lu-Jung Wang, Yi-Hsuan Hung, Jeen-Fong Li, Chin-Guo Kuo, Yeue-Fong Lue, Chin-Hsien Cheng, Chien-Hsun Wu, “Comparison of active and passive types of proton exchange membrane fuel cell/battery HEVs”, Proceedings of 2015 IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control, Taipei, Taiwan, April 9-11, 2015.
  14. 王祿融，創新混合燃料電池機車之系統建模與能量管理，碩士論文，國立台灣師範大學工業教育所車輛組，2016。
  15. 廖柏霖，電動車之多源系統建模與最佳化能量管理暨模式切換時機效益評估，碩士論文，國立台灣師範大學工業教育所車輛組，2015。
  16. 彭梓軒，應用動態規劃於混合動力機車之設計與分析，碩士論文，國立台北科技大學車輛工程系，2016。
  17. Chien Hsun Wu, Yi-Hsuan Hung\*, Lu-Jung Wang, “System/Energy Management Rapid-Prototyping Designs”, The 1st International Conference on Mechanics, Hsinchu, Taiwan, 8-9, Nov, 2013.
  18. Freeborn, T. J., Maundy, B., & Elwakil, A. S. Fractional-order models of supercapacitors, batteries and fuel cells: a survey. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, Vol.4, No.3, pp. 9, 2015.
  19. Sulaiman, N., Hannan, M. A., Mohamed, A., Majlan, E. H., & Daud, W. W. . A review on energy management system for fuel cell hybrid electric vehicle: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 52, pp. 802-814, 2015.
  20. Hu, J., Zhang, C., Jiang, L., Fang, S., Zhang, X., Wang, X., & Meng, Y. Plasma graft-polymerization for synthesis of highly stable hydroxide exchange membrane. *Journal of Power Sources*, Vol. 248, pp. 831-838, 2014.
  21. Bentley, W. F. Cell balancing considerations for lithium-ion battery systems. In *IEEE Battery Conference on Applications and Advances, Twelfth Annual*, pp. 223-226, 1997.
  22. Song, Z., Hofmann, H., Li, J., Hou, J., Han, X., & Ouyang, M. Energy management strategies comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system. *Applied Energy*, Vol. 134, pp. 321-331, 2014.

# 模擬 TOYAYA PRIUS 動力分配裝置

國立台灣師範大學工業教育學系

指導教授:謝嘉聰

學生:盧信智、曾俐文、簡子恒、侯宗輝

## 摘要

### 1. 前言

#### 1.1 研究背景與動機

現今油電混合動力車越來越普及，加上已經有一定的基礎和技術，現在的科技日新月異，越來越進步，油電混合動力車的動力傳輸已經和傳統的汽(柴)油引擎有所大不同，科技越來越複雜，不像傳統汽(柴)油引擎單純是靠引擎來驅動車輛，油電混合動力車是由電動馬達以及引擎來驅動車輛，為了因應現在的趨勢，了解油電混合動力車的動力分配已成為一個重要的知識，期待能藉由本次專題機會和老師好好專研，並做出實際的 3D 模擬系統，讓這項技術能以淺顯易懂的方式使在學高職生能夠輕易地理解。

#### 1.2 研究目的

為了讓學生可以更了解行星齒輪組的構造以及 Toyota Prius 動力分配裝置的原理，所以製作教學平台讓學生可以清楚明瞭油電混合動力車的動力分配。由於油電混合車的技術較新，不像以往傳統的汽(柴)油引擎車已有很完善的範本可供參考，使得學生在學習上容易遇到困難，為了因應時代的變遷，我們希望學生也可以跟進時代的潮流，而不被時代淘汰，因此做出這套油電混合動力平台裝置，幫助學生可以藉由實體的轉動，實際去理解其工作的原理和作用。

#### 1.3 研究方法

利用文獻來設計行星齒輪組，再利用 3D 列印印出行星齒輪組，然後利用馬達來當動力源。Arduino 控制馬達模擬行車型態。

#### 1.4 名詞解釋

(一)、行星齒輪 (Epicyclic Gearing) -是齒輪結構的一種，通常由一個或者多個外部齒輪圍繞著一個中心齒輪旋轉，就像行星繞著太陽公轉一樣，因而得名。除此之外，行星齒輪在最外部通常還有一個外齒圈，用來貼合行星齒輪繞行的軌跡。

行星齒輪通常可以分為簡單行星齒輪和複雜行星齒輪。簡單行星齒輪分別有一個太陽齒輪，一個外齒圈，一個行星齒輪和一個行星架。複雜行星齒輪通常指即包含行星輪系又包含太陽輪系的齒輪系。

(二)、MG1-行星齒輪組裡的太陽齒輪，是由 MG1 馬達所驅動，MG1 馬達同時也是一般汽油引擎車「啟動馬達」的功能；所以在 Prius 身上，是沒有裝上另一顆單獨的啟動馬達，它已經被 MG1 取代了。

(三)、MG2-行星齒輪組裡的環齒輪，是由 MG2 馬達所驅動，MG2 馬達同時也是發電機，所以在 Prius 身上，是沒有裝上另一顆單獨的發電機，它已經被 MG2 取代了。

(四)、ICE-行星齒輪組裡的行星架即是行星小齒輪，是由引擎所驅動的。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 油電混合動力車系統介紹

油電混合車由內燃引擎(Internal Combustion Engine)及馬達(Motor)驅動，因此兼具汽油車之高續航力及電動車之節能減碳效果。油電混合動力車之基本架構分為串聯式(Series Type)、並聯式(Parallel Type)及串並聯式(Series-Parallel Type)三種。

#### 2.1.1 串聯式混合動力系統

串聯式混合動力系統是由馬達作為主要驅動，其引擎產生動力經由發電機轉換成電能經由變流器傳送給馬達使用，同時變流器將多餘的電力對電池充電，如圖 2.1 所示，又或是利用煞車回充之動能轉換成電能對電池充電，而它之所以稱為串聯式是因為驅動車輪的動力在傳輸上只有這一條途徑。因為串聯式混合動力車的引擎只是為驅動發電機而配置，車輛之驅動是由電動機來獲得，不是直接由引擎來驅動。所以適合使用小馬力之引擎，並在電池能夠維持足夠電力的原則下，讓引擎維持在最佳效率範圍內運轉，亦即當系統運作時，引擎幾乎都是維持在高效率的範圍內連續運轉。使用串聯式的方法能使引擎在最高效率的狀態下運轉，但是它卻需要一個比並聯式系統更大且更重的馬達。其優點為結構簡單、控制較容易，缺點為馬達的負載較大，體積、重量也相對增加，較適合大型車輛使用。

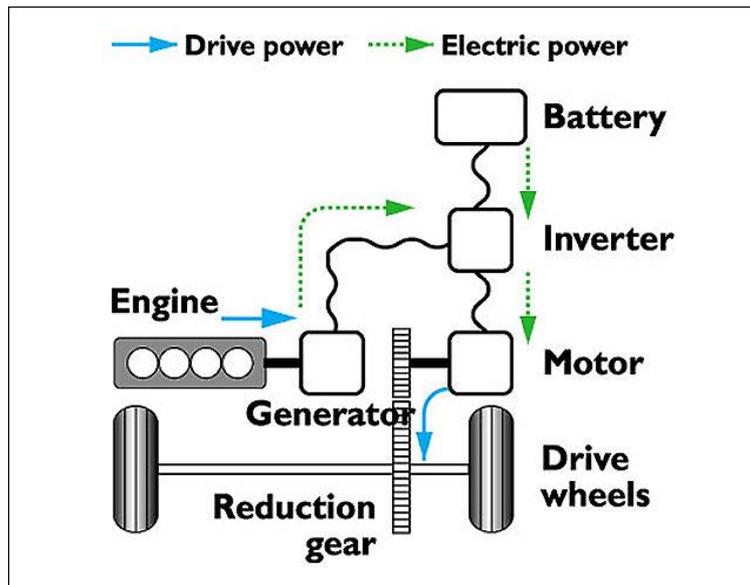


圖 2.1 串聯式油電混合動力車之基本架構

### 2.1.2 並聯式混合動力系統

並聯式混合動力系統是由引擎及馬達兩個並聯的動力源一同進行驅動，利用動力分配機構在不同行駛狀況之下，單獨或同時使用引擎和馬達的動力，如圖 2.2 所示，因此在引擎及馬達功率皆可以相對於串聯式小，且因兩者共同輸出效率上會比串聯式混合動力系統為佳。

當車輛驅動所需功率小於引擎及馬達同時輸出功率時，表示引擎有多餘的輸出動力，此時馬達轉變為發電機，引擎將輸出動能輸出分配成至車軸與至發電機，並利用動能轉換成電能對電池充電，儲存之電能可待下次馬達驅動之用。

並聯式混合動力系統其代表車種為 Honda Insight，其以 1.3L 引擎、73kw 作為主要動力輸出，9.7kW/1500rpm 的永磁同步馬達(PMSM)在於車輛低速行駛、爬坡及加速時，作為輔助引擎動力輸出。在於下坡或是煞車時，利用動能轉換成電能，儲存電力至 5.75Ah 電池，以 100.8V 輸出給馬達作內部循環，並且也可做為啟動引擎。

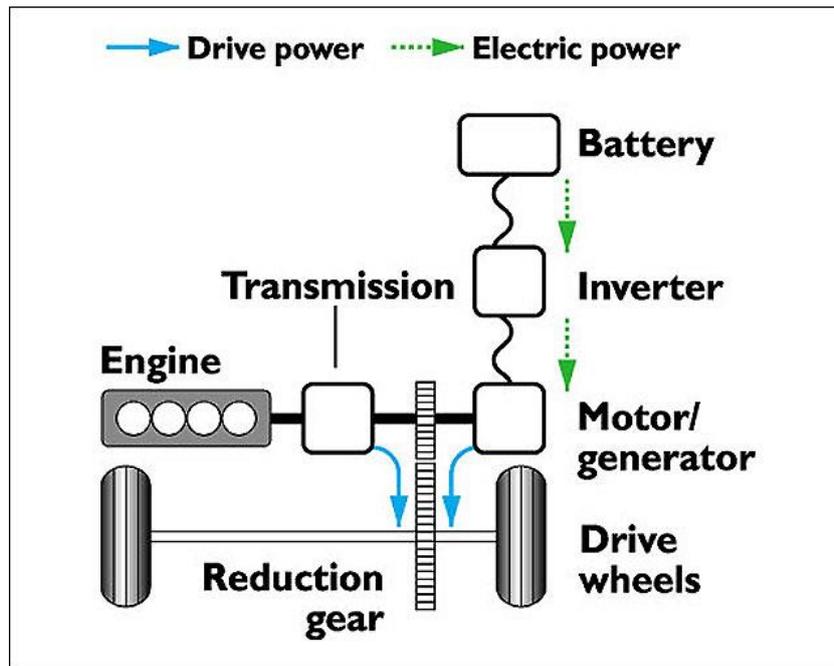


圖 2.2 並聯式油電混合動力車之基本架構

### 2.1.3 串並聯式混合動力系統

串並聯式油電混合動力車之動力系統架構如圖 2.3 所示。其以動力分配裝置(PSD)之機械轉軸連結 1.8L/73kW Atkinson 引擎(Engine)、AC 永磁 同步馬達(MG2)及發電機(MG1)之機械功率。另以 201.6V/6.5Ah/27kW 鎳氫電池(Ni-MH Battery) 連接 201.6~650V 直流雙向轉換器(DC-DC bi-directional Converter)，並經由直流雙向轉換器連接 42kW MG1 及 60kW/13500rpm MG2 三相變流器(PWM Inverter)，再輸出給馬達(MG2)與發電機(MG1)之電氣功率。環齒輪之輸出功率經過最終齒輪(Final Gears)之減速後驅動車輪/軸(Wheel/Axle)。

串並聯式油電混合動力系統，以 TOYOTA 公司之油電混合動力車為代表，其車款為 Prius、Prius C、Camry Hybrid、LS 600h。

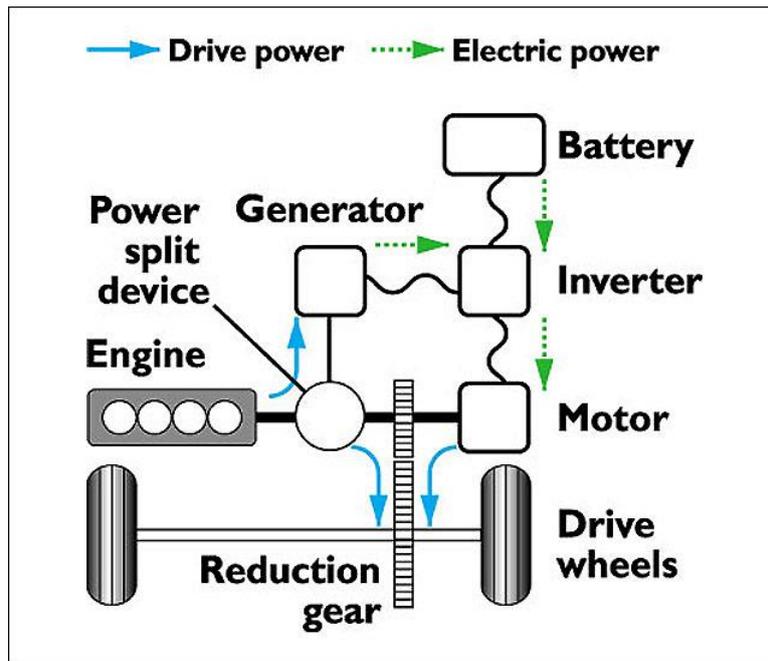


圖 2.3 串並聯式油電混合動力車之基本架構

## 2.2 串並聯式油電混合車動力系統之運作

由於串並聯式油電混合車行駛，主要是車輛 ECU 根據目前車速及行駛路況，決定引擎、馬達 MG2、發電機 MG1、電池及 Power control unit 之運作狀態，以下假定車輛從起步、加速到高速行駛、減速、下坡行駛、倒車，於一段時間內，則車速變化對於引擎、MG1 及 MG2 運作模式的改變，進行探討。

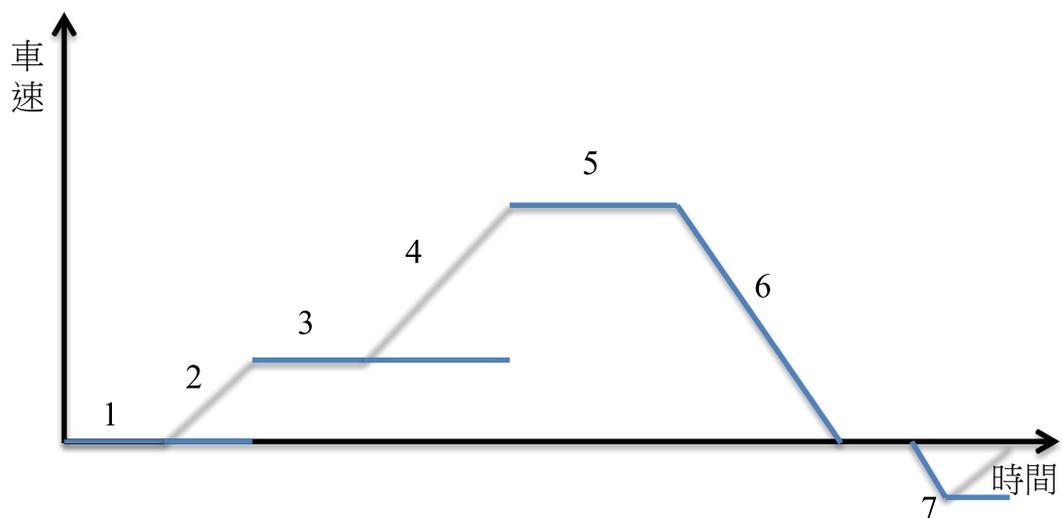


圖 2.4 車速對時間之變化

在圖 2.4 第一階段時，車輛啟動，由 MG1 作為馬達提取電池功率驅動引擎，同時電池輸出電流至 MG2，防止 MG2 被 MG1 的反作用力所帶動，如圖 2.5(a)所示。

在圖 2.4 第二階段時，車輛低速行駛，只以馬達 MG2 驅動車輪，使用電池之能量，如圖 2.5(b)所示。但根據車輛 ECU 監測控制，當轉矩需求增加、電池能量不足或是其餘特殊情形時，可由 MG1 啟動引擎輔助驅動，如圖 2.5(c)所示。

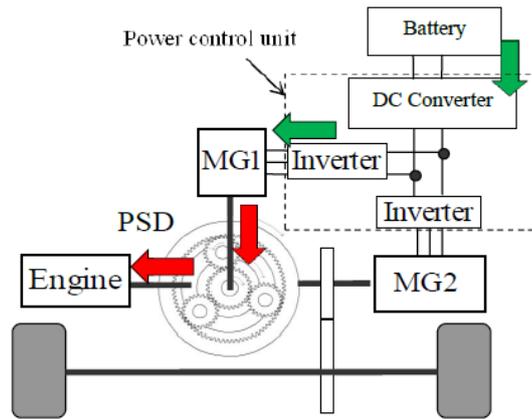
在圖 2.4 第三階段時，車輛於正常模式行駛，由引擎與馬達 MG2 同時驅動車輪，而行星齒輪組將引擎動力分配，一部分以串聯操作直接驅動車輪，一部分傳送至發電機 MG1 作為驅動 MG2 之功率，如圖 2.5(d)所示。在圖 2.4 第四階段時，車輛於正常模式行駛下，當以全油門加速時，電池會提供額外功率至馬達 MG2，使其加速轉動輸出，此時 MG2 之輸出功率包含了經由引擎給發電機 MG1 與電池提供，兩者之功率作為動力來源，如圖 2.5(e)所示。

在圖 2.4 第五階段時，由於車輛於正常行駛模式下，以全油門加速，達到了高速行駛狀態，引擎之輸出功率下降處於低負載狀態，行星齒輪組將引擎之輸出功率進行動力分配控制，並減少引擎直接輸出至車輪轉矩，MG2 轉作為發電機使用，MG1 轉作為馬達使用，此運作模式又可稱為再循環模式，如圖 2.5(f)所示。

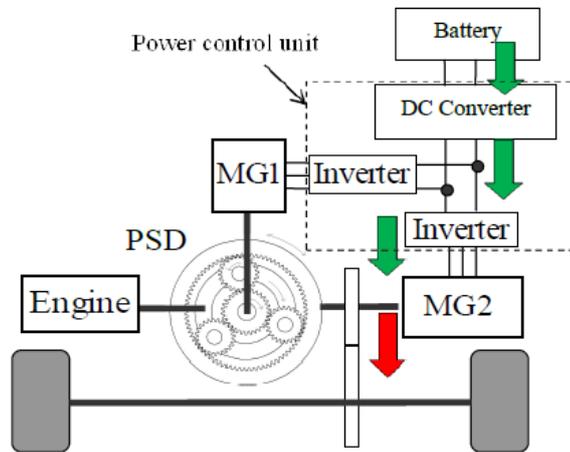
車輛減速時，引擎關閉，藉由前輪煞車之動能回收，給 MG2 做為發電用，並將 MG2 產生之電能功率為電池充電，MG1 雖然同時反轉但不發電，如圖 2.5(g)所示。

在圖 2.4 第六階段時，車輛下坡，MG2 藉由減速煞車回收之動能轉換電能，又可稱為再生制動(Regenerative Braking)，MG2 回收之電能傳送給電池蓄電及供給驅動功率至 MG1，作為保持引擎速度，在減速模式時，車輛 ECU 要求增加 MG2 再生制動產生之電能回收，以產生更多電力，如圖 2.5(h)所示。

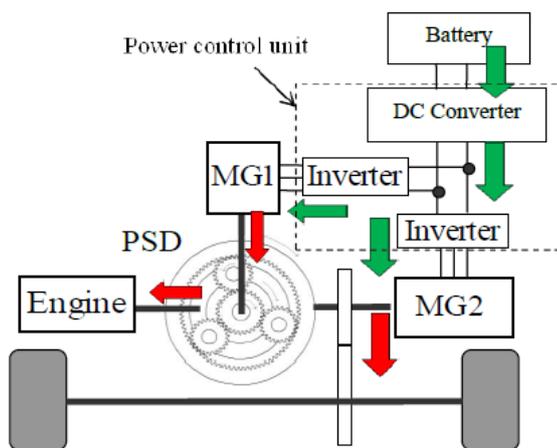
在圖 2.4 第七階段時，車輛倒車，藉由電池輸出電能給予 MG2 功率作為馬達反轉提供動力輸出，MG1 正轉，但沒有發電，引擎處於關閉狀態，如圖 2.5(i)所示。根據車輛 ECU 監測控制，有任何特殊情況(可能是電池能量不足)，引擎將會啟動如圖 2.5(j)所示。



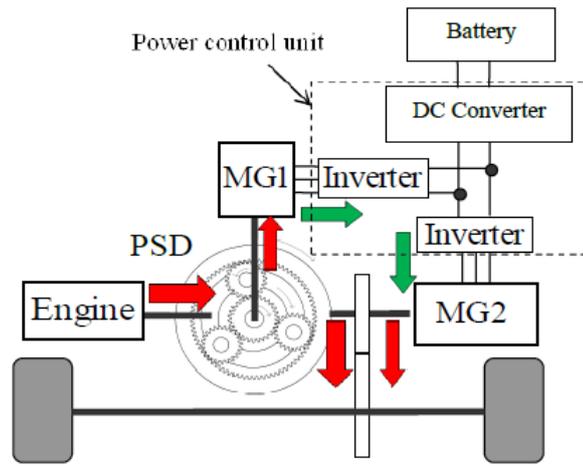
圖(a) 車輛啟動時



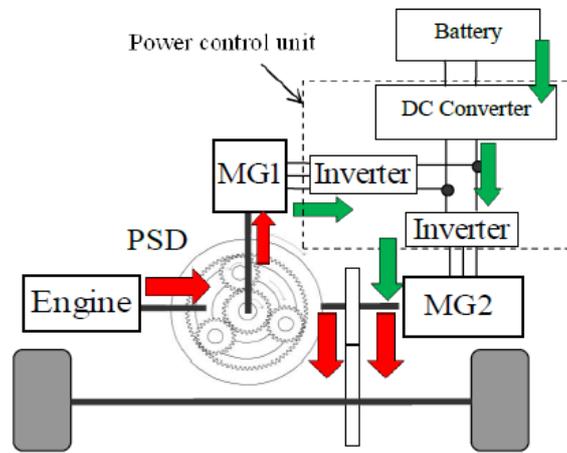
圖(b) 低速行駛時



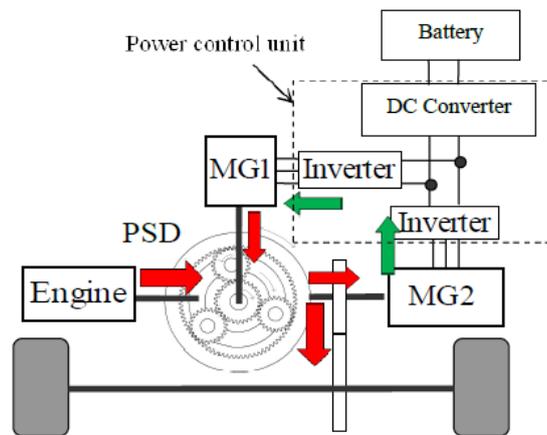
圖(c) 低速行駛時，特殊情況下引擎啟動



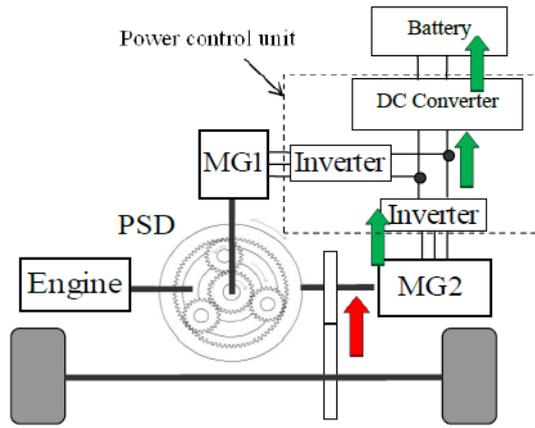
圖(d) 正常行駛模式



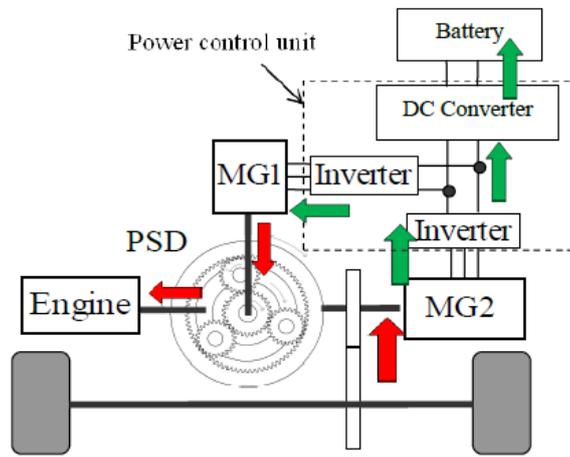
圖(e) 正常行駛模式下，車輛急速加速



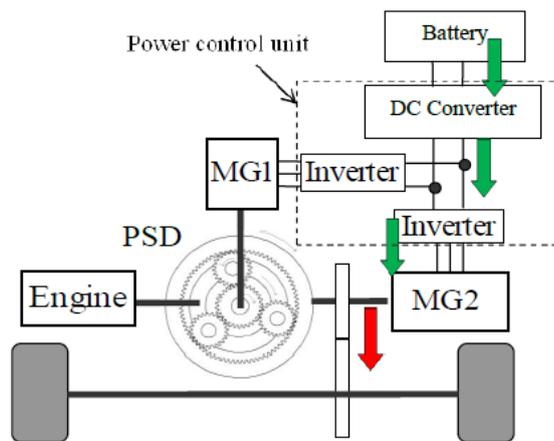
圖(f) 高速行駛



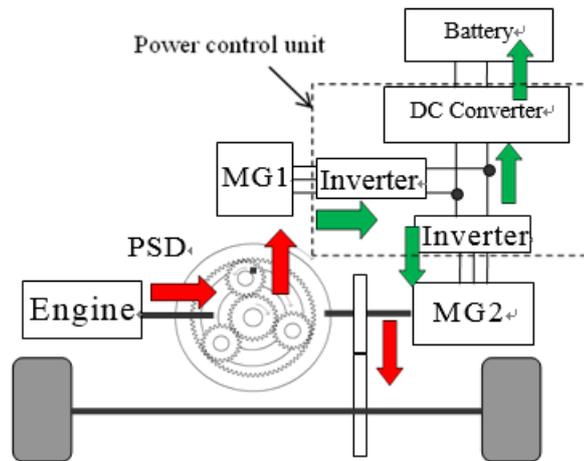
圖(g) 減速狀態



圖(h) 下坡行駛



圖(i) 倒車行駛



圖(j) 倒車行駛，特殊情況下引擎啟動圖

2.5(a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)(i)(j)

串並聯式油電混合車行駛時之各種操作模式

## 2.3 設計原理

### 2.3.1 行星齒輪組機構之構造

行星齒輪變速機構通常由 2~3 個行星齒輪組所構成，為了簡化，以下說明由單排行星齒輪機構。

單排行星齒輪組(Planetary gear)機構由一個太陽輪(Sun Gear)、一個環齒輪(Ring Gear)一個行星架(Planet Carrier)和數個支承於行星架上的行星輪(Planet Gear)所組成，如圖 2.6 所示。行星齒輪組機構通常有 3~6 個行星輪。當機構運作時，支承於行星架上的行星齒輪一方面可以於行星軸上自轉，另一方面又可以隨著行星架繞著太陽軸公轉，具有自轉與公轉兩種運動狀態。因太陽輪、環齒輪與行星架有固定的軸線，所以稱為單排行星齒輪機構的三個基本元件。

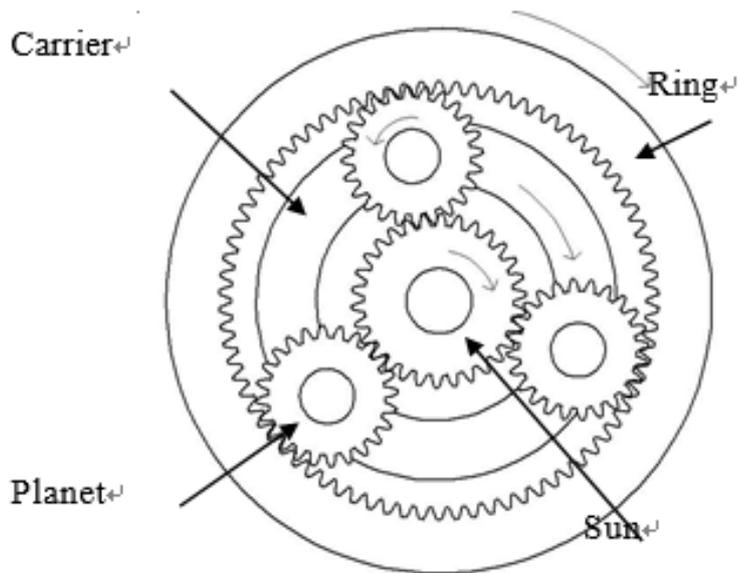


圖 2.6 行星齒輪組機構

### 2.3.2 行星齒輪組之限制條件

本文製作之行星齒輪組採用標準正齒輪，行星齒輪組機構會因太陽輪、行星架、環齒輪，其在齒輪組中為固定桿件或驅動件，會使輸出產生不同的旋轉方向及減速比的值有所變化，其傳動方式分析如表 3.1 所示

而在設計製作行星齒輪組機構中，其限制條件有三個：

- (1) 中心距離條件：此為維持行星輪與環齒輪至中心距離相等之必要條件

$$D = D_s + 2D_p$$

其中  $D_s$ 、 $D_p$  與  $D_r$  分別為太陽齒輪、行星輪與環齒輪之直徑

- (2) 拘束咬合條件：此為行星齒輪等配在太陽輪與環齒輪之間之必要條件

$$\frac{D_s + D_r}{N} = \text{整數}$$

其中行星輪個數為  $N$

- (3) 外徑干涉條件：此為各行星輪不互相碰撞之必要條件

$$D_p + 2 < (D_s + D_p) \sin \frac{180^\circ}{N}$$

為滿足以上三個行星齒輪組之限制條件並符合串並聯混合動力車之引擎動力分配需求，本文將太陽輪、行星輪與環齒輪之齒數分別設為 30、24 及 78，並將行星輪之數目設為 4。

### 3. 實驗設計

利用 Inventor 按照上述行星齒輪的規範畫出行星齒輪如圖 3.1、表 3.1 並利用 3D 列印印出齒輪，並且組裝行星齒輪組。

	直徑	齒數	厚度
太陽輪	70mm	30	15mm
環齒輪	215mm	78	10mm
行星小齒輪	50mm	24	15mm
行星架	155mm	55	15mm

表 3.1

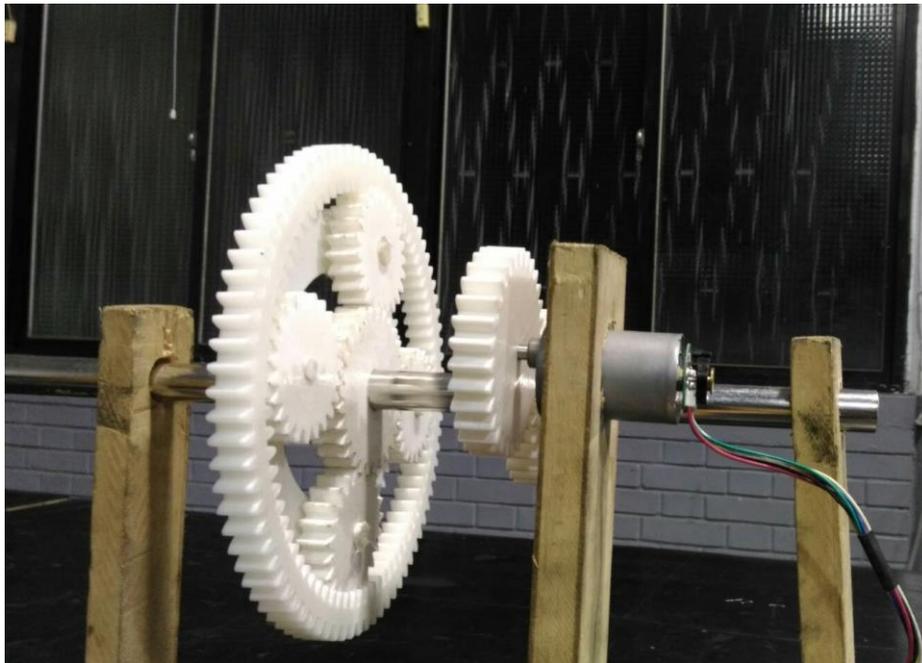


圖 3.1

### 4. 結果與討論

因 Toyoty Prius 實車上電動馬達轉速最高可達致  $\pm 6500$  RPM 的電動馬達，但本研究是採用最高轉速 $\pm 450$  RPM 的無刷馬達所以模擬出來的轉速是經過等比例縮小的轉速。

## 5. 結論與建議

本研究模擬 Toyota Prius 動力分配裝置，目前完成模型組裝部分，後續需要使用 Arduino 來控制三個馬達，模擬 Toyota Prius 的動力模式。

完成此模型，還須討論是否耐用，是否可以實際作為教學現場當作教具使用。若齒模型完成後，可以考慮商品化。讓給個學校都能夠有一個平台可以教學用。

## 參考文獻

1. 維基百科  
-<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%8C%E6%98%9F%E9%BD%BF%E8%BD%AE>
2. 機械工程系機械與機電工程碩士班碩士論文-行星齒輪動力分配系統之研究
3. U-car- <https://mook.u-car.com.tw/article158.html>
4. <http://063.toyotacar.tw/2012/09/blog-post.html>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=jNuixuVhc5E>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=Zpfs2LPaa6Y>
7. <https://www.youtube.com/watch?v=dLNDGUISTYM&t=1611s>
8. [https://www.youtube.com/watch?v=u1n\\_W7wGn1U](https://www.youtube.com/watch?v=u1n_W7wGn1U)



# IVIS 最適放置區域之實驗研究

國立臺灣師範大學工業教育學系

指導教授：郭金國 教授

學生：邵勸誠、鄭智鴻、邢祥義、陳預晏

## 摘要

因應降低交通事故的發生，各家汽車大廠紛紛推出先進的車內資訊系統以提高駕駛安全性，如車內資訊系統，駕駛人不需要低頭查看里程表，駕駛人可以直接在擋風玻璃上查看車內資訊系統的資訊。但是，加裝車內資訊系統一定能使行車更安全嗎？在行車的狀況下使用車內資訊系統已經成為安全上重大的潛在危機。國內外報告皆指出，車內資訊系統並未能有效考慮在行車過程中操作與讀取時，可能造成駕駛產生額外的負荷，造成駕駛人無法專注行車。因此，本研究冀望找出車內資訊系統最佳放置位置，以改善影響駕駛人視線的問題。另外，在文獻回顧中發現大部分研究皆是利用駕駛模擬系統作為道路駕駛之替代方案，並且透過問卷統計得到結論。此專題研究最大的突破在於利用 eyeNTNUp-30 實景眼動儀做為測試工具，並直接做道路實車測試。如此得到更貼近一般駕駛狀況，並且得到更科學的結論。

分析結果發現，駕駛人最容易忽略的視野冷區位在駕駛側擋風玻璃方向盤左上 30 度至橫切線區塊(A 區)及方向盤正上方(B 區)之最下層區塊(下區)此二區塊，與文獻比對結果，完全與其結論相符合。

關鍵字：車內資訊系統、駕駛模擬器、實景眼動儀、最佳放置位置

## 第一章 緒論

### 第一節 研究動機

交通事故對國內的影響有多深？根據衛生署統計，我國 40 餘年就累計 20 餘萬民眾因交通事故死亡，相當於一個台東縣的人數。在 105 年統計數據中，因交通事故死亡人數約 1604 人，並且高達 9 成的事故皆是人為操作不當所致<sup>[1]</sup>。因此，如何提升駕駛人注意力、有效避免交通事故的發生成了現今汽車發展上的一大課題，國內外車廠也紛紛推出許多駕駛輔助設備提升駕駛的行車安全。

隨著科技日新月異，不論是車輛上的硬體或軟體設備，車內資訊系統

(In-vehicle information system)不斷推陳出新。在硬體設備中包含抬頭顯示系統、汽車衛星導航系統等。抬頭顯示系統應用在汽車上，駕駛人不需要低頭查看車速等資訊，駕駛可以更專心注意車前狀況。如此便利的裝置，近年來也漸漸成為各汽車大廠的行銷手法。但是，裝上抬頭顯示系統真的讓行車更安全了嗎？引用加拿大多倫多大學的研究報告<sup>[3]</sup>，駕駛人在接收車內資訊系統資訊同時，接收外界訊息準確性將下降，反應時間亦會增加。因此，抬頭顯示系統不僅無法提升行車安全，更可能干擾駕駛者，使駕駛人注意力更為分散，降低前方車況判斷的反應能力，導致更嚴重的車禍發生。因此，研究抬頭顯示系統最佳放置位置，並且有效降低車禍率為此專題研究動機之一。

另外，在文獻回顧的過程中，我們發現大部分的研究方法皆是使用車輛駕駛模擬系統作為道路駕駛之替代方案<sup>[4-12]</sup>。縱使駕駛模擬系統可以探討駕駛人、車輛、道路及周遭環境的相互關係，但是，在道路駕駛的過程中遇到的突發狀況千變萬化，光靠車輛駕駛模擬系統進行模擬測試得到的道路狀況是不夠精確。拜科技所賜，我們可以將實景眼動儀運用於實車道路上測試，更貼近一般駕駛人的駕駛狀況。因此，藉由這次的專題研究，我們得以進行實車道路測試此為專題研究動機之二。

## 第二節 研究目的

首先整理國內外駕駛模擬器的使用狀況後進行本研究之文獻探討。本研究使用實景眼動儀蒐集受測者在駕駛過程中眼睛注視的位置，分析受測者在駕駛時的視野冷區。最後將駕駛模擬器之統計結果與實景眼動儀之測量結果互相比較，找出車內資訊系統最佳放置位置。

1. 探討國內外駕駛模擬器對車內資訊系統最佳放置位置之現況。
2. 透過實景眼動儀研究車內資訊系統最佳放置位置。
3. 比較駕駛模擬器與實景眼動儀最佳放置位置之差異。

## 第三節 研究問題

本研究為了探討駕駛者在駕駛時的視野冷區，冀望找出車內資訊系統最佳放置位置，以改善影響駕駛人視線的問題，降低車輛肇事機率。本研究根據研究目的，提出以下三點研究問題：

1. 目前國內外駕駛模擬器對車內資訊系統最佳放置位置為何？

2. 實景眼動儀車內資訊系統最佳放置位置為何？
3. 駕駛模擬器與實景眼動儀最佳放置位置是否有差異？

#### 第四節 研究範圍與限制

為使研究能應用在多數的汽車上，本研究所選用測試車輛為 2016 年最佳銷售中型轎車 Toyota Corolla Altis。

研究對象部分，受測者(駕駛者)必須擁有中華民國汽車駕駛執照才可以進行施測。由於本研究為個案研究，參考國內外文獻利用眼動儀進行測試之研究，多數研究所採用對象人數為 6~10 人<sup>[13][14][15]</sup>。因此，本研究受測者人數設定為 7 人。

前擋風玻璃之區塊劃分限制，由於國內駕駛為左側駕駛，此專題研究只探討駕駛側部分(前擋風玻璃的左半部)。接著將擋風玻璃駕駛側從中間橫切為二，比較上半部及下半部的凝視狀況。接著以方向盤為基準，分成方向盤左上 30 度至橫切線、方向盤正上方、方向盤右上 30 度至橫切線三區，分別為 A、B、C 三區。

最後將 B 區橫切成三等分，分別為上、中、下三區，如圖 1-1 所示。

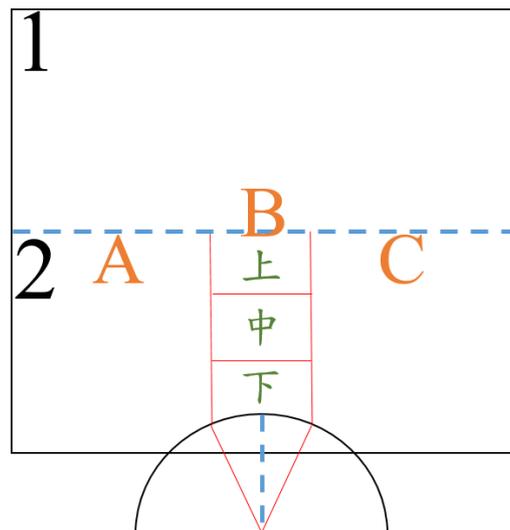


圖 1-1 前擋風玻璃之區塊劃分示意圖

#### 第五節 名詞釋義

1. 車內資訊系統(In-vehicle information system)：可以為駕駛人提供更多在駕駛時無法獲得的資訊，例如：道路狀況、導航系統、天氣狀況、商業通信等。
2. 前車擋風玻璃：指的汽車前面部份的窗戶，保護駕駛人受到風、雨、雪、極端的溫度、迎面而來的碎片像是灰塵、蟲、石頭。本研究採用汽車 Toyota Corolla Altis 之前擋風玻璃規格為上底 110 公分、下底 137 公分、高 88 公分。
3. 視野冷區：駕駛人行車時最容易忽略的視野區域，稱為視野冷區，作為車內

資訊系統的最佳放置位置。

4. 實景眼動儀：透過影像辨識處理，追蹤使用者的瞳孔，並了解其注視資訊的技術，可廣泛應用在心理學、廣告行銷等研究，了解使用者凝視那些區域，那個區域看最久等視覺分析。本研究所使用之眼動儀為何宏發教授所研發的 eyeNTNUp-30 實景眼動儀。

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 國內交通事故發生的分類

台灣交通事故頻繁，根據台北市政府警察局交通警察大隊統計，十年來道路交通事故(A1類)近三成發生車禍因素為「未注意車前狀態」，如表 2-1 所示。為了降低肇事機率，許多車廠與車主會在車上配備車內資訊系統，將重要資訊直接顯示在擋風玻璃上，例如：時速、引擎轉速、檔位、行車路線，甚至是車輛左右旁的影像等，減少行車緊急情況時的反應時間。

在 105 年道路交通事故(A1類)肇事原因與年齡統計中，得出介於 18~29 歲年齡層裡，交通事故發生率是最高的，如表 2-2 所示。因此，本研究將設定受測者之年齡層為 18~29 歲。

表 2-1

民國 100 年至民國 106 年交通事故發生類型統計

肇事原因	超速失控	酒後駕車	行駛疏忽	未注意車前狀態	未依規定讓車	違反號誌管制
105 年	1	2	11	24	8	8
104 年	1	1	1	19	7	8
103 年	0	3	6	18	9	6
102 年	2	4	6	13	9	6
101 年	3	8	8	21	1	5
100 年	4	3	4	13	6	8

表 2-2

105 年 A1 類道路交通事故死亡人數—按年齡分

歲數分布	死亡人數
18-29 歲	330 人
30-44 歲	270 人
45-59 歲	305 人

## 第二節 車內資訊系統使用情況

車內資訊系統(In-vehicle information system)是 21 世紀後普遍出現的車輛電腦化、e 化裝置，是一種車載的小型電腦，連結車輛提供駕駛人相應資訊，達成智能化要求，並且裝載車內資訊系統之車輛也逐漸成為「智慧車」的主打廣告。

可以為駕駛人提供更多在駕駛時無法獲得的資訊，例如：道路狀況、導航系統、天氣狀況、商業通信等。在 2015 年銷售的車輛中 2.3 百萬台有搭載車內資訊系統，預期到 2022 年會增加到 6.7 百萬台(光連雙月刊，2016 年 1 月)。因此，我們得知車內資訊系統會結合更多科技與資源，相當具有龐大潛力，在未來會有越來越多汽車廠商配裝車內資訊系統，車內資訊系統將會更普及化，貼近我們的生活圈。

## 第三節 車內資訊系統顯示於擋風玻璃相關文獻

車內資訊系統將汽車又用的資訊投射到駕駛的視線裡，因此不必往下看儀表板，目的在於減少干擾，保持駕駛的目光。但是，在加拿大多倫多大學 Ian Spence(2015)領導一項研究指出，車內資訊系統可能會產生相反的效果，甚至可能對安全構成威脅，打破了車內資訊系統能提升行車安全的刻板印象，不僅無法提升行車安全，更可能因為資訊轉移駕駛者的注意力，讓駕駛人注意力更為分散，進而降低前方車況判斷的反應能力，甚至導致嚴重的車禍發生。

Ian Spence 讓測試者觀看前方螢幕上隨機出現的 1~9 個黑點，模擬觀看車內資訊系統資訊的狀況，並告訴研究人員出現幾個黑點。而同時，螢幕中也會不定時出現黑色方塊，但是當研究人員詢問測試者是否有發現黑色方塊時，大多數的測試者都表示沒注意到，以單次測試而言，平均沒發現的次數竟高達 15 次。因此，本研究對車內資訊系統相對安全擺放位置進行研究。

駕駛者對於車內資訊系統所呈現資訊的接受度為何以及擺放位置，方彥博、

施光益、葉仲基、江志彬 (2014) 運用人因工程裡關於影像顯示裝置和照明設計的部分，建立一個汽車車內資訊系統模擬系統以及可以快速投射在前擋風玻璃的模擬視覺資訊影像裝置，而後利用問卷調查方式，統計分析出最佳結果。多數人選擇的是左下方，這可能與駕駛員所坐的位置及與現在大部份的車內資訊系統設計都在此處有關。

北京理工大學所發表的外文期刊 (2014) 對 600 位中國人進行車內資訊系統看法調查，統計後最多人偏好位置是如圖 2-1 區域 C，其次是區域 A，但也指出區域 C 有個缺點，區域 C 位於駕駛者視野範圍的中心，若長時間注視於此位，可能會降低駕駛者的視野外部環境，因此建議選擇適當的區域 A。



圖 2-1 車內資訊系統偏好放置位置圖

#### 第四節 國內駕駛模擬系統之統整

歷年來國內有一些研究針對駕駛模擬系統在視覺系統之探討如表 2-3，虛擬駕駛訓練系統只需電腦、軟體以及投影空間，不需要大面積的場地，並且駕駛者的安全性也增加許多，但是虛擬車輛空間設計還是與實體車輛有些許差異，以及情景模式較為固定、呆板和易感到乏味(吳欣潔、林稚婷、邱敏綺，2012)因此，本研究以實車駕駛，真實呈現駕駛人行車時的道路狀況，行車地點選擇在公路人員訓練所駕駛場，相對於一般街道上更加有安全性。

表 2-3

國內利用駕駛模擬系統進行研究之統整

編號	作者 (年代)	研究內容
1	蘇育賢(2002)	開發一套虛擬實境模擬訓練系統，讓使用者得於安全、無威脅性且接近真實的模擬情境下操作與進行訓練。
2	蘇昭彰(1999)	探討市區幹道車道變換模擬駕駛實驗結果，與在真實駕車環境下所蒐集而得之實驗結果間的關聯性。
3	洪嘉亨(2003)	設計各類警示方式，利用駕駛模擬系統分析駕駛者反應以評估車上警示系統之功能性。
4	李友仁(2004)	探討交通標誌對駕駛人產生之影響，評估該標誌之效益與設置準則。
5	曾建基(2004)	探討不同的車內資訊介面對行車安全的影響。
6	李思葦(2004)	利用駕駛模擬器，探討高齡駕駛者交通安全問題。

### 第五節 眼動儀追蹤

眼睛是靈魂之窗，來自外界的資訊約有 80%~90%是通過人眼睛獲得，因此資訊接收部份是依賴於視覺（韓玉昌，2000）眼球運動可以直接反映人類心理認知的歷程，在眼球運動資料的人因工程與應用研究中，觀察眼球運動之主要參考指標：

1. 凝視時間(Fixation Duration)：即人們在凝視時，視軸中心位置保持不變的持續時間，也就是眼球從一個掃視運動結束至下一個掃視運動開始所包含的時間。工作複雜度提高，會使眼球的活動量加大，凝視時間亦會變長，人們在觀看圖片時的凝視時間比閱讀文字的凝視時間要來的長，表示時間的長短可能與影像豐富度、訊息量大小有關(呂文耀，2008)，因此凝視點的持續時間，也可表示為反映心智處理歷程的複雜或深度(李哲賢，2008)。
2. 凝視次數(Number of fixations)：即為單位面積內凝視點的數量。凝視次數和搜尋效率是相關的，搜尋效率越差，其凝視次數越多(Goldberg & Kotval, 1998)。而凝視點聚集或分散情形，可以瞭解人們在觀看圖片所注視的區域。

目前市售實景眼動儀價格相當昂貴，多數動輒一萬元美金以上，本研究所使用的眼動儀是由國立臺灣師範大學何宏發教授所帶領團隊研發出一套價高水準

的實景眼動儀，提出創新瞳孔追蹤方法，能夠濾除雜訊，使得瞳孔追蹤更加精準(侯冠宇，2015)，此眼動儀分析軟體包含 21 項數據，分別為表 2-4，本研究為尋找到駕駛時的視線冷區，採用第 7 項：區域內(ROI)所花的時間比率與第 8 項：ROI 內的凝視定義頻率變數分析(ROI 內的凝視次數/ ROI 內的總時間)。

表 2-4

**眼動儀 21 項分析數據**

編號	眼動凝視變數分析項目
1	第一次拜訪前(ROI)的凝視次數
2	第一次拜訪前(ROI)花多久的時間
3	區域內(ROI)的凝視時間對總時間比率
4	區域內(ROI)的凝視時間對總凝視時間比率
5	區域內(ROI) 所花的總時間
6	第一次拜訪前(ROI)的凝視次數比率
7	區域內(ROI)所花的時間比率
8	ROI 內的凝視定義頻率(ROI 內的凝視次數/ ROI 內的總時間)
9	ROI 內的凝視頻率(ROI 內的凝視次數/ROI 內的凝視總時間)
10	ROI 內的平均瞳孔大小
11	總凝視時間的持續時間
12	無凝視的時間的百分率
13	平均凝視時間
14	平均瞳孔面積
15	瞳孔面積標準差
16	總凝視次數
17	總凝視次數百分率
18	凝視時的平均瞳孔大小
19	凝視時間標準差
20	凝視時的瞳孔大小標準差
21	凝視點數(取樣數)

## 第六節 正確駕駛姿勢

大部分駕駛者對駕駛座姿並不會很在意，但是深入地去了解，每一個調整步驟都是關鍵，惡魔總是藏在細節中。這些基本動作不僅攸關行車安全，駕駛疲勞感，甚至跟健康都有關聯。在我們進行實車測試時，若受試者的駕駛姿勢不良、受試者駕駛座椅未調整，這勢必會影響到最後數據分析結果。

車輛研究測試中心在 2012 年也發佈一篇開車上路前的第一件事，提到方向盤的調整方式，方向盤基本上可以調整高低、傾角，視駕駛者身材決定，必要時要搭配座墊、椅背做微調，簡單測量方法是雙手打直前伸，手腕與方向盤上緣齊，這就是建議的理想位置，此時回到正常的駕駛姿勢，右手握方向盤 3(或 2)點鐘位置，左手握方向盤 9(或 10)點鐘位置，檢視手肘就會有正確的微彎角度，如圖 2-2 所示。方向盤位置調整不正確，就會產生不良的影響，若角度太小表示身體靠方向盤太近，好像抱著方向盤的感覺，這樣不僅會降低操控靈敏度，一旦發生碰撞事故，頭部胸部撞上方向盤機會變高，而此時安全氣囊瞬間爆炸，很有可能直接打向駕駛者，反而受到傷害；如果手肘是直的，表示身體離方向盤太遠，這也會降低操控靈敏度，同時因力臂變長，轉動方向盤會較吃力，在碰撞時，打直的手肘較沒有緩衝，傷害相對變大。

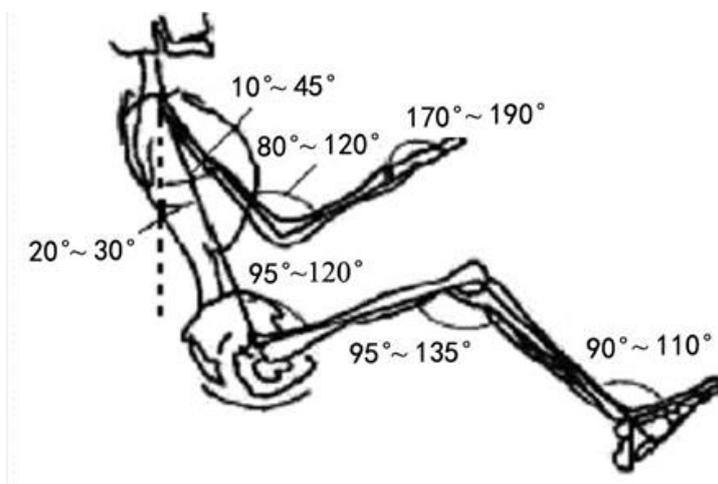


圖 2-2 正確駕駛姿勢示意圖

## 第三章 研究方法

### 第一節 研究架構

本研究首先決定研究主題，並針對其背景及動機作探討，以確立研究目的與內容，藉由蒐集國內外相關文獻，加以整理分析，並依循研究目的，透過實景眼動儀儀器及分析軟體設備，追蹤駕駛者行車時的注意視線，並分析駕駛者行車時的視線冷區位置，最後依據分析結果，驗證相關論文之研究，並提供相關設計產業車內資訊系統最佳放置位置之參考，如圖 3-1 所示。



圖 3-1 研究架構架構圖

### 第二節 研究對象

本專題研究採用立意抽樣選取研究對象，選取對象必須符合研究限制，本研究抽取 7 位受試者，受試者相關資料如表 3-1 所示。根據文獻顯示<sup>[1]</sup>，18~29 歲為最常發生交通事故之年齡範圍，因此本研究 6 位受試者年齡層介於 18~29 歲之間，1 位 40~49 歲作為比對，受試者相關背景變相如表 3-2 所示。受試者在進行眼動儀施測前須簽署相關同意書，確保雙方權益，受試者皆以編號代替，以保護受測者隱私。

表 3-1

受測者相關資料

編號	性別	年齡	駕駛年資 (year)	身高 (cm)	每周開車次數	每次開車時數	每次開車距離
1	女	45	20	155	5	1-2 小時	10 公里以下
2	女	20	1	155	1	30 分以下	10 公里以下
3	男	21	2	175	2	30 分以下	10 公里以下
4	男	30	11	175	6	1-2 小時	10-20 公里

5	女	30	11	160	3	1-2 小時	10-20 公里
6	男	20	1	173	3	30 分以下	10 公里以下
7	男	21	2	173	4	30 分以下	10 公里以下

表 3-2

受測者訪談數據資料

背景變相	類別	人數	百分比	備註
性別	男生	4	57.14%	
	女生	3	42.86%	
年齡	20	2	28.57%	平均年齡： 26.4
	21	2	28.57%	
	30	2	28.57%	
	45	1	14.29%	
每周開車次數	一次	1	14.29%	
	二次	1	14.29%	
	二次以上	5	71.42%	
每次開車時數	30 分以下	4	57.15%	
	30 分-1 小時	0	0%	
	1 小時-2 小時	3	42.85%	
	2 小時以上	0	0%	
每次開車距離	10 公里以下	5	71.43%	
	10-20 公里	0	0%	
	20 公里以上	2	28.57%	

### 第三節 研究工具

#### 1. 實景眼動儀

此研究工具為國立臺灣師範大學何洪發教授開發，實景眼動儀主要由兩個區塊組成，一為眼動追蹤技術，如表 3-3 所示；二為頭戴模組，如表 3-4 所示；實景眼動儀之實體圖如圖 3-2 所示。

表 3-3

#### 眼動追蹤技術

產品型號	EyeNTNU-30P/EyeNTNU-120P
眼動追蹤技術	遠紅外線發光二極體(IR LED)
眼動追蹤種類	單眼追蹤
瞳孔影像取樣頻率	30Hz/120Hz
可取得知瞳孔資訊	凝視時間(ms) 凝視對應螢幕位置座標(pixel) 瞳孔直徑(pixels)
資料傳輸方式	USB2.0
支援之作業系統	Microsoft Windows XP、Windows 7
尺寸	8.8*5.8*2.4(cm)

表 3-4

#### 頭戴模組

材料	塑膠-PLA、不鏽鋼(螺絲)
環境攝影機_影像解析度	640*480 / 1920*1080
環境攝影機_影像格式	AVI
資料傳輸方式	USB2.0
支援之設備	所有運行 Windowsy 作業系統之平板、筆電
重量	172g



圖 3-2 實景眼動儀實體照

## 2. 分析軟體

本研究主要使用視覺分析軟體之第七項區域內(ROI)所花的時間比率及第八項 ROI 內的凝視定義頻率，探討駕駛者在開車時凝視區域所花的時間比率與次數百分比，其相關定義如表 3-5 所示。

表 3-5

### 分析軟體

#### 視覺分析工具

ROI 定義工具	實驗結束後我們需要開始定義我們的感興趣區域，而感興趣區域我們又稱為 ROI(Region of Interest)。開啟 ROI 定義軟體。
統計分析工具- 眼動凝視相關 變項	<p>Frequency：拍攝眼睛攝影機每張需要多少毫秒，計算方式為 1000/眼睛攝影機的頻率。</p> <p>Threshold：定義眼睛凝視的門檻，需構成此毫秒以上才算是凝視點。</p> <p>Participant：實驗的受測者人數。</p>

## 第四節 實驗環境

本研究訂於中華民國 106 年 2 月 25 日上午九點整，實驗地點位於公路人員訓練所中部訓練中心的駕照練車場，實驗行車路線圖如圖 3-3 所示，實驗路徑中有上坡起步以及 S 型彎道，如圖 3-4 所示，實驗結束於當日下午一點，實驗全程花費將近四個小時，7 位受試者皆順利完成測試。



圖 3-3 實驗行車路線圖



圖 3-4 上坡起步(左)及 S 型彎道(右)

## 第五節 實驗設計與步驟

### 壹、實驗設計

本實驗為一個動態性的科學實驗，透過實景眼動儀儀器及分析軟體設備，追蹤駕駛者行車時的注意視線，實驗中自變項為汽車的駕駛能力，不同的駕駛各有不同的汽車駕駛能力及駕駛習慣，應變項為開車速度、轉彎及上下坡的操縱行為。

### 貳、實驗步驟

實驗步驟如圖 3-5 所示。

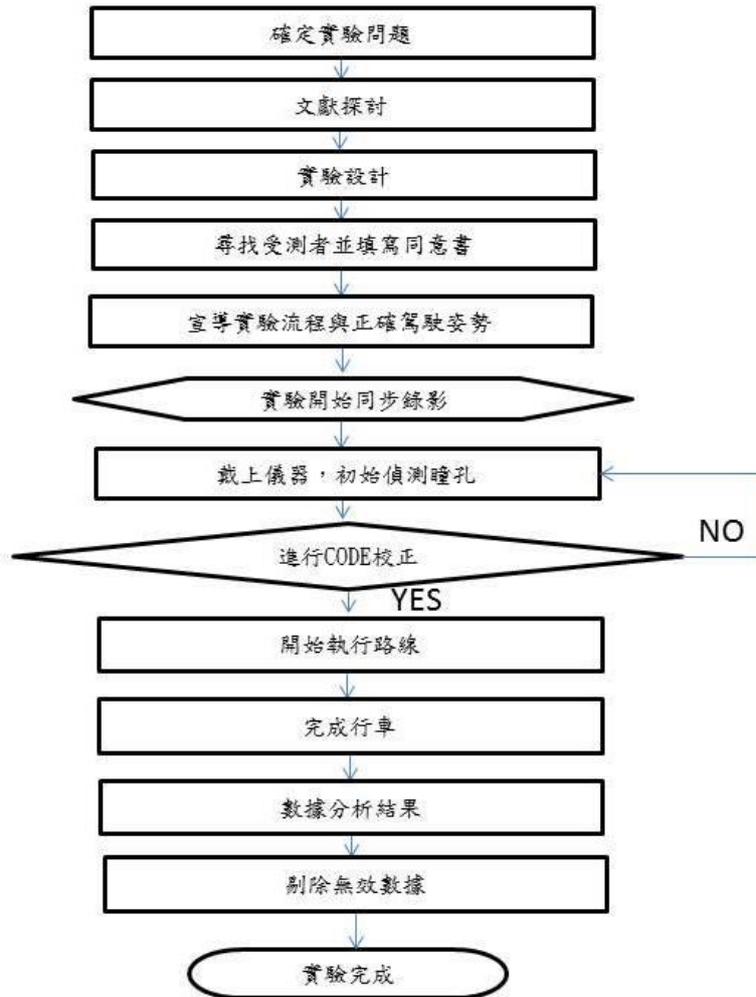


圖 3-5 實驗步驟流程圖

## 第四章 資料分析

研究結果之二十一項分析數據資料中，我們採用第七項變數區域內凝視時間比率探討駕駛者在開車時凝視 A、B、C 三區所花的時間比率；第八項變數區域內的凝視頻率百分比探討駕駛者在開車時凝視於 A、B、C 三區的次數百分比。

### 第一節 第一階段實驗

本研究實驗利用七位受測者配戴眼動儀，並駕車繞駛實驗場地，蒐集眼球在擋風玻璃凝視次數最少之位置，放置車內資訊系統，如下圖 4-1 所示先把駕駛側前擋風玻璃分為 1 區、2 區兩區，利用眼動儀分析軟體分析並得到數據，之後找到第七個(區域內凝視時間比率)與第八個變數資料(區域內的凝視頻率百分比)，彙整七位受測者的實驗結果，整理出表 4-1 與表 4-2 得知駕駛者在開車時凝視於 2 區的平均時間為 28% 頻率為 31% 小於 1 區的 72% 與 69% 為凝視冷區。



圖 4-1 第一階段駕駛側前擋風玻璃

表 4-1

1 區、2 區區域內凝視時間比率

區域	1 區	2 區
受測者		
受測者 A	69%	31%
受測者 B	78%	22%
受測者 C	88%	12%
受測者 D	56%	44%
受測者 E	71%	29%
受測者 F	69%	31%
受測者 G	74%	26%
平均百分比	72%	28%

表 4-2

1 區、2 區區域內凝視頻率次數百分比

區域	1 區	2 區
受測者		
受測者 A	67%	33%
受測者 B	59%	41%

受測者 C	83%	17%
受測者 D	62%	38%
受測者 E	59%	41%
受測者 F	64%	36%
受測者 G	85%	15%
平均百分比	69%	31%

## 第二節 第二階段實驗

再來從 2 區繼續劃分為如下圖 4-2 所示分為 A、B、C 三區，分析眼動儀實驗結果並利用第七個(區域內凝視時間比率)與第八個變數資料(區域內的凝視頻率百分比)，彙整七位受測者的實驗結果統整成表 4-3、與表 4-4。從表 4-3 得知 A 區凝視時間比率平均為 10% 遠小於 B 區 41% 與 C 區 41%，表 4-4 得出 A 區凝視頻率百分比平均為 8% 遠小於 B 區 35% 與 C 區 57%。

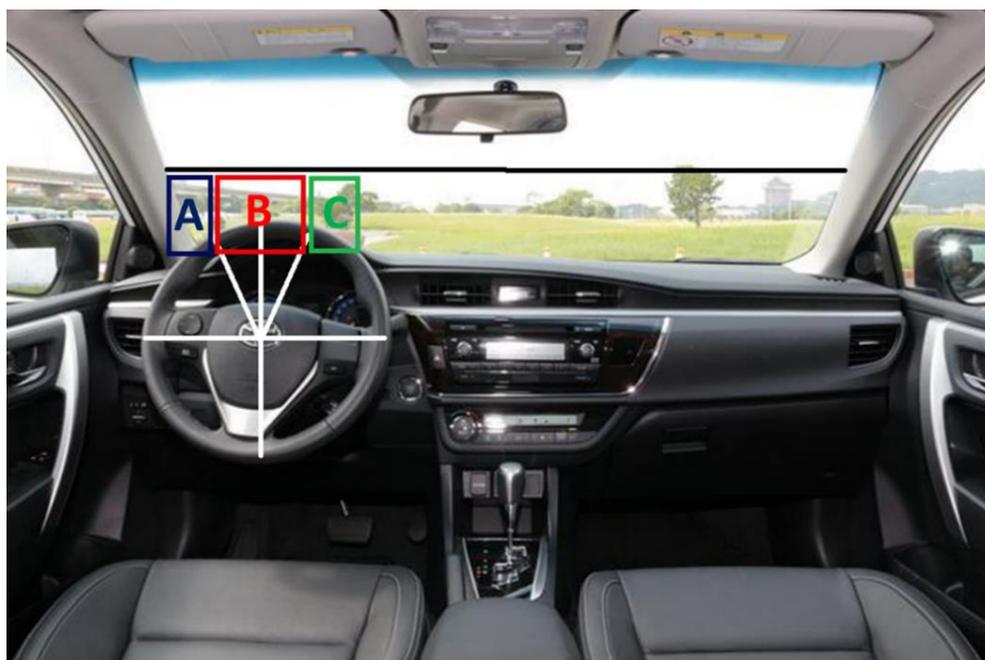


圖 4-2 第二階段駕駛側前擋風玻璃

表 4-3

A 區、B 區及 C 區區域內凝視時間比率

受測者	區域		
	A 區	B 區	C 區
受測者 A	5%	19%	76%
受測者 B	7%	50%	43%
受測者 C	5%	65%	30%
受測者 D	10%	58%	32%
受測者 E	22%	50%	28%
受測者 F	4%	72%	24%
受測者 G	14%	29%	57%
平均百分比	10%	49%	41%

表 4-4

A 區、B 區及 C 區區域內凝視頻率次數百分比

### 第三節 第三階段實驗

受測者	區域		
	A 區	B 區	C 區
受測者 A	15%	57%	28%
受測者 B	6%	56%	38%
受測者 C	7%	59%	34%
受測者 D	10%	59%	32%
受測者 E	1%	45%	54%
受測者 F	11%	62%	27%
受測者 G	1%	64%	35%
平均百分比	8%	57%	35%

根據北京理工大學 HongweiGuo 指出，B 區下方亦為最佳放置位置。為了與文獻比較，我們把 B 區分為三等分如圖 4-3 所示，利用眼動儀分析軟體分析此三區，彙整數據表 4-5，得知凝視頻率集中於上、中兩區域，而下方凝視區域為冷區。



圖 4-3 第三階段駕駛側前擋風玻璃

表 4-5

上區、中區及下區區域內凝視頻率次數百分比

受測者	區域		
	上區	中區	下區
受測者 A	50%	50%	0%
受測者 B	11%	83%	6%
受測者 C	58%	33%	9%
受測者 D	66%	32%	2%
受測者 E	57%	32%	11%
受測者 F	35%	58%	7%
受測者 G	44%	50%	6%
平均百分比	45%	48%	7%

## 第四節 小結

綜合以上分析表格數據得知七位受測者在駕車繞行實驗場地時，凝視於 A 區及 B 區下方的次數和時間百分比是最少的（冷區），也就是車內資訊系統的放置位置。

# 第四章 結論與建議

## 第一節 結論

綜合上述分析結果，茲將結論分述如下：

1. 根據文獻回顧，駕駛模擬系統的研究車內資訊系統最佳放置位置之結果多數顯示位在模擬器的左下區塊，相當於擋風玻璃的左下區塊。
2. 實景眼動儀分析結果顯示，駕駛人的行車視野冷區位在 A 區(方向盤左上 30 度至橫切線)及 B 區(方向盤正上方)下方。
3. 比對北京理工大學之文獻其他駕駛模擬器之文獻結論可統整出車內資訊系統最佳放置位置應在 A 區及 B 區下方。

## 第二節 建議

雖然參考國內外文獻利用眼動儀進行測試之研究多是受測者 6~10 人，建議可以尋找更多受測者以增加實驗信效度。另外，在實驗對象的選擇上，建議可以找更廣年齡層及更多受測者進行施測。在實驗還環境上，建議可以找更多時段進行施測。例如清晨時段、傍晚時段等。

## 參考文獻

1. 內政部警政署警政統計查詢網。取自  
<https://ba.npa.gov.tw/npa/stmain.jsp?sys=100>
2. 吳惠筠(2015)，汽車顯示器市場回顧與展望—車內資訊系統與車用顯示器螢幕分析，*光連：光電產業與技術情報*。121期(2016/01/01)
3. Yuechuan Sun, Sijing Wu, Ian Spence(2015)，*The Commingled Division of Visual Attention*，Available from Department of Psychology, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada
4. 方彥博、施光益、葉仲基、江志彬(2013)，*人因工程應用在視覺資訊顯示系統訊息類型和位置之探討*(碩士論文)。
5. HongweiGuo,FachengZhao,WuhongWang,andXiaobeiJiang(2013)，*Analyzing Drivers' Attitude towards HUD System Using a Stated Preference Survey*，Available from Department of Transportation Engineering , BeijingInstitute of Technology , Beijing100081,China
6. 吳欣潔、林稚婷、邱敏綺(2012)，*虛擬駕駛訓練系統的效用評估*，中國工業工程學會 101 年度年會暨學術研討會，大葉大學，彰化，台灣。
7. 蘇育賢(2002)，*虛擬實境在駕駛行為之研究與應用*(碩士論文)。中央大學機械所。
8. 蘇昭彰(1999)，*利用小汽車駕駛模擬器從事駕車行為實驗中有關受測者駕車者行為之驗證*(碩士論文)。成功大學交管所。
9. 洪嘉亨(2003)，*應用汽車駕駛模擬系統探討車上警示系統產品功能設計之研究*(碩士論文)。成功大學交管所。
10. 李友仁(2004)，*應用汽車駕駛模擬系統於道路交通事故成因檢討之研究*(碩士論文)。成功大學交管
11. 曾建基(2004)，*應用駕駛模擬系統探討車內資訊介面對行車安全的影響*(碩士論文)。中央大學機械所。
12. 李思葦(2004)。*高齡者交通安全問題之探討*(碩士論文)。中華大學科技管理研究所。
13. 韓玉昌(2000)。*眼動儀和眼動實驗法的發展歷程*。*心理科學*，23(4)，454-457

14. 呂文耀(2008)，**圖文編排比例及圖地色彩組合之閱讀效應：眼動軌跡之分析**(碩士論文)。銘傳大學設計管理研究所在職專班。
15. Goldberg, J. H., & Kotval, X. P.(1998). Eye movement-based evaluation of the computer interface. *Advances in occupational ergonomics and safety*, 529-532
16. 侯冠宇(2015)，**實景眼動儀系統研發**(碩士論文)。國立臺灣師範大學電機工程學系。
17. 李彥晶,張亞萍,尹新權(2014)，**基於人因工程的汽車駕駛座椅舒適性設計研究**。蘭州工業學院汽車工程學院,甘肅蘭州搖 730050。
18. 龍景森(2012)，**開車上路前的準備各項坐姿調整的設定與含意**。車輛研究測試中心。

# 承德 B100 精煉生質柴油使用追查報告

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：林百福教授

學生：許璟軒、蔡名洲、方凱禾、陳威漢

## 摘要

在環保意識抬頭的年代，對於環境維護、改善的議題越來越重視。而台灣能源局在生質柴油的推動也是有所作為，但是在執行面的進展卻沒有想像中順利。大家在汽機車等交通工具的依賴是愈來愈重，生質柴油絕對有它發展的空間，現在我們就要來探討生質柴油的特性以及如何使它更優化。

## 1.前言

### 1.1 研究動機

在台灣的都會區，路上經常看到車多壅塞的情況。石油的需求量是居高不下，而石油又非取之不盡、用之不竭，我們無不想找尋可以替代石油的能源。此時油電混合車、電動車順勢興起，但是生質柴油卻沒有能順遂的發展，更別說是普及。最大的原因是因為生質柴油是有機物，在使用過程中會產生皂化物，並且時間拉長會產生黴菌，造成許多問題，像油管阻塞、機油沖淡……等。如此一來，生質柴油的性能遠不及一般石油，但絕對有它發展的空間，此刻我們要來探討生質柴油的性能以及特性。

### 1.2 研究目的

為了要更精確的了解，甚麼會影響到生質柴油的性能與特性，而會影響生質柴油性能的一個要件，也就是里程數，柴油會影響機油，也會影響汽車的內部零件架構，譬如說，里程數越多越大，會影響到零件的壽命，里程數越大，代表開越久，所以零件壽命也就越短，或隨著車輛行駛里程數上升，生質柴油黏度將下降，此三者之間相輔相成，而我們針對機油沖淡進行探討，了解多少的里程數，有多少的變化。

### 1.3 研究方法

透過汽機車所行駛的里程數，來探討生質柴油的性能，廣義來說，就是透過測試汽機車行駛里程數的多寡，來判斷機油的黏性，機油的黏性會影響生質柴油

的性能，所以我們從重點紮根，進而觀察，並且從多數樣本之中取得一個結果。

## 1.4 名詞解釋

生質柴油: 植物油以及動物脂肪通過不同的化學反應，而製造的柴油 [1]。

皂化物: 生質柴油製造過程中，內部的副產品，其為鹼性，容易使機油被沖淡。

## 2. 文獻回顧

### 潤滑油的性質及狀況 [2]

做實驗之前，必須了解何謂黏度、SAE 黏度級數、機油黏度指數(VI)，才能判別機油黏度、是否符合機油規範……等。

#### 1. 黏度(Viscosity)

為潤滑油最主要之性質。黏度為牛頓型流體流動時其應變與切應力之比例常數。簡而言之，黏度亦為流體流動時之阻力。一般所謂油料之厚薄，即指黏度之大小。

潤滑油油膜之強度與黏度大致呈正比例。黏度愈高，其潤滑油膜通常愈強韌。故黏度為機械選用正確油料必需考慮之最主要因素之一。

黏度之測定方法甚多，公制者多採用運動黏度、動力黏度或絕對黏度。但實驗中探討動力黏度及絕對黏度。

(一) 動力黏度: 單位 cSt ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

Ostwald 或 Cannon-Fenske 式玻璃製黏度計測定。以橡膠小球吸取油料樣品，使油面在「C」點上 5mm 處，在一定的溫度下 (40°C 或 100°C) 然後令油料受重力作用自毛細管向下流動，並記取油面由「C」點流至「E」點時所需之時間(秒)，乘以黏度計之常數，即為該油之「動力黏度」。

(二) 絕對黏度: 單位 P 或 CP ( $\text{dyne s}/\text{cm}^2$ )

可由動力黏度換算而得。

$$[\text{絕對黏度}] (\text{Centi-Poise}) = [\text{動力黏度} (\text{cSt})] \times [\text{油料之密度} (\text{g}/\text{ml})]$$

## 2.SAE 黏度級數

為美國汽車工程師學會，對於車輛用的引擎油以及齒輪油的黏度，由稀到稠加以分類，而下表並以號數表示之。

SAE 黏度級數	黏度範圍				150°C 及 106 s-1 之高剪力黏度 cP
	低溫測試		100°C 黏度 cSt		
	曲柄轉動黏度 (cP) 最大值-低溫°C	泵動黏度(cP) 最大值 -低溫°C	最小值	最大值	
0W	3250 -30	60,000 -40	3.8	-	
5W	3500 -25	60,000 -35	3.8	-	
10W	3500 -20	60,000 -30	4.1	-	
15W	3500 -15	60,000 -25	5.6	-	
20W	4500 -10	60,000 -20	5.6	-	
25W	6000 -5	60,000 -15	9.3	-	
20	-		5.6	9.3	2.6
30	-		9.3	12.5	2.9
40	-		12.5	16.3	2.9
40	-		12.5	16.3	3.7
50	-		16.3	21.9	3.7
60			21.9	26.1	3.7

## 3.黏度指數 [3]

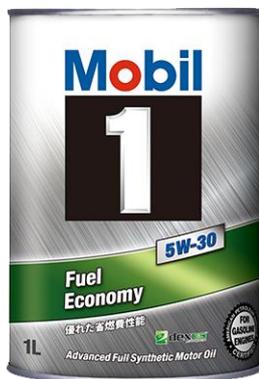
任何流體之黏度，必隨溫度而變化，油料與潤滑油都不例外。表示油料黏度因溫度變化之程度，稱為「黏度指數」(Viscosity Index，簡稱 V.I.)。黏度指數越低，表示溫度稍有變化時，黏度變化較大。反之，黏度指數越高，則表示溫度變化幅度較廣時，黏度之變化卻不太大。

### 3.實驗設計

#### 3.1 實驗設備及材料

- (一) BMW 520D：使用 BMW 520D 生質柴油車，進行實驗測試，並從 0 公里到 10000 公里做測試。
- (二) B100 生質柴油使用：100% 生質柴油做測試。
- (三) 黏度檢測器：將機油進行黏度檢測的儀器。
- (四) MOBIL 機油:使用 5W-30 的 MOBIL 機油測試，下圖為 MOBIL 機油規格。

[4]

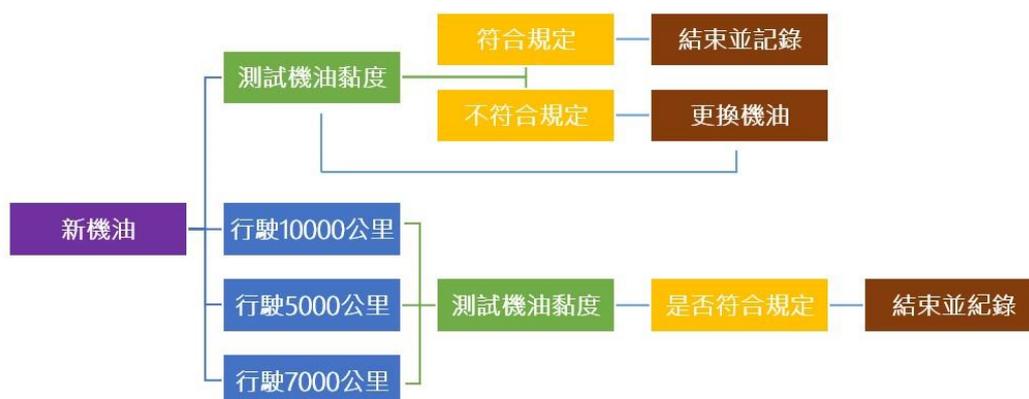


SAE 等級	5W-30
Viscosity @ 100°C, cSt (ASTM D445)	11.0
Viscosity @ 40°C, cSt (ASTM D445)	61.7
黏度指數	172
硫酸灰分, 重量% (ASTM D874)	0.8
Phosphorous, wt% (ASTM D4981)	0.08
HTHS 黏度, mPa•s @ 150°C (ASTM D4683)	3.1
流動點, °C (ASTM D97)	-42
閃火點, °C (ASTM D92)	230
密度@15.6°C kg/l (ASTM D4052)	0.855

#### 3.2 實驗方法

將 BMW 520D 生質柴油車，加入 100% 的生質柴油，並使用新的 MOBIL 的機油，再將 BMW 520D 行駛到測驗的里程數，再將機油給予廠商進行黏度測試。

### 3.3 實驗步驟



## 4.結果與討論

### 測試結果

編號	里程(公里)	40°C(黏度)	100°C(黏度)	20°C(密度)	VI	日期
1-1	10000(BD)	48.31(cSt)	9.52(cSt)	0.8396(kg/l)	186	2016/05/23
1-2	10000(BD)	42.53(cSt)	8.79(cSt)	0.8611(kg/l)	192	2016/05/23
1-3	0 (新油)	69.30(cSt)	12.38(cSt)	0.8361(kg/l)	179	2016/08/05
1-4	10000(BD)	42.17(cSt)	8.87(cSt)	0.8489(kg/l)	197	2016/08/08
1-5	10000(SB)	55.73(cSt)	10.36(cSt)	0.8463(kg/l)	178	2016/11/23
1-6	5000(BD)	51.42(cSt)	10.04(cSt)	0.8446(kg/l)	187	2017/01/12
1-7	6000(BD)	49.28(cSt)	9.25(cSt)	0.8406(kg/l)	190	2017/05/01

### 機油規範

#### 5W30 之機油規範

機油	溫度	黏度(cP)
5W	-30 °C	小於 6600

機油	溫度	黏度(cSt)
30	100°C	9.30~12.50

## 1-1、1-2

在 2016 年 5 月 23 日，將兩次行駛 10000 公里的 BMW 520D，進行機油黏度測試，而 SAE 機油黏度級數 100 °C 需在 9.30~12.50cSt，發現一個 9.52 cSt 在規範內，一個 8.79 沒在規範內，不能斷定行駛 10000 公里中，機油是否必須在此進行更換，所以進行新的機油檢測，及第三次行駛 10000 公里的機油黏度測試。

## 1-3

在 2016 年 8 月 5 日，為新機油進行測試的結果，觀察 MOBIL 機油是否是正常，結果 100 °C 為 12.38 cSt。雖然原廠規範 100 °C 為 11.0 cSt，但在 SAE 機油黏度的 100 °C 9.30~12.50cSt 之間，判斷不會影響，所以了解新機油黏度正常後，繼續進行第三次機油檢測。

## 1-4

在 2016 年 8 月 8 日，發現第三次機油 100 °C 為 8.87 cSt，也是不在 SAE 機油黏度 100 °C 9.30~12.50 cSt 規定內，依此斷定行駛 10000 公里就必須更換機油，並進行使用一般柴油的情形下，同樣都是行駛 10000 公里的機油，會不會有所差異或影響。

## 1-5

在 2016 年 11 月 23 日，用一般柴油行駛 10000 公里中，機油黏度 100 °C 為 10.36 cSt，並沒有超過規範值 12.50 cSt，或低於規範值 9.30 cSt，由此判定一般柴油，不會像生質柴油一樣，機油黏度下降程度異常，所以為了更精煉，多少里程數就須更換機油，個別假設生質柴油車，機油在行駛 5000 公里、6000 公里、7000 公里、8000 公里、9000 公里後，它的極限在多少公里。

## 1-6

在 2017 年 1 月 12 日，發現行駛 5000 公里的機油 100 °C 為 10.04 cSt，符合 SAE 機油黏度的規範，更進一步的測試 6000 公里是否符合規範。

## 1-7

在 2016 年 5 月 1 日，發現行駛 6000 公里的機油 100 °C 為 9.25 cSt，不符合 SAE 機油黏度的規範，但在游走在規範邊緣，依此我們斷定生質柴油車，在行駛 6000 公里，就必須更換。

## 5.結論

在此實驗中，生質柴油車造成了許多問題，而檢測前兩次行駛 10000 公里機油，才發現生質柴油會影響機油，並測完新機油後，再次測 10000 公里，才斷定機油的更換與否，並繼續實驗 5000、6000 公里，和行駛 1000 公里的一般柴油，得到更精準的數值。

### 改善

1. 剛開始認為造化物會造成機油變質，但在實驗過程及多次修正後，才發現造化物只會加速機油的沖淡，並不會改變性質。
2. 在回顧文獻的機油 VI 值裡，「黏度指數越高，則表示溫度變化幅度較廣時，黏度之變化卻不太大」，會造成誤判，所以實驗中，VI 值不能判定機油沖淡，更不能判定機油變質。
3. 密度也是一樣，不能判定機油沖淡，和不能判定機油變質。

### 參考文獻

- [1] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%9F%E7%89%A9%E6%9F%B4%E6%B2%B9>
- [2] <http://www.oil.net.tw/pip/lbg2006/chapter/3-1.htm>
- [3] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%8F%E5%BA%A6%E6%8C%87%E6%95%B8>
- [4] [http://www.mobil1.tw/products/product\\_5w\\_30.aspx](http://www.mobil1.tw/products/product_5w_30.aspx)



# 機車怠速安全控制系統-

## 以 Arduino 程式控制為例

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：邱盛乾老師

學生：陳培愷、楊易學、郝文傑、何浩平

### 摘要

現今世代，機車為台灣為最重要的交通工具之一，也因此交通安全也不容小覷；機車誤催油門暴衝事件也是常見事故中的一環，因此我們設想一機車安全系統，運用感知器的感應裝置傳送訊號給 Arduino 處理後，達到控制火星塞電路，致使機車無法發動，以避免事故的發生以及提升周遭人事物等安全。藉由此安全系統控制概念，未來也可以進階改變各類機車上的控制模式，能增廣應用在如電動機車與噴射引擎機車上，強化非人為控制的事故，以保護用路人安全以及降低事故率！

關鍵字：機車、怠速、斷電、感知器、安全系統

## 1. 前言

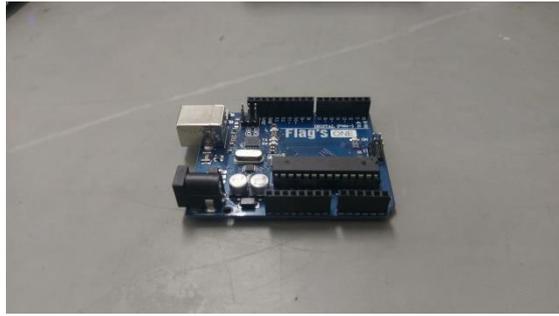
### 1.1 研究背景和動機

現今機車油門暴衝事件不在少數，當機車在怠速的時候，往往駕駛需要停車或者是道路徒手移車迴轉時，會疏忽熄火而導致駕駛者誤催油門的情形，導致人員及機車的損傷，所以本組構想研發一機車適用之安全控制系統，可以達到避免此狀況的產生。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 Arduino 原理

Arduino 是目前較為流行的電子互動平台，基於單片機系統開發，具有使用簡單、功能多樣、價格低廉等優點，廣泛應用於電子系統設計和互動產品開發方。參考文獻中第七點詳細介紹了 Arduino 的功能特點、基本結構，並通過 LEO 控制電路的應用給出了具體的使用方法



Arduino

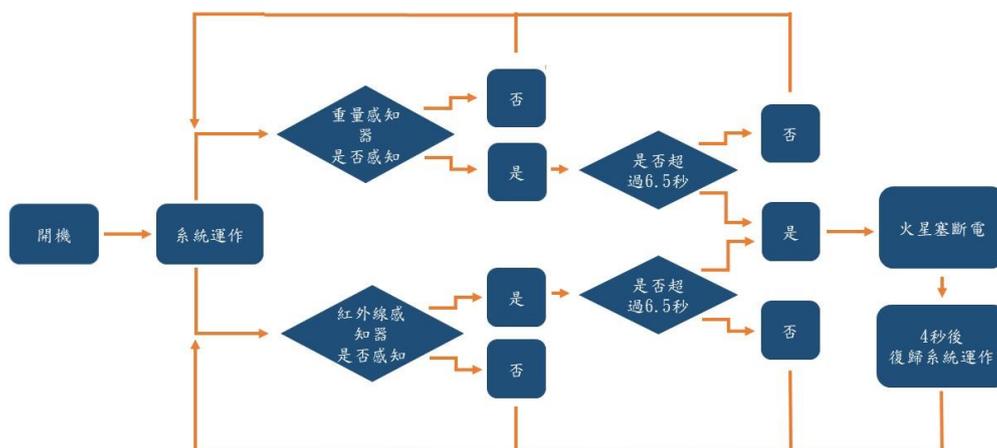
## 2.2 機車長時間怠速運轉影響

汽機車若長時間怠速運轉，易形成積碳並對空氣造成汙染，而積碳主要成分是羧基酸、瀝青質、焦油等沉積物的形成和汽車的“燃油”及“潤滑油”直接有關，這些粘稠物在噴嘴、進氣閥、燃燒室（氣缸蓋和活塞頂）等部位沉積就會變成堅硬的積碳，如：機車怠速熄火技術之研究，汽機車若經常處於低速和怠速狀態，更會加重這些形成和積聚，而影響引擎功率、油耗與廢氣汙染。

## 3. 實驗設計

### 3.1 研究系統：如下的控制流程示意說明

輸入訊號(重量感知器紅外線感知器)→處理(Arduino)→輸出控制(點火電路-火星塞)



### 3.2 實驗方法:

1. 解析機車之動力系統，討論出所需的輸入訊號及輸出訊號等控制方式。
2. 選擇與設計輸入及輸出訊號之元件，並規劃設置控制線路圖。

- 3.討論利用 Arduino 軟體作為機車安全處理控制單元。
- 4.實際配置輸入及輸出感知器正確位置及安裝。
- 5.重複測試本專題設計系統之穩定性。
- 6.確認完成後，將本專題控制系統配置與說明於展示板。

### 3.3 研究步驟:

- 1.構想輸入訊號的感知器:擬採用坐墊重量和紅外線感知器兩種。

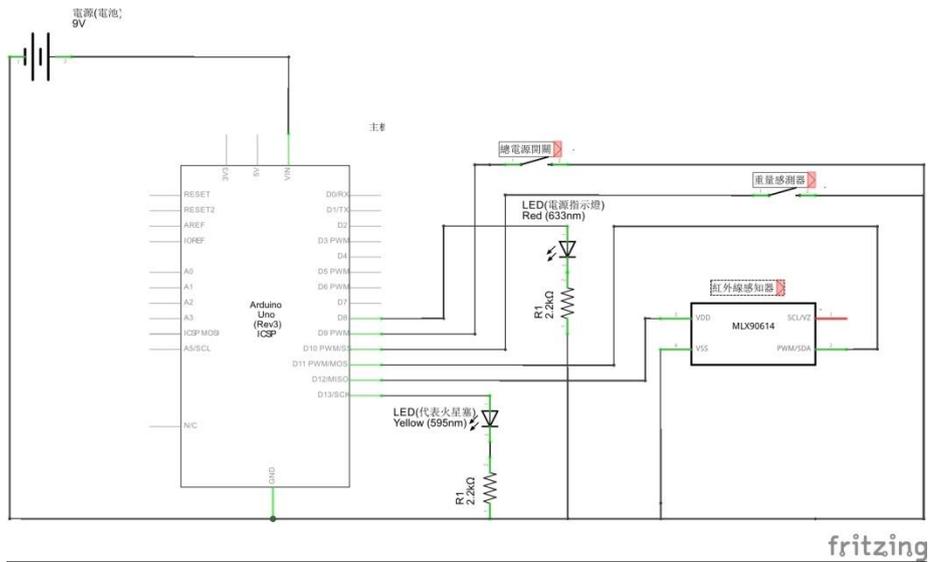


重量感知器

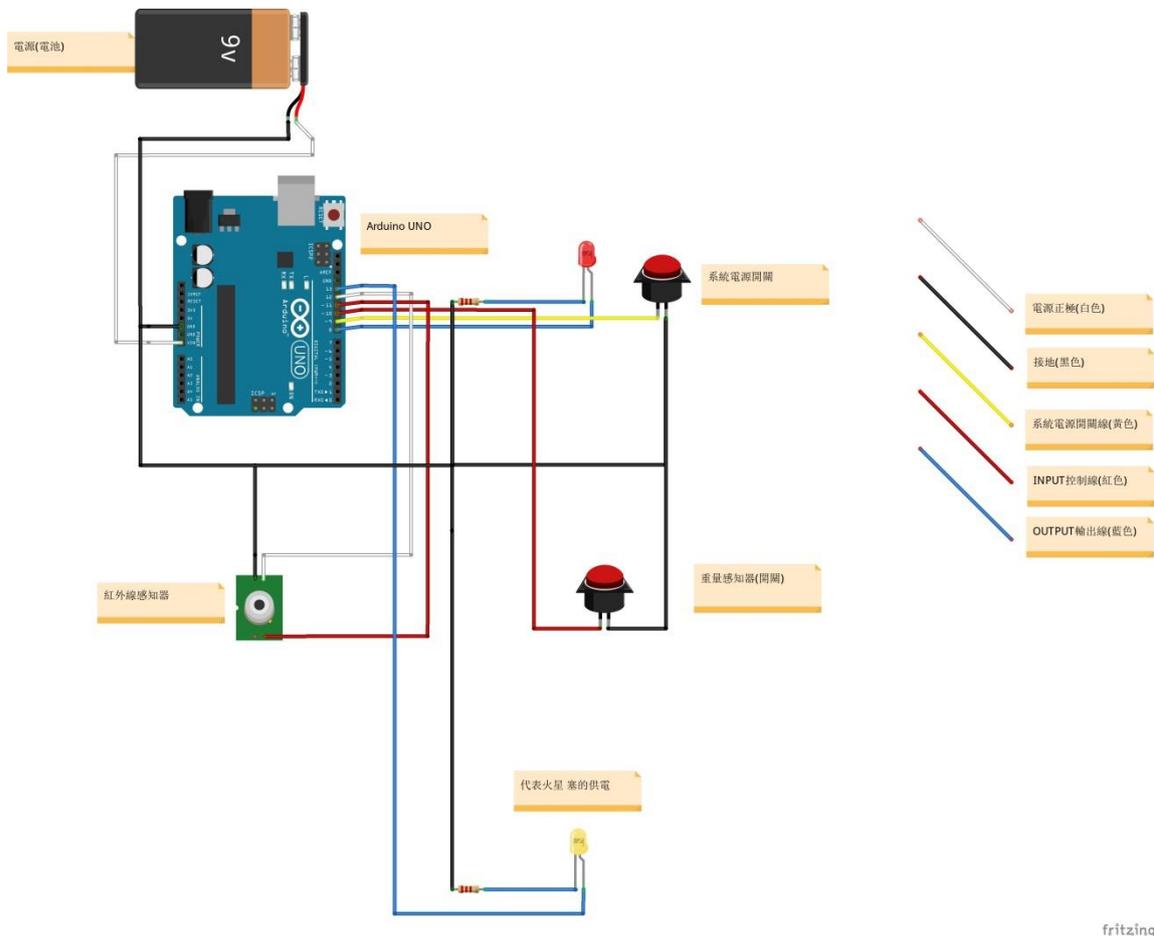


紅外線感知器

- 2.蒐集機車及電動車線路系統及專利等相關資料，例如:油門控制系統、機車電路控制系統等並在網路上尋找相關控制系統，做為未來安全系統之考量設計應用，如蘋果日報:加裝怠速熄火系統等.....。
- 3.初設紅外線感知器與重量感知器開關:依照機車駕駛之駕駛習慣姿勢，設置訊號輸入感知器位置，確定感知器可以正確感應其位置以及正常的作用與否。
- 4.構想輸出訊號的感知器:預先設想三種輸入訊號，為油門、節氣門和火星塞感知器進行評估考量後，選擇以控制點火系統的火星塞為對象。
- 5.繪製 Arduino 控制線路:利用麵包版與電腦，撰寫 Arduino 軟體相關控制程式，確定能接收感知器之輸入訊號，以及能輸出訊號達到控制火星塞點火作用，達到機車能熄火的作用。



架構圖



示意圖

6.Arduino 控制接線測試:依照規劃之設計控制線路，確立上述元件的接線與完成電路鋪設，測試其安全性與可否正常作動。

## 4. 結果與討論

- 1.經過討論評估後，本組採用了兩種輸入訊號感知器，一為重量感知器，可判定機車駕駛人是否乘坐在座位上；二為紅外線感應器，可感應機車駕駛是否在正確騎駕的位置上，依據此兩個訊號作用的感知情形，輸入控制系統做處理，判斷何時能提供輸出訊號，以達到控制點火系統的開關作用。給本組編寫的 Arduino
- 2.本專題之控制核心系統採用 Arduino 開發版型號:UNO，撰寫控制程式，確保接收到輸入訊號時，能正確判斷並給予輸出訊號，給予火星塞電路控制火星塞，以控制機車在未在安全狀態下，能正確熄火的功能。
- 3.本組經過評估及可行性的考量，確定以 Arduino 來控制機車點火系統的火星塞電路，來做為機車的熄火與否。

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論

本組專題研究之成果，可以利用 Arduino 控制模組的程式撰寫，接收設計之兩項輸入訊號，如重量信號及紅外線兩種訊號，經判斷處理後，可正常輸出訊號給火星塞電路，以達到確保駕駛人未依正常狀態時，即刻熄火以保護駕駛人與周遭人事物的安全保障。

### 5.2 建議

本專題設計之系統，可以應用在目前使用廣泛的化油器與早期噴射引擎之機車上，但因應未來為電動車的趨勢，本系統的輸出與輸出訊號的創意，可被建議應用於未來多元電動控制元件的參考，只要考量電腦控制系統的電路安全，本專題研究的應用就更有價值，但仍需經過審慎評估與改裝測試。所以本專題結果建議，可提供給將來有興趣對電動車之後續研究，對於未來機車交通的安全性是一大福音。

## 參考文獻

1. 蘋果日報：加裝怠速熄火系統，光陽V2 125 Idle Stop搶先體驗
2. 【停車請熄火，長時怠速危害多。】  
<http://www.cycepb.gov.tw/No-Idling/news/viewtopic.asp?id=62>
3. 李國榮，機車怠速熄火技術之研究，碩士論文，國立屏東科技大學車輛工程系，2010。
4. 林振華編譯，電子材料，全華科技圖書有限公司，民國90年12月。
5. 賈德昌等編著，電子材料，滄海書局，2002年6月。
6. 趙英傑編著，超圖解Arduino互動設計入門
7. Arduino功能簡介，  
<https://openhome.cc/Gossip/Books/mBlockArduino1-3and1-4.html>

# 就生命週期的觀點進行交通工具 之碳排放比較研究

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：莫懷恩教授

學生：吳秉寰、洪揚、陳維邦

## 摘要

因應國際趨勢，許多產業都打著綠色能源的旗幟，然而是否真的為綠能產業，是否真的對環境友善，本研究會以電動機車、淡海輕軌，兩個被認為是綠能運輸工具；及燃油機車、汽油引擎汽車，兩個傳統被認為是造成地球暖化的元凶，將四種交通工具，以生命週期的觀點，進行碳排放量的探討。本研究方法將生命週期分為生產、使用、回收三部分，將四種交通載具，以生命週期三部分，逐一分析，生產階段將燃油汽機車及電動機車以表列方式將所需要零件清單化，輕軌則計算興建中砂石車運送土石的碳排放，工程期間碳排放量為 167 公。在使用階段部分，計算四種載具的碳排放量，以模擬方式計算出每人每日碳排放量以電動機車 233g 為最低，淡海輕軌以 714g 次之，燃油機車、汽油引擎汽車分別為 1120g 及 1400g。最後的回收部分，四種交通運輸工具在回收階段有不同的處理方式，電動機車、燃油機車和汽油引擎汽車在台灣的處理方式把這三種交通工具所有的金屬資源拆解下來做利用，輕軌的車廂處理方式，分為拍賣、送回原本購買車廂的國家去做利用，然後再重新購買、利用車廂作地景的再造、當作廢鐵的處理，相對來說輕軌處理方式更多元。

關鍵字：生命週期、碳排放、輕軌、電動機車、燃油機車、汽油引擎汽車。

## 1. 前言

### 1.1 研究背景和動機

面對全球節能減碳的風潮，綠能成新興產業一躍而起。從全球各重要組織呼籲或政策推行下，各國都在挑戰如何能透過綠能產業發展減少碳排放量，進而對環境到更友善的效果。美國在 98 年通過「清潔能源與安全法案」、南韓在 97 年制定「低碳綠色成長國家策略 5 年計畫」、日本 101 年實施「再生能源固定價格收購制度」、歐盟在 98 年提出「20-20-20」氣候能源目標，各國以政府力量為後盾透過政策、長短期規劃及執行，更能提升面對全球變遷調適的能力。

台灣雖然不是聯合國會員，沒有簽訂京都議定書，不用強制配合減碳的目標，但依國際環保公約之經驗，我國即使不簽署公約及享受權利，相關義務卻仍需履行；除此之外，台灣的能源長期仰賴進口，更基於環保，避免國際制裁，提升國家競爭力等觀點，積極提出降低溫室氣體排放之解決方案。(徐聖哲，2012)因此，綠色能源在台灣受到重視。許多的政策、建設的興建，都打著綠色能源的旗幟，但不經令人反思，綠能相關的建設，是否真正達到減碳的目的？現今台灣許多政策、都市與區域規劃都以綠能成為新的口號，以順應國際趨勢增加知名度與競爭力，實際成效有否達到目的？本研究希望以生命週期來檢視台灣通勤人口常使用的交通工具，以及標榜綠能的交通工具碳排放量的情形為何？

## 1.2 研究目的

筆者希望透過本研究達到以下目的

1. 了解四種交通運輸工具（燃油機車、電動機車、汽油引擎汽車和輕軌）之能源使用之不同處
2. 了解四種交通運輸工具（燃油機車、電動機車、汽油引擎汽車和輕軌）在不同階段碳排放量成因與差異
3. 就能源耗費的觀點評估四種交通運輸工具（燃油機車、電動機車、汽油引擎汽車和輕軌）何者較為環保

## 2. 文獻回顧

### 2.1 二氧化碳對環境的影響

全球暖化的變遷和溫室氣體增加息息相關，溫室氣體能吸收紅外線，當陽光穿越到地表，受到地表反射，如果有大量的溫室氣體，會造成無法反射回大氣，進而影響地表溫度的增加。IPCC 對於自然溫室氣體定義包括水蒸氣 (H<sub>2</sub>O)，水氣所產生的溫室效應大約佔整體溫室效應的 60-70%，其次是二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 大約佔 26%，其他還有臭氧 (O<sub>3</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮 (又稱笑氣，N<sub>2</sub>O)、以及人造溫室氣體氫氟碳化物 (HFCs，含氯氟烴 HCFCs 及六氟化硫 SF<sub>6</sub>) 等。水氣雖然佔大部分，但是由於水氣會凝結成水，因此大氣中的水蒸氣會維持穩定的比例，但不同的是二氧化碳會有累積的作用，加上二氧化碳是許多產業生產過程中會大量排放的氣體，人類至工業革命以來開始大量燃燒化石燃料，再加上交通運輸的二氧化碳的排放量，全球的二氧化碳濃度在過去的 200 多年已從

280PPM 上升至 400PPM，因此如何節能減碳是國際關注的議題。在 IPCC 第五份氣候變遷報告書中，提及 AR5 氣候模式顯示大部分的氣候模擬系統對於全球碳的循環模擬和觀測資料接近。結果顯示長期暖化的主要驅動力是和 CO<sub>2</sub> 總排放量有關，兩者呈線性的關係，即使停止 CO<sub>2</sub> 的排放，超過 20% 的 CO<sub>2</sub> 會停留在大氣中超過 1000 年，因此氣候變遷亦將會持續好幾個世紀。(間接引用自 IPCC AR5，2013)

## 2.2 全球綠色能源發展趨勢

美國在 98 年通過「清潔能源與安全法案」，投資 1,720 億美元用於發展清潔能源技術和能源效率領域；接著在 103 年公布「全方位 (All of the Above)」能源政策方向，能源部提出「2014~2018 策略計畫」，目標 2030 年達到溫室氣體累積削減量 30 億公噸。南韓在 97 年制定「低碳綠色成長國家策略 5 年計畫」，目標提高綠色技術與產業、適應氣候變化要領、能源自立度、能源福祉等綠色競爭力；99 年制定「低碳綠色成長法」，宣布再生能源產業計畫；至 104 年投資 40 兆韓元發展太陽能、風能和水力能等再生能源產業。日本 101 年實施「再生能源固定價格收購制度」，其制度為電力公司有義務於一定期間以固定價格全額收購再生能源電力，涵蓋太陽光電、小型風力生質能發電等；103 年為推廣離岸風力發展利用高費率，吸引業者加強對風力計畫之投資。歐盟在 98 年提出「20-20-20」氣候能源目標，提撥 1,050 億歐元投入振興綠能經濟；102 年提出「2030 年氣候和能源政策綱領」綠皮書，設定 119 年前將再生能源在整體能源中的比重提升到 27%，溫室氣體減量達到 40%。(行政院經濟能源農業處，2016)

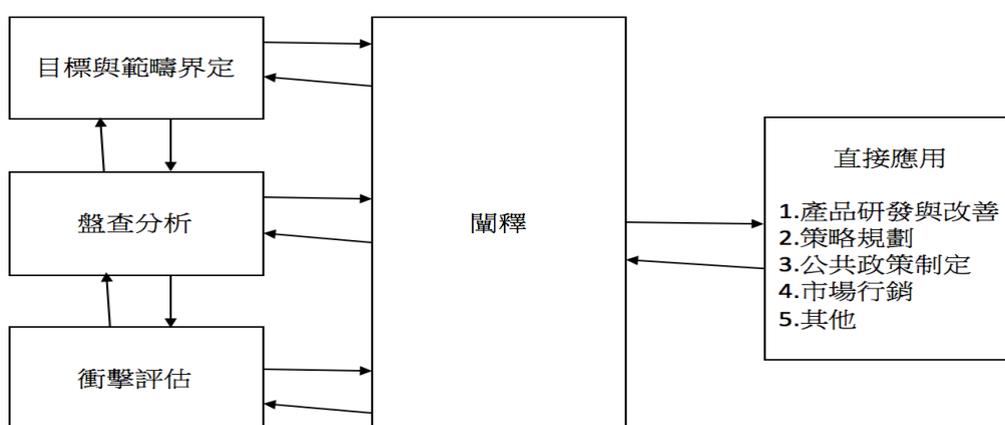
## 2.3 碳足跡

行政院環境保護署定義碳足跡(Carbon Footprint)為與一項活(Activity)或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的溫室氣體排放量。相較於一般大家瞭解的溫室氣體排放量，碳足跡的差異之處在於從消費者端出發，破除所謂『有煙囪才有污染』的觀念。企業及產業溫室氣體的排放，一般是指製造部分相關的排放，但產品碳足跡排放尚須包含產品原物料的開採與製造、組裝、運輸，一直到使用及廢棄處理或回收時所產生的溫室氣體排放量。(行政院環境保護署，2015)

## 2.4 生命週期

生命週期屬於系統分析方法之一，從產品的原料、如何製造、使用、維修、

回收再利用(搖籃到墳墓)等等,對於資源的使用、人體健康及生態等潛在的衝擊。生命週期可追溯到 1969 年,隨著人們對於環保意識以及回收高漲,開始對於民生用品開始進行資源及環境的剖面分析 (Profile analysis), 80 年代起,美國能源部美國能源部則開始分析各產業製程的能源與物質 (Energy and Material Flows), 此即生命週期評估之前身(行政院環境保護署, 2014), 也因為石油危機的衝擊以及不同方面的能源耗竭問題, 各國紛紛越來越關注此議題, 許多歐美的研究機構也開始應用在能源以及不同產業的探討(永續產業發展季刊, 2014), 目前應用於多種產業做使用。評估流程可以分為, 一、目標與範疇界定, 二、生命週期盤查分析, 三、生命週期衝擊評估, 四、生命週期闡釋。(見圖一、)



圖一、生命週期流程

資料來源：行政院環境保護署

## 一、目標與範疇界定

在生命週期評估的過程中,會隨著產業的不同而有所改變,因此我們首重的工作在於目標以及界定範圍,預期結果與溝通對象,藉此將目標釐清的更精確,有助於我們研究能夠得出有價值的資訊。在作業過程中,由於研究主題的部分為<大眾運輸工具碳排放比較分析探討>, 因此著重於功能單位 (functional unit)做探討,功能單位在於,將不同的類型的運輸工具,量化成相同的單位,藉此做出分析比較。重點還須包括研究的系統、系統功能、系統界線、分配程序、衝擊的種類與衝擊評估的方法及評估範圍。(永續產業發展季刊, 2014)

## 二、生命週期盤查分析

盤查分析需要依據第一階段所訂定出的目的做討論，主要為資料的蒐集以及數據的計算，進行各項的投入及產出的產出數據資料的蒐集與彙整，資料包括一開始的原物料的來源、如何去製成、行駛之後的碳足跡、維修到最後的回收等等。彙整則分成兩個部分，第一是功能單位，將不同單元投入產出的數值，轉換成相同單位；第二是將不同計算週期的階段加總起來，會依照資訊的累積，反覆的做加總，藉此比較相同與不同之處，不斷的去做分析探討，讓盤查符合研究之目的。(永續產業發展季刊，2014)

## 三、生命週期衝擊評估

會透過分類、特徵化與評價等三個步驟，將盤查所得出來的數據以及結果，加以來檢視對環境的衝擊及影響，再將這些影響，用具體化的東西來彙整這些複雜的資料，讓決策者能夠了解研究資訊。(永續產業發展季刊，2014)

## 四、生命週期闡釋

透過多方面的盤查以及衝擊評估所帶來的結果之後，我們可以將結果與想要達成的目標一致化，藉此達成結論與建議。(永續產業發展季刊，2014)

# 3. 研究設計

## 3.1 研究對象

在探討要以何種交通工具作為研究對象，以台灣來說，各縣市民眾外出皆以「機車」為最主要運具：就 104 年臺灣地區民眾外出使用之所有公、私運具觀察，以私人運具中之「機車」所占比率最高，達 47.5%，「自用小客車」占 24.2% 次之，兩者合占所有運具之 71.7%。(民眾日常使用運具調查 中華民國交通部)，所以筆者決定以機車，汽車作為研究對象，這兩個交通工具占了民眾使用交通工具的 7 成以上，探討機車與汽車碳排放量。而在環保意識逐漸抬頭的情況，在路上會慢慢開始發現有電動機車在路上行駛，而現今又以 gogoro 這款台灣研發的電動車，在台灣的市場上最為火紅。最後政府在推動的淡水輕軌運輸系統，是標榜綠色能源的大眾運輸，所以我們要探討台灣民眾使用度最高的汽機車，以及現今逐漸展露頭角的 gogoro 電動機車，以及即將完工的淡海輕軌大眾運輸，以碳足跡的生命週期作為研究標準，來探討這四種交通工具之間的關係。

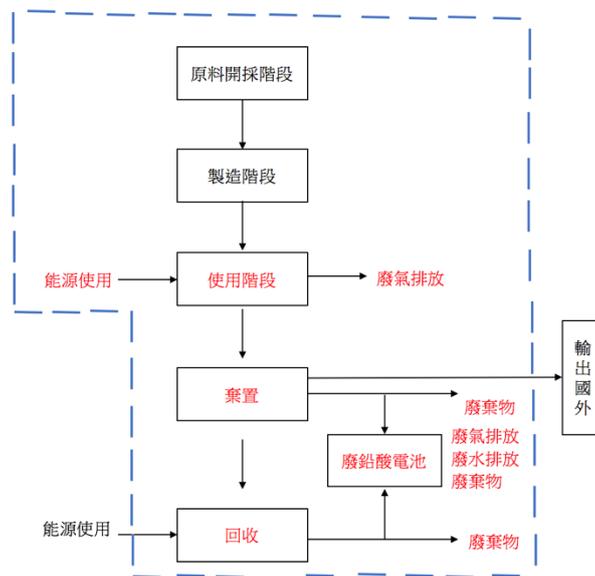
## 3.2 研究方法

此研究目的為了解大眾運輸工具的能源用量情形，以探討碳排放，是否有符合綠能、節能減碳，因此以生命週期為主幹，再藉由其他研究方法輔助，將實驗目的可以與目標符合。

## 1. 生命週期

### 一、目標與範疇界定

在整理相關文獻時，由於資料有限，許多廠商皆不提供相關生命週期資料。因此我們將目標設定於針對環境造成汙染之碳排放量，不考慮對於人體的安全考量，以及生態系統品質。本研究系統範疇為一開始原料開採階段的運送過程、站體、製造行為到使用階段的能源使用、廢氣排放，到最後的將其廢棄物回收、再利用(如圖二、)。本研究之功能單位的所有大眾運輸工具生命週期加總起來之碳排放量(公克)，根據將不同類型的運輸工具的能源損耗以及碳排放量，量化成相同的單位，藉此做出分析比較，來檢視是否大眾運輸工具的生命週期有符合綠色能源、碳排放之規範。



圖二、 本研究系統範疇

## 二、生命週期盤查分析

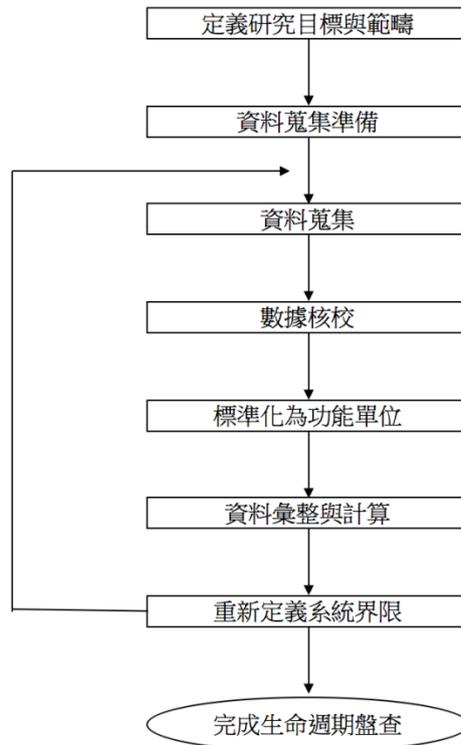
依據第一階段所訂定出的目的做討論，主要為資料的蒐集以及數據的計算，進行各項的投入及產出的產出數據資料的蒐集與彙整，資料會依照限有的資源來探討。例如若要蓋一個站體，投入的工程要花多少的卡車輛，一台的卡車成載量為多少，來回一趟需要多少的油耗，都在考量範圍內。數據的計算因為無法精確地算出工程會耗費多少的碳排放量，因此會依據平均數的概念來估算，將此研究逼近精確值。

## 三、生命週期衝擊評估

研究將盤查所得出來的數據以及結果，來檢視我們對於碳排放後，後續的對於全球暖化所造成的衝擊及影響，再將這些影響，用具體化的東西來彙整這些複雜的資料，讓決策者能夠快速了解研究資訊。

## 四、生命週期闡釋

透過多方面的盤查(如圖三、)，以及衝擊評估所帶來的結果之後，我們可以將結果與想要達成的目標一致化，藉此達成結論與建議。



圖三、 本研究之生命週期盤查流程

## 2. 量化研究

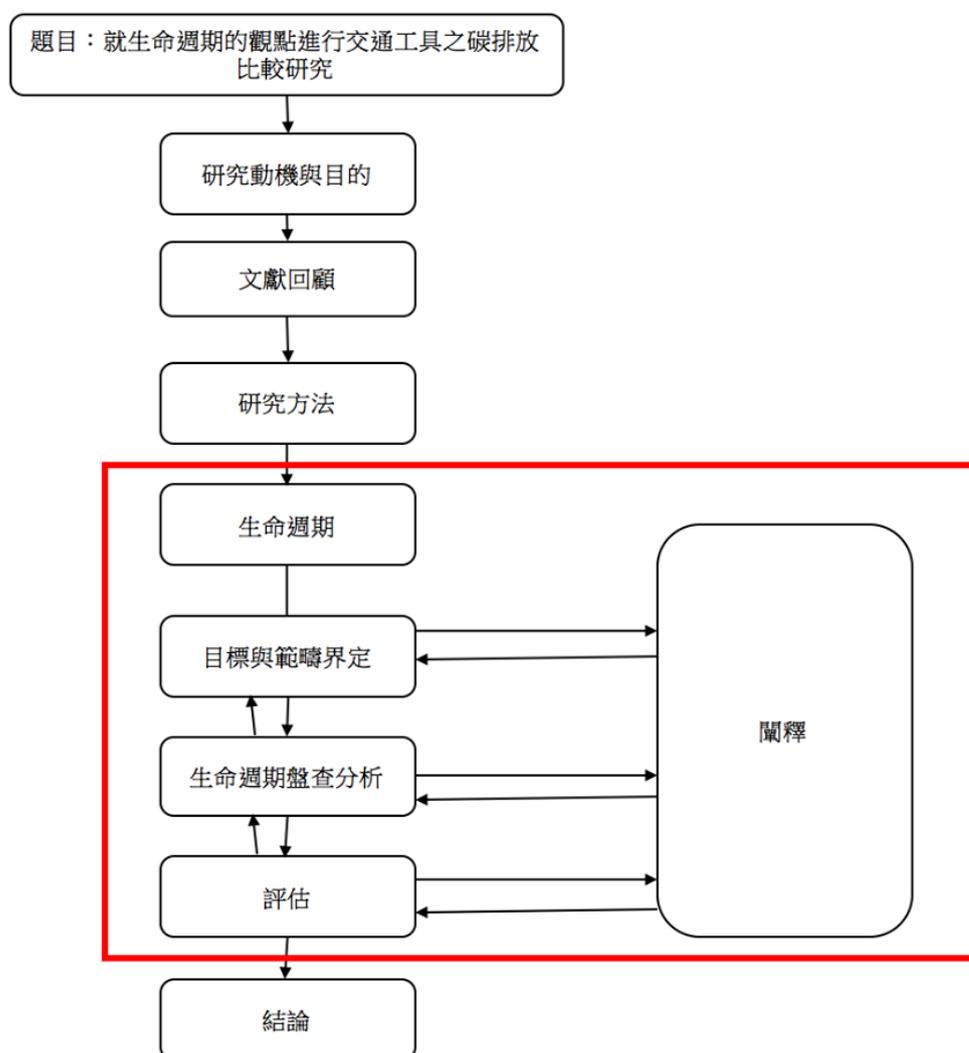
將網路上現有的大眾運輸工具碳排放量加總之數據做研究，透過統計以及相關平均數去做計算，最後將它量化為對於全球暖化的融冰現象，減少了多少的冰塊，多少年後會造成北極無冰現象，藉此呼籲民眾要及時防範。

## 3. 文獻分析

根據許多官方研究以及多方面的文章報導，像是華藝線上圖書館、行政院環保署、利用多方面向的文獻來做分析。

### 3.3 研究流程

圖四、本研究流程圖



## 4. 結果與討論

### 4.1 各交通工具碳排放結果

#### 4.1.1 燃油機車

##### 燃油機車生命週期

筆者採納眾多以及國外資料，發現若是引用他國的碳足跡數值，可能會有數據地理性的問題(盧怡靜，2015)，也有許多機車碳足跡之資訊，因為零件或是機構會有商業機密不肯透露，最後在網路上找到由財團法人工業技術研究院提供產品碳足跡生命週期計算平台服務，此服務為行政院環境保護署，為統籌管理國內各級政府機關所建置之碳足跡排放係數，於 2013 時邀請政府機關以及產官學研各界共同進行我國碳足跡排放係數之建置與審查作業(資料庫使用說明，2015)。因此數據上面的提供皆為台灣運輸各大場所提供之碳係數數值。一方面可以免於大量的數據計算方式，簡單易懂直接抓入痛點尋求改善，也能避免筆者衡量各階段之生命週期時，能夠更概括性的將整體的碳排放考量進入本研究中，有助於我們研究計畫的一大前進。

##### 1. 生產階段

機車之零件過於繁雜，因此若要從源頭尋根起，會導致零件太過細分，而造成此研究之方向失焦，因此本研究著重於主要零件之配置(如表一、)，以及詳細列出材質，及資源的再利用性，方便碳足跡之數據運算，也能夠將後續的比較差異、評估部分能夠更有條列式的做出比較，總含鐵量:44.91kg，總含銅量:2.25kg，總含塑膠量:2.27kg。

表一、燃油機車零件

模組名稱	零件項目	單位重量 (Kg)	個數	總重量 Kg	材質	資源再利用性		備註
						再使用	回收	
	車架(含零配件)	27.12	1	27.12	鐵	可	可	
動力系統	引擎主體(含發電機)	10.20	1	10.20	鐵、銅、鋁、橡膠	否	可	假設鐵2.53kg、銅1.25kg、鋁6.32kg、橡膠0.10kg
	傳動齒輪箱	10.06	1	10.06	鐵	可	可	
	煞車蹄片	0.06	2	0.12	鋁、石綿	否	可	假設鋁0.08kg、石綿0.04kg
	濾清器	0.68	1	0.68	塑膠	否	可	
	排氣管	2.92		2.92	鐵	否	可	
	化油器	0.40	1	0.40	鋅、塑膠	否	可	假設鋅0.35kg、塑膠0.05kg
	油箱	2.28	1	2.28	鐵	否	可	
	機油	1.20	1	1.20	機油	否	可	
電力系統	鉛酸蓄電池	1.62	1	1.62	鉛、電解液、塑膠、鐵	否	可	假設鉛1.00kg、電解液0.39kg、塑膠0.16kg、鐵0.07kg
外裝零件	車身電裝品	1.61	1	1.61	玻璃、塑膠	否	否	假設玻璃0.23kg、塑膠1.38kg
	坐墊	2.94	1	2.94	泡棉	可	否	
	外殼	7.86	1	7.86	ABS	否	可	
	檔泥板	2.00	1	2.00	PP	否	可	

輪胎	2.00	2	4.00	橡膠	否	可	
總計	75kg						

(資料來源：電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)

## 2.使用階段

機車使用階段需考量二個部分，1.為能源使用 2.為廢氣排放，能源使用的部分涵蓋的範圍從油品開採到製造;廢氣排放的部分為車輛行駛過程燃油耗用的溫室氣體排放(產品碳足跡計算服務平台，2014)。因此筆者根據產品碳足跡計算服務平台中得知每一延人公里(pkkm)的情況下，碳足跡數值為 9.51E-002 kgCO<sub>2e</sub>(產品碳足跡計算服務平台，2014)，考慮充電放電的情況，碳足跡數值為 1.12E-001 kgCO<sub>2e</sub>。

## 3.回收階段

回收階段筆者以環境造成較大影響之廢塑膠、廢輪胎、廢機油、廢鉛酸蓄電池以及車體廢鐵回收部分做考量。

### 一、廢塑膠

國內機車塑膠材料應用極為廣泛，從材質出發，用 PP(聚丙烯)及其複合材料、ABS 兩種材質使用最多(電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)，從上述的總含塑膠量為 2.27kg，因此將數據套入表格中(如表二、)，在依照產品碳足跡計算服務平台中，得知 PP 廢塑膠片為每公斤 3.20E-001 kgCO<sub>2e</sub>(再生料-廢容器-PP 廢塑膠片，2013)，ABS 廢塑膠片為每公斤 3.26E+000 kgCO<sub>2e</sub>(丙烯-丁二烯-苯乙烯聚合物，PU 廢塑膠片為每公斤 2.00E-001 kgCO<sub>2e</sub>(再生料-廢容器-未發泡 PS 廢塑膠片)、PVC 廢塑膠片為每公斤 2.20E-001 kgCO<sub>2e</sub>(再生料-廢容器-PVC 廢塑膠片)。碳排放共 0.838kgco<sub>2e</sub>

表二、我國機車塑膠材質組成分析

塑膠種類	比率	應用之零件	數值(kg)
PP(聚丙烯)及其 複合材料	63%	腳踏板、前置物箱、前擋條、保險桿、坐墊、支撐架、儀表板、電池外殼等	1.43(457g)
ABS (苯乙烯共聚體樹脂)	16%	車鏡架、燈座	0.36(326g)
PU (聚胺基甲酸酯)	8%	座墊泡綿	0.18(36g)
PVC (聚氯乙烯)	4%	座墊表皮、把手、腳踏墊	0.09(19.8g)
其他	9%	其他零組件	0.2

資料來源：賴清溪(1987)

## 二、廢輪胎

廢輪胎的再利用價值非常高，其主要組成成分如表三，其中是用填充料(SiO<sub>2</sub>)占 37%最多、橡膠占 36%次之(電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)。因此筆者將此輪胎以最有價值之橡膠片為製成，由產品碳足跡計算服務平台中，可得知回收輪胎製成橡膠片每公斤會造成 6.00E-002kgCO<sub>2</sub>e。

表三、輪胎材質組成成分分析

成分	百分比
天然橡膠	11%
合成橡膠	21%
回收橡膠	4%
填充料(SiO <sub>2</sub> )	37%
二氧化鋅	1.2%
軟化劑	3%
硫磺	1.3~2.0%
鋼絲	18%

其他物質	3.5%
重金屬成分	含量
鈦	0.2 ppm
鎳	5~10 ppm
鉛	60~760 ppm
鎳	77 ppm
鉻	97 ppm

資料來源：高明瑞，1999

### 三、廢鉛蓄電池

故目前量產之電動機車皆以鉛酸蓄電池為動力來源，其主要構造為陽陰極鉛板、電槽及隔離板，如圖 4-5 所示；材質組成如表 4-12 所示，鉛占 62% 最高，電解液占 24% 次之(電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)。因此筆者選擇製成的鉛錠再生料，因此每公斤會製造 7.60E-001kgCO<sub>2e</sub>(廢鉛蓄電池-再生鉛錠，2013)。

### 四、廢鐵

本研究著重在機車車體中的廢鐵，從產品碳足跡計算服務平台得知每公斤的鐵會造成 3.03E-001 kgCO<sub>2e</sub> (廢機車-再生碎鐵，2012)。共排放 13.6 kgCO<sub>2e</sub>

## 4.1.2 電動機車

### 電動機車生命週期

#### 1.生產階段

電動機車與燃油機車在結構上最主要差異於動力系統，利用電子零件去做更換燃油機車之引擎燃料箱、引擎控制裝置、排氣管等等，改成電池、馬達、控制器、充電器、殘電顯示器等機電零組件所取代(電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)，如表四、可詳見電動機車之組成分析，總鐵含量:56.83kg，總銅含量:3.3kg，總鉛含量:26.04kg，總塑膠含量:5.7kg。

表四、電動機車組成分析

模 組	零件項目	單位 重量	個 數	總重 量	材質	資源再利用性		備註
						再使用	回收	
	車架(含零配件)	27.33	1	27.33	鐵	可	可	
動 力	馬達	10.00	1	10.00	鐵、銅	可	可	假設鐵 8kg、銅 2kg
	控制器	3.00	1	3.00	鐵、銅 塑膠	否	可	假設鐵 2kg、銅 0.8kg、塑膠 0.2kg
	傳動齒輪箱	16.00	1	16.00	鐵	可	可	
	煞車蹄片	0.06	2	0.12	鋁、石綿	否	可	假設鋁 0.08kg、石綿 0.04kg
電 力 系 統	鉛酸蓄電池	10.50	4	42.00	鉛、電解 液、塑 膠、鐵	否	可	假設鉛 26.04kg、電 解液 10.08kg、塑膠 4.2kg、鐵 2.1kg
	充電器	2.00	1	2.00	鐵、銅 塑膠	可	可	假設鐵 1.4kg、 銅 0.5kg、塑膠 0.1kg
外 裝	車身電裝品	1.61	1	1.61	玻璃、塑 膠	否	否	假設玻璃 0.23kg、塑 膠 1.38kg
	坐墊	2.94	1	2.94	泡棉	可	否	
	外殼	8.00	1	8.00	ABS	否	可	
	檔泥板	2.00	1	2.00	PP	否	可	
	輪胎	2.00	2	4.00	橡膠	否	可	
	總計	119kg						

資料來源：電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002。

## 2.使用階段

電動機車(以台灣 gogoro 為例)，使用生命週期分析時，也分成二部分，1.能源消耗 2.廢氣排放，但電動機車的廢氣排放為零，因此著重於能源消耗部分。

Gogoro 車內電池能放置二顆，每顆 gogoro 電池重 9 公斤、電壓為 43.2 伏特、電

池容量為 30.3Ah，能夠轉換為 1.37kWh 的耗電量(ZEEK 玩家誌)，若以理想之平均時速為 40 公里，共兩顆電池能夠騎乘 100 公里(gogoro 官網)的情況下，再藉由產品碳足跡計算服務平台每度電為 50E-001 kgCO<sub>2</sub>e，可以得出每公里 19.7g 的碳排放量(ETtoday 東森新聞雲，5/24)，在考慮充電、放電的情況之後，為每公里 19.7/0.87/0.97=23.34 kgCO<sub>2</sub>e。

## 2. 回收階段

電動機車盤查將電動機車之壽命，20000 公里為單位，分析出可資源回收及不可資源回收的部分，幫助分析及探討的使用（如表五、）。

表五、電動機車棄置回收階段盤查清單

<u>系統名稱</u>	電動機車棄置回收階段系統							
<u>投入項目</u>	<u>廢棄電動機車</u>							
<u>產出項目</u>	可資源化							
	鐵	鋁	PP	ABS	銅			
<u>盤查結果</u>	92.38	0.13	3.33	13.33	5.50			
<u>產出項目</u>	<u>可資源化</u>	<u>廢棄物</u>		<u>有害廢棄物</u>		<u>廢棄物</u>		
	<u>橡膠</u>	<u>泡綿</u>	<u>玻璃</u>	<u>電路板</u>	<u>鉛酸蓄電池</u>	<u>雜物</u>		
<u>盤查結果</u>	20.00	4.90	0.38	2.00	210*	1.58		
<u>系統名稱</u>	電動機車廢鉛酸蓄電池棄置階段子系統							
<u>投入項目</u>	<u>廢鉛酸蓄電池</u>		<u>電力</u>		<u>用水量</u>			
<u>盤查結果</u>	210kg		134.4kwh		0.672L			
<u>產出項目</u>	<u>可資源化</u>		<u>有害事業廢棄物</u>		<u>廢水排放</u>		<u>廢氣排放</u>	
	<u>鉛</u>	<u>鐵</u>	<u>塑膠</u>	<u>鉛渣</u>	<u>廢酸液</u>	<u>廢水</u>	SO <sub>2</sub>	<u>鉛塵</u>
<u>盤查結果</u>	110.7	8.4	21.0	19.5	25.2	0.672	15.75	9.45
<u>功能單位</u>	20,000 公里(*因電池為抽換式 行駛 20,000 公里須用五顆)							

資料來源：(電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)

### 4.1.3 汽油引擎汽車

#### 汽油引擎汽車生命週期

##### 1.生產階段

汽車產業的供應鏈長且複雜，因而對於其他產業的帶動效果也較大。汽車產業供應鏈的管理以中心車廠為核心的運作，執行從供應商到最終用戶的物流、資訊流、業務流、資金流等。中心車廠與供應鏈間的運作模式，將影響到車輛開發至量產的時間與品質，也對開發成本有所影響。

汽車工業牽涉範圍極廣，其生產所需的材料包括鋼鐵、橡膠、塑膠、電子、電機、玻璃與油漆等，其生產所需的技術則牽涉機械、電機、電子、通訊、塑化等各個產業，因此，汽車工業對一國的就業、經濟貿易發展與相關產業的技術升級等，都有極大的帶動效果。

由於汽車生產所需的零件眾多，一輛汽車所需使用的9大系統的零組件數，高達8,000至15,000項（如表六、）。

表六、汽車零組件分類表

零件系統	內容
引擎系統	引擎、活塞、汽缸體、汽缸頭、汽門、曲軸
引擎電製品	分電盤、高壓線圈、發電機、起動馬達、火星塞
引擎附屬系統	排氣管與消音器、油箱、冷卻水箱
傳動系統	離合器、變速箱、傳動軸、後軸
轉向系統	轉向連桿機構、轉向系統零件、方向開關
剎車系統	剎車盤總成、煞車總分泵、煞車來令
車身系統	保險桿、避震器、前輪轂總成、座椅、車體
車身電氣系統	儀表、各項電器開關、空調、引擎微電腦控制
其他	鈹金件、模治具、塑膠件、工具組、裝飾件

資料來源：擷取自財團法人塑膠工業技術發展中心，  
汽車塑膠零組件 原廠測試介紹，2017)

##### 2.使用階段

近年在政府的提倡與宣導下，各縣市民眾搭乘大眾運輸工具的比例提升，但以民眾外出使用公、私運具觀察，仍以「機車」市佔率最高，而除台北市外，第

二名皆是「自用小客車」，其中以「新竹縣」(40.9%)最高，「臺北市」(16.0%)最低。(交通部統計處，「民眾日常使用運具狀況調查」摘要分析，第23-27頁，2016)

為了解汽油引擎汽車的二氧化碳排放，筆者根據科學人雜誌，李名揚先生(2011)在「在臺灣，電動車較優」的報導，汽油引擎汽車的動力來源為燃燒經由石油精煉過後的汽油，而在精煉的過程中，約有15%的能源損耗，同時提煉每公升汽油約產生500公克的二氧化碳，而將汽油由煉油廠送到加油站的過程中，產生3%的能源損耗。

根據經濟部能源局-能源產業溫室氣體資訊中心網站公布，使用汽油每公升排放CO<sub>2</sub>約2.24公斤，筆者選用國內市佔率最高之汽車廠牌TOYOTA，並以COROLLA ALTIS 1.8G ZRE172L-GEXGKR 1798c.c. CVT為例，1公升可以行駛19.4km，經計算後相當於每行駛一公里，排放115.4公克的二氧化碳(2240公克/19.4)，因考慮精煉過程的能源耗損15%及汽油運送過程的3%能源耗損，筆者可得二氧化碳之總排放量約為每公里139.96公克(115.4公克 ÷ 0.85 ÷ 0.97)。(侯建章，澎湖電動機車二氧化碳排放量之研究，第73頁，2012)

此外，同一種車輛，也會因駕駛人習慣不同，導致耗油量與排放量也不同。

### 3.回收階段

回收階段之碳排放筆者以可回收成分與金屬零件項目分開做計算，首先根據環發會的廢車成分介紹(如表七、)，再依據產品碳足跡計算服務平台估算該材質所產生的碳排放量，得知廢汽車-再生碎鐵(鋼)為每公斤產生3.27E-001 kgCO<sub>2e</sub>，780kg的廢鐵相當於255.06 kgCO<sub>2e</sub>，再生料-廢壓縮機/廢馬達二次拆解-廢鋁為每公斤產生1.40E-001 kgCO<sub>2e</sub>，5kg的廢鋁相當於0.7 kgCO<sub>2e</sub>，再生料-廢壓縮機/廢馬達二次拆解-廢銅為每公斤產生1.40E-001 kgCO<sub>2e</sub>，5kg的廢銅相當於0.7 kgCO<sub>2e</sub>，廢鉛蓄電池-再生鉛錠為每公斤產生7.60E-001 kgCO<sub>2e</sub>，15kg的廢鉛相當於11.4 kgCO<sub>2e</sub>，廢輪胎-再生橡膠片為每公斤產生6.00E-002 kgCO<sub>2e</sub>，27kg的廢輪胎相當於1.62 kgCO<sub>2e</sub>，再生料-廢玻璃容器-玻璃砂(含容器廢棄階段)為每公斤產生1.20E-001 kgCO<sub>2e</sub>，25kg的廢玻璃相當於3 kgCO<sub>2e</sub>，再生料-廢電子電器暨廢資訊物品-廢潤滑油為每公斤產生1.00E-001 kgCO<sub>2e</sub>，6kg的廢潤滑油相當於0.6 kgCO<sub>2e</sub>，總計273.08 kgCO<sub>2e</sub>(數值皆來自產品碳足跡計算平台)。

表七、廢車成分介紹

零件項目	總重量(kg)
廢鐵	車殼約 680 公斤，硬鐵約 100 公斤
廢鋁	5 公斤
廢銅	5 公斤
廢鉛蓄電池	約 15 公斤
廢輪胎	約 27 公斤
廢玻璃	約 25 公斤
廢潤滑油	約 6 公斤

資料來源：環發會，2000

此外，筆者根據江讚軒，廢車零件拆解優劣之分析（如表八、），並根據產品碳足跡計算服務得知再生料-廢壓縮機/廢馬達二次拆解-廢鐵，每公斤  $1.50E-001 \text{ kgCO}_2e$ ，汽車金屬零件之鐵材質共計 334.78kg，故產生  $50.217 \text{ kgCO}_2e$ ，再生料-廢壓縮機/廢馬達二次拆解-廢鋁，每公斤  $1.40E-001 \text{ kgCO}_2e$ ，汽車金屬零件之鋁材質共計 11kg，故產生  $1.54 \text{ kgCO}_2e$ ，廢鉛蓄電池-再生鉛錠，每公斤  $7.60E-001 \text{ kgCO}_2e$ ，鉛材質共計 8.6kg，共產  $6.536 \text{ kgCO}_2e$ 。

表八、金屬零件項目

金屬零件項目	材質	重量(kg)
避震器	鐵	21.8
水箱	鋁	11
鉛蓄電池	鉛	8.6
前車門	鐵	23.43
後車門	鐵	21.9
方向盤	鐵	1.48
傳動系統	鐵	244.67
散熱片	鐵	5.5
前防火牆	鐵	16

資料來源：廢車零件拆解優劣之分析-以金屬零件為例，

金屬零件合計共產生

鐵 6.536kgCO<sub>2e</sub> + 鋁 1.54 kgCO<sub>2e</sub> + 鉛 50.217 kgCO<sub>2e</sub> = 58.293 kgCO<sub>2e</sub>

可回收成分 273.08 kgCO<sub>2e</sub> + 58.293 kgCO<sub>2e</sub> = 331.373 kgCO<sub>2e</sub>。

#### 4.1.4 輕軌（淡海輕軌）

##### 基本介紹

淡海輕軌是新北市淡水區正在興建中的輕軌運輸系統，是為了聯絡捷運淡水站及淡水區沿海的交通，它包含了兩條線，綠山線及藍海線，根據台北市政府捷運工程局的資料顯示：綠山線：自捷運淡水線紅樹林站，沿中正東路北行，轉至淡金路（臺2線）續往北，再轉淡海新市鎮之濱海路往西，至沙崙路轉往北至淡海新市鎮第一期第一開發區之北緣止，設 11 座車站及 1 座機廠。藍海線：自漁人碼頭、沙崙文化創意園區，沿 11 號計畫道路至新市鎮沙崙路後往北至機廠與綠山線共線，共 9 座車站。（台北市政府捷運工程局）可以得知共有一個機場和 20 個車站。

淡海輕軌整體路線約 13.99 公里，20 座車站及 1 座機廠建造目的是為了解決台北市過度密集的人口，將人口拉往郊外的方式，以舒緩都會區的人口，同時也可以降地台北市都會區過高的房價，因此政府推動一個大眾運輸的興建計畫，藉此建立淡海新市鎮。（如圖五、）

然而考量到永續經營及興建成本，環境影響評估，還有當地的居民意見，建造一個地上輕軌是最可行有效低成本的方式，同時也建立國內第二條輕軌，可以為日後其他縣市興建之典範，再者環保議題是現今主流，打造低碳城市是大家努力的目標，透過輕軌和自行車道的串聯，打造一個友善的空間環境，同時降低自小客車的用量，達到綠色城市的理念。

政府鼓勵民眾多多搭乘大眾運輸，一方面是為了降地大家各自開車騎車上班，降低交通道路上壅塞情況，另一方面也可以達到節能減碳，畢竟當大家都不開車而是搭捷運坐公車上班，那汽機車所排放廢氣勢必可以大幅減少，然而公車與捷運真的能發揮到減碳的效果嗎？我們要考慮興建所需的巨額成本，運轉的維修成本，還有搭乘人數是否真的符合效益。因此接下來我們將以目前正在興建中的淡

海輕軌為例，從生命週期的分析方法，檢視三大階段主要的碳排放量計算。



圖五、淡水輕軌預計路線圖

資料來源：淡海輕軌運輸系統 環境影響說明書

## 淡海輕軌生命週期

### 1. 建造階段

由下列的表九、可以知道興建一條輕軌所需要的相關設施和建物。

表九、淡海輕軌相關設施與建物

路線土木結構工程	包括高架路段（雙軌）、高架路段（單軌）、高架路引道段、跨越橋（雙軌）、地面路段-原有道路施築（雙軌）、公共管線遷移費
場站土建工程	包括高架車站、地面車站、行控中心、主變電站、維修機廠
軌道工程	包括直接固定式軌道、埋置式軌道
機電系統工程	包括供電系統、號誌控制系統、通風系統
車輛購置費	電聯車之構架含車體、連結器、轉向架、推進系統、空調系統、照明系統及輔助電力系統

資料來源：淡海輕軌運輸系統計畫

表由研究者繪製

整個淡海輕軌路線總長約 14 公里，包含 20 座車站 1 座機廠。在營造階段對於輕軌的碳排放量計算，筆者就土木工程，主要為營造期間運送土石之車輛碳排放量的計算。

筆者根據淡海輕軌變更說明書裡可得：

變更後挖方約為 24.7 萬立方公尺（自然方），填方約為 8.9 萬立方公尺（自然方）進行回填之用，經挖填平衡後，餘土量約 15.7 萬立方公尺（自然方）需外運之剩餘土石方達約 20.5 萬立方公尺（鬆方）。

又在說明書中第六章節裡可以得知工程車輛所需要幾天即費時多久運送工程的土石方，剩餘土石方之運送餘 104 年 5 月開始運輸，保守評估以 104 年 11 月剩餘土石方最大量  $16,478M^3$  進行分析，運輸率計算說明如下：

(1) 每月剩餘土最大運輸天數: 22 天

(2) 工區作業時間: 9:00 到 16:00

(3) 預計車次: 每車次載運:  $12M^3$

(4) 每天運土量:  $16478M^3/22 \text{ 天} = 749M^3/\text{天}$

(5) 小時運土量:  $749M^3/7 = 109M^3$

(6) 運輸車次:  $107M^3/12M^3 = 8.9 \text{ 車}$ （單向 9 車次）雙向 18 車次

（淡海輕軌運輸系統 環境影響說明書）

所以筆者可以推估若總運送土石方為 20.5 萬立方公尺，單趟運送里程為 22 公里，我們可以推算運送土石方的排碳量為幾公克，方法如下：

總運送土石方 20.5 萬立方公尺，一天可以載送 749 立方公尺，故需花費 274 天才可以載送完畢。

又每小時有 18 車次的運量，一天運送 7 小時，一天共有 126 車次的運量，單趟為 22 公里，又每輛車所排放的碳為 220 公克/公里，一天所排放的碳為  $126 \times 22 \times 220 = 609840$  公克的碳，工期預計 274 天完成運送土石方，故總計所排放的碳為 167096160 公克的碳，約為 167 公噸的碳排放。

## 2. 未來營運（同使用階段）

預計搭乘人次：

依據新北市政府捷運公安局表示第一期網路於 107 年完工通車，預估至 110

年運量會有 4.4 萬人次/天，目標年 130 年會有 7.6 萬人次/天。(新北捷運 2017) 我們即可以推得淡海輕軌在營運開始的前三年，每日載客人次為 4.4 萬人，再營運 20 年後，平均每日載客量為 7.6 萬人次，筆者可以根據這個數字，來大略的推估從建設開始到營運中每人所會有多少克的碳排放。

未來營運成本：

一個大眾運輸系統的營運成本非常龐大，項目也極為瑣碎繁雜，需要考慮到的營運成本非常多，人事費就有營運員、站務員、還有保養維修人員(列車保養、路線養護、電車線保養)等等，還有要維持一個這麼龐大的運輸系統，所花的電力費(動力費)數字絕對是不容小覷且和碳排放量最直接相關，筆者想要就淡海輕軌列車所花電力費進行碳排放的探究，然而目前國內尚無成熟且全線營運通車的輕軌路線，無從參考對象，相關營運及維修成本的數字相當缺乏，所以筆者決定以高雄輕軌為例，來推估淡海輕軌營運所需要的電力費用成本，目前高雄輕軌部分路線通車，其動力成本係以每車公里所需電力成本方式概估之，以高雄的氣候條件估計每輛(36 公尺長)輕軌電車行駛 1 公里大約需耗電 5.6~6.1 千瓦(含空調及照明用電)，再依民國 100 全年平均電費標準計算，每輛車行駛一公里之電費約為 17.6 元。(高雄都會區輕軌運輸系統修正計劃書)所以筆者可以得知高雄輕軌電車每行駛 1 公里需耗電約 6 千瓦，每行駛 1 公里所耗電費約 17.6 元。依照表十、筆者可以得知淡海輕軌的發車時間，若以綠一線平常日及尖峰時段推估，平常日為每 4.3 分鐘發一班車，每小時班次數為 14 班次，每日尖峰營運 4 小時，一日尖峰班次數為 56 班次，再以綠一線平常日離峰時段，每小時班次數 6 班，每日離峰營運 14 小時，一日離峰班次為 84 班次，即一日總班次為 140 班次，又全線長度約為 14 公里，可以推估淡海輕軌運輸系統電車一日會跑  $140 \times 14 = 1960$  公里，若以高雄輕軌的電費為例，則每日電車營運所消耗電費為  $1960 \times 17.6 = 34496$  元。若以每度電 2 塊計算，一日消耗  $34496 \div 2 = 17248$  度電，可以依照台灣電力公司資訊，一度電排碳量為 625 克，總排碳量為  $17248 \times 625 = 10780000$  克的碳，每日搭乘人次為 4.4 萬人次，平均每人每日碳排放為 245 克。

表十、淡海輕軌路網列車運轉方式

路線 <sup>①</sup>	時段	尖峰時段		離峰時段	
		發車班距(分)	小時班次數	發車班距(分)	小時班次數
綠一線	平常日	4.3	14	10	6
	假日	6.5	9	10	6
綠二線	平常日	10	6	10	6
	假日	10	6	10	6
藍線	平常日	10	6	10	6
	假日	7.5	8	10	6

註：[1] 綠一線：行走「綠山線」全線(G1→G8)。

綠二線：行走「綠山線」G1→G6站，後接續「藍海線」B8-B6站(G1→G6→B8→B6)。

藍線：行走「藍海線」B1→B6。

[2] 表列班距與班次係為平均值，實際運轉依各時段營運需求進行調整。

### 3.後續處理及衍生問題

輕軌壽命比起一般的交通運輸工具都還要來的長，壽命可能達到30年以上，但是仍然會有列車維修保養，站體設施維護，列車軌道保養等等，也是數目不小的成本，其中列車汰換也是其中一個項目，要如何回收列車不致對環境產生破壞，從最一開始的興建一個大眾運系統，到營運期間，乃至最終的拆除或回收，從搖籃到墳墓，同時也達到生命週期的理念，台灣的輕軌目前只有高雄部分路線正式營運，淡海輕軌正在興建中，以生命週期來說都還處於新生兒的階段，但是我們仍然可以去設想幾十年後這些建設要如何去做最終處理，唯有透過全盤思考假設，才能對環境做出最友善的方式。

輕軌的車廂處理方式，第一拍賣出去。第二是使用年限到後可以從原本購買車廂的國家再送回去做利用，然後再重新購買。第三是可以利用車廂坐地景的再造。第四最糟的情況下是火車已經嚴重損壞會拿去當作廢鐵的處理。

(1) 拍賣：是台灣目前常見處理停駛的火車車廂的處理方式。

(2) 將全部列車回收（以廢鐵為主）：

因此若要回收廢電車，車體空重約為49.5噸，可以依照產品碳足跡計算服務平台的預測，若筆者假設車體全部重量約略等於鐵的重量，不考慮其他部分，將1公斤鐵報廢成碎鐵所需碳排放為250克，則筆者預估每台列車報廢變成碎鐵，所需要的碳為250克X49.5噸，約等於12噸的碳。

### (3) 行銷創意回收：

在荷蘭國鐵 NS 就發展出一系列升級回收的產 (upcycleproductten)，將本來在火車上或站裡要被丟棄的東西回收再造，例如：座椅上的皮件、布料，經過清理、裁切、縫製脫胎換骨為各式各樣大大小小的包包。(Cindy Liao, 2015) 除此之外、由此筆者可以得知車廂可以拍賣，作為觀光模式，亦可以變成旅館等等，具有行銷創意的手法，同時也可以節省直接拿去報廢所需的資源。

## 4.2 分析與討論

### 四種交通運輸工具在不同階段碳排放量差異

#### 4.2.1 第一階段：生產

##### 1. 燃油機車：

評估機車之生產零件 (如表十一)，總含鐵量:44.91kg，總含銅量:2.25kg，總含塑膠量:2.27kg，總含鉛量:1.00kg。

表十一、燃油機車零件

模 組 名 稱	零件項目	單 位 重 量 (Kg)	個 數	總重量 Kg	材 質	資 源 再 利 用 性		備 註
						再 使 用	回 收	
	車架(含零配件)	27.12	1	27.12	鐵	可	可	
動 力 系 統	引擎主體(含發電機)	10.20	1	10.20	鐵、銅、鋁 橡膠	否	可	假設鐵2.53kg、銅1.25kg、鋁6.32kg、橡膠0.10kg
	傳動齒輪箱	10.06	1	10.06	鐵	可	可	
	煞車蹄片	0.06	2	0.12	鋁、石綿	否	可	假設鋁0.08kg、石綿0.04kg
	濾清器	0.68	1	0.68	塑膠	否	可	
	排氣管	2.92		2.92	鐵	否	可	

	化油器	0.40	1	0.40	鋅、塑膠	否	可	假設鋅0.35kg、塑膠0.05kg
	油箱	2.28	1	2.28	鐵	否	可	
	機油	1.20	1	1.20	機油	否	可	
電力系統	鉛酸蓄電池	1.62	1	1.62	鉛、電解液、塑膠、鐵	否	可	假設鉛1.00kg、電解液0.39kg、塑膠0.16kg、鐵0.07kg
外裝零件	車身電裝品	1.61	1	1.61	玻璃、塑膠	否	否	假設玻璃0.23kg、塑膠1.38kg
	坐墊	2.94	1	2.94	泡棉	可	否	
	外殼	7.86	1	7.86	ABS	否	可	
	檔泥板	2.00	1	2.00	PP	否	可	
	輪胎	2.00	2	4.00	橡膠	否	可	
	總計	75kg						

(資料來源：電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002)

## 2. 電動機車：

電動機車與燃油機車在結構上最主要差異於動力系統，利用電子零件去做更換燃油機車之引擎燃料箱、引擎控制裝置、排氣管等等，改成電池、馬達、控制器、充電器、殘電顯示器等機電零組件所取代（如表十二）（電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002），總鐵含量:56.83k，總銅含量:3.3kg，總鉛含量:26.04kg，總塑膠含量:5.7kg。

表十二、電動機車組成分析

4.

2.

模 組	零件項目	單位 重量	個 數	總重 量	材質	資源再利用性		備註
						再使用	回收	
	車架(含零配件)	27.33	1	27.33	鐵	可	可	
動 力	馬達	10.00	1	10.00	鐵、銅	可	可	假設鐵 8kg、銅 2kg
	控制器	3.00	1	3.00	鐵、銅 塑膠	否	可	假設鐵 2kg、銅 0.8kg、塑膠 0.2kg
	傳動齒輪箱	16.00	1	16.00	鐵	可	可	
	煞車蹄片	0.06	2	0.12	鋁、石綿	否	可	假設鋁 0.08kg、石綿 0.04kg
電 力 系 統	鉛酸蓄電池	10.50	4	42.00	鉛、電解 液、塑 膠、鐵	否	可	假設鉛 26.04kg、電 解液 10.08kg、塑膠 4.2kg、鐵 2.1kg
	充電器	2.00	1	2.00	鐵、銅 塑膠	可	可	假設鐵 1.4kg、 銅 0.5kg、塑膠 0.1kg
外 裝	車身電裝品	1.61	1	1.61	玻璃、塑 膠	否	否	假設玻璃 0.23kg、塑 膠 1.38kg
	坐墊	2.94	1	2.94	泡棉	可	否	
	外殼	8.00	1	8.00	ABS	否	可	
	檔泥板	2.00	1	2.00	PP	否	可	
	輪胎	2.00	2	4.00	橡膠	否	可	
	總計	119kg						

資料來源：電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，2002。

### 3.汽油引擎汽車：

汽車產業的供應鏈長且複雜，因而對於其他產業的帶動效果也較大。由於汽車生產所需的零件眾多，一輛汽車所需使用的9大系統的零組件數，高達8,000至15,000項（如表十三）。

表十三、汽車零組件分類表

零件系統	內容
引擎系統	引擎、活塞、汽缸體、汽缸頭、汽門、曲軸
引擎電製品	分電盤、高壓線圈、發電機、起動馬達、火星塞
引擎附屬系統	排氣管與消音器、油箱、冷卻水箱
傳動系統	離合器、變速箱、傳動軸、後軸
轉向系統	轉向連桿機構、轉向系統零件、方向開關
剎車系統	剎車盤總成、煞車總分泵、煞車來令
車身系統	保險桿、避震器、前輪轂總成、座椅、車體
車身電氣系統	儀表、各項電器開關、空調、引擎微電腦控制
其他	鈹金件、模治具、塑膠件、工具組、裝飾件

（資料來源：財團法人塑膠工業技術發展中心，  
汽車塑膠零組件 - 原廠測試介紹）

分析四個交通工具之生產階段，環境衝擊量為輕軌>汽車>電動機車>燃油機車。

### 4.淡海輕軌：

根據淡海輕軌運輸系統報告書中營建一條輕軌所需的成本，約167億元。含有以下建築與設施（見表十四）。

表十四、

路線土木結構工程	包括高架路段（雙軌）、高架路段（單軌）、高架路引道段、跨越橋（雙軌）、地面路段-原有道路施築（雙軌）、公共管線遷移費
場站土建工程	包括高架車站、地面車站、行控中心、主變電站、維修機廠
軌道工程	包括直接固定式軌道、埋置式軌道
機電系統工程	包括供電系統、號誌控制系統、通風系統、
車輛購置費	電聯車之構架含車體、連結器、轉向架、推進系統、空調系統、照明系統及輔助電力系統

以生命週期看輕軌之生產階段，主要考慮營造期間運送土石之車輛的碳排放量，總運送土石方為 20.5 萬立方公尺，一天可載送 749 立方公尺，故需花費 274 天，又每小時有 18 車次的運量，一天運送 7 小時，一天共有 126 車次的運量，單趟為 22 公里，每輛車所排放的碳為 220 公克/公里，估算一天所排放的碳為  $126 \times 22 \times 220 = 609840$  公克，工期預計 274 天完成運送土石方，故總計所排放的碳為 167096160 公克，約等於 167 公噸的碳排放。

#### 4.2.2 第二階段：使用

在這個階段，將以四種交通工具在使用中的碳排放量，進行比較，若以台北市居民為例，四成民眾通勤距離在 5 公里以內，通勤時間在 20 分鐘以內（黃素蓉 2009），所以筆者假設每人每日上下班通勤距離為 10 公里，就以下四種交通工具，做碳排放量比較。

##### 1. 燃油機車：

機車使用階段需考量二個部分，1. 為能源使用 2. 為廢氣排放，筆者單就廢氣排放部分，機車每人每騎 1 公里，碳足跡數值為 112g CO<sub>2</sub>e，一日騎乘 10 公里，每人每日碳排放為 1120g。（在此將二氧化碳當量等同於二氧化碳，不考慮它氣體）

##### 2. 電動機車：

電動機車(以台灣 gogoro 為例)，使用生命週期分析時，也分成二部分，1.

能源消耗 2.廢氣排放，但電動機車的廢氣排放為零，因此著重於能源消耗部分。Gogoro 車內電池能放置二顆，每顆 gogoro 電池重 9 公斤、電壓為 43.2 伏特、電池容量為 30.3Ah，能夠轉換為 1.37kWh 的耗電量(ZEEK 玩家誌)，在考慮充電、放電的情況之後，為每公里  $19.7/0.87/0.97=23.34$  gCO<sub>2</sub>e，以每人每日騎乘 10 公里計算，排碳量約 233g。

### 3.汽油引擎汽車：

根據經濟部能源局-能源產業溫室氣體資訊中心網站公布，使用汽油每公升排放 CO<sub>2</sub> 約 2.24 公斤，筆者選用國內市佔率最高之汽車廠牌 TOYOTA，並以 COROLLA ALTIS 1.8G ZRE172L-GEXGKR 1798c.c. CVT 為例，1 公升可以走 19.4km，經計算後相當於每行駛一公里，排放 115.4 公克的二氧化碳（2240 公克 /19.4 ），因考慮到精煉過程的能源耗損 15%及汽油運送過程的 3%能源耗損，二氧化碳之總排放量為每公里 139.96 公克（115.4 公克 ÷ 0.85 ÷ 0.97）。每人每日開車 10 公里，碳排放量約為 1400 g。

### 4.淡海輕軌：

根據前面計算，若以每日 4.4 萬人次搭乘做計算，一天輕軌系統會排放約 10 噸的碳，則每人每日碳排放量為 245 克，考慮通勤人口來回共有兩個人次因此為 490 克。但要以實際通勤情況考量，例如民眾可能會先自行騎車到輕軌站旁，搭乘輕軌至上班地點附近，再走路至上班地點，所以筆者假設機車每日騎行 2 公里，每人每日碳排放量為  $112 \times 2 + 245 \times 2 = 714$  g

由上敘述可以得知，綜合比較每人每日碳排放量（汽機車以 10 公里為計算）結果如下表十五、

表十五、

燃油機車	電動機車	汽油汽車	淡海輕軌
1120 g	233 g	1400 g	714 g

#### 4.2.3 第三階段：回收

四種交通運輸工具在回收階段有不同的處理方式。電動機車、汽油機車和汽油引擎汽車在台灣的處理方式最主要是為了金屬的再回收利用，台灣相對金屬資源缺乏，因此會把這三種交通工具所有的金屬資源拆解下來做利用。輕軌的車廂處理方式，第一拍賣出去。第二是使用年限到後可以從原本購買車廂的國家再

送回去做利用，然後再重新購買。第三是可以利用車廂坐地景的再造。第四最糟的情況下是火車已經嚴重損壞會拿去當作廢鐵的處理。

回收為生命週期到墳墓的階段，為了讓資源妥善的被再利用，因此在還必須要分類可回收與不可回收，得知那些交通工具需要再被管制，藉此檢視何種交通工具的不可回收站大多數。研究中，我們將機車、電動機車、以及汽車的可回收、不可回收做比較，將其碳排放計算出來。而大眾運輸的輕軌，由於目前政府機關並無一個完整的數據報告顯示，參考數據又極其的少，蒐集資料時也發現，若要將輕軌回收，光是鐵做分析，碳排放就重達 180 噸，但是輕軌也是最具創造和可塑性的，因此將輕軌著重於作為景觀的再營造分析。

我們採用不同汽機車之比較碳排放（如表十六、），汽油汽車>電動機車>汽油機車，從這分析我們可以得出，回收部分電動機車因為有鉛酸蓄電池回收的部分，遠大於燃油機車的碳排放量。

表十六、

燃油機車	電動機車	汽油汽車
14.6 kgCO <sub>2</sub> e	39.246 kgCO <sub>2</sub> e	331.373 kgCO <sub>2</sub> e。

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論

建造一個大眾運輸系統，本來就是一個巨大的工程，所需經費都是百億起跳，所以可想而知的是在興建的階段，工程的碳排放量是相當可觀的，筆者只單單就土木工程土石運送，還沒有加上工程其餘的碳排放，砂石車總排碳量就達 167 公噸。或許到這邊大家會認為興建輕軌是一個費時又花錢又耗能的工程，而汽機車現今都已是工業化自動量產，平均生產每台汽機車的碳排放肯定低很多，但如果到了生命週期的使用階段，當淡海輕軌正式營運，以新北捷運提供資料，提到在營運前 3 年可達到日運量 4.4 萬人次，若單純以列車行駛電費及空調作考慮，且不考慮每人搭乘距離，平均下來每人每日碳排放量約為 245 克，然而重點在於每日載容量，若一個大眾運輸系統花大錢蓋了卻沒人搭，它就是一個耗能的設施；相對的，若是載容量有達到要求標準，它就是一個節能減碳的指標，因此評估一個交通載具是否節能，須同時考量到使用人數，在一個人口密集的都市，大眾運輸相對汽機車節能，若在人口稀疏的鄉村，駕駛燃油機車、汽油引擎汽車，肯定比興建大眾運輸還要來的節能減碳。

### 5.2 建議

在做生命週期第一階段的生產過程，僅能就蒐集資料將各個交通工具零件列表出來，而無法實際的去計算每個零件的碳足跡，乃至於無法確切計算出生產一量燃油機車或是一部汽油引擎汽車，會有多少碳排放，筆者查找多篇論文及 ISO 的一篇生命週期評估的下一步、均有建議再日後製作產品時，能標上碳足跡，會讓大眾更了解生產這個產品會有多少的碳排放量，藉此教育民眾，讓民眾有更多選擇，這也是一種節能減碳的策略。

## 參考文獻

### 參考書籍

1. 許聖哲，旅能產業發展的新契機，師友月刊，521期，P9，2010
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，淡海輕軌運輸系統 環境影響說明書，環保署，2013
3. 新北市政府捷運工程局，淡海輕軌運輸系統（原淡水延伸線工程）環境影響說明書，環保署，2017
4. 高雄市政府捷運工程局，高雄都會區輕軌運輸系統 修正計劃書（9-27），環保署，2011
5. 新北市政府捷運工程處，淡海輕軌運輸系統計畫 第一期統包工程
6. Cindy Liao，不只是回收 更要「升級回收」——看看荷蘭國鐵和航空公司怎麼做，2015
7. 潘滢如，胎灣地區稻米生產之生命週期評估，華藝線上圖書館，25~29頁，2008
8. 盧怡靜 & 呂穎彬，ISO 14040 生命週期評估的下一步，永續產業發展季刊，66期-2，2~3頁，2014
9. 交通部統計處，「民眾日常使用運具狀況調查」摘要分析，第23-27頁，2016
10. 侯建章，澎湖電動機車二氧化碳排放量之研究，第73頁，2012
11. 江讚軒，廢車零件拆解優劣之分析-以金屬零件為例，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，選定金屬材料表，第23頁，2016
12. 李育名，電動機車與燃油機車生命週期盤查分析，37~50頁，2002

### 參考網站

13. IPCC, “Fifth Assessment Report”, 2013.  
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
14. 行政院經濟能源農業處，全球綠色能源發展趨勢，2016，  
<http://www.ey.gov.tw/>
15. 李政安，淡水區人口穩定成長 輕軌運量前景看好，新北捷運，2017，  
[http://www.dorts.ntpc.gov.tw/link\\_data/index.php?mode=detail&id=35781&type](http://www.dorts.ntpc.gov.tw/link_data/index.php?mode=detail&id=35781&type)

- \_id=2&parent\_id=10314
16. 行政院環境保護署，2015(內有生命週期示意圖)  
<https://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezcfm/function/platforminfo/flconcept/flfootlifecycle.aspx>
  17. 產品碳足跡計算服務平台  
<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx>
  18. [.行政院環境保護署，2015](#)  
<https://cfp.epa.gov.tw/CARBON/EZCFM/FUNCTION/PLATFORMINFO/FLCONCEPT/FLFOOTINTRODUCTION.ASPX>
  19. 財團法人塑膠工業技術發展中心，汽車塑膠零組件 原廠測試介紹，塑膠中心，2017  
<http://www.pidc.org.tw/zh-tw/div2/22/PTSAMail/Pages/2011-03-a%E6%B1%BD%E8%BB%8A%E5%A1%91%E8%86%A0%E9%9B%B6%E7%B5%84%E4%BB%B6%20-%20%E5%8E%9F%E5%BB%A0%E6%B8%AC%E8%A9%A6%E4%BB%8B%E7%B4%B9.aspx>
  20. [\[SEP\]](#)環發會，廢車成分介紹，2000
  21. Gogoro，官網 5/24  
<https://www.gogoro.com/tw/smartscooter/specs/>
  22. ETtoday 東森新聞雲，5/24  
<http://www.ettoday.net/news/20150610/516932.htm>
  23. 盧怡靜，產品碳足跡揭露服務計畫(碳足跡雲)ppt，2016，2~3 頁  
<https://www.epa.gov.tw/public/Attachment/66311423644.pdf>
  24. 財團法人工業技術研究院，產品碳足跡計算服務平台，2017  
<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/WebSites/CoefficientDB.aspx>
  25. 產品碳足跡計算服務平台，機器腳踏車(汽油)，2014  
<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/WebSites/CoefficientDB.aspx>
  26. 維基百科，彰化扇形車站，2016  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BD%B0%E5%8C%96%E6%89%87%E5%BD%A2%E8%BB%8A%E5%BA%AB>
  27. 維基百科，駁二藝術特區，2017  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A7%81%E4%BA%8C%E8%97%9D%E8%A1%93%E7%89%B9%E5%8D%80>



# 冰箱環保冷媒換裝性能研究

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：鄧敦平教授

學生：林瀚森、陳致霖、曾承銘、阮德魁

## 摘要

自工業革命以來，科學家為求科技的發展與進步、生活的便利，無形間對於環境的破壞日趨嚴重。氣候的變遷逐漸引起各國的注意，為保護環境於是有了「京都議定書」、「維也納公約暨蒙特婁議定書」以及近年的「巴黎氣候會議」等，明確訂定各國溫室氣體及對臭氧層有害之化學物等各種限制。

能源組的我們與此議題關係重大，目前市面上常用的冷凍系統使用的冷媒大都使用 R-134a，而此種冷媒也是管制的化學冷媒之一，如果能找到更加環保、效率更高的替換冷媒，就能對環境保護更盡一份心力。於是本專題在使用同一臺冰箱、各實驗儀器均相同的條件下，找到了 R-600a 與 R-152a 這兩種不同的替換冷媒，以這兩種環保冷媒作為原本 R-134a 冰箱之冷媒換裝，再進行性能及消耗功率等實驗，將所量測之數據與原 R-134a 冷媒之冰箱作比較分析，研究這三種冷媒的優缺點，並探討替換 R-134a 的可行性。

實驗結果發現，在無變動系統任何條件的情況下，R-600a 及 R-152a 除了可燃性的缺點以外，在 COP 的性能上，R-600a 及 R-152a 皆高於 R-134a，充填量兩者皆少於 R-134a，且兩者在消耗功率上，皆比 R-134a 節能，結論證明，這兩種冷媒不但可減少溫室效應所造成對於地球及環境的危害，且 R-600a 及 R-152a 都是可以替換掉 R-134a 在家用冰箱裡的環保冷媒。

關鍵詞：R-134a、R-600a、R-152a、家用冰箱、環保議題

## 第一章 前言

### 1.1 研究背景和動機

隨著時代的進步，我們的生活品質也不斷提升，同時對於環境的負擔也越來越大，家家戶戶都有的冰箱、一到炎炎夏日就會打開的冷氣，以及低溫運輸空調等等，這類冷凍空調系統對於我們的生活息息相關，對環境的影響也越來越大。如果我們在提升生活品質的同時，完全不顧慮科技的便利對環境的衝擊，總有一

天地球會毀在我們追求的舒適度上。儘管我們可以說不要使用就不會有負擔，但這就失去了科學對於提升生活品質的本質，是一種逃避又不現實的做法，因此對於會破壞環境的因素進行管制，以及尋求替代方案是必需的。

冷凍空調的系統中，不只是整個系統的核心，同時也是對環境傷害最大的，就是在系統中運轉的冷媒。在早期尚未有環境危機時，當時的冷凍空調設備所使用的冷媒大都被排放至環境中，其中常用的冷媒(CFC、HCFC 等冷媒)含有氯化物，這種氣體會與臭氧產生反應，使其發生還原反應變成氧分子，由於科技對於環境的影響，最終造成南北極洲的臭氧層產生破洞。大量的紫外線進入地球融化南北極洲的冰層，使海平面上升，並造成一些生物品種(例如海洋中的浮游生物)的滅絕。另一個影響則是溫室效應，氣候的異常改變，使大自然中的動、植物的生存環境受到了影響，甚至可能造成一連串的生物滅絕，破壞整個生態的平衡，因此尋求替代品的腳步刻不容緩。

隨著各國的重視，一些相對應的措施也因應而生，比如為了保護臭氧層而簽訂的維也納公約、聯合國為了避免工業產品中的氟氯碳化物對臭氧層繼續造成惡化與損害制定的蒙特婁議定書等等。而台灣礙於政治因素而無法簽屬蒙特婁議定書，然而在政府的堅持跟努力之下，我國仍自願遵守蒙特婁議定書中所規範之責任與義務，遵約行動與管制成效也已受到國際間認同，歐盟於官方正式決議文件中明文排除我國非締約國之貿易限制。依照蒙特婁議定書已開發國家之管制削減時程，目前列管化學物質中，除了 HCFCs 及溴化甲烷仍處於管制削減階段外，其餘列管物質(CFCs、Halons、CCl<sub>4</sub>.....等)已禁止生產及輸入。

1997 年在日本京都簽訂京都議定書，目標「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平，以保證生態系統的平滑適應、食物的安全生產和經濟的可持續發展」。2015 年 12 月通過巴黎協議，是 2015 年聯合國氣候高峰會中通過的氣候協議；將取代京都議定書，冀望能共同遏阻全球暖化的趨勢。

而這份專題正是以冷媒的議題所做的實驗，以不破壞環境、成效、考慮經濟效益為前提。為此不斷蒐集資料，分析數據，找尋可用的替代冷媒，最後決定以碳氫冷媒 R-600a(HC)及氫氟冷媒 R-152a(HFC)為實驗主角，與市面上的產品做比較，並分析、數據化結果，以作為支撐這個替代冷媒的基礎。

## 1.2 研究目的

目前市面上常見的家用冰箱大部分都用 R-134a 冷媒較多，R-134a 雖不含破壞臭氧層的元兇氯的成分，卻是強大的溫室效應氣體，能在大氣中暴露超過 100 年，產生出比二氧化碳高出 1300 倍的溫升潛能(GWP)，因此找出不同的環保冷媒作替代是很迫切的議題。

以前礙於安全疑慮，雖然環保，但具有可燃性的 R-152a 及 R-600a 皆不被大眾所接受，但隨科技越來越進步的現在，設備的性能與安全性越來越高，以前具有可燃性的環保冷媒也慢慢的被社會所接受，本專題將會以不破壞環境及考慮經濟效益為前提。探討 R-600a 及 R-152a 換裝 R-134a 的可行性。

## 1.3 實驗數據分析

本專題量測到的各項數值配合 NIST 冷媒計算電腦軟體，就可得到所需的系統性能，其公式與計算方式如下：

1. 冷凍效果:單位質量冷媒由冷凍空間所吸收之熱量稱為冷凍效果(refrigerating effect)。
2. 性能係數(coefficient of performance)：表示冷凍循環效率的一項系統特性。冷凍系統由空間所吸收的熱量對壓縮機輸入功之熱量的比值。

$$\text{COP} = \frac{\text{由冷凍空間所吸收之熱量}}{\text{壓縮機之壓縮熱}}$$

3. 壓縮比(compression ratio)：壓縮機出口絕對壓力比上入口的絕對壓力我們稱為壓縮比。

$$\text{R} = \frac{\text{壓縮機吐出冷媒氣絕對壓力}}{\text{壓縮機吸氣絕對壓力}}$$

## 1.4 符號解釋

符號	定義及單位
A	面積(m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	比熱(J/kgK)
H	焓(kj/kg)
M	總質量流率(kg/sec)
P	壓力(kPa)
Q	熱傳量(J)
s	熵(kJ/kgK)
T	溫度(°C)
T <sub>0</sub>	環境溫度(°C)
W	功(J)
$\nu$	比容(kg/ m <sup>3</sup> )
$\rho$	密度(m <sup>3</sup> /kg)
q <sub>e</sub>	冷凍效果(kJ/kg)
COP	性能係數
P <sub>H</sub>	高壓壓力(KPa)
P <sub>L</sub>	低壓壓力(KPa)
R	壓縮比

### 下標說明

E, i	出口, 入口
l, v	液態, 氣態
sv	飽和氣態

### 簡寫索引

CFC <sub>s</sub>	Clouro Flouro Carbons
HFC	Halocarbon Containing only F1
GWP	Global Warming Potential

ODP	Ozone Depletion Potential
HC	Hydrocarbon
COP	Coefficient of Performance

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 冷媒

冷媒是冷凍系統內的流體，又稱冷凍劑，其主要功能，在於利用其本身型態的物理變化，在系統內不斷的循環，產生熱傳遞功能，在蒸發器內冷媒吸收空間的熱，由液態轉為氣態，而在冷凝器內由氣態轉變液態排熱，並沒有化學變化，所以冷媒的性質是沒有改變。

在 CFC 冷媒發明前，冷凍系統主要是使用自然冷媒，所以在使用上並沒有特別去注意環保的問題，但這些不破壞臭氧層且溫室氣體及低的冷媒卻有些缺點，例如：有毒或容易燃燒所以在使用上造成相當大的困擾。

因此當 1928 年發明出 CFC 冷媒，這是一種完全鹵化的氟氯碳化物，例如 R-11 R-12，使用上物理特性和化學特性都非常優越，不僅沒有毒性且無色無味，所以被廣泛地取代原本的自然冷媒，直到近年大家對環保議題開始重視時才發現，CFC 冷媒裡面的氯原子是破壞臭氧層的原兇，對地球環境造成非常大的破壞，所以 CFC 冷媒很快的就被管制起來了。

在 1980 年代出現臭氧層空洞問題之前，世界上最廣泛應用的工質是鹵代甲烷——二氟二氯甲烷（R-12）及一氯二氟甲烷（R-22）。R-12 較常運用於汽車空調和小型冰箱上，而 R-22 較常運用於住宅空調和輕型商用空調、冰箱和冷凍機上。不過因為氟氯碳化合物會造成臭氧層空洞問題，1987 年簽署的蒙特婁議定書中規定減少及限制氟氯碳化物的生產。美國於 1995 年停止生產新的 R-12，且已計劃於 2020 年淘汰 R-22。

### 2.2 HCFC 冷媒

此冷媒是一種氫氟氯碳化物，此種冷媒因為含有氫原子和較少的氯原子，所以對臭氧層的破壞已經減少好多，例如一氯二氟甲烷（R-22）含有一個氫原子目前仍為過渡期所使用。

### 2.3 HFC 冷媒

HFC 冷媒目前為正在研究和開發的氟氫碳冷碳化物，因為其不含有氯原子所以不會造成破壞和影響，為中長期的冷媒替代品，目前市面上產量最多的是 R-134a 用來取代 R-12。

## 2.4 HC 冷媒

此種冷媒是由碳元素和氫元素組合而成，例如 R-600a 和 R-290，其完全不含鹵元素，故排放在大氣中分解後的物質，完全不具有破壞臭氧的能力，但是其最大的曲點就是燃燒問題，HC 冷媒是可燃性物質，一旦洩漏，其濃度達到了某些條件時便會爆炸，較具有危險性，除了這個缺點以外，HC 冷媒具有噪音及低，冷媒填充量少，價格便宜，容易取得如果能做好適當的防備措施此種冷媒將是不錯的選擇。

表 2.1 常用碳氫冷媒性質表

中文名稱	冷媒代號	化學式	莫爾重量	沸點
乙烷	R-170	$C_2H_6$	30.7	-88.6
環丙烷	R-C270	$C_3H_6$	42.08	-32
丙烷	R-290	$C_3H_8$	44.1	-42
異丁烷	R-600a	$C_4H_{10}$	58.12	-11
丁烷	R-600	$C_4H_{10}$	58.12	-0.5
丙烯	R-1270	$C_3H_6$	42.08	-47

表 2.2 R-600a 和 R-152a、R-134a 比較

冷媒代碼	R-600a	R-152a	R-134a
種類	HC 碳氫化合物	氫氟碳化物	氫氟碳化物
毒性	無	無	無
燃點	易燃	可燃	不可燃
燃燒後的毒性	低	中	中
ODP	無	無	無
GWP	3	130	1300
使用冷凍油	礦物油	礦物油	酯類油

## 2.5 氨冷媒

最早被採用的自然冷媒，由於具有優良的熱力特性和低廉的價格，故在冷凍應用方面尚未被淘汰，但缺點就是具有強烈的毒性所以在空調系統中不太適合使用，而且對於銅、鋅、錫具有極大的腐蝕性，故氨冷媒在使用時需要嚴格注意。

## 2.6 理想冷媒的必要條件

從冷凍空調的發展史中，冷媒的替代及研發已成為一個急迫的問題，在尋找替代傳統冷媒時，替代的冷媒需要和傳統冷媒具有同樣的性能，甚至要更好，最重要的是對於環境的影響要最低，有關與理想冷媒的特性，所具備的條件如下。

理想冷媒物理特性如下：

- (1)蒸發壓力要高
- (2)蒸發潛熱要大
- (3)臨界溫度要高
- (4)冷凝壓力要低
- (5)凝固溫度要低
- (6)氣態冷媒之比容積要小
- (7)液態冷媒之密度要高
- (8)可溶於冷凍油

理想冷媒化學特性如下：

- (1) 化學性質穩定
- (2) 無腐蝕性
- (3) 無環境污染性
- (4) 對自然環境無害，不破壞臭氧層（低 ODP），溫室效應低（低 GWP）。
- (5) 無毒性
- (6) 不具爆炸性與燃燒性

## 第三章 實驗設計

### 3.1 研究系統

本實驗室採用單門開放式 R-134a 環保冷媒電冰箱為實驗樣機(如圖 3.1)。由壓縮機、冷凝器、毛細管、蒸發器等主要元件所組成，實驗樣機所用之冷媒流量控制器為構造最為簡單的毛細管裝置，電源測則採用單相 110 伏特 60 赫茲。填充設備採用的複合式壓力錶(如圖 3.2)配合電子磅秤扣重填充(如圖 3.3)。蒸發器之冷凍負荷則採用 CNS 標準負載(如圖 3.4)



圖 3.1 單門開放式電冰箱

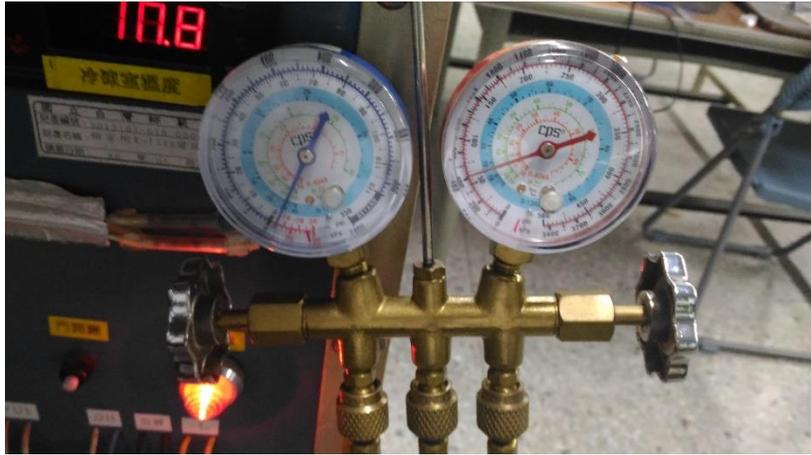


圖 3.2 複合式壓力錶



圖 3.3 電子磅秤



圖 3.4 CNS 標準負載

### 3.2 量測方法

本實驗量測儀包括溫度感測器、電力分析儀、數據擷取器及個人電腦，其介紹如下所示。

溫度感測器：

採用的 T-type 熱電偶線，將外表絕緣皮剝除將兩條線的端點焊成一點，再用鋁紙增加感溫面積，熱電偶線採用的是 T 型：銅或銅鎳合金有限量程（-250 至+350 °C），敏感度約為  $43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。



數據擷取器：

實驗時溫度感測器會連接至數據擷取器儲存各點溫度數據。儲存後的數據再利用個人電腦審視、計算等。



電力分析儀：

利用電力分析儀紀錄實驗期間的消耗功率、電壓電流、功率因數等，觀察之間之變化。



### 3.3 實驗方法

本專題實驗架構可分為以下部分：

1. 對原設備冷媒冰箱進行抽真空及系統處理，確保冷媒換裝順利。
2. 進行 R-134a 冷媒換裝，灌到設定蒸發溫度所對應的冷媒壓力，紀錄灌入冷媒公克數，並經由實驗記錄數值。
3. 經由數據擷取器及電力分析儀紀錄無載及有載的下拉溫度及消耗功率。
4. 回歸步驟 1，之後灌入 R-600a 及 R-152a 冷媒，並記錄相同蒸發溫度下，不同冷媒所灌入系統的公克數，並重複步驟 3，紀錄 R-600a 及 R-152a 無載及有載的下拉溫度及消耗功率。

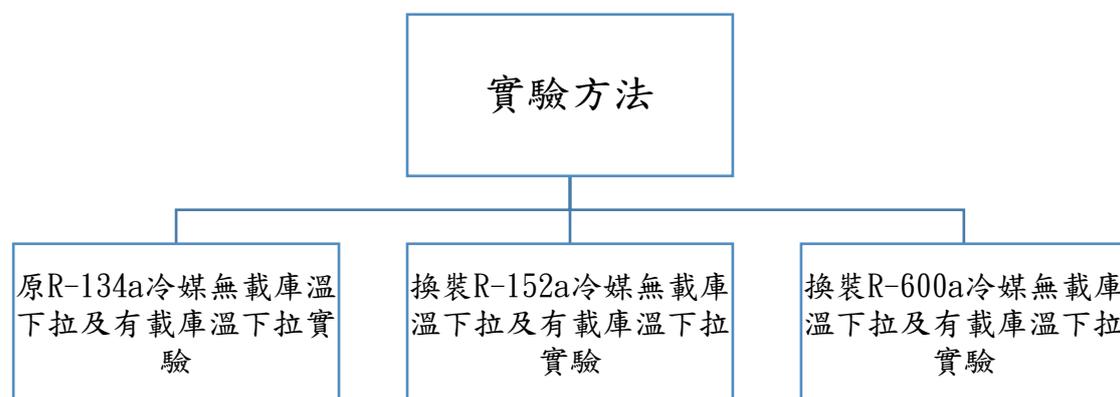


圖 3.5 實驗架構圖

### 3.4 研究步驟

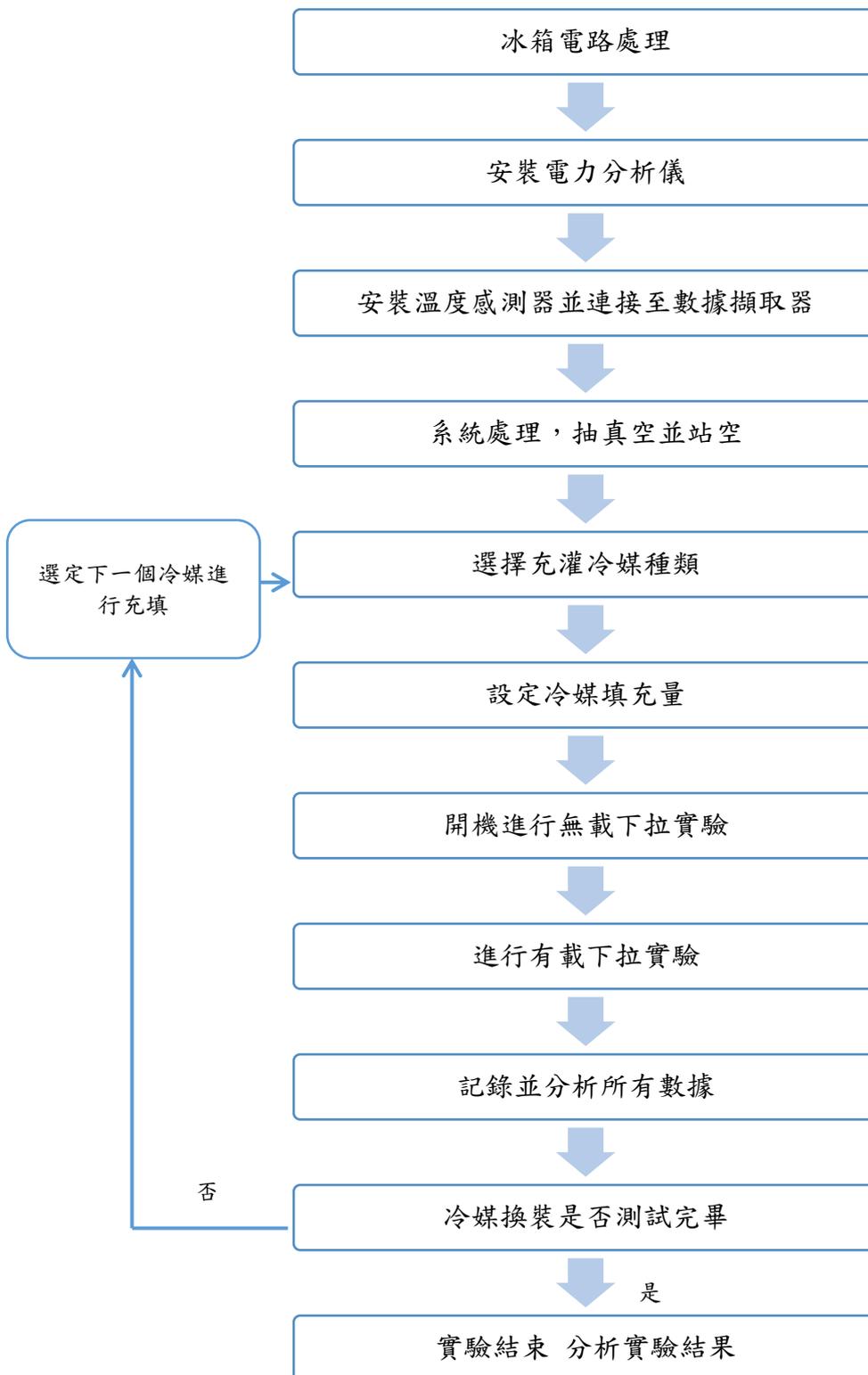


圖 3.6 冰箱冷媒換裝性能研究流程圖

### 3.5 詳細實驗步驟如下:

1. 對原設備冷媒冰箱進行抽真空及系統處理，確保冷媒換裝順利。
  - (1) 對系統進行抽真空，抽真空時間 15 分鐘。
  - (2) 抽真空完後，對系統進行站空 10 分鐘。
  - (3) 站空完成後，檢查系統真空度有沒有洩漏回升。
2. 進行不同冷媒換裝，灌到設定蒸發溫度所對應的冷媒壓力，紀錄灌入冷媒公克數，並經由實驗記錄數值。
  - (1) 設定冰箱蒸發溫度為 $-25^{\circ}\text{C}$ ，查找文獻對應各種冷媒所對應之低壓壓力。
  - (2) 用電子磅秤紀錄冷媒灌入重量，充填至對應壓力，並等待系統運轉平衡。
3. 經由數據擷取器及電力分析儀紀錄無載及有載的下拉溫度及消耗功率。
  - (1) 紀錄冷媒庫內無負載時，1 小時的溫度下降曲線及消耗功率曲線。
  - (2) 放入 CNS 所設定的負載，紀錄冰箱當庫內有負載時，3 小時的溫度下降曲線及消耗功率曲線。
4. 回歸步驟 1~3，確認做完三種冷媒後，比較三種冷媒的數據並分析，判斷三種冷媒其優缺點。

### 3.6 實驗溫度量測狀態點

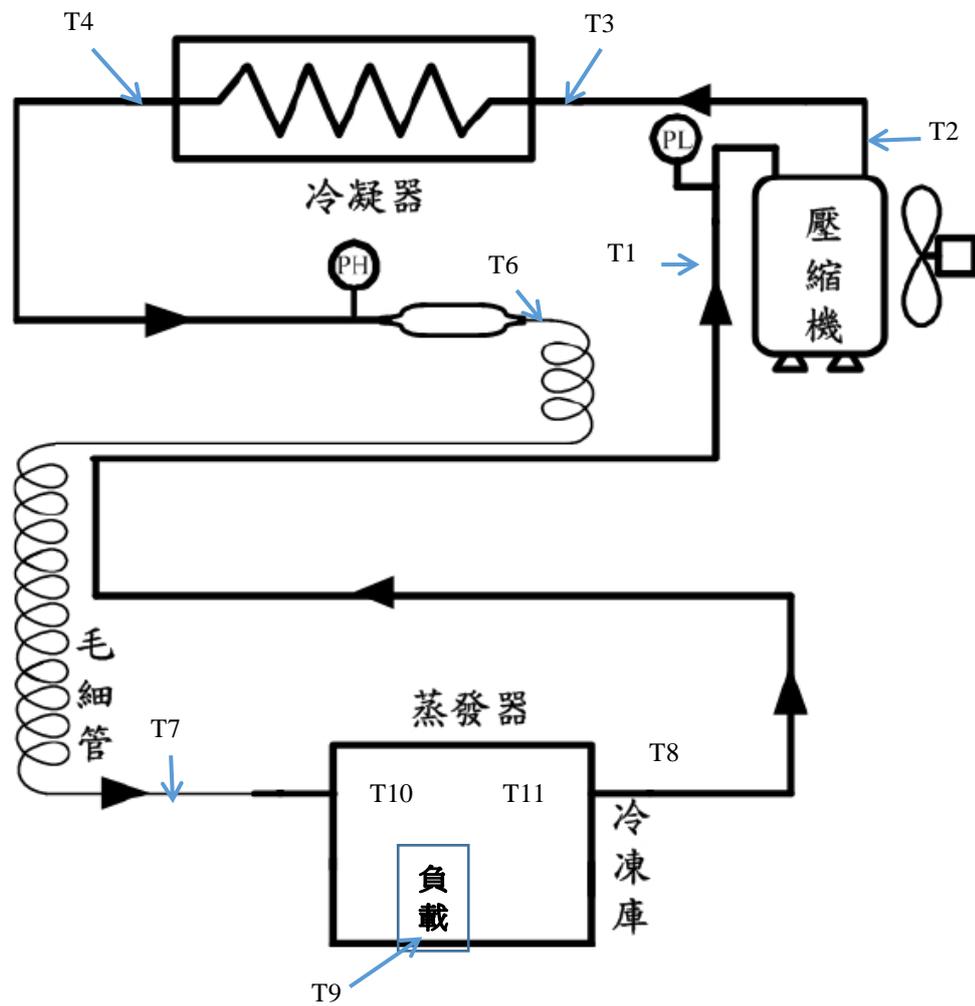


圖 3.7 溫度量測點分布圖

表 3.1 系統對照各溫度量測點

壓縮機入口	T1	蒸發器出口	T8
壓縮機出口	T2	負載溫度	T9
冷凝器入口	T3	庫溫	T10、T11
冷凝器出口	T4	環境溫度	T12
毛細管入口	T6		
毛細管出口	T7		

## 第四章 結果與討論

本專題在使用同一臺冰箱、各實驗儀器均相同的條件下，探討 R-600a 與 R-152a 這兩種不同的替換冷媒，以這兩種冷媒作為原本 R-134a 冰箱之冷媒換裝的性能評估。主要以下拉溫度的速度比較、耗電量以及冷凍效能等分析。

### 4.1 相同條件下，冷媒充填量的比較

表 4.1 相同設計溫度下，冷媒充填量的比較

冷媒	充填量(g)
R-134a	140
R-152a	80
R-600a	65

### 4.2 無載下拉實驗比較

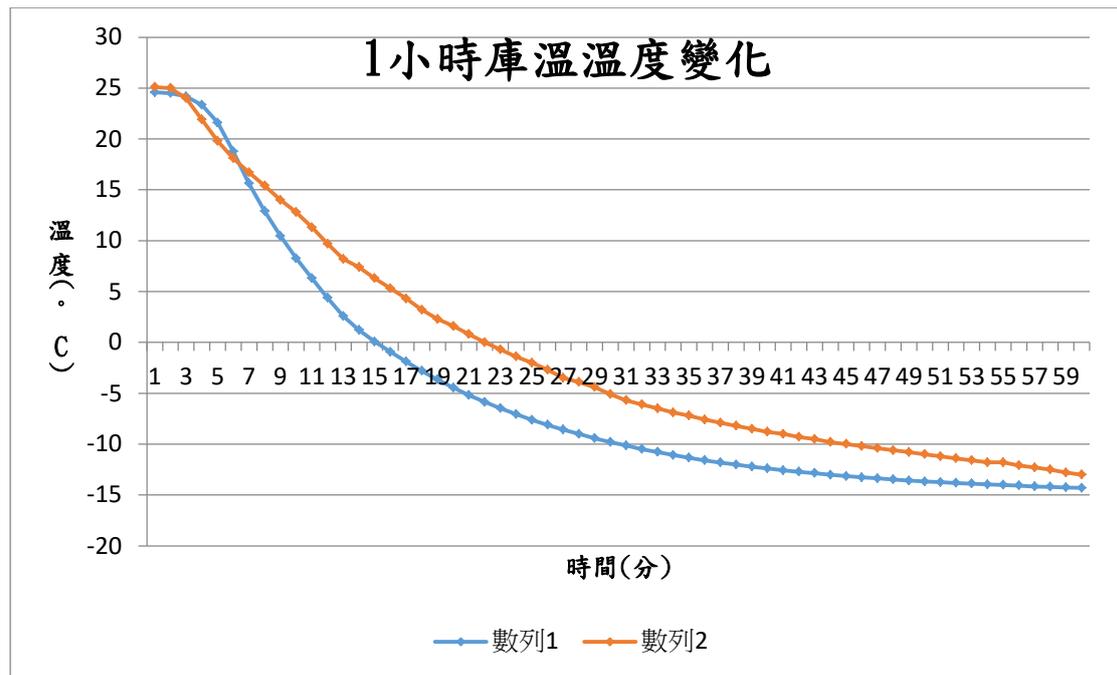


圖 4.1 1 小時庫溫溫度變化比較(數列 1：R-134a、數列 2：R-152a)

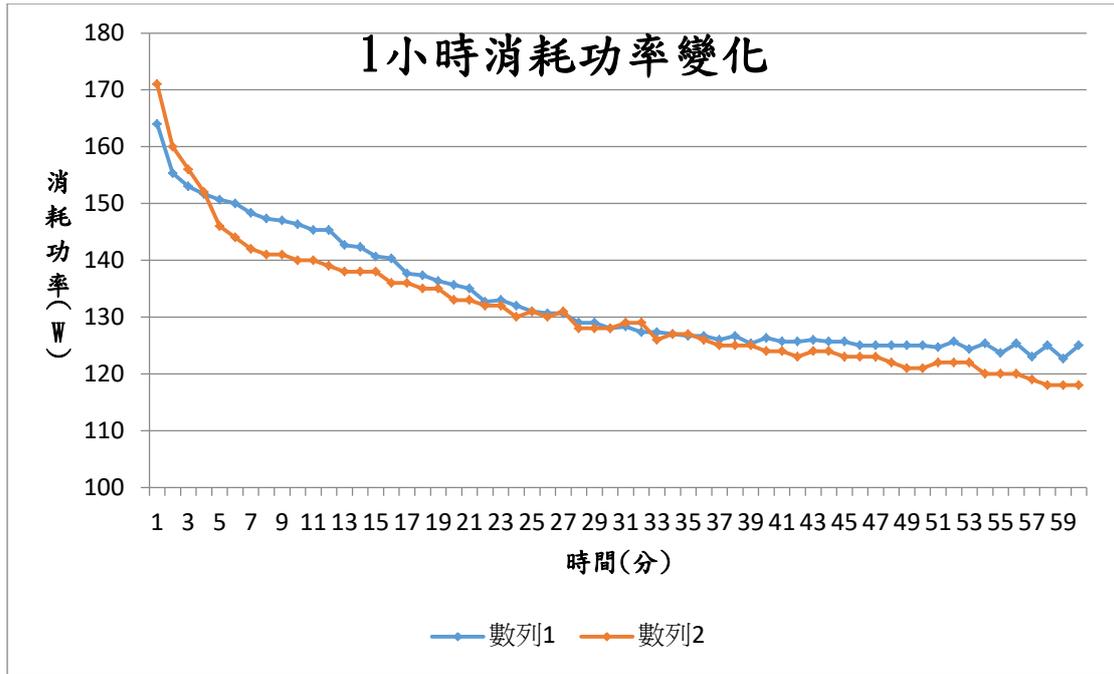


圖 4.2 1 小時消耗功率變化比較(數列 1：R-134a、數列 2：R-152a)

為了方便比較溫度下降的情形，我們可以計算下拉斜率，用來代表在 1 小時內，每分鐘庫溫下降多少度，計算方法如下：

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{T_2 - T_1}{\text{時間}}$$

由圖 4-1 得知，在相同的條件下，R-134a 有較於好的溫度下拉斜率，以 1 小時的時間計算，R-134a:0.6306、R-152a:0.595；而以 30 分鐘計算的話，R-134a：1.1、R-152a:0.9227，可知在相同的能力下，R-134a 的冷卻速度能力是略比 R-152a 高的。

但由圖 4-2 得知，在消耗功率方面，整體比較起來，R-152a 的耗功是比 R-134a 小的，加總 1 小時下來，R-152a 比 R-134a 省能 141W。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

綜合上述數據，用 R-600a 及 R-152a 替換 R-134a 冷媒在家用冰箱上，除了不對臭氧層造成危害外，皆可減少溫室效應所造成對於地球及環境的危害，且在相同的庫溫條件下，不只充填冷媒量減少，節能方面都有優異的表現，針對 R-134a、R-600a、R-152a 的數據，綜合分析顯示：

1. 溫室效應潛能(GWP)：R-134a>R-152a>R-600a
2. 安全性能方面：R-134a>R152a>R600a
3. 充填量方面：R-134a>R152a>R600a
4. 無載庫溫下拉速度：R-134a>R152a>R600a
5. 消耗功率：R-134a>R152a>R600a
6. 性能係數(COP)：R600a>R152a>R-134a

根據上述的幾點，在無變動任何系統條件的情況下，R-600a 及 R-152a 除了可燃性的缺點以外，其他不管在充填量、節能及性能上，都優於 R-134a，證明 R-600a 及 R-152a 是可以替換 R-134a 在家用冰箱裡的環保冷媒。

### 5.2 後續研究的建議

1. 本次實驗並無替換較適合 R-600a 及 R-152a 冷媒的礦物性冷凍油，在設備的運轉上難免會有所影響，因此若替換合適的冷凍油，預期效能是可以再次的提升。
2. 本次系統是在原 R-134a 冰箱的冷凍系統做替換，並無更改毛細管的壓降，因此可以再次的探討替換冷媒後，最合適的毛細管長度比較，預期效能可以提升並使充填量減少。
3. 目前對於可燃性的冷媒，其在系統的充填量都有所規範，因此在較大型的系統中(例如分離式冷氣、箱型空調等等)，往往都不能使用性質較好的環保冷媒，往後可探討可燃性冷媒在中、大型冷凍系統中的安全研究，期待後續的研究可以朝這方面進一步的探討，讓環保冷媒的使用能夠更加的廣泛。

## 參考文獻

1. 鄭龍嶽，家用除濕機換裝碳氫冷媒之研究，臺北科技大學冷凍空調工程系論文(2005)。
2. 孫仲康，HFC-152a 應用於冰箱與除濕機之效益分析，臺北科技大學冷凍空調工程系論文(2014)。
3. 王偉儒，家用冰箱系統換裝碳氫冷媒之性能研究，臺北科技大學冷凍空調工程系論文(2005)。
4. 陳聰明，許祺清，冷凍空調原理 I，中和市，弘揚圖書有限公司。
5. 陳聰明，許祺清，冷凍空調原理 II，中和市，弘揚圖書有限公司。
6. 簡紹群，簡子傑，冷凍空調 術科寶典，台北市，文笙書局股份有限公司。
7. 簡紹群，簡子傑，冷凍空調 學科寶典，台北市，文笙書局股份有限公司。
8. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A3%BD%E5%86%B7%E5%8A%91%E5%88%97%E8%A1%A8>，維基百科 製冷劑列表。

# 工業用冰水機運用在工具機的探討

國立台灣師範大學工業教育學系

指導老師：鄧敦平教授

學生：劉禹廷、杜哲維、崔廣峰

## 摘要

科技的進步日新月異，有鑒於工具機的速度、功率不斷的提升，工作精度的要求相對的越來越完美，作為冷卻它的媒介—工業用冷卻機已不只是單一的冷卻作用，冷卻機還要因應因工具機主軸轉速不同、進給不同而瞬間產生不一樣的熱溫升，迅速供給適當大小的冷卻能力，而達到溫度穩定的效果，使工具機不會因為熱溫升過大造成主軸熱脹冷縮變形而影響機械精度，工作效率也能有效地提升，因此對於工業用冷卻機控制溫度的要求也日益提高。為了使工具機精度能夠更加提高，我們以"工業用冰水機運用在工具機的探討"做為我們的專題題目。本專題主要探討工業用冷卻機溫度偵測點設置的不同對於工具機設備會有什麼影響以及冷卻水流量的變化是否會對工具機造成影響。我們使用加熱器模擬工具機負載，在冷卻機的出管處加裝一個球閥控制冷卻水流量，並監測加熱器進出管以及套管中間溫度變化。

關鍵字：工具機主軸、熱脹冷縮、溫度偵測點、冷卻水流量。

## 1. 前言

### 1.1 研究背景和動機

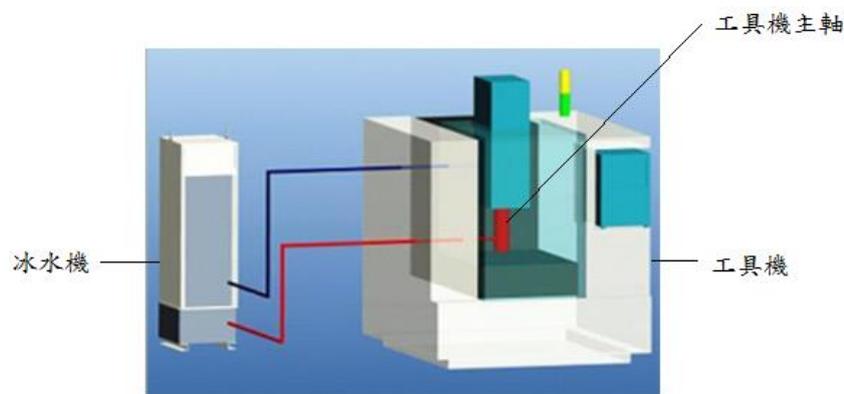
所有的機械運作都會產生熱，工具機亦是如此，依照熱漲冷縮的原理，機械運作產生的熱會使得工具機主軸漲大，造成加工製品時會有尺寸上誤差，使製品表面粗糙，例如：汽車板金有高低階之分，高階的質感、光滑度明顯較高，板金組合的間隙較平整，而低階的則相對較粗糙，這都是由於加工精度的不同而造成的差異，並且高精度的加工製品能夠使加工製成與時間縮短許多，在時間成本與人力成本就能夠減少許多，因此如何將工具機主軸盡量控制在恆溫，是工具業界中一直所追求的目標，而控制主軸溫度的關鍵正是冷卻它的設備—工業用冷卻機。

工業用冷卻機主要應用於冷卻塑料、五金加工機械成型模具，大幅提高製品

表面光潔度，減少製品表面紋痕和內應力，使產品不縮水、不變形，從而提高生產效率，不僅如此，冷卻機還能保護工具機免於溫度過高造成元件損壞，降低工具機的損壞率。

## 1.2 研究目的

為了使工具機加工的製品精度能夠更加提高，工具機主軸溫度的控制就非常重要，而工具機主軸正是依靠工業用冷卻機來達到抑制發熱的效果，控制因熱漲冷縮而造成主軸精度的變化，因此，如何改善工業用冷卻機的控制模式成為本組探討的議題。



圖一

## 1.3 研究方法

本組使用的工業用冷卻機為利用水作為熱交換的循環媒介，並利用加熱器模擬工具機負載，隨時監測加熱器進管、出管以及加熱器套管中間溫度，在冷卻機的出管處加裝一個球閥控制冷卻水流量，改變冷卻水的循環速度與熱交換的時間，再以溫度偵測點設置位置的不同，比較對於負載端有何影響。

## 1.4 名詞解釋

**工具機主軸:** 在工作母機上帶動“被加工件”或“刀具”旋轉的旋轉軸，通常是由軸心、主軸軸承和安裝在主軸上的傳動件等所組成。

**工作精度:** 指機床在正常穩定的工作狀態下，按規定的材料和切削規範，加工一定形狀工件所檢驗的工件精度。影響工作精度的因素，除了機床本身的精度外，還有因機床及主軸受載後產生變形、加工中產生震動、熱變形、機床及刀具的磨損等因素。

## 2. 文獻回顧

### 2.1 吸熱和放熱公式[1]

$$Q=mC_p\Delta t$$

式中  $Q$ —質量為  $m$  (kg) 氣體吸收或放出的熱量 (kJ)

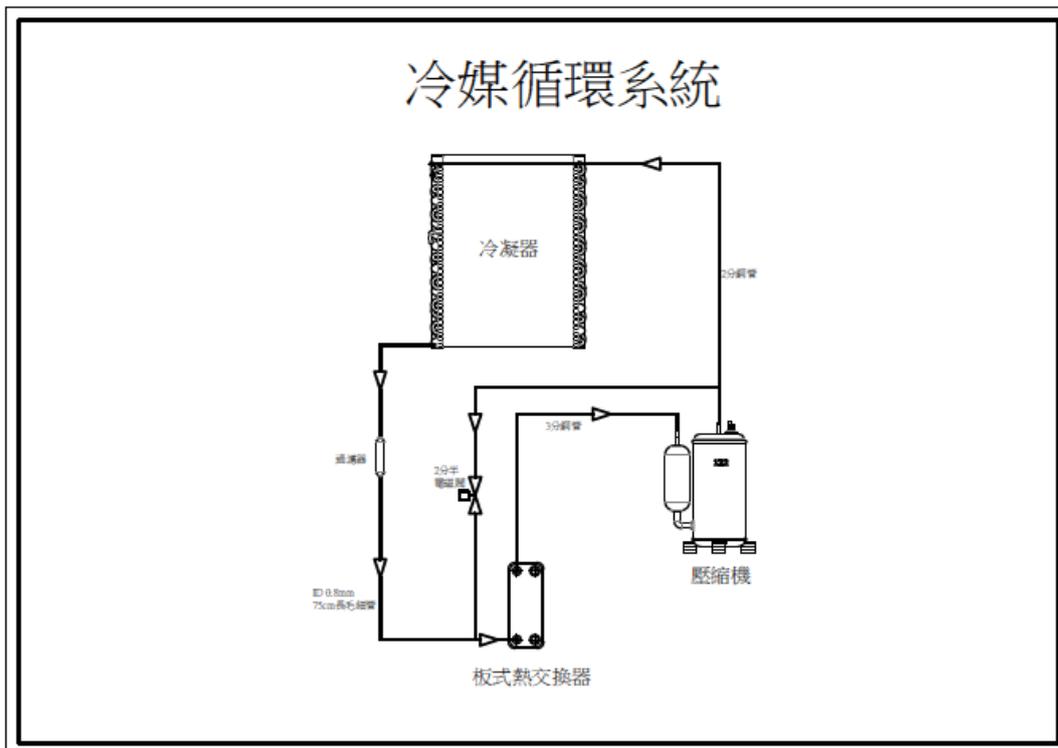
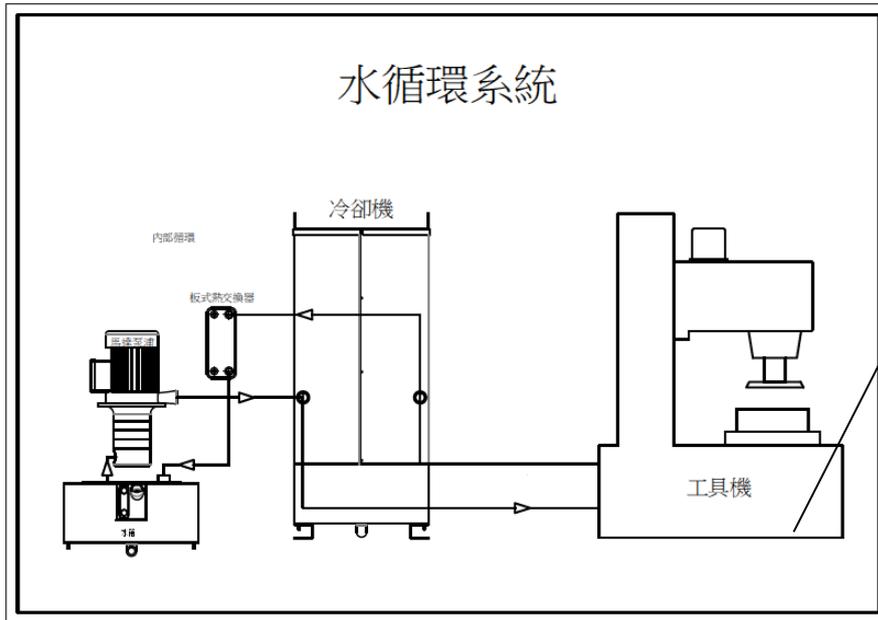
$m$ —氣體的質量 (kg)

$C_p$ —氣體的定壓質量比熱 (kJ/kg·°C)

$\Delta t$ —加熱前後氣體的溫度差 (°C)

### 3. 實驗設計

#### 3.1 研究系統



## 實驗照片



2Kw 加熱器



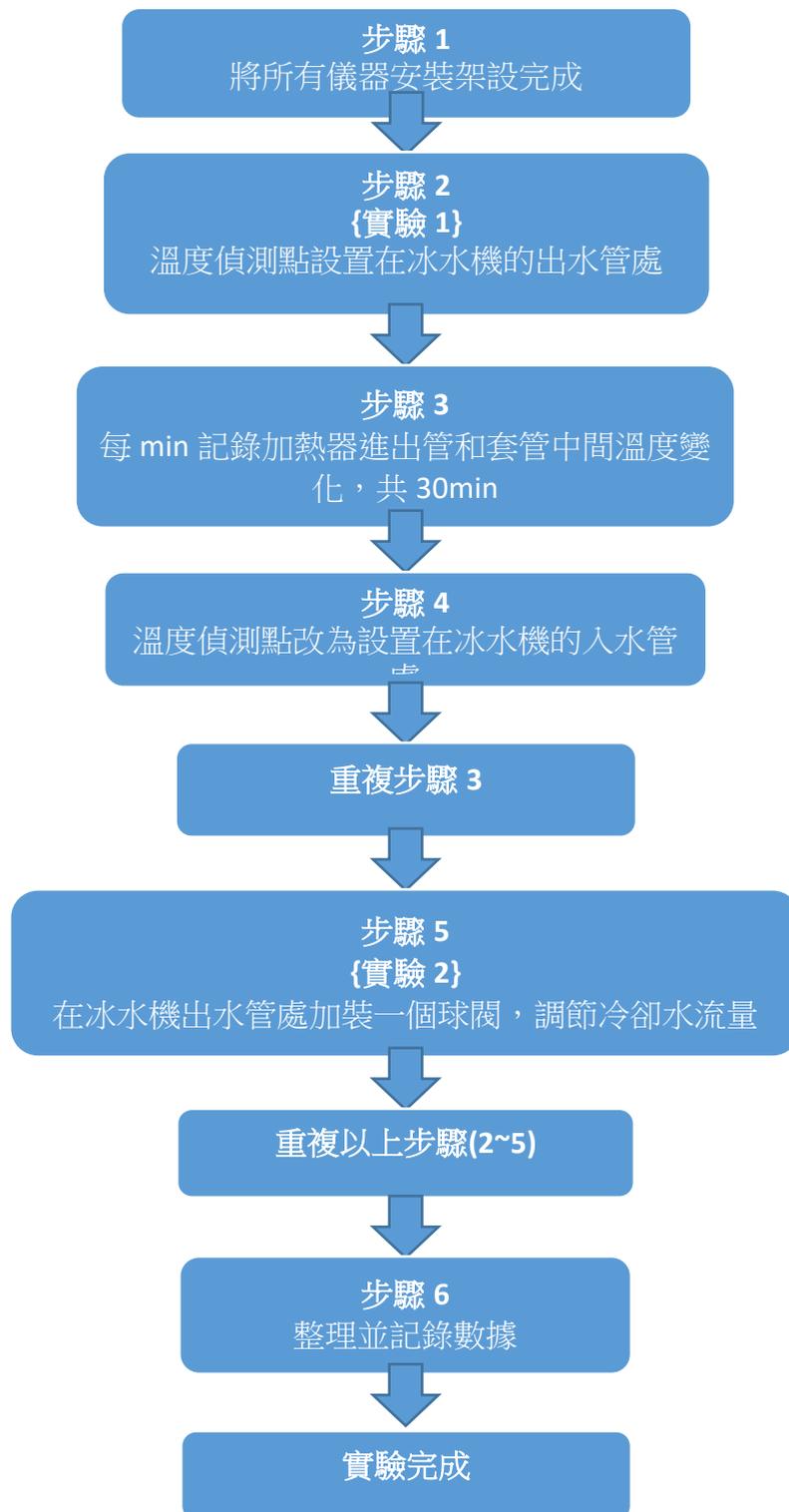
2000kcal/hr 冰水機

## 3.2 實驗器材

### 實驗器材表

物品	數量	備註
冰水機	1 台	能力:2000Kcal
加熱器	1 支	能力:2kW
球閥	1 個	
水管	2 條	規格:3/4"
溫度計	3 支	
物品	數量	備註
冰水機	1 台	能力:2000Kcal
加熱器	1 支	能力:2kW
球閥	1 個	
水管	2 條	規格:3/4"
溫度計	3 支	

### 3.3 實驗方法以及研究步驟



## 4. 結果與討論

### 4.1 實驗 1:冰水機溫度偵測點設置的不同造成工具機運作上的差異

冰水機運轉狀態: 3  $\phi$  220V 60Hz、環境狀態: DB/WB:28°C/24°C ; RH:72%

冰水機能力: 2000kcal/hr、加熱器能力:2kW、馬達泵浦流量:當壓力  $P=2\text{kg/cm}^2$  ,  
流量  $Q=35\text{L/min}$

表一. 冰水機溫度偵測點設置在入水管處(冰水機設定溫:25°C, 當 24.5°C時, 高壓旁通電磁閥開通)

冰水機溫度偵測點設在入水管處(INPUT)						
記錄時間	冰水機溫度	T1(進)	T2(中)	T3(出)	加熱器進出管溫差	電磁閥啟動時間
1:00	28	26.5	27.8	28.5	2	
2:00	27.5	25.6	26.6	28.1	2.5	
3:00	27	24.8	26.2	27.6	2.8	
4:00	26.5	24.1	25.8	27	2.9	
5:00	26.5	23.1	24.9	26.9	3.8	
6:00	26	22.4	24.3	26.6	4.2	
7:00	25.5	22	23.7	26.1	4.1	
8:00	25	21.8	23.5	25.7	3.9	
9:00	25	21.5	23.6	25.4	3.9	
10:00	24.5	21.4	23.5	25	3.6	10:40
11:00	25.5	22.6	24.9	25.8	3.2	
12:00	25.5	22.3	24.8	25.6	3.3	
13:00	25	22	24.5	25.3	3.3	
14:00	25	21.7	23.9	25.1	3.4	
15:00	24.5	21.3	23.5	24.9	3.6	15:30
16:00	25.5	22.5	24.9	25.8	3.3	
17:00	25.5	22.3	24.6	25.7	3.4	
18:00	25	22.1	24.4	25.3	3.2	
19:00	25	22	24.1	25.1	3.1	
20:00	25	21.8	23.8	24.9	3.1	20:50
21:00	26	22.8	25	26	3.2	
22:00	25.5	22.6	24.9	25.7	3.1	

23:00	25.5	22.4	24.5	26	3.6	
24:00	25.5	22.2	24.3	25.7	3.5	
25:00	25	21.8	23.8	25.2	3.4	
26:00	24.5	21.3	23.4	24.7	3.4	26:10
27:00	25.5	22.5	24.6	25.6	3.1	
28:00	25	22.3	24.4	25.2	2.9	
29:00	25	22.1	24.3	25.1	3	
30:00	25	21.9	24	24.9	3	

備註:T1:加熱器進管表面溫度，T2:加熱器管中間表面溫度，T3:加熱器出管表面溫度，溫度單位:°C

當第7分鐘時溫度趨近穩定，取第7~30筆資料，加熱器進出管平均溫差:3.358°

C

表二.冰水機溫度偵測點設在出水管處

冰水機溫度偵測點設在出水管處(OUTPUT)						
記錄時間	冰水機溫度	T1(進)	T2(中)	T3(出)	加熱器進出管溫差	電磁閥啟動時間
1:00	27.5	27.8	28.7	30.7	2.9	
2:00	27.5	27.6	28.8	30.5	2.9	
3:00	27.0	27.1	28.2	30.5	3.4	
4:00	26.5	26.8	27.9	30.2	3.4	
5:00	26.0	26.3	27.6	29.7	3.4	
6:00	26.0	26.2	27.3	29.4	3.2	
7:00	25.5	25.7	26.7	29.1	3.4	
8:00	25.0	24.9	26.3	28.7	3.8	
9:00	25.0	25.2	26.1	28.6	3.4	
10:00	25.0	25.2	26.1	28.5	3.3	
11:00	25.0	25.1	26.0	28.3	3.2	
12:00	25.0	24.8	25.9	28.2	3.4	
13:00	24.5	24.7	25.8	28.0	3.3	13:15
14:00	25.0	25.2	26.5	28.8	3.6	
15:00	25.0	25.1	26.5	28.6	3.5	
16:00	24.5	24.8	26.1	28.5	3.7	

17:00	24.5	24.7	25.9	28.3	3.6	17:50
18:00	25.5	25.6	26.8	28.9	3.3	
19:00	25.0	25.1	26.3	28.8	3.7	
20:00	24.5	24.8	25.9	28.6	3.8	
21:00	24.5	24.7	25.5	28.5	3.8	
22:00	24.5	24.6	25.6	28.3	3.7	22:10
23:00	25.0	25.3	26.5	29.0	3.7	
24:00	25.0	25.0	26.2	28.9	3.9	
25:00	24.5	24.5	25.7	28.5	4.0	25:00
26:00	25.0	25.3	26.7	28.8	3.5	
27:00	25.0	25.2	26.3	28.7	3.5	
28:00	24.5	24.8	25.8	28.5	3.7	
29:00	24.5	24.7	25.6	28.3	3.6	29:20
30:00	25.0	25.2	26.6	28.9	3.7	

備註:T1:加熱器進管表面溫度，T2:加熱器管中間表面溫度，T3:加熱器出管表面溫度，溫度單位:°C

當第 7 分鐘時溫度趨近穩定，取第 7~30 筆資料，加熱器進出管平均溫差:3.6°C

## 實驗 1 討論

比較表一與表二，可以發現當溫度偵測點設置在冰水機入水管處時，T1、T2、T3 會比當溫度偵測點設置在冰水機出水管處時低，這對工具機有一個影響: 假設室溫為 25°C，工具機主軸目前所需的溫度為 25°C，因此冰水機設定溫為 25°C。若將溫度偵測點設置在冰水機出水管處，將加熱器視作工具機，由於管損以及熱散失，T1 會稍微高於冰水機設定溫，而主軸運作時所產生的熱，又使得 T2、T3 溫度更加提高(T3>T2>T1)，這使得主軸溫度比原先加工的溫度高，進而造成主軸微量熱膨脹，加工零件時，切削的點會比原本設定的位置更深一點，當模具或零件被切深一點時，是無法再填補回去所需要的尺寸，這對於需要高精度的高階製品會有尺寸誤差，相較之下，若將溫度偵測點設置在冰水機入水管處，T1、T2、T3 則會比冰水機設定溫低，這使得主軸溫度比原先加工的溫度低，加工零件時，切削的點會比原本設定的位置更淺一點，雖然尺寸尚未達到精準，但可還再做二次加工，將零件尺寸臻致完美，零件的精度會相對較高。

## 4.2 實驗 2:冷卻水流量的不同造成工具機運作上的差異

表二.冰水機溫度偵測點設在出水管處

請參照 P.7

表三.冰水機溫度偵測點設在出水管處(經球閥控制為低流量)

溫度偵測點設在 OUTPUT(低流量)						
記錄時間	冰水機溫度	T1(進)	T2(中)	T3(出)	加熱器進出管溫差	電磁閥啟動時間
1:00	26.5	25.9	27	30.7	4.8	
2:00	26	25.6	27.2	30.3	4.7	
3:00	25	25.1	26.8	29.7	4.6	
4:00	25	24.9	26.7	29.4	4.5	
5:00	24.5	24.6	26.4	29.1	4.5	05:10
6:00	25	25.1	26.2	29.6	4.5	
7:00	25	25.2	26.8	29.7	4.5	
8:00	24.5	24.7	26.5	29.5	4.8	08:20
9:00	25.5	25.5	27.1	30.1	4.6	
10:00	25.5	25.3	26.9	29.9	4.6	
11:0	25	24.9	26.4	29.6	4.7	
12:00	24.5	24.7	26.3	29.2	4.5	12:20
13:00	25.5	25.8	27.5	29.9	4.1	
14:00	25.5	25.3	27	29.7	4.4	
15:00	25	25	26.8	29.5	4.5	
16:00	24.5	24.7	26.5	29.2	4.5	
17:00	24.5	24.6	26.3	29.2	4.6	17:15
18:00	25.5	25.7	26.9	29.8	4.1	
19:00	25	25.4	26.7	29.7	4.3	
20:00	25	25.2	26.6	29.4	4.2	
21:00	24.5	24.8	26.4	29.2	4.4	
22:00	24.5	24.5	26.1	29	4.5	22:05
23:00	25.5	25.6	26.7	29.9	4.3	
24:00	25.5	25.4	26.5	29.8	4.4	
25:00	25	25.3	26.5	29.7	4.4	
26:00	25	25	26.4	29.5	4.5	

27:00	24.5	24.7	26.2	29.4	4.7	27:35
28:00	25.5	25.8	27	29.9	4.1	
29:00	25.5	25.6	26.8	29.8	4.2	
30:00	25	25.2	26.7	29.6	4.4	

備註:T1:加熱器進管表面溫度，T2:加熱器管中間表面溫度，T3:加熱器出管表面溫度，溫度單位:°C

當第 7 分鐘時溫度趨近穩定，取第 7~30 筆資料，加熱器進出管平均溫差:4.43°C

## 實驗 2 討論

比較表二與表三，可以發現當冷卻水流量較低時，加熱器進出管溫差(T3-T1)會較大，當工具機主軸進出口溫差較大時，主軸前端與後端膨脹程度不一樣，會造成前後端培霖的鬆緊度不一樣，使得主軸加工旋轉時摩擦係數不同，而可能會有震動偏擺的影響，加工精度也會降低。

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論

- 1.溫度偵測點設置在冰水機入水管處較能有效控制工具機主軸溫度，進而達到主軸的加工精度。
- 2.以較大流量的冷卻水循環時，主軸前後端溫度較接近，較不會因前後熱溫升的不同造成有變形偏擺的問題，使得加工精度較穩定。

### 參考文獻

1. <http://www.twword.com/wiki/%E6%AF%94%E7%86%B1>

2. 台灣經濟部能源局:

[https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu\\_id=1037](https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1037)