

微型燃料電池電動車之設計與開發

宋祥瑞¹ 周品全¹ 徐銓汎¹ 陳永銓¹ 陳家偉² 林正乾²

¹ 國立勤益科技大學機械工程系
¹ Department of Mechanical Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

² 國立勤益科技大學電機工程系
² Department of Electrical Engineering,
National Chin-Yi University of Technology

摘要

為了探索氫氣燃料電池[1]電動車的工程可行性，本研究自行設計並製造一台單人座之氫能燃料電池電動車，做為研究氫氣燃料電池應用於電動車的測試平台。本燃料電池車主要包括車體結構、馬達動力系統、燃料電池供電系統、電能管理系統、轉向系統與煞車系統。而燃料電池車以前二後一之三輪結構呈現(Tadpole)，前二輪採雙 A 臂之獨立懸吊設計，後輪使用輪鼓馬達驅動電動車，並設計一 H 型的搖臂將後輪與車架做結合，整車轉向系統則採用阿克曼原理設計。為求車體輕量化與車身低風阻，車體結構設計以曲線為主，並採鋁合金圓管製作，整車的避震是由圓弧型的圓管達成；加速跟煞車則採用汽車慣用之腳踏型式。本計畫完成一台微型燃料電池電動車，電動車淨重 45 公斤，可荷重 120 公斤，藉由自製的資料截取系統測試結果顯示本電動車最高速度可達 50km/hr，續航力以 600 公升儲氫瓶為例則可達 60km。

關鍵字詞:燃料電池、電動車、氫能車

1.前言

燃料電池 (fuel cell) 是一種將燃料的化學能，透過電化學反應直接轉換成電能的裝置。其優點低污染、高效率、多用途、免充電。

燃料電池未來的設計主要應用在電動汽車、電動機車的電池組中。電動汽車的製造商包括福特、本田與等主要汽車公司，都已陸續開發出原型機，然而，短期內燃料電池電動汽車，要取代現有使用石化燃料的汽車，困難度仍相當高，主要因為製造成本過高。故中程計畫以油電混合的電動汽車較為可行，而長程計畫則以純燃料電池電動汽車為主。

本研究目標為自行設計並製造一台單人座之氫能燃料電池電動車，做為研究氫氣燃料電池應用於電動車的測試平台。

2.研究方法

2.1 燃料電池車之設計

2.1.1 設計理念

本燃料電池車為速度與節能系統之結合。燃料電池車以前二後一之三輪結構呈現(Tadpole)，此設計理念選擇三輪設計是自製能力與安全性的妥協，而前二後一之主要原因，是不需要差速器，且更容易與輪鼓馬達結合，而此形式也符合空氣動力學之原理，能夠降低空氣阻力，進而節省能源。

體結構設計則是以曲線為主，並用圓管製作，主因為較好製作曲線造型，且能承受整車與車手重量，另外也力求輕量簡單化與低風阻；上車架近乎一體成形，整個車架以 6061 鋁合金材料製作，讓車架更為輕巧，加速跟煞車採用一般汽車腳踏之型式。

動力系統與電力系統以能兼顧燃料電池

車之高速動力輸出與續航力為目標；燃料電池車之操作與監控；以提高自動化降低車手手動錯誤機會，煞車與轉向系統則視為最重要之安全考量。

2.2 車體結構

汽車的構成中車體是相當重要的部分，除了構成承載人員、物品與機械結構的空間之外，由於汽車的移動的交通工具，所以能夠維持車輛完美運作與行動，並且提供必要的保護作用，也成為車體設計的重要因素。

2.2.1 車體結構設計

本研究的設計以輕量簡單為主，捨去複雜桁架結構，衍生出這台曲線設計的特殊結構，上車架完全利用彎管的方式來製作，並且運用彎管的力量來達到避震作用，此創新方式捨去了避震系統設計，但大大減少重量。

2.2.2 上車架

本燃料電池車之上車架以曲線方式，如圖 1 所示 A 處，運用 6061 鋁合金彎管來製作上車架，並且為了減輕重量，本車隊用了創新的設計，用彎管本身的力量，吸收地面傳來的反作用力，進而達到類似避震的效果。

為了減輕重量，本燃料電池車捨棄了懸吊系統，運用新的結構設計，

如圖 2 所示，將底盤後面加裝後搖臂來裝置後輪，之後在上車架與後搖臂之間利用鋁管做連結，經這設計，後輪接受地面反力，經由連桿傳到上車架，利用上車架彎管力量來吸收，而圖中 A 處亦有一力量來幫助吸收地面反力，這樣不但不需要避震，也可以達成避震的效果。

此結構優點為：

1. 取代避震懸吊裝置。
2. 大大減輕重量。
3. 為一創新機構設計。

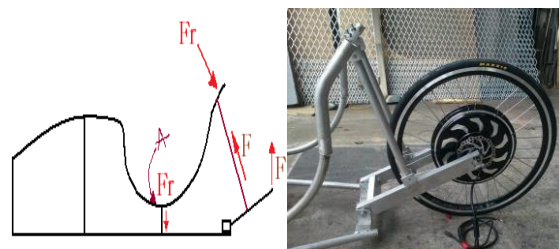


圖 1. 運用彎管來達到避震之效果

2.2.3 底盤

底盤主要是承受車手及本身的重量，橫桿用途為加強剛性，後面連接後搖臂，把力量傳到上車架，達到避震效果。

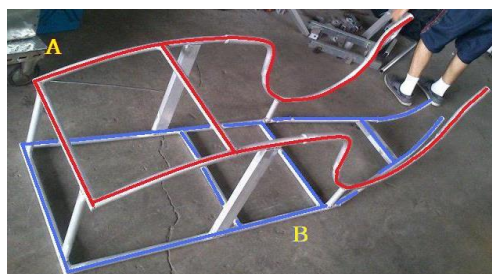


圖 2. 上車架與底盤

2.2.4 車體材料

為了降低車輛本身的重量，而捨去避震，在材料方面是用 6061 鋁合金管材，6061 鋁合金有非常好的機械性質，焊接性強，質輕强度高，非常適合用於車架的製作，因此採用規格管徑為一英寸鋁管。

鋁合金為可回收、環保及節能的輕金屬，為產品輕量化飛常重要之工程材料，為各式工業產品與航太產業上大量使用。經由適當之加工方式及妥善熱處理製程，發揮材料之應有特性，其特性與優點：在承受衝擊負荷的場合，即使彎曲了也不會折斷。比强度高，拉伸強度與疲勞強度也高，可應用於汽車零件、旋轉體、航空器材等。在自行車工業上，零件部分將近95%皆使用鋁合金材料。雖然鋁合金材料已經在自行車工業上使用很久了，但是加工層次之進步與普及才是鋁合金材料被大量使用的誘因。

2.3 轉向系統

轉向機構的良好與否對行駛中車輛的操縱性、安全性及方向性具有決定的影響，所以轉向系統須具有操縱之敏感、輕巧與準確、直行與轉向的穩定、且不因路面的起伏與凹凸而造成方向盤的抖震等特性。

2.3.1 轉向原理

車輛的轉向原理有第五輪轉向及阿克曼轉向兩種；本研究採用小車常用之阿克曼轉向設計。

車輛在轉向時須沿著單一的轉向中心作旋轉，如此車輪才能完全滾動順利過彎。轉彎時因輪距之關係，兩前輪之旋轉角度必不相同，其內側輪之轉向角較外側輪之轉向角大。而該轉向中心即為車輛轉向之瞬時中心，亦即當車輛於轉向行進時兩前輪之旋轉軸延長線與後輪輪軸之延長線交於此點，此稱為阿克曼原理，如圖3所示。

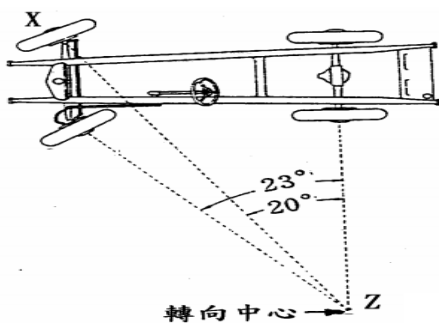


圖3. 阿克曼轉向原理

本研究採用的是依四連桿組中,雙曲柄機構原理如圖4所示,雙曲柄機構的應用是當轉向時內側車輪的轉向角度必大於外側車輪的轉向角度,轉速則是外車輪大於內車輪,而依阿克曼轉向原理即是兩前輪的輪軸中心延長線與後軸中心的延長線必交於一點(瞬時中心),此點即是轉向中心之點,由圖可知外側輪到瞬時中心的距離,為轉向半徑,內側前輪的轉向角度大於外側前輪之轉向角度。

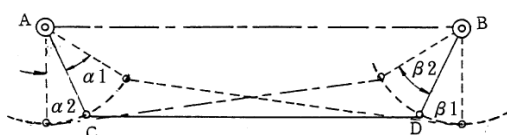


圖 4. 四連桿雙曲柄機構

根據圖 5 所示 阿克曼轉向原理，其轉向角度的關係為：

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = \frac{K}{L}$$

其中

δ_o = 外側輪轉向角

δ_i = 內側輪轉向角

K = 輪距

L = 軸距

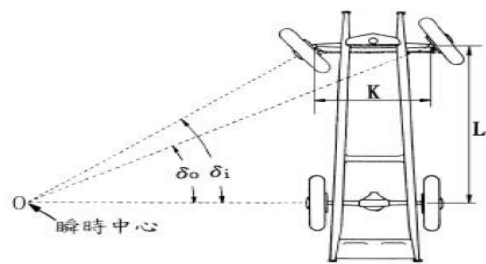


圖 5. 阿克曼轉向原理

本燃料電池車之軸距為 1.40m，輪距為 0.91m，假設本燃料電池車欲進行左轉，以左輪(內側輪)為基準，本車隊設定左輪轉向角為 60°，因此經由公式可推導出右輪轉向角為：

$$\delta_o = \cot^{-1} \left(\frac{K}{L} + \cot \delta_i \right)$$

$$\delta_o = 39.17^\circ$$

而為了方便施工，本車隊右輪轉向角取 40°，因此產生誤差 e：

$$e = \delta_i - \delta_r$$

$$= \delta_i - \cot^{-1} \left(\frac{K}{L} + \cot \delta_i \right)$$

$$= 40^\circ - 39.17^\circ$$

$$= 0.83^\circ$$

其中

δ_i = 實際角度

δ_r = 理想角度

觀察式子，誤差可經由 $\frac{K}{L}$ 來改善，若誤差為

負值，則增加 $\frac{K}{L}$ 值；若為正值，則減少 $\frac{K}{L}$ 值。

本研究先用 [Pro/Engineer](#) 設計並繪製出轉向機構，轉向機構可細分為轉向節、轉向 T 柱、轉向連桿及轉向機柱等。

1. 轉向節: 控制輪胎轉向之重要零件，是組成轉向機構中重要的一環，為轉向角度差之特點所在，形狀為 U 字型，和轉向臂及轉向 T 柱連結，當轉動方向盤，經由轉向機柱到轉向連桿，連桿會拉動轉向臂，使轉向節(輪胎)轉動，如圖 6 所示。



圖 6. 轉向節與轉向 T 柱

2. 轉向 T 柱: 支持輪胎與車體之結合，需有極高的強度，如圖 2-11 所示。

3. 轉向連桿: 連結、傳達力量，與轉向機柱及轉向節之零件連結。

4. 轉向機柱: 控制旋轉角度之主要部分，與方向盤相連，當方向盤轉動時，方向機柱隨之轉動，牽動方向連桿進而轉向，如圖 7 所示。



圖 7. 轉向機柱

2.4 煞車系統

煞車是使車子煞停的制動系統，透過不同的機構使車子車輪的轉動減慢來停車，通常是透過以生鐵或複合陶瓷製成的煞車碟，連接到車軸上，與煞車片來產生磨擦力而使車子停止，煞車是所有系統中不可免去且極為重要的一部份，本研究採用碟式煞車。

碟煞是由制動盤及制動鉗所組成。制動

盤為金屬製薄片轉盤，會與車輪同軸旋轉。制動鉗則固定不轉，它橫跨在制動盤的兩側形成「鉗式」。煞車過程中，驅動機構使制動鉗夾住制動盤的兩側盤面，藉著摩擦片劇烈地摩擦制動盤，迫使轉速降低直至停止。由於煞車碟暴露在空氣當中，因此具有優良的散熱性，而且即使在高溫之下也不會像鼓式煞車一樣降低效率或是在踩踏煞車板時有異樣，如圖 8 所示。



圖 8. 碟式煞車

2.4.1 腳踏煞車與自動斷電裝置

一般的煞車，是施以一力量對輪胎做鎖死的動作，其缺點是當煞車的時候，若給予馬達力量，馬達依然會動作，造成其他零件的損壞，本車的煞車系統是由自製的腳踏機構以及裝置於底盤的一簡易機械裝置組成，使其在踩下煞車時，能牽動碟煞，達到煞車的功能，因為此驅動器擁有煞車斷電系統的功能，所以我們製作一個開關連動著煞車裝置如圖 9、圖 10 所示，使其煞車的同時產生斷電的動作，當煞車動作時，開關打開傳送一訊號到驅動器，斷開馬達之動作，可以預防不小心的情況下，踩動腳踏加速器讓馬達動作。



圖 9. 煞車斷電系統

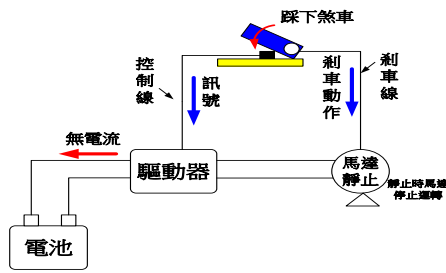


圖 10. 煞車模擬圖

2.4.2 煞車與重力配置

Windcutter 是由後輪煞車，所以當行駛中踩下煞車，可能會因車子過輕導致車頭往上抬起，造成前輪轉向輪胎磨擦力不足，無法有效轉向，增加煞車時的危險性如圖 11 所示，我們的解決方法是將所有的供電系統，包括電池，燃料電池等等較重物品設置於前方，利用重量來壓制車頭，防止前端抬起之情形如圖 12 所示。

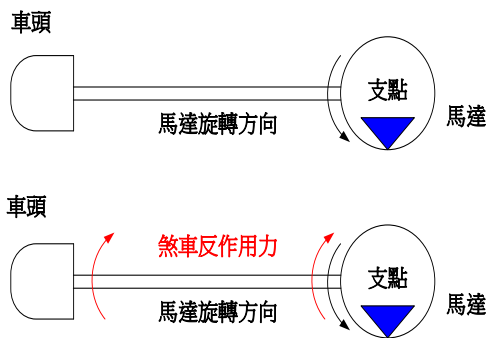


圖 11. 煞車狀況圖

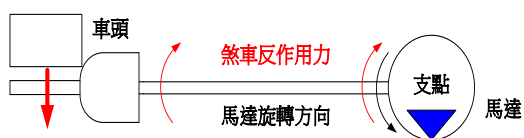


圖 12. 重力裝置與煞車狀況圖

2.5 馬達動力系統

2.5.1 馬達

目前電動機車常使用的馬達分別為有刷及無刷直流馬達[2] [3]，有刷直流馬達是靠電流流經電刷在經電樞轉動。其垂直磁場的產生採用在轉子上增加多組的線匝繞組，經由電刷

(brush)與換相(commutator)的調整，使流入電樞的電流，能控制轉子磁場保持在磁場垂直的方向上，優點:直流馬達好處為在控制速度方面比較簡單，只須控制電壓大小就可控制其轉速，且不受電源頻率的限制，可以製做出高速馬達，缺點直流有刷馬達不宜在高溫環境下操作，而且電動機中需要以電刷作為電流變換器(Commutator)的部件，所以需要定期清理電刷磨擦所產生的污物，使用一段時間會磨損須更換，另外電樞也會磨損。直流無刷馬達的設計，主要是解決直流馬達的電刷與換相器的維護問題。其動作原理與有刷式直流馬達最大的不同，在於改以電子式的換相，而使達到轉子與定子磁場保持在 90 相位差的目的，在配合適當的驅動電路、有效控制換相時序，可以提高效率或增加轉速範圍。無刷馬達是靠線圈產生磁場讓電樞運轉，因為少了電刷與軸的摩擦因此較省電也比較安靜，缺點是驅動電路成本較高，優點如下:

- a、換相時不易產生高溫之電弧及金屬屑。
- b、電氣雜訊少，可靠度高、壽命長且易高速化。
- c、低電壓、啟動快、易控制。
- d、製造容易、體積小、
- e、可適用於高溫環境下且維修費低
- f、電刷部份不產生碳粉、油霧等污垢。
- g、不產生電氣之雜訊(不產生電波干擾)。
- h、不產生火花
- i、不閃爍(flash over)。

2.5.2 輪轂馬達

將馬達直接安裝於輪胎鋼圈內部，即成為輪轂馬達[4]如圖 13 所示(或稱為輪圈馬達、輪內馬達)。本文所描述之輪轂馬達，是一種反電勢為正弦波之直流無刷馬達。馬達由定子及轉子組成，內部定子為三相繞組，外轉子內圓表面黏貼或嵌入稀土永久磁鐵。採用此馬達是因為具有體積小、慣性低、效率高等特點，經過適當的設計，可以提供相當高的功率密度，

產生高轉矩，並直接驅動負載，而不需使用減速機構，可達到精密的調速功能，並具有高速的動態響應及低噪音的優點。本車使用的是 26 吋的輪轂馬達，轉速 500rpm，輸入額定電壓 48V。



圖 13. 輪轂馬達

2.6 燃料電池供電系統

本氫能燃料電池電動車使用額定為 48V/500W 之輪轂馬達作為將電能轉換成動能的主要能量轉換裝置，並使用本輪轂馬達專用之驅動器來達到調節馬達電力之目的，並由此驅動器輸出電壓訊號作為行車速度之依據，為配合額定 500W 之輪轂馬達所需的額定與最大電力需求，本氫能燃料電池電動車選用兩顆燃料電池與二次電池作為車輛的能量來源。

氫能燃料電池電動車之供電系統如圖 14 所示，是由兩顆串聯之燃料電池與二次電池所組合而成，其燃料電池是使用兩顆額定 24V/320W 的燃料電池串聯成額定 48V/640W 的燃料電池堆，並用儲氫罐供應燃料電池所需燃料，而二次電池則是使用二顆鉛酸電池串聯而成，其額定電壓為 24V，供應車輛之週邊負載使用。

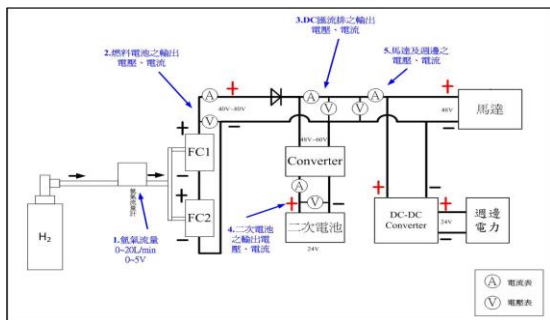


圖 14. 整車能源架構示意圖

2.7 人機監控系統開發

整車能源管理系統[5][6]主要任務為將氫能燃料電池電動車之各項數據經過運算後顯示於人機畫面上，讓駕駛者能即時監控氫能燃料電池電動車的狀態，駕駛者能根據整車能源管理系統的數據進行判斷，作出最適當的決策，避免氫能燃料電池電動車損壞與意外的發生。

本車能源管理系統是由圖控軟體 LabVIEW 建立而成，透過自製之資料擷取卡將整車的相關資料透過 RS-485 傳送至整車能源管理系統，並於系統中進行相關運算將燃料電池、轉換器、車用負載與氫氣流量等數據顯示於畫面上，透過這樣的方式可達到讓駕駛者能在短時間內知道所有訊息之目的。

本研究使用 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)開發一套氫能燃料電池電動車整車能源管理系統。LabVIEW 是一套功能強大的人機界面開發軟體，其特色為 LabVIEW 是一款圖形化的程式語言，與一般傳統的程式語言有很大的差別，經由簡單易懂的圖像邏輯設計，在程式研發的時效比傳統的程式語言來的有效率。

氫能燃料電池電動車在運作的過程中，系統必須即時擷取燃料電池、二次電池、轉換器以及馬達負載的輸出的電壓、電流、氣體流量以及行車速度等參數，本專題所開發之整車能源管理系統中，利用 RS-485 作為主要通訊介面，利用通訊的方式向整車能源資料擷取卡下達通訊指令，命令擷取卡回傳擷取到的各項物理參數，於人機系統中進行分析與運算，並將各項運算結果呈現於人機畫面上，如圖 15 所示。

3. 車殼製作

本車在車殼設計上是以流線造型為設計概念其設計草圖如圖 16 所示。整車及輪胎將被包覆起來使風經由流線的車身導流，讓車輛在行駛中能保有最高效率的能量運用。



圖 15. 整車能源管理系統之人機畫面

車殼除了流線美觀之外更負有保護車手及車輛設備的責任，因此車殼必須薄而不脆，使車輛在輕微碰撞時能發揮最大韌性，不會輕易破裂而導致車手受傷。本車車殼採用 pc 板和壓克力製作而成，側邊有個門方便車手上下車，且和車殼緊密結合。

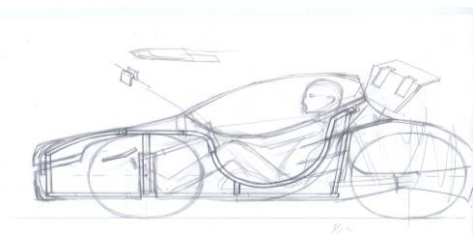


圖 16. 車殼手繪草圖

3.1 車殼製作

車身左右兩側因需要一定的強度來耐住車子行進中的震度，因此用 pc 板製作而成，而其他地方則以壓克力板製作而成。

3.2 車殼外觀黏貼

用繪圖軟體(photoshop)將車殼圖案繪出，如圖 17 所示，經由印刷廠輸出，再依序貼在做好的車殼上如圖 18 所示。



圖 17. 車殼外觀圖



圖 18. 車殼外觀黏貼

3.3 自製煞車燈

用六顆 10mm 的高亮度 LED 燈，與兩顆 120 歐姆電阻串接而成。如圖 19、圖 20 所示。



圖 19. 不亮燈時



圖 20. 亮燈時

3.4 車殼安裝

用螺絲與螺帽固定在車架上，並用 RTV 矽膠將接縫處黏接，最後車殼安裝完成如圖 21 所示。



圖 21. 車殼安裝完成於車架上

4. 實車測試與結果

為實際驗證本專題所開發之整車能源管理系統能確實運作，實際將擷取卡與人機監控系統完整地安裝至氫能燃料電池電動車上並實際上路測試，經過實際測試後顯示，本擷取卡能及時將氫能燃料電池電動車上的各項數

據擷取下來，並透過 RS-485 將資料傳送至人機系統中，經過人機系統的分析與運算後，將數值即時地顯示在人機畫面上，讓駕駛者明確了解目前車輛的狀況，最終完整的資料則儲存於報表中，可供後續分析與參數調整使用，其儲存後的報表如圖 22 所示。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
日期	時間	執行時間	FC1V	FC2V	FCV	FCI	FCP	CONV	CONI	CONP	BaTV	BaTI	BaTP	LOADV	LOADI
#####	12:02:00.000000000	30.469	28.766	60.234	0.244	14.706	53.867	1.343	72.331	45.879	1.053	89.607	58.857	1.465	
#####	12:02:00.000000051	30.312	28.922	60.234	0.244	14.706	53.73	0.854	45.912	45.945	1.221	56.085	59.404	0.977	
#####	12:02:00.000000101	30.469	28.697	60.156	0.122	7.343	53.662	0.488	26.202	46.011	0.854	39.316	59.609	0.61	
#####	12:02:00.000000151	30.625	28.609	60.234	0.122	7.353	53.662	0.366	19.652	46.077	0.488	22.498	59.678	0.366	
#####	12:02:00.000000201	30.391	28.766	60.156	0.122	7.343	53.662	0.244	13.101	46.143	0.366	16.898	59.678	0.244	
#####	12:02:00.000000251	30.469	28.453	59.922	0.244	14.629	53.457	0.244	13.051	45.945	0	0	59.673	0.122	
#####	12:02:00.000000301	25.547	22.869	48.516	0.122	5.022	51.406	1.953	100.403	45.417	2.319	105.338	57.148	2.319	
#####	12:02:00.000000351	25.078	23.035	48.281	0.732	35.362	48.604	8.057	391.591	44.099	10.742	473.721	53.115	9.033	
#####	12:02:00.000000401	25.781	22.891	48.672	1.099	53.473	47.578	11.963	569.172	43.242	16.113	686.774	51.27	13.184	
#####	12:02:00.000000451	25.781	22.734	48.516	1.465	70.068	47.1	14.889	701.435	42.517	20.264	861.552	49.902	15.869	
#####	12:02:00.000000501	25.859	22.656	48.516	1.587	76.99	46.689	16.968	792.216	42.253	22.827	964.525	49.355	17.822	
#####	12:02:00.000000551	25.703	22.891	48.594	1.709	83.046	46.484	17.456	811.434	42.056	24.048	1011.348	49.014	18.555	
#####	12:02:00.000000601	26.172	22.344	48.516	1.831	88.835	46.689	17.212	803.615	42.122	23.894	1002.65	48.74	18.311	
#####	12:02:00.000000651	25.547	23.125	48.672	1.831	89.121	46.963	16.235	782.459	42.319	22.461	950.532	48.74	17.334	
#####	12:02:00.000000701	25.859	22.656	48.516	1.953	94.757	46.758	13.062	610.728	43.242	18.188	788.51	48.604	15.747	
#####	12:02:00.000000751	26.875	21.719	48.594	1.831	89.978	46.689	12.817	598.497	43.176	17.578	758.958	48.467	14.16	
#####	12:02:00.000000801	26.016	22.656	48.672	1.831	89.121	46.689	11.719	547.142	43.44	15.747	684.052	48.467	12.839	
#####	12:02:00.000000851	25.859	22.891	48.75	1.709	83.313	46.689	8.911	416.056	44.099	11.963	527.553	48.535	10.01	
#####	12:02:00.000000901	24.453	24.062	48.516	1.953	94.757	46.026	5.981	280.088	44.738	8.179	366.065	48.672	7.588	

圖 22. 資料報表圖

5. 結論

本燃料電池車主要包括車體結構、馬達動力系統、燃料電池供電系統、電能管理系統、轉向系統與煞車系統。而燃料電池車以前二後一之三輪結構呈現，配合能源管理系統能即時將燃料電池、轉換器、車用負載與氫氣流量[7][8]...等各項數據顯示於人機監控畫面上，透過這樣的方式可達到讓駕駛者能在短時間內知道所有訊息之目的，駕駛者能根據整車能源管理系統的數據進行判斷，作出最適當的決策，避免氫能燃料電池電動車損壞與意外的發生。

本計畫完成一台微型燃料電池電動車，電動車淨重 45 公斤，可荷重 120 公斤，經過多次實際測試後，藉由自製的資料捷取系統測試結果顯示本電動車最高速度可達 50km/hr，續航力以 600 公升儲氫瓶為例則可達 60km。

管理系統能準確擷取整車各項數據並透過通訊回傳至人機監控系統中，而接收到資料的人機監控系統則針對資料進行完整地除錯、分析與運算，且將結果除了顯示於人機畫面上外，亦將分析後的資料儲存於工業電腦中，供後續開發使用並達到即時監控與預警的

目的。

6. 參考資料

- [1] 曲新生、陳發林 編著。「氫能技術 The Hydrogen Technology」。五南圖書出版公司。2006 年 04 月
- [2] 孫清華 編譯。最新直流無刷馬達。全華圖書股份有限公司。2002 年出版。
- [3] Chi Zhang; King Jet Tseng; Yong Xiao; Guangzhou Zhao; Xulei Yang, “Optimized commutation strategy for high-speed single phase PM brushless DC motor,” Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on, pp.2758-2762.
- [4] Gottipati, P.; Mendrela, E.A.; “Comparative method for twin-rotor PM brushless motors applied as in-wheel motors,” Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on, pp.1-6.
- [5] 蕭子健、王智昱、儲昭偉 編著。虛擬儀控程式設計 Labview 8X。高立圖書有限公司。2007 年 8 月。
- [6] 林俊宏、蕭子健 編著。圖形系統設計之硬體介面專題製作 Labview 8X。高立圖書有限公司。2007 年 6 月。
- [7] 精機通訊。Mass Flow Controller 量測介紹。2007 年。
- [8] Advanced Energy 科技。MFC 和 MFM 基本產品資訊和故障排除。2009 年