

## 氣動高爾夫球車研究 Study on Compressed Air Driven Golf Car

溫超東<sup>1</sup>                      張瑞榮<sup>2</sup>                      孫建明<sup>3</sup>  
Chudong Wen              Rang-Rong Chang              Chien-Ming Sun

<sup>1</sup> 中華科技大學機械工程系暨機電光研究所副教授

<sup>2</sup> 中華科技大學機械工程系暨機電光研究所教授

<sup>3</sup> 中華科技大學研究發展處實習輔導組組長

China University of Science and Technology

### 摘 要

本計畫在於研究兩人座之高壓空氣驅動氣動高爾夫球車，車體以電動高爾夫球車加以改裝，車體總重量為 250 公斤，使用 14.7 公升之複合材料高壓氣瓶，承受高壓空氣 300 kg/cm<sup>2</sup> 以上，在測試時考慮安全因素，使用之最高壓力為 150 kg/cm<sup>2</sup>。測試時以使用單顆 1.8 hp 活塞式空氣馬達，或使用一顆 0.93 hp 葉片式空氣馬達串連此活塞馬達。高壓空氣經過調壓閥後以 3~8 kg/cm<sup>2</sup> 的壓力輸入氣動馬達。當僅以活塞式馬達驅動時，最高速度可以達 10.9 km/hr，但以葉片馬達串連在活塞式馬達之後時，最高速度反而下降，僅有約 4 km/hr，但其續行力則稍微增加。

關鍵詞：氣動車、高壓空氣、空氣馬達、高爾夫球車

### Abstract

The performance of a compressed air driven two-seat air car was studied. The body of the air car was a 250 kg electrical golf car. A 14.7-liter cylindrical air tank, made of composite material to withstand high air pressure up to 300 kg/cm<sup>2</sup>, was used to store the compressed air. For safety reason, the maximum pressure for tests was 150 kg/cm<sup>2</sup>. A 1.8 horse power piston type and a 0.93 hp vane type pneumatic motor were used to drive the car. The high pressure compressed air was regulated through a pressure valve to reduce the pressure to 3~8 kg/cm<sup>2</sup> before driving the pneumatic motor. When only the 1.8 hp pneumatic motor was used, the maximum speed was 10.9 km/hr.

When the vane type smaller pneumatic motor were pneumatically connected to the 1.8 hp main motor in series, the maximum speed was down to only about 4 km/hr. But the continuous driving distance was increased.

**Key Words:** Air Car, Compressed High Pressure Air, Pneumatic Motor, Golf Car

## 一、研究緣起

近年來由於石油價格不斷地升高，使得各國均紛紛地積極研究節省能源的方法和開發替代能源。石油價格攀升時，各種物價都上揚，造成嚴重的通貨膨脹、經濟問題並引發金融海嘯。受到影響最嚴重的產業莫過於汽車製造業。以美國為例，在 2008 到 2009 年間由於油價最高升到一桶約 150 美元，使得三大汽車製造廠都面臨到生存危機，通用汽車(General Motors) 2008 年虧損 309 億美元[1]，是該公司數十年經營史上第 2 糟糕的年度。到了 2009 年第二季仍嚴重虧損 155 億美元[2]。通用汽車的嚴重虧損，並非單一公司的經營不善，而是反映了美國汽車市場的持續不景氣。由於受到高油價的衝擊，以及全球鼓勵環保減碳的生活，美國汽車銷售量萎縮將近 300 萬輛，特別是耗油量較高的休旅車 (SUV) 和卡車，銷售量短少最為嚴重。

為了因應高油價及鼓勵環保減碳，電動車、腳踏車或電動腳踏車等都成為熱門的商品，氫能源及燃料電池也成為重點的研究。除此之外，以壓縮空氣驅動的空氣氣動車也引起注意和研究。以高壓空氣為動力的氣動車它的優點有[3]：

- (1). 可以在家中或特定的加油站充氣，所須的費用要比油價便宜很多，同時可以達到節能減碳的目的。
- (2). 空氣引擎結構較汽油引擎簡單，因此可以降低汽車價格。
- (3). 和電動車相比較，電動車之電池在不使用時也會自行放電而造成損失，但氣動車在不使用時，只要將高壓瓶關閉就沒有自行放氣的損失。
- (4). 將高壓空氣膨脹後空氣的溫度會下降，此空氣將可被用為汽車的空調。
- (5). 氣動車沒有廢氣排放和污染空氣的問題。
- (6). 由於氣動車較一般汽車輕，對道路的路面較不會造成損壞。
- (7). 減少由於汽油燃燒時的有害化學物質排放。

它的主要缺點為動力較小、續航力及最高速限較小、充氣時間可能較加油時間久等。

在第 79 屆瑞士日內瓦國際車展(2009 Geneva Motor Show)中，出現了名為 AirPod 的三輪車。這款三輪由盧森堡，名為 MDI International 的公司所開發，就是以壓縮空氣為動力來源，它具備一個 175 公升空氣槽，能夠壓縮並儲存壓力高達每平方英寸達 5,000 磅(PSI)的空氣，時速可達 70 公里，續航距離為 112 英里(180 公里)，每次填充空氣槽的費用約為 1 歐元，約合新台幣 44 元，每公里僅需新台幣約 0.244 元。充氣所須時間，若在特定之充氣設備，只須要 2 分鐘即可完成，若在家中充氣，則須要約 8 小時。

由此可見氣動車的缺點是可以克服的，然而它的最大優點-非常經濟的費用及無排放污染則是具有相當的環保及商業價值。因此世界各國有許多公司都投入空氣動力車的開發與研究。早在 2002 年法國 MDI Air Car 即在南非發表[4]。印度的塔塔汽車(Tata Motors)和 MDI 合作，陸續開發各種大小及不同用途的氣動車，例如 AirPod 為三人座氣動車，將在 2009 年底上市[5]，OneFlowAir 為一款結合汽油和空氣的基本型雙動力車，可乘 3 到 5 人[6]。CityFlowAir 則是一款結合汽油和空氣的全配型雙動力車，續航力可達 1500 公里，最高時速可達 130 km/h[7]。西班牙的 Air Car Factories SA 提出將進行壓縮空氣引擎的開發[8, 9]。南韓的 Energin Corporation 則開發出汽油和空氣的複合動力車[10]。美國的 K'Airmobiles 發表了兩款以空氣為助力的原型車：VPA (Vehicles with Pneumatic Assistance)和 VPP (Vehicles with Pneumatic Propulsion)。澳大利亞的 Engineair 則生產使用自行設計的空氣引擎的小型工業汽車(industrial vehicles)[11]。我國中央大學也有以空氣為動力的摩托車研究[12]。

國內目前還沒有氣動車的研究，本校機電光研究所張瑞榮教授之複合材料專長使得可以自行開發氣動車之關鍵零主件之一的複合材料高壓氣瓶，故在幸獲本校校內研究經費支持下，由機械系張瑞榮教授、溫超東副教授和實習輔導組孫建明組長共同組成研究團隊、以兩人座高爾夫球車為車體，配備氣動馬達以進行初期氣動車之研究。

## 二、研究方法及過程

本研究是以實驗的方法來測試開發氣動車的可行性，目標為速度在 30 km/hr 以下，可載雙人及少許其他物件。由於對氣動車的結果尚未知，故擬以單氣動馬達先行測試，再串連馬達，並比較其效率及續行力。

## 2.1 車體

車體為上陞的 SUP-F220 兩人座高爾夫球車，全車除懸吊系統外，其餘部份大部份使用鋁合金板件成型，以減少重量，車重為 250 公斤。原車配有四顆 12V 的電池串連和一顆 2.8 HP 的馬達，馬達轉速可達 2850 RPM，輪徑為 18 吋，由於本車之用途為高爾夫車，時速在 30 KM 以下即可，故配有一顆 5:1 之減速齒輪以增加扭力及降低時速。故購入時，馬達已拆下，並只留一顆電池做為車輛照明用途。圖 1 為此電動高爾夫車之照片。由圖 2 可看出減速齒輪直接固定在後輪之驅動軸上。



圖 1. 用於本氣動車研究之兩人座高爾夫車車體



圖 2. 減速馬達直接固定在後輪之驅動軸上

## 2.2 單氣動馬達驅動

由於是初期欲以高壓空氣試驗氣動車，許多結果並不是很清楚，故氣動馬達採用轉速較慢扭力較大的活塞式氣動馬達，其目的在於安全性考量。所用馬達為通又順公司生產之 M7 活塞式氣動馬達，其規格為馬力為 1.8 Hp，扭力為 47 N-m，轉速可達 600 rpm，耗氣量為 1000 l/min。實驗使用時，因為氣動車之管路系統並無法如生產商測試時入氣口直接連結至空壓機之儲氣槽，故供氣量不可能達 1000 l/min，即應用於氣動車時，馬力、扭力和轉速都將比上述之規格小。

以單氣動馬達驅動，第一次測試時之氣壓系統示意圖如圖 3 所示：

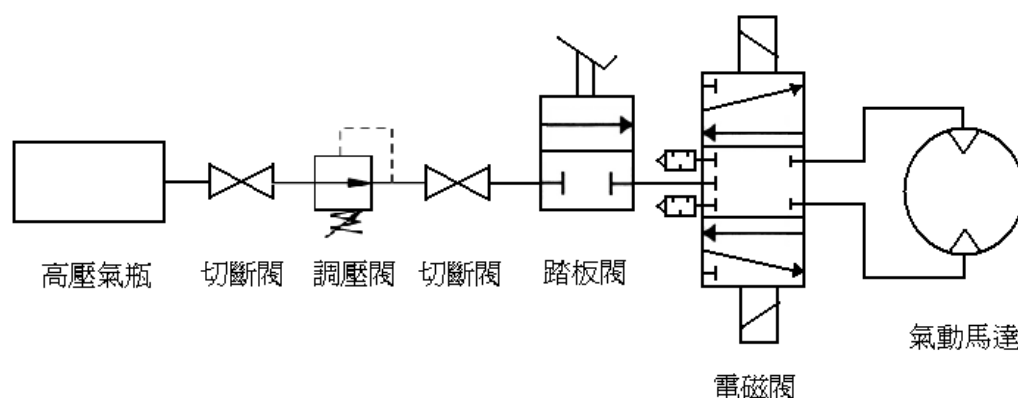


圖 3. 單氣動馬達驅動之第一次測試的氣壓系統

如上圖所示之氣壓系統，高壓氣瓶之高壓空氣經調壓閥後，壓力可降低至  $10 \text{ kg/cm}^2$  以下。經調壓後之低壓空氣經球閥、踏板式流量閥、電磁閥後再流至氣動馬達。球閥之作用在於啓動和停止氣動車，踏板式流量閥的作用在於控制車速，使操作氣動車和駕駛汽車的方式相似，電磁閥的目的則在於控制氣動車的前進和後退。此氣動系統，除了在高壓氣瓶至調壓閥間的管內徑為 1/4 吋外，其餘的管內徑和閥的孔徑皆為 1/8 吋。

氣動馬達的輸出端連接一個直徑 3 吋的 V 型皮帶輪，再以 V 型皮帶傳輸動力至減速齒輪，在減速齒輪端同樣連接一個 3 吋的 V 型皮帶輪。由於兩個皮帶輪的直徑相同，因此從氣動馬達至減速齒輪間的轉速並予改變。

以上之系統在初期試驗時很快地就發現了一些缺點：1. 在踏板式流量閥處漏氣嚴重，2. 車速明顯太低，時速約 2 km/hr，與所希望的速度相差很多。

由於以上的缺點，我們決定先從比較簡單的系統開始測試，再尋求改進。因為車速不快，踏板式流量閥又會漏氣，故予以捨去，若需要控制速度，則可由調壓閥或球閥來控制即可。車速太慢的另一可能原因為管路太長，管徑太小，造成太多的壓損，故電磁閥也予以省略，同時將調壓閥至氣動馬達間的管路由管內徑 1/8 吋改為 1/2 吋以減少壓損。為使轉速增加，除了減少壓損外，也將皮帶輪的直徑比改為 5:3，即將連接氣動馬達的皮帶輪改為直徑 5 吋的較大皮帶輪。圖 4 為經簡化後的氣壓系統圖。

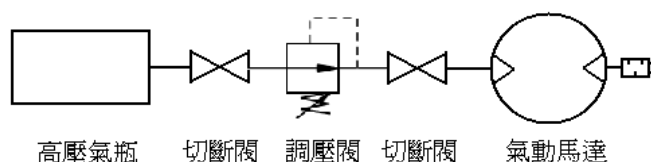


圖 4. 簡化後的單氣動馬達驅動氣動車的氣壓系統

### 2.3 雙氣動馬達串連驅動

使用較大內徑之管路雖可以減少壓損，但效率上仍不佳，因此張瑞榮教授乃提出串連兩個馬達的構想，經調壓閥後的低壓氣體先驅動一葉片式之氣動馬達，再以此馬達排出的背壓來驅動 M7 活塞式氣動馬達。使用的葉片式氣動馬達為通又順公司型號 V2 的馬達，最大出力為 0.93 Hp，最高轉速為 3000 rpm，扭力為 2.2 N-m。圖 5 為加裝葉片式氣動馬達後的動力系統照片，1/2 吋透明管路連接調壓閥的低壓端和葉片式氣動馬達，此馬達以 1:1 的轉速、使用鏈條驅動一中間軸。葉片馬達所排出的空氣再以如圖之黑色管路連接至下端的 M7 馬達的入口，M7 馬達以皮帶驅動中間軸，M7 和中間軸的皮帶輪直徑比例為 5:4。中間軸和減速馬達間則以 V 型皮帶連接，皮帶輪直徑比例為 5:3。為使續行力增加，我們將兩個 14.7 公升的高壓氣瓶併聯。固定於原高爾夫球車用於放置球桿的位置，如圖 6。在此階段，我們同時採用數位時速錶以顯示即時車速，並記錄總行駛時間、平均車速、最高速度和行駛距離。



圖 5. 使用雙氣動馬達串連



圖 6. 使用兩個高壓氣瓶併聯

#### 2.4 高壓空氣所作的功

對於理想氣體，其壓力、體積和溫度間的變化可以用下式表示：

$$PV = nRT \quad (1)$$

其中  $P$  為絕對壓力， $V$  為氣體所佔的體積， $n$  為氣體的莫耳數，在室溫和 1 大氣壓下 1 mol 的氣體所佔的體積為 22.4 公升， $R$  為理想氣體常數， $R=8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{k}$ ， $T$  為絕對溫度， $\text{k}$ 。

壓縮空氣所能作的功， $W$ ，為

$$W = \int P dV \quad (2)$$

從公式(1)和公式(2)我們可得

$$W = \int \frac{nRT}{V} dV \quad (3)$$

若我們忽略溫度的變化，假設溫度為 300k，在 150 kg/cm<sup>2</sup> 的壓力下 14.7 公升的空氣約為 95.2 mol，空氣的壓縮率約為 145，故在 1atm 下體積將回復到 2132 公升。將上式積分後代入這些數據，我們可得氣體可作的功為 1,181,715 J。若以 1.8 hp 輸出，在完全無損失時，輸出時間可達 880 秒，即 14 分鐘又 40 秒。

### 三、結果與討論

#### 3.1 單氣動馬達驅動

##### (1). 測試一

測試場地為在本校校內之道路，如圖 7 所示，從圖書館大樓之右前方(A 點)出發，至欣華樓之右前方(B 點)再折返。來回距離為 180 公尺，B 點比 A 點高約 4 公尺。在 A 點尚未啟動氣動車時，高壓氣瓶內的壓力為 150 kg/cm<sup>2</sup>，調壓閥低壓端的壓力為 6 kg/cm<sup>2</sup>。氣動馬達和減速馬達間皮帶輪間的外徑比為 5:3，減速馬達以 1:5 進行減速。

從 A 點到 B 點的行駛時間為 140 秒，由於是上坡，平均速度只有 2.3 km/hr，從 B 點到 A 點，由於是下坡，故只需 53 秒。平均速度可達 6.1 km/hr。但在回至 B 點後，高壓氣瓶內的氣壓已降低至約 10 kg/cm<sup>2</sup>，因此測試隨即結束，也就是使用 14.7 公升 150 kg/cm<sup>2</sup> 的高壓空氣所能行駛的距離約為 200 公尺，若平均上坡和下坡的速度，則平均速度為 4.2 km/hr。



圖 7. 以單氣動馬達驅動的測試路線

## (2). 測試二

測試場地為本校復華樓的中庭走道，長度為 29 公尺，寬度為 10 公尺，此走道非常平坦，雖長度不長，但有足夠的寬度可供氣動車迴轉，故適合於氣動車初期研究的測試。

測試前高壓氣瓶的壓力為  $150 \text{ kg/cm}^2$ ，開始行駛後低壓端的壓力設為  $8 \text{ kg/cm}^2$ 。氣動馬達先帶動中間軸後，再帶動減速馬達，氣動馬達和中間軸間的皮帶輪外徑比為 5:4，中間軸和減速馬達間皮帶輪外徑比為 5:3。因此測試二的輸出轉速比測試一快了 25%。測試時平均速度為  $7.2 \text{ km/hr}$ ，最高速度可達  $10.9 \text{ km/hr}$ 。

## 3.2 雙氣動馬達串連驅動

### (1). 低壓空氣先進入 V2 馬達，再進入 M7 馬達

以這方法串聯馬達時，在實際測試時其效果非常不好，車速明顯下降，故不擬採用。

### (2). 低壓空氣先進入 M7 馬達，再進入 V2 馬達

測試場地為本校復華樓的中庭走道，以低壓空氣先進入 M7 馬達，再進入 V2 馬達，我們測試的結果為平均時速 3.3 km/hr，最高速度為 3.8 km/hr，以兩個高壓氣瓶供氣所能維持的行駛時間為 11 分鐘，因此總行程為 605 公尺，平均每個氣瓶所能提供的行駛距離約為 300 公尺。

### 3.3 空氣溫度變化

高壓空氣在氣瓶內由於壓力的急速下降，故溫度也會急速下降，圖 8 為使用雙氣瓶串聯來驅動氣動車時所測得氣瓶的表面溫度，當時的氣溫約為 30°C，而氣瓶外表的最低溫度約為 19°C。因此實際在氣動馬達排出的氣體其溫度將更低，此低溫空氣可以用來作為免費的冷氣使用。

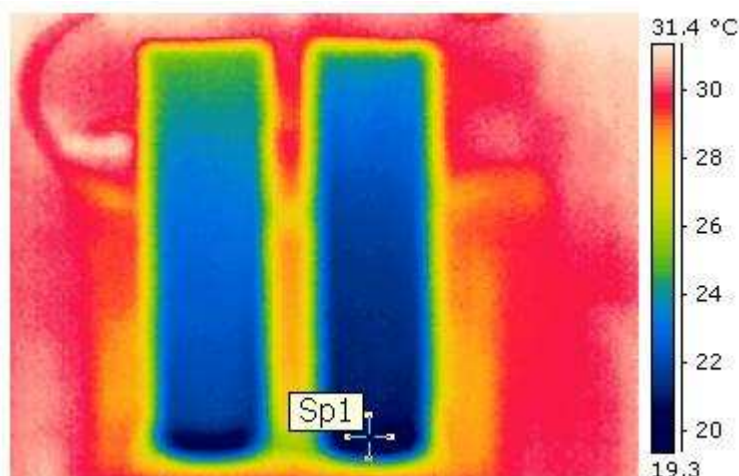


圖 8. 測試中氣瓶的表面溫度

## 四、結論

1. 氣動車使用高壓空氣為介質來驅動，行駛時完全無污染。同時因為使用複合材料氣瓶儲存能量，使用壽命長，當和電力車比較時，它沒有廢電池回收的問題，因此更環保。
2. 本研究已初步地測試使用氣動馬達驅動氣動車，使用 14.7 公升的 150kg/cm<sup>2</sup> 高壓空氣，當以 8 kg/cm<sup>2</sup> 的空氣驅動一 1.8 hp 活塞式氣動馬達時，氣動車的速度可達 10.9 km/hr，其續行力約 3 分鐘。

3. 由本研究可知使用氣動馬達驅動氣動車的時速不高，但用於室內的搬運車、高爾夫球場、校園或觀光區的交通則相當適合。
4. 高壓氣體經膨脹後溫度迅速下降，因此氣動車只要稍加設計，在行進中即可獲得免費的冷氣。
5. 在輸出 1.8 hp 的功率下，理論值的持續時間約為 15 分鐘，但目前使用氣動馬達，持續時間僅有約 3 分鐘，即效率約僅有 20%，故在發展氣動車時，高效率的氣動引擎開發將成為關鍵的技術。

### 參考文獻

1. 通用汽車去年巨虧 309 億美元，  
<http://financenews.sina.com/sinacn/000-000-107-112/402/2009-02-27/09341035049.html>
2. 通用汽車虧損 155 億 美股應聲下滑，  
<http://www.ntdtv.com/xtr/b5/2008/08/02/a178829.html>
3. Compressed Air Car, [http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed-air\\_car](http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed-air_car)
4. Kevin Bonsor, "How Air-Powered Cars Will Work", HowStuffWorks, 2006-05-25.
5. <http://www.mdi.lu/english/airpod.php>
6. <http://www.mdi.lu/english/oneflowair.php>
7. <http://www.mdi.lu/english/cityflowair.php>
8. "Warning", Motor Development International. Retrieved on 2008-09-12
9. "Clarification", theaircar.com
10. <http://www.patenstrom.us/patents/7028482.html>
11. <http://www.engineair.com.au>
12. Yu-Ta Shen, Yean-Ren Hwang, "Design and implementation of an air-powered motorcycles," Applied Energy, Volume 86, Issues 7-8, July-August 2009, Pages 1105-1110.