

GREEN JUMPER— 鋰電池電動車研發與未來展望

文・圖／鄭榮和

近年來，全球暖化與各種環境污染開始對世界各地的生態與氣候造成衝擊，過去科學家們所作的各種預測開始一一兌現。為了阻止人類扼殺地球的生態系統，世界各國紛紛投入大量的人力物力進行各種綠色能源、低污染系統以及製程等相關研究。

在所有污染源之中，移動載具占了相當可觀的比例^[1]，也因此成為最需要即刻處理的問題。迫於京都議定書開始履行、哥本哈根會議的減碳協定，以及消費者的環保意識抬頭，各大車廠皆致力於研發節能、低空污甚至零污染的移動載具。因此近年來各種混合動力與新能源車輛的相關研究如雨後春筍般的不斷增加^[2-6]。

我所帶領的FORMOSUN團隊成員從2005年赴澳洲參加世界太陽能挑戰賽之後，就開始積極思考團隊持續發展的大方向。過去在進行太陽能車研發期間，除了少部分的經費是由財團法人宗倬章先生教育基金會支持之外，其餘的材料費或出國比賽費用都要想盡辦法籌募。慷慨捐款的個人或單位都不是相關產業，由於太陽能電池的能量密度太低，發電成本太高，也因此太陽能車實在不可能成為商品，自然不會成為企業願意投資的方向。當然，學校進行研究不一定要有立即的商機或前景，但是研發製作未來車需要龐大的資金，若無企業支持，很難持續投入並產出有價值的技術成果。

於是我們轉而研發較低成本的鋰電池電動車。這部車是學生們從零開始，訂定規格（見表1）、設計、分析、製作關鍵零組件以及整車結構。我們為她取名為Green Jumper，有在城市間跳躍的綠色載具之意。圖1是利用電腦輔助設計製圖軟體CATIA所繪製的全車與零組件示意圖。

從圖1可以看出一部電動車的關鍵組件有馬達、驅動器、鋰電池系統、中控電腦與傳動齒輪箱等。與傳統的汽油引擎車比起來，相對簡單許多。也因為如此，很多人會覺得電動車有什麼難的。其實只要你小時候有機會玩過電動車玩具就可能會有這樣的想法。想像中將馬達接上電池，車子就可以跑了，不是嗎？一般玩具車使用的是有碳刷直流馬達，電池通常是乾電池，提供直流

表1：Green Jumper 全車基本規格表

極速	144 km/h
巡航速度	60 km/h
加速性	0~60 km/h , 4.5sec ; 0~100km/h , 10.4sec
定速爬坡能力	30% @ 45 km/h
里程	132km
電池容量	13.2kWh
馬達數目	2(前1後1)
迴轉半徑	4.7 m
車輛總重	800 kg (不含電池)



圖1：電動車設計成果與關鍵組件示意圖。



圖2：電動車馬達與傳動齒輪箱。

電。碳刷的作用主要是轉換導線電流方向以維持磁鐵吸引而使導線朝同一方向轉動。但是碳刷有產生火花、磨損、噪音與效率低的問題。因此，我們使用的是高效率的永磁無刷馬達。

但是如此一來，要如何讓轉動的線圈獲得直流電且維持一致的磁力方向呢？這就要依賴所謂的馬達驅動器。驅動器的功能簡單說就是利用高功率的電子電路將電池的直流電轉換成為交流電。交流電會不停轉換電流方向，取代碳刷的功能，驅動器則根據馬達轉速控制轉換的頻率，就像是在馬達放上虛擬碳刷。驅動器的挑戰就是如何準確控制轉換頻率使馬達持續穩定的轉動。圖2是製作完成馬達與傳動齒輪箱的照片。

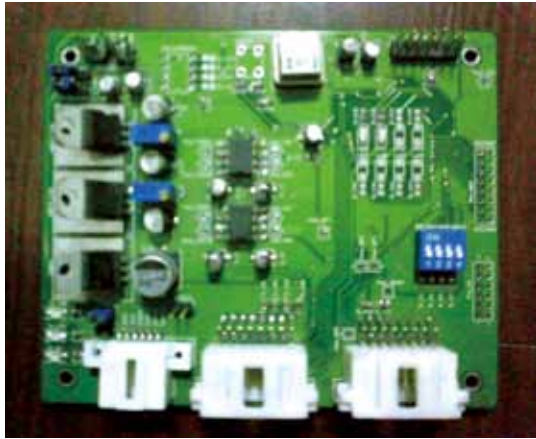
提供馬達與驅動器能量的鋰電池是車上的能量儲存裝置，就像汽車的油箱。鋰電池的能量密度是各種電池中最高的，也就是說同樣的電池重量下，鋰電池可以讓電動車跑最遠，但它的能量密度還是遠低於汽油，是電動車難以和汽油車競爭的主因。此外，鋰電池常讓人詬病的地方還有一點：使用不當會導致燃燒，甚至產生威力如同小炸彈般的爆炸，增加安全疑慮，因此當前鋰電池重要的議題之一乃提高能量密度及避免不當使用造成之危險。

要確保電池安全及使其在最好的狀態輸出，需要電池管理系統（Battery Management System, BMS）來監管（圖3）。BMS身兼老闆與保全雙重角色，作為老闆須監測電池是否操作正常，作為保全須在電池發生危險時限制電池輸出，並藉通訊功能對中控電腦發出通



圖3：電池組製作組裝與電池管理系統（BMS）。

圖4：電動車中控電腦（VCU）電路板。



報。除此之外，BMS也會根據量測電池的狀態推算電池電量（State of Charge, SoC），若能建立精準的SoC量測技術，可使駕駛確實掌握電池使用狀況，提高對電動車的信賴感。

至於要如何使電動車擁有的龐大動力系統正常運作呢？答案就在有如電動車神經中樞的中控電腦（Vehicle Control Unit, VCU），詳見圖4。它管理電動車所有電子控制單元（Electronic Control Unit, ECU），而ECU有如周邊神經系統，控管各子系統運作，如BMS管理鋰電池。

我們建立具功能性與彈性的VCU，藉擴充VCU軟體及車輛硬體，便可達成更多車輛控制功能，如循跡防滑、回充煞車、定速巡航等。於擴充VCU功能的同時，我們也追求VCU的系統安全性與穩定性，以期達到反應迅速且流暢的操作性。

由於電動車的電力系統十分複雜，且在行車時會使用到近400伏特的高壓電與200安培的高電流。造成全車電磁干擾（Electromagnetic Interference, EMI）十分嚴重。電磁干擾有點像是電氣的雜音，設計時若沒考慮周到，包括大小電力線、訊號線、接地、電線接頭與鎖固方式等，都可能讓整部車因為電磁干擾而動彈不得。

因為加入了驅動器、電池、VCU等，電動車動力系統比汽油車擁有更多電力電子元件，其對高溫及振動的耐受性都低於傳統機械元件。高溫及振動易使元件毀損，且振動會產生噪音，因此需要更加良好的散熱及減振設計，為此我們針對電動車設計了完整的散熱水道，以及根據各種動力系統元件的特性設計減振機構。

車體結構如同電動車的骨架，承載、保護上述所有的動力系統元件與乘客。傳統汽車結構過重增加車輛耗能，為兼顧輕量化與安全性，電動車使用複合材料作為車身結構。複合材料是採用三明治結構，結構上下表層使用強度高的材料，如碳纖板；中央則使用高厚度、低強度的材料，如蜂巢板，完整的複合材料就像是瓦楞紙箱又輕又能夠裝載重物。圖5為學生們製作輕量化車殼的照片。



圖5：左邊是車殼的模具，右邊則是學生在上面疊積碳纖維複合材料三明治車殼結構。



圖6：全車組裝與複雜之線路安裝。



圖7：電動車Green Jumper在臺大椰林大道上試車的照片。

由於車輛是很普遍的產品，滿街都是，因此大部分的人很難理解造一部車是多大的工程，特別是對我們幾乎沒有什麼設備或資源的團隊會是多大的挑戰。當然，我們不是所有的零件都自己來，車燈、輪子、方向盤、煞車、懸吊系統中的彈簧與避震器等跟電動車研發較無關連的零組件是採購或從二手車拆解而來的。但是上面所敘述的關鍵組件以及整輛車的底盤與車體結構都是學生們辛辛苦苦在夏天悶熱、冬天濕冷的工廠內，想盡辦法逐一打造而成（圖6）。

進行如此的大型計畫幾乎累垮了參與的學生們。所幸，學生們發揮堅毅不屈的精神，克服萬難，完成幾乎是不可能的任務。圖7是完成的電動車在校園內椰林大道上試車的照片。我由衷佩服這些學生的能耐與精神。臺大的學生常被外界污名化，什麼天之驕子、眼高手低等。是的，這是社會，特別是父母從小對他們的期待，把書唸好，考試成績高，能擠過一個個的窄門就是好孩子、好學生。殊不知所有的不合理現象都是大人們，也是整個社會所塑造出來的文化。只要給予機會，他們其實有無限大的潛力。

結語

載具是日常生活當中非常重要的必需品，其中汽機車與消費大眾較為密切，在汽油引擎

車發展了一百多年之後，使用者已經被它的方便、可靠與負擔得起所寵壞。只不過隨著全球暖化的問題越來越嚴重，石化能源的價格不斷攀升，尋找替代能源的浪潮正方興未艾。

科技的發展是要讓人類活得更好，而不是深受其害。要找到一個或一些低污染、負擔得起且永續發展（不虞匱乏）的答案，絕非一蹴可就的事。為了能建立一個新的行動方式的社會或工業，我們需要考慮的細節實在太多了，包括以上討論的電池與馬達等的關鍵技術，從源頭的材料與資源的豐度都需納入考慮，才是根本解決問題，而且還要消費者能接受。我們還有很長的路要走，只是時間不多了。

感謝台達電子公司與文教基金會鄭崇華董事長慷慨贊助所有研發製作經費。希望透過這個計畫的執行以及未來的推廣，能大幅降低臺灣都市內的空氣污染，還給我們一個乾淨舒適的婆娑之島。

閱讀文獻：

- [1] US Energy Information Administration, "Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2009," 2011.
- [2] J. Larminie and J. Lowry, Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [3] I. Husain, Electric and Hybrid Vehicles, Design Fundamentals, CRC Press, 2003.
- [4] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay and A. Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, 2005.
- [5] J. M. Miller, Propulsion Systems for Hybrid Vehicles, MPG Books Ltd., 2004.
- [6] A E. Fuhs, Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation, CRC Press, 2009



鄭榮和小檔案

1984年美國密西根大學機械工程博士畢業後，服務於美國奇異（GE）公司研發中心，1990年回到臺灣大學機械系任職副教授，1996年升任教授，目前兼任副系主任。

博士研究之領域為金屬成形與有限元素法；任職奇異公司期間的研究仍與博士期間雷同，並新增兩個領域：超塑性成形與擴散接合、工程塑膠之吹製成形；回國後除了持續前述研究之外，開始拓展其他領域，包括複合材料、飛機設計與製造、輪胎力學、醫學工程、太陽能車、電動車、風力發電、以及氫能源社會相關科技之研發等。