

實驗電動摩托車之開發

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

燃油摩托車是造成都會地區空氣品質惡劣的最大污染源，本文研究開發一台高效率的全電池電動摩托車，徹底解決汽油摩托車在都會區的噪音與空氣污染。本實驗電動摩托車主要包括車體結構、懸吊系統、馬達動力系統、煞車系統、電池供電系統、與整車電能管理系統。為訴求高效率與高續航力的都會交通工具，車體結構以不鏽鋼管焊接製成，煞車系統採用鼓煞之方式制動；懸吊系統採用搖臂雙避震的模式，增加騎乘的舒適性；電池供電系統使用磷酸鋰鐵電池來做整車性能的測試；動力系統方面為了提升高效率與高轉矩，使用輪轂馬達來直接驅動車輛，不需使用齒輪減速機構；電池管理系統具有準確的量測電路，能掌握電池的特性及殘餘電量估測；電能管理系統，實際將車況資料即時顯示，讓騎士清楚了解整車行駛狀況，做出正確的行駛判斷。本實務研究最後完成一部高效率與高續航力的電動摩托車，經過廣泛的道路測試顯示本電動摩托車最高速度可達 40 公里/Hr，爬坡斜度約達 20 度，裝置額定 48V/25AH 鋰鐵磷電池組的最大續航力為 52 公里。

關鍵字詞: 電動車、電動機車、電池管理系統

1. 前言

2012年5月份為止交通部統計[1]台灣的摩托車總數量有1521萬輛，數量密集度居世界之冠，摩托車能成為台灣民眾最主要的交通代步工具，原因在於它的輕巧、便捷、靈活的特性及可高速行驶的優點，加上大眾運輸建設不夠全面，民眾多數選擇機動性高且停車方便的摩托車，且價錢跟汽車相比較為便宜，是大部分都會區民眾解決交通問題有效方法之一。摩托車成長迅速除了造成都會區空氣品質的惡化，內燃機引擎燃燒後，排放的污染物包括一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物和細微顆粒物，也造成民眾健康極大的危害，然而近年來環保意識抬頭、石油價格不斷攀升及國內摩托車第五期排放標準實施，一氧化碳排放量將較現行標準嚴格3.5倍，造成摩托車價格上揚，減少電動摩托車與汽油摩托車價格差距，

且近年來電動摩托車的技術已逐漸提升，整體環境對電動摩托車的發展而言也較有利。

國際石油價格不斷的上揚加上提倡節能減碳的雙重效應下，電動摩托車在環保議題上帶來零排放、低噪音、能源節省及保養簡易等優點，的確非常適合取代汽油摩托車，但缺點就是電池的續航力不足、充電的便捷性等，所以只適合短距離行駛的族群，如買菜族及短距離的上班族，因此導致電動摩托車還未能普及；而現今電動摩托車雖逐漸把鉛酸電池改用於鋰離子電池組，鋰離子電池帶來效率的改善、電池重量與體積的縮減，提升車子的續航能力，可是都缺乏一個高效率及完善的電池管理系統。電動摩托車所需的電力，是由多顆鋰電芯串並聯而成的電池組，而為了維護電芯過充、過放、不平衡充電等問題，完善的電池管理系統就是電池組的安全保證，不但

可以維護電池使用壽命，對於電動摩托車行駛安全也極為重要。動力系統方面為了提升高效率與高轉矩，把直流有刷馬達改為直流無刷馬達，並使用不需減速機構的後輪輪轂馬達來驅動負載，達到高驅動效率。

液晶顯示器已逐漸取代傳統機械式指針的儀表板，提供時速、里程數、殘餘電量及燈號，但勢必要追求更高的準確性、辨識性及低耗電量，才能讓騎乘者安心透過儀表板了解整車的行駛狀況。現今行政院環保署積極推動電動摩托車的發展，提出了淘汰二行程摩托車換購電動摩托車補助3000元方案，各地方政府更加碼補助2000~12000元不等的購車津貼，就是希望短距離行駛的族群都能改換為電動摩托車，來改善空氣品質，所以未來電動摩托車的發展是可預期的。

本研究目標為開發一台高效率的實驗電動摩托車，電動摩托車的零排放、低噪音、能源節省及保養簡易等優點，的確非常適合取代汽油摩托車，徹底解決汽油摩托車在都會區的噪音與空氣污染，達到省能環保之目標。

2. 研究方法

本研究開發一台高效率實驗電動摩托車的製作與開發，整車建構還包含懸吊系統、馬達動力系統、煞車系統等子系統，動力系統方面為了提升高效率與低損失，所以使用輪轂馬達來直接驅動車輛負載，在電動摩托車的整體設計上，都以駕駛安全為優先考量，其次強度、舒適度、續航力、電池保護機制等等，都是設計時必須考慮到的要點。

2.1 車體結構

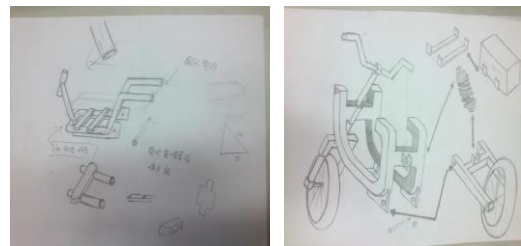
以摩托車來講，車體結構就是車架本身，主要是在靜態或行駛中要有足夠的強度承載車子本身與車手的總重量，其車架之作用，在於支撐動力系統、坐墊、懸吊、吸收路面之震動並支持前叉與後搖臂，進而順利的轉向。

設計時必須綜合考慮其結構強度、剛性、重

量、操縱性、穩定性及車型等諸多因素[2]。本電動摩托車根據上述車架所要具備的條件來設計，國內最常見的車架材料為鋼材與鋁合金，經過強度及施工因素上的判斷，相較之下鋼材比起鋁合金有較大的優點，施工也更容易，本研究也選用鋼材製作。

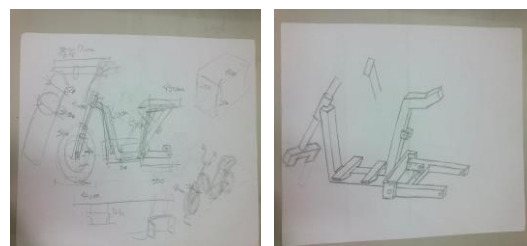
本電動摩托車在發想設計階段，分別設計出兩種不同型式的車架，一是重視整體強度的兩管式車架，如圖 1(a)(b)所示，一是考量輕量化的一管式車架，如圖 2(a)(b)所示。綜合考量車架強度、駕駛安全性、車體零組件擺放空間、電池組擺放位置空間等因素，選擇了兩管式車架，以利後續做測試時方便抽換不同電池組或燃料電池。

本研究使用 3D 電腦繪圖軟體(Pro/Engineer)畫出整車立體圖，如圖 3 所示，方便進行分析與修改，以及對其它車體零件作擺放規劃。



(a) (b)

圖 1. 兩管型式車架手繪草圖



(a) (b)

圖 2. 一管型式車架手繪草圖



(a) (b)
圖 3.整車立體圖

根據所繪製圖形，如圖 3 所示，依尺寸來進行實體製作，包括人工彎管、管材焊接、龍頭及車架補強、各部零件組裝組裝。

先是將直徑 34mm、厚 2mm 的不鏽鋼管，如圖 4 所示，做彎管處理及尺寸的裁切，如圖 5 所示，裁切好的管材再利用 CO2 焊接來對車架焊接，如圖 6 所示，進行焊接並對重要部分做補強處理，之後在腳踏處運用白鐵板製作電池盒，如圖 7 所示，用來放置電池。



圖 4.車架不鏽鋼管材



圖 5.管材裁切



圖 6. 車架焊接



圖 7. 補強及電池盒製作

2.2 懸吊系統

懸吊系統[3~5]是置於車架與車輪之間的裝置，主要功能是吸收車輪因路面起伏而產生的振動，使整車受到衝擊能夠緩和，讓駕駛者能有更加舒適性。由於車輪能一直貼地行駛，對行車時的穩定及安全性有很大幫助，避震器就是此系統中用來吸收衝擊與振動的部份。

摩托車懸吊系統包括前輪懸吊及後輪懸架機構。前輪懸吊讓路面所加於前輪之強烈衝擊變為柔和，也使車體前半部份搖晃減少，以易於穩定操縱之重要結構。本電動摩托車車之前輪懸吊機構採用望遠鏡式前叉，如圖 8 所示。

鋼管式叉嵌入已可以上下移動之內筒，前輪藉內筒下端支持之，前輪承受由路面所賦予之衝擊，並以前輪軸二個向內筒推壓，前叉內車體彈簧被壓縮，因此前輪係與前叉平行向上方移動，於是該衝擊傳至前叉而被緩和。望遠鏡式前叉之優點，彈簧向下重量小，外觀美，前輪與換向桿平行作上下運動的振幅雖大，而後傾角不發生變化。

摩托車後輪承受該車輛重量約60%，同時進行車輛之驅動與制動作用，為使乘坐舒適，車輪向上跳動必須減少，本電動摩托車之後輪懸吊機構採用搖臂式，如圖9所示。



圖 8. 望遠鏡式前叉

摩托車後輪承受該車輛重量約60%，同時進行車輛之驅動與制動作用，為使乘坐舒適，車輪向上跳動必須減少，本電動摩托車之後輪懸吊機構採用搖臂式，如圖9所示。

搖臂式後輪懸架機構，於發動機與變速器後方之主架上裝有搖臂支持，藉由U型搖臂前端支持，而後輪軸則固定在搖臂後端，其上方與車架端之間以具有車體彈簧與油壓減震器的懸架組連接之。



圖 9. 搖臂式後輪懸架機構

2.3 馬達動力系統

本電動機車的傳動系統主要分為輪轂馬達與馬達驅動器[6][7]。輪轂馬達是一種直接裝置於輪圈中的外轉式馬達，有低轉速，高扭矩的特性，裝在輪軸中心位置，以便直接驅動車輪，減少傳動的損失、縮小佔用的空間，本車選用的是外轉式直流無刷馬達。

馬達驅動器在電路架構上可分為類比訊號處理單元及驅動電路單元。訊號在切換過程中將電池上的直流電源轉換為交流功率，輸出至直流無刷馬達定子繞阻上，驅動轉子轉動。

輪鼓馬達，是一種反電勢為正弦波之直流無刷馬達[5][6]。馬達由定子及轉子所組成，內部定子為三相繞阻，外轉子內圓表面黏貼或嵌入稀土永久磁鐵。採用此馬達主要原因具有縮小硬體空間、慣性低、效率高等特點，經過適當設計可提供相當高的功率密度，可達到精密的調速功能及

傳動機構與控制系統簡化、低噪音等優點，採用輪鼓馬達的技術可以說是現在電動車的趨勢，本研究所使用的輪轂馬達如圖 10 所示，為鑛達公司直流無刷輪轂馬達，利用外轉子結構直接驅動輪圈，它最大扭力可以達到 15N.m，轉速 500rpm，輸入額定電壓在 48V，因為無刷與無鍊條齒輪驅動，因此有總重輕與 95%的高驅動效率。



圖 10. 輪鼓馬達

2.4 煞車系統

煞車[3~5]是使車子煞停的制動系統，利用不同機構來讓車子的車輪轉速減慢進而停車，煞車種類分成鼓式煞車與碟式煞車兩種。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，與煞車片來產生摩擦力而使車子停止。煞車是所有系統中必要且重要的一部份，一輛行進中的車輛，想要穩定的減速，必須仰賴煞車系統所產生的摩擦力，本研究中使用鼓煞。其因碟煞零件組成與安裝皆較為困難，成本較高，且因為接觸面是暴露在大氣中，容易受到灰塵、來令片的粉塵、水份等雜質影響接觸面的磨擦力，導致煞車性能受到影響，

鼓煞其原理就是利用輪胎的中間留一個像鼓一樣中空的空間，然後在裡頭置入煞車蹄塊，利用簡單的槓桿機制，當煞車把手拉動煞車線時，會將煞車鼓中的煞車蹄塊撐開摩擦煞車鼓，利用這種摩擦力來降低輪胎轉動速度。因其構造較簡易，並且對零件的精細度要求較低，因此可降低製造成本，來令片面積比碟煞大上許多，因此在

於使用年限上都相當的長，本電動摩托車前後輪都採鼓煞型式，如圖 11 所示。



圖 11. 前後輪鼓煞

2.5 煞車回充

再生制動 (Regenerative braking) 亦稱反饋制動，是一種使用在道路電動車上的制動技術。在煞車時把車輛的動能轉化及儲存起來；而不是變成無用的熱能，一般最普通的制動方法會把車的動能以摩擦直接轉化成熱能。「再生制動」會將電動機轉成發電機使用，把車輛的動能轉成電能。把電力儲存起來再生循環使用。使用再生制動的車輛仍然會有傳統的摩擦制動，提供快速、強力的制動。一般的再生制動只會把約百分之三十的動能再生使用，其餘的動能還是成為熱。這效率根據不同的使用環境而有所不同。

而本研究電動摩托車在煞車把手上有一條連接至驅動器的信號線及一條控制鼓煞之煞車線，當按下煞車把手時，會送一訊號至驅動器，執行煞車斷電控制，此時驅動器會利用電機控制原理，將由電池輸入馬達方向的電流切斷，並把馬達內部線圈所儲存之能量，回充至電池電源內部。

3. 電池供電系統

為了符合 48V 實驗電動車的電力需求，本研究使用長利科技出產之 12.5Ah/3.2V 磷酸鋰鐵電芯，並使用 48 顆 30Ah/3.2V 之磷酸鋰鐵電芯組成 48V/3P/16S 電池組，由本研究所開發電池管理系統來進行管理，如圖 12 所示。

本研究所開發之電池管理系統主要任務為量測電池模組之電芯電壓與狀態，並在適當的時機

進行主動式平衡與電芯異常的警示工作，以維持電池模組內電芯電壓的一致性與安全性，另外電池管理系統亦可透過隔離型通訊系統，將電池模組的電芯資料傳送至資料截取，進行分析與管理，以維護整個系統可正常工作。

電池管理系統是由五個子系統所構成，包括電芯電壓量測系統、電流量測系統、主動式平衡系統、隔離型通訊系統以及電芯異常警示，各子系統皆扮演著不可或缺的角色，其架構示意圖如圖 13 所示，而子系統之介紹如下：

- A. 電芯電壓量測系統：量測相對誤差 $\leq 30\text{mV}$
- B. 電流量測系統：50A
- C. 主動式平衡系統：電芯差異 $\leq 50\text{mV}$ ，6A
- D. 隔離型通訊系統：RS-485
- E. 電芯異常警示：鳴叫警示(過充或過放)

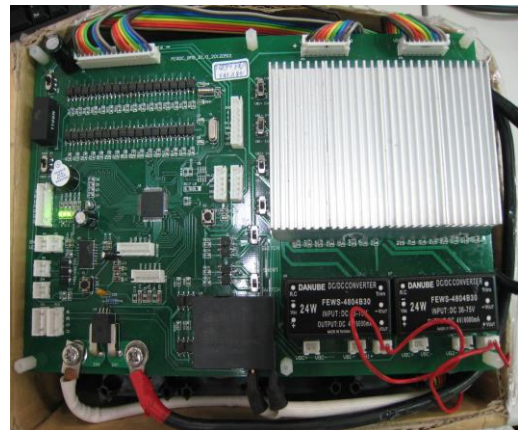


圖 12. 48V 電池管理系統

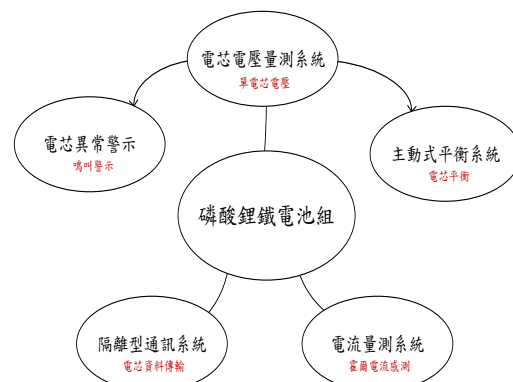


圖 13. 電池管理系統架構

4. 整車電能管理系統

本研究為了完整監控電動摩托車供電的狀態並提供準確的各項數據，建構了一套整車能源管理系統，此系統是由虛擬儀表與資料擷取卡結合而成，如圖 14 所示，透過虛擬儀表與資料擷取卡的搭配，能將電動摩托車之時速、里程數、電池組的單電芯電壓、電池組的電流、溫度、電池殘電量等等的各項物理訊號及參數進行擷取，並透過 RS-485 通訊系統[8]傳送至虛擬儀表中，各項物理參數將於整車能源管理系統中進行分析與計算，最終顯示於人機畫面上。如圖 15 所示。這個介面能夠讓監控端得到即時且準確的資訊。

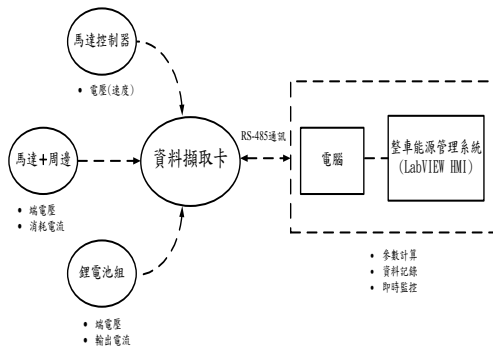


圖 14. 擷取卡功能示意圖

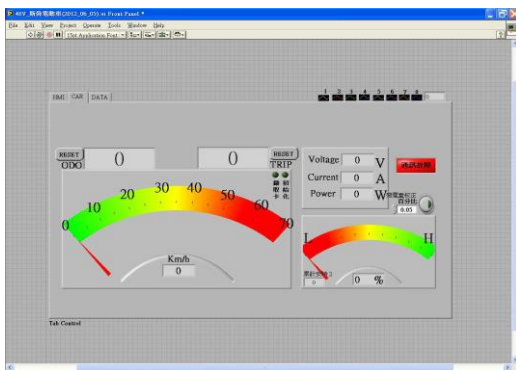


圖 15. 人機介面

5. 測試結果與討論

在各項目製作完成後，最後把各項車體零組件，車體結構、前輪懸吊機構、前輪鼓煞、行車儀表、電池組、資料擷取卡&電池管理系統、輪殼馬達、後輪懸吊機構、後輪鼓煞安裝於車架上，完成基本電動摩托車架構如圖 16 所示。



圖 16. 實驗電動摩托車整體完成架構圖

整合實驗電動摩托車各項硬體設施的規格，進行長期運轉測試其性能，將穩定接收的數據資料透過筆電螢幕顯示於行車介面上，依靠各系統的整合將所需的各項數據儲存在 Excel 報表當中，如電壓、電流、功率、速度、累計消耗安時數、累計里程數及各單電芯電壓，可透過此紀錄的數據分析，建立趨勢圖及資料庫，並經由這些各項數據如圖 17 所示，實現行車效率最佳化。並可透過這些數據畫出各資料的曲線趨勢圖，更能清楚了解電動車輛行駛中的變化與反應，方便進行研究和分析。

日期	時間	磁電壓	消耗電流	磁電壓	輸出電流	單電芯電壓	單電芯電流	單電芯功率	單電芯溫度	單電芯電阻	單電芯電容	單電芯電感	單電芯電容	單電芯電感	單電芯電容	單電芯電感	單電芯電容	單電芯電感
2012/7/10	16:20:01	0.06530	50.158	31.616	1649.045	50.158	31.616	1649.045	0.001	3.257	3.263	3.266	3.266	3.266	3.266	3.266	3.266	3.266
2012/7/10	16:20:02	0.06530	50.708	32.471	1646.525	50.708	32.471	1646.525	0.001	3.164	3.162	3.171	3.181	3.159				
2012/7/10	16:20:02	0.06531	50.654	30.782	1538.213	50.654	30.782	1538.213	0.001	3.156	3.162	3.152	3.165	3.149				
2012/7/10	16:20:03	0.06532	50.594	31.128	1574.901	50.594	31.128	1574.901	0.001	3.168	3.169	3.157	3.165	3.145				
2012/7/10	16:20:05	0.06534	50.569	31.25	1580.276	50.569	31.25	1580.276	0.001	3.156	3.16	3.167	3.179	3.142				
2012/7/10	16:20:06	0.06535	50.681	30.884	1565.226	50.681	30.884	1565.226	0.001	3.165	3.167	3.169	3.173	3.158				
2012/7/10	16:20:07	0.06536	50.665	31.016	1571.526	50.665	31.016	1571.526	0.001	3.162	3.163	3.169	3.17	3.166				
2012/7/10	16:20:08	0.06537	50.48	0.732	36.972	50.48	0.732	36.972	0.001	3.151	3.14	3.168	3.159	3.146				
2012/7/10	16:20:09	0.06537	51.948	0.488	25.365	51.948	0.488	25.365	0.001	3.245	3.248	3.246	3.247	3.246				
2012/7/10	16:20:09	0.06538	50.002	0.366	19.044	50.002	0.366	19.044	0.002	3.245	3.252	3.251	3.248	3.25				
2012/7/10	16:20:10	0.06539	50.553	0.366	19.062	50.553	0.366	19.062	0.002	3.251	3.256	3.253	3.254	3.254				
2012/7/10	16:20:11	0.06540	50.07	0.366	19.069	50.07	0.366	19.069	0.002	3.252	3.257	3.256	3.256	3.254				
2012/7/10	16:20:12	0.06541	50.084	30.104	1672.122	50.084	30.104	1672.122	0.002	3.251	3.258	3.256	3.256	3.254				
2012/7/10	16:20:13	0.06542	50.62	31.25	1581.679	50.62	31.25	1581.679	0.002	3.156	3.162	3.176	3.165	3.159				

圖 17. 各項數據的 Excel 報表

本研究完成電動摩托車車體結構與機件整合後，為了驗證所開發的整車能源管理系統能確實運作，實際將資料擷取卡與人機監控系統完整的安裝於電動摩托車上做車輛道路測試，首先我們

在勤益科技大學新校區做繞圈測試，一圈為 1.3 公里，道路中並不全為平路，有上下坡路段，測試資料擷取卡擷取驅動器輸出之電壓值，進行分析與計算後轉換成相對應之時速是否正確，並進行多次的校正與修改，達到正確的時速數據。最後本文經由實際運轉測試後，把磷酸鋰鐵電池組與鉛酸電池測試過後的數據做比較，得到此 48V/25Ah 磷酸鋰鐵電池組充飽之單趟駕駛里程為 52Km，換算 1Ah 約可跑 2.08 Km；由 4 顆 12V/20Ah 的鉛酸電池串聯成 48V/20Ah 的電池組，得到單趟駕駛里程為 30Km，換算 1Ah 約可跑 1.5 Km，可看出磷酸鋰鐵電池組對電動摩托車效率的提升。磷酸鋰鐵電池與鉛酸電池測試數據比較如圖 18 所示。

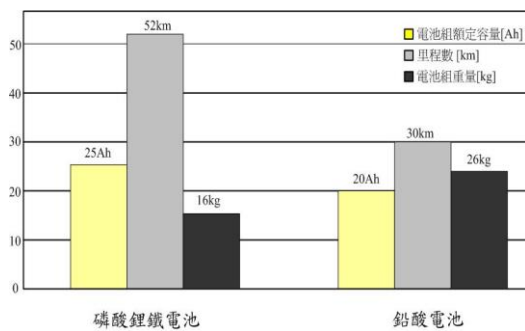


圖 18. 磷酸鋰鐵與鉛酸電池測試數據比較

6. 討論

本研究最後完成一部高效率與高續航力的電動摩托車，經過廣泛的道路測試顯示本電動摩托車最高時速可達 40 公里，爬坡斜度約達 20 度，裝置額定 48V/25AH 磷酸鋰鐵電池組的最大續航力為 52 公里。

從本研究得知磷酸鋰鐵電池組能為電動摩托車帶來電能效率的改善、電池重量與體積的縮減，提升車子的續航能力，本研究提出一個高效率及完善的電池管理系統，就是為了維護由多顆磷酸鋰鐵電芯串並聯而成的電池組，目的就是防止電芯過充、過放、不平衡充電等問題，而完善的電池管理系統就是電池組安全的保證，不但可以維護電池使用壽命，對於電動摩托車行駛安全

也極為重要。

7. 參考文獻

- [1] <http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=63&parentpath=0,6>，交通部統計處，101 年 5 月份機動車輛登記數。
- [2] 市川克彥，認識摩托車的基本構造(圖解版)，晨星出版社，2011。
- [3] 吳國銘，機車構造原理與修護，徐氏基金會出版，1980。
- [4] 蕭瑞聖，機車原理與構造，徐氏基金會出版，1988。
- [5] 楊惠春，摩托車原理構造與檢修，玉洲出版社，1965。
- [6] 孫清華 編譯，最新直流無刷馬達，全華圖書股份有限公司出版，2002。
- [7] 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.
- [8] Janet Louise Axelson , Jan Axelson .Serial Port Complete: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 with Disk. Lakeview Research. 1999.