

電動車動力鋰電池動態放電測試模式之建立

1. 前言

隨著全球人口成長及經濟發展，能源需求逐漸增長，而由於能源逐漸消耗各國對於電動車之研發始終高度重視。然而，作為車輛動力來源，現在仍無任一種電池能與石油相提並論，因此高性能動力電池之研發將為電動車發展之瓶頸。

20 世紀 90 年代初期，日本 Sony 公司將手機及筆記型電腦使用的小型鋰電池商品化後，許多人開始把研究電動車動力電池的目光轉向了鋰電池。為因應車用鋰電池產業的蓬勃發展，近年來國際上已陸續制定相應之安全試驗規範，其中多為建議性之參考標準，而非強制性法規，主要有國際標準組織的 ISO/DIS 12405-1 與 ISO/AWI 12405-2、車輛工程師協會的 SAE J2464、中華人民共和國國家標準的 GB/Z 18333.1…等的規範。

本研究主要之目的係透過 100 年經濟部科技專案「智慧電動車創新研發環境建構計畫」之電動車實驗運行成果，建立可於實驗室進行鋰電池循環壽命評估之動態放電測試模式。首先，蒐集車輛於臺灣市場道路之使用比例，作為實驗運行路線規劃之參考；接著，考量電動車輛開發初期實車測試之風險性，故依市場道路使用比例原則規劃於車輛研究測試中心(ARTC)試車場執行之運行測試程序；最後，將目標電池搭載於科技專案所建置的整車平台車輛進行 1,000 公里實車運行，透過運行期間車輛運作時相關硬體與環境設施之回饋，所即時量測之車速、鋰電池電壓及電流等參數資料，以建立動力鋰電池功率特性測試模式，以為後續電池性能驗證測試之參考。

2. 動力電池放電模式建立方法及行駛路程規劃

本研究利用「智慧電動車創新研發環境建構計畫」中所建置之整車平台車輛進行研究測試，研究流程如圖 1。首先，利用市場問卷調查統計臺灣車輛使用道路分佈比例之結果^[5](表 1)，並於車輛研究測試中心(ARTC)試車場測試道模擬重現實車行駛狀況，根據車輛運行期間量測之鋰電池的電壓及電流，利用統計分析方法取得動力電池於各類型道路之功率模式，再經重組道路功率後，最後建立適用於實驗室評價動力鋰電池壽命之動態放電測試模式。

本研究使用的試車場測試道，包含斜坡測試道、標準不良路、滑行暨振動噪音測試道(人孔路、突起路、段差路、粗面路、瀝青不良路)、綜合耐久測試道(砂礫路、積水路)及高速周回路，共 5 條的測試跑道(圖 2)。測試行駛路程規劃係依表 1 市場道路平均使用分佈比例，同時參考車輛研究測試中心暨有測試道進行規劃分配，行駛車速參考車輛研究測試中心試車場各測試道使用規則及交通部統計

資料^[7]進行規劃，行駛距離則依試車場測試道規劃行駛路程完成一個循環測試距離，再依市場實際車輛使用特性或目的做倍數比例加乘。

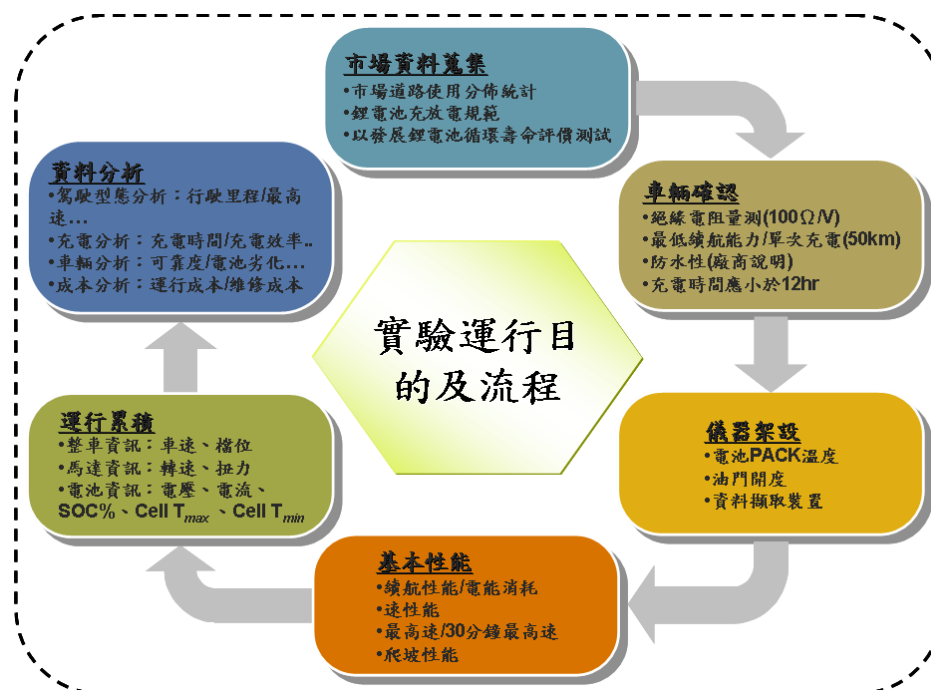


圖 1 實驗運行目的及流程

表 1 市場道路使用分佈統計

區域	高速公路	一般道路	市區道路	山區道路	惡路
北部	30%	27%	31%	8%	4%
中部	24%	35%	28%	9%	4%
南部	21%	31%	34%	10%	4%
東部	7%	37%	34%	16%	6%



圖 2 試車場實驗運行測試道

表 2 試車場組合測試道

區域	路面種類	車速 (km/h)	基準路程距離 (m)	組合		
				倍數	百分比	組合後路程距離(m)
山區道路+ 惡路	砂礫路面	40	2,900	1	13%	2,900
	綜合耐久測試道(砂礫路)	30	1,100	1		1,100
	斜坡測試道(12%)	20	200	1		200
	積水路	10	100	1		100
高速公路	高速周回路	90	3,575	1.8	22%	6,435
	段差路	60	800	1		800
市區道路	人孔路	60	200	1	33%	200
	突起路	60	200	1		200
	高速周回路(10 mode)	40	664	14		9,296
	粗面路	60	200	1		200
	標準不良路	40	1,000	1		1,000
一般道路	高速周回路(15 mode)	70	2,173	1	32%	2,173
	聯絡道	40	8,200	1		8,200
	瀝青不良路	60	100	1		100
合計		-	21,412	-	100%	32,904

表 2 為本研究之測試行駛路程規劃，其中，山區道路及惡路狀態係利用綜合耐久測試道之砂礫路面、積水路及斜坡測試道來模擬；高速公路之高速行駛狀態及收費站前後之水泥段差路面則是利用高速周回路及振動噪音測試道之段差路來模擬；對於市區一般道路路面條件狀況，例如人孔蓋路面、減速標線或粗糙之瀝青混凝土鋪面等，則分別以振動噪音測試道-人孔路、突起路及粗面路模擬之；至於電動車行駛在市區道路時之走走停停及頻繁加減速之狀況，則以日本發展之市區道路行駛模式(10-mode pattern)^[6]於高速周回路行駛模擬之；最後，對於一般郊區道路行駛使用狀態之模擬，則以日本發展之郊區道路行駛模式(15-mode pattern)^[6]於高速周回路上重現。

3. 車輛實驗運行與動態放電量測

在鋰電池循環壽命評價方面，依電池數量可分為單胞及模組之測試。對於單顆的鋰電池，以 GB/Z 18333.1 規範^[1]為例，規定每次充電充至其最高電壓後，以 3 小時率之放電電流放電至其額定容量的 80%，以此進行充放電循環，直到其容量降到額定容量的 80% 為止，統計期間的充放電次數為其循環壽命，標準要求應不低於 300 次。

在鋰電池模組壽命測試方面，常用的評價方法為透過統計鋰電動力車輛實際運行中量測之電池充放電功率隨時間變化量，建立其充放電循環評估模式，再以此充放電模式進行模組零組件之循環壽命測試。已發展之模組充放電模式，例如美國先進電池聯合會(USABC)針對美國城市運行路況所建立之動態壓力測試循環(DST cycle)^[2]、美國能源局(DoE)對於混合動力電動車提出之複合脈衝功率特性測試模式(HPPC sequence)^[3]，以及中國北京理工大學針對電動巴士北京運行測試的結果所發表之北京巴士動態壓力測試循環(BBDST cycle)^[4]等。

本研究測試之電動商用車，藉由 1,000 公里實驗運行，紀錄運行期間之車速、鋰電池電壓及電流等即時量測參數，並藉由不同的試驗條件，統計分析測試數據，建立電動車鋰電池功率特性測試模式。

3.1 測試車輛基本規格參數

本次使用的電動整車搭載平台(圖 3)進行研究測試，其空車重量為 1,407 kg，全負載重量為 1,850 kg；至於所搭載之動力鋰電池係由 84 個電池模組(module)所組成，總重量為 240 kg，電池容量為 21.4 kWh，工作電壓為 306 V。



圖 3 實驗運行之電動平台車輛

3.2 實車動態放電測試量測

本研究之試驗條件，依測試車輛重量及電氣裝置(燈光、音響、空調等)等狀態，區分為無負載與全負載狀態，並於每一載重狀態下再依電氣裝置之開啟與否區別。表 3 為每次在不同試驗條件下、以電量 100% 的充電狀態(state of charge, SOC)下執行測試所獲得之結果，由結果可得知，在相同負載狀態下，當開啟燈光與電氣裝置時，每一次車輛實驗運行循環所消耗之電量及產生之電壓降較其未被開啟之狀態高；至於在同樣不開啟燈光與電氣裝置的條件下，測試車於全負載狀態下所消耗之電量及產生之電壓降則較無負載時來的高；故一般來說，當測試車負載愈重且電氣裝置所開啟的電力負荷越大，則動力鋰電池所消耗之電能就會愈高。

表 3 不同試驗條件下進行實驗運行時之電量狀態

試驗車狀態		平均電壓降 (V)	平均 SOC 消耗率 (%)	平均耗電量 (kWh)
載重	電氣裝置(燈光、音響、空調等)			
無負載	關閉	26.8	0.45	8.3
	開啟	31.3	0.45	9.3
全負載	關閉	28.4	0.43	8.5
	開啟	32.7	0.51	10.0

圖 4 為試驗車輛在實驗運行期間其中某一個循環，於全負載且開啟電氣裝置之狀態下，即時量測而得之數據資料，量測參數包括車速、動力電池之電壓及電流訊號，進一步由電壓及電流值之乘積，即可獲得輸出功率隨時間之變化關係。另外，從試驗車輛在不同測試載重及電氣裝置開啟/關閉狀態條件下所量得數據結果之差異可得知，在相同負載條件下，開啟車輛燈光及電氣裝置載時通常所消耗之功率較其關閉時來的大；而且，對本試驗車而言，燈光及電氣裝置開啟與否相較車輛負載條件對動力鋰電池功率消耗多寡之影響來的大。

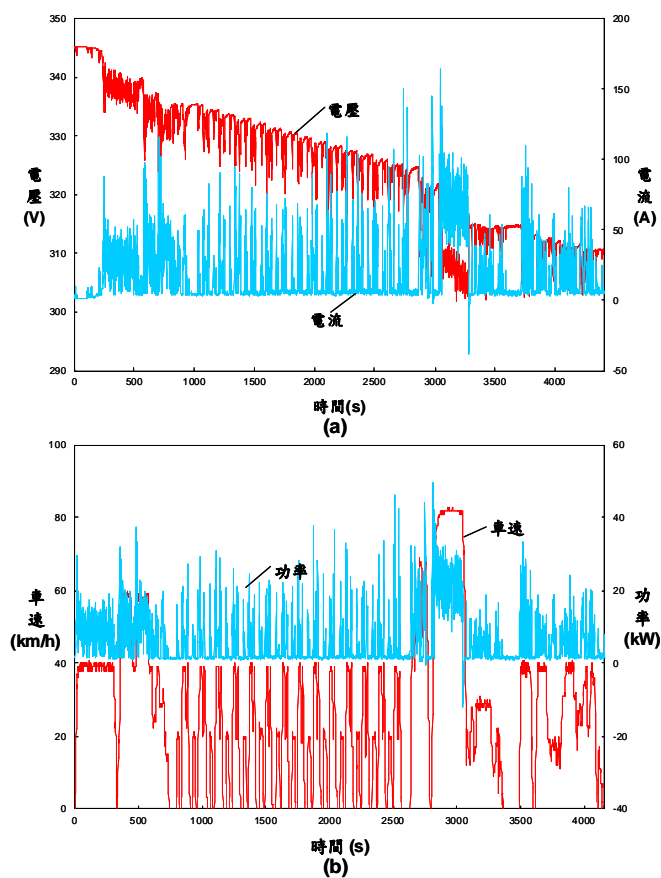


圖 4 全負載及電氣裝置開啟狀態下之電壓、電流、車速及功率曲線

4. 動力電池放電模式之建立

以全負載且開啟電氣裝置之狀態下，將實驗運行一循環所得即時量測之數據，彙整統計分析得動力鋰電池模組輸出功率頻率及累計頻率分布，如圖 5 所示。由結果可得知，電池模組輸出功率多集中分布在 5 kW 左右，占循環測試所有時間比例約 57%，原因在於多數實驗運行行駛測試道路程短且車速較低，需頻繁加減速，以致於該功率輸出區間所占比例較高；另外，除部分低放電及高放電

功率範圍外，大部分輸出功率多數落在 5~25 kW 之區間，其所占比例約為整體循環測試時間 97%；實驗運行過程該動力鋰電池模組最大放電功率約為 50 kW，最大反放電功率約為 12 kW，平均放電功率約為 6.9 kW，平均反放電功率約為 3.5 kW，平均輸出功率約為 6.9 kW。

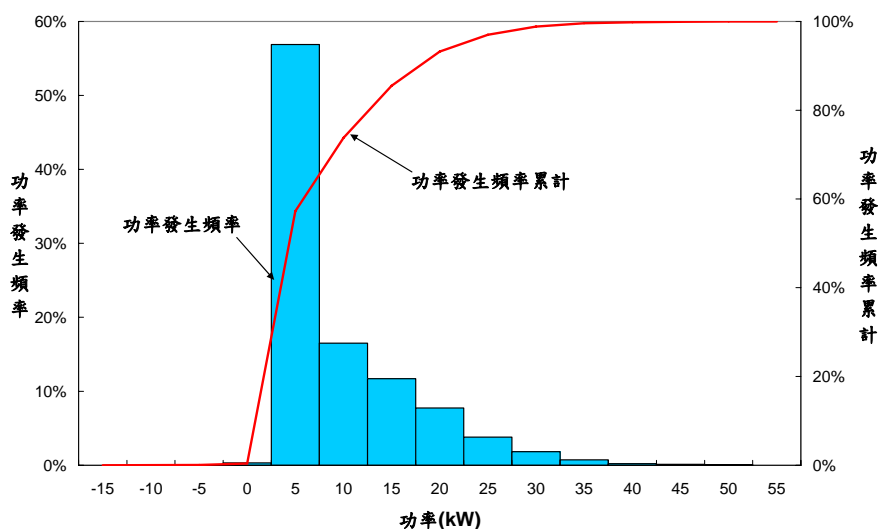


圖 5 全負載及電氣裝置開啟狀態下之功率頻率及累計頻率分布

圖 6 係為本次研究所建立之動力鋰電池動態放電測試模式，其試驗條件為全負載且開啟電氣裝置之狀態，係由完成一個試車場測試道規劃行駛路程循環(里程約 35 公里，費時 70 分鐘)；再將原有圖 4(b)中單一循環沿規劃路線之功率特性曲線，轉化成以表 2 市場道路使用比例之方式表示；進一步並以功率消耗等效之原則，將原 70 分鐘之單一循環以等同於其 1/7 功率消耗之比例，簡化以 600 秒為一個循環之放電模式；即係以圖 6 之循環模式重複執行 7 次所消耗之電量可等同於執行圖 4 所示之單一循環。

圖中各區段所代表市場道路分布分別為：(1)山區道路及惡路(綜合耐久測試道、斜坡測試道、砂礫路及積水路)；(2)高速公路(段差路、高速周回路)；(3)市區道路(人孔路、突起路、10 mode 高速周回路及標準不良路)；(4)一般道路(15 mode 高速周回路、瀝青不良路及聯絡道)等道路狀態，且每一區段行駛過程功率的高低起伏，可說明如緩慢加速、低速行駛、緩慢煞停、高速行駛或急加速等車輛行駛狀態。由結果可得知，電池模組功率在高速行駛過程中，如高速公路行駛狀態，其功率輸出較大，最大放電功率可達 30 kW，而在市區道路走走停停狀態下，其輸出功率較小，放電功率多介於 5~10 kW 之間。因此，藉由這一簡化的道路組合測試模式，可供實驗室作為動力鋰電池模組壽命測試或評價方面之應用

參考，以建立調整可行之試驗流程。

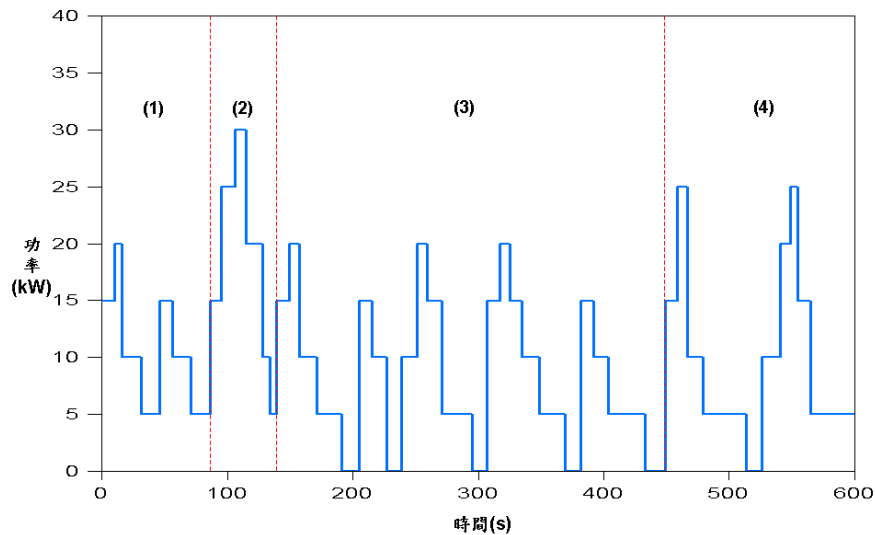


圖 6 市場道路動力鋰電池模組動態放電測試模式

5. 結論

本研究主要目的在於透過電動車實驗運行之鋰電池模組參數之量測，建立適用於實驗室評估鋰電池使用壽命之動態放電模式。首先利用車輛於臺灣市場道路使用比例之統計資料，規劃電動車實驗運行於車輛研究測試中心(ARTC)試車場模擬執行之路線，並將目標電池搭載於一部整車平台車輛上進行 1,000 公里實車運行測試，透過運行期間車輛運作時相關硬體與環境設施之回饋，所即時量測之車速、鋰電池電壓及電流等參數資料，建立以 600 秒為一個循環且電池最大放電功率為 30 kW 之動力鋰電池功率特性循環測試模式。研究中所採用之測試條件，可依目標電池實際搭載的車輛使用用途、市場或行駛路線進行調整，亦可參考本研究之流程，蒐集與量測不同試驗條件下之多樣化實測數據，建立更客觀之分析資料庫，可讓動力電池放電模式更貼近實際車輛使用特性。後續，將引用國際標準如 ISO 12405-2，同時於目標電池進行放電測試，持續比較本研究成果與國際標準之差異。

6. 致謝

承蒙經濟部提供經費及工研院提供試驗車，得以完成本研究，在此致上謝意。

參考文獻

- [1] 中國國家質量技術監督局，「電動道路車輛用鋰離子蓄電池」，中華人民共和國國家標準 GB/Z 18333.1，2001。
- [2] USABC, “Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual”, Rev. 2, United States Advanced Battery Consortium, p.9, 2006.
- [3] Idaho National Laboratory, United States Department of Energy, “Battery Test Manual for Plug-in Hybrid Electric Vehicles”, Idaho National Laboratory INL/EXT-07-12536, p.7, 2008.
- [4] Sun F.-C., et al., “Dynamic Stress Test Profile of Power Battery for Electric Vehicles”, Transactions of Beijing Institute of Technology, Vol.30, No.3, p.297-301, 2010.
- [5] 吳易名、陳建次，「小型車之試車場耐久測試程序規劃報告」，財團法人車輛研究測試中心技術文件 CB-91-0043，2002。
- [6] ISO 8714:Electric road vehicles—Reference energy consumption and range—Test procedures for passenger cars and light commercial vehicles.
- [7] 交通部制定之公路路線設計規範手冊。

(本文作者為林信賢現任財團法人車輛研究測試中心副工程師、黃榮章副工程師、李建德課長)