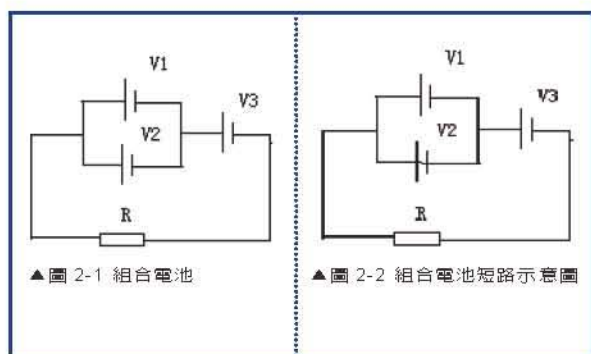


鋰電池時代的到來 (下)

圖、文◎馮笑

動力型鋰離子電池的結構設計與安全性

一般電動自行車用鋰離子電池容量要 8Ah 以上，而目前市場上很多的液態鋰離子電池的單體電芯都達不到這一要求，必須採用先並聯再串聯的方式來組合電池，以三個電池組合為例，如圖 2-1 所示：V1 與 V2 先並聯再與 V3 串聯。



如果 V1 與 V2 其中之一短路（以 V2 短路為例），電路圖如下所示：

相當於一根導線直接連通 V1 正負極，此時 V1 上的電壓也全部載入到 V2 上，導致大電流通過 V2，很容易使 V2 內部受熱引燃電解液，發生爆炸事故。同時組合電池的內阻較大，大電流放電性能較差，體現在實際中就是電動自行車爬坡能力有限。

因此，採取多節電池並聯並不是一個好的結構。星恒面對該問題的處理方式如下：

首先，星恒所生產的單體電芯的容量就達到了 10 Ah，可以採用 7 個、8 個、10 個單體電芯直接串聯成所需的大功率電池組，即儘量少用甚至不用電芯並聯

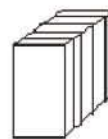
成電池組，避免了圖 2-2 所示危險。

其次，單體電芯方面星恒採用長方形外觀結構，與矮立方體鋰離子電池相比，除容量大外，也延長了氧氣進入電池與鋰金屬發生全面氧化反應的路徑，一定程度上保障了電池的安全。

再次，星恒電芯內的正極片、隔膜和負極片採用的是層疊結構。目前市場上廠商很多採用圓柱形結構製造大容量鋰離子電池，電池極片由正極片、隔膜和負極片三層圈繞而成，如圖 2-3 所示：



▲圖 2-3 極片圈繞示意圖

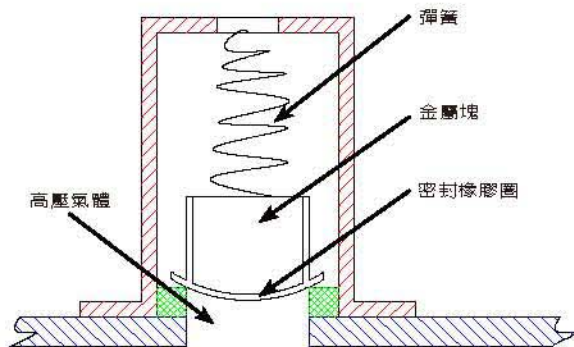


▲圖 2-4 極片層疊示意圖

按照目前的隔膜生產工藝，在隔膜的長度方向上會有比較明顯的熱縮效應。由於捲繞工藝中，隔膜比較長，熱縮會比較明顯。如果設計不合理，有可能在隔膜發生熱縮時導致正負極片直接接觸而形成短路。星恒採用了特有的包膜工藝，讓隔膜做成了一個個的小袋子完全封住了正極片。同時，在長方形層疊式結構（如圖 2-4 所示）中，隔膜的長度只有同樣水平下的捲繞電池的幾十分之一，完全可留出足夠的餘量來防止其熱縮導致的正負極片短路。

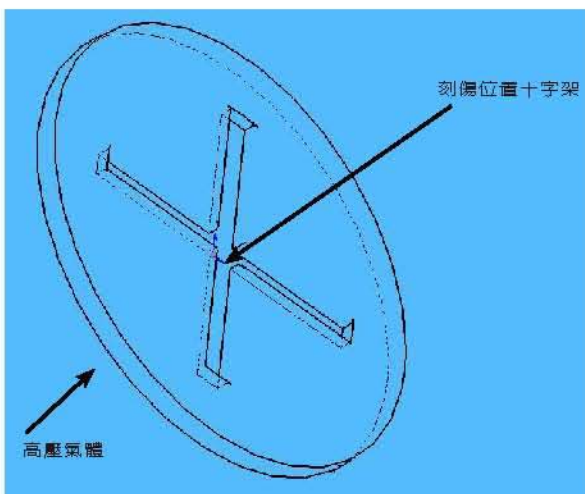
另外，目前各液態鋰離子電池生產廠家在安全閥方面採取的措施也不盡相同，常用的是彈簧式結構和薄金屬片刻傷結構。彈簧結構如圖 2-5 所示。其原

理是電池短路時產生的高熱量使電解液分解產生大量氣體，電池內部的壓力將金屬塊向上壓起而達到卸壓的功能，從而保證電池的安全。但是時間一長，彈簧的彈性會發生很大的變化甚至失去彈性，這樣就無法保持電池在正常狀態時的密封性能，電池的性能會很快衰減，安全性也無法保證。這種結構的另外一個潛在問題是無法達到較高的密封效果，導致電池的性能衰減很快。



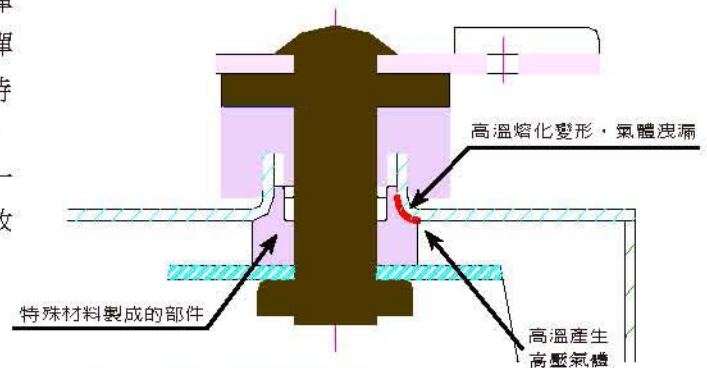
▲圖 2-5 機械安全結構

薄金屬片刻傷結構如圖 2-6 所示，它是利用內壓達到並超過刻痕部位的最大承受壓力時，將其衝破實現卸壓。但要想刻成能承受一定壓力的傷痕本身就很難，刻傷部位承壓也不均勻，而且成本很高。



▲圖 2-6 金屬薄片刻傷安全結構

星恒選用了一種特殊的材料，將其加工成型做成正極密封圈，結構如圖 2-7 所示：



▲圖 2-7 以材料來保證安全的結構

這種材料對溫度特別敏感，當電池溫度升高到 100°C 左右時，密封圈會軟化變形，當溫度達 120°C 時，密封圈自然熔化，電池內部活化過程中產生的氣體將逐步釋放出來，使內壓保持在安全範圍內。而在正常狀態下，電池內部溫度一般不超過 75°C 。同時，這種材料的密封性能良好，可以保持長久的穩定。

電路設計對電池安全性的保障

星恒在電池組裝過程中加入電路保護設施，以保證整個電動自行車電源系統的安全可靠。具體採取的措施包括以下幾點：

1. 保護電路

在鋰離子電池的充電過程中，可能會由於人為的錯誤使用而造成過充，即充電容量大於電池的額定容量，從而使鋰離子在負極堆積形成枝晶，刺穿隔膜，造成內部正負極片短路，引發爆炸事件。相反，如果過放，將會使得電池的電性能劣化。為了避免過充及過放所產生的安全性問題，並防止電池性能劣化，在鋰離子電池包中採用了保護電

路。一般情況下，該保護電路由單體電池電壓監測回路，控制信號回路和功率開關 MOSFET 組成。

鋰離子充電電池保護電路的基本功能主要包括以下四個方面：

(1) 過充保護：過充電保護功能是指在充電過程中，保護電路即時監測每節單體電池的電壓，當任意一節電池的電壓達到充電電壓的上限值如 4.25V（根據電池的材料不同，一般設定在 4.10V ~ 4.35V 之間），並延時一小段時間（該延時時間一般設定在 500μs），確認不是干擾信號後，保護電路關閉充電 MOSFET，切斷充電回路，防止電池出現過充電。為了防止頻繁出現過充電保護，一般來說，在電池電壓信號的監測上設定了回差電壓，當該節電池電壓回落到過充電保護釋放電壓如 4.05V 時，保護電路恢復到通常狀態。保護電路的過充電保護主要防止電池的特性劣化、起火及破裂，確保安全性。過充電檢測電壓的誤差越小，電池的安全性能就越高。

(2) 過放保護：過放電保護功能是指在放電過程中，保護電路即時監測每節單體電池的電壓，當任意一節電池的電壓達到放電電壓的下限值如 2.3V（根據電池的材料不同，一般設定在 2.30V ~ 3.00V 之間），並延時一小段時間（該延時時間一般設定在 1ms），確認不是干擾信號後保護電路關閉放電 MOSFET，切斷放電回路，防止電池出現過放電。同樣的，為了防止頻繁出現過放電保護，在電池電壓信號的監測上設定了回差電壓，當該節電池電壓上升到過放電保護釋放電壓如 3V 時，保護電路恢復

到通常狀態。過放保護主要是防止電池特性劣化，確保電池的使用壽命。

過充電與過放電檢測為防止充放電過程及由於雜訊而發生的誤動作，因而需要設定延遲時間。保護電路可以利用外接電容來自由的設定延遲時間。

(3) 過電流保護：過電流保護功能是在超過設定的充放電電流時停止對電池組的充電或對負載的放電，此功能的目的是在於保護電池及功率開關 MOSFET，確保電池包在工作狀態下的安全性，可在回路中設定保險絲來實現。

(4) 過熱保護：過熱保護功能是在回路中設定溫度保險，當電池溫度達到允許使用的上限值時，溫度保險斷開回路；當電池下降到溫度保險的恢復溫度時，再接通回路，防止電池在高溫下長時間使用。

為使保護電路性能穩定可靠，星恒動力鋰離子電池所使用的保護電路除了是自行研發設計之外，它選用著名品牌元器件為原材料，委託專業廠家進行生產製造，並在加工過程進行嚴格的追蹤控制。不但每一款線路板的設計要經過高溫、低溫、溫度變化、老化試驗、疲勞測試、過載、過壓等型式試驗，而且每一塊電路板在連接到電池組前都必須嚴格經過元器件耐高溫性能檢測（70 度載



▲保護板功率 MOS 管測試儀。



▲保護板測試儀

入 48 小時老化)、IQC 檢測以及即時線上檢測三步過程。

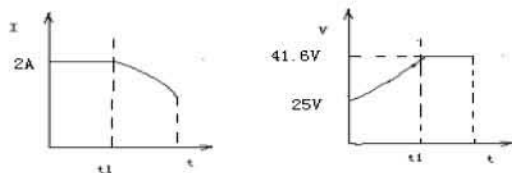
MOS 管檢測儀主要是檢測保護板中 MOS 管在電池過充及過放(即任一節電池電壓大於 4.25V 或小於 2.3V)時,能否起到停止充放電的作用。

保護板檢測儀主要是檢測保護板各線路是否正常,有無短路或斷路現象。只有測試合格的電路板才能連接到電池組中,所有的不良品則嚴禁流入下道工序中去。

2. 專用充電器的設計

由於鋰離子電池的特殊性,其對充電器的要求也相當高,星恒公司也開發了專用的充電器。並對充電器的充電性能進行一系列的測試(以 10 串電池組為例)。

(1) 充電電源供給充電控制電路的最大電壓不超出鋰離子電池的安全電壓。鋰離子電池採用最理想的充電方式是先恒流後恒壓,星恒鋰電池先以 2A 恒流充電,輸出電壓從 25V-41.6V 充電電流滿足 $2A \pm 0.2A$,當電壓上升至 41.6V 時,再以恒壓 41.6V 充電,電流逐漸減小至一定程度後充電結束。充電電流電壓隨時間變化示意圖如圖 3 所示:



▲圖3 鋰離子電池充電時電流、電壓隨時間變化示意圖。

(2) 充電器具保護功能。如短路去除後,充電器能自行恢復正常工作。充電器處於充電狀態時,LED 燈為紅色,充滿後 LED 燈轉為綠色。

動力型鋰離子電池的全面檢測

星恒公司對品質管理體系完善,以確保電池成品的質量和安全。其中包含:
A. 對原材料供應商進行嚴格的考核;
B. 開發部,品管部對樣品的檢測;
C. 小批量試生產,並對其進行跟蹤監測管理;
D. 成品電池檢驗。

對於成品電池的性能檢驗亦制訂了以下標準:

a. 抽樣方法:對於測試樣品的抽樣按照隨機抽樣,直至抽取足夠測試樣品為止。

b. 檢驗專案及檢測比率:

全檢:電池組產品外觀、充放電性能和內阻。

抽檢(5PCS):其他性能參數,包括:高/低溫放電性能、月電荷保持率、迴圈壽命、低/高溫承受、耐溫度變化、恒定/交變濕熱、振動、自由跌落(包裝及未包裝)、碰撞、高溫烘箱、電芯外部短路、過充電測試、擠壓測試、撞擊測試。

值得一提的是,星恒對鋰離子動力電池的安全測試實驗是參照國際上最嚴格的標準(以 UL 標準為主)來進行的。在星恒的測試實驗室中,經常要進行的測試包括滿電穿刺、熱箱 150°C、3C 倍率過充到 10V 和擠壓變形等。

為了保障動力鋰離子電池的安全性,星恒電池在科研與生產上做了許多的工作,並通過了一系列安全認證。

1. UL 認證

如今,世界上大多數國家和地區對涉及安全、衛生、環境保護等專案的產品,要求在進入市場之前必須取得安全認證。UL 標誌已成為世界著名的安全認

證標誌之一。

星恒的 10Ah 和 7.5Ah 高功率型鋰離子動力電池，於 2004 年 11 月 29 日通過了 UL 安全測試（標準：UL1642，FILE NO: MH29933），成為中國第一個通過 UL 認證的鋰離子動力電池。星恒通過的是 3C / 10V 的安全測試標準，該標準比 0.5C / 6V 更嚴酷。

其一，3C 倍率的充電電流大於 0.5C 倍率。電解液電導率小（即電阻大），大電流通過電池內部產生更大的熱量，電解液因此而面臨著更大可能性的燃燒與分解的危險。故此，高倍率電流給電池的安全性提出了更殘酷的考驗。

其二，鋰離子電池所使用的有機電解液，其分解電壓大都在 4 ~ 5V，此時的電解液會電解出大量的氣體，危害電池的安全。因此，6V 的電壓可以看作

鋰離子電池高電壓工作的極限點。而 10V 的充電電壓則遠遠高於電解液的極限承受電壓，這樣的高壓同樣也給電池提出了更殘酷的挑戰。



▲ UL 認證證書。

2. Extra Energy 標準

Extra Energy 是一個非營利性的組織，總部在德國坦拿，主要工作是集中

全球的輕型電動車的中立性的資訊，並提供增值服務，其中相關鋰電池的安全性檢測非常嚴格、嚴謹，得到大部分歐洲客戶的認可。

星恒的動力鋰電池產品，10Ah 級電池組順利通過了德國 Extra Energy 權威機構的檢測，並達到美國 USABC 標準。

（注：USABC 全稱 United States Advanced Battery Consortium 美國先進電池協會）。

結語

星恒公司是聯想和大陸中科院物理所合資的高科技企業，一直致力於將先進的動力鋰電池技術應用在電動自行車上。並為中國廣大電動自行車用戶提供高質量、低成本的鋰電池。



▲ 星恒鋰電池產品。

參考文獻

- 郭炳焜，徐徽，王先友，肖立新．鋰離子電池 [M]．中南大學出版社，2002．
- 郭紅兵，康雪雅，王天龍，韓英．電池新型正極材料 LiFePO_4 的發展現狀[J]．中科院新疆理化技術研究所．

作者簡介



● 蘇州星恒電源有限公司副總經理／銷售總監 馮笑

1999 年畢業於北京工業大學電腦系，獲學士學位。

2003 年 10 月加入蘇州星恒，負責公司市場策劃、銷售規劃工作，兩年多來，馮笑組建了一支優秀的銷售團隊，順利開展了大客戶拓展工作，為蘇州星恒在中國乃至全世界拓展了

銷售網路、建立良好的知名度奠定了基礎。

馮笑先生 1999 年 7 月-2003 年 10 月曾任職於聯想集團、聯想控股、聯想投資，從事 IT 業務和投資管理，期間積累了豐富的團隊管理經驗和營銷經驗，具備敏銳的判斷力和分析能力。