

>> 專題報導

□ 電動汽車電氣安全及法規介紹

車安中心 王楷文

一、前言

近年全球氣候變遷加劇，人類社會對於能源污染、節能減碳的重視程度日益升高，依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)報告，溫室氣體自 1970 年到 2010 年間，成長近 250%，其中約 80%來自道路車輛，為此，世界各國也開始陸續研擬禁售燃油車的年份，許多國家將於 2030 年至 2040 年之間實施，基於各國政府政策及消費趨勢的轉變，電動汽車儼然是主要發展趨勢之一，而電動汽車與傳統引擎車在生產、維修、使用上所需注意的安全議題有所差異，為此電動汽車安全也成為世界各國政府與車輛產業關注的議題。

我國車輛安全管理主管機關交通部，也針對電動汽車安全議題制定相對應的安全法規，其中電氣安全為主要的項目之一，我國於民國 103 年 1 月 1 日及民國 108 年 1 月 1 日導入聯合國 UNR100 法規，並實施車輛安全檢測基準 64 及 64-1 電動汽車之電氣安全規定，本文將介紹電動汽車之電氣危害種類、防護方式及法規要求進行說明，期許讓讀者能有更進一步的了解。

二、電氣危害種類介紹

一般電氣危害可分為以下 5 種：

1. 觸電：人體碰觸電源或帶電部分，形成電氣迴路，電流再流經人體，對人體造成危害。

電流大小對身體危害影響：

觸電影響	電流(Ma)					
	直流		60Hz 交流		10000Hz 交流	
	男	女	男	女	男	女
感知電流：開始有刺激	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
可逃脫電流：肌肉尚可自由活動	62	41	9	6	55	37
不可逃脫電流：肌肉無法自由活動	74	50	16	10.5	75	50
休克電流：肌肉收縮，呼吸困難	90	60	23	15	94	63
心臟麻痺電流：心室痙攣，呼吸停止	500	500	100	100	500	500

資料來源：勞動部職業安全衛生署南區職業安全衛生中心 103 年度電氣職業災害預防宣導會簡報

- 2.電弧灼傷：電路發生短路、接地故障等皆會產生電弧而使人體灼傷。
- 3.電氣火災：電路過載、短路、接觸不良、漏電、靠近易燃物等產生高溫高熱進而引燃可燃物。
- 4.靜電：易燃性氣體、液體、粉塵因靜電引燃而發生火災或爆炸。
- 5.雷擊：人體直接遭受雷擊。

生活中時常會接觸到各式電子設備，其發生之電氣危害以接觸帶電元件產生感電(觸電)為大多數，為使製造者與消費者能有所依據，國際電工委員會(International Electro technical Commission，縮寫：IEC)，對各式電子設備分別訂有安全標準，例如 IEC 60204-1：2016(Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements)，而國際標準化組織(International Organization for Standardization，縮寫：ISO)針對電動推進道路車輛之電氣安全則有 ISO 6469-4(Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 4: Post crash electrical safety)，我國國家標準有 CNS 15499-4(電動推進道路車輛—安全規範第 4 部：碰撞後電氣安全)，我國交通部亦訂有車輛安全檢測基準 64-1 電動汽車之電氣安全法規。

上述標準及法規對於觸電的種類又細分為直接接觸、間接接觸兩類，說明如下：

- 1.直接接觸：在電氣裝置運行時，直接與帶電部位接觸。

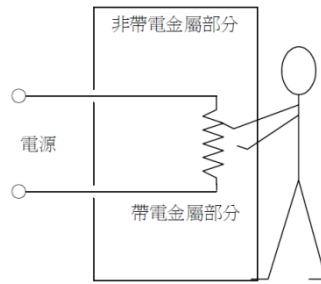
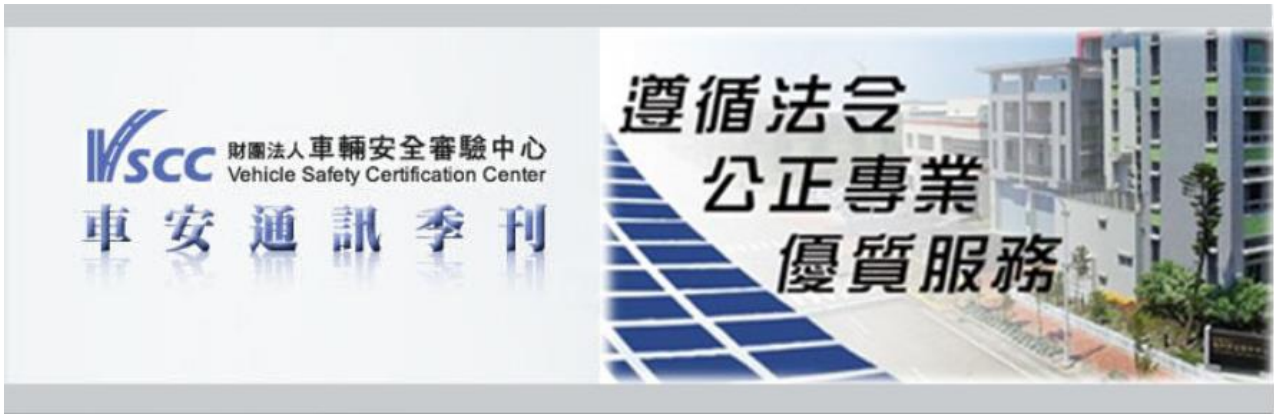


圖 1.直接接觸

2.間接接觸：當電氣裝置的絕緣發生劣化，造成內部帶電部位漏電至外部帶電金屬部位，接觸外部非帶電金屬部位。

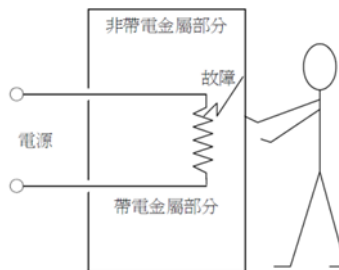


圖 2.間接接觸

三、防護方式

本章節延續上一章節，針對直接接觸、間接間觸所造成之危害分別說明其常用防護方式。

- 1.直接接觸防護：以絕緣物隔離帶電元件、採取 IP 等級保護。
- 2.間接接觸防護：易觸電之外露可導電元件做保護性接地連接、使用漏電斷路器偵測漏電流產生。

國際電工委員會(縮寫：IEC)針對 IP 防護等級提供了一套編碼原則，如以下說明：

IP	第1分類碼 1° number	第2分類碼 2° number	增列碼 added letter	補充碼 additional letter
		1...6	1...8	A...D

第1分類碼：保護防止異物掉入與觸及危險部位的等級

級別	保護防止物體	保護防止人體
0	無保護	無保護
1	防止直徑大於 50mm 之異物掉入	防止手背觸及危險部位
2	防止直徑大於 12.5mm 之異物掉入	防止手指觸及危險部位
3	防止直徑大於 2.5mm 之異物掉入	防止工具觸及危險部位
4	防止直徑大於 1.0mm 之異物掉入	防止線觸及危險部位
5	防塵	防止線觸及危險部位
6	完全防塵	防止線觸及危險部位

第2分類碼：保護防止液體浸入的等級

級別	保護防止液體
0	無保護
1	保護防止水滴垂直滴入
2	保護防止水滴以傾斜角最大 15° 滴入
3	保護防止水滴以傾斜角最大 60° 噴灑
4	保護防止水噴流
5	保護防止灌水
6	保護防止強力灌水
7	保護防止暫時性浸水
8	保護防止連續性浸水
忽略不分析的類碼 以 X 做代替	

增列碼(Optional)

字母	保護防止人體
A	防止手背觸及危險部位
B	防止手指觸及危險部位

補充碼(Optional)

字母	保護防止物體
H	高電壓產品
M	將產品浸入水中，以測試水對產品造成之不利

C	防止工具觸及危險部位		影響，此時產品之可動零件為運轉狀態
D	防止線觸及危險部位		將產品浸入水中，以測試水對產品造成之不利影響，此時產品之可動零件為靜止狀態。
		S	
		W	適合使用於特殊指定之天候狀況，且產品附加有保護作用或保護程序。

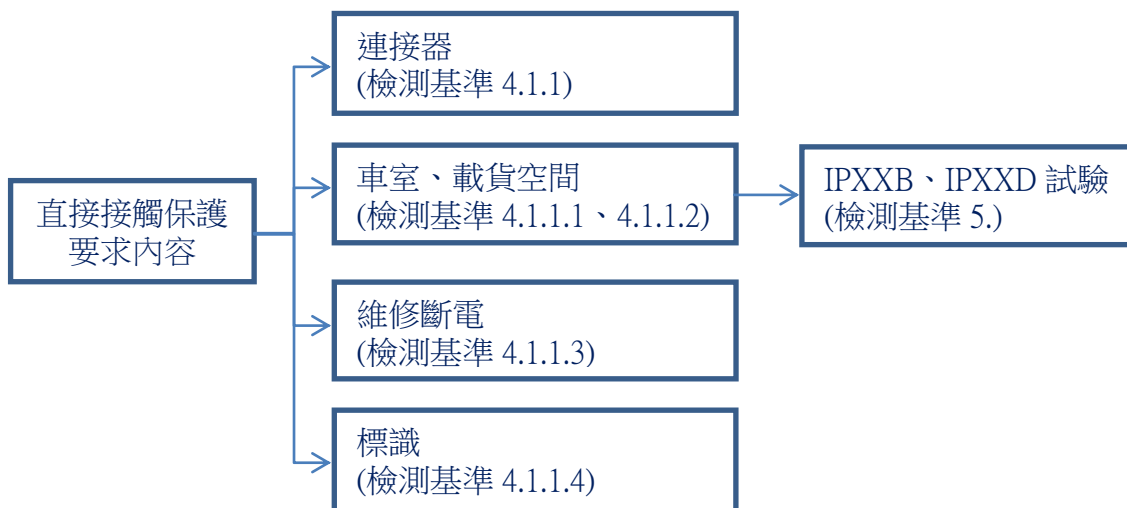
上述所介紹之電氣危害種類，針對觸電所產生的電氣危害，在電動汽車中亦有此危害風險，故觸電危害的安全要求，在我國車輛安全檢測基準 64-1 電動汽車之電氣安全中對保護方式的試驗訂有 IPXXB 及 IPXXD 之要求。

四、我國法規介紹

本章節就電動汽車之電氣安全檢測基準內容 4.車輛電氣安全要求中對於直接接觸保護、間接接觸保護及絕緣電阻等要求、試驗條件及量測方法作摘要介紹。

(一)直接接觸保護

基準項目針對直接接觸保護的要求從一般使用階段至維修過程的安全皆有考量到，下圖整理出檢測基準所要求的內容與條文對應架構，以利讀者有架構性的了解檢測基準的要求，並在本章介紹條文內容。



1. 要求

1.1 屏障、外殼、固體絕緣及連接器不得在未使用工具之情形下被打開、分離、拆開或移除。

若連接器(含車輛插孔)符合下述一項或多項條件，則允許於未使用工具之情形下被分離：

- (a) 分離時能符合 1.1.1 及 1.1.2 之規定；或
- (b) 位於地板之下且有一鎖定機構；或
- (c) 有鎖定機構，在分離連接器前有須先以工具方能移除之其他裝置(非為連接器之一部分)；或
- (d) 在連接器分離後之一秒內，帶電體之電壓變成小於或等於直流電六 0 伏特、或是小於或等於交流電三 0 伏特(真均方根值(rms))。

1.1.1 在車室或載貨空間之帶電體應有 IPXXD 等級之保護

1.1.2 車輛在車室或載貨空間以外之其他空間應至少有 IPXXB 等級之保護。

1.1.3 維修斷電：對於無須工具即可打開、拆開或移除之維修斷電，若當其未使用工具即打開、拆開或移除時能符合 IPXXB 等級之保護，則視為符合。

1.1.4 對具有高電壓性能之 REESS，應於 REESS 或其附近標示有圖 3 之標識。此標識之底色應為黃色，邊線及箭頭應為黑色。



圖 3：高電壓裝備之標識

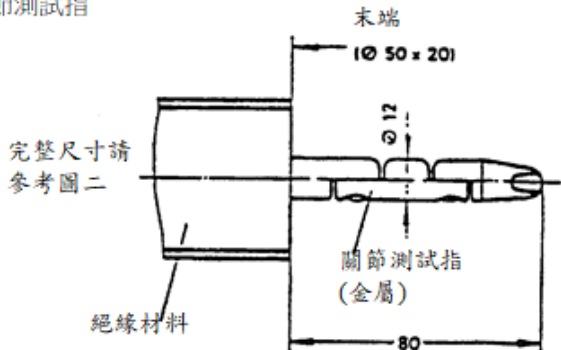
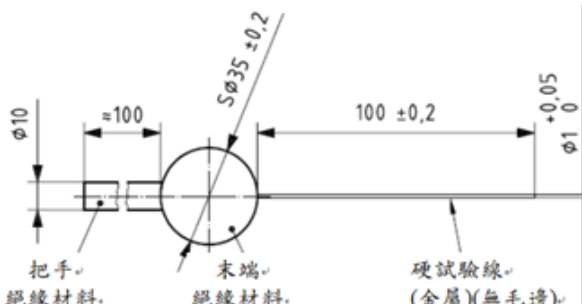
1.1.5 非位於外殼內之高電壓匯流排之電纜，其外包覆應為橘色以利辨識。

2. 試驗條件

以表一所示的力量，將接觸棒推入外殼上之任何開口。如果接觸棒會部份或完全穿入，則可放在任何可能的位置，但接觸棒末端不得完全穿入。內部屏障可視為外殼之一部份。

一個低壓電源（介於四〇伏特到五〇伏特）串連至電燈泡，必要時可用於屏障或外殼內之接觸棒和帶電體之間。

表一：用於測試保護人員接近危險部份之接觸棒

章節	字母	接觸棒	試驗力
2	B	關節測試指 	10N±10%
4.5.6	D	直徑 1.0 mm，線長 100 mm 之試驗線 	1N±10%

3. 試驗過程

直接接觸防護的試驗主要有連接器測試與 IP 等級的測試，依據檢測基準所述之試驗條件，試驗過程的步驟如下：

3.1 連接器試驗

- (a) 確認連接器位置，若連接器位於車輛地板之下，則需要有一鎖定機構。

(b) 移除連接器之鎖定機構或其他影響試驗之裝置。

(c) 量測連接器之電壓。

3.2 IPXXB 試驗

(a) 接觸試驗棒依試驗條件與電燈泡電路端串聯

(b) 將車輛電路介面與電燈泡電路端連接

(c) 執行 IPXXB 試驗時，先將關節測試指整個拉直進行測試，接著再將各個關節打彎，鄰接關節之最大角度為九〇度，並應於各種可能的位置分別進行測試。

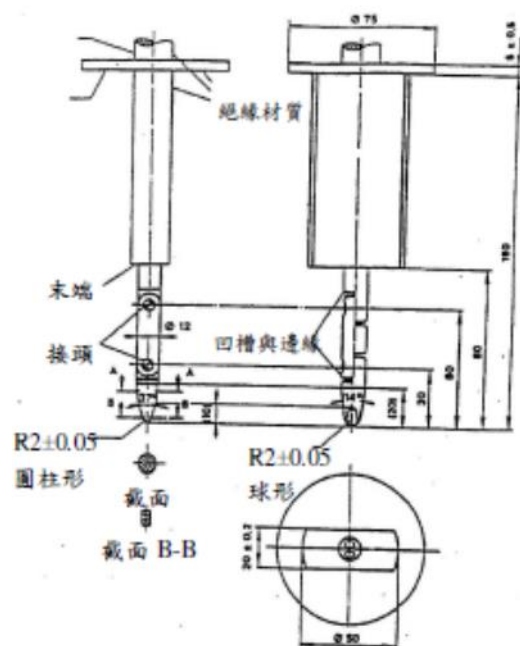
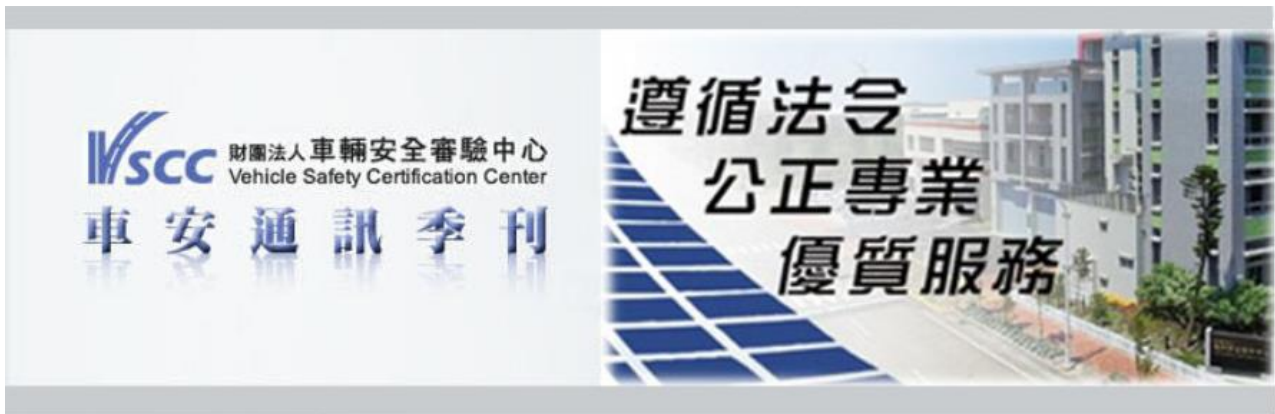


圖 4：關節測試指

4.1 連接器試驗接受條件

4.1.1 在連接器分離後一秒內，帶電體之電壓變成小於或等於直流電六〇伏特、或是小於或等於交流電三〇伏特(真均方根植(rms))

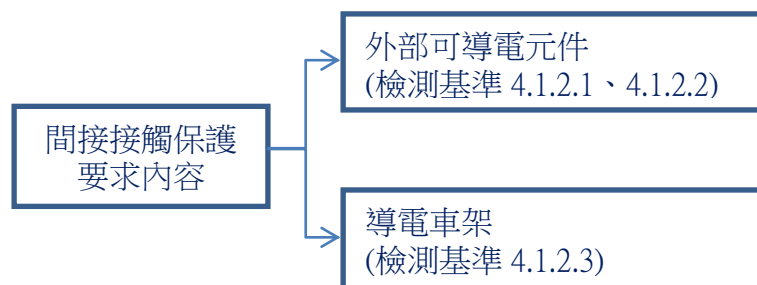
4.2 IPXXB、IPXXD 試驗接受條件



- 4.2.1 接觸棒應不能觸碰到帶電體。
- 4.2.2 以接觸棒與帶電體間之信號線路來判定時，燈泡應不會作動。
- 4.2.3 執行 IPXXB 測試時，關節測試指可以深入外殼內八 0 公釐，但末端不得深入開口內。
- 4.2.4 執行 IPXXD 測試時，接觸棒可能完全穿入，但末端不得伸入開口內。

(二)間接接觸保護

檢測基準於間接接觸保護的要求，以避免產生危險電位之接地性為主，並對於如何避免之方式亦有說明，試驗部分則對量測之歐姆值有要求。

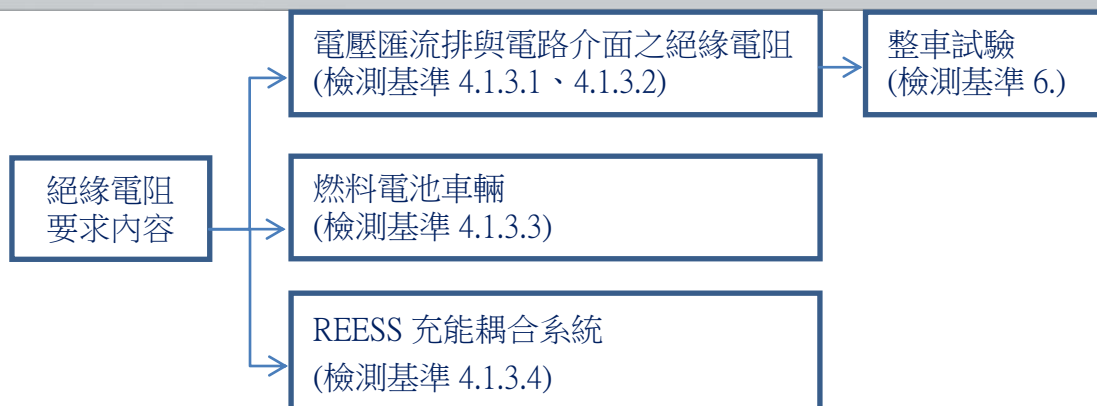


1.要求

- 1.1 外露可導電元件(例如導電屏障及外殼)應以電線、接地線、焊接或以螺栓等方式牢固的與電路介面連接。
- 1.2 在所有外露可導電元件與電路介面間之電阻，當電流至少為 0.2 安培時其應低於 0.1 歐姆。若係以焊接方式通電則視為符合本項規範。
- 1.3 對於經由導電連接而與一接地的外部電源供應器連接之車輛，應提供一可使導電車架接地之通電裝置。該裝置應能在外來的電壓作用於車輛前接地，且持續接地直到該外來電壓自車上移除。

(三)絕緣電阻

讀者可參考下圖架構以及檢測基準，絕緣電組的要求可依直流電及交流電匯流排構成的方式分為兩種，而量測方法依直流電來源亦可分為兩種。



1. 要求

1.1. 由獨立的直流電或交流電匯流排所構成的電能動力傳動直流電匯流排之絕緣電阻處於工作電壓時應至少為一 0 0 歐姆/伏特交流電匯流排處於工作電壓時則至少為五 0 0 歐姆/伏特。

1.2. 由直流電及交流電匯流排並聯構成的電能動力傳動交流電高電壓匯流排及直流電高電壓匯流排通電連結下之絕緣電阻，處於工作電壓時應至少為五 0 0 歐姆/伏特。若所有的交流電高電壓匯流排由以下其中一種方法保護時，則高電壓匯流排與電路介面間之絕緣電阻，處於工作電壓時應至少為一 0 0 歐姆/伏特。

(a) 兩層或多層的固體絕緣體，符合(一)1.1 規範之單獨屏障或外殼(例如電束)。

(b) 具有超過車輛壽命之足夠耐久度之堅固機械保護，例如馬達外殼、電子轉換器之外殼或連接器。

1.3 燃料電池車輛若無法滿足所需之最小絕緣電阻，則須以下述任一方式提供保護：

(a) 兩層或多層的固體絕緣體，符合 4.1.1 規範之單獨屏障或外殼。

(b) 與車載絕緣電阻監控系統整合，當絕緣電阻降至要求之最低值以下時可警告駕駛之裝置。

車載絕緣電阻監控系統之功能確認應插入一電阻器，但其不會造成受監

測端子與電路介面間之絕緣電阻降至最小電阻值要求以下。此時警報應被啟動。

1.4 REESS 充能耦合系統絕緣電阻之規範

REESS 充能耦合系統依檢測基準名詞釋義為充能系統使用外部電源供應器之電路來充電。

車輛用來與一接地的外部交流電電力供應裝置進行導電連接之車輛端插座，且其電路在 REESS 充電期間係與車輛端插座耦合連接，則在高電壓匯流排與電路介面間之絕緣電阻，當充電器耦合器分離時應至少為一 0 0 萬歐姆/伏特。可於主電池斷電之情形下進行量測。

2. 量測方法-整車試驗

2.1 使用從非車輛來源之電壓

- (a)絕緣電阻測試設備連結帶電體和電路介面。然後使用直流電壓(至少為高電壓匯流排之工作電壓的一半)量測其絕緣電阻。
- (b)若系統之耦合電路連接中有多個直流電電壓範圍(例如因為升壓轉換器)以及在整個電路中有些元件無法承受工作電壓，則在該等元件未連接時，用不小於其工作電壓的一半之值，分別量測在該等元件和電路介面間之絕緣電阻。

2.2 使用車輛本身之 REESS 作為直流電來源

2.2.1 測量方法 電壓之量測圖詳細內容敬請參閱電動汽車之電氣安全檢測基準(以下簡稱檢測基準)所示。

步驟一：記錄高電壓匯流排之電壓(Vb)。

步驟二：量測高壓流排之負極和電路介面之間之電壓(V1)並記錄。(如檢測基準圖三)。

步驟三：量測高壓流排之至正極和電路介面之間之電壓(V2)並記錄。(如檢測基準圖三)。

步驟四：若 $V1$ 大於或等於 $V2$ ，則在高壓匯流排的負極和電路介面之間嵌入一標準已知之電阻 (R_o)，並量測高電壓匯流排的負極和電路介面之間的電壓 ($V1'$) (如檢測基準圖四)。依據下列公式計算電阻 (R_i)。 $R_i = R_o * (V_b / V1 - V_b / V1')$ 或 $R_i = R_o * V_b * (1 / V1' - 1 / V1)$

若 $V2$ 大於 $V1$ ，則在高壓匯流排之正極和電路介面之間嵌入一標準已知的電阻 (R_o)，並量測高電壓匯流排的正極和電路介面之間的電壓 ($V2'$) (如檢測基準圖五)。根據下述之公式來計算電阻 (R_i)： $R_i = R_o * (V_b / V2' - V_b / V2)$ 或 $R_i = R_o * V_b * (1 / V2' - 1 / V2)$ 步驟五：電阻數值 R_i (歐姆) 除以高電壓匯流排 (伏特) 的工作電壓產生絕緣電阻 (歐姆/伏特)。

五、結論

隨著世界各大車廠加緊轉型投入電動車市場，電動汽車發展日趨成熟，過往消費者對於電動汽車安全最多的疑慮如高壓電組件的漏電、觸電等安全問題，也被世界各國納入法規要求中，在車輛製造者端，電動汽車的開發及生產流程與傳統引擎車一樣需要依循販售市場當地政府法規以保障消費者的安全，例如本文所介紹的我國車輛安全檢測基準 64-1、電動汽車之電氣安全，其內容主要有直接接觸保護、接間接觸保護與絕緣電阻等要求，在後市場端，車輛做為人類社會活動不可或缺的工具，在邁入綠色能源的時代，電動汽車也將改變人類以往由引擎汽車方式思考的使用、維修、保養等認知，因此仍需持續加強讓消費者及相關從業人員對電動汽車有更多的認識，期許從製造、使用、維修等電動汽車之整個產品生命週期，皆能有效應對電動汽車所帶來的改變，使人、車都能邁向更安全節能的時代。

六、參考文獻

1. 中華民國交通部 車輛安全檢測基準 64、64-1 電動汽車之電氣安全
2. ISO 6469-4(Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 4: Post crash electrical safety)
3. CNS 15499-1(電動推進道路車輛—安全規範—第 1 部：車載可再充電能量儲存系統)

4. CNS 15499-2(電動推進道路車輛—安全規範—第 2 部:車輛操作安全方法及故障防護)
5. CNS 15499-3(電動推進道路車輛—安全規範—第 3 部:預防人員電擊之保護)
6. CNS 15499-4(電動推進道路車輛—安全規範—第 4 部:碰撞後電氣安全)
7. IEC 60204-1:2016(Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements)