纯电动汽车高压电气系统安全设计

一、纯电动汽车电气系统安全分析

纯电动轿车电气系统主要包括低压电气系统、高压电气系统及CAN通讯信息网络系统。

1、低压电气系统采用12V供电系统，除了为灯光照明系统、娱乐系统及雨刷器等常规低压用电器供电外，还为整车控制器、电池管理系统、电机控制器、DC/DC转换器及电动空调等高压附件设备控制回路供电；

2、高压电气系统主要包括动力电池组、电驱动系统、DC/DC电压转换器、电动空调、电暖风、车载充电系统、非车载充电系统及高压电安全管理系统等；

3、CAN总线网络系统用来实现整车控制器和电机控制器、以及电池管理系统、高压电安全管理系统、电动空调、车载充电机和非车载充电设备等控制单元之间的相互通信。

图a高压配电盒

纯电动汽车电压和电流等级都比较高，动力电压一般都在300～400V（直流），电流瞬间能够达到几百安。人体能承受的安全电压值的大小取决于人体允许通过的电流和人体的电阻。有关研究表明，人体电阻一般在1000～3000Ω。人体皮肤电阻与皮肤状态有关，在干燥、洁净及无破损的情况下，可高达几十千欧，而潮湿的皮肤，特别是受到操作的情况下，其电阻可能降到1000Ω以下。由于我国安全电压多采用36V，大体相当于人体允许电流30mA、人体电阻1200Ω的情况。所以要求人体可接触的电动汽车任意2处带电部位的电压都要小于36V。根据国际电工标准的要求，人体没有任何感觉的电流安全阈值是2mA，这就要求人体直接接触电气系统任何一处的时候，流经人体的电流应该小于2mA才认为整车绝缘合格。

因此，在纯电动汽车的开发过程中，应特别考虑电气系统绝缘问题，严格按照电动汽车相关国标标准要求设计，确保绝缘电阻能够满足人身安全需求，保证绝缘电阻值大于100Ω/V。

二、电动汽车高压电气系统安全设计概述

相对于传统汽车而言，纯电动汽车采用了大容量、高电压的动力电池及高压电机和电驱动控制系统，并采用了大量的高压附件设备，如：电动空调、PTC电加热器及DC/DC转换器等。由此而隐藏的高压安全隐患问题和造成的高压电伤害问题完全有别于传统燃油汽车。

根据纯电动汽车的特殊结构及电路的复杂性，并考虑纯电动汽车高压电安全问题，必须对高压电系统进行安全、合理的规划设计和必要的监控，这是电动汽车安全运行的必要保证。

1、高压系统构成

图1示出纯电动汽车高压系统框图。作为纯电动汽车高压系统安全管理的单元，合理的功能布局和安全可靠的控制策略是实现该系统功能的重要保证。

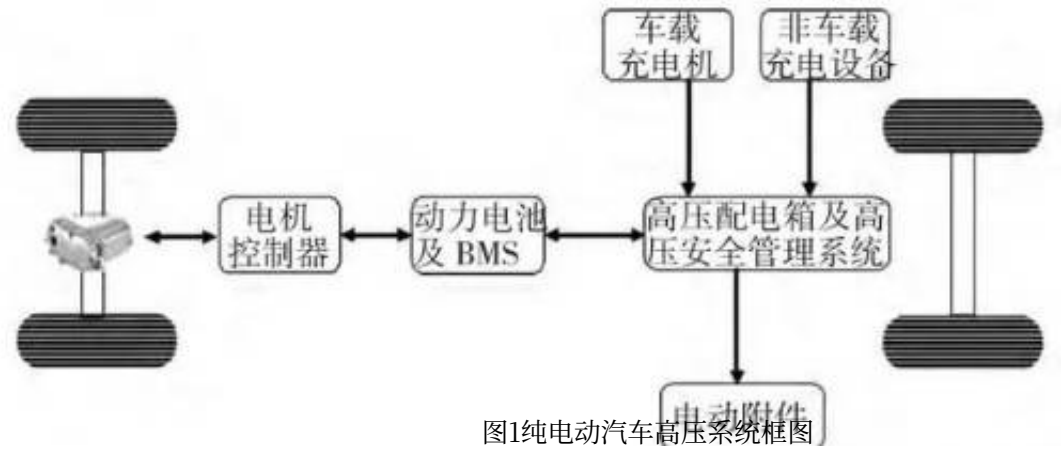

图1纯电动汽车高压系统框图

2、高压电气安全系统的总目标

高压电气系统控制与安全管理和故障诊断的总目标是确保纯电动汽车在静止、运行及充电等全过程的高压用电安全。

三、高压电气系统安全设计

根据纯电动汽车安全标准要求，并从车载储能装置、功能安全、故障保护、人员触电防护及高压电安全管理控制策略等方面综合考虑，应对电动汽车高压电系统进行以下四方面设计。

1、高压电电磁兼容性设计

由于纯电动汽车上存在高压交流系统，具有较强的电磁干扰性，因此高压线束设计时电源线与信号线尽量采用隔离或分开配线；电源线两端考虑采用隔离接地，以免接地回路形成共同阻抗耦合将噪声耦合至信号线；输入与输出信号线应避免排在一起造成干扰；输入与输出信号线尽量避免在同一个接头上，如不能避免时应将输入与输出信号线错开放置。

2、高压部件和高压线束的防护与标识设计

高压部件的防护主要包括防水、机械防护及高压警告标识等。尤其是布置在机舱内的部件，如电机及其控制系统、电动空调系统、DC/DC电压转换器、车载充电机等及它们中间的连接接口，都需要达到一定的防水和防护等级。并且高压部件应具有高压危险警告标识，以警示用户与维修人员在保养与维修时注意这些高压部件。

由于纯电动汽车线束包括低压线束与高压线束，为提示和警示用户和维修人员，高压线束应采用橙色线缆并用橙色波纹管对其进行防护。同时高压连接器也应标识为橙色，起到警示作用，并且所选高压连接器应达到IP67防护等级。

3、预充电回路保护设计

因为高压设备控制器输入端存在大量的容性负载，直接接通高压主回路可能会产生高压电冲击，故为避免接通时的高压电冲击，高压系统需采取预充电回路的方式对高压设备进行预充电。图2示出纯电动汽车高压系统预充电回路原理图。

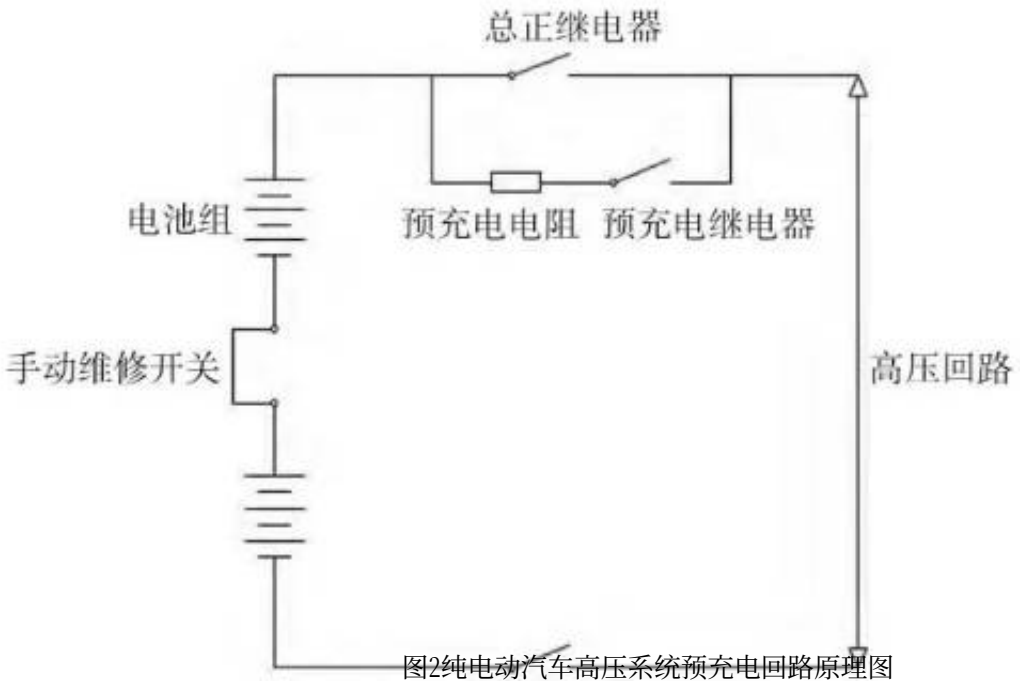

图2纯电动汽车高压系统预充电回路原理图

4、高压设备过载/短路保护设计

当汽车高压附件设备发生过载或线路短路时，相关高压回路应能自动切断供电，以确保高压附件设备不被损坏，保证汽车和驾乘人员的安全。因此在高压系统设计中应设置过载或短路的保护部件，如在相关回路中设置保险和接触器，当发生过载或短路而引起保险或接触器短路时，高压管理系统会通过对接触器触点和相关控制接触器闭合的有效指令进行综合判定，若检测出相关电路故障，高压管理系统会发出声光报警以提示驾驶员。

5、故障检测与故障处理方法

1）、绝缘电阻故障处理

电动汽车电气化程度相对传统汽车要高，其中像电池包、电驱动系统、高压用电辅助设备、充电机及高压线束等在汽车发生碰撞、翻转及汽车运行的恶劣环境（汽车振动、外部环境湿度及温度）影响下，都有可能导致高压电路与汽车底盘间的绝缘性能降低，由此可能造成汽车火灾的发生，直接影响汽车驾乘人员的生命安全。因此，在电动汽车高压系统设计时，首先应确保绝缘电阻值大于100Ω/V；其次当汽车发生绝缘电阻值低于规定值时，高压管理系统应及时切断所有的高压回路并发出声光报警，并持续一定时间待原先故障消失后，汽车才能允许进行下一次上电。高压电路进行绝缘检测具体实施标准参照国标《电动汽车安全要求第1部分：车载储能装置》。

2）、电压检测与故障处理

纯电动汽车的动力来源是动力电池，动力电池的电压与其放电能力和放电效率有很大的关系。当动力电池电压处于低电压时仍大电流放电，将会损坏高压用电设备并会严重影响电池使用寿命。当检测到电压过高或过低时，应及时切断相关回路。因此为了保障纯电动汽车在动力蓄电池低压时用电器及动力蓄电池和驾乘人员的安全，需要设计电压检测电路对高压电路系统工作电压进行实时准确的检测和安全合理的故障处理

3）、电流检测与故障处理

汽车由于受到运行道路环境及驾驶员操控的影响，汽车运行状态会随时发生变化，动力电池的放电电流会随驾驶员的操控而发生明显变化。当电流超过预设定的允许范围，就会引起温度过分升高，此时不仅影响电池的寿命，而且极端情况下还会引起异常的反应，造成汽车功率器件的损坏，危及汽车高压系统安全。因此，这就要求高压管理系统需对动力电池实时进行电流监控，当检测到电流异常时，高压管理系统将会及时切断所有高压回路并发出声光报警，提示驾乘人员和其他汽车。为了提高测量的准确度和精确度，文章选取霍尔式电流传感器对动力电池充放电电流进行检测，如图3示出霍尔式电流传感器原理图。

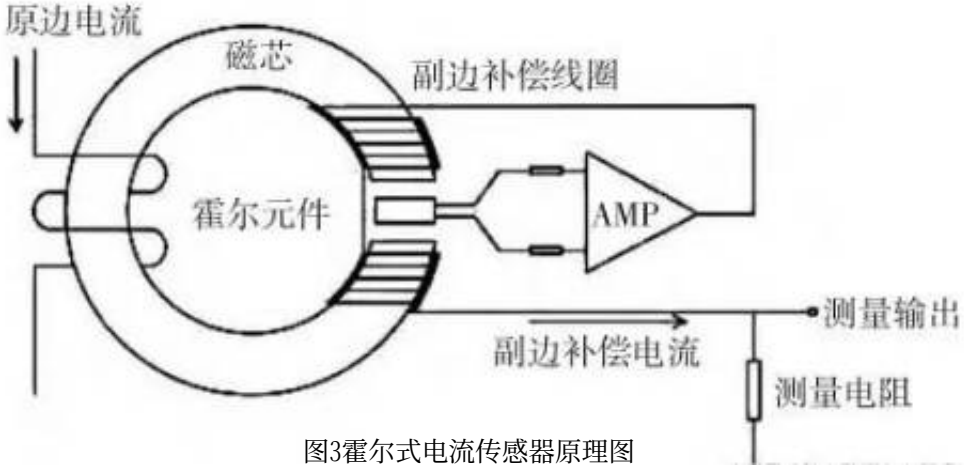

图3霍尔式电流传感器原理图

4）、高压接触器触点状态检测与故障处理

为实现纯电动汽车的控制功能和高压电路的可自行切断保护功能，在电动汽车的高压系统中必须配置可控制的并且有自我保护切断高压回路功能的高压接触器。根据整车设计的需求，任何电动汽车在动力主回路中都会配置高压接触器，如果高压接触器触点发生闭合或断开失效时，没有相应的正确处理方式应对，将有可能引起不正常的控制而造成汽车不能正常启动或不能启动。严重的情况下，将会给汽车和人身安全造成危险。鉴于上述问题的严重性，应对高压接触器触点状态进行安全有效的实时监控，并对故障进行处理。当高压接触器触点发生闭合或断开失效故障时，高压管理系统会发出声光报警，以提示操作人员并根据故障的级别控制汽车是否可进行其他操作。

5）、高压互锁回路检测及故障处理

高压回路互锁功能设计是针对高压电路连接的可靠程度提出的。危险电压闭锁回路也称为高压互锁回路（HVIL），它是一个典型的互锁系统，通过使用电气的信号，来检查整个模块、导线及连接器的电气完整性。当高压安全管理系统检测到某处连接断开或某处连接没有达到预期的可靠性时，安全管理系统将直接或通过整车控制器切断相关动力电源的输出并发出声光报警,直到该故障完全排除。如图4示出高压互锁回路检测原理图。

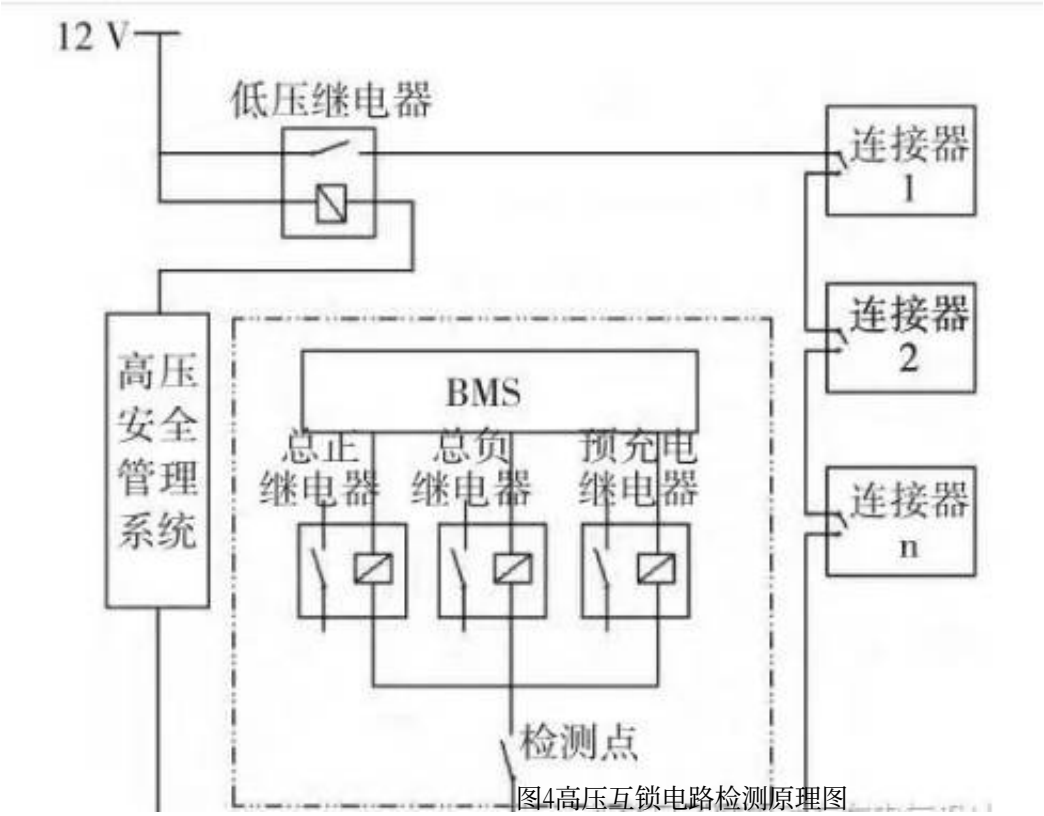

图4高压互锁电路检测原理图

6）、充电互锁检测及故障处理

出于安全考虑，充电时，整个驱动系统都需要处于断电状态，即驱动系统高压接触器需处于断开状态，当高压安全管理系统接收到有效的充电信息指令后，高压管理系统首先检测驱动系统相关接触器是否处于断开状态。若处于断开状态则闭合充电回路相关接触器。否则，充电接触器将不会闭合，高压管理系统将发出声光报警以提示相关人员，直至故障排除。

6、高压系统余电放电保护设计

由于高压系统的电机控制器和电动空调等高压部件存在大量的电容。当高压主回路断开时，因高压部件电容的存在，高压系统中还存有很高的电压和电能。为避免对人员和汽车造成危害，在切断高压系统后应将电容的高压电通过并联在高压系统中的电阻释放掉。

图b车载充电机

四、静止停放时安全管理概述

汽车静止停放时，每隔一定时间（20s或30s）高压安全管理系统需对高压电网系统进行1次绝缘测量，即判别高压电网系统有无绝缘故障，整个高压回路系统包括动力电池内部、动力线、电驱动系统（电机控制器和电机三相线）及连接高压设备附件的导线。当检测到有绝缘故障且故障一直存在时，仪表便会显示绝缘故障指示，以提示驾驶员。

五、碰撞安全概述

通常，电动汽车采用了高达400V左右的大容量动力电池作为驱动汽车的动力源，因而电力未切断的动力电池会对汽车和人员造成不容忽视的威胁和伤害。若汽车在行驶过程中发生碰撞、翻滚或在充电状态中被其他汽车撞击等意外事故，将会使动力电池组、高压用电设备及高压线束等与车身之间发生摩擦或接触，造成潜在的绝缘失效和短路等危险。为避免由于上述状况而引起的汽车安全问题，可通过一些相关的传感器（如碰撞传感器、角度传感器）来检测汽车的状态，当高压管理系统接收到相关传感器发出的信息后，立即关闭高压电，并利用高压系统余电放电电路将汽车高压部件电容端的电压在1s内放掉，避免火灾或漏电事故引起的人员触电事故的发生。

六、结论

通过参与大量的电动汽车开发项目设计，文章对多个研发项目中纯电动汽车高压电系统出现的故障及存在的安全隐患进行分析，并提出一整套针对高压电系统安全防护、故障处理及碰撞安全的设计方案，对纯电动汽车高压系统安全设计具有一定的参考意义。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/121312.html