

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn

电动汽车

结构原理与检修



策划编辑：闫洪一
责任编辑：陈坤朋
封面设计：碧 君

ISBN 978-7-5635-7367-7



9 787563 573677 >

定价：45.00元

北京邮电大学出版社



主编 ● 潘华清 董 晨

电动汽车结构原理与检修

高等职业教育新能源汽车系列精品教材
校企“双元”合作开发新形态教材

高等职业教育新能源汽车系列精品教材
校企“双元”合作开发新形态教材

电动汽车

结构原理与检修

主编 ● 潘华清 董 晨
主审 ● 李 明



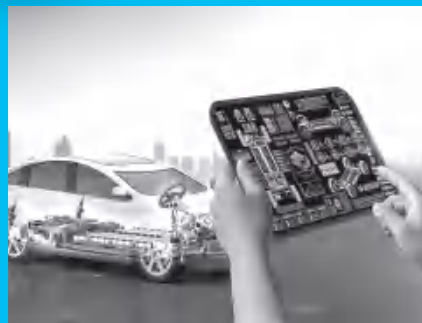
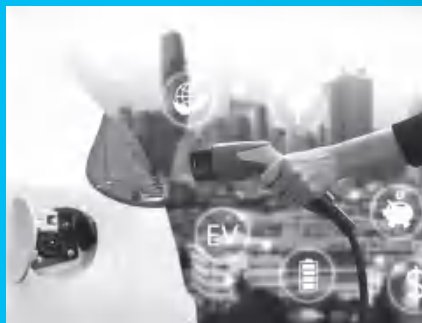
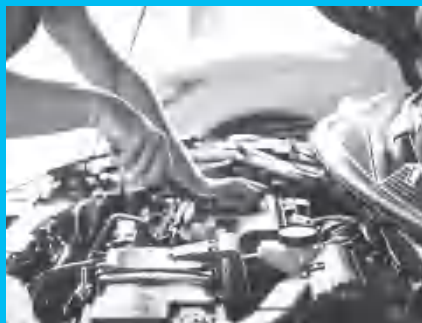
北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育新能源汽车系列精品教材
校企“双元”合作开发新形态教材

电动汽车

结构原理与检修

主 编 ● 潘华清 董 晨
副主编 ● 徐 艳 龚建云
张 佳 贾连超
主 审 ● 李 明



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书共7个项目,内容包括电动汽车检修安全必备常识、整车控制系统结构原理与检修、动力电池系统结构原理与检修、驱动电机系统结构原理与检修、充电系统结构原理与检修、制动系统与电动助力转向系统结构原理与检修、冷却系统与电动空调系统结构原理与检修。

本书既可作为高等职业院校汽车检测与维修技术、新能源汽车技术等相关专业的教材,也可作为相关岗位技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车结构原理与检修 / 潘华清, 董晨主编.
北京: 北京邮电大学出版社, 2024. -- ISBN 978-7-5635-7367-7

I. U469.72

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024MW8841 号

策划编辑: 闫洪一 责任编辑: 陈坤朋 封面设计: 碧 君

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 12.5 插页 1

字 数: 259 千字

版 次: 2024 年 10 月第 1 版

印 次: 2024 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-7367-7

定 价: 45.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

“电动汽车结构原理与检修”是新能源汽车技术专业一门重要的基础课程。党的二十大报告提出要推进“产教融合”，“加强教材建设和管理”，“推进教育数字化”，编者基于此，并本着产教融合和教育数字化的原则编写了本书。

本书包括7个项目、18个任务，介绍了电动汽车检修安全必备常识、整车控制系统结构原理与检修、动力电池系统结构原理与检修、驱动电机系统结构原理与检修、充电系统结构原理与检修、制动系统与电动助力转向系统结构原理与检修、冷却系统与电动空调系统结构原理与检修等知识。

本书具有以下特点。

(1)体现岗课赛证和产教融合。结合《汽车维修工国家职业技能标准》，引入“1+X”智能新能源汽车职业技能等级要求，以电动汽车产业岗位需求为依托进行开发，旨在培养优秀的新能源汽车检修工、汽车电气维修工。同时，结合比亚迪秦、爱驰等品牌电动汽车的维修手册、电路图，并邀请爱驰汽车有限公司高级工程师贾连超参与编写，更好地体现了产教融合的实施。

(2)提炼素养目标，在学习与检修过程中自然融入素养教育。结合《汽车维修工国家职业技能标准》中的职业守则内容，将每个任务分成学习目标、任务导入、知识梳理、知识拓展和课后练习等五个部分，融入爱岗敬业、忠于职守、诚实守信、认真负责、团结协作、刻苦钻研、奉献社会、质量意识、安全意识、环保意识等职业素养教育内容。

(3)形态多样化。采用“互联网+”的形式编写，各个项目内容相对独立，可组合，可拆分，可单独更新。同时，利用动画、视频等多种信息化资源，依托学银在线省级精品课程“电动汽车结构原理与检修”开展了混合式教学，充分体现了“互联网+”的特色。

本书由上饶职业技术学院潘华清、董晨任主编，上饶职业技术学院徐艳、龚建云、张佳和爱驰汽车有限公司贾连超任副主编。具体编写分工如下：潘华清编写了项目一、项目五，董晨编写了项目二，徐艳编写了项目三，龚建云编写了项目四，张佳编写了项目六，贾连超编写了项目七。全书由上饶职业技术学院李明主审。

在编写本书的过程中,编者得到了爱驰汽车有限公司的技术支持,并参考了相关文献资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,本书难免有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

项目一	电动汽车检修安全必备常识	1
任务一	了解电气事故	1
任务二	掌握高压安全操作知识	13
任务三	正确应用高压检修工具	24
项目二	整车控制系统结构原理与检修	31
任务一	检修 VCU 通信故障	31
任务二	检修车辆加速无反应故障	47
任务三	检修整车供断电故障	55
项目三	动力电池系统结构原理与检修	65
任务一	正确拆装动力电池	65
任务二	更换动力电池组件	78
任务三	检修动力电池系统	94
项目四	驱动电机系统结构原理与检修	100
任务一	正确拆装驱动电机	100
任务二	检修驱动电机系统	117
项目五	充电系统结构原理与检修	129
任务一	检修快充系统	129
任务二	检修慢充系统	138
任务三	检修高低压直流电转换系统	146

项目六	制动系统与电动助力转向系统结构原理与检修	155
任务一	检修制动系统	155
任务二	检修电动助力转向系统	165
项目七	冷却系统与电动空调系统结构原理与检修	174
任务一	检修冷却系统	174
任务二	检修电动空调系统	184
参考文献	195

电动汽车检修 安全必备常识

任务一 了解电气事故

学习目标

知识目标:了解电气事故的概念、类型及原因,了解电流、电弧对人体的危害,掌握电击预防技术。

能力目标:能进行电击事故急救。

素养目标:学习电气事故的危害及预防等知识,培养遵章守纪、规范施工的素养;在条件允许的情况下,开展电击预防与救助实践操作,弘扬学以致用和救死扶伤的精神。

任务导入

费先生的电动汽车存在高压漏电现象。一名维修人员在维修该电动汽车的高压系统时没有按照安全操作规程进行操作导致触电。那么,在电动汽车的日常检修中,维修员应该怎样做才能避免产生电气危害?要具备哪些基本的安全操作素养?现场救助中需要做好哪些规定的操作?

知识梳理

一、电气事故的概念、类型及原因

(一)电气事故的概念与类型

电气事故是局外电能作用于人体或电能失去控制所造成的意外事件,即与电能直接关联的意外灾害。电气事故不仅会使人们的正常活动中断,而且可能还会造成人身伤亡和设



视频
电气危害

备、设施的损坏。

按照构成事故的基本要素,电气事故可分为触电事故、静电事故、雷电灾害、射频危害、电路故障等五类。

(1)触电事故是由电流的能量造成的。触电是电流对人体的伤害,其可以分为电击和电伤。

(2)静电事故指在生产过程中和工作人员操作过程中,由某些材料的相对运动、接触与分离等而积累起来的相对静止的正电荷和负电荷引起的事故。静电电压可能高达数万乃至数十万伏,能产生静电火花。在火灾和爆炸等场所,静电火花是一个十分危险的因素。

(3)雷电灾害。雷电是大气电,具有电流大、电压高等特点。其释放能量具有极大的破坏力,除可能毁坏设备和设施外,还可能直接伤及人、畜,引起火灾和爆炸。

(4)射频危害即电磁场伤害。人体在高频电磁场作用下会吸收辐射能量,辐射能量会使人的中枢神经系统、心血管系统等受到不同程度的伤害。

(5)电路故障是由于电能传递、分配、转换失去控制造成的。断路、短路、接地、漏电、误合闸、电气设备或电气元件损坏等都属于电路故障。电路故障可能会影响人身安全。图 1-1 所示为开关面板误触电示意图。



图 1-1 开关面板误触电示意图

按照作用对象,电气事故分为人身事故和设备事故。人身事故包括电流伤害、电磁伤害、静电伤害、雷电伤害、电气设备故障造成的人身伤害等;设备事故包括短路、漏电、操作事故等。

(二)电气事故产生的原因

管理、规划、设计、安装、试验、运行、维修、操作等过程中的失误都可能导致电气事故。电气事故产生的原因主要有违章操作、施工不规范和电气产品质量不合格等。

1. 违章操作

违章操作是引发电气事故的原因之一。例如,违反停电检修安全工作制度,因误合闸造成维修人员触电;违反带电检修安全操作规程,使操作人员触及电器的带电部分或带电的移动电气设备;用水冲洗或用湿布擦拭电气设备;救护者未做好防护措施,因救护触电者而造成自身触电;对有高压电容的线路检修时未进行放电处理而导致触电。

2. 施工不规范

引发电气事故的另一个原因是施工不规范。例如,误将电源保护接地与零线相接,且插

座火线、零线位置接反使机壳带电；插头接线不合理，造成电源线外露，导致触电；照明电路的中线接触不良或安装了保险丝，造成中线断开，导致电器损坏；照明电路铺设不合规造成搭接物带电；随意加大保险丝的规格，使其失去短路保护作用，导致电器损坏；施工中未对电气设备进行接地保护处理。

3. 电气产品质量不合格

电气产品质量不合格也会造成电气事故。例如，电气设备缺少保护设施造成电器在正常情况下损坏和漏电；电气产品使用了劣质材料导致其绝缘等级、抗老化能力很低，容易造成触电；电热器具使用塑料电源线；等等。

为避免发生电气事故，应该做到以下几点。

- (1) 按章操作，严格执行停电检修制度、带电检修操作规程。
- (2) 规范施工，严格按照相关的电气施工规范进行操作。
- (3) 使用质量合格的电气产品，最好采用中国强制性产品认证(3C 认证)的电气产品。

二、电击的相关概念、危害及电击效应

触电是指电流流经人体，对人体造成生理伤害的事故。触电时，让人体受伤的是电流而不是电压。触电后，电流会对人体造成不同程度的损伤。

电流对人体的伤害有两种，分别是电击和电伤。

电击是指电流流经人体，破坏人体心脏、肺及神经系统的正常功能。电伤是指电流的热效应、化学效应和机械效应对人体造成的伤害，主要是指电弧烧伤、熔化金属溅出烫伤等。

(一) 电击的相关概念

1. 电流流过人体的路径及其等效电阻

电流流过头部可使人昏迷，流过脊髓可能导致人瘫痪，流过心脏会造成心跳停止、血液循环中断，流过呼吸系统会造成人窒息。流过人体的电流路径及其等效电阻如图 1-2 所示。

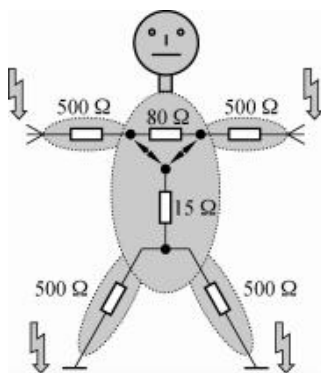


图 1-2 流过人体的电流路径及其等效电阻

由图 1-2 可知，从左手到胸部是最危险的电流路径，从手到手、手到脚也是很危险的电流路径，从脚到脚是危险性较小的电流路径。

当电流由一只手流入,由另一只手或一只脚流出时,电流流过心脏,即可立即引起心室颤动。左手触电比右手触电后果要严重,这是因为心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电流回路中。

2. 摆脱电流

摆脱电流是人在触电后能够自行摆脱带电体的最大电流,一般不会给人体带来危险。成年男性的平均摆脱电流约为 16 mA,成年女性的平均摆脱电流约为 10.5 mA,儿童的摆脱电流较成人要小。若通过人体的电流超过摆脱电流且时间过长,则会造成人昏迷、窒息,甚至死亡。

电流强度随触电时间对人体造成的伤害如图 1-3 所示。在强度范围①内,无论电流流过多长时间都不会对人体造成不良影响;在强度范围②内,电流可能会导致器官受伤;在强度范围③内,电流可能会导致生命危险;在强度范围④内,心室会发生纤维性颤动,严重时危及生命。

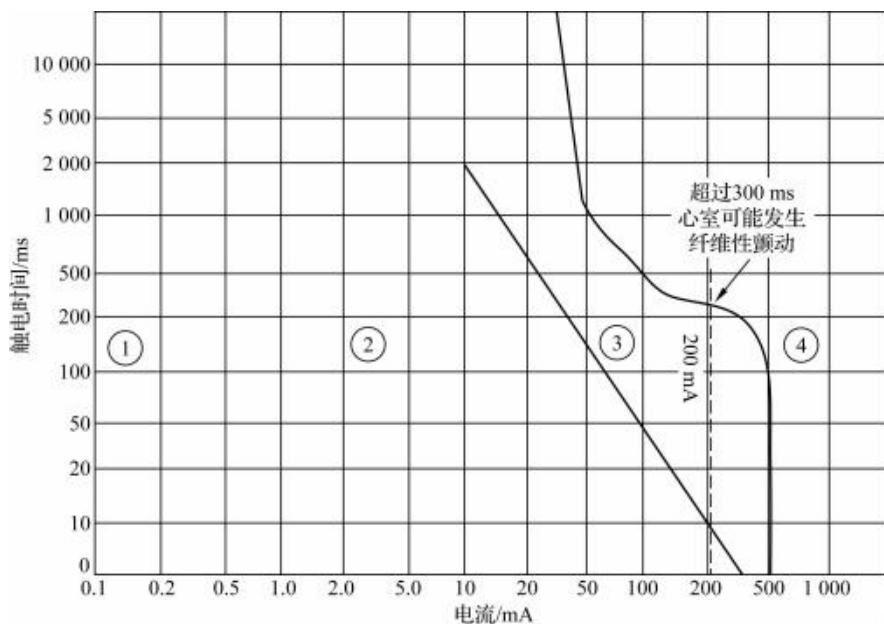


图 1-3 电流强度随触电时间对人体造成的伤害

3. 致命电流

在短时间内危及生命的最小电流称为致命电流,即致命阈值。致命电流与电流持续时间关系密切。当电流持续时间超过心脏周期时,致命电流为 50 mA 左右;当电流持续时间短于心脏周期时,致命电流为数百毫安。

4. 人体电阻

人体电阻是不确定的电阻,其不同湿度条件下的大小如表 1-1 所示。不同人体对电流的敏感程度也不一样。一般来说,儿童较成年人敏感;女性较男性敏感;患有心脏病者,触

电后的死亡可能性更大；身体越强健的人，受电流伤害的程度越轻。

表 1-1 不同湿度条件下的人体电阻

接触电压/V	人体电阻/ Ω			
	皮肤干燥	皮肤潮湿	皮肤湿润	皮肤浸入水中
10	7 000	3 500	1 200	600
25	5 000	2 500	1 000	500
50	4 000	2 000	875	440
100	3 000	1 500	770	375
250	1 500	1 000	650	325

注：皮肤湿润是指在有水蒸气或特别潮湿的场所的皮肤状态。

5. 安全电压

虽然电流是让人受伤的根本原因，但人体可等效成一个电阻，根据欧姆定律($I=U/R$)可知，流经人体的电流大小与外加电压和人体电阻有关。

影响人体电阻的因素很多，所以通常流经人体的电流大小无法事先计算出来。因此，为确定安全条件，往往不采用安全电流，而是采用安全电压来进行估算。根据《特低电压(ELV) 限值》(GB/T 3805—2008)的规定，在皮肤阻抗和对地电阻均不降低的环境状况下，如干燥条件下，稳态直流电压限值与 15 ~100 Hz 稳态交流电的电压限值分别是 70 V 和 33 V；而对接触面积小于 1 cm² 的不可握紧部件，直流电压限值与交流电压限值则分别提高为 80 V 和 66 V。在电压限值以下的电压视为不具危险的电压，即安全电压。

(二)电击的危害

1. 电击电流的危害

电流流经人体时，对人体造成的伤害程度取决于很多因素，如个体的体质、心情状况和电流的大小、持续时间等。当人体流过 0.6 mA 左右的电流时，手指就会有发麻的感觉；当人体流过 50 mA 的电流时，人就会有生命危险。不同的电流流过人体后，人体的反应情况如表 1-2 所示。

表 1-2 流过人体的电流与人体的反应情况

流过人体的电流/mA	人体的反应情况
0.6~1.5	手指感觉发麻
2~3	手指感觉强烈发麻
5~7	肌肉痉挛，手指感觉灼热和刺痛
8~10	手指关节与手掌感觉疼痛，手已难以脱离电源
20~25	手指感觉剧痛、迅速麻痹，不能摆脱电源，呼吸困难
50~80	呼吸麻痹，心房开始震颤并有强烈灼痛感，呼吸困难
90~100	呼吸麻痹，持续 3 s 或更长长时间后，心脏停搏或心房停止跳动

2. 交流电的危害

交流电对人体的危害大于直流电,这是因为交流电主要麻痹、破坏人体的神经系统,所以人往往难以自主摆脱。一般认为 40~60 Hz 的交流电最危险。随着交流电频率的增加,危险性将降低。当交流电频率大于 2 000 Hz 时,所产生的损伤明显减小,但高压高频交流电对人体仍然是十分危险的。如果交流电在心脏中的滞留时间达到 10~15 ms,就会致命。

电流的类型不同对人体的损伤也不同。直流电一般会引起电伤,而交流电则会同时引起电伤与电击。

(三)电击效应的反应后果及其影响因素

电击效应是指电流通过人体时引发的一系列生理反应和后果。

1. 生理反应

(1)引起肌肉刺激与收缩。电流通过人体时,会引起肌肉收缩。这种收缩可能非常强烈,如果电流强度足够大,甚至可能导致骨折或关节脱位。

(2)引起神经传导变化。电流还会影响神经系统的正常传导,导致神经功能紊乱。

(3)引起心脏功能紊乱。电流对心脏的影响尤为严重。如果电流直接通过心脏,即使电流强度很小,也可能引起心脏节律紊乱,甚至导致心搏骤停。

2. 后果

(1)恐惧与焦虑。遭受电击的人往往会因为突如其来的疼痛和不适而感到恐惧和焦虑。这种心理影响可能会持续一段时间,影响受害者的正常生活和工作。

(2)神经系统后遗症。遭受电击后,部分受害者可能会出现神经系统后遗症,如记忆力减退、注意力不集中、睡眠障碍等。

3. 影响因素

电击效应的严重程度取决于多个因素,包括电流的种类和大小、触电部位的电阻、电流流过人体的路径以及电流持续时间长短等。一般来说,电流越大、持续时间越长,电击效应就越严重。

三、电弧的特征及危害

(一)电弧的特征

当电气开关断开电路,电压和电流达到一定值,且触头刚刚分离时,触头之间就会产生强烈的白光,称为电弧。电弧的实质是一种气体放电现象,如图 1-4 所示。

电弧具有以下特征。

(1)电弧温度很高。

(2)电弧是一种自持放电现象。

(3)电弧是一束游离的气体。



图 1-4 电弧示意图

(二)电弧的危害

电弧的存在延长了电气开关断开故障电路的时间,加重了系统短路故障的危害。电弧产生的高温,会烧坏触头表面的绝缘材料。由于电弧在电动力、热动力作用下能移动,因此容易造成飞弧短路,使人受到伤害或使事故进一步扩大。

四、人体触电的方式

人体触电有直接接触电(单相触电、两相触电)和间接接触电(跨步电压触电、其他触电形式)两种方式。直接接触电是指人体直接接触或过分靠近电气设备及线路的带电导体而发生的触电现象。间接接触电是指人体触及在正常运行时不带电,而在意外情况下带电的金属部分的触电现象。其他触电形式还有感应电压触电、剩余电荷触电、静电触电、雷电电击等。

(一)直接接触电

1. 单相触电

单相触电是指人站在地面或其他接地体上,人体某一部分触及某一相电源或接触到漏电的电气设备,电流通过人体流入大地造成触电。单相触电分为电源中性点接地的单相触电(占多数)和电源中性点不接地的单相触电,分别如图 1-5、图 1-6 所示。单相触电事故占触电事故的 70%以上。

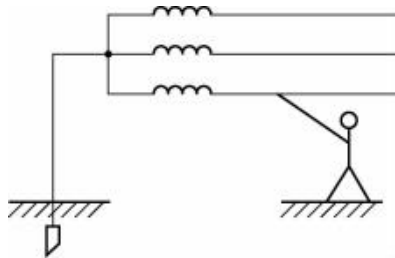


图 1-5 中性点接地的单相触电

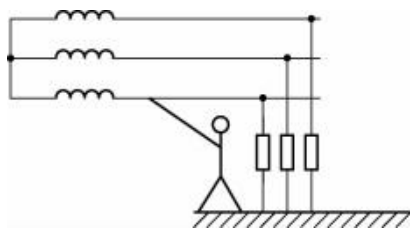


图 1-6 中性点不接地的单相触电

2. 两相触电

两相触电也称相间触电,是指人体在与大地绝缘的情况下,同时接触到两根不同的相线,或者同时触及电气设备的两个不同相的带电部位时,电流由一根相线经过人体到另一根相线,形成闭合回路造成触电,如图 1-7 所示。两相触电时人体承受的线电压将比单相触电时人体承受的电压高,因而两相触电的危险性更大。

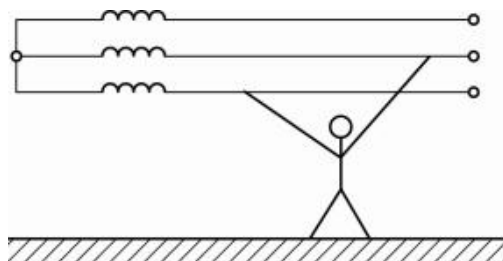


图 1-7 两相触电示意图

(二)间接触电

间接接触也称故障状态下的电击,如跨步电压触电。

1. 接触故障状态下带电的导体

若电气设备内部的绝缘体损坏且与外壳接触,则外壳带电。当人触及带电设备的外壳时,相当于单相触电。大多数间接触电事故属于这一种。

2. 跨步电压触电

跨步电压触电是指在高压电网接地点或防雷接地点等处,流入地下的电流会在接地点周围的土壤中产生电压降而使人触电,如图 1-8 所示。如果误入接地点附近,应双脚并拢或单脚跳出危险区。从安全防护的角度而言,在查找接地故障点时,应穿绝缘靴,以防跨步电压触电。

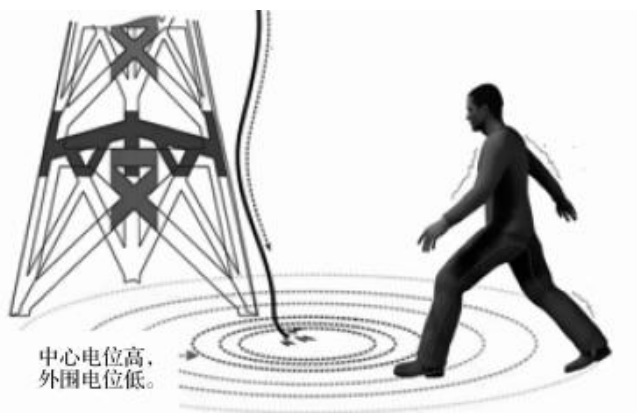


图 1-8 跨步电压触电示意图

五、电击预防技术与防护用具

(一)直接接触电击预防技术

直接接触电击预防技术分为绝缘、屏护和间距三类。

1. 绝缘

绝缘可以把带电体封闭起来,是避免触电的一种安全措施。陶瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、塑料、布、纸和矿物油等都是常用的绝缘材料。应当注意的是,很多绝缘材料受潮后会丧失绝缘性能或在强电场作用下遭到破坏而丧失绝缘性能。

绝缘材料分为气体绝缘材料、液体绝缘材料、固体绝缘材料。

气体绝缘材料有空气、氮气、氢气、二氧化碳、六氟化硫等。

液体绝缘材料有矿物油(如变压器油、开关油、电容器油、电缆油等)、蓖麻油、硅油以及由十二烷基苯、聚丁二烯、三氯联苯制成的合成油等。

固体绝缘材料有绝缘纤维制品(如纸、纸板)、绝缘浸渍纤维制品(如漆布)、绝缘漆、绝缘胶布、熔敷粉、绝缘云母制品、电工用薄膜、复合制品和绝缘胶带,以及电工用层压制品、电工用塑料和电工用橡胶等。常见的固体绝缘材料如图 1-9 所示。

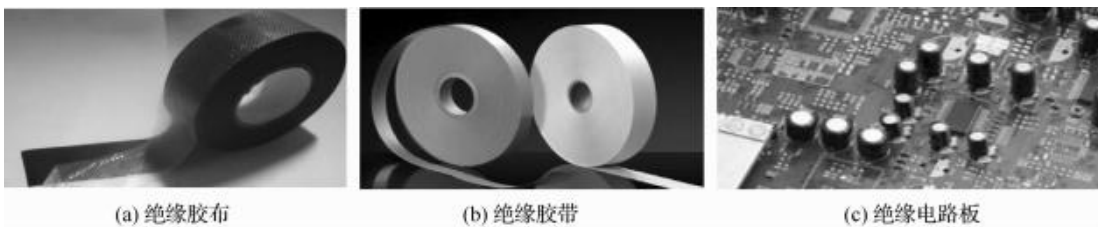


图 1-9 常见的固体绝缘材料

绝缘材料的绝缘性能以绝缘电阻、泄漏电流、击穿强度、介质损耗等指标来衡量,通过绝缘试验来判定。绝缘电阻是最基本的绝缘性能指标。绝缘电阻是直流电压与流经绝缘体表面泄漏电流之比。绝缘电阻越大,绝缘性能越好。不同的电气设备和线路对绝缘电阻有不同的要求。一般来说,高压设备或线路比低压设备或线路的要求高,新设备比老设备的要高。

当绝缘材料所能承受的电压超过某一数值时,在强电场的作用下,其在某些部位会发生放电,使其绝缘性能遭到破坏。这种放电现象叫作电击穿。固体绝缘材料被击穿后,一般不能恢复绝缘性能;气体绝缘材料在击穿电压消失后,绝缘性能还能恢复;液体绝缘材料一般是沿电极间气泡、固体杂质等连成的“小桥”被击穿的,因此多次击穿可能导致液体绝缘材料失去绝缘性能。

2. 屏护

屏护是采用遮栏、护罩、护盖、箱闸等把带电体同外界隔绝开来,如图 1-10 所示。电



视频

电击预防与
救助

气开关的可动部分一般不能使用绝缘材料,因而需要采用屏护进行防护。高压设备不论是否有绝缘体,均应采取屏护。屏护装置有永久性的,如配电装置遮栏、电气开关的罩盖等;也有临时性的,如检修工作中使用的临时屏护装置和临时设备的屏护装置。屏护装置还有固定形式的,如母线的护网,以及移动形式的,如跟随起重机移动的行车滑触线的屏护装置。



图 1-10 带有护栏的环网柜和带有外罩的箱式变压器

3. 间距

间距就是保证安全的必要距离。间距除用于防止触及或过分接近带电体外,还能起到防止火灾、防止混线、方便操作的作用。在低压检修工作中,最小检修距离不应小于 0.1 m。间距的大小取决于电压的高低、设备的类型和安装的方式等。

(二)电击防护用具

电击防护用具包括绝缘手套、绝缘靴、绝缘服、护目镜和绝缘工具等,如图 1-11 所示。要按照操作的高压范围来选用绝缘工具。



图 1-11 常用的电击防护用具

六、电击事故急救

在进行维修操作的过程中,如果有人遭受了电击,在有条件的情况下要及时对受伤人员进行救助。

(一)急救措施

援救在电气事故中受伤的人员时,应采取以下急救措施。

- (1)自身的安全是第一位的。
- (2)绝对不要去触碰仍然与电源有接触的受伤人员。
- (3)如果可能,马上将电气系统断电(关闭启动开关或者马上拔出维修开关)。
- (4)用不导电的物体(木棍、扫帚等)把受伤人员或者导电体与电源分离。

(二)急救流程

当受伤人员呼吸和心跳均停止时,应立即实施心肺复苏或使用自动体外除颤器(AED)正确进行就地抢救。就地抢救可做如下几项。

- (1)使受伤人员气道通畅。
- (2)口对口(鼻)进行人工呼吸。
- (3)胸外循环按压。
- (4)用自动体外除颤器进行电除颤。

心脏通过心肺复苏法可维持受伤人员的氧气供应,直到专业急救人员到达。通过使用自动体外除颤器或及时抢救,才有可能使受伤人员的心脏恢复正常功能。自动体外除颤器是一种由电池供电的设备,可提供受伤人员的心电图(ECG),并能在适当情况下对受伤人员进行电除颤。触电可能会导致心搏骤停,越早使用自动体外除颤器,人的生存机会越大。

知识拓展

1. 特种作业及其作业条件

特种作业是指容易发生事故,对操作人员本人、他人的安全健康及设备、设施的安全可能造成重大危害的作业。特种作业人员是指直接从事特种作业的从业人员,特种作业人员应当符合下列条件。

- (1)年满 18 周岁,且不超过国家法定退休年龄。
- (2)经社区或者县级以上医疗机构体检健康合格,并无妨碍从事相应特种作业的器质性心脏病、癫痫、美尼尔氏症、眩晕症、癔症、帕金森症、精神病、痴呆症以及其他疾病和生理缺陷。
- (3)具有初中及以上文化程度。
- (4)具备必要的安全技术知识与技能。

(5)相应特种作业规定的其他条件。

特种作业人员必须经过专门的安全技术培训并考核合格,取得中华人民共和国特种作业操作证(简称特种作业操作证)后,方可上岗作业。

2. 特种作业目录

- (1)电工作业。
- (2)焊接与热切割作业。
- (3)高处作业。
- (4)制冷与空调作业。
- (5)煤矿安全作业。
- (6)金属非金属矿山安全作业。
- (7)石油天然气安全作业。
- (8)冶金(有色)生产安全作业。
- (9)危险化学品安全作业。
- (10)烟花爆竹安全作业。

3. 电工作业

电工作业是指对电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造施工、调试等作业(不含电力系统进网作业)。

(1)高压电工作业。高压电工作业是指对 1 kV 及以上的高压电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造施工、调试、试验及对绝缘工、器具进行试验的作业。

(2)低压电工作业。低压电工作业是指对 1 kV 以下的低压电器设备进行安装、调试、运行操作、维护、检修、改造施工和试验的作业。

(3)防爆电气作业。防爆电气作业是指对各种防爆电气设备进行安装、检修、维护的作业。

课后练习

1. 根据《特低电压(ELV)限值》(GB/T 3805—2008)的规定,正常条件下交流电压为 42.4 V 或稳态直流电压为 60 V 可视为安全电压。 ()
2. 电弧的实质是一种气体放电现象。 ()
3. 当绝缘材料所能承受的电压超过某一数值时,在强电场的作用下,其会在某些部位发生放电,使其绝缘性能遭到破坏。 ()
4. 绝缘电阻越大,绝缘性能越好。 ()
5. 电击对体会产生()。
A. 电击效应
B. 热效应
C. 化学效应
D. 肌肉刺激效应

(一) 高压电气网络防护

对于电动汽车的高压部分,电气网络结构决定了从供电(如动力电池)到用电器(如驱动电机)的电传输路径。图 1-12 所示为常用的电气网络结构类型,主要有 TN 网络系统、TT 网络系统、IT 网络系统。

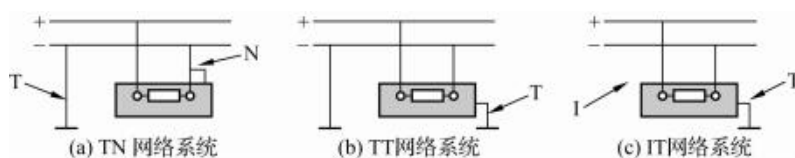


图 1-12 常用的电气网络结构类型

对 TN 网络系统和 TT 网络系统而言,如果从正极到壳体的导线出现故障,那么无论车辆当前是何种行驶状态,高压系统都会立即被切断。

IT 网络系统是车辆中所用的高压电气网络,如图 1-13 所示。由于其高压电有单独的回路,与壳体绝缘,因此电流不会流经车身,而是流向动力电池负极。其优点是如果从正极到壳体的导线出现故障,那么高压系统不会被切断。

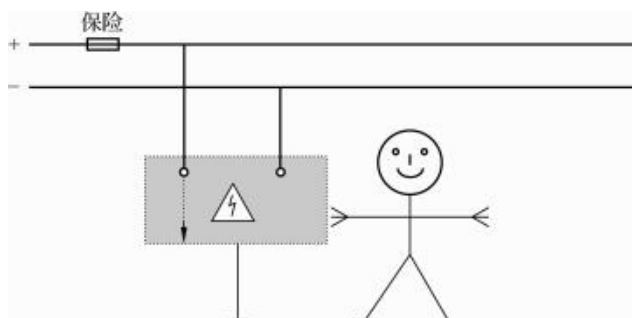


图 1-13 车辆中的 IT 网络系统的示意图

IT 网络系统会出现等电位连接故障,也会出现非等电位连接故障。

IT 网络系统出现等电位连接故障的示意图如图 1-14 所示。当第一个故障在车辆上出现时,高压系统仍能工作,组合仪表显示黄色警报信息。当第二个故障出现时,电池管理系统(battery management system, BMS)会将高压系统切断,同时高压系统内部会发生短路,使功率电子装置和维修开关内的保险断开,组合仪表上会显示红色警报信息,高压系统无法工作,也无法重新启动。

IT 网络系统出现非等电位连接故障的示意图如图 1-15 所示。第一个故障出现时,无安全风险,第二个故障出现时,电流可能会流经人体全身。电流的路径为正极—第一个用电器壳体—人体—第二个用电器壳体—负极。

等电位(电位均衡)保护要求所有接触面洁净且无油脂,导线截面不可因电缆断裂而减小。当 IT 网络系统出现故障(如电缆断裂)时,接触电阻增大会导致电位失衡,等电位保护就会失去保护作用。

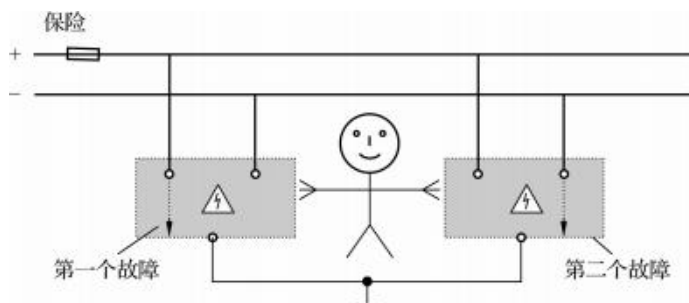


图 1-14 IT 网络系统出现等电位连接故障的示意图

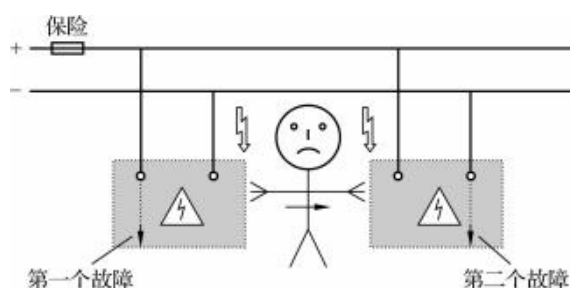


图 1-15 IT 网络系统出现非等电位连接故障的示意图

IT 网络系统具有以下特点。

- (1) 设备壳体接地。
- (2) 设备导体与设备壳体或地之间出现第一个故障就意味着该导体接地了, 第一个故障不会造成有害影响。
- (3) 设备导体与零线对地之间的绝缘由一个绝缘监控装置(也称绝缘监控器)在时刻监控着, 该装置可及时发现故障并报警。

(二) 高压电缆防护

高压正极和高压负极使用各自单独的高压线(高压电缆)进行高压电气防护。高压正极和高压负极通过各自单独的导线与高压部件相连接, 车身不用作接地(搭铁)。电动汽车中的高压电缆(图 1-16)是橙色的。



图 1-16 电动汽车中的高压电缆防护



视频
高压检修工具
应用

(三) 高压电缆插头和插座接触保护

电动汽车的高压电缆插头和插座都具有特殊的结构形式,以进行高压电气防护。这些结构设计可以防止操作人员直接接触高压线路,从而避免触电危险。高压电缆的插头和插座通常会采用鲜艳的颜色(如橙色)和明显的高压警示标志,以提醒人员注意潜在的高压电危险。同时,它具有多重防错插键位选择、IP67 密封防水、高压互锁等功能。高压电缆的插头和插座如图 1-17 所示。



图 1-17 高压电缆的插头和插座

(四) 维修开关

电动汽车上都安装有维修开关,如图 1-18 所示。维修车辆时将插头拔下,以保证高压电断开。拔下维修开关,就会出现下述情况。

- (1) 高压互锁线中断。
- (2) 动力电池两部分的连接断开。

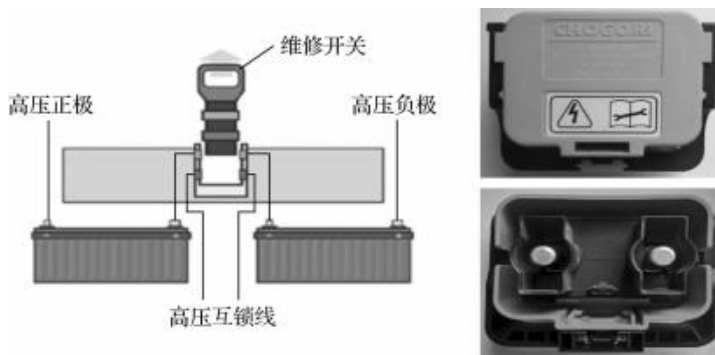


图 1-18 维修开关

(五) 高压部件上的高压互锁

高压互锁线是个环形线路,通过 12 V 电网元件来监控高压电网。不可在未断开高压互锁线的情况下拔下高压插头,这是因为如果高压互锁线断路,就会导致高压系统被立即切断。高压部件上的高压互锁如图 1-19 所示。

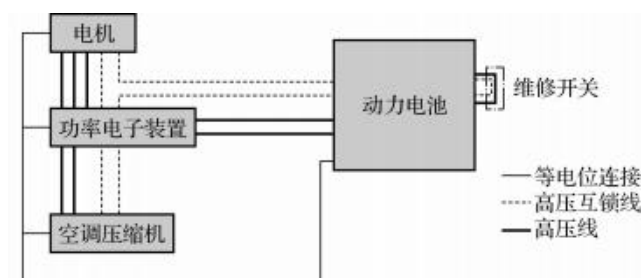


图 1-19 高压部件上的高压互锁

(六)DC/DC 电源变换器内的安全防护

电气分离装置会将 DC/DC 电源变换器的初级线圈和次级线圈分开，与车身搭铁仍接在 12 V 车载供电网络上。这样初级线圈和次级线圈之间就不会有电压了。DC/DC 电源变换器内的安全防护如图 1-20 所示。

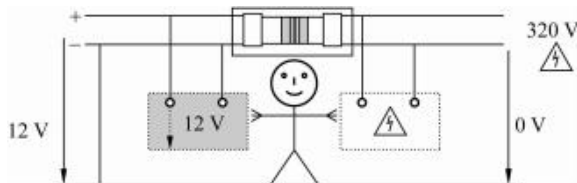


图 1-20 DC/DC 电源变换器内的安全防护

(七)电容器放电

电机控制器(MCU)或功率电子装置内安装有电容器,电容器具有放电作用,通过放电可以消除 MCU 或功率电子装置内电容器上的残余电压。主动放电是由电池管理系统来操控的,每次切断高压系统或者中断控制线时,就会发生这种主动放电现象。被动放电是为了保证在检修高压部件前可以把残余电压消除掉。为了能把残余电压可靠消除掉,在拔下维修开关后,需要等待一段时间,然后才可以开始进行高压部件的检修工作。

二、电动汽车的高压安全操作要求

(一)维修人员的资质

电动汽车维修人员需要获得中华人民共和国应急管理部(原国家安全生产监督管理总局)电工作业资格,必须参加厂家组织的电气培训,培训合格后才能进行车辆高压系统的检修工作。

(二)高压技术人员的主要工作

高压技术人员的主要工作包括断开高压系统供电并检查其是否已绝缘;严防高压系统重新合闸;将高压系统接通使其重新投入使用;对高压系统上的所有作业负责;培训和指导经销商内部所有与高压系统作业相关的人员,使这些人员在高压技术人员监督下能执行高

压系统作业。

(三)车辆标识和工作区的安全

维修车间内配备高压装置的车辆必须设有标识,并应使用专用的警示标识。工作区必须设置隔离区域,防止其他人员进入。

(四)高压系统检修的操作规程

在检查或维修高压系统时,请遵循以下安全措施。

- (1)关掉启动开关,将启动开关妥善放置。
- (2)断开低压蓄电池负极端子。
- (3)戴好绝缘手套。
- (4)拆除维修开关。
- (5)等待 10 min 或更长时间,使电容器充分放电。
- (6)用绝缘乙烯胶带包裹被断开的高压线路连接器。

(五)检查绝缘手套的方法

在使用前,请检查绝缘手套是否有裂纹、磨损以及其他损伤,并进行如下检查。

- (1)侧位放置手套。
- (2)卷起手套边缘,然后松开 2~3 次。
- (3)折叠一半开口去封住手套。
- (4)确认无空气泄漏。

(六)检修高压系统的注意事项

- (1)所有橙色的电缆均带高压电,不得随意触碰。
- (2)不得将喷水软管和高压清洗装置直接对准高压部件。
- (3)高压插头上不可使用机油、润滑脂和触点清洗剂等。
- (4)在高压导电部件附近进行检修工作时,必须先让高压系统断电。
- (5)当进行焊接、用切削工具加工以及用尖锐工具进行操作时,必须先让高压系统断电。
- (6)所有松开了的高压插头必须严防进水和污物,损坏的导线必须予以更换。
- (7)佩戴电子/医学生命和健康维持装置(如心脏起搏器)的人不得检修高压系统。
- (8)必须使用合适的测量仪器。
- (9)检修进水的高压系统时要非常小心,注意潮湿的部件,尤其是带有融雪盐的部件。

(七)恢复高压系统运行

电动汽车维修完成后,要由高压技术人员来恢复高压系统运行。高压技术人员要目视检查所有的高压连接及高压系统的接插口和螺孔连接是否都正确锁止;要目视检查所有的高压电缆是否都无法触碰到;要目视检查电压是否平衡、电缆是否清洁并无法被触碰到;要插入维修开关并锁闭;打开启动开关读取所有系统的故障码;把“高压系统已关闭”的警示标

识从车辆上移除,在车辆显眼位置贴上“高压系统已激活”的警示标识。

三、电动汽车高压系统的结构部件

大多数电动汽车的前机舱布置着电机控制器、高压控制盒、DC/DC 电源变换器等高压部件和低压蓄电池、整车控制器(VCU)等低压部件,如图 1-21 所示。



视频

电动汽车的高压系统认识

图 1-21 前机舱内的高压部件和低压部件

(一)集成式控制器

有些电动汽车会将一些高压部件集成在一起,如比亚迪秦 EV300 采用的是集成式控制器,即 AC/DC 电源变换器(交流/直流充电机,该充电机的作用是动力电池充电)、DC/DC 电源变换器(直流/直流充电机,主要为 12 V 低压蓄电池充电)、电机控制器等模块均集成在一个壳体内,如图 1-22 所示。



图 1-22 集成式控制器

(二)动力电池系统

动力电池系统主要由动力电池模组、电池管理系统、动力电池箱及辅助元器件等四部分组成,如图 1-23 所示。

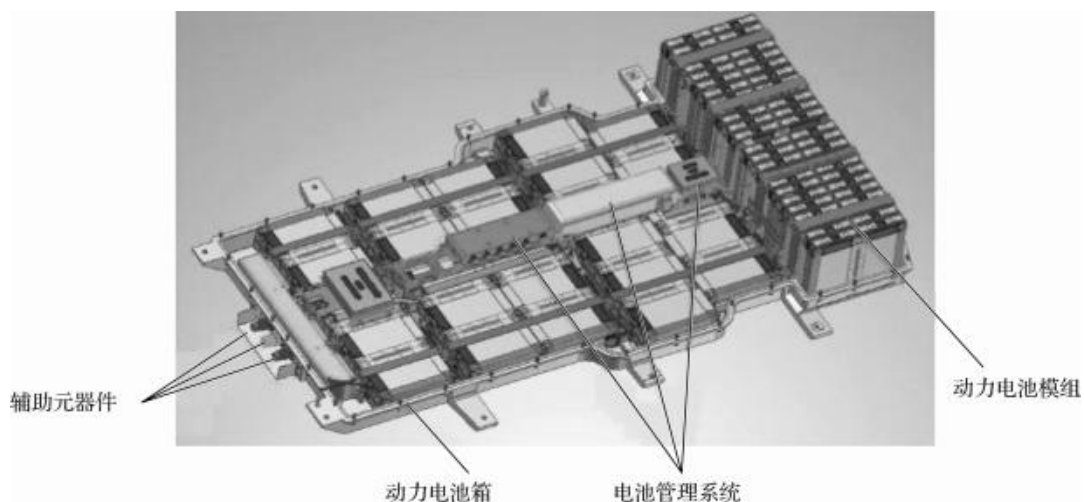


图 1-23 动力电池系统的组成

动力电池系统内部设置有动力电池管理器和温度、电压传感器。因为动力电池系统有温度和电压的限制要求,所以动力电池系统需要利用温度和电压传感器进行数据采集,然后将数据传给动力电池管理器进行判断。

电池管理系统的主要功用是电池包电量计算,电池电流检测、电压、温度,漏电检测及异常情况报警,充放电控制、预充控制,检测电池一致性,系统自检等。

在车辆行驶过程中,随着电量的消耗,电池荷电状态(state of charge, SOC)显示的数值会逐渐减小。当 SOC 减小到 30% 以下时,表示 SOC 的电量不足,指示灯会被点亮,提示用户尽快对车辆进行充电。

(三)驱动电机

电机是电动汽车的能量转换装置,也是高压部件。电机由电机控制器控制,可将电能转化为机械能,驱动车辆行驶。电机还可以实现能量回收功能。当车辆滑行或制动时,车轮反拖电机转动,在这个工况下,电机可进行发电并将电能回收到电池中,以此延长车辆的续驶里程。

电机有直流电机、永磁同步电机、异步电机等类型。

(四)电机控制器

电机控制器将动力电池提供的直流电转换为交流电,然后输出给电机。它通过电机的正转来实现整车加速、减速;通过电机的反转来实现倒车;通过有效的控制策略,控制动力总成以最佳方式协调工作。电机控制器对所有的输入信号进行处理,并将驱动电机控制系统运行状态的信息发送给整车控制器。电机控制器的铭牌如图 1-24 所示。

电机控制器内含故障诊断电路。当诊断出异常时,电机控制器将会激活一个错误代码,

并发送给整车控制器,同时也会存储该故障码和数据。



图 1-24 电机控制器的铭牌

(五)车载充电机

电动汽车都配有车载充电机(OBC),如图 1-25 所示。车载充电机用于对动力电池充电。车载充电机连接车辆的交流充电口(慢充口),一般具有通信功能。车载充电机收到允许充电信号后,对外部输入的 220 V 交流电进行滤波整流,然后通过升压电路和降压电路输出适合的电压对动力电池进行充电。

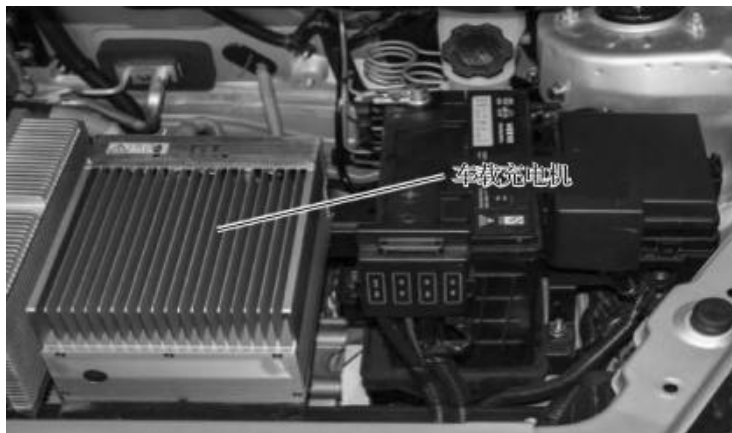


图 1-25 车载充电机的外观和布置

(六)DC/DC 电源变换器

DC/DC 电源变换器为电动汽车中将动力电池中的电能传递至 12 V 铅酸蓄电池的电力电子部件。其主要功能是在车辆启动后将动力电池输入的高压电转变成低压电向蓄电池充电,以保证行车时低压用电设备正常工作。DC/DC 电源变换器的功率一般为 1~2 kW,输入电压为动力电池的电压范围,输出电压多为恒压 14 V。由于 DC/DC 电源变换器相对功率较小,因此常与其他高压部件集成布置。

(七)高压控制盒

高压控制盒的功能是完成动力电池电源的输出及分配,实现对支路用电器的保护及切断。有些电动汽车将高压控制盒的功能集成到电机控制器中。在高压控制盒中一般会设有其他高压部件的保险丝,如空调、DC/DC 电源变换器或 PTC 加热电阻。

(八)整车控制器

整车控制器是电动汽车中的核心电子控制单元(ECU),主要负责整个车辆的动力系统和能量管理,其主要功能包括电机驱动控制、温度控制、能量管理控制等。它通过采集加速踏板信号、制动踏板信号等信息,预测驾驶员的操作意图,并向各子系统如电机控制器发送控制指令,以实现车辆的正常行驶。整车控制器还包括起步控制、网络管理、故障诊断和车辆状态监控等功能。

(九)空调系统

空调系统由制冷和暖风两部分组成。制冷系统由高压电动空调压缩机、冷凝器总成、蒸发器等组成;暖风系统主要的加热元件为 PTC 加热电阻。空调系统的工作由整车控制器、电动压缩机控制器和 PTC 控制模块共同控制。

(十)高压互锁回路

高压互锁回路(HVIL)如图 1-26 所示。高压互锁回路是一种关键的安全防护措施。高压插接件的互锁结构集成在插接件的内部,可确保在插入和拔出插接件时高压端子和低压端子接通或断开的先后顺序,从而保证互锁信号检测的有效性。高压互锁回路的核心是电子控制单元,其利用低压信号来检测高压系统的完整性。如果检测到任何异常,如连接器断开或短路,电子控制单元会立即切断高压电源,以防止危险情况发生。这种设计方法不仅提高了电动汽车的安全性,还能有效防止因人为误操作导致的高压电气事故。

设计高压互锁回路的目的是使整车在高压供电前确保整个高压系统的完整性,使高压系统在一个封闭的环境下工作,提高安全性。当整车在行驶过程中高压系统回路断开或者完整性遭到破坏时,高压互锁回路可以启动安全防护系统,及时断开高压输入端的控制器件,防止带电插拔高压连接器给高压端子造成的拉弧损坏。

电动汽车中的高压部件,如动力电池、OBC、DC/DC 电源变换器、电机及其控制器等,都通过高压互锁回路来确保使用安全。引起高压互锁故障的原因通常为某个高压插接件未插或未插到位,如 DC/DC 电源变换器、高压控制盒、OBC 等高压部件出现高压插接件未插的情况。

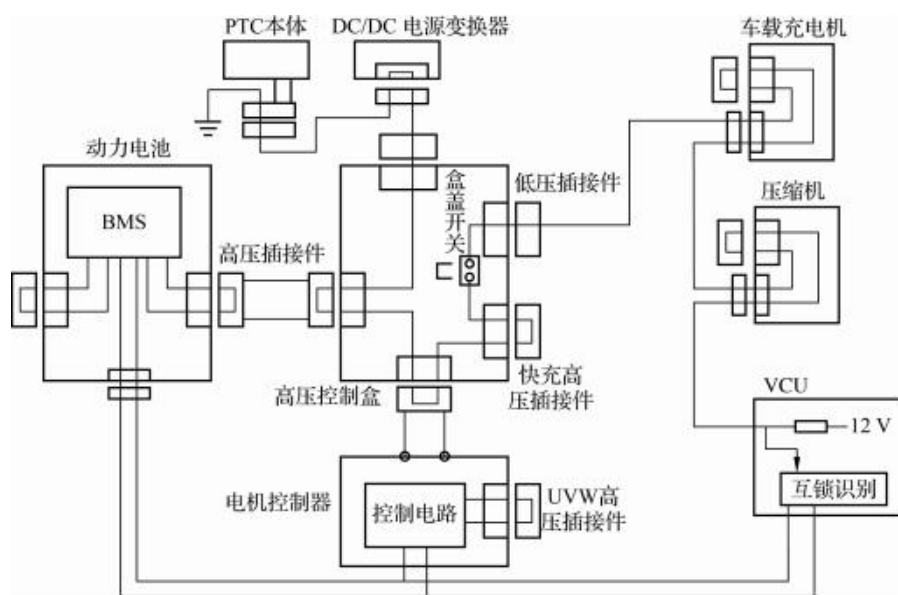


图 1-26 高压互锁回路

知识拓展

电动汽车的电气防护是一个综合性的系统工程,需要从设计、制造到使用和维护的各个环节进行严格的安全控制和管理。通过采取以下措施,可以最大限度地减少电动汽车在使用过程中的电气安全风险。

(1)绝缘电阻应满足要求。根据国标《电动汽车安全要求》(GB 18384—2020)的规定,电动汽车必须满足特定的绝缘电阻要求以降低车辆在正常使用和涉水情况下的安全风险。在最大工作电压下,直流电路的绝缘电阻应不小于 $100 \Omega/\text{V}$,交流电路的绝缘电阻应不小于 $500 \Omega/\text{V}$ 。

(2)绝缘电阻监测。电动汽车必须具备绝缘电阻监测功能,当绝缘电阻低于最低要求时,应通过声、光报警提示驾驶员。

(3)电位均衡。B级电压部件直接接触的可导电外壳或遮栏与车辆电平台间的连接电阻不超过 0.1Ω 。

(4)电容耦合应满足要求。B级电压带电部件和车辆电平台之间的总能量在最大工作电压时存储的能量不超过 0.2 J 。

(5)充电插座应满足要求。车辆直流充电插座应有端子将车辆电平台和外接电源的保护地连接,交流充电插座应有端子将车辆电平台与电网的接地部分连接。

(6)电压部件防水等级应满足要求。整车相应布置位置的B级电压部件应满足相应的防水等级要求,或者整车模拟洗车试验及涉水试验后,整车绝缘电阻应满足安全要求。

(7)设置碰撞安全模块。当车辆发生碰撞等意外事故时,碰撞安全模块通过传感器检测车辆状态,并在检测到碰撞时立即切断高压电源,以防止二次伤害。

(8)预充电回路保护。高压系统设计中应包含预充电回路,以避免在接通高压主回路时产生电冲击。

(9)过载/短路保护。高压系统中应设置过载或短路保护部件,如保险丝和接触器,以保护高压附件设备和人员安全。

课后练习

1. 电动汽车维修人员需要具备一定的资质,遵守一定的安全操作规程。 ()
2. IT 网络系统会出现等电位连接故障,也会出现非等电位连接故障。 ()
3. 电动汽车维修人员需要做好()工作。
A. 接受电气培训 B. 授权检修
C. 防护 D. 制订维修计划
4. 高压互锁回路是个环形线路,通过()电网元件来监控高压电网。
A. 12 V B. 24 V C. 36 V D. 48 V
5. 通过放电可以消除功率电子装置内电容器上的残余电压,常用的放电方式有()。
A. 主动放电 B. 被动放电
C. 接地放电 D. 局部放电
6. DC/DC 电源变换器的作用是什么?

任务三 正确应用高压检修工具

学习目标

知识目标:了解绝缘电阻测试仪和钳形电流表的使用方法,掌握断电检查故障的方法。

能力目标:能使用绝缘电阻测试仪对车辆进行绝缘检查,能使用钳形电流表测量特定部位的电流,能检查与判断故障部位。

素养目标:使用高压检修工具对车辆进行绝缘检查、故障判断等,提高仔细观察、准确记录的职业素养。

任务导入

维修人员针对费先生的电动汽车高压漏电故障进行检修,需要使用高压检修工具。常用的高压检修工具有哪些?在使用高压检修工具进行检修的过程中,检修人员要具备哪些基本的职业素养?

知识梳理

一、绝缘电阻测试仪的使用

检查绝缘性能的常用工具是绝缘电阻测试仪。绝缘电阻测试仪分为数字式和指针式两种,如图 1-27 所示。其中,数字式绝缘电阻测试仪按键功能如图 1-28 所示。



图 1-27 数字式和指针式绝缘电阻测试仪

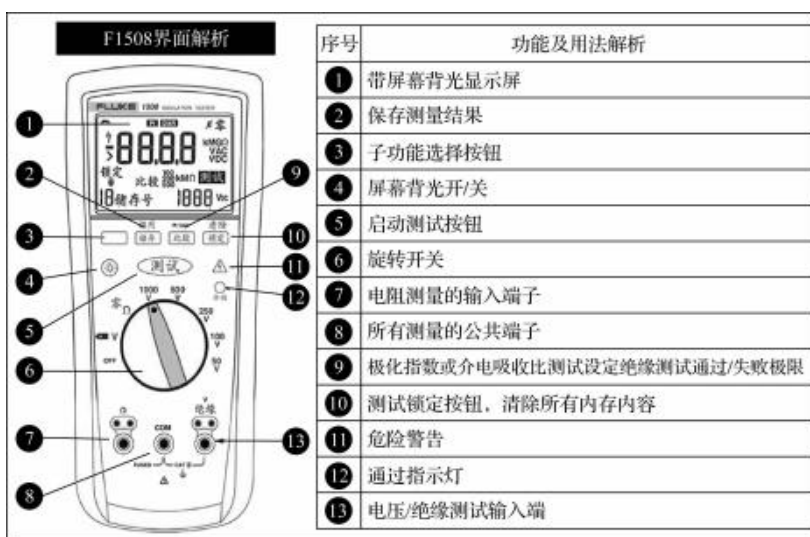


图 1-28 数字式绝缘电阻测试仪按键功能

(一)使用绝缘电阻测试仪的注意事项

- (1)操作人员须熟悉该测试仪的各项性能及操作要求,非本岗位人员严禁操作。操作人员应在脚下放置绝缘橡皮垫,戴绝缘手套,以防高压电击造成生命危险。
- (2)测试仪必须可靠接地,在连接被测物时,必须保证高压输出“0”及在“复位”状态。
- (3)测试时,测试仪接地端与被测物要可靠相接,严禁开路。
- (4)切勿将输出地线与交流电源线短路,以免外壳带有高压电,造成危险。
- (5)尽可能避免高压输出端与地线短路,以防发生意外。
- (6)测试灯一旦损坏,必须立即更换,以防造成误判。
- (7)使用测试仪排除故障时,必须先切断电源;在加电测试的状态下,禁止将导线接到或拔出被测物,也不要接触被测物及导线。
- (8)测试仪应避免阳光直射,不要在高温、潮湿、多尘的环境中使用或存放。

(二)使用绝缘电阻测试仪测量高压电缆的绝缘性能

- (1)将测试探头分别插入 V 和 COM(公共)输入端子。
- (2)将旋转开关旋至所需要的电压挡位。
- (3)将测试探头与待测电路连接。测试仪会自动检测电路是否通电。
- (4)按下“TEST”按钮开始测试,具体如图 1-29 所示。

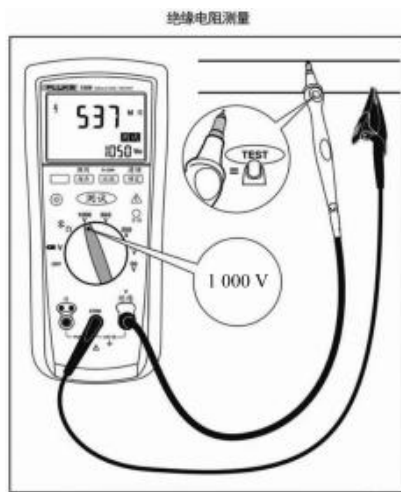


图 1-29 绝缘电阻测试仪测量绝缘性能

显示屏辅显示位置上显示被测电路上所施加的电压值。显示屏主显示位置上显示高压符号(Z)并以 $M\Omega$ 或 $G\Omega$ 为单位显示电阻值。显示屏的下端出现测试图标,直到释放“TEST”按钮。当电阻值超过最大显示量程时,测试仪显示“>”符号以及当前量程的最大电阻值。

(5)继续将测试探头放在测试点上,然后释放“TEST”按钮,被测电路即开始通过测试仪放电。

重复上述步骤,可以对高压电缆不同部位进行绝缘性能检测,如屏蔽层与内部导线、屏蔽层与车辆搭铁端、内部导线与车辆搭铁端(测量电压为 500~1 000 V 的直流电压),具体

如图 1-30 所示。

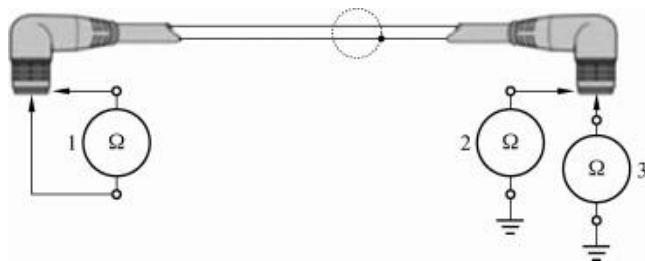


图 1-30 高压电缆三个不同部位的绝缘性能检测

二、钳形电流表的使用

对电动汽车进行检修时,有时会用到钳形电流表。使用钳形电流表测量线路非常方便,无须断开电源和线路即可直接测量运行中的电力设备的工作电流,便于及时了解设备的运行状况。钳形电流表的功能按键如图 1-31 所示。



图 1-31 钳形电流表的功能按键

钳形电流表的使用方法如下。

(1) 正确查看钳形电流表的外观情况,一定要仔细检查表的绝缘性能是否良好、绝缘层有无破损,钳头扳手是否保持清洁干燥。

(2) 根据电流的种类和电压等级正确选择钳形电流表,被测线路的电压要低于钳形电流表的额定电压。

(3) 使用钳形电流表时应按紧扳手,使钳口张开,将被测导线放入钳口中央,然后松开扳手并使钳口闭合紧密。钳口的结合面如有杂声,应重新开合一次,若仍有杂声,应处理结合面,确保读数准确。另外,不可使用钳口同时钳住两根导线。读数后,按紧扳手使钳口张开,

将被测导线退出,并将挡位置于电流最高挡或 OFF 挡。

(4)钳形电流表测量线路时需要接触被测线路,所以钳形电流表不能测量裸导体的电流。用高压钳形电流表测量线路时,应由两人操作,测量时操作人员应戴绝缘手套,站在绝缘垫上,并不得触及其他设备,以防短路或搭铁。

(5)测量时,应注意身体各部分要与带电体保持安全距离,低压系统安全距离为 0.1~0.3 m。测量高压电缆各相电流时,电缆与头部距离应间距离应在 300 mm 以上,且绝缘良好。

(6)观测读数时,要特别注意保持头部与带电体的安全距离,人体任何部分与带电体的距离不得小于钳形电流表的整体长度。

钳形电流表的最大优点是手持式仪器,不需要接线,测量方便。钳形电流表被广泛应用在电力、能源、交通等行业。钳形电流表也可以用来测量家用电器的功耗,如电视机、冰箱、空调等家用电器的功率信息。

三、通过断电检查判断故障部位

(一)在动力电池处检测断电

在动力电池处检测断电的原理图如图 1-32 所示。如果电压表的读数与电压表断路时的读数相同,就可以确认动力电池断电。

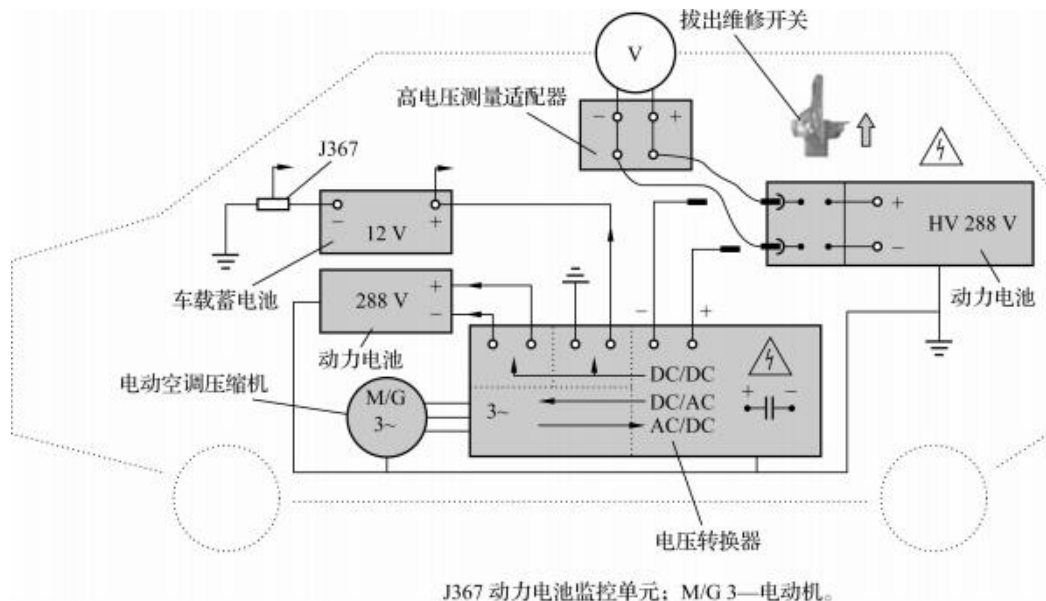


图 1-32 在动力电池处检测断电的原理图

(二)在动力电池负极和接地端之间检测断电

在动力电池负极和接地端之间检测断电的原理图如图 1-33 所示,其中电压表读数应为 0。如果在测量中电压表显示更高的值,就说明在动力电池正极和搭铁之间存在搭铁故障或

者短路。

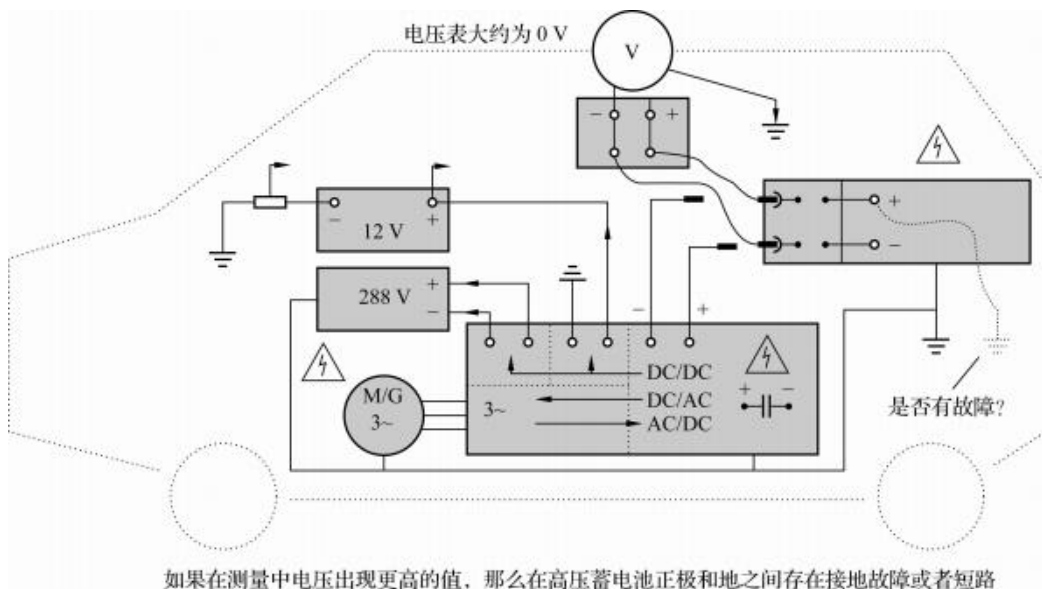


图 1-33 在动力电池负极和接地端之间检测断电的原理图

(三)在电压转换器与动力电池连接处检测断电

在电压转换器与动力电池连接处检测断电的原理图如图 1-34 所示，其中电压表的测量值应低于 7 V。检测时，若测得电压值高于 7 V，则应打开启动开关，再关闭启动开关，然后重新开始测量。这是因为启动开关的转换会导致中间电路电容器放电。再次检测测量值是否低于 7 V，如果再次测量中电压表还显示更高的值，那么说明中间电路电容器放电没有完成或者电压转换器有故障。

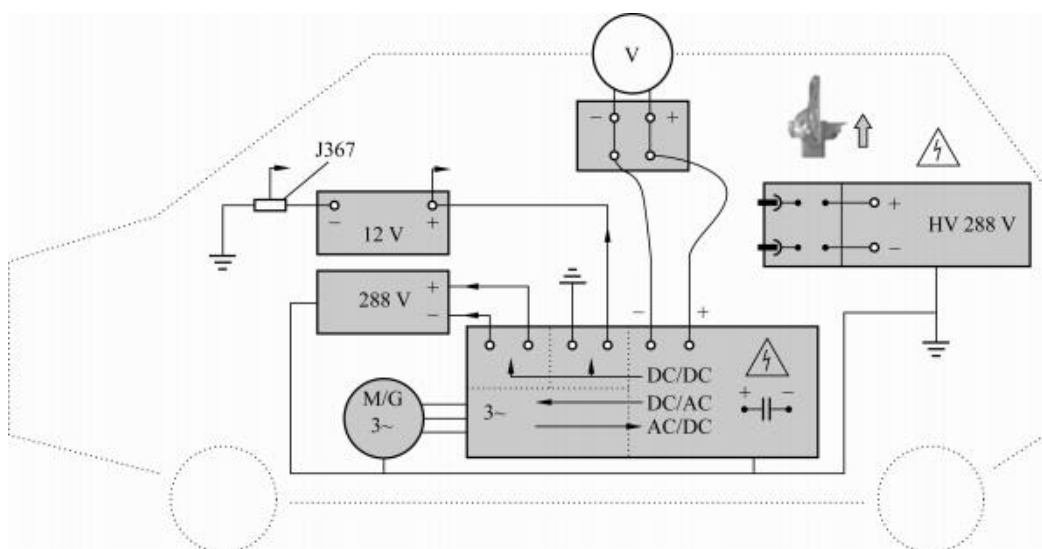


图 1-34 在电压转换器与动力电池之间检测断电的原理图

知识拓展

电动汽车高压互锁电路与其他安全设计,如制动防抱死系统(ABS)、电子制动力分配(EBD)系统等的集成方式主要包括系统集成控制设计、多功能空间重构、全方位安全系统集成以及软件控制系统集成。

1. 系统集成控制设计

电动汽车的控制系统开发通常会采用系统工程的方法来实现各个系统的集成控制设计。例如,高压配电系统、电源系统、空调与冷却系统、启动系统和电池系统等都会在功能安全的基础上进行系统集成控制设计。这种集成设计方法不仅适用于电动汽车的三电技术,也适用于其他安全系统的集成。

2. 多功能空间重构

多功能空间重构是电动汽车安全系统集成的另一种重要方式。它通过对车辆内部空间进行重新规划和优化,将高压互锁电路、ABS、EBD 系统等合理地布置在车辆内部,以实现更高效的空间利用和更好的系统集成效果。

3. 全方位安全系统集成

博世新一代 ESP 9.3 车身稳定系统是一个典型的全方位安全系统集成应用案例。它集成了 ABS、EBD 系统、TCS(牵引力控制)系统、VDC(车辆行驶动态控制)系统、HHC(坡路起步辅助控制)系统、HDC(陡坡缓降控制)系统等全方位安全系统。这种集成方式不仅提升了驾乘的安全性,还通过主动和被动安全系统的结合,进一步提高了整车的安全性能。

4. 软件控制系统集成

在电动汽车充电基础设施的功能安全系统需求分析中,软件控制系统集成是需要考虑的核心要素之一。这项工作遵循了 IEC 61508《电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全》标准。该标准强调了软件控制系统在安全相关功能中的重要性。这种软件控制系统的集成方式也可以应用于其他安全系统,如 ABS 和 EBD 系统的集成。

课后练习

1. 钳形电流表只能测量交流电的电流。 ()
2. 当测量电阻值超过最大显示量程时,绝缘电阻测试仪会显示“>”符号以及当前量程的最大电阻值。 ()
3. 根据《电动汽车安全要求》(GB 18384—2020)标准,300 V 交流电路的绝缘电阻最小是多少?