



高职高专新能源汽车专业“1+X”课证融通新形态教材

新能源汽车动力电池 及 管理系统检修

(彩色版配实施工单) » **NEW ENERGY
VEHICLE**

吴海东 袁牧 苏庆列 主编



配套资源目录



汽车工匠学院

配套: PPT课件 · 微课视频 · 习题答案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

项目二 动力电池管理系统检修

新能源汽车动力电池及管理系统检修

项目导入

一辆 2018 款吉利帝豪 EV450 电动汽车出现动力电池单体电压过低、动力电池性能下降故障。

你知道什么是电动汽车动力电池管理系统（BMS）吗？你了解动力电池管理系统的结构组成与工作原理吗？请你对电动汽车动力电池性能进行检测，并完成动力电池温度异常、电池不均衡故障诊断与排除。

教学目标

知识目标

- 1) 掌握动力电池管理系统结构组成、类型和工作原理。
- 2) 掌握动力电池管理系统监测、SOC 状态分析、能量管理控制和信息管理原理。
- 3) 掌握动力电池性能检测与故障诊断排除方法。

能力目标

- 1) 能正确认知动力电池管理系统各组成部件。
- 2) 能正确进行动力电池性能检测。
- 3) 能正确进行动力电池管理系统故障诊断与排除。

二 动力电池状态检测

1. 单体电池电压监测

单体电池电压是动力电池管理系统的重要控制参数, 单体电池电压测量精度对 SOC、SOH 的估算准确性至关重要。以磷酸铁锂 (LFP)、三元锂 (NCM) 电池为例, 图 2-6 显示了 LFP、NCM 电池的开路电压 (OCV) 以及电压每毫伏对应的 SOC 变化。从图中我们可以看到 NCM 的 OCV 曲线的斜率相对陡峭, 且大多数 SOC 范围内, 每毫伏的电压变化对应的最大 SOC 率范围低于 0.4% (除了 SOC 60%~70%)。如果 NCM 电池电压的测量精度为 10mV, 那么通过 OCV 估计方法获得的 SOC 误差低于 4%。因此, 对于 NCM 电池而言, 电池电压的测量精度需要小于 10mV。但 LFP 电池对应的 SOC 曲线的斜率相对平缓, 并且在大多数范围内 (除了 SOC<40% 和 65%~80%), 电压每毫伏的最大相应 SOC 变化率达到 4%。因此, LFP 电池电压的采集精度要求很高, 达到 1mV 左右。

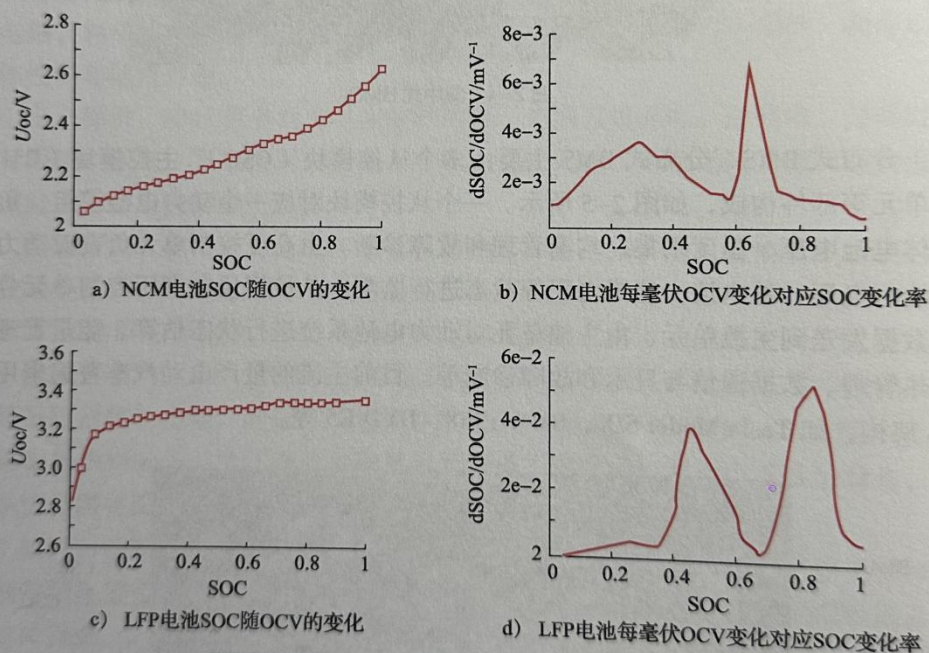


图 2-6 NCM、LFP 电池 OCV 与 SOC 的关系

单体电池电压检测按采样电路不同可分为继电器阵列法、恒流源法、隔离运放采集法、压/频转换电路采集法和线性光耦放大电路采集法。如图 2-7 所示, 将比串联单体电池数量多 1 的电压采集线连接到各单体电池节点, 当要测量第 M 块电池的端电压时, 由控制单元发出控制信号, 驱动电路控制复用器 (MUX) 接入第 M 根和第 $M+1$ 根采集线, 通过采样保留电路 (SH) 采集单体电池端电压并输送到 A/D 转换芯片, 由 A/D 转换芯片将信号线。

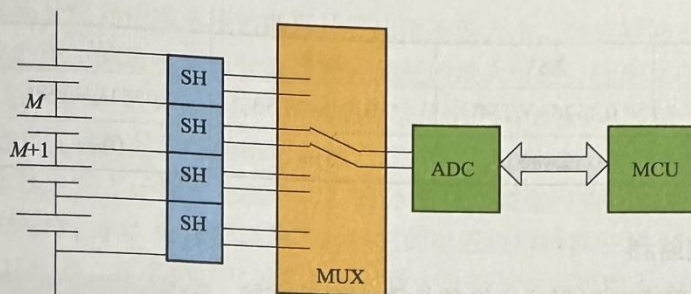


图 2-7 单体电池电压采集原理

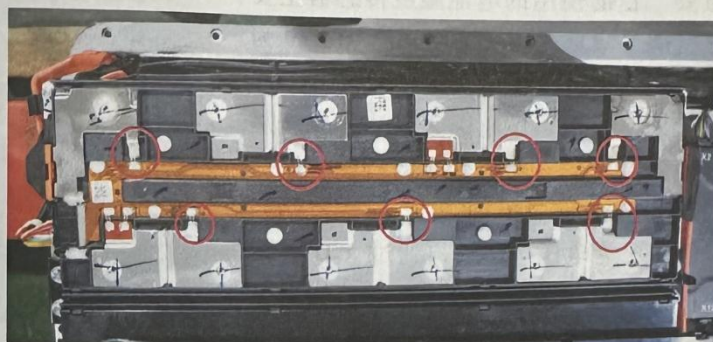


图 2-8 吉利 EV450 单体电池电压采集信号线

单体电池电压采集时延主要来自 A/D 转换器转换所需时间。通常对一个信号进行 8 bits 的 A/D 转换大概需要 $100\mu\text{s}$ ，随转换数位的增大，电压采集的时延也随之增大。随着动力电池管理系统技术的发展，一些半导体厂商面向动力电池管理系统开发 CSC 专用的采集芯片，如 ADI（亚德诺半导体技术）、MAXIM（美信）、TI（德州仪器）等均有相应的专用芯片。这些专用芯片可以测量 12~16 个串联通道的单体电池电压，并提供温度测量端口。采用专用集成芯片使得 CSC 模块电路不再需要光耦合器或隔离器，电路简化，电路板的尺寸更小，测量精度高，速度快；而且专用芯片通常配备串行通信总线，无须额外设计隔离通信，可靠性更高。CSC 专用电压监测 IC 性能对比见表 2-1。

表 2-1 CSC 专用电压监测 IC 性能对比

厂商	TI	ADI	MAXIM	INTERSIL
型号	BQ76PL455A-Q1	AD7280A	MAX14920/ MAX11163 /MAX6126	ISL78600
电压采集通道	6~16	3~6	3~16	3~12
通信总线方式	UART 差分菊花链	SPI 隔离菊花链	SPI 隔离菊花链	SPI 差分菊花链
精度 (0~65℃)	$\pm 4.25\text{mV}$	$\pm 1.6\text{mV}$	$\pm 0.5\text{mV}$	$\pm 2\text{mV}$

(续)

ADC 基准电压	2.5V	2.5V	5V	2.5V
分辨率	0.1526mV/LSB	0.6104mV/LSB	0.0763mV/LSB	0.0352mV/LSB
采集时间	2.4ms	25 μ s	10ms	234 μ s

2. 电池温度监测

电池的工作温度不仅影响电池的性能,而且直接关系到电动汽车使用的安全问题,因此准确采集温度参数显得尤为重要。目前使用的电池温度传感器主要有热敏电阻、热电偶、集成温度传感器等,图 2-9 为电池温度传感器 (NTC)。

(1) 热敏电阻采集法 热敏电阻采集法的原理是利用热敏电阻阻值随温度的变化而变化的特性,用一个定值电阻和一个热敏电阻串联起来构成一个分压器,从而把温度的高低转化为电压信号,再通过 A/D 转换得到温度的数字信息。常用的是负温度系数热敏电阻 (NTC),因热敏电阻成本低,广泛应用于电动汽车电池温度采集,但相对而言线性度不好,制造误差一般比较大。



图 2-9 电池温度传感器 (NTC)

(2) 热电偶采集法 热电偶的工作原理是双金属体在不同温度下会产生不同的热电动势,通过采集这个电动势的值就可以得到温度的值。温度一定时,热电动势的值仅与材料有关,因此热电偶的准确度很高。但是由于热电动势都是毫伏等级的信号,需要放大,外部电路比较复杂。一般来说,金属的熔点都比较高,热电偶常用于高温的测量。

(3) 集成温度传感器采集法 由于温度的测量在日常生产、生活中用得越来越多,半导体生产商们都推出了很多集成温度传感器。这些温度传感器虽然很多是基于热敏电阻式的,但都在生产的过程中进行了校正,所以精度可以媲美热电偶,而且直接输出数字量,很适合在数字系统中使用。

3. 动力电池电流监测

动力电池管理系统充放电总电流是重要的控制参数,动力电池电流的检测需将电流转换成电压信号进行测量。目前电动汽车动力电池管理系统电流检测主要有分流器和霍尔电流传感器两种方式。

(1) 分流器 分流器实际上是一个阻值非常小的电阻,该电阻要求精度高,且具有低温度系数特性,精度不易受温度影响。分流器电流检测方法如图 2-10 所示,在动力电池工作回路中串联一个分流器,当电流流过分流器时,会在分流器两端形成电压差,电流越大

电压差越大,采集分流器两端电压差即可计算出电流值大小。分流器的主要指标是它的额定电流和标准化电压。额定电流是分流器允许通过的最大电流,标准化电压是分流器在通过额定电流时,在其上产生的电压降,常见的标准化电压是 75mV。制造分流器就是根据额定电流和标准化电压调整分流器的电阻,使它流过额定电流时,产生相应的标准化电压。例如,标准化电压 75mV,额定电流 100A 的分流器,制造时将它的电阻值精确调整到 $75\text{mV}/100\text{A}=0.75\text{m}\Omega$; 50A 分流器,制造时将它的电阻值精确调整到 $75\text{mV}/50\text{A}=1.5\text{m}\Omega$ 。显然 75mV 的电压较小,采集电压时通常先通过放大电路放大,再输入 A/D 转换器。

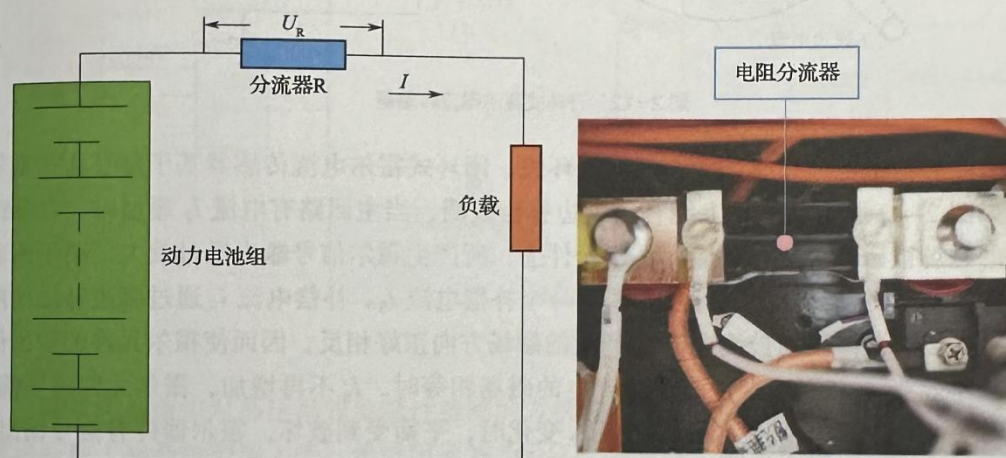


图 2-10 分流器电流检测

(2) 霍尔电流传感器 霍尔电流传感器是利用霍尔效应原理来检测电流的一种电子元件,可以测各种类型的电流,从直流电流到几十千赫兹的交流电流。图 2-11 为用于电动汽车电流检测的霍尔电流传感器。霍尔电流传感器通过电磁场“感应”得到的电压信号通常较小,只有几毫伏,因此在输入 A/D 转换器前,同样需要放大电路来对信号电压进行放大,目前大部分的霍尔电流传感器已将放大电路集成到传感器内部,传感器输出电压信号可直接被利用。



图 2-11 电动汽车霍尔电流传感器

霍尔电流传感器包括开环式和闭环式两种,图 2-12 为开环式霍尔电流传感器,包括磁心、霍尔元件和放大电路。当原边电流 I_p 流过一根长导线时,在导线周围将产生一磁场,这一磁场的大小与流过导线的电流成正比,产生的磁场聚集在磁环内,通过磁环气隙中霍尔元件进行测量并放大输出,其输出电压 V_s 精确的反映原边电流 I_p 的大小。一般霍尔电流传感器的额定输出标定为 4V。

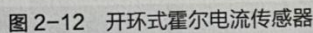


图 2-13 闭环式霍尔电流传感器

根据 GB 18384—2020《电动汽车安全要求》，动力电池管理系统（BMS）必须配备安全监测模块，对高压回路绝缘性进行在线监测。一种高压绝缘监测系统电路如图 2-14 所示，包括绝缘测量模块、控制模块（MCU）、绝缘故障报警模块和 CAN 通信模块等。绝缘电阻测量模块测量高压母线绝缘性；控制模块处理绝缘测量模块的信息，并根据测量结果发出相

应的控制信息；绝缘故障报警模块在系统出现绝缘故障时，通过显示与报警模块警告驾驶员。系统检测出该电动汽车存在绝缘故障，应采取相应的保护措施；CAN 通信模块向整车控制器输出系统监测出的绝缘故障信息，用以优化整车控制策略。也有一些动力电池管理系统（BMS）将控制模块、绝缘故障报警模块、CAN 通信模块集成于 BMS 主控模块中。

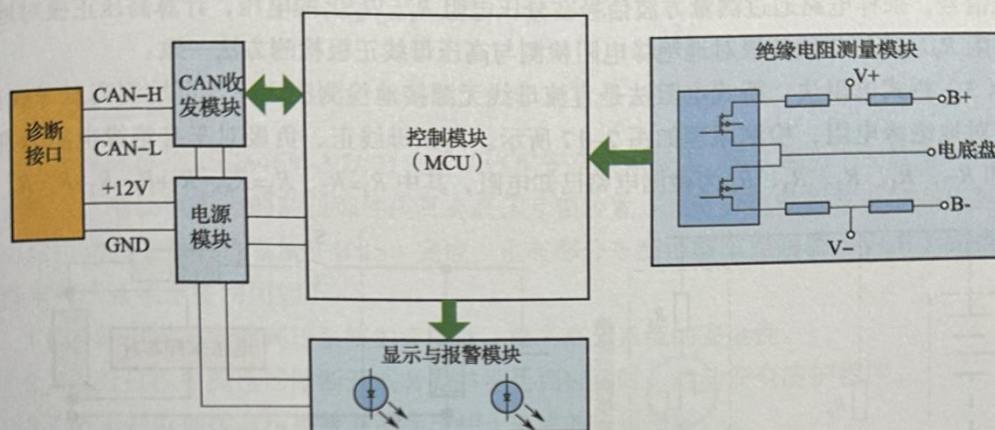


图 2-14 一种高压绝缘监测电路

绝缘测量模块对高压母线绝缘性检测的方法有漏电电流检测法、低频信号注入法和桥式电阻法（接地检测法）等。绝缘阻值 $\geq 500 \Omega/V$ 为正常，绝缘阻值 $100 \sim 500 \Omega/V$ 为轻微漏电，绝缘阻值 $\leq 100 \Omega/V$ 为严重漏电。高压回路存在绝缘故障时，BMS 会上报故障并进行故障警报，严重漏电时，BMS 还会切断高压回路，确保电动汽车使用人员的安全。

（1）漏电电流检测法 漏电电流检测法是通过检测直流母线对地漏电电流来检测绝缘性的方法，通常将电流检测元件、控制单元、CAN 通信模块集成为直流漏电传感器总成，图 2-15 所示为 BYD E5 直流漏电传感器。直流漏电传感器检测动力电池直流母线负极对地的漏电电流，判断是否存在漏电故障，通过 CAN 总线与高压电控总成交互，并向动力电池管理系统控制器发送一般漏电、严重漏电控制信号。直流漏电传感器常用的电流检测元件为霍尔电流传感器。

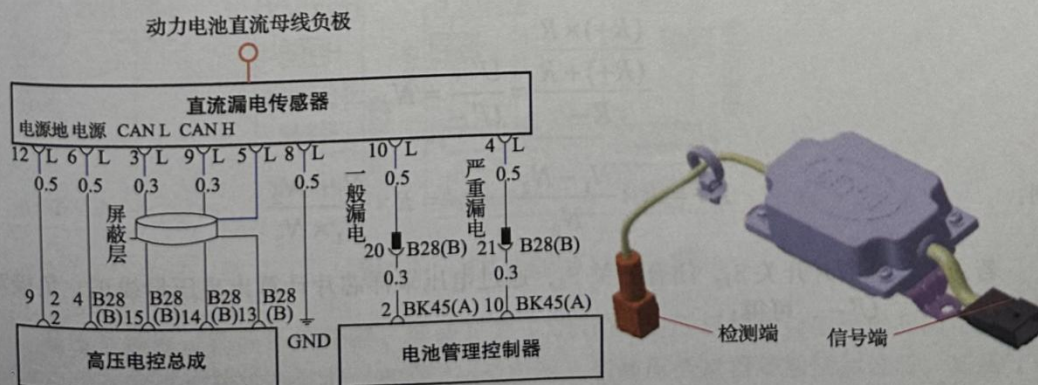


图 2-15 漏电电流检测法

(2) 脉冲信号注入法 采用脉冲信号注入法可单独检测高压母线正极与接地或负极与接地的绝缘电阻。图 2-16 采用脉冲信号注入法检测高压母线正极对地绝缘电阻, 将绝缘检测模块连接于高压母线正极与接地之间, 绝缘检测模块内部的分压电阻 R_1 、 R_2 与高压正极对地电阻 R_F 形成回路, 绝缘检测模块内部设有低频脉冲信号发生器, 产生一个对称的方波信号, 采样电路通过测量方波信号在分压电阻 R_1 、 R_2 上的电压, 计算高压正极对地绝缘电阻 R_F 。高压母线负极对地绝缘电阻检测与高压母线正极检测方法一致。

(3) 桥式电阻法 桥式电阻法是直流母线无源接地检测法之一, 可检测高压母线正、负极对地绝缘电阻, 检测原理如图 2-17 所示。高压母线正、负极对车身绝缘电阻分别为 R_+ 和 R_- , R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为检测电路已知电阻, 其中 $R_1=R_2$ 、 $R_3=R_4$, $R_1+R_3=R_2+R_4=R$ 。

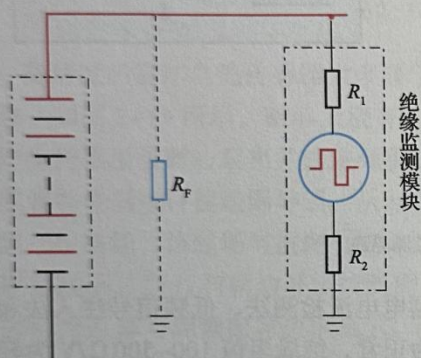


图 2-16 脉冲信号注入检测法

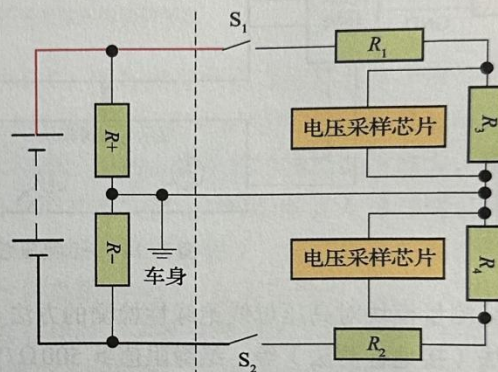


图 2-17 桥式电阻检测法

首先闭合开关 S_1 和 S_2 , 通过电压采样芯片检测出高压母线正、负极对地电压 U_+ 和 U_- , 可得:

$$\frac{R_+}{R_-} = \frac{U_+}{U_-} = N_1$$

若 $N_1 > 1$, 闭合开关 S_1 , 断开开关 S_2 , 通过电压采样芯片计算出高压母线正、负极对地电压 U'_+ 、 U'_- , 可得:

$$\frac{(R_+) \times R}{(R_+) + R} = \frac{U'_+}{U'_-} = N_2$$

则:

$$R_+ = R \times \frac{N_1 - N_2}{N_2} \quad R_- = R \times \frac{N_1 \times N_2}{N_1 - N_2}$$

若 $N_1 < 1$, 断开开关 S_1 , 闭合开关 S_2 , 通过电压采样芯片计算出高压母线正、负极对地电压 U'_+ 、 U'_- , 可得:

$$\frac{R-}{(R-)\times R} = \frac{U'+}{U'-} = N_3$$

$$R_+ = R \times (N_3 - N_1) \quad R_- = R \times \frac{N_3 - N_1}{N_1}$$

5. 高压互锁监测

按照国际标准 ISO6469-3:2001《电动汽车安全技术规范 第3部分：人员电气伤害防护》规定，电动汽车上的高压部件应具有高压互锁装置。大部分电动汽车上的高压互锁检测功能由动力电池管理系统（BMS）完成，也有部分车型由整车控制器（VCU）完成。电动汽车高压互锁主要功用如下：

- 1) 确保高压上电前高压系统的完整性, 提高高压系统的安全性。
- 2) 运行过程中高压回路断开或者完整性受到破坏时, 启动安全防护程序。
- 3) 防止带电插拔高压连接器给高压端子造成的拉弧损坏。

高压互锁 (High Voltage Interlock Loop, HVIL) 就是用低压信号来监测高压回路电气连接完整性与控制功能完整性。图 2-18 所示为某车型高压互锁控制回路, 动力电池管理系统 (BMS) 发出一个 20mA 的低压控制电流信号, 经驱动控制单元、高压配电箱、DC/DC 变换器总成, 最后回到动力电池管理系统, 形成一个封闭回路。

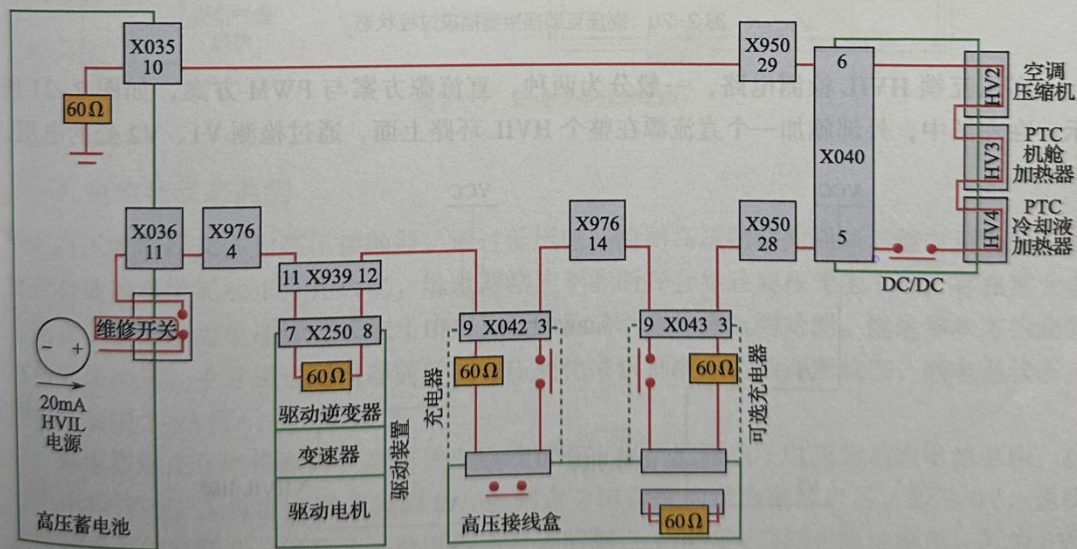


图 2-18 高压互锁回路 (特斯拉)

高压互锁通过在高压插接器、维修开关（MSD）、高压部件盒盖中集成的高压互锁检测接口等来完成连接状态监测，如图 2-19 所示。当高压插接器等插接到位后，高压互锁

接口闭合；当高压插接器断开后，高压互锁接口断开。高压插接器中的高压互锁接口与高压大电流接口在插接或拔出时有时间差，如图 2-20 所示。高压插接器插入时，高压接口先接触，高压互锁接口后闭合；拔出时，高压互锁接口先断开，高压接口后断开。这样确保高压插接器插拔时无高压，避免拉弧，从而对高压插接器的意外断开起到预判作用。



图 2-19 高压插接器与维修开关的高压互锁接口

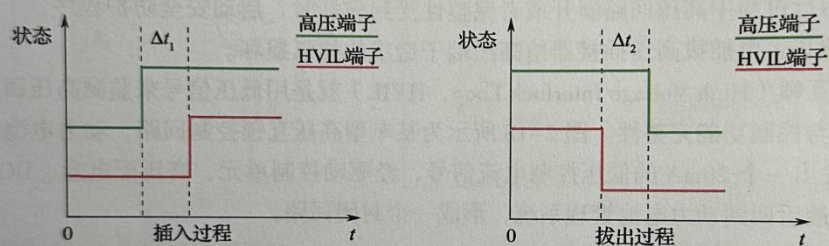


图 2-20 高压互锁插接器插拔过程状态

高压互锁 HVIL 检测电路，一般分为两种，直流源方案与 PWM 方案，如图 2-21 所示。在左图中，外部施加一个直流源在整个 HVIL 环路上面，通过检测 V1、V2 处的电压，

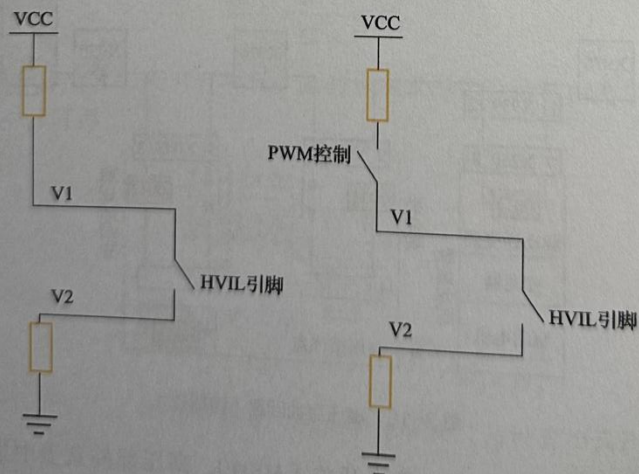


图 2-21 HVIL 检测电路

来诊断高压插接器的连接状态。右图中,引入了一个 PWM 调制脉宽控制信号开关,同样还是检测 V1、V2 处的信号电压,通过 PWM 控制开关,可以得到两组不同的 PWM 信号,两组 PWM 信号可以识别出更多的状态。

6. 碰撞信号监测

动力电池管理系统应具备碰撞信号检测功能,能够识别整车发出的碰撞信号,这个碰撞信号是安全气囊发出的硬线信号或是来自 CAN 网络的碰撞信号,动力电池管理系统监测到该信号后,将断开高压继电器,切断高压输出,如图 2-22 左图所示。图 2-22 右图为吉利 EV450 碰撞信号电路图,碰撞传感器信号传给安全气囊控制器 ACU,ACU 确认碰撞信号后,会在 20ms 内向总线发送“碰撞解锁和断电信号”,碰撞信号以 20ms 为一个周期,共发送 3s。BCM 和 BMS 连续收到 3 个以上的信号,就会分别执行解锁和断电功能。注意:在 EV450 中,BMS 同时监测安全气囊(ACU)输出的硬线碰撞信号与 VCU 的碰撞 CAN 信号,两个信号同时满足时 BMS 判断车辆发生碰撞并切断动力电池高压输出。ACU 输出的碰撞信号(硬线信号)线路故障(断路,对地或电源短路)均不会导致 BMS 控制动力电池断电。

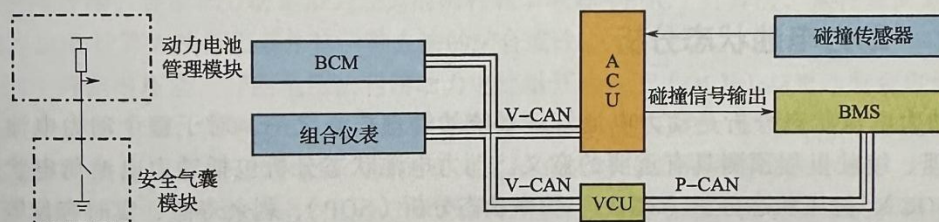


图 2-22 碰撞信号监测电路

7. 继电器状态监测

高压继电器又称为高压接触器,通过低压电路控制高压回路的通断。继电器烧蚀无法接合会造成系统无法正常充放电,继电器粘连不能断开会导致高压无法下电,存在重大安全隐患,因此动力电池管理系统(BMS)须具备继电器状态监测功能。继电器状态检测的方法大同小异,主要通过继电器前后的电压变化来识别继电器的通断状态,继电器状态监测电路如图 2-23 所示。

继电器触点开路检测时,高压供电系统没有上电,监测点 3 电压为动力电池电压。执行上电操作时,主负继电器首先闭合,监测点 2 电压变为动力电池电压,若为 0V,说明主负继电器触点断开。接着预充继电器闭合,监测点 1 电压变为动力电池电压,若为 0V,说明预充继电器触点断开。之后主正继电器闭合,预充继电器断开。监测点 1 仍为动力电池电压,若为 0V,说明主正继电器触点开路。高压上电状态时,监测点 1、2、3 电压均为动力电池电压。

继电器触点粘连检测时,执行下电操作,主正继电器首先打开,监测点 1 电压应降为

0V，若保持动力电池电压，则主正继电器粘连。主正继电器断开后，主负继电器断开，监测点 2 电压应降为 0V，若没有降为 0V，主负负极继电器粘连。

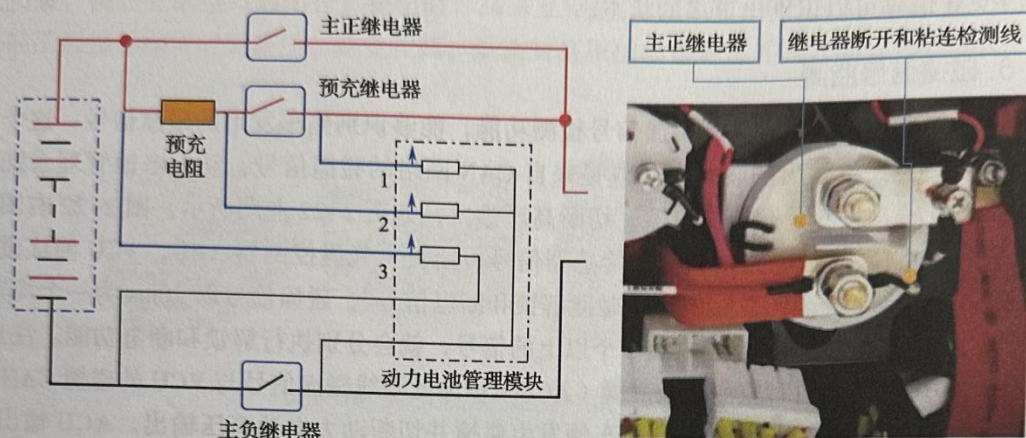


图 2-23 继电器状态监测电路

三 动力电池状态分析

动力电池状态分析是动力电池管理系统的管理核心之一，对于整个动力电池的能量管理、续驶里程预测具有重要的意义。动力电池状态分析包括动力电池荷电状态分析（SOC）、健康状态分析（SOH）、功率状态分析（SOP）、剩余寿命、实时容量等，如图 2-24 所示。

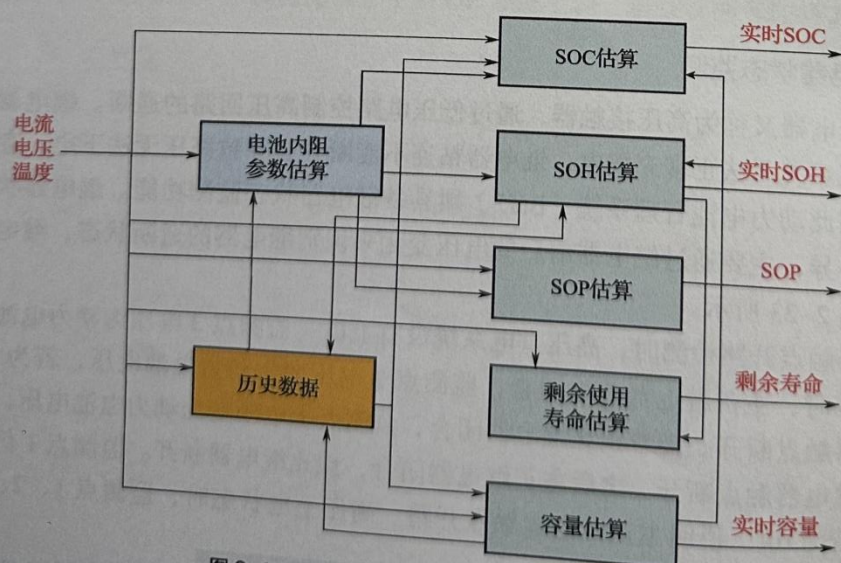


图 2-24 动力电池状态项目分析及相互关系

高职高专新能源汽车专业“1+X”课证融通 新形态教材

书 名	主 编	书 号
新能源汽车安全作业规范与维护保养（彩色版配实训工单）	吴海东 周广春 樊永强	
新能源汽车动力电池及管理系统检修（彩色版配实训工单）	吴海东 袁 牧 苏庆列	70163
新能源汽车驱动电机及控制系统检修（彩色版配实训工单）	王景智 梁东确 江 军	
新能源汽车整车控制系统检修（彩色版配实训工单）	吴东盛 杨正荣 沐俊杰	70293
新能源汽车电动空调、转向和制动系统检修（彩色版配实训工单）	王景智 马 博 王 旭	
新能源汽车检测与故障诊断技术（彩色版配实训工单）	吴海东 程 章 刘世斌	

下载地址:

需要配套资源的教师可登录机械工业出版社教育服务网
www.cmpedu.com 免费注册后下载, 或联系机工小编
索取(微信:13683016884/电话:010-88379674)



机工教育微信服务号



机工小编



策划编辑电话: 010-88379160

ISBN 978-7-111-70163-7

策划编辑◎齐福江/封面设计◎张静



定价: 59.00元