

高压电池管理

一、电池管理系统典型功能

电池管理系统 BMS (Battery Management System) 包括硬件、软件和运算法则, 主要测量和管理电池包系统内的电芯电压、电流、温度, 均衡等, 保证电池的可靠性和安全性, 防止发生过充、过放、短路和过热等现象。

电池管理系统主要功能包括以下几点, 图 1 为某电动汽车动力电池管理系统基本框架:

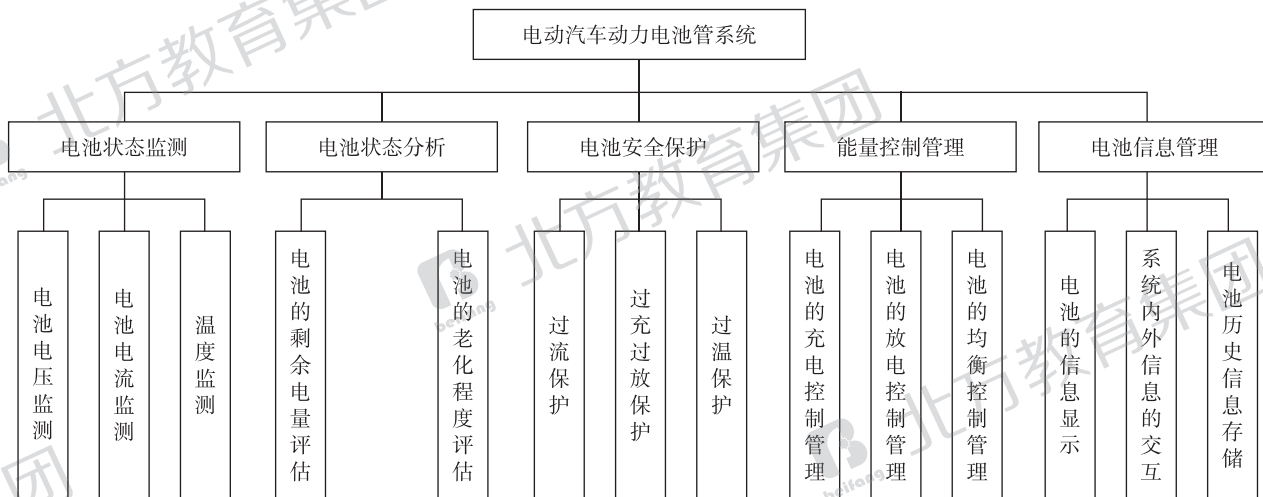


图 1 为某电动汽车动力电池管理系统基本框架

1. 实时采集电池系统运行状态参数

实时采集电动汽车蓄电池组中的每块电池的端电压和温度、充放电电流以及电池组总电压等。由于电池组中的每块电池在使用中的性能和状态不一致, 因而要对每块电池的电压、电流和温度数据都进行监测。

2. 确定电池的 SOC 值

准确估计动力电池组的 SOC 值, 从而随时预报电动汽车储能量电池还剩余多少能量或储能电池的 SOC 值, 使电池的 SOC 值控制在 30% ~ 70% 的工作范围。

3. 故障诊断与报警

当蓄电池组电量或能量过低需要充电时, 及时报警, 以防止蓄电池过放电而损害电池的使用寿命; 当蓄电池组的温度过高, 非正常工作, 及时报警, 以保证蓄电池正常工作。

4. 电池组的热平衡管理

电池热管理系统是电池管理系统的有机组成部分, 其功能是通过风扇等冷却系统和热电阻加热装置

使电池温度处于正常工作温度范围。

5. 一致性补偿

当电池之间有差异时，有一定措施进行补偿，保证电池组表现能力更强，并具有一定的手段来显示性能不良的电池位置，以便修理替换。

6. 通过总线实现各检测模块和中央处理单元的通信

二、电池管理系统的控制

1. 电池状态的检测

电池状态的检测即为电池数据的采集。作为 BMS 中其他功能的基础与前提，数据采集的精度和速度能够反映 BMS 的优劣。管理系统的其他功能比如 SOC 状态分析、均衡管理、热管理功能等都是以采集获取数据为基础进行分析及处理的数据。

数据采集的对象一般为电压、电流和温度。

(1) 电压的采集

动力电池的组成是由几十几百甚至上千节单体电芯组成，其中或并联或串联，电池管理系统需要采集每个单体电池电压。当某一个单体出现故障或达到一定的阈值则整个动力电池停止工作进入停机保护模式。

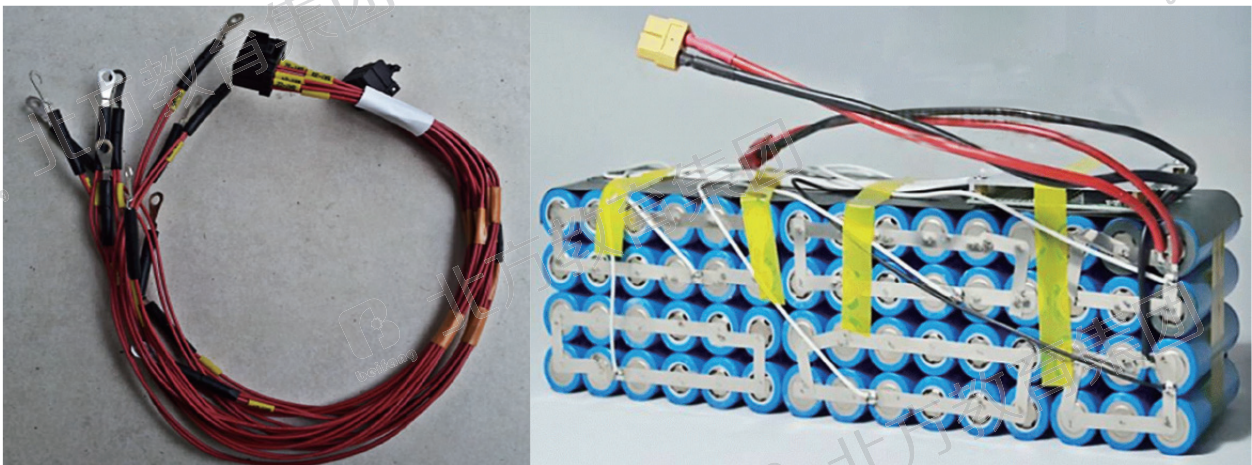


图 2 单体电池电压采集线端子

单体电池电压采集线端子用螺栓固定在单体电芯上，如图 2 所示。一旦紧固螺丝松动或采集线与端子接触不良，导致单体电压采集不准。直接导致动力电池出现故障。

(2) 电流的采集

动力电池的充放电电流数据的采集由电流传感器负责。目前主要使用的传感器有两种，一种是霍尔式电流传感器，另一种是无感分流器。

1) 无感分流式电流传感器

无感分流式电流传感器工作原理即分流器的原理。分流器实际就是一个阻值很小的电阻，如图 3 所示。当直流电流通过电阻时在电阻两端产生毫伏级电压信号，这个电压的极性也会随着电流方向的变化而改变，通过对这个电压信号的测量就可以检测出通过其电流的方向与大小。

无感分流器的电感非常小，在特定频率范围内可以忽略。

2) 霍尔式电流传感器工作原理

霍尔式电流传感器如图 4 所示。

霍尔器件是一种采用半导体材料制成的磁电转换器件。当有一磁场穿过该器件感磁面时，在输入端通入控制电流，则在输出端出现霍尔电势。霍尔电势的大小与控制电流和磁通密度乘积成正比，霍尔电势的方向与磁场的方向有关。

霍尔式电流传感器以霍尔器件为主体制作而成，其原理如图 5 所示。被测导线电流 i_P 会在导磁环上产生一个磁场 B_P 。磁场 B_P 的作用会使霍尔器件产生一个霍尔电压，霍尔电压的方向和大小则和导线电流 i_P 的方向与大小有关。霍尔式电流传感器为非接触式传感器。

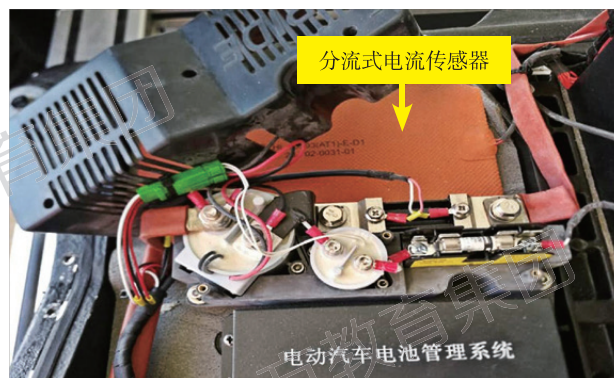


图 3 无感分流式电流传感器



图 4 霍尔式电流传感器

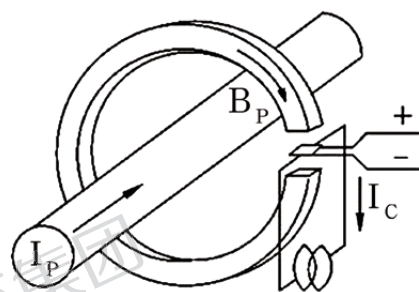


图 5 霍尔式电流传感器原理

(3) 温度的采集

电池温度数据的采集由温度传感器负责。

由于电池在充电和放电过程中都会产生热量，所以电池管理系统中温度信号是一个非常重要的指标，一旦温度传感器出现故障，电池管理系统则会报出动力电池故障。温度传感器如图 6 所示。

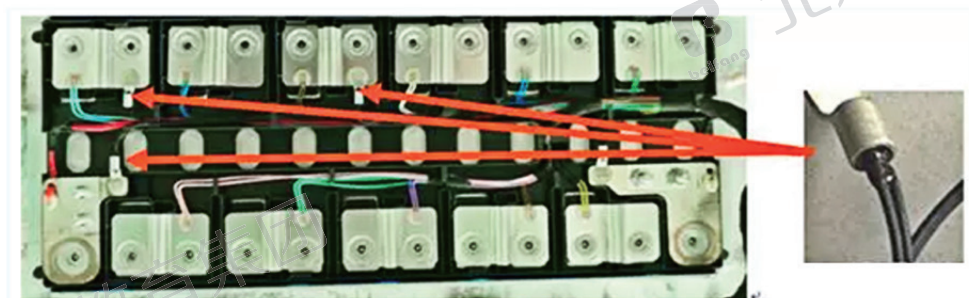


图 6 温度传感器

温感常见的损坏方式就是状态是高阻抗或直接开路。开路/损坏是最为常见的，这一般是由于 NTC 内部电阻元件和引线材料之间的机械分离，由于各种操作处理损坏，器件过热，热失衡等引起。

2. 电池状态的分析

对电池状态分析主要是电池剩余电量及电池老化程度这两个方面，即 SOC 评估和 SOH 评估。SOC 能够让驾驶人获得直接的信息，了解剩余电量对续航里程的影响。SOC 的分析会受到 SOH 的影响，电池的 SOH 在使用的过程中受到温度和电流等持续影响而需要不断进行分析，以确保 SOC 分析的准确性。

由于无法通过直接测量的方法来得到电池的剩余电量 (SOC)，因此一般采用间接测量电池其他参数，如电池电流、电压、温度等来估算电池的 SOC。常见的估算动力电池 SOC 的方法有放电法、开路电压法、安时积分法、卡尔曼滤波法、神经网络法等。

剩余电量（SOC）以百分比来表示，并通过仪表显示出来。

3. 电池安全保护

(1) 过流保护

由于电池都具备一定的内阻，当电池在工作时电流过大会造成电池内部发热，热量积累增加造成电池温度上升，从而导致电池的热稳定性下降。对于锂离子电池来说，正负极材料的脱嵌锂离子能力是一定的，当充放电电流大于其脱嵌能力时，将导致电池的极化电压增加，导致电池的实际容量减小，影响电池的使用寿命，严重时会影响电池的安全性。BMS 会判断电流值是否超过安全范围，一旦超过则会采取相应的安全保护措施。

(2) 过充过放保护

在充电过程中，充电电压超过电池截止充电电压时，将会引起正极晶格结构被破坏，导致电池容量变小，并且电压过高会造成正负极短路而引发爆炸。过充是被严格禁止的。BMS 会检测系统中单体电池的电压，当电压超过充电限制电压时，BMS 会断开充电回路从而保护电池系统。

在放电过程中，放电电压低于电池放电截止电压时，电池负极上的金属集流体将被溶解，给电池造成不可逆的损害。给过度放电的电池充电时会有内部短路或者漏液的可能。当电压超过放电限制电压时，BMS 会断开放电回路从而保护电池系统。

(3) 过温保护

对于过温保护，需要结合上面的热管理功能进行。电池活性在不同温度下有所不同，长时间处在高温环境下，电池材料的结构稳定性会变差，从而缩短电池的使用寿命。低温下电池活性受限会造成可用容量减小，尤其是充电容量将变得很低，同时可能产生安全隐患。BMS 能够在电池温度超过高温限制值或是低于低温限制值时，禁止进行充放电。

4. 能量控制管理

(1) 电池的充电控制管理

电池的充电控制管理是指电池管理系统在电池充电过程中对充电电压、充电电流等参数进行实时的优化控制，优化的目标包括充电时长、充电效率以及充电的饱满程度等。

(2) 电池的放电控制管理

电池的放电控制管理是指在电池的放电过程中根据电池的状态对放电电流大小进行控制。

(3) 电池的均衡控制管理

由于生产制造和工作环境的影响会造成电池单体的不一致性，在电压、容量和内阻等性质上出现差别，导致每个单体电池在实际使用过程中有效容量和充放电电量是不一样的。因此为保证电池系统的整体性能和延长使用寿命，为减少单体电池之间的差异性而对电池进行均衡控制是十分必要的。

均衡管理有助于电池容量的保持和放电深度的控制。如果没有对电池进行均衡控制，由于 BMS 的保护功能设置，就会出现某个电池单体充满电时，其他电池单体没有充满或者某个最小电量的单体电池放电截止时，其他电池还没有达到放电截止限制的现象。一旦电池出现过充或者过放，电池内部会发生一些不可道的化学反应导致电池的性质受到影响，从而影响电池的使用寿命。

1) 电池均衡技术

电池均衡技术主要有主动均衡和被动均衡两种。

a. 主动均衡

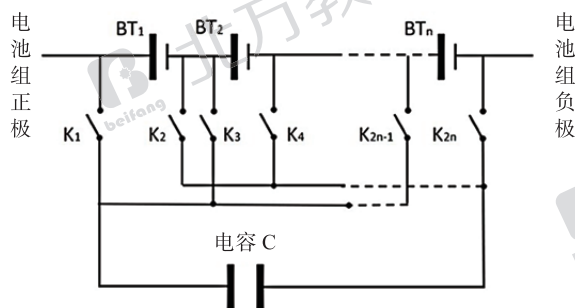


图 7 电容均衡原理

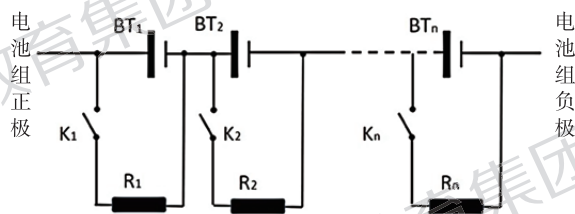


图 8 被动均衡原理

主动均衡又称为非耗散型均衡，形象说就是进行电池单体之间的能量转移。将能量高的电池单体中的能量转移到能量低的单体上，以达到能量均衡目的。

主动均衡主要采用电容、电感、变压器等原件。以下简单以电容均衡说明其原理。电容均衡原理如图 7 所示。假设当 BT1 电池能量较高而 BT2 电池能量较低时，首先控制 K1 与 K2 闭合，BT1 电池向电容 C 充电；然后再控制 K1 与 K2 断开、K3 与 K4 闭合，电容 C 向 BT2 电池充电。

主动式均衡效率高，能量转移而不是被消耗，但结构复杂，成本高。

b. 被动均衡

被动均衡又称为耗散型均衡，利用并联电阻等方式将能量高的单体中的能量消耗至与其他单体均衡的状态，就是通过放电均衡的办法让电池组内的电池电压趋于一致，如图 8 所示。被动均衡成本低，容易实现，但会造成能量浪费。

由于主动均衡系统成本相对较高，同时电路过于复杂，而被动均衡具有实现简单和成本低的特点，因此被动均衡依然是均衡策略的主流方式。

2) 均衡管理电路结构

均衡管理电路结构分为集中式均衡和分布式均衡。

a. 集中式均衡

集中式均衡是电池组内所有单体共用一个均衡器来进行均衡控制。集中式均衡通信简单直接，进行均衡速度快，。但电池单体与均衡器之间的线束排布复杂，不适合单体数量多的电池系统。

b. 分布式均衡

分布式均衡是一个或若干个电池单体专用一个均衡器，分布式均衡能够解决前者线束方面的问题，缺点是成本高。

5. 电池热平衡管理

电池系统在不同运行工况下由于其自身有一定的内阻，在输出功率、电能的同时产生一定的热量，产生的热量累积使电池温度升高，空间布置的不同使得各处电池温度并不一致。一般来说我们期望电池系统能在 15~35℃ 的区间内运行，从而实现最佳的功率输出和输入、最大的可用能量，以及最长的循环寿命。当电池温度超出其正常工作温度区间时，必须限功率工作，否则会影响电池的寿命。为了保证电池系统的电性能和寿命，动力电池系统一般设计具有热管理系统。

电池热管理系统是用来确保电池系统工作在适宜温度范围内的一套管理系统，主要由电池箱、传热介质、监测设备等部件构成。BMS 在热管理上的主要功能是对电池温度进行准确的测量和监控，在电池组温度过高时进行有效散热和通风，以保证电池组温度均匀分布。在低温的条件下，能够进行快速加热使电池组达到能够正常工作的环境。

目前动力电池系统的热管理主要可分为四类，自然冷却、风冷、液冷、直冷。其中自然冷却是被动式的热管理方式，而风冷、液冷、直冷是主动式的，这三者的主要区别在于换热介质的不同。

(1) 自然冷却

自然冷却没有额外的装置进行换热。例如 BYD 在秦，唐，宋，E6，腾势等采用 LFP 电芯的车型上都采用了自然冷却。

(2) 风冷

风冷采用空气作为换热介质。常见的有两种，如图 9 所示，第一种为直接与外部空气换热。第二种则可预先对外部空气进行加热或冷却后再进入电池系统。

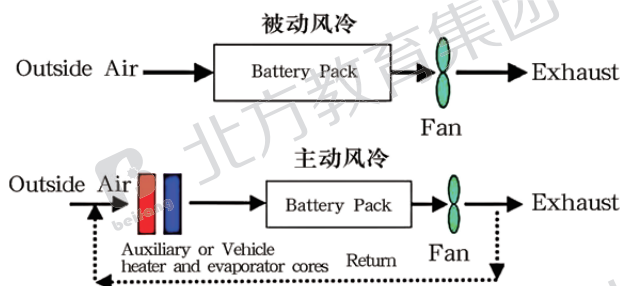


图 9 风冷

(3) 液冷

液冷采用防冻液（比如乙二醇）作为换热介质，如图 10 所示。方案中一般会有多路不同的换热回路，例如 VOLT 具有散热器回路、空调回路、PTC 回路，电池管理系统根据热管理策略进行响应调节和切换。而 TESLA Model S 有一个与电机冷却串联的回路，当电池在低温状态下需要加热时，电机冷却回路与电池冷却回路串联，电机可为电池加热。当动力电池处于高温时，电机冷却回路与电池冷却回路将被调节为并联，两套冷却系统独立散热。

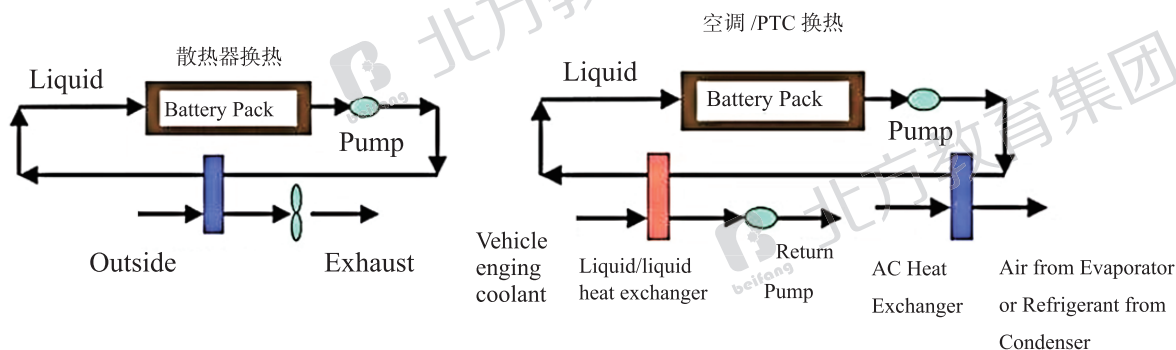


图 10 液冷

(4) 直冷

直冷采用制冷剂（变相材料）作为换热介质，如图 11 所示。制冷剂能在气液相变过程中吸收了大量的热，相比冷冻液而言换热效率可提升三倍以上，更快速的将电池系统内部的热量带走。BMW i3 中曾采用过直冷方案。

电池系统热管理方案除了需要考虑冷却效率以外还需要考虑所有电池温度的一致性。PACK 有着成百上千个电芯，而温度传感器必然无法检测到每一个电芯。例如 Tesla Model S 的一个模块中共有 444 个电芯，而布置的温度检测点仅有 2 个。因此需要通过热管理设计使得电池尽可能保持一致。并且较好的温度一致性是电池功率、寿命、SOC 等性能参数一致的前提。

VOLT 电池包中每两片电芯共用一个 Fin 片，以增大冷却装置和电池的接触面积；而在电芯另一侧采用防火隔热片与相邻电芯隔离，一方面确保热量传导的一致性，另一方面将单一电芯热失控后对周边电芯的影响降至最低。

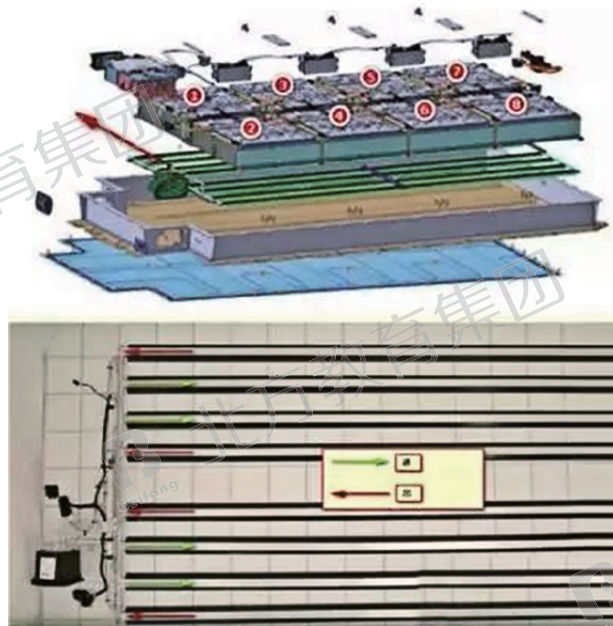


图 11 直冷

总的来看液冷技术还是目前最为主流的方式。首先是电池发展的趋势始终朝着能量密度更高的方向迈进，而高能量密度的电池在安全性上的问题就尤为需要重视，热失控后产生的负面影响会越来越大，液冷方案在换热能力、换热一致性、PACK 密封性、NVH 等方面都有着不错的表现。其次液冷在传统车上早已成熟应用，有着完善的供应链，当电池系统的设计方案和工艺稳定后成本也可得到有效控制。

7. 接触器控制

(1) 主继电器

主继电器主要包含主正继电器和主负继电器，如图 12 所示，主正继电器在电池中，主正继电器由 BMS 控制，一些车型上主负继电器由整车控制器控制。它的作用是控制回路的通断。

(2) 预充继电器与预充电阻

预充继电器与预充电阻如图所示，它们由 BMS 控制其闭合或断开。在充、放电初期需要闭合预充继电器进行预充电，例如充电初期需要给各单体电芯进行预充电，确定单体电芯无短路；放电初期需要低压、小电流给各控制器电容充电，当电容两端电压接近电池总电压时，预充完成后断开预充继电器，闭合总正继电器。

(3) 加热继电器和加热保险

如图所示为加热继电器和加热保险。由于磷酸铁锂电池高温性能好，而电池的温度会影响电池充电效果，所以磷酸铁锂电池增设了加热功能。在充电过程中当电芯温度低于设定值，BMS 控制加热继电器闭合通过保险接通加热膜电路。

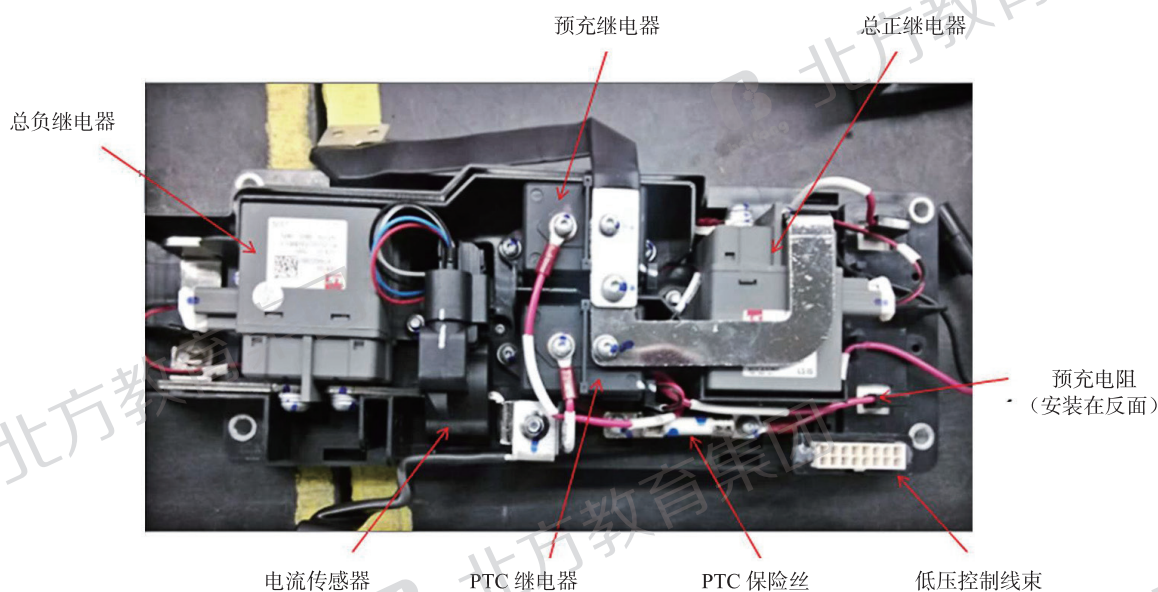


图 12 接触器

7. 电池信息管理

电池信息管理包括电池的信息显示、系统内外信息的交互和电池历史电信息储存。

(1) 电池的信息显示

电池池管理系统通常通过仪表把电池状态信息出来，告知驾驶员。需要显示的信息通常包括实时电压、电流、温度信息、电池剩余电量信息和告警信息。

1) 实时电压、电流、温度信息、电池剩余电量信息显示。

实时电压、电流、温度信息、电池剩余电量信息通过仪表显示，如图 13 所示。



图 13 实时电压、电流、温度信息、电池剩余电量信息的显示

2) 动力蓄电池电量不足指示灯

动力蓄电池电量不足指示灯如图 14 所示，当动力蓄电池电量低于 30% 时候，该指示灯亮起。表示动力蓄电池电量不足，可能不能满足驾驶里程的需求，类似于汽油车的加油指示灯。这个时候，就需要及时充电了，当动力蓄电池电量高于 35% 时，故障灯就会熄灭。

3) 高压断开故障灯

高压断开故障灯如图 15 所示，出现这个故障灯时，车已经不能上高压了，车也不能动弹了。故障原因是电池包内部的接触器或者配电箱内的接触器已经自动断开，高压系统发生了严重故障。比如电池包被撞，电池包内的保险丝熔断，电机控制器严重故障都会导致这个故障灯点亮，老司机郑重提示：非专业人员千万不要擅自维修，呼叫维修站救援就行了。

4) 动力电池内部故障指示灯

动力电池内部故障指示灯如图 16 所示，这个故障灯说明了故障点是电池包，这种故障灯亮起时，大部分情况下整车高压断开，车辆无法行驶。少数情况车辆可以缓慢行驶，但不能加速。导致这个故障的原因一般是电池包内部单体故障，电池包被撞，电池包内部线路接触不良。同样地，非专业人员呼叫维修站救援即可。

5) 动力电池过热指示灯

动力电池过热指示灯如图 17 所示，这个故障灯夏天喜欢报，国内大部分品牌的电动汽车的电池包都是风冷的，很多散热保温做得不好，导致电池包“冬冷夏热”。因为充电时电池包发热较大，尤其是在夏季，热量散不出去就会出现电池包高温，导致车辆不能充电或者不能行驶。如果电池本身没问题的话，一般等车凉快了就正常了。如果是液冷型电池，就极有可能是电池冷却水泵不工作。老司机再次郑重提示：不要用泼水等方式给电池降温。

6) 动力蓄电池绝缘电阻低指示灯

动力蓄电池绝缘电阻低指示灯（如图 18 所示）表示动力蓄电池绝缘性能降低，由于整车高压部分都是和动力电池并联的结构，所以全车的高压部件的绝缘都是动力电池负责检测，当故障灯亮起时有可能是动力电池内部绝缘过低，也有可能是外部高压部件绝缘过低引起的，很多时候都是长时间淋雨造成的，静放几天等车辆干燥了或许能好，如不能，只能去维修店。



图 14

动力蓄电池电量不足指示灯



图 15

高压断开故障灯



图 16

动力电池内部故障指示灯

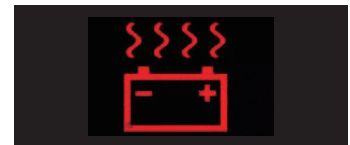


图 17

动力电池过热指示灯



图 18

动力蓄电池绝缘电阻低指示灯

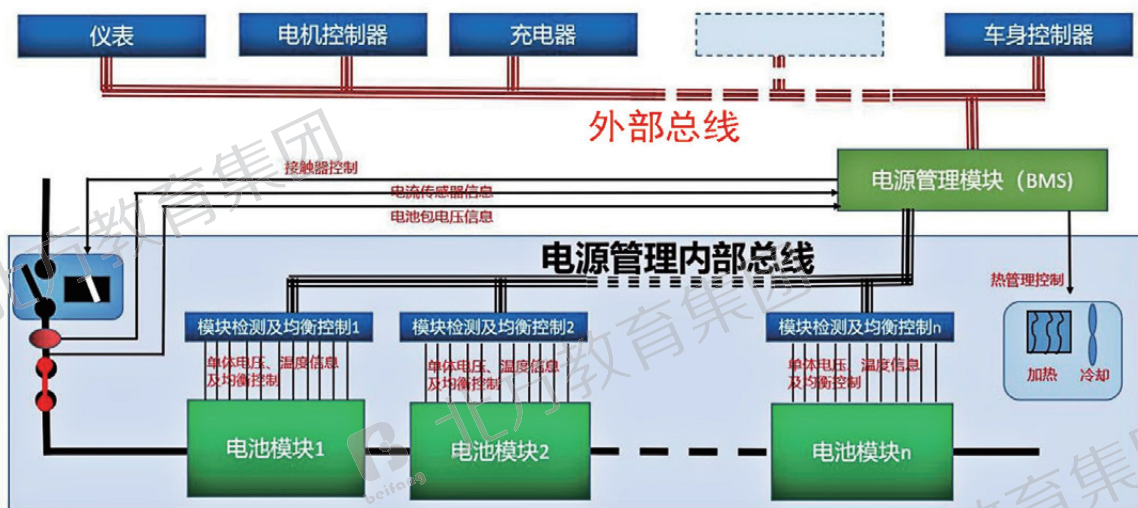


图 19 电池管理网络

(2) 系统内外信息的交互

先进的电动汽车控制，离不开车载信息通信网络。对于电池管理系统，往往同时具有内网和外网两级网络。其中内网用于传递电池管理系统的内部信息如单体电池电压、电池温度、均衡控制等；外网用于电池管理系统与整车车控制器、电机控制器、仪表充电器等其他部件交互信息。典型的电池管理网络如图 19 所示。

(3) 电池历电信息储存

历史信息储存并非电池管理系统所必需的功能，但在先进的动力电池管理系统中往往考虑这项功能。历史信息储存可以提高分析估算的精度，有助于电池状态分析，有助于故障分析和排除。