
项目 3：动力电池组的安装与试运行

项目描述：

本项目共 2 个学习任务，分别是：

任务 1：动力电池的充放电与处理

任务 2：动力电池组的安装与试运行

通过 2 个任务的学习，熟悉动力电池废弃处理和回收存放的要求；会正确判断动力电池组的漏电；能够进行动力电池组电池模块充放电与容量均衡；合力完成动力电池组的安装与试运行。

任务1：动力电池的充放电与处理

一、任务引入

在检修动力电池时，经常遇到电池组的单体电池电压性能不一致的现象。面对这种现象目前的技术不允许旧电池用新单体电池进行拼装，同时也不允许采用不同容量的单体电池进行串接来替代，因为这会造成新旧电池工作状况的不平衡，影响包括新单体电池在内的所有电池使用寿命及效能，是得不偿失的做法。目前最佳的维修方法是对有故障的电池模组进行整体更换，以新更换的电池模组为标准，将所有电池充放电到相同电压，再进行串联做容量均衡。

二、任务要求

知识要求：

- 熟悉动力电池废弃处理和回收存放的要求。
- 熟悉动力电池的充电方法。
- 了解锂离子充电均衡技术。

技能要求：

- 会正确判断动力电池组的漏电。
- 能够进行动力电池组电池模块充放电与容量均衡。

职业素养要求：

- 严格执行汽车检修规范，养成严谨科学的工作态度。
- 尊重他人劳动，不窃取他人成果。
- 养成总结训练过程和结果的习惯，为下次训练总结经验。
- 养成团结协作精神。
- 严格执行 5S 现场管理。

三、相关知识

1. 日常充放电管理要求

目前新能源汽车主流使用的是镍氢电池和锂电池 2 种，使用镍氢电池的油电混合汽车是无法通过充电接口充电的，如第三代丰田普锐斯，每 2~3 个月可以进行自充电：

- 连接辅助电池的负极；
 - 在没有施加电气负荷的情况下使得电源处于 IG ON 保持此状态 3 分钟；
 - 注意:此操作的目的在于使 ECU 检测到正确的 SOC；
 - 进入 READY-ON 状态。在发动机起动后，使其在 P 档空转直到发动机停机（自充电已经结束）。
- 也可以使用 THS 充电器向 HV 电池充电，如图 3-1-1 所示。

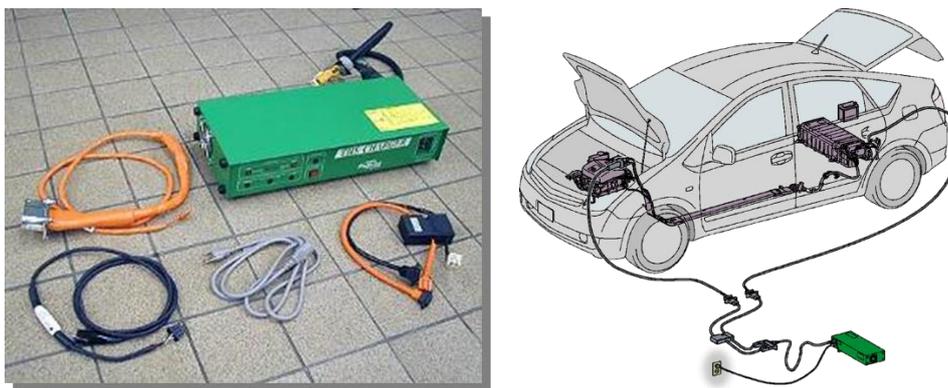


图 3-1-1 THS 充电器

而插电式混合动力汽车和纯电动汽车使用的锂电池，是可以通过充电接口进行补充充电的，具体充电技术在《新能源汽车电气技术》课程中涉及，此处不再赘述。本章节重点介绍一下日常充放电管理要求。

1.1 充电条件

(1) 车载充电机（慢充）充电条件包括：

- BMS 常电供电正常（12V 正、负极）
- ON 信号正常
- 充电唤醒信号正常
- CAN 线通讯正常（新能源 CAN 线）
- 高压电缆连接正常
- 高压电缆及电气设备绝缘性能 $> 20M\Omega$
- 动力电池温度高于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 动力电池内部无故障

(2) 非车载充电机（快充）充电条件

- BMS 常电供电正常（12V 正、负极）
- ON 信号正常
- 充电唤醒信号正常
- CAN 线通讯正常（新能源 CAN 线）

- 高压电缆连接正常
- 高压电缆及电气设备绝缘性能 $> 20M\Omega$
- 动力电池温度高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 动力电池软件版本与充电桩软件版本匹配
- 动力电池与充电桩通讯不超时
- 动力电池内部无故障

1.2 充电电流与温度

采用车载充电机（交流）充电，充电温度与充电电流要求见下表：

温度	小于 0°C （加热）	$0^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$	大于 55°C
可充电电流	0 A	10A	0 A
备注	当单体最高电压高于额定电压 0.4V 时，降低充电电流到 5A，当单体电压高于 额定电压 0.5V 时，充电电流为 0A，请求停止充电。		

采用非车载充电机（直流）充电，充电温度与充电电流要求见下表：

温度	小于 5°C （加热）	$5^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$	$15^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$	大于 45°C
可充电电流	0 A	20A	50 A	0 A
备注	恒流充电至单体电压高于额定电压 0.3V 以后转为恒压充电方式			

快充和慢充的流程均为：采用恒流-恒压充电方法，在不同温度范围内以恒定电流充电至动力电池组总电压达到或最高单体电压达到此温度条件下的规定电压值，以恒定电压充电至电流小于 0.8A 后停止充电；在充电过程中，如果单体压差大于 300mV，则停止充电，报充电故障。

知识链接:

恒流充电是指充电全过程中，保持充电电流基本恒定的充电方法，如图3-1-2所示。在充电过程中，因为充电电流会随着电池组的电动势逐渐升高而下降，所以需要随时根据充电程度调整电压和分级调整恒流电流。主要应用于初充电、补充充电和去硫化充电。这种方法可以令电池深度充电，但充电时间长，需要调节充电电压。



图3-1-2 恒流充电

知识链接:

恒压充电是指充电过程中，电源电压始终保持不变的充电方法，如图3-1-3所示。采用恒压充电时，电池组必须并联在充电电源之间。随着电池组电动势的增加，充电电流会逐渐减小，若充电电压调节恰当，充电电流变为0自动停止，即为充电终了。可减少充电麻烦和充电时间，但恒压充电缺点是必须适当地选择充电电压，若电压过高，容易过充电，电池活性物质脱落，电池整体发热，容易自燃；并且恒压充电不能保证彻底充满电。

恒流充电适应性强，可以任意选择和调整充电电流，因此可对各种不同情况的电池组深度充电，对电池组损害非常小，可延长电池组整体寿命。可是这种方法最大弊端是充电时间过长，且需要经常调节充电电压来调节电流。恒压充电可减少充电时，不必要的麻烦。现在的充电模式2基本都采用恒流和恒压充电混合作，充电前期采用恒流充电，可保证电池深度充电；后期则采用恒压充电，可自动减少电流大小结束充电，避免过充电，用户无需选择何种充电方式。

1.3 充电加热与保温

充电加热（仅适用于有加热功能的动力电池），如下表所示：

充电状态	车载充电器（慢充）	非车载充电器（快充）
温度	小于 0℃（加热）	小于 5℃（加热）

- 慢充时低于 0℃ 的温度点，启动加热模式：闭合加热片，待所有电芯温度点高于 5℃，停止加热，启动充电程序，过程中出现电芯温度差高于 20℃，则间歇停止加热，待加热片温度差低于 15℃，则重启加热片。

-
- 加热过程中，正常情况下充电桩电流显示为 4A~6A。
 - 充电过程中充电桩电流显示为 12A~13A。
 - 如果单体压差大于 300mV，则停止充电，报充电故障。
 - 快充时低于等于 5℃的温度点，启动加热模式：电芯温度数据与慢充相同；如果充电过程中最低温度低于等于 5 度，则停止充电模式，也不重新启动加热模式。

保温策略：

- 充电保温只发生在车载充电完成后；
- 充电完成后，电池温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 时进入保温模式，若电池温度 $> 5^{\circ}\text{C}$ ，电池进入静置状态；
- 保温策略以保温 2 小时为唯一截止条件；
- 保温过程中：电池温度 上升至 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ 时，电池进入静置状态；
- 保温过程中，如果电池温差超过 20°C ，电池进入静置状态直至温差低于 10°C 再次启动加热。

1.4 整体动力电池组放电管理要求

动力电池内部条件（动力电池报一级故障时无法放电）：

- 储电能量 $> 10\%$ （SOC）；
- 电池温度在 $-20\text{—}45^{\circ}\text{C}$ ；
- 单体电芯温度差 $< 25^{\circ}\text{C}$ ；
- 实际单体最低电压不小于额定单体电压 0.4V；
- 单体电压差 $< 300\text{mV}$ ；
- 绝缘性能 $> 20\text{M}\Omega$ ；
- 动力电池内部低压供电、通讯正常；
- 动力电池监测系统工作正常（电压、电流、温度、绝缘）；

动力电池外部条件（动力电池报一级故障时无法放电）：

- BMS 常电供电正常（12V 正、负极）
- ON 信号正常
- 整车控制其唤醒信号正常
- CAN 线通讯正常（新能源 CAN 线）
- 高压电缆连接正常
- 高压电缆及电气设备绝缘性能 $> 20\text{M}\Omega$
- 充电连接确认信号线或充电唤醒信号无短路（整车控制器到充电机或充电连接线束）

2. 锂电池充电方法

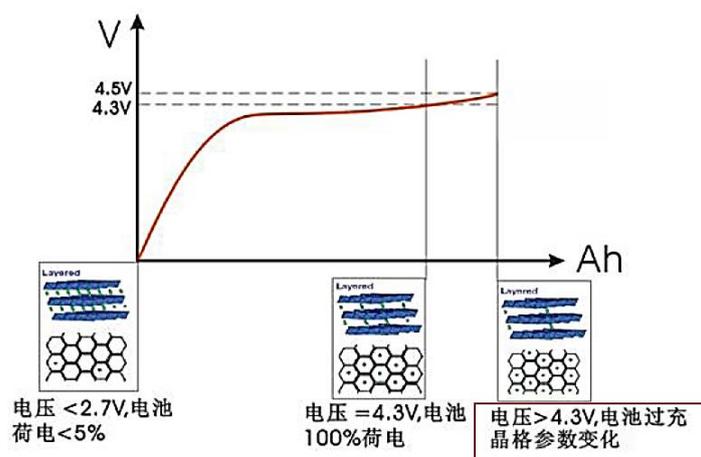
目前锂电池的充电方法有三种：串联充电、并联充电、专用充电机（含 BMS）充电。

2.1 串联充电

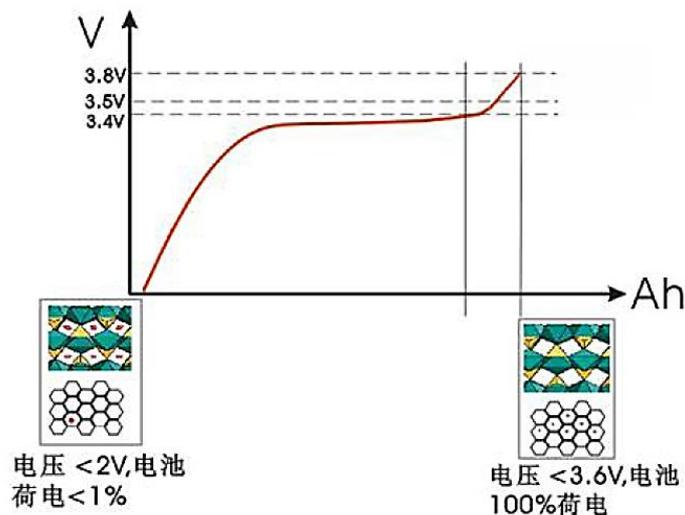
锂离子电池组的充电一般都采用串联充电，这主要是因为串联充电方法结构简单、成本低、较容易实现。但由于单体锂离子电池之间在容量、内阻、衰减特性、自放电等性能方面的差异，在对锂离子电池组串联充电时，电池组中容量最小的那只单体锂离子电池将最先充满电，而此时，其他电池还没有充满电，如果继续串联充电，则已充满电的单体锂离子电池就可能会被过充电。

而锂离子电池过充电会严重损害电池的性能，甚至可能会导致爆炸造成人员伤害，因此，为了防止出现单体锂离子电池过充电，锂离子电池组使用时一般配有电池管理系统 BMS，通过电池管理系统对每一只单体锂离子电池进行过充电保护。串联充电时，如果有一只单体锂离子电池的电压达到过充保护电压，电池管理系统会将整个串联充电电路切断，停止充电，以防止这只单体电池被过充电，而这样会造成其他锂离子电池无法充满电。

经过多年的发展，磷酸铁锂电池由于具有较高的安全性、很好的循环性能等优势，已经基本能满足新能源汽车特别是纯电动轿车的要求，工艺上也基本具备了大规模生产的条件。然而，磷酸铁锂电池的性能与其他锂离子电池存在着一定的差异，特别是其电压特征与锰酸锂电池、钴酸锂电池等不同。图 3-1-3 所示是磷酸铁锂与锰酸锂两种锂离子电池的充电曲线与锂离子脱嵌对应关系的比较。



(a) 锰酸锂电池锂离子脱嵌与充电曲线对应关系



(b) 磷酸铁锂电池锂离子脱嵌与充电曲线对应关系

图 3-1-3 两种锂离子脱嵌与充电曲线对应关系对比

从上图的曲线不难看出，磷酸铁锂电池在快充满电时，锂离子几乎完全从正极脱嵌到负极，电池端电压会快速上升，出现充电曲线的上翘现象，这样会导致电池很容易达到过充电保护电压。因此磷酸铁锂电池组中某些电池充不满电的现象相对锰酸锂电池组而言会更为明显。

另外，虽然有些电池管理系统带有均衡功能，但由于从成本、散热、可靠性等多方面考虑，电池管理系统的均衡电流一般远小于串联充电的电流，因此均衡效果不是很明显，也会出现某些单体电池充不满电的情况，这对于需要大电流充电的锂离子电池组而言则更为明显。

例如，将 100 只放电容量都为 100Ah 的锂离子电池串联起来组成电池组，但如果成组前其中 99 只单体锂离子电池荷电 80Ah，另外 1 只单体锂离子电池荷电 100Ah，将此电池组进行串联充电时，其中荷电 100Ah 的那只单体锂离子电池会先充满电，从而达到过充保护电压，为了防止这只单体锂离子电池被过充电，电池管理系统会将整个串联充电电路切断，也就使得其他 99 只电池无法充满电，从而整个电池组放电容量也就只有 80Ah。

一般电池厂家出厂时测试容量时是将单体电池先恒流充电再恒压充电，然后恒流放电从而测出放电容量。一般放电容量约等于恒流充电容量加上恒压充电容量。而实际电池组串联充电过程中对单体电池而言一般没有恒压充电过程，所以恒压充电容量就会没有，电池组容量就会小于单体电池容量。而一般充电电流越小，恒压充电容量比例越小，电池组损失容量越小，因此又发展出了电池管理系统和充电器协调配合串联充电的模式。

2.2 专用充电器（含 BMS）充电

电池管理系统是对电池的性能和状态了解最为全面的设备，所以将电池管理系统和充电器之间建立联系，就能使充电器实时地了解电池的信息，从而更有效地解决电池的充电时产生的一些的问题。其工作示意图如图 3-1-4 所示。

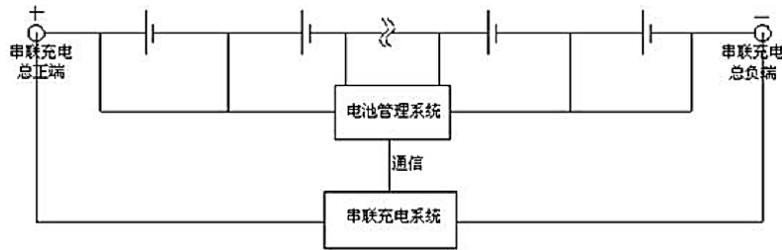


图 3-1-4 BMS 和充电机协调配合串联充电示意简图

电池管理系统和充电机协调配合充电模式的原理为：电池管理系统通过对电池的当前状态（如温度、单体电池电压、电池工作电流、一致性以及温升等）进行监控，并利用这些参数对当前电池的最大允许充电电流进行估算；充电过程中，通过通信线将电池管理系统和充电机联系起来，实现数据的共享。电池管理系统将总电压、最高单体电池电压、最高温度、温升、最大允许充电电压、最高允许单体电池电压以及最大允许充电电流等参数实时地传送到充电机，充电机就能根据电池管理系统提供的信息改变自己的充电策略和输出电流。

当电池管理系统提供的最大允许充电电流比充电机设计的电流容量高时，充电机按照设计的最大输出电流充电；当电池的电压、温度超限时，电池管理系统能实时检测到并及时通知充电机改变电流输出；当充电电流大于最大允许充电电流时，充电机开始跟随最大允许充电电流，这样就有效地防止了电池过充电，达到延长电池寿命的目的。充电过程中一旦出现故障，电池管理系统可以将最大允许充电电流设为 0，迫使充电机停机，避免发生事故，保障充电的安全。

在该充电模式下，既完善了电池管理系统的管理和控制功能，又能使充电机根据电池的状态，实时地改变输出电流，达到防止电池组中所有电池发生过充电以及优化充电的目的，电池组的实际放电容量也要大于普通的串联充电方法，但是这种方法还是解决不了电池组中某些电池充不满电的问题，特别是当电池组串数多、电池一致性差、充电电流较大时。

2.3 并联充电

为了解决电池组中某些单体电池过充和充不满电的问题，又发展出了并联充电的办法，其示意图如图 3-1-5 所示。

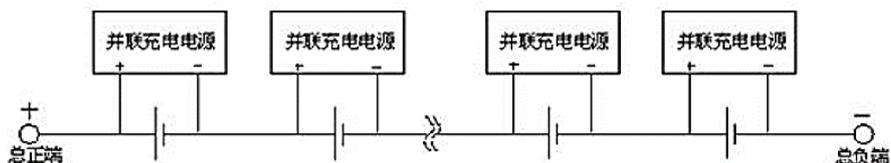


图 3-1-5 并联充电示意简图

但是并联充电方法需要采用多个低电压、大电流的充电电源为每一只单体电池充电，存在充电电源成本高、可靠性低、充电效率低、连接线径粗等缺陷，因此目前没有大范围使用这种充电方法。

3. 电池容量均衡技术

在由电池作为储能单元的系统，由于单体电池往往容量比较低，不能够满足大容量系统的要求，因此需要将电池单体串联，形成电池模组以提高供电电压和存储容量，例如在电动汽车、微电网系统等领域大多需要电池串联。由于电池单体自身制作工艺等原因，不同单体之间诸如电解液密度、电极等效电阻等都存在着差异，这些差异导致即便串联电池组每个单体的充放电电流相同，也会使每个单体的容量产生不同，进而影响整个电池组的工作。最坏的情况，在一个电池模组中，有一个单体的剩余容量接近为 100%，另一个单体的剩余容量为 0，则这个电池模组既不能充电也不能放电，完全不能使用。因此对电池容量的均衡是非常重要的，尤其是在大量单体电池串联的情况。

电池容量均衡的方法主要有电阻消耗均衡法、开关电容法、双向 DC-DC 变流器法、多绕组变压器法、多模块开关均衡法、开关电感法等，下面逐一做简单的介绍。

3.1 电阻消耗均衡法

电阻消耗均衡法是通过与单体电池连接的电阻，将高于其它单体的能量释放，以达到各单体的均衡，如图 3-1-6 所示。

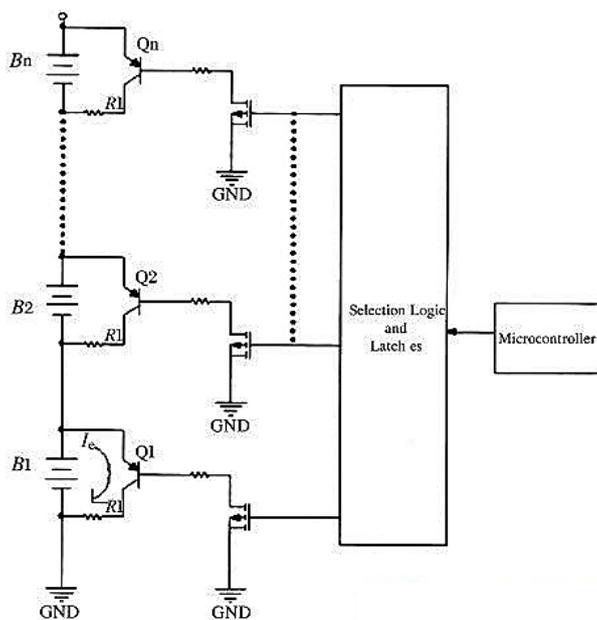


图 3-1-6 电阻消耗均衡法结构图

每个单体电池通过一个三极管与一个电阻连接，通过控制三极管的导通与关断实现单体电池对电阻的放电。该种结构控制简单，放电速度快，可多个单体同时放电。但缺点也很明显，能量消耗大，只能对单体进行放电不能充电，而且其它单体电池要以最低的单体为标准才能实现均衡，效率低。

3.2 开关电容法

开关电容法是在每两个相邻的电池之间通过开关器件与一个电容并联，如图 3-1-7 所示。通过控制开关器件驱动信号 PWM 的占空比实现相邻两个电池之间能量的传递。例如若单体电池容量 B1 高于 B2，G1 开通 G2 关断时，电容 C1 和单体电池 B1 并联，B1 将能量传递给 C1；G1 关断 G2 开通时，电容 C1 和单体电池

B2 并联, C1 将能量传递给 B2, 完成这个周期内的能量传递。以此类推, 通过控制开关器件的开通与关断, 利用电容实现能量的逐个传递。

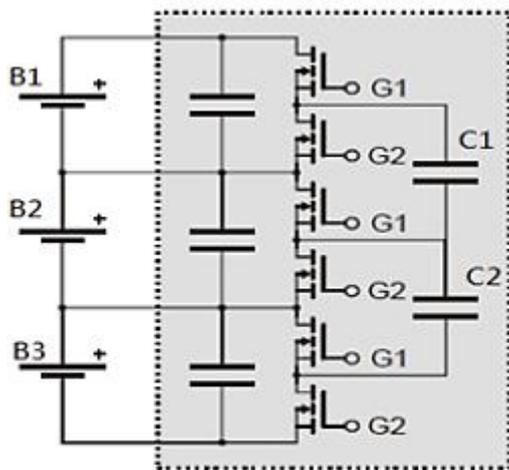


图 3-1-7 开关电容均衡法结构图

该电路可以等效成如图 3-1-8 所示电路, 在每两个单体电池之间连接一个等效电阻, 可以推出如等式 1 给出的等效阻值。这种方法由于能量逐个传递, 因此均衡时间较长, 可以根据等式 1, 通过改变开关器件的开关频率和电容容值的方法调节等效电阻, 改变充放电电流。

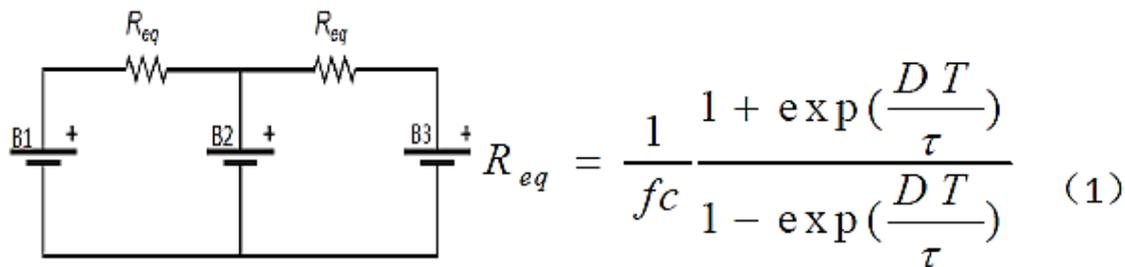


图 3-1-8 开关电容法等效电路

其中 f 为开关频率, $\tau = RC$, D 为占空比。开关电容法控制简单, 可实现充电和放电均衡, 但由于是逐级传递能量, 因此均衡速度较慢。

3.3 双向 DC-DC 变流器法

该方法每个单体电池都连接一个双向 DC-DC 变流器后再串联, 如图 3-1-9 所示。由于单体电池电压等级比较低, 一般情况下将单体电池作为低压侧。

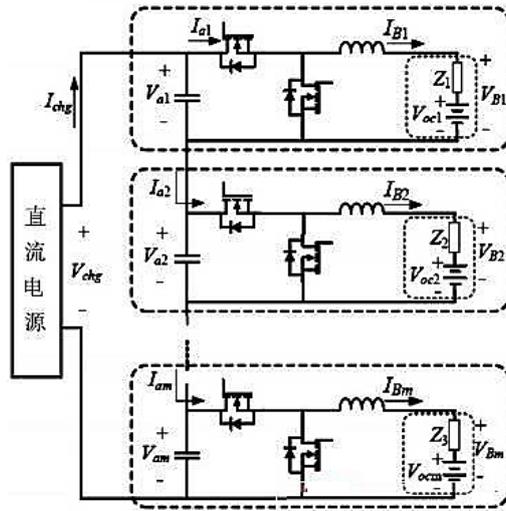


图 3-1-9 双向 DC-DC 变流器法结构图

在给电池模组充电时，根据图 3-1-10 的控制策略，可以实现对每个单体电池的恒压充电，如果将该控制策略的电压外环打开，可以根据均衡的需要进行恒流充放电控制。在放电时，如果连接负载较重，有些双向 DC-DC 变流器的电感可能工作在断续状态。

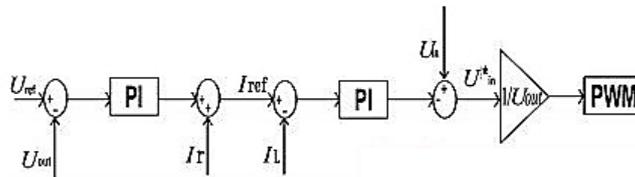


图 3-1-10 单体电池恒压充电控制框图

这种均衡方法可以同时对所有单体电池进行充放电，并针对不同单体电池的容量情况控制充放电电流。此方法控制灵活，充放电均衡时间短。但由于每个单体电池都需要一个双向 DC-DC 变流器，因此成本较高。

3.4 多绕组变压器均衡法

多绕组变压器法是将每个单体电池连接到变压器的一个副边，如图 3-1-11 所示。

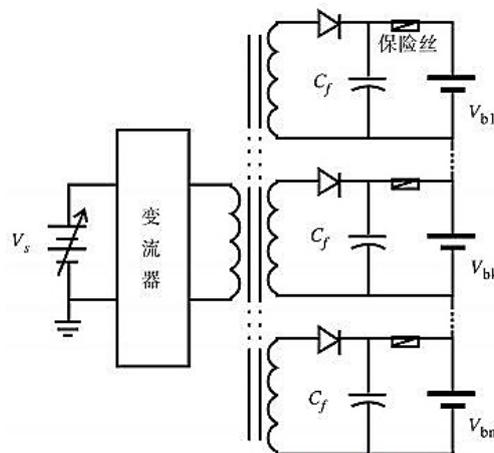


图 3-1-11 多绕组变压器法结构图

在对电池组进行电压均衡时，控制变压器副边电压首先高于最低的一个单体电池，此时这个单体电路中的二极管导通，其他单体连接的二极管由于承受反压关断，仅给电压最低的电单体池充电，等到这个单体充至倒数第二高时，再提高副边电压，给最低的两个单体充电，照这种方法持续下去。

这种充电方式的多绕组变压器设计复杂，而且价格较贵，需要根据不同的单体电池数量改变绕组个数，不易于电池组的扩展；仅能通过给单体电池充电的方式实现均衡。

3.5 多模块开关选择均衡法

该种方法的结构如图 3-1-12 所示，由于串联单体电池数量较多，可以将这些单体分为 M 个模块，每个模块有 K 个单体。

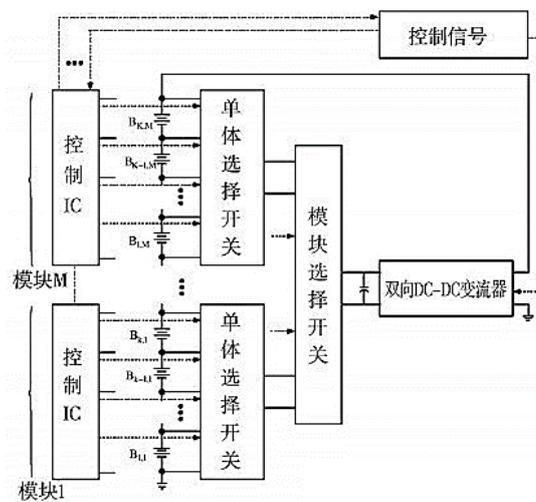


图 3-1-12 多模块开关选择均衡法结构图

每个单体电池均有一组开关与双向 DC-DC 变流器连接，开关由两个反向串联的 MOSFET 组成，在单体未选中进行充放电时，控制芯片控制相应 MOSFET 关断，单体与变流器断开；由控制器选择给某个单体进行充电时，通过控制芯片开通对应的光耦，令 MOSFET 导通，将该单体电池接入 DC-DC 变流器，如图 3-1-13 所示。

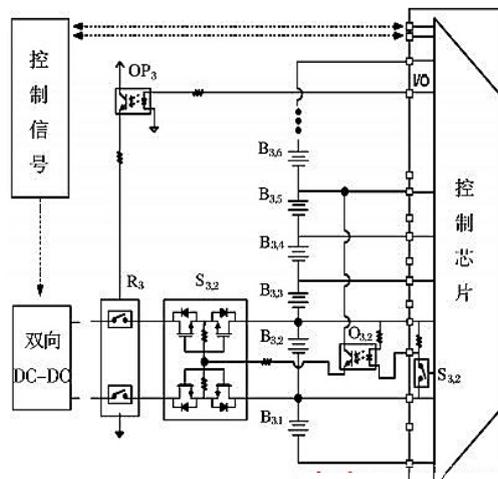


图 3-1-13 多模块开关选择均衡法控制电路

这种方法可以对任何一个单体进行单独充放电，充放电电流可控，但是每次只能针对一个单体电池，因此整个电池组的充放电均衡时间较长，尤其在单体数量很大的情况下。

3.6 开关电感法

开关电感法是在相邻两个单体电池之间通过 MOSFET 与一个电感相连，如图 3-1-14 所示，若当单体容量 B_1 大于 B_2 时，首先令开关 Q_1 导通 Q_2 断开， B_1 给电感 L_1 充电，然后 Q_1 断开 Q_2 闭合，此时电感将存储的能量释放给 B_2 ，为了保证 Q_1 和 Q_2 不同时导通，会加入死区，在死区时间里，电感 L_1 通过 B_2 ， D_2 续流。同时 B_2 也可以给 B_3 传递能量，也可以实现能量反方向的流动，直到所有电池单体容量相同为止。

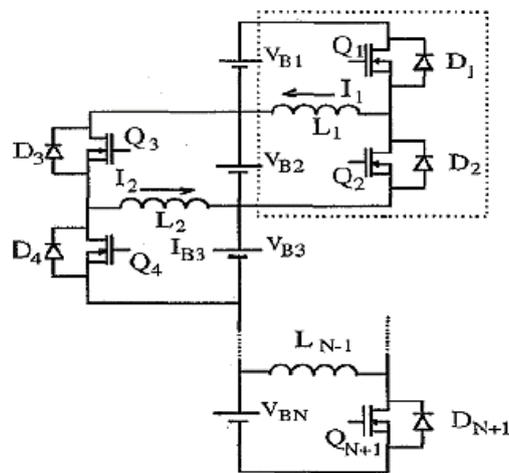


图 3-1-14 开关电感法电路结构图

开关电感法可以实现相邻单体电池间能量的同时传递，可以减少均衡时间，对于 N 个单体电池，需要 $2N-2$ 个 MOSFET 和 $N-1$ 个电感。

电池组各单体容量的均衡对于串联电池组的工作效率和安全起着非常重要的作用，长时间的不均衡会导致整个电池组寿命缩短，严重影响整个系统的工作。本章节介绍了各种电池均衡方法的工作原理和优缺点，从中我们可以看出，没有一种方法是十全十美的，需要根据应用场合、均衡时间、串联数量、成本等因素综合考虑，进行实际应用的选择。

4. 动力电池组的漏电检测

我国制定的关于电动汽车的国家标准与国际标准是一致的，标准中规定电动汽车的绝缘状况以绝缘电阻来衡量。动力电池的绝缘电阻定义为：如果动力电池与地（车底盘）之间的某一点短路，最大（最坏情况下的）泄漏电流所对应的电阻。

准确、实时地检测高压电气系统对车辆底盘绝缘性能，对保证乘客安全、电气设备正常工作和车辆安全运行具有重要意义。对电动汽车绝缘电阻的研究方法大同小异，主要是在直流母线正负极和电底盘之间接入电阻，通过电子开关或高压继电器接通电阻和电底盘，然后测量这些电阻上的电压或电流，再计算得到绝缘电阻的大小。这些方法都需要电子开关或高压继电器以及电流或电压传感器。

因为纯电动汽车要测量的绝缘电阻各支路都是由动力电池供电，因此电动汽车直流高压母线（包括各支路）的绝缘电阻也完全可以引用上述定义。实际上，直流母线正、负两极分别有自己的对地电阻，可以将它们等效为两个电阻： R_P 和 R_N ，其电路模型如图 3-1-15 所示，其中 V_b 代表动力电池电压，地即为电动汽车底盘， V_P 为正对地电压， V_N 为地对负电压，那么整车绝缘电阻按照动力电池绝缘电阻的定义应该取两者之中的较小者，因为如果高压回路的一端与底盘短接时，则产生的电流取决于另一端子的对地电阻，显然这个电阻越小，则允许流过的电流就越大，产生的危害性就越大。参考电动汽车国家标准，如果人或任何其他物体构成高压电路与地之间的外部电路，最坏的情况下泄漏电流不允许超过 2mA，这是人体没有任何感觉的阈值。虽然正常情况下电动汽车的绝缘电阻是很大的，但事实上，高压母线两端子对地线的绝缘电阻阻值是有限的，而且一般认为它们是不等的，只是理论上存在有两种极限情况。

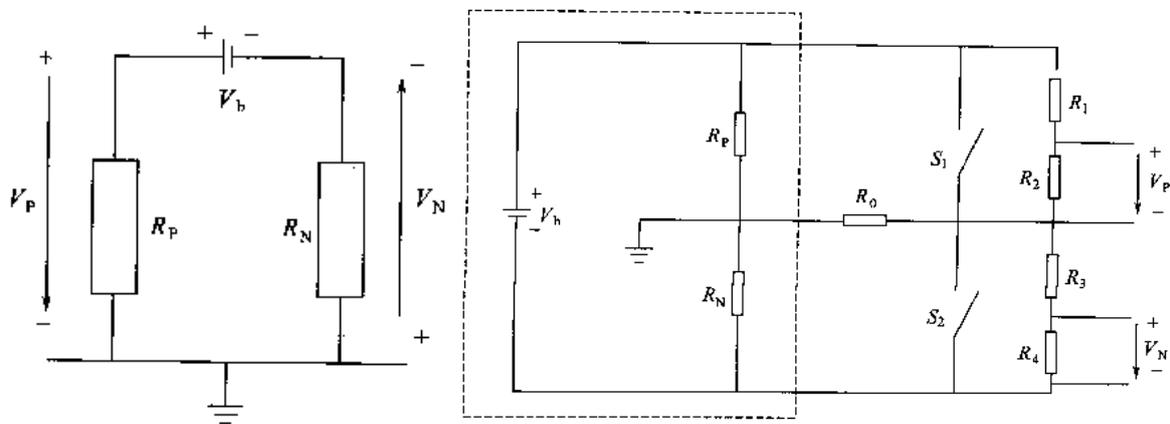


图 3-1-15 绝缘监控电路模型

理想绝缘：如果直流高压回路完全绝缘，任何一点对地短接都不会产生电流，可以认为绝缘电阻是“无限大的”。

绝缘短路：如果直流高压回路一端与底盘短接，就会有电流流过外部电路，电流的大小就仅取决于外部电阻，此时绝缘电阻为零。

电动汽车绝缘性能检测装置主要完成测量、预警、显示和通信四大部分的功能。为实现整车功能控制和高压自动切断保护，在电动汽车的高压系统中必须配置可自动切断主回路的接触器，根据整车设计需要，有些电动车辆的主回路上甚至有两个以上的相关部件，如果高压接触器发生闭合或断开失效，且不能及时采取有效措施，轻者会发生不能实现正常控制的情况，重者会产生重大安全事故，所以对高压接触器的执行状态进行有效、实时的监控，对电动汽车的安全、可靠运行有十分重要的意义。

对于接触器或继电器的状态监测方法有两种，一种是监测其线圈的得电情况，另一种是对触点本身进行监测。前一种方法简单，但对于监测对象来说，得电状态是间接反映，后一种方法直接，但实现有一定难度。

对于泄漏电流的检测，现在普遍采用两种方法：辅助电源法和电流传感法。

4.1 辅助电源法

在我国某些电动汽车采用的漏电检测器中，使用一个直流 110V 的检测用辅助蓄电池，蓄电池正极与待测高压直流电源的负极相连，蓄电池负极与汽车机壳实现一点连接。在待测系统绝缘性能良好的情况下，蓄电池没有电流回路，漏电流为零；在电源电缆绝缘层老化或环境潮湿情况下，蓄电池通过电缆线绝缘层形成闭合回路、产生漏电流，检测器根据漏电流的大小进行报警，并关断待测系统的电源。这种检测方法需要直流 110V 的辅助电源，增加了系统结构的复杂程度，而且这种检测方法难以区分绝缘故障源是来自电源的正极引线还是负极引线。

4.2 电流传感法

采用霍尔电流传感器是对高压直流系统进行漏电检测的另一种方法，将待测系统中电源的正极和负极一起同方向穿过电流传感器，当没有漏电流时，从电源正极流出的电流等于返回到电源负极的电流，因此，穿过电流传感器的总电流为零，电流传感器输出电压为零；当发生漏电现象时，电流传感器输出电压不为零。根据该电压的正负可以进一步判断产生漏电流的来源是来自正极还是负极。但是，用这种检测方法的前提是待测电源必须处于工作状态，要有工作电流的流出和流入，它无法在电源空载状态下评价电源的对地绝缘性能。

在目前的一些电动汽车研发产品中，采用母线电压在“直流正极母线~底盘”和“直流负极母线~底盘”之间的分压来表征直流母线相对于车辆底盘的绝缘程度，但是，这种电压分压法只能表征直流正负母线对底盘的相对绝缘程度，无法判别直流正负母线对底盘绝缘性能同步降低的情况；同时，对直流正、负极母线对底盘绝缘电阻差异较大的情况会出现绝缘性能下降的误判。严格地说，对于电动汽车，只有定量地分别检测直流正极母线和负极母线对底盘的绝缘性能，才能保证电动汽车的电气安全性。

5. 动力电池组的处理

几乎所有的电动汽车制造商和他们的电池供应商，都会使用回收和再利用程序，从而确保尽可能多的动力电池组在更换之后返回到制造商手中。有些动力电池组制造商还会将旧电池组的某些结构部件重新应用到用于更换的电池组上。

用于替换的动力电池组通常放在特殊的装运箱中被运送到汽车维修点。将替换电池组被从装运箱中取出后，技术人员把故障电池组安全牢固地装入这个装运箱内并寄回发货处。装运箱内通常带有包装说明和安全防护须知。

5.1 存放完好无损的动力电池组和电池模组

只允许将动力电池组及其组件例如电池模组存放在带有自动灭火装置的空间内。此外必须装有火灾探测器，从而确保即使不在工作时间内也能识别出失火情况。原则上不允许将动力电池组放在地面上，而是只能放在架子上。必须将各电池模组存放在可上锁的安全柜内。动力电池组故障但未损坏时，可像起动蓄电池一样将其放在运输容器内，如图 3-1-16 所示。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/988043010071006041>