

# 模块 3



## 新能源汽车的能量管理系统

### ◎ 学习目标



#### 1. 知识目标

- (1) 了解蓄电池管理系统的组成及工作过程；
- (2) 熟悉制动能量回收系统的类型及工作过程；
- (3) 熟悉电源转换装置的类型、作用及工作原理；
- (4) 了解串联式/并联式混合动力电动汽车能量管理系统的相关知识；
- (5) 熟悉能量管理系统的常见故障类型。



#### 2. 能力目标

- (1) 认识能量管理系统的组成件；
- (2) 熟悉能量管理系统常见故障的排除思路及流程。



## 3.1 纯电动汽车能源管理系统

蓄电池是新能源汽车的储能设备。新能源汽车依靠具有比能量高、使用寿命长、比功率大等特点的蓄电池为动力源,以此来提升车辆的动力特性。为了满足动力性的要求,就必须对蓄电池进行系统的管理。

能量管理系统是电动汽车的智能核心。一辆性能优异的电动汽车,除了有良好的机械性能、电驱动性能、选择适当的能量源外,还应该具备一套能够协调各个功能部件工作的能量管理系统。能量管理系统的作用是检测单个电池或电池组的荷电状态,并根据各种信号,如加减速命令、行驶路况、蓄电池工况、环境温度等,合理地调配和使用有限的车载能量;它还能够根据电池组的使用情况和充放电历史选择最佳充电方式,以尽可能延长电池的寿命。

电动汽车的电池实时存储电能和续驶里程数,是电动汽车行驶重要参数,也是电动汽车能量管理系统的主要功能。在电动汽车上应用电动汽车车载能量管理系统,可以更准确地设计电动汽车的电能储存系统,确定一个最佳的能量存储及管理结构,可以提高电动汽车本身的性能。



### 3.1.1 蓄电池的管理系统(BMS)

#### 1. 电动汽车使用 BMS 的必要性

电动汽车上使用的蓄电池有很强的特殊性,在使用过程中会产生各种问题。因此,电动汽车上必须具备蓄电池管理系统(BMS),加强对动力电池组的检测、监控与管理。

##### 1) 大容量单体电池过热

汽车动力电池采用大容量单体锂电池容易产生过热。单体电池有一定的温度耐受范围,在实际应用中如果体积过大,会产生局部过热,从而影响电池的安全和性能。因此,单体电池的大小受到限制,动力和储能电池不可能采用超大的单体锂电池。在苛刻的使用环境下,110mm×110mm×25mm 的 20A·h 锂电池,局部最高温度为 135℃;而 110mm×220mm×25mm 的 50A·h 锂电池,局部温度高达 188℃,更容易发生安全问题,所以必须监测和控制温度。

##### 2) 电池的性能不一致

基于现有的正极材料和电池制造水平,单体电池之间尚不能达到性能的完全一致,在通过串并联方式组成大功率大容量动力电池组后,苛刻的使用条件也易诱发局部偏差,从而引发安全问题。因此,为确保电池的性能良好、延长电池使用寿命(提升 50%以上),必须使用 BMS 对电池组进行合理有效的管理和控制。生产和使用过程均会造成电池性能不一致,如表 3-1 所示。



表 3-1 生产和使用过程均会造成电池性能差异对比表

生产过程	使用过程	造成的差异
生产工艺、材质有差异	长时间使用,材质老化不同步	电压、内阻、容量
生产的批次不同	充放电工作电流不一致	容量、内阻
个别电池内部短路	电池自放电	电流、内阻
活性物质不均匀	电池组内不同区域温度不同	电压、内阻、电流承受能力
	串并联充放电工作电流不一致	电压分布不均匀
生产工艺	系统局部漏电	SOC 变化不同

### 3) 电池成组后的问题

(1) 过充/过放。串联的电池组充放电时,部分电池可能先于其他电池充满/放完。继续充放电就会造成过充或者过放,电池的副反应将导致电池容量下降、热失控或者内部短路等问题。

(2) 过大电流。并联、老化、低温等情况,均会导致部分电池的电流超过其承受能力,降低电池的寿命。

(3) 温度过高。局部温度过高,会使电池的各项性能下降,最终导致内部短路和热失控,产生安全问题。

(4) 短路或者漏电。振动、湿热、灰尘等因素造成电池短路或漏电,威胁驾乘人员的人身安全。

蓄电池的管理系统(BMS)可以避免电池组发生以上若干问题。BMS 动态监测动力电池组的工作状态,实时采集每块电池的端电压和温度、充放电电流及电池组总电压,估算出各电池的荷电状态(state of charge, SOC)、安全状态(state of health, SOH)和电化学状态(state of electroformation, SOE)。通过控制其他器件,还可以防止电池产生过充电或过放电现象,同时能够及时给出电池状况,找出故障电池所在箱号和箱内位号,挑选出有问题的电池,保持整组电池运行的可靠性和高效性。

此外,BMS 还需要设定面向用户端的显示,将估算的剩余电量换算成可行驶里程。同时,还需要有自动报警和故障诊断功能,方便驾驶人员操作和处理。BMS 的工作原理可简单归纳为:数据采集电路首先采集电池状态信息数据,再由电子控制单元(ECU)进行数据处理和分析,然后根据分析结果对系统内的相关功能模块发出控制指令,并向外界传递信息。BMS 包含多个处理模块:数据采集模块, SOC 估算模块,电气控制模块,安全管控模块,热管理模块,数据通信和显示模块等。如表 3-2 所示为 BMS 的主要任务、输入的信号和执行部件。

表 3-2 BMS 的主要任务和输入、输出

BMS 的主要任务	输入的信号	执行部件
防止过充	电池电压、电流、温度	充电动机
避免过放	电池电压、电流、温度	电动机功率转换器
温度控制	电池温度	冷热空调(风扇等)
电池组件电压和温度的平衡	电池电压和温度	平衡装置
预测电池的 SOC 和剩余行驶里程	电池电压、电流、温度	显示装置



可对动力电池充电,对充电站的性能要求是大容量、长寿命、快速响应、可涓流充电,因此与 BMS 的要求有所不同,但总体功能仍与动力电池 BMS 类似,起到监控电池 SOC 和 SOH 状态、动态充放电、智能管理和输出控制等功能。

## 2. 电池管理系统结构

电池管理系统的基本作用是进行电池组管理。完善的管理系统包括热(温度)管理和电压平衡控制。蓄电池管理系统主要执行以下工作:测量电压、电流与温度;计算电池 SOC;计算电池放电深度 DOD;计算最大允许放电电流;计算最大允许充电电流;预测蓄电池寿命指数和 SOH;故障诊断等。

其结构主要由以下 3 个系统构成。

(1) 电池组管理系统。电池组管理系统主要管理电池的工作情况,避免出现过放电、过充、过热,对出现的故障及时报警,以便最大限度地利用电池的存储能力和循环寿命。电池组管理系统管理功能包括电池组电压测试、电池组电流测试、电池组和单节电池的温度测试、SOC 计算及显示技术、电池组剩余电量显示、车辆在线可行驶里程显示、自动诊断系统、报警系统和安全防护系统。

(2) 热(温度)管理系统。热(温度)管理系统主要对电池组组合方式、电池组分组和支架布置、通风管理系统和风扇、温度管理 ECU 及温度传感器、热能进行管理与应用。

(3) 电压平衡控制系统。电压平衡控制系统可以平衡各电池的充电量,能延长电池寿命,并对更换后的新电池进行容量平衡。

## 3. 蓄电池测量和监控系统

混合动力汽车电池管理系统和纯电动汽车电池管理系统的设计要求基本一致。其作用是对电池的组合、安装、充电、放电、电池组中各个电池的不均衡性、电池的热管理和电池的维护等进行监控和管理,使电池组能够提高工作效率,保证正常运转并达到最佳状态,避免发生电池的过充电和过放电,有效延长电池的寿命,以及动力电池组的安全管理和保洁等。

### 1) 电池的技术性能

电池的性能取决于电池的类型、型号以及使用程度,具体包括电池的容量、工作电压、终止电压、质量、外形尺寸和电池特性(包括记忆特性)等。因此,要对动力电池组建立技术档案。

实际上即使是同一型号、同一批量的电池,彼此之间由于制造原因、电解质的浓度差异和使用情况的不同,都会对整个动力电池组的性能带来影响。因此,在安装电池组之前,应对各个电池进行认真检测,将性能差异不大的电池组成动力电池组。

### 2) 电池状态的管理

混合动力汽车的动力电池组由多个单节电池组成,其基本状态包括在充电和放电双向作业时的电压、电流、温度、SOC 的比例等。在正常情况下,动力电池组的电压、电流、温度、SOC 的比例等能够进行双向计量和显示。

由于多种原因,在动力电池组中个别电池会出现性能的改变,使得动力电池组在充电时不能充足,而在放电时很快地将电能放尽。这就要求电池管理系统应能够及时自动检



测各个单节电池的状态,当检测出某节电池出现损坏状态时,及时进行报警,以便将“坏”电池剔除、更换。

### 3) 动力电池组的组合

动力电池组需要8~32节12V的单节电池串联起来(指铅酸电池)或更多单节(指其他电池)串联而成,为了能够分别安装在混合动力汽车的不同位置处,通常动力电池组上分为多个小的电池组分散地进行布置,这样有利于电池组的机械化安装、拆卸和检修。

如果发现某个电池的温度处于不正常状态,剩余电量(SOC)显示也不正常时,即刻向动力电池组管理系统反馈某个电池在线的响应信息,并由故障诊断系统预报动力电池组的故障。确定SOC是BMS中的重点和难点。目前应用的各种电池组SOC实时在线估算方法都存在缺陷,不能完全达到实际使用的要求。这主要是因为电池组的SOC和很多因素相关,而且具有很强的非线性,给SOC实时在线估算带来很大的困难。

### 4) 动力电池组的安全管理

动力电池组管理系统要承担动力电池组的全面管理,一方面保证动力电池组的正常运作,显示动力电池组的动态响应并及时报警,使驾驶员随时都能掌握动力电池组的情况;另一方面要对人身和车辆进行安全保护,避免因电池引起各种事故。

电池与电池、电池组与电池组之间需要用高压电缆连接。当动力电池组的总电压较高或采用高压直流输出时,高压电缆的截面积比较小,有利于电线束的连接和固定,但高电压要求有更可靠的防护。

当动力电池组的总电压较低时,则电流比较大,高压电缆的截面积则比较粗,高压电缆很硬,不能随意形变,安装较不方便。各个电池箱之间还需要用高压电缆将各个电池箱串联起来,一般在最后输出一箱中加装手动或自动断电器,以便在安装、拆卸和检修时切断电流。

另外,在电池箱中还有各种传感器线束,因此在汽车上有尺寸很长的各种各样的电线束,要求电线之间有可靠的绝缘,并能快速进行连接。

在正常的情况下,车辆停止使用时,动力电池组管理系统会自动切断电源,只有在汽车启动时才接通电源。当汽车发生碰撞或倾覆时,电池管理系统立即切断电源,防止高压电引起人身事故和火灾,并防止电解液造成的伤害,以保证人身安全。

动力电池组的总电压可以达到90~400V,较高的电压会对人体造成极大伤害,故应采取有效隔离措施,可将动力电池组与车辆的乘坐区分离,将动力电池组布置在地板下面或车架的两侧。

某些电池在过充电时会着火甚至爆炸,因此电池使用的安全问题是国内外各大汽车公司和科研机构当前所面临和必须解决的难题,它直接影响电动汽车是否能够普及应用。BMS在安全方面主要侧重于对电池的保护,以及防止高电压和高电流的泄漏,其所必备的功能有:过电压和过电流控制、过放电控制、防止温度过高、在发生碰撞的情况下关闭电池。这些功能可以与电气控制、热管理系统相结合来完成。许多系统都专门增加电池保护电路和电池保护芯片。

### 5) 电池箱热管理系统

汽车上使用的动力电池组在工作时都会有发热现象,不同蓄电池的发热程度各不相



同,有的蓄电池在夏季采用自然通风即可满足电池组的散热要求,但有的蓄电池则必须采取强制通风或冷却液来进行冷却,才能保证电池组正常工作并延长蓄电池的寿命。

至于蓄电池工作时,会产生较高的温度,理想情况下可以充分利用其产生的热量,将其用于取暖和风窗玻璃除霜等,使热量得到管理与应用,但实际汽车结构设计很难利用这部分热能或生产上不经济。

另外,有的蓄电池需要加保温电池箱,并设计恒温控制系统。电池组装在一个系统中,各个蓄电池的温度应保持一致或相近。

根据动力电池组在电动车辆上的布置,动力电池组的温度管理系统中,首先应合理安排动力电池组的支架,要求便于动力电池组或其分组的安装,能够实现机械化装卸,便于各种电线束的连接。在动力电池组的支架位置和形状确定后设计通风管道、风扇、动力电池组 ECU 和温度传感器等。

电池在不同的温度下会有不同的工作性能,如铅酸电池、锂离子电池和镍-氢电池的最佳工作温度为  $25\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。温度的变化会使电池的 SOC、开路电压、内阻和可用能量发生变化,甚至会影响到电池的使用寿命。温度的差异也是引起电池均衡问题的原因之一。美国可再生能源、国家实验室的 Ahmad A. Pesaran 指出热管理系统的主要任务有:使电池工作在适当的温度范围内;降低各个电池模块之间的温度差异,使用车载空调器可以实现对电池温度的控制,这也是电动汽车常用的温度控制方法。例如,利用空调制冷剂通入蓄电池的散热器内部。

#### 6) 动力电池组的均衡管理

电池组(PACK)有别于单体电池,在目前的组电池制造水平下,单体之间的性能差异在其整个生命周期里不可避免会存在,组合成多节串联 PACK 后若不采取技术措施,单体电池在充放电过程中的不一致会导致单体电池由于过充、过放而提前失效。要想避免单体电池由于过充、过放导致提前失效,使 PACK 的性能指标达到或者接近单体电池的水平,必须对电池组中单体电池进行均衡控制,电池组均衡的作用是将多节串联后的 PACK 内部各电池单体充放电性能恶化减到最小或使其消失。

避免 PACK 内部各电池单体放电时产生性能恶化,采用简单的控制电路就可做到,但充电时避免 PACK 内部各电池单体产生性能恶化却有较大难度,这使充电均衡成为 PACK 均衡的一个主要问题。

对于电池组均衡,目前有 3 种均衡方式:单体充电均衡、充电均衡加放电均衡、动态均衡。

动态均衡即是在锂电的使用和闲置全程中进行的充放电均衡。它可以通过延长均衡的时间来掩盖充放电均衡量不够所产生的问题。在动态均衡下,因为电池每时每刻都在细微均衡,故在充电和放电时所需要的均衡量大幅下降。

为了克服电池不一致带来的严重影响,近十几年来,许多电池管理系统的研发者采用了各种各样的方法来进行电池的均衡。归纳起来有以下 3 种方法:分流法(旁路法)、切断法、并联法。

分流法在充电时,当某一电池的充电电压超过设定值时,通过并联在该电池的电阻分流该电池的一部分电流,从而达到降低该电池充电电压的目的。该方案结构复杂,体积



大,分流时发热量大,通用性差。此种分流方法,未必非要在电池过压后才开始分流,可以在电压比平均电压高时就开始分流平衡。

切断法在充电时,当某一电池的充电电压超过设定值时,通过自动控制开关切断该电池的电路,同时闭合旁路开关,电流绕过这块电池,继续向下一块电池充电。切断法开关个数是电池数目的两倍。切断法需要充电器配合,要求充电器能够动态适应一个电芯到全部电芯充电的能力,且在切换电池后要能够动态地调整充电电压、充电电流,实现恒流、恒压充电以及浮充等,对充电器的要求比较高。

并联法就是把电池按照先并联再串联的连接方式使用,从而达到利用一些小容量电池组成大容量、高电压电池组的效果。电池并联后,无法测量各单体电池的电压,因而就无法实施对电池组中各单体电池的监控。由此可见,用并联法是无法实现电池组电池的均衡效果的。

#### 7) 电池状态故障诊断

BMS 根据故障的级别将电池状态归纳为尽快维修、立即维修和电池寿命警告 3 类信息传递到仪表盘以警示驾驶者,从而保护电池不被过分使用。

故障诊断功能是 BMS 的重要组成部分,可以在动力电池组工作过程中实时掌握电池的各种状态,甚至在停机状态下也能将电池故障信息定位到动力电池系统的各个部分。故障级别分为一般故障、警告故障和严重故障。

##### (1) BMS 的重要诊断内容

① 启动过程的 BMS 硬件故障诊断、传感器信号的合理性诊断、电池组电压信号合理性诊断、电池模块电压的合理性诊断、启动过程电流信号的合理性诊断、启动过程温度信号的合理性诊断。

② 行车过程的 BMS 诊断。电压波动诊断、无模块电压诊断、无电池组电压诊断、无温度信号诊断、电流故障诊断、流量传感器故障诊断、模块电压一致性故障诊断、过流故障诊断、通信系统故障诊断、通风机故障诊断、高压电控制故障诊断、模块电压的过充诊断、电池组电压的过充诊断、模块电压变化率的过充诊断、电池组电压变化率的过充诊断、SOC 的过充诊断、传感器温度的过充诊断、平均温度的过充诊断、传感器温度变化率的过充诊断、平均温度变化率的过充诊断、模块电压的过放诊断、电池组电压的过放诊断、模块电压变化率的过放诊断、电池组电压变化率的过放诊断、SOC 的过放诊断、传感器温度的过放诊断、平均温度的过放诊断、传感器温度变化率的过放诊断、平均温度变化率的过放诊断。

##### (2) BMS 的诊断策略与失效处理的基本策略

BMS 的上述诊断内容分充电过程、放电过程进行,其诊断策略与失效处理的基本策略如下:

- ① 根据各故障原因,对各种故障诊断分别设置了诊断程序的进入与退出条件;
- ② 采用分时诊断流程,节约 CPU 时间资源;
- ③ 根据电池充电倍率,动态调节充电诊断过程参数;
- ④ 根据电池放电倍率,动态调节放电诊断过程参数;
- ⑤ 故障诊断结果参与电池实际工作电流的控制;



- ⑥ 故障诊断结果参与高压电控制；
- ⑦ 故障诊断分三种不同级别进行(报警、故障与危险)；
- ⑧ 故障诊断结果通过 CAN 总线送至 VMS。

(3) 监视软件实现的功能

- ① 监测电流；
- ② 监测动力蓄电池的单体或模块电压；
- ③ 监测动力蓄电池组总电压；
- ④ 电池组 SOC、工作平均温度；
- ⑤ 模块电压极大值、极小值；
- ⑥ 温度传感器极大值、极小值；
- ⑦ 存储数据,采用 Office 软件进行后处理分析；
- ⑧ 显示工况运行时间；
- ⑨ 监测蓄电池组故障码状态；
- ⑩ 监测最大允许充电电流和最大允许放电电流。



### 3.1.2 制动能量回收系统

再生制动是指电动汽车在减速制动(或者下坡)时将汽车的部分动能转化为电能,并将电能储存在储存装置(如各种蓄电池、超级电容和超高速飞轮)中,最终增加电动汽车的续航里程。一旦储能器已经被完全充满,则再生制动就不能实现,所需的制动力就只能由常规的制动系统提供。

如图 3-1 所示为电动汽车的再生制动/液压制动系统的基本结构。当驾驶员踩下制动踏板后,电泵使制动液增压产生所需的制动力,制动控制与电动机控制协同工作,确定

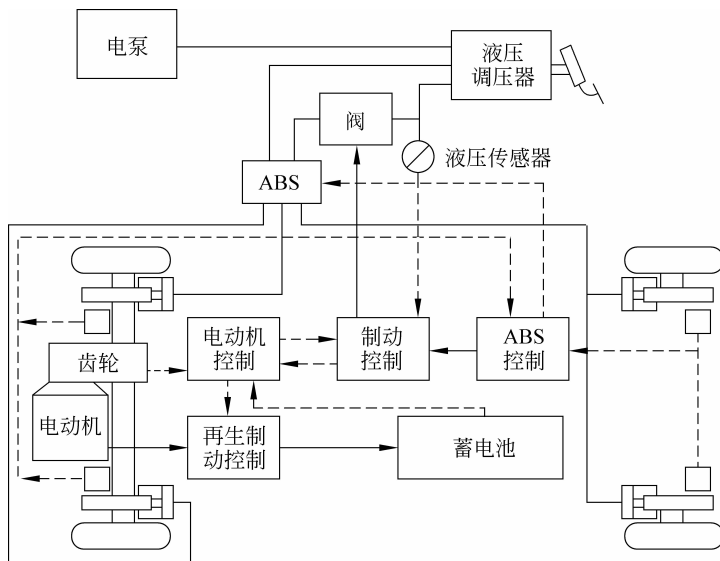


图 3-1 电动汽车的再生制动/液压制动系统的基本结构



电动汽车上的再生制动力矩和前后轮上的液压制动力。再生制动时,再生制动控制回收再生制动能量,并且反充至动力电池中。与传统燃油车相同,电动汽车上的 ABS 及其控制阀的作用是防止制动时车轮抱死。

### 1. 再生制动能量回收的方法和类型

再生制动能量回收的基本原理是先将汽车制动或减速时的一部分机械能(动能)经再生系统转换(或转移)为其他形式的能量(旋转动能、液压能、化学能等),并储存在储能器中,同时产生一定的负荷阻力使汽车减速制动;当汽车再次启动或加速时,再生系统又将储存在储能器中的能量转换为汽车行驶所需要的动能(驱动力)。

#### 1) 再生制动能量回收方法

储能机理不同,电动汽车再生制动能量回收的方法也不同,主要有飞轮储能、液压储能和电化学储能 3 种。

飞轮储能是利用高速旋转的飞轮来储存和释放能量,能量回收系统原理图如图 3-2 所示。当汽车制动或减速时,先将汽车在制动或减速过程中的动能转换成飞轮高速旋转的动能;当汽车再次启动或加速时,高速旋转的飞轮又将存储的动能通过传动装置转化为汽车行驶的驱动力。

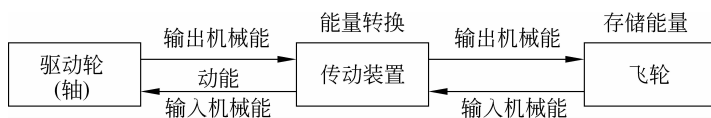


图 3-2 飞轮储能式再生制动能量回收系统原理图

如图 3-3 所示是一种飞轮储能式再生制动能量回收系统示意图。系统主要由发动机、高速储能飞轮、增速齿轮、离合器和驱动桥组成。发动机用来提供驱动汽车的主要动力,高速储能飞轮用来回收再生制动能量及作为负荷平衡装置,为发动机提供辅助的功率以满足峰值功率的要求。

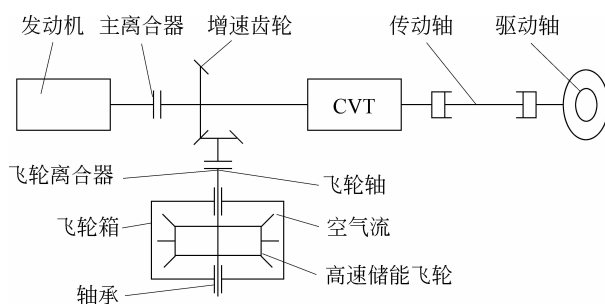


图 3-3 飞轮储能式再生制动能量回收系统示意图

液压储能式再生制动能量回收系统原理图如图 3-4 所示。它先将汽车在制动或减速过程中的动能转换成液压能,并将液压能储存在液压储能器中;当汽车再次启动或加速时,储能系统又将储能器中的液压能以机械能的形式反作用于汽车,以增加汽车的驱动力。

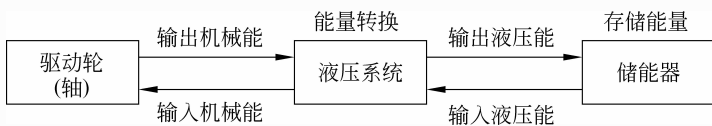


图 3-4 液压储能式再生制动能量回收系统原理图

如图 3-5 所示是液压储能式再生制动能量回收系统示意图。系统由发动机、液压泵/电动机、储能器、变速器、驱动桥、离合器和液压控制系统组成。汽车启动、加速或爬坡时，液控离合器接合，液压储能器与连动变速器连接，液压储能器中的液压能通过液压泵/电动机转化为驱动汽车的动能，用来辅助发动机满足驱动汽车所需要的峰值功率。减速时，电控元件发出信号，使系统处于储能状态，将动能转换为压力能储存在液压储能器内，这时汽车行驶阻力增大，车速降低直至停车。在紧急制动或初始车速较高时，能量再生系统不工作，不影响原车制动系统正常工作。

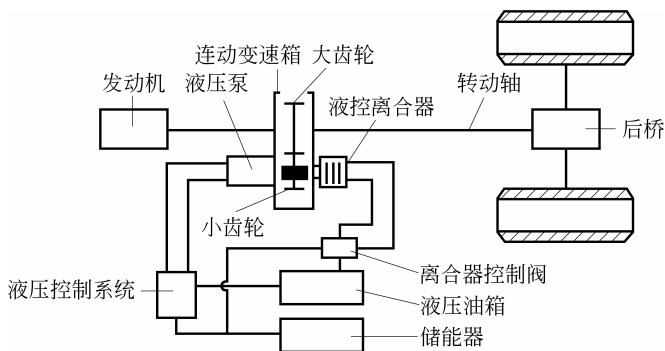


图 3-5 液压储能式再生制动能量回收系统示意图

电化学储能式再生制动能量回收系统原理图如图 3-6 所示。它先将汽车在制动或减速过程中的动能，通过发电机转化为电能并以化学能的形式储存在储能器中；当汽车再次启动或加速时，再将储能器中的化学能通过电动机转化为汽车行驶的动能。储能器可采用蓄电池或超级电容，由发电机/电动机实现机械能和电能之间的转换。系统还包括一个控制单元，用来控制蓄电池或超级电容的充放电状态，并保证蓄电池的剩余电量在规定的范围内。

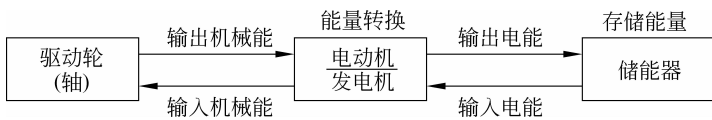


图 3-6 电化学储能式再生制动能量回收系统原理图

如图 3-7 所示是一种用于前轮驱动汽车的电化学储能式再生制动能量回收系统示意图。当汽车以恒定速度或加速度行驶时，电磁离合器脱开。当汽车制动时，行车制动系统开始工作，汽车减速制动，电磁离合器接合，从而接通驱动轴和变速器的输出轴。这样，汽车的动能由输出轴、离合器、驱动轴、驱动轮和从动轮传到发动机和飞轮上。制动时的机械能由电动机转换为电能，存入蓄电池。当电磁离合器再分离时，传到飞轮上