

新能源汽车技术

XINNENGYUAN
QICHE JISHU

韩龙海 张春龙 李颖



◆ 十四五汽车类精品课程规划教材



◆ 汽车类高素质技术技能人才理实一体化系列教材



XINNENGYUAN
QICHE JISHU



新能源汽车技术

韩龙海 张春龙 李颖



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

目 录

项目一 新能源汽车的总体认知

任务一	新能源汽车的定义与分类	1
任务二	新能源汽车发展背景	6
任务三	新能源汽车的发展现状与趋势	8

项目二 新能源汽车关键技术的认知

任务一	动力电池及管理系统技术	15
任务二	电动汽车电机驱动系统	50
任务三	电动汽车控制系统	61

项目三 纯电动汽车的认知

任务一	纯电动汽车概述	69
任务二	纯电动汽车基本结构与原理	73
任务三	典型纯电动汽车车型实例	75

项目四 混合动力汽车的认知

任务一	混合动力汽车的概述	85
任务二	混合动力汽车的基本结构和工作原理	94
任务三	混合动力汽车动力耦合类型	105
任务四	典型混合动力汽车车型分析	109

项目五 燃料电池电动汽车的认知

任务一	燃料电池电动汽车的概述	134
-----	-------------------	-----



任务二 燃料电池 139

项目六 其他清洁能源汽车的认知

任务一 二甲醚汽车 145

任务二 太阳能汽车 148

任务三 压缩空气动力汽车 154

项目七 纯电动汽车使用维护与高压安全

任务一 纯电动汽车使用与常规维护 160

任务二 纯电动汽车高压安全 179

参考文献

项目二 新能源汽车关键技术的认知

知识目标

1. 了解新能源汽车各种动力电池的主要种类、构造、工作原理以及充电方式；
2. 熟悉新能源汽车电机驱动系统的组成、类型以及常用电机的基本结构和工作原理；
3. 掌握电动汽车的整车控制、电机控制、电源管理系统、制动能量回馈系统等控制技术。

技能目标

1. 能够认识并正确区分动力电池的类型，会检测、更换动力电池；
2. 能够正确区分驱动电机的类型，会检测驱动电机；
3. 能够简述整车控制器的作用，能够对整车控制器进行拆装。

素质目标

1. 能够制订工作计划，独立完成工作和学习任务；
2. 能够在工作过程中，与小组其他成员合作、交流并进行学习任务分工，具备团队合作和安全操作意识；
3. 养成服从管理、规范作业的良好工作习惯，培养精益求精的大国工匠精神。

项目概述

提到传统燃油汽车的核心自然离不开俗称的“三大件”：发动机、底盘和变速器。新能源汽车也有俗称的“三大件”，即新能源汽车的三大关键技术：电池、电机和电控。这三大关键技术涉及的具体内容有哪些？关键技术的现状和发展趋势如何？同学们可以带着以上问题进行本项目的学习。

任务一 动力电池及管理系统技术

一、新能源汽车动力电池概述

动力电池是电动汽车的动力源，是能量的储存装置。在国家标准《电动汽车术语》（GB/T 19596—2017）中动力蓄电池（traction battery）的定义为：为电动汽车动力系统提供能量的蓄电池。它是集化学、电气和机械特性于一体的复杂系统，其中电芯的电化学特性所决定的充放电和安全性等特性对动力电池系统的设计制造和应用维修起决定性作用。



1. 动力电池分类

动力电池可分为化学电池、物理电池和生物电池。

(1) 化学电池

化学电池是利用物质的化学反应产生电能的电池，也是目前电动汽车上应用最广泛的动力电池。化学电池按工作性质分为原电池、蓄电池、燃料电池和储备电池。化学电池按电解质分为酸性电池、碱性电池、中性电池、有机电解质电池、非水无机电解质电池、固体电解质电池等。化学电池按正负极材料分为锌锰电池系列、镍镉镍氢系列、铅酸系列、锂电池系列等。

(2) 物理电池

物理电池是利用光、热、物理吸附等物理能量发电的电池，如太阳能电池、超级电容器、飞轮蓄能装置等。

(3) 生物电池

生物电池是利用生物化学反应发电的电池，如微生物电池、酶电池、生物太阳电池等。

车用动力电池已经从传统的铅酸蓄电池发展到镍氢电池、锂离子电池等先进的绿色动力电池，在比能量、比功率、安全性、可靠性、循环寿命、成本等方面都取得了很大进步。在物理电池领域，超级电容器应用于纯电动汽车和混合动力汽车是发展方向之一。

目前，在各种类型的新能源汽车上，应用较多的动力电池主要有铅酸蓄电池、镍氢电池和锂离子电池等。

2. 动力电池不足

尽管新型蓄电池不断出现，各种蓄电池的性能和使用寿命也均有大幅度的提高，但是目前各种蓄电池还不能满足新能源汽车对动力电池的实际需求。其主要不足归纳如下。

(1) 能量密度低

目前，新能源汽车用动力电池的质量能量密度和体积能量密度均很低。例如：铅酸蓄电池的质量能量密度只有 $35\sim 40\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ；锂离子电池的质量能量密度可达 $150\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ，小型商品锂离子电池能量密度为 $200\sim 220\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ，日本计划在 2030 年将锂离子电池能量密度提高到 $500\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ，但是与汽油的 $10000\sim 12000\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 能量密度相比还是相差了许多。

由于动力电池的能量密度低，致使新能源汽车的续航里程短、车辆自身质量大。例如：一辆普通小汽车携带 50 kg 汽油可行驶 600 km 以上，而同类型新能源汽车所配备的铅酸蓄电池的质量达到 400 kg ，充足电后只能行驶 100 km 左右。可见，要使新能源汽车达到一定的续航里程，就不得不配备大量的动力电池。而配备过多的动力电池，又会使新能源汽车自身过重，不仅消耗掉一部分动力电池的电能，也使车辆的动力性、运行效率及制动性能等下降。此外，动力电池组的质量和所占的体积，也给整车的设计增加了难度。现在大规模发展的锂电池汽车较好地解决了这个问题，充电 15 min ，续航里程 400 km 。尤其是石墨烯基锂电池，充电时间可以大大缩短，续航里程可以大大延长。

(2) 充电时间长

无论是哪一种动力电池，充电时可接受的最大电流都是有限的。要将放完电的动力电池重新充足电，需要较长的时间。即使采用对动力电池寿命有一定影响的快速充电方法，其充电时间与燃油汽车加油的时间相比也长很多。也就是说，动力电池的充电时间长，间接地影响了新能源汽车的使用性能。

(3) 价格高且使用寿命短

铅酸蓄电池是价格相对较为便宜的动力电池，但一辆续航里程为 100 km 左右的纯电动客车，其所配备的动力电池组的价格为 2 万元左右。如果使用锂离子电池，其续航里程可比铅酸蓄电池提高不少，但价



格要高出好几倍。

无论是哪一种动力电池，其使用寿命都低于汽车其他的总成部件。也就是说，一辆新能源汽车在其使用寿命期限内，需要更换几次动力电池。新能源汽车不仅车辆本身的成本高，而且在其使用过程中更换动力电池的费用也很高。

(4) 汽车附件的使用受到限制

动力电池的能量有限，选用一些能量消耗较大的辅助装置（如空调、动力转向、制动助力等）时必须充分考虑对动力电池电能的消耗。

由于动力电池存在以上不足，导致了新能源汽车的使用性能和价格不能与普通燃油汽车相抗衡，使新能源汽车的产业化困难重重。随着科学技术的不断发展，我们相信，新能源汽车用动力电池的技术难关必将有所突破，动力电池的性能和价格问题也必将得到解决。

二、动力电池的性能指标

1. 电压

动力电池的电压（端电压）是指其正极与负极之间的电位差，单位为 V（伏特），是表示动力电池性能与状态的重要参数之一。

(1) 工作电压：电池在一定负载条件下实际的放电电压。工作电压也称为放电电压，蓄电池在放电时的放电电流越大，放电电压就越低；在同样的放电电流下，随着蓄电池的放电程度增加，其放电电压也会相应降低。如铅酸蓄电池的工作电压为 1.8~2 V，镍氢电池的工作电压为 1.1~1.5 V，锂离子电池的工作电压为 2.75~3.6 V。

(2) 额定电压：有时也称为标称电压或公称电压，是指电池在标准规定条件下工作时应达到的电压。如镍氢电池的额定电压为 1.2 V，磷酸铁锂电池的额定电压为 3.2 V，锰酸锂和钴酸锂电池及三元锂电池的额定电压为 3.6 V。

(3) 终止电压：放电终止时的电压值，通常与负载、使用要求有关。

(4) 充电电压：外电路直流电压对电池充电的电压。一般充电电压要大于开路电压，如镍镉电池的充电电压为 1.45~1.5 V，锂离子电池的充电电压为 4.1~4.2 V，铅酸蓄电池的充电电压为 2.25~2.7 V。

2. 内阻

动力电池的内阻是指电流流过动力电池内部时所受到的阻力。动力电池的内阻主要与极板的材质、结构及装配工艺有关。不同的电解质呈现的电阻也不同。因此，不同类型的动力电池，其内阻是不同的。对同种类型的动力电池来说，放电状态内阻比充电状态内阻大，并且不太稳定。动力电池内阻越大，动力电池自身消耗掉的能量越多，动力电池的使用效率越低。内阻很大的动力电池在充电时发热很厉害，使动力电池的温度急剧上升，对动力电池和充电器的影响都很大。随着动力电池使用次数的增多，电解液的消耗及动力电池内部化学物质活性的降低，动力电池的内阻会有不同程度的升高。

3. 容量

容量是指充电以后，在一定放电条件下所能释放出的电量，其单位为 A·h（安时）。容量用来表示动力电池的放电能力。在不同条件下，动力电池所能输出的电量（容量）是不同的，容量与放电电流大小有关，与充放电截止电压有关。

(1) 实际容量：是指电池在一定的放电条件下实际放出的电量。它等于放电电流与放电时间的乘积。

(2) 额定容量：是指设计与制造电池时，按照国家或相关部门颁布的标准，保证电池在一定的放电



条件下能够放出的最低限度的电量。在我国的国家标准中，用 3 h 放电率容量 (C_3) 来定义新能源汽车用动力电池的额定容量，用 20 h 放电率容量 (C_{20}) 来定义汽车用起动机动力电池的额定容量。

(3) 比容量：是指单位质量或单位体积的电池所能给出的电量，一般用质量容量 $A \cdot h/kg$ 或体积容量 $A \cdot h/L$ 来表示。

值得注意的是，实际电池中正负极容量不等，多为负极容量过剩。

4. 能量

动力电池的能量是指在一定的放电条件下，动力电池所输出的能量，单位为 $W \cdot h$ (瓦·时) 或 $kW \cdot h$ (千瓦·时)。动力电池的能量表示其供电能力，是反映动力电池综合性能的重要参数，决定电动汽车的行驶距离。

(1) 标称能量：是指按一定标准所规定的放电条件下，动力电池所能输出的电能。动力电池的标称能量是其额定容量与额定电压的乘积。

(2) 实际能量：是指在一定的放电条件下，动力电池所能输出的能量。动力电池的实际能量是电池的实际容量与平均工作电压的乘积。动力电池的质量包括动力电池本身结构件质量和电解质质量的总和。

(3) 比能量：即质量比能量，是指动力电池组单位质量所能输出的能量，单位为 $kW \cdot h/kg$ 。动力电池的比能量越高，汽车充足电后的行驶里程就越长。

(4) 能量密度：即体积比能量，是指动力电池组单位体积所能输出的能量，单位为 $kW \cdot h/L$ 。动力电池的能量密度越高，新能源汽车的载质量和车内的空间就越大。

5. 功率

动力电池的功率是指在一定放电制度下，单位时间内输出的能量，单位为 W 或 kW 。动力电池的功率大小会影响新能源汽车的加速度和最高车速。

(1) 比功率：即质量比功率，是指单位质量电池输出的功率，单位为 W/kg 或 kW/kg 。动力电池的比功率越大，汽车的加速和爬坡性能就越好，最高车速也越高。

(2) 功率密度：即体积比功率，是指动力电池单位体积所能输出的功率，单位为 W/L 或 kW/L 。动力电池的功率密度越高，新能源汽车的载质量和车内的空间就越大。

6. 放电率与放电深度

放电率是指放电时的速率，常用“时率”和“倍率”表示。时率是指以放电时间表示的放电速率，即以一定的放电电流放完额定容量所需的时间。倍率是指电池在规定时间内放出额定容量所输出的电流值，数值上等于额定容量的倍数。

放电深度 (depth of discharge, DOD)，即放电程度，是指放电容量与总放电容量的百分比。

7. 荷电状态

荷电状态 (state of charge, SOC)，是指剩余电量与额定容量或实际容量的比例。这一参数在电动汽车使用中十分关键却不易获取，能对 SOC 精确地实时辨识，是电池管理系统的一个关键技术。

8. 自放电性能

对所有化学电源，即使在与外界电路无任何接触的条件下开路放置，其容量也会自然衰减，这种现象称为自放电。电池自放电的大小用自放电率衡量，通常以单位时间内容量减少的百分比表示：

$$\text{自放电率} = (\text{储存前电池容量} - \text{储存后电池容量}) / \text{储存前电池容量} \times 100\%$$

9. 充电效率

在规定条件下，充入电池的电能与消耗的总电能之比称为充电效率。充电效率受充电电流、温度等

多种因素影响。一般情况下，初期充电效率很高，为 90% 左右；充电后期由于电池充电接受能力下降、极化等因素，充电效率快速下降。另外，充电电流太小或太低、低温和高温充电，充电效率都会下降。单节锂离子电池充电效率曲线如图 2-1 所示。

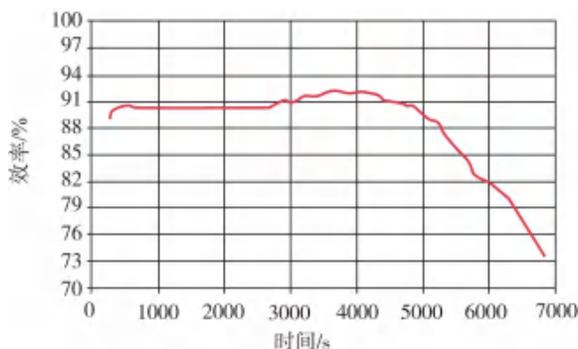


图 2-1 单节锂离子电池充电效率曲线

10. 电池失效与记忆效应

当电池在规定条件下达不到预定特性时，称为电池失效。电池失效可分为可逆失效（暂时失效）和不可逆失效（永久失效）。若电池失效后可用一般的恢复性措施重新恢复其性能，称为可逆失效；若不能恢复，称为不可逆失效。

电池长时间经受特定的工作循环后，自动保持这一特定的电性能倾向，称为记忆效应。镍氢电池有记忆效应，但表现不明显，可以忽略。锂离子电池不存在记忆效应。

11. 低温放电能力

动力电池在高温情况下的放电容量与常温放电容量接近甚至略高。在低温条件下，其质子迁移速率变慢，放电能力受到限制。低温放电能力一般为电池在常温条件下充满电后，在规定的温度（20℃或 30℃）下搁置一段时间，按照规定的电流放电到终止电压所能放出的容量占常温容量的百分比。

12. 使用寿命

使用寿命是指电池实际使用时间的长短。对于充电电池而言，电池的寿命分为充放电循环寿命和湿搁置使用寿命。

充放电循环寿命是衡量充电电池性能的重要参数。它是指在一定的充放电制度下，电池容量降到某规定值前，电池能耐受的充放电次数。充放电循环寿命越长，电池性能越好。不同类型的动力电池，其充放电循环寿命有所不同。目前，镍镉电池的充放电循环寿命为 500~800 次，铅酸蓄电池为 200~500 次，锂离子电池为 600~1000 次。充电电池的充放电循环寿命与放电深度、温度、充放电制度等条件有关。

湿搁置使用寿命，是指电池加入了电解液后开始进行充放电循环直至充放电循环寿命终止的时间（包括充放电循环过程中电池处于放电态湿搁置的时间）。湿搁置使用寿命越长，电池性能越好。在常用的电池中，镍镉电池湿搁置使用寿命为 2~3 年，铅酸蓄电池为 3~5 年，锂离子电池为 5~8 年，锌银电池最短，只有 1 年左右。

13. 电池的不一致性

电池的不一致性是指同一规格、同一型号电池在电压、内阻、容量、充电接受能力、循环寿命等参数方面存在的差别。在现有的电池技术水平下，电动汽车必须使用由多块单体电池构成的电池组来满足使用要求。由于不一致性的影响，动力电池组在电动汽车上使用的性能指标往往达不到单体电池原有水



平,使用寿命可能缩短数倍甚至十几倍,严重影响电动汽车的性能和应用。

14. 贮存

电池的贮存条件直接影响电池的使用寿命。电池的贮存条件包括电池的荷电量、贮存温度等,这都会影响电池贮存后的性能。一般较低温度下贮存可以延长电池的贮存寿命。

三、新能源汽车对动力电池的基本要求

新能源汽车对动力电池的要求主要有以下几点。

①比能量高。为保证新能源汽车的续航里程,新能源汽车的动力电池须尽可能储存多的能量。新能源汽车的质量不能过大,电池的安装空间也受整车分布限制,因此动力电池必须有高的比能量。

②比功率大。为满足电动汽车在加速、上坡、负载等行驶条件下的动力要求,电池必须具备大的比功率。

③连续放电率高,电池能够适应快速放电的要求;自放电率低,以保证电池能够长期存放。

④充电技术成熟,时间短,充电技术通用性强,能够实现快速充电。

⑤适应车辆运行环境。电池能在常温条件下正常稳定地工作,不受环境温度影响,无须特殊的加热、保温系统,能够适应新能源汽车行驶过程中的振动。

⑥安全可靠。电池应干燥、洁净,电解质不会渗漏腐蚀接线柱、外壳。不会引起自燃或燃烧;在发生碰撞等事故时,不会对乘员造成伤害。废电池能够回收处理及再生利用,电池中的有害重金属能够集中回收处理。电池组可采用机械装置进行整体拆解、更换,线路连接方便。

⑦长寿命、免维护。电池的循环寿命不低于 1000 次,在使用寿命限定期间内,无须进行维护与修理。

四、动力电池的种类、结构与原理

1. 铅酸蓄电池

以酸性水溶液为电解质的蓄电池称为酸蓄电池。由于酸蓄电池电极是以铅及其氧化物为材料,故又称为铅酸蓄电池。铅酸蓄电池于 1859 年由法国科学家普兰特 (G. Plante) 发明。1881 年法国人发明的电动汽车就是以铅酸蓄电池作为动力,铅酸蓄电池广泛用于燃油汽车的起动。

铅酸蓄电池的特点是断路电压高,放电电压平稳,充电效率高,能够在常温下正常工作;生产技术成熟,价格便宜,规格齐全。近十年来,国内外的第一代电动汽车广泛使用了铅酸蓄电池。

电动汽车的牵引用动力铅酸蓄电池(简称动力铅酸蓄电池)性能与起动铅酸蓄电池的要求不同。它既要求有瞬时大电流放电,又要求有持续大电流放电的能力。动力铅酸蓄电池有以下几个特点。

①单格电压高。纯电动汽车用铅酸蓄电池的单格额定电压可达 2.0 V,开路电压为 2.1 V,工作电压为 1.8~2.0 V。

②比功率和功率密度大,内阻小,长时间可输出大电流。

③性能可靠,充放电可逆性好。

④循环次数多,寿命长。

⑤结构简单,价格低廉。

(1) 铅酸蓄电池的构造

铅酸蓄电池的基本单元是单体电池,每个单体电池都是由正极板、负极板以及装在正极板与负极板之间的隔板组成。每个单体电池的基本电压为 2 V,将不同容量的单体电池按使用要求进行组合,装置在不同的塑料外壳中,来获得不同电压和不同容量的铅酸蓄电池,如图 2-2 所示。铅酸蓄电池总成经过灌装

电解液和充电后，就可以从接线柱上引出电流。

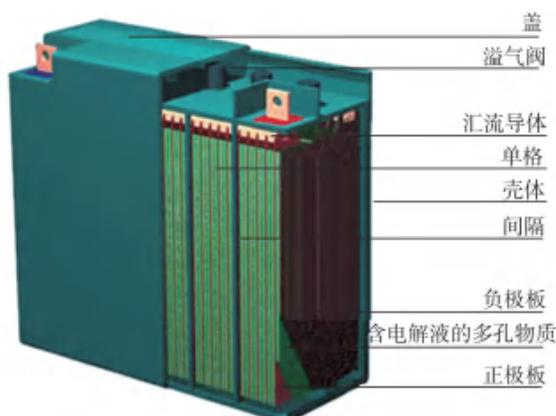


图 2-2 铅酸蓄电池的构造

(2) 铅酸蓄电池的型号

纯电动汽车使用的蓄电池型号为： $\times\times\text{V}-\times\times\text{A}\cdot\text{h}$ 。前面部分表示铅酸蓄电池的标称直流电压，后面部分表示铅酸蓄电池的标称容量。

(3) 铅酸蓄电池的工作原理

铅酸蓄电池放电和充电的可逆化学反应过程如图 2-3 所示。铅酸蓄电池正极板的活性物质是二氧化铅 (PbO_2)，负极板上是海绵状的纯铅 (Pb)，电解液是硫酸 (H_2SO_4) 水溶液。当蓄电池和负极接通放电时，正极板上的二氧化铅和负极板上的纯铅都将转变成硫酸铅 (PbSO_4)，电解液中的硫酸浓度降低，相对密度下降。当蓄电池接通直流电源充电时，正、负极板上的硫酸铅又恢复成原来的二氧化铅和纯铅，电解液中的硫酸浓度升高，相对密度增大。

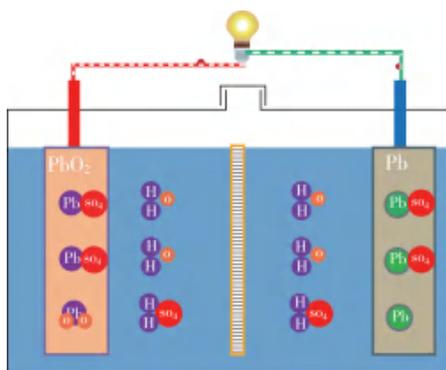
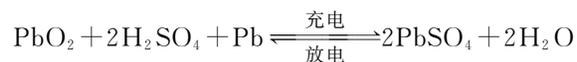


图 2-3 铅酸蓄电池的工作过程

它们可以用下列化学反应方程式表示：



单体铅酸蓄电池的电压为 2 V，在使用或存放一段时间后，电池的电压可能降低到 1.8 V 以下，或硫酸水溶液的密度下降到 1.29 g/cm^3 。此时，铅酸蓄电池必须充电。如果电压继续下降，铅酸蓄电池将会损坏。

铅酸蓄电池通常采用密封、无锑网隔板等技术措施，在普通铅酸蓄电池的电解液中加入硅酸钠 (Na_2SiO_3) 之类的凝聚剂，使电解质成为胶状物，形成一种“胶体”电解质。采用“胶体”电解质的铅酸蓄电池，使用起来更加方便。

有些混合动力汽车使用较高电压（低于 60 V）的铅酸蓄电池组，如图 2-4 所示。这类电池组的安全



防护措施类似于传统汽车上铅酸蓄电池组的安全防护措施。

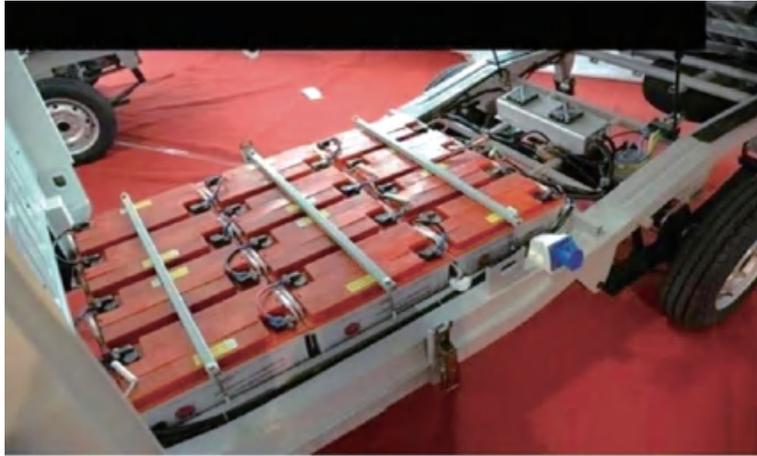


图 2-4 铅酸蓄电池组在汽车上的布置

2. 镍氢电池

镍氢电池属于碱性电池，是 20 世纪 90 年代发展起来的一种新型绿色电池。1988 年，美国 Ovenic 公司以及日本松下、东芝等公司先后开发成功。镍氢电池具有无污染、高比能、大功率、快速充放电、耐用性好等优异特性。与铅酸蓄电池相比，镍氢电池具有比能量高、质量小、体积小、循环寿命长等特点；与镍镉电池相比，其比能量是镍镉电池的两倍。另一大优点是镍氢电池不含镉、铅这类有毒金属。20 世纪 90 年代，随着新能源汽车尤其是混合动力新能源汽车的规模化应用，镍氢电池得到迅速的发展，如图 2-5 所示。

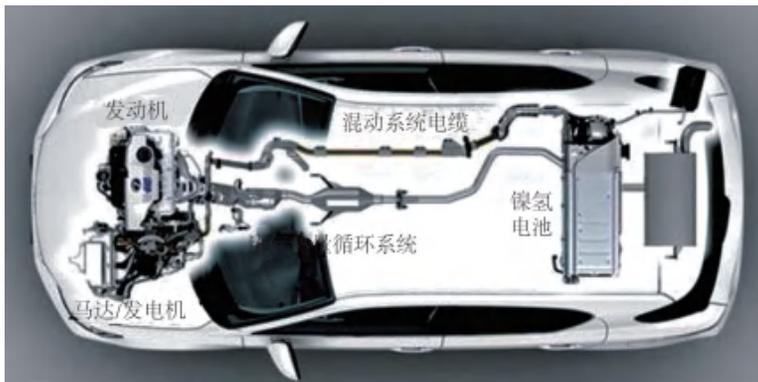


图 2-5 镍氢电池在混合动力汽车上的安装位置

(1) 镍氢电池概述

镍氢 (Ni-MH) 电池是在镍镉 (Ni-Cd) 电池的基础上发展起来的一种密封碱性动力电池，正极与镍镉电池相同，采用氢氧化镍电极，负极则用储氢合金取代镉电极。在结构设计、生产工艺及电性能方面，镍氢电池继承了镍镉电池的特点，消除了镉的污染。

镍氢电池由正极、负极、隔膜、碱性电解质、外壳等组成。电池正极的活性物质为氢氧化亚镍 $[\text{Ni}(\text{OH})_2]$ ，充电后变为羟基氧化镍 (NiOOH)；负极的活性物质为储氢合金 (M)，充电后变为金属氢化物 (MH)；隔膜采用接枝聚丙烯，用于储存电解液、导通离子并阻断电池内部正负电极间的电子传递；电解液采用以 KOH 为主并少量添加 NaOH、LiOH 的水溶液。

(2) 镍氢电池的分类

镍氢电池一般有圆柱形和方形两种结构，方形包括塑料壳和金属壳两种。方形电池的组成结构如图 2-6 所示。

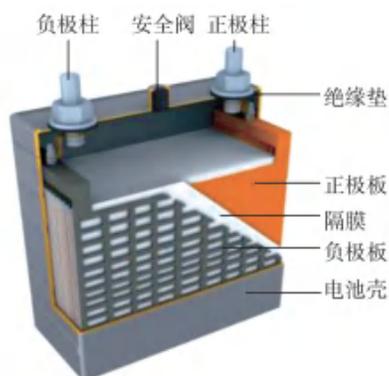


图 2-6 方形镍氢电池结构

正、负极柱：分别用于连接正、负极板，是电池与外电路的连接点。

安全阀：用于完成电池的密封，当电池内部压力过大时安全阀开启，释放气体，降低电池内部压力，提高电池安全性。

电池壳：电池反应的容器，同时完成电池的密封。

绝缘垫：实现电池极柱与电池壳体之间的绝缘。

正、负极板：电池反应的主体，电池的能量储存在正、负极板。

隔膜：隔离正、负极板，储存电解液，提供离子通道，阻隔电池内部正、负电极之间电子的通道。

方形电池极组由多片负极、多片正极和隔膜叠片组成。通常负极比正极要多一片，极组的最外侧两片电极均为负极片。

圆柱形电池同样包括电池壳体、正极、负极、隔膜、安全阀等。圆柱形电池极组一般由单个正极片、负极片、隔膜卷绕形成，结构如图 2-7 所示。

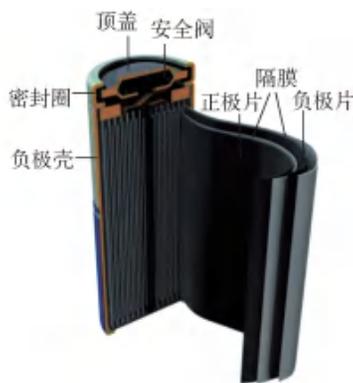


图 2-7 圆柱形镍氢电池结构

在应用过程中，由于活性物质的结构变化，电极会发生膨胀。圆柱形电池的耐压程度要远高于方形电池，所以一般圆柱形电池的安全阀开启压力要比方形电池高得多。方形电池在应用中容易发生膨胀，组合应用时需要采取防膨胀措施。

(3) 镍氢电池的工作原理

镍氢电池以金属氢化物（MH）为负极，氢氧化镍为正极，氢氧化钾溶液为电解液。镍氢电池正、负极的充、放电反应见表 2-1。



表 2-1 镍氢电池正、负极的充、放电反应

反应过程	正极反应式	电极电位/V
充电	$\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- \longrightarrow \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$	约 0.390
过充电	$4\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \uparrow$	
放电	$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	
过放电	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$	
反应过程	负极反应式	电极电位/V
充电	$\text{M} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \longrightarrow \text{MH} + \text{OH}^-$	约 -0.928
过充电	$2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$	
放电	$\text{MH} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{M} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$	
过放电	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	

镍氢电池的总反应：



理论电压： $U = \varphi(+)-\varphi(-)$ ，即 $U = 0.390 - (-0.928) = 1.318$ (V)。其中， U 为理论电压， $\varphi(+)$ 为正极电位， $\varphi(-)$ 为负极电位。

镍氢电池在正常工作条件下的电压为 1.2 V 左右，所以其标称电压一般以 1.2 V 计算。由于电池本身各部分存在电阻以及极化内阻，在充电过程中，一般电池电压要高于理论电压；放电过程中，电池电压要低于理论电压。镍氢电池充放电机理如图 2-8 所示。

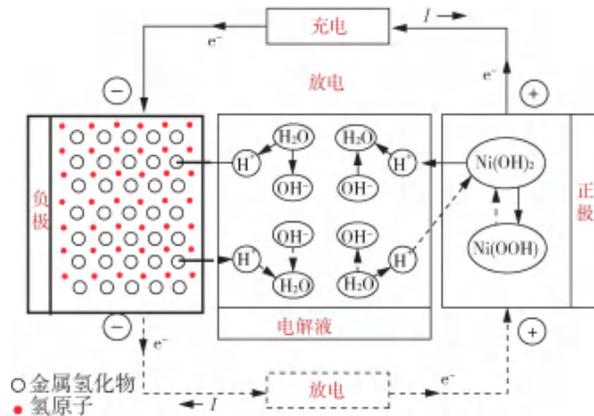


图 2-8 镍氢电池反应原理

从反应式可以看出，在反应过程中，只有质子在正极、负极间转移，水参与正负极的单电极反应。但在整个反应过程中，不存在水的消耗，所以电池可实现免维护。镍氢电池的充电反应是放热反应，即在充电过程中会产生热量，使电池温度逐渐上升。

镍氢电池充电时，正极上的 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 转变为 NiOOH 。质子在 $\text{NiOOH}/\text{Ni}(\text{OH})_2$ 中的扩散系数小，是氢氧化镍电极充电过程的控制步骤。在负极，析出的氢原子吸附在储氢合金表面，形成吸附态 MH_{ad} ，然后扩散到储氢合金内部，形成金属氢化物 MH 。原子氢在储氢合金中的扩散速率较慢，扩散系数一般只有 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ cm/s。因此，氢原子扩散是储氢合金负极充电过程的控制步骤。过充电时，镍氢电池是正极限容（正极容量小于负极容量），正极会产生 O_2 ，并通过隔膜扩散到负极；负极在储氢合金的催化作用下生成 OH^- ，总反应为零。过充电时， KOH 浓度和水的总量保持不变。



镍氢电池放电时， NiOOH 得到电子转变为 Ni(OH)_2 ；金属氢化物内部的氢原子扩散到表面形成吸附态的氢原子，发生电化学氧化反应生成水。正极质子和负极氢原子的扩散过程仍然是负极放电过程的控制步骤。过放电时，正极上的 NiOOH 已经全部转变成 Ni(OH)_2 ， H_2O 在镍电极上还原生成 H_2 ，在负极上发生 H_2 的电化学氧化，生成 H_2O 。这时电池总反应的净结果仍为零。过放电时，镍电极出了反极现象，镍电极电势反而比氢电极电势更负。

在镍氢电池充、放电反应中，储氢合金担负着储氢和在其表面进行电化学催化反应的双重任务。在过充电和过放电过程中，储氢合金的催化作用可以消除产生的 O_2 和 H_2 ，使镍氢电池具有耐过充电、过放电的能力。随着充放电循环的进行，储氢合金逐渐失去催化能力，电池的内压逐渐升高。

水溶液电解质蓄电池在充电过程中会或多或少地析出气体。对于排气式电池，产生的气体会通过排气阀逸出，电池内部的气体几乎没有压力。对于密封式电池，镍氢电池在充电期间产生的气体仅部分会在电池内部消耗掉，另一部分气体会在电池中积累，导致电池的内部压力上升。

(4) 镍氢电池的性能及应用

1) 镍氢电池的优点。

①功率性能好。镍氢电池内部使用了大量的金属材料，导电性能良好，可以适应大功率放电，目前比功率达到 1500 W/kg 。

②低温性能好。采用无机电解液体系，低温性能比锂系列电池好。

③循环寿命长。

④无污染。

⑤耐过充、过放。

⑥应用比较成熟。目前商业化的混合动力汽车如丰田的 Prius、本田的 Insight 混合动力汽车使用的均为镍氢电池。

⑦管理系统相对简单。电池耐过充电和过放电能力比较强，不必监测每只单体电池的电压。电池在充电过程中可以通过和前耗气体（氧气）的副反应来实现自均衡，不必采用特别的均衡电路。

⑧具有较高的回收价值。

2) 镍氢电池的缺点。

①电池的热效应。镍氢电池在电动汽车的应用中的主要问题为热问题。主要原因有两个：一是镍氢电池本身的充电反应是一个放热反应，充电过程中产生的热量达到 $949 \text{ J}/(\text{A} \cdot \text{h})$ 。二是充电效率低，镍氢电池即使在空态下，充电效率也达不到 100% ；充电量超过 80% 后，副反应速度很快增加，产热速度迅速上升，严重时会带来热失控问题。充电电流越大，充电效率越低，产生的热量越多。

②蓄电池比能量较低。比能量一般为 $50 \sim 70 \text{ W} \cdot \text{h/kg}$ ，虽然是铅酸蓄电池的 $2 \sim 3$ 倍，但与锂系列电池相比较，相差较大。

③标称电压低。标称电压为 1.2 V ，若用来组合成数百伏的车用动力电源系统，需要更多的电池串联，对蓄电池的一致性、可靠性要求更高。

④高温充电性能差。高温下充电效率降低，反应效率的降低推动蓄电池温度的进一步升高，最终可能会出现热失控等安全问题。

⑤自放电大。在常用的铅酸、镍氢、锂系列动力蓄电池中，镍氢电池的自放电是比较大的，一般充满电在常温下搁置 28 天时自放电为 $10\% \sim 30\%$ 。

⑥材料成本高。镍氢电池中使用了大量较贵重的金属如镍、钴等，电池原材料成本较高。

3) 镍氢电池的主要特性。

镍氢电池的主要特性包括充电特性、放电特性、循环寿命特性、存储特性和安全特性。



①充电特性。镍氢电池的充电特性，如图 2-9 所示。受充电电流、充电时间、充电温度及其他因素的影响，增大充电电流和降低充电温度会导致蓄电池充电电压上升。充电效率会随充电电流、充电时间和充电温度的变化而变化。一般采用不大于 1 C 的恒定电流充电，充电时环境温度一般为 0~40 ℃，在 10~30 ℃ 充电能获得较高的充电效率。如果经常在高温环境中对蓄电池充电，会导致蓄电池性能降低。另外，反复的过充电也会降低蓄电池的性能。对于快速充电，充电控制系统是必不可少的。

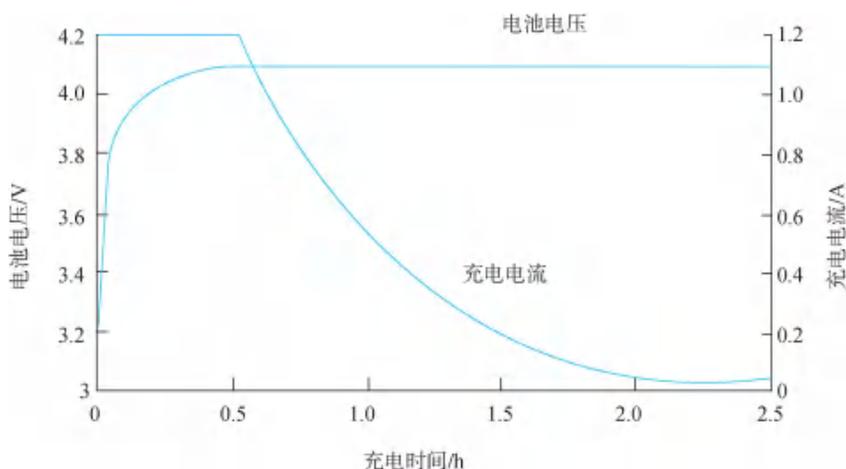


图 2-9 镍氢电池的充电特性

②放电特性。镍氢电池的放电性能随放电电流、温度和其他因素的变化而变化，如图 2-10 所示。蓄电池的放电特性受电流环境和温度等因素的影响，电流越大，温度越低，蓄电池放电电压和放电效率都会降低，蓄电池的最大连续放电电流为 3 C。蓄电池的放电截止电压一般设定为 0.9~1.1 V/单格。如果截止电压设定得太高，则蓄电池容量不能被充分利用；反之，则容易引起蓄电池过放。

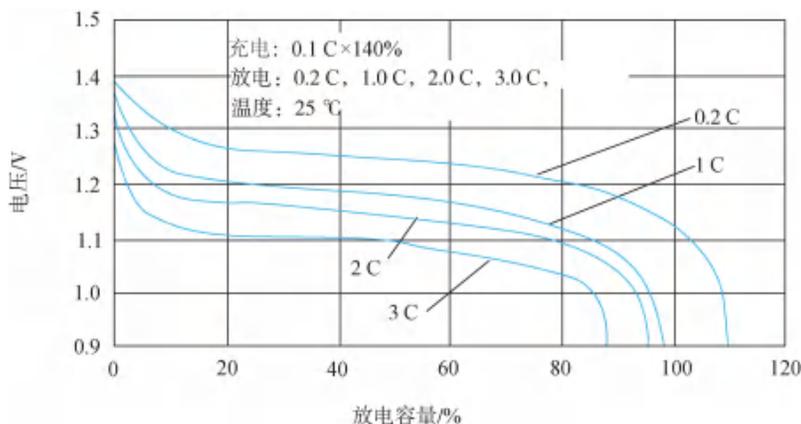


图 2-10 镍氢电池的放电容量与放电电流的关系

③循环寿命特性。镍氢电池的循环寿命受充、放电深度、温度和使用方法的影响，如图 2-11 所示。根据国际电工标准 IEC 标准充、放电时，充、放电循环可以超过 500 次。不同的充电方式，如快速充电及实际工作的充电方式都会影响到电池的实际循环寿命。

④存储特性。蓄电池的存储特性包括自放电特性和长期存放特性。自放电特性指蓄电池充足电且开路存放时容量损失的现象。自放电特性主要受温度的影响，温度越高，蓄电池存放后容量损失越大。蓄电池长时间（如一年）存放后，初次使用时容量可能比存放前的容量小，但经过几次充、放循环后，能恢复到存放前的容量。

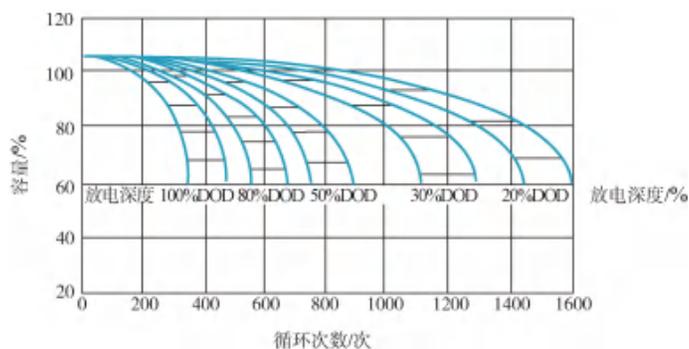


图 2-11 镍氢电池的循环寿命特性

⑤安全特性。蓄电池因为不正当的使用，如过充、短路或反充，内部压力升高时，一个可恢复的安全阀将会打开，降低内部压力，防止蓄电池爆炸。

4) 镍氢电池在电动汽车上的应用。

镍氢电池能满足混合动力汽车高功率密度的要求，该类电池目前在混合动力汽车尤其是在日系车型中应用广泛，如丰田 Prius 和 Camry 混合动力汽车、雷克萨斯 CT200、本田 Insight 等。丰田 Prius 的动力电池采用的是 201.6 V、6.5 A·h 的镍氢电池，如图 2-12、图 2-13 所示。该电池组可以通过发电机和电动机实现充、放电，且输出功率大、质量轻、寿命长、耐久性好。



图 2-12 丰田 Prius 动力电池安装位置

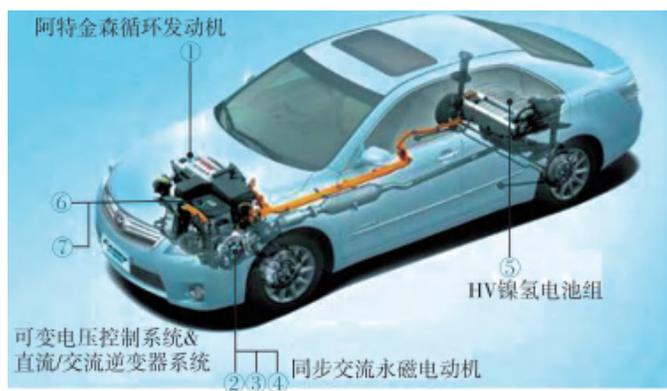


图 2-13 丰田 Prius 动力部件位置

①丰田 Prius 镍氢电池外部特征。

以丰田 Prius 为代表的很多混合动力汽车均采用镍氢电池作为储能元件。第三代 Prius 的动力电池系统布置在行李舱内，如图 2-14 所示。



图 2-14 第三代丰田 Prius 动力电池组安装位置



②丰田 Prius 镍氢动力电池内部结构。

通常混合动力汽车的电池组可能由一百多块电池单体组成，而带充电系统的电动汽车电池组则可包含数百个电池单体。第三代 Prius 动力电池组内部由电池模组、电池管理系统、传感器、含接触器的高压接线盒总成、动力电池冷却风扇、维修开关等组成，如图 2-15 所示。

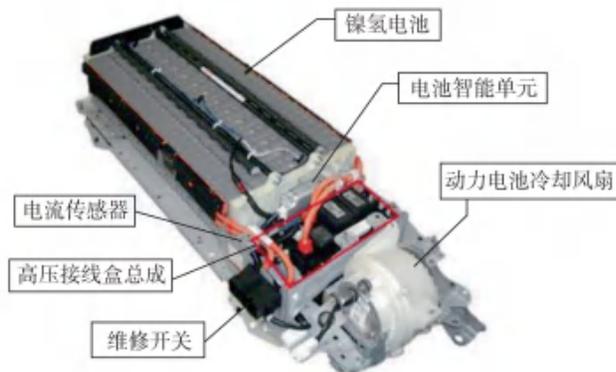


图 2-15 丰田 Prius 动力电池组内部结构

a. 电池模组。

镍氢电池单体的额定电压为 1.2 V，通常由 6 个或 10 个电池单体构成一块电压为 7.2 V 或 12 V 的电池模组。丰田 Prius 混合动力车型上就使用了这种 7.2 V 一模组的电池，如图 2-16 所示。

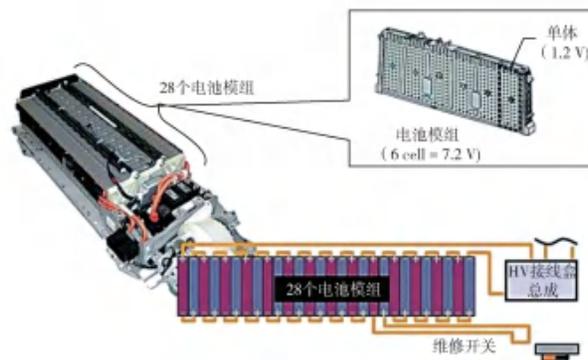


图 2-16 丰田 Prius 动力电池组内部结构

b. 电池管理系统。

作为混合动力汽车和纯电动汽车的动力电池必备的一个模块，电池管理系统（battery management system, BMS）的主要功能是智能化管理及维护各个电池单体，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态。

c. 传感器。

开路电池电压有时被用于估计传统汽车的电池荷电量（SOC）。例如，汽车电池制造商可能规定 12 V 铅酸蓄电池在开路电压测量为 12.7~13.5 V 时为 100% 充电，测量电压为 11.0~11.5 V 时为完全放电。尽管这种以测量电压来断定电池荷电量的方法并不准确，但偏差不算太大。然而，这种方法并不适用于镍氢电池和锂离子电池。镍氢电池和锂离子电池的电压与荷电量之间的关系并不像铅酸蓄电池那样呈线性相关，在电池组充电和放电时必须对电池进行均衡，使电池荷电量的计算变得更加复杂。通常情况下，电池管理系统至少根据电池单体或模块电压、电池组总电流和电池单体或电池模块的温度等参数来计算荷电量。

电压传感器。动力电池组的电压传感器能在电池组的多个测量点进行电压测量，比较电池模组不同部分的性能，以确认电池模组有无失去平衡。电压传感器测量单个电池单体的电压，也测量电池模组或动力电池组的电压。这使 BMS 能够对电池进行分段监测，每一段的电压和电量应该大致相同。BMS 与每个检测点（通常是被测的电池单体或电池模组的正、负极端子）之间通过电压传感线相连接，如图 2-17 所示。

Prius 电池管理系统在 14 个位置上监视电池模组电压，各电池模组由 2 个模块组成。

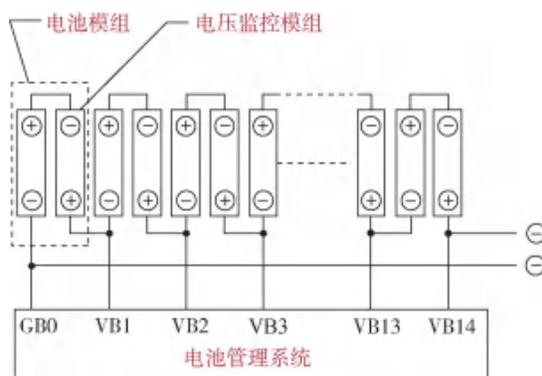


图 2-17 丰田 Prius 电压检测电路

温度传感器。动力电池组使用多个温度传感器来监测电池温度。通常情况下电池组越大，温度传感器越多。传感器通常被安装在电池单体或模组的外部，或与电池单体、电池模组的正负极端口相连。动力电池组使用的温度传感器至少有 3 个，或者多达十几个甚至更多。一般而言，电池管理系统的数据库中，每个电池组温度传感器都有一个 PID，并且用它的输出电压来表现温度，如图 2-18 所示。

电流传感器。电流传感器一般安装在靠近电池组的位置，通常是在电池组的密封箱内。如图 2-19 所示，Prius 动力电池电流传感器安装在动力电池组总成的正极电缆侧，用于检测流入动力电池组的电流。有些动力电池组会使用更多的电流传感器以提高精度。

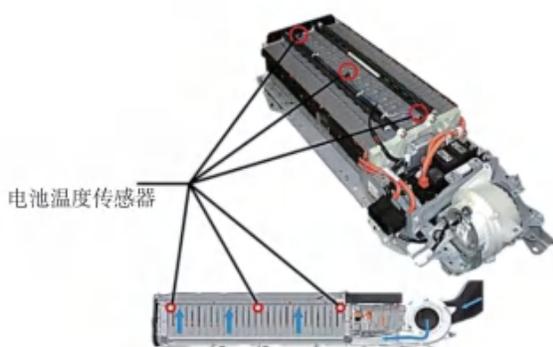


图 2-18 丰田 Prius 动力电池组温度传感器

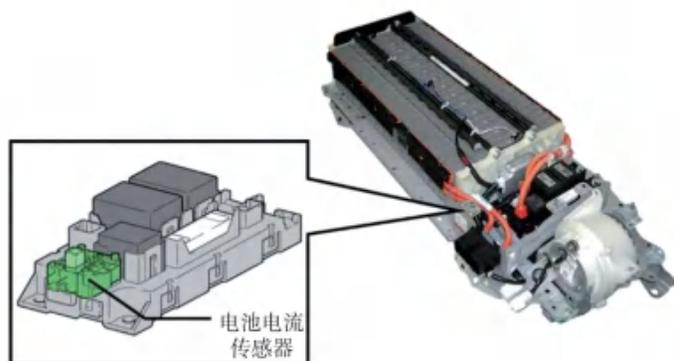


图 2-19 丰田 Prius 动力电池组电流传感器

d. 含接触器的高压接线盒总成

混合动力汽车或纯电动汽车的动力电池组通过高压继电器与车辆的变频器相连，至少有一个高压主继电器。在车辆的正常运行过程中，高压主继电器被接通（电流开始流动）。高压主继电器属于接触型继电器，对电池电流没有任何限制。

丰田 Prius 含接触器的高压接线盒总成如图 2-20 所示。通常包含 3 个主接触器：SMRB 负责控制高压供电正极，SMRG 负责控制高压供电负极，SMRP 同预充电阻器一起负责给高压系统预充电。由于供电初期要对变频器中的电容充电，如果不加以限制导致充电电流过大，会对高压部件产生很大的冲击，因



此需要预充电电阻器对充电电流进行限制。

高压主接触器通常有以下几个功能：

- ①汽车上电时，将动力电池组连接到变频器。
- ②汽车上电时，监控电池组和变频器之间的高压电路。
- ③允许高压电流在电池组和变频器之间流通。
- ④驱动系统被关闭时，断开动力电池组与变频器的连接。
- ⑤车辆紧急停机时，断开动力电池组与变频器的连接。

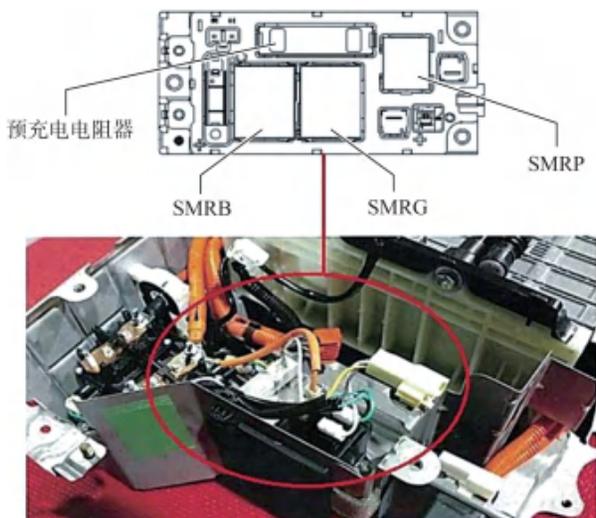


图 2-20 Prius 含接触器的高压接线盒总成

3. 锂离子电池

锂离子电池是目前世界最新一代的充电电池。锂电池（lithium battery）是指电化学体系中含有锂（包括金属锂、锂合金和锂离子、锂聚合物）的电池。锂离子电池是锂离子在电极之间移动产生电能的动力电池。这种电能的存储和放出是通过正极活性物质中放出的锂离子向负极活性物质移动完成的，这是锂离子电池的最大特点，使锂离子电池比传统的二次电池具有更长的寿命。

此外，电极材料种类较大的选择空间也是锂离子电池的一大特点。锂离子电池本身就具有小型化、轻量化和高电压化的特点，通过材料的选择和结构设计即能实现高输出功率和高容量，因此可以设计出与实际用途完全相符的结构及特性，这也是锂离子电池的优势之一。

1991 年索尼公司发布了首个锂离子电池，其以能量密度高、循环寿命长、无记忆效应、环境友好等优点成为动力电池应用领域研究的热点。

(1) 锂离子电池的结构

锂离子电池因正、负极材料的不同而性能有所差异。目前常用的正极材料有钴酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂和镍钴锰酸锂等材料；负极材料主要有碳材料，还有在研发的锡基、硅基合金类等材料。锂离子电池结构基本相同，主要由电池正极、负极、隔膜、电解液和安全阀等组成，如图 2-21 所示。

正极。正极材料由含锂的过渡金属氧化物组成，在放电时发生还原反应，是锂离子电池发展的关键技术之一。正极材料在锰酸锂离子电池中以锰酸锂为主，在磷酸铁锂离子电池中以磷酸铁锂为主，在镍钴锂离子电池中以镍钴锂为主，在镍钴锰锂离子电池中以镍钴锰锂为主。通常正极基体材料（正极集流体）为铝箔。正极基体材料如图 2-22 所示。

负极。负极材料作为提高锂离子电池能量及循环寿命的重要因素，在世界范围内得到了广泛研究。

负极材料由碳材料与黏合剂的混合物，被有机溶剂调和制成为糊状，并在铜基体上涂覆薄层形成，在放电时发生氧化反应。应用较多的负极材料是锂离子嵌入碳化合物，常用的有 PC（石油焦）、MCMB（中间相碳微球）、CF（碳纤维）、石墨、 Li_xC_6 （锂-碳层间化合物）、 Li_3TiO_3 （钛酸锂）等。为提高电池的输出电流，采用薄电极设计，负极基体材料（负极集流体）为铜箔。电池负极材料的晶体结构在锂离子迁移过程中会出现变化，过充会导致负极晶格堵塞，过放会导致负极晶格塌落。因此锂电芯不能单独使用，必须与充、放电控制电路组合使用。负极基体材料如图 2-23 所示。

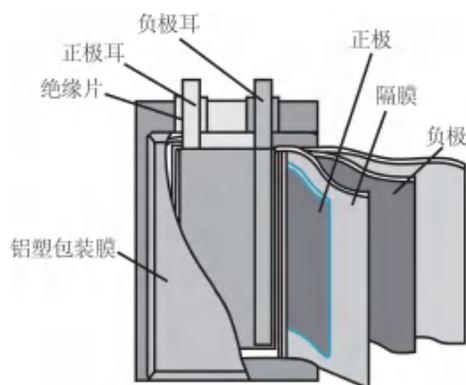


图 2-21 锂离子电池的结构



图 2-22 正极基体材料



图 2-23 负极基体材料

隔膜。隔膜起到关闭或阻断功能，大多使用聚乙烯或聚丙烯材料制成的微多孔膜，孔径一般为 $0.03\sim 0.12\ \mu\text{m}$ 。允许锂离子 Li^+ 往返通过，阻止电子 e^- 通过，在正、负极之间起绝缘作用。隔膜被称为电池第三极。在过度充电导致温度升高时，隔膜通过闭孔来阻离子传导，防止热失控导致爆炸。隔膜性能决定电池的界面结构和内阻，进而影响电池的容量，循环性能，充、放电电流密度等关键特性。

电解液。锂离子电池电解液是电池中离子传输的载体，一般由锂盐和有机溶剂组成。电解液在锂电池正、负极之间起到传导离子的作用，是锂离子电池获得高电压、高比能量等优点的保证。电解液一般由高纯度的有机溶剂、电解液锂盐、必要的添加剂等原料，在一定条件下按一定比例配制而成。锂离子电池主要使用的电解液有过氯酸锂、六氟磷酸锂等。用过氯酸锂制成的电池低温效果不好，有爆炸的危险，日本和美国已禁止使用。用含氟锂盐制成的电池性能好，无爆炸危险，适用性强；特别是用六氟磷酸锂制成的电池，除上述优点外，还具有废弃处理工作相对简单、对生态环境友好等优点，市场前景十分广阔。

安全阀。为了保证锂离子电池的使用安全性，一般对外部电路进行控制或者在电池内部设异常电流切断的安全装置。



(2) 锂离子电池的分类

①根据电池所用电解质的状态不同，可分为液体锂离子电池、聚合物锂离子电池和全固态锂离子电池。

②根据温度不同，可分为高温锂离子电池和常温锂离子电池。

③根据外形，一般可分为圆柱形和方形两种。聚合物锂离子电池除制成圆柱形和方形外，还可根据需要制成任意形状。

圆柱形锂离子电池。圆柱形锂离子电池（图 2-24）的体积及容量较小，在汽车动力电池中，需要很多电池并联、串联组成电池组。如美国特斯拉电动汽车 Model S，其动力电池采用了 7000 多节 18650 锂离子电池。其中 18 表示直径为 18 mm，65 表示长度为 65 mm，0 表示为圆柱形电池。18650 锂离子电池单节标称电压一般为 3.6 V 或 3.7 V；最小放电终止电压一般为 2.5~2.75 V；常见容量为 1200~3300 mA·h。



图 2-24 圆柱形锂离子电池

方形锂离子电池。长方形锂离子电池也需要多个电池串联组成电池组，如图 2-25 所示。

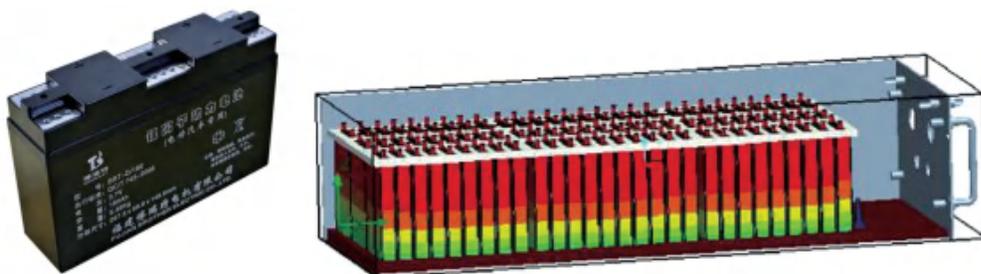


图 2-25 长方形锂离子电池动力电池组

(3) 锂离子电池的工作原理

无论何种类型的锂离子电池，其基本工作原理是一样的，如图 2-26 所示。锂离子电池实际上是一种浓差电池，充电时， Li^+ 从正极脱嵌，经过电解质嵌入到负极，负极处于富锂态，正极处于贫锂态；同时，电子的补偿电荷从外电路供给到碳负极，保持负极的电平衡。放电时则相反， Li^+ 从负极脱嵌，经过电解质嵌入到正极，正极处于富锂态。在正常充、放电情况下，锂离子在层状结构的碳材料和层状结构氧化物的层间嵌入和脱出，一般只引起层间距变化，像摇椅一样，又称摇椅电池。

典型的锂离子电池充、放电如图 2-27 所示，在充电过程中，正极中的锂离子从钴酸锂等过渡金属氧化物的晶格中脱出，经过电解液这一桥梁嵌入碳素材料负极的层状结构中。在这一过程中，过渡金属被氧化，释放出电子。正极材料的体积因锂离子的移出而发生变化，但本身的骨架结构维持不变，负极材料与锂离子发生嵌入反应或合金化反应。

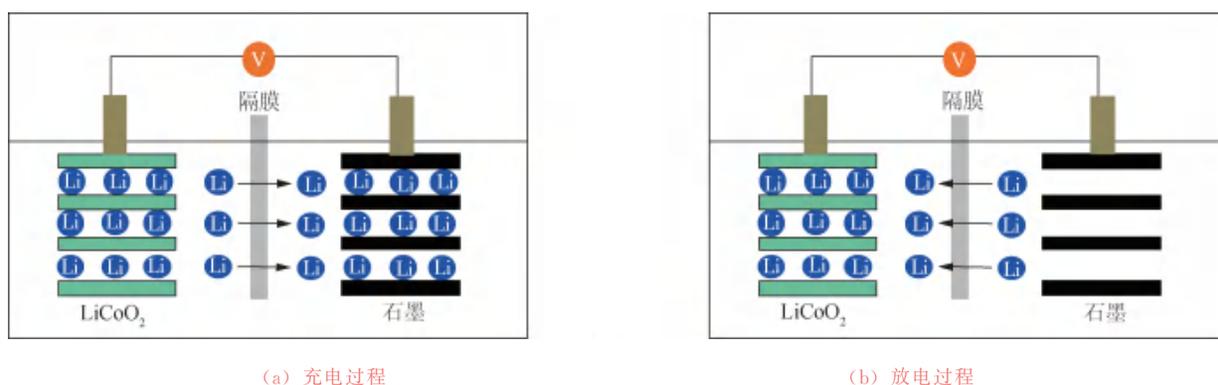


图 2-26 锂离子电池工作原理

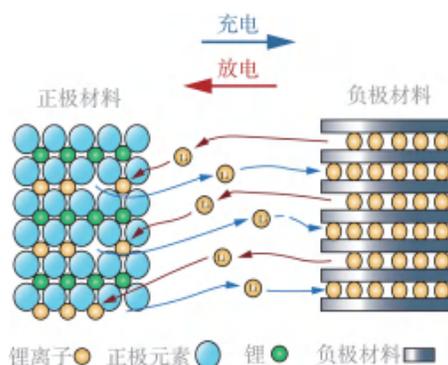
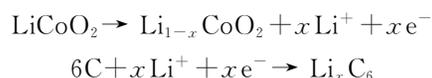


图 2-27 典型的锂离子电池充、放电示意

在放电过程中，锂离子从碳素材料层间脱出，经过电解液到达正极并嵌入正极材料的晶格中，电极材料的结构得以复原。在这一过程中，负极材料中的锂被氧化，释放出电子。

在循环过程中，正极材料是提供锂离子的源泉。下列反应式描述了 LiCoO_2/C 电池充电时锂离子从 LiCoO_2 脱出，嵌入石墨层间的反应过程，放电时与之相反。



在正常充、放电情况下，锂离子在层状结构的碳材料和金属氧化物的层间嵌入与脱出，一般只引起层间距的变化，不会引起晶体结构的破坏。伴随充、放电的进行，正、负极材料的化学结构基本保持不变，故锂离子电池又称为摇椅电池（rocking-chair battery）。其充、放电过程中不存在金属锂的沉积和溶解过程，避免了锂结晶的生成，极大地改善了电池的安全性和循环寿命，这也是锂离子电池比锂金属二次电池优秀并取而代之的根本原因。

电池反应过程中无电解液的消耗，也无气体等产生，仅锂离子在正、负极之间移动，所以可以做成完全密封电池。在正常条件下，电池充、放电过程中无副反应发生，所以锂离子电池的充电效率可以很高，甚至 100%。

(4) 锂离子电池的性能及应用

1) 锂离子电池的优点。

- ① 单体电池工作电压高达 3.7 V，是镍电池的 3 倍，铅酸蓄电池的 2 倍。
- ② 质量比能量高达 $150 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，是镍氢电池的 2 倍，铅酸蓄电池的 4 倍，质量是相同能量铅酸蓄电池的 $1/4$ 。
- ③ 体积比能量高达 $400 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{L}$ ，其体积是相同能量铅酸蓄电池的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。



④循环寿命长，循环次数为 1000~2000 次。

⑤自放电率低，每月不到 10%。

⑥无记忆效应，充电前不必像镍镉电池一样完全放电，可以随时随地进行充电。锂离子电池深度充、放电对电池的循环寿命影响不大，放电深度可达 95%。

2) 锂离子电池的缺点。

①成本高。正极材料 LiCoO_2 的价格高，按单位瓦·时的价格来计算，已经低于镍氢电池，与镍镉电池持平，高于铅酸蓄电池。

②必须有特殊的保护电路，以防止过充。

3) 锂离子电池的应用。

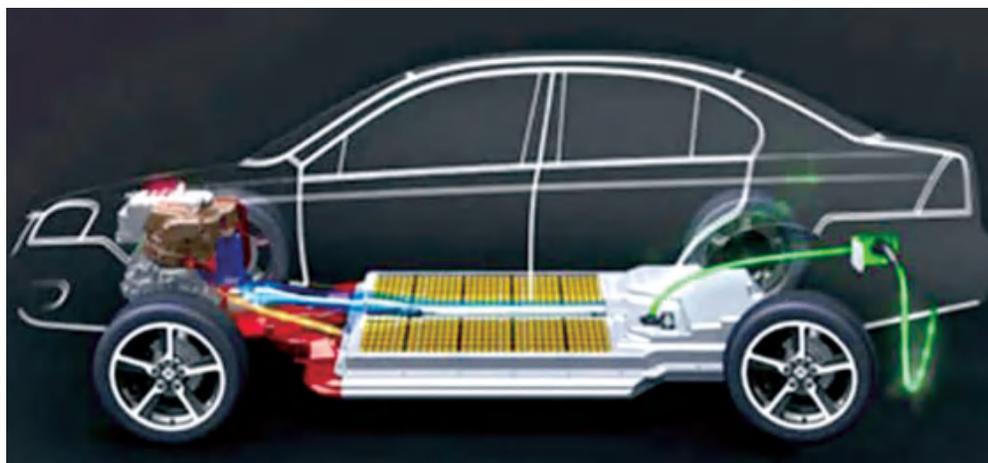
电动汽车的动力电池一般位于车辆底部前、后桥及两侧纵梁之间，安装在这些位置能使其具有较高安全性，可以降低车辆重心，操控性更好。将电动汽车的动力电池安装在驾驶室后方的车架纵梁之上，使得拆装操作更加简单，避免了动力电池安装分散以及线路连接过多的问题，减少动力电池之间高压连接线束的使用，节约了成本。

动力电池尽可能安装在清洁、阴凉、通风、干燥的地方，避免受到阳光直射，远离加热器或其他辐射热源。动力电池应当正立安装放置，不可倾斜。动力电池组间应有通风措施，以避免因动力电池损坏所产生的可燃气体引起爆炸和燃烧。

以下为具有代表性车型动力电池的安装位置。

①北汽新能源纯电动汽车动力电池。

北汽 E150EV 纯电动汽车的动力电池采用磷酸铁锂电池，安装在车辆底部，如图 2-28 所示。



车辆型号为 E150EV，动力电池包电压为 320 V，
动力电池包容量为 80 A·h，动力电池包电量为 25.6 kW·h。

图 2-28 北汽 E150EV 动力电池安装位置

②比亚迪汽车动力电池。

比亚迪 E6 动力电池。比亚迪 E6 是国内具有代表性的纯电动汽车，采用比亚迪自主知识产权的磷酸铁锂电池。E6 动力电池包安装在车辆底部，采用螺栓固定，如图 2-29 所示。

比亚迪秦动力电池。比亚迪秦混合动力汽车的动力电池（磷酸铁锂电池）安装位置如图 2-30 所示。

③上汽荣威汽车动力电池。

荣威 E50 纯电动汽车的动力电池（磷酸铁锂电池）及其他部件安装位置，如图 2-31 所示。

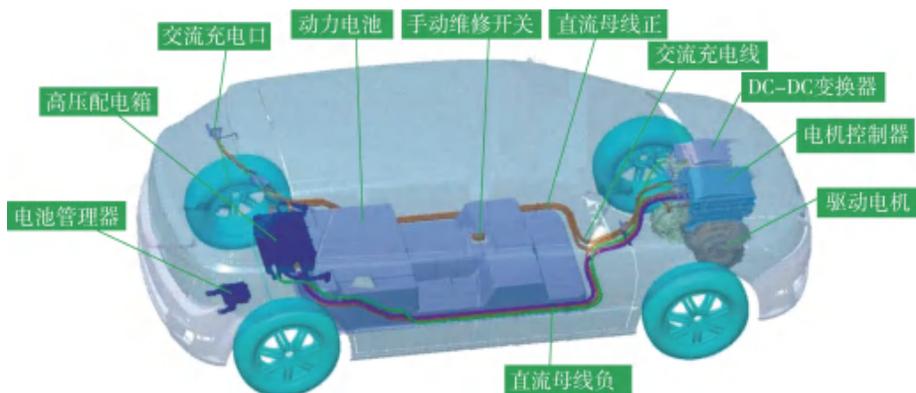


图 2-29 比亚迪 E6 动力电池包安装位置



图 2-30 比亚迪秦混合动力汽车的动力电池安装位置



图 2-31 荣威 E50 纯电动汽车的动力电池安装位置

高压电池组由 5 个模块组成，其中 3 个大模块（27 串 3 并）、2 个小模块（6 串 3 并），93 个电池串联，共 279 个电芯，如图 2-32 所示。还有电池管理控制器、电池高压电力分配单元、电池检测模块、电池采集和均匀模块（大模块有 2 个采集模块；小模块有 1 个采集模块）、高低压插件、水冷却系统等。

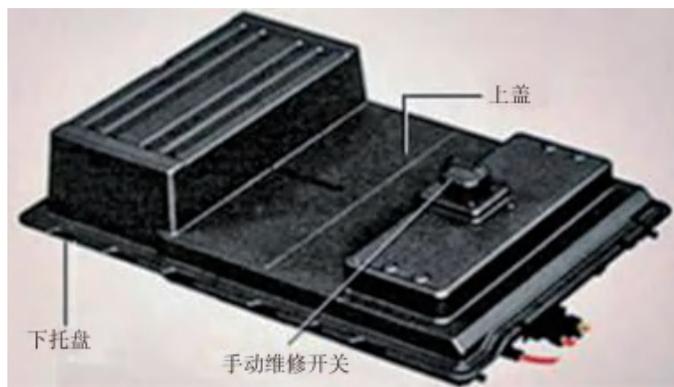


图 2-32 荣威 E50 动力电池组成

4. 锌空气电池

(1) 锌空气电池定义

以空气作为阴极活性物质，金属作为阳极活性物质的电池统称为金属空气电池。研究的金属一般有镁、铝、锌、镉、铁等。其中碱性锌空气电池性能最好，成本低，环境友好，受到人们的广泛关注，被认为是最有希望实现并应用的能量储存装置。

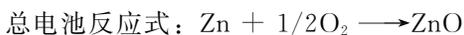
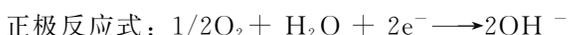
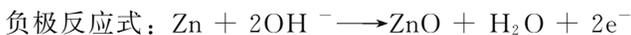
锌空气电池主要由空气电极、电解液和锌阳极构成；空气中的氧为正极活性物质，金属锌作为负极



活性物质，多孔活性炭作为正极，铂或其他材料作为催化剂，使用碱性电解质。

(2) 锌空气电池原理

在锌空气电池中，氧气经多孔电极扩散层扩散到达催化层，在催化剂微团表面的三相界面处与水发生反应，吸收电子，生成 OH^- ；阳极的锌与电解液中的 OH^- 发生电化学反应，生成 ZnO 和 H_2O ，并释放出电子；电子被集电层收集起来，在外电路中产生电流。



(3) 锌空气电池的结构

锌空气电池主要由阳极、阴极、隔离层、绝缘和密封层、电解液和外壳等组成，如图 2-33 所示。阳极是起催化作用的碳粉从空气中吸收氧；阴极是锌粉和电解液的混合物，呈糊状；隔离层用于隔离两极间固体粉粒的移动；绝缘和密封层是尼龙材料；电解液是高浓度的氢氧化钾水溶液；外壳是镍金属，其具有良好的防腐性的导体。

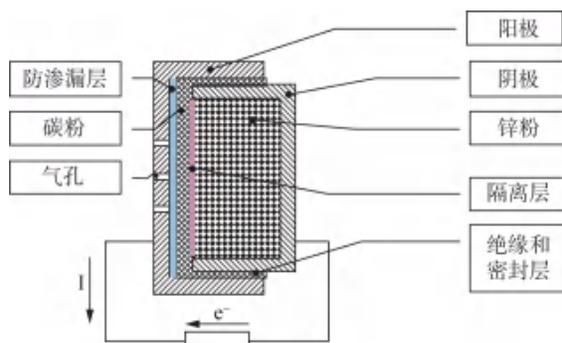


图 2-33 锌空气电池的结构

(4) 锌空气电池的分类

根据其充电的方式以及在电动汽车中应用时的特点可分为三类：直接再充式锌空气电池、机械式充电锌空气电池以及注入式锌空气电池。

①直接再充式锌空气电池容易出现电极变形、枝晶生长、自腐蚀及钝化等现象，导致电极失效。因此，直接再充式锌空气电池的应用受到了一定的限制。

②机械式充电是指在电池完全放电后，将电池中用过的锌电极取出，换入新的锌电极，或者将整个电池组进行完全更换，整个过程控制在较短的时间内（3~5 min）。使用过的锌电极或锌空气电池可在专门锌回收利用厂进行回收再加工，实现绿色环保无污染生产。

③注入式锌空气电池是将配制好的锌膏源源不断地通过挤压或压力输送送入电池内，同时将反应完毕的混合物抽取到电池外；在电动车辆上应用时，电池系统只需携带盛放锌膏的燃料罐，燃料罐加注足够的锌膏燃料就可实现车辆的连续行驶。

(5) 锌空气电池的优点

①容量大。空气电极的活性物质氧气来自周围的空气，材料不占用电池空间。在相同体积、质量的情况下，锌空气电池储存了更多的反应原料，容量会高出很多。

②能量密度高。理论可达 $1350 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，目前已研制成功的锌空气电池比能量已经达到 $200 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，是铅酸蓄电池的 5 倍。

③价格低廉。阴极活性物质氧气来自空气，除了空气催化电极之外，不需要任何高成本组件；阳极活性物质锌来源充足，资源丰富，价格便宜，并且锌可回收利用，价格可进一步降低。

④储存寿命长。锌空气电池在储存过程中均采用密封措施，将电池的空气孔与外界隔绝，因而电池的容量损失极小，储存寿命长。

⑤可回收利用、制造成本低。锌来源丰富，生产成本低，回收再加工方便。

⑥绿色环保。锌空气金属燃料电池的负极物质放电完毕后变成氧化锌，可通过电解还原成锌。使用完毕后，正、负极物质容易分离，便于集中回收。对于某些不便回收的场合，由于锌空气金属燃料电池内无有害物质，即使抛弃也不会造成环境污染。

(6) 锌空气电池的缺点

①比功率较低。锌空气电池虽然比能量高，但能量释放的速度比较慢。锌空气电池对电动汽车的动力性能有一定的影响，充电速度慢、时间长，一般采用机械式快速更换锌粒活锌片的方法来实现锌空气电池的快速“充电”。

②吸水性。锌空气电池对空气的湿度较敏感，锌空气电池的临界相对湿度约为 60%。相对湿度低于 60%，电池中的水分偏低，可能产生电力不足和寿命缩短的问题。相对湿度高于 60%，电池中的水分偏多，可能出现泄漏。

③需定期清洁。随空气进入锌空气电池的二氧化碳，会与锌空气电池的碱性电解液形成碱性碳酸盐或亚碳酸盐。碳酸盐或亚碳酸盐可能在负极上结晶，破坏负极的性能并堵塞部分空气通道，使锌空气电池产生电力不足和寿命缩短现象。因此，锌空气电池需要采用二氧化碳清除剂。

(7) 锌空气电池的应用

美、德、瑞典等都在 EV 上积极推广锌空气电池。

①美国 Dreisbach Electromotive 公司开发的锌空气电池，已在公共汽车和总重 9 t 的货车上使用，公共汽车可连续行驶 10 h 左右，货车最大续航里程达 113 km。

②德国奔驰汽车公司的 MB410 型电动厢式车采用 150 kW·h 的锌空气电池，该车从德国的不莱梅到波恩，最高车速达到 120 km/h，一次充电后可行驶 425 km 的路程。

③瑞典斯德哥尔摩市的电动货车、客车和服务车辆上的锌空气电池比能量为 180 W·h/kg，比功率为 100 W·h/L，续航里程为 350~425 km。该市的锌空气电池废料回收处理能力为 250 kg/h，可为 150 辆 EV 提供再生的锌粒。

5. 飞轮蓄能装置

飞轮蓄能装置是 20 世纪 90 年代才提出的新概念电池，如图 2-34 所示。它突破了化学电池的局限，用物理方法实现蓄能。飞轮蓄能装置储能是基于飞轮以一定角速度旋转时可以存储动能的基本原理将动能转换成电能。



图 2-34 飞轮蓄能装置



(1) 飞轮蓄能装置的结构与原理

飞轮蓄能装置实际是一种机电能量转换和储存装置，是根据飞轮能够储存和释放能量的特性研制的一种机械式蓄电池。在飞轮的内部镶有永久性磁铁，外壳上装有感应线圈，这样飞轮就具有电动机和发电机的双重功能，如图 2-35 所示。

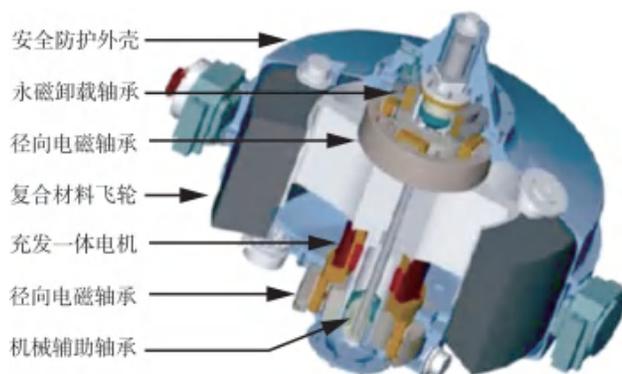


图 2-35 飞轮蓄能装置结构

对飞轮蓄能装置充电时，电力电子装置从外部输入电能使电机旋转，电机（此时作为电动机）驱动飞轮加速旋转，飞轮储存的动能（机械能）增大。飞轮蓄能装置向外放电时，由高速旋转的飞轮带动电机（此时作为发电机）旋转，将动能转化为电能。通过电力电子变换装置将电能转换为负载所需的频率和电压，如图 2-36 所示。

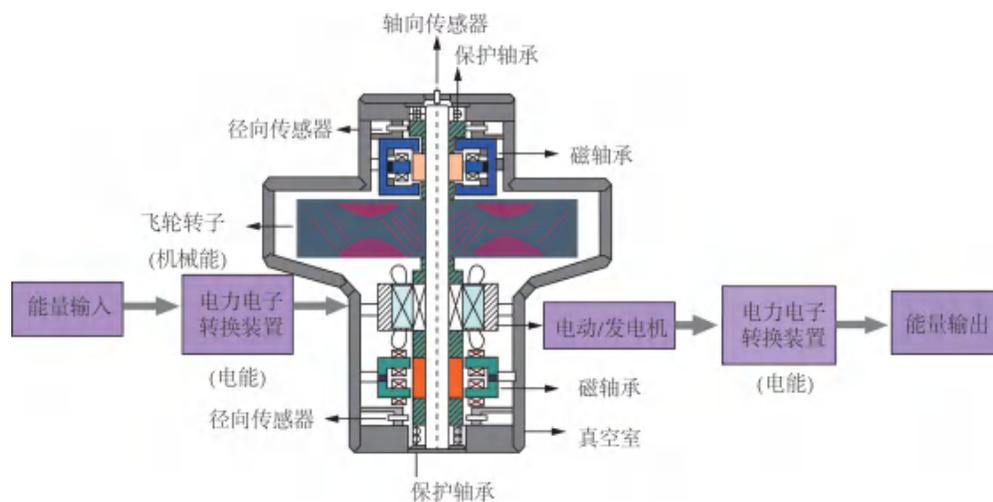


图 2-36 飞轮蓄能装置的能量转换过程

(2) 飞轮蓄能装置的特性

- ①能量密度高。储能密度为 $100\sim 200\text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ，功率密度为 $5000\sim 10000\text{ W}/\text{kg}$ 。
- ②能量转换效率高，工作效率高达 90%。
- ③工作温度范围宽，对环境温度没有严格要求。
- ④使用寿命长。不受重复深度放电影响，能够循环几百万次运行，使用寿命 20 年以上。
- ⑤低损耗、低维护。磁悬浮轴承和真空环境使机械损耗可以被忽略，系统维护周期长。
- ⑥不间断电源。飞轮蓄能装置作为稳定电源，可提供几秒到几分钟的电能，这段时间足以保证工厂进行电源切换。

(3) 飞轮蓄能装置的应用

①交通运输。飞轮蓄能装置充电快，放电完全，非常适合车辆应用。现在由于成本和小型化的问题，仅在部分电动汽车和火车上有示范性应用，并且主要是混合动力电动车辆。车辆在正常行驶或制动时，给飞轮蓄能装置充电；在加速或爬坡时，飞轮蓄能装置给车辆提供动力。

②航空航天。航空航天方面包括在人造卫星、飞船、空间站上的应用等。飞轮蓄能装置一次充电可以提供同质量化学电池两倍的功率，同负载的使用时间为化学电池的3~10倍。同时，因为它的转速是可测、可控的，故可以随时查看剩余电能。美国太空总署已在空间站安装了48个飞轮蓄能装置，联合在一起可提供超过150 kW的电能。

(4) 飞轮蓄能装置的应用案例

1987年，德国开发了飞轮蓄能装置混合动力汽车，利用飞轮蓄能装置吸收90%的制动能量，并在需要短时加速等工况下输出电能补充内燃机功率的不足，如图2-37所示。



图 2-37 飞轮蓄能装置的混合动力汽车

在2010年10月美国勒芒系列赛最后一轮中，保时捷911 GT3混合动力赛车首次正式使用飞轮蓄能装置技术，而其便是鼎鼎大名的保时捷918 Spyder的前身。保时捷918 Spyder如图2-38所示。保时捷911 GT3及保时捷918 Spyder混合动力跑车均在两前轮处安装有飞轮蓄能装置，用于制动能量回收再利用。保时捷918 Spyder装备的飞轮蓄能装置如图2-39所示。当飞轮转速上升时，电池为储能状态；转速下降时，电池为供能状态。



图 2-38 保时捷 918 Spyder

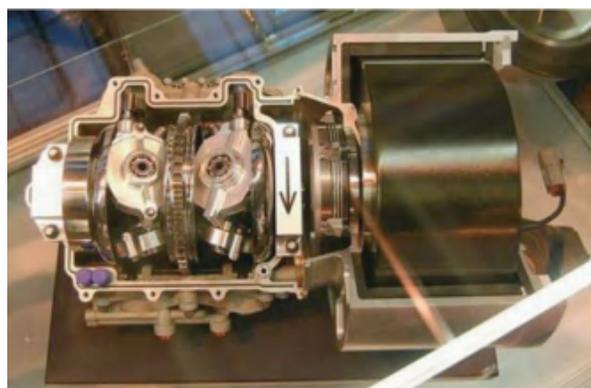


图 2-39 保时捷 918 Spyder 装备的飞轮蓄能装置

飞轮储能方法一直未能得到广泛应用，其主要原因有三点：

- ①飞轮本身的能耗主要来自轴承摩擦和空气阻力。
- ②常规的飞轮由钢（或铸铁）支撑，储能有限。
- ③要完成电能、机械能的转换，还需要一套复杂的电力电子装置。