

Contents

目录



项目一

电动汽车储能装置

- 任务一 储能装置的性能指标 / 2
- 任务二 铅酸蓄电池 / 6
- 任务三 镍基电池 / 8
- 任务四 锂离子电池 / 13
- 任务五 钠硫电池 / 16
- 任务六 超级电容 / 17
- 任务七 飞轮电池 / 20
- 任务八 储能装置的复合结构形式 / 24



项目二

电动汽车蓄电池管理系统

- 任务一 电池管理系统概述 / 30
- 任务二 丰田普锐斯电池管理系统 / 32
- 任务三 电池管理系统技术 / 35



项目三

电动汽车电机

- 任务一 电动汽车电机简介 / 42
- 任务二 电动汽车永磁电机 / 43
- 任务三 三相逆变过程 / 46
- 任务四 电动汽车感应电机 / 49



项目四

电动汽车电力电子变换

- 任务一 IGBT 和 IPM 简介 / 56
- 任务二 IGBT 栅极驱动 / 61
- 任务三 IGBT 栅极驱动隔离 / 63



项目五

- 任务四 IGBT 保护电路 / 65
- 任务五 智能功率模块 (IPM) 驱动 / 68
- 任务六 IGBT 使用和检查 / 71

电动汽车变频器

- 任务一 汽车变频器简介 / 74
- 任务二 电机电动和发电控制 / 79
- 任务三 电力驱动系统传感器 / 81
- 任务四 电机和变频器冷却系统 / 83



项目六

电动汽车 DC/DC 转换器

- 任务一 DC/DC 转换器简介 / 88
- 任务二 电动汽车用电负荷 / 89
- 任务三 DC/DC 转换器工作原理 / 91
- 任务四 典型 DC/DC 转换器举例 / 94



项目七

电动汽车高压安全技术

- 任务一 民用电 TN 网络 / 98
- 任务二 高压安全防护 / 100
- 任务三 电动汽车绝缘电阻 / 103



项目八

电动汽车充电

- 任务一 电动汽车充电方式 / 108
- 任务二 充电机 / 充电桩介绍 / 112
- 任务三 传导式充电接口 / 116
- 任务四 车载充电机 / 122



项目九

电动汽车制动系统

- 任务一 混合制动 / 130
- 任务二 带有真空助力器的制动系统 / 133
- 任务三 电动汽车能量回馈控制 / 135



项目十

电动汽车空调系统

- 任务一 空调制冷 / 制热方式 / 142
- 任务二 制冷过程 / 146



项目十一

电动助力转向系统

- 任务一 电动助力转向系统概述 / 152
- 任务二 奥迪双小齿轮电动助力转向系统 / 154
- 任务三 转向装置电控部分 / 162
- 任务四 电机带动液压泵的助力转向系统 / 165



项目十二

电动汽车仪表

- 任务一 仪表通用含义 / 168
- 任务二 电动汽车仪表灯及功能 / 170



项目十三

比亚迪电动汽车

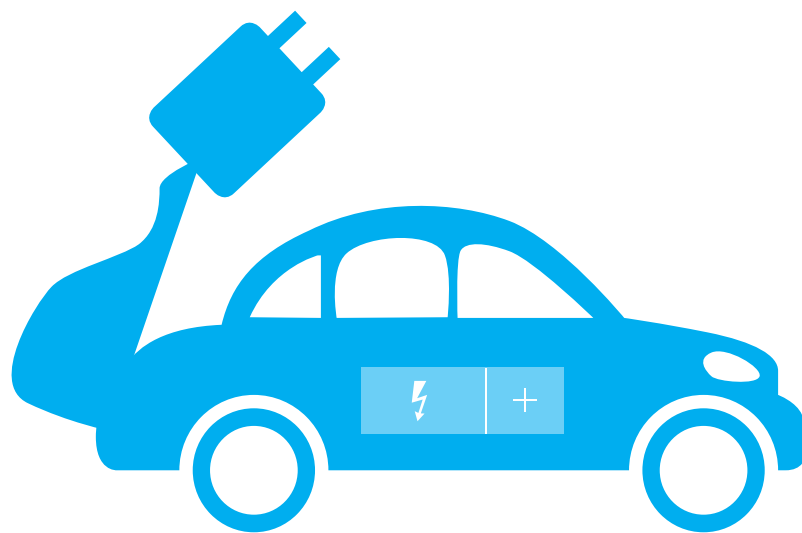
- 任务一 比亚迪电动汽车简介 / 174
- 任务二 电力驱动系统参数 / 178
- 任务三 高压配电技术 / 179
- 任务四 减速器 P 挡控制 / 184
- 任务五 汽车电气系统 / 188

参考文献

191

项目一

电动汽车储能装置



任务一 储能装置的性能指标

一、储能装置类型

电动汽车上的电能储能方式有化学储能和物理储能两种。

化学储能指可充电的化学电池和不能充电的燃料电池两种，主要包括镍氢电池、锂离子电池、燃料电池等。物理储能方式指超级电容储能和飞轮电池储能两种。化学储能中的各种储能装置的性能比较如表 1-1 所示，要注意的是电池成组后单体电池的容量和充放电次数会有较大的下降。

表 1-1 各种单体储能装置的性能指标比较

项目	超级电容	铅酸蓄电池	镍镉电池	镍氢电池	锂离子电池	燃料电池
充电时间	几秒~几分钟	4 ~ 12 小时	4 ~ 10 小时	12 ~ 36 小时	3 ~ 4 小时	不能充电
充放电次数	500000	400 ~ 600	400 ~ 500	大于 500	1000	大于 500
工作电流	极高	高	—	高	中	低
记忆效应	无	轻微	有	有	很轻微	轻微
自放电（每月）	高	0.03 %	25 %（中）	20 %（中）	5 ~ 10 %	低
质量能量密度（Wh/kg）	4 ~ 10	30	50	60 ~ 80	100 ~ 200	大于 200
功率密度（W/kg）	大于 1000	小于 1000	大于 1000	大于 1000	大于 1000	35 ~ 1000
安全性	优	一般	良	良	差	差
环境	零污染	有污染	基本无污染	基本无污染	基本无污染	零污染

早期电动汽车上应用最广泛的电源是铅酸蓄电池，但随着电动汽车技术的发展，铅酸蓄电池由于比能量较低，充电速度较慢，寿命较短，已逐渐被其他蓄电池所取代。镍镉电池主要应用到电动工具或电动插车上，没有实际应用到电动汽车上。

一般情况下，电动汽车的电能来源为动力电池，动力电池在工作中进行的是频繁、浅度的充放电循环。在充放电过程中，电压、电流可能有较大变化。

针对这种使用特点，电动汽车的动力系统对电池有如下几个方面的特别要求。

- （1）电动汽车要求动力电池具有更高的比功率。
- （2）电动汽车动力电池的高充放电效率是对保证整车效率具有至关重要的作用。
- （3）电动汽车电池应当在快速充放电过程中保持性能的相对稳定。

二、蓄电池的性能指标

蓄电池的作用是存储电能，蓄电池在充电过程中，电能通过蓄电池内部活性物质的化学变化转变为化学能储存在蓄电池内。蓄电池在放电过程中，通过蓄电池内部活性物质的化学变化逆转，将化学能转变为电能由蓄电池输出。

各种蓄电池的基本工作原理是电能→化学能→电能→化学能的可逆变换过程，能够反复使用，一

般称能够将化学能转换为电能的电池称为蓄电池。

截至 2016 年，蓄电池在比能量和比功率方面有很大的提高，使得电动汽车的动力性能不断提高，一次充电后的续驶里程也不断地延长，而且这种提高一直在进行。蓄电池主要性能指标如下。

1. 电压（V）

（1）电动势：电池正极和负极之间的电位差 E（见表 1-2）。

表 1-2 不同电池电动势

电池	铅酸电池	镍镉电池	镍氢电池	锰酸锂电池	磷酸铁锂电池	钠硫电池
电压	2.0V	1.2V	1.2V	3.7V	3.2V	2.1V

（2）开路电压：电池在开路时的端电压，一般开路电压与电池的电动势近似相等。

（3）额定电压：电池在标准规定条件下工作时应达到的电压称为额定电压，这也是电池的最低电压。

（4）工作电压（负载电压、放电电压）：在电池两端接上负载 R 后，在放电过程中显示出的电压。

（5）终止电压：电池在规定的放电条件下放电时，电池的电压将逐渐降低，当电池不宜继续放电时，电池的最低工作电压称为终止电压。

2. 实际容量

在一定条件下所能输出的电量，等于放电电流与放电时间的乘积。

3. 标称容量（公称容量）

用来鉴别电池适当的近似安时值，由于没有指定放电条件，因此，只标明电池的容量范围而没有确切值。

4. 额定容量

额定容量也称保证容量，按一定标准所规定的放电条件，电池应该放出的最低限度的容量。

5. 荷电状态（SOC）

荷电状态（State of Charger，SOC）反映的是电池实际存贮电荷与电池当前能存贮的最多电荷之比，常用百分数表示。SOC=1 即表示电池为充满电状态，随着蓄电池放电，蓄电池的电荷逐渐减少，此时蓄电池的充电状态，可以用 SOC 的百分数的相对量来表示蓄电池中电荷的变化状态。一般蓄电池放电高效率区为 50%～80% 的 SOC。

因为电池实际存贮电荷与电池当前能存贮的最多电荷都是变值，所以对 SOC 精确的实时辨识是电池管理系统的一个关键技术。

6. 能量（Wh、kWh）

电池的能量存贮数理决定电动汽车的行驶距离，单位是 kWh，也称度。一般纯电动轿车的耗电量为 15kWh/ 百公里左右（MPV 车型一般在 20kWh/ 百公里），依此可大至计算一般轿车的电池存贮电量，例如 EV300 的行驶里程为 300 千米，其电量约为 45kWh 左右。

（1）标称能量：按一定标准所规定的放电条件下，电池所输出的能量，电池的标称能量是电池的额定容量与额定电压的乘积。

(2) 实际能量：在一定条件下电池所能输出的能量，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。电池的质量包括电池本身结构件质量和电解质质量的总和。

(3) 比能量 (Wh/kg)：指动力电池组单位质量中所能输出的能量。

(4) 能量密度 (Wh/L)：动力电池组的能量密度是指动力电池组单位体积中所能输出的能量。

7. 功率 (W、kW)

在一定的放电制度下，电池在单位时间内所输出的能量，电池的功率决定混合动力汽车的加速性能。

(1) 比功率 (W/kg)

电池的比功率是指电池单位质量中所具有电能的功率。

(2) 功率密度 (W/L)

电池的功率密度是指电池单位体积中所具有的电能的功率。

这里总结一下“比”和“密度”的区别，比是和重量有关，密度是和体积有关。

8. 电池的内阻

电流通过电池内部电解液、隔膜、电极时受到的阻力会使电池的对外输出电压降低，此阻力称为电池的内阻。由于电池的内阻作用，使得电池在放电时端电压低于电动势和开路电压。在充电时充电的端电压高于电动势和开路电压。

9. 循环次数 (次)

循环次数是指蓄电池的工作是一个不断充电→放电→充电→放电的循环过程，按一定标准的规定放电，当蓄电池的容量降到某一个规定值（比如 80%）之前，就要停止继续放电，然后就需要充电才能继续使用。在每一个循环中，电池中的化学活性物质要发生一次可逆性的化学反应。随着充电和放电次数的增加，电池中的化学活性物质会发生老化变质，逐渐削弱其化学功能，使得电池的充电和放电的效率逐渐降低，最后电池损失全部功能而报废。蓄电池充电和放电的循环次数与电池的充电和放电的形式、电池的温度和放电深度有关，放电深度浅时，有利于延长电池的寿命。特别是电池在电动汽车上的使用环境，包括电池组中各个电池的均衡性、安装、固定方式、所受的振动和线路的安装等，都会影响电池的工作循环次数，最后完全丧失其充电和放电的功能而报废。

10. 使用年限 (年)

电池除了以循环次数表示使用时间外，通常还要用电池的使用年限来表示电池的寿命。

11. 放电速率 (放电率)

一般用电池在放电时的时间或放电电流与额定电流的比例来表示。

(1) 放电时率：电池以某种电流强度放电直到电池的电压降低到终止电压时，所经过的放电时间。

(2) 放电倍率：电池的放电电流值与电池额定容量数值的比值。比如电池额定容量 $C=6.5\text{Ah}$ ，若以 6.5A 放电电流放电，放电倍率为 1C ，放电电流为 1C ；若以 3.25A 放电电流放电，放电倍率为 0.5 ，放电电流为 0.5C 。

12. 自放电率

自放电率指电池在存放时间内，在没有负荷的条件下自身放电，使得电池容量损失的速度。自放电率用单位时间（月 / 年）内电池容量下降的百分数来表示。

13. 成本

电池的成本是与电池的技术含量、材料、制作方法和生产规模有关，目前新开发的高比能量的电池成本较高，使得电动汽车的造价也较高，开发和研制高效、低成本的电池是电动汽车发展的关键。如图 1-1 所示为电动汽车生产成本的构成。除上述主要性能指标外，还要求电池无毒性，对周围环境不会造成污染或腐蚀，使用安全，良好的充电性能和充电操作方便，耐振动，无记忆性，对环境温度变化不敏感，易于调整和维护等。

目前电池技术的瓶颈则在于如何造出容量大（充满电可以连续行驶 400km）且体积小、重量轻、价格低的电池，如图 1-1 所示为电动汽车生产成本构成中电池的成本比例，最后还要考虑如何快速给电池充电。

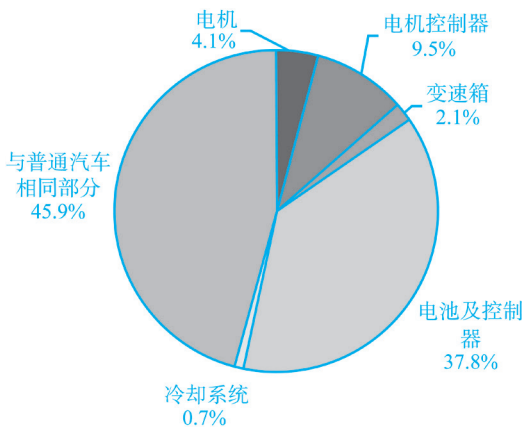


图 1-1 电动汽车生产成本构成比例

三、电动汽车对蓄电池的基本要求

一般混合动力汽车电池要求有较大的比能量，而混合动力汽车所采用的动力电池组则要求有较大的比功率，两种电池在性能方面各有侧重，混合动力汽车对蓄电池的基本要求如下。

1. 比能量大

比能量是保证混合动力汽车能够达到基本合理的行驶里程的重要性能，连续 2h 放电率的比能量至少不低于 44Wh/kg。

2. 充电时间短

蓄电池对充电技术没有特殊要求，能够实现感应充电。蓄电池的正常充电时间应小于 6h，蓄电池能够适应快速充电的要求，蓄电池快速充电达到额定容量的 50%时的时间为 20min 左右。

3. 连续放电率高

蓄电池能够适应快速放电的要求，连续 1h 放电率可以达到额定容量的 70%左右。

4. 自放电率低

自放电率要低，蓄电池能够长期存放。

5. 不需要复杂的运行环境

蓄电池能够在常温条件下正常稳定地工作，不受环境温度的影响，不需要特殊加热。保温热管理

系统能够适应混合动力汽车行驶时振动的要求。

6. 安全可靠

蓄电池应干燥、洁净，电解质不会渗漏腐蚀接线柱和外壳。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。废旧蓄电池能够进行回收处理和再生处理，蓄电池中有害重金属能够进行集中回收处理。电池组可以采用机械装置进行整体快速更换，线路连接方便。

7. 其他

寿命长、免维修、制造成本低。蓄电池的循环寿命不低于 1000 次，在使用寿命限定期间内，不需要进行维护和修理。

四、电池开发

铅酸蓄电池具有技术成熟、成本低、可快速充电、比功率高、比能量低，潜力巨大。镍镉（Ni-Cd）蓄电池具有技术成熟、可实现快速充电、比功率高、成本高、比能量低、潜力大。但这两种电池不是电动汽车的最好选择。

镍氢（Ni-MH）电池具有比能量高、比功率高、可实现快速充电、成本高、潜力巨大的特点。锂聚合物（Li-Ion）电池具有非常高的比能量、非常高的比功率、成本高、潜力巨大，但低温性能差，要适当处理这个问题。这两种电池目前是电动汽车的最好选择。

其他未来可能使用电池：镍锌（Ni-Zn）具有比能量高、比功率高、成本低、循环寿命短、潜力大。锌空气（Zn/Air）电池具有机械式充电、成本低廉、非常高的比能量、比功率低、不能接受再生能量、潜力巨大。铝空气（Al/Air）电池具有机械式充电、成本低、非常高的比能量、非常低的比功率、不能接受再生能量、潜力低。钠硫（Na/S）电池具有比能量高、比功率高、成本高、安全问题、需要热量管理、潜力一般。钠 / 氯化镍（Na/NiCl₂）电池具有比能量高、成本高、需要热管理系统、潜力大。

任务二

铅酸蓄电池

一、铅酸蓄电池的特点

铅酸蓄电池理论比能量 175.5Wh/kg，实际比能量 35Wh/kg，能量密度 80Wh/L。

铅酸蓄电池的特点是开路电压高，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，国内外的第一代的电动汽车广泛使用了铅酸蓄电池。

二、铅酸蓄电池的种类

铅酸蓄电池在汽车上分为启动铅酸蓄电池和动力铅酸蓄电池。混合动力汽车的牵引用动力铅酸蓄电池的性能与启动铅酸蓄电池的性能是不同的。

1. 启动铅酸蓄电池特点

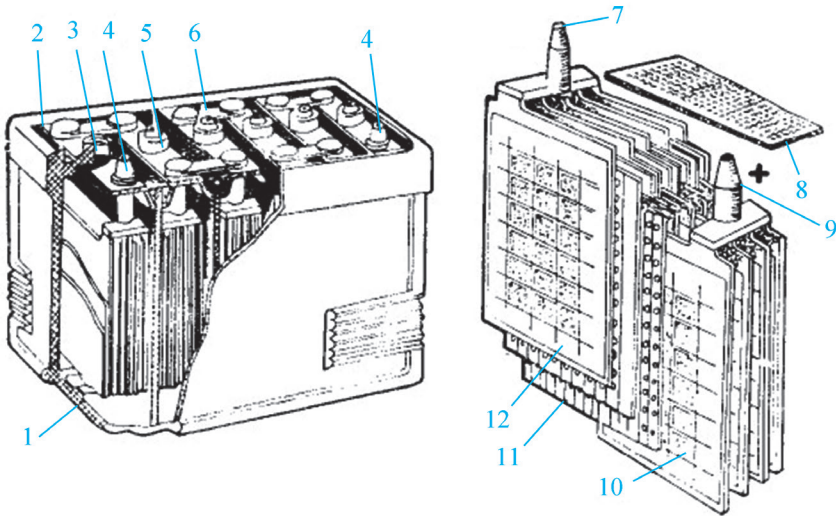
传统汽车的启动铅酸蓄电池最大的特点就是允许短时大电流放电，不能用于电动汽车作为储能蓄电池用。

2. 动力铅酸蓄电池特点

要有高的比能量和比功率，高的循环次数和使用寿命，以及快速充电性能等，是电动汽车采用的蓄电池。

三、铅酸蓄电池构造

如图 1-2 所示为普通铅酸蓄电池的构造，铅酸蓄电池的基本单元是单体电池（Battery Cell）。每个单体电池都是由正极板、负极板和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 2.1V 多一点，不过习惯称为 2V。实际用的铅酸电池是由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。铅酸蓄电池总成经过灌装电解液和充电后，就可以从铅酸蓄电池的接线柱上引出电流。



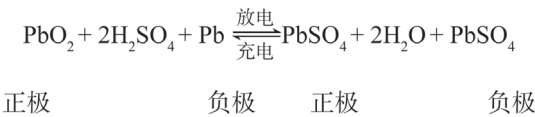
1- 外壳；2- 密封胶；3- 加液口；4- 正、负极接线柱；5- 加液口塞；6- 电极连接条；
7- 负极板组；8- 护板网；9- 正极板组；10- 二氧化铅；11- 隔板；12- 海绵状纯铅

图 1-2 普通铅酸蓄电池构造

四、铅酸蓄电池原理

1. 启动铅酸蓄电池

启动铅酸蓄电池的放电和充电的反应过程是铅酸蓄电池活性物质可逆进行的化学变化过程。它们可以用下列化学反应方程式表示。

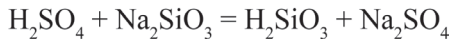


笔记

铅酸蓄电池在放电过程时，化学反应由左向右进行，其相反的过程为充电过程的化学反应。由于铅酸蓄电池在放电过程中，铅酸蓄电池中的 H_2SO_4 的浓度会逐渐减小，因此，可以用密度计来测定 H_2SO_4 的密度，再由铅酸蓄电池电解液密度确定铅酸蓄电池电解液放电程度。单体铅酸蓄电池的电压为 2V，在使用或存放一段时间后，电池的电压可能降低到 1.8V 以下，或 H_2SO_4 溶液的密度下降到 $1.29\text{g}/\text{cm}^3$ 时。此时，铅酸蓄电池就必须充电，如果电压继续下降，铅酸蓄电池将会损坏。

2. 动力铅酸蓄电池

动力铅酸蓄电池通常采用密封、无锑材料网隔板等技术措施，并在普通铅酸蓄电池的电解液中加入硅酸胶 (Na_2SiO_3) 之类的凝聚剂，化学方程式如下所示。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。



阀控铅酸蓄电池 (Valve Regulated Lead Acid Battery, VRLA) 是装了排气阀的蓄电池。安装了排气阀的铅酸蓄电池的特点是电极上带有催化剂，可以使充电时产生的氢气和氧气反应生成水流回电池，因而可以防止充电时产生的氢气和氧气逸散，控制水的消耗。一般情况下阀控铅酸蓄电池在运行（放电）过程中是“零排放”，只有在充电后期，生成的氢气和氧气过多来不及生成水，则内部压力上升才有机会打开排气阀。蓄电池内的气体压力超过安全阀的压力时才有少量的氢和氧混合气体排放。如图 1-3 所示为成组后的车用阀控铅酸蓄电池。

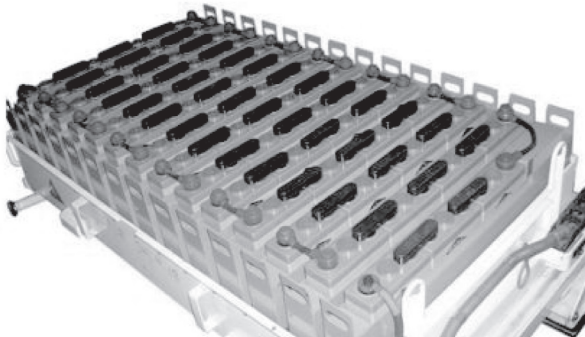


图 1-3 成组后的车用阀控铅酸蓄电池

任务三 镍基电池

车上常用的镍基电池包括镍氢电池和镍镉电池两种，最主要的是镍氢电池。

一、镍氢 (Ni-MH) 电池特点

1. 镍氢电池简介

镍氢电池是一种碱性电池，单体电池电压 1.2V，3h 比能量 $75 \sim 80\text{Wh}/\text{kg}$ ，比功率 $160 \sim 230\text{W}/\text{kg}$ ，能量密度达到 $200\text{Wh}/\text{L}$ ，功率密度 $400 \sim 600\text{W}/\text{L}$ 。

2. 镍氢电池优点

- (1) 充电 18min 可恢复 40%~80% 的容量，过充电和过放电性能好。
- (2) 应急补充充电性能好，1h 内可以完全充满，应急补充充电的时间短。
- (3) 在 80% 的放电深度下，循环寿命可达到 1000 次以上，是铅酸电池的 3 倍。
- (4) 一次充电后行驶里程长，而且启动加速性能较好。
- (5) 可以在环境温度 -28 ~ 80℃ 条件下正常工作。
- (6) 循环寿命可达到 6000 次或 7 年。
- (7) 采用全封闭外壳，可以在真空环境中正常工作。
- (8) 低温性能较好，能够长时间存放。
- (9) 镍氢电池中没有铅 (Pb) 和镉 (Cd) 等重金属元素，不会对环境造成污染。
- (10) 镍氢电池可以随充随放，不会出现镍镉在没有放完电后即充电而产生的“记忆效应”。

3. 镍氢电池缺点

- (1) 在高温条件下使用时电荷量急剧下降。
- (2) 自放电损耗较大。
- (3) 镍氢电池的成本很高，约达 600 ~ 800 美元 /kwh，不同的储氢合金具有不同的储存氢的能力，价格也不相同。
- (4) 镍氢电池的比功率和放电能力不及镍镉电池。
- (5) 镍氢电池在使用时还应充分注意各个单体电池之间的一致性，特别是在高速率、深放电情况下，各个单体电池之间的容量和电压差较明显。注重对电池组在充、放电过程中的导热管理和电池安全装置的设计。

目前日本混合动力电动汽车多采用镍氢电池作为能源。

二、镍氢电池构造

镍氢电池正极是活性物质氢氧化镍 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ，负极是储氢合金，用氢氧化钾作为电解质，在正负极之间有隔膜，共同组成镍氢单体电池。在金属铂的催化作用下，完成充电和放电的可逆反应。镍氢电池的特性与镍镉电池特性基本相同，但氢气是没有毒性的物质，无污染，安全可靠，使用寿命长，而且不需要补充水分。

镍氢电池的极板有发泡体和烧结体两种，发泡体极板的镍氢电池在出厂前必须进行预充电，且放电电压不能低于 0.9V，工作电压也不太稳定，特别是在存放一段时间后，会有近 20% 的电荷流失，老化现象比较严重，为避免发泡镍氢电池老化所造成的内阻增高，镍氢电池在出厂前必须进行预充电。经过改进的镍氢电池的烧结体极板本身就是活性物质，不需要进行活性处理也不需要预充电，电压平衡、稳定，具有低温放电性能好、不易老化和寿命长的优点。

通常镍氢电池的外形有方形和圆形两种。

三、镍氢电池工作原理

如图 1-4 所示，镍氢电池的正极是球状氢氧化镍粉末与添加剂等金属、塑料和黏合剂等制成的涂膏，用自动涂膏机涂在正极板上，然后经过干燥处理成发泡的氢氧化镍正极板。在正极材料 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 中

添加 Ca、Co、Zn 或稀土元素，对稳定电极的性能有明显的改进。采用高分子材料作为黏合剂或用挤压和轧制成的泡沫镍电极，并采用镍粉、石墨等作为导电剂时，可以提高大电流时的放电性能。

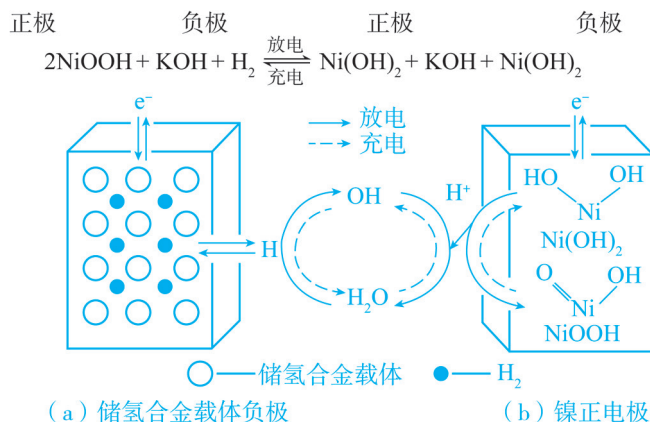


图 1-4 镍氢电池在碱性电解液中进行反应的模型

镍氢电池的负极的关键技术是储氢合金，要求储氢合金能够稳定地经受反复的储气和放气的循环。储氢合金是一种允许氢原子进入或分离的多金属合金的晶格基块，用钛 - 钒 - 锆 - 镍 - 铬 (Ti-V-Co-Ni-Cr) 五种基本元素，并与钴、锰等金属元素烧结的合金，经过加氢、粉碎、成形和烧结成负极板。储氢合金的种类和性能，对镍氢电池的性能有直接的影响。负极在充电或放电过程中既不溶解，也不再结晶，电极不会有结构性的变化，在保持自身化学功能的同时，还保证本身的机械坚固性。储氢合金一般需要进行热处理和表面处理，以增加储氢合金的防腐性能，这有利于提高镍氢电池的比能量、比功率和使用寿命。

电解质是水溶性氢氧化钾 (KOH) 和氢氧化锂 (LiOH) 的混合物。当电池充电过程中，水在电解质溶液中分解为氢离子和氢氧离子，氢离子被负极吸收，负极从金属转化为金属氢化物。在放电过程中，氢离子离开了负极，氢氧离子离开了正极，氢离子和氢氧离子在电解质氢氧化钾中结合成水并释放电能。

镍氢电池在充电过程中容易发热，发热产生的高温，会对镍氢电池产生负面影响。高温状态下，正极板的充电效率变差，并加速正极板的氧化，使电池的寿命缩短。镍氢电池在充电后期，会产生大量的氧气，在高温的环境条件下，将加速负极储氢合金氧化，并使储氢合金平衡压力增加，使储氢合金的储氢量减少，从而降低镍氢电池的性能。尼龙无纺布隔膜在高温的作用下，会发生降解和氧化。尼龙无纺布隔膜发生降解时，产生铵离子 (NH₄⁺) 和硝酸根 (NO₃⁻) 离子，加速了镍氢电池的自放电。尼龙无纺布隔膜发生氧化时，氧化成碳酸根，使镍氢电池的内阻增加。在镍氢电池充电的过程中，电池温度迅速地升高，会使充电效率降低，并产生大量氧气，如果安全阀不能及时开启，会有发生爆炸的危险。

四、镍氢电池特性

1. 放电特性

镍氢电池 (6 个单体电池组件) 放电时，2C 的功率输出时的质量比功率可达到 600W/kg 以上，3C 的功率输出时的质量比功率可达到 500W/kg 以上，深度范围内质量比功率的变化比较平稳，对混合动力汽车的动力性能的控制十分有利，电池的寿命可以达到 10 万千米以上。

2. 充电特性

镍氢电池的充电接受性很好，充电效率几乎达到 100%，能够有效地接受混合动力汽车在制动时反馈的电能。另外，由于能量损耗较小，镍氢电池的发热量被抑制在最小的极限范围内，可以有效地控制剩余电量，并用电流来显示电池的剩余电量。

五、镍氢电池车型

1. 本田车系

如图 1-5 所示本田 Insight 镍氢电池组，电池组置于行李舱底板，由 120 颗松下 1.2 伏镍氢电池组成，串联合计电压为 144 伏，支持电流充电 50A，放电 100A。为延长电池寿命，每个电池单元放电量为 4A 时，电池组共可放电 $144 \times 4 = 0.576\text{kWh}$ 能量。

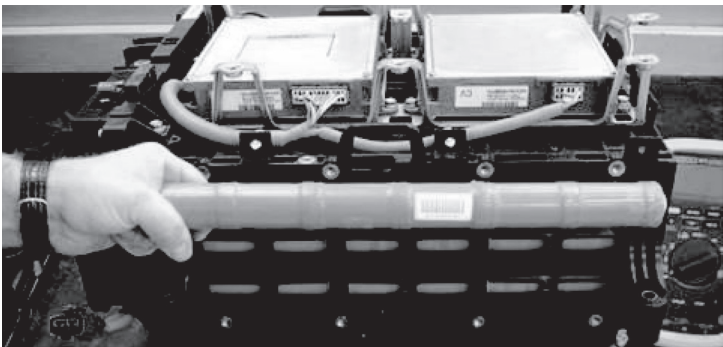


图 1-5 本田 Insight 镍氢电池组

2. 丰田车系

如图 1-6 所示 2003 年后第二代普锐斯电池组，电池组重 53.3 千克，由 28 组松下镍氢电池模块构成，每个模块分别载有 6 个 1.2 伏电池（图 1-7），总计 168 个电池，串联标称电压合计 201.6 伏，比上第一代的 38 组 228 个电池有所减少。2009 年第三代丰田普锐斯在国外为插电式混合动力（PHEV），电池装载较多，而在国内第三代丰田普锐斯因无插电功能，电池数量和第二代完全相同，也标称 201.6 伏。

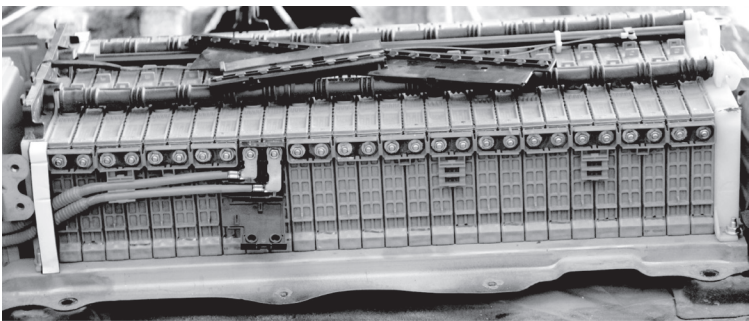


图 1-6 普锐斯镍氢电池组

旧款 Prius 中，HV 蓄电池电瓶间为单点连接，接点在电瓶上部，而新车型中的蓄电池电瓶间为双点连接，新增的点在电池下部，这样蓄电池的内部电阻得以降低。

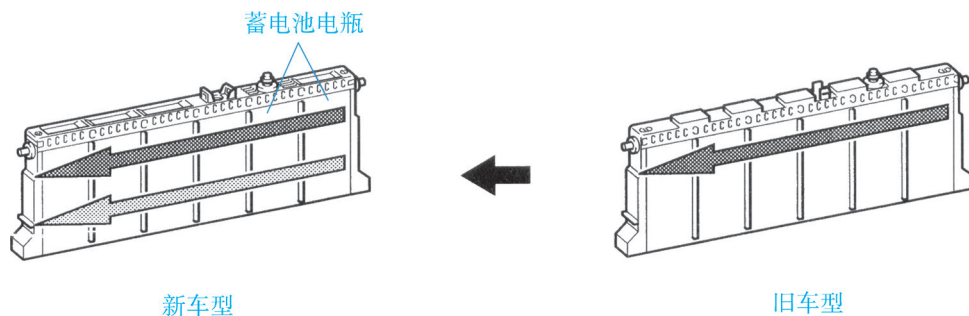


图 1-7 普锐斯 6 个 1.2 伏电池结构

在镍氢电池的制造技术上进行一些改进，例如：正极板采用多极板技术，负极板采用端面焊接技术，在电解液中适当加入 LiOH 和 NaOH ，采用抗氧化能力强的聚丙烯毡做隔膜等，可以有效地提高镍氢电池耐高温能力。在镍氢电池动力电池组之间，加大散热间隙，采取有效的散热措施和建立自动热管理系统，以保证镍氢电池正常工作并延长使用寿命。镍氢电池通过增大冷却强度可以让动力电池的放电功率有一定程度的提高，比如由 25kW 提高到 27kW 。

六、镍镉（Ni-Cd）电池特点

1. 镍镉电池简介

镍镉电池是一种碱性电池，是低档混合动力汽车首选电池之一。镍镉电池的比能量可达到 55Wh/kg ，比功率可超过 225W/kg 。

2. 镍镉电池优点

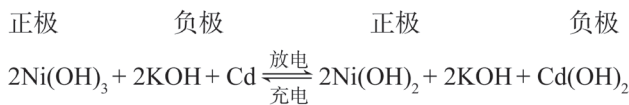
- （1）极板强度高，工作电压平稳，能够带电充电，并可以快速充电。
- （2）镍镉电池过充电和过放电性能好，有高倍率的放电特性，瞬时脉冲放电率很大，深度放电性能也好。
- （3）循环使用寿命长，可达到 2000 次或 7 年以上，是铅酸电池的 2 倍。
- （4）采用全封闭外壳，可以在真空环境中正常工作。
- （5）低温性能较好，能够长时间存放。

3. 镍镉电池缺点

- （1）镍镉电池有记忆效应。
 - （2）镍镉电池中采用的镉（Cd）是一种有害的重金属，在电池报废后必须进行有效回收。
 - （3）镍镉电池的成本约为铅酸电池的 4 ~ 5 倍，初始购置费用较高，但镍镉电池的比能量和循环使用寿命都大大地高于铅酸电池，因此，在电动汽车实际使用时，总的费用不会超过铅酸电池的费用。
- 由于镍镉电池使用性能比铅酸电池好，可以在混合动力汽车上使用。

七、镍镉电池原理

镍镉电池是以羟基氢氧化镍为正极，金属镉为负极，水溶性氧化钾溶液为电解质，在镍镉电池充电和放电的化学反应过程中，电解液基本上不会被消耗。为了提高寿命和改善高温性能，通常在电解液中加入氧化锂。镍镉电池的化学反应方程如下。



镍镉电池的每个单体电池都是由正极板、负极板和装在正极板和负极板之间的隔板组成。将单体电池按不同的组合装置在不同塑料外壳中，可得到所需要的不同电压和不同容量的镍镉电池总成，市场上有多种不同型号规格的镍镉电池总成可供选择。在灌装电解液并经过充电后，就可以从电池的接线柱上引出电流。

任务四

锂离子电池

一、锂离子电池简介

锂离子电池主要由电极、隔膜、电解质和外壳组成。正极主要为含锂的化合物，常见的正极材料包括钴酸锂（LCO）、锰酸锂（LMO）、三元材料（NCM）、磷酸铁锂（LFP）等。负极大多采用石墨作为负极材料。隔膜是一层具有电绝缘特性的物质，它可以把正负极分隔开，具有使电解质中离子通过的能力。常用的电解液通常为有机物。外壳有钢壳、铝塑膜，其中铝塑膜大多由耐磨层、铝层、防腐蚀层、黏结层几部分组成，其中耐磨层是电池的外表面，可以防止汽车长期运行中电池位置错动引起的磨损，铝层可以起到防止水分进入的作用。

锂离子电池具有极高的性能优势，是未来动力蓄电池发展的必然方向。相对传统的铅酸以及镍氢和镍镉电池而言，锂离子电池的历史很短。如图 1-8 所示为汽车应用的锂离子电池，采用 12 个并联，并与下一组串联的并串结构。

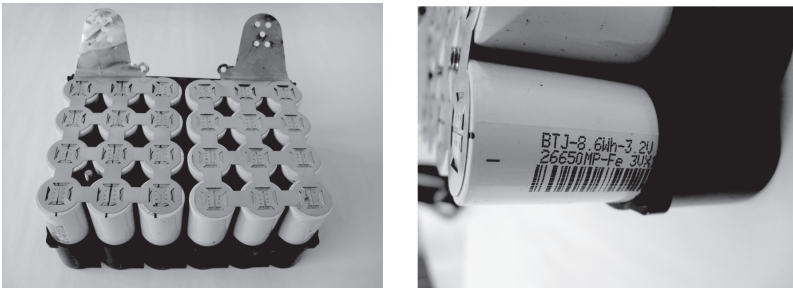


图 1-8 汽车锂离子电池

锂离子分类：按电池外形分有圆柱形和方形；按电池外壳材料有硬壳（钢壳、铝壳）和软包（铝塑膜）。按电池的正极材料分有钴酸锂、锰酸锂、三元（钴锰镍）、磷酸铁锂、钛酸锂等。

二、普通锂离子电池特点

目前市场上的锂离子电池正极材料主要是氧化钴锂（LiCoO₂），另外还有少数采取氧化锰锂（LiMn₂O₄）和氧化镍锂（LiNiO₂）以及三元材料 [Li（NiCo）O₂] 作为正极材料的锂离子电池，不同正极材料锂电池放电曲线如图 1-9 所示。

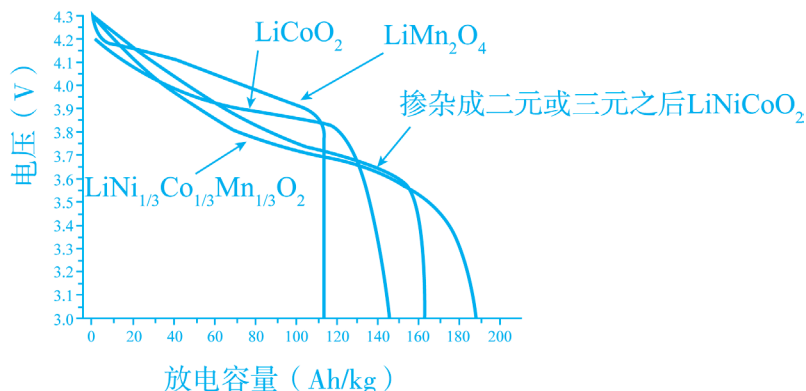


图 1-9 不同正极材料锂电池放电曲线对比

普通锂离子电池有如下优点。

- (1) 普通单体电池工作电压高达 3.7V，电压是镍氢电池的 3 倍，是铅酸电池的近 2 倍。
- (2) 重量轻，比能量大，高达 150Wh/kg，是镍氢电池的 2 倍，铅酸电池的 4 倍，因此重量是相同能量的铅酸电池的三分之一到四分之一。
- (3) 体积小，体积是铅酸电池的二分之一到三分之一。
- (4) 提供了更合理的结构和更美观的外形的设计条件、设计空间和可能性。
- (5) 循环寿命长，循环次数可达 1000 次。以容量保持 60% 计，电池组 100% 充放电循环次数可以达到 600 次以上，使用年限可达 3 ~ 5 年，寿命约为铅酸电池的 2 ~ 3 倍。
- (6) 自放电率低，每月不到 5%。
- (7) 允许工作温度范围宽，低温性能好，锂离子电池可在 -20℃ ~ +55℃ 之间工作。
- (8) 无记忆效应，所以每次充电前不必像镍镉电池、镍氢电池一样需要放电，可以随时随地地进行充电。
- (9) 电池充放电深度对电池的寿命影响不大，可以全充全放。
- (10) 无污染，锂电池中不存在有毒物质，因此被称为“绿色电池”。

钴酸锂电池和三元材料锂电池具有重量更轻，体积更小等优点，但是这种电池不是特别适合作动力电池。另外，钴酸锂电池的主要原材料金属钴元素在我国储量极少，目前 80% 的金属钴元素基本靠进口，在我国难以大规模使用。最后由于这种锂电池比能量高，材料稳定性差，锂电池容易出现安全问题，如果单体容量过大，一旦产生爆炸将十分危险。

目前世界上知名的手机和笔记本电脑电池（正极材料为钴酸锂和三元锂材料）生产企业日本三洋、索尼等公司要求电池的爆喷率控制在十亿分之四十以下，国内公司能达到百万分之一。而动力电池的容量是手机电池容量的上百倍以上，因此对锂电的安全性要求极高。我国深圳比亚迪是锂离子动力电池技术国际上的领先企业，已经实现产业化生产。

三、磷酸铁锂电池

1997 年美国发现磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）模型，发现磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）是适合做动力电池的一种材料，从下面磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）电池性能优点我们可以看出，磷酸铁锂电池是目前最适合用于电动汽车产业化运用的锂离子电池。

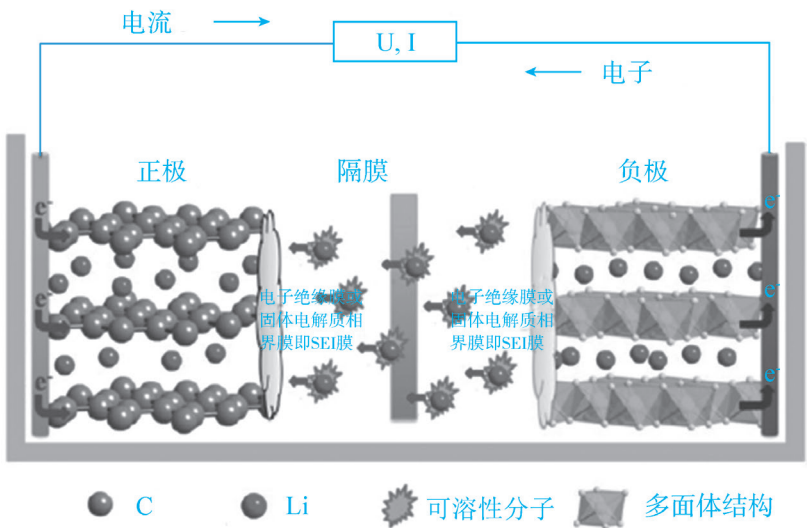
磷酸铁锂电池优点如下。

- (1) 高效率输出：标准放电为 2 ~ 5C、连续高电流放电可达 10C，瞬间脉冲放电（10s）可达 20C。
- (2) 高温时性能良好：外部温度 65℃ 时内部温度则高达 95℃，电池放电结束时温度可达 160℃。
- (3) 安全性好：即使电池内部或外部受到伤害，电池不燃烧、不爆炸。
- (4) 循环容量大：经 500 次循环，其放电容量仍大于 95%。

四、锂类电池原理

无论是高压（3.7V）锂离子电池，还是低压（3.2V）锂离子电池，其基本原理是相同的。各种锂离子电池内部主要由正极、负极、电解质及隔膜组成，正负极及电解质材料上的差异使电池有不同的性能，尤其是正极材料对电池的性能影响最大。

下面以磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）为例说明其工作原理：磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）电池的结构与工作原理（图 1-10），磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）作为电池的正极，由铝箔与电池正极连接，中间是聚合物的隔膜，它把正极与负极隔开，锂离子 Li^+ 可以通过而电子 e^- 不能通过，右边是由碳（石墨）组成的电池负极，由铜箔与电池的负极连接。电池的上下端之间是电池的电解质，电池由金属外壳密闭封装。磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）电池在充电时，正极中的锂离子 Li^+ 通过聚合物隔膜向负极迁移。在放电过程中，负极中的锂离子 Li^+ 通过隔膜向正极迁移。锂离子电池就是因锂离子在充放电时来回迁移而命名的。



锂离子电池（Lithium Ion Battery, LIB）充电规律

图 1-10 磷酸铁锂（ LiFePO_4 ）结构示意图

【技师指导】锂离子电池工作原理中正极是由含有锂离子的金属氧化物组成，负极一般是石墨构成的晶格，充电时锂离子由正极向负极一端移动，最终嵌入由石墨构成的稳定的晶格中。可以容纳锂离子的晶格越多，可以移动的锂离子越多，电池容量越大。

五、其他前沿技术

1. 锂离子电池纳米化技术

Altair 纳米技术公司为电动汽车开发的锂离子电池可以极快的速度的充电，容量高达 35kWh 的电池可以在 10 分钟之内充电完毕，安装这种电池的载人小汽车可以续航 160 千米。10 分钟之内把 35kWh 的电池充电完毕需要 250kW 的充电功率，这是一栋办公大楼最大用电负荷的五倍。

2. 充电材料表面纳米级沟槽处理技术

麻省理工学院研究人员发明了一项充电材料表面处理技术，利用这种新技术制造的手机电池可以在 10 秒钟内完成充电，汽车电池可在 5 分钟内充好电。一块锂电池完成充电一般需要 6 分钟或更长的时间。但传统的磷酸铁锂材料在经过表面处理生成纳米级沟槽后，可将电池的充电速度提升 36 倍（仅为 10 秒）。麻省理工学院说：由于这项技术不需要新材料，只是改变制造电池的方法，所以用两年到三年时间就可以将这项技术市场化。

3. 锂电池快速充电技术

据索尼官方新闻稿表示，索尼已经开发出了一种快速充电锂电池，仅需半个小时就能让电池充电 99%，并可延长 2000 次循环充放电寿命。这种电池采用磷酸铁锂作为阴极材料，以增强阴极的晶体结构并能保证其高温状态下的稳定性。通过与索尼新设计的粒子技术阳极材料组合，该电池可以有效降低电阻，并提高输出功率。

任务五 钠硫电池

一、钠硫电池简介

钠硫电池（Sodium-Sulfur Battery）是美国福特（Ford）公司于 1967 年首先发明公布的，其比能量高、可大电流、高功率放电。钠硫电池经热反应后所产生的理论能量密度为 786Wh/kg，实际能量密度为 300Wh/kg。日本东京电力公司（TEPCO）和 NGK 公司合作开发钠硫电池作为储能电池，其应用目标瞄准电站负荷调平、UPS 应急电源及瞬间补偿电源等，并于 2002 年开始进入商品化实施阶段，截至 2007 统计，日本年产钠硫电池电池量已超过 100MW，同时开始向海外输出。

二、钠硫电池原理

钠硫电池是以 Na-beta-氧化铝为电解质和隔膜，并分别以金属钠和多硫化钠为负极和正极的二次电池。

钠硫电池的工作原理如图 1-11 所示，以固体电解质 Na-β（或 β⁺）-Al₂O₃（Na⁺ 离子导体）为电解质隔膜，熔融硫和钠分别作阴阳极，钠硫电池是靠电子转移而再生能量。

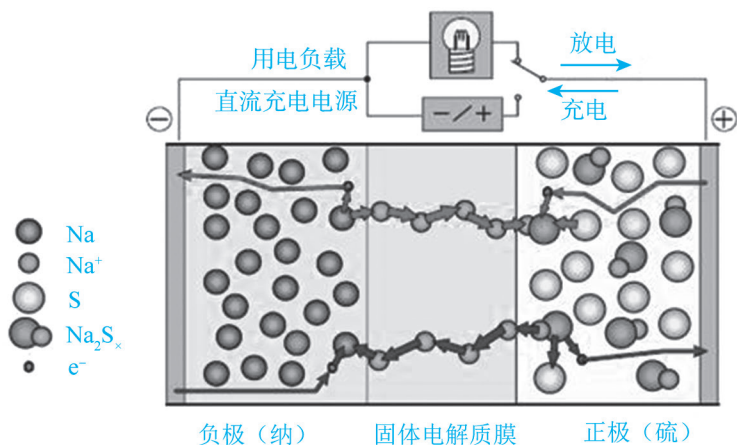


图 1-11 钠硫电池工作原理示意图

三、钠硫电池优缺点

1. 优点

- (1) 充电次数：钠硫电池采用的材料特殊，所以能连续充电近两万次，也就是说相当于近 60 年的使用寿命，且终生不用维修，不排放任何有害物质，也无二次污染公害，这是别的电池无法达到的。
- (2) 充电时间：钠硫电池是靠电子转移而再生能量，所以它充电时间相当短暂，一次充电可运行 10 ~ 11 小时。
- (3) 比能量高，约是铅酸电池十倍，镍氢电池四倍，锂电池三倍。
- (4) 可大电流、高功率放电。
- (5) 充放电效率几乎高达 100%。

2. 缺点

钠硫电池的不足之处是其工作温度在 300℃ ~ 350℃，需要一定的加热保温。另外，过充电时很危险。

任务六 超级电容

一、超级电容简介

传统电容为获得较大的电容量，必须增大面积或减少介质厚度，但这个伸缩空间有限，导致它的储电量和储能量较小。因此传统电容器的面积是导体的平板面积，为了获得较大的容量，导体材料卷制得很长，有时用特殊的组织结构来增加它的表面积。传统电容器是用绝缘材料分离它的两极板，一般为塑料薄膜、纸等尽可能薄的材料。

超级电容器又叫黄金电容或法拉电容，它通过极化电解质来储能，属于双层电容的一种。超级电容一般使用活性炭电极材料，具有吸附面积大，静电储存多的特点，由于其储能的过程并不发生化学

笔记

反应，因此这种储能过程是可逆的，正因为如此，超级电容器可以反复充放电数十万次。

目前已经研制出活性炭材料表面积可以达到 $2000\text{m}^2/\text{g}$ ，单位重量的电容量可达 $100\text{F}/\text{g}$ ，并且电容的内阻还能保持在很低的水平；而且碳材料还具有成本低，技术成熟等优点，使得该类超级电容在汽车上应用最为广泛。

二、超级电容原理

超级电容电极采用多孔化电极，采用活性炭粉、活性炭和活性炭纤维。电解液采用有机电解质。

如图 1-12 超级电容的原理所示，多孔性的活性炭有极大的表面积，在电解液中吸附着电荷，因而将具有极大的电容量，并可以存储很大的静电能量。双电层超级电容器的充放电过程始终是物理过程，没有化学反应。因此性能是稳定的，与利用化学反应的蓄电池是不同的。

< 双电层电容器的充放电过程 >

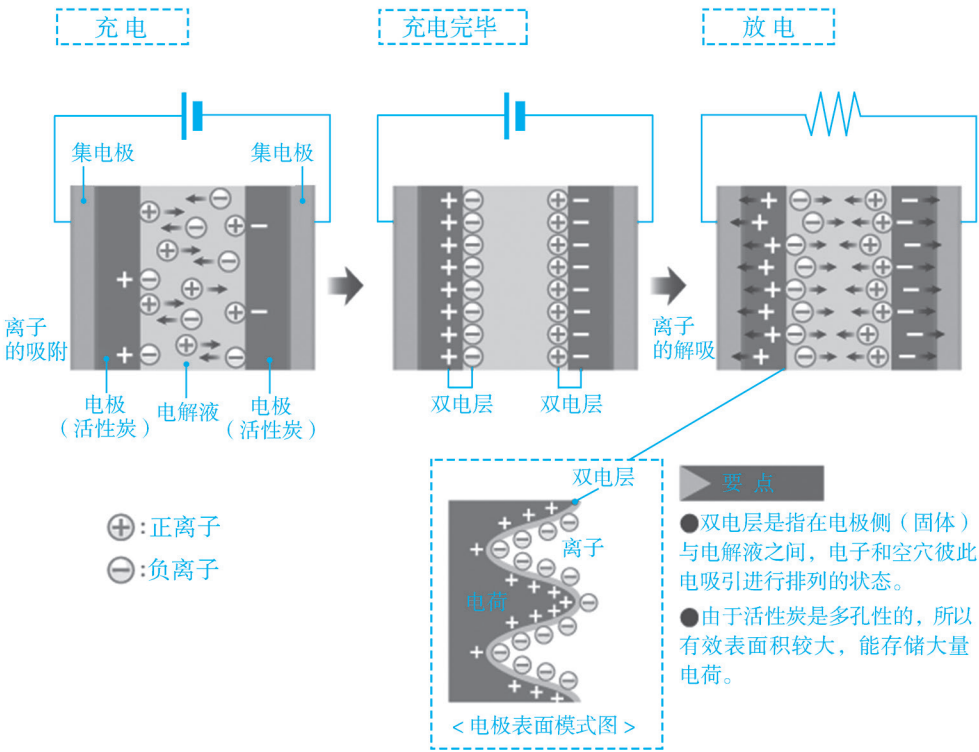


图 1-12 超级电容的原理

三、超级电容电极

1. 碳电极

碳电极超级电容器的面积是基于多孔碳材料，该材料的多孔结构允许其表面积达到 $2000\text{m}^2/\text{g}$ ，通过一些措施还可以实现更大的表面积。碳电极超级电容器电荷分离开的距离是由被吸引到带电电极的电解质离子尺寸决定的，该距离（ $<10\text{\AA}$ ）比传统电容器薄膜材料所能实现的距离更小。这种庞大的表面积再加上非常小的电荷分离距离使得超级电容器较传统电容器而言有巨大的静电容量。超级电容器的这一储电特性介于传统的电容器与电池之间。尽管这能量密度比电池低，但是这能量的储存方式，