

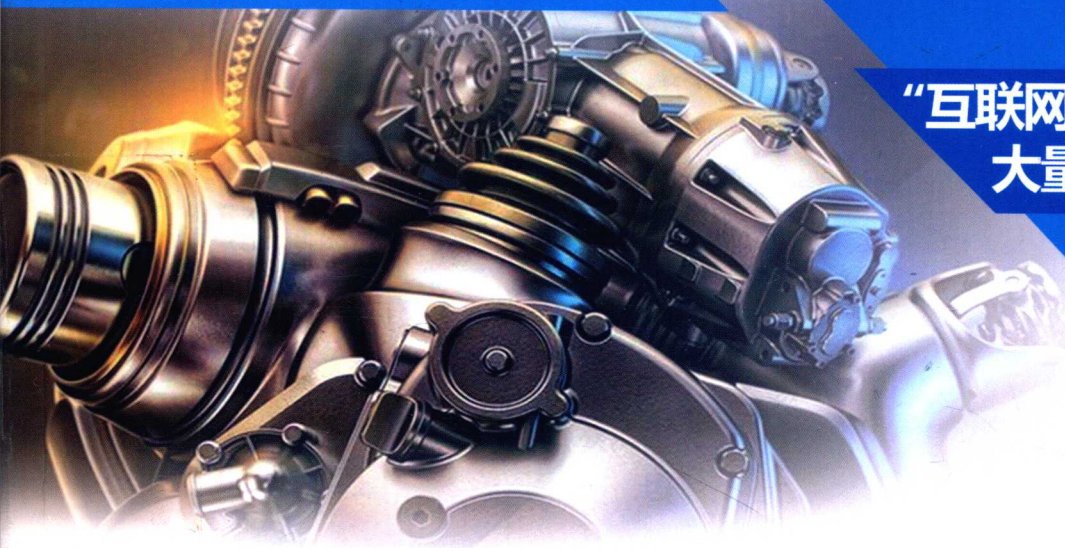
“十三五”精品课程建设规划教材·汽车类
汽车类高端技能人才 | 理实一体化系列教材

动力电池管理 与维护技术

DONGLI DIANCHI GUANLI YU WEIHU JISHU

主编 魏莹 龙华 张瑞云

“互联网+”创新教材
大量视频扫描即看



动力电池管理 与维护技术

DONGLI DIANCHI GUANLI YU WEIHU JISHU

主编 魏莹 龙华 张瑞云
副主编 张子成 马军 李开春

RFID
“互联网+”创新教材
大量视频扫描即看

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

内容提要

动力电池管理与维护技术是新能源汽车的关键技术之一。为了满足新能源汽车市场对人才的需求,并针对职业院校新能源汽车专业的教学需求,特编写本书。本书编写的内容紧贴实际发展及工作岗位的具体要求,围绕动力电池的基本认知、发展趋势、电池分类、检测与维护方法、电池管理系统、充电装置的检测与维护、相关质量标准等展开。本书编写时,项目按任务划分,以任务驱动,实践依托于理论,理论指导实践。本书图文并茂,既可作为职业院校新能源汽车专业的相关教材,也可作为从事新能源汽车相关领域的工程技术人员、管理人员及维修人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

动力电池管理与维护技术/魏莹,龙华,张瑞云主
编.—镇江:江苏大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5684-0905-6

I. ①动… II. ①魏… ②龙… ③张… III. ①电动汽
车—电池—管理②电动汽车—电池—维修 IV. ①TM91

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第242003号

动力电池管理与维护技术

Dongli Dianchi Guanli Yu Weihu Jishu

主 编/魏 莹 龙 华 张瑞云
责任编辑/郑晨晖
出版发行/江苏大学出版社
地 址/江苏省镇江市梦溪园巷30号(邮编:212003)
电 话/0511-84446464(传真)
网 址/http://press.ujs.edu.cn
排 版/北京睿恒盛彩图文设计有限公司
印 刷/廊坊市鸿煊印刷有限公司
开 本/889 mm×1 194 mm 1/16
印 张/16.75
字 数/538千字
版 次/2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷
书 号/ISBN 978-7-5684-0905-6
定 价/45.00元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

随着社会的高速发展，汽车已经成为人们日常生活中不可或缺的交通运输工具，然而，汽车保有量的增加，造成了大气污染、噪音污染等严重的社会问题，同时，石油资源的日益枯竭、原油价格的上涨、国际争端的出现，这些因素迫使我们研制出绿色无污染的新型汽车。由于电能源在这方面具有突出的优势，因而电动汽车的电池开发和研究成为各国汽车发展的主要方向。我国新能源汽车在国家政策的推动及技术快速发展的情况下，一路保持高速增长态势，这也为电池及管理系统（BMS）的发展带来强劲动力。

本书全面阐述了新能源汽车的电池管理及维护技术，采用项目驱动法及德国职业教育先进理念，通过任务布置和实操演练，让读者深入浅出地理解知识点并且将理论结合实际，提高动手能力。全书共分为7个项目28个任务，项目一介绍了电池的分类、发展，各种储能装置的主要特点和应用、性能分析及动力电池的要求。项目二介绍了动力电池的内部结构组装方法及更换步骤。项目三介绍了动力电池的认知与维护，主要叙述动力电池的数据采集、安全管理、通信功能、均衡管理和软件实现等内容。项目四介绍了动力电池热管理系统。项目五介绍了动力电池的充电技术、故障排查及更换车载充电机的方法。项目六介绍了动力电池系统的安全分析与设计，包括电气安全、机械安全、化学安全和相关法规及标准。项目七介绍了动力电池的日常维护及保养。每个项目都有相应的若干小任务支撑。书中既有概念介绍，也有实操演练的环节，课后的习题和工作页可以帮助读者更好地理解和应用。

本书内容丰富，理论性和实践性强，可作为高等院校新能源汽车技术及相关专业教材，也可为从事新能源汽车相关领域的工程技术人员、管理人员及维修人员的参考用书。

本书的主编由兰州职业技术学院的魏莹、长江职业学院的龙华、兰州职业技术学院的张瑞云担任，主要负责项目一至七的编写；副主编由兰州职业技术学院的张子成、马军和李开春担任，主要负责项目实操环节、习题的编写和校对；张子成负责全书的审核。

由于新能源汽车发展历史较短，一些关键技术还处于研究之中，另外作者水平有限，如书中出现不足及错误，敬请读者批评指正。

目 录

项目一 动力电池的认知	1
任务1 电池的定义及分类	2
任务2 常见动力电池的认知	6
任务3 电池性能指标概述	52
任务4 动力电池的发展现状及趋势	56
任务5 电动汽车对动力电池的要求	65
实操演练 1-1 蓄电池的检测	66
实操演练 1-2 电池性能对比分析	68
课后习题	70
项目二 动力电池的分解及拆装	72
任务1 常见车型动力电池的组成部件及功能	73
任务2 动力电池的故障诊断及拆装	79
实操演练 2-1 动力电池的内部结构	87
实操演练 2-2 动力电池的故障诊断	90
实操演练 2-3 更换动力电池总成	93
课后习题	95
项目三 动力电池管理系统的认知与检测	99
任务1 动力电池管理系统的认知	99
任务2 动力电池管理系统的数据采集	110
任务3 动力电池管理系统的安全管理	120
任务4 动力电池管理系统的通信功能	123
任务5 电池管理系统的均衡管理	127
任务6 电池管理系统的软件实现	131
实操演练 3-1 通过检测电压检查漏电	134
实操演练 3-2 常用传感器的认知	135
实操演练 3-3 电池管理系统的低压电路及检测	136
课后习题	140
项目四 动力电池热管理系统	142
任务1 热失控及其原因	143

任务 2 热管理系统概述	145
任务 3 部分车型动力电池的热管理系统介绍	154
课后习题	157
项目五 动力电池充电技术	158
任务 1 电动车充电技术发展趋势	159
任务 2 电动汽车充电方式及充电策略	164
任务 3 直流充电过程分析及故障排除	167
任务 4 交流充电过程分析及故障排除	179
任务 5 车载充电机简介	185
实操演练 5-1 充电故障诊断作业流程	189
实操演练 5-2 慢充系统故障诊断流程	191
实操演练 5-3 更换车载充电机	193
课后习题	197
项目六 动力电池系统的安全分析与设计	199
任务 1 动力电池系统安全分析	199
任务 2 电气安全设计	205
任务 3 机械安全设计	214
任务 4 化学安全设计	216
任务 5 安全相关法规及标准体系	223
实操演练 6-1 各项安全防护措施的认知	228
实操演练 6-2 高压系统故障诊断的安全作业	232
课后习题	236
项目七 动力电池的维护保养	237
任务 1 动力电池的常见故障	237
任务 2 动力电池的日常维护	241
实操演练 7-1 比亚迪 e6 动力电池故障排查	253
实操演练 7-2 吉利帝豪 EV300 车型动力电池日常维护流程	257
课后习题	258
参考文献	259
附 录 术语和定义	260



二维码总码

项目一 动力电池的认知



学习目标

1. 了解电池的定义、发展及类型；
2. 掌握电动汽车对动力电池的要求；
3. 熟悉电池的主要性能指标，掌握电动汽车各种储能装置的主要特点和应用；
4. 对蓄电池的性能测试有一个初步的认识。



学习能力

1. 知识能力：了解电池的结构、工作原理、分类、特性、性能指标，掌握电池测量的方法。
2. 技能能力：掌握使用万用表测量单体电池的电压、电流和使用容量检测放电仪检测电池容量的方法。
3. 社会能力：提高安全质量意识、工作责任心和职业道德。



案例导读

1780年，意大利解剖学家伽伐尼（Luigi Galvani）在做青蛙解剖实验时，两手分别拿着不同的金属器械，无意中同时碰在青蛙的大腿上，青蛙腿部的肌肉立刻抽搐了一下，仿佛受到电流的刺激，而如果只用一种金属器械去触动青蛙，就无此种反应。伽伐尼认为，出现这种现象是因为动物躯体内部产生的一种电，他称之为“生物电”。

伽伐尼的发现引起了物理学家们的极大兴趣，他们竞相重复伽伐尼的实验，企图找到一种产生电流的方法。意大利物理学家伏特在多次实验后认为，伽伐尼的“生物电”之说并不正确，青蛙的肌肉之所以能产生电流，大概是肌肉中某种液体在起作用。为了论证自己的观点，伏特把两种不同的金属片浸在各种溶液中进行试验。结果发现，这两种金属片中只要有一种金属与溶液发生了化学反应，金属片之间就能够产生电流。1799年，意大利物理学家伏特把一块锌板和一块锡板浸在盐水里，发现连接两块金属的导线中有电流通过。于是，他就把许多锌片与锡片之间垫上浸透盐水的绒布或纸片，平叠起来。用手触摸两端时，会感到强烈的电流刺激。伏特用这种方法成功地制成了世界上第一个电池——“伏特电堆”。这个“伏特电堆”就是最早串联的电池组。

自1800年发明了世界上第一个电池，1859年可充电铅酸电池问世，1970年一次锂离子电池迈向了实用阶段，可充电锂聚合物的广泛使用和目前的燃料电池、太阳电池的闪亮登场，使得电动汽车的动力电池有更多的选择。电池分为化学电池、物理电池、生物电池3类。

任务1 电池的定义及分类



任务要求

了解电池的定义，掌握化学电池、物理电池和生物电池的概念及电池的相关知识。



知识储备

一、电池系统的定义

电池 (Battery) 指盛有电解质溶液和金属电极以产生电流的杯、槽或其他容器或复合容器的部分空间，能将化学能转化成电能的装置。

1. 电池系统的结构

电池由电池单体、电池、电池包 (组)、电池系统构成。

1) 电池单体 (Cell)

电池单体是指直接将化学能转化为电能的基本装置和基本单位，是构成电池的基本元件。其组成部分包括电解液、正极、负极、隔膜等，电池单体又称电芯 (见图 1-1)。

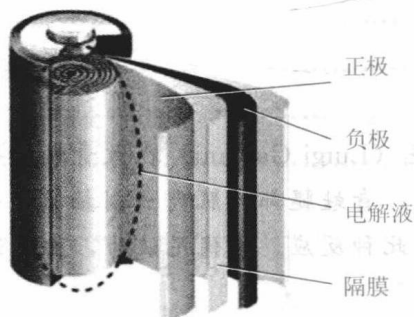


图 1-1 电池单体的结构

2) 电池 (Battery)

电池由一个以上的电池单体并联或串联而成，封装在一个物理上独立的电池壳体内，具有独立的正极和负极输出。内燃机汽车上常用的 12 V 或 24 V 起动电池，就是由 6 个或 12 个 2 V 的铅酸电池单体串联而成。

3) 电池包 (Battery Pack)

电池包也常称为电池组，是由多块电池通过串联或并联构成的一个存储电能或对外输出电能的部件。通常意义上的电池包还包括动力电池管理系统、电池箱等元器件。对于不包含完整电池管理功能的电池组通常称为电池模块 (Battery Module)。

4) 电池系统 (Battery System)

电池系统是指由一个以上电池包通过串联或并联构成的具备完善电池管理系统的电能供给系统。

电动汽车一般要求有较高的电压和电流，所以需要将若干个单体电池通过串联、并联与混联的方式组合成电池组，若干个电池单体组成电池又构成动力电池系统。因为电池组合中对单体电池性能有严格

的要求，所以在同一组电池中必须选择同一系列、同一规格、性能尽可能一致的单体电池。

2. 电池的成组方式

1) 串联电池组

由于单体电池的额定电压一般都偏低，往往不能满足负载额定电压的要求，这时就需要将多个单体电池串联起来使用，称为串联电池组（见图 1-2a）。串联电池组适用于输出电流不太大，而输出电压要求较高的场合。

2) 并联电池组

串联电池组中由于单体电池电压不一致，电压差的累积有逐步增加和相互抵消的情况时就需要将多个单体电池并联起来使用，称为并联电池组（见图 1-2b）。可见，并联电池组适用于每个电池的电动势能够满足负载所需的电压、而单个电池的输出电流小于负载所需的电流的情况。

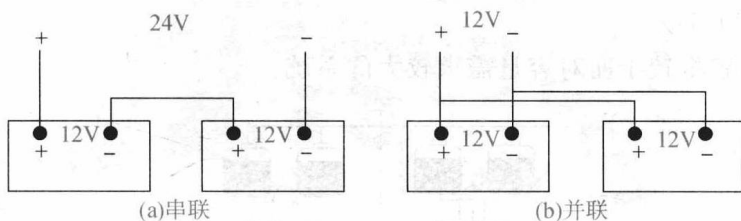


图 1-2 单体电池串、并联

3) 串并混联电池组

当需要电源的电压较高且电流较大时，就会用到混联电池组。混联电池组的连接方式有 2 种。一种是先并联后串联，另一种是先串联后并联。连接方式不同，系统的可靠性也不同，先并联后串联系统连接可靠性远大于先串联后并联的情况。对于先并联后串联，系统可靠性高于单体可靠性，而先串联后并联系统可靠性低于单体可靠性。因此，无论何种类型的电池，综合考虑连接可靠性和连接方式对电池性能的影响，应采用先并联后串联的方式。

在实际应用中，主要有 3 种成组模式：先并后串、先串后并、混联。

(1) 先并后串成组模式的优缺点及应用（见图 1-3）

优点：并联电芯当作一个电芯，监控架构简单，BMS 管理通道少，成本低。

缺点：

- ①若电芯较大，直接并联工艺可能导致电芯间不均流。
- ②若电芯较大，并联点很多，并联电流大，过流能力不易提高。

应用：适用于功率要求低的慢充电系统。

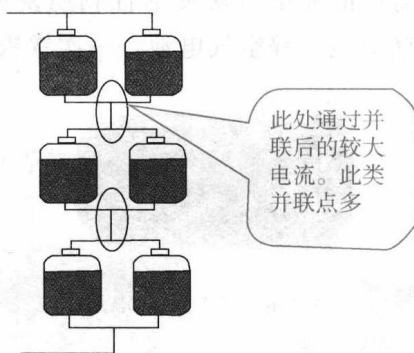


图 1-3 先并后串

(2) 先串后并成组模式的优缺点及应用（见图 1-4）

优点：只在两端并联，系统过流能力强；两支路间电池均流好。

缺点：每个支路电芯需独立监控，BMS 管理通道多，成本高。

应用：适用于有快充需求或功率要求高的系统。

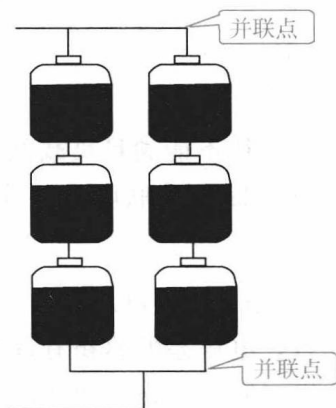
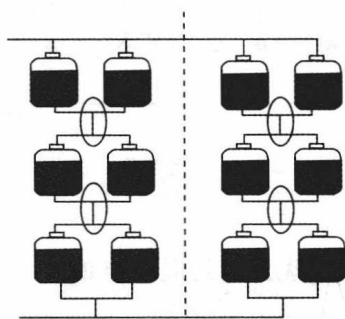


图 1-4 先串后并

(3) 混联系统 (见图 1-5)

混联系统适用于电芯容量较小而对容量需求较大的系统。



混联 (支路内先并联, 支路间再并联)

图 1-5 混联系统

二、电池的分类

电池是电动汽车的动力源，是能量的存储装置，它可以分为化学电池、物理电池和生物电池三大类。

1. 化学电池

化学电池是利用物质的化学反应发电。化学电池安装工作性质可以分为原电池、蓄电池、燃料电池和储备电池。

1) 原电池

原电池是指电池在放电后不能用简单的充电方法使活性物质复原而继续使用的电池，又叫作一次电池，如二氧化锰电池 (见图 1-6)、锂锰电池、锌空气电池、一次锌银电池等。



图 1-6 二氧化锰电池

2) 蓄电池

蓄电池是指电池在放电后可通过充电的方法使活性物质复原而继续使用的电池，又叫作二次电池，如铅酸电池 (见图 1-7)、镍氢电池 (见图 1-8)、锂离子电子电池 (见图 1-9) 等。

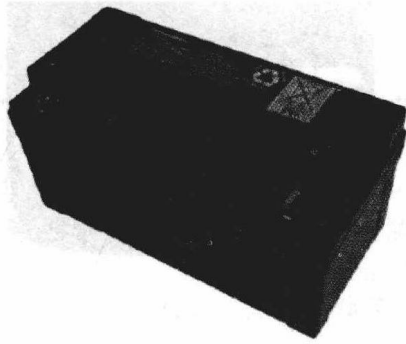


图 1-7 铅酸蓄电池

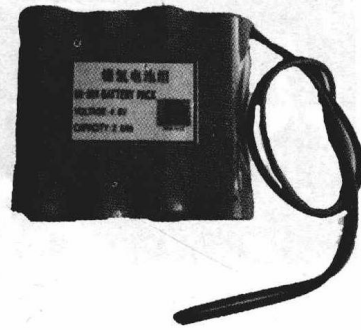


图 1-8 镍氢电池

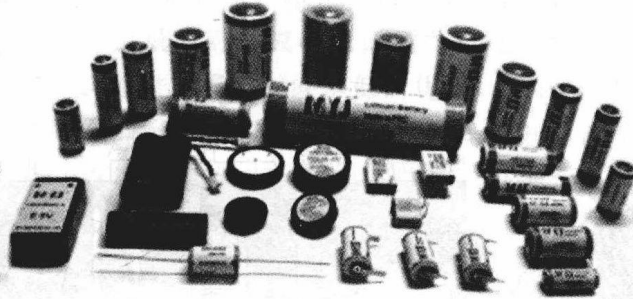


图 1-9 锂离子电池

3) 燃料电池

燃料电池是指参加反应的活性物质从电池外部连续不断输入电池，电池就连续不断工作提供电能。如质子交换膜燃烧电池、碱性燃料电池、磷酸燃料电池等，如图 1-10 所示。

4) 储备电池

储备电池又称“激活电池”，是指电池正极与电解质在储存期间内不直接接触，使用前注入电解质或者使用其他方法使电解质与正负极接触，电池进入放电状态。这类电池的正、负极活性物质的化学变质或自放电，因与电解液的隔离而基本上被排除，从而使电池能长时间贮存，如镁电池、热电池等，如图 1-11 所示。

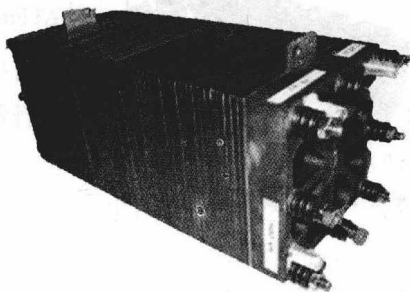


图 1-10 质子交换膜燃料电池

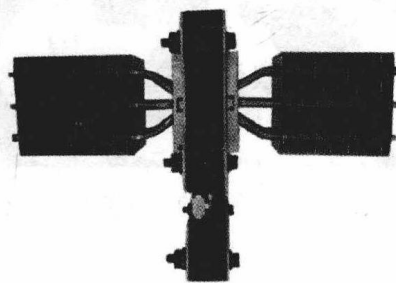


图 1-11 热电池

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（见图 1-12）、超级电容器（见图 1-13）、飞轮电池（见图 1-14）等。

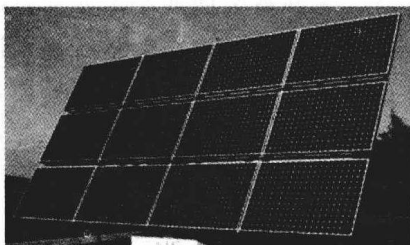


图 1-12 太阳能电池

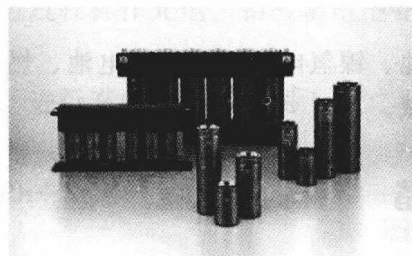


图 1-13 超级电容器

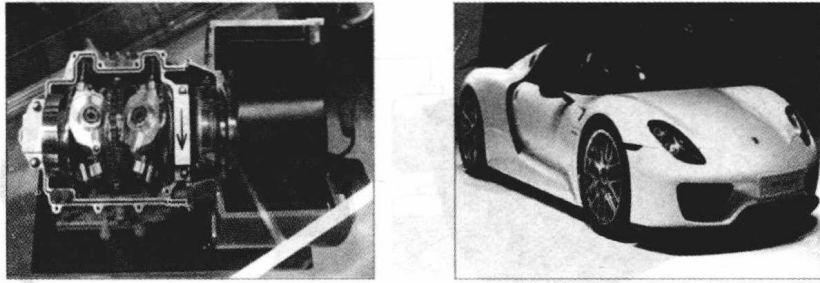


图 1-14 飞轮电池

3. 生物电池

生物电池利用生物化学反应发电的电池，如微生物电池（见图 1-15）、酶电池（见图 1-16）、生物太阳能电池（见图 1-17）等。

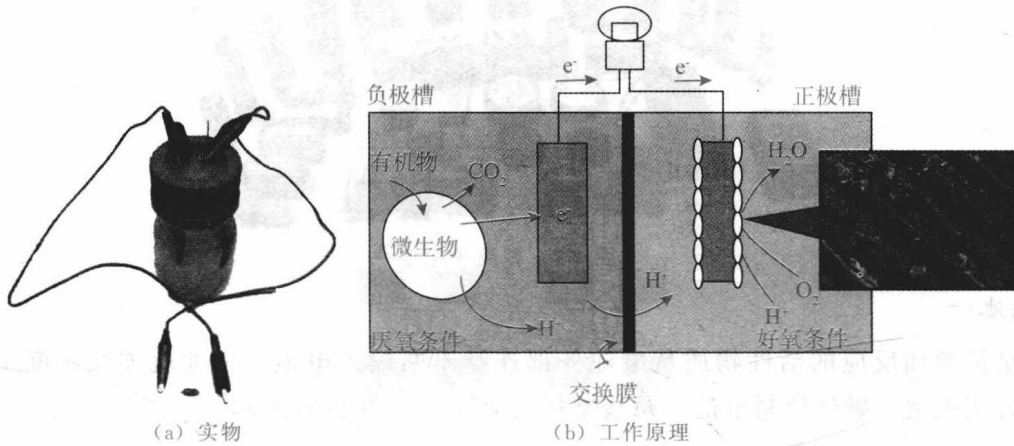


图 1-15 微生物电池

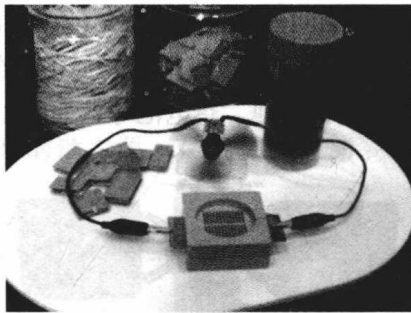


图 1-16 酶电池

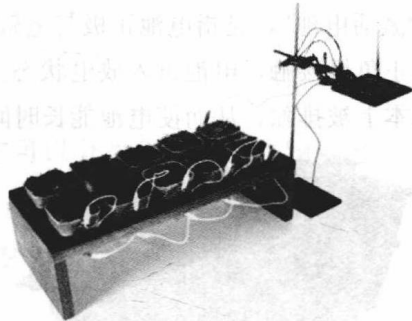


图 1-17 生物太阳能电池

任务 2 常见动力电池的认知

任务要求

掌握铅酸蓄电池、镍氢电池、锂离子电池、燃料电池、超级电容器、飞轮电池、太阳能电池的结构、工作原理及应用领域。

知识储备

目前，已经实用化的车用动力电池有传统的铅酸蓄电池、镍镉电池、镍氢电池和锂离子电池。在物

理电池领域中，超级电容器也应用于纯电动汽车和混合动力汽车领域中。生物燃料电池的应用前景也十分广阔，以氢为燃料的燃料电池和氧化物燃料电池的研发已进入重要发展阶段。

【小知识】

纯电动汽车上还有一块或者两块低压蓄电池，为了区分，将高压电池称为动力电池，这是行业术语。与传统汽车的油箱作用类似，可作为新能源汽车的“能量”来源。动力电池系统通常由电芯、电池组、电池管理系统、冷却系统、高低压线束、保护外壳及其他结构件构成。

一、铅酸蓄电池

铅酸蓄电池的应用历史最长，也是最成熟、成本最低的蓄电池。它已实现大批量生产，具有电压特性平稳、使用寿命长、适用范围广、原材料丰富和成本低的优势，但比能量低，所占的质量和体积太大，且一次充电行驶里程较短，自放电率高，循环寿命短，不适合现代电动汽车发展的需要。铅酸蓄电池主要用在常规燃料汽车上，作为汽车电源，给发动机起动、灯光、仪表、音响等电器设备供电。它多应用于电动自行车、低速纯电动车。

按照国际标准铅酸蓄电池的分类见表 1-1。

表 1-1 铅酸蓄电池的分类

类型	用途
精简型电池	主要用于汽车、摩托车、拖拉机、柴油机起动和照明等
固定式电池	主要用于通信、发电厂、计算机系统，作为一种手段，保护自动控制的备用电源
牵引电池	主要用于各种车辆如叉车、铲车电源
铁路电池	主要用于铁路机车、电力机车、客车起动、照明电源
储能电池	主要用于风力发电、太阳能发电，可存储

1. 铅酸蓄电池的结构

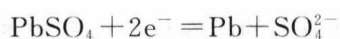
铅酸蓄电池主要由正负极板、隔板、电解液、溢气阀、外壳等部分组成。极板是铅酸蓄电池的核心部件，正极板上的活性物质是二氧化铅（ PbO_2 ），负极板上的活性物质为海绵状纯铅（ Pb ）。隔板是隔离正负极板，防止短路；作为电解液的载体，能够吸收大量的电解液，起到促进离子良好扩散的作用；它可汇流导体，还使正极板产生的氧气到达负极板的通道以顺利建立氧循环，减少水的损失。电解液由蒸馏水和纯硫酸（ H_2SO_4 ）按一定比例配制而成，主要作用是参与电化学反应，电池槽中装入一定密度的电解液后，由于电化学反应，正、负极板间会产生约为 2.1 V 的电动势。溢气阀位于电池顶部，起到安全、密封、防爆等作用。

2. 铅酸蓄电池的工作原理

铅酸蓄电池在使用时，把化学能转换为电能的过程称作放电。在使用后，借助于直流电在电池内进行化学反应，把电能转变为化学能而储蓄起来，这种蓄电过程称作充电。铅酸蓄电池是酸性蓄电池，它发生化学反应的情况如下：

① 充电时，把铅板分别和直流电源的正、负极相连，进行充电电解（见图 1-18）。

阴极的还原反应为



阳极的氧化反应为



充电时的总反应为



随着电流的通过， PbSO_4 在阴极上变成蓬松的金属铅，在阳极上变成黑褐色的二氧化铅，溶液中有 H_2SO_4 生成。

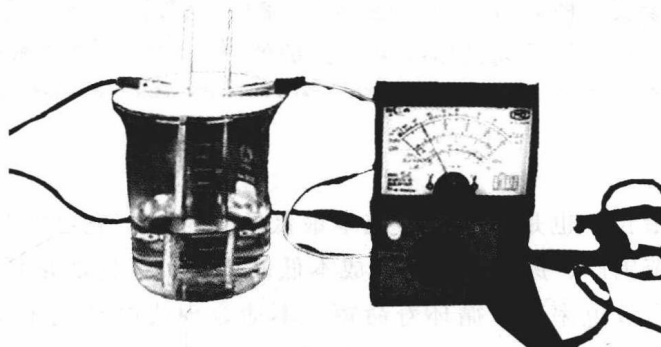
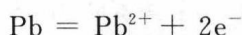


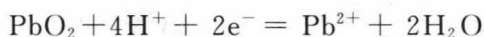
图 1-18 铅酸蓄电池反应原理

② 铅酸蓄电池的放电过程如图 1-19 所示。

阴极的氧化反应为

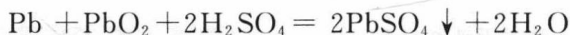


阳极的还原反应为

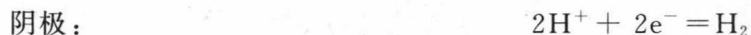


同样，由于硫酸的存在， Pb^{2+} 也立即生成 PbSO_4 。

放电时的总反应式为



蓄电池充电的时候，随着电池端电压的升高，水开始被电解，当电池电压每单体达到约 2.39 V 时，水的电解不可忽视。水电解时阳极和阴极的化学反应式分别为



阳极给出电子，阴极得到电子，从而形成了回路电流。端电压越高，水的电解也越激烈，此时充入的大部分电荷参加水电解，形成的活性物质很少。

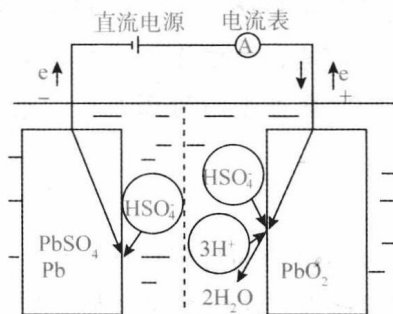


图 1-19 铅酸蓄电池放电过程

3. 铅酸蓄电池的充放电特性

(1) 放电特性

在铅酸蓄电池不放电的情况下，蓄电池中的活性物质微孔中的电解液 H_2SO_4 的密度与极板外的电解液密度相同。铅酸蓄电池开始放电，活性物质表面的电解液密度立即减小，而极板外的电解液是缓慢地向活性物质表面扩散，不能补偿活性物质表面液的密度。随着放电过程的进行，活性物质表面的电解液

密度继续减小,导致蓄电池的端电压减小,如图 1-20 中 AB 段所示。

蓄电池继续放电,在活性物质表面的电解液减少的同时,极板外的电解液向活性物质表面扩散,补充了活性物质表面的电解液的浓度并保持了一定的浓度,活性物质表面的电解液的浓度变化缓慢,使蓄电池的端电压也随即保持稳定,如图 1-20 中 BC 段所示,蓄电池继续放电,极板外的电解液的整体浓度也逐渐减小,在活性物质表面的电解液的浓度也随之减小。又由于电解液和活性物质被消耗,其作用面积也不断地减小,结果是蓄电池的端电压也随着减小,如图 1-20 中 CD 段所示。

在放电末尾阶段,正、负电极上的活性物质逐渐转变为 PbO_2 、 H_2SO_4 的生成使活性物质孔隙率降低,使活性物质与 H_2SO_4 的接触更加困难,并且由于 PbSO_4 使不良导体蓄电池的内阻增加,当蓄电池的端电压达到点 D 后,蓄电池的端电压急剧减小。蓄电池的放电与放电电流有密切关系,大电流放电时,蓄电池的电压下降明显,平缓的终止电压部分缩短,曲线的斜率也很大,放电时间缩短;随着放电电流的减小,蓄电池的电压呈下降趋缓,曲线也较平缓,放电时间延长。这种放电特性对蓄电池的正确使用有重要的意义。

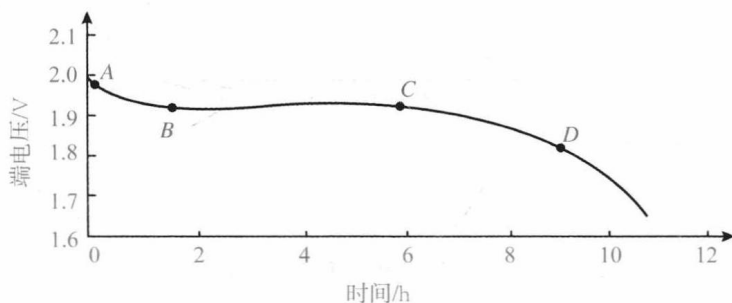


图 1-20 铅酸蓄电池的放电曲线

(2) 铅酸蓄电池的充电特性

在蓄电池充电开始后,首先活性物质表面的 PbSO_4 转换为 Pb ,并在活性物质表面附近生成 H_2SO_4 ,蓄电池的端电压迅速地上升,如图 1-21 中 AB 段所示。当达到点 B 以后活性物质表面和微孔内的 H_2SO_4 浓度平缓地增加,蓄电池的端电压上升也比较缓慢,如图 1-21 中 BC 段所示。随着充电过程继续进行,达到充电量 90% 左右,反应的极化增加,蓄电池的端电压明显地再次上升,如图 1-21 中 CD 段所示,这时蓄电池的端电压达到点 D,蓄电池的两极开始大量析出气体。在点 D 以后进行的电解过程,蓄电池的端电压又达到一个新的稳定值。

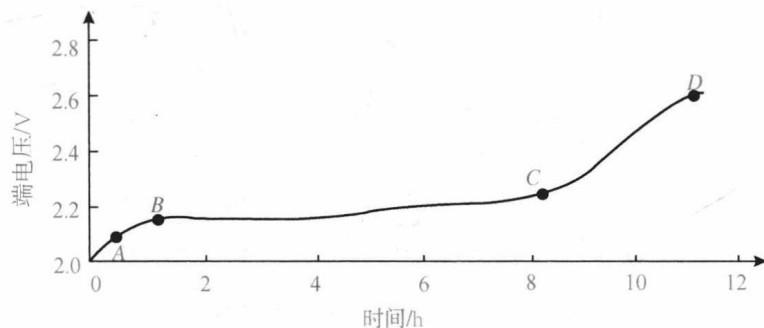


图 1-21 铅酸蓄电池的充电曲线

蓄电池充电还受到充电电流条件的影响,充电电流越大,活性物质的反应越快,反应生成的 H_2SO_4 速度越快,浓度增加越快,蓄电池的端电压上升越快。一般来说用较大电流来充电时,固然可以加快充电过程,但能量的损失也大,在充电终期大部分的电能用于产生热量和分解水。另外,用较大的电流来充电时在电极上的电流的分布也越加不均匀,电流分布多的部分活性物质的反应越快,电流分布少的部分活性物质不能充分转化。所以,在蓄电池充电的后期应减少充电电流。另外,蓄电池充电时蓄电池端电压的变化,是随充电时电流强度变化而变化,电流强度大,蓄电池端电压也高,电流强度小,蓄电池端电压也较低。

4. 铅酸蓄电池的充电方法

铅酸蓄电池的充电方法可以分为常规充电和快速充电 2 种。

(1) 常规充电

铅酸蓄电池的常规充电方法主要有恒流充电法、分段电流充电法、恒压充电法、恒压限流充电法等。

① 恒流充电法

恒流充电法是通过调整充电装置输出电压或改变与蓄电池串联电阻的方式使充电电流强度保持不变的充电方法。该方法控制简单，但由于蓄电池的可接受电流能力是随着充电过程的进行而逐渐下降的，到充电后期，充电电流多用于电解水，产生气体。使析气过甚，此时电能不能有效转化为化学能，多数变为热能消耗掉了，因此，常选用二阶段充电法。恒流充电曲线如图 1-22 所示，充电电流选择 10 小时率或 20 小时率恒流充电法能使蓄电池充电比较彻底，但需经常调节充电电压，且充电时间较长。

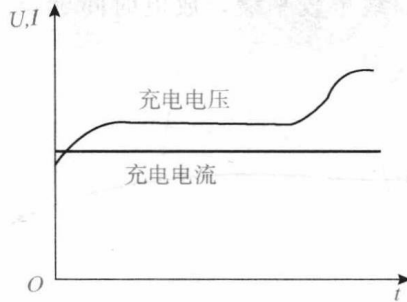


图 1-22 恒流充电曲线

② 分段电流充电法

分段电流充电法是指在充电过程中，为更有效地利用电能而逐渐减小电流的方法。考虑到蓄电池具体情况一般分数段进行充电，如二阶段充电法和三阶段充电法。

a. 二阶段充电法。二阶段充电法采用恒电流和恒电压相结合的方法快速充电，如图 1-23 所示。首先，以恒电流充电至预定的电压值，然后改为恒电压完成剩余的充电。两阶段之间的转换电压就是第二阶段的恒电压。

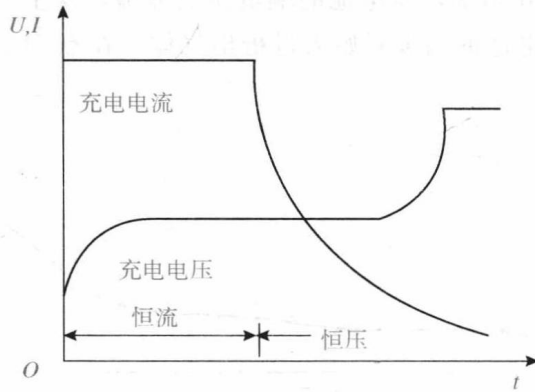


图 1-23 二阶段充电法充电曲线

b. 三阶段充电法。三阶段充电法在充电开始和结束时采用恒电流充电，中间用恒电压充电。当电流衰减到预定值时，由第二阶段转换到第三阶段。这种方法可以将出气量减到最少，但作为一种快速充电方法使用受到一定的限制。

③ 恒压充电法

充电电源的电压在全部充电时间里保持恒定的数值，随着蓄电池端电压的逐渐升高，电流逐渐减小。与恒流充电法相比，其充电过程更接近于最佳充电曲线，恒压充电法曲线如图 1-24 所示。由于充电初期蓄电池电动势较低，充电电流很大，随着充电的进行，充电电流逐渐减少，因此，只需简易控制系统。这种充电方法电解水很少，避免了蓄电池过充电。

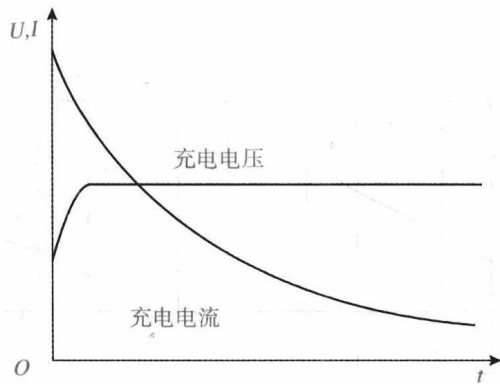


图 1-24 恒压充电法曲线

但在充电初期电流过大，对蓄电池寿命造成很大影响且容易使蓄电池极板弯曲，造成蓄电池报废。恒压充电法很少使用，只有在充电电源电压低而电流大时采用。如汽车行驶过程中，蓄电池就是以恒压充电法充电的。

④恒压限流充电法

为了克服恒压充电法中初期电流过大，而使充电设备不能承受的缺点，常采用恒压限流充电法来代替恒压充电法。在充电第一阶段，用恒定的电流充电；在蓄电池电压达到一定电压后，维持此电压恒定不变，转为第二阶段的恒压充电过程，当充电电流减小到一定值后，继续维持恒压充电大约 1 h 即可停止充电。为了能够最大限度地加快蓄电池的化学反应速率，缩短蓄电池达到满充状态的时间，同时保证蓄电池正负极板的极化现象尽量地少或轻，提高蓄电池使用效率。

(2) 蓄电池快速充电

快速充电技术近年来得到了迅速发展，由蓄电池的化学反应原理可知，蓄电池在充放电的过程中要产生氧气。在密封式铅酸蓄电池中，这些正极产生的氧气可以通过隔膜和气室被负极吸收，整个化学反应变成一个循环的反应形式，从而达到免维护的目的。但它的内压是有限的，致使阴极吸收速率也是有限的。如果充电电压过高，正极产生氧气的速率过快，吸收速率跟不上氧气的产生速率，长时间后必然造成电池失水，从而诱发蓄电池的微短路、硫酸化等失效现象，损害蓄电池的质量和缩短使用寿命。同时，高速率充电时蓄电池的极化会造成蓄电池内部压力上升。

蓄电池温度上升、蓄电池内阻升高等，这不仅会缩短蓄电池的寿命，而且有可能对蓄电池造成永久性伤害，同时也会使蓄电池可接受的充电电流减小，蓄电池不可能充到标称容量，蓄电池的这一化学反应原理是制定快速充电方法的依据。

快速充电要想办法加快蓄电池的化学反应速率（增大充电电压或电流等），使之充电速度得到最大限度地提高；快速充电要保证负极的吸收能力，使负极能够跟得上正极氧气产生的速率，同时要尽可能地消除蓄电池的极化现象。这一原理也表明，蓄电池快速充电的速率是有上限的，不可能无限制地增大，提高蓄电池的化学反应速率有 2 种方式：一是改进蓄电池的结构以降低内阻和提高反应离子的扩散速率；二是改进蓄电池的充电方法，允许加大充电电流，缩短充电时间。

铅酸蓄电池的快速充电方法主要有脉冲式充电法、变电流间歇充电法、变电压间歇充电法等。

①脉冲式充电法

脉冲式充电法首先是用脉冲电流对蓄电池充电，然后停充一段时间，如此循环，如图 1-25 所示。充电脉冲使蓄电池充满电量，而间歇期使蓄电池经化学反应产生的氧气和氢气有时间重新化合而被吸收掉，使浓差极化和欧姆极化自然而然地得到消除，从而减轻了蓄电池的内压，使下一轮的恒流充电能够更加顺利地进行，蓄电池可以吸收更多的电量。间歇脉冲使蓄电池有较充分的反应时间，减少了析气量，提高了蓄电池的充电电流接受率。