



高职高专规划教材

汽车电器

主 编 娄 云

副主编 刘皓宇

主 审 毛 峰 李春明



高职高专规划教材

汽车电器

主 编 娄 云

副主编 刘皓宇

主 审 毛 峰 李春明



机械工业出版社

本书系统介绍了现代汽车电器装置的结构、原理、使用、维修及故障诊断知识。主要包括：蓄电池、交流发电机及调节器、起动机、点火系统、照明设备与信号装置、仪表与辅助电器设备、汽车电器设备总线路。内容详实新颖、条例清晰、浅显易懂。

本书可作为高等工程专科学校、高等职业技术学院汽车电子专业教材，又可供汽车工程技术和汽车维修技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电器/娄云主编. —北京：机械工业出版社，
2004.6

高职高专规划教材

ISBN 7-111-14683-2

I. 汽... II. 娄... III. 汽车-电气设备-高等学校：
技术学校-教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 056250 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：王世刚 赵爱宁

责任编辑：于 宁 版式设计：霍永明 责任校对：王 欣

封面设计：饶 薇 责任印制：李 妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·12 印张·1 插页·298 千字

定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

高职高专汽车类专业系列 教材编委会

主任： 天津交通职业学院 靳和连
副主任： 天津交通职业学院 林为群
机械工业出版社 王世刚
承德石油高等专科学校 王世震
黑龙江工程学院 孙凤英
长春汽车工业高等专科学校 李春明
江西交通职业技术学院 邹小明
委员： 北京汽车工业学校 么居标
河南机电高等专科学校 娄云
辽宁省交通高等专科学校 张西振
辽宁省交通高等专科学校 毛峰
承德石油高等专科学校 郝军
河北工业职业技术学院 顾振华
郑州工业高等专科学校 李焕锋

前 言

中共中央、国务院在第三次全国教育工作会议上，做出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用型专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用型专门人才为根本任务，以适应社会需要为目标，要体现地区经济、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。机械工业出版社组织全国 11 所职业技术学院有多年高职高专教学经验的老师编写了高职高专汽车电子技术专业、汽车贸易专业两套教材。

两套教材是根据高中毕业 3 年制（总学时 1600~1800）、兼顾 2 年制（总学时 1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养，突出针对性和实用性，强化实践教学。

本书由河南机电高等专科学校娄云副教授主编，承德石油高等专科学校刘皓宇副主编。其中第一、五、七章由娄云编写；第二章由承德石油高等专科学校鲍远通编写；第三章由承德石油高等专科学校刘皓宇编写；第四章由郑州工业高等专科学校孟国强和承德石油高等专科学校徐景波编写；第六章由浙江工贸职业技术学院贾永枢编写。

辽宁交通高等专科学校副教授毛峰和长春汽车工业高等专科学校副教授李春明作为主审，对全书进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

本书在编写过程中，得到了许多专家和同行的热情支持，并参阅了许多国内外公开出版和发表的文献，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在不妥或错漏之处，恳请读者批评指正。

高职高专汽车类专业系列教材编委会

目 录

前言

第一章 蓄电池 1

第一节 铅蓄电池的构造与型号 1

一、铅蓄电池的构造 1

二、蓄电池的规格型号 4

第二节 蓄电池的工作原理及特性 4

一、蓄电池的工作原理 4

二、蓄电池的工作特性 7

第三节 蓄电池容量及其影响因素 10

一、蓄电池容量 10

二、影响蓄电池容量的主要因素 11

第四节 蓄电池的使用与维护 13

一、蓄电池的维护 13

二、蓄电池使用中技术状况的检查 14

三、电解液相对密度的选择和冬季使用 15

四、蓄电池的储存 16

五、蓄电池的充电 16

第五节 蓄电池的故障及其排除 21

一、极板硫化 21

二、自行放电 21

三、极板短路 22

四、极板活性物质大量脱落 22

五、极板拱曲 22

第六节 免维护蓄电池 23

一、免维护蓄电池的结构特点 23

二、免维护蓄电池的优缺点 24

第二章 交流发电机及调节器 25

第一节 概述 25

一、按结构分类 25

二、按磁场绕组搭铁方式分类 25

三、按装用的二极管数量分类 25

第二节 交流发电机构造及型号 26

一、交流发电机的构造 26

二、交流发电机的型号 28

第三节 交流发电机的工作原理 29

一、交流发电机的发电原理 29

二、整流原理和过程 30

三、交流发电机的励磁方式 31

四、不同形式交流发电机的电路连接方式及原理 32

第四节 交流发电机的特性 33

一、输出特性 33

二、空载特性 34

三、外特性 34

第五节 触点式电压调节器 35

一、概述 35

二、电压调节器调压的基本原理 35

三、FT61 型双触点式电压调节器 35

四、FT111 型单触点式电压调节器 36

第六节 晶体管电压调节器和集成电路电压调节器 37

一、概述 37

二、JFT106 型晶体管电压调节器 38

三、JFT126A 型晶体管调节器 39

四、集成电路电压调节器 39

第七节 交流发电机充电系统的使用及故障诊断 42

一、交流发电机充电系统的使用 42

二、交流发电机充电系统的故障诊断 43

第八节 无刷交流发电机 45

一、感应子式无刷交流发电机 45

二、爪极式无刷交流发电机 45

第三章 起动机 47

第一节 概述 47

一、起动系统组成 47

二、起动机的组成与分类 47

三、起动机型号 49

第二节 起动用直流电动机 49

一、直流电动机的构造 49

二、直流电动机的原理 52

三、直流电动机转矩自动调节过程 52

第三节 起动用直流电动机的特性 53

一、起动用直流电动机的型式 53

二、串励式直流电动机的特性	54	二、故障检查	97
三、影响起动机工作特性的因素	54	第五章 照明设备与信号装置	100
第四节 起动机的传动机构	55	第一节 汽车的照明与灯光信号装置的种类 与用途	100
一、单向离合器	55	第二节 前照灯	100
二、拨叉	57	一、对前照灯的照明要求	100
第五节 电磁控制强制啮合式起动机	58	二、前照灯的光学系统	101
一、QD124 型起动机	58	三、前照灯防眩目措施	102
二、带保护继电器的起动机控制电路	59	四、前照灯的控制	105
第六节 其他型式的起动机	61	五、前照灯的分类	107
一、电枢移动式起动机	61	第三节 低压直流日光灯和光导纤维 照明	108
二、齿轮移动式起动机	62	一、低压直流日光灯	108
三、减速起动机	64	二、光纤照明	110
四、永磁减速起动机	65	第四节 转向信号灯的闪光器	110
第七节 起动机的使用与故障诊断	66	一、电热丝式闪光器	111
一、起动机的正确使用	66	二、电容式闪光器	111
二、起动机的维护	66	三、叶片弹跳式(翼片式)闪光器	112
三、起动机的故障诊断	67	四、电子闪光器	113
第四章 点火系统	69	第五节 电喇叭	117
第一节 概述	69	一、普通电喇叭的构造与工作原理	117
一、对点火系统的要求	69	二、电子电喇叭	118
二、点火系统的分类	69	三、喇叭继电器	118
三、点火装置发展概况	70	四、电喇叭的调整	119
第二节 传统点火系统的组成、工作原理及 特性	71	第六节 倒车信号装置	119
一、组成	71	一、倒车蜂鸣器	120
二、工作原理	72	二、语音倒车报警器	120
三、工作特性	74	三、倒车雷达装置	121
第三节 点火系统主要零件的结构	76	第六章 仪表与辅助电器设备	123
一、点火线圈	76	第一节 仪表	123
二、分电器	78	一、电流表	123
三、火花塞	83	二、机油压力表	124
第四节 磁感应式无触点电子点火系统	84	三、水温表	125
一、磁感应信号发生器的组成	84	四、燃油表	126
二、磁感应式无触点电子点火系统的基 本电路及工作原理	86	五、车速里程表	127
第五节 霍尔式电子点火系统	88	六、转速表	128
一、霍尔信号发生器的工作原理和基本 结构	88	第二节 报警装置	129
二、点火器的功能和基本电路	90	一、制动系统低气压报警灯	130
三、霍尔式电子点火系统的工作原理	91	二、真空度报警灯	130
第六节 光电式电子点火装置	95	三、机油压力报警灯	130
第七节 电子点火系统的使用	96	四、水温报警灯	131
一、使用注意事项	96	五、燃油油面报警灯	131
		六、制动液液面报警灯	132

七、蓄电池液面报警灯	132
八、制动灯断线报警灯	133
九、空气滤清器堵塞报警灯	133
十、轮胎气压报警灯	133
第三节 电动刮水器和风窗玻璃洗涤器 ...	135
一、电动刮水器	135
二、风窗玻璃洗涤器	137
第四节 起动预热装置	137
一、电热塞	137
二、电磁式火焰预热器	138
三、奥迪 100 型轿车起动预热器	139
第五节 晶体管电动汽油泵	140
一、晶体管电动汽油泵的构造及工作 原理	140
二、使用注意事项	141
第六节 汽车电气设备对无线电波的干扰与 防止措施	141
一、加装阻尼电阻或采用阻尼高压线 ...	142
二、加装电容器	142
三、加装屏蔽层	143
第七节 开关与保险装置	145
一、开关	145
二、保险装置	149
三、中央接线盒	150

第七章 汽车电器设备总线路	152
第一节 汽车电路基础元件	152
一、导线与线束	152
二、连接器	155
第二节 汽车电路图的表达方法	156
一、线路图	156
二、原理图	156
三、线束图	156
第三节 线路分析方法	161
一、电源	161
二、起动系统	161
三、点火系统	161
四、仪表与报警装置	162
五、照明及灯光信号	162
六、喇叭	163
第四节 汽车电路图实例	163
一、解放 CA1092 汽车整车电气系统电路 分析	163
二、上海桑塔纳轿车整车电路系统电路 分析	168
三、奇瑞风云系列轿车整车电路系统电 路分析	171
参考文献	182

第一章 蓄 电 池

蓄电池是一种可逆直流电源，它是汽车上的两个电源之一，在汽车上与发电机并联，共同向用电设备供电。在发动机正常工作时，用电设备所需的电能主要由发电机供给，蓄电池的作用是：

- 1) 在发动机起动时，向起动机和点火系统供电；
- 2) 在发电机不发电或电压较低的情况下向用电设备供电；
- 3) 当发电机超载时，协助发电机供电；
- 4) 蓄电池存电不足，而发电机负载又较少时，它可将发电机的电能转变为化学能储存起来（即充电）；
- 5) 蓄电池相当于一个大容量电容器，在发电机转速和负载发生比较大的变化时，能够保持汽车电器系统电压的相对稳定。同时，还可吸收发电机产生的瞬间过电压，保护汽车电子元件不被损坏，所以，发电机不允许脱开蓄电池运转。

汽车上所使用的蓄电池主要是为了满足起动发动机的需要，所以，通常称为起动型蓄电池。起动型蓄电池在短时间内可提供强大的起动电流（一般为 200 ~ 600A，最大可达 1000A），根据电解液不同，蓄电池有酸性蓄电池和碱性蓄电池之分。铅酸蓄电池结构简单，起动性能好，价格低廉，所以在汽车上广泛采用。本章主要介绍铅酸蓄电池。

第一节 铅蓄电池的构造与型号

一、铅蓄电池的构造

铅蓄电池主要由极板、隔板、壳体、电解液、铅连接条、极柱等部分组成。如图 1-1 所示。壳体一般分隔为 3 个或 6 个单格，每个单格均盛装有电解液，插入正负极板组便成为单体电池。每个单体电池的标称电压为 2V，将 3 个或 6 个单体电池串联后便成为一只 6V 或 12V 蓄电池总成。

1. 正、负极板

极板分正极板和负极板两种，均由栅架和填充在其上的活性物质构成。蓄电池充、放电过程中，电能和化学能的相互转换，就是依靠极板上活性物质和电解液中硫酸的化学反应来实现的。正极板上的活性物质是二氧化铅（ PbO_2 ），呈深棕色；负极板上的活性物质是海绵状纯铅（ Pb ），呈青灰色。

栅架的作用是容纳活性物质并使极板成形，一般由铅锑合金浇铸而成。铅锑合金中，含锑 6% ~ 8.5%，加入锑是为了提高栅架的力学性能并改善浇铸性能，但易引起蓄电池的自放电和栅架的膨胀、溃烂。因此，栅架的生产材料将向低锑（含锑量小于 3%）、甚至不含锑的铅钙合金发展。

国产正极板的厚度为 2.2mm、负极板为 1.8mm。国外大多采用薄型极板，厚度为 1.1mm ~ 1.5mm。薄型极板可以提高蓄电池的体积比能量、重量比能量，改善蓄电池的起

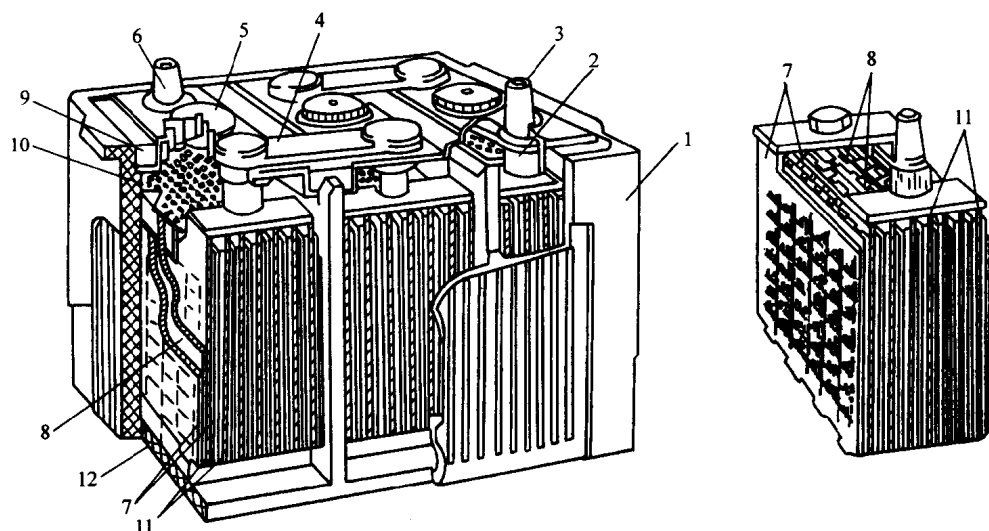


图 1-1 蓄电池的构造

- 1—蓄电池外壳 2—电极衬套 3—正极柱 4—连接条 5—加液孔螺塞 6—负极柱
7—负极板 8—隔板 9—封料 10—护板 11—正极板 12—肋条

动性能。

为增大蓄电池的容量，将多片正、负极板分别并联焊接，组成正、负极板组，如图 1-1。横板上联有极柱，各片间留有空隙。安装时正负极板相互嵌合，中间插入隔板。由于正极板的力学性能差，所以，在每个单体电池中，负极板的数量总比正极板多一片，这样正极板都处于负极板之间，使其两侧放电均匀，不致造成正极板拱曲变形。

2. 隔板

为了减小蓄电池的内阻和尺寸，蓄电池内部正负极板应尽可能地靠近；为了避免彼此接触而短路，正负极板之间要用隔板隔开。隔板材料应具有多孔性和渗透性，且化学性能要稳定，即具有良好的耐酸性和抗氧化性。常用的隔板材料有木质隔板、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维和纸板等。木质隔板价格低，但耐酸性能差。在硫酸和高温作用下易炭化发黑变脆。微孔塑料（聚氯乙烯、酚醛树脂）和微孔橡胶隔板耐酸、耐高温性好，因而使用较多。玻璃纤维隔板常和木质、微孔塑料等隔板组合使用。使用时应将玻璃纤维隔板靠近正极板以防止活性物质脱落，提高蓄电池的使用寿命，但由于操作工艺复杂而逐渐被淘汰。安装时隔板上带沟槽的一面应面向正极板，这是因为正极板在充、放电过程中化学反应激烈，沟槽能使电解液较顺利地上下流通。同时，使正极板上脱落的活性物质顺利地掉入壳底槽中。在新型蓄电池中，还将微孔塑料隔板制成袋状紧包在正极板外部，可进一步防止活性物质脱落，避免极板内部短路并使组装工艺简化。

3. 壳体

蓄电池的壳体是用来盛放电解液和极板组的，应由耐酸、耐热、耐震、绝缘性好并且有一定力学性能的材料制成。早期生产的起动型蓄电池大都采用硬橡胶壳体，近年来大都采用聚丙烯塑料壳体。塑料壳体具有较好的韧性，壁薄而轻（壁厚仅 3.5mm，而胶壳壁厚达 10mm 左右），且制作工艺简单，生产效率高，容易热封合，不会带进任何有害杂质，具有外形美观、透明，成本低等优点。

壳体为整体式结构，壳体内部由间壁分隔成3个或6个互不相通的单格，底部有突起的肋条以搁置极板组。肋条之间的空间用来积存脱落下来的活性物质，以防止在极板间造成短路，极板装入壳体后，上部用与壳体相同材料制成的电池盖密封。在电池盖上对应于每个单格的顶部都有一个加液孔，用于添加电解液和蒸馏水，也可用于检查电解液液面高度和测量电解液相对密度。加液孔平时旋入加液孔螺塞以防电解液溅出，螺塞上有通气孔可使蓄电池化学反应放出的气体（ H_2 和 O_2 等）能随时逸出。硬橡胶壳体一般采用单体盖密封，即每个单格电池上装一个盖，盖上有三个孔，两侧圆孔作为极柱孔，中间为加液孔，电池盖和容器顶部用沥青封口剂密封。聚丙烯塑料壳体电池盖都采用整体式结构，盖上有3个（6V 电池）或6个（12V 电池）加液孔，两个正负极柱穿出孔，盖和容器的密封采用粘结剂粘合或热熔连接。

4. 电解液

电解液在电能和化学能的转换过程即充电和放电的电化学反应中起离子间的导电作用并参与化学反应。它由密度为 $1.84g/cm^3$ 的纯硫酸和蒸馏水按一定比例配制而成，而其密度一般为 $1.24 \sim 1.30g/cm^3$ 。配制电解液必须使用耐酸的器皿，切记只能将硫酸慢慢地倒入蒸馏水中并不断搅拌。

电解液的纯度是影响蓄电池的性能和使用寿命的重要因素。因此，电解液的配制应严格选用 GB4554—1984 标准的二级专用硫酸和蒸馏水。工业用硫酸和一般的水中因含有铁、铜等有害杂质，会增加自放电和损坏极板，故不能用于蓄电池。

5. 单体电池的串接方式

蓄电池一般都由3个或6个单体电池串联而成，额定电压分别为6V 或 12V。单体电池的串接方式一般有传统外露式、穿壁式和跨越式三种方式，如图 1-2 所示。

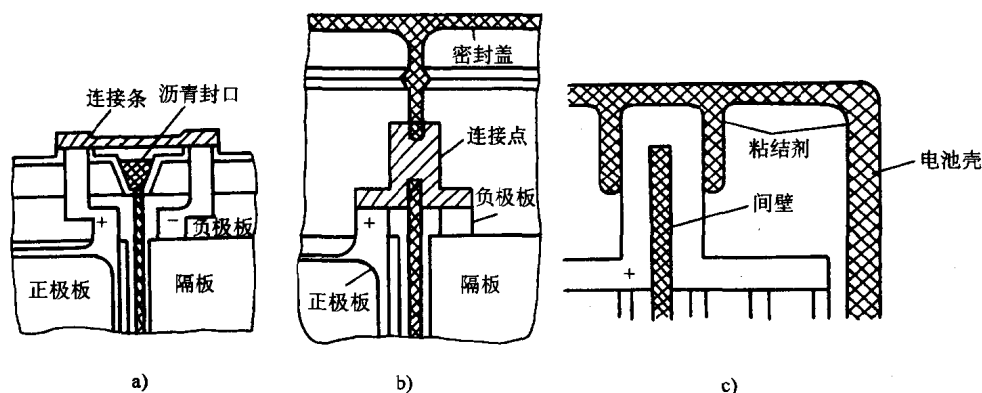


图 1-2 单体电池的连接方式

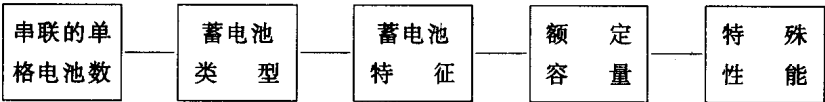
a) 传统外露式铅连接条连接 b) 穿壁式连接 c) 跨越式连接

早期的蓄电池大多采用传统外露式铅连接条连接方式，如图 1-2a 所示。这种连接方式工艺简单，但耗铅量多，连接电阻大，因而起动时电压降大、功率损耗也大，且易造成短路。新型蓄电池则采用先进的穿壁式或跨越式连接方式。穿壁式连接方式如图 1-2b 所示，它是在相邻单体电池之间的间壁上打孔供连接条穿过，将两个单体电池的极板组极柱连焊在一起。跨越式连接如图 1-2c 所示，在相邻单体电池之间的间壁上边留有豁口，连接条通过豁口跨越间壁将两个单体电池的极板组极柱相连接，所有连接条均布置在整体盖的下面。穿

壁式和跨越式连接方式与传统外露式铅连接条连接方式相比，有连接距离短、节约材料、电阻小、起动性能好等优点，且连接条损耗减少 80%，端电压提高 0.15~0.4V，节约材料 50% 以上，因而得到广泛的应用。

二、蓄电池的规格型号

蓄电池的型号按 JB2599—1985《起动型铅蓄电池标准》规定，其产品型号的编制和含义如下：



- 1) 串联的单体电池数用阿拉伯数字表示。
- 2) 蓄电池类型是根据其主要用途来划分的。如起动用蓄电池代号为“Q”，摩托车用蓄电池代号为“M”。
- 3) 蓄电池特征为附加部分，仅在同类用途的产品中具有某种特征而在型号中又必须加以区别时采用。当产品同时具有两种特征时，原则上应按表 1-1 的顺序将两个代号并列标志。产品特征代号见表 1-1 所示。
- 4) 额定容量是指 20h 率额定容量，单位为 A·h，用阿拉伯数字表示。
- 5) 在产品具有某些特殊性能时，可用相应的代号加在产品型号的末尾。如 G 表示高起动率电池，S 表示塑料外壳电池。

表 1-1 产品特征代号

序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号
1	干荷电	A	4	少维护	S	7	半密闭式	B	10	激活式	I
2	湿荷电	H	5	防酸式	F	8	液密式	Y	11	带液式	D
3	免维护	W	6	密闭式	M	9	气密式	Q	12	胶质电解液	J

例如：

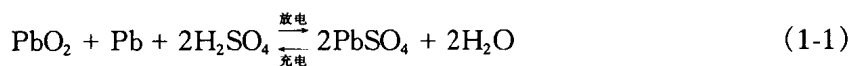
- 1) 3—Q—75：由 3 个单体电池组成，额定电压为 6V，额定容量为 75A·h 的起动用蓄电池。
- 2) 6—QA—105G：由 6 个单体电池组成，额定电压为 12V，额定容量为 105A·h 的起动用干荷电高起动率蓄电池。
- 3) 6—QAW—100：由 6 个单体电池组成，额定电压为 12V，额定容量为 100A·h 的起动用干荷电免维护蓄电池。

第二节 蓄电池的工作原理及特性

一、蓄电池的工作原理

蓄电池是由浸渍在电解液中的正极板（二氧化铅 PbO₂）和负极板（海绵状纯铅 Pb）组成的，电解液是硫酸（H₂SO₄）的水溶液。当蓄电池和负载接通放电时，正极板上的 PbO₂ 和负极板上的 Pb 都变成 PbSO₄，电解液中的 H₂SO₄ 减少，相对密度下降。

充电时按相反的方向变化，正负极板上的 PbSO₄ 分别恢复成原来的 PbO₂ 和 Pb，电解液中的硫酸增加，相对密度变大。如略去中间的化学反应过程，可用下式表示：

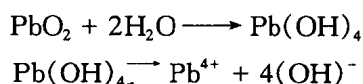


1. 电势的建立

当极板浸入电解液时，在负极板处，金属铅受到两方面的作用，一方面它有溶解于电解液的倾向，因而有少量铅进入溶液，生成 Pb^{2+} ，在极板上留下两个电子 $2e$ ，使极板带负电；另一方面，由于正、负电荷的吸引， Pb^{2+} 有沉附于极板表面的倾向。当两者达到平衡时，溶解便停止，此时极板具有负电位，约为 -0.1V 。

正极板处，少量 PbO_2 溶入电解液，与水生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ，再分离成四价铅离子和氢氧根离子。

即



由于 Pb^{4+} 沉附于极板的倾向，大于溶解的倾向，因而沉附在正极板上，使极板呈正电位。当达到平衡时，约为 $+2.0\text{V}$ 。

因此，当外电路未接通，反应达到相对平衡状态时，蓄电池的静止电动势约为：

$$E_0 = 2.0 - (-0.1) = 2.1\text{V}$$

2. 铅蓄电池的放电

当蓄电池接上负载后，在电动势的作用下，电流 I_t 从正极经过负载流往负极（即电子从负极到正极），使正极电位降低，负极电位升高，破坏了原有的平衡。放电时的化学反应过程如图 1-3 所示。

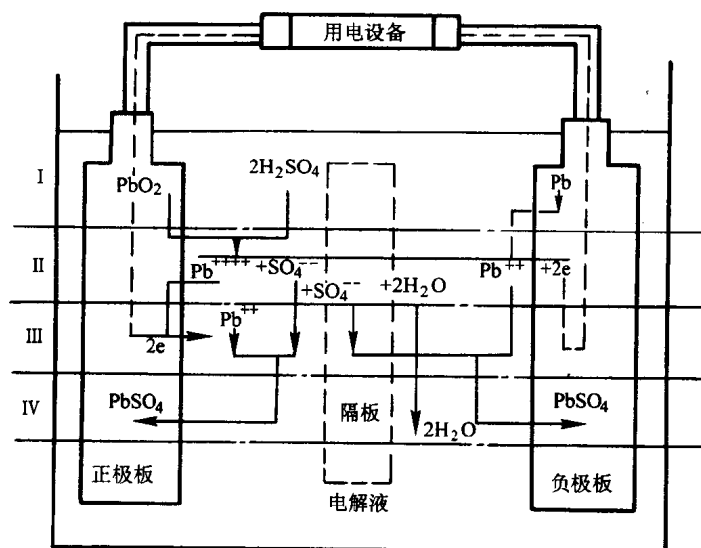
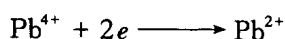


图 1-3 铅蓄电池的放电过程

I—充电状态 II—溶解电离 III—接入负载 IV—放电状态

在正极板处， Pb^{4+} 和电子结合，变成二价铅离子 Pb^{2+} ， Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 沉附于极板上。

即





在负极板处, Pb^{2+} 与电解液中 SO_4^{2-} 的结合也生成 PbSO_4 沉附在负极板上, 而极板上的金属铅继续溶解, 生成 Pb^{2+} 和电子。如果电路不中断, 上述化学反应将继续进行, 使正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都逐渐转变为 PbSO_4 , 电解液中的 PbSO_4 逐渐减少而水增多, 故电解液相对密度下降。

理论上, 放电过程应进行到极板上的活性物质全部变为硫酸铅为止, 而实际上是不可能的, 因为电解液不能渗透到活性物质的最内层。使用中, 所谓放完电的蓄电池, 实际上只有 20%~30% 的活性物质变成了硫酸铅, 因此采用薄型极板, 增加多空率, 提高极板活性物质的利用率可提高蓄电池的容量, 也是蓄电池工业的发展方向。

3. 铅蓄电池的充电

充电时, 应将蓄电池接直流电源。当电源电压高于蓄电池电动势时, 在直流电源电压作用下, 电流从蓄电池正极流入, 负极流出 (即驱使电子从正极经外电路流入负极)。这时正负极板发生的反应正好与放电过程相反, 其化学反应过程如图 1-4 所示。

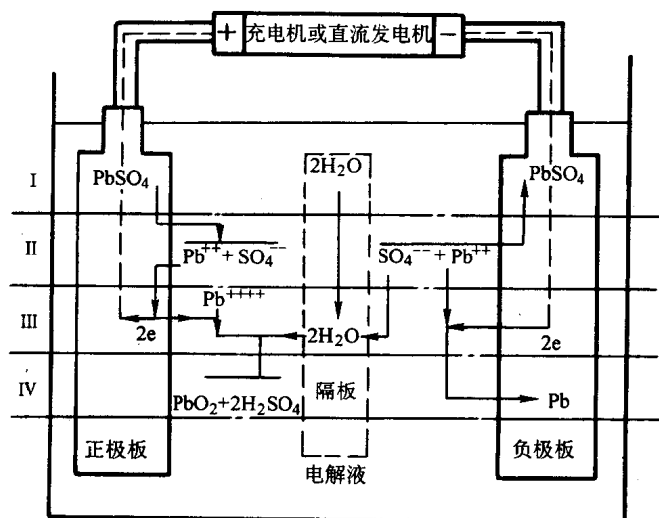
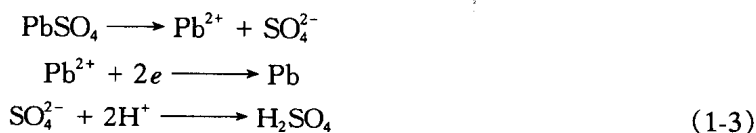


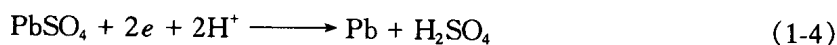
图 1-4 铅蓄电池的充电过程

I—放电状态 II—溶解电离 III—通入电流 IV—充电状态

在负极板处有少量的 PbSO_4 进入电解液中, 离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} 。 Pb^{2+} 在电源的作用下获得两个电子变为金属 Pb , 沉附在极板上。而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 结合, 生成硫酸。即:

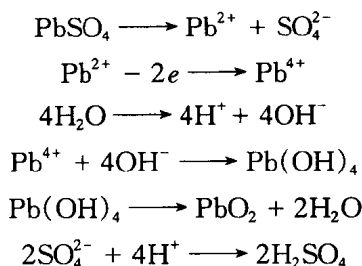


负极板上总的反应式为:



正极板处, 也有少量 PbSO_4 进入电解液中, 离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在电源作用下失去两个电子变为 Pb^{4+} , 它又和电解液中水离解出来的 OH^- 结合, 生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解为 PbO_2 和 H_2O , 而 SO_4^{2-} 又与电解液中的 H^+ 结合生成硫酸。

其反应式如下：

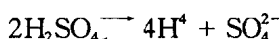


正极板上的总反应为：

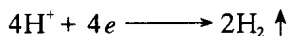


可见，在充电过程中，正负极板上的 PbSO_4 将逐渐恢复为 PbO_2 和 Pb ，电解液中硫酸成分逐渐增多，水逐渐减少。

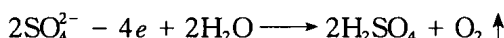
充电终期，密度将升到最大值，且会引起水的分解，水分解的化学反应式如下：



负极上：



正极上：



总反应为：



由上式可见，实际上分解的是水：



二、蓄电池的工作特性

蓄电池的工作特性主要包括蓄电池的电动势、内电阻以及充、放电特性。

1. 静止电动势

静止电动势是指蓄电池在静止状态（不充电也不放电）下正负极板之间的电位差（即开路电压），用 E_0 表示。它的大小与电解液的相对密度和温度有关，当相对密度在 1.050～1.300 的范围内时，可由下述经验公式计算其近似值：

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25^\circ\text{C}} \quad (1-8)$$

式中， $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 是 25℃ 的电解液相对密度。

实测所得电解液相对密度应按下式换算成 25℃ 时的相对密度：

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + \beta(t - 25) \quad (1-9)$$

式中， ρ_t 是实际测得的电解液密度； t 是实际测得的电解液温度； β 是密度温度系数， $\beta = 0.00075$ ，即每温升 1℃，相对密度将下降 0.00075。

汽车用蓄电池的电解液相对密度在充电时增高，放电时下降，一般在 1.12～1.30 之间波动，因此，蓄电池的静止电动势也相应地变化在 1.97～2.15V 之间。

2. 内电阻

蓄电池的内电阻大小反映了蓄电池带负载的能力。在相同的条件下，内电阻越小，输出电流越大，带负载能力越强。蓄电池的内电阻为极板电阻、电解液电阻、隔板电阻、连条和

极柱电阻的总和，用 R_0 表示。

极板电阻一般很小，并且随极板上的活性物质的变化而变化。充电后电阻变小，放电后电阻变大，特别是在放电终了，由于有效活性物质转变为硫酸铅，则电阻大大增加。

隔板电阻因所用的材料而异。木质隔板比微孔橡胶隔板、微孔塑料隔板的电阻大。另外，隔板越薄，电阻越小。

图 1-5 所示为电解液内阻随相对密度变化的关系曲线。相对密度为 1.2 时 (15°C)，硫酸的离解度最好，粘度较小，电阻也最小。

连接条电阻与单体电池的连接形式有关。传统外露式铅连接条电阻比内部穿壁式、跨越式连接的电阻要大。

一般来说，起动型铅蓄电池的内电阻是很小的（单体电池的内电阻约为 0.011Ω ），在小负荷工作时对蓄电池的电力输出影响很小，但在大电流放电时（如起动发动机时），如内阻过大，则会引起端电压大幅度下降而影响起动性能。

全充足电的蓄电池在温度为 20°C 时的内阻可按下述经验公式计算其近似值

$$R_0 = \frac{U_c}{17.1 C_{20}} \quad (1-10)$$

式中， U_c 是蓄电池额定电压，单位为 V； C_{20} 是蓄电池额定容量，单位 $\text{A}\cdot\text{h}$ 。

3. 充电特性

蓄电池的充电特性是指在恒流充电过程中，蓄电池的端电压 U_c 和电解液密度 ρ 等参数随充电时间变化的规律。图 1-6 所示为一只 6—Q—105 型蓄电池以 10.5A 的充电电流进行充电的特性曲线。

充电时电源电压必须克服蓄电池的电动势 E 和蓄电池内阻产生的电压降 $I_c R_0$ ，因此，充电过程中蓄电池的端电压总是大于蓄电池的电动势 E ，即

$$U_c = E + I_c R_0 \quad (1-11)$$

由于采用恒流充电，单位时间内所生成的硫酸量相等。所以，电解液相对密度随时间成直线上升，静止电动势 E_0 也由于相对密度的不断上升而增加。

由图 1-6 还可看出，在充电开始后蓄电池的端电压 U_c 便迅速上升，这是因为充电时活性物质和电解液的作用首先是在极板的孔隙中进行的，生成的硫酸使孔隙内的电解液相对密度迅速增大所致。以后随着生成的硫酸量增多，硫酸将开始不断地向周围扩散，当继续充电

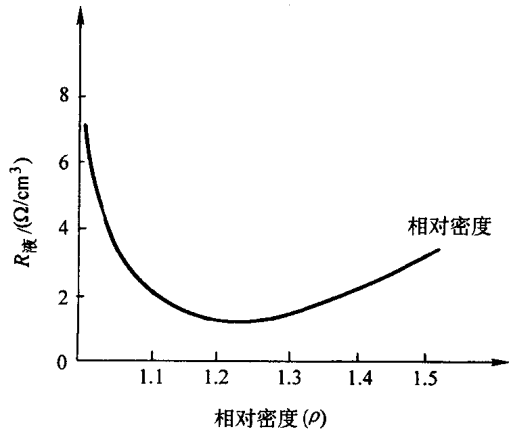


图 1-5 电解液内阻与相对密度的关系

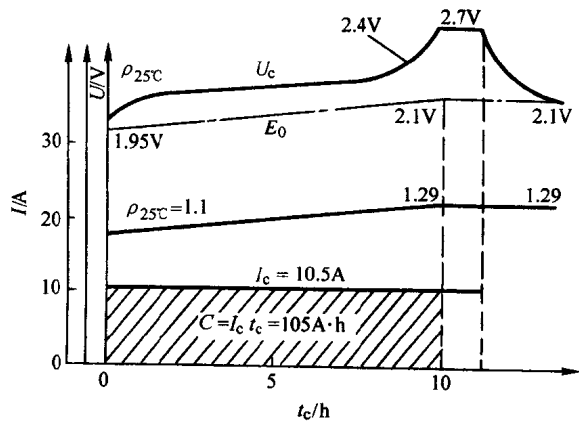


图 1-6 蓄电池的充电特性

至极板孔隙内析出的硫酸量与扩散的硫酸量达到平衡时，蓄电池的端电压就不再迅速上升，而是随着整个容器内电解液相对密度的上升而相应地增高。

当充电接近终了时，蓄电池端电压将达到 $2.3 \sim 2.4\text{V}$ ，这时极板上的活性物质最大限度地转变为二氧化铅 (PbO_2) 和海绵状铅 (Pb)，再继续充电，电解液中的水将开始分解而产生氢气和氧气，以气泡的形式剧烈放出，形成所谓的“沸腾”状态。由于氢离子在极板上与电子的结合不是瞬间完成而是缓慢进行的，于是靠近负极板处会积存有较多的正离子“ H^+ ”，使溶液和极板之间产生了附加电位差（也称氢过电位，约 0.33V ），因而使端电压急剧升至 2.7V 左右。此时应切断电路停止充电，否则，将造成蓄电池的过充电。过充电时，由于剧烈地放出气泡，会在极板内部造成压力，加速活性物质的脱落，使极板过早损坏。所以，应尽量避免长时间的过充电。但在实际充电中，为了保证将蓄电池充足，往往需要 $2 \sim 3\text{h}$ 的过充电才行。

全部充电过程中，极板孔隙内的电解液密度比容器中的电解液相对密度稍大一些。因此，蓄电池的电动势 E 总是高于静止电动势 E_0 。充电停止后，由于 $I_c = 0$ ，端电压 U_c 立即下降，极板孔隙内电解液和容器中的电解液密度趋向平衡，因而蓄电池的端电压又降至 2.1V 左右。

蓄电池充电终了的特征是：

- 1) 蓄电池内产生大量气泡，呈“沸腾”状。
- 2) 端电压和电解液相对密度均上升至最大值，且 $2 \sim 3\text{h}$ 内不再增加。

4. 放电特性

蓄电池的放电特性是指在恒流放电过程中，蓄电池的端电压 U_f 和电解液相对密度 ρ 等参数随时间而变化的规律。图 1-7 所示为一只 6—Q—105 型蓄电池的放电特性曲线。

由于放电过程中电流是恒定的，单位时间内所消耗的硫酸量相同，所以，电解液的相对密度沿直线下降。相对密度每下降 $0.03 \sim 0.038$ ，则蓄电池约放电 25% 。

放电过程中，由于蓄电池内阻 R_0 上有压降，所以，蓄电池的端电压仍总是小于其电动势 E ，即

$$U_f = E - I_f R_0 \quad (1-12)$$

式中， U_f 是放电时蓄电池的端电压； E 是放电时蓄电池的电动势； I_f 是放电电流； R_0 是蓄电池的内阻。

随着放电程度的增加，电解液相对密度不断下降，电动势 E 也下降，同时内阻 R_0 增加，故端电压 U_f 将逐渐下降。放电时由于孔隙内的电解密度小于外部电解液密度，因此放电时的电动势 E 总是小于静止电动势 E_0 。

由图 1-7 中可见，放电开始时，其端电压从 2.1V 迅速下降，这是由于极板孔隙中的硫酸迅速消耗，密度降低的缘故。这时容器中的电解液便向极板孔隙内渗透，当渗入的新电解液完全补偿了因放电时化学反应而消耗的硫酸量时，端电压将随整个容器内电解液相对密度的降低而缓慢地下降到 1.95V 。接着电压又迅速下降至 1.75V ，此时应停止放电，如继续放电，电压将急剧下降。这是由于放电接近终了时，化学反应深入到极板的内层，而放电时生成的硫酸铅较原来活性物质的体积为大（是海绵状铅的 2.68 倍，是二氧化铅的 1.86 倍），硫酸铅聚积在极板孔隙内，缩小了孔隙的截面积，使电解液的渗入困难，因而极板孔隙内消