

高等职业技术教育试用教材

汽车电器

毛 峰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业技术教育试用教材

汽车电器

毛峰 主编



机械工业出版社

本书主要包括：蓄电池、交流发电机、起动机、传统点火系、电子点火系、照明与信号系统、仪表、报警及电子显示系统，汽车辅助电器设备及全车电路等内容。主要以国内外中高档轿车为例，系统地讲述了现代汽车电器设备的基本结构、工作原理、使用特性、常见故障诊断及排除。

本书可作为汽车专业高等职业教育教材，也可供工程技术人员及汽车维修人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电器/毛峰主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.5
高等职业技术教育试用教材
ISBN 7-111-12045-0

I. 汽… II. 毛… 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 (2003) 第 029383 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: 朱 华 责任编辑: 朱 华 版式设计: 张世琴
责任校对: 魏俊云 封面设计: 姚 毅 责任印制: 闫 焱
北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2003 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷
787mm × 1092mm $1/16$ · 14 印张 · 346 千字
0 001—5 000 册
定价: 22.00 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
封面防伪标均为盗版

高等职业技术教育试用教材

编委会名单

主 任	孙秋玉			
副 主 任	靳和连	林为群	马东霄	佟 刚
	韩 梅			
委 员	李贤彬	张凯良	曲衍国	孔令来
	申荣卫	吴宗保	侯建生	吴兴敏
	毛 峰	张红伟		
本书主编	毛 峰			
本书参编	吴宗保	杨玉炎	李 英	
本书审稿	曹景升			

前 言

本书是高等职业技术教育教学用书,同时可作为成人高校、高专、夜大、职大、函大等层次的教学用书和广大自学者及工程技术人员的自学用书,也可作为普通高等院校有关专业的教学参考书。

在编写本书时,我们从高职教育的实际出发,结合教学和生产实际的需要,确定了编写的指导思想和教材特色。以应用为目的,强化应为重点,力求内容系统、准确、新颖。

在我国入世以后,我国汽车技术已有了质的飞跃,为使高级职业技术学院汽车专业的学生能够系统地掌握汽车电器的结构、工作原理、故障诊断与维修等方面的基本知识,适应当今汽车修理行业的需求,特编写了这本教材。

本书共分九章,在保持传统汽车电器内容的基础上,以国内外比较流行的车型为例,如桑塔纳、奥迪、红旗、本田雅阁、丰田系列、奥迪 A6、LS400 及美国福特公司、克莱斯勒公司生产的汽车,重点讲述了汽车电器设备的基本构造、工作原理、故障诊断及排除。并增加了一些目前较为流行的实用技术,如新型蓄电池、整体式交流发电机、减速起动机、计算机控制点火系、无分电器点火系、新型前照灯、电子仪表、报警系统、中控门锁、电动车窗、电动倒车镜和电动座椅。本书实用性强,图文并茂,不仅适合高职学生的学习,同时也适合汽车修理行业的工程技术人员及汽车维修人员参考。

本书由辽宁省交通高等专科学校毛峰主编,参加编写的还有天津交通局职工大学的吴宗保、邢台职业技术学院的李英、烟台师范学院交通学院的杨玉炎。其中绪论、第二、五、六、七、八、九章由毛峰编写,第一章由吴宗保编写,第三章由杨玉炎编写,第四章由李英编写,本书由河北省邢台职业技术学院曹景升主审。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一章 蓄电池	3
---------------	---

第一节 概述	3
--------------	---

第二节 蓄电池的结构与型号	3
---------------------	---

第三节 蓄电池的工作原理和 工作特性	5
-----------------------------	---

第四节 蓄电池的容量及其影响因素	11
------------------------	----

第五节 新型铅蓄电池	13
------------------	----

第六节 碱性蓄电池	15
-----------------	----

第七节 电动汽车蓄电池	17
-------------------	----

第八节 蓄电池的充电	19
------------------	----

第九节 蓄电池的常见故障及其排除	22
------------------------	----

第十节 蓄电池的使用和维护	24
---------------------	----

第十一节 蓄电池技术状况的检查	26
-----------------------	----

第二章 交流发电机	28
-----------------	----

第一节 交流发电机的构造	28
--------------------	----

第二节 交流发电机的工作原理	33
----------------------	----

第三节 交流发电机的特性	36
--------------------	----

第四节 交流发电机的调节器	38
---------------------	----

第五节 晶体管调节器	38
------------------	----

第六节 充电指示灯的控制电路	43
----------------------	----

第七节 汽车用交流发电机实例	44
----------------------	----

第八节 充电系的故障诊断	45
--------------------	----

第九节 交流发电机的故障测试与修理	47
-------------------------	----

第十节 调节器的测试	49
------------------	----

第十一节 交流发电机与调节器的 使用和维护	50
--------------------------------	----

第三章 起动机	52
---------------	----

第一节 概述	52
--------------	----

第二节 直流串励式电动机	54
--------------------	----

第三节 传动机构	56
----------------	----

第四节 电磁开关	59
----------------	----

第五节 起动机的工作特性	60
--------------------	----

第六节 起动机的典型结构	61
--------------------	----

第七节 起动机的控制电路	64
--------------------	----

第八节 起动机故障诊断	66
-------------------	----

第九节 起动机检修与试验	67
--------------------	----

第十节 起动机使用与维护	70
--------------------	----

第四章 传统点火系	71
-----------------	----

第一节 概述	71
--------------	----

第二节 传统点火系的工作原理	73
----------------------	----

第三节 传统点火系的工作特性	77
----------------------	----

第四节 点火线圈	80
----------------	----

第五节 分电器	84
---------------	----

第六节 火花塞	90
---------------	----

第七节 传统点火系的使用与维护	93
-----------------------	----

第八节 传统点火系的故障诊断 与维修	96
-----------------------------	----

第五章 电子点火系	100
-----------------	-----

第一节 概述	100
--------------	-----

第二节 电磁感应式电子点火系	101
----------------------	-----

第三节 霍尔效应式电子点火系	106
----------------------	-----

第四节 光电式电子点火系	110
--------------------	-----

第五节 电容放电式电子点火系	111
----------------------	-----

第六节 电子点火系的故障诊断 与维修	113
-----------------------------	-----

第七节 电子点火系的使用与维护	116
-----------------------	-----

第八节 计算机控制点火系	118
--------------------	-----

第六章 照明与信号系统	125
-------------------	-----

第一节 照明与信号系统的组成	125
----------------------	-----

第二节 前照灯	127
---------------	-----

第三节 灯光开关与前照灯电路	131
----------------------	-----

第四节 照明系统电路实例	133
--------------------	-----

第五节 转向信号电路与闪光器	136
----------------------	-----

第六节 电喇叭	140
---------------	-----

第七节 其他信号装置	141
------------------	-----

第七章 仪表、报警灯与电子 显示装置	145
-----------------------------	-----

第一节 汽车仪表	145
----------------	-----

第二节 汽车仪表常见故障及排除	154
-----------------------	-----

第三节 汽车报警灯	156
-----------------	-----

第四节 汽车电子显示装置	163
--------------------	-----

第八章 汽车辅助电器	169
第一节 电动刮水器及洗涤器	169
第二节 风窗玻璃防冰霜装置与 鼓风电动机	173
第三节 电动车窗、电动后视镜、电动座椅 及电动天窗	175
第四节 中央控制门锁	181
第五节 水箱冷却风扇	185
第九章 全车电路	186
第一节 汽车导线、线束及插接器	186
第二节 汽车开关、电路保护装置及 继电器	188

第三节 汽车电路图及实例	196
附录	199
附录 A 桑塔纳 LX、GX 型轿车全车 电路图	199
附录 B 奥迪 C ₃ GP 型轿车全车电路图及 电气元件名称表	203
附录 C 汽车电路原理图常用电路 图形符号	208
附录 D 常见汽车仪表、报警灯、操纵件图形 符号与文字符号	212
参考文献	218

绪 论

《汽车电器》是以《汽车构造》、《电工学》、《电子学》、《电化学》等为理论基础，同时与自动化技术、计算机应用技术密切相关，其主要任务是阐明汽车用各种电器的基本构造、工作原理、使用特性、故障诊断与排除等诸方面内容，是汽车专业的一门主要专业课。

汽车是由发动机、底盘、车身和电器四部分组成的。汽车电器性能的好坏直接影响汽车的动力性、经济性、安全性、可靠性、舒适性及废气污染等方面的性能。

一、汽车电器设备的构成

1. 电源部分

电源部分包括蓄电池、发电机及调节器，其中发电机为主电源。当发电机工作时，由发电机向全车用电设备供电，同时给蓄电池充电。蓄电池的主要作用是起动发动机时向起动机供电，同时当发电机不工作时向用电设备供电。电压调节器的作用是使发电机的输出电压保持恒定。

2. 用电设备

汽车上的用电设备很多，但基本的用电设备大致可分为起动机、点火系统、照明与信号系统、仪表、报警与电子显示系统、辅助电器系统及电子控制系统等部分。

(1) 起动机 用来起动发动机。

(2) 点火系统 用来产生电火花，点燃汽油发动机气缸内的可燃混合气。分别有传统点火系与电子点火系两大类。目前在国产汽车上已广泛使用了电子点火系，而传统点火系即将被电子点火系所取代。

(3) 照明与信号系统 照明装置包括车内外各种照明灯及提供夜间安全行驶必要的灯光，其中前照灯最为重要。信号装置包括电喇叭、闪光器、蜂鸣器及各种信号灯，主要用来提供安全行车所必需的信号。

(4) 仪表、报警与电子显示系统 仪表包括机油压力表、水温表、燃油表和车速里程表等仪表。报警及电子显示装置是用来监测汽车各系统的工况，比仪表更方便、直观。

(5) 辅助电器 包括电动刮水器、风窗洗涤器、空调、中控门锁系统、电动车窗和电动座椅等。

(6) 电子控制系统 包括电子控制的燃油喷射装置、点火装置、防抱死制动装置和自动变速器等。可用来提高汽车的动力性、经济性、安全性及达到排气净化的目的。

3. 配电装置

包括中央接线盒、电路开关、保险装置、插接器和导线等。

二、汽车电器设备的特点

1. 低压

汽车用电设备的额定电压有 12V、24V 两种。汽油车普遍采用 12V 电源，而大型柴油车多采用 24V 电源。

2. 直流

因为给蓄电池充电时必须用直流电，所以汽车电源必须是直流电。

3. 单线制

汽车上所有用电设备都是并联的，这样，电源到用电设备只用一根导线连接，而用汽车的金属机体作为公共回路，这种连接方式称为单线制。由于单线制节省导线、线路清晰、安装与检修方便，并且用电设备不需与车体绝缘，因此现代汽车广泛用单线制。

4. 负极搭铁

采用单线制时，蓄电池的一个电极须接到车架上，俗称“搭铁”。若将蓄电池的负极接到车架上，就称为“负极搭铁”。目前国际上各国生产的汽车基本上都采用“负极搭铁”。

第一章 蓄 电 池

第一节 概 述

一、蓄电池的分类

目前，汽车上使用的蓄电池有两大类：即铅酸蓄电池和镍碱蓄电池。铅酸蓄电池（简称铅蓄电池）具有价格便宜、内阻小（供给电流大）、电压高等特点，所以在汽车上用得最广泛。镍碱蓄电池具有容量大、使用寿命长、维护简单、能承受大电流放电而不易损坏的特点，但价格昂贵，目前主要用在要求使用时间长、可靠性高的车辆上。

二、蓄电池的功用

汽车装有蓄电池和发电机两个直流电源，两个直流电源并联连接，向全车用电设备供电。

蓄电池的功用是：

- (1) 起动发动机时，供给起动机很大的电流，同时供给发动机点火系用电。
- (2) 发动机低速运转时，发电机不发电或发电机电压低于蓄电池电压时，由蓄电池向用电设备供电。
- (3) 发电机过载时，协助发电机向用电设备供电。
- (4) 蓄电池是既能够放电又能够充电复原续用的二次电池。当发电机的电压高于蓄电池电压时，发电机可对蓄电池充电。

三、对蓄电池的要求

当起动发电机时，蓄电池必须要在短时间（5~10s）内向起动机连续大电流供电，汽油发动机汽车一般需要 200~600A；柴油发动机汽车一般需要 800~1000A。根据这一工作特点，对汽车使用的蓄电池的主要要求是：容量大，内阻小，以保证蓄电池具有足够的起动能力。符合这个要求的蓄电池称为汽车起动型蓄电池。如果容量不足或蓄电池内阻过大，蓄电池就不能在起动发动机时向起动机供给足够大的电流，发动机就不能起动。

第二节 蓄电池的结构与型号

一、铅酸蓄电池的结构

铅酸蓄电池的结构如图 1-1 所示，由 3 个或 6 个单格电池串联而成。每个单格电池的标称电压为 2V，因此形成 6V 或 12V 的直流电源。

蓄电池主要由极板、隔板、电解液和外壳四部分组成。

1. 极板

极板分正极板和负极板。在蓄电池充放电过程中，电能与化学能的相互转换就是依靠极板上活性物质与电解液中硫酸的化学反应来实现的。

无论是正极板还是负极板，通常都是以含锑（Sb）9%以下的铅（Pb）锑合金铸成的栅架为基板，栅架具有良好的导电性、耐蚀性和一定的机械强度。

栅架的作用是固结活性物质，将活性物质调成糊状充填在栅架的空隙里并进行干燥形成极板。如图 1-2 和图 1-3 所示。

正极板上的活性物质是二氧化铅（ PbO_2 ），呈红棕色；负极板上的活性物质是海绵状的纯铅（Pb），呈青灰色。

国产正极板的厚度为 2.2mm，负极板为 1.8mm。国外现有一种薄型极板，厚度为 1.1~1.5mm。使用薄型极板有利于提高蓄电池的比容量（容量与蓄电池质量的比值，单位为瓦·小时/千克，即 $\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ），改善起动性能。

把正负极板各一片相对放入电解液中，便可得到 2V 左右的电动势。为了获得较大的蓄电池容量，常将多片正负极板分别并联，装在单格电池内。因正极板强度较低，故每个单格电池中的负极板总比正极板多一片，以使每一片正极板都处于两片负极板之间，保持其两侧放电均匀，防止极板拱曲变形。

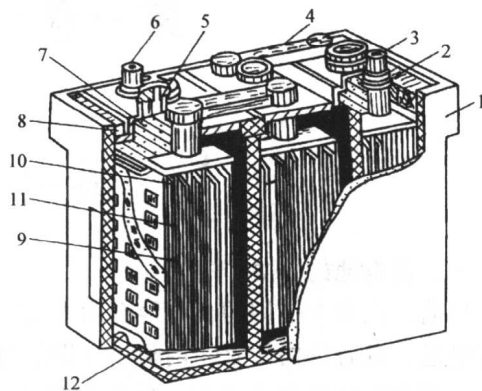


图 1-1 6V 蓄电池的构造

- 1—外壳 2—电桩衬套 3—正接线柱 4—联条
5—加液盖 6—负接线柱 7—保护板 8—封口剂
9—隔板 10—负极板 11—正极板 12—棱条

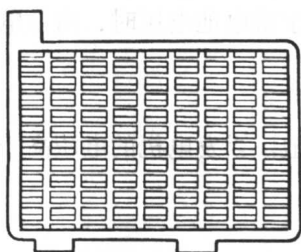


图 1-2 栅架

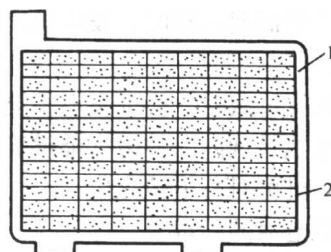


图 1-3 极板

- 1—栅架 2—活性物质

2. 隔板

安装时应使正负极板尽量靠近，以利于减少蓄电池的内阻和体积。为避免正负极板彼此接触而造成短路，应用绝缘的隔板将正负极板隔开。隔板具有多孔性以利于电解液渗透；此外，隔板还应具有良好的耐酸性和抗氧化性。常用的隔板材料有木质、微孔橡胶和微孔塑料等。

3. 电解液

电解液由纯硫酸与蒸馏水按一定比例配制而成，其密度一般为 $1.24\sim 1.30\text{g}/\text{cm}^3$ 。电解液在蓄电池充放电的化学反应中，起到离子间的导电作用，并参与蓄电池的化学反应，它的纯度是影响蓄电池性能和使用寿命的重要因素。

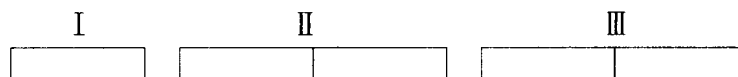
4. 壳体

壳体用于盛放电解液和极板组，采用硬橡胶或聚丙烯塑料制成。壳体为整体式结构，底部有突起的棱条以搁置极板组。壳体上部使用相同材料的电池盖密封，电池盖上设有对应于每个单格电池的加液孔，用于添加电解液和蒸馏水以及检查电解液面高度和测量电解液密

度。加液孔盖上的通风孔供蓄电池化学反应中产生的气体 (H_2 、 O_2) 排出。

二、蓄电池的型号

按机械工业部部颁标准 JB2599~1985 规定, 铅蓄电池产品型号共分为三部分:



第 I 部分表示串联的单格电池数, 用阿拉伯数字组成, 蓄电池标准电压为这个数字的 2 倍。

第 II 部分表示蓄电池的类型和特征, 用两个汉语拼音字母组成。其中第一个字母 Q, 表示起动型铅蓄电池; 第二个字母表示蓄电池结构特征, 如:

A——干荷电式

B——薄型极板

W——免维护式

J——胶体电解液

H——湿荷电式

无字母——干封式铅蓄电池

第 III 部分表示蓄电池的额定容量, 我国目前规定采用 20h 放电率的容量 (单位是: 安培·小时或 A·h)。

有时在额定容量后面用一个字母表示蓄电池的性能特征, 如:

G——高起动率

S——塑料槽

D——低温起动性能好

例如, 6—QA—60 型蓄电池; 表示由 6 个单格电池组成, 额定电压为 12V, 额定容量为 60A·h 的起动型干荷电式或铅蓄电池。

三、蓄电池的选择

汽车应选用起动型蓄电池且蓄电池的电压必须与汽车电系的额定电压一致, 必须有足够大的容量, 以保证发动机能可靠起动。表 1-1 列出几种国产汽车选用的蓄电池, 以供参考。

表 1-1 国产汽车用蓄电池选型举例

车 型	发 动 机		铅 蓄 电 池				
	功率/kW	起动机功率/kW	型 号	额定电压/V	额定容量 / (A·h)	数量/个	接线方式
CA1091	99	1.47	6—QA—100	12	100	1	/
EQ1090	99	1.5	6—Q—105	12	105	1	/
BJ2020	55	1.1	6—Q—60	12	60	1	/
JN1150	118	5	6—Q—165	12	165	2	串联

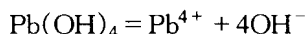
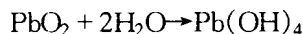
第三节 蓄电池的工作原理和工作特性

一、工作原理

在铅酸蓄电池中, 正极板为 PbO_2 , 负极板为 Pb , 电解液为硫酸 (H_2SO_4) 的水溶液。

在两极浸入电解液时, 由于正负极板的电位不同而形成了蓄电池的电动势。

在正极板处, 少量的 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 Pb^{4+} 和氢氧根离子 (OH^-) , 即



电解液中的 Pb^{4+} 有沉附于正极板的倾向, 使正极板相对于电解液具有正电位。同时, 由于正负电荷的吸引, 正极板上的 Pb^{4+} 有与电解液中的 OH^- 结合生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 的倾向, 当达到平衡时, 正极板的电位约为 $+2.0\text{V}$ 。

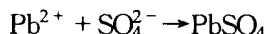
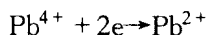
在负极板处, 一方面 Pb 有溶于电解液的倾向, 在电解液中生成 Pb^{2+} 使极板带负电。另一方面, 由于正负电荷的吸引, Pb^{2+} 有沉附于负极板的倾向, 当两者达到平衡时, 负极板相对于电解液的电位约为 -0.1V 。

这样, 蓄电池在未与电路接通且反应达到平衡状态时的电动势约为 2.1V 。

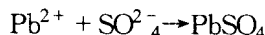
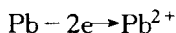
1. 放电过程

蓄电池放电时的化学反应过程如图 1-4 所示。

当蓄电池与外电路接通后, 由于电动势 E 的存在, 使电路内产生电流 I_f , 即电子 e 从负极板流向正极板, 将 Pb^{4+} 转化为 Pb^{2+} , 而 Pb^{2+} 与电解液中的硫酸根离子 SO_4^{2-} 结合成 PbSO_4 , 并沉附在正极板上, 即



在负极板处, 失去电子 $(2e)$ 的 Pb 变为 Pb^{2+} , 其与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 而沉附于负极板上, 即



在电解液中, H_2SO_4 失去 SO_4^{2-} 而余下氢离子 H^+ , 它与 OH^- 结合生成水, 即



也就是说, 在放电过程中, 极板上的活性物质将逐渐转化为 PbSO_4 , 同时, 由于电解液中 SO_4^{2-} 的不断减少, 使得电解液的密度下降。

从理论上讲, 放电过程可一直进行到极板上的所有活性物质被耗尽, 但由于生成的 PbSO_4 沉附于极板表面, 阻碍电解液渗透到极板活性物质内层中去, 使得在使用中被称为放完电的蓄电池的活性物质利用率仅达 $20\% \sim 30\%$ 。因此采用薄型极板, 增加多孔性, 可提高活性物质的利用率。

2. 充电过程

蓄电池充电时, 正负极板与直流电源相连, 当充电电源的端电压高于蓄电池的电动势

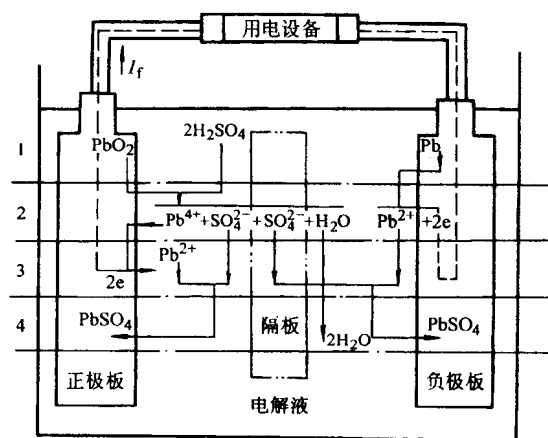


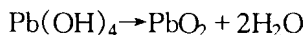
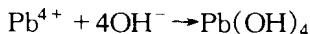
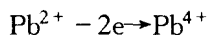
图 1-4 铅蓄电池的放电过程

1—充电状态 2—溶解状态 3—接入负载 4—放电状态

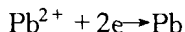
时, 在电场的作用下, 充电电流 I_C 以与放电电流相反的方向流动, 使正极电位升高, 负极电位下降, 正负极板处的平衡被打破。

充电时的化学反应过程如图 1-5 所示。

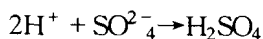
在正极板处的 Pb^{2+} , 失去两个电子变为 Pb^{4+} , 再与电解液中水分解产生的 OH^- 结合生成 $Pb(OH)_4$, 又被分解为 PbO_2 和 H_2O , PbO_2 沉附在正极板上, 即



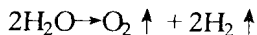
负极板处, Pb^{2+} 得到两个电子变成 Pb 沉附到负极板上, 即



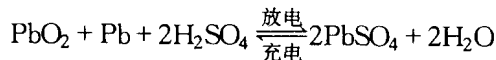
而在正负极板附近的 SO_4^{2-} 与电解液中的 H^+ 结合成 H_2SO_4 , 即



由此可见, 在充电过程中, 正负极板上的 $PbSO_4$ 将逐步恢复为 PbO_2 和 Pb 。同时, 由于水的减少和 H_2SO_4 的生成, 使得电解液的密度也逐渐上升。当充电接近终了时, $PbSO_4$ 已基本恢复为 PbO_2 和 Pb , 这时, 充电电流将引起水的分解, 使正极板附近的 O^{2-} 失去两个电子变成 O_2 从电解液中逸出, 负极板附近的 $2H^+$ 得到两个电子变为 H_2 从电解液中逸出。即



蓄电池在充放电时总的化学反应过程可表示为



二、工作特性

蓄电池的工作特性主要包括电动势与静止电动势、内阻、充电特性和放电特性。

1. 电动势

蓄电池的电动势是组成电池的两个电极的平衡电位之差, 就是

$$E = \phi_+ - \phi_- \quad (1-1)$$

式中 E ——蓄电池的电动势 (V);

ϕ_+ ——正极为平衡电位 (V);

ϕ_- ——负极为平衡电位 (V)。

电动势越高的蓄电池, 理论上能够输出的电能就越大, 使用价值就越高。

2. 静止电动势

蓄电池处于静止状态 (不放电也不充电时), 单格电池正负极板之间的电位差 (即开路电压) 称为静止电动势, 其值大小与电解液的相对密度和温度有关。在相对密度为 1.05~1.30 范围内, 静止电动势 E_j 可用下述经验公式计算

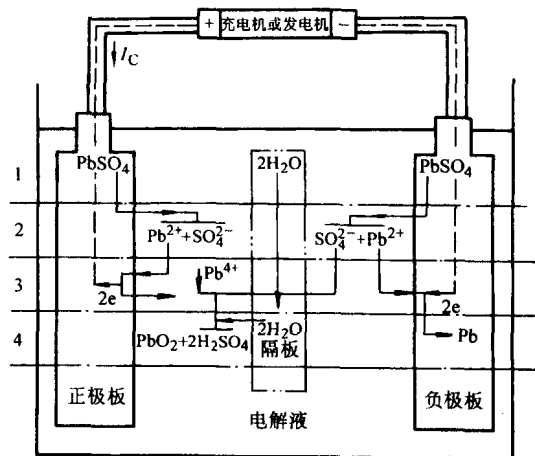


图 1-5 蓄电池的充电过程
1—放电状态 2—溶解电离 3—通入
电流 4—充电状态

$$E_j = 0.85 + \rho_{25^\circ\text{C}} \quad (1-2)$$

式中 E_j ——静止电动势 (V);

$\rho_{25^\circ\text{C}}$ ——25°C 时电解液的相对密度。

实测电解液的相对密度, 应按下式换算成相对密度

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + 0.00075(t - 25) \quad (1-3)$$

式中 ρ_t ——实测电解液相对密度;

t ——实测电解液温度 (°C)。

即温度每升高 1°C, 相对密度将降低 0.00075。

汽车用蓄电池电解液的密度在充电时增高, 放电时降低, 一般在 1.12~1.30g/cm³ 之间变化, 因此其静止电动势相应地在 1.97~2.15V 之间变化。

3. 内阻

电流通过蓄电池时所受到的阻力称为蓄电池的内阻。

蓄电池的内阻包括极板、隔板、电解液、连接条的电阻。在正常状态下, 蓄电池的内阻很小, 所以能够供给几百安培甚至上千安培的起动电流。

极板电阻很小, 且随其活性物质的变化而变化。充电时电阻变小, 放电时电阻变大, 特别是在放电终了时, 由于活性物质转变为导电性能较差的硫酸铅, 因此电阻大大增加。

电解液的电阻与隔板的材料有关。木质隔板多孔性差, 所以其电阻比微孔橡胶和塑料隔板的电阻大。

电解液的电阻与其温度和密度有关。如 6—Q—75 型蓄电池在温度为 +40°C 时的内阻为 0.01Ω, 而在 -20°C 时内阻为 0.019Ω, 可见, 内阻随温度降低而增大。

电解液电阻与电解液相对密度的关系如图 1-6 所示。由图可见, 电解液相对密度为 1.20 (15°C) 时, 其电阻最小。即在该密度时, 硫酸离解为离子的数量最多, 同时电解液的粘度也比较小。密度过高和过低都会减少离子的数量。密度过高, 不仅离子数量减少, 而且电解液粘度增大, 所以电阻增大。

由分析可知, 适当降低电解液密度和提高温度 (如冬季对蓄电池保温), 对降低蓄电池的内阻, 提高起动性能都十分有利。

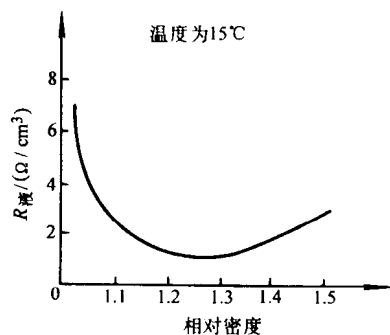


图 1-6 电解液电阻与电解液相对密度的关系

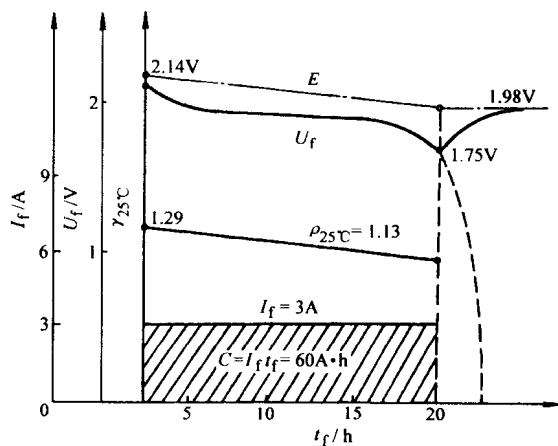


图 1-7 恒流放电特性曲线

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 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 随放电时间 t_f 而变化的规律。图 1-7 表示为 6—QA—60 型干荷电蓄电池以 3A 电流放电时的特性曲线图。

电解液相对密度 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 随着放电时间 t_f 的延长是按直线规律下降的。这是因为放电电流恒定, 电化学反应速度也就一定, 单位时间内消耗的硫酸量为一定值。所以蓄电池的放电程度与电解液密度下降量成正比关系变化。一般情况下, 电解液相对密度每下降 0.04, 蓄电池约放电 25%。

在放电过程中, 因为蓄电池内阻 R_n 上有电压降, 所以其端电压 U_f (V) 总是小于蓄电池的电动势 E , 即

$$U_f = E - I_f R_n \quad (1-4)$$

式中 U_f ——放电时的端电压 (V);

E ——电动势 (V);

I_f ——放电电流 (A);

R_n ——蓄电池的内阻 (Ω)。

放电开始时, 端电压从 2.14V 迅速下降到 2.1V, 接着在较长时间内缓慢地下降到 1.85V 左右, 随后又迅速下降到 1.75V, 此时停止放电。如果继续放电, 那么端电压在短时间内将急剧下降到零, 致使蓄电池过度放电, 从而导致蓄电池产生硫化故障, 缩短蓄电池使用寿命。若适时切断放电电流, 则端电压可逐渐回升到 1.98V。

端电压的变化规律可分以下三个阶段:

(1) 开始放电阶段 放电开始时, 极板空隙内的硫酸迅速消耗, 电解液密度迅速下降, 浓差极化显著增大, 所以端电压迅速下降。

(2) 相对稳定阶段 随着极板孔隙内电解液密度的迅速下降, 孔内外的密度差不断增大, 硫酸向孔隙内扩散的速度也随之加快, 使放电电流得以维持。

当空隙内消耗硫酸的速度与孔外向孔内补充的硫酸的速度达到动态平衡时, 孔内外的密度差将基本保持一定。这时孔内电解液密度将随孔外电解液密度一起缓慢下降, 所以端电压将按直线规律缓慢下降。

(3) 端电压迅速下降阶段 放电接近终了时, 孔隙外的电解液密度已大大下降, 难以维持足够的密度差, 使离子扩散速度下降, 浓差极化显著增大; 与此同时, 极板表面硫酸铅增多, 孔隙堵塞使活性物质 PbO_2 和 Pb 的反应面积减小, 电流密度增大, 电化极化也显著增大; 此外, 放电时间越长, 硫酸铅越多, 内阻越大, 欧姆极化越显著。

由此可见, 当放电临近终了时, 由于浓差极化、电化极化和欧姆极化都显著增大, 所以端电压迅速下降。

蓄电池放电终了时的特征是:

1) 单格电池电压降到放电终止电压 (以 20h 放电率放电时, 终止电压为 1.75V)。

2) 电解液密度降到最小许可值。

放电终止电压与放电电流大小有关。放电电流越大, 放完电的时间越短, 允许的放电终止电压也越低, 如表 1-2 所示。

表 1-2 单格电池放电终止电压

放电电流/A	$0.05C_{20}$	$0.088C_{20}$	$0.22C_{20}$	C_{20}	$3C_{20}$
放电时间	20h	10h	3h	25min	4.5min
单格电池终止电压/V	1.75	1.70	1.65	1.55	1.50

5. 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 和电解液相对密度 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 随充电时间 t_c 而变化的规律。图 1-8 所示为 6—QA—60 型干荷电蓄电池以 3A 电流充电时的特性曲线图。

充电时，电源电压必须克服蓄电池的电动势 E 和蓄电池的内部压降 $I_c R_n$ 。因此在充电过程中，蓄电池的端电压 U_c 总是高于电动势 E ，即

$$U_c = E + I_c R_n \quad (1-5)$$

因为充电电流恒定，单位时间内生成的硫酸量相等，因此电解液密度与充电时间成直线关系上升。

蓄电池的端电压 U_c 是不断上升的，其变化规律是：开始充电阶段，电压迅速上升，接着进入稳定上升阶段，电压缓慢上升到 2.4V 左右；最后，电压又迅速上升到 2.7V 左右且稳定不变。若切断充电电流，则端电压逐渐下降，直到等于静止电动势。

活性物质与电解液的化学反应是在极板上活性物质的表面进行的。在开始充电时，空隙内迅速生成硫酸，使空隙中电解液密度迅速增大，浓差极化增大，所以端电压迅速上升。当空隙内生成硫酸的速度与向外扩散的速度达到动态平衡时，端电压便随整个容器内电解液密度的变化而缓慢上升。

当端电压达到 2.4V 左右时，电解液中开始冒气泡。此现象说明蓄电池已基本充足电，极板上的活性物质已基本转化为二氧化铅 PbO_2 和铅 Pb ，部分充电电流已用于电解水，产生了氢气和氧气，所以电解液冒气泡。继续充电时，电解水的电流增大，产生的氢气和氧气增多，电化学极化显著增大，所以端电压迅速上升，直到电压上升到 2.7V 左右，电解液中有大量气泡，形成“沸腾”现象为止。此时电解液密度不再变化。

蓄电池在使用中，为了观察端电压和电解液密度不再上升的现象，确认蓄电池已完全充足电，往往需要过充电 2h 左右。

活性物质还原反应结束以后的充电过程称为过充电。由于过充电时剧烈地放出气泡会导致活性物质脱落，使蓄电池输出容量降低，使用寿命缩短，因此应尽量避免长时间的过充电。

停止充电后，因为欧姆极化立即消失，电化学极化随之消失，空隙内硫酸逐渐向外扩散并扩散到与容器内电解液混合均匀为止，所以端电压逐渐下降到静止电动势数值。

蓄电池充电终了的特征是：

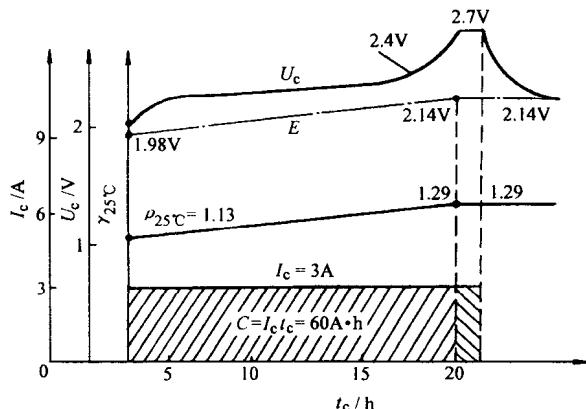


图 1-8 恒流充电特性曲线