



· 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

# UTO MOBILE

## 汽车电器与电子技术

QICHE DIANQI YU DIANZI JISHU

主 编 吕红明 吴钟鸣

副主编 王建胜 熊 新 汤 沛



教学资源库

<http://js.ndip.cn>



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

# 汽车电器与电子技术

主 编 吕红明 吴钟鸣  
副主编 王建胜 熊 新 汤 沛

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书共12章, 主要介绍汽车电源系统、起动机、照明及仪表信号系统、车身电气装置、汽车电气设备总线路、发动机电子控制系统、电控自动变速器、汽车制动控制系统、电控悬架系统、电控动力转向系统、车身电子控制系统、汽车网络技术等。本书注重理论联系实际, 力求内容系统、新颖、图文并茂、重点突出。各章节在讲解基本组成、结构原理时, 尽量结合最新常见车型的典型电路进行分析讲解, 注重培养学生的电路分析和应用能力。

本书是高等院校汽车类专业(方向)的规划教材, 可供车辆工程、汽车服务工程、交通运输、载运工具运用工程等专业的学生使用, 还可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子技术 / 吕红明, 吴钟鸣主编. —北京:  
国防工业出版社, 2012. 1  
ISBN 978-7-118-07788-9

I. ①汽... II. ①吕... ②吴... III. ①汽车—电器—  
高等学校—教材 ②汽车—电子技术—高等学校—教材  
IV. ①U463. 6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第257041号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$  字数 455 千字

2012年1月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 32.00元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

# 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

## 编审委员会

### 主任委员

陈南（东南大学） 葛如海（江苏大学）

### 委员（按姓氏拼音排序）

贝绍轶（江苏技术师范学院）	蔡伟义（南京林业大学）
常绿（淮阴工学院）	陈靖芯（扬州大学）
陈庆樟（常熟理工学院）	戴建国（常州工学院）
葛友华（盐城工学院）	鞠全勇（金陵科技学院）
李舜酩（南京航空航天大学）	鲁植雄（南京农业大学）
王琪（江苏科技大学）	王良模（南京理工大学）
吴建华（淮阴工学院）	殷晨波（南京工业大学）
张雨（南京工程学院）	赵敖生（三江学院）
朱忠奎（苏州大学）	

## 编写委员会

### 主任委员

李舜酩 鲁植雄

### 副主任委员（按姓氏拼音排序）

常玉林 吕红明 沈辉 司传胜 吴钟鸣 羊玢

### 委员（按姓氏拼音排序）

蔡隆玉	范炳良	葛慧敏	黄银娣	李国庆	李国忠	李守成	李书伟
李志臣	廖连莹	刘永臣	秦洪艳	屈敏	孙丽	王军	王若平
王文山	夏基胜	谢君平	徐礼超	许兆棠	姚明	姚嘉凌	余伟
智淑亚	朱为国	邹政耀					

---

# 前 言

---

随着电子技术、控制技术和计算机技术的发展,汽车电器与控制系统已成为现代汽车的重要组成部分,有效提高了汽车的各项性能。为了培养厚基础、宽口径的汽车专业人才,以适应市场对该类人才知识结构的需求,我们在总结几年来教学和科研经验、广泛收集资料和原有课程讲义的基础上,编写了该书。

全书共12章,其中第1~5章介绍了汽车电源系统、起动机、照明及仪表信号系统、车身电气装置、汽车电气设备总线路等汽车电气系统的内容;第6~12章为汽车电子控制技术,内容包括发动机电子控制系统、电控自动变速器、汽车制动控制系统、电控悬架系统、电控动力转向系统、车身电子控制系统、汽车网络技术等。本书在编写过程中注重理论联系实际,力求内容系统、新颖、图文并茂、重点突出。各章节在讲解基本组成、结构原理时,尽量结合最新常见车型典型电路进行分析讲解,注重培养学生的电路分析和应用能力。

本书可供车辆工程、汽车服务工程、交通运输、载运工具运用工程等汽车类专业的学生使用。

参加本书编写的有:盐城工学院熊新(第1章、第5章),汤沛(第2章、第3章、第4章),吕红明(第6章、第11章、第12章);金陵科技学院吴钟鸣(第7章、第8章);淮阴工学院王建胜(第9章、第10章)。全书由吕红明、吴钟鸣主编,吕红明负责统稿,并对全书进行了全面修改。

在本书的编写过程中,参考了大量的著作、文献和相关资料,在此对有关作者、编者和同行致以衷心的感谢。

限于编者的水平,书中错误疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者  
2011年9月

# 目 录

## 第1章 电源系统 1

1.1 蓄电池的结构与工作原理	1
1.1.1 铅酸蓄电池的性能指标	2
1.1.2 蓄电池的结构	2
1.1.3 铅酸蓄电池的工作原理	4
1.1.4 铅酸蓄电池的型号	5
1.2 蓄电池的工作特性	6
1.2.1 蓄电池的电动势及内阻	6
1.2.2 蓄电池的充放电特性	7
1.2.3 蓄电池的容量及影响因素	9
1.3 蓄电池的使用与维护	10
1.3.1 蓄电池的正确使用	10
1.3.2 蓄电池的维护	10
1.3.3 蓄电池的储存	10
1.3.4 蓄电池的充电	11
1.4 新型铅酸蓄电池	13
1.4.1 干荷电蓄电池	13
1.4.2 免维护蓄电池	14
1.4.3 胶体电解质铅蓄电池	14
1.4.4 智慧型蓄电池	15
1.5 交流发电机的类型与构造	16
1.5.1 交流发电机的类型	16
1.5.2 交流发电机的构造	16
1.5.3 国产交流发电机的型号	18
1.6 交流发电机的工作原理与特性	19
1.6.1 交流发电机的工作原理	19
1.6.2 整流原理	20
1.6.3 励磁方式	20
1.6.4 交流发电机的特性	21
1.7 电压调节器	23

1.7.1 交流发电机调节器的作用 与原理	23
1.7.2 交流发电机调节器的分类 与型号	24
1.7.3 电子调节器的工作过程	25
1.8 交流发电机充电系统的使用与 维护	28
1.8.1 交流发电机与电压调节器 的使用注意事项	28
1.8.2 交流发电机的维护	29
1.8.3 交流发电机电压调节器的 维护	30

## 第2章 起动机 33

2.1 起动机的构造与型号	33
2.1.1 起动机的构造	34
2.1.2 起动机的型号	34
2.2 直流串励式电动机	34
2.2.1 直流电动机的构造	34
2.2.2 直流电动机的工作原理	35
2.2.3 起动机的特性	36
2.3 起动机的传动机构	37
2.3.1 滚柱式单向离合器	38
2.3.2 摩擦片式单向离合器	39
2.3.3 弹簧式单向离合器	39
2.4 起动机的控制装置	40
2.4.1 机械式控制装置	40
2.4.2 电磁式控制装置	40
2.5 新型起动机	42
2.5.1 电枢移动式起动机	42
2.5.2 齿轮移动式起动机	43



2.5.3	减速起动机	45	4.2.2	风窗除霜(雾)装置	77
2.6	起动机正确使用与维护	45	4.3	电动车窗	77
2.6.1	起动机正确使用	45	4.3.1	结构组成	77
2.6.2	起动机维护	46	4.3.2	工作原理	78
2.6.3	起动机修理	46	4.3.3	桑塔纳2000型轿车电动 车窗的组成及工作过程	79
<b>第3章 照明、信号及仪表系统 49</b>			<b>第5章 汽车电器设备总线路 84</b>		
3.1	照明系统	49	5.1	汽车电器设备线路分析	84
3.1.1	照明系统的基本组成及 要求	49	5.1.1	汽车电器设备线路的特点	84
3.1.2	前照灯	50	5.1.2	汽车电器设备线路的表示 方法	85
3.1.3	其他照明设备	53	5.1.3	汽车电路的接线规律	86
3.2	信号系统	54	5.1.4	汽车电路分析的基本方法	86
3.2.1	信号系统的基本组成及 要求	54	5.2	汽车电器配电器件	87
3.2.2	转向灯	54	5.2.1	导线	87
3.2.3	倒车信号装置	56	5.2.2	线束	88
3.2.4	电喇叭	57	5.2.3	插接器	89
3.2.5	其他信号装置	59	5.2.4	开关	89
3.3	仪表系统	60	5.2.5	继电器	91
3.3.1	仪表系统的组成及要求	60	5.2.6	保险装置	91
3.3.2	车速里程表	60	5.2.7	中央接线盒	92
3.3.3	发动机转速表	62	5.3	汽车电路图分析实例	93
3.3.4	燃油表	63	5.3.1	捷达轿车蓄电池、起动机、 发电机、点火开关部分电 路图分析	93
3.3.5	水温表	64	5.3.2	捷达轿车前大灯、变光开关 及变光/超车灯开关电路	94
3.3.6	机油压力表(油压表)及 油压指示系统	65	<b>第6章 发动机电子控制系统 98</b>		
3.4	指示灯系统	67	6.1	电控燃油喷射系统	98
3.4.1	机油压力警告灯	67	6.1.1	汽车发动机燃油喷射系统的 分类	98
3.4.2	液面不足警告灯	68	6.1.2	电控燃油喷射系统的 组成	102
3.4.3	燃油油量警告灯	68	6.1.3	电控燃油喷射系统的工作 过程	111
3.5	照明与信号系统典型电路	69	6.2	电控点火系统	116
3.5.1	照明系统典型电路分析	69	6.2.1	汽车发动机点火系统的 分类	116
3.5.2	信号系统典型电路分析	70	6.2.2	电控点火系统的组成	120
3.5.3	指示灯系统典型电路分析	70	<b>第4章 车身电器装置 72</b>		
4.1	电动刮水器	72	4.1	电动刮水器	72
4.1.1	电动刮水器的构造	72	4.1.1	电动刮水器的构造	72
4.1.2	电动刮水器的工作原理	73	4.1.2	电动刮水器的工作原理	73
4.1.3	永磁式电动刮水器	73	4.1.3	永磁式电动刮水器	73
4.1.4	间隙式电动刮水器	75	4.1.4	间隙式电动刮水器	75
4.2	风窗玻璃洗涤器和除霜装置	75	4.2	风窗玻璃洗涤器和除霜装置	75
4.2.1	风窗玻璃洗涤器	75	4.2.1	风窗玻璃洗涤器	75

6.2.3	电控点火系统的工作过程	121
6.3	发动机辅助控制系统	126
6.3.1	怠速控制	126
6.3.2	电子节气门控制	128
6.3.3	可变配气相位控制	129
6.3.4	燃油蒸发排放控制	133
6.3.5	废气涡轮增压控制	135
6.3.6	废气再循环控制	136
<b>第7章 电控自动变速器</b>		<b>139</b>
7.1	自动变速器的组成与工作原理	139
7.1.1	自动变速器的类型	139
7.1.2	电控自动变速器的基本组成	141
7.1.3	电控自动变速器的优缺点	142
7.1.4	液力变矩器的组成与原理	142
7.2	自动变速器的行星齿轮系统	144
7.2.1	行星齿轮机构	144
7.2.2	换挡执行机构	145
7.2.3	行星齿轮变速器	146
7.3	自动变速器液压控制系统	152
7.3.1	液压系统的组成	152
7.3.2	液压控制系统的工作原理	155
7.4	自动变速器电子控制系统	156
7.4.1	信号输入装置	156
7.4.2	电子控制单元	160
7.4.3	执行机构	160
7.4.4	电控自动变速器的工作原理	161
7.5	金属带式无级变速器	166
7.5.1	金属带式无级变速器的工作原理	167
7.5.2	金属带式无级变速器的主要部件	168
7.5.3	金属带式无级变速器的应用实例	168

**第8章 汽车制动控制系统 171**

8.1	汽车防抱死制动系统	171
8.1.1	汽车制动控制的理论	

	基础	171
8.1.2	ABS的基本功能和特点	172
8.1.3	ABS的种类	173
8.1.4	ABS的组成	175
8.1.5	ABS的控制过程	186
8.1.6	典型ABS系统分析	188
8.2	驱动防滑控制系统	193
8.2.1	ASR的作用	193
8.2.2	ASR的基本组成	194
8.2.3	ASR的工作原理	197
8.2.4	ABS/ASR系统工作过程	199
8.3	车辆稳定性控制系统	202
8.3.1	ESP的作用	202
8.3.2	ESP的基本组成	203
8.3.3	ESP的控制过程	203
8.3.4	典型ESP系统分析	203

**第9章 电控悬架系统 209**

9.1	概述	209
9.1.1	电控悬架的功能	209
9.1.2	电控悬架的分类	210
9.2	电控悬架系统的组成	213
9.2.1	传感器	214
9.2.2	执行器	217
9.2.3	控制单元	217
9.3	电控悬架的工作过程	218
9.3.1	悬架刚度控制	218
9.3.2	减振器阻尼控制	219
9.3.3	车高控制	219

**第10章 电控动力转向系统 220**

10.1	液压式EPS	220
10.1.1	流量控制式EPS	220
10.1.2	反力控制式EPS	220
10.1.3	阀灵敏度控制式EPS	222
10.2	电动助力转向系统	223
10.2.1	转矩传感器	225
10.2.2	转向角传感器	225
10.2.3	电磁离合器	226
10.2.4	电子控制系统	226

**第11章 汽车车身电子控制系统 228**

11.1	汽车自动空调	228
------	--------	-----





11.1.1 概述 ..... 228

11.1.2 自动空调的电子控制系统 ..... 230

11.2 安全气囊 ..... 235

11.2.1 概述 ..... 235

11.2.2 安全气囊电子控制系统 ..... 236

11.3 汽车电控门锁 ..... 241

11.3.1 电控门锁的类型 ..... 241

11.3.2 电控门锁的基本构成 ..... 242

11.3.3 无线电遥控门锁系统工作原理 ..... 245

**第12章 汽车网络技术 247**

12.1 汽车数据总线 ..... 247

12.1.1 汽车数据总线的定义 ..... 247

12.1.2 汽车数据总线的分类 ..... 248

12.2 控制器局域网总线 ..... 249

12.2.1 数据总线系统的组成及工作原理 ..... 249

12.2.2 CAN总线的特点 ..... 250

12.2.3 CAN总线的通信协议 ..... 250

12.2.4 CAN总线的报文类型 ..... 251

12.3 CAN总线在汽车上的应用 ..... 251

12.3.1 基于CAN总线的汽车舒适性系统 ..... 252

12.3.2 CAN总线在宝来轿车上的应用 ..... 255

**参考文献 258**

# 第1章 电源系统

汽车电源系统由蓄电池、发电机两个电源组成，如图 1-1 所示。两者并联协调工作对汽车用电设备供电。汽车启动时，由蓄电池向点火系及起动机提供电能；在发动机正常工作情况下，由发电机为全车用电设备供电，同时还对蓄电池充电。

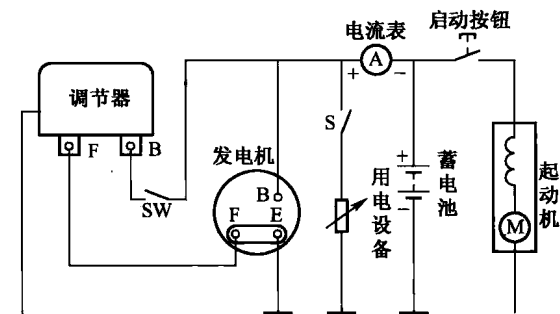


图 1-1 汽车电源系统的组成

## 1.1 蓄电池的结构与工作原理

电能可由多种形式的能量变化得来，其中把化学能转换成电能的装置称为化学电池，一般简称为电池。电池有原电池和蓄电池之分。放电后不能用充电的方式使内部活性物质再生的电池称为原电池，也称一次性电池。放电后可以用充电的方式使内部活性物质再生，把电能储存为化学能，需要放电时再次把化学能转换为电能的电池，称为蓄电池，也称二次电池。一个蓄电池（组）由一个或几个电化学单元电池组成，单元电池是组成蓄电池（组）的“结构元”。这一“结构元”从技术角度来看，实际上也是一个蓄电池。不过实际使用时一个单元电池无论从电压还是从能量看都相对较低，应用范围受到局限。因此蓄电池（组）这一概念往往是指一个或多个电化学单元电池按照一定电力方式（并联、串联）组合起来的直流电源装置。本节介绍的铅酸蓄电池就属于二次电池。

### 1.1.1 铅酸蓄电池的性能指标

#### 1. 电压

- (1) 电动势：单格电池正负极之间的电位差。
- (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。
- (4) 工作电压（负载电压、放电电压）：在电池两端接上负载后，在放电过程中显示出的电压。等于电池的电动势减去放电电流在电池内阻  $R_0$  上的电压降。
- (5) 终止电压：电池在一定标准所规定的放电条件下放电时，其电压将逐渐降低，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。当电池的电压下降到终止电压后，再继续使用电池放电，因受到化学“活性物质”性能的限制，“活性物质”会遭到破坏。

#### 2. 电池容量

- (1) 理论容量：根据蓄电池的活性物质的特性，按法拉第定律计算出的最高理论值，一般用质量容量  $A \cdot h/kg$  或体积容量  $A \cdot h/L$  来表示。
- (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值。
- (4) 额定容量（保证容量）：按一定标准所规定的放电条件下的容量。
- (5) 充电状态：参加反应电池容量的变化。

#### 3. 能量

- (1) 标称能量：按一定标准所规定的放电条件下，蓄电池所输出的能量。电池的标称能量是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。
- (3) 比能量：电池组单位质量所能输出的能量。

#### 4. 电池的内阻

电流通过电池内部时受到的阻力，使电池的电压降低，此阻力称为电池的内阻。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。

#### 5. 循环次数（次）

蓄电池的工作是一个充电—放电—充电—放电不断循环的过程，按一定标准的规定放电，当电池的容量降到某一个规定值时，就要停止继续放电，然后需要充电才能继续使用。循环次数是衡量电池寿命的重要指标。

### 1.1.2 蓄电池的结构

蓄电池由正负极板、隔板、壳体、电解液和接线桩头等组成，其结构如图 1-2 所示。其放电的化学反应依靠正极板活性物质（二氧化铅和铅）和负极板活性物质（海绵状纯铅）在电解液（稀硫酸溶液）的作用下进行，其中极板的栅架，传统蓄电池用铅锑合金制造，免维护蓄电池是用铅钙合金制造，前者用锑，后者用钙，这是两者的根本区别点。不同的材料就会产生不同的现

象：传统蓄电池在使用过程中会发生减液现象，这是因为栅架上的镉会污染负极板上的海绵状纯铅，减弱了完全充电后蓄电池内的反电动势，造成水的过度分解，大量氧气和氢气分别从正负极板上逸出，使电解液减少。用钙代替镉，就可以改变完全充电后的蓄电池的反电动势，减少过充电流，液体汽化速度减低，从而减低了电解液的损失。

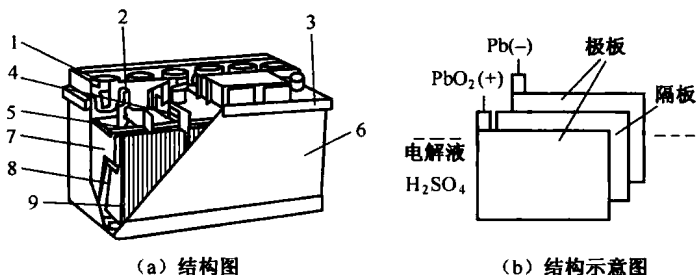


图 1-2 铅酸蓄电池的结构

1—排气栓；2—负极柱；3—电池盖；4—穿壁连接；5—汇流条；6—整体槽；7—负极板；8—隔板；9—正极板。

### 1. 极板

蓄电池的极板由正极板和负极板组成，如图 1-2 (b) 所示。蓄电池的充放电是依靠正负极板上的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 ( $\text{PbO}_2$ )，呈深棕色。负极板上的活性物质是纯铅 ( $\text{Pb}$ )，呈青灰色，海绵状。正极板、负极板的活性物质分别填充在铅镉合金铸成的栅架上，加入镉的目的是提高栅架的机械强度和浇铸性能。但镉有一定的副作用，镉易从正极板栅架中解析出来而引起蓄电池的自行放电和栅架的膨胀、溃烂，从而影响蓄电池的使用寿命。负极板的厚度为 1.8mm，正极板为 2.2mm。

### 2. 隔板

为了减小蓄电池的内阻和尺寸，蓄电池内部正极板、负极板应尽可能地靠近，但为了避免彼此接触而短路，正极板、负极板之间要用隔板隔开 (图 1-2 (b))。隔板处在正极、负极之间，必须允许离子自由通过保持电荷平衡，即电中性。隔板材料应具有多孔性，以便电解液渗透，且化学性能要稳定，即具有良好的耐酸性和抗氧化性。

隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料等。安装时，隔板带槽的一面应面向正极板，且沟槽与壳体底部垂直。因为沟槽能使电解液较顺利地上下流通，使气泡沿槽上升，还能使正极板上脱落的活性物质沿槽下沉。在现代新型蓄电池中，还采用了袋式隔板。使用时，正极板放置在袋式隔板中，脱落的活性物质保留在袋内，不仅可以防止极板短路，而且可以取消壳体的底部凸起的筋条，使极板上部容积增大，从而增大电解液的储存量。

### 3. 壳体

蓄电池的外壳是用来盛放电解液和极板组的，外壳应耐酸、耐热、耐震，以前多用硬橡胶制成。现在国内已开始生产聚丙烯塑料外壳。这种壳体不但耐酸、耐热、耐震，而且强度高，壳体壁较薄 (一般为 3.5mm，而硬橡胶壳体壁厚为 10mm)，质量小，外形美观，透明。壳体底部的凸筋是用来支持极板组的，并可使脱落的活性物质掉入凹槽中，以免正极板、负极板短路，若采用袋式隔板，则可取消凸筋以降低壳体高度。壳体为整体结构，壳内由隔壁分成 3 个或 6 个互不相通的单格。

### 4. 电解液

铅酸蓄电池的电解液是稀硫酸溶液；胶体蓄电池的电解质是一定浓度的硫酸和硅凝胶的胶体

电解质。电解质在铅酸蓄电池中的作用是：参加电化学反应，传导溶液的正负离子，扩散极板在反应时产生的温度。电解质是影响电池容量和使用寿命的主要因素。电解液由纯净的硫酸与蒸馏水按一定的比例配制而成。电解液的相对密度一般为  $1.24\text{g/cm}^3 \sim 1.31\text{g/cm}^3$  ( $15^\circ\text{C}$ )。密度过低，冬季易结冰；密度过高，则电解液黏度增加，蓄电池内阻增大，同时将加速极板的腐蚀而使其使用寿命缩短。使用时应根据制造厂的要求和当地的气温条件选择，见表 1-1。

表 1-1 不同地区和气候条件下的电解液的相对密度

使用地区 最低气温/ $^\circ\text{C}$	全充电 $25^\circ\text{C}$ 时的相对密度	
	冬季	夏季
$< -40$	1.31	1.27
$-30 \sim -40$	1.29	1.26
$-20 \sim -30$	1.28	1.25
$0 \sim 20$	1.27	1.24

## 5. 联条

车用 12V 蓄电池的 6 个单格电池之间的连接方法有两种，一种是用装在盖子上面的铅质联条串联起来，联条露在蓄电池盖表面，这是一种传统的连接方式，不仅浪费铅材料，而且内阻较大，故这种连接方式正在逐渐被淘汰。第二

种是采用穿壁式连接方式。

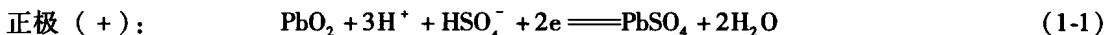
蓄电池各单格电池串联后，两端单格的正负极桩分别穿出蓄电池盖，形成蓄电池极桩。正极桩标“+”号或涂红色，负极桩标“-”号或涂蓝色、绿色、黑色等。

## 6. 加液孔盖

加液孔盖可防止电解液溅出。加液孔盖上有通气孔，便于排出蓄电池内的  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ ，以免发生事故，如在孔盖上安装氧过滤器，还可以避免水蒸气的溢出，减少水的消耗。

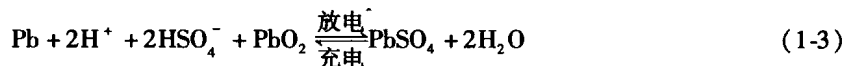
### 1.1.3 铅酸蓄电池的工作原理

蓄电池的种类虽然很多，但其工作原理完全相同，铅酸蓄电池的基本过程是电极反应过程与电池反应过程。根据双极硫酸盐理论，铅酸蓄电池释放能量的过程（即放电过程）是负极进行氧化，正极进行还原的过程；电池补充化学能（充电）的过程则是负极进行还原，正极进行氧化的过程。当电池在静置（开路）状态时，正极与负极的反应都趋于稳定（即氧化速率与还原速率趋于相等），进而使电极（正电极与负电极）电位达到稳定值，此时的电极称为平衡电极。铅酸蓄电池负极和正极平衡电极反应式如下：



从式 (1-2) 看出，自左至右的反应是放电反应，Pb 以最大溶解速率向外电路提供电子的同时， $\text{Pb}^{2+}$  还夺取电解液中的  $\text{HSO}_4^-$  而生成  $\text{PbSO}_4$ ；自右至左是充电反应，电极表面上  $\text{Pb}^{2+}$  以最大速率夺取外来电子，使  $\text{PbSO}_4$  恢复为活性物质 (Pb)。

从式 (1-1) 看出，自左至右的反应是放电反应， $\text{PbO}_2$  以极大速率吸取外来电路的电子，并以低价  $\text{Pb}^{2+}$  的形式与电极表面  $\text{HSO}_4^-$  形成  $\text{PbSO}_4$  覆盖在电极表面。自右至左的反应是充电，在外电源作用下  $\text{Pb}^{2+}$  释放电子并与电解液作用生成  $\text{PbO}_2$ 。合并式 (1-1) 和式 (1-2) 即电池的充电/放电过程的电化学反应 (式 (1-3))。当外接电路未接通时，以上的平衡状态可以认为是蓄电池的静止电动势的建立，如图 1-3 所示。



#### 1. 蓄电池的放电过程

当外电路接上负载后，铅蓄电池在正极板、负极板间电位差的作用下，电流从正极流出，经

负载流向负极,也就是说,负极上的电子经负载进入正极,同时在蓄电池内部产生化学反应,如图1-4所示。电池向外电路输送电流的过程,称为电池的放电。

从放电反应式(1-3)看出,随着蓄电池放电,硫酸逐渐消耗,电解液的密度逐渐下降。电池放电以后,用外来直流电源以适当的反向电流通入,可以使已形成的新化合物还原成为原来的活性物质;而电池又能放电,这种用反向电流使活性物质还原的过程称为充电。

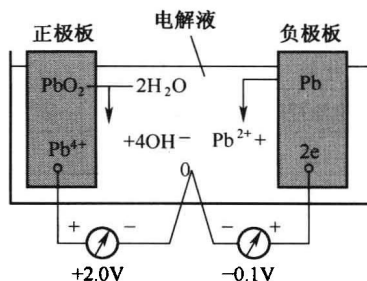


图 1-3 静止电动势的建立过程

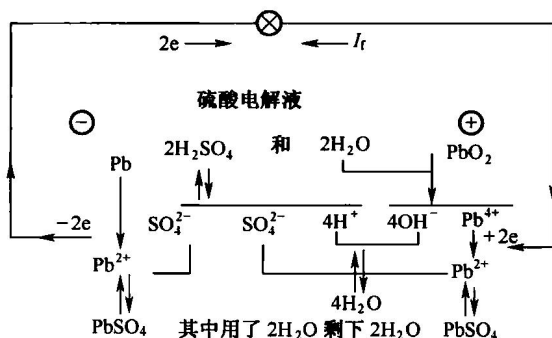


图 1-4 蓄电池的放电过程

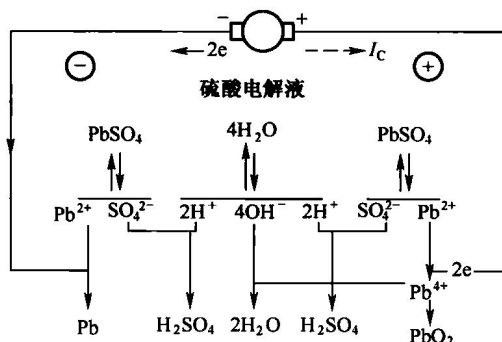


图 1-5 蓄电池的充电过程

## 2. 蓄电池的充电过程

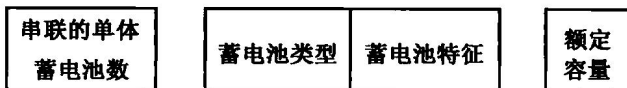
充电时,应在蓄电池上外接充电电源(整流模块),使正极板、负极板在放电时消耗了的活性物质还原,并把外加的电能量转变为化学能储存起来。

在充电电源的作用下,外电路的电流自蓄电池的正极板流入,经电解液和负极板流出。于是,电源从正极板中不断取得电子输送给负极板,促使正极板、负极板上的硫酸铅不断进入电解液而被游离,因此在电池内部产生如图1-5所示的化学反应。

从充电反应式(1-3)看出,当蓄电池充电后,两极上原来被消耗的活性物质复原了,同时电解液中的硫酸成分增加,水分减少,电解液的密度升高。

### 1.1.4 铅酸蓄电池的型号

根据机械工业部机械行业标准 JB/T 2599—93《铅酸蓄电池产品型号编制方法》规定,铅酸蓄电池型号由三部分组成,型号采用汉语拼音及阿拉伯数字表示。



(1) 串联的单体蓄电池数系指一电池组中包含的单体电池个数,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,如启动用蓄电池代号为Q,摩托车用蓄电池代号为M。

(3) 蓄电池特征为附加部分,同类型蓄电池具有某种特征,在型号中必须加以区别时,按表1-2中的代号标志,当蓄电池同时具有几种特征时,应按表中顺序将代号并列标志,如以某一主要特征已能表达清楚时,应以该特征的代号来标志。

表 1-2 蓄电池特征代号

序号	1	2	3	4	5	6
蓄电池特征	密封式	免维护	干式荷电	湿式荷电	防酸式	带液式
代号	M	W	A	H	F	Y

(4) 额定容量是指 20h 放电率额定容量，单位为  $A \cdot h$ ，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 表示薄型极板的高启动蓄电池，S 表示采用工程塑料外壳、电池盖及热封工艺的蓄电池。

例如，6-QA-60S 型蓄电池是由 6 个单格电池组成，额定电压为 12V，额定容量为  $60A \cdot h$ ，采用塑料外壳的干荷电启动型蓄电池。

## 1.2 蓄电池的工作特性

### 1.2.1 蓄电池的电动势及内阻

#### 1. 电动势

蓄电池处于静止状态（充电或放电后静止 2h ~ 3h）和标准相对密度时，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。静止电动势的大小与电解液的相对密度和温度有关。在相对密度为  $1.05g/m^3 \sim 1.30g/m^3$  范围内，静止电动势  $E_0$  可用下述经验公式计算：

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25^\circ\text{C}} \quad (1-4)$$

式中  $E_0$ ——静止电动势 (V)；

$\rho_{25^\circ\text{C}}$ ——25℃ 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

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + 0.00075 (t - 25) \quad (1-5)$$

式中  $\rho_t$ ——实测电解液相对密度；

$t$ ——实测电解液温度 (℃)。

即温度每升高 1℃，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  $1.12g/cm^3 \sim 1.30g/cm^3$  之间变化，因此其静止电动势相应地在 1.97V ~ 2.15V 之间变化。

#### 2. 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、联条的电阻。正常情况下，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启动电流。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℃ 时的内阻为  $0.01\Omega$ ，而在 -20℃ 时内阻为  $0.019\Omega$ 。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  $1.20g/cm^3$  (15℃) 时，其电阻最小。即在该密度时，硫酸离解为离子的数量最多，同时电解液的黏度也比较小。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，而且电解液黏度增大，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，提高其启动性能都十分有利。

## 1.2.2 蓄电池的充放电特性

### 1. 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  $U_t$  和电解液相对密度  $\rho_{25^\circ\text{C}}$  随放电时间  $t$  而变化的规律。图 1-7 所示为 6-QA-60 型干荷电蓄电池以 3A 电流放电时的特性曲线。电解液相对密度  $\rho_{25^\circ\text{C}}$  随放电时间  $t_t$  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恒定。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  $R_0$  上有电压降，所以其端电压  $U$  总是小于蓄电池的电动势  $E$ ，即

$$U_t = E - I_t R_0 \quad (1-6)$$

式中  $U_t$ ——放电时的端电压 (V)；

$E$ ——电动势 (V)；

$I_t$ ——放电电流 (A)；

$R_0$ ——蓄电池的内阻 ( $\Omega$ )。

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，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。

当孔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。

(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  $\text{PbO}_2$  和  $\text{Pb}$  的反应面积减小，电流密度增大，电化学极化也显著增大；此外，放电时间越长，硫酸铅越多，内阻越大。

由此可见，当放电临近终了时，由于浓差极化、电化学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（终止电压为 1.75V）；
- ② 电解液密度降到最小许可值。

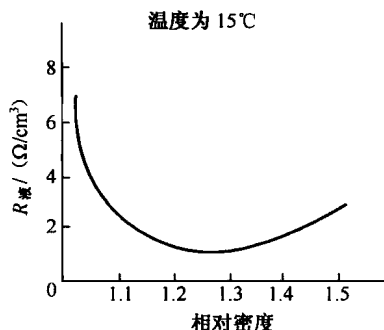


图 1-6 电解液电阻与相对密度的关系

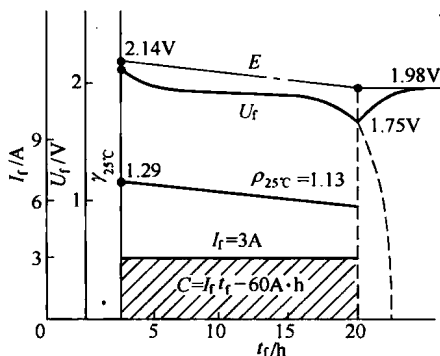


图 1-7 恒流放电特性曲线



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 1-3 所列。

表 1-3 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
单格电池放电终止电压/V	1.75	1.70	1.65	1.55	1.50

## 2. 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。

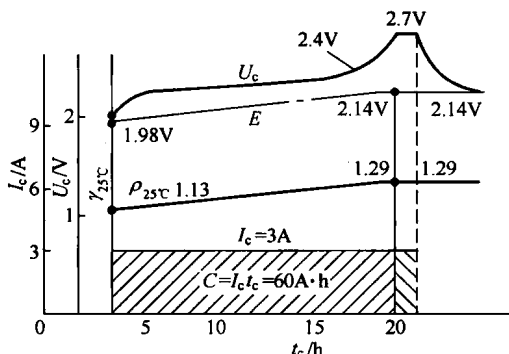


图 1-8 恒流充电特性曲线

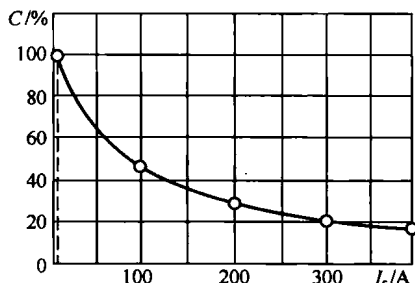


图 1-9 放电电流对蓄电池容量的影响

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  $I_c R_0$ ，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

$$U_c = E - I_c R_0 \quad (1-7)$$

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  $\text{PbO}_2$  和  $\text{Pb}$ ，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。

为了确认蓄电池已完全充足电（端电压和电解液密度不再上升），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，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。

蓄电池充电终止的特征是：