



全国职业技术教育规划教材

# 汽车电气设备

主 编 窦光友

上海交通大学出版社

全国职业技术教育规划教材

# 汽车电气设备

主编 窦光友

上海交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分八章,全面系统地介绍了汽车电气各系统的功能、结构和原理,并对各系统的控制原理和电路进行了细致的讲解和阐释。

本教材可供大中专院校、各类职业院校汽车专业的师生使用,也可供汽车行业工程技术人员和管理人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车电气设备/窦光友主编. - 上海:上海交通大学出版社,2009  
全国职业技术教育规划教材.  
ISBN 978-7-313-05657-3

I. 汽… II. 窦… III. 汽车—电气设备—职业教育—教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015423 号

**汽车电气设备**

窦光友 主编

**上海交通大学** 出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

安徽新华印刷股份有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:363 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

印数:1~6030

ISBN 978-7-313-05657-3 定价:23.00 元

版权所有 侵权必究

# 前 言

我国加入 WTO 后,汽车产业得到了迅猛发展。汽车数量急剧增长,质量也有明显提高,中国即将成为世界上最大的汽车市场。科学技术和汽车工业的迅速发展,使汽车电气设备日趋繁杂,不仅用电设备的数量、质量、性能在提高,而且电子技术正以惊人的速度广泛应用于汽车。因此,学习和掌握汽车电气方面的知识就显得十分重要。

本教材内容翔实,其针对性、实用性较强,将汽车电气各系统功能、结构和原理作为重点,课程的难点是各电气系统的控制原理和对电路的分析。在教学上建议多采用实物和现场教学相结合、理论与实践相结合的教学方法,重点培养学生动手能力,训练学生解决生产实际问题的能力,从而提高学生学习的积极性和主动性。

本教材可供大中专院校、各类职业院校汽车专业的师生使用,还可供汽车行业工程技术人员和管理人员学习参考。

由于编者水平有限,时间仓促,书中不足之处欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

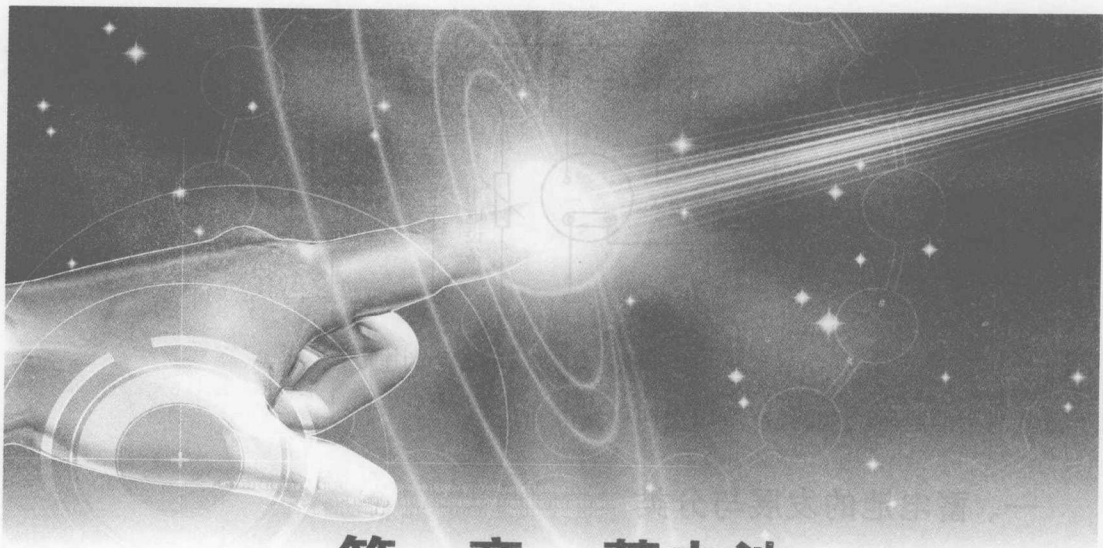
编者

2008 年 12 月

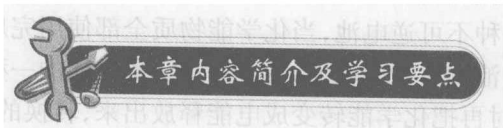
# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第一章 蓄电池 .....          | (1)  |
| 第一节 蓄电池的概述 .....       | (1)  |
| 第二节 蓄电池的结构和型号规则 .....  | (3)  |
| 第三节 蓄电池的工作原理与特性 .....  | (8)  |
| 第四节 蓄电池的充电 .....       | (15) |
| 第五节 新型蓄电池 .....        | (23) |
| 第六节 蓄电池的常见故障 .....     | (26) |
| 复习思考题 .....            | (27) |
| 第二章 发电机及调节器 .....      | (28) |
| 第一节 交流发电机与整流器 .....    | (28) |
| 第二节 电压调节器 .....        | (38) |
| 第三节 电源系统电路 .....       | (45) |
| 第四节 发电机的常见故障 .....     | (48) |
| 复习思考题 .....            | (49) |
| 第三章 起动系 .....          | (50) |
| 第一节 直流电动机 .....        | (51) |
| 第二节 起动系传动机构 .....      | (54) |
| 第三节 起动系统控制装置 .....     | (57) |
| 第四节 起动系统保护电路 .....     | (58) |
| 第五节 起动机的特性 .....       | (61) |
| 第六节 起动机的分类和型号 .....    | (64) |
| 第七节 典型起动机分析 .....      | (65) |
| 第八节 起动机主要参数的选择 .....   | (73) |
| 第九节 减速起动机 .....        | (76) |
| 第十节 起动系常见故障的诊断方法 ..... | (79) |
| 复习思考题 .....            | (80) |
| 第四章 点火系 .....          | (81) |
| 第一节 点火系概述 .....        | (81) |
| 第二节 传统点火系 .....        | (84) |
| 第三节 微机控制点火系 .....      | (89) |

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| 第四节   | 电感、电容储能电子点火系 .....    | (94)  |
| 第五节   | 点火系的电路连接 .....        | (104) |
| 第六节   | 点火系的常见故障 .....        | (108) |
| 复习思考题 | .....                 | (109) |
| 第五章   | 汽车照明与信号装置 .....       | (110) |
| 第一节   | 照明系统 .....            | (110) |
| 第二节   | 信号系统 .....            | (117) |
| 第三节   | 仪表系统 .....            | (120) |
| 第四节   | 报警系统 .....            | (135) |
| 第五节   | 汽车照明与信号装置常见故障 .....   | (143) |
| 复习思考题 | .....                 | (145) |
| 第六章   | 汽车辅助电气设备 .....        | (146) |
| 第一节   | 刮水器及风窗洗涤器 .....       | (146) |
| 第二节   | 电动车窗、后视镜和座椅 .....     | (156) |
| 第三节   | 中央控制电动门锁 .....        | (160) |
| 第四节   | 防盗系统 .....            | (164) |
| 第五节   | 汽车电路常见故障 .....        | (168) |
| 复习思考题 | .....                 | (169) |
| 第七章   | 汽车空调系统 .....          | (170) |
| 第一节   | 汽车空调的类型和组成 .....      | (170) |
| 第二节   | 汽车空调制冷系统 .....        | (172) |
| 第三节   | 汽车空调的暖风、除霜及通风系统 ..... | (184) |
| 第四节   | 汽车空调系统常见故障 .....      | (190) |
| 复习思考题 | .....                 | (190) |
| 第八章   | 汽车电气设备总线路 .....       | (191) |
| 第一节   | 汽车线路中的常用部件及选用 .....   | (192) |
| 第二节   | 汽车线路图的分析与识读方法 .....   | (200) |
| 第三节   | 典型汽车线路图的分析与识读 .....   | (203) |
| 复习思考题 | .....                 | (218) |
| 附图    | .....                 | (219) |
| 参考文献  | .....                 | (230) |



# 第一章 蓄电池



## 本章内容简介及学习要点

蓄电池为汽车辅助电源,主要供汽车起动机用电,它是汽车电源系统的组成部分之一。本章主要介绍蓄电池的结构、规格型号、工作过程及使用方法等。通过学习,学生需重点掌握以下要点:

- \* 了解蓄电池的发展和分类,蓄电池的构造、规格型号。
- \* 掌握蓄电池的工作过程和使用方法,熟悉蓄电池的充电过程和注意事项,熟练掌握其连接方法。
- \* 熟悉各种新型蓄电池的特点,了解干(湿)荷电蓄电池的应用和免维护蓄电池的使用方法。

## 第一节 蓄电池概述

汽车电源系统主要由发电机及与发电机匹配的电压调节器、蓄电池、电流表等组成,如图1-1所示。

蓄电池、发电机与汽车用电设备都是并联的。在发电机正常工作时,发电机向用电设备和蓄电池充电;起动时,蓄电池向起动机供电;电流表用来指示蓄电池的充放电状况;调节器的作用是使发电机的转速变化时能保持其输出电压恒定。还有很多汽车的电源系统装有电源总开关或蓄电池继电器、充电指示灯(放电警告灯)及继电器、磁场继电器、电压表等。

蓄电池是将化学能转换为电能的一种装置,通常称为低压直流电源即“化学电源”。由

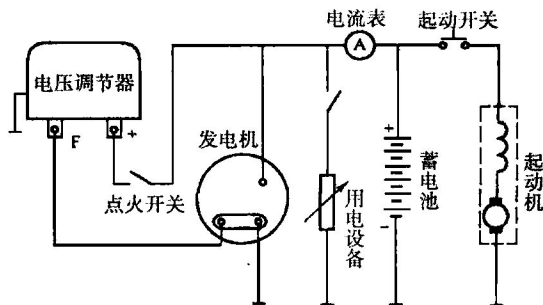


图 1-1 蓄电池在汽车电路中的连接

于蓄电池用的电解液酸溶液,所以也叫做铅酸蓄电池。

## 一、蓄电池的发展与分类

随着汽车的发展,蓄电池也在不断的研制和发展中,MF(免维护)蓄电池发展非常迅速,在不久的将来,会完全取代原有的蓄电池。

由于电池是用化学能转换得到电能的,故称化学电源。化学电源可分为原电池和蓄电池。原电池是利用化学能转变为电能的一种不可逆电池,当化学能物质全部使用完后,其寿命便结束,称为一次性电池,如手电筒干电池就属于原电池;蓄电池是储备电能的一种设备,它能把电能转变成化学能储存起来,使用时再把化学能转变成电能释放出来,转换的过程是可逆的,酸性蓄电池和碱性蓄电池就属于蓄电池。

蓄电池根据不同的用途和外形结构可分为固定型号和移动型号两大类。固定型又可分为开口式、封闭式、防酸隔爆式和消氢式蓄电池等;移动型又分为汽车起动用、摩托车用、蓄电池车用、船舶用和特殊用蓄电池等。本书主要介绍汽车用蓄电池。

## 二、起动型蓄电池的用途

汽车装配了蓄电池和发电机两个直流电源,全车用电设备均与这两个直流电源并联连接,如图 1-1 所示。但在使用中,蓄电池和发电机不一定同时供电。

起动型蓄电池的主要任务是起动汽车发动机,给起动机提供强大的起动电流,其电流可达到 200~600 A。除此以外,蓄电池还有以下用途:

- (1) 发动机起动时,蓄电池向起动机和点火系统供电。
- (2) 发动机低速运转,发电机电压较低或不发电时,蓄电池向用电设备供电,同时还向交流发电机磁场绕组供电。
- (3) 发电机中、高速运转,发电机正常供电,蓄电池将发电机剩余电能转换为化学能储存起来。
- (4) 发电机过载时,蓄电池协助发电机向用电设备供电。

除此之外,蓄电池还有一些辅助作用。因为蓄电池相当于一只大容量电容器,所以,不仅能够保持汽车电气系统的电压稳定,而且还能吸收电路中出现的瞬时过电压,保护晶体管



元件不被击穿,延长其使用寿命。

### 三、对蓄电池的设计要求

当起动发电机时,蓄电池在短时间(5~10s)内要向起动机连续供给强大电流,汽油发动机汽车一般需要200~600 A;柴油发动机汽车一般需要800~1600 A。根据这一工作特点,对汽车用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。如果容量不足或内阻过大,那么蓄电池就不能供给强大电流,发动机就不能起动。

蓄电池的突出优点是内阻小、电压稳定、供电方便和安全可靠。此外,还有成本低、原材料丰富等特点,所以在汽车上普遍采用。其缺点是:比能低,使用寿命短。随着电气设备的更新换代,无需维护的蓄电池使用寿命更长,不久的将来会代替原有的蓄电池。

## 第二节 蓄电池的结构和型号规则

### 一、起动型蓄电池的构造

蓄电池的构造如图1-2所示。它由三个或六个单格电池串联组成,每个单格电池的额定电压为2 V,串联成6 V或12 V的蓄电池总成。图1-3为单格蓄电池的构造。

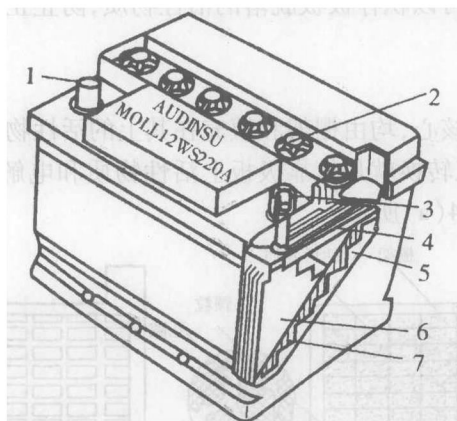


图1-2 蓄电池的构造

1-负极桩 2-加液孔塞 3-正极桩 4-电解液液面标记 5-负极板 6-正极板 7-隔板

蓄电池内部主要由壳体、正负极板、隔板、电解液、联条和极桩等组成。

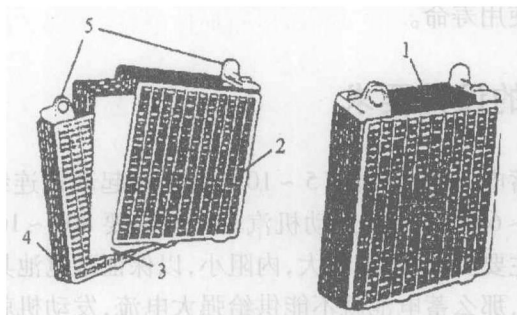


图 1-3 单格电池的构造

1 - 组装完的单格电池 2 - 负极板组 3 - 隔板 4 - 正极板组 5 - 极板联条

## 1. 壳体(又称容器)

壳体是用来盛装电解液和正负极板的,应由耐酸、耐热、耐振、绝缘性好并且具有一定机械强度的材料制成。壳体材料有硬橡胶和聚丙烯塑料两种。塑料壳体不仅耐酸、耐热、耐振,而且壳壁薄(壁厚约2 mm,硬橡胶壳体一般为5 mm)、质量轻、易于热封合、外形美观、成本低、生产效率高,因此目前国内外都已普遍采用。

壳体为整体式结构,壳内又分成三个或六个互不相通的单格电池槽。壳体的顶部有同材质的蓄电池盖,每一个单格电池盖上有三个小孔,中间较大的为加液孔,平时用孔盖拧紧,盖上有通气孔与外界大气相通,以便排出化学反应产生的氢气和氧气,防止壳体胀裂或发生爆炸事故;外侧的两个小孔是极桩孔,为焊接极桩之用。壳体底部制有凸起的筋条用来搁置极板组。筋条之间的空隙可以积存极板脱落的活性物质,防止正、负极板短路。

## 2. 正负极板

正负极板是蓄电池的核心,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的硫酸的化学反应来实现的,正负极板如图1-4(a)所示。

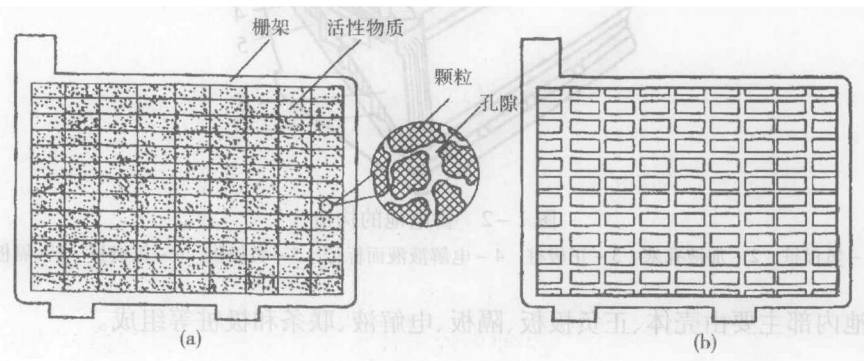


图 1-4 极板及极板栅架

(a) 极板 (b) 栅架

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,如图1-4(b)所示。铅锑合金中,含锑量为6%~8.5%,加锑的目的是为了提高栅架的机械强度并改造



浇铸性能。但锑有副作用,它会加速氢的析出而加速电解液中蒸馏水的消耗,还易从正极板栅架中解析出来而引起蓄电池自放电和栅架的膨胀、溃烂,缩短蓄电池的使用寿命。因此,栅架的生产材料正向低锑(含锑量小于3%)甚至不含锑的铅钙合金发展。

经过处理后的正极板上的活性物质为二氧化铅( $\text{PbO}_2$ ),呈深棕色;负极板上的活性物质为海绵状纯铅( $\text{Pb}$ ),呈深灰色。为了防止负极板上活性物质的收缩,增加其多孔性,常在负极板的铅膏中加入少量腐植酸、硫酸钡、松香等添加剂。同时还在铅膏中加入天然纤维或合成纤维,以防止极板上活性物质的脱落和裂纹。

在单格电池中,负极板的数量总是比正极板的数量多一片,因此,安装后正极板处于负极板之间,使其两侧放电均匀,否则,由于正极板的机械强度差,单面工作会使两侧活性物质体积变化不一致而造成极板拱曲。将一片正极板和一片负极板浸入电解液中,便可以获得2 V的电动势。为了增大蓄电池的容量,可将多片的正、负极板分别关联,用横板焊接,组成正、负极板组,放在单格电池槽内,同时,极板的厚度应尽量薄些,目前国内外大都采用活性极板,厚度一般为1.1~1.15 mm(正极板比负极板稍厚)。

### 3. 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,但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,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通过,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。

### 4. 电解液

电解液由纯净的化学硫酸和蒸馏水按一定的比例配置而成,密度一般为 $1.22 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$ 。电解液的纯度是影响蓄电池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标准的专用硫酸和蒸馏水。工业硫酸和一般的水(水中铜、铁杂质较多)会加速电解液的自放电,故不能用于蓄电池。

### 5. 联条

蓄电池各单格电池之间均用铅质联条串联,早期生产的蓄电池采用外露式连接方式,其联条设在盖上,如图1-5(a)所示。这种连接方式目前正在被穿壁式连接方式所替代。穿壁式连接方式是在相邻单格电池的隔壁上打孔供联条穿过,将两个单格电池的极板组焊接在一起,如图1-5(b)所示。穿壁式连接方式设置在蓄电池内部,具有连接短、省材料、电阻小等优点。

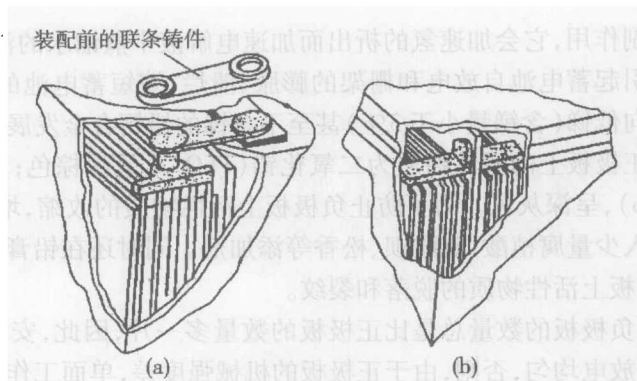


图 1-5 蓄电池的联条  
(a) 传统外露式样 (b) 穿壁式

## 6. 极桩

极桩分为正极桩和负极桩,正极桩用“+”符号表示,其周围涂上颜色。负极桩用“-”符号表示,一般不涂颜色。极桩是用铅锑合金浇铸的,呈上小下大的锥台型,另外一种 L 型极桩,它们的作用是将正负极板组连接或外接电路导线之用,规格形状如图 1-6 所示。

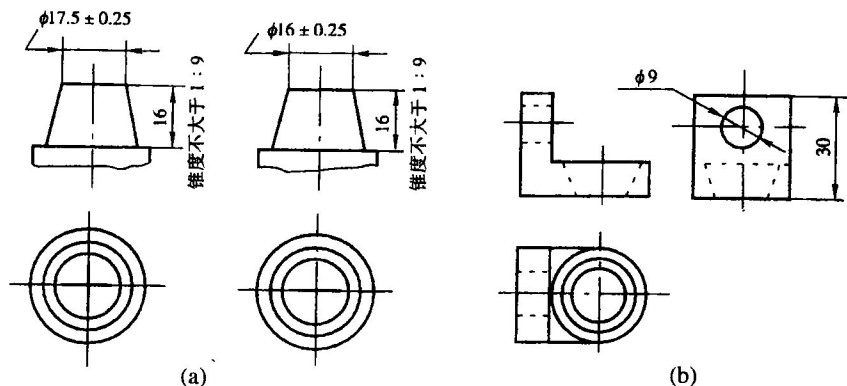


图 1-6 连接极桩的形状及规格  
(a) 锥台型 (b) L 型

## 二、起动型蓄电池的连接方法

现在汽车一般配用一个额定电压和容量的蓄电池就能满足汽车用电设备的要求,不必考虑蓄电池的连接方法,如 CA1091、EQ1090 等汽车只安装一个额定电压为 12 V 的蓄电池。

有的汽车为了满足汽车系统的额定电压和容量,要用串联的方法将两个 6V 蓄电池串联起来,额定电压成为 12 V。也有的汽车为了增大供电的容量,采用并联的方法将两个蓄电池连接起来,如红旗 CA770A 型轿车。

蓄电池在使用中遇到紧急情况时,可以用其他型号的蓄电池灵活替代应用。如东风 EQ1090 汽车的 6—Q—105 型号蓄电池可以用两个 3—Q—105 型蓄电池串联代用。



### 三、起动型蓄电池的规格型号

根据原机械工业部 JB2599-85《蓄电池产品型号编制方法》规定,蓄电池型号由三部分组成,各部分之间用“—”分开,其内容及排列如下:

(1)                      (2)                      (3)                      (4)                      (5)  
串联单格电池数      —      蓄电池类型      蓄电池特征      —      额定容量      特殊性能

(1) 串联单格电池数:用阿拉伯数字表示。

(2) 蓄电池类型:根据主要用途划分,如起动型蓄电池用“Q”表示,摩托车用蓄电池用“M”表示。

(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。如干荷电式电池用“A”表示;免维护蓄电池用“W”表示。

(4) 额定容量:指 20 h 放电时的额定容量,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”表示薄型极板的高起动率电池,“S”表示采用工程塑料外壳、电池盖及热封工艺的蓄电池,表 1-1 所示的是常见的蓄电池特征代号。

表 1-1 蓄电池特征代号

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

型号举例:

(1) 6—QW—180 型蓄电池,表示由六个单格电池组成,额定电压为 12 V,额定容量为 180  $A \cdot h$  的起动型免维护蓄电池。

(2) 6—Q—105 型蓄电池,表示由六个单格电池组成,额定电压为 12 V,额定容量为 105  $A \cdot h$  的起动型蓄电池。

(3) 6—QA—60 型蓄电池,表示由六个单格电池组成,额定电压为 12 V,额定容量为 60  $A \cdot h$  的起动型干荷电式蓄电池。

常用蓄电池的品种规格如表 1-2 所示。



表 1-2 常用蓄电池品种规格

| 序号 | 额定电压<br>/V | 20h 额定容量<br>/A·h | 储备容量<br>$t_p/\text{min}$ | 起动电流<br>$I_s/\text{A}$ | 最大外形尺寸/mm |      |      |
|----|------------|------------------|--------------------------|------------------------|-----------|------|------|
|    |            |                  |                          |                        | 长(L)      | 宽(B) | 高(H) |
| 1  | 12         | 30               | 43                       | 120                    | 187       | 127  | 227  |
| 2  | 12         | 35               | 52                       | 144                    | 197       | 129  | 227  |
| 3  | 12         | 40               | 59                       | 160                    | 238       | 138  | 235  |
| 4  | 12         | 45               | 67                       | 180                    | 238       | 129  | 227  |
| 5  | 12         | 50               | 76                       | 200                    | 260       | 173  | 235  |
| 6  | 12         | 60               | 94                       | 240                    | 270       | 173  | 235  |
| 7  | 12         | 70               | 113                      | 280                    | 310       | 173  | 235  |
| 8  | 12         | 75               | 123                      | 300                    | 310       | 173  | 235  |
| 9  | 12         | 80               | 133                      | 321                    | 310       | 173  | 235  |
| 10 | 12         | 90               | 154                      | 315                    | 380       | 177  | 235  |
| 11 | 12         | 100              | 175                      | 350                    | 410       | 177  | 235  |
| 12 | 12         | 105              | 187                      | 368                    | 450       | 177  | 250  |
| 13 | 12         | 120              | 223                      | 420                    | 513       | 189  | 260  |
| 14 | 12         | 135              | 260                      | 405                    | 513       | 189  | 260  |
| 15 | 12         | 150              | 300                      | 450                    | 513       | 223  | 260  |
| 16 | 12         | 165              | 342                      | 495                    | 513       | 223  | 260  |
| 17 | 12         | 180              | 386                      | 540                    | 513       | 223  | 260  |
| 18 | 12         | 195              | 423                      | 585                    | 517       | 272  | 260  |
| 19 | 12         | 200              | 441                      | 600                    | 521       | 278  | 270  |
| 20 | 12         | 210              | 450                      | 630                    | 521       | 278  | 270  |
| 21 | 12         | 220              | 460                      | 660                    | 521       | 278  | 270  |

### 第三节 蓄电池的工作原理与特性

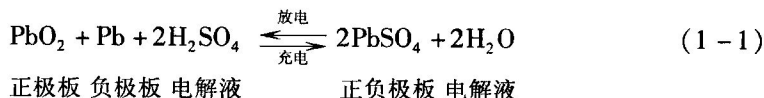
自 1859 年法国科学家加斯顿普莱特发明蓄电池以来,关于蓄电池化学反应过程有各种不同的理论,一般认为格拉斯顿和特拉普于 1882 年创立的双级硫酸盐化理论(简称双硫化理论)能较确切地说明蓄电池的化学反应过程。

#### 一、蓄电池的工作过程

根据双硫化理论,蓄电池正极板上的活性物质是二氧化铅( $\text{PbO}_2$ ),负极板上的是海绵状



纯铅(Pb),电解液是硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )的水溶液。当蓄电池和负载扫通放电时,正极板上的二氧化铅和负极板上的铅都将转变成硫酸铅( $\text{PbSO}_4$ ),电解液中的硫酸减少,密度下降。当蓄电池接通直流电源充电时,正、负极板上的硫酸铅将分别恢复成原来的二氧化铅和纯铅,电解液中的硫酸增加,密度增大。如果略去化学反应的中间过程,其化学反应方程式可用下式表示:

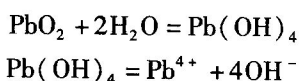


## 二、蓄电池的工作原理

### 1. 电动势的建立

蓄电池的电动势是正、负极板浸入电解液后产生的。当极板进入电解液时,在负极板处,有少量铅溶入电解液下,生成  $\text{Pb}^{2+}$ ,在极板上留下两个电子  $2e$ ,使极板带负电,此时极板相对于电解液具有 0.1 V 的负电位。

在正极板处,少量  $\text{PbO}_2$  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:



一部分  $\text{Pb}^{4+}$  沉淀在正极板上,使极板呈正电位,约为 +2.0 V。因此,当外电路未接通时蓄电池的静止电动势  $E_0$  约为:

$$E_0 = 2.0 - (-0.1) = 2.1\text{V} \quad (1-2)$$

### 2. 蓄电池的放电过程

蓄电池接上负载,在电动势的作用下,电流  $I_f$  从正极经过负载流向负极(即电子从负极移动到正极),使正极电位降低,负极电位升高,破坏了原有的平衡。放电过程的化学反应过程如图 1-7 所示。

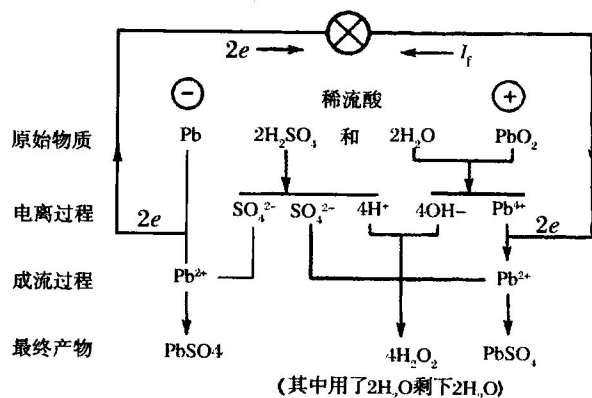
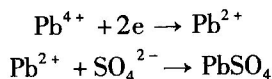


图 1-7 蓄电池的放电过程

正极板处,  $\text{Pb}^{4+}$  和电子结合, 变成二价铅离子  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  与电解液中的  $\text{SO}_4^{2-}$  结合生成  $\text{PbSO}_4$  沉附于极板上, 即:



在负极板处,  $\text{Pb}^{2+}$  与电解液中  $\text{SO}_4^{2-}$  的结合也生成  $\text{PbSO}_4$ , 沉附在负极板上。极板上的金属铅继续溶解, 生成  $\text{Pb}^{2+}$  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  $\text{PbO}_2$  和负极板上的  $\text{Pb}$  都逐渐变为  $\text{PbSO}_4$ , 电解液中  $\text{H}_2\text{SO}_4$  逐渐减少而水逐渐增多, 故电解液的密度下降。

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, 使用中所谓的放完电的蓄电池, 只有 20% ~ 30% 的活性物质转变成了硫酸铅, 这是因为电解液不可能充分渗透到极板内层。因此, 采用薄型极板并增加极板的多孔率以提高活性物质利用率。

### 3. 蓄电池的充电过程

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, 在电源力的作用下, 电流从蓄电池正极流入, 负极流出 (即驱使电子从负极经外电路流入正极), 这时正、负极板间发生的反应正好与放电过程相反, 其化学过程如图 1-8 所示。

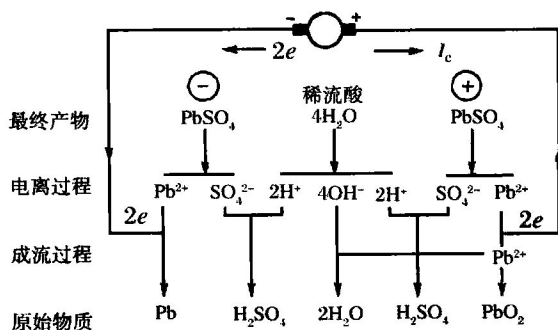
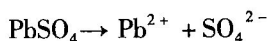
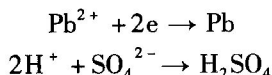


图 1-8 蓄电池的充电过程

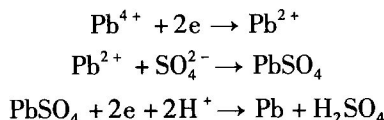
在负极板处有少量的  $\text{PbSO}_4$  进入电解液中, 离解为  $\text{Pb}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 即:



$\text{Pb}^{2+}$  在电源的作用下获得两个电子变成金属  $\text{Pb}$ , 沉附于极板上。而  $\text{SO}_4^{2-}$  则与电解液中的  $\text{H}^+$  结合, 生成硫酸, 即:



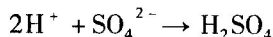
负极板上总的化学反应为:



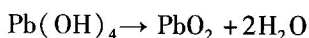
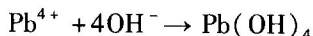
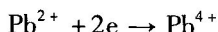
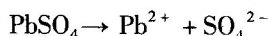
正极板处, 也有少量  $\text{PbSO}_4$  进入电解液中, 离解为  $\text{Pb}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  在电源作用下失



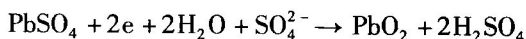
去两个电子变为  $\text{Pb}^{4+}$ ,  $\text{Pb}^{4+}$  与电解液中水离解出来的  $\text{OH}^-$  结合, 生成  $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_4$  分解为  $\text{PbO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 而  $\text{SO}_4^{2-}$  则与电解液中  $\text{H}^+$  的结合生成硫酸



其反应式如下:

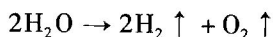


正极板上总的反应为:



可见, 在充电过程中, 正、负极板上的  $\text{PbSO}_4$  将逐渐恢复为  $\text{PbO}_2$  和  $\text{Pb}$ , 电解液中的硫酸成分逐渐增多, 水逐渐减少。

充电终期, 电解液密度将升到最大值, 且会引起水的电解, 水电解的化学反应式为:



### 三、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、内阻、充电特性、放电特性和容量。

#### 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)时, 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密度及温度有关, 在其密度范围内, 可由下述公式近似计算:

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25^\circ\text{C}} \quad (1-3)$$

式中,  $\rho_{25^\circ\text{C}}$  为  $25^\circ\text{C}$  时的电解液密度。

实测所得电解液密度应按下式换算成  $25^\circ\text{C}$  时的密度:

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + \rho(t - 25) \quad (1-4)$$

式中,  $\rho_t$ ——实测电解液的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

$t$ ——实测电解液的温度。

$\beta$ ——密度温度系数 ( $\beta = 0.0007$ ), 即温度每升高  $1^\circ\text{C}$ , 密度降低  $0.0007 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

汽车用蓄电池的电解液相对密度在充电时升高, 放电时下降, 一般在  $1.12 \sim 1.30 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间波动, 因此其静止电动势也相应地在  $1.97 \sim 2.15 \text{ V}$  之间变化。

#### 2. 蓄电池内阻

蓄电池的内阻大小反应了蓄电池带负载能力。在相同的条件下, 内阻越小, 输出的电流越大, 带负载能力越强。蓄电池的内阻包括极板内阻、隔板内阻、电解液内阻、联条内阻和极桩内阻。