

汽车电器设备与维修技术

主 编 熊新



中南大学出版社

汽车电器设备与维修技术

主 编 熊 新

副主编 张建峰 提 艳 王 健 石小龙

参 编 郑竹安 刘绍娜



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器设备与维修技术/熊新主编. —长沙: 中南大学出版社,
2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5487 - 2384 - 4

I. 汽... II. 熊... III. 汽车 - 电器设备 - 车辆维修 - 高等学校 -
教材 IV. U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 168497 号

汽车电器设备与维修技术

主编 熊 新

-
- ☐责任编辑 刘颖维
☐责任印制 易红卫
☐出版发行 中南大学出版社
社址: 长沙市麓山南路 邮编: 410083
发行科电话: 0731-88876770 传真: 0731-88710482
☐印 装 长沙鸿和印务有限公司
-

- ☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 15.5 ☐字数 394 千字
☐版 次 2016 年 8 月第 1 版 ☐印次 2016 年 8 月第 1 次印刷
☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2384 - 4
☐定 价 30.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

应用型本科院校汽车服务工程专业“十三五”规划教材
学术委员会

主 任

张国方

专 家

(按姓氏笔画排序)

邓宝清	孙仁云	张敬东	李翔晟
苏铁熊	胡宏伟	徐立友	简晓春
鲍 宇	倪骁骅	高俊国	

应用型本科院校汽车服务工程专业“十三五”规划教材

编委会

主 任

张国方

副主任

(按姓氏笔画排序)

于春鹏	王志洪	邓宝清	付东华
汤 沛	邬志军	李军政	李晓雪
胡 林	赵 伟	高银桥	尉庆国
龚建春	蔡 云		

前 言

汽车电器是汽车的重要组成部分之一，其性能的好坏直接影响汽车的安全性、舒适性等各项性能。随着汽车工业的迅速发展，汽车新技术、新工艺的开发与应用不断加快，汽车电器设备也在不断地改进、发展，这就对现代交通现代化建设需要的汽车类专业人才提出了更高的要求。为了培养厚基础、宽口径的汽车类专业人才，以适应市场人才知识结构的需求，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《汽车电器设备与维修技术》。

本书共7章，全面、系统地阐述了汽车电器设备在车辆上的应用情况。其中，第1章至第6章着重讲授汽车电源系统、交流发电机、启动系统、点火系统、照明与信号系统、汽车仪表及指示灯系统、车身与辅助电器设备，以及以上部分内容的检测与维修。第7章重点讲授汽车电器系统配电装置及总线路图，包括汽车电器线路故障的检测与诊断。本书条理清晰、层次分明、语言简练、图文并茂、重点突出、特别注重理论与实践的紧密结合，内容具有极强的针对性和实用性，着重于培养和提高学生的电路分析和应用能力，是一本具有鲜明特色的实用型规划教材。

本书由熊新(盐城工学院)主编。具体编写情况为：熊新编写第1章、第2章、第6章；张建峰(南通理工学院)编写第3章、第4章；提艳(盐城工学院)编写第5章、第6章；王健(山东交通学院)编写第6章；石小龙、郑竹安、刘绍娜(盐城工学院)编写第7章。全书由熊新负责统稿，由倪骁骅负责审稿。本书的编写得到了赵日成、黄元宵同学的帮助，在此深表谢意。

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

限于编者的水平，书中差错、疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2016年5月

目 录

第1章 蓄电池	(1)
1.1 蓄电池的结构及工作原理	(1)
1.2 蓄电池的工作特性	(6)
1.3 蓄电池的使用与维护	(10)
1.4 改进型蓄电池	(13)
1.5 车用交流发电机的构造、工作原理及特性.....	(16)
1.6 电压调节器	(24)
1.7 充电指示灯电路	(30)
1.8 汽车新型电源	(33)
1.9 汽车电源系统的使用与维修	(35)
思考题	(40)
第2章 启动机	(41)
2.1 概述	(41)
2.2 直流串励式电动机	(42)
2.3 电动汽车交流感应电机	(46)
2.4 电动汽车永磁同步电机	(48)
2.5 启动机的传动结构	(50)
2.6 新型启动机	(54)
2.7 启动机的使用及故障检修	(58)
思考题	(61)
第三章 点火系统	(62)
3.1 汽车对点火系的要求	(62)
3.2 点火系的分类	(66)
3.3 点火系的组成及工作原理	(67)
3.4 点火系的主要部件	(74)
3.5 点火系故障诊断和维修	(87)
思考题	(97)

第4章 汽车照明、信号系统	(98)
4.1 汽车照明系统概述	(98)
4.2 汽车前照灯	(99)
4.3 汽车信号灯概述	(103)
4.4 汽车照明与信号系统的维护、检修	(112)
思考题	(113)
第5章 汽车仪表及指示灯系统	(114)
5.1 仪表板总成	(114)
5.2 汽车电器仪表	(118)
5.3 汽车电子仪表及显示装置	(129)
5.4 组合式仪表	(144)
5.5 汽车仪表故障诊断	(146)
思考题	(158)
第6章 车身与辅助电器设备	(159)
6.1 电动刮水器和风窗玻璃洗涤器	(159)
6.2 电动辅助装置	(165)
6.3 汽车低温启动预热装置	(175)
6.4 汽车空调系统	(178)
6.5 汽车电器设备系统的故障诊断与检测	(196)
思考题	(215)
第7章 汽车电器系统配电装置及总线路	(216)
7.1 汽车电器线路的组成和特点	(216)
7.2 汽车电器配电器件	(217)
7.3 汽车电路的表达及分析方法	(228)
7.4 汽车电器线路故障的检测与诊断	(234)
思考题	(238)
参考文献	(239)

第1章 蓄电池

内燃机汽车电源系统的组成包括蓄电池、发电机及调节器等,如图1-1所示。发电机是汽车的主要电源,在发动机正常工作的情况下,汽车的用电设备主要靠发电机供电;同时,当蓄电池存电不足时,发电机又是蓄电池的充电电源。汽车早期使用的是直流发电机。随着现代汽车动力性、安全性、舒适性的提高,用电设备的数量及功率都日趋增大,相应地对发电机的容量、性能指标要求也越来越高。因此传统的直流发电机已经完全被硅整流发电机取代。电压调节器的作用是使发电机的输出电压保持恒定。本章主要介绍铅酸蓄电池(以下简称蓄电池)、交流发电机与调节器。

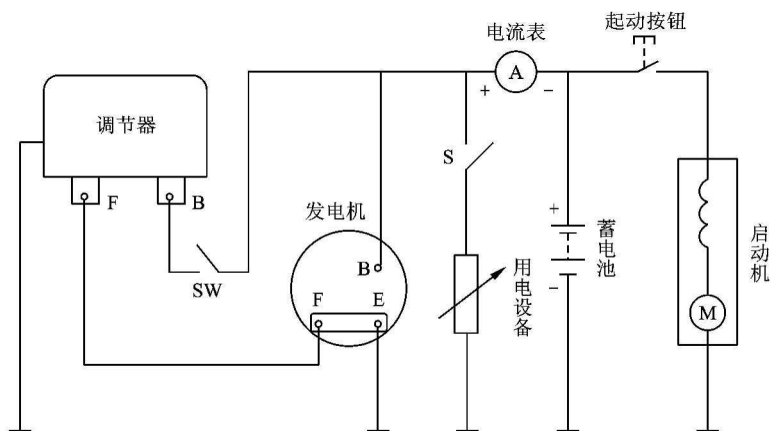


图1-1 内燃机汽车电源系统的组成

1.1 蓄电池的结构及工作原理

电能可由多种形式的能量转化得来,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称为原电池,也称为一次性电池。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,也称为二次电池。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电压还是能量都相对较低,因此应用范畴受到局限。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路连接方式(并联、串联)组合起来的直流电源装置。本节介绍的蓄电池就属于二次电池。

1.1.1 蓄电池的结构及型号

1. 蓄电池的结构

一般的蓄电池是由正、负极板,隔板,壳体,电解液和接线桩头等组成的,其结构如图1-2所示,其放电的化学反应是依靠正极板活性物质(二氧化铅)和负极板活性物质(海绵状纯铅)在电解液(硫酸溶液)的作用下进行。

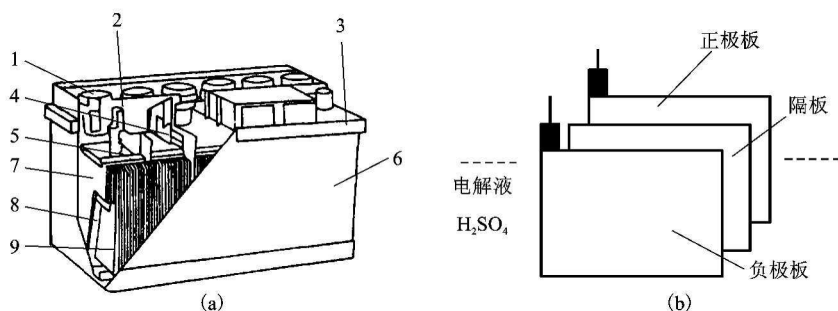


图 1-2 蓄电池的结构示意图

(a) 蓄电池结构图; (b) 蓄电池基本结构

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。蓄电池的充放电是通过正、负极板上的活性物质与电解液中的硫酸进行化学反应来实现的。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纯铅(Pb),呈青灰色,海绵状。正、负极板的活性物质2分别填充在铅锑合金铸成的栅架1上(图1-3),加入锑的目的是提高栅架的机械强度和浇铸性能。但锑有一定的副作用,锑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1.8 mm,正极板的厚度为2.2 mm。

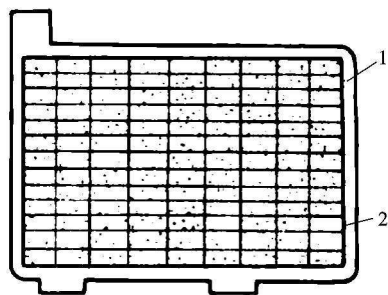


图 1-3 极板

1—栅架; 2—活性物质

(2) 隔板

为了减小蓄电池的内阻和尺寸,蓄电池的正、负极板应尽量靠近,但为了避免彼此接触短路,正、负极板之间要用隔板隔开[图1-2(b)]。隔板处在正极板和负极板之间,必须允许离子自由通过而保持电荷平衡(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。使用袋式隔板时,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。

(3) 壳体

蓄电池的外壳是用来盛放电解液和极板组的,应耐酸、耐热和耐振,早期多用硬橡胶制成。目前国内已开始生产聚丙烯塑料外壳,这种壳体不但具有硬橡胶壳体的优点,而且强度高、壳体壁较薄(一般为 3.5 mm,而硬橡胶壳体壁厚为 10 mm)、质量轻、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、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

蓄电池的电解液是稀硫酸溶液;胶体蓄电池的电解质是由一定浓度的硫酸和硅凝胶组成的胶体电解质。电解质在蓄电池中的作用是参与电化学反应,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,其相对密度一般为 $1.24 \sim 1.31 \text{ g/cm}^3 (15^\circ\text{C})$ 。密度过低,冬季易结冰;密度过高,电解液黏度增加,蓄电池内阻增大,同时会加速极板的腐蚀而缩短使用寿命。

(5) 链条

车用 12 V 蓄电池的 6 个单格电池之间的连接方法有两种:一种是用装在盖上面的铅质链条串联起来,链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的连接方式。

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“-”号或涂黑色、蓝色、绿色等。

(6) 加液孔盖

加液孔盖可防止电解液溅出,上有通气孔,便于排出蓄电池内的氢气和氧气,以免发生事故;还可以避免水蒸气的溢出,减少水的消耗。

2. 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,蓄电池型号由串联的单格蓄电池数、蓄电池类型、蓄电池特征、额定容量四部分组成,型号采用汉语拼音及阿拉伯数字表示。

①串联的单格蓄电池数指一电池组中包含的单格电池数,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,如启动蓄电池代号为 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 1-1 中的代号标示,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示,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示。

表 1-1 蓄电池特征代号

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

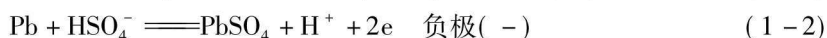
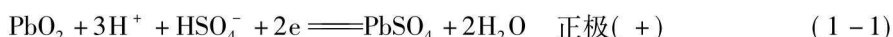
④额定容量是指 20 h 放电率额定容量, 单位为 $A \cdot h$, 用阿拉伯数字表示。

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 12 V, 额定容量为 60 $A \cdot h$, 采用塑料外壳的干荷电启动型蓄电池。

1.1.2 蓄电池的工作原理

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, 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。电池在静置(开路)状态, 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。蓄电池负极和正极平衡电极反应式如下



从式(1-1)可知自左至右的反应是放电, PbO_2 以极大速率吸取外来电路的电子, 并以低价 Pb^{2+} 的形式与电极表面的 HSO_4^- 形成 $PbSO_4$ 覆盖在电极表面。自右至左反应是充电, 在外电源作用下 Pb^{2+} 释放电子并与电解液作用生成 PbO_2 。

从式(1-2)可知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, Pb^{2+} 还夺取电解液中的 HSO_4^- 而生成 $PbSO_4$; 自右至左是充电反应, 电极表面上 Pb^{2+} 以最大速率夺取外来电子, 使 $PbSO_4$ 恢复为活性物质 Pb 。

合并式(1-1)和式(1-2)即电池的充放过程的电化学反应。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 1-4 所示。



1. 蓄电池的放电过程

当外电路接上负载后, 蓄电池在正、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 1-5 所示。电池向外电路输送电流的过程, 称为放电。

从式(1-3)的放电反应可知, 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。

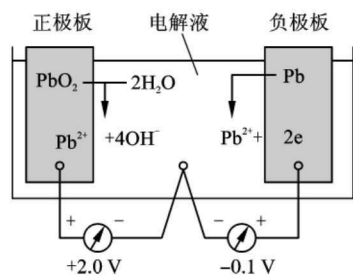


图 1-4 静止电动势的建立过程

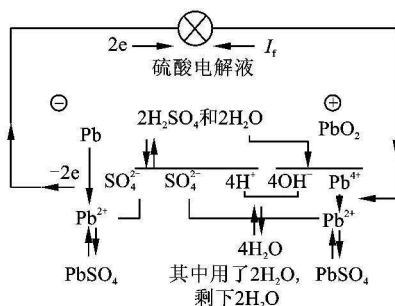


图 1-5 蓄电池的放电过程

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、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、负极板上的 PbSO_4 不断地进入电解液而被游离，因此在电池内部产生如图 1-6 所示的化学反应。

从式（1-3）的充电反应看出，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。

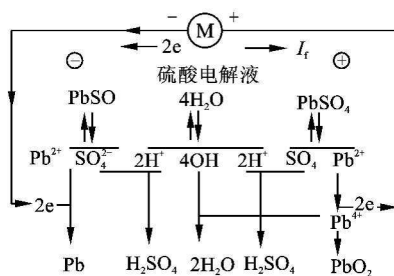


图 1-6 蓄电池的充电过程

1.1.3 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 上的电压降。
- ⑤终止电压：电池在标准规定的放电条件下放电时，电池的电压将逐渐降低，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：根据蓄电池活性物质的特性和法拉第定律计算出的最高理论值，一般用质量容量（Ah/kg）或体积容量（Ah/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安·时（A·h）值，只表明电池的容

量范围,不是确切值。因为在没有指定放电条件下,电池的容量是无法确定的。

④额定容量(保证容量):在一定标准所规定的放电条件下的容量。

⑤充电状态:指参加反应电池容量的变化。

3. 能量

①标称能量:在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阻力,使电池的电压降低,此阻力称为电池的内阻。由于电池的内阻作用,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不断充电→放电→充电→放电的循环过程,按一定的规定标准放电,当电池的容量降到某一个规定值时,就要停止继续放电,然后就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。

1.2 蓄电池的工作特性

1.2.1 蓄电池的基本工作特性

蓄电池的基本工作特性主要包括蓄电池的电动势、内阻以及充放电特性。

静止电动势是指蓄电池在静止状态(不充电也不放电),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。

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、链条和极柱电阻的总和,用 R_0 表示。

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_f 和电解液相对密度 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 随放电时间而变化的规律。图 1-7 表示为 6-QA-60 型干荷蓄电池以 3 A 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_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恒定,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

$$U_f = E - I_f R_0 \quad (1-4)$$

式中: U_f 为放电时的端电压, V; E 为电动势, V; I_f 为放电电流, A; R_0 为蓄电池的内阻, Ω 。

放电开始时, 端电压从 2.14 V 迅速下降到 2.1 V, 接着在较长时间内缓慢地下降到 1.85 V 左右, 随后又迅速下降到 1.75 V, 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 1.98 V。

端电压的变化规律可分为以下三个阶段:

①开始放电阶段。放电开始时, 极板孔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隙外向孔隙内补充硫酸的速度达到动态平衡时, 孔隙内外密度差将基本保持一定。这时孔隙内的电解液密度将随孔隙外的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 PbO_2 和 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, 当放电极近终了时, 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 1.75 V)。

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	20 h	10 h	3 h	25 min	4.5 min
单个电池终止电压/V	1.75	1.70	1.65	1.55	1.50

注: C_{20} 为蓄电池的额定容量。

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 3 A 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 $I_c R_0$ 。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

$$U_c = E - I_c R_0 \quad (1-5)$$

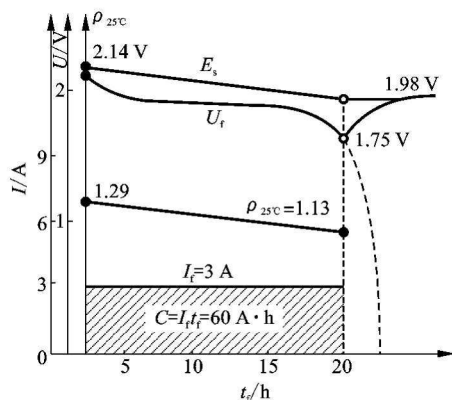


图 1-7 恒流放电特性曲线

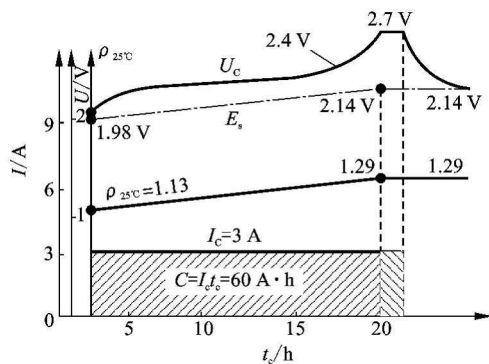


图 1-8 恒流充电特性曲线

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。 U_c 的变化规律是: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 2.4 V 左右;最后,电压又迅速上升到 2.7 V 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,孔隙内迅速生成硫酸,使孔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。当孔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 2.4 V 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 PbO_2 和 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 2.7 V 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。

若电池在使用中,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 2 h 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,孔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。

蓄电池充电終了的特征是:

- ①端电压和电解液密度上升到最大值,且 2 h 内不再上升。
- ②电解液中剧烈地冒气泡,呈现出“沸腾”状态。

1.2.3 蓄电池的容量及影响因素

1. 蓄电池的容量

蓄电池的容量是指在规定条件下蓄电池对外供电的能力,通常表示为蓄电池恒流放电情况下放电电流与放电时间的乘积,即

$$C = I_f t_f \quad (1-6)$$

式中: C 为蓄电池的容量, $A \cdot h$; I_f 为恒流放电电流, A ; t_f 为放电时间, h 。

蓄电池的标称容量有两种:

(1) 额定容量

额定容量是指完全充足电的蓄电池在电解液平均温度为 25℃ 的情况下, 以 20 h 放电率放电的电流(相当于额定容量的 1/20) 连续放电至单格电压降为 1.75 V 时所输出的电量, 一般用 C 或 C_{20} 表示。

例如, 3-Q-90 型蓄电池在电解液平均温度为 25℃ 时, 以 4.5 A 放电电流连续放电 20 h, 单格电压降为 1.75 V, 其额定容量 $C = 4.5 \times 20 = 90 \text{ A} \cdot \text{h}$ 。

(2) 启动容量

启动容量表示蓄电池接启动机时的供电能力, 有常温和低温两种启动容量。

①常温启动容量。常温启动容量, 即电解液温度为 25℃ 时, 以 5 min 放电率放电的电流(3 倍额定容量的电流) 连续放电至规定终止电压(12 V 蓄电池为 9 V) 时所输出的电量, 其放电持续时间应在 5 min 以上。例如, 3-Q-90 型蓄电池在 25℃ 时, 以 270 A 电流放电 5 min, 电池的端电压降到 4.5 V, 其启动容量为 $270 \times 5/60 = 22.5 (\text{A} \cdot \text{h})$ 。

②低温启动容量。低温启动容量, 即电解液温度为 -18℃ 时, 以 3 倍额定容量的电流连续放电至规定终止电压(6 V 蓄电池为 3 V, 12 V 蓄电池为 6 V) 时所输出的电量, 其放电持续时间应在 25 min 以上。

2. 蓄电池容量的影响因素

蓄电池的容量不是一个固定不变的常数, 而与很多因素有关。除了活性物质数量、极板的厚薄、活性物质的孔率与生产工艺及产品结构有关的因素外, 主要的影响因素是使用条件, 如放电电流、电解液温度和电解液相对密度等。

(1) 放电电流

若放电电流过大, 则极板表面活性物质的孔隙会很快被生成的 PbSO_4 堵塞, 使极板内层活性物质不能参加化学反应, 故蓄电池容量减小。

(2) 电解液的温度

若温度降低, 容量则会减小, 这是因为温度降低后, 电解液的黏度增加, 深入极板内部困难, 同时内阻增大, 蓄电池端电压下降所致。由于温度对蓄电池端电压和容量均有较大影响, 所以在寒冷地区要特别注意蓄电池的保温。通常情况下不同温度下的额定容量可按式(1-7) 计算。

$$C_{25^\circ\text{C}} = C_t [1 - k(t - 25)] \quad (1-7)$$

式中: $C_{25^\circ\text{C}}$ 为换算至 25℃ 的容量; C_t 为电解液温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的实际容量; k 为容量的温度系数, 取 0.01; t 为电解液的温度, $^\circ\text{C}$ 。

(3) 电解液的密度

适当增加电解液的密度, 可以提高蓄电池的电动势和容量, 减小内阻; 但密度过大, 又将导致黏度增加和内阻增大, 反而使容量减小。一般情况下, 采用密度偏低的电解液有利于提高放电电流和容量, 同时也有利于延长蓄电池的使用寿命。蓄电池电解液的密度, 应根据用户所在地区的气候条件不同而异, 冬季使用的电解液, 在不致结冰的条件下, 应尽可能使用密度稍低的电解液。

(4) 电解液的纯度

电解液的纯度对蓄电池的容量有很大的影响, 因此电解液应用化学纯硫酸和蒸馏水配置。