



广东省高等教育自学考试指定教材

CHANG YONG DIAN QI SHE BEI DE WEI XIU

# 常用电器设备的维修

广东省自学考试委员会组编

洪添胜 主编



广东高等教育出版社

广东省高等教育自学考试指定教材

# 常用电器设备的维修

广东省自学考试委员会组编

主编：洪添胜

参编：王贵恩 赖荣光

宋淑然 张铁民

广东高等教育出版社

·广州·

## 内容提要

本书首先系统地介绍了常用电器设备,包括常用电源、常用电工工具和量具、常用电工材料和常用电工仪表的使用与维修的基础知识;然后详细地介绍常用电器设备,包括常用低压电器、交流异步电动机、变压器、直流电动机和电焊机的结构、使用、故障诊断和维修技术;最后简要地介绍了特种电器,包括潜水电动机、步进电动机、通用变频器和超声波电动机的结构与维护知识。

本书的特点是:有基础知识和新知识,还有实用技术,图文并茂,通俗易懂,便于自学。它适合于高等教育自学考试人员学习使用,也可作为电器设备维修工程技术人员的培训教材和电器设备爱好者的自学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

常用电器设备的维修/洪添胜主编.—广州:广东高等教育出版社,2001.10  
ISBN 7-5361-2627-1

I. 常… II. 洪… III. 电器—维修 IV. TM507

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065546 号

广东高等教育出版社出版发行

地址:广州市广州大道北广州体育学院 20 栋

邮码:510076 电话:(020) 87553782

东莞市粤高印刷厂印刷

787 mm×1 092 mm 16 开本 18.75 印张 433 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

印数:1~2 000 册

定价:33.00 元

## 组编前言

《中华人民共和国高等教育法》明确规定：“国家实行高等教育自学考试制度，经考试合格的，发给相应的学历证书或者其他学业证书。”“公民通过接受高等教育或者自学，其学业水平达到国家规定的学位标准，可以向学位授予单位申请授予相应的学位。”

由于高等、中专教育自学考试制度非常便利于在职和非在职人士通过自学提高自身科学文化素质、考取国家学历文凭，因此受到社会各界、港澳人士、台湾同胞和海外侨胞的热烈欢迎。广东省自1984年下半年开考自学考试以来，已有170多万人报名参加自学考试。

为了更好地贯彻、落实《中华人民共和国高等教育法》，进一步倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，使我省的自学考试事业“更上一层楼”，我们组织了各学科的专家、教授编写了具有广东特色又便于考生自学的自学考试教材和辅导书，以便考生更好地系统掌握学科知识，理论联系实际，提高运用知识解决实际问题的能力，早日成为国家的有用之才。

广东省自学考试委员会  
2000年7月

## 编者的话

电，是现代人们生活中不可缺少的能源，电器设备在各行各业和人们的日常生活中起着越来越重要的作用。掌握常用电器设备的结构、使用、维护和修理是电器设备工程技术人员和电器设备爱好者不可缺少的知识，它对于保障人民生命、财产和电器设备本身的安全，延长电器设备的使用寿命，节约电能，降低使用成本都具有重要的意义。随着科学技术的发展和社会的进步，新的电器设备层出不穷，电器技术人员必须不断了解和掌握新的电器设备的结构、使用与维修技术。

本书就是基于上述的背景条件和要求，结合广东省高等教育自学考试“农业机电工程”专业（专科）学员的学习需要而编写的。为了提高读者的学习效率、学习效果和便于自学，在每一章的开头有学习指导，指出本章学习的基本要求和重点；在每一章的结尾有小结，并有思考与练习题，以便巩固学习成果。

本书分为十章，其内容包括了常用电源、常用电工工具和量具、常用电工材料、常用电工仪表、常用低压电器的结构与维护、交流异步电动机的结构与维修、变压器的结构与维修、直流电动机的结构与维修、电焊机的结构与维护、特种电器设备的结构与维护。其中赖荣光编写第一章至第五章，王贵恩编写第六章至第九章，宋淑然编写第十章的第一节至第三节，张铁民编写第十章的第四节。全书由洪添胜组织编写，并由洪添胜统稿、修改和定稿，宋淑然也对本书作了部分修改。

在本书的编写过程中，得到了广东省高等教育自学考试办公室、华南农业大学工程技术学院和华南农业大学成人教育学院的关心和支持；华南师范大学赵端程教授认真审阅了本书稿，并提出了许多宝贵的意见；华南农业大学陈两文研究员对本书提出了有益的建议；在本书编写中，参考了有关的书籍和文献资料，值

此，我们对有关作者表示深深的感谢！

限于编者的水平和时间的仓促，本书中的错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2001年8月

# 目 录

<b>第一章 常用电源</b> .....	(1)
学习指导.....	(1)
第一节 蓄电池.....	(2)
第二节 小型移动式交流电源 .....	(19)
本章小结 .....	(29)
思考与练习 .....	(30)
<b>第二章 常用电工工具和量具</b> .....	(31)
学习指导 .....	(31)
第一节 电工专用工具 .....	(31)
第二节 常用量具 .....	(41)
本章小结 .....	(43)
思考与练习 .....	(44)
<b>第三章 常用电工材料</b> .....	(45)
学习指导 .....	(45)
第一节 电工材料的基本知识 .....	(45)
第二节 常用导线的连接 .....	(63)
本章小结 .....	(76)
思考与练习 .....	(76)
<b>第四章 常用电工仪表</b> .....	(77)
学习指导 .....	(77)
第一节 常用电工仪表的基本知识 .....	(78)
第二节 电流表和电压表 .....	(82)
第三节 模拟式万用表 .....	(86)
第四节 数字式万用表 .....	(92)
第五节 兆欧表 .....	(97)
第六节 功率表.....	(100)
第七节 电能表.....	(105)
本章小结.....	(109)
思考与练习.....	(109)

<b>第五章 常用低压电器的结构与维护</b> .....	(111)
学习指导.....	(111)
第一节 常用低压电器的分类.....	(111)
第二节 低压开关类电器.....	(113)
第三节 交流接触器.....	(119)
第四节 常用继电器.....	(124)
第五节 常用启动器.....	(129)
第六节 主令电器.....	(131)
第七节 低压熔断器.....	(134)
第八节 低压电器常见故障的检查与排除.....	(138)
本章小结.....	(142)
思考与练习.....	(143)
<b>第六章 交流异步电动机的结构与维修</b> .....	(144)
学习指导.....	(144)
第一节 交流异步电动机的结构.....	(145)
第二节 电动机的安装.....	(153)
第三节 电动机的操作及运行规程.....	(158)
第四节 电动机的日常维护及故障处理方法.....	(159)
第五节 电动机的维修工艺过程及方法.....	(162)
第六节 单相交流异步电动机的结构与维修.....	(174)
本章小结.....	(183)
思考与练习.....	(183)
<b>第七章 变压器的结构与维修</b> .....	(185)
学习指导.....	(185)
第一节 变压器的结构.....	(186)
第二节 变压器常见故障及排除方法.....	(188)
第三节 变压器的大修.....	(191)
第四节 变压器的试验.....	(192)
第五节 中小型变压器的维修.....	(202)
本章小结.....	(206)
思考与练习.....	(207)
<b>第八章 直流电动机的结构与维修</b> .....	(208)
学习指导.....	(208)
第一节 直流电动机的结构.....	(208)
第二节 直流电动机常见故障及排除方法.....	(213)



第三节 直流电动机的维修·····	(219)
第四节 直流电动机的试验·····	(228)
本章小结·····	(237)
思考与练习·····	(237)
<b>第九章 电焊机的结构与维护·····</b>	<b>(238)</b>
学习指导·····	(238)
第一节 常用电焊机的结构·····	(238)
第二节 直流电焊机的电源特性·····	(249)
第三节 电焊机常见故障及排除方法·····	(251)
本章小结·····	(254)
思考与练习·····	(254)
<b>第十章 特种电器设备的结构与维护·····</b>	<b>(255)</b>
学习指导·····	(255)
第一节 潜水电动机的使用与维护·····	(256)
第二节 步进电动机的使用与维修·····	(263)
第三节 通用变频器的使用与维护·····	(271)
第四节 超声波电动机简介·····	(284)
本章小结·····	(287)
思考与练习·····	(287)
<b>参考文献·····</b>	<b>(289)</b>

# 第一章 常用电源

随着电力工业的发展、供电网络的完善,电气事业得到了迅速的发展。我国广大地区普遍都用上了电,并且大多数都是由发电厂发出电,经过电网的升压、降压传送到变电所,再由变电所把电压升高、降低,并将电能分配到电力用户。工厂里既有动力设备(如电动机),又有照明设备,故工厂里不但有提供给动力设备用的三相交流电源,而且还有提供给照明设备用的单相交流电源,大多数设备的电动机采用三相交流电源,如工厂里的碾米机、打浆机等;而家用电器用得比较多的是单相交流电源,如日光灯、电视机、录音机、电风扇等。我国的单相交流电源电压是220 V, 50 Hz,有一些国家如美国用的单相交流电源电压是110 V, 60 Hz。

除市电之外,日常生活中还有一些其他形式的常用电源,本章主要介绍普通蓄电池和小型移动式交流电源。

## 学习指导

### 一、基本要求

- ① 理解蓄电池充放电的有关概念(端电压、电动势、电流、内阻、自行放电、过充电、过放电、容量等);
- ② 了解蓄电池的基本结构、充放电特性;
- ③ 掌握蓄电池的充电方法、充电作业及充电过程;
- ④ 掌握蓄电池可能出现故障及排除方法;
- ⑤ 理解小型发电机组的有关概念(行程、励磁装置、他励、自励、配套、磨合、匹配比、牌号等);
- ⑥ 了解小型发电机组的基本结构、运行、磨合、保养;
- ⑦ 掌握小型发电机组的选用与配套、故障检查及排除方法。

### 二、重点

- ① 蓄电池的工作特性,它是进行充放电的重要理论指导;
- ② 蓄电池的充电目的和相应充电操作;
- ③ 蓄电池的故障及其排除;
- ④ 小型发电机组的选用与配套;
- ⑤ 小型发电机组的故障检查及其排除。

## 第一节 蓄 电 池

### 一、蓄电池的作用和种类

蓄电池是一种储能的电器，它采取电能与化学能之间相互转换的方式，将电能转变为化学能储蓄起来，需用时再将化学能转变为电能，供给用电设备。

蓄电池内部发生化学反应，化学能转变为电能，如果用导线将蓄电池和用电设备（如灯泡）连接成回路，就会有电流通过（灯泡发光），这种蓄电池向用电设备供电的过程，称为放电过程。蓄电池放电后产生出新的化合物，同时消耗了一部分化学能量；将放电后的蓄电池的正、负电极与直流电源的正、负电极相接，在电源的作用下，电流通入蓄电池（即输入电能），新生化合物还原为原物质，这种电源向蓄电池供电的过程，称为充电过程。蓄电池的充电和放电过程是可逆的，可以重复循环，是一种可逆的直流电源。

#### （一）蓄电池的作用

在发电厂和变电所中，蓄电池组构成独立的直流操作电源，是发电厂和变电所自用电中最重要的一部分。它不受系统运行和事故的影响，即使在交流电源全停的情况下，仍能向控制、信号、保护回路以及自动装置和紧急照明供电，保证其连续可靠地工作。

此外，在通信、交通、生活等各方面，蓄电池作为可重复使用的电源，应用十分广泛。如汽车、拖拉机及摩托车上的铅酸蓄电池主要用于启动、点火和照明，而有些蓄电池主要用作备用电源。

#### （二）蓄电池的种类和型号

蓄电池的种类很多，根据电解液所用物质的不同，有酸性和碱性之分，一般可分为酸性和碱性蓄电池两大类。按其用途和结构特点，常用酸性蓄电池又分为启动用蓄电池（包括湿荷电 Q 系列、干荷电 QA 系列）、固定型蓄电池（如 GF 系列）。碱性蓄电池按极板物质不同，主要分为铁镍、镉镍、锌镍蓄电池等。

3—Q—75 型型号的含义是：由 3 个单体电池组成，额定电压为 6 V，额定容量为 75 A·h（安时）的启动用铅蓄电池。即一般的蓄电池产品型号分三段，第一段表示串联的单体电池数，其额定电压为此数的 2 倍；第二段表示蓄电池的类型和特征，用 1—2 个字母表示；第三段表示蓄电池的额定容量。

本章主要介绍普通铅酸蓄电池，简称蓄电池。

### 二、蓄电池的结构和工作原理

#### （一）铅蓄电池的结构

国产普通铅蓄电池的结构如图 1-1-1 所示，它主要由极板、隔板、壳体、连接条和电解液等组成。壳体一般分隔为三个或六个单格，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 2 V，将 3 个或 6 个单体电池串

联后便成为一个6 V或12 V蓄电池总成。

以下分述铅蓄电池的组成部分的主要作用。

极板是蓄电池的核心部分，分为正极板和负极板，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（ $\text{PbO}_2$ ），呈深棕色。负极板上的活性物质是海绵状纯铅（ $\text{Pb}$ ），呈青灰色。国产正极板的厚度为2.2 mm，负极板为1.8 mm。为了增大蓄电池的容量，将多片正、负极板分别并联，用横板焊接，组成正、负极板组，见图1-1-1。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。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，使其两侧都起化学反应、放电均匀，产生同样的膨胀和收缩，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。负极板比正极板稍薄的原因是它在充放电循环中膨胀与收缩现象不太严重。

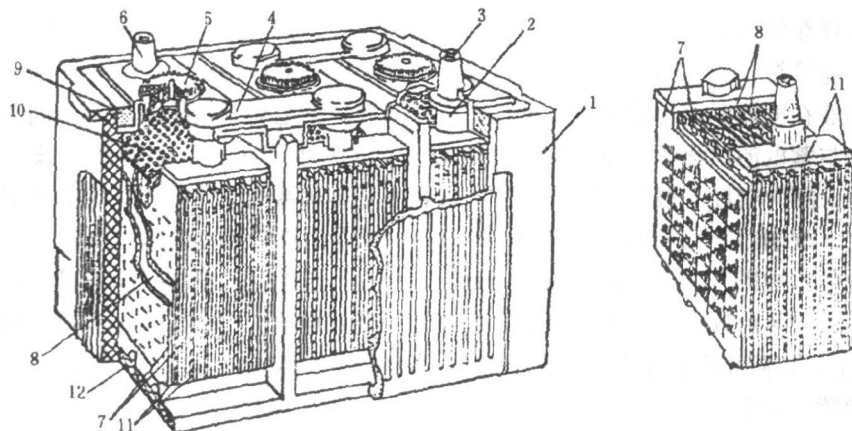


图1-1-1 蓄电池的结构

- 1—蓄电池的外壳 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

隔板置于正负极板之间，防止它们彼此接触而造成的短路。它具有多孔性，以便电解液渗透，且具有良好的耐酸性和抗氧化性，其材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维和纸板等。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体槽中。

壳体是用来盛放电解液和极板的，具有耐酸、耐热、耐震、绝缘性好并且有一定机械强度。其常用材料有硬橡胶、聚丙烯塑料。壳体为整体式结构，壳内由间壁分成3个或6个互不相通的单路，底部有突起的肋条以搁置极板组。肋条间的空隙是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。对于硬橡胶壳体，采用单体盖密封，盖上有 3 个孔，两侧圆孔作为极板孔，中间为加液孔，电池盖和容器顶部用沥青封口剂密封；而聚丙烯壳体电池采用整体式结构，盖上有 3 个（6 V 电池）或 6 个（12 V 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。

连接条是将 3 个或 6 个单体电池串联起来，以构成额定电压为 6 V 或 12 V 的蓄电池。单体电池的串联方法一般有传统外露式铅连接条连接、内部穿壁式连接和跨越式连接三种方式，如图 1-1-2 所示。外露式是早期采用的方式，见图 1-1-2 (a)，其工艺简单，但耗铅量多，连接电阻大、电压降较大、功耗损失也较大，且易造成短路；穿壁式见图 1-1-2 (b)，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；跨越式见图 1-1-2 (c)，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。后两种连接方式是目目前新型蓄电池上采用的较先进的方法，具有连接短、省材料、电阻小等特点，得到了广泛的应用。

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，并参与蓄电池的化学反应。它由纯硫酸（相对密度为 1.84）和蒸馏水按一定比例配制而成，相对密度一般为 1.24~1.30。其纯度是影响蓄电池的电气性能和使用寿命的重要因素，配制时严格按 GB 4554—84 标准的二级专用硫酸和蒸馏水的规定。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行放电（充足电的蓄电池，放置不用会逐渐失去电量的现象）和损坏极板，故不能用于蓄电池。电解液液面应高出极板上沿 10 mm 以上，以防止极板翘曲，同时液面应比容器上沿低 15~20 mm，防止充电过程中电解液沸腾时溢出。

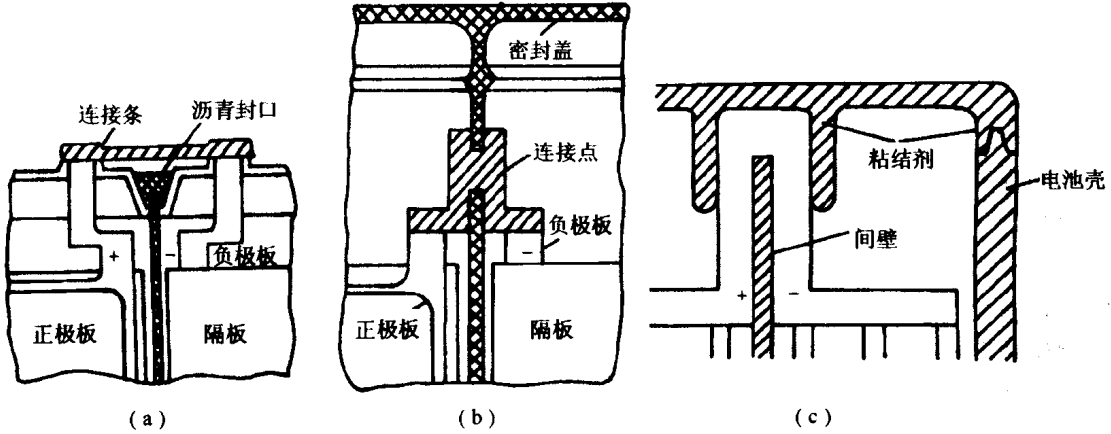


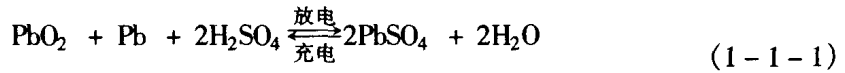
图 1-1-2 单体电池的连接方式

(a) 传统外露式铅连接条连接 (b) 内部穿壁式连接 (c) 跨越式连接

(二) 蓄电池的工作原理

蓄电池是由浸渍在电解液的正极板（二氧化铅  $PbO_2$ ）和负极板（海绵状纯铅  $Pb$ ）

组成，电解液是硫酸（ $H_2SO_4$ ）的水溶液。正、负极板上的活性物质（参与化学反应的物质）分别是  $PbO_2$  和  $Pb$ 。当蓄电池和负载接通放电时，正极板上的  $PbO_2$  和负极板上的  $Pb$  都变成  $PbSO_4$ ，电解液中的  $H_2SO_4$  减小，相对密度下降。充电时按相反的方向变化，正负极板上的  $PbSO_4$  分别恢复成原来的  $PbO_2$  和  $Pb$ ，电解液中的硫酸增加，相对密度变大。可用下列式子描述其反应过程：



正极板 负极板 电解液                      正负极板 电解液

由于电化学反应，使正、负电极之间出现了电位差，当电化学反应停止时，电位差达到一个稳定的数值。在外电路断开时的电位差，就是蓄电池的静止电动势，用  $E_0$  表示。当极板材料一定时，电动势的大小主要与电解液的相对密度和温度有关。蓄电池的静止电动势  $E_0$ ，在相对密度为 1.050 ~ 1.300 的范围内，可由以下经验公式决定：

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25^\circ C} \quad (1-1-2)$$

式中： $E_0$ ——蓄电池的静止电动势（V）；

$\rho_{25^\circ C}$ ——25℃时的电解液的相对密度（ $g/cm^3$ ）。

另外，和其他电源一样，蓄电池除了具有电动势外，还有内阻。蓄电池内阻的大小反映了蓄电池的带负载能力。在相同的条件下，内阻越小，输出电流越大，带负载能力越强。其内阻为极板电阻、电解液电阻、隔板电阻、铅连接条和极柱电阻的总和，用  $R_0$  表示。

### 1. 铅蓄电池的放电

将蓄电池接通负载，如图 1-1-3 所示。在电动势的作用下，电流  $I_f$  从正极流向负极，使正极电位降低，负极电位升高，破坏了原有的平衡。从宏观上看，蓄电池的不断放电，正极板上的二氧化铅和负极板上的铅逐渐变成硫酸铅，电解液中的硫酸逐渐变成水而使它的相对密度下降。所以，实际工作中，可根据电解液相对密度的高低，判断蓄电池放电的程度和确定某一相对密度为放电終了的主要标志。

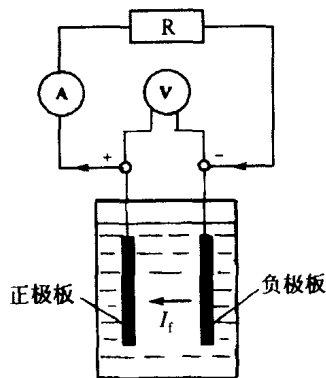


图 1-1-3 蓄电池的放电电路

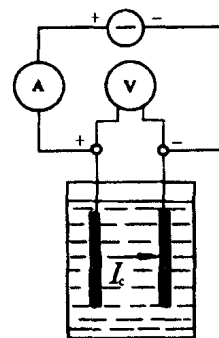


图 1-1-4 蓄电池的充电电路

### 2. 铅蓄电池的充电

充电时，应将蓄电池接入直流电源。将充电电源的正极与蓄电池的正极、充电电源

的负极与蓄电池的负极相连接，如图 1-1-4 所示。当充电电压高于蓄电池电动势时，在电源力的作用下，充电电流  $I_c$  从蓄电池正极流入，负极流出。蓄电池充电的结果是，正负极上的硫酸铅分别还原为二氧化铅和铅，且电解液中的水分减少，增高了硫酸的浓度和电解液的相对密度。

### 三、蓄电池的充放电特性

#### (一) 充电特性

蓄电池的充电特性是指在恒流过程中，蓄电池的端电压  $U_c$  和电解液密度  $\rho$  等参数随充电时间变化的规律。图 1-1-5 所示为 6—Q—105 型蓄电池以 10.5 A 的充电电流进行恒流充电的特性曲线。

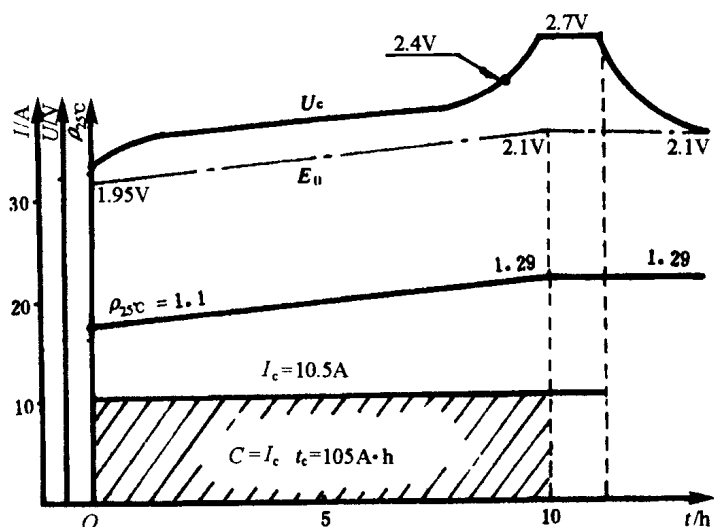


图 1-1-5 蓄电池的充电特性

充电时电源电压必须克服蓄电池的电动势  $E$  和蓄电池内阻上的电压降  $I_c R_0$ ，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  $E$ ，即充电过程中的电压方程为

$$U_c = E + I_c R_0 \quad (1-1-3)$$

式中： $U_c$ ——蓄电池充电时的端电压 (V)；

$E$ ——蓄电池电动势 (V)；

$I_c$ ——充电电流 (A)；

$R_0$ ——蓄电池内阻 ( $\Omega$ )。

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  $\rho$  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。

从图中可以将充电过程分为三个阶段：

充电开始阶段，端电压  $U_c$  上升很快。由于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。

充电中期，端电压缓慢上升阶段。因为孔隙内析出的硫酸量速度与它向外扩散的硫酸量速度渐趋平衡，减缓了电动势的升高，故蓄电池的端电压不再迅速上升，而是随着整个容器内电解液相对密度的上升而相应地增加。

充电末期，端电压上升很快。这时极板上的硫酸铅已大部分还原为二氧化铅和铅，端电压将达到 2.3~2.4 V。继续充电则使水被分解，产生氢气和氧气，分别在正负极上释出。再继续充电，氢气和氧气以气泡的形式剧烈放出，电解液呈现“沸腾”现象。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<sup>+</sup>”，使溶液和极板之间产生了附加电位差（约为0.33 V），因而使端电压急剧升至2.7 V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 2~3 h 的过充电才行。

充电停止，充电电流为零，内电阻压降为零，端电压立即下降，容器内的电解液渐趋均匀，蓄电池的端电压又降到2.1 V左右。

蓄电池充电终止的特征是：

- (1) 蓄电池内产生大量气泡，即出现“沸腾”现象。
- (2) 端电压和电解液相对密度都上升至最大值，且 2~3 h 内不再增加。

## (二) 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  $\rho$  等参数随放电时间而变化的规律。图 1-1-6 是一个 6-Q-105 型蓄电池以 20 h 放电率的电流进行恒流放电的特性曲线。

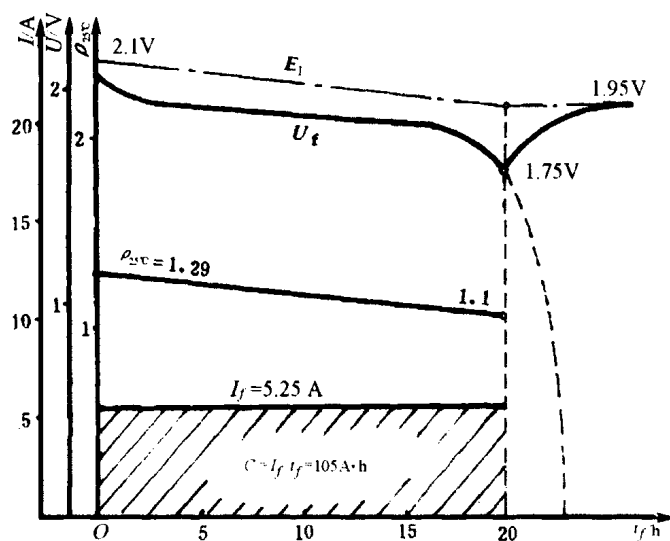


图 1-1-6 蓄电池的放电特性

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  $U_f$  总是小于



其电动势  $E$ ，即放电过程中的电压方程为：

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

式中： $U_f$ ——蓄电池放电时的端电压 (V)；

$I_f$ ——放电电流 (A)。

放电过程中以恒定电流连续放电时，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。

从图中可以将放电过程分为三个阶段：

放电开始阶段，端电压从2.1 V迅速下降。其原因是极板孔隙中的硫酸迅速消耗，致使电解液的相对密度骤减。

放电中期，端电压缓慢降低。这是因为极板外较浓的硫酸向极板孔隙内渗透，减缓了整个容器的电解液相对密度的下降速度，直到1.95 V。

放电末期，端电压快速下降。这时极板上的二氧化铅和铅大都生成了硫酸铅，而其体积较原来的活性物质的体积大，逐步堵塞了电解液的扩散通道，使电解液的渗入困难，加快了孔隙内电解液相对密度下降的速度，端电压也随之急剧下降到1.75 V。

当端电压降至一定值时（20 h放电率降至1.75 V）再继续放电即为过放电。过放电将造成极板表面和孔隙内形成粗结晶硫酸铅，充电时不易还原，且导致极板硫化，或极板发生不可恢复的翘曲和臃肿，使蓄电池报废。

停止放电后，由于极板孔隙中的电解液和容器中的电解液相互渗透，趋于平衡，蓄电池的端电压稍有回升。

蓄电池放电终止的特征是：

- (1) 电解液相对密度降至最小许可值（约为1.1）。
- (2) 单体电池的端电压降至放电终止电压（以20 h放电率放电，单格电压降至1.75 V）。

此外，放电电压还与放电电流的大小有关。放电电流愈大，电解液扩散速度受到限制及内阻压降的增大，则端电压降落愈快。在整个放电过程中，放电电流愈大，到达终止放电电压的时间愈短。

#### 四、蓄电池的容量及其影响因素

蓄电池的容量是指在规定的放电条件下，完全充足电的蓄电池放电到终止电压时所能放出的电量，用  $C$  表示。它是标志蓄电池对外放电能力、衡量蓄电池质量的优劣以及选用蓄电池的最重要指标。

蓄电池的容量以  $A \cdot h$ （安时）为单位，等于放电电流与持续放电时间的乘积，可用下式表示：

$$C = I_f t_f \quad (1-1-5)$$

式中： $C$ ——蓄电池容量 ( $A \cdot h$ )；

$I_f$ ——放电电流 (A)；

$t_f$ ——放电持续时间 (h)。