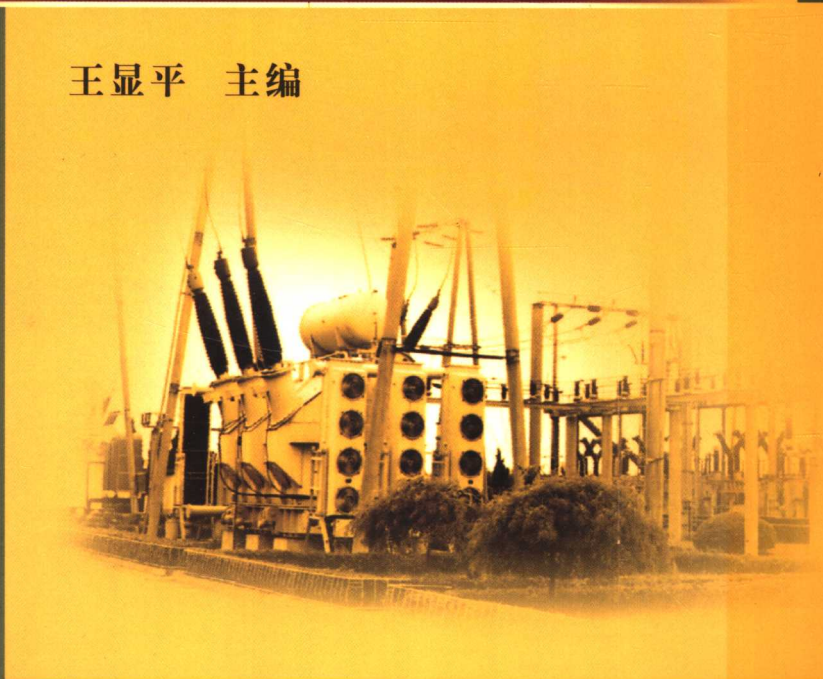


发电厂、变电站二次系统 及继电保护测试技术

王显平 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

发电厂、变电站二次系统 及继电保护测试技术

王显平 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书作者依据《国家电网公司电力安全工作规程》(变电站和发电厂电气部分)等最新规程规范,紧密结合实际工作,总结了当前发电厂、变电站二次系统和继电保护测试方面的新技术。

本书包括发电厂、变电站二次系统和继电保护测试技术两个方面的内容。发电厂、变电站二次系统主要讲述操作电源、断路器及隔离开关的控制回路、互感器及同步系统、信号回路、变电站综合自动化系统、二次回路设计及施工基本知识。继电保护测试技术主要包括继电保护测试的基本要求、常用模拟型继电器测试技术、微机型继电保护测试技术和二次回路测试技术。

本书主要作为发电厂、变电站岗位培训及继电保护工职业技能鉴定的培训教材,也可作为高职高专继电保护专业、电气工程及其自动化专业教材,还可作为从事继电保护和二次回路设计、安装、测试的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂、变电站二次系统及继电保护测试技术/王显平
主编. —北京:中国电力出版社, 2006
ISBN 7-5083-4478-2

I. 发... II. 王... III. ①发电厂-二次系统②发电厂-继电保护-测试③变电所-二次系统④变电所-继电保护-测试 IV. TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071561 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.125 印张 295 千字
印数 0001—3000 册 定价 21.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前

言

随着微电子技术、计算机技术和计算机通信技术在电力系统的不断深入应用,电力系统的测量、控制、信号、继电保护、自动装置、远动装置的内容发生了很大的变化,相应地发电厂、变电站二次系统和继电保护测试技术也发生着深刻的变化。本书作者紧密结合实际工作,总结了当前发电厂、变电站二次系统和继电保护测试方面新技术。

全书分两篇共十章。第一篇发电厂、变电站二次系统;第二篇继电保护测试技术。第一篇包括操作电源、断路器及隔离开关的控制回路、互感器及同步系统、信号回路、变电站综合自动化系统、二次系统设计及施工基本知识;第二篇包括继电保护测试技术基础、常用模拟型继电器测试技术、微机型继电保护测试技术和二次回路测试技术。为方便广大读者使用,本书还列出了常用电气图形符号及文字符号。另外,为加深对本书的理解,特做了习题及参考答案供大家学习。

本书第一、三、七、八、九、十章由王显平编写;第二章由徐明编写;第四章由王秋红编写;第五章由徐明和王秋红合编写;第六章由陈开平编写;全书由王显平主编。本书在编写过程中得到了重庆市电力公司、西南送变电工程公司、电力设计院相

关工程技术人员的支持和帮助，并对本书的编写内容提出了宝贵意见，在此一一表示感谢。

由于编者水平有限，再加上时间仓促，书中难免存在谬误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月

目 录

前 言

第一篇 发电厂、变电站二次系统

第一章 操作电源	5
第一节 概述	5
第二节 直流操作电源系统的组成及其接线方式	6
第三节 蓄电池及其高频开关电源充电模块	9
第四节 直流操作电源的监控系统	24
第五节 站用交流电源系统	28
第二章 断路器及隔离开关的控制回路	35
第一节 概述	35
第二节 断路器控制回路	39
第三节 隔离开关的控制及闭锁电路	56
第三章 互感器及同步系统	69
第一节 电流互感器二次回路	69
第二节 电压互感器二次回路	77
第三节 同步系统	93
第四章 信号回路	108
第一节 概述	108
第二节 位置信号	109
第三节 中央信号	113
第五章 变电站综合自动化系统	120
第一节 概述	120
第二节 变电站综合自动化系统的功能	130
第三节 测量回路及测控装置	137
第四节 变电站综合自动化系统的数据通信系统	148
第五节 SCADA 后台监控系统	174

第六章	二次系统设计及施工基本知识	183
第一节	对电气设计图的有关规定	183
第二节	二次设备及其选择	185
第三节	安装单位的划分	199
第四节	二次回路编号	201
第五节	控制、继电器屏的屏面布置图设计	207
第六节	端子排设计	207
第七节	控制与继电器屏背面接线图设计	210
第八节	屏内配线	214

第二篇 继电保护测试技术

第七章	继电保护测试技术基础	219
第一节	继电保护测试的基本要求	219
第二节	继电器及装置的准确度及表示方法	225
第三节	继电保护及自动化装置动作特性测试	226
第四节	继电保护自动装置整组功能试验	229
第五节	微机型继电保护测试仪	234
第八章	常用模拟型继电器测试技术	242
第一节	模拟型继电器一般性检验项目和要求	242
第二节	常用模拟型继电器特性测试	244
第九章	微机型继电保护测试技术	258
第一节	微机型继电保护装置的测试项目及基本测试操作	258
第二节	中低压线路微机保护装置测试	269
第三节	微机距离保护测试	282
第四节	微机型比率制动差动保护测试	292
第十章	二次回路测试技术	304
第一节	二次回路接线正确性测试	304
第二节	二次回路绝缘测试及耐压试验	310
第三节	带负荷测试二次回路接线正确性	311
附录一	常用电气图形符号及文字符号	316
附录二	复习题及参考答案	327
参考文献		349

第一篇 发电厂、变电站二次系统

一、发电厂、变电站二次系统的主要内容

发电厂、变电站的电气系统，按其作用的不同分为一次系统和二次系统。一次系统是直接生产、输送和分配电能的设备（如同步发电机、电力变压器、电力母线、高压输电线路、高压断路器等）及其相互间的连接电路；对一次系统的设备起控制、保护，调节、测量等作用的设备称为二次设备，如控制与信号器具、继电保护及安全自动装置，电气测量仪表、操作电源等。二次设备及其相互间的连接电路称为二次系统或二次回路。二次系统是电力系统安全、经济、稳定运行的重要保障，是发电厂及变电站电气系统的重要组成部分。

发电厂、变电站二次系统是一个具有多种功能的复杂网络，其主要内容包括以下各子系统。

(1) 控制系统。控制系统由各种控制开关和控制对象（断路器、隔离开关）的操动机构组成，其主要作用是对发电厂、变电站的开关设备进行远方跳、合闸操作，以满足改变一次系统运行方式及处理故障的要求。

(2) 信号系统。信号系统由信号发送机构、接收显示元件及其网络构成，其作用是准确、及时地显示出相应一次设备的工作状态，为运行人员提供操作、调节和处理故障的可靠依据。

(3) 测量与监测系统。测量与监测系统由各种电气测量仪表、监测装置、切换开关及其网络构成，其作用是指示或记录主要电气设备和输电线路的运行状态和参数，作为生产调度和值班人员掌握主系统的运行情况，进行经济核算和故障处理的主要依据。

(4) 继电保护与自动装置系统。继电保护与自动装置系统由

互感器、变换器,各种继电保护及自动装置、选择开关及其网络构成,其作用是监视一次系统的运行状况,一旦出现故障或异常便自动进行处理,并发出信号。由于继电保护及自动装置已形成独立的专业技术,设有专门课程进行系统的讲授,因此,本教材只对其外部接线作简要论述。

(5) 调节系统。调节系统由测量机构、传送设备、执行元件及其网络构成,其作用是调节某些主设备的工作参数,以保证主设备和电力系统的安全、经济、稳定运行。

(6) 操作电源系统。操作电源系统由直流电源设备和供电网络构成,其作用是供给上述各二次系统的工作电源。

(7) 综合自动化系统。变电站综合自动化系统是利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术等实现对变电站二次系统(包括控制、测量、信号、故障录波、继电保护、自动装置及远动系统等)的功能进行重新组合、优化设计,对变电站全部设备的运行情况执行监视、测量、控制和协调的一种综合性的自动化系统。通过变电站综合自动化系统内各设备间相互交换信息,数据共享,完成变电站运行监视和控制任务。变电站综合自动化替代了变电站常规二次系统,简化了变电站二次接线。

变电站综合自动化是提高变电站安全稳定运行水平、降低运行维护成本、提高经济效益、向用户提供高质量电能的一项重要技术措施。

二、电气图的基本概念

1. 电气图的分类

发电厂及变电站的二次系统接线图数量很多,为了便于使用和管理,按用途和绘制方法的不同,一般分为原理图、布置图、安装图和解释性图四类。按表达形式和用途的不同,可分为系统图、电路图、功能图、逻辑图、端子图等。

2. 电气图形符号、文字符号

发电厂、变电站二次系统由上述各子系统组成,各子系统的

工作原理及其连接关系是用电气图来表达的。电气图纸是电气工程的语言，是发电厂、变电站的重要技术资料。为了使图纸简洁清晰，满足订货、安装、运行的要求，绘制二次系统接线图必须使用国家标准规定的符号，并遵守一定的绘图规则。二次系统接线常用的图形符号见表1~表3，常用的文字符号见表4。

3. 电气元件的表示方法

在电气图中，可根据需要，分别采用集中表示法、分开表示法和半集中表示法表示电气元件。

集中表示法是把一个元件各组成部分的图形符号绘制在一起的方法。在集中表示法中，各组成部分用机械连接线（虚线）互相连接起来，且连接线必须是一条直线。图0-1所示为一个继电器的集中表示法。图中，继电器的一个线圈和两对触点绘制在一起，并用机械连接线联系起来构成一个整体。

半集中表示法是把一个元件某些组成部分的图形符号在简图上分开布置，并用机械连接线表示它们之间关系的方法，其目的是得到清晰的电路布局。在半集中表示法中，机械连接线可以弯折、分支和交叉，如图0-2所示，继电器K的线圈和两对触点采用的就是半集中表示法。

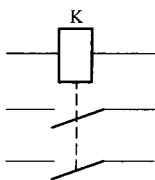


图 0-1 集中表示法示例

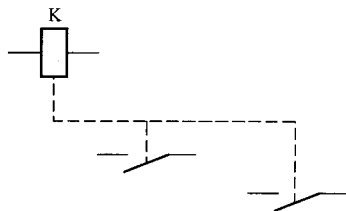


图 0-2 半集中表示法示例

分开表示法是把一个元件各组成部分的图形符号在简图上分开布置，并仅用文字符号表示它们之间的关系，其目的是得到清晰的电路布局，如图0-3所示，继电器K的一个线圈和两对触点采用分开表示法，分别画在不同的电路中，且各部分标注相同的

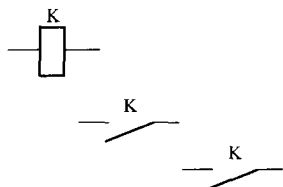


图 0-3 分开表示法示例

文字符号。

4. 元件工作状态的表示方法

二次接线图中，断路器、隔离开关、接触器的辅助触点以及继电器的触点所表示的状态（或位置）是这些设备在正常状态的位置，所谓正常状态就是指断路器、隔离开关、接触器

及继电器处于断路和失电状态。所谓动合触点是指这些设备在正常状态即断路或失电状态下，其辅助触点和主触点是断开的。所谓动断触点正好与动合触点相反，即这些设备在断路或失电状态下，其辅助触点和主触点是闭合的。

5. 图线的布置

表示导线、信号通路、连接线等的图线一般应为直线，即横平竖直，尽可能减少交叉和弯折。图线的布置通常有水平布置和垂直布置。

水平布置是将设备和元件按行布置，使得其连接线成水平方向进行布置；垂直布置是将设备和元件按列排列，连接线成垂直方向进行布置。

第一章

操作电源

第一节 概 述

操作电源就是发电厂、变电站中二次设备（包括继电保护自动装置、信号设备、通信、远动、监控系统和断路器分、合闸控制等）的工作电源。操作电源十分重要，直接关系到电力系统的安全、可靠运行。

一、对操作电源的基本要求

(1) 操作电源要有高度的可靠性。要保证发电厂、变电站在正常和事故工况下二次设备正常工作。

(2) 操作电源要有足够的容量，能满足各种工况对功率的要求。

(3) 操作电源要有良好的供电质量。在各种运行方式下，操作电源母线电压变化保持在允许范围内；波纹系数小于5%。

(4) 操作电源应能满足发电厂DCS系统和变电站综合自动化系统的要求。

(5) 操作电源应维护方便、安全、经济。

二、操作电源的种类

发电厂、变电站的操作电源有直流操作电源和交流操作电源两种。

直流操作电源又可分为独立式直流电源和非独立式直流电源，独立式直流电源有蓄电池直流电源和电源变换式直流电源；非独立式直流电源有硅整流电容储能直流电源和复式整流直流电源[电流互感器(TA)二次经电流、电压变换整流及电压互感器(TV)二次整流]。

交流操作电源就是直接使用交流电源。正常运行时一般由 TV 或站用变压器作为断路器的控制和信号电源,故障是由 TA 提供断路器的跳闸电源。这种操作电源接线简单,维护方便,投资少,但其技术性能不能满足大、中型发电厂和变电站的要求。

在发电厂和变电站中,一般采用蓄电池组作为直流电源。这种直流电源不依赖于交流系统的运行,是一种独立式的电源,即使交流系统故障,该电源也能在一段时间内正常供电,以保证二次设备正常工作,具有高度的可靠性。

第二节 直流操作电源系统的组成 及其接线方式

一、直流操作电源系统的组成

直流操作电源系统的构成原理如图 1-1 所示,主要由蓄电池组、交流配电单元、充电模块、监控模块、配电监控、降压硅链、分闸分路、控制分路、绝缘监测、合闸输出、控制输出、绝缘监测等组成。

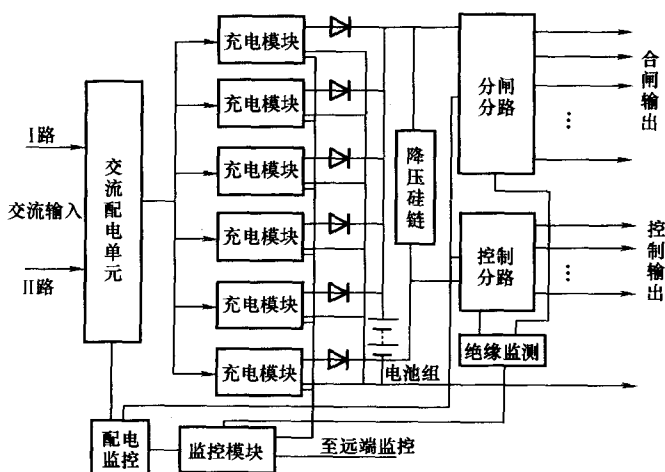


图 1-1 直流操作电源系统原理框图

监测等几大部分组成。

系统交流输入正常时,两路交流输入经交流切换控制电路选择其中一路输入,并通过交流配电单元给各个充电模块供电。充电模块将三相交流电转换为 220V 或 110V 的直流,经隔离二极管隔离后输出,一方面给电池充电,另一方面给负载提供正常工作电流。监控部分采用集散方式对系统进行监测和控制。充电柜、馈电柜的运行参数,充电模块运行参数,系统的对地绝缘状况,分别由配电监控电路、监控模块电路和绝缘监测电路采集处理,然后通过串行通信口把处理后的信息上报给监控模块,由监控模块统一处理后,显示在液晶屏上。同时可通过人机交互操作方式对系统进行设置和控制,若有需要还可接入远程监控。监控模块还能对每个充电模块进行均、浮充控制,限流控制等,以保证电池的正常充电,延长电池寿命;降压硅链利用管压降调节控制母线电压。

交流输入停电或异常时,充电模块停止工作,由电池给负载供电。监控模块监测电池电压、放电时间,当电池放电到设置的欠压点时,监控模块告警。交流输入恢复正常以后,充电模块对电池充电。

二、直流操作电源系统的接线方式

随着科学技术的不断发展,直流系统的接线方式、采用的设备也在逐年的改进和更新。在满足供电可靠的前提下,直流系统的接线应尽可能简单、运行灵活、经济合理。

直流系统的接线方式分为有调压端电池接线方式和无调压端电池接线方式两类。前者由于运行维护麻烦,很少采用;后者多用于阀控密封式(即免维护)铅酸蓄电池直流系统。

无调压端电池接线方式有单母线和单母线分段两种。中国电力工程股份集团公司组织直流系统典型设计,通过对国内应用阀控电池的发电厂和变电站调查,推荐以下六种方案作为今后采用的接线。

(1) 方案一为单母线接线,如图 1-2 所示,其特点是接线简

单、可靠，充电装置和蓄电池接在同一母线上。母线上只装设一套绝缘监督装置和电压监视装置（经切换开关接入）、一组蓄电池、一套充电装置。充电装置模块采用 $N+1$ (N 为模块计算数)。该方案适用于小容量发电厂和 110kV 及以下的变电站。

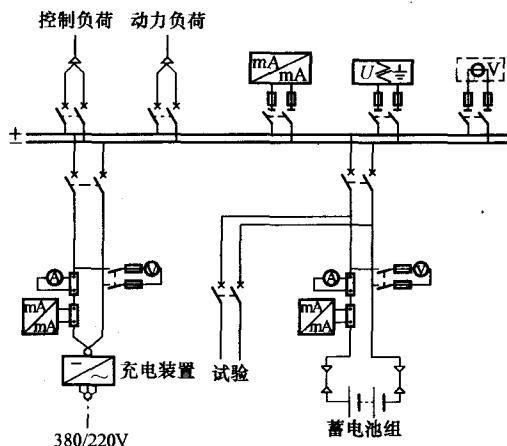


图 1-2 单母线接线直流系统

(2) 方案二至方案六为单母线分段接线，根据蓄电池组数和充电装置套数配置不同形成不同方案，其组合方式为：一组蓄电池一套充电装置、一组蓄电池两套充电装置、两组蓄电池两套充电装置、两组蓄电池三套充电装置（两小一大）和两组蓄电池三套充电装置（两大一小）。图 1-3 为两组蓄电池三套充电装置（两大一小）单母线分段接线方案，其中两套为大容量充电装置（按均衡充电要求设计）分别与蓄电池并接入一段母线，一套为小容量充电装置（按浮充电要求设计），经两个空气断路器 QF1、QF2 分别接入各段母线上。每段母线设一套绝缘监督装置和电压监视装置，充电装置模块两大为 N ，一小为 $N+1$ 。该方案接线可靠、操作方便灵活，适用于大容量发电厂和 500kV 及以下变电站。

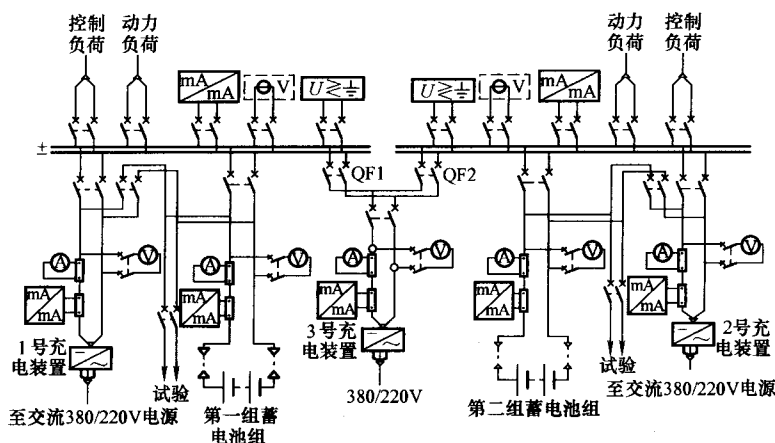


图 1-3 单母线分段接线 [两组蓄电池, 三套充电装置 (两大一小)] 直流系统

第三节 蓄电池及其高频开关电源充电模块

一、蓄电池

蓄电池是一种储能装置，它把电能转化为化学能储存起来，又可把储存的化学能转化为电能，这种可逆的转换过程是通过充、放电循环来完成的，而且可以多次循环使用，使用方便且有较大的容量。酸蓄电池按电解液不同可分为碱性蓄电池和酸性蓄电池，发电厂和变电站广泛应用的是防酸隔爆式、消氢式、阀控密封式（即免维护）铅酸蓄电池。

铅酸蓄电池正极板的活性物质是二氧化铅（ PbO_2 ），负极板的活性物质是绒状铅（ Pb ），电解液为稀硫酸。放电时正极板的二氧化铅（ PbO_2 ）、负极板的绒状铅（ Pb ）变为硫酸铅（ PbSO_4 ），电解液中的硫酸在与正、负极板产生化学反应后密度下降。充电时正极板上硫酸铅变为二氧化铅，负极板上的硫酸铅变

为绒状铅，电解液的密度上升。

阀控电池采用吸液能力强的超细玻璃纤维材料作隔板，具有良好的干、湿态弹性，使较大浓度的电解液全部被其贮存，而电池内无游离酸（贫液），或者使用电解液与硅胶组合为触变胶体，正常充、放电运行状态下处于密封状态，电解液不泄漏，也不排放任何气体，不需要定期加水或酸，正常时极少维护。

阀控蓄电池是装有密封安全气阀的密封铅酸电池，是一种用气阀调节的非排气式电池，当电池在异常情况析出盈余气体，或过充电时产生的气体达到开阀压力时，经过节流阀泄放，随后减压关闭，它是单向的，不允许空气中的气体进入电池内。

阀控电池可为单体式（2V），200Ah 及以下容量的电池可以组合成 6V（3 个 2V 单体电池组成）和 12V（6 个 2V 单体电池组成）。单体阀控密封式铅酸蓄电池的结构如图 1-4 所示。

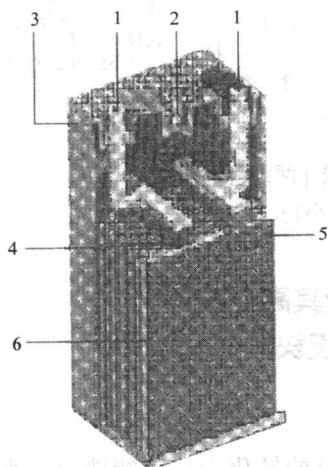


图 1-4 电池结构示意图

1—接线柱；2—安全阀；3—外壳；
4—正极板；5—负极板；6—隔板

1. 铅酸蓄电池的电气特性

(1) 铅酸蓄电池的容量特性。

电池的容量是表示蓄电池的蓄电能力。充足电的蓄电池放电到规定终止电压（低于该电压放电将影响电池的寿命）时，其所放出的总电量，称为电池的容量。若蓄电池以恒定放电电流 I (A) 放电，放电到容许的终止电压的时间为 t (h)，则对应容量 C (Ah) 为

$$C = It \quad (1-1)$$

反应蓄电池放电到规定的终止电压的快慢称为放电率，放电率可用时率（h 率）和电流率（I 率）表示。