

水轮发电机组  
值班员技术培训丛书

D I A N Q I Y I C I S H E B E I J I Y U N X I N G

# 电气一次设备及运行

杨传文 吴科续 姚丽 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

水轮发电机组  
值班员技术培训丛书

D I A N Q I Y I C I S H E B E I J I Y U N X I N G

# 电气一次设备及运行

杨传文 吴科续 姚丽 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书详细阐述了水轮发电机组电气一次设备的结构、组成、运行原理、巡视操作、异常与事故处理等。本书力求概念清楚，层次分明，既有理论表述，也有实际应用，既有图表说明，也有公式佐证，实用性强，便于水电厂运行人员入门自学和业务提高。

本书共分七章，主要内容包括：厂用电及直流系统运行，水轮发电机的运行，电力变压器的运行，电气主接线的运行，高压断路器的运行，配电装置的运行，输电线路的运行。

本书可供水力发电相关技术人员学习参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电气一次设备及运行/杨传文，吴科续，姚丽编著. —北京：中国电力出版社，2011.10

(水轮发电机组值班员技术培训丛书)

ISBN 978-7-5123-2235-6

I. ①电… II. ①杨… ②吴… ③姚… III. ①水轮发电机-机组-一次系统-机电设备-技术培训-教材②水轮发电机-机组-运行-技术培训-教材 IV. ①TM312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 213472 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 383 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

电能便于输送、分配、使用、控制，广泛应用于工农业生产、交通运输、国防建设和人们的生活，已成为不可缺少的二次能源。电能是由发电厂生产的，随着生活的发展和用电量的增加，发电厂的数目、容量和种类也在不断增加。水力发电厂是将水的位能和动能转换为电能的工厂，发电成本低，效率高，不污染环境，运行灵活，启停迅速，无最低负荷限制，主要承担电力系统调峰、调频、事故备用的工作，是电力系统稳定运行的重要支柱。

本书是《水轮发电机组值班员技术培训丛书》的《电气一次设备及运行》分册，作为《水轮发电机组及其辅助设备运行》（孙效伟编著，中国电力出版社，2010）的姊妹篇，参照水轮发电机组运行岗位规范的要求，按 CBE 模式从培训和学习角度编写，主要讲述了水力发电厂的电气一次部分的运行。

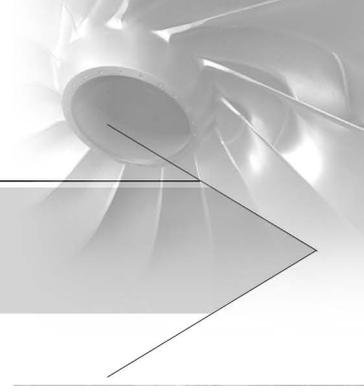
在水力发电厂中，电气一次系统是主干系统，处于关键地位，由直接用于生产、输送、分配和提供辅助功能的电气一次设备组成，包括直流系统、发电机、变压器、断路器、隔离开关、母线、输电线路、电抗器、避雷器等设备。本书详细阐述了电气一次设备的结构、组成、运行原理、巡视操作、异常与事故处理等。本书力求概念清楚，层次分明，既有理论表述，也有实际应用，既有图表说明，也有公式佐证，实用性强，便于水电厂运行人员入门自学和业务提高。

本书由丰满发电厂杨传文、吴科续、姚丽编著，其中第一、二、三章由吴科续编写，第五、六章由姚丽编写，第四、七章由杨传文编写，全书由杨传文统稿。在本书编写过程中，得到了丰满发电厂发电部、维护部和国网新源丰满培训中心领导的大力支持，国网新源丰满培训中心孙效伟老师对本书进行审阅并提出了重要修改意见，在此一并表示衷心的感谢。

由于经验和理论水平所限，书中难免出现不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2011年9月



# 目 录

前言

<b>第一章</b>	<b>厂用电及直流系统运行</b>	1
第一节	直流系统的运行	1
第二节	交流 380V 系统的运行	16
第三节	厂用电系统的运行	29
第四节	UPS 系统的运行	40
<b>第二章</b>	<b>水轮发电机的运行</b>	44
第一节	水轮发电机概述	44
第二节	水轮发电机的运行	52
第三节	水轮发电机组的主要试验	65
第四节	水轮发电机的故障及事故处理	75
<b>第三章</b>	<b>电力变压器的运行</b>	87
第一节	电力变压器概述	87
第二节	电力变压器的运行	101
第三节	电力变压器的巡视操作	114
第四节	电力变压器的异常与事故处理	122
<b>第四章</b>	<b>电气主接线的运行</b>	129
第一节	电气主接线概述	129
第二节	电气主接线的运行方式	131
第三节	电力系统中性点的运行方式	137
第四节	母线的倒闸操作	142
第五节	母线的巡视检查和事故处理	147
<b>第五章</b>	<b>高压断路器的运行</b>	153
第一节	高压断路器概述	153
第二节	常用的高压断路器	161
第三节	高压断路器运行规定和操作	166
第四节	高压断路器的巡视与事故处理	171

<b>第六章</b>	<b>配电装置的运行</b> .....	180
第一节	隔离开关的运行.....	180
第二节	互感器的运行.....	193
第三节	电抗器的运行.....	206
第四节	避雷器的运行.....	211
第五节	GIS 组合电器的运行.....	213
<b>第七章</b>	<b>输电线路的运行</b> .....	218
第一节	输电线路的结构.....	218
第二节	输电线路的防雷.....	224
第三节	输电线路的附属设备.....	228
第四节	输电线路的停送电操作与巡视检查.....	231
第五节	输电线路的事故处理.....	239

# 第一章 厂用电及直流系统运行

在水电厂的电力生产过程中需要许多设备为发电厂的主要设备（水轮机、发电机）和辅助设备服务。这些设备称为发电厂的自用设备，自用设备主要由电动机拖动，包括油泵电动机、水泵电动机、空气压缩机电动机、断路器储能电动机、隔离开关操作电动机，它们担负的任务有：主阀开关操作，机组开停机操作，负荷调整，油系统油压的保持，高低压气系统气压的保持，发电机及各轴承冷却水、消防用水的供水操作，线路和母线倒闸操作等。发电厂自用设备用电、全厂的照明、运行操作、UPS电源、蓄电池浮充电装置用电，以及试验、电热及通风等用电设备的用电统称为厂用电，对发电厂而言称为厂用电。

直流系统是独立的操作电源，其负荷极为重要，供给发电厂、变电站的断路器操作、信号装置、继电保护装置、自动装置、运动装置、通信设备、事故照明、水车自动控制、交流不停电电源装置（UPS）的用电。同时作为独立的电源，在厂用电失去后，直流电源还可作为应急的备用电源，即使在全厂停电的情况下，仍应能保证继电保护装置、自动装置、控制及信号装置和断路器等可靠工作，同时亦能供给事故照明用电。因此确保直流系统的正常运行，是保证发电厂安全运行的决定性条件之一。

## 第一节 直流系统的运行

### 一、直流系统概述

水力发电厂的电气设备分为一次设备和二次设备两类。为了安全、经济地发电、供电，需对一次设备及其电路进行测量、操作和保护，因而需装设辅助设备，如各种测量仪表、控制开关、信号器具、继电器等。这些辅助设备称为二次设备，二次设备互相连接而成的电路叫二次回路。直流系统就是为给二次设备、事故照明、应急电源及断路器分、合闸操作提供直流电源的电源设备。直流系统是一个独立的电源，它不受发电机、厂用电及系统运行方式的影响，并在外部交流电中断的情况下，保证由后备电源（蓄电池）继续提供直流电源。直流系统以电池容量标称，直流系统的用电负荷极为重要，对供电的可靠性要求很高。直流系统的可靠性、安全性直接影响到电力系统供电的可靠性和安全性。

#### （一）直流系统的要求

蓄电池直流系统运行时，要求有足够的可靠性和稳定性，即使在全厂停电、交流电源全部消失的情况下，也要求直流系统能持续地向直流负荷供电，特别是大容量机组对其运行的安全性和可靠性提出了更高的要求。发电厂一般都装设专用的一套或两套直流系统，每套直流系统由一组或两组蓄电池及充电装置组成。设置一组蓄电池时，机组的控制（断路器控制、信号回路、继电保护回路）和动力（断路器合闸回路）直流负荷合在一起供电，设置两组蓄电池时，控制和动力直流负荷可以分开供电。

## (二) 直流系统电压的选用

为了满足直流负荷的供电要求，直流系统的电压一般按下述规定选用：

(1) 控制负荷、动力负荷、直流事故照明等公用的蓄电池组直流系统，电压采用 220V 或 110V。

(2) 控制负荷专用的蓄电池组直流系统，电压采用 110V。

(3) 动力负荷和直流事故照明负荷专用的蓄电池组直流系统，电压采用 220V。

(4) 对强电回路（电压在 100V 及以上的回路），蓄电池组直流系统电压采用 220V 或 110V；对弱电回路（电压在 48V 及以下，电流为毫安级的回路），直流电压采用 48V。

## (三) 直流系统的组成

直流系统一般由蓄电池、充电装置、直流负荷三大部分组成。

### 1. 蓄电池

蓄电池是一种化学电源，它能把电能转变为化学能并储存起来，使用时再把化学能转换为电能供给用电设备，变换的过程是可逆的。因此，蓄电池组是一种与电力系统运行方式无关的独立电源系统。在发电厂事故甚至交流电源完全消失的情况下，它仍能在一定的时间内（通常为 2h）可靠供电，因此具有很高的供电可靠性。此外，由于蓄电池组电压平稳、容量较大，可以提供断路器合闸时所需要的较大的短时冲击电流，满足较复杂的继电保护和自动装置的要求，并可作为事故保安负荷的备用电源。目前，水力发电厂中广泛使用的是铅酸蓄电池，以 GGF 型防酸隔爆式铅酸蓄电池和 GFM 型阀控式密封铅酸蓄电池为最普遍。

### 2. 充电装置

蓄电池组的充电和浮充电装置较普遍使用的是硅整流装置。单蓄电池组单母线分段接线方式的直流系统配置有 2 台硅整流装置，1 台作浮充，1 台作主充；双蓄电池组单母线分段接线方式的直流系统配置有 3 台硅整流装置，2 台作浮充，1 台作主充。目前采用的新式充电装置既可用于浮充电，也可用于定期充电和均衡充电。

### 3. 直流负荷

发电厂的直流负荷按用电特性的不同分为经常负荷、事故负荷和冲击负荷三类。

(1) 经常负荷。经常负荷是指在各种运行状态下，由直流电源不间断供电的负荷，主要包括经常带电的直流继电器、信号灯、位置指示器，以及经常点亮的直流照明灯等。

(2) 事故负荷。事故负荷是指正常运行时由交流电源供电，当变电站的自用交流电源消失后由直流电源供电的负荷。

(3) 冲击负荷。冲击负荷是指直流电源承受的短时最大电流，它包括断路器合闸时的冲击电流和此时直流母线上所承受的其他负荷电流（经常负荷与事故负荷）。

## (四) 直流系统的基本概念及型号

### 1. 基本概念

(1) 均衡充电：用于均衡单格电池容量的充电方式，一般充电电压较高，常用于快速恢复电池容量。

(2) 浮充电：保持电池容量的一种充电方法，一般电压较低，常用来平衡电池自放电导致的容量损失，也可用来恢复电池容量。

(3) 正常充电：蓄电池正常的充电过程，即由均衡充电转到浮充电的过程。

(4) 定时均充：为了防止电池长期处于浮充电状态而导致电池单格容量不平衡，周期性

地以较高的电压对电池进行均衡充电。

(5) 限流均充：以不超过电池充电限流点的恒定电流对电池充电。

(6) 恒压均充：以恒定的均衡充电电压对电池充电。

## 2. 蓄电池的型号

蓄电池的型号由 3 部分组成。第 1 部分表示串联的单格电池数，用阿拉伯数字表示。第 2 部分表示电池类型和特征，用 2 个汉语拼音字母表示：第 1 个字母表示电池类型，例如“Q”表示启动型铅蓄电池；第 2 个字母表示电池结构特征，如干荷蓄电池用“A”表示，薄型极板用“B”表示，免（无）维护蓄电池用“W”表示。第 3 部分表示额定容量，用阿拉伯数字表示，单位为 Ah，略去不写，在其后用 1 个字母表示特殊性能，如高启动率用“G”表示，塑料槽用“S”表示，用“D”表示低温启动性好。

## 二、蓄电池的结构及工作特性

### (一) 蓄电池的结构

蓄电池由若干只单格电池串联而成，每只单格电池电压约为 2V，串联成足够电压等级供直流设备使用。蓄电池主要由极板、隔板、电解液和外壳组成，其结构如图 1-1 所示。

#### 1. 极板

(1) 功用。极板是蓄电池的核心部分，蓄电池充放电过程中，电能与化学能的相互转换依靠极板上的活性物质与电解液中的硫酸的化学反应来实现。极板分正极板、负极板两种。

(2) 组成。极板由栅架和活性物质组成，结构如图 1-2 所示。

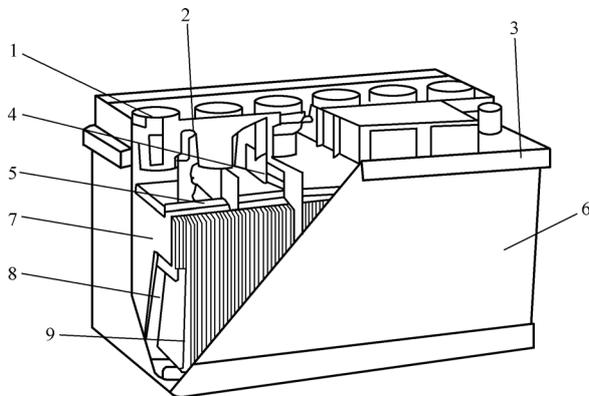


图 1-1 蓄电池的结构

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

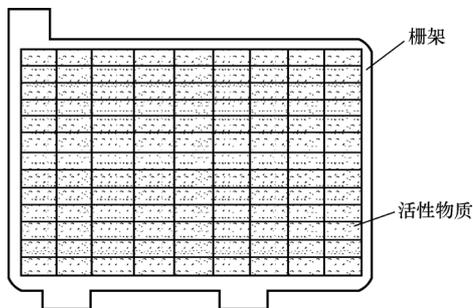


图 1-2 极板的结构

栅架由铅锡合金浇铸而成。锡可以提高机械强度和浇铸性能，但是锡会加速氢的析出而加速电解液的消耗，还会引起蓄电池自放电和栅架腐烂，缩短蓄电池使用寿命。目前，多采用铅—低锡合金栅架或铅—钙—锡合金栅架。

正极板上的活性物质为二氧化铅（ $PbO_2$ ），为深棕色；负极板上的活性物质为海绵状纯铅（Pb），为深灰色。

(3) 极板组。一片正极板和一片负极板浸入电解液中，可得到 2V 左右的电动势，为增大蓄电池容量，常将多片正、负极板分别并联组成正、负极板组，如图 1-3 所示。

因为正极板的强度较低，所以在单格电池中，负极板总比正极板多一片。每一片正极板

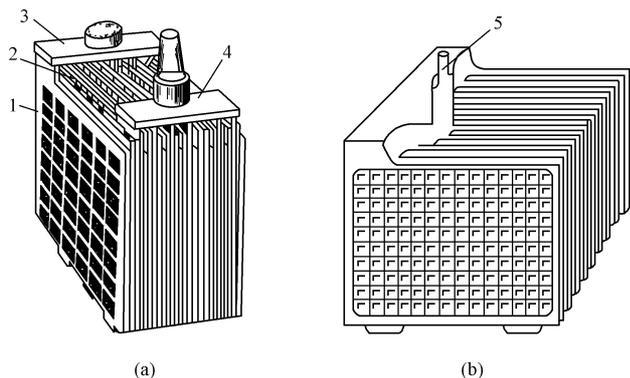


图 1-3 极板组

(a) 极板组总成；(b) 极板组

1—极板；2—隔板；3、4—横板；5—极柱

都处于两片负极板之间，保持其放电均匀，防止变形。

### 2. 隔板

(1) 功用。隔板在正、负极板间起绝缘作用，使电池结构紧凑。

(2) 特征。隔板有许多微孔，可使电解液畅通无阻。隔板一面平整，一面有沟槽，沟槽面对着正极板，且与底部垂直，以使充放电时，电解液能通过沟槽及时供给正极板，当正极板上的活性物质二氧化铅脱落时能迅速通过沟槽沉入容器底部。

### 3. 电解液

电解液由纯硫酸与蒸馏水按一定比例配置而成，加入每个单格电池中。电解液应符合标准，含杂质会引起自放电和极板溃烂，从而影响蓄电池寿命。

### 4. 外壳

壳体用于盛装电解液和极板组。外壳应耐酸、耐热、耐振动和冲击。外壳有橡胶外壳和聚丙烯塑料两种，普遍采用的是塑料外壳，其有壳壁薄、质量轻、易于热封合、生产效率高等优点。外壳为整体式结构，壳内间壁分成 3 个或 6 个互不相通的单格。蓄电池单格电池之间均用铅质联条串联，如图 1-4 所示。

每个单格电池设有一个液孔，可以加注电解液或检测电解液密度。孔盖上设有通气孔，便于排出蓄电池内部气体，防止外壳胀裂，发生事故。

## (二) 蓄电池的工作原理

### 1. 放电

把正、负极板互不接触浸入电解液中，在盛电解液的容器外用导线和灯泡把两种极板连接起来，如图 1-5 所示，此时灯泡亮，因为二氧化铅板和铅板都与电解液中的硫酸起了化学反应，使两种极板之间产生了电动势（电压），在导线中有电流流过，即化学能变成了使灯泡发光的电能。这种由于

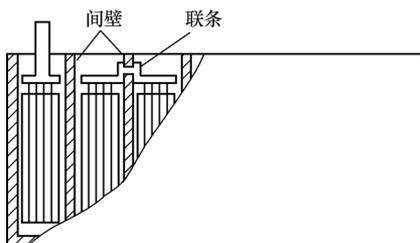


图 1-4 单格电池间穿壁连接示意图

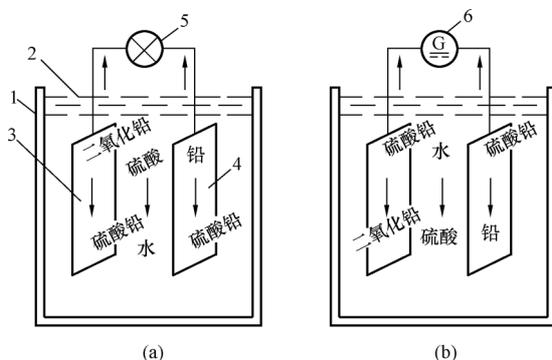


图 1-5 蓄电池的工作原理

(a) 蓄电池放电；(b) 蓄电池充电

1—容器；2—电解液；3—二氧化铅板（正极）；

4—铅板（负极）；5—灯泡；6—直流发电机

化学反应而输出电流的过程称为蓄电池放电。

放电时，正、负极板上的活性物质都与硫酸发生了化学反应，生成硫酸铅（ $PbSO_4$ ）。当两极板上大部分活性物质都变成了硫酸铅后，蓄电池的端电压就下降。当端电压降到1.8~1.75V以后，放电不宜继续下去，此时两极板间的电压称为终止放电电压。在整个放电过程中，蓄电池中的硫酸逐渐减小而形成水，硫酸的浓度减小，电解液密度降低，蓄电池内阻增大，电动势下降，端电压也随之减小，此时，正极板为浅褐色，负极板为深灰色。

必须注意，在正常使用情况下，蓄电池不宜过度放电，因为在化学反应中生成的硫酸铅小晶块在过度放电后将结成体积较大的大晶块，晶块分布不均匀时，就会使极板发生不能恢复的翘曲，同时还增大了极板的电阻。放电时产生的硫酸铅大晶块很难还原，妨碍充电过程的进行。

## 2. 充电

如果把外电路中的灯泡换成直流电源，即直流发电机或硅整流设备，并且把正极板接外电源的正极，负极板接外电源的负极，如图1-5所示，当外接电源的端电压高于蓄电池的电势时，外接电源的电流就会流入蓄电池，电流的方向刚好与放电时的电流方向相反，于是在蓄电池内就产生了与上述相反的化学反应，也就是说，硫酸从极板中析出，正极板又转化为二氧化铅，负极板又转化为纯铅，而电解液中硫酸增多，水减少。经过这种转化，蓄电池两极之间的电动势又恢复了，蓄电池又具备了放电条件。这时，外接电源的电能不能充进了蓄电池变成化学能而储存起来，这种过程称为蓄电池充电。

充电过程使硫酸铅小晶块还原为二氧化铅（正极板）和铅绵（负极板），极板上的硫酸铅消失。由于充电反应逐渐深入极板活性物质内部，硫酸浓度就增大，水分减少，溶液的密度增大，蓄电池内阻减小，电动势增大，端电压随之上升。当充电电压上升到大约2.3V时，极板上开始有气体析出，正极板上逸出氧气，负极板上逸出氢气，产生强烈的冒气现象，这种现象称为蓄电池的沸腾。沸腾是由于负极板上硫酸铅已经很少了，化学反应逐渐转变为水的电解所造成。上述两种反应同时进行时，需要消耗更多的能量，浪费蒸馏水和电力，因此，为了维持恒定的充电电流，应逐渐提高外加电源的电压。

## 3. 蓄电池自放电现象

由于电解液中所含金属杂质沉淀在负极板上，以及极板本身活性物质中也含有金属杂质，因此，在负极板上形成局部的短路，造成了蓄电池的自放电现象。通常在一昼夜内，铅蓄电池由于自放电，其容量将减少0.5%~1%。自放电现象也随着电解液的温度、密度和使用时间的增长而变化。

### (三) 蓄电池的特性

#### 1. 放电特性

放电容量与放电电流关系：放电电流越小，放电容量越大；反之，放电电流越大，放电容量越小。放电容量与温度关系：温度降低，放电容量减少。

温度为25℃时，0.1 $C_{10}$  (A) ~ 2.0 $C_{10}$  (A)的放电电流，放电至终止电压时的放电特性曲线如图1-6所示。

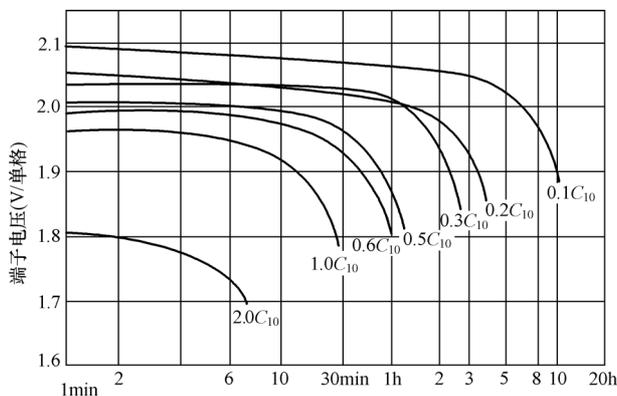


图 1-6 放电特性曲线

## 2. 充电特性

蓄电池放电后的恢复充电可以采用浮充电方法（电压 2.23V/单格）。按 10h 额定容量 50% 及 100% 放电后的定电流 $[0.1C_{10}(A)]$ 、定电压（2.23V）充电，特性曲线如图 1-7 所示。放电后的蓄电池充满电所需时间随放电量、充电初期电流、温度而变化。例如图 1-7 中，100% 放电后的电池在 25℃ 以  $0.1C_{10}(A)$ 、2.23V/单格进行限流恒压充电，24h 左右可以充电至放电量 100% 以上。

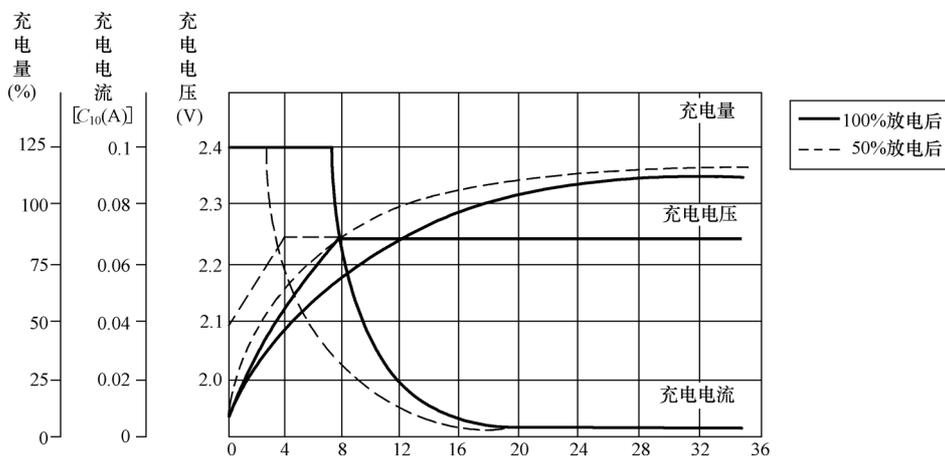


图 1-7 充电特性曲线

## 三、整流装置和直流绝缘监察装置

### (一) 整流装置

目前，广泛采用硅整流器作为直流操作电源和蓄电池的浮充电设备。

#### 1. 硅整流器的基本原理

硅整流器中最基本的元件是硅晶体二极管，二极管两端引出线有极性，一端是正，一端是负。

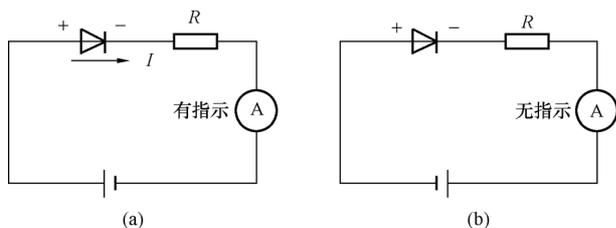


图 1-8 二极管的单向导电性

(a) 正向连接；(b) 反向连接

二极管具有单向导电性能，二极管正向连接时[见图 1-8(a)]，直流电源的正极同二极管的正极连接，电源的负极同二极管的负极连接，二极管内阻很小，负载电阻  $R$  中有电流流过（串入的电流表有指示），二极管正向很容易导电。二极管反向连接时[见图 1-8(b)]，即二极管上加反向电压时，其内阻很大，很难导电。

二极管流过的反向电流很小（串入的电流表指示不出数值来或数值很小）可以忽略不计，可认为二极管是不导通的。但是，给二极管上所加的反向电压增大到一定数值时，流过二极管的反向电流突然增加，即二极管突然由不导通状态变为导通状态，这就叫二极管的击穿，此时所加的电压叫二极管反向击穿电压。二极管在使用时所加的电压不能超过这个数值，否则二极管因击穿而损坏，就丧失了单向导电性能。

#### 2. 硅整流电路

(1) 单相桥式全波整流电路。单相整流电路分为全波整流电路和半波整流电路。半波整流电路结构简单，使用元件少，但整流效率低，输出电压脉动大，因此，它只使用于要求不高的场

合。为了克服半波整流电路的缺点，常采用桥式全波整流电路，如图 1-9 (a)所示，VD1、VD2、VD3、VD4 四只整流二极管接成电桥形式。

设变压器二次电压  $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ ，波形如图 1-9 (c) 所示。在  $u_2$  的正半周，即 a 点为正，b 点为负时，VD1、VD3 承受正向电压而导通，此时有电流流过  $R_L$ ，电流路径为 a→VD1→ $R_L$ →VD3→b，此时 VD2、VD4 因反偏而截止，负载  $R_L$  上得到一个半波电压，如图 1-9 (c) 中  $u_o$  波形的  $0 \sim \pi$  段所示，若略去二极管的正向压降，则  $u_o \approx u_2$ 。在  $u_2$  的负半周，即 a 点为负 b 点为正时，VD1、VD3 因反偏而截止，VD2、VD4 正偏而导通，此时有电流流过  $R_L$ ，电流路径为 b→VD2→ $R_L$ →VD4→a，这时  $R_L$  上得到一个与  $0 \sim \pi$  段相同的半波电压，如图 1-9 (c) 中  $u_o$  波形的  $\pi \sim 2\pi$  段所示，若略去二极管的正向压降， $u_o \approx -u_2$ 。如图 1-9 (c) 中  $i_{VD}$  波形所示，在交流电压  $u_2$  的整个周期始终有同方向的电流流过负载电阻  $R_L$ ，故  $R_L$  上得到单方向全波脉动的直流电压。可见，桥式整流电路输出电压为半波整流电路输出电压的 2 倍，所以桥式整流电路输出电压平均值为  $u_o = 2 \times 0.45U_2 = 0.9U_2$ 。桥式整流电路中，由于每两只二极管只导通半个周期，故流过每只二极管的平均电流仅为负载电流的二分之一，在  $u_2$  的正半周，VD1、VD3 导通时，可将它们看成短路，这样 VD2、VD4 就并联在  $u_2$  上，其承受的反向峰值电压为  $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$ 。同理，VD2、VD4 导通时，VD1、VD3 截止，其承受的反向峰值电压也为  $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$ ，如图 1-9 (c) 中  $u_{VD}$  波形所示。

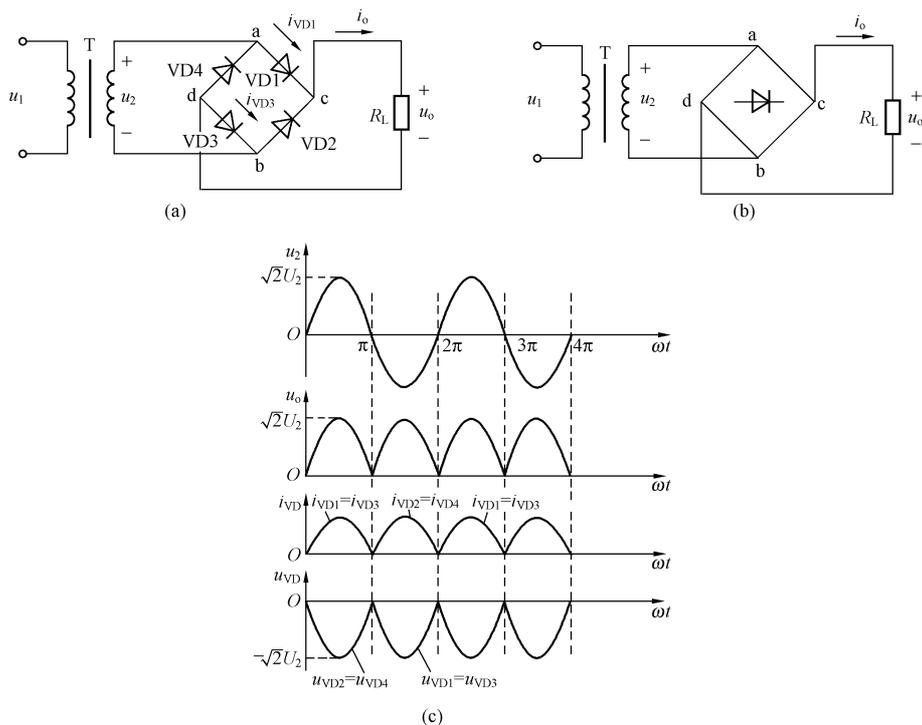


图 1-9 单相桥式全波整流电路及波形

(a) 整流电路；(b) 整流电路简化图；(c) 电压、电流波形

(2) 三相桥式全波整流电路。单相桥式全波整流电路在直流输出功率不大时采用，2~3kW 以上充电用的整流装置通常采用三相桥式全波整流电路。三相桥式全波整流电路仍然

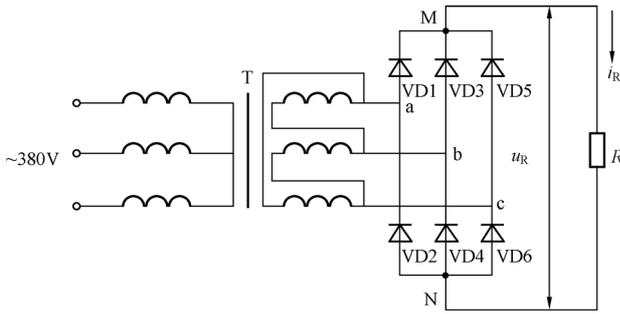


图 1-10 三相桥式全波整流电路

是利用二极管的单向导电性能进行整流的。

三相桥式全波整流电路如图 1-10 所示，整流变压器 T 按 Yd（或 Dy）接线，这样其二次侧输出三相电压  $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ ，按正弦规律变化。

三相桥式全波整流过程如图 1-11 所示。

在  $t_1 \sim t_2$  时间间隔内，a 相电压  $u_a$  最高，b 相电压  $u_b$  最低，而 c 相电压  $u_c$  在  $u_a$  和  $u_b$  之间，此时只有二极管 VD1、VD4 是导通的，电流途径[见图 1-11(b)]为  $a \rightarrow VD1 \rightarrow M \rightarrow R \rightarrow N \rightarrow VD4 \rightarrow b$ ，M 点电位（近似等于 a 点电位）高于 N 点电位（近似等于 c 点电位），这就使得二极管 VD3、VD5、VD2、VD6 都承受反向电压而处于截止状态。在  $t_2$  瞬间， $u_a$  仍是最高（为正值）， $u_b$  和  $u_c$  相等（为负值），此瞬间电流从 VD1 流出经 M 点，流过负载 R 从 VD4、VD6 分别流回电源，二极管 VD3、VD5、VD2 仍处于截止状态。

在  $t_2 \sim t_3$  时间间隔内， $u_a$  最高（仍为正值），c 相电压  $u_c$  变为最低（为负值），b 相电压  $u_b$  在  $u_a$  和  $u_c$  之间，VD1、VD6 是导通的，电流途径为  $a \rightarrow VD1 \rightarrow M \rightarrow R \rightarrow N \rightarrow VD6 \rightarrow c$ ，M 点电位（近似等于 a 点电位）高于 N 点单位（近似等于 c 点电位），二极管 VD3、VD5、VD2、VD4 都承受反向电压而处于截止状态。在  $t_3$  瞬间， $u_a = u_b$  是正值， $u_c$  是负值，此瞬

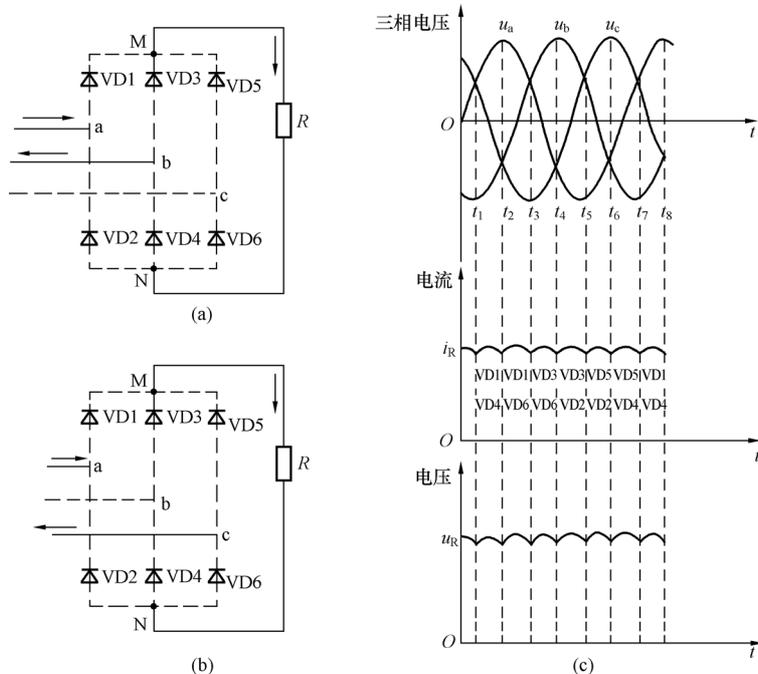


图 1-11 三相桥式全波整流电路及波形图

(a)  $t_1 \sim t_2$  时间间隔内的电流途径；(b)  $t_2 \sim t_3$  时间间隔内的电流途径；(c) 电压、电流波形

$i_R$ —负载 R 中的电流； $u_R$ —负载 R 两端的电压

间电流分别从 VD1、VD9 流出经 R 由 VD6 流回电源，二极管 VD5、VD2、VD4 处于截止状态。

在  $t_3 \sim t_4$  时间间隔内，二极管 VD3、VD6 导通，电流从 M 点流出。在  $t_4 \sim t_5$  时间间隔内，二极管 VD3、VD2 导通，电流从 M 点流出。在  $t_5 \sim t_6$  时间间隔内，二极管 VD5、VD2 导通，电流从 M 点流出。

如图 1-11 (c) 所示，三相电压  $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$  互差  $120^\circ$ ，随时间周期变化，6 个二极管按一定规律在不同时间内导通，电流总是从 M 点流出，N 点流回，这样在负载中流过方向不变的脉动直流电流  $i_R$ 。

## (二) 直流绝缘监察装置

直流供电网络一般分布较广，尤其是变电站规模较大时，其控制回路分布范围更广，系统复杂，外露部分多，容易受到外界环境因素的影响，使得直流网络绝缘水平降低，甚至可能发生绝缘损坏而接地。如果正、负两极都接地，此时故障回路的熔断器熔断使相应部分的直流系统停电。如果一极接地，直流网络仍可继续运行，但这是危险的不正常情况。如断路器跳闸绕组或继电保护装置出口继电器接地，再伴随有其他一点接地时，则断路器将会发生误跳闸。因此为了防止两点接地可能发生的误跳闸，对发电厂的直流系统必须装设足够灵敏度的绝缘状态监察装置。当直流系统（一般为 220V）中任何一极的绝缘下降到  $15 \sim 20k\Omega$  时，绝缘监察装置应发出灯光和音响信号。

### 1. 绝缘监察装置的基本原理

如图 1-12 (a) 所示，将电压表接在直流系统的主母线上，正常时转动切换开关 SA 至“+”或“-”时电压表无指示。若“-”极发生接地，则 SA 转至位置 2（“-”极）电压表无指示，转动到位置 1（“+”极）电压表有指示。

如图 1-12 (b) 所示，使用两块电压表。在正常时两块电压表指示值是一样的，各是直流回路电压的二分之一。“-”极接地时，则电压表 PV2 指示数值下降，电压表 PV1 指示数值增大。当某极完全接地时，其中一块表指示值升至全电压，另一块表电压指示值为零。

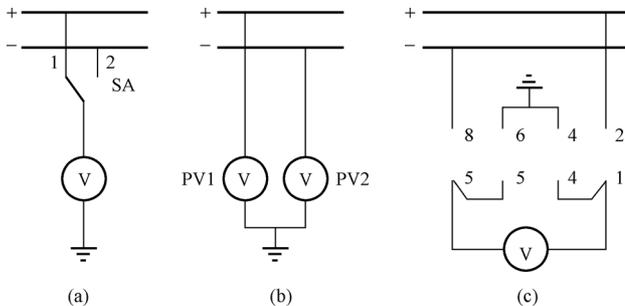


图 1-12 绝缘监察装置

(a) 用 1 个电压表；(b) 用 2 个电压表；(c) SA 实际接线

如图 1-12 (c) 所示，使用一块电压表，转换开关 SA 具有 3 个位置。

手柄在中央时 1—2 及 5—8 接通，此时电压表测量直流母线电压。手柄向左时 1—4 及 5—8 接通，电压表测量负极对地电压。手柄向右时 1—2 及 5—6 接通，电压表测量正极对地电压。直流系统接地程度，只能根据电压表的指示值进行粗略估计。

### 2. 常用绝缘监察装置

目前，发电厂中广泛采用的直流绝缘监察装置的原理如图 1-13 所示。这种装置分为信号和测量两部分，且均按直流电桥的工作原理进行工作。它能在任一极的绝缘电阻降低时，自动发出灯光和音响信号，并且可用来判断接地极和正、负极的绝缘电阻值。

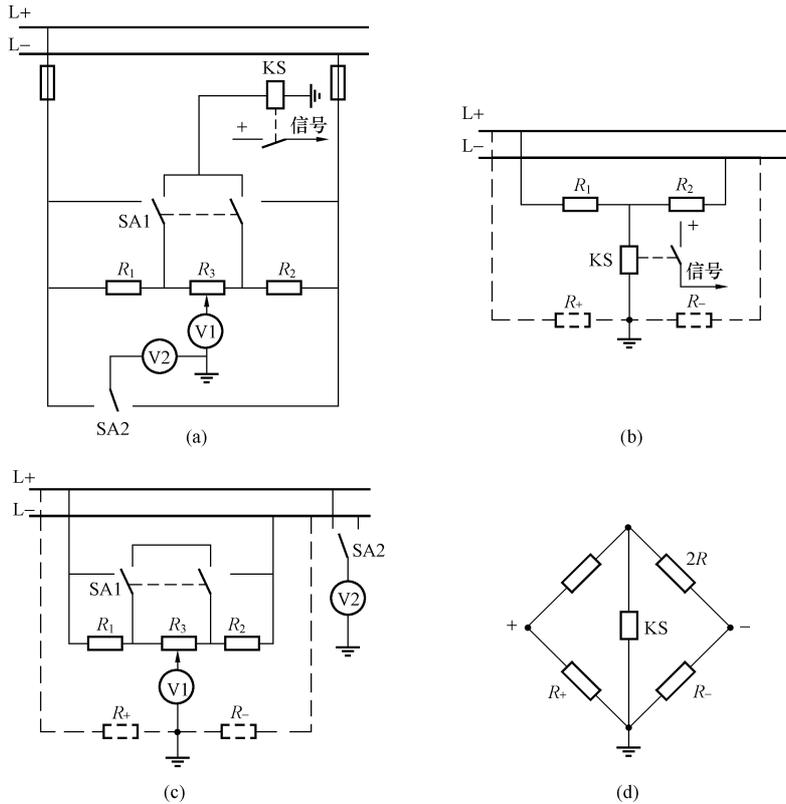


图 1-13 发电厂中广泛采用的直流绝缘监察装置原理图  
 (a) 原理图；(b) 信号部分；(c) 测量部分；(d) 接地信号等值桥  
 KS—信号继电器；SA1、SA2—转换开关

#### 四、直流系统的运行方式和规定

##### (一) 直流系统的运行方式

###### 1. 蓄电池直流系统接线

直流母线的接线方式与蓄电池的组数、直流负荷的供电方式以及充电、浮充电装置的配置情况等因素有关。直流母线通常采用单母线分段接线方式，如图 1-14 所示。220V 直流母线有两段，两段母线之间有联络刀开关 QK，每段母线上分别装有一组蓄电池组和一台充电装置。充电装置既可用于浮充电，也可用于定期充电和均衡充电。这种接线方式简单、清晰，容易分割成两个互不联系的直流系统，有利于提高直流系统的可靠性，查找直流系统接地方便。两段母线之间有隔离开关联络，当一组蓄电池因故退出运行时，合上分段联络隔离开关由另一组蓄电池供两段母线负荷。

###### 2. 蓄电池直流系统正常运行方式

如图 1-14 所示，正常运行时，直流母线分段运行，分段刀开关 QK 断开，每一母线上的充电装置与蓄电池组并列运行，采用浮充电运行方式。直流系统按浮充电方式运行时，充电装置一方面向直流母线供给经常性直流负荷（如信号灯），同时还以很小的电流向蓄电池组浮充电，以补偿蓄电池的自放电损耗。当直流系统中出现较大的冲击性直流负荷时（如断路器合闸时的合闸电流），由蓄电池组供电。冲击负荷消失后，母线负荷仍由充电装置供电，

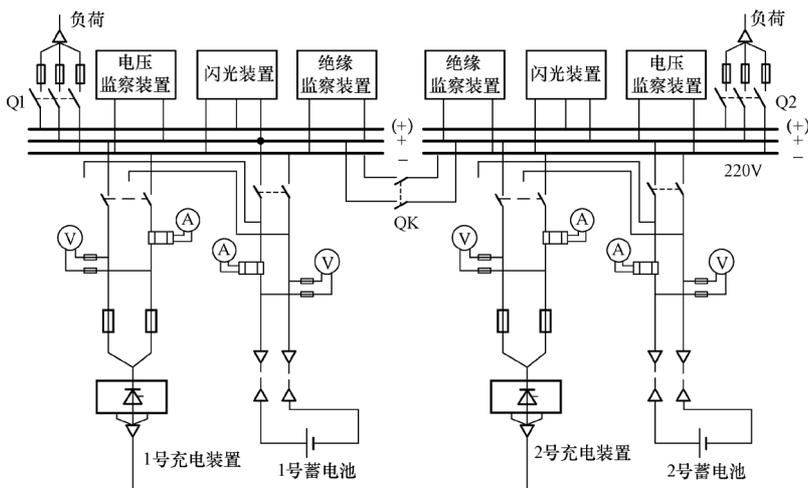


图 1-14 直流系统接线

蓄电池组转入浮充电状态。

正常运行时，必须保证直流系统有足够的浮充电电流。任何情况下，不得用充电装置单独向各个直流工作母线供电。直流系统每段母线均设有绝缘监察装置、电压监察装置、闪光装置，正常运行时均投入。

### 3. 直流系统允许的特殊运行方式

- (1) 一组蓄电池、一组充电装置带 I、II 段直流母线并列运行。
- (2) 一组充电装置带两组蓄电池组，I、II 段直流母线并列运行。
- (3) 任一段直流母线因故退出，另一段直流母线除带本母线负荷外，还带停电母线的所有可倒换的负荷运行，但必须做好隔离安全措施。

### 4. 直流负荷的供电方式

(1) 单回路集中供电方式。将事故照明、不经常使用的直流负荷、部分次要的直流负荷等由一条回路集中供电。如图 1-15 所示，通过 FU1 的回路为单回路集中供电的回路。

影响直流系统正常运行的主要因素是直流电压和直流系统绝缘电阻，而直流系统绝缘电阻的大小取决于设备本身的绝缘电阻、负荷出线的回路数、回路电缆的长度。回路数越多，回路越长，导致系统绝缘下降的可能性越大，故对于一些不重要的负荷，尽量采用单回路集中供电的方式，以提高直流系统的绝缘水平。

(2) 单回路独立供电方式。对于不经常使用，但又非常重要的直流负荷，采用单回路独立供电的方式，如全厂事故报警等直流负荷采用此供电方式。如图 1-15 所示，通过 FU2 的回路为单回路独立供电。

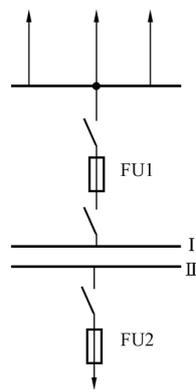


图 1-15 单回路直流供电

(3) 双回路集中供电。对于重要的线路和变压器保护，为了保证高度的可靠性，都采用了双重化的配置方式，从保护配置、直流操作电源，直到断路器的跳闸绕组都按双重化原则配置，这就要求直流电源也必须是双重化的，可分别从每段母线上取得直流电源，即对于操作、信号、保护等重要且比较集中的直流负荷采用双回路集中供电。双回路取自不同直流母线的电源，电源侧的刀开关和熔断器均在接通位置，双回路在负荷端的某点用刀开关断开，