

电气运行高级工培训教材

---

# 电气设备及其运行（二次部分）

广西电力工业局高级工培训教材编委会 编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书为《电气运行高级工培训教材》之一册，全书共分四章。主要内容包  
括：直流系统；发电厂变电站数字式电气监测仪表及巡回检测装置；继电保护；  
中央信号及自动装置。

本书可作为电气运行高级工的培训教材，也可供有关技术人员参考。

### 电气运行高级工培训教材 电气设备及其运行 (二次部分)

广西电力工业局高级工培训教材编委会 编

中国水利水电出版社 出版  
(原水利电力出版社)

(北京三里河路6号 100044)

各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 12.75印张 285千字  
1994年12月第一版 1998年1月北京第三次印刷  
印数 16741—19770册

ISBN 7-80124-611-X/TM·88

(原 ISBN 7-120-02109-5/TM·574)

定价 14.00元

# 前 言

这套电气运行高级工培训教材是我们根据原能源部司局文件教培[1992]4号《关于加强电力系统高级技工培训工作的意见》和中电联部室文件教职[1992]19号关于电力工人培训教材建设工作的意见等文件的精神,并根据工人技术等级标准、岗位规范、安全规程、运行规程、检修(安装)规程,组织我局属系统二十多位高、中级讲师和工程师精心编写而成。这是一套融基础理论、专业理论和操作技能为一体,按照工人培训的特点和规律,以提高电气运行高级技工操作技能为中心,做到基础理论为专业理论服务,专业理论为提高技能服务而编写的培训教材。

这套教材共有四册,包括《专业基础理论》、《电气设备及其运行(一次部分)》、《电气设备及其运行(二次部分)》、《电气设备及其运行(运行管理)》。这四册书既是统一的整体,又有相对的独立性。能满足具有不同要求的读者的需要。

本册为电气设备及其运行二次部分。主要内容有:直流系统、数字电工仪表及电工测量、继电保护、中央信号及自动化。

参加本册编写的人员有:李汝明(第一章和第四章)、刘东畴(第二章)、张昭南(第三章)。

在编写过程中,得到中电联教培部领导,广西电力工业局领导,广西电力工业局科教处、生产处、供用电处、安监处、中调所、中试所等单位领导的大力支持和帮助。在此表示衷心感谢。

由于编者的水平有限,书中错误在所难免,诚望有关专家、老师及广大读者批评指教。

广西电力工业局高级工培训教材编委会

1994年7月于南宁

# 目 录

序

前 言

<b>第一章 直流系统</b> .....	1
第一节 蓄电池.....	1
第二节 可控硅整流充电装置.....	9
第三节 直流系统的监察装置 .....	14
<b>第二章 发电厂、变电站数字式电气监测仪表及巡回检测装置</b> .....	19
第一节 数字式电气监测仪表 .....	19
第二节 数字式功率表及电能表 .....	27
第三节 巡回检测装置 .....	29
<b>第三章 继电保护</b> .....	35
第一节 发电机保护 .....	35
第二节 电力变压器的继电保护 .....	56
第三节 母线保护 .....	74
第四节 输电线路的继电保护 .....	90
第五节 距离保护及高频保护的整定计算原则.....	123
<b>第四章 中央信号及自动装置</b> .....	141
第一节 中央信号及其它信号.....	141
第二节 综合重合闸.....	153
第三节 按频率自动减载装置.....	168
第四节 同期系统.....	175
第五节 故障自动录波装置.....	190

# 第一章 直流系统

在发电厂和变电站中供给控制、信号、保护、自动装置、事故照明及直流动力设备等的用电，一般都是直流电源。根据其负荷性质的要求，直流电源应具有高度的可靠性和稳定性，电源的容量和电压质量均应在最严重的事故情况下能保证用电设备的可靠工作。由于蓄电池是一种独立的直流电源，它在发电厂和变电所内发生任何事故时，即使在交流电源全部消失的情况下，都能保证其用电设备可靠而连续地工作。因此，发电厂和 110kV 及以上的变电所，通常采用蓄电池作为直流电源。

## 第一节 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。

根据电极和电解液所用的物质不同，蓄电池可分为酸性蓄电池和碱性蓄电池两种。

### 一、酸性蓄电池

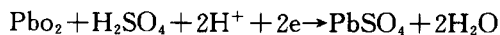
酸性蓄电池一般称为铅酸蓄电池，其优点是端电压较高 (2.15V)，冲击放电电流大，因而很适用于断路器跳、合的冲击负荷。其主要缺点是电池寿命较短，充电时会逸出有害的硫酸气体，蓄电池室需做较复杂的防酸和防爆的建筑处理。

目前，在发电厂及变电所中常用的有 GGF 固定型防酸隔爆式铅酸蓄电池、GGM 型密闭防酸隔爆式铅酸蓄电池等。它们具有容量大，寿命长，维护方便等特点。

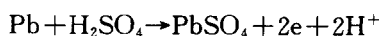
#### 1. 铅酸蓄电池的工作原理

(1) 放电过程的电化反应。蓄电池向外电路供电流时称为放电。蓄电池放电时，放电电流从正极流出，经负载流向负极。在蓄电池内部，电流从负极流向正极。在电流的作用下，电解液处于负电荷，负极板则从带有负电荷的硫酸根中获得负电荷，其化学反应式为：

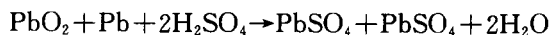
在正极板



在负极板



总的电化反应式为：



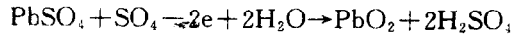
(正极)(负极)(电解液)(正极)(负极)(电解液)

从上式可知，蓄电池在放电过程中，正负极板上都形成了硫酸铅，电解液中的硫酸逐渐减少，水份增加，使电解液的比重降低。

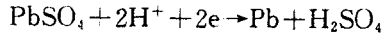
(2) 充电过程的电化反应。充电时，在蓄电池内部，充电电流从正极流向负极，在充

电电流的作用下，正负极板上的硫酸铅  $\text{PbSO}_4$  和电解液中的水被分解，其电化反应式为：

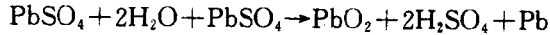
在正极板



在负极板



总的电化反应式为：



(正极)(电解液)(负极)(正极)(电解液)(负极)

即在充电过程中，在正极板上的硫酸铅被硫酸根氧化失去电子而还原为二氧化铅；在负极板上的硫酸铅被氢离子还原成为铅。在化学反应中吸收了二个分子的水，而析出二个分子的硫酸。因此，电解液的比重增大，电池内阻减少，电势增大。

2. 铅酸蓄电池的主要电气特性

(1) 铅酸蓄电池的电势、端电压和内电阻。蓄电池的电势，在正负极板活性物质固定后，主要由电解液的浓度（比重）决定，根据经验公式，铅酸蓄电池的电势为：

$$E = 0.85 + \gamma$$

式中  $\gamma$ ——在极板有效物质微孔中的电解液比重；

0.85——铅酸蓄电池电势常数。

蓄电池的电势与电解液的温度也有一定的关系。但在  $5 \sim 25^\circ\text{C}$  的范围内变化不大，而在实际运行中电解液的温度一般不允许超过  $35^\circ\text{C}$ 。因此，温度对电势的影响可忽略不计。

蓄电池在没有带负荷时，其端电压就是蓄电池的电势。当蓄电池带上负载时，便有电流流过。由于蓄电池有内阻，电流流过内电阻产生压降，因此蓄电池的端电压为：

$$V = E - Ir_c$$

式中  $r_c$ ——蓄电池的内电阻；

$I$ ——通过蓄电池的电流；

$V$ ——蓄电池的端电压。

蓄电池的内电阻就是：电解液的电阻、正负极板电阻、隔离物的电阻、连接物的电阻的总电阻。蓄电池的内电阻不是一个固定值。在充电过程中，其内电阻将逐渐减少。而在放电过程中，内阻逐渐增加。电解液的温度和比重对内阻也有影响，内阻的大小与电解液比重成反比，而电解液的比重又随其温度下降而上升。

蓄电池的内电阻可用下式求得：

$$\text{充电时} \quad R_c = \frac{V_c - E}{I_c}$$

$$\text{放电时} \quad R_f = \frac{E - V_f}{I_f}$$

式中  $R_c$ 、 $R_f$ ——充、放电时电池的内电阻；

$V_c$ 、 $V_f$ ——充、放电时电池的端电压；

$I_c$ 、 $I_f$ ——充、放电电流；

$E$ ——蓄电池电势。

(2) 铅酸蓄电池的容量。蓄电池的容量表示蓄电池的蓄电能力。充足电的电池，放电到规定放电终止电压时，其所放出的总容量即为该电池的容量。当蓄电池以恒定电流值放电时，它的容量用下式求得：

$$Q = I_f t_f$$

式中  $Q$ ——蓄电池的放电容量，A·h；

$I_f$ ——放电电流值，A；

$t_f$ ——放电时间，h。

一般以电解液温度为 25℃ 时，10h 放电率的容量作为蓄电池的额定容量。

如放电电流不是恒定值，其容量等于各段放电电流值与该段放电时间乘积之和。

蓄电池的容量受放电率和电解液的比重和温度影响。

1) 放电率对容量的影响。蓄电池在不同的放电率下其容量是不同的。一般情况下，铅酸蓄电池的放电容量与额定容量有如下关系：

$$Q_e = k Q_m$$

式中  $Q_e$ ——10h 放电率的额定容量；

$Q_m$ ——非正常放电率的容量；

$k$ ——容量增大系数。

$k$  值由  $I_m/I$  比值与放电时间决定，其中  $I_m$  为非正常放电电流， $I$  为 10h 放电率放电电流。

2) 电解液比重、温度对容量的影响。电解液比重高，蓄电池的容量大。反之，容量小。但如果比重过高，电流易于集中，极板腐蚀和隔离物损坏也就越快，这就缩短了蓄电池的寿命。因此电解液的比重必须适当。

蓄电池的容量随着电解液的温度上升而上升。因为电解液温度上升时，离子运动速度加快，电化反应加快，因而电池容量增大。

蓄电池的额定容量是以电解液温度为 25℃ 作为依据的。因此，在 10~40℃ 范围内，蓄电池容量可按下列计算：

$$Q_t = Q_{25} [1 + 0.008 (t - 25)]$$

式中  $Q_t$ ——在  $t$ ℃ 时实际放电容量；

$Q_{25}$ ——标准温度 (25℃) 时的容量；

$t$ ——放电过程中电解液的平均温度。

电解液温度一般控制在 20℃ 左右，不要超过 40℃，否则会使正极板弯曲。自放电加剧，会使蓄电池造成不可挽救的损失。

### 3. 铅酸蓄电池的运行与维护

(1) 浮充电运行方式。发电厂和变电所中的蓄电池，一般是按浮充电方式运行的，即将充满电的蓄电池组与浮充电装置并联运行。浮充电装置正常时，除供给直流负荷电流外，还用不大的电流向蓄电池浮充电，以补偿蓄电池自放电的损耗，使蓄电池经常处于满充电状态。若在很大的冲击电流下（如断路器合闸时），绝大部分电流由蓄电池组供给，同时在浮充电源中断时，全部直流负荷由蓄电池组供电。这种运行方式的优点是：能防止极板硫

化和弯曲，延长蓄电池的使用寿命，并能保证供电的可靠性。

正常时浮充电流可用下式估算：

$$I = 0.03 \times \frac{Q_c}{36}$$

式中  $I$ ——浮充电流值，A；

$Q_c$ ——蓄电池的额定容量，A·h。

在按浮充电方式运行时，蓄电池的电压应保持在  $2.15 \pm 0.05V$  之间，电解液的比重保持在  $1.215 \pm 0.0005$  之间。

按浮充电方式运行的蓄电池组，要求每三个月进行一次核对性放电，核对其容量，同时使极板活性物质得到均匀的活动。核对性放电是用 10h 的放电率电流进行放电，终于电压为 1.8V 或放出蓄电池容量的 50%~60%，终期电压达 1.9V 时即停止放电，并立即进行正常充电和均衡充电。对已运行两年以上的蓄电池，核对性放电周期可适当地延长，一般以一年为宜。

(2) 端电池的运行维护。按浮充电方式运行的蓄电池组，为了使在充电设备发生故障时仍能保证直流母线的工作电压满足负荷的要求，一般设有端电池。

端电池在正常运行时没有充电电流流过，经常处于自放电状态，促使极板硫化。端电池防硫化措施目前主要有两种方式：

1) 端电池并联调整电阻，接线如图 1-1 所示。在运行中调节电阻  $R$ ，使其通过电流等于负荷电流，亦即通过电流表  $A$  的电流为零。这样，基本电池和端电池中通过相同的电流，使端电池处于浮充电状态。运行中必须及时地调整，否则将会引起端电池过充电或放电

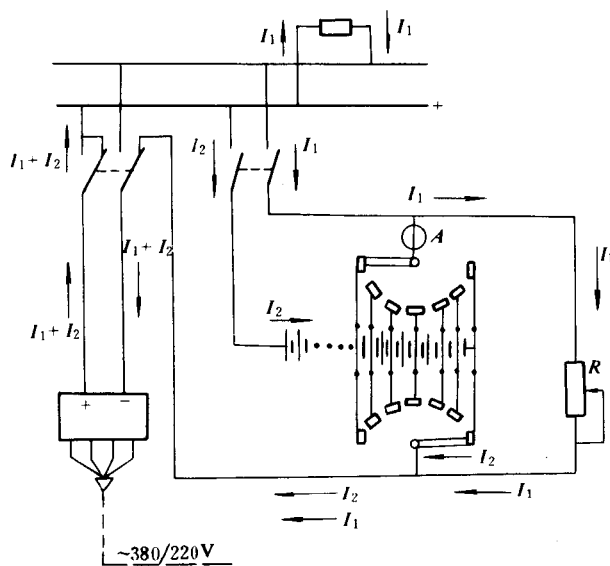


图 1-1 端电池并联电阻的防硫化措施



状态。

2) 在端电池上单独加装小整流装置, 经常单独对端电池浮充。接线如图 1-2 所示。浮充电流应与基本电池的浮充电流基本相同。

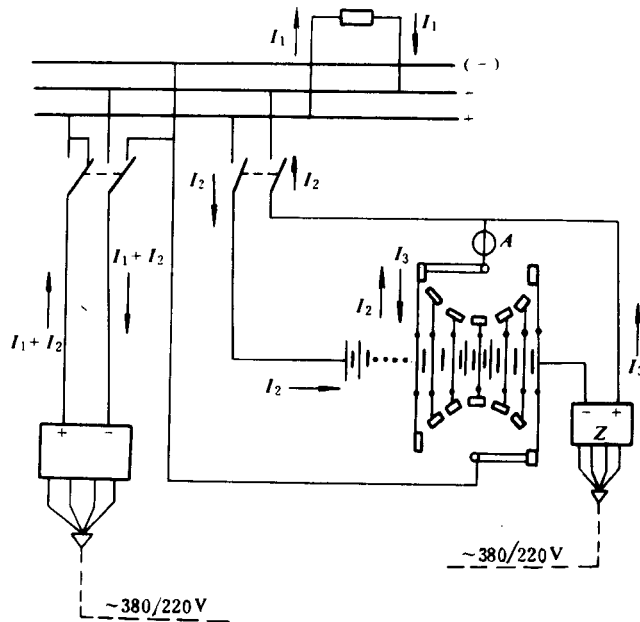


图 1-2 端电池加小整流设备单独浮充的防硫化措施

(3) 均衡充电。铅酸蓄电池在运行中, 由于每个电池的内电阻和特性不能完全一致, 有的电池其比重、端电压可能不均衡, 逐渐扩展成为落后电池极板硫化。因此在一定时期内要进行均衡充电。按浮充电运行的蓄电池组, 要求 3 个月进行一次均衡充电; 一般在核对性放电后也要进行均衡充电。遇有下列情况之一时, 均需及时进行均衡充电:

- 1) 过量放电, 蓄电池的端电压放到低于规定的终止电压值时;
- 2) 放电后未及时进行充电;
- 3) 长期充电不足, 部分电池的电压和电解液比重下降;
- 4) 极板呈现不正常状态或有轻微硫化现象;
- 5) 放电容量超过额定容量 10% 的电池;
- 6) 极板从电池槽内取出处理, 消除沉淀物之后;
- 7) 浮充电池放出近 50% 的额定容量时;
- 8) 长期静置不用的电池;
- 9) 电解液混有杂质的电池。

均衡充电方法: 先按正常充电方式充好电后, 断开充电装置, 并尽可能断开负荷, 使蓄电池静止 1h, 然后用 10h 放电率的 0.5~0.75 倍的电流充电 1h, 再断开电流, 静止 1h。这样一小时充电、静止, 反复进行, 直到最后刚接上充电电流时, 电解液就发生强烈的沸

腾现象，均衡充电即完成。在均衡充电过程中，电解液的温度不得高于 40℃。

(4) 运行中检查工作。正常运行时，值班人员应定期对蓄电池进行外部检查，检查内容如下：

- 1) 直流母线电压应正常，绝缘良好，浮充电流符合要求；
- 2) 电池玻璃缸和玻璃盖应完整；
- 3) 测量代表电池的电压、比重及液温应符合规定；
- 4) 检查电池极板颜色是否正常，有无断裂、弯曲、硫化及有效物脱落等现象；
- 5) 电解液液面的高度应高于极板 10~20mm，有无漏出缸外；
- 6) 母线、极板等各接头应牢固，有无腐蚀，有无凡士林油；
- 7) 蓄电池室应通风良好，无强烈气味，室温应保持在 10~30℃ 之间。

## 二、碱性蓄电池

碱性蓄电池具有体积小，寿命长，产生腐蚀性气体少，维护方便等优点。目前在发电厂及变电所常用的有 GNG、GNY、GNZ 等型号的隔镍蓄电池。

### 1. 镉镍蓄电池的构造

镉镍蓄电池属于碱性蓄电池。按不同的正负极板和制造工艺可分为压接式和烧结式；按使用要求的不同又分为开启型（主要是大型电池）和密封型。

压接式极板的镉镍蓄电池是以氢氧化亚镍和石墨粉为正极活性物质，以海绵镉粉和氢氧化镉粉为负极活性物质。分别以镀镍钢为骨架，在模中压制成型，作为正、负极板。

烧结式极板是以烧结的多孔性的镍基板为骨架，在骨架的孔隙里填充氢氧化亚镍为正极板，填充氢氧化镉为负极板。

用这两种极板可组装成烧结式、半烧结式和压接式三种单体镉镍电池。

压接式密封型多为小容量的镉镍电池，大容量的镉镍电池多为烧结式或半烧结式的。

镉镍电池正负极之间的隔膜一般为热塑性塑料注射成栅状板。电池的外壳有铁质外壳和塑料外壳两种。铁质外壳由优质钢板冲压、焊接、镀镍而成；塑料外壳由具有一定机械强度、耐老化、耐腐蚀的透明或半透明的塑料注射而成；电池盖上有注射口及正负极引出孔。

### 2. 镉镍蓄电池的电解液

镉镍蓄电池的电解液有氢氧化钾和氢氧化钠水溶液两种，多用氢氧化钾。氢氧化钾和氢氧化钠都是白色固体，易溶于水，其水溶液呈强碱性，能烧伤皮肤及其它有机物。氢氧化钾和氢氧化钠的固体或水溶液都能吸收二氧化碳而发生变质，故不允许二氧化碳侵入。

镉镍蓄电池的电解液，应根据不同的气温选用不同的比重，合理选用电解液，可保证电池的使用容量并能延长电池的使用寿命。

- 1) 温度在 -20~-40℃ 时，选用比重 1.270 的氢氧化钾溶液；
- 2) 温度在 -15~-20℃ 时，选用比重 1.250 的氢氧化钾溶液；
- 3) 温度在 -15~+15℃ 时，选用比重 1.190~1.210 的氢氧化钾溶液；
- 4) 温度在 +10~+35℃ 时，选用比重 1.170~1.190 的氢氧化钾溶液。

配制碱性水溶液时，应在干净的钢、生铁、陶瓷或珐琅容器中进行。不允许使用镀锌、

锡、铝、铜或铅的容器。严禁使用配制过酸性电解液的容器。

溶解固体碱或稀释碱性溶液时，温升不高。但碱性电解液对人体和衣物有强烈的腐蚀性。所以在配制时，工作人员要戴眼镜和手套，穿工作服和橡胶围裙。如电解液溅到皮肤上时，应立即用3%的硼酸水或大量清水冲洗。

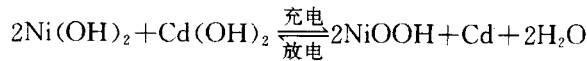
用固体氢氧化钾等纯水配制电解液时，其重量比如表 1-1。

表 1-1 固体氢氧化钾与纯水的重量比

配制的溶液比重	重量比	
	氢氧化钾	纯水
1.170~1.190	1	5
1.190~1.210	1	3
1.270~1.300	1	2

### 3. 镉镍蓄电池的工作原理

烧结式镉镍蓄电池一般为塑料外壳，其正负极板的活性物质分别为氢氧化亚镍和氢氧化镉。注入氢氧化钾电解液后，电池工作的化学反应式方程式为：



由上式可知，电池在充放电过程中，电解液不参加化学反应。故工作中不会消耗电解液。

### 4. 高倍率镉镍蓄电池的基本性能

目前，电力部门用得较多的是 GNG 系列高倍率放电型的全烧结和半烧结的镉镍蓄电池。其基本性能和特点介绍如下。

(1) 额定容量。是指按制造厂家提供的在规定运行条件下（如放电倍率，终止电压，环境温度等）电池所能放出的最低容量。

GNG 系列镉镍蓄电池的容量，一般是指 4h 的放电容量（即按 0.25 倍放电率）。当放电倍率增加时，电池内化学反应不完全，引起内阻增加，电池端电压下降较快，此时放电容量就达不到额定值。

(2) 额定电压。国际标准规定镉镍电池的额定电压为 1.2V。

(3) 终止电压。指电池放电时不宜继续放电的最低电压。根据不同的放电倍率，其值略有不同。小电流放电时，终止电压定得高些（一般定为 1V），大电流放电时，终止电压定行低些（一般为 0.9V）。电池放电电压低于终止电压时，将影响电池的使用寿命。

(4) 充放电特性。镉镍蓄电池的充放电特性与充放电倍率有关。所谓充放电倍率是表示充放电时所采用的电流值为其额定容量的倍数，如 20Ah 的蓄电池以 60A 电流放电，则称电池以 3 倍率放电。

电池充电时，充电电压一般为 1.6V，当充电电压达 1.75V 时，蓄电池即处于过充状态，电能消耗于电解水，放出氢气和氧气。电池放电时，电压在 1.2V 以上比较稳定，小于 1.2V 时电压下降较快。

(5) 运行温度。蓄电池工作时最佳环境温度是 20±5℃。当环境温度低于 -5℃ 时，其内阻将增加。环境温度高于 +45℃ 时，将严重影响电池的寿命。所以，温度过高或过低时，蓄电池的容量都要下降。

(6) 蓄电池的内阻。蓄电池的内阻是极板、电解液、极柱和其它组成部分电阻的总和。

当蓄电池放电容量为其额定容量的 50% 以内时，其内阻较小且变化不大。当放电容量超过其额定容量的 60% 时，内阻急剧增大。蓄电池内阻由制造厂提供。如无制造厂资料时，对于 GNG 烧结式电池，可按下式估算：

$$R = \frac{0.02 \sim 0.04}{Q_c} (\Omega)$$

式中  $Q_c$ ——蓄电池的额定容量，A·h。

(7) 蓄电池的自放电电流，一般按每 A·h 消耗 2~5mA 考虑。

#### 5. 镉镍蓄电池的运行与维护

(1) 正常的充电和放电。镉镍蓄电池在整个充电过程中电压变化不大，并在全部充电过程中都有气泡发生，这是由于充电时在负极板上析出氢气。另外在充电和放电过程中，电解液的比重几乎不发生变化。但是，蓄电池的温度在升高，必须注意温度不宜太高。如在过高温度下充电时，将缩短蓄电池的寿命。

1) 正常充电法。镉镍蓄电池通常以其本身额定容量的 25% 的充电电流充电 7h。如用递减法充电时，先用正常充电率的两倍充电电流充电 2.5h，再继续以正常充电率电流充电 2h。

在充电期间，电解液的温度不得超过 30℃。加入氢氧化锂的电解液，其温度不得超过 40℃。温度过高时应停止充电，待冷却后再充电。

判断镉镍蓄电池充电的程度，是观察电池两极间的电压。若电压升至 1.75V 经 1h 后，电压无显著变化，并且充入的电量已达放出电量的 140% 时，即可认为充电終了。

2) 过充电法。由于正常充电时，蓄电池极板上的活性物质不能完全参加化学反应，在长期使用时会发生容量逐渐下降的现象。为了保证蓄电池的容量，蓄电池每经过 10~12 次充放电循环后，应进行一次过充电。对经常使用的镉镍电池，也应每月进行一次过充电。

过充电的方法是：以正常充电率电流充电 6h 后，再以正常充电率电流值的 1/2 电流继续充电 6h。

3) 正常放电。镉镍蓄电池的正常放电是以 8h 放电率电流进行放电的，但也有用 5h 放电率电流进行放电的。

由于镉镍蓄电池在放电过程中，电解液的比重几乎无变化，不能根据电解液比重的变化和观察极板颜色来判断蓄电池放电是否终止。因此，判断镉镍蓄电池放电是否已终止，应根据在各种放电率电流放电下的终止电压和放出的电量来确定。

(2) 电解液的更换。镉镍蓄电池经过 100 次充放电循环后，应更换电解液。不经常使用的蓄电池，每年也要更换一次电解液。如因蓄电池的容量有显著降低，则电解液的更换期应缩短。

电解液更换的方法是：先用 8h 放电率的电流放电，使每只电池的电压降至 1.0V，倒出旧的电解液，再用纯水洗涤蓄电池，直到从蓄电池中倒出的水中无残渣沉淀物为止。再立即将新配制好的电解液注入。不允许有短时间的耽搁，注入新电解液后，拧紧塞子，静置 2h，然后检查电解液的比重和液面高度是否合适。再加入适量的液体石蜡，拧紧塞子。再用 2 倍于正常充电率的电流进行充电，当接近充电终期时再降低充电电流进行充电。

(3) 正常维护工作。

- 1) 蓄电池的外部 and 槽箱应经常保持清洁和干燥，金属部分必须涂上凡士林油，以防生锈；
- 2) 当蓄电池外部生锈时，应用汽油擦拭除锈，不允许用金属工具或砂纸打磨；
- 3) 每次充、放电前，应检查各极柱连接是否牢固；
- 4) 电解液液面应保持高出极板 10~15mm，如因蒸发使液面降低时，可添加纯水补充；
- 5) 液面应保持有适量的液状石蜡，以防止空气中的二氧化碳进入电解液中起化学反应而变质；
- 6) 在任何情况下，都不允许有明火靠近充电的蓄电池。

## 第二节 可控硅整流充电装置

蓄电池的充电和浮充电设备，过去采用电动发电机组，由于电动发电机组磨损严重，有噪音，占地面积多，维护工作量大，目前已广泛采用硅整流或可控硅整流装置。硅整流装置具有效率高，允许工作温度高，整流特性好，寿命长等特点。目前，国产的可控硅整流充电设备可分为两类：(1) 手动及自动可控硅整流装置，如 KGVA 型、ZVA 型等；(2) 可以逆变运行的可控硅整流装置，如 KGCF A 型。

### 一、KGCF A 型可控硅整流充电装置

#### (一) 工作原理

装置由主电路、操作保护回路和控制调节电路三部分组成。它能自动稳流、自动稳压调节，具有整流和逆变两种运行功能。能满足蓄电池充电、浮充电及核对性放电的要求，因而得到广泛的应用。其原理方框图，如图 1-3 所示。

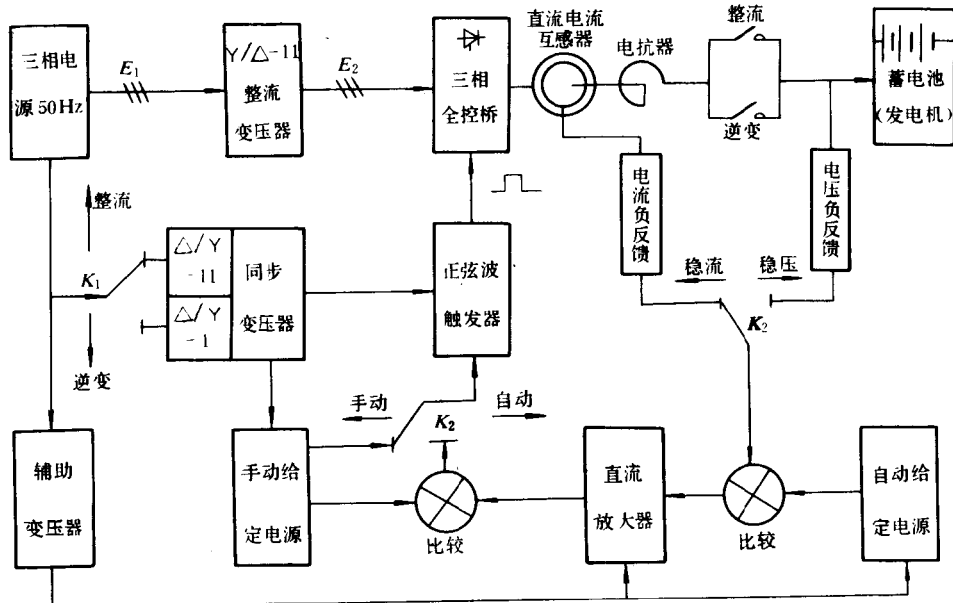


图 1-3 KGCF A 整流装置原理方框图

“整流”运行时，电能由交流电源输入，经三相全控整流后向蓄电池及负荷供电。在“自动调节”时，由直流互感器测得的电流信号或由直流电压测量回路测得的电压信号与自动调节给定值比较，其偏差信号送到直流放大器。直流放大器的输出与手动给定值相加后，作用于移相触发器回路，控制可控硅元件的导通角以调整输出电流或电压达到给定值。

“逆变”运行时，电能由直流侧经三相全控桥向交流电网反送电。直流电压经逆变接触器倒换极性同时通过切换开关  $K_1$  使同步变压器由  $\Delta/Y-11$  接线改为  $\Delta/Y-1$  接线，使控制脉冲后移。可控硅整流桥工作于逆变工作状态时，蓄电池处于放电状态，直流侧电压不断下降。所以逆变运行时只能自动稳流，不能自动稳压。

不论“整流”或“逆变”运行，当不需要自动调整或自动调整部分失灵时，均可切换到“手动”调整运行。

当在自动稳压运行时，如输出电流超过某一规定值，则由直流电流测量回路输出一个截流信号，加大可控硅元件的导通角，使装置输出电流不再上升，起限制过电流的作用。

### 1. 主电路及操作保护回路

主电路及操作保护回路，如图 1-4 所示。

交流电流经熔断器  $1RD_{1-3}$ ，热继电器  $RJ$  和交流接触器接至整流变压器  $ZB$ 。整流变压器  $ZB$  的副边经快速熔断器  $1\sim 3KRD$  接至三相可控硅全控桥，可控硅全控桥经整流用的接触器  $1ZLC$  或逆变用的接触器  $2ZLC$  输出。输出端串接有滤波电抗器  $L_2$  反向并接续流二极管  $1Z$ 。在“整流”运行状态时，如可控硅元件不连续导通，当整流电流发生间断时，电抗器  $L_2$  便感应一反电势，使负载电流经续流二极管  $1Z$  构成通路，从而使负载电流稳定平滑。续流二极管还可避免因感性负荷电流突然中断而引起过电压，损坏可控硅元件。

熔断器  $1RD_{1-3}$  及热继电器  $RJ$  作为一般的短路和过载保护。快速熔断器  $1\sim 3KRD$  作为可控硅元件事故短路保护。输出端的电流继电器  $LJ$  为直流侧过载保护。信号继电器  $GYJ$  作为浮充电时的过电压保护。热继电器  $RJ$ 、过电流继电器和过电压信号继电器  $GYJ$  动作后都作用于跳开装置的输入交流接触器  $JLC$  和输出接触器  $1ZLC$  或  $2ZLC$  并将控制盘上的事故黄色信号灯  $UD$  燃亮，输出端并接可变电阻  $10W$ ，一方面起到镇流电阻的作用，改善装置的空载调压性能。同时装置的直流电压测量信号即从这里引出。

### 2. 控制调节回路

(1) 移相触发回路。移相触发原理图，如图 1-5 所示。

触发器的移相是利用交流正弦同步电压和直流电压叠加的垂直控制原理实现的。同步信号从同步变压器  $TB$  来，经分压回路加到电阻  $R_2$  上。直流控制电压  $U_K$  由端子 56、64 输入，与  $R_2$  上的同步电压  $U_i$  叠加后输入到晶体管  $T_1$ 、 $T_3$  的基极。当没有输入信号时，晶体管  $T_1$ 、 $T_3$  截止， $T_2$  导通，电容  $C_3$  处于充电状态，极性为下正上负。当直流控制  $U_K$  输入时，移相触发电路的各级波形如上图所示。在  $t_1\sim t_2$  时间内， $T_1$  基极电位为负， $T_1$  导通， $T_1$  集电极电位跃变至电源正极电位，电容  $C_3$  经  $T_1$ 、 $D_2$ 、 $R_5$  反向充电，使  $T_2$  基极暂时变正， $T_2$  导通， $T_3$  集电极经  $W_2$ 、 $C_5$  将正反馈信号加到  $T_2$  基极，加速晶体管翻转过程。 $T_2$  基极随着  $C_3$  和  $C_5$  的充电过程而逐渐变负（相对于发射极），当达到一定值时， $T_2$  重新导通， $T_3$  重新截止，于是脉冲变压器  $MB$  输出一个近于矩形的触发脉冲，使可控硅元件导通。输出脉

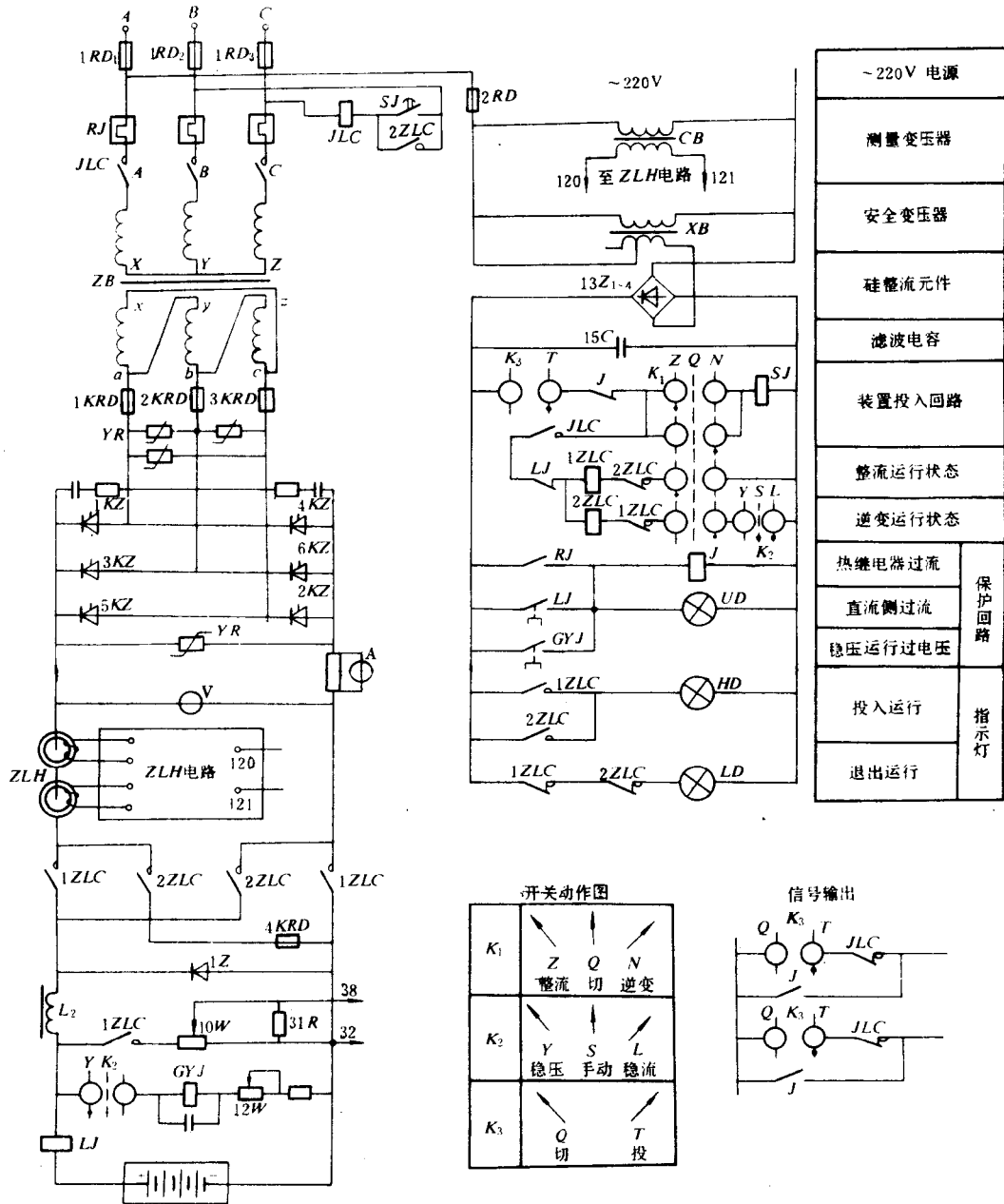


图 1-4 KGC7A 整流装置主电路及操作保护回路

冲的宽度决定于  $W_2$ 、 $C_5$  组成反馈回路的时间常数。调节  $W_2$  就能改变输出脉冲的宽度。可控硅控制角  $\alpha$  与直流控制电压  $U_K$  有关， $U_K$  减少，甚至变为负值时，控制角  $\alpha$  加大。相反， $U_K$  增加时， $\alpha$  角就减少。因此，改变直流控制电压，就可以改变可控硅的输出。

(2) 直流放大器及其输入、输出回路。直流放大器原理图，如图 1-6 所示。图中  $1T_3$ 、 $1T_4$  组成射极补偿电路。 $1T_2$  作为电压放大， $1T_1$  为射极输出器。信号由端子 36、70 输入。

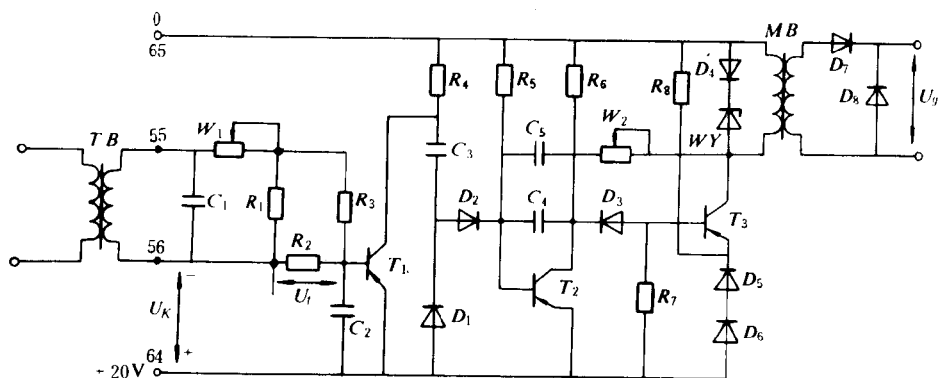


图 1-5 移相触发器

若输入信号的极性 36 为正，70 为负，当输入信号减少、甚至变为负时，各晶体管的基极电位  $U_b$  和集电极电位的变化如下： $U_{b4} \downarrow \rightarrow U_{c4} \downarrow \rightarrow U_{n2} \uparrow \rightarrow U_{c2} \downarrow \rightarrow U_{b1} \downarrow \rightarrow$  输出 =  $(U_{35,70}) \downarrow$ ，即输入减少，输出也减少。输入增加，输出也增加。

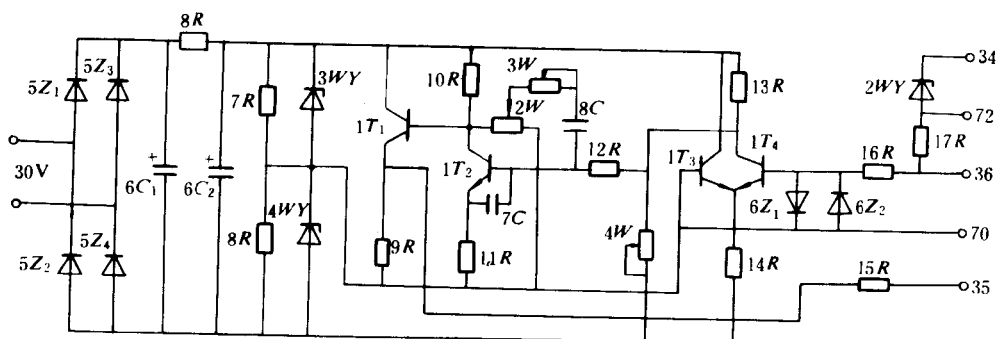


图 1-6 直流放大器原理电路图

放大器的输入、输出回路，如图 1-7 所示。整个充电、浮充电装置的输出直流电压（或输出电流）的测量信号  $U_c$ ，加到端子 34、36 上，并通过稳压管  $2WY$  加到电阻  $17R$  上。自动调节的给定电压  $U_g$  加到端子 72、70 上，放大器的输入电压为  $U_{in} = U_g - U_{17R}$ 。因此，随着测量信号  $U_c$  的增加， $U_{17R}$  就增加，放大器的输入随之减少。

放大器的输出与手动给定电压串联相加后，送入到移相触发电路作为直流控制电压  $U_K$ 。手动给定电压回路中的电位计  $5W_2$  构成人工零点，使  $6W$  的输出电压可由负调到正，扩大调整范围。“整流”时，电阻  $20R$  被短接。“逆变”时  $20R$  接入，使  $6W$  往下调到端头时仍有一固定的电压值，保证临界逆变角  $\beta_0 = 20^\circ$  左右， $20R$  起到逆变角限位作用，避免因  $\beta$  角过小而导致逆变颠倒。

整个自动调节过程大致如下：自动稳压运行时，如整流装置端电压升高，它与自动给定电压比较后，反映为放大器输入电压降低，经放大后，输出电压减少，则输入到移相触



发电路的控制电压也降低，可控硅的触发脉冲后移，使整流装置的输出电压减少，以达到稳压运行。

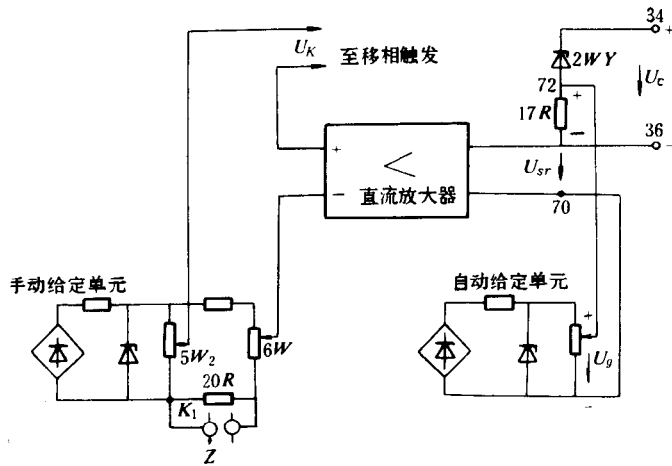


图 1-7 直流放大器的输入、输出回路

(3) 直流互感器。直流互感器的原理如图 1-8 所示。

它相当于磁放大器，互感器的次级输出与初级电流成正比例。其输出经电位器 9W 分压引出。该输出电压作为测量信号与自动给定电压比较后，送入直流放大器。接线中设有过流信号发生器，它由稳压管 7WY、晶体管 4T 及电阻 3R 等组成。该发生器在“稳压”及“手动”方式时投入，防止装置在“稳压”及“手动”运行时过电流。当主电路电流过大时，直流互感器副边输出电压升高。当达到一定数值时，7WY 击穿，4T 导通，3R 有电压输出。该输出电压与自动给定电压比较后，送入直流放大器，放大器的输出作用于移相触发器，加大可控硅的导通角，使装置电流不再升高，从而起到截流的作用。

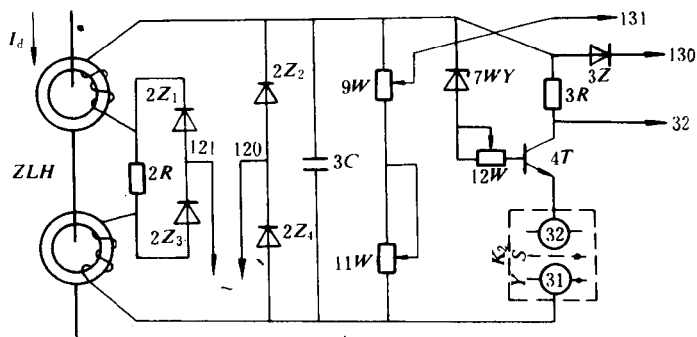


图 1-8 直流互感器电路

(二) KGC<sub>F</sub>A 可控硅充、放电装置的操作

1. 投入运行

装置投入运行时，首先决定运行状态：“整流”或“逆变”。然后决定运行方式：“手