

冶金动力职业技能培训系列教材

变电站运行与维护



河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编
李秋明 张卫 主编

BIANDIANZHAN YUNXING YU WEIHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冶金动力职业技能培训系列教材

变电站运行与维护

河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编

主编 李秋明 张 卫

参编 黄岩松 李永刚 沈彦利

孟庆广 陈军杰 赵英杰



机械工业出版社

本书是根据国家电网公司《电力安全工作规程（变电部分）》、《河北南网变电运行规程》、《变电站运行规程》、《变电站岗位规范》及变电站运行值班员考核培训的要求，结合冶金企业变电运行的独有特点和实际需要编写的。

全书共五篇。第一篇为专业基础知识，介绍电力系统基础知识。第二篇为变电站运行与维护，介绍变电站一次及二次设备的运行与维护。第三篇为变电站倒闸操作及事故处理。第四篇为变电站管理与运行，包括变电站运行及管理所需的各种制度，变电站安全管理。第五篇为企业电网运行与调度，介绍企业内部电网的运行以及常见电网事故的处理。

本书可作为高压电工进网作业的培训教材，也可以作为变电运行电工的技能培训教材和日常学习技能教材。同时也可以适用于电力职业技术学校、高等院校电气专业实际技能培训、电气工程师技术培训的应用书籍。

图书在版编目（CIP）数据

变电站运行与维护/李秋明，张卫主编. —北京：机械工业出版社，2011.5

冶金动力职业技能培训系列教材
ISBN 978-7-111-34323-3

I. ①变… II. ①李… ②张… III. ①变电所—电力系统运行—维护—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第077374号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：吕德齐 责任编辑：吕德齐 郑铨

版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：陈沛 责任印制：杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2011年7月第1版第1次印刷

140mm×203mm·8.5印张·223千字

0 001—4 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-34323-3

定价：29.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务 策划编辑：(010) 88379772

社服务中心：(010)88361066 网络服务

销售一部：(010)68326294 门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

河北钢铁集团邯郸分公司（原邯钢）始建于1958年，分公司动力厂长期从事氧气、氮气、氩气、氢气和压缩空气的生产输送工作，以及高炉煤气余压发电，220kV、110kV、35kV输变电、继电保护试验，电机、变压器的修理试验等工作。长期的工作实践，使邯钢动力厂积累了雄厚的技术力量和丰富的实践经验。

近年来，伴随着分公司的产业结构调整、生产规模扩大、装备更新换代，动力厂以实现企业的可持续发展为目标，一手抓装备的更新改造，一手抓员工素质的提高。2002年以来，动力厂始终把员工职业技能培训和提高作为本单位最重要的工作之一，常抓不懈。本套培训教材就是动力厂70多位工程技术人员和老技师自己编写的，并在动力厂作为长期使用的操作岗位员工职业技能培训专用教材。

本套教材以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。全套丛书共有10册，分别是《气体压缩机运行与维护》、《气体深冷分离操作指南》、《气体吸附制取操作指南》、《制氧站辅助系统运行与维护》、《气体生产系统安全》、《余压发电站运行与维护》、《变电站运行与维护》、《常用电气设备的维修》、《实用电气试验技术》、《电气运行维检安全》。衷心希望本套培训教材能够给同行们提供一定的帮助和借鉴，共同为冶金动力事业做出贡献。

张卫

前 言

为了适应供电岗位培训的需要，帮助广大变电站技术工人提高操作技能、应对和处理事故的能力，掌握变电运行这一特殊工种的技术和要求，邯钢动力厂培训学校组织编写了本书。

本书根据国家职业标准编写，书中涵盖了基础知识、电气设备运行、设备的巡视检查与验收、倒闸操作、事故处理、继电保护，以及变电站值班员工作中可能遇到的各类问题，基本上满足了变电站值班人员应具备的知识和技能要求。力求理论和实际相结合，突出对新技术、新设备、新工艺的推广应用，可操作性强，具有通俗性、针对性、实用性和广泛性的特点，是变电站值班员进行岗位培训考核、技能鉴定、晋升技师必备的参考书，也是工程技术人员不可缺少的参考资料。

本书作者都是来自基层的工程技术人员和技师，主编为李秋明、张卫，参加编写人员有：黄岩松、李永刚、沈彦利、孟庆广、陈军杰、赵英杰，由黄岩松负责统稿。

由于编写水平有限，书中难免存在一些不妥之处，请读者提出批评指正。同时参考了国家及其他企业电网运行的实际经验、文献，在此表示感谢。

编 者

目 录

丛书序

前言

第一篇 专业基础知识	1
第一章 电路	1
第一节 直流电路与交流电路	1
第二节 正弦交流电路	2
第三节 三相交流电路	3
第二章 常用仪表	8
第三章 安全用具	12
第一节 电工安全用具的种类	12
第二节 变电站安全用具的使用与管理	14
第四章 电力系统简介	17
第一节 电力系统的构成	17
第二节 电力系统标准电压的等级	19
第三节 电能质量	20
第四节 电力系统中性点的运行方式	22
第五节 变电站的主接线方式	24
第二篇 变电设备的运行与维护	31
第五章 一次电气设备	31
第一节 电力变压器	31
第二节 断路器	39
第三节 GIS (组合电器)	54
第四节 隔离开关	58
第五节 母线	63
第六节 避雷器	65

第七节	高压开关柜	71
第八节	电容器	77
第九节	消弧线圈及补偿装置	85
第十节	电抗器	96
第六章	低压及直流设备	104
第一节	低压开关柜	104
第二节	直流系统	110
第三节	蓄电池	119
第七章	二次电气设备	125
第一节	二次回路的巡视检查	125
第二节	中央信号装置	128
第三节	光纤纵联差动保护	129
第四节	电力变压器保护	133
第五节	线路距离保护	145
第六节	电流保护	147
第八章	变电站综合自动化	151
第三篇	变电站倒闸操作及事故处理	155
第九章	倒闸与停、投操作	155
第一节	倒闸操作的具体要求	155
第二节	变压器的停、投操作	167
第三节	母线的停、投操作	170
第四节	配出分路的停、投操作	171
第十章	变电站的事故处理及案例	174
第一节	事故处理的原则	174
第二节	变电站的全停事故处理案例	176
第三节	变压器及母线的全停事故处理及案例	178
第四节	母线的单相接地事故处理	180
第五节	线路的越级跳闸事故处理	182
第四篇	变电站的管理与运行	185
第十一章	变电站各级人员的岗位责任	185

第十二章	变电站的稳定运行	190
第一节	变电站值班	190
第二节	变电站的巡视检查	192
第三节	变电站的设备验收制度与验收标准	196
第四节	设备缺陷管理	207
第五节	变电站的运行与设备分析	210
第十三章	变电站的技术管理与两票工作	215
第五篇	企业内部电网的运行与调度	230
第十四章	企业内部电网的运行知识	230
第一节	企业电力系统的无功管理和电压调整	230
第二节	电力系统的故障录波技术	232
第三节	电力系统的继电保护技术	234
第四节	企业自备小型发电厂的并网要求	239
第十五章	企业内部电网的调度管理及事故处理	245
第一节	总则	245
第二节	企业电力调度管理	246
附录	255
附录 A	110kV 烧结站电气接线图	255
附录 B	110kV 中板站电气接线图	256
附录 C	110kV 制氧站电气接线图	257
附录 D	220kV 连轧站电气接线图	258
附录 E	220kV 冷轧站电气接线图	259
附录 F	某钢厂电力系统接线网络图	260
参考文献	261

第一篇 专业基础知识

第一章 电 路

第一节 直流电路与交流电路

一、交流电和直流电的定义

1) 交流电是大小和方向都随时间变化的一种电能。交流电是用交流发电机发出的。在发电过程中，多对磁极按一定的角度均匀分布在一个圆周上，各个线圈切割磁力线；由于具有多对磁极，每对磁极产生的磁力线被切割产生的电压、电流都按正弦规律变化，所以能够不断地产生稳定的电流。交流电的频率一般是50Hz（每秒变化50次）。

2) 直流电的方向不随时间变化，通常又分为脉动直流电和稳恒直流电。脉动直流电中有交流成分，如彩电的电源电路中大约300V左右的电压就有脉动直流电成分，可通过电容去除。稳恒电流则是比较理想的，大小和方向都不变。

二、直流电与电网交流电的区别

1) 直流电和电网交流电最本质的区别是电网交流电是按正弦曲线变化的。由于交流发电机的多对磁极，按一定的角度均匀分布在一个圆周上，使得在发电过程中各个磁极切割磁力线的时候具有互补性，所以能够不断地产生稳定的电流；交流电的频率一般是50赫兹（Hz）。

直流电则不是按正弦曲线变化的，没有频率的变化。

2) 交流电与直流电最直观的区别是方向变不变。直流电的电流方向不随时间变化，但大小可能变化。最特殊的直流电是大小方向都不变的稳恒电流。

交流电的方向和强度（大小）作周期性变化。当线圈在磁场中匀速转动时，线圈里就产生大小和方向作周期性改变的交流电。现在使用的交流电，一般是方向和强度每秒改变 50 次。我们常见的电灯、电动机等用的电都是交流电。在实用中，交流电用符号“~”或“AC”表示。

直流电大小和方向都不随时间变化，所通过的电路称为直流电路，在直流电源外，正电荷经外电路从高电势流向低电势；在电源内，靠直流电动势的作用，电流从低电势到达高电势，构成闭合的电流回路。在只有电阻负载的直流电路中，电源的作用是，为在电阻上消耗的焦耳热提供能量。

第二节 正弦交流电路

一、正弦交流电的特点

正弦交流电的电流和电压随时间按正弦规律周期性地变化。

二、正弦交流电的三要素及数学表达式

1. 几个概念

- 1) 瞬时值：正弦交流电在任一瞬时的值。
- 2) 波形图：正弦量随时间变化的曲线。
- 3) 周期：正弦量变化一周所需的时间，用 T 表示。
- 4) 频率：正弦量每秒周期性变化的次数，用 f 表示。

2. 正弦交流电的瞬时值 i 的表达式

$$i = I_m \sin(\omega t + \Phi) \quad (1-1)$$

式中 I_m ——最大值；

ω ——角频率；

Φ ——初相位角；

t ——时间。

3. 正弦量的三要素

- 1) 最大值: I_m (U_m, E_m)。
 - 2) 角频率: 数值上等于单位时间内正弦函数辐角增长值
(单位: 弧度/秒, rad/s) $\omega = 2\pi/T$ 。
 - 3) 相位: $\omega t + \Phi$ (单位: 弧度)
- Φ 为初相位即 $t=0$ 时的相位, (单位: 弧度, rad)

三、相位差

两个同频率正弦量相位之差。

四、有效值

- 1) 有效值是热效应与之相等的直流电流的数值。
- 2) 直流有效值和交流最大值的关系

$$I = I_m / \sqrt{2} \quad (1-2)$$

式中 I ——等效直流值即直流有效值;

I_m ——交流最大值。

第三节 三相交流电路

一、三相正弦交流电

三相正弦交流电的产生和波形图见图 1-1 和图 1-2。

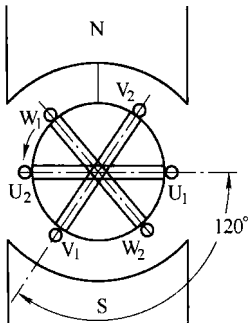


图 1-1 三相正弦交流电的产生

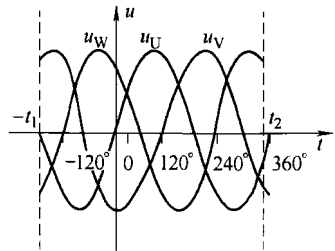


图 1-2 三相正弦交流电的波形

三相对称正弦交流电压的表达式

$$U_U = U_{pm} \sin \omega t \quad (1-3)$$

$$U_V = U_{pm} \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (1-4)$$

$$U_W = U_{pm} \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (1-5)$$

式中 下角 U、V、W——代表三相系统；

U_{pm} ——正弦交流电压最大值。

二、三相系统的接线

1) 三线制是三相交流电源的一种联结方式，从三个线圈的端头引出三根导线，将三个线圈尾端连在一起，叫做星形联结，这种用引出三根导线供电的方式叫做三相三线制。

2) 在星形联结中，除从三个线圈端头引出三根导线外，还从三个线圈尾端的连接点上再引出一根导线，这种引出四根导线供电的方式叫做三相四线制供电。

3) 星形联结常用 Y 符号表示。三个尾端的连接点称作中点，用 0 表示。从中点引出的导线叫做中线或零线，从三个端引出的导线叫做相线或火线。

4) 三角形联结用 Δ 符号表示。三个线圈首尾相连接，从连接处引出三根相线，这种供电方式叫做三相三线制供电，常用于电动机等负载。

5) 每相线圈两端的电压叫做相电压，端线与端线之间的电压叫做线电压。 Δ 联结的相电压等于线电压。凡流过每一相线圈的电流叫相电流，流过端线的电流叫做线电流。星形联结的线电流与相电流是相等的。

三、三相交流电相序

三相对称正弦交流电压的相量图见图 1-3。

1) 正相序 U 超前于 V，V 超前于 W；

2) 逆相序 U 超前于 W，W 超前于 V。

四、三相电源的星形 (Y) 联结

三相电源的星形联结见图 1-4：三个绕组的末端接在一起，从三个始端引出三根导线。

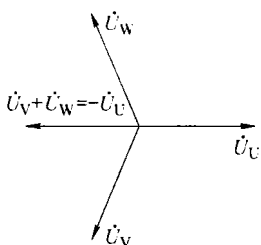


图 1-3 三相对称正弦交流电压的相量图

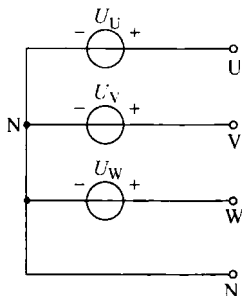


图 1-4 三相电源的星形联结

五、三相电源的三角形 (Δ) 联结

三相发电机三个绕组依次首尾相连, 接成一个闭合回路, 从三个连接点引出的三根导线即为三根端线。

图 1-5 为三角形联结的接线图和相量图。

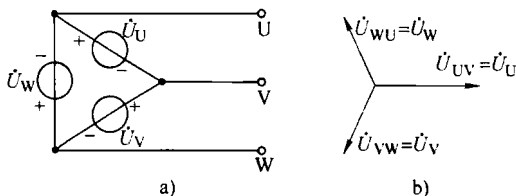


图 1-5 三相电源的三角形联结和相量
a) 三角形联结 b) 相量

六、三相四线制系统

三相电源就是三相交流发电机。三相交流发电机绕组采用星形 (Y) 联结, 即将三个绕组各自尾端接在一起, 中间引出一根线, 三个始端分别引出三根线, 图 1-6 所示为三相电源的三相四线制系统接线图。

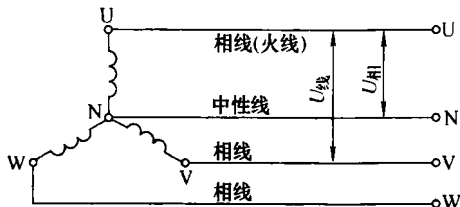


图 1-6 三相电源的三相四线制系统接线图

1. 要素构成

1) 相线 (火线): 从绕组首端引出的三根

电源线，即 U、V、W，用黄、绿、红三种颜色表示。

2) 中性点：三个绕组的连接点。

3) 中性线：中性点引出的那根线。

4) 零线：在三相四线制系统中，若电源（如：变压器）的低压中性点通过接地装置与大地直接连接，则此时的中性点称为零点，中性线称为零线。用浅蓝色线连接，图中用 N 表示。

5) 相线与零线的辨别法：用测电笔，若氖灯亮则为相线，不亮或较暗的为零线。

6) 相电压：相线与中性线 N 之间的电压，即 U-N、V-N、W-N 之间的电压。

7) 线电压：相线与相线之间的电压，即 U-V、V-W、U-W 之间的电压。

8) 中性线的主要作用：星形联结时，保证三相负载不对称时相电压也能保持对称，从而起到保护作用。

9) 特点：三相四线制系统提供 380V/220V 两种电压。

2. 三相交流电路

三相交流电源照明系统电路示意图 1-7。

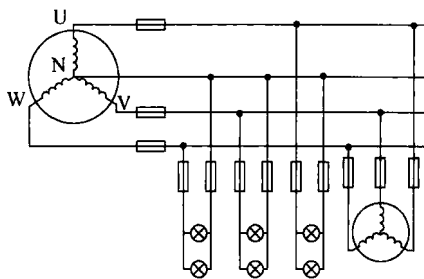


图 1-7 三相交流电源照明系统电路

七、三相三线制系统

若三相负载对称，则可去掉中性线，即采用三相三线制，见图 1-8。例如三相电动机、三相电炉等负载，在正常情况下都是对称的，故可以用三相三线制供电。

特点：只提供 380V 一种电压，负载必须对称。

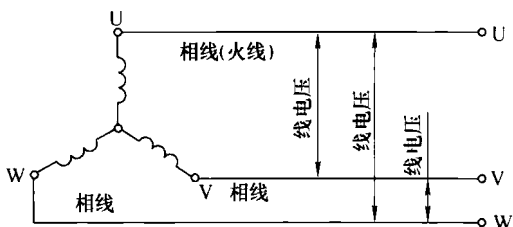


图 1-8 三相三线制系统接线图

八、三相五线制系统

三相五线制是指三根相线、一根零线（工作接地）加一根地线（保护接地）。地线是接地装置引出的线，对人身、设备起保护作用，为黄绿双色线，见图 1-9。

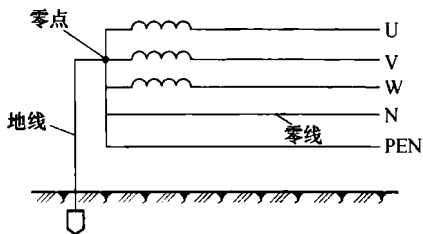


图 1-9 三相五线制系统接线图

第二章 常用仪表

一、电工仪表的准确度等级

电工仪表在规定条件下工作时，可能出现的最大基本误差与仪表测量上限比值的百分数，叫做仪表的准确度等级。其计算公式为

$$\pm K = (\Delta m \div A_m) \times 100\%$$

式中 $\pm K$ ——仪表的准确度等级；

Δm ——以绝对误差表示的最大基本误差；

A_m ——仪表的测量上限。

所以，电工仪表的准确度等级，即为该仪表在规定的条件下使用时，最大引用误差的数值。

二、常用电工测量仪表的类型

常用电工仪表通常分为四种类型。

1) 直读指示式仪表：测量时通过指针偏转，将要测量的电量直接读出，如电压表、电流表、功率表、万用表等。

2) 比较式仪表：测量时需要与相应的标准量进行比较读出二者的比值，如单臂电桥用来测量电阻，万用电桥用来测量电容、电感。比较式仪表往往用来精确测量一些电学量以及检验其他仪器或仪表。

3) 图示式仪表：专门用来显示两个相关量的变化关系，例如示波器。这种仪表直观效果好，但只能作为粗测。

4) 数字式仪表：将被测的模拟量转换成为数字量，直接读出，例如常用的数字电压表、数字万用表等。

三、电工仪表的分类方法

1) 按工作原理分，有电磁式、磁电式、电动式、感应式、整流式、热电式、静电式、电子式等。

2) 按被测量性质分, 有电流表、电压表、功率表、欧姆表、电度表、功率因数表、频率表、万用表等。

3) 根据使用方式分, 有开关板式和可携式。开关板式仪表通常固定在开关板或配电盘上, 误差较大; 可携式仪表一般误差较小, 准确度高。

4) 根据工作电流分, 有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

四、常用电工仪表的类型和应用范围 (表 2-1)

电工仪表的刻度盘上标有各种符号, 以表示仪表的类型、测量对象、测量范围、准确度以及使用条件等。

电工仪表的准确度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共七级, 数字越小表示准确度越高; 按防御外界磁场或电场干扰的能力, 分为 I、II、III、IV 四等, 其中 I 等的防御能力最好; 按使用条件分为 A、B、C 三组, A、B 两组用于室内, C 组用于室外或船舰、飞机、车辆上。

五、使用电工仪表的注意事项

为了避免由于测量方法不完善而引起测量的误差, 必须注意正确使用仪表, 主要应注意下面几点:

1) 按测量对象的性质选择仪表类型。首先视被测量的是直流还是交流, 以便选用直流仪表或交流仪表。如果测量交流量, 还要注意是正弦波还是非正弦波; 测量时还要区分被测量的究竟是平均值、有效值、瞬时值、还是最大值, 对于交流量还要注意频率。

2) 按测量对象的实际需要, 选择仪表等级。根据工程性质, 只要使测量结果的误差在工程实际允许范围内即可。在常用的标准和部分精密测量中, 可用准确度 0.1 到 0.2 级的仪表; 在实验测量中可用 0.5 到 1.5 级的仪表; 在工厂生产中可用 1.0 到 5.0 级的仪表。

3) 按测量对象和测量线路的电阻大小选择仪表内阻。对于测量电压的电压表, 内阻越大越好, 要求电压表内阻值要大于被