

山西焦煤集团有限责任公司员工职业技能培训丛书

变配电工

主编 张光明 陈宝珠

煤炭工业出版社

山西焦煤集团有限责任公司员工职业技能培训丛书

变 配 电 工

主 编 张光明 陈宝珠

煤炭工业出版社

• 北 京 •

内 容 提 要

本书为山西焦煤集团有限责任公司员工职业技能培训丛书之一。内容包括直流电路、磁与电磁、正弦交流电路、半导体基础知识、电力系统与工厂供电、变配电站的运行、操作与安全措施、变配电站日常管理等；并附变配电工技术等级鉴定标准。

本书是变配电工上岗培训教材，可供各层次变配电工和相关技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变配电工 / 张光明, 陈宝珠主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2006

(山西焦煤集团有限责任公司员工职业技能培训丛书)

ISBN 7-5020-2883-8

I. 变… II. ①张…②陈… III. ①变电所—电工技术
培训—教材②配电室—电工—技术培训—教材 IV. ①TM63
②TM641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 037264 号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京京科印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 880mm×1230mm^{1/32} 印张 12^{1/2}

字数 330 千字 印数 1—3,000

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 5587 定价 32.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

山西焦煤集团有限责任公司 员工职业技能培训丛书编审委员会

编审委员会领导小组

组 长	赵永金	杜复新	薛 山	李 仪
副组长	李建胜	刘瑞林	段锡三	杨茂林
成 员	张 波	柴久茂	白培中	鲍冠深
	车树春	王良彦	刘建中	孙炳章
	张树茂	李东刚	刘 波	冯金水
	杨学全			

编审委员会委员

张能虎	马 晋	杨新华	牛如意	席庆祥
温百根	申晋鸣	张学军	薛勇军	王建华
邓保平	晨 晴	曹星星	李金生	魏卯生
李小彦	栗兴仁	张志荣	王福全	徐学武
刘雅芹	卜志敏	景春选	程建平	任丕清
陈贵仁	张乃新	李朝雯		

编审委员会办公室

主 任	邓保平	晨 晴	卜志敏
副主任	景春选	程建平	任丕清

《变配电工》编写组

主 编	张光明	陈宝珠	
副 主 编	贾喜浦	樊根生	
编写人员	张光明	陈宝珠	贾喜浦
	樊根生	程慧海	孟 涛
	牛如意	李文耀	梁占福
	郭志亮	李秀春	朱芝栋
	相永祥	晋秀丽	

序

山西焦煤集团公司组织编写的员工职业技能培训丛书将陆续出版。这是我见到的第一套由煤炭企业自行编写的职业技能培训系列教材。我想这件事情的意义不仅在于丛书本身的价值,更主要的是它在一定程度上体现了以人为本的原则和促进人的全面发展的理念。对此,向所有参与撰写和编辑此书的同志们表示祝贺。

企业是市场竞争的主体。在日趋激烈的市场竞争面前,煤炭企业如何通过深化改革、创新管理、培育队伍,进一步提升企业整体素质,增强核心竞争力,走上可持续发展的道路,始终是业内人士和社会共同关注的重要课题。山西焦煤集团公司领导班子在这方面进行了积极有益的探索。

科技是第一生产力,人才是第一资源。市场竞争归根到底是人才的竞争,是劳动者素质的竞争。坚持不懈地抓好职工的培训教育,不断提高劳动者的素质,塑造学习型企业,培育技能型员工,是一个企业积蓄发展后劲,增强竞争力的根本大计。

山西焦煤集团公司是我国首次以资产为纽带组建的紧密型母子公司体制的大集团,自2001年10月成立以来,经过两年多的实践,走上了快速发展的良性轨道,取得了可喜的发展业绩,受到各方面的关注。他们的一条重要经验,就是坚持把企业的发展建立在紧紧依靠提高劳动者素质的基础之上,坚持开展素质工程建设,搞全员培训、技能大赛、技能鉴定,现在又专门编辑出版员工职业技能培训丛书,真正建立起了一套好的长效机制,这是值得所有煤炭企业学习借鉴的。

对于一个拥有 15 万职工、近千个工种的大集团,在企业内部编写并推行自己的员工职业技能培训丛书,确实是一项基础性的建设。我翻阅了他们送来的准备先期出版的丛书样稿,觉得从形式到内容都不错,而且具有“专、精、特、新”的特点。“专”在工种细分、专学专用。针对煤炭行业工种特点,应用于生产实践,着眼于培育适用性专业技师和熟练工人。“精”在言简意赅、深入浅出。丛书语言简练,篇幅较少,没有长篇累牍的高深原理和令人费解的公式方程,便于职工自学和掌握。“特”在注重实用、培育技能。立足企业员工培训实际,适合不同层次的专业人员提高技能,也为企业技能大赛提供了自己的应用教材。“新”在内容新颖、讲求实效。丛书由企业内部人员编写,编者本身又是丛书的读者和普及者,因此编写中就注重了职工的喜好和丛书的实用性,没有照搬照抄,并且从封面到内容,图文并茂,将企业文化传播赋予其中,在传授知识的同时也促进了企业文化的建设。

衷心希望山西焦煤集团公司进一步做好丛书编写和普及工作,将这件关系企业长远发展的事情办好办实,进一步完善职工培训教育体系,在提高员工素质上取得更大的成绩,也希望其他煤炭企业能够借鉴山西焦煤集团公司的做法,在提高企业员工整体素质上不断探索新的机制,积累新的经验,为提高煤炭企业的核心竞争力,为煤炭工业的持续健康发展作出更大的贡献。

王显政

2004 年 6 月于北京

编写说明

企业的全面可持续发展首先是人的全面发展。只有具备较高素质的人,才能为企业注入市场竞争的不竭动力,插上持续发展的坚硬翅膀。但是,多年以来,煤炭行业职工队伍的整体素质与煤炭工业及其相关产业的快速发展一直存在着较大的差距,员工队伍建设不能适应煤炭企业深化改革、强化管理、快速发展、做强做大的需要。职工队伍整体素质的提高迫在眉睫,必须认真地把职工的学习培训工作抓紧、抓好。

山西焦煤集团公司成立以来,十分重视职工技能知识的培训和实际操作水平的提高,自觉地将实施素质工程、创建学习型企业和培养知识化员工落实到具体的工作和行动中,开展了大规模的职工技能大赛,在职工培训、技能竞赛、技能鉴定、技术推广和表彰奖励方面做了积极的探索和实践。然而在职工的培训过程中,各子分公司、各生产单位深深地感受到培训教材还存在着许多缺项和不足,所使用的教材在内容上或多或少地与企业现状和专业实际脱节,理论知识深奥,实际操作应用知识欠缺,职工不易学习和掌握。

为了解决培训过程中遇到的这些问题,提高培训的针对性和实效性,2002年以来,我们组织各职能部门、各子分公司、各生产矿厂专业技术人员和工人技师,从企业的现实和未来考虑,花费了较大的功夫和精力,经过多次讨论修改、审订出版这套员工职业技能培训丛书。丛书主要面对操作工人,内容来自工作实践,有较强的针对性和实用性,易学、易懂、专业、适用,符合企业特点,便于实

践运用。

在丛书编写过程中,编委会注重从企业的实际和长远发展需要出发,立足于培养技能型职工,培育企业持久竞争力,在内容上力求全面广泛和长期适用。丛书包括综合读本和煤炭专业的采煤、掘进、开拓、机电、运输、通风、安全及电力、焦化等相关专业教材共60余本。综合读本主要有企业概况、企业文化和企业发展战略等企业所有员工需要了解的内容,可使广大职工进一步认识企业的历史沿革、现状和发展前景,增强大集团的凝聚力和向心力。各专业读本按照工人技师、高级工、中级工等几个层次,在内容上各有侧重,不仅适合本企业各类专业人员学习应用,而且对煤炭行业其他兄弟企业也具有普遍的适用性。

能源化学工会对山西焦煤集团公司员工职业技能培训丛书的编写工作非常关心和支持,领导和专家们提出了许多宝贵意见并给予较高的评价,同时建议将丛书作为煤炭和其他能源行业的培训实用教材进行推广,我们对此表示衷心的感谢。

由于编写丛书时间紧、内容多、范围广、任务重,加之编写人员水平有限,若有疏漏和不足,恳请广大职工和读者批评指正!

山西焦煤集团有限责任公司 员工职业技能培训丛书编审委员会

2004年6月

前 言

为了提高煤炭系统岗位工人的技术水平,使技术培训工作逐步走向正规化、系统化、规范化,我们根据集团公司的安排,编写了山西焦煤集团有限责任公司员工职业技能培训丛书之一《变配电工》教材。

变配电工也称变配电站值班员,是企业供电的主要工种,其在工作人员的技术素质高低,将直接影响变配电站的安全、稳定运行。变配电工在岗日常工作可分为监盘、操表、巡检及倒闸操作四大项。此外,还要承担一部分电气设备的日常保养、维护以及检修后或新增电气设备的验收等。本教材按电工基础、变配电专业技术、变配电站的运行操作和日常管理等部分编写,把概念、原理、技能有机地结合起来,旨在通过本教材的学习,使从事变配电工作的人员从入门开始就能全面了解变配电站的作用;了解配置电气设备的种类、性能与特点;看懂变配电站的常用图纸;了解计算机在变配电站的应用;掌握经济运行方法和电能计算;掌握变配电站电气设备的检查内容、标准、运行操作方法及事故处理等,达到变配电工会操作、明原理、懂管理的岗位要求。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 4 月

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 直流电路的基本概念及简单电路	(1)
第二节 复杂电路计算	(9)
第二章 磁与电磁	(20)
第一节 磁的性质和电流的磁场	(20)
第二节 感应电动势和载流导体受力	(25)
第三章 正弦交流电路	(31)
第一节 正弦交流电路的基本概念	(31)
第二节 单相交流电路	(36)
第三节 三相交流电路	(46)
第四章 半导体基础知识	(53)
第一节 半导体二极管	(53)
第二节 晶闸管	(58)
第三节 三极管放大电路	(61)
第四节 运算放大器	(67)
第五章 电力系统与工厂供电	(71)
第一节 电力系统概述	(71)
第二节 工厂供电的一次系统	(83)
第三节 工厂电力线路	(89)
第六章 电力变压器	(98)
第一节 概述	(98)
第二节 变压器的工作原理	(103)
第三节 变压器的技术数据	(105)
第四节 变压器的分接开关	(110)
第五节 变压器的运行和故障分析	(112)
第六节 变压器的检修与试验	(123)

第七章 高压电气设备	(129)
第一节 高压断路器	(129)
第二节 高压熔断器、隔离开关和负荷开关	(143)
第三节 电流互感器和电压互感器	(152)
第四节 高压开关柜	(164)
第八章 短路电流计算和高压一次设备选择	(168)
第一节 短路的原因、类型和后果	(168)
第二节 短路电流的计算	(173)
第三节 高压一次设备的选择	(182)
第九章 变配电系统的二次回路	(187)
第一节 工厂供电系统的二次回路	(187)
第二节 继电保护装置	(210)
第三节 高压配电线路的继电保护	(218)
第四节 变压器的继电保护	(224)
第五节 电力线路的自动重合闸及备用电源自动投入装置	(230)
第十章 变配电站保护装置的新技术	(239)
第一节 集成电路保护装置	(239)
第二节 微机保护装置	(254)
第三节 变配电站综合自动化系统简介	(264)
第十一章 过电压保护与接地装置	(271)
第一节 过电压的类型与防护措施	(271)
第二节 防雷保护	(272)
第三节 接地与接零	(276)
第四节 接地装置和接地电阻测量	(279)
第十二章 变配电站常用仪表和安全防护用具	(287)
第一节 变配电站常用仪表	(287)
第二节 安全防护用具	(301)
第十三章 变配电站的运行操作及安全措施	(309)
第一节 电气倒闸操作概述	(309)
第二节 变配电站高压设备的操作	(311)
第三节 倒闸操作规范	(321)

第四节	变配电站运行的安全措施	(327)
第十四章	变配电所(站)日常管理	(337)
第一节	日常管理及规程制度	(337)
第二节	设备技术档案及要求	(347)
第三节	安全管理	(352)
第四节	设备管理及设备完好评定标准	(354)
第五节	电气事故处理	(359)
第六节	新建工程的验收及运行准备	(363)
第七节	安全用电及电气设备火灾扑救常识	(368)
附录	变配电工职业技能鉴定标准	(376)
参考文献		(385)

第一章 直流电路

[学习提示]

本章主要介绍直流电路的基本概念及简单电路,复杂电路的计算等。

初级工要熟知电流、电压、电阻、电容和功率的物理意义,计算单位和换算关系,能应用欧姆定律对简单直流电路进行计算;中级工、高级工要掌握基尔霍夫定律、等效发电机原理、叠加原理等,并能应用定律、原理分析计算复杂电路。

第一节 直流电路的基本概念及简单电路

一、电流

导体中的自由电子在电场力的作用下,作有规则的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度表示,电流强度简称为电流,用符号 i 表示,它在数值上等于单位时间内通过导体截面的电量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

大小和方向不随时间变化的电流称为恒定电流,或称直流电流。直流电流的电流强度用 I 表示,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 I ——电流强度, A(安);

Q ——通过导体截面的电荷量, C(库伦);

t ——通过电荷量 Q 所用的时间, s(秒)。

电流的单位是安培,简称安(A),即每秒通过导体截面的电量为1C时,则电流为1A。计算大电流时其单位为kA(千安),计量微弱电流时,其单位为mA(毫安)、 μ A(微安),这几个单位之间的换算关系是

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}, 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}, 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

习惯上把正电荷运动的方向(或负电荷运动的反方向)规定为电流方向。

二、电阻和电阻率

1. 电阻

在电场力的作用下,电流在导体中流动时所受到的阻力,称为电阻,用符号 R 或 r 表示。电阻的常用单位为欧姆,简称欧(Ω)。对于大电阻的常用单位为千欧(k Ω)、兆欧(M Ω),对于小电阻的常用单位为毫欧(m Ω),这几个单位之间的换算关系是

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega, 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega, 1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega$$

当导体两端的电压是1V,导体中的电流是1A时,这段导体的电阻为1 Ω 。即

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

同一种材料对电流的阻力,主要取决于导体的长度和横截面积。当截面积相同时,则导体越长,电阻越大;当长度相同时,则截面积越大,电阻越小。所以电阻与导线长度 L 成正比,与导线截面积 S 成反比。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-3)$$

式中 ρ ——电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

2. 电阻率

电阻率的物理意义是:在 $+20^\circ\text{C}$ 时,长度为1m、横截面积为1 mm^2 导线的电阻值。电阻率与材料性质有关, ρ 值越小,导电性能越好。表1-1中所列的 ρ 值为 20°C 时的数值。

表 1-1 常用材料电阻率 ρ 和电阻温度系数 α 表

材料名称	20℃时电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	在 0~100℃之 间电阻温度系 数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$	材料名称	20℃时电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	在 0~100℃之 间电阻温度系 数 $\alpha/(1/^\circ\text{C})$
铜	0.0175	0.0040	锡	0.114	0.00438
铝	0.0283	0.0042	铅	0.222	0.00387
铁	0.1	0.0057	康铜	0.4~0.51	0.000008

3. 电阻温度系数

为了考虑温度对导体电阻的影响,引入了温度系数 α ,其物理意义是:温度上升 1°C 时,每欧导体电阻所变化的数值。

通常导体的电阻随温度的增加而增大。在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 之间,导体电阻所增加相对数值,基本上与温度上升值成正比,可以证得

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

式中 R_1 ——起始温度 t_1 时的导体电阻, Ω ;

R_2 ——温度增加到 t_2 时的导体电阻, Ω ;

α ——电阻温度系数, $1/^\circ\text{C}$

例 1-1 已知电阻为 R , 在温度 20°C 时,其阻值为 7Ω ,当温度升高到 75°C 时,其阻值为多少欧? 导线为铜制。

解: 铜导线的电阻温度系数 $\alpha = 0.004\ 1/^\circ\text{C}$, 当温度升高到 75°C 时,电阻值为

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \\ &= 7[1 + 0.004(75 - 20)] = 8.54\ \Omega \end{aligned}$$

三、电位和电压

1. 电位

电场中,某点的电位在数值上等于单位正电荷沿任意路径从该点移至无限远处电场力所做的功,其单位为伏特,简称伏(V)。

在电场中电位等于零的点叫做参考点,凡电位高于零电位的点,电位为正,凡电位低于零电位的点,其电位为负。通常以大地作为参

考点。

2. 电压

为了使电流通过电阻,在导体两端必须加一定的电压。电场中任意两点间的电压,等于这两点电位差,因此电压也称电位差。电压的单位可用 kV(千伏)、V(伏)、毫伏(mV)、 μ V(微伏)表示,它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, \quad 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}, \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

电场中各点的电位随着参考点的改变而不同,但是无论参考点如何改变,任意两点间的电位差是不变的。电压的正方向是从高电位点指向低电位点。

四、电源的电动势

电动势是电源内部的电源力,常称局外力,是将单位正电荷从电源负极移到正极时所做的功。因此,电源电动势是衡量电源力做功能力的物理量,可用下式表示为

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-5)$$

式中 E ——电动势, V;

A ——电源力所做的功, J(焦耳);

Q ——正电荷的电荷量, C(库仑)。

电动势的方向规定为电源力推动正电荷运动的方向,即从负极指向正极的方向,也就是电位升高的方向。

五、欧姆定律

1. 简单直流电路

简单直流电路是指能用欧姆定律和电阻串、并、混联求解的电路。

2. 电路欧姆定律

部分电路欧姆定律指出:在一段电路中,流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比,而与这段电路的电阻成反比。用公式表示为