

电  
工  
技  
术  
培  
训  
读  
本



# 工厂供配电技术

孙琴梅 主编



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

TM727.3

7

电 工 技 术 培 训 读 本

# 工厂供配电技术

孙琴梅 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

**图书在版编目(CIP)数据**

工厂供配电技术/孙琴梅主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 3  
(电工技术培训读本)

ISBN 7-5025-8435-8

I. 工… II. 孙… III. ①工厂-供电-技术培训-教材②工厂-配电系统-技术培训-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 025123 号

---

电工技术培训读本

工厂供配电技术

孙琴梅 主编

责任编辑: 赵丽霞 刘 哲

文字编辑: 廉 静

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

\*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 234 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8435-8

定 价: 19.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

随着科学技术的发展，电气化程度正在日益提高，电气工作人员的综合素质，直接影响到电气设备的安装、维护和检修质量，关系到工厂企事业单位的正常运行和经济效益。应广大电气工作人员的要求，化学工业出版社组织南京化工职业技术学院、中国石化集团公司南京化学工业有限公司、南京工程学院、南京化工技工学校、江苏海事职业技术学院、中国石化集团公司扬子石化公司培训中心等单位编写了《电工技术培训读本》丛书，包括《电路与电工测量》、《实用电子技术基础》、《电机应用技术》、《电气控制与可编程控制器》、《工厂供配电技术》、《电工材料》、《继电保护与综合自动化系统》、《电气运行与管理技术》、《工厂电气试验》。

为保证本套丛书的质量，成立了电工技术培训读本编写委员会，编写人员均为生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家、高级技师或具有多年丰富的教育培训教学经验的教师。根据劳动和社会保障部颁发的《职业技能鉴定规范》中电工的“知识要求”，结合工厂企业的生产特点，借鉴当前电工的实际工作经验，为电工的职业教育、职业培训和电工的职业技能鉴定，提供一套具有充实内容的教材和参考书。

全套培训读本在编写过程中，着眼于工厂现状，以目前使用较普遍的和以后预计使用量会增加的电气设备为主，适当地考虑到今后发展和提高的要求。本着突出针对性、典型性、实用性的原则，并注意工人培训的特点，内容精练、实用，注重理论联系实际，学以致用，且有一定的理论深度。每章有学习目标，提出具体的要求，后有思考与练习，贯彻以培训为主的原则。本套读本通俗易懂，好学好用。不仅适用于具有初中以上文化程度、没有经过系统专业培训的从事电力系统运行与维护的人员，而且对于从事现场电

气专业设计、安装、运行维修的电工、工程技术人员，也具有一定的参考价值。

本书是《电工技术培训读本》之一，以工厂供电应用为主线，根据维修及运行电工的要求，结合化工行业的特点及供电要求而编写的。在内容安排上，尽量减少复杂的理论计算和理论推导，以掌握基本概念，培养实际应用技能为重点，通俗易懂，便于培训和自学，并力求具有一定的先进性和实用性。全书共分9章，介绍了工厂供电的有关知识和电力系统的基本概念，如电力系统的中性点运行方式，工厂供配电系统，工厂电力线路，高低压电气设备和高低压成套设备；并讲述了工厂电力负荷的计算，短路电流的计算和电气设备的选择，工厂供配电系统的保护（熔断器保护、低压断路器保护和继电保护），二次回路，防雷接地及工厂节电的方法等。本书由孙琴梅任主编，并编写了第1、2、3、4、9章，黄咏梅编写了第5、6、7章，龚俊娟编写了第8章。全书由孙琴梅统稿。

本书为电工培训教材，适用于从事工业企业供配电系统维修及运行电工，也可供从事供配电工作的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请广大读者及同行批评指正。

编 者

2006年1月

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 工厂供配电的意义及要求 .....	1
1.2 电力系统简介 .....	2
1.3 电力系统的电压及电能质量 .....	3
1.3.1 电网和电力设备的额定电压 .....	3
1.3.2 电能质量 .....	7
1.4 电力系统的中性点运行方式.....	10
1.4.1 中性点直接接地的电力系统.....	10
1.4.2 中性点不接地的电力系统.....	10
1.4.3 中性点经消弧线圈接地的电力系统.....	11
1.5 工厂供配电系统.....	12
1.5.1 工厂供电系统概况.....	12
1.5.2 工厂供配电电压的选择.....	15
1.5.3 低压配电系统的接地形式.....	16
1.6 工厂电力线路.....	19
1.6.1 高低压线路的接线方式.....	19
1.6.2 电力线路的结构与敷设.....	23
思考与练习 .....	31
<b>第 2 章 工厂供配电系统的主要电气设备</b> .....	33
2.1 电弧的产生及其灭弧的方法.....	33
2.1.1 电弧的产生与熄灭.....	33
2.1.2 常用灭弧方法.....	34
2.2 高低压熔断器.....	36
2.2.1 高压熔断器.....	36
2.2.2 低压熔断器.....	39

2.3 高低压开关设备·····	41
2.3.1 高压隔离开关、负荷开关、断路器·····	41
2.3.2 低压刀开关、负荷开关、断路器·····	48
2.4 电力变压器·····	53
2.4.1 电力变压器的分类·····	53
2.4.2 电力变压器的型号及连接组别·····	54
2.4.3 电力变压器的并列运行·····	57
2.5 互感器·····	58
2.5.1 电流互感器·····	58
2.5.2 电压互感器·····	61
思考与练习·····	66
<b>第3章 工厂电力负荷及负荷计算</b> ·····	<b>67</b>
3.1 工厂电力负荷及负荷曲线·····	67
3.1.1 电力负荷·····	67
3.1.2 负荷曲线·····	68
3.2 用电设备组计算负荷的确定·····	71
3.2.1 按需要系数法确定计算负荷·····	71
3.2.2 按二项式系数法确定计算负荷·····	75
3.3 工厂计算负荷的确定·····	76
3.3.1 按逐级计算法确定工厂计算负荷·····	76
3.3.2 按需要系数法确定工厂的计算负荷·····	77
3.3.3 按年产量估算工厂计算负荷·····	78
3.3.4 无功补偿后计算负荷的确定·····	78
3.4 尖峰电流·····	80
3.4.1 单台用电设备尖峰电流的计算·····	80
3.4.2 多台用电设备尖峰电流的计算·····	80
思考与练习·····	81
<b>第4章 工厂变配电所及其一次系统</b> ·····	<b>83</b>
4.1 工厂变配电所的任务及设置·····	83
4.1.1 工厂变配电所的任务·····	83

4.1.2	工厂变配电所位置的确定	83
4.2	变电所变压器台数和容量的选择	84
4.2.1	变压器台数的确定	84
4.2.2	变压器容量的选择	84
4.3	工厂变配电所的主接线	85
4.3.1	概述	85
4.3.2	工厂变配电所常用的主接线	86
4.3.3	工厂变配电所的主接线实例	92
4.4	总降压变电所与高压成套配电装置	95
4.4.1	总降压变电所	95
4.4.2	高压成套配电装置	96
4.5	车间变电所和低压配电屏	101
4.5.1	车间变电所	101
4.5.2	低压配电屏	103
	思考与练习	106
<b>第5章</b>	<b>短路电流计算及电气设备的选择</b>	<b>107</b>
5.1	短路及短路电流的有关概念	107
5.1.1	短路的原因、后果及形成	107
5.1.2	无限大容量电力系统三相短路电流分析	109
5.2	三相短路电流的计算	113
5.2.1	概述	113
5.2.2	三相短路电流的计算	114
5.2.3	两相和单相短路电流的计算	119
5.3	短路电流效应及稳定度校验	121
5.3.1	短路电流的电动效应及动稳定度校验	121
5.3.2	短路电流的热效应及热稳定度校验	124
5.4	电气设备的选择	127
5.4.1	选择电气设备的一般条件	127
5.4.2	高低压开关电器的选择	128
5.4.3	熔断器的选择	129



5.4.4 互感器的选择 .....	130
思考与练习 .....	131
<b>第6章 工厂供电系统的保护</b> .....	<b>133</b>
6.1 保护装置的任务和要求 .....	133
6.1.1 保护装置的任务 .....	133
6.1.2 保护装置的基本要求 .....	135
6.2 熔断器保护 .....	136
6.2.1 熔断器在供电系统中的配置 .....	136
6.2.2 熔断器熔体电流的选择 .....	137
6.2.3 熔断器之间的选择性配合 .....	139
6.3 低压断路器保护 .....	142
6.3.1 低压断路器在配电系统中的配置 .....	142
6.3.2 低压断路器的选择与校验 .....	143
6.3.3 低压断路器之间的选择性配合 .....	144
6.3.4 低压断路器保护与导线或电缆之间的配合 .....	144
6.4 常用的保护继电器 .....	145
6.4.1 电磁式电流继电器和电压继电器 .....	146
6.4.2 电磁式时间继电器 .....	147
6.4.3 电磁式中间继电器 .....	149
6.4.4 电磁式信号继电器 .....	150
6.4.5 感应式电流继电器 .....	151
6.5 单端供电系统继电保护装置 .....	153
6.5.1 继电保护装置的接线方式 .....	153
6.5.2 带时限的过电流保护的组成和原理 .....	156
6.5.3 速断保护的组成和原理 .....	165
思考与练习 .....	168
<b>第7章 工厂供电系统的二次回路</b> .....	<b>170</b>
7.1 二次回路及其操作电源 .....	170
7.1.1 二次回路 .....	170
7.1.2 二次回路操作电源 .....	175

7.2	高压断路器的控制和信号回路 .....	180
7.2.1	手动操作机构的高压断路器的控制和信号回路 .....	181
7.2.2	电磁操作机构的高压断路器的控制和信号回路 .....	182
7.2.3	弹簧操作机构的高压断路器的控制和信号回路 .....	184
7.3	电气测量仪表与绝缘监察装置 .....	186
7.3.1	电气测量仪表 .....	186
7.3.2	绝缘监察装置 .....	189
7.4	供配电系统的自动化装置 .....	191
7.4.1	自动重合闸装置 .....	191
7.4.2	备用电源自动投入装置 .....	197
	思考与练习 .....	200
<b>第8章</b>	<b>防雷接地</b> .....	<b>202</b>
8.1	过电压与雷电现象 .....	202
8.1.1	过电压形式 .....	202
8.1.2	雷电的形成 .....	203
8.1.3	雷电种类 .....	203
8.1.4	雷电的危害 .....	205
8.1.5	建筑物防雷等级的划分 .....	205
8.2	防雷措施 .....	207
8.2.1	各类建筑物的防雷措施 .....	207
8.2.2	变配电所的防雷措施 .....	208
8.2.3	高压电动机的防雷措施 .....	215
8.2.4	架空电力线路的防雷措施 .....	216
8.3	防雷装置 .....	218
8.3.1	接闪器 .....	218
8.3.2	避雷器 .....	222
8.4	电气设备的接地 .....	226
8.4.1	接地的基本概念 .....	226
8.4.2	接地的类型及接地故障保护 .....	229
8.4.3	接地电阻的要求和接地装置的装设 .....	234

思考与练习	239
<b>第9章 工厂电能节约</b>	<b>240</b>
9.1 工厂电能节约的一般措施	240
9.2 无功功率的人工补偿	242
9.2.1 常用无功补偿设备	242
9.2.2 并联电容器的补偿技术	244
9.2.3 无功补偿的效益	249
思考与练习	250
<b>附录</b>	<b>252</b>
<b>参考文献</b>	<b>269</b>

# 第 1 章 概 述

## 学习目标

1. 掌握供配电的基本要求，了解电力系统的基本概念。
2. 熟悉我国电网及电气设备的额定电压。
3. 熟悉电力系统的中性点运行方式。
4. 了解工厂供电系统和工厂供配电电压的选择。
5. 熟悉低压配电系统的接地形式。
6. 掌握高低压线路的接线方式及线路的结构与敷设。

## 1.1 工厂供配电的意义及要求

工厂供配电，就是指工厂所需电能的供应与分配。

电能是一种清洁的二次电源。由于电能易于转换成其他形式的能量，使用便利，输送分配经济，且便于控制，有利于实现生产过程自动化。因此，电能在现代工业生产和人类生活的各个方面应用极为广泛。

电能是现代工业生产的主要能源和动力，电能的生产量已成为衡量一个国家和地区经济发展水平的重要标志之一。在我国，随着经济建设速度的加快，电能的生产量和使用量也在迅速发展。在工厂，工厂供配电工作对发展工业生产、实现工业现代化，有着十分重要的作用。如果工厂供电系统突然中断，则对工业生产可能造成严重的后果，特别是对连续生产的企业（如化工企业），即使是短暂的停电，也会引起重大的经济损失。因此，提高工厂供电的可靠性有着十分重大的意义。

为保证工业生产的正常运行和生活用电的需要，工厂供配电就必须达到以下基本要求。

- (1) 安全 在电能的供应、分配及使用中，能确保人身和设备

的安全。

- (2) 可靠 能满足用户对供电可靠性的要求。
- (3) 优质 能满足用户对电压、频率等电能质量指标的要求。
- (4) 经济 供配电系统的投资、运行费用要尽可能低。

## 1.2 电力系统简介

电力系统是发电厂、变电站(所)、电力线路和用电设备(用户)联系在一起组成的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。图 1-1 所示为电力系统的示意图。

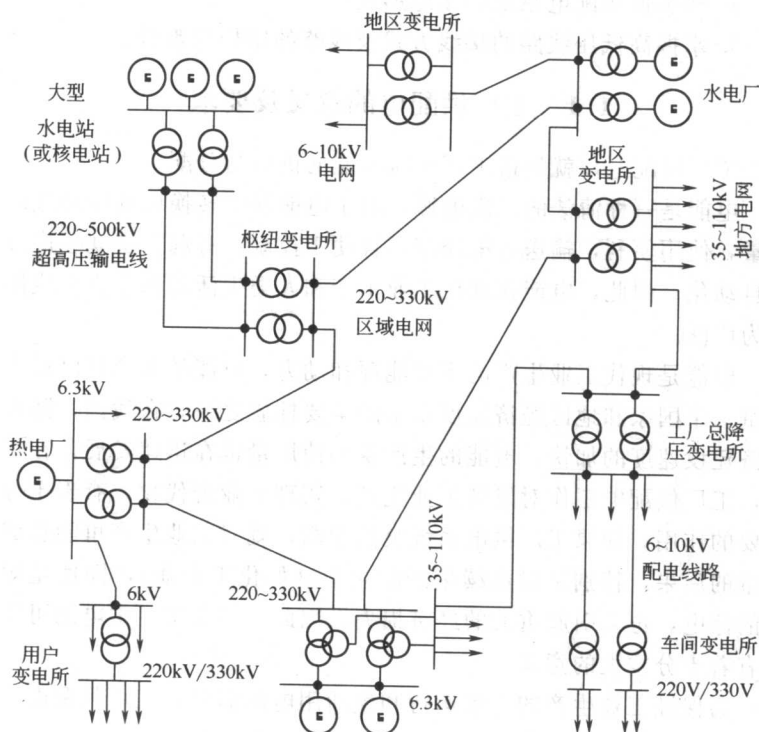


图 1-1 电力系统示意



电力系统中各种电压等级的变电所及其所连接的电力线路，叫电力网，简称电网。在我国主要的大型电网有华北电网、东北电网、华东电网、华中电网、南方电网、西北电网等。电力网是电力系统的重要组成部分，电力网的作用是将电能从发电厂输送并分配到电能用户。

(1) 发电厂 将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能。按一次能源的不同可分为火力发电厂、水力发电厂、核电厂等发电厂。

(2) 变配电站(所) 进行电压的变换和电能的分配。变电站(所)有升压变电站和降压变电站。与发电厂相连的一般为升压变电站，而与用户相连的一般为降压变电站。

(3) 电力线路 电力线路又称输电线，其作用是进行电能的输送，并把发电厂、变配电站和电能用户连接起来。电力线路按用途可分为输电线路和配电线路两种。按架设方法可分为架空线路和电缆线路。按传输电流的种类可分为交流线路和直流线路。

(4) 电能用户 电能用户又称用电负荷。从电力系统中吸收电能，并转换为其他形式的能量(如机械能、热能、光能等)。

### 1.3 电力系统的电压及电能质量

电力系统中的所有设备，都是在一定的电压和频率下工作的，为使电力设备的生产实现标准化、系列化，电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种用电设备，均按规定的额定电压进行设计和制造，电气设备长期在额定电压下运行，其技术与经济指标最佳。

#### 1.3.1 电网和电力设备的额定电压

按 GB 156—1993《标准电压》规定，我国三相交流电网和发电机的额定电压见表 1-1。

##### 1.3.1.1 电网的额定电压

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要和电力工业水平，经全面的技术经济分析后而确定的，它是确定各类电力设

备额定电压的基本依据。在我国，不同地区电网的额定电压系列不同，也给全国电力联网造成了一定的难度。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

分类	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机 额定电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	—	13.8, 15, 75, 18 20, 22, 24, 26	13.8, 15, 75, 18 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
500	—	500	550	

### 1.3.1.2 用电设备的额定电压

由于电力线路在向用电设备输送电能时，要产生一定的电能损失，即产生电压降。使

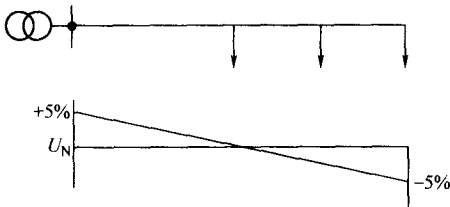
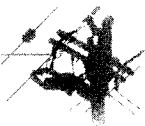


图 1-2 线路电压分布示意

线路上各点电压都略有不同，往往线路首端电压高于线路末端电压，如图 1-2 所示。而电网标称的额定电压是首端与末端的平均电压  $U_N$ 。因此，用电设备的额定

电压规定与同级电网的额定电压相同。



### 1.3.1.3 发电机额定电压

由于电力线路允许电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，线路首端的电压高于额定电压 $5\%$ 。由于发电机接在线路的首端，所以，发电机额定电压高于同级电网额定电压的 $5\%$ 。

### 1.3.1.4 变压器的额定电压

(1) 变压器一次绕组的额定电压 当变压器直接与发电机相连时，变压器一次绕组的额定电压与发电机的额定电压相同，即高于电网电压 $5\%$ 。如图 1-3 中的  $T_1$ 。

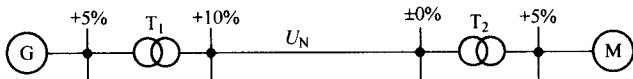


图 1-3 电力变压器的额定电压取值

当变压器连接于线路上时，变压器一次绕组的额定电压与电网的额定电压相同。如图 1-3 中的  $T_2$ 。

(2) 变压器二次绕组的额定电压 变压器二次绕组的额定电压是指变压器一次绕组加上额定电压而二次绕组开路时的电压，即空载电压。而变压器在满载运行时，二次绕组内约有 $5\%$ 的电压降。

当变压器二次侧供电线较长时，其二次绕组的额定电压应高于电网电压的 $10\%$ ，其中 $5\%$ 用于补偿变压器负荷运行时绕组内部的压降， $5\%$ 用于补偿输电线路的电压损耗。

当变压器二次侧供电线路不长（如低压电网或直接供给高压用电设备的高压线路），其二次绕组的额定电压只需高于电网电压的 $5\%$ ，用于补偿变压器二次绕组内部的压降。

**例 1-1** 某供电系统如图 1-4 所示。试确定系统中发电机、变压器、电动机的额定电压。

**解** 发电机的额定电压应高于电网电压 $5\%$ ，即为 $10.5\text{kV}$ 。

变压器  $T_1$ ：一次绕组直接与发电机相连，额定电压与发电机额定电压相同，即为 $10.5\text{kV}$ 。

二次绕组连接于 $110\text{kV}$ 的输电线路，额定电压应高于电网电



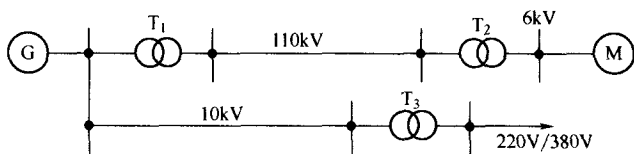


图 1-4 例 1-1 图

压 10%，即为 121kV。

变压器  $T_2$ ：一次绕组接于输电线路，额定电压等于线路额定电压，即为 110kV。

二次绕组直接接高压电动机，额定电压应高于电网电压 5%，即为 6.3kV。

变压器  $T_3$ ：一次绕组接于输电线路，额定电压等于线路额定电压，即为 10kV。

二次绕组连接于 220V/380V 的低压线路，额定电压应高于电网电压 5%，即为 0.4kV。

电动机的额定电压应等于电网的额定电压，即为 6kV。

### 1.3.1.5 电压等级的划分及适用范围

(1) 高低电压的划分 按电力行业标准 DL 408—1991《电力安全工作规范（发电厂和变电所电气部分）》规定：

低压 指设备对地电压在 250V 及 250V 以下；

高压 指设备对地电压在 250V 以上。

此划分是从人身安全方面着眼的。

而我国的一些设计、制造和安装规程通常是以 1kV 为界限来划分高低压的。因此，通常工厂所指高压即为 1kV 及 1kV 以上。

(2) 不同电压的适用范围 220kV 及 220kV 以上电压，一般为输电电压，完成电能的远距离传输。

110kV 及 110kV 以下电压，一般为配电电压，完成对电能进行降压处理并按一定的方式分配至电能用户。其中 35~110kV 配电网为高压配电网，10~35kV 配电网为中压配电网，1kV 以下为低压配电网。