



电气自动化技能型人才实训系列

# 工厂供用电技术实训

GONGCHANG GONGYONGDIAN JISHU SHIXUN

武交峰 主 编

陈吹信 陈朝大 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电气自动化技能型人才实训系列

# 工厂供用电技术实训

GONGCHANG GONGYONGDIAN JISHU SHIXUN

主 编 武交峰

副主编 陈吹信 陈朝大

参 编 赵江稳 陈 龙 张维威



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书从实际应用出发,将工厂供配电技术与技能训练相结合、理论教学与实践教学相结合,主要内容包括电力系统相关概念,电力负荷及其计算,常用的电气设备,工厂变、配电所的电气主接线及结构,短路电流计算及电气设备的选择,工厂电力线路,工厂供电系统的继电保护,工厂供电系统的二次回路和自动装置,工厂的电气照明,电气安全、防雷与接地。每章都有项目实训和思考题供读者参考。

本书可作为自动化、电气自动化专业的教材或参考书,也可供从事石化、电力、冶金等行业相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

工厂供用电技术实训/武交峰主编. —北京:中国电力出版社, 2011.5

(电气自动化技能型人才实训系列)

ISBN 978-7-5123-1664-5

I. ①工… II. ①武… III. ①工厂-供电②工厂-配电系统  
IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 083435 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 498 千字

印数 0001—3000 册 定价 39.00 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

为了适应社会经济和科学技术迅速发展及教育改革的需要,本书以就业为导向,注重以发展观调控和组织教学内容,增强知识结构和能力结构的有机结合,理论教学与生产实际相结合,技术训练与生产现场相结合。

本书以供配电工程项目设计的顺序为主线,通过设计不同但又前后有关联的项目,巧妙地将知识点和技能训练结合在一起。

本书共分10章,第1章介绍供配电系统的相关知识;第2章介绍电力负荷及其计算;第3章介绍常用电气设备;第4章介绍工厂变、配电所的电气主接线及结构;第5章介绍短路电流计算及电气设备的选择;第6章介绍工厂电力线路;第7章介绍工厂供电系统的继电保护;第8章介绍工厂供电系统的二次回路和自动装置;第9章介绍电气照明;第10章介绍电气安全、防雷与接地。

本书第1、2、3、4章由武交峰编写,第5章由陈吹信、武交峰编写,第7章由陈龙编写,第8章由赵江稳编写,第9章由张维威编写,第6、10章由陈朝大、武交峰编写。全书由武交峰统稿。在成书的过程中,得到了广东技术师范学院天河学院杨兰芝老师、周永海老师及侯庆华老师的大力支持,在此,表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些疏漏及不足之处,恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前言

## 第1章 概论

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1.1 供电系统的基本知识 .....              | 1  |
| 1.1.1 电力系统 .....                 | 1  |
| 1.1.2 供配电系统 .....                | 2  |
| 1.2 电力系统的电压 .....                | 3  |
| 1.2.1 额定电压的国家标准 .....            | 3  |
| 1.2.2 电压高低的划分 .....              | 4  |
| 1.3 供电系统的电能质量 .....              | 4  |
| 1.3.1 电能质量简介 .....               | 4  |
| 1.3.2 电压的质量要求 .....              | 5  |
| 1.4 电力系统中性点运行方式及低压配电系统接地方式 ..... | 6  |
| 1.4.1 电力系统的中性点运行方式 .....         | 6  |
| 1.4.2 低压配电系统的接地方式 .....          | 9  |
| 1.5 工厂供电的相关知识 .....              | 11 |
| 1.5.1 工厂供电的意义和要求 .....           | 11 |
| 1.5.2 工厂供电系统概况 .....             | 12 |
| 1.6 项目实训：电力系统图的分析 .....          | 14 |
| 思考题 .....                        | 15 |

## 第2章 电力负荷及其计算

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.1 电力负荷和负荷曲线 .....        | 16 |
| 2.1.1 电力负荷的概念 .....        | 16 |
| 2.1.2 负荷曲线及相关参数 .....      | 16 |
| 2.2 用电设备的工作制与设备容量的计算 ..... | 18 |
| 2.2.1 用电设备的工作制 .....       | 18 |
| 2.2.2 设备容量的计算 .....        | 19 |
| 2.3 三相用电设备组计算负荷的确定 .....   | 20 |
| 2.3.1 需要系数法确定计算负荷 .....    | 20 |
| 2.3.2 二项式法确定计算负荷 .....     | 23 |
| 2.4 单相用电设备组计算负荷的确定 .....   | 24 |
| 2.5 工厂供电系统的功率损耗和电能损耗 ..... | 27 |
| 2.5.1 工厂供电系统的功率损耗 .....    | 27 |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| 2.5.2 | 工厂供电系统的电能损耗 .....            | 28 |
| 2.6   | 工厂的计算负荷与年耗电量 .....           | 29 |
| 2.6.1 | 工厂计算负荷的确定 .....              | 29 |
| 2.6.2 | 工厂年耗电量的计算 .....              | 30 |
| 2.7   | 尖峰电流及其计算 .....               | 30 |
| 2.8   | 工厂的功率因数及其补偿技术 .....          | 31 |
| 2.8.1 | 功率因数概论 .....                 | 31 |
| 2.8.2 | 提高功率因数的方法 .....              | 32 |
| 2.8.3 | 并联电力电容器组提高功率因数 .....         | 33 |
| 2.8.4 | 高压集中补偿提高功率因数的计算 .....        | 35 |
| 2.9   | 项目实训：某机械厂计算负荷及无功补偿量的确定 ..... | 37 |
| 2.9.1 | 项目分析 .....                   | 37 |
| 2.9.2 | 项目实施 .....                   | 38 |
|       | 思考题 .....                    | 39 |

### 第3章 常用电气设备

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.1   | 概述 .....                    | 42 |
| 3.2   | 电弧问题及其对触头的基本要求 .....        | 42 |
| 3.2.1 | 电弧问题 .....                  | 42 |
| 3.2.2 | 对电器触头的基本要求 .....            | 45 |
| 3.3   | 常用高压一次设备 .....              | 45 |
| 3.3.1 | 高压熔断器 .....                 | 45 |
| 3.3.2 | 高压隔离开关 .....                | 47 |
| 3.3.3 | 高压负荷开关 .....                | 49 |
| 3.3.4 | 高压断路器 .....                 | 49 |
| 3.3.5 | 高压开关柜 .....                 | 53 |
| 3.4   | 低压一次设备 .....                | 55 |
| 3.4.1 | 低压熔断器 .....                 | 55 |
| 3.4.2 | 低压刀开关和负荷开关 .....            | 57 |
| 3.4.3 | 低压断路器 .....                 | 58 |
| 3.4.4 | 低压配电屏和配电箱 .....             | 60 |
| 3.5   | 电力变压器和应急柴油发电机组及其选择 .....    | 62 |
| 3.5.1 | 电力变压器的作用、分类和结构 .....        | 62 |
| 3.5.2 | 电力变压器的联结组别 .....            | 63 |
| 3.5.3 | 电力变压器的容量和过负荷能力 .....        | 65 |
| 3.5.4 | 电力变压器的并列运行条件 .....          | 67 |
| 3.5.5 | 变电所主变压器台数和容量的选择 .....       | 68 |
| 3.6   | 互感器 .....                   | 69 |
| 3.6.1 | 电流互感器 .....                 | 69 |
| 3.6.2 | 电压互感器 .....                 | 72 |
| 3.7   | 项目实训：高压隔离开关的常见故障分析与维护 ..... | 74 |

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 3.7.1 | 故障分析与处理 .....                 | 74 |
| 3.7.2 | 隔离开关的运行维护 .....               | 76 |
| 3.7.3 | 隔离开关的检修 .....                 | 76 |
| 3.8   | 项目实训：电力变压器的维护 .....           | 77 |
| 3.8.1 | 电力变压器维护的一般要求 .....            | 77 |
| 3.8.2 | 变压器的巡视项目 .....                | 78 |
| 3.8.3 | 变压器的负荷检查 .....                | 78 |
| 3.8.4 | 变压器的停电清扫 .....                | 78 |
| 3.8.5 | 变压器的异常情况 .....                | 78 |
| 3.9   | 项目实训：GG-IA 型高压开关柜的检修、操作 ..... | 79 |
| 3.9.1 | 控制回路查线 .....                  | 79 |
| 3.9.2 | 常见故障的处理方法 .....               | 79 |
| 3.9.3 | 闸失灵处理方法（电气故障） .....           | 79 |
|       | 思考题 .....                     | 79 |

#### 第4章 | 工厂变、配电所的电气主接线及结构

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 4.1   | 工厂变、配电所的任务、类型及所址选择 .....   | 81  |
| 4.1.1 | 工厂变、配电所的任务与类型 .....        | 81  |
| 4.1.2 | 工厂变、配电所的所址选择及负荷中心的确定 ..... | 82  |
| 4.2   | 工厂变、配电所的主接线图 .....         | 84  |
| 4.2.1 | 高压配电所的主接线图 .....           | 84  |
| 4.2.2 | 车间和小型工厂变电所的主接线图 .....      | 86  |
| 4.2.3 | 工厂总降压变电所的主接线图 .....        | 90  |
| 4.2.4 | 接有应急柴油发电机组的变电所主接线图 .....   | 92  |
| 4.3   | 工厂变、配电所的布置、结构及安装图 .....    | 92  |
| 4.3.1 | 变、配电所的总体布置 .....           | 92  |
| 4.3.2 | 变、配电所及柴油发电机组机房的结构布置 .....  | 94  |
| 4.3.3 | 组合式成套变电所的结构 .....          | 96  |
| 4.3.4 | 工厂应急柴油发电机组机房的结构布置 .....    | 97  |
| 4.3.5 | 变、配电所的电气安装图 .....          | 97  |
| 4.4   | 项目实训：变、配电所的运行值班制度与要求 ..... | 98  |
| 4.4.1 | 变、配电所的运行值班制度 .....         | 98  |
| 4.4.2 | 变、配电所值班员的职责 .....          | 98  |
| 4.4.3 | 变、配电所运行值班注意事项 .....        | 99  |
| 4.5   | 项目实训：变、配电所的送电和停电操作 .....   | 99  |
| 4.5.1 | 操作的一般要求 .....              | 99  |
| 4.5.2 | 变、配电所的送电操作 .....           | 100 |
| 4.5.3 | 变、配电所的停电操作 .....           | 101 |
| 4.6   | 项目实训：某机械厂变电所的位置与型式确定 ..... | 101 |
| 4.6.1 | 项目任务 .....                 | 101 |
| 4.6.2 | 分析 .....                   | 101 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4.7 项目实训：某机械厂主接线方案的确定 ..... | 102 |
| 思考题 .....                   | 104 |

## 第5章 短路电流计算及电气设备的选择

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 5.1 短路的原因、后果及形式 .....              | 105 |
| 5.1.1 短路的原因及后果 .....               | 105 |
| 5.1.2 短路的种类 .....                  | 106 |
| 5.2 无限大容量系统三相短路电流的物理过程及有关物理量 ..... | 107 |
| 5.2.1 无限大容量系统概念 .....              | 107 |
| 5.2.2 无限大容量系统发生三相短路时的物理过程 .....    | 107 |
| 5.2.3 与短路有关的物理量 .....              | 108 |
| 5.3 无限大电源容量供电系统三相短路电流计算 .....      | 110 |
| 5.3.1 欧姆法 .....                    | 110 |
| 5.3.2 标幺制法 .....                   | 114 |
| 5.3.3 低压电网的短路计算 .....              | 118 |
| 5.4 两相和单相短路电流的计算 .....             | 118 |
| 5.4.1 两相短路电流的计算 .....              | 118 |
| 5.4.2 单相短路电流的计算 .....              | 118 |
| 5.5 大功率电动机对短路电流的影响 .....           | 119 |
| 5.5.1 同步电动机 .....                  | 119 |
| 5.5.2 异步电动机 .....                  | 120 |
| 5.6 短路电流的效应 .....                  | 122 |
| 5.6.1 短路电流的电动效应和动稳定度校验 .....       | 122 |
| 5.6.2 短路电流的热效应和热稳定度校验 .....        | 125 |
| 5.7 常用一次电气设备的选择及校验 .....           | 127 |
| 5.7.1 高压一次设备的选择及校验 .....           | 127 |
| 5.7.2 低压一次设备的选择 .....              | 128 |
| 5.7.3 应急柴油发电机组的选择 .....            | 129 |
| 5.7.4 电流互感器的选择和校验 .....            | 129 |
| 5.8 项目实训：某机械厂供配电所电气设备选择 .....      | 131 |
| 5.8.1 短路电流计算 .....                 | 131 |
| 5.8.2 变电所一次设备的选择校验 .....           | 132 |
| 思考题 .....                          | 133 |

## 第6章 工厂电力线路

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.1 工厂电力线路的类型及接线方式 ..... | 135 |
| 6.1.1 电力线路类型 .....       | 135 |
| 6.1.2 高压线路的接线方式 .....    | 135 |
| 6.1.3 低压线路的接线方式 .....    | 137 |
| 6.2 工厂电力线路的结构和敷设 .....   | 138 |
| 6.2.1 架空线路的结构和敷设 .....   | 138 |
| 6.2.2 电缆线路的结构和敷设 .....   | 144 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 6.2.3 | 车间线路的结构和敷设              | 149 |
| 6.3   | 导线和电缆的选择及截面积的计算         | 150 |
| 6.3.1 | 导线和电缆选择的一般规定            | 150 |
| 6.3.2 | 导线和电缆截面选择计算的条件          | 151 |
| 6.3.3 | 按发热条件选择导线和电缆截面          | 152 |
| 6.3.4 | 按经济电流密度选择导线和电缆截面        | 153 |
| 6.3.5 | 线路电压损耗的计算               | 155 |
| 6.4   | 车间动力电气平面布线图             | 160 |
| 6.5   | 项目实训：电力线路的运行与维护         | 161 |
| 6.5.1 | 架空线路的运行维护               | 161 |
| 6.5.2 | 电缆线路的运行维护               | 162 |
| 6.5.3 | 车间配电线路的运行维护             | 162 |
| 6.5.4 | 线路运行中突然停电的处理            | 163 |
| 6.6   | 项目实训：变电所进出线和与邻近单位联络线的选择 | 163 |
| 6.6.1 | 10kV 高压进线和引入电缆的选择       | 164 |
| 6.6.2 | 380V 低压出线的选择            | 164 |
| 6.6.3 | 作为备用电源的高压联络线的选择校验       | 165 |
|       | 思考题                     | 166 |

## 第7章 工厂供电系统的继电保护

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 7.1   | 继电保护的基本知识              | 168 |
| 7.1.1 | 继电保护装置的任务              | 168 |
| 7.1.2 | 继电保护装置的基本要求            | 168 |
| 7.1.3 | 常用的保护继电器               | 169 |
| 7.2   | 供配电线路的继电保护             | 175 |
| 7.2.1 | 电力线路继电保护概述             | 175 |
| 7.2.2 | 继电保护装置的接线方式            | 175 |
| 7.2.3 | 带时限的过电流保护              | 176 |
| 7.2.4 | 电流速断保护                 | 179 |
| 7.2.5 | 单相接地保护                 | 181 |
| 7.2.6 | 线路的过负荷保护               | 182 |
| 7.3   | 电力变压器的继电保护             | 182 |
| 7.3.1 | 电力变压器继电保护概述            | 182 |
| 7.3.2 | 变压器的过电流保护、电流速断保护和过负荷保护 | 182 |
| 7.3.3 | 变压器的气体继电保护             | 184 |
| 7.3.4 | 变压器的差动保护               | 185 |
| 7.3.5 | 变压器低压侧的单相短路保护          | 186 |
| 7.4   | 母线保护                   | 187 |
| 7.4.1 | 母线保护的配置原则              | 187 |
| 7.4.2 | 单母线完全差动保护              | 188 |
| 7.4.3 | 固定连接母线的差动保护            | 189 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 7.4.4 | 电流比相式母线保护                | 190 |
| 7.4.5 | 母联相位差动保护                 | 191 |
| 7.5   | 微机继电保护                   | 191 |
| 7.5.1 | 输入信号的预处理                 | 192 |
| 7.5.2 | 微机保护装置的实例                | 193 |
| 7.6   | 项目实训：电流互感器、电压互感器的故障处理与维护 | 194 |
| 7.6.1 | 电流互感器、电压互感器的故障与处理        | 194 |
| 7.6.2 | 电流互感器、电压互感器使用与运行中的维护和检查  | 196 |
| 7.7   | 项目实训：继电器特性的测量            | 197 |
| 7.7.1 | 电流继电器特性实验                | 197 |
| 7.7.2 | 电压继电器特性实验                | 198 |
| 7.7.3 | 时间继电器特性测试实验              | 198 |
|       | 思考题                      | 199 |

## 第8章 工厂供电系统的二次回路和自动装置

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 8.1   | 二次回路及其操作电源                | 201 |
| 8.1.1 | 概述                        | 201 |
| 8.1.2 | 直流操作电源                    | 201 |
| 8.1.3 | 交流操作电源                    | 203 |
| 8.2   | 高压断路器的控制和信号回路             | 203 |
| 8.2.1 | 概述                        | 203 |
| 8.2.2 | 采用手动操作的断路器控制和信号回路         | 204 |
| 8.2.3 | 采用电磁操动机构的断路器控制和信号回路       | 204 |
| 8.2.4 | 采用弹簧操动机构的断路器控制和信号回路       | 205 |
| 8.3   | 变、配电所的中央信号装置              | 206 |
| 8.3.1 | 中央事故信号装置                  | 206 |
| 8.3.2 | 中央预告信号装置                  | 208 |
| 8.3.3 | 闪光信号装置                    | 208 |
| 8.4   | 电测量仪表与绝缘监视装置              | 209 |
| 8.4.1 | 电测量仪表                     | 209 |
| 8.4.2 | 绝缘监视装置                    | 210 |
| 8.5   | 自动重合闸与备用电源自动投入装置          | 212 |
| 8.5.1 | 自动重合闸装置                   | 212 |
| 8.5.2 | 备用电源自动投入装置                | 215 |
| 8.6   | 二次回路的安装接线和接线图             | 217 |
| 8.6.1 | 二次回路的安装接线要求               | 217 |
| 8.6.2 | 二次回路接线图的绘制要求              | 217 |
| 8.6.3 | 二次回路接线图的绘制方法              | 218 |
| 8.7   | 项目实训：变电所二次回路常见故障判断        | 221 |
| 8.8   | 项目实训：变电所二次回路方案的选择与继电保护的整定 | 222 |
| 8.8.1 | 高压断路器的操动机构控制与信号回路         | 222 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 8.8.2 变电所的电能计量回路·····    | 222 |
| 8.8.3 变电所的测量和绝缘监察回路····· | 222 |
| 8.8.4 变电所的保护装置·····      | 222 |
| 思考题·····                 | 223 |

## 第9章 电气照明

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 9.1 照明技术的基本概念·····         | 225 |
| 9.1.1 光和光谱·····            | 225 |
| 9.1.2 光通量·····             | 225 |
| 9.1.3 光强及其分布曲线·····        | 225 |
| 9.1.4 照度和亮度·····           | 226 |
| 9.1.5 发光效率·····            | 226 |
| 9.1.6 物体的光照性能·····         | 227 |
| 9.1.7 光源的发光效能、显色性能和色温····· | 227 |
| 9.1.8 照明的方式和种类·····        | 227 |
| 9.2 工厂常用照明光源和灯具·····       | 228 |
| 9.2.1 工厂常用照明光源·····        | 228 |
| 9.2.2 工厂常用灯具的选择与布置·····    | 232 |
| 9.3 照明质量及照度计算·····         | 235 |
| 9.3.1 照明质量·····            | 235 |
| 9.3.2 照度标准及其计算·····        | 236 |
| 9.4 照明供电系统及其选择·····        | 239 |
| 9.4.1 照明的供电电压·····         | 239 |
| 9.4.2 电气照明的平面布线图·····      | 239 |
| 9.4.3 照明供电系统导线截面积的选择·····  | 241 |
| 9.4.4 照明线路导线及保护装置的选择·····  | 242 |
| 9.5 项目实训：某工厂照明供电系统图认识····· | 243 |
| 9.6 项目实训：初步确定灯具的布置方案·····  | 245 |
| 思考题·····                   | 245 |

## 第10章 电气安全、防雷与接地

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 10.1 电气安全基本知识·····            | 247 |
| 10.1.1 电气安全的重要性·····          | 247 |
| 10.1.2 电流对人体的作用·····          | 247 |
| 10.1.3 电气安全措施·····            | 248 |
| 10.2 过电压与防雷设备·····            | 250 |
| 10.2.1 过电压·····               | 250 |
| 10.2.2 防雷设备·····              | 251 |
| 10.2.3 防雷措施·····              | 255 |
| 10.3 电气装置的接地·····             | 260 |
| 10.3.1 接地的有关概念·····           | 260 |
| 10.3.2 电气设备中必须接地和不需接地的部分····· | 262 |

|        |                         |     |
|--------|-------------------------|-----|
| 10.3.3 | 接地电阻的要求及计算              | 263 |
| 10.3.4 | 接地装置的装设                 | 263 |
| 10.3.5 | 接地装置的计算                 | 264 |
| 10.3.6 | 低压配电系统的等电位连接            | 268 |
| 10.4   | 项目实训：触电急救               | 269 |
| 10.4.1 | 脱离电源                    | 269 |
| 10.4.2 | 急救处理                    | 269 |
| 10.4.3 | 人工呼吸法                   | 270 |
| 10.4.4 | 胸外按压心脏的人工循环法            | 270 |
| 10.5   | 项目实训：接地电阻的测量            | 271 |
| 10.6   | 项目实训：某机械厂供配电所防雷与接地装置的设计 | 272 |
| 10.6.1 | 变电所的防雷保护                | 272 |
| 10.6.2 | 变电所公共接地装置的设计            | 272 |
|        | 思考题                     | 273 |
|        | 附录 供用电技术常用数据            | 274 |
|        | 参考文献                    | 288 |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 供配电系统的基本知识

电能是二次能源，由自然界中蕴含的各种一次能源转换而来。由于电能具有易于与其他能量互相转换，便于操作和控制、远距离传输和分配等特点，已广泛应用于现代工农业生产及社会生活各个方面。

### 1.1.1 电力系统

由于电能无法大量储存，所以电能的生产、输送、分配和使用实际是在同一瞬间完成的。这就需要将发电、供电、输配电和用电各个环节组成一个整体。由各级电压的电力线路将一些发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体，称为电力系统，如图 1-1 所示。

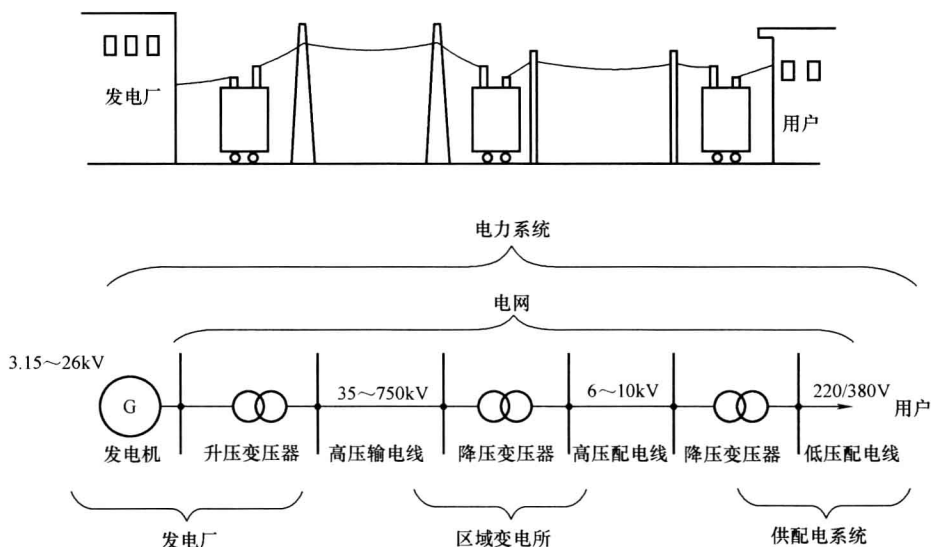


图 1-1 电力系统构成示意图

#### 1.1.1.1 发电厂

发电厂又称发电站，是将自然界存在的各种一次能源转换为电能（属二次能源）的工厂，按其所利用的能源不同，分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等多种类型。

#### 1.1.1.2 变、配电所

变电所的功能是接受电能、变换电压和分配电能。配电所的功能是接受电能和分配电能，但不改变电压。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户，需将发电机电压进行多次电压变换，这个任务由变电所完成。变电所由电力变压器、配电装置和二次装置等构成，按变电所的性质

质和任务不同,可分为升压变电所和降压变电所,除与发电机相连的变电所为升压变电所外,其余均为降压变电所;按变电所的地位和作用不同,又分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。

### 1.1.1.3 电力线路

电力线路将发电厂、变电所和电能用户连接起来,完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级,通常将 220kV 及以上的电力线路称输电线路,110kV 及以下的电力线路称为配电线路。配电线路又分为高压配电线路(110kV)、中压配电线路(35~6kV)和低压配电线路(380/220V)。高压配电线路一般作为城市配电网骨架和特大型企业供电线路,中压配电线路为城市主要配网和大中型企业供电线路,低压配电线路一般为城市和企业的低压配网。

### 1.1.1.4 电能用户

电能用户又称电力负荷,有两种含义:

- (1) 指消耗电能的用电设备或用电单位(用户),如重要负荷、动力负荷、照明负荷等。
- (2) 指用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流大小,如轻负荷(轻载)、重负荷(重载)、空负荷(空载)、满负荷(满载)等。

电力负荷的具体含义视其使用的具体场合而定,按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

与电力系统相关联的还有电网和动力系统。电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所,称为电力网或电网,其作用是输送、控制和分配电能。电网可按电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的供电范围大,电压一般在 220kV 及以上。地方电网的供电电压一般不超过 110kV。电力系统加上发电厂的动力部分及其热能系统和热能用户,称为动力系统。

### 1.1.2 供配电系统

供配电系统是电力系统的电能用户,也是电力系统的重要组成部分,由总降压变电所、高压配电所、配电线路、车间变电所或建筑物变电所和用电设备组成,如图 1-2 所示。

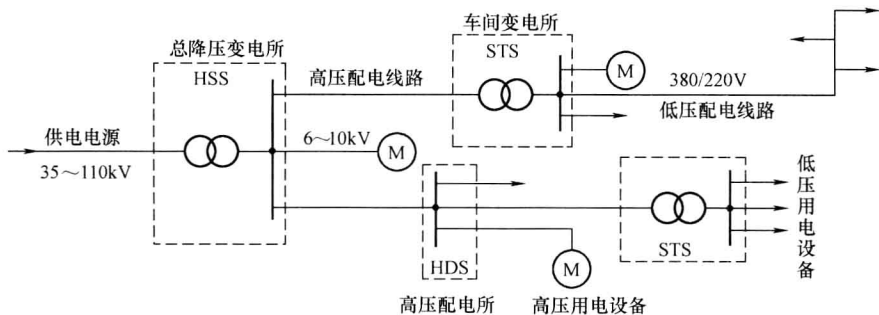


图 1-2 供配电系统结构框图

总降压变电所是企业电能供应的枢纽。它将 35~110kV 的外部供电电源电压降为 6~10kV 高压配电电压,供给高压配电所、车间变电所和高压用电设备。

高压配电所集中接受 6~10kV 电压,再分配到附近各车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。一般负荷分散、厂区大的大型企业设置高压配电所。配电线路分为 6~10kV 厂内高压配电线路和 380/220V 厂内低压配电线路。高压配电线路将总降压变电所与高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备连接起来。低压配电线路将车间变电所的 380/220V 电压送至各低压用电设备。

车间变电所或建筑物变电所将 6~10kV 电压降为 380/220V 电压，供低压用电设备用。用电设备按用途可分为动力用电设备、工艺用电设备、电热用电设备、试验用电设备和照明用电设备等。

应当指出，对于某个具体的供配电系统，可能上述各部分都有，也可能只有其中的几个部分，这主要取决于电力负荷的大小和厂区的大小。不同的供配电系统，不仅组成不完全相同，而且相同部分的构成也会有较大的差异。通常大型企业都设总降压变电所，中小型企业仅设全厂 6~10kV 变电所或配电所，某些特别重要的企业还设自备发电厂作为备用电源。

1.2 电力系统的电压

1.2.1 额定电压的国家标准

电力系统的额定电压包括电力系统中各种发电、供电、用电设备的额定电压，是能使电气设备长期运行在经济效果最好的电压，是国家根据国民经济发展的需要、电力工业的水平和发展趋势，经全面技术经济分析后确定的。我国规定的三相交流电网和电力设备的额定电压，见表 1-1。

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<br>额定电压 | 发电机额定电压                           | 电力变压器额定电压                         |            |
|----|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|
|    |                 |                                   | 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 及 3.15                          | 3.15 及 3.3 |
|    | 6               | 6.3                               | 6 及 6.3                           | 6.3 及 6.6  |
|    | 10              | 10.5                              | 10 及 10.5                         | 10.5 及 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        |
|    | 750             | —                                 | 750                               | 825(800)   |

1.2.1.1 电网（线路）的额定电压

电网的额定电压（标称电压）等级，是国家根据国民经济发展的需要和电力工业发展的水平，经全面的技术经济分析后确定的，是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

1.2.1.2 用电设备的额定电压

由于电力线路在有电流通过时要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同。但是考虑到用电设备的批量生产，不可能按使用处线路的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压即线路（电网）的额定电压  $U_N$  来制造，因此用电设备的额定电压一般规定与同级电网的额定电压相同。

但是在此必须指出：按 GB/T 11022—1999《高压开关设备和控制设备的共同技术要求》规定，高压开关设备和控制设备的额定电压按其允许的最高工作电压来标注，其额定电压不得小于其所在系统可能出现的最高电压，见表 1-2。新生产的一些高压设备额定电压已按此规定标注。

表 1-2 系统的额定电压、最高电压和高压设备的额定电压 (据 GB/T 11022—1999) kV

|                     |     |     |      |      |
|---------------------|-----|-----|------|------|
| 系统的额定电压             | 3   | 6   | 10   | 35   |
| 系统的最高电压             | 3.5 | 6.9 | 11.5 | 40.5 |
| 高压开关、互感器及支柱绝缘子的额定电压 | 3.6 | 7.2 | 12   | 40.5 |
| 穿墙套管的额定电压           | —   | 6.9 | 11.5 | 40.5 |
| 熔断器的额定电压            | 3.5 | 6.9 | 12   | 40.5 |

### 1.2.1.3 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 $10\%$ 的电压损耗值，因此为了使线路的平均电压维持在额定值，线路首端（电源端）的电压宜较线路额定电压高 $5\%$ ，而线路末端的电压则较线路额定电压低 $5\%$ ，所以发电机的额定电压规定高于同级电网额定电压 $5\%$ ，如图 1-3 所示。

### 1.2.1.4 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器的一次绕组额定电压分两种情况：当变压器直接与发电机相连时，如图 1-4

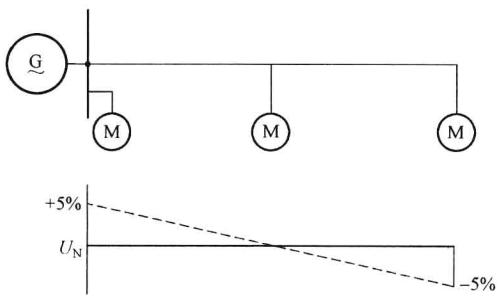


图 1-3 用电设备和发电机的额定电压说明图

中的变压器 T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，都高于同级电网额定电压 $5\%$ ；当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图 1-4 中的变压器 T2，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

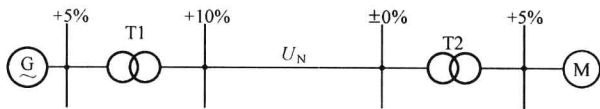


图 1-4 电力变压器一、二次额定电压说明图

(2) 电力变压器的二次绕组额定电压亦分两种情况：当变压器二次侧供电线路较长（如为较大的高压电网）时，如图 1-4 中的变压器 T1，其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 $10\%$ ，其中有 $5\%$ 用于补偿变压器满载运行时绕组本身约 $5\%$ 的电压降，还要高于同级电网额定电压 $5\%$ 以补偿线路上的电压降，所以变压器二次绕组额定电压总的要高于电网额定电压 $10\%$ ；变压器二次侧供电线路不长（如为低压电网或直接供电给高低压用电设备）时，如图 1-4 中的变压器 T2，其二次绕组额定电压只需高于电网额定电压 $5\%$ ，仅考虑补偿变压器满载运行时绕组本身的 $5\%$ 电压降。

### 1.2.2 电压高低的划分

关于电力系统电压高低的划分，我国现在统一规定：

- (1) 低压，指电压等级在 $1000\text{V}$ 以下者。
- (2) 高压，指电压等级在 $1000\text{V}$ 及以上者。

此外尚有按下列标准划分电压高低的，规定： $1000\text{V}$ 以下为低压； $1000\text{V}\sim 10\text{kV}$ 或 $35\text{kV}$ 为中压； $35\text{kV}$ 或以上至 $110\text{kV}$ 或 $220\text{kV}$ 为高压； $220\text{kV}$ 或 $330\text{kV}$ 及以上为超高压； $800\text{kV}$ 及以上为特高压。不过这种划分并无明确的统一标准，因此划分界限不是十分明确。

## 1.3 供电系统的电能质量

### 1.3.1 电能质量简介

电能质量是指电压质量、频率质量和供电可靠性三项指标。电力系统中的所有电气设备都是

在一定的电压和频率下工作的。电气设备的额定电压和额定频率是电气设备正常工作且能获得最佳经济效果的电压和频率。电压和频率是衡量电能质量的基本参数。

一般交流电力设备的额定频率为 50Hz, 此频率通称为工频 (工业频率)。我国 1996 年公布实施的《供电营业规则》规定, 在电力系统正常状况下, 供电频率的允许偏差: ①电网装机容量在 300 万 kW 及以上的为  $\pm 0.2\text{Hz}$ ; ②电网装机容量在 300 万 kW 以下的为  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。在电力系统非正常状况下, 供电频率允许偏差不应超过  $\pm 1.0\text{Hz}$ 。

供电可靠性是以对用户停电的时间及次数来衡量, 常用供电可靠率  $K_{\text{rel}}$  表示, 即实际供电时间  $T_y$  与统计期全部时间  $T_s$  的比值的百分数。例如, 统计时间为一年 (8760h), 用户全年平均停电时间 87.6h, 则供电可靠性为 99%。

$$K_{\text{rel}} = \frac{T_y}{T_s} \times 100\% \quad (1-1)$$

### 1.3.2 电压的质量要求

提高电能质量主要是提高电压质量问题。电压质量是按照国家标准或规范对电力系统电压的偏差、波动和波形的一种质量评估。

#### 1.3.2.1 电压偏差及其允许值

(1) 电压偏差的含义及其计算。电压偏差是指设备在给定瞬间的端电压  $U$  与其额定电压  $U_N$  之差对额定电压  $U_N$  的百分值, 即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-2)$$

(2) 电压偏差对设备运行的影响。

1) 对感应电动机的影响: 明显地缩短电机的使用寿命, 同时, 电动机由于转矩减小, 转速下降, 不仅会降低生产效率, 减少产量, 而且还会影响产品质量, 增加废次品。

2) 对同步电动机的影响: 除了不会影响其转速外, 其他如对转矩、电流和温升等的影响, 与感应电动机相同。

3) 对电光源的影响: 端电压降低时, 发光效率将下降, 灯光明显变暗, 照度降低, 严重影响人的视力健康, 降低工作效率, 还可能增加事故; 端电压升高时, 发光效率将提高, 但电光源使用寿命将大大缩短。

(3) 允许的电压偏差。GB 50052—1995《供配电系统设计规范》规定, 在系统正常运行情况下, 用电设备端子处的电压偏差允许值 (以额定电压的百分数表示) 宜符合下列要求:

1) 电动机为  $\pm 5\%$ 。

2) 电气照明: 一般工作场所为  $\pm 5\%$ ; 对于远离变电所的小面积一般工作场所, 难以满足上述要求时, 可为  $+5\%$ ,  $-10\%$ ; 应急照明、道路照明和警卫照明等为  $+5\%$ ,  $-10\%$ ; 其他用电设备, 当无特殊规定时为  $\pm 5\%$ 。

(4) 电压调整措施。如正确选择无载调压型变压器的电压分接头或采用有载调压型变压器; 合理减少系统的阻抗; 合理改变系统的运行方式; 尽量使系统的三相负荷均衡; 采用无功功率补偿装置。

#### 1.3.2.2 电压波动及其抑制

(1) 电压波动是指电网电压方均根值 (有效值) 的连续快速变动。电压波动 (或电压变动) 值以用户公共供电点相邻时间的最大与最小电压方均根值  $U_{\text{max}}$  与  $U_{\text{min}}$  之差对电网额定电压  $U_N$  的百分值来表示, 即

$$\delta U\% = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_N} \times 100\% \quad (1-3)$$

(2) 电压波动的产生与危害。电压波动是由于负荷急剧变动或冲击性负荷所引起。负荷急剧变