



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 工厂供配电

GONGCHANG GONGPEIDIAN

汪永华 曹光华 主 编  
吴 琦 蓝旺英 张雅洁 蒋治国 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 工厂供配电

GONGCHANG GONGPEIDIAN

主 编 汪永华 曹光华  
副主编 吴 琦 蓝旺英 张雅洁 蒋治国  
编 写 陈 红 何 伟 张松兰 王正风  
主 审 张惠忠



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十二五”职业教育国家规划教材。本书共分10章,较系统地介绍了工厂供电系统的基本知识,主要内容有工厂供电概述,工厂的电力负荷及其计算,短路电流及其计算,工厂电气设备及一次系统,工厂电力线路,工厂供电系统的过电流保护,防雷、接地及电气安全,工厂供电系统的二次回路和自动装置,工厂的电气照明,工厂供电系统运行维护与管理。每章后都附有复习思考题,书末附有附录。

本书可适用于普通高校的高职高专、电视大学、成人高校的机电类专业(供用电技术、工业电气自动化、机电应用技术、机电一体化等)学生使用,也可供相关专业大中专院校师生参阅,还可供工矿企业有关单位和从事工厂供电系统设计、安装、运行维护和管理的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/汪永华,曹光华主编. —北京:中国电力出版社,2014.8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5123-5879-9

I. ①工… II. ①汪… ②曹… III. ①工厂—供电系统—  
高等职业教育—教材②工厂—配电系统—高等职业教育—教材  
IV. ①TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第101917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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2014年8月第一版 2014年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23印张 561千字

定价 46.00元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
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

本书根据教育部关于高等职业教育有关文件精神,结合近几年高职高专教育改革研究成果编写而成。本书是以培养高端应用型人才为目标,以技术技能培养为本位,以基本理论够用为度,以强化应用为教学重点,以最新的国家标准、规程、规范为依据,结合编者多年的教学和工程实践经验,并参考了大量工厂供配电方面的教材及工程实践资料。本书编写时力求做到:基本概念准确、分析计算方法简捷清晰、不强调公式的推导和理论的系统性、努力避免求深求全现象,在阐述成熟的专业知识的同时,注重介绍新材料、新工艺、新设备、新技术及电气工程的最新成果。本教材内容广泛、深入浅出,理论联系实际,便于学生学习和解决工程实际问题。

为便于学生课程设计和毕业设计(综合实践)查阅使用,书末列出了工厂供配电设计常用电气设备图形符号及技术数据,并附有工厂供配电设计任务书。

本书的参考学时为80~100学时,可根据不同专业教学需要适当增减。

本书由汪永华、曹光华主编,汪永华负责统稿。其中,第1章由安徽国防科技职业技术学院陈红编写;第2章由芜湖职业技术学院张松兰编写;第3章由安徽水利水电职业技术学院汪永华编写;第4章由安徽电气工程职业技术学院吴琦编写;第5章由安徽水利水电职业技术学院何伟编写;第6章由安徽机电职业技术学院曹光华编写;第7章、第9章由安徽水利水电职业技术学院张雅洁编写;第8章由无锡交通职业技术学院蒋治国编写;第10章由安徽水利水电职业技术学院蓝旺英编写;附录部分由汪永华和曹光华编写;安徽省电力公司王正风参与了部分章节的编写。

本书由安徽电气工程职业技术学院张惠忠教授主审,张惠忠教授在审阅中对本书提出很多宝贵意见,谨在此表示衷心的感谢!

编 者

2013年11月

## 目 录

## 前言

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>1 工厂供配电概述</b> .....             | 1   |
| 1.1 工厂供配电的基本知识 .....               | 1   |
| 1.2 电力系统的额定电压和电能质量 .....           | 8   |
| 1.3 电力系统的中性点运行方式 .....             | 15  |
| 复习思考题 .....                        | 20  |
| <b>2 工厂的电力负荷及其计算</b> .....         | 21  |
| 2.1 工厂的电力负荷和负荷曲线 .....             | 21  |
| 2.2 三相用电设备组计算负荷的确定 .....           | 26  |
| 2.3 单相用电设备组计算负荷的确定 .....           | 31  |
| 2.4 工厂总计算负荷的确定 .....               | 32  |
| 2.5 尖峰电流及其计算 .....                 | 37  |
| 复习思考题 .....                        | 37  |
| <b>3 短路电流及其计算</b> .....            | 39  |
| 3.1 短路的原因、危害及其形式 .....             | 39  |
| 3.2 无限大容量电力系统发生三相短路时物理过程和物理量 ..... | 40  |
| 3.3 无限大容量电力系统中短路电流的计算 .....        | 43  |
| 3.4 短路电流的效应 .....                  | 51  |
| 复习思考题 .....                        | 57  |
| <b>4 工厂电气设备及一次系统</b> .....         | 59  |
| 4.1 电弧的产生与熄灭 .....                 | 59  |
| 4.2 高低压一次设备 .....                  | 64  |
| 4.3 电力变压器 .....                    | 88  |
| 4.4 互感器 .....                      | 93  |
| 4.5 绝缘子和母线 .....                   | 99  |
| 4.6 成套装置 .....                     | 105 |
| 4.7 工厂变配电所的电气主接线 .....             | 111 |
| 4.8 工厂变配电所的总体布置 .....              | 116 |
| 4.9 工厂变配电所电气设备的选择与校验 .....         | 124 |
| 复习思考题 .....                        | 126 |
| <b>5 工厂电力线路</b> .....              | 128 |
| 5.1 架空线路 .....                     | 128 |
| 5.2 电缆线路 .....                     | 132 |
| 5.3 车间线路的结构和敷设 .....               | 138 |

|           |                                |            |
|-----------|--------------------------------|------------|
| 5.4       | 工厂电力线路的接线方式 .....              | 141        |
| 5.5       | 导线截面的选择 .....                  | 143        |
|           | 复习思考题 .....                    | 149        |
| <b>6</b>  | <b>工厂供配电系统的过电流保护 .....</b>     | <b>151</b> |
| 6.1       | 过电流保护的基本知识 .....               | 151        |
| 6.2       | 高低压熔断器保护 .....                 | 153        |
| 6.3       | 低压断路器保护 .....                  | 156        |
| 6.4       | 继电保护 .....                     | 159        |
|           | 复习思考题 .....                    | 189        |
| <b>7</b>  | <b>防雷、接地及电气安全 .....</b>        | <b>192</b> |
| 7.1       | 防雷 .....                       | 192        |
| 7.2       | 电气装置的接地 .....                  | 200        |
| 7.3       | 电气安全 .....                     | 206        |
|           | 复习思考题 .....                    | 212        |
| <b>8</b>  | <b>工厂供配电系统的二次回路和自动装置 .....</b> | <b>213</b> |
| 8.1       | 二次回路概述 .....                   | 213        |
| 8.2       | 二次回路操作电源 .....                 | 214        |
| 8.3       | 高压断路器控制回路 .....                | 217        |
| 8.4       | 电气测量仪表与绝缘监察装置 .....            | 223        |
| 8.5       | 中央信号回路 .....                   | 232        |
| 8.6       | 二次回路安装接线图 .....                | 236        |
| 8.7       | 自动重合闸装置和备用电源自动投入装置 .....       | 241        |
| 8.8       | 变电站综合自动化系统 .....               | 243        |
| 8.9       | 二次系统运行维护 .....                 | 246        |
|           | 复习思考题 .....                    | 248        |
| <b>9</b>  | <b>工厂的电气照明 .....</b>           | <b>250</b> |
| 9.1       | 电气照明的基本知识 .....                | 250        |
| 9.2       | 工厂常用的电光源和灯具 .....              | 252        |
| 9.3       | 工厂电气照明的照度计算 .....              | 260        |
| 9.4       | 工厂电气照明系统 .....                 | 266        |
|           | 复习思考题 .....                    | 269        |
| <b>10</b> | <b>工厂供配电系统运行维护与管理 .....</b>    | <b>271</b> |
| 10.1      | 工厂供配电设备运行维护 .....              | 271        |
| 10.2      | 工厂供配电设备倒闸操作 .....              | 283        |
| 10.3      | 工厂供配电系统电能节约 .....              | 294        |
| 10.4      | 工厂供配电系统无功补偿 .....              | 297        |
|           | 复习思考题 .....                    | 302        |
|           | 附录 .....                       | 304        |
|           | 参考文献 .....                     | 359        |



# 1 工厂供配电概述

## 1.1 工厂供配电的基本知识

### 1.1.1 工厂供配电的定义、要求及课程的性质

工厂供电系统是电力系统的重要组成部分，它是电能的主要用户。所谓工厂供配电，是指工厂所需电能的供应和分配，也称工厂配电。

电能用户的类型很多，主要有工业用户、农业用户、商业用户、生活用户等。但现代工业用户是电能的主要用户，据统计，工业用电量占全国发电量的50%以上。电能作为现代工业的主要能源具有其明显的优点：电能既易于由其他形式的能量转换为电能，也易于转换为其他形式的能量；电能的输送和分配既简单经济，又便于控制、调节和测量，有利于实现生产过程的自动化；现代社会的信息技术和其他高新技术都是建立在电能应用基础之上的。因此，电能在现代工业生产及整个国民经济生活中应用极为广泛。

工厂供配电对现代工业的重要性并不在于电能在产品成本中所占的比重，而在于安全、可靠、优质的电能供应，可大幅提高劳动生产率，提高产品质量，降低生产成本，减轻工人的劳动强度，改善工人的劳动条件等。反之，则会造成劳动生产率降低，产品大量减产，设备损坏，甚至可能引发重大的人身事故，给国民经济和社会生产造成严重影响。

要使电能更好地服务于现代工业生产和国民经济建设，作为主要电能用户的工厂必须做好工厂的供电工作，满足以下基本要求：

- (1) 安全：在电能的供应、分配和使用中，必须保证人身安全和设备安全，不应发生人身事故和设备事故。
- (2) 可靠：满足电能用户对供电连续性的要求，不应出现违背用户意愿的中断供电。
- (3) 优质：应满足电能用户对电压、频率等电能质量的要求。
- (4) 经济：就是供配电系统的投资要少，运行费用要低，并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量，采用新技术和其他能源的综合利用。

此外，在供电过程中，要合理地处理局部和全局、当前和长远的关系，既要考虑局部和当前的利益，又要照顾全局和长远的发展，在目前我国电能还比较紧缺的条件下，这一点就显得尤为重要。

### 1.1.2 工厂供配电系统概述

工厂供配电系统既复杂又重要，其主要特点包括供电范围广，负荷类型多而操作频繁，厂房环境（建筑物、管道、道路、高温、尘埃等）复杂，低压线路较长等。因此，选择供电方式时，应力求简单、供电可靠和经济，并应考虑线路运行安全且方便及周围环境的特点。运行经验表明：供电系统如果接线复杂，不仅会增加投资，使继电保护和自动装置配合困难、维护不便，而且电路元件串联过多，因元件故障或误操作而产生的事故也随之增多，处理事故和恢复供电的操作也比较复杂。

对于一般中小型工厂的供电系统而言，电能先经高压配电所集中，再由高压配电线路将

电能分送到各车间变电所，或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装有电力变压器，将 $6\sim 10\text{kV}$ 的高压电降为一般低压用电设备所需的 $400\text{V}$ 左右的电压，然后由低压配电线路将电能分送给各用电设备使用。

中小型工厂的供电系统虽然具体形式多样，但它们的电源进线电压一般是 $10\text{kV}$ 或 $35\text{kV}$ ，其常用的形式可以归结为以下几种：

(1) 工厂从公共电网取得电源，电能先经高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分配到各车间变电所，经车间变电所将高压电能转换为用电设备所需要的低压电能（如 $220/380\text{V}$ ），如图 1-1 所示。

(2) 对于大型工厂或电源进线电压在 $35\text{kV}$ 及以上的中型工厂，一般经过两次降压，首先经工厂总降压变电所，其中装有较大容量的电力变压器，将 $35\text{kV}$ 及以上的电压降为 $6\sim 10\text{kV}$ 的配电电压，然后通过高压配电线路将电能送到各车间变电所，或经高压配电所再送到车间变电所，经过再次降压供电给用电设备，如图 1-2 所示。

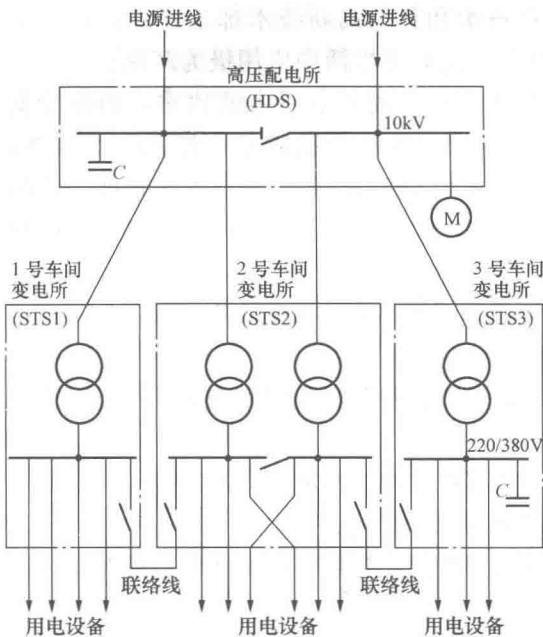


图 1-1 中型工厂供配电系统简图

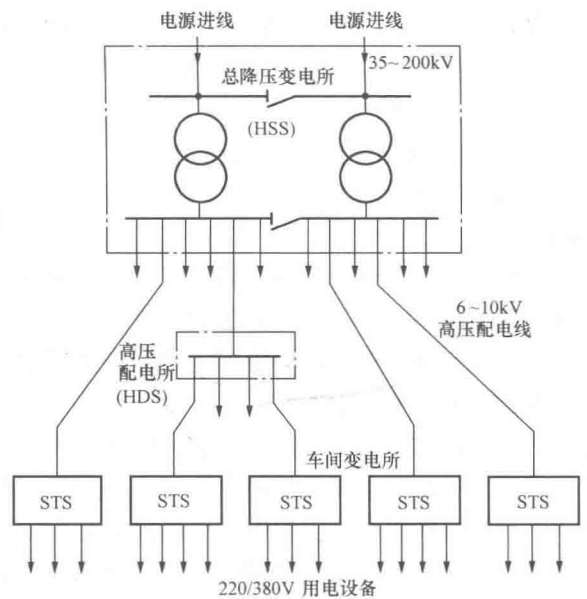


图 1-2 采用两次降压的工厂供配电系统简图

(3) 如果是小型工厂，负荷的容量不大于 $1\text{MV}\cdot\text{A}$ ，也没有重要负荷，可以只装设一个降压变电所，将 $6\sim 10\text{kV}$ 的电源降为用电设备所需的低压电源，如图 1-3 所示。

(4) 有的 $35\text{kV}$ 进线的工厂，可以采用高压深入负荷中心的直配方式，即将 $35\text{kV}$ 的线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所，经一次降压，这样可以省去一级中间变压，从而简化供电系统的接线，降低电压损耗和电能损失，节约有色金属，提高供电质量。但这种供电方式必须要求厂区有能满足这种条件的“安全走廊”，否则不宜采用，以确保安全，如图 1-4 所示。

(5) 对于比较小的工厂，当其所需的容量不大于 $160\text{kV}\cdot\text{A}$ 时，可以采用由公共低压



电网直接接线获得所需要的低压电源,如图 1-5 所示。这样工厂不需要建立变电所,只需要设立一个低压配电间即可。

值得说明的是变电所的功能是接受电能、变换电压和分配电能,而配电所的功能是接受电能和分配电能。变电所内装有变压器,其主要作用是进行电压的变换,对于工厂用户来说主要是降压;配电所则用于电能的分配。有些工厂把变电所和配电所合建在一起,构成所谓的变配电所。这样做可以节约投资,方便运行管理和维护,但这种方式必须在满足一定的条件下才能使用。

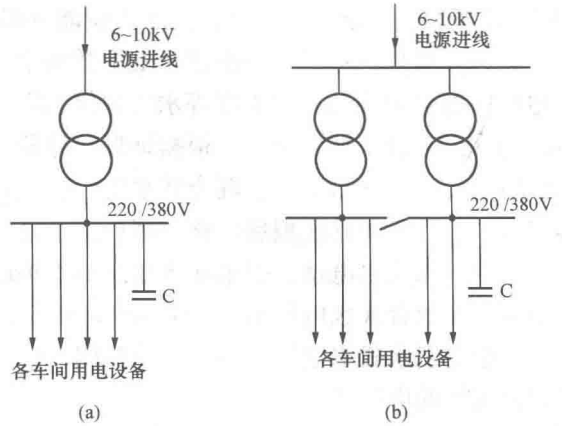


图 1-3 只设一个降压变电所的工厂供配电系统简图  
(a) 装有一台主变压器; (b) 装有两台主变压器

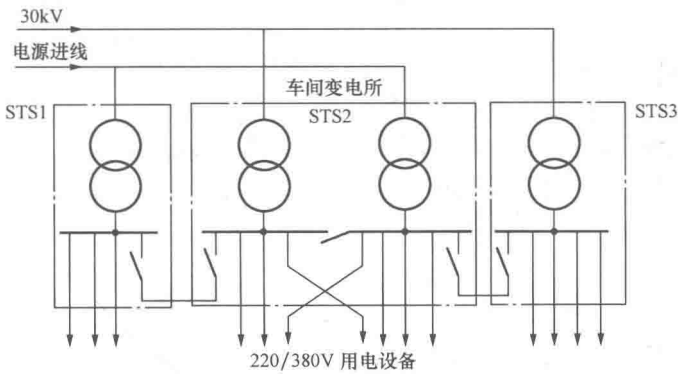


图 1-4 采用高压深入负荷中心直配方式的工厂供配电系统简图

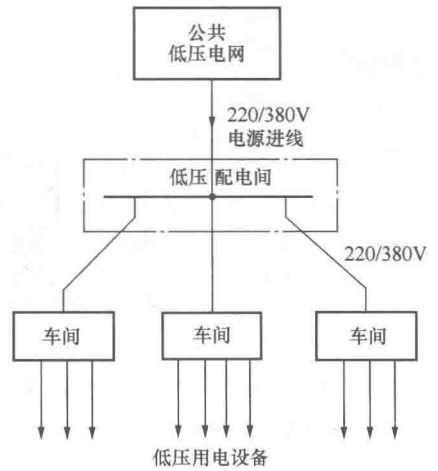


图 1-5 低压进线的小型工厂供配电系统简图

### 1.1.3 发电厂和电力系统简介

电能的生产、输送、分配和使用的全过程是在同一瞬间实现的,因此我们除了了解工厂供配电系统概况外,还需了解工厂供配电系统电能的生产过程。

#### 1. 发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换成电能(二次能源)的工厂。发电厂按其所利用的能源不同,分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂等类型。此外,还有风力发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、生物质能发电厂、燃料电池发电厂等。风力发电、太阳能发电又称为绿色能源,它们不仅清洁,而且潜力巨大,随着科技的发展和社会的进步,其利用前景广阔,在传统能源日益短缺的今天,更具现实意义。

(1) 水力发电厂。水力发电厂简称水电厂,它是利用水流的位能来生产电能。当控制水流的闸门打开时,水流由进水管引入水轮机蜗壳室,冲动水轮机,带动发电机发电,如

图 1-6 所示。其能量转换过程是水流位能→机械能→电能。

水力发电厂的容量大小决定于上下游的水位差（简称水头）和流量的大小。因此，水力发电厂往往需要修建拦河大坝等水工建筑物以形成集中的水位差，并依靠大坝形成具有一定容积的水库以调节河水流量。根据地形、地质、水能资源特点的不同，水力发电厂可分为坝式水电厂、引水式水电厂、混合式水电厂。坝式水电厂的水头是由挡水大坝抬高上游水位而形成的。若厂房布置在坝后，称为坝后式水电厂；若厂房起挡水坝的作用，承受上游水的压力，称为河床式水电站。引水式水电厂的水头由引水道形成。这类水电厂的特点是具有较长的引水道。混合式水电厂的水头由坝和引水道共同形成。这类水电厂除坝具有一定高度以外，其余与引水式水电厂相同。目前我国水电厂的建设规模逐渐扩大，综合价值很高，是我国大力发展的电厂之一。

(2) 火力发电厂。火力发电厂简称火电厂，它是利用燃料（煤炭、石油、天然气等）的化学能来生产电能。我国的火电厂以燃煤为主，如图 1-7 所示。其能量的转换过程是燃料的化学能→热能→机械能→电能。

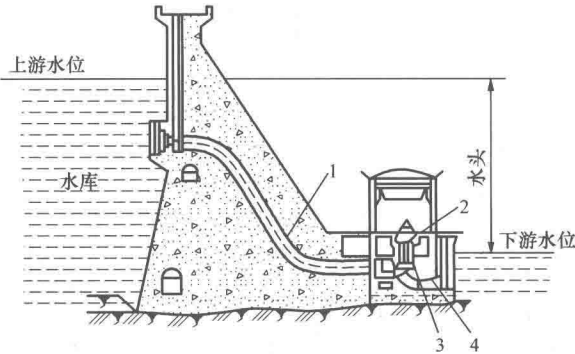


图 1-6 水力发电示意

1—引水管；2—发电机；3—水轮机；4—尾水管

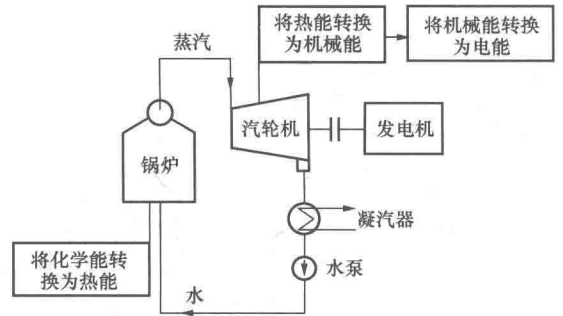


图 1-7 火力发电示意

火力发电厂按其作用可分为单纯发电的和既发电又兼供热的两种类型。前者指一般的火力发电厂；后者指供热式火力发电厂，或称热电厂。一般火力发电厂应尽量建设在燃料基地或矿区附近，将发出的电用高压或超高压线路送往用电负荷中心，通常把这种火力发电厂称为坑口电厂。坑口电厂是当前和今后建设大型火力发电厂的主要发展方向。热电厂的建设是

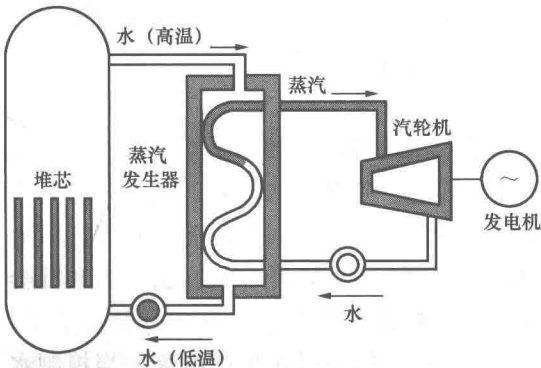


图 1-8 压水堆型核电站发电示意

为了提高热能的利用效率，由于它要兼供热，所以必须建设在大城市或工业区的附近。为保护环境，火力发电厂一般要考虑“三废”（废水、废气、废渣）的综合利用，这样既保护了环境，又节约了资源。

(3) 核能发电厂。又称核电厂，它是利用原子核的裂变来生产电能的。其生产过程与火电厂基本相同，只是以核反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了大量的燃煤。图 1-8 所示为压水堆型核电站发电示意。其能量转换

过程是核裂变能→热能→机械能→电能。

核电站具有节省燃料，燃烧时不需要空气助燃、无污染、缓解交通等一系列优点。所以，目前世界上许多国家都很重视核能发电厂的建设，有 17% 的电力是核能发电产生的。我国已在浙江、广东、江苏、辽宁等地建成多座核电厂。尚有许多在建以及计划建设的核电站。

(4) 风力发电厂。风力发电厂又称风电厂，它是利用自然界的风能通过风轮带动发电机来生产电能。风力发电机组一般由风轮、发电机、齿轮箱、塔架、对风装置、刹车装置和控制系统组成。风力发电机组通常有独立运行和并网运行两种运行方式。图 1-9 所示为独立运行的交流风力发电系统。其能量转换过程是风能→机械能→电能。

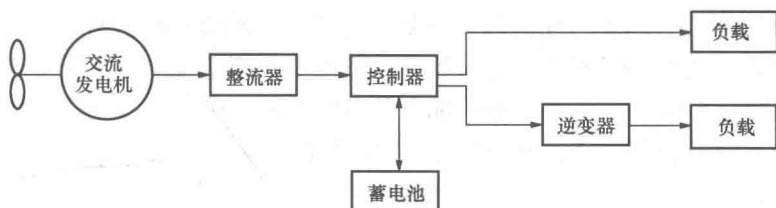


图 1-9 独立运行的交流风力发电系统

与常规发电相比，风电的特点主要是有功功率是波动的。有功功率是根据风速变化而变化的，不像常规火电、水电，主要按照电力系统调度的需求来发电。

大型风机制造技术不断提升，且伴随着国家有关政策的激励，我国的风电的总体发展势头迅猛，仅用 5 年半时间便走过了欧美国家 15 年的发展历程，实现装机容量从 200 万 kW 到 5000 万 kW 的飞跃。2012 年我国风电发电量处于世界第一位。

(5) 太阳能发电厂。太阳能发电厂是利用太阳的光能和热能来生产电能的。太阳能分布广泛，取之不尽、用之不竭，且无污染，被公认为人类社会可持续发展的重要清洁能源。太阳内部不断进行核聚变反应，每秒钟投射到地球上的能量约为  $1.757 \times 10^{17} \text{J}$ ，相当于  $6 \times 10^6 \text{t}$  标准煤产生的热量。据估算，地球上每年接受的太阳辐射能高达  $1.8 \times 10^{18} \text{kW} \cdot \text{h}$ ，相当于地球上每年燃烧其他燃料所获能量的 3000 倍。利用太阳能发电的方式有很多种，目前主要应用的有太阳能光伏发电和太阳能热发电。图 1-10 所示为并网光伏发电系统供电形式。

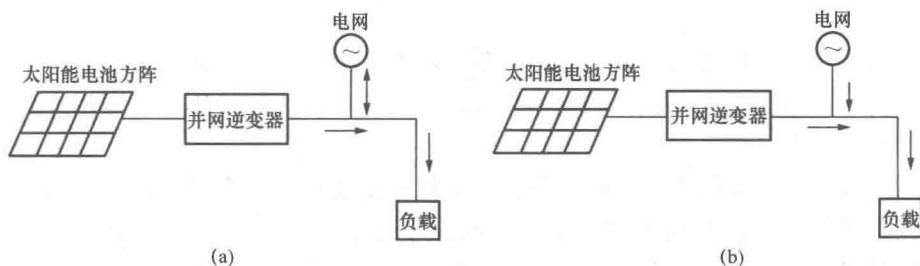


图 1-10 并网光伏发电系统供电形式

(a) 有倒流系统；(b) 无倒流系统

太阳能发电具有布置简便、维护方便等特点，应用面较广，全球装机总容量不断增加。一直以来，太阳能光伏行业通过扩大市场规模、开发新项目来应对价格下跌和迅速变化的市场。近年来，薄膜光伏市场份额快速增长，达到 25%。200kW 或更大的太阳能光伏发电厂增长迅速，占并网太阳能光伏发电装机容量的 25%。随着《中华人民共和国可再生能源法》的贯彻实施，太阳能发电将会迎来新的发展机遇。

## 2. 电力系统

在电力工业的初期，电能是直接由电力用户附近的发电厂生产的，各发电厂孤立运行。随着工农业生产和城市的发展，电能的需求量迅速增加，而热能资源（如煤田）和水能资源丰富的地区往往远离电能使用集中的工矿企业和城市。为了解决这个矛盾，就需要在动力资源丰富的地区建立大型的发电厂，然后将电能输送到距离遥远的电能用户。同时，为了提高供电的可靠性和资源综合利用的经济性，就必须将许多分散的发电厂通过输电线路及变电所联系起来，这种由发电厂、升降压变电所、各种输配电线路及电力用户构成的统一整体，称为电力系统，如图 1-11 所示。电力系统加上发电机的原动机（如汽轮机、水轮机）和原动机的动力部分（如燃煤锅炉、水库和反应堆），称为动力系统。

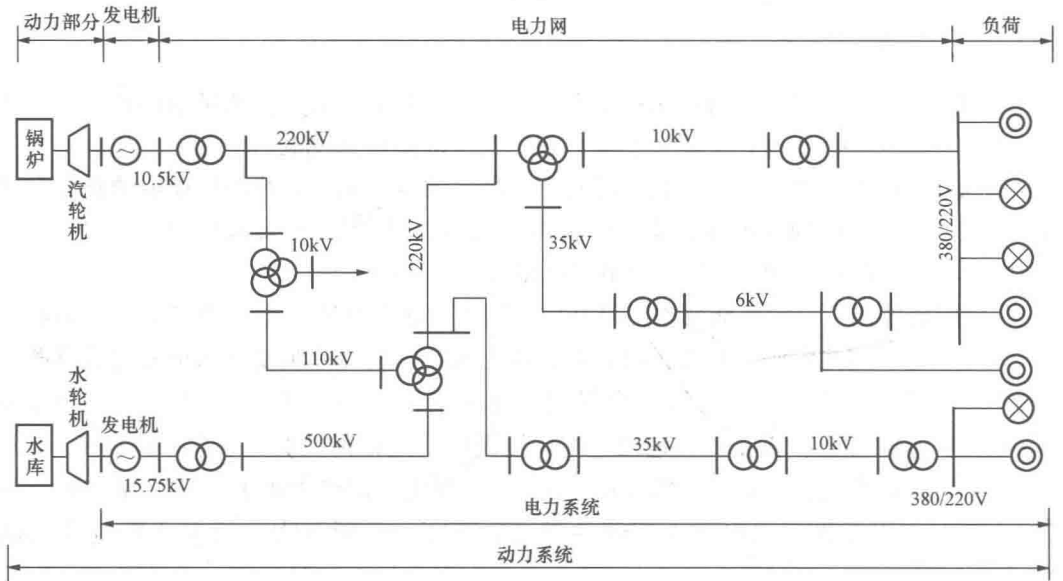


图 1-11 大型电力系统简图

在电力系统中，各级电压的电力线路及其所联系的变电所，称为电力网，简称电网。它是电力系统的一个重要组成部分，将电力由发电厂发出来之后供给用户，即担负着输电、变电与配电的任务。

电力网按其在电力系统中的作用，分为输电网和配电网。输电网是以输电为目的，采用高压或超高压将发电厂、变电所或变电所之间连接起来的送电网络，它是电力网中的主网架。配电网是以配电为目的，直接将电能送到用户去的网络。配电网的电压由系统及用户的需要而定，因此配电网又分为高压配电网（通常指 35kV 及以上的电压）、中压配电网（通常指 10、6kV 和 3kV）及低压配电网（通常指 220、380V）。

电力网按其电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的范围大，电压一般在 220kV 及以上；地方电网的范围小，电压一般为 35~110kV。工厂供配电系统属于地方电网的一种。

将各类发电厂通过电力网组成统一的电力系统，在技术上和经济上得到很大的效益，主要表现在：①减少系统的总装机容量；②可以装设大容量的机组；③能充分利用动力资源；④提高供电的可靠性；⑤提高电能的质量；⑥提高运行的经济性。

电力的生产与其他工业的生产有着显著的区别，主要表现在：①电能不能大量储藏；②电力系统的电磁变化过程非常迅速；③电能与国民经济各部门及人民的日常生活关系密切。

#### 1.1.4 工厂的自备电源

工厂的电源绝大多数是由公共电网供电的，但在下述情况下可建立自备发电厂：①距离电网太远，由电网供电有困难；②本厂生产及生活需要大量热能，建立自备热电厂，这样既可以提供电能又可以提供蒸汽和热水；③本厂有大量重要负荷，需要独立的备用电源，而从电网取得有困难；④本厂或地区有可供利用的能源。

对于重要负荷不多的工厂，作为解决第二电源的措施，发电机的原动力可用柴油机或其他小型动力机械。大型工厂，符合上述条件的一般建设热、电并供的热电厂，机组台数不超过两台，容量一般不超过 2.5 万 kW/台。

对于有重要负荷的工厂，除了正常的供电电源外，还需要设置应急电源。常用的应急电源有柴油发电机组。对于特别重要的负荷如计算机系统，则除设柴油发电机组外，还需要另设不停电电源（也称不间断电源，uninterrupted power supply, UPS）。对于频率和电压稳定性要求较高的场合，宜采用稳频稳压式不停电电源。

##### 1. 柴油发电机组

它利用柴油机作为原动力来拖动发电机进行发电，如图 1-12 所示。柴油发电机组具有下述优点：

(1) 柴油发电机组操作简便，启动迅速。一般能在公共电网停电 10~15s 内启动并接上负荷。

(2) 柴油发电机组效率高，功率范围大，体积小，重量轻，搬运和安装方便。

(3) 柴油发电机组燃料的储存和运输方便。

(4) 柴油发电机组的运行可靠，维修方便。

由于具有上述特点，柴油发电机组得到了广泛的应用，但它也有诸如噪声和振动大，过载能力较差的缺点，在柴油发电机组装设房间的选址和布置方面应充分考虑其对环境的影响。

##### 2. 交流不停电电源 (UPS)

交流不停电电源 (UPS) 主要由整流器 (UR)、逆变器 (UV) 和蓄电池 (GB) 三部分组成，如图 1-13 所示。

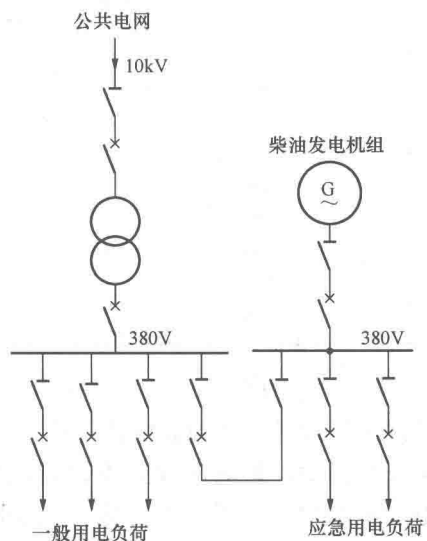


图 1-12 采用柴油发电机组作为备用电源的主接线

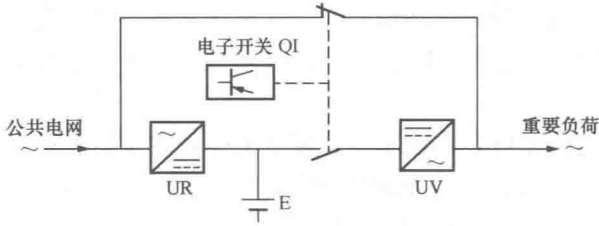


图 1-13 不停电电源 (UPS) 组成示意

当公共电网正常工作时，交流电源经晶闸管整流器 UR 转换为直流，对蓄电池 GB 充电。当公共电网突然停电时，电子开关 QV 在保护装置的作用下自动进行切换，使 UPS 投入工作，蓄电池 GB 放电，经逆变器 UV 转换为交流电对重要负荷供电。

## 1.2 电力系统的额定电压和电能质量

### 1.2.1 电力系统的电压

#### 1. 额定电压的意义

为了使电力设备的生产实现标准化、系列化，使各元件合理配套，电力系统中发电机、变压器、电力线路、各种设备等，都是按规定的额定电压进行设计和制造的。所谓额定电压，就是指能使各类电气设备处在设计要求的额定或最佳运行状态的工作电压。

额定电压的确定，与电源分布、负荷中心的位置、国家经济及科学技术的发展水平、电力设备的制造水平等因素有关，应经过充分的论证，由国家主管部门确定。

GB/T 156—2007《标准电压》规定的电力系统和电气设备的额定电压标准见表 1-1。

表 1-1 我国标准规定的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<br>(kV) | 发电机额定电压<br>(kV)     | 电力变压器额定电压 (kV)      |           |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|
|     |                     |                     | 一次绕组                | 二次绕组      |
| 低 压 | 0.22                | 0.23                | 0.22                | 0.23      |
|     | 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 | 13.8, 15.75, 18, 20 | —         |
|     | 35                  | —                   | 35                  | 38.5      |
|     | 63                  | —                   | 63                  | 69        |
|     | 110                 | —                   | 110                 | 121       |
|     | 220                 | —                   | 220                 | 242       |
| 330 | —                   | 330                 | 363                 |           |
| 500 | —                   | 500                 | 550                 |           |

#### 2. 额定电压的分类

我国现阶段各电力设备的额定电压分三类：第一类额定电压为 100V 以下，这类电压主要用于安全照明、蓄电池及开关设备的操作电源；第二类额定电压高于 100V，低于 1kV，这类电压主要用于低压三相电动机及照明设备；第三类额定电压高于 1kV，这类电压主要用于发电机、变压器、输配电线路及设备。

#### 3. 三相交流电网和电力设备的额定电压

(1) 电网（电力线路）的额定电压。在电力系统中，应尽可能简化电压等级，减少变电



层次,以节约投资并降低运行费用。各级额定电压间的级差不宜过小,一般额定电压在110kV以下的配电网级差一般应在3倍以上,额定电压在100kV以上的输电网级差一般应在2倍以上。

输配电线路的额定电压应与用电设备的额定电压相同。由于用电设备是接在电力线路上的,而线路在运行时都会有电压降落,因此线路各点的电压是不同的,一般线路的末端电压比首端电压低,如图1-14所示。当负荷变化时线路中的电压降也随着变化,要使接于线路上的用电设备都在额定电压下运行是不可能的,所以只能使加于用电设备上的端电压尽量接近其额定电压。

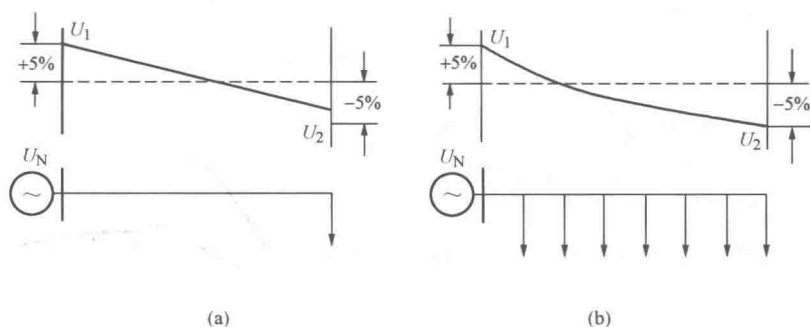


图1-14 用电设备和发电机额定电压说明  
(a) 集中负荷; (b) 均匀分布负荷

(2) 用电设备的额定电压。用电设备的额定电压一般允许在其额定电压 $\pm 5\%$ 以内变化,而线路全长的电压损耗一般应不超过额定电压的10%,这样在运行时线路首端电压应比其额定电压高5%,末端电压才可能不低于5%。所以,一般取线路首端和末端电压的平均值(该值规定为电力线路的额定电压)等于用电设备的额定电压来满足上述要求。

(3) 发电机的额定电压。发电机是输出电能的设备,接于线路的首端,所以发电机的额定电压应该比所连接线路的额定电压高5%。例如,线路的额定电压为10kV时,接在线路首端的发电机的额定电压应为10.5kV。对于大型发电机,其额定电压不受线路额定电压等级的限制,一般按技术经济条件确定。

(4) 电力变压器的额定电压。电力变压器的额定电压情况稍显复杂:一方面,当其一次侧接于电力线路或发电机时,它接受电能,相当于用电设备;另一方面,其二次侧对于后面的电力线路或用电设备输出电能时,其作用又相当于发电机。因此,电力变压器的额定电压可按以下情况进行讨论:

1) 电力变压器一次绕组的额定电压。变压器一次绕组相当于用电设备,故其额定电压就等于所接部分(发电机或变压器)的额定电压。若接发电机,则其额定电压应等于发电机的额定电压,即比发电机所接电网的额定电压高5%;若接电力线路,则其额定电压等于所接线路的额定电压。

2) 电力变压器二次绕组的额定电压。电力变压器二次绕组的额定电压即当电力变压器的一次绕组加上额定电压时其二次绕组的开路电压。分两种情况讨论:第一,若电力变压器二次侧所接电力线路较长时,其二次侧的额定电压应比所接电力线路的额定电压高10%,其中的5%用于补偿变压器在满负荷运行时其绕组内部约5%的电压降,此外变压器满负荷

时输出的二次侧电压还要高于电力线路额定电压 5%；第二，当变压器的二次侧所接的电力线路较短时，只需高于所接电力线路额定电压 5%，仅用于补偿变压器二次绕组内 5% 的电压降，而电力线路上的电压降忽略不计。

#### 4. 电压偏差和电压调整

(1) 电压偏差。电力系统在运行的过程中，由于各种因素的作用，电力系统的各元件上的实际电压与其额定电压产生偏差。如果用电设备上的电压偏差在一定的范围内，则电气设备可以正常运行；否则就会对电气设备的正常运行产生严重的影响，甚至无法运行。

电压偏差是用电设备上的实际电压与用电设备额定电压之差和额定电压之比的百分值，可表示为

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

式中  $\Delta U\%$ ——电压偏差；

$U$ ——用电设备的实际端电压；

$U_N$ ——用电设备的额定电压。

根据 GB 50052—2009《供配电系统设计规范》规定：正常情况下，用电设备端子处电压偏差如下：

电动机， $\pm 5\%$ 。

照明灯，一般工作场合 $\pm 5\%$ ；在视觉要求较高的场所 $+5\%$ 、 $-2.5\%$ ；在远离变电所的小面积一般工作场所，难以满足上述要求时， $+5\%$ 、 $-10\%$ 。

其他用电设备，无特殊规定时， $\pm 5\%$ 。

电压偏差过大对用电设备及电网的安全稳定和经济运行都会产生极大的危害。

1) 对于用电设备，都是按照设备的额定电压进行设计和制造的。当电压偏离额定电压较大时，用电设备的运行性能恶化，不仅运行效率降低，很可能会由于过电压或过电流而损坏。例如，电压过低将使照明灯具光通量减少、发光不足，影响人们的视力，降低工作效率；使电热设备的发热量急剧下降，导致生产效率降低；使电动机滑差加大，定子电流显著增加导致绕组温度升高，从而加速绝缘老化，缩短电动机寿命，严重时可能烧毁电动机；使电视机屏幕显示不稳定，图像模糊，甚至无法收看等。电压过高又会使用电设备寿命大大缩短。

2) 对于电网，运行电压偏低，输电线路的功率极限大幅度降低，可能产生系统频率不稳定的现象，甚至导致电力系统频率崩溃，造成系统解列。如果电力系统缺乏无功电源，可能产生系统电压不稳定现象，导致电压崩溃。系统电压偏低还将使电网的有功损耗、无功损耗及电压损耗大大增加，影响系统的经济运行。系统运行电压过高又可能使系统中各种电气设备的绝缘受损，使带铁芯的设备饱和，产生谐波，并可能引发铁磁谐振，同样威胁电力系统的安全稳定运行。

(2) 电压的调整。为了满足用电设备对电压偏差的要求，工厂供配电系统可以采取以下相应的措施：

1) 正确选择无载调压型变压器的电压分接头和采用有载调压型变压器。我国工厂供配电系统中应用的 6~10kV 电力变压器，一般为无励磁调压型的，其高压绕组有 $\pm 5\%$ 的分接头，并装设有无载调压分接开关，如图 1-15 所示。若用电设备电压偏高，应将分接头开关

换接到+5%；若用电设备的电压偏低，应将分接开关换接到-5%。有载调压型变压器可在带负荷的情况下自动的调节电压，保证设备端电压的稳定。

2) 合理减少系统的阻抗。供配电系统中的电压损耗与系统各元件的阻抗成正比。减少系统的阻抗就会减少电压损耗，从而减少电压的偏差。例如，减少系统的变压级数，适当增大导线电缆的截面积，或用电缆取代架空线路等。但这些措施应进行技术经济的分析才能采用。

3) 尽量使系统的三相负荷平衡。三相系统平衡的情况下，系统中性点的电位为零。在三相负荷不平衡的情况下，负荷中性点的电位产生偏移，使有的相电压升高，有的相电压降低，从而增大了用电设备上的电压偏差。

4) 合理改变系统的运行方式。例如，调整工厂的工作制或采用两台电力变压器，在负荷较轻时切除一台变压器，在负荷较重时并联两台变压器运行，进而对电压的偏差起到调节作用。

5) 采用无功补偿装置。由于工厂的负载大部分都是感性的，使得工厂供配电系统的功率因数偏低，增大了系统的电流，从而增加了系统的电压损耗，形成电压的偏差。如采用无功补偿装置提高系统的功率因数，这样就会减少系统的电压损耗，降低电压的偏差。

### 5. 电压波动及其抑制

电力系统电压的短时而快速的变动称为电压波动。它可以用电压波动幅度和频率来衡量。电压波动产生的主要原因是由于负荷的急剧变化引起的，当负荷急剧变动时，系统的电压损耗也会急剧变化，使电气设备的端电压出现波动。

电压闪变反映了电压波动引起的灯光闪烁对人视觉产生影响的效应。引起照度闪变的电压波动现象称为电压闪变。因灯光照度急剧变化使人眼感到不适的电压，称为闪变电压。

电压的波动会影响到用电设备的正常工作，如电动机不能正常启动甚至无法启动，使同步电动机产生转子振动，使照明灯光出现闪烁等，这些都严重地影响人们的生产和生活。所以，对于电压的波动必须采取一定的措施，设法抑制可能出现的电压波动和闪变现象。为了减少电压的波动和闪变现象，可采取以下的措施：

- (1) 对负荷变动剧烈的大型用电设备，采用专门的供电线路或专用变压器单独供电。
- (2) 设法增大系统的容量和减少系统的阻抗。
- (3) 在系统出现严重的电压波动时，减少或切除引起电压波动的负荷。
- (4) 在条件许可的情况下，对于大型电弧炉和炉用变压器的受电电压，最好采用较高的电压，减小电压的波动。
- (5) 对于大型冲击负荷，采取上述措施仍达不到要求，可装设能“吸收”冲击无功功率

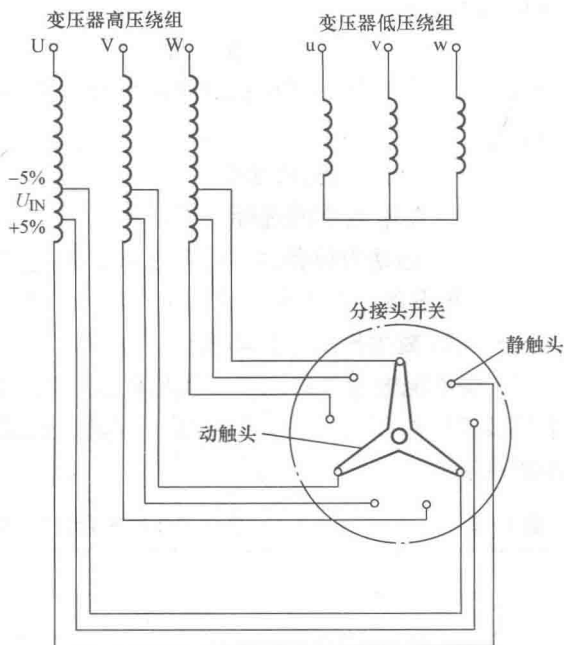


图 1-15 电力变压器的分接开关接线