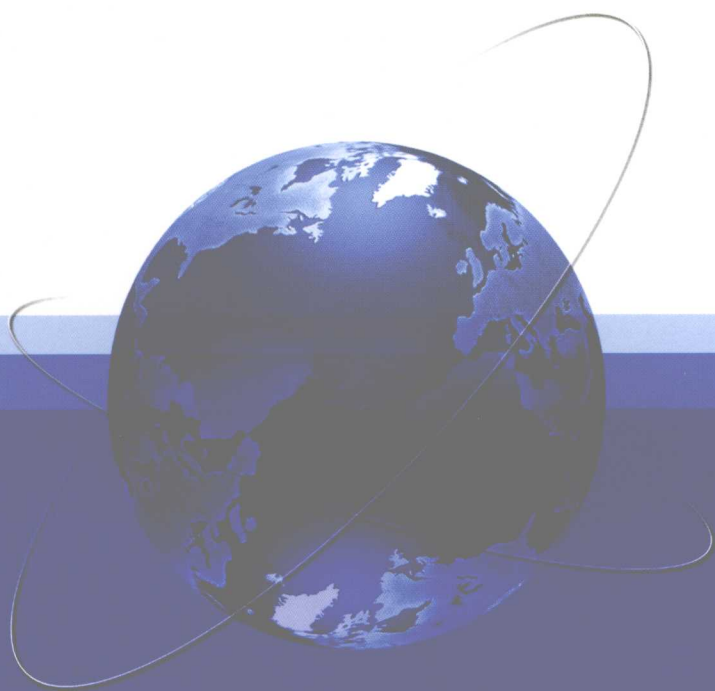




21世纪高职高专规划教材

(电工电子类)

工厂供电

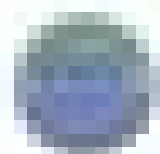


汪永华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





工厂供电技术问答与故障排除

【电工电子类】

工厂供电



清华大学出版社

清华大学出版社



21 世纪高职高专规划教材
(电工电子类)

工 厂 供 电

主 编	汪永华	
副主编	曹 泉	邹显圣
参 编	曹光华	李潞生
	蒋治国	徐洪江
	陈 红	张世忠



机械工业出版社

本书是由中国机械教育协会、机械工业出版社组织的系列行业规划丛书之一。全书共分 10 章,较系统地介绍了工厂供配电系统的基本知识。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,工厂供配电系统的二次回路和自动装置,工厂的电气照明,工厂供电系统的电能节约和无功补偿等。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(包括供用电技术、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配电系统设计、运行和管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/汪永华主编. —北京:机械工业出版社,
2007.1

21 世纪高职高专规划教材

ISBN 7-111-20051-9

I. 工… II. 汪… III. 工厂-供电-高等学校:
技术学校-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122929 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:余茂祚

责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:饶 薇 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·19.5 印张·479 千字

0 001—4 000 册

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

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线电话(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编 委 会 名 单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭	刘 义
刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东	李兴旺	李居参
李麟书	杨国祥	余党军	张建华	茆有柏	秦建华
唐汝元	谈向群	符宁平	蒋国良	薛世山	储克森

编委会委员 (按姓氏笔画为序,黑体字为常务编委)

田建敏	成运花	曲昭仲	朱 强	刘 莹	刘学应
许 展	严安云	李连邨	李学锋	李选芒	李超群
杨 飒	杨群祥	杨翠明	吴 锐	何志祥	何宝文
余元冠	沈国良	张 波	张 锋	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良	宗序炎
赵建武	恽达明	俞庆生	夏春玲	晏初宏	倪依纯
殷建国	徐炳亭	涂铮颖	崔 平	崔景茂	焦 斌

总 策 划 余茂祚

前 言

《工厂供电》一书是根据教育部有关文件精神,结合近几年高职高专教育改革研究成果编写的21世纪电学科规划教材。可供机电应用技术、机电一体化、机电设备、供用电技术、工业电气自动化等专业使用,并可供从事工厂供配电系统设计、运行和管理的工程技术人员参考。

本教材是以培养应用性人才为目标,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电方面的教材进行编写的。本教材编写时力求做到:基本概念准确、分析计算方法简洁清晰、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。本教材涉及内容广泛、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)查阅和使用,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。

本书的参考学时为80~100学时,各校可根据不同专业教学需要适当增减。

全书共分10章,第1章由安徽国防科技职业技术学院陈红编写;第2章由大连职业技术学院邹显圣编写;第3章由大连职业技术学院徐洪江编写;第4章由安徽水利水电职业技术学院汪永华编写;第5章由西安理工大学高等技术学院张世忠编写;第6章由安徽机电职业技术学院曹光华编写;第7章由扬州工业职业技术学院曹泉编写;第8章由无锡交通高等职业技术学校蒋治国编写;第9章、第10章由山西机电职业技术学院李潞生编写;附录由汪永华编写。本书由汪永华担任主编,并负责全书统稿任务。

本书聘请陶有抗教授主审,陶有抗教授在审阅中对该书提出很多宝贵意见,谨在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限、时间仓促,书中缺点错误在所难免,恳切希望使用本书的广大师生和读者批评指正,编者将不胜感激。

编 者

目 录

前言

第1章 工厂供电概述 1

1.1 工厂供电的基本知识 1

1.2 电力系统的额定电压和 电能质量 7

1.3 电力系统的中性点运行 方式 14

复习思考题 18

第2章 工厂的电力负荷及其计算 20

2.1 工厂的电力负荷和负荷 曲线 20

2.2 三相用电设备组计算负荷 的确定 24

2.3 单相用电设备组计算 负荷的确定 29

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 38

第3章 短路电流及其计算 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

第4章 工厂电气设备及一次系统 59

4.1 电弧的产生与熄灭 59

4.2 高压一次设备 63

4.3 低压一次设备 79

4.4 互感器 88

4.5 绝缘子和母线 93

4.6 成套装置 99

4.7 工厂变配电所的电气 主接线 104

4.8 工厂变配电所电气设备的 选择与校验 110

复习思考题 112

第5章 工厂电力线路 113

5.1 概述 113

5.2 架空线路 113

5.3 电缆线路 116

5.4 工厂电力线路的接线方式 124

5.5 导线截面积的选择 126

复习思考题 132

第6章 工厂供电系统的过电流

保护 134

6.1 过电流保护的基本知识 134

6.2 熔断器保护 135

6.3 低压断路器保护 138

6.4 继电保护的组成原理及 起动继电器 140

6.5 继电保护装置的接线方式 与操作电源 143

6.6 工厂高压线路的继电保护 148

6.7 电力变压器的继电保护 159

6.8 高压电动机的继电保护 170

6.9 工厂微机保护简介 171

复习思考题 173

第7章 防雷、接地及电气安全 175

7.1 防雷 175

7.2 电气装置的接地 180

7.3 静电的防护及防爆和 防腐蚀 183

7.4 电气安全 189

复习思考题 190

第 8 章 工厂供电系统的二次回路和自动装置	191
8.1 工厂供电系统的二次回路及操作电源	191
8.2 高压断路器控制和信号回路	198
8.3 电气测量仪表与绝缘监察装置	204
8.4 低频减载和备用电源自动投入装置	212
8.5 供配电系统成套保护装置	216
8.6 二次回路安装接线图	222
8.7 信息技术在供配电管理中的应用	227
8.8 二次系统的检修	232
8.9 中国电力系统继电保护的技术进步及展望	236
复习思考题	238

第 9 章 工厂的电气照明	240
9.1 电气照明的基本知识	240
9.2 工厂常用的电光源和灯具	242
9.3 工厂电气照明的照度计算	249
9.4 工厂电气照明系统	252
复习思考题	254
第 10 章 工厂供电系统的电能节约和无功补偿	255
10.1 节约用电的意义	255
10.2 工厂电能节约的一般措施	255
10.3 工厂配电的经济运行	258
10.4 工厂供配电系统并联电容器的接线、控制、保护及运行维护	265
复习思考题	271
附录 常用设计参数	272
参考文献	302

第 1 章 工厂供电概述

1.1 工厂供电的基本知识

1.1.1 工厂供电的定义、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、商业用户和生活用电等。但现代工业是电能的主要用户，据统计，工厂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的基础之上的。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。

工厂供电对现代工业的重要性并不因为电能在产品成本中的比重的大小，而在于安全、可靠、优质的电能的供应，可大大的提高劳动生产率，提高产品的质量，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的降低、产品的大量减产、设备的损坏，甚至可能发生重大的人身事故，给国民经济和社会生产造成严重影响。因此，搞好工厂供电对工厂来说就显得意义重大。

要使电能更好的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作好工厂的供电工作，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：即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和频率等质量的要求。

(4) 经济：就是供电系统的投资要少，运行费用要低，并尽可能采用新技术和其他能源的综合利用。

同时，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，既考虑局部和当前的利益，又照顾到全局和长远的发展，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。

本课程是一门专业课，通过本课程的学习为将来从事工厂电气工作打下一定的基础，本书主要介绍中小型工厂内部的电能的供应与分配，在学习过程中必须注意理论联系实际，应初步掌握中小型工厂的供电系统的设计、安装及运行维护的有关知识。

1.1.2 工厂供电系统概述

工厂供电系统既复杂又重要，其主要特点是供电范围广，负荷类型多而操作频繁，厂房环境（建筑物、管道、道路、高温及尘埃等）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和方便以及周围环境的特点。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、维护不方便，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较复杂。对于一般中小型工厂的供电系统而言，虽然其具体形式多样，但它们的电源进线电压一般是 10kV 或 35kV，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 220/380V），如图 1-1 所示。

2) 对于大型工厂或电源进线电压在 35kV 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 35kV 及以上的电能降为 6~10kV 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。

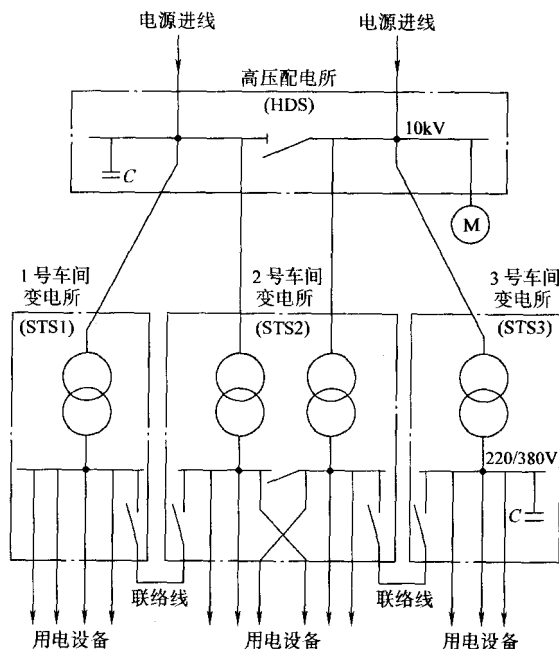


图 1-1 中型工厂供电系统简图

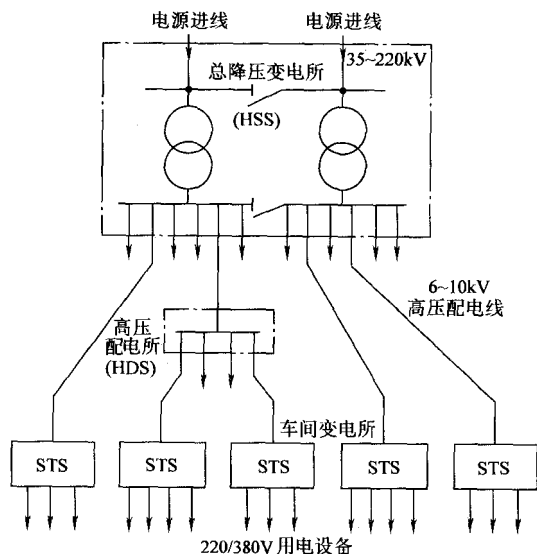


图 1-2 采用两次降压的工厂供电系统简图

3) 如果是小型工厂，负荷的容量不大于 $1000\text{kV}\cdot\text{A}$ ，也没有重要负荷，可以只设置一个降压变电所，将 6~10kV 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 35kV 进线的工厂，可以采用高压深入负荷中心的直配方式，既将 35kV 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，节约材料和设备，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。

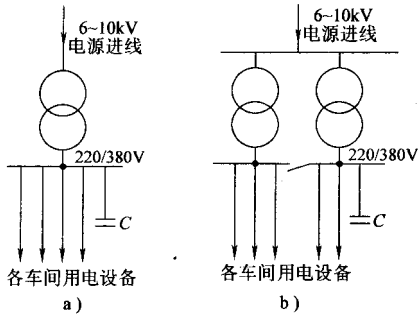


图 1-3 只设置一个降压变电所的
工厂供电系统简图
a) 装有一台主变压器 b) 装有两台主变压器

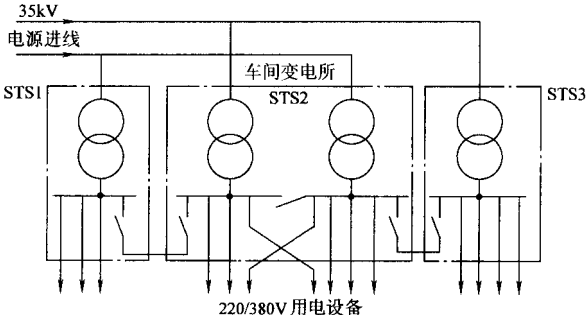


图 1-4 采用高压深入负荷中心直配
方式的工厂供电系统简图

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，而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。变电所内装设有变压器，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。对于有些工厂来说，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使用。

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，实际上是在同一瞬间实现的，因此我们除了了解工厂供电系统概况外，还需了解工厂供电系统电能的生产过程。

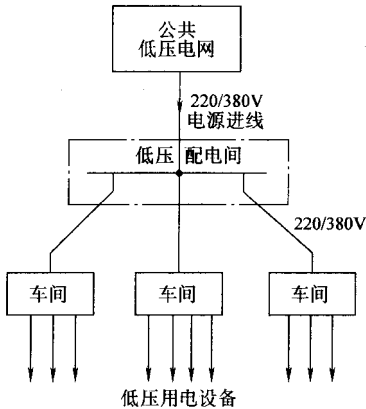


图 1-5 低压进线的小型工厂供电系统简图

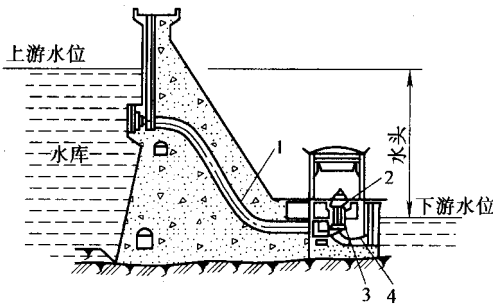


图 1-6 水力发电示意图
1—引水管 2—发电机 3—水轮机 4—尾水管

1. 发电厂 发电厂又称发电站，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、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。

(1) 水力发电厂：水力发电厂简称水电厂或水电站，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站、引水式水电站、混合式水电站。坝式水电站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，称之为坝后式水电站。若厂房起挡水坝的作用，承受上游水的压力，称之为河床式水电站。引水式水电站的水头由引水道形成。这类水电站的特点是具有较长的引水道。混合式水电站的水头由坝和引水道共同形成。这类水电站除坝具有一定高度外，其余与引水式水电站相同。目前我国的水电站的建设规模逐渐扩大，由于水电站不仅清洁环境，而且其综合价值很高，因而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。

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、废汽、废渣）的综合利用，这样既保护了环境，又节约了资源。

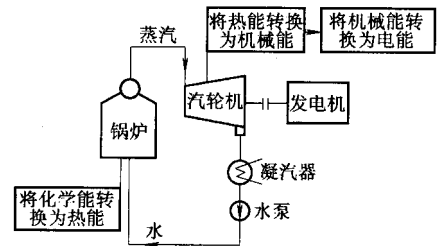


图 1-7 火力发电示意图

(3) 核能发电厂：又称核电站，它是利用原子核的裂变来生产电能。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，如图 1-8 所示。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 16% 的电力是核能发电产生的。我国已建成浙江秦山核电站和广东大亚湾核电站。尚有许多在建以及计划建设的核电站。

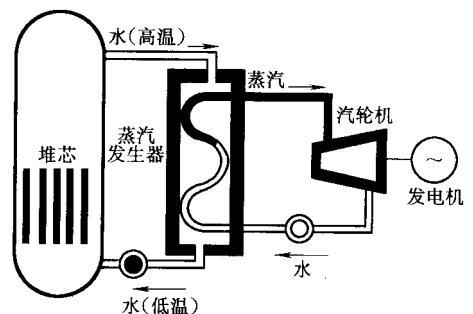


图 1-8 压水堆型核电站发电示意图

此外，还有太阳能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂等，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。

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站（或称发电厂）

生产的，各发电厂孤立运行的，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各种形式的发电厂，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 1-9 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）则称动力系统。

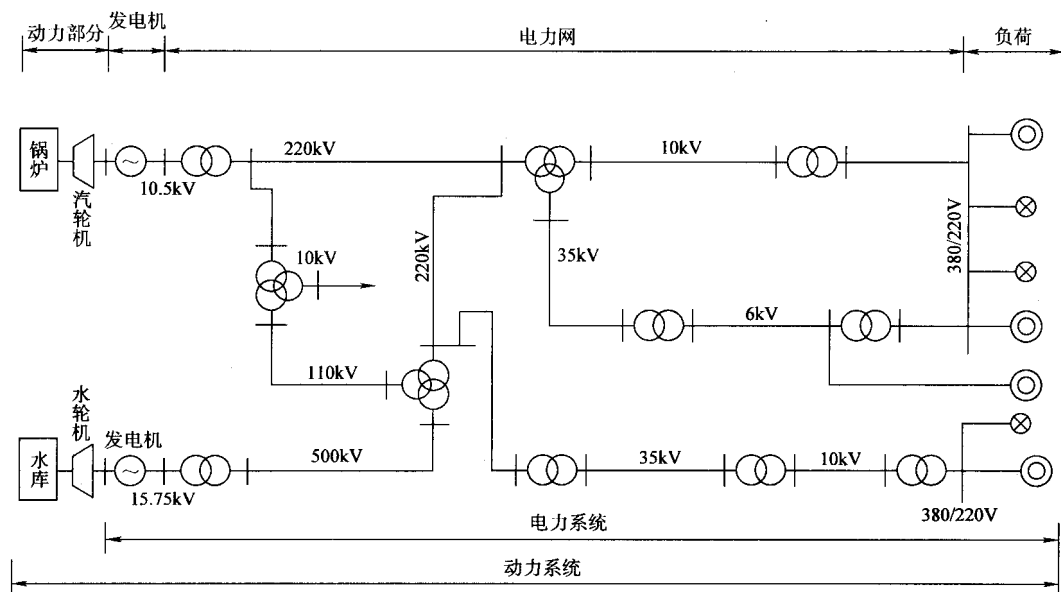


图 1-9 动力系统、电力系统及电力网示意图

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，承担了将由发电厂发出来的电能供给用户的工作，即担负着输电、变电与配电的任务。

电力网按其电力系统中的作用，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。直接将电能送到用户去的网络称为配电网或配电系统，它是以配电为目的。配电网的电压由系统及用户的需要而定，因此配电网又分：高压配电网（通常指 35kV 及以上的电压，目前最高为 110kV）、中压配电网（通常指 10kV、6kV 和 3kV）及低压配电网（通常指 220V、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，电压一般在 35 ~ 110kV。工厂供配电系统属于地方电网的一种。

电力系统在技术上和经济上收到很大的效益，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热汽和热水。③本厂有大量重要负荷，需要独立的备用电源。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，发电机的原动力可采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 25000kW/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，还须另设不停电电源（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 是利用柴油机作为原动力来拖动发电机进行发电的，如图 1-10 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，起动迅速。一般能在公共电网停电 10~15s 内起动并接上负荷。
- 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。

由于以上特点，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. 交流不间断电源（UPS） 交流不间断电源（UPS）主要由整流器（UR）、逆变器

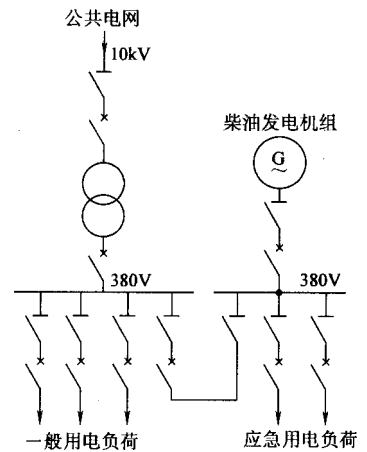


图 1-10 采用柴油发电机组作为备用电源的主接线

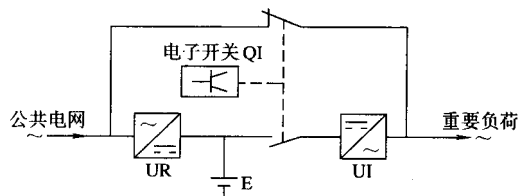


图 1-11 不间断电源（UPS）组成示意图

(UI) 和蓄电池 (E) 等三部分组成, 如图 1-11 所示。

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 (E) 充电。当公共电网突然停电时, 电子开关 QI 在保护装置的作用下自动进行切换, 使 UPS 投入工作, 蓄电池 (E) 放电, 经逆变器 UI 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, 为了各元件合理配套, 电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种设备等, 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、国民经济及科学技术的发展水平以及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。

我国国家标准 GB156—2003《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 (单位: kV)

分 类	电网和用电 设备额定电压	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	0.22	0.115		
	0.38	0.23	0.22	0.23
	0.66	0.40	0.38	0.40
	1.0 (1.14)	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
	35	13.8	13.8, 15.75, 18, 20	—
	66	15.75	35	38.5
	110	18	63	69
	220	20	110	121
	330	22	220	242
	500	24	330	363
	750	26	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。交流 36V 电压, 只作为潮湿环境的局部照明及特殊电力负荷之用; 第二类额定电压高于 100V, 低于 1000V, 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 1000V, 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,应尽可能地简化电压等级,减少变电层次,以节约投资与降低运行费用。各级额定电压间的级差不宜太小,根据国内外经验,额定电压在 110kV 以下的配电网,电压间级差一般应在 3 倍以上;额定电压在 100kV 以上的输电网级差一般应在两倍以上。

输配电线路的额定电压应与用电设备的额定电压相同,因为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,因此线路的各点的电压是不同的,一般线路的末端电压比首端的电压低,如图 1-12 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。

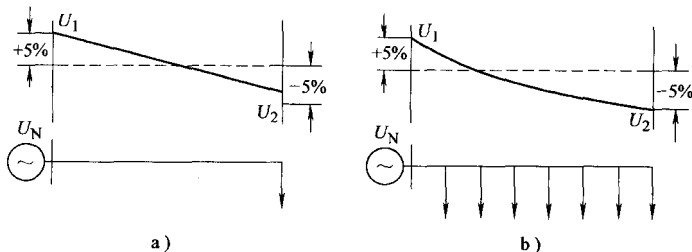


图 1-12 用电设备和发电机额定电压说明

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的线路的额定电压高 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些。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,故其额定电压可按以下情况进行选择。

1) 电力变压器一次绕组的额定电压。由于其相当于用电设备,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,若它接发电机,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%;若它接电力线路,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。电力变压器二次侧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。①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%是用于补偿变压器在满负荷运行时其绕组内部的约 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%。②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，使得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，可以表示为

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

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《工业与民用供配电系统设计规范》(GBJ52 修订本)规定：正常情况下，用电设备端子处电压偏差为

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。例如：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用电设备。例如电压过低将使照明灯具光通量减少，发光不足而影响人们的视力、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；使电动机转差率加大，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，甚至无法收看等等。电压过高又会使用电设备寿命大为缩短。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，使带铁心的设备饱和，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。我国工厂供电系统中应用的 6~10kV 电力变压器，一般为无载调压型的，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 1-13 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负荷