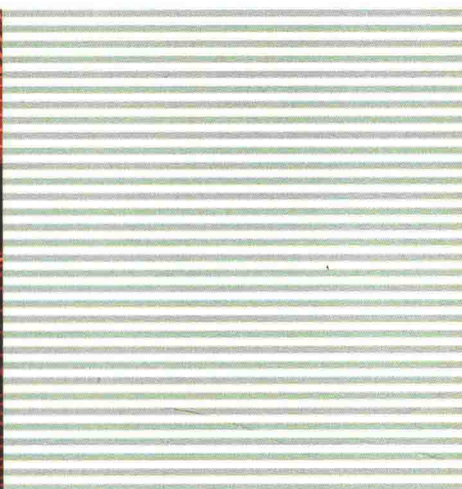
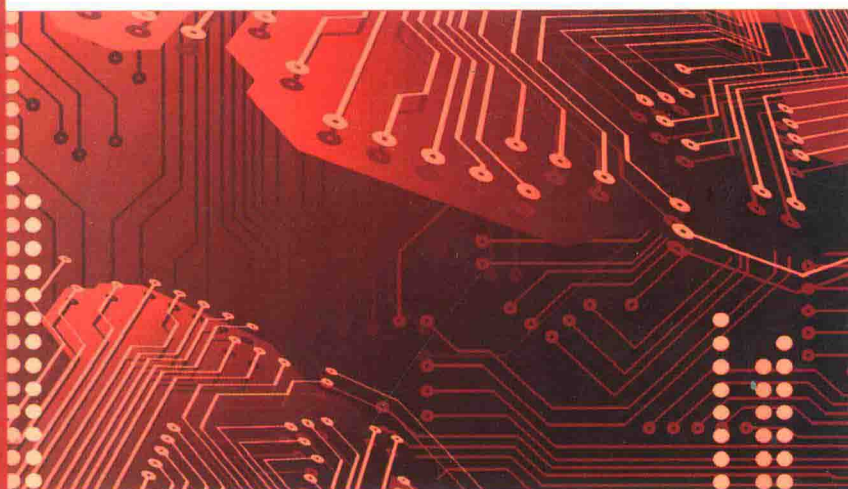




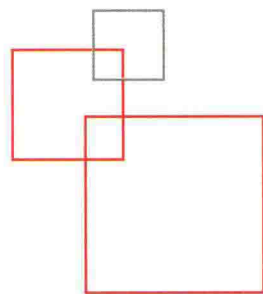
“十二五”江苏省高等学校重点教材 (编号 2015-2-054)



供配电技术及成套设备

GONGPEIDIAN JISHU JI CHENGTAO SHEBEI

主编 黄伟



国防工业出版社

National Defense Industry Press

“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号 2015-2-054)

供配电技术及成套设备

主 编 黄 伟
副主编 李 娜 胡晓进
高菊玲 吴振飞

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书采用项目编写方式,共分十个项目。每个项目包括几个任务,每个任务按照任务下达、任务分析内容及学习要求的顺序进行编写。本书内容包括供配电系统、电力负荷计算、工厂供配电网路及供电线路、低压元件及成套设备、电力变压器、高压元件及成套设备、预装式变电站、变电站的综合自动化、变电站的保护、照明及节约用电等。

本书结构新颖,内容紧密结合实际,许多内容是传统的同类教材中没有涉及的,反映现场使用实际。讲述内容围绕项目展开,以任务逐步完善,达到学习目的。在适当部位安排了课堂练习,练习题型内容灵活,联系实际。将实际应用强的内容作为阅读资料。课堂练习的答案要点及本书课件,可以向出版社索取或在出版社网站下载。

本书主要适用于高职高专电气类及相近专业,也可供电气类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术及成套设备/黄伟主编. —北京:国防工业出版社,2016.6

ISBN 978-7-118-10791-3

I. ①供… II. ①黄… III. ①供电系统②配电系统
IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 105610 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市鼎鑫印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 25½ 字数 595 千字

2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 54.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是根据高职高专电气类专业及相近专业的需要编写的,除了包括传统教材相应的内容外,还紧密结合实际,介绍了现场应用广泛而在传统教材中没有涉及的内容,如低压电气元件及成套设备、高压电气元件及成套设备、预装式变电站等,包括介绍相应的标准、产品特性、技术参数、选用、维护等知识。

本书采用项目编写方式,共分十个项目。包括供配电系统、电力负荷计算、工厂供电电网及供电线路、低压元件及成套设备、电力变压器、高压元件及成套设备、预装式变电站、变电站的综合自动化、变电站的保护、照明及节约用电等内容。书中(※)部分可作为阅读材料。

本书具有如下几个特点。

1) 结构新颖

采用项目单元安排,每个项目根据内容再安排若干个任务,每个任务包括任务下达、内容分析及达到的学习要求等,按顺序深入逐次展开。在每个任务的内容分析中,适时安排了针对性的课堂练习,巩固所学内容,也展开了学习内容,有些练习就是实际问题,引导学生查阅资料,积累学习知识。

2) 内容新颖

本书在讲解电器元件和成套设备过程中,与实际结合,注重技术性能与技术参数,围绕技术标准,让学生理解标准的含义与内容。

工厂供电的承担者就是成套设备,但在传统的相近教材中介绍很少。编者根据在企业从事专业技术 20 多年的工作体会,收集了技术资料,在介绍低压元件和高压元件后,分别系统讲解了低压成套设备、高压成套设备和预装式变电站,有助于学生迅速适应专业岗位。有些内容,也适合专业技术人员和工人参考。

3) 内容实用

本书的编者现场经历与经验丰富,注重理论与实际结合,加强技能培养。例如,讲解一个元件或产品时,按照“功能与使用场所”—“型号表示与含义”—“技术参数”—“关键技术参数含义解释”—“产品尺寸与外形”—“选用与安装”—“常见故障的排除与使用维护”的顺序编写,突出实际应用。

4) 引起学习兴趣

本书中的一些元件与产品、布线方式,不再是呆板的绘制图,而是选用了现场图片与实物照片,有直观感,不枯燥,容易引起学生的学习兴趣。

本书对技术参数表格中的一些关键名词进行了解释;对重要的知识点列出专题进行讨论,如接地开关、“五防”技术、典型高压元件的维护等内容,可以作为阅读资料,也可以作为专业岗位的技术资料。

本书由研究员级高级工程师、副教授黄伟任主编,李娜、胡晓进、高菊玲和吴振飞任副

主编。其中,李娜编写项目一、项目二和项目三;高菊玲副教授编写项目四的任务1、项目五和项目十的任务3,其余由黄伟和胡晓进编写,王小丽老师编写了电子课件。江苏镇安电力设备有限公司总工程师吴振飞高级工程师提供了技术资料,黄伟对全部书稿进行了总体规划并统稿、修改及校对。

本书编写过程中,江苏镇安电力设备有限公司总经理、高级工程师叶小松、镇江市亿华系统集成有限公司总工程师、高级工程师李阿福、江苏宏安变压器有限公司总工程师李杰等提出了许多建议与修改意见,谨在此表示衷心感谢!

本书附有电子课件,练习与解答思路可供课堂参考。需要这些内容的读者,可与国防工业出版社联系,或直接登录国防工业出版社网站下载,也可与编者联系。

尽管在编写时投入较大精力,但限于水平,书中错漏难免,或技术思路不尽完全合理,敬请读者提出宝贵意见,邮箱 zjzhjhr@sina.com。课件可向责任编辑索取: ycy8803@126.com。

编者

2016年4月

目 录

项目一 认识供配电系统	1
任务1 认识供配电系统及输送电网	1
任务2 掌握配电线路及中性点运行方式知识	10
任务3 掌握供配电系统的技术指标	17
项目二 了解用电负荷的计算方法	25
任务1 认识并运用工厂电力负荷及负荷曲线	25
任务2 确定三相设备的用电负荷	31
任务3 短路电流计算	37
项目三 分析工厂电力网络及供电线路	49
任务1 认识工厂电力网络的基本接线方式	49
任务2 工厂及车间配电线路	54
任务3 认识电缆及母线的型号选择	64
项目四 掌握低压电气元件及成套设备	75
任务1 选用低压电气元件	75
任务2 熟悉常用的低压成套电气设备	128
任务3 认识低压开关柜的主回路	136
任务4 了解典型的低压成套设备产品	141
项目五 掌握电力变压器的技术性能	155
任务1 了解电力变压器的原理、结构、连接组别	155
任务2 电力变压器的运行与维护	171
项目六 掌握高压电器元件及成套设备性能	179
任务1 选用高压电器元件	179
任务2 选用高压电器成套设备	238
任务3 了解并掌握典型高压电气成套设备产品	247
任务4 认识主高压电气成套设备的回路	257
任务5 熟悉典型高压电气成套设备	282

项目七 掌握预装式变电站的基本性能	291
任务 1 了解预装式变电站的基本性能	291
任务 2 掌握美式及欧式预装式变电站	296
项目八 认识变电所综合自动化的基本特点	313
任务 1 了解变电所综合自动化的基本知识	313
任务 2 了解典型的电站综合自动化设备	324
项目九 掌握变电所的保护知识	328
任务 1 了解防雷设备及防雷保护知识	328
任务 2 了解接地保护知识	346
项目十 了解电气照明及节约用电知识	357
任务 1 了解光源的基本知识及选择光源	357
任务 2 掌握照明的配电及控制	370
任务 3 了解工厂供电的节能知识	377
参考文献	401

项目一 认识供配电系统

本项目包括两个任务,总体概述工厂供配电技术的基本知识,包括供配电系统认识、输送电网的概念、配电线路及中性点的运行方式,以及供配电系统的技术指标等。

任务1 认识供配电系统及输送电网

第一部分 任务内容下达

通过学习,了解供配电系统的基本组成,掌握供配电系统的基本知识及每个组成部分的作用,了解输送电网的组成及输电线路、配电线路及用电线路的概念。

第二部分 任务分析及知识介绍

一、工厂供电的作用和要求

1. 供电的作用

工厂供电,就是工厂用电设备所需电能的供应和分配。一般也可以这样理解,工厂供电是供电公司对工厂的围墙外所提供的电力输送,即到达工厂的变电所,可以改变电压;而工厂围墙内变电所的电能传输及分配到各个车间设备,不能改变电压也称为配电。当然,大型企业内部也有变电所。

电能,是现代工业化生产和生活的主要能源与动力。电能可以由其他能源形式转变而来,也很容易转变为其他的能源形式;电能的传输和分配简单经济,可以定量控制、调节和测量,实现自动化。现代社会的信息化技术和相应的高新技术都是建立在电能应用的基础上。因此,电能在现代工业化工业生产、整个国民经济及生活中的应用极为广泛。

工业化生产中,电能是工业生产的重要动力和能源,但在产品生产成本中所占的比例一般很小。例如在机械工业中,电费开支仅占产品成本的5%左右,只是在电化工、金属冶炼行业,用电成本较高,要考虑用电的节电措施与管理。从投资角度分析,一般机械工业企业在供电设备方面的投入,约占总投资额的5%。在工业电气化后,电力能源可以很方便地实现自动化控制,明显提高产品产量、改善产品质量、提高生产效率、降低生产成本、降低工人的劳动强度、改善工人的劳动环境。但电力能源也存在缺陷,即电力能源供应会发生停电,对某些对供电可靠性要求很高的工厂,即使是极短时间的停电,也会引起重大设备损坏,或引起大量产品报废,甚至可能发生重大的人身事故或造成社会不安定。典型的生产企业如炼钢设备,不能断电;与生活紧密相关的场所如医院,不能停电。

2. 供电要求

工厂供电工作应当满足工业生产服务、保证工厂生产和居民生活用电的需求,还要满

足节能、环保的需求,其基本要求如下。

(1) 安全。电能供应、分配和使用中,要注意环境保护,不能发生人身事故和设备事故。

(2) 可靠。满足电能用户对供电可靠性的要求,保证连续供电,满足生产及生活需要。

(3) 优质。满足用户对电压和频率等质量的要求。如出现电压波动、频率不准确的现象,就会影响供电质量。

(4) 经济。供电系统投资少,运行费用要低,应尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。高压送点、预装式变电站等。

供电的可靠含义,涉及供电单位、用电单位、供配电技术、电气成套设备的管理和企业供电安全管理等,具体包括以下几个方面:

(1) 可靠性高。采用高可靠性的供电设备,认真管理维护,防止误操作。

(2) 不停电电源供电。提高送电线路的可靠性,重要设备与用电单位采用双回路供电或双电源供电。

(3) 供电线路方案合理。选择合理适当的供电系统方案、结构、接线。

(4) 供电容量充分。保证适当的用电容量、容量裕度。

(5) 运行分工。制定合理的运行方案;采用自动装置,保证高压系统的运行符合供电标准规定和供电管理部门的规定。

(6) 综合保护。按照标准要求,对高压输送电系统,采用自动装置,如自动重合闸装置、变电所按频率自动减负装置等;采用快速继电保护装置;对于重要复杂的供用电系统;采用计算机检测装置;采用综合保护技术。

(7) 节约用电。积极采取措施,节能节电;按照动力设备与系统的要求,制定管理制度,严格执行制度。

课堂练习

(1) 工厂供电的基本要求有哪些?

(2) 如何理解供电的可靠性含义?

二、电力系统概述

1. 电力系统的组成

电力系统通常由发电厂、高低压控制装置、电气线路、变配电所和电力负荷即用户等部分组成。前面已经介绍过,工厂供配电系统指从电源线路进场起到高低压用电设备进线端止的整个电路系统,是由工厂变配电所、配电线路和用电设备构成的整体,实现工厂内的电能接收、分配、变换、输送和使用。工厂供配电系统是电力系统的主要组成部分,是电力系统的主要用户。

图 1-1 所示为电力系统示意图,虚线框内即为工厂供配电系统示意。工厂供配电系统中,变配电所承担接收电能、变换电压和分配电能的任务;配电线路承担着输送和分配电能的任务;用电设备指的是消耗电能的电动机、电焊机、加热设备、照明设备等。

不同类型的工厂,供电系统组成各不相同。大型工厂及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型工厂,一般经过两次降压,即电源进厂以后先经总降压变电所,将 35kV 及

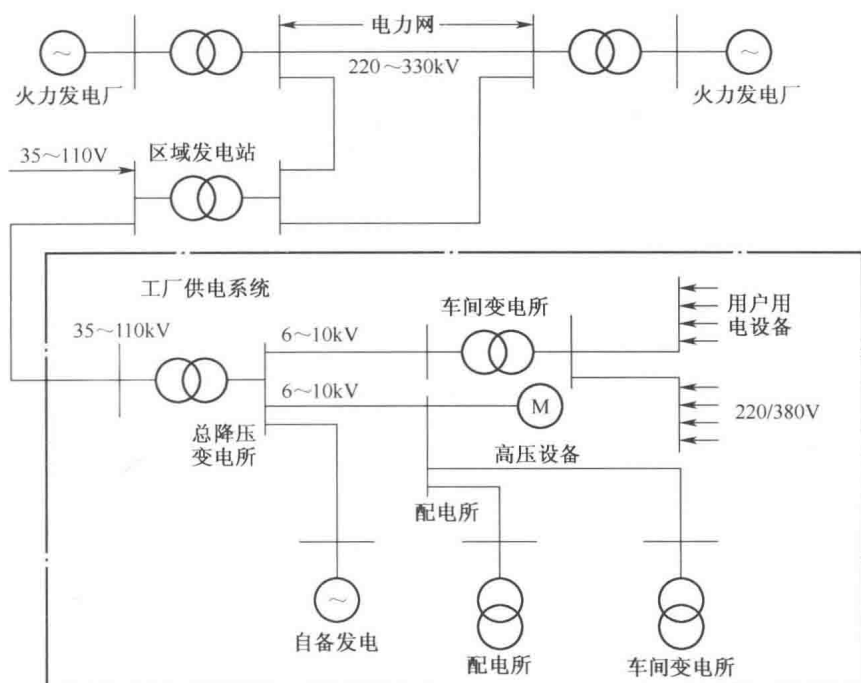


图 1-1 电力系统示意图

以上的电源电压降为 $6\sim 10\text{kV}$ 的配电电压,然后通过高压配电线路将电能送到各个车间变电所,也有的经高压配电所再送到车间变电所,最后经配电变压器降为一般低压用电设备所需要的电压等级。

一般中型工厂的电源进线电压是 $6\sim 10\text{kV}$ 。电能先经高压配电所集中,再由高压配电线路分送到各个车间变电所或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 $6\sim 10\text{kV}$ 的电压降为一般低压用电设备可适用的电压(如 $220/380\text{V}$),然后由低压配电线路将电能分送到各用电设备使用。

对于一般小型工厂,由于所需容量大多都不会大于 1000kVA ,因而只设一个降压变电所,将 $6\sim 10\text{kV}$ 电压降为低压用电设备所需的电压。当工厂所需容量不大于 160kVA 时,一般采用低压电源进线,只需设一个低压配电间。

对工厂供配电系统的基本要求是安全、灵活、可靠和经济。

2. 典型供电系统及输送电网的构成

电力系统是电能生产输送、分配变化和使用的一个统一整体,由发电厂变电站电力网和用户组成。图 1-2 所示为电力系统及用户动力系统示意图。下面简单介绍各组成部分。

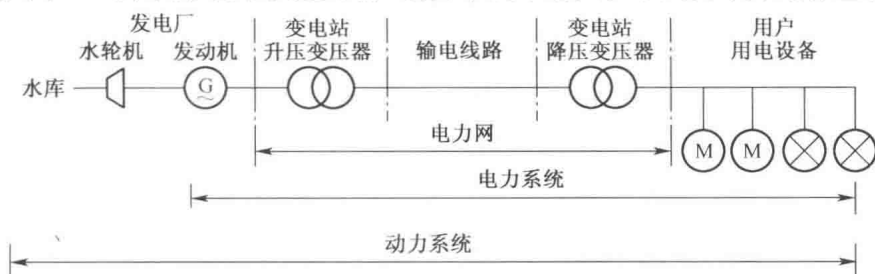


图 1-2 电力系统及用户动力系统示意图

1) 发电厂

发电厂是生产电能的地方,种类很多:按所利用能源的不同可以分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、地热发电厂、潮汐能发电厂、风力发电厂,太阳能发电厂等;按发电厂的规模和供电范围不同又可以分为区域性发电厂、地方发电厂和自备专用发电厂等。

(1) 火力发电厂。火力发电厂是将燃料(如煤、石油、天然气、油页岩等)的化学能转化成电能的工厂。将燃料的化学能转变成热能,热能转变为机械能,机械能再转变为电能。火力发电厂可分为凝汽式火力发电厂和供热火力发电厂,前者通常称为火电厂,后者称为热电厂。火电厂厂貌如图 1-3 所示。

(2) 水力发电厂。水力发电厂简称水电厂,水电厂外貌如图 1-4 所示,是将水的位能和动能转变为电能的工厂,即将水的位能转变为机械能,再转变为电能。水电厂根据集中落差的方式分为低坝式、引水式和混合式;按运行方式又可分为有调节水电站、无调节水电站和抽水蓄能水电站。

① 堤坝式水电厂。在河流的适当位置上修建拦河水坝,利用坝的上下游水位形成的较大落差,引水发电。

② 引水式水电厂。水电厂建在水流湍急的河道上或河床坡度较陡的地方,由引水管道引入厂房。



图 1-3 火电厂厂貌

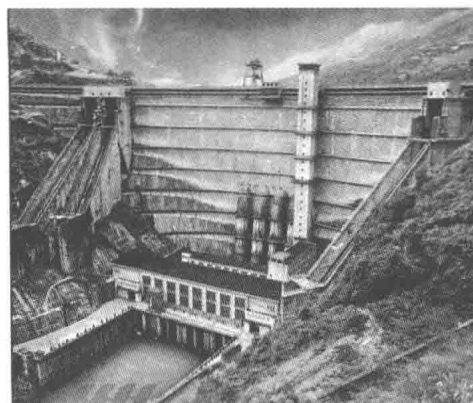


图 1-4 水电厂外貌

③ 抽水蓄能电厂。这种水电厂由高落差的上下两个水库及具备水轮机—发电机和电动机—水泵两种工作方式的可逆机组组成。抽水蓄能电厂一般作为调峰电厂运行。此外,抽水蓄能电厂还可以用于系统的备用容量、调频、调相等。

(3) 核电厂。核电厂是利用核能发电的电厂,核电机组与普通火力发电机组不同的是以核反应堆和蒸汽发生器代替了锅炉设备,而汽轮机和发电机部分基本相同。核电厂外貌如图 1-5 所示。

核电场的建设费用尽管高于火电,但燃料费用远低于火电厂,因此,核电厂综合发电成本普遍比火电厂低,能取得较大的经济效益。1kg 铀-235 约等于 2700t 的标准煤,以 1000MW 压水堆核电场为例,1 年约需 1t 铀,如果是相同发电容量的火力发电厂,所需燃料更多。

(4) 其他类型发电厂。其他类型发电厂有风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、



图 1-5 核电厂外貌

潮汐发电场等。风力发电厂(图 1-6)、太阳能发电厂(图 1-7)等基本对环境不产生污染,因此,国家正在大力发展。



图 1-6 风力发电场

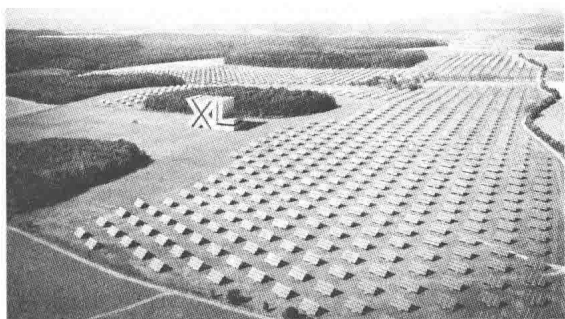


图 1-7 太阳能发电场

2) 电力网

电力网由变配电所和各种不同电压等级的线路组成,是将发电厂生产的电能输送、变换和分配到电能用户。电力网按电压高低和供电范围的大小又分为区域网和地方网。区域网供电范围大,且电压一般在 220kV 以上;地方网供电范围小,最高电压一般不超过 110kV。

3) 高、低压控制装置

高、低控制装置用于配电的整个过程,主要是控制高压线路接到小区的环网柜,然后由环网柜到变压器,经变压器降压再到低压柜,最后由低压柜来连接各个用电的配电箱,完成配电任务。

4) 用户

用户是指将电能转化为所需要的其他形式能量的工厂和用电设备。随着电力系统的发展,各国建立的电力系统,其容量及范围越来越大。建立大型电力系统可以经济合理地利用一次能源,降低发电成本,减少电能损耗,提高电能质量,实现电能的灵活调节和调度,大大提高了供电可靠性。

课堂练习

(1) 供电电网的构成主要有哪些环节？

(2) 发电主要有哪些方式？它们的能源转换是如何实现的？

(3) 查阅资料,风能发电、太阳能发电等尽管环境污染小,但将所发电能送到电网去,必须经过哪个环节？这个环节给电网带来何种不利因素？

3. 工厂供电的典型结构

1) 6~10kV 进线的中型工厂供电系统

一般的工厂电源进线 6~10kV。电能首先经过高压配电所,由高压配电线路将电能分送到各个车间变电所,车间变电所内安装有电力变压器,将 6~10kV 的高电压降为一般低压设备能够工作的电压,如一般是 220/380V,如果工厂内有 6~10kV 的高压用电设备,则 6~10kV 变电所可以直接提供给这些高压设备。

图 1-8 为典型的中型工厂供电系统结构简图,图中用单线表示三相线路,只绘制了开关而没有绘制其他开关电器;图中的母线一般称为汇流排或母排,作用是汇集和分派电能。

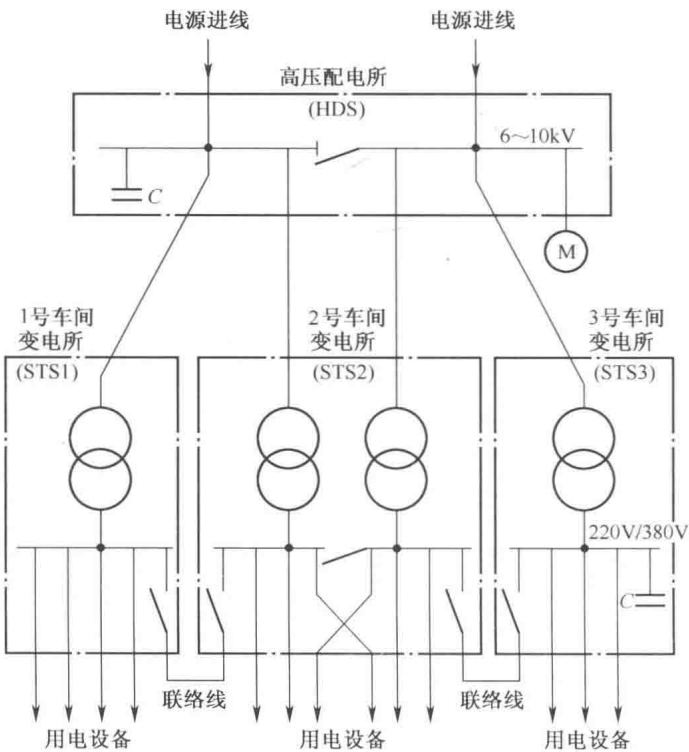


图 1-8 典型的中型工厂供电系统结构简图

可以看出,高压配电所有四条高压配电出线,供电给 3 个车间变电所。其中,1 号车间变电所和 3 号车间变电所各安装一台配电变压器,但 2 号车间变电所安装了两台配电变压器,分别由两端母线供电,低压侧也采用了单母线分段方式,这样,重要的低压设备由两端低压母线交叉供电。各个车间变电所的低压侧都设有低压联络线,可以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。

另外,在高压配电所有一条高压配电线,直接给高压电动机供电,也直接与一组高压并联电容器连接。3 号车间变电所低压母线上也直接连了一组低压并联电容器组,用以补偿系统的无功功率,提高功率因数。

将图 1-8 所示的供电结构设计成供电系统平面布置示意图,如图 1-9 所示,可以基本看到变电所、配电成套设备的位置布置和进出线。

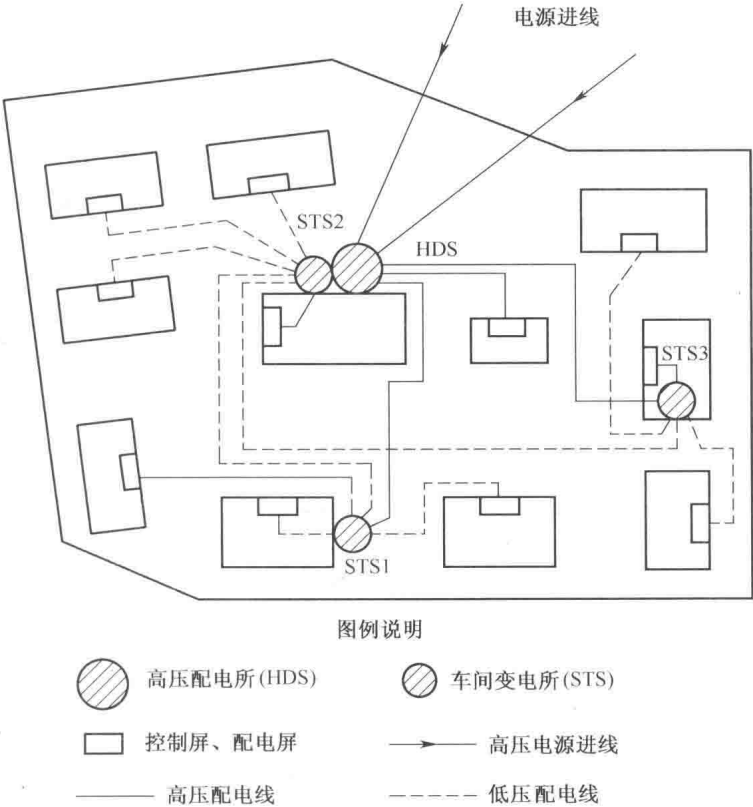


图 1-9 基于图 1-8 的平面布置示意图

2) 35kV 及以上进线电压的大中型工厂供电系统

对于中型工厂以上的企业,采用 35kV 及以上进线电压的供电系统,通常是两次降压,即电源进入工厂后,先经过安装有较大容量的电力变压器的总降压变电所,将 35kV 及以上的电源电压降为 6~10kV 的配电用电压,再经过 6~10kV 的高压配电线将电能送到各个车间变电所,根据工厂用电的情况,也有经过高压配电所再送到车间变电所。

车间变电所安装有配电变压器,第三次将 10kV 降为一般低压用电设备所需的 220/380V。这种供电系统的结构简图如图 1-10 所示。

也有 35kV 进线的工厂,只经过一次降压,直接将进线引到靠近工厂负荷中心的车间变电所,经过车间变电所配电变压器,将 35kV 高压直接降为一般低压用电设备所需的 220/380V。如图 1-11 所示,这种方式称为高压深入负荷中心的直接配电,可以省去中间的变压过程和设备,简化供电系统,降低电能损耗,节约有色金属材料,提高供电质量。但这种高压的进线到车间负荷中心,必须考虑进线安全。

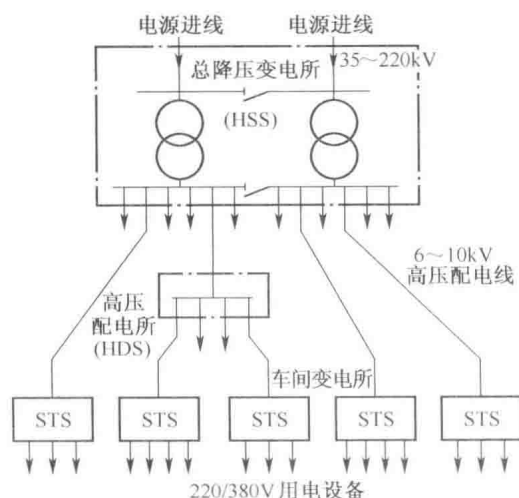


图 1-10 总降压变电所的工厂供电系统的结构简图

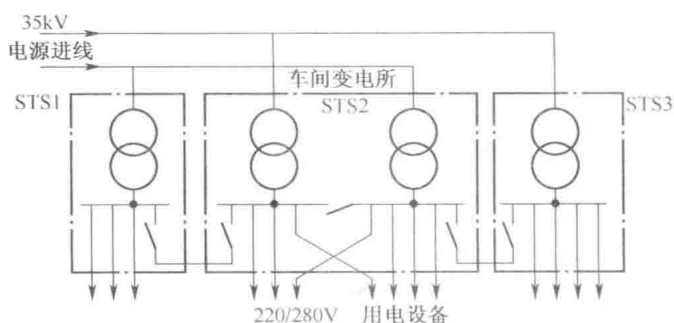


图 1-11 高压送电到负荷中心系统

3) 小型工厂供电系统

对于容量不大的小型企业,如果容量不大于 1000kVA,一般可以只设一个降压变电所,将 6~10kV 经过降压变电所,降为 220V/380V,直接提供给用电设备,如图 1-12 所示。如果容量不大于 160kVA 的小型工厂,可以采用 220V/380V 低压电源线直接进线,提供给用电设备,如图 1-13 所示。

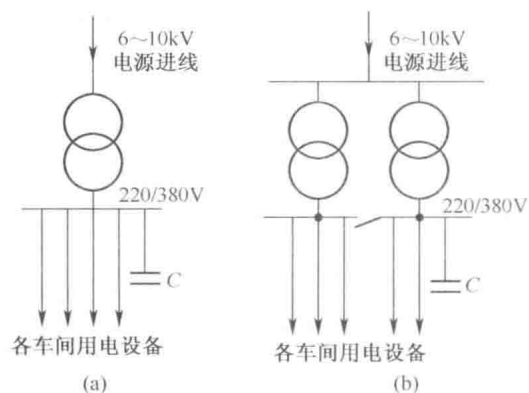


图 1-12 一个变电所的小型供电系统
(a)一台变压器;(b)两台变压器。

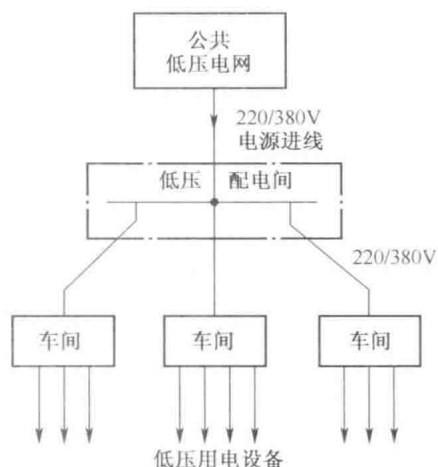


图 1-13 低压进线的小型工厂供电系统

通过以上的供电系统介绍可以知道,配电系统的任务是接受和分配电能,不能改变电压;变电所的任务是接受电能、改变电压和分配电能。

工厂供电系统是从电源进线到高压设备经过降压,再到用电设备的所有电路系统,包括工厂内的变电所、配电所及全部的高低压配电设备、配电线路。

课堂练习

- (1) 工厂供电的典型结构及其特点有哪些?
- (2) 经常有工厂供配电的说法,实际上包括了供电和配电两个部分,请叙述供电和配电各自的特点。
- (3) 对于某个企业,如果采用 35kV 高压直接送电到车间负荷中心,应当满足最关键的条件是什么?

第三部分 认识典型供电系统及输送电网的构成

我们已经基本了解了工厂供配电的功能、供电质量要求、供配电的传输的几种方式,应当能够了解典型的供电系统及输送电网的构成。将前面已经学习过的内容,通过以下的练习方式,巩固所学知识。

(1) 图 1-14 为典型的电力系统示意图,请完成以下问题:

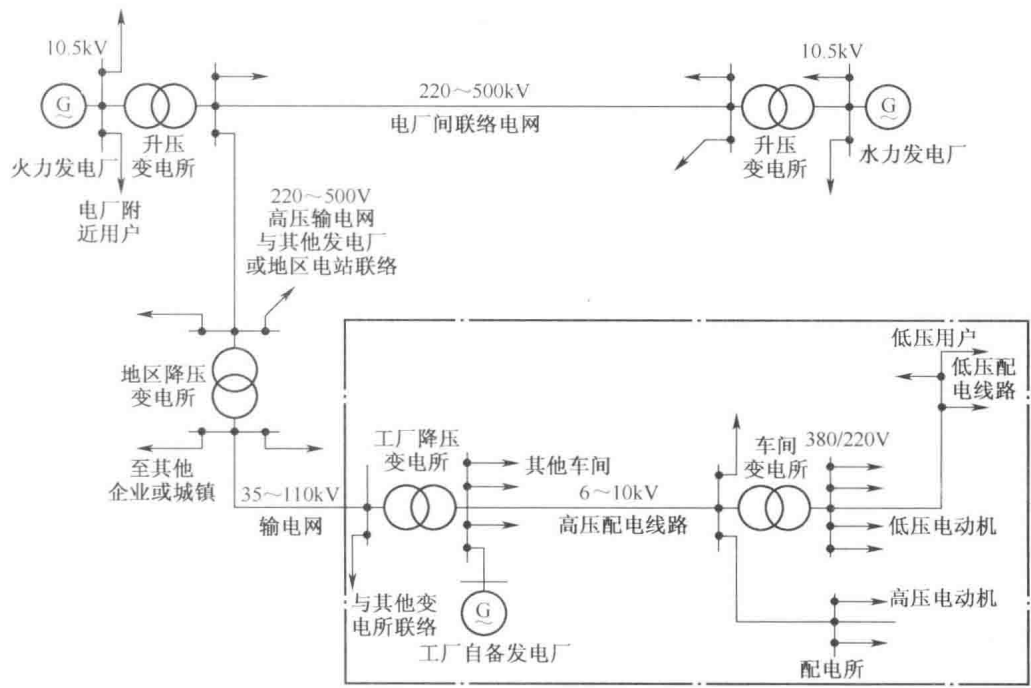


图 1-14 典型的电力系统示意图

- ① 该电力系统示意图主要包括几个环节? 各有哪些主要设备?
- ② 工厂供配电系统在图中是哪个部分? 主要由几个环节组成?
- ③ 图 1-14 中的工厂供配电系统如何取得电能? 有几种方式?
- ④ 从工厂降压变电所传输电能到车间变电所是两级降压,对于高压负荷如高压电动

机是车间配电所直接高压供电。如果除了高压负荷需要将 35~110kV 降为 6~10kV 外，是否可以直接将 35~110kV 降为 380/220V？请叙述原因。

⑤ 图 1-14 中的工厂供电系统中，降压部分为什么称为变电所？车间部分为什么有变电所、也有配电所？变电所与配电所有什么不同？

(2) 图 1-15 为某大型电力系统构成图，请完成以下问题：

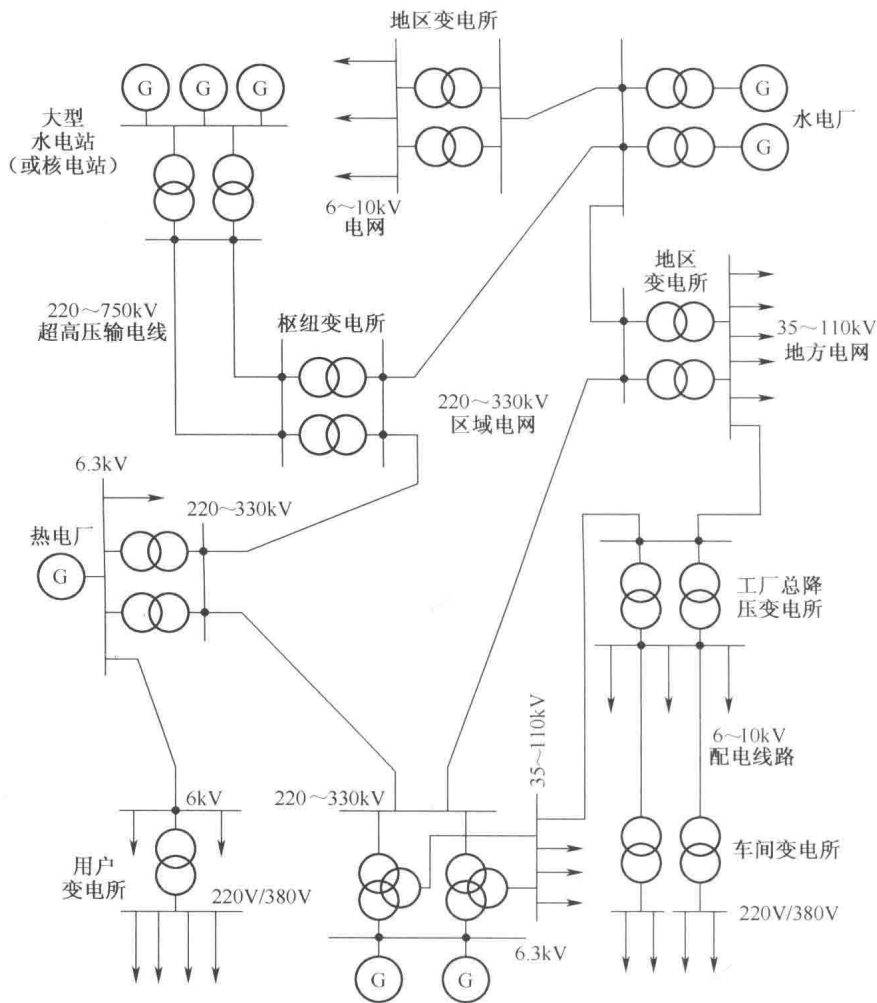


图 1-15 某大型电力系统构成图

① 该电力系统中有几种电能的发生形式？这个电网由几个部分构成？从发电厂（站）出来的变压器是升压变压器还是降压变压器？说明原因。

② 请查阅资料，说明地区变电所和区域电网的功能。

任务 2 掌握配电线路及中性点运行方式知识

第一部分 任务内容下达

本任务中，要了解配电线路的作用，掌握配电线路的分类，掌握高低压系统中性点运