

高等职业技术学校

教学用书

# 工业企业 供电

靳希才 主编

GONGYE QIYE GONGDIAN

冶金工业出版社

高等职业技术学校教学用书

# 工业企业供电

靳希才 主编

孙启玉 翟春月 靳哲 副主编

北京

冶金工业出版社

2002

**图书在版编目(CIP)数据**

工业企业供电/靳希才主编.—北京:冶金工业出版社,2002.1

高等职业技术学校教学用书

ISBN 7-5024-2927-1

I.工… II.靳… III.工业用电—供电—高等学校:技术学校—教学参考资料 IV.TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 097011 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 俞跃春 美术编辑 王耀忠 责任校对 栾雅谦 责任印制 李玉山

北京兴顺印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 1 月第 1 版,2002 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19.75 印张; 478 千字; 308 页; 1-3000 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

为了适应高等职业技术学校专业培养目标的需要,我们在总结多年讲授《工业企业供电》这门专业课教学经验的基础上,根据高等职业技术学校的特点,编写了本教材。

该教材在重点讲授有关工厂供电的基本理论和基本知识的同时,突出有关供电系统的计算、继电保护和技术操作管理,突出理论与实际的紧密结合,并注意反映新技术、新规范及新设备。随着计算机网络技术的迅速发展,增加了变电所综合自动化系统设计等内容。在各章的后面,附有思考题与习题,最后附有毕业设计所需要的各种附表。

本教材在编写过程中,力求突出职业技能本位的思想,在理论上以讲清基本实用的原理为限,应用上以结合具体实际为目标,以利于培养提高学生的分析和解决实际问题的能力。

本书由靳希才担任主编,孙启玉、翟春月任副主编,参加编写的人员有:天津市工业学校的靳希才、靳哲,山东工业学校的孙启玉、钱卫钧,河南省三门峡市黄金学校的翟春月、晋一,河北工业职业技术学院的周乐挺,黑龙江冶金工业学校的陈文平,新疆钢铁学校的方冰沁。

全书由来自山东、河南、湖南、河北、黑龙江、新疆、天津等有关学校多年主讲《工厂供电》课程的教师集体审阅,最后由侯建伟主审,并提出许多宝贵意见。湖南的张建立和上海的陆根根对本书的编写工作也给予了大力支持,在此致以衷心感谢。

本书可作为高等职业教育、中等职业学校电气自动化的教材,也可以供从事企业供电系统运行、维护与设计的工程技术人员参考,也可以作为机电专业及其他相关专业的选修教材。

由于编者水平所限,书中存在的不足之处,敬请批评指正。

编 者  
2001.11

# 目 录

1 概论 .....	1
1.1 电力系统的一般概念 .....	1
1.2 工业企业供电系统概述 .....	6
1.3 电力系统的电压 .....	8
1.4 电力系统的中性点运行方式 .....	11
思考题与习题 .....	15
2 变配电所的高压设备 .....	16
2.1 电弧的产生及灭弧方法 .....	16
2.2 隔离开关 .....	17
2.3 高压负荷开关 .....	18
2.4 高压熔断器 .....	20
2.5 高压断路器 .....	22
2.6 互感器 .....	28
2.7 母线和绝缘子 .....	33
思考题 .....	36
3 工业企业供电系统 .....	37
3.1 电力负荷分级及对供电的要求 .....	37
3.2 供电网路的结线方式 .....	38
3.3 变电所的主结线 .....	42
3.4 工业企业供配电线路 .....	48
3.5 工业企业变电所 .....	54
思考题与习题 .....	63
4 负荷计算与无功功率补偿 .....	64
4.1 负荷曲线与计算负荷 .....	64
4.2 用电设备的工作制及其设备容量的确定 .....	67
4.3 需用系数法确定计算负荷 .....	68
4.4 单相用电设备组计算负荷的确定 .....	71
4.5 供电系统的功率损耗计算 .....	72
4.6 功率因数与无功功率补偿 .....	73
4.7 全厂负荷计算示例 .....	76

思考题与习题 .....	80
5 导线和电缆截面的选择 .....	82
5.1 按允许发热条件选择导线和电缆截面 .....	82
5.2 线路电压损失的计算 .....	88
5.3 按允许电压损失选择导线截面 .....	98
5.4 按经济电流密度和机械强度选择导线截面 .....	100
思考题与习题 .....	104
6 短路电流的计算和高压设备的选择 .....	107
6.1 短路的原因、后果及形式 .....	107
6.2 无限容量电力系统发生三相短路的变化过程 .....	109
6.3 短路电流的计算 .....	111
6.4 短路电流的力效应和热效应 .....	118
6.5 高压电气设备的选择 .....	121
思考题与习题 .....	127
7 工业企业供电系统的继电保护 .....	129
7.1 继电保护的基本知识 .....	129
7.2 线路过电流保护装置 .....	143
7.3 线路电流速断保护装置 .....	152
7.4 线路接地保护装置 .....	156
7.5 电力变压器的继电保护 .....	159
7.6 变压器的气体继电保护 .....	165
7.7 变压器的差动保护 .....	168
思考题与习题 .....	171
8 变电所的控制、信号及自动装置 .....	173
8.1 变电所的自用电与操作电源 .....	173
8.2 高压断路器的控制回路 .....	177
8.3 变电所的信号装置 .....	186
8.4 直流系统的绝缘监察 .....	192
8.5 备用电源自动投入装置 .....	194
8.6 自动重合闸装置 .....	200
思考题 .....	204
9 防雷与接地 .....	205
9.1 雷电过电压与防雷设备 .....	205
9.2 防雷措施 .....	214

9.3 接地与接零 .....	217
9.4 接地电阻的计算与测量 .....	223
思考题与习题 .....	232
10 安全用电与技术管理 .....	233
10.1 安全用电 .....	233
10.2 运行管理 .....	248
10.3 变配电所设备的运行巡视检查 .....	259
10.4 变电所的技术管理 .....	264
思考题与习题 .....	266
11 变电所综合自动化系统及继电保护设计简介 .....	267
11.1 概述 .....	267
11.2 变电所综合自动化系统设计原则 .....	268
11.3 综合自动化结构方案 .....	269
附录 .....	273
参考文献 .....	308

# 1 概 论

## 1.1 电力系统的一般概念

电能属二次能源,它是在发电厂中将一次能源(如煤、水等)经过多次能量转换而生成的。电能具有很多优点:如容易产生,输送方便,易于分配;可简便地转换为其他形式的能量;便于控制,利于实现生产过程自动化,提高产品质量和经济效益等。因而,电能在工矿企业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活中得到了广泛应用。

由于工矿企业所需要的电能,绝大多数是由公共电力系统供给的,所以,本节对电力系统予以简要介绍。

### 1.1.1 电力系统

电力系统是由发电厂、电力网和用电设备组成的统一整体。

电力网是电力系统的一部分。它包括变电所、配电所及各种电压等级的电力线路。根据电力网的电压高低和供电范围不同,可分为地方电力网和区域电力网两大类:地方电力网,它的电压在 110kV 以下,供电距离不超过 50km,可以认为区域变电所二次出线以后的网路为地方电力网,如一般工矿企业、城市和农村的电力网等;区域电力网,它的电压在 110kV 以上,供电距离为几十千米甚至几百千米以上,可以认为从发电厂出口至区域变电所的网路为区域电力网。如我国著名的平武输电线路(北起河南平顶山,南至武汉凤凰山),全长 600 多 km,电压为 500kV,就属于区域电力网。

与电力系统相关联的还有动力系统。动力系统是电力系统和“动力部分”的总和。所谓“动力部分”,包括火力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备;水力发电厂的水库、水轮机以及原子能发电厂的核反应堆等。所以,电力系统是动力系统的一个组成部分。如图 1-1 所示电力系统、电力网和动力系统三者之间的关系。

电力系统的作用是由各个组成环节分别完成电能的生产、变换、输送、分配和消费等任务。现对这几个环节的基本概念说明如下。

#### 1.1.1.1 发电厂(或称发电站)

发电厂是将各种形式的能量转换为电能的特殊工厂,它的产品是电能。根据所利用一次能源的不同,发电厂可分为以下几类:(1)火力发电厂;(2)水力发电厂;(3)原子能发电厂;(4)其他类型的发电厂,如太阳能发电厂、风力发电厂、地热发电厂和潮汐发电厂等。目前我国接入电力系统的发电厂,主要是火力发电厂和水力发电厂,近几年内原子能发电厂将并入电力系统运行。下面简单介绍火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂的生产过程。

#### A 火力发电厂(简称火电厂)

火电厂把燃料的化学能转变成电能,所用的燃料有煤、石油和天然气等,由于我国煤的



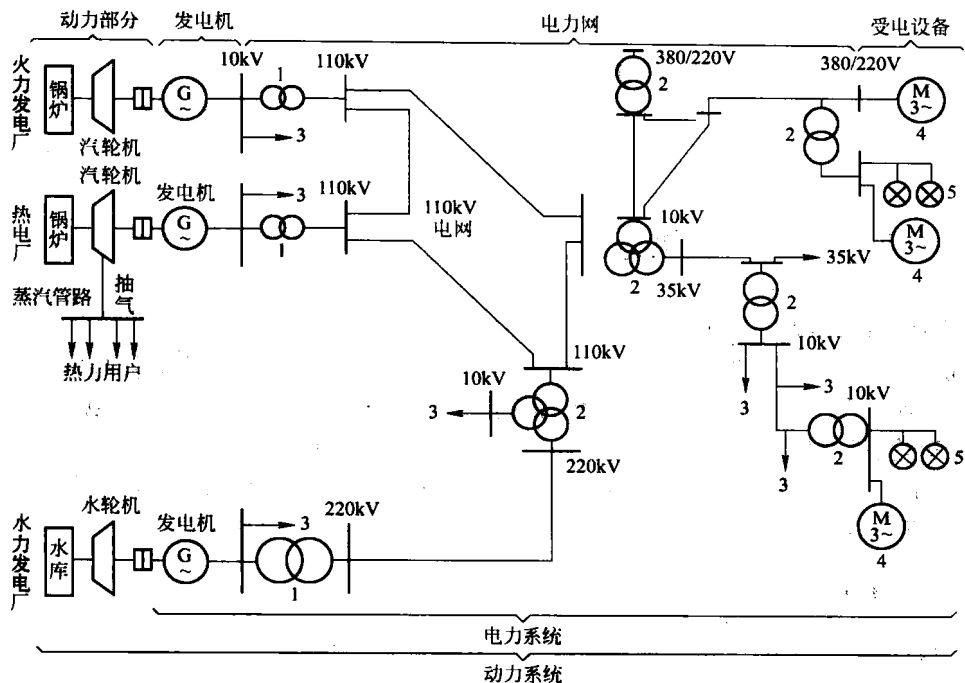


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图  
1—升压变压器；2—降压变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

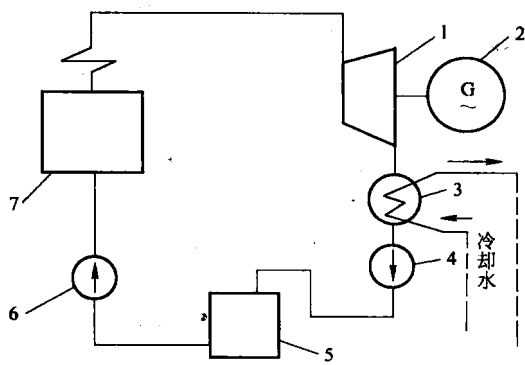


图 1-2 火力发电厂的生产过程  
1—汽轮机；2—发电机；3—凝汽器；4—凝结水泵；  
5—除氧器；6—给水泵；7—锅炉

资源丰富、分布较广，所以我国目前火电厂仍以煤为主要燃料。火电厂使用的原动机有蒸汽轮机、柴油机和燃气轮机等，目前大型火电厂多采用蒸汽轮机。图 1-2 为凝汽式火电厂的生产过程示意图，其生产过程如下：

燃料煤在锅炉 7 的炉腔中燃烧产生热能，使锅炉内的水加热，受热而蒸发，变成具有一定压力和温度的蒸汽。蒸汽进入汽轮机 1，使汽轮机转子转动，将蒸汽的热能转换成机械能，汽轮机带动发电机 2 旋转，将机械能转换成电能，即：

燃料化学能锅炉 → 热能 → 汽轮机 → 机械能 → 发电机 → 电能

在汽轮机内做完功的蒸汽将进入凝汽器 3，蒸汽在凝汽器被冷却，凝结成水，凝结水由凝结水泵 4 打至除氧器 5，经加温脱氧后由给水泵 6 打入锅炉内。

这里需要指出，冷却水在凝汽器中，吸收了蒸汽的热量后排出，从而带走了一部分热量。因此，一般凝汽式发电厂效率很低，只有 30%~40%。

热电厂与凝汽式火电厂不同，它的汽轮机中一部分做过功的蒸汽，从中间段抽出来供给

热力用户,或经过热交换器将水加热后把热水供给用户。这样,便可减少被循环水带走的热损失。现代热电厂一般都考虑了“三废”(废渣、废水、废气)的综合利用,不仅发电,而且供热,效率可达60%~70%。

目前已有采用燃气轮机带动发电机发电的火电厂。燃气轮机是让高温高压燃气直接冲击叶片旋转,带动发电机发出电能,由于燃气轮机省去了笨重的锅炉,所以具有体积小、效率高的优点。柴油发电机多适用于农村、林区、地质勘察和土建施工等供电,容量一般不大。

## B 水力发电厂(简称水电站)

水电站是利用高水位处的水经过压力管道,将水的位能变成动能冲击水轮机转动,带动发电机发电,水电站总容量与水的流量及落差成正比,在流量一定时,要获得较大的发电容量,必须有较大的落差。根据形成落差的方法不同,有三种不同类型的水电厂:堤坝式、引水式和混合式。

### a 水力发电厂的类型

(1) 堤坝式水力发电厂(或称坝式)。在河道上修建堤坝拦河蓄水,形成水库,提高水位,集中落差,调节径流,利用水能发电。这种堤坝式水力发电厂又可分为河床式和坝后式两种。

河床式水力发电厂,厂房建在河床上,与堤坝布置在一条直线上,承受水的压力,如葛洲坝水电站就属于此种形式,其总装机容量达270多万kW。

坝后式水力发电厂,厂房位于坝后(坝的下游),厂房与坝分开,不承受压力。如刘家峡水电站就属于此种形式。综上所述,坝式水电站,综合利用效益高,但落差小,水库淹没区大,工程大,投资也多。

(2) 引水式水力发电厂。在河流坡降较陡的河段上游,筑一堤坝蓄水,通过人工建造的引水渠道、隧洞、压力水管等将水引到河段下游,用以集中落差发电。此种水电站落差较大,工程较小,造价低,可利用天然地形条件,但综合利用效益差。

(3) 混合式水力发电厂。这是堤坝式和引水式两者兼有的水力发电厂。其中一部分落差由拦河坝集中,另一部分落差由引水渠道集中。由于有水库,可以调节径流,又具备引水式特点。

### b 水力发电厂的生产过程

水力发电厂的生产过程比火力发电厂简单,下面以堤坝式水电站为例说明水电站的生产过程,如图1-3所示。由拦河坝1维持在高水位的水,经压力水管2进入螺旋形蜗壳3,利用水的流速和压力冲击水轮机叶轮4,推动转子转动,将水能变成机械能,水轮机再带动发电机5转动,将机械能变为电能。即:

水流位能  $\xrightarrow{\text{水轮机}}$  机械能  $\xrightarrow{\text{发电机}}$  电能

做过功的水由尾水管6排往下游。发电机发出的电能经升压变压器升压后由高压输电线路7送到供电系统。

水电站与火电厂相比,不消耗燃料,没有污染,能量转换效率高,发电成本低(为火力发电的0.25~0.35),但建设投资大,运行中易受自然水情影响。由于水轮发电机组启动迅速,运行灵活,易于实现自动化,因此它在电力系统中除担任正常负荷外也多用于担负尖峰负荷,调频负荷以及作为事故备用电源。

## C 原子能发电厂(简称核电站)

核电站和火电厂类似,“原子反应堆”相当于锅炉,利用核裂变产生的大量热能使水汽化

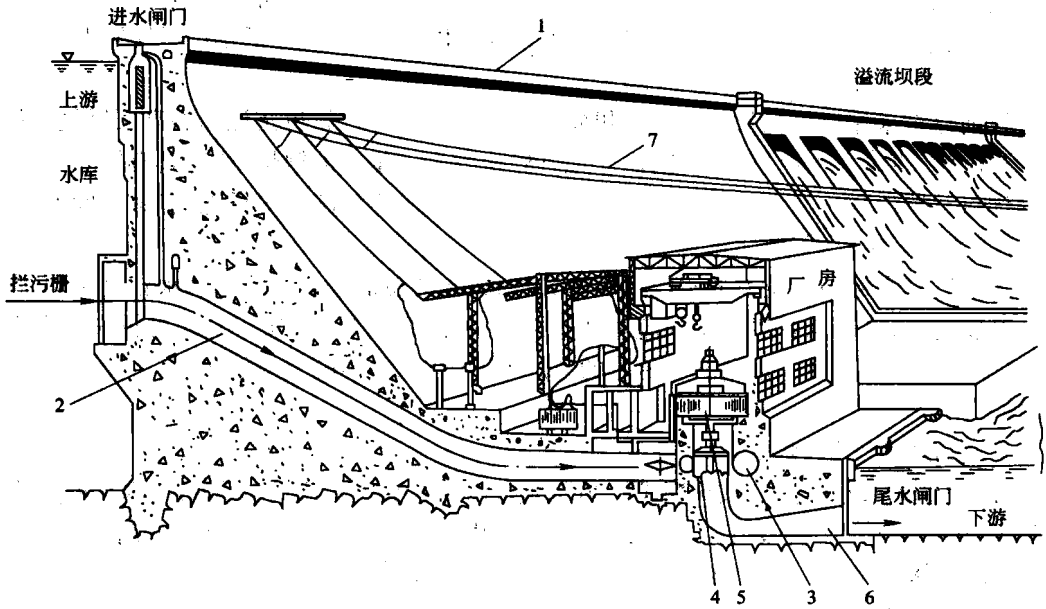


图 1-3 水力发电厂的生产过程

1—拦污栅;2—压力水管;3—螺旋形蜗壳;4—水轮机叶轮;5—发电机;6—尾水管;7—输电线

来推动蒸汽轮机带动发电机发电。其能量转换过程是：

核裂变能 → 核反应堆 → 热能 → 汽轮机 → 机械能 → 发电机 → 电能

核电厂消耗“燃料”极少，如 100 万 kW 的核电厂，年消耗浓缩铀 30t，相当于标准煤 250 万 t。因此，它可以建立在远离其他一次能源（如煤、水）的用电中心处或用热中心处。如我国广东大亚湾和浙江秦山核电厂。

在我国，煤电约占 60%，水电约占 23%，其他约占 17%，由于核能是极其巨大的能源，建设核电站具有重要的经济和科研价值。我国不仅适当发展核电，而且还应因地制宜开发多种发电能源，如由地方兴办小水电、风力发电和地热发电等。

#### 1.1.1.2 变电所(或称变电站)

变电所是接受电能、变换电压和分配电能的场所。为了实现电能的经济输送和满足用电设备对供电质量的要求，需要对发电机的端电压进行多次变换，这项任务是由变电所完成的。变电所的主要设备有电力变压器、母线和开关设备等。变电所可分为升压变电所和降压变电所两大类：升压变电所的主要任务是将低电压变换为高电压，一般建在发电厂；降压变电所的主要任务是将高电压变换到一个合理的电压等级，一般建在靠近负荷中心的地点。降压变电所根据其电力系统中地位、作用和供电范围不同，又可分为区域变电所和地方变电所。

(1) 区域变电所。它是从 110~500kV 的输电网络受电，将电压降为 35~220kV，供给大区域用电。在区域变电所中多装设大容量的三绕组变压器，将电压降为 35kV 和 60~220kV 两种不同的电压，分别供给与发电厂联系的枢纽，故有时称其为枢纽变电所，如图 1-4 中变电所 B。

(2) 地方变电所。这种变电所通过 35~110kV 的网络从区域变电所或本地区发电厂直接受电，将电压降为 6~10kV，向某个市区或某工业区供电，其供电范围较小，一般约为数千

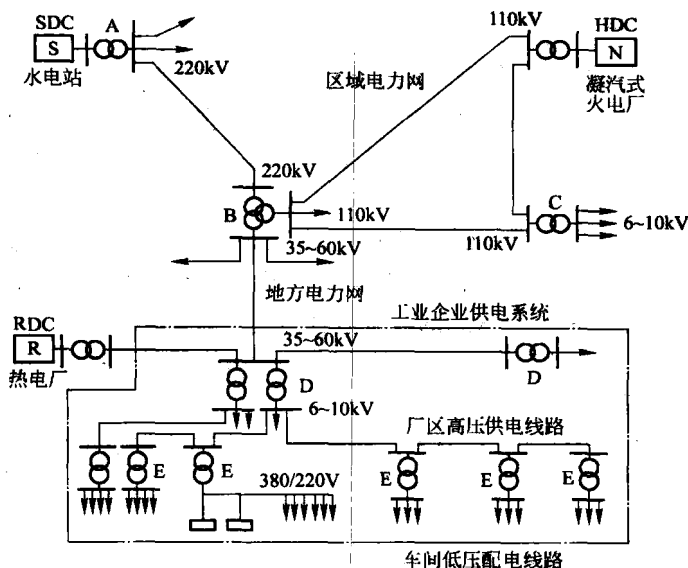


图 1-4 工业企业供电系统图

米,如图 1-4 中变电所 C 和 D。

只用来接受和分配电能,而不承担变换电压任务的场所,称为配电所,多建在工厂内部。配电所与变电所不同之处在于配电所没有电力变压器,不需要变换电压。

用来将交流电流变换为直流电流,或反之的电能变换场所称为变流站。

这里需要指出,为什么要采用高压输电呢?这是因为,在导线截面和线路电压损失一定的条件下,输电电压越高,则输送距离越远,输送功率也越大。如果输送功率、送电距离和线路电压损失一定时,则输电电压越高,其导线截面将越小,可以大大节省导线所用的有色金属,所以必须采用高压输电。

#### 1.1.1.3 电力线路(也称输电线)

电力线路是输送电能的通道。由于火力发电厂和水力发电厂多建在水力、煤等动力资源丰富的地方,距电能用户较远,所以需要各种不同电压等级的电力线路,作为发电厂、变电所和电能用户联系起来的纽带,将发电厂生产的电能源源不断地送到电能用户。

通常,把由降压变电所分配给用户的 10kV 及以下电力线路,称为配电线路;而把电压在 35kV 及以上的高压电力线路称为送电线路。

#### 1.1.1.4 电能用户(又称电力负荷)

在电力系统中,一切消费电能的用电设备均称为电能用户。用电设备按其用途可分为:动力用电设备(如电动机等),工艺用电设备(如电解、冶炼、电焊、热处理等设备),电热用电设备(如电炉、干燥箱、空调等),照明用电设备和试验用电设备等,它们分别将电能转换为机械能、热能和光能等不同形式的适于生产需要的能量。

根据 1986 年统计资料,按行业分,我国电能用户用电量比例为:工业 72.9%,农业 13.7%,交通运输 1.16%,市政及商业 4.4%,生活 7.8%。这些数字表明:工业是电力系统的最大电能用户。因此,学好工厂供电,可以做好工矿企业计划用电、安全用电和节约用电。

### 1.1.2 电力系统运行的特点

电力系统的运行与其他工业生产相比,具有以下明显的特点:

(1) 电能不能大量储存。电能的生产、输送、分配和消费,实际上是同时进行的。即在电力系统中,发电厂任何时刻生产的电能,必须等于同一时刻用电设备所消耗的电能与电力系统本身所消耗的电能之和。

(2) 电力系统暂态过程非常短促。发电机、变压器、电力线路和电动机等设备的投入和切除,都是在一瞬间完成的。电能从一地点输送到另一地点所需的时间也很短促。电力系统由一种运行状态到另一种运行状态的过渡过程也是非常短促的。

(3) 与国民经济各部门及人民生活有极为密切的关系。供电中断或供电质量差都会带来严重的损失和后果。

因此,对电力系统的设计和运行有着严格的要求,必须确保供电的可靠性、经济性和电能质量等指标满足用户要求。

## 1.2 工业企业供电系统概述

工业企业供电系统由总降压变电所、车间变电所、厂区高低压配电线路以及用电设备等组成。图 1-4 中虚线框内所表示的即为工业企业供电系统,是联合电力系统的一部分,其具体任务是按企业所需要的容量和规格把电能从电源输送并分配到用电设备。考虑到大型联合企业的生产对国民经济的重要性,需要自建电厂作备用电源;或者有的企业为了满足供热以及用电量大又不准停电的要求,有时一个企业或几个企业单独或联合建立发电厂,满足供热与供电的需要。这种情况,必须经过技术上和经济上综合分析,证明确实具有明显的优越性时,方可建立适当容量的自备电厂。要求供电不能中断的一般工业企业,也可以采取从电力系统两个独立电源进行供电的方式。所谓独立电源,是互不联系,没有影响,或联系很少影响很小的两个电源。获得两个独立电源的方法,除建立自备电厂外,也可以采用两条进线分别由不同上级变电所,或由上级变电所中两台不同变压器、两段不同母线供电。

近年来,由于某些大型企业用电量增大,供电可靠程度要求又高,例如大型矿山、冶金联合企业、电弧炉冶炼以及大型铝厂等,此时可将超高压 110~220kV 直接引进总降压变电所,且由几路进线供电,如图 1-4 中变电所 C,由 110kV 环形电网直接供电。又如某铝厂由 220kV 四路进线,某热轧厂用 110kV 三回电缆线路直接供电给总降压变电所。这对企业增容,减少网路上电能损耗和电压损失,以及节省导体材料都有十分重大的意义。

### 1.2.1 总降压变电所

总降压变电所是对工业企业输送电能的中心枢纽,故也称它为中央变电所。它与系统中的地方变电所一样,也是由区域变电所引出的 35~220kV 网路直接受电,经过一台或几台电力变压器降为向企业内部各车间变电所供电。企业中总降压变电所的数量取决于企业内供电范围和供电容量。有的大型联合企业内设有 20 几个总降压变电所,分别担负各区域供电。为了提高供电可靠性,在各总降压变电所之间亦可互相联系。冶金企业的总降压变电所中通常设置两台甚至多台电力变压器,由两条或多条进线供电,每台容量可达几千

甚至几万千伏安,其二次侧出口分别接到二次母线的各段上,由母线上再引出多条 3~10kV 线路供电给各用电区的车间变电所,如图 1-4 所示。

在中型冶金企业中一般只建立一个总降压变电所,多由两回线供电。小型工业企业可以不建立总降压变电所,而由相邻企业供电或者几个小型企业联合建立一个共用的总降压变电所,一般仅由电力系统引进一条进线供电。企业中究竟设置多少个总降压变电所,主要视需要容量与供电范围,并通过技术经济综合分析、方案比较后来决定。

一般地,大型工厂和某些负荷较大的中型工厂,常采用 35~110kV 电源进线,先经总降压变电所将 35~110kV 的电源电压降至 3~10kV,然后经过高压配电线路将电能送到各车间变电所,再由 3~10kV 降至 380/220V,最后由低压配电线路将电能送至车间用电设备。这种供电方式称为二次降压供电方式。

### 1.2.2 车间变电所

车间变电所从总降压变电所引出的 6~10kV 厂区高压配电线路受电,将电压降为低压如 380/220V 对各用电设备直接供电,如图 1-4 变电所 E。在一个车间内根据生产规模、用电设备的多少、布局和用电量的大小等情况,可设立一个或多个车间变电所。在车间变电所中,设置一台或两台最多不宜超过 3 台、容量一般不超过 1000kV·A 的电力变压器,而且采取分列运行,这是为了限制短路电流而采取的相应措施。但近年来由于新型开关设备断路容量的提高,车间变压器的容量已可以采用 2000kV·A 的。车间变电所通过车间低压线路给车间低压用电设备供电,其供电范围一般为 100~200m。生产车间的高压用电设备如轧钢车间主轧机、烧结厂主抽风机、高炉水泵、以及选矿车间的球磨、粉碎机等高压电动机,则直接由车间变电所的高压 3~10kV 母线供电。

另外,一般的中小型工厂,多采用 6~10kV 电源进线,或采用 35kV 电源进线,经变电所一次降至 380/220V。这种供电方式称为一次降压供电方式。

在各种变电所中除电力变压器以外,尚有其他各种电气设备,如高压断路器,隔离开关,电流、电压互感器,母线,电力电缆等,这些直接传送电能的设备,通常称为一次设备。此外尚有辅助设备如保护电器、测量仪表、信号装置等,称其为二次设备。

### 1.2.3 厂区配电线路

工业企业厂区高压配电线路主要作为厂区内传送电能之用。电压为 3~10kV 的高压配电线路尽可能采用水泥杆架空线路,因为架空线路投资少,施工简单,便于维护。但厂区内厂房建筑物密集,架空敷设的各种管道纵横交错,电机车牵引用电网以及铁路运输网较多,或者由于厂区内腐蚀性气体较多等等限制,某些地段不便于敷设架空线路时,可以敷设地下电缆线路,但电缆线路的投资常常超过架空线路的 2~4 倍。

车间低压配电线路用以向低压用电设备传送电能,一般多采用明敷的线路,即利用瓷瓶或瓷夹作绝缘,沿墙或沿棚桁架敷设。在车间内如果有易燃或易爆气体或粉尘时,则于车间外沿墙明敷设或于车间内采用电缆、导线穿管敷设。穿管敷设的线路通常可以沿墙沿棚敷设明管,也可以预先将管埋入墙棚之内。低压电缆线路可以沿墙或沿棚悬挂敷设,也可以置于电缆暗沟内敷设。车间内电动机支线多采用穿管配线。

对矿山来说,井筒及井巷内高低压配电线路均应采用电缆线路,沿井筒壁及井道壁敷

设,每隔2~4m用固定卡加以固定。在露天矿采场内多采用移动式架空线路或电缆线路,但高低压移动式用电设备(如电铲、凿岩机等),应采用橡胶绝缘的电缆供电。

车间内电气照明与动力线路通常是分开的,尽量由一台变压器供电。动力设备由380V三相供电,而照明由220V相线与零线供电,但各相所接照明负荷应尽量平衡。事故照明必须由可靠的独立电源供电。

车间低压线路虽然不远,但用电设备多且分散,故低压线路较多,电压虽低但电流却较大,因此导线材料的消耗量往往超过高压供电线路。所以,正确解决车间配电系统是一项很复杂而重要的工作。

电能是工业企业生产的最主要的能源,保证车间电能供应是非常重要的。一旦供电中断,将破坏企业的正常生产,造成重大损失。如某些设备(如高炉供水、矿井瓦斯排出、炼钢浇铸吊车等等)即使短时间断电,都会造成巨大损失,甚至损坏设备发生人身伤亡等事故。可见保证工业企业正常供电是极为重要的。因此当前企业供电系统均装设各种保护装置和自动装置,及时发现故障和自动切除故障,保证可靠地供电。此外企业供电设备和供电系统正确的选择、设计、安装、维护运行也是极为重要的。

### 1.3 电力系统的电压

#### 1.3.1 电力系统的额定电压

为使电气设备生产标准化,便于大批生产,使用中又易于互换,电气设备的额定电压必须统一。所谓额定电压是指发电机、变压器和一切用电设备正常运行时获得最佳经济效果的电压。

##### 1.3.1.1 确定电力系统额定电压的基本原则

###### A 线路的额定电压

由于线路中有电压损失,如图1-5中的用电设备1~4将要得到不同的电压,首端的用电设备得到的电压比末端的高。由于在运行线路上各点电压也不恒定,随负荷变化而变化,所以规定:线路的额定电压为线路首端电压 $V_1$ 和末端电压 $V_2$ 的算术平均值,即:

$$V_e = (V_1 + V_2) / 2$$

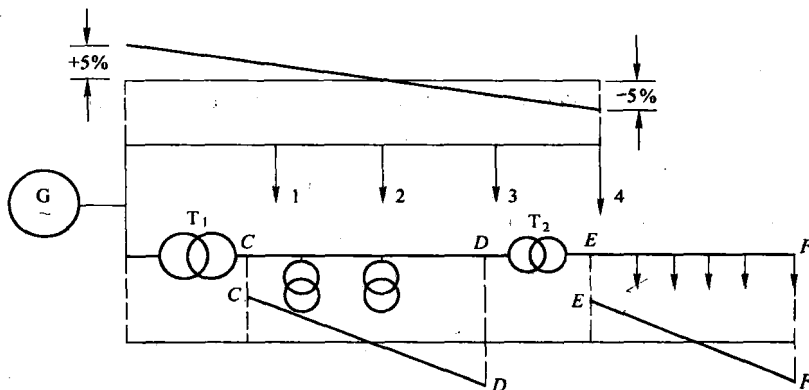


图 1-5 电网额定电压的说明

## B 用电设备的额定电压

规定:用电设备的额定电压等于供电线路的额定电压。一般用电设备的实际工作电压允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内变动,而线路的电压损失一般为 $10\%$ ,所以始端电压 $V_1$ 比额定电压 $V_e$ 高 $5\%$ ,而末端电压 $V_2$ 比 $V_e$ 低 $5\%$ ,从而保证了所有用电设备均处在良好的运行状态。

## C 发电机及变压器的额定电压

发电机处在线路首端。因此规定:发电机的额定电压 $V_e$ 比接入它的线路电压高 $5\%$ 。例如 $10\text{kV}$ 线路中,发电机的额定电压为 $10.5\text{kV}$ 。

变压器具有用电设备和发电机的双重作用。它的一次线圈接受电能,相当于用电设备;二次线圈输出电能,相当于发电机。变压器的额定电压为:

(1) 变压器一次绕组的额定电压分两种情况,当变压器直接与发电机相连时,如图 1-5 中的变压器 $T_1$ ,其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同,即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 1-5 中的变压器 $T_2$ ,则可看作是线路的用电设备,因此一次绕组额定电压与电网的额定电压相同。

(2) 变压器二次绕组的额定电压也分两种情况:但首先要明确,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为空载时的电压,当二次绕组带上额定负载后,其中有电流通过,产生了阻抗压降,约为 $5\%$ 。因此如果变压器二次侧供电线路较长(高压电网)时,则二次绕组的额定电压比电网额定电压高 $10\%$ (其中一部分补偿变压器满载时内部 $5\%$ 的电压降,另一部分考虑变压器二次侧电压应高于电网额定电压 $5\%$ ),如图 1-5 中的 $T_1$ 。如变压器二次侧线路不太长(如低压电网)或变压器短路电压值较小时,变压器二次侧的额定电压,可采用高于电网额定电压 $5\%$ ,如图 1-5 中的变压器 $T_2$ 。

### 1.3.1.2 电力系统额定电压的分类

按照国家标准规定,额定电压分为两类。

#### A 3kV 以下的设备与系统的额定电压

此类额定电压包括直流、单相交流和 $3\text{kV}$ 以下的三相交流三种,如表 1-1 所示。供电设备的额定电压系指电源(蓄电池、交直流发电机、变压器的二次绕组等)的额定电压。

表 1-1 3kV 以下的额定电压/V

直 流		单 相 交 流		三 相 交 流		备 注
用电设备	供电设备	用电设备	供电设备	用电设备	供电设备	
1.5	1.5					(1) 直流电压均为平均值,交流电压均为有效值; (2) 标有·号者只作为电压互感器、继电器等控制系统的额定电压; (3) 标有*号者只作为矿井下、热工仪表和机床控制系统的额定电压; (4) 标有**号者只准许在煤矿井下及特殊场所使用的电压; (5) 带有斜线标号者,斜线之上为额定线电压,斜线之下为额定相电压; (6) 标有▽号者只供作单台设备的额定电压
2	2					
3	3					
6	6	6	6			
12	12	12	12			
24	24	24	24			
36	36	36	36	36	36	
		42	42	42	42	
48	48					
60	60					
72	72					
110	115	100	100	100	100	
		127 <sup>*</sup>	133 <sup>*</sup>	127 <sup>*</sup>	133 <sup>*</sup>	
220	230	220	230	380/220	400/230	
400 <sup>▽</sup> , 440	400, 460			660/380	690/400	
800 <sup>▽</sup>	800					
1000 <sup>▽</sup>	1000					
				1140 <sup>**</sup>	1200 <sup>**</sup>	



## B 3kV 以上的设备与系统的额定电压

此类电压均为三相交流线电压,国家标准规定如表 1-2 所示。

表 1-2 额定电压及其最高电压/kV

用电设备与系统额定电压	供电设备额定电压	设备最高电压	备注
3,3.15 $\nabla$	3.15,3.3	3.5	(1) 表中标有 * 号者只用作发电机的额定电压,与其配套的用电设备额定电压可取供电设备的额定电压; (2) 设备最高电压通常不超过该系统额定电压的 1.15 倍; (3) 变压器二次绕组挡内 3.3、6.6、11kV 电压适用于阻抗值在 7.5% 以上的降压变压器; (4) 表中标有 $\nabla$ 号者只用作升压变压器和降压变压器一次绕组和发电机端直接连接的情况
6,6.3 $\nabla$	6.3,6.6	6.9	
10,10.5 $\nabla$	10.5,11	11.5	
	13.8*		
	17.75*		
	18*		
	20*		
35		40.5	
60		69	
110		126	
220		252	
330		363	
500		550	
750			

### 1.3.2 供电电压的选择

(1) 对于小型无高压设备的工厂,设备容量在 100kW 以下,输电距离在 600m 以内的,可采用 380/220V 电压供电。

(2) 对于中小型工厂,设备容量在 100~2000kW,输电距离在 4~20km 以内的,采用 6~10kV 电压供电。

(3) 对于大中型工厂,设备容量在 2000~50000kW,输电距离在 20~150km 以内的,采用 35~110kV 电压供电。

确定供电电压时,应综合考虑。在输送功率和距离一定时,选用电压越高,电压和电能损失就越小,电压质量越容易保证,导线截面就越小,发展增容余地就越大。但线路绝缘等级增高,塔杆尺寸加大,一次性投资较大。因此,应多方比较,选择合适的供电电压等级。

### 1.3.3 供电电压的质量

决定工厂供电质量的指标有:电压、频率、可靠和经济。其中电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个重要指标,它们直接影响电气设备的正常运行。系统电压主要取决于系统中无功功率的平衡,无功功率不足,则电压偏低;频率能否维持不变主要取决于系统中有功功率的平衡,频率偏低,表示系统发出的有功功率不足,应设法增加发电机出力。一般交流电力设备的额定频率为工频 50Hz,其偏差不得超过  $\pm 0.5\text{Hz}$ ,若电力系统容量超过 3000MW 时,频率偏差不得超过  $\pm 0.2\text{Hz}$ ,但是频率的调整主要依靠发电厂。对工厂供电系统而言,提高电能质量主要是提高电压质量。

在额定频率下,若加在用电设备上的实际电压与额定电压相差过大时,会导致设备不能正常工作甚至造成危害。当电压降低时:(1)电动机转矩急剧减小,转速下降,导致产品报废,甚至造成重大事故;(2)电动机启动困难,运行中温度升高,加速了绝缘老化,缩短了寿命;(3)若输送功率不变,会导致线路中电流增大,电功率和电能损失增加,加大了生产成本;(4)加在白炽灯两端的电压低于额定电压 5% 时,发光效率约降低 18%,低于额定电压