

中等专业学校教学用书

工业企业供电

(修订版)

吉林电气化专科学校 丁 昱 主编

冶金工业出版社

修 订 版 前 言

1982年由冶金工业出版社出版的丁昱编的中专教材《工业企业供电》，经多年使用，普遍反映该教材内容基本符合要求，对提高教材质量起到了一定作用。由于中等专业学校学制改为四年，为适应当前专业培养目标的需要，我们在总结多年讲授这门专业课教学经验的基础上，同时听取现场从事企业供电实际工作同志的意见，并根据1986年冶金、有色系统中专教材会议精神和修改后的“工业企业供电”课程教学大纲，对原《工业企业供电》教材做了修订。

修订后的教材，在重点讲授有关工业企业供电的基本理论与基本知识的同时，突出有关供电系统的计算、理论与现场实际的密切结合，并注意反映新技术、新规范及新设备。修订版中压缩了高压电器部分的篇幅，突出工业企业供电系统中常用的典型设备，合并部分章节，如负荷计算与无功补偿、短路电流计算与电气设备选择等。本书还注意了内容的内在联系和系统性；增添了新型晶体管单元继电器的内容，缩减了有关晶体管成套型保护装置的篇幅，取消了小字排印部分。另外，还简单介绍了微型机在供电系统中的应用。在各章的后面，仍保留了必要的复习思考题和习题，最后附有毕业设计所需要的各种附表。

本教材可作为中等专业学校工业电气自动化专业的教材，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。

本教材共分十章，其中第一、五、六、七、八章由丁昱同志修订；第二、三、四章由洪双田同志修订；第九、十章由高国志修订，全书由丁昱同志负责主编。

参加本教材审稿会的有：山东省冶金工业学校孙启玉同志，攀枝花冶金工业学校徐国强同志，天津市冶金机电工业学校靳希才同志，上海冶金工业学校洪双田同志，吉林电气化专科学校高国志、丁昱等同志。与会同志都是多年主讲《工业企业供电》课程的教师，对本教材进行了细致的审查，最后由田义景同志主审。与会同志提出了许多宝贵意见，特在此致以衷心感谢。

由于我们的水平所限，书中内容难免有错误和不妥当之处，请读者批评指正。

编 者

1990年4月

前 言

本书是根据一九七八年冶金部中等专业学校教材工作会议制订的电气化专业教学计划和《工业企业供电》课程教学大纲编写的。

书中内容共分十一章。前三章除简单介绍了发电厂、变电所以及电力系统的基本知识以外,着重对工业企业供电系统、高低压供电线路、变电所结构以及常用的各种电器的结构、工作原理等作了深入的叙述。四到六章为有关理论计算内容,着重讲述电力负荷计算、短路电流计算以及导线截面和电器选择的原理和具体方法等。在七、八、九三章里集中叙述变电所的二次结线系统,对工业企业供电系统中所用的各种继电保护装置、控制回路、信号以及自动装置等,都作了全面系统的叙述。在最后两章里介绍了功率因数提高、无功功率的补偿以及防雷和保安接地与接零等问题,在各章的最后均附有复习思考题和习题。

书中适当介绍了国内外新成就新技术,如原子能发电厂、金属全封闭型高压成套装置、无功功率的动态补偿以及由晶体管组成适用于企业的各种继电保护装置和自动重合闸装置等。

由于篇幅所限,书中部分内容以小字印刷。如果教学时间不足,也可以将此部分内容作为学生课外自学内容,各校可自行取舍。

本书作为中专电气化专业《工业企业供电》课程的教材,也可以供大专院校有关专业的师生或工厂有关技术人员的参考。

本书曾由鞍山冶金工业学校和吉林冶金电气化学校的部分同志审阅,并提出了许多宝贵意见,特在此致以衷心感谢。

由于编者水平所限,书中内容难免有不妥和错误之处,请读者提出批评和指正。

编 者

1980年3月

目 录

第一章 概论	1
第一节 电力系统的一般概念.....	1
第二节 工业企业供电系统概述.....	6
第三节 电力系统的额定电压.....	8
第四节 三相电力系统中性点工作状态.....	10
第二章 工业企业常用高压电器	15
第一节 高压断路器及其操作机构.....	15
第二节 隔离开关、负荷开关及熔断器.....	25
第三节 电流互感器.....	29
第四节 电压互感器.....	33
第三章 工业企业供电系统	38
第一节 电力负荷分级及其对供电要求.....	38
第二节 工业企业供电网络的结线方式.....	39
第三节 变电所的主结线.....	41
第四节 工业企业供配电线路.....	46
第五节 工业企业变电所.....	52
第四章 负荷计算与无功补偿	63
第一节 负荷曲线与计算负荷.....	63
第二节 用电设备的工作制及其额定容量的确定.....	65
第三节 负荷计算方法.....	67
第四节 供电系统的功率损耗与电能损耗.....	71
第五节 功率因数与无功补偿.....	76
第六节 变压器容量选择和经济运行.....	79
第七节 负荷计算示例.....	81
第八节 谐波抑制与动态无功补偿.....	83
第五章 导线与电缆截面选择	89
第一节 按允许发热条件选择导线和电缆截面.....	89
第二节 线路电压损失计算.....	96
第三节 按允许电压损失选择导线截面.....	107

第四节	按经济电流密度和机械强度选择导线截面.....	111
第六章	短路电流计算与高压电气设备选择.....	118
第一节	概述.....	118
第二节	短路电流的变化过程.....	120
第三节	短路回路的阻抗.....	125
第四节	短路电流计算.....	133
第五节	短路电流力效应与热效应.....	144
第六节	高压电气设备的选择.....	151
第七章	工业企业供电系统的继电保护.....	165
第一节	继电保护的基本知识.....	165
第二节	线路过电流保护装置.....	181
第三节	线路电流速断保护装置.....	192
第四节	线路方向过流保护装置.....	199
第五节	线路接地保护装置.....	208
第六节	变压器过流、速断与过负荷保护.....	213
第七节	变压器差动保护.....	220
第八节	变压器瓦斯保护与变压器保护装置实例图.....	237
第九节	高压电动机保护.....	241
第十节	6~10kV并联电容器组的保护.....	252
第十一节	晶体管成套保护装置简介.....	256
第八章	变电所的控制、信号及自动装置.....	268
第一节	变电所的自用电与操作电源.....	268
第二节	高压断路器的控制回路.....	284
第三节	变电所的信号装置.....	292
第四节	直流系统的绝缘监察.....	297
第五节	备用电源自动投入装置.....	301
第六节	自动重合闸装置.....	308
第九章	过电压保护与接地.....	317
第一节	过电压的产生及其危害.....	317
第二节	直击雷的防护.....	320
第三节	感应雷的防护.....	324
第四节	接地的基本知识.....	327
第五节	保护接地与接零.....	330
第六节	接地装置计算.....	334

第十章 计算机在工业企业供电中的应用	340
第一节 概述.....	340
第二节 计算机在供电实时控制中的应用.....	341
第三节 计算机在供电设计中的应用.....	349
附录	356
附表3-1 GFC-3B型手车封闭式高压开关柜一次线路方案表.....	356
附表4-1 SL ₇ 系列铝线圈低损耗配电变压器技术数据.....	357
附表4-2 SJL型三相双绕组铝线电力变压器技术数据.....	358
附表4-3 并联电容器的技术数据.....	360
附表5-1 油浸纸绝缘铅包铠装电力电缆单根敷设于+25℃土壤中长期允许 电流.....	361
附表5-2 油浸纸绝缘铅包电力电缆单根敷设于+25℃空气中长期允许电流.....	362
附表5-3 500V橡胶绝缘电缆敷设在空气中和土壤中长期允许电流.....	362
附表5-4 塑料绝缘导线芯线最高允许温度为70℃, 空气温度为25℃时长期 允许电流.....	363
附表5-5 橡胶绝缘导线芯线最高允许温度为65℃, 空气温度为25℃时长期 允许电流.....	364
附表5-6 LJ型裸铝绞线的允许电流($\vartheta_y=70^\circ\text{C}$, $\vartheta_0=25^\circ\text{C}$)以及单位长度有 效电阻和感抗.....	365
附表5-7 LGJ型钢芯铝绞线的允许电流($\vartheta_y=70^\circ\text{C}$, $\vartheta_0=25^\circ\text{C}$)以及单位长 有效电阻和感抗.....	365
附表5-8 扁铜、扁铝以及扁钢在 $\vartheta_y=70^\circ\text{C}$, $\vartheta_0=25^\circ\text{C}$ 时的长期允许电流.....	366
附表5-9 周围环境温度不同于25℃时导体长期允许电流的温度修正系数 K_{W}	366
附表5-10 电缆直埋于地中不同土壤热阻系数时允许电流修正系数.....	367
附表5-11 并排敷设在地中(包括地中穿管及直埋)的多根电缆允许电流的修 正系数.....	367
附表5-12 低压熔断器的技术数据.....	367
附表5-13 自动开关基本技术数据.....	368
附表6-1 企业中常用高压断路器的技术数据.....	369
附表6-2 企业中常用高压隔离开关的技术数据.....	370
附表6-3 负荷开关的技术数据及其所配用的熔断器和热脱扣器.....	371
附表6-4 高压熔断器的技术数据.....	373
附表6-5 浇注绝缘高压电流互感器的技术数据.....	375
附表6-6 电压互感器的技术数据.....	378
附表6-7 常用测量仪表与继电器电流线圈的负荷值.....	380
附表6-8 常用测量仪表及继电器的电压线圈消耗容量.....	381

附表6-9	支柱式绝缘瓷瓶和绝缘瓷套管的技术数据	382
附表7-1	DL-20(30)系列电流继电器的技术数据	383
附表7-2	DY-20(30)系列电压继电器的技术数据	383
附表7-3	时间继电器的技术数据	384
附表7-4	中间继电器的技术数据	385
附表7-5	信号继电器的技术数据	386
附表7-6	GL-10和LL-10系列电流继电器的技术数据	387
附表9-1	阀型避雷器的电气特性参数	388
附表9-2	GX系列管式避雷器的结构数据和电气特性	389

第一章 概 论

第一节 电力系统的一般概念

电力工业在社会主义建设中占有十分重要的地位，这是因为电能既可以方便而经济地远距离输送与分配，又可以方便地和其他各种能量互相转换，在使用时也易于操作和控制，并且它和新兴的科学技术有着密切不可分割的联系。因此，在国民经济各部门，一切现代化工农业生产，交通运输和人民生活中，电能得到了日益广泛的和大量的应用。可以说，电气化是生产过程高度机械化和自动化，采用最新科学技术成就和提高劳动生产率的技术基础，也是改善人民生活的一个重要手段。国家的生产水平和人民的生活水平，在很大程度上依赖于电力工业的发展水平。

电能由发电厂供给。为了经济起见，发电厂多建立在动力资源丰富的地方，通常与工业企业可能相距很远，这就产生了电能的输送问题；电能输送到工矿企业区之后由于生产厂房和车间分布很广，因而又产生了电能的分配问题。现仅就电能的生产、输送和分配的有关基本知识介绍于下。

一、发电厂

发电厂是把其他形式的能量（燃料的化学能、水能、风能、原子能、太阳能、地热能等）转换成电能的一种特殊工厂。根据所利用能量形式的不同发电厂可有以下几种：（1）火力发电厂；（2）水力发电厂；（3）原子能发电厂；（4）风力发电厂；（5）其他类型的发电厂，如太阳能发电厂和地热发电厂等。发电厂也可以根据用户性质和供电范围分为：区域性发电厂、城市发电厂，工业企业发电厂，等等。

下面将火力、水力和原子能发电厂作一简单介绍：

1. 火力发电厂 在火力发电厂中，燃料的化学能转变成电能。所用燃料有固体煤、液体油和天然气等；火力发电厂的原动机有汽轮机、柴油机和燃气轮机等。当前大型火电厂多采用汽轮机。火电厂通常又可分为凝汽式火电厂和兼供热式的热电厂。

凝汽式火电厂的生产过程如图 1-1 所示。固体燃料煤经破碎磨成粉末，由喷燃器喷入炉膛，以悬浮状态充分燃烧，产生高温使水加热变成高压蒸汽。煤粉在燃烧时所需要的空气，由鼓风机将预热后的热空气吹入炉膛，这样既可以充分利用烟道的余热又可以提高炉膛的温度。给水在进入锅炉之前需经化学处理、除氧预热之后再加入锅炉。水在锅炉中被加热变成蒸汽，经管道引进汽轮机，推动汽轮机转动而带动发电机，发出电能，然后经升压变压器升压后送至母线，向远距离的用户供电。

蒸汽在汽轮机中推动叶片后排出，一部分于中段抽出对给水除氧加热，另一部分最后排入凝汽器，经凝结后再送入给水系统。这种凝汽式火电厂需要大量的冷却循环水，大部分热量被循环水白白带走而损失掉，因此它的效率很低，只有30~40%左右。

热电厂与凝汽式火电厂不同之处主要在于，汽轮机中一部分作过功的蒸汽，从中间段抽出来供给热用户，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

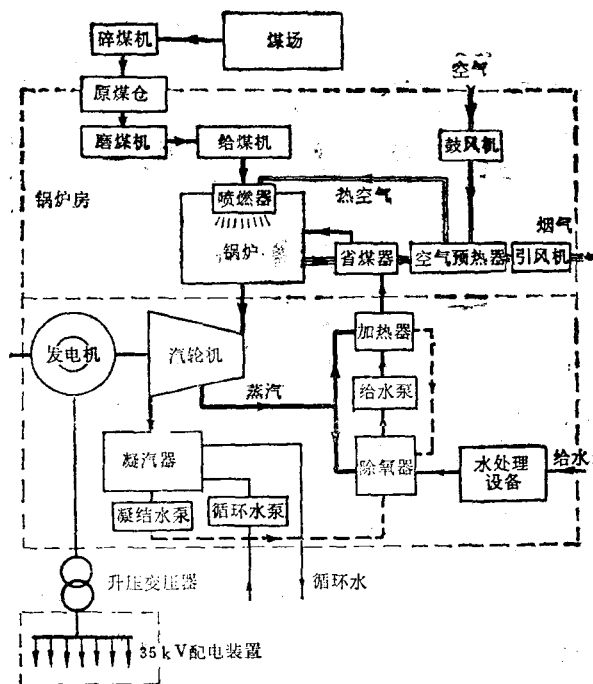


图 1-1 凝汽式汽轮机发电厂生产过程示意图

环水带走的热损失。现代热电厂的效率可达60~70%。

柴油机发电多适用于农村、林区、地质勘察和土建施工等供电，容量一般都不大。燃气轮机发电厂是利用重油或煤粉在燃气轮机内直接燃烧的能量的一种新型热力发动机，它带动发电机将热能转换成电能。

2. 水力发电厂 水力发电厂也称为水电站，它是利用河水从上游流到下游时水流的位能转换为电能。原动机是水轮机，水轮机再带动发电机，将机械能转换成电能。按工程实用单位， 1m^3 的水重约为1000kg， $1\text{kW}=102\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ，则水力发电厂总容量可由下式算出：

$$P = \frac{1000QH}{102}\eta = 9.81QH\eta, \text{ kW} \quad (1-1)$$

式中 Q ——通过水轮机的水流量， m^3/s ；

H ——水力发电厂的水头（上下游水的落差），m；

η ——水力发电厂的总效率，现代水力发电厂一般为0.85~0.86。

由上式可见，水力发电厂总容量与水的流量及水头的大小成正比。在河水流量一定时，要获得较大的发电容量，必须有较高的水头（落差）。因此必须用人工的方法使上下游形成较大的集中落差。最常用的方法，是在河流上修建拦河坝，形成水库，抬高上游水位，即可形成大的水位差。这种水电厂称为堤坝式水电厂。它又可分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建筑在拦河坝后面，它不承受水的压力，多适于高水头大中容量水电厂。河床式水电厂的厂房与拦河坝相接，成为坝的一部分，它适于低水头（低于20~30m）的小容量的水电厂。另一种集中落差的方法是利用引水道。在有相当坡度的弯曲河

段上游筑一低坝，挡住河水，然后用引水道将水直接引至河段的末端。因此，这种发电厂称为引水式发电厂。此外，当系统有多余电能时，将下游水抽至上游水库，以备发电，则称其为抽水蓄能发电厂。

图1-2为坝后式水电厂横向剖面图。水由上游水位1沿压力进水管4进入水轮机蜗壳8，再经蜗壳导轮冲动导轮上导片9，带动水轮机的转子转动，然后通过尾水管10流至下游水位。2

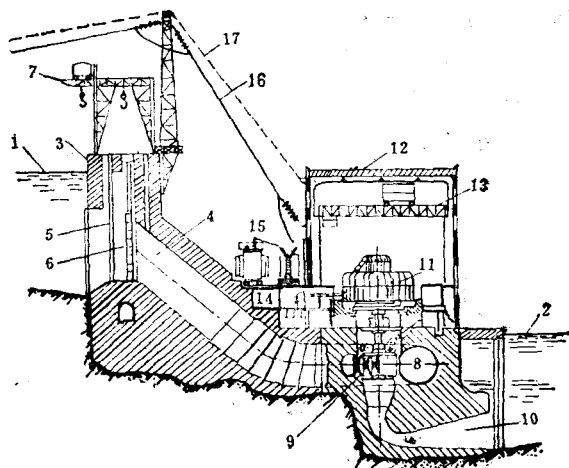


图 1-2 坝后式水电站横向剖面图

1—上游水位；2—下游水位；3—堤坝；4—压力进水管；5—检修用闸门；6—进水闸门；7—闸门升降吊车；8—水轮机蜗壳；9—水轮机导片；10—尾水管；11—发电机；12—厂房；13—检修吊车；14—室内配电装置；15—升压变压器；16—输电线；17—架空地线

发电机11装在坝后发电机室内，它的轴与水轮机的轴直接连接。生产出来的电能送入屋内配电装置14中，经它送至屋外升压变电器15；再从变压器经过高压断路器等沿架空线16送至户外配电装置（图中未画出），然后再送入系统，这是因为可用于发电的水力资源，一般总是离用户较远。因此，大型水电厂大都是直接升压后送入系统。钢线17是架空避雷线，用以防止架空输电线遭到直接雷击。室内的桥式吊车13用于机组的安装与检修。闸门6用来开闭进入压力进水管的水，检修它时需放下槽5内的检修闸门。

水力发电厂的生产过程比较简单，不消耗燃料，自用电少，年运行费用较低，但建设投资大，工期长，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。

我国的水力资源极为丰富，地质条件优越，若修建水力发电厂，又能收到综合利用的效益，如灌溉、防洪、航运、渔业等。建国四十多年相继建成许许多多大中型水力发电厂，如葛洲坝水力发电厂总装机容量达270多万kW；我国农村小型水电站更为普遍。为满足四化建设的需要还将建成更多更大的水力发电厂。我国海岸线很长，港湾交错，蕴藏着丰富的潮力资源，建造潮汐发电厂的潜力是很大的。

3. 原子能发电厂 又称核电站，它和火力发电厂类似，只不过它的锅炉是原子反应堆，利用核裂变能转化为热能，并以水或其他物质作为载热剂，即水经过反应堆得到加热，成为高温高压的热水。热水流经蒸汽发生器，把热量传给第二回路中的水，使之变成蒸汽去推动汽轮机带动发电机发电。反应堆主要由核燃料元件、减速剂、反射层、载热剂、堆内支承结构、反应堆外壳、控制棒以及再生区和实验孔道等组成。反应堆类型较多，当前多利用轻水堆建成发电厂。轻水堆进一步又可分成沸水堆和压水堆两种，如图1-3所示。

原子能发电厂所需要的核燃料极少，例如一个50万kW的核电站一年仅需600kg的铀，相当于标准煤150万t。因此，它可以建立在远离其他一次能源（如煤、水电）的用电中心处或用热中心处，如我国的广东大亚湾和浙江秦山原子能发电厂。一些发达国家为了解决一次能源的枯竭，相继建成几百座核电站，预计到2000年以后世界上原子能发电将占总发电量的40%以上。

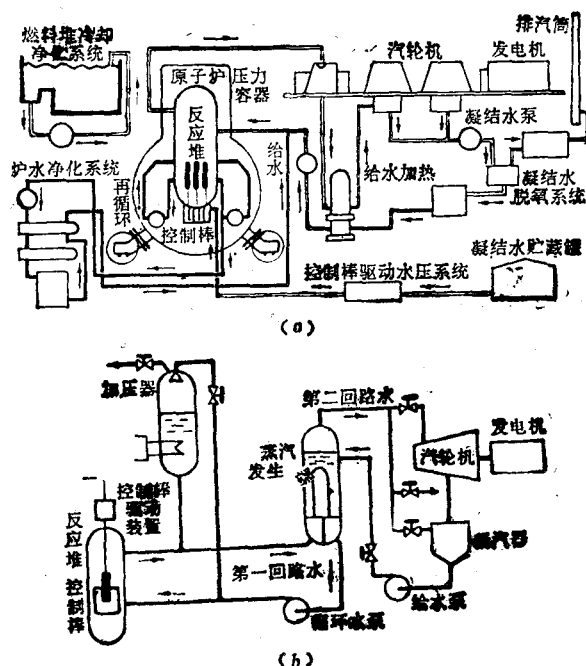


图 1-3 轻水堆原子能发电厂示意图
(a) 沸水堆式 (BWR)，(b) 压水堆式 (PWR)

当前我国发电能源的构成，主要是煤电，约占60%左右，水电约占23%其他约占17%。根据我国国情，今后在相当长的时间内仍以火电为主，积极开发坑口火电；水能是一种再生能源，且可进行综合利用，今后要大力开发水电，它的发电成本低，但投资大、建设周期长；在一些自然能源缺乏少电的地区将有重点有步骤地建设核电站，以改善能源供应；今后还将因地制宜开发多种发电能源，如由地方和群众兴办小水电、小火电、风力发电和地热发电等。

二、变电所

变电所是接受电能与分配电能并改变电能电压的枢纽。它主要由电力变压器与一些开关等电气设备构成，是发电厂到用户之间的重要环节之一。如果只有开关电气设备等而无电力变压器，仅用以接受电能和分配电能，则称其为配电站或开闭所。总的来说，变电所有升压和降压之分。装有升压变压器的升压变电所一般都是和大型发电厂结合在一起，把发电厂电压升高，再通过高压输电网络将电能送向远方。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。降压变电所将高压电能适当降压后，向某地区或某用户供电。就供电范围的不同，变电所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，分别供给不同距离的用户。它的供电范围较大，是系统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，一般约为数公里，如图1-4中变电所C和D。

三、电力网

电力网是传送电能的通道，它由各种不同电压等级和不同类型的线路构成。电力网是把发电厂、变电所和电能用户联系起来的纽带，它的任务是把发电厂生产的电能输送并分配到用户。电力网按其特性、用途、电压高低和供电范围可分为许多类型，例如直流和交流电力网，城市、农村以及工厂电力网，区域电力网和地方电力网等。

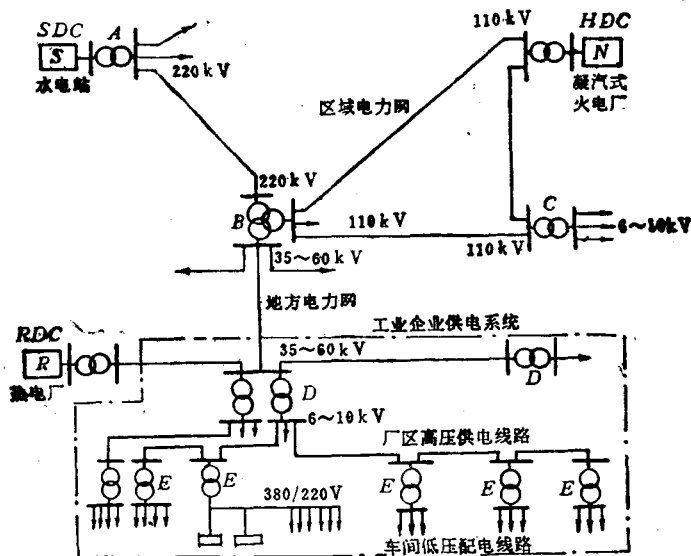


图 1-4 电力系统示意图（虚线框内表示一部分工业企业供电系统图）

1. 地方电力网 它的电压一般不超过110kV,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,如一般工业企业、城市和农村电力网等。

2. 区域电力网 电压在110kV以上、供电距离在几十公里甚至几百公里以上的电力网称为区域电力网。通常可以认为从发电厂出口到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,南到武汉凤凰山全长600多km的500kV线路)。类似这种500kV的超高压输电线路自十一届三中全会以后建成了十几条,而且还建成了葛洲坝到上海南桥的500kV直流输电线路。这些均属区域电力网。

四、电能用户

包括工业企业在内的所有用电单位均称为电能用户。目前我国电能用户用电量比例为:工业企业用电量约为64%,农业用电约为15%,交通运输与市政民用还不到7%,电厂的自用电与网络损耗略大于14%。可见工业企业是最大的电能用户。研究和掌握工业企业供电知识和理论,对改善电能质量,提高供电可靠性,做好工业企业计划用电、安全用电、节约用电,是一项非常重要的任务。

由发电厂、变电所、电力网与电能用户组成的系统称为电力系统,如图1-4所示。为了提高供电可靠性和经济性,随着电力事业的发展,把各个地区孤立的电力系统相互连接起来,构成庞大的联合电力系统。只有这样,系统中的水、火发电厂才能相互配合,互相调剂,实现最佳的经济运行。

第二节 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的供电方式。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的上级变电所,或由上级变电所中不同两台变压器、两段不同的母线供电。

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,此时可将超高电压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。

一、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,故也有称它为中央变电所。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3~10kV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多个总降压变电所，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。

二、车间变电所

车间变电所是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 and 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1000kVA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2000kVA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，其供电范围一般不超过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。

在各变电所中除了电力变压器以外，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。

三、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，一般多采用明敷设的线路，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，也可以预先将管路埋入墙棚之内。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。我们必须认真其对待工业企业供电，努力学好工业企业供电的基本理论，掌握其基本技能，为各个企业的生产提供可靠的高质量的电能，为四化建设做出应有的贡献。

第三节 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，所以电力系统中规定有统一的额定电压等级。根据国民经济发展的需要，考虑技术经济上的合理性以及电气设备制造工业水平和发展趋势等一系列因素，统一制订并经国家标准总局批准颁布额定电压等级。考虑到四个现代化需要，在1959年首次颁布的额定电压的基础上于1981年重新修订颁布了新的额定电压国家标准(GB156—80)。所谓用电设备的额定电压，就是使发电机、变压器和一切用电设备在正常运行时获得最经济效果的电压。按照国家标准规定，额定电

表 1-1 3kV以下的额定电压(V)

直 流		单相交流		三相交流		备 注
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	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					
		100°	100°	100°	100°	
110	115					
		127*	133*	127*	133*	
220	230	220	230	380/220	400/230	
400▽, 440	400, 460			660/380	690/400	
800▽	800					
1000▽	1000					
				1140**	1200**	

压分为两类。

一、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3kV以下的三相交流三种，如表1-1所示。在国家标准中规定受电设备的额定电压与系统的额定电压是一致的。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。

二、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)

受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	3.15,3.3	3.5	①表中标有*号者只用作发电机的额定电压, 与其配套的受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。
6	6.3,6.6	6.9	
10	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			

从表1-1与1-2看出，电压在100V以上时，供电设备额定电压通常均高于受电设备额定电压。其原因是：

(1) 考虑到线路在输送电流时必然产生电压损失，因此规定发电机额定电压应比受电设备额定电压高出5%，用以补偿线路电压损失。

(2) 变压器二次绕组的额定电压高出受电设备额定电压的百分数归纳起来有两种情况：一种情况高出10%，另一种情况高出5%。这是因为：电力变压器二次绕组的额定电压均指空载电压而言，当变压器满载供电时，其本身的一、二次绕组的阻抗将引起一个电压降，从而使变压器满载时，其二次绕组实际端电压较空载时约低5%，但比用电设备的额定电压尚高出5%，利用这个5%补偿线路上的电压损失。可使受电设备上维持其额定电压。这种电压组合情况，多用于变压器供电距离较远时。另一种情况变压器二次绕组额定电压比受电设备额定电压高出5%，只适用于变压器靠近用户，供电范围较小，线路较短，其电压损失可忽略不计。所高出的5%电压，基本上用以补偿变压器满载时其一、二次绕组的阻抗压降。

变压器一次绕组均联接在与其额定电压相应的电力网末端，相当于一个电力负载，所以规定变压器一次绕组的额定电压与受电设备的额定电压相同。

电力网系统的额定电压虽然规定得和受电设备的额定电压相同，但严格地说，由于电压损失的影响，电力网从始端到末端各处的电压是不一样的，离电源越远电压越低，并且

随用户负荷的变化而变化。既然同一电压级的电力网各处的实际电压值都不相同,那么网路的电压在实际计算中究竟用哪个数值来表示最为合理呢?这个问题在计算网路的短路电流时就会遇到。为了简化计算且使问题的处理又趋于合理,通常采用线路的平均额定电压 U_{pj} 来表示线路的电压。所谓线路平均额定电压就是指线路始端最大电压(指变压器最大空载电压)和末端受电设备额定电压的平均值。例如额定电压为10kV的网路的平均额定电压为:

$$U_{pj} = \frac{11 + 10}{2} = 10.5 \text{ kV} \quad (1-2)$$

显然,各级网路的平均额定电压为该级受电设备额定电压的1.05倍。在工业企业内,由于生产机械类型繁多,因而所配用的电动机和电器从容量和电压等级来看,也是类型繁多的。电压等级选定的越多,必然增加变电、配电和控制设备的类型和投资;增加故障的可能性及继电保护的動作时限,不利于迅速切除故障和运行维护;而且要求企业备用的备品备件的品种规格增多,极易造成积压浪费。因此,在同一个企业中,一般不应同时采用两种高压配电电压。近年来有些企业大型生产机械日益增多,用电量很大,从发展趋势看,35kV电压级将成为大型企业的高压配电电压。

第四节 三相电力系统中性点工作状态

在三相电力系统中,电源侧中性点工作状态有两种情况:一为中性点不直接接地系统,通常称为小接地电流系统;一为中性点直接接地系统,常称为大接地电流系统。

一、中性点不接地的三相系统

中点不接地的三相系统如图1-5所示,三相导体对地都分布有电容。为讨论方便,认为均匀分布的电容可用集中于线路中间的电容 C 来表示;各相导体之间的电容较小,略去不计,且三相系统为对称的。在正常运行时,各相导体对地电压为相电压 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$,中点的电位为零,电源各相的电流 $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ 分别等于各相负载电流 $\dot{I}_{FA}, \dot{I}_{FB}, \dot{I}_{FC}$ 与各相对地电容电流 $\dot{I}_{C0}$ 的向量和。三相对地电容电流的向量和为零,故地中无电容电流流过。

当电网中发生单相接地时,各相对地电容发生变化,对地电压也随之变化。 C 相若完全接地时(图1-6), C 相对地电容被短接,对地电压降为零。其他未故障两相的对地电压值升高 $\sqrt{3}$ 倍,即为线间电压。此时中性点的电位不再为零,对地电压也不为相电压。各相对地电压的改变,可认为有三个与电压 $\dot{U}_C$ 大小相等而方向相反的零序电压 $\dot{U}_{A0}, \dot{U}_{B0}, \dot{U}_{C0}$ 相应地加在原有相电压 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 上。这时各相对地电压 $\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$ 分别等于原相电压与零序电压的向量和:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A + \dot{U}_{A0}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B + \dot{U}_{B0}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C + \dot{U}_{C0}$$

由图1-6的向量图可看出, $U'_A = U'_B = \sqrt{3}U_A$, $\dot{U}'_A$ 与 $\dot{U}'_B$ 的相差角为 60° , $U'_C = 0$ 。