

高等学校教学用书

工业企业供电

冶金工业出版社

高等学校教学用书
工业企业供电
东北工学院 耿毅 主编

*

冶金工业出版社出版
(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 22 3/4 字数 541 千字
1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷
印数00,001~9,700册
统一书号: 15062·4328 定价4.30元

前 言

一九七九年我们根据工矿企业自动化专业培养目标的要求，编写了《冶金工业供电》教材。经过几年的使用，普遍反映该教材内容基本上符合教学需要，对提高教学质量起到了一定的作用。

在一九八四年五月教育部公布的“高等学校工科通用专业简介”（审订稿）中，与自动化有关的专业已统一归口，定名为工业电气自动化专业，并明确指出该专业的培养目标为“培养电力拖动及其自动控制系统以及工业企业供电系统的研究、设计和运行方面的高级工程技术人才”。为了适应这个专业培养目标的需要，我们在总结几年来讲授这门专业课的教学经验的基础上，同时听取了部分厂矿及设计研究单位的意见，重新编写出这本《工业企业供电》教材。

在这本教材中，我们针对工业企业供电系统的研究、设计及运行的需要，在重点讲授供电基本理论和基本知识的同时，重视了供电系统的设计与计算；加强了理论教学与工程实际的联系；在内容选取上努力贯彻了少而精原则；有关的技术数据、资料均按新技术政策、新设计规范及新设备产品样本进行了整理修订；并注意在有关章节内介绍了新技术的应用和供电技术的发展趋势。本书可作为高等工科院校工业电气自动化专业的教材，或作为电力类其它专业的教学参考书，也可供从事电力系统运行、设计及科研的工程技术人员参考。

本教材共分为八章。其中第一、六（一至二节）、七、八章由耿毅同志执笔；第二、三章及第六章中的第三节（一至三部分）由林文锋同志执笔；第四章由白尔清同志执笔；第五章由刘家煌同志执笔；第六章第三节中的第四部分由王子午同志执笔。全书由耿毅同志负责主编。

本教材由鞍山钢铁学院刘玉林同志担任主审，并邀请沈阳工业学院李宗纲同志、阜新矿业学院崔承基同志、本钢工学院史美伦同志、张剑同志、鞍山钢铁学院韩春升同志、北京钢铁学院白尔清同志、中南矿冶学院刘家煌同志等主讲工业企业供电课的教师进行了全面审查，提出了许多宝贵意见，特在此表示衷心感谢。

由于我们业务水平有限，因此本教材难免有错误和不当之处，请读者批评指正。

编 者

1985年8月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 工业企业供电系统	1
第二节 电力系统的额定电压	4
第三节 工业企业的负荷分级及其对供电的要求	7
第四节 工业企业用电设备的主要特征	8
第五节 工业供电设计的内容、步骤及方案比较	10
第二章 工业企业变电站及电力负荷计算	18
第一节 工业企业变电站	18
第二节 工业企业电力负荷计算	26
第三节 供电系统中的功率损耗与电能需要量计算	41
第四节 变电站的变压器容量和台数选择	46
第五节 变压器的经济运行	50
第三章 工业企业供电网路	53
第一节 供电网路的结线及其可靠性的分析	53
第二节 导线和电缆选择的原则	62
第三节 按允许载流量选择导线和电缆的截面	63
第四节 按允许电压损失选择导线和电缆的截面	73
第五节 环网的计算	81
第六节 按经济电流密度选择导线和电缆的截面	87
第七节 导线和电缆截面选择的综合分析	89
第八节 工业企业电力网电压水平的保持和变压器分接头的选择	91
第四章 电网短路电流计算与电气设备选择	99
第一节 概述	99
第二节 三相交流电网短路的过渡过程	100
第三节 供电网路电气元件的参数计算	107
第四节 无限大电源供电系统三相短路电流计算	117
第五节 有限容量电源供电系统三相短路电流计算	118
第六节 不对称短路电流的计算	128
第七节 电网短路电流计算的几个特殊问题	137
第八节 短路电流的热效应及力效应分析	140
第九节 高压电气设备选择	151
第五章 工业企业供电系统的继电保护	161
第一节 概述	161
第二节 电流互感器的特性与选择	162
第三节 工业企业6~10kV电网的过电流及电流速断保护	170
第四节 工业企业6~10kV线路的单相接地保护	186
第五节 高压电动机的过电流保护	192
第六节 变压器的继电保护装置	200

第六章 供电系统自动化与自动监控	216
第一节 单端电源供电网络的自动重合闸装置	216
第二节 备用电源的自动投入装置	222
第三节 降压变电站的微型机实时监控	228
第七章 过电压保护及接地	247
第一节 大气过电压	247
第二节 变电站及建、构筑物对直击雷的防护	250
第三节 雷电冲击波沿导线的传播	259
第四节 变电站对雷电冲击波的防护	269
第五节 直配高压电动机的防雷保护	276
第六节 工业企业6~10kV厂区高压配电网路的防雷保护	278
第七节 内部过电压	280
第八节 工作接地与保护接地	284
第八章 工业企业用电的无功功率补偿与谐波抑制	302
第一节 电能节约和无功功率补偿	302
第二节 可控整流引起的电网高次谐波及抑制	314
附表1 SL ₇ 系列铝线圈低损耗配电变压器技术数据	327
附表2 SL ₇ 系列铝线圈低损耗电力变压器技术数据	327
附表3 SJL型三相双绕组铝线电力变压器技术数据	328
附表4 SFL型三相双绕组铝线电力变压器技术数据	329
附表5 电压220kV级三相三绕组电力变压器技术数据	330
附表6 工业企业常用高压少油断路器技术数据	331
附表7 工业企业常用高压多油断路器技术数据	332
附表8 工业企业常用高压空气断路器技术数据	332
附表9 常用隔离开关技术数据	333
附表10 电流互感器技术数据	334
附表11 LQJ-10型电流互感器技术数据	335
附表12 LMJ-10型电流互感器技术数据	336
附表13 LCW型电流互感器技术数据	336
附表14 电压互感器技术数据	337
附表15 裸铜、铝及钢芯铝绞线的允许载流量	338
附表16 裸导体载流量的温度校正系数 K_W	338
附表17 TJ型裸铜绞线的电阻和电抗	339
附表18 LJ型裸铝绞线的电阻和电抗	339
附表19 LGJ型钢芯铝绞线的电阻和电抗	340
附表20 ZLQ, ZLQ ₁ , ZLL型油浸纸绝缘铝芯电力电缆在空气中敷设时允许载流量(A)	340
附表21 ZLQ ₂₀ , ZLQ ₃₀ , ZLL ₁₂ , ZLL ₁₃₀ 型油浸纸绝缘电力电 缆在空气中敷设时的允许载流量(A)	340
附表22 ZLQ ₂ , ZLQ ₃ , ZLQ ₅ , ZLL ₁₂ , ZLL ₁₃ 型油浸纸绝缘电力电 缆埋地敷设时允许载流量(A)	341
附表23 电缆埋地多根并列时的电流校正系数	342
附表24 矩形导体的允许载流量(交流量/直流量)	342

附表25	NKL型铝电缆水泥电抗器技术数据	342
附表26	DL-20(30)系列电流继电器技术数据	344
附表27	GL-10型过电流继电器整定数据	345
附表28	LL-10A系列反时限过流继电器技术数据	346
附表29	DY-20(30)系列电压继电器技术数据	346
附表30	DS-20(30)系列时间继电器技术数据	347
附表31	DZ-30系列等中间继电器技术数据	347
附表32	DX-11型信号继电器技术数据	347
附表33	FZ系列普通阀型避雷器的电气特性	348
附表34	FS系列普通阀型避雷器及FCD系列磁吹阀型避雷器的电气特性	349
附表35	GX系列管式避雷器的结构数据和电气特性	350
附表36	GSW ₂ 系列无续流管式避雷器的结构数据和电气特性	351
附表37	MY系列压敏避雷器的电气特性	351
附表38	低压熔断器基本技术数据	352
附表39	自动开关基本技术数据	353
附表40	不同性质土壤及各种水分的电阻率 ρ 值	354
附表41	并联电容器的技术数据	354

第一章 绪 论

第一节 工业企业供电系统

一、电力系统的基本概念

目前在国民经济各部门和社会生活中广泛地应用电能。电能是由发电厂生产的，而发电厂多数建立在一次能源所在地，可能距离城市及工业企业很远，因此存在电能的输送问题。为了既保证电能的经济输送，又满足各种电能用户对工作电压的不同要求，还有一个需要变换电能电压的问题。电能送到城市或工业企业之后，由于电能用户或生产车间在布局上经常是分散的，因而又存在电能的合理分配问题。现将电能的生产、变压、输配和使用几个环节的基本概念说明如下：

发电厂——是生产电能的工厂，它能把各种形态的一次能源（如煤炭、石油、天然气、水能、原子核能、风能、太阳能、地热、潮汐能等等）通过发电设备转换为电能。目前我国发电能源的构成（82年资料）主要是煤电（占59%），水电（占22.7%）和油电（占18.3%）。

变电站——是变换电压和交换电能的场所。它主要由电力变压器、母线和开关控制设备等组成。根据变电站的性质和作用，它主要分为升压变电站和降压变电站两类。升压变电站多建立在发电厂内，而降压变电站根据其在电力系统内所处的地位和作用不同，又可分为地区降压变电站，企业降压变电站及车间变电站等。

只有受电及配电开关控制设备而没有变压器的均称为配电站。在工业企业内，凡是担负把交流电能转换成直流电能的站所统称为变流站。

电力网——是输送和分配电能的通道。它由各种不同电压等级和不同结构类型的线路组成。电力网是把发电厂、变电站和电能用户联系起来的纽带，其任务是把发电厂生产的电能实时地输送并分配给不同的电能用户。

电能用户——包含工业企业在内的所有用电单位均称为电能用户。目前我国电能用户的用电构成（82年资料）为：轻工业用电占11.8%，重工业用电占52.1%，农业用电占14.9%，交通运输用电占0.5%，市政生活用电占6.1%，此外发电厂自用电和网络损耗占14.6%。从这个用电构成数字来看，工业企业用电占我国全年总发电量的63.9%，是电力部门的最大电能用户。因此，研究和掌握工业企业供电方面的知识和理论，在改善电能品质，提高供电可靠性的前提下，做好工业企业的计划用电、节约用电和安全用电是当前电气工作者的重要职责。

由发电厂、变电站、电力网和用户组成的系统称为电力系统，它们之间的相互关系如图1-1所示。发电厂生产的低压电能，除了满足自用电和直接分配给附近电能用户用电之外，一般都是通过升压变电站转变成高压电能，采用高电压把电能输送出去。因为电力网在导线截面和线路电压损失一定的条件下，输电电压愈高，则输送的距离愈远，输送的功率也愈大。如果输送功率，送电距离和允许电压损失一定时，输电电压愈高，导线截面将愈小，可以节省导线所用的有色金属（铝或铜）。换一种说法，当输送功率为一定值时，提

高输电电压就可相应地减少输电网路上的电流,因此可减少线路上的电能损耗及电压损失,既能提高网路输送电能的效率,对保证用户得到品质良好的电能也是极为有利的。

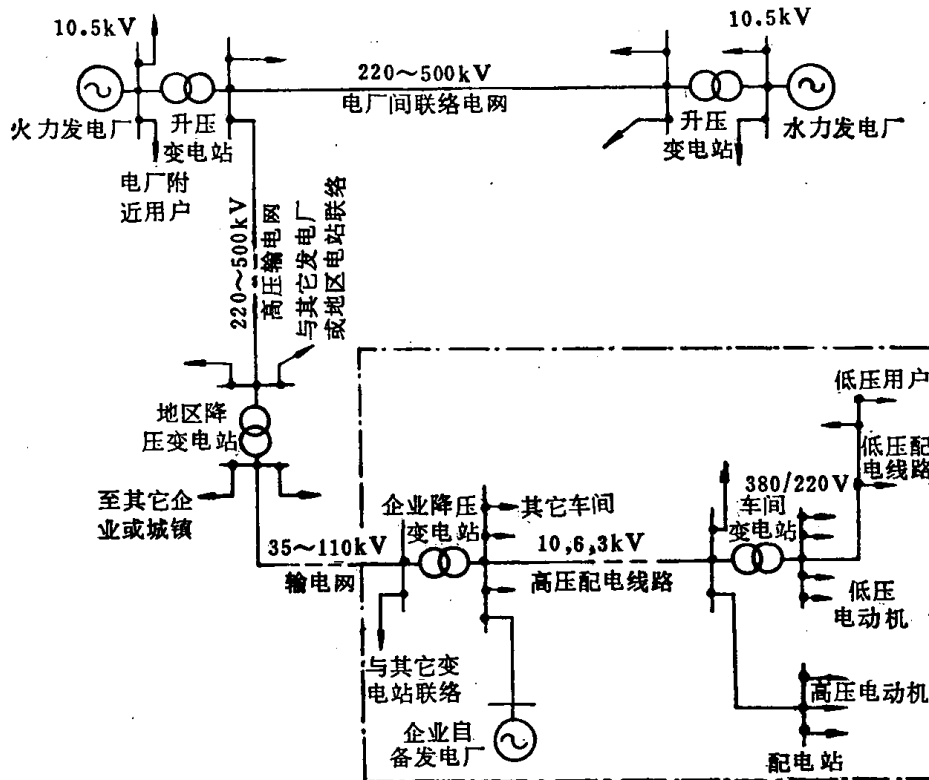


图 1-1 电力系统示意图

目前,我国发电机的额定电压多为6.3、10.5、13.8或15.75kV,少数大容量发电机也有采用18或20kV的。经过升压,超高压输电网的电压采用220~500kV。电能由发电厂通过上述超高压输电网送往距发电厂较远的城市或工业集中地区。在城市的近郊区或工业集中地区的中心,一般都建立地区降压变电站(又叫做一次变电站),将220~500kV的电压降为35~110kV电压,然后再用35~110kV的高压输电线路将电能送至附近各工业企业内部的企业降压变电站(又叫做企业总降压变电站)或市内的降压变电站(又叫做二次变电站)。在原则上,企业总降压变电站和市内的二次变电站都应选择建立在靠近企业或城市的负荷中心处。大型工业企业(例如钢铁联合企业、炼铝厂、油田、化工总厂等等)或者大工业城市,从技术经济的合理性考虑,宜建立多个企业降压变电站或二次变电站,分区负担对企业或城市的供电任务,这样就更具有使变电站尽可能处于各区负荷中心的优越性。

对于用电量较大的厂房或车间,可以直接用35kV或110kV电压将电能送到厂房或车间附近的降压变电站,变压后对厂房或车间供电。这对于减少网路损耗和电压损失,保证电能品质具有十分重大的意义。

二、工业企业供电系统及其组成

工业企业的生产厂房和车间按照建厂整体规划,考虑到产品的流水作业顺序、便于运输和电能供应、环保要求以及布局整齐美观等因素,均具有规律性的分布在厂区内,厂房和车间内的用电设备既有高压的(6、10kV),又有低压的(220、380、660V),而企业降

压变电站从电力系统接受的是35~110kV 高压电能。为了把高压电能经过降压后再分配到用电厂房和车间，要求每个企业内部有一个合理的供电系统。

工业企业供电系统由企业降压变电站，高压配电线路，车间变电站（包含配电站），低压配电线路及用电设备组成。图 1-1 中的虚框部分即表示工业企业内部部分供电系统示意图。

一般来说，大型工业企业均设立企业总降压变电站，把35~110kV 电压降为6~10kV 电压（这个范围的电压等级称为高压配电电压）向车间变电站配电。为了保证供电的可靠性，总降压变电站多设置两台降压变压器。而中、小型企业则可以由附近企业（或市内二次变电站）用10kV电压转送电能，或者设立一个简单的降压变电站，由电力网以6~10kV 供电。

对于某些工业企业，考虑其生产对国民经济的重要性，需要建立自备发电厂作为备用电源时，可建立企业自备热电厂，同时为生产提供蒸气和热水。一般当工业企业要求供电可靠性较高时，可考虑从电力系统引两个独立电源对其供电，以保证供电的不间断性。

在一个生产厂房或车间内，根据生产规模、用电设备的布局及用电量大小等情况，可设立一个或几个车间变电站。几个相邻且用电量都不大的车间，可以共同设立一个车间变电站，变电站位置可以选择在这几个车间的负荷中心附近，也可以选择在其中用电量最大的车间内。

车间变电站一般设置1~2台变压器，特殊情况最多不宜超过3台。单台变压器容量通常均为1000kV·A及以下，特殊情况最大不超过1800kV·A（新系列产品为1600kV·A）。车间变电站将6~10kV 高压配电电压降为220/380V（或660V）对低压用电设备供电。对车间的高压用电设备，则直接通过车间变电站的6、10kV 母线供电。

车间变电站的主要电气设备是电力变压器和受、配电设备及装置。所谓受、配电设备及装置就是用来接受和分配电能的电气装置，其中包括开关设备、保护电器，测量仪表，母线及其它辅助设备（仪用互感器）等。对10kV 以下系统，为了安装和维护简便起见，现在制造厂均将受、配电设备及装置组装为成套式开关柜。

工业企业高压配电线路（6~10kV 电压）主要作为厂区内输送、分配电能之用，通过它把电能送到各个生产厂房和车间。高压配电线路目前多采用架空线路，因为架空线路建设投资少且便于维护与检修。但在某些企业（如钢铁厂、化工厂等）的厂区内，由于厂房和其它构筑物较密集，架空敷设的各种管道在有些地方纵横交错地占据着空间，或者由于厂区的个别地区扩散于空间的腐蚀性气体较严重等因素的限制，有时在厂区的部分地段确实不宜于敷设架空线路，此时可考虑在这些地段敷设地下电缆网路。最近几年来由于电缆制造技术的迅速发展，电缆质量不断提高且成本下降，同时为了美化厂区环境以利于文明生产，现代化企业的厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

工业企业低压配电线路作为向低压电气设备供电之用。在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路，且尽可能与高压线路同杆架设以节省建设费。在厂房车间内部则应根据具体情况确定，或采用明线配电线路，或采用电缆配电线路。在厂房或车间内，由动力配电箱到电动机的配电线路一律采用绝缘导线穿管敷设或采用电缆线。

对矿山企业来说，井下开采供电系统和露天开采供电系统与一般企业供电系统都稍有不同，原因是它们的生产机械用电设备经常随着采掘工作面的推进而移动。井下开采时，

电能由地面总降压变电站通过高压电缆配电线路沿井筒送到井底车场的井下中央变电站，井底车场附近的所有高压用电设备（如泵房的主排水泵）及低压用电设备均由中央变电站用固定敷设的电缆线路供电。井下中央变电站系由高压配电柜、降压变压器和低压开关柜等组成。当井下开采规模较大，采区距井底车场较远时，应设立采区变电站。采区变电站由井下中央变电站通过半固定敷设的高压电缆线路对其转送高压电能，经降压后再通过低压开关和橡套电缆对采掘工作面的低压用电设备供电。采区变电站随着采掘工作面的推进而定期移动，其目的是尽可能缩短低压电缆的长度，以保证工作面用电设备能得到较好的电能品质。露天开采时，电能由矿区总降压变电站通过固定式高压架空配电干线送入采场。固定式高压架空配电干线可以顺梯段架设，也可以横跨梯段架设，具体采取那一种架设法，应根据矿区总降压变电站的位置及节省有色金属等因素来确定。在露天矿采场各梯段上的高、低压配电线路均采用移动式架设法（利用移动式电杆，这种电杆带有底座），它随各梯段采场工作面的推进而经常移动。移动式架空线路从固定式高压架空配电干线上接取电能。由移动式架空线路对移动式生产机械（电铲、钻机等）供电时，一律采用橡套电缆。

在企业内，为了减轻大型电动机起动引起电压波动对照明的影响，照明线路和动力线路分别架设为好。如果动力线路内没有频繁起动的电动机时，则两种线路可用同一台配电变压器供电。当然，最好是用专用的照明变压器对照明系统供电，这样虽增加一些设备投资，但却能防止或减轻灯光的闪烁现象。对于所有事故照明，必须设置可靠的独立电源以保证在发生事故时及时地向事故照明系统继续供电。

第二节 电力系统的额定电压

电力系统额定电压的等级是根据国民经济发展的需要，考虑技术经济上的合理性，以及电机、电器制造工业的水平和发展趋势等一系列因素，经全面研究分析并参考其它国家的规定，由《全国电压电流等级和频率标准化技术委员会》制定并经《国家标准总局》批准颁布的。我国1959年首次颁布了额定电压国家标准(GB156—59)。由于我国电机、电器制造工业水平的提高以及实现四个现代化的需要，1981年重新修订发布了新的额定电压国家标准(GB156—80)。

所谓电气设备的额定电压，就是能使发电机、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GB156—80的规定，额定电压分为两类：

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（见表1-1）。在国家标准中规定，受电设备的额定电压和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、直流发电机、变压器的二次绕组等）的额定电压。直流电压均为平均值，交流电压均为有效值。

直流额定电压中标有▽号者，只供作单台设备的额定电压。

单相交流和三相交流额定电压中标有+号者，只作为电压互感器、继电器等控制系统的额定电压；标有*号者，作为矿井下、热工仪表和机床控制系统的额定电压；标有**号者，只准许在煤矿井下及特殊场所使用的电压。在三相交流栏内，带有斜线“/”标号的，斜线之上为额定相电压，斜线之下为额定线电压。不标斜线者，均为额定线电压。

额定电压 (V)

表 1-1

直 流		单 相 交 流		三 相 交 流	
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				
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	220/380	230/400
400▽, 440	400▽, 460			380/660	400/690
800▽	800▽				
1000▽	1000▽				
				1140 ^{**}	1200 ^{**}

二、三相交流3kV及以上的设备与系统的额定电压和与其对应的设备最高电压规定如表1-2所示。此类电压均指线电压。

表中标有 * 号者 (13.8、15.75、18及20kV) 只用作发电机额定电压，与其配套的受电设备额定电压可采用供电设备额定电压，而与其对应的设备最高电压不作具体规定，可由供需双方研究确定。

设备最高电压系指根据设备绝缘性能和与最高电压有关的其它性能而确定的该级电压的最高运行电压，通常不超过该级系统额定电压的1.15倍。

从表1-1和1-2看出，当电压在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。这样规定的原因是：

1. 发电机的额定电压高于受电设备和系统的额定电压是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%左右，用以补偿线路上的电压损失。例如受电设备额定电压为10kV时，则发电机的额定电压为10.5kV。

2. 变压器二次绕组（性质相当于供电电源端）的额定电压比受电设备的额定电压高出的百分值，由变压器制造厂根据《电力变压器国家标准》(GB1094—79)中的规定处理。具体可以归纳为两种情况：

额定电压及其最高电压(kV)

表 1-2

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
3	3.15, 3.3	3.5
6	6.3, 6.6	6.9
10	10.5, 11	11.5
	13.8*	
	15.75*	
	18*	
	20*	
35		40.5
63		69
110		126
220		252
330		363
500		550
750		

第一种情况是变压器二次绕组额定电压比受电设备额定电压高出10%。其原因是电力变压器的二次绕组额定电压均指空载电压而言。当变压器满载供电时，由于其本身的一、二次绕组的阻抗将引起一个电压降，从而使变压器满载时，其二次绕组的实际端电压较空载电压约低5%，但比用电设备额定电压尚高出5%左右。利用这个5%值补偿线路上的电压损失，可使受电设备基本上维持其额定电压。例如受电设备额定电压为10kV，则供电变压器二次绕组的额定电压定为11kV。这种电压组合情况，多用于变压器配电半径较大时。

第二种情况是变压器二次绕组额定电压比受电设备额定电压只高出5%。例如受电设备额定电压为6kV，则供电变压器二次绕组的额定电压定为6.3kV。这种情况适用于变压器靠近用户，配电半径较小时。由于线路很短，其电压损失可忽略不计。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。

由于变压器均连接在与其一次绕组额定电压对应的电力网的末端，性质上相当于电力网的一个负载，故规定变压器一次绕组的额定电压与受电设备额定电压相同。

虽然规定电力网系统的额定电压和受电设备额定电压相同，但严格地说，电力网由始端到末端的各处电压是不一样的，离电源越远处的电压越低，并且随用户负荷的变化而变化。如图1-2所示，由一台变压器通过配电线路对三个用户供电，网络的额定电压为 U_n ，由于线路上有电压损失，三个用户处的电压很明显是不相等的。始端的用户1处，其电压高于网络的额定电压 ($U_1 > U_n$)，而末端的用户3处，其电压经常低于网络的额定电压 ($U_3 < U_n$)，只有用户2处的电压接近额定电压 ($U_2 \approx U_n$)。这一条线路各处电压都不相等，那么网络的电压究竟用那一个数值来表示最合理呢？这个问题在第四章进行网路的

短路电流计算时就会遇到。在计算短路电流时，为了简化计算且使问题的处理在技术上合理，习惯上用线路的平均额定电压 (U_{pe}) 来表示电力网的电压。所谓线路平均额定电压就是指网路始端的最大电压（指变压器的最大空载电压）和末端受电设备的额定电压的平均值，例如额定电压为10kV的网路的平均额定电压为：

$$U_{pe} = \frac{11 + 10}{2} = 10.5 \text{ kV}$$

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。电压等级定得越多，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时限等级，不利于运行维护；而且要求企业备用的备品备件品种规格增多，极易造成积压浪费。因此，在同一企业内，不应同时采用两种高压配电电压。

近几年来，有些企业使用的大型生产机械日益增多，用电量很大，所以已广泛采取 35 kV（甚至60、110kV）高压直接深入负荷中心（例如装设有大型生产机械的厂房或车间）的供电方式。从发展趋势来看，35kV级电压将成为大型企业的高压配电电压。

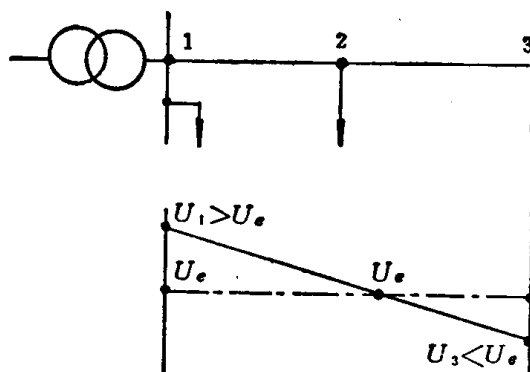


图 1-2 供电线路上的电压变化

第三节 工业企业的负荷分级及其对供电的要求

为使工业企业供电做到技术经济合理，即在保证供电可靠性的前提下，使用于供电的投资费最少，必须了解工业企业不同性质的负荷对供电的不同要求。在工业企业中，各类负荷的运行特点和重要性不一样，它们对供电的可靠性和电能品质的要求程度则不相同。有的要求很高，有的要求较低，必须根据不同的要求来考虑供电方案。为了合理地选择供电电源及设计供电系统，以适应不同的要求，我国将工业企业的电力负荷按其供电可靠性的要求不同划分为三个等级。

一、一级负荷

这类负荷在供电突然中断时将造成人身伤亡的危险，或造成重大设备损坏且难以修复，或给国民经济带来极大损失，因此一级负荷应要求由两个独立电源供电。而对特殊重要的一级负荷，应由两个独立电源点供电。

所谓独立电源的含义是这样的，当采用两个电源向工业企业供电时，如果任一电源因故障而停止供电，而另一电源不受影响，能继续供电，那么这两个电源的每一个都称为独立电源。凡同时具备下列两个条件的发电厂、变电站的不同母线均属独立电源：

1. 每段母线的电源来自不同的发电机；
2. 母线段之间无联系，或虽有联系但当其中一段母线发生故障时，能自动断开联系，不影响其余母线段继续供电。

所谓独立电源点主要是强调几个独立电源来自不同的地点，并且当其中任一独立电源点因故障而停止供电时，并不影响其它电源点继续供电。例如两个发电厂；一个发电厂和

一个地区电力网；或者电力系统中的两个地区变电站等都属于两个独立电源点。

如果工业企业只建立一个企业总降压变电站，严格地说，这种情况对企业内的一级负荷来说只能算是具有一个独立电源点。只有当企业建立两个或两个以上总降压变电站时；或虽有一个企业总降压变电站，但企业内尚有自备发电厂时，对企业内的一级负荷才能保证有两个独立电源点供电。

特殊重要的一级负荷通常又叫做保安负荷。对保安负荷必须备有应急使用的可靠电源，以便当工作电源突然中断时，保证企业安全停产。这种为安全停产而应急使用的电源称为保安电源。例如为保证炼铁厂高炉安全停产的炉体冷却水泵，就必须备有保安电源。保安电源取自企业自备发电厂或其它总降压变电站，它实质上也是一个独立电源点。保安负荷的大小和企业的规模、工艺设备的类型以及车间电力装备的组成和性质等有关。在进行供电设计时，必须考虑保安电源的取得方案和措施。

二、二级负荷

这类负荷如果突然断电，将造成生产设备局部破坏，或生产流程紊乱且恢复较困难，企业内部运输停顿，或出现大量废品或大量减产，因而在经济上造成一定损失。这类负荷允许短时停电几分钟，它在工业企业内占的比数最大。

二级负荷应由两回线路供电，两回线路应尽可能引自不同的变压器或母线段。当取得两回线路确有困难时，允许由一回专用架空线路供电。

三、三级负荷

所有不属于一级和二级负荷的电能用户均属于三级负荷。三级负荷对供电无特殊要求，允许较长时间停电，可用单回线路供电。

工业企业生产是我国社会主义建设的重要组成部分，是电能的主要用户。在工业企业中，一、二级负荷占的比数较大（约占60~80%），即使短时停电造成的经济损失一般都很可观。掌握了工业企业的负荷分级及其对供电的要求后，在设计新建企业的供电系统时可以按照实际情况进行方案的拟定和分析比较，使确定的供电方案在技术经济上最合理。

第四节 工业企业用电设备的主要特征

按照用电设备对供电可靠性的要求，工业企业的电力负荷划分为三个等级。在每级负荷中，用电设备的类型繁多且容量相差悬殊，其运行特性又是各种各样。用电设备的这些不同特征关系到供电技术措施的确定。为此，本节对工业企业用电设备的主要特征作一些简要介绍，供确定供电措施时参考。

工业企业广泛使用的空压机，通风机，水泵，破碎机，球磨机，搅拌机，制氧机以及润滑油泵等机械的拖动电动机，不论其功率大小（从不足一千瓦到几千千瓦）及电压高低（从380V到10kV），一律为三相交流电动机，它们均属于恒速持续运行工作制的用电设备。这些设备在正常运行时，其负荷基本上均匀稳定且三相对称，仅在起动或偶尔出现异常情况（例如破碎机发生卡大块）时才引起供电系统的负荷波动。具有这种特征的用电设备从供电系统取用电能时，它们的需用系数 \bullet 都较高（0.65~0.85），且功率因数也很稳定，一般可达0.8~0.85。大型空压机、通风机、水泵和球磨机等如有条件时可选用同步

①见第二章第二节。

电动机拖动，这对整个企业能起到改善功率因数的作用。这类用电设备属于供电系统的稳定用户，并可直接根据其额定功率进行负荷计算来选择供电设备，如变压器、网路导线及开关设备等。

有一些生产机械，如烧结机，连续铸管机，卷取机、回转窑等，它们的拖动电机也属于持续运行工作制，其负荷性质基本上也是稳定的。但是这些机械在运转中要求调速，因而目前均采用易调速的直流电动机拖动系统。直流电源靠增设的变流机组或可控硅整流装置供给，于是要多用一套变流装置。此时供电设备应根据变流机组的原动机功率或整流变压器的容量来计算选用。这些用电设备由于增加了变流环节以及需要调速，所以从供电系统取用电能的需用系数和功率因数均稍降低一些。

提升机，高炉卷扬机，各型轧钢机以及工业企业大量使用的各类型吊车、起重机等的拖动电机，其工作运转时间与停转或空转时间交相更替，属于反复短时工作制的用电设备。这类设备的负荷时刻在变化，是供电系统的不稳定负荷。这类设备基本上均要求调速，其电源可采用直流或交流。对调速要求高的设备（如轧钢机主传动，大型矿井主提升机等），可选用可控硅直流拖动系统，直流电源目前皆由可控硅整流装置供给。对调速要求不高的设备（如厂房内的吊车），则可选用转子串电阻调速的绕线型异步机拖动系统。对这类性质的生产机械必须选用反复短时工作制电动机，即电机制造厂专门生产的注明有暂载率（25%，40%，60%及100%）的电动机。当选择供电变压器容量进行负荷统计计算时，必须将这些注明暂载率电动机的功率换算成统一暂载率为25%时的“计算用额定功率”^①，其目的是保证供电变压器有足够的容量以适应这类用电设备反复短时出现最大冲击负荷的需要。

反复短时工作制用电设备从供电系统取用电能的需用系数较低，一般都在0.4以下。由于需用系数低，供电设备除了短时承受冲击负荷外，经常是处于低负载状态，所以功率因数也偏低，一般在0.5~0.6以下。这类用电设备属于供电系统的不良用户。

工业用电炉分为电弧炉，电阻炉和感应电炉。电弧炼钢炉是工业企业常用的一种大容量用电设备，单台容量可达10000~20000kW。在精炼期间，三相负荷均匀对称。在起始熔炼期间，由于受炉内原料堆积不均匀及熔融差别等因素的影响，每相负荷波动很大，电流可达其额定值的3.0~3.5倍，以致引起很大的网路电压波动。电弧炉通过专用的电炉变压器供电，频率为工频50Hz，电压为6~35kV。电弧炉的负荷性质，即使包括其专用变压器的感抗在内，基本上也接近于阻性，故功率因数较高，一般可达0.85以上。至于熔炼有色金属的间接作用电弧炉，其负荷波动较电弧炼钢炉为小，仅为其额定电流的两倍左右。这种电弧炉大部分为单相设备，功率因数高达0.9。电阻炉多用于加热金属或对金属进行热处理，有三相和单相之分。其容量由几十瓦至几千千瓦，相差很悬殊，但负荷性质均比较稳定，需用系数为0.7~0.8，而功率因数高达0.96~0.98。电阻炉是供电系统受欢迎的用户。感应电炉分中频（500~8000Hz）和高频（ $10^5\sim 10^6$ Hz）两种，由变频机或可控硅变频装置供电，电源为工频380V低压至6kV高压。感应炉属于三相对称负荷，但在熔炼期间由于炉料的磁和电性能的变化，将引起负荷的波动，波动范围有时可达30%。感应炉的需用系数为0.75~0.8，功率因数很坏。高频电炉的功率因数甚至低到0.1左右。中频电炉

^①见第二章公式（2-6）。

的功率因数虽稍好些，但也只有0.3~0.4。因此，必须采取有效的功率因数改善措施。电炉虽然按炉型不同允许断电几分钟到二、三十分钟不等，但考虑到断电时间如再延长，炉温下降，极可能造成凝炉事故，使炉体遭受破坏，所以除用于表面淬火及渗透加热的小型电阻炉和小型感应电炉之外，其它电炉均划为一级负荷。电炉的运行虽有一定的间歇性，但工作周期一般均超过30min，故把电炉均划为持续运行工作制用电设备。

电解设备（电解槽）是提炼有色金属（铝，铅，铜等）的主要设备，容量可达数万千瓦，是工业中耗用电量最大的用户。电解设备使用直流电，直流电能可通过硅整流装置供给，其交流侧电源电压用6~35kV，直流侧为低压大电流：电压由几十伏至几百伏，电流可达几千安至几万安。电解设备属于持续运行工作制，负荷均匀稳定，功率因数较高（0.8~0.9），是供电系统的稳定用户。从要求供电可靠性方面来看，电解设备虽然短时停电1~2min不至于引起严重后果，但有时会出现大量有害气体或其它不良现象，例如电解槽出现反电势，将使再度电解时要多消耗大量的电能，因而电解设备也被划为一级负荷，不允许停电。

电焊设备分为交流电焊与直流电焊两种。常用的交流电焊设备是工频单相电焊机，它主要用作弧焊和点焊，属于间歇运行工作制。另外，还有三相多头电焊机，其负荷情况不匀称，但比单相电焊机稍好一些。交流电焊设备的供电电压为380V或220V，功率因数很低，弧焊时功率因数为0.3~0.35，点焊时为0.4~0.65。直流电焊设备由电动发电机组供电，交流侧为三相感应电动机，其三相负荷的均匀性比交流电焊设备好。直流电焊设备工作时，其功率因数可达0.7~0.8，空载时往往在0.4以下。因此，电焊设备在不工作时宜将电源切断。电焊设备为移动性设备，使用时皆为临时接线供电。

工业企业的照明设备有固定式和移动式之分，但均为单相而恒定的负荷。照明设备应均衡地接入三相网路，尽量使三相系统的负荷平衡。照明负荷的功率因数较高，通常为0.95~1.0。照明设备虽然属于稳定负荷，但整个地区或企业的照明设备同时集中接电（例如冬季的傍晚或阴雨天）也会造成系统出现尖峰负荷，故应重视节约照明用电。生产照明划为二级负荷，其它非生产照明均为三级负荷。但生产中的事故照明属于一级负荷，必须将其接至独立的保安电源。

第五节 工业供电设计的内容、步骤及方案比较

一、工业供电设计的内容与步骤

工业企业供电设计是新建企业整体设计中的重要组成部分，必须与工艺、机械、土建，厂区运输，劳动保护等部门密切配合，协同进行。工业企业供电设计包括电源网路、企业总降压变电站、变流站、厂区高压配电网路及车间供电等部分，其任务是把从电力系统接受的电能合理地分配到企业内部各用电地点。供电设计的指导思想应该是在保证供电可靠性的条件下，以最经济而简单的方式进行分配和充分利用电能。进行供电设计时必须遵守国家的有关法令、政策（例如计划用电及节约用电，不占或尽量少占用农田，以铝代铜等等）、规程和电力部门的有关规定。

供电设计通常分为扩大初步设计和施工图设计两个阶段。在任务特别紧急或者设计规模较小时，亦可将两段设计合并为一段进行。

扩大初步设计的目的是拟定企业供电的原则性方案，选择及统计供电设备，确定

企业的需用容量及年电能需要量，并编制初期投资概算，一并上报领导部门及有关单位审批。因此，扩大初步设计资料应包括设计说明书和概算两部分。设计说明书中应说明设计任务和设计范围，制作扩大初步设计所依据的原始资料，对企业供电的电源、电源系统和电压确定，企业内部供电系统方案，企业负荷计算及各级变电站变压器容量、台数确定，各级变电站主结线系统及布置方案，企业外部及内部网路导线牌号及线路材料选择，短路电流计算及设备选择、继电保护、防雷保护、安全技术及企业照明系统等原则性方案等，概算部分应给出初期选用的主要设备和器材的概算投资等。同时并应附有企业电力负荷分布，各级变电站位置及厂区线路布置图，企业供电单线系统图，各级变电站平面布置图，企业负荷计算表，各级变电站负荷及变压器容量、台数选择表，主要电气设备及线路材料表等。

扩大初步设计经领导部门及有关单位批准后，即进行施工设计。

施工设计是指技术设计和绘制安装施工图的混合设计而言。其中技术设计是设计的主要阶段，在这个阶段必须对初步设计中批准的原则方案进行全面的技術分析和必要的计算，取得精确的技术结论，以便绘制安装施工图。安装施工图是进行安装施工时所必需的全套图表资料，安装施工图应尽量采用标准图纸。施工设计的内容通常包括施工说明书，各项工程（例如总降压变电站工程，线路工程，车间变电站工程等）的平面、断面布置图，各种设备的安装图，各种非标准件的制造与安装图，设备、材料明细表，以及预算书等。

工业企业供电设计的内容和步骤大致如下：

(1) 负荷计算及企业总降压变电站变压器容量和台数的选择 根据企业所有车间及厂房生产机械用电设备的配置情况，容量、特征等详细资料进行各车间、厂房和企业的负荷计算。考虑企业功率因数的补偿原则，算出补偿后的水平，然后选择确定企业总降压变电站的变压器容量及台数；

(2) 确定供电电源及企业供电系统 首先根据企业需要容量、本企业对供电的要求和电业管理部门协商解决对本企业供电的电源和供电方案，必要时进行技术经济比较，从几种方案中选出最合理的电源方案。然后根据电源条件、已确定的企业总降压变电站位置，企业车间变电站(矿山企业则应包括井下各级变电站)的分布情况、各车间对供电提出的要求以及确定的电压等级等因素拟定企业供电系统方案。如有几种方案时，应进行技术经济比较和可靠性分析，确定最合理的企业供电系统；

(3) 企业电源供电线路设计 根据本企业需要容量，企业对供电可靠性的要求及企业的可能发展规模，设计企业电源供电线路。设计主要包括线路勘测及杆塔定位，导线截面选择，按气候条件进行线路机械应力验算以及选择线路需用器材(杆塔、导线、金具等)。通常企业外部供电线路多由电业管理部门负责设计与施工，在特殊情况下亦可由设计单位担负此项任务；

(4) 企业内部配电线路设计 根据企业供电系统确定厂区配电线路的分布，走向，选择各线路导线截面及其它器材。必要时需进行线路机械应力验算，并提出施工说明；

(5) 供电系统短路电流计算 根据电业管理部门提供的资料(包括发电厂及电力网参数、供电系统最大、最小运行方式等)及企业内部供电系统参数进行系统短路电流计