

288455

中等专业学校交流讲义

# 工业企业供电

成都无线电机械学校编

只限学校内部使用



中国工业出版社

成都无线电机械学校

中等专业学校交流讲义



# 工业企业供电

成都无线电机机械学校编

中国工业出版社

本书系讲述有关工业企业供电方面的知識。其內容是按照中等专业学校工业企业电气装备专业“工业企业供电”課程的要求而編写的。主要讲述了电力負荷的計算,变电所的电气设备的构造原理及选择,电力网,結綫系統,继电保护装置,变电所的远距离操纵电路,变电所的測量,变电所的安装、防雷、运行及保护,配电装置与控制盘等內容。

本书可作为中等专业学校工业企业电气装备专业“工业企业供电”課程的交流讲义。

## 工业企业供电

成都无线电机械学校編

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市書刊出版事业許可証出字第110号)

地质印刷厂印刷

新华書店科技发行所发行·各地新华書店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $19^{1/4}$ ·字数442,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—3,037·定价(9-4) 1.80元

統一書号: 15165·828(一·168)

# 目 次

概 論 .....	5	3-10 短路电流的电动力效应 .....	53
0-1 本課程的任务 .....	5	3-11 短路电流的热效应 .....	55
0-2 发电厂和动力系统的一般概念 .....	5	3-12 短路电流的限制 .....	61
0-3 对电气装置的要求 .....	9	<b>第四章 工业企业变电所主要电气設</b>	
0-4 电气装置的电压 .....	9	备的构造和原理 .....	63
<b>第一章 工业企业的电力負荷</b> .....	12	4-1 概述 .....	63
1-1 电力負荷的分类及其对持續供电		4-2 发弧的原因及灭弧的方法 .....	63
的要求 .....	12	4-3 电器触头 .....	65
1-2 負荷与計算負荷的概念 .....	12	4-4 閘刀开关和换接开关 .....	74
1-3 用电設備計算負荷的确定 .....	14	4-5 隔离开关 .....	77
1-4 照明計算負荷的确定 .....	16	4-6 可熔保險器(熔断器) .....	82
1-5 車間計算負荷的确定 .....	17	4-7 負載开关 .....	86
1-6 功率損耗及其計算 .....	17	4-8 空气自动开关 .....	87
1-7 工业企业总計算負荷的确定 .....	19	4-9 高压开关概述 .....	94
1-8 負荷曲綫及其繪制 .....	20	4-10 多油量油开关 .....	94
1-9 調整負荷的意义和方法 .....	22	4-11 少油量油开关 .....	101
<b>第二章 工业企业变电所与变压器的</b>		4-12 高压开关的驱动机构 .....	104
选择 .....	24	4-13 絕緣瓷瓶 .....	110
2-1 变电所的任务 .....	24	4-14 母綫 .....	114
2-2 变电所的构造形式 .....	24	<b>第五章 工业企业变电所主要电气設</b>	
2-3 变电所位置和数量的选择原则 .....	25	备的选择 .....	120
2-4 变电所及变压器的容量与数量的		5-1 电器选择的一般条件 .....	120
选择原则 .....	25	5-2 各种电器的选择 .....	123
2-5 車間变电所中变压器容量与数量		5-3 絕緣瓷瓶和母綫的选择 .....	131
的选择方法 .....	26	<b>第六章 工业企业变电所的一次电气</b>	
2-6 总降压变电所中变压器容量与数		結綫图 .....	137
量的选择方法 .....	29	6-1 概述 .....	137
<b>第三章 短路电流</b> .....	31	6-2 車間变电所的一次結綫系統电气	
3-1 概述 .....	31	主結綫图 .....	138
3-2 短路过程中的电流 .....	33	6-3 总降压变电所的电气主結綫图 .....	141
3-3 标么值 .....	35	<b>第七章 继电保护装置</b> .....	143
3-4 高压网络中各元件的阻抗 .....	36	7-1 继电保护的任務 .....	143
3-5 短路电路总阻抗的決定 .....	37	7-2 对继电保护装置的一般要求 .....	144
3-6 短路电流的实用計算法 .....	40	7-3 继电器的分类及代表符号 .....	145
3-7 无限大功率电源的短路計算 .....	45	7-4 操作电源 .....	147
3-8 1000 伏以下装置中短路电流的計算 .....	48	7-5 直接作用式继电器 .....	148
3-9 两相短路电流的計算 .....	53	7-6 电磁式电流继电器 .....	149

7-7 电磁式电压继电器 .....	150	11-1 配电装置及对配电装置的要求 .....	223
7-8 电磁式时间继电器 .....	151	11-2 户内配电装置 .....	223
7-9 电磁式中间继电器 .....	152	11-3 户外配电装置 .....	240
7-10 电磁式信号继电器 .....	153	11-4 控制盘 .....	243
7-11 感应式电流继电器 .....	153	<b>第十二章 变电所的安装图</b> .....	245
7-12 线路的继电保护概述 .....	157	12-1 概述 .....	245
7-13 定时限过电流保护 .....	158	12-2 变电所的装置图 .....	245
7-14 有限反时限过电流保护 .....	166	12-3 施工大样图 .....	246
7-15 电流速断保护 .....	168	12-4 二次回路安装图 .....	248
7-16 接地短路的过电流保护 .....	173	<b>第十三章 接地与接零</b> .....	251
7-17 过电流方向保护 .....	174	13-1 基本概念和定义 .....	251
7-18 纵差动保护 .....	176	13-2 装置应接地的元件及对接地电阻的要求 .....	253
7-19 横差动保护 .....	177	13-3 接地装置的构成 .....	254
7-20 线路的自动重合闸 (AIB) .....	180	13-4 接地的计算 .....	255
7-21 变压器的继电保护概述 .....	182	<b>第十四章 变电所的防雷</b> .....	260
7-22 变压器的过电流保护 .....	182	14-1 雷的形成及其危害性 .....	260
7-23 变压器的电流速断保护 .....	188	14-2 过电压保护设备的构造及原理 .....	262
7-24 变压器的差动保护 .....	189	14-3 架空线的防雷措施 .....	266
7-25 变压器的瓦斯保护 .....	194	14-4 变电所的防雷保护 .....	267
7-26 变压器保护装置的原理图实例 .....	196	<b>第十五章 工业企业功率因数的改善</b> .....	269
7-27 备用电源的自动投入 (ABP) .....	196	15-1 提高功率因数对国民经济的意义 .....	269
<b>第八章 变电所远距离操作电路</b> .....	199	15-2 自然功率因数的提高 .....	269
8-1 一般概念 .....	199	15-3 利用静电电容器进行人工补偿以提高功率因数 .....	277
8-2 操纵键 .....	199	15-4 静电电容器安装地点的选择 .....	272
8-3 具有三支信号灯的开关操纵电路 .....	200	15-5 静电电容器安装及电容器的放电 .....	272
8-4 具有发光监察的开关操纵电路 .....	202	<b>第十六章 工业企业变流所</b> .....	276
8-5 具有发声监察的开关操纵电路 .....	204	16-1 概述 .....	276
<b>第九章 变电所的测量、监察和信号系统</b> .....	205	16-2 电动发电机组变流所 .....	276
9-1 变电所的测量系统 .....	205	16-3 水银整流器变流所 .....	276
9-2 变电所的绝缘监察系统 .....	208	16-4 变流所的设计原则 .....	278
9-3 变电所的信号系统 .....	212	<b>第十七章 变电所的运行与维护</b> .....	279
9-4 变电所的闭锁装置 .....	216	17-1 变电所的运行 .....	279
<b>第十章 变电所的自用电</b> .....	219	17-2 变电所的事故处理 .....	280
10-1 变电所的自用电负载 .....	219	<b>附录</b> .....	283
10-2 变电所自用电电源的发展趋势 .....	220	参考书籍 .....	307
10-3 直流自用电源 .....	221		
10-4 交流操作电源 .....	222		
<b>第十一章 配电装置与控制盘</b> .....	223		

# 概 論

## 0-1 本課程的任务

本課程是工业企业电气装备专业主要專業課之一。它的任务是使學生掌握工业企业供电与照明的基本理論和运行維護方面的知識；能正确地分析和选择工业企业变电所的主要电气設備和典型結綫图，能选择工业企业供电与配电方式及导綫与电纜的截面积；能按生产和劳动保护的要求計算电气照明，并能对工业企业供电与照明进行簡易的设计。此外要使學生懂得有关电气安全与防火方面的一般知識。

在本課程的学习中，不仅要使學生了解电气設備在正常条件下的工作情况，而且还要了解它們在故障和损坏状态下工作的情况；了解其可能发生损坏的形式与部位以及损坏的原因，掌握預防和消除故障的方法。

## 0-2 发电厂和动力系統的一般概念

1. 发电厂的生产过程：发电厂是电能的来源，根据原动力的类别，可分为火力发电厂（简称火电厂）、水力发电厂（简称水电厂）、潮汐能发电厂、风力发电厂和原子能发电厂等。火力发电厂中有用汽轮机做原动机的，也有用蒸气机，內燃机（主要为柴油机）或燃气轮机做原动机的，不过火力发电厂90%以上是用汽轮机（俗称‘透平’）做原动机的。

(1) 汽轮机火力发电厂：汽轮机发电厂可以用固体、液体和气体燃料，而主要是固体燃料——煤。我国解放前一般是燃用远地优质煤，解放后，自1952年起各电厂为了合理利用国家資源，节约优质煤以用于其他部門，如冶金工业，开始推行燃用本地劣质煤，如发热量低的褐煤、泥煤、洗煤厂的副产品（中煤与洗煤过程中的廢弃物）、不能經濟地炼油的油頁岩等，取得了良好的成績。在燃用本地燃料方面，苏联居世界第一位。液体燃料是最珍贵的发热量最高的燃料，只有在个别特殊情况下才应用。用作气体燃料的是天然气，冶金工厂的自备电厂并用鼓煤气。在大多数情况下，气体燃料只作为补充燃料，而固体或液体燃料是基本的。

汽轮机发电厂有两种型式：一种是凝結式，一种是热式。图0-1是老式的采用鏈条炉的汽轮机凝結式发电厂生产过程示意图。块煤从煤場利用运煤机或人工运到炉前，加到鍋炉炉膛的鏈条炉排上，使之燃燒。燃燒后的产物（炉煤）被抽风机吸引，經過鍋炉的烟道与鍋炉的受热面相接触，由烟囱排入大气中，鍋炉内的水受热所产生的蒸汽沿蒸汽管道进入汽轮机，使之轉动，汽轮机又轉动与之連軸的发电

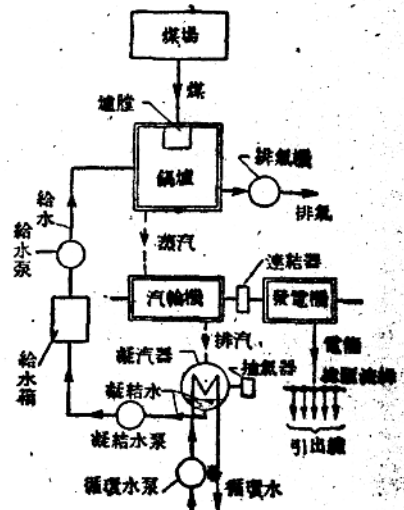


图0-1 采用鏈条炉的汽轮机凝結式发电厂生产过程示意图

机,发电机所发出的电能送到总母线(母线又称汇流排),再从总母线由引出线送到电网上去。蒸汽在汽轮机内经过许多分级,产生机械功,同时它的压力和含热量逐渐减小。从汽轮机中最后一分级出来的排汽进入凝汽器,在循环水泵从河、池或人工冷却塔抽入的循环水的冷却之下,排汽凝结,凝结水由凝结水泵压入给水箱,再由给水箱压入锅炉。因此在汽轮机装置中,给水,蒸汽水和凝结水是不循环着的,使锅炉污垢能达到最小限度。因为水和汽和凝结水是不循环着的,使锅炉污垢能达到最小限度。因为水和蒸汽在工作过程中不可避免的有少量漏掉,所以必须不断地补充经过化学净化处理后的生水。

这种烧块煤的链条炉火电厂,由于燃料燃烧不充分,锅炉效率低,现代的火电厂一般是采用煤粉炉,燃烧粉状燃料,由于燃料燃烧充分,锅炉效率较高,采用煤粉炉的凝汽式发电厂的生产过程基本上与采用链条炉的发电厂相同,所不同的主要是燃料燃烧方式。采用煤粉炉的发电厂,块煤不是直接送到炉膛去燃烧,而是先运至碎煤设备(由传送带)经过碎煤机压成碎块,再经传送带送入煤粉制造设备烘干后,通过球磨机磨细,从球磨机出来的煤粉由球磨送风机供给的空气沿管道吹送到锅炉旁边的煤粉屏内。从煤粉屏出来的煤粉由给粉器运送,并由送风机所供给的空气流过喷务器吹入锅炉的炉膛内燃烧,这空气是燃烧煤粉所必须的,它预先经过空气预热器受到炉烟加热,这样便减小了炉烟的热损耗,改善了煤粉的燃烧过程,并增高了锅炉炉膛内的温度。煤粉以悬浮状态在炉膛内燃烧,形成火炬状的火焰,温度很高,进入锅炉的给水在进入锅炉之前,也先经过一个或几个给水预热器,利用在汽轮机中部份工作过的蒸汽加热,这一切使发电厂的效率有所提高。效率最高的是兼供热的汽轮机发电厂,即热式发电厂(简称热电厂)它也是采用煤粉炉的汽轮机发电厂,所不同的只是多了一套供给热力用的用户和蒸汽用的管道设备,用在汽轮机中部份地工作过的蒸汽来供给大城市和工业地区需用的热水和蒸汽。

兼供热能和电能的热电厂,比起单供电能的凝汽式发电厂来说要经济得多,前者的效率可达60~70%甚至更高;而后者,链条炉的火电厂的效率不到20%,煤粉炉的效率也只

达到30%左右,有了热水和蒸汽的集中效应,可以省掉用户处很多小而经济的取暖用和工业用的锅炉装置,可以大量节约煤炭。解放前我国是没有中心热电厂的。解放后我国重点地建设了很多中心热电厂。到1958年底全国供热机组的总容量约为火电总容量的四分之一。

(2) 水力发电厂:水力发电厂的生产过程比火力发电厂简单得多(图0-2)。由堤坝1维持在高水位2的水,经过水管4进入螺旋形机壳6,接着到水轮机转子7,然后经过泄水管11自由地泄到低水位3,低于堤坝。水从高水位流到低水位时,获得很大的速度。并将能量传给水轮机,而使发电机9转动。

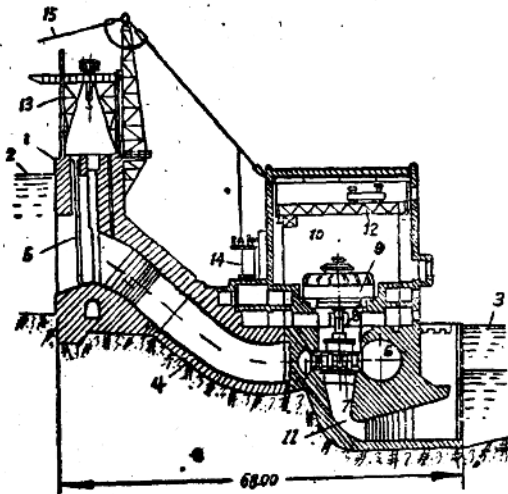


图0-2 水力发电厂的截面图

建造大型水力发电厂的投資费用比建造大型火力发电厂要大得多,因为它的土建工程

浩大;但是水力发电厂所发出的电能的价格,比大型火力发电厂却要低得多——只 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ ,因为它不用燃料(或者说用的是不花钱的“白煤”),工作人员少,运行费用较低。因此建造水力发电厂时较大的投资费用,经过若干年的运行就可得到补偿,此外,建造水电厂可以节省大量煤碳改善航运,并有利于防洪和灌溉。

我国在利用水力资源和水电建设方面,有很大成绩,水力发电容量占发电容量的比重,由1949年的8.8%增加到1958年底的19.3%,也克服了过去将防洪、灌溉、发电、航运等分开考虑的缺点,又贯彻了综合利用的原则。1954年成了黄河综合利用的规划,计划要建设十个水利枢纽水电厂装机容量约为2300万千瓦,每年平均发电量约1100亿度,并考虑了防洪、灌溉、航运、工业用水等效益。

1958年大跃进中,我国广大农村出现了人民公社后,中小型水电站特别是小型水电站,如雨后春笋般的建立起来。建设小型农村水电站的好处很多,如投资少(可以社办、不需国家投资),建设期短(有的只需几天),发电成本也不太贵,且可综合利用水能,有助于公社工业化和农业大发展,因此我国对这种小型水电站协力推广,广大农民极表欢迎。

(3) 原子能发电站:原子能的发现和利用,给人类改造自然,改造世界提供了新的巨大的能源。苏联把原子能利用到动力设备上来的成就是震惊世界的,1954年6月苏联建成了世界上第一座容量为5000瓩的原子能发电站(图0-3)。这是苏联把原子能利用于和平建设的重大贡献。

原子能发电站依靠着原子反应堆(又称原子锅炉)内铀235核分裂过程所散发出的巨大能量来工作。电站的工作完全自动化。反应堆用石墨做减速剂,用水做载热剂。继5000瓩,苏联又建造了5万、10万、40万瓩的原子能发电站。目前苏联正在建造世界上最大的发电容量为60万瓩的原子能发电站。其第一部分(10万瓩)已于1958年9月投入生产。我国1958年建成了我国第一个原子反应堆,并取得了相当的运行经验。这说明我国已开始了原子能和平利用的技术,这就为我国建成原子能发电站创造了有利的条件。

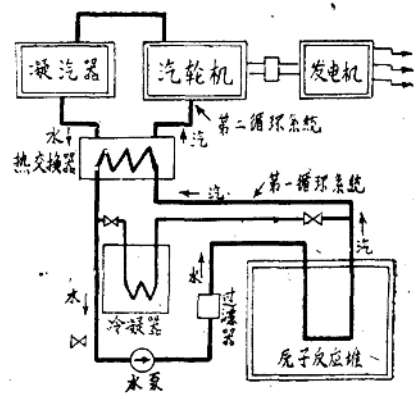


图0-3 原子能发电站生产过程示意图

2. 动力系统的一般概念:在电力工业发展的初期,发电厂直接建设在用电地区(例如工厂或城市),它们多半是彼此没有联系的孤立的发电厂,并且是用不高的电压向不大的区域供电。

为了充分利用电力资源而减少燃料运输,从而大大地降低发电厂成本,需要建设水电厂和燃烧地方性燃料或劣质燃料的火电厂,但是,动力资源地区,和电能热能集中消费的地区,往往不是一致的,例如水力集中在江河流域,热力则集中在煤矿或有可燃气体喷出的地区,而许多工业区域和城市,由于要靠近原料产地和消费中心,或者受地理、历史条件的限制,因而很多是建设在和动力资源地区相隔很远的地方,这就要采用高压送电线,把远方发电厂的电能输送到用户处。

电力工业的进一步发展,在发电厂和用户之间建立了升压和降压变电所,利用高压远距离输电线输送电能,此外,为了保证供电的可靠性和运行的经济性,发电厂之间也互相联接



起来,个别孤立的发电厂,通过各种不同电压等级的电力线路,首先是在一个地区之内互相联系,后来发展到地区和地区之间的联系,从而组成了庞大的和统一的机构。

被电网和热力网所连接起来的许多发电厂变电所,及用户的用电用热设备的总体,叫动力系统,动力系统由两类元件联接而成:

(1) 输送元件,其主要任务是输送能量,属于此类元件的,如架空电力线路、电缆线路、发电厂或变电所的配电装置,管道及燃料输送设备等。

(2) 变换元件,其主要任务是将一种形态的能量变换为另一种形态的能量。属于此类元件的如锅炉、汽轮机、发电机、变压器、电动机、工作机械(水泵、通风机、车床、起重机、等)、照明及家用电气、整流器、反流器和变频机等。动力系统的工作就是通过上述元件首先把不同形式的能量变换为电能。然后,输送出去,分配到各用户,再转变为其他形式的能量。

动力系统中一部分,即由发电机变电、和配电装置、输电线路和用户的用电设备所组成的部分叫电力系统。其与动力系统的区别,在于电力系统不包括热力和水力部分,也就是不包括有关原动机和供给原动机力能的部分,及供热和用热设备。

电力系统中的另一部分,包括变电所和各种不同等级的输电线路叫电力网,电力网的任务是输送和分配电能,即发电厂生产的电能输送及分配给用户。

图0-4表示一个动力系统的原则接线图。包括一个巨形的水力发电厂,两个区域性火力发电厂和一个热电厂,彼此用电力网互相联系起来向用户供电,电力网的电压等级有220、110、35和10~6千伏等。变电所A和B是系统中的枢纽变电所,而B和Γ则是系统中的区域性变电所对直接靠近变电所的用户采用6~10千伏的电压供电,对距变电所更远的用户,则以35千伏电压供电。图中N1~N8是输电线路,用它们把发电厂(建设在燃料产地或水力能源附近)发出的电力输送到几十公里甚至几百公里外的用户(例如建设在原料产地或消费中心的工厂)处,从发电厂和区域变电所引出来的35千伏及10千伏以下的电力网在图中没有画出,这在以后专门研究电力网将来讲。

建立动力系统对整个国民经济具有重大的意义:

(1) 可以更充分而经济地利用动力资源。

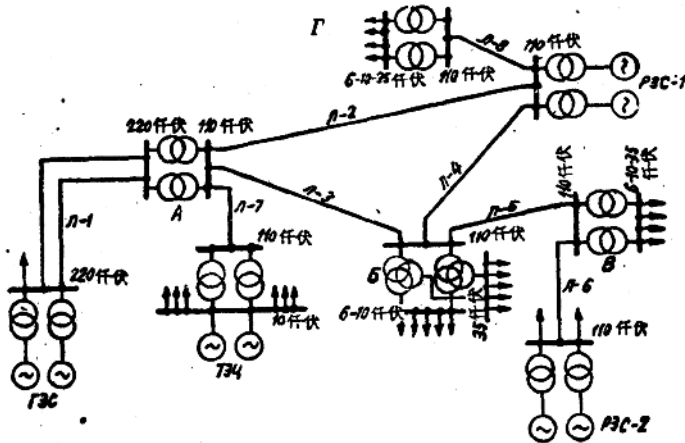


图0-4 动力系统的原则性接线图

(2) 可以保证按最经济运行方式运行,减少电能损耗,节约运行给用。

(3) 保证电能质量和供电的可靠性,更好地满足工农业及整个国民经济的需要。

解放以前,我国除东北有一个较大的动力系统外,其他各发电厂多半是孤立运行的。解放后,除大力改善和扩充了原有的动力系统,如东北动力系统外,并开始新建一批新的动力基地和新的动力系统。

目前,为充分发挥电力系统的潜力,根据1958年全国供电技术会议的精神,大力推行了线路升压、环形运行的经验,这样可以增大输电容量,节约投资,并且提高了供电可靠性,大大支援了工农业高速度发展的需要,这是我国电力工业技术改革重大措施之一。而最近推行的“四合一”环形供电则是在此基础上的新发展。

### 0-3 对电气装置的要求

第一个要求是:必须完成国家的发电计划和规定的最大负荷额。

第二个要求是:必须不间断和可靠地工作,即不间断地供电给用户。

在一般情况下,工业企业供电的中断可能引起:

- (1) 停电期间产量下降;
- (2) 损坏原料及未完成的产品(如某些化学和冶金工业中);
- (3) 损害和毁坏生产设备;
- (4) 工作上的卫生条件变坏。

电气装置的运行经验指出,发生故障的原因是:设计和安装时所忽略的错误;工作人员的误操作;和不及及时采取预防措施(经常的检验、修理、试验等等)。实际运行经验证明,只要仔细地设计和安装,有健全运行维护制度,加强安全教育,事故是完全可以避免的,电气装置完全可以无事故地运行。

第三个要求是:保证电能的质量,电能的质量指标是电压和频率。必须遵守系统中的标准频率(我国规定交流为50赫芝)和各部分规定的电压(表0-3)。如果供给工业中电动机的电能质量不合格(如电压或频率过低),电动机的转速就会小于额定值,因此使产量不足,并往往使电动机大大地过热,使使用寿命大大缩短。在有些企业中也可能降低产品的质量,甚至损坏未完成的产品。

第四个要求是:必须保证运行的最大经济性,为此必须千方百计地减少每生产1吨电能所消耗的燃料,减少发电厂和变电所的自用电量,减少输电和配电时的损耗。此外,还必须将建造装置的成本尽量降低,并要无损于无事故而经济地运行的要求。

在电气装置中,保证工作人员的工作安全,也是有很重大的意义的。在设计安装和运行电气装置时,必须严格遵守“电气装置安装规程”。“电力工业技术管理法则”。“工业企业电气装置技术管理规程”。及其他规程,制度和指示等。

### 0-4 电气装置的电压

为了便于电气设备的大量生产,电气设备的电压等级必须有统一的标准。在解放前,电气设备主要由外国供应,电压等级繁多,没有国家统一的标准,那时电压从110伏至220千伏有18级之多。这反映了当时电力工业的殖民地、半殖民地性质。解放后,学习苏联先进经验,1956年公布了我国电气设备额定电压和频率的标准,1959年进行了补充,以国家标准

(GB-156-59)正式頒布施行。这个标准适用于固定式的发电机、变压器及用电设备。

所謂电气设备的额定电压(或称为标称电压),就是能使用电设备发电机和变压器正常工作,并获得最经济效果的电压。

表 0-1

直 流(伏)	交 流 (伏)	
	三 相 (相間电压)	单 相
6	—	—
12	—	12
24	—	—
—	36	36
48	—	—

国家标准(GB-156-59)規定额定电压分为三类:

1. 第一类额定电压为100伏以下如表0-1所示:

此类电压主要用于安全照明、蓄电池、断路装置及开关设备的直流操作电源。

表0-1中三相36伏的电压只作为潮湿工地、房屋的局部照明及电力负荷之用。

2. 第二类额定电压为超过100伏而不滿1000伏者,如表0-2所示:

表 0-2

用 电 设 备			发 电 机		变 压 器			
直 流(伏)	交 流 三 相(伏)		直 流(伏)	交 流 三 相 伏 相間电压	交 流 (伏)			
	相間电压	相 电 压			三 相	单 相		
						一 次 繞 圈	二 次 繞 圈	
110	—	—	115	—	—	—	—	—
—	(127)	—	—	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
—	380	220	—	400	380	400	380	—
440	—	—	460	—	—	—	—	—

此类电压主要用于电力及照明设备。

表0-2中括号内的电压,只用于矿井或其他保安条件要求较高的地方。

3. 第三类额定电压为1仟伏以上者如表0-3所示:

表 0-3

用电设备额定电压 交 流(千伏)	发电机相間电压 交 流 (千伏)	变 压 器 相 間 电 压 (千 伏)	
		一 次 繞 圈	二 次 繞 圈
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
—	15.75	15.75	—
35	—	35	38.5
60	—	60	66
110	—	110	121
154	—	154	169
220	—	220	242
330	—	330	363

此类电压主要用于发电、送电及高压用电设备。对于三相交流电力设备，其额定电压如无特别说明，一般都是指相间电压（即线电压）。

送电线路预定的正常工作电压（即电力网的额定电压），应与各该线路直接连接的用电设备的额定电压相等。解释如下：

参看图 0-5，设供电给电力网  $ab$  部分的发电机是在额定电压下运行。由于线路中有电压降落，用电设备 1-5 将受到不同的电压。线路首端电压  $U_1$  大于末端电压  $U_2$ 。如果负荷均匀分布，则线路上的电压变化大致如直线  $U_1$ 、 $U_2$  所示。

由于生产的标准化，不可能按照上述直线所示的所有电压来制造用电设备。此外，电力网中各点的电压，也不可能是恒定不变的。那末，究竟用电设备应按  $U_1$  和  $U_2$

间的哪一个电压制造才是最合适的呢？为了使用电设备运行合理和经济，应力求使用电设备的端电压接近其额定电压。显然，只有采用线路首端和末端的算术平均值  $U_n = \frac{U_1 + U_2}{2}$  作为用电设备额定电压，才能满足上述要求。这电压也就是电力网的额定电压。因此，用电设备的额定电压和电力网的额定电压是相等的。

发电机的额定电压要比电力网的额定电压高 5%（见表 0-2 表 0-3），例如在额定电压为 6 仟伏的电力网中，发电机的额定电压为 6.3 仟伏。这高出的 5% 是为了补偿电力网中的电压降落，因为一般电力网的电压降落约为 10%，如果使首端的电压比额定电压高 5%，则电力网末端的电压比额定电压只低 5%，这样就基本上可保证所有用电设备端电压的偏移不致超出容许范围（容许的电压偏移程度与用电设备的特性和电力网的用途有关，一般为  $\pm 5\%$ ）。

表 0-2 与表 0-3 中所列变压器额定电压，也可用图 0-5 来说明。研究图中  $ef$  部分，不难看出变压器  $T_2$  二次线卷的额定电压应比电力网额定电压为高。我国制造的变压器，其二次线卷的额定电压系指无载情况而言，故此电力网的额定电压高 10%。当变压器满载时，其本身（在二次线卷中）约有 5% 的电压降落，因而有变压器供电的电力网的首端电压仍保持约比电力网额定电压高 5%。

当变压器二次线卷供电的线路很短时，由于沿线路的电压变化较小，因此在这种情况下，可以采用二次线卷额定电压只比电力网额定电压高 5%。如表 0-2 中 230、400 伏及表 0-3 中 3.15、6.3 和 10.5 千伏等。

变压器的一次线卷，可视为用电设备，如图 0-5 接到电力网  $cd$  中的变压器  $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  即是。因此变压器一次线卷的额定电压与电力的额定电压相等（表 0-2、表 0-3），对于直接接于发电机电压的母线上或发电机端的变压器，由于这些地方的电压就是发电机额定电压（已高一般电力网电压 5%），所以这种情况的变压器一次线卷额定电压也采用比电力网额定电压高 5%，例如 3.15 千伏和 15.75 千伏等。

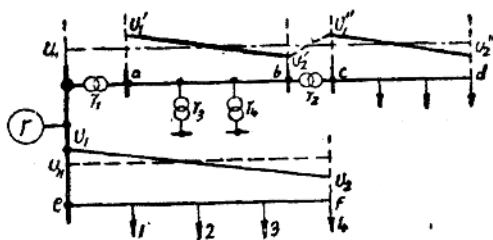


图 0-5 电力网的电压变化

# 第一章 工业企业的电力负荷

## 1-1 电力负荷的分类及其对持续供电的要求

按对持续供电的要求程度,工业企业的电力负荷可分为下列三级:

**第一级负荷:**如停止供电时,将造成人身伤亡危险,或者设备损坏,产生大量废品,引起生产混乱,因而造成巨大损失者;

**第二级负荷:**如供电中断时,会引起严重的减产,工人窝工,使机械停止运行,工业交通运输陷于停顿,大量城市居民的正常生活被破坏;

**第三级负荷:**所有不属于一级及二级的负荷(例如非成批生产的车间、辅助车间和小型居民区等)。

对第一级负荷:应保证有两个独立电源供电,可按供电允许中断的持续时间,考虑自动或手动投入备用电源。如电力用户第一级负荷不大时,可采用移动式发电厂,也可以在低压侧与带有备用电源的邻近一点连接,做为第二供电电源。如备用电源自动投入不能保证生产过程所必需的不间断供电,当经济方面合算时,生产过程应具备两套或两套以上同样用途同时工作的生产机组,其驱动机构由独立的电源供电。

对第二级负荷:允许设一个独立电源供电。考虑到电压为6千伏和6千伏以上的架空输电线路具有高度的可靠性,并且发生故障后可以很快地恢复正常,所以对第二级负荷供电允许用一条架空线供电;如采用电缆供电时,也允许用一条线路供电,但这条线路至少应分为两根电缆,并接在单独的隔离开关上,但如地区网路允许,且投资增加不多时,可考虑两个独立电源供电。

对第三级负荷,允许停电的时间为检修或更换供电系统故障允许的时间。

确定机械制造工业部门电力负荷为某一类别时,可参考附录表1。

## 1-2 负荷与计算负荷的概念

所谓“负荷”(或“负载”)系指电气设备(发电机、变压器、电动机等)和线路所输出的电流或功率。要注意不是指它们的阻抗。如发电机、变压器的负荷,就是指它们输出的电流或电功率,电动机的负荷就是指它轴上输出(拖动)的机械功率或力矩。如果负荷达到了电气设备铭牌规定的数值(额定容量),就叫做“满负荷”或“满载”。

我们要设计工业企业供电系统,就必须进行负荷的计算,负荷计算的目的,在于提供资料,作为选择供电系统各组成部分(导线、电缆、变压器和开关设备等)的依据。

工业企业供电系统的一般形式,如图1-1所示(仅供说明用)。其负荷计算的步骤,应从计算用电设备的负荷开始,再进至车间变电所(变压器),高压供电线路及总降压变电所(或配电所)等的负荷计算。

为了计算的方便,一般将用电设备按工作性质分成不同的类别。按其工作性质的不同,可分为三大类:

1. 长时工作制用电设备,如水泵用电动机及电阻炉等,使用时间较长,连续工作。

2. 短时工作制用电设备,如金属切削机床上用的辅助机械(横梁升降、圆柱夹器、刀架快速移动装置等)的驱动电动机,又如水闸电动机等,工作时间很短,而停歇时间相当长。

3. 反复短时工作制用电设备,如吊车用电动机及电焊用变压器等,时而工作,时而停歇,这样反复继续进行。

反复短时工作制用比值:

$$\epsilon \text{ (即 IIB)} = \frac{\text{工作时间 } (t_{\text{工作}})}{\text{每周期时间 } (t_{\text{周}})} \quad (1-1)$$

来表示它的相对接用时间(或称为运转的持续系数)。

反复短时工作制的用电设备,其相对接用时间一般均有标准的额定值,如吊车的标准额定 IIB 值为 15%, 25%, 及 40% 三种,电焊设备的标准额定值有 50%, 65%, 75% 及 100% 等各种数值,其中 100% 为自动电焊机械的 IIB 值。

电力负荷在计算时,可用四种不同的形式来表示,同时它们的单位也各不相同。现分列如下:

- P——有功负荷(仟瓦);
- Q——无功负荷(仟乏);
- W——视在负荷(千伏安);
- I——电流负荷(安)。

上列四种负荷,彼此间的关系如下:

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi \quad (1-2)$$

$$W = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1-3)$$

或

$$W = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (1-4)$$

$$I = \frac{W \times 1000}{\sqrt{3} U_A} \quad (1-5)$$

或

$$I = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} U_A \cos \varphi} \quad (1-6)$$

或

$$I = \frac{W_{\phi} \times 1000}{U_{cp}} \quad (1-7)$$

或

$$I = \frac{P_{cp} \times 1000}{U_{\phi} \cos \varphi} \quad (1-8)$$

或

$$I = \frac{P \times 1000}{U} \quad (1-9)$$

上列各式中:

$\cos \varphi$ ——功率因数;

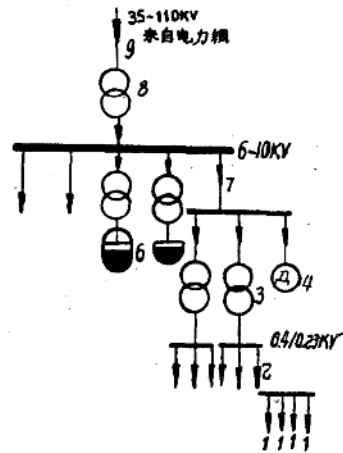


图 1-1 工业企业供电系统的一般形式

1—各用电设备所构成的负荷; 2—对各用电设备供电的干缆负荷; 3—车间变电所(变压器)负荷; 4—高压电动机负荷; 5—电弧炉; 6—水银整流器; 7—高压供电线负荷; 8—总降压变电所负荷; 9—总降压变电所总负荷(即企业向系统所要求的负荷)

$\operatorname{tg} \varphi$ ——与  $\cos \varphi$  对应的正切值；

$U_A$ ——額定綫电压(伏)；

$U_\phi$ ——額定相电压(伏)；

$U$ ——直流綫路的額定电压(伏)。

显然,上列(1-5)~(1-9)各个計算电流負荷的公式中,(1-5),(1-6)是用来計算三相交流的,(1-7),(1-8)是用来計算单相交流的,而(1-9)是用来計算直流的。

設計时所需的电力負荷的资料,主要有下列三种形式:

1. 班平均負荷。指一个工作班内(一般为8小时)的平均負荷。工作班可能有两班或三班,这时若取最大負荷班内的平均負荷,則特別称为最大負荷班的平均負荷。它是供确定电能需要量用的。班平均負荷的四种单位分别为:  $P_{cp}$ ,  $Q_{cp}$ ,  $W_{cp}$  (或  $S_{cp}$ ), 及  $I_{cp}$ 。

2. 半小时最大負荷。在一个工作班(恒指最大負荷班)内按半小时为标准計算負荷的平均值时,若其中某半小时内的平均值最大,則此值則称为半小时最大負荷。它是供接温升来选择綫路及变压器等用的。半小时最大負荷的四个单位分别为  $P_{30}$ ,  $Q_{30}$ ,  $W_{30}$  (或  $S_{30}$ ), 及  $I_{30}$ , 半小时最大負荷亦即計算負荷,分别用  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $W_p$  (或  $S_p$ ) 及  $I_p$  表示。

3. 尖峰負荷。指某用电设备(或用电设备組)可能的最大瞬时負荷,一般仅取电流負荷为单位,以  $I_{max}$  表示,它是供計算綫路的电压損失用的。

以上三种形式的电力負荷中,特別值得提出的是半小时最大負荷,——即計算負荷。它是按容許温升(发热)的观点而确定的一个假想負荷。这个負荷通过导綫或变压器及其他电器时,导綫等的温升,不应超过其容許值。

### 1-3 用电设备計算負荷的确定

前面說过,計算負荷是供按发热条件选择綫路和变压器等的主要参数,因此正确确定計算負荷具有重大的意义。如确定过高,将造成设备和綫路的浪费;低了,則要使设备和綫路受到損害。

确定計算負荷的方法主要有两种:一种是按“需要系数”确定的方法,一种是按“二項式”确定的方法。前者应用起来簡便而且运用范围广,后者是苏联工程师Л. С. 利夫希茨首先提出来的,对于金属加工工业比較适合。在我国各設計部門中普遍采用,但它尚未具有完善的理論基础和滿足供电設計中的所有实际問題,因此,今后必須在这方面不断进行調查研究,累积經驗和数据,以达到尽量符合实际情况。

1. 按需要系数法确定計算負荷 在进行負荷計算时,将遇到一些名詞,其定义如下:

(1) 设备容量: 通常以  $P_y$  或  $W_y$  表示。对一般电动机來說,  $P_y$  是指銘牌容量  $P_n$ , 对反复短时工作的电动机來說,设备容量  $P_y$  是指  $\text{IIB}=25\%$  的額定容量。如  $\text{IIB}$  不为  $25\%$ , 則应按下式进行換算。使化为  $25\%$  时的容量:

$$P_y = \sqrt{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{25}}} \times P_n = 2 \sqrt{\varepsilon_n} \times P_n \quad (1-10)$$

式中  $P_n$ ——換算前  $\varepsilon_n$  下电动机額定容量(仟瓦)。

对电弧焊接用的变压器及电阻焊用的焊接设备等來說,  $P_y$  是指  $\text{IIB}=100\%$  时的額定容量。同上,当  $\text{IIB} \neq 25\%$  时,应进行換算:

$$W_y = \sqrt{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{100}}} \times W_n = \sqrt{\varepsilon_n} \times W_n \quad (1-11)$$

式中  $W_n$ ——用电设备换算前  $\varepsilon_n$  下的额定容量(千伏安)。

对电炉及长久使用的电焊变压器来说,  $P_y$  或  $W_y$  是指其满载时的额定容量。对照明用灯泡来说,  $P_y$  是指灯泡上标明的容量。

(2) 连接容量: 通常用  $P_{np}$  或  $W_{np}$  表示, 它是指在额定负荷和额定电压下所需要的容量, 其计算如下:

$$P_{np} = \frac{P_y}{\eta_n} \quad (1-12)$$

$$S_{np} = \frac{P_y}{\eta_n \times \cos \varphi_n} \quad (1-13)$$

式中  $\eta_n$  及  $\cos \varphi_n$  为额定负荷时电动机的效率和功率因数。

(3) 负荷系数: 它是电气设备实际负荷与其设备容量之比, 以  $K_3$  表示, 其计算如下:

$$K_3 = \frac{P}{P_y} \quad (1-14)$$

(4) 同时使用系数(或称参差系数): 考虑在实际工作中, 经常有一部分设备为备用, 或进行小修, 或机床处于空转状态, 即这些设备不消耗或很少消耗电能, 因而使电能需要量减少, 故在计算中引入此系数, 以  $K_0$  表示。

(5) 需要系数: 它是计算负荷  $P_p$  (即半小时最大有功负荷  $P_{30}$ ) 与设备容量  $P_y$  之比, 以  $K_c$  或  $K_{30}$  表示, 其计算如下:

$$K_c = \frac{P_p}{P_y} \quad (1-15)$$

需要系数  $K_c$  与设备效率  $\eta_n$ 、线路效率  $\eta_c$ 、负荷系数  $K_3$  和同时使用系数  $K_0$  有关, 即:

$$K_c = \frac{K_0 K_3}{\eta_n \eta_c} \quad (1-16)$$

要确定  $K_0$ 、 $K_3$ 、 $\eta_c$  等系数颇为繁难, 因此一般由经验确定一个统一的需要系数  $K_c$ 。

在求得需要系数(附录表 2)和所装置的设备容量后, 即可按下式求得计算负荷:

$$P_p = K_c \cdot P_y \quad (1-17)$$

为此确定计算负荷最简便的方法, 是目前确定计算负荷的常用方法之一。除确定机床及电阻炉计算负荷多用二项式法外, 其他用电设备如电焊设备、反复短时工作制电动机(如起重机械所用), 长期工作制电动机(如各种泵、通风机等用)及其他等计算负荷的确定, 均采用需要系数法。

需要系数有时可部分地反映出设备的利用率。如需要系数低, 即表明利用率低; 但由于工业企业电气化的发展, 生产中以电力代替劳动力的增长, 致缩短工作时间而提高劳动生产率, 以单独拖动代替集体拖动, 因而使需要系数降低。再则受电动机容量等级的限制, 常难选得确符实际负荷的电动机容量, 致有可能常在欠载状态下运行, 因此, 工业企业电气化发展的总趋势就会表现在需要系数的降低上, 这对提高生产设备的最大利用率而言, 并非减少。

2. 按二项式法确定计算负荷 用二项式以确定企业中动力负荷, 系考虑计算负荷与动力负荷间(电动机的台数和大容量的电动机)的关系。当电动机的台数甚多时, 则对计算负荷的影响可认为较少。如电动机中有数台容量较大的电动机, 则其工作情况的变化自影响计算负荷值。由此苏联 Д. С. 利夫希茨工程师提出下列经验公式, 以确定用电设备组的计



算負荷:

$$P_p = bP_v + cP_{n_x} \quad (1-18)$$

式中  $P_v$ ——該組所有用電設備的總設備容量;

$P_{n_x}$ ——該組用電設備中,  $n_x$  台容量最大的用電設備的總設備容量;

$b$  和  $c$ ——隨工作制而定的係數。

二項式中的係數  $b$ 、 $c$  和  $n_x$  查附錄表 3。

### 1-4 照明計算負荷的確定

生產及輔助生產廠房, 公共建築物及戶外照明負荷的計算值, 系按照明技術計算的結果所求出之安裝容量來確定; 而工業企業各車間的照明, 由積累的經驗證明, 亦容許按照單位面積內的單位負荷來進行計算, 並規定如表 1-1 所示的資料, 在計算上述用戶的供電線路和供電母綫上的負荷時, 必須計入需要係數。照明裝置的實際負荷, 除住宅及娛樂場所的負荷外, 均屬穩定, 因此在電燈的同一安裝容量下, 需要係數與同時接用的燈數成正比。

表 1-1 部分建築物的單位安裝容量

建築物名稱	單位容量 (包括各種照明) 瓦/平方米	其中含有		備 注
		局部照明%	事故照明%	
機械車間	10.5	12	4	1. 本指標系指所有車間(不計算建築福利部分)而言
裝配車間	10.5	5	4	
鍛工及熱處理車間	11	4	10	2. 鍋爐房、水泵房及變電所內的局部照明用於個別工作地區, 但其容量不需太大, 工廠辦公室、傳達室及福利間內不計算接于插座的台燈
翻砂車間	11.5	2	12	
機械修理車間	14	14	8	
木工車間	12.5	2	9	
纖維造紙車間	6.5	1	10	
車間福利間	10	—	13	
鍋爐房	11	—	20	
水泵房	15	—	20	
變電所	20	—	20	
汽車庫	8.5	10	6	
消防站	11	2	10	
工廠試驗室	16.5	11	3	
工廠辦公室	13.5	—	5	
傳達室	13.5	—	18	
食堂	11.5	—	10	
各類倉庫(平均)	5.5	—	—	
厂区	0.12			

當無準確的需要係數時, 可採用下列近似值:

1. 由一間或幾間大廠房所組成的生產廠房為 0.95;
2. 由較多的中等面積廠房所組成的生產廠房為 0.9;
3. 辦公室, 實驗室及與此相類似的建築物為 0.8;
4. 倉庫及變電所為 0.5;
5. 戶外照明為 1.0;
6. 事故照明為 1.0。