

江苏高校品牌专业建设工程资助项目

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

供电与电力牵引

钱爱玲 钱显毅 编著

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

江苏高校品牌专业建设工程资助项目

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

供电与电力牵引

钱爱玲 钱显毅 编 著

黄红云 邹一琴 副主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍供电与电力牵引两个方面的内容,具体包括:高效电能传输线路、高效节能用电、轨道交通供电系统、电力牵引与电气计算、电力监控系统等。本书符合教育部关于600所本科院校转型的精神和“卓越工程师教育培养计划”及转型课程改革的要求,可作为城市轨道交通、电力、电子、机械、交通、电气、自动化等专业的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

供电与电力牵引/钱爱玲,钱显毅编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.6
应用型本科 电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5606-3886-7

I. ① 供… II. ① 钱… ② 钱… III. ① 牵引供电系统—高等学校—教材
IV. ① TM922.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 079986 号

策划编辑 马晓娟

责任编辑 王斌 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18.5

字 数 437千字

印 数 1~3000册

定 价 33.00元

ISBN 978-7-5606-3886-7/TM

XDUP 4178001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

安全可靠的电力供应是保障人民生活和各项事业的基础,同时电力消费水平也是各国社会经济发展的重要标志。2012年,中国大陆发电量49 377.7亿千瓦时,占全球的21.94%,中国台湾地区发电量2503.07亿千瓦时,仅2012年1月4日一天24小时,我国电力在传输过程中的损耗就为11.5亿千瓦时。目前我国发电量总量已超过美国,居世界第一,接近于美、日两国发电量之和,但这背后是能源的巨大消耗和环境的严重污染。另外,城市汽车尾气排放,也是城市环境污染的原因之一。因此,研究和采用高效环保发电、节能电力传输、提高电能利用效率、发展轨道交通是减少环境污染,提高人民生活质量的重要措施,其具有重要的长远和现实意义。许多相关专业技术人员和高校的科研、教学都急需这方面的技术资料。

本书的主要内容包括供电与电力牵引两个方面,具体包括:高效电能传输线路、高效节能用电、轨道交通供电系统、电力牵引与电气计算、电力监控系统等。为了扩大本书的适用范围,并考虑到相关工程技术人员解决工程问题参考和培养工程应用型人才的需求,本书参考了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》,符合教育部关于600所本科院校转型的精神的要求。

本书具有以下特点:

(1) 特色鲜明,实用性强,方便读者自学。相关章节中安排有高效环保发电、节能电力传输、提高电能利用效率、发展轨道交通的阅读材料,方便相关工程技术人员自学,将每个知识点和关键技术与相关学科紧密结合,适用于不同基础的相关工程技术人员解决实际工程参考和学生学习之用。

(2) 重点突出,简明清晰,结论表述准确。对高效环保发电、节能电力传输、提高电能利用效率、发展轨道交通涉及的公式不要求有严格的证明过程,但对其原理表述清晰,结论准确,不但有利于帮助学生建立数理模型,还有利于专业技术人员进行理论分析和科研参考。

(3) 难易适中,适用面广,适于因材施教,可用于不同的工程技术人员研究、学习和参考,也可用于普通高校教学,尤其适用于卓越工程师人才的培养。

(4) 系统性强,强化应用,注重动手能力的培养,特别适用于培养创新型、实用型人才。

本书由台州学院钱爱玲和常州工学院钱显毅、黄红云等老师在长期从事供电与轨道交通相关教学与研究的基础上编写而成。其中,第1~5章由黄红云编写,第7、8章由钱爱玲编写,第6、9、10、11、12章由钱显毅编写。本书在编写过程中,得到了邹一琴老师的指导,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。如需要交流和使用科研教学资料或PPT,请通过QQ(1601907371)与作者联系。

作者
于台州学院
2016年1月

目 录

第 1 章 供电与电力负荷计算	1
1.1 电力系统	2
1.2 工业企业供电系统	5
1.3 电力系统的额定电压	7
1.4 供电质量的主要指标	9
1.5 负荷曲线与负荷计算	11
1.6 用电设备的负荷计算公式	13
1.7 功率损耗和电能损耗	20
1.8 工业企业负荷计算公式	22
1.9 特高压输电	24
第 2 章 功率因数补偿技术	26
2.1 功率因数	27
2.2 提高功率因数的方法	29
2.3 并联电力电容器组提高功率因数	30
2.4 高压集中补偿提高功率因数的计算	33
2.5 简单线性电器的功率因数提高方法	35
第 3 章 三相短路电流及其计算	40
3.1 短路的原因、形式和危害	41
3.2 供电系统的短路过程分析	43
3.3 短路电流的计算	46
3.4 短路电流的效应	55
第 4 章 高压电器设备的选择	60
4.1 电器设备选择的原则	60
4.2 开关电弧	62
4.3 高压开关设备的选择	66
4.4 母线及绝缘子的选择	78
4.5 限流电抗器及选择	83
4.6 仪用互感器	85
第 5 章 电力线路	94
5.1 电力线路概述	94
5.2 架空线路导线的截面选择方法	99
5.3 电力电缆芯线截面选择与计算	109
5.4 电力电缆安装运行与维护	113

5.5	家用装饰电缆布局与导线选择	114
第 6 章	供电系统的保护	117
6.1	继电保护装置	117
6.2	继电保护装置的电源	119
6.3	电流互感器的误差曲线及连接方式	123
6.4	供电系统单端供电网络的保护	125
6.5	变压器的保护	132
6.6	高压电动机的过电流保护	134
6.7	低压配电系统的保护	137
6.8	供电系统备用电源自动投入与自动重合闸装置	140
6.9	供电系统的防雷与接地	144
6.10	我国电力系统保护的发展与现状	153
第 7 章	供电系统的信息化	157
7.1	供电系统信息化的基本功能	157
7.2	变电所信息化系统的结构和硬件配置	160
7.3	供电系统的微机保护	166
7.4	变电站信息化系统的应用	169
7.5	智能电能表	171
7.6	在电力行业中实现全过程控制与管理	173
第 8 章	电力系统 CAD 软件开发应用	175
8.1	电力系统 CAD 软件	175
8.2	CAD 应用软件的开发方法	178
8.3	CAD 软件的文档组织	183
8.4	电力系统 CAD 软件开发步骤	186
第 9 章	轨道交通供电系统	189
9.1	轨道交通	189
9.2	轨道交通供电系统简介	192
9.3	轨道交通供电系统的组成	198
9.4	轨道交通供电系统的特点	205
9.5	有轨电车	216
第 10 章	接触网	219
10.1	接触网的组成	219
10.2	柔性接触网	222
10.3	刚性接触网	232
10.4	接触轨	237
10.5	接触轨故障分析	248
第 11 章	电力牵引与电气计算	249
11.1	电力机车牵引特性	250
11.2	牵引计算	254

11.3	馈线电流	256
11.4	牵引网电压	264
11.5	CRH 系列动车组简介	266
11.6	中国高速铁路网规划	270
11.7	中国时速为 605 千米/小时列车试验	273
第 12 章	电力监控系统	277
12.1	电力监控系统的基本组成功能	277
12.2	电力监控系统的硬件构成	279
12.3	电力监控系统的软件构成	281
12.4	电力监控系统在电力行业中的应用	283
参考文献		286

第 1 章 供电与电力负荷计算

内容摘要：本章首先介绍了电力系统及对电力系统的要求，其次介绍了负荷与电能损耗方面的计算，最后介绍了高压输电。

理论教学要求：教学的重点、难点是负荷与电能损耗，要求学生理解概念，掌握计算方法。

工程教学要求：能运用所学知识，解决实际工程安装方面的问题。

电力系统是指由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置(主要包括锅炉、汽轮机、发电机及电厂辅助生产系统等)转化成电能，再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心，通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量，为各地区经济和人民生活服务。由于电源点与负荷中心多数处于不同地区，电能也无法大量储存，故其生产、输送、分配和消费都在同一时间内完成，并在同一地域内有机地组成一个整体。电能生产必须时刻保持与消费平衡，电能的集中开发与分散使用，以及电能的连续供应与负荷的随机变化，都制约了电力系统的结构和运行。据此，电力系统要实现其功能，就需在各个环节和不同层次设置相应的信息与控制系统，以便对电能的生产和输送过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，确保用户获得安全、经济、优质的电能。

建立结构合理的大型电力系统不仅便于电能生产与消费的集中管理、统一调度和分配，减少总装机容量，节省动力设施投资，而且有利于各地区能源资源的合理开发利用，更大限度地满足各地区国民经济日益增长的用电需要。电力系统建设往往是国家及地区国民经济发展规划的重要组成部分。

电力系统的出现使高效、无污染、使用方便、易于调控的电能得到广泛应用，推动了社会生产各个领域的变化，开创了电力时代，推动了第二次技术革命。电力系统的规模和技术水准已成为一个国家经济发展水平的标志之一。

在电能应用的初期，由小容量发电机单独向灯塔、轮船、车间等的照明供电系统，可看成是简单的住户式供电系统。自白炽灯发明后，出现了中心电站式供电系统，如 1882 年托马斯·阿尔瓦·爱迪生在纽约主持建造的珍珠街电站。它装有 6 台直流发电机(总容量约为 670 千瓦)，以 110 伏电压供 1300 盏电灯来照明。19 世纪 90 年代，三相交流输电系统研制成功，并很快取代了直流输电，成为电力系统大发展的里程碑。

20 世纪以后，人们普遍认识到扩大电力系统的规模可以在能源开发、工业布局、负荷调整、系统安全与经济运行等方面带来显著的社会经济效益，于是，电力系统的规模迅速增长。世界上覆盖面积最大的电力系统是前苏联的统一电力系统。它东西横越 7000 千米，南北纵贯 3000 千米，覆盖了约 1000 万平方千米的土地。

我国的电力系统从 20 世纪 50 年代开始迅速发展。截至 2012 年年底，全国发电装机容

量达到 114 491 万千瓦, 同比增长 7.8%; 其中, 水电为 24 890 万千瓦(含抽水蓄能 2031 万千瓦), 占全部装机容量的 21.7%; 火电为 81 917 万千瓦(含煤电 75 811 万千瓦、天然气电 3827 万千瓦), 占全部装机容量的 71.5%; 核电为 1257 万千瓦, 并网风电为 6083 万千瓦, 并网太阳能发电为 328 万千瓦。

电力在传输过程中, 传输损耗占很大的比例。减少电力传输过程中的损耗, 不仅有利于节约能源, 更重要的是有利于保护环境。根据世界银行收集的数据, 美、日和金砖四国在过去的 40 年(1971—2010 年)电力传输和分配过程中的损失率及其变化如图 1-1 所示。损失率为传输和配电所导致的电力损失占当年总发电量的比例。

从图 1-1 可以看出, 我国的电能传输过程中, 损耗大约为 8.5%, 并呈现逐年下降的趋势。根据相关部门网站, 2013 年元旦过后, 全国日发电量继续保持高位, 1 月 4 日达到 153.13 亿千瓦时, 突破 2012 年 7 月 12 日的日最大发电量 152.81 亿千瓦时, 仅仅 1 月 4 日一天这 24 小时, 电力传输过程中的损耗约为 11.5 亿千瓦时。因此, 研究减少电能传输过程中的损耗意义重大。

1977 年 7 月 13 日晚上, 由于纽约州的哈得逊河谷遭受雷雨袭击, 酿成了长时间大面积的停电事故, 其中包括占地 600 平方英里、人口约为 832 万的负荷密度高的纽约市, 造成的社会影响极大, 估计损失达 100 亿美元以上。因此, 供电安全也是电力传输的重要研究课题。

目前, 我国高速铁路、动车和轨道交通高速发展, 有大量的电力牵引方面的问题值得研究。本书主要研究减少供电损耗、供电安全和电力牵引等问题。

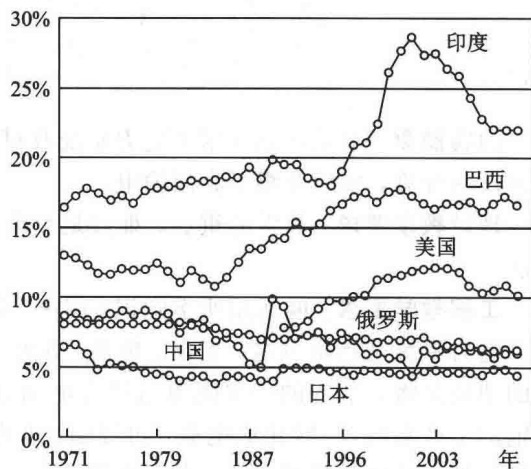


图 1-1 电力传输和分配过程中的损失率及其变化

1.1 电力系统

现代一切大规模工农业生产、交通运输和人民生活都需要大量的电能。电能是由发电厂生产的, 而发电厂多建立在一次能源所在地, 距离城市和工业企业可能很远, 这就需要将电能输送到城市或工业企业, 之后再分配到用户或生产车间的各个用电设备。为了保证电能的经济输送、合理分配, 满足各电能用户安全生产的不同要求, 需要变换电能的电压。下面简要介绍电能的生产、变压、输配和使用几个环节的基本概念。

1.1.1 发电厂

发电是指将其他形式的能量转化为电能的过程。发电厂是生产电能的工厂, 又称为发电站。它把其他形式的一次能源, 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, 通过发电设备转换为电能。

由于所利用一次能源的形式不同, 发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发

电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂和太阳能发电厂等。我国电能的获得形式当前主要是火电，其次是水电和原子能发电，至于其他形式的发电，所占比例都较小。不同的发电形式分述如下：

(1) 火力发电：是指以煤、油、天然气等为燃料的发电形式。其中，原动机多为汽轮机，个别的也有用柴油机和燃气轮机的。火力发电厂又可分为凝汽式火电厂和热电厂。

(2) 水力发电：是指把水的位能和动能转变成电能的发电形式。其发电厂主要可分为堤坝式和引水式水力发电厂。例如，三峡水电站即为堤坝式水力发电厂，建成后坝高185 m，水位为175 m，总装机容量为1768万千瓦，年发电量可达840亿千瓦时，居世界首位。

(3) 原子能发电：是指利用核裂变能量转化为热能，再按火力发电的方式发电，只是它的“锅炉”为原子核反应堆。原子能发电厂又称为核电站，如我国的秦山、大亚湾核电站。

(4) 风能发电：是指把风能转变为电能，是风能利用中最基本的一种方式。风力发电机一般由风轮、发电机(包括装置)、调向器(尾翼)、塔架、限速安全机构和储能装置等构件组成。风力发电机的工作原理比较简单，风轮在风力的作用下旋转，把风的动能转变为风轮轴的机械能，发电机在风轮轴的带动下旋转发电。

(5) 太阳能发电。太阳能发电有两种方式：一种是光—热—电转换方式；另一种是光—电直接转换方式。其中，光—热—电转换方式通过利用太阳辐射产生的热能发电，一般是由太阳能集热器将所吸收的热能转换成工质的蒸汽，再驱动汽轮机发电。前一个过程是光—热转换过程；后一个过程是热—电转换过程。与普通的火力发电一样，太阳能热发电的缺点是效率很低而成本很高，估计它的投资至少要比普通火电站贵5~10倍。光—电直接转换方式是利用光电效应，将太阳辐射能直接转换成电能。光—电转换的基本装置就是太阳能电池。太阳能电池是一种由于光生伏特效应而将太阳光能直接转化为电能的器件，它是一个半导体光电二极管，当太阳光照到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能变成电能，产生电流。当许多个电池串联或并联起来就可以成为有比较大的输出功率的太阳能电池方阵了。太阳能电池是一种新型电源，具有永久性、清洁性和灵活性三大优点。太阳能电池寿命长，只要太阳存在，太阳能电池就可以一次投资而长期使用。与火力发电、核能发电相比，太阳能电池不会引起环境污染。

(6) 核裂变发电：核裂变又称为核分裂，是指由重的原子(主要是指铀或钚)分裂成较轻的原子的一种核反应形式。原子弹以及裂变核电站、核能发电厂的能量来源都是核裂变。其中，铀裂变在核电厂最常见，加热后铀原子放出2~4个中子，中子再去撞击其他原子，从而形成链式反应而自发裂变。

只有一些质量非常大的原子核(如铀(yóu)、钍(tǔ)和钚(bù)等)的原子核才能发生核裂变。这些原子的原子核在吸收一个中子以后会分裂成两个或更多个质量较小的原子核，同时放出2~3个中子和很大的能量，又能使别的原子核接着发生核裂变……使过程持续进行下去，这样的过程称为链式反应。原子核在发生核裂变时，释放出巨大的能量称为原子核能，俗称原子能。1千克铀-235全部核裂变将产生20000兆瓦时的能量(足以让20兆瓦的发电站运转1000小时)，与燃烧2500吨煤释放的能量一样多。

核电站的关键设备是核反应堆，它相当于火电站的锅炉，受控的链式反应就在核反应堆中进行。由于核裂变过程释放出大量能量，因此可将水加热成高温、高压的水蒸气而发电。

1.1.2 变电站

变电站又称为变电所,是指变换电压、接受电能与分配电能的场所,是联系发电厂和用户的中间枢纽。它主要由电力变压器、母线和开关控制设备等组成。变电站如果只有配电设备等而无电力变压器,仅用以接受和分配电能,则称为配电站。凡是担负把交流电能变换成直流电能的变电站统称为变流站。

变电站有升压和降压之分。升压变电站多建立在发电厂内,把电能电压升高后,再进行长距离输送。降压变电站多设在用电区域,将高压电能适当降低电压后,对某地区或用户供电。降压变电站就其所处的地位和作用又可分为以下三类:

(1) 地区降压变电站又称为一次变电站,位于一个大的用电区或一个大城市附近,从 220 kV~500 kV 的超高压输电网或发电厂直接受电,通过变压器把电压降为 35 kV~110 kV,供给该区域的用户或大型工业企业用电。其供电范围较大,若全地区降压变电站停电,将使该地区中断供电。

(2) 终端变电站又称为二次变电站,多位于用电的负荷中心,高压侧从地区降压变电站受电,经过变压器,电压降到 6 kV~10 kV,对某个市区或农村城镇用户供电。其供电范围较小,若全终端变电站停电,只是该部分用户中断供电。

(3) 企业降压变电站又称为企业总降压变电站,与终端变电站相似,它是对企业内部输送电能的中心枢纽。而车间变电站用于接收企业降压变电站所提供的电能,将电压降为 220 V/380 V,对车间各用电设备直接进行供电。

1.1.3 电力网

电力网是输电线路和配电线路的统称,也是输送电能和分配电能的通道。电力网是把发电厂、变电站和电能用户联系起来的纽带。它由各种不同电压等级和不同结构类型的线路组成,按电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网和超高压网等。电压在 1 kV 以下的称为低压网;1 kV 到 10 kV 的称为中压网;高于 10 kV、低于 330 kV 的称为高压网;330 kV 及以上的称为超高压网。

1.1.4 电能用户

所有的用户单位均称为电能用户,其中主要是工业企业。据 1982 年的资料统计,我国工业企业用电占全年总发电量的 63.9%,是最大的电能用户。因此,研究和掌握工业企业供电方面的知识和理论,对提高工业企业供电的可靠性,改善电能品质,做好企业的计划用电、节约用电和安全用电是极其重要的。

为了提高供电的可靠性和经济性,现今广泛地将各发电厂通过电力网连接起来,并联运行,组成庞大的联合动力系统。其中,由发电机、变电站、电力网和电能用户组成的系统称为电力系统,其示意图如图 1-2 所示。发电机生产的电能,受发电机制造电压的限制,不能远距离输送。发电机的电压一般为 6.3 kV、10.5 kV、13.8 kV、15.75 kV,少数大容量的发电机采用 18 kV 或 20 kV。这样低的电压级只能满足自用电和给附近的电能用户直接供电。要想长距离输送大容量的电能,就必须把电能电压升高,因为输送一定的容量,输出电压越高,电流越小,线路的电压损失和功率损失也就越小。因此,通常使发电机的

电压经过升压达 330 kV~500 kV, 再通过超高压远距离输电网送往远离发电厂的城镇或工业集中地区, 再通过那里的地区降压变电站将电压降到 35 kV~110 kV, 然后再用 35 kV~110 kV 的高压输电线路将电能送至终端变电站或企业降压变电站。

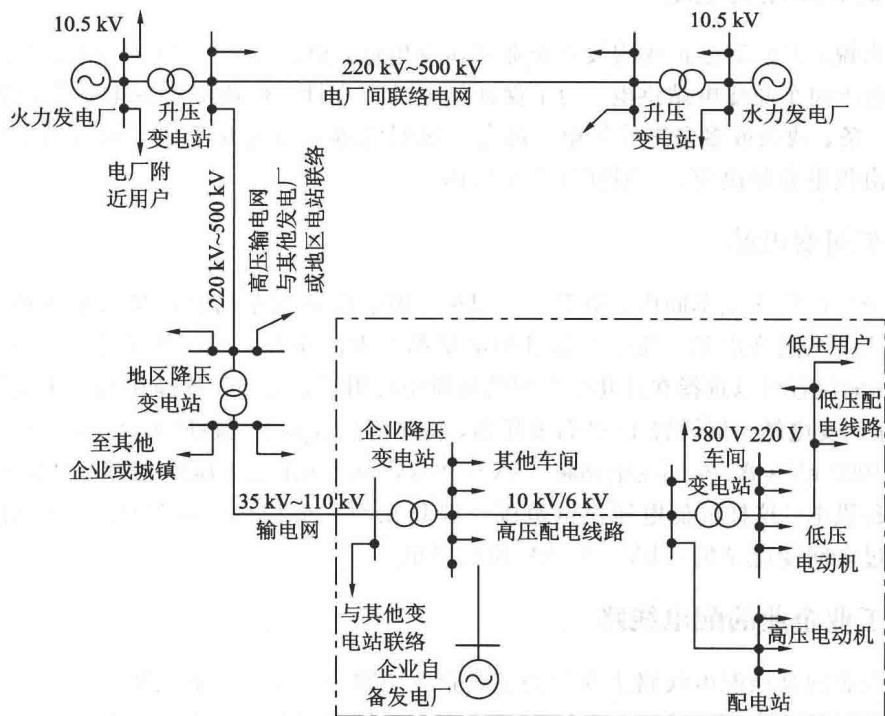


图 1-2 电力系统示意图

对于用电量较大的厂房或车间, 可以直接用 35 kV~110 kV 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。这对于减少网络损耗和电压损失, 保证电能品质具有十分重要的意义。

1.2 工业企业供电系统

2012 年, 全国用电量达 4.96 万亿千瓦时, 其中, 轻、重工业用电量占全社会用电量的比重分别为 12.27% 和 60.45%, 工业企业用电量占全社会用电量合计为 72.72%, 也就是 3.61 万亿千瓦时, 因此研究工业企业用电具有很重要的意义。

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、低压配电线路及用电设备组成。工业企业供电系统一般都是联合电力系统的一部分, 其电源绝大多数是由国家电网供电的, 但在下述情况时, 可以建立工业企业自用发电厂:

- (1) 距离系统太远。
- (2) 本企业生产及生活需要大量热能。
- (3) 本企业有大量重要负荷, 需要独立的备用电源。
- (4) 本企业或所在地区有可供利用的能源。

对于重要负荷不多的工业企业, 作为解决第二能源的措施, 发电机的原动机可利用柴

油机或其他小型动力机械。大型企业或工业区若符合上述条件(2),一般建设热、电并供的热电厂,机组台数不超过两台,容量一般不超过 25 000 千瓦/台。

1.2.1 企业降压变电站

一般来说,大型工业企业均设立企业降压变电站,把 35 kV~110 kV 电压降为 6 kV~10 kV 的电压向车间变电站供电。为了保证供电的可靠性,企业降压变电站多设置两台变压器,由一条、两条或多条进线供电,每台变压器的容量可为几千伏安到几万千伏安。其供电范围由供电容量决定,一般在几千米以内。

1.2.2 车间变电站

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,变电站的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为 1000 kV·A。车间变电站将 6 kV~10 kV 的高压配电电压降为 220 V/380 V,对低压用电设备供电。这样的低电压供电范围一般只在 500 m 以内。对车间的高压用电设备,则直接通过车间变电站的 6 kV~10 kV 母线供电。

1.2.3 工业企业的配电线路

工业企业的高压配电线路主要作为工业企业内输送、分配电能之用,通过它把电能送到各个生产厂房或车间。高压配电线路目前多采用架空线路,其建设投资少且便于维护与检修。但在某些企业的厂区内,由于厂房和其他构筑物较密集,架空敷设的各种管道在有些地方纵横交错,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,不宜于敷设架空线路。此时可考虑敷设地下电缆线路。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主要用以向低压用电设备供电。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用。在厂房或车间内部,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,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路。

对于矿山来说,井筒及井巷内的高低电压配电线路均应采用电缆线路,沿井筒壁或井巷壁敷设,每隔 2 m~4 m 用固定卡加以固定。在露天采矿场内多采用移动式架空线路,但对高低压移动式用电设备,如电铲、钻机等应采用橡套电缆进行供电。

车间内电气照明线路和动力线路通常是分开的,一般多由一台配电用变压器分别供电,如采用 220 V/380 V 三相四线制线路供电,动力设备由 380 V 三相线供电,而照明负荷则由 220 V 相线和零线供电,但各相所供应的照明负荷应尽量平衡。如果动力设备冲击负荷使电压波动较大,则应使照明负荷由单独的变压器供电。事故照明必须由可靠的独立电源供电。

工业企业低压配电线路虽然距离不长,但用电设备多,支路也多,设备的功率虽然不

大，电压也较低，然而电流却较大，导线的有色金属消耗量往往超过高压配电线路。因此，正确解决工业企业低压配电系统的问题，是一项既复杂又重要的工作。

1.3 电力系统的额定电压

为使电气设备生产标准化，便于大量成批生产，使用中又易于互换，对发电、供电、受电等所有设备的额定电压都必须统一规定。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发展趋势等一系列因素，经全面研究分析，由国家制定颁布的。我国 1981 年颁布的额定电压国家标准为 GB156—80。

电气设备的额定电压是指能使发电机、变压器和一切用电设备在正常运行时获得的最有经济效果的电压。按照 GB156—80 的规定，额定电压分为以下两类。

1.3.1 3 kV 以下的设备与系统的额定电压

3 kV 以下的额定电压包括直流、单相交流和 3 kV 以下的三相交流等三种，如表 1-1 所示。在国家标准中规定，受电设备的额定电压和系统的额定电压是一致的。供电设备的额定电压是指电源(蓄电池、交直流发电机和变压器二次绕组等)的额定电压。

表 1-1 3 kV 以下的额定电压(单位为 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) 标有十号者只作为电压 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**号为只准许 在煤矿井下及特殊场所使用 的电压； (5) 标有▽号者只作为单台 设备的额定电压； (6) 带有斜线者，斜线之上 为额定相电压，之下为额定 线电压
2	2					
3	3					
6	6					
12	12	6	6	36	36	
24	24	12	12			
36	36	24	24			
		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▽，	400▽，460			380/660	100/690	
440						
800▽	800▽					
1000▽	1000▽					
				1140**	1200**	

1.3.2 3 kV 以上的设备与系统的额定电压及其最高电压

3 kV 以上的额定电压均为三相交流线电压,国家标准规定如表 1-2 所示。表中所列设备最高电压是指根据绝缘性能和与最高电压有关的其他性能而确定的该级电压的最高运行电压。表中对 13.8 kV、15.75 kV、18 kV、20 kV 的设备最高电压未做具体规定,可由供需双方研究确定。

表 1-2 3 kV 以上的额定电压及其最高电压(单位为 V)

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	设备最高电压,通常不超过该系统额定电压的 1.15 倍,但对 330 kV 以上者取 1.1 倍
6	6.3、6.6	6.9	
9	10.5、11	11.5	
	13.8		
	15.75		
	18		
	20		
35		40.5	
60		69	
110		126	
220		252	
330		363	
500		550	
750			

从表 1-1 和表 1-2 可以看出,电压在 100 V 以上的供电设备额定电压均高于受电设备额定电压。这样规定的原因如下:

(1) 发电机通过线路输送电流时,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%,以补偿线路上的电压损失。

(2) 变压器二次绕组额定电压高出受电设备额定电压的百分值,归纳起来有两种情况:一种情况是高出 10%;另一种情况是高出 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,当变压器满载供电时,由于其一、二次绕组本身的阻抗将引起一个电压降,使变压器满载运行时,其二次绕组实际端电压较空载时约低 5%,比受电设备额定电压尚高出 5%。利用这 5%补偿线路上的电压损失,受电设备可以维持其额定电压。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%,多适用于变压器靠近用户且配电距离较小的情况。由于线路很短,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。

由于变压器一次绕组均连接在与其额定电压相对应的电力网末端,相当于电力网的一个负载,因此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。

电力网系统的额定电压虽然规定和受电设备额定电压相同,但实际上电力网从始端到

末端,由于电压损失的影响,各处是一样的,距电源越远处其电压越低,并且随负荷的大小而变化。那么线路的电压究竟以哪个数值来表示最为合理呢?通常在计算短路电流时,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_{av} 来表示线路的电压。线路的平均额定电压是指线路始端最大电压 U_1 (指变压器空载电压)和末端受电设备额定电压 U_2 的平均值,即

$$U_{av} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

由于工业企业内生产机械种类繁多,因而所配用的电动机和电器,从容量和电压等级来看,其类型也是繁多的。电压等级用得越多,势必增加变电、配电以及控制设备的类型和投资,增加故障的可能性及继电保护的动作时限,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、备件品种规格增多,极易造成积压浪费。因此在同一个企业内一般不应同时采用两种高压配电电压。

近年来,有些企业采用的大型生产机械日益增多,用电量剧增,因此已广泛采用 35 kV~110 kV 甚至更高的电压直接深入到负荷中心的供电方式。从发展趋势看,随着大规模生产的发展,35 kV~110 kV 等级的电压将成为大型企业的高压配电电压。

1.4 供电质量的主要指标

工业企业供电质量的主要指标为电压、频率和可靠性。

1.4.1 电压

当加于用电设备端的电网实际电压与用电设备的额定电压相差较大时,对用电设备的危害很大。以照明用的白炽灯为例,当加于灯泡的电压低于其额定电压时,发光效率降低,发光效率的降低会使工人的身体健康受到影响,也会降低劳动生产率;当电压高于额定电压时,则使灯泡经常损坏。例如,某车间由于夜间电压比灯泡额定电压高 5%~10%,致使灯泡损坏率达 30% 以上。

对电动机而言,当电压降低时,转矩急剧减小。例如,当电压降低 20% 时,转矩将降低到额定值的 64%,电流增加 20%~35%,温度升高 12%~15%。转矩减小,使电动机转速降低,甚至停转,导致工厂产生废品甚至招致重大事故,感应电动机本身也会因为转差率增大导致有功功率损耗增加,线圈过热,绝缘迅速老化,甚至烧毁。

某些电热及冶炼设备对电压的要求非常严格,电压降低使生产率下降,能耗显著上升,成本增高。

电网容量扩大和电压等级增多后,保持各级电网和用户电压正常是比较复杂的工作,因此,供电单位除规定用户电压质量标准外,还要进行无功补偿和调压规划的设计工作以及安装必要的无功电源和调压设备,并对用户用电和电网运行做出一些规定和要求。

1.4.2 频率

我国工业上的标准电流频率为 50 Hz,除此而外,在工业企业的某些方面有时采用较高的频率,以减轻工具的重量,提高生产效率,加热零件。例如,汽车制造或其他大型流水

作业的装配车间采用频率为 175 Hz~180 Hz 的高频工具,某些机床采用 400 Hz 的电机以提高切削速度,锻压、热处理及熔炼利用高频加热等。

当电网低频率运行时,所有用户的交流电动机转速都将相应降低,因而许多工厂的产量和产品的质量都将不同程度地受到影响。例如,当频率降至 48 Hz 时,电动机转速降低 4%,冶金、化工、机械、纺织、造纸等工业的产量相应降低,有些工业产品的质量也会受到影响,例如,纺织品出现断线、毛刺,纸张厚薄不匀且印刷品颜色深浅不规律。电网低频率运行时,可以用计算机进行监控。在计算机监控时,可以采用相应的信号表示。

频率的变化对电力系统运行的稳定性影响很大,因而对频率的要求要比对电压的要求严格得多,一般不得超过 $\pm 0.5\%$ 。

电力系统变电站供电的工业企业,其频率是由电力系统保证的,即在任一瞬间电源发出的有效功率等于用户负荷所需的有效功率。当发生重大事故时,电源发出的有效功率与用户负荷所需的有效功率不再相等,以致影响到频率的质量。电力系统往往按照频率的降低范围,切除某些次要负荷,这是一套自动装置,也称为在故障情况下自动按频率减负荷装置。

1.4.3 可靠性

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也不相同。有的要求很高,有的要求很低,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一级负荷、二级负荷和三级负荷三个等级。

(1) 一级负荷:这类负荷在供电突然中断时将造成人身伤亡,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。而对特别重要的一级负荷,应由两个独立电源点供电。

独立电源的含义是: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,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,或者虽有联系,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。

独立电源点主要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,不影响其他电源点继续供电。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。

特别重要的一级负荷通常又称为保安负荷。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他总降压变电站,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。

(2) 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,导致生产流程紊乱且恢复较困难、企业内部运输停顿、出现大量废品或大量减产,因而会在经济上造成一