



全国中等职业技术学校电工类专业通用教材

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO DIANGONGLEI ZHUANYE TONGYONG JIAOCAI

企业供电系统及运行

(第四版)



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电工类专业通用教材

企业供电系统及运行

(第四版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

企业供电系统及运行/张祥军编著. —4 版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007
全国中等职业技术学校电工类专业通用教材
ISBN 978 - 7 - 5045 - 6383 - 5

I. 企… II. 张… III. 工业用电-供电-专业学校-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 101255 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11.75 印张 276 千字

2007 年 7 月第 4 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

本书封面轧有我社社标和英文缩写的暗纹

否则即为盗版, 请读者举报

举报电话: 010 - 64954652

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电工类专业的教学要求,劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的教师 and 行业专家,对中等职业技术学校电工类专业教材进行了修订(新编)工作。

这次教材修订(新编)工作的重点主要在以下几个方面。

第一,坚持以能力为本位,重视实践能力的培养,突出职业技术教育特色。根据电工类专业毕业生所从事职业的实际需要,合理确定学生应具备的能力结构与知识结构,对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整,同时,进一步加强实践性教学内容,以满足企业对技能型人才需求。

第二,吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验,部分专业课教材的编写采用了理论知识与技能训练一体化的模式,使教材内容更加符合学生的认知规律,易于激发学生的学习兴趣。

第三,根据科学技术发展,合理更新教材内容,尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,力求使教材具有较鲜明的时代特征。同时,在教材编写过程中,严格贯彻了国家有关技术标准的要求。

第四,努力贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神,力求使教材内容涵盖有关国家职业标准(中级)的知识和技能要求。

第五,在教材编写模式方面,尽可能使用图片、实物照片或表格形式将各个知识点生动地展示出来,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。同时,针对相关知识点,设计了很多贴近生活的导入和互动训练等,意在引导学生参与到实践中来。

第六,我们还特别注意了教辅资源的开发,除了有配套习题册和教学参考书外,还重点开发了多媒体教学光盘、电工专业考试题组卷系统,力求为教学工作的开展构建一个更加完善的辅助平台,为教学提供方便。

这次修订（新编）的教材包括：《电工基础（第四版）》《电子技术基础（第四版）》《机械与电气识图（第二版）》《机械知识（第四版）》《电工仪表与测量（第四版）》《电机与变压器（第四版）》《安全用电（第四版）》《电工材料（第四版）》《可编程序控制器及其应用（第二版）》《电气拖动控制线路与技能训练（第四版）》《企业供电系统及运行（第四版）》《维修电工技能训练（第四版）》《电工技能训练（第四版）》《电工EDA》。

本套教材可供中等职业技术学校电工类专业使用，也可作为职工培训教材。

本次教材的修订（新编）工作得到了北京、天津、辽宁、江苏、浙江、山东、四川、河南、广东等省、直辖市劳动和社会保障厅（局）及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《企业供电系统及运行》（第四版）的主要内容有：概论，企业供电系统，企业电力线路，企业供电系统主要电气设备，短路电流及其计算，企业供电系统的保护及其二次回路，变电站的综合自动化简介，电气安全、防雷与接地，企业的电能节约，电气照明等。

本书由张祥军编著。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年7月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1—1 电力系统的基本概念	(1)
§ 1—2 电力系统的电压	(5)
§ 1—3 电力系统的中性点运行方式	(8)
§ 1—4 企业常见的电气设备	(11)
习题	(12)
第二章 企业供电系统	(14)
§ 2—1 企业变配电站的作用和类型	(15)
§ 2—2 企业变配电站的主接线	(16)
§ 2—3 企业变配电站的运行管理	(20)
§ 2—4 电力负荷及其计算	(25)
习题	(31)
第三章 企业电力线路	(33)
§ 3—1 企业电力线路的接线方式	(33)
§ 3—2 企业电力线路的结构和技术要求	(35)
§ 3—3 导线和电缆截面的选择	(42)
§ 3—4 电力线路的运行与维护	(44)
习题	(46)
第四章 企业供电系统主要电气设备	(48)
§ 4—1 高压一次设备	(48)
§ 4—2 低压一次设备	(58)
§ 4—3 电力变压器	(64)
§ 4—4 电压互感器与电流互感器	(66)
§ 4—5 电气设备的选择	(71)
§ 4—6 主要电气设备的运行与维护	(73)
习题	(77)
第五章 短路电流及其计算	(79)
§ 5—1 短路的基本知识	(79)

§ 5—2 无限大容量电力系统的短路·····	(80)
§ 5—3 短路电流的计算·····	(83)
习题·····	(87)
第六章 企业供电系统的保护及其二次回路 ·····	(88)
§ 6—1 保护装置的作用及对其要求·····	(88)
§ 6—2 常用的保护继电器·····	(89)
§ 6—3 高压电力线路继电保护·····	(92)
§ 6—4 变压器继电保护·····	(94)
§ 6—5 低压配电系统的保护·····	(98)
§ 6—6 变配电站的操作电源与自动装置·····	(100)
§ 6—7 变配电站的控制和信号回路·····	(104)
习题·····	(109)
第七章 变电站的综合自动化简介 ·····	(111)
§ 7—1 变电站综合自动化系统的特点和主要内容·····	(111)
§ 7—2 变电站综合自动化的结构形式·····	(113)
习题·····	(115)
第八章 电气安全、防雷与接地 ·····	(116)
§ 8—1 电气安全·····	(116)
§ 8—2 大气过电压与防雷·····	(119)
§ 8—3 电气设备接地·····	(128)
习题·····	(133)
第九章 企业的电能节约 ·····	(134)
§ 9—1 节约用电的意义和措施·····	(134)
§ 9—2 电动机与变压器的节能·····	(135)
§ 9—3 提高企业供电系统的功率因数·····	(139)
习题·····	(144)
第十章 电气照明 ·····	(145)
§ 10—1 照明基本知识·····	(145)
§ 10—2 常用的电光源和灯具·····	(147)
§ 10—3 照明供电系统及其选择·····	(154)
习题·····	(157)
附录表 ·····	(158)
附录表 1 用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数	(158)

附录表 2	部分工厂的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用 小时参考值	(159)
附录表 3	常用架空线路导线的电阻及正序电抗	(159)
附录表 4	10 kV 级部分配电变压器的主要技术数据	(160)
附录表 4a	S9、SC9 型配电变压器的主要技术数据	(160)
附录表 5	静电电容器的无功补偿率	(161)
附录表 6	BW 型静电电容器的主要技术数据	(162)
附录表 7	导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数	(162)
附录表 8	架空裸导线的最小截面	(163)
附录表 9	绝缘导线芯线的最小截面	(163)
附录表 10	裸铜、铝及钢芯铝线的载流量	(164)
附录表 10a	温度校正系数 K_{θ} 值	(164)
附录表 11	10 kV 常用三芯电缆的允许载流量	(164)
附录表 11a	电缆在不同环境温度时的载流量校正系数	(165)
附录表 11b	电缆在不同土壤热阻系数时的载流量校正系数	(165)
附录表 12	绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑料管时的允许载流量	(166)
附录表 12a	管径的国际单位制 (SI 制) 与英制的近似对照	(168)
附录表 13	RN1、RN2 型户内高压熔断器技术数据	(168)
附录表 14	RW 型高压熔断器技术数据	(169)
附录表 15	常用高压隔离开关技术数据	(169)
附录表 16	部分高压断路器的主要技术数据	(170)
附录表 17	RTO 型低压熔断器主要技术数据和保护特性曲线	(171)
附录表 18	部分万能式低压断路器的主要技术数据	(172)
附录表 19	DZ10 型低压断路器的主要技术数据	(173)
附录表 20	常用高压电流互感器主要技术数据	(173)
附录表 21	常用电压互感器主要技术数据	(175)
附录表 22	电磁式电流继电器的主要技术数据	(176)
附录表 23	电磁式电压继电器的主要技术数据	(176)
附录表 24	电磁式时间继电器的主要技术数据	(176)
附录表 25	电磁式中间继电器的主要技术数据	(177)
附录表 26	电磁式信号继电器的主要技术数据	(178)
附录表 27	GL—11、15、21、25 型电流继电器的主要技术数据及其 动作特性曲线	(178)
附录表 28	阀型避雷器的基本特性	(179)
附录表 29	企业配照灯的比功率参考值	(179)
附录表 30	普通照明白炽灯的主要技术数据	(179)

第一章 概 论

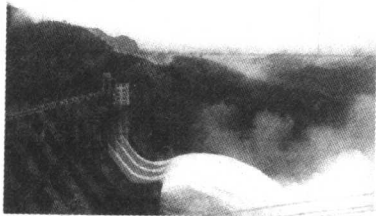
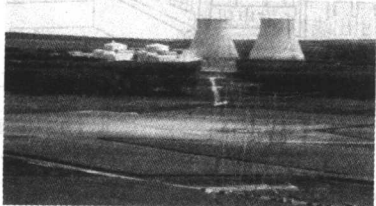
§ 1—1 电力系统的基本概念

电能的生产、输送、分配和使用的全过程，是在同一瞬间实现的，为了保证企业供电的安全与可靠，首先应了解发电厂和电力系统的一些基本概念。

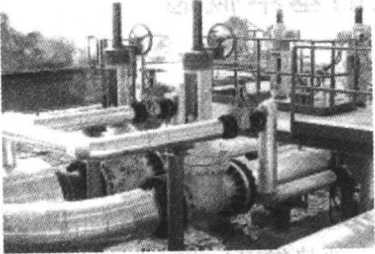
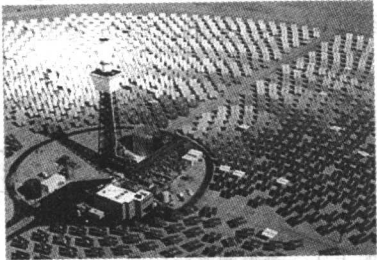
一、发电厂简介

发电厂，是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂。常见的有水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂和太阳能发电厂等。其中，兼供热能的火电厂，通常称为热电厂，表 1—1 介绍了几种常见的发电厂类型及主要特征，图 1—1~图 1—6 为各种发电厂生产过程示意图。

表 1—1 常见的发电厂类型及主要特征

类型	实 景	能量来源	工作原理	能量转换过程
水力发电厂		水流的上下水位差（落差），即水流的位能	当控制水流的闸门打开时，水流沿进水管进入水轮机蜗壳室，冲动水轮机，带动发电机发电	水流位能→机械能→电能
火力发电厂		燃料燃烧产生的化学能	将锅炉内的水烧成高温高压的蒸汽，推动汽轮机转动，使与它连轴的发电机旋转发电	燃料的化学能→热能→机械能→电能
核能发电厂		原子核的裂变能	与火电厂基本相同，只是以核反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了大量的煤炭	核裂变能→热能→机械能→电能

续表

类型	实 景	能量来源	工作原理	能量转换过程
风力发电厂		风力的动能	是利用风力带动风车叶片旋转,再透过增速机将旋转的速度提升,来促使发电机发电	风力的动能 →机械能→电能
地热发电厂		地球内部蕴藏的大量地热能	基本与火力发电的原理一样。不同的是利用的能量是地热能(天然蒸汽和热水)	地下热能→ 机械能→电能
太阳能发电厂		太阳光能或太阳热能	通过太阳能电池板等,直接将太阳的辐射能转换为电能	太阳的辐射能→电能

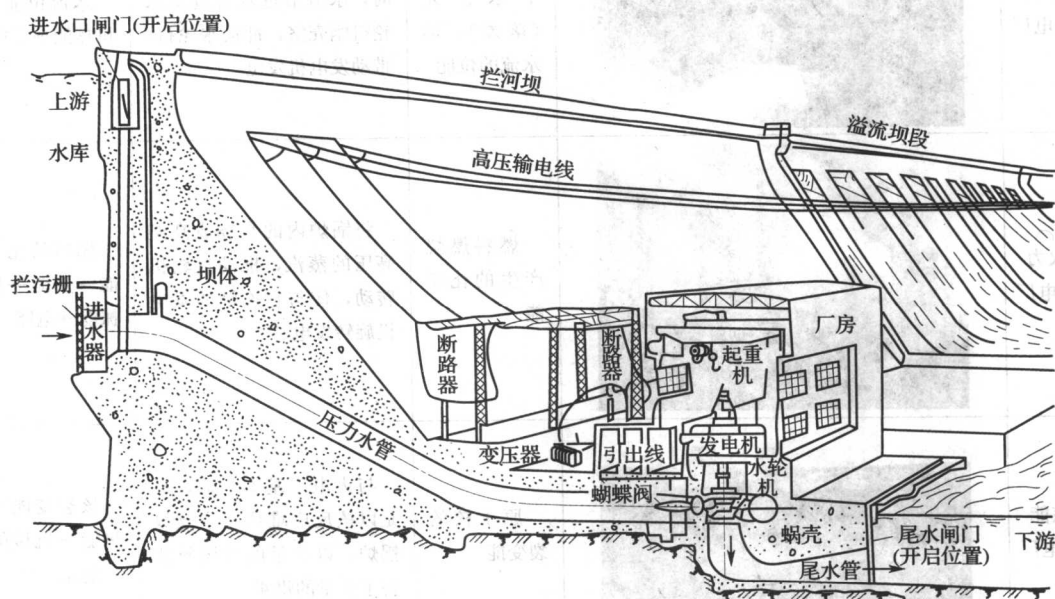


图 1—1 水力发电厂生产过程示意图

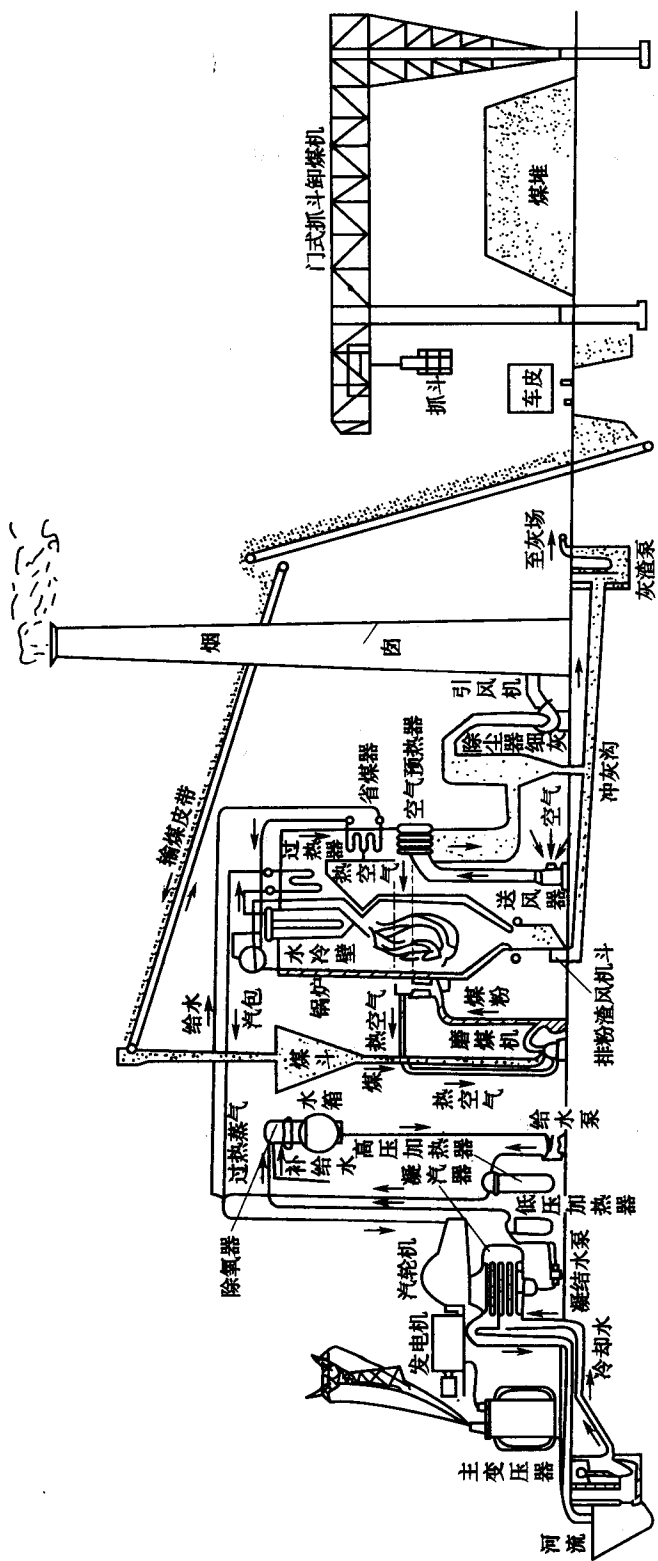


图 1—2 火力发电厂生产过程示意图

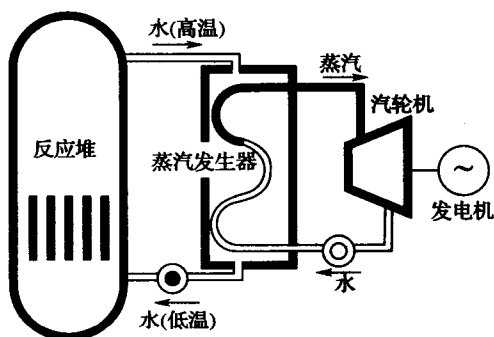


图 1—3 核能发电厂生产过程示意图

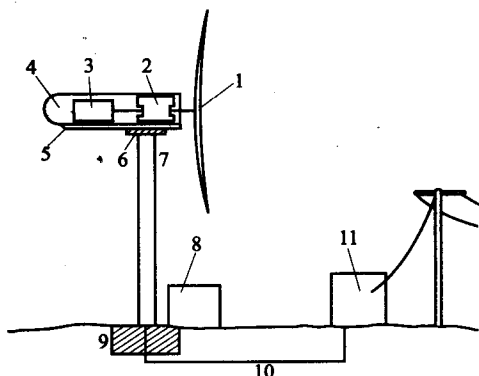


图 1—4 风力发电装置示意图

- 1—转子 2—升速装置 3—发电机 4—控制装置
5—底板 6—定向装置 7—支撑铁塔 8—控制箱
9—基座 10—电力电缆 11—升压站



知识拓展

潮汐发电：

与水力发电原理相似，利用潮水涨、落产生的水位差所具有的势能来发电。也就是把海水涨、落潮的能量变为机械能，再把机械能转变为电能（发电）的过程。

垃圾发电：

与火力发电原理相似，就是利用垃圾焚烧时产生的热量发电。

二、电力系统简介

为了充分利用动力资源，减少燃料运输，降低发电成本，在有水力资源的地方建造水电站，在有燃料资源的地方建造火电厂。但是，这些有动力资源的地方，往往离用电中心地区较远，必须用高压输电线路进行远距离输电。这就需要各种升压、降压变电站和输配电线路（图 1—5）。

在各个发电厂、变电站和电力用户之间，用不同电压的电力线路，将它们连接起来，这些不同电压的电力线路和变电站的组合，称为电力网。由发电厂的电气设备、不同电压的电力网和电力用户的用电设备所组成的一个发电、变电、输电、配电和用电的整体，称为电力系统。

三、对电力系统的基本要求

为了很好地为企业生产服务，切实保证企业生产和人民群众生活用电的需要，并做好节能工作，对电力系统的基本要求如下：

1. 安全

在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。

2. 可靠

应满足电能用户对供电可靠性的要求。

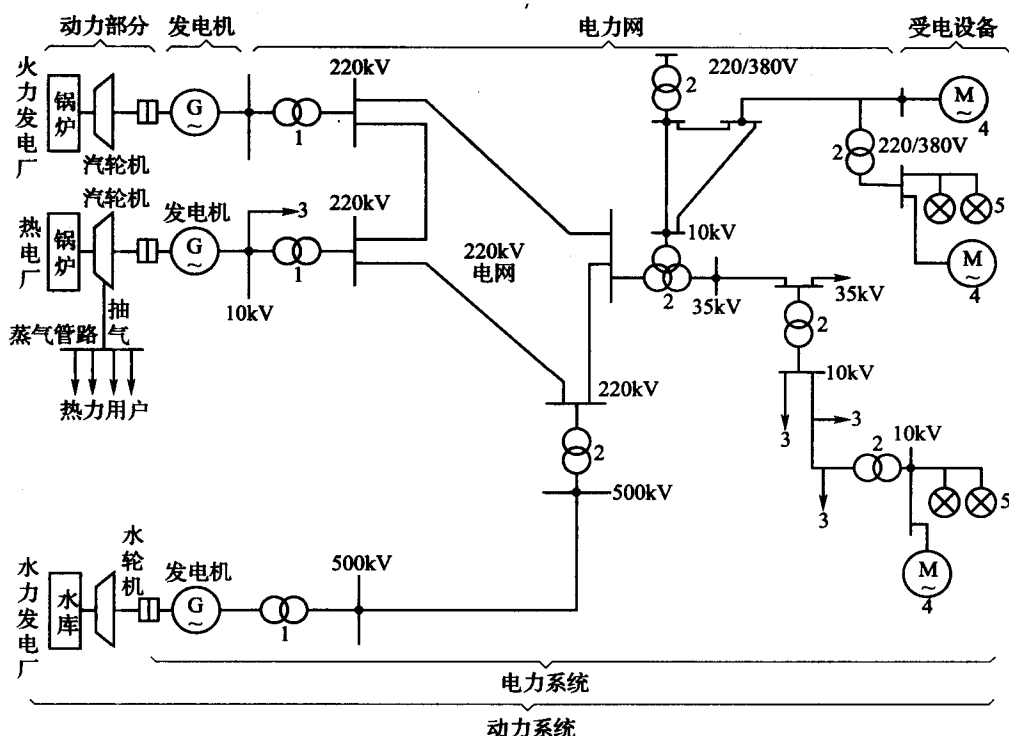


图 1—5 电力系统和电力网示意图

1—升压变压器 2—降压变压器 3—负荷 4—电动机 5—电灯

3. 优质

应满足电能用户对电压和频率等质量的要求。

4. 经济

供电系统的投资要少，运行费用要低，并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。



电力系统应将“安全、可靠、优质、经济”的八字方针贯穿始终。

§ 1—2 电力系统的电压

电力系统中的所有电气设备，都是在一定的电压下工作的。能够使电气设备正常工作的电压称为额定电压，各种电气设备在额定电压下运行时，其技术性能和经济效果最佳。我国交流电力设备的额定频率为 50 Hz，此频率通称为“工频”。

电压和频率是衡量电能质量的两个重要指标。

一、电力网和电气设备的额定电压

按照 GB 156—1993《标准电压》的规定，我国三相交流电网和发电机的额定电压，见表 1—2。表 1—2 中的变压器一、二次绕组额定电压，是依据我国生产的电力变压器标准产品规格确定的。

表 1—2 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (GB 156—1993)

分类	电网和用电设备额定电压 (kV)	发电机额定电压 (kV)	电力变压器额定电压 (kV)	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	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
	—	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

1. 电网（线路）的额定电压

由于线路运行时（有电流通过时）要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1—6 中虚线所示。线路始端比末端电压高，因此供电线路的额定电压采用始端电压和末端电压的算术平均值，此电压称为电力网的额定电压。

电网的额定电压是国家根据国民经济发展的需要和电力工业的水平，经全面技术经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

由于线路上各点的电压都略有不同，如图 1—6 中虚线所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。因此规定，用电设备的额定电压与同级电网的额定电压相同。

3. 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损失值，因此为了维持线路的平均电压在额定值，线路首端（电源端）的电压可比线路额定电压高 5%，而线路末端则可比线路额定电压低 5%，如图 1—6 所示。所以，规定发电机额定电压高于同级电网额定电压 5%。

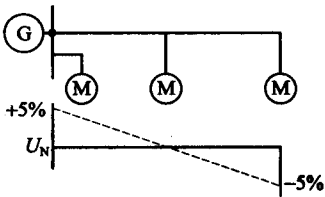


图 1—6 用电设备和发电机的额定电压说明

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压 当变压器直接与发电机相连时,如图 1—7 中的变压器 T1,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%。

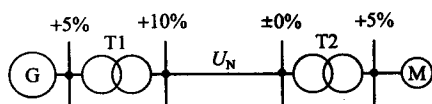


图 1—7 电力变压器额定电压的说明

当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时,如图 1—7 中的变压器 T2,则可看做是线路的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压 变压器二次侧供电线路较长(如为较大的高压电网)时,如图 1—7 中的变压器 T1,其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10%,其中有 5%是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部约 5%的电压降,因为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时二次绕组开路的电压;此外变压器满负荷时输出的二次电压还要高于所联电网额定电压 5%,以补偿线路上的电压降。

变压器二次侧供电线路不长(如为低压电网,或直接供电给高低压用电设备)时,如图 1—7 中的变压器 T2,其二次绕组额定电压只需高于所联电网额定电压 5%,仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5%的电压降。



在表 1—2 中,电力变压器的一、二次绕组额定电压,为什么会有两组数字?

二、企业供电系统配电电压的选择

1. 高压配电电压的选择

企业供电系统的高压配电电压的选择,主要取决于当地电源电压及企业高压用电设备的电压和容量、数量等因素。

企业采用的高压配电电压通常为 6~10 kV。从技术经济指标来看,最好采用 10 kV。首先,由于同样的输送功率和输送距离条件下,配电电压越高,线路电流越小,因而线路所采用的导线或电缆截面越小,从而可减少线路的初期投资和有色金属消耗量,且可减少线路的电能损失和电压损失。其次,采用 10 kV 电压级,在开关设备的投资方面也不会比采用 6 kV 电压等级有多少增加。另外,从供电的安全性和可靠性来说,6 kV 与 10 kV 也差不多。而从适应发展来说,10 kV 更优于 6 kV。实践运行结果表明采用 10 kV 电压较采用 6 kV 电压更适应于发展,输送功率更大,输送距离更远。如果企业拥有相当数量的 6 kV 用电设备,或者供电电源的电压就是 6 kV,则可考虑采用 6 kV 电压作为企业的高压配电电压。否则应选择 10 kV 作为企业的高压配电电压,而 6 kV 用电设备则可通过专用的 10/6.3 kV 变压器单独供电。3 kV 作为高压配电电压的技术经济指标很差,一般不采用。如果企业有 3 kV 用电设备时,可采用 10/3.15 kV 的专用变压器单独供电。

如果当地的电源电压为 35 kV 或 66 kV,而厂区环境条件又允许采用 35 kV 或 66 kV 架空线路,则可考虑采用 35 kV 或 66 kV 作为高压配电电压深入企业各车间负荷中心,并经车间变电站直接降为低压用电设备所需的电压。这样,不但可以省去一级中间变压环节,而且大大简化了供电系统的结线,节约有色金属,降低电能损失和电压损失,提高供电质量,

因此有一定的推广价值。

2. 低压配电电压的选择

企业的低压配电电压一般采用 220/380 V，其中线电压 380 V 接三相动力设备及 380 V 的单相设备，相电压 220 V 接一般照明灯具及其他 220 V 的单相设备。但某些场合宜采用 660 V（甚至更高的 1140 V）作为低压配电电压。例如，矿井下，因负荷中心往往离变电站较远，为保证负荷端的电压水平而采用 660 V 或更高电压配电。采用 660 V 电压配电，较之采用 380 V 配电，不仅可以减少线路的电压损失，提高负荷端的电压水平，而且能减少线路的电能损失，降低线路有色金属消耗量和初投资，增加配电半径，提高供电能力，减少变电点，简化企业供配电系统，还能进一步扩大感应电动机的制造容量。因此提高低压配电电压有明显的经济效益，是节电的有效手段之一，在世界各国已成为发展的趋势。



高压配电电压（6~10 kV）的选择：

企业采用的高压配电电压通常为 3~10 kV，从技术经济指标来看，最好采用 10 kV。

低压配电电压的选择：

除特殊情况，企业的低压配电电压。一般采用 220/380 V，其中线电压 380 V 接三相动力设备及 380 V 的单相设备，相电压 220 V 接一般照明灯具及其他 220 V 的单相设备。

§ 1—3 电力系统的中性点运行方式

在三相交流电力系统中，作为供电电源的发电机和变压器的中性点有三种运行方式：一种是电源中性点不接地，另一种是中性点经阻抗接地，再有一种是中性点直接接地。前两种合称为小接地电流系统，后一种称为大接地电流系统。

我国 3~66 kV 系统，特别是 3~10 kV 系统，一般采用中性点不接地的运行方式。如单相接地电流大于一定数值时（3~10 kV 系统中接地电流大于 30 A，20 kV 及以上系统中接地电流大于 10 A），则应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。我国 110 kV 及以上的系统，则都采用中性点直接接地的运行方式。

一、中性点不接地的电力系统

图 1—8 是电源中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图。

为了使讨论问题简化，假设图 1—8a 所示三相系统的电源电压和线路参数（指其 R 、 L 、 C ）都是对称的，而且将相与地之间存在的分布电容用一个集中电容 C 来表示；由于相间存在的电容对所讨论的问题无影响而予以略去。

系统正常运行时，三个相的相电压 U_U 、 U_V 、 U_W 是对称的，三个相的对地电容电流 I_{C0} 也是平衡的，因此三个相电容电流的相量和为零，没有电流在地中流动。各相对地的电压，就等于各相的相电压。

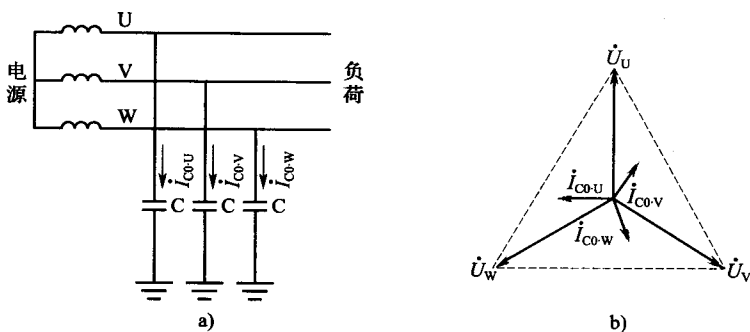


图 1—8 正常运行时的中性点不接地的电力系统

a) 电路图 b) 相量图

系统发生单相接地时，例如 W 相接地，如图 1—9a 所示。这时 W 相对地电压为零，而 U 相对地电压 $\dot{U}'_U = \dot{U}_U + (-\dot{U}_W) = \dot{U}_{UW}$ ，V 相对地电压 $\dot{U}'_V = \dot{U}_V + (-\dot{U}_W) = \dot{U}_{VW}$ ，如图 1—9b 所示。由相量图可见，W 相接地时，完好的 U、V 两相对地电压都由原来的相电压升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

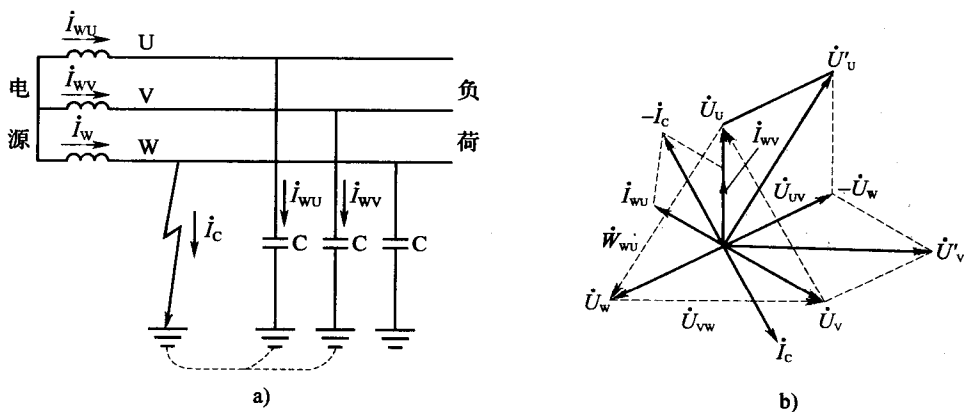


图 1—9 单相接地时的中性点不接地的电力系统

a) 电路图 b) 相量图

C 相接地时，系统的接地电流（电容电流） I_C 应为 U、V 两相对地电容电流之和。由于一般习惯将从电源到负荷的方向及从相线到大地方向取为电流的正方向，因此

$$I_C = -(I_{WU} + I_{WV}) \quad (1-1)$$

由图 1—9b 的相量图可知， I_C 在相位上正好超前 $\dot{U}_W$ 90° ；而在量值上，由于 $I_C = \sqrt{3}I_{WU}$ ，而 $I_{WU} = \frac{U'_U}{X_W} = \frac{\sqrt{3}U_U}{X_W} = \sqrt{3}I_{C0}$ ，

因此

$$I_W = 3I_{C0} \quad (1-2)$$

即一相接地的电容电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。

I_C 通常采用经验公式来确定，需要时可查阅有关资料，这里不再赘述。