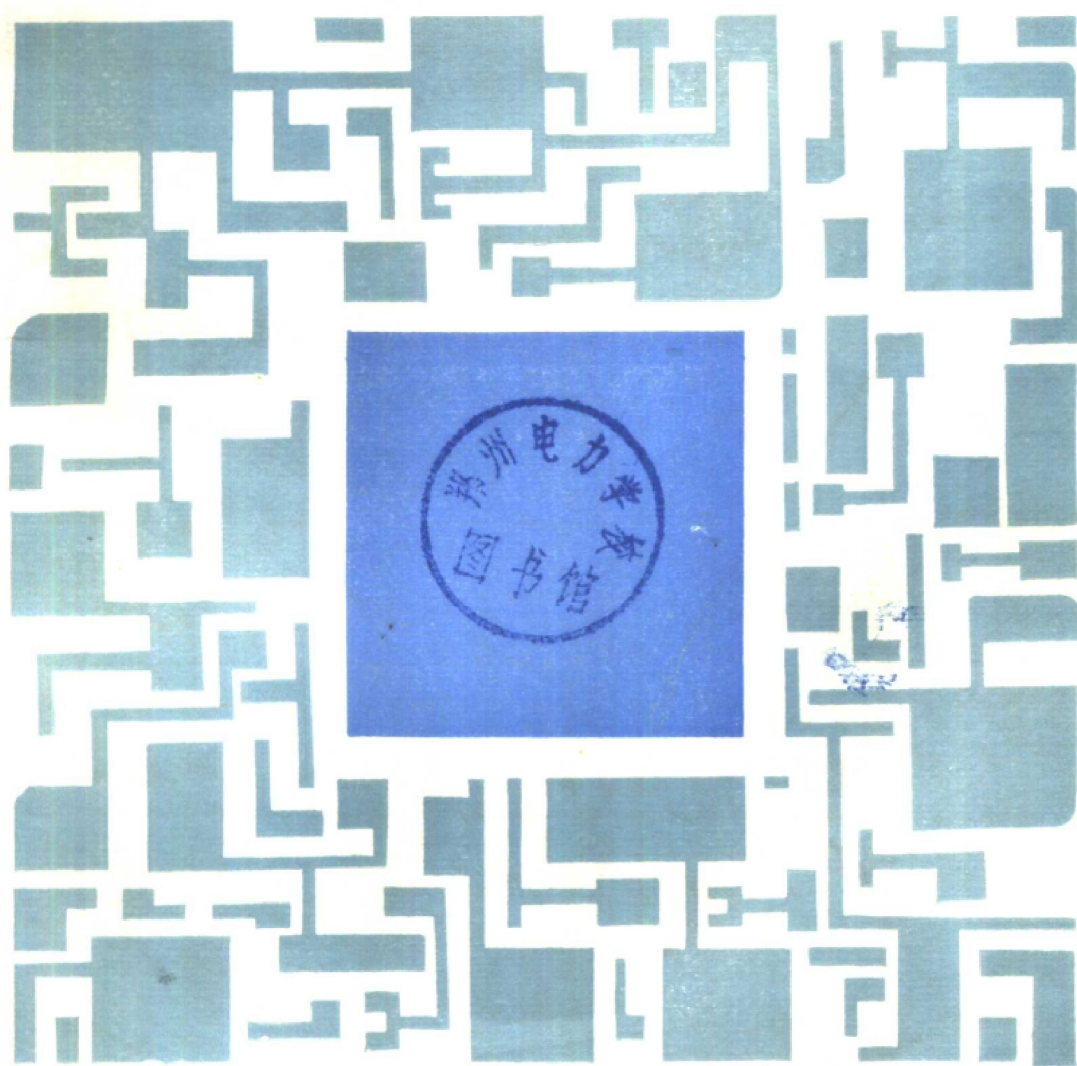




技工学校电工类通用教材

电力系统及运行



劳动人事出版社

技工学校电工类通用教材

电力系统及运行

劳动部培训司组织编写

劳动人事出版社

本书是根据原劳动人事部培训就业局审定颁发的《电力系统及运行教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括：电力系统的基本知识、工厂企业供电系统、电力变压器运行、电气设备运行及选择、继电保护、电容器及过电压保护、节约用电基本知识等。

本书也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材以及职工的自学用书。

本书由曾昭桂、史凤歧、李玉芳、赵树波、于志军编写，曾昭桂主编，何柏茂、王兴华审稿，何柏茂主审。

电力系统及运行

劳动部培训司组织编写

责任编辑：任萍

劳动人事出版社出版

（北京市和平里中街12号）

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 19.5印张 487千字

1988年9月北京第1版 1988年9月北京第1次印刷

印数：32 650册

ISBN 7-5045-0195-6/TM·014（除） 定价：4.15元

前 言

为了培养合格的中级电气技术工人，原劳动人事部培训就业局于1986年委托有关省、市劳动人事部门负责组织编写了一套电工类技工学校教材。包括：机械知识、电工基础、电子技术基础、电工材料、电机与变压器、电力拖动与自动控制、电力系统及运行、安全用电、电工仪表与测量、维修电工生产实习以及内外线电工生产实习等11种。这套教材在编写时注意了理论联系实际及其科学性、先进性，反映了电工专业的新技术、新工艺、新材料、新设备，并一律采用了国家统一规定的新标准。它适合于招收初中毕业生、学制为三年的电工类技工学校使用，也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材。

技工学校电工专业教学计划中规定开设的政治、语文、数学、物理、制图、企业管理等课程，均采用机械类技工学校的教材。其中数学、物理、制图三门课程另组织编写了教学大纲。

由于编写时间紧促，经验不足，缺点错误在所难免，望各地区、各部门在使用中提出宝贵意见，以便再版时修订。

劳动部培训司

一九八八年七月

81783

目 录

第一章 电力系统基本知识.....	(1)
§ 1-1 电力生产过程.....	(1)
§ 1-2 电力系统.....	(4)
§ 1-3 电力网的额定电压.....	(8)
§ 1-4 电力系统中性点的接地方式.....	(9)
习题一.....	(14)
第二章 工厂企业供电系统.....	(16)
§ 2-1 工厂企业供电方式	(16)
§ 2-2 工厂企业高压配电网络	(20)
§ 2-3 计算负荷的确定	(22)
习题二.....	(36)
第三章 电力线路及运行.....	(37)
§ 3-1 电力线路的结构	(37)
§ 3-2 电力线路的损耗计算	(46)
§ 3-3 电力线路导线截面的选择	(51)
§ 3-4 架空线路的运行和维护	(57)
§ 3-5 配电线路检修	(59)
§ 3-6 电缆线路的运行维护和预防性试验	(65)
习题三.....	(74)
第四章 电力变压器的运行及事故处理.....	(76)
§ 4-1 变压器允许的运行方式	(76)
§ 4-2 变压器的经济运行	(81)
§ 4-3 变压器油的运行	(84)
§ 4-4 变压器运行中的检查和维护	(88)
§ 4-5 变压器的检修及试验	(89)
习题四.....	(98)
第五章 变、配电所的电气设备及运行.....	(99)
§ 5-1 变、配电所的主接线方式	(99)
§ 5-2 高压开关的结构及运行	(102)
§ 5-3 母线和绝缘子	(136)
§ 5-4 成套配电装置	(143)
§ 5-5 电气设备的倒闸操作	(149)
§ 5-6 电气设备的运行和检修	(156)

习题五	(163)
第六章 互感器及运行	(165)
§ 6-1 电流互感器	(165)
§ 6-2 电压互感器	(170)
习题六	(178)
第七章 电气设备的选择	(180)
§ 7-1 短路电流的基本概念	(180)
§ 7-2 电气设备选择的基本原则	(181)
§ 7-3 电气设备的选择	(183)
习题七	(184)
第八章 电容器及无功功率补偿	(185)
§ 8-1 电容器结构	(185)
§ 8-2 移相电容器的运行和试验	(191)
§ 8-3 无功功率补偿	(200)
习题八	(208)
第九章 继电保护及二次回路	(209)
§ 9-1 继电保护的基本知识	(209)
§ 9-2 6—10千伏线路保护	(216)
§ 9-3 电力变压器保护	(226)
§ 9-4 高压电动机保护	(231)
§ 9-5 移相电容器的保护	(235)
§ 9-6 晶体管继电保护基本知识	(236)
§ 9-7 变、配电所的自动装置	(242)
§ 9-8 变、配电所的二次装置	(248)
§ 9-9 继电保护装置的运行和试验	(255)
习题九	(256)
第十章 过电压保护和接地装置	(258)
§ 10-1 过电压种类及产生	(258)
§ 10-2 过电压保护设备	(267)
§ 10-3 线路过电压保护	(277)
§ 10-4 变、配电所及高压电动机过电压保护	(279)
§ 10-5 接地装置	(284)
习题十	(291)
第十一章 节约用电	(292)
§ 11-1 概述	(292)
§ 11-2 企业供电损耗及降损措施	(293)
§ 11-3 用电设备的节约用电	(301)
习题十一	(306)

第一章 电力系统基本知识

§ 1-1 电力生产过程

电力是输送和取用都很方便的能源，因此现代化工农业、交通运输业、科学技术、国防建设和人民生活等方面，都广泛地使用电力。

电力主要来自火力发电厂和水力发电厂，此外，还有核能、风力、太阳能、地热等发电厂。下面将分别叙述火力发电厂和水力发电厂的生产过程。

一、火力发电厂

在火力发电厂中一般以煤为燃料，此外也有用石油、天然气等作燃料。

(一) 火力发电厂分类

1. 按照用户的需要分类

(1) 凝汽式发电厂。只生产供给用户的电能。一般应建设在靠近燃料的产地，特别应建设在靠近低质煤（洗煤、炼焦副产物等）的产地。因为将电能送到远距离用户处，要比运输燃料经济、方便。由于凝汽式火电厂建设地点较方便，建设期限短，基建投资较小，故火力发电厂都以凝汽式为主。

(2) 供热式发电厂。即供给用户电能又供给热能。某些部门（如纺织、化工等）在生产产品时，不仅需要消耗电能，而且也需要消耗热能。此外，城市公用事业和居民取暖也需要消耗热能。因此，这些部门都要自备锅炉设备。为了提高燃料利用的经济性和改善凝汽式火电厂的效率，往往要在用户附近修建热电厂。不仅对用户供给电能，而且也可以集中供热。

现代热电厂在供给用户的两种能量后（电能和热能），可使总效率从30~40%提高到60~70%。从供电和供热的全局来看，可以节约燃料20~25%。

2. 按照供电对象分类

(1) 区域性发电厂。区域性发电厂多建设在煤炭基地。这种发电厂可以发出大量的电力，通过超高压输电线路向负荷中心供电。例如山西雁同火电基地，就是通过500千伏高压输电线路向京津唐地区供电的，属于区域性发电厂。

(2) 地方性发电厂。这类电厂多建在靠近用户的地方，除供给电能外，还供给小部分热能，其容量较区域性电厂小。

根据地方电厂担负的任务可分为：

1) 城市供热电厂。主要供给城市工矿企业生产和居民日常生活所需要的电能和热能。

2) 工业自备电厂。该电厂专门供应某个工业企业所需要的电能和热能，归本工业企业所有。

3) 小型发电厂。它是一种因地制宜，充分利用各种资源建设起来的小容量的发电厂。主要用来满足城乡工农业生产和人民生活的需要，它的能源消耗大，不经济。

3) 列车电站。把一些成套设备和装置安装在火车车厢内, 便于在铁路上行走, 以满足特殊需要。

(二) 火力发电厂的基本生产过程

图1—1为火力发电厂的生产过程示意图, 其生产过程简述如下:

电厂的煤在锅炉7的炉腔中燃烧而产生热能, 使锅炉内的水冷壁管加热, 水受热而蒸发, 变成具有一定压力和温度的蒸汽。蒸汽进入汽轮机1, 使其汽轮机转子转动, 将蒸汽的热能转换成机械能。汽轮机带动发电机2旋转, 将机械能转换成电能。

在汽轮机内作完功的蒸汽将进入凝汽器3, 蒸汽在凝汽器被冷却水冷却, 凝结成水。凝结水由凝结水泵4打至除氧器5, 经加温脱氧后由给水泵打入锅炉内。

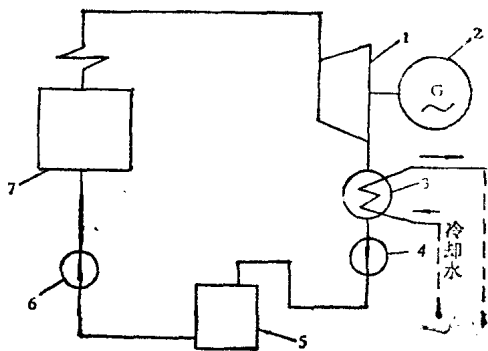


图 1—1 热力发电厂的生产过程

1—汽轮机 2—发电机 3—凝汽器 4—凝结水泵 5—除氧器 6—给水泵 7—锅炉

这里需要指出, 冷却水在凝汽器中, 吸收了蒸汽的热量后排出, 从而带走了一部分热量。因此一般凝汽式发电厂的效率是不高的, 目前比较先进的指标也只达到37~40%。

热电厂可以提高热效率, 减少热能损耗, 把作过功的蒸汽所含的热能充分利用起来。它由汽轮机中段抽出部分作过功的蒸汽, 再把这些蒸汽引到给水加热器加热, 供热力用户的用水, 或把蒸汽直接送给热力用户。这样减少热量消耗, 从而提高了热效率, 从全局来看也可节约燃料20~25%。但是, 由于热网络不能太长, 所以热电厂总是建在热力用户集中的地区。

二、水力发电厂

利用水利资源来发电的电厂称为水力发电厂。水力发电厂容量的大小决定于河流上下游的水位差和流量的大小。因此, 建设水力发电厂必须根据不同的条件, 采用不同的方法, 将河道上分散的落差集中起来, 形成所需要的水头。按照落差方式的不同, 有不同类型的电厂, 下面简要介绍一下。

(一) 水力发电厂的类型

1. 堤坝式水力发电厂 (或称坝式)

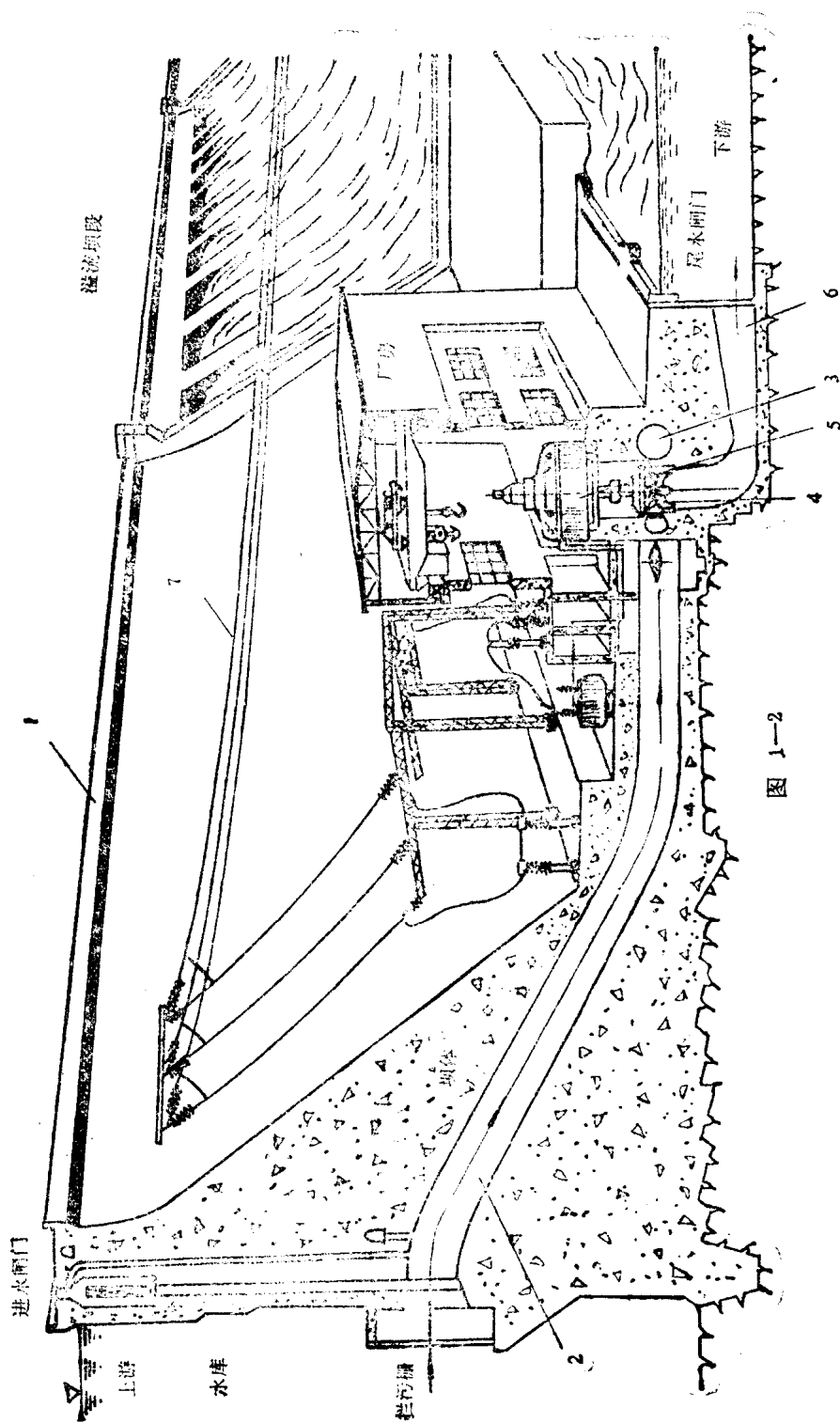
在河道上修建堤坝 (或闸门) 拦河蓄水, 形成水库, 提高水位, 集中落差, 调节径流, 利用水能发电。这种堤坝式水力发电厂又可分为河床式和坝后式两种。

河床式水力发电厂, 厂房建在河床上, 与堤坝布置在一条直线上, 承受水的压力, 如葛洲坝、富春江等水电厂都属于此种形式。

坝后式水力发电厂, 厂房位于坝后 (坝的下游), 厂房与坝分开, 不承受压力。如新安江、刘家峡等水电厂都属于此种形式。综上所述, 坝式水电厂, 综合利用效益高, 但水头小, 水库淹没区大, 工程大, 投资也多。

2. 引水式水力发电厂

在河流坡降较陡的河段上游, 筑一低坝取水, 通过人工建造的引水渠道、隧洞、压力水管等将水引到河段下游, 用以集中落差发电。此种水电厂落差较大, 综合利用效益差, 工程



较小，造价低，可利用天然地形条件。

3. 混合式水力发电厂

这是堤坝式和引水式两者兼有的水力发电厂。其中一部分落差由拦河坝集中，另一部分落差由引水道集中。由于有水库，可以调节径流，又具备引水式特点。

(二) 水力发电厂生产过程

水力发电厂的生产过程比火力发电厂要简单很多，下面以堤坝式水电厂为例说明水电厂的生产过程，见图1—2。由拦河坝1维持在高水位的水，经压力水管2进入螺旋形蜗壳3，利用水的流速和压力冲击水轮机叶轮4，推动转子转动，将水能变成机械能，水轮机再带动发电机5转动，将机械能转换为电能。作过功的水由尾水管6排往下游。发电机发出的电能，除供给厂用外，大部分经升压变压器，升高电压后由高压输电线路7送到系统。

§ 1-2 电 力 系 统

一、电力系统的组成

通常将发电厂（动力部分和电气部分）、变电所到用户的用电设备和用热设备，以电力网及热力网连接起来的总体，称动力系统，如图1—3所示。动力系统电气部分，即发电机、电力网（简称电网）和用户等组成的部分称电力系统。

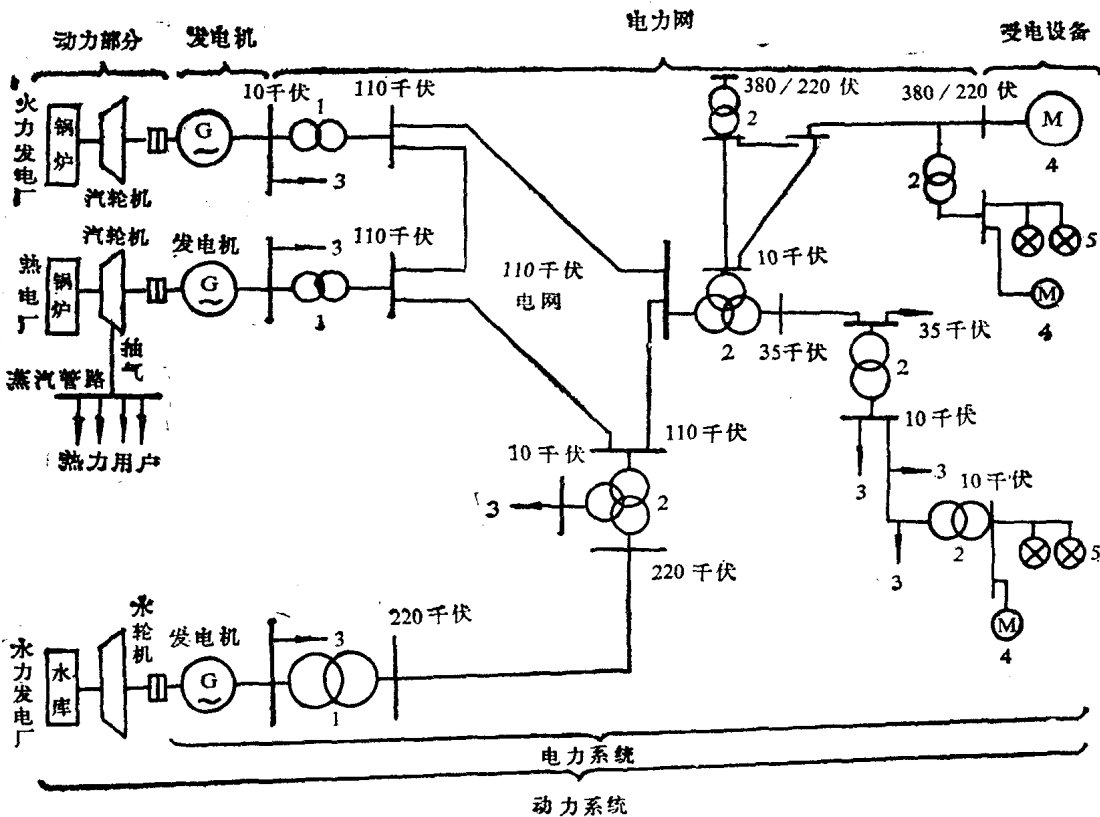


图 1—3 动力系统、电力系统、电力网示意图

1—升高变压器 2—降压变压器 3—负荷 4—电动机 5—电灯

1. 发电厂

发电厂是电力系统的中心环节，它是将其它形式的能量转换为电能的一种工厂。

2. 电力网

电力网是由各种不同电压等级的电力线路和送变电设备组成的。是电力系统的重要组成部分，是发电厂和用户不可缺少的中心环节。电力网的作用是将电能从发电厂输送并分配到用户处。

电力网包含输电线路的电网称为输电网；包含配电线路的电网称配电网。

输电网是由35千伏及以上的输电线路与其相连的变电所组成，是电力系统的主要网络（简称主网），也是电力系统中电压最高的电网，在电力系统中起到骨架作用，所以，又称网架。它的作用是将电能输送到各个地区的配电网或直接送给大型工业用户。

配电网是由10千伏及以下的配电线路和配电变电所组成。它的作用是将电力分配到各类用户。

电力网按本身结构方式，又可分为开式电力网和闭式电力网。用户从单方向得到电能的电网称开式电力网；凡用户从两个及两个以上方向得到电能的电力网称为闭式电力网。环形和两端供电的电网，均属闭式电力网。

为了研究方便，电力网分为地方网和区域网两大类。电压在110千伏及以上的电力网称区域性电力网；电压在110千伏以下的电力网称地方性电网。

3. 电力系统负荷

电力系统中所有用户的用电设备消耗功率的总和，称电力系统负荷。分有功负荷和无功负荷两种。

有功负荷是把电能转换成其它形式能量时在用电设备中消耗有功功率。例如：白炽灯、电炉及各种机床消耗的为有功功率。电力电路内，电、磁场间交换的那部分能量称无功功率。

发电机即发有功功率，又发无功功率。发电机的视在功率等于它的额定电压 U_e 和额定电流 I_e 的乘积，对三相交流发电机的视在功率是 $S_e = \sqrt{3} U_e I_e$ ，一般铭牌上的功率指有功功率而言。有功功率 P_e 与视在功率 S_e 的比值称为功率因数，即 $\cos\varphi_e = P_e / S_e$ 。

二、联合电力系统的优越性

两个或两个以上小型电力系统，用电网连接起来并联运行，组成地区性的电力系统。再用输电线路把几个地区性电力系统连接起来组成的大电力系统，称联合电力系统。组成联合系统在技术上和经济上都有很大的优越性，归纳起来有以下几个方面。

1. 提高了供电的可靠性和电能质量

为了保证个别机组发生故障和检修时，仍对用户连续供电，就必须要有有一定的备用容量，约占总装机容量的10~15%，并且不应小于一台最大机组容量。由于联合电力系统容量大，备用机组台数多，个别机组发生故障对系统的影响小，而几台机组同时故障的机会又少，因此供电的可靠性提高了。由于联合系统的容量较大，个别负荷的变动，不会使系统的电压和周波有明显的变化，所以能保证较好的电能质量。

2. 可减少系统的装机容量，提高设备利用率

由于联合电力系统很大，南北地区有季差，东西不同的地区有时差。其综合起来的最大负荷，必然小于各单独系统最大负荷的总和。

在联合电力系统中，各电厂的机组可以轮流检修（水轮发电机和汽轮发电机也可以错开

时间检修)。当某些电厂的机组故障时,可由系统其他机组支援,这样可以减少总的备用容量。

因此,组成联合电力系统以后,在用电量一定时,可以减少总的装机容量。在总装机容量一定时,增加供电量,使设备的利用率提高。

3. 便于安装大型机组

安装大型机组每一千瓦设备的投资和生产每一度电能的燃料消耗及维护费用,都比装设小机组便宜。但是,对小容量的电力系统,大机组的采用给系统运行和检修造成一定困难。一般认为100万千瓦以上的电力系统,单机容量不宜超过系统容量的10%。所以系统容量越大,按此比例可装设的机组容量也越大,收到的经济效益也就越高。

4. 合理利用资源,提高运行的经济性

用于发电的能源很多:水力、风力、潮汐、地热、火力等电厂。若不和系统联接,就难以充分利用。例如水力资源受河流的水文情况,气候条件的影响,而河流的天然流量与年降水量有关。若水电站孤立运行,在夏季丰水期时要弃水发电,而冬季枯水期出力不足,使水力资源不能充分利用。如果把水电站与系统并列运行,在夏季丰水期可让水电站满发,火力发电厂少发,或有些机组可以检修;在冬季枯水期则让火电厂多发水电厂少发,并可以检修水轮机组。这样不但为国家节省了缺乏的煤炭资源,又充分利用了水力资源。既降低了电能的成本,又提高了运行的经济性。

三、电力用户对电力系统的基本要求

(一)保证电能质量

电压和周波是衡量电能质量的重要指标。电压、周波的过高或过低影响工厂企业正常生产,影响了电力系统的稳定性,下面将讨论电压和周波变动时的危害。

1. 在额定周波下,电压变动时的运行

对一台制好了的电机其额定出力是一定的。当发电机的电压比额定值高5%,则定子绕组中的电流比额定值低5%;当电压比额定值低5%时,则定子电流比额定值高5%。这两种情况是允许的,不会给电机和用户带来不利的影响。

在实际运行中,发电机的电压变动很大,超出 $\pm 5\%$ 的范围,这是不允许的。将会给电机和用户带来很不利的影响。

发电机输出容量不变时,电压过高就要增加发电机的励磁电流,会使转子绕组的温度升高。电压过高使定子铁芯中的磁通密度增大,漏磁通增加,铁芯损耗增加,造成铁芯发热。同时使发电机端盖或基座等金属结构出现局部过热危险,甚至使固定定子的压环铸铁熔化而造成事故。电压过高,使发电机、电动机绝缘老化,甚至击穿;使白炽灯寿命缩短,若电压升高5%,灯泡寿命缩短一半;使用电设备也有可能损坏,对带铁芯的用电设备,由于电压升高,使铁芯过饱和,其无功损失增加。

当发电机电压低于额定值的90%运行时,其铁芯处于未饱和状态,使电压不能稳定,当励磁电流稍有变化,电压就有很大变化,可能破坏并列运行的稳定性,引起振荡或失步。

电压过低时,使用户的电动机运行情况恶化。因为电动机的电磁转矩正比于电压的平方,因此当电压下降时转矩降低更为严重。当电压降至额定电压的30~40%左右,经一秒钟转矩崩溃,自动停转;正在启动的电机可能起动不起来。电压下降造成电动机定子电流增加,运行中温度升高,甚至将电动机烧毁。

电压过低使照明设备不能正常发光。如白炽灯的电源电压降低5%时,其发光效率降低

18%；如电源电压降低10%时，则降低约35%。

电压过低使功率和电能损失增加。用户所需要的功率不变时，线路输送的功率也不变，由于电压降低，使线路中电流增大，使网络中功率损耗和电能损耗增大。

电压过低使电气设备不能充分利用。当电压降低到额定值的80%时，线路和变压器的电能输送的容量只为额定值的64%。移相器的无功出力也降低为额定值的64%。系统中发电机所发出的有功和无功出力都降低。

此外当电力系统电压降至额定电压的70%左右时，可能造成电压崩溃，电网解列，造成大面积停电。

为此，规程规定电力系统中用户电压的变动范围为：

35千伏及以上电压供电和对电压质量有特殊要求的用户—— $\pm 5\sim 10\%$ 。

10千伏及以下高压供电和低压电力用户—— $\pm 7\%$ 。

低压照明用户—— $\pm 5\sim 10\%$ 。

2. 在额定电压下，周波变动时的运行

周波也是供电的质量标准之一。我国电力系统的额定频率为50赫兹。根据《电力工业技术管理法规》规定，在300万千瓦以上的系统中，周波的变动不超过 ± 0.2 周/秒；在不足300万千瓦的系统中周波的变动不得超过 ± 0.5 周/秒。

周波过高使发电机转速增加。因为发电机的频率与转子转速成正比，所以当周波升高时，转子的转速增加，使其离心力增加，使转子机械强度受到威胁，对安全运行十分不利。在汽轮发电机组中，与其同轴的汽轮机装有保护装置，使汽轮机组的转速限制在额定转速的110%内，若转速超过此规定，汽轮机的危急保安器就动作，关闭主汽门，使汽轮发电机停止运行。

当电力系统有功负荷增加，并大于发电厂的出力时，电力系统的周波就要降低，当周波降得过低时，就会影响电力系统安全运行，发电机出力就要受到限制。这是因为：

(1) 发电机的通风靠转子端部的风扇来进行的，当周波过低时，转子转速降低，风扇转速随之下降，使发电机的通风量减少，因而造成铁芯和绕组的温度升高。只能用减负荷的办法使温度降低。

(2) 发电机的感应电势与周波和磁通成正比。如果周波降低，要保持母线电压不变，就必须增加磁通，也就是增加励磁电流，势必使转子绕组温升增加。为了避免转子过热也只有减负荷。

(3) 汽轮机在低速下运行，若发电机输出的功率不变，叶片要过负荷。因为功率等于转矩与角速度的乘积，周波降低，角速度也降低，当输出功率不变时，转矩就要增大。当叶片过负荷严重时，机组会产生较大的振动，并影响叶片的寿命。特别是当叶片振动频率接近或等于叶片的固有振动频率时，可能产生共振，至使叶片折断。

(4) 系统的低周波运行时，使发电厂中水、风、煤系统中的电动机转速都降低（当周波降低25%时，电动机转速降低4%），严重时会影响发电机的有功出力，使频率进一步降低，形成恶性循环，可能造成全厂停电事故。

低周波运行，用户所有电动机的转速降低，将会影响冶金、化工、机械、纺织等行业的产品质量和产量。

为了防止低周波运行，除加快电源建设，保持适当的备用容量外，常采用低周波自动减负荷装置。它在电力系统的周波低至预先整定值时，将自动切除次要负荷。

(二) 保证供电可靠性

电力系统中各种动力设备和电气设备都可能发生各种故障，影响电力系统的正常运行，造成对用户供电中断。对用户供电的中断，给工农业生产和国民经济带来很大损失，影响现代化建设的速度，影响人民的正常生活。

衡量供电可靠性的指标，一般以全部用户平均供电时间占全年时间（8760小时）的百分数来表示。如用户平均每年停电（包括事故和检修停电）时间为 17.52 小时，则停电时间占全年时间的 0.2%，即供电的可靠性为 99.8%。

运行经验证明，电力系统的大事故，往往是由小事故引起的，整体性事故往往是由局部性事故的扩大而造成的。因此，要保证对用户供电可靠，首先在设计时选择合理的电力系统结构和接线，采用高度可靠的电气设备和自动装置，并要对每一发电、变电、输电和用电设备都要经常进行监视、维护，进行定期检修和预防性试验，严格执行规章制度，加强运行管理工作，提高电气运行人员的技术水平，以防止各种误操作。另外，制定合理的系统运行方式，保持适当的备用容量，也可减少事故，缩小事故范围，提高供电可靠性。

§ 1-3 电力网的额定电压

从上节我们知道电压是电能质量的重要标志之一，电压偏移超过允许范围，用电设备的正常运行就会受到影响。因此，用电设备最理想的工作电压就是它的额定电压。各种用电设备在额定电压下运行时，其技术性能和经济效果最好。所谓额定电压，就是能使各种用电设备处于最佳运行状态的工作电压。

为了使用电设备生产实现标准化和系列化，我国规定了用电设备的统一额定电压等级，如表1—1所示。

表 1—1 用电设备的额定电压 千伏

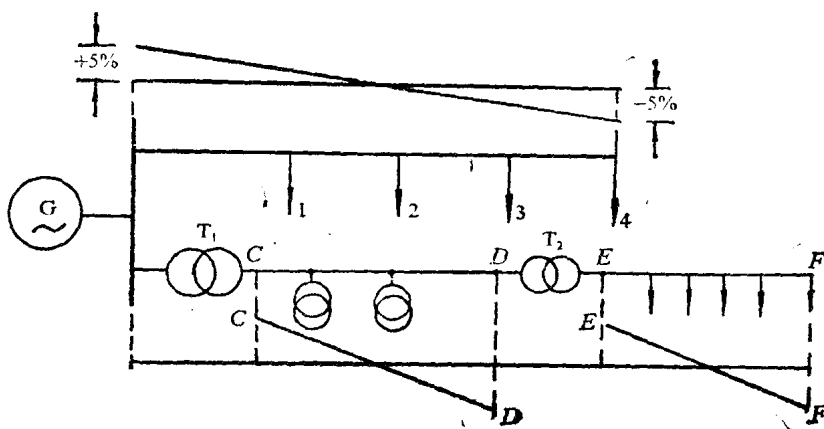
电网额定电压	发电机额定电压	变 压 器	
		一 次 线 圈	二 次 线 圈
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
3	3.15	3~3.15*	3.15~3.3**
6	6.3	6.0~6.3	6.3~6.6
10	10.5	10~10.5	10.5~11
35		35	38.5
110		110	121

注：* 变压器的一次线圈档内 3.15、6.3、10.5 千伏电压适用于和发电机端直接连接的升压变压器和降压变压器。

** 变压器二次线圈档内 3.3、6.6、11 千伏电压适用于阻抗值在 7.5% 及以上的降压变压器。

一般用电设备的额定电压等于供电线路的额定电压。由于线路中有电压损失，如图 1—4 中的用电设备 1~4 将要受到不同的电压，线路始端比末端的电压高。同时，由于在运行线路上各点电压也不恒定，随负荷变化而变，所以，用电设备电压尽可能接近额定电压。通常，采用线路始端电压 U_1 和末端电压 U_2 的算术平均值 $U_e = (U_1 + U_2)/2$ 作为用电设备的额定电

压, 这个电压也就是电力网的额定电压。



图—4 电网额定电压的说明

用电设备的电压一般允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 以内变化, 而线路的电压损失一般为 10% 。所以始端电压 U_1 比额定电压 U_0 高 5% , 而末端电压 U_2 则比 U_0 低 5% , 从而保证了用电设备的正常运行。

发电机处在线路始端。因此, 发电机的额定电压 U_G 比接入它的电网电压高 5% 。例如 10 千伏电网中, 发电机的额定电压为 10.5 千伏。

变压器具有发电机和用电设备的双重地位, 它的一次线圈是接受电能的, 相当于用电设备, 它的额定电压应等于用电设备的额定电压 (即电力网络的电压); 二次线圈送出电能, 它相当于一个发电机。但是直接和发电机相连的变压器如图1—4中的 T_1 是升压变压器, 一次线圈的额定电压应等于发电机的额定电压; 变压器二次线圈的额定电压应比用电设备的额定电压高 5% , 由于变压器二次线圈的额定电压是空载实验测得的, 当带上额定负载后, 则二次线圈就有了额定电流通过, 产生了阻抗压降, 其电压损失为 5% 。因此, 为了保证在正常工作时变压器二次线圈输出的电压比用电设备高 5% , 就必须使变压器二次线圈的额定电压较用电设备的额定电压高 10% 。同样, 降压变压器 T_2 一次线圈的额定电压在电压等级较低时比电网额定电压等级高 5% , 在电压等级较高时, 应比电网的额定电压等级高 10% 。

§ 1-4 电力系统中性点的接地方式

电力系统的中性点即是发电机和变压器的中性点。从运行的可靠性、安全运行和人身安全考虑, 中性点常采用不接地、直接接地和经消弧线圈接地三种接地方式, 下面分别讨论。

一、中性点不接地方式

电力系统的三相导线之间和各相导线对地之间, 沿导线全长都有电容分布, 这些电容引起了附加电流。为了讨论方便, 认为三相系统是对称的, 则各相对地均匀分布的电容由一个集中电容来表示, 如图1—5所示。线间电容电流数值较小, 故可不考虑。

(一) 正常运行

中性点不接地系统正常运行时, 各相对地电压 $\dot{U}_U, \dot{U}_V, \dot{U}_W$ 是对称的, 三相对地电容也是对称的。各相电源电流 $\dot{I}_U, \dot{I}_V, \dot{I}_W$ 分别等于各相负荷电流 $\dot{I}_{LU}, \dot{I}_{LV}, \dot{I}_{LW}$ 与各相对地电容电流

$\dot{I}_{cu}$ 、 $\dot{I}_{cv}$ 、 $\dot{I}_{cw}$ 的向量和。如图1—5a、b所示。因各相对地电容电流大小相等,相位相差 120° ,其向量和为零。所以地中没有电容电流通过,中性点电位为零,即为地电位,如图1—5c所示。

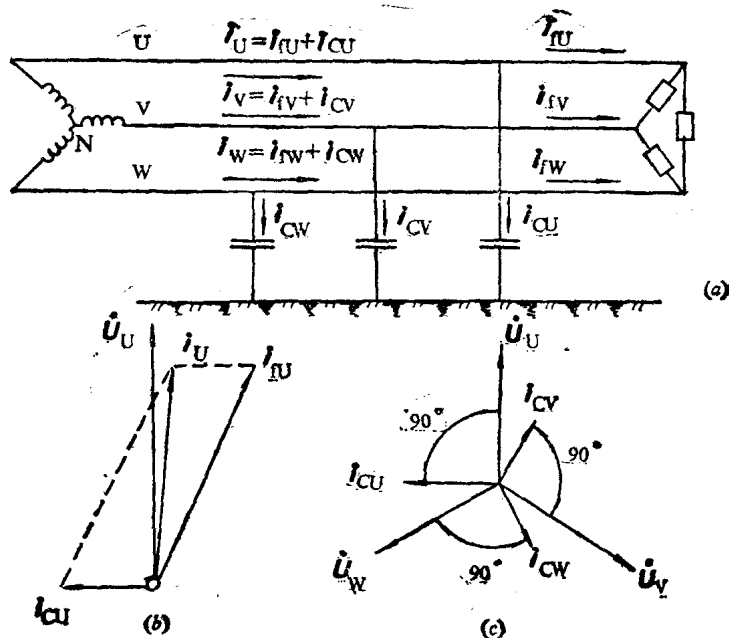


图 1—5 中性点不接地三相系统的正常工作状态

(二) 单相接地故障

当任何一相绝缘受到破坏而接地时,各相对地电压,对地电容电流都改变,其大小则根据接地情况不同而异。

1. 故障相完全接地

当一相发生完全接地(金属性接地,接地电阻为零),如图1—6a所示。故障相对地电压为零,中性点对地电压变为相电压,未故障两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,变为线电压。现以U相发生完全接地故障为例说明。

图1—6b中,U相对地电压为零,中性点对地电压 U_N 等于 $\dot{U}_U$,其方向与U相电压相反,即:
 $\dot{U}_N = -\dot{U}_U$ 。

V相对地电压为 $\dot{U}'_V$,等于V相电压与中性点对地电压向量和,即 $\dot{U}'_V = \dot{U}_V + \dot{U}_N$,

$$\dot{U}'_V = \dot{U}_V - \dot{U}_U$$

W相对地电压 $\dot{U}'_W$,等于W相电压与中性点对地电压的向量和,即 $\dot{U}'_W = \dot{U}_W + \dot{U}_N$,

$$\dot{U}'_W = \dot{U}_W - \dot{U}_U$$

所以 $\dot{U}'_V = \dot{U}'_W = \sqrt{3}\dot{U}_V$, $\dot{U}'_V$ 和 $\dot{U}'_W$ 间的夹角为 60° 。V、W两相对地电压变为线电压,也就是对地电容上所加的电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,所以对地电容电流也较正常时 $\dot{I}_{CN}$ 升高 $\sqrt{3}$ 倍。

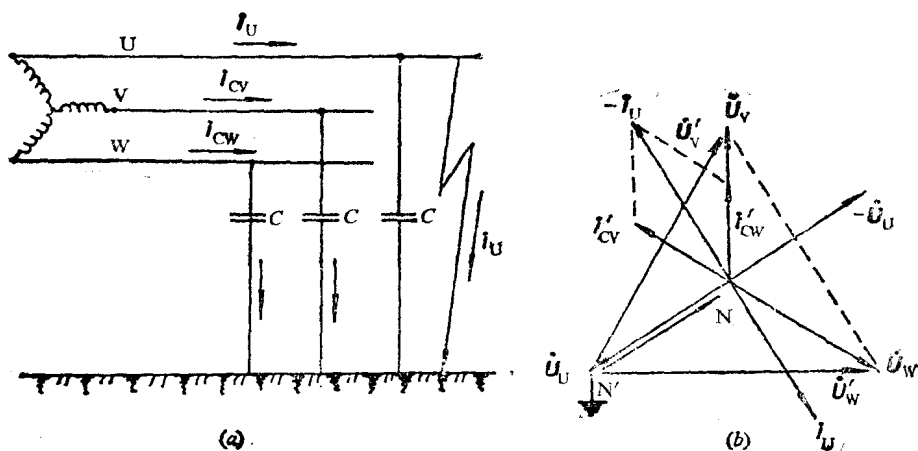


图 1—6 中性点不接地的三相系统U相发生接地的情况

即非故障相的对地电容电流 $\dot{I}'_{CV} = \dot{I}'_{CW} = \sqrt{3} \dot{I}_{CN}$ ，其电流方向如图1—6b。U相接地点的电流（简称接地电流）为

$$\dot{I}_U = -(\dot{I}'_{CV} + \dot{I}'_{CW})$$

从图1—6b可知， $\dot{I}'_{CV}$ 与 $\dot{I}'_{CW}$ 分别超前 $\dot{U}_V$ 、 $\dot{U}_W$ 90°， $\dot{I}'_{CV}$ 和 $\dot{I}'_{CW}$ 间夹角也为60°，向量和为： $-\dot{I}_U$ 。U相接地点电流为 $\dot{I}_U$ ，超前 $\dot{U}_U$ 90°。

由向量图可得：

$$\dot{I}_U = \sqrt{3} \dot{I}'_{CV}$$

因为 $\dot{I}'_{CV} = \sqrt{3} \dot{I}_{CN}$

所以 $\dot{I}_U = 3 \dot{I}_{CN}$

由上式可知，单相接地时的接地电流等于正常时一相对地电容电流的3倍，其方向超前故障相正常电压90°。

2. 故障相不完全接地

在发生不完全接地（经一定电阻接地）时，接地相对地电压大于零小于相电压，而非故障相对地的电压大于相电压小于线电压。此时，接地电流也比完全接地时小一些。

综上所述，在中性点不接地系统中，发生一相接地时，网络线电压的大小和相位差仍维持不变。从而接在线电压上的用电设备运行，不因一相接地而受到破坏。同时，这种系统相对地绝缘水平是根据线电压设计的，虽然未故障相对地的电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，即为线电压，对电网的绝缘是没有危险的。根据上述理由，中性点不接地系统在发生单相接地时可以继续工作。但是，这种单相接地状态也是不允许长时间运行的，因为长时间的运行可能造成未故障相绝缘薄弱的地方损坏而造成相间短路，影响安全用电。为此在这种系统中，一般应装设专门的绝缘监视装置或继电保护装置。当发生接地故障时，发出信号，通知工作人员应立即采取措施，一般继续不允许超过两小时。

另外，接地电流在接地点将引起电弧，电弧可能是稳定性的或是间歇性的。稳定性的电