



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



农业电力工程

● 吴承祜 主编

● 农业电气化自动化专业用

中国农业出版社

S24-43
1
全国高等农业院校教材

农业电力工程

吴承枯 主编

MD23/10

农业电气化自动化专业用

中国农业出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了农村电力网及农村发电厂和变电所电气部分的基本知识和原理。全书共六章包括：电力系统基本概念；农村电力网；短路电流计算；农村发电厂和变电所的电气设备；农村供配电系统的继电保护与自动装置；防雷与接地。

本书是高等学校农业电气化自动化（非电力专业）的教材，也可供其它专业和从事电力工程的工程技术人员参考以及成人高校电力专业选用。

前 言

本书是根据农业部1989年高等农业院校教材编审出版规划，作为高等农业院校农业电气化自动化专业（非电力专业）基本教材而编写的。根据该专业的特点和培养目标，学生应对电力网和电力系统以及发电厂、变电所电气部分的基本知识和原理有较全面的了解。

本书由东北农学院吴承祜主编，并编写了第四章、第五章和第六章。北京农业工程大学蔡君华编写了第一章、第二章和第三章。

本书经沈阳农业大学丁毓山详细审阅，并提出了许多宝贵的意见，在此谨表谢意。

由于编者水平有限，错误与不当之处在所难免，希读者指正。

编 者

1993年4月

目 录

第一章 电力系统基本概念	1
第一节 电力系统的基本知识	1
一、电力系统的组成和特点	1
二、电力系统的发展	5
三、电力系统的接线方式和电压等级	6
四、电力系统中性点接地方式	9
第二节 农村电力线路的结构	12
一、导线和避雷线	13
二、杆塔	14
三、绝缘子和金具	15
四、地理电力线路	18
第三节 农村电力负荷及其计算	19
一、农村电力负荷及负荷曲线	19
二、农村电力负荷计算	22
第二章 农村电力网	27
第一节 电力网的电气参数及其等值电路	27
一、电力线路的参数及其等值电路	27
二、变压器的参数及其等值电路	30
第二节 电力网的电压损耗、功率损耗和电能损耗	37
一、电压损耗计算	37
二、功率损耗计算	39
三、电能损耗计算	41
第三节 开式电力网的潮流计算	48
一、简单开式电力网潮流计算	48
二、多电压等级开式电力网潮流计算	49
第四节 闭式电力网的潮流计算	51
第五节 导线截面选择	55
一、按经济电流密度选择导线截面	55
二、按允许电压损耗选择导线截面	56
三、按发热条件规定的导线允许载流量选择截面	59
四、按机械强度要求选择导线最小容许截面	62
五、按电晕临界电压选择导线最小容许截面	63
第六节 农村电力网的电压调整	63
一、电力系统的无功功率平衡	64
二、用电设备的允许电压偏移及中枢点调压方式	66

三、电力系统的调压措施	67
第三章 短路电流计算	72
第一节 概述	72
一、短路的类型	72
二、短路的原因及后果	72
三、计算短路电流的任务	73
第二节 标么制及网络等值电路	73
一、标么制	73
二、多电压等级电力网元件电抗标么值	75
第三节 由“无限大”容量电源供电电路的三相短路	78
一、“无限大”容量电源	78
二、“无限大”容量电源供电的三相短路暂态过程分析与计算	79
第四节 由同步发电机供电的三相短路	83
第五节 运算曲线法	86
一、运算曲线	86
二、应用运算曲线计算短路电流的方法	88
三、转移阻抗及其确定	91
第六节 不对称短路的分析与计算	92
一、对称分量法	92
二、不对称短路的序网图	94
三、元件的序参数及其等值电路	97
四、单相接地短路	101
五、两相短路	107
六、两相接地短路	109
七、正序等值定则	112
第四章 农村发电厂和变电所的电气设备	114
第一节 高压开关电器	114
一、概述	114
二、高压断路器及其控制信号回路	116
三、高压熔断器	127
四、高压隔离开关	129
五、互感器	131
第二节 电气主接线图	135
一、概述	135
二、35—110/6—10kV变电所主接线图	138
三、6—10/0.4kV变电所主接线图	140
四、农村发电站的主接线图	141
第三节 农村发电厂和变电所的自用电	142
一、发电厂的厂用电接线类型	142
二、变电所的自用电及其接线	143
第四节 电气设备选择	144

一、电气设备的发热计算	144
二、导体短路时的电动力计算	152
三、电气设备选择的一般条件	154
四、母线的选择	155
五、电力电缆的选择	160
六、支柱绝缘子和穿墙套管的选择	164
七、高压断路器、隔离开关及高压熔断器的选择	164
八、电压互感器和电流互感器的选择	166
第五节 配电装置	167
一、分类及基本要求	167
二、户内外配电装置的最小安全净距	167
三、户内配电装置	170
四、户外配电装置	171
五、SF ₆ 全封闭式组合电器	172
第五章 农村供电系统的继电保护与自动装置	173
第一节 继电保护的基本要求	173
一、概述	173
二、继电保护的基本要求	173
第二节 继电保护的基本原理和常用继电器	174
一、继电保护的基本原理	174
二、常用的继电器	175
第三节 线路的继电保护	179
一、相间短路的电流电压保护	179
二、线路的方向过电流保护	189
三、线路的接地保护	191
四、线路的距离保护	195
第四节 变压器的继电保护	199
一、变压器的瓦斯保护	200
二、变压器的差动保护	201
三、变压器的电流速断保护	204
四、变压器的过电流和过负荷保护	204
第五节 发电机的继电保护	205
一、概述	205
二、发电机电流速断保护	206
三、发电机的纵差动保护	207
四、发电机的过电流保护	209
五、发电机的过负荷保护	211
六、发电机的单相接地保护	211
七、发电机的过电压保护	212
八、发电机的失磁保护	212
第六节 输电线路的自动重合闸 (ZCH)	213

一、概述	213
二、自动重合闸的动作原理	213
三、对ZCH的要求	214
四、ZCH与继电保护配合	214
第七节 备用电源自动投入装置 (BZT)	215
一、对BZT的基本要求	215
二、备用电源自动装置分类	216
第八节 变电所的操作电源	217
一、复式整流的直流系统	218
二、硅整流电容储能的直流系统	218
三、直流系统的绝缘监察和电压监察装置	219
第六章 防雷与接地	222
第一节 雷和防雷设备	222
一、雷电的形式及其危害性	222
二、防雷设备	222
第二节 防雷措施	227
一、输电线路的防雷措施	227
二、发电厂和变电所的防雷措施	227
第三节 接地与接零	228
一、概述	228
二、接触电压和跨步电压	229
三、接地装置	230
四、保护接零	232
附录 I 架空线规格及安全电流	233
附录 II 低压熔断器基本技术数据	235
附录 III 短路电流运算曲线图	236
附录 IV 电气新旧图形符号对照表	241
参考文献	243

第一章 电力系统基本概念

第一节 电力系统的基本知识

一、电力系统的组成和特点

(一) 电力系统中电源的构成 发电厂是生产电能的核心,担负着将不同种类的一次能源转换成电能的任务。根据使用一次能源的不同,发电厂可分为:火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、太阳能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂和地热发电厂等多种类型。目前我国电能的生产方式是以火力发电和水力发电为主,其它生产方式的规模和容量都不大,因此下面介绍这两种发电厂的生产简况。

1.火力发电厂 火力发电厂是以煤、石油、天然气等作为燃料,燃料燃烧时的化学能被转换为热能,再借助汽轮机、燃气轮机等热力机械将热能变换为机械能,并由它们带动发电机将机械能变为电能。

火力发电厂按其作用可分为单纯发电的凝汽式火电厂和既发电又兼供热的供热式火电厂(简称热电厂)。前者应尽量建在燃料基地或矿区附近,以提高能量输送效益,还可以防止对城市的环境污染。通常把这种火电厂称为“坑口电厂”。热电厂可以提高热能的利用效率,由于要兼供热,所以必须建在邻近热负荷地区。

凝汽式发电厂的生产过程如图1-1所示,大致如下。

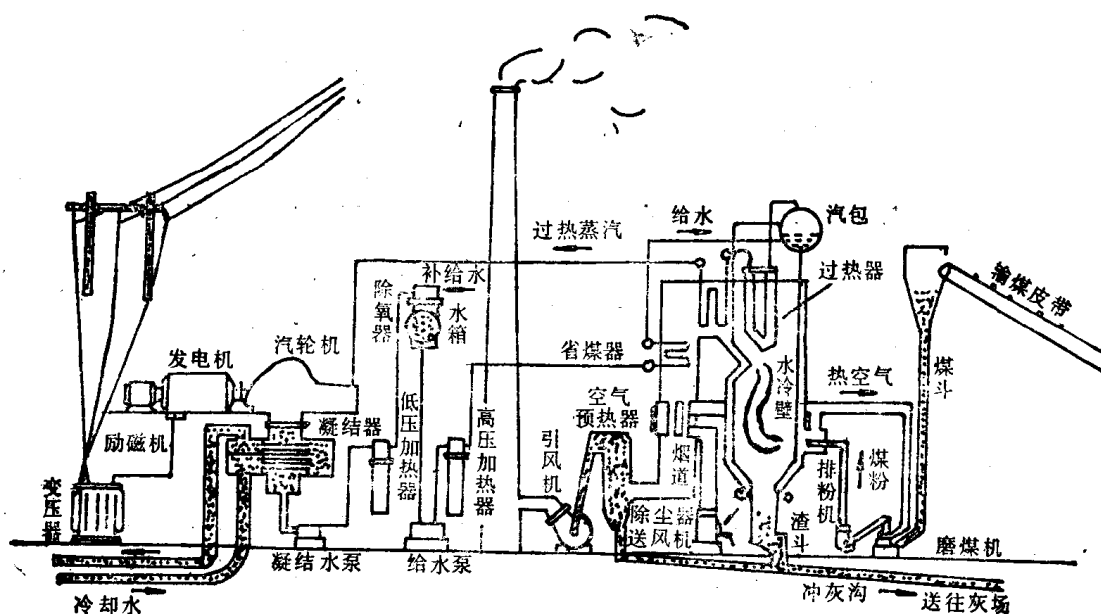


图 1-1 凝汽式火电厂生产过程示意图

原煤从煤矿运到电厂后，先存入原煤仓，随后由输煤皮带运到煤斗，从煤斗落入球磨机被磨成煤粉，再由排粉机抽出，随同热空气送入锅炉的燃烧室燃烧。燃烧放出的热量一部分被燃烧室四周的水冷壁吸收，一部分加热燃烧室顶部和烟道入口处的过热器中的蒸汽，余下的热量则被烟气携带穿过省煤器、空气预热器逐渐传递给这两个设备内的水和空气。烟气经过除尘器净化处理，由引风机导入烟囱，排入大气。燃烧所生成的灰渣和除尘器收集的细灰，用水冲进冲灰沟排出厂外。

燃烧用的助燃空气，经送风机进入空气预热器中加热，一部分送往磨煤机作为干燥和运送煤粉的介质，大部分送入燃烧室参与助燃。

水、蒸汽是将热能转化为机械能的重要物质。净化后的给水，先送进省煤器预热，继而进入汽包后再降入水冷壁管中吸收燃烧室的热能后蒸发成蒸汽。蒸汽通过过热器再次被加热，变成高温高压的过热蒸汽。以后经主蒸汽管道进入汽轮机膨胀做功，推动汽轮机转子转动，将热能转变为机械能。做完功的蒸汽在凝结器中被冷却凝结成水。凝结水经除氧器去氧、加热器加热后再用给水泵重新送入省煤器预热，以便继续循环使用。

凝结器需要的冷却水由循环水泵送入，冷却水在凝结器中吸热之后，流回冷却塔散热，然后，再进入循环水泵。

汽轮机转子转动带动发电机转子转动，发电机将机械能转换成电能，电能经过升压变压器送入高压电力网。

凝汽式火电厂，由于排汽中仍含有热量，凝结成水时，被循环水带走，形成热损失。所以这种火电厂热效率不高，中压电厂为24.5%，高压电厂为30.5%，超高压电厂为37%，超临界电厂为40%。

热电厂的热效率较高，可达60—70%。

我国建有许多大、中、小型火力发电厂。火电厂的发电量占总发电量的70%以上。据不完全统计，到1990年底农村有小火电厂902万座，机组容量465万kW，发电量175.57亿kWh。虽然小火电厂的煤耗高、效率低，但是对大电网尚未延伸到或供电不足的地区，如果当地煤炭资源丰富，因地制宜地建设小火电，从国民经济综合效益出发，仍然是可取的。

2.水力发电厂 水电厂是利用水的位能转换为机械能，由机械能再转换为电能。水能属于可再生能源，不存在环境污染问题。因此具有很大的吸引力。

水电厂的发电容量 P 与河流上、下游的水位差（落差） H 和流量 Q 成正比，可用下式表示

$$P = 9.81\eta QH \quad (1-1)$$

式中 P ——发电容量 (kW)；

Q ——水流量 (m^3/s)；

H ——水的落差 (m)；

η ——水轮机组的效率，约为0.85左右。

为了充分利用水能，人们往往根据河流的自然条件建造水工建筑物，以获得尽可能大的落差。按集中落差方式不同，水电厂分为堤坝式、引水式及混合式三种。图1-2为堤坝式水电厂示意图。

堤坝式水电厂是用拦河筑坝方式建成水库以维持高水位。刘家峡、葛洲坝等水电厂皆属

这一类。

在河流上游，当河床坡度较大时，宜于修建隧洞和渠道以获取最大落差，利用这种方式建造的水电厂称为引水式水电厂。如图1-3所示。

根据河流特点也可建造兼有堤坝式和引水式两种特点的水电厂，称为混合式水电厂。

无论哪一类水电厂，均是通过压力水管把水引入水轮机的螺旋形蜗壳，推动水轮机转子旋转，把机械能转变为电能。

有时根据自然条件将河流分成若干段，每段各自建立水电厂，形成所谓梯级电厂。

有些水电厂在下游增设一个储水池，白天电力系统负荷处于高峰时发电，并将发过电的水存入储水池，夜间低负荷时将储水池内的水再抽回水库，将电能转变成水的位能，以备高峰负荷时发电。这种电厂称为抽水蓄能电厂。

我国水力资源丰富，蕴藏量达6.8亿kW，目前已开发数量尚不足5%。特别是黄河、长江水系集中了我国的主要水力资源。仅就三峡而言，水位可达170m，可装机1768万kW。

我国非常重视水力资源的开发，建成刘家峡、龙羊峡、葛洲坝多座大、中型水电厂。在小水电建设方面的经验举世公认。亚太地区小水电建设中心设在我国浙江省，目前已建成小水电有8万多座。实践证明，在水力资源丰富地区建设小水电具有见效快、成本低的优点，以发电为主的小水电厂，其发电成本只有2—3分/kWh。今后要加快大、中、小水电厂的建设，为四化建设提供廉价电力。

(二) 电力系统的组成 电力系统是由发电厂、变电所、输配电线路直到用户等在电气上相互联接所构成的整体。它包括了从发电、输电、配电直到用电的全过程。为了便于分析问题和组织生产，将输电、变电和配电设备的统一整体称为“电力网”。有时将发电厂的原动机（水电厂的水工建筑物和水轮机、火电厂的热力系统）部分和热力用户与电力系统一起，称为“动力系统”。因此，电力系统是动力系统的一个组成部分，而电力网又是电力系统的一个组成部分。

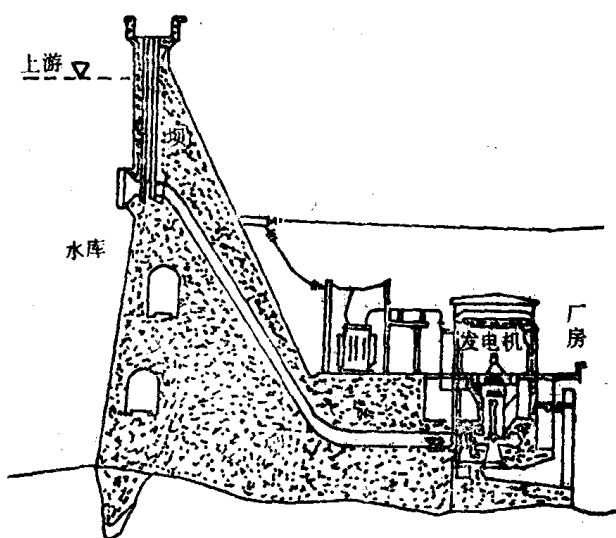


图 1-2 堤坝式水电厂示意图

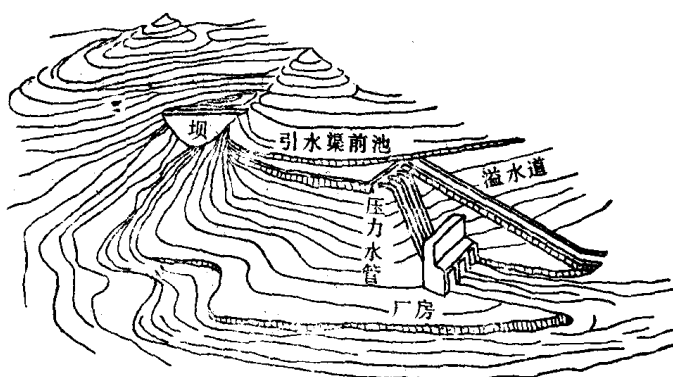


图 1-3 引水式水电厂枢纽布置图

动力系统、电力系统和电力网的划分如图1-4所示。

电力网按其供电范围的大小和电压等级的高低可分为地方电力网、区域电力网以及超高压电力网等三种类型。地方电力网一般是指 35—110kV，送电距离数十公里，满足城镇、工矿及农村的配电网。区域电网一般电压为 110—220kV，输电范围达数百公里。超高压电网主要由 330—500kV 或更高电压的送电线路构成，它担负着将远方发电厂的功率送往负荷中心的任务，同时还将几个区域电网联系起来，形成跨省

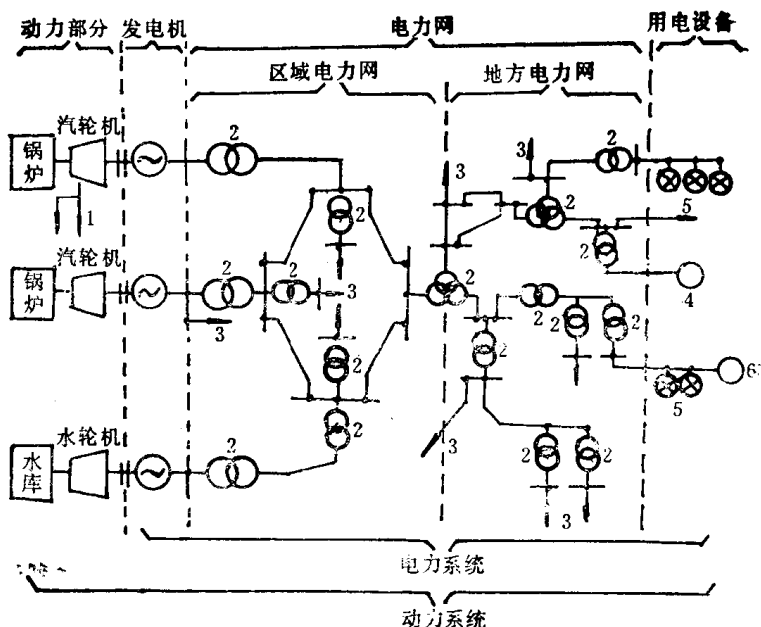


图 1-4 动力系统、电力系统、电力网示意图

1.热力网 2.变压器 3.负荷 4.高压电动机 5.照明负荷 6.低压电动机

(区)的、甚至跨国的联合电力系统。

电力网中的变电所除了升压、降压的分类方法外，还可根据其容量和在电力网中的地位作用，划分为枢纽变电所、中间变电所和末端（或终端）变电所。枢纽变电所一般都是容量较大，处于电力系统联系的中枢位置，地位重要。中间变电所则处于发电厂和负荷中心之间，由此处可以转送或引出一部分负荷。终端变电所一般都是降压变电所，它只是负责供应一个局部地区的负荷。

联网的效益主要是：

(1) 减少系统的装机总容量。由于负荷特性、地理位置等原因，电力系统各地区的最大负荷并不是同时出现的。因此系统的综合最大负荷将小于各孤立电网最大负荷之和。因此相应地减少了系统装机总容量。

(2) 合理利用能源、充分发挥水电作用。例如在丰水季节可多发水电，少发火电，节约煤炭；而在枯水季节由水电厂担负调峰任务，充分发挥水、火相互调剂，合理利用能源的优越性。

(3) 提高供电可靠性。孤立运行的发电厂须装设一定的备用容量，作为检修和事故备用。联网后，则只需系统总容量的10—15%作为后备容量，这一数值小于各孤立运行电网所需备用容量的总和。在事故时，可由网内统一调度，提高了供电可靠性。

(4) 提高运行经济性。由系统统一调度，全面掌握能源的利用，最有效地利用火电和水电，合理地分配负荷，使全系统的电能成本趋于最小，提高运行的经济性。

(三) 电力系统的特点 电力系统的运行与其它工业部门相比较，有如下特点：

(1) 与国民经济、人民生活联系紧密。

(2) 其暂态过程非常短促。

(3) 电能不能大量贮存,电能的生产、输送、分配和消费是同时进行的,即发电厂任何时刻产生的功率必须等于该时刻用电设备消耗的功率与输电设备中功率损耗之和。

因此对电力系统运行的基本要求是:

1.保证供电可靠性 对用户供电中断将使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身及设备安全,造成严重后果。

用电负荷根据供电可靠性的要求分为三级:

一级负荷:中断供电将造成人身伤亡或者在政治上、经济上造成重大损失者。

二级负荷:中断供电将在政治、经济上造成较大损失者,如重点企业大量减产。

三级负荷:不属一级、二级负荷者均属此类。

对一级负荷要保证不间断供电,对二、三级负荷,在必须切除部分负荷的情况下,应优先保证二级负荷的连续供电。

为此,电力系统以提高运行的安全性和稳定性作为首要任务,利用电子计算机对系统运行实现安全监控,提高供电可靠性。

2.保证电能质量 电能质量以电压、频率及正弦交流电的波形来衡量。用电设备是根据上述技术参数设计和制造的。当电力系统运行电压、频率或波形超过允许的偏移值时,将影响设备的正常运行。我国规定用户供电电压允许的偏移是额定值的 $+5\sim-7\%$;频率额定值是 50Hz ,允许偏移是 $\pm 0.2\sim\pm 0.5\text{Hz}$ 。

近年来由于整流负荷的大量出现,产生波形畸变,将影响电气设备的安全经济运行,因此检测和控制谐波已成为保证电能质量的重要一环。

3.保证系统运行的经济性 节约能源是当前国内外极为关注的问题。电能生产规模大,其消耗的一次能源在国民经济能源消耗中比重大。所以电力部门要努力节能、降损。发电厂要采用高效率的发电设备,降低厂用电比率,尽可能降低电能成本。对于电力网来说,要合理地发展电力网,降低电能在输送、分配过程中的损耗。合理安排各类发电厂的发电量,实现电力系统的经济运行。

二、电力系统的发展

19世纪90年代以前,发电、输电和用电都是直流,其电压低、供电范围小。1882年第一次出现了直流高压电力系统,电压为 $1500\sim 2000\text{V}$ 。输电距离为 57km ,输送功率约 2kW 。由于大容量直流电机换向困难以及电动机串联运行方式的复杂性,限制了直流系统的进一步发展。

以后,人们逐步掌握了三相交流电,1891年在制成了三相异步电动机和三相变压器的基础上实现了三相交流输电。这个系统电压为 15.2kV ,输电距离为 175km ,电源功率为 230kVA ,它已是近代电力系统的雏形。成为电力系统发展的重要标志。从此,三相交流输电取代了直流输电。

随着生产的发展,不仅要求增加输送功率、输电距离,提高输电电压,而且要求提高运行的经济性和可靠性。于是,孤立运行的电厂彼此联系起来,形成较大的电力系统。数十年间发展迅速,涌现出全国范围的甚至跨国的联合电力系统。

目前,世界上输电电压已超过 1000kV ,最远输电距离超过 1000km ,最大系统的容量达

到52000万kW。随着电力系统规模的扩大，电力系统稳定性问题日益突出。为了解决这一问题，人们又重新采用直流输电。目前超高压直流输电系统的电压已达 $\pm 750\text{kV}$ ，输电距离超过1000km，输送功率达72万kW。

我国的电力工业在解放后有了很大的发展。解放初期，年发电量居世界第25位。到1991年发电量达6700亿kWh，跃居世界第四位。到1990年底全国已建成100万kW容量以上的大电厂13座，秦山和大亚湾核电厂相继投入运行，建成七大电力系统，装机容量超过1000万kW的有华北、华东、华中和东北四个系统。到1991年底已建成500kV超高压输电线路7340km，超高压直流线路业已投入运行。

与此同时，我国农村电力事业发展十分迅速。解放前，农村用电量仅有0.2亿kWh，1990年县及县以下用电量达2059亿kWh，农村用电量占全国总用电量的16.8%。农村用电量以年平均增长速度13.9%发展。全国88%的村、95%的乡用上了电。其中大电网供电量占76.6%，小水电、小火电、风电和柴油发电的总装机容量达2282万kW，年供电量482亿kWh。农村电网长达670万km，名列世界第一。

三、电力系统的接线方式和电压等级

(一) 电力系统的接线图 电力系统的接线是以图形表示，其中主要元件相互之间联接关系，一般分为两种：

1. 电力系统地理接线图 地理接线图表示电力系统中发电厂、送电线路和变电所之间的地理位置关系。往往难以反映各主要元件之间的电气联系。如图1-5所示。

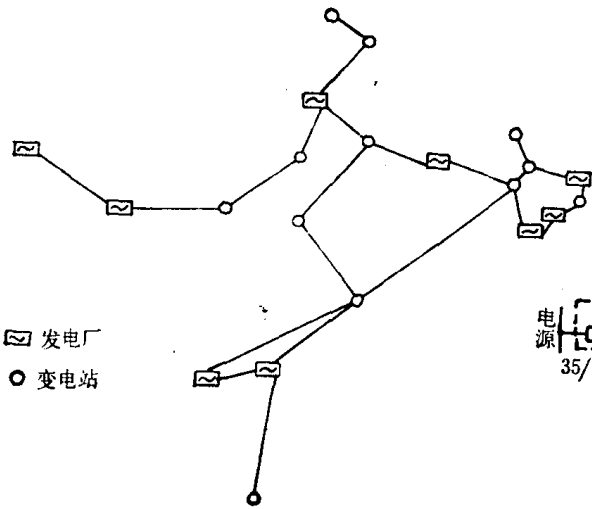


图 1-5 电力系统地理接线图

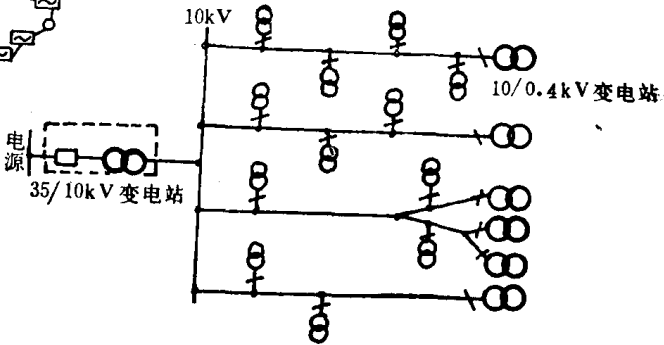


图 1-6 农村供电系统接线图

2. 电力系统电气接线图 表示电力系统中各主要电气元件的电气联接关系的图，称为电气接线图，它不反映相互间的地理位置关系。如图1-6所示。

实际上这两种接线图往往是配合使用的。

(二) 电力网的接线方式 电力网的接线对其运行的安全性和经济性有很大的影响。合

理确定电力网的接线方式是至关重要的。

电力网的电气接线方式可分为开式电力网和闭式电力网两种基本类型。

1. 开式电力网 由一条电源线路向用户供电的电力网, 称为开式电力网。根据形状可分为放射式、干线式和链式, 如图 1-7 所示。其特点是接线简单, 投资费用少, 运行方便, 但是供电可靠性差。任何一段线路故障或检修都将造成对用户供电中断, 故不适用于

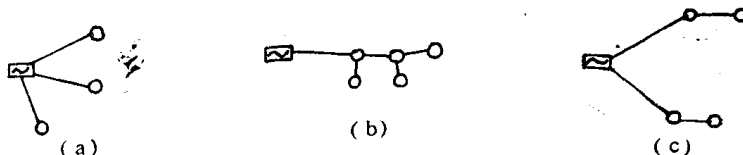


图 1-7 开式电力网接线图
(a) 放射式 (b) 干线式 (c) 链式

向一级负荷供电。当架空线路装有自动重合闸装置时, 可用于向二级负荷供电的电力网。

2. 闭式电力网 凡有两条及两条以上电源线路向用户供电的电力网, 称为闭式网。如图 1-8 所示。

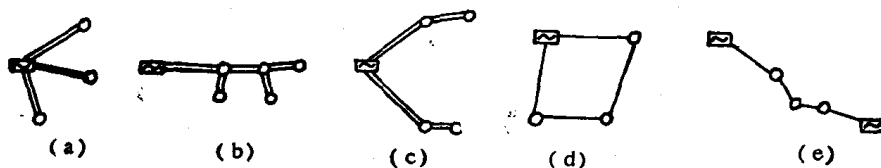


图 1-8 有备用结线方式
(a) 放射式 (b) 干线式 (c) 链式 (d) 环式 (e) 两端供电网络

由于闭式电力网的负荷至少可以从两个电源线路获得电能, 因此供电可靠性高, 适用于向一级负荷供电。

配电网根据用户性质, 可分为城市配电网和农村配电网。

根据我国城网规划设计导则的要求, 城市配电网应有坚固的网架和简明、紧凑的结构; 对大城市, 将 110kV (甚至 220kV) 电压线路直接深入负荷中心, 减少电压等级; 采用正常开环运行的环形网络供电。

由于农村电网的特点是负荷分散、负荷密度低, 除了少数平原、河网地区和城镇郊区以外, 一般不超过 $20\text{kW}/\text{km}^2$, 远远低于城市的负荷密度, 而且还有季节性, 所以多采用放射式架空线路供电。一条高压 10kV 配电线路上接有数十台甚至上百台农用配电变压器。

(三) 电压等级和额定电压

1. 电压等级 电力系统中线路根据输送距离和功率, 采用不同的电压等级。在导线截面相同的条件下, 当输送距离一定时提高电压, 可增大输送功率; 当输送功率一定时提高电压, 则可增大输送距离。总之, 提高输电电压等级不仅可以提高输送功率, 而且能增加输电距离。但随着电压升高, 线路、电气设备的绝缘水平要相应地提高, 这将使设备总投资费用增加。因此综合考虑, 不同电压等级其传输距离和传输功率之间的关系如表 1-1 所示。此表可供选择电压等级时参考。

各级电压的使用范围大体是: 220kV 及以上用于大型电力系统的主网架; 110kV 用于中

小型电力系统的主网架，或大型电力系统的二次网络；35—110kV作为农网的供电电压，10kV为配电电压。

表 1-1 线路电压与输送功率、输送距离的关系

额 定 电 压 (kV)	输 送 功 率 (kW)	输 送 距 离 (km)
3	100—1000	3—1
6	100—1200	15—4
10	200—2000	15—6
35	2000—10000	40—15
60	3500—30000	100—30
110	10000—50000	150—50

此外我国还有154kV电压等级。

上述划分并非一成不变，随着电力系统规模的扩大和负荷的增长，必然导致电压等级的升高。由于农村用电量的增长，为了提高供电能力，供电电压有以110kV取代35kV的趋势。

2.额定电压 电力系统中的各种电气设备都是按照一定的额定电压设计制造选用的。既便于制造产品的标准化、系列化，又不致因电压等级过多而增加变压损耗。考虑到现有的实际情况和今后的发展，由国家统一颁发的额定电压如表1-2和表1-3所示。

表 1-2 我国现行额定电压等级表(一)(V)

用 电 设 备			发 电 机		变 压 器			
直 流	交 流		直 流	交流三相	交 流			
	线 电 压	相 电 压		线 电 压	三 相		单 相	
					一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
110	—	—	115	—	—	—	—	—
—	(127)	—	—	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
—	330	220	—	—	330	400	380	—
440	—	—	480	400	—	—	—	—

注：列入括号内的电压，只用于矿井下或其它保安条件要求较高之处。

电力网中的线路可以处在不同电压等级下，因此通常称电力网的额定电压，就是指处在这一电压等级的线路额定电压。

从表1-3中看到处在同一电压等级下，用电设备、发电机、变压器的额定电压并不一致。可以用图1-9加以说明。经线路输送功率时，线路始端电压高于末端，沿线段ab的电压分布可能如直线U₁—U₂所示。沿线路分布的用电设备的端电压并不相同，所谓线路的额定电压

表 1-3 我国现行额定电压等级表(二)(kV)

用电设备额定线电压	交流发电机线电压	变 压 器 线 电 压	
		一 次 绕 组	二 次 绕 组
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	33.5
(60)		(60)	(66)
110		110	121
(154)		(154)	(169)
220		220	242
330		330	363

注: 1. 变压器一次绕组栏内3.15、6.3、15.75kV电压适用于与发电机端直接连接的升压变压器和降压变压器。

2. 变压器二次绕组栏内3.3、6.6、11kV电压适用于短路电压值为7.5%以上的降压变压器。

3. 如证明在技术经济上有特殊优点时, 水轮发电机的额定电压允许用非标准电压。

U_N 实际就是线路的平均电压 $(U_a + U_b)/2$, 而各用电设备的额定电压则取与线路额定电压相等, 从而使所有用电设备能在接近其额定电压下运行。

由于用电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$, 而沿线路的电压降落一般为10%, 这就要求始端电压为额定值的1.05倍, 以保证末端电压不低于额定值的95%。发电机接在线路始端, 因此发电机的额定电压为线路额定电压的1.05倍。

变压器具有发电机和用电设备的两重性。如一次侧由电网接受电能, 相当于用电设备, 二次侧提供

电能, 相当发电机。因此规定, 变压器一次侧额定电压等于电网的额定电压。但是对于与发电机直接连接的变压器, 其一次侧额定电压应等于发电机额定电压。变压器二次侧的额定电压定义为空载时的电压, 变压器载有额定负荷时内部阻抗约有5%的电压损耗, 为使变压器在额定负荷运行时二次侧的电压高于额定电压5%, 所以规定变压器二次侧的额定电压比电网额定电压高10%。如果变压器的阻抗较小, 内部电压损耗也较小, 规定这种变压器二次侧额定电压比电网额定电压高5%。

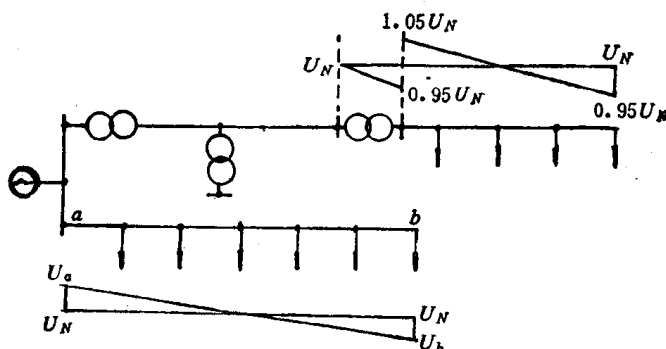


图 1-9 电力网中的电压分布

四、电力系统中性点接地方式

电力系统中性点是星形连接的变压器或发电机的中性点。

电力系统发展初期, 中性点是不接地的。随着系统规模的扩大, 电压不断增高, 中性点不接地系统在运行中, 频频发生弧光过电压引起的事故。于是, 中性点接地问题引起人们的