

高等学校教材

电力工程

西安交通大学 尹克宁 编

水利电力出版社

高等学校教材

电 力 工 程

西安交通大学 尹克宁编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21.25印张 479千字

1987年11月第一版 1987年11月北京第一次印刷

印数00001—16400册

ISBN 7-120-00011-X/TM·4

15143·6478 定 价: 3.55元

内 容 提 要

本书较全面地介绍了电力系统、电力网以及发电厂和变电所电气部分的基本知识和原理。全书共分为八章，包括：电力系统概述；电力网及其稳态运行分析；发电厂和变电所的一次系统；电力系统短路；电气设备选择；电力系统稳定；发电厂和变电所的二次系统；高压电器等。

本书是在原高等学校“高电压技术及设备”专业的《电力工程》教材的基础上重新编写而成的，它不仅适用于高电压技术及设备专业，也可作为电机、电器等其他电力类专业的教学用书，还可供从事电力工作的工程技术人员参考或成人高校的电力专业选用。

前 言

本书系根据1983年发电厂教材编审小组会议所审定的大纲，在编者原主编的第一轮《电力工程》教材的基础上，重新编写而成的。在编写过程中，考虑了编者在西安交通大学多次讲授本课的经验，并充分吸取了前一轮教材的使用经验。

根据“高电压技术及设备”专业的特点和培养目标，学生对电力网、电力系统以及发电厂和变电所电气部分的基本知识和原理应有较全面的了解，对其中与专业关系密切的部分还应深入进行学习。《电力工程》课正是为此而开设的。

本书在选材上注意了与其他基础课程和专业课程的衔接，并力求做到理论联系实际。此外，对国内外有关的科技新成果以及发展动向也做了相应的介绍。

为了满足更多的电力类专业的教学需要，本书在编写阶段又增加了“高压电器”一章，以供未单独设置有“高压电器”课的其他电力类专业选用。因此，本书不仅适用于“高电压技术及设备”专业，也适用于电机、电器、电气绝缘等其他电力类专业。

本书经重庆大学阎超同志详细审阅，并提出了许多宝贵的意见。编者谨在此表示深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥与错误之处，恳请读者大力批评指正。

编 者

1986年10月

目 录

前言

第一章 电力系统概述	1
第一节 电力工业在国民经济中的地位和我国电力工业的发展	1
第二节 电力系统的组成和特点	2
第三节 发电厂的类型及其生产过程简介	6
第四节 电能的质量指标	11
第五节 电力系统的接线方式和电压等级	13
第六节 电力系统的负荷和负荷曲线	17
第二章 电力网及其稳态分析	22
第一节 电力线路的结构	22
第二节 输电线路的电气参数	28
第三节 电力网参数计算中变压器参数的计算方法	44
第四节 输电线的等值电路	52
第五节 电力网电压计算	62
第六节 电力系统的无功平衡和电压调节	64
第七节 电力网的功率损耗和电能损耗	73
第八节 电力系统潮流分布计算简介	82
第九节 输电线路导线截面的选择	85
第十节 电力系统的中性点接地方式	89
第十一节 远距离输电	100
第十二节 高压直流输电简介	106
第三章 发电厂和变电所的一次系统	111
第一节 电气主接线图	111
第二节 配电装置的一般问题	122
第三节 屋内配电装置	126
第四节 屋外配电装置	128
第五节 成套配电装置和SF ₆ 全封闭式组合电器	132
第六节 保护接地	135
第四章 电力系统短路	141
第一节 概述	141
第二节 标么制	143
第三节 由“无限大”电力系统供电的简单电力网三相短路电流的计算	148
第四节 由同步发电机供电的简单电力网三相短路电流的计算	153
第五节 对称分量法	165

第六节	不对称故障的序网图	167
第七节	电力系统中各元件的负序电抗和零序电抗	171
第八节	电力系统不对称短路故障的计算	188
第九节	电力系统的非全相运行计算简介	201
第五章	电气设备的选择	205
第一节	电气设备的发热和容许温度	205
第二节	均匀导体的长期发热与容许电流的计算	207
第三节	均匀导体短路时的发热计算及热稳定校验	210
第四节	短路时载流导体的电动力和动稳定校验	215
第五节	电气设备选择的一般条件	221
第六节	母线的选择	224
第七节	支柱绝缘子和穿墙套管的选择	232
第八节	高压断路器和隔离开关的选择	234
第六章	电力系统稳定	237
第一节	稳定性问题的提出及其基本概念	237
第二节	电力系统的静态稳定	238
第三节	电力系统的暂态稳定	242
第七章	发电厂和变电所的二次系统	251
第一节	概述	251
第二节	测量表计回路和互感器的配置	257
第三节	控制和信号回路	259
第四节	继电保护的一般问题	264
第五节	继电器	266
第六节	过电流保护	271
第七节	变压器的继电保护	280
第八节	自动重合闸简介	288
第八章	高压电器*	292
第一节	高压开关电器	292
第二节	互感器	309
附录一	多导线系统的磁链计算	319
附录二	考虑大地影响后多导线系统的电容计算法	321
附录三	附表3-1钢芯铝绞线的结构及主要技术参数	324
	附表3-2用钢芯铝线敷设的架空线路的感抗和电阻	325
	附表3-3用钢芯铝线敷设的架空线路的电纳	325
附录四	短路电流运算曲线图	326
参考书目	331

第一章 电力系统概述

第一节 电力工业在国民经济中的地位和我国电力工业的发展

电力工业是国民经济的重要部门之一，它既为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力，又和广大人民群众的日常生活在有着密切的关系。电力是工业的先行。电力工业的发展必须优先于其他的工业部门，整个国民经济才能不断前进。

据记载，世界上第一个发电厂是于1882年在美国纽约市建立的，机组容量只有30kW。此后，随着生产和科学技术的进步，电力工业有了迅速的发展，特别是近二、三十年发展得更快。据统计，到1982年底为止，全世界的发电厂的总装机容量已达223307万kW，最大电力系统容量已超过52,000万kW，最高交流输电电压已超过1,000kV，最高直流输电电压已超过±500kV，最远输电距离已超过1,000km。从世界各国经济发展的进程来看，国民经济每增长1%，就要求电力工业增长1.3%~1.5%左右。因此，一些工业发达的国家几乎是每7~10年（个别的为5~6年）装机容量就要增长一倍。

我国具有极其丰富的能源资源。全国水能资源的蕴藏量为68,000万kW（其中可开发利用的约为37,000万kW），居世界首位。此外，煤、石油、天然气等资源也很丰富。这些优越的自然条件为我国电力工业的发展提供了良好的物质基础。但是，旧中国的电力工业却是非常落后的，到解放前夕，全国的总发电能力还不到200万kW。解放后，在党和政府的领导下，我国的电力工业有了很大的发展。解放初期，我国的电力工业居世界第二十五位，经过三十多年建设，1985年全国发电设备的总装机容量已达8,000万kW以上，年发电量达4,000亿kWh。目前，我国的电力工业已跃升到世界第五位。我们不仅已经在黄河上建起了刘家峡等大型水力发电厂，在长江上建起了葛洲坝水力发电厂，还在一些煤炭基地建成了大型坑口火电厂，第一座大型核电厂也正在建设中，中小型发电厂则更是星罗棋布，遍布全国。我们已相继建成了几条500kV超高压输电线路，±500kV级的超高压直流输电线路也正在建设中。到1982年底为止，全国总装机容量在100万kW以上的电力系统已达12个，其中包括七个跨省电力系统。所有这些都说明了我国电力工业建设的成就是巨大的。

但是，我国的电力工业与世界上一些发达国家相比仍有相当大的差距，按每人平均用电量来说还是相当落后的，即使从国内经济建设来看，也未能很好地起到先行作用，尚不能满足国民经济发展和人民生活的需要。所以，摆在我国电力工作者面前的一个重要任务就是在党和政府的领导下，充分开发利用我国丰富的能源资源，大力加速电力工业的建设，为在本世纪内初步实现我国的四个现代化而做出应有的贡献。

第二节 电力系统的组成和特点

一、电力系统的形成和优越性

(一) 电力系统的形成

在电力工业发展的初期，发电厂都建设在用户附近，规模很小，而且是孤立运行的。随着生产的发展和科学技术的进步，用户的用电量和发电厂的容量都在不断增大。由于电能生产是一种能量形态的转换，发电厂必须建设在动力资源所在地，而蕴藏动力资源的地区与电能用户之间又往往隔有一定距离。例如，水能资源集中在河流落差较大的偏僻地区，热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区；而大城市、大工业中心等用电部门则由于原材料供应、产品协作配套、运输、销售、农副产品供应等原因以及各种地理、历史条件的限制，往往与动力资源所在地相距较远，为此就必须建设升压变电所和架设高压输电线路。而当电能输送到负荷中心后，则必须经过降压变电所降压，再经过配电线路，才能向各类用户供电。

随着生产的发展和用电量的增加，发电厂的数目将不断增加。这样一来，一个个发电厂孤立运行的状态再也不能继续下去了。当一个个地理上分散在各处、孤立运行的发电厂通过输电线路、变电所等相互联接形成一个“电”的整体以供给用户用电时，就形成了现代的电力系统。换句话说，电力系统就是由发电厂、变电所、输配电线路直到用户等在电气上相互联接的整体[●]。它包括了从发电、输电、配电直到用电这样一个全过程。另外，还把由输配电线路以及由它所联接起来的各类变电所总称为电力网络（简称电网），所以，电力系统也可以看作是由各类发电厂和电网以及用户所组成的。

图1-1是现代高压电力系统的一个例子，它具有较大容量的水力发电厂、火力发电厂和热电厂。图中的水力发电厂由于容量较大、输电距离较远，所以把电压升高到500kV后经线路送出。火力发电厂-1的电能升压至220kV后由线路送到变电所-3，并通过线路与220kV电网相联系。所谓热电厂是指装有供热式汽轮发电机组的发电厂，它除了发电外，还兼向附近的工厂供热，这样做可以提高热能利用效率。由于它要兼供热，所以总是把热电厂建在用户附近，它除了用10kV电压供给附近地区用电外，还通过升压变压器与220kV电网相联系以进行功率交换。火力发电厂-2为建设在燃料产区的区域性火电厂，它所发出的电能主要通过220kV线路送往负荷中心。图中由变电所-1、变电所-2和火力发电厂-2以及高压线路所构成的220kV环形电力网是本系统的主要电力网，它是联系发电厂和用户的核心部分。

为了要进一步了解电力系统的组成，就必须了解发电厂、电力网和变电所的组成、分类等情况。关于发电厂的类型及其生产过程将在下一节中介绍。这里先简单介绍一下电力网和变电所的类型。

● 按传统说法还有“动力系统”和“电力系统”的区别。动力系统还包括发电厂的热力部分和水力部分，而电力系统只包括从发电机起的发电厂电气部分以及变电所、线路、用户等，由于本课的重点是电气部分，故本书仅着重提出电力系统的概念。

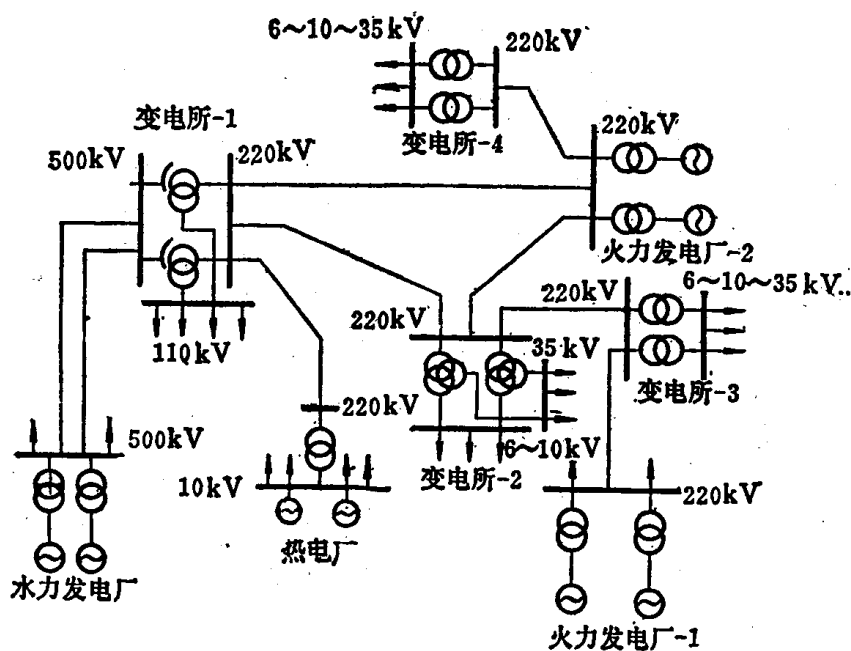


图 1-1 电力系统单线接线图

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远距离输电网络等三种类型。地方电力网是指电压不超过35kV、输电距离在几十千米以内的电力网，主要是一般城市、工矿区、农村的配电网。区域电力网则把范围较广地区的发电厂联系在一起，而且输电线路也较长、用户类型也较多。目前我国，区域电力网主要是电压为110~220kV级的电力网，基本上各省（区）都有。超高压远距离输电网络主要由电压为330kV及以上的远距离输电线路所组成，它担负着将远区发电厂的功率送往负荷中心的任务，同时往往还联系几个区域电力网以形成跨省（区）的，甚至国与国之间的联合电力系统。

下面再谈谈变电所的类型。电力网中的变电所除了升压、降压的分类方法外，还可分为枢纽变电所、中间变电所和末端变电所（又名终端变电所）等。枢纽变电所一般都容量较大，处于联系电力系统各部分的中枢位置，地位重要，如图1-1中的变电所-1和变电所-2都属于这种类型。中间变电所则处于发电厂和负荷中心之间，从这里可以转送或抽引一部分负荷，如图1-1中的变电所-3。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而不承担转送功率，如图1-1中的变电所-4。

（二）系统联系的得失

实践证明，当各孤立运行的发电厂通过电力网联接起来形成并联运行的电力系统后，将在技术经济上带来很大好处，下面将分别叙述。

1. 减少系统中的总装机容量 由于负荷特性、地理位置等的不同，电力系统中各发电厂孤立运行的最大负荷并不是同时出现的，因此系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时的最大负荷的总和，从而，相应地可减少系统中的总装机容量。

2. 合理利用动力资源，充分发挥水力发电厂的作用 如果不形成电力系统，很多能源就难以得到充分利用。例如，水力发电厂的出力决定于河流的来水情况，而水流情况却是

多变的，很难与电力负荷相适应，往往枯水季节出力不足，而在丰水季节却要弃水。当水力发电厂联入电力系统以后，则它的运行情况就可以与火电厂相互配合调剂。在丰水季节，可以让水力发电厂尽量多发电以减少火力发电厂的出力、节省燃料；而在枯水季节则让水力发电厂担负尖峰负荷，火力发电厂则担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源，又提高了火力发电厂的运行效率，降低了煤耗。

3. 提供电的可靠性 通常，孤立运行的发电厂必须单独装设一定的备用容量，以防止机组检修或事故时中断对用户的供电。但当联成电力系统后，则随着系统容量的增大，不仅可以减少备用机组的台数与容量，提高设备的利用率，而且不同发电厂之间在电厂或线路事故时还可以相互支援，因而也提高了供电可靠性。

4. 提高运行的经济性 除了前述可以充分利用动力资源外，在电力系统中还可以通过在各发电厂之间合理地分配负荷，使得整个系统的电能成本降低。另外，随着系统容量的增大，使得有可能采用单台容量较大的大型发电机组，从而降低了单位千瓦造价和运行损耗。以上这些因素都提高了系统运行的经济性。

从上述可知，随着系统的联系的扩大，显著地提高了运行的可靠性与经济性。因此，不妨可以把电力事业的发展史就看成电力系统不断扩展与增强联系的历史。但是，随着电力系统的日益壮大、联系的日益增强，由于一处发生故障而波及广大地区的情况也越易发生。这种事故波及现象可以说是联成系统后所带来的缺点。另外，系统短路容量也将随着系统容量的增大而不断增加，甚至达到设备所不能容许的程度。因此系统联系的增强将是有限度的，并不意味着在所有场合下都是系统规模越大就越好。应当区别不同情况以适当的方式、按照适当的程度来实现系统的联系才是最重要的。

二、电力系统的特点以及对电力系统的要求

(一) 电力系统的特点

由于电能生产本身所固有的特点以及联成电力系统后所出现的新问题，决定了电力系统与其他工业部门有着许多不同的特点，其中主要有以下几点。

1. 电能不易贮藏 由于电能生产是一种能量形态的转换，就要求生产与消费同时完成。迄今为止尽管人们对电能的贮存进行了大量的研究，并在一些新的贮藏电能方式上（如超导贮能、燃料电池贮能等）取得了一定突破性的进展，但是仍未能解决经济的高效率的大容量贮能问题。因此电能难于贮存，可以说是电能生产的最大特点。

从电能难于贮存的这个特点出发，在运行时就要求经常保持电源和负荷之间的功率平衡；在规划设计时则要求确保电力先行，否则其他工厂即使建成也无法投产。再者，由于发电和用电同时实现，还使得电力系统的各个环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。不论变换能量的原动机或发电机，或输送、分配电能的变压器、输配电线路以及用电设备等，只要其中的任何一个元件故障，都将影响到电力系统的正常工作。

2. 电能生产与国民经济各部门和人民生活有着极为密切的关系 现代工业、农业、交通运输业等都广泛用电作为动力来进行生产，可以把电力系统视为各工业企业共同的“动力车间”。此外，在人民的日常生活中还广泛使用各种电器用具。随着现代化的进展，各部门中电气化的程度将愈来愈高。因而，电能供应的中断或不足，不仅将直接影响生产，

造成人民生活紊乱，在某些情况下甚至会酿成极其严重的社会性灾难。

3. 过渡过程十分短暂 由于电是以光速传播的，所以运行情况发生变化所引起的电磁方面和机-电方面的过渡过程是十分迅速的。电力系统中的正常操作（如变压器、输电线路的投入运行或切除）是在极短时间内完成的；用户的电力设备（如电动机、电热设备等）的启停或负荷增减也是很快的；电力系统中出现的故障（如短路故障、发电机失去稳定等过程）更是极其短暂的，往往只用微秒或毫秒来计量时间。因此，不论是正常运行时所进行的调整和切换等操作，还是故障时为切除故障或为把故障限制在一定范围内以迅速恢复供电所进行的一系列操作，仅仅依靠人工操作是不能达到满意效果的，甚至是不可能的。必须采用各种自动装置来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。电力系统的这个特点给运行、操作带来了许多复杂的课题。

4. 电力系统的地区性特点较强 由于各个电力系统的电源结构与资源分布情况和特点有关，而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平等有关，至于输电线路的电压等级、线路配置等则与电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关，因而各个电力系统的组成情况将不尽相同，甚至可能很不一样。例如，有的系统是以水力发电厂为主，而有的系统则是以火力发电厂为主（或完全没有水力发电厂），有的系统电源与负荷距离近、联系紧密，而有的系统却正好相反，等等。因而，在系统规划设计与运行管理时，必须针对系统特点从实际出发来进行，如果盲目地搬用其他系统或外国系统的一些经验而不加以具体分析，则必将违反客观规律，酿成错误。

（二）对电力系统的要求

从电力系统上述特点出发，根据电力工业在国民经济中的地位和作用，决定了对电力系统有下列基本要求：

1. 最大限度地满足用户的用电需要，为国民经济的各个部门提供充足的电力 为此，首先应按照电力先行的原则作好电力系统发展的规划设计，认真搞好电力工业建设，以确保电力工业的建设优先于其他的工业部门。其次，还要加强现有设备的维护，以充分发挥潜力，防止事故的发生。

2. 保证供电的可靠性 这是电力系统运行中的一项极为重要的任务。运行经验表明，电力系统中的整体性事故往往是由于局部性事故扩大而造成的。所以，为保证供电可靠性，首先要保证系统各元件的工作可靠性，这就需要搞好设备的正常运行维护和定期的检修试验。其次，要提高运行水平，防止误操作的发生，在事故发生后应尽量采取措施以防止事故扩大等等。

应当指出，要绝对防止事故的发生是不可能的，而各种用户对供电可靠性的要求也是不一样的。因此，必须根据实际情况区别对待这些不同类型的用户。对于某些重要用户（如某些矿井，连续生产的化工厂，冶炼厂等），停电将会带来人身危险、设备损坏和产生大量废品等后果，故在任何情况下都必须保证供电不发生中断（计划停电除外）。对于其他用户则可以容许不同程度的短时停电。通常，根据用户对可靠性的要求，可以将用户分为下列三类：

（1）一类用户。如果对这类用户停止供电，就会带来人身危险，设备损坏，产生大

量废品，长期破坏生产秩序，给国民经济带来巨大的损失或造成重大的政治影响。

(2) 二类用户。如果对这类用户停止供电，就会造成大量减产，工人窝工，城市公用事业和人民生活受到影响等。

(3) 三类用户。指不属于第一类、第二类的其他用户，短时停电不会带来严重后果，如工厂附属车间用电等。

当系统发生事故，出现供电不足的情况时，就应当首先切除三类用户的用电，以保证一、二类用户的用电。通常，对一类用户都设置有两个或两个以上的独立电源，以便在任一电源故障时，对用户的供电不致中断。

3. 保证电能的良好质量 主要是维持电压和频率的偏差不超出一定的范围，详见本章第四节。

4. 保证电力系统运行的经济性 要使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小以期最大限度地降低电能成本。电能成本的降低不仅意味着能量资源的节省，还将影响到各用电部门成本的降低，因而给整个国民经济所带来的好处是很大的。

把上述各点归纳起来可知：保证对用户不间断地供给充足、可靠、优质而又廉价的电能，这就是电力系统的基本任务。

第三节 发电厂的类型及其生产过程简介

发电厂的类型一般根据能源来分类。以往，电力系统中主要是水力发电厂和火力发电厂，从二十世纪六十年代以来，核能发电厂的建设逐年增加，在一些国家的电力系统中已占据有相当的比重。下面将分别介绍这三类发电厂的简况。

一、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，再借助汽轮机等热力机械将热能变换为机械能，并由汽轮机带动发电机将机械能变为电能。迄今为止，在世界上的绝大多数国家中，火力发电厂在系统中所占的比重都是较大的，据统计，全世界发电厂的总装机容量中，火力发电厂占了70%以上。

火力发电厂所用燃料种类较多。由于煤素称“黑色的金子”，优质煤还是冶金、化工等部门所必需，我国目前的方针是尽量利用低质煤来发电。在世界上其他一些国家由于燃料供求关系等原因，也有不少火力发电厂主要是用石油或天然气作燃料的。我国的煤矿资源极其丰富，根据我国的能源政策，在相当一段时期内，火力发电厂的燃料将主要用煤。

火力发电厂按其作用来分有单纯发电的和既发电同时又兼供热的这样两种类型，前者即指一般的火力发电厂，后者称为供热式火力发电厂（或称热电厂）。一般火力发电厂应尽量建设在燃料基地或矿区附近，将发出的电用高压线路送往负荷中心，这样既避免了燃料的长途运输，提高了能量输送的效益（燃料中的灰分、杂质可就地处理而不必为此耗费运输力量），还防止了对大城市周围地区的环境污染。通常把这种火力发电厂称为“坑口电厂”，这是今后建设大型火力发电厂（特别是烧低质煤的火力发电厂）的主要方向。热

电厂的建设是为了提高热能的利用效率，它由于要兼供热，所以必须建在大城市或工业区的附近。

一般火力发电厂多采用凝汽式汽轮发电机组，故又称凝汽式发电厂，其生产过程如图1-2所示，大致如下。

图1-2

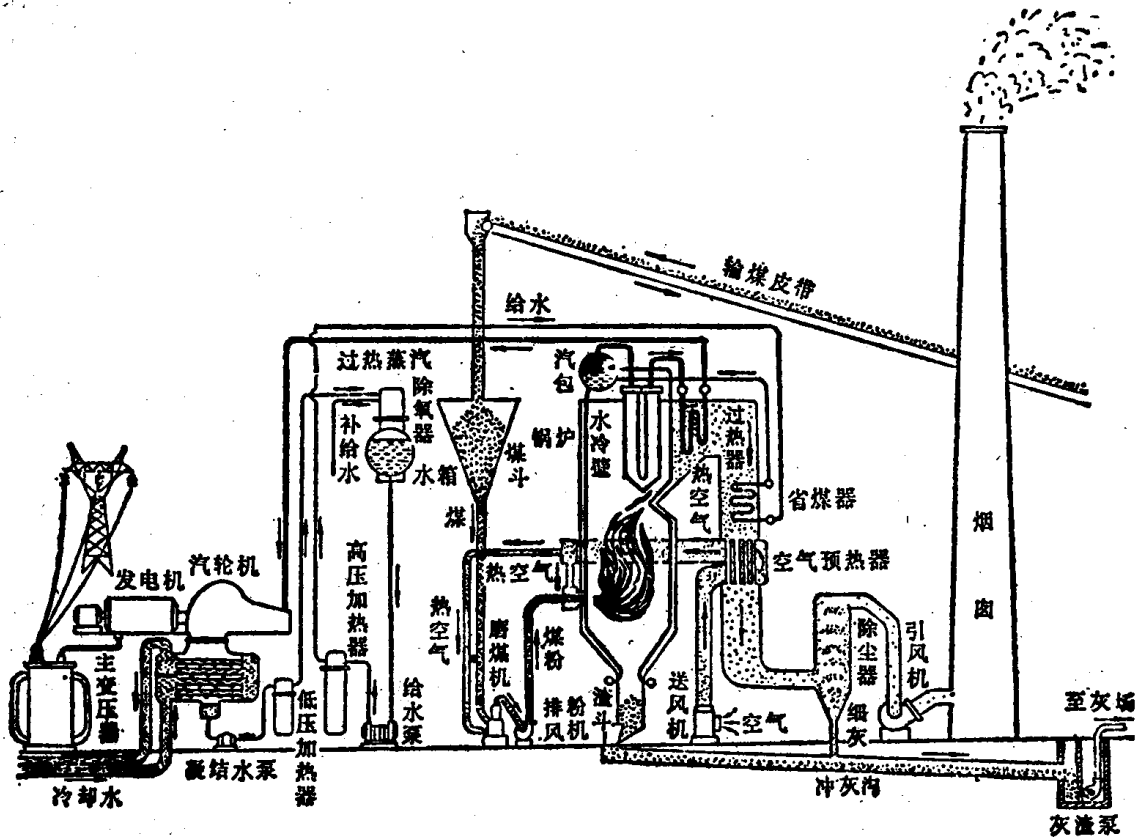


图 1-2 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

煤先由输煤皮带运送到锅炉房的煤斗中，再由煤斗进入磨煤机被磨成煤粉，在热空气的输送下，经喷燃器送入燃烧室内燃烧。助燃空气由送风机先送入空气预热器加热为热空气，其中一部分热空气进入磨煤机以干燥和输送煤粉，另一部分热空气则进入燃烧室助燃。在燃烧室内燃料着火燃烧并放出热量，其热量的一部分将传给燃烧室四周的水冷壁，并在流过水平烟道内的过热器及尾部烟道内的省煤器、空气预热器时，继续把热量传给蒸汽、水和空气；而被冷却后的烟气则经除尘器除去飞灰，由引风机从烟囱排入大气。另外，通常用水把由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰冲到灰渣泵房，经灰渣泵排往贮灰场。

在水冷壁中产生的蒸汽在流经过热器时进一步吸收烟气的热量而变为过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽，膨胀做功推动汽轮机的转子旋转，将热能变为机械能。汽轮机带动发电机旋转，将机械能再变为电能。在汽轮机内做功后的排汽将进入凝汽器内放出汽化热而凝结为水，凝结水再由凝结水泵经由低压加热器加热送入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热，进一步提高温度后送入锅炉。以后又

重复上述过程，并不断地生产出电能。

将汽轮机的排汽冷凝为水是由循环水泵把冷却水送入凝汽器来实现的。冷却水经循环水泵打入凝汽器的循环水管中，在吸收了蒸汽的热量后，经排水管排出，从而将热量带走。通常，由于循环水系统带走很大一部分热能，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%。

为了提高这种发电厂的效率，人们自然想到能否尽量减少被循环水所带走的热能，而把作过功的蒸汽中所含的热能也充分利用起来，这就是发展供热式发电厂的原因。供热式发电厂与凝汽式发电厂不同的地方只是在汽轮机的中段抽出了供热能用户的蒸汽，而这些蒸汽实际上已经在汽机中作了一部分功，再把这些蒸汽引到一个给水加热器去加热供热力用户的用水，或把蒸汽直接送给热力用户。这样一来，进入凝汽器内的蒸汽量就大大减少了，于是循环水所带走的热量消耗也就相应地减少，从而提高了热效率。据报导，现代化大型供热式电厂的效率可达60%~70%以上，从供电和供热的全局来看，可节约燃料20%~25%左右。由于供热网络不能太长，所以供热式发电厂总是建设在热力用户附近。此外，为了使供热式发电厂维持较高的效率，当需热量多时，发电厂必须相应多发电；需热量少时，则发电出力也减少。因而，这类发电厂在电力系统中的运行方式远不如凝汽式发电厂灵活。

二、水力发电厂

水力发电厂是利用河流所蕴藏的水能资源来发电，水能资源是最干净、价廉的能源。水力发电厂的容量大小决定于上下游的水位差（简称水头）和流量的大小。因此，水力发电厂往往需要修建拦河大坝等水工建筑物以形成集中的水位差，并依靠大坝形成具有一定容积的水库以调节河水流量，根据地形、地质、水能资源特点等的不同，水力发电厂的型式是多种多样的。

水力发电厂的生产过程要比火力发电厂简单，如图1-3所示。由拦河坝维持在高水位的水，经压力水管进入螺旋形蜗壳推动水轮机转子旋转，将水能变为机械能，水轮机转子再带动发电机转子旋转，使机械能变成了电能。而作完功的水则经过尾水管排往下游；发电机发出的电则经变压器升压后由高压输电线送至用户。由于水力发电厂的生产过程较简单，故所需的运行维护人员较少，且易于实现全盘自动化。再加之水力发电厂不消耗燃料，所以它的电能成本要比火力发电厂低得多。此外，水力机组的效率较高，承受变动负荷的性能较好，故在系统中的运行方式较为灵活；水力机组起动迅速，在事故时能有力地发挥其后备作用。再者，随着水力发电厂的兴建往往还可以同时解决发电、防洪、灌溉、航运等多方面的问题，从而实现河流的综合利用，使国民经济取得更大的效益。水力发电厂的另一个优点是不像火力发电厂、核能发电厂那样存在环境污染问题。但是，由于水力发电厂需要建设大量的水工建筑物，所以相对于火力发电厂来说，建设投资较大，工期较长，占用劳力也较多。特别是水库还将淹没一部分土地，给农业生产带来一定不利影响。加之水力发电厂的运行方式还受气象、水文等条件的影响有丰水期、枯水期之别，发电出力不如火电厂稳定，也给电力系统的运行带来一定不利因素。另外，随着大型水电工程的兴建，还可能在一定程度上破坏了自然界的生态平衡，所有这些都是水力发电厂存在的

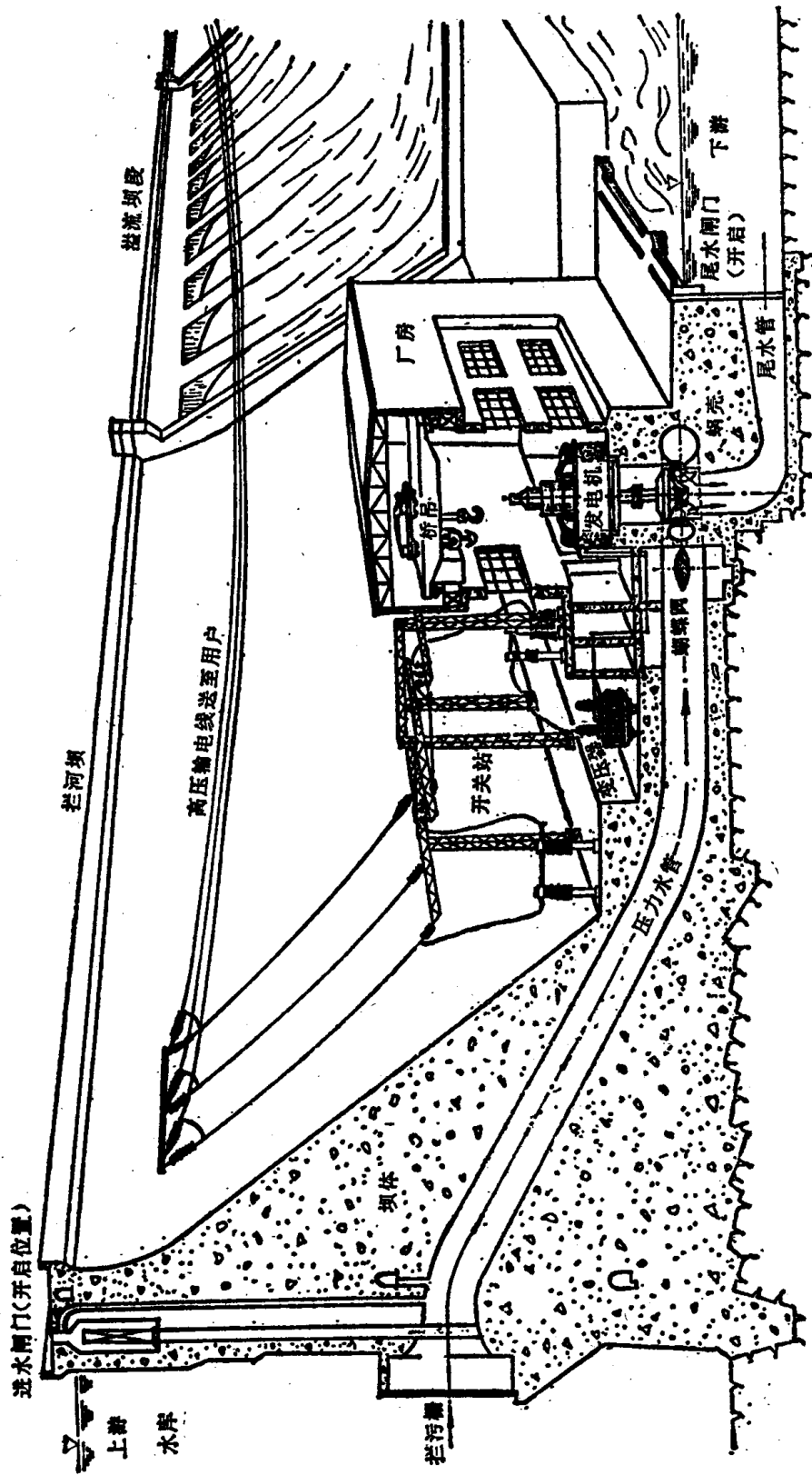


图 1-3 水力发电厂生产过程示意

问题。

如前所述，我国具有极其丰富的水能资源，但根据新近的统计，已开发的还不到可开发总量的5%，而世界上一些工业发达国家的水能资源却已基本开发殆尽。目前我国尚有一些自然条件优越，投资少、收效快的水能资源急待开发。据规划，今后准备在金沙江、长江干流、黄河上游、大渡河、澜沧江、沅江等河流上建设十来个大型水力发电基地，并以这些基地为中心，依靠超高压输电线路建立起若干个跨省的现代化大电网。

三、核能发电厂

核能的利用是现代科学技术的一项重大成就。它为人类提供了一种新的巨大的能源。由于煤、石油等燃料的贮量有限，加之一些国家的水能资源已基本开发殆尽，故从五十年代起一些国家就转向于研究核能发电。从1954年世界上第一个核能发电厂建成迄今全世界已有二十多个国家先后建成了总共三百多个核能发电厂，总容量在二亿千瓦以上，目前，从全世界看，核能电厂的容量已占总发电设备容量的10%以上，而且不包括正在建设或已定货的核能发电厂的容量。近年来，一些资源贫乏的发达国家由于受到“能源危机”的冲击，迫使他们不得不走核能发电的道路，这是促使它迅速发展的主要原因。

核能发电的基本原理是这样的：核燃料在反应堆内产生核裂变，即所谓链式反应，释放出大量热能，由冷却剂（水或气体）带出，在蒸汽发生器中将水加热为蒸汽，然后同一般火力发电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，再带动发电机发电。冷却剂在把热量传给水后，又被泵打回反应堆里去吸热，这样反复使用，就可以不断地把核裂变释放的热能引导出来。核能发电厂与火力发电厂在构成上的最主要区别是前者用核-蒸汽发电系统（反应堆、蒸汽发生器、泵和管道等）来代替后者的蒸汽锅炉。所以核电厂中的反应堆又被称为原子锅炉。

根据核反应堆的型式不同，核能发电厂可分为好几种类型。图1-4为目前使用较广的轻水堆型（包括沸水堆和压水堆）核能发电厂的生产过程示意图，这种反应堆是用水作为冷却剂。在沸水堆内[见图1-4(a)]，水被直接变成蒸汽，它的系统构成较为简单，但有可能使汽轮机等设备受到放射性污染，以致使这些设备的运行、维护和检修复杂化。为了避

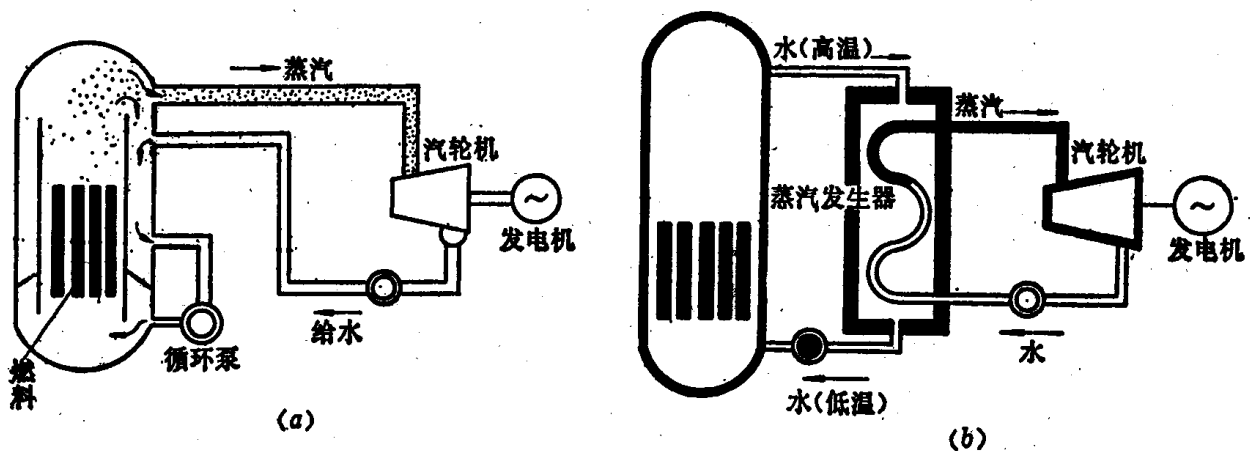


图 1-4 核能发电厂生产过程示意
(a)沸水堆型反应堆；(b)压水堆型反应堆

免这个缺点，可采用图1-4(b)所示的压水堆。这时，增设了一个蒸汽发生器，从反应堆中引出的高温的水在蒸汽发生器内将热量传给另一个独立回路的水使之加热成高温蒸汽以推动汽轮发电机组旋转。由于在蒸汽发生器内二个回路是完全隔离的，所以就不会造成对汽轮机等设备的放射性污染。

核电厂的其他设备与一般火电厂相同。

核能发电厂的主要优点之一是可以大量节省煤、石油等燃料。例如，一座容量为50万kW的火力发电厂每年至少要烧掉150万t煤，而同容量的核能发电厂每年只要消耗20t的铀燃料就够了。从而可避免大量的燃料运输。核能发电厂的另一个特点是燃烧时不需要空气助燃，所以核能电厂可以建设在地下、山洞里、水下或空气稀薄的高原地区。此外，从发电厂的建设投资和发电成本来看，核能发电厂的造价虽较火力发电厂要高，但发电成本比火力发电厂要低30%~50%，它的规模愈大单位千瓦投资费用下降愈快。据国外资料介绍，如建设一座50万kW的发电厂，则核能发电厂较之一般火力发电厂更为合算。

核能发电厂的主要问题是放射性污染的担心。以往尽管在发电厂建设时已采取了相应的措施，但放射性污染事故仍有发生。目前在技术上已能够较好地解决污染的防护问题以及放射性废弃物的处理问题。虽然世界上对核能发电厂的建设（主要是其安全性）还存在着争论，但是在“能源危机”的冲击之下，对一些资源贫乏的发达国家来说，别无其它的选择，唯有继续执行建设核能发电厂的计划。因此，预计在今后相当一段时间内，对核能发电有关技术的研究，仍将是人们所关注的中心。

第四节 电能的质量指标

通常衡量电能质量的主要指标是电压和频率，其次是波形。

一、电压

电压质量对各类用电设备的安全经济运行都有直接的影响。图1-5表示照明负荷的电压特性。从图上可以看出，对照明负荷来说，白炽灯对电压的变化是很敏感的。当电压降低时，白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降；当电压上升时，白炽灯的寿命将大为缩短。例如，电压额定值降低10%，则光通量减少30%；电压额定值上升5%，则寿命缩减一半。

对电力系统的负荷中大量使用的异步电动机而言，它的运行特性对电压的变化也是较敏感的。当输出功率一定时，异步电动机的定子电流、功率因数和效率随电压而变化的特性如图1-6所示。从图上可以看出，当端电压下降时，定子电流增加很快。这是由于异步电动机的最大转矩是与其端电压的平方成正比的，当电压降低时，电机转矩将显著减小，以致转差增大，从而使得定子、转子电流都显著增大，

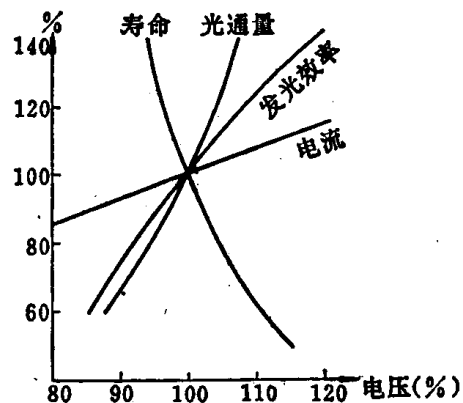


图 1-5 照明负荷（白炽灯）的电压特性