



国家电网
STATE GRID

国家电网公司
生产技能人员职业能力培训通用教材

电气设备及运行维护

国家电网公司人力资源部 组编

GUOJIADIANWANGGONGSI
SHENGCHANJINENG RENYUAN
ZHIYENENGLI PEIXUN
TONGYONG JIAOCAI



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



国家电网
STATE GRID

国家电网公司 生产技能人员职业能力培训通用教材

电工基础
电子技术
电力电子技术
机械制图
电气识绘图
电力工程力学
计算机基础
数学
钳工基础
起重搬运
电工仪表与测量
电力系统(分析)
继电保护及自动装置
高电压技术
电机学
 电气设备及运行维护
二次回路
变电站综合自动化
电气试验

带电作业基础知识
供用电常识
计量基础知识
电能计量
电能计量相关规程规范
电力市场营销知识
用电营业管理
用电检查相关规程
财会相关知识
法律法规
班组管理
电力安全生产及防护
职业道德规范
工程概预算基础知识
企业文化
沟通与协调
团队建设
特高压电网
电力应用文

ISBN 978-7-5083-9648-4



9 787508 396484 >

定价: 29.00 元

销售分类建议: 电力工程/输配电



国家电网
STATE GRID

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

电气设备及运行维护

国家电网公司人力资源部 组编
何宁 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训教材》是按照国家电网公司生产技能人员标准化培训课程体系的要求,依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(简称《培训规范》),结合生产实际编写而成。

本套教材作为《培训规范》的配套教材,共72册。本册为通用教材的《电气设备及运行维护》,全书共十五章,61个模块,主要包括发电厂、变电站及电力系统概述,电力系统中性点运行方式,短路电流的实用计算,载流导体的发热和电动力,高压电气设备的选择,开关电器,互感器,补偿设备,母线、绝缘子、电力电缆,电气主接线,配电装置,保护接地,操作电源,电力变压器的运行与维护知识,高压配电装置的运行与维护知识等。

本书是供电企业生产技能人员的培训教学用书,也可以作为电力职业院校教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备及运行维护/国家电网公司人力资源部组编. —北京:中国电力出版社, 2010

国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材

ISBN 978-7-5083-9648-4

I. 电… II. 国… III. ①电气设备-运行-技术培训-教材②电力系统运行-技术培训-教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 199960 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

2010年5月第一版 2010年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 16.25印张 301千字

印数 0001—3000册 定价 29.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材》

编 委 会

主 任 刘振亚

副 主 任 郑宝森 陈月明 舒印彪 曹志安 栾 军
李汝革 潘晓军

成 员 许世辉 王风雷 张启平 王相勤 孙吉昌
王益民 张智刚 王颖杰

编写组组长 许世辉

副 组 长 方国元 张辉明 柳 杨

成 员 何 宁 任小川 康成林 李汶江 鞠宇平
倪 春 江振宇 李群雄 曹爱民 王应永
罗春雷 刘 宇



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

前 言

为大力实施“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，国家电网公司按照“集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设”的工作要求，充分发挥集团化优势，组织公司系统一大批优秀管理、技术、技能和培训教学专家，历时两年多，按照统一标准，开发了覆盖电网企业输电、变电、配电、营销、调度等 34 个职业种类的生产技能人员系列培训教材，形成了国内首套面向供电企业一线生产人员的模块化培训教材体系。

本套培训教材以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》（Q/GDW 232—2008）为依据，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性和实用性，并涵盖了电力行业最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺；在写作方式上，做到深入浅出，避免烦琐的理论推导和论证；在编写模式上，采用模块化结构，便于灵活施教。

本套培训教材包括通用教材和专用教材两类，共 72 个分册、5018 个模块，每个培训模块均配有详细的模块描述，对该模块的培训目标、内容、方式及考核要求进行了说明。其中：通用教材涵盖了供电企业多个职业种类共同使用的基础知识、基本技能及职业素养等内容，包括《电工基础》、《电力生产安全及防护》等 38 个分册、1705 个模块，主要作为供电企业员工全面系统学习基础理论和基本技能的自学教材；专用教材涵盖了相应职业种类所有的专业知识和专业技能，按职业种类单独成册，包括《变电检修》、《继电保护》等 34 个分册、3313 个模块，根据培训规范职业能力要求，I、II、III 三个级别的模块分别作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材。

本套培训教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，充分发挥企业培养高技能人才主体作用的重要举措，是加快推进国家电网公司发展方式和电网发展方式转变的具体实践，也是有效开展电网企业教育培训和人才培养工作的重要基础，必将对改进生产技能人员培训模式，推进培训工作由理论灌输向能力培养转型，提高培训的针对性和有效性，全面提升员工队伍素质，保证电网安全稳定运行、支

撑和促进国家电网公司可持续发展起到积极的推动作用。

本册为通用教材部分的《电气设备及运行维护》，由重庆市电力公司具体组织编写。

全书第一至第四章由重庆市电力公司任小川编写；第五章，第七章由重庆市电力公司易世均编写；第六章由重庆市电力公司熊万福、陈曦、项维编写；第八章由重庆市电力公司李汶江、龙小平、席世友编写；第九章，第十章，第十二章由重庆市电力公司康成林编写、第十一章由重庆市电力公司康成林、李志勇编写；第十三章由重庆市电力公司傅鸿初、赵应春编写；第十四章由重庆市电力公司邹景行、邓渝生编写；第十五章由重庆市电力公司李汶江、李晓斌、李彬编写。全书由重庆市电力公司何宁担任主编。陕西省电力公司陈英担任主审，陕西省电力公司杜文学、刘建雄参审。

由于编写时间仓促，难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

目 录

前言

第一章 发电厂、变电站及电力系统概述	1
模块 1 电力系统概述 (TYBZ01601001)	1
模块 2 发电厂、变电站概述 (TYBZ01601002)	5
第二章 电力系统中性点运行方式	12
模块 1 中性点不接地系统 (TYBZ01602001)	12
模块 2 中性点经消弧线圈接地系统 (TYBZ01602002)	16
模块 3 中性点直接接地系统 (TYBZ01602003)	20
模块 4 中性点经阻抗接地系统 (TYBZ01602004)	22
第三章 短路电流的实用计算	27
模块 1 短路的基本概念 (TYBZ01603001)	27
模块 2 标么值 (TYBZ01603002)	29
模块 3 电力系统各元件电抗值的计算 (TYBZ01603003)	33
模块 4 短路电流计算 (TYBZ01603004)	39
模块 5 电力系统元件的序参数和序网络的概念 (TYBZ01603005)	45
模块 6 不对称短路电流的计算 (TYBZ01603006)	51
第四章 载流导体的发热和电动力	60
模块 1 导体发热概述 (TYBZ01604001)	60
模块 2 导体的发热 (TYBZ01604002)	63
模块 3 短路电流的电动力效应 (TYBZ01604003)	67
第五章 高压电气设备的选择	71
模块 1 高压电气设备选择的一般条件和原则 (TYBZ01605001)	71

模块 2	高压断路器、隔离开关的选择 (TYBZ01605002)	73
模块 3	互感器的选择 (TYBZ01605003)	77
模块 4	母线和电缆的选择 (TYBZ01605004)	81
第六章	开关电器	87
模块 1	电弧的产生与熄灭 (TYBZ01606001)	87
模块 2	开关电器中熄灭交流电弧的基本方法 (TYBZ01606002)	90
模块 3	电气触头的基本知识 (TYBZ01606003)	93
模块 4	高压断路器 (TYBZ01606004)	97
模块 5	高压断路器的操动机构 (TYBZ01606005)	102
模块 6	隔离开关 (TYBZ01606006)	106
模块 7	高压熔断器 (TYBZ01606007)	113
模块 8	高压负荷开关 (TYBZ01606008)	118
模块 9	自动重合器与自动分段器 (TYBZ01606009)	123
模块 10	组合电器 (TYBZ01606010)	129
第七章	互感器	134
模块 1	互感器的原理、作用 (TYBZ01607001)	134
模块 2	电流互感器 (TYBZ01607002)	136
模块 3	电压互感器 (TYBZ01607003)	140
第八章	补偿设备	145
模块 1	电力电容器 (TYBZ01608001)	145
模块 2	电抗器 (TYBZ01608002)	149
模块 3	消弧线圈 (TYBZ01608003)	152
模块 4	串补装置 (TYBZ01608004)	157
第九章	母线、绝缘子、电力电缆	162
模块 1	母线 (TYBZ01609001)	162
模块 2	绝缘子 (TYBZ01609002)	164
模块 3	电力电缆 (TYBZ01609003)	166
第十章	电气主接线	171
模块 1	电气主接线的一般知识 (TYBZ01610001)	171

模块 2	电气主接线的基本形式 (TYBZ01610002)	172
模块 3	发电厂、变电站电气主接线 (TYBZ01610003)	178
模块 4	限制短路电流的方法 (TYBZ01610004)	179
第十一章	配电装置	182
模块 1	配电装置的一般知识 (TYBZ01611001)	182
模块 2	户内配电装置 (TYBZ01611002)	185
模块 3	户外配电装置 (TYBZ01611003)	188
模块 4	成套配电装置 (TYBZ01611004)	189
第十二章	保护接地	194
模块 1	接地的概念与人身安全 (TYBZ01612001)	194
模块 2	保护接地 (TYBZ01612002)	195
模块 3	电气装置的接地 (TYBZ01612003)	198
模块 4	接地装置 (TYBZ01612004)	199
第十三章	操作电源	202
模块 1	直流负荷及操作电源 (TYBZ01613001)	202
模块 2	蓄电池组直流系统 (TYBZ01613002)	207
第十四章	电力变压器的运行与维护知识	213
模块 1	变压器的正常运行及额定值 (TYBZ01614001)	213
模块 2	变压器的负荷能力 (TYBZ01614002)	216
模块 3	变压器的并列运行 (TYBZ01614003)	218
模块 4	变压器的运行维护 (TYBZ01614004)	219
第十五章	高压配电装置的运行与维护知识	228
模块 1	高压断路器的运行与维护 (TYBZ01615001)	228
模块 2	隔离开关的运行与维护 (TYBZ01615002)	237
模块 3	互感器的运行与维护 (TYBZ01615003)	240
模块 4	高压电容器的运行与维护 (TYBZ01615004)	244
参考文献		250



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

第一章 发电厂、变电站及电力系统概述

模块 1 电力系统概述 (TYBZ01601001)

【模块描述】本模块涉及电力系统的概述。通过要点讲解、图例示意，了解电力生产的特点及电力系统运行的基本要求，掌握电力系统额定电压的概念。

【正文】

一、电力系统概述

1. 电力系统的概念

在电力工业发展初期，发电厂几乎都建设在用户附近，规模小，而且是孤立运行的。随着社会发展和用电负荷的增加，发电厂的规模和数量也不断增加，逐步形成了现代的电力系统。电力系统是由发电厂、变电站、输配电线路直到用户等在电气上相互连接的一个整体。它包括了从发电、输电、配电、用电的全过程。同时，我们将输配电线路与各类变电站总称为电力网络（简称电网）。所以，电力系统也可以看作是由发电厂、电力网以及用户所组成的整体，电力系统单线接线图如图 TYBZ01601001-1 所示。

2. 电力生产的特点

由于电能生产本身所固有的特性，决定了电力系统与其他工业部门有着许多不同的特点，主要有以下几点。

(1) 电能不易储藏。由于电能生产是一种能量形态的转换，要求生产与消费同时完成。尽管人们对电能的储藏进行了大量的研究，并在一些新的储藏电能方式上（如超导储能、燃料电池储能等）取得了一些突破性的进展，但是仍未能解决经济而高效率的大容量储能问题。因此，电能难于大规模储藏，可以说是电能生产的最大特点。

(2) 电能生产与国民经济和人民生活有着极为密切的关系。电能是一种清洁、方便的能源，现代工业、农业、通信、交通运输业等都广泛采用电力作为能源，日常生活中也广泛使用各种家用电器。随着现代化的进展，各行业电气化、自动化和信息化的程度将越来越高，对电力的依赖也越来越强。

模块 1

TYBZ01601001

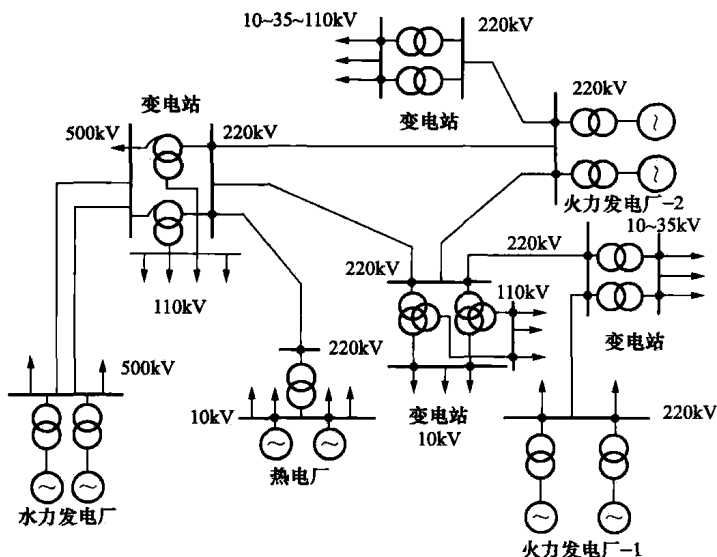


图 TYBZ01601001-1 电力系统单线接线图

(3) 暂态过程十分短暂。电是以光速传播的，电网运行状态发生变化所引起的电磁暂态和机电暂态过程都是十分迅速的。电力系统中的正常操作（如变压器、输电线路的投切等）是在极短时间内完成的，电力系统中出现的故障及其发展进程也是非常短暂的，往往用微秒、毫秒来计量时间。

(4) 电力系统中发电机、变压器、输配电线路和用电设备在电网中形成一个不可分割的整体, 缺少任何一个环节, 电力生产都不可能完成。

3. 大电网的优越性

电力工业生产水平的提高必然要发展大电网，因为大电网具有十分显著的优越性，会在技术经济上带来极大的效益。下面简述如下：

(1) 合理利用能源, 有利于资源开发。发展大电网可以合理利用能源, 有利于水力资源开发和坑口电站的建设。

(2) 安装大容量、高效能的发电机组,降低造价和提高效率。大电网可以安装大容量、高效能的火电机组、水电机组和核电机组,有利于降低了单位千瓦的设备投资,降低机组的运行损耗和节约能源,提高劳动生产率,加快电力建设速度。

(3) 利用时间差错峰, 减少备用容量, 节省全网总装机容量。大电网可以利用时间差, 错开用电高峰, 各地区用电的不同时性削减了尖峰负荷, 因而可以降低用电高峰负荷, 减少系统的备用容量。

(4) 互供电力、互为备用, 增强抵抗事故能力, 提高电网安全水平, 提高供电可靠性。

(5) 有利于改善电能质量。当系统出现较大的负荷波动时, 若系统容量较小, 有可能引起电网的电压或频率波动。大电网可以承受较大的冲击负荷, 有利于改善电能质量。

(6) 有利于电力系统经济运行, 实现水火电联合经济调度。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生产成本降低, 提高了系统运行的经济性。另外, 水电还可以跨流域调节, 并在更大范围内进行水火电联合经济调度。

4. 电力系统运行的基本要求

电力系统与国民经济各方面的关系密切, 因此对电力生产的安全、可靠、优质、经济等方面都提出较高的要求。电力系统的运行有以下基本要求:

(1) 满足社会的用电需求。最大限度地满足用户的用电需要, 为国民经济和社会提供充足的电力。应按照电力先行的原则作好电力系统的发展规划, 以确保电力装机容量和电网建设能满足社会的用电需求。

(2) 保证供电的可靠性。保证供电的可靠性。这是电力系统运行中的一项重要任务。提高电力系统的安全运行水平, 保证对用户的不间断供电。供电可靠性是电力系统运行的主要指标之一。

(3) 保证电能的质量标准。保证电能的良好质量。主要是维持电压和频率以及波形偏差不超出一定的范围。衡量电能质量的主要指标是频率、电压和波形。频率、电压及谐波分量等, 不仅直接影响电力用户的产品质量和设备安全, 而且直接关系到电网本身的运行安全。

(4) 提高运行的经济性。保证电力系统运行的经济性, 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。为了提高电力系统运行的经济性, 必须尽量降低发电厂的煤耗率(或水耗率)、厂用电率和电力网的损耗率。

电力系统由于消耗能量巨大, 其运行的经济性具有十分重要的意义。体现电力系统运行经济性的三个主要经济指标是:

- 1) 标准耗煤量。每千瓦时所耗的标准煤量(发热量为 29190kJ/kg 的标准煤)。
- 2) 厂用电率。发电厂的自用电占发电量的百分数。
- 3) 线路损耗率。各级电网中的损耗电量占电厂供电量的百分比。

二、电力系统的额定电压

所谓额定电压, 就是发电机、变压器和电气设备等在正常运行时具有最大经济效益和最佳技术指标时的电压。国家规定了标准电压等级系列, 有利于电气设备制



造业的生产标准化和系列化,有利于电气设备的互相连接和选型等。

世界上的许多国家和有关国际组织都制定关于额定电压等级的标准。GB/T 156—2007 规定的交流 1kV 以上额定电压见表 TYBZ01601001-1。

1. 电网的额定电压

电网的额定电压等于用电设备的额定电压,见表 TYBZ01601001-1。

表 TYBZ01601001-1 中可以看出,发电机、变压器等设备的额定电压不等于用电设备的额定电压,这是因为实际电力系统在运行时由于变压器、输电线路等电气元件有阻抗,当它们传输功率时就会产生电压损耗,引起末端电压降低。为保证电力系统中所有设备的运行电压在一个合理的范围内,需要将首端的电压提高。

2. 发电机的额定电压

发电机的额定电压较用电设备的额定电压高出 5%。主要是因为发电机端可能接有直供负荷,考虑到配电线路的电压降落,为保证线路上的用电设备运行在规定的电压范围内,需要提高发电机的机端电压。

表 TYBZ01601001-1 国家标准 (GB/T 156—2007) 规定的额定电压

kV

用电设备额定电压	交流发电机额定电压	变压器额定电压	
		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 11.0
—	13.8, 15.75, 20	13.8, 15.75, 20	—
35	—	35	38.5
63	—	63	69
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	550
750	—	750	800

注 1. 变压器一次绕组的 3.15、6.3、10.5、15.75kV 电压适用于发电机端直接连接的升压变压器。

2. 变压器二次绕组的 3.3、6.6、11kV 电压适用于短路阻抗值在 7.5% 以上的降压变压器。

3. 变压器的额定电压

变压器的一次绕组 (电源侧) 是接受电能的, 可以看成是用电设备, 其额定电压与用电设备的额定电压相等, 而直接与发电机相连接的升压变压器的一次侧电压

应与发电机电压相配合。

变压器的二次绕组（负荷侧）相当于一个供电电源，它的额定电压要比用电设备的额定电压高出 10%。但在 3、6、10kV 电压时，如为短路阻抗小于 7.5% 的配电变压器，则二次绕组的额定电压仅高出用电设备额定电压的 5%。

4. 电气设备的额定电压

用电设备的运行指标和额定寿命是对其额定电压而言的。当其出现电压偏差时，其运行参数和寿命将受到影响，影响程度视偏差的大小、持续的时间和设备状况而异。所有电气设备和用电设备都规定有额定电压。在额定电压下运行时，其技术经济性能最佳，也才能保证设备安全运行和正常使用寿命。但是，实际电力系统运行时各点的电压是随负荷的变化而波动的，而且由于输配电系统的设备要产生电压损耗，要保证各点的运行电压都是额定电压是不现实的，也没有必要。通常是规定一个电压变化的范围，电气设备在这个范围内工作也能达到设计要求的经济性能。

【思考与练习】

1. 电力系统是由哪些部分组成，各部分的作用是什么？
2. 电力生产的特点是什么？
3. 大电网有哪些优越性？
4. 电力系统运行的基本要求是什么？
5. 电气设备的额定电压是如何规定的？
6. 发电机、变压器、用电设备和电力网的额定电压之间有什么关系？

模块 2 发电厂、变电站概述 (TYBZ01601002)

【模块描述】本模块介绍各类发电厂的主要设备和生产流程、变电站的作用及地位、电气设备分类和作用等。通过概念描述、要点讲解、图例示意，熟悉发电厂、变电站及电力生产过程，掌握电气设备的分类与作用。

【正文】

一、发电厂

电能是由一次能源转换而得的，发电厂的类型一般根据一次能源来分类。随着世界范围的矿物能源资源的紧缺和石油、煤炭价格的上涨，且人类对环境要求的不断提高和减少大气排放的限制，大规模开发和利用新型能源已经得到世界各国政府的高度重视。

下面将介绍几类主要发电厂的生产过程。



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。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，火力发电厂在系统中所占的比重都是较大的。火力发电厂按其作用来分有凝汽式发电厂和供热式发电厂。凝汽式火力发电厂生产过程如图 TYBZ01601002-1 所示。

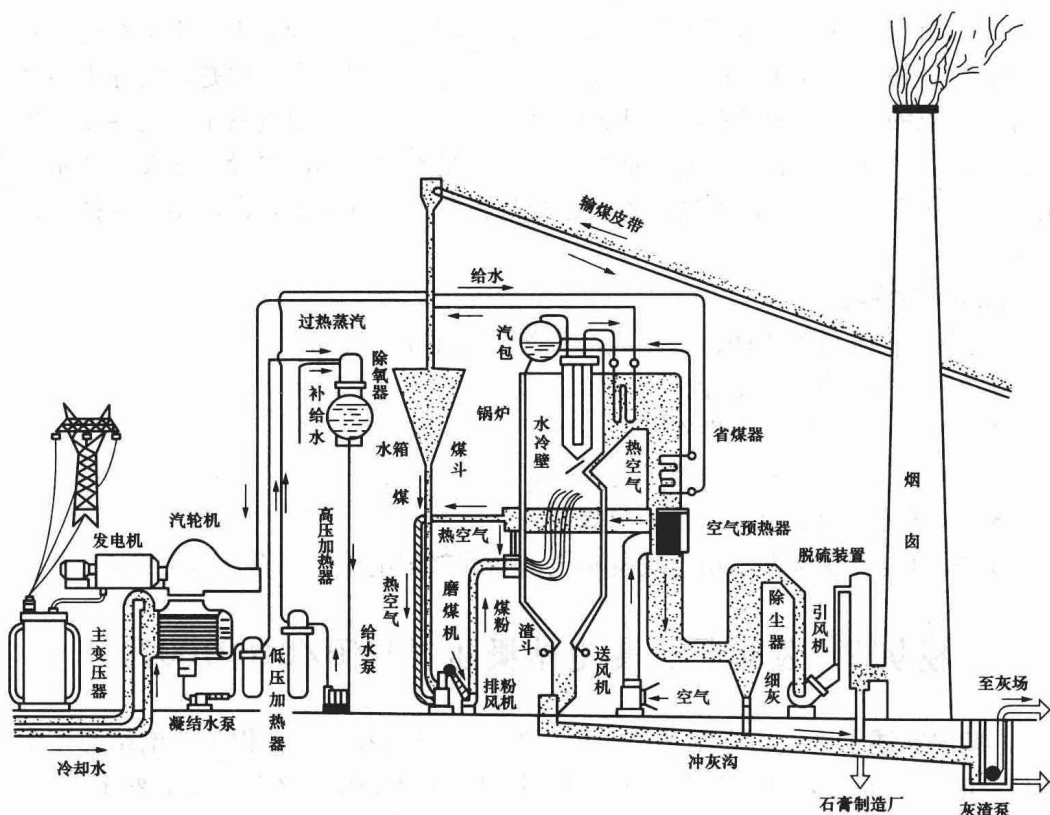


图 TYBZ01601002-1 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

通常，凝汽式发电厂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热效率是不高的，目前比较先进的指标也只能达到35%~40%。

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，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，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。现代大型供热式电厂的热效率可达60%~70%以上。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。

近年来我国还发展了用燃气轮机发电,燃气轮机是采用燃烧天然气等燃料的一种热力发电机组。天然气是一种清洁能源。燃气轮机的起动速度快,既可作为调峰电源承担日负荷曲线的尖峰负荷,又可作为系统事故或容量不足时的紧急备用机组。另外,近年来推广的燃气—蒸汽联合循环的运行方式可进一步提高火电厂的热效率。

2. 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。水力发电厂可能的发电出力大小取决于上下游的水位差和流量的大小。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,水力发电厂的形式是多种多样的,例如坝后式、河床式、引水式、地下式、坝内式等。通常,水力发电厂的生产过程要比火力发电厂简单。典型的坝后式水力发电厂生产过程示意图如图 TYBZ01601002-2 所示。

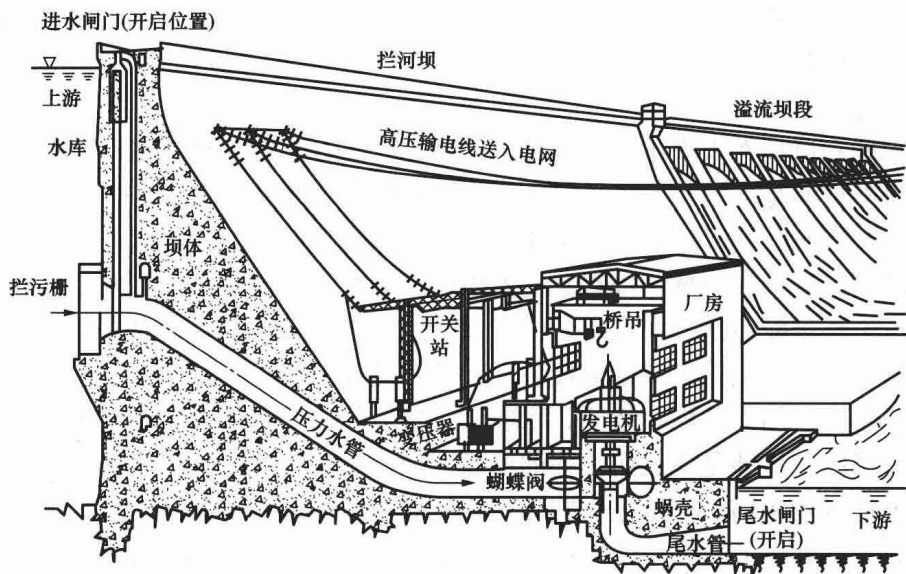


图 TYBZ01601002-2 水力发电厂生产过程示意图

另外,还有一种类型的水电厂,即抽水蓄能式水电厂。建设抽水蓄能电厂主要是为了解决电力系统运行的调峰问题,尤其是在一些负荷很大但又缺乏水能资源的地区,这些地区的电源主要是火电厂或核电厂。由于火电机组或核电机组的负荷调节受到一些条件的限制,需要建设抽水蓄能电厂担任调峰任务。这种电厂通常在电力系统中可以发挥调峰、调频、调相和事故备用等作用。

3. 核能发电厂

核能的利用为人类提供了一种新的巨大的能源。由于煤、石油等燃料的储存量