

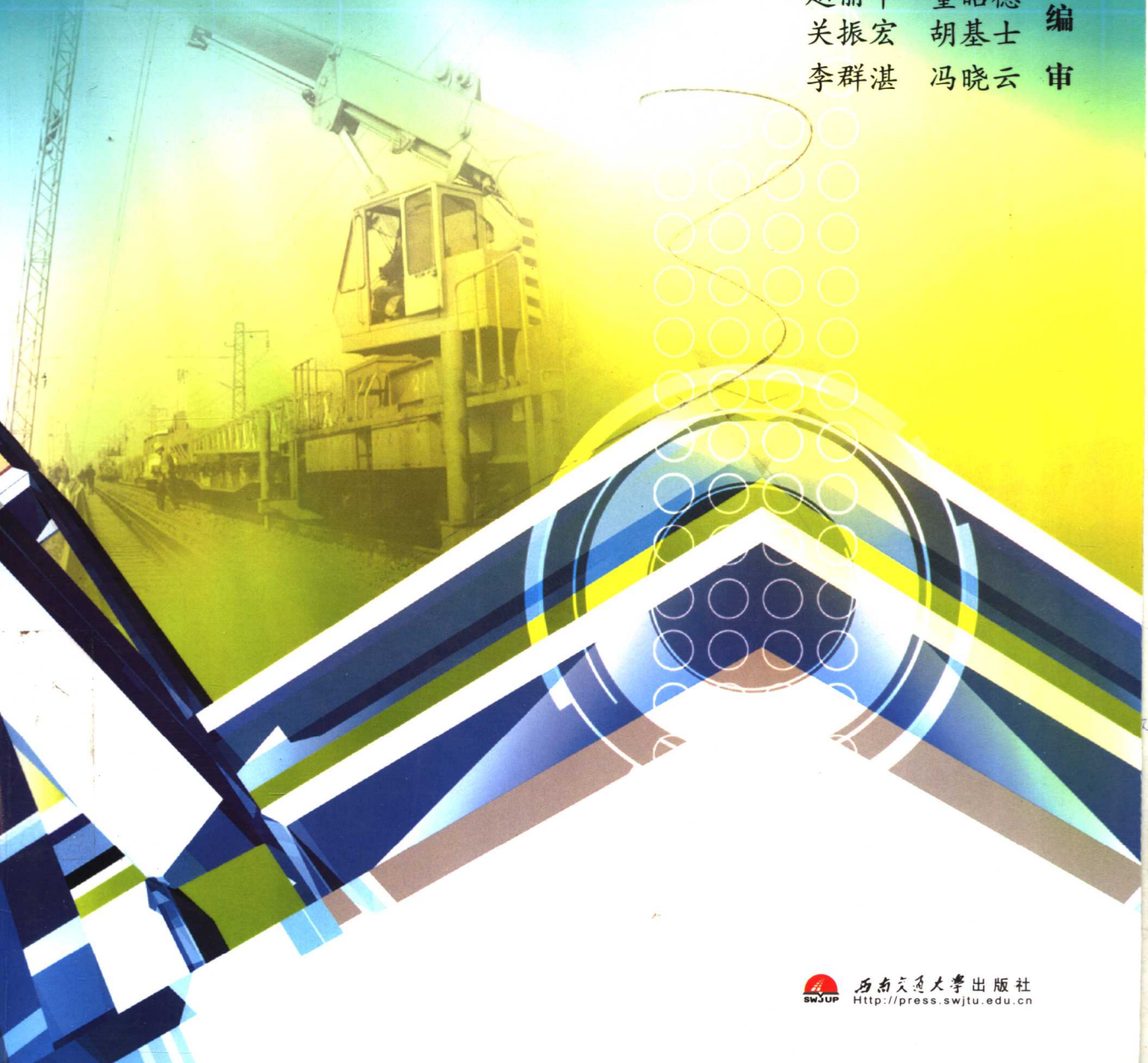


新世纪教改系列教材

电气工程与自动化 生产实习指导

DIANQI GONGCHENG YU ZIDONGHUA
SHENGCHAN SHIXI ZHIDAO

赵丽平 董昭德 编
关振宏 胡基士 审
李群湛 冯晓云



西南交通大学出版社
<http://press.swjtu.edu.cn>

新世纪教改系列教材

TM
72

电气工程与自动化生产实习指导

赵丽平 董昭德 编
关振宏 胡基士
李群湛 冯晓云 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是电气工程与自动化专业大学专科和本科学生的专业生产实习教材,共十一章。第一章至第四章简要地介绍了电力系统的组成,发电厂及变电所的类型、生产流程、主要电气设备的结构和简单工作原理,发电厂及变电所的继电保护和监控技术;第五章至第七章简要地介绍了电气化轨道交通的起源、发展,电气化铁路牵引供电系统的相关知识;第八章至第十一章简要地介绍了列车牵引理论、电力机车电器及机械等电力机车的相关知识。

本书除作为高等学校电气工程与自动化专业大学生的专业生产实习教材外,还可供该专业职业技术学院学生以及电气化轨道交通领域基层站段的工作人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程与自动化生产实习指导 / 赵丽平, 董昭德, 关振宏, 胡基士编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2005.6

(新世纪教改系列教材)

ISBN 7-81104-040-9

I. 电... II. ①赵...②董...③关...④胡... III. ①电气化铁道—电气工程—高等学校—教学参考资料②电气化铁道—自动化技术—高等学校—教学参考资料
IV. U22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008470 号

电气工程与自动化生产实习指导

赵丽平 董昭德 关振宏 胡基士 编

*

责任编辑 黄淑文

责任校对 李 梅

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

西南交通大学印刷厂印刷

*

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 16.125

字数: 400 千字 印数: 1—3 000 册

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-040-9/U · 006

定价: 22.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

目前,我国多数高校的专业生产实习都是在专业课授课之前进行的,学生对专业的基本常识和理论知识都不甚了解,实习效果不太理想。为此,我们特意编写了这本专业生产实习教材,希望该教材能让实习师生在实习过程中“有据可依”,能使学生较为系统地了解电气工程和电气化轨道交通的基本常识,能回答学生在生产实习中遇到的基本问题,使专业生产实习更规范、实习效果更理想。

本教材共十一章,第一章概述了电力系统的组成,介绍了各类发电厂和变电站(所)的生产流程;第二章介绍了发电机、电力变压器、高压断路器、隔离开关、互感器等电力系统常用高压电器的基本结构和工作原理;第三章介绍了电力系统继电保护的基本概念,常用保护的形式及基本原理;第四章介绍了电力系统的监控技术;第五章概述了电气化铁道、磁悬浮、地铁及轻轨等电气化轨道交通系统的组成及发展;第六章介绍了单相工频交流牵引变电所的相关知识;第七章介绍了接触网的基本常识;第八章介绍了列车牵引的理论基础;第九章简述了 SS_8 型电力机车的机械部分及总体布置;第十章介绍了 SS_8 型交-直传动电力机车的主电路及主要电器;第十一章介绍了交流传动电力机车和动车组的主电路及主要电器。为了便于学生学习,在每一章后列出了相应的复习思考题,学生在实习时可以这些复习思考题为中心注意观察思考。在书末还列出了相关的参考文献,以便学生查阅。

本教材由赵丽平、董昭德、关振宏、胡基士等老师共同编写。其中,第一章、第二章、第七章由董昭德老师编写;第三章由韩旭东老师编写;第四章、第六章由赵丽平老师编写;第五章的第一、第二、第三节由昆明铁路局孙绍波工程师编写;第五章第四节、第八章、第九章由胡基士教授编写;第十章、第十一章由关振宏副教授编写。董昭德老师对全书进行了统稿。

本书在编写过程中得到了西南交通大学贺威俊教授、连级三教授、李群湛教授、高仕斌教授、冯晓云教授、陈小川教授、刘承志副教授、吴积钦高工、电气化工程局向荣高级工程师的热心指导和帮助,特别是贺威俊教授在百忙之中对本书的编写大纲进行了认真的审定,对编写工作提出了许多重要意见和建议,西南交通大学出版社的黄淑文编辑为本书的出版做了大量细致有效的工作。在此,我们对以上各位专家表示衷心的感谢!

本书在编写过程中还得到了西南交通大学电气工程学院曾明、黄艺丹、向丽萍、王华荣等同学的帮助,在这里一并向以上各位同学表示感谢!

本书在编写中参考了众多资料，在此，向这些参考文献的原作者表示最诚挚的谢意！

电气工程与自动化、电气化轨道交通系统所涉及的知识十分广泛，由于本书只是一本实习教材，它仅能涉及一些基本概念和简单原理，关于电力系统更深层的知识则需在专业课程或其他专业书籍中学习。

由于编者水平有限，经验不多，只是为了满足初学者的需要而抛砖引玉，书中难免有缺点和错误，希望得到专家和读者的指正，在适当的时候再作修订，以满足专业生产实习发展的需要。

如果对本书有何建议和意见，请发电子邮件至 dongzhaode@126.com，编者将非常感谢！

编 者

2005年3月于成都

目 录

第一章 电力系统的基本常识	1
第一节 电力系统的构成	1
第二节 电力系统的特点及其表征参数	3
第三节 我国电力工业的发展	4
第四节 发电厂的分类及生产流程	5
第五节 变电所	11
第六节 电力输电线路	15
第七节 电网互联与解列	17
第八节 电力系统接地和防雷的基本概念	19
复习思考题	21
第二章 高压电气设备简介	22
第一节 汽轮发电机	22
第二节 电力变压器	24
第三节 高压断路器	27
第四节 高压隔离开关	31
第五节 高压互感器	32
第六节 防雷设备	36
复习思考题	38
第三章 电力系统继电保护和自动装置	39
第一节 概述	39
第二节 电流保护	43
第三节 距离保护	48
第四节 差动保护	50
第五节 高频保护	52
第六节 自动重合闸装置	55
第七节 微机保护系统	57
复习思考题	60
第四章 电力系统监控技术	61
第一节 概述	61
第二节 断路器控制、信号电路	67

第三节	发电厂计算机监控系统	71
第四节	变电站微机监控与综合自动化系统	76
第五节	电网调度管理自动化	80
复习思考题		83
第五章	电气化轨道交通概述	84
第一节	电气化轨道交通的起源	84
第二节	地铁及轻轨	84
第三节	电气化铁路	88
第四节	磁浮交通	94
复习思考题		99
第六章	工频单相交流牵引变电所	100
第一节	牵引变电所对接触网的供电方式	100
第二节	牵引变压器及其结线	102
第三节	牵引变电所的配电装置	107
第四节	牵引变电所的二次结线	110
第五节	牵引变电所的中央信号装置	112
第六节	牵引变电所的主要保护类型概述	117
第七节	牵引变电所的无功补偿装置	120
复习思考题		121
第七章	接触网基础	122
第一节	接触网的特点及要求	122
第二节	接触网的基本组成	123
第三节	接触网支柱	124
第四节	接触网的支撑与定位	125
第五节	接触网中的绝缘子	129
第六节	接触悬挂	130
第七节	接触网的供电分段和设备	141
第八节	隧道内接触网的基本结构	145
第九节	接触网的防雷与接地	147
第十节	接触网的附加导线	150
第十一节	地铁接触网	150
复习思考题		152
第八章	列车牵引理论基础	153
第一节	轮轨相互作用原理	153
第二节	列车运行阻力	158
第三节	列车运行方程	162

第四节 关于非粘着列车牵引理论的一点概念性说明	168
复习思考题	169
第九章 电力机车的机械部分及总体布置	170
第一节 转向架	170
第二节 车体	184
第三节 总体布置	188
复习思考题	190
第十章 SS ₈ 型交直流传动电力机车	191
第一节 电气线路	192
第二节 牵引电动机	200
第三节 主变压器	208
第四节 变流装置	210
第五节 异步劈相机	213
第六节 单臂受电弓	216
复习思考题	219
第十一章 交流传动电力机车及动车组	220
第一节 AC4000 交流传动电力机车概况	220
第二节 动车组	225
第三节 “中华之星”交流传动电动车组动力车	228
第四节 电压型四象限脉冲整流器	233
第五节 “中华之星”动力车主变流器	238
第六节 “中华之星”动力车 JD128 异步牵引电动机	242
复习思考题	244
附录 电气工程与自动化专业生产实习大纲	245
参考文献	249

第一章 电力系统的基本常识

电能的生产和运用是 19 世纪人类社会取得的巨大成就，它使人类进入到现代生活和现代文明，极大地促进了人类社会的进步，为现代工业和现代文明奠定了坚实的物质基础。

1820 年奥斯特验证了电流磁效应，1831 年法拉第提出了电磁感应定律，这些实验和理论促成了电动机和发电机的发明。1834 年美国的托马斯·达文波特利用电磁铁制造了往复式电动机，1861 年德国人维尔纳·冯·西门子利用电磁感应原理发明了发电机，1866 年他又成功地制造出了直流电动机，从而奠定了现代电力工业的基础。

在原始的电力系统中，发电机和负荷通过电力输电线直接串联，输电电压仅为 DC110 ~ 220 V，输送距离也只有 1 ~ 2 km。随着生产的发展，客观上需要增大电力系统的输送功率和输送距离，提高输电效率。这就要求提高发电机的输出电压，而发电机的电压过高会产生电晕现象，且直流高压输电与用户低压用电之间存在着不可调和的矛盾，加之系统运行复杂且价格昂贵，这使得直流输电遇到了极大的困难。

1885 年匈牙利工程师吉里等发明了封闭磁路的单相变压器，实现了单相交流输电。但由于单相交流电动机启动困难，单相交流制也没有得到大力推广。1889 年俄国工程师多里沃·多勃罗沃耳斯基先后发明了三相异步电动机、三相变压器、三相交流制。1891 年德国工程师奥斯卡·冯·密勒主持建立了最早三相交流输电系统，如图 1.1 所示。该系统的建成标志着输电技术的重大突破，从而奠定了现代电力系统的输电模式。

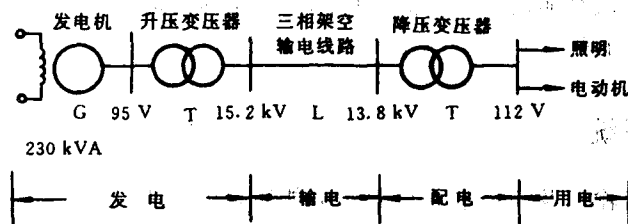


图 1.1 世界上第一个三相交流输电系统 (1891 年)

第一节 电力系统的构成

现代电力系统是由多个发电、输电、变电、配电、用电、控制等子系统构成的生产和消费电能的庞大网络，如图 1.2 所示。处于电网中的每个负荷所消耗的电能无法分清是由哪个发电厂供给的，而只能说由某某电网供给。

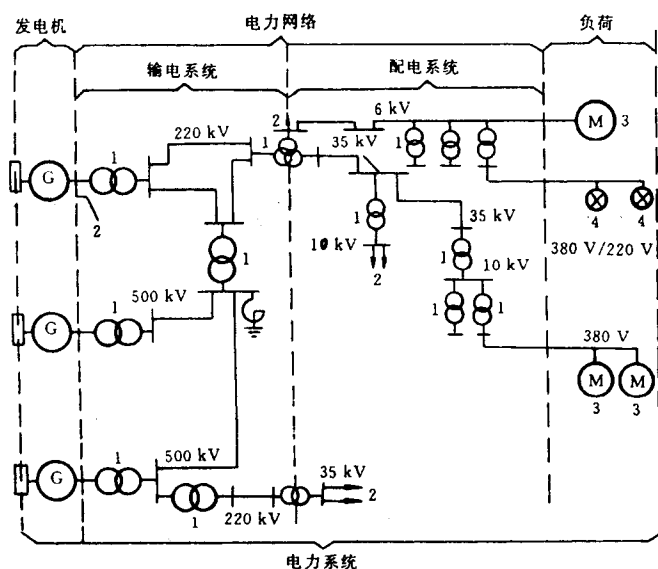


图 1.2 电力系统示意图

一、发电厂

发电厂是将各种形式的能源转换成电能的特殊工厂，其特殊性表现在其产品（电能）不能储存。电能的生产、传输、消耗是同时完成的，虽然目前可对小量电能直接或间接进行储存，但对大能量的电能还不能进行储存。

二、输电线路

电能的输送是由电力输电线路完成的，一般大型发电厂都远离电力负荷，电力负荷所需电能需通过电力输电线路输送。电力输电线路是电能的传输通道，是发电厂、变/配电所、电能用户三者的联系纽带。

三、变配电系统

为了电能的经济输送及满足电力负荷对电能质量的要求，发电机发出的电能需经多次电压变换和电能分配，变配电系统的功能正在于此。变电系统按功能可分为变电所（站）、配电所（站）、变流站等。

四、电力负荷

电力负荷是电力系统中一切消费电能的电气设备的总称，它是电力系统规划、设计、运行、发电、送电、变电、布局、布点的主要依据。根据电力负荷对供电可靠度的要求，电力负荷可分为一级负荷、二级负荷和三级负荷。

一级负荷：中断供电，可能造成生命危险、设备损坏，破坏生产过程，使大量产品报

废，给国民经济造成重大损失，使市政生活发生混乱。

二级负荷：停止供电将造成大量减产，交通停顿，使城镇居民生活受到影响等。

三级负荷：不属于一、二级负荷的其他负荷。

五、控制系统

电力系统的控制是由二次设备完成的。二次设备包括对电能进行调度的在线调度控制系统；对电力设备的运行情况进行在线测量、监视、控制的在线监测控制系统；当系统中某部分发生故障时能及时切除以保证系统其余部分正常工作的继电保护及其操作系统等。

第二节 电力系统的特点及其表征参数

一、电力系统的特点

电力系统具有以下特性：

① 电能的生产、传输、消耗同时完成，电能不能大量存储；

② 电力系统的暂态过程非常迅速，以 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ s 计；

③ 除含有直流输电系统的复合电力系统外，电力系统中的频率是统一的；

④ 电力系统中的事故时有发生，造成供电中断的事故会造成重大损失；

⑤ 电力系统的容量和覆盖的地理范围越来越大，其特征是：大容量、跨地区和国界、高电压、高度自动化、交直流混合；

⑥ 不同电力系统的组成要素和运行特点各不相同，它随系统的发展而改变。

因此，电力系统的运行安全和符合标准的供电质量是非常重要的。提高电力系统的安全可靠性，主要应从以下几个方面着手：

① 提高电网结构的强壮性。电网布局和电网结构必须合理，设备元件必须安全可靠。

② 提高系统运行的稳定性。当电力系统受到不同程度的扰动时，一般不应引起稳定性的破坏，造成系统解列或大面积停电。因此，应经常进行不同运行方式下偶然事故的系统分析计算，以检验系统的安全稳定裕度。

③ 保证一定的备用容量。系统中发电设备容量除应满足负荷用电的需要外，还应配备适量的负荷备用、检修备用和事故备用。备用容量应包括有功功率和无功功率备用。

二、电力系统的表征参数

表征电力系统的基本参量有总装机容量、年发电量、最大负荷、年用电量、额定频率、最高电压等级等。

总装机容量是指系统中所有发电机组额定有功功率的总和；年发电量是指系统中所有发电机组全年所发电能的总和；最大负荷是指规定时间内电力系统总有功功率负荷的最大值；年用电量是指接在系统中的所有用户全年所用电量的总和；最高电压等级是指系统中最高

高电压等级的电力线路的额定电压。

频率、电压、波形是表征电力系统电能质量的 3 项基本指标，其额定值也是系统设备设计和选型的重要依据。当运行频率、电压和波形畸变率超过允许的偏移值时，将影响用电设备的安全运行，可能造成减产和废品。

系统频率主要取决于系统中有功功率的平衡，发电出力不足会使系统频率偏低。节点电压主要取决于系统中无功功率的平衡，无功不足，则电压将偏低。波形质量问题由谐波污染引起。非线性负荷从电网中吸收非正弦电流，引起电网电压畸变。电压波形质量用畸变率来衡量。正弦波的畸变率是各次谐波有效值平方和的方根值与基波有效值的百分比。保证波形质量就是限制系统中电压、电流的谐波成分。限制方法有更改整流器设计、装设滤波器等。

第三节 我国电力工业的发展

一、我国电网建设

我国水电资源蕴藏量达 6.76 亿 kW，居世界首位。煤、石油、天然气资源也很丰富。煤的预测量约为 45 亿 t，可利用的风力资源约为 1.6 亿 kW。这些丰富的自然资源为我国电力工业的发展提供了物质基础。但旧中国的电力工业却非常落后，1949 年全国总装机容量仅为 184.86 万 kW，年发电量只有 43.1 亿 kW·h，分别居世界第 21 位和第 25 位。我国第一个万伏级的输电线路始建于 1912 年，它是云南省昆明石龙坝电站的电力外送工程，其装机容量为 2×240 kW，输送电压为 23 kV。

经过 50 年的发展建设，至 1999 年底，我国电力系统已建成 500 kV 输电线 22 927 km，500 kV 变电所变电容量 8 012 万 kVA；已建成 330 kV 输电线 7 878 km，330 kV 变电所变电容量 1 248 万 kVA。它们分别是以 500 kV 为网架的东北、华北、华中、华东、川渝 5 大区域电网和广东、山东、广西、福建、云南、贵州 6 个省级电网；以 330 kV 为网架的西北电网；220 kV 的海南、新疆电网；110 kV 的西藏电网。其分布如图 1.3 所示。



图 1.3 我国电力网分布示意图

二、三峡输变电工程简介

三峡水利枢纽工程于 1994 年 12 月 14 日正式动工, 1997 实现大江截流, 2003 年首批机组发电, 预计到 2009 年 26 台机组将全部建成发电。

三峡大坝设计坝顶高程为 185 m, 正常蓄水位为 175 m。水库水位不同时, 每台发电机组出力不同, 当水位为 135 m 高程时, 出力约为 55 万 kW; 当水位为 156 m 及以上高程时, 出力为 70 万 kW。三峡电站 2003—2006 年水库蓄水位为 135 m, 2007—2011 年为 156 m, 2012 年起达到 175 m。

三峡电厂由 26 台 70 万 kW 机组组成, 总装机容量 1 820 万 kW, 年平均发电量 847 亿 kW·h。三峡枢纽电站分左岸电厂和右岸电厂, 每个电厂分 2 段母线, 全厂共分为左岸一段、左岸二段和右岸一段、右岸二段, 共 4 段母线运行。左岸一段母线接入 8 台机组, 其余 3 段母线各接入 6 台机组。左岸电厂安装 14 台机组, 预计 2006 年建成发电; 右岸电厂安装 12 台机组, 预计 2009 年建成发电。

第四节 发电厂的分类及生产流程

一、发电厂的分类及特点

根据一次能源的形态, 发电厂可分为火力发电厂、水能发电厂、核能发电厂、地热发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂和潮汐能发电厂。不同发电厂的发电设备、性能特点、运行与维护要求各不相同, 其特点如表 1.1 所示。

表 1.1 各类发电厂的特点

发电厂类型	特 点
火电厂	用煤、天然气等作为燃料, 可分为热电厂和发电厂
水电厂	利用江、河、湖、海中水的势能和动能发电, 具有发电、防洪、航运、水产养殖等综合效能
核电厂	将核燃料铀(钚)在裂变链式反应中产生的能量转换成电能。目前大多数核电厂属于水堆型, 正在开发中的有快中子增殖堆和高温气冷堆型
地热电厂	通过蒸汽、热水等载热流体将地下热能携带到地面的专门装置, 再将热能转换成电能, 其发电系统可分为蒸汽型、热水型和混合型等几类
风力电厂	将大气沿地表流动的风能, 通过专门的设备转换成电能。其装置主要包括转叶、传动装置、发电机、调速控制装置和塔架等。为保证发电厂的连续稳定供电, 需配蓄电池装置或与电网相连
太阳能电厂	将太阳能转换成电能, 分太阳热和太阳光两类。前者利用聚光、热交换器等装置, 通过工质携带热能再通过旋转机组发电; 后者利用光电转换元件直接将光能转换成电能
废料电厂	利用工业废料和生活废料的化学能转换成电能

续表 1.1

发电厂类型	特 点
汽轮机发电厂	用蒸汽冲动汽轮机带动发电机的发电厂，可分为凝汽式、背压式和抽汽式。凝汽式电厂只向用户供电；背压式和抽汽式机组除供电外还利用汽轮机的排汽（背压式）或中间抽汽（抽汽式）向用户供热，可提高火电厂的热效率
燃气轮机发电厂	用燃气轮机带动发电机。燃气轮机启动快，在 20 min 内即可带满负荷，主要用于承担尖峰负荷或电网紧急备用电源。近年来兴起的燃气—蒸汽联合循环发电，热效率可达 42%~55%，燃料利用率可达 85%，很有发展前途
水轮机发电厂	利用水压推动水轮机带动发电机发电。根据水轮机的形式可分为立式、卧式和灯泡式 3 种
内燃机发电厂	用内燃机作原动机的发电厂。现阶段用于发电的主要是柴油机。柴油机组启停迅速，操作简单，用水量较少，建厂投资少。因此，除作为大电厂的全厂停电、紧急备用电源外，还可作为缺水地区及边远小城镇的独立电源或边远地区施工列车电站的电源

二、火力发电厂

1. 火电厂的生产流程

火电厂的主要发电设备包括锅炉、汽轮机和发电机，辅助设备有冷凝器、给水加热器、各种水泵、磨煤机、除氧器、烟囱及各种测量与控制设备。

燃煤式火电厂的工作过程如图 1.4 所示。

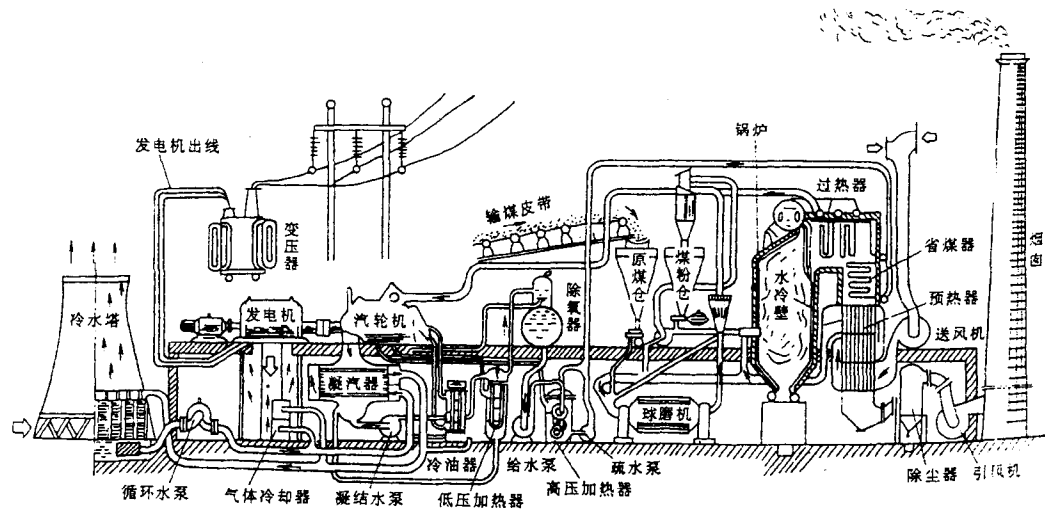


图 1.4 燃煤式火电厂的分布与生产流程

煤从储煤场用输送皮带送到煤粉设备中磨成细粉并加热干燥，然后送进锅炉，与鼓风机吹进来的空气混合燃烧，将所发热量传给锅炉中的水使其产生蒸汽。蒸汽送到汽轮机后逐级膨胀做功，驱动发电机发电。蒸汽在汽轮机内的压力和温度逐渐降低，最后进入冷凝器，凝结成的水被水泵送到低压给水加热器，最后又输入锅炉。冷凝过程中，蒸汽要把从锅炉吸

取热量的 60% 释放给冷却水，这就是凝汽式火电厂最高热效率不超过 40% 的原因。

除了凝汽式火电厂以外，还有供热式火电厂，简称热电厂。这种火电厂不仅向系统供电，而且还向用户供热。这类火电厂采用的汽轮机有背压式和抽汽式两种。背压式机组的特点是蒸汽经过汽轮机后不进入凝汽器，而被用来直接向用户供热或向工业用户供低压蒸汽；各机组以供热为主，在没有热负荷的情况下不能发电，但是当发电机故障时，机组可以利用减温、减压装置继续供热。抽汽式机组和凝汽式汽轮机相似，只是中间有 1~2 级可供抽汽。抽汽量可根据用热的需要进行调整。无论抽汽多少，这类机组都能发出额定电力。

2. 火电厂的主要生产系统及功能

火力发电厂主要生产系统的名称、功能、流程如表 1.2 所示。

表 1.2 燃煤火力发电厂主要生产系统的功能及流程

系统名称	功 能	主 要 流 程
燃料与 燃烧系统	燃煤产生水蒸气 (化学能转化为热能)	燃煤制备流程：煤从储煤场经输煤皮带送到锅炉房的煤斗中，再进入磨煤机制成煤粉，煤粉与来自空气预热器的热风混合后喷入锅炉炉膛燃烧 烟气流程：煤在炉内燃烧后产生的热烟气经过锅炉的各部受热面传递热量后，流进除尘器及烟囱排入大气 通风流程：用送风机供给煤粉燃烧时所需要的空气；用吸风机吸出煤粉燃烧后的烟气并排入大气 排灰流程：炉底排出的灰渣以及除尘器下部排出的细灰用机械或水力排往储灰场
汽水系统	蒸汽推动汽轮机 做功(热能转化为机械能)	汽水流程：水在锅炉内变成过热蒸汽，过热蒸汽在汽轮机中不断膨胀、高速流动、推动汽轮机高速旋转，然后排入凝汽器中冷凝成水，再经升压、除氧、加热后送回锅炉，形成闭合的汽水循环 补给水流程：汽水循环中水有损失，必须经常补充。补给水要经化学处理，水质合格后方可送入汽水系统 冷却水流程：在汽轮机排汽的凝结过程中，放出的大量潜热需由冷却水带走。冷却水的吸取、冷却及其设施构成冷却水流程
电气系统	汽轮机带动发电机发电，并通过输 配电装置向外送电	向外供电流程：发电机发出的电能由变压器升压后，经高压配电装置和输电线路送往用户 厂用电流程：发电厂内的自用电由厂用变压器降压后，经厂用配电装置向厂内各种辅机及照明设备供电
控制系统	操作机械化、自 动化	① 燃料的装卸、入仓、制粉、输煤机械化、自动化 ② 锅炉给水、汽温和燃烧的自动调节、炉膛火灾安全保护系统 ③ 汽轮机自动控制系统：调整、负荷、超速与保护和主蒸汽旁路控制 ④ 发电机控制系统包括参数显示、励磁调节、运行操作和安全保护等 ⑤ 厂用电控制系统包括厂用电备用电源自动切换、直流系统监视和交流不停电电源等

3. 火电厂的运行特点

① 火电厂出力稳定，只要发电设备正常、燃料充足，就可按其额定装机容量发电。

② 火电厂有最小技术出力的限制，负荷太小时可能出现锅炉燃烧不稳定的现象。一般燃煤火电厂的最小技术出力为其额定出力的 60%~70%，这样就限制了负荷调节能力。特殊设计的调峰火电机组的最小技术出力可以降低到 60%，但造价较高。

③ 火电厂机组启动技术复杂，且需耗费大量的燃料、电能等。以 5 万 kW 的机组为例，从冷态启动到满负荷需要 6 h，因此，火电机组不宜经常启停。

④ 火电厂所消耗的燃料和冷却水量相当大,以 60 万 kW 的火电机组为例,每天要消耗 6~70 kt 燃煤及 200 万 m³ 以上的冷却水。

总之，火电厂负荷调节缓慢、高温高压火电机组不宜经常启停，只宜承担系统基荷，并保持在接近满负荷的情况下运行，以获得最高的运行效率和最低的煤耗。

三、水力发电厂

1. 水力发电厂的分类

水电厂根据其所在河段的水文、地形、地质等自然条件，可以分为：坝后式水电厂、抽水蓄能水电厂、河床式水电厂、引水式水电厂，如图 1.5 所示。

坝式水电厂可分为坝后式和河床式两类，如图 1.5 中 (a)、(c) 所示。当地形、地质等条件不容许建设高坝时，则可利用低坝获取水头，在这种情况下厂房也成为挡水建筑的一部分，这种水电厂称为河床式水电厂。坝式水电厂往往形成较大的水库，因而能进行流量调节，其发电出力较好地符合电力系统的要求。

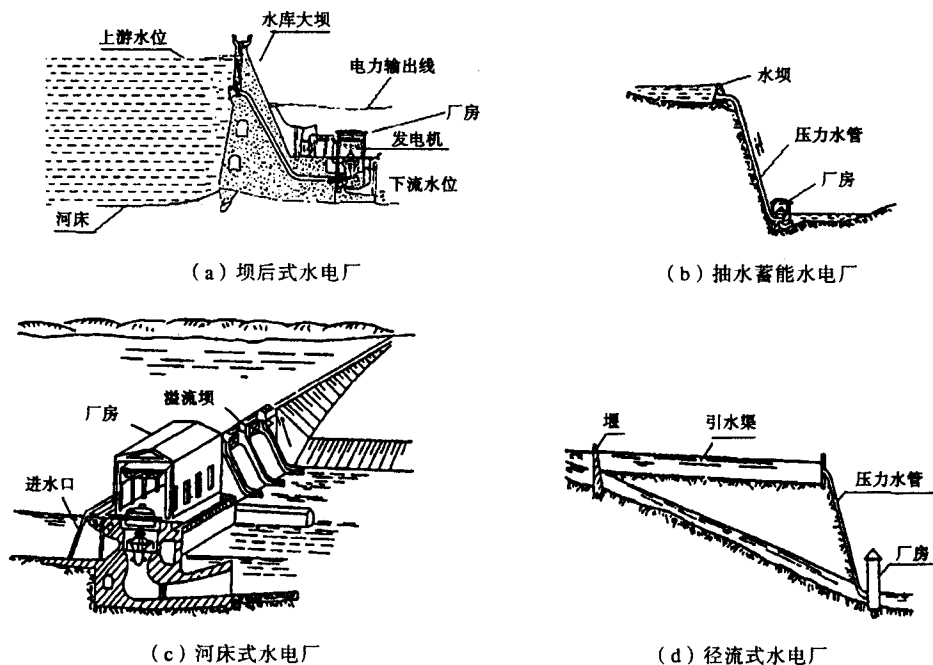


图 1.5 各类水力发电厂示意图

在有高落差的急流河道上修建低堰，沿河修建引水渠，通过引水渠造成发电水头，按天然流量发电，这种水电厂称为径流式水电厂。其特点是无库容，可承担日负荷中的基本负荷。

抽水蓄能水电厂既可蓄水，也可发电。当负荷处于低谷、发电机有多余电力时，机组以电动机—水泵方式工作，将下游的水抽至上游水库储存起来；待系统高峰负荷出现时，机组以水轮机—发电机方式工作，将蓄存的水势能转化为电能。

2. 水电厂的主要生产系统及功能

水电厂主要生产系统的名称、功能及流程见表 1.3。

表 1.3 水力发电厂主要生产系统的名称、功能及流程

系统名称	功 能	主 要 流 程
引水系统	将高位水变成高速水流推动水轮机做功（水的势能转化为动能）	把发电用水从水库或上游河道经引水口进入压力管道下泄，形成高速水流进入主厂房推动水轮机转动，然后经尾水管流出厂房，排入下游河道或下一级水库 坝式水电厂的引水系统较简单，由进水口、压力管道、尾水管和相应的闸、阀与启闭设备组成；引水式或混合式水电厂的引水系统比较复杂，包括有进水口、引水隧洞（或引水明管、引水明渠）、调压井（或压力前池）、压力管道、尾水管或尾水隧洞等建筑物以及相应的闸、阀与启闭设备
发电系统	水轮机带动发电机发电（机械能转化为电能）	水轮机与发电机构成水轮发电机组，是水电厂发电的主设备，其相应的附属设备有进口阀、水轮机调速装置、油压装置、励磁装置、发电机的冷却系统等 主变压器把发电机的出口电压升高到接入电网的高电压，以便远距离输电 开关站内主要是高压电器，如断路器、隔离开关、互感器、避雷器、阻波器（通信用）和母线等
自动化系统	提高水电厂运行的安全性、经济性、劳动生产率和供电质量	单机自动化：包括水轮发电机组自动控制系统（对水轮发电机组工况及其转换过程的监控）、调速系统（对机组转速与出力的自动调节）和励磁系统（对发电机电压和无功出力的自动调节） 公用设备自动化：包括供水系统自动控制（机组、轴承、变压器等冷却用水的水压、水量自动调节）、排水系统自动控制（厂内水工建筑物、水力系统渗漏水自动排出）、压缩空气和压力油的控制系统（高压配电装置、进水阀、快速阀门等设备用的气压、油压的自动调节） 全厂综合自动化：包括电厂自动发电控制、自动电压控制及计算机监控 梯级水电厂自动化：对梯级水电厂进行集中控制，节省梯级开发的投资和减员增效

3. 水电厂的运行特点

① 水电厂的出力和发电量随天然径流量的情况而变化。由于天然径流量在一年内或各年间有很大的波动，即使通过水库调节可以减少其波动幅度，但仍不能完全消除。