



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

FADIANCHANG BIANDIANZHAN  
DIANQI SHEBEI

# 发电厂变电站 电气设备

肖艳萍 主编  
谭绍琼 周田 副主编

*Electric Power  
Technology*



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

FADIANCHANG BIANDIANZHAN  
DIANQI SHEBEI

# 发电厂变电站 电气设备

主 编 肖艳萍  
副主编 谭绍琼 周 田  
编 写 眭肖钰 卢 勇 李凌舟 周建博  
主 审 李开勤 袁兴惠 卢文鹏

中国电力出版社  
 中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology



## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）。

全书共分十四章。书中主要内容包括：电力系统中性点的运行方式；电弧及电气触头的基本知识；熔断器、高压开关电器、互感器、母线、绝缘子及电力电缆、电力电容器和电抗器以及低压电器的作用、工作原理、结构特点和使用知识要点；电气主接线和自用电接线的种类、接线特点及其应用的知识；配电装置和接地装置的作用、类型及技术要求；电气设备短路效应的实用计算和电气设备选择的实用方法等。

本书主要作为高职高专院校电力技术类教材，也可作为电力职业资格和岗位技能培训教材，还可作为电力企业从事电气设备安装、运行、检修的工人和技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂变电站电气设备/肖艳萍主编. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5083-6518-3

I. 发… II. 肖… III. ①发电厂-电气设备-高等学校：技术学校-教材②变电所-电气设备-高等学校：技术学校-教材 IV. TM62 TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 201111 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 546 千字

定价 33.00 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

# 前 言

根据国家教育部对职业教育的有关指示精神,按照教育部审定的电力技术类专业主干课程教学大纲的要求,结合电力职业教育的任务和实际需要,为实现电力职业教育教学改革的目标和要求,参照教育部推荐的有关职业教育教材组织编写了本书。本书内容力求新颖,以培养高素质技能型人才为目标,反映当前发电厂和变电站采用的新设备、新技术,在满足教学及培训对专业知识的要求的同时,突出先进性、实用性,注重实际技能的培养,并力求适应全面素质培养的需要,满足电力行业对人才的要求。

本教材是电力技术类专业的主干课程教材,其目的是使学生具备本专业所必需的电气一次部分的专业知识和基本技能,初步形成电气设备安装、测试、运行、检修的能力,为后续专业课程的学习和今后工作打下基础。全书共分十四章,主要讲述发电厂变电站的中性点运行方式、电弧和电气触头的基本知识、主要的电气一次设备、电气主接线和自用电接线、配电装置和接地装置、电气设备短路效应的实用计算和电气设备选择的实用方法等。本书重点在于应用专业理论来解决实际工作中的问题,在全面讲述发电厂变电站的电气一次部分基本知识的基础上,尝试增加了与其内容相关的、结合实际工作的使用知识,并增加了一些新技术和新设备内容,探索与生产劳动和社会实践相结合的工学结合学习模式,力求突出教学过程的实践性、开放性和职业性,强化学生职业能力的培养,以满足高职高专学生对学习的要求。

本书第一、六章由四川电力职业技术学院肖艳萍编写,第二、三章由山西电力职业技术学院谭绍琼编写,第四、五、七章由安徽电气工程职业技术学院周田编写,第八、九章由四川电力职业技术学院李凌舟编写,第十、十一章由广西电力职业技术学院卢勇编写,第十二、十三章由西安电力高等专科学校睦肖钰编写,第十四章和附录由西安电力高等专科学校周建博编写。全书由肖艳萍担任主编并统稿,谭绍琼和周田担任副主编。全书由四川电力职业技术学院李开勤、四川水利职业技术学院袁兴惠和保定电力职业技术学院卢文鹏共同主审。在本书的整个编写过程中,主审为本书提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

因时间紧迫,且编者水平有限,不当之处请读者指正。

编 者

2007.12

# 目 录

前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 我国电力工业发展简况.....	1
第二节 发电厂和变电站概述.....	8
第三节 发电厂变电站电气设备概述.....	16
第四节 电气设备的主要参数.....	21
本章小结.....	22
思考练习.....	22
<b>第二章 电力系统中性点的运行方式</b> .....	23
第一节 中性点不接地的三相系统.....	23
第二节 中性点经消弧线圈接地的三相系统.....	27
第三节 中性点直接接地的三相系统.....	30
第四节 中性点经阻抗接地的三相系统.....	31
第五节 主变压器和发电机中性点接地方式.....	33
本章小结.....	34
思考练习.....	34
<b>第三章 电弧及电气触头的基本知识</b> .....	35
第一节 电弧的基本知识.....	35
第二节 电弧的特性和熄灭方法.....	38
第三节 电气触头的基本知识.....	43
本章小结.....	48
思考练习.....	48
<b>第四章 低压电器</b> .....	49
第一节 概述.....	49
第二节 刀开关.....	53
第三节 接触器.....	57
第四节 低压断路器.....	60
本章小结.....	66
思考练习.....	66
<b>第五章 熔断器</b> .....	67
第一节 概述.....	67
第二节 高压熔断器.....	69
第三节 低压熔断器.....	73
本章小结.....	75

思考练习 .....	76
<b>第六章 高压开关电器</b> .....	77
第一节 高压断路器概述 .....	77
第二节 油断路器 .....	80
第三节 真空断路器 .....	84
第四节 六氟化硫断路器 .....	90
第五节 高压断路器的操动机构 .....	100
第六节 隔离开关 .....	120
第七节 负荷开关 .....	132
本章小结 .....	137
思考练习 .....	137
<b>第七章 互感器</b> .....	139
第一节 概述 .....	139
第二节 电流互感器 .....	142
第三节 电压互感器 .....	153
本章小结 .....	160
思考练习 .....	160
<b>第八章 母线、电力电缆及绝缘子</b> .....	161
第一节 母线 .....	161
第二节 电力电缆 .....	168
第三节 绝缘子 .....	174
本章小结 .....	179
思考练习 .....	180
<b>第九章 电力电容器和电抗器</b> .....	181
第一节 电力电容器 .....	181
第二节 电抗器 .....	185
本章小结 .....	190
思考练习 .....	190
<b>第十章 电气主接线</b> .....	191
第一节 概述 .....	191
第二节 单母线接线 .....	192
第三节 双母线接线 .....	195
第四节 无母线接线 .....	201
第五节 电气主接线设计 .....	204
本章小结 .....	211
思考练习 .....	212
<b>第十一章 自用电接线</b> .....	213
第一节 概述 .....	213
第二节 发电厂的厂用电 .....	215

第三节 变电站的站用电·····	222
本章小结·····	225
思考练习·····	226
<b>第十二章 配电装置</b> ·····	227
第一节 概述·····	227
第二节 屋内配电装置·····	230
第三节 成套式配电装置·····	236
第四节 屋外配电装置·····	249
第五节 电气设备的布置·····	256
本章小结·····	262
思考练习·····	262
<b>第十三章 接地装置</b> ·····	263
第一节 概述·····	263
第二节 保护接地·····	264
第三节 接地装置的技术要求·····	268
第四节 接地装置的敷设和维护·····	274
本章小结·····	277
思考练习·····	277
<b>第十四章 电气设备的选择</b> ·····	278
第一节 短路电流的效应·····	278
第二节 电气设备选择的一般要求·····	284
第三节 高压电器的选择·····	288
第四节 导体和绝缘子的选择·····	305
第五节 主变压器的选择·····	315
第六节 低压电器的选择·····	317
本章小结·····	322
思考练习·····	322
<b>附录</b> ·····	325
附录 I 导体的主要技术参数·····	325
附录 II 变压器的主要技术参数·····	328
附录 III 开关电器的主要技术数据·····	333
附录 IV 熔断器的主要技术参数·····	336
附录 V 互感器的主要技术参数·····	337
附录 VI 智能接地补偿装置的主要技术参数·····	342
附录 VII 避雷器的主要技术参数·····	343
附录 VIII 低压电器的主要技术参数·····	344
<b>参考文献</b> ·····	349

## 第一章 绪 论

电能具有诸多优点。它可以实现能源之间的相互转换,所有的一次能源都能转换成电能,而电能又可以方便地转换为其他形式的能量(如光能、热能、机械能等);电能可以大规模生产,远距离输送和分配;电能易于调节、操作和控制;电能的使用十分方便和经济,在终端使用时是最清洁的能源。电能已成为现代社会使用最广、需求增长最快的能源,在技术进步和社会经济发展中起着极其重要的作用。电力工业发展水平是衡量一个国家经济发展水平的重要标志。

本章主要介绍我国电力工业发展的历程、现状和趋势,简要介绍发电厂和变电站的各种类型和生产过程,概要介绍主要电气设备的种类及作用、主要电气设备的图形符号和文字符号、电气设备的基本参数。

### 第一节 我国电力工业发展简况

#### 一、发展历程

人类在开发能源中不断前进,继 17 世纪广泛利用蒸汽机后,18 世纪发现了电能,19 世纪中叶制成了发电机。从 19 世纪末开始,电力应用得到了迅猛发展。1875 年,世界上最早的发电厂——巴黎北火车站电厂建成,用于照明供电;1878 年,法国建成第一座水电厂;1879 年,美国旧金山实验电厂开始发电,成为世界上最早出售电力的电厂;1882 年,法国开始进行远距离高压直流输电,同时,英国、日本、俄罗斯相继修建了发电厂。我国电力工业始于 1882 年,当年建成的第一个发电厂是上海乍浦路建设电灯厂,装机只有 11.8kW(16 马力)。我国大陆最早兴建的水电厂是位于云南省昆明市郊的石龙坝水电厂,电厂一厂于 1910 年 7 月开工,1912 年 4 月发电,装机容量为 480kW。到 1949 年底新中国成立时,全国发电装机容量仅有 185 万 kW,发电量 43 亿 kWh,分别居世界第二十一位和第二十五位。新中国的建立为电力工业的发展创造了有利条件,电力生产和建设发展迅速。1950~1978 年期间,国产 10 万、12.5 万、20 万、30 万 kW 汽轮发电机组和国产 15 万、22.5 万、30 万 kW 水轮发电机组相继制成并投产。1960 年,全国发电装机容量突破 1000 万 kW,居世界第九位。至 1978 年底,全国发电装机容量达到 5712 万 kW,年发电量达到 2566 亿 kWh,居世界第七位。与此同时,东北、京津唐、华东、华中电网形成了 220kV 主干网架。1978 年改革开放后,我国电力工业持续以年均 10% 以上的速度发展,取得了世人瞩目的成就。1987 年,全国发电装机容量突破  $1 \times 10^4$  万 kW,居世界第五位;1995 年 3 月,全国发电装机容量达到  $2 \times 10^4$  万 kW,居世界第四位;1996 年,全国发电装机容量达到  $2.37 \times 10^4$  万 kW,发电装机容量和发电量跃居世界第二位,基本上扭转了长期困扰我国经济发展和人民生活需要的电力严重短缺局面;到 2000 年 3 月,全国发电装机容量又跨上  $3 \times 10^4$  万 kW 的新台阶,长期严重缺电的状况得到相对缓解,基本上适应了国民经济和社会发展的



需要；2005年，全国发电装机容量突破  $5 \times 10^4$  万 kW；2006年，全国电力工业继续保持快速增长势头，在不到一年的时间内，全国发电装机容量再上新台阶，突破了  $6 \times 10^4$  万 kW；截至 2006 年底，全国发电装机容量达到  $6.22 \times 10^4$  万 kW，连续十年居世界第二位。我国发电装机容量和发电量增长的数据见表 1-1。

表 1-1 我国发电装机容量和发电量增长数据

年份	装机容量 (万 kW)	装机容量 在国际排位	年发电量 (亿 kWh)	年发电量在 国际排位	备注
1882~1949	185(16)	21	43(7)	25	建国前 67 年
1960	1192(194)	9	594(74)	—	装机容量突破 1000 万 kW
1987	10290(3019)	5	4973(1000)	—	装机容量突破 $1 \times 10^4$ 万 kW
1995	21722(5218)	4	10069(1868)	—	装机容量突破 $2 \times 10^4$ 万 kW
1996	23654(5558)	2	10794(1869)	2	全国电力供需基本平衡
2000	31932(7935)	2	13685(2431)	2	装机容量突破 $3 \times 10^4$ 万 kW
2001	33561(8301)	2	14839(2611)	5	
2003	38450(9496)	2	19080(2830)	2	
2006	62200(12857)	2	28344(4167)	2	装机容量突破 $6 \times 10^4$ 万 kW

注 表中括号内为其中的水电装机容量及年发电量。

在此期间，电力结构不断调整优化，技术装备水平逐步提高，比较完备的电力工业体系已经初步建立，我国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化、信息化和水电、火电、核电、新能源发电全面发展的新时期。2000 年以前，我国的火电厂是以 30 万 kW 机组为主；2000 年以后，主要建设 30 万 kW 及以上高参数、高效率、调峰性能好的机组，引进和发展超临界机组。2001 年，在上海外高桥电厂开始建设 90 万 kW 的机组，2004 年 1 月投产发电。2002 年，我国开始启动 60 万 kW 超临界机组，河南华能沁北电厂第一台国产 60 万 kW 超临界燃煤机组已于 2004 年 11 月正式投入运行。我国首台 39 万 kW 燃气轮机联合循环发电机组，已于 2005 年 5 月 19 日在浙江半山天然气发电站点火成功。到 2003 年，单机 30 万 kW 及以上发电机组达到 14763 万 kW，占发电总装机容量的 37.8%，30 万、60 万 kW 火电机组已成为电力建设的主力机型。至 2006 年底，全国火电装机容量达到 48405 万 kW，约占总装机容量的 77.82%；火电发电量 23573 亿 kWh，约占全部发电量的 83.17%。

实行改革开放以来，我国规划并建设了葛洲坝、白山、龙羊峡、漫湾、广蓄、天生桥、五强溪、小浪底、二滩、天荒坪、三峡、龙滩、瀑布沟等一批巨型水电厂，迈入世界水电建设前列。1994 年底开工建设的长江三峡水电厂是世界上最大的水电厂，由 26 台 70 万 kW 的水轮发电机组组成，总装机容量 1820 万 kW。2003 年 6 月，2 号机组首次并网发电，电厂将于 2009 年全部竣工。2003 年，我国水电装机容量达 9490 万 kW，居世界第二位。2004 年，我国水电总装机容量突破 10000 万 kW，跃居世界第一。至 2006 年底，全国水电装机容量达到 12857 万 kW，约占总装机容量的 20.67%；水电发电量 4167 亿 kWh，约占全部发电量的 14.70%。目前，我国是世界上水电在建规模最大、发展速度最快的国家。

1994 年，浙江秦山核电厂一期 30 万 kW 国产机组和广东大亚湾核电厂（装机容量  $2 \times$

90 万 kW, 法国机组) 的投产运行实现了我国核能发电零的突破。到 2006 年底, 全国核电装机容量为 670 万 kW, 约占总容量的 1.08%; 核电发电量 543 亿 kWh, 约占全部发电量的 1.92%。

1992~2001 年, 我国的新能源发电装机容量以年均 44.55% 的速度发展, 至 2001 年底, 装机容量已达 37 万 kW。到 2003 年底, 我国太阳电池的累计装机已经达到 5 万 kW。2004 年底, 我国已建风电场 43 个(除台湾省), 1292 台机组, 累计装机容量 76.4 万 kW。

经过多年建设, 除去我国台湾省和港、澳地区外, 全国已经形成华北(山西、河北、北京、天津及部分内蒙)、东北(黑龙江、吉林、辽宁及部分内蒙)、华东(上海、江苏、浙江、安徽)、华中(河南、湖南、湖北、江西)、西北(陕西、甘肃、青海、宁夏)、川渝(四川、重庆) 和南方联营(广东、广西、云南、贵州) 等七个跨省区电网, 及山东、福建、海南、乌鲁木齐和拉萨等五个独立的省级电网。在跨省电网和部分独立省网中形成了 500kV(或 330kV) 的骨干网架。除西北和川渝电网外, 其余各跨省区电网的装机规模都超过或接近 4000 万 kW。

1981 年, 我国建成第一条 500kV 输电线路(河南平顶山—武汉, 595km); 1989 年, 建成的第一条 ±500kV 直流输电线路(葛洲坝—上海, 1046km) 开始了华中和华东电力系统之间的联网; 2001 年, 华北与东北、福建与华东电力系统实现了互联; 2002 年, 川渝与华中电力系统又实现了互联; 到 2003 年底, 220kV 及以上输电线路达到 20.7 万 km, 变电容量达到 6.06 亿 kVA; 2005 年 9 月 26 日, 西北青海官亭—兰州东的 750kV 输变电示范工程投入运行, 它是目前国内电压等级最高、世界上相同电压等级海拔最高的输变电工程, 是我国第一个 750kV 输变电工程, 标志着我国电网技术跨入世界先进行列; 2006 年, 1000kV 交流特高压试验示范工程和云南—广东 ±800kV 特高压直流输电示范工程奠基仪式已分别举行, 标志着交、直流特高压试验示范工程建设已拉开帷幕。

## 二、发展现状

目前, 我国电力工业正在从大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化发展时期逐步进入跨大区联网和推进全国联网的新阶段。其具体表现在以下方面:

(1) 我国发电装机容量和发电量迅速增长, 连续 10 年居世界第 2 位。近 10 年(即 1996~2006 年), 平均每年新增发电装机容量达到 38546 万 kW, 装机容量和发电量的平均增长速度超过 8%, 电力生产弹性系数(发电量增长率与国内生产总值增长率之比) 平均值超过 1。我国人均拥有装机容量已由 1952 年的 0.0034kW 上升到 2002 年的 0.278kW, 人均占有发电量由 12kWh 上升到 1276kWh, 成为世界上名副其实的电力生产和消费大国。

(2) 电网建设极大加强, 电力调度水平不断提高, “西电东送、南北互供、全国联网” 的格局已基本形成。从 2000 年起西电东送进入全面建设阶段, 贵州—广东 500kV 交、直流输变电工程已先后投产运行, 三峡—华东、广东 ±500kV 直流输变电工程也先后投产, 陕西、山西、蒙西地区向京津唐电网送电能力逐步增加, 华北与东北、福建与华东、川渝与华中等一批联网工程已经投入运行。

(3) 电气设备的制造水平大大提高。现在, 我国已能批量制造 30 万 kW 和 60 万 kW 火电机组, 能够生产 70 万 kW 水电机组和 30 万 kW 核电机组, 基本掌握了 500kV 及以下交流输变电成套设备的设计和制造技术。2006 年, 首批国产超超临界百万千瓦机组相继投运, 标志着我国电力工业技术装备水平和制造能力进入新的发展阶段。

(4) 电力科技水平大大提高，与世界先进水平日渐接近。我国电力工业立足于科技兴电，相继建成了一批具有世界先进水平的重点实验室和装置，完成了一批重大科研课题，掌握和解决了大机组建设和全国联网等大电力系统建设、运行等一系列问题。我国的电力队伍已能承担现代化大型水、火、核电厂和电力系统的设计、施工、调试和运行任务，并已经建成投产和正在建设着具有当代国际先进水平的各类大型电厂和 500kV 交、直流输变电工程；各大电网的计算机监控调度系统已进入实用化阶段，电力系统的运行和调度实现了自动化、现代化，其中，国调、网调和省调的自动化系统应用率达 100%，地调自动化系统已装备 85%。在地热、风力、潮汐、太阳能和城市垃圾等新能源等发电方面，经多年的科技攻关及建设示范性电站或试验电站，已掌握了设计、制造和运行技术。

(5) 电力环境保护得到加强。环境排放得以控制、生态保护日益加强，使电力发展的经济效益、社会效益与环境效益渐趋统一。

(6) 电力运行的技术经济指标不断完善。随着大机组不断进入电力行业，电力运行的技术经济指标不断完善。与 1980 年相比，2006 年全国供电煤耗从 448g/kWh 降低为 366g/kWh 时，电网输电线路损失率从 8.93% 降为 7.08%。

(7) 电力发展的战略规划管理、生产运行管理、电力市场营销管理以及电力企业信息化管理水平、优质服务水平等普遍得到提高。

(8) 进一步开拓国际市场，在利用外资、引进设备、引进技术、实施走出去战略等方面都取得了巨大的成就。

但是，我国电力工业与世界先进水平相比仍然存在着不小的差距，主要反映在以下几方面。

(1) 我国电气化仍处于较低水平。目前我国人均拥有装机容量和人均占有发电量不到世界平均水平的一半，分别约为发达国家的 1/6 和 1/10。

(2) 发电设备技术结构不合理，调峰能力弱，主要表现在以下几方面。

1) 燃煤机组发电量占全国总发电量的比重大，机组技术装备水平较低，整体能效偏低。

2) 发电量中水电、核电及新能源发电比重较低。水电开发程度低，远低于世界平均水电开发率，抽水蓄能机组比例低。

3) 供热机组的容量比例与世界先进水平相比仍然较低。

4) 大机组的比重过小，30 万 kW 及以上机组只占总容量的 45.2%，平均机组容量仅为 51.82 万 kW。

5) 发电设备技术参数相对落后，我国超临界机组只占火电总装机容量的 4.3%，燃气—蒸汽联合循环机组的比例过低，仅占火电总装机容量的 2.3%。

(3) 技术经济指标平均水平不高，火电厂的平均发电煤耗、供电煤耗、厂用电率及电网线损率等仍较高。火电厂的污染物排放量高，火电厂的二氧化硫、氮氧化物及大量粉尘的排放尚未得到有效控制。

(4) 电网建设一直落后于电源建设，主电网架构薄弱，城市电网老化，农村电网覆盖面小，电能损耗大，主要电网的调峰能力普遍不足，供电可靠性偏低。

(5) 一次能源转换为电能的比重偏小，电能占终端能源消费量的比重偏小。

(6) 发供电设备质量问题较多，性能欠佳。

(7) 用人过多，人员整体素质和效率不高，效益偏低。

### 三、发展趋势

我国电力工业在“十一五”期间,将实现电力投产规模为 $1.65 \times 10^4$ 万kW左右、关停凝汽式火电小机组1500万kW的主要发展目标。其中,投产大中型项目 $1.5 \times 10^4$ 万kW左右(年均投产3000万kW),包括水电4512.7万kW、煤电8738万kW、核电400万kW、天然气发电1364万kW,新能源发电100万kW。与此同时,电源结构将进行调整和优化,关停小机组的平均单机容量提高到6万kW,其中火电平均单机容量提高到8万kW。预计到2010年,水、核、气和清洁煤燃烧发电等清洁电能的比重将达到40%,单机容量30万kW及以上火电机组所占比重将达到70%以上,超临界和超超临界火电机组在煤电装机容量的比重将达到15%;预计到2020年,全国火电比重将下降到65.6%,其中煤电约占61.16%。

“十一五”期间我国电力工业发展的基本方针是:大力开发水电,优化发展煤电,积极发展核电,适当发展天然气发电,加快新能源开发,加强电网建设,重视生态环境保护,提高能源效率,深化体制改革,实现电力、经济、社会、环境统筹协调发展。

1. 大力开发水电 水能资源是可再生的、清洁的能源;水电厂的发电成本低,水库可以综合利用;在电力系统中,有一定比重的水电装机容量对系统调峰和安全经济运行极为有利。我国大陆水利资源理论蕴藏量和可开发装机容量均居世界首位,理论蕴藏量在1万kW及以上的河流共3886条,技术可开发装机容量54164万kW,经济可开发装机容量40180万kW。目前,已开发量仅为经济可开发量的1/4,约为技术可开发量的1/5,如果能在2020年之前开发出 $2.5 \times 10^4$ 万kW水电,我国的能源状况将大大改善。因此优先并加快开发水电,仍然是我国电力发展的基本方针,也是西部开发、西电东送的主要内容。

我国水电建设将按照流域梯级滚动开发方式,重点开发黄河上游、长江中上游及其干支流、红水河、澜沧江中下游和乌江等流域。争取在20年内将中部水电基本开发完,西部的大型水电也得到较大程度的开发。新增水电机组将以大型混流式、大容量抽水蓄能机组和大贯流水电机组为主要机型,全面建设大型水电基地。

在东北、华东、华中等经济发达而能源短缺地区,实行大中小水电厂并举,以大中型水电厂为主的方针。在东北、华北、华东等火电比重较大的电力系统,为了适应系统调峰要求,还要建设相当规模的抽水蓄能水电厂。比照世界平均抽水蓄能水电厂占总容量的测算,我国抽水蓄能水电厂到2020年应达到2500万kW以上。

我国近期在建和拟建的大型水电厂有十几座。在建的水电厂除三峡水电厂外,还有广西红水河的龙滩(7台70万kW机组)、云南澜沧江的小湾(6台70万kW机组)和四川锦屏一级(6台60万kW机组)、锦屏二级(6台55万kW机组)水电厂。即将兴建的单机容量50万kW以上的水电厂还有贵州乌江的构皮滩(5台60万kW机组)、四川金沙江的向家坝(8台70万kW机组)和溪洛渡(18台70万kW机组)、大渡河的瀑布沟(6台55万kW机组)、黄河上游的拉西瓦(6台70万kW机组)、金沙江的白鹤滩(16台70万kW机组)和乌东德等大型水电厂。

远期规划的还有金沙江、澜沧江、黄河中上游、大渡河、乌江、雅砻江等河流的梯级水电厂开发。近10~15年,我国将新增50万kW机组120多台;到2020年,水电装机容量将增加到25000万kW。

另外,到2020年,国家水利部计划建成300个装机10万kW以上的小水电大县、100个装机20万kW以上的大型小水电基地、40个装机100万kW以上的特大型小水电基地、10个装机500万kW以上的小水电强省,届时我国 $1.3 \times 10^4$ 万kW小水电资源将接近开发完毕,形成 $1 \times 10^4$ 万kW的装机容量水平。

2. 优化发展煤电 我国有丰富的煤炭、石油和天然气资源。其中:煤炭资源已探明储量10077亿t;石油已探明未动用储量55.5亿t(可采储量24.3亿t);天然气储量3.37万亿 $\text{m}^3$ (可采储量2.2万亿 $\text{m}^3$ )。火电厂的厂址不受限制,建设周期短,能较快发挥效益,燃煤火电仍是发电装机容量的主要组成部分。

煤电发展的重点是建设大型高效、低污染燃煤火电机组,鼓励建设超临界、超超临界大容量机组。在“三西”(山西、陕西和内蒙西部)和西南大力发展坑口电厂,变输煤为输电;在沿海港口和路口等负荷中心,主要在渤海湾、东南沿海、长江沿岸、焦枝线、大秦线、京九铁路沿线等,建设一批路口火电厂(是指位于燃料产地和负荷中心之间、靠近铁路枢纽的大型火电厂);随着“西气东送”工程的实施,在沿海缺能地区及大城市,适当建设一批燃气电厂,增加电网的调峰能力。新建燃煤机组的单机容量要在60万kW及以上,60万kW火电机组应成为今后电力工业新增装机的的主力机组。与此同时,对部分20万kW和30万kW机组进行更新改造,做好洁净煤电发电试点项目,继续关停小火电。预计2020年燃煤火电装机将达 $7.1 \sim 7.85 \times 10^4$ 万kW。

3. 积极发展核电 利用核能大规模替代常规矿物燃料,可大大减少燃料开采、运输和储存的困难及费用,发电成本低;核电厂不释放 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 及 $\text{NO}_x$ (氮氧化物),有利于环境保护,核电是一种“安全、可靠、高效、经济、清洁”的能源。发展核电是实施电力可持续发展战略的长远大计。加快核电发展有利于电力结构调整,是解决我国能源资源不足的一项重要战略措施。特别是在沿海能源短缺、环境容量有限的地方,更应积极加速核电发展。

根据我国电力工业发展规划,未来20年我国将成为全世界最大的新核电站建设基地。到2020年,核电容量将达到4000万kW,即还要新建31台100万kW级核电机组。主要是在沿海经济发达而一次能源短缺的广东、福建、浙江、江苏、辽宁等省建设一批单机容量100万kW级的核电站;在山东、江西、湖南、吉林等省建设单机容量30万kW或60万kW级国产设备的核电站。

我国在建的8台100万kW级核电机组,包括广东岭澳二期( $2 \times 100$ 万kW)、浙江三门( $2 \times 100$ 万kW)、山东海阳( $2 \times 100$ 万kW)和广东阳江( $2 \times 100$ 万kW)核电站。“十五”期间将再完成8台100万kW级核电机组的建设。

4. 适当发展天然气发电 天然气发电是燃气轮机联合循环的主要应用领域。燃气轮机联合循环发电具有效率高、调峰能力强、投资低、建设周期短、用地用水量少、启动迅速、运行可用率高、污染排放小等特点,已成为世界电力能源的重要组成部分。

我国天然气资源不多,用于发电的则更少。而随着西部天然气开发,西气东输及沿海气田的开发,国内天然气产量将有较大的增加。利用天然气发电的地区将主要是华南、华东、华北等经济发达、能源贫乏地区以及产气的西北、川、渝地区。

规划预测, 2010年天然气发电装机约2800万~3000万kW, 2020年天然气发电装机约6000万~7000万kW。

5. 加快新能源发电  
向出人类保护环境的较好出路是大力发展再生能源, 而再生能源利用的最好形式是通过发电系统, 将新能源转化为电能。新能源发电主要包括风力发电、潮汐发电、太阳能发电, 也包括地热发电和垃圾、生物质能发电等。

我国有丰富的风力资源(我国10m高度层可开发利用的风能有 $2.53 \times 10^4$ 万kW), 主要在内蒙、新疆、东北、华北和东南沿海等地; 地热资源(探明地热可用于发电的为150万kW, 现已开发3.2万kW, 分布在西藏、云南、福建、广东等省区)和潮汐资源(沿海可开发的潮汐资源达2158万kW, 分布在我国东南海岸线北起鸭绿江口南到北仑河口)。我国生物质能资源约为7亿t标煤, 太阳能居世界第二位。预计到2010年, 新能源发电将占全国装机容量的1%以上。

在新能源发电中, 以风力发电为主。风能是一种洁净的可再生能源, 用风力发电不会对大气造成任何污染, 可以减少能源的消耗, 对保护环境和生态平衡、改善能源结构具有重要的意义。目前, 国内正在生产600kW和660kW的风机, 同时正在引进生产1300kW的风机, 将建设若干10万~20万kW的大型并网风电场。规划到2020年风力发电可达1500万kW左右。

6. 加强电网发展  
水能资源的理论蕴藏量和可开发装机容量的80%以上都分布在西部地区。我国煤炭探明保有储量的64.3%分布在晋陕蒙三地区。全国电力负荷约2/3分布在京广铁路以东的经济发达地区。随着能源资源的开发和利用, 就必然形成水电“西电东送”和煤电“北电南送”的大格局。在继续大力发展电源的同时, 只有高度重视电网的建设, 才能促进煤电就地转化和水电大规模开发。

为此, 我国将加强各跨省区电网建设, 不断扩大跨大区的联网送电, 提高资源使用效率和优化配置。重点建设西北与川渝联网, 华中与西北、华北加强联网, 华北与西北、华东联网, 以及东北与华北加强联网等项目, 形成北、中、南三大输电通道, 实现全国主要大区电力系统之间的联网。随着三峡水电厂及其输变电工程建设的完成, 到2010年将基本实现以三峡为中心的全国联网络局, 并形成全国统一的联合电力系统。

电网将主要建设±500kV交直流系统、750kV交流系统, 重点研制800kV直流和交流1000kV级输变电系统。到2010年, 全国330kV及以上交流线路达11.4万km、变电容量4.7亿kVA、直流线路8200km、直流换流站容量4000万kW。2011~2020年10年间, 初步规划建设的直流输电工程将有11条左右。“十一五”~“十二五”期间, 还将建设1000kV级交流和800kV直流特高压电网试验示范工程。

#### 7. 重视生态环境保护, 提高能源效率

在开发能源的同时, 采取有效措施节约能源、降低损耗(煤耗、水耗、线损等), 提高能源利用效率。及时关停效率低、煤耗高、污染严重的小火电机组; 火电厂停止向江河排灰, 装设烟气脱硫及降低氮氧化物设施, 开展洁净煤燃烧技术的研究及应用等。实行电力发展与环境保护相协调的方针, 使电力建设与环境保护“同步规划、同步实施、同步发展”。

#### 8. 深化体制改革, 实现电力、经济、社会、环境统筹协调发展

电力行业将进一步打破垄断, 消除省级市场壁垒, 开放区域电力市场, 鼓励跨大区资源

流动,并且还要稳步推进输配售分开试点工作。

### 9. 电力科技发展趋势

近年来,电力技术越来越体现出高技术与传统技术交叉、融合的趋势。信息技术、电力电子技术和新材料技术的突飞猛进将大大促进电力产业的发展。世界电力技术发展呈现出向高技术、环保、新能源发展的趋势,电力将向优化电力、高效利用、可持续发展的方向迈进。21世纪电力技术发展趋势如下:

(1) 新型发电技术预计会有重大突破。太阳能发电、风力发电、生物质能发电和燃料电池发电技术,有望成为大规模应用的新型发电方式。光伏发电技术即用太阳能电池将太阳能直接转变为电能的技术,被认为是本世纪最有希望得到工业规模应用的可再生能源利用技术之一。

(2) 核电正进入复苏阶段,世界核电的发展步伐已开始加快。随着新型反应堆,即固有安全堆的实用化导致核造价降低,核电技术在21世纪有可能东山再起并占据重要份额。可控热核聚变在2050年以后,有可能取得突破,可能最终解决人类能源供应问题。

(3) 能源的高效利用技术将广泛应用。这些技术包括联合循环、联电联产、热泵、高效节能灯、建筑节能技术、电力电子技术、能源效益审计等,这些技术的广泛应用对节约资源和能源会产生巨大作用。

(4) 与环境兼容的能源利用技术日显重要。作为21世纪能源领域最关键技术之一的洁净煤技术将会得到长足发展。此外,温室效应气体液化及储存利用技术、降低高压输电线路环境影响的技术、核废料的分离处理及储存技术也会有重要发展。

(5) 电网新技术的应用将引起电网的重要变革。未来的电网新技术包括灵活的交流输电技术和新一代直流输电技术,更加有效的电网状态测定和控制技术,现代化大都市供电新技术等。

(6) 输变电设备向紧凑型、高可靠性方向发展,配、用电设备向数字化、智能化、信息化发展。电网设备向超高压、大容量方向发展,城网设备向紧凑型、无污染、高可靠、智能化、组合化方向发展。高压大容量变频变压调速、高低压配电与电控装置的智能化与远程通信将得到快速发展与提高。电气设备总的发展方向是大容量、超高压、组合化、无油化、智能化、抗短路、高可靠、免维护。

## 第二节 发电厂和变电站概述

发电厂是把各种天然能源(化学能、水能、原子能等)转换成电能的工厂。按使用能源不同或转换能源特点,发电厂有以下类型。

(一) 火力发电厂  
火力发电厂是把化石燃料(煤、油、天然气、油页岩等)的化学能转换成电能的工厂,简称火电厂。火电厂的原动机大都为汽轮机,也有用燃气轮机、柴油机等作原动机的。火电厂又可分为以下几种。

### 1. 凝汽式火电厂

凝汽式火电厂生产过程示意图如图1-1所示。煤粉在锅炉炉膛8中燃烧,使锅炉中的水

加热变成过热蒸汽，经管道送到汽轮机 14，推动汽轮机旋转，将热能变为机械能。汽轮机带动发电机 15 旋转，再将机械能变为电能。在汽轮机中做过功的蒸汽排入凝汽器 16，循环水泵 18 打入的循环水将排汽迅速冷却而凝结，由凝结水泵 19 将凝结水送到除氧器 20 中除氧（清除水中的气体，特别是氧气），而后由给水泵 21 重新送回锅炉。

由于在凝汽器中大量的热量被循环水带走，因此，凝汽式火电厂的效率较低，只有 30%~40%。

### 2. 热电厂

热电厂生产过程的示意图如图 1-2 所示。热电厂与凝汽式火电厂不同之处是将汽轮机中一部分做过功的蒸汽从中段抽出来直接供给热用户，或经加热器 12 将水加热后，把热水供给用户。这样，便可减少被循环水带走的热量，提高效率，现代热电厂的效率达 60%~70%。

由于供热网络不能太长，所以热电厂总是建在热力用户附近。此外，为了使热电厂维持

较高的效率，一般采用“以热定电”的运行方式，即当热力负荷增加时，热电机组相应地多发电，当热力负荷减少时，热电机组相应地少发电。因而，其运行方式不如凝汽式发电厂灵活。

### 3. 燃气轮机发电厂

用燃气轮机或燃气—蒸汽联合循环中的燃气轮机和汽轮机驱动发电机的发电厂，称为燃气轮机发电厂。前者一般用作电力系统的调峰机组，后者则用来带中间负荷和基本负荷。这

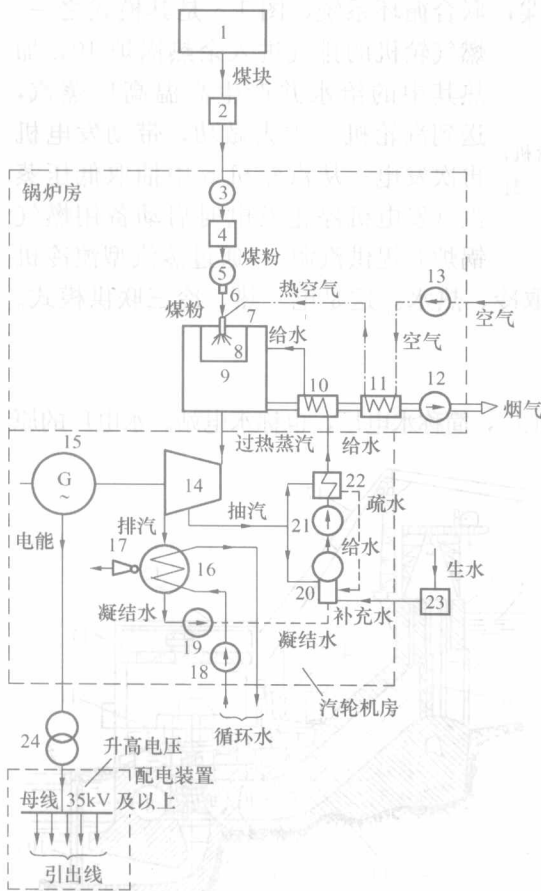


图 1-1 凝汽式火电厂生产过程

- 1—煤场；2—碎煤机；3—原煤仓；4—磨煤机；5—煤粉仓；6—给粉机；7—喷燃器；8—炉膛；9—锅炉；10—省煤器；11—空气预热器；12—引风机；13—送风机；14—汽轮机；15—发电机；16—凝汽器；17—抽气器；18—循环水泵；19—凝结水泵；20—除氧器；21—给水泵；22—加热器；23—水处理设备；24—升压变压器

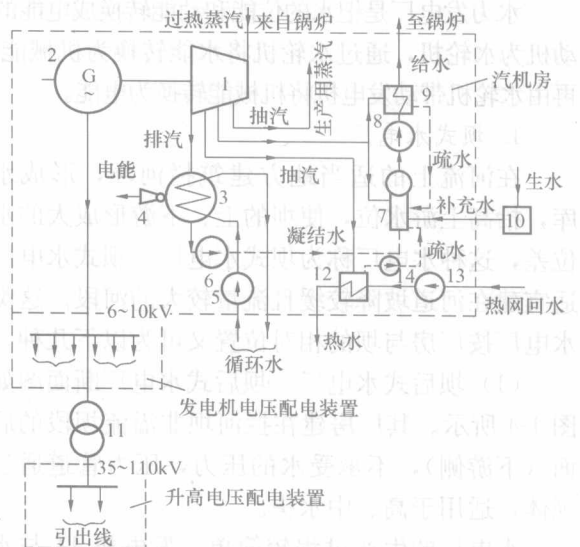


图 1-2 热电厂生产过程

- 1—汽轮机；2—发电机；3—凝汽器；4—抽气器；5—循环水泵；6—凝结水泵；7—除氧器；8—给水泵；9—加热器；10—水处理设备；11—升压变压器；12—加热器；13—回水泵；14—泵



类发电厂可燃用液体燃料或气体燃料。以天然气为燃料的燃气轮机和联合循环发电，具有效率高、污染物排放低、初期投资少、工期短及易于调节负荷等优点，近年来在北美、欧洲得到迅速发展。目前燃气轮机的单机容量已发展到 30 万 kW。

燃气轮机的工作原理与汽轮机相似，不同的是其工质不是蒸汽，而是高温高压气体。空气经压气机压缩增压后送入燃烧室，燃料经燃料泵打入燃烧室。燃烧产生的高温高压气体进入燃气轮机中膨胀做功，推动燃气轮机旋转，带动发电机发电。做过功的尾气经烟囱排出，或分流部分用于制热、制冷。这种单纯用燃气轮机驱动发电机的发电厂，热效率只有 35%~40%。

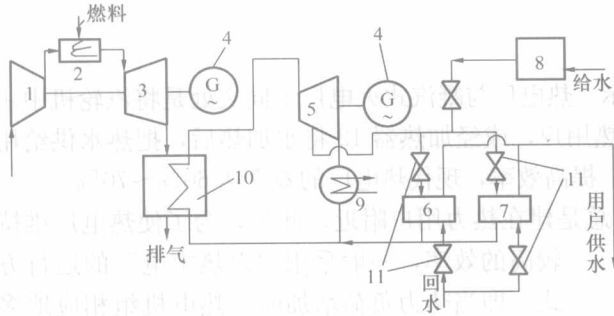


图 1-3 燃气—蒸汽联合循环系统

1—压气机；2—燃烧室；3—燃气轮机；4—发电机；5—汽轮机；6—蒸汽型溴冷机；7—汽—水热交换器；8—备用燃气锅炉；9—凝汽器；10—余热锅炉；11—制冷采暖切换阀

为提高热效率，采用燃气—蒸汽联合循环系统，图 1-3 是其模式之一。燃气轮机的排气进入余热锅炉 10，加热其中的给水并产生高温高压蒸汽，送到汽轮机 5 中去做功，带动发电机再次发电；从汽轮机 5 中抽取低压蒸汽（发电机停止发电时启动备用燃气锅炉 8 提供汽源），通过蒸汽型溴冷机 6（溴化锂作为吸收剂）或汽—水热交换器 7 制取冷、热水。这是电、热、冷三联供模式。联合循环系统的热效率可达 56%~85%。

联合循环系统的热效率可达 56%~85%。

## (二) 水力发电厂

水力发电厂是把水的位能和动能转换成电能的工厂，简称水电厂，也称水电站。水电厂的原动机为水轮机，通过水轮机将水能转换为机械能，再由水轮机带动发电机将机械能转换为电能。

### 1. 坝式水电厂

在河流上的适当地方建筑拦河坝，形成水库，抬高上游水位，使坝的上、下游形成大的水位差，这种水电厂称为坝式水电厂。坝式水电厂适宜建在河道坡降较缓且流量较大的河段。这类水电厂按厂房与坝的相对位置又可为以下几种。

(1) 坝后式水电厂。坝后式水电厂断面图如图 1-4 所示。其厂房建在拦河坝非溢流坝段的后面（下游侧），不承受水的压力，压力管道通过坝体，适用于高、中水头。

水电厂的生产过程较简单，发电机 11 与水轮机转子 9 同轴连接，水由上游沿压力进水管 4 进入水轮机蜗壳 8，冲动水轮机转子 9，水轮机带动发电机转动即发出电能；做过功的水通过尾水管 10 流到下游；生产出来的电能经变压器 15

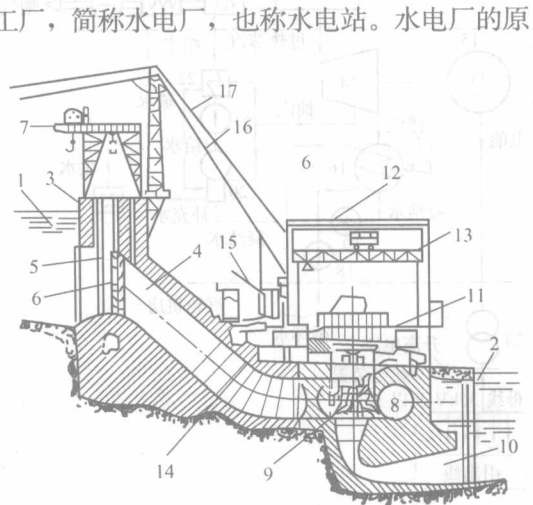


图 1-4 坝后式水电厂断面

1—上游水位；2—下游水位；3—坝；4—压力进水管；5—检修闸门；6—阀门；7—吊车；8—水轮机蜗壳；9—水轮机转子；10—尾水管；11—发电机；12—发电机间；13—吊车；14—发电机电压配电装置；15—升压变压器；16—架空线；17—避雷线