

普通高等教育“十二五”规划教材

热力发电厂

冉景煜 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

燃烧学	徐通模
流体力学(少学时)	何川
热力发电厂	冉景煜
锅炉原理	张力
制冷压缩机 第2版	吴业正
空调制冷与内燃机动力装置及仿真	刘忠宝
工程流体力学	周云龙
低温工艺与装置	王立
制冷与低温工艺	程有凯
汽轮机原理	丰镇平
制冷与低温设备	张华
能源环境技术及评价	杨昭
流体机械原理	王军
热力系统与设备	严俊杰
热能与动力工程概论	吕太
能源科学与技术导论	郭烈锦
锅炉原理	陈学俊
电厂燃气轮机概论	付忠广
食品冷冻冷藏原理与设备 第2版	周国燕 华泽钊
可再生能源	汪建文
工程流体力学	闻建龙
制冷空调科技英语阅读与写作	孙晗

地址:北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心:(010)88361066
销售一部:(010)68326294
销售二部:(010)88379649
读者服务部:(010)68993821

邮政编码:100037
网络服务
门户网:<http://www.cmpbook.com>
教材网:<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

- ISBN 978-7-111-31185-0
- 策划:蔡开颖/封面设计:张静

定价:31.00元

ISBN 978-7-111-31185-0



9 787111 311850 >

普通高等教育“十二五”规划教材

热 力 发 电 厂

主 编 冉景煜

副主编 李 勇

参 编 赵志军

阴继翔

唐 强

张炳文

主 审 严俊杰



机 械 工 业 出 版 社

本书以热力发电厂整体为对象, 阐述其主要的热力设备、热力系统及其运行、调整, 并对热力发电厂的热经济性进行了分析评价。全书内容共分六章, 包括绪论、热力发电厂热经济性评价方法与指标、热力发电厂原则性热力系统、热力发电厂全面性热力系统、热力发电厂优化运行与调整、热力发电厂其他主要辅助系统。本书内容反映了热力发电厂现状及国内外的新技术、新成果, 并采用了最新的国家标准。

本书可作为高等院校热能动力类专业热力发电厂课程的教材, 也可供其他相关专业及大型热力发电厂的有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热力发电厂/冉景煜主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-31185-0

I. ①热… II. ①冉… III. ①热电厂—高等学校—教材 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 126197 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 周璐婷

版式设计: 张世琴 责任校对: 张 骏

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 413 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-31185-0

定价: 31.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

教材编审委员会（按姓氏笔画排列）

- 主任：郭烈锦 西安交通大学
- 副主任：王立 北京科技大学
王如竹 上海交通大学
邓海平 机械工业出版社
张力 重庆大学
- 委员：王军 华中科技大学
王丽 北京石油化工学院
王灵梅 山西大学
冉景煜 重庆大学
刘永峰 北京建筑工程学院
刘忠宝 北京工业大学
吕太 东北电力大学
孙奉仲 山东大学
朱天宇 河海大学
齐学义 兰州理工大学
何伯述 北京交通大学
何宏舟 集美大学
吴锋 浙江大学
吴静怡 上海交通大学
张卫正 北京理工大学
张文孝 大连水产学院
李人宪 西南交通大学
李仁年 兰州理工大学
李明海 大连交通大学
李惟毅 天津大学
杜小泽 华北电力大学
杨历 河北工业大学
- 秘书：蔡开颖 机械工业出版社
- 张华 上海理工大学
沈胜强 大连理工大学
高翔 浙江大学
- 杨茉 上海理工大学
杨昭 天津大学
汪建文 内蒙古工业大学
陆靓燕 武汉工程大学
周玉明 重庆科技学院
周静伟 中国计量学院
金苏敏 南京工业大学
姜水生 南昌大学
闻建龙 江苏大学
徐斌 河南科技大学
袁文华 邵阳学院
袁镇福 浙江大学宁波理工学院
郭培红 河南理工大学
高青 吉林大学
崔海亭 河北科技大学
章学来 上海海事大学
程有凯 大连水产学院
舒水明 华中科技大学
谢晶 上海海洋大学
谢诞梅 武汉大学
颜伏伍 武汉理工大学
黎苏 河北工业大学

前 言

随着科学技术的快速发展,国家对环保和节能的要求不断提高,热力发电厂发生了前所未有的巨大变化,超临界和超超临界机组正成为今后发展的主流。为适应专业教学的实际需要,急需编写符合国内热力发电厂现阶段实际情况、能反映国内外科技进步新成就并具有鲜明专业特色的教材。本书是针对高等学校热能动力类相关专业而编写的。

热力发电厂是电厂热能动力专业本科生的一门必修课。通过本课程的学习,学生掌握热力发电厂的工作过程和基本原理,树立安全、效益(经济效益、社会效益和环境效益)相统一的观点,提高学生分析、研究和解决热力发电厂实际生产问题的独立工作能力。让学生认识到热电联产具有节约能源、改善环境、提高供热质量、增加电力供应等提升综合效益的优点,是改善城市大气环境质量、节约能源的有效手段之一。

考虑到我国电力工业今后的发展主流以及国家对环保和节能要求的不断提高,本书的取材以亚临界、超临界及超超临界大型机组及热力系统为主,紧密结合现场实际,介绍新知识、新技术在现场的应用情况,系统地阐述大型热力发电厂的工作过程和基本原理、热经济性的评价方法,着重介绍热力发电厂原则性热力系统的主要问题及分析方法,热力发电厂全厂及机组回热原则性系统拟定、计算,热力发电厂的原则性及全面性热力系统的组成、连接方式和运行、调整,并对热力发电厂的一些辅助系统给予简要阐述。

本书的编写综合了编者长期教学工作和指导实践环节的经验,尽量将编者的教学体会融合到本书内容中,使学生在对热力发电厂有一个整体概念,在阐述动力循环基本原理和热经济性分析方法的基础上,更注重与实际发电厂热力系统相联系,做到理论分析不脱离对象、实际效果与理论分析相结合,使得学生在学习中既不会感到理论的枯燥,又可获得实践的乐趣。

本书由重庆大学冉景煜教授担任主编并统稿,东北电力大学李勇教授担任副主编。第1章由冉景煜编写,第2章由阴继翔(太原理工大学)编写,第3章由冉景煜、唐强(重庆大学)、李勇编写;第4章由李勇、张炳文(东北电力大学)、冉景煜编写,第5章由赵志军(上海理工大学)、唐强编写,第6章由赵志军编写。

本书由西安交通大学严俊杰教授主审。严俊杰教授在百忙中详细审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的意见和建议,使编者在修改过程中受益匪浅,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中不足之处和错误在所难免,恳请读者指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 世界能源现状	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 能源分类及形式	2
1.1.3 世界能源未来发展预测	3
1.2 能源科技发展与电力工业技术发展趋势	3
1.2.1 能源科技发展的主要趋势	3
1.2.2 电力工业技术发展趋势	4
1.3 火力发电厂的构成及工作过程概述	5
1.3.1 火力发电厂生产工艺流程	5
1.3.2 火力发电厂主要设备及系统	6
1.4 火力发电厂动力循环	9
1.4.1 朗肯循环	9
1.4.2 蒸汽再热循环	9
1.4.3 蒸汽回热循环	10
1.4.4 热电循环	11
1.4.5 燃气—蒸汽联合循环	11
1.4.6 新型燃煤联合循环	12
1.4.7 核能发电循环	14
1.4.8 其他新型动力循环	15
1.5 火力发电厂的形式与分类	15
1.6 火力发电厂的发展趋势	16
1.6.1 继续提高超临界火电机组效率	16
1.6.2 采用先进的高效低污染技术与动力循环	17
1.6.3 火力发电厂计算机控制技术	18
1.7 火力发电厂的技术经济及环保指标	18
1.7.1 火力发电厂技术经济指标	18
1.7.2 火力发电厂的环保指标	20
思考题	21

第2章 火力发电厂热经济性评

价方法与指标	22
2.1 火力发电厂热经济性的评价方法	22
2.1.1 评价火力发电厂热经济性的主要方法	22
2.1.2 凝汽式发电厂能量转换过程中能量的损失及利用	26
2.2 凝汽式发电厂的主要热经济性指标	33
2.2.1 凝汽式发电厂的基本概念	33
2.2.2 主要热经济性指标	33
2.3 热电厂的主要热经济性指标	37
2.3.1 热电厂的基本概念	37
2.3.2 热电厂的主要热经济性指标	42
思考题	47

第3章 火力发电厂原则性热力系统

3.1 热力系统及主设备与参数选择原则	49
3.1.1 热力系统概念及分类	49
3.1.2 火力发电厂原则性热力系统的组成	50
3.1.3 火力发电厂主要热力设备选择原则	50
3.1.4 机组初、终参数及再热参数的确定	52
3.2 机组回热原则性热力系统	62
3.2.1 机组回热原则性热力系统拟定方法	62
3.2.2 机组回热原则性热力系统主要问题及分析	62
3.2.3 机组原则性热力系统实例	93
3.3 火力发电厂的辅助热力系统	95
3.3.1 工质损失及补充水系统	95
3.3.2 工质回收及余热利用系统	97

3.4 火力发电厂原则性热力系统拟定 和举例	100
3.4.1 发电厂原则性热力系统的拟定 ..	100
3.4.2 发电厂原则性热力系统的举例 ..	100
3.5 发电厂原则性热力系统的计算	115
3.5.1 计算目的	115
3.5.2 计算的原始资料	115
3.5.3 火力发电厂原则性热力系统 计算	116
3.5.4 基本计算步骤	116
3.5.5 发电厂原则性热力系统热力 计算举例	117
3.5.6 Excel 在原则性热力系统计算 中的应用	126
思考题	126

第4章 火力发电厂全面性热力系统 .. 128

4.1 概述	128
4.2 主蒸汽与再热蒸汽系统	128
4.2.1 主蒸汽系统	128
4.2.2 再热蒸汽系统	131
4.2.3 主蒸汽、再热蒸汽系统举例	131
4.3 中间再热机组的旁路系统	133
4.3.1 旁路系统的类型及作用	134
4.3.2 旁路系统参数与容量的选择	136
4.3.3 旁路系统举例	138
4.4 机组回热全面性热力系统	138
4.4.1 对机组回热全面性热力系统 的要求	138
4.4.2 机组回热全面性热力系统的 组成	144
4.4.3 除氧给水系统	146
4.4.4 回热抽汽系统	155
4.4.5 回热加热器的疏水与放气系统 ..	156
4.4.6 抽真空系统	161
4.4.7 主凝结水系统	166
4.4.8 汽轮机的轴封蒸汽系统	171
4.4.9 汽轮机本体疏水系统	173
4.4.10 小汽轮机热力系统	175
4.5 辅助蒸汽系统	181
4.5.1 辅助蒸汽系统的作用与组成	181
4.5.2 辅助蒸汽系统举例	182
4.6 锅炉的排污系统	182

4.6.1 锅炉排污的作用及形式	182
4.6.2 锅炉排污系统的设计	182
4.6.3 锅炉排污系统举例	182
4.7 发电厂全面性热力系统	183
思考题	185

第5章 火力发电厂优化运行与

调整	186
5.1 火力发电厂热力系统主要设备运行 与调整	186
5.1.1 回热加热器运行与调整	186
5.1.2 除氧器运行与调整	190
5.1.3 凝汽设备的运行与调整	195
5.1.4 给水泵运行与调整	197
5.2 火力发电厂主要热力系统优化 运行与调整	202
5.2.1 提高火力发电厂运行经济性 的途径	202
5.2.2 火力发电厂热力系统运行与 调整	203
5.3 火力发电厂调峰经济运行方式	212
5.3.1 火力发电厂调峰运行方式	213
5.3.2 低负荷调峰运行方式的经济 性	213
5.3.3 机组启动和停机过程的经济 损失	215
5.3.4 机组调峰运行方式的经济性 比较	215
5.4 运行参数的监视与调整	216
5.4.1 直流锅炉的运行调整	216
5.4.2 汽轮机运行参数的监视与调整 ..	218
5.5 并列运行单元机组之间负荷经济 分配	221
5.5.1 电力负荷曲线与工况系数	222
5.5.2 火力发电厂的电能成本	225
5.5.3 火力发电厂单元机组的耗量 特性	227
5.5.4 单元机组的负荷经济分配	228
思考题	236

第6章 火力发电厂其他主要辅助

系统	237
----------	-----

6.1 火力发电厂输煤系统及煤场设备	237	6.3.2 除尘设备类型和工作原理	246
6.2 火力发电厂的供水系统	242	6.4 火力发电厂的除灰系统	251
6.3 火力发电厂的除尘系统	245	思考题	256
6.3.1 火力发电厂除尘设备的除尘 效率	245	参考文献	258

第1章 绪论

1.1 世界能源现状

1.1.1 概述

能源是人类进行生产和赖以生存以及经济和社会发展的重要物质基础。妥善解决能源问题对发展国民经济、提高人民生活水平、稳定社会秩序和保障国家安全等方面至关重要。

目前,全世界能源总消费量约为134亿t标准煤,主要是非再生能源,如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料约占能源总消费量的90%,再生能源如水力、植物燃料等只占10%左右。

世界能源储量最多的是太阳能,在再生能源中占99.44%,而水能、风能、地热能、生物能等所占比例不到1%。在非再生能源中,未来利用海水中的氘资源产生的人造太阳能(聚变核能)的比例接近100%,煤炭、石油、天然气、裂变核燃料加起来的比例也不足千万分之一。

世界能源储量分布是不平衡的。石油储量最多的地区是中东,占56.8%;天然气和煤炭储量最多的地区是欧洲,各占54.6%和45%。亚洲、大洋洲除煤炭稍多(占18%)以外,石油、天然气都只占5%多一点。据预测,全世界石油储量只够开采30~40年,天然气约60年。

从我国能源储量来看,目前我国煤炭资源(探明储量)和水力资源均居世界第1位;石油资源居世界第11位;天然气资源居世界第14位;太阳能资源居世界第2位;潮汐、地热、风能和核燃料资源都很丰富,但人均占有量很少,只有世界平均水平的1/2。同时,我国能源资源地区分布不均衡。从我国能源生产与消费来看,2008年,中国一次能源生产总量26亿t标准煤,目前中国已经成为全球第二大能源生产国。其中,原煤产量27.93亿t,居世界第1位;原油产量1.9亿t,居世界第5位;天然气产量760.8亿m³,居世界第16位;发电量34668.8亿kW·h,居世界第2位。2008年,中国能源消费总量28.5亿t标准煤,为世界第二大能源消费国。其中,煤炭消费量27.4亿t,原油消费量3.6亿t,天然气消费量807亿m³,电力消费量34502亿kW·h。从图1-1可知,化石燃料峰值在2030年左右,2060年左右可再生能源接近总能源消费量的1/2。

目前全世界依赖的主要传统能源仍集中于第1位的石油,以及分别占第2位及第3位的煤炭和天然气。其中,石油及天然气的蕴藏量较为有限,可能会在21世纪中叶趋于枯竭。但同时世界未来20余年的经济发展,还是无法不

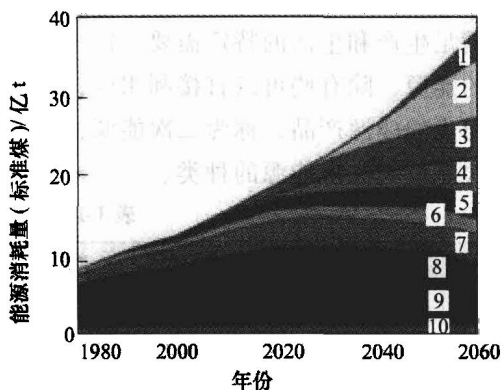


图 1-1 世界能源消费结构趋势

- 1—地热 2—太阳能 3—生物质能 4—风能
5—核能 6—水力能 7—天然气 8—石油
9—煤 10—传统生物质能

高度依赖石油及天然气，因此美国能源信息署在 2004 年 4 月的《国际能源展望》中，预测石油及天然气仍是未来 25 年消耗增长最快的能源。

在能源消费过程中的环境问题也日益突出，如 CO₂ 的排放已引起世界各国的高度关注。有资料表明，美国和中国的 CO₂ 的排放总量已达到世界 CO₂ 排放总量的 42%，图 1-2 所示为世界 CO₂ 排放情况。

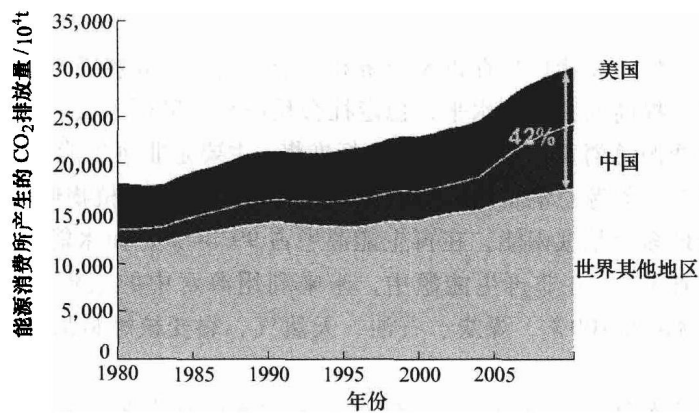


图 1-2 世界 CO₂ 排放情况

1.1.2 能源分类及形式

自然界存在的能源有很多种，除了熟悉的煤炭、石油、天然气等以外，还有太阳能、风能、水力能、潮汐能、波浪能、地热能以及核能等。在自然界中天然存在的、没有经过加工或者转换的能量称为一次能源，如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、地热、核能等。为了满足生产和生活的特定需要、便于输送和使用、提高劳动生产率和能源利用率，自然界现成的能源，除有些可以直接利用外，通常需要经过加工以后再加以利用。由一次能源加工转换而成的能源产品，称为二次能源，如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。表 1-1 列出了一次能源与二次能源的种类。

表 1-1 一次能源与二次能源的种类

一次能源	二次能源
煤炭、风能、海洋能、石油、天然气、太阳能、波浪能、潮汐能、核能、生物质能、地热能、水力、油页岩	电力、蒸汽、柴油、焦炭、沼气、重油、煤气、酒精、煤油、氢能、汽油、液化气

在自然界中有一些能源能够再生，如太阳能和由太阳能转换而成的风能、生物质能以及水力能等，它们都可以循环再生，不会因长期使用而减少，称为可再生能源；还有一些能源是不能循环再生的，如煤炭、石油、天然气、核燃料等，称其为非再生能源，见表 1-2。

有一些能源为人类所利用的时间已很长，为人们所熟悉，而且也是当前的主要能源，并应用范围广，称为常规能源，如煤炭、石油、天然气、水力能、电力等；有一些能源近一二十年才逐渐为人们所重视，逐渐开始利用，称为新能源（即非常规能源或替代能源），见表 1-3。

表 1-2 可再生能源与非再生能源

可再生能源	非再生能源
太阳能、波浪能、潮汐能、生物质能、地热能、水力能	煤炭、风能、海洋能、石油、天然气、核能、油页岩

表 1-3 常规能源与新能源

常规能源	新能源
煤炭、石油、天然气、油页岩、水力能、电力、酒精、煤气、焦炭、蒸汽、汽油、柴油、煤油、重油、液化气	太阳能、波浪能、潮汐能、生物能、地热能、风能、海洋温差能、氢能、核裂变、核聚变

1.1.3 世界能源未来发展预测

化石能源是一种不可再生能源，资源有限，其中石油和天然气只够用几十年。从资源量来说，煤炭（包括煤层气）是一种非常重要的能源。甲烷水合物的资源量很大，人们已开始研究它的开采和利用技术，但是煤炭和甲烷水合物的资源量还是有限的。

核裂变能源也是一种不可再生能源，其资源量也是有限的，即使采用快中子堆等先进技术，核裂变能源也不能持续供应很长的时间。

可再生能源（特别是太阳能）由于可以持续利用和资源丰富，因而是未来能源的基础。一般情况下，可再生能源的特点是能流密度小、分散、受气候和时间的影响大，因而利用难度比较大。核聚变能实际上可为人类长期提供清洁能源，但核聚变能发电技术预计要在 21 世纪中叶才能实现商业化。因此，可再生能源和核聚变能要在世界能源结构中占主导地位可能需要几十年甚至上百年的时间。

21 世纪世界能源结构将发生根本的变化，能源结构将由以化石能源和核裂变能为主向以可再生能源（主要是太阳能）和核聚变能为主的方向发展。22 世纪能源结构预计将以可再生能源和核聚变能为主。21 世纪能源和电力工业发展的显著特点是能源结构的多样化，能源和电力生产将逐步由高效、清洁向高效、循环生产和生态化生产过渡。电力科技的研究和应用将取得突破性进展。

1.2 能源科技发展与电力工业技术发展趋势

1.2.1 能源科技发展的主要趋势

当前，世界能源科技发展的主要趋势主要表现在以下几方面：

1) 化石燃料高效和清洁开发利用技术取得快速发展。节能技术快速发展，机动车的燃油经济性提高近一倍，主要工业国家单位 GDP 的能源消耗下降了 30% 以上；清洁能源技术全面进步；新工艺、新技术不断推出。

2) 可再生能源迅速发展，欧洲、日本等正大力发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源。

3) 核能出现复苏现象。

4) CO₂ 近零排放成为煤炭利用的新方向。

5) 氢能将作为未来清洁能源的理想选择。

6) 电网安全和可靠保障引起高度重视。

我国能源科技在基础设施、理论研究、大型先进技术装备研制、新技术系统化和工程化等方面与国际先进水平相比,还存在较大差距。

1.2.2 电力工业技术发展趋势

近 100 年,我国电力工业技术发展趋势可分为三个阶段,近期(2005~2020 年)、中期(2021~2050 年)和远期(2051~2100 年)。

1. 近期

在近期,我国电力工业主要以优化能源结构、提高资源利用效率、降低污染为首要任务。

1) 优化能源结构,加大清洁能源发电的比例。大力发展水电,加快发展核电比例,积极发展可再生能源发电。

2) 清洁能源发电技术将得到较大的发展和应用,洁净煤发电技术的研究和应用得到重点突破和推广。

3) 高效、清洁和节水将成为火力发电的关键词。高效、清洁和节水的大机组仍将是我国电力工业的主力机组,大机组的比例将显著增加。节能和节水技术将继续取得进展和得到日益广泛的应用,包括热电或热电冷联产技术、空冷技术及其他节水节能技术等。

4) 分布式电源发电技术及相应的电网技术也将得到比较大的发展和应用。

5) 高新技术和先进适用技术(含信息技术等),将有力地促进电力工业的迅速发展。整体煤气化燃气—蒸汽联合循环(IGCC)发电技术能满足新型工业化的要求,应抓紧示范工程建设,并在以后逐步推广。以 IGCC 为基础的多联产技术有可能取得重要进展。

6) 对旧机组进行节能技术改造,实现产业结构的优化升级和更新换代。

7) 环保标准将日趋严格,电力环保技术得到重点发展和应用。主要控制污染物为粉尘、 SO_x 和 NO_x ,并将逐步控制细微颗粒(PM10 和 PM2.5)和有害金属元素等。对 CO_2 分离、储存和处理以实现减少 CO_2 的排放,或实现污染物的零排放,将是下一阶段的目标。环境经济学将得到发展,并将建立新的技术经济评价方法和体系。

8) 高压交流和高压直流输电及连网技术得到发展,电源的发展也将促进电网技术的发展。大电网的安全稳定运行及其相关技术将变得越来越重要。

9) 电力体制改革将得到快速发展。

2. 中期

中期是工业化的持续期和新工业化的发展期。工业化基本实现后还需要一段时间来完善和成熟,而新工业化则逐步进入大力发展的时期。其发展趋势为:

1) 进一步优化火电结构比例。我国能源发展趋势同世界发展趋势不同,不可能进入“石油时代”或“天然气时代”。在这一阶段,煤炭仍然是我国的主要能源。洁净煤技术仍然会得到很大的发展和广泛应用。IGCC 等高新技术将得到广泛应用。以 IGCC 为基础的多联产技术将得到应用并发挥越来越重要的作用,可以比较经济地生产液体燃料及氢气等气体燃料,经济地生产电力等多种产品。

2) 第四代或更新的核裂变发电技术将得到广泛应用。在 2050 年前后,核聚变发电技术有可能实现商业化;我国水电资源的开发已基本完成;可再生能源发电技术将取得重要突破;可再生能源在发电能源结构中的比例将显著提高;以煤为主,多能互补的格局已初步形成。

3) 分布式能源发电技术将取得重要突破(包括光伏电池、风力发电机组、燃料电池和微型燃气轮机等)。发电机组不仅向大容量、高参数和高效率方向发展,分散、清洁、高效的小型发电机组和系统也将得到广泛的应用。

4) 环保要求更加严格。在这一阶段,化石能发电将实现这一长远目标,特别是 CO_2 排放将逐步得到控制, CO_2 分离、处理和利用技术将取得突破并得到广泛应用。

5) 废弃物循环综合利用,电力生产逐步向生态化生产和循环生产方向发展。

3. 远期

远期是工业化的转变期和新型工业化的实现期,也是世界能源结构发生重大转变的时期。其发展的轮廓为:

1) 可再生能源发电技术和核聚变能发电技术得到迅速发展和广泛应用,特别是太阳能发电技术和太阳能产业。世界一次能源和发电能源结构将由以化石能源和核裂变能为主的格局,逐步向以可再生能源和核聚变能为主的格局转变。

2) 电厂将成为工业生态园,电力工业将实现生态化生产。

3) 电力工业将成为循环生产和循环经济的一个重要组成部分。

4) 电力生产将形成集中与分散相结合、大中小发电机组或系统相结合的格局。电力生产可能与能源、化工生产,甚至与建筑(如光伏建筑)等密切结合在一起,电力工业的形态将发生根本性的变化。

1.3 热力发电厂的构成及工作过程概述

1.3.1 热力发电厂生产工艺流程

热力发电厂生产工艺流程如图1-3所示。燃煤经铁路、公路或水路运至电厂燃煤车间的煤场后,输送至锅炉车间的制粉系统。制成的煤粉再送到锅炉的燃烧系统并与送风系统合理混合后送入炉膛内燃烧。燃烧产生的辐射通过水冷壁管传给管内的炉水,炉膛出口的高温烟气进入锅炉水平烟道,以对流换热方式加热过热器中的蒸汽。中温烟气进入竖井烟道并将热量传给省煤器中的给水和空气预热器中的空气,低温烟气进入除尘器和脱硫脱硝装置,然后经锅炉引风机吸引并升压后,再经烟囱排放。

锅炉给水由除氧器供给,经高压给水泵升压送入高压加热器(用部分汽轮机抽汽加热),加热到较高的给水温度后送入省煤器,对亚临界及以下机组给水进入锅筒。炉水从锅筒下部经下降管进入炉膛四周的水冷壁管,吸收辐射热后由水冷壁上升管自然循环返回锅筒,锅筒内进行汽水分离后的饱和蒸汽进入过热器变成过热蒸汽,经出口联箱和主蒸汽管道送到汽轮机车间。对超临界及超超临界机组,给水直接进入直流锅炉的水冷壁管,吸收辐射热后的蒸汽进入过热器,通过主蒸汽管道送往汽轮机车间。

高温高压蒸汽进入汽轮机内逐级膨胀并开始做功,将部分热能转换成汽轮机转子旋转的机械能。汽轮机再带动发电机通过电磁转换,把机械能转换成电能。电能经主变压器升压后送入电网。汽轮机中部分做过功的蒸汽被从中间级抽出,送到回热加热系统进行加热除氧。汽轮机末级后的低温、低压排汽进入凝汽器,在凝汽器中与来自江河(或冷却塔)的冷却水进行表面式热交换,蒸汽被冷凝成凝结水后用疏水泵送入低压加热器和除氧器,然后由给水泵送入高压加热器和锅炉。完成了工质的热力循环过程。

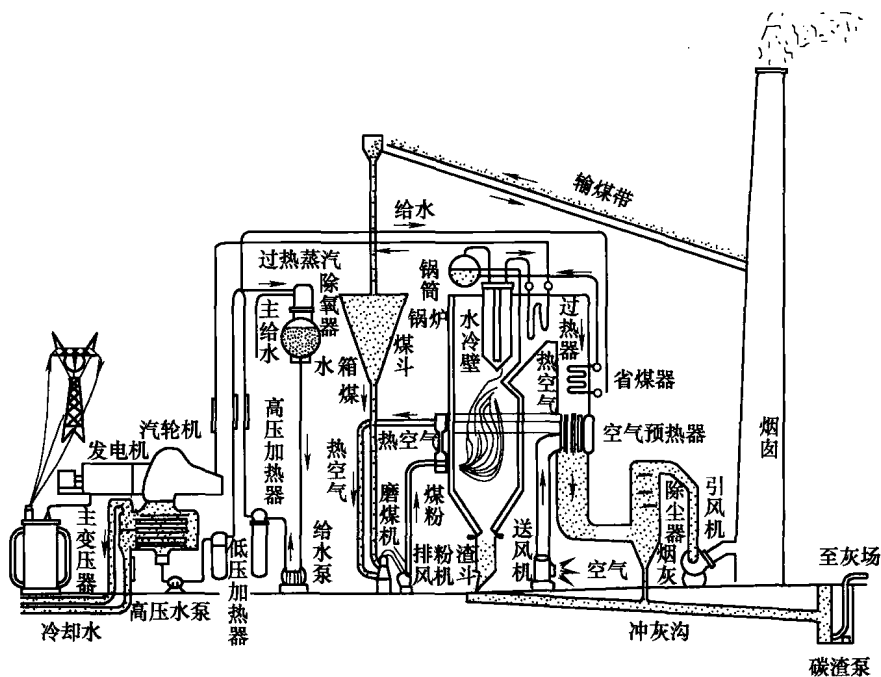


图 1-3 热力发电厂生产工艺流程

整个热力发电生产的循环过程中，锅炉车间把燃料的化学能转换成蒸汽的热能，汽轮机车间完成把蒸汽的部分热能转换成机械能，电气车间将机械能转换成电能并向电网输出。热力发电厂最终的能量有效利用率约为 40% ~ 60%。因此，降低能量转换损失，提高火力发电效率是火力发电技术一直追求的目标。

1.3.2 热力发电厂主要设备及系统

热力发电厂的主要设备及系统完成了化学能到热能、机械能、电能的转换。热力发电厂主要的三大设备为锅炉、汽轮机与发电机，由热力系统、燃料供应系统、除灰系统、化学水处理系统、供水系统、电气系统、热工控制系统和附属生产系统组成。

1. 热力系统

热力系统是常规热力发电厂实现热功转换热力部分的工艺系统。它通过热力管道及阀门将各热力设备有机地联系起来，以在各种工况下能安全经济、连续地将燃料的能量转换成机械能。其主要热力系统及设备有主蒸汽与再热蒸汽系统、再热机组的旁路系统、机组回热抽汽系统、主凝结水系统、除氧给水系统、回热加热器的疏水与放气系统、加热器（凝汽器）抽真空系统、汽轮机的轴封蒸汽系统、汽轮机本体疏水系统、小汽轮机热力系统、辅助蒸汽系统、锅炉的排污系统等。热力发电厂除三大主机外，其他主要的热力设备包括小汽轮机、高（低）压加热器、除氧器、凝汽器、汽机本体疏水扩容器、凝结水泵、给水泵、疏水泵、辅助蒸汽联箱、轴封加热器等，具体如图 1-4 所示。

联系热力设备的汽水管道路主要有主蒸汽管道、主给水管道、再热蒸汽管道、旁路蒸汽管道、主凝结水管道、抽汽管道、低压给水管道、辅助蒸汽管道、轴封及杆杆漏汽管道、锅炉排污管道、加热器疏水管道、排汽管道等。

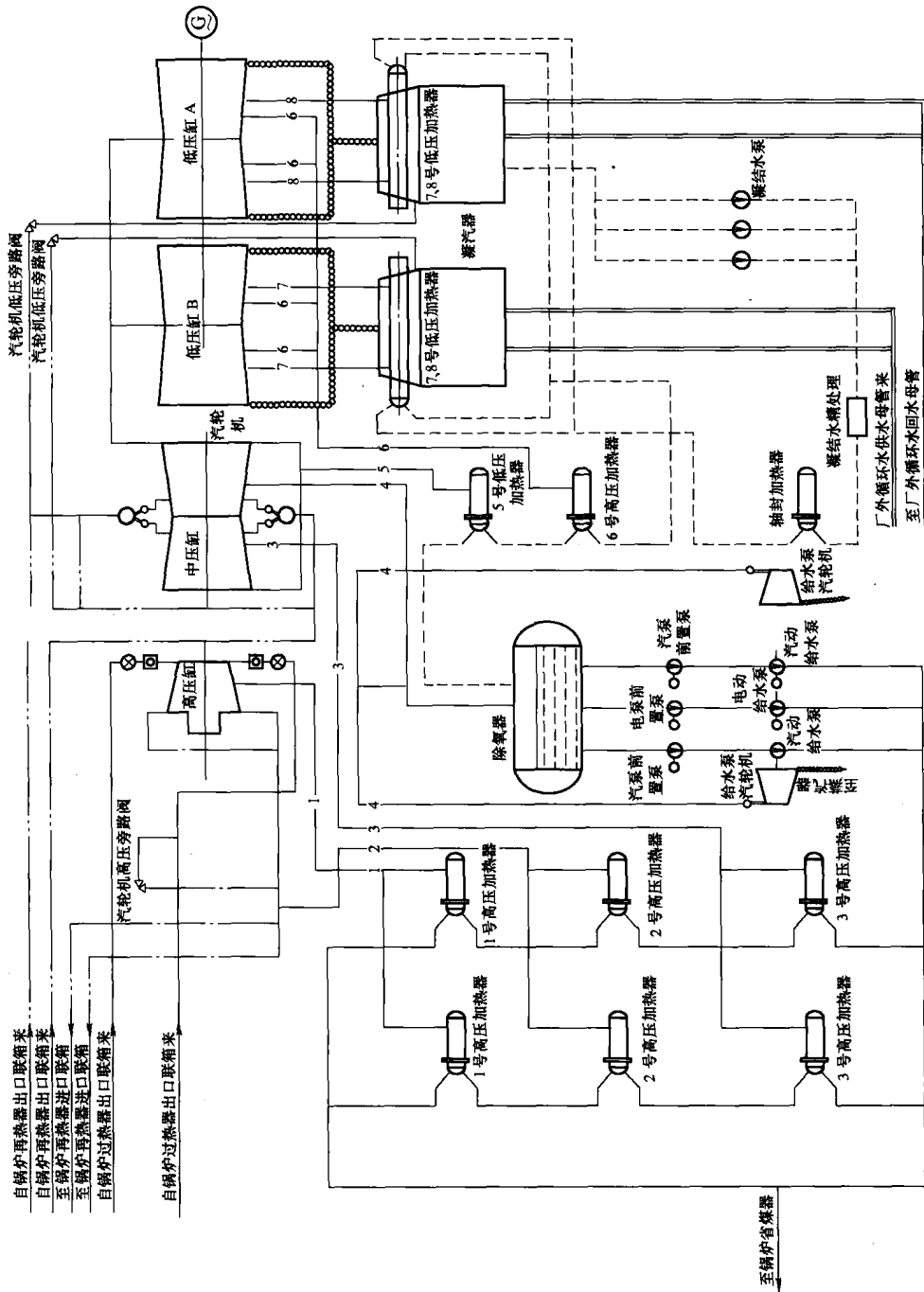


图 1-4 某轮机厂 1000MW 超临界机组的原则热力系统图

2. 燃料供应系统

燃料供应系统是接受燃料、将燃料储存并向锅炉输送的工艺系统，有输煤系统和点火油系统、煤粉制备系统。它是为提高锅炉效率和经济性能，将原煤碾磨成细粉然后送进锅炉炉膛进行悬浮燃烧所需设备和有关连接管道的组合，常简称为制粉系统。

煤最主要的运输方式是铁路运输，沿海、沿江电厂也多采用船运。

点火油系统除点火时投入运行外，在锅炉低负荷时投油以保证其稳定燃烧。

3. 除灰系统

除灰系统是将煤燃烧后产生的灰渣运出和堆放的系统。除灰系统的形式是选厂阶段、可行性研究阶段考虑方案最多的环节之一。系统的选择要根据灰渣量，灰渣的化学、物理特性，除尘器形式，排渣装置形式，冲灰水质、水量，发电厂与储灰场的距离、高差、地形、地质和气象等条件，通过技术经济比较确定。

4. 水处理系统

为了保证热力设备安全，防止热力设备结垢、腐蚀、积盐，化学水处理系统是用化学方法对不同品质的原水，即热力系统循环用水进行处理的系统。尤其是随热力设备参数的提高和容量的增大，对作为热力循环介质的水的要求也越来越高，热力发电厂化学水处理的任务也越来越重。

锅炉补给水处理是对热力系统汽水循环过程中，对因各种汽水损失而需向锅炉补给的水进行处理的技术。锅炉补给水处理方式的选择与锅炉参数、原水水质有关。高压参数以上的锅炉补给水几乎都采用离子交换的除盐方式，但都要进行预处理，除去水中的悬浮物及有机物。因此，锅炉补给水处理系统一般由预处理及除盐系统组成；中低压锅炉一般采用钠离子交换剂对水作软化处理。

5. 供水系统

供水系统是向热力系统凝汽器提供冷却用循环水及补充水的系统。电厂的供水主要用途为：冷却汽轮机的排汽；供给汽轮发电机组的冷油器、空气或其他气体冷却器；冷却辅助机械的轴承；补充厂内外的汽、水损失；水力除灰及其他生产和生活上的需要等。其中，凝汽器的冷却水量约占总冷却水量的95%以上。

热力发电厂的供水一般为三种形式：由海洋、江河、湖泊取水，经凝汽器后直接排放的直流供水系统，或称开式供水系统；具有冷却水池、喷水池或冷水塔的循环供水系统，或称闭式供水系统；有时也可将以上两种方式结合起来运行，称为联合供水系统或混合供水系统。

在缺水地区采用空气凝汽系统，空气凝汽系统的特点是取消了中间热介质——循环水或冷却水，用空气直接吸收汽轮机排汽的潜热并使排汽凝结。这种凝汽系统经常被称为干式冷却系统或空气冷却系统。空冷系统可分为直接空冷系统和间接空冷系统。

6. 电气系统

电气系统是将发电机发出的电能升压以便远距离输送给用户，并提供可靠的厂用电的系统。它也是热力发电厂内电气设施的总称，包括从发电机开始到升压站电力送出和从厂用电源开始所有的用电设备的一次回路，以及相应的控制、测量、保护和自动装置等二次回路，提供交直流操作和重要用电设备电源的直流、交流不停电电源和柴油机保安电源系统，保证设备具有安全的过电压、接地和火灾消防报警系统，以及照明、电缆、通信等厂内公用