



西安交通大学

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



“十五”规划教材

发电厂热力系统及设备

严俊杰 黄锦涛 张凯 屠珊 武学素



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

TM621.4
Y051



郑州大学 *04010218700N*

西安交通大学

“十五”规划教材

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

4

发电厂热力系统及设备

严俊杰 黄锦涛 张凯 屠珊 武学素



TM621.4
Y051

Qas/00

西安交通大学出版社
· 西 安 ·

内容提要

本教材整合了锅炉原理、汽轮机原理和热力发电厂三门课程内容,介绍了发电厂能量转换的基本原理、锅炉和汽轮机设备的构造和运行、热力系统的组成和设备、以及各种热力设备、系统的经济性分析方法。

主要内容:发电厂安全、可靠性和环保,锅炉设备,汽轮机设备,燃气轮机装置,发电厂的热经济性,发电厂的蒸汽参数及中间再热,给水回热加热及系统,给水除氧和发电厂的辅助热力系统,发电厂的原则性和全面性热力系统,并给出了凝汽式电厂、热电厂、核电站热力系统计算的详细实例。

本教材为热能工程专业、电厂热动力工程专业的基本教材,也可供其他专业本专科学生选用,以及作为从事发电厂管理、运行、科研工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂热力系统及设备/严俊杰,黄锦涛,张凯,屠珊,武学素编.
—西安:西安交通大学出版社,2003.8
ISBN 7-5605-1722-6

I. 发… II. ①严… ②黄… ③张… ④屠… ⑤武… III. 发电厂—热力系统 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061111 号

书 名 发电厂热力系统及设备
编 者 严俊杰 黄锦涛 张凯 屠珊、武学素
出版发行 西安交通大学出版社
地 址 西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话 (029)82668315 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
印 刷 西安东江印务有限公司
字 数 506 千字
开 本 727mm×960mm 1/16
插 页 2
印 张 27
版 次 2003 年 9 月第 1 版 2004 年 10 月第 2 次印刷
书 号 ISBN 7-5605-1722-6/TK·85
定 价 38.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着高等教育教学改革的不深入,摆在教育工作者面前的急迫任务是加强专业基础,扩大专业知识面,以适应经济全球化对技术人才的需要。热能与动力工程专业历经数十年的发展,已经形成规模大、专业门类齐全的学科,目前面临着专业调整,课程体系优化,教材内容整合、更新的艰巨任务。本教材就是本着这一精神,为适应西安交通大学教材建设的要求,将原来的电厂热动力工程所开设的“锅炉原理”,“汽轮机原理”和“热力发电厂”三门课程内容进行整合,而编写的专业内容广泛、取材精细、学时较少的一本优化教材。通过对本教材的学习,可以使本专业学生获得热力发电厂运行、设计方面的系统知识。

全书共分9章。包括:发电厂安全、可靠性和环保,锅炉设备,汽轮机设备,燃气轮机装置,发电厂的热经济性,发电厂的蒸汽参数及中间再热,给水回热加热及系统,给水除氧和发电厂的辅助热力系统,发电厂的原则性和全面性热力系统。

本书是西安交通大学“新世纪本科生系列教材”“十五”规划教材计划资助项目。

本书由西安交通大学严俊杰主编。严俊杰、武学素教授合作编写了绪论、第5~8章和第9章的1~7节;西安交通大学黄锦涛编写了第1章、第3章;西安交通大学张凯编写了第2章;西安交通大学屠珊编写了第4章和第9章的第8节。全书由西安热工研究院的危师让教授、博士生导师主审。西安交通大学林万超教授、博士生导师为本书作序。在编写过程中,得到了西安交通大学热能研究所和动力系统工程研究所许多教师和研究生的帮助和支持。在此,编者向他们表示深切的谢意。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003年5月

序 言

能源工业是国民经济的基础产业,是实现现代化的物质基础,世界各国都把建立可靠、安全、稳定的能源供应保障体系作为国民经济的战略问题之一。发电厂是一个将一次能源转化为二次能源的场所,是消耗一次能源的大户。研究发电厂热力设备及系统的安全性、经济性对促进我国建立高效、可靠及安全的能源供应系统具有重要意义。

培养知识面广、专业基础扎实、合格的热能与动力工程专业学生是促进能源工业发展、建设的重要手段。随着高等教育教学改革的不深入,加强专业基础,扩大专业知识面,适应经济全球化对技术人才的需要,是摆在教育工作者面前的紧迫任务。热能与动力工程专业历经数十年发展,已形成规模大、专业门类齐全的学科,现在又面临着专业调整、课程体系优化、教材内容整合、更新的艰巨任务。《发电厂热力设备及系统》教材就是本着这一精神,将原来的电厂热能动力工程所开设的“锅炉原理”,“汽轮机原理”和“热力发电厂”三门课程内容进行整合,增添核电站方面的内容,减少了三门课的总学时而编出的综合性教材。该教材专业内容广泛,取材精细,吸收了国内外成熟的最新科技成果,是一本优秀教材。可以使学生获得热力发电厂运行、设计方面的系统知识。书中将锅炉设备、汽轮机设备及热力系统作为一个整体,研究其能量的转换,分析其热经济性,较好地适应了专业教学改革的要求。编写中力求加强专业基础理论、突出重点,尽量避免重复的、次要的内容,以适应拓宽专业面的要求,满足市场对人才的要求。为反映教学过程的特点,在论述上注意循序渐进,难点分散,便于自学。

编者多年来工作在教学、科研的第一线,具有丰富的教学经验,并深知本专业在当代科技发展中的最新状况,为编写此书奠定了良好基础。为了支持教学改革,提高教育质量,编者以极大的热情,倾全力编写了这本颇具特色的教材,作为课程改革的一次新尝试,在推进热能工程专业的发展具有重要现实意义。

本人很高兴看到本书的出版,并乐之为序。

林万超

二〇〇三年三月

目 录

绪论

第 1 章 发电厂的安全、可靠性及环保

1.1 发电厂的安全	(10)
1.2 发电厂的可靠性	(14)
1.3 寿命管理	(20)
1.4 电力管理信息化	(24)
1.5 火力发电厂的环保要求	(28)
复习思考题	(44)
参考文献	(45)

第 2 章 锅炉设备

2.1 概述	(46)
2.2 锅炉汽水系统受热面及运行	(54)
2.3 制粉系统	(87)
2.4 锅炉燃烧系统及燃烧器	(102)
2.5 锅炉运行调节	(130)
2.6 锅炉启停	(136)
复习思考题	(142)
参考文献	(144)

第 3 章 汽轮机设备

3.1 概述	(146)
3.2 汽轮机本体	(161)
3.3 汽轮机的调节、保安和油系统	(172)
3.4 汽轮机辅助设备	(190)
3.5 汽轮机的起动与停机	(196)
3.6 汽轮机正常运行中的维护	(205)

3.7 汽轮机常见事故	(209)
复习思考题	(218)
参考文献	(219)
第4章 燃气轮机装置	
4.1 燃气轮机的发展概况	(220)
4.2 燃气轮机装置的热力循环	(224)
4.3 压气机	(235)
4.4 燃气透平	(245)
4.5 燃烧室	(249)
4.6 联合循环	(259)
复习思考题	(265)
参考文献	(266)
第5章 发电厂的热经济性	
5.1 凝汽式发电厂的能量转换及热经济性指标	(267)
5.2 热电厂的热经济性及其指标	(275)
5.3 热电厂的节煤量的计算及节煤条件	(287)
5.4 核电厂的热经济指标	(290)
复习思考题	(295)
参考文献	(295)
第6章 发电厂的蒸汽参数及中间再热	
6.1 蒸汽初参数	(296)
6.2 蒸汽终参数	(301)
6.3 蒸汽中间再热	(303)
复习思考题	(307)
参考文献	(307)
第7章 给水回热加热及系统	
7.1 给水回热的热经济性	(308)
7.2 非再热机组给水回热基本参数对热经济性的影响	(311)
7.3 再热机组和供热机组回热的特点	(318)
7.4 经济上最有利的给水温度	(319)

7.5	回热加热器的类型及结构特点	(321)
7.6	面式加热器的连接系统	(327)
7.7	实际回热系统的损失及回热系统的优化	(332)
7.8	机组回热的原则性热力系统计算	(336)
	复习思考题.....	(342)
	参考文献.....	(342)

第 8 章 给水除氧和发电厂的辅助热力系统

8.1	给水除氧	(343)
8.2	除氧器及其原则性热力系统	(344)
8.3	除氧器的滑压运行	(353)
8.4	热电厂的热负荷及供热系统	(357)
8.5	发电厂的汽水损失及其补充	(361)
8.6	工质及废热回收系统	(363)
	复习思考题.....	(366)
	参考文献.....	(366)

第 9 章 发电厂的原则性和全面性热力系统

9.1	热力系统的概念及分类	(368)
9.2	回热全面性热力系统	(370)
9.3	除氧器的全面性热力系统	(377)
9.4	发电厂的原则性热力系统	(379)
9.5	发电厂原则性热力系统举例	(380)
9.6	发电厂原则性热力系统的计算	(388)
9.7	发电厂原则性热力系统计算举例	(393)
9.8	发电厂全面性热力系统举例	(418)
	复习思考题.....	(421)
	参考文献.....	(421)

2. 能源储量及其消费特点

(1) 我国的能源储量丰富,但分布不均。水力资源的90%在西部,煤炭资源的80%在北部,天然气资源60%在中西部。而70%的能源消费却是集中在东部及沿海开发地区。

(2) 在能源消费结构中煤炭的比例约占70%以上,我国每年消费煤炭大约12亿吨。其中35%用于火力发电,65%用于工业及民用。而且在今后一段时间内以煤为主的能源消费结构不会有大的变化。由于大量燃煤,造成环境污染严重。1997年全国烟尘排放量1565万吨,SO₂排放量1852万吨。环境污染问题已成为我国可持续发展的重要制约因素。根据国家环保总局的计算,我国环境问题所造成的总损失占国民生产总值的10%左右。大量的煤、渣运输也造成了交通运输的紧张。

(3) 我国的能源利用率低,平均能耗高,产值能耗约为发达国家的3~4倍,产品单耗比发达国家高40%,能源综合利用率不到30%。

(4) 能源消费水平很低,不到世界人均水平的1/2,人均用电水平只及世界平均水平的1/3。1999年统计一些国家的人均装机容量为(kW/人),美国:3.09,英国:1.28,法国:2.08,日本:2.00,德国:1.50。到1999年我国人均装机容量为0.237 kW,人均发电量99 kW·h,仅为世界平均水平的一半。世界电业普遍认为一个国家人均装机容量达到1 kW/人,才算达到中等国家水平。这方面我国的差距很大,仍需全国人民共同努力奋斗。

0.2 我国电力工业的发展和主要成就

我国电力工业自新中国成立以来有了巨大的发展,从1949~2002年,全国装机容量从1.85 GW增加到353 GW,增加了约190倍,发电量从4310 GW·h增加到1640000 GW·h,增加了约380倍。装机容量和发电量由世界第25位上升到第2位。

改革开放以来,特别是国家实行集资办电和多家办电的政策以后,电力工业发展很快,从1978年到1998年的21年间,装机容量以每年8.35%的速度增长,发电量以每年8.35%的速度增长,使我国电力工业跃居世界前列。我国装机容量所经历的几个台阶是:1987年突破1亿kW;1995年突破2亿kW;1998年装机27729 kW,位居世界第2位,仅次于美国;1999年底装机29400 kW;2000年4月突破3亿kW。我国已连续13年每年投产新机组均在1000 kW以上。

值得注意的是,全国的电力供需形势从1997年开始有了根本性的改变,长期困扰我国经济和人民生活的严重缺电局面已基本缓解,电力制约国民经济的“瓶

颈”现象已基本结束。虽然我国进行产业结构调整以来,工业用电量逐步减少,居民生活用电和商业用电逐步增加。但是由于工业用电比重大,居民生活用电比重小(1998年分别为71.78%和12.22%),导致一些地区用电负荷增长缓慢,使得前几年发电设备年利用小时下降。实际上我国人均装机与人均发电量仅为世界水平的一半,市场潜力没有完全开发,电力过剩只是暂时的现象。从表0.2中可以看出从2000年以来已逐步开始回升。目前我国电力工业的基本情况如表0.3所示。

表0.2 1994~2001年电厂年利用小时数

年份	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年
利用小时	5 233 h	5 121 h	5 033 h	4 765 h	4 501 h	4 350 h	4 517 h	4 588 h

表0.3 2001年电力工业情况^①

(1)发电装机容量	33 861.19 万 kW	增 6.04%
其中:水电	8 300.64 万 kW	增 4.61%
火电	25 313.70 万 kW	增 6.57%
核电	210 万 kW	
(2)单机 6 000 kW 及以上机组		
5 522 台	30 360.39 万 kW	
其中:水电 1 138 台	6 035.29 万 kW	
火电 4 381 台	24 115.09 万 kW	
(3)发电量	14 838.56 亿 kW·h	比上年增长 8.43%
其中:水电	2 611.08 亿 kW·h	增 7.39%
火电	12 044.78 亿 kW·h	增 8.71%
核电	174.72 亿 kW·h	增 4.39%
(4)6 000 kW 及以上电厂供电煤耗	385 g/kW·h	减 7 g/kW·h
6 000kW 及以上电厂发电煤耗	357 g/kW·h	减 6 克/kW·h
(5)6 000 kW 及以上电厂厂用电率	6.24%	减 0.04%
水电	0.46%	减 0.03%

续表 0.3

火电	7.25% 减 0.06%
(6)6 000 kW 及以上电厂利用小时	4 588 h 增 71 h
水电	3 129 h 增 129 h
火电	4 900 h 增 52 h
(7)发电标准煤量 42 161.79 万吨增 5.96%	原煤 57 637.06 万吨 增 9.14%
	燃油 1 022.81 万吨 减 1.8%
	燃气 3 307 769 万 m ³ 增 115.05%
(8)6 000 kW 及以上电厂热效率	
电厂热效率	35.09% 增 1.25
电厂供热效率	85.13% 减 0.83
能源转换总效率	40.55% 增 1.12
(9)电力消费能源占一次能源的比重	42.9% 增 1.18%
(10)基建新增生产能力单机 500 kW 及以上机组	1 586.87 万 kW
水电	289.55 万 kW
火电	1 297.32 万 kW
(11)线损	7.55%
(12)全国单机 6 000 kW 以上供热机组共 1 583 台	3 184.209 万 kW (一年增加 193.6 万 kW)
占同容量火电机组的	13.20%
供热量	128 743.69 万 GJ 增 6.9%

① 热电建设动态(106)

到目前为止,我国已能自行设计、制造亚临界参数 300、600 MW 火电机组的成套设备,并出口成套 210 MW 火电设备,引进技术设计制造了 MS5000,MS6000 系列的燃气轮机,自行设计制造 300 MW 核电设备并出口。几台国外制造的超临界压力 300、500、600、800 MW 汽轮机组已在我国投运。全国拥有 1 000 MW 级电厂 40 座。现有 900 MW 核电机组 2 台、600 MW 火电机组 7 台、300~350 MW 95 台、200 MW 312 台,总容量达到 89.2 GW,占全国装机容量的 42.2%,火电厂和大机组已成为中国电力的主力。

0.3 我国电力规划及火电技术发展动向和电力体制改革

前几年对我国电力工业的发展预测结果指出,我国的经济增长趋势为:1990年为8%~9%,2000~2010年为6%~8%,2010年~2020年为5%~6.3%。国家电力公司战略研究与规划部提出的“十五”期间中国电力发展目标^①中指出:“十五”投产规模在7000~7500万kW,2005年我国发电装机容量将达到3.5~3.55亿kW(其中水电8500万kW,占24.5%;火电25700万kW,占72.4%;核电850万kW,占2.4%;新能源及其他250万kW,占0.7%),预计2010年和2015年我国发电装机容量将达到4.36亿kW和5.4亿kW左右。通过调整电源结构,使发电装机中水、火、核及新能源发电的比例逐步趋于合理,同时逐步实现电源多样化。另外,“十五”期间要使电厂各项污染排放全部达到现行国家标准,烟气脱硫产业初具规模化(国产化的30万kW及以上湿法脱硫机组投入运行),为2015年接近世界先进水平奠定了良好基础。

1. 火电技术发展动向

(1)研制600MW甚至1000MW等级的超临界压力机组,研制300、600MW空冷机组以及超高参数、亚临界参数的200、300MW高效供热式机组。

(2)进一步调整电源结构,充分利用现有发电能力,积极发展水电,坑口大机组火电,压缩小火电,适度发展核电,鼓励热电联产和综合利用发电。

(3)强化煤电的环境保护,发展洁净燃煤技术。建立200~300MW级循环流化床锅炉的示范性电站;建设300~400MW级整体煤气化联合循环示范机组;完成15MW增压流化床锅炉联合循环PFBC-CC中试工程,建设100MW PFBC-CC试验机组。

(4)大力发展中间负荷机组,适应电网调峰需要。力争2000年前,大容量燃气-蒸汽联合循环发电在我国开始起步,大量兴建抽水蓄能电站和调峰火电厂。

(5)发电能源多样化,适当发展核电和新能源发电,将进口部分天然气、液化气,作为国内发电资源的一个补充。在偏远地区和有条件的农村地区发展风能、太阳能等新能源发电。

(6)进一步提高火电自动化水平,实现自动测量控制及单元机组集控值班。

2. 近期能源政策

我国的能源政策是“开发和节约并重,近期把节能放在优先地位”,而且节能是

^① 热电建设动态(74)

发展国民经济的一项长期战略任务。具体措施为:

(1)“九五”、“十五”期间,加强、改造和完善各省及各大区电网,预计在 2010~2020 年,形成基本覆盖全国的统一联合电网,实现电网统一调度,推行火电厂的经济运行。

(2)我国火电机组年均供电煤耗率与国外先进水平相比还有很大差距,约为 60~70 g 标煤/(kW·h),按目前发电量计算,约浪费 40 Mt 标准煤。要采取有效措施和先进技术降低煤耗,如增加高效的大容量机组比重,积极发展热电联产,用现代化技术改造老机组,特别是汽轮机通流部分和热力系统的改进。小机组、小锅炉既浪费能源,又严重污染环境,要关闭淘汰,有条件的可改为热电联产或燃气一蒸汽联合循环。国家电力系统要关停 50MW 及以下小火电(或以大代小)机组容量总计 14 000 MW,即 1998 年已停 2 840 MW,1999 年为 1 800 MW,2000 年为 3 100 MW,2001~2003 年为 4 500 MW,2004 年关停高压 50 MW 凝汽式机组 1 760 MW。

(3)节约水资源,要一水多用,综合利用,提高重复用水率,降低全厂耗水指标。在缺水地区要装空冷机组。

3. 电力体制改革

2002 年我国电力体制改革方案已经得到国务院批准,开始进入实施阶段。改革的思路为:厂网分开,竞价上网,打破垄断,引入竞争。

根据改革的方案,我国电力体制将实施厂网分开,重组发电和电网企业;实行竞价上网,建立电力市场运行规则和政府监管体系,初步建立竞争、开放的区域电力市场,实行新的电价机制;制定发电排放的环境折价标准,形成激励清洁能源发展的新机制;开展发电企业向大用户直接供电的试点工作,改变电网企业独家买电的格局;继续推进农村电力管理体制改革的。

厂网分开:电网方面成立国家电网公司和南方电网公司。国家电网公司负责组建华东(含山东)、东北(含内蒙古东部)、西北、华北(含福建)和华中(含重庆、四川)5 个区域电网有限公司。南方电网公司有广东、海南和国家电力公司在云南、贵州、广西的电网资产组成。

发电方面:共五家独立的发电公司,有中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司、中国国电集团公司和中国电力投资集团公司。

理顺电价机制是电力体制改革的核心内容。新的电价体系划分为上网电价,输、配电价和终端销售电价。

电力体制改革的总体目标是:打破垄断,引入竞争,提高效率,降低成本,健全电价机制,优化资源配置,促进电力发展,推进全国联网,构造政府监管下的政企分开、公开竞争、开放有序,健康发展的电力市场体系。

0.4 电力工业面临新的机遇

1. 加入 WTO 对电力市场的影响

有利于引进先进的技术设备,提高发电效率,降低发电成本,增强竞争力;有利于加强与国外大的电力投资商和电力经营商交流,引进先进的管理经验;有利于和国外厂商合作,引进电力设备急需的资金;有利于我国部分电力产品出口;有利于我国电力企业向外拓展的国际化进程;刺激国内经济发展,电力需求增加。

国民生产总值的增长,电力市场需求将大量增加,如何有效节约能源与保护环境将更加要引起重视。

2. 西部大开发对电力和热能有更大的需求

西部大开发是一项复杂的系统工程,涉及到能源、水利、交通、通信、环保等基础产业的综合开发和协调发展。电力工业在西部的的发展不但与其他基础产业的发展存在相互依存的关系,而且具有开发西部地区丰富的水电、煤炭资源、充分发挥其得天独厚的自然资源优势的特殊性。

我国西部地区能源资源丰富,不但拥有丰富的煤炭、水力、石油、天然气、煤层气,也有较好的风能、太阳能等新能源资源,有良好的开发前景。“西气东送”使西北地区丰富的天然气和煤层气得到充分的利用,为发展燃气-蒸汽联合循环提供可靠的能源基础。

天然气与煤层气的开发和应用,将使燃煤占主导地位的局面有所改变。燃料结构变化,则将改变对大小机组的认识。国外目前还在发展小型全能量系统,因为用燃气统一解决电、热、冷、功,效率很高。西部大开发为发展燃气-蒸汽联合循环,热、电、冷联产创造了极好的机遇,有很大的发展空间。

0.5 热力发电厂的类型及对热力发电厂的要求

热力发电厂的类型如下。

(1) 按使用能源分,有:化石燃料发电厂、原子能发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、风力发电厂、其他,如垃圾发电厂。

(2) 按发电厂功能分,有:供电的凝汽式发电厂、供电供热的发电厂、供电/供热/供冷(制冷)的发电厂、供电/供热/供煤气的发电厂、多功能的发电厂。

(3) 按原动机类型分,有:汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂、燃气-蒸汽联合循环发电厂。

(4) 按单机容量分,有:50 MW 及以下为小型、100~200 MW 为中型、300 MW 及以上为大型。

(5) 按电厂容量分,有:小容量电厂 200 MW 以下、中等容量电厂 200~800 MW、大容量电厂 1 000 MW 及以上。

(6) 按蒸汽初参数分,有:中低压发电厂 3.43 MPa 以下、高压发电厂 8.83 MPa、超高压发电厂 12.75 MPa、亚临界压力发电厂 16.18 MPa、超临界压力发电厂 22.05 MPa 以上、超超临界压力发电厂 30 MPa 以上。

一般原子能发电厂承担基本负荷,火电发电厂承担基本负荷、中间负荷或调峰负荷。

对热力发电厂的基本要求是:在满足安全可靠生产的前提下,提高经济效益,符合环保要求,便于施工、运行、维修和扩建,提高劳动生产率和自动化程度,开展安全文明生产水平的双达标活动,瞄准国际先进水平的一流企业。

0.6 本课程的任务和作用

读者应在已学习工程热力学、传热学等课程的基础上学习发电厂热力系统及设备课程。本课程是以热力发电厂整体为对象,着重研究不同热力发电厂的热功转换理论基础,并以汽轮机发电厂的热力设备及其热力系统为重点,在安全、经济、灵活、环保的前提下,分析发电厂的经济效益。热经济性的定量分析以熵方法为主,定量计算以热平衡常规方法为主。

发电厂的技术水准代表了一个国家整体工业水平的高低,是一个具有广阔发展前景而又富有挑战性的行业。致力于发电厂的研究,对保持国民经济的持续、稳定、快速发展具有重要意义。发展、开发和完善发电厂的技术是每一个从事与其有关的技术人员的责任。发电厂热力系统及设备是一门政策性强、综合性强、与电厂生产实际紧密相连的专业课程。通过本课程的学习,培养学生树立安全、效益(经济效益、社会效益、环境效益)相统一的观点,以提高学生分析、研究、解决发电厂的有关生产实际问题的独立工作能力。

复习思考题

- 0.1 我国发电能源结构的特点是什么?一次能源需求和环境保护有何影响?
- 0.2 提高火电厂经济效益的主要途径有哪些?
- 0.3 与先进国家相比,我国火电方面还有哪些差距?

参考文献

- 1 郑体宽编. 热力发电厂. 北京: 中国电力出版社, 2001
- 2 郑体宽编. 热力发电厂. 北京: 中国电力出版社, 1995
- 3 王振铭. 热电联产集中供热论文集. 北京: 中国能源网, 2002
- 4 中国电力百科全书. 火力发电卷. 第二版, 北京: 水利电力出版社, 2001