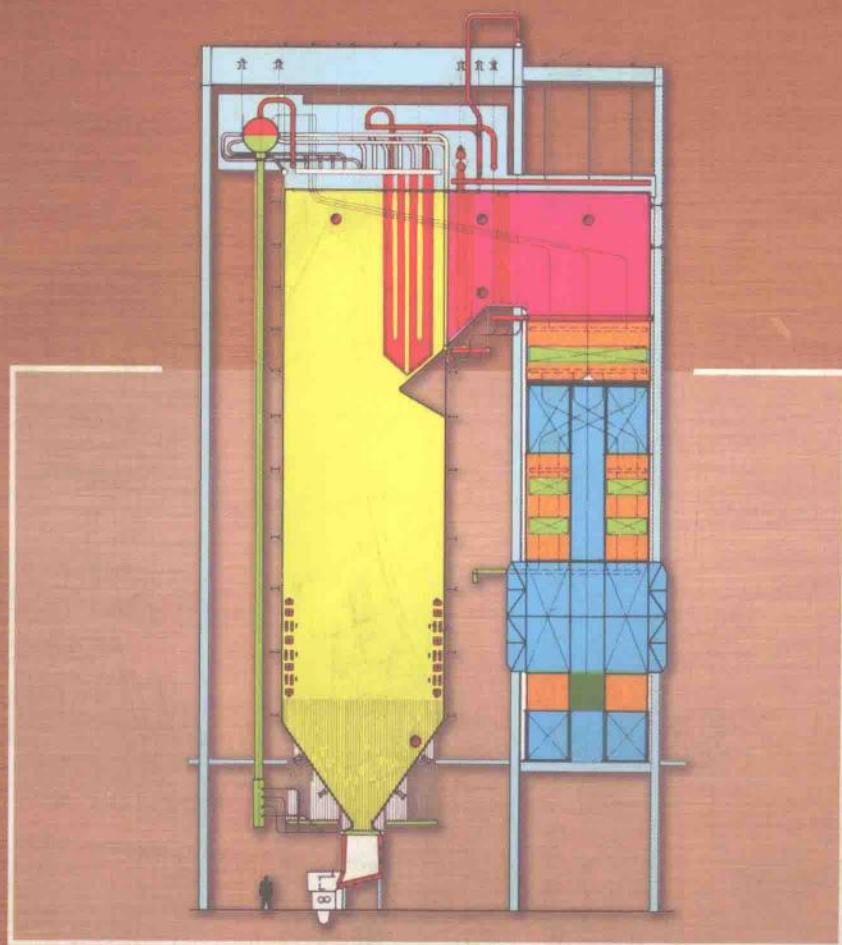


锅炉

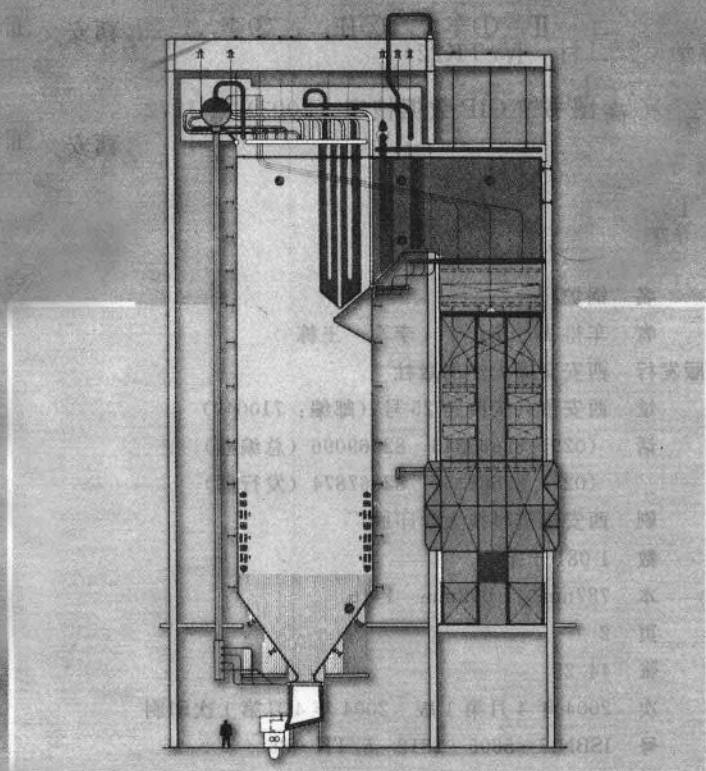
车得福 庄正宁 李军 王栋 编



西安交通大学出版社

锅炉

车得福 庄正宁 李军 王栋 编



西安交通大学出版社

· 西安 ·

内 容 简 介

本书是在总结作者多年教学经验的基础上,顺应当前的教学改革趋势,参照最新的国家标准和规范而编写的。全书共分十九章,全面系统地阐述了锅炉的基本工作原理、设计方法和发展趋势。本书可作为高等学校热能与动力工程专业的教学用书,也可供从事锅炉设计、制造、运行和研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉/车得福,庄正宁,李军,王栋编. —西安:西安交通大学出版社, 2004. 4
ISBN 7-5605-1812-5

I. 锅... II. ①车... ②庄... ③李... ④王... III. 锅炉—高等学校—教材 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 127201 号

书 名 锅炉
编 者 车得福 庄正宁 李军 王栋
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 82669096 (总编办)
(029) 82668357 82667874 (发行部)
印 刷 西安建筑科技大学印刷厂
字 数 1 081 千字
开 本 787mm×1 092mm 1/16
插 页 2
印 张 44.25
版 次 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5605-1812-5/TK·86
定 价 52.00 元

版权所有 侵权必究

序

——献给读者的回忆与思考

交通大学动力机械制造系锅炉制造专业，是 1952 我国高校院、系调整时成立的全新专业，也是我国大学最早引进苏联专家帮助专业建设的专业之一。它是我国培养锅炉设备设计、制造工程师的摇篮和热工高级专门人才的基地。1955 年国务院决定，交通大学由上海迁往西安，1959 又决定把交通大学迁到西安的部分独立建校，定名为西安交通大学。1956 年锅炉专业师生在我国著名锅炉专家陈学俊教授的领导下，顾逢时、徐士民、许晋源等一批知名学者来到西安创业。

47 年以来，西安交大锅炉专业不仅为国家培养了一大批博士、硕士，数以千计的本科生和学士以及更多的其他专业人才，同时还编著出版了近 30 种多类、多部、多版的专业教材、专著和参考书，在全国动力工程界有很深的影响，很高的声誉和很广泛的被采用率。

回顾过去，西安交大锅炉专业建设和教材建设经历了几个值得记忆的重要发展期。从 20 世纪 50 年代中期到 60 年代中期，是中国教授自编专业教材，从无到有的开创期。最有代表性的是 50 年代中期，陈学俊教授编的《锅炉学（上、中、下）》。到 60 年代初，受机械工业部教育司的委托，编写三部全国高等工科院校通用教材，它们是陈学俊、许晋源分别主编的《锅炉整体》、《锅内过程》和《炉内过程》，这三部书分别对锅炉本体结构布置和设计计算方法，锅内工质流动、传热原理和过程，以及炉内燃烧原理及过程做了深入、系统的论述。到 70 年代初期，徐士民、丁昭主编了《直流锅炉》。该书首次完整、系统地介绍了直流锅炉工作原理、结构布置及其运行特点。从此，全国各类锅炉教材、专著及参考书的编著工作蓬蓬勃勃地发展起来。

20 世纪 70 年代末，改革开放的春风给高等教育带来了空前的生机和活力。建国 30 年来，我国电力装机增长 30 倍，国产电站锅炉参数从中压—高压—超高压，并向亚临界压力发展。全国工业锅炉数量已达 25 万台。经济发展，科技进步，推动着锅炉教材必须全面充实和更新，并向系列化教材建设的方向发展。在整个 80 年代和 90 年代全国各家专业出版社出版的锅炉教材、专著和参考书近百种，可谓欣欣向荣。这个时期西安交通大学锅炉专业最有代表性的有陈学俊、陈听宽主编的《锅炉原理（上、下）》，许晋源、徐通模主编的《燃烧学》，章燕谋主编的《锅炉制造工艺学》，陈听宽、温龙主编的《新能源发电》，陈学俊著的《两相流与传热》、林宗虎、张永照主编的《锅炉手册》等一大批有影响的教材和专著。由于篇幅所限，不再一一列举。其中，《锅炉原理（上、下）》在 80 年代初被评为全国优秀教材。

随着我国市场经济体制的建立和发展，市场对专业的内涵及人才培养的架构和方式都提出了挑战。拓宽专业面，调整学生知识、知识结构和增强能力，提高对市场的适应性是核心。为此，90 年代初，锅炉专业正式拓宽内涵改名为热能工程，旨在着重培养学生掌握宽口径的基础理论知识、科学实验技能及解决科技问题的能力。西安交大热能工程专业新时期

跨世纪的教材建设任务，责无旁贷的落在了新一代年青教授们的身上，如何把宽口径的基础知识与专业对象的结合，以启迪读者的科学思维，引导学生学会归纳、提出科学问题，并掌握分析、解决科学问题的知识、方法和技能，这是跨世纪专业建设和教材建设必须面对的科学命题。90年代末，由赵钦新、惠世恩主编的《燃油燃气锅炉》及21世纪初由车得福著的《冷凝式锅炉及其系统》等著作，使热能工程专业知识内涵有了新的拓展和提升。最近，我们专业的年青教授仍在总结前辈教材编写成功经验的基础上，把过去分编专业教材的核心思考集中在一起，大量充实了新的思路和新的内容，编著形成一部独立、完整的知识结构体系和层次体系的专业教材，该书由车得福、庄正宁主编，定名为《锅炉》。我预祝这部新教材编写思路的探索成功，也希望西安交大锅炉专业（现热能工程专业）教师们的探索和开创精神一代一代传承；更坚信《锅炉》会成为全国乃至国外动力科技工作者们的亲密伙伴和初学者们的良师益友。

我非常乐意将上述的回忆和思考作为本书的序献给读者。请记住：历史的长河渊源流长，探索无止境，实践无止境，攀登无止境。



2004年元月

于西安交通大学能源馆

前言

西安交通大学是我国第一个设立锅炉制造专业的重点大学，自 1956 年成立以来，为国家培养了一大批高级工程技术人才、管理人才和高层次的研究人员，为我国能源动力工业的发展做出了重大贡献。西安交通大学相继编写、出版的锅炉专业教材和参考书一直得到国内兄弟院校和相关企业的广泛采用，享有很高的声誉。

《锅炉原理》是原锅炉制造专业最重要的一门专业课。原锅炉专业和热能与动力工程专业热能工程教学模块本科生所学的《锅炉原理》，一般拆分为《燃料与燃烧设备》、《锅炉本体布置及计算》、《锅内过程》和《锅炉受压元件强度》四门课程分别讲授，并有相应的教材。

随着教学改革的深化、科学技术的进步和专业口径的进一步拓宽，特别是全球经济一体化进程的加快以及我国加入 WTO，主要按前苏联的原有教学模式已不能适应新时期的发展形势。由于教学时数的大幅度减少，原有教材内容过于详尽，难以适应当前的教学需要。有鉴于此，在总结近年教学实践经验的基础上，我们组织力量编写了这本《锅炉》。编写遵循如下一些原则：适应专业口径拓宽或淡化专业的要求；尽量与欧美日等发达国家的教科书惯例或模式接轨；尽可能反映锅炉科学技术发展的最新成果。本书重点阐述工业及电站锅炉的基本结构与工作原理，受热面的布置原则，锅炉设计的指导思想和分析解决问题的方法。锅炉热力计算、空气动力计算、强度计算、水动力计算、管壁温度校核计算等的计算部分尽可能简述，舍去具体的计算步骤及计算例题，但仍为广大工程技术人员的工程设计提供了必要的计算公式和有关图表，详细计算可查阅相关标准方法及手册。为了使教材更具系统性，锅炉材料及强度的内容仍编入，并增加有关锅炉辅助设备的章节。各章分别给出复习思考题，以帮助理解本书所阐述的内容。

本教材的英文版正在编写中，不久将由西安交通大学出版社出版。

本书主要作为高等院校热能与动力工程专业本科生的教材，也可作为相关专业人员的参考书，并为从事锅炉设计、制造、科研和运行工作的工程技术人员提供參考。

本书由车得福（编写第 1~10 章及第 19 章）、庄正宁（编写第 11~14 和第 16 章）、李军（编写第 17、18 章）和王栋（编写第 15 章）共同编写，并由车得福和庄正宁任主编。

为了使读者对锅炉原理这门课程的演变有所了解，编者非常荣幸地邀请到教育部能源动力学科教学指导委员会主任委员、西安交通大学原校长徐通模教授为本书作了序。本书由原全国高等院校热能工程（锅炉）专业教学指导委员会主任委员、西安交通大学许晋源教授主审，他提出了很多宝贵的指导性和修改意见，编者谨在此表示衷心的感谢。本书引用了许多资料，我们谨在此向有关的国内外作者、专家和科技工作者一并致谢。

由于编者学识有限，书中难免存在遗漏、失误及缺点，敬请广大读者批评指正，以便再版时加以改进。

编 者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1. 1 能源利用现状	(1)
1. 2 锅炉及其在国民经济中的作用	(4)
1. 3 锅炉的基本组成及一般工作过程	(6)
第 2 章 锅炉的类别、参数及型号	(10)
2. 1 锅炉的分类	(10)
2. 2 锅炉的容量、参数和型号	(11)
2. 3 锅炉发展简史	(16)
2. 4 锅炉的性能指标	(20)
2. 4. 1 经济性	(20)
2. 4. 2 锅炉可靠性	(23)
2. 4. 3 机动性	(23)
第 3 章 锅炉燃料	(25)
3. 1 燃料的分类及其组成	(25)
3. 1. 1 燃料的分类	(25)
3. 1. 2 燃料的组成	(26)
3. 1. 3 燃料成分的基准及其换算	(28)
3. 2 固体燃料	(29)
3. 2. 1 煤炭及其特性	(29)
3. 2. 2 煤炭的分类	(37)
3. 2. 3 其他固体燃料	(41)
3. 3 液体燃料	(46)
3. 3. 1 油类燃料及其特性	(46)
3. 3. 2 其他液体燃料	(52)
3. 4 气体燃料	(56)
3. 4. 1 天然气燃料	(56)
3. 4. 2 人工气体燃料	(57)
3. 4. 3 气体燃料的特点	(59)
3. 4. 4 锅炉常用燃料气	(59)

第 4 章 物质平衡及热平衡	(61)
4. 1 燃烧所需的空气量	(61)
4. 1. 1 理论空气量	(61)
4. 1. 2 实际空气量、过量空气系数和漏风系数	(64)
4. 2 燃烧产物及其计算	(65)
4. 2. 1 理论烟气量和实际烟气量	(65)
4. 2. 2 不完全燃烧方程和完全燃烧方程	(68)
4. 2. 3 烟气分析及过量空气系数的确定	(70)
4. 3 燃烧温度和烟气焓	(75)
4. 3. 1 燃烧温度及其含义	(75)
4. 3. 2 烟气焓值的确定	(75)
4. 4 锅炉的热平衡	(77)
4. 4. 1 锅炉热效率	(77)
4. 4. 2 各项热损失	(79)
4. 4. 3 燃料消耗量	(82)
4. 4. 4 我国热效率计算方法同其他国家计算方法的比较	(82)
4. 4. 5 锅炉热效率试验	(85)
第 5 章 燃烧方式及其设备	(88)
5. 1 燃烧的基本知识	(88)
5. 1. 1 燃烧及其基本原理	(88)
5. 1. 2 着火和点火	(93)
5. 1. 3 煤、焦炭和煤粉的燃烧	(100)
5. 1. 4 油质燃料及气体燃料的燃烧	(106)
5. 1. 5 燃烧完全的条件	(112)
5. 1. 6 燃烧质量的评价	(113)
5. 1. 7 燃烧的方式	(113)
5. 2 层燃燃烧方式及其设备	(115)
5. 2. 1 层燃炉的工作特性	(115)
5. 2. 2 固定炉排炉	(118)
5. 2. 3 移动炉排炉	(125)
5. 2. 4 往复推饲炉和振动炉排炉	(141)
5. 3 室燃燃烧方式及其设备	(144)
5. 3. 1 煤粉炉	(144)
5. 3. 2 燃油炉	(176)
5. 3. 3 燃气炉	(189)
5. 4 流化床燃烧方式及其设备	(193)
5. 4. 1 流化床燃烧简介	(193)
5. 4. 2 鼓泡流化床的燃烧方式及其设备	(194)

5.4.3 循环流化床的燃烧方式及其设备	(204)
5.5 旋风燃烧方式及其设备	(218)
5.5.1 旋风燃烧的工作原理及特点	(218)
5.5.2 旋风炉的分类	(220)
5.5.3 旋风炉对燃料的适应性	(223)
第6章 燃料准备	(225)
6.1 固体燃料准备系统	(225)
6.1.1 工业锅炉房用煤的准备	(225)
6.1.2 煤粉及其特性	(229)
6.1.3 磨煤机	(235)
6.1.4 制粉系统	(244)
6.2 液体燃料的准备	(251)
6.2.1 燃油供应系统	(251)
6.2.2 燃油系统辅助设备	(255)
6.3 气体燃料的准备	(257)
6.3.1 燃气供应系统	(257)
6.3.2 燃气调压系统	(259)
第7章 锅炉各种受热面的作用及结构	(263)
7.1 水冷壁、凝渣管和锅炉管束	(263)
7.1.1 水冷壁	(263)
7.1.2 凝渣管束	(267)
7.1.3 锅炉管束	(267)
7.2 过热器及再热器	(268)
7.2.1 过热器和再热器的作用与结构	(268)
7.2.2 汽温变化及其调节的必要性	(273)
7.2.3 汽温调节的原理和主要方法	(276)
7.3 省煤器及空气预热器	(283)
7.3.1 省煤器的作用及结构	(283)
7.3.2 空气预热器的作用及结构	(288)
7.3.3 省煤器与空气预热器的联合布置	(295)
第8章 锅炉受热面的传热及计算	(299)
8.1 辐射受热面的传热计算	(299)
8.1.1 炉膛传热特点	(299)
8.1.2 炉膛传热计算方法的分类	(300)
8.1.3 炉膛传热计算的基本公式	(300)
8.1.4 炉内温度场的分布规律	(301)

8.1.5	炉膛黑度	(302)
8.1.6	火焰黑度	(303)
8.1.7	炉膛受热面的辐射特性	(305)
8.1.8	炉膛传热量及炉膛出口烟温的计算	(308)
8.1.9	炉膛出口烟温确定的原则及其影响因素	(316)
8.2	对流受热面的传热计算	(319)
8.2.1	传热过程及传热系数	(319)
8.2.2	对流放热系数	(322)
8.2.3	辐射放热系数	(324)
8.2.4	污染及冲刷不完全对传热的影响	(327)
8.2.5	传热温压	(330)
8.2.6	传热面积和流速的计算	(336)
8.2.7	强化受热面的传热	(339)
第9章	锅炉本体布置和热力计算	(341)
9.1	锅炉的热力系统	(341)
9.1.1	锅炉蒸汽参数对热力系统的影响	(341)
9.1.2	燃料性质对热力系统的影响	(346)
9.1.3	锅炉容量对热力系统的影响	(347)
9.2	基本设计参数的选择	(348)
9.2.1	排烟温度的选择	(348)
9.2.2	热空气温度的选择	(349)
9.3	受热面的布置和热力计算	(350)
9.3.1	锅炉外形布置	(350)
9.3.2	设计计算与校核计算	(355)
9.3.3	辐射式受热面的热力计算	(357)
9.3.4	对流受热面的热力计算	(363)
第10章	受热面的污染、腐蚀、磨损及振动	(370)
10.1	概述	(370)
10.2	结渣与积灰	(371)
10.2.1	结渣	(371)
10.2.2	干松灰	(373)
10.2.3	高温粘结灰	(375)
10.2.4	低温粘结灰	(376)
10.3	受热面的外部腐蚀	(379)
10.3.1	水冷壁管的腐蚀	(379)
10.3.2	过热器及再热器的腐蚀	(379)
10.3.3	低温受热面的腐蚀	(380)

10. 4 磨损	(383)
10. 4. 1 磨损机理分析	(383)
10. 4. 2 减轻或预防磨损的方法	(384)
10. 5 振动	(385)
10. 5. 1 对流受热面的振动	(385)
10. 5. 2 炉膛的振动	(388)
第 11 章 自然循环锅炉的水动力特性	(391)
11. 1 锅炉水动力学基础	(391)
11. 1. 1 锅炉水循环方式	(391)
11. 1. 2 汽液两相流体的流动型态	(394)
11. 1. 3 汽液两相流体的基本特性参数	(397)
11. 2 自然水循环原理	(400)
11. 2. 1 自然循环回路的水动力基本方程	(401)
11. 2. 2 循环回路的压差特性	(402)
11. 2. 3 循环回路工作点的确定方法	(404)
11. 3 自然循环水动力计算	(407)
11. 3. 1 水循环计算概述	(407)
11. 3. 2 循环回路的压降计算	(407)
11. 3. 3 水循环计算方法和步骤	(413)
11. 4 自然水循环的可靠性	(416)
11. 4. 1 上升管内工质的流动停滞和倒流	(416)
11. 4. 2 循环可靠性校验	(418)
11. 4. 3 水循环可靠性分析	(421)
第 12 章 强迫流动锅炉的水动力特性	(426)
12. 1 直流锅炉蒸发管的水动力特性	(426)
12. 1. 1 水平蒸发管的水动力特性	(426)
12. 1. 2 影响水平蒸发管水动力特性多值性的因素及其防止措施	(428)
12. 1. 3 垂直蒸发管的水动力特性	(432)
12. 2 并联管组的热偏差	(435)
12. 2. 1 热偏差	(435)
12. 2. 2 集箱效应	(438)
12. 2. 3 流量偏差	(442)
12. 2. 4 减小热偏差的措施	(447)
12. 3 蒸发管内工质的脉动现象	(449)
12. 3. 1 蒸发管内工质的脉动性流动	(449)
12. 3. 2 管间脉动的稳定性条件	(451)
12. 3. 3 脉动的影响因素及其防止措施	(452)

12. 4	强制循环和复合循环锅炉	(454)
12. 4. 1	强制循环锅炉	(454)
12. 4. 2	复合循环锅炉	(457)
第 13 章	锅炉管内的传热及壁温工况	(461)
13. 1	锅炉管内的传热	(461)
13. 1. 1	管内传热	(461)
13. 1. 2	沸腾传热恶化及其防止措施	(464)
13. 1. 3	各类传热区域放热系数的计算	(476)
13. 2	锅炉受热面管壁温度校核	(481)
13. 2. 1	受热面的管壁温度	(481)
13. 2. 2	受热面壁温校核	(483)
13. 2. 3	壁温校核点参数的确定	(490)
第 14 章	锅炉水处理与蒸汽净化	(498)
14. 1	锅炉水工况与水处理	(498)
14. 1. 1	锅炉用水概述	(498)
14. 1. 2	锅内结垢与腐蚀	(502)
14. 1. 3	锅炉水处理方法及其系统	(508)
14. 2	蒸汽净化	(519)
14. 2. 1	蒸汽污染及蒸汽品质	(519)
14. 2. 2	蒸汽溶盐的清除方法	(527)
14. 2. 3	汽水分离的方法	(530)
14. 2. 4	锅筒内部装置的布置	(536)
第 15 章	锅炉受压元件材料及强度计算	(541)
15. 1	锅炉受压元件用钢	(541)
15. 1. 1	锅炉受压元件的工作条件及对钢材的要求	(541)
15. 1. 2	受压元件钢材的机械性能	(541)
15. 1. 3	锅炉受压元件常用钢材	(544)
15. 2	受压部件强度计算的主要参数	(552)
15. 2. 1	许用应力及安全系数	(552)
15. 2. 2	计算压力	(553)
15. 2. 3	计算壁温	(553)
15. 3	各种受压元件的强度计算	(554)
15. 3. 1	强度计算的基本公式	(554)
15. 3. 2	管子和管道强度计算	(555)
15. 3. 3	锅筒和圆筒形集箱强度计算	(556)
15. 3. 4	凸形封头的强度计算	(559)

15.3.5	平端盖,平堵头及盖板的计算	(560)
15.3.6	孔的加强计算	(562)
15.3.7	筒体强度计算的一般步骤	(565)
15.3.8	受外压元件的强度计算	(565)
第 16 章	锅炉通风	(568)
16.1	锅炉通风计算原理	(568)
16.1.1	锅炉通风方式	(568)
16.1.2	锅炉通风动力计算原理	(569)
16.1.3	通风流动阻力计算	(571)
16.2	烟道及风道通风计算原则	(582)
16.2.1	烟道通风计算原则	(582)
16.2.2	风道通风计算原则	(586)
16.3	锅炉烟囱及通风设备	(588)
16.3.1	锅炉烟囱的功能	(588)
16.3.2	锅炉烟囱的设计方法	(589)
16.3.3	锅炉通风设备的选择	(593)
第 17 章	锅炉炉墙与构架	(596)
17.1	锅炉炉墙的作用及其基本要求	(596)
17.1.1	炉墙及其作用	(596)
17.1.2	对炉墙的基本要求	(596)
17.2	锅炉炉墙的种类及其典型结构	(597)
17.2.1	重型炉墙的结构	(598)
17.2.2	轻型炉墙的结构	(599)
17.2.3	敷管炉墙的结构	(602)
17.3	锅炉炉墙的材料及其性能	(604)
17.3.1	耐火材料	(604)
17.3.2	保温材料	(608)
17.3.3	防护材料	(611)
17.3.4	锅炉炉墙材料的图示方法	(611)
17.4	锅炉构架	(612)
17.4.1	锅炉构架及其类型	(612)
17.4.2	支承式锅炉构架	(613)
17.4.3	悬吊式锅炉构架	(614)
17.4.4	平台扶梯	(616)
第 18 章	锅炉辅助设备及主要附件	(618)
18.1	泵与风机	(618)

18.1.1	泵与风机的分类及其主要性能参数	(618)
18.1.2	泵与风机的设备性能	(619)
18.1.3	离心式泵与风机	(621)
18.1.4	轴流式泵与风机	(624)
18.2	锅炉除尘设备	(625)
18.2.1	烟气除尘的方法及设备概述	(626)
18.2.2	旋风除尘器	(628)
18.2.3	过滤式除尘器	(632)
18.2.4	湿洗式除尘器	(634)
18.2.5	电除尘器	(636)
18.3	锅炉除灰渣设备	(638)
18.3.1	机械除灰渣系统	(638)
18.3.2	水力除灰渣系统	(640)
18.3.3	气力除灰系统	(642)
18.4	锅炉烟气脱硫、脱硝技术及设备	(644)
18.4.1	烟气脱硫技术及设备	(644)
18.4.2	烟气脱氮技术及设备	(651)
18.4.3	烟气联合脱硫脱氮技术及设备	(653)
18.5	锅炉附件	(654)
18.5.1	安全阀	(654)
18.5.2	压力表	(657)
18.5.3	水位计	(658)
18.5.4	水位报警器	(663)
18.5.5	清灰装置	(665)
第 19 章	锅炉技术的进步	(669)
19.1	容量和参数	(669)
19.1.1	容量	(669)
19.1.2	参数	(672)
19.2	燃料结构	(673)
19.2.1	油气燃料的比例	(673)
19.2.2	垃圾能源化	(674)
19.3	洁净煤技术	(675)
19.3.1	煤炭洗选和加工	(676)
19.3.2	煤炭转化	(678)
19.3.3	先进燃煤发电技术	(679)
19.3.4	污染控制与废弃物管理	(684)
19.4	计算机的应用	(690)
参考文献		(692)

第 1 章 绪 论



1.1 能源利用现状

能源是指自然界中能够转换成热能、光能、电能和机械能等能量的物质资源。

人类告别茹毛饮血的原始生活,是以学会利用热能——火为标志的。远古时代的人类主要靠消耗(燃烧)木材来取得热能。随着人类文明的演化,今天我们通过许多途径获得热能。也就是说,我们已经发现了多种可以利用的能源。

以原始状态存在于自然界、不需要加工或转换就可以直接使用的能源,称为天然能源或一次能源,如原煤、原油、天然气、水能、生物质能、核燃料以及太阳能、地热能、潮汐能等。经过加工或形式转换的能源称为二次能源,如焦炭、汽油、电力、蒸汽等等。

柴草、煤炭和石油是人类最早使用的主要能源。从远古时期到 19 世纪,木柴和杂草作为燃料,为人类生活和生产活动提供了大部分的热能。从 19 世纪 80 年代开始,煤炭提供的能量超过木柴,成为人类使用的主要能源。20 世纪 60 年代,石油在世界能源消费中占据了首要地位。目前,天然气也已成为广泛使用的能源。

煤炭、石油、天然气以及水能等能源,在现有科学技术条件下已经被广泛使用,称为常规能源或传统能源。由于技术、经济条件的限制,正在研究开发而尚未得到大规模利用的能源称为新能源,如核聚变能、太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能、氢能、海洋热能等。新能源不仅数量巨大,种类繁多,而且使用清洁,不易污染环境。又因它们(除核能外)消耗与补充速度可以持平,故又称连续性能源,或可再生能源。水能也是可再生能源。

随着常规能源的迅速耗竭,人类不得不努力寻求可连续再生的、无污染的新能源。核能在我国尚未作为主要能源使用,故通常划在新能源之列。但核裂变能在有些国家已使用数十年,如法国、日本等,核电占总发电量的很大比例(30%~77%),因此,这些国家已不再将核裂变能列入新能源范围,新能源中的核能只指核聚变能。

与化石燃料相比,通常认为新能源不造成环境污染。但随着新能源的广泛使用,局部的影响也会给人类和自然界带来严重危害,如太阳能电池生产中使用的有毒物质、风能装置的噪声、地热能开发溢出的硫化氢等。因此,新能源的开发利用同样要充分考虑环境保护。

我国的一次能源资源在世界占有重要地位。根据地质勘探工作的成果,我国常规能源(包括煤、油、气和水电,水能为可再生能源,按使用 100 年计算)探明(技术可开发)总资源量超过 8 230 亿吨标准煤(热值为 29 300 kJ/kg 的煤称为标准煤),探明(经济可开发)剩余可采总储量 1 392 亿吨标准煤,约占世界总量的 10.1%。能源探明总储量的结构为:原煤 87.4%,原油 2.8%,天然气 0.3%,水能 9.5%。能源剩余可采总储量的结构为:原煤 58.8%,原油 3.4%,天然气 1.3%,水能 36.5%(见表 1-1)。

表 1-1 我国常规能源资源储量及结构

能源	能源总量折合 标准煤/($\times 10^8$ t)	原煤储量 /($\times 10^8$ t)	原油储量 /($\times 10^8$ t)	天然气储量 /($\times 10^8$ m ³)	水能 /($\times 10^8$ kW·h)
总资源量	40 466.4	50 592.2	1 000.0	381 400.0	59 221.8
结构/%	100.0	89.3	3.5	1.3	5.9
世界总量	1 048 809.7	1 195 748.4	51 172.8	79 330 827.1	413 095.0
我国所占比例/%	3.9	4.2	2.0	0.5	14.3
探明总储量 (技术可开发)	8 231.0	10 077.0	160.0	20 606.0	19 233.0
结构/%	100.0	87.4	2.8	0.3	9.5
世界总量	329 697.5	352 749.6	25 674.6	26 630 075.2	117 549.0
我国所占比例/%	2.5	2.9	0.6	0.1	16.4
资源探明率/%	20.3	19.9	16.0	5.4	74.3
资源保证年限	766.8	1 007.7	98.2	13 668.9	12 600.0
2000 年产量	10.9	10.0	1.6	277.3	2 224.0
结构/%	100.0	67.2	21.4	3.4	8.0
剩余可采储量 (经济可开发)	1 391.9	1 145.0	32.7	13 668.9	12 600.0
结构/%	100.0	58.8	3.4	1.3	36.5
世界总量	13 832.9	9 842.1	1 402.8	1 493 811.0	73 053.0
我国所占比例/%	10.1	11.6	2.3	0.9	17.2
资源保证年限/年	129.7	114.5	20.1	49.3	

从能源资源总量来评价,可以说我国是能源资源丰富的国家之一。但是,从能源品种、地区分布及人口等因素分析,我国能源资源的勘探和开发利用存在着几个先天的矛盾或问题,需要采取有效的战略措施加以妥善解决。例如,人均能源资源占有量低,节约能源是长期的任务;能源资源地区分布不均衡,要妥善解决能源长距离输送问题;能源资源结构以煤为主,应多途径优化能源消费结构。

我国是一个能源资源大国,更是一个人口大国。我国能源资源总量位于世界前列,水能资源居世界第一,煤炭资源可采储量居世界第三。但按人口平均的能源资源占有量来计算,我国 2000 年人均煤炭可采储量 90 t,人均石油剩余可采储量 3 t,人均天然气剩余可采储量 1 080 m³,分别是世界平均水平(165 t、23 t 和 24 988 m³)的 54.9%、11.0%和 4.3%;是美国(903 t、13 t 和 17 025 m³)的 9.7%、23.1%和 6.3%;是 OECD(经济合作与发展组织)国家(404 t、10 t 和 12 048 m³)的 22.3%、30.0%和 9.0%。从这个角度来说,我国又是一个能源资源贫国,要提倡节约能源,把节能视为煤、油、气和水能之后的“第五能源”,同时,要讲究能源利用效率和经济效益,坚持能源和经济社会可持续发展。

我国能源资源总体的地区分布是北多南少、西富东贫,能源品种的地区分布是北煤、南水和西油气,而我国经济发达、能源需求量大的地区是东部和东南沿海地区。能源资源分布和经

济布局的矛盾,决定了我国能源的流向是由西向东和由北向南,“北煤南运”等能源大量输送的格局是不可避免的。研究制订和贯彻落实能源运输战略,是实施我国能源可持续发展战略的重要组成部分。“西电东送”和“西气东输”等工程对我国经济的持续、高速发展将起至关重要的作用。

我国常规能源资源以煤炭为主的结构,决定了能源生产结构、能源消费结构以及电源结构以煤炭为主的特点。煤炭与其他能源相比,利用效率低,污染严重。因此,煤炭的清洁利用必须引起高度重视,这是提高我国能源效率、优化能源结构的根本出路。

为了解决环境保护问题,从能源资源开发来分析,我国调整和优化能源消费结构的途径就是适当增加清洁能源,如油、气和水能的比例。水能是可再生的清洁能源,我国能源资源中水能是仅次于煤炭的第二能源,水能在能源剩余可采储量中的比例高达 36.5%,2000 年经济可开发水能资源的利用程度仅为 17.6%,远远低于水能资源丰富的发达国家的水平。因此,我国水能资源的进一步勘察与开发应放在优先位置。

从石油地质储量来分析,我国油气资源的探明程度尚低,勘探及开发潜力很大。但是,从能源整体发展来看,我国油气资源在能源总资源结构中所占比例很低(石油 3.5%,天然气 1.3%),过度开采油气资源将会影响经济社会的可持续发展。当前,我国能源生产结构中石油的比例(21.4%)远远高于能源资源结构中石油的比例(3.5%),增加国内石油生产和供应的潜力是有限的。与石油相比,天然气资源的探明程度更低,勘探及开发潜力较大。我国从 1993 年起,已成为一个纯粹的石油输入国,从 1996 年起已成为纯粹的原油输入国。

在水资源方面,尽管我国是世界上水电资源最丰富的国家,但开发水电资源仍然存在巨大的困难,许多大的水电资源都远离沿海的负荷中心,给电能的传输及其由此形成的互联电力系统的稳定性带来了巨大的压力。

我国新能源和可再生能源资源也是很丰富的,应该把开发利用新能源和可再生能源列为能源可持续发展战略的重要组成部分,这对环境保护和优化能源结构有积极和深远的意义。

我国能源消费结构中对煤炭的过分依赖导致了环境污染的加剧。煤炭的生产和利用是对大气污染、酸雨等区域性环境问题以及气候变化等全球环境问题的主要影响因素。我国煤炭资源的特点是高硫、高灰煤比重大,大部分原煤的灰分含量在 25%左右,约 13%的原煤含硫量高于 2%,而且高硫煤产量在逐年增加。

我国目前主要的大气污染物为烟尘、二氧化硫和氮氧化物等,主要来自化石燃料燃烧和生产工艺过程排放。2000 年,我国烟尘和二氧化硫排放量分别达到 1 165 万 t 和 1 995 万 t(见表 1-2)。从各地区情况来看,烟尘和二氧化硫排放量最大的地区为高硫煤产区及能源生产和消费量大的地区,这些地区的空气污染比较严重。从各行业看,烟尘和二氧化硫的排放具有非常明显的行业特征,电力、煤气及热水生产供应业的二氧化硫排放量大约占全国工业二氧化硫排放量的 50.6%。

表 1-2 2000 年我国主要大气污染物排放量 (×10⁴t)

项目	总量	工业排放量	生活排放量
烟尘	1 165.4	953.3	212.1
SO ₂	1 995.1	1 612.5	382.6