



“十一五”规划教材

锅 炉

(第2版)

车得福 庄正宁 编
李 军 王 栋



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十一五”规划教材

锅炉

(第2版)

车得福 庄正宁 编
李 军 王 栋



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书全面系统地介绍锅炉工作的基本原理、锅炉设计基础及运行的基本方法。本书的特色是电站锅炉和工业锅炉并重。主要内容包括锅炉基本知识及基本型式;锅炉燃料及燃烧计算和热平衡计算,燃料准备,燃烧方式及燃烧设备,锅炉各种受热面的作用及结构,锅炉整体布置方法,锅炉传热性能计算方法,受热面的污染、腐蚀、磨损及振动,锅炉水动力学及锅内传热基础知识,自然循环锅炉及强迫循环锅炉的水动力特性,受热面壁温校核方法,锅炉水处理与蒸汽净化,锅炉用钢及强度计算,锅炉通风,炉墙与构架,锅炉运行。

本书可用于高等院校能源动力类专业的“锅炉原理”教材及其它相关专业的教学参考书,也可供从事锅炉设计、制造、运行及科学研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉/车得福等编著. —2版. —西安:西安交通大学出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-5605-2968-4

I. 锅… II. 车… III. 锅炉-高等学校-教材 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 142054 号

书 名 锅 炉(第 2 版)
编 著 车得福 庄正宁 李 军 王 栋
责任编辑 邹 林

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 西安市新城区兴庆印刷厂

开 本 787 mm×1 092mm 1/16 印张 41 字数 995 千字
版次印次 2008 年 10 月第 2 版 2008 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2968-4/TK·105
定 价 56.00 元

读者购书、书店添货时,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

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带领下,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,责无旁贷地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:历史的长河渊远流长,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(第1版)

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。

作 者

2003年10月

前言(第2版)

作为我校能动类专业锅炉原理课程的教材,本书的第1版于2004年出版。本书的英文版(Boilers—Theory, design and operation)也已由西安交通大学出版社于2008年1月出版。随着教学改革不断深化以及锅炉技术的不断进步,作者深感本书第1版的内容已经不能完全适应目前的教学需要,有必要进行修订、再版。

经过几十年的建设和发展,西安交通大学的锅炉专业形成了电站锅炉和工业锅炉设计和制造并重进行教学的鲜明特色。本书的编写仍努力秉承这一特色。

本书第2版的编写过程中,不仅最大限度地改正了第1版的谬误及表述不清之处,并对大部分章节的内容都进行了更新和增删。具体是:将第1版中第1章结论与第2章锅炉的类别、参数及型号以及第19章锅炉技术的进步等内容合并作为第2版的第1章锅炉基本知识;将第1版中的第8章锅炉受热面的传热计算及第9章锅炉本体布置和热力计算的内容重新编排,分别改为第2版第8章锅炉整体布置和第9章锅炉传热性能计算;将第1版中的第11章自然循环锅炉的水动力特性、第12章强迫流动锅炉的水动力特性、第13章锅炉管内的传热及壁温工况等内容,分别改为第2版第11章锅炉水动力学及锅内传热基础、第12章自然循环锅炉水动力特性、第13章强迫流动锅炉水动力特性、第14章锅炉受热面管壁温度校核;删除第1版的第18章锅炉辅助设备及主要部件,新增锅炉型式简介、锅炉受热面管壁温度校核、锅炉运行3章。全书仍共有19章。

本书重点在于阐述原理,所介绍的内容、公式、图表以及设计、运行方法并不一定是最权威的,不能指望采用本书就能设计出一个完整的锅炉产品。锅炉的实际设计还应借助相关手册及企业的内部标准及经验。

全书采用国际单位制。个别地方为了叙述方便而需要采用非国际单位制时,将在文中给予说明。

本书第1章~第10章及第19章由车得福改编或新编,第11章~第15章及第17章由庄正宁和车得福共同改编,第16章由王栋改编,第18章由李军改编。全书由车得福主编并统稿。本书初稿完成后,承蒙贾鸿祥教授认真审阅。对他所指出的错误都进行了改正,对不妥表述与作者进行了认真讨论后进行了修改。这一切都使本书增色不少。在此,谨向贾鸿祥教授深表感谢。

本书编写过程中,得到东方锅炉(集团)股份有限公司、上海锅炉厂有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、武汉锅炉股份有限公司、广州锅炉有限公司等锅炉制造企业的大力帮助,也得到西安交通大学能源与动力工程学院部分老师的关心和帮助,在此作者表示诚挚谢意。

由于作者学识浅薄,更加之实践经验有限,书中谬误及不妥之处实难避免,敬请读者批评指正。

作 者

2008.3

目 录

第 1 章 锅炉基本知识	(1)
1.1 锅炉与能源利用	(1)
1.1.1 能源利用现状	(1)
1.1.2 锅炉在国民经济中的作用	(4)
1.1.3 锅炉的基本组成及一般工作过程	(7)
1.2 锅炉参数及性能指标	(10)
1.2.1 锅炉的分类	(10)
1.2.2 锅炉参数和型号表示	(11)
1.2.3 锅炉的性能指标	(16)
1.3 锅炉发展历史、现状和未来	(18)
1.3.1 锅炉的演变	(18)
1.3.2 我国锅炉工业现状	(20)
1.3.3 锅炉技术发展趋势	(21)
第 2 章 锅炉型式简介	(31)
2.1 自然循环锅炉	(31)
2.1.1 层燃燃烧自然循环锅炉	(31)
2.1.2 煤粉燃烧自然循环锅炉	(33)
2.1.3 循环流化床燃烧自然循环锅炉	(37)
2.1.4 W 型火焰燃烧自然循环锅炉	(38)
2.2 强制循环锅炉	(40)
2.2.1 强制循环热水锅炉	(40)
2.2.2 控制循环锅炉	(40)
2.3 直流锅炉	(42)
2.3.1 小容量直流锅炉	(42)
2.3.2 亚临界参数电站直流锅炉	(42)
2.3.3 超临界参数锅炉	(44)
2.4 复合循环锅炉	(46)
2.4.1 全负荷复合循环锅炉	(46)
2.4.2 部分负荷复合循环锅炉	(47)
第 3 章 锅炉燃料	(51)
3.1 燃料的分类及其组成	(51)
3.1.1 燃料的分类	(51)

3.1.2	燃料的组成	(52)
3.1.3	燃料成分的基准及其换算	(54)
3.2	固体燃料	(56)
3.2.1	煤及其特性	(56)
3.2.2	煤炭的分类	(65)
3.2.3	其它固体燃料	(69)
3.3	液体燃料和气体燃料	(72)
3.3.1	油类燃料及其特性	(72)
3.3.2	其它液体燃料	(78)
3.3.3	天然气燃料	(79)
3.3.4	人工气体燃料	(80)
3.3.5	气体燃料的特点	(82)
第4章	物质平衡与热平衡	(85)
4.1	燃烧所需空气量	(85)
4.1.1	理论空气量	(85)
4.1.2	实际空气量、过量空气系数和漏风系数	(88)
4.2	燃烧产物及其计算	(89)
4.2.1	理论烟气量和实际烟气量	(89)
4.2.2	完全燃烧方程和不完全燃烧方程	(92)
4.2.3	烟气分析及运行过量空气系数的确定	(95)
4.3	燃烧温度和烟气焓	(98)
4.3.1	燃烧温度及其涵义	(98)
4.3.2	烟气焓值及燃烧温度的确定	(99)
4.4	锅炉的热平衡	(100)
4.4.1	锅炉热效率	(100)
4.4.2	各项热损失	(102)
4.4.3	燃料消耗量	(105)
4.4.4	中外热效率计算方法比较	(106)
第5章	燃烧方式及燃烧设备	(110)
5.1	燃烧的基本知识	(110)
5.1.1	燃烧及其基本原理	(110)
5.1.2	着火和点火	(115)
5.1.3	煤、焦炭和煤粉的燃烧	(122)
5.1.4	油质燃料及气体燃料的燃烧	(125)
5.1.5	燃烧完全的条件	(129)
5.1.6	燃烧质量的评价	(129)
5.1.7	燃烧的方式	(130)

5.2 层燃燃烧方式及其设备	(132)
5.2.1 层燃炉的工作特性	(132)
5.2.2 固定炉排炉	(134)
5.2.3 移动炉排炉	(139)
5.2.4 往复推饲炉和振动炉排炉	(151)
5.3 室燃燃烧方式及其设备	(154)
5.3.1 煤粉炉	(154)
5.3.2 燃油炉	(174)
5.3.3 燃气炉	(184)
5.4 流化床燃烧方式及其设备	(188)
5.4.1 流化床燃烧简介	(188)
5.4.2 沸腾燃烧方式及其设备	(189)
5.4.3 循环流化床燃烧方式及其设备	(196)
5.5 旋风燃烧方式及其设备	(206)
5.5.1 旋风燃烧及其特点	(206)
5.5.2 旋风炉的分类	(208)
5.5.3 旋风炉对燃料的适应性	(210)
第6章 燃料准备	(213)
6.1 燃料准备的一般原则	(213)
6.1.1 工业锅炉的燃料供应	(213)
6.1.2 电站锅炉的燃料供应	(214)
6.2 煤粉及其制备	(215)
6.2.1 煤粉及其特性	(215)
6.2.2 磨煤机	(220)
6.2.3 制粉系统	(230)
6.3 液体和气体燃料的准备	(236)
6.3.1 燃油供应系统简介	(236)
6.3.2 燃气供应系统简介	(238)
第7章 锅炉各种受热面的作用及结构	(243)
7.1 水冷壁、凝渣管和对流管束	(243)
7.1.1 炉膛水冷壁	(243)
7.1.2 凝渣管	(250)
7.1.3 锅炉管束	(250)
7.2 过热器及再热器	(251)
7.2.1 过热器及再热器的作用及结构	(251)
7.2.2 汽温变化及其调节的必要性	(259)
7.2.3 汽温调节的原理和主要方法	(263)

7.3 省煤器及空气预热器	(272)
7.3.1 省煤器的作用及结构	(272)
7.3.2 空气预热器的作用及结构	(277)
7.3.3 省煤器与空气预热器的联合布置	(286)
第8章 锅炉整体布置	(290)
8.1 锅炉的热力系统	(290)
8.1.1 蒸汽参数对热力系统的影响	(290)
8.1.2 燃料性质对热力系统的影响	(296)
8.1.3 容量对热力系统的影响	(296)
8.1.4 各种受热面布置原则	(297)
8.2 锅炉外形布置	(298)
8.2.1 工业锅炉的外形	(298)
8.2.2 电站锅炉的外形	(301)
8.3 基本参数的选取	(303)
8.3.1 排烟温度的选取	(303)
8.3.2 热空气温度的选取	(305)
8.3.3 炉膛放热强度	(305)
8.3.4 炉膛出口烟温的选取	(307)
8.3.5 空气和烟气流速	(308)
第9章 锅炉传热性能计算	(310)
9.1 锅炉传热计算的类型和方法	(310)
9.1.1 传热性能计算的任务和类型	(310)
9.1.2 锅炉传热计算的步骤	(312)
9.2 辐射受热面的传热计算	(313)
9.2.1 炉膛传热过程及特点	(313)
9.2.2 烟气的辐射特性	(313)
9.2.3 炉膛受热面的辐射特性	(324)
9.2.4 炉膛传热计算方法及基本公式	(327)
9.2.5 炉膛传热计算的相似理论法	(329)
9.2.6 炉膛传热计算的其他方法简介	(340)
9.2.7 炉膛传热计算步骤	(342)
9.2.8 其它辐射受热面的传热计算	(348)
9.3 对流受热面的传热计算	(349)
9.3.1 对流受热面及其传热特点	(349)
9.3.2 对流放热系数	(351)
9.3.3 辐射放热系数	(353)
9.3.4 传热温压	(355)

9.3.5	传热面积和流速	(357)
9.3.6	污染及冲刷不完全对传热的影响	(360)
9.3.7	强化受热面的传热计算	(363)
9.3.8	对流受热面传热计算的方法	(368)
第 10 章	受热面污染、腐蚀、磨损及振动	(376)
10.1	结渣与积灰	(376)
10.1.1	结渣	(377)
10.1.2	干松灰	(379)
10.1.3	高温粘结灰	(381)
10.1.4	低温粘结灰	(382)
10.2	受热面的外部腐蚀	(384)
10.2.1	水冷壁管的腐蚀	(385)
10.2.2	过热器及再热器的腐蚀	(385)
10.2.3	低温受热面的腐蚀	(386)
10.3	磨损	(389)
10.3.1	磨损机理分析	(389)
10.3.2	减轻或预防磨损的方法	(390)
10.4	振动	(391)
10.4.1	对流受热面的振动	(391)
10.4.2	炉膛的振动	(394)
第 11 章	锅炉水动力学及锅内传热基础	(397)
11.1	流型及流动参数	(397)
11.1.1	锅炉水循环方式	(397)
11.1.2	汽液两相流的流型	(400)
11.1.3	汽液两相流的基本参数	(403)
11.2	流动阻力	(406)
11.2.1	摩擦阻力	(406)
11.2.2	重位压降	(407)
11.2.3	加速压降	(409)
11.2.4	局部阻力	(409)
11.3	锅炉管内传热	(410)
11.3.1	管内传热过程	(411)
11.3.2	沸腾传热恶化及其防止措施	(413)
11.3.3	各类传热区域放热系数计算	(424)
11.4	集箱水动力学	(428)
11.4.1	分配集箱和汇集集箱中的压力变化	(428)
11.4.2	集箱的连接型式及其对流量分配的影响	(431)

11.4.3	集箱中的两相流动	(434)
11.5	并联管组的热偏差	(435)
11.5.1	热偏差的产生及其影响因素	(435)
11.5.2	减小热偏差的措施	(443)
第 12 章	自然循环锅炉水动力特性	(447)
12.1	自然水循环原理	(447)
12.1.1	自然循环回路的水动力基本方程	(447)
12.1.2	循环回路的压差特性	(449)
12.1.3	循环回路工作点的确定方法	(451)
12.2	自然循环水动力计算	(453)
12.2.1	水动力计算的目的和内容	(453)
12.2.2	循环回路的压降计算	(454)
12.2.3	水动力计算方法和步骤	(457)
12.3	自然水循环的可靠性	(457)
12.3.1	上升管内工质的流动停滞和倒流	(457)
12.3.2	循环可靠性校验	(459)
12.3.3	水循环可靠性分析	(461)
第 13 章	强迫流动锅炉水动力特性	(467)
13.1	直流锅炉蒸发管的水动力特性	(467)
13.1.1	水平蒸发管的水动力特性	(467)
13.1.2	多值性的影响因素及其防止措施	(469)
13.1.3	垂直蒸发管的水动力特性	(473)
13.2	蒸发管内工质的脉动现象	(476)
13.2.1	脉动型式及产生机理	(476)
13.2.2	管间脉动的稳定性条件	(479)
13.2.3	脉动的影响因素及其防止措施	(480)
13.3	强制循环和复合循环锅炉	(482)
13.3.1	强制循环锅炉	(482)
13.3.2	复合循环锅炉	(485)
第 14 章	锅炉受热面管壁温度校核	(489)
14.1	锅炉受热面管壁温度校核计算基础	(489)
14.1.1	沿圆周均匀受热时圆管的管壁温度	(490)
14.1.2	沿圆周不均匀受热时圆管的管壁温度	(491)
14.1.3	膜式水冷壁的管壁及鳍片温度	(494)
14.2	锅炉受热面管壁温度校核	(497)
14.2.1	壁温校核点处的工质温度	(497)

14.2.2	壁温校核点处的最大热负荷	(500)
第 15 章	锅炉水处理与蒸汽净化	(504)
15.1	锅炉水工况与水处理	(504)
15.1.1	锅炉用水概述	(504)
15.1.2	锅内结垢与腐蚀	(507)
15.1.3	锅炉水处理方法及其系统	(510)
15.2	蒸汽净化	(520)
15.2.1	蒸汽污染及蒸汽品质	(520)
15.2.2	蒸汽溶盐的清除方法	(527)
15.2.3	汽水分离的方法	(530)
15.2.4	锅筒内部装置的布置	(535)
第 16 章	锅炉材料及强度	(541)
16.1	锅炉用钢	(541)
16.1.1	锅炉钢材的工作条件	(541)
16.1.2	受压元件钢材的强度性能	(541)
16.1.3	锅炉钢材的种类	(544)
16.2	受压部件强度计算的主要参数	(552)
16.2.1	许用应力及安全系数	(552)
16.2.2	计算压力	(553)
16.2.3	计算壁温	(553)
16.3	各种受压部件的强度	(554)
16.3.1	强度计算的基本公式	(554)
16.3.2	管子和管道强度计算	(554)
16.3.3	锅筒和圆筒形集箱强度计算	(556)
16.3.4	凸形封头的强度计算	(558)
16.3.5	平端盖、平堵头及盖板的计算	(559)
16.3.6	孔的加强计算	(561)
16.3.7	筒体强度计算的一般步骤	(563)
16.3.8	受外压元件的强度计算	(564)
第 17 章	锅炉通风	(567)
17.1	通风计算原理	(567)
17.1.1	锅炉通风方式	(567)
17.1.2	通风动力计算原理	(568)
17.1.3	通风阻力计算	(569)
17.2	烟道及风道通风计算原则	(575)
17.2.1	烟道通风计算原则	(575)

17.2.2	风道通风计算原则	(579)
17.3	烟囱及通风设备	(582)
17.3.1	烟囱的功能	(582)
17.3.2	烟囱的设计方法	(582)
17.3.3	通风设备的选择	(584)
第 18 章	锅炉炉墙与构架	(586)
18.1	锅炉炉墙的作用及对其基本要求	(586)
18.1.1	炉墙及其作用	(586)
18.1.2	对炉墙的基本要求	(586)
18.2	锅炉炉墙的种类及其典型结构	(587)
18.2.1	重型炉墙的结构	(588)
18.2.2	轻型炉墙的结构	(589)
18.2.3	敷管炉墙的结构	(592)
18.3	锅炉炉墙的材料及其性能	(593)
18.3.1	耐火材料	(593)
18.3.2	保温材料	(597)
18.3.3	防护材料	(600)
18.3.4	锅炉炉墙材料的图示方法	(601)
18.4	炉墙热力计算	(601)
18.4.1	炉墙内壁最高温度和平均温度的计算	(601)
18.4.2	炉墙的校核计算	(604)
18.5	锅炉构架	(605)
18.5.1	锅炉构架及其类型	(605)
18.5.2	支承式锅炉构架	(606)
18.5.3	悬吊式锅炉构架	(607)
18.5.4	平台扶梯	(608)
第 19 章	锅炉运行	(611)
19.1	锅炉的启动	(611)
19.1.1	锅炉启动的主要方式	(611)
19.1.2	锅炉启动的必要条件	(613)
19.1.3	锅筒型锅炉的启动	(614)
19.1.4	直流锅炉的启动	(618)
19.2	锅炉的运行与调节	(624)
19.2.1	工业锅炉的运行与调节	(624)
19.2.2	电站锅炉的运行与调节	(627)
19.2.3	锅炉的变压运行	(632)

第 1 章 锅炉基本知识

锅炉是一种以消耗化石燃料为主的供热设备。国情决定了我国的锅炉燃料要以煤为主,并且这种状况在今后相当长的时期内都不会发生根本改变。本章主要介绍我国的能源利用现状、锅炉在国民经济发展和日常生活中的重要作用、锅炉的基本组成和一般工作过程、锅炉的分类、锅炉参数和型号表示、锅炉性能指标、锅炉发展简史及锅炉技术的发展趋势等。

1.1 锅炉与能源利用

1.1.1 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,是从学会利用热能——火为标志的。当然,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,到今天为止,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,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。

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大部分的热能。从 19 世纪 80 年代开始,煤炭提供的能源超过木柴,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%),已不将核裂变列入新能源范围,这些国家新能源中的核能只指核聚变。

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,等等。因此,新能源的开发利用同样要充分考虑环境保护。

我国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、气和水能,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 8230 亿 tce(吨标准煤)(热值为 29300 kJ/kg 的煤称为标准煤),探明(经济可开发)剩余可采总储量 1392 亿 tce,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^[2]

能源	能源总量(折合标准煤)/10 ⁸ t	原煤/10 ⁸ t	原油/10 ⁸ t	天然气/10 ⁸ m ³	水能/10 ⁸ kW·h
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	—
资源保证年限/y	766.8	1 007.7	98.2	74.3	—
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/y	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。但从能源品种、地区分布以及人口等因素分析,我国能源资源的勘探和开发利用存在着先天的矛盾和问题,需要采取有效战略及措施加以妥善解决。例如,人均能源资源占有量低,能源节约是长期的任务;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。

《中国能源蓝皮书》^[1]明确指出,我国目前的能源现状可描述为:国内能源供应紧缺、人均能源消费偏低、能源利用效率不高、人均能源资源不足、环境约束日益显现、交通运输压力过大。我国是一个能源资源大国,更是一个人口大国。尽管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 1080 m³,分别是世界平均水平(165 t、23 t 和 24988 m³)的 54.9%、11.0% 和 4.3%;是美国(903 t、13 t 和 17025 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 12048 m³)的 22.3%、30.0% 和 9.0%。因此,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。