

工业锅炉 节能减排应用技术

史培甫 ◎ 主编

赖光楷 ◎ 主审



● 以工业锅炉节能减排为主线，从各个侧面论述了节能减排有关内容 ●

● 突出科学性、先进性、实用性 ●

● 理论联系实际，深入浅出，通俗易懂，图文并茂，实例生动 ●

全书涵盖：工业锅炉安全与经济运行 / 燃煤锅炉强化燃烧技术 / 燃气锅炉节能 /

循环流化床锅炉洁净燃烧及洁净煤技术 / 水处理新技术 / 环保治理 /

供热系统节能减排先进实用技术 / 锅炉检验与修理 / 工业锅炉自动控制技术

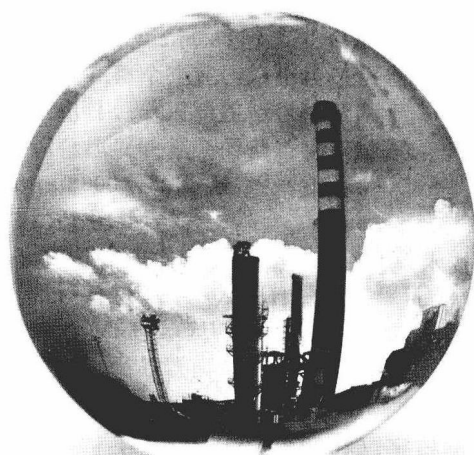


化学工业出版社



工业锅炉 节能减排应用技术

史培甫 主编 赖光楷 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以工业锅炉节能减排为主线,从各个侧面论述了节能减排有关内容,突出科学性、先进性、实用性,理论联系实际,深入浅出,通俗易懂,图文并茂,并举以生动实例。

全书共分十一章,涵盖了工业锅炉安全与经济运行,燃煤锅炉强化燃烧技术,燃气锅炉节能,循环流化床锅炉洁净燃烧及洁净煤技术,水处理新技术,环保治理,供热系统节能减排先进实用技术,锅炉检验与修理以及工业锅炉自动控制技术。

本书可供能源管理人员、锅炉工程技术人员、环保科技人员、锅炉安全与检验专业人员、锅炉设计与修理维护人员、水处理工作者以及城镇供热系统人员阅读,也可作为大专院校师生的参考书和节能减排、环保与检验人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉节能减排应用技术/史培甫主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-122-06067-9

I. 工… II. 史… III. 工业锅炉-节能-技术 IV. TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 108671 号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:管景岩

责任校对:王素芹

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张24 $\frac{3}{4}$ 字数738千字 2009年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:78.00 元

版权所有 违者必究

《工业锅炉节能减排应用技术》

编审委员会

天津市特种设备监督检验技术研究院
编审单位 天津市锅炉应用技术协会
天津市环境监测中心

主 任 郝培嵩

副 主 任 (按姓名笔画排序)

王景良 齐茂忠 秦保平 倪炳生 萧艳彤

委 员 (按姓名笔画排序)

于焕通 天津市染料设计所 工程师
王 方 天津市特种设备监督检验技术研究院 主任
王同健 天津市锅炉应用技术协会 理事
王其均 天津市锅炉应用技术协会 理事
王景良 天津市经济和信息化委员会 处长
毛富杰 天津市特种设备监督检验技术研究院 责任师
史培甫 天津市锅炉应用技术协会 理事
邢为民 天津市锅炉应用技术协会 副会长
刘凤忠 天津市锅炉应用技术协会 理事
齐茂忠 天津市节能协会 理事长
齐明远 天津市锅炉应用技术协会 理事
李治英 天津市锅炉应用技术协会 副会长
李德馨 天津医科大学总医院 工程师
邱英培 天津市锅炉应用技术协会 理事
张 凯 天津市锅炉应用技术协会 理事
张为民 天津市工业自动化仪表研究所 总工程师
张宝玲 天津市锅炉应用技术协会 理事

	陈 鹏	天津市锅炉应用技术协会	理事
	郎万发	天津市节能协会	秘书长
	赵 谦	天津市南开区供热办公室	高级工程师
	赵定发	天津市锅炉应用技术协会	副会长
	赵秋洪	天津市特种设备监督检验技术研究院	院长
	郝培嵩	天津市锅炉应用技术协会	会长
	秦保平	天津市环境监测中心	主任
	倪炳生	天津市国信暖通设备公司	总经理
	徐质彬	天津市锅炉应用技术协会	理事
	徐晓明	天津市易卡捷电子有限公司	工程师
	郭合群	天津市锅炉应用技术协会	副秘书长
	郭希农	山东华源锅炉有限公司	常务副总经理
	萧艳彤	天津市特种设备监督检验技术研究院	副院长
	赖光楷	天津市锅炉应用技术协会	顾问
	魏 杰	天津市工业自动化仪表研究所	副总工程师
主 编	史培甫	天津市锅炉应用技术协会	理事、教授级高级工程师
主 审	赖光楷	天津市锅炉应用技术协会	顾问、教授级高级工程师

《工业锅炉节能减排应用技术》

编写人员

第一章	王其均	赖光楷		
第二章	史培甫	郭德生		
第三章	郝培嵩	张宝玲		
第四章	赖光楷			
第五章	于焕通	王楠		
第六章	史培甫	赵定发	曹金荣	
第七章	赵谦	邢为民	李德馨	徐质彬
第八章	王同健	党秀芳	汪楠	高翔
第九章	王兵	陈鹏	史培甫	邱英培
第十章	齐明远	萧艳彤	毛富杰	
第十一章	魏杰	徐晓明	王文周	贾福民

序

能源是国家战略性资源，是一个国家经济增长和社会发展的物质基础。环境则是人类赖以生存、实现可持续发展的基本保证。长期以来，我国经济快速增长，各项建设取得巨大成就，但也付出了资源与环境的沉重代价，经济发展与资源和环境的矛盾日益突出。我国人口众多，能源资源储量相对较少，人均拥有量远低于世界平均水平，但单位能源消耗量却大大高于西方发达国家。数据显示，目前我国万元 GDP 能耗水平是发达国家的 3 至 11 倍，能源使用效率仅为美国的 26.9%、日本的 11.5%，单位 GDP 的环境成本也高居世界前列。这一问题处理不好，资源支撑不住，环境容纳不下，社会承受不起，经济发展难以为继。因而，如何加快经济结构调整，转变经济增长方式，坚持节约发展、清洁发展、安全发展，努力实现经济社会的又好又快发展，已经成为我们必须认真面对并加以妥善解决的重大命题。

为此，我国将节能减排作为基本国策，摆到了更加重要的战略地位。国民经济和社会发展规划“十一五”规划纲要提出了两项约束性指标，即“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低 20% 左右，主要污染物排放总量减少 10%。这是贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会的重大举措；是建设资源节约型、环境友好型社会的必然选择；是推进经济结构调整，转变增长方式的必由之路；是维护中华民族长远利益的基本要求。

工业锅炉应用于国民经济的各个领域，主要为工业生产的工艺过程提供热能，是生产活动得以正常进行的关键动力源，是现代化生产不可缺少的重要设备。我国的能源结构特点是煤多油少，由此决定了国内工业锅炉主要以燃煤为主，其消耗量约占全年原煤总产量的五分之一左右。燃煤工业锅炉不但能耗高，而且污染严重，是仅次于电站锅炉的第二大污染源，因此，对其进行节能减排改造就显得十分紧迫了。正是基于这一现实状况，国家把燃煤工业锅炉的改造列入了十大重点节能工程项目之首，是非常正确的。

天津市锅炉应用技术协会会同天津市特种设备监督检验技术研究院和天津市环境监测中心，组织长期从事工业锅炉节能减排工作，具有丰富实践经验的资深专家和科技工作者，共同编写了《工业锅炉节能减排应用技术》一书，较好地配合了这一重点工作。他们理论联系实际，突出科学性、先进性和实用性，汇集总结了工业锅炉节能减排各方面的相关应用技术和经验体会，具有较高的实用价值，可供相关领域的专业技术人员及管理人员参考、借鉴。

节能减排工作任重而道远，各行各业、各个领域，降低能耗、节约资源、减少污染物排放，努力构建资源节约型、环境友好型社会，确是功在当代，利在千秋！

天津市质量技术监督局副局长



前 言

为了适应工业锅炉节能减排工作深入开展的实际需要，天津市特种设备监督检验技术研究院、天津市环境检测中心会同天津市锅炉应用技术协会，组织该协会部分多年从事锅炉节能减排技术与管理工作的会员，以及相关工作人员，将他们多年积累的经验、技术创新成果以及对成熟技术的理解整理编辑成本书，贡献给社会，为我国锅炉技术水平的提高，为节能减排工作尽一份力。

本书以工业锅炉节能减排为主线，力求突出节能减排技术的实用性、先进性、集成性，易于掌握，便于应用。同时兼顾具有发展前途的新技术的推介，体现与时俱进的理念。

全书共十一章，内容涵盖工业锅炉经济运行，煤的洁净燃烧，燃气（油）锅炉，水处理，烟气污染治理，供热系统，锅炉检验与修理，锅炉自动控制等全方位节能减排技术。在侧重技术实际应用的同时，也作了扼要的理论阐述。

本书主要作为企事业单位能源管理人员、环保科技人员、锅炉工程技术与管理人员，以及从事供热、锅炉检验与检修人员的专业读物；也可作为大专院校师生的参考书以及锅炉和环保人员的培训教材。

本书由天津市锅炉应用技术协会理事史培甫教授级高级工程师任主编，负责制定编写大纲和各章节统稿工作以及部分章节的编写。国务院特殊津贴专家、天津市锅炉应用技术协会顾问、教授级高级工程师赖光楷任主审。天津市锅炉应用技术协会全体理事参加了编写大纲的讨论与审定。

本书编写过程中得到了业内同仁以及各有关方面人员齐琳、商亚彬、韩秀梅、杨青永、郑国栋等的大力支持与协助，在此一并致谢。

限于编写人员专业水平和实践的局限性，加之编写时间比较仓促，不足之处在所难免，请不吝指正，万分感谢。

编审委员会
2009年6月于天津

目 录

第一章 绪论	1	第六节 燃煤锅炉降低灰渣含碳量	21
第一节 节能减排是工业锅炉发展的基本方向	1	一、灰渣含碳量与经济运行的关系	21
第二节 工业锅炉供热节能	2	二、加强燃煤管理工作	22
一、工业锅炉供热系统的构成	2	三、炉排横向均匀布煤,保持火床均衡	23
二、供热系统节能潜力分析	2	四、疏松煤层,改善通风性能	23
三、技术节能与管理节能	2	五、采用分层分行布煤技术,改善燃烧工况	25
四、工业锅炉供热技术节能领域	3	六、应用强化燃烧技术,促进燃煤加速燃尽	28
第三节 工业锅炉供热减排	3	七、漏煤回烧与灰渣返烧	28
一、工业锅炉供热污染	3	第七节 炉墙与管网保温	28
二、提高能源利用率	3	一、锅炉容量与表面散热损失的关系	28
三、优化燃料结构和产业与产品结构	3	二、炉墙结构合理,保温密封良好	29
四、煤的洁净利用技术	4	三、炉墙及保温层的维修方法	29
参考文献	4	四、管网保温层损坏与维修方法	30
第二章 工业锅炉经济运行应用技术	5	五、炉墙、管道表面散热损失节能监测	31
第一节 概述	5	第八节 合理控制排污率	31
一、工业锅炉经济运行的必要性	5	一、锅炉排污率与经济运行的关系	31
二、工业锅炉经济运行差距及其主要原因	5	二、排污方法的合理选择与控制	32
三、工业锅炉经济运行及其主要内容	5	三、排污高温水的回收利用	33
第二节 锅炉热效率	6	四、应用反渗透水处理技术,彻底解决排污问题	34
一、加强锅炉房管理	6	第九节 锅炉辅机节电改造	35
二、锅炉热平衡原理	6	一、辅机耗能 with 锅炉经济运行的关系	35
三、对锅炉热效率的界定与剖析	7	二、锅炉通风设备节电改造	35
四、工业锅炉热效率计算方法	8	三、锅炉水泵节电改造	38
第三节 锅炉负荷匹配	9	参考文献	39
一、锅炉负荷率与经济运行的关系	9	第三章 燃煤工业锅炉强化燃烧技术	40
二、热源必须与供热负荷匹配	10	第一节 概述	40
三、合理选配锅炉容量,设置蒸汽蓄热器	11	一、燃烧基本概念	40
第四节 燃烧调整,合理配风	13	二、当前工业锅炉燃烧不良的原因	40
一、合理配风与锅炉热效率的关系	13	三、工业锅炉强化燃烧的主要途径	40
二、空气系数的检测方法与剖析	15	第二节 链条锅炉炉拱优化强化燃烧技术	41
三、工业锅炉合理配风的标志	18	一、链条炉排燃烧特性	41
第五节 排烟热损失	18	二、炉拱特性与功能	43
一、排烟热损失与锅炉热效率的关系	18	三、炉拱优化原则、主要结构参数及细部结构	44
二、加强系统密封,大力降低漏风率	18	四、中拱强化燃烧机理和结构优化	47
三、合理配置尾部受热面,回收烟气余热	19	五、燃用无烟煤、劣质煤、挥发分较高煤的炉拱特点	50
四、保持受热面清洁,提高传热效率	20		

六、可调炉拱和卫燃带	53
七、炉拱构筑和新型材料的应用	56
第三节 链条锅炉配风强化燃烧技术	59
一、配风的基本概念与标志	59
二、链条炉排燃烧方式对配风的基本要求	59
三、改善横向配风均匀性的技术措施	60
四、典型配风结构	63
五、二次风的应用与强化燃烧	64
第四节 燃煤化学添加剂改善燃烧技术	66
一、化学添加剂应用效果	66
二、应用添加剂需注意的问题	67
第五节 膜法富氧强化燃烧技术	67
一、富氧燃烧的基本概念	67
二、富氧强化燃烧机理及应用效果	67
三、富氧燃烧的种类	68
四、膜法富氧制备工艺及设备	68
五、膜法富氧燃烧技术应用实例	69
参考文献	69
第四章 工业锅炉燃气（油）应用	
技术	70
第一节 概述	70
一、燃气（油）工业锅炉的节能减排优势	70
二、我国燃气（油）工业锅炉的发展	71
三、燃气（油）的特性参数和分类	71
第二节 燃气（油）锅炉的结构及特点	73
一、燃气（油）锅炉的结构特点	73
二、立式锅炉	74
三、卧式锅炉	75
四、常压锅炉、相变锅炉、冷凝锅炉、铜换热面锅炉	77
五、燃气（油）锅炉发展趋势	80
第三节 燃气（油）的燃烧机理与燃烧装置	80
一、燃烧化学反应式和减少燃烧产物污染原理	80
二、燃气燃烧机理与燃烧方式	81
三、燃油燃烧机理与燃烧方式	83
四、调风器与稳燃器	86
五、点火装置	86
六、碓口和炉膛	87
七、双燃料燃烧	87
八、一体式和分体式燃烧器	87
九、炼铁高炉煤气和炼钢转炉煤气的燃烧器与锅炉	88
第四节 炉前燃料供应系统	89
一、燃气锅炉供气系统	89

二、燃轻柴油锅炉供油系统	93
第五节 燃气（油）锅炉自动控制与调节	97
一、燃气（油）锅炉自动控制与调节概述	97
二、燃气（油）燃烧程序控制	98
三、燃气（油）锅炉燃烧系统自动报警与联锁保护	100
四、燃气（油）锅炉负荷调节	100
第六节 一体式和分体式燃烧器选型	103
一、一体式燃烧器选型	103
二、分体式燃烧器选型	105
第七节 燃气（油）锅炉安装、调试、运行与故障诊断处理	106
一、燃气（油）锅炉的安装注意重点	106
二、燃气（油）锅炉燃烧调试	107
三、燃气（油）锅炉燃烧系统的运行	109
四、燃烧安全	109
五、故障诊断处理的基本方法	111
六、故障诊断处理实例	111
第八节 燃煤锅炉改燃气（油）	115
一、改造的一般原则	115
二、改造方法	116
三、改造实例	119
参考文献	120
第五章 循环流化床锅炉应用技术	121
第一节 循环流化床锅炉的发展概况	121
一、国外循环流化床锅炉发展概况	121
二、国内循环流化床锅炉发展概况	123
第二节 循环流化床锅炉工作原理与特点	126
一、循环流化床锅炉的工作原理	126
二、循环流化床锅炉的特点	127
三、循环流化床锅炉的主要优势	128
四、循环流化床锅炉存在的一些问题	130
第三节 循环流化床锅炉燃烧装置的组成	130
一、炉膛	130
二、布风装置	131
三、气固分离装置	134
第四节 循环流化床锅炉节能减排功效与污染物的控制	138
一、硫氧化物的生成与控制	138
二、氮氧化物的生成与控制	141
三、循环流化床锅炉灰渣排放与除尘	144
第五节 循环流化床锅炉的辅助燃烧系统	145
一、燃煤供应系统	145
二、石灰石输送系统	147
三、风、烟系统	148
四、炉渣收集和处理设备	150

五、循环流化床锅炉烟气除尘	152
第六节 循环流化床锅炉运行与调节	154
一、循环流化床锅炉的冷态试验	154
二、循环流化床锅炉烘炉	156
三、循环流化床点火与启动	156
四、系统投入运行	158
五、循环流化床锅炉的运行调节	159
第七节 循环流化床锅炉的自动控制	160
一、燃烧控制方案及特点	160
二、对联锁保护装置的要求	162
参考文献	162
第六章 工业锅炉洁净煤应用技术	163
第一节 工业锅炉应用洗选煤技术	163
一、原煤洗选简介	163
二、工业锅炉燃用洗选煤节能减排 功效	163
三、洗选煤存在问题与发展建议	163
第二节 工业锅炉动力配煤应用技术	164
一、动力配煤简述	164
二、动力配煤主要工艺流程	165
三、工业锅炉燃用动力配煤节能减排 功效	165
四、优化动力配煤特性与配煤专家 系统	166
五、动力配煤存在问题与发展建议	171
第三节 工业锅炉应用型煤技术	171
一、型煤技术简介	171
二、粉煤成型主要工艺	172
三、型煤特性与节能减排功效	172
四、型煤锅炉及其运行操作	174
五、型煤目前存在的主要问题与今后发 展趋势	176
第四节 工业锅炉水煤浆应用技术	177
一、水煤浆应用情况简介	177
二、水煤浆制备工艺流程	177
三、水煤浆的特性	178
四、工业锅炉燃用水煤浆节能减排功效	179
五、水煤浆锅炉与运行操作	180
六、在发展中存在的主要问题与改进 意见	184
第五节 新型高效煤粉工业锅炉系统应用 技术	185
一、小型煤粉锅炉开发研制成功，适合中 国国情	185
二、小型煤粉锅炉结构及其燃烧原理	186
三、煤粉锅炉工艺流程与辅机配置	187
四、新型高效煤粉锅炉节能减排功效及其 优势	187

五、煤粉锅炉运行操作与热平衡测试 结果	188
六、节能分析与改进建议	189
参考文献	189
第七章 工业锅炉水处理应用技术	190
第一节 天然水中的杂质及对锅炉的 危害	190
一、水垢的形成	190
二、水垢的危害	190
三、悬浮状杂质的危害	191
四、胶体状杂质的危害	191
五、不良气体的危害	191
第二节 工业锅炉水质标准	192
一、工业锅炉水质新标准内容	192
二、工业锅炉水质主要指标评述	195
第三节 工业锅炉水质管理与监督	197
一、工业锅炉水质管理目的	197
二、工业锅炉水质管理范围	197
三、工业锅炉水质管理原则	197
四、工业锅炉水质管理监督	197
第四节 工业锅炉水处理技术	198
一、悬浮物和胶体杂质的清除	198
二、硬度的清除	199
三、硬度与含盐量的清除	201
四、锅内水处理方法	202
第五节 工业锅炉排污、除氧与停炉 保护	203
一、工业锅炉排污	203
二、工业锅炉防腐	204
三、工业锅炉给水除氧	204
四、工业锅炉停炉保护与保养	206
第六节 工业锅炉反渗透水处理应用 技术	209
一、简介	209
二、工业锅炉传统水处理方法的局 限性	209
三、反渗透水处理原理与特性	209
四、反渗透水处理工艺与设备	210
五、传统钠法改用反渗透法应用实例	211
六、工业锅炉应用反渗透水处理的必要性 与可行性	213
参考文献	214
第八章 工业锅炉污染物排放与环境 保护	215
第一节 锅炉污染物排放	215
一、燃煤锅炉污染物及其对环境与人体 的危害	215

二、燃煤在运输过程中对环境的污染	217
三、锅炉房的噪声污染源	217
四、锅炉房的固体废弃物排放污染	218
五、废水排放造成的水环境污染	218
第二节 烟气排放与总量控制方法	219
一、烟气中污染物总量排放核定方法	219
二、环境容量与总量控制	220
三、锅炉大气污染物排放标准	221
第三节 锅炉大气污染物的控制对策	221
一、国外锅炉大气污染物控制对策	221
二、国内锅炉大气污染防治对策	221
三、清洁燃料的应用	222
四、开发高效、节能、低污染排放的燃烧 设备	223
第四节 锅炉烟气排放治理技术	223
一、环保领域除尘器的分类、命名及 性能	223
二、离心式除尘器	226
三、湿式除尘器	228
四、烟气脱硫技术	230
五、烟气脱硝技术	231
六、锅炉房污水循环利用技术	233
七、废弃物的综合利用	233
第五节 锅炉烟气净化设备的选型、安装及 运行管理	235
一、净化设备的选型	235
二、净化设备的安装、维护和日常 管理	237
附录 锅炉大气污染物排放标准	238
参考文献	241
第九章 工业锅炉供热节能应用技术	242
第一节 热源与热媒的选择及其经济效益 分析	242
一、工业锅炉供热任务与范围	242
二、供热系统热源的选择与经济效益 分析	242
三、供热系统热媒的选择及对比分析	245
四、有机热载体炉供热与优势	246
第二节 热负荷的计算与确认	250
一、热负荷的分类与计算	250
二、热负荷的收集与确认	252
第三节 热力网	253
一、热力网简介	253
二、热力网分类	254
三、热力网布置与敷设	254
四、热水供热系统定压	256
五、热水热力网水力计算	260
六、热水管网的调试	261

七、降低供热系统水力失调	266
第四节 热力站	267
一、热力站的作用	267
二、热力站的分类	267
三、热力站的连接方式	268
四、热力站常见故障与处理	272
第五节 热力网监控应用技术	273
一、简介	273
二、热力网监控系统结构与功能	274
三、温度控制与调节	275
四、压力（流量）控制与调节	276
第六节 生产供热与节能减排应用技术	278
一、生产供热分类与特点	278
二、余热资源分类与回收方法	278
三、余热资源回收技术	279
四、蒸汽凝结水回收利用	280
第七节 余热回收热能转换装置	282
一、热管装置	282
二、热泵装置	283
三、预热器装置	286
四、余热锅炉装置	291
参考文献	296
第十章 工业锅炉安全运行与检验及 其修理	297
第一节 工业锅炉各种事故现象判断与应 对措施	297
一、缺水事故与满水事故处理与应对 措施	297
二、超压事故处理与应对措施	298
三、汽水共腾事故处理与应对措施	299
四、锅炉爆管事故处理与应对措施	300
五、过热器管爆管事故处理与应对 措施	301
六、省煤器管爆破事故处理与应对 措施	301
七、空气预热器管损坏事故处理与应对 措施	302
八、二次燃烧与烟气爆炸事故处理与应 对措施	302
九、水冲击事故处理与应对措施	303
十、炉吼处理与应对措施	305
十一、炉墙损坏处理与应对措施	305
十二、热水锅炉汽化处理与应对措施	306
十三、锅炉爆炸事故处理与防止 措施	306
第二节 工业锅炉停炉与停炉保养	307
一、正常停炉	307
二、紧急停炉	308

三、停炉保养	308	三、燃烧产物中烟气含氧量的控制	356
第三节 工业锅炉检验	309	四、炉膛负压控制	357
一、锅炉检验的重要意义	309	五、联锁保护措施	357
二、检验工具	309	六、手/自动无扰操作	357
三、检验方法	309	第五节 控制系统功能概述	357
四、锅炉检验前的准备工作	310	一、过程控制系统的质量指标	357
五、锅炉检验的内容和重点部位	311	二、集散控制系统概述	358
第四节 工业锅炉损坏与修理	312	三、DCS 的体系结构	358
一、概述	312	四、DCS 的特点	358
二、锅炉修理工艺	313	五、现场控制站	359
三、锅炉受压元件的损坏与修理	331	六、现场控制站的功能	360
参考文献	347	七、操作员站及工程师站	360
第十一章 工业锅炉自动控制技术	348	第六节 检测仪表分类与安装	362
第一节 工业锅炉自动控制的必要性、可行性及其优势	348	一、检测仪表的功能与发展趋势	362
一、工业锅炉自动控制的必要性	348	二、自控仪表基础知识	362
二、工业锅炉自动控制的可行性	349	三、常用的热工仪表及安装	363
三、工业锅炉自动控制的优势	349	四、仪表盘功能	367
第二节 工业过程控制基本概念	349	第七节 主要施工方法及技术措施	368
一、基本概念	349	一、DCS 系统的安装调试	368
二、调节规律	350	二、DCS 系统软件调试	368
第三节 基本调节系统简介	351	第八节 工业锅炉自动控制的应用	370
一、单参数调节系统	351	一、系统概述	370
二、前馈-反馈调节系统	352	二、锅炉房控制系统配置	371
三、串级调节系统	352	三、锅炉主要参数采集点	372
第四节 锅炉控制回路的应用	352	四、主要操作画面	372
一、蒸汽锅炉锅筒水位的控制方法	352	五、HC900 控制器介绍	374
二、燃烧过程自动控制系统	354	六、SCADA 系统功能描述	379
		参考文献	382

第一章

绪论

工业锅炉通常是指除专业火力发电锅炉之外，在人们生产和生活中使用的锅炉。

我国在用工业锅炉状况是：燃煤为主，量大面广，单台平均容量小，运行参数低，平均运行热效率低。2008 年我国燃煤工业锅炉总耗煤量约 5 亿吨，占全国煤炭消费总量的 1/5，是除发电锅炉以外的第二大耗能设备，同时也是节能潜力极大的设备。燃煤排放的烟尘、二氧化硫、氮氧化物是大气的主要污染物，因而工业锅炉又是污染环境的主要排放源，其大气污染物排放量也仅次于发电锅炉，在各类耗能设备中居第二位。工业锅炉节能、减排在我国节能减排全局中的地位十分重要。

第一节 节能减排是工业锅炉发展的基本方向

18 世纪后期出现锅炉，至今已有 200 多年的历史。随着社会生产力发展和科学技术进步，锅炉从最早的圆筒形发展至今，燃烧设备和锅炉受热面结构都有很大变化。

燃烧设备由古老的手烧炉，到固定双层炉排炉、明火反烧炉、简易煤气炉；随着用热负荷增大，相继发展了机械化程度较高的链条炉排炉、抛煤机炉排炉、往复推动炉排炉、滚动炉排炉、下饲炉排炉等多种层燃方式；进而由层燃方式进一步发展为室燃炉、鼓泡床及循环流化燃烧炉。燃料品种也由煤、木材等固体燃料扩大到液体燃料、气体燃料、生物质燃料、可燃工业和生活废弃物等。

从能量转换关系看，锅炉是能量转换器，输入端是燃料燃烧放热空间，俗称“火”侧；输出端是汽、水吸热容器，可称“水”侧。“火”侧就是燃烧设备，“水”侧就是汽锅，“火”与“水”的界面就是受热面。锅炉的传热效果与受热面的结构、布置方式直接相关。

汽锅的原始形式是一个圆柱形的锅筒，筒体外表面下部作为受热面与燃烧生成的高温烟气换热，筒内的水被加热成蒸汽供用户使用。这种锅炉由于受热面积小，不能充分吸收烟气的热能，不仅蒸汽产量小，而且热效率很低，锅炉容量和蒸汽参数都不能满足社会生产力发展的需求。于是，在圆柱形锅筒基础上，为加大锅炉受热面积，沿着两个方向发展：锅壳锅炉和水管锅炉。

锅壳锅炉是加大锅筒内部受热面。从在锅筒内加装火筒，发展到用小直径的烟管代替火筒以加大受热面，由此相继发展了立式火管、卧式外燃、卧式内燃等形式。这种锅炉，由于燃烧空间小、温度水平低、燃烧条件差，难于燃用低质煤，受热面传热效果一般较差，排烟温度较高，锅炉效率仍然较低。此外，锅筒直径大，不能承受较高的工质压力，钢耗量大，蒸发量受到限制。从使用角度看，这类锅炉结构简单，维护方便；水容积大，适应负荷波动性能好；水质要求较低，因此，有的结构形式至今仍被广泛采用。

水管锅炉是加大锅筒外部受热面，直接从锅筒或通过与之连接的集箱引出若干钢管受热面，水在管内流动吸热，烟气在管外流动放热。由于不受锅筒尺寸的约束，在燃烧条件、传热效果和加大受热面等方面，都从根本上得到了改善，显著地提高了锅炉的蒸发量和热效率，金属耗量也大为下降，而且简化了制造工艺。此后，又根据不同需要，增设了蒸汽过热器、省煤器及空气预热器等受热面，吸收燃料热更充分，锅炉效率更高。水管锅炉有单锅筒立式、单锅筒纵置式、单锅筒横置式、双锅筒纵置式、双锅筒横置式和强制循环式等多种形式。目前，单台容量在 10t/h 以上的工业锅炉基本都采用水管锅炉形式。

锅炉用于发电后,单台容量不断增大,现在锅炉单台容量已发展到3000t/h;蒸汽参数不断提高,由低压(1.27MPa)发展到中压(3.82MPa)、高压(9.8MPa)、超高压(13.72MPa)、超临界(25MPa),直到超超临界压力(35MPa)。根据热力学第二定律,锅炉蒸汽压力、温度越高,发电热效率越高、煤耗越小。

纵观工业锅炉发展过程,发展的主动力是社会经济增长、人民生活水平提升和科技进步,同时由于锅炉是一种高耗能和高环境污染设备,其发展又受制于能源资源和环境的承受力。因而,锅炉发展的基本方向必然是高效节能,低污染,即节能减排。同时,与其他设备一样,运行安全可靠,结构合理简单,操作维修方便,以及造价和运行费用低都是必须遵守的原则。

第二节 工业锅炉供热节能

一、工业锅炉供热系统的构成

工业锅炉供热系统由热源、热网和热用户三大部分构成:热源是提供热用户所需的蒸汽或热水的工业锅炉房(或热电厂);热网是由蒸汽管网(或热水管网)组成的载热体输配系统;由生产、生活与建筑物采暖空调等用热系统和设备组成的热用户系统,总称为热用户。

供热系统的能源利用率等于锅炉热效率、管网热效率和用热设备热效率的乘积。锅炉耗能的大小不仅决定于本身热效率的高低,还决定于用热系统的能源利用率。节省工业锅炉耗能必须从锅炉、管网和用热设备三方面系统考虑。

锅炉的能量转换由三个过程组成:燃料燃烧的放热过程;烟气向汽、水的传热过程;水和蒸汽的吸热过程。实际工作中它们既是串联工作,又有并联运行,过程进行中互相推动又互相制约。锅炉热效率(即能量转换程度)取决于燃烧效率、传热效果和吸热能力。要提高工业锅炉热效率,就要使这三个过程都得到强化,这是分析问题的基点,应贯穿于锅炉设计制造、选型使用、维修保养全过程。

管网热效率除了管网散热损失和流体泄漏损失外,还应考虑介质输送过程中流动压降和流量调配不当造成流动失调的损失。

二、供热系统节能潜力分析

工业锅炉现实节能潜力分析,就是用反平衡法,用实际运行或试验数据,对比分析各项热损失与设计指标或先进运行指标相比的差距,从这种差距判断现实静态节能潜力的大小,并找出具体原因,采用合适的技术措施减少热损失,提高锅炉热效率,达到挖掘节能潜力的目的。

用理论节能潜力分析法,得出满足同样的负荷条件下,热电联产供热比工业锅炉房供热更能节约能源,用热电联产替代工业锅炉房是一种现实动态节能潜力。具体到某一项目到底能不能替代,必须通过现实动态分析,从技术、经济、资源、环境、法律法规、现实管理水平以及社会可接受程度等多方面进行全面综合分析(即可行性研究)确定。

供热系统节能潜力分析法是全面质量管理在能源管理上的运用,它将复杂的系统分解为若干个相对独立的影响因素,在分别考察这些因素的基础上,再综合分析各因素之间的相互关系和各因素对整个系统的影响,从而确立提高系统整体效率的关键对策。

三、技术节能与管理节能

工业锅炉供热节能途径可分为技术节能和管理节能。

技术节能包括:发展能源科学技术,开发新能源,合理、深度、循环利用能源资源,改革工艺流程,改造更新能源设备,改进设备维护和运行操作技术,提高设备自动化水平等。

管理节能是以能源的科学管理求节能。能源科学管理,从国家层面看包括:按照科学发展观制定能源政策和产业政策,综合运用法律法规、税收信贷、政府投资、技术标准、宣传教育、行政监管等手段,对各种能源的资源配置、生产、运输、贮存、转化、消费实施全过程科学管理;

从能源用户层面看包括：科学规划选择用能系统，制定科学的能源管理制度，对能源管理和使用人员进行科学用能培训及考核，对能源设备选型、购置、安装、验收，既有设备改造、使用维护和能源物资的采购、运输、储存、使用进行全过程科学管理，以保证能源的充分有效利用。

目前我国供热系统以燃煤工业锅炉热源厂为主，燃煤工业锅炉供热系统煤耗约占全国总煤耗量的 1/5，锅炉平均运行热效率仅 60%~65%，输配热网热损失达 4%~10%；凝结水回收利用率低；锅炉水处理设施不尽科学完善；供热系统自动控制与检测水平低；操作、维护和管理水平低，供热系统能源利用效率仅约 35%，现实节能潜力巨大。就当前我国实际现状而言，管理节能比技术节能潜力更大，供热系统节能又比能源设备节能潜力大。

四、工业锅炉供热技术节能领域

- ① 锅炉及附属设备选型与锅炉房设计节能技术；
- ② 锅炉及附属设备改造节能技术；
- ③ 锅炉经济运行节能措施；
- ④ 锅炉房余热回收节能技术；
- ⑤ 热媒输配节能技术；
- ⑥ 凝结水回收利用节能技术；
- ⑦ 典型用热工艺与设备节能技术。

第三节 工业锅炉供热减排

一、工业锅炉供热污染

工业锅炉供热污染包括工业锅炉燃烧排放物污染——烟尘及其所含微量有害元素污染，二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、一氧化碳及有机污染物气体污染，灰渣、重金属污染物污染等；工业锅炉给水和系统循环水处理排放物（如离子交换反洗水等）、锅炉排污、系统泄漏与排水、烟尘净化排水等造成水环境污染；燃料和灰渣运输、储存造成地面粉尘污染等。其中，在当前环保重点监测控制项目之外，只要有炭燃烧就有二氧化碳产生，二氧化碳是主要温室气体源，是全球温室气体控制的主要对象；工业锅炉及其热力系统对水环境的污染以及对地面粉尘污染的严重危害尚未引起人们的足够重视。

二、提高能源利用率

供热系统能源利用效率等于锅炉热效率、管网输配效率、用热设备效率三者的乘积。

我国工业锅炉燃煤比重高，燃煤工业锅炉基本燃用未经净化的原煤，而且煤种多变，末煤比例大，锅炉平均设计效率低于国际水平，加上管理和自动控制水平低，在用工业锅炉平均运行效率又大大低于设计效率，供热系统、许多用能工艺及设备效率也低，造成整个供热系统热效率极低，节能途径多、潜力大。能源有效利用率提高，供给相同热量的燃料消耗必然减少，污染物排放也相应减少，所以节能同时也是减排的首要措施。本书有些章节虽未专门论及减排，主要着眼于节能，其实均与节能减排相关。

三、优化燃料结构和产业与产品结构

工业锅炉燃料中，燃气、轻质燃料油中基本不含灰，硫及其他污染物含量极少，而且燃烧效率一般高达 98% 以上，易于实现自动控制，对应的锅炉热效率比燃煤约高 15~20 个百分点，对环境的污染比燃煤小得多，称为洁净燃料。不同生物质燃料燃烧对环境的污染各有特点，总体上也比燃煤污染小，治理成本低。可燃工业和生活废弃物燃烧本身就是节约燃料资源、治理环境污染的一项措施。

工业锅炉量大面广，单台平均容量小而分散，许多高效燃烧和污染治理技术的应用受到限

制。优化工业锅炉燃料结构，以洁净燃料替代燃煤是工业锅炉节能减排的重要途径。在许多发达国家和新兴经济体中，工业锅炉燃烧洁净燃料的比重都达 90% 以上，日本等国更高达 98%~99%，所以这些国家工业锅炉对环境的污染远没有我国严重。我国受到能源资源结构的限制，工业锅炉燃煤比重高达 85% 左右，虽然这样的燃料结构难于短时改变，但优化燃料结构仍然是工业锅炉节能减排的根本方向。尤其是人口密集的大中城市中的小容量锅炉，更应加快以相对洁净的油气燃料替代燃煤的步伐。

四、煤的洁净利用技术

面对我国燃料结构以煤为主的现状，煤的洁净利用技术的应用是减排的一项重要措施。煤的洁净利用技术包含燃煤净化、洁净燃烧、燃烧产物净化三大方面。本书相关章节对这三大方面均有论及，这里仅就燃用洗选净化、粒度分级的洁净煤在工业锅炉节能减排中的重要地位强调如下：

① 在燃煤工业锅炉节能减排方面，世界各国普遍采用的，实践证明最经济、最行之有效的途径就是燃用经洗选净化、粒度分级的洁净煤。

② 我国已有试验数据表明，即使在传统链条锅炉上，燃用相当于经洗选净化的低灰（应用基灰分 10% 左右）低硫（应用基硫分 1% 左右）烟煤，锅炉燃烧效率大幅度提高，燃烧污染物初始排放浓度大幅降低，在使用一般多管或水膜除尘器条件下，完全可以达到一类地区排放标准，节能减排效果并不逊于当前某些必须燃用低灰低硫烟煤的“洁净燃煤技术”。如果能大面积提供这种低灰低硫烟煤，燃煤工业锅炉节能减排必然获得事半功倍的效果。

③ 我国煤炭生产行业应当抓紧煤炭产品结构调整，大力发展洗选净化洁净燃煤，为节能减排做出应有的贡献。规范洁净燃煤品种，禁止原煤上市，是工业锅炉及其他分散燃煤设备深化节能减排的必由之路，早实现早受益。

工业锅炉节能减排既涉及锅炉产品设计、制造、安装，又涉及锅炉用户选型、辅机与附属设备匹配、供热系统设计与施工，还与各个环节的规划、设计、管理、运行、维护密切相关。本书以工业锅炉节能减排为主线，各章作者结合自己多年实际工作经验，从实用角度，对锅炉和供热系统的结构原理，节能、减排、水处理和自动控制技术，安全与经济运行，管理与设备改造、维护等多方面进行论述，不求全面，力求实用，供读者根据需要选读或通读。

参 考 文 献

- [1] 车得福，庄正宁，李军，王栋编. 锅炉. 西安：西安交通大学出版社，2008.
- [2] 吴宗鑫，陈文颖著. 以煤为主多元化的清洁能源战略. 北京：清华大学出版社，2001.
- [3] 王善武. 我国工业锅炉节能潜力分析与建议. 工业锅炉，2005，(1).