

供热锅炉

节能与脱硫技术

● 解鲁生 编著

● 中国建筑工业出版社

供热锅炉节能与脱硫技术

解鲁生 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

供热锅炉节能与脱硫技术/解鲁生编著. —北京:中国建筑工业出版社, 2004
ISBN 7-112-06223-3

I. 供… II. 解… III. ①集中供热—锅炉—节能
②集中供热—锅炉—脱硫 IV. TU833

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 105385 号

供热锅炉节能与脱硫技术

解鲁生 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 7½ 字数: 200 千字

2004 年 1 月第一版 2004 年 1 月第一次印刷

印数: 1—4,000 册 定价: 12.00 元

ISBN 7-112-06223-3

TU·5490 (12237)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书主要介绍供热锅炉节能与脱硫技术的有关知识,包括集中供热热源节能和环保的基本途径、层燃炉改善燃烧的措施、链条炉分层燃烧技术、链条炉排与煤粉复合燃烧技术、固硫型煤及循环流化床锅炉脱硫、锅炉燃用水煤浆的技术、供热锅炉的烟气脱硫、改善传热及水质处理与除盐的膜分离技术、加强运行管理及余热回收等内容。

本书可供从事锅炉设计、施工、管理、检验、运行、维护等人员使用,也可供大专院校师生参考。

* * *

责任编辑 胡明安

责任设计 崔兰萍

责任校对 张虹

前 言

节约能源是我国社会主义发展的需要。控制人口发展、节约和保护资源、保护和治理环境是实施可持续发展的主要内容。供热的热源站房(含城镇供暖及工业供汽、供热的锅炉房)是燃料直接消耗的场所,也是主要的污染源。热源的节能与环保,是不可分割的两个问题,在供热系统中占有极为重要的地位。

中国城镇供热协会技术委员会组织了节能方面论文的交流和讨论,并整理成为《城镇供热系统节能技术措施(二十条)》,其中热源方面的节能措施共8条,占40%。我国继锅炉烟尘排放标准之后,又对二氧化硫的排放提出了具体的要求。近年来工程技术人员,在烟气脱硫方面做了很多工作,提出和引进了不少新技术、新工艺和新经验。本书将上述两方面的内容进行整理归纳,对其机理加以必要的阐述;讲述其采用的技术条件和应注意的问题;补充了大量的实例,从其数据和正、反面的经验与教训加以论述。

本书是遵照以下的指导思想进行编写的:

(一)以低压和中压、次高压锅炉和锅炉房为叙述范围。锅炉烟气除尘技术已较成熟,环保方面仅阐述脱硫技术。

(二)有重点的阐述,凡是已较熟悉的内容,仅作概括性的叙述。对链条炉排分层燃烧、链条炉排与煤粉复合燃烧、循环流化床锅炉燃烧中脱硫、加装热管换热器回收烟气余热等内容,作较详细的阐述。特别是对当前研究、开发或推广的新技术、新动向,如 waters 煤浆在锅炉上的应用、锅炉给水除盐的膜分离技术、吸收剂循环利用(循环流化床)烟气脱硫、固硫型煤等内容作较全面、系统的阐述。

(三) 各项技术的应用效果(特别是定量的数值)、经验及发生的问题,基本上都按照调查和收集 66 个锅炉或锅炉房实例的实测数据、实际情况及总结的材料为依据。

仅将主要参考文献分别附于各章的最后。除中国城镇供热协会技术委员会提供了技术资料而外,在编写过程中青岛开源集团后海热电公司、青岛热电集团公司、美国 UEI 国际集团公司、清华同方等单位也提供了一些资料。在初稿印制过程中承蒙深圳越凡实业公司青岛分公司、北京星烁科贸公司、青岛开源集团东部供热公司给予大力协助。谨此对上述各单位及个人,以及其他提供资料和予以协助的个人,一并致谢。

限于水平,难免有错误不当之处,希予以批评指正。

编者

目 录

第一章 集中供热热源节能和环保的基本途径	1
1.1 热源节能与环保的重要意义	1
1.2 锅炉热效率及热损失的基本概念	2
1.2.1 锅炉热效率是说明锅炉经济性及是否节能的主要指标	2
1.2.2 锅炉的有效利用热量及热损失	3
1.2.3 正常运行负荷与热效率的关系	4
1.3 提高锅炉热效率的基本方向	6
1.3.1 提高燃烧及传热效率,减少热损失	6
1.3.2 锅炉热平衡试验与节能的关系	6
1.4 锅炉大气污染物排放标准	7
1.4.1 标准中区域类别及年限的划分	7
1.4.2 锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度限值	7
1.4.3 锅炉二氧化硫和氮氧化物最高允许排放浓度	9
1.4.4 监测方法及过剩空气系数折算值	9
1.4.5 烟囱高度的规定	9
1.5 降低锅炉 SO ₂ 污染的基本途径	10
1.5.1 燃烧前脱硫	10
1.5.2 燃烧中脱硫	11
1.5.3 燃烧后脱硫	11
第二章 层燃炉改善燃烧的措施	13
2.1 燃料燃烧的基本概念	13
2.1.1 完全燃烧的元素	13
2.1.2 理论空气量和实际空气量	14
2.1.3 过剩空气系数	14

2.2	层燃炉的燃烧过程及链条炉的工作特点	15
2.2.1	层燃炉的燃烧过程	15
2.2.2	链条炉的工作特点	16
2.3	层燃炉改善燃烧的途径	18
2.3.1	层燃炉改善燃烧的措施	18
2.3.2	挥发分与固定碳的燃烧	19
2.3.3	过剩空气系数的优化及减少漏风	20
2.3.4	采用高温红外涂料	21
2.3.5	煤与炉渣混烧	22
2.3.6	蒸汽助燃	23
2.3.7	采用高效节煤剂	24
第三章	链条炉分层燃烧技术	26
3.1	分层燃烧的特点	26
3.2	分层燃烧装置的结构	27
3.2.1	前苏联的分层燃烧装置	27
3.2.2	我国分层燃烧装置的专利	29
3.2.3	目前广泛采用的分层燃烧装置	38
3.3	分层燃烧的效果	39
3.4	采用分层燃烧应注意的问题	41
第四章	链条炉排与煤粉复合燃烧技术	43
4.1	室燃炉及半悬燃炉改进燃烧的途径	43
4.2	链条炉复合燃烧装置	45
4.2.1	链条炉复合燃烧及设备系统	45
4.2.2	链条炉复合燃烧的创始	46
4.2.3	链条炉复合燃烧装置的专利产品	46
4.3	复合燃烧技术的应用效果	50
4.3.1	采用煤粉复合燃烧前后的对比	50
4.3.2	改造实例	50
4.4	采用复合燃烧应注意的问题	54
4.5	采用分层燃烧和复合燃烧技术几个问题的探讨	55
4.5.1	关于数据可靠性的问题	55
4.5.2	必须具体分析,对症下药,避免盲目采用	56

4.5.3	锅炉已达额定出力及新装锅炉是否采用的问题	57
4.5.4	是否同时扩容问题	58
4.5.5	关于强制采用问题	58
第五章	固硫型煤及循环流化床锅炉脱硫	60
5.1	固硫型煤	60
5.1.1	固硫型煤的成型方式	60
5.1.2	固硫剂	61
5.1.3	胶粘剂	62
5.1.4	添加活性剂的采用	63
5.2	链条炉排采用炉前型煤的实例	64
5.2.1	采用炉前型煤的原因	64
5.2.2	型煤燃烧的工作原理及其装置	64
5.2.3	使用的效果	65
5.3	生物固硫型煤技术及应用	66
5.3.1	生物固硫型煤技术的发展	66
5.3.2	生物固硫型煤的工艺系统	67
5.4	流化床锅炉燃烧中脱硫问题	69
5.4.1	流化床锅炉的发展状况	69
5.4.2	循环流化床锅炉的特点	71
5.4.3	循环流化床锅炉的脱硫效果	73
5.4.4	SO ₂ 排放浓度、排放量和脱硫率的关系	74
5.4.5	循环流化床锅炉燃烧中脱硫率的探讨	76
5.4.6	改进循环流化床锅炉脱硫性能的措施	78
第六章	锅炉燃用水煤浆技术	84
6.1	水煤浆在锅炉上的应用	84
6.2	燃用水煤浆的特点	87
6.3	水煤浆的品种及质量指标	90
6.4	炉前制浆的技术关键	92
6.4.1	磨矿	92
6.4.2	堆积效率与级配	94
6.4.3	添加剂	95
6.5	水煤浆的储存与输送	96

6.5.1	搅拌器选择与安装	97
6.5.2	输浆泵的选择	97
6.5.3	水煤浆过滤装置	98
6.6	水煤浆燃烧的特点	99
6.7	水煤浆燃烧器及其布置	100
6.7.1	水煤浆燃烧器的雾化方式	100
6.7.2	水煤浆喷嘴及燃烧器布置方式	101
6.7.3	喷嘴的磨损问题	103
6.7.4	压缩空气雾化燃烧器与预燃室	103
6.8	水煤浆的燃烧技术	105
6.8.1	点火、着火及稳燃手段	105
6.8.2	合理配风,改善空气动力场,提高燃烧效率及锅炉效率 ..	110
6.8.3	煤与水煤浆复合燃烧	115
6.8.4	改用水煤浆时应注意的其他问题	117
第七章	供热锅炉的烟气脱硫	119
7.1	锅炉烟气脱硫技术发展简况	119
7.2	低压锅炉的简易烟气脱硫装置	120
7.3	喷雾脱硫和喷雾干燥脱硫技术	123
7.3.1	喷雾脱硫技术	123
7.3.2	喷雾干燥脱硫技术	125
7.4	脉冲放电烟气脱硫技术	126
7.5	低压锅炉其他脱硫方法	128
7.6	吸收剂循环利用的脱硫技术	129
7.6.1	循环硫化床烟气脱硫技术的发展及简介	129
7.6.2	35t/h 锅炉半干半湿法烟气脱硫装置	133
7.6.3	65t/h 锅炉循环流化床烟气脱硫装置	135
7.6.4	干式脱硫剂床料内循环的烟气脱硫装置	137
7.6.5	双循环流化床烟气悬浮脱硫技术	140
第八章	改善传热及水质处理	146
8.1	受热面合理布置及避免烟气短路	146
8.1.1	受热面的合理分配与布置	146
8.1.2	防止隔墙损坏造成烟气短路	147

8.2	保持受热面的内部洁净	147
8.2.1	加强水处理防止结垢及腐蚀	147
8.2.2	保持凝结水及回水洁净	148
8.2.3	锅炉和热网的冲洗及加强锅炉排污	148
8.3	离子交换软化及除盐	149
8.3.1	离子交换软化	149
8.3.2	离子交换除盐	149
8.3.3	离子交换除盐系统及除硅特性	150
8.3.4	混床与复床的比较	151
8.4	膜分离技术	152
8.4.1	膜分离技术的发展及原理	152
8.4.2	离子交换膜的特性及电渗析器的运行	157
8.4.3	反渗透膜的特性	160
8.4.4	反渗透系统的预处理	167
8.4.5	反渗透膜组件的组成及运行	181
8.4.6	反渗透系统的精处理	190
8.4.7	反渗透系统及设备的选择	196
8.4.8	EUI 固膜	198
8.5	保持受热面的外部洁净	201
8.5.1	加强吹灰	201
8.5.2	防止管外结焦并停炉时清焦	201
8.5.3	采用化学清灰剂	202
8.5.4	使用远红外节能剂	204
第九章	加强运行管理及余热回收	205
9.1	控制排烟热损失及烟气余热回收	205
9.1.1	优化 α 值及排烟温度控制排烟热损失	205
9.1.2	加装热管换热器回收烟气余热	205
9.2	减少散热损失及余热回收	209
9.2.1	加强炉墙保温,减少散热损失	209
9.2.2	q_6 热损失热量的回收	209
9.2.3	排污余热利用	209
9.3	提高锅炉净效率	211

9.3.1	锅炉的毛效率和净效率	211
9.3.2	风机、水泵采用变频调速	212
9.3.3	热网设备设置及运行对锅炉房节能的关系	213
9.4	提高运行管理及技术水平是投资少、见效显著的 节能措施	214
9.5	节能的基础工作	215
9.5.1	安装齐全所需的监测仪表	215
9.5.2	完善规程制度,进行技术考核及培训	215
9.5.3	进行热平衡试验,摸清锅炉能源利用情况	216
9.6	负荷的合理调度	217
9.6.1	负荷的经济调度	217
9.6.2	对不同性质建筑采用分时供暖	218
9.6.3	采用蓄热器	219
9.7	锅炉运行的自动控制	222
9.7.1	供热锅炉自动控制内容及对象	222
9.7.2	供热锅炉的计算机控制	224
9.7.3	层燃炉燃烧调节计算机监控的难点	225
9.7.4	层燃炉燃烧调节计算机监控的进展	226

第一章 集中供热热源节能和环保的基本途径

1.1 热源节能与环保的重要意义

我国实行的科技强国和可持续发展是国民经济和社会发展的战略方针。实施可持续发展的目的就是要控制人口发展、节约和保护资源、保护和治理环境,以求在经济增长的同时,考虑整个社会的协调,考虑人民生活整体质量的提高,考虑人类社会与自然的和谐共存。

采取集中供热本身就是节能和改善环境的一项重要措施。但集中供热系统中仍存在如何节能增效和减轻环境污染的问题。目前集中供热系统中,都是将一次能源在锅炉中转换为热能,热源站房是燃料直接消耗的场所,也是主要的污染源。因此,热源的节能与环保在集中供热系统中占有极其重要的地位。

多年来我国在热源的节能和环保方面做了大量的工作,例如:淘汰了小容量和技术落后的锅炉房;发展热电联产;推广应用热、电、冷“三联供”;采用循环流化床锅炉;调整能源结构等。最近又提出锅炉燃用水煤浆等技术。

燃用天然气是提高热效率和减少污染的很好途径,这是被公认的。但是由于气源及经济条件的制约,要将原有大量链条炉排的锅炉近期都改成燃用天然气还不现实,因而这些锅炉的节能技术仍有待提高。中国城镇供热协会技术委员会,在全国考察的基础上,根据各供热企业的实际,总结了链条炉运行的问题和解决这些问题的方法与取得的成绩,归纳为《中国城镇供热系统节能技术

措施(二十条)》。其中 8 条为热源方面的措施,占 40%。(供热调节和运行管理的占 25%;热网的占 20%;热力站与热用户的占 15%)

链条炉采用分层燃烧和复合燃烧技术,是以提高锅炉效率和出力而应用较广的措施。它的形式很多,特别要了解其应用条件和采用后应注意的问题,切不可盲目采用。

固硫型煤是降低烟气 SO_2 排放量和燃用碎煤多的煤时提高锅炉效率的措施。

循环流化床燃烧技术是一种洁净煤的燃烧技术。但从目前查看来,较多的锅炉房没有或没有充分发挥其脱硫的效能,这方面还值得进一步探讨。烟气的除尘与脱硫是保证排放达标,改善环境的措施。但其方法众多,效果差异较大。

锅炉燃用水煤浆,虽然在工业锅炉及热电站锅炉上都已开始使用,但毕竟还属较新的技术。对这种洁净煤燃烧的关键技术问题有必要加以介绍。

本书不拟对锅炉的燃烧及传热和除尘脱硫的原理、计算与设计等作系统和详尽的阐述,仅通过应用实例对节能与环保技术措施进行介绍与探讨。

1.2 锅炉热效率及热损失的基本概念

1.2.1 锅炉热效率是说明锅炉经济性及是否节能的主要指标

锅炉是锅炉房的主体设备,它的功用是把燃料的化学能转变为热能。锅炉房的辅助设备也都是为锅炉服务的。锅炉房节能的重点是降低锅炉的能耗。锅炉的能耗主要是煤耗,但是不能以每个采暖期,或每日、每时的耗煤量来说明锅炉能量利用情况或比较不同锅炉节能的程度。因为锅炉容量不同,热负荷不相同,总耗煤量就不同,是不可比的,因此,必须以单耗来对比。

煤种不同,其每公斤的煤能发出的热量(也就是发热值)也不相同。为了消除煤发热值不同而造成的不可比性,常把耗煤量都

折算成“标准煤”或“标准油”量来对比。每公斤发热值为 29308kJ (7000kcal) 的煤称为“标准煤”；每公斤发热值为 41868kJ (10000kcal) 的油称为“标准油”。燃煤锅炉常用“标准煤”。

“锅炉热效率”综合考虑了上面所述的各个因素。它的概念是：单位时间内加入炉内燃料的热量，有多少热量真正被有效利用来产生蒸汽(或热水)，这两个热量的比值，以百分数表示。也就是单位时间被利用的有效热量占加入燃料具有热量的百分数。锅炉热效率是描述锅炉能量利用的程度，也是说明锅炉是否节能的主要指标。

1.2.2 锅炉的有效利用热量及热损失

蒸汽锅炉若其蒸发量为 $D(\text{t/h})$ ，其蒸汽的焓为 $i''(\text{kJ/kg})$ ，给水的焓为 $i'(\text{kJ/kg})$ ，则蒸汽锅炉的有效热 Q_1 为：

$$Q_1 = D(i'' - i') \times 10^3 \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-1)$$

热水锅炉若每小时加热水量为 $G(\text{t/h})$ ，锅炉进水及出水的焓分别为 i'_{rs} 及 $i''_{rs}(\text{kJ/kg})$ ，则热水锅炉的有效热 Q_1 为：

$$Q_1 = G(i''_{rs} - i'_{rs}) \times 10^3 \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-2)$$

如果每小时耗煤量为 $B(\text{kg/h})$ ，而煤的低位发热值为 $Q_{dw}(\text{kJ/kg})$ ，则加入炉中煤具有的热量为 $BQ_{dw}(\text{kJ/h})$ ，则：

$$\text{蒸汽锅炉的热效率 } \eta = \frac{D(i'' - i') \times 10^3}{BQ_{dw}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-3)$$

$$\text{热水锅炉的热效率 } \eta = \frac{G(i''_{rs} - i'_{rs}) \times 10^3}{BQ_{dw}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-4)$$

煤的发热值有低位(Q_{dw})及高位(Q_{gw})之分，煤完全燃烧，其产生的水分以液体状态存在于生成物中，这时求得发热值称为高位发热值；若以蒸汽状态存在于生成物中，则称为低位发热值。很明显，高位发热值比低位发热值高，它们的差值就等于燃烧产物中水蒸气凝结放出的热量。《热设备能量平衡通则》(GB 2587—81)规定燃料发热值的基准一般采用低位发热值。

锅炉的热效率不可能达到 100%，因为，在锅炉内煤不可能达

到完全燃烧,煤所具有的热量不能完全释放出来,释放出来的热量也不可能全部被水吸收,而有热损失。煤中可燃物先挥发一些气体可燃物,这些碳氢化合物称为挥发分,它在锅炉内还可能有微量可燃气体未燃尽随烟气排走,这种热损失称为气体不完全燃烧热损失,或称化学不完全燃烧热损失,用 Q_3 (kJ/h) 表示。

挥发分逸出后,炉排上剩留的固体可燃物是焦炭。焦炭燃烧后成炉渣,从炉内排出。炉渣中仍含有一定的碳,称为渣中含碳量;小颗粒的飞灰中也可能含有未燃的碳粒;炉排漏煤中含碳更多。这些未燃烧的碳而产生的热损失,称为固体不完全燃烧热损失,或称机械不完全燃烧热损失,用 Q_4 (kJ/h) 表示。

燃料放出的热量也不可能全被水或汽吸收,有一部分随高温烟气排出,而形成排烟热损失 Q_2 (kJ/h)。锅炉本体会通过炉体向四周散失热量,而形成散热损失 Q_5 (kJ/h)。此外,还有其他热损失 Q_6 (kJ/h),它包括炉渣排出而带走灰渣的物理热量,或有锅炉部件冷却而冷却水带走的热量等。 Q_6 的热损失常常很小而忽略不计,则:

$$\begin{aligned} BQ_{dw} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (\text{kJ/h}) \\ &= \text{有效热} + \text{热损失} \quad (\text{kJ/h}) \end{aligned} \quad (1-5)$$

若式(1-5)两边都除以 BQ_{dw} , 并都以百分数表示;相应的有效热及热损失标码不变,而都以 q 表示,则:

$$\begin{aligned} 100 &= q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (\%) \\ \text{或} \quad q_1 &= 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (\%) \end{aligned} \quad (1-6)$$

不难看出: $q_1 = Q_1 / BQ_{dw} = \eta$, 即 q_1 就是热效率。

锅炉热效率可以测试求得,若单测算 Q_1 、 B 及 Q_{dw} 而直接求得热效率,称为正平衡试验。若不直接求热效率,而测算各项热损失,然后用 100% 减去各项热损失之和,即为热效率,称为反平衡试验。

1.2.3 正常运行负荷与热效率的关系

锅炉正常运行时,热效率是随着负荷(出力)的变化而变化的,

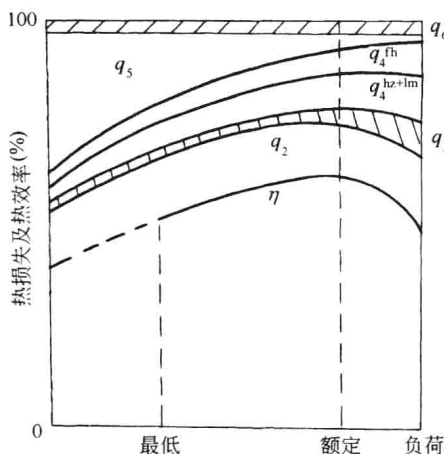


图 1-1 热效率及热损失随负荷的变化

如图 1-1 所示。负荷增加时,排烟温度升高,但 α 值减小, q_2 基本变动不大。 q_3 及 q_4 (q_4 分为灰渣及漏煤的机械不完全燃烧热损失 q_4^{hz+lm} 、及飞灰的机械不完全燃烧热损失 q_4^{fh}) 都随负荷增大而增加。

无论负荷高低,炉墙表面积不变,炉墙的表面温度也基本不变,故每小时通过炉墙散失的热量 Q_5 (kJ/h) 视为不变,但随着负荷的增加,用煤量 B (kg/h) 是增加的,而

$$q_5 = \frac{Q_5}{BQ_{dw}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-7)$$

故负荷增加 q_5 反而减小。 Q_5 很小,变化也不大。

由于随负荷变化,各项热损失按上述情况而变化,锅炉热效率 η 随负荷而变化的曲线,如图 1-1 所示,在额定负荷附近出现最高值;低负荷时,随负荷的降低,热效率下降;超负荷时,随负荷的增加,热效率也降低。

锅炉有最低负荷的限制,若低于最低负荷运行,锅炉不稳定。锅炉允许短时间内有 10% 的超负荷。希望能保持在 80% 至额定