

李杞仪 余作义 李 林 主编

第六届

粤港机械电子工程技术与应用
研讨会论文集

武汉工业大学出版社

WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

WUTP

第六届粤港机械电子工程技术 与应用研讨会论文集

主 编 李杞仪 余作义 李林

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

第六届粤港机械电子工程技术与应用研讨会论文集/李杞仪等主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2000. 11

ISBN 7-5629-1650-0

I. 第…

II. 李…

III. 机械电子工程-技术与应用-论文集

IV. TH40

武汉工业大学出版社出版发行
(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:442千字

2000年11月第1版 2000年11月第1次印刷

印数:1~400册 定价:34.50元

《第六届粤港机械电子工程技术与应用研讨会论文集》

编 委 会

主 任 钟世伦

副主任 梁天培 李明端 吴仰伟

编 委 (按姓氏笔画为序)

李 林 李杞仪 李明端 李荣彬

余作义 吴仰伟 陈协能 容启亮

梁天培 谢存禧

序

21世纪是信息化和技术创新的时代,经济与科技的全球化、一体化格局将对机械工程制造业产生深远的影响。

科学技术是生产力最活跃、最重要的因素,在生产诸要素中发挥着第一位的主导作用,决定着生产力的发展程度和水平,并最终决定社会进步和发展的程度和水平。目前,以信息科学和生命科学为核心的现代科学技术突飞猛进,使世界生产力的发展产生了革命性的变革,开辟了新的广阔的前景。科学技术已越来越成为生产力解放和发展的重要基础和标志,特别是高新技术,已成为当代社会生产力的制高点。谁掌握了高新技术优势,谁就掌握了经济与政治竞争的主动权。

从1990年开始,在香港和广东举行的每两年一届的粤港机械电子工程技术与应用研讨会已举办了五届。这次2000年的第六届研讨会为适应21世纪粤港两地机电工业新的发展,在会议的形式和内容上都有所创新,不仅有学术交流,而且有产品的信息交流,介绍新产品、新工艺、新设备的需求信息,也可根据与会代表的项目要求组织两地工厂、企业、研究开发单位、高等院校进行专项合作的会谈,使会议更加讲究实际,成为专家学者、企业家、管理人员互相交流和为繁荣两地机电工业服务的一次聚会。

第六届粤港机械电子工程技术与应用研讨会论文集共收录论文44篇,其中包括了制造工程、现代设计方法、家用电器与器械、教育与人才培养四个方面。论文集的出版,必将对粤港两地机械电子工程技术的发展与合作起积极的推动作用。

广东省科学技术协会常务副主席 钟世伦

目 录

第一篇:制造工程

I 类无烟煤工业锅炉的研制与设计技术特点	黄家瑶(1)
大型振动筛分机液压系统的模拟实验和应用研究	吴百海 肖体兵 虞秀敏(15)
机械制造业最新国际走向、国内制造业的现状 & 发展对策探讨	赖建康 钟燕锋(20)
静配合联接的应用	汪立华(26)
超高压法兰泄露问题及对策	施俊侠 钟经山(31)
盾构技术及其在广州地铁的应用	凌京蕾 彭宏光(34)
大功率板极电渣焊对焊接厚大锻件的试验研究	廖承驹 隋明璋(44)
运用 TQC 方法攻克加氢反应器制造焊接难关	陈敏 陈沪(52)
A Study on Computer Controlled Test-bed Used for the Leakage Measuring of an Air Cylinder	LiQibai Liu ZhiYan(56)
风扇叶片的反求设计及模具制造	李维 李剑玲(61)
灌装机控制系统改造设计	谢小鹏 李多民 王大成(65)
机器人化装配的柔顺性	张铁 李杞仪 谢存禧(68)

第二篇:现代设计方法

大/小机械臂路径规划	顾晓勤(73)
面向并行工程的产品设计集成方法的研究	邱建国 王锦红 吕一鸣(77)
模具型腔高速铣削的精度分析	黄健求(81)
用 LQG/LTR 方法设计航空发动机控制系统	徐刚 曹广忠(85)
基于 PC 微机的 CAD/CAM 软件分析	钟燕锋 周宏甫(91)
用 IGES 实现 CAD/CAM 间的数据交换	周宏甫 钟燕锋(95)
热交换装置设计中的流体动力学计算	方锦槐(100)
四次代数方程的诺模图求解	李奎山(109)
磁轴承—非叠片转子系统的磁场和磁场力计算	曹广忠 徐刚 虞烈 谢友柏(115)
机构设计的遗传惩罚复合法	王卫平 李熙亚 左远志(122)
谈 NT 域用户管理的扩展技术	沈音乐 陈华鹏(126)
摩托车方案设计专家系统	李杞仪 岳巍(136)
基于径向基函数网络对雷达目标—维象的识别	钱飒飒 黄德双 李敏生(141)
空间资源规划(SRP)技术与应用	曾云清(148)

第三篇 家用电器与器械

异丁烷(R600a)制冷剂在无霜电冰箱上的应用	黄小池 吴世庆 谭霖 顾中平 潘坚(152)
S-PVC/NBR 共混材料改善电冰箱门封的低温弹性	雷莉 周俊 李代珍(160)
冰箱超静技术研究	吴世庆 范洪安 顾中平 杨新龙 刘军玺 潘坚(164)
医学超声影像技术的新进展	舒贞权 姚锦钟(169)
高温温控器筛选炉	汪立华(175)
基于模型的电冰箱检测与故障诊断系统的研究	姚国兴 柳宁 李剑琳(179)

虚拟示波器软件技术	柳宁 姚国兴 薛辉 李南安(185)
空调室外机外壳用耐候聚丙烯合金材料的研制	邹新伟 陈容煊 杨晓源(189)

第四篇 教育与人才培养

试论可持续发展与人才资源开发	郑凯红(193)
现代企业职工教育教学改革实践与探索	杨云兰(198)
三资“企业青年生存方式的调查与描述”	王丹平(202)
工业设计与素质教育	胡琳(206)
Intelligent Production System Modeling	C. S. Tang C. Y. Chan(210)
Robot Painting by Using Computer Control	K. W. LO(221)
A New Simulation Method Using Multi-Threads and Applets for a Flexible Manufacturing System	WC Kwong Dr. SF Lee Dr. Dario Toncich(227)
Application of Object-Oriented Methodology on Manufacturing Execution System	Qing Wang K. L. Yung W. H. Ip(237)
Simulation of Transient Process in Melting Section of Reciprocating Extruder	K. L. Yung Yan Xu Francis Lau(248)
Observer Performance Evaluation for a Flexible Manipulator	Anthony K. S. Wong Y. F. Li G. L. Wang(256)

Ⅱ 类无烟煤工业锅炉的研制与设计技术特点

黄家瑶

(福州锅炉厂, 福州)

摘 要 介绍了针对低挥发分多煤末Ⅱ类无烟煤的燃烧特性研制成功的工业锅炉系列产品的设计技术特点。

关键词 Ⅱ类无烟煤; 工业锅炉; 特点; 节能

从 60 年代中期开始, 30 多年来福州锅炉厂一直从事Ⅱ类无烟煤锅炉的研制与开发, 经过不断的探索和创新及多次的更新换代, 目前已形成了新一代的适应Ⅱ类无烟煤燃烧的 70 多种规格从 0.5~35t/h 的 DZG、DZL、SZL、SHL、SHB、SHXF 等多个系列的锅炉产品, 在已鉴定的产品中, 属国际先进水平的有 8 种, 属国内首创的有 19 种, 填补了中国工业锅炉行业产品系列型谱的空白, 成功地解决了Ⅱ类无烟煤在工业锅炉上着火、稳定燃烧和燃尽的技术难题。《Ⅱ类无烟煤高效节能工业锅炉系列》项目荣获 1995 年度国家科学技术进步三等奖; SHL20-2.5/400-WⅡ型、SZL6-1.25-WⅡ型、DZL4-1.25-WⅡ3 型等 15 项科研成果荣获福建省和福州市科学技术进步奖; Ⅱ类无烟煤高效节能工业锅炉系列项目 1997 年被列为国家级火炬计划; 6~20t/h 燃用Ⅱ类无烟煤高效节能工业锅炉被国家经贸委认定为 1998 年度国家级新产品; 有 3 个项目荣获联合国 TIPS“发明创新科技之星”奖。

福州锅炉厂除了Ⅱ类无烟煤工业锅炉外, 还研制开发了适应Ⅲ类无烟煤的从 0.7~14MW 的链条炉排热水锅炉和 20t/h、35t/h 适应无烟煤燃烧的中压(3.8MPa)链条锅炉。

这些无烟煤锅炉遍布全国无烟煤产区, 从广大地区的大量实践和调查表明, 按Ⅱ类无烟煤设计的链条锅炉, 可扩大煤种适应范围, 从Ⅱ类无烟煤扩大到Ⅰ类、Ⅲ类无烟煤、贫煤及低值混合煤等难以着火和燃尽的煤种, 并都取得了较好的节能效果, 深受用户的欢迎。

1 设计煤种及特性

无烟煤(俗称白煤)是埋藏年代最久、碳化程度最深、挥发分最低($V^r \leq 10\%$)的一个煤种。我国无烟煤储量较大, 仅次于烟煤, 多分布于华北、西南和中南地区, 如阳泉矿区、晋城矿区、焦作矿区、京西矿区、遵义矿区、芙蓉矿区的无烟煤都很出名。而福建省的五个矿务局几乎全部为 $V^r < 5\%$ 的低挥发分无烟煤, 全国无烟煤主要产地、储量分布如表 1 所示。

表 1

产地	山西	贵州	河北	四川	北京	福建	广东
储量分布比例(%)	50	30	2.84	2.7	2.42	0.66	0.52

据调查了解, 目前全国已有 23 个省市(约 400 个矿)大量开采无烟煤资源, 并用于工业锅炉做燃料。

我国一些无烟煤矿煤质分析如表 2 所列。

表 2

类别	名 称	V^* (%)	Q_{w} (kJ/kg)	C^* (%)	H^* (%)	C^* (%)	N^* (%)	S^* (%)	A^* (%)	W^* (%)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
I 类 无 烟 煤	京西安家滩	6.18	18188	54.70	0.78	2.23	0.28	0.89	33.12	8.00	1270	1325	1420
	广东曲仁	8.84	18950	49.20	2.01	3.95	1.22	0.75	39.62	3.25			
	上黄	6.78	16978	46.12	1.55	6.41	0.27	1.94	33.71	10.00			
	京西王平村	8.41	16320	51.76	1.63	1.54	0.31	0.46	36.3	9.80			
	焦作田门井	8.79	20984	57.95	2.24	2.63	0.70	0.26	29.01	7.13			
II 类 无 烟 煤	福建天湖山	2.84	25435	74.15	1.19	0.59	0.14	0.15	13.98	9.8	1315	1380	1460
	福建永安加福	2.63	27675	78.30	0.86	1.71	0.50	0.79	9.84	8.00	1100	1200	1215
	福建龙岩红炭山	4.69	24518	71.50	2.10	2.00	1.00	0.60	14.30	8.50	1400		
	福建陆家地	4.72	22140	66.17	0.4	2.88	0.62	0.23	18.56	11.10	1250	1280	1310
	福建永安	2.89	23291	66.84	9.98	1.51	0.51	1.22	20.10	9.20	1280	1300	1400
	福建上京	3.15	25690	72.40	1.28	0.42	0.16	0.34	19.30	6.10	1295	1313	1365
	福建邵武	4.88	20959	58.20	1.40	2.13	0.02	0.37	25.15	11.73	1190	1350	1370
	福建建瓯	2.82	22877	63.30	1.05	0.46	0.13	0.21	20.5	12.35	1310	1338	1403
	湖南湘永	3.85	31326	79.73	3.33	3.67	1.50	0.66	9.82	2.13	1295		
	金竹山	4.76	31058	84.15	2.5	2.17	0.68	0.50	4.30	5.00	1260	1285	1310
	大台	3.34	25226	74.735	0.95	2.64	0.317	0.188	17	4.37	1083	1114	
	湖北黄石秀山	3~5						2~4		7.79			
	晋城王合铺	4.95	27360	76	2.44	1.08	0.84	0.6	13.04	6.00			
	翠屏山	3.10	26544	73.45	1.85	0.92	0.68	0.36	15.74	7.00	1155	1205	1345
	福建连城	3.5	22575	63.80	1.20	1.30	0.60	1.70	22.90	8.50	1100	1200	1250
III 类 无 烟 煤	山西阳泉三矿	7.85	24426	65.65	2.64	3.19	0.99	0.51	19.02	8.00			
	山西晋城	9	24283	65.65	2.69	2.40	0.93	0.13	20.20	8.00	1500		
	京西木城涧	5.58	21570	64.10	0.91	2.49	0.67	0.39	23.40	8.00			
	门头沟	5.30	22023	64.85	0.93	2.51	0.67	0.40	23.64	7.00			
	广西红山朝阳矿	8.42	26050	67.15	2.55	1.58	0.79	3.84	16.16	7.69			
	广西红山下金矿	8.11	20102	72.50	2.79	2.40	0.88	2.21	16.40	2.82			
	河南焦作	8.20	22190	59.60	2.00	0.80	0.80	0.50	26.30	10.00			
	四川松藻	7~10	25849	65.09	2.99	2.05	1.05	5.14	22.14	1.55	1220	1360	1390
	四川芙蓉	8.0	22609	59.30	2.20	1.40	0.60	8.80	27.70	15.00			

续表 2

类别	名 称	V^r (%)	Q_{Lw} (kJ/kg)	C^r (%)	H^r (%)	C^r (%)	N^r (%)	S^r (%)	A^r (%)	W^r (%)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
Ⅱ类无烟煤	湖南湘永	8.5	23446	65.35	2.75	2.25	1.00	0.68	17.00	11.00	1173	1205	1247
	湖北新宏	7.62	27197	63.63	3.32	5.33	1.15	0.47	19.10	7.00	1380	1460	1490
	湖北源华	7.66	25372	68.20	3.30	1.22	1.00	2.14	18.00	4.17	1100	1280	1450
	广东梅县柱坑	5.42	28516	79.10	0.89	2.11	0.54	0.76	7.23	9.26	1405	1475	1540
	南庄矿	7.97	23488	56.96	2.55	4.38	0.97	0.70	30.62	3.82	1160	1490	1500
	芙蓉白皎矿	8.13	22780	54.37	20.4	1.73	0.66	3.58	28.42	9.20	1100	1160	1250

无烟煤是难以着火的煤种,根据着火困难程度而分成Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类,这3小类无烟煤 V^r 和 Q_{Lw} 等指标如表3所列。

表 3

类别	V^r (%)	Q_{Lw} (kJ/kg)	W^r (%)	A^r (%)	代表性煤种
WⅠ	5~10	<21000	<10	>25	京西安家滩
WⅡ	<5	>21000	<10	<25	福建天湖山
WⅢ	5~10	>21000	<10	<25	山西阳泉三矿

根据机械部上海工业锅炉研究所查阅国外样本和有关刊物、电传和联机检索表明,国外几乎没有没有燃用Ⅱ类无烟煤的锅炉,即使燃用无烟煤的,不是混烧就是配有油、气助燃的。而且国外无烟煤链条锅炉对煤质分析各项指标和煤的颗粒度都有严格的要求。

无烟煤表面具有明亮的黑色光泽,燃烧时仅有很短的青蓝色火焰。据Ⅱ类无烟煤代表性煤种福建天湖山无烟煤的热重分析,在试样体积 $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$,试样气氛 O_2 、气体流量 500ml/min 、升温速度 10°C/min 条件下,在5min、10min、15min和20min时,燃尽百分数分别为5%、34%、52%和83%,所以它是一种很难着火又极难燃尽的一个煤种。

Ⅱ类无烟煤的主要特性是:

(1)碳化程度高,挥发分极低,一般 $V^r=2\%\sim 4\%$,燃烧化学性能差,热传导能力低,着火温度高达 900°C 以上(Ⅰ类约 800°C 、Ⅲ类约 700°C)。

(2)细屑煤末多,0~3mm煤屑占70%以上,有的煤颗粒度 $<1\text{mm}$ 的占40%以上。

(3)质硬而脆,在炉排上燃烧时会爆炸成粉末。折算水分 $W^{zs}<3\%$ 。灰熔特性温度 $t_1\sim t_3=1100\sim 1450^\circ\text{C}$,硫分较低,发热量较高。

2 锅炉规范及主要设计数据

本厂70多种规格的无烟煤锅炉的设计数据限于篇幅不能一一列出,下面列出了按Ⅱ类无烟煤($V^r=2.84\%$)设计的DZL4-1.25-WⅢ型、SHL10-1.57-WⅡ型、SHL6-1.27-WⅡ型、SZL10-1.25-WⅡ型、SZL6-1.25-WⅡ型、SHL20-2.5/400-WⅡ型、FG-35/3.82-M型及按Ⅲ类无烟煤设计的SHL4.2-0.686/95/70-WⅢ型、SHL7-1.0/115/70-WⅢ型、SHL14-1.25/130/70-WⅢ型链条热水锅炉和SHB6-1.25-WⅡ型链带式半沸腾锅炉的一些主要设计数据(见表4)

表 4

项目名称	单位	DZL4- 1.25-W 13	SHL6- 1.27-W I	SHL10- 1.57-W I	SHL20- 2.45/400- W I	FG35/ 3.82-M	SHL4.2- 0.686/95/ 70-W I	SHL7- 1.0/115/ 70-W I	SZL6- 1.25-W I	SZL10- 1.25-W I	SHL14- 1.25/130/ 70-W I	SHB6- 1.25-W I
额定蒸发量	t/h(MW)	4	6	10	20	35	(4.2)	(7)	6	10	(14)	6
额定蒸汽压力	MPa	1.25	1.27	1.57	2.45	3.82	0.686	1.0	1.25	1.25	1.25	1.25
蒸汽温度	℃	193	194	203	400	450	95(出水)	115(出水)	193.3	193.3	130(出水)	193.3
给水温度	℃	20	20	20	105	150	70	70	105	105	70	105
排烟温度	℃	150	180	175	180	158	175	159	159	158	154	160
辐射受热面积	m ²	22.7	127	32.6	77	161	17.8	34.15	19.8	26.3	77.2	12.8
对流受热面积	m ²	110.13	127	240	257	29	84.2	211.2	199.3	312.7	248	100
过热器受热面积	m ²	—	—	—	84.2	365.8	—	—	—	—	—	—
省煤器受热面积	m ²	—	—	94.4	268	642	—	—	—	—	137.7	47.2
空气预热器 受热面积	m ²	8.35 (热管)	154	122 (铸管)	506	830.2	154	226.8	20.6 (热管)	29 (热管)	38.45 (热管)	20.59 (热管)
炉排型式	—	中块 活芯	不漏煤 鳞片式	同左	同左	同左	同左	同左	中块 活芯	中块 活芯	不漏煤 鳞片式	单鳞片 式
炉排轴距	m	5.425	6.5	7	8.5	9.7	6.5	7	7	7.8	8.5	5
炉排有效面积	m ²	6.67	10.6	14	24	39.52	10.6	14	10.56	15.33	24	1.75
炉排面积热强度	MJ/m ² · h(kcal/m ² ·h)	1852 (443 ×10 ³)	1818 (435 ×10 ³)	2271 (543 ×10 ³)	2743 (657 ×10 ³)	2725 (652 ×10 ³)	2014 (482 ×10 ³)	1973 (472 ×10 ³)	1869 (446 ×10 ³)	2148 (513 ×10 ³)	2797 (669 ×10 ³)	—
后拱覆盖率	%	70.5	~70	68	70.5	75	~70	68	70	75	70.5	—
前后拱总覆盖率	%	90	93	100	96	98	93	100	94	94	96	—
燃烧带高度	m	0.8	1.5	1.5	2.5	2	1.5	1.5	1.8	1.9	2.5	2.3
设计煤种	—	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =3.43%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =3.43%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =3.43%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =3.43%	I、II类 无烟煤 V _r =2.84% 和 7.85%	I类无烟煤 V _r =7.85% V _r =7.85%	II类无烟煤 V _r =7.85% V _r =7.85%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =2.84%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =2.84%	II类无烟煤 V _r =7.85% V _r =7.85%	I类无烟煤 V _r =2.84% V _r =2.84%

3 锅炉结构概述

3.1 DZL 系列 1t/h、2t/h、4t/h 锅炉系列产品,以 DZL4-1.25-W II 3 型锅炉为例

该型锅炉为卧式三回程水火管混合式自然循环快装链条炉排锅炉。锅炉本体为单锅炉筒纵置式,锅筒内布置二束烟管,其中第二回程为螺纹烟管束,炉膛两侧布置有光管水冷壁管,链条炉排为中块活芯炉排片和接触式侧密封结构,尾部布置有热管空气预热器,配备有上煤机、螺旋出渣机及多功能的自控装置。

煤自煤斗落在炉排面上进入炉膛燃烧后,火焰经过后拱上部燃烬室和后棚管烟室后进入螺纹烟管第一管束到前烟箱,再由前烟箱折回第二烟管束后通过热管空预器、多管或脉动除尘器,然后由引风机抽引通过烟囱排出。

冷风通过鼓风机送入热管空气预热器放热段,经热管加热后迅速升温变成 100℃ 左右的热风,通过热风道、分风室送入炉膛以供煤的燃烧。

该型锅炉保温层内设耐火砖、硅酸铝纤维毡及石至石棉三层,其外壳采用压型板及压型骨架固定,配上各种颜色,外形十分美观。

3.2 SHL 系列 6t/h、10t/h、20t/h 水管锅炉

该系列锅炉为双锅筒横向布置,自然循环回路,上锅筒内采用挡板、水下孔板和汽水分离器,其内径分别为 $\varnothing 1000$ 、 $\varnothing 1200$ 和 $\varnothing 1400$,下锅筒内径 $\varnothing 900$,上下锅筒间中心距分别为 3.2m、4.5m、5.5m,其间布置有大量的 $\varnothing 51$ 或 $\varnothing 60$ 的对流管束,呈错列布置,配有两组隔烟板,锅炉本体布置有前后集箱,左右防焦箱及左右上集箱,带有过热器的 10t/h、20t/h 锅炉均配有表面式减温器以调节汽温,尾部烟井配有省煤器和空气预热器或只配空气预热器。

燃烧设备采用通风截面比小的鳞片式不漏煤炉排(6 片一组),炉排前后轴中心距分别为 6.5m、7m、8.5m,各分风室内布置有若干块配风挡板,炉排面上布置有前挂式松煤器,后部有挡渣器,侧密封采用填料式。炉排采用无级调速齿轮箱驱动。

燃烧室内布置有组合的前后拱和一定高度的卫燃带。

无烟煤燃烧后的高温烟气经喉口、炉室后通过凝渣管(过热器)以 S 形横向冲刷错列布置的对流管束,再经(省煤器)空气预热器、除尘器,由引风机抽吸从烟囱排出。

3.3 SZL 系列 6t/h、10t/h 水管锅炉

该系列产品有 6 种规格(包括蒸汽和热水锅炉),现以 SZL6-1.25-W II 型锅炉为例。

SZL6-1.25-W II 型组装水管链条炉排锅炉为双锅筒纵置式自然循环水管链条锅炉。燃煤由前部煤斗落入炉排前端,经燃烧后落入出渣机排出。从送风机出来的冷空气经热管空气预热器加热至 110℃ 以上,从风道进入炉排风室分区再进入炉排火床。燃煤在炉床上燃烧后产生的热烟气从炉膛进入燃烬室,再绕过隔墙进入第一对流管束、第二对流管束、第三对流管束,出锅炉本体后进入热管空气预热器,经过除尘器、引风机,由烟囱排入大气。

该型锅炉为组装形式,锅炉分两大件组装,上部大件为锅炉本体,主要是“锅”部分,下部大件为链条炉排,主要是“炉”部分。两大件在工地上合拢后只需进行必要的炉墙砌筑及烟风道、汽水管道路、仪表阀门、螺旋出渣机等安装,然后接通水电即可投入运行。具有结构紧凑、安装使用方便、安装周期短、单层布置基建投资省、占地面积小、锅炉热效率高等特点。

本炉设计采用了中块活芯炉排片,这种具有锯齿形工作面、活芯卡接、前后交接缝彼此交叠、通风缝摩擦段倾角较小、通风截面比小(4.5%)的中块活芯炉排片及新型侧主动炉排片和

新型接触式侧密封结构相配合,具有结构简单、工作可靠、金属耗量小、通风均匀性能好、漏煤率低、装配工时小等一系列优点。本炉热工测试低挥发分多煤末的Ⅱ类无烟煤时,其漏煤率(漏煤量包括炉链回程带渣)仅为2.3%左右,比以前采用小片轻型链带式炉排时的漏煤率5.7%~7.8%大大下降了。该中块活芯排片在本厂Ⅱ类无烟煤链条锅炉系列新产品开发应用中已取得了显著的经济效益和社会效益。

本炉采用低长后拱与短高厚前拱组合,后拱为水平—倾斜—水平形式,水平倾角 7° ,离炉排面高点距离0.68m,低点距离0.36m,覆盖率为70%;前拱倾角 20° ,覆盖率24%,高1.6m,厚0.64m;卫燃带高度1.8m。为保护和加强前拱支撑,在前拱下煤闸门后装设了水套梁。这样的炉拱布置形式,合理地组织了炉内热辐射及烟气流动,加强传热,把后拱下火床产生的高温烟气及火红的炽热炭粒导向火床头部,散落在新燃料上,形成有一定厚度的高温炽热红炭粒覆盖层,维持着火区的高温,强化了Ⅱ类无烟煤的上部引燃,保证了Ⅱ类无烟煤有良好的着火条件。

为保证Ⅱ类无烟煤的稳定燃烧和充分燃尽,本设计选用了较低的炉排可见热强度,炉排前后轴中心距为7m,炉排有效面积 10.59m^2 。炉排双侧进风,分7个分风室,风室内装设调风挡板,能较好地调整燃烧各阶段的配风量,燃烧各阶段的火床面配风均匀,有利于无烟煤的燃烧与燃尽。

3.4 FG-35/3.82-M型、FG-20/3.8-M型燃用无烟煤链条锅炉

FG-35/3.82-M型锅炉为室内布置的单锅筒横置式自然循环锅炉。锅筒内径 $\varnothing 1500$,壁厚46mm。锅筒内有多孔浸沉孔板、波形板等汽水分离设备。炉膛四周布满了 $\varnothing 60\times 3$ 的水冷壁管,整个水冷系统分前、后、左右侧前、左右侧后六个各自独立的循环回路,每个循环回路均有 $\varnothing 89\times 4$ 的下降管向下集箱供水。前后墙水冷壁上直接引入汽包。左右侧前水冷壁除有一部分通过上集箱再用2根 $\varnothing 89\times 4$ 的管子引入汽包外,其余侧水冷壁管均直接引入汽包。在炉壁出口处将后水冷壁折向前墙形成折焰角,以改善烟气的动力工况并拉稀成三排组成凝渣管。整个水冷壁与汽包、集箱的连接全部采用焊接方式。在凝渣管后的水平烟道内顺烟气流动方向共布置了两级垂直式过热器,高温段在前面用 $\varnothing 42\times 3.5$ 的12Cr1MOV管,低温段在后面用 $\varnothing 38\times 3.5$ 的20锅炉管。在两级过热器中间布置了 $\varnothing 325\times 20$ 的表面式减温器,减温水出口与锅炉给水在混合集箱中混合后进入省煤器。省煤器为沸腾钢管式,单级布置,全部用 $\varnothing 32\times 3$ 的钢管,弯制而成,共分三组呈“L”形布置。在尾部第一烟道中布置两组,水自下而上流动,在尾部第二道烟道中布置一组,水自上而下流动,整个省煤器中的水与烟气呈逆流。为防止升火时省煤器蛇形管烧坏,在汽包及省煤器的进口集箱间装设了再循环管。在尾部第二烟道的上部布置了直立钢管式空气预热器,分左右两组。

燃烧设备采用鳞片式不漏煤炉排和填料式侧密封结构,炉排下7个分风室中布置了配风挡板,炉排面上布置有松煤器及挡渣器。炉排前后轴中心距9.7m,宽4.44m,有效面积 39.52m^2 , $Q/R=2725\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}(652\times 10^3\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h})$

炉膛内布置了组合的前后拱,后拱倾角 6° , $a=75\%$,前拱倾角 20° , $a_1=22.8\%$,前后拱总覆盖率约98%,烟气后拱下平均烟速12m/s,喉口烟速9.6m/s,燃烧室下部约2m处以下布置了卫燃带。

FG-20/3.8-M型链条炉排锅炉为双锅筒横置式自然循环蒸汽锅炉,燃煤从前部煤斗落入炉排的前端,煤层随炉排缓慢移动进入炉膛,在炉内边燃烧边行进,直至全部完成燃烧过程,落

人出渣机,从送风机出来的冷空气经热管空预器加热到 120°C 左右,从风道进入炉排两侧进风管经分区送风进入炉膛,燃烧生成的烟气先后经炉膛、凝渣管、过热器、对流管束、省煤器、热管空预器和除尘器后排出锅炉。

3.5 SHB6-1.25-W I 型链带式半沸腾锅炉

该锅炉是福州锅炉厂 1992 年研制成功并通过了技术鉴定。

半沸腾锅炉是链条炉排锅炉与沸腾锅炉的一种结合炉型,也称喷泉床锅炉,它具有链条炉及沸腾炉的优点:引燃快、燃烧强烈,具有较高的燃尽率;煤种适应范围广,煤颗粒度及含水分要求不严格,结焦性不敏感;炉排金属材料省,容易大型化;有非常好的负荷适应性,升、压火方便。由于这些优点,对于燃用低挥发分多煤末的无烟煤、劣质煤及要求适应负荷波动大的用户来讲,该炉型是一种很适合的主要炉型之一。

SHB6-1.25-W I 型锅炉为双锅筒横置式自然循环链带式半沸腾锅炉。锅炉为室内双层布置,炉膛上部四周布置有水冷壁管。燃料进入链带式半沸腾床燃烧后,高温烟气由炉膛上部凝渣管处出口,经重力惯性分离器、对流管束、陶瓷多管分离器、省煤器、热管空预器,再经过文丘里麻石除尘器和引风机至烟囱排入大气。

链带式半沸腾锅炉其燃烧过程与原理基本与全沸腾炉相同,而其进料、布风和出灰又是用一副活动的链条炉排,所以具有下述特点。

(1) 炉排与密封

采用水平倾角为 12° 的斜鳞片式链条炉排,有效宽度 0.37m ,前后轴中心距 5m ,炉排有效面积 1.75m^2 ,通风截面比为 4% ,每片炉排片开了 100 个蜂窝通风孔并在横向布置了一条凸筋。该炉采用了单排鳞片炉排,比一般的链条炉炉排狭窄得多,节约了大量金属。炉排前部用两道拖板和水箱作为前密封,侧密封采用接触式和填料式组合侧密封,炉排下布置了 6 个风室进行分段送风。这样的燃烧设备结构型式更加适应多煤末低挥发分无烟煤的燃烧,配风均匀,漏煤少,侧密封性能好,漏风少。同时对于燃煤的粒度要求不严格。炉排热强度比链条炉高 $4\sim 5$ 倍,与沸腾炉相比,具有不怕结渣的特性,因此床温可控制在 1200°C 左右,燃烧效率较高。

在炉排两旁能自然形成炽热的斜料堆,提高了燃烧的稳定性,升、压火方便,对煤种的变化有很强的适应性,可以有较长时间的压火,不易熄火。负荷调节适应性强,可适应 $10\%\sim 100\%$ 的负荷调节范围。

炉排是倾斜的,目的是造成沸腾池,并防止煤粒直接落入灰坑。前部风压较高,料层呈沸腾状态,后部风压很低,料层较为稳定,排渣安全可靠,便于处理结焦,因而运行可靠性比全沸腾炉高,且床层压降小,鼓风能耗低于全沸腾炉。

(2) 炉内飞灰分离及复燃

炉膛下部针对 II 类无烟煤的着火点高 (900°C 以上) 的特性,布置建立了一个高温区,即炉膛下部前墙不布置受热面,左右侧墙及后墙距炉排面 $1.8\sim 2.5\text{m}$ 高之间也不布置受热面,提高了该区的炉温,飞灰回燃喷嘴亦布置在该区,这样有利于 II 类无烟煤的燃烧和飞灰复燃。

飞灰损失是半沸腾锅炉一个比较大的热损失,为了降低这个损失从而进一步提高锅炉热效率,本设计在炉内设置了二级分离器,炉膛出口布置了重力惯性分离器,对流管束出口布置了陶瓷多管分离器。二级飞灰分离器分离下来的飞灰经锁气器的可调节的飞灰回燃喷嘴用高压空气由后墙分 6 个管道送入炉膛下部高温区继续复燃。

(3) 尾部受热面

为了有效地利用低温烟气,并改善Ⅱ类无烟煤的着火燃烧工况,在锅炉尾部布置了省煤器和热管空气预热器,预热一次风 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ 左右,促进了无烟煤的稳定燃烧。该炉所配热管空气预器的结构及烟速考虑得较合适,运行两年多后进行检查,未见有积灰现象。

3.6 SHXF系列10t/h、20t/h、25t/h、35t/h循环流化床锅炉,以SHXF20-1.6-WⅡ型循环床锅炉为例

本锅炉采用双锅筒横置式M形布置,两台螺旋给煤机并列布置在炉前,燃煤由滑差变电机带动给煤机正压送入循环流化床内。从送风机出来的冷空气经热管空气预热器加热至 150°C 左右。经热风道大部分进入等压风室,流经布风板小风帽进入流化床参加燃烧,另一部分作为播煤风、回料风及二次风进入炉膛参加燃烧。所产生的烟气先后流经密相区、稀相区、凝渣管、U形惯性分离器烟道、组合式旋风分离器、燃烬室、对流管束,最后流经Ⅰ级省煤器、热管空预器、Ⅱ级省煤器和除尘器后由烟囱排入大气。

(1) 炉膛设计

针对Ⅱ类无烟煤着火温度高,煤末比例大的特性在炉膛设计时要创造两个高效燃烧炉膛的条件:①保证整个炉膛自下而上的温度始终保持在Ⅱ类无烟煤着火温度 900°C 以上,以确保在不结焦的前提下煤颗粒沿整个炉膛高度处于着火燃烧状态。要保证反应活性差的Ⅱ类无烟煤的高效燃烧,保持适宜的床层和整个炉膛温度水平是至关重要的。本锅炉在各种负荷下运行时,沸下温度 $1030\sim 1060^{\circ}\text{C}$,稀相区上段 $930\sim 990^{\circ}\text{C}$ 以上,炉膛出口 900°C 左右;②保证微米级的灰粒(高中温分离器不容易分离下来的细小飞灰粒子)在炉内有一定的停留时间。因为较大的煤颗粒能被高温分离器分离下来,重新进入炉内循环燃烧,炉内停留时间很长,燃尽率高。而那些微小飞灰粒子所占的比例不少,它经过高温炉膛的机会只有一次,以后就被烟气带走,尽可能提高这部分飞灰中炭的燃尽程度,是提高锅炉热效率的关键因素之一。为此采取了下列设计措施:

①对于难燃的低挥发分Ⅱ类无烟煤的20t/h锅炉不宜采用高速循环床,而只能采用低倍率循环床,保持较少的循环物料是合适的。流化速度的选取十分重要,因为流化速度不同首先影响燃煤停留时间,不但影响燃煤一次通过炉膛能否燃尽的最大颗粒径,而且会影响循环物料的燃尽;其次不同的流化速度,燃烧释放出的热量沿炉膛高度的分布也不同,特别是密相区和稀相区之间的热量分配比例不同。显然低的密相区流化速度大,大量燃煤在密相区内燃烧。为了保持合适的密相区温度,可在该区布置较多的埋管受热面,而当密相区流化速度较大时则不布置埋管受热面,而在稀相区布置较多的水冷壁。再者密相区和稀相区低的流化速度加上较高的炉膛,将使煤粒的停留时间增加,提高了燃尽程度。

本锅炉设计了较高的炉膛高度。从布风至炉膛出口约11m,密相区布置了埋管受热面,其流化速度为 3.1m/s ,稀相区流化速度为 2.4m/s ,这样煤粒在高温炉膛内停留时间达到4s多。

②采用正压给煤,这样新加入的冷态燃料与密相区炽热燃料混合并迅速加热到着火温度以上。为保护给煤机头部不被烧坏和避免煤经给煤机进入炉内堆集及提高燃烧效率,给煤机头部外壳加装了播煤二次风。布风板纵向采用不等开孔率的小风帽,使得密相区燃料形成炉内循环,有助于延长煤在炉内高温区的燃烧时间,进而有利提高飞灰燃尽程度。

③密相区布置有斜横埋管,额定负荷下,密相区沸下、沸上温度均在 $1000\sim 1060^{\circ}\text{C}$ 左右,分离器分离下来的灰颗粒用热风亦在沸上处进入循环燃烧,在沸上与稀相区下部间炉膛不布置受热面,稀相区中上部只在前后墙布置水冷壁,而两侧墙不布置水冷壁,炉膛内衬用高铝耐

火砖,在内外墙耐火砖与红砖之间的间隙用 25mm 厚的硅酸铝纤维毯,增加了保温效果,使得炉墙壁外表面温度大为降低,减少了 q_5 损失。这样炉膛保证了整个炉膛温度始终保持在 I 类无烟煤的着火温度 900℃ 以上,形成了高效燃烧炉膛。

(2) 灰粒分离循环系统设计

本锅炉灰粒分离循环系统有三种,第一级是炉膛出口的 U 形惯性分离器;第二级是组合式旋风分离器;第三级是对流管束下部烟气转弯惯性分离室。前二级属高温分离。这三级分离器分别与立管和回料器组成,形成了 5 个独立的灰粒循环系统并均用热风送入密相区或密相区上方高温区内循环燃烧。

分离器的作用在于把含有未燃碳的粒子收集下来,通过回料系统送入炉内再燃。第一级 U 形惯性分离器主要是把炉膛出口烟气中较粗颗粒分离出来,这些颗粒温度高,从回料立管的观察孔中可看到一股红色颗粒流源源不断地流下通过回燃器从密相区上部(离炉底高 1.6m)处送入燃烧。第二级采用组合式旋风高温分离器,它是由沿烟气流动方向错列分布有几种结构各异的分离元件组成迷宫式结构,分离元件由铝碳质材料经压模成型后高温烧结而成,耐火度达 1750℃,具有抗氧化、耐腐蚀、耐磨等特点。当烟气通过时便产生旋转运动,靠离心力的作用而实现气固分离,理论上可将粒径 $d < 0.09 \sim 0.1\text{mm}$ 的颗粒分离下来。其下部通过 $\varnothing 300$ 的立管由 U 形回料器从离炉底约 1m 高的地方送入密相区燃烧。立管内物料流动控制在移动床流动状态范围进行,立管中的气体被物料携带向下流动,显然这部分气体是分离器内的烟气,含氧量低,且立管中的颗粒温度在 680~710℃ 左右,可有效地防止立管中结渣,影响正常运行。本回料器设计巧妙,工作可靠,所需风量少,调节性能好,系统具有较强的抗干扰能力,对炉内工况变化的适应能力强,克服了其他回料阀的缺点,投运以来,该回料器一直正常运行。第三级分离是燃烬室下部及对流管束后下部转弯惯性分离下来的中温灰粒通过立管和锁气器再经回料装置从离炉底高约 1.1m 处送回密相区高温区燃烧。

由于三级分离均采用高、中温炉内分离循环方式,有较高温度的灰颗粒用 150℃ 左右的热风送入炉内密相高温区燃烧,其效果是十分显著的。

(3) 防磨设计

国内外的循环床锅炉研制过程中都会碰到某些部件磨损和防磨设计的问题。本设计从多方面入手防磨或减轻磨损程度以提高受热面和炉墙的使用寿命。

对流受热面的磨损和物料浓度、烟气流速成正比,而埋管受热面磨损的影响因素很多,其机理尚未完全搞清,但流化速度对磨损有直接影响。因此本设计采用较低流化速度。密相区横埋管用厚壁的 $\varnothing 60 \times 8$ 的锅炉管,凝渣管和 U 形上行段水冷管易受磨损部位用 $\varnothing 60 \times 5$ 锅炉管并焊上 $\varnothing 13$ 防磨圆钢。

为防止砖墙内表面及砖缝磨损,我们设计时在整个炉膛及 U 形段等后面几个部位涂上科光 871 高温胶泥,如在密相区周围内墙壁上涂一层 5~10mm LS-8 高温胶泥,分离器元件间用 LS-硅, U 形段及各隔墙砖缝也用 871 高温胶泥。这种高温胶泥具有在低温状态时以化学粘结为主,在高温状态时以陶瓷烧结为主的双重粘结功能,高温性能好,粘接力强,抗热震,耐摩擦,防腐蚀等特点。

(4) 采用热管空气预热器

在两级省煤器之间布置有热管空气预热器,热管向上倾斜 10°。烟气段长 1.5m,空气段长 1.2m,光管规格 $\varnothing 32$,纵向 10 排,横向 26 排,总受热面积 35.29m²。热管是高效传热元件,热管

空气预热器与列管式空气预热器相比,其传热量可增加2~3倍,而且结构十分紧凑。同时由于热管管壁温度较高,对防止低温腐蚀和粘结性积灰十分有利。本锅炉采用热管空气预热器,热风达到150℃左右;作为一次风、回料风、播煤风和二次风,对促进无烟煤稳定燃烧是有利的。该系列锅炉目前有18种规格产品,由于本文主要讨论链条炉排锅炉,该系列锅炉在此就不再赘述。

4 设计特点

前苏联、美国等国早期对于无烟煤链条锅炉无论是理论或是实践方面都做了大量的试验研究工作,提出了许多很有价值的报告。但据有关资料报告,国外无烟煤链条锅炉对煤质分析各项指标和煤的颗粒度(按分选无烟煤设计)都有严格的要求,锅炉热效率只有在规定的煤质指标下才能保证达到,苏联在烧 $<6\text{mm}$ 的无烟煤屑时,热效率大为下降,通常都要加入一定量的烟煤形成混合煤以提高锅炉运行的经济性。但我国煤的供应受各种因素的影响,煤的颗粒度不能保证,供煤中煤末比例大,因此我国无烟煤链条锅炉都是燃用没有分选的多煤末的无烟煤原煤,但其热效率已达到或接近国外燃用分选无烟煤时的热效率。从某种意义上来说,我国无烟煤链条锅炉技术的发展已处于比较领先的地位。

在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类无烟煤中,特别是Ⅱ类无烟煤 V^r 仅2%~4%,燃烧化学反应性能差,热传导能力低,着火温度高达900℃以上,且细屑煤末多,0~3mm煤屑占70%以上,在炉排上燃烧时会爆炸成粉末,所以着火非常困难,燃尽也极为不易。因此,为了使链条炉能很好地适应Ⅱ类无烟煤的燃烧特性,为了具备Ⅱ类无烟煤在锅炉中有良好的燃烧条件,足够的空气量,高于Ⅱ类无烟煤着火点的炉膛温度,足够的燃烧时间及燃料与空气的充分混合,设计时链条炉的燃烧室结构、炉排结构型式与尺寸、送风布置及煤场管理和操作方法等都必须与Ⅱ类无烟煤的燃烧特性相适应。

4.1 燃烧室

Ⅱ类无烟煤的着火问题十分严重,因此Ⅱ类无烟煤链条锅炉燃烧室的布置首先应当是要保证无烟煤的及时着火,然后还应保证有良好的燃烧工况,其关键在于改善火床的着火条件。改善火床着火条件的实质是将燃料燃烧所放出的热量尽可能多地引至火床头部的着火区,以提高那里的温度,加强传热,保证新燃料的及时和稳定着火。改善Ⅱ类无烟煤着火条件的主要途径就是布置合适的拱型及其他改善着火、燃尽的相应措施。炉拱是影响入炉无烟煤燃料能否及时着火的关键部件,国内外的大量研究和实践也证实,炉拱的布置正确与否,对于无烟煤的稳定燃烧至关重要。

(1) 后拱

后拱通过与前拱的适当配合能引导高温烟气对着火区流动而产生如下三个效应:①促使高温火焰所携带的炽热炭粒散落在新燃料上形成高温覆盖层的接触传热。②组织高温烟气对新燃料和着火区炉拱的冲刷,形成带冲击的对流传热。③大量的高温烟气输入着火区,提高了那里的温度,从而有效地增强了辐射引燃作用。应当着重指出的是,燃用Ⅱ类无烟煤由于其 V^r 极低,火焰短,辐射引燃作用有所减弱而对流引燃作用却起着非常重要的作用。炉拱对流引燃的第一个效应如果不能达到,也就是说假如没有或只有很少的炽热炭料散落在炉排前部新燃料层上而没有形成一定厚度的高温炽热炭粒覆盖层,Ⅱ类无烟煤着火区将大大向后推移,炉温不易提高,而且操作不当将有熄火的风险。

因此,无烟煤链条炉的后拱一般采用水平—倾斜式(如1~10t/h快、组装锅炉)和单倾斜