煤质特性对燃煤电厂炉型选择的影响

朱海¹, 王海涛²

(1. 秦皇岛秦热发电有限责任公司 河北 秦皇岛 066003;
2. 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司 北京 100098)

摘要: 对某新建电厂拟用煤种的煤质特性进行了分析,发现设计煤种、校核煤种 M_1 都超过了 31%,采用煤粉炉炉型时,选择中速磨制粉系统应特别慎重;设计煤种具有轻微结渣、中度沾污倾向,校核煤种具有严重结渣、高度沾污倾向,设计、校核煤种分别属于中等结渣和易结渣煤种;设计、校核煤种属低挥发分褐煤,热值均较低。以煤质特性为基础,从燃料水分、灰渣特性、挥发分和发热量、煤灰 CaO 含量等方面对电厂锅炉炉型进行了选择。结果表明:与煤粉炉相比,循环流化床(CFB)锅炉对煤种适应性更强,可大幅降低燃用煤种的结焦风险,且低负荷稳燃特性良好;CFB 锅炉+干法脱硫除尘一体化的布置方式可充分利用灰中 CaO,节约脱硫用石灰石耗量,降低投资。最后通过对 CFB 锅炉的优势分析,说明其具有燃料适应性好、负荷调节范围广、清洁高效燃烧和运行周期长等优点,对于设计、校核煤种来说,CFB 锅炉是更好的选择。

关键词: 循环流化床锅炉;煤粉炉;煤质特征;燃煤电厂;炉型选择

中图分类号: TD849; TM621.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-6772(2012)06-0049-04

Influence of coal quality characteristics on the choice of boilers in coal-fired power plant

ZHU Hai¹, WANG Hai-tao²

(1. Qinre Power Generation Co. Ltd. Qinhuangdao 066003 China;
2. Huaneng Clean Energy Research Institute Beijing 100098 China)

Abstract: The analysis of coal quality characteristics which is going to apply in newly-built power plant indicates that the M_1 of design coal and check coal are more than 31 percent, so caution should be used when choosing the type of pulverized coal furnace and medium speed grinding system. The design coal tends to slightly slag and moderate contaminate, while the check coal is inclined to serious slag and highly contaminate. Both are low volatile lignite, the calorific value are poor. Based on the coal quality, fuel moisture, slag characteristics, volatiles, calorific value and CaO content in coal ash, chose the type of boiler. The results show that, compared with pulverized coal furnace, CFB boiler has better coal applicability and stable combustion performance under low load condition, which avoid the slagging. The combination of CFB and dry desulfuration dedusting system makes full use of CaO in coal ash, reduces the additional CaO consumption. The CFB boiler has lots of advantages such as great coal applicability, broad load control range, long cycle of operation which are the right furnace for design coal and check coal.

Key words: CFB boiler; pulverized coal furnace; coal quality characteristics; coal-fired power plant; choice of furnaces

收稿日期: 2012-08-28 责任编辑: 白娅娜

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAA02B02)

作者简介: 朱海(1973—)男,山东龙口人,1995年毕业于长沙电力学院热动专业,从事燃煤电厂技术管理工作。

引用格式: 朱海,王海涛.煤质特性对燃煤电厂炉型选择的影响[J].洁净煤技术,2012,18(6):49-52.

中国燃煤机组已进入大容量、高参数、多样化、高度自动化的发展时期。工业锅炉是重要的热能动力设备,在国民经济发展、居民生活中起着不可或缺的作用^[1]。对于大型燃煤电厂来说,锅炉主要有两类:煤粉炉和循环流化床(CFB)锅炉,这两类锅炉是目前电站所用的主要类型。燃用煤种从褐煤、

烟煤、劣质烟煤、贫煤直到无烟煤,甚至煤矸石,如何根据不同煤种选择燃煤锅炉型式对新建电厂来说非常重要。

1 煤质分析

某新建电厂拟燃用煤煤质分析见表1。

表1 某电厂煤质分析

煤种	工业分析/%					元素分析/%				
	M_t	M_{ad}	A_{ar}	V_{ar}	FC_{ar}	$\omega(C_{ar})$	$\omega(H_{ar})$	$\omega(N_{ar})$	$\omega(S_{tar})$	$\omega(O_{ar})$
设计煤种	32.80	24.74	13.27	26.79	27.14	42.25	2.73	0.72	0.68	7.55
校核煤种	34.00	21.72	10.49	22.38	33.13	42.02	2.28	0.40	0.54	10.27

煤种	焦渣特征 CRC	$Q_{net,ar}/$ (MJ·kg ⁻¹)	哈氏可磨性指数 HGI	灰熔融性/℃			
				变形温度 DT	软化温度 ST	半球温度 HT	流动温度 FT
设计煤种	黏着	14.95	46	1220	1280	1310	1330
校核煤种	黏着	14.70	46	1130	1210	1210	1230

煤种	煤灰成分/%													
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃	其它	
设计煤种	0.640	0.990	21.860	61.840	0.380	2.250	1.710	3.800	0.840	0.042	0.130	4.090	1.428	
校核煤种	1.420	5.510	15.170	39.070	0.017	11.040	0.750	13.840	0.620	0.026	0.230	8.230	4.077	

由表1可知,某新建电厂拟燃用煤种为典型褐煤。

2 煤质特性对炉型选择的影响

2.1 燃料水分

由表1可知,设计煤种 M_t 为32.80%, M_{ad} 为24.74%。校核煤种 M_t 为34.00%, M_{ad} 为21.72%。经计算,设计、校核煤种 M_t 分别为10.71%和15.69%。依据DL/T 466—2004《电站磨煤机及制粉系统选型导则》规定“当磨制褐煤的外在水分 $M_t < 19\%$ 时,宜选中速磨煤机直吹系统,中速磨制粉系统的上限 M_t 可上移至约31%”。由于设计、校核煤种 M_t 都超过了31%,采用煤粉炉炉型时,选择中速磨制粉系统应特别慎重,在符合锅炉厂要求的锅炉边界条件(煤粉水分、风煤比、煤粉温度、煤粉细度)的同时,磨煤机厂应进行选型计算,在满足碾磨出力、干燥出力的前提下,保证磨煤机的出力调整范围。目前国内4大磨煤机厂(长春发电设备厂、沈重、上重、北京发电设备总厂)在选择中速磨磨制高水分褐煤时,会在理论计算满足要求的前提下,适度放大干燥出力,增大磨煤机型号,这将导致制粉系统投资及运行成本的提高。

此外,采用中速磨制粉系统时,由于水分较高,干燥出力大,锅炉效率下降,不投油最低稳燃负荷较高。因此,燃用高水分褐煤时,制粉系统宜选用风扇磨,但风扇磨在运行维护、提升压头、管道布置等方面存在不足,如风扇磨只适合磨制褐煤和较软的烟煤,无法适应劣质煤的磨制,不利于降低燃料成本。而CFB锅炉由于能适应劣质燃料,破碎系统对煤种适应性更强,是一种可行的选择。

2.2 灰渣特性

工程中一般用煤灰成分综合比值硅比(G)进行预测和比较结渣倾向,同时用灰中碱金属 Na_2O 含量预测煤种的沾污倾向。 G 定义如下^[2]:

$$G = \frac{SiO_2}{SiO_2 + CaO + MgO + Fe_2O_3} \times 100\%$$

结渣、沾污倾向判别标准见表2。设计、校核煤种 G 值分别为87.44%和58.62%,由表2可知,设计煤种具有轻微结渣倾向,校核煤种具有严重结渣倾向。设计煤种 Na_2O 质量分数为0.64%,具有中度沾污倾向,校核煤种 Na_2O 质量分数为1.42%,具有高度沾污倾向。当铁质量分数 $> 5\%$ 时,灰熔融性下降速度很快,以电厂校核煤种为例,煤灰中 Fe_2O_3 质量分数为8.23%,灰变形温度只有1130℃,加剧

了结渣倾向。

表2 结渣、沾污倾向判别标准

G 值 / %	结渣倾向	$\omega(\text{Na}_2\text{O}) / \%$	沾污倾向
>78.8	轻微	<0.5	低度
66.1 ~ 78.8	中等	0.5 ~ 1.0	中度
<66.1	严重	1.0 ~ 2.5 >2.5	高度 严重

另外,可依据煤结渣特性指数 R_z 对设计、校核煤种的结渣特性进行预测,判别标准见表3^[3-4]。

表3 R_z 差别结渣性分级界限

R_z	<1.5	1.5 ~ 2.0	>2.0
结渣倾向	不易	中等	易

根据煤质分析结果计算,设计、校核煤种 R_z 指数分别为 1.75 和 2.90,由表3可知,设计、校核煤种分别属于中等结渣和易结渣煤种。

CFB 锅炉燃烧温度控制在 800 ~ 950 °C,其低温燃烧的特点有助于预防结渣,从电厂燃料易结渣特性分析,CFB 锅炉较煤粉炉可大幅降低结焦风险^[5]。

2.3 挥发分和发热量

设计、校核煤种 V_{daf} 分别为 49.70% 和 40.30%,褐煤 V_{daf} 一般为 40% ~ 60%。拟建电厂设计、校核煤种属低挥发分褐煤,按该煤种设计的煤粉锅炉,当挥发分增加后,会造成出口烟温升高,增加结焦风险^[6-7]。CFB 锅炉由于炉内灰浓度大且配备物料循环系统,挥发分的变化对燃烧温度影响不大,更有利于降低电厂拟燃用煤种的结焦风险。

设计、校核煤种 $Q_{\text{net,ar}}$ 分别为 14.95, 14.70 MJ/kg,热值较低,褐煤煤粉炉在此热值下尚可满负荷运行,如煤质变差,锅炉带负荷能力急剧下降,稳燃特性变差;而 CFB 锅炉可稳定燃烧 10.47 MJ/kg 以上的燃料,且低负荷稳燃特性良好^[8-10]。

2.4 煤灰 CaO 含量

设计、校核煤种煤灰中 CaO 质量分数分别为 3.800% 和 13.840%。采用 CFB 锅炉 + 干法脱硫除尘一体化布置的方式可充分利用灰中 CaO,节约脱硫用石灰石耗量,且烟囱无需防腐处理;相对煤粉炉 + 湿法脱硫方式,CFB 锅炉 + 干法脱硫除尘可降低投资,节省能源消耗。

3 CFB 锅炉优势分析

对于设计、校核煤种来说,采用 CFB 锅炉是更

好的选择。与煤粉炉相比,CFB 锅炉具有如下优势:

(1) 燃料适应性好

由于炉内存在大量的高温循环物料,使炉膛类似于一个热容量极大的蓄热池,新入炉的燃料只占循环物料总量的 2% ~ 5%,极易着火燃烧,对于劣质、高水分燃料适应性极强。考虑电场所存在区域存在煤源紧张、煤质无法保障的情况,采用 CFB 锅炉可确保机组运行安全稳定。

此外,CFB 锅炉燃烧温度相对较低,一般控制在 850 ~ 950 °C,可有效降低褐煤易结渣的风险^[11]。

(2) 负荷调节范围广

火电机组要满足电网调峰需要,负荷调节幅度大,而 CFB 锅炉负荷调节范围广、最低不投油稳燃负荷可达 30% BMCR,能满足电网的要求,提高电厂竞争力。从秦皇岛秦热发电有限责任公司为代表的国内首批 300 MW 等级 CFB 锅炉运行状况来看,最低不投油稳燃负荷极端情况可达到 20% 左右,远优于煤粉炉(当然考虑锅炉汽水系统的稳定性,该值不建议太低)。

如果采用褐煤煤粉炉配中速磨时,据核算 BM-CR 工况下,磨的负荷率只有 60% 左右,正常运行时磨的负荷率更低,而磨煤机本身运行也受到最低运转负荷限制,使磨的负荷调整范围变得更小,运行不稳^[12-13]。

(3) 清洁高效燃烧

CFB 锅炉作为一种新型清洁燃烧技术,在燃烧过程中能有效控制 NO_x 的生成和排放,同时可通过向炉内添加石灰石实现高效低成本脱硫,燃用劣质燃料时还能达到极高的燃烧效率。

根据国家最新环保标准,CFB 锅炉可采用炉内添加石灰石脱硫的同时,布置炉外干法脱硫除尘一体化装置,综合脱硫效率高达 98% 以上,投资费用低于湿法脱硫,且避免了湿法脱硫易腐蚀烟囱的问题,确保 SO_2 排放达标。由于 CFB 锅炉燃烧温度相对较低,其 NO_x 排放量一般低于 200 mg/m^3 ,采用费用较低的 SNCR 脱硝技术即可达到 NO_x 排放量低于 100 mg/m^3 的新环保标准要求,不必建设投资运行费用更高的 SCR 脱硝装置^[11]。

(4) 运行周期长

目前,国内已投运 300 MW 等级 CFB 锅炉 40 余台,解决了长期困扰大型循环流化床锅炉的磨损问题,运行周期可与煤粉机组媲美。以秦皇岛秦热发

电有限责任公司的2台300 MW CFB锅炉为例,通过近几年的技术改造,连续安全稳定运行周期超过300 d,其中1号锅炉连续不间断运行最长周期达479 d。

4 结 语

综上所述,某新建电厂如果选择煤粉炉Π形布置,其制粉系统的选择需慎重,由于校核煤种具有严重结渣倾向,运行中结渣风险较高。如果选择煤粉炉塔式布置配风扇磨,其造价与CFB锅炉相当或更高。从投资费用、系统配置、运行费用、稳定运行情况等方面综合考虑,煤粉炉不论从锅炉本身还是辅机配置都存在较大风险,建议炉型选择CFB锅炉为宜。

参考文献:

- [1] 余洁. 中国燃煤工业锅炉现状[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(3): 89-91, 113.
[2] GB/T 7562—2010, 发电煤粉锅炉用煤技术条件[S].

(上接第38页)

3 结 论

以具有黏结性的山西柳林焦煤为原料,采用对生球进行弱氧化处理、控制适宜的升温速度和添加惰性组分等办法,解决了生球在炭化期间颗粒间相互黏结的问题,研究了预处理工艺和惰性组分添加量对活性炭质量的影响。结果表明:最佳的空气氧化预处理条件为:预处理温度200℃,预处理时间3 h,炭化终温700℃,炭化升温速率4℃/min,活化温度800℃,活化时间7 h,制得的活性炭球形度完整,物化性能优良。试验结果对球形活性炭的工业生产有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] Ho T C, Lee Y, Chu H W, et al. Modeling of mercury desorption from activated carbon at elevated temperatures under fluidized/fixed bed operations[J]. Powder Technology, 2005, 151(1-3): 54-60.
[2] 甘琦, 周昕, 赵斌元, 等. 成型活性炭的制备研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(1): 61-63, 68.
[3] 邢宝林, 张传祥, 潘兰英, 等. 高比表面积煤基活性炭的制备及其吸附性能的研究[J]. 洁净煤技术, 2008, 14

- [3] 方文沐. 燃料分析技术问答(第3版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
[4] 陈振龙. 2种典型锅炉结渣问题分析和对策研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(5): 70-73.
[5] 蒋敏华, 肖平. 大型循环流化床锅炉技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
[6] 李百宁. 煤质对循环流化床锅炉燃烧工况的影响[J]. 电站系统工程, 2006, 22(4): 35.
[7] 黄中, 肖平, 江建忠, 等. 循环流化床锅炉燃料的优选[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(6): 43-46, 80.
[8] 柳正军. 煤质对440t/h循环流化床锅炉影响试验与分析[J]. 节能, 2008(2): 33-35.
[9] 吴剑恒. 降低循环流化床锅炉飞灰可燃物的探讨与实践[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(1): 68-73.
[10] 范新宽. 煤源煤质确定和锅炉炉型选择的分析[J]. 电力建设, 1999(11): 26-28.
[11] 岑可法, 倪明江, 骆仲泱, 等. 循环流化床锅炉理论与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
[12] 郑刚. 煤质变化对循环流化床锅炉燃烧影响及应对措施[J]. 山东煤炭科技, 2007(4): 21-23.
[13] 张勇. 循环流化床锅炉的技术特点分析[J]. 大众标准化, 2008(S2): 45-46.
[1] : 85-88.
[4] 沈曾民, 张文辉, 张学军, 等. 活性炭材料的制备与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
[5] 巩志坚, 冯立君, 蔡涛, 等. 内蒙古霍林河褐煤热力初步改质研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(1): 34-37.
[6] 韩彬, 周美华, 荣达. 稻草秸秆活性炭的制备及其表征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 828-832.
[7] 陈樑, 方智利, 刘中华. 磷酸活化褐煤制备活性炭影响因素研究[J]. 煤炭转化, 2004, 27(4): 64-68.
[8] 赵丽媛, 吕剑明, 李庆利, 等. 活性炭制备及应用研究进展[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(11): 2914-2919.
[9] 李书荣, 王玉科, 张文辉, 等. 内蒙古准格尔超纯煤制备活性炭试验研究[J]. 洁净煤技术, 2003, 9(4): 50-52.
[10] 钱慧娟. 国内外活性炭生产和市场回顾与展望[J]. 林产化工通讯, 2001, 35(6): 30-33.
[11] 古可隆. 活性炭的应用(一)[J]. 林产化工通讯, 1999, 33(4): 37-40.
[12] 古可隆. 活性炭的应用(三)[J]. 林产化工通讯, 1999, 33(6): 43-45.
[13] 刘瑞兴. 粘结性烟煤制取球形活性炭[J]. 现代化工, 1986, 6(3): 67-68, 57.
[14] 酃冰. 粘结性烟煤制造球形活性炭的生产工艺[J]. 新型碳材料, 1987(3): 53-57.