

大型电站锅炉煤种适应性分析实例

孙路石, 陆继东, 曾 丽, 华玉龙

(华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 对一台已有的 670 t/h 锅炉拟采用的 12 个煤种进行了燃烧特性分析, 并与该锅炉的结构特性进行相关耦合, 判断不同煤种对锅炉的适应性, 为确定新的煤源提供依据, 以保证锅炉运行的安全性和经济性。

关键词: 电站锅炉; 燃烧特性; 锅炉常数; 煤种适应性

中图分类号: TM621.2 文献标识码: A

1 前言

动力用煤的燃烧特性(着火稳定性、结渣性、燃尽性)直接影响到锅炉运行的安全性和经济性^[1~3]。确切掌握煤质特性, 并通过燃烧系统的优化调整, 最大程度地使锅炉的运行与燃料特性相适应, 对于提高锅炉的燃烧效率具有十分重要的意义。现有一台 670 t/h 的煤粉锅炉, 原设计燃用当地的洗中煤, 燃烧状况较差, 拟改用其它较优煤种。本文则针对拟用煤种进行了燃烧特性试验, 结合锅炉结构特性, 分析了煤种的适应性, 为确定新的煤源提供依据。

2 煤的实验方法与结果

以拟采用的 12 种煤为实验样品, 进行了煤的工业分析及热重实验。

各煤样的工业分析结果如表 1 所示。

表 1 煤样的工业分析和热重分析

试验煤种	工业分析				热重分析特征值		
	$M_{ad}/\%$	$V_{ad}/\%$	$C_{ad}/\%$	$A_{ad}/\%$	$T_f/^\circ\text{C}$	$T_{lmax}/^\circ\text{C}$	$(\frac{dw}{dt})_{max}/\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}$
煤样 1	0.98	24.5	39.57	38.24	290	360	1.5
煤样 2	0.76	21.83	47.17	30.23	290	330	1.5
煤样 3	0.34	15.51	38.39	45.76	290	370	1.5
煤样 4	0.59	20.58	36.29	42.54	300	356	1.3
煤样 5	0.56	13.38	61.36	24.7	334	390	1.6
煤样 6	0.52	12.57	59.94	26.79	310	380	1.65
煤样 7	0.45	13.66	76.08	9.81	300	380	1.35
煤样 8	0.46	27.72	58.87	12.85	280	350	1.575
煤样 9	1.06	28.26	60.47	10.21	300	392	1.65
煤样 10	0.26	25.05	59.88	14.79	280	366	1.6
煤样 11	0.53	11.18	70.93	17.37	320	394	1.65
煤样 12	0.55	12.63	66.27	20.55	320	380	1.525

热重分析是国内外目前研究煤的燃烧特性最常用的试验方法之一^[4], 本文采用 LCT-2 型微分差热天平进行实验, 可同时获得 TG 曲线、DTG 曲线和 DTA 曲线, 如图 1 所示。在热重分析曲线上, 有许多特征值, 对这些特征值进行处理, 就可以得到一些判别指标, 以便对其燃烧特性做出评价。各煤种的特征值如表 1 所示。

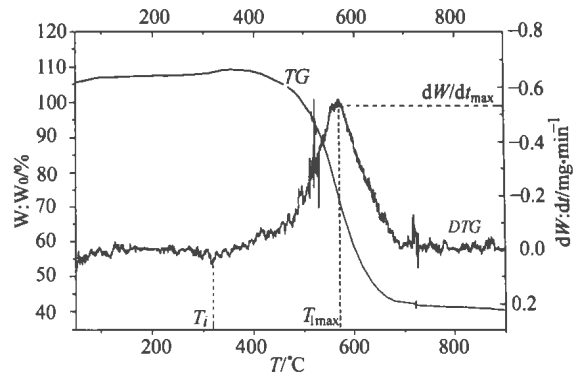


图 1 试验煤样热重分析曲线

本文采用 LECO 公司的 AF-600 型灰熔点测定仪进行样品灰熔点分析, 并用化学方法分析了煤灰的化学组成, 如表 2 所示。

表 2 煤样的灰熔点和灰成分分析

试验煤种	灰熔点				灰成分/%					
	$t_2/^\circ\text{C}$	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	
煤样 1	1520	39.74	4.06	1.21	46.68	4.74	0.23	0.16	0.08	
煤样 2	1500	54.64	2.82	0.72	33.34	2.03	0.44	1.44	0.24	
煤样 3	1480	52.47	3.99	0.8	35.03	2.77	0.26	0.58	0.18	
煤样 4	1600	48.04	2.42	1.44	42.14	1.58	0.31	0.2	0.11	
煤样 5	1500	48.47	8.05	0.69	36.42	3.52	0.32	0.71	0.18	
煤样 6	1440	47.8	6.62	0.8	38.58	1.71	0.31	0.78	0.35	
煤样 7	1470	48.53	4.88	1.1	38.13	3.54	0.25	0.27	0.26	
煤样 8	1250	57.97	9.89	0.65	24.69	2.058	0.56	1.48	0.32	
煤样 9	1245	47.1	16.68	0.99	28.09	2.98	0.59	1.06	0.24	
煤样 10	1299	55.67	11.85	0.8	23.92	2.79	0.53	1.43	0.24	
煤样 11	1420	52.37	7.48	1.01	35.47	1.78	0.23	0.57	0.28	
煤样 12	1495	51.07	7.05	0.91	33.39	2.75	0.27	0.49	0.3	

3 煤的燃烧特性分析

3.1 煤的着火稳定性分析

着火稳定性指数 F_I 用下式定义:

$$F_I = \frac{\alpha}{T_i} + \frac{b}{T_{1\max}} + c \left(\frac{dw}{dt} \right)_{\max} \quad (1)$$

式中 T_i — 着火温度, $^{\circ}\text{C}$; $T_{1\max}$ — 最大燃烧速度所对应温度, $^{\circ}\text{C}$; $\left(\frac{dw}{dt} \right)_{\max}$ — 煤的最大燃烧速度, mg/min ; a, b, c — 根据煤种而不同的计算常数。

F_I 越大, 煤的着火稳定性越佳。各煤样的着火稳定性指数 F_I 如表 3 所示。

当 $F_I > 5.7$, 极易着火, $F_I = 5.0 \sim 5.7$, 易着火, $F_I = 4.65 \sim 5.0$, 中等易着火, $F_I = 4.0 \sim 4.65$, 难着火。

3.2 煤的燃尽特性分析

燃尽特性指数 F_B 用下式定义:

$$F_B = 10 / (x_1 G + x_2 T_{2\max} + x_3 \tau + x_4 \tau') \quad (2)$$

式中: G — 燃烧后期的燃烧量, mg ; $T_{2\max}$ — 煤焦燃烧最大速度时的对应温度, $^{\circ}\text{C}$; τ — 煤的燃尽时间, min ; τ' — 煤焦的燃尽时间, min ; x_1, x_2, x_3, x_4 — 因煤种而不同的计算常数。

可以看出, F_B 越大, 煤的燃尽性越佳。各煤样的燃尽特性指数 F_B 如表 3 所示。

当 $F_B > 5.7$, 极易燃尽, $F_B = 4.4 \sim 5.7$, 易燃尽, $F_B = 3.0 \sim 4.4$, 中等易燃尽, $F_B = 2.5 \sim 3.0$, 难燃尽, $F_B < 2.5$, 极难燃尽。

3.3 煤的结渣特性分析

影响煤灰结渣特性的煤质特性主要包括煤灰的化学组成、煤灰的熔融特性及熔灰的粘度特性。国内外的相关研究表明: 任何一项指数都有相当的可靠性, 但没有任何一项单一的指数可以完全正确地预报结渣倾向。

本文以下式定义煤的结渣特性指数 F_S :

$$F_S = xC_2 + y(C_{B/A} - C_G) + zC_{S/A} \quad (3)$$

式中: $C_2 = 12 - 0.007t_2$; $C_{B/A} = 0.45 + 5.2B/A$; $C_G = 22.5 - 0.29G$; $C_{S/A} = 1.2S/A - 0.9$;

碱酸比 $\frac{B}{A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$, 硅

铝比 $S/A = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, 硅比 $G = \text{SiO}_2 \cdot 100 / (\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, x, y, z — 因煤种而不同的计算常数。

可以看出, F_S 值越大, 煤的结渣性越强。各煤样

的结渣特性指数 F_S 如表 3 所示。

根据上述煤的燃烧特性指数的判别划分界限, 对照试验煤种的实验结果, 可以得到以下结论: 所有试验煤种的 F_I 都在 4.65 以上, 着火稳定性都比较好; 所有试验煤种的 F_B 都大于 3.0, 不少煤种在 4.4 以上, 因此燃尽特性也比较好; 除煤样 8、煤样 9、煤样 10 有较强的结渣性外, 其余煤种不易结渣。

4 锅炉的结构特性分析

锅炉设计最主要的依据是燃用煤种的燃烧特性。对已有的锅炉在结构方面同样可以以一定形式反映其着火、燃尽和结渣特性, 以衡量锅炉特性对煤质特性的适应能力和设计的好坏。

本文的研究对象为一台已有的 670 t/h 超高压自然循环电站锅炉。该锅炉的额定蒸汽压力为 13.72 MPa, 过热汽温 / 再热汽温为 555/555 $^{\circ}\text{C}$, 该炉的示意图如图 2 所示。

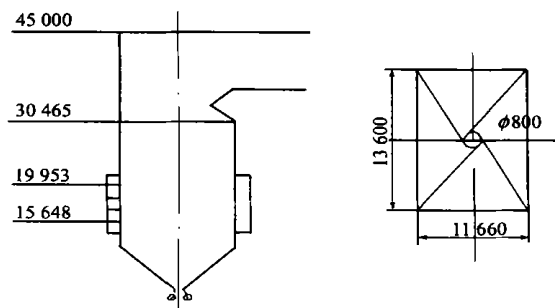


图 2 670 t/h 锅炉示意图

4.1 锅炉结构着火稳定性分析

影响锅炉着火稳定性的因素很多, 诸如截面热负荷 q_F 、燃烧区域壁面有效热负荷 q_{HR}^v 、燃烧器配风方式以及工况因素风温、风率、风速、煤粉细度和过剩空气量等。而 q_F 和 q_{HR}^v 则起决定作用。因此, 锅炉结构着火稳定性指数 S_I 定义为:

$$S_I = q_F + q_{HR}^v \quad (4)$$

式中: q_F — 炉膛截面热负荷, MW/m^2 ; q_{HR}^v — 燃烧区域壁面有效计算热负荷, MW/m^2 。

S_I 值越大, 锅炉保证着火稳定性程度越大。本台 670 t/h 锅炉的 S_I 值为 6.02。

4.2 锅炉结构燃尽性能分析

影响煤在炉内燃尽的因素很多, 诸如燃烧区域的结构条件、燃烧器配风条件、燃烧产物的炉内充满

程度、烟气上升速度、燃烧器离炉膛出口的高度等,但是最主要的因素是煤粉在炉内的停留时间。因此,锅炉结构燃尽性指数 S_B 定义为:

$$S_B = \tau_{\min} = L / W_y \quad (5)$$

式中: τ_{\min} — 煤粉的最小炉内停留时间, min; L — 燃烧器上一次风中心至屏下缘距离, m; W_y — 烟气在炉内平均上升速度, m/s。

结构燃尽指数 S_B 越大, 则燃尽条件越好。本台 670 t/h 锅炉的 S_B 值为 1.47。

4.3 锅炉结构结渣性分析

影响锅炉炉内结渣的因素主要分为燃烧区域的温度工况和燃烧过程中气流流动工况。在锅炉设计中气流流动工况总是力图以合理的结构来避免不良工况的出现。因此, 一般主要以温度工况来表征结构结渣特性。影响温度工况的主要结构因素是 q_F 和 q_{HR}^y , 因此, 锅炉结渣性指数 S_S 定义如下:

$$S_S = S_I = q_F + q_{HR}^y \quad (6)$$

S_I 值越大, 锅炉结构上造成结渣的可能性越大。 S_I 与 S_S 特性正好相背。本台 670 t/h 锅炉的 S_S 值为 6.02。

5 实验煤种对锅炉适应性的分析

经过对多煤种燃烧特性指数的研究及运行实践, 发现煤的燃烧特性指数与锅炉结构特性指数之间有很强的内在联系, 即有很好的相关特性。其相关性如下:

$$\begin{aligned} C_1 &= S_I + 6.48 \ln F_1 \\ C_B &= S_B + 0.27 \ln F_B \\ C_S &= S_S \cdot F_S^{0.371} \end{aligned} \quad (7)$$

式中: C_1 , C_B , C_S — 分别为锅炉着火稳定性常数、燃尽性常数和结渣性常数。

锅炉常数的范围为:

$$C_1 = 15.5 \sim 17.07; C_B = 2.055 \sim 2.385;$$

$$C_S = 5.81 \sim 7.25$$

因此, 为保证锅炉的着火稳定和良好燃尽, C_1 和 C_B 应大于其下限值; 为不发生结渣, C_S 应小于

其上限值。根据对 12 种煤的燃烧特性和 670 t/h 锅炉结构特性的相关计算, 其计算结果如表 3 所示。

表 3 型锅炉煤种适应性分析

试验煤种	$S_I = 6.02 \quad S_B = 1.47 \quad S_S = 6.02$					
	F_1	F_B	F_S	C_1	C_B	C_S
煤样 1	4.87	3.36	0.7	15.66	2.28	4.71
煤样 2	5.06	4.00	1.32	15.76	2.27	5.33
煤样 3	4.84	3.77	1.42	15.62	2.31	6.13
煤样 4	4.70	3.34	1.47	15.43	2.28	6.31
煤样 5	4.58	4.03	0.85	15.26	2.33	5.06
煤样 6	4.77	4.36	1.22	15.52	2.35	5.79
煤样 7	4.93	6.59	1.16	15.74	2.46	5.68
煤样 8	5.07	6.91	1.84	15.92	2.48	6.74
煤样 9	4.8	6.37	2.05	15.56	2.45	7.02
煤样 10	5.01	5.37	1.55	15.84	2.41	6.33
煤样 11	4.67	4.7	1.34	15.39	2.37	6.0
煤样 12	4.65	4.45	1.09	15.36	2.36	5.55

6 结论

根据试验煤种燃烧特性与一台已有的 670 t/h 电站锅炉结构特性的相关计算结果, 试验煤种的适应性分析如下: 对于本台 670 t/h 锅炉, 大多数的煤种的着火稳定性常数 C_1 大于 15.5, 着火问题不大, 但对于煤样 4、煤样 5、煤样 11 等煤种则着火有些困难。所有的煤种的锅炉燃尽性常数 C_B 均大于 2.055, 而结渣性常数 C_S 均小于 7.25, 所以均具有良好的燃尽性, 而且不易产生结渣。根据上述分析, 对该型锅炉, 煤样 4、煤样 8、煤样 9、煤样 10 应尽量不用或少用, 煤样 5 应慎重使用, 其它煤种则因着火、燃尽及结渣性均良好, 可以放心燃用。本文的研究方法可为解决类似问题提供借鉴, 具有广泛的实用价值。

参考文献:

- [1] 冯俊凯. 根据燃煤性质论电站锅炉燃烧方法的发展[J]. 动力工程, 1995, 15(3): 34-38.
- [2] MANCINI, RICK A. Coal quality engineering analysis aids plant performance[J]. Power Engineering, 1988, 92(10): 28-32.
- [3] 王雅勤. 煤质变化对锅炉运行安全性与经济性影响的分析[J]. 华北电力学院学报, 1991(3): 72-81.
- [4] 熊友辉 孙学信. 动力煤煤质及燃烧特性的研究手段和方法[J]. 煤质技术, 1998(5): 27-31.

(何静芳 编辑)

action mechanism of wet calcium base sorbent. The test results indicate that as compared with traditional single-level water spray the multi-level water spray can result in a more uniform temperature distribution in the fluidized bed, a relatively large reduction of the approach saturation temperature ΔT , a marked increase in desulfurization efficiency and a more stable and reliable operation of the system. A mass spectrographic analysis and an electronic microscope analysis have shown that after the reaction of SO_2 with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a reaction product layer was formed on the surface of the desulfurizing agent, which alleviates the further reaction between SO_2 and the desulfurizing agent. **Key words:** circulating fluidized bed, flue gas desulfurization, multi-level water spray, approach saturation temperature ΔT , desulfurization efficiency, electronic microscope analysis

大型电站锅炉煤种适应性分析实例 = **Analysis of the Adaptability of Large-sized Power Plant Boilers to Various Kinds of Coals** [刊, 汉] / SUN Lu-shi, LU Ji-dong, ZENG Li, et al (State Key Laboratory for Coal Burning Research under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 353 ~ 355

Combustion characteristics of 12 kinds of coal, intended for an existing 670 t/h boiler, have been analyzed. A correlation of these characteristics with the boiler construction features was conducted to evaluate the adaptability of these coals to the above-mentioned boiler. This evaluation aims at providing a basis for deciding on and exploring new sources of coal in order to ensure the safe and economical operation of the boiler. **Key words:** combustion characteristics, boiler constants, adaptability of various kinds of coal to boilers

垃圾焚烧灰渣的成分分析及其熔融特性 = **Component Analysis of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Ash and Its Melting Characteristics** [刊, 汉] / YAN Chang-feng, LIN Bo-chuan, CHEN En-jian, CHEN Yong (Thermo-fluid Process Lab of Guangzhou Energy Conversion Research Institute under the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China, Post Code: 510070) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 356 ~ 358, 369

For a municipal solid-waste incineration (MSWI) boiler the ash melting characteristics of municipal solid waste (MSW) are one of the most important factors, which have a decisive influence on the harmful effect of ash deposited on heating surfaces. Through the measurement and determination of MSW ash components and the ash melting point a systematic analysis was performed of the relation between the MSW ash melting characteristics and ash components. Furthermore, the difference between MSW ash and coal ash of low-melting point in respect of melting characteristics and components is also identified. On the above basis some proposals are put forward to improve MSW combustion in general. **Key words:** municipal solid waste, ash burning, component analysis, melting characteristics

径向分层旋流燃烧器燃烧可视化研究 = **Visualization Study of Coal Combustion in a Radially Stratified Swirl-type Burner** [刊, 汉] / HE Lei, FAN Wei-dong, ZHANG Ming-chuan, WU Jiang, et al (Department of Energy Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(4): 359 ~ 362, 374

With the help of an image acquisition and processing system a visualization study was conducted of the coal gas flame of a radially stratified swirl-type burner. The quantitative analysis of a separated flame front was then performed through the use of a fractal theory. The results of analysis indicate that it is possible to truthfully describe the spatial and geometric characteristics of the flame front by using a fractal dimension, thus providing an effective means for an in-depth study of the effect of flame structural shape on the mixing of fuel and air. **Key words:** image processing, swirl-type burner, fractal dimension, visualization

不同热天平煤粉燃烧特性试验差异的原因分析 = **An Analysis of the Factors Causing Differences in the Test Results of Pulverized coal Combustion Obtained from Using Different Thermobalances** [刊, 汉] / ZHU Qun-yi, QIN Yu-kun, WU Shao-hua (School of energy Science & Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), XU Yan (Heilongjiang Provincial Electric Power School, Harbin, China, Post Code: 150020) //