

# 电站燃煤锅炉结渣特性的试验研究

赵利敏 (哈尔滨电站设备成套设计研究所)

梁 薇 (哈尔滨 703研究所)

翟东平 (伊春金山屯造纸厂)

〔摘要〕 利用煤粉燃烧试验台试烧煤样的方法模拟实际锅炉的工况为某电厂 300 MW 机组锅炉做结渣试验,此方法更能准确地预示实际锅炉的结渣趋势,为锅炉的设计提供可靠的技术依据。

关键词 锅炉 结渣 预示 试验

分类号 TK229.6; TQ533.3

## 0 前言

近年来,国内外发展并得到广泛应用的结渣判别指标大致可分为煤的灰熔点、灰成分及灰粘度三种类型的煤质指标。其中以煤的软化温度  $t_2$  碱酸比  $B/A$  硅铝比  $SiO_2/Al_2O_3$  和硅比  $G$  四项指标较适合于我国煤种,有较高的置信度<sup>[1][4]</sup>,然而,煤质特性判别指标除考虑了煤本身特性对结渣的影响外,没有考虑锅炉运行对结渣的影响,因此有局限性,不能给出各种条件下结渣的准确预示。

“七五”期间,哈尔滨电站设备成套设计研究所建成了国内最大的煤粉燃烧试验台,利用此试验台已经多次为电站锅炉的设计和改造进行了热态模化试验。由于利用试验台试烧煤样的方法,燃烧工况和温度水平与实际锅炉接近,同时结合煤质特性,更能准确地判断锅炉的结渣情况。本文以某电厂 300 MW 机组锅炉设计的热态模化试验为例,介绍结渣特性判别的试验方法。

## 1 试验设备简介

煤粉燃烧试验台是仿照美国 ABB-CE 公司 KDL 研究所 BSF (Boiler Simulator Furnace) 系统设计制造的大型试验装置,主要参数如下:

试验台热功率:	2.9 MW
炉膛截面尺寸:	1.5 × 1.5 m <sup>2</sup>
炉膛高度:	9.405 m
炉膛容积热负荷:	544 MJ/(m <sup>3</sup> ·h)
炉膛截面热负荷:	4647 MJ/(m <sup>2</sup> ·h)
热风最高温度:	500℃
排烟温度:	150~180℃

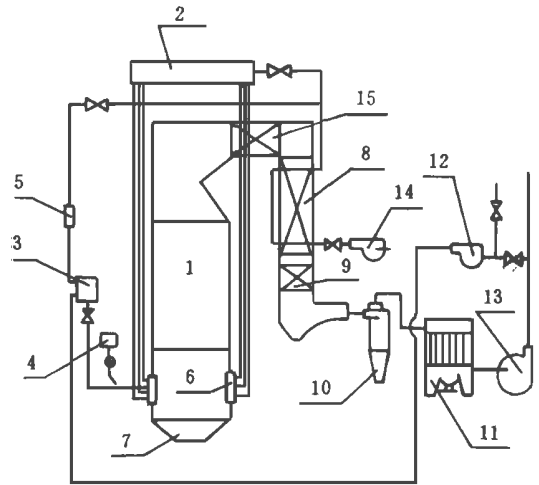


图 1 煤粉燃烧热态试验台系统图

1. 炉本体 2. 二次风箱 3. 一次风箱 4. 煤粉斗 5. 雾化水装置 6. 燃烧器 7. 冷灰斗 8. 空气预热器 9. 尾部冷却器 10. 旋风分离器 11. 布袋除尘器 12. 掺风机 13. 引风机 14. 送风机 15. 水平冷却器

试验台整体布置如图 1所示。燃烧器结构为可拆卸式,总高 1 m,该区域未布置水冷受热面。炉底冷灰斗与炉体联接处采用水冷密封结构。尾部采用旋风和布袋两级除尘。炉体四周布置 100多个火焰观测孔和几十个温度与压力测点,利用 LSZ - 11/23 小型计算机构成的 CAM AC( Computer Automatic Measurment And Control) 系统实施温度、压力、流量和给煤量的自动调节与测量。

## 2 试验内容

本试验用非冷却探棒测试试验台高温区结渣情况,同时测量壁温和烟气温度,最终给出各种燃料的结渣等级,并参考可比大容量锅炉实际运行中结渣情况,把试验结果外推到某实际电厂 300 MW 机组锅炉上,为该电厂锅炉设计提供结渣特性依据。

### 2.1 试验工况

根据电厂所提供的煤质:黄陵烟煤、阳沁无烟煤和三种混煤(黄陵烟煤和阳沁无烟煤分别按 7: 3 5: 5和 3: 7比例混合,以下简称混煤 1混煤 2和混煤 3),共选择了 5个试验工况,其中混煤 2为提出的设计煤种,混煤 1和混煤 3为校核煤种,其余为对比煤种。各煤种试验工况均选 100% 试验台设计热负荷,其燃料量、空气量、风速和风温均根据热态模化要求按表 1选取。

### 2.2 试验方法

稳定工况条件下,在燃烧器区不同高度的火焰观测孔处布置碳化硅棒(15 mm× 20 mm× 200 mm) 作为结渣试件。同时用裸露热电偶测量该区域烟气温度和壁温。40分钟后取出结渣棒,待其冷却后观察表面结渣情况。在结渣棒上沉积的灰渣依次按粘附程度由强到弱分为 a(严重结渣)、b(较严重结渣)、c(中等结渣)、d(轻微结渣)、e(附着灰)五个等级,用 5 4 3 2和 1来表示结渣等级,如表 2所示。

## 3 试验结果及分析

5个煤质的结渣试验数据见表 3 表中同时给出利用燃烧特性指标对 5个煤种结渣程度的判别结果

表 1 试验工况表

名 称	符号	单 位	黄陵烟煤	混煤 1	混煤 2	混煤 3	阳沁无烟煤
理论空气量	$V^{\circ}$	$Nm^3/kg$	6.25	6.59	6.55	6.54	6.74
空气过剩系数	T	-	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
计算燃料量	$B_j$	kg/h	442	422	410	423	405
煤粉量	$B_{fm}$	kg/h	419	395	382	388	364
入炉总空气量	V	$Nm^3/h$	3273	3476	3357	3458	3412
一次风率	$r_1$	%	20	20	20	20	20
一次风温	$t_1$	°C	254	254	254	254	254
二次风率	$r_2$	%	56	56	56	56	56
二次风温	$t_2$	°C	376	376	376	376	376
三次风率	$r_3$	%	20	20	20	20	20
三次风温	$t_3$	°C	90	90	90	90	90
标准状态一次风量	$V_1^N$	$Nm^3/h$	655	695	671	692	682
标准状态二次风量	$V_2^N$	$Nm^3/h$	1833	1947	1880	1937	1911
标准状态三次风量	$V_3^N$	$Nm^3/h$	655	695	671	692	682
煤粉细度	$R_{90}$	%	21	14	8	7.5	7

表 2 结渣等级判别指标

粘附程度	等级 $g_m$	锅炉结渣指数 $G_z$	结渣特性
a	5	> 40	灰渣全部熔融状态,覆盖在渣棒上,无法刮下。
b	4	35~ 40	灰渣粘聚在一起,较硬,无法完全刮下,结渣棒残留不规则粘硬渣。
c	3	30~ 35	灰渣粘聚在一起,软硬,切割困难,但能刮下。
d	2	25~ 30	灰渣粘聚在一起,但较疏松,容易刮下。
e	1	< 25	灰渣无粘附特征,呈松散堆积状。

表 3 试验煤质结渣特性表

参数 煤种	燃料特性判别结果					实 验 结 果						
	$t_2(^{\circ}\text{C})$	$B/A$	$\text{SO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$G(\%)$	$R_Z$ 判别	炉内平均温度, $^{\circ}\text{C}$	燃烧器区平均温度, $^{\circ}\text{C}$	燃烧器区平均壁温, $^{\circ}\text{C}$	渣型	结渣等级 $g_m$	结论	
黄陵烟煤 结渣倾向	1260 中重	0.21 中轻	2.5 中	79.68 轻	1.95 中重	中	1139	1309	930	$b$	4	较重
混煤 1 结渣倾向	1260 中重	0.21 中轻	2.01 中	77.85 中	1.85 中	中	1053	1189	812	$a \sim b$	4~5	重
混煤 2 结渣倾向	1350 中	0.20 轻	1.74 轻	78.39 中	1.55 中轻	中轻	1307	1424	1039	$b$	4	较重
混煤 3 结渣倾向	1380 中轻	0.19 轻	1.94 中轻	79.14 轻	1.51 中轻	中轻	1207	1276	984	$b$	4	较重
阳沁无烟煤 结渣倾向	1390 轻	0.17 轻	1.37 轻	79.01 轻	1.29 轻	轻	1250	1280	985	$c \sim d$	3~4	轻

从表 3 中看出: 阳沁无烟煤掺入黄陵烟煤结渣趋势加重, 掺入比例越大, 结渣趋势越严重。

表 3 中实验结果考虑了试验台特性, 虽然烟气温度水平较实际锅炉偏低, 但炉体壁温却较实际锅炉偏高, 接近于实际锅炉局部铺设卫燃带情况。因此, 试验结果应与实际锅炉铺设卫燃带的结渣等级相关, 而对无卫燃带的实际锅炉其结渣等级应降低一些。根据试验结果, 为了准确评价各种燃料在试验电厂 300 MW 机组锅炉上燃烧的结渣情况, 我们将试验结果同可参比电厂锅炉结渣情况做相关分析, 然后对试验电厂 300 MW 机组锅炉结渣情况进行修正, 做出准确判断。

可参比电厂锅炉的选择依据试验煤种来定。根据 5 种试验煤同实际电厂锅炉运行煤种的接近情况, 我们选择 A B C D E, 5 个电厂分别作为黄陵烟煤、混煤 1 混煤 2 混煤 3 和阳沁无烟煤的参比电厂。参比电厂的锅炉结渣等级  $g_s$  见表 4 根据表 3 和表 4, 我们得出以下关系式为:

$$g_s = g_m - 1 \quad (\text{无卫燃带}) \quad (1)$$

$$g_s = g_m - 0.7 \quad (\text{有卫燃带}) \quad (2)$$

式中  $g_m$  —— 试验所得结渣等级;

$g_s$  —— 实际锅炉结渣等级。

利用式 (1)、式 (2) 将试验结果外推到实际大容

量锅炉上。考虑了各个锅炉结构上差别, 我们对结渣等级  $g_s$  增加结渣性常数  $S_Z$  进行修正, 得到锅炉结渣指标  $G_Z$

$$G_Z = S_Z g_s \quad (3)$$

$S_Z$  是判别大容量机组锅炉的结渣性常数, 它综合考虑了锅炉结构因素和燃料特性<sup>[4]</sup>。

$$S_Z = J_Z \cdot R_Z^{0.317} \quad (4)$$

式中  $J_Z = q_F + q_{Hr}$ ,  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;

$J_Z$  —— 锅炉结构结渣指数;

$q_F$  —— 炉膛断面热负荷,  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;

$q_{Hr}$  —— 燃烧器区壁面热负荷,  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;

$R_Z$  —— 燃料结渣指数<sup>[4]</sup>。

$G_Z$  的判别界限如表 2 所示。表 4 是所试验电厂 300 kW 机组锅炉燃用 5 种煤结渣特性分析计算汇总表。在无卫燃带的情况下, 试验电厂燃用黄陵烟煤和阳沁无烟煤及 3 种混煤的结渣程度在轻微和不结渣状态之间, 预计不会产生大量结渣现象。在有 300  $\text{m}^2$  卫燃带情况下, 混煤 1 严重结渣, 黄陵烟煤结渣比较严重, 对于混煤 2 和混煤 3 结渣处于中等程度, 阳沁无烟煤轻微结渣。以上分析同表 3 中燃料指标判别结果接近。鉴于上述结果, 从结渣性考虑, 该锅炉铺设 300  $\text{m}^2$  卫燃带, 并燃用设计煤种混煤 2 是比较合适的。

表 4 试验电厂 300 MW 机组锅炉结渣特性试验计算汇总表

序号	名 称	符 号	黄陵烟煤	混煤 1	混煤 2	混煤 3	阳沁无烟煤
1	灰熔点, °C	$t_2$	1260	1260	1350	1380	1390
2	碱酸比	$B/A$	0.21	0.21	0.20	0.19	0.17
3	硅铝比	$S_{O_2}, Al_2O_3$	2.5	2.01	1.74	1.94	1.37
4	硅比, %	$G$	79.68	77.85	78.39	79.14	79.01
5	综合结渣指数	$R_Z$	1.95	1.85	1.55	1.51	1.29
6	参考电厂	$I$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$
7	参考电厂结渣等级, 无 / 有卫燃带	$g_s$	3.3/3.6	3.5/3.8	3.2/3.5	3/3.3	2.5/2.8
8	试验电厂结构结渣数, 无卫燃带	$J_Z$	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76
9	铺设 300 m <sup>2</sup> 卫燃带的结渣指数	$J'_Z$	8.63	8.63	8.63	8.63	8.63
10	锅炉结渣性常数, 无 / 有卫燃带	$S_Z$	8.34/10.65	8.22/10.5	7.77/9.92	7.7/9.83	7.33/9.36
11	热态试验结渣等级	$g_m$	4	4.5	4	4	3.5
12	相关实炉结渣等级	$g_s$	3/3.3	3.5/3.8	3/3.3	3/3.3	2.5/2.8
13	实际电厂锅炉结渣指数, 无 / 有卫燃带	$G_Z$	25.02/35.15	28.77/40	24.86/32.74	23.1/32.44	18.5/26.21
14	试验电厂 300 MW 锅炉结渣等级, 无 / 有卫燃带	$g_s$	2/4	2/5	1/3	1/3	1/2

## 4 结论

合适。

(1) 利用煤粉燃烧试验台试烧煤样的方法更能直接、准确地预示实际锅炉结渣趋势, 为锅炉设计提供指导依据;

(2) 试验煤种结渣趋势从强到弱依次为: 混煤 1 黄陵烟煤、混煤 2 混煤 3 阳沁无烟煤, 同煤质特性指标判别结果相符;

(3) 从试验数据分析结果同设计部门提供的初步方案看, 试验电厂 300 MW 机组锅炉选用混煤 2 为设计煤种, 并能根据稳燃和燃尽要求铺设 300 m<sup>2</sup> 卫燃带预计不会产生严重结渣, 初步设计方案比较

## 参 考 文 献

- 1 何佩敖, 张忠孝. 我国动力用煤结渣特性的试验研究. 动力工程, 1987, 2
- 2 撒应禄. 锅炉受热面外部过程. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 3 岑可法等. 锅炉燃烧试验研究方法及测量技术. 北京: 水利电力出版社, 1987
- 4 陈春元等. 大型煤粉锅炉燃烧设备的优化设计问题. 锅炉制造, 1992, 2

作者简介 赵利敏, 男, 1965年生, 工程师, 1988年毕业于北京科技大学热能工程系, 现在哈尔滨电站设备成套设计研究所煤燃室工作。曾担任“八五”国家科技攻关项目“锅炉燃烧特性的预示技术”主要负责人之一 (通讯处 150046 哈尔滨电站设备成套设计研究所煤燃室)

Electric Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -33- 36  
 The use of negative-pressure dust collecting units in thermal power plants of China and existing problems related with its use are described. In addition, the authors dwell on the theoretical basis for employing centrifugal fans to provide a negative-pressure source for the dust collecting units and its effectiveness in practical use. Also described are the design specifications of the centrifugal fan-based dust collecting systems. **Key words** negative-pressure dust collecting system, centrifugal fan, Roots fan, dust collector

电站燃煤锅炉结渣特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Slagging Characteristics of a Coal-fired Utility Boiler** [刊,中] / Zhao Liming ( Harbin Power Station Equipment Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -37- 40

Through the simulation of the actual boiler operating conditions by utilizing a pulverized coal combustion test stand to burn a coal sample on a trial basis conducted is a slagging test for the boiler of a power station 300 MW unit. A comprehensive slagging index  $R_2$  is proposed with the credibility of evaluation being enhanced, resulting in a more accurate prediction of the boiler actual slagging trend. **Key words** boiler, Slagging, prediction, test

船用燃机新型排气红外抑制系统的数值计算与实验研究 = **Numerical Calculation and Experimental Study of a Naval Gas Turbine Exhaust Infrared Signature Suppression Device** [刊,中] / Du Zhaohui, Zhong Fangyuan ( Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -41- 44

By taking the exhaust system infrared signature suppression device of a third generation naval gas turbine with multi-jet ejection and multi-layer film cooling as an example developed and completed is a numerical calculation method for simulating the air flow and temperature fields of the said suppression device. On the basis of analysing the measured data of the model the authors have proposed a method for correcting the effect of modelling scale, thus providing a theoretical basis for analysing the infrared signature suppression device of the exhaust system. **Key words** infrared signature suppression, modelling scale, exhaust system, gas turbine

UG-75/5.3-M型锅炉布风板阻力的试验研究 = **An Experimental Study of the Air Distribution Plate Resistance of a Model UG-75/5.3-M<sub>3</sub> Fluidized Bed Boiler** [刊,中] / Li Zhiwang ( Heilongjiang Provincial Electric Power Testing Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -45- 47

An analysis is performed of the mathematical model of air distribution plate resistance for a model UG-75/5.3-M<sub>3</sub> circulating fluidized bed boiler with the said plate resistance being tested. A regression was conducted by using the test results, and a calculation formula obtained for determining the variation of the air distribution plate resistance with air flow rate. The air distribution plate resistance factor obtained is designated as  $\alpha$ . Some reference data are provided for the operation of the boiler. **Key words** circulating fluidized bed, air distribution plate, resistance

湿蒸汽透平的汽水分离器的试验研究 = **An Experimental Study of the Steam-Water Separator of a Wet Steam Turbine** [刊,中] / Chen Qinglong et al. ( Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -48- 51

Presented in this paper are the experimental study results of an intermediary steam-water separator for a saturated-steam turbine. A type-selection test consists of a cold-state (air-water test) and a hot-state appraisal test, including a verification test first by simulation and then by a full-scale model. The optimum steam-water separator test model has been turned into a product. Its long-term safe and reliable operation has proved that the experimental study is a successful one. **Key words** test body, air-water test rig, steam-water test rig