

燃用混煤电站锅炉结渣原因分析及结渣趋势的模糊预测

郭 嘉 曾汉才

(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室)

[摘要]针对电站燃用两种或两种以上不同性能煤种掺配的混煤这一问题,分析了混煤结渣的原因,并运用模糊聚类分析法对混煤的结渣趋势进行了预测,在此基础上提出了相应的防治方法和措施。

关键词 煤 结渣 原因分析 模糊预测 防治措施

分类号 TQ534

0 引言

随着我国电力事业的发展,电站锅炉的容量不断增大,炉内的结渣问题也越来越突出,成为直接影响锅炉安全、经济和可靠运行的主要因素之一。结渣是一个极复杂的物理化学过程,不仅与燃烧中灰分含量及其性能有关,而且与燃烧器型式、炉膛结构、炉内温度水平、空气动力工况、气氛条件等有关。目前,国内外判定燃煤结渣趋势的指标主要有:煤灰软化温度 t_2 , 硅铝比 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 碱酸比 (B/A) , 硅比 $(\text{SiO}_2 \cdot 100/(\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3))$ 等。研究表明,没有任何一项单一指标可以完全正确地预报结渣倾向,但每一指标又有一定可靠性。

另一方面,由于我国煤炭运输能力不足,国家有关电站燃煤政策等原因,电站锅炉不得不燃用一些按一定比例掺配的混煤。有的电站为了稳定劣质煤的着火和减轻炉内结渣程度,有选择性地燃用某些混煤。不同性能煤种的混烧,由于它们之间相互作用和影响,其

结渣特性较单一煤种更为复杂。因此,随着混煤的广泛应用,有必要对混煤的结渣原因进行深入研究,预测混煤的结渣倾向,找到防止方法和措施,为电站安全经济地燃用混煤提供理论依据和科学指导。

1 混煤结渣的原因分析

电站固态排渣煤粉炉的结渣主要发生在燃烧器区域和炉膛上部靠出口烟窗部位。燃用混煤时,除了由于炉膛和燃烧器设计不当,制造和安装缺陷,运行中操作不当等人为因素外,混煤本身的煤质特性和燃烧性能是造成结渣的主要原因。下面分述之:

1.1 混煤灰熔点变化对结渣的影响

不同性能的煤种混烧,由于不同矿物质间发生化学反应,例如煤灰中有些金属氧化物如 CaO 、 MgO 等其本身的熔点高达 $2600\sim 2800^\circ\text{C}$,但在高温作用下,往往与其他煤中的 FeO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 等成分结合,生成熔点仅在 $1000\sim 1200^\circ\text{C}$ 之间的低熔点共晶体,从而

收稿日期 1993-10-26 收二稿 1994-01-10

本文联系人 郭嘉 男 26 硕士研究生 430074 武汉

改变了混煤的灰熔融特性。掺入不同比例的某种煤后，混煤灰熔点的变化与掺烧比例的加权平均值相差甚远，也就是说，有时混煤的灰熔点比掺配的两种单一煤的都要低，有时又可能比两种单一煤的都高，这种变化主要取决于掺配的两种单一煤的特性以及掺混比例。

两种不结渣煤混烧后，由于其灰熔点降低，可能引起炉内结渣，相反两种结渣煤种掺烧后它们的结渣趋势有望减小。因此，有的电站正是采用掺烧的方法来防止或减轻结渣的。例如：义马煤系我国结渣性较强的煤种，其软化温度只有 1190℃，在很多锅炉上燃用都严重结渣，但将其与宜洛、绳池或曲梁等高熔点煤掺烧，可有效地控制结渣。

1.2 混煤灰渣粘度对结渣的影响

灰渣粘度随温度的变化规律是表示灰分在高温条件下物理化学特性的另一个重要指标。不同煤种掺混，特别是渣型相差较大的煤混烧时，由于其矿物质的含量和成分发生变化，导致混煤灰渣粘温特性的改变，因而改变了结渣特性。例如，在一定条件下，在高粘度灰渣中加入低粘度灰渣，或在酸性灰渣中加入适量碱性灰渣都可以改变灰渣的流动性，可利用这一性能来减轻炉内结渣。

1.3 矿物质偏析对结渣的影响

原煤经开采、运输、干燥和破碎一系列过程，煤中的各种矿物质会出现偏析现象，在燃烧过程中某些矿物质就发生选择性沉积，从而使锅炉不同部位的灰渣成分与原煤的有明显差异。不同煤种掺混，由于其矿物质含量多少和偏析程度的不同，会进一步加剧炉内灰渣成分的不均匀性，对混煤的结渣倾向产生影响。

1.4 混煤燃烧特性对结渣的影响

混煤燃烧性能与单一煤的有一定差异，也可能引起炉内结渣情况的改变。特别是当性能差异较大的煤混烧时，一方面高挥发份

煤着火提前，往往使燃烧器的局部热负荷过高，因而出现局部高温，导致燃烧器出口结渣；另一方面，低挥发份煤由于着火较晚，燃尽时间延长，导致煤粒在炉膛出口和烟道里继续燃烧，这样将提高该区域的温度水平，煤灰就有可能在未固化前粘附到受热面上形成结渣。

对于同一煤种，在还原性气氛中，灰分的熔融特性温度比氧化性气氛下低 30~300℃。燃用混煤时，由于高挥发份煤在着火、燃烧过程中的“抢风”现象，消耗了一定量的氧气，同时生成少量 CO、H₂ 等还原性气体；或由于破坏了炉内的空气动力场，造成一些局部弱还原性气氛，使混煤的灰熔点大大降低，因而使结渣趋势加强。

2 混煤结渣趋势的模糊聚类分析法预测

混煤燃烧过程中由于其灰熔点、灰渣粘度等的变化进而影响其结渣特性，因而用常规的单一指标来预测混煤结渣趋势就不合适了。有时甚至会产生矛盾。例如，义马煤是我国典型的结渣煤种，按其硅比(76.59)来判别属于中等偏于轻微结渣的煤种。单一指标判别率低的主要原因是分割界限太明确，忽略了各状态之间的中介过渡状态，人为地把一些复杂的模糊现象简单地处理成清晰现象，加上混煤的结渣特性变化范围较大，因而会产生较大偏差。

为了避免这种人为的判别方法，本文综合各结渣判别指数的共同效果，同时考虑所涉及的模糊因素，采用模糊聚类分析的方法预测不同混煤的结渣程度。

2.1 模糊聚类分析法的原理

模糊聚类分析法大体可分为三步：

第一步，数据的标准化

设 U 是欲进行聚类的全体对象, 每个样本 u_i 由一组数据 $x'_{i1}, x'_{i2}, \dots, x'_{im}$ 来表征, 由于各数据的量纲、单位和数值大小各异, 故需对其进行标准化处理:

$$x = \frac{x' - \bar{x}'}{S} \quad (1)$$

式中 x' 为原始数据, \bar{x}' 为原数据的均值, S 为标准差, x 为处理后数据。

第二步, 数据的标定

标定就是建立 U 上的模糊相似关系 R_{\sim} (下标 \sim 表示该矩阵为模糊阵), R_{\sim} 中的元素 r_{ij} 即为表示元素 u_i 与 u_j 按其性质相似的程度, 也称为隶属度。本文中 r_{ij} 的计算方法如下:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \exp\left[-\frac{n-1}{n} \cdot \frac{(x_{ik} - x_{jk})^2}{S^2}\right] \quad (2)$$

第三步, 聚类分析

R_{\sim} 必须是一个所谓模糊等价关系才能进行分类, 即同时满足自反性 ($r_{ii} = 1$, 若 $i = j$)、对称性 ($r_{ij} = r_{ji}$) 和传递性 ($R_{\sim} \cdot R_{\sim} \subseteq R_{\sim}$)。若 R_{\sim} 经改造成为模糊等价关系, 那么对于任意 $\lambda \in [0, 1]$ 所截取的截矩阵 R_{λ} 也是等价关系, 那么每一个等价关系 R_{λ} 就可以决定一个 λ 水平的分类。

2.2 实例分析

对晋城无烟煤及其混煤, 选取煤灰软化温度、硅铝比、碱酸比、硅比等作为评价指标进行模糊聚类分析。首先分析 50% 晋城无烟煤与 50% 其它煤种的混煤的结渣趋势, 按上述方法可得到:

煤种	晋城无烟煤	掺河南贫煤	掺潞安贫煤	掺临汾烟煤	掺黄陵烟煤
λ_1	1.00	0.91	0.79	0.64	0.53

—————→
结渣趋势逐渐增强

对于掺烧不同比例的河南贫煤, 其结渣趋势如下:

煤种	晋城无烟煤	掺 25% 贫煤	掺 50% 贫煤	河南贫煤	掺 75% 贫煤
λ_1	1.00	0.83	0.62	0.51	0.49

—————→
结渣趋势逐渐增强

对于晋城无烟煤中掺 25% 的河南贫煤, 在不同的炉内温度水平下, 其结渣趋势如下:

炉温	1100℃	1200℃	1300℃	1400℃	1500℃
λ_1	1.00	0.94	0.90	0.75	0.38

—————→
结渣趋势逐渐增强

由以上聚类分析可知, 晋城无烟煤中掺混不同的煤种, 其结渣趋势不一样; 即使掺烧同一煤种, 掺混比例不同时, 结渣趋势也有差别, 有时混煤(掺 75% 河南贫煤)的结渣趋势比单一煤(河南贫煤)的还要强。此外, 随着炉内温度水平的提高, 混煤的结渣趋势也不断增大。

3 混煤结渣的防治措施

混煤灰熔点和灰渣粘度的变化是导致结渣状况改变的主要原因, 它们又都受到混煤中矿物质成分和含量的影响, 因此, 不同煤种掺烧时, 首先应考虑掺配前后灰渣的特性, 合理选择掺配煤种(或其它添加物), 并选择最佳的掺烧比例。

由于混煤燃烧性能变化引起炉内工况改变而导致的结渣也是不可忽视的问题。在正确选择燃烧器及炉膛热力参数和几何尺寸的前提下, 加强对燃烧工况的控制, 合理组织炉内空气动力场, 保证火焰的均匀分布, 选择合适的煤粉细度和均匀度, 并加强运行中的管理, 及时吹灰和打渣, 消灭可能引起结渣的隐患, 才能保证锅炉的安全经济运行。

4 结论

(1)本文分析了燃用混煤电站锅炉结渣的主要原因,并提出了相应的防治措施和方法;

(2)运用模糊聚类分析法预测混煤的结渣趋势不仅适合混煤的特点,而且考虑了模糊因素的影响,且方便易行;

(3)电站可采用混烧的方法减轻或消除锅炉结渣,但必须合理选择煤种、掺烧比以及炉膛热力参数,燃烧工况参数和锅炉运行参数。

参 考 文 献

- 1 何佩璠等. 煤粉燃烧器设计及运行. 机械工业出版社, 1987
- 2 曾汉才. 劣质煤燃烧与利用. 华中理工大学出版社, 1989
- 3 吴胜春. 电站锅炉的结渣. 大机组安全经济运行研讨会, 1992
- 4 许方洁. 国外煤的结渣治污特性研究综述. 热力发电, 1985, (5)
- 5 孙亦祿等. 煤灰结渣特性综合判别模型工程应用研究. 电力技术, 1986, (6)

航改机应用

GE 交付 2000 多台 LM 系列发动机

据“Gas Turbine World”1996年1~2月号报道,去年秋季,GE Marine & Industrial Engines 给予 Transalta Energy 公司一块标记由 GE 公司发货的第 2000 台航空改型燃气轮机的标志牌。

该里程碑机组是一台 LM6000,该燃机供今年 10 月加拿大安大略省的 50 MW 温莎热电站商业营运用。热电站将为 Chrysler 的温莎微型汽车装配厂提供过程蒸汽并向安大略 Hyd'n 提供电力。

GE M&I 于 1959 年推出其第一台航空改型燃气轮机 LM100,作为研究和开发的试验台并用于应急电力生产。同年下半年,GE 推出 LM 1500 燃机,它是广泛应用的 J79 军用涡喷发动机的航改机。

第一台 LM 1500 被安装在美国海军的 Denison 水翼艇上。共生产了 182 台 LM 1500,约 50%用于军用船舶,50%用于工业生产。

LM 2500 于 1969 年初次登场,现在共建造了 1442 台,其中 906 台用于军用。总的点火小时超过 1800 万小时。

LM 500 是在 80 年代中期推出的,建造了 42 台供工业、军船和商船应用。LM 1600 是在 1988 年推出的,已建造了 124 台。第一台 LM 5000 是在 1978 年投入使用的,已制造了 98 台。

LM 6000 是在 1991 年推出的,已建造了 113 台。所有型号 LM 燃机总计生产了 2001 台。

(学牛 供稿)

simulation results the capacity for coping with load fluctuations has been identified. **Key words:** high-efficiency hydraulic coupling, dynamic performance, hydraulic transmission system

燃用混煤电站锅炉结渣原因分析及结渣趋势的模糊预测 = An Analysis of the causes of Boiler Slagging at a Mixed Coal-Fired Power Station and a Fuzzy Prediction of the Slagging Tendency [刊, 中]/Guo Jia, Zeng Hancai (Huazhong University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). 209~212

In connection with a new problem of firing a coal mixture comprising two kinds or more than two kinds of coals of different properties analysed in this paper are the causes of slag formation for such coal mixture with its slagging tendency being predicted by the use of a fuzzy cluster analytical method. On this basis pertinent procedures and measures are proposed to cope with the above-cited problem. **Key words:** coal, combustion mixture, slagging cause analysis, fuzzy prediction, preventive measures

双回流燃烧器实验研究与应用 = Experimental Study of a Dual Return-flow Burner and Its Application [刊, 中]/Qiu Jihua, Chen Gang, et al (Huazhong University of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -213~216

In view of the existing problems related to the firing of low-grade coals in home-made utility boilers, such as ignition difficulty, instable combustion and low combustion efficiency, etc the authors have proposed a new type of direct flow burner capable of producing both an inner and an outer return flow zone. Its laboratory cold and hot-state test results are analysed and discussed followed by a brief description of the industrial use of such burners. **Key words:** burner, combustion, boiler

新型燃用无烟煤的 CUF 锅炉冷态模化试验研究 = An Experimental Study on the Cold-state Simulation of an Anthracite-fired New Type CUF Boiler [刊, 中]/ Zhang Xuan (Suzhou Thermotechnical Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -217~221

A new type CUF boiler developed for the firing of low-volatile anthracite combines the merits of four-corner tangential firing and vertical firing. An experimental study was conducted of the CUF boiler performance through the use of a cold-state simulation method. The in-boiler aerodynamic field and horizontal flue duct gas speed distribution at the furnace outlet was measured. The test results show that the CUF boiler has marked superiority in terms of anthracite ignition improvement, combustion stability and burn-down as well as a satisfactory performance characterized by the absence of furnace slagging and a uniform flue gas speed at the furnace outlet. **Key words:** anthracite, cold-state simulation, CUF boiler

以流化床换热回收柴油机废气余热的试验研究 = An Experimental Study on the Recovery of Diesel Exhaust Heat by the use of a Fluidized Bed Heat Exchanger [刊, 中]/Li Jianhong, Zhu Shiwei