

混煤的结渣特性及煤质结渣程度评判

邱建荣 马毓义 曾汉才

(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室)

[摘要] 本文对晋城无烟煤、潞安贫煤、临汾烟煤及混煤的结渣性能进行了试验研究,并在试验和单因素指标判别的基础上,运用模糊数学方法对煤质的结渣程度进行了评判,同时,对混煤的结渣性能及其影响因素进行了综合性的探讨,为燃烧混煤的电厂解决结渣问题及进行结渣程度判别提供了科学依据。

关键词 混煤 结渣 混合比 模糊评判

分类号 TK16

0 引言

炉内受热面的结渣是严重影响锅炉安全、清洁和经济运行的主要问题之一。由于大型机组煤耗量很大,又由于建设计划和运输的困难,燃用煤种几乎是不可避免地有一定变动,这就造成了国内绝大部分电厂主动或被动地烧混煤。因此,对我国电站锅炉混煤结渣特性及炉内结渣预测的研究就显得十分必要。

结渣是一个复杂的物理化学过程,目前,对煤粉锅炉炉内结渣现象的理解还没有定性的结论,国内外一些锅炉厂家及研究单位曾对煤的结渣机理及结渣与煤质特性的关系作了大量工作,并提出了许多结渣经验判别指标^[1-4]。但是,迄今为止,建立的煤的结渣试验数据库主要是针对单一煤的,有关混煤结渣的试验研究仅有一些零星的报道^[5-7];另一方面,建立的结渣程度判别指标也是以单一煤

为基础的,而且各指标的判别程度也不高。这一研究现状与混煤使用的广泛性是极不相符的,因此,我们有必要对混煤的结渣性能进行系统深入的研究,并提出适合于判别单一煤及混煤结渣性能的方法,以便为大型电站锅炉的设计和运行提供科学依据。

1 煤质结渣程度的常用判别指标

近年来国内所发展并得到了广泛应用的结渣判别指标大致可分为灰熔点、灰成分及灰粘度三种类型,根据我国煤质的具体情况和电厂使用的适应性,哈尔滨电站设备成套设计研究所在国内近250种煤质的灰渣特性资料的基础上,提出了适合于我国煤种的结渣程度最优分割准则^[3],如表1所示。这些指标的分辨力可达65%左右,其中以 T_2 和 B/A 的分辨力较高。

收稿日期 1993-04-03 收修改稿 1993-07-29

本文联系人 邱建荣 女 26 博士研究生 430074 武汉

表 1 常用结渣程度判别指标

判别指标	结渣程度			置信度 (%)
	轻微	中等	严重	
灰熔点 T_2	>1390	1390-1260	<1260	83
碱酸比 B/A	<0.206	0.206-0.4	>0.4	69
硅比 σ	>78.8	78.8-66.1	<66.1	67
硅铝比 SiO_2/Al_2O_3	<1.87	1.87-2.65	>2.65	61

2 混煤结渣程度的常规指标评判

煤质特性中,与结渣关系最为密切的是煤灰成分及灰熔点,通过测定煤中矿物质的成分组成及灰的熔化温度,可以宏观地了解煤的结渣特性,也是确定结渣判别指标的基础。

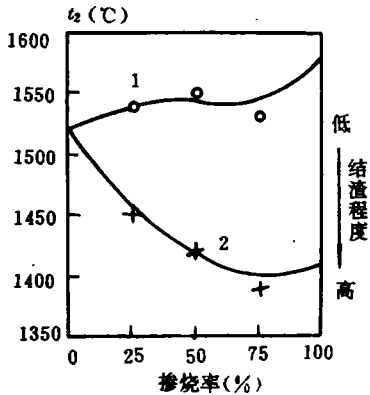


图 1 混煤灰熔点的变化特性
1. 晋城煤掺潞安煤 2. 晋城煤掺临汾煤

本文对晋城无烟煤、潞安贫煤、临汾烟煤及按不同的比例组成的混煤的结渣特性进行

了试验研究,测定了其灰熔点和灰成分,并采用常规结渣判别指标对其结渣程度进行了计算,得到了各种煤的硅铝比 SiO_2/Al_2O_3 碱酸比 B/A ,结果如图 1 至图 3 所示。

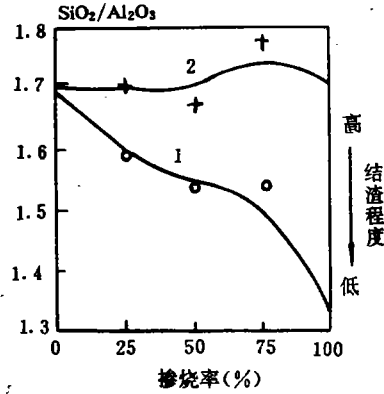


图 2 SiO_2/Al_2O_3 与掺烧率的关系
1. 晋城煤掺潞安煤 2. 晋城煤掺临汾煤

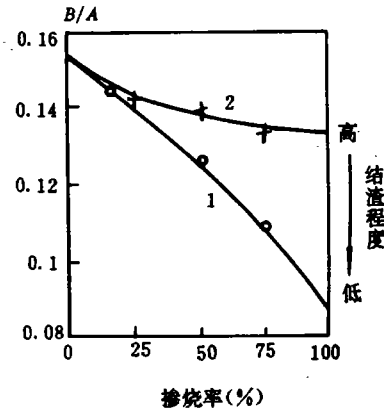


图 3 B/A 与掺烧率的关系
1. 晋城煤掺潞安煤 2. 晋城煤掺临汾煤

从图中可以看出,用 SiO_2/Al_2O_3 判别混煤的结渣程度时,与 T_2 判别的结果相近,且与实际情况接近;而采用 B/A 判别时,则与 T_2 相差较远,且与实际情况不符。这表明,用常用结渣指标判别煤的结渣程度时,其分辨力

较低,采用不同的判别指标所得结论相差甚远,这主要是由于不同煤种的矿物质成分在混烧过程中处于不同的燃烧阶段,其相互影响和制约影响了各成分在结渣过程中的重要程度。另外,常用结渣指标通常是将结渣程度分为“轻度”“中等”、“严重”三种类型。各类型之间的界限没有明显差别,这种判别没有考虑各参数对某一等级置信度的大小,因而其判别是不严格的。因此,我们有必要找到一种根据具体情况确定出不同指标的不同置信度的方法,以使判别结果更符合实际。

本文从煤灰分析试验出发,采用模糊综合评判方法^[8]对煤的结渣程度进行评判,该方法不仅能够全面考虑各种煤质因素在具体情况下对结渣程度的综合影响,而且考虑了不同指标在不同情况下的重要程度,因而与常规指标相比,其评价更为全面客观。

3 基于煤质本身特性的混煤结渣程度模糊评判

3.1 确定因素集和备择集

从煤灰分析试验出发,煤的结渣是各成分综合作用的结果,因此,各单一指标对结渣均有影响,故将因素集取为:

$$U = \{T_2, SiO_2/Al_2O_3, B/A, G\}$$

表2为由试验结果得到的结渣指标计算值,同时综合考虑常规指标的分类级别及国内外常用的分类级别,将结渣分为四个等级,即不结渣、轻微结渣、中等结渣、严重结渣,因而得到的备择集为: $V = \{\text{不结渣, 轻结渣, 中等结渣, 严重结渣}\}$,结合实际情况进行计算,得到结渣程度分级标准值,同样列于表2。

表2 不同掺烧比时煤灰结渣指标计算值及结渣等级标准值

指标值 因素	煤种									等级标准值			
	晋城	潞安	临汾	晋:潞 3:1	晋:潞 1:1	晋:潞 1:3	晋:临 3:1	晋:临 1:1	晋:临 1:3	不结渣	轻微	中等	严重
T_2	1520	1580	1410	1540	1550	1530	1450	1420	1389	1500	1370	1330	1280
SiO_2/Al_2O_3	1.696	1.333	1.705	1.587	1.537	1.542	1.7	1.671	1.773	1.650	1.75	2.1	2.6
B/A	0.153	0.087	0.133	0.139	0.125	0.109	0.141	0.138	0.133	0.10	0.20	0.35	0.50
G	0.816	0.895	0.831	0.825	0.841	0.856	0.827	0.927	0.833	0.84	0.76	0.70	0.58

表3 结渣程度及分级标准值处理值

相对指标 因素	煤种									相对标准值 S_i			
	晋城	潞安	临汾	晋:潞 3:1	晋:潞 1:1	晋:潞 1:3	晋:临 3:1	晋:临 1:1	晋:临 1:3	不结渣	轻微	中等	严重
T_2	0.962	1	0.892	0.975	0.981	0.968	0.918	0.899	0.879	0.949	0.867	0.842	0.81
SiO_2/Al_2O_3	0.652	0.513	0.656	0.61	0.591	0.593	0.654	0.643	0.682	0.635	0.673	0.808	1
B/A	0.306	0.174	0.266	0.278	0.25	0.218	0.282	0.276	0.266	0.2	0.4	0.7	1
G	0.912	1	0.928	0.922	0.94	0.956	0.924	0.924	0.931	0.939	0.849	0.782	0.648

表4 不同掺烧比时结渣程度模糊评判结果

煤种 结渣隶属度	1 晋城	2 潞安	3 临汾	4 晋:潞 3:1	5 晋:潞 1:1	6 晋:潞 1:3	7 晋:临 3:1	8 晋:临 1:1	9 晋:临 1:3
不结渣 b_{11}	0.742	1	0.597	0.885	0.968	0.99	0.656	0.66	0.43
轻度 b_{12}	0.276	0	0.403	0.115	0.032	0.01	0.344	0.34	0.55
中等 b_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
严重 b_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
结渣强到弱顺序	9>3>7>8>1>4>5>6>2								
实际顺序	9>3>7>8>1>4>5>6>2								

3.2 对结渣指标值进行量级处理

为了消除表2中各指标量级不同造成的影响,对各数据进行处理,用每行中最大值去除该行中各数值,得到了表3所示的处理结果。

3.3 确定各因素的权重

第*i*个煤种的不同因素的权重为:

$$a_j = (d_j/\bar{s}_j) / \sum_{j=1}^4 (d_j/\bar{s}_j), \text{ 其中 } \bar{s}_j \text{ 为第 } j \text{ 项}$$

参数的平均结渣等级标准值, d_j 为第*j*项指标的结渣程度计算值。

3.4 确定单因素评判矩阵 R

将结渣指标分为四级,确定各级之间的隶属函数,得到单因素评判结果

3.5 模糊综合评判矩阵 R

$B = A \cdot R = (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14})$ 其中 b_{ij} 为评判对象对各种结渣等级的隶属度,由 b_{ij} 的相对大小可以确定出结渣的程度。表4为本文求得各煤样的模糊综合评判结果。

表中的模糊综合评判结果能较好地表明各煤种的结渣强弱顺序。这表明,按上述模糊综合评判方法评价不同混煤在同一炉膛及同一燃烧条件下的相对结渣性能是较为科学的。可以为混合比的选择提供科学依据。

4 混煤的结渣性能及影响因素

4.1 混煤的结渣性能

从表4中可以看出,不同煤种混合后,其结渣趋势变化复杂,与算术平均值相差甚远,也不表现出线性关系。表中所示三种单一煤的结渣趋势由强到弱的顺序为:临汾烟煤、晋城无烟煤、潞安贫煤。当晋城无烟煤掺入结渣性能低于自身的潞安煤后,随着潞安贫煤比例的增大,结渣程度基本上呈下降趋势,当晋城无烟煤掺烧临汾烟煤时,由于两种煤的燃烧性能差异较大,结渣趋势较为复杂,当临汾烟煤的掺烧率较低时,结渣趋势介于两者之间,而当其掺烧率达到75%时,混煤的结渣程度高于两种单一煤。

由此,当电厂采用混烧方法减轻结渣时,必须合理选择掺烧率。

4.2 影响混煤结渣性能的因素

4.2.1 混煤灰熔点的变化

从图1中可以看出,不同煤种混合后,其灰熔点变化趋势很复杂,与算术平均值相差甚远,也不表现出线性关系,有时混煤的灰熔点比两种单一煤都低,有时则比两种单一煤

都高。这种变化与所混的两种单一煤的特性及混合比的关系较大,煤种差别越大,混合后变化越大,这主要是因为不同煤种混合后,由于矿物质的组成、含量发生变化以及它们之间的相互影响、相互制约,使得不同的煤的不同矿物质发生化学反应,从而改变了混煤的灰熔融特性。同时,不同煤种混合后煤灰还可能生成共熔体,也使混煤的灰熔融温度发生变化。

混煤灰熔点的改变是导致结渣状况改变的主要原因。

4.2.2 混煤灰渣粘度的变化

灰渣粘度对结渣的影响主要体现在受热面结渣强度方面,灰渣粘度越大,受热面结渣越强烈。西安热工所曾对混煤灰渣的粘温特性进行过研究^[6],发现我国煤渣型相差大的煤掺烧,会改变混煤灰渣的粘温特性,从而使结渣性能改变。

4.2.3 混煤灰分组成的变化

灰成分对结渣的影响表现为各成分间的综合作用及其对灰熔点的影响。不同煤种混合后,其矿物质的含量和组成发生变化,因而其灰成分改变,从而改变了混煤的结渣特性。

4.2.4 煤中矿物质的离析

煤中矿物质一些成分在煤粉颗粒中的含量多少和偏析,也会对混煤的结渣倾向产生影响,如黄铁矿偏析严重的煤质结渣较严重。

4.2.5 混煤在炉内燃烧时的结渣状况

不同煤种混合后,尤其是性能差异较大的煤混合时,两组分煤种的燃烧并不是同步进行的,由于高挥发分煤的大量消耗氧造成低挥发分煤的燃烧时间延长,此时容易出现低挥发分燃料的燃尽发生在炉膛出口附近和炉墙附近,甚至粘附到受热面上继续进行,这样将提高炉膛上部和炉墙附近温度水平,因而有可能使灰分在未固态化以前就接触到受热面而粘结其上造成结渣。

此外,性能差异较大的煤种混合燃烧时,

高挥发分煤的先期燃烧使低挥发分煤缺氧造成局部弱还原性气氛,从而使灰熔点大大降低,使结渣加剧。

4.2.6 燃烧工况参数及锅炉运行参数的影响

炉膛温度、炉内空气动力场、炉内气氛条件、过量空气系数、一二次风量分配、混合状况、风煤比、煤粉细度等等都会对混煤的结渣状况产生影响。

4.2.7 燃烧器及炉膛结构和设计参数的影响

当设计的炉膛热负荷($Q/V, Q/F$)过大时,炉内的整个温度水平将提高,同时由于炉膛尺寸小,煤粉在炉内的停留时间将缩短,当受热面内部结垢外部积灰等情况出现时,熔灰就可能得不到充分的冷却固化而接触到受热面造成结渣。

燃烧器的设计和布置,设计的炉膛高度等都会对结渣造成影响。

烧单一煤的锅炉掺烧混煤时,首先应综合考虑各因素选择最佳的掺烧比例来满足设计参数的需要,如不能满足,则应对炉膛参数进行计算,以选择合适的炉膛参数。

由上述分析可以看到,混煤的结渣性能不仅受混合煤种、混合比的影响,而且受多种因素的影响,其结渣情况相当复杂,同一煤质结渣指标的混煤和单一煤,在同一炉膛和同一燃烧工况下,两者的结渣特性可能存在较大的差异,这主要是由于混煤在炉内的燃烧状况与单一煤不同。因此,要采用混烧方法减轻或消除锅炉的结渣,必须对混煤的结渣性能和机理进行大量而深入的研究。

5 结论

(1)混煤的结渣性能较为复杂,受混合

煤种和混合比的影响较大,性能相近的煤混合后,结渣程度变化不大,性能差异越大的煤混合后,其结渣趋势越复杂。

(2)造成混煤结渣情况变化的主要原因是:煤混合后灰熔点和灰粘度发生了变化,以及煤的燃烧性能发生了变化。

(3)电厂可以采用混烧方法减轻或消除锅炉结渣,但必须合理选择掺烧比例及炉膛热力参数、燃烧工况参数、锅炉运行参数。

(4)本文采用模糊综合评判的方法首先对不同混煤的结渣性能进行了初步评价比较,以进一步分析混煤的结渣特性。在本文评价过程中只考虑了煤灰本身的特性。实际应用时,应将煤灰的化学成分和粘温特性与结渣有关的炉膛热力参数、锅炉运行参数、燃烧

工况参数、温度水平、煤在炉内燃烧时的结渣情况以及原煤中黄铁矿的离析结合起来综合考虑。

参 考 文 献

- 1 Erich Raask. Mineral Impurities in Coal Combustion, Hemisphere publishing Corporation 1985
- 2 Hensei, R P., Coal Combustion, 1978, 12
- 3 何佩敦,张忠孝. 动力工程, 1987, 2
- 4 孙亦祿,张时力,楚仲妍. 热力发电, 1986. 6
- 5 Bogot A, Hensel R P. Combustion, 1978, 7
- 6 钱垂喜. 热力发电, 1984, 6
- 7 姚伟,樊坤,相大光. 热力发电, 1989, 3
- 8 吴万铎,吴万钊. 模糊数学与计算机应用. 电子应用出版社, 1988, 1

简 讯

大庆将建核供热堆

据“China Daily”1993年10月10日“Business Weekly”报道,核电站现在已不是中国把其先进的核技术投入民用的唯一途径。现在国家正着眼于小热源反应堆,以便给城市供热。作为一个试验步骤,在2000年前将在我国大庆油田建造一个城市供热用的200 MW反应堆。

与核电站比较,这些反应堆较小、不需要额外的安全设备并能利用核电站通常废弃或要被冷却的热量。

如果上述试验被证明是成功的,则预期

将在整个中国许多城市建造这样的供热反应堆。

该200 MW反应堆将产生约为400万平方米建筑物供暖的热量,其设计寿命为40年。

同时,该反应堆可用于夏季冷却房间,也可用于淡化海水。据说一些国家已要求中国利用核技术帮助其淡化海水。

据估计,中国每年约燃烧1亿吨煤用于城市供热。所以核供热的潜力是十分巨大的。

(学生 供稿)

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL
ENERGY AND POWER**
1994 Vol. 9 No. 1

CONTENTS

- (3) **Slagging Characteristics of Blended Coals and Comprehensive Evaluation of Slagging Degree** Qiu Jianrong, Ma Yuyi, Zeng Hancui (*National Coal Combustion Laboratory of Huazhong University of Science & Technology*)
An experimental investigation has been conducted of the slagging characteristics of Jincheng anthracite, Luan lean coal, Linfen bituminous coal and the blended coals of the above-cited sorts. On the basis of experimental and single factor index evaluation a fuzzy mathematical method is used to evaluate the slagging degree of the coals. Meanwhile, the slagging characteristics of blended coals and the factors affecting such characteristics have been investigated and discussed in a comprehensive way, thus providing a scientific basis for the evaluation of slagging degree and the solution of slagging problems in power stations which use blended coals as fuel. **Key words:** *blended coals, slagging, fuzzy evaluation, blended ratio*
- (9) **An Exploratory Study on the Hydrodynamic Computation of Combined Circulation Hot-Water Boiler** Zhu Qunyi, Zhao Guangbo, Cheng Chongsu, Zhang Peiting (*Harbin Institute of Technology*)
This paper deals with a theoretical study of the hydrodynamic computation method for use on a combined circulation hot-water boiler with specific calculation, examples being given. **Key words:** *combined circulation, hot-water boiler, hydrodynamic computation*
- (14) **Countermeasures for the Avoidance of Positive--Pressure in Fire-Bed Boiler Furnace** Xu Tongmo, Hui Shien, et al (*Xi An Communications University*)
Based on the basic principles of hydrodynamics and in-furnace aerodynamics an analysis is made of the mechanism, of the occurrence of positive-pressure in a boiler furnace. It has been proved that in the case of a large-volume furnace with a small furnace arch the maintenance of a negative pressure of 0~20 Pa at the furnace outlet will prevent the occurrence of a positive pressure. With respect to a small-volume furnace with a very low and long furnace arch the positive pressure can to a great extent be avoided through a proper furnace design and arch construction as well as in-furnace rational aerodynamic parameters. The authors have also proposed some countermeasures for the prevention of positive pressure in fire-bed boiler furnaces. **Key words:** *prevention, occurrence of positive pressure, countermeasures*