

煤的结渣特性磁力分析的研究

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001) 陈力哲 艾 静 李争起 孙 锐 吴少华 秦裕琨

摘 要: 从煤的物理特性研究煤灰结渣特性, 煤中所含各类物质中, 铁化合物具有最低的熔化温度, 易在炉膛内燃烧中产生结焦。本文提出了一种根据磁铁对煤的磁力吸附百分比来判别不同煤种煤的结渣倾向的新方法, 并对这种方法的机理和应用进行了深入分析。这种方法实现了煤的结渣特性的现场快速测量。

关 键 词: 煤质; 磁力分析; 结渣; 判别

中图分类号: TQ533.1

文献标识码: A

1 引言

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。其中以煤的碱酸比 B/A 、硅铝比 SiO_2/Al_2O_3 、硅比 G 和软化温度 ST 四项指标较适合于我国煤种, 有较高的置信度^[1,2], 但分析时间较长, 不适合于锅炉运行前煤是否易结渣的分析。本文提出的煤质结渣特性快速测定法——磁力分析法, 具有耗时短, 操作简捷, 能现场应用的优点, 且判别结渣性比较准确, 如果能与软化温度 ST 判别法和煤粉燃烧型态结渣特性判定法共同判别, 则准确度更高。

2 研究机理

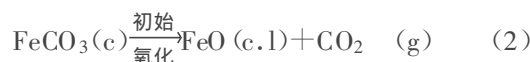
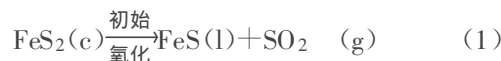
除原生矿物质(均匀分布在煤中)以外煤中的矿物质在原煤经开采、运输、干燥、破碎等过程中, 存在状态都会发生变化。此外, 在煤燃烧过程中, 矿物质的物理化学特性有很大差异, 这些差异虽与煤粒周围环境的气氛等有关外, 但主要的还是取决于煤粒本身的组成, 重度、表面特性、孔隙率、硬度、粘结力等因素。某些矿物质成份在燃烧过程中会发生选择性沉积。煤灰内各类物质中, 铁化合物具有最低的熔化温度。含铁量高的颗粒可能会形成比重大的熔融球体。这种球体的阻力系数很小, 因而它就很容易穿过烟气流到达水冷壁管上。而熔化温度很高的灰粒就不能熔融成球状, 这种不规则形状的颗粒阻力系数很大, 因此能随气流流动。有些熔化温度很低的

颗粒含有碳酸盐化合物, 它的气体生成物 CO_2 会引起新的球体产生, 但由于其内部是空的, 比重很小, 所以也随气流流动。因此, 笼统地采用煤中的总铁量来评价炉膛结渣往往会出现误差, 其原因就在于没有考虑铁在煤中的存在状态和分布情况。铁在煤中常常以黄铁矿(FeS_2)、菱铁矿($FeCO_3$) 或者以白云石和方解石的混合物出现, 很少以其它形式出现^[3], 常见铁化合物的物理性质可见表1。

表1 铁化合物的物理性质比较

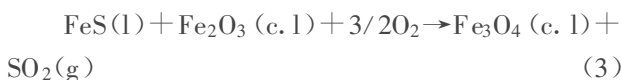
化合物	FeS_2	FeS	$FeCO_3$	FeO
比重	5.02	4.64	3.96	5.70
熔化温度/ $^{\circ}C$	750	1194	600	1377

黄铁矿和菱铁矿在燃料过程中有如下反应



式中 c.l.g 分别表示结晶物、液体和气体。

从反应式(1)可看出, FeS_2 开始氧化成 FeS 和 SO_2 , 是矿物质在燃烧区域内发生的重要反应之一。 FeS 在燃烧过程中易形成一种熔融球体, 其阻力小、密度高, 很容易从烟气流中分离出来, 接触到水冷壁并与管壁上早已出现的化合物反应形成低熔点化合物, 其反应方程式如下^[4]。



1371 $^{\circ}C$ 分解



1147 $^{\circ}C$ 熔化

方程(3)所形成的磁铁矿 Fe_3O_4 在分解成 FeO 和 O_2 之前, 可承受很高的温度, 使沉积物的熔点升高, 在相应范围内呈固态沉积。而 Fe_3O_4 和 FeS 反应出来的 FeO 和 SiO_2 作用可形成低熔点化合物 $FeSiO_3$ 易熔化沉积。

从方程式(2)中可看出, 碳酸铁在燃烧过程中放

出 CO₂ 气体, 自身变成空心球体, 由于很轻可随烟
气带走。

由以上分析可知, 黄铁矿是引起结渣的根本原
因之一, 测定出它的含量, 就能预测出煤种的结渣倾
向。

黄铁矿一般为 FeS₂ 和 FeS 的混合物, 它具有磁
性, 而煤中另一种常见的铁化合物 FeCO₃ 是没有磁
性的, 因此, 就可以采用磁力分析的方法来测定煤中
黄铁矿的含量, 从而判定煤是否易结渣。

3 试验设备

做为磁力分析设备, 对磁感应强度、设备结构等
进行了研究, 试验结果表明, 增强磁场强度能提高含
铁矿物质吸附量, 为配合瓦心型磁铁的弧度, 减小内
筒外壁与磁铁间隔, 将内筒截面设计为长短轴分别
为 40 mm 和 20 mm 的椭圆形。筒高为 160 mm, 内
筒材料采用铜皮制造, 共用十八块瓦心形磁铁, 三块
叠加为一组, 附在内筒短轴方向两侧, 沿内高度方向
布置了三层磁铁, 磁铁外部采用薄铁皮包覆, 以形成
封闭磁路, 最外层再加上外包装。

配套设备有磨煤机, 将缩分后的煤样磨成粒度
为 120~400 目。称重设备采用精度可达到 0.1 mg
电子秤。

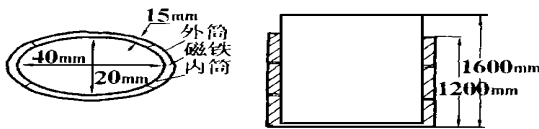


图 1 煤质磁力分析设备简图

4 试验内容及结果分析

本试验对国内十种煤样进行分析, 根据国家标
准进行采样缩分, 作为分析示样保存。将煤用磨煤
机磨碎, 称重, 加入煤质磁力分析设备中, 转动一定
时间, 再称重, 前后两重量相减, 即可得出吸附于筒
壁上的质量, 可计算出煤的磁力吸附百分比, 由此判
定该煤是否易结渣。

试验方法如下:

称取 20 g 分析煤粉装入煤质磁力分析设备中,
转动五分钟, 然后将煤粉倒出, 再称重, 计算出煤粉
磁力吸附重量百分比。以软化温度 ST 作为判别指
数, 试验结果如表 2 所示, 用磁感应 $B = 400$ 高斯制
作的分析设备, 试验结果如表 3 所示。

表 2 以 ST 作为判别指数

煤种	织金	肥田	金竹山	韶关	大同
$ST/^\circ\text{C}$	> 1 450	> 1 450	> 1 500	> 1 500	1 135
结渣程度	轻微	轻微	轻微	轻微	严重
煤种	芙蓉	红兴隆烟煤	红兴隆无烟煤	黄陵	阳沁
$ST/^\circ\text{C}$	1 150	> 1 500	> 1 500	1 260	1 395
结渣程度	严重	轻微	轻微	中等	中等

表 3 磁力分析的结果 ($B = 400$ 高斯)

煤种	织金	肥田	金竹山	韶关	大同
重量/g	20.001 4	20.001 7	20.001 2	18.364	620.001 3
磁力吸附量/mg	1.6	1.0	2.3	1.3	8.0
磁力吸附百分比	0.008	0.005	0.011	0.007	0.040
结渣程度	轻微	轻微	轻微	轻微	严重
煤种	芙蓉	红兴隆烟煤	红兴隆无烟煤	黄陵	阳沁
总重/g	20.001 8	20.001 1	20.001 5	20.001	820.001 5
磁力吸附量/mg	7.0	1.5	0.8	5.0	4.4
磁力吸附比/%	0.035	0.007	0.004	0.025	0.022
结渣程度	严重	轻微	轻微	中等	中等

由表 3 可以看出, 磁力吸附的绝对数量少。然
而十种煤相比较却可以看出, 有些煤种(如: 大同、芙
蓉)的吸附量却明显较多, 是其它煤种(如: 织金)的
四至五倍左右, 黄陵和阳沁两种煤的磁力吸附量则
处于中等。以 ST 作为判别指数, 大同和芙蓉两种
煤均为结渣严重, 其磁力吸附量也是最多的, 采用磁
力分析法是能够反映煤种的结渣倾向的。根据表 3
可以提出磁力分析法预测结渣的界限, 如下: 磁力吸
附比 > 0.03% : 严重结渣

= 0.02% ~ 0.03% : 中等结渣

= 0.004% ~ 0.02% : 轻微结渣

5 结论

本文提出了采用磁力分析方法研究煤的结渣特
性, 给出了煤的磁力分析设备的结构以及采用该结
构根据磁力吸附量预测结渣的界限。

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): 1~11.
- [2] 陈春元. 大型煤粉锅炉燃烧设备的优化设计问题. 锅炉制造,
1992(2): 1~41.
- [3] Sheldon D Strauss. Instrumentation advances improve fouling,
corrosion monitoring. Power, 1992(9).
- [4] 撒应禄编. 锅炉受热面外部过程(高等学校教材). 北京: 水力
电力出版社, 1994. 6: 115.

(复 编)

words: thermoacoustic engine, standing wave, resonance tube, refrigeration

二维真空系中壁面幅射热负荷反问题= **An Inverse Problem of Wall-surface Radiation-heat Load in a Two-dimensional Vacuum System** [刊, 汉] / Fan Hongwu, Li Bingxi, Yang Lidan, et al (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —104 ~ 106

Based on a Monte Carlo method and through the use respectively of a Singular Value Decomposition method (SVDM) and a Conjugate Gradient Method (CGM) solved in this paper is the inverse problem of a wall-surface radiation-heat load. Calculation results show that when the error of measured values is taken into account the stability and precision of the solution by the CGM are by far higher than those of the solution by the SVDM method. **Key words:** inverse radiation problem, numerical analysis, Monte-Carlo method, Singular Value Decomposition, Conjugate Gradient Method

有限空间内不可逆卡诺热机的不可逆因子的研究= **A Study of the Irreversible Factor of a Finite-time Endo-irreversible Carnot Engine** [刊, 汉] / Yang Yushun, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —107 ~ 109

Deduced in this paper is the calculation formula of an irreversible factor for a finite-time endo-irreversible Carnot engine. Meanwhile, it is pointed out that at the maximum engine power the irreversible factor cannot be determined by using only the temperature of the high and low-temperature heat source. To make such a determination possible, one has to know the temperature of one end of a system's circulating working-medium. The calculation of a specific example shows the validity of the irreversible factor calculation formula. The latter can somehow serve as a helpful guide during the computation of the irreversible loss and thermal efficiency of the finite-time endo-irreversible Carnot engine. **Key words:** finite-time thermodynamics, irreversible factor, irreversible loss

煤的结渣特性磁力分析的研究= **A Study of the Magnetic Analysis of Coal-slagging Characteristics** [刊, 汉] / Chen Lizhe, Ai Jing, Li Zhenqi, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —110 ~ 111

Coal-ash slagging characteristics are studied from the perspective of coal physical properties. Among the various kinds of substances present in the coal, iron compounds have the lowest melting temperature, which is the major cause of coal-related slagging during coal-firing in a boiler furnace. This paper describes a new method for determining the slagging tendency of various kinds of coal on the basis of a magnetic absorption percent of magnetic iron-to-coal. Furthermore, an in-depth analysis is conducted of the mechanism and use of the above method, which makes possible the rapid measurement on-site of the coal-slagging characteristics. **Key words:** coal quality, magnetic analysis, slagging

大湿度燃烧计算模型及蒸汽喷注对燃烧室燃烧流场特性的影响= **A High-humidity Combustion Computation Model and the Effect of Steam Injection on the Combustion Flow-field Characteristics of a Combustor** [刊, 汉] / Hu Zongjun, Wang Ying, Wu Minglan, et al (College of Power & Energy under the Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —112 ~ 115

On the basis of a traditional gas-state combustion-calculation model a correction is performed of the operating features of a high-humidity combustor and a mathematical model appropriate for the high-humidity combustion calculation proposed. Thereupon, with respect to four versions of steam-injection location in a specific steam-injection combustor a comparison and calculation analysis has been conducted of the effect on combustor inner flow-field characteristics of the different steam injection locations. As a result, some logical conclusions were obtained. **Key words:** high-humidity combustion, steam injection, flow field simulation calculation