

富氧气氛中煤粉燃烧特性改善的实验研究

樊越胜, 邹 峥, 高巨宝, 曹子栋
(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 采用德国 Netzsch 公司生产的 STA 409C 型热天平研究了神木原煤在不同氧的体积分数下的燃烧行为. 试验结果表明: 随着氧的体积分数的增大, 煤样的着火温度及燃尽温度均呈下降趋势, 着火时间提前, 燃烧时间缩短, 煤粉的综合燃烧特性指数提高; 当氧的体积分数小于 40 % 左右时, 煤粉燃烧特性的改变较大, 当氧的体积分数大于 40 % 时, 改善趋势变缓. 因此, 采用膜法富氧燃烧或助燃时, 宜采用的氧的体积分数范围为 30 % ~ 40 %.

关键词: 煤粉; 富氧; 燃烧特性; 实验研究

中图分类号: TK224 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2006)01-0018-04

Experimental Research of Rich Oxygen Content on Improving Combustion Characteristics of Pulverized Coal

Fan Yuesheng, Zou Zheng, Gao Jubao, Cao Zidong
(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Non-isothermal thermo-gravimetry experiments were performed from ambient temperature to 700 °C at 10 °C/min heating rate. The results of the experimental investigation and theoretical analysis show that there are great influences of oxygen content on ignitability and burnout characteristics of compositions. The larger the oxygen content is, the lower the igniting temperature and the burnout temperature are, and the greater the integration index of combustion characteristics is. At lower oxygen content (< 40 % in volume or so), the combustion characteristics will enhance sharply with enlarging the oxygen content; but the enhancement is mild when the oxygen content exceeds 40 % in volume. It is suggested that the optimal oxygen content can be 30 % ~ 40 % for combustion of pulverized coal when using ultrathin membranes to gas separation.

Keywords: pulverized coal; oxygen-enrichment; combustion characteristics; experimental investigation

煤粉燃烧是锅炉的一种主要燃烧方式,但其点火和低负荷下的稳定燃烧需要消耗大量重油,因此研究人员一直都在寻找更经济实用的解决办法.随着膜法富氧技术的成熟发展^[1,2],研究煤粉在富氧条件下的燃烧特性,不论对煤粉局部富氧的助燃研究还是煤粉的富氧点火技术都具有重要意义.

热分析法是近年来广泛使用的一种研究燃烧特性的手段,在研究煤的可燃性能及氧化反应性能方面已有广泛应用^[3,4].热分析曲线不同的煤种,在实际炉中的燃烧性能也不同,相反当煤种的热分析曲

线相近时,在实际炉中的燃烧性能却会基本相同^[5].

本文针对神木烟煤,采用热质量分析法对氧的体积分数变化对燃烧特性的影响进行了研究,得到了一些可供应用的结论.

1 实验设计

实验在 STA 409C 型热天平上进行,采用 SIC 质平坩埚^[3],以利于样层表面的气体扩散.实验采用的升温速率为 10 °C/min,温度从室温升至 700 °C,样品质量为 10 mg 左右.炉内气氛为氮气和氧气的

混合气体 (180 mL/min),天平保护气为氮气 (20 mL/min). 试验煤粉直接取自电厂炉前,其工业分析和元素分析列于表 1. 取试验煤样 62 875. 7 g,采用振动筛进行分级,其粒径分布见表 2,其质量平均粒径经计算为 63. 2 μm .

2 实验结果及分析

2. 1 燃烧质量损失曲线的分析

TG 曲线表示试样随温度变化时质量的变化,可给出物料分解、燃烧、质量损失的温度(时间)、区间、质量损失量. DTG 曲线是根据 TG 曲线计算出的瞬时质量损失速度,表示某一时刻发生分解、燃烧而引起质量损失的剧烈程度. 本实验中记录了燃烧

过程各煤样的质量(TG 曲线)和质量变化率(DTG 曲线),实验所得 TG、DTG 曲线如图 1、图 2 所示. 表 3 为相应的 TG、DTG 特性参数,在样本的重复性实验中,温度差别不超过 $\pm 1. 5$.

从图 1、图 2 中可看出,TG/DTG 曲线可分为 3 个区. 第 1 区:温度为 20 ~ 350 左右,由于温度较低没有发生激烈的化学反应,TG 曲线比较平缓,首先显示出质量的微减,然后是少许增加,主要原因为煤中少量水分的蒸发以及煤粉外表面和孔隙内表面对气体的物理和化学吸附作用,此时增加质量和损失质量的最大值可达到煤样质量的 2 %,这与文献 [3-10]中的结论也是相符的. 第 2 区:温度为 350 ~ 620 左右,是主要的燃烧反应区,煤样燃烧燃去绝

表 1 煤样的工业分析与元素分析 %

煤 种	工业分析				元素分析			
	w (M _{ad})	w (V _{ad})	w (A _{ad})	w (C _{ad})	w (H _{ad})	w (O _{ad})	w (N _{ad})	w (S _{ad})
神木原煤	3. 50	35. 61	7. 20	72. 40	4. 45	10. 73	1. 12	0. 60

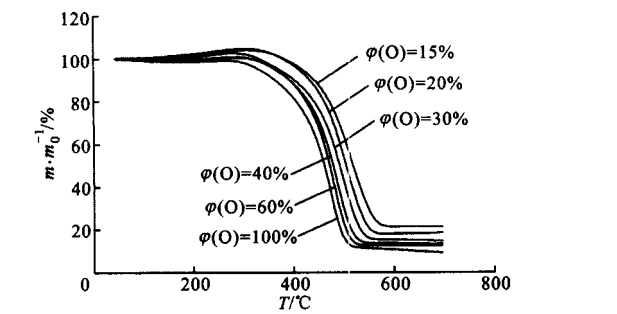
注:w (M_{ad})、w (V_{ad})、w (A_{ad}) 分别为煤样的空干基水分、空干基挥发分、空干基灰分的质量分数;w (C_{ad})、w (H_{ad})、w (O_{ad})、w (N_{ad})、w (S_{ad}) 分别为煤样的空干基碳、氢、氧、氮、硫的质量分数.

表 2 煤样的粒径分布

粒径/ μm	> 105	105 ~ 88	89 ~ 75	76 ~ 63	64 ~ 50	51 ~ 45	< 45
质量/mg	13 988. 2	7 647. 3	1 792. 1	13 074. 4	241. 0	4 777. 9	21 354. 8

表 3 神木原煤在不同氧的体积分数下的 TG、DTG 特征参数

氧的体积分数	着火温度	最大质量损失速率	最大质量损失点温度	平均质量损失速率	燃尽温度	最终残余量
$\varphi(\text{O})/\%$	$T_i/$	$/\% \cdot \text{min}^{-1}$	$T_{\text{max}}/$	$/\% \cdot \text{min}^{-1}$	$T_b/$	$/\%$
15	441. 7	7. 62	514. 1	5. 52	554. 8	21. 43
20	434. 8	8. 52	503. 2	6. 06	541. 6	18. 46
30	430. 8	8. 73	495. 4	6. 21	530. 7	14. 65
40	423. 8	9. 57	484. 4	6. 68	516. 3	13. 20
60	417. 8	10. 28	478. 6	7. 16	507. 5	12. 32
100	410. 9	10. 17	471. 9	6. 90	498. 3	9. 22



m_0 :煤样原始质量; m :煤样瞬时质量

图 1 煤样在不同氧的体积分数下的 TG 曲线

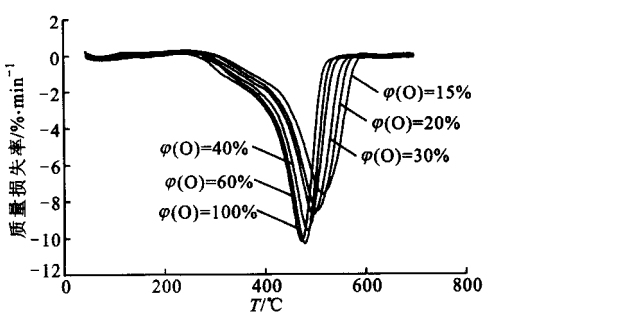


图 2 煤样在不同氧的体积分数下的 DTG 曲线

大部分可燃物,DTG曲线显示出质量损失迅速增大,并达到最大值,这说明煤样开始着火燃烧.第3区:煤样的燃尽阶段,TG曲线基本平直.

从图2中可看出,氧的体积分数 $\varphi(\text{O})$ 的增加使得试样的DTG曲线向低温区移动,且最大质量损失速率随着氧的体积分数的增加而增大,说明煤的活性随着氧的体积分数的增大得到增强^[11].煤样燃烧的平均质量损失率也随氧的体积分数的增加而增大,这说明随着氧的体积分数的增加,煤样从开始燃烧到燃尽所需的燃烧时间缩短,煤中易燃物质整体燃烧速率得到提高.从图2还可看到,随着氧的体积分数的增大,燃烧曲线的后部尾端变陡,即煤的燃尽性能提高^[11].

2.2 氧的体积分数对着火温度及燃尽温度的影响

理论上,着火是由缓慢的氧化状态转变到反应能自动加速到高速燃烧状态的瞬间过程,相对应的温度称为着火温度,它反映了煤样着火的难易程度.在工程实际中,掌握着火温度对于煤的点燃和稳定燃烧有重要的指导意义.燃尽温度是煤样基本燃尽时的温度,燃尽温度越低,表明燃尽时间越短,煤样就越容易燃尽,残炭中的可燃剩余量就越少.

从图3可看出,随着氧的体积分数的增加,煤粉燃烧的着火温度 T_i 和燃尽温度 T_h 均呈下降趋势,在 $\varphi(\text{O})$ 为40%以下时,燃尽温度的下降幅度较着火温度大,说明富氧可使煤粉的着火提前并燃烧充分.从图4中可看出:在氧的体积分数较低时,随着氧的体积分数的增加,煤样着火时刻的燃烧速度增加较快;在氧的体积分数大于60%左右时,着火时刻的燃烧速度不增反降,这可能是随着氧的体积分数的

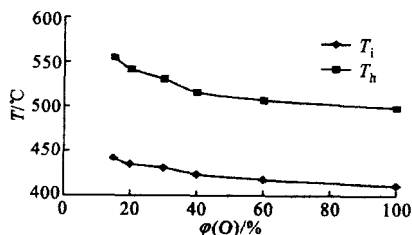


图3 氧的体积分数对着火温度和燃尽温度的影响

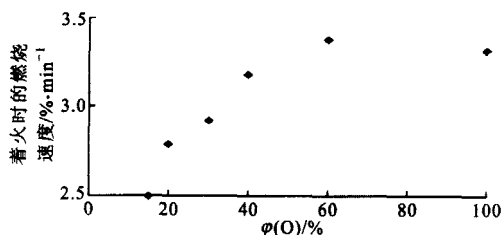


图4 着火时的燃烧速度与氧的体积分数的关系

增加,混合气体的热容增加.因此,在氧的体积分数较低时,增加氧的体积分数,会使煤样的燃烧强度得到加强.

2.3 氧的体积分数对煤样燃尽率的影响

图5显示在氧的体积分数从20%变化到40%时,燃烧时间减少较快,其后变化趋缓.因此,在采用富氧燃烧或助燃时,过高的氧的体积分数是不经济的.煤样燃烧时间的缩短,使得煤样在相同的时间内可以燃烧得更充分,这一点也可从图6中得到印证.图6的纵坐标是煤样中可燃成分的未燃尽率,可以看到,随着氧的体积分数的增加,煤样的未燃尽率大大降低.煤样燃烧时间、燃尽率与氧的体积分数间均呈幂函数关系.

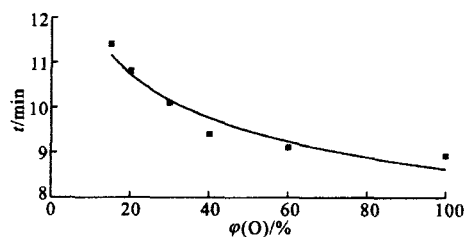


图5 燃烧时间随氧的体积分数的变化

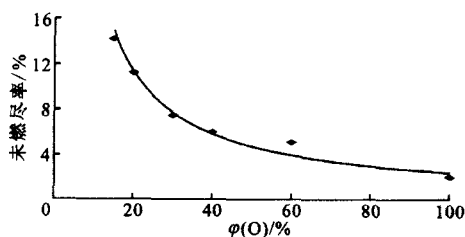


图6 氧的体积分数对煤粉未燃尽率的影响

2.4 氧的体积分数及煤粉粒度对综合燃烧特性指数的影响

文献[12]引入如下一个综合参数,即综合燃烧特性指数

$$S = \frac{R}{E} \frac{d}{dT} \left(\frac{dw}{dt} \right) \Big|_{T=T_i} \cdot \frac{(dw/dt)_{\max}}{(dw/dt) \Big|_{T=T_i}} \cdot \frac{(dw/dt)_{\text{mean}}}{T_h} = \frac{(dw/dt)_{\max} (dw/dt)_{\text{mean}}}{T_i^2 T_h} \quad (1)$$

式中: $(dw/dt)_{\max}$ 为最大燃烧速度; $(dw/dt)_{\text{mean}}$ 为平均燃烧速度; $(dw/dt) \Big|_{T=T_i}$ 为着火温度下的燃烧速度; R/E 表示煤的活性, E 值越小,反应能力就越高; $\frac{d}{dT} (dw/dt) \Big|_{T=T_i}$ 为燃烧速度在着火点的转化率,其值越大,表明着火越猛烈; $(dw/dt)_{\max} / (dw/dt) \Big|_{T=T_i}$ 为燃烧速度峰值与着火时燃烧速度之比;

$(dw/dt)_{\text{mean}}/T_h$ 为平均燃烧速度与燃尽温度之比,其值越大,表明燃尽越快。几项的乘积包含了燃烧反应开始、快速进行和结束时的主要特征量,综合反映了煤粉的燃烧特性, s 越大,表明煤粉的燃烧特性越好。从图7中可看出, s 随空气中氧的体积分数的增加而迅速增大,当氧的体积分数大于60%后,作用趋弱。因此,富氧燃烧技术可改善煤粉的燃烧性能,对煤粉锅炉的低负荷稳定燃烧与减少稳燃用油,提高劣质煤的燃烧效率及采用煤粉富氧点燃技术,都具有重要的理论意义及现实意义。

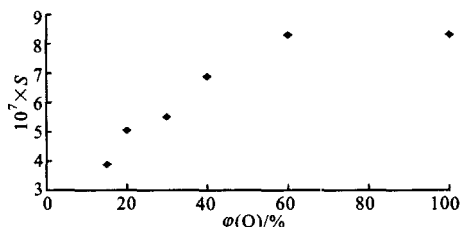


图7 燃烧特性指数与氧的体积分数的关系

在具体应用时,考虑到富氧的成本,可将氧的体积分数控制在30%~40%之间。

3 结 论

对无水无灰基含氧量较高的神木烟煤($w(\text{O}_{\text{daf}}) = 12\%$)来说,富氧对其燃烧特性的影响较大,通过以上的分析,可得出如下结论:

(1) 随着氧的体积分数的增加,煤粉燃烧热质量曲线向低温区移动,煤样的平均燃烧速度和最大燃烧速度均增大。

(2) 随着氧的体积分数的增加,煤粉的着火温度和燃尽温度均降低,煤粉越易着火燃烧,使其燃烧时间缩短,当氧的体积分数超过40%时,这种趋势变缓。

(3) 随着氧的体积分数的增加,表征煤粉综合燃烧特性的指数 s 增大,表明燃烧特性得到极大的改善,这为煤粉富氧的点火技术提供了理论依据。

(4) 随着氧的体积分数的增加,煤样的未燃尽率呈幂函数的规律大大降低,在采用膜法富氧燃烧或助燃时,较佳的氧的体积分数范围为30%~40%。

参考文献:

- [1] 沈光林. 膜法富氧技术及其应用研究[J]. 化工进展, 1996(5): 45-47.
- [2] 刘庆才,陈淑荣. 富氧燃烧的主要环境影响因素概述[J]. 节能与环保, 2004(5): 26-28.
- [3] 孙学信. 燃煤锅炉燃烧试验技术与方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002. 74.
- [4] 姜秀民,杨海平,刘 辉,等. 粉煤颗粒粒度对燃烧特性影响热分析[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(12): 142-145.
- [5] 华 峰,刘志超. 热重-差热分析方法研究煤粉的燃烧特性[J]. 山东电力技术, 1998(6): 6-10.
- [6] 潘丽华,赵智渊,朱向群. 神木煤调质后的灰熔点及燃烧特性[J]. 华东电力, 1996(8): 4-7.
- [7] 路春美,王立真,邵延玲,等. 用热重法确定煤的着火温度与可燃性指数[J]. 山东电力技术, 1994(2): 68-71.
- [8] Nestler K, Dietrich D, Witke K, et al. Thermogravimetric and Raman spectroscopic investigations on different coals in comparison to dispersed anthracite found in permineralized tree fern Psaronius sp [J]. Journal of Molecular Structure, 2003, 661-662(1): 357-362.
- [9] Kizgut S, Yilmaz S. Characterization and non-isothermal decomposition kinetics of some Turkish bituminous coals by thermal analysis[J]. Fuel Processing Technology, 2003, 85(2): 103-111.
- [10] Miftahul H, Yozo K, Isao M. Reactivities of Blair Athol and Nang Tong coals in relation to their behavior in PFBC boiler[J]. Fuel, 2004, 83(11): 2151-2156.
- [11] 许晋源,徐通模. 燃烧学[M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1990. 174.
- [12] 姜秀民,李巨斌,邱健荣. 超细化煤粉燃烧特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 71-78.

(编辑 王焕雪)