

# 燃煤催化剂的研究与应用

马振兴, 郭举修, 李 京, 韩爱岭  
(山东大学 动力工程系, 山东 济南 250061)

**摘 要:** 综合论述了国内外对燃煤催化剂的理论和应用研究, 说明其在节能和环保两个方面的效果, 指出在研究和应用工作中存在的问题及解决的措施。

**关 键 词:** 催化剂; 煤; 燃烧

中图分类号: TQ038. 1

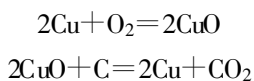
文献标识码: A

## 1 引言

国内外对燃煤催化剂进行了长期广泛的研究, 部分燃煤催化剂已作为商品在一定的范围内得到应用, 其节能和环保效果较为明显, 值得进一步推广。但是在研究和应用过程中也发现不少存在的问题, 有必要进一步改进。

## 2 燃煤催化剂的研究

关于燃煤催化剂的作用机理, 目前存在氧传递和电子转移两种理论解释。氧传递理论认为通过催化剂对气态反应物的作用能够促进燃烧。例如, 在煤中加入  $\text{CuSO}_4$ , 在加热条件下  $\text{CuSO}_4$  分解生成  $\text{Cu}$  分子, 导致下列不分枝链锁反应:



这个链锁反应使  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$  的反应变得容易进行<sup>[1]</sup>。

电子转移理论认为在气固两相反应物接触界面各点上存在两相间的电动势, 燃烧反应的难易取决于该电动势的大小。加入催化剂后, 在两相间产生了极性相反的离子化电位差, 从而减弱了原有的电动势, 降低了燃烧反应活化能, 使煤或焦炭的燃烧变得容易进行<sup>[2~3]</sup>。两种理论从不同角度解释了煤催化燃烧现象。

国内外许多学者对燃煤催化剂进行了大量实验研究。综合分析这些研究, 可得出下列结论:

(1) 燃煤催化剂提高了煤的挥发分析出速率, 降低了煤的着火温度, 缩短了点火延迟时间, 加快了焦炭燃尽速率, 并具有脱硫脱氮的明显作用<sup>[4~7]</sup>。

(2) 不同催化剂的催化作用是不同的。当阴离子一定时, 不同阳离子的催化活性顺序是  $\text{Cs} > \text{Rb} > \text{K} > \text{Na} > \text{Ba} > \text{Li} > \text{Sr} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Be}$ , 另有  $\text{Cr} > \text{Mn}, \text{Fe} > \text{Ni}, \text{Co} > \text{Ca}, \text{Zn} > \text{Al}, \text{Cu} > \text{K}$  等; 当阳离子一定时, 不同阴离子的催化活性顺序是  $\text{OH}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ , 另外  $\text{Ac}^-$  的活性常在  $\text{OH}^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  上下<sup>[4~7]</sup>。

(3) 碱金属、碱土金属和过渡元素的氧化物、氢氧化物及其盐类可用作燃煤催化剂; 某些工业废物也是廉价的燃煤催化剂, 例如造纸黑液、电石渣、铁渣、糠醛渣等<sup>[4~5]</sup>。

(4) 煤中灰分是内在的催化剂, 灰分对外加催化剂的作用具有明显影响<sup>[6~7]</sup>。

## 3 燃煤催化剂的应用效果

国内外已有不少商业化燃煤催化剂, 试验证明确有一定效果。例如, 美国有人采用 FST-6000 催化剂在工业锅炉上进行应用试验<sup>[8]</sup>, 实验结果如表 1 所示。

由表 1 可见, 加入催化剂 FST-6000 后, 锅炉燃烧趋于完全, 在锅炉蒸发量略有增大的情况下, 煤耗量有所降低, 汽煤比相对提高 6.02%。尽管变化幅度不大, 却说明催化剂能够改善锅炉燃烧工况, 提高了锅炉热效率。

前苏联曾在催化剂热发生炉(流化床锅炉)上进行应用试验。催化剂为粒状, 随固体燃料一起在炉内流化燃烧, 料层温度为  $800\text{ }^\circ\text{C} \sim 850\text{ }^\circ\text{C}$ , 炉膛容积热强度为  $4.1868 \times 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ , 其燃

收稿日期: 2001-01-02; 修订日期: 2001-03-23

作者简介: 马振兴(1947-), 男, 山东济南人, 山东大学教授。

[13] ARONIS N, LEITHNER R, WITKOWSKI A. New combined cycle with integrated low temperature heat or solar heat[A]. ECOS 2000 Additional Papers[C]. Nederland: Universiteit Twente, 2000. 67-83.

[14] BENIZEN J D, HUMMEISHOJ R M. Low tar and high efficient gasification concept[A]. ECOS 2000 Additional Papers[C]. Nederland: Universiteit Twente, 2000. 97-108.

(渠 源 编 辑)

烧效果比普通流化床锅炉更好。 工业废液废渣等。 例如, 在煤中

表 1 美国 68 t/h 工业锅炉催化燃烧实验数据

项目	未加催化剂	加入 FST-6000 催化剂
排烟中 CO <sub>2</sub> 含量/ %	12.50	13.00
排烟中 O <sub>2</sub> 含量/ %	8.50	7.00
排烟温度/ °C	265.56~287.78	248.89~273.89
炉渣可燃物含量/ %	8.40	5.20
飞灰可燃物含量/ %	55.80	49.40
蒸发量/ t·h <sup>-1</sup>	35.51	35.53
煤耗量/ t·d <sup>-1</sup>	81.51	76.90
汽煤比	10.46	11.09

经核算, 1 吨催化剂可节煤 2 000 吨。

我国对燃煤催化剂也进行了大量应用研究。 例如: 以上海动力配煤为燃料, 按 0.5% 添加量在 KZL-8-A 型快装锅炉上进行 A、B 两组催化燃烧试验, 与未加催化剂相比, 其热工测试数据如表 2 所示。

表 2 在 KZL-8-A 型快装锅炉上的催化燃烧实验数据

试验序号	锅炉蒸发量 / kg·h <sup>-1</sup>	正平衡热 效率/ %	排烟温 度/ °C	排烟过量 空气系数	炉渣含 碳量/ %	正平衡效 率提高/ %	节煤 率/ %
A1 未加催化剂	628.62	66.80	173	2.12	18.51	—	—
A2 加入催化剂	830.21	72.25	176	1.91	14.10	5.45	8.16
B1 未加催化剂	654	63.59	185	3.32	19.21	—	—
B2 加入催化剂	722	69.09	180	2.80	13.80	5.5	8.65

由表 2 可见, 加入催化剂后, 锅炉热效率提高 5% 以上, 节煤率在 8% 以上, 这说明催化剂对锅炉燃烧有一定的效果。

近些年来, 我国市场上推出一批燃煤催化剂, 如 BJF、SDGD、JPSY、XAZY 等。 经检测, 均对锅炉燃烧具有催化剂效果, 其中 XAZY 对煤燃烧催化效果最好, BJF 和 SDGD 甚至对煤矸石燃烧也具有催化作用<sup>[9]</sup>。

燃煤催化剂在提高燃烧效率的同时, 可明显降低燃烧污染物的排放量, 不但 CO 和烟尘排放量明显减少, 而且对其它污染物的抑制也是明显的。

实际上, 各种燃煤催化剂往往具有固硫作用, 其中包括许多

掺入 1% 的某种钙基催化剂, Ca 与 S 比为 2 除具有催化燃烧作用外, 固硫率达到 80%, 钙利用率在 40% 以上<sup>[10]</sup>。 又如在原煤中加入 1% 的 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 硫的析出量可由未加催化剂时的 51% 降到 48%, 如加入 15% 干燥的造纸废液, 硫的析出量可降到 42%<sup>[5]</sup>; 利用含有大量 CaCO<sub>3</sub> 和少量 CaCl<sub>2</sub> 的碱

厂废液可脱硫 44% 以上。

由于燃煤催化剂能够降低煤的着火温度和料层燃烧温度, 因此热力型 NO<sub>x</sub> 在相当程度上得到控制; 加之许多催化剂成分对氧的亲合力远大于氮对氧的亲合力, 致使 NO<sub>x</sub> 总排放量大大降低。

目前, 我国已在杭州建立年处理能力为 80 万吨煤的洁净煤生产线, 它以工业废料为主要添加剂, 配合其它先进技术, 脱硫率高达 75%, NO<sub>x</sub> 的排放也得到一定程度的控制, 属国际先进水平。

#### 4 存在的问题及解决措施

已有的研究和应用对推动催

化燃煤技术的发展起了一定作用, 但也暴露出许多问题, 需要在今后的工作中加以解决。

#### 4.1 配方选择

公开报道的实验研究中, 被研究的催化剂仍属少数, 且多为碱金属、碱土金属和过渡元素的无机化合物, 对工业废液废渣的研究尚不算多, 有机催化剂和助催化剂的研究更为少见, 这在一定程度上限制了燃煤催化剂的应用。

已经商品化的燃煤催化剂配方大多保密, 效果也不尽相同, 以至影响到推广。 实际上不存在一个催化剂配方能够适用于各种煤种。 由于地质年代不同, 煤中所含灰分、水分数量不同, 所需催化剂的成分和数量也就不同。 即使煤中灰分含量相同, 其灰分组成也各有差异, 外加催化剂的效果也不会一样。 对此, 应当采取下列措施:

(1) 本着因地制宜、因煤制宜的原则, 研究和生产燃煤催化剂;

(2) 本着以废制废的原则, 大力研究和推广以当地工业废液废料为主的廉价燃煤催化剂;

(3) 积极研究和利用助催化剂, 它将更有效地提高催化燃烧效果;

(4) 市售燃煤催化剂应标明适用煤种和煤质成分、煤灰成分的范围。

#### 4.2 使用方法

目前, 燃煤催化剂的添加方法多为掺混法, 少数的将催化剂溶液喷洒于煤中, 其结果是降低了催化作用。 对此, 应当采取下列措施:

(1) 努力提高催化剂在煤中的扩散度。 实验证明, 催化剂在

煤中的分布越均匀, 催化效果越好。最好的办法是采用离子交换法, 即将煤首先进行酸洗, 然后用清水冲去酸液, 晾干后再在催化剂溶液中浸泡数小时, 取出晾干后即可燃用。这种方法不仅有利于催化燃烧, 也有利于脱除煤中的灰分和硫分。但是, 这种方法工艺较为复杂, 适用于工业化生产。对于分散的锅炉房则可不予酸洗, 而直接将煤浸泡于催化剂溶液中, 取出晾干后使用。

(2) 根据燃烧设备不同而采用不同的添加方法。燃煤催化剂的使用应当根据燃煤设备的特点而采取不同的方式。例如燃用型煤时, 可采用掺混法, 或将催化剂溶于水中, 再将催化剂溶液加入煤粉中; 燃用散煤时, 对固定火床炉、链条炉、往复炉排炉、抛煤机炉、振动炉排炉等, 应提倡溶液浸渍法, 尽量避免采用掺混法。对于流化床锅炉, 特别是循环流化床锅炉, 采用掺混法则显得更为简便。

(3) 防止造成二次污染。燃

煤催化剂确有促进燃烧和脱硫脱氮的作用, 但是某些催化剂随烟气和灰渣排到外界, 也可能造成二次污染。例如  $K_2MnO_4$  可用作催化剂的一种有效组分, 但是  $Mn$  排入水体中有可能造成  $Mn$  中毒; 另外,  $NaCl$ 、 $CaCl_2$  等在催化燃烧过程中产生的氯化物也会严重影响大气环境。各种使用方法中, 应尽量做到再生循环利用, 这不仅节省催化剂资源, 也能有效地防止催化剂可能造成的污染。

(4) 防止产生对锅炉工作的不良影响。加入燃煤催化剂相当于增加了燃料灰分, 有可能加重锅炉结渣、积灰、腐蚀、磨损等, 其结果是尽管短时间内促进了燃料燃烧, 提高了锅炉热效率, 长期使用却影响到锅炉受热面的传热和安全。因此, 燃煤催化剂的配方设计中必须顾及其对锅炉工作的不良影响, 并在长期使用中对其进行检测。

#### 参考文献:

[1] PATRICK J W, WALKER A A. Study of

the copper-catalysed combustion of carbon [J]. *Carbon*, 1974, 12(5): 507-515.

- [2] MCKEE D W. Mechanisms of the alkali metal catalysed gasification of carbon [J]. *Fuel*, 1983, 62(2): 170-175.
- [3] 徐谷衡, 蒋君衍. 煤催化燃烧机理 [J]. 同济大学学报, 1993, 21(3): 415-420.
- [4] 李华, 林器. 碱金属、碱土金属和过渡金属对煤的催化氧化作用 [J]. 大连理工大学学报, 1989, 29(3): 289-294.
- [5] 蒋君衍, 张鹤声. 煤的催化燃烧 [J]. 能源技术, 1993, 4(3): 30-33.
- [6] 陈海峰, 沙兴中. 催化剂对煤着火性能的影响 [J]. 燃料化学学报, 1993, 21(2): 172-179.
- [7] AHO M J. 金属在泥煤燃烧中的作用 [J]. 马振兴译. 山东能源, 1993, 3(4): 38-41.
- [8] OSHELL F J, BOCCUZZI E J. Improved coal combustion through chemical treatment [J]. *Combustion*, 1980, 52(6): 32-35.
- [9] 王树东, 吴迪铺. 添加剂对煤燃烧性能影响的研究 [J]. 燃料化学学报, 1998, 26(3): 248-251.
- [10] 李立清, 陈昭宜. 燃煤催化固硫研究 [J]. 污染防治技术, 1999, 2(2): 104-106.

(渠源 编辑)

## 欢迎订阅 2002 年《机电设备》杂志

《机电设备》杂志是经国家新闻出版署批准的国内外公开发行的科技类期刊。主办单位为上海七〇四研究所和中国造船工程学会轮机专业委员会。

本刊创办于 1962 年, 为双月刊, 大 16 开, 48 页。《机电设备》的专业范围涉及工业设备、电气自动化、液压与气动、制冷与空调、环保、柴油机、泵、阀、风机、压缩机、船舶辅助机械以及船舶电器设备等。

读者对象: 从事于机电设备研究、开发、应用、维修管理, 以及机电产品营销、采购人员、工程技术人员和理工专业的大专院校师生。

自 2001 年起读者还可以从网上访问《机电设备》, 您可以从 [www.smeri.com.cn](http://www.smeri.com.cn) 的主页点击“附属机构”进入《机电设备》的网页。E-mail: [jdsb@chinasmeri.com](mailto:jdsb@chinasmeri.com)

为了进一步扩大《机电设备》读者范围, 方便读者订阅, 自 2002 起《机电设备》由邮局代办发行。《机电设备》每册 8.00 元, 全年订价 48 元。欢迎到全国各地邮局或本杂志社订阅。

邮发代号: 4-701

整体煤气化联合循环(IGCC)技术的发展和應用= **The Development and Application of Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technology** [刊, 汉] / LI Xian-yong, XIAO Yun-han, CAI Rui-xian (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—575 ~ 578

A series of major problems have been encountered during the process of commercialization of integrated gasification combined cycle (IGCC) systems. In this regard the authors expound the main measures, which were currently adopted by various countries to solve these problems by way of lowering cost and introducing key technologies. They also described the advances achieved therein. Meanwhile, an analysis is given of the potential applications of IGCC in China. **Key words:** integrated gasification combined cycle (IGCC), cost reduction, development of key technologies

燃煤催化剂的研究与应用= **Research and Application of Coal Catalysts** [刊, 汉] / MA Zhen-xing, GUO Ju-xiou, LI Jing, et al (Power Engineering Department, Shandong University, Jinan, Shandong Province, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—579 ~ 581

A broad overview is given of the theory and applied research of coal catalysts pursued both at home and abroad. Their effectiveness in energy saving and environmental protection is highlighted along with some problems in their research and applications. Pertinent measures taken to solve these problems are also presented. **Key words:** catalyst, coal, combustion

整体煤气化联合循环(IGCC)系统变工况特性= **Off-design Performance Characteristics of an Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) System** [刊, 汉] / DUAN Li-qiang, LIN Ru-mou, JIN Hong-guang, CAI Rui-xian (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—582 ~ 585, 590

An analysis is given of the factors influencing the off-design behavior of an integrated gasification combined cycle (IGCC) system. Based on the idea of generalized modular modeling set up was an off-design performance characteristic model of an IGCC system with the relevant programs and software being developed. Through a great deal of calculations off-design performance characteristic curves were obtained, showing the change of the system performance with load and ambient temperature under three kinds of regulation modes. These curves reveal the variation of system characteristics with the change of main variables. **Key words:** integrated gasification combined cycle, off-design condition, system characteristics

城市生活垃圾(MSW)与煤混烧过程中气体污染物的排放= **Gaseous Pollutants Emissions during the Process of Mixed Burning of Municipal Solid Waste (MSW) and Coal** [刊, 汉] / DONG Chang-qing, JIN Bao-sheng, ZHONG Zhao-ping, XIAO Rui, et al (Education Ministry Key Lab of Clean Coal-based Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—586 ~ 590

Tests involving the mixed burning of municipal solid waste and coal were conducted on a 0.2 MW circulating fluidized bed. During the tests an on-line measurement of the emissions concentration of  $\text{NO}_x$ , NO,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ , HCl and  $\text{Cl}_2$  was performed. An exploratory study was undertaken of the effect of municipal solid waste and coal mixed burning ratio (R) and temperature on gaseous pollutant emissions. The test results indicate that during the mixed burning process  $\text{NO}_x$ , NO,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{SO}_2$  emissions will decrease and  $\text{Cl}_2$  emission concentration increase in case the municipal solid waste feeding amount was increased. With the mixed burning ratio R being kept constant and the temperature increased there will be an increase in the  $\text{NO}_x$  and NO emissions. Meanwhile, there will also be a decrease in  $\text{N}_2\text{O}$  emissions while the emission concentration of  $\text{SO}_2$ , HCl and  $\text{Cl}_2$  remains basically unchanged and the dioxin content in fly ash and bottom slag will decrease. **Key words:** municipal solid waste, circulating fluidized bed, mixed burning, dioxin