

湿法烟气脱硫装置中铁锰离子对SO₂催化氧化作用的试验研究

赵庆庆, 金晶, 高新勇, 刘妮
(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 通过建立湿法烟气脱硫模拟实验平台来模拟湿法烟气脱硫系统, 进行铁、锰离子对SO₂催化氧化的实验研究, 主要分析了溶液温度、混合气体中O₂浓度等因素对SO₂氧化反应的影响规律。结果发现: Fe³⁺与Mn²⁺的催化氧化使SO₂的氧化反应速度得到较大的提高, 溶液温度对SO₂的氧化反应影响较强, 而混合气体中O₂浓度的变化对SO₂的氧化反应影响较弱; 同时, Mn²⁺催化和Fe³⁺催化的氧化反应过程基本相似, 且两种离子同时存在时, 由于离子间的协同效应, 会进一步促进SO₂的氧化反应。

关键词: 湿法烟气脱硫; SO₂; 催化氧化; 铁、锰离子

中图分类号: TK16; TQ511+.1 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2015.02.019

引言

火电厂中的湿法烟气脱硫技术脱硫效率可达95%, 由于湿法烟气脱硫系统内具有极利于使SO₂氧化成SO₃的工作环境, 导致系统设备腐蚀等问题。当烟气中SO₃含量从0.0025%(V%)增至0.0085%时, 烟气酸露点温度将会从132℃上升至171℃, 即微量的SO₃就能使烟气酸露点温度显著升高, 造成设备腐蚀加剧。

关于火电厂锅炉燃烧中SO₃的生成以及影响因素已有研究。文献[1]利用怀特池与FTR研究了SO₂在矿物气溶胶颗粒物表面(SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃等)的复相化学反应, 不同氧化物对SO₂的氧化反应能力依次为SiO₂ < Fe₂O₃ < Al₂O₃。文献[2]进行了大气颗粒物和SO₂多相反应的机理研究, 在不同氧化物存在的条件下与SO₂发生氧化反应的速度依次为TiO₂ < CaO < MgO < Al₂O₃。文献[3]研究了SO₂在典型颗粒物(Al₂O₃, Fe₂O₃, FeOOH与SiO₂等)表面以及实际气溶胶表面的多相反应, SO₂在颗粒物表面上不可逆地生成了SO₃²⁻、HSO₃⁻与SO₄²⁻, 典

型颗粒物反应活性大小依次为FeOOH > Al₂O₃ > Fe₂O₃ > SiO₂。文献[4]研究发现, 净烟气中的SO₃主要来源于SO₂的氧化。

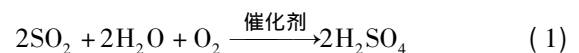
当前国内外关于湿法烟气脱硫系统中金属离子对SO₂催化氧化特性的研究尚不多见, 所以本研究主要针对火电厂湿法烟气脱硫系统中Mn²⁺、Fe³⁺等金属元素对SO₂催化氧化的影响规律展开研究, 分析SO₃生成特性, 为湿法烟气脱硫系统有效的解决SO₃问题提供新的方法以及思路。本实验选用的是国药集团的氯化铁溶液(浓度≥99.6%)与氯化锰溶液(浓度≥99.5%)。

1 实验原理及实验系统

1.1 铁、锰离子催化氧化原理

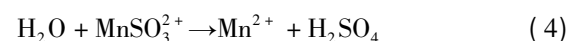
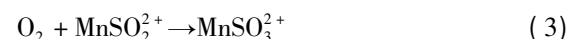
对于湿法烟气脱硫系统, 在SO₂向硫酸或硫酸盐转化时, 可能存在的SO₂的氧化机理主要包括液相氧化及颗粒表面氧化机理。其中金属离子的催化氧化是SO₂氧化的主要途径之一。

SO₂溶于水后, 在金属离子的催化氧化下反应式为:



催化剂可以是MCl, 也可以是M₂SO₄。(M是指的金属物质。)

以Mn²⁺为例, 其催化氧化SO₂的反应方程式:



Fe³⁺、Mn²⁺对SO₂的催化氧化, 必须有自由基SO₃⁻快速生成诱发催化反应。Fe³⁺、Mn²⁺单独催化

收稿日期: 2014-04-08; 修订日期: 2014-06-24

基金项目: 上海市教委科研创新重点项目(12ZZ141); 上海市基础研究重点项目(14JC1404800); 上海理工大学国家级项目培育项目(13XGM09); 上海理工大学准东煤高效利用协同创新平台项目

作者简介: 赵庆庆(1990-), 男, 山东济宁人, 上海理工大学硕士研究生。

氧化 SO₂ 时, 金属离子与 HSO₃⁻ 形成螯合物亚硫酸铁 (锰), 螯合物会与 O₂ 反应生成 SO₃²⁻ 自由基, 诱发催化反应。当溶液中同时存在 Fe³⁺、Mn²⁺ 时, Fe³⁺ + Mn²⁺ ↔ Fe²⁺ + Mn³⁺ 反应会生成 Mn³⁺, Mn³⁺ 是一强氧化剂, 会将 SO₃²⁻ 快速氧化成 SO₃⁻ 自由基, 诱发催化反应。

Fe³⁺ 的催化氧化 SO₂ 的反应速率为:

$$R_{Fe} = k_{Fe} [Fe^{3+}] [S(4)]^n \quad (5)$$

式中: n 的值与溶液的 pH 有关, pH ≤ 4 时 $n = 1$; pH ≥ 5 时 $n = 2$; 其 k 值的大小: pH = 3, $k_{Fe} = 300 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$; pH = 4, $k_{Fe} = 1.6 \times 10^3 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$; pH = 5, $k_{Fe} = 130 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$ 。

Mn²⁺ 的催化氧化 SO₂ 反应速率为:

$$[S(4)] \leq 1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}, [Mn(2)] \leq 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L 时,}$$

$$R_{Mn} = k_1 [Mn(2)] [S(4)] \alpha_1 \quad (6)$$

$$[S(4)] \geq 1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}, [Mn(2)] \geq 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L 时,}$$

$$R_{Mn} = k_2 [Mn(2)]^2 [H^+]^{-1} \beta^{-1} \quad (7)$$

式中: $\alpha_1 = [HSO_3^-] / [S(4)]$, $k_1 = 2 \times 10^9 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$; $\log \beta_{25^\circ\text{C}} = -9.9$, $k_2 = 3.4 \times 10^3 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$ 。

由于 Fe³⁺ 的强氧化性以及由 Fe³⁺、Mn²⁺ 的反

应速率公式可以看出, Fe³⁺ 的活性大于 Mn²⁺。

1.2 实验方法

根据文献 [5] 的研究, 任何碱性溶液吸收 SO₂ 时, 都是 SO₂ 溶于水之后, 再与水结合进行电离, 碱性物质加入到溶液之中只是提高了 SO₂ 的吸收效率, 不对 SO₂ 的氧化反应起决定作用, 因此本研究采用了去离子水代替湿法烟气脱硫浆液进行实验研究。

基于 SO₂ 的液相氧化机理^[6-8], 采用水溶液作为反应液, SO₂ 先被水溶液吸收溶解, 然后电离出 SO₃²⁻ 与 HSO₃⁻, SO₃²⁻ 与 HSO₃⁻ 既可以与 O₂ (随 SO₂ 一起通入水溶液) 发生非催化氧化反应, 也可以在金属离子催化作用下发生催化氧化反应。

本研究建立了湿法烟气脱硫模拟实验平台来模拟湿法烟气脱硫系统, 如图 1 所示, 将模拟烟气 (SO₂、O₂、N₂) 通入到反应池溶液内, 并配制金属离子 (Fe³⁺、Mn²⁺) 溶液用以模拟飞灰中金属离子的析出环境, 促使 SO₂ 在反应池中发生催化反应。反应完成后用离子色谱仪测量反应后溶液中的硫酸根浓度, 研究温度、氧气浓度、金属离子对 SO₂ 的催化氧化的影响规律。

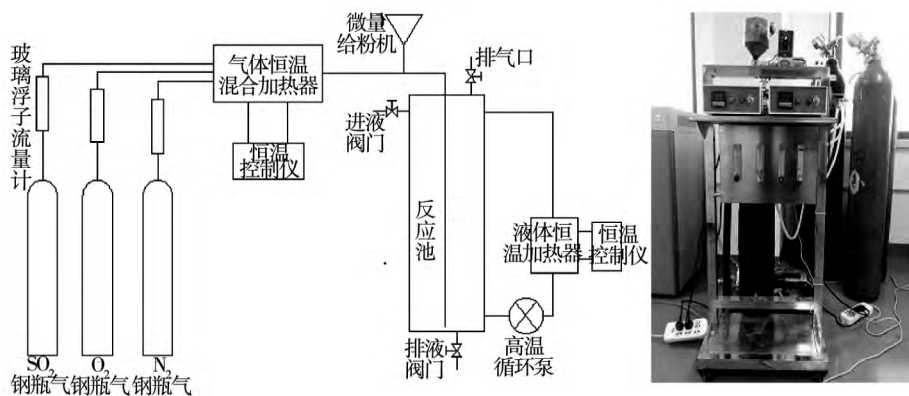


图 1 模拟实验系统流程图与实物图

Fig. 1 Flow chart of the simulation test system and drawing of the real object

2 实验结果及分析

2.1 溶液温度对金属离子催化氧化 SO₂ 的影响

图 2 是溶液温度对金属离子 (Fe³⁺ 与 Mn²⁺) 催化氧化 SO₂ 反应的影响规律。

由图 2 可知, SO₂ 在水溶液及金属离子溶液的环

境下氧化的反应速度都随着反应池中溶液温度的升高而增加。溶液温度在低温阶段 (≤ 45 °C) 时, 氧化反应速度随着溶液温度的升高而缓慢增加; 在中温阶段 (45 - 60 °C) 时, 氧化反应速度则有了较快的增长; 当继续升温至高温阶段 (≥ 60 °C) 时, 氧化反应速度的增加趋势又变得相对缓慢。从而可以看出, 虽然 SO₂ 氧化的反应速度一直随着溶液温度的升高

而增加,但是当温度较低或较高时,溶液温度对 SO₂ 氧化反应的促进作用都比较弱。

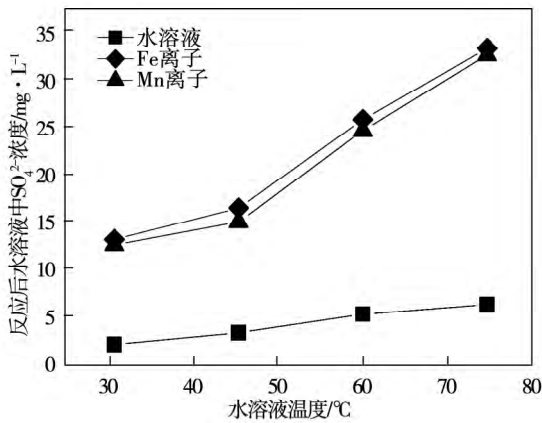


图2 溶液温度对金属离子催化氧化 SO₂ 反应的影响规律

Fig. 2 Law governing the influence of the temperature of the solution on the SO₂ metal ion catalysis and oxidation reaction

分析可知,溶液温度主要影响着两个因素,即化学反应速率与 SO₂ 的溶解度。升高溶液温度,可以增加参加反应的活化分子量,从而提高化学反应速率,对氧化反应起促进作用;根据亨利定律,SO₂ 的溶解度系数随着水溶液的温度而降低,即溶液温度升高,SO₂ 溶解度降低,对氧化反应起阻碍作用。所以,由图 2 中显示的氧化反应一直随着溶液温度的升高而增加,化学反应速率在 SO₂ 的氧化反应中起着决定性的作用。

当金属离子 Fe³⁺ (或者 Mn²⁺) 存在时,SO₂ 的催化氧化反应过程得到了很大的加强,数据分析得出 SO₂ 的催化氧化反应生成 SO₄²⁻ 的量约为 SO₂ 在水溶液中进行氧化反应时的 5 倍。根据文献 [9],Fe³⁺ 催化氧化液相 SO₂ 的反应机理为配位催化自由基反应机理,即 Fe³⁺ 在水溶液中形成水合铁离子,水合铁离子与 SO₂ 溶于水生成的酸性亚硫酸根进行反应生成亚硫酸铁配合物,然后立即进行电子转移,生成的亚硫酸铁配合物迅速分解为亚铁离子与亚硫酸自由基,接着亚硫酸自由基在进行一系列反应之后生成硫酸根。

对 Mn²⁺ 与 Fe³⁺ 催化氧化反应的实验因素影响结果进行对比分析发现,随着水溶液温度的升高,

SO₂ 的 Mn²⁺ 催化氧化反应速度的增加速率,与 Fe³⁺ 催化氧化反应的基本相同,由此得出,Mn²⁺ 催化和 Fe³⁺ 催化的氧化反应过程基本相似。

2.2 混合气体中 O₂ 浓度对 SO₂ 氧化实验的影响

图 3 为混合气体中 O₂ 浓度对金属离子 (Fe³⁺ 与 Mn²⁺) 催化氧化 SO₂ 的影响规律。

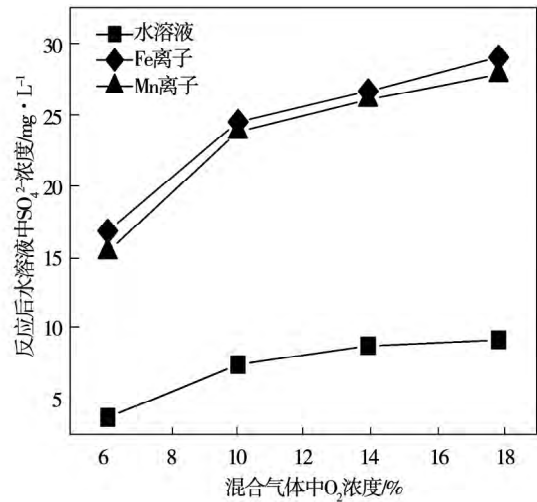


图3 混合气体中 O₂ 浓度对金属离子催化氧化 SO₂ 的影响规律

Fig. 3 Law governing the influence of the O₂ concentration in the hybrid gas on the metal ion catalysis and oxidation reaction

根据图 3 所,在水溶液及金属离子溶液中,SO₂ 氧化的反应速度也随着混合气体中 O₂ 浓度的增加而增加,主要是由于当混合气体中 O₂ 浓度逐渐增加时,水溶液中的氧分压也逐渐增大,从而促进了 SO₂ 氧化的进行。但是,只有在低 O₂ 浓度(≤10%) 范围时,随着 O₂ 浓度的增加,SO₂ 的氧化反应速度增加较快;而当 O₂ 浓度升至 10% 之后再继续增加时,SO₂ 的氧化反应速度增加非常缓慢。这是因为在低 O₂ 浓度的情况下,气液未达到平衡,水溶液中氧分压增加速度较快;当 O₂ 浓度继续增加时,气液达到平衡,此时水溶液中氧分压与气体中氧分压相同,溶解氧对液相 SO₂ 的氧化反应影响较弱。文献 [10] 研究去离子水中亚硫酸钠的氧化反应,得出溶解氧的反应级数为 0.24,即溶解氧对亚硫酸钠的氧化反应影响较弱,与本实验结果基本相同。

随着 O₂ 浓度的升高, SO₂ 的 Mn²⁺ 催化氧化反应速度的增加速率, 也与 Fe³⁺ 催化氧化反应的基本相同。由此得出, Mn²⁺ 催化和 Fe³⁺ 催化的氧化反应过程基本相似。当金属离子 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 存在时, SO₂ 的催化氧化反应过程得到了很大的加强。

2.3 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 联合催化氧化 SO₂ 的实验结果分析

当进行 SO₂ 的 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 联合催化氧化实验研究时, 不同离子浓度对比对联合催化氧化反应过程的影响如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 随着溶液中 Mn²⁺ 浓度的增加 (即 Fe³⁺ 浓度的减少), 反应后水溶液中 SO₄²⁻ 的浓度并没有呈直线性变化趋势, 而是在中间某处有一个最大值。本实验中, 当变工况取值为 50% Mn²⁺ + 50% Fe³⁺ 时, 反应后溶液中 SO₄²⁻ 的浓度为最大值。从图中可知, 当 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 以不同配比混合时, 催化氧化反应速率均大于 Fe³⁺ 或 Mn²⁺ 单独存在时的氧化反应速率。分析其原因, 主要是由于 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 的协同效应, 进一步促进了 SO₂ 的催化氧化反应。

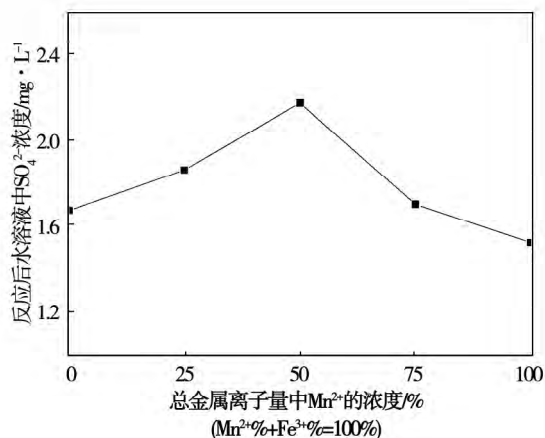


图 4 不同金属离子浓度对比对联合催化氧化反应的影响

Fig. 4 Influence of different ion-concentration ratios on the combined catalysis and oxidation reaction

根据文献 [11], 当水溶液中同时含有 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 时, 会发生如下反应:



其中, 快速生成的 Mn³⁺ 是一种强氧化剂。生成

的 Fe²⁺ 将发生如下反应:



其中, O₂⁻ 为 O₂ 起链引发和链传递作用的自由基, Fe³⁺ 可以重新生成。

由此可见, Fe³⁺ + Mn²⁺ 的联合催化效果要强于单一离子的催化效果。由实验结果分析可知, 协同效应而使得 Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 联合催化氧化速率为金属离子单独存在时的 1.5 倍, 如果适当的改变催化反应的实验环境, 其催化氧化速率会达到 Fe³⁺、Mn²⁺ 单独存在时的 3 - 10 倍 [12]。

同时, 工况为 25% Mn²⁺ + 75% Fe³⁺ 时的催化氧化反应速率要大于工况为 75% Mn²⁺ + 25% Fe³⁺ 时的催化氧化反应速率, 其原因可能是由于单一 Fe³⁺ 的催化氧化反应速率要大于单一 Mn²⁺ 的催化氧化反应速率。

3 结 论

(1) 在金属离子催化氧化 SO₂ 反应中, 受到温度影响很大: 在低温 (≤45 °C) 时, 催化氧化反应速度增加较慢; 温度继续升高 (45 - 60 °C) 时, 催化氧化反应速度增加较快; 在高温 (≥60 °C) 时, 催化氧化反应速度依然保持较高的速率。

(2) 在低 O₂ 浓度 (≤10%) 范围内, 随着 O₂ 浓度的增加, SO₂ 的催化氧化反应速度增加较快; 而当 O₂ 浓度升至 10% 之后再继续增加时, SO₂ 的催化氧化反应速度增加非常缓慢。

(3) Fe³⁺ 与 Mn²⁺ 的催化氧化使 SO₂ 氧化反应速度得到较大的提高; 对比分析 Mn²⁺ 催化与 Fe³⁺ 催化氧化 SO₂ 反应结果发现, Mn²⁺ 催化和 Fe³⁺ 催化的氧化反应过程基本相似。

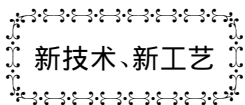
(4) 当具有两种 (Fe³⁺ 或 Mn²⁺) 或大于两种的离子催化剂存在时, 由于离子间的协同效应, 会使得 SO₂ 的氧化反应速率大于任意单一离子催化剂存在时的反应速率。

参考文献:

- [1] 张兴赢, 庄国顺, 陈建民, 等. 二氧化硫在矿物气溶胶颗粒物表面的复相反应研究 [C]. 第二届全国环境化学学术报告会论文集. 上海: 上海交通大学出版社, 2004: 79 - 80.
ZHANG Xing-ying, ZHUANG Guo-shun, CHEN Jian-min. Study of

- the multiple phase reaction of SO_2 on the surface of mineral aerosol particles [C]. Proceedings of 2nd National Environmental Chemistry Academic Report Meeting 2004: 79 – 80.
- [2] 陈 丹. 大气颗粒物与 SO_2 多相反应的研究 [D]. 上海: 上海师范大学 2006.
CHEN Dan. Study of the multi-phase reaction of particulate matters and SO_2 [D]. Shanghai Normal University 2006.
- [3] Zhang X Y, Zhuang G S, Chen J M, et al. Heterogeneous reactions of sulfur dioxide on typical mineral particles [J]. Journal of Physical Chemistry B 2006, 110(25): 12588 – 12596.
- [4] 常景彩, 董 勇, 王志强 等. 燃煤烟气中 SO_3 转换吸收特性模拟实验 [J]. 煤炭学报 2010, 35(10): 1717 – 1720.
CHANG Jing-cai, DONG Yong, WANG Zhi-qiang. Simulation test of the conversion and absorption characteristics of SO_3 in the coal combustion flue gases [J]. Journal of Coal and Char. 2010, 35(10): 1717 – 1720.
- [5] 于晓蕾. 二氧化硫的水吸收与解吸特性研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古工业大学 2010.
YU Xiao-lei. Study of the water absorption and desorption characteristics of sulfur dioxide [D]. Inner Mongolia University of Technology 2010.
- [6] Gutberlet H, Hartenstein H, Licata A. SO_2 conversion rate of NO_x catalysts-effects on downstream plant components and remedial measures [C]. The Power Gen 1999: 212 – 214.
- [7] Ryunosuke Kikuchi. Environmental Management of sulfur Tioxide Emission: Impact of SO_3 on Human Health [J]. Environmental Management. 2001, 27(6):
- [8] K. S. Kumar, Adel Mansour. Wet ESP for controlling sulfuric acid plume following an SCR system The ICAC Forum. Presented at the ICAC Forum 2002, Houdton, TX, February 12 – 13, 2002.
- [9] 赖庆柯. 酸性 Fe^{3+} 和氧化亚铁硫杆菌酸性溶液催化氧化 S(IV) 的实验研究 [D]. 四川: 四川大学 2004.
LAI Qing-ke. Experimental study of the catalysis and oxidization of acidic Fe^{3+} and thiobacillus ferrous oxide acidic solution (IV) [D]. Sichuan: Sichuan University 2004.
- [10] 曾 坤. 湿法烟气脱硫副产物亚硫酸盐的氧化动力学研究 [D]. 上海: 华东理工大学 2011.
ZENG Kun. Oxydization dynamic study of the wet-method flue gas desulfurization by-product-sulfite [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology 2011.
- [11] 许 丽, 苏仕军. 低浓度 $\text{Fe}(\text{II})$ 和 $\text{Mn}(\text{II})$ 催化氧化脱除烟气中 SO_2 的研究 [J]. 四川环境 2005, 24(2): 27 – 31.
XU Li, SU Shi-jun. Study of the removal of SO_2 in the flue gases in the process of low concentration Fe^{2+} and Mn^{2+} catalysis and oxidation [J]. Sichuan Environment 2005, 24(2): 27 – 31.
- [12] 刘兆荣. 环境化学教程 [M]. 北京: 化学工业出版社 2010: 41 – 43.
LIU Zao-rong. Environmental chemistry course [M]. Chemical Industry Press 2010: 41 – 43.

(丛 敏 编辑)



Abengoa 在智利开建其首个大型塔式熔盐电站

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.020

1 月份, Abengoa 中标智利首个大型光热发电项目 Cerro Dominador 项目。7 月份, 该电站即开工建设, 项目位于智利 Atacama 沙漠, 装机 110 MW, 采用熔盐塔式技术, 配置 17.5 h 的超长储热系统, 使得其容量因子提升至 80% 以上, 这将使其成为可 24 h 持续稳定运行的光热发电站。同时, 这也是 Abengoa 的第一座商业化塔式熔盐光热电站。Abengoa 此前对塔式光热发电站的商业化开发一直以来停留在水工质阶段, 该项目的开发将打破这一局面, 这也一定程度上表明了国际上对塔式技术走向熔盐传热储热方向的一致认可。

(吉桂明 摘译)

exceed $\pm 0.5\%$. The operation experience shows that to lower the amount of oxygen consumed in operation can reduce the NO_x produced, however, this can lead to an increase of the carbon content of flying ash. It is also true that to increase the amount of SOFA and to regulate the SOFA damper to its largest opening degree can also reduce the production of NO_x . In addition, the mode of putting the pulverizer into operation can also influence the NO_x emissions concentration. **Key Words:** low nitrogen modification, air staging, NO_x emissions, combustion adjustment

烧结机余热锅炉多通道烟气流场数值研究 = Numerical Study of the Flue Gas Flow Field Inside Multiple Ducts of the Heat Recovery Steam Generator of a Sintering Machine [刊, 汉] JIN Ying-li, WANG Jian-zhi, CHEN Gang, HAO Li-bo (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -242-247

With the flow field in the flue gas duct at the inlet of a heat recovery steam generator serving as the object of study, established was a three-dimensional model for calculating multi-channel inlet flue gas ducts. The standard turbulent flow model was used, the pressure and speed were coupled by using the Simple algorithm and the equation was discretized by using the second-order upwind difference scheme to calculate and obtain the distribution of the flow field inside the multi-channel inlet flue gas duct of the heat recovery steam generator. A measure was proposed to optimize the flow field by additionally installing flow guide plates in the flue gas duct. The calculation results show that under the condition of the inlet having same dimensions, the flow field in a flue gas duct having a small divergence angle with multiple channels is superior to that in a flue gas duct with a single channel. To arrange and install flow guide plates inside the inlet flue gas duct can obviously enhance the uniformity of the flue gas flow field inside the inlet flue gas duct. With an increase of the speed of the flue gases, the degree of improving the speed uniformity by using the flow guide plates will somewhat decline. **Key Words:** inlet flue gas duct, flow field, multiple channel, numerical calculation, flow guide plate

湿法烟气脱硫装置中铁锰离子对 SO_2 催化氧化作用的试验研究 = Experimental Study of the Action of Iron and Manganese Ions in a Wet-method Flue Gas Desulfurization Device on the Catalytic Oxidation of SO_2 [刊, 汉] ZHAO Qing-qing, JIN Jing, GAO Xin-yong, LIU Wei, ZHANG Ying-wen, LIU Lei (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(2). -248-252

Through establishing a wet-method flue gas desulfurization test platform ,experimentally studied was the catalytic oxidation of SO_2 by iron and manganese ions with the law governing the influence of such parameters as the solution temperature and O_2 concentration in a hybrid gas on the SO_2 oxidation reaction being mainly analyzed. It has been found that the catalytic oxidation by iron and manganese ions will make the SO_2 oxidation reaction speed to get a relatively big increase. The solution temperature exercises strong influence on the SO_2 oxidation reaction ,however , changes of the O_2 concentration in the hybrid gas exercise relatively weak influence on the SO_2 oxidation reaction. In the meantime ,the catalytic oxidation reaction processes of Mn^{2+} and Fe^{3+} are basically similar and when these two kinds of ion are present simultaneously ,the synergy effect between the ions will further accelerate the SO_2 oxidation reaction. **Key Words:** wet-method flue gas desulfurization , SO_2 , catalytic oxidation , iron and manganese ion

低氮改造后四角切圆燃煤粉锅炉变负荷下 NO_x 生成规律数值模拟研究 = **Study of the Numerical Simulation of the Law of NO_x Formation in a Tangential Pulverized-coal-fired Boiler at a Variable Load After a Low Nitrogen Modification** [刊 ,汉] LI De-bo ,XU Qi-sheng ,SHEN Yue-liang ,DENG Jian-hua ,LIU Ya-ming (Electric Power Science Research Institute ,Guangdong Power Grid Corporation ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510060) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30(2) . -253 -261

By making use of the software Ansys Fluent 14.0 ,the authors conducted a numerical simulation of the combustion characteristics at a variable load after a low nitrogen modification to a power plant with the law governing the speed field ,temperature field and constituent field in the furnace as well as the distribution of pollutants being mainly studied. It has been found that after the low nitrogen modification ,to increase the amount of SOFA air can make the temperature distribution in the furnace to be comparatively uniform ,the formation of the tangential circles is relatively good and there emerge no flame-closing-to-wall phenomena; the temperature difference in the zone of the burners between the load of 40% and 100% is 132.9 K and the descending range is up to 7.8% ; with a decrease of the load ,the temperature of flue gases at the outlet of the furnace will gradually decline; with a drop of the load ,the NO_x concentration at the outlet of the furnace will gradually become lower. **Key Words:** tangential ,low nitrogen modification , NO_x distribution ,variable load ,numerical simulation

低温湿烟气热力特性及余热回收利用分析 = **The Thermodynamic Characteristics of Wet Flue Gases at a Low Temperature and Analysis of Their Waste Heat Recovery and Utilization** [刊 ,汉] WANG Zheng-wei ,LIN