

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于虚拟撞击原理的固定源 PM ₁₀ /PM _{2.5} 采样器的研制	蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)
1992~2012 年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素	郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)
青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究	陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)
化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析	李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)
烧结过程 NO _x 和 SO ₂ 形成规律及烧结料组成对 NO _x 排放的影响	任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)
废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究	宋磊, 张彬, 邓文 (3674)
黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响	苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)
海河流域河流生态系统健康评价	郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)
台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析	刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)
山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究	包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)
岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例	王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)
岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价	蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)
废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险	陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)
海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价	王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)
大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素	杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)
辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究	邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)
伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响	刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)
地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究	陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)
地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟	白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)
茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能	万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)
紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨	王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)
水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性	彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)
二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯甲酸的研究	王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)
碳氮比对聚氨酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响	谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)
城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究	佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)
快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估	韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)
重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试	杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)
应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯形态及含量	李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)
植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化	李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)
硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响	唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)
外生菌根真菌对 Al ³⁺ 胁迫和低钾土壤的响应	张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)
长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究	黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳伟堂, 苏建强 (3869)
外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究	左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)
污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究	郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)
热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响	李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔晓勇, 马栋 (3888)
O ₃ 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响	杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)
施氮强度对不同土壤有机碳水平桉树林温室气体通量的影响	李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)
¹³ C ₂ O ₂ 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响	陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)
表面活性剂 <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解	陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)
耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能	信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)
微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定	吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)
电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析	王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)
铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型	王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)
天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价	马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)
水生生物基准推导中物种选择方法研究	张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)
生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究	李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)
金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能	牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)
CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃ 催化剂对苯催化氧化性能研究	查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)
生物毒性检测在水质安全评价中的应用	徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)
某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析	周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)
北京市再生水利用生态环境效益评估	范育鹏, 陈卫平 (4003)
我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建	王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)
环境损害评估: 构建中国制度框架	张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)
《环境科学》征稿简则 (3887) 《环境科学》征订启事 (4008) 信息 (3730, 3739, 3774, 3895)	

烧结过程 NO_x 和 SO_2 形成规律及烧结料组成对 NO_x 排放的影响

任重培¹, 朱天乐^{1*}, 朱廷钰², 吕栋¹

(1. 北京航空航天大学化学与环境学院, 北京 100191; 2. 中国科学院过程工程研究所, 北京 100190)

摘要: 采用烧结杯实验方法, 研究了烧结过程 NO_x 和 SO_2 的形成规律, 以及焦粉含量、含水率和添加助剂对烧结过程 NO_x 排放的影响。结果表明, 烧结启动后, 烧结带自上而下逐层推进, 烧结带以下各断面 NO_x 浓度基本相同。烧结带产生的 SO_2 先被待烧结料吸附蓄积, 再被热解析出, 最后从底部排出, 因此只在烧结最后阶段出口能检测到较高浓度的 SO_2 , 且 SO_2 浓度与时间的关系呈倒 V 形曲线。烧结过程产生的 NO_x 以热力型为主, 而且绝大部分为 NO , NO_2 浓度非常低。降低焦粉含量和含水率, 或添加烧结助剂均有助于降低 NO_x 排放。

关键词: 烧结过程; 物料组成; NO_x ; SO_2 ; 形成

中图分类号: X701 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-3669-05 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.10.005

NO_x and SO_2 Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO_x Emissions

REN Zhong-pei¹, ZHU Tian-le¹, ZHU Ting-yu², LÜ Dong¹

(1. School of Chemistry and Environment, Beihang University, Beijing 100191, China; 2. Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: NO_x and SO_2 formation in the sintering process and the influence of coke powder content, moisture content and adding additives on NO_x emissions were investigated by the sintering pot experimental method. The results showed that the combustion zone moved downward along the sintering pot after the sintering started. The NO_x concentrations of all monitoring points below the combustion zone were basically the same. SO_2 generated in the combustion zone was adsorbed and accumulated in the sintering materials below the zone. Then, SO_2 was released by pyrolysis, and finally discharged from the outlet of sintering pot. So the significant SO_2 couldn't be detected before the burning through point, and the relationship between the SO_2 concentration and the sintering time displayed an inverted "V" curve. NO_x produced from the sintering process was mainly thermal- NO_x , and most of it was NO , the NO_2 concentration was very low. Reducing the coke powder and moisture contents, or adding sintering additives could effectively reduce NO_x emissions.

Key words: sintering process; material composition; NO_x ; SO_2 ; formation

NO_x 和 SO_2 等污染物不仅直接危害人体健康和生态系统, 也是酸雨、光化学烟雾和雾霾等形成的主要前驱体物质。钢铁行业是最主要的工业大气污染源之一, 其中 NO_x 和 SO_2 排放量分别占全国工业排放总量的 5.9% 和 14.1%, 分列工业行业第三位和第二位^[1]。在钢铁行业排放的污染物中, 50% 的 NO_x 和 70% 以上的 SO_2 来自烧结工序, 因此烧结烟气污染治理是钢铁治污的重点, 但目前对烧结烟气污染物形成和排放的研究还很少。针对 SO_2 , 研究仅局限于各因素对烧结排放烟气 SO_2 浓度的影响; 针对 NO_x , 研究局限于烧结过程的催化还原过程^[2,3], 对烧结过程 NO_x 的形成规律和各因素对 NO_x 排放的影响尚未涉及。

考虑到烧结过程不同于其它热过程, 其污染物形成也存在很大区别, 本研究采用自行研制的, 沿烧

结料层高度配有 4 个温度和气体成分检测点的烧结杯, 系统研究了烧结过程 NO_x 和 SO_2 这两种主要污染物的形成规律, 以及烧结料组成(焦粉含量、含水率和添加助剂)对 NO_x 排放的影响, 并探讨了 SO_2 和 NO_x 的形成机制, 旨在为烧结气相污染物减排提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料与装置

本研究所采用的烧结原料取自某钢铁集团有限公司烧结厂, 烧结混合料配比以实际生产为原型, 除

收稿日期: 2014-03-24; 修订日期: 2014-05-16

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201209005)

作者简介: 任重培(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染控制理论与技术, E-mail: renbuaa@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: zhutl@buaa.edu.cn

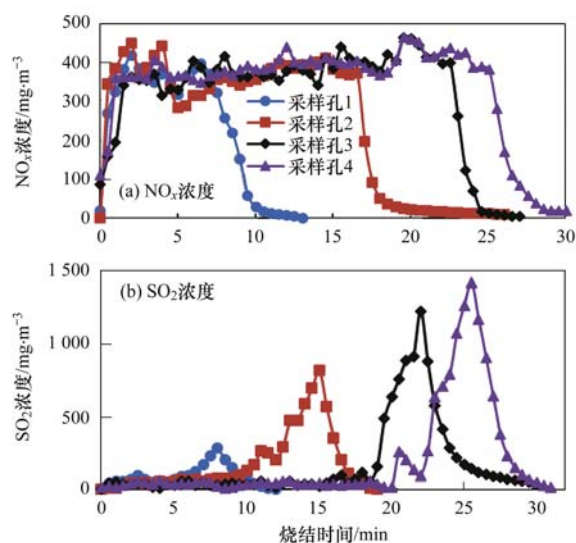
图2 4个检测点 NO_x 和 SO_2 浓度随烧结时间的变化规律

Fig. 2 Variations of NO_x and SO_2 concentrations with time at four monitoring sites

上升至 $400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右. 随着后续助燃空气不断引入(见图3),并推动烟气向前流动,自上而下各检测点 NO_x 浓度依次降为0. 不过,各检测点的最大 NO_x 浓度相差不大,并未出现 NO_x 累积现象,这表明后续物料对烧结产生 NO_x 吸附积蓄程度较小. 另外检测还注意到,烧结形成的 NO_2 浓度很低,最大值为 $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. 考虑到最大烧结温度为 1300°C 左右(见图4),可以推断,虽然烧结过程会产生一定量的燃料型 NO_x ,但以热力型 NO_x 为主.

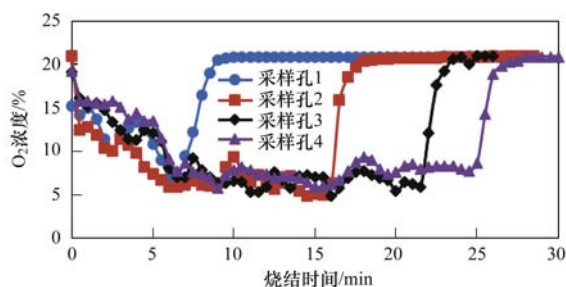
图3 4个检测点 O_2 含量随烧结时间的变化规律

Fig. 3 Variation of O_2 content with time at four monitoring sites

从图2(b)可以看出,各检测孔的 SO_2 浓度皆呈倒V形曲线,这是因为烧结料含有石灰和石灰石,而且对于特定高度的烧结料,随着烧结的进行,先后作为原始混合料层、过湿层、干燥预热层、燃烧层和烧结矿层. 燃烧带自上而下逐层推进,如图4所示. 因此,燃烧形成的 SO_2 易吸附并逐层蓄积于燃烧层以下的干燥预热、过湿和原始混合料层. 比较图2与图4还可看出,烧结温度峰值出现时间滞后

于主要污染物浓度,这表明这些污染物优先于烧结区随烧结烟气流至各温度和污染物检测点.

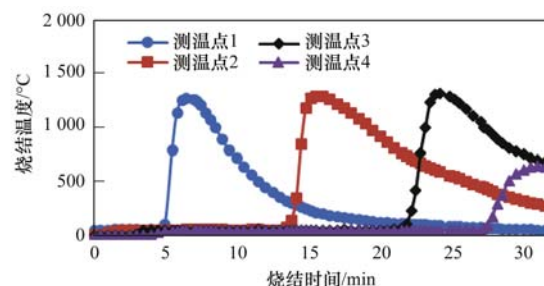


图4 4个检测点烧结温度随时间的变化曲线

Fig. 4 Variation of sintering temperature with time at four monitoring sites

从图2(b)还可以看出,自上而下各检测孔的 SO_2 浓度逐渐提高,这是由于随着燃烧层往下推移,产生于铁粉和焦粉的 SO_2 总量不断增加,伴随高温热烟气的流过,吸附于烧结料层的 SO_2 又会分解并不断地解吸出来.

2.2 烧结料组成对 NO_x 排放的影响

烧结产生的气相污染物主要是 NO_x 、二噁英和 SO_2 . 到目前为止,有关烧结料组成对 SO_2 和二噁英形成的研究较多,但对 NO_x 形成的研究还鲜见^[4-6]. 本研究考察了实际烧结工艺中,在不影响烧结矿质量的前提下,组分可在一定范围内调节的焦粉、水分和添加助剂对 NO_x 排放的影响.

2.2.1 焦粉含量对 NO_x 排放的影响

图5给出了焦粉含量分别为2%、3%、3.5%和4%条件下,第4个气体成分检测点 NO_x 浓度随烧结时间的变化关系.

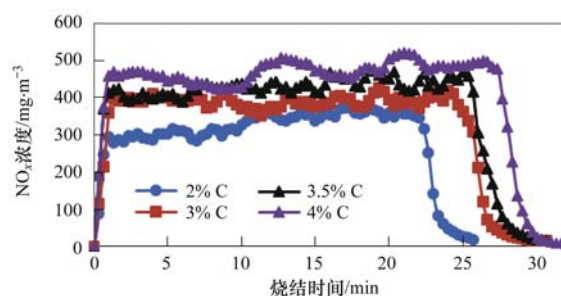
图5 焦粉含量对 NO_x 排放的影响

Fig. 5 Effect of coke powder content on NO_x emissions

可以看出,烧结过程形成的 NO_x 浓度与烧结料焦粉含量正相关,而且随着焦粉含量增大,烧结所用时间延长. 另外,实测表明,伴随焦粉含量从2%增大到4%,最大烧结温度从 1190°C 升至 1370°C . 显然,烧结温度的提高,一方面导致更多的热力型 NO_x

形成. 另一方面,导致烧结料层蓄积的热量更多,降温耗时更长. 此外,焦粉含量的增多也会导致燃料型 NO_x 排放浓度增加.

2.2.2 含水率对 NO_x 排放的影响

图6给出了水分含量分别为7%、8%、9%和10%的条件下,第4个气体成分检测点 NO_x 浓度随时间的变化关系.

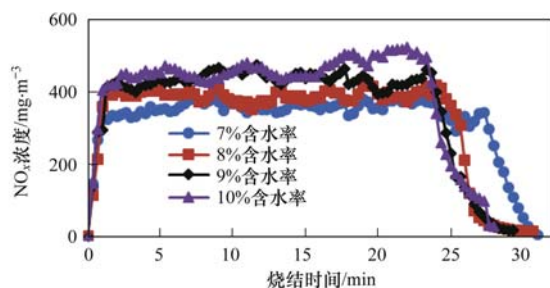


图6 含水率对 NO_x 排放的影响

Fig. 6 Effect of moisture content on NO_x emissions

可以看出,随着烧结料含水率提高,烧结时间缩短,最大 NO_x 浓度略有上升. 这是由于适当增大水分可改善造粒效果,提高烧结料层的透气性能,从而加快烧结的进程. 另一方面,增大水分有利于提高烧结料的导热性能,提高传热速率,这两方面的作用均有利于提高烧结温度. 而烧结时间缩短则表明,在焦粉含量相同的情况下,增大水分引起的导热性能提高和透气型改善对烧结速度的加快作用大于烧结温度提高使物料熔融,导致的烧结速度减缓效应.

2.2.3 添加助剂对 NO_x 排放的影响

烧结助剂由非能源性无机材料构成,其主要作用是催化助燃,提高烧结速度和烧结矿强度,改善成矿质量. 从而在确保烧结料质量的前提下,实现节能减排的效益. 从理论上分析,烧结助剂可以降低焦粉用量,减少燃料型氮氧化物释放,并为低温烧结创造条件,这对于抑制 NO_x 排放具有积极的意义.

本研究中,分别用两种市售助剂(助剂A和助剂B)代替15%的焦粉,而且助剂在烧结混合料中的重量比为1%. 考察了添加助剂对 NO_x 排放的影响. 实验时,先将颗粒状助剂与焦粉混匀,然后直接加入烧结混合料. 从第4个气体检测点测定不同助剂添加条件下,烧结烟气 NO_x 浓度随烧结时间的变化关系,结果如图7所示.

可以看出,添加烧结助剂并减少焦粉用量,对烧结时间影响不大,但在一定程度上降低了 NO_x 浓度. 实验中,与不添加助剂相比,添加助剂对应的烧结最高温度为1255℃左右,比不添加助剂降低约

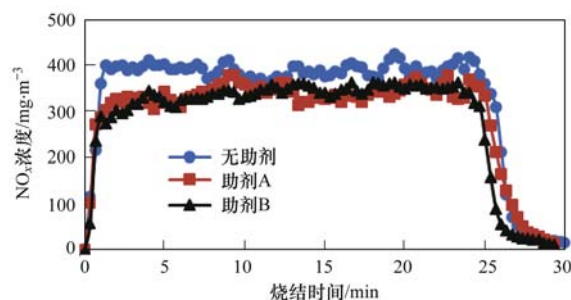


图7 添加助剂对 NO_x 排放的影响

Fig. 7 Effect of adding sintering additives on NO_x emissions

50℃. 另外,多次重复实验表明,尽管减少焦粉用量使烧结温度降低,但添加助剂后,烧结过程更顺利,烧结成矿质量也较好,这充分说明了助剂的良好熔减排效果.

3 结论

(1)烧结产生的 NO_x 以热力型为主,而且绝大部分为 NO , NO_2 浓度非常低. 烧结过程中,烧结带自上而下逐层推进,烧结带以下各断面 NO_x 浓度基本相同.

(2)烧结产生的 SO_2 主要来源于铁矿石硫组分氧化, SO_2 在烧结带形成后先被待烧结料吸附蓄积,再被热解析出,最后从底部排出. 因此,只在临近烧结前很短的时间内,才能在出口烟气中检测较高浓度的 SO_2 ,且 SO_2 浓度与时间的关系呈倒V形曲线. 因此,建议烧结烟气脱硫重点放在烧结机尾部附近风箱抽出的烟气,前面风箱采用烟气循环工艺以减少 SO_2 外排.

(3)降低焦粉含量和含水率,或添加烧结助剂(此情况下减少焦粉含量)均有助于降低 NO_x 排放,其原因是烧结料发热量随焦粉含量提高而增大,增大含水率有助于烧结料热传递,这两者皆会使烧结温度提高. 因此,在确保烧结矿质量的前提下,应降低焦粉含量和含水率,并添加合适的助剂.

参考文献:

- [1] 国家环境保护部 2012 年全国环境统计公报 [EB/OL]. http://zls.mep.gov.cn/hjtj/nb/2012tjnb/201312/t20131225_265556.htm.
- [2] Chen Y G, Guo Z C, Wang Z. Influence of CeO_2 on NO_x emission during iron ore sintering [J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90(7): 933-938.
- [3] Chen Y G, Guo Z C, Wang Z, et al. NO_x reduction in the sintering process [J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2009, 16(2): 143-148.
- [4] Cavaliere P, Perrone A. Analysis of dangerous emissions and

- plant productivity during sintering ore operations[J]. *Ironmaking & Steelmaking*, 2013, **40**(1): 9-24.
- [5] Liu G R, Zheng M H, Du B, *et al.* Atmospheric emission of polychlorinated naphthalenes from iron ore sintering processes [J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(4): 467-472.
- [6] Ma S H, Wen Z G, Chen J N. Scenario analysis of sulfur dioxide emissions reduction potential in China's iron and steel industry [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, **16**(4): 506-517.
- [7] Tian B, Huang J, Wang B, *et al.* Emission characterization of unintentionally produced persistent organic pollutants from iron ore sintering process in China[J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(4): 409-415.
- [8] Zhao H C, Zhong W Q, Zhou G W, *et al.* Experimental research on utilization of steel rolling sludge in sintering process [J]. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 2013, **11**(1): 283-291.
- [9] 魏淑娟, 王爽, 周然. 我国烧结烟气脱硫现状及脱硝技术研究[J]. *环境工程*, 2014, **32**(2): 95-97, 142.
- [10] 张兴胜, 张军红, 何志军, 等. 熔剂添加对烧结过程中有害气体排放规律影响的研究[J]. *烧结球团*, 2012, **37**(6): 66-69.
- [11] 周国凡, 毕学工. 降低铁矿石烧结烟气中二氧化硫的实验研究[J]. *中国冶金*, 2006, **16**(12): 31-33.
- [12] Lee M S, Shim S C. Influence of lime/limestone addition on the SO_2 and NO formation during the combustion of coke pellet[J]. *ISIJ International*, 2004, **44**(3): 470-475.
- [13] Morioka K, Inaba S, Shimizu M, *et al.* Primary application of the "In-Bed-de NO_x " process using CaFe oxides in iron ore sintering machines [J]. *ISIJ International*, 2000, **40**(3): 280-285.
- [14] Feng G S, Wu S L, Han H L, *et al.* Sintering characteristics of fluxes and their structure optimization[J]. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 2011, **18**(3): 270-276.
- [15] Gan M, Fan X H, Chen X L, *et al.* Reduction of pollutant emission in iron ore sintering process by applying biomass fuels [J]. *ISIJ International*, 2012, **52**(9): 1574-1578.
- [16] 吴胜利, 陈东峰, 赵成显, 等. 不同料层高度烧结过程尾气排放规律[J]. *北京科技大学学报*, 2010, **32**(2): 164-169.
- [17] 潘建. 铁矿烧结烟气减量排放基础理论与工艺研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [18] 潘建, 朱德庆, 崔瑜, 等. 铁矿烧结烟气中 SO_2 的排放规律[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2011, **42**(6): 1495-1500.
- [19] Sammut M L, Noack Y, Rose J, *et al.* Speciation of Cd and Pb in dust emitted from sinter plant[J]. *Chemosphere*, 2010, **78**(4): 445-450.
- [20] Ciaparra D, Aries E, Booth M J, *et al.* Characterisation of volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of steelworks[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(12): 2070-2079.
- [21] 官贞珍, 陈德珍, 洪鑫, 等. 中高温区碳酰肼还原 NO_x 和抑制二噁英的研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(9): 2810-2816.
- [22] 张健, 龙红明, 沈续雨, 等. 基于添加尿素的烧结过程中 SO_2 减排[J]. *安徽工业大学学报(自然科学版)*, 2012, **29**(2): 99-101, 106.
- [23] Fröhlichová M, Findorák R, Legemza J. Structural analysis of sinter with titanium addition/Analiza Strukturálna Spieku Z Dodatkem Tytanu [J]. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, **58**(1): 179-185.
- [24] Ooi T C, Lu L M. Formation and mitigation of PCDD/Fs in iron ore sintering[J]. *Chemosphere*, 2011, **85**(3): 291-299.
- [25] Sheng G H, Huang P, Mou Y Q, *et al.* Characteristics of fly ash from the dry flue gas desulfurization system for iron ore sintering plants[J]. *Environmental Technology*, 2012, **33**(7-9): 837-844.

CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM ₁₀ and PM _{2.5} Sampling	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO _x and SO ₂ Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO _x Emissions	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propanolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytical Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO ₂ (P25)	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O ₃ Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by ¹³ C Isotope Labeling	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China	WANG Lin, LU Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行