

烧结烟气脱硫脱硝用活性炭混合钢渣复合材料的光谱学分析

张浩^{1,2}, 范威威¹

1. 安徽工业大学建筑工程学院, 安徽 马鞍山 243032

2. 冶金减排与资源综合利用教育部重点实验室(安徽工业大学), 安徽 马鞍山 243002

摘要 钢渣是冶金工业中产生的主要固体废弃物,其产量约为每年粗钢产量的15%~20%。由于技术的局限,导致我国钢渣利用率较低,仅为年钢渣产量的10%,同时加之管理制度的不健全,导致钢渣大量露天堆放,对土地资源、地下水源,以及空气质量形成严重影响。固体废弃物再利用是资源可持续发展的重要途径之一,钢渣的主要化学成分为CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, MnO, f-CaO等。面对上述问题,利用冶金固体废弃物与活性炭开发一种价格低廉且性能优越的活性炭混合钢渣复合材料,既是冶金固体废弃物的高附加值利用与资源可持续发展的重要途径之一,也是大幅降低改性活性炭生产成本与提高经济效益的重要途径之一。该研究创新性以活性炭与钢渣为研究对象,利用钢渣中含有的金属氧化物对活性炭进行改性处理制备用于烧结烟气脱硫脱硝的活性炭混合钢渣复合材料,通过搭建实验反应装置对活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能进行测试。利用X射线荧光光谱仪(XRF)对钢渣的化学成分进行测试与分析,比表面积及孔径测定仪(BET)对活性炭混合钢渣复合材料的孔结构进行测试与分析,傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)对钢渣的结构组成进行测试与分析,扫描电子显微镜(SEM)对活性炭混合钢渣复合材料的微观结构进行测试与分析,以揭示活性炭与钢渣制备活性炭混合钢渣复合材料的机理,以及活性炭混合钢渣复合材料对烧结烟气脱硫脱硝的机理。结果表明:当钢渣为电炉热泼渣、钢渣与活性炭质量比为2:4、钢渣与活性炭细度为400目时,活性炭混合钢渣复合材料具有良好的脱硫脱硝性能与合理的经济性,即脱硫效率为100%、脱硝效率为58%。活性炭混合钢渣复合材料具有的多孔结构对SO₂和NO进行有作用,钢渣中Fe₂O₃与MnO₂促使活性炭官能团进行催化还原反应提高脱硫脱硝性能,其中吸附作用是主导与前提,催化还原反应是辅助与协同。以期期为高附加值的钢渣利用提供新途径,实现钢铁企业以废治废、以废增效的目的。

关键词 钢渣; 活性炭; 脱硫脱硝; 光谱学分析; 烧结烟气

中图分类号: X753

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)04-1195-06

引言

钢铁工业既是国家经济建设的支撑产业,也是对环境影响重大的高污染产业。钢铁工业中SO₂排放量、氮氧化物排放量分别占全国排放量的9.3%与5.6%,其中烧结工序是主要的SO₂、氮氧化物排放环节^[1]。近年来,随着我国对污染物(如:SO₂、氮氧化物等)排放限值的进一步控制,迫使钢铁企业设计开发或引进先进污染物控制技术用于烧结烟气净化,如将火电厂烟气脱硫脱硝工艺用于钢铁企业烧结烟气净化,但是由于钢铁企业烧结烟气排放特点的原因并未取得理

想结果^[2]。因此研发适合烧结烟气排放特点的联合脱硫脱硝一体化工艺已经成为钢铁企业关注的焦点,其中将活性炭用于烧结烟气的脱硫脱硝已经在国内大型钢铁公司得到成功应用,但是在运行过程中所用活性炭的运行成本高、机械强度低且易粉化、燃点低存在烧塔风险,同时活性炭对氮氧化物的吸附效果受到SO₂的影响,上述问题的存在极大限制了活性炭干法烟气净化技术在钢铁企业烧结烟气净化技术中的推广。

利用活性炭负载金属活性位进行改性是提高活性炭对氮氧化物转化效率的有效手段,尤其是利用过渡金属(如:V₂O₅, MnO_x, CuO等)对活性炭进行负载的研究成果较多,

收稿日期: 2019-03-29, 修订日期: 2019-07-30

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2017M612051), 国家自然科学基金项目(51206002), 高校优秀青年骨干人才国外访学研修项目(gxg-wfx2018021), 安徽省博士后研究人员科研活动经费项目(2017B168)资助

作者简介: 张浩, 1982年生, 安徽工业大学建筑工程学院副教授 e-mail: fengxu19821018@163.com

如活性炭负载 MnO_x 不仅可以提供更多的化学吸附氧,而且 Mn 属于具有多价态的稳定氧化物,可以提高低温催化活性与 N_2 选择性^[3-4];但是活性炭负载金属存在部分重金属有毒的问题,导致活性炭失活后的处理成本较高。 Fe_2O_3 具有环境友好的特点被广泛用于催化反应,研究表明在低温 Fe_2O_3 对 SCR 催化活性提升远远优于 Fe_3O_4 对 SCR 催化活性提升,在 180 °C 可以获得 95% 的 NO 转化率^[5-6]。钢渣作为炼钢过程中产生的固体废弃物,其产量巨大,约为年粗钢产量的 15%~20%,我国年均产生钢渣在 1 亿 t 以上^[7-9]。钢渣中存在一定含量的 Fe_2O_3 与 MnO_2 可以用于活性炭改性,以提高活性炭的脱硫脱硝性能具有极强的可行性。

本研究以活性炭与钢渣为研究对象,利用钢渣中含有的金属氧化物对活性炭进行改性处理制备用于烧结烟气脱硫脱硝的活性炭混合钢渣复合材料,通过搭建实验反应装置对活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能进行测试。利用 X 射线荧光光谱仪(XRF)对钢渣的化学成分进行测试与分析,比表面积及孔径测定仪(BET)对活性炭混合钢渣复合材料的孔结构进行测试与分析,傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)对钢渣的结构组成进行测试与分析,扫描电子显微镜(SEM)对活性炭混合钢渣复合材料的微观结构进行测试与分析,以揭示活性炭与钢渣制备活性炭混合钢渣复合材料的机理,以及活性炭混合钢渣复合材料对烧结烟气脱硫脱硝的机理。

1 实验部分

1.1 材料与试剂

钢渣为转炉热泼渣、铸余渣、转炉滚筒渣、铁水脱硫渣、电炉热泼渣和电炉滚筒渣(中冶宝钢技术服务有限公司),活性炭(中冶宝钢技术服务有限公司),石英砂(凤阳馨宇石英砂销售有限公司), N_2 (纯度 $\geq 99.999\%$,南京特种气体厂有限公司), NO 与 N_2 的混合气(NO 浓度为 0.997 6%,南京特种气体厂有限公司), NH_3 与 N_2 的混合气(NH_3 浓度 0.980 0%,南京特种气体厂有限公司), SO_2 与 N_2 的混合气(SO_2 浓度为 0.980 0%,南京特种气体厂有限公司),氢氧化钠(NaOH ,分析纯,国药集团化学试剂有限公司), O_2 , 通过空气泵供给。

1.2 仪器

FA2204B 型分析天平(上海精科实业有限公司), GD66-1 型鼓风干燥箱(北京实验设备厂), XQM-4L 型变频行星式球磨机(南京科析实验仪器研究所), XCSL-16-12Y 型中温实验炉(洛耐院仪器设备制造公司), 可编程控制器(杭州蓝天化验仪器厂), Testo-340 型烟气分析仪(德图集团); AR-LAdvant'X IntellipowerTW3600 型扫描型 X 射线荧光光谱仪(美国赛默飞世尔科技公司), D/Max/200PC 型 X 射线衍射仪(日本理学公司), Autosorb-1 型比表面积及孔径测定仪(美国康塔仪器公司), Nicolet6700 型傅里叶变换红外光谱仪(美国尼高力公司), NANO SEM430 型场发射扫描电子显微镜(美国 FEI 公司)。

1.3 方法

1.3.1 活性炭混合钢渣复合材料制备

采用 33 m^3 渣罐承接熔融态转炉渣,再将渣罐经渣罐车运至热泼场地进行倾翻,最后利用洒水进行冷却后获得转炉热泼渣;采用装有三横三纵格栅的 5.3 m^3 渣罐承接液态铸余渣,再将渣罐经渣罐车倒驳至翻罐点进行倾翻,液态铸余渣被三横三纵格栅自然分割成目标尺寸,最后利用打渣机进行拆分后获得铸余渣;采用 33 m^3 渣罐承接熔融态转炉渣,再将渣罐经渣罐车与行车运至倾翻装置上,由倾翻装置将熔融态转炉渣均匀倾倒入滚筒装置中,最后向装有钢球的滚筒中注入冷却水,利用冷却与破碎的方式获得转炉滚筒渣;采用 5.3 m^3 渣罐承接经铁水脱硫处理后的浮渣,再将渣罐经渣罐车运至热泼场地,浮渣经水浸泡 12~14 h 后进行倾翻,最后利用磁选进行处理获得铁水脱硫渣;采用 17 m^3 渣罐承接熔融态电炉渣,再将渣罐经渣罐车运至热泼场地进行倾翻,最后利用洒水进行冷却后获得电炉热泼渣;采用 17 m^3 渣罐承接熔融态电炉渣,再将渣罐经渣罐车与行车运至倾翻装置上,由倾翻装置将熔融态电炉渣均匀倾倒入滚筒装置中,最后向装有钢球的滚筒中注入冷却水,利用冷却与破碎的方式获得电炉滚筒渣。

将钢渣(转炉热泼渣、铸余渣、转炉滚筒渣、铁水脱硫渣、电炉热泼渣和电炉滚筒渣)、活性炭置于 105 °C 的烘箱中干燥 6 h 后,利用转速为 600 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的球磨机粉磨并且通过一定目数的标准筛获得钢渣微粉与活性炭微粉;将一定质量比的钢渣微粉与活性炭微粉进行混合后,采用转速为 600 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的磁力搅拌器搅拌 2 h 获得钢渣-活性炭混合微粉;将钢渣-活性炭混合微粉放入煅烧温度为 300 °C 的中温实验炉焙烧 30 min 后,获得活性炭混合钢渣复合材料。将活性炭混合钢渣复合材料与石英砂进行混合以提高活性炭混合钢渣复合材料在反应装置中的通透性能,其中石英砂不与气体发生任何化学反应,仅增加反应装置的通透性能,利于实验进行。

1.3.2 性能测试与表征

活性炭混合钢渣复合材料脱硫脱硝性能实验反应装置如图 1 所示。石英管固定床反应器内径 $\Phi 35$ mm,实验过程中将 6 g 活性炭混合钢渣复合材料固定在反应床中部,并利用可编程控制器对反应温度进行控制。实验气氛采用 N_2 , NO , NH_3 , SO_2 和 O_2 在混气瓶中按 $[\text{N}_2]$ 为 84.8%、 $[\text{NO}]$ 为 0.05%、 $[\text{NH}_3]$ 为 0.05%、 $[\text{SO}_2]$ 为 0.10% 和 $[\text{O}_2]$ 为 15% 混

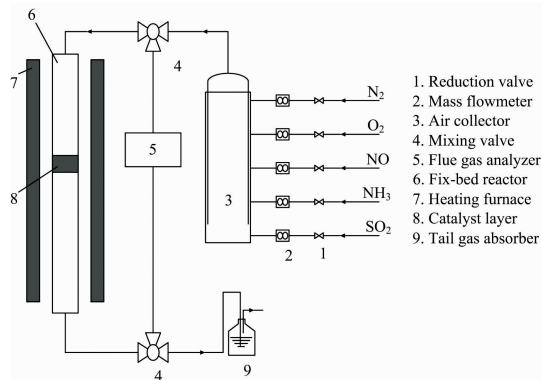


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

合均匀后进入固定床反应器中模拟工业烧结烟气,其中入口气体总流量为 $600 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 、体积空速为 $3\ 600 \text{ h}^{-1}$ 、反应温度为 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 和反应时间为 8 h 。采用烟气分析仪对模拟工业烧结烟气与尾气中的 SO_2 浓度、 NO 浓度进行测试。活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能为脱硫效率、脱硝效率见式

$$\eta = \frac{c_{\text{in}} - c_{\text{out}}}{c_{\text{in}}} \times 100\%$$

式中, c_{in} 和 c_{out} 分别表示进口浓度、出口浓度(%)。

采用美国赛默飞世尔科技公司 ARLAdvant'X IntellipowerTW3600 型扫描型 X 射线荧光光谱仪对化学成分进行测试与分析,采用美国康塔仪器公司 Autosorb-1 型比表面积及孔径测定仪对孔结构进行测试与分析,采用美国尼高力公

司 Nicolet6700 型傅里叶变换红外光谱仪对结构组成进行测试与分析,采用美国 FEI 公司 NANO SEM430 型场发射扫描电子显微镜对微观结构进行测试与分析。

2 结果与讨论

2.1 钢渣种类对活性炭混合钢渣复合材料性能的影响

选取钢渣为转炉热泼渣、铸余渣、转炉滚筒渣、铁水脱硫渣、电炉热泼渣和电炉滚筒渣,分别与活性炭制备活性炭混合钢渣复合材料,其中钢渣与活性炭质量比为 $2:4$,钢渣与活性炭的细度为 400 目。钢渣种类对活性炭混合钢渣复合材料脱硫脱硝性能的影响见表 1。

表 1 钢渣种类对脱硫脱硝性能的影响

Table 1 Effect of types of steel slag on desulfurization and denitration properties

Types of steel slag	Desulfurization rate/%	Denitration rate/%
Layer pouring slag from converter	100	52
Casting slag	100	46
Rotating furnace slag from converter	100	49
Desulfurized slag	100	41
Rotating furnace slag from electric furnace	100	55
Layer pouring slag from electric furnace	100	58

从表 1 可以看出,以转炉热泼渣、铸余渣、转炉滚筒渣、铁水脱硫渣、电炉热泼渣和电炉滚筒渣分别与活性炭制备的活性炭混合钢渣复合材料均具有优良的脱硫性能,其脱硫效率稳定地保持在 100% ;六种活性炭混合钢渣复合材料的脱硝效率为 $41\% \sim 58\%$,其中以电炉热泼渣、电炉滚筒渣分别与活性炭制备的活性炭混合钢渣复合材料的脱硝性能最佳。这是因为一方面活性炭与钢渣均具有多孔结构对烧结烟气中 NO 和 SO_2 具有较强的吸附作用;另一方面从钢渣的 XRF

测试结果(见表 2)可以看出,钢渣中含有 $38.94\% \sim 51.34\%$ 的 CaO , CaO 与烧结烟气中 SO_2 发生 $\text{CaO} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3$ 反应有利于提高脱硫效率,同时电炉热泼渣与电炉滚筒渣中 Fe_2O_3 与 MnO_2 的含量较高,可以与活性炭协同作用对烧结烟气中 NO 进行催化还原有利于提高脱硝效率。综上所述,选取钢渣为电炉热泼渣制备的活性炭混合钢渣复合材料具有良好的脱硫脱硝性能。

表 2 钢渣的 XRF 测试结果

Table 2 XRF test results of steel slag

Types of steel slag	Chemical composition/%								
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	MnO_2	SO_3	Others
Layer pouring slag from converter	11.06	24.40	2.30	46.78	5.75	0.91	2.19	0.23	6.38
Casting slag	14.75	12.92	10.97	46.93	3.06	0.50	1.67	1.26	7.94
Rotating furnace slag from converter	12.31	25.08	1.56	47.00	5.61	0.99	1.80	0.13	5.52
Desulfurized slag	15.32	12.64	5.47	51.34	3.47	0.50	0.80	2.06	8.40
Rotating furnace slag from electric furnace	13.04	29.91	3.26	41.18	3.37	0.69	3.56	0.28	4.71
Layer pouring slag from electric furnace	11.14	33.14	2.79	38.94	3.40	0.19	3.49	0.28	6.63

2.2 钢渣与活性炭质量比对活性炭混合钢渣复合材料性能的影响

选取钢渣为电炉热泼渣与活性炭制备活性炭混合钢渣复合材料,其中钢渣与活性炭的质量比分别为 $6:0$, $5:1$, $4:2$, $3:3$, $2:4$, $1:5$ 和 $0:6$,钢渣与活性炭的细度为 400 目。钢渣与活性炭质量比对活性炭混合钢渣复合材料脱硫脱硝性能的影响见表 3。

从表 3 可以看出,一方面钢渣具有一定的脱硫脱硝性能,仅仅将钢渣用于烧结烟气脱硫脱硝,即钢渣与活性炭质量比为 $6:0$,其脱硫效率与脱硝效率仅为 46% 与 11% ;活性炭具有良好的脱硫脱硝性能,仅仅将活性炭用于烧结烟气脱硫脱硝,即钢渣与活性炭质量比为 $0:6$,其脱硫效率与脱硝效率为 100% 与 63% 。另一方面随着钢渣与活性炭质量比中活性炭用量的增加,活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝

性能呈现先大幅增加后小幅增加并且趋向稳定的趋势。说明适量的钢渣取代活性炭制备活性炭混合钢渣复合材料,不仅降低了活性炭的用量,而且保持了良好的脱硫脱硝性能。进一步分析表 3 还可以看出,当钢渣与活性炭质量比为 3:3 时,活性炭混合钢渣复合材料表现出较好的脱硫脱硝性能,其脱硫效率为 100%、脱硝效率为 52%;当钢渣与活性炭质量比为 2:4~1:5 时,活性炭混合钢渣复合材料的脱硫效率为 100%、脱硝效率为 58%~60%,其脱硫脱硝性能与活性炭脱硫脱硝性能极为接近。综上所述,当钢渣与活性炭质量比为 2:4 时,所制备的活性炭混合钢渣复合材料不仅具有良好的脱硫脱硝性能,而且具有良好的经济性。

表 4 钢渣、活性炭和活性炭混合钢渣复合材料的 BET 测试结果

Table 4 BET test results of steel slag, activated carbon and activated carbon mixed with steel slag composite material

Sample	Specific surface area/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	Pore volume/($\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	Average pore size/nm
Steel slag	5.43	0.025 6	10.43
Activated carbon	337	0.280 9	1.96
Activated carbon mixed with steel slag composite material (Mass ratio of steel slag to activated carbon is 2:4)	261	0.214 5	3.28

结合表 3 与表 4 可以看出,活性炭具有良好的孔结构,其比表面积为 $337 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、孔体积为 $0.280 9 \text{ m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 和平均孔径为 1.96 nm 远远优于钢渣的孔结构,说明将钢渣与活性炭用于烧结烟气脱硫脱硝,良好的孔结构有利于对 SO_2 和 NO 的吸附,说明吸附作用是脱硫脱硝的主导。同时适合的钢渣与活性炭质量比有利于活性炭混合钢渣复合材料形成良好的孔结构,其比表面积为 $261 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、孔体积为 $0.214 5 \text{ m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 和平均孔径为 3.28 nm,有利于吸附烧结烟气中的 SO_2 和 NO ,为钢渣与活性炭的协同催化还原反应提供前提条件。

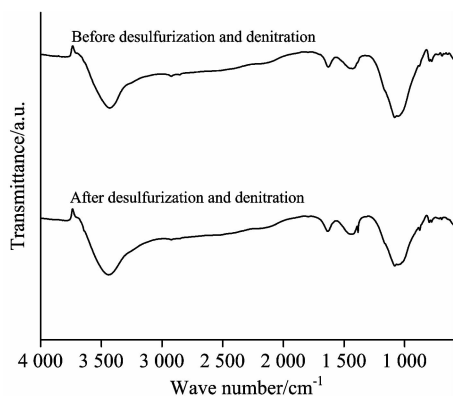


图 2 活性炭混合钢渣复合材料(钢渣为电炉热泼渣、钢渣与活性炭质量比为 2:4、钢渣与活性炭细度为 400 目)的 FTIR 测试结果

Fig. 2 FTIR test results of activated carbon mixed with steel slag composite material (steel slag is layer pouring slag from electric furnace, mass ratio of steel slag to activated carbon is 2:4, fineness of steel slag and activated carbon is 400 mesh)

表 3 钢渣与活性炭质量比对脱硫脱硝性能的影响

Table 3 Effect of mass ratio of steel slag to activated carbon on desulfurization and denitration properties

Mass ratio of steel slag to activated carbon	Desulfurization rate/%	Denitration rate/%
6:0	46	11
5:1	72	29
4:2	87	40
3:3	100	52
2:4	100	58
1:5	100	60
0:6	100	63

从图 2 可以看出,脱硫脱硝反应前后活性炭混合钢渣复合材料均在 3740 cm^{-1} 处出现 OH 伸缩振动峰、 2920 cm^{-1} 处出现—OH 伸缩振动峰、 3450 cm^{-1} 处出现伸酰胺特征振动峰、 1630 cm^{-1} 处出现 C—O 特征振动峰和 1080 cm^{-1} 处出现 O=C—O 特征振动峰。进一步对于脱硫脱硝反应前后活性炭混合钢渣复合材料的 FTIR 可以看出,脱硫脱硝反应后的活性炭混合钢渣复合材料在 1080 cm^{-1} 处的 O=C—O 特征振动峰强度减小,说明 O=C—O 含有碱性 C=O 官能团,在催化的作用下参与反应并且增强脱硫脱硝效果;在 1433 cm^{-1} 处新出现 NO_3^- 的特征振动峰,说明在催化的作用下 NO_2 与 NH_3 生成硝酸盐物质,其反应式为 $2\text{NH}_3 + 2\text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$,增强脱硝性能。

2.3 钢渣与活性炭细度对活性炭混合钢渣复合材料性能的影响

选取钢渣为电炉热泼渣与活性炭制备活性炭混合钢渣复合材料,其中钢渣与活性炭的质量比为 2:4,钢渣与活性炭的细度分别为 250 目、300 目、350 目、400 目和 450 目。钢渣与活性炭细度对活性炭混合钢渣复合材料脱硫脱硝性能的影响见表 5。

表 5 钢渣与活性炭细度对脱硫脱硝性能的影响

Table 5 Effect of fineness of steel slag and activated carbon on desulfurization and denitration properties

Fineness of steel slag and activated carbon/mesh	Desulfurization rate/%	Denitration rate/%
250	86	45
300	97	53
350	100	56
400	100	58
450	100	58

从表 5 可以看出,随着钢渣与活性炭细度的增加,活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能均呈现先增加后趋向稳定的趋势,当钢渣与活性炭细度大于 350 目时,活性炭混合钢渣复合材料的脱硫性能达到最大,其脱硫效率为 100%;当钢渣与活性炭细度大于 400 目时,活性炭混合钢渣复合材料的脱硝性能达到最大,其脱硝效率为 58%;当钢渣与活性炭细度为 400~450 目时,活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能稳定,其脱硫效率为 100%、脱硝效率为 58%。这是因为随着钢渣与活性炭细度的适当增加,即从 100 目增加至 400 目,一方面钢渣与活性炭的粒径减小、比表面积增大,有利于提高钢渣与活性炭对烧结烟气中 NO, SO₂ 的吸附能力;另一方面钢渣与活性炭之间的接触面积增大,有利于钢渣与活性炭协同对 NO 的催化还原反应。但是随着钢渣与活性炭细度的进一步增加,即从 400 目增加至 450 目,虽然钢

渣与活性炭的粒径进一步减小,但是过小粒径的颗粒间易发生团聚,从而不能有效提高活性炭混合钢渣复合材料的脱硫脱硝性能。综上所述,当钢渣与活性炭细度为 400 目时,所制备的活性炭混合钢渣复合材料具有良好的脱硫脱硝性能。

从图 3 可以看出,一方面细度为 250~450 目的活性炭混合钢渣复合材料均具有明显层状结构,有利于活性炭混合钢渣复合材料对 SO₂ 和 NO 的吸附作用;另一方面随着钢渣与活性炭细度的增加,活性炭混合钢渣复合材料的粒径呈现减小趋势,有利于增大活性炭混合钢渣复合材料的比表面积与气体作用界面。进一步从图 3 可以看出,当细度为 250~350 目时,活性炭混合钢渣复合材料的粒径大小不均;当细度为 400~450 目时活性炭混合钢渣复合材料的粒径大小均匀,且微观形貌良好。

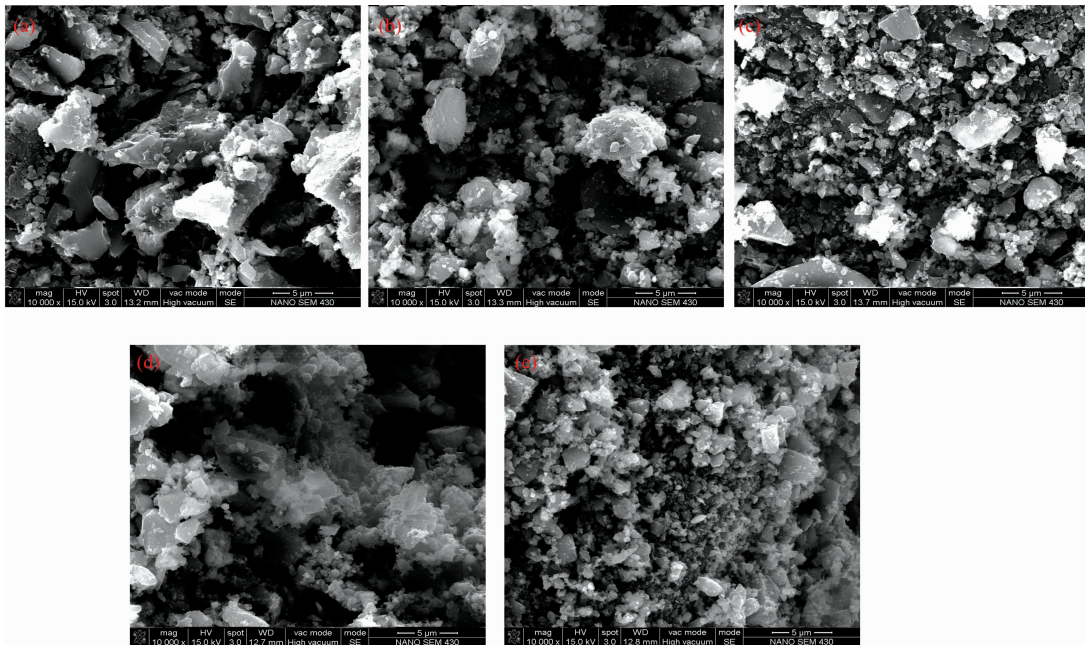


图 3 活性炭混合钢渣复合材料的 SEM 测试结果

(a): 细度为 250 目; (b): 细度为 300 目; (c): 细度为 350 目; (d): 细度为 400 目; (e): 细度为 450 目

Fig. 3 SEM test results of activated carbon mixed with steel slag composite material

(a): Fineness is 250 mesh; (b): Fineness is 300 mesh; (c): Fineness is 350 mesh;

(d): Fineness is 400 mesh; (e): Fineness is 450 mesh

3 结 论

(1) 当钢渣为电炉热泼渣、钢渣与活性炭质量比为 2 : 4、钢渣与活性炭细度为 400 目时,活性炭混合钢渣复合材料具有良好的脱硫脱硝性能与合理的经济性,即脱硫效率为

100%、脱硝效率为 58%。

(2) 活性炭混合钢渣复合材料具有的多孔结构对 SO₂ 和 NO 具有吸附作用,钢渣中 Fe₂O₃ 与 MnO₂ 促使活性炭官能团进行催化还原反应提高脱硫脱硝性能,其中吸附作用是主导与前提,催化还原反应是辅助与协同。

References

- [1] Zhang H, Fang Y. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 781: 201.
- [2] ZHANG Hao(张 浩). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2017, 37(2): 412.
- [3] Fang N J, Guo J X, Shu S, et al. Fuel, 2017, 202: 328.

- [4] Alessandro O D', Thomas H, Sambeth J E. *Reaction Kinetics Mechanisms & Catalysis*, 2014, 113(1): 257.
- [5] Yao G H, Gui K T, Wang F. *Chemical Engineering & Technology*, 2010, 33(7): 1093.
- [6] Jie D, Qin Z, Zhang S. *Journal of Molecular Catalysis A Chemical*, 2014, 393(18): 222.
- [7] ZHANG Hao, WANG Lin, LONG Hong-ming(张 浩, 王 林, 龙红明). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(7): 2302.
- [8] Ramezani-pour A A, Kazemian A, Moghaddam M A, et al. *Materials & Structures*, 2016, 49(7): 2597.
- [9] Morel F, Bounor-Legaré V, Espuche E, et al. *European Polymer Journal*, 2012, 48(5): 919.

Spectroscopic Analysis of Activated Carbon Mixed with Steel Slag Composite Material in Sintering Flue Gas of Desulfurization and Denitration

ZHANG Hao^{1,2}, FAN Wei-wei¹

1. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China

2. Key Laboratory of Metallurgical Emission Reduction & Resources Recycling (Anhui University of Technology), Ministry of Education, Ma'anshan 243002, China

Abstract Steel slag tailings are the main solid waste in metallurgical industry, with the production of 15%~20% of crude steel. The utilization ratio is quite low and only reaches 10% of steel slag tailings production due to limited technology. Meanwhile, steel slag tailings are disposed in direct stacking and landfill in general since the management system is not perfect, which pollutes land source, underground water source and air quality. Recycling of solid waste is one important method to achieve sustainable development of resources. The main chemical compositions are CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, MnO, f-CaO, etc. In the face of the above problems, the development of low price and superior performance of activated carbon mixed with steel slag composite material has become not only one of main methods to achieve the high value-added utilization of metallurgical solid waste and the sustainable development of resources, but also one of main methods to achieve the great reduction of the production cost of modified activated carbon and improve economic benefits. In this paper, activated carbon and steel slag were studied firstly, and activated carbon mixed with steel slag composite material for sintering flue gas of desulfurization and denitration was prepared by metal oxides contained in the steel slag were modified to treat the activated carbon, and desulfurization and denitration performance of activated carbon mixed with steel slag composite material was tested by setting up the experimental reaction device. Chemical component of steel slag was characterized and analyzed by X-ray fluorescence spectrometer (XRF), pore structure of activated carbon mixed with steel slag composite material was characterized and analyzed by specific surface area and pore size distribution analyzer (BET), composition structure of steel slag was characterized and analyzed by Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) and microstructure of activated carbon mixed with steel slag composite material was characterized and analyzed by scanning electron microscope (SEM), so as to reveal the mechanism of preparing activated carbon mixed with steel slag composite material from activated carbon and steel slag, and the degradation mechanism of desulfurization and denitration in sintering flue gas by activated carbon mixed with steel slag composite material. The results show that the activated carbon mixed with steel slag composite material (steel slag is layer pouring slag from electric furnace, mass ratio of steel slag to activated carbon is 2:4 and fineness of steel slag and activated carbon is 400 mesh) has good properties of desulfurization and denitration and reasonable economy with desulfurization efficiency of 100% and denitration efficiency of 58%. The porous structure of activated carbon mixed with steel slag composite material adsorbed SO₂ and NO, and Fe₂O₃ and MnO₂ in steel slag promote the catalytic reduction reaction of activated carbon functional groups to improve the properties of desulfurization and denitration, where adsorption is the leading and prerequisite, and catalytic reduction reaction is auxiliary and synergistic. It aims to provide a new way for the utilization of high value-added steel slag, and achieve the target of waste management waste and waste to increase efficiency in iron and steel enterprise.

Keywords Steel slag; Activated carbon; Desulfurization and denitration; Spectroscopic analysis; Sintering flue gas

(Received Mar. 29, 2019; accepted Jul. 30, 2019)