胺类添加剂脱硫副产物综合利用研究

周东锋[1]，龙 防[1]，刘月建[1]，关红兵[1]，章裕东[2]，龙红明[2]
(1. 安阳钢铁集团有限责任公司，河南 安阳 455000；2. 安徽工业大学 冶金工程学院，安徽 马鞍山 243032)

摘要：本文通过对某钢厂胺类添加剂脱硫副产物进行物化特性分析，设计了其综合利用的工艺流程，考查了不同浸出工艺对 S 和 K 浸出率的影响，基于此进行了硫酸铵一步法制备硫酸钾实验研究，探讨了其用于制备含钾复合肥的可行性。结果表明：在实验室条件下，较优的浸出工艺参数：温度为 35 ℃，搅拌时间为 30 min，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，研磨粒度小于 74 μm，此时，S、K 浸出率最优，分别为 85.23%、97.05%；同时滤液经蒸发、浓缩、冷却结晶后可制得 K_2O 质量分数为 60.44%，S 质量分数为 15.60%，Cl 质量分数为 0.57% 的硫酸钾产品，符合农用含钾复合肥国标要求，表明该工艺可行性较强。

关键词：胺类添加剂；脱硫；副产物；综合利用；浸出；硫酸钾
中图分类号：X757；TQ113.73 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8764(2023)01－0024－07
doi：10.13403/j.sjqt.2023.01.004

Research on comprehensive utilization of desulfurization by-products of amine additives

ZHOU Dongfeng[1], LONG Fang[1], LIU Yuejian[1], GUAN Hongbing[1], ZHANG Yudong[2], LONG Hongming[2]
(1. *Anyang Iron & Steel Group Co., Ltd., Anyang* 455000, *Henan*, *China*; 2. *School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan* 243002, *Anhui*, *China*)

Abstract: Through the analysis on physical and chemical characteristic of the desulfurization by-products of amine additives in a steel mill, the comprehensive utilization process is designed, the influence of different leaching processes on the leaching rate of S and K is investigated, the experimental research of one-step preparation of potassium sulfate by ammonium sulfate is carried out, and the feasibility of potassium-containing compound fertilizer is discussed. The results show that the optimum leaching process parameters are as follows: temperature of 35 ℃, stirring time of 30 min, solid-liquid ratio of 1∶4, stirring speed of 200 r/min and grinding particle size is less than 74 μm. At this time, the leaching rates of S and K are the best, 85.23% and 97.05% respectively. Meanwhile, potassium sulfate products with K_2O mass fraction of 60.44%, S mass fraction of 15.60% and Cl mass fraction of 0.57% can be prepared after evaporation, concentration, cooling and crystallization of filtrate, meeting the national standard requirements of agricultural potassium-containing compound fertilizer, indicating that the process is highly feasible.

Key words: amine additives; desulfurization; by-products; comprehensive utilization; leaching; potassium sulfate

铁矿烧结过程会产生大量环境污染物，包括 SO_2、CO_2、NO_x、粉尘、VOCs、PCDD/Fs 等[1]。随着钢铁企业环境问题日趋尖锐、污染物超低排放的标准不断收紧[2]，国内外研究者针对烧结烟气特性开展了多项污染物减排技术研究，其中 SO_2 减排技术包括源头控制、过程减排和末端治理[3-5]等，烧结烟气脱硫技术的开发与应用有效地降低了钢铁企业 SO_2 的排放，

收稿日期：2021－12－05；**修回日期**：2022－01－03
基金项目：国家自然科学基金资助面上项目(52174290)
作者简介：周东锋(1973—)，男，高级工程师，从事烧结、炼铁生产技术管理工作。
通信作者：龙红明(1979—)，男，教授，从事冶金固废资源化利用方面的研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

但同时也产生了大量的烧结烟气脱硫副产物。据统计，我国各大钢铁企业烧结烟气脱硫副产物总产生量超过 300 万吨/年[6]，但由于其成分复杂，性能不稳定，在利用脱硫副产物过程中容易对生态环境带来二次污染。因此如何高效利用烧结烟气脱硫副产物，成为钢铁企业亟需解决的关键共性技术难题。

烧结除尘灰含大量的铁资源、碱金属、重金属[7]，针对实现对这些资源的有效回收利用，国内外学者进行了大量的研究。张福利等[8]提出利用烧结除尘灰生产 KCl，给出了水浸－沉降分离－硫化钠除杂－分步结晶的工艺路线，可以有效缓解中国 K 矿资源短缺的问题，但该研究只对烧结除尘灰中碱金属 K 进行了处理，未涉及重金属的处理利用情况；蒋新民等[9]同样采用水洗除尘灰方式，通过一系列工艺处理制得工业级 K_2SO_4 及 KCl，并且 K 的总回收率达到 95.54%；高岩等[10]研究了通过氯化铵－盐酸体系从烧结电除尘灰中浸出金属 Pb，表明适宜的浸出体系可实现 Pb 的高效浸出，其浸出率为 98.6%；张静等[11]采用水浸－酸浸－中和－焙烧工艺流程进行处理烧结除尘灰，表明二次水浸后 K、Na 的提取率分别为 100%、97.72%。

目前，上述学者主要对烧结机头电除尘灰进行整体综合利用研究，而针对烧结过程中进行预脱硫产生的脱硫除尘灰综合利用研究较少。因此，本论文在基于胺类添加剂的烧结过程中进行预脱硫，开展脱硫副产物综合利用研究，通过对反应副产物进行水洗浸出－蒸发浓缩－冷却再结晶工艺，利用烧结脱硫除尘灰中胺类添加剂脱硫副产物硫酸铵和氯化钾资源一步法制备工业硫酸钾。

1　试验原料及方法

1.1　原料性能

在处理胺类添加剂脱硫除尘灰时，其化学成分、微观形貌及物相组成等物化性质是选择处理其综合利用方法的基础。因此，在确定合适的烧结脱硫除尘灰综合利用处理工艺前，对其物化性能进行了分析研究。

1.1.1　化学成分分析

试验原料采用某钢铁企业 500 m^2 烧结机 1#～4#电场除尘灰，其主要组成成分如表 1 所示。由表 1 可知，脱硫除尘灰中除了含有较高质量分数的 S 外，还含有大量的 K、Na 以及 Cl 等元素，其中 4#电场除尘灰中 K 质量分数最高，为 14.92%，S 质量分数相对较高为 2.01%。

表 1　烧结脱硫除尘灰主要化学成分(质量分数)

Table 1　Main chemical components of desulfurization dust removal ash in sintering process　　%

电场除尘灰	TFe	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	K	Na	S	Cl
1#	21.97	8.46	2.29	1.040	1.05	12.31	6.26	1.94	24.78
2#	19.50	7.52	1.99	0.928	0.85	14.55	6.44	1.77	26.07
3#	31.69	12.40	3.93	1.640	1.74	7.54	3.25	2.23	15.15
4#	19.84	8.77	2.19	1.050	1.10	14.92	3.49	2.01	27.17

1.1.2　物相组成分析

试样为探明除尘灰中 Fe、S、K、Na 等元素的化合形态，分别对 4 种电场烧结脱硫除尘灰进行了 XRD 分析，如图 1 所示。由图 1 可知，烧结除尘灰中 K、Na 等碱金属主要以氯化物形式存在，S 主要是以 $(NH_4)_2SO_4$ 的形态存在，氯化物溶于水，而其他元素如 Pb、Zn 等难溶于水。

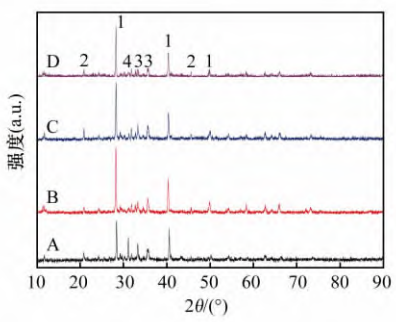
1.1.3　微观形貌分析

试样利用扫描电子显微镜分别对 1#～4#电场的烧结脱硫除尘灰进行微观形貌分析，其结果如图 2 所示。由图 2 可知，电场脱硫除尘灰均为细颗粒状，粒径较小，表面比较粗糙，疏水性较强。

1.2　试验方法

本文基于胺类添加剂脱硫除尘灰的物化特性，按照资源利用“路线最优化、成本最低化、效益最大化”的原则，设计了胺类添加剂脱硫副产物综合利用的工艺流程。由于烧结脱硫除尘

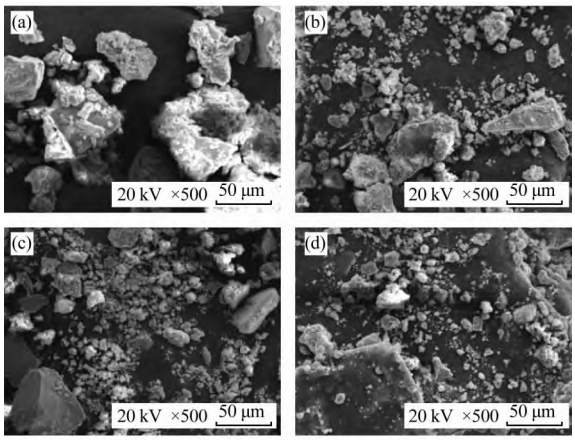
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



A—1#; B—2#; C—3#; D—4#;
1—KCl; 2—$(NH_4)_2SO_4$; 3—Fe_2O_3; 4—NaCl。

图 1 1# ~ 4# 电场除尘灰 XRD 物相分析

Fig. 1 XRD phase analysis of dust removal ash in 1# ~ 4# electric field



(a) 1#; (b) 2#; (c) 3#; (d) 4#

图 2 1# ~ 4# 电场除尘灰微观形貌分析

Fig. 2 Microscopic morphological analysis of dust removal ash in 1# ~ 4# electric field

灰中含有部分 Fe，且 K、Na、S 质量分数较高(其中 K_2O、Na_2O、S 质量分数分别达到 9%~18%、4%~9%、1%~3%)。同时，又因各级电场的烧结脱硫除尘灰其化学组成相近，因此，可通过对混合后的烧结脱硫除尘灰进行水洗浸出 K、S 等工艺，由于水洗滤液中 KCl 和 $(NH_4)_2SO_4$ 共存，可利用硫酸铵转化法一步制备粗品硫酸钾及生产农用钾肥。

试验研究了水洗条件即水洗温度、搅拌时间、固液比以及研磨粒度对 K 以及 S 浸出率的影响。碱金属的浸出率计算见式(1):

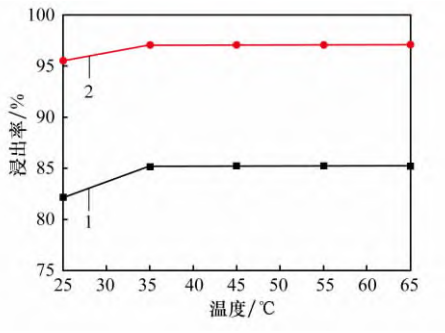
$$\mu = \left(1 - \frac{m_1 \times \beta}{m_0 \times \alpha}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: μ 为碱金属浸出率,%; m_1 为浸出渣质量，g; β 为浸出渣中碱金属质量分数,%; m_0 为试验用除尘灰质量，g; α 为除尘灰中碱金属质量分数,%。

2 结果与讨论

2.1 水洗温度对 S、K 浸出率的影响

试验在设定搅拌时间为 30 min，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，研磨粒度小于 74 μm 条件下，研究水洗温度(25、35、45、55、65 ℃)对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响，结果如图 3 所示。由图 3 可知，水洗温度对烧结脱硫除尘灰中 S、K 的浸出率影响不大. 当水洗温度为 25 ℃时，K、S 浸出率分别为 95.52%、82.15%; 当水洗温度升高至 35 ℃时，其 S、K 的浸出率达到最大值，分别为 85.23% 和 97.06%。可见，烧结脱硫除尘灰中 S、K 水洗浸出率随水洗温度变化不大，因此在烧结脱硫除尘灰水洗过程中不需进行加热，保持在正常温度条件下就可满足最大 S、K 水洗浸出率，故水洗温度可选择为 35 ℃。



1—S; 2—K。

图 3 水洗温度对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响

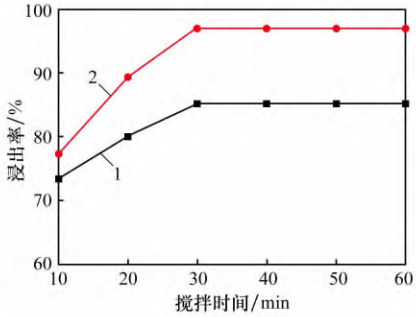
Fig. 3 Effect of washing temperature on the leaching rate of S, K in desulfurization dust removal ash

2.2 搅拌时间对 S、K 浸出率的影响

试验在设定水洗温度为 35 ℃，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，研磨粒度小于 74 μm 条件下，研究搅拌时间(10、20、30、40、50、60 min)对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响，结果如图 4 所示。由图 4 可知，烧结脱硫除尘灰中 S、K 的水洗浸出率随搅拌时间的

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

增加，呈现先急剧增加后趋于稳定的趋势。当搅拌时间为 10 min 时，烧结脱硫除尘灰水洗 S、K 浸出率较低，分别为 73.42% 和 77.29%；当继续增加搅拌时间至 30 min 时，其水洗 S、K 浸出率达到最大值，分别为 85.23% 和 97.05%，此时，烧结脱硫除尘灰中大部分元素基本已经全部浸出；当继续增加搅拌时间时，其中 S、K 水洗浸出率保持恒定，因此最佳搅拌时间可选择为 30 min。



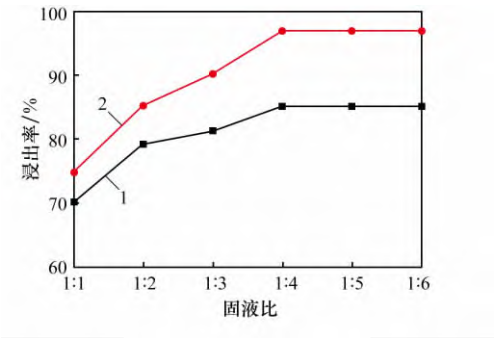
1—S；2—K。

图 4　搅拌时间对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响

Fig. 4　Effect of stirring time on the leaching rate of S，K in desulfurization dust removal ash

2.3　固液比对 S、K 浸出率的影响

试验在设定搅拌时间为 30 min，温度为 35 ℃，搅拌速度为 200 r/min，研磨粒度小于 74 μm 条件下，研究固液比(1∶1、1∶2、1∶3、1∶4、1∶5、1∶6) 对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响，结果如图 5 所示。由图 5 可以看出，当固液比为 1∶1时，S、K 水洗浸出率较低，这主要是由于此时烧结脱硫除尘灰的矿浆浓度较大，水洗溶液体系比较黏稠，导致溶解不完全，S、K 浸出率相对较低，分别为 70.15% 和 74.81%；随着固液比的增加，其 S、K 水洗浸出率也在不断地提高，当固液比为 1∶4时，该条件下的水洗溶液体系较稀，流动性较好，溶解比较充分，基本达到最佳浸出效果，S、K 浸出率分别为 85.23%、97.06%，随后继续增加水洗溶液的水量时，其浸出率虽有小幅上升，但基本保持在同一水平，因此水洗溶液的最佳固液比可选择为 1∶4。



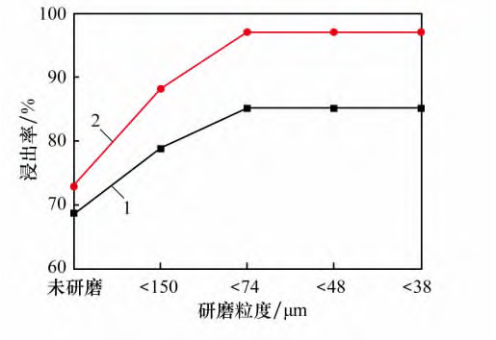
1—S；2—K。

图 5　固液比对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响

Fig. 5　The effect of solid liquid ratio on the leaching rate of S，K in desulfurization dust removal ash

2.4　研磨粒度对 S、K 浸出率的影响

试验在设定搅拌时间为 30 min，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，温度为 35 ℃条件下，研究研磨粒度(＜150、＜74、＜48、＜38 μm) 对烧结脱硫除尘灰中 S、K 水洗浸出率的影响，结果如图 6 所示。由图 6 可知，未研磨时，S、K 水洗浸出率均较低，分别为 68.61%、73.09%，这主要是由于部分大颗粒未溶解在水洗溶液体系中所致。当对烧结脱硫除尘灰进行预处理，研磨粒度达到小于 74 μm 时，除尘灰均匀分散在水洗体系中，溶解较为完全，S、K 浸出率基本达到最大值，分别为 85.23% 和 97.05%；而继续研磨至更细时，其浸出率基本为一水平线，即研磨粒度小于74 μm后，其浸出



1—S；2—K。

图 6　研磨粒度对烧结脱硫除尘灰中 S、K 浸出率的影响

Fig. 6　Effect of grinding granularity on sintering leaching rate of S，K in desulfurization dust removal ash

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

率随粒度变化不大，故烧结脱硫除尘灰中 S、K 水洗浸出最佳研磨粒度为小于 74 μm。

通过以上单因素水洗实验研究，可确定烧结脱硫除尘灰水洗浸出 S、K 的最佳实验条件：研磨粒度小于 74 μm，搅拌时间为 30 min，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，温度为 35 ℃。在此实验条件下，烧结脱硫除尘灰中 S、K 水洗浸出率分别为 85.23%、97.05%，浸出渣可通过梯度磁选分离出渣中的含铁原料进行循环利用。

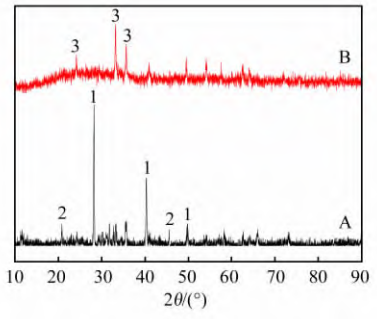
2.5 硫酸铵一步法制备硫酸钾实验研究

在上述最佳实验条件下，取 100 g 烧结脱硫除尘灰进行水洗浸出实验，并对过滤后所得的滤液主要成分进行分析，同时对水洗前后的烧结脱硫除尘灰进行 XRD 物相组成分析，测定结果分别如表 2 和图 7 所示。由表 2 可知：水洗后 K 的浸出率高达 97.05%，浸出液中主要含有 K^+、NH_4^+、Cl^-、SO_4^{2-} 4 种离子，同时还含有少量的 Na^+ 以及 Ca^{2+} 等杂质离子。且由图 7 可知，水洗后烧结脱硫除尘灰中没有明显的 KCl 和 $(NH_4)_2SO_4$ 特征峰存在，主要为 Fe_2O_3，说明水洗后烧结脱硫除尘灰中的KCl和 $(NH_4)_2SO_4$ 已基本被浸入水溶液中。

表 2 滤液主要离子化学成分分析(质量分数)

Table 2 Analysis of the main ion chemical composition of the filter **g/L**

K^+	NH_4^+	Na^+	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+} 等杂质离子
26.11	6.61	2.26	10.52	29.05	3.12



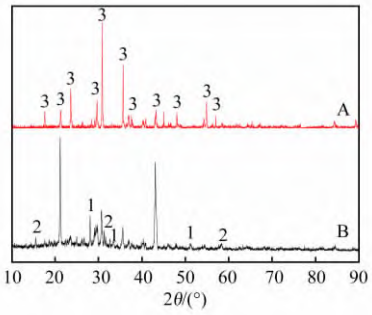
A—水洗前；B—水洗后；

1—KCl；2—$(NH_4)_2SO_4$；3—Fe_2O_3。

图 7 水洗前后烧结脱硫除尘灰的 XRD

Fig. 7 XRD diagram of desulfurization dust removal ash before and after washing

此外，由图 7 还可以看出，胺类添加剂脱硫副产物 $(NH_4)_2SO_4$ 主要赋存于烧结脱硫除尘灰中，且除尘灰中 KCl 质量分数较高，因此可考虑利用烧结脱硫除尘灰中胺类添加剂脱硫副产物 $(NH_4)_2SO_4$ 和 KCl 资源来制备工业 K_2SO_4，从而降低工业制备 K_2SO_4 成本以及实现胺类添加剂脱硫除尘灰的综合利用。首先对胺类添加剂烧结脱硫除尘灰进行水洗，水洗滤液经 NH_4HCO_3 进行沉淀除去溶液中存在的 Ca^{2+}、Mg^{2+}、Pb^{2+}、Fe^{3+} 等杂质离子后可得到较为纯净的 KCl 和 $(NH_4)_2SO_4$ 的混合水溶液，在恒温水浴中反应 1 h，然后在 90 ℃下经两级蒸发浓缩，最后在 25 ℃下冷却结晶 1 h 后分离，并于 110 ℃干燥得到晶体 a，将母液继续蒸发完全得到产物晶体 b，分别对 a、b 产物进行了 XRD 和 SEM-EDS 测定，其结果分别如图 8 和图 9 所示。由图 8 可知，冷却结晶得到的晶体 a 的主要组成为 K_2SO_4，而将母液蒸干得到的晶体 b 除了含有 K_2SO_4 外，还含有少量的 KCl 和 NH_4Cl。



A—晶体 a；B—晶体 b；

1—KCl；2—NH_4Cl；3—K_2SO_4

图 8 结晶产物的 XRD

Fig. 8 XRD of crystalline products

图 9 分别为晶体 a 和晶体 b 的 SEM 扫描电镜图片，并对图中典型物质进行 EDS 能谱元素分析。由图 9(a) 可知：晶体 a 呈现无定形粉末状，颗粒较小，晶体中 K_2O 质量分数较高，晶体 a 主要为 K_2SO_4；由图 9(b) 可知：晶体 b 生长较完整，结晶度较好，晶体中 K_2SO_4 主要为颗粒型，由于结晶次数增加，溶液中 K_2SO_4 的质量分数有所降低，Cl^- 质量分数升高，导致在结晶过程中 K_2O 质量分数降低。晶体 b 主要为

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

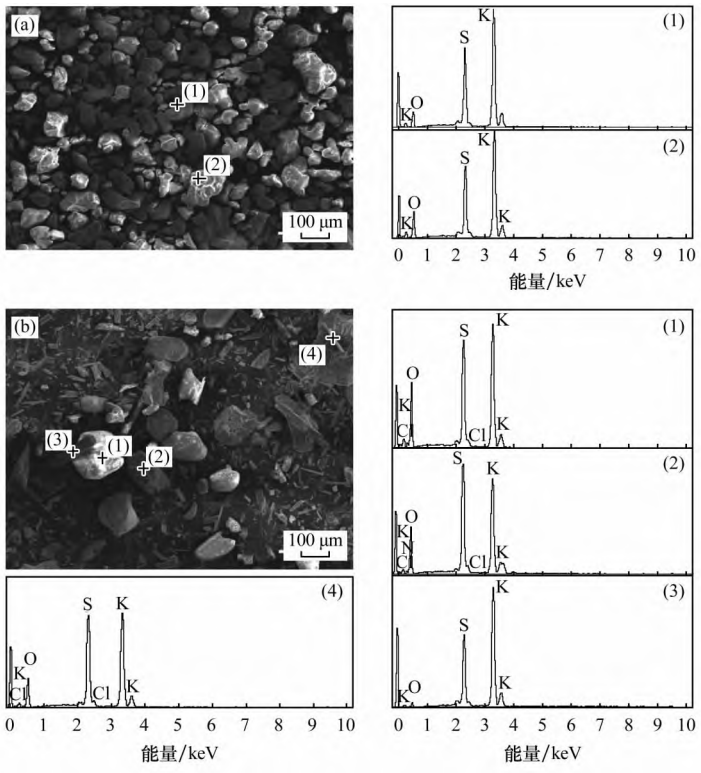
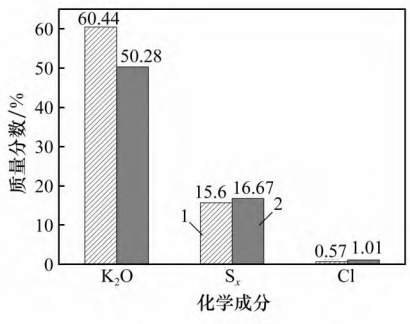


图 9　结晶产物的 SEM-EDS 图

Fig. 9　SEM-EDS diagram of crystalline products

K_2SO_4 和 NH_4Cl 以及少量 KCl 的混合物，符合含钾复合肥的原料要求。同时，对冷却结晶后的产品 a 和 b 进行化学成分测定，其主要成分如图 10 所示。由图 10 可知：产品 a 中 K_2O、S、Cl 质量分数分别为 60.44%、15.60%、0.57%；产品 b 中 K_2O、S、Cl 质量分数分别为 50.28%、16.67%、1.01%。两种产品中 K 的总转化率分别为 73.57% 和 69.83%，均符合 GB/T 20406—2017 规定的农业用 K_2SO_4 合格品要求：水溶性 K_2O 质量分数≥45.0%、S 质量分数≥15.0% 以及 Cl 质量分数≤2.0%。



1—晶体 a；2—晶体 b。

图 10　结晶产物主要化学成分

Fig. 11　Chemical composition of crystalline products

此外，该复分解反应混合结晶产物 $(K,NH_4)_2SO_4$ 和 $(K,NH_4)Cl$ 可与优等品磷肥 (P_2O_5) 进行复配，生产农用的 N、P、K 复合肥。

3　结　论

(1) 胺类添加剂脱硫后烧结除尘灰中 S 质量分数较高，大于 1.0%，同时还含有大量 K、Na 以及 Cl 等元素，其中 K、Na 质量分数分别达 14.92%、6.44%；S 主要以 $(NH_4)_2SO_4$ 的形式存在，K 和 Na 主要以 KCl 和 NaCl 的形式存在。

(2) 胺类添加剂脱硫后的除尘灰经水洗浸出 K、S 的最佳试验参数：水洗温度为 35 ℃，搅拌时间为 30 min，固液比为 1∶4，搅拌速度为 200 r/min，研磨粒度为小于 0.074 mm，此时 S、K 浸出率分别可达 85.23%、97.05%。

(3) 水洗溶液经蒸发浓缩、冷却结晶可制得 K_2O、S、Cl 质量分数分别为 60.44%、15.60%、0.57% 的 K_2SO_4 产品，符合 GB/T 20406—2017 规定的农业用 K_2SO_4 合格品要求，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

此时K的总转化率达到73.57%。

参考文献:

[1] QIAN L X, CHUN T J, LONG H M, et al. Emission reduction research and development of PCDD/Fs in the iron ore sintering[J]. Process Safety and Environmental Protection. 2018, 117: 82 – 91.

[2] 周茂军,张代华. 宝钢烧结烟气超低排放技术应用及分析[J]. 烧结球团,2019,44(3):58 – 63.
ZHOU Maojun, ZHANG Daihua. Application and analysis of ultra-low emission technology of sintering flue gas in Baosteel[J]. Sintering and Pelletizing. 2019, 44(3): 58 – 63.

[3] LONG H M, LI J X, WANG P, et al. Synthesis pathway of dioxins in iron ore sintering process[J]. Advanced Materials Research, 2011, 194 – 196: 71 – 74.

[4] 张丽,刘云义,加藤邦夫. 石灰石及盐类混合物在粉粒喷动床内的半干湿法脱硫[J]. 沈阳化工学院学报,2002,16(3):177 – 183.
ZHANG L, LIU Y, KUNIO K. Removal of SO_2 by lime stone and some salt mixture in a semidry process with powder-particle spouted bed[J]. Journal of Shengyang Institute of Chemical Technology, 2002, 16(3): 177 – 183.

[5] 郅俊懋,张春霞,王海风,等. 烧结烟气典型污染物排放形式及减排技术分析[J]. 烧结球团,2016,41(6):59 – 64.
QIE Junmao, ZHANG Chunxia, WANG Haifeng, et al. Analysis of emission situation and emission reduction technology of typical sintering flue gas pollutants[J]. Sintering and Pelletizing, 2016, 41(6): 59 – 64.

[6] 王凯,张庆国,田富中. 湿法脱硫石膏特性研究进展[J]. 环境工程,2016,34(S1):448 – 451.
WANG Kai, ZHANG Qingguo, TIAN Fuzhong. Research progress on characteristics of wet desulfurization gypsum[J]. Environmental Engineering, 2016, 34(S1): 448 – 451.

[7] 钱峰,于淑娟,侯洪宇,等. 烧结机头电除尘灰资源化再利用[J]. 钢铁,2015,50(12):67 – 71.
QIAN Feng, YU Shujuan, HOU Hongyu, et al. Recycling of the electric dust in sintering machine head[J]. Iron & Steel, 2015, 50(12): 67 – 71.

[8] 张福利,彭翠,郭占成. 烧结电除尘灰提取氯化钾实验研究[J]. 环境工程,2009,27(S1):337 – 340.
ZHANG Fuli, PENG Cui, GUO Zhancheng. Recovery of potassium chloride from sintered dust of ironmaking works[J]. Environmental Engineering, 2009, 27(S1): 337 – 340.

[9] 刘宪,蒋新民,杨余,等. 烧结机头电除尘灰中钾的脱除及利用其制备硫酸钾[J]. 金属材料与冶金工程,2011,39(3):40 – 45; 57.
LIU Xian, JIANG Xinmin, YANG Yu, et al. Removal of potassium and preparation of potassium sulfate from sintering EAF dust[J]. Metal Materials and Metallurgy Engineering, 2011, 39(3): 40 – 45; 57.

[10] 高岩,温耀儒,陈士强,等. 从烧结电除尘灰中氯化浸出铅[J]. 湿法冶金,2021,40(5):390 – 393.
GAO Yan, WEN Yaoru, CHEN Shiqiang, et al. Chloride-leaching of lead from sintered dust[J]. Hydrometallurgy of China, 2021, 40(5): 390 – 393.

[11] 张静,薛彦辉,李伟杰,等. 烧结机头灰化学浸出试验研究[J]. 烧结球团,2020,45(1):77 – 81.
ZHANG Jing, Xue Yanhui, Li Weijie, et al. Experimental study on chemical leaching of dust at sintering machine feed end[J]. Sintering and Pelletizing, 2020, 45(1): 77 – 81.

本刊编辑部版权许可声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊编辑出版的文章。本刊不收取版面费、专家审稿费(相关著作权许可使用费与审稿费相抵,不再另行支付),对优质稿件支付稿酬。作者向本刊提交文章发表的行为视为同意上述许可声明,如有异议请来稿说明,本刊将作适当处理。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net