## 焙烧改性的浮选尾煤对水中 Cr (VI) 吸附研究

李瑞,董宪姝,李宏亮,樊玉萍,马晓敏,董英荻

(太原理工大学 矿业工程学院,山西 太原 030024)

摘要:选煤厂分选产生的大量浮选尾煤给环境带来了很大的影响,本文通过焙烧法将浮选尾煤进行隔氧 惰性氛围焙烧处理,以求获得对重金属具有较好吸附活性的尾煤吸附材料,减少尾煤与重金属废水对环境的污染。结果表明,在焙烧温度为 800℃、反应温度为 45℃、反应时间为 3 h、溶液 pH 值为 3、吸附剂投放量为 1.5 g/200 mL、初始 Cr( VI )浓度为 20 mg/L 的条件下,制备的尾煤吸附剂使得浮选尾煤对水中 Cr( VI )去除率从 67%提高到 99%。SEM-EDS、XRD、BET 和 FTIR 进行分析结果发现,焙烧改性浮选尾煤比表面积增大,孔隙 增加,结晶度增加,有机碳链结构减少,易与 Cr( VI )形成离子键,满足作为良好吸附剂材料的要求。

关键词:浮选尾煤; Cr( VI ); 焙烧; 吸附

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.013 中图分类号: TD926 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0063-07

煤炭是我国的主要能源,随着采煤机械化程度的提高,原煤中矸石含量增加,经洗选后产生 大量浮选尾煤,尾煤堆积易造成土地资源浪费与 环境污染问题。由于尾煤具有储量大、比表面积高、 表面官能团多、阳离子交换性强等特点,可作为 吸附剂利用。Cr(VI)是多种工业废水处理的重点 和难点,部分学者针对煤基吸附剂对水中Cr(VI) 的吸附开展了研究,例如,Tingting Zhao等探索了 褐煤作为煤基吸附剂对水中Cr(VI)吸附的较佳条 件与机理<sup>[1]</sup>;Zhuannian Liu等<sup>[2]</sup>和Priscila Baruffi Ribeiro等<sup>[4]</sup>研究了粉煤灰作为吸附剂对Cr(VI)的 吸附性能。但对于尾煤基材料吸附Cr(VI)的特性 尚需进行深入研究。

本文依据尾煤的矿物成分和物理化学特性, 采用高温焙烧活化改性,制得了改性尾煤基吸附 剂,考察了其对水中 Cr(VI)的吸附性能和影响因 素,并采用 SEM-EDS、BET、FTIR 和 XRD 研究 了吸附剂的特性及吸附机理,为 Cr (VI)的去除和 尾煤的综合利用提供借鉴。

- 1 实验部分
- 1.1 材料与药剂

浮选尾煤来自山西省吕梁市柳湾煤矿选煤厂, 研磨至-0.125 mm,在 80℃温度下烘干 24 h 后对 其进行工业分析和元素分析,结果分别见表 1、2。

表1 浮选尾煤的工业分析 /%

Table 1	Table 1 Industrial analysis of flotation tailin		
Vad	A <sub>ad</sub>	F <sub>Cad</sub>	Mad
13.09	74.41	9.504	2.996

#### 表 2 浮选尾煤元素分析 /%

Tabl	Table 2         Elemental analysis of flotation tailings			ilings
C	0	Al	Si	Fe
54.31	32.86	5.20	5.58	1.05

重铬酸钾、丙酮和二苯碳酰二肼、氢氧化钠、 盐酸、磷酸和硫酸,均为分析纯。实验用水为超 纯水 (Mill-Q)。

收稿日期: 2020-02-20; 改回日期: 2020-03-15 基金项目: 国家自然科学基金项目(51820105006) 作者简介: 李瑞(1993-),男,硕士研究生,主要从事矿物材料方面研究。

#### 1.2 改性尾煤制备方法

将上述处理后的尾煤样品放入管式炉中,在 惰性气体氛围中焙烧,升温速度为5℃/min,降温 速度为5℃/min,到达目的温度后保持1h,采用 该方法分别制得400、600、800和1000℃条件下 的焙烧改性尾煤。

1.3 Cr(VI) 吸附量测定方法

称取 0.2829 g 重铬酸钾溶于 1000 mL 去离子 水中,得到标准 100 mg/L Cr (VI)溶液,本实验使 用国家标准(GB-7467-87)测试溶液中 Cr (VI)浓度, 实验过程中将标准溶液进行稀释即可得到所需浓 度 Cr(VI)溶液。采用 721 型可见分光光度计测定 吸光度,波长为 540 nm。

准确量取 200 mL 含不同浓度 Cr (VI) 溶液置 于 250 mL 锥形瓶中,加入改性后浮选尾煤,放置 于恒温振荡器中,调节震荡温度与吸附时间,每 隔一定时间取上清液分别进行离心和抽滤。用二 苯基碳酰二肼分光光度法 (GB-7467-87) 测定吸附 后溶液中 Cr(VI) 浓度。根据下述公式可得出吸附 率 R1 与吸附值 Q1。

吸附剂对 Cr(VI) 的吸附率(R1) 计算公式:

$$R_1 = \frac{(C_0 - C_x)}{C_0} \times 100\%$$
(1)

吸附剂对 Cr(VI) 的吸附量(Q1) 计算公式:

 $Q_1 = \frac{(C_0 - C_x)}{m} \times V \tag{2}$ 

式中: Co和 Cx 分别是初始和反应后 Cr (VI) 浓度, mg/L; V 是 Cr(VI) 溶液体积, L; m 是吸 附剂质量, g。

1.4 测试分析方法

1.4.1 扫描电镜 - 能谱分析 (SEM-EDS)

本文使用扫描电镜观察尾煤吸附剂改性前后 与吸附 Cr (VI) 前后的表面形貌分析,并借助能谱 分析测定吸附后 Cr (VI) 含量变化。仪器型号为德 国蔡司 (ZEISS) 非磁性 Gemini SEM 300,加速电 压 20 kV,分辨率为 1.2 nm(30 kV)/3.0 nm (1kV), 放大倍数 10~50 万倍。

1.4.2 红外光谱分析 (FTIR)

通过德国 BRUKER 公司的 EQUINOX 55 型红 外光谱仪,采用 KBr 压片法,对样品进行 FTIR 分 析,分辨率为4 cm<sup>-1</sup>,检测范围 4000~400 cm<sup>-1</sup>, 采用 OPUS 软件处理光谱图。

1.4.3 X 射线衍射分析 (XRD)

测试样品前在 45℃下干燥 4 h,使用日本东 京理学电机公司的 Smarlab ragiku 2019 衍射仪, 在 25℃下以 0.2 s/step 的步长扫描(其中管电流 150 mA,管电压 40 kV,DS 狭缝 0.5°,SS 狭缝 0.5°,RS 狭缝 0.1 mm,Cukα 辐射,λ=0.1540 nm, 20=5°至 90°的范围内)并记录 XRD 图谱。

1.4.4 N2 吸附 - 脱附分析 (BET)

低温液氮吸附实验:用康塔公司 IQ 全自动物 理吸附分析仪对尾煤进行低温液氮吸附实验。所 测尾煤经破碎过筛后,取样品3g,在120℃下脱气, 去除其中水分及气体杂质。

在液氮饱和温度 77.35 K 下,吸附质压力 P 与 吸附质饱和蒸气压力 P₀的比值 P/P₀在 0.01 ~ 1.09 范围内,测定样品的氮吸附 - 脱附等温线,采用 BET 多分子层吸附理论计算煤的总比表面积,通 过 BJH 模型计算煤样的孔容和孔径分布。

2 结果与分析

2.1 改性浮选尾煤吸附 Cr(VI) 的影响因素

2.1.1 焙烧温度对吸附的影响



图 1 不同焙烧温度下改性的浮选尾煤对 Cr(VI) 的吸附率 Fig.1 Adsorption rate of Cr (VI) by modified flotation tail coal at different roasting temperatures

图 1 为不同焙烧温度改性的浮选尾煤对 Cr(VI)的吸附率,由图可知,随着焙烧温度的升高, 改性尾煤对 Cr(VI)的吸附率呈先升高后降低的趋势,800℃改性后的尾煤对 Cr(VI)吸附效果较佳, 吸附率可以达到 89.9%,经过焙烧处理后的尾煤 比表面积要大于未处理前,较大的比表面积更有 利于对重金属离子的吸附。

2.1.2 Cr (VI) 初始浓度对吸附率的影响



图 2 改性的尾煤对不同 Cr(VI) 初始浓度溶液的吸附率 Fig.2 Adsorption rate of modified tailing coal to different Cr (VI) initial concentration solutions

图 2 为改性尾煤对不同 Cr(VI) 初始浓度溶液 的吸附率,由图可知吸附率随着 Cr(VI) 初始含量的 增大而增大,当 Cr(VI) 初始浓度从 1 mg/L 增加至 10 mg/L 时,吸附率明显增加,当 Cr(VI) 初始浓度增 加至 10 mg/L 以上时,基本达到饱和吸附,因此吸附 率基本保持不变。初始浓度为 (10、20 和 50) mg/L 时对应的铬离子的吸附率分别为 90.1%、96.0% 与 97.9%,为考虑实际效率,较佳浓度为 20 mg/L。 2.1.3 pH 值对吸附率的影响



图 3 不同 pH 值下改性浮选尾煤对 Cr(VI) 的吸附率 Fig.3 Adsorption rate of Cr (VI) by modified flotation tailings at different pH values

图 3 是不同 pH 值下改性的浮选尾煤对 Cr(VI) 的吸附率,由图可知 pH 值在 1~3 之间时改性浮 选尾煤对 Cr(VI) 的去除率较大,在 pH 值高于 6 时,去除率较低。Cr(VI)在酸性条件下,与改性 浮选尾煤中未燃尽的炭粒容易发生氧化还原反应, 从而生成 Cr (III)。由于 Cr (III)体积较小, 改性浮选尾煤对其更易吸附。而 pH 值在 1~3 之 间时,改性浮选尾煤存有较多的水合硅胶和水合 铝盐、这些物质能使物理吸附和化学吸附的协同 作用更好地发挥、使得去除率进一步升高。随着 pH 值不断增加、改性浮选尾煤表面所携带的正电 荷逐渐减少, 与溶液中 Cr(VI) 的静电引力逐渐减 弱,甚至由于改性浮选尾煤表面所携带负电荷而 与 Cr(VI) 产生静电斥力,造成去除率降低; 且当 pH 值过大时溶液中 Cr(VI) 会形成水解作用, 吸附 的去除率降低更为明显。

2.1.4 反应温度对吸附率的影响



图 4 不同反应温度下改性浮选尾煤对 Cr(VI) 的吸附率 Fig.4 Adsorption rate of Cr (VI) by modified flotation tailings at different reaction temperatures

图 4 是不同反应温度下改性浮选尾煤对 Cr(VI) 的吸附率,由图可知,反应时间不足 40 min 的情况下,30℃下的吸附效果略强于 45℃下的,但在 反应时间超过 40 min 之后,45℃下吸附效果较强, 最终在 120 min 时基本达到吸附饱和,吸附率曲线 逐渐趋于平缓,在 30℃下饱和吸附率为 83.9%, 在 45℃下饱和吸附率为 88.3%,因此提高反应温 度可以增强吸附效果。改性浮选尾煤处理含 Cr(VI) 溶液是一个既有物理吸附又有化学吸附的复杂过 程,物理吸附为放热反应,较低的温度有利于吸附 进行,而较高的温度会促进化学吸附的进行。物理 吸附与化学吸附协同作用下使得在 40 min 内物理 吸附作用强于化学吸附,40 min 后化学吸附速率大 于解吸附速率,因此化学吸附作用强于物理吸附, 从而出现了吸附率随温度增高而增大。 2.1.5 改性尾煤用量对吸附率的影响





图 5 为不同改性浮选尾煤用量下的 Cr(VI) 吸 附率,由图可知,改性尾煤用量在 1.5 g 与 2 g 时 吸附率最大,当吸附剂投入量为 1.5 g 时吸附率可 以达到 90.5%。原因为:随着吸附剂投入量的增加, 吸附剂比表面积增加,提供了更多的活性点,吸 附剂与溶液中 Cr(VI)的物理吸附与化学吸附作用 增强,使得对 Cr(VI)的吸附率逐渐增加。之后再 次增加吸附剂用量会使得吸附反应造成饱和吸附, 因此吸附率不再增加,因此较佳吸附剂用量为 1.5 g/200 mL。

2.2 SEM-EDS 分析

使用 SEM-EDS 对 800°下焙烧处理前后的浮 选尾煤进行 SEM-EDS 分析,图 6 为 SEM-EDS 分 析图。由图可知,不难看出,焙烧前的样品表面 较为致密,800°焙烧后的尾煤表面则较蓬松,表 面产生了多孔结构,增加了其比表面积,经过焙 烧处理后的尾煤孔隙发达更有利于吸附。



(a) 未改性尾煤×2000; (b) 未改性尾煤×1400, (c) 未改性尾煤吸附Cr(VI) 后×2000; (d) 改性后尾煤×2000; (e) 改性后尾煤吸附Cr(VI) 后×2000; (f) 改性后尾煤吸附Cr(VI) 后×1000。

图 6 改性前后的尾煤的 SEM-EDS Fig.6 SEM-EDS picture of Unmodified tailings and modified tailings

进一步对 800° 焙烧前后的尾煤样品进行吸附 前后的 EDS 能谱分析,由表 3 可知,吸附后 Cr 离 子重量百分比显著增加,从 0 增至 0.05%。焙烧处 理后的尾煤表面提供了更大的表面积使得溶液中 一部分以阴离子存在的 Cr (VI)因静电作用吸附 于其上。

表 3 焙烧改性前后元素重量百分比 /%

Table 3 Element weight percentages before and after roasting modification

mounication				
元素	未改性尾煤元素 重量百分比	改性后尾煤元素 重量百分比		
С	54.92	51.70		
0	33.56	36.59		
Al	4.88	5.05		
Si	4.92	5.22		
Cr	0	0.05		

2.3 N2 吸附 - 脱附分析 (BET)

尾煤是一种非均质物质,具有不同的孔隙分 布和粒径。尾煤的孔隙结构特征(如孔径、孔隙率、 孔比表面积和孔容等)决定了尾煤的吸附、扩散 和渗流特性。因此,尾煤的孔隙结构与吸附和解 吸关系密切。研究孔的比表面积和孔径分布的特 征对于了解尾煤对 Cr (VI) 的吸附能力是至关重 要的。通过对煤焙烧后进行 № 吸附实验,证明焙 烧处理后煤吸附能力增强了(表 4)。

Table 4	表 4 不同样	品的比表面积		
件币		秋松山衣面积 /(m·g)		
原尾煤		6.307		
焙烧 800℃后尾煤		52.389		
→ 焙烧800℃后尾煤 → 原尾煤				

图 7 尾煤 800℃下焙烧改性前后尾煤的孔径分布 Fig.7 Pore size distribution of raw tail coal and roasted 800℃ modified tail coal

D/nm

图 7 为尾煤 800℃下焙烧焙烧改性前后的孔径 分布图。由图可见, 焙烧 800℃改性后尾煤孔径分 布以中孔为主,煤样经过焙烧处理后,其破坏程 度加强,总体比表面积显著增大,其中小孔和微 孔孔体积百分比和比表面积都呈显著增大趋势, 由此可见,原尾煤焙烧以后的破坏致使孔比表面 积与孔容增大,其中小孔和微孔增大较为明显, 因此尾煤经过焙烧改性后,其吸附能力增强。

2.4 FTIR 分析





图 8 为尾煤与 800℃下焙烧改性前后的红外图 谱,在原尾煤的红外图谱中,波数为 3700、3616 cm<sup>-1</sup> 附近的尖峰为 N-H 键伸缩振动吸收峰, 3300 cm<sup>-1</sup> 处 峰主要归属为醇、酚和羧酸等的一伸缩振动吸收 峰,1621 cm<sup>-1</sup>峰归属于少量的 C=C 键伸缩振动峰, 1433 cm<sup>-1</sup> 处为 C-H 键弯曲振动峰, 1109 和 1025 cm<sup>-1</sup> 附近峰归属于 Si-O-Si 的伸缩振动峰, 908 cm<sup>-1</sup> 峰 为酯基中 C-O 伸缩振动峰、696、540 和 461 cm<sup>-1</sup> 峰主要是 Si-O-Si 和 Si-O 弯曲振动峰。在经过焙 烧处理后,发现3600 cm<sup>-1</sup> 附近的吸收峰消失,这 主要为脂肪族 N-H 等游离基团的活化能较低,且 1621 cm<sup>-1</sup> 处峰变得很微弱,这说明 C=C 双键发生 裂解、原尾煤中有机碳链结构逐渐减少、极性变 大变得更加溶于水,故在水溶液中更易与Cr (VI) 形成离子键合、导致尾煤在经过焙烧处理后吸附 Cr (VI) 的能力变强。

#### 2.5 XRD 分析

对原尾煤(Y)、400℃焙烧后尾煤(Y400)、 800℃焙烧后尾煤(Y800)和1000℃焙烧后尾煤 (Y1000)样品进行 XRD 分析,分析结果见图 9。



原尾煤和 800℃焙烧后尾煤的主要成分是石英 (SiO<sub>2</sub>)、 高 岭 石、CaCO<sub>3</sub>、CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、CrO<sub>3</sub> 和 K(Al<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>9</sub>(OH<sub>3</sub>)。4 个煤样的衍射曲线在形状上的 变化具有一定的规律性,即随着温度的升高,也 就是煤的变质程度的提高,衍射曲线上的布拉格 峰的高度也相应地增加, 衍射峰的宽度则渐渐变 窄, 衍射峰的位置慢慢地向θ角大的一边偏移。

同时煤样的物理性能取决于相对结晶度。 利用 XRD 附带分析软件 MDIJade 9.0 计算相对 结 晶 度 Y=84.56%, Y400=83.88%, Y800=89.50, Y1000=89.41%。Y800 的结晶度大于 Y 的结晶度, Y800 的物理性能要优于 Y 的物理性能。并且从半 定量计算结果中明显可以看出, Y800 中的 Cr 离子 比 Y 中 Cr 离子多, 我们在能谱中也证明了 Y800 中的 Cr 元素多于 Y 中的 Cr 元素。X 衍射证明了 800℃焙烧后 Cr 离子吸附于煤样上比吸附于原尾 煤上多。因此, 焙烧温度为 800℃处理后的尾煤吸 附 Cr(VI) 效果大幅提高。

3 结论

(1) 焙烧能够获得具有吸附活性的尾煤吸附 材料,对 Cr (VI) 具有较好的吸附效果,较佳吸附 条件下对水中 Cr (VI) 去除率可达到 99%。处理后 的尾煤比表面积增大,孔隙增加,结晶度增加, 有机碳链结构减少,易与 Cr (VI) 形成离子键。

(2) 焙烧改性的浮选尾煤吸附溶液中的
Cr(VI),饱和吸附时间为3h、较佳吸附pH值为
3、较佳反应温度为45℃,较佳吸附剂投放量为
1.5 g/200 mL,较佳焙烧温度为800℃,较佳 Cr (VI)
浓度为20 mg/L。

### 参考文献:

[1]ZHAO T T, GE W Z, NIE Y X. Highly efficient detoxification of Cr (VI) by brown coal and kerogen:Process and structure studies[J]. Fuel Processing Technology, 2016 (150): 71-77.

[2]LIU Z N, ZHANG Y Y, AN Y K. Influence of coal fly ash particle size on structure and adsorption properties of forming adsorbents for  $Cr^{6+}$ .[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2016(1):58-63.

[3] 尚瑞瑞. 煤矸石基多孔材料的制备及其对 Pb<sup>2+</sup> 的吸附性能研究.[D]. 沈阳:东北大学.2019

SHANG R R. Preparation of gangue based polyporous

materials and their adsorption performance for Pb<sup>2+</sup>. [D]. Shenyang: Northeastern University. 2019

[4]Priscila Baruffi Ribeiro, Vitoria Olave de Freitas, Karine Machry; Evaluation of the potential of coal fly ash produced by gasification as hexavalent chromium adsorbent[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018(12), 13.

[5] 刘金燕, 刘立华, 薛建荣, 等. 重金属废水吸附处理的研 究进展 [J]. 环境学, 2018, 37(9): 2016-2024.

LIU J Y, LIU L H, XUE J R, et al. Research progress in the treatment of heavy metal wastewater by adsorption [J]. Environmental Science, 2018,37(9): 2016-2024.

[6] 唐志东,韩跃新,李艳军,等.袁家村铁矿尾矿再选试验 研究[J].矿产综合利用,2018(1):106-110.

TANG Z D, HAN Y X, LI Y J, et al. Experimental study on reconcentration of Yuanjiacun iron ore tailings [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2018 (1): 106-110.

[7] 刘立华,杨正池,赵露.重金属吸附材料的研究进展[J]. 中国材料进展,2018,37(2):100-108+125.

LIU L H, YANG Z C, ZHAO L. Research progress of heavy metal adsorption materials [J]. China Materials Progress, 2018,37(2):100-108+125.

[8] 周建, 陈小凤, 尹砾珩, 等. 以炉渣为载体处理重金属废 水的吸附研究 [J]. 环境科学导刊, 2018, 37(2): 81-84.

ZHOU J, CHEN X F, YIN L H, et al. Study on the adsorption of heavy metal wastewater with slag as carrier [J]. Environmental Science Review, 2018, 37(2): 81-84.

[9] 陈富松, 袁闯, 李国富, 等. 煤矸石的综合利用研究进展 [J]. 产业与科技论坛, 2017, 16(2): 72-73.

CHEN F S, YUAN C, LI G F, et al.Research progress on comprehensive utilization of coal gangue [J]. Industry & Technology Forum, 2017, 16(2): 72-73.

[10] 梁永生. 煤矸石资源化利用现状与进展研究 [J]. 能源与 节能, 2019(1): 72-73.

LIANG Y S. Study on the status and progress of coal gangue resource utilization [J]. Energy and Energy Conservation, 2019(1): 72-73.

[11] 陆红羽.煤炭固体废物综合利用途径分析及展望[J]. 煤炭加工与综合利用,2016(9):73-75.

LU H Y. Analysis and prospect of comprehensive utilization of coal solid waste [J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization,2016(9): 73-75.

[12] 牛福生, 刘亚, 张晋霞. 悬振锥面选矿机分选除尘灰尾 矿试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2018(4): 75-78.

NIU F S, LIU Y, ZHANG J X. Experimental study on dust removal tailings of suspended vibration cone separator [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2018(4): 75-78. [13] SHANG Z B, LI W Z, ZHAO X Y, et al. Removal of Pb(II), Cd(II) and Hg(II)from aqueous solution by mercaptomodified coal gangue[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 231: 391-396.

[14] QIU RF; CHENG F Q. Modification of waste coal gangue and its application in the removal of Mn2+ from aqueous solution[J]. Water science and technology, 2016, 74(2): 524-534.
[15] 刘金亮.高炉渣吸附剂对重金属离子吸附性能研究 [D]. 呼和浩特: 內蒙古科技大学, 2015.

LIU J L. Study on the adsorption performance of heavy metal ions by blast furnace slag adsorbent [D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2015.

[16] Arslan G, Edebali Sand Pehlivan E. Physical and chemical factors affecting the adsorption of Cr (VI) via humic acids extracted from brown coals[J]. Desalination, 2010, 255(1-3): 117-123.

[17] CHEN Z F, ZHAO Y S, ZHANG J W. Mechanism and kinetics of hexavalent chromium chemical reduction with sugarcane molasses[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2015, 226(11): 363-371.

[18] 郭丽敏, 王怀法. 非离子表面活性剂对高灰细粒难浮煤 泥的浮选促进作用 [J]. 矿产综合利用, 2018 (4): 97-100.

GUO L M, WANG H F. Effect of non-ionic surfactant on flotation of high ash fine refractory coal slime [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018 (4): 97-100.

[19] 杨静, 房孝敏, 李改平, 等. 煤基成型吸附剂对含铬废

水吸附性能的研究 [J]. 广东化工, 2012, 39(7): 120-122.

YANG J, FANG X M, LI G P, et al. Study on the adsorption performance of coal-based molding adsorbent for chromium containing wastewater [J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(7): 120-122.

[20] 罗道成, 刘俊峰, 李忠远. 用磺化褐煤处理含铬(VI) 废水的研究 [J]. 煤化工, 2010 (2): 36-38.

LUO D C, LIU J F, LI Z Y. Study on the treatment of wastewater containing chromium (VI) by sulfonated lignite [J]. Coal Chemical Industry, 2010 (2): 36-38.

[21] 刘翠霞, 邓昌亮, 徐海宁. 龙口褐煤对废水中 Cr (VI) 的吸附与还原 [J]. 化工环保, 1996, 16(6): 337-342.

LIU C X, DENG C L, XU H N. Longkou lignite Cr (VI) in waste water by adsorption and reduction [J]. Journal of chemical industry environmental protection, 1996, 16 (6) : 337-342.

[22] Bhattacharyya KG, Gupta SS. Adsorption of chromium(VI) from water by clays[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2006, 45: 7232-7240.

[23] 薛季玮, 姚金, 印万忠, 等. 从铬冶炼产物中回收金属 铬的选矿试验研 [J]. 矿产综合利用, 2018 (4): 113-116.

XUE J W, YAO J, YIN W Z, et al. Experimental study on recovery of chromium from smelting products [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018 (4): 113-116.

# Effect of Roasting Modified Flotation Tail coal on Cr(VI) Adsorption in water

Li Rui, Dong Xianshu, Li Hongliang, Fan Yuping, Ma Xiaomin, Dong Yingdi

(School of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology Taiyuan, Shanxi, China)

Abstract: A large number of flotation tailings produced by the coal preparation plant have a great impact on the environment. In this paper the flotation tailings are calcined in an oxygen-inert atmosphere through a roasting method in order to obtain a good adsorption activity for heavy metals. The tailing coal adsorption material can, reduce the environmental pollution of tailing coal and heavy metal wastewater. The results showed that under the conditions of roasting temperature of 800°C, reaction temperature of 45°C, reaction time of 3 hours, solution pH of 3, adsorbent dosage of 1.5 g/200 mL and initial Cr (VI) concentration of 20 mg/L the prepared tailing coal adsorbent increased the removal rate of Cr (VI) from water by flotation tailing coal from 67% to 99%. The results of SEM-EDS, XRD, BET and FTIR analysis indicated that the specific surface area of roasted modified flotation tail coal increased, pores increased, crystallinity increased, organic carbon chain structure decreased, and ionic bonds with Cr (VI) were easily formed. And it can require as a good adsorbent material.

Keywords: Flotation tail coal; Cr (VI); Roasting; Adsorption