

工业固废制备聚合氯化铝铁及其在煤泥废水处理中的应用

孙英娟, 周旋, 岳丽娜, 黄保利

(华北科技学院 化学与环境工程学院, 河北 燕郊 065201)

摘要: 以炼铁矿渣和粉煤灰为主要原料, 通过酸溶、聚合和熟化过程制备了无机高分子絮凝剂聚合氯化铝铁 (PAFC), 并将之用于煤泥废水的处理。结果表明, 铝铁溶出较佳条件: 盐酸浓度为 5 mol/L, 液固比为 3.0 mL/g, 酸溶温度为 85℃, 酸溶时间为 2.0 h, 在此条件下炼铁矿渣铁的溶出率 95%, 铝的溶出率为 65%; 粉煤灰铁的溶出率 90%, 铝的溶出率为 70%。探究了不同 Al/Fe 摩尔比的 PAFC 对煤泥的絮凝性能, 发现 Al/Fe 摩尔比为 1:0.66 的 PAFC 絮凝效果最好; 几种絮凝剂絮凝试验结果表明: 制得的 PAFC 的絮凝性能优于聚合氯化铝 (PAC)、聚合氯化铁 (PFC) 以及 PAC 和 PFC 混合复配物, 煤泥水上清液的透过率可达 95%。

关键词: 炼铁矿渣; 粉煤灰; 酸浸; 聚合氯化铝铁; 絮凝剂

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.025

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 01-0144-07

絮凝剂被普遍应用于水处理领域中, 聚铝 (PAC) 和聚铁 (PFC) 是常用的两种无机絮凝剂。PAC 的优点是矾花大、水处理面宽、除浊性能好、对设备管路腐蚀性能小, 缺点是生物毒性大、絮体生成慢、絮体轻、沉降慢^[1]; PFC 虽然沉降快、易于分离、低温水处理性能好、水处理 pH 值范围大, 但其出水不清、色度高^[2]。聚铝 (PAC) 和聚铁 (PFC) 在水处理过程中各具优势, 然而缺点明显, 絮凝效率低下。如能将 PAC 和 PFC 两者取长补短, 将是一种理想的复合絮凝剂, 聚合氯化铝铁 (PAFC) 是近十年发展起来的一种新型高效的铝铁复合絮凝剂, 它既能兼具聚铝和聚铁两类絮凝剂的优势特性^[3], 又能克服两者缺点, 符合人们的期望, PAFC 尤其在 COD 去除率、悬浮物 (SS)、脱色方面, 具有显著效果^[4]。因此, PAFC 逐渐成为絮凝剂的主流产品, 需求急剧增加, 但由于其制备的原

材料铝酸钙粉价格不断上涨^[5], 使 PAFC 的研究及应用受到一定的限制。

近年来, 应用多种工业废渣进行制备 PAFC 的文献有诸多的报道^[6-9], 这是一种变废为宝的合成 PAFC 的方法, 原料来源广泛, 成本低廉, 可达到以废治废的目的^[10]。煤矸石、高铁铝土矿、铝酸钙粉、高岭土等工业原料都可用来制备 PAFC, 但单一的原料要么富铁贫铝, 要么富铝贫铁, 制备出的 PAFC 产品中 Al/Fe 摩尔比不够明确, 然而 Al/Fe 比是影响 PAFC 结构的重要因素进而也影响其絮凝性能^[11], 因此本文利用富含铁的炼铁矿渣 (Slag) 和富含铝的粉煤灰 (Flyash) 的两种原料酸溶过滤后, 将富含 Fe³⁺ 的 Slag 滤液及富含 Al³⁺ 的 Flyash 滤液按照一定的比例进行复配, 制备了不同 Al/Fe 摩尔比的无机高分子 PAFC, 并将之应用于煤泥水絮凝处理, 从而得出较佳的制备及应用条件。

收稿日期: 2019-09-12; 改回日期: 2019-12-04

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助 (3142017098, 3142017099); 河北省重点研发计划自筹项目资助 (17271308)

作者简介: 孙英娟 (1977-), 女, 硕士, 副教授, 从事水处理絮凝剂研究。

通讯作者: 周旋 (1984-), 女, 博士, 讲师, 从事功能高分子材料研究。E-mail: 201701255@ncist.edu.cn

1 实验部分

1.1 原料

细粒煤，粒度 0.75 μm，太原选煤厂；

炼铁矿渣、粉煤灰，工业级，唐山瑞丰钢铁有限公司；

氢氧化钠，工业级，天津化学试剂厂；

盐酸，工业级，河北保定化工厂；

聚合氯化铝 (PAC，市售，固体，氧化铝质量分数 30%)；

聚合氯化铁 (PFC，市售，固体，全铁质量分数 20%)。

1.2 仪器设备

真空干燥箱，DZF-6020MBE，上海博迅实业有限公司；

红外光谱仪，Nicolet-IS5，赛默飞世尔科技(中国)有限公司；

火焰原子分光光度计，GGX-6000，科创海光；

电子天平，FA2204B，上海佑科仪器仪表有限公司；

能谱仪，EDS-NSS，ThermoFisher SCIENTIFIC；

酸度计，PHS-3C，上海雷磁；

可见光分光光度计，722G 型，上海精科仪电。

1.3 元素分析及试样制备

1.3.1 炼铁矿渣及粉煤灰的元素分析

经粉碎过的 Slag 和煅烧过的 Flyash 过 0.15 mm 筛后，采用能谱仪 (EDS-NSS) 分析其化学组成，其元素组成见图 1~2；根据 EDS-NSS 数据进行定量分析，各元素金属氧化物含量见表 1。由表 1 可以看出，Slag 富 Fe 贫 Al 而 Flyash 富 Al 贫 Fe，因此制备 PAFC 的 Fe³⁺ 主要从 Slag 中获取，而 Al³⁺ 主要从 Flyash 中提取。

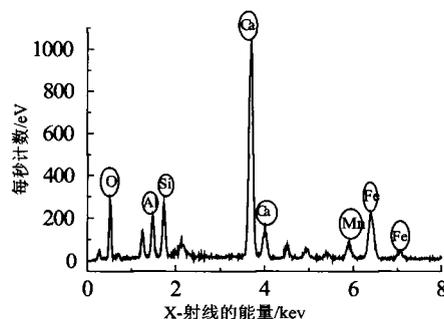


图 1 炼铁矿渣组成元素 EDS-NSS 能谱

Fig. 1 EDS-NSS spectrum of composition Elements in Iron Slag

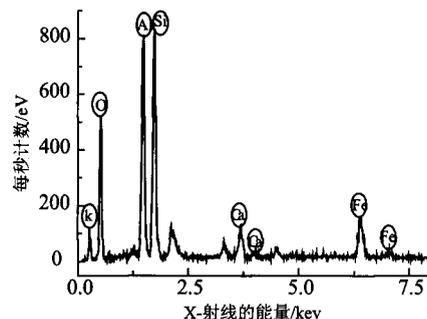


图 2 粉煤灰组成元素 EDS-NSS 能谱

Fig. 2 EDS-NSS spectrum of composition Elements in flyash

表 1 炼铁矿渣 (Slag) 和粉煤灰 (Flyash) 原料组成
Table 1 Raw material composition of slag and fly ash

元素及氧化物	O	Ca/ CaO	Si/ SiO ₂	Fe/ Fe ₂ O ₃	Mn/ MnO	Al/ Al ₂ O ₃
Slag 元素及氧化物含量 /%	41.41	19.90/ 27.86	6.27/ 13.43	9.34/ 12.90	3.15/ 4.07	3.15/ 4.36
Flyash 元素及氧化物含量 /%	51.11	0.85/ 1.66	17.78/ 24.34	1.2/ 3.27	0/ 0	13.42/ 17.65

1.3.2 试样制备

将炼铁矿渣 (Slag) 与一定浓度的盐酸按一定的固液比加入到三口烧瓶中，水浴加热充分搅拌，在一定温度下反应一段时间，其中 Ca、Fe、Al 元素以氯化物的形式溶解于稀酸，而 Mn 和 Si 的氧化物因不溶于稀酸而富集在残渣中，蒸发结晶析出浸出液中的 CaCl₂，真空抽滤。取出定量酸滤液，采用火焰原子吸收光谱定量分析 Fe³⁺、Al³⁺ 浓度并计算出炼铁矿渣 Fe³⁺、Al³⁺ 浸出率。粉煤灰 (Flyash) 中 Fe³⁺、Al³⁺ 浸出及计算同上。将

Fe³⁺ 较高浸出率的 Slag 滤液及 Al³⁺ 较高浸出率的 Flyash 滤液浓缩, 并按照一定的 Al/Fe 摩尔比混合, 在 80℃ 下缓慢滴入 1 mol/L 的 NaOH 溶液, 调节碱化度 B=3(B=[OH]/([Fe+Al])), 在反应开始时加入一定量 NaClO 溶液, 防止反应过程中 Fe³⁺ 被还原为 Fe²⁺。反应 2 h 后, 冷却, 在 30℃ 陈化 12 h, 浓缩干燥得到产物聚合氯化铝铁 (PAFC)。

1.4 共聚物的絮凝性能实验

(1) 煤泥水试样: 采用太原选煤厂的浮选尾煤泥样, 煤泥浓度 35 g/L, 其粒度组成与灰分含量见表 2。

表 2 煤样粒度组成与灰分含量

Table 2 Particle size composition and ash content of coal samples

煤样	粒度组成 / μm				灰分
	500 ~ 200	200 ~ 125	125 ~ 75	≤ 75	
浮选尾煤 /%	7.8	25.80	28.90	48.50	57.59

该煤样的特点是煤粒度细, 灰分高, 属于难处理煤泥。

(2) 实验絮凝剂: 商品级聚合氯化铝 (PAC), 聚合氯化铁 (PFC), 浓度 0.1%; 自制聚合氯化铝铁 (PAFC), 浓度 0.1%。

(3) 絮凝剂性能测试方法: 絮凝剂性能可以用自由沉降实验来评价。将上述煤泥水试样装入 500 mL 量筒中, 加入一定量的药剂, 并双向翻转量筒 10 个回合后, 使其溶解均匀, 静置沉降 10 min, 取上层清液测定其透光率, 来分析自由沉降实验效果。

2 结果与讨论

2.1 Fe 和 Al 浸出分析

以粉煤灰和炼铁矿渣的 Fe、Al 的浸出率为优化目标, 采用单因素分析法来研究酸的浓度、固液比、酸溶温度、酸溶时间因素对铝铁浸出率的影响, 从而确定较佳条件下 Fe³⁺、Al³⁺ 的溶出率。

2.1.1 盐酸浓度对 Fe、Al 的溶出率的影响

盐酸浓度对 Fe、Al 的溶出率的影响见图 3。

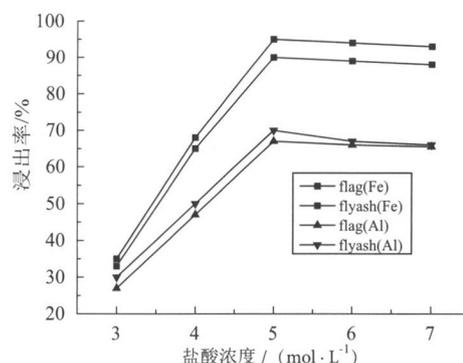


图 3 盐酸浓度对铁铝浸出率的影响

Fig. 3 Effect of hydrochloric acid concentration on the extraction of Fe and Al

从图 3 可以看出, 酸浓度的逐渐增加会使铝、铁浸出率快速升高, 然而在浓度高于 5 mol/L 时, 盐酸挥发速度加快, 酸的有效利用率低导致铝铁浸出率有所下降。从铝铁的溶出率及酸的挥发量等因素综合考虑, 控制盐酸的较佳浓度为 5 mol/L。

2.1.2 液固比对 Fe、Al 的溶出率的影响

液固比对 Fe、Al 的溶出率的影响见图 4。

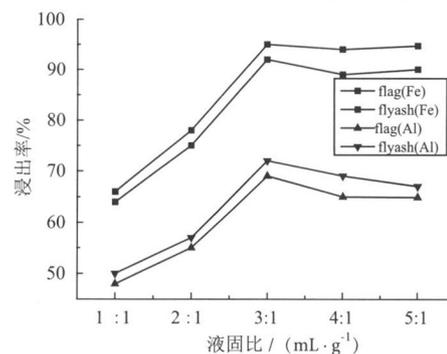


图 4 液固比对铁铝浸出率的影响

Fig. 4 Effects of L/S ratio on the extraction of Fe and Al

由图 4 中可知, 增加液固比即增加了废渣与酸的接触面积^[12], 铝、铁溶出率也会持续增加, 如继续加大液固比, 过量的盐酸将导致水解聚合时碱化剂氢氧化钠的用量增加。因此, 适宜的液固比应控制在 3 mL/g。

2.1.3 酸浸温度对 Fe、Al 的溶出率的影响

酸浸温度对 Fe、Al 的溶出率的影响见图 5。

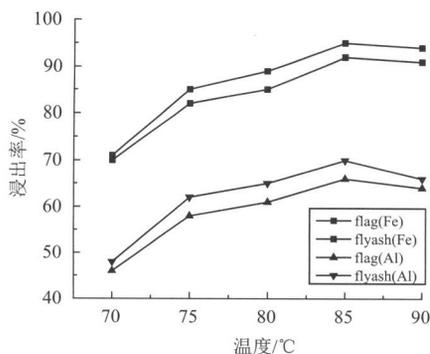


图 5 酸浸温度对铁铝浸出率的影响

Fig. 5 Effects of leaching temperature on the extraction of Fe and Al

图 5 表明了铁、铝浸出液随温度增加浸出率增长均匀平缓。当温度超过 85 °C 时，铝铁的浸出率呈现微小下降趋势。这是由于随着温度的升高，加快了盐酸挥发，同时也促使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 水解的速率加快，导致铝铁的溶出率下降^[13]。所以，85 °C 是较佳酸浸温度。

2.1.4 酸浸时间对 Fe、Al 的溶出率的影响

酸浸时间对 Fe、Al 的溶出率的影响见图 6。

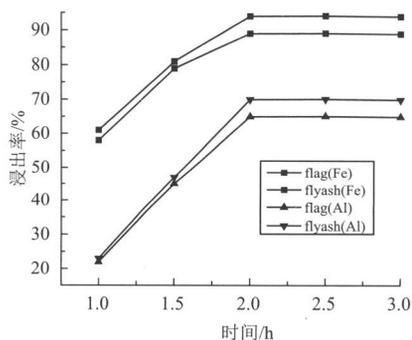


图 6 酸浸时间对铁铝浸出率的影响

Fig. 6 Effects of leaching time on the extraction of Fe and Al

从图 6 可以看出，在反应初期，盐酸的浓度较大，使铝、铁的溶出率迅速提高，随着反应的进行，2.0 h 后酸的浓度降低，大部分铁铝已经溶出，从而导致溶出率趋缓。因而，确定反应时间为 2.0 h。

2.1.5 酸溶结果小结

从图 3 ~ 6 可以看出，在任一因素下，2 种废渣的 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 浸出率呈现出相同的规律，较高浸出率的峰值出现的位置也大致相同。2 种废渣 Al^{3+} 的浸出率均低于 Fe^{3+} ，表明铝在常压下浸出反应不

完全，然而 Flyash 中 Al^{3+} 的浸出率高于 Slag，说明经过煅烧过的 Flyash 因为 Si-Al 键的断裂使铝的活性增强^[14]。综上所述，以获取 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 较高浸出率为目标，2 种废渣酸溶的较优试验条件为：酸的浓度为 5 mol/L、液固比为 3 mL/g、酸浸时间 2 h、酸浸温度 85 °C。在此条件下，Slag 铁的溶出率 95%，铝的溶出率为 65%；Flyash 铁的溶出率 90%，铝的溶出率为 70%。

2.2 PAFC 红外光谱分析

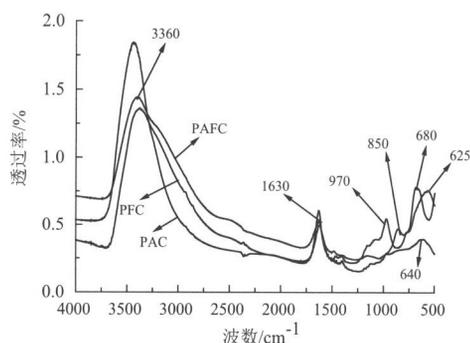


图 7 PAC、PFC 与自制的 PAFC 红外光谱

Fig. 7 Infrared spectrum of PAC、PFC and self-prepared PAFC

由图 7 可见，在 PAFC 图谱中，3360 cm^{-1} 处为 Al-OH、Fe-OH、H-OH 伸缩振动峰叠加的结果，而 1630 cm^{-1} 处为 H-OH 弯曲振动峰^[15]，在 PAFC 中虽然同时存在 PFC 图谱中 970 cm^{-1} 处弯曲振动峰及 PAC 图谱中 850 cm^{-1} 处弯曲振动峰，但由于出现了 Al 和 Fe 原子的替代，即出现了 Fe-OH-Al 和 Al-OH-Fe，使得 PAFC 这两处的基团的振动频率大大减弱并消失^[16]，这说明 Fe(III) 羟合物与 Al(III) 羟合物交叉共聚的作用加强，生成了目标产物含铝水羟合铁 (PAFC)，同时 680 cm^{-1} 和 625 cm^{-1} 处整体弯曲振动峰相互迭加形成了在 PAFC 图谱中以 640 cm^{-1} 为主峰的宽峰^[17]，这也是 PAFC 区别于 PAC 和 PFC，以 Al-Fe 羟合共聚体形态存在的有力证据。

2.3 PAFC 絮凝性能分析

2.3.1 Al/Fe 摩尔比对絮凝性能的影响

将 Al^{3+} 较高溶出率条件下的 Flyash 滤液和 Fe^{3+} 较高溶出率条件下的 Slag 滤液按不同 Al/Fe 摩

尔比复配，从而研制出不同 Al/Fe 摩尔比絮凝剂 (PAFC)，将不同 Al/Fe 的 PAFC 处理相同条件下的煤泥废水，上清液的透过率见表 3。

表 3 Al/Fe (摩尔比) 对 PAFC 絮凝性能影响
Table 3 Effect of Al/Fe(molar ratio) on the flocculation performance of PAFC

滤液中 n(Al) : n(Fe)	1:0.10	1:0.24	1:0.44	1:0.66	1:1	1:1.5
PAFC 中 n(Al) : n(Fe)	1:0.28	1:0.35	1:0.56	1:0.68	1:1.2	1:1.8
煤泥水上清液透过率/%	85	86	87	91	90	88

由表 3 可知，随着 Al/Fe 摩尔比的降低，PAFC 絮凝性能先增加后减少，说明随着铁含量的增加，Fe³⁺、Al³⁺ 都能够以相宜的速度进行水解聚合反应，生成同时具有这两种离子的多核羟基络合物^[18]，高聚物的链状结构使网捕卷扫能力提高^[19]。继续增大 Fe 含量，因 Fe³⁺ 的水解速度大于 Al³⁺ 会迅速生成凝胶沉淀物^[20]，相应的多核羟基络合物含量减少，因此使共聚物由链状结构变成密实的网状结构，最终生成大量的无定型凝胶，促进了不可逆的氢氧化物沉淀的生成^[21]，使 PAFC 的电中和能力和架桥网捕能力下降，因而其混凝性能下降。因此，控制好 Al/Fe 摩尔比，才能使铁铝水解产物发挥更好的絮凝效果，本试验中，Al/Fe 摩尔比较佳比为 1:0.68。

2.3.2 几种不同絮凝剂对煤泥水絮凝性能的影响

考查了在煤泥水浓度为 35 g/L，PAFC(1:0.68)、PAC、PFC 絮凝剂溶液浓度为 0.1%^[22-23] 的条件下，絮凝剂用量均为 100 mg/L 时，几种絮凝剂对煤泥样品的絮凝处理效果，结果见图 8。

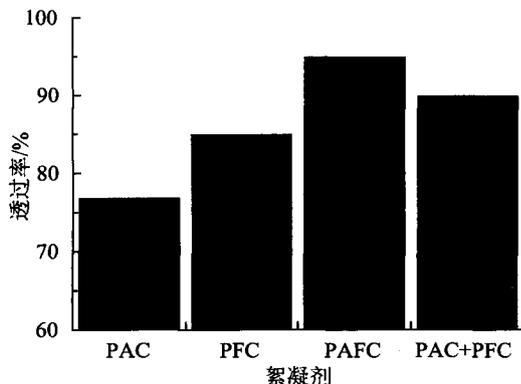


图 8 几种絮凝剂比较的性能比较

Fig. 8 Performance comparison of different flocculants

由图 8 可知，几种絮凝剂中，PAFC 的上清液透光率最高，达 95%。

在处理浮选煤泥时，PAFC 絮凝沉降效果大大优于 PAC 和 PFC，这是因为 Fe、Al 存在使 PAFC 带有大量正电荷，能够有效降低煤泥水胶体表面的负电荷，使胶体间的表面斥力下降发生絮凝^[24]；即使 PAC 和 PFC 混合复配后，絮凝效果得到了一定程度的提高，但其絮凝效果也远远不如 PAFC，这是因为聚合氯化铝铁 (PAFC) 中 Al-Fe 羟合共聚的形态结构为均相结构^[25]，不同于聚铁盐和聚铝盐的混合物，在絮凝过程中除了上述的电中和能力之外，Al-Fe 之间通过羟化而形成的网状结构能够提高了 PAFC 对污染物的网捕架桥能力。

3 结 论

(1) 通过酸溶炼铁矿渣和粉煤灰提取其滤液中的 Fe³⁺、Al³⁺ 并进行有效利用，合成了 PAFC。

(2) 使用单因素变量法来获得高浸出率的 Fe³⁺、Al³⁺ 较佳参数：盐酸浓度 5 mol/L，液固比为 3 ml/g，酸浸温度 85℃，酸浸时间 2 h，在此条件下，Slag 铁的溶出率 95%，铝的溶出率为 65%；Flyash 铁的溶出率 90%，铝的溶出率为 70%。

(3) 将 Al³⁺ 较高溶出率条件下的 Flyash 滤液和 Fe³⁺ 最高溶出率条件下的 Slag 滤液按不同比例复配，研制出不同 Al/Fe 摩尔比絮凝剂 (PAFC)。

(4) Al/Fe 摩尔比会影响 PAFC 中水解物的类型分配，从而影响其羟化而成的网状结构的紧密程度及架桥网捕性能的大小。因此为达到良好的混凝性能，铝铁的摩尔比需要保持一定的值，对于煤泥水样，Al/Fe 比为 1:0.68 的 PAFC 絮凝性能表现较佳。

(5) 将自制的 PAFC(1:0.68)、PAC、PFC 及 PAC-PFC 的混合复配剂处理同等条件下煤泥废水，在絮凝剂添加量相同条件下，PAFC 具有优异的絮凝性能，表现为上清液透光率较高，达 95%。

参考文献:

- [1] 胡俊虎, 刘喜元, 李晓宏, 等. 复合型絮凝剂聚合氯化铝铁 (PAFC) 的合成及其应用 [J]. 环境化学, 2007(1):37-38.
HU J H, LIU X Y, LI X H, et al. Synthesis and application of composite flocculant polyaluminum-ferric chloride (PAFC) [J]. Environmental Chemistry, 2007(1):37-38.
- [2] Zouboulis A I, Moussas P A, Vasilakou F. Polyferric sulphate: Preparation, characterisation and application in coagulation experiments [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 155(3):459-468.
- [3] 陈红军. 复合型絮凝剂聚合氯化铝铁的合成及其应用研究 [J]. 化工管理, 2016(30):119.
CHEN H J. Synthesis and application of compound flocculant polyaluminum-ferric Chloride [J]. Chemical Industry Management, 2016(30):119.
- [4] 司玉成. 利用煤泥制备聚合氯化铝铁絮凝剂的试验研究 [J]. 化学工程师, 2017(4):67.
SI Y C. Experimental study on preparation of polyaluminum-Iron Chloride flocculant from coal slime [J]. Chemical Engineer, 2017(4):67.
- [5] 李新义. 聚合氯化铝铁絮凝剂制备工艺 [J]. 广州化工, 2015, 43(24):107-109.
LI X Y. Preparation process of polyaluminium ferric chloride flocculant [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(24):107-109.
- [6] 任鑫, 董淑玲, 王秀玲, 等. 苏州高岭土尾矿制备聚合氯化铝铁工艺条件的探索 [J]. 安全与环境学报, 2013, 13(5):52-54.
REN X, DONG S L, WANG X L, et al. Exploration of technological conditions for preparation of polyaluminum-iron chloride from Suzhou Kaolin Tailings [J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(5):52-54.
- [7] 杨悦, 俞雷勇, 钱冰峰, 等. 利用工业废液制备环保型 PAFC 絮凝剂的研究 [J]. 化工设计通讯, 2017(6):202.
YANG Y, YU L Y, QIAN B F, et al. Study on the preparation of environmental protection PAFC flocculant from industrial waste Liquid [J]. Chemical Design Communications, 2017(6):202.
- [8] 路红霞, 李武斌. 利用粉煤灰制备聚合氯化铝铁絮凝剂的试验研究 [D]. 内呼和浩特: 蒙古工业大学, 2010.
LU H X, LI W B. Experimental study on the preparation of polyaluminum-ferric Chloride flocculant with Fly ash [D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2010
- [9] 潘碌亭, 束玉保. 聚合氯化铝铁絮凝剂的制备及其在焦化废水深度处理中的应用 [J]. 环境污染与防治, 2009, 31(9):27-29.
PAN L T, SHU Y B. Preparation of polyaluminum-Iron Chloride flocculant and its application in deep treatment of coking wastewater [J]. Environmental Pollution and Prevention, 2009, 31(9):27-29.
- [10] 邓琨. 固体废弃物综合利用技术的现状分析 [J]. 中国资源综合利用, 2011, 29(1): 133-140.
DENG K. Status analysis of solid waste comprehensive utilization technology [J]. China resources comprehensive utilization, 2011, 29 (1) : 133-140.
- [11] Zhu G, Zheng H, Chen W, et al. Preparation of a composite coagulant: Polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS) for wastewater treatment [J]. Desalination, 2012, 285(none):315-323.
- [12] 邓寅生, 徐素娟, 唐敏, 等. 粉煤灰制聚合氯化铝铁和白碳黑新工艺 [J]. 化工环保, 2009(5):444-445.
DENG Y S, XU S J, TANG Min, et al. New technology of Polyaluminum-Ferric Chloride and white carbon black from Fly ash [J]. Environmental Protection in Chemicals, 2009(5):444-445.
- [13] 章小芬. 聚合氯化铝铁的制备及其应用 [J]. 广州化工, 2012, 40(8):125-126+136.
ZHANG X F. Preparation and application of polyaluminium ferric chloride [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(8):125-126+136.
- [14] 任根宽 [1]. 复合型絮凝剂聚合氯化铝铁的合成 [J]. 无机盐工业, 2011, 43(6):55-56.
REN G K. Synthesis of compound flocculant polyaluminum-Ferric chloride [J]. Inorganic Salt Industry, 2011, 43(6):55-56.
- [15] 王宝罗. 高效净水剂聚合氯化铝铁晶体的制备及表征 [J]. 化学世界, 2007, 48(6):327-329.
WANG B L. Preparation and characterization of polyaluminum-Iron chloride crystals with high efficiency water purifier [J]. Chem World, 2007, 48(6):327-329.
- [16] 章兴华, 周丽芸, 汤敏. 聚合氯化铝铁的红外光谱研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(1):40-42.
ZHANG X H, ZHOU L Y, TANG M. Study on the infrared spectrum of polyaluminum-Ferric Chloride [J]. Spectroscopy and spectral analysis, 2002, 22(1):40-42.
- [17] Synthesis, purification and characterization of polyaluminum ferric chloride (PAFC) with high (Al+Fe) b content [J]. Separation and Purification Technology, 2015, 146:311-316.

- [18] 涂传青, 徐国勋, 马鲁铭. 聚合氯化铝铁的形态分布特征研究 [J]. 净水技术, 2004, 23(4):56.
- TU C Q, XU G X, MA L M. Study on the morphological distribution characteristics of Polyaluminium ferric Chloride [J]. Water Purification Technology, 2004, 23(4):56.
- [19] Shu-Xuan D, Hui X, Feng X, et al. Effects of Al species on coagulation efficiency, residual Al and floc properties in surface water treatment[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 459:14-21.
- [20] Yang Z, Liu B, Gao B, et al. Effect of Al species in polyaluminum silicate chloride (PASiC) on its coagulation performance in humic acid-kaolin synthetic water[J]. Separation and Purification Technology, 2013, 111:119-124.
- [21] Dong H, Gao B, Yue Q, et al. Effect of Fe (III) species in polyferric chloride on floc properties and membrane fouling in coagulation-ultrafiltration process[J]. Desalination, 2014, 335(1):102-107.
- [22] 降林华, 朱书全. 阳离子高分子絮凝剂在细粒煤泥水中的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2008,36(5):99-100.
- XIANG L H, ZHU S Q. Application of cationic polymer flocculants in fine coal slime water [J]. Coal science and technology, 2008,36(5):99-100.
- [23] Sen,G. ,Ghosh, S. ,Jha, U. & Pal, S. Hydrolyzed polyacrylamide grafted carboxymethylstarch (Hyd. CMS-g-PAM): An efficient flocculant for the treatment of textile industry wastewater. Chemical Engineering Journal. 2011(171), 495-501.
- [24] 秦楠. 聚合氯化铝铁的制备及其复配的研究 [D]. 吉林: 东北电力大学, 2016: 71-72.
- QIN N. Preparation and compounding of polyaluminium ferric chloride [D]. Jilin: Northeast Electric Power University, 2016: 71-72.
- [25] Sun Y, Zheng H, Tan M, et al. Synthesis and characterization of composite flocculant PAFS-CPAM for the treatment of textile dye wastewater[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131(7).

Preparation of Polyaluminium Ferric Chloride from Industrial Solid Waste and its Application in Coal Slurry Wastewater Treatment

Sun Yingjuan, Zhou Xuan, Yue Lina, Huang Baoli

(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources CAGS, National Engineering Research Center for Multipurpose Utilization of Non-metallic Mineral Resources, Key Laboratory for Polymetallic Ores' Evaluation and Utilization, MLR, Zhengzhou, Henan, China)

Abstract: Polyaluminium ferric chloride (PAFC), an inorganic macromolecule flocculant, was prepared from iron ore slag and fly ash by acid leaching, polymerization and ripening, and used in the treatment of slime wastewater. The results show that the optimum conditions for the extraction of Al and Fe were as follows: hydrochloric acid concentration was 5 mol/L, the ratio of liquid-solid is 3 mL/g, the leaching temperature was 85°C, the leaching time was 2.0 h. Under these conditions, The leaching efficiencies of Fe and Al was 95% and 65% in the Slag and the leaching efficiencies of Fe and Al was 90% and 70% in the flyash. The flocculating performance of PAFC with different Al/Fe molar ratio on coal slime was investigated. It was found that PAFC with Al/Fe ratio of 1:0.66 had the best flocculating effect. Flocculation tests showed that PAFC is better than that of PAC, PFC and the mixture of PAC and PFC, and the permeability of slurry supernatant can reach 95%.

Keywords: The iron ore slag (slag); Fly ash; Acid leaching; Polyaluminium ferric chloride (PAFC); Flocculant