

高铁矿井水回用处理工艺研究

王海男, 刘汉湖, 孙远信, 高潘潘

(中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 针对韩桥矿高铁矿井水质,考察了混凝+沉淀+过滤回用处理工艺除铁的最佳运行条件。结果表明,以聚合氯化铝(PAC)作为混凝剂,最佳投药量为80 mg/L时,铁的去除率可达到91%;选择天然锰砂作为滤料,滤速在8~10 m/h,进水pH值高于6.05,滤层高度大于75 cm时,锰砂除铁效果较好,出水铁含量在0.1 mg/L以下,可以满足《城市污水再生利用 工业回用水水质》(GB/T 19923—2005)中的限值要求。

关键词: 接触氧化法; 高铁矿井水; 混凝沉淀; 过滤; 回用

中图分类号: X751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9353(2012)01-0028-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-9353.2012.01.008

Reclamation and reuse of mine water with high concentration of iron

Wang Hainan, Liu Hanhu, Sun Yuanji, Gao Panpan

(School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Based on the characteristics of Hanqiao mine water with high concentration of iron, the optimum operational condition of iron removal for reclamation and reuse process adopted by coagulation-sedimentation-filtration was investigated. The results showed that the removal rate of iron could reach 91% when PAC was the coagulant and the optimum dosage was 80 mg/L. The effect of iron removal by manganese sand was better, the content of effluent iron was below 0.1 mg/L and it could satisfy the requirement of *Reuse of Urban Recycling Water - Water Quality Standard for Industrial Uses* (GB/T 19923 - 2005) when natural manganese sand was the filter media, filtration rate was 8 to 10 m/h, influent pH was higher than 6.05 and filter height was higher than 75 cm.

Key words: contact oxidation process; mine water with high concentration of iron; coagulation and sedimentation; filtration; reclamation and reuse

我国矿区存在严重缺水问题,制约了煤炭生产和矿区经济的可持续发展。在煤炭开采过程中不可避免地产生大量废水,破坏水资源,使矿区缺水现象更加严重。2005年,我国矿井水排放量约为 $42 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中仅有26%的矿井水被资源化利用^[1]。

因此,矿井水资源化利用是缓解矿区水资源供需矛盾的有效途径^[2]。国外矿井水处理和利用技术的研究与应用较早,并且已经取得了一定的成果,许多国家对矿井水进行适当处理,一部分达到排放标准后排入到地表水,另一部分可回用于选煤厂工业给

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(JX111744)

水和矿井生产^[3]。

国内外对含铁锰地下水处理的研究较早^[4-5],技术较为成熟,但对高铁锰矿井水处理的研究较少^[6]。我国煤矿矿井水中,约有 60% 属高铁高锰矿井水,矿井水中铁锰主要来自于含铁锰地下水的渗透。研究表明,铁的存在会影响锰的去除,铁锰共存时要先除铁再除锰,故含铁锰地下水及矿井水的除铁研究具有十分重要的意义^[7-8]。笔者以高铁矿井水作为研究对象,考察了混凝+沉淀+过滤回用处理工艺除铁的最佳运行条件,为高铁矿井水的回用提供了参考依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验用水

试验采用人工配水模拟韩桥矿矿井水,铁离子由硫酸亚铁配制,用水水质如表 1 所示。

表 1 试验用水水质

Tab. 1 Water quality of experiment

指标	数值	《城市污水再生利用 工业用水水质》标准要求
pH	6.2	
浊度/NTU	112.89	10
铁/(mg·L ⁻¹)	15.01	<0.3
锰/(mg·L ⁻¹)	7.12	<0.1

1.2 滤料

选择天然锰砂、石英砂及无烟煤作为滤料,各滤料的主要性能指标见表 2。

表 2 3 种滤料性能

Tab. 2 Capability of the three filter media

滤料种类	粒径/mm	密度/(g·cm ⁻³)	孔隙率/%	吸附率/%	磨损率/%	主要成分
锰砂	0.5~1	2.60	40	60	0.05	二氧化锰
石英砂	0.5~1	1.75	40	40	0.05	二氧化硅
无烟煤	0.5~1	1.00	40	80	0.50	碳

1.3 试验装置

1.3.1 混凝试验装置

混凝试验装置采用 MK-6Y 试验搅拌机,混合阶段转速为 150 r/min,时间为 1 min,反应阶段转速为 50 r/min,时间为 10 min,反应结束后静置 30 min。观察并记录矾花的生成情况,并测定上清液中的铁含量,确定 PAC 的最佳投药量。

1.3.2 过滤试验装置

过滤试验装置采用有机玻璃柱,高度为 1 m,直径为 20 cm,滤料填充高度为 80 cm,底部设有 30 目

尼龙网。在蠕动泵的作用下,混凝沉淀出水由滤柱上端进入,出水从滤柱底部引出。过滤试验装置如图 1 所示。

1.4 分析方法

Fe(II) 及总铁:邻菲罗啉分光光度法(VIS-7220 分光光度计);pH:电位法(pHS-3CA 型酸度计);滤速:体积法(量筒、秒表)。

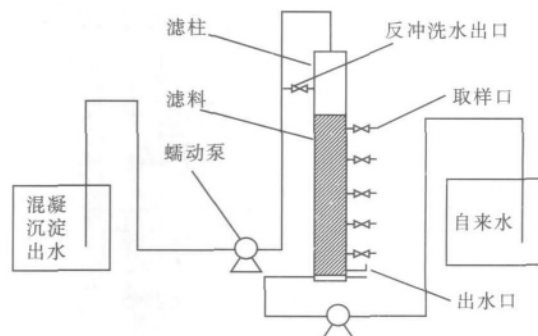


图 1 过滤试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of filter experimental device

2 结果及分析

2.1 PAC 的最佳投药量

PAC 适宜的 pH 范围较宽,温度适用性强,能快速形成较大的矾花,且沉淀性能好,故广泛应用于矿井水处理^[9]。试验选取 PAC 作为混凝剂,分别考察了不同投加量条件下铁的去除效果,结果见表 3。可以看出,PAC 投加量在 60~120 mg/L 时,生成的矾花较好,总铁去除率较高。当投药量为 80 mg/L 时除铁效果最好,总铁去除率达到 91%,故该试验选择 PAC 投加量为 80 mg/L。

表 3 最佳投药量试验

Tab. 3 Experimental result of optimal dosage

项目	1	2	3	4	5	6
投药量/(mg·L ⁻¹)	20	40	60	80	100	120
矾花情况	不好	较好	好	好	好	较好
上清液中铁含量/(mg·L ⁻¹)	3.63	2.78	1.75	1.33	1.58	1.50
总铁去除率/%	75.80	81.45	88.33	91.11	89.44	89.97

2.2 滤料对铁去除效果的影响

以天然锰砂、石英砂及无烟煤作为滤料,考察了不同滤料对铁去除效果的影响,采用人工配水模拟原水水质,PAC 投加量为 80 mg/L,混凝出水由蠕动泵引入滤柱,在滤速为 8 m/h 的条件下运行 24 h,测定各滤料对总铁的去除率,结果见图 2。结果表明,3 种滤料对水中的铁均有一定的吸附性能。运行初期,无烟煤和石英砂的吸附速率低于天然锰砂,出水

水质较差,并且无烟煤滤料过滤后的水呈现浑浊,故天然锰砂是比较理想的滤料。过滤初期锰砂对铁的吸附速率较快,运行2 h左右时,总铁去除率达到93.78%,滤料吸附容量接近饱和,随后总铁去除率逐渐降低,12 h后铁去除率趋于稳定,此时去除率约为80%左右,故该试验选择天然锰砂作为滤料。

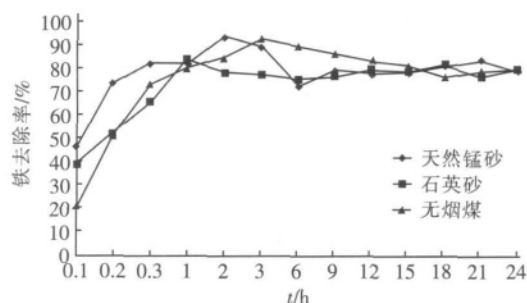


图2 滤料对铁去除效果的影响

Fig.2 Effect of filter media on iron removal

2.3 滤速对铁去除效果的影响

在试验过程中每隔4 h改变滤柱的滤速,测定不同滤速条件下铁的去除效果,如图3所示。结果表明,滤速低于10 m/h时,除铁效果较好,出水铁含量低于0.1 mg/L,可以达到回用标准;当滤速高于10 m/h时,出水铁含量快速上升,铁含量超标。滤速过低,在实际工业应用时,日处理量小,不符合实际要求;滤速过高,Fe(II)来不及与滤料表面的活性滤膜充分接触反应,就流出滤柱,导致出水铁含量超标,不符合回用标准。当滤速低于10 m/h,即矿井水在滤柱中停留时间大于4.8 min时,Fe(II)能够与滤料表面活性滤膜充分作用完成氧化,故滤速应控制在8~10 m/h。

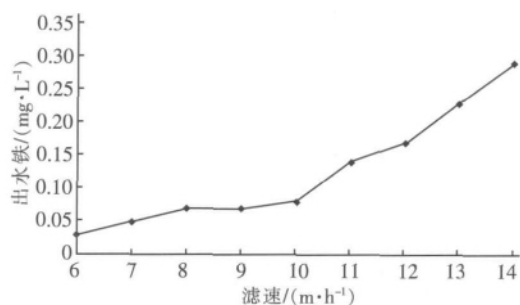


图3 滤速对铁去除效果的影响

Fig.3 Effect of filtration rate on iron removal

2.4 pH对铁去除效果的影响

通过氢氧化钠及盐酸调节进水pH值,考察了pH对出水铁含量变化的影响,见图4。结果表明,

pH值越高,滤柱除铁效果越好。当进水pH值低于6.05时,Fe(II)不易被氧化,导致出水铁含量大于0.1 mg/L,这可能是由于Fe(II)的氧化是一个产氢的可逆反应,pH值过低,滤料表面的Fe(III)重新转化为Fe(II)^[10]。当进水pH值大于6.05时,出水铁含量可以满足回用水要求。当pH值达到8时,原水箱中的Fe(II)迅速被氧化,形成氢氧化铁絮体,进入滤柱被截留在滤料表面,此时滤料仅起到截留作用而非接触氧化作用,因此当pH值大于8时,水中的铁可以通过空气氧化作用得以去除。

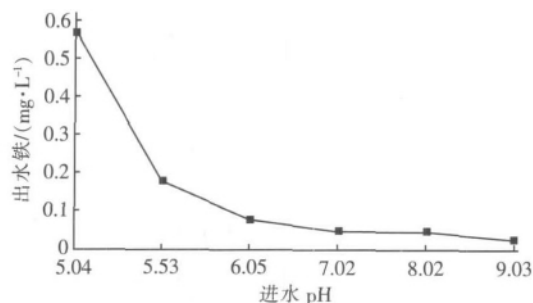


图4 pH值对铁去除效果的影响

Fig.4 Effect of pH on iron removal

2.5 滤层高度对铁去除效果的影响

在滤料填充高度为15,30,45,60和75 cm处设置取样口,考察了滤层高度对除铁效果的影响,如图5所示。结果表明,出水铁含量随滤层高度的增加而降低,主要是由于滤层高度增大,Fe(II)在滤柱中的水力停留时间增加,可以充分与滤料表面的活性滤膜反应,使出水铁含量降低。当滤层高度大于75 cm时,出水铁含量低于0.1 mg/L,满足《城市污水再生利用 工业用水水质》标准要求,故试验选取的滤层高度为80 cm。

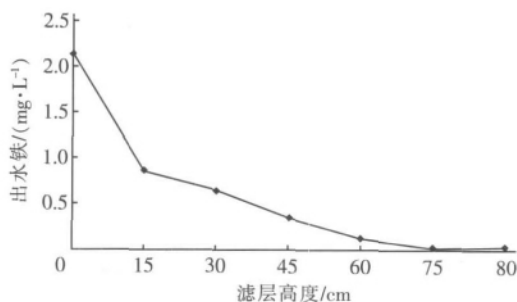


图5 滤层高度对铁去除效果的影响

Fig.5 Effect of filter height on iron removal

3 结论

① 混凝+沉淀+过滤回用工艺对高铁矿井水

具有较好的处理效果。选择 PAC 作为混凝剂,投加量为 80 mg/L 时,铁的去除率可以达到 91% 以上。

② 天然锰砂、石英砂及无烟煤 3 种滤料对水中的铁均有较好的去除效果,考虑到滤池启动速度及出水水质,选择天然锰砂作为滤料。

③ 滤速、pH 及滤层高度对除铁效果有一定影响。当进水滤速低于 10 m/h、pH > 6.05、滤层高度大于 75 cm 时,锰砂滤柱过滤效果较好,出水铁含量低于 0.1 mg/L,满足《城市污水再生利用 工业回用水水质》标准要求。

参考文献:

- [1] 何绪文,杨静,邵立南,等. 我国矿井水资源化利用存在的问题与解决对策[J]. 煤炭学报, 2008, 33(1): 63-66.
- [2] 郑艳辉,任友山,司井丹,等. 开发利用矿井疏干水是解决缺水地区水资源紧缺的重要途径[J]. 黑龙江水利科技, 2007, 35(6): 123-124.
- [3] Waybrant K R, Ptacek C J, Blowes D W. Treatment of mine drainage using permeable reactive barriers: Column experiments [J]. Environ Sci Technol, 2002, 36(6):

1349-1356.

- [4] 李圭白,刘超. 地下水除铁除锰(第2版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [5] Ellis D, Bouchard C, Lantagne G. Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration [J]. Deslination, 2000, 130(3): 255-264.
- [6] Hallberg K B, Johnson D B. Biological manganese removal from acid mine drainage in constructed wetlands and prototype bioreactors [J]. Sci Total Environ, 2005, 338(1-2): 115-124.
- [7] 朱福宁,蒋浩. 浅谈地下水除铁锰技术及应用[J]. 黑龙江环境通报, 2007, 31(1): 91-92.
- [8] 黄玲卿. 谈矿山含铁、锰、硫的地下水净化[J]. 金属矿山, 1988, (3): 49-52.
- [9] 王浪. 地下水除铁除锰水厂冲洗废水与铁泥处理试验研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2006.
- [10] 余健,郭照光,柳云富,等. 地下水接触氧化除铁影响因素与速率[J]. 给水排水, 2003, 29(11): 15-18.

E-mail: whn117686@126.com

收稿日期: 2011-12-30

(上接第 27 页)

膨胀现象。

参考文献:

- [1] 于德爽,彭永臻,张相忠,等. 中温短程硝化反硝化的影响因素研究[J]. 中国给水排水, 2003, 9(1): 40-42.
- [2] Zhang B, Yamamoto K. Seasonal change of microbial population and activities in a building wastewater reuse system using a membrane separation activated sludge process [J]. Water Sci Technol, 1996, 34(5): 295-302.
- [3] Yamamoto K, Hiasa M, Mahmood T, et al. Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank [J]. Water Sci Technol, 1989, 21(4-5): 43-54.
- [4] 顾国维,何义亮. 膜生物反应器在污水处理中的研究

和应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

- [5] Anthonisen A C, Loehr R C, Prakasam T B S, et al. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid [J]. JWPCF, 1976, 48(5): 835-852.
- [6] Laanbroek H J, Bodelier P L E, Gerards S. Oxygen consumption kinetics of *Nitrosomonas europaea* and *Nitrobacter hamburgensis* grown in mixed continuous cultures at different oxygen concentrations [J]. Arch microbiol, 1994, 161(2): 156-162.
- [7] Ruiz G, Jeison D, Chamy R, et al. Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration [J]. Water Res, 2003, 37(6): 1371-1377.

E-mail: sunxingfan@163.com

收稿日期: 2011-10-23