

试验研究

混凝工艺处理煤矿采空区积水的试验研究

周宁¹, 郑利祥², 秦胜³

(1.浙江省环境信息中心, 浙江 杭州 310012; 2.煤科集团杭州环保研究院, 浙江 杭州 311201; 3.兖矿集团有限公司机电环保部, 山东 济宁 273500)

摘要:为探索煤矿采空区积水混凝处理方法和拓展积水资源化利用前景,进行了混凝剂聚合氯化铁(PFC)、聚合硫酸铝(PAS)和聚合氯化铝(PAC)单投及与助凝剂聚丙烯酰胺(PAM)和活化硅酸联投的试验研究。结果表明:采用单一混凝剂处理采空区积水效果有限,当PAC投加量为40 mg/L时,去浊率只达到86.7%,而PAS投加量为50 mg/L时,才接近相同效果;当联投PAC投加量为40 mg/L, PAM投加量为0.50 mg/L时,出水剩余浊度达到10.5NTU,去浊率达95.7%;而活化硅酸替代PAM,其投加量为50 mg/L时,才接近相同效果。

关键词:混凝工艺;采空区积水;混凝剂;助凝剂

中图分类号:X703.5

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2017)02-0008-03

EXPERIMENTAL STUDY ON TREATMENT OF COAL MINE GOAF WATER BY COAGULATION PROCESS

ZHOU Ning¹, ZHENG Li-xiang², QIN Sheng³

(1.Zhejiang Environmental Information Centre, Hangzhou 310012, China;

2.CCTEG Hangzhou Environmental Research Institute, Hangzhou 311201, China;

3.Yankuang Group co., Ltd. Jining 273500, China)

Abstract: In order to explore the coagulation treatment method of coal mine goaf water and expand the utilization of water resource, the flocculation agents such as polymeric ferric chloride (PFC), polyaluminium sulfate (PAS), polyaluminium chloride (PAC) dosed alone and combined with the coagulant aids such as polyacrylamide (PAM) and activated silicic acid were conducted by the experiment. The results shows that the treatment effect of coal mine goaf water by dosing a flocculation agent alone was limited, when the dosage of PAC was 40 mg/L, the removal rate of turbidity was only 86.7%, while the dosage of PAS was 50 mg/L to reach the same effect; When the combined dosage was PAC of 40 mg/L and PAM of 0.50 mg/L, the effluent turbidity was 10.5NTU and the removal rate could reach 95.7%, while the dosage of activated silicic acid instead of PAM was 50 mg/L to achieve the same result.

Key words: coagulation process; goaf water; flocculation agents; coagulant aids

由于长期的地下煤炭开采,大部分矿井浅部资源已开采完毕,转入深层位开采。因而在矿区形成了大规模的采空范围^[1]。采空区形成后,大量裂

隙的存在为地下水的径流创造了良好条件,沟通了采空区上覆含水层甚至地表水和下伏含水层与采空区的水力联系,使采空区大量积水。部分煤矿将工作面矿井水汇集至井下采空区,利用采空区的巨大空间实现对矿井水的预处理^[3],也形成了采空区积水。采空区积水与采空区围岩接触时间稍长,与矿井水相比其水质中个别成分含量(如固溶

收稿日期:2016-11-10

第一作者简介:周宁,女,1976年11月生,浙江大学环境科学专业硕士,主要从事环境监测、环保执法监管以及环境信息化管理等工作。

物含量、pH 值)稍有变化。

采空区积水直排不仅造成污染,还引起资源浪费,加剧企业用水量短缺,制约自身发展。因此,采空区积水的合理开发和利用对于矿区实现可持续发展具有重大的社会、经济和环境效益^[2,3,4,5]。

混凝工艺被广泛应用于给水净化处理中^[6],其主要处理对象是水中难以沉降粒径微小的悬浮物和胶体。本文结合实际和试验,进行了烧杯搅拌混凝去浊对比试验,为解决煤矿采空区积水作为可利用水源提供借鉴。

1 材料和方法

1.1 原水

试验所用原水取自某煤矿采空区积水,浊度在 200~250 NTU,主要成分以悬浮颗粒物和细小胶体分散体系为主,该体系动力和凝聚稳定性不强。原水水质见表 1。

表 1 采空区积水水质

指标	浊度/(NTU)	pH	电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)
检测值	200~250	7.5~8.7	2300.0~3400.0

1.2 仪器与试剂

ZR4-6 混凝试验搅拌机,LP2000-11 浊度仪,聚合氯化铁(PFC),聚合硫酸铝(PAS),聚合氯化铝(PAC),聚丙烯酰胺和活化硅胶。

1.3 试验方法

采用混凝试验搅拌机进行烧杯搅拌对比试验。方法如下:各取 1 000 mL 原水水样分别加入到 6 个烧杯中,同时加入不同量的混凝剂,开始快速搅拌,反应一段时间后加入不同量的助凝剂,再慢速搅拌,各程序段转速逐渐降低。程序结束后静止沉淀 15 min,取其上清液测定浊度。混凝试验搅拌方式见表 2。

表 2 混凝试验搅拌方式

项目	阶段	转速/(rpm)	时间	G 值/(s^{-1})	ΣGT 值
混凝剂	第 1 段	500	20s	323.7	6474
	第 2 段	300	30s	162.9	11361
	第 3 段	200	1min	95.3	17079
助凝剂	第 4 段	80	4min	27.5	23679
	第 5 段	40	2min	10.8	24975
静沉	第 6 段	0	10min	0	24975

2 结果与分析

2.1 混凝剂单投

将 PFC、PAS 和 PAC 逐量投加到 1 000 mL 水样中,采用表 2 所列第 1、2 和 3 阶段程序进行相同试验。试验结果见表 3。

表 3 三种混凝剂单投效果对比

投加量/(mg/L)	上清液浊度/(NTU)		
	PFC	PAS	PAC
0	243	246	245
20	72.2	66.9	58.5
30	57.3	54.6	49.5
40	41.1	38.5	32.7
50	38.0	34.9	30.6

以上三种混凝剂单投对煤矿采空区积水处理效果以去浊率为考察指标,对比如图 2 所示。

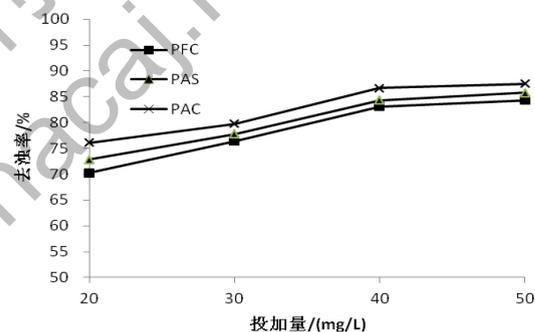


图 2 PFC、PAS 和 PAC 单投去浊效果

试验中单投 PAC 处理煤矿采空区积水效果最明显。随着投加量增加曲线坡度变缓,去浊效果提高受限。当 PAC 投加量为 40 mg/L 时,浊度从 245 NTU 降到 32.7 NTU,去浊率达到 86.7%。相同投加量下单投 PAS 处理该采空区积水效果次于 PAC。当投加量大于 50 mg/L 时,PAS 的去浊率才接近 PAC 处理效果,单投 PFC 去浊效果最差。

试验中发现采空区积水中单投混凝剂反应初期形成的絮体较大,沉降性也好,但是后期絮体较小,部分絮体无法沉降。沉降 15 min 后水中仍可见絮体。上清液剩余浊度不符合要求,需投加助凝剂,浊度才可进一步降低。

2.2 混凝剂和助凝剂联投

由上述试验结果可知,PAC 投加量为 40 mg/L,PAS 投加量为 50 mg/L 时对煤矿采空区积水的去浊率均可达到 86% 左右。因此,在相同混凝效果的背景下,考察 PAC、PAS 分别与活化硅胶^[7]和

PAM 两种助凝剂对煤矿采空区积水的联投去油效果^[8]。试验结果如图 3、图 4 所示。

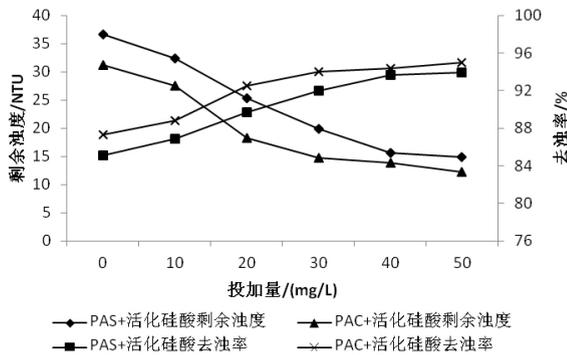


图 3 40 mg/L PAC 和 50mg/L PAS 下活化硅酸去油效果

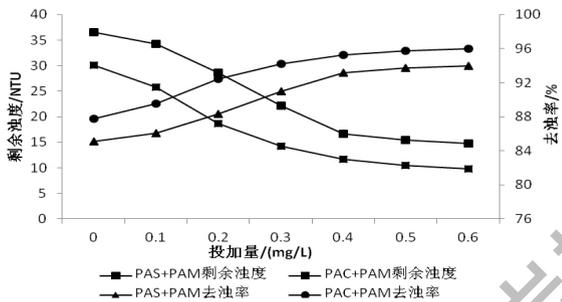


图 4 40mg/L PAC 和 50mg/L PAS 下 PAM 去油效果

表 4 不同药剂经济性比较

混凝剂	单价 (元/t)	耗量 (mg/L)	药剂成本 (元/km ³)	助凝剂	单价 (元/t)	耗量 (mg/L)	药剂成本 (元/km ³)	合计成本 (元/km ³)
PAS	1800	50.0	90.00	活化硅酸	1900	50	95.00	185.00
				PAM	17000	0.5	8.50	98.50
PAC	2100	40.0	84.00	活化硅酸	1900	50	95.00	179.00
				PAM	17000	0.5	8.50	92.50

表 4 中数据显示,活化硅酸单价要比 PAM 便宜很多,但用量却远远多于 PAM,导致药剂合计成本比 PAM 高。综上比较,PAS+活化硅酸的药剂合计成本为 185.00 元/km³,PAS+PAM 的药剂合计成本为 98.50 元/km³,PAC+活性硅酸的药剂合计成本为 179.00 元/km³,PAC+PAM 的药剂合计成本为 92.50 元/km³,可以认为后者组合药剂在相同处理效果提前下较其他药剂经济合理。

3 混凝机理

煤矿采空区积水中经 PAC 絮凝处理后再投加 PAM 有助于提高絮体密实性,这是由于 PAM 具有长链(线)状的分子结构和分子中含有大量活性基团,在一定程度上有利于促进絮体的形成,提高沉降速度,加强絮凝剂与水中胶体颗粒反应,产

由图 3、4 中去油曲线对比可知,同种混凝剂下的 PAM 助凝效果要好于活化硅酸,特别是以 PAC 为 40 mg/L 投加量下的 PAM 助凝效果比 PAS 为 50 mg/L 时的活化硅酸好。当 PAM 投加量为 0.5 mg/L 时,浊度降为 10.5 NTU,去油率为 95.7%,之后提高不明显;当活化硅酸投加量为 50 mg/L 时,浊度降为 12.2 NTU,去油率为 95.0%,才与 PAM 助凝效果接近。

由试验可知,活化硅酸和 PAM 对混凝处理后的煤矿采空区积水表现出不同的助凝效果,PAM 形成的絮体较活化硅酸粗大密实,沉降迅速。这是由于 PAM 具有高分子特殊结构与反应机理所决定的。PAM 与 PAC 联投后,不仅提高了混凝速度,有效地促进了絮体的形成,增加了絮体的密实度,减少了絮凝体之间的结合时间,而且还提高了沉降速度和处理效果,缩短了净化时间,改善了沉淀后出水的水质。

2.3 经济成本

由上述试验可知,PAC+PAM 对该煤矿采空区积水的去油效果要优于其他药剂,从经济方面考察各药剂的适用性。具体分析见表 4。

生除油的协同效应^[9,10]。

试验采用不同的搅拌方式,主要考虑:在快搅阶段混凝原理是以压缩双电层、吸附中和作用为主;在慢搅阶段,是以桥连、网扑和卷扫作用为主。由于助凝剂加入初期形成的絮体较少,为了增强絮凝效果,除了需要足够的慢搅时间外,还应具备适当的慢搅速度以保证小絮体更多接触和吸附桥连形成较大絮体,最后发生沉降。因此,针对煤矿采空区积水的混凝处理,较高的慢搅速度尤为重要。

4 结论

通过本试验,得出以下结论,可为生产性试验提供指导和借鉴。

(下转第 16 页)

时间内去除率就达到 45 %。随着反应时间的延长,不仅可以使电极反应产物与废水中污染物进行充分的电学、絮凝等反应,而且明显产生絮状中间产物。综合考虑,确定反应时间为 1 h,此时出水 COD_{Cr} 稳定在 300~350 mg/L。

2.4 最佳工艺条件下的效果验证

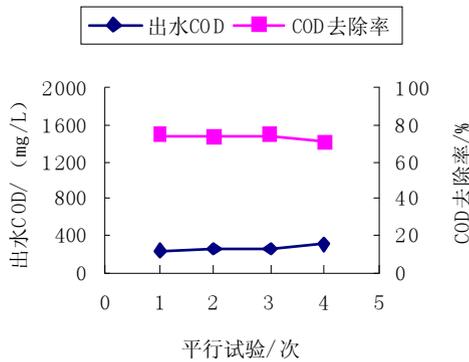


图4 最佳工艺条件对出水 COD 的影响

在最佳条件下,即在原水 pH 值=7.44,微电解进水初始 pH 值 3.0、填料填充率 1.5:1、反应 1h,充氧曝气条件,通过平行对照试验,考察了最佳工艺对废水中有机污染物的降解效果,结果如图 4 所示。

从多次平等试验数据看,采用铁碳微电解处理印染助剂生产废水,对 COD_{Cr} 平均去除率为 73.15 %,出水 COD_{Cr} 由原水 960 mg/L 降至 257.75 mg/L。

4 结论

采用铁碳微电解法作为印染助剂生产废水的处理工艺,将工艺参数控制在初始 pH 为 3.0,填充比 1.5:1,反应 1 h,充氧曝气,出水 COD_{Cr} 平均去除率为 73.15 %,出水 COD_{Cr} 为 257.75 mg/L,处理降解效果明显,在进水 COD_{Cr} 为 1 000 mg/L 左右时,能够稳定达到三级接管标准,相较于生化处理具有投资成本低、可间歇性运行、操控简便等明显优势。

参考文献

- [1] 鲁亢. 两段 A/O 工艺处理纺织印染助剂废水研究[D]. 浙江大学, 2013(3):03.
- [2] 王永广, 杨剑锋. 微电解技术在工业废水处理中的研究应用[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(4):70-73.
- [3] 秦树林, 高亮. 多元氧化微电解填料及其制备方法: 中国, ZL 2011 1 015132.X. 2013-03-06.

(上接第 10 页)

试验表明煤矿采空区积水采用单一混凝剂去油效果不佳。当 PAC 投加量为 40 mg/L 时,去油率仅 86.7 %,当 PAS 投加量为 50 mg/L 时,才能接近相同效果。可联投助凝剂改善去油效果。

对比研究证实,相同混凝条件下 PAM 助凝效果优于活化硅酸。特别是处理采空区积水,从经济性和操作性考虑,PAM 均占优势。

当 PAC 投加量 40 mg/L,PAM 投加量 0.50 mg/L 时,剩余浊度达到 10.5 NTU,去油率达 95.7 %以上。

煤矿采空区积水,是一种目前尚未得到充分认识和开发利用的地下水资源。在地下水水位下降,工农业用水矛盾日益突出,生活饮用水逐渐短缺的情况下,煤矿采空区积水有着很好的开发利用前景。

参考文献

- [1] 谷勇霞,周忠宁,李意民. 采空区处理矿井水的资源化利用[J]. 煤炭科学技术. 2007,35(4):90-92.
- [2] 闫海渠. 煤矿采空区积水的开发前景分析[J]. 中国煤田地质, 2001,13(2):41-42.
- [3] 周如禄,高亮,郭中权,等. 煤矿矿井水井下直接处理及循环利用[J]. 中国给水排水. 2013,29(4):71-74.
- [4] 侯志成. 浅埋近距离煤层群上覆采空区积水排放技术[J]. 煤炭科学技术. 2014,42(9):146-149.
- [5] 冯利利,朱岳麟,陈锁忠,等. 采空区处理含悬浮物矿井水的效果研究[J]. 能源环境保护. 2014,18(6):40-42.
- [6] 潘世英,万吉昌,高宝玉,等. 混凝实验条件下混凝剂最佳投加量的选择方法研究[J]. 工业水处理. 2011,31(10):25-27.
- [7] 黄正杰,张玉先,缪丽英,等. 活化硅酸助凝剂在给水处理中的应用研究[J]. 给水排水. 2009,35:63-68.
- [8] 伏培仔,孙力平,王少坡,等. PAC 与 PAM 复合絮凝剂在回用水处理中的应用[J]. 水处理技术. 2008,34(9):58-61.
- [9] 郑毅,丁曰堂,李峰,等. 国内外混凝机理研究及混凝剂的开发现状[J]. 中国给水排水. 2007,23(10):14-17.
- [10] 李学翔,陈跃华,张众. 聚合氯化铝-聚丙烯酰胺混凝除油的协同效应[J]. 河北科学大学学报. 2007,28(2):130-133.