

试验研究

含特殊悬浮物矿井水正交混凝试验研究

陈永春¹ 高杰² 谢毫¹ 周如禄² 柳炳俊¹ 郭中权²

(1.淮南矿业(集团)有限责任公司、煤矿生态环境保护国家工程实验室,安徽 淮南 232001; 2.中国煤炭科工集团杭州研究院,浙江 杭州 311201)

摘要: 针对煤矿在特定时期排出的以微细岩石粉为主的特殊悬浮物矿井水水质, 设计了L25(5⁶)正交混凝试验, 考察混凝过程中各因素对出水浊度的影响程度及最优化条件。结果表明, 在各因素水平取值范围内, 各因素对出水浊度的影响显著性次序为: 絮凝剂投加量>絮凝剂种类>PAM投加量>絮凝转速>絮凝时间>PAM投加间隔时间; 混凝的最优化条件: 选择PAFC作为絮凝剂, PAFC投加量为250 mg·L⁻¹, PAM投加量为0.50 mg·L⁻¹, PAM投加间隔时间为120 s, 絮凝转速和时间分别为190 r·min⁻¹快速搅拌2 min、70 r·min⁻¹中速搅拌10 min、40 r·min⁻¹慢速搅拌13 min。

关键词: 矿井水; 悬浮物; 混凝; 净化处理; 正交试验

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2013)01-0017-04

INVESTIGATION OF ORTHOGONAL EXPERIMENTS OF COAGULATION FOR MINE DRAINAGE WATER WITH PARTICULAR SUSPENDED SOLIDS

CHEN Yong-chun¹, GAO Jie², XIE Hao¹, ZHOU Ru-lu², LIU Bing-jun¹, GUO Zhong-quan²

(1. Huainan Mining Industry (Group) Co Ltd, National Engineering Laboratory of Coal Mine Ecological Environment Protection, Huainan Anhui 232001, China; 2. Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Hangzhou Zhejiang 311201, China)

Abstract: Aimed at the quality of mine drainage water with particular suspended solids mainly consisted of superfine rock powders at a specific period, this paper investigated the optimum conditions and the influential degree of effluent turbidity by various factors in the coagulation process, with designing L25(56) orthogonal experiments. The results show that the significant sequence of influence by various factors to effluent turbidity was flocculant doses > flocculant species > PAM doses > revolving speed of flocculation > flocculation time > PAM dosing interval. And the optimum conditions were: selecting PAFC as flocculant; PAFC dose of 250 mg/L; PAM dose of 0.50 mg/L; PAM dosing interval of 120 s; revolving speed of flocculation and time being quick stirring speed of 190 r·min⁻¹ with 2 min, intermediate stirring speed of 70 r·min⁻¹ with 10 min, and slow stirring speed of 40 r·min⁻¹ with 13 min, respectively.

Keywords: mine drainage water; suspended solids; coagulation; purification treatment; orthogonal experiment.

1 概述

煤矿矿井水是煤矿在建设和开采过程中, 由

地下涌水、地表渗透水、防尘洒水、设备冷却排水等汇集所产生的一种特殊行业废水^[1-3]。煤矿在正常开采过程中所排出的矿井水一般都含有一定量的悬浮物, 这些悬浮物主要成分为煤粉和岩粉, 并

以煤粉含量居多,外观呈黑色^[4]。另一方面,在煤矿某些特定时期(井下新巷道掘进及开采工作面延伸时),由于井下各种排水受煤粉污染的机会突然变小,同时在汇集过程中接受了一些在巷道掘进及支护过程中设备所排出的化学污染物,会产生一种含特殊悬浮物的矿井水。这种矿井水与煤矿在正常开采过程中所排出的含煤粉为主的矿井水相比,具有明显不同的特征:(1)水中的悬浮固体以岩粉为主,颗粒微小,外观呈灰乳色;(2)水中悬浮物以胶体状颗粒为主;(3)化学成分复杂,容易起泡沫;(4)自然沉降性能差,经过数天自然沉淀后水的浊度变化依旧不明显,(5)混凝性能差。

随着我国煤炭工业的快速发展,煤矿企业对矿井水回用的水质要求越来越高。目前,国内大部分煤矿在处理这种水质时常采取增加混凝剂的投加量应对^[5],提高混凝剂投加量虽在一定程度上增加了混凝性能,但会增加水处理药剂成本和劳动强度,同时也给矿井水处理排泥系统的运行管理带来诸多麻烦,处理后的矿井水水质得不到保障,从而制约了矿井水的回用途径。另外,有些煤矿矿井水处理加药系统因无法承受数倍乃至十倍的混凝剂投加负荷,只能经过简单处理,达不到相关水质标准便直接外排,给周边环境造成污染。

混凝处理一直以来都是矿井水中去除悬浮固体的主要方法。在混凝过程中,影响混凝效果的因素比较复杂^[6],笔者以絮凝剂种类、絮凝剂投加量、PAM投加量、絮凝时间、絮凝转速和PAM投加间隔时间6个在实际生产中易于操作和改变的影响因素进行正交混凝试验^[7],研究煤矿在特定时期排出的含特殊悬浮物矿井水混凝过程中各因素的影响重要程度和最优化条件,以期为煤矿矿井水处理的设计和实际生产提供技术依据,进一步提高矿井水处理后的水质,扩大矿井水的回用途径。

2 材料与方法

2.1 矿井水水源及水质

试验用水取自淮南矿业(集团)有限责任公司潘一煤矿东井矿井水,具有含特殊悬浮物矿井水的显著特征。矿井水浊度经测定为1 310 NTU。

2.2 主要设备与仪器

主要设备:ZR4-6型智能混凝试验搅拌器、1 900 C型便携式浊度计、FA1204 B型精密电子天平。

主要仪器:100 mL容量瓶6个,100 mL烧杯5个,1 mL、5 mL、10 mL移液管各1个,50 mL医用针筒1只。

2.3 正交混凝试验设计

根据“较少的试验次数可得到较多的信息”原则^[8-9],选取在实际生产中易于操作和改变的混凝剂种类、混凝剂投加量、PAM投加量、PAM投加间隔时间、絮凝转速和絮凝时间6因素作为考察因素,设计5水平6因素L₂₅(5⁶)正交混凝试验,并以出水浊度作为考察对象。

试验各因素水平的确定:絮凝剂的种类选用5种聚合型絮凝剂,其中2种为聚合铝盐(PAS、PAC),2种为聚合铁盐(PFS、PFC),1种为聚合铝铁盐(PAFC);PAM投加量、PAM投加间隔时间、絮凝转速和絮凝时间4因素的水平取值根据类似矿井水处理工程经验确定;絮凝剂投加量的水平取值通过试验的方法确定。

试验选用矿井水混凝处理中使用最多的PAC作为絮凝剂,以PAC投加量50mg·L⁻¹为起点等量延伸。试验结果如图1所示。

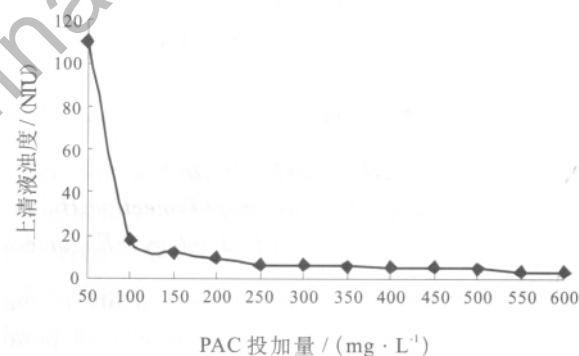


图1 PAC投加量对出水浊度的影响

由图1得知,上清液浊度在开始阶段随PAC投加量的提高而降低;当PAC投加量超过250 mg·L⁻¹时,上清液浊度变化非常小,浊度曲线变化不再显著。

根据上述结果结论,絮凝剂的水平取值可确定为:50 mg·L⁻¹,100 mg·L⁻¹,150 mg·L⁻¹,200 mg·L⁻¹,250 mg·L⁻¹。各因素水平的取值详见表1。

表1中絮凝阶段的转速和时间配置如下:

絮凝转速配置:D1:100 r·min⁻¹,70r·min⁻¹,40r·min⁻¹;D2:130r·min⁻¹,70r·min⁻¹,40r·min⁻¹;D3:160r·min⁻¹,70r·min⁻¹,40r·min⁻¹;D4:190r·min⁻¹,70r·min⁻¹,40r·min⁻¹;D5:220r·min⁻¹,

表 1 正交混凝试验各因素水平取值

| 水平 | 絮凝剂种类 | 絮凝剂投加量 (/mg·L ⁻¹) | PAM 投加量 (/mg·L ⁻¹) | PAM 投加 间隔时间/(s) | 絮凝转速 (/r·min ⁻¹) | 絮凝时间/(min) |
|----|---------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------|
| 1 | PAS(1) | 50(1) | 0.00 (1) | 0 (1) | D1 (1) | E1 (1) |
| 2 | PAC(2) | 100 (2) | 0.25 (2) | 30 (2) | D2 (2) | E2 (2) |
| 3 | PAFC(3) | 150 (3) | 0.50 (3) | 60 (3) | D3 (3) | E3 (3) |
| 4 | SPFS(4) | 200 (4) | 0.75 (4) | 90 (4) | D4 (4) | E4 (4) |
| 5 | PFC(5) | 250 (5) | 1.00 (5) | 120 (5) | D5 (5) | E5 (5) |

70r·min⁻¹, 40r·min⁻¹。

絮凝时间配置 : E1 : 2min, 2min, 1min ; E2 : 2min, 4min, 4min ; E3 : 2min, 6min, 7min ; E4 : 2min, 9min, 9min ; E5 : 2min, 10min, 13min

2.4 试验方法

用 5 个烧杯分别盛入 1000mL 的相同水样, 置于混凝实验搅拌器平台上, 称取 50 g 絮凝剂和 0.5 g PAM 分别配置成 5 %、0.05 % 浓度的溶液, 将不同剂量絮凝剂溶液加入水中, 以 500r·min⁻¹ 搅拌 20s、300 r·min⁻¹ 搅拌 30 s 进行快速混合后, 按表 1 中的设定值进行混凝试验。静置沉淀 15 min, 用医用针筒取 100 mL 上清液于烧杯内, 进行

上清液浊度的测量, 浊度测量次数为 3 次, 取中间值。

3 结果分析

测定各水平浊度值, 试验结果见表 2。根据表 2 取得的 25 组出水浊度进行分析计算, 得出各水平的平均值, 再将各水平中最大平均值与最小平均值相减, 得出极差值 R, 试验结果见表 3。比较各水平极差值 R 的大小, 将各水平最小平均值进行组合, 便得出各因素对混凝试验影响的显著性次序及本次混凝试验的最优化水平^[10]。

表 2 正交混凝试验设计表

| 序号 | 絮凝剂种类 | PAC 投加量 (/mg·L ⁻¹) | PAM 投加量 (/mg·L ⁻¹) | PAM 投加 间隔时间/(s) | 絮凝转速 (/r·min ⁻¹) | 絮凝时间 (/min) | 出水浊度 (/NTU) |
|----|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
| 1 | PAS(1) | 50(1) | 0.00(1) | 0(1) | D1(1) | E1(1) | 930 |
| 2 | PAS(1) | 100(2) | 0.25(2) | 30(20) | D2(2) | E2(2) | 546 |
| 3 | PAS(1) | 150(3) | 0.50(3) | 60(3) | D3(3) | E3(3) | 258 |
| 4 | PAS(1) | 200(4) | 0.75(4) | 90(4) | D4(4) | E4(4) | 15.3 |
| 5 | PAS(1) | 250(5) | 1.00(5) | 120(5) | D5(5) | E5(5) | 4.9 |
| 6 | PAC(2) | 50(1) | 0.00(2) | 30(3) | D3(4) | E5(5) | 99.2 |
| 7 | PAC(2) | 100(2) | 0.25(3) | 60(4) | D4(5) | E1(1) | 31.5 |
| 8 | PAC(2) | 150(3) | 0.50(4) | 90(5) | D5(1) | E2(2) | 16.4 |
| 9 | PAC(2) | 200(4) | 0.75(5) | 120(1) | D1(2) | E3(3) | 15.1 |
| 10 | PAC(2) | 250(5) | 1.00(1) | 0(2) | D2(3) | E4(4) | 13.8 |
| 11 | PAFC(3) | 50(1) | 0.00(3) | 60(5) | D5(2) | E4(4) | 94 |
| 12 | PAFC(3) | 100(2) | 0.25(4) | 90(1) | D1(3) | E5(5) | 29.6 |
| 13 | PAFC(3) | 150(3) | 0.50(5) | 120(2) | D2(4) | E1(1) | 14 |
| 14 | PAFC(3) | 200(4) | 0.75(1) | 0(3) | D3(5) | E2(2) | 11.6 |
| 15 | PAFC(3) | 250(5) | 1.00(2) | 30(4) | D4(1) | E3(3) | 2.1 |
| 16 | PFS(4) | 50(1) | 0.00(4) | 90(2) | D2(5) | E3(3) | 840 |
| 17 | PFS(4) | 100(2) | 0.25(5) | 120(3) | D3(1) | E4(4) | 669 |
| 18 | PFS(4) | 150(3) | 0.50(1) | 0(4) | D4(2) | E5(5) | 530 |
| 19 | PFS(4) | 200(4) | 0.75(2) | 30(5) | D5(3) | E1(1) | 280 |
| 20 | PFS(4) | 250(5) | 1.00(3) | 60(1) | D1(4) | E2(2) | 139 |
| 21 | PFC(5) | 50(1) | 0.00(5) | 120(4) | D4(3) | E2(2) | 608 |
| 22 | PFC(5) | 100(2) | 0.25(1) | 0(5) | D5(4) | E3(3) | 324 |
| 23 | PFC(5) | 150(3) | 0.50(2) | 30(1) | D1(5) | E4(4) | 31.6 |
| 24 | PFC(5) | 200(4) | 0.75(3) | 60(2) | D2(1) | E5(5) | 8.9 |
| 25 | PFC(5) | 250(5) | 1.00(4) | 90(3) | D3(2) | E1(1) | 3.4 |

表3 正交混凝试验极差分析表

| 极差参数 | 絮凝剂种类 | 絮凝剂投加量 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) | PAM 投加量 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) | PAM 投加 间隔时间/s | 絮凝转速 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) | 絮凝时间 (min) |
|---------------|---------------------------------------|---|--|------------------|--|---------------|
| $\Sigma(1)/5$ | 350.84 | 514.24 | 361.88 | 229.06 | 325.28 | 251.78 |
| $\Sigma(2)/5$ | 35.20 | 320.02 | 191.78 | 284.54 | 237.70 | 264.20 |
| $\Sigma(3)/5$ | 30.26 | 170 | 106.28 | 208.54 | 237.88 | 287.84 |
| $\Sigma(4)/5$ | 491.60 | 66.18 | 180.94 | 237.38 | 118.30 | 164.74 |
| $\Sigma(5)/5$ | 195.18 | 32.64 | 262.20 | 143.86 | 183.92 | 134.52 |
| 极差 R | 320.58 | 481.60 | 255.60 | 140.68 | 206.98 | 153.32 |
| 主次顺序 | PAFC 投加量>PAM 投加量>絮凝转速>絮凝时间>PAM 投加间隔时间 | | | | | |
| 最优水平 | PAFC | 250 | 0.50 | 120 | D4 | E5 |

由表3的试验分析数据可以得出,各因素在所取水平取值范围内影响混凝效果的显著性次序为:絮凝剂投加量>絮凝剂种类>PAM投加量>絮凝转速>絮凝时间>PAM投加间隔时间,其中絮凝剂的投加量对混凝效果的影响最大,PAM投加间隔时间的影响最小。试验得出了混凝的最优化条件,即选择PAFC作为絮凝剂,PAFC投加量为 $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,PAM投加量为 $0.50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,PAM投加间隔时间为120s,絮凝转速和时间为 $190\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 快速搅拌2min, $70\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 中速搅拌10min, $40\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 慢速搅拌13min。

由极差分析可以看出,絮凝剂所取得的混凝效果PAFC取得的混凝效果最好。目前,PAFC生产工艺已非常成熟,性价比不断提高,已经具备一定的条件替换PAC作为矿井水混凝处理中的主流絮凝剂,并且利用PAFC作絮凝剂产生的煤泥量少,密实度高。

试验发现,絮凝转速对混凝效果的影响要大于絮凝时间,这就表明在以微细岩石粉为主的含特殊悬浮物矿井水絮凝过程中,颗粒之间相互碰撞发生凝聚作用而产生的絮体较小,絮体变大和发生破碎所需时间也会延长,因此,含特殊悬浮物矿井水混凝过程中所需GT值应适当增大。

此外,结合表2和表3可以看出,随着絮凝剂投加量的逐渐增加,各因素水平的出水浊度和极差R值有明显降低趋势,因此,进一步提高混凝正交试验中絮凝剂投加量的水平取值,可以使试验出水浊度继续降低。

4 结论

1)煤矿在井下新巷道掘进及开采工作面延伸时所排出的含特殊悬浮物矿井水中,悬浮固体以岩粉为主,颗粒细小,水中的胶体颗粒所占比例较大,化学成分复杂,水体外观呈灰乳色,自然沉降

性能和混凝性能都较差。

2)各因素在所取水平取值范围内影响混凝效果的显著性次序为:絮凝剂投加量>絮凝剂种类>PAM投加量>絮凝转速>絮凝时间>PAM投加间隔时间,其中絮凝剂的投加量对混凝效果的影响最大,PAM投加间隔时间的影响最小。

3)试验得出了混凝的最优化条件,即选择PAFC作为絮凝剂,PAFC投加量为 $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,PAM投加量为 $0.50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,PAM投加间隔时间为120s,絮凝转速和时间为 $190\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 快速搅拌2min, $70\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 中速搅拌10min, $40\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 慢速搅拌13min。

4)含特殊悬浮物矿井水混凝过程中所需GT值应适当增大,在所选絮凝剂种类中,PAFC所取得的混凝效果最好。

参考文献:

- [1] 高亮.我国煤矿矿井水处理技术现状及其发展趋势[J].煤炭科学技术,2007,35(9):1-5.
- [2] 郭中权,王守龙,朱留生.煤矿矿井水处理利用实用技术[J].煤炭科学技术,2008,36(7):3-5.
- [3] 何绪文,钱大益,谭远斌,等.高浊度矿井水水质特性[J].北京科技大学学报,2008,30(8):844-877.
- [4] 高亮,周如禄,徐楚良,等.煤种与煤矿矿井水水质特征之间的相关性[J].能源环境保护,2004,18(6):46-48.
- [5] 周如禄,高亮,陈明智.煤矿含悬浮物矿井水净化处理技术探讨[J].煤矿环境保护,2000,14(1):10-12.
- [6] 郭德,吴大为,张秀梅.高浓度矿井水的处理方案与实践[J].工业水处理,2003,23(5):55-56.
- [7] 毕翀宇,李日强,刘娜,等.煤矿矿井水的混凝处理[J].能源环境保护,2009,9(1):27-29.
- [8] 蔡康煜.水的混凝及絮凝杯罐试验方法的研究[J].化学清洗,1998,14(6):1-7,46.
- [9] 张乐英,徐得潜,陈慧.混凝过程最佳控制指标研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2003,26(6):1179-1182.
- [10] 吴俊奇,李燕城.水处理实验技术[M].3版.北京:中国建筑工业出版社,2009:49-59.