



移动扫码阅读

王国栋,郑利祥,屈庆利,等.含悬浮物矿井水预处理系统运行优化分析研究[J].能源环境保护,2022,36(4):86-90.  
WANG Guodong,ZHENG Lixiang,QU Qingli,et al. Study on operation optimization of the pretreatment system for suspended solids-containing coal mine water[J]. Energy Environmental Protection,2022,36(4):86-90.

# 含悬浮物矿井水预处理系统运行优化分析研究

王国栋<sup>1</sup>,郑利祥<sup>2,\*</sup>,屈庆利<sup>1</sup>,杨建超<sup>2</sup>,田希双<sup>1</sup>,周金平<sup>3</sup>,

郭中权<sup>2</sup>,宋德月<sup>1</sup>

(1.兖煤蓝天清洁能源有限公司,山东 济宁 272000;2.中煤科工集团杭州研究院有限公司,浙江 杭州 311201;3.兖矿能源集团股份有限公司济宁三号煤矿,山东 济宁 272000)

**摘要:**为提高含悬浮物矿井水预处理能力并减少后续膜处理单元的污堵,分析了某矿区9个典型煤矿含悬浮物矿井水预处理系统中存在的运行问题,提出了优化措施。结果表明:通过工艺优化、构筑物改造、设备智能化升级和药剂优选等措施,矿井水预处理效率和稳定性有所提高,悬浮物平均去除率提高了8%~15%;优化后的预处理系统药剂成本为0.2~0.4元/t,比优化前下降了5%~20%;综合运行成本下降了3%~25%。

**关键词:**煤矿矿井水;含悬浮物;预处理;运行优化;节能降本

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)04-0086-05

## Study on operation optimization of the pretreatment system for suspended solids-containing coal mine water

WANG Guodong<sup>1</sup>,ZHENG Lixiang<sup>2,\*</sup>,QU Qingli<sup>1</sup>,YANG Jianchao<sup>2</sup>,TIAN Xishuang<sup>1</sup>,  
ZHOU Jinping<sup>3</sup>,GUO Zhongquan<sup>2</sup>,SONG Deyue<sup>1</sup>

(1.Yan Coal Lantian Clean Energy Co.,Ltd.,Jining 272000,China;2. Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China;3. Jining No.3 Coal Mine Yanzhou Coal Ming Co.,Ltd.,Jining 272000, China)

**Abstract:** In order to improve the pretreatment capacity of mine water containing suspended solids and reduce the pollution and blockage on the subsequent membrane system, the operation problems existing in the mine water pretreatment systems of 9 typical coal mines in a mining area were analyzed, and the optimization measures were put forward. The results showed that the treatment efficiency and effluent stability of the mine water pretreatment systems were improved through some measures such as process optimization, structure transformation and improvement, equipment intelligent upgrade, and reagent optimization. The average removal (%) of suspended solids in effluent was increased by 8%~15%. The operating cost of the optimized pretreatment system was reduced to 0.2~0.4 yuan/t, which was 5%~20% lower than that before optimization. The comprehensive operating cost was decreased by 3%~25%.

**Key Words:** Coal mine water; Containing suspended solids; Pretreatment; Operation optimization; Energy saving and cost reducing

收稿日期:2022-05-07;责任编辑:金丽丽

基金项目:兖矿能源集团股份有限公司科技计划项目(MY2021B111-R60)

第一作者简介:王国栋(1979—),男,山东邹城人,高级工程师,硕士,主要研究方向为热能与动力工程技术。E-mail:wgdllyj@163.com

通讯作者简介:郑利祥(1982—),男,浙江绍兴人,副研究员,硕士,主要人事水处理技术研究与工程应用。E-mail:zhenglx117@126.com

## 0 引言

煤矿矿井水是煤炭开采过程中伴随产生的,具有煤炭行业废水含悬浮物的特点<sup>[1-3]</sup>。矿井水直接排放不仅污染矿区环境,还会造成水资源的浪费。含悬浮物矿井水总涌水量大,处理相对简单,因此实现含悬浮物矿井水的高效处理与资源化利用符合企业可持续发展的要求,环境效益和经济效益显著<sup>[4-6]</sup>。

山东某矿区建有多多个矿井,各矿矿井水处理和资源化利用已有二十多年历史,实现了矿井水“由黑水变清水”的基本目标,取得了良好的环境效益和社会效益。由于矿井水处理站建成时间较早,采用工艺较现在落后,水质水量较初期有所变化,预处理系统存在设备老旧,自动化程度不高,部分设施淤堵,药剂种类不合适等问题。另外,矿区位置处于国家南水北调工程流经区域,对排水水质提出了更高要求。为了提高含悬浮物矿井水预处理系统的处理能力,改善其出水水质和稳定性,降低运行费用,减少对后续膜系统的污堵影响,实现矿井水资源化回用或达标排放,需要对矿井水预处理系统进行运行优化研究,并提出优化措施与方法。在保证预处理系统出水水质达标的前提下,实现“降本、增效和减人”的目的。本文综合各矿矿井水预处理系统中存在的现状与问题,通过对这些矿井水预处理系统的工艺优化调整、构筑物改造完善、设备智能化升级和药剂优选适配等方面进行分析研究,为解决类似问题提供参考借鉴。

## 1 矿井水预处理系统现状

### 1.1 水量水质

选取山东某矿区 9 个典型煤矿矿井水预处理系统进行调研分析,各矿矿井水主要来自于井下排水。典型矿井的矿井水排水量约为 4 000 ~ 5 000 m<sup>3</sup>/d,其中最大排水量 13 000 m<sup>3</sup>/d。矿井水水质呈黑色,污染物主要为煤屑和少量岩粉,属于典型的含悬浮物矿井水,水质较差。矿井水原水悬浮物含量在 500 ~ 1 500 mg/L。由于井下生产活动,矿井水短时出现机械油、乳化液、泡花碱等石油类污染物,干扰预处理系统的加药絮凝效果,影响出水稳定性。

### 1.2 矿井水预处理系统工艺

各矿矿井水预处理系统主要采用“澄清+过

滤”工艺,对于部分矿已在井下进行过预处理的则采用“混凝沉淀+过滤”工艺,工艺流程如图 1 所示。

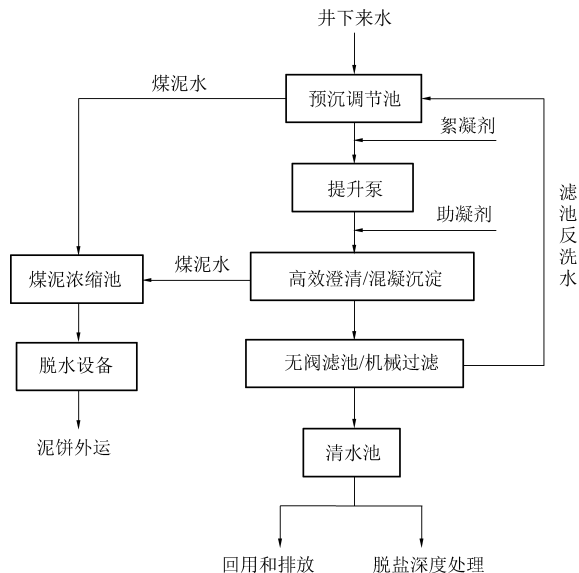


图 1 矿井水预处理系统工艺流程

Fig.1 Process flow of the coal mine water pretreatment system

混凝沉淀/澄清工艺是矿井水净化预处理中广泛采用的工艺,目前较为成熟。该工艺主要影响因素是加药量、排泥量的实时精准控制和原水污染物负荷变化<sup>[7-9]</sup>。

### 1.3 矿井水预处理系统存在问题

通过对各矿矿井水预处理系统的调研分析,主要存在以下代表性问题:

(1)原处理系统运行多年,设备逐渐陈旧,部分设施淤堵严重,大大降低了实际处理能力。同时随着技术进步,原处理工艺相对落后,药剂选择不合适,运行中加药量太大,造成了处理成本过高。

(2)调节预沉池不设排泥设施(人工清理)或排泥不及时,排泥量跟不上沉泥量,造成沉泥返回至水中,出水浊度升高。

(3)排泥阀没有配套监控装置,排泥时间和间隔无法进行有效统计,缺乏有效指导和数据支持。操作人员存在随意性和盲目性。

(4)药剂稀释度和水解时间难以保证,再加上投加计量不佳,使得混凝效果较差。药量溶解不充分,PAC 固体沉积严重,PAM 出现大量棉花状凝聚物,导致计量泵被堵或损坏。

(5)澄清池运行主要问题是排泥不均、排泥斗和底阀的排泥性能达不到设计要求。

(6)电气方面自动化水平不高、设备陈旧、控制系统的设计与实际生产工艺不符,监控模块和通讯模块在硬件和软件设计方面存在不足等。

(7)乳化液和油脂渗入矿井水,形成浮油层。投加PAC脱稳聚合,与煤泥沉淀分离,或浮于水面,进入无阀滤池。滤池结油板结,影响出水。

(8)井下大量使用泡花碱、化肥等防火剂原料,造成矿井水含有硅酸钠、氨氮等特殊污染物质,致使水质波动大、pH处于变化中,呈偏碱状态,悬浮物不易沉淀和去除,混凝效果差。

## 2 矿井水预处理系统工艺优化

### 2.1 工艺选择优化

针对现状问题,结合各矿矿井水预处理系统运行特点,在工艺方面的运行优化可做如下工作:

(1)针对高悬浮物负荷大,难混凝沉降等问题,原混凝沉淀工艺可改造采用“絮凝污泥回流强化助凝”工艺,将混凝沉淀后的污泥回流,回流量设置为原水的10%~15%,可提高悬浮物去除效率,降低药剂投加量。原澄清工艺可改造成投加重介(微砂或铁粉)辅助的强化絮凝工艺,可缩短沉淀时间,提高悬浮物去除负荷。优化工艺如图2所示。

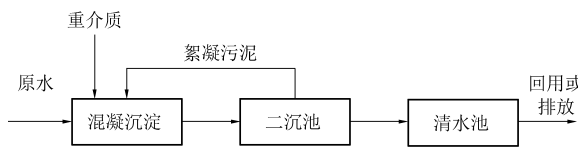


图2 强化絮凝优化工艺

Fig.2 Optimized enhanced flocculation process

(2)针对煤泥处理量大和脱水困难等问题,可考虑优化煤泥水处理工艺,将调节池、澄清池或沉淀池底泥通过煤泥池排至选煤厂,预处理系统煤泥处理与选煤厂煤泥处理统筹管理,实现煤泥水和上清液之间的闭环循环。避免煤泥重新进入预处理系统循环,可减少矿井水中煤泥含量和药剂费用,也可减轻预处理系统排泥压力,提高矿井水预沉效果。

(3)针对矿井水中除油工艺优化,可考虑投加药剂破乳和物理吸附的方法优化。通过投加絮凝剂混凝混合搅拌后,以沉淀排泥方式去除。对于表面浮油可采用吸油毡或集油槽排除。

(4)针对运行中能耗高,运行费用大的问题,可考虑节能降耗方面的运行优化。利用矿井水峰谷排放规律,通过调整优化水处理工艺,减少水处

理用电设备、降低设备功率,减少设备运行时间,以降低水处理运行能耗。

### 2.2 工艺构筑物改造优化

一般情况下,较大规模的构筑物改造重建较为困难,但在投资可控范围内进行构筑物局部的改造或增设具有可行性。通过构筑物局部改造的运行优化可做如下工作:

(1)矿井水水量变化大的情况下,须保证配水均匀性,在前端设置调节池和初沉池,并配备排泥设备,定期排泥。

(2)澄清池或沉淀池上部加装高效沉淀装置,底部排泥管改造,排泥不进入循环系统。

(3)井下提前设置预处理系统或复用水系统,去除矿井水中的悬浮颗粒物或处理后直接复用,减轻地面处理负荷和处理水量。

(4)进水悬浮物含量远超设计值时,可在预沉调节池前设置管道混合器,投加絮凝剂和助凝剂,提高处理效率,减轻后续工艺负荷。同时也可作为除油除有机物的应急处理措施。

(5)澄清池或沉淀池中集泥过多,排泥不畅,可在底部加设曝气管,增加污泥流动性。

### 2.3 工艺设备优化升级

设备仪表仪器是工艺操作和参数监测的重要执行单元。设备仪表仪器性能决定了工艺运行的稳定性和人机交流性。为了提高设备仪表仪器在预处理系统运行工艺中的自动化和智能化程度,可在以下方面做些工作:

(1)在排泥阀上安设在线监测装置,实现对排泥实时监测和记录,调整排泥频率和时间。集泥斗安装泥量界面仪,用以监督和督促操作人员根据矿井水水质变化和界面仪显示煤泥量百分比。

(2)药剂投加系统中溶药箱进水改成底部进水反冲方式,利用水的冲击,增加药品的溶解速度和溶解能力。安装搅拌机采取分区溢流方式进行两级搅拌。可在原搅拌机桨片上部增加一组相同尺寸桨片,增加搅拌刀。

(3)开发设备的计算机辅助管理系统、点检系统、维修模式、设备故障分析和快速排除方法等制度。

(4)将智能化设备仪表仪器和控制技术引入矿井水预处理系统工艺操作运行中,构建矿井水预处理智能化系统,如矿井水预处理智能加药与排泥、水下絮体图像识别与粒径分析、可视化智能巡检监控等控制技术<sup>[10-13]</sup>,可提高预处理系统运

行的实时性和安全性。

## 2.4 药剂优选与投加量适配优化

根据各矿矿井水进水水质情况,通过现场试验分析得到优先药剂类型和适配投加量。混凝剂的优选原则是能产生较大、较重和较强的絮体,混凝效果好,沉淀后出水浊度小;助凝剂的优选原则是能有效改善絮凝体的结构,增大絮凝体的尺寸与密度,使细小而松散的絮体变得粗大而密实。

对各矿矿井水进行了投加混凝剂和助凝剂的优化试验。试验采用六联混凝搅拌反应装置,可设置尽可能接近实际的模拟工艺参数,包括反应时间和搅拌强度等。试验首先对混凝剂种类和投加量进行优选,在确定优选混凝剂的基础上进行助凝剂种类和投加量优化,最终确定最佳絮凝剂和助凝剂。

药剂优选也可通过有效成分含量的检测值确定,如聚合氯化铝检测氧化铝质量分数、盐基度和水不溶物质量分数指标;聚丙烯酰胺检测相对分子质量、阴离子度、固含量和溶解时间等指标。根据药剂指标分析比较并结合混凝试验结果综合判定药剂优选种类和投加量。

药剂投加量须根据进水水质的变化定期进行试验确定。这是比较常规的方法,但存在滞后性和缺乏实时关联性问题。随着仪表设备的自动化和智能化技术发展,相关研究院开发出了具有在线浊度检测、水下絮凝效果图像识别、投加量实时纠偏调整等功能于一体的药剂投加智能化集成装备<sup>[14-15]</sup>。

## 3 优化效果与经济性分析

### 3.1 优化效果

针对各矿矿井水预处理系统存在的问题进行了多方面的运行优化分析与措施落实,得到了以下方面的优化效果:

(1)预处理系统进水负荷短期变大时,澄清池或沉淀池产水水质符合要求且稳定。优化前进水负荷变大(进水量或进水悬浮物含量变大)时,产水有时可见细小絮体,产水浊度平均在 30~60 NTU。优化后澄清池满负荷(或超负荷 10%)运行时,其产水浊度可稳定在 5~15 NTU。预处理产水水质大大改善,澄清池或沉淀池未出现“翻池”现象。

(2)后续滤池过滤周期变长,反洗次数减少。由于优化后澄清池或沉淀池出水水质变好,过滤

反洗的周期比优化前延长约 50%以上,节约了用水量,减少了反洗设备运行次数,节省了电耗。

(3)节省药剂成本。优化后絮凝剂和助凝剂的投加量减少,各矿预处理系统吨水药剂成本降至 0.2~0.4 元,比优化前的吨水药剂成本下降 5%~20%。

### 3.2 经济性分析

结合各矿矿井水预处理系统中存在的问题和运行优化措施落实情况,通过近期的运行经济性分析,得到各矿预期的综合运行成本(药剂费、电费和人工成本等)如图 3 所示。

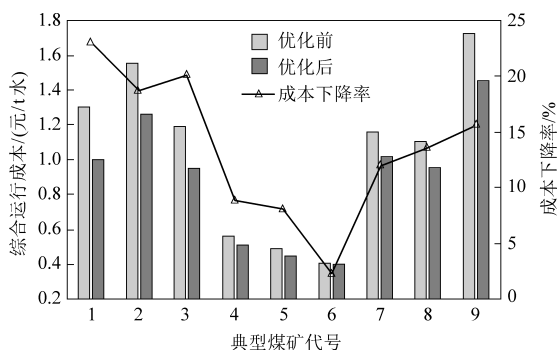


图 3 优化前后各矿预处理运行综合成本比较

Fig.3 Comparison of comprehensive operation cost of pretreatment before and after optimization for different coal mines

由图 3 可知,各矿预处理系统优化后的综合运行成本都有所下降,特别是优化前综合运行成本较高的下降空间较大,最高可下降 25%左右,最低下降了约 3%。结合各矿预处理系统的实际处理量,优化后的综合运行成本平均下降程度约为 12%。各矿综合运行成本和成本下降率之所以相差较大,主要是由于综合运行成本中人工成本构成比例和各矿运行成本基数相差较大造成的。

## 4 结 论

通过对山东某矿区 9 个煤矿矿井水处理站预处理系统运行优化研究分析,得到以下结论:

(1)对于建设较早、工艺落后、运行存在问题和出水要求提标的矿井水处理站,有必要进行其预处理系统的运行优化研究。

(2)结合原预处理系统存在问题,以问题为导向,从工艺改进、构筑物改造、设备升级、药剂优选、制度完善等方面研究优化,主要解决澄清池因设备及运行工况不合理等造成的出水水质异常、排泥效果差、药剂投加大、运行成本高等问题。

(3)优化后预处理系统运行成本下降,经济效

益可观。优化后系统吨水药剂成本可降至 0.2~0.4 元,比优化前下降 5%~20%,综合运行成本平均可下降约 12%,最高可下降 25%左右。

## 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] 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.
- [3] 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.
- [4] 倪深海, 彭岳津, 张楠, 等. 煤矿矿井水资源综合利用潜力研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2018 (11): 78-81.
- [5] 闫佳伟, 王红瑞, 赵伟能, 等. 我国矿井水资源化利用现状及前景展望 [J]. 水资源保护, 2021, 37 (5): 117-123.
- [6] 何绪文, 张晓航, 李福勤, 等. 煤矿矿井水资源化综合利用体系与技术创新 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46 (9): 4-11.
- [7] 贾玉丽. 高悬浮物高矿化度矿井水资源化关键技术应用研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015: 15-16.
- [8] 朱留生, 周如禄. 矿井水净化处理混凝剂投加控制技术 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (1): 118-120.
- [9] 赵厚斌, 崔东锋, 徐细波. 混凝澄清+超滤反渗透工艺处理天池煤矿矿井水 [J]. 能源环境保护, 2015, 29 (2): 26-29.
- [10] 周如禄, 朱留生. 煤矿矿井水处理厂自动控制技术探讨 [J]. 煤炭科学技术, 2003, 31 (1): 37-38.
- [11] 崔东锋, 周如禄, 朱留生, 等. 矿井水处理监控系统的设计与应用 [J]. 煤矿机电, 2007 (5): 19-20.
- [12] 王国法, 刘峰, 孟祥军, 等. 煤矿智能化 (初级阶段) 研究与实践 [J]. 煤炭科学技术, 2019, 47 (8): 1-36.
- [13] 周如禄, 崔东锋, 郭中权, 等. 矿井水净化处理全过程监控系统: 201020168650. 4 [P]. 2010-11-17.
- [14] 崔东锋. 基于 S7-1200PLC 的加药系统模糊控制器设计 [J]. 自动化技术与应用, 2015, 34 (5): 16-19.
- [15] 周如禄, 朱留生, 崔东锋. 矿井水净化自动加药装置: 200920307061. 7 [P]. 2010-05-17.