



移动扫码阅读

丁永红,申海生,王坤,等.矿井水微量乳化油去除试验研究与应用评估[J].能源环境保护,2019,33(6):39-41+50.

DING Yonghong, SHEN Haisheng, WANG Kun, et al. Experimental study of trace emulsified oil removal in mine water and application assessment[J].Energy Environmental Protection, 2019, 33(6): 39-41+50.

## 矿井水微量乳化油去除试验研究与应用评估

丁永红<sup>1</sup>, 申海生<sup>1</sup>, 王坤<sup>2</sup>, 王忠泉<sup>2</sup>, 赵春洲<sup>1</sup>, 秦树林<sup>2</sup>

(1.山西潞安矿业集团慈林山煤业有限责任公司李村煤矿,山西长治046100;

2.煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江杭州311201)

**摘要:**采用臭氧氧化+活性炭吸附+混凝组合工艺处理矿井水微量乳化油,试验结果表明:组合工艺出水乳化油浓度小于0.05 mg/L,浊度小于3 NTU,达到《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质要求。结合试验数据分析了组合工艺应用于矿井水乳化油去除的可行性,以1 000 m<sup>3</sup>/d的处理规模为,吨水投资为1 100元,吨水运行成本为0.94元。

**关键词:**矿井水;乳化油;臭氧氧化;应用评估

中图分类号:X830.7

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2019)06-0039-03

### Experimental study of trace emulsified oil removal in mine water and application assessment

DING Yonghong<sup>1</sup>, SHEN Haisheng<sup>1</sup>, WANG Kun<sup>2</sup>, WANG Zhongquan<sup>2</sup>, ZHAO Chunzhou<sup>1</sup>, QIN Shulin<sup>2</sup>

(1. Shanxi Luan Mining Group Cilinshan Coal Co., Ltd., Licun Coal Mine, Changzhi 046100, China;

2. Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:** In this study, a combined process of ozonation-adsorption-coagulation was applied to remove trace emulsified oil from mine water. The results showed that the concentration of emulsified oil in effluent was lower than 0.05 mg/L and turbidity was lower than 3 NTU after the treatment. The effluent met the Ⅲ standard of "Standard of surface water quality". Also the possibility of full-scale application of this combined process was evaluated. Taking a mine water treatment project with 1 000 m<sup>3</sup>/d flow rate as example, the cost of investment and operation was ¥1 100/t and ¥0.94/t.

**Keywords:** Mine water; Emulsified oil; Ozone oxidation; Application assessment

## 0 引言

据相关我国煤矿矿井水的调查、分析发现:矿井水中乳化油含量多在0.5~1.0 mg/L<sup>[1]</sup>,浊度大,远远超过《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中适用于作生活饮用水水源水质的Ⅲ类水水质标准,Ⅲ类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区)地表水质量标准规

定值:石油类<0.05 mg/L、浊度<3 NTU。水体中含有较多的乳化油,尤其是在当生活饮用水采用氯化物消毒杀菌时,微量的有机物能与氯反应生成具有“三致”的有机氯化物<sup>[2]</sup>,如何经济有效处理矿井水中的微量乳化油具有重要意义。本研究将考察以氧化、吸附、混凝的组合工艺处理矿井水中微有机污染物的效果,并对其工程应用性进行评估。

收稿日期:2019-08-20

项目基金:山西潞安矿业集团慈林山煤业有限责任公司李村煤矿科技开发项目(19G-117)

第一作者简介:丁永红(1975-),男,山西垣曲人,硕士,主要从事煤矿开采技术研究。E-mail:lemkzgb1210@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 试验水样

试验水样取自山西某煤矿矿井水出水,共5批水样,呈浑浊淡灰色,经检测矿井水中乳化油含量约为0.4~0.8 mg/L(以石油类计),浊度为9~15 NTU。

### 1.2 试验方法

将矿井水置于原水箱中,矿井水经泵打入臭氧氧化反应池内,经臭氧氧化后流入活性炭吸附池,活性炭单独配药加入吸附池内,吸附池内设置搅拌

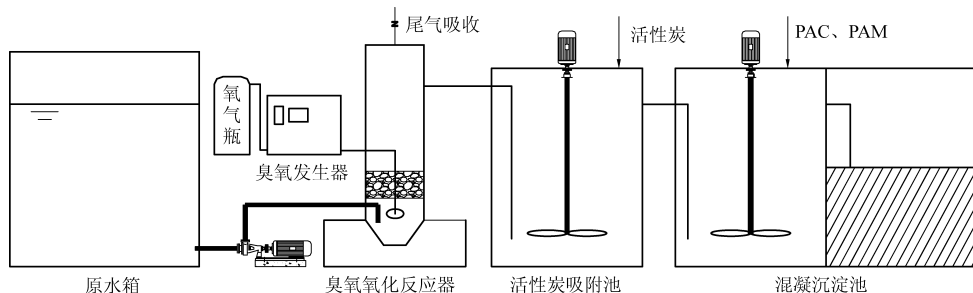


图1 氧化吸附混凝处理矿井水试验装置图

### 1.3 试验仪器与分析方法

#### 1.3.1 试验仪器

FH-CYJ1510A-Y(B)型臭氧发生器,GDS-3光电浊度仪,DBJ-621定时变速搅拌机,UV-2100紫外可见光分光光度计。

#### 1.3.2 分析方法

浊度采用GDS-3光电浊度仪测定,乳化油的浓度按国标《地表水环境质量标准分析方法》(GB 3838-2002)中的紫外分光光度法测定。

## 2 试验结果与讨论

对不同浓度矿井水的试验结果如图2所示。高级氧化手段能有效的去除水中的微量乳化油<sup>[3-7]</sup>,臭氧在环境中极不稳定,容易生成氧气和氧原子,氧原子具有强氧化性<sup>[8,9]</sup>,能够将混合乳化油氧化,甚至矿化成二氧化碳和水。矿井水经臭氧氧化后再通过活性炭的吸附作用,在均匀充分的搅拌下将未氧化或未完全氧化的乳液吸附至活性炭孔隙内<sup>[10]</sup>,同时活性炭也会吸附矿井水中的胶体。最后经混凝沉淀过程将矿井水中的部分可溶性有机物、活性炭及胶体污染物同步沉淀分离,最终矿井水达标排放。从图2来看,当原水含油量平均值为0.655 mg/L时,出水含油量平均值为0.019 mg/L,石油类去除率为98.1%。当原水浊度平均值为11.74 NTU时,出水浊度平均值为0.16 NTU,浊度去除率为97.2%。其中,矿井水经

装置,经充分的混合吸附后矿井水再流入混凝池,混凝池内通过投加一定浓度的混凝剂(聚合氯化铝)后搅拌完全至形成矾花絮体,最后经沉淀池进行泥水分离,上清液为处理出水。试验过程中,进水量为10 L/h,臭氧的投加量为0.7~0.8 mg/L,臭氧氧化时间为15 min,粉末活性炭(50目筛)的配制浓度为1%~2%,投加量为50 mg/L,活性炭吸附反应时间为25 min,混凝剂投加量为30 mg/L,搅拌强度均保持在120~200 rpm,试验装置如图1所示。

臭氧氧化后的乳化油浓度分别为0.133、0.186、0.203、0.265和0.277 mg/L,臭氧氧化的平均乳化油去除效率为67.7%。对于活性炭吸附反应,通常进水污染物的浓度越高,去除效率越高,1~5号水样活性炭吸附阶段的乳化油去除率分别达到了70%、78.5%、94.1%、91.3%和93.9%,效果显著。从图2来看,经过臭氧氧化—吸附—混凝处理后的矿井水中石油类<0.05 mg/L,浊度<3 NTU,可以达到生活饮用水要求,证明了该工艺在实际工程上的可行性。

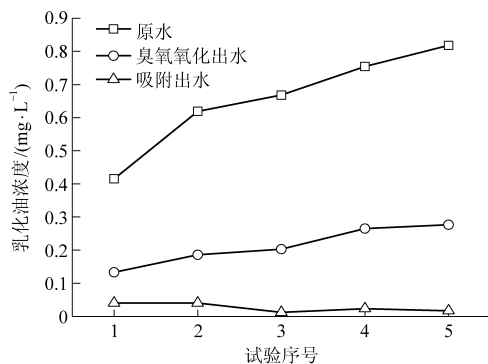


图2 臭氧氧化+吸附混凝处理矿井水中微量乳化油效果

## 3 应用评估

从上述研究可知,含微量有机物的矿井水可以通过臭氧氧化—活性炭吸附—混凝沉淀过滤方法较彻底地去除乳化油,这在实验室是较为理想的,但如果付诸工程,还应该进行工程技术经济评

估,进行可行性的论证。下面我们以 1 000 m<sup>3</sup>/d 规模的含微量乳化油矿井水为例,对该工艺的工程可行性进行评估。

### 3.1 工艺流程设计

在试验研究的基础上,按照试验工艺流程,工程中需要的设备设施如表 1、2 所示,包括调节池、提升泵、臭氧发生器、臭氧氧化塔(含尾气吸收塔)、活性炭吸附池、混凝池、沉淀池、过滤池、活性炭加药系统、混凝加药系统、污泥浓缩池、污泥处理系统等。

工艺流程说明:将调节池内含微量乳化油的矿井水,乳化油浓度不超过 2 mg/L,用提升泵打入臭氧处理装置中,停留时间 0.4 h;矿井水经过臭氧氧化处理后进入活性炭吸附池,将活性炭投药槽内配制好的活性炭悬浮液定量加入钢制(玻璃钢)活性炭吸附池中,进行搅拌、混合、吸附反应,吸附反应 0.5 h 后,流入混凝沉淀池,在混凝沉淀池中加入混凝剂聚合氯化铝的稀释液,进行混凝反应 15 min,生成絮凝体矾花,通过沉淀,絮凝体与清水分层,絮凝体凝聚成污泥,沉入混凝沉淀池的泥斗中,沉淀池表面负荷小于 0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h,上层清水流入过滤池中,进一步去除细小矾花,出水即为处理后的达标水。

混凝沉淀池排出的污泥,流入污泥浓缩池进行浓缩,由螺杆泵打入厢式压滤机,进行污泥脱水干化,干化后污泥外运处置。

表 1 工程构筑物设计

项目	规格型号	数量
调节池	10 m * 10 m * 4 m, 钢砼	1 座
混凝沉淀池	7 m * 7 m * 3 m, 钢砼	1 座
过滤池	Φ5.5 m * 5 m, 钢制防腐	1 座
污泥浓缩池	7 m * 7 m * 3 m, 钢砼	1 座
综合机房	90 m <sup>2</sup> , 砖混	1 座

表 2 工程应用设备清单

项目	规格型号	数量
矿井水提升泵	50 m <sup>3</sup> /h, 扬程 18 m, 功率 4 kW	2 台
臭氧氧化塔	Φ2 m * 5 m, 钢制防腐(玻璃钢)	1 套
臭氧发生器	50 g/h	1 套
活性炭吸附池	Φ3 m * 3 m, 钢制防腐(玻璃钢)	1 套
搅拌机	吸附池与混凝池搅拌, 7.8 kW/台	2 台
活性炭加药系统	含计量泵 2 台、搅拌机一台、 加药桶 1 个 5 m <sup>3</sup>	1 套
混凝剂加药系统	含计量泵 2 台、搅拌机一台、 加药桶 1 个 5 m <sup>3</sup>	1 套
反冲洗泵	346 m <sup>3</sup> /h, 扬程 15 m, 功率 22 kW	1 台
螺杆泵	12 m <sup>3</sup> /h, 压力 0.55 MPa, 功率 4.3 kW	2 台
板框压滤机	80 m <sup>2</sup> , 功率 4 kW	1 台

### 3.2 投资与运行成本估算

根据以上设计内容,通过估算以 1 000 m<sup>3</sup>/d 的矿井水处理工程为例,所需要的工程投资约 111.7 万元(如表 3 所示),运行成本主要包括能耗、污泥处置、药剂费与人工费,吨水运行成本约 0.94 元。

表 3 工程投资与运行成本的估算

费用项目	成本	合计
土建投资(万元)	40.5	111.7 万元
设备投资(万元)	71.2	
能耗成本(元/吨水)	0.38	0.94 元/吨水
污泥处置成本(元/吨水)	0.21	
药剂成本(元/吨水)	0.15	
人工成本(元/吨水)	0.20	

采用臭氧氧化—活性炭吸附—混凝沉淀过滤方法可以较彻底的去除含微量有机物矿井水中的乳化油,同时有效降低矿井水浊度。以 1 000 m<sup>3</sup>/d 规模的含微量乳化油矿井水为例,其工程总投资为 111.7 万元,矿井水处理成本约 0.94 元/吨水,低于工业用自来水成本;微量乳化油去除率 >90%。该工艺在工程应用中是可行的,对于含微量有机物的矿井水的去除具有较好的作用。

## 4 结论

对于矿井水中微量乳化油,通过臭氧氧化—活性炭吸附—混凝沉淀试验研究与应用分析结果,可以得出结论如下:

(1) 在臭氧投加量 0.8 mg/L, 活性炭投加 50 mg/L, 絮凝剂投加 30 mg/L 时,其臭氧对微量乳化油去除率 67.7%, 活性炭吸附对微量乳化油的平均去除率为 85.6%;

(2) 经该工艺处理后最终出水乳化油浓度(以石油类计) <0.05 mg/L, 浊度 <3 NTU, 可以达到《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质要求;

(3) 通过对该工艺进行工程应用评估,以 1 000 m<sup>3</sup>/d 的矿井水处理规模为例,吨水投资成本约为 1 100 元,吨水运行成本仅为 0.94 元,具有显著的经济效应,该工艺处理矿井水乳化油的工程化应用是积极可行的。

## 参考文献

- [1] 肖艳.活性炭吸附处理含乳化油矿井水试验研究[J].能源环境保护,2016,30(4):38-40+8.
- [2] 周华东.铁还原—絮凝法处理氟化工甲基氯化物废水中试研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [3] 荆王松,梅荣武,王泉源.气浮/UASB/芬顿/AO 工艺处理含

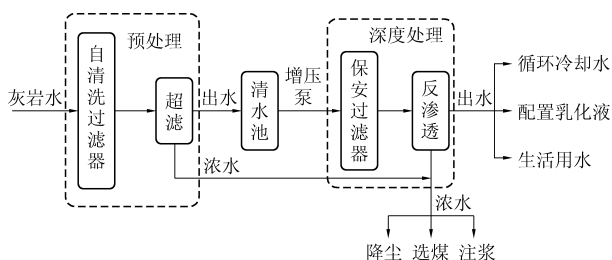


图6 灰岩水作为高标准用水利用工艺流程

### 2.3 灰岩水盐资源利用技术

对于灰岩水中的矿物资源进行利用,可先采用纳滤分盐,再分别对硫酸钠和氯化钠进行提纯<sup>[9]</sup>。灰岩水矿物资源利用流程如图7所示,将经膜处理后的浓水先通过纳滤分盐,其截留下来的硫酸盐经SWRO膜浓缩后进入冷冻结晶工序析出芒硝,母液经高级氧化+微滤处理后返回SWRO膜浓缩工段进行循环利用;氯化物经RO和ED两级浓缩达到蒸发结晶要求时,通过MED/MVR蒸发结晶的方式将氯化钠以结晶盐的形式取出,产生的硫酸钠和氯化钠可进行销售或进一步资源化利用<sup>[10]</sup>。

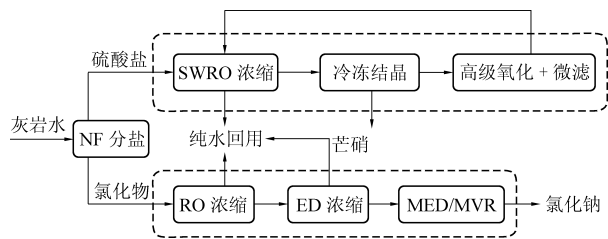


图7 灰岩水矿物资源利用流程

## 4 结论

(1)潘谢矿区灰岩水呈弱碱性、高温、高矿化度,水化学类型多为 $\text{Cl}^- - \text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和

$\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,富含锂、锶、铁、锰、硒等微量元素,重金属含量较低,检出14种稀土元素。

(2)灰岩水蕴含较为丰富的热能,可作为热源进行热能利用,但要做好灰岩水的预处理和换热设备的防腐蚀功能。

(3)结合灰岩水的水质特点,采用分级处理、分质利用的思路对灰岩水进行处理利用,可将灰岩水回用作矿井生产用水和高标准用水。

(4)灰岩水盐分较高,经浓缩后的灰岩水溶液可通过冷冻结晶、MED、MVR等技术将盐类进行提取和利用。

## 参考文献

- [1] 顾大钊,张勇,曹志国.我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):1-7.
- [2] 李翠,毕波,陈永春.淮南矿区矿井井下复用技术探讨[J].能源环境保护,2018,32(3):34-36.
- [3] 李井峰,熊日华.煤炭开发利用水资源需求及应对策略研究[J].煤炭工程,2016,48(7):115-117+121.
- [4] 杨建超,郭中权.塔山煤矿矿井水处理利用工艺改造实践[J].能源环境保护,2016,30(4):41-43.
- [5] 郑彭生,杨建超,郭中权,等.酸性矿井水中和—絮凝沉淀除铁试验研究[J].能源环境保护,2019,33(5):36-38.
- [6] 荣伟国,秦胜.煤矿矿井水井下直接处理及循环利用的工程实践[J].能源环境保护,2018,32(4):30-33.
- [7] 吴雪茜,秦胜,田莉雅,等.预处理混凝剂对高盐矿井水膜浓缩的影响[J].能源环境保护,2018,32(6):40-43.
- [8] 毛维东,周如禄,郭中权.煤矿矿井水零排放处理技术与应用[J].煤炭科学技术,2017,45(11):205-210.
- [9] 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.
- [10] 陈富强,池勇志,秉晖,等.高盐工业废水零排放技术研究进展[J].工业水处理,2018,38(8):1-5+27.

(上接第41页)

油废水[J].中国给水排水,2018,34(8):103-105+109.

- [4] 王振东,刘东方,黄文力,等.混凝-Fenton-生化-臭氧组合工艺处理含油乳化废水[J].水处理技术,2018,44(8):94-98.
- [5] 尹文波.无机盐—电芬顿处理乳化含油废水的研究[D].重庆:重庆大学,2017.
- [6] 郑季鑫.微电解-Fenton法联合处理含油废水的试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2017.
- [7] 董晓清,李继,邵培兵,等.UV/Fenton技术处理某工厂高浓度乳化油废水[J].环境工程学报,2014,8(7):2785-2788.
- [8] Xuotong Fan, Kimberly J.B.Sokorai, Joshua B.Gurtler. Advanced oxidation process for the inactivation of Salmonella typhimurium

on tomatoes by combination of gaseous ozone and aerosolized hydrogen peroxide[J].International Journal of Food Microbiology, 2020, 312. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108387.

- [9] Nan Huang, Wenlong Wang, Zibin Xu, et al. A study of synergistic oxidation between ozone and chlorine on benzalkoniumchloride degradation: reactive species and degradation pathway[J]. Chemical Engineering Journal, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122856.
- [10] 耿莘惠,肖利萍,李莹.沸石、钢渣和活性炭复合处理城市污水的试验研究[J].非金属矿,2015,38(1):76-78.