

曹家滩煤矿矿井水处理技术工程案例探讨

王 信, 杨 军

(中煤科工集团北京华宇工程有限公司, 北京 100120)

摘 要:曹家滩煤矿为新建矿井,针对曹家滩煤矿水质日均波动大,悬浮物不稳定,而且矿化度、有机物较低等特点,矿井水处理站采用絮凝斜管沉淀池、重力式无阀滤池和自动化超滤设备三段分级工艺将地下水分别处理为洗煤厂用水、地面生产消防用水、中水与井下消防洒水。矿井水经过分段、多级处理分别满足了不同回用阶段、不同生产工艺的水质需求,出水水质分别达到了《煤炭洗选工程设计规范》(GB 50359—2005)、《煤矿井下消防、洒水设计规范》(GB 50383—2006)水质标准,实现矿井水水资源的综合利用,实现了矿区与周边环境的协调发展。

关键词:矿井水;重力式无阀滤池;分质供水;超滤

中图分类号:X751

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Discussion on Engineering Cases of Mine Water Treatment Technology in Caojiatan Mine

WANG Xin, YANG Jun

(Huayu Engineering Co., Ltd., China Coal Technology Engineering Group, Beijing 100120, China)

Abstract: As a new mine, the water quality in Caojiatan Coal Mine fluctuates, with unstable suspended solids and low salinity and organic matters. The mine water treatment plant adopts a three-stage classification process, including flocculation inclined tube settling tank, gravity valveless filter, and automated ultra-filtration device, to treat water for different purposes, such as for coal washing plants, firefighting on the ground, and underground firefighting and sprinkler. After segmented and multi-stage treatment, the mine water meets the water quality requirements of different reuse stages and production processes. The effluent water quality has reached the water quality standard: “Coal Preparation Engineering Design Code” (GB 50359-2005) and “Firefighting and Watering in Coal Mine Design Code” (GB 50383-2006). The water treatment has realized the comprehensive utilization of mine water resources and the coordinated development of the mining area and the surrounding environment.

Key words: mine water; gravity valveless filter; quality classified water supply; ultra-filtration

矿井水是伴随井下煤炭生产产生的一种工业废水,同时又是一种重要的水资源^[1]。曹家滩煤矿地处榆林市北部,毛乌素沙漠南部,此处为半干旱地区,常年风沙严重,属于重度缺水地区。通过技术手段将矿井水转化为矿内生产、生活自用水,使生产废

水充分利用,形成资源^[2],不仅节约生产矿井用水成本同时还可以极大缓解附近水源紧缺矛盾,这对于干旱沙漠地带具有实用意义。曹家滩煤矿正常生产能力内涌水量为 881 m³/h,新建矿井水处理站处理能力为 1 200 m³/h,处理后出水主要用于工业场地地

* 收稿日期:2019-10-10

作者简介:王信(1990—),男,河北保定人,硕士,工程师,从事煤炭工业给排水研究工作。

面消防、地面生产、井下消防用水和生活洗漱用水,其中还有一部分作为化工用水外排。矿井水处理站自建成并投产以后,对于水资源的循环利用具有指导及生产意义^[3]。

1 曹家滩煤矿水源特征

曹家滩煤矿矿井水质分析结果表明,矿井水的主要超标项是浊度、悬浮物,但 pH 值、BOD₅、矿化度、硫酸根和氟化物等指标与地下水水质分析相应指标不稳定,有时略有升高,但不超标,石油类、COD_{Cr}、砷和硫化物,属于正常范围,这一点基本上反映了由地下水转化为矿井水的过程中,受井下污染而引起的水质变化情况,总体上呈现出水量不稳定、悬浮物高和低有机物污染的特点^[4-5]。基于以上的分析与分质用水需求,可以认为进行矿井水处理的主要目标是去除浊度、悬浮物等超标污染成分,使矿井水转化为可利用水资源^[6]。

1.1 矿井水来源

曹家滩煤矿年生产能力 15 Mt/a,正常生产能力内矿井水的涌水量为 21 144 m³/d,其水量主要来源于第四系上更新统萨拉乌苏组孔隙潜水含水层、第四系中更新统离石黄土弱含水层,风化岩基岩裂

隙承压水含水层,侏罗系中统直罗组孔隙裂隙承压含水层^[7]。

1.2 矿井水水质特征

矿井水的主要污染物为采煤过程中的煤粉混合物与岩粉、矿粉等,在矿井水经过井下煤仓沉淀以后,由提升泵房提升至地面的矿井水处理站,此时的矿井水主要含有煤粉、煤渣、岩粉、矿粉等,使水体呈现出灰色或者黑色。依据例行监测数据显示:

1)悬浮物含量高。悬浮物含量为 242 mg/L~1 400 mg/L 之间,波动较大,并且依据实际运行发现,悬浮物中含有部分粒径在 2 mm~8 mm 左右的煤渣颗粒物。

2)水质偏碱性。依据连续进水水质监测,进水 pH 值在 8.39~10.34 之间,其原因之一是目前井下仍有少量的施工任务,造成 pH 值不稳定;另一个原因是煤矿处于风化岩基岩裂隙承压水含水层,含有丰富的钙、镁离子,使水体呈现弱碱性^[8]。

3)水质指标不稳定。进水水质整体呈现悬浮物高、碱性高,矿化度大部分时间稳定在 100 左右,含有少量石油类与氟化物,石油类主要是井下机械冲洗造成的,不含有重金属与磁化物等。曹家滩煤矿水质特征如表 1 所示。

表 1 曹家滩煤矿水质特征
Table 1 Mine water quality in Caojiatan Mine

编号	pH 值	石油类/ (mg·L ⁻¹)	硫化物/ (mg·L ⁻¹)	氟化物/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	碱度/ (mg·L ⁻¹)	矿化度
1	8.33	—	0.178	1.190	357	23	7.6	1.380	—	—
2	10.34	—	0.007	0.576	105	—	—	0.153	—	—
3	8.39	0.19	—	—	242	622	294	—	10.9	682
4	9.17	—	0.006	2.360	265	27	—	0.058	—	—
5	9.94	—	0.008	1.010	32	4	—	0.095	—	—

注:“—”表示未检出,“/”表示不做要求

2 水处理工艺介绍

根据第一节,曹家滩煤矿矿井水主要污染物为悬浮物(SS)、浊度,氟化物,pH 略高。矿井水回用主要用于浇花洒水、井下消防洒水、洗煤厂用水。水处理工艺主要构筑物分为一体化综合处理车间、综合处理车间、污泥处理车间。三段工艺流程主要为预处理段、深度处理段、污泥处理系统^[9-10],其工艺流程图见图 1。

2.1 预处理段

矿井水首先进入一体化综合处理间,一体化综合处理间分为两部分。

第一部分为预沉调节池,共分为两格,每格分别进水,设计水力停留时间为 1.5 h,可加入少量 PAC

药剂助沉。预沉调节池出水经由一级提升泵或者高液位自流进入后续部分絮凝斜管沉淀池。絮凝斜管沉淀池分两格,池顶部为斜管,底部为泥斗。预沉调节池出水在进入絮凝斜管沉淀池之前经过管道混合器,与加入的 PAC 药剂与 PAM 药剂充分混合以后进入絮凝斜管沉淀池的前端反应区。共设计六个反应区,其中前部为混合搅拌区,后段为重力流混合区,经过混合区以后进入到斜管池。上清液经由絮凝斜管沉淀池上部集水器流入转输水池,下部主要大、小悬浮物颗粒经斜管沉淀后沉入泥斗。预沉调节池池底与絮凝斜管沉淀池池底均设计为漏斗形状,采用重力式压力排泥,排入污泥池。转输水池的水体经过加氯消毒后外供至洗煤厂用水。

2.2 深度处理段

深度处理段主要采用重力式无阀滤池和超滤膜净水工艺。重力式无阀滤池采用半地下混凝土结构,设计率速为 6.9 h,采用 500 mm 厚鹅卵石垫层和 700 mm 厚活性沙滤层。无阀滤池为活性沙自动砂滤,依据过滤阻力自动反冲洗活性沙,使用方便灵活。传输水池清水经过提升泵提升至重力式无阀滤池,出水一部分进入生产消防水池,主要用于地面生产冲洗水和矿井地面消防用水,另一部分进入传输清水池。传输清水池水体经过超滤进水泵提升至超

滤膜组,超滤膜组件单套处理能力设计为 120 m³/h,超滤膜设备配套建设超滤进水过滤器、超滤反洗过滤器、超滤清洗过滤器、超滤加药清洗设备等,主要辅助超滤膜组件实现自动运行,自动化控制。超滤出水经过加药消毒以后一部分进入日常生活清水池,另一部进入井下消防洒水池。日常生活水池水体主要用于淋浴,井下消防洒水池水体主要用于井下消防洒水^[11-12]。表 2 为 2019 年度 5 月—9 月各阶段出水水质的平均监测数据。

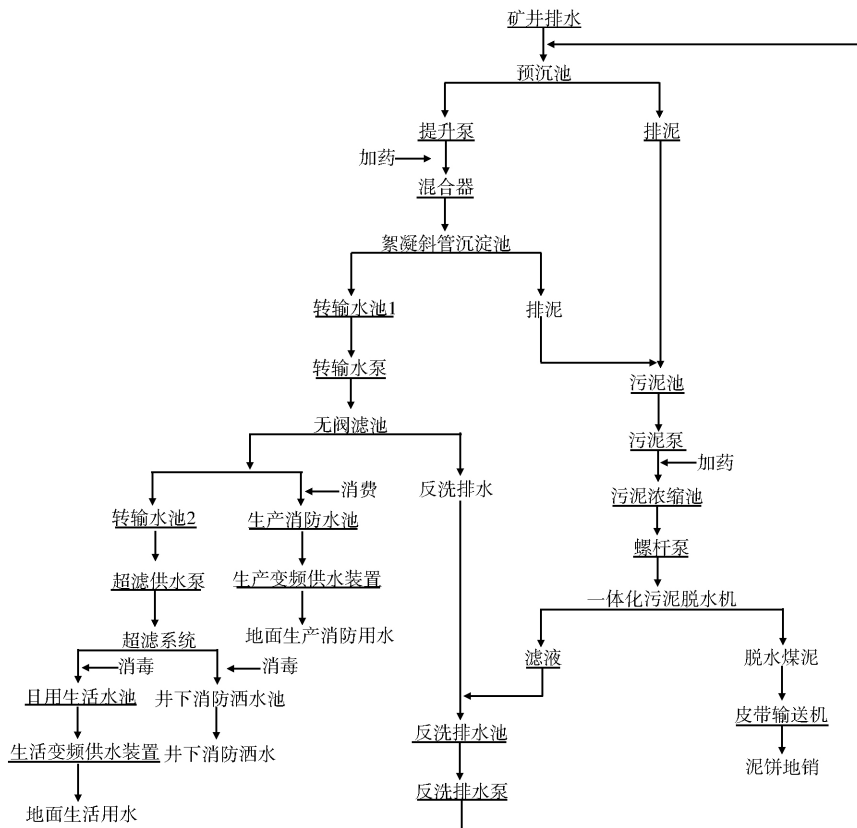


图 1 矿井水处理系统工艺流程图

Fig. 1 Mine water treatment system process flowchart

表 2 出水水质分析

Table 2 Quality analysis of the effluent water

分析项目	pH 值	悬浮物/ (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	石油类/ (mg · L ⁻¹)
预出水	8.31	6.3	12.5	0.24
超滤出水	8.30	ND	9.8	0.21

注:ND代表未检出,超滤出水悬浮物检测为浊度。

从出水监测数据可以看出,第一阶段出水与超滤出水分别满足主要控制指标均满足《煤炭洗选工程设计规范》(GB50359—2005)、《煤矿井下消防、洒水设计规范》(GB50383—2006)用水水质标准,并能稳定运行。

2.3 污泥处理系统

污泥处理系统主要分为污泥浓缩工艺阶段和污

泥处理工艺阶段。一体化综合处理车间污泥经过重力排泥进入到污泥池,污泥池污泥经过污泥泵提升至污泥浓缩池进一步浓缩,浓缩完成以后,经由污泥进料泵提升至污泥处理车间,污泥处理车间设置有 3 台 IK 带式压滤机,将浓缩后污泥进一步压饼成型,装车外运。浓缩池上清液与污泥压滤机产生的污水回流至污泥池,经过污水泵提升至一体化综合车间的预沉调节池,形成闭环管理。

3 矿井水处理站工艺优势分析

曹家滩矿井水处理站主要去除悬浮物及颗粒物,在去除悬浮物的过程中伴随去除了部分氟化物,

降低了出水 pH 值,处理站出水满足了地面生产消防用水、井下消防洒水、洗煤厂用水、淋浴用水、地面景观水体用水水质要求。矿井水处理站工艺优势主要有:

1)从预处理阶段采用加药设计,能从最大程度上降低后续段悬浮物的浓度,降低絮凝斜管沉淀池的压力,同时减轻了预沉调节池至絮凝斜管沉淀池中间管道混合器的加药压力。

2)采用重力式泥斗排泥,可有效避免因传统桁车式吸泥机存在流动不畅、管渠阻塞,影响环境卫生而导致的问题。重力泥斗式排泥不仅可有效避免上述问题,而且是隐藏在水面以下,改善了工作环境。重力式排泥系统同时设计了反冲洗系统,可有效冲洗污泥管路,避免污泥管路排完泥以后残留污泥固化、凝结问题。

3)在传统工艺上采用取长补短,形成了工艺简单、运行可靠、成本低廉的水处理系统。

4 环境效益分析

4.1 经济效益

水处理阶段采用预沉+絮凝预处理工艺,吨水运行成本在 0.59 元左右,基本与主要矿井水处理成本相持平。但是其所采用的工艺模式,不限于重力

式排泥等方式,改善了环境卫生,极大节省了人力物力,降低运行成本^[13-14]。

4.2 社会效益

矿井水处理站的处理模式为分级处理、分级出水,依据不同用水单位对水质需求的不同,采用不同阶段出水模式,在极大降低水体处理成本基础上,实现来水分流、分类逐级利用,减少矿井水处理站的外排与能源浪费,降低环境治理与深度处理费用的双重成本。

5 结论

1)曹家滩矿井进水水质只有悬浮物偏高与微量氟化物,天然弱碱性水质,不含重金属离子和有毒有害离子,目前超滤出水只是井下洒水,部分用于淋浴用水补水,但为以后的洗漱、饮用打下了基础。

2)矿井水处理站经过不同阶段的水处理工艺,分别满足了《煤炭洗选工程设计规范》(GB50359-2005)、《煤矿井下消防、洒水设计规范》(GB50383-2006)等水质标准,实现分质供水。

3)在毛乌素沙漠周边,实现矿井水水资源的综合利用,实现了矿区与周边环境的协调发展,产生良好的环境与经济效益,具有一定的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 邵立南,杨晓松.我国煤矿矿井水处理用于生活用水的现状和建议[J].中国矿业,2019,28(S1):376-378.
SHAO Linan, YANG Xiaosong. Current Situation and Advice of Coal Mine Water Treatment for Domestic Water in China [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(S1): 376-378.
- [2] 王玉.高矿化度矿井水处理技术概述[J].资源节约与环保,2019(5):110.
WANG Yu. Overview of Highly-mineralized Mine Water Treatment Technology [J]. Resources Economization and Environment Protection, 2019 (5): 110.
- [3] 张拥军,李永彦,杨金花.煤矿矿井水处理工艺及工程实践[J].山西化工,2019,39(2):211-213.
ZHANG Yongjun, LI Yongyan, YANG Jinhua. Mine Drainage Treatment Process and Engineering Practice [J]. Shanxi Chemical Industry, 2019, 39(2): 211-213
- [4] 陈艳慧,庞亨瑞.高河煤矿矿井水井下处理提质技术及运行实践[J].山西煤炭,2019,39(1):8-11.
CHEN Yanhui, PANG Hengrui. Quality Improvement Technology and Operation of Mine Waste Water Treatment in Gaohe Mine [J]. Shanxi Coal, 2019, 39(1): 8-11.
- [5] 刘艳辉.重介速沉工艺在含悬浮物矿井水处理中的应用[J].工业用水与废水,2019,50(2):49-51.
LIU Yanhui. Application of Dense Media Loading Coagulation and Sedimentation in Suspended Solid Containing Mine Water Treatment [J]. Industrial Water and Waste Water, 2019, 50(2): 49-51.
- [6] 薛忠新,李文俊,韩伟.张家峁煤矿矿井水处理回用工艺研究[J].煤炭工程,2018,50(12):21-23.
XUE Zhongxin, LI Wenjun, HAN Wei. Craft of Mine Waste Water Treatment and Recycling in Zhangjiamao Coal Mine [J]. Coal Engineering, 2018, 50(12): 21-23.
- [7] 方金福.陇东地区煤矿矿井水处理技术现状调查与最佳可行技术研究[D].兰州:西北师范大学,2017.

(下转第 68 页)

最佳瓦斯抽采效果。梳状定向钻孔能够长时间稳定在顶板采动裂隙区内,抽采时间稳定在150 d以上,在采煤的同时安全高效的抽采瓦斯,实现煤与瓦斯共采。

2)综采工作面上采用梳状定向钻孔抽采,结合高位钻孔抽采、本煤层钻孔抽采、上隅角埋管的抽采方法有效治理了工作面回风巷风流中的瓦斯。尤其

是通过梳状定向钻孔抽采瓦斯技术研究,为今后钻孔抽采瓦斯布置方式上采取改善措施奠定了基础,也为今后抽采治理瓦斯积累了一定的经验。

3)本次梳状定向钻孔推广应用效果表明,梳状定向钻孔抽采技术可远距离高效解决采空区瓦斯治理难题,具有替代高成本的辅助回风巷的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘佳,赵耀江,施恭东,等.深孔定向钻进技术与装备在我国矿井瓦斯抽采中的应用[J].煤炭工程,2017(7):106-110.
LIU Jia,ZHAO Yaojiang,SHI Gongdong,*et al.* Application of Deep Hole Directional Drilling Technology and Equipment in Coal Mine Gas Drainage in China[J]. Coal Engineering,2017(7):106-110.
- [2] 姚宁平,张杰,张国亮,等.晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J].煤炭科学技术,2015(2):88-95.
YAO Ningping,ZHANG Jie,ZHANG Guoliang,*et al.* System of Gas Drainage Technology of Comb-like Directional Drilling in Jincheng Mining Area[J]. Coal Science and Technology,2015(2):88-95.
- [3] 袁亮.瓦斯治理理念和煤与瓦斯共采技术[J].中国煤炭,2016(6):8-12.
YUAN Liang. Concept of Gas Control and Simultaneous Extraction of Coal and Gas [J]. China Coal,2016(6):8-12.
- [4] 李泉新,石智军,史海岐.煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J].煤田地质与勘探,2014(2):85-92.
LI Quanxin,SHI Zhijun,SHI Haiqi. The Application of Directional Drilling Technology in Coal Mine [J]. Coal Geology and Exploration,2014(2):85-92.
- [5] 姚宁平,姚亚峰,张杰,等.煤矿井下梳状定向孔钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2012(10):12-21.
YAO Ningping,YAO Yafeng,ZHANG Jie. Technology and Equipment of Pectination Directional Drilling in Underground Mine[J]. Coal Science and Technology,2012(10):12-21.

(编辑:薄小玲)

(上接第48页)

- [8] 李福勤,赵桂峰,朱云浩.高矿化度矿井水零排放工艺研究[J].煤炭科学技术,2018,46(9):81-86.
LI Fuqin,ZHAO Guifeng,ZHU Yunhao. Research on Zero Discharge Process of Highly-mineralized Mine Water[J]. Coal Science and Technology. 2018,46(9):81-86.
- [9] 李国东.旋流澄清/多介质过滤/活性炭过滤工艺处理矿井水[J].中国给水排水,2017,33(14):59-62.
LI Guodong. Usage of "Hydrocyclone Clarification Purificaton Unit+Multi-media Filter+Activated Carb-on Filter" in the Treatment of Mine Water [J]China Water and Waste Water,2017,33(14):59-62.
- [10] 徐细波.强化絮凝沉淀工艺在矿井水改造工程中的应用[J].中国给水排水,2017,33(14):99-102.
XU Xibo. Application of Enhanced Flocculation and Sedimentation Technology in Mine Water Reconstruction Project [J]. China Water and Waste Water,2017,33(14):99-102.
- [11] 仝循飞.邢台某矿矿井水处理改扩建工程方案研究[D].邯郸:河北工程大学,2018.
- [12] 刘军.微砂絮凝循环设备在矿井水处理工程中的应用[J].煤炭科技,2018(4):61-63.
LIU Jun. Application of Micro-sand Flocculation Cycle Equipment in Mine Water Treatment Engineering[J]. Coal Science and Technology,2018(4):61-63.
- [13] 焦利功.矿井水自动重复利用系统分析及研究[J].内蒙古煤炭经济,2018(3):4-5,8.
JIAO Ligong. Analysis and Research on Mine Water Automatic Reuse System[J]. Inner Mongolia Coal Economy,2018(3):4-5,8.
- [14] 朱泽民,刘晨.超滤一反渗透双膜法在甘肃某矿井水处理中的应用[J].给水排水,2019,55(6):77-81.
ZHU Zemin,LIU Chen. Application of Ultrafiltration Reverse Osmosis Double Membrane Method in Water Treatment of a Mine in GanSu Province [J]. Water and Waste Water,2019,55(6):77-81.

(编辑:樊敏)