

试验研究

煤矿矿井水井下直接处理及循环利用
的工程实践荣伟国¹, 秦胜²

(1. 煤科集团杭州环保研究院有限公司, 浙江 杭州 311201;

2. 兖州煤业股份有限公司机电环保部, 山东 济宁 272069)

摘要: 济三煤矿将工作面汇集的矿井水引入采空区预沉, 采用曝气氧化池+互冲接触过滤池组合工艺处理矿井水并将其回用为防尘洒水和设备冷却用水。在该组合工艺中, 首先利用采空区的沉淀、截留和吸附作用去除矿井水中大部分悬浮物, 然后再利用曝气、接触氧化过滤进一步去除悬浮物、胶体、铁和锰等物质。应用结果表明, 该工艺系统不需要投加化学药剂, 适合煤矿井下巷道环境, 具有流程简短、处理成本低、自动化程度高、出水水质好等优点。

关键词: 矿井水; 井下处理; 采空区; 互冲接触过滤池

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2018)04-0030-04

UNDERGROUND DIRECT TREATMENT AND RECYCLE OF
COAL MINE WATERRONG Wei-guo¹, QIN Sheng²

(1. Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China; 2. Electromechanical and Environmental Protection Department, Yanzhou Coal Mining Co., Ltd., Jining 273500, China)

Abstract: In Jining No.3 Coal Mine, coal mine water was introduced into goaf area for preliminary sedimentation. A combined process of aeration oxidation pool + contact filter was applied to treat coal mine water and the treated water was reused in sprinklers to removal dust or as cooling water. At the first part of this combined process, precipitation, interception and adsorption process in the goaf area remove most of the suspended particles in the coal mine water. Then aeration and contact oxidation filter were applied to further remove suspended particles, colloid and metals such as iron and manganese. The results showed that this combined process did not need to add any chemical, and was suitable for coal mine roadway environment. It also had the advantages of short technological process, low cost, high degree of automation and produces high-quality water.

Key words: Coal mine water; Underground treatment; Goaf; Contact filter.

我国是一个干旱缺水严重的国家, 我国有 70% 的矿区缺水, 40% 的矿区严重缺水^[1], 在许多矿区由于水资源缺乏, 已制约了煤矿企业的可持续发展^[2]。矿井水是煤矿开采过程中产生的地下涌水

及采掘生产中防尘、设备冷却用水、注浆用水及地表渗透水等汇集而成, 主要含有以煤屑、岩粉为主的悬浮物, 经净化处理后, 一般可作为煤矿井下生产用水。2010 年我国矿井水排放量约为 61 亿 m³, 利用量约为 36 亿 m³。矿井水作为非常规水资源,

直接排放不仅浪费,而且污染矿区水体、破坏生态景观,将矿井水资源化是解决矿区缺水问题的最有效途径之一^[3]。

我国煤矿以井工开采为主,矿井水通常由排水泵从井下中央水仓排至地面矿井水处理厂,经净化处理后通过供水泵送到静压水池,依靠静压供给煤矿井下作为防尘用水、设备冷却水和综采工作面乳化液配制用水等。随着矿井开采深度的增加,不仅矿井水从井下排至地面能耗越来越高,而且从井下到地面提升和回用的管道也越来越长。目前,我国煤矿矿井水在井下处理案例较少,主要有两种方式:一是减少水仓的清淤量从而延长水仓的清淤周期,如刘吉卫等^[4]在矿井水进入井下水仓前的一段下坡巷道内加药,在进入水仓后设有挡水墙,沉淀后的出水从挡水墙的上部溢流入后续水仓,使矿井水得到净化;国继征等^[5]利用超磁分离水体净化技术在矿井水进入井下水仓之前,预去除矿井水中大部分悬浮物;陈文德等^[6]发明了矿井水井下澄清方法,利用混凝、斜管沉淀工艺在矿井水进入井下水仓之前,预去除矿井水大部分悬浮物。二是在井下直接处理后就地复用,如魏永胜等^[7]利用采空区、复合沉淀池、盘式过滤器、精密过滤器和阻垢系统将矿井水在井下处理后就地复用。矿井水在井下直接处理利用,可以节省排水费用,减少地面处理设施占地面积,实现节能减排、保护环境,具有明显的经济、环境和社会效益^[8]。

根据济三煤矿矿井水的水质和水量特点、采空区条件和井下巷道断面尺寸等实际情况,充分利用采空区,采用曝气氧化池和互冲接触过滤池相结合的工艺对矿井水进行处理,不需要投加药剂,实现矿井水在井下直接处理循环利用的目标。

1 水质及水量

1.1 矿井水来源

矿井水主要由井下涌水、防尘洒水、设备冷却水等组成。目前开采三煤层、直接充水含水层为三煤层顶板中砂岩,间接充水含水层为侏罗系红层砂砾岩,三煤层顶板砂岩以静含水为主,个别区域富水相对较好。侏罗系红层砂砾岩含水层含孔隙裂隙型水,富水性较均一,连通性较好,含水丰富,涌水峰值持续时间较长且稳定,水量较大。矿井水来源见图 1。

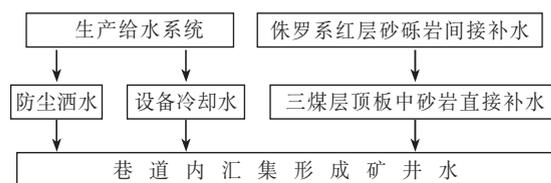


图 1 济三煤矿矿井水来源

1.2 原水水质

矿井水含有以煤粉、岩粉和粘土为主的悬浮物,具有色黑、密度小、沉速慢等特点,矿井水中的 COD 主要由煤粉的还原性所致,在矿井水中十分稳定,它随着悬浮物的去除而降低^[10]。矿井水水质见表 1。

表 1 矿井水水质

项目	pH	COD _{Cr} (mg/L)	SS (mg/L)	浊度 (NTU)	总硬度 (CaCO ₃ 计) (mg/L)	总碱度 (CaCO ₃ 计) (mg/L)	总铁 (mg/L)	总锰 (mg/L)
原水	7.2~7.9	65~172	98~323	347~823	666~923	196~815	<0.3	<0.1

1.3 水量

矿井水涌水量一直稳定在 350~550 m³/h,其中五采区涌水量为 250~280 m³/h,预计矿井五年年内正常涌水量不会低于目前水平。根据井下水现状和远期规划,井下矿井水处理能力确定为 200 m³/h。

2 工艺原理及流程

2.1 工艺原理

济三煤矿为井工开采方式,煤层开采后形成采空区,不同粒径的煤层覆岩(砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩)、煤矸石、残煤、粘土和其他一些矿物颗粒构成采空区充填物,采空区空间巨大、孔隙、裂隙极为发育,具有较大的纳污能力,将矿井水引导流经采空区时,水流速度极其缓慢,由于采空区内充填物的特殊构造,在沉淀、过滤、吸附等作用下,矿井水中的悬浮物和胶体物质被截留在采空区内,从而使悬浮物和浊度得以有效去除。

由于采空区中缺少溶解氧,矿井水在流经采空区的过程中,与采空区内的岩石、煤矸石、残煤等矿物质之间发生物理化学作用,矿物质中的铁以 Fe²⁺的形式进入矿井水中,使矿井水流经采空区后往往出现铁含量较高的情况。水中铁的含量高时,有铁腥味,易出现黄色沉淀物阻塞管道,有时会出现红水,严重影响矿井水的利用。

曝气氧化池依靠煤矿井下巷道中的压缩空气,通过在曝气氧化池底部铺设的穿孔曝气管,使流出采空区的矿井水进行充氧曝气。曝气后的矿井水经泵提升后进入互冲接触过滤池,在滤料表面的铁质活性滤膜的催化作用将矿井水中的 Fe^{2+} 迅速氧化成 Fe^{3+} ,并水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$,形成新的催化剂,从而去除矿井水中的铁离子。处理后的矿井水最后由供水泵供给井下生产用水管网作为生产用水。

2.2 工艺流程

济三煤矿井下工作面数量较多,每个工作面相互分散、距离较远,若将井下所有的矿井水都经过采空区预处理,一方面输送成本较高,另一方面会缩短采空区的使用寿命,同时在井下突水时存在安全隐患。根据济三煤矿井下实际情况,矿井水井下直接处理循环利用系统工艺流程见图 2。

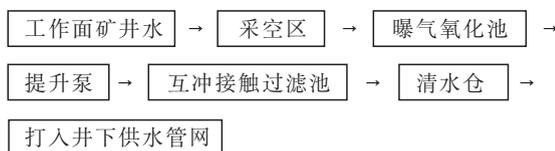


图 2 矿井水井下直接处理循环利用系统工艺流程

矿井水在井下汇集后通过水泵或自流一部分进入中央水仓,由排水泵提升至地面矿井水处理系统,处理后作地面生产用水或达标排放;另一部分进入采空区,采空区出水自流入曝气氧化池,再由提升泵提升后进入互冲接触过滤池,滤池出水自流入清水池,最后由供水泵通过管网供给井下各用水点,作为防尘洒水、设备冷却水、乳化液配制用水等。

3 主要构筑物及设备

3.1 主要构筑物

3.1.1 采空区

济三煤矿煤层开采后,采用全部垮落法处理顶板形成采空区,矿井水在井下收集后一部分进入五采区的采空区。该采空区积水面积约为 $16.5 \times 10^4 \text{m}^2$,积水空间约为 $98 \times 10^4 \text{m}^3$,通过沉淀、过滤和吸附等作用可以去除矿井水中大部分悬浮物和胶体物质。

3.1.2 曝气氧化池

将六采区长为 5 m 的原有巷道改造成曝气氧

化池,有效容积为 50m^3 。采用井巷内的压缩空气作为气源,在曝气氧化池内将矿井水适当曝气。

3.1.3 互冲接触过滤池

采用 2 组并联运行,单组 5 格,正常滤速为 10m/h 。水反冲洗强度为 $8.3 \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,时间为 $5 \sim 6 \text{min}$;滤池反冲洗周期为 $24 \sim 48 \text{h}$ 。

3.2 主要设备

3.2.1 提升水泵

提升水泵 3 台(2 用 1 备),流量为 $150 \text{m}^3/\text{h}$,扬程为 600kPa ,功率为 45kW ,用于将曝气氧化池内的矿井水提升到互冲接触过滤池。

3.2.2 供水泵

供水泵 2 台(1 用 1 备),流量为 $280 \text{m}^3/\text{h}$,扬程为 3.87MPa ,功率为 450kW ,用于将处理后的矿井水加压后输送到井下管网,为井下各用水点提供水源。

3.2.3 潜水泵

潜水泵 2 台(1 用 1 备),流量为 $120 \text{m}^3/\text{h}$,扬程为 0.5MPa ,功率为 30kW ,用于将互冲接触过滤池的反冲洗水提升到五采区泄水巷,最终进入 -665m 水仓。

3.2.4 电气

水处理系统采用两路 6kV 电源供电,单母线分段接线方式,其中每路电源带一台供水泵和一台移动变电站。其中两路电源进线、两台移动变电站的馈电和两路电源的联络均采用矿用隔爆型高压真空配电装置,共 5 台;供水泵的控制采用矿用隔爆型高压真空磁力启动器,共 2 台。

移动变电站采用矿用隔爆型移动变电站,共 2 台,用于为水处理系统提供 660V 电源。

提升水泵的控制采用矿用隔爆型真空磁力启动器,共 3 台。

潜水泵的控制采用矿用隔爆型真空磁力启动器,共 2 台。

互冲接触过滤池的进水和反冲洗阀门采用气功阀门,利用电磁阀控制气路的通断,进而控制气功阀的开关,电磁阀的控制采用矿用隔爆型电磁阀控制箱,每组滤池设 1 台,共 2 台。

3.2.5 自控与仪表

根据工艺需要,在曝气氧化池和清水池中安装矿用水位传感端,共 2 台;在两组滤池的进水管路和供水管路上分别安装有矿用隔爆兼本安型流量计,共 3 台;在提升泵后总管上安装有矿用

隔爆兼本安型压力传感器,共 2 台。

4 处理效果与经济分析

4.1 处理效果

矿井水井下直接处理循环利用系统于 2012 年 6 月投入使用,运行稳定可靠。矿井水出水水质见表 2。

表 2 矿井水出水水质

项目	pH	COD _{Cr} (mg/L)	SS (mg/L)	浊度 (NTU)	总硬度 (CaCO ₃ 计) (mg/L)	总碱度 (CaCO ₃ 计) (mg/L)	总铁 (mg/L)	总锰 (mg/L)
采空区出水	7.1~7.8	8~15	8~17	10~20	137~193	268~410	1.5~5.5	0.1~0.3
滤池出水	7.0~7.5	5~8	3~5	0.3~0.8	116~174	214~490	0.02 0.13	~0.02 0.04

4.2 经济分析

矿井水在地面采用加药混凝、沉淀(澄清)、过滤净化工艺处理成本约为 0.5 元/m³[11];矿井水利用采空区和曝气、接触氧化过滤工艺处理成本约为 0.3 元/m³;矿井水地面外排水资源费为 0.13 元/m³;矿井水从中央水仓泵房至地面高差为 556 m,井下直接处理后供水压力按 3.87 MPa 计,1 m³矿井水从井下至地面提升 100 m 耗电 0.425 kW·h(考虑水泵和电机的效率);峰谷综合电价按 0.6 元(kW·h)计;井下直接循环用水量按 4 800 m³/d 计,则节约水处理成本为 57.82 万元/a;节省排水电费为 75.50 万元/a,综合经济效益可达到 133.32 万元/a。

5 结语

矿井水在井下直接处理后循环作为防尘洒水、设备冷却用水等,减少了矿井水的外排量,节约了提升至地面的费用,符合国家节能减排政策,具有明显的经济、环境和社会效益。

根据济三煤矿矿井水水质、水量和井下巷道工作环境,利用采空区、曝气氧化池、互冲接触过滤池,能够有效地去除矿井水中的悬浮物、胶体、铁、锰等物质,处理出水可回用作防尘洒水、设备冷却水、乳化液配制用水等。

利用采空区巨大空间的沉淀、过滤、吸附作用去除矿井水中的悬浮物,不需要投加水处理药剂,从而降低了处理成本。互冲接触过滤池降低了滤池高度,空间占用少,适合井下巷道工作环境;相互冲洗简化了冲洗系统,不需要专门的冲洗设施,节省了反冲洗水量,提高了反冲洗效果。

整个矿井水井下直接处理循环利用系统流程简短,动力设备少、能耗少,运行成本低,自动化程度高,操作管理方便,可在类似煤矿的矿井水处理工程中推广应用。

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,李福勤.煤矿矿井水处理新技术及发展趋势[J].煤炭科学技术,2010,38(11):17-22.
- [4] 刘吉卫,殷宪芳.矿井水井下处理工艺研究与应用[J].山东煤炭科技,2008,(6):142-143.
- [5] 国维征,王金和,赵星.矿井水超磁分离水体净化技术与应用[J].煤矿机电,2010,(3):87-88.
- [6] 陈文德,王柏林.矿井水井下澄清方法[P].中国专利:97112011.0,2001-10-03.
- [7] 魏永胜,邵立南,何绪文.神东矿区矿井水井下处理就地复用关键技术研究[J].洁净煤技术,2008,14(2):96-97.
- [8] 李福勤,李建红,何绪文.煤矿矿井水井下处理就地复用工艺及关键技术[J].河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(2):46-49.