

超磁分离在煤矿矿井水井下处理工程的应用

吕志国¹, 易洋², 肖波², 吉青青², 黄光华², 龚宣亦²

(1. 北京环能工程技术有限责任公司, 北京 100083; 2. 环能科技股份有限公司, 四川 成都 610045)

摘要: 某煤矿矿井水含有大量悬浮颗粒等污染物,通过超磁分离技术在井下直接处理,对处理流程、主要构筑物设计参数、运行效果和技术经济分析等进行了介绍。运行结果表明,矿井水处理后水质优于《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426—2006),实现出水就近回用,运行成本约0.21元/m³,运行费用约115万元/a,产生的经济效益为777万元/a,实现了清水入仓、清水上井,对该煤矿企业节能降耗、减污减排产生了良好推动作用。

关键词: 超磁分离; 煤矿矿井水; 井下处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)20-0105-04

Engineering Application of Ultra-magnetic-separation Technology in Downhole Treatment of Coal Mine Water

LYU Zhi-guo¹, YI Yang², XIAO Bo², JI Qing-qing², HUANG Guang-hua², GONG Xuan-yi²

(1. Beijing SCIMEE Sci. & Tech. Co. Ltd., Beijing 100083, China; 2. SCIMEE Sci. & Tech. Co. Ltd., Chengdu 610045, China)

Abstract: Coal mine water usually contains a large amount of pollutants such as suspended particulates. Ultra-magnetic-separation technology was adopted to treat the coal mine water directly downhole. The treatment process, design parameters of main structures, operational effects and technical & economic analysis were introduced. The operation result showed that effluent quality of the system was better than *Emission Standard for Pollutants from Coal Industry* (GB 20426-2006), and the effluent could be recycled locally. The operation cost was about 0.21 yuan/m³. The annual operation cost was about 1.15 million yuan, and annual economic benefit was about 7.77 million yuan. It had realized the clean water into storage and clean water out of well, and played a positive role in promoting the energy conservation, consumption reduction and emission reduction of coal mining enterprises.

Key words: ultra-magnetic-separation; coal mine water; downhole treatment

煤矿矿井水矿化度高、涌水量大,废水中污染物主要为煤粉和岩粉等悬浮物,这些悬浮物浓度高但颗粒粒度小、密度轻,较难自然沉降^[1,2]。传统处理主要采用混凝工艺,主要流程为预沉淀→混凝→絮凝→沉淀→过滤,虽然能提高矿井水资源的综合利用水平,但是存在投资大、占用井上大面积耕地、运行成本高、投入人力多、安全系数低等诸多弊端^[3,4]。因此需要一种安全、高效、智能的矿井水处理工艺,以保证出水符合环保标准,实现矿井水资源

化利用。与传统地面矿井水处理工艺相比,超磁分离技术占地面积小,可直接有效利用现有巷道、硐室空间,巷道占地仅为传统地面工艺的1/10;能避免传统工艺井下沉淀、污水上井二次处理,导致煤泥在水仓内淤积现象突出,清淤工作量大,矿井污水富含固体杂质,排水泵易磨损且运行电耗成本高,污水停留时间长、占用面积大、运行成本高等问题^[5]。超磁分离集混凝、沉淀和过滤工艺于一体,无需借助重力沉降,而是利用强磁力的稀土永磁体磁盘对固液

进行分离,实现水体净化^[6~8]。

1 工程概况

某特大型煤矿矿井水井下处理工程概貌如图1所示。建设地点为井下-350 m处,建设水处理中心之前水仓进水主要来自冲洗排水。井下水处理中心运行后,将原有汇集到水仓的矿井水全部提升至井下水处理中心,矿井水主要包括地下渗透水、地面渗透水、岩体裂隙水、运输皮带冲洗水等,其中皮带冲洗水含有大量的颗粒状煤粒和皮带磨损后的纤维物质,呈灰褐色,微细悬浮物难以自然沉降,感官差。



图1 矿井水井下处理工程概貌

Fig. 1 Overview of mine water treatment project

为实现矿井水的资源化利用并彻底治理矿井水,决定在井下修建一座处理规模约为15 000 m³/d的矿井水生态净水处理中心,该中心集超磁分离水体净化技术、井下预沉池挖煤技术、全自动化控制技术为一体。由于该矿井废水中污染物以煤粉和岩粉等悬浮物为主,同时含有少量废机油、乳化油、废坑木腐烂物等油类和有机污染物^[6],因此设计进水水质按典型矿井水水质考虑,处理目标污染物主要为SS。多次取样检测表明,pH值为6~9,SS为588~867 mg/L。考虑到水质波动,设计最大进水SS为1 000 mg/L,要求出水水质优于《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426—2006),具体见表1。

表1 矿井水设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality of mine water

项 目	pH 值	COD/ (mg · L ⁻¹)	石油类/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)
进水指标	6~9	≤100	≤30	≤1 000
出水指标	6~9	≤40	≤5	≤30
排放标准	6~9	50	5	50

2 废水处理工艺流程

2.1 工艺流程

本工程处理水来自井下4号水仓井水前端,新建一水处理硐室,矿井水经原有水沟汇入新建的预沉池去除大颗粒杂质,随后进入自动机械格栅去除

漂浮物,然后进入混凝系统进行磁混凝反应形成磁絮团,最后进入超磁分离机进行磁絮团和清水分离,实现悬浮物去除,处理后净水回用或入仓。而磁絮团污泥被送至磁分离磁鼓进行磁种回收和循环利用,磁鼓排出含水率约93%的煤泥自流到污泥池,经计量后通过渣浆泵输送到卧螺离心机,在进入离心机之前投加阳离子PAM对污泥进行调质,脱水后的煤泥含水率≤75%,煤泥经皮带输送机传送至主皮带机上井。具体处理流程见图2。

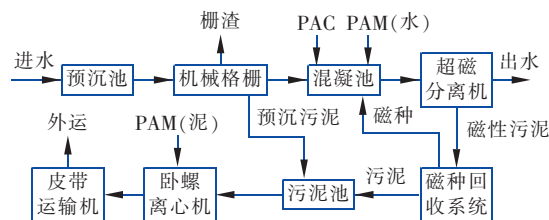


图2 矿井水井下处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of mine water treatment process

2.2 主要构筑物及设备参数

① 预沉池

预沉池3座,单座尺寸为4.5 m×4.5 m×3.8 m,有效停留时间为15 min;预沉池排泥泵3台,潜水渣浆泵流量50 m³/h,扬程210 kPa,电机额定功率11 kW、额定电压660 V、频率为50 Hz。预沉池主要去除矿井水中大颗粒杂质。

② 机械格栅

设机械格栅1台,栅距为5 mm,栅宽1.2 m,安装角度60°,材质为不锈钢304,功率1.1 kW。设栅筐2个,1用1备,容积为1.6 m³,尺寸为1.4 m×1.4 m×0.9 m,下设行走小轮直径20 cm,每周人工排渣一次。

③ 混凝系统

包括3座搅拌池,其中混合池含有桨叶式搅拌器1台,功率5.5 kW,用于投加PAC和磁种,并以150 r/min转速搅拌约1 min进行快速混合反应;混合池反应后出水进入一级絮凝反应池,内设框架式搅拌器1台,功率3 kW,用于加入阴离子PAM,并以80 r/min转速搅拌约2 min后进行絮凝反应;然后进入二级絮凝反应池,内设框架式搅拌器1台,功率3 kW,并以50 r/min转速搅拌约2 min进行进一步絮凝反应,使悬浮物在混凝池内短时间形成以“磁种”为载体的磁絮团。其中PAC投量约450 kg/d,絮凝剂投加量约30 kg/d,磁种在系统内循环,损失

量约 150 kg/d。

④ 超磁分离机

超磁分离机 1 台,主电机功率 2.2 kW,辅电机功率 5.5 kW,控制方式为主电机变频控制。超磁分离机采用稀土永磁强磁材料组成一组强磁力磁盘打捞分离机,经混凝反应后含磁絮团的出水进入分离机中磁盘流道时,随磁盘转动,磁絮团被强磁力磁盘吸附快速分离而去除水中悬浮物,实现矿井水净化,水流经超磁分离机的时间约 15 s。

⑤ 磁种回收系统

设磁分离磁鼓 1 台,磁辊电机 0.55 kW,分散电机 5.5 kW,磁种投加软管泵 2 台,1 用 1 备,流量 5 m³/h。

⑥ 污泥系统

设污泥泵 2 台,1 用 1 备,流量 30 m³/h,扬程 300 kPa,电机功率 7.5 kW;离心脱水机 1 台,处理能力为 8~20 m³/h,脱水后污泥含水率≤75%,主电机功率 30 kW,辅电机功率 11 kW;皮带输送机 1 台,输送距离 10 m,水平段距离 7.5 m,倾斜段距离 5 m,皮带宽度 500 mm。

⑦ 加药系统

设混凝剂加药装置 1 套,外形尺寸 4.5 m×2.6 m×2.8 m;助凝剂加药装置 1 套,外形尺寸 3.6 m×1.8 m×1.95 m;污泥用加药装置 1 套,外形尺寸 3.6 m×1.8 m×1.95 m。

3 运行效果

该矿井水处理工程调试通水以来,一直运行正常,出水满足设计标准。工程运行稳定后对进、出水水质进行了一个月的连续监测,平均进、出水水质如表 2 所示。

表 2 稳定运行期水质监测结果

Tab. 2 Monitoring results during steady operation

项 目	pH 值	COD/ (mg·L ⁻¹)	石油类/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)
平均进水水质	8.13	138	13	842
平均出水水质	8.02	22	3	18
排放要求	6~9	40	5	30

由表 2 可知,该矿井水经系统处理后出水平均 SS 约为 18 mg/L,去除率高达 97.9%;出水平均 COD 为 22 mg/L,去除率达 84.1%;出水平均石油类 3 mg/L,去除率达 76.9%。由于投加磁种、混凝剂和絮凝剂进行磁混凝反应,磁种具有很高的表面

自由能、共价键和分子间的亲和作用,使粒子表面带电,利用其表面的电子态将废水中的油类直接吸附在磁种表面,可达到良好的去除效果。此外,矿井水中悬浮物主要为煤粉和岩粉,而煤粉中碳分子具有还原性,因此去除悬浮物的同时能高效降低 COD^[6]。该工程矿井水经超磁分离技术处理后出水达到设计要求,并优于《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426—2006)。

4 技术和经济分析

4.1 技术分析

该煤矿在井下实施超磁分离净化,以设计处理规模为 15 000 m³/d、进水 SS 为 1 000 mg/L 和出水 SS 为 20 mg/L 计算,可去除 SS 约 5 366 t/a。此外,由于加入磁种后形成的絮团更加紧实,处理后出泥含水率比其他工艺低,不需经污泥浓缩即可直接脱水,节省了污泥浓缩投资费用,最后得到的煤泥饼富含煤质,可直接外售。

将超磁分离技术应用于煤矿矿井水井下直接处理,颠覆了传统处理工艺,不仅能在约 5 min 内完成整个处理过程,使出水水质良好,还能实现洁净矿井水就近直接回用,减小井下水仓清淤工作和各种安全风险。

4.2 经济效益

该工程处理水量为 15 000 m³/d,占地 530 m²,投资约 750 万元,主要运行费用包括:

① 运行电耗为 0.12 kW·h/m³,电价按 0.5 元/(kW·h)计,电费为 0.06 元/m³(900 元/d)。

② 药剂费为 0.12 元/m³(1 800 元/d)。

③ 易损耗件费为 0.03 元/m³(450 元/d)。

④ 超磁分离水处理系统实现了与该煤矿总调度中心自动化平台的无缝连接,无需专人值守,只需检修人员巡检和定期配制药剂,因此人工费可忽略不计。

综上,该工程总运行费用为 0.21 元/m³、115 万元/a。

本工程实施后,矿井水在井下得到净化,含煤泥水重度降低能减少阻力损失,节省矿井水提升电费约 120 万元/a;产生的清洁矿井水可直接回用,减少排污费约 79 万元/a;由于矿井水中悬浮物绝大部分被去除,水质大大提升,减少了悬浮物对水泵的磨损和其他污染物对水泵的腐蚀,节省水泵维修费用约 20 万元/a;矿井水在井下直接处理后进入水仓,节

约了井下沉淀池清理费和人工清仓费约150万元/a;煤泥高效回收,按煤泥为1000元/t计算,设计进水中煤泥为 1 kg/m^3 ,出水中煤泥为 20 g/m^3 ,则本工程实施以后煤泥收入约515万元/a。由此可见,可直接为矿区产生经济效益约777万元/a。

5 结论

将超磁分离技术应用于井下处理煤矿矿井水,系统出水水质优于《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426—2006),出水实现就近回用,运行成本约 0.21 元/m^3 (115万元/a),产生的经济效益约777万元/a。煤矿矿井水井下直接处理,不仅实现了清水入仓、清水上井,还为该煤矿企业创造了良好的经济效益,对矿井水处理节能降耗、减污降排产生了良好推动作用。

参考文献:

- [1] 秦小茅. 山西采煤矿井废水深度处理与利用研究[J]. 环境与可持续发展,2013,(6):127-129.
Qin Xiaomao. Study on the coal mining waste water deep treatment and utilization in Shanxi[J]. Environment and Sustainable Development,2013,(6):127-129(in Chinese).
- [2] 高慧玲. 煤矿废水对环境破坏的影响及综合治理[J]. 科技与企业,2014,(4):125-125.
Gao Huiling. Negative influence of coal mine wastewater on environment and comprehensive treatment[J]. Science Technology and Enterprises,2014,(4):125-125(in Chinese).
- [3] 胡筱敏. 混凝理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2007.
Hu Xiaomin. Coagulation Theory and Application[M]. Beijing:Science Press,2007(in Chinese).
- [4] 毕翀宇,李日强,刘娜,等. 煤矿矿井水的混凝处理[J]. 安全与环境学报,2009,9(1):27-29.
Bi Chongyu, Li Riqiang, Liu Na, et al. Study on coagulation treatment of coalmine drainage[J]. Journal of Safety and Environment,2009,9(1):27-29(in Chinese).
- [5] 李保平. 超磁分离技术处理矿井水在节能环保中的应用[A]. 2014煤炭工业节能减排与生态文明建设论坛论文集[C]. 北京:中国煤炭加工利用协会,2014(in Chinese).
Li Baoping. Application of ultra-magnetic-separation technology treating mine water in energy saving and environmental protection[A]. Proceedings of 2014 Coal Industry Energy Conservation and Emission Reduction and Circular Economy Development Forum[C]. Beijing:China Coal Processing & Utilization Association,2014(in Chinese).
- [6] 倪明亮. 超磁分离技术在矿井水处理中的应用[A]. 2010煤炭工业节能减排与发展循环经济论文集[C]. 北京:中国煤炭加工利用协会,2010.
Ni Mingliang. Application of ultra-magnetic-separation technology in mine water treatment[A]. Proceedings of 2010 Coal Industry Energy Conservation and Emission Reduction and Circular Economy Development Forum[C]. Beijing:China Coal Processing & Utilization Association,2010(in Chinese).
- [7] 李培云,李爱民,许晓丽. 超磁分离技术在井下矿井水处理中的应用[J]. 煤炭工程,2013,(S2):56-57.
Li Peiyun, Li Aimin, Xu Xiaoli. Application of ultra-magnetic-separation technology in mine water treatment[J]. Coal Engineering,2013,(S2):56-57(in Chinese).
- [8] 牛明礼,单绍磊,刘佳. 超磁分离净化技术在矿井水井下处理站中的应用[J]. 能源环境保护,2013,27(3):33-35.
Niu Mingli, Shan Shaolei, Liu Jia. Application of superconducting magnetic separation purification technology at an underground station of mine drainage water treatment[J]. Energy Environmental Protection,2013,27(3):33-35(in Chinese).



作者简介:吕志国(1979-),男,内蒙古丰镇人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水污染控制。

E-mail:471407184@qq.com

收稿日期:2018-07-23