

试验研究

混凝澄清+超滤反渗透工艺处理天池 煤矿矿井水

赵厚斌¹, 崔东锋², 徐细波²

(1.兖州煤业股份有限公司机电环保部, 山东 济宁 273500; 2.煤科集团杭州环保研究院,
浙江 杭州 311201)

摘要:为了提高矿井水处理系统的处理能力和改善出水水质,天池煤矿对矿井水处理系统进行了改造升级。该工程的矿井水净化处理采用以混凝澄清为主的处理工艺,深度处理采用超滤和反渗透相结合的处理工艺,从而使净化处理后的出水全部达到排放标准,深度处理后出水全部达到生活饮用水标准。本文详细介绍了各系统的工艺选择、工艺流程、主要构筑物 and 主要设备,同时对经济效益进行了分析。运行实践表明,该工程所采用的工艺合理、运行稳定、自动化程度高、操作维修简单,具有一定的应用前景。

关键词:矿井水;净化;混凝澄清;超滤;反渗透

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2015)01-0029-04

COAGULATION AND CLARIFICATION + ULTRAFILTRATION AND REVERSE OSMOSIS PROCESS TO TREAT MINE DRAINAGE WATER IN IANCHI COAL MINE

ZHAO Hou-bin¹, CUI Dong-feng², XU Xi-bo²

(1.Department of Electromechanical and environmental protection, Yanzhou Mining Co., Ltd.
Jining 273500, China; 2.Hangzhou Institute for Environmental Protection, CCTEG, Hangzhou
311201, China)

Abstract: In order to improve processing capability and effluent quality of mine drainage water treatment system, the system has been upgraded in Tianchi coal mine. The process combined coagulation with clarification is adopted in the purification treatment subsystem, which ensures the purified water quality meeting the emission standards; and the process combined ultrafiltration with reverse osmosis is adopted in the advanced treatment subsystem, which guarantees the last effluent quality satisfying the drinking water standard. This paper detailedly introduces process choices and flow diagram, main facilities and equipments, and economic benefits. The operation practice shows that the engineering has many characteristics of reasonable process, stable operation, high degree of automation, simple operation and maintenance, and good application prospects.

Key words: Mine drainage water; Purification; Coagulation and clarification; Ultrafiltration; Reverse osmosis

1 概述

1.1 项目概况

天池煤矿位于山西省和顺县喂马乡境内,设计生产能力 120 万吨/年。矿井在开采的过程中,产生大量的矿井水,矿井水是一种具有煤矿特色的污染源,同时又是一种宝贵的水资源。该矿的矿井水处理站于 2005 年设计并建造,近年由于井下矿井水水质变差、水量变大、处理设施旧损、设备老化等问题,矿井水处理站不能正常稳定运行。为此,该矿决定对矿井水处理站进行改造升级,具体包含两部分,一是对原矿井水净化处理系统改造升级,二是新增矿井水深度处理系统。其中矿井水净化处理系统的出水水质要满足《煤炭工业污染物排放标准》(GB20426-2006),矿井水深度处理系统以净化处理系统出水作为原水进行深度处理,使出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。

1.2 水质及水量

(1)天池煤矿的矿井水是井下涌水与采掘生产过程中的防尘洒水、设备冷却排水等汇集在一起形成的。矿井水原水水质指标如表 1 所示,该矿井水不仅以煤屑和岩粉为主的悬浮物含量很高,而且溶解性总固体、总硬度、硫酸盐、铁、锰等含量也很高,属于典型的高悬浮物高矿化度矿井水,水质相对较差。

(2)根据天池煤矿地测部门的统计,该矿的矿井水涌水量近年来一直稳定在 1 400~1 700 m³/d,预计随着开采深度的增加,矿井水涌水量会逐步加大,因此确定矿井水净化处理系统的处理规模为 3 000 m³/d;该矿的洗浴和锅炉用水水量基本稳定在 400~450 m³/d,因此深度处理的处理规模为产水量 500 m³/d。

表 1 矿井水原水水质指标

项目	pH	悬浮物	COD	总硬度(以 CaCO ₃ 计)	溶解性总固体	铁	锰	氯化物	硫酸盐
范围	7.3-8.4	463-767	33.5-172	221-437	1233-1269	0.56-3.03	0.73-1.72	44-63	428-694
平均值	7.85	615	102.8	329	1251	1.8	1.2	53.5	561

2 净化处理系统

2.1 处理工艺

由于天池煤矿矿井水净化处理系统属于改造工程,为了节省投资,设计中尽可能充分利用原有的水处理设施和设备。天池煤矿的矿井水净化处理主要是去除矿井水中的悬浮物,同时对铁锰进

行氧化并去除。目前,国内针对矿井水的净化处理主要采用沉淀、混凝沉淀、混凝沉淀+过滤和微絮凝过滤等工艺,对于不同的进水水质和出水水质要求,采用的工艺也不相同。通过对天池煤矿的矿井水进行水质分析,以及净化处理系统出水要达到的水质要求,决定采用预沉+混凝澄清+过滤+消毒的处理工艺。

一般情况下,各种水处理功能单元所采用的处理设施也不相同。根据原有的矿井水净化处理主要工艺设施情况,充分利用原有澄清单元和过滤单元,即水力循环澄清池和重力式无阀滤池,通过对其进行改造使其处理能力达到 3 000 m³/d。

同时,矿井水净化处理过程中不可避免的产生大量煤泥水(底流),主要是初沉池及澄清池排出的污泥,该煤泥水的固相成分主要是煤粉。现有的煤泥水处理方法主要有:和选煤厂的煤泥水一起处理、去矸石山进行冲扩堆、去井下灌浆和作煤场用水、煤泥干化场干化和煤泥水压滤处理等。根据天池煤矿的实际情况,新建一套煤泥压滤系统,用于处理矿井水净化处理系统产生的煤泥水,压滤后的泥饼作为锅炉燃煤。

2.2 工艺流程

矿井水经井下中央泵房提升进入初沉池,进行水量、水质调节,比重较大的煤泥颗粒得以沉淀,在初沉池出水中投加氧化剂,对水中的铁锰进行氧化,再进入吸水井,由原水提升泵提升进入水力循环澄清池,并在泵前投加混凝剂(PAC),泵后投加助凝剂(PAM),经混凝反应、沉淀及澄清处理后自流进入重力式无阀滤池进行过滤,出水经消毒后自流进入清水池,由供水泵加压作为生产用水或达标排放。初沉池、澄清池排出的煤泥水由污泥泵提升至污泥浓缩池浓缩处理,上清液溢流至集水池,再通过潜水泵提升至初沉池,浓缩后的煤泥水通过压滤系统进行压滤处理,产生的泥饼运至矿内锅炉房作为锅炉燃煤。矿井水净化处理工艺流程如图 1 所示。

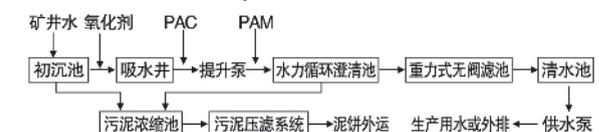


图 1 净化处理工艺流程

2.3 主要建(构)筑物

(1)初沉池:用于对井下排水均质、均量处理,降低井下不定量排水对地面系统产生的冲击负

荷,保证处理设施正常运行。包括:原有初沉池一座,尺寸为 7.00×22.0×4.0 m,新建初沉池一座,尺寸为 22.6×12.9×4.0 m,均为半地下式钢砼结构,使得初沉系统的有效容积达到 1 500 m³。

(2)吸水井:由于初沉池与提升泵房相距较远,设置吸水井为提升泵的吸水管提供良好的吸水条件,尺寸为 4.5×2.5×5.0 m,钢砼结构。

(3)提升泵房及加药间:用于放置提升水泵、氧化剂投加装置、混凝剂投加装置和助凝剂投加装置,尺寸为 21.6×6.6×4.0 m,砖混结构。

(4)水力循环澄清池:是集混凝反应、澄清沉淀为一体的水处理构筑物,池内安装有加速沉淀装置斜管,共 2 座,尺寸为 Φ7.2×6.3 m,钢砼结构。

(5)重力式无阀滤池:采用石英砂和无烟煤作为双层滤料,用于去除澄清后的矿井水中剩余微小悬浮物和胶体物质,具有自动反冲洗功能,共 2 座,尺寸为 5.6×2.9×4.0 m,钢砼结构。

(6)清水池:用于贮存净化处理后的矿井水,共两座,有效容积为 500 m³×2=1 000 m³,尺寸为 14.3×10.7×3.5 m,钢砼结构。

(7)污泥浓缩池:用于贮存并浓缩净化处理系统产生的煤泥水,有效容积为 100 m³,尺寸为 Φ6.0×4.0 m,钢砼结构。

(8)污泥压滤车间:放置渣浆泵和压滤机等设备,尺寸为 11.0×7.5×4.0 m,砖混结构。

2.4 主要设备

(1)初沉污泥泵:用于将初沉池泥斗内的污水提升到污泥浓缩池,型号为 WQ2210-407,流量为 50 m³/h,扬程为 24.5 m,功率为 5.5 kW,共 4 台。

(2)提升泵:用于将矿井水提升到水力循环澄清池,型号为 WL2210-478,流量为 140 m³/h,扬程为 14.0 m,功率为 7.5 kW,共 3 台。

(3)氧化剂投加装置:采用高锰酸钾进行氧化处理,包括一只溶解罐和 2 台机械隔膜计量泵,流量为 0-90 L/h。

(4)混凝剂和助凝剂投加装置:均包括 1 只溶药箱,1 只贮药箱和 2 台机械隔膜计量泵,其中搅拌机的功率为 0.75 kW,转速为 30 r/min,计量泵的流量均为 0-400 L/h。

(5)消毒装置:采用次氯酸钠进行消毒,包括 1 只储药罐和 2 台电磁隔膜计量泵,流量为 0-30 L/h。

(6)渣浆泵:用于将煤泥浓缩池中的煤泥水提升至压滤机压滤,型号为 65SYA75-30,流量为 20-

70 m³/h,扬程为 35-75 m,功率为 30 kW,共 2 台。

(7)压滤机:用于煤泥水的压滤,采用厢式自动拉板压滤机,型号为 XZ/1000,过滤面积 100 m²,滤布采用带衬里的单丝滤布。

(8)自动控制系统:主要由上位机监控系统、PLC 控制系统、仪表系统、电气系统组成,实现整个水处理系统的自动控制。

3 深度处理系统

3.1 处理工艺

矿井水深度处理的主要目的是进行脱盐。目前,矿井水的脱盐处理主要有离子交换、电渗析和反渗透等工艺。离子交换法基本在矿井水的脱盐处理中没有应用,电渗析法在矿井水的脱盐处理中有一些应用,但由于运行能耗高、处理效率低等问题,逐渐被反渗透处理工艺所替代。近年来,由于水处理膜技术的快速发展,以其处理工艺简单、脱盐率高(>97%)、水回收率高、操作管理方便、工艺技术先进可靠、运行稳定、出水水质好、不需要酸碱再生和酸洗、可实现自动化控制、减少和避免了二次污染等特点,反渗透除盐的适用范围迅速在扩大。通过对一次性投资、处理成本、工艺运行稳定性、脱盐率等多方面进行综合技术经济比较,采用超滤预处理和一级二段反渗透工艺来对净化处理后矿井水进行深度处理。

3.2 工艺流程

经过净化处理的矿井水自流进入到清水池,由原水泵提升加压进入预处理系统,流量为 40 t/h。冬季通过旁路进入换热器加热后,进入自清洗过滤器,其它季节直接进入自清洗过滤器,再进入超滤装置,超滤装置出水进入超滤水池,由增压泵加压进入保安过滤器,再经高压泵加压打入反渗透装置,流量为 38 t/h,反渗透浓水出水流入浓水池,反渗透产品水 25 t/h,流入成品水池,通过供水泵供至各个用水单位。其中超滤装置、反渗透装置通过清洗装置进行定期化学清洗,以保持设备的处理性能。矿井水深度处理工艺流程如图 2 所示。

3.3 主要建(构)筑物

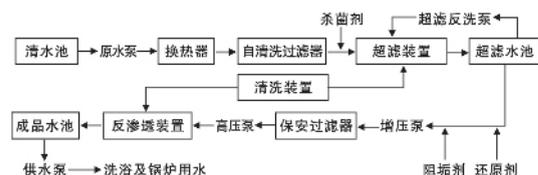


图 2 深度处理工艺流程

(1)深度处理车间:作为深度水处理系统的主厂房和控制室,放置各类设备。三层框架结构,尺寸为11.3×14.9×11.0 m。

(2)成品水池:用于贮存深度处理系统产生的成品水,位于深度处理车间一层,半地下式钢砼结构,尺寸为11.3×7.4×4.0 m,有效容积330 m³。

(3)超滤水池:用于贮存超滤系统产生的超滤水,也位于深度处理车间一层,半地下式钢砼结构,尺寸为7.4×3.7×4.5 m,有效容积95 m³。

(4)浓水池:用于贮存反渗透系统产生的浓水,也位于深度处理车间一层,半地下式钢砼结构,尺寸为7.4×3.7×4.5 m,有效容积95 m³。

3.4 主要设备

(1)原水泵:采用多级立式离心泵,型号为CDL42-20-2,流量为40 m³/h,扬程33 m,功率为5.5 kW,共2台。

(2)换热器:采用板式换热器,1套,型号为BR25-15,换热面积为15 m²,设备出力40 m³/h。

(3)自清洗过滤器:型号为HF10-03CL,1套,流量为40 m³/h,滤网面积为1500 cm²,滤网精度为130 μm。

(4)超滤装置:采用外压式中空纤维膜,膜元件型号CREFLUX PUF-8060,共22支,产水量为38 m³/h,尺寸为5.0×1.4×2.3 m。

(5)超滤反洗泵:采用多级立式离心泵,型号为CDL120-20-2,流量为11 m³/h,扬程30 m,功率为15 kW,共2台。

(6)增压泵:采用多级立式离心泵,型号为CDL42-20-2,流量为40 m³/h,扬程33 m,功率为5.5 kW,共2台。

(7)保安过滤器:采用PP喷熔滤芯,1套,滤芯精度5 μm,滤芯数量40支/套。

(8)高压泵:采用多级立式离心泵,型号为CR45-7-2,流量为38 m³/h,扬程150 m,功率为30 kW,共2台。

(9)反渗透装置:采用卷式反渗透复合膜,产水量为25 m³/h,反渗透膜壳6只,每只膜壳内膜元件6支,排列(级、段)方式为一二级二段,脱盐率≥97%,回收率≥66%。

(10)加药装置:包括杀菌剂、还原剂和阻垢剂各1套,均包括溶解箱1只、搅拌机1台和电磁隔膜计量泵1台,其中计量泵的流量为0-12 L/h。

(11)化学清洗装置:包括1只2000 L的溶

液箱、1台流量为18 m³/h清洗水泵和1只过滤精度为5 μm的清洗过滤器。

(12)自动控制系统:由上位机监控系统、PLC控制系统、仪表系统、电气系统组成,实现整个深度处理系统的自动控制。

4 经济效益分析

通过分析计算,矿井水净化处理的成本为0.35元/m³,矿井水深度处理的成本为1.96元/m³,分别如表2和表3所示。

根据矿井水净化处理水量为3000 m³/d,深度

表2 矿井水净化处理成本

电费	药剂费	维修费	折旧费	消毒费	人工费	合计
0.07	0.077	0.03	0.041	0.04	0.09	0.35

表3 矿井水深度处理成本

电费	药剂费	维修费	折旧费	材料费	人工费	合计
1.17	0.183	0.04	0.18	0.24	0.15	1.96

处理的水量为750 m³/d,以及水处理成本,每年需要支出的总费用为(3000×0.35+500×1.96)×365/10000=74.1万元/a。矿井水净化处理后进行回用可免缴排污费,按0.7元/m³计,深度处理后作为洗浴和锅炉用水,可减少水源井的取水费用和免缴水资源费,按2.5元/m³计,则每年可节省费用(3000×0.7+500×2.5)×365/10000=122.3万元/a,因此,矿井水处理系统改造后每年可产生经济效益122.3-74.1=48.2万元。

5 结语

(1)天池煤矿矿井水净化处理系统经过改造后,既可以将净化处理系统的水量从600 m³/d提升到3000 m³/d,解决了矿井水溢流外排问题,又可以提高矿井水出水水质,达到地方环保部门的环保要求。

(2)新增的深度处理系统出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006),不仅提高了矿井水的利用率,而且解决了该矿的洗浴和锅炉用水,改善了该矿职工的生活条件。

(3)矿井水净化处理的成本为0.35元/m³,深度处理为1.96元/m³,每年可为该矿产生48.2万元的经济效益。

(下转第15页)

由表 1 可知,硫酸浸出实验过程中,影响铬浸出率最主要的因素是固液比,然后依次是温度、酸浓度和浸出时间;同时也可以发现,计算分析结果与单因素实验所得结果不一致,极差分析得出铬浸出率最佳操作条件是固液比 10 g/L,硫酸浓度为 0.5 mol/L,温度 50 ℃,浸出时间 1.5 h。通过实验验证,在 A₂B₁C₃D₃ 最优条件下,硫酸浸出铬的效率为 82.98 %。

表 1 正交实验结果

	固液比/(g/mL)	酸浓度/(mol/L)	温度/℃	时间/h	实验结果/(%)
1	8	0.5	30	0.5	63.30
2	8	1	40	1	63.17
3	8	1.5	50	1.5	70.97
4	10	1.5	30	1.5	72.21
5	10	0.5	40	0.5	82.88
6	10	1	50	1	79.25
7	12	1	30	1	70.38
8	12	1.5	40	1.5	73.10
9	12	0.5	50	0.5	80.06
均值 1	65.813	75.413	68.630	71.883	
均值 2	78.113	70.933	73.050	71.813	
均值 3	74.513	72.093	76.760	74.743	
极差	12.300	4.480	8.130	2.930	
优方案	A ₂	B ₁	C ₃	D ₃	

2.7 二次酸浸

为充分浸出污泥中的铬,采用正交实验所得最优条件,对污泥中的铬进行二次酸浸,最终浸出结果为 90.95 %。

3 结论

采用硫酸浸提制革污泥中重金属铬,通过单因素-正交分析各因素对金属铬浸出效率的影响,酸浸提取制革污泥金属铬的最优条件:固液比 10 g/L,硫酸浓度 0.5 mol/L,浸出温度 50 ℃,浸出时间 1.5 h,其中搅拌速度对硫酸浸出效果影响不

明显。进行二次酸浸,硫酸浸出效果达到 90.95 %。本研究结果表明,用硫酸酸浸的方法提取制革污泥中的铬是可行的。

参考文献

- [1]A. Kabata-Pendias, H. Pendias, Biogeochemistry of Trace Elements[M], PWN, Warszawa, 1993, pp. 242-251, In Polish.
- [2]W. Seńczuk (Ed.), Toxicology[M], third edition, PZWL, Warszawa, 1999, pp.448-454, Chapter 13.4, In Polish.
- [3]余陆沐, 兰莉, 陈慧, 程慎玉, 章艺.制革污泥的处理及利用[J].中国皮革, 2010, 39(9), 1-5.
- [4]丁绍兰, 秦宁.皮革固体废弃物资源化处理与处置[J].西部皮革, 2009, 31(11), 20-24.
- [5]Gustavo Rossini and Andréa Moura Bernardes. Galvanic sludge metals recovery by pyrometallurgical and hydrometallurgical treatment[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 131: 210-215.
- [6]杨新生. 氨浸过程浅析[J].有色矿冶, 1993, (1):34-38.
- [7]F. Vegliò, R. Quaresima, P. Fornari, S. Ubaldini, Recovery of valuable metals from electronic and galvanic industrial wastes by leaching and electrowinning [J]. Waste Management, 2003, 23: 245-252.
- [8]乔秀丽, 田军, 马松艳, 赵东江. 采用酸浸法从废旧锂离子电池中回收金属钴[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2011, 16(2): 106-109.
- [9]J.E. Silva, D. Soares, A.P. Paiva, J.A. Labrincha, F. Castro, Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, B121 : 195-202.
- [10]S. B. Shen, R. D. Tyagi & J. F. Blais, Extraction of Cr (III) and Other Metals from Tannery Sludge by Mineral Acids[J]. Environmental technology, 2001, 22: 1007-1014.
- [11]丁建东, 唱鹤鸣, 丁勇.电镀污泥回收重金属的新工艺[J]. 环境工程学报, 2013, 7(5):1969-1973.
- [12]L. Kuboňová, ? Langova, B. Nowak, F. Winter. Thermal and hydrometallurgical recovery methods of heavy metals from municipal solid waste fly ash[J]. Waste Management, 2013, 33:2322-2327.
- [13]D. Rai, B.M. Sass and D.A. Moore, Chromium() hydrolysis constants and solubility of chromium () hydroxide [J]. Inorg. Chem. 1987, 26, 345-349.
- [4]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.
- [5]郭中权, 冯曦, 李金合, 等.反渗透技术在高硫酸盐硬度矿井水处理中的应用研究[J].能源环境保护, 2006, 20(3):25-26.
- [6]何绪文, 宋志伟, 王殿芳, 等.反渗透技术在煤矿苦咸水处理中的应用研究[J].中国矿业大学学报, 2002, 31(6):618-621.
- [7]何绪文, 胡滇建, 胡振玉, 等.煤矿高矿化度矿井水处理技术研究[J].煤炭科学技术, 2002, 30(8):38-41.

(上接第 32 页)

参考文献

- [1]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.
- [2]高亮, 周如禄, 徐楚良, 等.煤种与煤矿矿井水水质特征之间的相关性[J].煤矿环境保护, 2004, 18(6):46-48.
- [3]曹祖民, 高亮, 崔岗, 等.矿井水净化及资源化成套技术与装备[M].北京:煤炭工业出版社, 2003:1-5.