

问题探讨

无机陶瓷膜处理矿井水工艺研究及应用探讨

李晓昕¹, 郭明菲²

(1. 墨尔本皇家理工大学, 墨尔本市, 维多利亚州 3001 澳大利亚;

2. 煤炭工业郑州设计研究院股份有限公司, 郑州 450007)

摘要:作为膜处理技术的一项新兴技术—陶瓷膜,也称 CT 膜,是固态无机膜的一种,因其具有化学稳定性好,耐酸、耐碱、耐有机溶剂;机械强度大,可反向冲洗等特点,近年来在环境工程等领域得到了广泛的应用。无机陶瓷膜处理矿井水工艺是一种纯粹的物理净化工艺,不需要人为添加任何化工药剂,可直接将矿井原水处理成饮用水。其先进性是其它工艺不可比拟的。该工艺处理矿井水不但解决了矿井水外排构成的环境污染问题,且使矿井水得到了资源化利用。随着国家对环保的高度重视,必将淘汰使用大量化工药剂造成环境隐患的矿井水处理工艺。

关键词:无机陶瓷膜 膜处理技术 矿井水 饮用水

中图分类号:X52 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2015)04-0042-03

THE STUDY AND THE APPLICATION DISCUSSION OF THE INORGANIC CERAMIC MEMBRANE IN MINE-WATER TREATING TECHNOLOGY

LI Xiao-xin¹ GUO Ming-fei²

(Royal Melbourne Institute of Technology University, Melbourne, Victoria 3001 Australia)

(Zhengzhou Design and Research Institute of Coal Industry CO.,LTD Zhengzhou 450007)

Abstract:The Inorganic Ceramic Membrane (also called the CT Membrane), as an emerging membrane treatment technology in mine-water treating, is a kind of solid phase inorganic membrane. Recently, it has been widely used in the area of environmental engineering because of its significant advantages like high chemical stability, acid-resistance, alkali-resistance, organic solvent resistance, high mechanical strength, reversing flushing and so on. Comparing to other treatment technologies, using inorganic ceramic membrane is a physical process completely and the mine-water can be treated to the drinking-water directly without adding any other chemical reagents. Moreover, this technology not only solves the pollutions caused by the mine-water discharge in the mining area but also makes the resource utilization come true. With the highly attention to the environment protection paid by the Chinese government, those technologies which use lots of chemical reagents must be eliminated because of its potential damage to environment.

Key words:the Inorganic Ceramic Membrane;membrane treatment technology;mine -water; drinking-water.

收稿日期:2015-12-10

第一作者简介:李晓昕(1989-),男,河南郑州人,本科生,所学专业:环境工程 研究方向:水处理及资源化利用。

煤炭产业是国民经济的重要支柱产业，是经济发展不可缺少的组成部分，煤炭在我国能源消耗结构中占 60 % 以上。有资料显示，我国每年矿井水排放量约 42 亿 t，而利用率仅为 20 % 左右^[1]。淮北矿区（如许疃煤矿）矿井水利用率约为 53.4 %，低于《清洁生产标准-煤炭采矿业》(HJ446-2008) 70 % 矿井水利用率的标准^[2]；而淮南矿区矿井水利用率仅为 64 %^[3]。矿井水利用率低，一方面造成了水资源的浪费，另一方面直接外排未经处理的矿井水必然会对环境造成污染或危害。另外，煤炭开采还加剧了缺水地区的供水紧张，全国 96 个国有重点矿区中，缺水矿区占 71 %，其中严重缺水矿区占 40 %^[4]。在我国大部分矿区，一边是大量矿井水白白流淌，一边是矿区严重供水短缺的现象很是普遍，究其原因，一方面随着煤炭开采强度的加大，我国矿区地下水位大面积下降，直接导致缺水矿区供水更为紧张；另一方面大量地下水资源因煤系地层破坏而渗漏至矿井并被排出，然而其被净化利用率却不到 30 %^[4]，因此，积极研究和开发高效的矿井水处理工艺成为解决矿井水处理能力不足和矿区供水紧张的当务之急。

1 我国矿井水处理的一般工艺

1.1 矿井水处理工艺简介

国内矿井水净化处理技术，自 80 年代初开始已有近二十年的历史，图 1~图 3 分别为含悬浮物矿井水、酸性矿井水和高矿化度矿井水净化处理的工艺流程图。

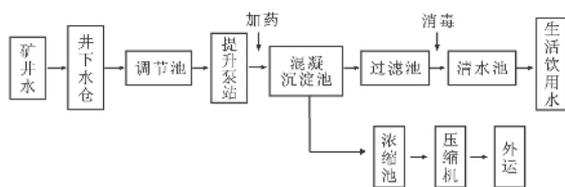


图 1 典型含悬浮物矿井水处理工艺流程

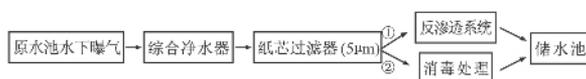


图 2 高矿化度矿井水处理工艺流程^[11]

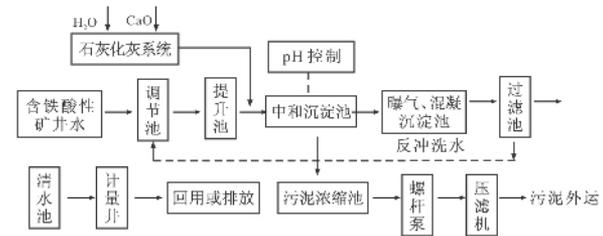


图 3 石灰乳中和法工艺流程^[6]

1.2 人工湿地生态处理法

刘钦^[5]等人认为人工湿地生态处理法因其环保、经济、高效的特点，可成为我国含悬浮物矿井水和酸性矿井水处理的技术方法。此种方法的净化机理是物理、化学和生物共同作用的结果，通过构建一个透水或不透水的且不影响地下水水质的塘得以实现，塘一般由透水性基质、水生生物、微生物及水体等部分组成从而实现过滤、吸附、沉淀、植物吸收、微生物降解等过程达到污染物质的高效分解与净化。F.M.Kusin^[6]等人也提及泻湖（即氧化塘）和有氧湿地处理(aerobic wetlands)系统在英格兰北部以及苏格兰南部广泛应用于碱性矿井水的处理，其原理均依照零级动力学 (zero-order kinetics)对污染物进行净化。

上述各种不同工艺处理矿井水水质主要以做到达标排放或回用于工业生产为主，处理后作为饮用水，处理工艺复杂、投资大、运行管理繁杂、成本较高，且由于过滤工艺的不稳定性及矿井水水质变化大引起水处理系统出水水质不稳定，使得矿井水处理后作为饮用水利用率不高，造成水资源的浪费和矿区地下水资源的过度开采。因此，研究与开发高效的矿井水处理工艺势在必行。

2 无机陶瓷膜处理矿井水原理

陶瓷膜是以陶瓷材料如氧化铝、氧化锆等制成的不对称分离膜，呈单管状和多通道状，管壁密布微孔。在操作压差的作用下，料液在膜管内错流流动，小于膜孔径的部分通过膜孔进入渗透侧成为滤液，而大于孔径的物质被膜截留而成为浓缩液，从而达到物质的分离、浓缩和提纯的目的。整个过滤过程为动态过滤，分离是在流动状态下完成的。溶质仅在膜表面有限沉积，滤液渗透的速率衰减到一定程度而趋于平衡，且通过清洗可以恢复。

无机陶瓷膜处理工艺是膜处理工艺的一种,这种工艺不需要复杂的预处理,不需要人为的添加任何化工药剂,可直接将矿井水处理成饮用水。其特性:憎油、憎污、不易堵塞;耐酸、碱及化学溶剂,易清洗;耐高温,不受细菌侵蚀,可实现在线消毒;化学稳定性好,能抗微生物降解;对于有机溶剂、腐蚀气体和微生物侵蚀表现良好的稳定性;机械强度高,耐高压,有良好的耐磨、耐冲刷性能;孔径分布窄,分离性能好,渗透量大;再生容易,可反复清洗再生,使用寿命长。

3 无机陶瓷膜净化矿井水工程实例:

郑州煤炭工业(集团)有限责任公司为河南省大型煤炭开采企业,其下属矿井大部分分布在缺水或严重缺水的郑州市境内的新密市、登封市和二七区,各矿井由于多年的煤矿开采和矿井水的疏排,造成区域地下水位下降、供水困难,各矿井一方面有大量的矿井水外排造成区域环境压力,一方面为企业饮用水不足而困惑,郑州煤炭工业(集团)三季煤业有限公司所属三季煤矿长期以来以外购水作为饮用水,为此,2013年公司决定对矿井水进行深度处理作为饮用水,目前已建成处理能力为320 m³/h的矿井水无机陶瓷膜处理工程,并已投入运行,处理后的矿井水全部用于矿井及周边居民的生活用水。

3.1 处理工艺设计

3.1.1 矿井井下排水首先进入调节水池,其作用是调节供水平衡,使系统达到连续运行。

3.1.2 用循环水泵(循环水泵的吸水口设有纱网过滤器,用于过滤较大的颗粒和杂物,防止堵塞膜管通道。)将调节水池内的矿井水,送往膜净化处理设备进行循环处理,去除掉水中大分子有机物、悬浮物、细菌、油污和其它微生物,能够透过膜的只有不含这些污染物的洁净清水。

3.1.3 经过膜设备的矿井水在循环池内被逐渐循环浓缩,浓缩到一定程度后,通过设在调节池一侧的污水泵将浓缩水输送到旁边的污泥池。

3.1.4 经净化后的洁净水通过输水管路进入中间水池作为生活饮用水。

为了保证膜设备的稳定运行,系统设置有自动反冲洗装置和膜自动清洗装置。反冲洗装置设有自动反冲时间,在线运行;膜清洗系统根据膜

污染情况定期在线清洗,保证系统的正常运行。在采用膜技术进行净化过滤过程中,由于被截留的杂质在膜表面上不断积累,会产生浓差极化现象,当膜面溶质浓度达到某一极限时即生成凝胶层,使膜的透水量急剧下降。为此,需通过试验进行研究,以确定最佳的工艺和运行条件,最大限度地减轻浓差极化的影响,保证净化系统的稳定运行。工艺流程见图4。

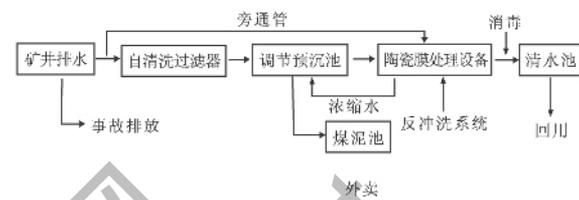


图4 三季煤矿无机陶瓷膜净化矿井水工艺流程

3.2 处理效果分析

处理后的矿井水能否满足《生活饮用水卫生标准(GB5749-2006)》[7]的要求,能否作为生活饮用水是居民关心的主要问题,三季煤矿矿井水处理工程正常运行后,郑州市环境保护监测中心站和焦作市疾病预防控制中心对其处理前后的矿井水质进行了监测,其检测结果见表1,监测期间,矿井水处理能力为322 m³/h,净水流量317 m³/h,为满负荷运行。从表格数据所知,所监测的25项指标,均可满足生活饮用水卫生标准要求,处理后的矿井水可作为居民生活用水。

表1 三季煤矿矿井水监测结果表

监测项目	色度	浊度(NTU)	臭和味	肉眼可见物	PH	硝酸盐氮(mg/L)	氨氮(mg/L)	总矿化度(mg/L)	硫酸盐(mg/L)	氯化物(mg/L)
进水	43	3.1	有	有	7.8	1.02	0.03	345	49	2.7
出水	5	0.18	无	无	7.55	0.58	0.01	330.3	37	17.5
处理效率(%)	88.4	94.2	-	-	-	43.1	66.7	4.3	24.5	548
标准值 ¹	≤15	≤1	无异臭、异味	无	6.5-8.5	<20	<0.02	<450	<250	<250
监测项目	挥发性酚(mg/L)	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	Cu(mg/L)	Zn(mg/L)	Cd(mg/L)	Pb(mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	Hg(mg/L)	As(mg/L)
进水	未 ²	0.003	0.002	未	未	未	未	0.007	未	未
出水	未	0.001	0.001	未	未	未	未	0.004	未	未
处理效率(%)	-	66.7	50	-	-	-	-	42.8	-	-
标准值 ¹	<0.002	<0.3	<0.3	<1.0	<1.0	<0.005	<0.01	<0.05	<0.001	<0.05
监测项目	CODMn(mg/L)	F- ⁻ (mg/L)	溶解性总固体(mg/L)	总大肠菌群(MPN/100mL)	菌落总数(CFU/mL)	石油类(mg/L)	SS(mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)		
进水	7.08	0.79	4.11	23	470	未	161	473		
出水	0.16	0.77	400	未	未	未	未	11		
处理效率(%)	97.7	2.53	2.68	100	100	-	100	97.7		
标准值	<3	<1	<1000	不得检出	<100	-	-	-		

(下转第56页)

和凌晨 1:00 左右。

3.3 PM_{2.5} 为本次重空气污染的首要污染物,造成这次污染事件的主要原因有极端不利的气象条件,郊区大量焚烧秸秆以及 PM_{2.5} 的区域污染传输。

参考文献

- [1] 于阳春,胡波,王跃思.北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征[J].环境科学,2013,34(7):2505~2511.
- [2] 刘鲁宁,申雨璇,辛金元,吉东生,王跃思.秦皇岛大气污染物浓度变化特征[J].环境科学,2013,34(6):2089~2097.
- [3] 杜吴鹏,王跃思,宋涛,辛金元,程一松,吉东生.夏秋季石家庄大气污染变化特征观测研究[J].环境科学,2010,31(7):1409~1415.

- [4] 余纬,罗栩羽,范绍佳,刘洁,冯业荣,樊琦.珠三角一次重空气污染过程特征分析及数值模拟[J].环境科学研究,2011,24(6):645~653.
- [5] 严茹莎,陈敏东,高庆先,刘婷,胡顺星,高文康.北京夏季典型臭氧污染分布特征及影响因子[J].环境科学研究,2013,26(1):43~49.
- [6] 于建华,虞统,魏强,王欣,时建纲,李海军.北京地区 PM10 和 PM2.5 质量浓度的变化特征[J].环境科学研究,2004,17(1):45~47.
- [7] 王艳,柴发合,王永红,刘敏.长江三角洲地区大气污染物输送规律研究[J].环境科学,2008,29(5):1430~1435.
- [8] 王莉莉,王跃思,吉东生,辛金元,胡波,王万筠.天津滨海新区秋冬季大气污染特征分析[J].中国环境科学,2011,31(7):1077~1086.
- [9] 张宝贵,孙丽华.秦皇岛市空气污染与气象要素的关系[J].气象与环境学报,2009,25(4):43~47.

(上接第 44 页)

注 1:《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)

注 2:表中“未”表示该项指标为未检出

注 3:《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426-2006)表 2 新(扩、改)标准

3.3 结果与分析

三李煤矿矿井水监测结果表明,矿井原水中的重金属 Cu、Zn、Cd、Pb、Hg、As 均未检出,Cr⁶⁺浓度很低,石油类也为未检出,说明矿井水水质相对较好。该处理系统对色度、浑浊度、硝酸盐氮、氨氮、COD_{Mn}、SS、COD_{Cr} 的处理效率高,其处理效率分别达到了 88.4%、94.2%、43.1%、66.7%、97.7%、100%和 97.7%。在无机陶瓷膜和加氯消毒的共同作用下,总大肠菌群和菌落总数的去除率达到了 100%,虽因加氯消毒使出水中氯化物从 2.7 mg/L 增加到 17.5 mg/L,增加了 4.48 倍,但其浓度仍距生活饮用水卫生标准要求相距甚远,可满足饮用水标准要求。Fe³⁺、Mn²⁺ 等的去除与沉淀物的吸附去除均有关。经无机陶瓷膜处理后,矿井水中的 25 项指标均可满足生活饮用水卫生标准要求,完全可以做为居民生活饮用水。

4 结论

4.1 无机陶瓷膜处理矿井水工艺不仅大大缩短了工艺流程,而且从根本上避免了矿井水处理对化工药剂的依赖,从而根除了采用化工药剂对健康

和环境造成的各种隐患,这是一种纯粹的物理净化工艺,其先进性是其它工艺不可比拟的。

4.2 郑州矿区为缺水和严重缺水地区,矿井水的净化利用特别是作为饮用水,从根本上解决了矿区水资源短缺和矿井水外排对环境的污染问题,对防止矿区水源枯竭,改善矿区环境,解决矿区生产、生活与农业争水的矛盾、提高矿井水利用率、削减水污染物排放量都具有积极的作用,具有很好的经济、社会和环境效益,本工程具有很好的示范作用。

参考文献

- [1] 何绪文,杨静,邵立南等.我国矿井水资源化利用存在的问题与解决对策[J].煤炭学报,2008,33(1):63~66
- [2] 朱晓玉.淮北矿区矿井水处理技术与应用研究[D].安徽合肥:合肥工业大学,2012.
- [3] 王伟宁.矿井水处理工艺设计及资源化研究-以淮南矿区为例[J].安徽淮南市:安徽理工大学,2010.
- [4] 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.2007.09.35(9):1~5
- [5] 刘钦,李德彬,高进远,张鹏.浅谈矿井水的综合处理[J].水资源保护,2009,25(1):143~145
- [6] F.M.Kusin, A.P.Jarvis, C.J.Gandy. Hydraulic performance assessment of passive coal mine water treatment systems in the UK [J]. Ecological Engineering, 2012,49:233~243
- [7] 中华人民共和国卫生部.国家标准化管理委员会[S].生活饮用水卫生标准(GB5749-2006).2006.