

膜科学新技术在矿业环境保护中的应用

张春晖,何绪文,张凯,候嫫

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘要:为解决煤矿的水污染问题,同时缓解煤炭产区的缺水现状,探讨了将常规处理与膜科学深度处理技术结合处理矿井水以回用作为饮用水的技术方案。介绍了膜科学常规技术,并重点阐述了纳米陶瓷膜、烧结塑料膜、烧结金属膜等新技术。结果表明:膜科学新技术在矿业环境保护以及环境教学中具有重要作用。以山西某矿井水处理工艺流程升级改造为例,验证了矿井水经常规处理与膜技术处理后,可回用作为饮用水,实现了矿井水的资源化。

关键词:膜科学;矿业环境;深度处理;矿井水回用

中图分类号:TD94;X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2015)03-0125-04

Membrane science new technology and its application in mining environmental protection

ZHANG Chunhui, HE Xuwen, ZHANG Kai, HOU Pin

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the water pollution problem and ease water shortage in mining area, the combined conventional process and advanced membrane science technology were applied to treat mine water for drinking water in this research. Some conventional techniques of membrane technologies, such as microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis, membrane bioreactor were introduced. The results showed that, the membrane new technology played an important role in mining environmental protection and environmental teaching. It was verified that the mine water could be treated for drinking water through the traditional and membrane treatment in a coal mine in Shanxi Province.

Key words: membrane science; mining environment; advanced treatment; mine water recycle

0 引言

在矿业开发中,尤其是煤炭开采过程中,产生的环境问题较多,包括废水、废气、固体废物、生态破坏等。其中,以生态破坏和水环境污染为主要的环境问题。对于生态破坏问题,需要通过生态恢复等方法进行长期的生态治理。而对于煤炭开采中产生的矿井涌水,由于其水质相对于其他行业废水较为清洁,同时我国大部分煤炭产区均处于极度缺水的状态,因此,对矿井水进行处理并使其达到饮用水回用标准,成为煤炭企业矿井水处理归趋之主流^[1]。保证矿井水处理达到饮用水标准必须使用膜技术方可

实现^[2]。膜技术是一种新兴的物料分离技术,自20世纪60年代应用到工业行业以来,发展十分迅速,被认为是20世纪末和21世纪初最有发展前途的高新技术之一^[3]。近年来,科研工作者和工程单位已把微滤、超滤、纳滤和反渗透等常规膜技术广泛应用于矿业环境保护工作中^[4]。如武强等^[5]采用微滤膜技术,聂锦旭等^[6]采用纳滤膜技术,杨慧敏等^[7]采用反渗透膜技术,分别应用于矿井水处理中,均取得了较好效果。然而,上述技术均存在去除效率偏低,产生反渗透浓水难以处理等缺点。因此,笔者在工程实践基础上,提出采用纳米陶瓷膜、烧结塑料膜和烧结金属膜等膜科学新技术用于矿业环境保护的

收稿日期:2014-07-19;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.032

基金项目:中国矿业大学(北京)“环境工程原理”课程教学建设项目(k140302)

作者简介:张春晖(1973-),男,河北衡水人,副教授,博士,研究方向为废水处理与资源化、环境模拟。E-mail:truemanjung@163.com

引用格式:张春晖,何绪文,张凯,等.膜科学新技术在矿业环境保护中的应用[J].洁净煤技术,2015,21(3):125-128.

ZHANG Chunhui, HE Xuwen, ZHANG Kai, et al. Membrane science new technology and its application in mining environmental protection[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 125-128.

思路,为国内外学者开展相关研究提供参考。

1 膜处理常规技术及其在矿业环境保护中的应用

1.1 膜处理常规技术简介

迄今为止,微滤、超滤、纳滤、反渗透、膜生物反应器等常规膜分离技术已被深入的研究和开发。

微滤(Micro Filtration,简称MF)的膜分离原理是筛分作用,液体或气体中的溶剂、盐类和大分子物质可以通过多孔膜,同时截留直径 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 的分子与颗粒。MF需要 $20 \sim 100 \text{ kPa}$ 的压力差作为推动力,才能达到分离净化的目的。MF主要应用于食品、药剂的消毒,医药领域的血浆除菌、注射器除菌,冶金、纺织、食品等行业的废水处理领域^[8]。

超滤(Ultra Filtration,简称UF)的膜分离原理也是筛分作用,液体中的低分子溶剂或含小分子物质可以通过非对称膜,同时截留下分子量为 $300 \sim 500000$ 道尔顿的物质。UF则需要 $100 \sim 1000 \text{ kPa}$ 的压力差作为推动力,才能达到溶液分离的目的。UF主要应用于牛奶行业中牛奶脱脂、蛋白预浓缩、降低乳糖含量,果汁的澄清,发酵液中抗生素的回收和污水处理等^[9]。

纳滤(Nano Filtration,简称NF)的膜分离原理是溶解扩散和Donnan效应,液体中的溶剂或小分子物质可以通过非对称膜或复合膜,同时截留下大于 1 nm 的物质。NF需要 $500 \sim 1500 \text{ kPa}$ 的压力差作为推动力,达到分离的目的。NF主要应用于造纸废水、纺织工业废水、电镀废水、制糖工业废水、化学工业废水、生活污水和饮用水的处理等^[10]。

反渗透(Reverse Osmosis,简称RO)在 $1000 \sim 10000 \text{ kPa}$ 的压力差下使水通过反渗透膜,从而达到分离溶液的目的。反渗透膜具有选择透过性,只有水分子可以通过,水分子被迫从浓溶液流向稀溶液,达到浓缩分离的目的。RO主要应用于海水及苦咸水淡化、饮用水处理、废水深度处理以及溶液的浓缩等领域^[11]。

膜生物反应器(Membrane Bioreactor,简称MBR)是将活性污泥技术与膜分离技术相结合的膜技术。该技术不需设置二沉池,水处理工艺简化,减少占地面积^[12]。

1.2 膜处理常规技术在矿业环境保护中的应用

我国主要煤产区绝大部分位于西北、山西、内蒙等极度缺水地区。而在煤炭采掘过程中,会产

生大量的矿井涌水,即矿井水。一般而言,绝大部分矿井水中主要含有固体悬浮物(SS)、Fe、Mn等污染物质。相对于其他行业废水而言,矿井水的水质相对较为清洁,其中的有机污染物含量较低,以SS和Fe、Mn为主^[13]。因此,为解决矿区居民生活用水问题,近年来,把矿井水经过处理后回用于饮用水用途,成为近年来矿井水处理的主流工艺。

对于常规的矿井水处理,一般采用沉淀、加药混凝和过滤等手段即可达到排放标准。而对于回用作为饮用水的矿井水,必须在以上常规处理工艺的基础上加上微滤、纳滤或反渗透等膜深度处理工艺,才能达到饮用水要求^[14]。目前,为达到饮用水的回用标准,在矿井水处理工艺中仅仅添加微滤技术是不够的,而在饮用水深度处理方面,相较于纳滤和反渗透这两种膜分离技术,纳滤则更具优势。这是由于纳滤膜是一种低压反渗透膜,分离性能介于超滤和反渗透之间,不仅能有效去除水中的重金属、无机盐、天然与合成有机物、微生物等有害物质,还能保留对人体有益的矿物质和微量元素,产水安全卫生,有益人体健康。因此,纳滤膜技术被认为是最有发展潜力的饮用水深度处理技术^[15]。

山西汾西矿业集团公司某矿矿井水处理量为 300 t/h ,对矿井水处理的工艺流程如图1所示。矿井水处理前后及饮用水标准见表1。

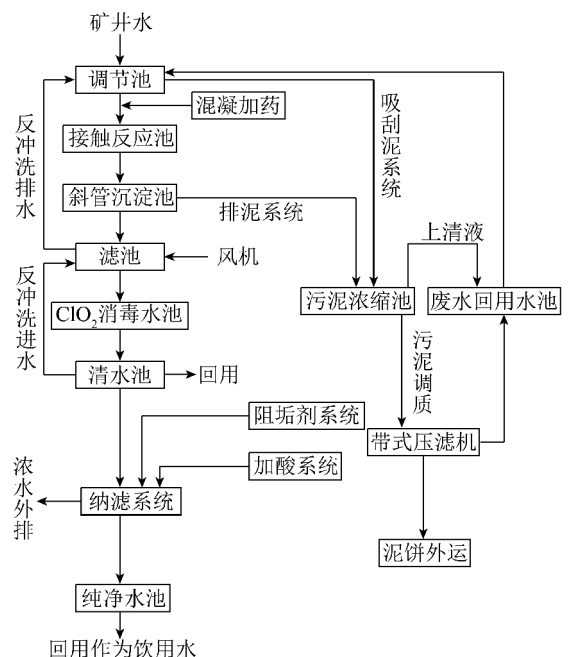


图1 矿井水处理工艺流程

表1 矿井水水质及饮用水标准

水质指标	处理前(均值)	处理后(均值)	生活饮用水标准(GB 5749—2006)
pH	7.83	7.64	6.5~8.5
SS 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	151	未检出	—
TDS 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	1361	186	≤1000
氯化物质量浓度/(mg·L ⁻¹)	173	164	≤250
硫酸盐质量浓度/(mg·L ⁻¹)	476	115	≤250
Fe 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0.43	0.08	≤0.3
Mn 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0.26	0.06	≤0.1
细菌总数/(个·mL ⁻¹)	132	8	≤100
游离余氯质量浓度/(mg·L ⁻¹)	—	0.38	在与水接触 30 min 后应不低于 0.3 mg/L

由表1可知,矿井水经常规处理和纳滤膜深度处理后,可达到饮用水标准。因此,上述处理工艺不但使矿井水得到净化,还实现了废水的资源化,解决了当地居民的饮水困难。

2 膜处理新技术及其在矿业环保中的应用

2.1 膜处理新技术简介

近年来,随着膜材料科学的不断进展,一些膜分离新技术也应运而生。其中,较为突出并已取得良好应用效果的膜分离技术包括纳米陶瓷膜、烧结塑料膜和烧结金属膜等。

2.1.1 纳米陶瓷膜

纳米陶瓷膜属于无机膜,包括微滤膜和超滤膜,是由高纯度 α -Al₂O₃在上千度的高温下烧结、涂层形成的,过滤精度可以高达5 nm~1.2 μm,并截留10000~1000000分子质量的物质,可用来进行地表水过滤、废水过滤回用、饮用水的净化、生物污泥和细菌的浓缩、油水分离等。陶瓷膜的表面是非常细小的颗粒,下面则是用相对粗大的颗粒支撑膜面,这样由细到粗的多层制膜技术使得膜形成了不对称性,更利于过滤与进行有效的反冲洗^[16]。

2.1.2 烧结塑料膜

烧结管式微滤膜(Tubular Membrane Filtration, TMF)的过滤材料为聚偏氟乙烯(PVDF),塑料烧结支撑骨架材料为高密度聚乙烯(HDPE)或者PVDF,外壳为聚氯乙烯(PVC)、不锈钢或PVDF。TMF具有较高的运行通量,同时可以处理固体含量为5%(质量比)的高固体含量废水;耐酸碱性比较好,pH在1~14都可以使用,主要通过错流过滤的方式进行固液分离^[17]。

2.1.3 烧结金属膜

烧结金属膜是一种被广泛利用的刚性过滤介

质。它是由金属粉末先压制成“管”或“板”,然后经高温烧结而成;或者由金属纤维先均匀地铺成三维组织结构,然后在结点处烧结;也可以用金属粉末和金属纤维一起经高温烧结而成。烧结金属膜的厚度在2~3 mm,孔隙率也可通过控制金属纤维的直径和粉末的粒度使其在3~400 μm。

烧结金属膜主要用于高温气体过滤,具有透过性能良好、过滤精度高、使用寿命长、反清洁能力强等特点^[18]。其过滤原理是含有杂质颗粒的气体通过烧结金属膜,先到达的粒子填充在膜表面的细孔里,之后的颗粒慢慢沉积在膜表面,逐渐形成一个滤饼,当滤饼对膜施加的压力达到极限时,可通过脉冲式的干净空气将滤饼反吹除去,达到清洁的目的^[19]。

2.2 膜处理新技术在矿业环保中的应用

纳米陶瓷膜主要用途之一是处理含油及乳化液废水,传统的处理方法是“调节池→破乳池→絮凝池→溶气气浮→生物处理降解有机物”的方法,如果使用陶瓷超滤膜就可以将过程简化为“调节池→超滤装置→生物处理降解有机物”^[20]。

在矿业环保中,以烧结金属膜材料应用最为典型。以笔者为首的中国矿业大学(北京)研究团队首次将新型高效金属过滤系统应用于矿井水处理领域,来替代井下狭小空间中传统的石英砂过滤器。研究表明:烧结金属过滤器比传统石英砂过滤器性能优良,反冲洗效果好,使用寿命长,是新型的适合用于矿井水处理的材料。烧结金属过滤器使用方便,不产生后续污染,反冲洗效果好,使用寿命长,适合应用于实际矿井井下的水处理。该技术已在神华集团神东煤炭分公司煤矿矿井水井下处理回用二期工程中得到具体应用,处理效果良好。

2.3 膜处理新技术在矿业环境教学中的应用

鉴于膜科学新技术在矿业环境保护中的重要作用,笔者根据近年来膜科学新技术的迅速发展及其在矿业环境保护具体实践中的广泛应用,在“环境工程原理”课程中“膜科学与技术”一章中加入了纳米陶瓷膜、烧结塑料膜和烧结金属膜等膜科学新技术相关内容。同时,为做到书本知识与实践的结合,笔者还带领同学们到烧结金属过滤小试装置实验室进行参观和实际操作练习,取得了良好效果。笔者认为目前教材中的膜科学与技术部分内容稍显老旧,需要对教材及时修订、更新,使同学们能够紧跟时代的步伐,学到更多更好的膜科学技术并应用到工程实践中去。

3 结 语

微滤、超滤、纳滤、反渗透、膜生物反应器等是目前常用的膜科学技术。山西汾西矿业集团某矿井水经常规处理和纳滤膜深度处理后,可达到饮用水标准。不但使矿井水得到净化,还实现了废水的资源化,解决了当地居民的饮水困难。纳米陶瓷膜、烧结塑料膜和烧结金属膜是近年来快速发展起来的膜科学新技术。烧结金属过滤器应用于实际矿井地下水处理,效果良好。

参考文献:

- [1] 何绪文,贾建丽. 矿井水处理及资源化的理论与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009:1-68.
- [2] 张春晖,何绪文,李开和. 过滤技术在环境工程中的应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2011:28-87.
- [3] 任建新. 膜分离技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003:186-189.

- [4] 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.
- [5] 肖亚宁,王满明,郭建宏,等. 漳村煤矿矿井水净化试验[J]. 煤,1997,6(5):34-36.
- [6] 聂锦旭,肖贤明. 纳滤膜分离技术在矿井水处理中的研究[J]. 洁净煤技术,2005,11(4):64,65-67.
- [7] 杨慧敏,何绪文,何咏. 反渗透技术用于高矿化度矿井水处理的研究[J]. 水处理技术,2009,35(10):82-85.
- [8] 武强,王志强,叶思源,等. 混凝-微滤膜分离技术在矿井水处理与回用中的试验研究[J]. 煤炭学报,2004,29(5):581-584.
- [9] 岳志新,马东祝,赵丽娜,等. 膜分离技术的应用及发展趋势[J]. 云南地理环境研究,2006,18(5):52-57.
- [10] 朱安娜,祝万鹏,张玉春. 纳滤过程的污染问题及纳滤膜性能的影响因素[J]. 膜科学与技术,2003,23(1):43-49.
- [11] 何绪文,宋志伟,王殿芳,等. 反渗透技术在煤矿苦咸水中的应用研究[J]. 中国矿业大学学报,2002,31(6):618-621.
- [12] 李凤婷,王亮,刘华,等. 膜生物反应器在水处理中的应用与新发展[J]. 工业水处理,2005,25(1):10-13.
- [13] 袁航,石辉. 矿井水资源利用的研究进展与展望[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(5):50-57.
- [14] 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):17-22,55.
- [15] 侯立安,左莉,郭珍珍. 反渗透和纳滤工艺对饮用水中致突变物去除的试验研究[J]. 净水技术,2001,20(4):14-15.
- [16] 秦伟伟,宋永会,肖书虎,等. 陶瓷膜在水处理中的发展与应用[J]. 工业水处理,2011,31(10):15-19.
- [17] 金祥福,王立江,盛浩. TMF在垃圾渗滤液膜滤浓缩液处理上的应用研究[J]. 科技与创新,2014(10):144-145.
- [18] Kenneth Rubow, Billy Huang, Mike Wilson, et al. 应用于高温气体过滤的烧结金属过滤器[J]. 产业用纺织品,2009(7):22-29.
- [19] 顾临,邱世庭,赵扬. 烧结金属多孔滤材技术综述[J]. 流体机械,2002,30(2):30-34.
- [20] 黄万抚,严思明,李新冬. 膜技术在含油乳化废水处理中的应用及发展趋势[J]. 工业安全与环保,2013,39(10):23-25.

(上接第124页)

- [5] 柳迎红,杨凯雷,廖夏,等. 沁水盆地重点区块煤储层吸附特征及影响因素[J]. 洁净煤技术,2014,20(1):49-53.
- [6] 饶孟余,江舒华. 煤层气井排采技术分析[J]. 中国煤层气,2010,7(1):22-25.
- [7] 房茂军,柳迎红,杨凯雷,等. 沁南盆地煤层气U型水平井部署优化研究[J]. 洁净煤技术,2014,20(3):103-105.
- [8] 王红岩,刘洪林,赵庆波,等. 煤层气富集成藏规律[M]. 北京:石油工业出版社,2005:54-67.
- [9] Palm er I D, Met calf e R S, Yee D, et al. 煤层甲烷储层评价及生产技术[M]. 秦勇,曾勇译. 徐州:中国矿业大学出版社,1996:22-25.
- [10] 王兴隆,赵益忠,吴桐. 沁南高煤阶煤层气井排采机理与生

- 产特征[J]. 煤田地质与勘探,2009,37(5):19-27.
- [11] 李梦溪,张聪,张绍雄,等. 沁水盆地樊庄区块煤层气直井排采特点[J]. 中国煤层气,2012,9(3):3-7.
- [12] 郭大立,贡玉军,李曙光,等. 煤层气排采工艺技术研究 and 展望[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(2):91-98.
- [13] 倪小明,王延斌,接铭训,等. 煤层气井排采初期合理排采强度的确定方法[J]. 西南石油大学学报,2007,29(6):101-104.
- [14] 曹立刚,郭海林,顾谦隆. 煤层气井排采过程中各排采参数间关系的探讨[J]. 中国煤田地质,2000,12(1):31-35.
- [15] 康永尚,赵群,王红岩,等. 煤层气井开发效果及排采制度的研究[J]. 天然气工业,2007,27(7):79-82.