

试验研究

## 反渗透处理淮南矿区矿井水试验研究

柳炳俊<sup>1</sup>, 郑彭生<sup>2</sup>, 谢毫<sup>1</sup>, 高杰<sup>2</sup>, 安士凯<sup>1</sup>

(1. 煤矿生态环境保护国家工程实验室, 安徽 淮南 232001;  
2. 煤科集团杭州环保研究院, 浙江 杭州 311201)

**摘要:**为进一步提高淮南矿区矿井水利用率, 满足矿区井下生产用水、饮用水、锅炉用水等高标准用水水质要求, 采用反渗透工艺对矿井水进行深度处理。通过分析操作压力、进水温度、进水电导率对膜分离性能的影响, 表明: 在进水流量 875L/h, 电导率 2180 $\mu$ s/cm, 水温 17.8 $^{\circ}$ C, 浓水侧操作压力 0.6MPa 的条件下, RO 对硬度几乎完全去除, 对碱度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  及电导率的去除率分别为 98.3%、99.1%、97.0% 和 97.8%。

**关键词:** 矿井水; 反渗透; 深度处理; 回用

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2014)02-0017-03

### EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE TREATMENT OF MINE WATER BY REVERSE OSMOSIS IN HUAINAN MINING AREA

LIU Bing-jun<sup>1</sup>, ZHENG Peng-sheng<sup>2</sup>, XIE Hao<sup>1</sup>, GAO Jie<sup>2</sup>, AN Shi-kai<sup>1</sup>

(1. National Engineering Laboratory of Coal Mine Ecological Environment Protection, Huainan Anhui 232001, China; 2. CCTEG Hangzhou Research Institute Hangzhou Zhejiang 311201, China)

**Abstract:** To further improve the utilization of mine water in Huainan mining area and meet the high reclamation standards of production water in the pit, drinking water and industrial boiler, the process of reverse osmosis was used to treat mine water. The impacts of operating pressure, water temperature and electrical conductivity on the membrane separation performances were analyzed. The results show that the removal rates of hardness, alkalinity,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and electrical conductivity are 100%, 98.3%, 99.1%, 97.0% and 97.8% respectively, with the flow rate of 875 L/h, electrical conductivity of 2180 $\mu$ s/cm, temperature of 17.8 $^{\circ}$ C and concentrate pressure of 0.6MPa.

**Keywords:** mine water; reverse osmosis; advanced treatment; reuse

矿井水主要由地下涌水、防尘洒水、设备冷却水汇集而成<sup>[1]</sup>, 我国煤炭矿区主要分布在华东、华北、西北等缺水地区, 将矿井水处理后回用作生产、生活用水已成为解决矿区水资源短缺问题的

主要手段。淮南矿区矿井水以煤粉、岩屑、溶解性盐类污染为主, 绝大部分属于高氯化物型高矿化度矿井水<sup>[2]</sup>。这类矿井水经过混凝、澄清、过滤等工艺处理后, 出水矿化度仍较高, 无法满足井下生产用水、饮用水、锅炉用水等高标准生活、生产用水的水质要求, 在很大程度上限制了淮南矿区矿井水利用率的进一步提高。

反渗透已广泛应用于海水淡化、食品加工、饮

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: 安徽省科技攻关项目(12010402149); 科技部技术开发专项(2010EG122195)

第一作者简介: 柳炳俊(1985~), 男, 硕士, 主要从事煤矿生态环境保护方面研究工作。

用水制备、工业废水再生处理、医药化工等领域<sup>[3-6]</sup>。采用反渗透对矿井水进行深度处理,可有效去除水中硬度、碱度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及  $\text{Cl}^-$ ,在提高出水水质的同时扩大矿井水的回用途,更好地实现矿井水的资源化利用。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 进水水质

试验用水取自淮南矿区某煤矿矿井水处理站的清水池,含较多悬浮物的矿井水经过混凝、澄清、过滤后进入清水池,具体水质情况见表1。

表1 进水水质

电导率/ ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	TDS/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	浊度/ NTU	pH	总硬度/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	总碱度/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{SO}_4^{2-}/$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{Cl}^-/$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	Fe/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )
2180	1515	1.21	8.37	285	523	273	516	0.013

水中  $\text{Cl}^-$  超出了《煤矿企业矿山支护标准—液 压支架(柱)用乳化油、浓缩物及其高含水液 压液》(MT76-2011)的相关水质要求,TDS 浊度、 $\text{SO}_4^{2-}$  超出了《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)的水 质要求,电导率、硬度超出了《工业锅炉水质》(GB/ T1576-2008)中额定蒸汽压力大于 1.0MPa 锅炉的 水质要求。

### 1.2 试验装置

试验工艺如图1所示。矿井水经超滤(UF)预 处理后进入中间水箱,而后经增压泵进入反渗 透(RO)装置。UF膜截留分子量为6000~10000 Dalton,UF能有效去除水中胶体、悬浮物和大分子 有机物,具有一定的抗污染能力,为RO提供良好的 进水水质<sup>[7]</sup>。RO膜元件为美国陶氏公司生产的 聚酰胺复合膜BW30~4040,有效膜面积为7.6m<sup>2</sup>。

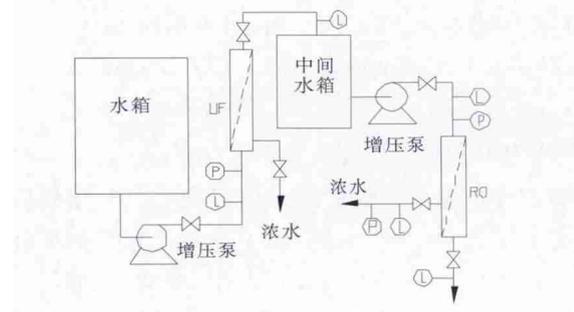


图1 试验工艺流程

## 2 试验结果分析

### 2.1 操作条件对RO膜分离性能的影响

影响RO膜分离性能的主要因素为操作压

力、进水温度、进水含盐量及pH<sup>[8]</sup>。对于淮南矿区 矿井水来说,pH较为稳定,所以本试验分别选取 操作压力、进水温度及进水电导率为研究对象,分 析三者变化对RO膜分离性能的影响。

在膜分离工艺中,对设备投资费用和操作费 用影响最大的过程参数一般为产水回收率<sup>[9]</sup>。进 水流量875L/h,电导率2180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,水温18.9 $^{\circ}\text{C}$ , RO产水量及回收率随浓水侧操作压力的变化如 图2所示。

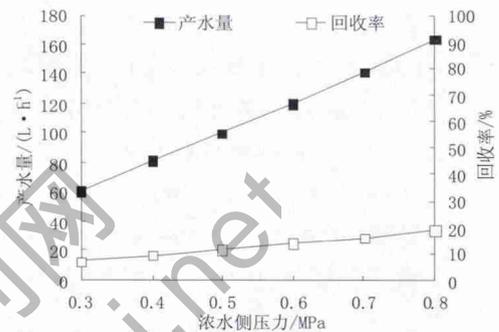


图2 操作压力对回收率的影响

在RO允许的操作压力范围内,增加操作压力 可显著提高RO产水量,在操作压力从0.3MPa 增加到0.8MPa的过程中,回收率由6.9%提高至 19.2%,回收率随压力呈线性上升趋势,压力每 增加0.1MPa,回收率约提高2.35%。增加操作压力可 在一定程度上提高RO回收率,但膜污染的速度也 随之加快,操作压力过高会影响到膜的使用寿命。

在进水流量875L/h,电导率2180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,水 温18.9 $^{\circ}\text{C}$ ,RO产水电导率及脱盐率随浓水侧操作 压力的变化如图3所示。

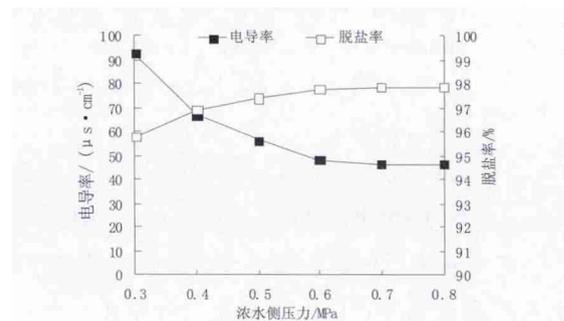


图3 操作压力对脱盐率的影响

在浓水侧操作压力为0.3~0.6MPa的情况下, 随着操作压力的增加,RO脱盐率呈上升趋势,当 压力为0.6MPa时,脱盐率达到了97.8%,当压力 大于0.6MPa后,继续增加操作压力对脱盐率无明 显影响。一种观点认为,盐通量只是膜两侧盐浓度

的函数,操作压力的增加提高了水通量,而盐通量不变<sup>[10]</sup>,所以脱盐率随着压力的增加而上升,但与此同时,膜两侧的盐浓度差逐渐变大,一定压力范围内,脱盐率上升的趋势逐渐变缓并趋于稳定。进水流量 875L/h,电导率 2243 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,浓水侧操作压力 0.6MPa,RO 回收率及脱盐率随反渗透进水温度的变化如图 4 所示。

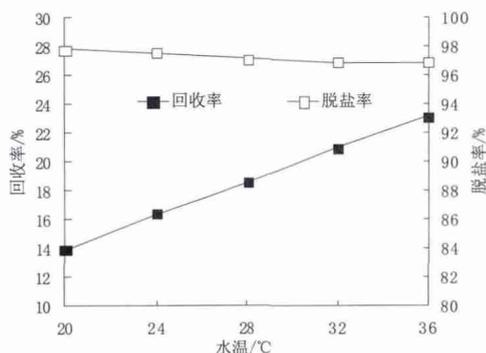


图 4 水温对回收率及脱盐率的影响

随着水温的升高,产水量提高,回收率与水温呈线性增长关系,水温每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,回收率约提高 0.6%;脱盐率随水温的升高呈下降趋势,变化趋势不明显。水温对 RO 的影响比较复杂,温度的升高会导致粘度的下降和扩散系数的提高,从而提升了渗透性能,溶质透过率也得到了一定程度的提升,因而直观地表现为回收率的提高和脱盐率的下降。

进水流量 875L/h,浓水侧操作压力 0.6MPa,水温 17.5~22.7 $^{\circ}\text{C}$ ,进水电导率对脱盐率的影响如图 5 所示。

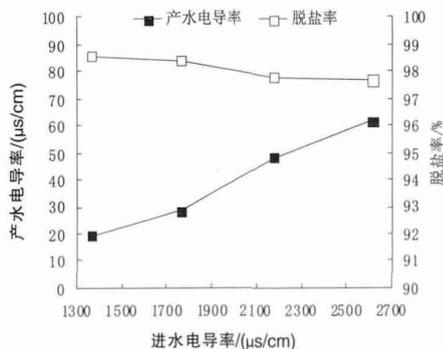


图 5 进水电导率对脱盐率的影响

随着进水电导率的升高,产水电导率显著增加,脱盐率虽呈下降趋势,但仍保持在 97%以上。在含盐量升高的情况下,更多一价离子穿过膜进入产水中,而二价离子仍很难穿过,因此,脱盐

率有所下降但下降幅度有限。

## 2.2 产水水质分析

进水流量 875L/h,电导率 2180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ,水温 17.8 $^{\circ}\text{C}$ ,浓水侧操作压力 0.6MPa,RO 处理效果如表 2 所示。

表 2 RO 处理效果

指标	产水水质	去除率/%
总硬度/(mg/L)	未检出	约 100
总碱度/(mg/L)	9	98.3
$\text{SO}_4^{2-}$ /(mg/L)	2.39	99.1
$\text{Cl}^-$ /(mg/L)	15.7	97.0
TDS/(mg/L)	43	97.2
电导率/ $\mu\text{s}/\text{cm}$	48.4	97.8
pH	6.31	

RO 对总硬度实现了完全去除、对总碱度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及  $\text{Cl}^-$ 有很高的去除率,对  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等二价离子的截留效果优于一价的  $\text{Cl}^-$ 、脱盐效果好。产水 pH、 $\text{Cl}^-$ 达到了煤矿企业矿山支护标准——液压支架(柱)用乳化油、浓缩物及其高含水液(液)的水质要求,产水总硬度、总碱度、总电导率达到了《工业锅炉水质》最高标准的要求,产水  $\text{SO}_4^{2-}$ 、TDS 达到了《生活饮用水卫生标准》的水质要求。但产水偏酸性,不能直接满足《工业锅炉水质》及《生活饮用水卫生标准》对 pH 的要求,回用前需适当加碱以回调 pH。

## 3 结论

(1)随着操作压力的增加,回收率呈线性上升趋势,压力每增加 0.1MPa,回收率约提高 2.35%,脱盐率也呈上升趋势,但上升趋势逐渐变缓并趋于稳定。

(2)回收率与水温呈线性增长关系,水温每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,回收率约提高 0.6%;脱盐率随水温的升高呈下降趋势,变化趋势不明显。

(3)随着进水电导率的升高,产水电导率显著增加,脱盐率虽呈下降趋势,但仍保持在 97%以上。

(4)针对淮南矿区矿井水,采用 RO 进行深度处理,对主要离子的截留效果可稳定满足井下生产用水、饮用水、锅炉用水等高标准生活、生产用水的水质要求。

## 参考文献

- [1] 周如禄,高亮,郭中权,等.煤矿矿井水井下直接处理及循环利用[J].中国给水排水,2013,29(4):71~74.

(下转第 8 页)

[13] Roger Matta, Khalil Hanna, Serge Chiron .Fenton-like oxidation of 2, 4, 6-trinitrotoluene using different iron minerals [J]. Science of the Total Environment, 2007, 385: 242–251.

[14] Marcio Barreto-Rodrigues, Flávio T. Silva, Teresa C.B. Paiva. Combined zero-valent iron and fenton processes for the treatment of Brazilian TNT industry wastewater [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 165:1224–1228

[15] Huang Jun, Tang Wanying , Zhou Shenfan . Preliminary study on the treatment of TNT redwater by wet peroxide oxidation under normal pressure [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 1998, 4 (3): 482–501.

[16] Chang Shuangjun, Liu Yucun. Degradation mechanism of 2,4,6-

trinitrotoluene in supercritical water oxidation [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007,19 (12):1430~1435.

[17]Dimitrios Kalderis, Steven B. Hawthorne, Anthony. A. Clifford, Evangelos Gidarakos.Interaction of soil, water and TNT during degradation of TNT on contaminated soil using subcritical water [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 159: 329–334

[18] Hundal L S,Singh J, Bier E L,et al.Removal of TNT and RDX from water and soil using iron metal [J].Environmental Pollution, 1997,97(1-2):55–64.

[19] Zhang Xin, Lin Yu-man, Chen Zu-liang.2, 4, 6-Trinitrotoluene reduction kinetics in aqueous solution using nanoscale zero-valent iron [J].Journal of Hazardous Materials, 2009, 165: 923–927.



(上接第 4 页)

力跨区域大规模流动的必然性。同时,煤炭在终端能源消费中所占比例过大引发的能源效率低下和一系列环境问题也越来越受到重视。基于此点,我国能源结构优化迫在眉睫,应鼓励新能源、可再生能源和清洁能源发展,电力结构的调整在加大水电、核电和其他可再生能源比重的同时,更应当关注煤电的优化发展。

### 参考文献



(上接第 16 页)

[4] Younger P L. Coalfield abandonment: geochemical processes and hydrochemical products [J]. Nicholson K., Energy and the Environment. Geochemistry of Fossil, Nuclear and Renewable Resources. Society for Environmental Geochemistry and Health. McGregor Science, Aberdeenshire, 1998:1–29.

[5] Younger P L. Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2000,44(1):47–69.

[6] Adams R, Younger P L. A strategy for modeling ground water rebound in abandoned deep mine systems [J]. Ground Water, 2001,39

[1] 邹璇.能源结构优化与经济增长[J],经济问题探索,2010,(7):33.

[2] 王庆一.中国能源资源状况评析(上)[R],节能与环保,2008,(5):12.

[3]《2011年中国统计年鉴》[M].中国统计出版社,2011.

[4] 倪维斗,我国的能源问题与对策[J].宁波大学学报(人文科学版),2009(1):5–8.

[5] 董维武编译.世界煤炭生产与消费趋势[J].中国煤炭,2006(12):76–78.

[6] 付融冰.中国能源的现状[J].能源环境保护,2005(1):8–12.

[7] 曹新.中国能源结构调整探讨[J].中国国情国力,2009(4):13–15.

[8] 虎维岳,闫兰英.废弃矿井地下水污染特征及防治技术 [J]. 煤矿环境保护,2000(04):37–38.

[9] 周建军,虎维岳,刘英锋.废弃矿井含水介质场特征和水流运动特征分析[J].煤炭科学技术,2011(01):107–110.

[10] 周建军,虎维岳,侯大勇.废弃矿井地下水淹没过程的水流与水位数值模拟[J].煤田地质与勘探,2011(04):28–31.

[11] 冯美生.废弃煤矿对地下水污染研究[D].辽宁工程技术大学,2007.

[12] 刘埔,孙亚军.闭坑矿井地下水污染及其防治技术探讨[J].矿业研究与开发,2011(04):91–95.



(上接第 19 页)

[2] 王锦,赵玲,毛维东,等.膜法处理淮南矿区矿井水的试验研究[J].能源环境保护,2009,23(4):19–21.

[3] 汤芳,孙迎雪,石晔,等.污水再生处理微滤-反渗透工艺经济分析[J].环境工程学报,2013,7(2):417–421.

[4] 毛维东,周如禄.矿井水反渗透处理系统设计要素[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2013,32(7):916–919.

[5] 潘献辉,阮国岭,赵河立,等.天津反渗透海水淡化示范工程(1000m<sup>3</sup>/d)[J].中国给水排水,2009,25(2):73–77.

[6] 侯铮斐,任虹,彭乙雪,等.膜分离技术在食品精深加工中的应用[J].食品科学,2012,33(13):287–291.

[7] 于鲁冀,唐敏,刘培,等.超滤-反渗透集成膜技术深度处理酒精废水[J].环境科学与技术,2012,35(7):82–85.

[8] 王建泰,李天增,苏宏,等.反渗透处理尾矿废水脱盐率的影响因素研究[J].工业水处理,2009,29(2):32–34.

[9] 陈益棠,陈雷.高回收率反渗透-纳滤海水淡化成本[J].水处理技术,2004,30(5):251–254.

[10] 任建新.膜分离技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2003.