

试验研究

## 超滤深度处理煤矿工业广场生活污水 试验研究

李守勤<sup>1</sup>, 郑彭生<sup>2</sup>, 谢毫<sup>1</sup>, 周如禄<sup>2</sup>, 柳炳俊<sup>1</sup>, 郭中权<sup>2</sup>

(1. 淮南矿业(集团)有限责任公司 煤矿生态环境保护国家工程实验室,  
安徽 淮南 232001; 2. 中国煤炭科工集团 杭州研究院, 浙江 杭州 311201)

**摘要:** 为解决煤矿工业广场生活污水再生利用的问题, 采用超滤技术对二级生化出水进行深度处理试验研究。结果表明: 超滤对浊度、COD<sub>Cr</sub>及NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的平均去除率分别为94.1%、24.8%和32.7%, 对粪大肠菌群数的去除率大于99.99%。在操作压力小于0.16 MPa的情况下, 膜通量随操作压力的提高而线性增大; 当操作压力大于0.2 MPa后, 膜通量受操作压力的影响较小, 继续提高操作压力会加剧膜的污染, 周期反冲洗能够有效抑制膜通量的下降。超滤在过滤15 min后反冲洗1 min的条件下运行16 h, 膜通量仅下降7.3%。

**关键词:** 超滤; 深度处理; 生活污水; 膜污染

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8159(2012)04-0031-04

### EXPERIMENTAL STUDY ON THE ADVANCED TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE FROM INDUSTRIAL SQUARE OF A COAL MINE BY ULTRAFILTRATION

LI Shou-qin<sup>1</sup>, ZHENG Peng-sheng<sup>2</sup>, XIE Hao<sup>1</sup>, ZHOU Ru-lu<sup>2</sup>, LIU Bing-jun<sup>1</sup>, GUO Zhong-quan<sup>2</sup>

(1. State Key Lab of Mine Ecological Environment Protection of Huainan Coal Mining Group Corporation Ltd, Huainan Anhui 232001, China; 2. Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Hangzhou Zhejiang 311201, China)

**Abstract:** To solve the problems of reusing domestic sewage from industry square of a coal mine, the experiment was conducted by ultrafiltration to treat the effluent from a secondary biochemical process. The results show that the average removal rates of turbidity, COD<sub>Cr</sub> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N by ultrafiltration were 94.1%, 24.8% and 32.7%, respectively. The removal rate of fecal coliform was greater than 99.99%. When the operating pressure was less than 0.16 MPa, the membrane flux increased linearly with it. However, the membrane flux would not change much when the working pressure was greater than 0.2 MPa. In addition, higher pressure would reinforce the membrane fouling, and periodic backwashing could restrain the decrease of membrane flux. The membrane flux decreased merely by 7.3% after 16 h on condition that the ultrafiltration was operated at backwashing time of 1 min after filtering 15 min.

**Keywords:** ultrafiltration; advanced treatment; domestic sewage; membrane fouling

### 1 概述

膜分离技术是目前水处理领域的研究热点,相对于纳滤膜、反渗透膜等中高压膜,超滤膜主要用于分离溶液中相对分子质量较大的分子、胶体和微粒,具有高效率、低能耗等分离特点。该技术已经成功应用于食品、医药、化工及水处理等领域<sup>[1-4]</sup>。

超滤几乎能将细菌、病毒、藻类及水生生物全部去除<sup>[5]</sup>,随着膜技术及膜材料的不断进步,超滤技术已成为污水深度处理的一个重要选择<sup>[6,7]</sup>。我国矿区生产和生活用水主要以抽取地下深井水为主,过度抽取地下水带来一系列问题。煤矿生活污水污染程度不高且水量较稳定,经过深度处理后回用于生产具有明显的经济效益和社会效益。

以某煤矿工业广场生活污水二级生化出水为原水进行了现场试验,分析了超滤对煤矿工业广场生活污水深度处理的效果,探讨了运行条件对超滤膜渗透性能的影响。

### 2 材料与方 法

#### 2.1 原水水质

试验原水为某煤矿工业广场生活污水二级生化出水。具体水质:浊度 1.92~3.36 NTU、pH=7~7.5、COD<sub>Cr</sub> 22.5~33.2 mg/L、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 0.26~0.45 mg/L、粪大肠菌群数 1.4×10<sup>4</sup>~8.4×10<sup>5</sup> 个/100 mL。

#### 2.2 试验装置

试验工艺如图 1 所示。

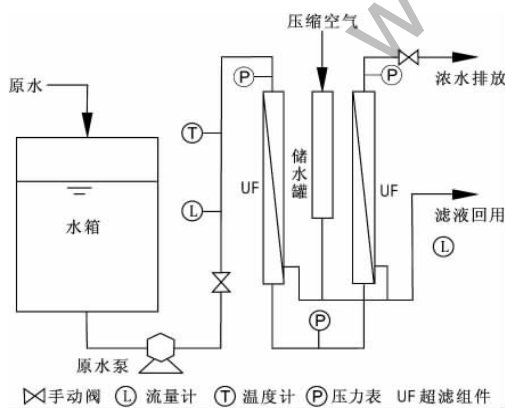


图 1 试验工艺流程

对原水采用截留分子量为 100 000 Dalton 的中空纤维膜进行错流过滤,加压方式为内压式,可进行周期性在线反冲洗,试验系统采用欧姆龙 PLC 进行自动控制。超滤运行开始时,原水泵即开

始工作,浓缩液外排,部分透过液收集在储水罐中,以备反冲洗时使用,其他透过液排出系统。当在线反冲洗开始时,原水泵关闭,空气压缩机开启,由空气压缩机提供的压力将储水罐中的水压入滤膜。反冲洗完毕后,空气压缩机关闭,原水泵开启,超滤继续运行,如此往复。

#### 2.3 试验方法

试验采用原水进行直接超滤,反冲洗用水为透过液。每组试验后进行化学清洗,使膜通量得以恢复。试验过程中的水温为 27.5±1 ℃。

#### 2.4 监测项目及分析方法

在试验过程中测定超滤膜的工作压力、进水流量和出水流量。水质测试方法如表 1 所示。

表 1 测试方法

测试项目	分析方法
COD <sub>Cr</sub>	重铬酸盐法 GB 11914-89
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂分光光度法 HJ 535-2009
浊度	便携式浊度计法 ISO 7027-1999
粪大肠菌群数	多管发酵法 HJ/T 347-2007

### 3 结果分析

#### 3.1 超滤对污染物的去除效果

超滤操作条件为:过滤 20 min,然后反冲洗 1 min。试验过程中采用恒压过滤,进膜压力为 0.15 MPa。为考察进水水质变化对超滤出水效果的影响,在不同时间进行 8 次相同操作条件的试验。在试验过程中对浊度、COD<sub>Cr</sub> 及 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 进行监测,每次试验记录的数据为超滤稳定运行时的水质分析结果。

##### 3.1.1 浊度去除效果

超滤工艺对浊度的去除效果见图 2。

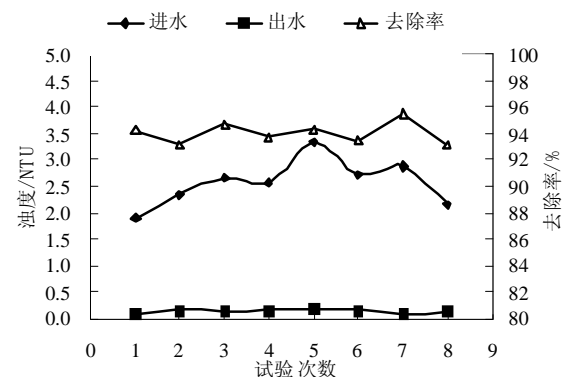


图 2 浊度去除效果

由图 2 可以看出, 进水浊度最大为 3.36 NTU, 最小为 1.92 NTU, 平均为 2.59 NTU; 出水浊度最大为 0.19 NTU, 最小为 0.11 NTU, 平均为 0.15 NTU; 超滤对浊度的去除率最大为 95.5%, 最小为 93.1%, 平均为 94.1%。超滤对浊度的去除效果良好。

### 3.1.2 COD<sub>Cr</sub> 去除效果

超滤对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果见图 3。

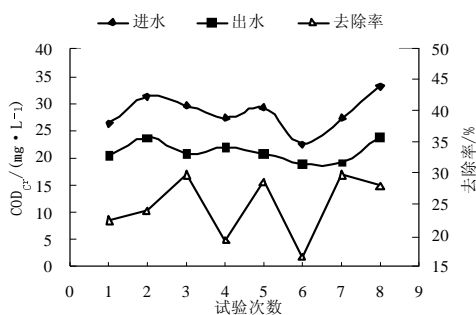


图 3 COD<sub>Cr</sub> 去除效果

由图 3 可以看出, 进水 COD<sub>Cr</sub> 最大为 33.2 mg/L, 最小为 22.5 mg/L, 平均为 28.3 mg/L; 出水 COD<sub>Cr</sub> 最大为 23.9 mg/L, 最小为 18.8 mg/L, 平均为 21.2 mg/L; 超滤对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率最大为 29.8%, 最小为 16.4%, 平均为 24.8%。超滤对污水中的还原性有机物有一定的去除效果, 但去除率不稳定。

### 3.1.3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果

超滤对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效果见图 4。

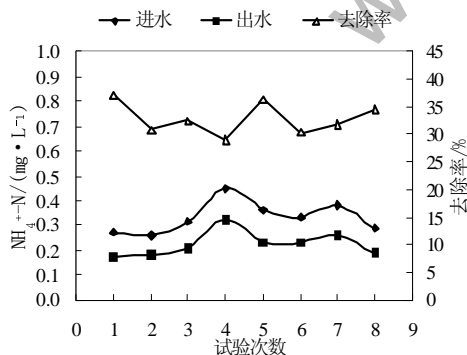


图 4 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果

由图 4 可以看出, 进水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 最大为 0.45 mg/L, 最小为 0.26 mg/L, 平均为 0.33 mg/L; 出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 最大为 0.32 mg/L, 最小为 0.17 mg/L,

平均为 0.22 mg/L; 超滤对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率最大为 37%, 最小为 28.9%, 平均为 32.7%。超滤对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 有一定的去除效果, 但去除率不稳定。

### 3.1.4 粪大肠菌群数去除效果

表 2 粪大肠菌群数去除效果

原水	透过液	去除率
1.4×10 <sup>4</sup> ~8.4×10 <sup>5</sup> 个/100 mL	未检出	>99.99 %

由表 2 可以看出, 超滤对粪大肠菌群数有很好的去除效果, 去除率大于 99.99%。

### 3.2 膜通量与操作压力的关系

用透过液流量与膜面积的比值作为膜通量, 调节超滤膜的操作压力, 得出超滤膜的过滤通量与操作压力的关系, 如图 5 所示。

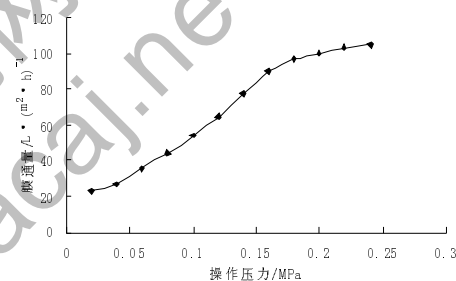


图 5 膜通量与操作压力的关系

由图 5 可知, 在操作压力小于 0.16 MPa 的情况下, 膜通量随操作压力的提高而线性增大, 当操作压力大于 0.2 MPa 后, 膜通量受操作压力的影响较小。这一现象可用浓差极化来解释。随着过滤的进行, 当膜面上截留溶质达到一定浓度时, 在膜面上形成一层凝胶层, 凝胶层对膜的过滤有很大阻力。继续增加操作压力, 只能使凝胶层的厚度变大, 所增加的压力都消耗在增厚的凝胶层上, 所以过滤通量的增加变缓, 最后趋于平稳。增大操作压力可以提高膜通量, 但增大操作压力的同时也加速了膜的污染。

### 3.3 周期反冲洗条件下膜通量的变化

为考察超滤系统运行的稳定性, 在周期反冲洗的条件下分析膜通量的变化情况。超滤操作条件为: 过滤 15 min, 然后反冲洗 1 min。试验过程中采用恒压过滤, 进膜压力为 0.15 MPa, 反洗压力为 0.2 MPa。

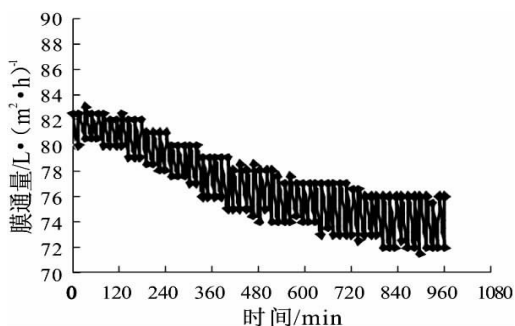


图6 膜通量在周期反冲洗条件下随时间的变化

由图6可以看出,周期反冲洗对膜通量下降具有明显的抑制作用,可以有效缓解膜污染。周期反冲洗及时冲去了一部分可能在膜表面沉积的污染物,从而避免了污染物在膜表面的大量积累。

膜表面沉积的污染物如果不能及时剥离,随过滤时间增长,在压力作用下滤饼层就会被逐渐压密,增加了下次反冲洗剥离的难度。但是反冲洗不可能完全消除膜污染导致的通量下降,超滤运行16 h,膜通量下降了7.3%。

#### 4 结论

(1)超滤对煤矿工业广场生活污水二级生化出水中浊度、 $\text{COD}_\text{Cr}$ 及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的平均去除率分别为94.1%、24.8%和32.7%,对粪大肠菌群数的去除率大于99.99%。超滤依靠滤膜的截留和筛分作用去除污染物,而大部分半径小于膜孔径的

离子不能被有效截留。

(2)在操作压力小于0.16 MPa的情况下,膜通量随操作压力的提高而线性增大;当操作压力大于0.2 MPa后,膜通量受操作压力的影响较小,继续提高操作压力会加剧膜的污染。

(3)周期反冲洗能够有效抑制膜通量的下降,超滤在过滤15 min后反冲洗1 min的条件下运行16 h,膜通量仅下降7.3%。

(4)采用超滤工艺处理煤矿工业广场生活污水厂的二级出水,工艺运行稳定可靠,出水水质可以满足煤矿井下生产用水的要求。

#### 参考文献

- [1] 李锦生,傅晓琴,李冰等.功能性生物活性物质超滤分离纯化技术的研究现状与进展[J].中国食品学报,2010,10(2):174-179.
- [2] 刘芸,周骏,王冬英等.混合材质超滤膜去除丹参滴注液中细菌内毒素的应用研究[J].南京中医药大学学报,2011,27(6):558-560.
- [3] 杨柳,马卫华,戚莉等.膜分离法精制低饱和度聚醚多元醇[J].化工进展,2011,30(12):2606-2610.
- [4] 修海峰,朱仲元,高乃云等.超滤膜深度处理长江原水的中试研究[J].中国给水排水,2011,27(7):45-47.
- [5] 黄静,杨艳玲,李星等.不同预处理/超滤工艺的除污特性及氯消毒效能[J].中国给水排水,2012,28(1):22-25.
- [6] 李清雪,武萍,赵海萍等.超滤组合工艺深度处理城市污水研究[J].水处理技术,2010,36(3):119-122.
- [7] 沈悦啸,王利政,莫颖慧等.微滤、超滤、纳滤和反渗透技术的最新进展[J].中国给水排水,2010,26(22):1-5.

## 公开申明

《能源环境保护》(以下简称本刊)2012年第26卷第3期刊登的论文《金尾矿综合利用技术研究与应用进展》(作者:李礼,谢超,陈冬梅,冯一鸣)系作者于2011年10月9日投稿至我刊,因本刊编辑部工作的疏忽,在本刊征稿启事中约定的“如三个月内未收稿件录用通知,作者可自行处理”时间期满后,未通知作者,且在未与作者联系和未收取版面费的情况下,单方面将该文章刊出。现应作者要求,本刊特此发表申明撤销该文,并向该文作者公开致歉。

《能源环境保护》编辑部