

# 两种构型多孔陶瓷膜过滤性能试验

梁恒国, 师杰, 吕玉正

(后勤工程学院 营房管理与环境工程系, 重庆 401311)

**摘要:**采用两种不同构型过流通道多孔陶瓷膜对纯水和池塘水进行过滤及水流组织方式的试验研究,结果表明,两种构型的多孔陶瓷膜对浑浊度、色度、 $COD_{Mn}$ 和 $UV_{254}$ 的去除效果基本相同,扇形过流通道多孔陶瓷膜的过滤性能优于圆形过流通道多孔陶瓷膜,其过滤通量是圆形过流通道多孔陶瓷膜的1.45倍。

**关键词:**过流通道;陶瓷膜;过滤

中图分类号:TQ028.8

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S1-0232-03

## Experiments on the Filtration Property of Two Kinds of Porous Ceramic Membrane Configurations

LIANG Hengguo, SHI Jie, LYU Yuzheng

(Department of Barracks' Management & Environmental Engineering, LEU, Chongqing 401311, P. R. China)

**Abstract:** Tests are carried out on the filtration and organized forms of pure water flow and pond water flow using two kinds of flow channel porous ceramic membrane. Results show that for the two kinds of porous ceramic membranes, their removal efficiency of turbidity degree, chroma,  $COD_{Mn}$  and  $UV_{254}$  are nearly the same. The filtering quality of fan-channel porous ceramic membrane is better than that of circular-channel porous ceramic membrane, and the filtration flux of the former is 1.45 times the flux of the latter.

**Key words:** flow channel; ceramic membrane; filtration

多通道陶瓷膜由于具有安装便捷、易于维护,单位体积的膜过滤面积大,机械强度比管式膜高等优点,已经大规模应用在工业生产中<sup>[1-4]</sup>。但多通道陶瓷膜的应用也面临一些新的挑战,其常用过流通道布置形式使中间通道、外层通道靠近中间通道侧部分对过滤通量贡献较小<sup>[5-11]</sup>。

本文通过两种不同过流通道多孔陶瓷膜过滤性能以及抗污染性能的试验,研究了多孔陶瓷膜过流通道形状及水流方式的调整对渗透效果的影响,为优化多孔陶瓷膜过流通道布置形式提供参考。

### 1 试验设计

#### 1.1 试验用多孔陶瓷膜选择

为了尽可能增大多孔陶瓷膜单位体积的有效过滤面积和减少膜渗透流过的距离,试验选用扇形过流通道多孔陶瓷膜,同时把其中间通道设置为渗透液汇集通道,即多孔陶瓷膜构型同时具有中间通道侧和陶瓷膜外侧两个渗透侧<sup>[12]</sup>。

图1为试验选用的两种多孔陶瓷膜构型的断面。a构型膜管外径 $D$ 为30 mm、通道内径 $d$ 为7 mm,壁厚与相邻通道之间支撑骨架的距离 $h$ 均为2.25 mm,膜管长 $L$ 为1 000 mm,平均孔径为50 nm;b构型中间圆形渗透液汇集通道直径 $d$ 为5.5 mm,壁厚与相邻扇形过流通道之间的支撑

骨架距离 $h_1$ 均为2 mm,扇形过流通道与中间通道之间的支撑骨架距离 $h_2$ 为3 mm,其外径 $D$ 、平均孔径和膜管长 $L$ 与a构型相同。

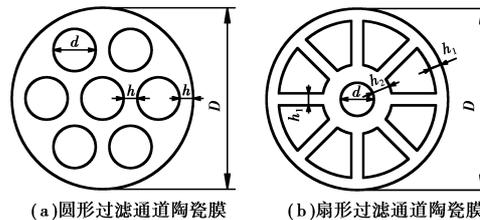


图1 两种陶瓷膜构型断面图

#### 1.2 试验装置设计

试验装置主要由泵、压力表、流量计、阀门、水箱等组成。如图2所示。

扇形过流通道多孔陶瓷膜的中间通道在入口处做封堵处理,出口处通过引流管与渗透出水管相连,引流管采用尼龙管(外径5.5 mm,内径4.5 mm)。这样便可以实现双向集水,双向反冲洗的目的,见图3所示。

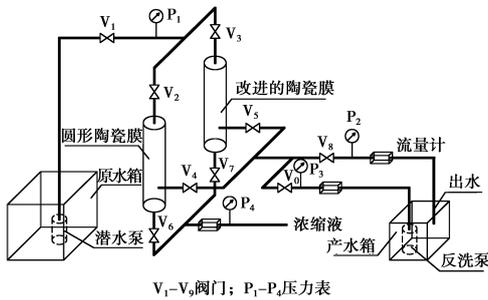


图 2 试验装置流程图

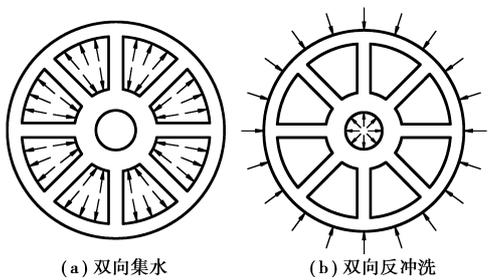


图 3 扇形过流通道多孔陶瓷膜水流方式

### 1.3 试验原水

试验原水选用重庆大学城校内池塘水,池塘中生长着大量不同种类的水生植物和鱼类。

表 1 试验原水主要参数

项目	检测结果
温度/°C	22~24
浑浊度/NTU	18~30
色度/度	17~30
COD <sub>Mn</sub> /mg/L	8.37~25.11
UV <sub>254</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.121~0.213
pH 值	7.2~7.5

## 2 试验结果及分析

### 2.1 纯水过滤试验

依据文献[13]中关于多孔陶瓷膜有效过滤面积的定义方法,确定两种过流通道多孔陶瓷膜的有效面积如下:

a 构型多孔陶瓷膜的有效过滤面积约为:

$$S_1 = 3\pi dl = 3 \times 3.14 \times 0.007 \times 1 = 0.066(\text{m}^2)$$

b 构型多孔陶瓷膜的有效过滤面积约为:

$$S_2 = [\pi(D - 2h_1) + \pi(d + 2h_2) - 2 \times 8h_1] \cdot l = 0.086(\text{m}^2)$$

计算结果显示 b 构型多孔陶瓷膜有效过滤面积比 a 构型大。如图 4 所示,在相同操作压力下,多孔陶瓷膜外侧纯水通量高于 a 构型多孔陶瓷膜的纯水通量,且 b 构型多孔陶瓷膜中间通道纯水通量较大,对纯水通量的贡献不可忽略,在 0.2 MPa 操作压力作用下,a 构型多孔陶瓷膜纯水通量为 411.27 L · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>;而 b 构型多孔陶瓷膜外侧纯水通量为 496.66 L · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>,中间通道纯水通量为 99.92 L · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>,两部分纯水通量之和为 596.58 L · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>,为 a 构型多孔

陶瓷膜的 1.45 倍,分析其原因是 b 构型多孔陶瓷膜的有效过滤面积为 a 构型多孔陶瓷膜的 1.30 倍,且 a 构型膜过滤层厚度不均匀,随着膜层厚度的增加,流体渗透流过的路程增大,渗透速度减少,对纯水通量的贡献相应降低。

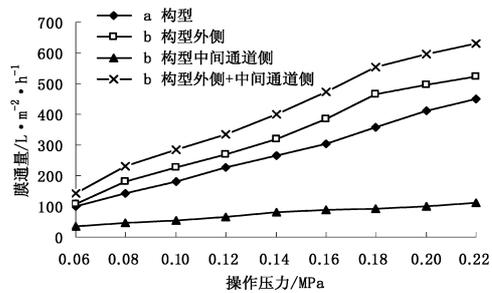


图 4 不同渗透侧膜通量随压力变化规律

### 2.2 原水过滤试验

#### 2.2.1 不同构型多孔陶瓷膜的膜通量随时间变化规律

试验操作压力控制在 0.15 MPa,两种构型多孔陶瓷膜所用原水的水质情况保持一致。由图 5 可知,两种构型多孔陶瓷膜的膜通量变化情况基本一致,在前 20 min 内膜通量下降速率较快,分别从 271.82 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> 和 437.67 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> 下降到 148.49 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> 和 188.19 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup>,随后下降速率趋缓,膜通量基本保持稳定,在多孔陶瓷膜过滤 50 min 后,膜通量分别为 115.27 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> 和 137.62 L · h<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup>,与膜过滤初期相比,分别下降 57.59% 和 68.55%;相比之下,b 构型多孔陶瓷膜过滤通量下降较快,但总的过滤通量仍高于 a 构型多孔陶瓷膜,这主要是由于 b 构型多孔陶瓷膜有效过滤面积较大。

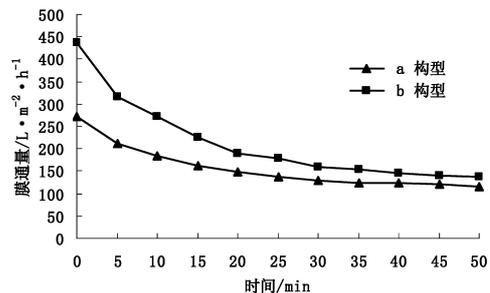


图 5 膜通量随时间变化规律

#### 2.2.2 不同构型多孔陶瓷膜的去除效果

试验操作压力控制在 0.15 MPa,为了分析两种过流通道多孔陶瓷膜去除效果的差异,将不同水质参数的去除效果作综合比较,其结果见表 2 和图 6。

表 2 不同水质参数的去除效果

构型	浑浊度/%	色度/%	COD <sub>Mn</sub> /%	UV <sub>254</sub> /%
a 构型	98.08	67.87	49.66	55.47
b 构型外侧	98.42	70.64	52.36	53.77
b 构型中间通道侧	98.89	74.33	63.61	61.99

由表 2 可以看出,两种构型多孔陶瓷膜对浑浊度、色度、

COD<sub>Mn</sub> 和 UV<sub>254</sub> 的去除效果基本一致,即多孔陶瓷膜对不同水质参数的去除效果与膜孔径有关,而与膜构型无关;b 构型多孔陶瓷膜中间通道出水对这些水质参数的平均去除率较高,与 a 构型多孔陶瓷膜的去除效果相比,分别提高了 0.82%、9.51%、28.09% 和 11.75%,这主要是由于中间通道与扇形通道之间的膜结构为双面涂膜,且其膜层厚度为 3 mm,远大于扇形通道与多孔陶瓷膜外侧之间的膜层厚度,膜层厚度增加,膜孔径会相应减少<sup>[14]</sup>,膜截留作用更明显。

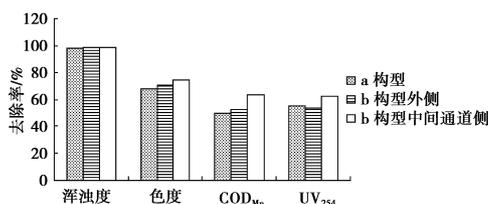


图 6 不同过流通道多孔陶瓷膜构型过滤性能比较

由图 6 可知,多孔陶瓷膜对各种水质指标的去除效果并不相同,其对有机物的去除率保持在 50% 左右,当原水中有机物浓度较大时,渗透出水中有机物的浓度相应提高<sup>[15]</sup>,要使多孔陶瓷膜渗透出水的有机物浓度达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)中关于 COD<sub>Mn</sub> 不超过 3 mg/L 的规定,多孔陶瓷膜工艺前应当设置预处理工艺,以达到较好的有机物去除效果。

由上分析可知,b 构型多孔陶瓷膜通过合理设置过流通道布置形式及水流组织方式,可以提高膜渗透通量,同时保证渗透效果不降低。

### 3 结论

1)通过对两种构型多孔陶瓷膜纯水通量试验得出,b 构型多孔陶瓷膜优于 a 构型多孔陶瓷膜,其纯水通量值是 a 构型多孔陶瓷膜的 1.45 倍。

2)b 构型多孔陶瓷膜对浑浊度、色度、COD<sub>Mn</sub> 和 UV<sub>254</sub> 的去除效果与 a 构型多孔陶瓷膜基本一致,即 b 构型在保持较大过滤通量时的去除效果基本不变。

3)多孔陶瓷膜通过对过流通道形状和水流组织方式的合理调整,可以解决膜过滤渗透阻力相对较大、中间通道对纯水通量贡献不大的问题,为新型多孔陶瓷膜的生产应用提供参考。

#### 参考文献:

[1] 徐南平,邢卫红,赵宜江. 无机膜分离技术与应用[M]. 化学工业出版社,2003.

[2] 郑领英,王学松. 膜技术[M]. 化学工业出版社,2000.

[3] 李祥峰,戴长虹,孙海生. 陶瓷膜材料在水处理领域的应用[J]. 过滤与分离,2006,16(1):8-10.

LI Xiangfeng, DAI Changhong, SUN Haisheng. Applications of ceramic membrane separation technology in water treatments [J]. Journal of Filtration and Separation, 2006, 16(1): 8-10.

[4] 陈如海,方振东. 无机陶瓷膜在水处理中的应用现状及展望[J]. 重庆工业高等专科学校学报,2004,19(1):1-3.

CHEN Ruhai, FANG Zhendong. The present and future condition of applications in water treatment of inorganic ceramic membrane[J]. Journal of Chongqing Polytechnic College, 2004,

19(1):1-3.

[5] 师杰,梁恒国. 多孔陶瓷膜通道布置 CFD 优化[J]. 后勤工程学院学报,2011,27(6):56-59.

SHI Jie, LIANG Hengguo. Optimization of porous ceramic membrane channel layout with CFD[J]. Journal of Logistical Engineering University, 2011, 27(6): 56-59.

[6] 彭文博,漆虹,陈纲领,等. 19 通道多孔陶瓷膜渗透过程的 CFD 模拟[J]. 化工学报,2007,58(8):2021-2026.

PENG Wenbo, QI Hong, CHEN Gangling, et al. CFD modeling of permeate process in 19-channel porous ceramic membranes [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2007, 58(8): 2021-2026.

[7] Dolecek P, Cakl J. Permeate flow in hexagonal 19-channel inorganic membrane under filtration and backflush operating modes [J]. J. Membrane Sci., 1998, 149: 171-179.

[8] Dolecek P. Mathematical modeling of permeate flow in multi-channel ceramic membrane [J]. J. Membrane Sci., 1995, 100: 111-119.

[9] Shakaib M, Hasani S M F, Mahmood M. Study on the effects of spacer geometry in membrane feed channels using three-dimensional computational flow modeling[J]. J. Membrane Sci., 2007, 297: 74-89.

[10] 彭文博,漆虹,李卫星,等. 陶瓷膜通道相互作用的实验分析及 CFD 优化[J]. 化工学报,2008,59(3):602-606.

PENG Wenbo, QI Hong, LI Weixing, et al. Experimental investigation of effects of ceramic membrane channels on flux and optimization with CFD[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2008, 59(3): 602-606.

[11] 杨德武,赵国平,王艳红,等. 陶瓷膜渗流数值模拟[J]. 过滤与分离,2005,15:24-28.

YANG Dewu, ZHAO Guoping, WANG Yanhong, et al. Numerical simulation study of seepage flow models in ceramic membrane [J]. Journal of Filtration and Separation, 2005, 15: 24-28.

[12] 梁恒国,等. 一种多孔陶瓷滤芯: 中国, CN201906520U [P]. 2010-12-16.

[13] 师杰,梁恒国,梁鹏,等. 多孔陶瓷膜过流通道布置分析[J]. 西南给排水,2011,33(5):20-23.

SHI Jie, LIANG Hengguo, LIANG Peng, et al. Analysis of flow channel layout for porous ceramic membrane [J]. Southwest Water & Wastewater, 2011, 33(5): 20-23.

[14] 王沛,徐南平,时钧. 氧化铝微滤膜孔径的影响因素及控制[J]. 化工学报,1988,12(1): 28-32.

WANG Pei, XU Nanping, SHI Jun. Pore size control of alumina microfiltration membranes [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 1988, 12(1): 28-32.

[15] 吴克宏,倪中华,徐思锋,等. 50nm 陶瓷膜去除地表水浊度及天然有机物的实验[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版,2007,8(1):82-8.

WU Kehong, NI Zhonghua, XU Sifeng, et al. Experiment of 50 nm inorganic ceramic membrane for removal result of turbidity and organic substance in surface water [J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2007, 8(1): 82-85.