

# 微滤膜处理长江重庆段原水的初步研究\*

蒋绍阶, 刘 澜

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**不进行预处理,用两种不同数量级孔径的微滤膜处理长江上游重庆段原水,发现4~10  $\mu\text{m}$  孔径聚乙烯微滤管浊度去除率低,出水浊度高,0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径超高分子量聚乙烯微滤管浊度去除率高,出水浊度小于3NTU。采用2 m高位水箱进水方式,大流量有压空气反吹辅以原水排污的在线物理清洗能使0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径膜保持长时间稳定通量运行。通过该试验,确定了0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径微滤膜处理长江上游重庆段原水的设计运行参数。

**关键词:**长江;微滤;空气反吹;原水排污;参数

**中图分类号:**TU991.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)01-0076-04

## Experimental Research on Purifying Raw Water of Yangtze River in Chongqing Region with Tubular Micro-filtration Membrane

JIANG Shao-jie, LIU Lan

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** Without any pretreatment, the raw water of Yangtze River in Chongqing region was filtrated in this experiment by micro-filtration membranes of two different pore size. It is found that the turbidity of filtrate permeating the tubular ultra-high molecule polyethylene micro-membrane of 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  pore size is much lower than that permeating the membrane of 4~10  $\mu\text{m}$  pore size and less than 3NTU, the turbidity removal efficiency is much higher than the latter membrane. It is also found that the former membrane can keep steady flux for a long time by on-line physical cleaning method with feeding pattern of 2 m high-elevated water tanks. The method means that fouling, air and raw water is discharged via a drainage valve periodically when pressurized air current at high flow rate permeates the membrane in the opposite direction of the raw water inflow. Finally, the design and operation parameters of 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  pore size in disposing raw water of Yangtze River in Chongqing region is obtained in the experiment.

**Keywords:** Yangtze River; micro-filtration; air-flow reverse cleaning; air and raw water discharge; parameters

膜技术作为饮用水处理的一个独立工艺,是水处理领域的一个重要突破。膜过滤技术操作简单、出水水质好、工艺日趋成熟,使得膜的应用不断推广。膜的应用推广导致膜的需求增长、产量增加、价格下调。近年来高通量低污染膜的发展和膜价格的下调,又促进了膜过滤技术迅速增长。

微滤膜过滤技术是近年来应用最广泛的膜法水处理技术之一。它可直接处理高悬浮固体浓度的原水,还可以去除如隐孢子虫、贾第虫、细菌和病毒,而且不像反渗透和纳滤需要昂贵的预处理,因而得到广泛的应用。常见的微滤膜工艺可分为预处理、膜滤、后处理、膜清洗以及自动控制几部分。本试验通过选择适当的清洗方式,去掉了预处理,实现了膜的连续工作,使工艺更为简单、操作维护更为方便、运行更为经济。

\* 收稿日期:2004-09-26

基金项目:国家“十五”攻关课题《饮用水水质保障关键技术及装置研究》的子专题(2001BA604A01-05-02)

作者简介:蒋绍阶(1956-),男,湖南祁阳县人,副教授,博士,主要从事给水工程技术研究。

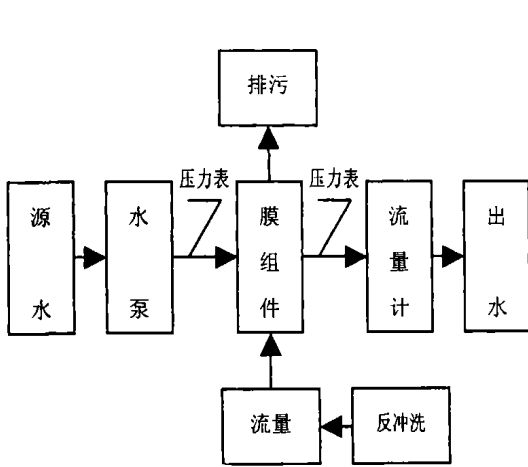


图 1 流程一

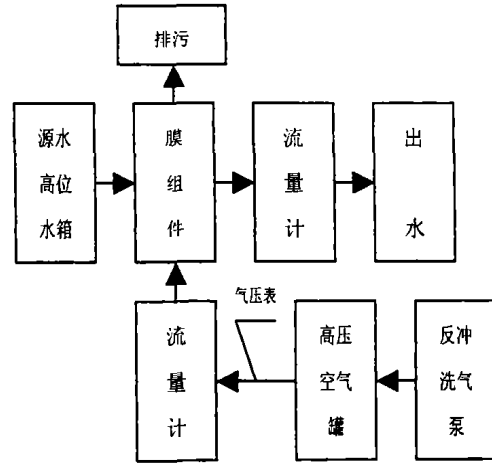


图 2 流程二

## 1 试验器材、方法和地点

### 1.1 试验器材

1) 微滤膜。选择了两种管式微滤膜,一种是浙江某微滤器材厂的 WPE-10 型超高分子量聚乙烯微滤管,外径 38 mm,内径 20.15 mm,孔径 0.2~0.9  $\mu\text{m}$ ,标准长度 1 m;另一种是山东某公司的聚乙烯微滤管,外径 32 mm,孔径 4~10  $\mu\text{m}$ ,标准长度 1 m。

2) 其他器材。膜组件、水泵、空压机、UPVC 给水管材、压力表、流量计、电磁阀、HACH 便携式浊度测量仪等。

### 1.2 试验方法

1) 不进行任何预处理,用两种不同数量级孔径的微滤膜处理长江上游重庆段原水,选择出水浊度低、浊度去除率高的膜,然后确定其物理冲洗方法和运行参数。

2) 两种膜的去除效果比较采用图 1 工艺流程:原水用泵压送至膜组件,膜过滤后经流量计流出;反冲洗时,滤后水用反冲洗泵经流量计压送至膜组件,反向冲洗后的废水经排污阀排出。进水泵压力控制在 0.3 MPa 以内。

3) 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  膜空气反吹试验采用图 2 工艺流程:原水经过 2 m 高位水箱流入膜装置,过滤后经流量计流出;反冲洗时,空压机将空气压缩至 0.6 MPa,压缩空气经流量计流入膜装置,空气反向透过微滤膜后随同原水经排污阀排出。

4) 两个工艺流程通过时间控制器和电磁阀进行自控。

### 1.3 实验地点

在和尚山水厂和重庆市钢铁集团公司生活给水净化站进行试验。两个水厂都是以长江水为水源,试验期间,原水浊度 20~200 NTU。

## 2 试验结果和讨论

### 2.1 两种膜浊度去除效果比较

表 1 是 4~10  $\mu\text{m}$  孔径管式微滤膜和尚山水厂原水试验结果及分析。从表中可以看出,在 11:50 到 13:25 的 100 min 内,流量一直保持为 0.3~0.35 L/min·根,浊度去除率在 53%~66%之间。在原水浊度为 27.7~30.6 NTU 的情况下,出水浊度在 9.45~14.2 NTU 之间。

表 2 是 0.02~0.9  $\mu\text{m}$  孔径管式微滤膜和尚山水厂原水试验结果及分析。从图表中可以看出,在 14:05~15:05 的 60 min 内,产水量从 0.93 L/min·根降到了 0.25 L/min·根,浊度去除率在 96.7%~98.7%之间,在 28.3~30.15 NTU 的原水浊度下,出水浊度在 0.37~0.92 NTU 之间。

比较表 1 和表 2,在原水浊度差不多的情况下,4~10  $\mu\text{m}$  孔径膜的出水浊度比 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径膜

的出水浊度高 9.08~13.28NTU,去除率低 32.7%~43.7%。但 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径膜产水量下降速度比 4~10 $\mu\text{m}$  孔径膜快的多。

表 1 4~10  $\mu\text{m}$  孔径管式微滤膜和尚山水厂原水试验

时间	原水浊度 /NTU	出水浊度 /NTU	产水量 / $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{根}^{-1}$	去除率
11:50	30.5	14.2	350	0.53
11:55	30.6	13.6	350	0.56
12:45	27.7	9.67	300	0.65
13:10	27.8	9.45	300	0.66
13:25	30.5	10.5	340	0.65

表 2 0.02~0.9  $\mu\text{m}$  孔径管式微滤膜和尚山水厂原水试验

时间	原水浊度 /NTU	出水浊度 /NTU	产水量 / $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{根}^{-1}$	去除率
14:05	28.3	0.37	0.93	0.987
14:10	29	0.67	0.91	0.977
14:20	29.1	0.89	0.7	0.969
14:25	29.23	0.92	0.59	0.968
14:30	30.15	1	0.48	0.967
14:35	29.95	0.66	0.41	0.978
14:40	28.8	0.45	0.4	0.984
15:05	28.55	0.44	0.25	0.985

表 3 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径微滤膜重钢

生活给水净化站原水试验				
时间	原水浊度 /NTU	出水浊度 /NTU	产水量 / $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{根}^{-1}$	去除率
12:00	20.8	0.27	1.36	0.987
12:01	19.23	0.25	1.36	0.987
12:05	23.07	0.3	1.34	0.987
12:10	23.7	0.3	1.34	0.987
12:15	23.07	0.3	1.32	0.987
12:20	24	0.32	1.32	0.987
12:25	26.15	0.34	1.3	0.986
12:30	21.7	0.31	1.23	0.986
12:35	26.15	0.34	1.08	0.986
12:40	25.3	0.34	1.11	0.987
12:45	26	0.39	1.05	0.985
12:50	23.1	0.37	1.02	0.984
12:55	25.63	0.41	0.96	0.984
13:00	30	0.48	0.86	0.984
13:15	27.5	0.44	0.82	0.984

表 3 是 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径微滤管重庆市钢铁集团公司生活给水净化站原水试验结果及分析。在 12:00~13:15 的 75 min 内,产水量从 1.36  $\text{L}/\text{min}\cdot\text{根}$  降到了 0.82  $\text{L}/\text{min}\cdot\text{根}$ ,浊度去除率在 98.4%~98.7% 之间,在 19.23~26.15NTU 的原水浊度下,出水浊度在 0.27~0.48NTU 之间。

比较表 1、表 2 表 3 可知,0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径微滤膜 NTU 去除效果比 4~10  $\mu\text{m}$  孔径微滤膜好,能够将长江上游重庆段源水浊度降到 3NTU 以下。

## 2.2 0.2~0.9 $\mu\text{m}$ 孔径微滤膜的物理清洗

试验结果如表 4:平均出水浊度是指一个周期内的产水充分混合后所测得的浊度。去除率是指(原水浊度 - 出水平均浊度)/原水浊度。每个周期包括过滤和空气反吹两部分,每个周期过滤时间为 56 min,空气反吹时间为 5 min。空气反吹时,恒压罐保持 0.6 MPa 的压强。恒压罐后的调节阀从第一次流量调节后一直保持不变,也就是说,从 2004 年 5 月 19 日 9:32~17:18 这个时段内,膜装置的工况变化是由于膜的堵塞程度不同产生的。

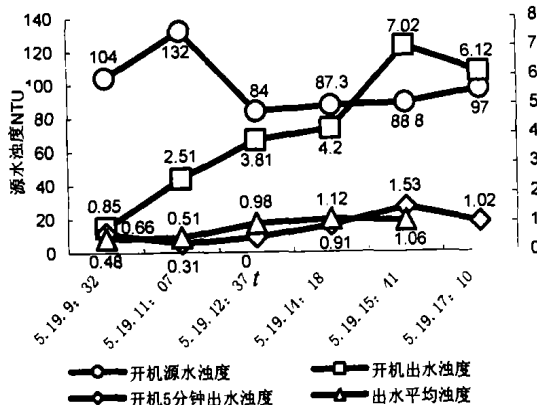


图 3 浊度与时间的关系

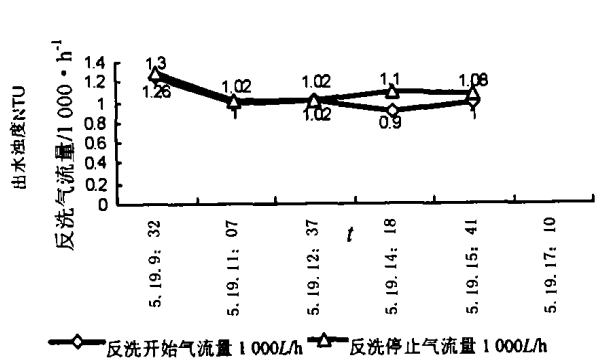


图 4 反吹空气流量与时间的关系

从表 4 和图 3 可以看出,2 m 进水压力下,原水浊度在 84~132NTU 时,出水的平均浊度在 0.48~1.06NTU 之间,去除率在 98.7%~99.6% 之间。过滤开始出水浊度最高达 7.02NTU,但浊度很快降了下来。过滤开始出水浊度高可能是由于空气反吹时,空气中的悬浮物反向富集在膜内侧,正向运行时,污渍被冲刷下来,混入出水所致;也可能是有压大流量气流通过膜孔时,使部分膜孔产生塑性变形,当正向

运行时,这些膜孔来不及恢复,使部分大颗粒进入出水,从而使初始出水浊度升高,当塑性变形恢复后,浊度也就降了下来。

表4 2 m高位水箱进水时 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径微滤膜重钢生活给水净化站源水试验

周期	过滤开始时间	过滤开始通量 L/min·根	过滤开始出水浊度 NTU	过滤开始5min出水浊度 NTU	过滤开始源水浊度 NTU	过滤停止通量 L/min·根	过滤停止时间	产水量 L/根·周期	平均浊度 NTU	气反洗时间 /min	反洗开始气流量 1000L/h	反洗停止气流量 1000L/h	去除率 /%	进水压力 采水柱
T1	5.19.9:32	1.95	0.85	0.66	104	0.205	5.19.10:38	21.66	0.48	5	1.26	1.3	0.995	新管 2m
T2	5.19.11:07	0.908	2.51	0.31	132	0.124	5.19.12:13	11	0.51	5	1	1.02	0.996	2
T3	5.19.12:37	0.74	3.81	0.51	84	0.152	5.19.13:43	12.57	0.98	5	1.02	1.02	0.988	2
T4	5.19.14:18	0.955	4.2	0.91	87.3	0.14	5.19.15:24	14.62	1.12	5	0.9	1.1	0.987	2
T5	5.19.15:41	0.925	7.02	1.53	88.8	0.105	5.19.16:47	12.39	1.06	5	1	1.08	0.988	2
T6	5.19.17:10	0.86	6.12	1.02	97									2

从表4和图4可以看出,空气反吹开始气流量和停止气流量接近,说明能被气流冲开的孔口很快被冲开,堵塞膜孔被气流冲开所需要的时间很短。

从表4和图5可以看出,2 m进水压力下,第一个周期到第二个周期的产水量剧降了一半,第二个周期到第五个周期的产水量变化不大。膜装置运行六个周期,从2004年5月19日9:32~17:10,膜通量基本维持在第二个周期的水平,相邻周期的过滤开始通量比前一个周期的过滤停止通量大4~8倍。2 m进水压力下第一个周期的产水量比其它周期的产水量大很多,说明空气反洗不能完全将膜恢复到新膜的通量。将膜装置拆开,可以看到膜呈白色,但有丝状和饼状浅褐色斑点,证明膜没有完全清洗干净。膜通量不能恢复到新膜水平,但都恢复到了第二个周期的水平,说明大流量有压空气反吹辅以原水排污的物理清洗方式能够维持膜装置较长时间运行。

空气反吹可能机理分析:当处理高浊度原水时,膜表面很快形成一层厚厚的泥垢,进水压力高时,这层泥垢被压成密实的滤饼,紧密的附着在膜的表面,使得膜清洗困难。采用2 m高位水箱进水,形成的滤饼层相对松散,清洗容易。有压空气反向透过微滤膜孔,形成大量微小气泡,气泡膨胀、破裂、融合,扰动源水和污渍,使膜外表面附着的污渍剥落。反向透过膜的空气与剥落的污渍随原水一道经排污阀排出。

### 2.3 设计运行参数

浙江某微滤器材厂 0.2~0.9  $\mu\text{m}$  孔径 WPE-10 型管式微滤膜(超高分子量聚乙烯膜 PE)处理长江上游重庆段原水的设计运行参数如下:

膜装置采用2 m高位水箱进水时,膜设计最大过滤通量 0.9 L/min·根,约 0.45  $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ;

膜设计平均产水量与膜的进水压力、进水浊度、溶质颗粒大小以及冲洗频率有关。2 m进水压力、源水浊度为 95NTU 左右、冲洗频率约为 1 h 时,处理长江上游重庆段原水平均产水量约为 13.3 L/h·根,约 112 L/h· $\text{m}^2$ ;

膜设计空气反吹时间与原水水质、反吹空气压力、反吹空气流量、进水高位水箱高度有关。在本实验条件下,反吹 5 min 能使膜通量得到很好的恢复。

膜设计空气反吹初始流量。保持空气罐 0.6 MPa 恒压,调节初始空气流量为 1.5  $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{根}$ ,约 12.6  $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 。

膜设计物理清洗周期与水质状况、膜过滤通量大小有关。建议取膜第一个周期过滤通量降到初始

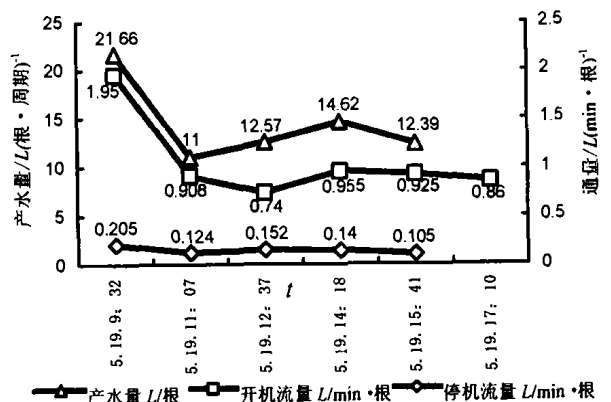


图5 产水量、膜通量与时间的关系

形式。走区域城市化道路,要求我们重新认识城市与乡村、市民与农民的关系以及工业与农业的关系。城市有技术、人才、资金等优势,而农村有土地资源和矿产资源等优势,通过城乡间生产要素的自由流动和重新配置,才能实现城乡双方各扬其长、优势互补、共同繁荣、共同发展。

重庆实行区域城市化是以主城都市区为核心,以大都市圈为中心,建立“城市区域经济联合体”,使大、中、小城市和城镇联成一体,协调发展,最终实现整个区域的城乡一体化发展。具体说来,就是充分发挥大城市在本地区的中心作用,利用城市现有的交通网络和基础设施,通过生产要素的自由流动和重新配置,为中小城市、小城镇以及城乡的协调发展提供有利条件,为城乡一体化进程提供可能,并把小城镇作为本区域内城乡联系的纽带与桥梁,使失业人口在更大范围内经过竞争和选择而找到新的就业岗位,使农村剩余劳动力因城乡壁垒的破除而向城市居住地区转移,从而加快农村地区的城镇化进程,有力地带动整个区域的经济的发展。

### 参考文献:

- [1] 中国国家发展计划委员会地区经济司.城市化:中国现代化的主旋律[M].长沙:湖南人民出版社,2001.
- [2] 陈甬军,陈爱民.中国城市化:实证分析与对策研究[M].厦门:厦门大学出版社,2002.
- [3] 重庆统计局.重庆·2003统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2003.
- [4] 张京祥.论都市圈地域空间的组织[J].城市规划,2001,(5):19-23.
- [5] 王树春.中国城市化模式的选择问题研究[J].城市经济、区域经济,2003,(5):39-43.
- [6] 重庆市发展计划委员会.重庆新世纪开局方略[M].重庆:重庆出版社,2002.
- [7] 豆俊峰,邹振扬,黄天其.重庆市可持续发展面临的问题及对策研究[J].重庆建筑大学学报,2001,23(1):1-5.

(上接第79页)

过滤通量30%时的时间作为物理清洗周期。为避免污渍在膜表面和膜孔停留的时间过长,建议物理清洗周期不要超过1h。

### 3 结论

1) 在不进行预处理的情况下,用0.2-0.9 μm孔径聚乙烯微滤管处理长江上游重庆段原水,能将浊度降到3NTU以下。在重庆及周边地区的小城镇和农村,可以直接应用;当在大中型水厂应用该膜时,必须接后续处理工艺,如超滤、纳滤、反渗透及其组合。

2) 采用2m高位水箱进水方式,大流量有压空气反吹辅以原水排污能使0.2~0.9 μm孔径聚乙烯微滤管得到很好的在线物理清洗。

3) 采用浙江某微滤器材厂0.2~0.9 μm孔径WPE-10型超高分子量聚乙烯管式微滤膜处理长江上游重庆段原水的设计运行参数建议如下:2m高位水箱、最大过滤通量0.9 L/min·根,约0.45 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>、平均产水量13.3 L/h·根,约112 L/h·m<sup>2</sup>、空气反吹时间5 min、空气反吹初始流量1.5 m<sup>3</sup>/h·根,约12.6 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>、物理清洗周期45 min。

### 参考文献:

- [1] 马晓明,康飞宇.UHMWPE管式微滤膜的过滤性能研究[J].过滤与分离,2003,13(1):20-21.
- [2] 许莉.虑饼结构的分形研究[J].过滤与分离,2000,10(4):22-25.
- [3] 彭迪水.顺德五沙水厂的微滤工艺[J].中国给水排水,1999,15(12):43-44.
- [4] 许莉.微孔陶瓷膜过滤(二)[J].过滤与分离,1997,97(1):3-6.
- [5] 刘忠洲.微滤、超滤过程中的膜污染与清洗[J].水处理技术,1997,23(4):187-193.
- [6] 蒋绍阶.膜法在水处理中的优势及应用[J].重庆建筑大学学报,2003,25(6):79-82.