

微滤膜净化长江上游水的试验研究

蒋绍阶, 刘 澜, 左智敏

(重庆大学城市建设与环境工程学院三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400045)

摘 要:对适合于长江上游水的管式微滤膜进行了选择性试验,探讨了适合膜的清洗方法以及在不同条件下膜设备运行的稳定性。试验结果表明,如果原水无任何预处理,0.2~0.9 μm 孔径微滤膜更适合净化长江上游重庆段原水,且气、水清洗效果优于单独水反洗;若 NaOH 溶液浓度高于 0.01mol/L、HCl 溶液浓度高于 0.0079mol/L 时,膜通量能得到较好恢复;工况稳定性试验表明,该设备能够保证出水水质稳定,同时只要后续工况能够恢复正常,也能保持较好的产水能力。

关键词:微滤膜;长江上游;膜清洗

中图分类号:TQ085+.41;TQ028.8

文献标识码:A

文章编号:1000-3770(2006)08-0078-05

微滤技术不仅可有效去除颗粒状物质,包括微生物,如隐孢子虫、贾第虫、细菌和病毒^[1,2],还可通过降低消毒副产物的前驱物浓度和限制消毒过程中氧化剂的需要量来减少消毒副产物^[3],这是常规水处理工艺所不具备或不具备的。如何将微滤膜应用于饮用水净化以达到当前和未来人们对水质的要求,促使微滤膜技术不断地深入发展,已成为当前业内人士较为关注的研究课题。本试验的目的是:选择性能较好、处理效果理想、价格低廉的国产管式微滤膜,研究出一套工作稳定、操作简单、维护方便、运行较为经济以及适用于长江上游重庆段原水的微滤膜处理工艺。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置和工艺流程

1.1.1 试验器材

微滤膜: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 $\phi 38\text{mm}$,内径 $\phi 20.15\text{mm}$,孔径 0.2~0.9 μm ,标准长度 1m,以下简称膜 A。山东某公司的聚乙烯微滤管,外径 $\phi 32\text{mm}$,孔径 4~10 μm ,标准长度 1m,以下简称膜 B。

试验装置主要由自制膜组件、物理清洗设备、化学清洗设备、自动化控制以及配套管道组成。

物理清洗设备:空压机一台,排气量 0.1m³/min,额定压力 7kg/cm²,额定功率 0.8kW,浮子流量计。

化学清洗设备:化学清洗泵一台,扬程 15~35m,流量 0~40L/min,额定功率 0.37kW,酸碱容器。

自制自动控制箱:主要控制水泵、空压机、电磁阀。自动控制分为三个独立的部分:膜过滤和膜的水反洗、膜过滤和膜的气、水清洗、膜的化学清洗。

进水泵一台,扬程 20~43m,流量 0~40L/min,额定功率 0.60kW;雷磁 PHSJ-4A 型实验室 pH 计;HACH 2100P 型便携式浊度仪一台。

1.1.2 工艺流程

管式微滤膜净水工艺流程见图 1。采用 2m 恒压水箱进水和水泵进水两种方式。原水流入自制膜组件,过滤后从出水管流出。

膜的清洗:膜过滤水经化学清洗泵提升后流入自制膜组件,对膜进行反冲洗,清洗水经排水管排出。另一种方法是膜的气、水清洗。从空压机来的压缩空气经气体流量计对膜内表面反向鼓吹,同时外表面的原水在空气清洗下,将截留污物冲洗掉。第三种方法是膜的化学清洗。主要包括 6 个过程:清水循环清洗膜外表面、滤后水反洗、正向碱洗、逆向碱洗、正向酸洗、逆向酸洗。

收稿日期 2005-09-23

基金项目 国家“十五”攻关课题子专题(2001BA604A01-05-02)

作者简介 蒋绍阶(1956-),男,博士,副教授,主要从事给水处理工程研究

联系作者 左智敏;联系电话:13996023126;E-mail: zuozhimin0529@126.com。

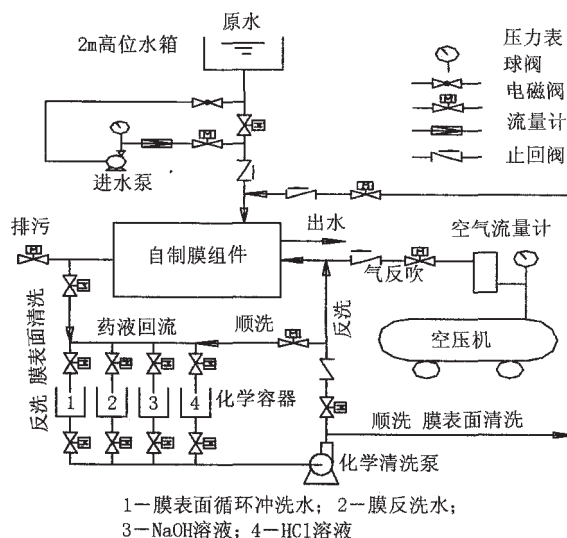


图1 微滤膜装置工艺流程图

Fig.1 Flow chart of micro-filtration membrane device

1.2 原水水质

试验用水取自长江重庆市河段，主要的水质指标如表1所示。实验期间，原水浊度范围为20~1500NTU。

表1 原水水质检测表
Table 1 The raw water quality

浊度 (NTU)	TOC (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	温度 (°C)	碱度 (mg/L)	硬度 (mg/L)	pH
517	3.45	0.24	22	95.1	120.2	7.8

注：表中数据为实验期间平均值

1.3 试验方法

对长江上游重庆段原水进行管式微滤膜的选择性试验、膜清洗方法试验以及不同条件下膜设备运行工况稳定性试验。

1.3.1 膜的选择性试验

在无预处理条件下，对两种不同数量级孔径的管式微滤膜进行比较性试验，选择较为适合的膜进行下一步试验。

1.3.2 物理清洗方法试验

采用水反洗和气、水清洗两种方法对膜进行物理清洗试验，选择较好的物理清洗方法，并分析两种不同进水方式对产水量的影响，以及探讨在不同过滤时间、气反吹时间条件下，合理的物理清洗方式。

1.3.3 化学清洗方法试验

通过氢氧化钠和盐酸两种化学药剂在不同浓度和清洗剂量的条件下试验，确定较好的化学清洗方法。

1.3.4 工况稳定性试验

试验设备在不同条件下运行，分析该套微滤膜

装置出水水质稳定情况，以及该套装置的抗故障能力。

2 结果与讨论

2.1 膜的选择性试验

经两种不同孔径管式微滤膜处理长江原水的试验。试验期间采用水泵真空抽滤，不对原水进行任何预处理。结果表明，膜A处理效果明显优于膜B。从出水浊度看，膜A出水浊度在0.37~1NTU之间，膜B出水浊度在9.45~14.2NTU之间。因此，在处理类似原水水质时，膜B不能满足出水水质要求，膜A的出水水质小于1NTU。从浊度去除率看，膜A浊度去除率在96.7~98.7%之间，而膜B浊度去除率在53%~66%之间，前者浊度去除率高于后者有30%以上。

因此，微滤膜A较膜B更适合处理长江上游重庆段原水，以下试验均采用A膜。

2.2 膜的物理清洗

2.2.1 清洗方式对膜通量的影响

(1)水反洗。采用0.02~0.9μm孔径管式微滤膜过滤浊度为23.7NTU的原水时，出水浊度为0.27NTU，膜通量为1.36 L/min·根膜管，膜压力损失0.03 MPa。随后在不同冲洗强度、反冲洗时间的条件下，对该微滤膜共进行了12个周期的水反洗试验。试验表明，经过水反洗后，出水浊度都小于3NTU，说明膜A去除浊度效果良好，但不论是增加反冲洗时间，还是增加反冲洗强度，膜通量难以保持稳定，一直存在下降趋势。虽然在反冲洗时间增加到60min时，第一次反冲洗后膜通量达到新膜初始通量，但随后膜通量还是一直下降，而且，整个试验过程中，膜压力损失也远远高于新膜刚过滤时的压力损失。说明该膜每次反冲洗得并不干净。

以上试验说明，如果要提高水反洗效果，必须增加清洗强度和延长清洗时间，但由于这样做耗水量大，经济上不合理，因此没有实用价值。

(2)气、水清洗。采用2m水柱恒压进水，气压为0.6MPa，气反吹强度为0.9~1.3 m³/h·根膜管，气反吹时间5min，共进行了5个周期。试验结果如图2。

由图2可以看出，气、水清洗试验效果明显优于水反洗试验，它能使膜通量在一段时间内基本保持稳定。虽然新膜的初始出水通量比膜清洗后的初始出水通量大很多，但在运行的五个周期内，清洗后的初始出水通量比较稳定，看不出初始出水通量是否

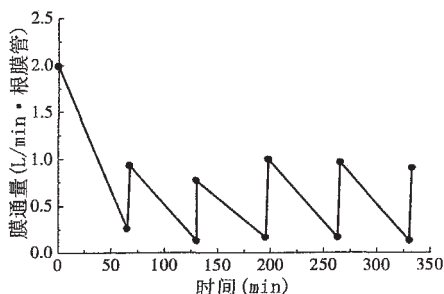
图 2 0.02~0.9 μm 孔径膜通量和时间的关系

Fig.2 Relation between flux of membrane and running time

有减小的趋势。同时也说明气、水清洗方法不能完全将膜恢复到新膜的通量。将膜装置拆开,发现膜呈白色,且有丝状和饼状浅褐色斑点,表明膜清洗的还不够彻底。

经以上两种试验比较,下面均采用气、水清洗的物理清洗方法进行试验。

2.2.2 进水方式对产水量的影响

根据微滤膜过滤的孔模型进行分析^[5],其表示式如下:

$$J_v = \left(\frac{A_K r^2}{8\eta\tau L} \right) \Delta p \quad (1)$$

该式为 hagen-Poiseuille 定律,是在理想情况下,即膜孔大小一致,且分布均匀,没有膜污染,浓差极化可忽略时的模型。式中 J_v 表示膜的过滤通量, ΔP 为过滤推动力,说明微滤膜过滤通量与过滤推动力呈直线关系。因此,在实际过滤过程中,膜的产水量与进水方式存在一定的关系,以下试验分别是采用高位水箱恒压(2m 水柱)进水和水泵进水两种方式,探讨它们产水量的变化情况。

恒压进水试验采用:气压为 0.6MPa,气反吹强度为 1~10 L/h·根膜管,气反吹时间 30s~10min。试验结果如图 3。

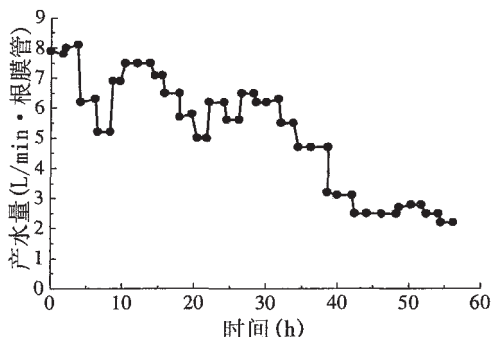


图 3 恒压进水时产水量和运行时间的关系

Fig.3 Relation between water production and running time in the constant pressure

水泵进水试验采用:水泵压力小于 0.45 MPa,气压 0.6MPa,气反吹强度 2 L/h·根膜管,气反吹时间 30s。试验结果如图 4。

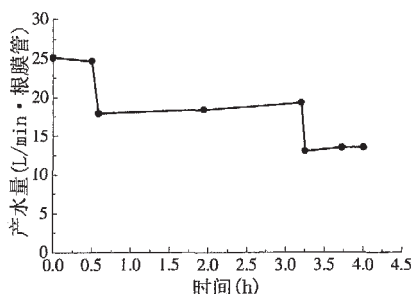


图 4 动压进水时产水量与运行时间的关系

Fig.4 Relation between water output and running time under the dynamical pressure

比较图 3 和图 4 发现,采用水泵进水方式产水量比恒压进水方式产水量大得多,说明水泵进水方式优于恒压进水方式。从理论分析,采用水泵进水方式可以增加过滤压力,从而增加单位时间的过滤水量;另一方面,由于过滤压力增大,膜孔堵塞情况没有恒压进水方式严重,因而实际过流截面偏大,也能达到增加膜的产水量的目的。

2.2.3 合理的物理清洗方法试验

采用气压为 0.6MPa,气反吹强度 2 L/min·根膜管,气反吹时间 10~15s,进行如表 2 所示的三种管式膜气、水清洗方式,探讨在不同过滤时间、气反吹时间下,膜的清洗效果。

表 2 三种气、水清洗方式

Table 2 Three kinds of air and water cleaning methods

项目	过滤时间(min)	气反吹时间(s)
第一种	5	15
第二种	1	10
第三种	10	15

实验结果表明,三种清洗方式中,第一种方式的产水量较为稳定,但较第二和第三种方式的产水量小;第二和第三种方式的产水量大,出水量稳定,是两种较好的物理清洗方法。

与第一种清洗方式相比,第二种方式通过增加气、水清洗频率,提高了膜过滤通量,从而增加了产水量;第三种清洗方式通过减小反冲洗次数,延长过滤时间,并增加了反冲洗强度,因此增加了单位时间内的产水量。另外,虽然第二和第三种方式的产水量相差不大,但第三种方式的产水量下降速率比第二种方式的偏大一些,说明过分延长过滤时间,将会增加膜的堵塞程度,加大膜的清洗难度。

以上试验说明,气、水清洗频率越高,膜通量越

大,但随着清洗频率的增加,清洗中消耗的水量也随之增加,因此,当气、水清洗频率增加到一定程度后,产水量反而减少;另一方面,延长过滤时间可以增加产水量,但该种方法会造成膜堵塞比较严重,不利于后面膜的清洗,长时间运行也有可能产生水量下降。因此,合理选择膜过滤时间和气反吹时间有利于保持产水量稳定。

2.3 膜的化学清洗

从膜的物理清洗发现,气、水清洗虽然能够使膜通量恢复到一定程度,但该方法并不能将膜完全清洗干净。因此,在膜污染比较严重的情况下,需要对膜进行化学清洗。本试验是采用水泵进水方式,选择氢氧化钠和盐酸两种化学药剂对管式微滤膜进行化学清洗。

过滤运行方式:水泵进水,每过滤 6min,气、水物理清洗一次,每次清洗时间为 15s,气反吹强度 2L/h·根膜管。

化学清洗方法:微滤膜经过气、水清洗后,采用氢氧化钠和盐酸六种不同浓度的搭配,对管式微滤膜进行清洗试验。氢氧化钠和盐酸的浓度搭配情况如表 3。其中,酸、碱的正向清洗时间为 30min,反向清洗时间为 10min;且每次经过碱或酸清洗后都采用水反向清洗膜一次。清洗后产水量结果如图 5。

表 3 化学清洗药剂浓度

Table 3 Concentration of chemical cleaning drugs

药剂	清洗次数					
	1	2	3	4	5	6
氢氧化钠(10 ⁻³ mol/L)	171	67	67	24	10	3.6
盐酸(10 ⁻³ mol/L)	264	119	119	23	7.9	1.2

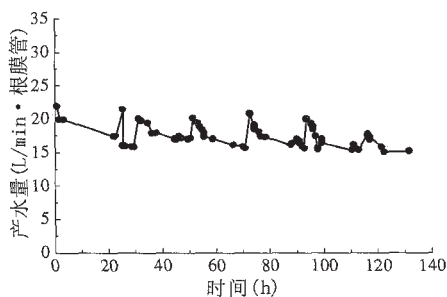


图 5 产水量和运行时间的关系

Fig.5 Relation between water output and running time

由图 5 可以看出,六次化学清洗,前五次清洗效果很好,基本上完全恢复了膜的通量,只有第六次没能恢复到前一次的通量水平,说明第六次清洗的药剂浓度太稀,不能满足清洗要求。以上试验说明,在该种清洗方式下,氢氧化钠溶液浓度大于

0.01mol/L,盐酸溶液浓度大于 0.0079mol/L 时,才能保证膜的化学清洗效果,膜通量能得到较好的恢复。

2.4 工况稳定性试验

工况稳定性试验共进行了四个阶段。其中,第一阶段是微滤膜装置在化学清洗药液浓度较低,气反吹发生故障的条件下运行;第二阶段正常运行;第三阶段是微滤膜装置在物理清洗频率、过滤时间与气反吹时间的比值不太理想条件下运行;第四阶段正常运行。试验结果中,出水浊度见图 6,产水量变化情况如图 7。

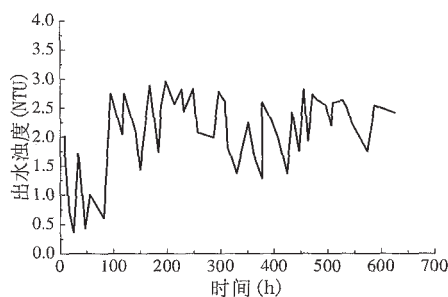


图 6 出水浊度和运行时间的关系

Fig.6 Relation between turbidity of effluent and running time

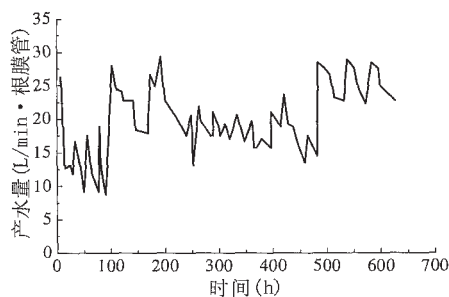


图 7 产水量和运行时间的关系

Fig.7 Relation between water output and running time

从图 6 和图 7 可以看出,不论以何种方式运行,出水浊度都在 3NTU 以下,而膜装置的产水量变化较大。第一阶段产水量最低,运行效果不尽理想,通过第二阶段工况的正常运行、清洗方法合理,使得膜通量得以恢复,第三阶段膜装置能够稳定运行,但产水量较低,第四阶段膜装置又恢复正常运行。

试验表明,不论工况如何变化,该套微滤膜装置能够保证出水水质稳定,同时,在运行过程中,若工况突然发生变化,只要后续工况能够恢复正常,该装置也能保持较好的产水能力,说明该套装置有较强的抗故障能力。

3 结论

管式微滤膜处理长江上游重庆段原水时,如果

原水无任何预处理, 0.2~0.9 μm 孔径膜较 4~10 μm 孔径膜更适合。

0.2~0.9 μm 孔径膜处理 20~1500NTU 原水时, 气、水清洗效果优于单独水反洗; 且水泵动压进水方式能有效提高产水量; 以及合理确定气、水清洗频率, 都有利于提高产水量。

对于化学清洗方法, 氢氧化钠溶液浓度大于 0.01mol/L、盐酸溶液浓度大于 0.0079mol/L 时, 膜通量能得到很好的恢复。

工况稳定性试验表明, 不论工况如何变化, 该套微滤膜装置出水水质较为稳定; 同时该套装置有较

强的抗故障能力。表明该装置净化长江上游重庆段原水是可行的, 使水净化工艺流程得以简单, 显示了较广泛的推广应用前景。

参考文献:

- [1] J G Jacangelo, E M Aiet, K E Carns, E W Cummings, J Malleviale. Assessing hollow-fiber ultrafiltration for particulate removal [J]. AWWA, 1989, 81(11): 68-75.
- [2] J G Jacangelo, E W Cummings, J Malleviale, J M Laine, K E Carns. Low-pressure membrane filtration for removing Giardia and microbial indicators [J]. AWWA, 1991, 83(9): 97-106.
- [3] 张捍民, 张威, 王宝贞. 膜技术处理饮用水的研究 [J]. 给水排水. 2002, (28)3: 21-24.

PURIFICATION OF RAW WATER IN UPSTREAM OF YANGTZE RIVER WITH MICROFILTRATION MEMBRANE

Jiang Shao-jie, Liu Lan, Zuo Zhi-min

(The Key Laboratory of Education Ministry for Three Gorges Reservoir Region, College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: A selective test for tubular microfiltration membrane was done for treatment of the upstream water of Yangtze River, and the inquiry into suitable washing method for membrane and stability test under different operating conditions were carried out. The results showed that, without pretreatment microfiltration membrane with pore size of 0.2~0.9 μm was more suitable to the purification of the raw water in the Chongqing section of Yangtze River's upstream; moreover the effect of air-water washing was superior to the single back washing; if the concentration of NaOH and HCl were higher than 0.01 and 0.0079mol/L respectively, the membrane flux could be recovered better; the stability test showed that the equipment can ensure water quality to be stable, further, the equipment capacity could be better kept so long as the following-up process kept normal.

Key words: microfiltration(MF) membrane; the upstream of Yangtze River; membrane washing

(上接第 56 页)

PHOSPHORUS ADSORPTION IN WATER BY BLAST FURNACE SLAG

Zhao Gui-yu, Qin Qin, Yang Yong-xing

(State Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Phosphorus adsorption of the blast furnace slag was studied through experiments on isotherm P adsorption. The influence of contacting time, pH, grain size, ammonium, nitrate and anion-surfactant (AS) on P adsorption are discussed. Results showed that Langmuir adsorption isotherm was more suitable for describing the adsorption characteristics of the blast furnace slag than Freundlich model. The P saturation adsorption capacity was 769mg/kg. After 24 hours, the removal rate of P was 74%. The P adsorption capacity had closely relationship with pH and concentration of ammonium, nitrate and AS in the solution. When pH was higher than 9 the P adsorption capacity of blast furnace slag increased rapidly. The existence of ammonium salts and AS made the P adsorption capacity of furnace slag lower markedly while the existence of nitrate made the same capacity rising.

Key words: constructed wetland; blast furnace slag; phosphorus; adsorption

全面规划, 统筹兼顾, 综合利用水资源