

文章编号: 1006-6780(1999)06-0001-04

## 新型膜在饮用水深度净化中的应用

①  
48.32(6)  
1-4

王琳, 王宝贞, 王欣泽

(哈尔滨建筑大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

TU891.2  
TU028.8

**摘要:** 以淹没式微滤或超滤和新型纳滤膜(比普通纳滤膜能更为有效地去除有机污染物和较少地去除硬度和矿物质)代表的饮用水深度净化新技术, 具有去除有机污染效率高, 有机污染物的去除率高达90%以上, 在线颗粒计数( $d > 2\mu\text{m}$ )小于2个/mL。而且出水能有效地去除三致物质前质、病毒和病原原生动物。运行能耗低, 费用低。淹没式超滤的能耗仅为 $0.2\text{kWh}/\text{m}^3$ , 同时原水中存在的对人体健康有益的矿物质和微量元素仍保留在产水中。

**关键词:** 有机污染; 饮用水; 深度净化; 淹没式超滤; 新型纳滤膜**中图分类号:** TU991.2 **文献标识码:** A

## Application of new membrane in advanced drinking water treatment

WANG Lin, WANG Bao-zhen, WANG Xin-ze

(School of Municipal &amp; Environmental Engineering, Harbin University of Civil Engineering &amp; Architecture, Harbin 150090, China)

**Abstract:** Immersed microfiltration(MF) or ultra-filtration(UF) and nanofiltration treatment as the new technologies for advanced drinking water treatment have over 90% organic removal as the particles number is less than 2 units/mL ( $d > 2\mu\text{m}$ ). Furthermore, THMFP, virus and bacteria can be removed efficiently with low operation and energy cost, such as the energy cost of submerge ultra-filtration is only  $0.2\text{kWh}/\text{m}^3$ , while the mineral matter and trace elements that are beneficial to human health still being present in product water(permeate).

**Key words:** organic pollutants; drinking water; advanced purification; immersed ultrafiltration; new nanofiltration

## 0 引言

随着饮用水水源污染的日趋严重, 水中对人体有害的病原微生物、天然有机物质和人工合成的化合物越来越多地进入饮用水源中, 因此饮用水深度净化应用越来越普遍, 其中臭氧化-生物活性炭深度净化技术自70年代以来逐渐成熟, 并广泛应用, 仅在欧洲就有1500座水厂采用臭氧化-生物活性炭技术<sup>[1]</sup>。但臭氧化能形成有碍健康的有机副产物(醛类)以及更有代表性的是形成能致癌和致突变的无机副产物——溴酸盐。即使采用 $3\text{mg}/\text{L}$ 的低臭氧投量, 其形成的溴酸盐也 $> 5\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>[2]</sup>。投资少, 水质好的饮用水深度净化方法倍受关注和重视。在加拿大的Rothesay和Collingwood水厂中采用了一种新型的淹没式膜过滤设备。由于采用淹没式直接过滤的运行方式, 膜的结垢少, 渗透压低, 出水质量好, 其在线颗粒计数( $d > 2\mu\text{m}$ )小于2个/mL。过滤和曝气的电耗约为 $0.2\text{kWh}/\text{m}^3$ 。该装置还能有效地去除水中的色度、三卤甲烷(THM)前质、病毒和病原原生动物<sup>[3]</sup>。

新型纳滤膜采用聚哌嗪为材质, 引进一些新的化学基团, 增加了膜的表面电荷, 具有较好的抗有机污染能力, 运行费用低, 出水通量高, 对THMFP(三致物质前质)、BDOC(可生物降解有机碳)等去除率为90%以上<sup>[4]</sup>。但无机离子等的渗透率比一般的NF70型纳滤膜高10倍, 其出水的电导率为

收稿日期: 1999-05-26

作者简介: 王琳(1966-), 女, 哈尔滨建筑大学副教授。

380US/CM 左右,总硬度为 140mg/L 左右,使出水的无机物浓度维持在一个较为合理的水平,出水不需进行再矿化。

## 1 ZeeWeed 淹没膜设备

ZeeWeed 是耐氯腐蚀的微滤膜,其标定孔径为  $0.1\mu\text{m}$ ,为中空纤维膜,外部直径为  $1.9\text{mm}$ ,用于从外向内过滤。一个模块由许多根中空纤维组成,他们被装在一垂直的框架上,渗滤水从两端排出。在池的底部装有曝气器,用以适度地搅动中空纤维组件,并使池中的水混合均匀。

表 1 列出了 ZeeWeed 膜组件及其组合箱的特性数据。一些膜组件被组装于组合箱中,并将其浸入处理池中,形成一个独立的处理单元。几个组合箱可以连接在一个抽水泵上并联运行。

ZeeWeed 膜设备在小的透过膜压力  $10\sim 50\text{kPa}$  下,以  $40\sim 70\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  的通量进行过滤。透过膜压力是由进水流的静压力与滤出水端用离心泵产生的负压而产生的。由储存的滤出水定期进行反冲洗,以控制膜的污垢和延长膜的化学清洗周期。膜件的曝气量为  $0.4\sim 0.6\text{Nm}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$  膜表面积,则抽水和曝气的电耗约为  $0.2\text{kWh}/\text{m}^3$  滤出水。

表 1 ZeeWeed 膜件及其组合箱

| 项目  | 参数                    | 膜件型号   |        |
|-----|-----------------------|--------|--------|
|     |                       | ZW-150 | ZW-500 |
| 膜件  | 每个膜件中的空纤维数目(根)        | 约 1400 | 约 4500 |
|     | 膜件尺寸(cm)              | 高:183  | 高:198  |
|     |                       | 宽:50   | 宽:73   |
|     |                       | 厚:10   | 厚:20   |
|     | 过滤表面积( $\text{m}^2$ ) | 14     | 46     |
| 组合箱 | 每个箱中的膜件数              | 12     | 8      |
|     | 组合箱尺寸(cm)             | 高:198  | 高:198  |
|     |                       | 宽:190  | 宽:183  |
|     |                       | 厚:73   | 厚:73   |
|     | 过滤表面积( $\text{m}^2$ ) | 168    | 368    |

### 1.1 生产规模 ZeeWeed 淹没式膜法水厂的工艺流程

以地下水为饮用水水源,且部分受病原微生物污染。处理能力  $27000\text{m}^3/\text{d}$ (冬季)和  $36000\text{m}^3/\text{d}$ (夏季),该厂的处理工艺流程如图 1 所示,膜组合箱浸在 5 个独立的地下钢筋混凝土池中,工艺设备集中安装于同一建筑物中。

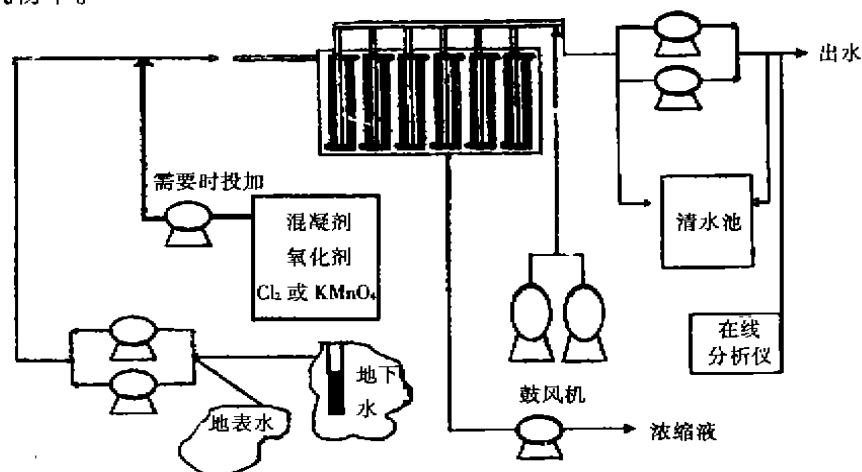


图 1 生产规模水处理工艺流程图

该水厂由两个 ISO 12.2m 集装箱组成,箱中装有 12 个膜组合箱,而每个箱中装有 8 个 ZW-500 型膜组件。这 12 个膜组合箱并联运行。该系统的设计和运行的回收率范围为  $80\%\sim 95\%$ 。总过滤面积  $4400\text{m}^2$ ,设计通量  $51\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ (冬季)和  $68\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ (夏季)。ZeeWeed 微滤膜设备在 1997/1998 年冬季通过简单地浸泡于  $200\text{mg}/\text{L}$  次氯酸钠溶液中清洗 6 次。

## 1.2 运行效果

Zenon 的微滤膜和超滤膜装置形成了悬浮固体和寄生虫卵的绝对屏障,其代表性的处理效果如表2。设备代表性的颗粒记数基线是:粒径  $> 2\mu\text{m}$  的颗粒平均为  $2\sim 3$  个颗粒/mL。设备出水颗粒记数分析详见表3。

表2 Zenon 代表性处理结果

| 项目                      | 原水          | 处理后水 |
|-------------------------|-------------|------|
| 浊度(NTU)                 | $> 100$     | 1    |
| 贾第虫胞囊(个/ $\text{m}^3$ ) | $12\sim 48$ | 未检出  |
| 隐孢子虫囊(个/ $\text{m}^3$ ) | $10\sim 50$ | 未检出  |

表3 出水颗粒记数分析结果

| 颗粒尺寸      | 颗粒数目 |
|-----------|------|
| 2         | 2    |
| $2\sim 3$ | 0    |
| $> 5$     | 0    |

## 2 纳滤膜工艺

### 2.1 纳滤膜去除有机物的机理<sup>[5]</sup>

对于有机污染物的脱除,最初认为纯属筛网效应,其脱除率主要与分子量大小和形状有关。而进一步的研究表明,有机物的去除机理并非如此简单,有机物的去除和分子量与分子的空间几何大小有半定量的关系,和分子的化学特性,特别是形成氢键的能力有关。于是将优先吸附-毛细孔流理论用于解释有机物的去除。即:溶质的渗透分为二个阶段:首先溶质被膜吸收(或溶解),然后经扩散或对流迁移通过膜。影响溶质吸收的分子特性包括水溶性、酸性和氢键结合能力。影响迁移的特性包括位阻因素,如分支结构和横断面的大小。进一步把静电作用、氢键作用和憎水作用作为水溶液中施加在有机溶质上的力来考虑,并引用相应的物理化学参数作为量度。

### 2.2 新型纳滤膜的性能

#### 2.2.1 去除有机污染物<sup>[6]</sup>

纳滤膜能有效地去除有机物,包括天然有机物腐殖质<sup>[7]</sup>和微污染物如 THM<sub>2</sub><sup>[8]</sup>。为了确定新型纳滤膜 NF200B 去除有机污染物的效能,选用了地表水中普遍存在的除草剂中的莠去津为指示有机物,在供水管网的标准运行条件下,  $25^\circ\text{C}$  和 5bar 的操作压力,研究纳滤膜去除莠去津的效能。并与其他两种形式的纳滤膜 NF90 和 NF70 对比,其结果见图 2<sup>[5]</sup>。

由图 2 可见,纳滤膜 NF200B 在温度低于  $20^\circ\text{C}$  时,去除率为 96%,当温度大于  $20^\circ\text{C}$  时,去除率在 85%~90% 范围内。它能使莠去津的浓度从进水的 1ppb 降为 0.1ppb。

#### 2.2.2 盐的去除

为了更具代表性,没有选择通用的 NaCl 而选择  $\text{CaCl}_2$  作为指示盐类,进水浓度为 500mg/L,处理结果见图 3。

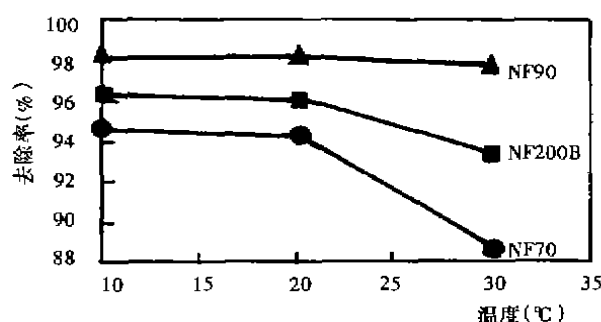


图2 莠去津在不同温度下的去除率

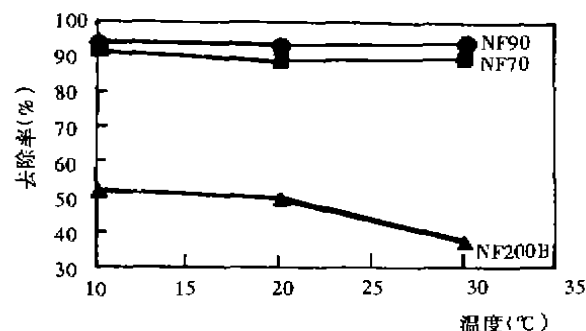


图3 在 5bar 下  $\text{CaCl}_2$  的去除率

由图 3 可见, NF90 和 NF70 膜去除了大部分的盐类,基本上在 90% 左右,此时不能保证饮用水对硬度的最小要求,尤其是在冬季,因此需要再矿化。而新型纳滤膜 NF200B 对盐类的去除率在 50% 左右,出水不需再矿化。

#### 2.2.3 能耗和运行周期

新型纳滤膜的 A 值(膜常数  $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$ )较高,先进的单元膜构造:膜片的长度比通用的标准

的1m长度短。自动安装能在一个渗透管内安装29个膜片。这些使新型的纳滤膜的运行能耗低,抗化学清洗,运行周期长。

为了测试纳滤膜的化学稳定性,用pH为11.5碱性洗洁剂进行60次的清洗,每隔24h清洗一次。其去除CaCl<sub>2</sub>和莠去津的结果见图4、5。清洗前后运行是十分稳定的,CaCl<sub>2</sub>和莠去津的去除率分别稳定在50%和95%左右。如将小试放大到生产规模,则相当于5年的运行寿命,每个月清洗一次。

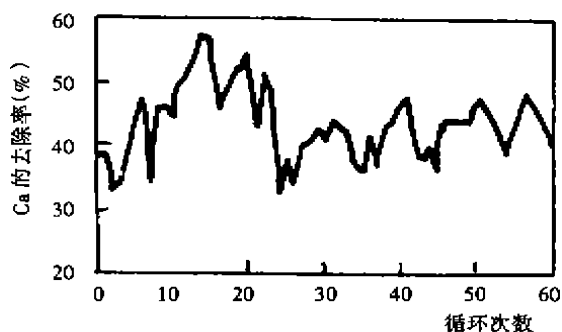


图4 洗洁剂对Ca去除的影响

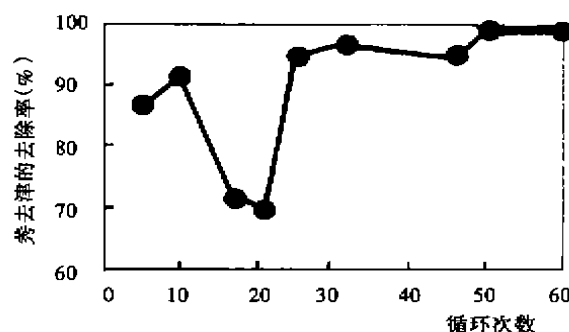


图5 洗洁剂对莠去津去除的影响

### 3 结论

Zenon膜系统能经济有效地去除甲第虫卵胞(Cysts)和阴孢子虫和卵囊(Oocysts),铁和锰,THM前质,浊度和色度,溶解盐。

新型纳滤膜NF200B处理单元具有对溶解性有机物去除率较高,低脱盐率,低能耗和重复清洗后的稳定运行性能。

### 参 考 文 献:

- [1] 王宝贞. 水污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [2] K. Ozekin and P. Waesterhoff. Bromate formation under cryptosporidium inactivation conditions[J]. Water Quality International, 1998, (5-6): 16-17.
- [3] Cote P., Mourato D., Gungerich C. et al.. Immersed membrane filtration for production of drinking water, case studies[J]. IWSA, Amsterdous, 1998, (9): 21-24.
- [4] Mourato, D., Gary, C.. The role of particle count analysers as an online integrity tool for immersed membrane plants[J]. AWWA Conf. in Dalles, Texas, 1998.
- [5] Rauterbach, R., Groshel, A.. Separation potential of nanofiltration membrane[J]. Desalination, 1990, 77: 73-84.
- [6] Jean-Pierre De Witte. Surface water potabilisation by means of a novel nanofiltration element[J]. Desalination, 1996, 108: 153-157.
- [7] Alborzfar, M., Jonsson, G., and Gron, C.. Removal of natural form two types of humic ground water by nanofiltration [J]. Water Research, 1998, 32(10): 2983-2994.
- [8] Visvanathan, C., Marsono, B. C., and Grover, J. P.. Removal of THMP by nanofiltration[J]. Effects of Interference Parameters, 1998, 32(12): 3527-3538.