

城市污水超滤再生处理效果 及安全性评价

仇付国 王晓昌 纪海霞

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055)

摘要 为了考察超滤工艺再生城市污水的可行性,对超滤膜处理城市污水的再生效果进行了实验研究,研究结果表明,虽然超滤对某些指标处理效果明显,但是单一的超滤工艺不能完全保证再生回用水的安全性。

关键词 污水回用 超滤 回用水安全性

Treatment effects and safety assessment of municipal sewage reuse by ultrafiltration

Qiu Fuguo Wang Xiaochang Ji Haixia

(School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract In order to examine the possibility of the ultrafiltration as a wastewater reclamation technique, the treatment effects on secondary wastewater by ultrafiltration were studied. The experimental results show that the ultrafiltration technique can't meet the safety demand of reuse water completely.

Key words sewage reuse; ultrafiltration; safety of reuse water

1 前言

尽管中国淡水年均总贮量达 28 000 亿 m^3 ,居世界第 6 位,但人均年贮水量仅为 2500 m^3 ,约为世界人均值的 1/4,属 12 个贫水国家之一^[1]。此外,中国有限的淡水资源的分布随地域和季节有很大的差别,在中国北部以及一些沿海城市,随着城市建设规模的扩大,人口的增多和经济的发展,缺水问题更加严峻。近年来,为解决水资源短缺问题,水资源再生日益受到人们的关注。目前,城市污水已成为一种稳定的再生水源,回用量也日渐增多。近几年,将城市污水经处理后回用于农田灌溉、喷洒道路、冲厕、绿化景观、补充地下水等已越来越普遍,北京、天津、沈阳、鞍山、太原、青岛和大连等城市相继建设了污水回用工程^[2]。目前常用的回用水处理工艺为混凝+沉淀+过滤常规处理。在国外,超滤膜过滤技术在污水回用领域的研究应用已十分普遍。我国对超滤技术的研究大多集中在给水的深度处理。为了考察超滤技术作为污水再生回用工艺的可行性,以西安市北石桥污水净化中心二级处理水为原水进行了回用试验。

2 试验设计及检测方法

西安市北石桥污水净化中心采用丹麦 Kruger 公司 DE 型氧化沟处理系统,设计规模 30 万 m^3/d ,一期工程 15 万 m^3/d ,于 1997 年建成并运行。由于成本等原因,该厂二级沉淀池出水没有经过氯消毒处理而直接排放。对该厂二级处理后出水进行直接超滤处理,超滤膜采用国产截留分子量为 10 万 Daltons 中空纤维膜,材质为聚丙烯腈(PAN),采用恒压式过滤,加压方式为内压式。操作参数为:过滤 15 min 后进行水力清洗,反冲洗 120 s,正冲洗 20 s,反洗用滤后水,正冲洗用原水,原水在进入膜组件前先经 30~50 μm 的熔喷滤芯过滤以防止大的颗粒阻塞膜孔。经长期连续运行,水力冲洗难以使膜通量得到恢复时,对膜进行化学清洗,清洗剂为 NaOH 溶液,pH 值为 10~12。

试验过程中用到的分析仪器有:澳大利亚 GBC

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50138020)

收稿日期:2003-03-26;修订日期:2003-04-25

作者简介:仇付国(1974~),男,汉族,山东平邑人,博士研究生,主要研究污水再生利用的风险评价问题。

公司 AVANTA 石墨炉原子吸收分光光度仪;日本岛津公司产 TOC-5000A 型总有机炭分析仪;上海产 751 型分光光度计。大肠菌群采用多管发酵法检测。

3 试验结果及分析

3.1 超滤对常规指标的去除效果

对北石桥污水厂二级处理后水进行长期连续超滤试验,检测进水和超滤后水质指标,结果如图 1~图 4 所示。

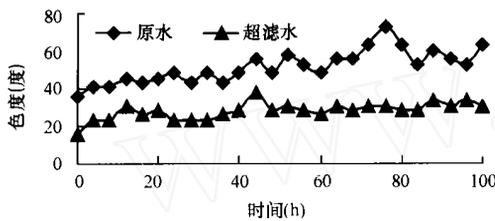


图 1 超滤的色度去除效果

Fig. 1 Color removal by ultrafiltration

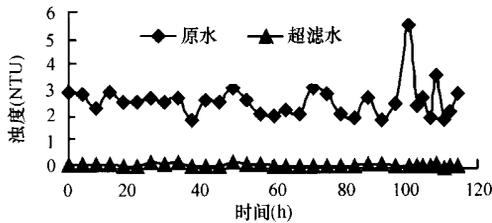


图 2 超滤的浊度去除效果

Fig. 2 Turbidity removal by ultrafiltration

试验结果表明,超滤的浊度去除效果很明显,去

除率为 95.7%左右,出水浊度在 0.2 NTU 以下。对 COD 的去除率约为 40%;对色度的去除率为 45.1%左右;对 TOC 的去除率较低,约为 10%。超滤的其他一些去除指标列于表 1 和表 2 中。

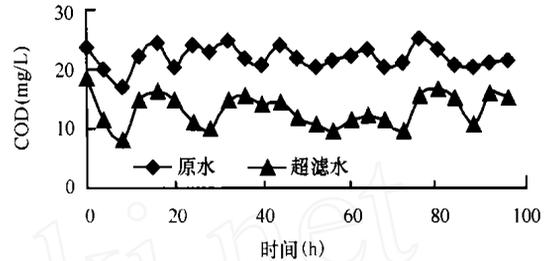


图 3 超滤的 COD 去除效果

Fig. 3 COD removal by ultrafiltration

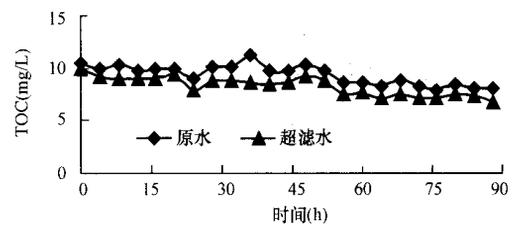


图 4 超滤的 TOC 去除效果

Fig. 4 TOC removal by ultrafiltration

从表 1 和表 2 中可以看出,超滤对金属等无机离子的去除效果不明显,去除率较低。

3.2 超滤对大肠菌群的去除

2002 年 5~11 月,对北石桥二级处理出水和超滤再生水中的总大肠菌群和粪性大肠菌群进行了检测,检测个数用 n (个/L)表示,20 次的检测结果如图 5 和图 6 所示。由于液氯消毒没有运行,所以二级出水中

表 1 超滤处理前后水质对比表

Table 1 Comparison of water quality before and after ultrafiltration

项目	氯化物(mg/L)	氨氮(mg/L)	碱度(CO ₃ ²⁻ ,mg/L)	电导率(ms/cm)	硬度(CaCO ₃ ,mg/L)
原水	83.5	3.09	193.7	0.845	200.60
超滤水	80.6	2.50	182.5	0.800	190.57

表 2 超滤对金属离子的去除效果

Table 2 Metal ions removal by ultrafiltration

项目	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	Pb(mg/L)	Zn(mg/L)	Ni(mg/L)	Cr(mg/L)	Cd(mg/L)	Cu(mg/L)	As(mg/L)
原水	0.150	0.060	0.005	0.049	0.022	0.240	0.100	0.150	0.059
超滤水	0.100	0.055	0.004	0.040	0.020	0.190	0.060	0.120	0.052

大肠菌浓度很高,试验结果表明,超滤膜对大肠菌去除率在 90%~99.999% 之间。超滤对大肠菌去除率与超滤膜的污染状况有关,因为膜污染后形成滤饼层并且孔径变小,对大肠菌截留过滤效果更好。在过滤压力恒定的条件下,膜污染程度可通过比渗透通量来描述,任意时刻的比渗透通量与初始过滤时比渗透通量的比值称为正规化比渗透通量,其值(用百分数表示)更能反映膜污染状况。为了观察膜污染对去除大肠菌的影响,安排了 1 周期连续运行 160 h 超滤膜通量下降情况与粪大肠菌去除率关系试验,结果如图 7 所示,可以看出,随着膜污染加剧,大肠菌去除率增高。作出所有运行周期检测到的粪大肠菌去除率的累积分布曲线图(如图 8 所示),去除率小于 99.9% 的概率为 50%,去除率小于 99% 的可能性为 30%,比国外报道去除效果差 1~2 个数量级,这可能是由于国产超滤膜材质及制造工艺与国外相比存在差距造成的。从图 7 和图 8 可以看出超滤膜对城市污水中大肠菌的去除率大致为 99.9% 左右。

超滤处理水中粪大肠菌近似呈对数正态分布。用柯尔莫哥洛夫(Kolmogorov)和斯米尔诺夫(Smirnov)非参数假设检验方法^[5]对对数正态分布假设进行拟合优度计算,在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平下接受粪大肠菌服从对数正态分布的假定。

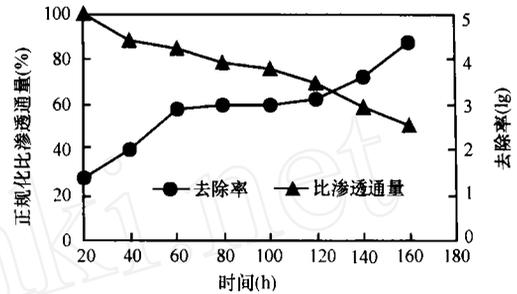


图 7 膜污染程度与粪大肠菌去除率关系
注: $i\text{-lg}$ 相当于 $(1 - 10^{-i}) \times 100\%$

Fig. 7 Effect of membrane fouling on the removal of fecal coliform

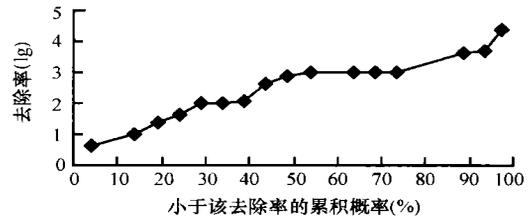


图 8 超滤膜对粪大肠菌去除率累积曲线
注: $i\text{-lg}$ 相当于 $(1 - 10^{-i}) \times 100\%$

Fig. 8 Cumulative probability plot of fecal coliform removal by ultrafiltration

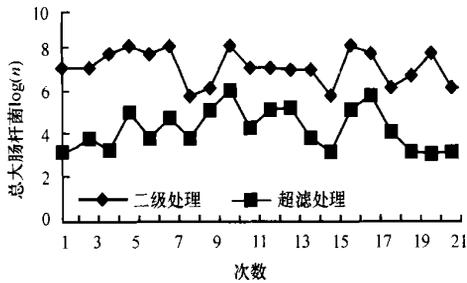


图 5 二级处理和超滤出水中总大肠杆菌群浓度

Fig. 5 Total coliform removal by ultrafiltration

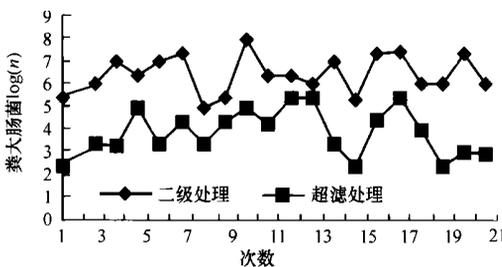


图 6 二级处理和超滤出水中粪大肠菌群浓度

Fig. 6 Fecal coliform removal by ultrafiltration

许多研究表明^[3],水体中大肠菌群呈对数正态分布,USEPA 统计结果表明,分布的标准偏差为 0.7 左右^[4]。对检测结果进行统计分析,作出原水和超滤处理后出水中粪大肠菌浓度分布直方图及正态分布曲线,如图 9 和图 10 所示,可以看出,二级出水和

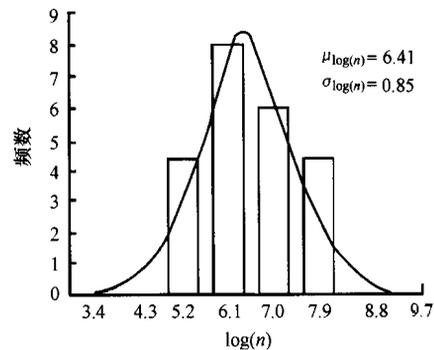


图 9 氧化沟二级处理

Fig. 9 Histogram of fecal coliform for secondary effluent

4 超滤再生水安全性初步评价

城市污水含有大量的病原微生物,首要的传染性病原微生物大体分为 3 类:细菌、寄生虫和病毒。

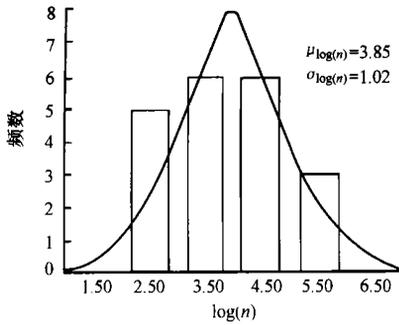


图 10 直接超滤处理工艺

Fig. 10 Histogram of fecal coliform for ultrafiltration permeate

当回用水中含有原微生物时,会通过不同途径进入人体,对人体健康造成危害,因此对于不同用途的回用水应进行回用的风险评价。目前国内回用水标准只对大肠菌群和粪大肠菌群做了规定,针对不同再生回用的途径,所要求的处理程度也有变化,《农田灌溉水质标准》(GB5084)规定粪大肠菌个数 1×10^4 个/L,《景观娱乐用水标准》(GB12941-91)规定 A 类景观用水(主要适用于天然浴场或其他与人体直接接触的景观、娱乐水体)中粪大肠菌群个数 2000 个/L。回用水的安全性可以定义为再生水的某项指标 标准中所规定的值的概率。

由于处理水中粪大肠菌群服从对数正态分布,且对数均值和标准偏差为 $\mu = 3.85$, $\sigma = 1.02$,则概率分布密度函数 $P(n)$ 和分布函数 $F(n)$ 可表示为式(1)和式(2)。

$$P(n) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \log(n) n} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log n - \mu_{\log(n)}}{\sigma_{\log(n)}}\right)^2\right]$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^{1/2} 1.02 n} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log n - 3.85}{1.02}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$F(n) = \left[\frac{\log(n) - \mu}{\sigma} \right] = \left[\frac{\log(n) - 3.85}{1.02} \right] \quad (2)$$

其中 Φ 为标准正态函数符号。超滤再生水回用于农田灌溉时,以农田灌溉水标准中规定的粪大肠菌个数 1×10^4 个/L 代入(2)式,即可得出超滤再生水中大肠菌群达标的概率为:

$$P(n < 10^4) = F(10^4) = \Phi(0.147) = 55.8\%$$

回用于景观娱乐的超滤再生水中大肠菌群小于 2×10^3 个/L 的概率为:

$$P(n < 2 \times 10^3) = F(2 \times 10^3) = \Phi(-0.54) = 29.5\%$$

可以看出,超滤再生水回用于农田灌溉和景观娱乐,其安全性不能完全得到保证。

5 结 语

超滤技术对二级城市污水的浊度去除效果明显,去除率为 95.7% 左右。对 COD 的去除率约为 40%;对色度的去除率为 45.1% 左右;对 TOC 的去除率较低,约为 10%。超滤膜对大肠菌去除率在 90% ~ 99.999% 之间,超滤对大肠菌去除率与超滤膜的污染状况有关,超滤膜对城市污水中大肠菌的平均去除率大致为 99.9% 左右。从粪大肠菌群的角度出发,超滤后水回用于农田灌溉和景观娱乐的安全性不能得到完全保证,达标的概率分别为 55.8% 和 29.5%。

参 考 文 献

- [1] 钱易,唐孝炎主编. 环境保护与可持续发展. 北京:高等教育出版社,2000. 39
- [2] 鲍宛枝. 大旱后对城市缺水的思考. 给水排水,2001,27(3):16~18
- [3] Juan M., Regine Szewzyk. Estimating the infection risk in recreational water from the fecal indicator concentration and from the ration between pathogen and indicators. Wat. Res., 2000, 34(17): 4195~4210
- [4] EPA. Ambient water quality criteria for bacteria. EPA440/5-84-002. USEAP, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D. C., 1986
- [5] 吴翊,李永乐编著. 应用数理统计. 北京:国防科技大学出版社,1995. 98