

超滤膜与后置砂滤池净水效果对比

徐 姮¹ 陆少鸣^{1,*} 夏 莉¹ 张菊萍²

(1. 华南理工大学环境与能源学院, 广州 510006; 2. 中国市政工程华北设计研究总院, 广州 511400)

摘 要 将“混凝沉淀-前置砂滤池-升流式生物活性炭滤池”工艺出水分别进入后砂滤池与超滤膜组件, 比较两者对水中的浊度、 COD_{Mn} 、氨氮、颗粒数及微型生物的去除效果。结果表明: 超滤膜平均去浊率为 31.57%, 去浊优势不是很明显, 但明显高于后砂滤池去浊率; 对于 COD_{Mn} 的去除, 后砂滤池的平均去除率为 6.80%, 优于超滤膜; 后砂滤池对氨氮的去除率达到 50.08%, 相比超滤膜优势很明显; 超滤膜出水颗粒数相对较平稳, 且能有效保证饮用水生物安全性。后砂滤池的微絮凝作用, 可使其出水浊度、 COD_{Mn} 及微型生物数量均有所降低, 但其对微型生物的去除效果与超滤膜相比仍有不足。

关键词 超滤膜; 砂滤池; 微絮凝; 微型生物

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2016)10-5485-06 DOI 10.12030/j.cjee.201505078

Water purifying efficiency comparing of ultrafiltration membrane and rear-set sand filter

XU Heng¹ LU Shaoming^{1,*} XIA Li¹ ZHANG Juping²

(1. College of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. North China Municipal Engineering Design and Research Institute, Guangzhou 511400, China)

Abstract The effluent from a coagulation sand-filter upflow biological activated carbon filter process was treated by a rear-set sand filter and an ultrafiltration (UF) membrane module. This paper compares the removal effect of the two techniques on turbidity, COD_{Mn} , ammonia nitrogen, particle numbers, and microorganisms. Experimental results showed that the average removal rate of turbidity by UF was 31.57%, which is not a high proportion, but it was significantly higher than that by the rear-set sand filter. For the removal of COD_{Mn} , the average removal rate by the sand filter was 6.80% higher than that by UF. The removal rate of ammonia nitrogen by the sand filter was 50.08%, which was higher than that by UF. The particles of the effluent from the UF membrane were relatively stable, therefore UF effectively ensured the biological safety of drinking water. The microflocculation of the rear-set sand filter decreased the turbidity, COD_{Mn} , and microbial quantities, but when compared with the UF membrane, the removal effect of microorganisms was still insufficient.

Key words UF membrane; sand filter; micro-flocculation; micro organisms

砂滤池是一种有着相当长发展历史的给水处理技术, 有研究采用提高砂滤池的滤速, 并采用絮凝的方式预处理, 可使水处理效果更佳^[1]。在传统工艺中砂滤池的出水必须符合饮用水指标^[2], 随着膜处理工艺的兴起, 鉴于膜处理装置的优良特性, 开始出现用膜处理替代砂滤池的研究^[3]。超滤膜在饮用水处理中的研究和应用发展非常迅速, 其对原水的适应能力较强, 可有效去除胶体、悬浮物、细菌、病毒和大分子有机物, 是目前保证水的微生物安全性的

最有效技术, 但其对氨氮、金属离子、溶解性盐、小分子有机物等处理能力有限。因此, 超滤膜和其他组合工艺的连用技术已经逐渐成为国内外研究的热点^[4]。

本研究在“混凝沉淀-前置砂滤池-升流式生物活性炭滤池”工艺尾端分别采用超滤膜与后置砂滤池对炭滤池出水进行处理, 比较两者的净水效果。考虑到后置砂滤池截留微生物的效果较差, 实验对后置砂滤池进水进行微絮凝处理后, 再与超滤膜出

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400705)

收稿日期: 2015-05-12; 修订日期: 2015-06-13

作者简介: 徐姮(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 给水技术与水污染控制技术。E-mail: 676468057@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: shmlu@scut.edu.cn

水水质进行比较,同时比较2种工艺的操作灵活性及成本,推荐一种更优的工艺,旨在为工程设计提供设计参考依据。

1 实验部分

1.1 工艺流程

实验在广州市某水厂进行。原水经过“混凝沉淀-前砂滤池-升流式生物活性炭滤池”工艺后,分别将炭滤池出水进入后砂滤池与超滤膜进行深度处理。其中,混凝过程中所用混凝剂为聚合氯化铝。

1.2 实验内容

1)将“混凝沉淀-前砂滤池-升流式生物活性炭滤池-超滤膜”(工艺1)与“混凝沉淀-前砂滤池-升流式活性炭滤池-后砂滤池”(工艺2)进行对比。实验期间,重点检测炭滤池出水、后砂滤池出水及超滤膜出水浊度、 COD_{Mn} 、颗粒数和微型生物等水质指标,并对工艺1与工艺2的净水效果进行对比研究。

2)对“混凝沉淀-前砂滤池-升流式生物活性炭滤池-后砂滤池”工艺,在后砂滤池进水处进行微絮凝作用,将后砂滤池与超滤膜出水水质进行比较。

1.3 实验运行参数

后砂滤池规格为 $1.75\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的方形池,填装粒径为 $1.0 \sim 1.25\text{ mm}$ 的滤砂 1.2 m ,反冲洗方式采用气水联合冲洗,冲洗强度为 $(\text{水冲 } 10\text{ L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}), \text{气冲}(5\text{ L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1})$,反冲洗周期为 24 h 。

超滤膜系统处理水量约为 $16\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,平均水温为 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 。超滤膜运行基本参数为:膜材料,PVDF;有效膜面积, 80 m^2 ;孔径, $\leq 0.1\text{ }\mu\text{m}$;过滤方式,负压抽吸;过滤持续时间, 39 min ;清洗方式,反洗、氯洗;气水清洗水流量, $1.1 \sim 3.3\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;清洗持续时间, 2 min ;化学增强反洗周期, 2 d ;化学增强反洗药剂浓度, $100 \sim 200\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.4 测定方法

COD_{Mn} :酸性高锰酸钾滴定法;浊度:HACH 2100N 浊度仪;颗粒数:颗粒计数仪;微型生物:挂袋截留法。主要水质指标的分析方法为国家环境保护总局颁布的标准方法^[5]。

2 结果与讨论

2.1 后砂滤池与超滤膜净水效果对比

取升流式活性炭滤池后出水作为超滤膜及后砂滤池进水,其中超滤膜进水瞬时通量为 $30\text{ L} \cdot$

$(\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$,实验期间重点检测炭滤池出水、后砂滤池出水及超滤膜出水的浊度、 COD_{Mn} 、颗粒数及微生物等水质指标,并对工艺1与工艺2净水效果进行对比研究。

2.1.1 浊度变化情况

实验阶段检测升流式生物活性炭滤池、后砂滤池、超滤膜出水日平均浊度。

浊度不仅指示水中悬浮物质的多少,而且可以用作反映水体中病原微生物情况的指标^[6],过高的滤后水浊度可能会伴随致病微生物的泄漏,并引起原生动动物疾病^[7-8]。实验期间,炭滤池出水浊度范围为 $0.067 \sim 0.084\text{ NTU}$,平均为 0.076 NTU ,有时出水浊度会略微升高。由图1可知,尽管炭滤池出水浊度有所波动,但超滤膜(工艺1)出水浊度基本稳定,最终出水浊度范围为 $0.048 \sim 0.056\text{ NTU}$,平均为 0.052 NTU ,平均去浊率为 31.57% ,去浊优势不很明显,但明显高于后砂滤池出水浊度;后砂滤池(工艺2)最终出水浊度为 $0.066 \sim 0.082\text{ NTU}$,平均浊度为 0.075 NTU ,平均去浊率为 1.06% ,几乎没有去浊效果。这是由于升流式生物活性炭滤池出水浊度过低,悬浮颗粒相互碰撞形成沉降体的概率较小,在后砂滤池中仅在基本物理力作用下与滤料颗粒进行粘附作用,使得后砂滤池去浊效果降低。

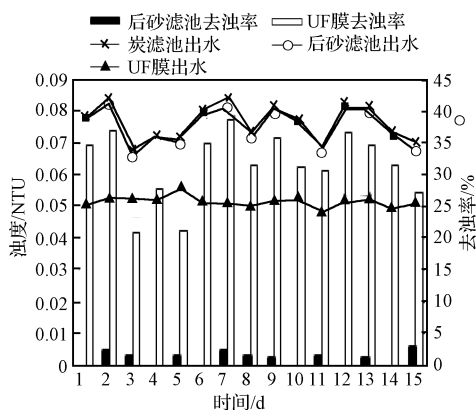


图1 出水浊度及去浊率

Fig. 1 Effluent turbidity and removal rate

2.1.2 COD_{Mn} 变化情况

实验期间检测升流式生物活性炭滤池、后砂滤池、超滤膜出水日平均 COD_{Mn} 的值。

一般情况下, COD_{Mn} 的去除主要集中在混凝沉淀和生物活性炭滤池阶段^[9]。如图2所示,炭滤池出水中 COD_{Mn} 浓度范围为 $1.018 \sim 1.393\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均为 $1.144\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超滤膜最终出水 COD_{Mn} 浓

度范围为 $1.135 \sim 1.547 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均为 $1.261 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 略高于炭滤池出水 COD_{Mn} 的值, 这是由于超滤膜本身对 COD_{Mn} 的处理能力有限, 且亲水性有机物不易形成较大沉降体, 难以被超滤膜截留下来^[10], 另外, 超滤膜的反洗作用会使有机物从超滤膜表面或者孔道内脱附。后砂滤池最终出水 COD_{Mn} 浓度范围为 $1.001 \sim 1.321 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均为 $1.095 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均去除率也仅为 4.26% 。因砂滤池之前未进行消毒, 砂滤池进水仍携带部分炭滤池脱落的微生物, 易形成生物砂滤池, 对后砂滤池去除 COD_{Mn} 有一定的贡献; 因此, 工艺 2 最终出水中的 COD_{Mn} 略低于工艺 1。

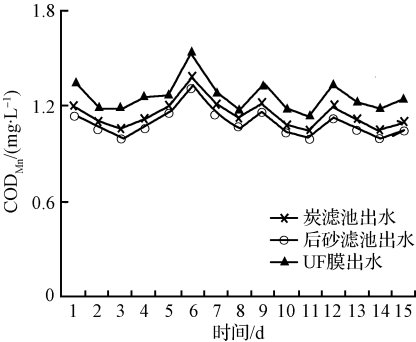


图 2 COD_{Mn} 去除效果
Fig. 2 Removal effect of COD_{Mn}

2.1.3 氨氮变化情况

实验期间检测升流式生物活性炭滤池、后砂滤池、超滤膜出水氨氮值。

炭滤池出水中氨氮浓度范围为 $0.168 \sim 0.315 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均浓度值为 $0.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。砂滤池出水氨氮浓度范围为 $0.081 \sim 0.149 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对氨氮的平均去除率为 50.08% ; 超滤膜出水氨氮浓度范围为 $0.154 \sim 0.267 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对氨氮的平均去除率为 11.31% , 如图 3 所示。经过长期运行的砂滤池中附着一定数量的硝化细菌, 可以有效去除水中较低浓度的氨氮; 而超滤膜本身的膜孔径不足以截留分子量较低的氨氮, 同时由于对超滤膜的反洗作用, 使得超滤膜组件中难以累积出足够数量的硝化细菌来降解水中的氨氮。

2.1.4 颗粒数变化情况

实验阶段检测升流式生物活性炭滤池、后砂滤池、超滤膜出水日平均颗粒数。

当水中粒径大于 $2 \mu\text{m}$ 的颗粒数超过 $100 \text{ 个} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 水中存在“两虫”(贾第虫和隐孢子虫)的

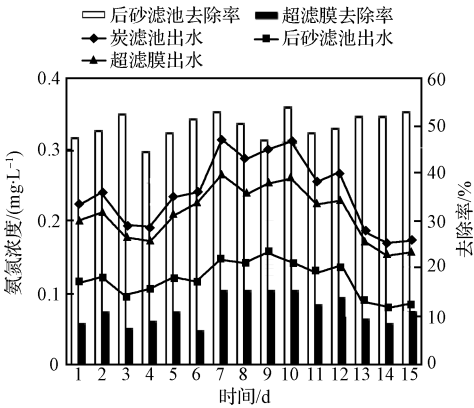


图 3 氨氮去除效果
Fig. 3 Removal effect of $\text{NH}_3\text{-N}$

概率很大, 当水中粒径大于 $2 \mu\text{m}$ 的颗粒物低于 $50 \text{ 个} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 贾第虫和隐孢子虫等病原体较少^[11]。如图 4 所示, 炭滤池出水颗粒主要集中在 $2 \sim 10 \mu\text{m}$

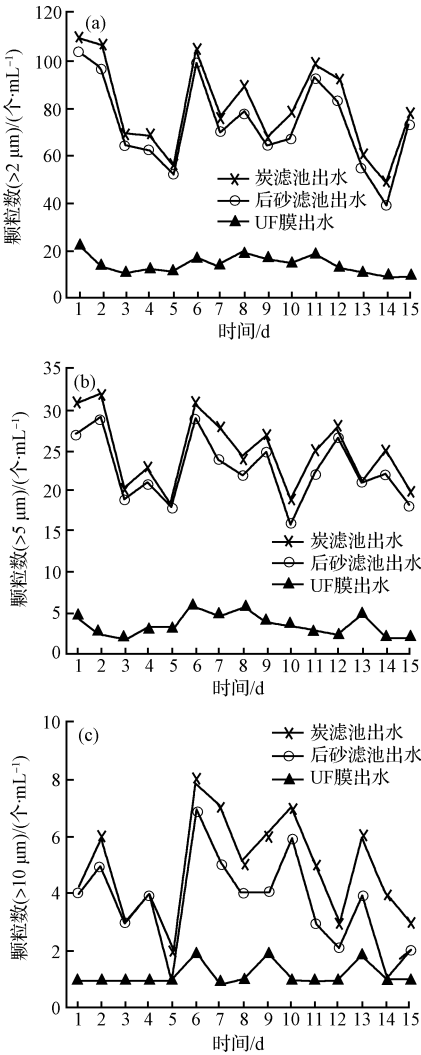


图 4 颗粒数变化情况
Fig. 4 Changes of particle numbers

之间,炭滤池出水中粒径大于 2 μm 的颗粒数平均为 80 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,存在微生物污染。工艺 1 最终出水中粒径大于 2、5、10 μm 的平均颗粒数分别为 15、4 和 1 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,超滤膜出水颗粒数降低较明显;工艺 2 最终出水中粒径大于 2、5 和 10 μm 的平均颗粒数分别为 74、23 和 4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,后砂滤池后的颗粒数变化不大。相比较于工艺 2,工艺 1 出水中出现贾第虫和隐孢子虫等原生动物的可能性更小,且即使炭滤池出水颗粒数时而发生波动,工艺 1 出水中颗粒数也相对较平稳,而工艺 2 出水中的颗粒数随炭滤池出水颗粒数的变化而变化。

2.1.5 微型生物变化情况

实验阶段检测升流式生物活性炭滤池、后砂滤池、超滤膜出水微型动物数量。

实验期间,整个工艺未进行消毒。如表 1 所示,由于升流式生物活性炭滤池中炭颗粒粒径较大,对微型生物毫无截滤作用,无法控制微生物穿透^[12]。经过工艺 1 和工艺 2 的深度处理后,工艺 2 出水中仍旧存在微量微生物,工艺 1 最终出水中并没有检测到微型动物存在,即超滤膜工艺可以有效的保证了饮用水微生物安全性,而后砂滤池仍存在微生物穿透的风险。

表 1 微型生物变化情况
Table 1 Changes of micro-organisms 个 $\cdot\text{m}^{-3}$

微生物种类	剑水蚤	红虫	水螅
炭滤池出水	2.92	3.95	0.78
UF 膜出水	0	0	0
后砂滤池出水	0.16	1.72	0.15

2.2 微絮凝作用对后砂滤池净水效果的影响

为了降低微生物泄露风险,去除致病微生物,实验在砂滤池进水处进行微絮凝作用,使出水水质得到提高^[13]。通过在后砂滤池进水处投加聚合氯化铝形成微絮凝,由于炭滤池的出水浊度低,所以絮凝剂的投加量一般为 1.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,过量的投加可能会引起砂滤池出水中含有聚合氯化铝,铝如果被人体摄入,会引起慢性中毒^[14]。不仅如此,过量絮凝剂的投加还会影响过滤周期,提高制水成本。而投加的量过小,则会引起絮凝不充分,不能有效去除颗粒物等^[15]。进行微絮凝作用后,检测后砂滤池出水浊度、 COD_{Mn} 及微型生物的量。

2.2.1 浊度变化情况

在炭滤池出水中投加微絮凝剂 1.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,

作为后砂滤池的进水,检测投加絮凝剂后,后砂滤池进出水日平均浊度。

2.1.1 中所述后砂滤池出水浊度是未投加混凝剂时的出水测定所得,投加絮凝剂之前,后砂滤池对浊度基本没有去除效果,出水浊度为 0.07 NTU 左右;经过微絮凝处理之后浊度为 0.048 NTU ~ 0.057 NTU,平均为 0.05 NTU,且出水浊度较稳定,如图 5 所示。经过微絮凝之后,颗粒物质表面性能发生了改变,黏性变强,更容易与砂滤池的表面进行碰撞,并且接触碰撞的次数越多,越是容易被截留下来,此外,由于其表面性能的改变,悬浮物质更容易形成大颗粒的物质而被截留。所以经过微絮凝之后,后置砂滤池的出水浊度有明显降低,与超滤膜出水浊度水平相当。

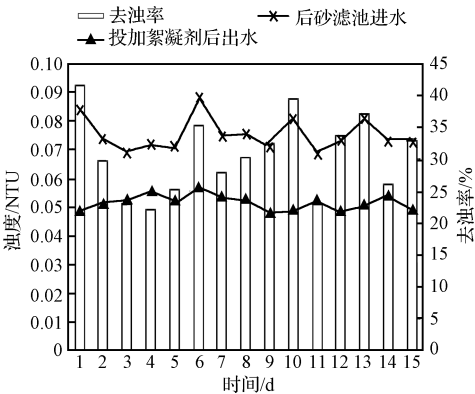


图 5 投加絮凝剂对出水浊度的影响
Fig. 5 Effects of adding flocculant on effluent turbidity

2.2.2 COD_{Mn} 变化情况

实验期间,检测投加絮凝剂前后,后砂滤池出水 COD_{Mn} 的去除情况。

据 2.1.2 中所述,在未进行微絮凝处理之前,后置砂滤池对有机物的平均去除率是 4.26%,微絮凝之后后置砂滤池平均去除率是 6.84%,投加絮凝剂后,后砂滤池对 COD_{Mn} 的去除效果更好,且明显优于超滤膜对有机物的去除效果,如图 6 所示。推测其原因,微絮凝作用使得颗粒物黏性变强,通过吸附架桥作用形成更大的絮体,后砂滤池的截留作用变强,部分有机物附着在颗粒上被截留去除。

2.2.3 氨氮变化情况

由于氨氮主要是靠硝化细菌降解,而微絮凝主要是通过增强砂滤池截滤作用实现对水质的优化,所以对后砂滤池进水进行微絮凝作用,对氨氮的去除基本不起作用。

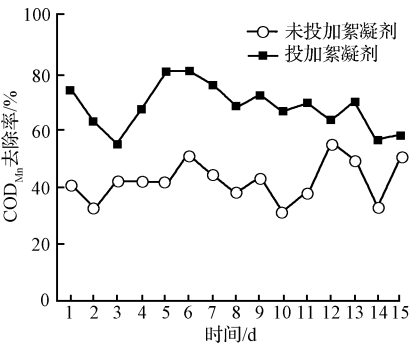


图 6 投加絮凝剂对出水 COD_{Mn}的影响

Fig. 6 Effects of adding flocculant on effluent COD_{Mn}

2.2.4 颗粒数变化情况

微絮凝作用后,后砂滤池对颗粒的截留效果增强,微絮凝作用前后,后砂滤池出水大于 2 μm 的颗粒数情况如图 7 所示。

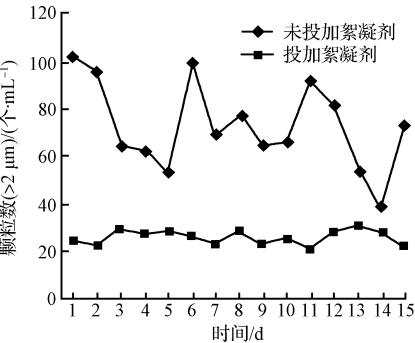


图 7 投加絮凝剂后颗粒数变化情况

Fig. 7 Changes of particle numbers after adding flocculant

后砂滤池出水大于 2 μm 的颗粒数范围为 21 ~ 32 个 · mL⁻¹,平均颗粒数为 26.6 个 · mL⁻¹,相对于投加絮凝剂之前颗粒数明显下降,且出水颗粒数较稳定,投加絮凝剂之前,颗粒数明显波动较大。尽管相较于超滤膜出水颗粒数仍较大,但是微絮凝作用对限制出水颗粒数起到了一定的效果,同时也反应了出水微型生物数量的减少。

2.2.5 微型生物变化情况

实验期间,对比微絮凝前后对后砂滤池出水微型生物的去除效果。

投加絮凝剂前,由 2.1.5 节中所述可知,后砂滤池存在微生物穿透的风险,而投加絮凝剂后,由表 2 可知,出水微型生物数量均有所减少,但相比超滤膜对为微型生物的去除效果仍有不足。

2.3 其他方面比较

投资成本方面,对于中小规模水厂,超滤膜投资

成本和常规砂滤池投资成本差别不大,对于 30 万 t · d⁻¹以上规模的水厂,超滤膜投资成本略高于常规工艺^[16]。

表 2 投加絮凝剂前后微型生物量

Table 2 Micro biomass before and after the addition of flocculant

微型生物种类	后砂滤池进水	后砂滤池出水
剑水蚤	2.89	0
红虫	3.45	0.11
水螅	2.78	0

运行成本方面,超滤膜运行需要考虑到,电费、膜更新费用、膜清洗药剂费用以及设备维护费用,实验期间,超滤膜平均能耗为 0.0371 kWh · m⁻³,药耗 4.554 L · 月⁻¹;砂滤池运行则需考虑到滤料更换费用、反冲洗能耗、絮凝剂费用等。实际运行结果表明,超滤膜运行费用略高于砂滤池运行的费用。

操作方面,砂滤池反冲洗周期较短,约 24 h 进行一次反冲洗;超滤膜运行则更灵活,由设备控制定期进行化学清洗。

3 结 论

1) 升流式活性炭滤池出水浊度过低,超滤膜去浊优势不是很明显,但出水浊度值基本稳定,且明显优于后砂滤池的去浊效果。但经过微絮凝作用后,后砂滤池与超滤膜出水浊度水平相当。

2) 超滤膜对 COD_{Mn} 的处理能力有限,超滤膜的反洗作用使有机物从超滤膜表面或孔道内脱附,因此后砂滤池对 COD_{Mn} 的去除效果要优于超滤膜,且微絮凝作用后,优势更为明显。

3) 后砂滤池对氨氮的去除效果明显优于超滤膜,但微絮凝作用对后砂滤池去除氨氮并无影响。

4) 超滤膜出水颗粒数明显降低,且相对较稳定,出水中出现贾第虫、隐孢子虫等原生动物的可能性小。后砂滤池出水颗粒数较超滤膜出水要高,且出水中能检测到微型生物的存在,仍存在微生物穿透的风险;因此,超滤膜更能保证饮用水生物安全性。微絮凝作用后的砂滤池出水大于 2 μm 的颗粒数减少,且检测到的微型生物也有所减少;因此,微絮凝对防止砂滤池微生物泄露也起到一定的作用。

5) 超滤膜经济成本要略高于砂滤池,但超滤膜操作更为灵活,实际运行起来两者差异性不大,可根

据水质效果来进行选择工艺。综合两者的净水效果,在南方湿热地区,易出现季节性微生物数量增多、微型水生动物过度滋生等问题,因此,推荐采用超滤膜工艺,更能有效防止微生物泄露,且结合前处理技术,出水有机物、氨氮仍能达到饮用水标准。对于已采用砂滤池的水厂,可于砂滤池进水处进行微絮凝作用,降低出水微型生物数量,提高水质净化效果。

参考文献

- [1] DELCHER C. , WAGENAAR A. C. , GOLDBERGER B. A. , et al. Abrupt decline in oxycodone-caused mortality after implementation of Florida's Prescription Drug Monitoring Program. *Drug and Alcohol Dependence*, **2015**, 150: 63-68
- [2] 张兵. 我国城市给水工程的状况和问题. *山西建筑*, **2001**, 27(5): 127-128
ZHANG Bing. The present state of city water-supply and it's problems in our country. *Shanxi Architecture*, **2001**, 27(5): 127-128 (in Chinese)
- [3] 王晓云, 付爱民, 张启良. 双膜深度处理技术在台湾某净水厂的应用. *中国给水排水*, **2009**, 25(14): 52-55
WANG Xiaoyun, FU Aimin, ZHANG Qiliang. Application of UF/LPRO advanced treatment technology in waterworks in Taiwan. *China Water & Wastewater*, **2009**, 25(14): 52-55 (in Chinese)
- [4] 高东辉, 曲敬波, 苏伟义. 超滤膜技术在饮用水处理中的应用和研究进展. *北方环境*, **2013**, 25(10): 71-78
GAO Donghui, QU Jingbo, SU Weiyi. Application and study progress of UF in drinking water treatment. *Northern Environment*, **2013**, 25(10): 71-78 (in Chinese)
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, **2002**
- [6] 杨艳玲, 李星, 丛丽, 等. 优化监测与净水工艺提高致病原生动物去除率. *给水排水*, **2003**, 29(6): 22-26
YANG Yanling, LI Xing, CONG Li, et al. Optimizing of water quality monitoring and removal of pathogenic protozoa in waterworks. *Water & Wastewater Engineering*, **2003**, 29(6): 22-26 (in Chinese)
- [7] ROSE J. B. Occurrence and significance of cryptosporidium in water. *Journal AWWA*, **1998**, 80(2): 53-58
- [8] DUGAN N. R. , FOX K. R. , OWENS J. H. , et al. Controlling "cryptosporidium" oocysts using conventional treatment. *Journal AWWA*, **2001**, 93(12): 64-76
- [9] 罗晓鸿, 曹莉莉, 王占生. 不同分子量的有机物在净水工艺中的去除研究. *中国环境科学*, **1998**, 18(4): 341-344
LUO Xiaohong, CAO Lili, WANG Zhansheng. Study on the removal of different molecular-weight organics by water purification process. *China Environmental Science*, **1998**, 18(4): 341-344 (in Chinese)
- [10] 陈卫, 李敏, 林涛. 饮用水处理中有机物分子量分布规律研究. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, **2009**, 10(2): 160-164
CHEN Wei, LI Min, LIN Tao. Molecular weight distribution of organics during drinking water treatment. *Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, **2009**, 10(2): 160-164 (in Chinese)
- [11] 何元春, 许超伟. 颗粒物计数仪在生物活性炭工艺中的应用. *中国给水排水*, **2004**, 20(4): 71-73
HE Yuanchun, XU Chaowei. Application of particle counter in biological activated carbon process. *China Water & Wastewater*, **2004**, 20(4): 71-73 (in Chinese)
- [12] 邵志昌, 陆少鸣, 廖伟, 等. 针对 O₃-BAC 工艺生物泄露问题后置砂滤池级配研究. *水处理技术*, **2012**, 38(3): 111-113
SHAO Zhichang, LU Shaoming, LIAO Wei, et al. Study on the grading of rear-set sand filtration for the problem of micro organism leak in O₃-BAC process. *Technology of Water Treatment*, **2012**, 38(3): 111-113 (in Chinese)
- [13] 查人光, 徐兵. 低浊度控制与饮用水安全浅议. *给水排水*, **2005**, 31(1): 11-14
ZHA Renguang, XU Bing. Discussion on drinking water safety and low turbidity control. *Water & Wastewater Engineering*, **2005**, 31(1): 11-14 (in Chinese)
- [14] 刘丽君, 张金松, 安娜, 等. 生物活性炭滤池中无脊椎动物孳生问题与对策. *给水排水*, **2009**, 35(3): 14-18
LIU Lijun, ZHANG Jinsong, AN Na, et al. Problems and solutions of the invertebrates breeding in biological activated carbon filter. *Water & Wastewater Engineering*, **2009**, 35(3): 14-18 (in Chinese)
- [15] 赵英, 于丹丹, 秦东平, 等. PAC 投加量对 MBR 混合液性质及膜污染的影响. *水处理技术*, **2005**, 31(11): 52-55
ZHAO Ying, YU Dandan, QIN Dongping, et al. Effect of powdered activated carbon dosage on mixed liquor characteristics and membrane fouling in MBR. *Technology of Water Treatment*, **2005**, 31(11): 52-55 (in Chinese)
- [16] LIPP P. , BALDAUF G. , SCHICK R. , et al. Stabel integration of ultrafiltration to conventional drinking water treatment for a better particle removal-efficiency and costs. *Desalination*, **1998**, 119(1/2/3): 133-142