

# 接触砂滤与超滤组合工艺处理淮河水研究

龚海宁<sup>1</sup>, 李景华<sup>2</sup>, 曹达文<sup>1</sup>, 董秉直<sup>1</sup>, 范瑾初<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 同济大学 环境科学与工程学院, <sup>2</sup> 淮南市公用事业局)

**摘 要:** 在淮南市第三水厂利用接触砂滤与超滤膜组合系统进行了为期半年的饮用水净化中试研究, 结果表明, 该系统在较低的混凝剂用量与较高的水力负荷下能有效地去除水中的浊度、有机物和大肠杆菌。整个中试期间超滤膜组件运行稳定可靠, 膜通量基本恒定, 具有代替常规工艺的可能。  
**关键词:** 接触砂滤; 超滤; 饮用水

超滤膜用于饮用水处理作为一项新技术近年来发展迅速。随着膜技术日渐成熟, 价格逐年降低, 其在未来饮用水处理领域具有广泛应用前景。

超滤技术的显著优点是对悬浮物、胶体及高分子物质有良好的分离能力, 包括微生物如隐孢子虫、贾第虫、细菌和病毒, 还可通过一定程度地降低消毒副产物前体物浓度和限制消毒过程中消毒剂需求来减少消毒副产物。消毒副产物前体物的降低主要是通过膜过滤前的混凝, 接触砂滤等预处理来实现的。超滤技术的应用中, 最重要的是膜阻塞和膜污染问题。接触砂滤作为超滤的预处理, 可去除水中大部分的浊度、某些有机化合物和色度。这些物质的去除缓解了膜阻塞和膜污染问题, 延长了膜的使用寿命。用膜进行后续处理则进一步去除浊度和各类有机物, 保证出水水质。

超滤膜对有机物的去除取决于原水水质和膜孔大小, 其效率在较大范围内变动, 所以本研究针对特征水源水质确定膜系统的工艺运行参数, 以便于超滤膜在实际工程中的应用。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 试验装置

中试处理工艺流程如图 1 所示

### 1.2 试验材料和方法

中试试验在淮南市第三水厂进行。原水从第三水厂原水管取用, 未经任何预处理。混凝剂为水厂生产用聚合氯化铝(PAC)。试验用膜为日本东丽公司提供的中空纤维超滤膜, 膜材质为 PAN, 截留相对分子质量为 100K daltons, 孔径为 0.1 μm, 过滤面积为 12 m<sup>2</sup>, 过滤方式为终端过滤, 通量为 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d。整个系统为 24h 自动化运行, 以 1h 为一个运行周期, 超滤膜组件与砂滤柱同时反冲洗, 必要时也可以对系统进行手动操作。接触砂滤滤速选用 8 m/h, 16 m/h, 23 m/h, 混凝剂用量选用 30 mg/L, 10 mg/L,

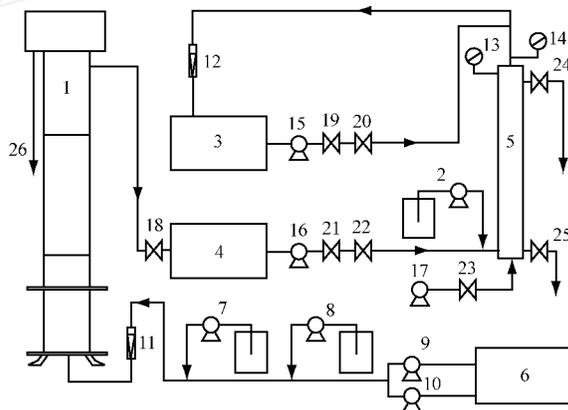


图 1 中试处理工艺流程

1. 砂滤柱; 2. 次氯酸钠投加泵; 3. 清水箱; 4. 中间水箱; 5. 超滤膜组件; 6. 原水箱; 7. 混凝剂投加泵; 8. 酸(碱)液投加泵; 9. 原水泵; 10. 砂滤柱反冲洗泵; 11. 原水流量计; 12. 清水流量计; 13. 进水压力表; 14. 出水压力表; 15. 膜反冲洗泵; 16. 膜进水泵; 17. 空气泵; 18. 中间水箱进水电磁阀; 19. 止回阀; 20. 膜反冲洗电磁阀; 21. 闸阀(控制过膜水量); 22. 膜进水电磁阀; 23. 止回阀; 24. 排气阀(上排水阀); 25. 下排水阀; 26. 砂滤反冲洗水出口

6 mg/L, 4 mg/L (以铝离子浓度计), 寻求该组合工艺处理淮河水的最佳工艺参数。各种预处理工况下超滤膜通量维持在 500 L/h。中试期间水厂生产性混凝剂用量在 30 mg/L 左右。接触砂滤出水、超滤膜出水与水厂出厂水在水厂化验室以同一方法进行化验, 以比较接触砂滤-超滤组合工艺与水厂常规处理工艺(混凝-沉淀-过滤-消毒)的净水效果。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 浊度的去除

超滤膜对浊度的去除效果相当好。在不同的工况下, 接触砂滤出水的浊度范围较大, 而超滤膜出水的浊度基本保持在 0.1 NTU 以下。接触砂滤出水的浊度大小与超滤膜出水的浊度大小并无对应关系, 同期水厂出厂水浊度在 1—2 NTU 之间。(见图 2)。

### 2.2 有机物的去除

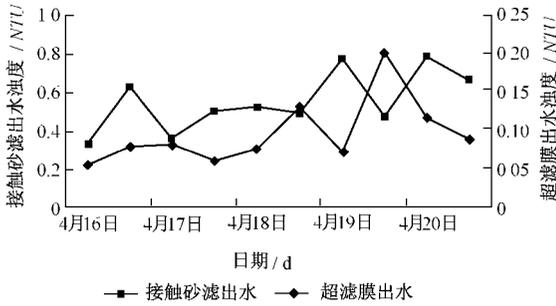


图 2 接触砂滤与超滤出水浊度

砂滤速  $23\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 混凝剂用量  $6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 原水浊度  $3 \sim 5 \text{NTU}$   
测定水中 COD 作为有机物含量指标。

相同混凝剂用量下, 改变砂滤速对系统出水的 COD 去除率影响很小, 当混凝剂用量为  $6\text{mg/L}$  时, 3 种滤速下的 COD 总去除率在  $43\% \sim 45\%$  范围内, 见图 3。当混凝剂用量为  $10\text{mg/L}$  时, COD 总去除率在  $50\% \sim 52\%$  范围内, 见图 4。即对于同一原水, 相同的混凝剂用量, 砂滤速提高 2 至 3 倍, 系统的 COD 去除率只有 2% 左右的变动, 并且系统中砂滤与超滤在总的 COD 去除中所占的百分比基本不变。

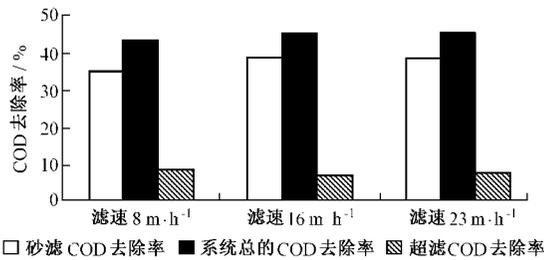


图 3 混凝剂用量为  $6\text{mg/L}$  时不同砂滤速下超滤膜出水的 COD 去除率

试验期间原水 COD  $3 \sim 5\text{mg/L}$  左右

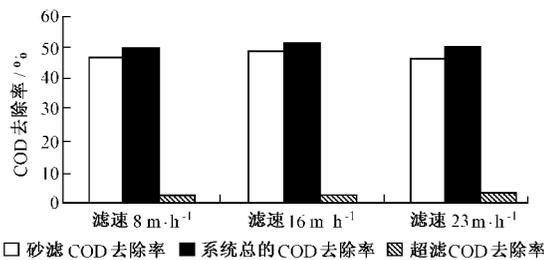


图 4 混凝剂用量为  $10\text{mg/L}$  时不同砂滤速下超滤膜出水的 COD 去除率

试验期间原水 COD  $4\text{mg/L}$  左右

相同滤速下, 提高混凝剂用量使系统出水的 COD 去除率提高, 但由图 5, 图 6 可知, 超滤膜在系统中对 COD 去除的贡献减少。在砂滤速为  $8\text{m/h}$  时, 混凝剂用量为  $6\text{mg/L}$ ,  $10\text{mg/L}$  和  $30\text{mg/L}$  时的 COD 总去除率分别为  $48\%$ ,  $50\%$  和  $59\%$ , 见图 5。即砂滤速  $8\text{m/h}$  工况下, 混凝剂用量从  $6\text{mg/L}$  提高到

$10\text{mg/L}$  时, 系统的 COD 去除率提高了 2%。混凝剂用量从  $10\text{mg/L}$  提高到  $30\text{mg/L}$  时, 系统的 COD 去除率提高了 9%。砂滤速  $23\text{m/h}$  工况下, 混凝剂用量为  $4\text{mg/L}$ ,  $6\text{mg/L}$  和  $10\text{mg/L}$  时的 COD 总去除率分别为  $40\%$ ,  $45\%$  和  $52\%$ , 见图 6。即混凝剂用量从  $4\text{mg/L}$  提高到  $6\text{mg/L}$  时, COD 去除率提高了 5%, 混凝剂用量从  $6\text{mg/L}$  提高到  $10\text{mg/L}$  时, COD 去除率提高了 7%, 表明在高滤速下, 提高混凝剂用量效果更为明显。

同期水厂常规处理的 COD 去除率在  $38\% \sim 43\%$  之间。

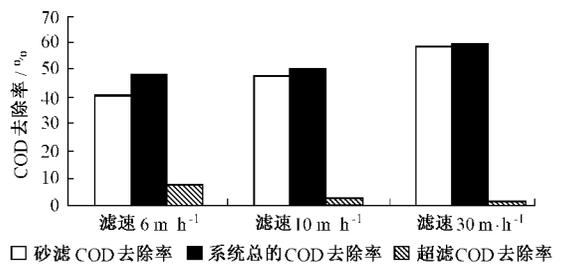


图 5 砂滤速为  $8\text{m/h}$  时不同混凝剂用量下超滤膜出水的 COD 去除率

试验期间原水 COD  $4\text{mg/L}$  左右

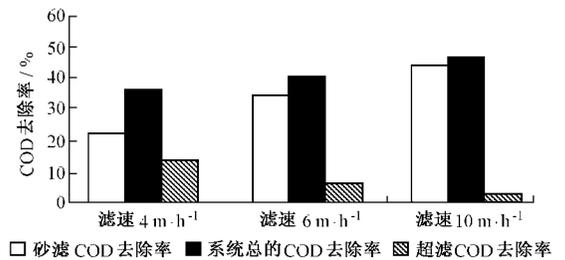


图 6 滤速为  $23\text{m/h}$  时不同混凝剂用量下超滤膜出水的 COD 去除率

试验期间原水 COD  $4\text{mg/L}$  左右

### 2.3 色度的去除

整个中试期原水色度在  $25 \sim 30$  度之间, 冬季 (12 月 23 日 ~ 2 月 4 日) 升高至  $40 \sim 45$  度之间。水厂出厂水色度基本为 10 度。不同的预处理工况下, 超滤膜出水的色度在  $7 \sim 10$  度之间, 均等于或优于常规工艺出厂水的色度。

### 2.4 细菌的去除

试验期间在超滤膜出水中未检出大肠杆菌。膜对水中病毒和病原微生物的去除主要依赖于膜的孔径。研究表明, 最小的脊髓灰质炎病毒的直径为  $28\text{nm}$ , 宽  $0.5\mu\text{m}$ , 长  $2\mu\text{m}$ , 而一般给水系统中的细菌的大小是脊髓灰质炎病毒的几倍到数百倍, 因此用孔径为  $0.01\mu\text{m}$  的超滤膜进行截留去除是毫无问题的。

### 2.5 pH 对接触砂滤—超滤工艺处理效果的影响

为比较不同 pH 值对处理效果的影响,为膜材质允许范围内,将原水 pH 值控制在 5.5, 6.5, 8, 9 四种条件下与正常 pH (7.3-7.4) 条件下处理效果进行比较。

聚合氯化铝 (PAC) 对原水的 pH 值适应范围较广,但 pH 值的改变对其处理效果还是有影响。在砂滤速 2.3m/h 混凝剂用量 4mg/L 的工况下,系统以正常 pH 值 (7.3-7.4) 运行时, COD 总去除率为 43%, 一个运行周期膜进、出口压力差上升 0.04MPa。以低 pH 值 (5.5, 6.5) 运行时, COD 总去除率为 62%, 52%。浊度比 pH 值为中性时有所降低,超滤膜在系统中的对 COD 去除率从 17% 变为 18% 和 16%。以高 pH 值 8, 9 运行时, COD 去除率为 50%, 56%。同时接触砂滤的出水浊度急剧下降,认为是在高 pH 值下, PAC 的水解产物多为凝胶沉淀物且凝聚速度快,迅速形成胶状泥膜,增强了吸附卷扫作用,所以对浊度的去除能力增强。但砂滤柱对浊度的去除率提高,有机物的去除率也提高,使得膜在系统中对 COD 的去除率由 17% 下降到 3% 和 8%, 见图 7。同时发现系统在高 pH 值条件下,一个运行周期内膜进、出口压力差的升高与正常 pH 值条件下相比减少 0.003MPa, 在低 pH 值条件下运行与正常 pH 值条件下相比减少 0.001MPa 或更少,与不同 pH 值条件下接触砂滤出水浊度的减少相对应,但经冲洗后都可恢复。这表明 pH 值向偏酸或偏碱方向移动对系统的出水水质都有提高,偏酸性条件使接触砂滤对 COD 去除率提高,对超滤膜的 COD 去除率无明显影响。偏碱性条件下接触砂滤预处理更多地替代了超滤膜的作用,增加了接触砂滤的负担,缩短了接触砂滤的运行周期。

试验发现在 pH = 8 的工况下,超滤膜对 COD 的去除率几乎为零,造成这一现象的原因有待进一步的研究。

## 2.6 接触砂滤对膜污染的缓解作用

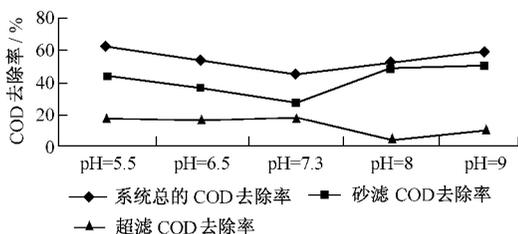


图 7 不同 pH 值下系统出水的 COD 去除率  
砂滤速 2.3m/h; 混凝剂用量 4mg/L  
试验期间原水 COD 4.5~5mg/L 左右

对一个运行周期而言,从开始过滤到反冲洗前,各个工况下超滤膜组件的进、出口压力差提高 0.001MPa 至 0.004MPa。在同一工况下,一运行周期内超滤膜组件进出口压差的提高基本上是恒定的,经过反冲洗都可恢复。

经过中试期间各种工况下的连续运行,超滤膜组件的进、出口压力差没有升高,而是从 0.07MPa 下降到 0.05MPa。这是由于本次中试使用的膜组件是前次试验使用过的,进行过淮河原水直接过滤的试验,故开始运行时膜压差较大,而后经过多次反冲洗,故膜压差反而减小。试验表明接触砂滤-超滤工艺的接触砂滤过程对超滤膜的膜污染有很好的缓解作用。

## 3 结论

(1) 接触砂滤-超滤处理工艺对浊度和大肠杆菌的去除效果优于常规工艺。各种工况下,砂滤出水浊度范围很大,而超滤膜出水浊度基本保持在 0.1NTU 以下。整个中试期间未加消毒剂的情况下,超滤膜出水从未检出过大肠杆菌。

(2) 在相同混凝剂用量下,提高砂滤速对系统的出水水质影响很小,因此接触砂滤可以较高的水力负荷运行。在相同的滤速下,增加混凝剂用量使系统出水的 COD 去除率提高,但超滤膜对系统中 COD 去除的贡献减少。

(3) 在相同 COD 的去除效果下,接触砂滤-超滤处理工艺与常规工艺相比只需约 1/7 的混凝剂用量。与水厂常规工艺相比,净水效果好且稳定,混凝剂用量省。

(4) 接触砂滤作为预处理可有效缓解超滤膜的污染。本试验以旧的超滤膜组件进行中试,连续运行近半年后膜压差初始值由 0.07MPa 下降到 0.05MPa,说明超滤膜组件在适当的预处理条件下运行后期膜压差增加极缓慢。

## 参考文献:

- [1] 王晓昌,王锦 混凝-超滤去除腐殖酸的试验研究 中国给水排水[J], 2002, Vol 18(3):
- [2] 王琳,王宝贞等 活性炭与超滤组合工艺深度处理饮用水 中国给水排水[J]2002, 18(2):
- [3] 栾兆坤,于忱非等 聚合铝絮凝动态过程研究 环境化学[J], November 1996, 15(6):
- [4] 王晓昌 浅论铝盐的水解和吸附电中和过程中被凝聚物浓度的影响 环境化学[J]1996, 15(6):