

# 以超滤为核心的短流程净水工艺在给水厂中的应用

王艳芳, 张国宇, 孙娜, 任丹, 王柳奎  
(北京金泽环境能源技术研究股份有限公司, 北京 100101)

**摘要:** 以超滤为核心的短流程净水工艺采用低通量、低跨膜压差、变通量的运行方式,有利于减轻膜污染、节约能耗、提高系统产水率。永清县南水北调地表水厂以南水北调水源为原水,采用以超滤为核心的短流程净水工艺,原水经过絮凝之后进入膜池,膜池进行过滤的同时实现反洗水回收,采用在线化学清洗的方式,降低了劳动强度,方便了现场管理。实际运行数据表明,膜部分直接生产成本为0.023 7元/m<sup>3</sup>,出水浊度<0.02 NTU。结合南通芦泾水厂运行经验,项目设计中做了以下优化,将化学清洗方式由离线清洗改为在线清洗、膜元件由帘式膜元件改为水草式膜元件、膜组件改为每支膜元件可以单独插拔的形式、产水方式由虹吸产水改为重力产水。

**关键词:** 超滤膜; 短流程净水工艺; 水草式膜; 在线清洗

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0069-04

## A Shortened Water Purification Process with Core of Ultrafiltration Membrane Unit in Water Supply Plant

WANG Yan-fang, ZHANG Guo-yu, SUN Na, REN Dan, WANG Liu-kui  
(Beijing Jinze Environment and Energy Technology Research Co. Ltd., Beijing 100101, China)

**Abstract:** The operation mode of ultrafiltration membrane unit in the shortened water purification process was characterized by relatively low flux, low transmembrane pressure difference and variable flux. This operation mode is conducive to lessening membrane fouling, saving energy and enhancing water production. The water transferred from South-to-North Water Diversion Project was taken as the raw water of the surface water purification plant in Yongqing town. The shortened ultrafiltration membrane process is used in this water purification plant. The raw water was treated firstly via flocculation. It was followed by the membrane filtration at where the backwash water was recovered. The membrane was cleaned with on-line chemical dosage to reduce the labor intensity and on-site management difficulty. The actual operation data showed that the turbidity of the effluent is lower than 0.02 NTU while the direct cost of the membrane unit was 0.023 7 yuan/m<sup>3</sup>. According to the operation experience of Nantong Lujing water plant, a number of improvements were made in the design process. These include on-line chemical cleaning; replacing the membrane element of the curtain type by the water weed type; the membrane module being separated into membrane elements which could be inserted independently; resultant water by gravity, rather than the siphon.

**Key words:** ultrafiltration membrane; shortened water purification process; a water weed type membrane element; on-line cleaning

## 1 项目概况

以超滤为核心的短流程净水工艺首先应用于南通市芦泾水厂,取得了令人满意的运行效果<sup>[1]</sup>,运行结果表明,低通量、低跨膜压差、同一膜池分单元运行的方式对减轻膜污染具有良好效果,该技术不仅适用于新建水厂,而且特别适于老水厂的提标改造。笔者在总结南通市芦泾水厂运行经验的基础上,设计了河北省廊坊市永清县南水北调地表水厂。

该水厂的建设规模为 $31\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 。水源为南水北调来水,原水具有冬季低温低浊、夏季高藻、局部时段高浊、高铁锰、有机微污染以及原水水质不确定等特点,所以设置预加氯、投加高锰酸钾、投加粉末活性炭等设备以备水源水质不好时使用。水厂的工艺流程如图1所示。

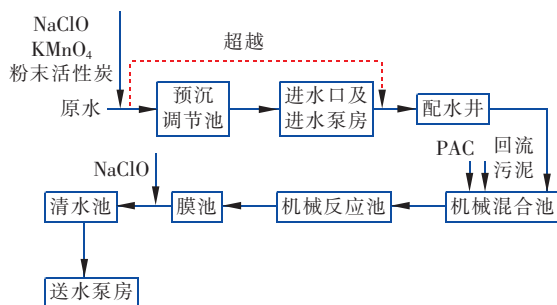


图1 工艺流程

Fig.1 Flow chart of process

原水由南水北调主干线重力进入稳压配水井,在机械混合池中投加絮凝剂进行混合,然后进入机械絮凝池进行反应,出水直接进入超滤膜池进行过滤处理,滤后水进入清水池。如预计进水水质超标对工艺产生影响时,可及时调整水厂的运行参数,比如可以通过增大混凝剂投加量、增加反洗次数、同时投加粉末活性炭或投加高锰酸钾预氧化等应急措施来改善出水水质。在超滤膜单元中,物理清洗超滤膜产生的浓水在膜池内回收,过滤过程中产生的污泥经过沉淀、浓缩,通过气动排泥阀排入污泥池中。

## 2 工艺设计参数

### 2.1 加药量设计

该工程设置预加氯和后加氯两个加氯点,预加氯用于氧化原水中的藻类和有机污染物,设计投氯量为 $4\ \text{mg/L}$ ,投加在总进厂管道;后加氯用于满足出厂水余氯要求,设计投氯量为 $1.5\ \text{mg/L}$ ,投加在清水池总进水管上。高锰酸钾设计最大投加量为 $2\ \text{mg/L}$ ,投加在总进厂管道上;粉末活性炭设计最大

投加量为 $40\ \text{mg/L}$ ,投加在总进厂管道上,采用干式投加方式。聚合氯化铝按三氧化二铝最大投加量为 $8\ \text{mg/L}$ 设计,投加在机械混合池前端。

### 2.2 混合反应系统设计

混合反应池采用机械式混合池和机械式反应池,分两个系列运行。每个系列设机械式混合池1座,尺寸为 $1.2\ \text{m} \times 1.2\ \text{m} \times 4.0\ \text{m}$ ,水力停留时间为 $27\ \text{s}$ 。每个系列设机械式反应池3座,尺寸为 $5.0\ \text{m} \times 4.6\ \text{m} \times 5.0\ \text{m}$ ,水力停留时间为 $22\ \text{min}$ 。两个并列运行的系列出水均进入膜池配水渠。

### 2.3 膜池进水、产水系统设计

该工程共设6个膜池,膜池之间通过膜池进水配水渠连通,当其中某一个膜池反洗时,反洗水可以通过进水配水渠进入其他5个正在正常运行的膜池,并被这5个膜池回收。机械式混合池、机械式反应池、膜池平面图如图2所示。

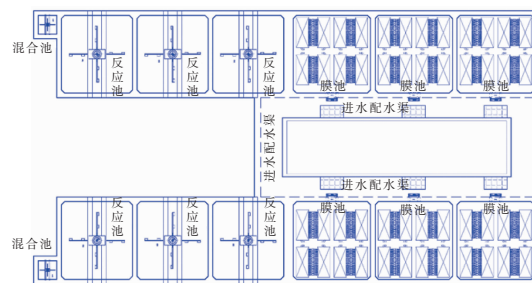


图2 机械式混合池、机械式反应池、膜池平面图

Fig.2 Plan of mechanical mixing tank, mechanical reaction tank, membrane tank

单个膜池平面尺寸为 $5.0\ \text{m} \times 5.0\ \text{m}$ ,絮凝水通过配水渠与膜池之间的穿墙孔进入膜池,穿墙孔处设置进水闸板阀控制膜池进水。当某个膜池中的超滤膜需要进行化学清洗时,关闭进水闸板阀,排空该膜池中的絮凝水,进行化学清洗,该膜池的化学清洗不影响其他膜池的正常运行。

超滤膜利用膜池与清水池之间的液位差作为产水动力,产水方式为重力产水,产水进入清水池中。根据实际生产需要,实时通过调整清水池水位调整超滤膜的跨膜压差,从而调整超滤膜的产水通量,这样既保证了超滤的正常运行,又节约了运行能耗。正常运行时,膜池与清水池的液位差控制在 $3 \sim 4\ \text{m}$ 左右。

超滤膜采用海南立升公司的LJ2A型外压浸没式超滤膜,每个膜池设有4个膜组件,每个膜组件含

120 支水草式膜元件,该膜元件为单端收水且膜丝下端为自由端,每个膜元件底部均配有一个曝气头。单个膜元件的有效膜面积为  $15 \text{ m}^2$ ,运行方式为变通量运行,平均膜通量为  $32 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

#### 2.4 膜池清洗系统设计

每个膜池分 2 个膜单元,共有 12 个膜单元。

反洗时按照每个膜单元单独清洗的方式,反洗周期为 90 min,反洗时间为 90 s。采用均分反洗周期的方式,即每隔 7.5 min 反洗一个膜单元,反洗时水洗、气洗同时进行,水洗强度为  $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、气洗强度为  $2.5 \text{ m}^3/\text{支膜}$ ,一个膜单元进行反洗时,其他膜单元的强制运行通量为  $34.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,强制运行通量与正常运行通量相差不大。该工程反洗泵流量为  $280 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程为 150 kPa;反洗风机流量为  $10 \text{ m}^3/\text{min}$ 、出口风压为 40 kPa。

维护性化学清洗采用每个膜池单独清洗的方式,设计维护性化学清洗周期为 2 周。超滤膜需要进行维护性化学清洗时,在膜池内配制 500 mg/L 的次氯酸钠溶液,对膜组件进行浸泡清洗,或者根据超滤膜的受污染程度,也可采用化学清洗循环泵对超滤膜进行强化维护性化学清洗,强化维护性化学清洗时超滤膜循环通量采用  $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,该工程强化维护性化学清洗循环泵流量为  $110 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

恢复性化学清洗也采用每个膜池单独清洗的方式,设计恢复性化学清洗周期为半年。恢复性化学清洗时,在膜池内配制 1 000 mg/L 的次氯酸钠和 0.5% 的氢氧化钠混合液,通过化学清洗循环泵抽吸药液进行循环;碱洗完毕后,采用清水清洗,将膜洗至中性;再在膜池内配制 2% 左右的柠檬酸溶液,对膜池内膜单元进行循环清洗;酸洗完毕,也采用清水清洗,将膜洗至中性;碱洗、酸洗废液及清水清洗废液均排入中和池,中和处理后外排。

维护性化学清洗和恢复性化学清洗均采用在线清洗的方式,整个过程通过 PLC 控制,某个膜池进行清洗时,不影响其他膜池的正常产水。

### 3 设计改进

#### 3.1 化学清洗方式改进

芦泾水厂改造工程,保留了原有斜管沉淀池的中心传动刮泥机,因此无法将 10 个膜单元分别进行在线化学清洗。恢复性化学清洗只能采用离线方式进行,操作比较繁琐<sup>[2]</sup>。

在永清县南水北调地表水厂设计中,对超滤膜

的清洗方式进行了改进,超滤膜的维护性清洗和恢复性清洗都采用在线清洗的方式,操作简单方便。虽然化学清洗药剂费用会增加一些,但是化学清洗时不用将膜组件吊离膜池,省时、省力、人员需求量少,提高产水率,降低了能耗。

#### 3.2 膜元件改进

芦泾水厂改造工程,最初采用两端固定的帘式膜元件。超滤膜短流程净水工艺采用的是原水絮凝后直接进入膜池,芦泾水厂膜池的膜组件进行离线清洗时,发现帘式膜元件下部积泥现象比较严重。为此,海南立升公司开发了 LJ2A 型水草式膜元件,该膜元件底端为自由端。芦泾水厂的膜池部分更换水草式膜元件组成的膜组件后,避免了底部积泥现象。该厂采用的水草式膜元件及膜组件外形如图 3 所示。

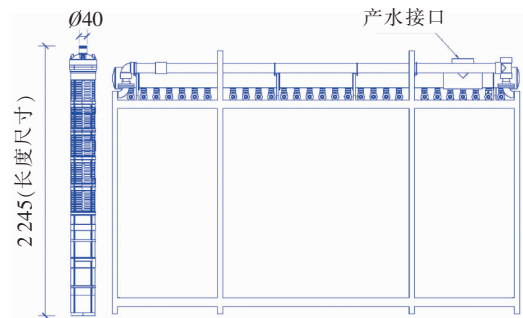


图 3 芦泾水厂水草式膜元件及膜组件外形图

Fig. 3 Outline of the water weed type membrane element and membrane components in Lujing water supply plant

永清县南水北调地表水厂在进行设计时,直接采用 LJ2A 型水草式膜元件组成的膜组件。

#### 3.3 膜组件改进

芦泾水厂改造工程,无论是最初采用的帘式膜元件还是之后改进的水草式膜元件,膜组件采用整体式框架结构,若发现某一膜帘断丝、密封胶泄漏,必须将整个膜组框架吊离,进行维护、维修,操作颇为困难<sup>[2]</sup>,且影响系统的正常生产。

永清县南水北调地表水厂在进行设计时,对膜组件进行了改进,每 5 支膜元件连接 1 个开关阀门,当气检发现某支膜元件断丝时,可以将相应连接的开关阀门关闭,将该支断丝膜元件取出修补后再安装回去,操作简单,并且整个膜组件除与破损膜元件相连的这 5 支膜元件不产水外其余的均可以正常生产。其膜组件外形见图 4。单支膜元件底端还单独设置了曝气头,更有利于避免膜组件底部积泥。

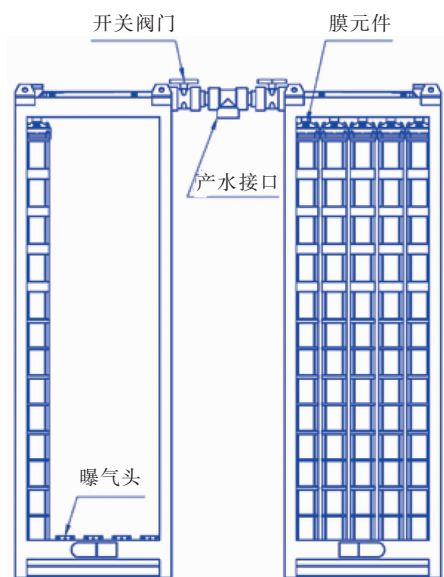


图4 永清水厂水草式膜组件外形图

Fig.4 Outline of the water weed type membrane element and membrane components in Yongqing water supply plant

### 3.4 产水方式改进

如图3所示,芦泾水厂采用的膜组件产水端在膜组件的上端,膜池每次反洗后均需采用虹吸产水的方式,即抽真空设备必须运行才能启动产水,产水正常后关闭抽真空设备;永清县南水北调地表水厂在进行设计时,采用如图4所示的膜组件,产水端位于膜组件产水口的下端,膜池每次反洗后均可采用重力产水的方式,即抽真空设备不必运行便可产水,既方便运行又节约能耗。

## 4 工程运行结果

该工程自运行以来,总进水浊度为0.63~1.71 NTU、进水pH值为7.92~8.02,膜系统产水率达到99.5%,膜池产水水质如表1所示。

表1 膜池产水水质检测结果

Tab.1 Detection results of effluent quality of membrane tank

项 目	数值
总大肠菌群/(CFU·100 mL <sup>-1</sup> )	未检出
耐热大肠菌群/(CFU·100 mL <sup>-1</sup> )	未检出
大肠埃希氏菌/(CFU·100 mL <sup>-1</sup> )	未检出
菌落总数/(CFU·mL <sup>-1</sup> )	未检出
浑浊度/NTU	<0.02
臭和味	无异臭、异味
肉眼可见物	无
pH值	7.13~7.59

超滤膜系统电耗为7.47 kW·h/m<sup>3</sup>,电价按0.7

元/(kW·h)计,电费为0.012 6元/m<sup>3</sup>;2周一次维护性化学清洗、6个月一次恢复性化学清洗的药剂费用约为0.011 1元/m<sup>3</sup>。超滤膜系统电耗和药剂费用即膜部分直接生产成本为0.023 7元/m<sup>3</sup>。

## 5 结语

① 以超滤为核心的短流程净水工艺采用低通量、低跨膜压差、变通量运行的方式,有利于减轻膜污染、节约能耗、提高系统产水率。

② 永清县南水北调地表水厂采用以超滤为核心的短流程净水工艺,原水经过絮凝之后进入膜池,膜池进行过滤的同时实现反洗水回收,采用在线化学清洗的方式,降低了劳动强度,方便了现场管理。

③ 实际运行数据表明,采用以超滤为核心的短流程净水工艺,膜部分直接生产成本为0.023 7元/m<sup>3</sup>,出水浊度<0.02 NTU。

④ 结合南通芦泾水厂运行经验,本项目设计中做了以下优化:将化学清洗方式由离线清洗改为在线清洗、膜元件由帘式膜元件改为水草式膜元件、膜组件改为每支膜元件可以单独插拔的形式、产水方式由虹吸产水改为重力产水。

## 参考文献:

- [1] 顾宇人,曹林春,陈春圣,等. 超滤膜法短流程工艺在南通市芦泾水厂提标改造工程中的应用[J]. 给水排水,2010,36(11):9-15.
- [2] 何寿平,张国宇,肖峰,等. 超滤技术在短流程净水工艺中的应用[J]. 净水技术,2014,33(4):49-53,83.



作者简介:王艳芳(1978-),女,河北肃宁人,硕士,工程师,注册环保工程师,设计部经理,主要从事水处理工程设计工作。

E-mail:wangyanfang@jzenviron.com

收稿日期:2016-11-28