

虹吸膜池在净水厂提标扩容中的工程实践

李都望¹, 黄有文¹, 管浩², 周涛¹

(1. 江西省水务集团有限公司, 江西 南昌 330096; 2. 江西省修水润泉供水有限公司, 江西 修水 332400)

摘要: 罗桥水厂改造工程采用浸没式超滤膜工艺,将原有产水量为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的砂滤池原位改造成产水量为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的虹吸超滤膜滤池,水质水量达到了设计要求。该项目的运行情况良好,膜通量大,截留精度高,当产水量为设计产水量($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)时,跨膜压差为 5 kPa,膜通量为 $35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。在用水高峰期产水量为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,膜通量为 $50.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,跨膜压差为 10 kPa。该系统水回收率超过 96%,没有新增占地,实现低液位差虹吸产水,产水不用水泵抽吸,系统运行稳定,能耗低,费用省。

关键词: 超滤膜; 虹吸; 跨膜压差; 产水浊度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)22-0086-05

Engineering Practice of Siphon Membrane System in Upgrading and Capacity Expansion of Waterworks

LI Du-wang¹, HUANG You-wen¹, GUAN Hao², ZHOU Tao¹

(1. Jiangxi Water Group Co. Ltd., Nanchang 330096, China; 2. Xiushui Runquan Water Ltd., Xiushui 332400, China)

Abstract: The siphon submerged ultrafiltration membrane process with the capacity of $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ was adopted to reconstruct the original sand filter with the capacity of $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ in Luoqiao waterworks. The system has operated well, with large membrane flux and high interception accuracy. At the designing water yield of $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, the transmembrane pressure was 5 kPa and the membrane flux was $35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. At the peak-hours water yield of $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, the membrane flux was $50.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, and the transmembrane pressure was 10 kPa. The water recovery exceeded 96%. The system produced water using the method of siphon in low liquid level, without additional land occupation and water pump. The system had run stably with low energy consumption and operating costs.

Key words: ultrafiltration membrane; siphon; transmembrane pressure; turbidity of produced water

1 改造工程概况

罗桥水厂建于 20 世纪 90 年代初,总设计规模为 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两期建成,一期规模为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二期规模为 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。由于当时设计标准低,水处理工艺落后,加之运行时间久、部分构筑物损坏,其中一期 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生产线无法供

水,已停止运行多年,目前该水厂实际供水规模为 $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。近年来,随着城市发展、新区开发建设,城市供水量已不能满足要求。公司决定对水厂停运多年的 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生产线进行改造,经过专家论证后,确定采用浸没式超滤膜工艺、虹吸式出水。改造工程无新增占地面积,改造后工艺产水量

翻倍,达到 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,满足了城市发展的需要,且能够与城市主力水厂互为备用。

原 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生产线工艺流程见图1。

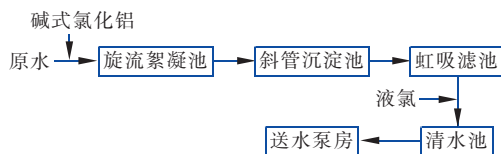


图1 罗桥水厂改造前工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process before reconstruction of Luoqiao waterworks

该工艺及设备存在的主要问题:

- ① 工艺落后,设备陈旧,产水水质不能满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。
- ② 旋流絮凝池反应效果差,沉后水浊度高。
- ③ 滤池冲洗强度不足,集泥严重,延长反冲洗时间也难冲洗干净。
- ④ 自动化程度低,运行管理不方便,难于收集生产信息。

超滤膜工艺能有效去除水中的悬浮物、胶体、细菌、病毒和大分子有机物,出水水质稳定,同时具有占地面积小、自动化程度高等特点,在老水厂升级改造和新水厂建设中得到越来越广泛的应用^[1-3]。改造工程将原有的砂滤池土建主体结构直接改造为虹吸膜池,突破改造工程“先拆后建”的传统。改造后的工艺流程如图2所示。

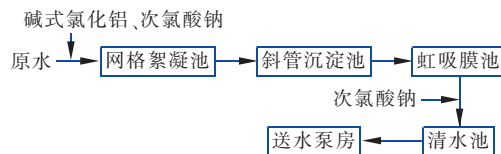


图2 罗桥水厂改造后工艺流程

Fig.2 Flow chart of treatment process after reconstruction of Luoqiao waterworks

2 超滤膜材料与装置

2.1 热法PVDF中空纤维超滤膜的结构与性能

膜结构的电镜照片见图3。罗桥水厂使用的超滤膜为热法PVDF中空纤维膜,其结构特点是:断面为三维互穿网络,非对称型孔结构,膜外表面孔径最小,从外向内孔径逐渐增大,内表面孔径最大^[4]。实际工程运行表明,膜通量大,能在超低压条件下运行;强度高,韧性好,在使用中不易断丝;截留精度高,产水水质好;抗污染能力强,产水周期长;耗能

少,运行成本低。

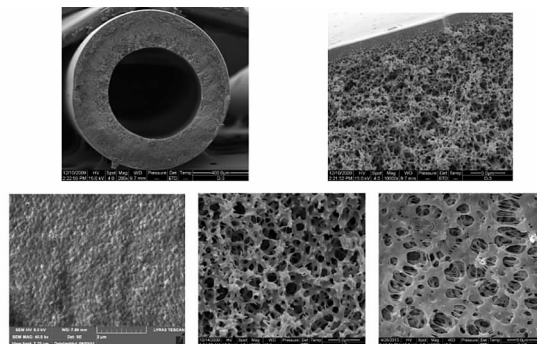


图3 膜结构

Fig.3 Membrane structure

2.2 膜装置

改造工程设计产水能力为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共8套膜装置。膜组件为帘式浸没式,单套膜装置膜装填密度为 $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$,膜孔径为 $0.01 \mu\text{m}$,设计产水通量为 $35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,虹吸式出水。单格膜装置实景如图4所示。

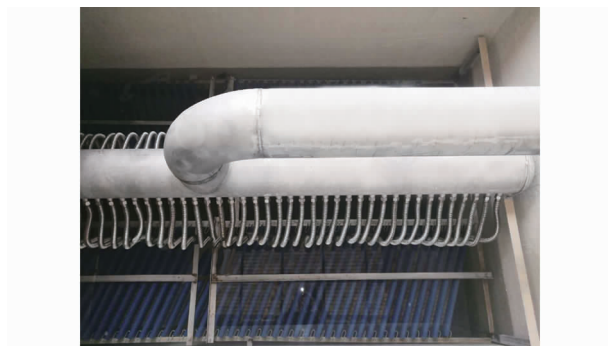


图4 单格膜装置实景

Fig.4 Photo of single membrane tank

3 超滤膜工艺运行分析

浸没式超滤膜工艺主要包括产水、气水反洗、曝气、维护性化学清洗与恢复性化学清洗等流程。产水周期为1.5 h,反洗频率为16次/d,反洗时间为100 s,曝气频率为32次/d,曝气时间为60 s,维护性清洗周期为1次/45 d,恢复性清洗周期为1次/a。膜滤池与清水池的液位差为1.5 m,实现了低液位差的虹吸运行。当产水量为设计产水量($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)时,实际产水量为 $2.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,膜通量为 $35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,跨膜压差为5 kPa。用水高峰期时,产水量可达 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,膜通量为 $50.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,跨膜压差为10 kPa。产水平均回收率超过96%。

工程投运以来,系统运行稳定,实现了在虹吸运

行条件下产水量翻倍的目标,技术和经济指标达到设计要求,进水浊度在5~80 NTU波动时,膜的产水浊度为 (0.025 ± 0.005) NTU,产水水质优良。经第三方机构检测,产水水质优于新国标要求。

3.1 跨膜压差及产水量随运行时间的变化

跨膜压差指超滤膜产水过程中膜两侧的压力差,是表征超滤膜运行状态的一个重要参数。在相同的膜通量下,跨膜压差越低,表明膜的透水能力越强。跨膜压差的大小决定了系统运行能耗的高低,是膜水厂重点监测的参数。罗桥水厂已投产的8格膜池中,每格膜池运行工况稍有不同,以4#膜池为例,对跨膜压差进行分析。图5为跨膜压差及产水量随运行时间的变化。

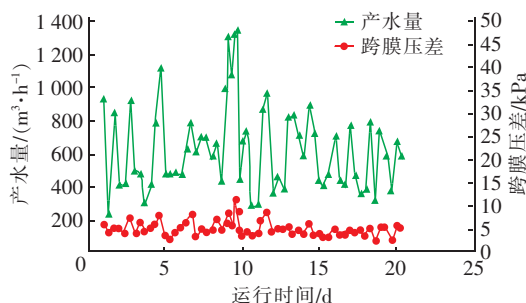


图5 跨膜压差及产水量随运行时间的变化

Fig. 5 Change of transmembrane pressure and water production with operation time

从图5可以看出,在用水高峰期膜池产水量为 $1\ 070 \sim 1\ 388\ \text{m}^3/\text{h}$,在用水低峰期为 $215 \sim 479\ \text{m}^3/\text{h}$,跨膜压差保持在3~10 kPa之间。综合来看,跨膜压差处于较低的水平,说明虹吸式超滤膜系统运行稳定,膜污染程度较轻,设计运行参数合理。

3.2 跨膜压差与产水量之间的关系

膜的产水量不同,跨膜压差也不同。同一天的跨膜压差与产水量之间的关系见图6。

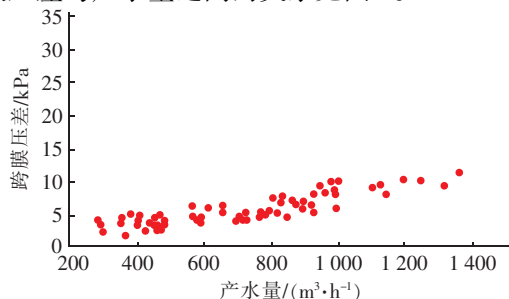


图6 跨膜压差与产水量关系

Fig. 6 Relationship between transmembrane pressure and water yield

从图6可以看出,产水量增大,则跨膜压差也相应增大。超滤膜在设计产水量($2.0 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$)条件下运行时,跨膜压差为5 kPa;产水量为 $3.0 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 时,跨膜压差为10 kPa,这个数值离1.5 m的虹吸水头值还有余量,说明该工艺适用于老水厂扩容改造,实现水质和水量同时提升。

4 产水水质分析

4.1 产水浊度

浊度是重要的水质指标。浸没式超滤膜系统的原水、沉淀池出水和膜滤池产水浊度均由在线浊度仪进行实时监测。改造后工艺运行期间原水浊度、沉淀池出水浊度及膜滤池产水浊度数据如表1及图7所示。

表1 各工艺阶段浊度对比

Tab. 1 Comparison of turbidity in various stages of the process

NTU		
项目	最大值	最小值
原水浊度	70	5
沉淀池出水浊度	33	1.5
膜滤池产水浊度	0.03	0.02

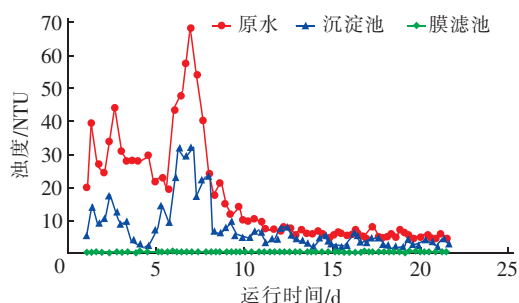


图7 各工艺阶段产水浊度对比

Fig. 7 Comparison of turbidity in various stages of the process

从表1、图7可知,原水水质波动较大,原水最高浊度值达70 NTU,沉淀池出水浊度波动也较大,最高浊度值达33 NTU,而膜滤池出水浊度一直维持在0.03 NTU及以下。这表明在原水水质发生急剧变化、沉淀池负荷增大的情况下,经过虹吸膜滤池的处理,产水水质都能维持稳定,表现出超滤膜优越的截留性能。

4.2 产水水质检测指标

根据《生活饮用水标准检验方法 感官性状和物理指标》(GB/T 5750.4—2006),超滤膜系统出水中的浊度、无机物、色度、 COD_{Mn} 以及细菌总数等指标均远远低于新国标限值,其余指标也满足新国标的要求。各项产水水质指标检测值如表2所示。

表2 产水水质指标检测值

Tab.2 Test values of water quality

项目	限值	检出值
色度/度	15	<5
浊度/NTU	1,水源与净水技术条件限制时为3	0.03
臭和味	无异臭、异味	无异臭、异味
肉眼可见物	无	无
pH值	不小于6.5且不大于9.5	7.46
铝/(mg·L ⁻¹)	0.2	<0.04
铁/(mg·L ⁻¹)	0.3	<0.004 5
锰/(mg·L ⁻¹)	0.1	0.02
铜/(mg·L ⁻¹)	1.0	<0.009
砷/(mg·L ⁻¹)	0.01	<0.000 3
汞/(mg·L ⁻¹)	0.001	<0.000 04
镉/(mg·L ⁻¹)	0.005	<0.000 1
铬(六价)/(mg·L ⁻¹)	0.05	<0.000 1
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	3,水源限制,原水耗氧量>6 mg/L时为5	0.05
菌落总数/(CFU·100 mL ⁻¹)	100	<1
总大肠菌群/(CFU·100 mL ⁻¹)	不得检出	0
耐热大肠菌/(CFU·100 mL ⁻¹)	不得检出	0
大肠埃希氏菌/(CFU·100 mL ⁻¹)	不得检出	0
贾第鞭毛虫/(个·10 L ⁻¹)	<1	0
隐孢子虫/(个·10 L ⁻¹)	<1	0

5 主要经济指标分析

由于改造工程中的超滤膜装置利用膜滤池与清水池之间的液位差进行虹吸产水,再无其他动力消耗。

① 电耗。根据反洗及曝气的电耗进行计算,电耗仅为0.005 kW·h/m³[电价按0.75元/(kW·h)计],折合电费为0.004元/m³。

② 药耗。包括维护性清洗的药耗及恢复性清洗的药耗。

a. 维护性清洗药耗

次氯酸钠的浓度为100 mg/L,维洗周期为1次/45 d,则维护性清洗药剂成本为0.000 7元/m³。

b. 恢复性清洗药耗

设计的恢复性清洗周期为1次/a,清洗所用次氯酸钠浓度为1 000 mg/L,柠檬酸浓度为2 000

mg/L,则恢复性清洗药剂成本为0.000 1元/m³。

③ 膜折旧费。膜使用寿命按7年计算,固定折旧费用为0.058元/m³。

综上所述,虹吸膜系统总成本为0.063元/m³,其中日常运行维护费用仅为0.004 8元/m³。

6 结论

罗桥水厂的旧工艺改造为虹吸浸没式超滤膜工艺的成功实施,为国内水厂的工艺改造及水质提升提供了成功的示范。同时,再次凸显了超滤膜工艺应对老旧水厂改造的优越性。

① 原位改造,产能翻番,施工周期短。未新增用地,充分利用现有设施,将原有的虹吸砂滤池土建主体结构直接改造成虹吸膜池,产水量由1×10⁴ m³/d提升到2×10⁴ m³/d(设计值),改造工程突破了“先拆后建”的传统,土建工程量少。

② 浸没式超滤膜系统产水水质好,截留精度高,产水水质优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

③ 浸没式超滤膜系统装填密度高,可实现高通量、高水回收率条件下的低跨膜压差运行。

④ 浸没式超滤膜系统电耗低、药耗小,日常运行维护费用为0.004 8元/m³,运行费用低。

⑤ 原水浊度曾经达到80 NTU,此时沉后水浊度为33 NTU,产水浊度稳定在(0.025±0.005) NTU,证明虹吸浸没式超滤膜系统在原水水质大幅波动条件下,仍能生产优质的饮用水。

综上所述,虹吸浸没式超滤膜工艺可实现无泵、低液位差条件下膜长期稳定运行,同时产水能力大幅提升。其主要原因有两个:第一,膜具有在超低压条件下工作的优异性能;第二,系统通过先进的监测调控手段,对膜的污染状况进行在线分析,通过智能化系统实时调整膜的运行参数和清洗维护方案,从而使膜系统的跨膜压力一直保持在合理范围,确保膜系统始终在1.5 m以下的虹吸液位下运行。

参考文献:

[1] 李圭白,田家宇,齐鲁. 第三代城市饮用水净化工艺及超滤的零污染通量[J]. 给水排水,2010,36(8):11-15.

Li Guibai, Tian Jiayu, Qi Lu. The third generation of urban drinking water treatment process and zero-membrane foul-

(下转第95页)