

超滤膜组合工艺在大型净水厂扩建工程中的应用

刘前军, 周胜昔

(浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 为及时发挥千岛湖配水工程效益, R 水厂启动扩建工程, 新建 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 预处理、 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 常规处理和 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 超滤膜深度处理构筑物。介绍了 R 水厂扩建工程工艺流程和浸没式超滤膜系统的设计。一期工程预处理由生物接触氧化调整为预臭氧工艺, 末端增加浸没式超滤膜系统; 扩建工程设计采用“预臭氧 + 平流沉淀、炭砂滤池 + 浸没式超滤膜”组合净水工艺。设计出水水质目标优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

关键词: 大型净水厂; 扩建工程; 预臭氧; 炭砂滤池; 浸没式超滤膜

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0065-04

Application of the Combined UF Membrane Units in Large-scale Waterworks Extension Project

LIU Qian-jun, ZHOU Sheng-xi

(Zhejiang Urban and Rural Planning, Design and Research Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: In order to exert the function of the Thousand-island Lake's water distribution project, the extension project of waterworks was started. The extension project included pretreatment stage with capacity of $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, conventional treatment stage with capacity of $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and UF membrane advanced treatment stage with capacity of $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The designs of flow process of the extension project and submerged-ultrafiltration-membrane unit were introduced. In the pretreatment process of the first phase project, the biological contact oxidation stage was changed to the ozone pre-oxidation. At the end of the first phase project, submerged-ultrafiltration-membrane stage was used; the extension project adopted combined processes of ozone pre-oxidation + horizontal sedimentation tank/filter filled with dual media of GAC-sand + submerged-ultrafiltration-membrane. The final effluent quality will be better than the *Standards for Drinking Water Quality*(GB 5749 - 2006).

Key words: large-scale waterworks; extension project; ozone pre-oxidation; GAC-sand dual media filter; submerged-ultrafiltration-membrane

为保障饮用水供水安全和改善供水水质, 杭州市确定实施第二水源千岛湖配水工程。该工程从淳安县境内取千岛湖水, 通过原水隧洞为杭州市及沿途部分城市等提供优质千岛湖原水, R 水厂为其中受水厂之一。为及时发挥千岛湖配水工程效益, 结合区域内供水需求, R 水厂于 2015 年启动扩建工程, 扩建后水厂达到 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模。

R 水厂位于杭州市 X 区, 水厂按照 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 总规模一次征地完成, 一期工程设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用“生物接触氧化预处理 + 平流沉淀、砂滤常规处理 + O_3 - BAC 深度处理”组合工艺。一期工程从 2012 年建成投产至今运行良好, 供水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 和《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》(2013 年

版)。R水厂于2015年通过评审,获“浙江省城市供水现代化水厂”称号。

1 原水水质及出水水质目标

R水厂一期工程水源为东苕溪地表水,千岛湖配水工程建成后,R水厂水源将调整为千岛湖水库水,东苕溪水作为备用水源。东苕溪原水中氨氮、高锰酸盐指数等水质指标以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类为主,偶有超标至Ⅲ类和Ⅳ类的情况,总氮指标超过Ⅲ类,说明东苕溪水受到微污染;千岛湖原水总体情况良好,水质指标基本以Ⅰ类为主,但也存在总氮等指标超标的情况。

本工程设计出水水质除达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)外,还需满足《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》(2013年版)要求。后者有11项水质指标优于前者,其中要求主要控制指标浑浊度 ≤ 0.1 NTU,年检测合格率 $\geq 95\%$ 。

2 扩建工程工艺设计

R水厂定位为X区规模最大的“现代化水厂”,其净水工艺必须有较高的安全性和先进性。扩建工程总体上仍采用和一期工程一致的“预处理+常规处理+深度处理”组合工艺,具体的工艺形式通过方案比选后确定。

2.1 预处理工艺

R水厂一期工程建有生物接触氧化池。实际运行中由于原水氨氮等指标不高,悬浮填料挂膜量较少,无法充分发挥生物接触氧化池的去除微污染功能。

经分析原水水质情况和水污染风险,扩建工程预处理主要考虑主水源千岛湖水低浊、低温的情况,同时兼顾备用水源东苕溪水微污染和千岛湖水突发性污染等情况。因此预处理主要是助凝和去除微量有机污染物以及突发污染事故的重金属和臭味等。扩建工程设计采用臭氧预处理工艺,一期工程已建有臭氧发生装置,设备可直接投入使用;一期工程预留了高锰酸盐投加设备用地,预处理工艺设计预留高锰酸盐投加点。

预臭氧池按照总规模 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,一期已建 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生物接触氧化池备用。

预臭氧池前端的组合稳压井平面尺寸为 $23.6 \text{ m} \times 32.2 \text{ m}$,分为可独立运行的4格。臭氧设计投加浓度为 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/L}$,接触反应时间为 5.0 min 。

2.2 常规处理工艺

2.2.1 工艺选择

扩建工程常规处理工艺前段采用和一期工程一致的平流沉淀池,后段主要对砂滤+ O_3 -BAC、炭滤池、炭砂滤池等几种方案进行比选。

① 砂滤+ O_3 -BAC方案

该方案的优点是出水水质保证率很高。此外,扩建工程和一期工程构筑物在平面上可平行布置,高程上可保持一致,厂区总体上协调性强。在水质较好的时候可以实现 O_3 -BAC滤池超越(即砂滤池直接出水至膜系统)或者膜系统超越(即 O_3 -BAC滤池直接出水至清水池)等多种灵活的运行方式。

该方案的缺点是砂滤池在膜系统前部,对沉淀池出水浊度已经有了较高的去除率,这样就无法充分发挥膜系统的除浊功能。该方案一次性投资较大,在不实行超越的工况下运行费用较高,且构筑物较多,不利于厂区总平面布置。

② 炭滤池方案

该方案的优点是省掉了砂滤池,可降低工程投资;缩短了工艺流程,可增加进入膜系统的水头,降低日常运行能耗。

该方案的缺点是炭滤池对浊度的去除率较低,出水浊度无法稳定达标,造成膜系统无法超越,整体运行方式不够灵活。

③ 炭砂滤池方案

炭砂滤池是活性炭-石英砂双层滤料滤池的简称,具有较好的除浊功能,因此在进水水质较好的情况下,炭砂滤池后面的膜系统可以超越,提高了水厂运行的灵活性,也有利于降低运行成本。本工程今后的主水源为千岛湖水,原水水质较好,因此采用炭砂滤池以后膜系统具备超越条件。

经综合考虑,扩建工程常规工艺后段推荐采用炭砂滤池。

2.2.2 平流沉淀池和炭砂滤池设计

新建平流沉淀池设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸为 $120.9 \text{ m} \times 30.9 \text{ m}$,分为可独立运行的2格。本池为叠合式,上层为机械搅拌混合池、折板反应池、平流沉淀池,下层为清水池。设计混合时间为 52 s ;反应时间为 18.6 min ;沉淀时间为 2.0 h ;清水池容积为 $2.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,为设计规模的 14.5% 。

新建炭砂滤池设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸为 $52.8 \text{ m} \times 48.9 \text{ m}$,采用气水反冲洗普通快滤

池,双边布置,共10格,滤池单格尺寸为 $15.0\text{ m} \times 8.0\text{ m}$ 。设计滤速为 7.7 m/h ,强制滤速为 8.5 m/h 。采用双层滤料,上层炭层厚度为 1.3 m ,下层砂层厚度为 0.5 m ,底部为 0.25 m 厚的卵石承托层。采用气水联合冲洗方式,单独气冲洗强度为 $15\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,冲洗时间为 3 min ;单独水冲洗强度为 $7\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,冲洗时间为 10 min 。炭砂滤池出水直接进入清水池(超越膜处理)时,初滤水排至回用水调节池,通过水泵提升至稳压井回用。

2.3 深度处理工艺

2.3.1 工艺选择

扩建工程深度处理采用超滤膜工艺。净水工艺中常用的超滤膜系统分为压力式和浸没式两种,在国内外均有广泛应用,二者比较如下^[1-3]。

① 运行方式及能耗

压力式膜系统:一般采用压力进水、自流出水的运行方式,其进水压力调节范围大,系统高程布置更加灵活,产水量调节余地较大,但存在进出水剩余水头较难完全利用、运行能耗较高的弊端。

浸没式膜系统:一般采用重力进水、虹吸或泵抽吸出水方式,系统高程布置有一定限制,其优点是能充分利用进出水剩余水头,运行能耗较低。

② 占地面积和投资

压力式膜系统:膜通量较高,可采用较少的膜组件,但其管路复杂、阀门多,系统集成度高。

浸没式膜系统:膜通量较低,需采用较多的膜组件,但其管路系统相对简单且能明显减少阀门数量。

综合来看,大型净水厂中压力式和浸没式膜系统占地面积基本相当;压力式膜系统总体投资一般高于浸没式膜系统。

③ 进水适应性及日常维护管理

压力式膜系统:膜组件置于密闭容器中,过流通道小,要求进水端设置自清洗过滤器等预处理设施,抗污堵能力差,适于经处理或水质较好的水源水,但其膜组件无过滤死角,工作时反冲洗要求简单。

浸没式膜系统:膜组件置于开放式的池体内,过流通道宽,只要求简单的预处理,抗污堵能力强,适用水质范围广,但其膜组件存在工作死角,除水冲洗外还需增加气擦洗以保证反冲洗效果。

压力式和浸没式膜系统的清洗均为在线自动控制,较为方便。压力式膜系统集成度高,维护技术要求相对较高;浸没式膜系统日常维护技术要求相对

较低,较易自行维护和积累管理经验。

R水厂原水为千岛湖水,膜系统前设置了反应沉淀和过滤单元,进膜系统的水浊度 $<1\text{ NTU}$,进水水质好,压力式和浸没式超滤膜系统均适用本工程。根据设计高程,扩建工程的炭砂滤池出水与清水池水位之间有 3.30 m (清水池高水位时) $\sim 5.30\text{ m}$ (清水池中水位时)水位差可利用,浸没式超滤膜系统的重力进水和虹吸自流出水的优势得以体现。

综合考虑充分利用剩余水头和降低运行能耗、简化膜系统和降低工程投资、方便日常运行和维护管理等因素,最终确定深度处理采用浸没式超滤膜系统。

2.3.2 膜系统基本参数

膜丝材料为PVDF中空纤维膜,孔径 $<0.05\text{ }\mu\text{m}$,平均膜孔径为 $0.02\text{ }\mu\text{m}$,跨膜压差为 $0\sim 60\text{ kPa}$,膜丝断丝率 $\leq 0.1\%/a$ 。膜组件采用模块化设计,膜箱框架及导轨等采用不锈钢材质。

设计名义膜通量为 $30\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,一格反冲洗时膜通量为 $34\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,一格检修、一格反冲洗时膜通量为 $40\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。正常的反冲洗根据时间自动控制,也可根据跨膜压差自动控制。每次反冲洗时间为 2.5 min ,其中水冲洗强度为 $60\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,反冲洗频率为 $1\text{ 次}/60\text{ min}$;气冲洗强度为 $80\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,反冲洗频率为 $1\text{ 次}/60\text{ min}$ 。膜的维护性化学清洗时间为 $10\sim 30\text{ min}$,采用 NaClO (有效氯含量为 $100\sim 200\text{ mg/L}$),清洗频率为 $1\text{ 次}/(7\sim 15)\text{ d}$;恢复性化学清洗时间为 $2\sim 4\text{ h}$,采用 NaOH (0.5%)、 HCl (0.5%)或柠檬酸(2%)和 NaClO (有效氯含量为 $500\sim 1\,000\text{ mg/L}$),清洗频率为 $1\text{ 次}/(0.5\sim 1)\text{ a}$ 。

2.3.3 膜车间设计

膜车间设计总规模为 $40 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,分为A、B两个车间,每个车间内设2组可独立运行的膜池,每组膜池规模为 $10 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,每组膜池又细分为8格,则每格膜池设计规模为 $1.25 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。每格膜池内设8个膜箱,则总计256个膜箱,按照设计名义膜通量为 $30\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 计算,单个膜箱面积为 $2\,170\text{ m}^2$ 。

膜车间平面总尺寸为 $76.10\text{ m} \times 71.00\text{ m}$,包括膜池、二次提升泵室、反冲洗水泵室、鼓风机房、加药间、配电控制室和化学清洗池(上部为酸碱药液池,下部为酸碱中和池)等。

2.4 扩建工程工艺流程及高程、平面布置

2.4.1 工艺流程

工艺流程为:预臭氧预处理+平流沉淀、炭砂过滤常规处理+浸没式超滤膜深度处理(见图1)。

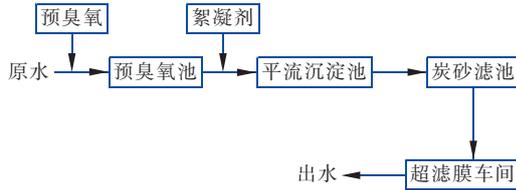


图1 扩建工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of extension project process

2.4.2 扩建工程高程布置

扩建工程的炭砂滤池出水与清水池水位之间有较大水头差,炭砂滤池出水可重力进入A车间,且日常运行时一般为虹吸自流水,只有当水位差较小、跨膜压差较大时,才需采用水泵抽吸出水,膜系统运行能耗低。

一期工程的 O_3 -BAC滤池出水重力进入B车间。当一期工程砂滤池出水水质较好时,可超越 O_3 -BAC滤池直接进入B车间,该工况和扩建工程的高程布置一致。当一期工程采用全流程,即 O_3 -BAC滤池出水后进入B车间时,进水需经二次提升后进入膜池,提升泵及吸水池设在B车间进水端,不另设提升泵房。

2.4.3 扩建工程平面布置

扩建工程主要构筑物建在厂区南侧预留用地内,新建平流沉淀池、炭砂滤池和膜车间由西至东顺水流方向依次布置,平面布置见图2。



图2 水厂平面布置

Fig.2 Plane layout of waterworks R

3 工程投资及运行成本

预臭氧池和膜处理车间建设规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平流沉淀池和炭砂滤池建设规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,以上新建构筑物工程投资概算为25 200万元,折合约880元/ m^3 ,其中膜系统(不含土建费用)

约300元/ m^3 ,占工程投资的34%。

扩建工程直接运行成本主要为混凝剂、膜清洗化学药剂费和电费等,测算费用为0.08~0.12元/ m^3 。膜使用寿命为5~8a,测算膜更换费用为0.08~0.13元/ m^3 。从测算费用来看,膜更换费用和直接运行成本基本相当,说明目前运行成本中膜更换费用较高。

4 结论

① 为及时发挥千岛湖配水工程效益,结合区域内供水需求,适时扩建R水厂是必要的。

② R水厂扩建工程采用“预臭氧预处理+平流沉淀、炭砂过滤常规处理+浸没式超滤膜深度处理”组合工艺。

③ 为充分利用剩余水头和降低运行能耗、简化膜系统和降低工程投资、方便日常运行和维护管理,深度处理采用浸没式超滤膜系统。

④ 经测算,膜更换费用和直接运行成本基本相当,说明目前运行成本中膜更换费用较高。

参考文献:

- [1] 严伟婵. 压力式超滤膜处理工艺技术的工程应用[J]. 净水技术,2013,32(S):49-50.
- [2] 纪洪杰,于海宽,沈裘昌,等. 大型浸没式超滤膜水厂的设计及运行[J]. 中国给水排水,2013,29(18):42-47.
- [3] 王慧娟,段新耿. 浸没式超滤膜技术在新疆某净水厂的应用[J]. 中国给水排水,2014,30(14):77-80.



作者简介:刘前军(1977-),男,湖北公安人,工学博士,教授级高工,多年从事市政给排水工程规划研究与设计工作。

E-mail:lqj0712@163.com

收稿日期:2016-11-15