

超滤膜组合工艺在大型现代化桃源水厂中的应用

周正协

(宁波市自来水有限公司, 浙江 宁波 315041)

摘要: 在宁波市桃源水厂的设计中,通过前期对水源水质、同类水源水厂运行情况、超滤膜中试结果、江东水厂超滤膜近两年运行情况的调研和分析,提出了采用预氧化+混凝+沉淀+超滤+消毒的处理工艺,该水厂设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是目前国内在建规模最大的现代化超滤膜水厂。原水水质基本达到地表水Ⅱ类水质标准,出水水质执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。通过设置石灰、高锰酸钾和粉末活性炭等投加系统,并将超滤膜设置于处理工艺后端,使该系统对突发性原水水质污染的保障能力远远超过常规工艺,同时降低了消毒剂的使用量,减少了氯化消毒副产物的生成量,从而提高了出水的生物安全性和化学安全性。

关键词: 两路水源; 浸没式超滤膜; 优质水标准; 生物安全; 化学安全

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0071-06

Application of UF Membrane Combination Process in Large Modern Taoyuan Waterworks

ZHOU Zheng-xie

(Ningbo Water Supply Co. Ltd., Ningbo 315041, China)

Abstract: On the basis of analyzing water quality of raw water source, operation experience of similar waterworks, pilot test results of UF membrane, the operation performance of the UF membrane in Jiangdong waterworks in the last two years, the water purification process of “preoxidation + coagulation + precipitation + UF + disinfection” was put forward. The treatment capacity of the plant is $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, which is the largest scale UF membrane waterworks under construction in China. The raw water could reach class Ⅱ of the surface water quality standards, the designed water quality requirement was above *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749 – 2006). Through application of the lime, potassium permanganate and powder activated carbon dosing system, respectively, and setting ultrafiltration membrane device on the back end of the process, its security ability is better than conventional technology for water pollution of sudden raw water. Meanwhile, it decreased the usage of disinfectants, and the production of chlorinated disinfection by-products was reduced as well. Thus, the biological safety and chemical safety of water were improved.

Key words: two ways water source; submerged ultrafiltration membrane; high quality water standard; biological safety; chemical safety

宁波市自来水有限公司供水范围覆盖宁波市中心城区,下辖四个净水厂,总设计制水能力为 $150 \times$

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2017 年最高日供水量高达 $144.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 接近满负荷。更为严峻的是随着城乡供水一体化工作的持续推进, 还有鄞州区的东钱湖旅游度假区、邱隘、东吴等五个乡镇以及海曙区的鄞江等部分乡镇亟待被纳入供水范围, 同时为积极配合市府将东钱湖区域作为宁波城市的后花园建设的工作要求, 在 2018 年底之前必须在东钱湖区域实现城市大网供水, 因此新建一座净水厂满足宁波城市供水要求迫在眉睫。根据相关规划文件, 拟新建供水量为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的桃源水厂, 且列为市重点项目, 建设期从 2016 年 8 月—2019 年 6 月, 出厂水水质需达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 的要求, 同时满足最新版《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》(2013) 的相关要求。

1 水源水质及出厂水水质标准

1.1 出厂水水质标准

桃源水厂按照现代化水厂的标准建设, 《浙江省城市供水现代化水厂评价标准》是在卫生部《生活饮用水卫生规范》(2001) 的基础上, 同时参考美国 EPA 和欧盟现行水质标准等一些发达国家的水质标准以及住建部的相关标准制定的, 它在色度、浊度、耗氧量和亚硝酸盐等 12 个项目方面比卫生部《生活饮用水卫生规范》(2001) 相应的项目提出更高的要求, 桃源水厂具体执行的出厂水水质标准如表 1 所示。

表 1 桃源水厂出厂水执行标准

Tab. 1 Standard of Taoyuan waterworks' finished water

项 目	限值	备注
色度(铂钴标准)/度	≤ 5	不得有异色
嗅和味/级	无	强度等级 0~1
浑浊度/NTU	≤ 0.1	
铁/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 0.2	
锰/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 0.05	
pH 值		7.0~8.5
耗氧量(COD_{Mn} 法, 以 O_2 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 2.0	水源水限制, 原水耗氧量 > 6.0 时, 限值为 < 3.0
菌落总数/($\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$)	≤ 30	
三氯甲烷/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 0.030	
三卤甲烷/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 0.080	或各单项比之和值 < 0.8
总有机碳/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 4.0	
亚硝酸盐(以 N 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 0.1	
注: 其余水质项目执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。		

1.2 水源概况

桃源水厂采用了绍兴市新昌县钦寸水库和宁波市溪下水库两路水源, 其中以钦寸水库为主供水源。两座水库的山区植被良好, 树林茂盛, 人烟稀少, 基本没有污染源, 根据国家城市供水水质监测网宁波监测站对水质的调查结果, 两座水库的水质基本达到作为饮用水集中式生活饮用水源的 I~II 类水质标准。

2 净水工艺选择

2.1 现状水厂工艺及出水情况

公司现状下辖 4 座净水厂, 除提标改造后的江东水厂采用的是超滤膜组合工艺外, 其余 3 座净水厂均采用混凝/沉淀/砂滤/消毒常规工艺, 净水构筑物主要为折板絮凝池、平流沉淀池、砂滤池等, 消毒方式均为次氯酸钠消毒。这 3 座净水厂出厂水各项指标均可以达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 要求, 也基本都可以达到浙江省现代化水厂优质水标准, 但是由于宁波地区原水水质具有偏酸、碱度低的特性, 再加上地处东南沿海, 原水水质经常受台风天气影响产生剧烈波动, 部分水厂出厂水浊度有时会超出优质水标准所要求的 $\leq 0.1 \text{ NTU}$ 的标准, 出厂水平均值在 0.08 NTU 左右, 十分接近 0.1 NTU , 有进一步提升的空间。

2.2 超滤膜中试

早在江东水厂超滤膜改造之前, 公司牵头开展了混凝+沉淀+浸没式超滤工艺处理水库原水的效果和可靠性研究, 通过现场中试试验, 确定超滤膜组合工艺对宁波地区水库原水的适应性及运行的稳定性, 现场中试试验研究持续 4 个月, 结果表明采用混凝沉淀+超滤式工艺可使出水浊度稳定在 0.06 NTU 左右, 且处理效果稳定可靠; 试验过程中, 在通量为 $35 \sim 45 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 条件下, 超滤膜系统跨膜压差均稳定在 20 kPa 以下; 浸没式超滤膜对宁波水库水的适应性较强, 在试验末期采用混凝出水直接过膜, 在高通量条件下出水浊度和跨膜压差无明显变化^[1]。

2.3 江东水厂运行情况

江东水厂改造后成为目前国内规模最大的超滤膜改造水厂, 至今已运行两年多, 出厂水浊度稳定在 0.07 NTU 以下(如表 2 所示), 并能将细菌、“两虫”、藻类与水生生物几乎全部去除, 有效保证了出厂水的生物安全性, 同时, 细菌的去除降低了消毒剂

约10%的耗用量,降低了因氯消毒而产生的化学安全性^[2]。另外,即使在原水水质发生大幅波动时依然可以将出厂水水质稳定地保证在高水平,极大地提高了供水安全性,曾经有一次因台风引发暴雨导致原水浊度在100 NTU以上,沉淀池出水浊度为8 NTU时,超滤池出水浊度仍然稳定在0.1 NTU以下。

表2 江东水厂进、出水浊度对比

Tab.2 Comparison of turbidity between influent and effluent of Jiangdong Waterworks NTU

原水	沉淀水	原工艺出水	超滤工艺出水
3.3	1.25	0.15	0.07
1.9	0.88	0.10	0.06
1.6	0.87	0.09	0.07
2.1	1.33	0.08	0.06

3 净水工艺流程

浸没式超滤膜产水量高、能耗低、便于与其他工艺相结合^[3],桃源水厂最终确定采用预氧化+混凝+平流沉淀+浸没式超滤+消毒工艺(见图1)。

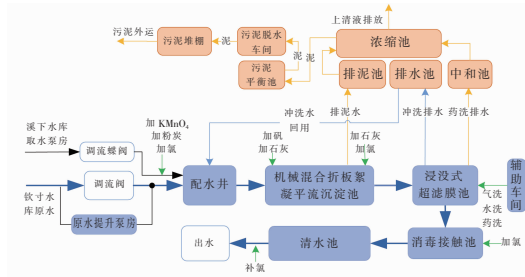


图1 桃源水厂净水工艺流程

Fig.1 Flow chart of Taoyuan Waterworks process

桃源水厂采用钦寸水库和溪下水库两路原水,任何一路原水出现问题时都能满足水厂70%以上的生产负荷,大大提高了生产系统的安全性和稳定性。

在进水方式上,桃源水厂借鉴了公司其他4个水厂运行管理过程中的宝贵经验,充分利用钦寸水库高位优势,在高水位时采用重力流进水,在低水位时采用调流阀进水,以降低水厂的运行能耗。

在药剂投加方面,桃源水厂的设计充分考虑到各种水质情况,配备了日常必需的加矾系统、石灰投加系统、次氯酸钠投加系统,以及应急情况下所需的高锰酸钾投加系统、粉末活性炭投加系统。

在污泥处理方面,考虑到水厂平时低浊原水产生的污泥较少,但是台风季节强降雨引起的高浊度

原水产生的污泥量会猛增的规律,配置了3台30 m³/h处理能力的离心机组,运行方式更灵活。

3.1 原水提升泵房

在钦寸水库处于中、高水位时,原水自流至桃源水厂配水井,当原水进厂水位低于71.0 m时需通过原水提升泵房提升,经配水井配水后送入沉淀池。原水提升泵房按50×10⁴ m³/d的规模一次设计建成。利用输水隧洞调压作为提升泵房吸水井。提升泵房尺寸为16 m×54.5 m×16 m(地下深度),共设5台水泵(4用1备),均采用变频调速,水泵流量为5 470 m³/h,扬程约305 kPa,功率约800 kW。水泵采用正进水,可5台同时启动,满足60×10⁴ m³/d的取水。

同时设置原水提升泵房超越管,当原水水位较高时超越原水提升泵房,直接进入沉淀池以充分利用原水水位,节约能源。在超越管上设置管道消能设施,避免原水水位过高时对后续处理造成影响。

3.2 混凝沉淀池

采用机械混合、折板絮凝、平流沉淀池,共4组,每组规模为12.5×10⁴ m³/d,可分为2格独立运行。采用机械搅拌混合方式,共8座混合池,每座能力6.25×10⁴ m³/d,内设快速搅拌机1台。混合池与絮凝沉淀池合建,混合时间为20 s, G值≥500 s⁻¹,平面尺寸约为2.7 m×2.7 m,有效水深约3.3 m,内设加矾、加石灰设施。在原水进入混合池前设置加次氯酸钠设施,采用管道投加方式,前加氯作为预留设施,在实际运行时可根据进水水质变化情况决定是否投加,从而灵活适应水质要求。

絮凝采用竖向流单通道多级串联的折板絮凝形式,絮凝时间为20 min,有效水深为4.20~3.50 m。平流沉淀池设计停留时间为80 min,水平流速为18 mm/s,单座沉淀池平面尺寸约为124.7 m×30.7 m,有效水深为3.2 m,积泥区0.3 m,沉淀池总水深为3.5 m。沉淀池排泥采用底部刮泥形式,每座沉淀池设置4台底部刮泥机。

3.3 浸没式超滤膜池

采用浸没式超滤膜池,设为独立的2座,双排布置,每座设10格,单格面积为116 m²。设计膜通量为25 L/(m²·h),强制膜通量(2格同时离线时)为28 L/(m²·h),单格膜池内设置膜箱24个,单个膜箱规格为2.18 m×1.65 m×2.8 m,膜面积为1 820 m²。单个膜池平面尺寸为10.82 m×10.75 m,膜池

及辅助房平面尺寸约 $126.4\text{ m} \times 46.1\text{ m}$ 。

膜池进水采用配水堰,产水采用虹吸方式,产水管接入膜池管廊下部的调节水池,在产水管上设置调流阀,调流阀前后设置压力表,膜池正常过滤水位差为 3.75 m 。在超滤膜跨膜压差 $>37.5\text{ kPa}$ 时,采用提升泵提升,在膜池下部设置调节池及提升水泵,水泵提升净扬程为 22.5 kPa ,即设计超滤膜跨膜压差最大为 60 kPa ,水泵设6台(4用2备),采用潜水中轴流泵,单泵流量为 $6\,860\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 27.8 kPa ,功率为 132 kW 。

膜池冲洗方式为气水反冲,设计空气冲洗强度为 $55\text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (池体面积);水反冲洗强度为 $60\text{ L}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (膜丝面积)。反冲洗气及反冲洗水由反冲洗泵房的鼓风机和反冲洗水泵提供。鼓风机2用1备, $7\,200\text{ m}^3/\text{h}$,风压为 60 kPa ,功率为 160 kW ;反冲洗水泵水量为 $1\,530\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 130 kPa ,功率为 75 kW ,4用2备。

膜池维护性清洗采用次氯酸钠,恢复性化学清洗采用先碱洗后酸洗,碱洗采用 NaOH 和 NaClO ,酸洗采用 HCl 和柠檬酸,另外储存亚硫酸钠用于脱氯。恢复性清洗用化学药剂可以设置于鼓风机房下部,在提升泵房上部设置配电间。膜池下部设置消毒接触池,消毒池水深为 4 m ,总容积约 $11\,000\text{ m}^3$ 。消毒接触时间为 30 min ,加氯点设置在产水堰及提升泵之后。

3.4 清水池

清水池叠在絮凝沉淀池下,共4座,总容量为 $72\,000\text{ m}^3$,每座容量为 $18\,000\text{ m}^3$,平面尺寸与絮凝沉淀池相同,水深为 5.5 m 。

3.5 综合加药间

加药间按照 $50 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 设计。加药间除常规使用的混凝剂、石灰、次氯酸钠外,还有作为应急使用的高锰酸钾和粉末活性炭应急投加装置。

3.5.1 混凝剂投加装置

混凝剂采用液体聚合氯化铝商品液,最大设计投加量为 50 mg/L ,平均为 25 mg/L ,投加浓度为 10% ,投加点设在混合池,共8点。在室外设地下式储液池一座,分2格,有效容积按平均投加量20天储量计,每格设有进料口。储液池内设2台耐腐蚀提升泵将矾液提升至溶液池,1用1备。加矾间设溶液池4座,为2用2调配。溶液池容积按 50 mg/L 加注量每天调配三次设计,在每座溶液池中设

慢速搅拌机1台,共4台。设6台隔膜计量泵,4用2备。

3.5.2 石灰投加装置

调节 pH 值前采用固体石灰投加,最大投加量为 15 mg/L ,平均投加量为 7.5 mg/L ,湿式投加浓度为 4% ,投加点设在絮凝池前端,共8点。石灰储量按平均投加量7天储存量计。设石灰储存、溶解装置2套,投加泵6台(4用2备)。

3.5.3 次氯酸钠投加装置

采用次氯酸钠消毒方式,前加氯量最大为 1.5 mg/L ,平均为 1 mg/L ,设置在沉淀池进水管上,共8个点。后加氯量为 $1.5 \sim 2.5\text{ mg/L}$,平均加注量为 2 mg/L 。后加氯至膜池下部消毒接触池前端,共2点。后补氯最大为 1.0 mg/L ,平均为 0.5 mg/L ,设置在出厂总管上,共2个点。设计最大加氯量为 5 mg/L ,平均加氯量为 2.5 mg/L 。加氯储量按平均投加量储存20天设计。

3.5.4 高锰酸钾投加装置

水厂原水进水管上设高锰酸钾投加点2处,新建高锰酸钾投加间,高锰酸钾氧化剂平时投加量为 1.5 mg/L ,应急时为 5 mg/L ,湿投浓度为 2% ,应急时投加浓度提高至 4% 。高锰酸钾投加点设置在2根进水管上。设高锰酸钾投加溶液池3格,每格尺寸为 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 3\text{ m}$,有效水深为 2.65 m ,计量泵4台(2用2备),2台流量为 700 L/h 。

3.5.5 粉末活性炭投加装置

粉末活性炭主要在突发水质污染时投加,投加量为 $20 \sim 30\text{ mg/L}$,投加浓度为 5% ,采用成套自动投加设备,投加点设置在沉淀池进水管上。包括活性炭料仓2套(50 m^3 ,2天储量),制备装置2套,螺杆泵3台(2用1备),单台流量为 $3.5\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.6 污泥处理系统

3.6.1 基本参数

经计算,设计干污泥量为 6.4 t/d 。最大干污泥量参考毛家坪水厂高峰期间浊度设计,设计浊度为 80 NTU ,则干泥量为 51.4 t/d 。

3.6.2 反冲洗废水调节池

反冲洗废水调节池土建按 $50 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 设计,接收膜池冲洗废水。池容积为 $3\,000\text{ m}^3$,水深为 4 m ,平面尺寸约 $32.6\text{ m} \times 21.4\text{ m}$,分2格。排水泵设6台,4用2备,单泵流量为 $180\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 160 kPa ,功率为 18.5 kW 。设置污泥搅拌机4台,每格2

台。

3.6.3 排泥水调节池

排泥水调节池按 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,接纳沉淀池排泥水。净水厂共4组沉淀池,每组 $12.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。废水调节池容积为 $3\,000 \text{ m}^3$,水深为4 m,平面尺寸约 $32.6 \text{ m} \times 21.4 \text{ m}$,分2格。排泥泵设6台(4用2备),单泵流量为 $150 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为200 kPa,功率为18.5 kW。设置污泥搅拌机4台,每格2台。

3.6.4 膜清洗中和池

膜清洗中和池按单次恢复性化学清洗中和量设计,单次化学清洗酸液碱液各一次,单次水量约 $4\,000 \text{ m}^3$,设计中和池容积为 800 m^3 。设置潜水泵2台,单泵流量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为100~120 kPa,1用1备,排除中和废水。

3.6.5 浓缩池

浓缩池设2座,采用重力浓缩方式。设计固体通量为 $0.19、0.36、1.51 \text{ kg干泥}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (排泥水总量按设计规模的3%计),停留时间为5.8 h。每天工作24 h。每座浓缩池直径为30 m,有效深度为5.4 m。

浓缩池上清液回用至沉淀池前端,在出水井内安装潜水回流泵,每座浓缩池内装3台(2用1备),也可3台同时开启,单泵流量为 $180 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为100 kPa。浓缩后的底泥重力排入污泥平衡池,上清液达标排放或回用。

3.6.6 污泥平衡池

污泥平衡池按 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,污泥储存浓度按3%计,储存容量按最大干泥量0.5天计。总容积约 860 m^3 ,分2座,有效深度为5.5 m,平衡池设计为圆形,直径为10 m。每座平衡池设推流式搅拌机2台。污泥平衡池和污泥脱水机房合建。

3.6.7 污泥脱水车间及污泥堆棚

按照 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,采用离心脱水机形式。设计脱水机每天工作8 h。设离心脱水机3台,可3台同时开启,单台离心机为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$,设计工况下1用2备。脱水机房设置5 t桥式吊车一台,起吊脱水机部件。污泥堆棚按脱水后泥饼含固率为25%计,污泥堆高为1.20 m,按储存最大泥量1天计,堆棚面积约 220 m^2 。

4 运行管理与成本

4.1 浸没式超滤膜的运行与管理

① 正常运行:采用重力产水,通过进水位辅

以流量计控制产水阀门。

② 气水反冲洗:反冲洗包括单独气冲和气水联合冲洗两个过程。反冲洗周期视进水水质,一般为1~2 h,气冲1 min,气水冲1.5 min。按每隔1.5 h冲洗一次,每天冲洗16次,每2次冲洗排水1次 100 m^3 ,每天排水总量为 $16\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,进入回收池全部回用至沉淀池前端。

③ 维护性化学清洗:周期7~15 d,NaClO溶液浓度为200 mg/L左右,浸泡30 min。每格池容为 400 m^3 ,每次用药80 kg,按15 d清洗一次,则每年浓度为10%的NaClO用药量为389.3 t。

④ 恢复性化学清洗:周期为6个月,包括碱洗和酸洗两个过程。碱洗采用0.5% NaOH,1 000 mg/L的NaClO溶液浸泡1~6 h,碱洗结束后进行酸洗,酸洗采用0.2%浓度的HCl和0.3%浓度的柠檬酸混合溶液浸泡1~6 h。每年浓度为30%的NaOH用量为267 t,浓度为10%的NaClO用量为160 t,浓度为30%的HCl用量为107 t,柠檬酸固体用量为48 t,亚硫酸钠固体用量为93 t。

以上所有过程均采用PLC自动控制。

4.2 运行管理费用

运行管理费用如表3所示,本工程制水成本约为1.97元/ m^3 (主要受超滤膜使用寿命和更换膜价格影响,不同厂家和品牌差别较大)。

表3 运行管理费用

Tab.3 Operational management cost

项目	方 案
膜耗材费用	按使用寿命为5~8年计,折合0.05~0.08元/ m^3 (按平均产水量 $43.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计)
运行管理	运行管理均采用自动化运行管理
药剂	混凝剂、次氯酸钠和PAM年药剂费约469万元;恢复性化学清洗和维护性化学清洗药剂费约182万元

5 工艺可靠性分析

5.1 对原水水质变化适应性

新建桃源水厂主水源为钦寸水库原水,隶属于绍兴市新昌县,为跨区域外来水库水源,其水库原水的风险性、水源管理的难度增大,水质安全系数降低,工艺流程应对水源安全进行评估。水库总氮总磷容易超标,存在藻类暴发的风险。水库水源具有以下特征:低温低浊难处理,出水浊度有超标风险;藻类暴发,常规处理有难度;pH值偏低,季节性锰超标;病原微生物的风险,“两虫”、剑水蚤的风险。

将超滤设置于水厂处理工艺之后,应对水源突然污染事件最为有效。因为超滤出水浊度一般都在0.1 NTU 以下,且不受膜前浊度的影响,并能将水中突然增多的微生物全部去除。即使膜的前处理不理想,膜前水质恶化,超滤仍能保障出水浊度及微生物达标,所以是应对突发水源污染最可靠的技术。

采用超滤膜净水工艺可以确保出水的浊度、藻类和微生物等的安全,有机物污染可以通过应急投加粉末活性炭来解决,所以超滤膜工艺针对突发性污染的保障能力远远超过常规工艺。

5.2 出水安全性和可靠性

对于优质的未受污染的湖、库水源水,其化学指标已能符合水质标准,仅生物指标和部分物理指标(如浊度)不达标,超滤便可获得优质饮用水,是理想的绿色工艺。超滤后向水中投加少量具有持续消毒能力的消毒剂(如氯、氯胺、二氧化氯等),从而构成一种新的城市饮用水生物致病风险控制模式,即超滤-低剂量药剂消毒。水的化学安全性得到提高,并使困扰水界的氯化消毒副产物问题得到初步解决。

6 结语

大型现代化水厂的建设本身是一个非常复杂的系统工程,优良的设计方案是其灵魂所在。桃源水厂本着安全稳定、运行可靠、因地制宜、以人为本、长久发展的设计理念进行设计,为其建设与后续发展打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 肖敏杰. 宁波市江东水厂改造工程设计[J]. 给水排水, 2016, 42(12): 24-29.
Xiao Minjie. Design for the upgrading project of Jiangdo-

ng Water Treatment Plant, Ningbo City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(12): 24-29 (in Chinese).

- [2] 王秀芳. 超滤膜技术在宁波市江东水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 77-79.

Wang Xiufang. Application of UF membrane technology to upgrading of Ningbo Jiangdong Waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 77-79 (in Chinese).

- [3] 范小江, 张锡辉, 苏子杰, 等. 超滤技术在我国饮用水厂中的应用进展[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22): 64-70.

Fan Xiaojang, Zhang Xihui, Su Zijie, et al. Application of ultrafiltration technology in drinking water treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 64-70 (in Chinese).



作者简介:周正协(1973-),男,浙江宁波人,硕士,高级工程师,主要从事饮用水安全保障技术研究。

E-mail: zcigmondliu@126.com

收稿日期:2018-02-08

珍惜资源,保护环境,建设美丽中国