

微污染水源水厂提升水质技术研究和工程实践

李树苑, 陈才高, 刘海燕, 李晓伦, 邹磊, 镇祥华
(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 根据某水厂水源现状, 为满足饮用水水质提高的需求, 在不同工艺试验研究成果的基础上, 提出采用预氧化、活性炭吸附滤池及超滤膜处理工艺与现状净水构筑物结合达到提升供水水质保障供水安全的目标。工程实践证明, 工艺选择合理, 适应微污染水源水厂的升级改造, 供水水质满足饮用水水质标准。出厂水浊度一般小于 0.03 NTU, 106 项水质项目全部达标。

关键词: 微污染源水; 供水厂; 活性炭吸附滤池; 超滤

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2013)20-0061-05

Technology and Engineering Practice of Micro-polluted Source Water Quality Improvement

LI Shu-yuan, CHEN Cai-gao, LIU Hai-yan, LI Xiao-lun, ZOU Lei, ZHEN Xiang-hua
(Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd.,
Wuhan 430010, China)

Abstract: According to the present situation of water source of a waterworks, in order to meet the increasing demand of the water quality of drinking water, based on the test and research results of different processes, the pre-oxidation, activated carbon adsorption filtration and ultrafiltration membrane process combining with the present water purification structures was proposed to improve water quality and ensure water supply safety. The engineering practice proved that the process choice was reasonable, which could upgrade the waterworks with micro-polluted source water, and the finished water quality met the standards for drinking water quality. The turbidity of finished water was less than 0.03 NTU, all the 106 water quality indexes reached the standards for drinking water quality.

Key words: micro-polluted source water; waterworks; activated carbon adsorption filter; ultrafiltration

我国早期建成的水厂一般采用常规处理工艺, 而饮用水水质标准的提高和水源水质下降造成的现状工艺不适应的状况普遍存在^[1]。为提高饮用水水质, 一方面是保护和控制水源水质处于良好的状态, 避免进一步恶化的趋势; 另一方面是对水厂的加工工艺进行改造和优化, 包括对运行管理及药剂投加点、投加量的优化等。

某以太湖流域某湖泊为水源的 A 市水厂存在供水水质较差的情况, 为此进行了改造和完善工艺流程的试验研究及改造工程建设。

A 市共 1 座水厂, 2006 年前采用湖泊水作为水源, 水源受到污染并有逐年加重的趋势, 为满足饮用水水质的要求, 进行了一系列提高供水水质的试验研究工作, 受客观条件的限制, 当时决定由以长江为水源的相邻城市水厂供清水至 A 市水厂, 再配水至用户的实施方案, 并已经建成投产。经过几年的运行, 由于经济发展以及清水输水管道长度为 36 km, 在用水量的保证和供水安全方面出现一些问题, 故决定对现状水厂进行升级改造后继续使用, 一是补充城市供水量, 二是提高城市供水水量的保证率及

安全性。

1 水源状况

水厂湖泊水源的正常蓄水量为 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$, 冬季约 $750 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该水源水量主要靠蓄水量约 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的湖泊补给, 水量能够满足需要。

2010年3月国家供水水质某监测站对源水的109项水质项目进行了检测。有机污染物水质项目中的耗氧量、COD、BOD₅ 分别为5.28、30.0、3.4 mg/L, 按照GB 3838—2002水质标准评价, 水源水质处于Ⅲ~Ⅳ类; 湖泊水库富营养化指标TN、TP分别为2.51、0.03 mg/L, 其中的TN超过Ⅴ类(2.0 mg/L), 水源已经呈现富营养化状态。在109项水质之外, 还检测了藻、2-MIB、土臭素, 分别为 $1\,300 \times 10^4$ 个/L、2.18 μg/L、21.7 μg/L。

总体上近10年来水源的有机污染变化不大, 基本上在Ⅲ~Ⅳ类, 氮磷污染有所缓解, 但是仍然严重, 有时候超过Ⅳ类甚至达到劣Ⅴ类水质, 致使水体易产生藻污染, 以及由藻类引起的异味。因此, 采用常规处理工艺已经不能满足饮用水水质要求。

2 供水现状

目前的供水系统包括市域外的清水 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 及水厂制水系统的 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。总供水能力为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

水厂制水能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 取水能力为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 水厂距水源厂2.64 km。现状工艺流程为取水→输水管道(DN800 2.6 km)→DN600管式混合器→网格絮凝气浮池→双阀滤池→清水池→送水泵房。水厂现状仅作维护性运行。

3 净水工艺试验

针对水厂扩建和水质提升, 近10年来进行了大量的试验研究, 以选择合理的工艺流程。

3.1 生物预处理/常规处理/活性炭吸附试验

3.1.1 试验装置及基本参数

生物预处理采用陶粒滤池, 滤速为4 m/h, 滤料粒径为2~5 mm, 厚度为2 m, 穿孔管曝气, 气水反冲洗。常规处理采用机械混合, 混合时间为40 s; 孔式絮凝, 絮凝时间为20 min; 斜管沉淀, 表面负荷为 $5.04 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 石英砂过滤, 滤速为8 m/h。深度处理采用GAC吸附池, 采用柱状活性炭, 空床接触时间为12 min。

3.1.2 试验结果

生物预处理单元对浊度、COD_{Mn}、UV₂₅₄和藻的平

均去除率分别达到78.4%、22.2%、17.9%、60.2%; 常规处理(混凝、沉淀、过滤)对浊度、COD_{Mn}、UV₂₅₄和藻的平均去除率分别为98.46%、34.81%、53.33%、67.31%; GAC吸附滤池对浊度基本上没有去除, 对COD_{Mn}、UV₂₅₄和藻的平均去除率分别为21.6%、26.5%、25.5%。

试验工艺与同期水厂实际生产的水质对比如表1所示。

表1 试验流程与水厂出水对比

Tab. 1 Comparison between experimental and actual effluent quality

项 目	原水	出水	
		试验	水厂
浊度/NTU	106.2	0.27	0.40
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	5.0	1.7	3.0
UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	0.091	0.026	0.046
藻/(10 ⁴ 个·L ⁻¹)	49.9	5.8	5.0

采用生物预处理→常规处理→GAC吸附滤池工艺, 出水水质可以显著提高, 尤其是对有机污染物的去除效果显著。

3.2 超滤处理试验

选择四种品牌的超滤膜对气浮出水和砂滤池出水进行试验, 包括压力膜和浸没式超滤膜各2种, 其中2种进口膜, 2种国产膜。结果表明, 四种不同品牌和种类膜的试验结果未见明显差异, 因此, 不同膜不做具体分析。

3.2.1 有机污染物(COD_{Mn})

超滤对气浮和常规处理出水COD_{Mn}的去除效果见表2。

表2 超滤膜对气浮(常规)出水COD_{Mn}的平均去除效果

Tab. 2 Average removal efficiency of flotation (conventional) effluent COD_{Mn} by ultrafiltration

项 目	超滤处理 气浮出水	超滤处理 常规出水
原水 COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	4.86	3.82
气浮(常规处理)出水 COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	3.06	2.59
气浮(常规处理)去除率/%	33.50	32.26
超滤	出水 COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	2.53
	去除率/%	17.35
工艺系统去除率/%		41.10

3.2.2 浊度

超滤水的浊度与待滤水的浊度没有明显的直接关系, 气浮和砂滤水的平均浊度分别为2.02、0.36

NTU 时,超滤出水分别为 0.14、0.11 NTU。无论是气浮出水还是砂滤出水作为待滤水,膜过滤后水的浊度一般为 0.1 NTU。

3.2.3 藻

采用超滤膜系统直接处理气浮出水,当气浮出水藻平均浓度为 33 703 个/L 时,超滤除藻率为 73%~75%;若超滤膜处理系统放置在常规处理后,当常规出水藻平均浓度为 8 806 个/L 时,超滤除藻率为 89%~91%。

可见,超滤处理工艺对受污染水源水的水质提升有显著的作用。

3.3 化学预处理

投加高锰酸钾的主要目的是除藻、降低有机污染和控制臭味,一般投加量为 0.5~2.5 mg/L。高锰酸钾投加量精度要求较高,具体投加量应该通过试验确定。试验结果表明,本项目高锰酸钾的投加量应小于 1.5 mg/L,宜在 1.2 mg/L 左右,此时的高锰酸盐指数去除率约 17%。

3.4 气浮池除藻

在水厂气浮池运行水量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、接触池上升流速为 15.5 mm/s、分离室的下向流速为 1.4 mm/s、溶气水回流比为 10% 的条件下,对气浮池除藻效果进行了检测。

在进水藻数量为 50×10^4 个/L 左右时,气浮池的除藻效果显著,除藻率基本上在 85% 以上,平均为 87.35%。

在高藻暴发期,除藻效果可能与运行控制有关,除藻的效果不稳定。结果显示在原水藻含量为 $(442 \sim 1\,380) \times 10^4$ 个/L 时,气浮池除藻率一般在 60%~80%,最高为 94%。

因此,对藻含量较高的水厂,气浮仍然是工艺流程中的重要单元,但是,需要良好的运行控制,如回流比、浮渣的刮除周期等都需要根据藻含量进行优化调整。

4 水厂水质提升改造工程技术路线

针对水源存在有机污染、高藻以及臭味等水质特点,结合混凝气浮、砂滤、氯消毒的现状工艺,根据试验研究结果,经多方案技术经济比较,水质改造工程的工艺按照增加预处理和深度处理工艺,维持现状常规处理工艺的总思路进行。

4.1 预处理

预处理主要有生物预处理、化学预氧化处理。

化学预处理由于工程投资较低,尤其适用于水源水质短期季节性变化的水源,使用灵活,有利于节省运行费用,所以采用化学预氧化预处理。通过预氧化药剂的比较,结合经济及水质因素,为控制副产物的生成量,降低致突变前体物的浓度,预氧化药剂采用高锰酸钾。

4.2 深度处理

深度处理的目标主要是去除水中的微污染有机物、臭味以及抑制“两虫”和进一步除浊。目前采用的主要工艺包括臭氧生物活性炭、活性炭吸附以及膜处理工艺。根据水厂现状工艺及水源特征,经综合比较,深度处理采用常规处理后接颗粒活性炭吸附滤池、超滤膜处理工艺的组合流程,可以在有机物、色度、水的异味、浊度等方面全面提升水质。

4.3 应急处理

由于水源水的容量较小,水质在受到环境突然变化时的调节缓冲能力较弱,因此,在水源受到突发性污染等事件时,设置粉末炭投加设施,利用粉末炭的吸附作用,保证水质的稳定,确保供水水质。

4.4 改造工艺流程

水厂的水质提升改造工艺流程详见图 1。

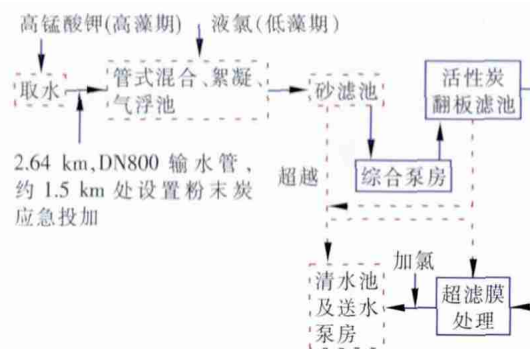


图 1 水质提升改造工艺流程

Fig. 1 Schematic diagram of water quality improvement project

在 6 月—9 月高藻期间或有机污染浓度较高时,为降低致突变前体物的产生量,采用高锰酸钾预氧化,其他低藻期间和水源水质较好时可利用水厂现状的加氯设施,采用液氯预氧化。遇到原水水质突然恶化时,利用 2.64 km 原水输送管道的输水时间,同时考虑药剂之间的相互影响,在输水管道中途设置粉末炭投加设施,利用粉末炭的吸附作用保证水质安全。

活性炭吸附滤池(GAC)主要去除水中的微量有机物、色度和嗅阈值,由于炭滤池在运行中可能存

在生物穿透,为保证出水的生物稳定性,在炭滤池后置超滤膜处理,进一步降低出水的浊度,同时去除“两虫”。活性炭在吸附饱和后会失去其功能,因此,工艺流程中设置了活性炭吸附滤池的超越设施,在水质较好的季节可以根据水质情况进行超越。整个工艺系统的运行管理更加灵活方便。

5 水质提升工程设计

5.1 工程规模

改造后的供水能力为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中水厂制水量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,从外部引清水 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

5.2 工程设计

① 预处理

化学预处理在水源水质较好的季节采用预氯化,水源厂液氯投加量为 $0.5 \sim 1.5 \text{ mg/L}$,在高藻或水源水质较差的季节,在水源厂投加高锰酸钾,投加量为 $0.5 \sim 1.2 \text{ mg/L}$ 。

② 现状网格絮凝气浮池

絮凝时间为 10 min 。接触区上升流速为 15.5 mm/s ,分离区下降流速为 1.4 mm/s 。溶气水压力为 0.3 MPa ,回流比为 10% 。

③ 现状双阀滤池

石英砂单层滤料滤池,滤层厚度为 700 mm ,正常滤速为 8 m/h ,强制滤速为 9.15 m/h ,水反洗。

④ 综合泵房

主要功能包括:提升滤池出水至活性炭吸附滤池及活性炭吸附滤池的气水反冲洗。泵房平面尺寸为 $28.45 \text{ m} \times 7.15 \text{ m}$ 。提升水泵3台(2用1备), $Q=303 \text{ L/s}$,扬程为 67.5 kPa ,电机功率为 37 kW ,其中2台变频调速;活性炭吸附滤池气冲用罗茨鼓风机2台(1用1备), $Q=47 \text{ m}^3/\text{min}$, 50 kPa ,电机功率为 75 kW ;气动的蝶阀、调节阀、翻板阀等阀门的气源,空压机1台, $Q=1.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 0.69 MPa , 6 kW ,以及配套的储气罐等。

⑤ 活性炭吸附滤池(GAC)

采用翻板滤池。单格面积为 46.6 m^2 ,单排4格,滤速为 12 m/h ,空床接触时间为 11 min 。砾石承托层厚为 200 mm ,其中:粒径($2 \sim 4$)、($4 \sim 8$)、($8 \sim 16$)、($16 \sim 25$) mm ,厚度各为 50 mm ;活性炭层厚度为 2.2 m ,采用柱状活性炭,直径为 1.5 mm ,柱长为 $1 \sim 2.5 \text{ mm}$ 。每格滤池配置气动调节蝶阀以及气

动翻板阀等。

⑥ 膜处理间

超滤车间为地上双层结构,平面尺寸为 $36.55 \text{ m} \times 27.00 \text{ m}$ 。

压力式超滤膜系统。设计膜通量为 $65 \text{ L}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$,设计水回收率为 99% ,跨膜压差 $\leq 10 \text{ kPa}$ 。超滤膜为8个系列,一层和二层各设4个系列,每个系列可单独或同时运行。每个系列的超滤装置安装在同一框架上,并配置100支超滤膜组件,净产水量为 $251 \text{ m}^3/\text{h}$ 。选用中空纤维超滤膜,材质为聚偏氟乙烯(PVDF),本系统设计正常水温为 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

超滤膜前设置保安过滤器2台,过滤精度为 $200 \text{ }\mu\text{m}$ 。同时,在二层设置二级超滤回收反洗废水的系统,废水经过二级超滤后再回到一级超滤系统,回收率为 99% 。

主要设备:超滤给水泵4台(3用1备), $Q=800 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=240 \text{ kPa}$, 75 kW 。自清洗过滤器,精度为 $200 \text{ }\mu\text{m}$,水量为 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ 2台,预留1台安装位置。配置超滤酸洗泵和碱洗泵各1台, $Q=180 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, 15 kW ;超滤反冲洗泵2台, $Q=330 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, 22 kW 。同时配置相应的次氯酸钠、氢氧化钠、盐酸等的计量泵。并设置 25 m^3 废水中和罐,超滤酸洗罐、碱洗罐、反洗罐各1座,容积分别为 10 m^3 。次氯酸钠储罐、盐酸储罐、氢氧化钠储罐各1个,容积分别为 5 m^3 。

5.3 主要技术经济指标

工程总占地为 2.7 hm^2 ,单位水量占地为 $0.54 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,其中送水泵房规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,清水池容积为 16000 m^3 。项目总投资概算为 3998.82 万元,新增单位制水经营成本为 $0.27 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 水厂运行效果

6.1 水厂运行工况

在水厂水质检测期间的处理水量为 $2045 \sim 2080 \text{ m}^3/\text{h}$ 。水温为 $24 \sim 31 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

药剂投加量:预处理高锰酸钾与氧化剂为 $0.9 \sim 1.0 \text{ mg/L}$,PAC为 $21 \sim 23 \text{ mg/L}$ 。

6.2 水质

2011年12月由国家城市供水水质监测某监测站对出厂水水质进行了106项水质项目的全分析,结果显示全部达到《生活饮用水水质卫生标准》(下转第73页)

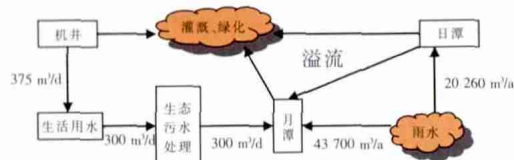


图2 泰山村的水体系

Fig. 2 Water system in Taishan village

5 结语

泰山村水处理工程的建成和使用,保证了泰山村对生活饮用水的需要,有效改善了山区的居住环境和自然环境,减少了水土流失,涵养了水源,实现了水资源的可持续性发展,社会效益、生态效益显著。

参考文献:

- [1] 严熙世,范瑾初. 给水工程(第4版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 张自杰. 排水工程(第4版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 吕宝一,谢冰,邵春利,等. 两段A/O生物接触氧化法处理高盐有机废水研究[J]. 中国给水排水,2011,27

(1):102-104,108.

- [4] 赵艳红,董文华,郑小飞. 人工湿地在新农村生活污水处理中的应用[J]. 工业安全与环保,2012,(8):67-68.
- [5] 赵桂瑜,杨永兴,杨长明. 人工湿地污水处理系统工艺设计研究[J]. 四川环境,2005,24(6):24-27.



作者简介:李永丽(1977-),女,河南睢县人,硕士,讲师,从事给水排水方面的教学和研究。

E-mail: 21041498@qq.com

收稿日期:2013-03-04

(上接第64页)

(GB 5749—2006)的规定。其中浑浊度为0.06 NTU,色度<5度,耗氧量为1.36 mg/L,水无异嗅异味,微囊藻毒素<4.0×10⁻⁵ mg/L,贾第鞭毛虫和隐孢子虫均未检出。

超滤膜出水的在线浊度一般在0.02 NTU,颗粒数为零。

7 结语

针对水厂源水水质并结合水厂现状工艺,在进行试验研究后提出在常规处理基础上增加预处理、活性炭吸附滤池和超滤膜深度处理组合流程,对相似水源的水厂改造有借鉴作用。实践证明改造工艺合理,出水水质大幅度提高,满足饮用水水质卫生标准的106项水质标准,工程达到了预期目标。

参考文献:

- [1] 由阳,曹有文,石炼,等. 关于我国《生活饮用水卫生标

准》实施情况的评估[J]. 给水排水,2012,38(1):11-16.



作者简介:李树苑(1958-),男,陕西西安人,硕士,教授级高工,总院副院长、总工程师,主要从事饮用水给水处理和污水处理技术研究。

E-mail: lisy58@sina.cn

收稿日期:2013-06-06