

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.005

东江水源和本地水库水源原水混用的给水厂运行实践

李 婷^{1,2}, 董志峰², 张松芳², 范 漳², 陈海松²

(1. 深圳市水务集团有限公司, 广东 深圳 518055; 2. 深水龙岗水务集团有限公司, 广东 深圳 518055)

摘 要: 针对深圳地区东江原水和本地水库的原水酸碱性及浊度存在差异的情况,某水厂通过总结多年原水混用经验,制定科学系统的混用方案及相关工程改造措施,解决了双水源水质差异对水厂运行管理及药剂投加带来的问题。实践表明,在东江支线水源和本地水库水源混合比例为4:6~5:5时,可有效改善双水源水质 pH 值和浊度差异问题,通过稳定原水水质进一步提升出厂水水质稳定性,使平均出水 pH 值由改造前的 7.28~7.68 稳定为 7.43~7.57,平均出水浊度由改造前的 0.11~0.21 NTU 稳定为 0.10~0.12 NTU。此外,该工程措施缓解了水厂运行管理压力,同时使 PAC、石灰和盐酸的投加量分别降低 22.3%、57.7% 和 100%,药剂成本同比下降 26.1%。可见,该水厂应对水质差异显著的双水源问题的措施科学可行且成效显著,可为同行提供借鉴。

关键词: 水厂; 双水源; pH 值; 浊度; 原水混合

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0023-06

Operation Practice of Mixing Raw Water from Dongjiang River and Local Reservoir in a Waterworks

LI Ting^{1,2}, DONG Zhi-feng², ZHANG Song-fang², FAN Zhang², CHEN Hai-song²

(1. Shenzhen Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518055, China; 2. Shenshui Longgang Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518055, China)

Abstract: According to the difference of acidity, alkalinity and turbidity between raw water from Dongjiang and local reservoirs, based on years of experiences in a waterworks, a scientific and systematic scheme of mixed use and related engineering transformation measures were also formulated to solve the problems caused by water quality differences between the two sources. The practical results showed that with mixing ratio of Dongjiang branch and local reservoir water source of 4:6-5:5, the pH and turbidity difference of two sources water quality can be effectively improved. By stabilizing the raw water quality, the stability of effluent quality is further improved. The average effluent pH value is stabilized from 7.28-7.68 to 7.43-7.57 and the average effluent turbidity was stable from 0.11-0.21 to 0.10-0.12 NTU. Besides, the dosage of PAC, lime and hydrochloric acid decreased significantly by 22.3%, 57.7% and 100% respectively, and the pharmacy cost increased by 26.1% compared with the previous year. The above results show that the measures taken by the waterworks to deal with the "double water source" problem of significant difference in water quality are scientific, feasible and effective, which may provide relevant technical reference for peers.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07501002)

Key words: waterworks; double raw water; pH value; turbidity; raw water mixing

原水水质是影响城镇供水安全和供水厂生产运行效率的重要因素之一^[1-2],原水水质短时间内大幅波动或双水源取水时,对水厂生产运行带来极大考验^[3-6]。深圳某水厂设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用常规工艺,共3期,每期水量各 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,受取水水量限制,一、二期工艺采用东江支流原水作为水源,由于原水高浊度和低 pH 值,运行面临出厂水 pH 值偏低的问题,且因原水浊度偏高,絮凝能力不足,使工艺需投加石灰调节 pH 值及助凝。三期工程采用本地水库水源作为原水,由于原水夏季 pH 值偏高和冬季浊度偏低,运行中则面临出厂水 pH 值偏高、少絮凝难絮凝、PAC 投加量较大的问题;此外,藻类浓度过高时,还需额外投加高锰酸钾及粉末活性炭。水源水质的差异对水厂运行带来诸多挑战:一是造成水厂运行管理压力,二是针对敏感期内

水库水质问题,仅有常规工艺的水厂在保障出水水质方面,需要通过减产或增大药剂投加等应急方式解决,这都对水厂的供水安全保障造成了困难^[5-7]。

为解决水源水质差异化及水库水源存在的水质安全风险问题,供水厂对双水源的全年水质及敏感期全天气质变化进行系统分析,通过大量实践,提出采取两路水源原水科学混用的调控措施^[5-6],有效解决原水 pH 值差异及冬季低浊问题,实现了降低投药量、减轻水厂运行负担的目标,为水质敏感期的水厂运行提供了新思路。

1 背景

1.1 水源分析

受取水水量限制,该水厂原水同时取自东江支线和深圳某本地水库,由于水力条件不同,两者水质差异显著,具体对比见表1。

表1 不同水源原水水质对比

Tab.1 Comparison of influent quality from different sources

水源	pH 值	COD _{Mn} / (mg · L ⁻¹)	浊度 / NTU	NH ₄ ⁺ - N / (mg · L ⁻¹)	铁 / (mg · L ⁻¹)	锰 / (mg · L ⁻¹)	色度 / 度
东江支线	6.5 ~ 7.0	1.6 ~ 3.6	12.3 ~ 689.0	0.02 ~ 0.16	0.08 ~ 0.23	0.05 ~ 0.09	15 ~ 60
本地水库	7.2 ~ 10.1	1.7 ~ 7.6	3.4 ~ 87.6	0.13 ~ 0.33	0.12 ~ 0.51	0.07 ~ 0.17	20 ~ 45

由表1可知,东江支流原水 pH 值偏低,最低发生在夏季,达 6.5 左右,且浊度波动显著,最高可达 689.0 NTU。与东江支流水质不同,本地水库原水受藻类及库底底泥影响,每年4月—8月原水 pH 值偏高,最高可达 10.1,且一天内 pH 值波动幅度超过 3 个单位,同时有机物、铁锰含量偏高。此外,冬季水库水浊度也较东江水偏低,最低为 3.4 NTU。

水源水质差异产生的原因在于:东江水源系珠江下游水系,低碱度、低硬度,原水 pH 值偏低^[8],同时每年“龙舟水”气候期间,浊度突跃式上涨,导致水源浊度波动较大^[9]。而与河流相比,水库中水体透明度较高,水力停留时间较长,更适合藻类生长。在夏季藻类暴发期,水库水体藻类数量增加,藻类光合作用吸收二氧化碳,影响地表水碳酸及碳酸盐的平衡,使碳酸氢根转化为二氧化碳,同时释放出氢氧根,最终导致 pH 值升高。此外,水库水体中部分蓝藻代谢产物积累,导致水体中有机物浓度升高,并同步产生嗅味和藻毒素问题^[10]。为满足出水水质要求,针对差异化的水源水质,该水厂在已有常规工艺

基础上,需采用差异化的运行模式,这给水厂运行造成较大压力。

1.2 水厂工艺

制水工艺共3组,工艺流程如图1所示。

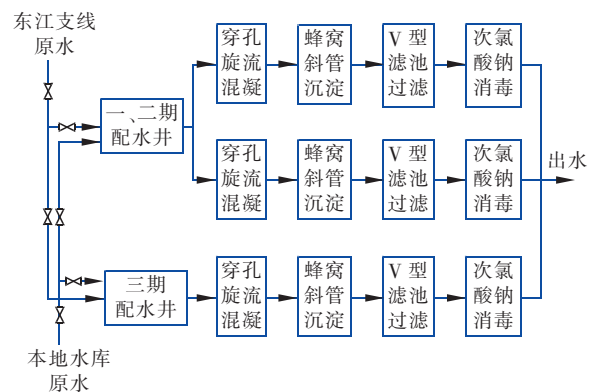


图1 水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process

改造前,一、二期工艺取用东江支线原水,三期取用本地水库原水,均采用穿孔旋流混凝/蜂窝斜管沉淀/V型滤池过滤/次氯酸钠消毒的常规处理工艺,日常投加药剂主要包括液体聚合氯化铝(PAC)、

次氯酸钠和熟石灰,夏季水质敏感期则增投高锰酸钾、盐酸等。改造后,拟将东江支线原水部分引入三期配水井,将本地水库原水引入一、二期配水井。

2 应对措施

2.1 优化原水混合比例

针对东江水源和本地水库水源水质差异显著的问题,为稳定整个水厂的原水水质,考虑进行两路原水混合:一方面通过按比例混合,中和原水 pH 值,在低药耗下保障出水 pH 值;另一方面通过东江较为优质的原水,稀释本地水库原水中的藻类、有机物等其他水质参数,降低原水水质风险,进一步保障出水水质,并实现水厂节能降耗^[11]。基于上述混合目标,按不同的原水混合比例,进行一系列烧杯试验,考察混合后原水及反应后出水的 pH 值及浊度情况。试验分别按本地水库水源/东江支线水源比例 1:9、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3 和 9:1 梯度进行。试验共重复进行 7 次。

试验过程及反应条件:采用六联搅拌机进行试验,将原水按照设定比例形成 7 组 1 000 mL 的混合液,充分搅拌后取混合液原水水样;取样结束后,向混合液中投加浓度 0.1% 的 PAC 3 mL;同时开启六联搅拌机,按照 300 r/min 快速搅拌混合液 5 min;随后按 60 r/min 慢速搅拌 10 min;搅拌结束后沉降 30 min,并取上清液作为出水水样。

对比试验结果如图 2、3 所示。由图 2 可知,当本地水库水源/东江支线水源混合比例由 1:9 升至 9:1 时,原水 pH 值由 6.61 升至 7.67,浊度由 21.2 NTU 降至 2.79 NTU;出水 pH 值由 6.51 升至 7.62,而出水浊度则由 0.26 NTU 降至 0.19 NTU 后再上升至 0.24 NTU。出水浊度出现回升的原因主要有 2 个方面:①随着本地水库原水比例增加,尽管原水浊度逐步降低,但藻类浓度也相应升高,一方面带负电荷的藻类蛋白影响金属混凝剂的电性中和,另一方面蛋白质上的官能团易与金属混凝剂整合,从而在一定程度上阻碍混凝反应进行;②原水浊度偏低时,胶体颗粒碰撞减少,不利于胶体颗粒的凝聚,影响混凝效率,最终导致在相同的絮凝条件下,出水浊度上升^[11]。

因此,通过烧杯试验来看,在两路原水水质基础上,本地水源与东江水源最优的混合比为 4:6~5:5,即原水浊度和 pH 值分别稳定在 15 NTU 和 7.3 左右,出水浊度为 0.19 NTU、pH 值为 7.2 左右。

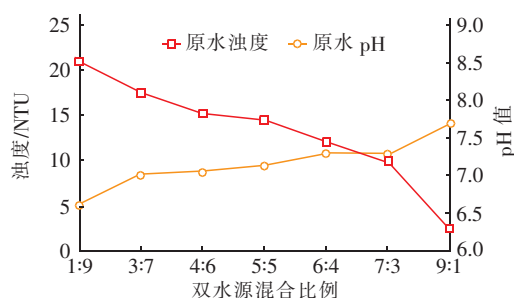


图2 双水源混合比例对原水水质(浊度、pH 值)的影响

Fig. 2 Effect of water mixing ratio on influent quality (turbidity, pH)

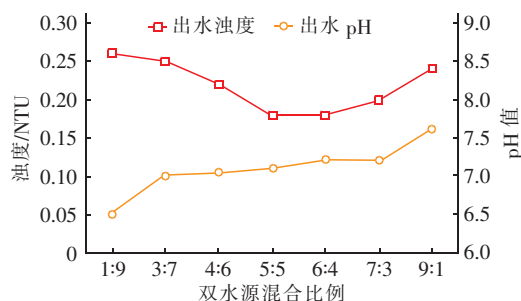


图3 双水源混合比例对出水水质(浊度、pH 值)的影响

Fig. 3 Effect of water mixing ratio on effluent quality (turbidity, pH)

2.2 实施原水混合工程

在优化混合比例的基础上,需对原水管进行相应的工程改造。改造前东江水源原水管仅供给三期配水井,厂内原水管管径为 DN1 200,管长约 12 m;本地水库原水供至一、二期配水井,原水管为 DN900,长约 5 m。根据最优混合比及两路原水的实际供水能力,对厂内原水管进行改造,在东江水源原水管增开 DN500 支管,连通一、二期配水井,连通管上设阀门。同时,在本地水库水源原水管上增开 DN500 支管,将该原水引至三期配水井,并在支管上增设阀门。改造后,通过启闭支管阀门优化调控两路原水混合比例,按照以 4:6~5:5 的比例进行混合,并根据不同季节情况下的烧杯试验优化调整比例,指导阀门实际启闭范围稳定原水水质,使一、二、三期工艺原水水质接近,且波动水平大幅下降,充分发挥两路水源优势,避免高藻、高 pH 值及低浊风险。

3 实践效果

该水厂通过上述应对措施,在稳定原水水质的基础上,进一步保障了出厂水水质,实现了运行的节能降耗。现选取改造前后两年出厂水水质及运行成

本进行系统分析。

3.1 出水水质

① 出水 pH 值

改造前、后出厂水 pH 值变化如图 4 所示。由图 4 可知,改造前后出水 pH 值均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) ($6.5 < \text{pH 值} < 8.5$),但改造后出厂水 pH 值稳定性显著提升,波动范围由改造前的 7.28 ~ 7.68 稳定为 7.43 ~ 7.57,有效提升了出厂水的化学稳定性。产生该现象的主要原因有 2 点:a. 混用前,取东江支流水的一、二期工艺因 pH 偏低需投加石灰,取本地水库水的三期工艺因 pH 值偏高需投盐酸,而盐酸和石灰的投加常存在过量或不足的现象,容易造成出水水质 pH 值不稳定;b. 东江原水属低碱度原水,化学稳定性较差, PAC 水解及少量硝化会造成 pH 值下降显著,当 PAC 投加量因原水浊度而变化较大时,极易造成出水 pH 值波动。而原水混用后,可在一定程度上改善这一现象。

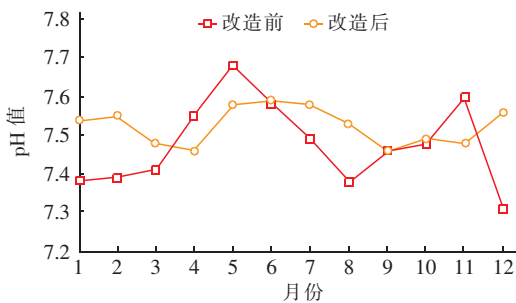


图 4 改造前、后出水 pH 值对比

Fig. 4 Comparison of effluent pH before and after modification

② 出水浊度

改造前、后出厂水浊度变化见图 5。在改造前后两路水质基本接近的情况下,出厂水浊度均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) (浊度 < 1 NTU),但改造后出水浊度水平进一步改善,改造前、后出水浊度分别为 0.11 ~ 0.21 NTU 和 0.10 ~ 0.12 NTU,平均出水浊度分别为 0.16 NTU 和 0.11 NTU。该结果说明,该水厂现行的原水稳定控制方式是科学可行的,在河流原水浊度过低或本地水库原水浊度受藻类暴发持续走高期间可考虑借鉴应用。

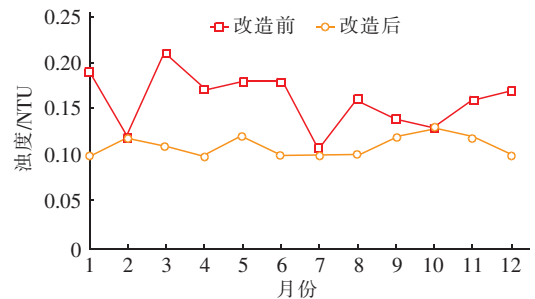


图 5 改造前、后出水浊度对比

Fig. 5 Comparison of effluent turbidity before and after modification

③ 其他出水指标

改造前、后出厂水其他水质参数见表 2。改造后 COD_{Mn} 呈进一步下降趋势,由 0.76 ~ 1.21 mg/L 降至 0.54 ~ 1.02 mg/L,出水水质改善效果更显著,抗冲击负荷能力更强。此外, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、铁、锰等参数均在检测限以下。该结果说明,在原水水质差异显著的情况下,该水厂采取的原水混合应对措施科学有效,不仅能将显著突变指标 pH 值及浊度有效控制限定范围内,且其他各项指标均控制在极低标准,保障供水水质安全。

表 2 改造前、后其他出厂水水质指标对比

Tab. 2 Comparison of other effluent quality indexes before and after modification

时间	$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\text{NH}_4^+ - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		铁/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		锰/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		色度/度	
	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后
2 月	0.76	0.58	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5
3 月	0.84	0.54	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5
4 月	1.08	0.62	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5
5 月	0.89	0.84	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5
6 月	1.14	1.02	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.06	< 0.05	< 5	< 5
7 月	1.21	1.01	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5
8 月	1.06	0.97	< 0.02	< 0.02	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	< 5

3.2 药剂消耗

利用两路水源水质互补优势,按比例混合后原

水水质稳定性大幅提高,单水源 pH 值偏酸或偏碱需大量酸碱调节剂调节的问题,以及浊度过高或过

低造成混凝剂投量大的现象,均得到有效改善,工艺运行过程中所需的药剂投加量大幅降低。选取该水厂改造前后2月—8月聚合氯化铝(PAC)、石灰(CaO)和盐酸(HCl)的平均单位投加数据,对比改造前、后该水厂药剂消耗的变化情况,结果见表3。

表3 改造前、后水厂药剂量变化

Tab.3 Changes in chemical unit consumption before and after modification

项目	药剂单耗/(g·m ⁻³)		药剂费用/元	
	改造前	改造后	改造前	改造后
PAC(10%浓度计)	40.53	31.05	889 212	691 098
CaO	4.52	1.91	70 243	29 682
HCl	0.92	0	15 239	0
合计			974 694	720 780

由表3可知,与改造前相比,改造后3类药剂的单位投加量均呈下降趋势,PAC投加量由改造前的40.53 g/m³降至31.05 g/m³,石灰投加量由改造前的4.52 g/m³降至1.91 g/m³,盐酸投加量由改造前的0.92 g/m³降至0 g/m³,分别降低了22.3%、57.7%和100%。按照2月—8月总药耗费用计算,PAC总药剂费由889 212元降至691 098元,石灰总费用由70 243元降至29 682元,盐酸费用由15 239元降至0,共计节约药剂成本253 914元,同比下降26.1%。可见,充分掌握两路原水的水质特点,优化稳定原水水质,实现酸碱中和并控制原水浊度,可科学降低药剂使用费用,大幅缓解水厂运行管理压力。

4 结论

分析了双水源水质差异给供水厂运行造成的影响,通过科学系统分析全年水质变化规律,制定了东江水源和本地水库水源双水源混用的取用方案,并进行了工程探索及实践,取得一定成效。

① 双水源水质参数中pH值和浊度差异最为明显。东江支流原水pH值偏酸,最低发生在夏季(达6.5),需投碱剂;而本地水库原水pH值偏碱,4月—8月最高可达10.1,需投酸剂。此外,东江支线原水浊度偏高,尤其“龙舟水”期间最高可达到689.0 NTU,需大量投加PAC;而本地水库冬季浊度最低可达3.4 NTU,则需提高排泥水回流量增加聚核。

② 面对双水源差异对水厂运行管理带来的压力及风险,分析了双水源全年水质,通过烧杯试验得出最优混合方案,即:当本地水源与东江水源混合比例为4:6~5:5时,可稳定原水水质,有效调控原

水浊度和pH值,实现最优出水水质。

③ 基于最优混合范围进行原水混合工程改造,改造后出厂水水质稳定性显著提升,出水平均pH值由改造前的7.28~7.68稳定为7.43~7.57,波动范围不超过0.2。出水平均浊度进一步下降,由0.11~0.21 NTU稳定为0.10~0.12 NTU,其他出厂水指标均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

④ 改造后稳定的原水水质有效降低了药剂投加量,其中PAC、CaO和HCl单耗分别降低22.3%、57.7%和100%,药剂费用同比下降26.1%。

参考文献:

- [1] 唐克旺,王研. 我国城市供水水源地水质状况分析[J]. 水资源保护,2001(2):30-31.
Tang Kewang, Wang Yan. Water quality analysis of water supply sources in cities[J]. Water Resources Protection,2001(2):30-31(in Chinese).
- [2] 王晓峰,党志良. 西安城市供水多水源水量水质联合优化调度[J]. 西北大学学报:自然科学版,1999,29(5):437-440.
Wang Xiaofeng, Dang Zhiliang. A study on multi-source of water water quantity and quality union optimal dispatch of Xi'an City water supply[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 1999, 29(5):437-440(in Chinese).
- [3] 刘锦荣,肖帆,刘小东,等. 小型水厂原水pH值异常升高的应对策略[J]. 中国给水排水,2016,32(17):48-50.
Liu Jinrong, Xiao Fan, Liu Xiaodong, et al. Coping strategy for abnormal increase in pH value of raw water in small-scale waterworks[J]. China Water & Wastewater,2016,32(17):48-50(in Chinese).
- [4] 华伟,张雪,蒋福春,等. 高pH值太湖原水应对技术研究及应用[J]. 供水技术,2015,9(3):36-40.
Hua Wei, Zhang Xue, Jiang Fuchun, et al. Study and application of method coping with the high pH raw water from Taihu Lake[J]. Water Technology, 2015, 9(3):36-40(in Chinese).
- [5] 王绍祥,陈蓓蓓,倪国文,等. 长江青草沙水源和黄浦江水源混合原水的混凝沉淀处理工艺[J]. 净水技术,2010,29(6):24-27,79.
Wang Shaoxiang, Chen Beibei, Ni Guowen, et al. Coagulation and sedimentation treatment processes for raw water mixed from Yangtze River and Huangpu River

- [J]. Water Purification Technology, 2010, 29(6): 24 – 27, 29 (in Chinese).
- [6] 乐勤, 许龙, 郑国兴, 等. 上海市属给水厂青草沙与黄浦江上游原水水源切换工程方案研究[J]. 给水排水, 2010, 36(1): 47 – 51.
- Le Qin, Xu Long, Zheng Guoxing, *et al.* Project research of water source switching of Qingcaosha water source and Huangpu River water source in Shanghai water treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(1): 47 – 51 (in Chinese).
- [7] 钱珊. 陈行原水和青草沙原水在吴淞水厂的运行对比[J]. 净水技术, 2014, 33(增刊): 121 – 122, 136.
- Qian Shan. Comparison of operation between raw water from Qingcaosha and Chenhang reservoir in Wusong water treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2014, 33 (S1): 121 – 122, 136 (in Chinese).
- [8] 宋卫阳. CO₂ – 石灰再矿化技术在饮用水厂的应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- Song Weiyang. Applied Research of Re-mineralization with Carbon Dioxide and Lime at Drinking Water[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011 (in Chinese).
- [9] 王娟怀, 杨守懋, 韦智嘉, 等. 全球气候变暖背景下广东“龙舟水”的变化特征[J]. 广东气象, 2018, 40(1): 4 – 8.
- Wang Juanhuai, Yang Shoumao, Wei Zhijia, *et al.* Characteristics of the variation of precipitation during “Dragon-boat Racing” season of Guangdong under the background of global climate warming [J]. Guangdong Meteorology, 2018, 40(1): 4 – 8 (in Chinese).
- [10] 潘倩. 微污染饮用水源水中藻类及有机物的去除研究[D]. 广州: 暨南大学, 2011.
- Pan Qian. Studies on Algae and Organics Removal in Micro-polluted Water [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011 (in Chinese).
- [11] 徐勇鹏, 何利, 崔福义, 等. 回用净水厂生产废水强化低温低浊水的混凝效能[J]. 中国给水排水, 2011, 27(7): 55 – 58.
- Xu Yongpeng, He Li, Cui Fuyi, *et al.* Enhanced coagulation efficiency of low-temperature and low-turbidity water by reusing production wastewater from waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(7): 55 – 58 (in Chinese).



作者简介: 李婷(1986 –), 女, 湖南湘西人, 博士, 工程师, 主要从事水处理及循环再生研究工作。

E – mail: litinghit@foxmail.com

收稿日期: 2020 – 10 – 05

坚持节约资源和保护环境的基本国策