

王蕾,王佳函,樊丞越,等. 双水源不同原水配比对南方某水厂运行情况的影响[J]. 净水技术, 2024, 43(10): 66-71.

WANG L, WANG J H, FAN C Y, et al. Influence of dual water sources with different raw water ratios on a WTP operation in southern China[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 66-71.

双水源不同原水配比对南方某水厂运行情况的影响

王蕾¹,王佳函¹,樊丞越²,张嘉恩¹,刘宏远^{2,*}

(1. 杭州市水务集团有限公司,浙江杭州 310002;2. 浙江工业大学土木工程学院,浙江杭州 310023)

摘要 针对J水厂的钱塘江、千岛湖水双水源供水格局,分析了不同水源混合比对水厂混合原水水质、出厂水水质、水厂混凝剂、消毒剂、聚丙烯酰胺(PAM)消耗及制水电耗的影响。结果表明,与上年同期相比,千岛湖优质原水比例的升高提高了水厂的原水水质,浊度和高锰酸盐指数分别降低26.18%和12%。另外,当混合原水中千岛湖水源水量达到95%以上时,出厂水浊度最大下降50%,制水电耗下降25.30%、混凝剂消耗下降60.29%、次氯酸钠消耗最大下降23.82%,而污泥产量、处理的PAM药耗较混合比为25%时下降66.91%、65%左右,水厂运行更加经济高效。

关键词 水源 钱塘江 千岛湖 水质 消耗

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)10-0066-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.008

Influence of Dual Water Sources with Different Raw Water Ratios on a WTP Operation in Southern China

WANG Lei¹, WANG Jiahuan¹, FAN Chengyue², ZHANG Jiaen¹, LIU Hongyuan^{2,*}

(1. Hangzhou Water Group Co., Ltd., Hangzhou 310002, China;

2. Collage of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract In view of dual water sources water supply of Qiantang River and Qiandao Lake water in J water treatment plant (WTP), the effects of mixing ratio of different water sources on water quality of raw water, water quality of effluent, consumption of coagulants, disinfectants, polyacrylamide (PAM) and power consumption of water operation were analyzed. The results showed that compared with the last year at the same time, the increase in the proportion of high-quality raw water from Qiandao Lake improved the quality of raw water in WTP, and the turbidity and potassium permanganate indices decreased by 26.18% and 12%. When the proportion of Qiandao Lake water source in the mixed raw water was above 95%, the turbidity of produced water decreases by 50% at most, and the electricity consumption of water production decreased by 25.30%. The coagulant consumption decreased by 60.29%, and the consumption of secondary sodium decreased by 23.82% at most. And the sludge production and PAM consumption were about 66.91% and 65% of the 25% mixing ratio, which makes the operation of WTP more economic and efficient.

Keywords water source Qiantang River Qiandao Lake water quality consumption

为全面改善水源水质,保障饮用水供水安全,杭州市启动第二水源千岛湖配水工程^[1]。2019年9月底,第二水源千岛湖配水工程九溪线建成通

水,J水厂形成了钱塘江和千岛湖水双水源供水的格局。两种水源可在水厂预臭氧池内进行充分混合后再进入各工艺段进行处理。为更好地掌握双水源下不同配比原水对制水工艺及出厂水水质的影响,2019年10月—2020年5月,水厂进行了两种水源不同配比的生产性试验,其中千岛湖水源占总进水量的比例有>95%、60%、25%3种工况,混合原水水质会随千岛湖水源水量波动,水厂需及时调整工艺运行参数,确保出厂水优质。本文

[收稿日期] 2023-09-26

[基金项目] 杭州市水务集团有限公司2023年科技项目(KJN2023-20)

[作者简介] 王蕾(1979—),女,高级工程师,研究方向为水生产处理工艺,E-mail:45643049@qq.com。

[通信作者] 刘宏远(1971—),男,教授,研究方向为水处理技术工艺,E-mail:lhyzy@zjut.edu.com。

通过对水源变化后水厂不同比例混合原水、出厂水水质、水厂工艺调整情况以及水厂能耗的分析,讨论了水源变化对水厂混合原水水质、水处理效果及运行成本的影响,拟为已运行或即将投入运行的多水源水厂提供参考。

1 水源概况

1.1 钱塘江水源概况

杭州钱塘江沿线现状共有 7 处饮用水源取水口,主要分布于钱塘江三江口至三堡船闸 20 km 左右的江段。J 水厂钱塘江水源取水位置处于钱塘江下游,由水厂自用取水泵房取水后提升至预臭氧接触池。据 2019 年统计(2018 年 10 月—2019 年 5 月),该水厂钱塘江取水口水源水质类别主要受总氮、粪大肠菌群指标控制,不计总氮、粪大肠菌群情况下以 II 类水为主,水质变化较大的指标为氨(以 N 计)(0.05~0.45 mg/L)、高锰酸盐指数(1.42~4.20 mg/L)、铁(0.05~0.55 mg/L)。

1.2 千岛湖水源概况

千岛湖水源取自淳安县境淡水镇金竹牌村,位于钱塘江上游的新安江流域。水源通过输水隧洞输送至闲林水库配水井后沿千岛湖第二水源配水工程

九溪线重力输送至 J 水厂预臭氧接触池。据 2020 年统计(2019 年 10 月—2020 年 5 月),金竹牌取水口千岛湖水源水质类别主要受总氮影响,不计总氮的情况下以 I 类水为主,相较于钱塘江水源,氨、高锰酸盐指数、铁含量下降明显,其中氨(以 N 计)质量浓度小于 0.11 mg/L,高锰酸盐指数小于 2 mg/L,铁质量浓度小于 0.05 mg/L,pH 值为 7.78~8.64,浑浊度小于 5 NTU。

2 水厂概况与分析方法

2.1 水厂概况

J 水厂水处理规模为 60 万 m³/d,主要水源为千岛湖水源,钱塘江水源备用。水厂于 2017 年完成深度处理改造,2018 年将液氯消毒改造为次氯酸钠消毒,2020 年排泥水系统建成投运。改造完成后的处理工艺为:原水-预臭氧-浑凝-沉淀-V 型滤池-臭氧活性炭池-消毒-出水(图 1),水厂混凝药剂为聚合氯化铝,混凝剂和消毒剂均可自动投加。沉淀池排泥水由综合泵房提升至水厂排泥水系统处理,通过投加聚丙烯酰胺(polyacrylamide, PAM)药剂以改善浓缩污泥脱水性能,最后经离心脱水后,污泥含水率可降为 75% 以下。



图 1 水厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WTP

2.2 分析方法

本文选取了水源变化后的 2019 年 10 月—2020 年 5 月 J 水厂工艺水质参数,检测项目包括浑浊度、pH、亚硝酸盐氮、高锰酸盐指数、氨、铁、锰等,检测方法见表 1。

3 结果和讨论

3.1 混合原水水质

J 水厂于 2019 年 10 月起开始进行不同配比原水生产性试验。本文统计了引入千岛湖水源后 8 个月的原水情况,2019 年 10 月—2020 年 3 月,混合原

表 1 水质指标检测方法

Tab. 1 Determination Methods of Water Quality Indices

指标	检测手段
浑浊度/NTU	浊度仪(HACH 2100N)
pH	标准缓冲溶液比色法
亚硝酸盐(以 N 计)/(mg·L ⁻¹)	重氮偶合分光光度法
高锰酸盐指数(以 O ₂ 计)/(mg·L ⁻¹)	酸性高锰酸钾滴定法
氨(以 N 计)/(mg·L ⁻¹)	纳氏试剂分光光度法
铁/(mg·L ⁻¹)	二氯杂菲分光光度法

水中 95% 以上为千岛湖水源;2020 年 4 月,混合原水中 60% 左右为千岛湖水源;2020 年 5 月,混合原水中 25% 左右为千岛湖水源,其余水量均由水厂自

用泵房取钱塘江水源水作为补充。混合原水水质如表 2 所示。

表 2 混合原水水质
Tab. 2 Water Quality of Mixed Raw Water

水质指标	引入千岛湖原水后总变化 (2019 年 10 月— 2020 年 5 月)	千岛湖水源高占比 (>95%) (2019 年 10 月— 2020 年 3 月)	千岛湖水源中等占比 (60%) (2020 年 4 月)	千岛湖水源低占比 (25%) (2020 年 5 月)
浑浊度/NTU	5.22(0.90~39.00)	3.62(0.90~8.70)	7.39(3.00~14.00)	12.53(5.30~39.00)
	17.03*(4.00~122.00)	17.23*(4.00~122.00)	15.62*(8.00~35.00)	17.19*(9.00~32.00)
pH 值	8.00(7.39~8.32)	8.04(7.39~8.32)	7.85(7.68~8.10)	7.89(7.72~8.10)
	7.57*(7.11~7.96)	7.64*(7.16~7.96)	7.38*(7.21~7.52)	7.34*(7.11~7.49)
亚硝酸盐氮/(mg·L ⁻¹)	0.013(0.001~0.090)	0.007(0.001~0.045)	0.017(0.004~0.040)	0.042(0.010~0.090)
	0.073*(0.020*~0.150)	0.072*(0.020~0.150)	0.068*(0.040~0.100)	0.083*(0.050~0.110)
高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	1.80(1.09~3.15)	1.71(1.09~2.75)	1.85(1.41~2.62)	2.29(1.82~3.15)
	2.32*(1.42~4.20)	2.27*(1.42~4.20)	2.25*(1.73~2.98)	2.68*(2.05~3.64)
氨(以 N 计)/(mg·L ⁻¹)	0.07(0.03~0.28)	0.06(0.03~0.16)	0.10(0.05~0.23)	0.12(0.05~0.28)
	0.19*(0.05~0.45)	0.19*(0.05~0.45)	0.18*(0.12~0.29)	0.18*(0.10~0.35)
铁/(mg·L ⁻¹)	0.09(0.05~0.55)	0.09(0.05~0.55)	0.07(0.05~0.10)	0.09(0.05~0.16)
	0.47*(0.30~0.65)	0.49*(0.30~0.65)	0.40*(0.40~0.45)	0.42*(0.40~0.45)

注:表中数据为该时间段内平均值,*为上年同期的水质数据均值,括号内为变化范围。

由表 2 可知,相较于上年同期钱塘江水源的水质,引入千岛湖水源后,水厂混合原水的亚硝酸盐氮、氨(以 N 计)、铁含量均降低,浑浊度和高锰酸盐指数下降显著,平均浑浊度由 17.03 NTU 下降为 5.22 NTU,平均高锰酸盐指数由 2.32 mg/L 下降为 1.80 mg/L,原水水质更加安全。但随着千岛湖水源水量占比减少,混合原水的浑浊度、亚硝酸盐氮、高锰酸盐指数、氨、铁含量上升显著,千岛湖水源不同水量占比下仍优于上年同期的全部钱塘江水源水的模式。

同时,2019 年 10 月—2020 年 5 月,千岛湖原水平均 pH 值为 8.04,而钱塘江原水平均 pH 值为 7.53,导致引入千岛湖水源后混合原水 pH 呈现上升趋势。千岛湖水源从高占比的模式逐渐切换中、低占比的模式时,混合原水 pH 值由 8.04 分别降为 7.85、7.89,pH 变化随千岛湖水源水量占比减少呈现下降趋势,但变化不大。

3.2 出厂水水质

经对水厂化验室每日出水水质分析可知,不同配比形成的混合原水经水厂深度处理工艺处理后,出厂水氨(以 N 计)<0.02 mg/L、铁<0.05 mg/L、亚硝酸盐氮<0.001 mg/L,pH 值为 7.00~7.50,水源变化对水厂处理以上指标影响不大。出厂水浑浊度

和高锰酸盐指数含量降低,但铝含量升高,同时根据管网余氯情况可将水厂出厂余氯值适当降低。

3.2.1 浑浊度

2019 年 10 月—2020 年 5 月出厂水浑浊度如图 2 所示。自 2019 年 10 月引入千岛湖水源后,各月出厂水浑浊度较上年同期相比小幅度下降。在千岛湖水源高占比(>95%)的模式下,混合原水水质较好,出厂水浑浊度可控制在 0.03~0.05 NTU,略低于上年同期的 0.05~0.06 NTU,较上年同期下降 26.18%。千岛湖原水中等占比以及低占比下,出厂水浑浊度指标变化不明显。引入千岛湖水源前后,使用臭氧-活性炭深度处理工艺均可将出厂水浑浊度控制在 0.10 NTU 以下,符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)及《浙江省现代化水厂评价标准》(2018 版)要求。

3.2.2 高锰酸盐指数

2019 年 10 月—2020 年 5 月出厂水高锰酸盐指数变化如图 3 所示。引入千岛湖水源后,水厂出厂水平均高锰酸盐指数为 0.66 mg/L,上年同期为 0.75 mg/L,较上年同期相比下降 12%;当水源由千岛湖水源高占比逐渐过渡为低占比时,出厂水高锰酸盐指数略有升高。

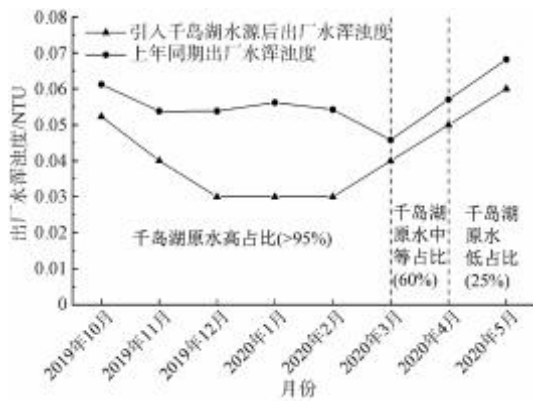


图2 出厂水浑浊度

Fig. 2 Turbidity of Finished Water

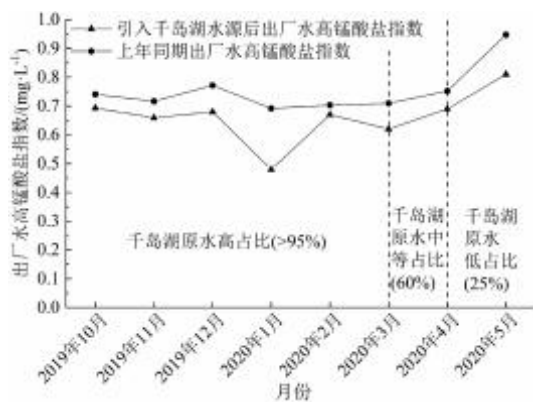


图3 出厂水高锰酸盐指数

Fig. 3 Permanganate Indices of Finished Water

3.2.3 余氯

余氯是为了保证管网末端用户的饮水安全,在出厂水中投加氯消毒剂,使管网中存在一定浓度的余氯,以保证管网水中保有持续的杀菌能力。由图4可知,水厂在引入千岛湖水源后,出厂水余氯均低于上年同期,均值由上年同期 0.89 mg/L 降低为 0.74 mg/L。这主要是因为引入千岛湖水源后,管网末梢水的余氯值较之前上升了 0.05 mg/L 左右,表明出厂水以及管网中耗氯物质减少。因此,将出厂水余氯控制值由 0.90 mg/L 逐步降低为 0.70 mg/L。

3.2.4 总铝

过量摄入铝对人体有害^[2],因此《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)规定出厂水中总铝限值为 0.2 mg/L^[3]。由图5可知,引入千岛湖水源前,除2019年10月、11月外,水厂出厂水总铝均控制在 0.020 mg/L 以下,引入千岛湖水源后,出厂水总铝较使用钱塘江水源时明显上升,最高为 0.047 mg/L。这可能一方面是由于千岛湖水源 pH 高于钱塘江

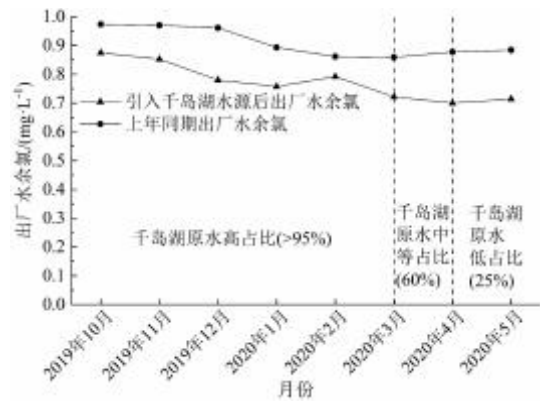


图4 出厂水余氯

Fig. 4 Residual Chlorine of Finished Water

水源,混合后导致混合原水 pH 较之前升高。以2019年12月为例,混合原水 pH 值每日高于 8.0,最高达 8.29,高 pH 条件下,使用聚合氯化铝作为混凝剂时,部分铝以溶解态存在于水中,增加了水中铝的含量^[4],出厂水总铝变化趋势与原水的 pH 变化趋势相同也验证了这一说法;另外,为满足优质出水需要(出厂水浑浊度低于 0.1 NTU),适当增加了混凝剂投加量,这也使得出厂水总铝相应升高^[5]。

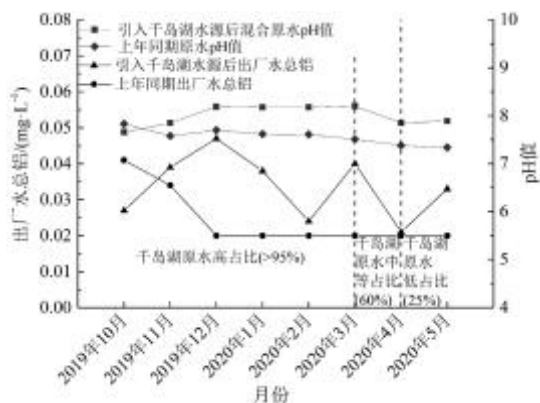


图5 出厂水总铝

Fig. 5 Aluminum of Finished Water

3.3 对水厂运行情况的影响

3.3.1 水厂工艺调整情况

自引入千岛湖水源后,水厂原水(混合水)水质得到提升,尤其是在千岛湖水源高占比时,混合原水浑浊度基本保持在 4~9 NTU,大颗粒物质和经絮凝后的胶体团数量变少,沉淀池沉淀物减少。水厂主要调整的工艺有。

(1)调整沉淀池吸泥行车和砂滤池反冲洗周期。沉淀池吸泥行车吸泥频率由 1 次全程吸泥/(24 h)调整至 1 次半程吸泥/(72 h)、1 次全程吸泥/(336 h);

同时沉后水浑浊度由 1.75 NTU 降低为 1.20 NTU, 因此将砂滤池的反冲洗周期由 1 次/(12 h) 调整至 1 次/(24 h), 但夏季高峰供水时需根据实际水量和滤池的水头损失进行调整。

(2)减少混凝剂投加量。水厂使用钱塘江原水时,原水浑浊度波动较大,每千吨水混凝剂投加量控制在 12~30 kg; 切换为双水源后,原水浑浊度大幅度降低,且较为稳定,每千吨水的混凝剂投加量可基本控制 10 kg 以下,当千岛湖原水比例低于 60%,且原水浑浊度大于 10 NTU 时,适当提高混凝剂投加量。

3.3.2 成本分析

(1)混凝剂消耗

如图 6 所示,千岛湖原水高占比期间,每千吨水的聚合氯化铝消耗仅为 8.86 kg,较上年同期下降 60.29%;且当混合原水由千岛湖水源高占比逐渐切换至低占比时,聚合氯化铝消耗总体呈现升高趋势,千岛湖水源中等占比期间,每千吨水聚合氯化铝消耗为 14.55 kg,较上年同期降低 22.69%;5 月千岛湖水源占比降低至 25%时(千岛湖原水低占比期间),每千吨水的聚合氯化铝消耗达 16.75 kg,较上年同期相比差别不大。这主要是因为千岛湖水源浑浊度低,大比例使用千岛湖水源可降低混合原水的浑浊度,降低聚合氯化铝投加量。

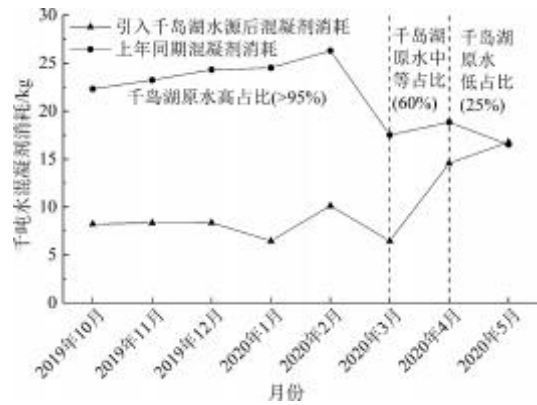


图 6 混凝剂消耗(聚合氯化铝)

Fig. 6 Consumption of Coagulants (Polyaluminum Chloride)

(2)次氯酸钠消耗

水厂于 2018 年进行加药间改造工程,将消毒剂由液氯改为 5%的次氯酸钠,2019 年正式投入运行。因此 2019 年 10 月—12 月的次氯酸钠消耗无同期对比数据进行分析。如表 3 所示,使用千岛湖水源后,2020 年 1 月—5 月每千吨水消耗的次氯酸钠分别为 8.00、10.05、5.82、8.04、8.43 kg,较上年同期分别下降 22.85%、3.92%、23.82%、2.55%、13.00%。这是因为引入千岛湖水源后,管网末梢水的余氯值较之前上升了约 0.05 mg/L,1 月将出厂水余氯控制标准由 0.9 mg/L 降低为 0.7 mg/L,次氯酸钠投加量降低。

表 3 次氯酸钠消耗

Tab. 3 Consumption of Sodium Hypochlorite

项目	2020 年 1 月	2020 年 2 月	2020 年 3 月	2020 年 4 月	2020 年 5 月
每千吨水消耗次氯酸钠/kg (引入千岛湖水源后)	8.00	10.05	5.82	8.04	8.43
每千吨水消耗次氯酸钠/kg (上年同期使用钱塘江水源时)	10.37	10.46	7.64	8.25	9.69
较上年同期增长情况	-22.85%	-3.92%	-23.82%	-2.55%	-13.00%

(3)电耗(不计水资源费)

对比引入千岛湖水源前后水厂制水总电耗(自取水口开始计算)可知(图 7),水厂原水为钱塘江水源时,每千吨水厂制水电耗均在 160 kW·h 以上,2018 年 12 月高达 174.27 kW·h;引入千岛湖水源后,制水电耗明显下降,千岛湖原水高占比(>95%)期间,每千吨水平均制水电耗仅有 128.51 kW·h,比上年同期降低 25.30%。此外,每千吨水电耗随着千岛湖水源占比例降低而逐渐升高,千岛湖原水中等占比(60%)、低占比(25%)下,分别为 146.24、158.58 kW·h。这主要是因为 J 水厂取用钱塘江水源

时需开启水厂自用泵房取水,而引入的千岛湖水源依靠重力流入水厂,无动力成本;同时,引入优质的千岛湖水源后,沉淀池排泥周期、砂滤池反冲洗周期延长均进一步降低了水厂制水电耗。

(4)排泥水系统 PAM 药耗及产泥量

J 水厂排泥水系统于 2020 年 1 月正式投入运行,处理工艺为沉淀池排泥水→调节池→重力浓缩→平衡池→离心脱水。由图 8 可知,千岛湖原水高占比期间每千吨水的 PAM 消耗量分别为 0.020、0.017、0.029 kg。3 月 PAM 药耗增加主要是洗池导致排泥水系统污水量增加;5 月千岛湖水源低占比

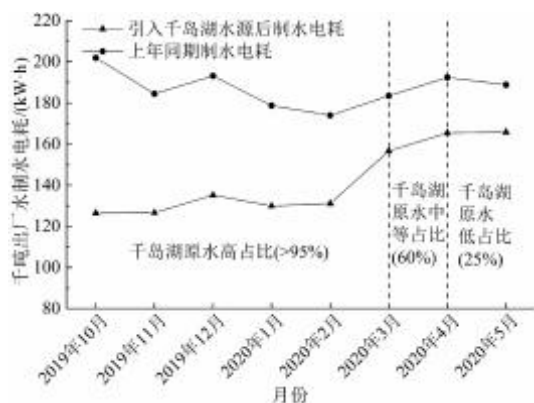


图7 制水电耗

Fig. 7 Electricity Consumption of Water Production

期间,混合原水主要以钱塘江水源为主,每千吨水的PAM药耗升高为0.063 kg,较高占比期间上升约为65%。相较于千岛湖水源,钱塘江水源浑浊度高,泥沙量高,形成的絮凝团质量大,易沉淀,导致排泥水系统污水量增高,因此当混合原水中钱塘江水源比例升高时,水厂增加了PAM消耗。另外,5月份水厂每千吨水的产泥量(污泥含水率约为75%)达80.96 kg,相较于高占比期间均值上升约66.91%,这也进一步解释了5月PAM消耗高这一情况。

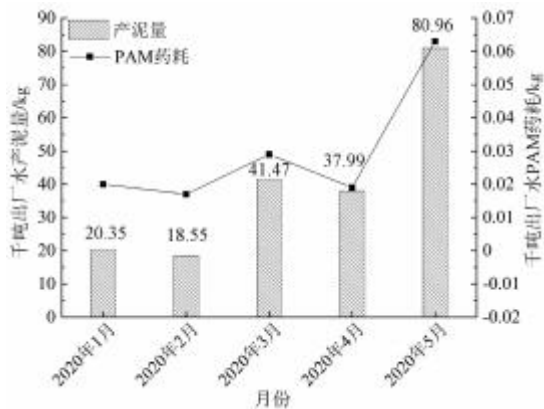


图8 排泥水系统PAM消耗及产泥量

Fig. 8 PAM Consumption and Sludge Capacity in Sludge Disposal System

4 结论

(1)水厂引入千岛湖优质水源后,混合原水的浑浊度、亚硝酸盐氮、高锰酸盐指数、氨(以N计)、铁含量明显下降,原水水质更加安全。引入千岛湖水源前后,出厂水平均浑浊度变化不大。当千岛湖水源占比大于95%时,出厂水浑浊度为0.03~0.05 NTU,略低于上年同期的0.05~0.06 NTU;出厂水高

锰酸盐指数由上年同期的0.77 mg/L降为0.68 mg/L。出厂水余氯由上年同期的0.89 mg/L降为0.74 mg/L。水厂出厂水总铝的质量浓度由<0.020 mg/L升高至0.047 mg/L,变化趋势与混合原水pH变化趋势相同。建议在使用低浑浊度、高pH水库水时,应控制好混凝剂投加量,注意应对可能会发生的铝超标事件。

(2)千岛湖水源依靠重力流入水厂,这对水厂电耗影响很大,当千岛湖水源水量>95%时,每千吨水厂制水电耗为128.51 kW·h,较上一年同期可节约43.53 kW·h,60万m³水厂每年约可节省电费695.91万元;每千吨水消耗混凝剂为8.86 kg,较上一年同期降低13.45 kg。

(3)水厂混合原水浑浊度降低可减少水厂的产泥量,降低PAM消耗。

参考文献

[1] 余春.淳安.千岛湖配水工程项目建议书获省发改委批复[J].杭州,2014(3):74-75.
YU C. CHUN A. The proposal for the Qiandao Lake water distribution project has been approved by the provincial development and reform commission [J]. Hang Zhou, 2014, (3): 74-75.

[2] 崔福义,李名锐,王志红,等.饮用水中铝的危害、来源及现状[J].哈尔滨建筑大学学报,1997(6):51-54.
CUI F Y, LI M R, WANG Z H, et al. Hazards, sources and current status of aluminum in drinking water [J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 1997 (6): 51-54.

[3] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.生活饮用水卫生标准:GB 5749—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of China. Standards for drinking water quality: GB 5749—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

[4] 贺晓娟,袁本松,黄保平,等.高pH湖泊水处理中残余铝的影响因素及控制措施[J].净水技术,2019,38(3):51-55.
HE X J, YUAN B S, HUANG B P, et al. Influence factors and control measures of residual aluminium in treatment of high pH value lake water [J]. Water Purification Technology, 2019, 38 (3): 51-55.

[5] 漆文光.常规处理工艺中铝含量变化的影响因素与控制方法[J].供水技术,2011,5(2):39-41.
QI W G. Influencing factors and control of aluminum variation in conventional treatment process [J]. Water Technology, 2011, 5 (2): 39-41.