

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 12. 014

# 超长咸潮期间松浦取水应急支援青草沙原水系统

余 梁, 蒋 旭, 金 晶, 石 林, 钟文良, 朱志伟  
(上海城投原水有限公司, 上海 200000)

**摘 要:** 位于长江口的青草沙原水系统承担着上海市中心城区60%以上的原水供应任务。受2022年8月以来长江流域持续干旱和台风的接连影响,青草沙水库遭受咸潮入侵,取水受限。在此背景下,黄浦江上游原水应急支援青草沙原水系统,松浦大桥泵站在原水切换支援青草沙系统过程中,在最大设计供水流量下通过水泵调速提高供水效率。总结了应急供水期间的设备保障和运行管理措施,黄浦江的水质变化以及通过投加粉末活性炭优化供水水质的做法。

**关键词:** 咸潮; 黄浦江; 青草沙水库; 应急供水; 原水切换; 粉末活性炭

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)12-0089-05

## Practice of Songpu Water Intake Emergency Support for Qingcaosha Reservoir during the Extraordinary Saline Tide

YU Liang, JIANG Xu, JIN Jing, SHI Lin, ZHONG Wen-liang, ZHU Zhi-wei  
(Shanghai Municipal Investment Group Raw Water Co. Ltd., Shanghai 200000, China)

**Abstract:** The Qingcaosha raw water system, located in the Yangtze River estuary, is responsible for more than 60% of raw water supply in downtown Shanghai. However, the Qingcaosha reservoir has been invaded by saline tides and limited water intake, due to continuous drought and successive impacts of typhoons in the Yangtze River basin since August 2022. In response, the upstream Huangpu River has provided emergency support to the Qingcaosha raw water system. Songpu Bridge pumping station enhances water supply efficiency by adjusting pump speeds under the maximum design water supply flow rate when raw water is switched to support the Qingcaosha system. The equipment guarantee and operation management measures, the water quality changes of Huangpu River, and the practice of optimizing water quality by adding powdered activated carbon during the emergency water supply period are summarized.

**Key words:** saline tide; Huangpu River; Qingcaosha reservoir; emergency water supply; raw water switching; powdered activated carbon

### 1 原水应急切换背景

2022年9月5日,上海青草沙水库遭遇罕见超长咸潮入侵,青草沙水源地取水口氯化物持续超标,取水受限。根据长江口氯化物实时监测值、上游来水量和潮位等数据,预判咸潮仍将持续,并直接影响上海市中心城区的原水供应。

在黄浦江二期引水工程基础上建设的松浦大桥泵站,是原黄浦江系统的起始泵站。青草沙原水系统和黄浦江上游(金泽)原水系统投运后,松浦大桥泵站处于青草沙原水系统和黄浦江上游金泽原水系统的中间节点,位于黄浦江干流的松浦大桥取水口是备用取水口,具备向两大水源地互联互通、互为备

用的功能。在应急供水情况下,通过松浦大桥泵站可向青草沙系统供应黄浦江上游原水,采用转输金泽来水和松浦取水混合供应模式<sup>[1]</sup>。

## 2 原水应急切换的实施和做法

### 2.1 松浦大桥泵站设备设施

松浦大桥泵站备用取水口设有4座D8 m水下进水箱,标高-2.00 m,通过DN3 500钢制自流管与前池连接,自流管设有4台黄浦江取水蝶阀,分别对应FZ-01、FZ-04、FZ-05、FZ-08。前池还设有管道进水蝶阀4台,分别为FZ-02、FZ-03、FZ-06、FZ-07,用于接收金泽来水,泵站内共设有原水切换阀门37座,用于改变供水模式,使泵站满足向青草沙系统供应黄浦江原水。前池原水通过混流泵提升至 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的调压池,然后通过重力流入16.63 km主渠道。松浦大桥泵站采用双路供电,主回路采用单母线分段接线,在遭遇单路失电故障下,可单路维持泵站运行,厂内设有两台风冷式有载调压变压器,输入电压为35 kV,输出电压为6 kV,额定容量为12 500 kVA。主泵设备设施参数见表1。

表1 主泵设备设施参数

Tab.1 Parameters of main equipment and facility

| 设备      | 型号             | 流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 扬程/<br>kPa | 效率/<br>% | 配套功<br>率/kW | 数量/<br>台 |
|---------|----------------|---|------------|----------|-------------|----------|
| 工频立式混流泵 | SEZ2000-1625VR | 6.5   | 165        | 80       | 1 400       | 8        |
| 变频立式混流泵 | 76LKXA-10.2    | 6.8   | 102        | 80       | 1 120       | 4        |

### 2.2 应急切换前期准备

为确保原水切换过程平稳有序和原水供水水质安全,冲洗备用取水管,并对泵站内的原水阀门、主泵、粉末活性炭投加设备、水质在线仪表等进行全面系统性检查。

① 泵站内切换阀门检查。检查各切换阀门和阀门积水情况,对积水较严重的阀门井进行排水。检查各阀门的机械指针和开启度表,信号灯指示须与实际工况相符。其中DQ-16阀门在闭阀状态下设置在该阀门后面的流量仪仍有少量流量,显示该阀门并未完全关闭,造成调压池的部分水无法完全排出并回流前池,此情况也会造成电能的浪费。通过对该阀门手动闭阀直至完全闭阀位置,再卸除DQ-16阀门执行器指示表盘,对限位机构重新设置闭阀位置以达到完全切断回流的目的。

② 粉末活性炭投加设备检查。对该设备的检查主要通过试运行实现,设置投加 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 清水检测投加泵的投加能力。此外,还进行了少量炭液的投加测试,在运行中发现倾斜输送机底部有漏粉现象,分析是由于轴承老化和输送轴的装配度不高、间隙过大所致,更换新的输送轴承后漏粉现象有所减轻,最后为进一步提高其投加能力,采取了拆卸并清洗投加管路的措施。

③ 其他辅助设备检查。观察旋转滤网和冲洗系统试运行情况,对网板驱动链条进行紧固;对主泵冷却水系统进行试运行,观察冷却水循环自控系统运行工况;对水质在线检测仪表进行数据校正,保证在线仪表与实际水质数据相符。

### 2.3 应急切换具体实施过程

松浦大桥泵站在正常运行模式下,转输金泽水库来水,向闵行、车墩水厂供水。应急切换后,泵站供水模式见图1。

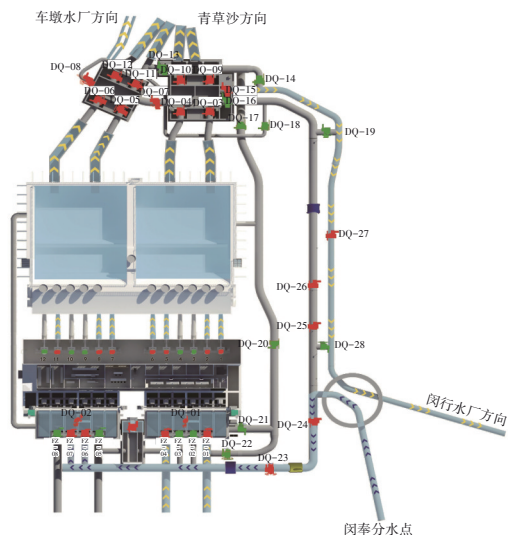


图1 松浦大桥泵站向青草沙系统应急供水工艺

Fig.1 Process diagram of emergency water supply from Songpu Bridge pumping station to Qingcaosha system

为满足最终向青草沙系统应急供水要求,需对泵站的前池进水阀门进行操作,开启FZ-01、FZ-04和关闭FZ-02、FZ-03,确保东前池为黄浦江取水,开启FZ-05、FZ-08和关闭FZ-06、FZ-07,确保西前池接收金泽水库来水。开启泵站内DQ-09、DQ-10阀门,打开DQ-07阀门、关闭DQ-13阀门,向青草沙方向供水;打开DQ-08阀门、关闭DQ-18阀门,向车墩水厂供水;打开DQ-15阀门、关闭DQ-14阀门,向闵

行水厂供水。同时,泵站运行模式转变后,需同时向青草沙系统、闵行和车墩水厂三个方向供水。

在松浦大桥泵站整个原水切换过程中,分4个阶段逐步、平稳有序操作。

第一阶段9月19日,开始停泵、开阀、开泵、投加粉末活性炭等一系列操作,当晚完成FZ-01、FZ-04、FZ-05对应的黄浦江3根取水管道冲洗,以及黄浦江二期渠道内原水的粉末活性炭投加,为松浦应急供水做好充分准备。

第二阶段9月20日,松浦大桥泵站增开机泵,开始转输金泽来水,向下游的长桥水厂和徐泾泵站供水,也向原闵行和车墩水厂供水,并开始持续投加粉末活性炭10 mg/L,供水规模约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

第三阶段9月23日,为进一步减少青草沙水库供水量,松浦大桥泵站开启FZ-01、FZ-04两根黄浦江取水管,启用松浦大桥备用取水口,同时转输金泽来水混合供应整个青草沙系统严桥支钱,向原有的闵行和车墩水厂供应。泵站开启6~7台主泵,供水规模提升至 $400 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,其中黄浦江取水量为 $200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。

第四阶段9月24日,松浦大桥泵站供水量持续增加,运行7~8台主泵,供水量达到 $447 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,调压池水位持续保持最高负荷运行,设备设施总体保持平稳运行。后续供应范围扩大至五号沟泵站,通过凌桥支线局部支援陈行系统,供水规模首次超过 $480 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,泵站处于最高负荷运行状态。10月17日,为降低黄浦江上游金泽系统供水负荷,松浦大桥泵站开启FZ-05第3根黄浦江取水管,进一步提升松浦取水口取水量。

在整个咸潮应急供水期间,9月26日松浦大桥泵站供水量首次达到 $483 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,之后持续至10月17日共计22 d供水量始终为 $(480 \sim 503) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,泵站一直处于最高设计负荷运行状态。

原水走向见图2。

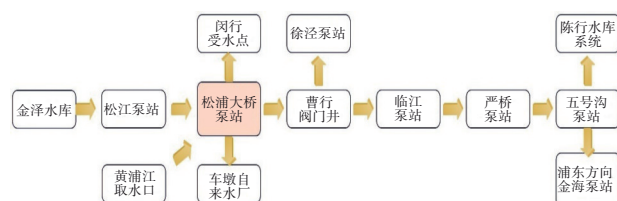


图2 原水走向

Fig.2 Trend diagram of raw water

### 3 原水应急供应下的设备保障情况

松浦大桥泵站12台主泵主要担负超过 $400 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 供水量任务,因此保障主泵的正常运行尤为重要。主泵投运前需检查泵体、轴承箱、冷却油是否异常,对真空破坏阀进行实验性测试,对主泵出水流量计进行校正,并在冲洗供水主管网时依次试运行所有主泵,确保其正常工作。在支援供水中,由于调压池长期保持14.5 m的极限高水位,前池保持低取水水位(1 m左右),实际扬程和主泵运行数量的增加造成主泵和配电系统长期高负荷运行,运行人员需对主泵及其配电设备加强巡视,并对高负荷运行下的数据进行记录、观察、分析。根据现有带前置VR调流装置主泵流量/扬程曲线、效率曲线以及振动数据分析,优先选用VR角为 $75^\circ \sim 90^\circ$ 的高效区进行调节供水,此时效率最高,振动数值较小,流量扬程损失最少<sup>[2]</sup>。同类型泵效率见表2。

表2 同类型泵效率

Tab.2 Pump efficiency of the same type

| 项目        | 泵导叶开启角度/ $(^\circ)$ |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 75                  | 80    | 85    | 90    | 95    | 100   | 105   | 110   |
| $\eta/\%$ | A泵                  | 81.82 | 82.22 | 82.51 | 82.70 | 81.76 | 80.25 | 77.89 |
|           | B泵                  | 85.62 | 85.73 | 85.73 | 85.01 | 84.08 | 82.26 | 79.83 |
|           | C泵                  | 88.50 | 87.36 | 87.40 | 86.92 | 85.80 | 84.47 | 81.7  |

在投运泵组选择方面,由于需要长时间保持调压池高水位运行,实际扬程需135 kPa,因此优先考虑大扬程的工频主泵,这样即使在调压池高水位运行时,工频主泵水头损失较小,出水流量损失也较小。工频主泵实际出水量为 $27\,000 \sim 35\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,高峰时段供水量为 $22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,运行7台主泵VR角 $90^\circ$ 满足最高效率工况。在非高峰时段,调压池无需保持最高水位,扬程需求不高,也可调整为工频主泵和变频主泵相结合的工况,变频主泵实际出水为 $10\,000 \sim 26\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,相较于工频主泵后者调流范围更大,能耗更低<sup>[3]</sup>。

在实际运行中,由于4座前池取水量过大,长期只能保持1 m左右极限水位,所以单座前池最多分配2台主泵运行,保证前池最低取水水位,防止水位过低触发主泵低水位跳闸保护跳车。在此期间还要观察旋转滤网和固液分离机的运行工况,旋转滤网故障停运会造成大量固体物堵塞前池格栅网,造成主泵取水效率降低,此时需根据具体工况调整主泵到其他旋转滤网正常的前池运行,以争取对故障

滤网的抢修时间。

#### 4 原水应急供应的水质保障情况

##### 4.1 投加粉末活性炭

根据黄浦江就地取水特性,松浦大桥泵站需在原水中投加粉末活性炭,经分析,确定采用竹炭(粒径 $d_{10}=5.67\text{ }\mu\text{m}$ , $d_{50}=24.9\text{ }\mu\text{m}$ )。由于粉末活性炭密度较大,且具有较好的吸附性能,因此能够附着在絮状物上,使水中大量有机物以沉淀的方式去除,助凝效果显著。投加粉末活性炭还可有效去除包括臭味物质、藻毒素、消毒副产物前驱物、农药等在内的多种有机物,并且有机物的去除效率随粉末活性炭投加量的增加而提高,与未投加粉末活性炭相比,对COD、TOC、DOC和 $\text{UV}_{254}$ 的去除率均有一定程度的提高<sup>[4]</sup>。

松浦大桥泵站粉末活性炭投加系统由粉炭料仓(4个)、输送系统、制备系统、炭液混合罐和投加系统组成,其中单个粉炭料仓储炭量50 t,给料机输送系统满频状态下单台输送能力为1.3 t/h,投加系统(6台泵)单台泵投加炭液能力20 t/h,制备系统自动运行模式下,通过工控界面设置药液浓度数据和千吨水投加量数据来控制投加炭量,PLC根据输入的数据改变变频给料机和变频投加泵的频率,从而控制出料仓的炭量和投加泵投加到调压池的炭液流量。

炭液投加量计算公式如下:

$$Q_{\text{炭}} = \frac{\rho \times Q \times 10^{-6}}{\omega} \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{炭}}$ 为总管炭液投加流量, $\text{m}^3/\text{h}$ ; $\rho$ 为粉炭投加浓度, $\text{mg}/\text{L}$ ; $Q$ 为总管流量, $\text{m}^3/\text{h}$ ; $\omega$ 为粉炭质量和溶液质量比值。

设定总管流量 $Q$ 为 $20 \times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ ,粉炭投加浓度 $\rho$

为 $10\text{ mg}/\text{L}$ ,药液浓度 $\omega$ 为5%,经计算可知,总管炭液投加量 $Q_{\text{炭}}$ 为 $40\text{ m}^3/\text{h}$ ,平均消耗粉炭为 $2\text{ t}/\text{h}$ 。为了更精准地控制粉末活性炭投加量,还需对各料仓的称重数据进行每小时减量计算,复核实际投加量是否与工控界面输入量相吻合。粉末活性炭投加工艺流程见图3。

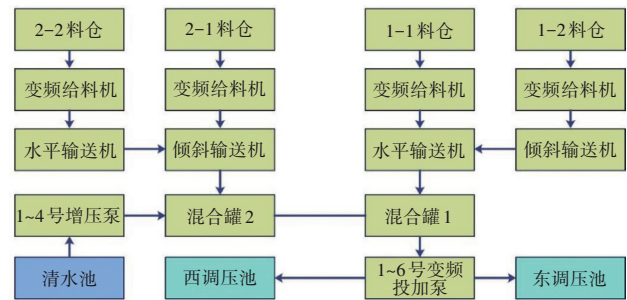


图3 粉末活性炭投加工艺流程  
Fig.3 Flow chart of powdered activated carbon dosing

##### 4.2 松浦取水口水质

咸潮期间从松浦取水口应急取水,2022年9月底至2023年1月初松浦取水口的主要水质指标见表3。

应急取水横跨夏秋冬三个季节,在此期间最高水温从 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从表3可知,取水口氨氮、高锰酸盐指数、溶解氧基本为地表水Ⅲ类以上水质;氯化物符合取水标准。另外,浊度受潮位影响,波动较大( $20\sim 115\text{ NTU}$ )。开放型水域取水口受潮位和上、下游水质影响大,低潮位时浊度会持续高于 $100\text{ NTU}$ 。为此,加强了对水质的检测管理,包括加强在线仪表维护,增加氯化物检测频率,加强留样管理,在上游、下游增加6个采样点进行船采样,按检测要求,将取水口和流域水样送至水质中心,由水务集团相关检测机构进行进一步检测<sup>[5]</sup>。

表3 应急取水水质

Tab.3 Emergency intake water quality

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

| 时间       | 氨氮   |      |      | 高锰酸盐指数 |     |     | 溶解氧  |     |      | 氯化物 |     |     |
|----------|------|------|------|--------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|
|          | 最大值  | 最小值  | 平均值  | 最大值    | 最小值 | 平均值 | 最大值  | 最小值 | 平均值  | 最大值 | 最小值 | 平均值 |
| 2022年9月  | 0.17 | 0.03 | 0.08 | 5.2    | 4.2 | 4.8 | 7.2  | 5.3 | 6.3  | 75  | 60  | 66  |
| 2022年10月 | 0.29 | 0.04 | 0.11 | 4.7    | 4.0 | 4.3 | 8.8  | 6.4 | 7.8  | 73  | 64  | 69  |
| 2022年11月 | 0.34 | 0.11 | 0.22 | 4.7    | 4.0 | 4.3 | 8.8  | 7.7 | 8.3  | 85  | 69  | 78  |
| 2022年12月 | 0.50 | 0.28 | 0.38 | 4.8    | 3.8 | 4.2 | 11.6 | 8.5 | 10.0 | 86  | 60  | 78  |
| 2023年1月  | 0.78 | 0.21 | 0.35 | 4.5    | 3.6 | 4.0 | 11.9 | 9.8 | 10.6 | 88  | 73  | 79  |

#### 5 结语

长江口咸潮应急供水历时103 d,松浦大桥泵站

供水总量为 $4.29 \times 10^8\text{ m}^3$ ,其中取水量为 $2.62 \times 10^8\text{ m}^3$ 、转输金泽原水量为 $1.67 \times 10^8\text{ m}^3$ ,粉炭投加总量

为 3 508.39 m<sup>3</sup>。在全市原水供应格局上,松浦大桥泵站起到了源头枢纽作用,全部承担了青草沙系统的严桥支线功能,向上海市中心城区供应黄浦江上游原水,局部支援了陈行系统,保障了原水的安全优质供应。

#### 参考文献:

- [1] 刘来胜,郭世浩,杜历,等.城市供水应急备用水源规划与实施保障研究[J].中国水利,2022(16):18-20.  
LIU Laisheng, GUO Shihao, DU Li, *et al.* Research of urban water supply emergency and alternate water resources planning and implementation guarantee [J]. China Water Resources, 2022(16):18-20(in Chinese).
- [2] 车晓红,张帝,成立.立式混流泵站进出水流道水力优化[J].南水北调与水利科技,2020,18(5):144-150.  
CHE Xiaohong, ZHANG Di, CHENG Li. Hydraulic optimization of inlet and outlet passages of vertical mixed flow pumping station [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020,18(5):144-150 (in Chinese).
- [3] 侯秀丽,张雪,蒋福春,等.水厂取水泵组优化调度设计[J].给水排水,2020,46(8):31-36.  
HOU Xiuli, ZHANG Xue, JIANG Fuchun, *et al.*

Optimal scheduling design of water intake pump group in water plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(8):31-36(in Chinese).

- [4] 韩晓璐,黄廷林,邢翔轩,等.粉炭强化循环造粒流化床去除天然有机物的研究[J].中国环境科学,2020,40(6):2513-2520.

HAN Xiaolu, HUANG Tinglin, XING Xiangxuan, *et al.* Research on the removal of natural organic matters using a circulating granulation fluidized bed strengthened by powdered activated carbon [J]. China Environmental Science, 2020, 40 (6) : 2513-2520 (in Chinese).

- [5] 赵欣,杨坤,耿冰,等.水源切换对城市二次供水水质的影响分析[J].净水技术,2022,41(S1):45-48,278.  
ZHAO Xin, YANG Kun, GENG Bing, *et al.* Effect of water source switch on water quality of municipal secondary water supply [J]. Water Purification Technology, 2022,41(S1):45-48,278(in Chinese).

作者简介:余梁(1987-),男,上海人,本科,助理工程师,主要研究方向为泵站运行。

E-mail:330991448@qq.com

收稿日期:2023-12-19

修回日期:2024-03-21

(编辑:衣春敏)

统筹水资源、水环境、水生态治理,  
深入推进大江大河和重要湖泊治理