

设计经验

区域供水资源整合下的大型取水泵站的创新设计

焦瑞虎, 黄维让, 张 红

(广东省建筑设计研究院, 广东 广州 510015)

摘 要: 为避开咸潮上溯和周边污染的影响,永久解决番禺区第一水厂、第二水厂、石碁水厂和钟村水厂的源水水质问题,提出对全区的供水资源进行整合,建设集中的广州番禺某大型取水泵站。介绍了取水泵站的创新设计,包括常规取水、原水预处理及应急处理、原水调度和供水科普宣教等方面的设计,并创造性地提出了将综合管廊和海绵城市的设计理念赋予其中,打造出新型取水泵站更多的内涵,供广大同行设计参考。

关键词: 取水泵站; 应急处理; 综合管廊

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0042-06

Innovative Design of Large-scale Intake Pumping Station under Integration of Regional Water Resources

JIAO Rui-hu, HUANG Wei-rang, ZHANG Hong

(Architectural Design and Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510015, China)

Abstract: To avoid the influence of salty tide and peripheral pollution, to permanently solve raw water quality problem of First water plant, Second water plant, Shiqi water plant, Zhongcun water plant in Panyu district, the integration of water resources and construction of Panyu centralized large pumping station in the region were put forward. Creative design of water intake pumping station was introduced, including conventional water intake, pretreatment and emergent treatment of raw water, dispatch of raw water, popular science propaganda and education of water supply, etc. Design concept of utility tunnel and sponge city was suggested creatively. It will make pumping station a better connotation, for the broad colleagues to peer design reference.

Key words: intake pumping station; emergent treatment; utility tunnel

1 项目背景

广州市番禺区共有5座自来水厂,分别为第一水厂、第二水厂、东乡水厂、石碁水厂和钟村水厂,供水能力分别为 56×10^4 、 20×10^4 、 20×10^4 、 12×10^4 、 20×10^4 m^3/d ,总设计供水能力为 128×10^4 m^3/d 。其中,东乡水厂以顺德水道为水源,水源水质较优;第一、第二、石碁水厂以顺德水道下游的沙湾水道为水源,水源水质受咸潮上溯和周边污染的影响;钟村水厂以陈村水道为水源,该水源不在保护区,水源水

质较差。

① 周边污染及咸潮上溯问题

第一水厂、第二水厂的现状水源为沙湾水道,现状水源水质受到两个因素的影响:第一是周边污染,根据原水水质监测资料,源水中硝酸盐氮、有机溶剂、重金属等污染物的本底浓度呈波动上升趋势,水源水突发污染事件时有发生,污染影响时间亦呈逐年延长趋势;其次是咸潮上溯影响,番禺区咸潮一般出现在10月一次年4月。一般年份,南海大陆架高

盐水团侵至伶仃洋内伶仃岛附近,盐度为0.2%(氯化物约为1 110 mg/L)的咸水入侵至虎门大虎,蕉门南沙;盐度为0.5%(氯化物约为270 mg/L)的咸潮线在沙湾水厂取水口附近。

为避开周边污染和咸潮上溯的影响,早在2005年,已在上游顺德水道紫坭河段建成 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的紫坭临时取水泵站和直径2.5 m、长约7 km的原水输水管道,用于第一水厂应对枯水期咸潮和水源水突发污染。

钟村水厂位于陈村水道的现有取水口难以纳入水源保护区,石碁水厂位于大刀沙的现有取水口在水源保护区末端,无法划入一级保护区,两厂水源水质无法得到有效保障。

② 设计思路

为避开咸潮上溯和周边污染的影响,解决第一水厂、第二水厂、石碁水厂和钟村水厂的源水水质问题,将全区问题较突出的水源进行整合:将陈村水道钟村水厂取水口、沙湾水道石碁水厂取水口、沙湾水道第二水厂取水口迁移到第一水厂紫坭临时泵站应急取水口位置,建设永久型泵站,同时在泵站内考虑对源水进行预处理或应急处理,降低入厂原水水质不达标风险,提高供水应急处理能力和水平。

③ 区域供水资源整合规划布局

区域供水资源整合方案布局关系见图1。

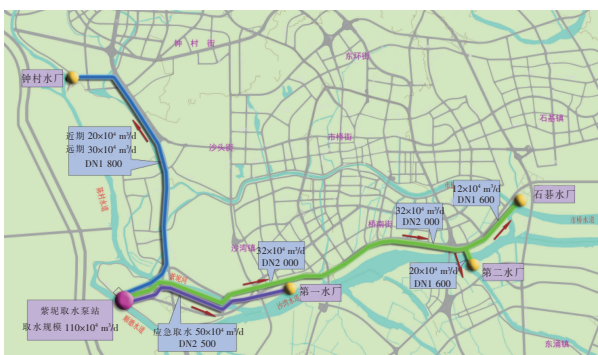


图1 区域供水资源整合方案布局关系

Fig. 1 Layout of regional water resources integration plan

根据水泵流量及扬程的计算,考虑节能并方便调度等因素,设计钟村水厂采用独立泵组供水,新建输水主管管径采用DN1 800,长度约11.5 km;第二水厂及石碁水厂采用泵组联合供水,新建输水主管管径采用DN2 000,长度约13.9 km,单独供应石碁水厂段新建DN1 600管道,长度约2.7 km;第一水厂应急时独立泵组供水,应急时长按180 d/a考虑,

输水主管管径利用现状DN2 500管道,长度约6.9 km。考虑水厂间调度需求,出水总管间设置连管,平时采用阀门关闭。

2 建设要求

为了永久解决第一水厂、第二水厂、石碁水厂和钟村水厂的源水水质问题,拟对全区供水水源进行整合,建设大型取水泵站。本泵站的建设要达到诸多创新功能,不能仅仅满足于传统取水泵站的单一的取水功能,随着水源水质的污染、水源格局的调整、净水技术的进步,从系统性、集约性、综合性考虑,将部分在净水厂中的处理设施前置于取水泵站中,赋予了取水泵站更多的功能,即集取水、原水预处理或应急处理、原水调度和供水科普宣教等诸多功能为一体。

此外,在泵站内建设“供水工业展览馆”,结合工艺流程和建筑布局,建设便捷的室内外参观廊道,通过声、光、电等现代化技术使参观者能直观、便捷地了解到泵站全貌和制供水工艺流程。将展览馆打造成地区“供水科普宣教基地”,使其成为环保、节水教育的参观学习基地及供水科普宣传教育的最佳场所。

3 总体设计

3.1 项目规模及定位

本工程将钟村水厂、第二水厂、石碁水厂的取水口迁移至顺德水道紫坭岛现状第一水厂临时应急取水泵站处,与第一水厂取水口合并取水。工程建设规模见表1。

表1 工程建设规模

Tab. 1 Construction scale $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

项目	钟村水厂取水	石碁水厂取水	第二水厂取水	第一水厂应急取水	总规模
取水流量	20 (21.6)	12 (13)	20 (21.6)	50 (54)	102 (110)
注: 括号内数据考虑原水输水管道漏损及厂区自用水8%。					

根据上述统计,本工程建设规模为 $110 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是番禺区最大的原水取水泵站,承担着向全区除东乡水厂外的其他四座主力水厂提供原水的职能,是全区水源水质安全最核心的供水工程,对全区供水安全保障具有极为重要的作用。

3.2 泵站建设内容

建设内容包括取水头部及虹吸引水管(利用已

建)、取水泵房(含进水井、格栅间、吸水井、泵房、综合管廊、中央控制室)、变配电间、机修车间及仓库、综合加药间、配套管理用房、事故池等。

4 工程设计

4.1 总平面设计

根据建设方要求,总平面布置原则是在永久泵站未建成前,保留紫坭临时取水泵站取水功能(见图2)。

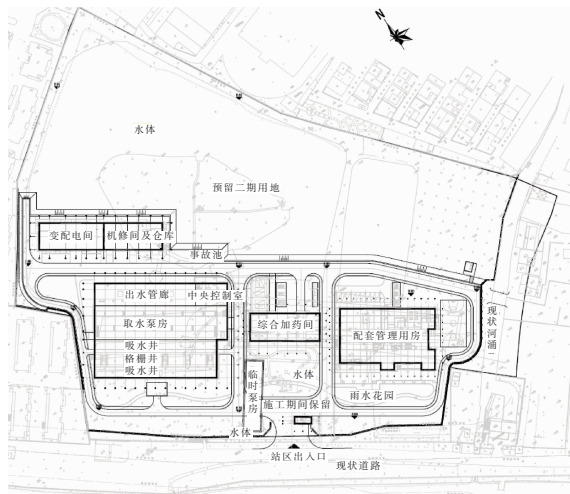


图2 工程总平面布置

Fig.2 General layout plan

由于现状永久取水头部及引水管位于厂区西南侧,现状临时取水泵站位于厂区南侧中间,现状出水管位于东侧。综合考虑将取水泵房设在厂区西南侧,综合加药间设在厂区南侧中部,综合管理用房设在厂区东南侧,变配电间、维修车间及仓库设在厂区西侧,厂区北部预留二期预处理用地。

4.2 取水头部及虹吸引水管

本泵站建设考虑利用现状临时取水泵站的取水头部及穿堤引水管。

① 取水头部(保留现状)

泵站现状取水头部为两个 $D2\ 420\ \text{mm} \times D3\ 220\ \text{mm}$ 喇叭口,搭建22根预应力管桩固定,四周用格栅围护,两侧进水,上下游分别设导流板除去杂草等漂浮物和悬浮物;在常水位以上设检修平台以利巡视、清渣,在洪水位以上设有航标灯安全措施;格栅按顺水流方向或 45° 角布置。

取水头部中心线距大堤约28.2 m,顶高为4.40 m(珠基高程),进水喇叭口顶高为-4.26 m(珠基高程),低于最低潮位3.0 m。取水头部与大堤的交通

由栈桥连通。

② 原水引水管道(局部改造)

现状敷设有两根 $D2\ 420\ \text{mm} \times 18\ \text{mm}$ 虹吸引水管道,一根接入临时泵房,一根采用法兰封堵待用。本取水泵站设计流量为 $110 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,拟利用现状取水头部及两根引水管道取水。引水管管径 $D2\ 420\ \text{mm} \times 18\ \text{mm}$,单管过流量 $110 \div 2 = 55 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$, $V = 1.41\ \text{m/s}$,水损为 $0.68\ \text{m/km}$ 。

为保障本工程取水量稳定可靠,须复核虹吸管虹吸高度:

a. 正常工况:计算取水头部至虹吸管吸真空位置的沿程损失及局部损失约1.0 m,虹吸管顶标高为7.8 m,低潮位3.64 m,则虹吸高度为 $7.8 - 3.64 + 1 = 5.16\ \text{m}$ 。根据《城镇给水设计手册》及国内大型虹吸引水管道运行经验,虹吸管设计中总虹吸高度可采用小于4~6 m,最高不应大于7 m,因此本工程可利用现状引水管道取水,双管同时使用,满足工程取水需求。

b. 事故工况:本工程总取水量为 $110 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,考虑一根引水管事故,单管通过量按70%考虑,即 $77 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,此时流速为 $1.97\ \text{m/s}$,计算取水头部至虹吸管吸真空位置的沿程损失及局部损失约2.0 m,吸真空位置管顶标高为7.8 m,低潮位3.64 m,则虹吸高度为 $7.8 - 3.64 + 2 = 6.16\ \text{m} < 7\ \text{m}$,能够满足事故时取水需求。

4.3 取水泵房

① 进水井

设置一座进水井,分为两格,单格进水尺寸为 $7.0\ \text{m} \times 35.90\ \text{m}$,井深度为12.40 m,有效水深为5.0 m,进水井底部设置一套反冲洗管道。

② 格栅井

设置一座格栅井,按进水管位置分为两格,每格均匀设置三道格栅保证配水。格栅渠宽为2.4 m,间隙为8 mm,根据格栅前后水位差运行,或根据需求定时运行。格栅采用平板格栅除污机。

③ 吸水井

设置一座吸水井,分为两格,单格进水尺寸为 $6.0\ \text{m} \times 35.9\ \text{m}$,深度为12.4 m;采用闸门连通,同时吸水井尺寸设计考虑预留设置集泥坑及吸泥泵,以便于清除沉积的污泥。

④ 水泵配置及辅助设备

经过水泵选型,推荐采用5台变频泵组,6台工

频泵组,水泵为高效单级双吸离心泵。

以远期流量及取水口常水位作为选泵依据^[1],使水泵大部分时间在高效期工作;以远期流量及枯水位作为校核工况进行复核。即将该点设为水泵的

设计点,采用变频和变化台数相结合的方法来满足其他工况流量和扬程的要求,结合原水输水管道的敷设情况,计算出泵组主要技术参数,结果如表 2、3 所示。

表 2 水泵选型及配置

Tab. 2 Pump selection and configuration

项 目	取水量/(10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	扬程/m	泵组配置	备注
钟村水厂	21.6	25	2 用 1 备,1 台变频泵	漏损及自用水系数合计 8%
石碁水厂 + 第二水厂	13 + 21.6	29	3 用 1 备,2 台变频泵	
第一水厂	54	22	3 用 1 备,2 台变频泵	

表 3 不同运行工况下水泵机组搭配情况

Tab. 3 Matching of pump units under different operating conditions

运行工况	水量/(10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	扬程/m	供应水厂	泵组配置	备注
现状运行工况	11	20	钟村水厂	2 用 1 备	1 台变频
设计运行工况	20	25	钟村水厂		2 台变频
现状运行工况	8 + 11	21	第二水厂 + 石碁水厂	3 用 1 备	2 台变频
设计运行工况	20 + 12	29	第二水厂 + 石碁水厂		2 台变频
应急运行工况	50	22	第一水厂	3 用 1 备	2 台变频

现状及设计期限时的各种输水工况可以通过变频调节水泵转速来满足泵站对输送水量和水压的要求,转速变化范围约为(70% ~ 100%)*n*(*n* 为水泵额定转速)。

辅助设备:10 t 电动双梁桥式起重机;电机冷却系统采用水冷却;配置两套真空引水系统。

⑤ 泵房

大规模引水工程的卧式离心泵泵房,通常采用矩形和圆形泵房等形式,其对比见表 4。

表 4 矩形泵房与圆形泵房比较

Tab. 4 Comparison between rectangular pumping station and circular pumping station

项目	矩形泵房	圆形泵房
优点	管道顺畅,布置方便; 美观大方; 管理、巡视方便	占地面积小; 泵房埋深较大时有经济优势
缺点	占地面积大; 泵房埋深不能太大	水泵台数及布置受限制; 通风散热条件较差

本工程拟配置 12 台泵位,根据水泵配置方案、厂区布置和进出水管路设置顺畅等要求,结合西江引水^[2]、上海青草沙引水工程调研情况,采用矩形泵房,将泵组集中设置于同一房间,交错双行布置,出水管廊设于泵房北侧,平面尺寸为 20.4 m × 80 m,地下 9.35 m,地上 11.20 m。

⑥ 中央控制室

中央控制室设于综合管廊的东侧,内有监控大

屏、设备及仪表间。综合管廊另一侧上部设有可视玻璃盖板,透过上部玻璃可巡视管廊内管道和阀门设施,便于参观学习。

取水泵房布置见图 3。

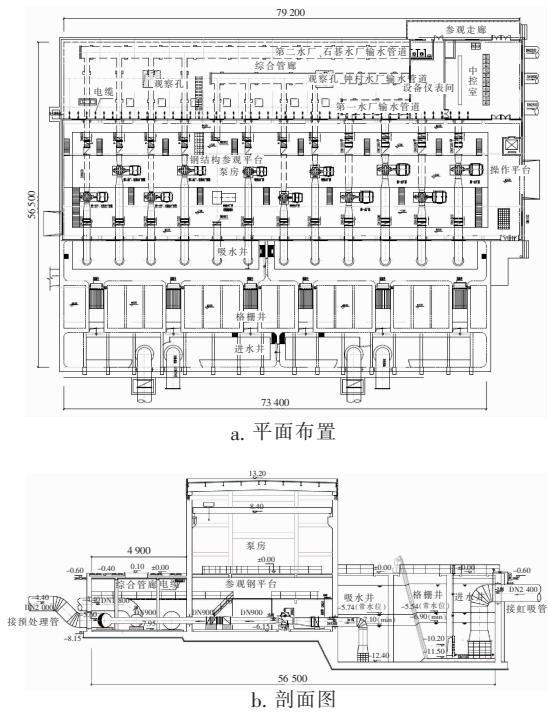


图 3 取水泵房布置

Fig. 3 Layout of water intake pumping station

4.4 综合加药间

① 药剂选择

为应对原水的突发状况及实际运行需要,根据相关水厂运行投药经验^[3],参照近些年水源突发污染事件应急处理措施^[4],设置本工程的加药设备及应急药品储备。

本工程设计有次氯酸钠投加设施、粉末活性炭和高锰酸钾药量储备及应急设施,置于加药间内,以供应急时投加,加药间尺寸为42.0 m×15.0 m。

次氯酸钠:设计采用投加成品次氯酸钠。

高锰酸钾:采用的高锰酸钾为国家一级原料,含量为99.3%。设计采用负压气流输送方式,将物料输送至位于溢流式溶解箱上部的粉体储存仓中,完成溶解、混合、投加等全自动流程。

粉末活性炭:湿式粉末活性炭在水厂应用较为普遍,工艺简单、环保、高效,但采用螺杆泵投加悬浊液会因泵的磨损引起扬程下降导致悬浊液流速降低,造成固体颗粒析出沉淀而堵塞管道。为避免上述问题,本次设计采用IMFT系列干粉投加系统,采用高速射流技术,将配制、混合、投加三个过程集为一体连续投加工艺。由于采用了射流技术,在悬浊液中没有泵的存在,避免了上述问题发生,减少了维护费用90%以上。

应急处理药剂设计参数见表5。

表5 应急处理药剂设计参数

Tab.5 Design parameters of emergency treatment

项 目	投加方式	投加浓度/%	投加量/(mg·L ⁻¹)	储量/m ³
次氯酸钠	成品、湿式	10	2	120
高锰酸钾	湿式	2	2	30
粉末活性炭	射流投加	5~10	20	220

② 投加点

次氯酸钠投加点设在取水口,主要作用是利用其氧化性使贝壳类或藻类失去活性而去除。高锰酸钾的氧化还原电位较高,能够氧化有机物,并能使藻类失活,从而能改善混凝效果,投加点设在泵房出水总管上。

粉末活性炭投加点设在吸水井内,利用原水在管道的输送时间完成活性炭对污染物的吸附去除过程。经计算,粉末活性炭在管道内的吸附时间分别为钟村水厂195 min,石碁水厂240 min,第二水厂180 min,第一水厂90 min。通常一般吸附时间为30 min时,可以达到约70%的吸附容量,吸附时间为90~120 min时基本达到饱和。

4.5 供水科普宣教

为了让人们了解自来水发展史,可综合考虑在泵站综合楼内设计科普宣教区,结合工艺流程和建筑布局,建设便捷的室内外参观廊道,通过声、光、电等现代化技术使参观者能直观、便捷地了解到泵站全貌和制供水工艺流程。

4.6 工程创新

① 综合管廊

由于本泵站服务对象有四座水厂,根据水泵选择的需要,造成出水管道布置复杂,纵横交叉较多,日后运行中万一某根管道出现问题,检修也非常复杂。为解决管道合理布置及检修,创造性地将综合管廊应用其中,合理解决了各出水分管及各总管之间的交叉及检修问题,同时可将投药点及控制阀门设置其中,方便巡查及检修,管廊平面尺寸为13.3 m×80 m。

② 海绵城市

结合站区景观,雨水收集利用设置了生态水池、蝶形边沟^[5]等设施,减少雨水的排放,大大提高了水资源的利用率。

③ 新风系统

为应对南方回南天气候而设计的新风系统,能有效对设备间进行除尘除湿,保护并延长机电设备的使用寿命。

④ 沉砂设计

经过对国内多个大型取水工程沉砂池的运行情况调研,发现由于用地限制问题、前池流态问题,导致设在取水泵站的沉砂池效果都不理想,因此,本工程设计前通过软件水力模拟,改善进水流态,尽量不让泥砂在泵站内沉积下来,而是通过水泵一起输送至净水厂的沉淀池进行处理。

⑤ 门禁系统

为了规范员工上班的标准统一,以及及时掌握员工的工作动态,特在综合管理用房设计了门禁系统,要求每位员工上班都统一着装,并且符合标准才能进入工作区域,每进一个生产区间都必须打卡,门禁系统可随时显示每位工作人员的在岗状态。

5 工程效果

工程建成后运行情况良好,有效解决了番禺地区的原水供应问题,成为当地供水行业科普宣教的标志性样板工程。

泵站效果图见图4。



图4 泵站效果图

Fig.4 Design sketch of pumping station

6 结语

广州番禺某大型取水泵站对全区的供水资源进行整合,打造出新型取水泵站,可为国内外同类工程提供宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 樊建军,胡晓东,张朝升. 取水泵站的优化设计与节能改造[J]. 中国给水排水,2003,19(8):72-74.
Fan Jianjun, Hu Xiaodong, Zhang Chaosheng. Optimal design and energy saving transformation of water intake pumping station[J]. China Water & Wastewater,2003,19(8):72-74(in Chinese).
- [2] 匡科,袁永钦. 西江引水工程泵站的设计[J]. 中国给水排水,2012,28(20):1-4.
Kuang Ke, Yuan Yongqin. Design of pumping station in Xijiang River water diversion project[J]. China Water & Wastewater,2012,28(20):1-4(in Chinese).
- [3] 李书建,李正兆,杨宇栋. 常州市城市供水应急系统工程建设方案探讨[J]. 给水排水,2009,35(S1):24-27.
Li Shujian, Li Zhengzhao, Yang Yudong. Construction of emergency system of water supply safety in Changzhou City[J]. Water & Wastewater Engineering,2009,35(S1):24-27(in Chinese).
- [4] 张晓健,陈超. 应对突发性水源污染的城市应急供水的进展与展望[J]. 给水排水,2011,37(10):9-18.
Zhang Xiaojian, Chen Chao. Emergency drinking water supply against water pollution accidents in China: Progress and prospect [J]. Water & Wastewater Engineering,2011,37(10):9-18(in Chinese).
- [5] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等. “海绵城市”理论与实践[J]. 城市规划,2015,39(6):26-36.
Yu Kongjian, Li Dihua, Yuan Hong, et al. “Sponge city”: Theory and practice[J]. City Planning Review,2015,39(6):26-36(in Chinese).



作者简介:焦瑞虎(1975-),男,安徽安庆人,硕士,高级工程师,所给排水副总工程师,主要从事市政给水排水工程、垃圾处理工程设计工作,曾获中国优秀勘察设计二等奖一项,广东省优秀勘察设计一等奖两项、二等奖三项、三等奖两项,广东省优秀工程咨询成果二等奖一项,广东省市政行业科学技术一等奖一项、三等奖一项等。

E-mail:408804039@qq.com

收稿日期:2019-03-12

借自然之力, 护绿水青山