

设计经验

## 江中桥墩式取水泵站集约化设计

常鹏飞, 谢仁杰, 曹雪梅, 言穆昀, 渠元闯, 姜天凌, 杨 阳  
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘 要:** 南方某取水泵站整体建在江河中,采用国内罕见的桥墩式取水方式。设计取水量为  $23.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,为了尽量减少该江中取水构筑物对河流流态、航运等的影响,并降低工程造价,本取水泵站集取水口、格栅池、潜水泵池、变配电间、控制室、值班室等为一体,通过对池体平面及竖向进行集约化设计,设计成一座地下一层、地上二层的建筑物,布置紧凑,占地极省。该江中桥墩式取水泵站运行后,达到了设计水量,水泵和电气自控设备运行稳定可靠,同时泵站稳定性经受住了台风考验,得到一致好评,可为同行业相关设计提供借鉴和参考。

**关键词:** 桥墩式泵站; 取水泵站; 集约化设计; 水锤防护

**中图分类号:** TU991.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)06-0041-04

## Intensification Design of Pier-type Water Intake Pumping Station in the River

CHANG Peng-fei, XIE Ren-jie, CAO Xue-mei, YAN Mu-yun, QU Yuan-chuang,  
JIANG Tian-ling, YANG Yang

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** A water intake pumping station in Southern China was built in the river. The rare pier-type water intake was adopted. The design inflow was  $23.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In order to reduce the influence of intake structures on river flow and shipping, the pumping station integrated intake, grille tank, pump tank, power distribution room, control room and duty room. Through the intensive design of the tank body plane and the vertical, the building was designed into one underground layer and two floors above the ground, with advantages of compaction and small land occupation. During the operation of the pumping station, the inflow met the design value, the pump, electrical equipment and automatic control equipment were stable and reliable. The stability of the pumping station has withstood the test of typhoon, and received consentaneous reputation. This project could be used as a reference for similar projects.

**Key words:** pier-type pumping station; water intake pumping station; intensification design; prevention of water hammer

在地表水源取水工程中,江河固定式取水是最常见的取水方式,固定式取水构筑物具有取水可靠、维护管理简单、适应范围广等优点,但投资较大,水下工程量较大,施工周期长。江河固定式取水构筑物主要分为岸边式和河床式两种,其中河床式按照进水管形式的不同,分为自流管取水、虹吸管取水、

水泵直接吸水、桥墩式取水等四种类型<sup>[1]</sup>。桥墩式取水泵站最为罕见,它的特点是将整个取水构筑物建在江河内,缩小了水流过水断面,容易造成附近河床冲刷,基础埋深较大,施工较复杂,此外,还需要设置较长的引桥与岸边连接,不仅造价昂贵,而且影响航运,故只宜在大河、含沙量较高、取水量较大、岸坡

平缓、岸边无建泵房条件的情况下使用。

南方某取水泵站取水量大,岸边不具备建泵房条件,结合洪水期江水含沙量较高的特点,最终选择了桥墩式取水泵站。为了尽量减少该江中取水构筑物对河流流态、航运等的影响,确定采用集中紧凑集约化设计,最大限度减少占地并降低工程造价。

## 1 工程概况

该取水泵站工程规模为  $22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,输水管道漏失率按 5% 考虑,取水设计流量为  $23.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主要包括 1 座取水泵站和约 14.1 km 原水输水管道两部分工程内容,其中输水管道由于途经约 1.4 km 高山输水隧道,据此分为输水隧洞前段和输水隧洞后段两段,输水隧洞前段约为 7.7 km,管径为 DN1 600,钢管,为单管压力输水;输水隧洞后段约为 6.4 km,其中约 1.5 km 管径为 DN1 600,钢管,为单管重力输水,剩余约 4.9 km 管径为 DN1 200,钢管,与现有 DN1 200 钢管形成双管重力输水。原水重力输至另一转输加压泵站,经加压送往净水厂净化处理。

## 2 工程设计

### 2.1 选址分析

通过比选,本工程最终选址在上游水库闸坝防冲槽下约 700 m 处且靠近主流水深较深的天然凹岸内,并位于排污口和跨江大桥的上游,有效避开了附近居民区污染源及大桥散落危险品等不利因素的影响,岸边有较宽阔的地方供原水管铺设,总体来说管道线路比较顺直,可实施性强,是比较理想的选址。

### 2.2 竖向标高分析

根据《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)第 5.3.6 条“江河取水构筑物的防洪标准不应低于城市防洪标准,其设计洪水重现期不得低于 100 年”以及第 5.3.9 条岸边式取水泵房进口地坪的设计标高“当泵房在江河边时,为设计最高水位加浪高再加 0.5 m,必要时尚应增设防止浪爬高的措施”。

本工程取水泵站建在江河中,最主要保护对象为变配电间,由于缺乏百年一遇洪水位及浪高的数据,结合 50 年一遇的洪水位为 16.37 m,上游水库正常蓄水位为 22.00 m 以及水库坝下河岸南侧水利枢纽分局室地面标高为 17.00 m 等数据,并考虑到水库对洪峰的调节性,最终确定建在江中的取水泵站为地下一层地上两层建筑物,地下一层为取水层,

池底标高为 0.00 m;地上一层为操作层,地面标高为 10.00 m,可承受洪水淹没;地上二层为配电层(含电缆层),为最主要保护对象,楼面标高为 19.60 m,超过 50 年一遇的洪水位(16.37 m)3.23 m。

### 2.3 泵站设计

取水泵站设计简图见图 1。

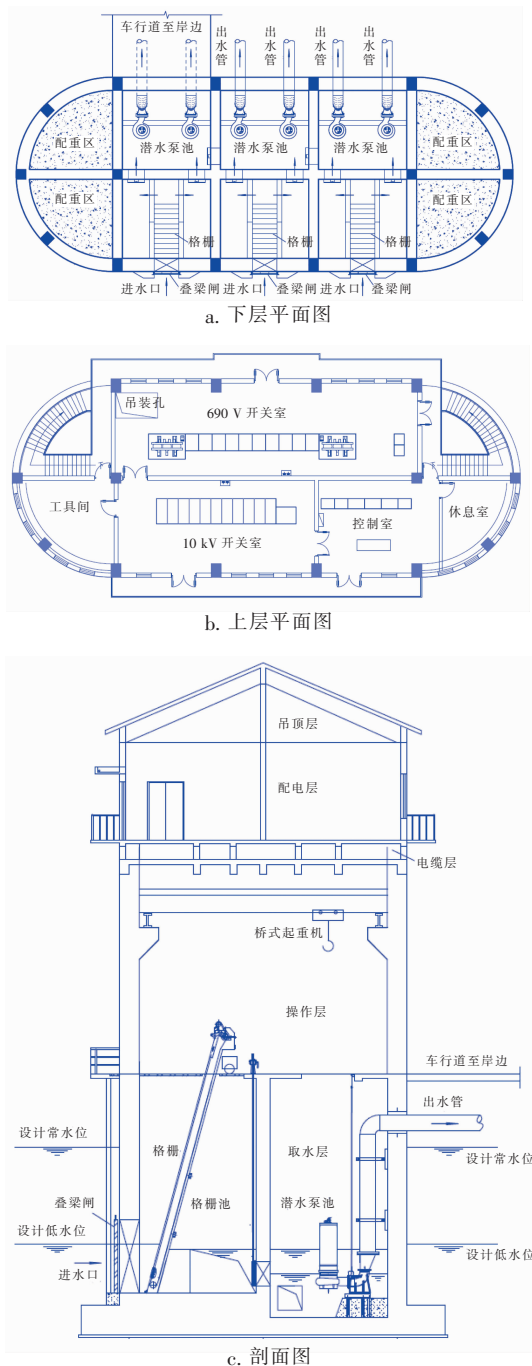


图1 桥墩式取水泵站设计图

Fig. 1 Design diagram of pier-type water intake pumping station

本桥墩式取水泵站整体建在江中,为降低对河流行洪的影响,采取两个措施:一是最大限度节省占地紧凑布置,将取水口、格栅池、潜水泵池、变配电间、控制室、值班室等合建,总占地面积很小,仅为 $342\text{ m}^2$ ,比一个标准篮球场还小约20%;二是泵站两端采用半圆形设计以顺应水流流态,同时减少水流对泵站的水力冲刷。

取水层设置在地下一层,为泵站核心部分,取水口洞口底标高为 $1.00\text{ m}$ ,洞口顶标高为 $4.00\text{ m}$ ,宽为 $1.5\text{ m}$ ;取水口后设置回转式格栅除污机,间隙为 $10\text{ mm}$ ,材质为SS304不锈钢,格栅倾角为 $75^\circ$ ,并采用两侧出水,尽量缩短格栅池长度;泵房选用潜水离心泵6台(5用1备),为适应水量变化,其中两台变频,单台 $Q=1\,925\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=500\text{ kPa}$ , $N=400\text{ kW}$ 。

操作层设置在地上一层,主要功能为通过引桥与岸边连通,便于操作人员管理巡视和栅渣排出,设有桥式起重机,便于潜水泵、闸门等安装检修。

配电层设置在地上二层,内设 $10\text{ kV}$ 开关设备、变压器和 $690\text{ V}$ 开关设备等。两路 $10\text{ kV}$ 外电电源互为备用,系统采用单母线分段接线。潜水电机的供电电压等级在 $690\text{ V}$ 和 $380\text{ V}$ 两者之间进行了比选,最后确定采用 $690\text{ V}$ 供电,这一方案较传统的 $380\text{ V}$ 供电,电流减少了 $1/2$ ,从而缩小了电缆截面,使得电缆在夹层内敷设更为便利,同时也降低了电能损耗,节省了电缆投资。

## 2.4 结构稳定性设计

由于泵站建在江河行洪通道内,并距离上游水库不足 $1\text{ km}$ ,汛期水库泄水流量大、流速快,20年一遇流量达 $11\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,局部最大流速达 $5\text{ m/s}$ ,故泵站结构稳定性设计至关重要。

根据地勘资料,取水泵站底部为高渗透性的砂卵石层,冲积形成,汛期受水流冲刷,层面不稳定,极易产生顺水流方向的整体运动,经过多次专家会议讨论,最终确定了基础处理采用钻孔灌注桩与高压旋喷桩相结合的方式,通过高压旋喷桩以区格状围封卵石层,保证基底稳定,并利用其作为基坑支护和围堰防渗墙使用,取得了良好的基坑支护和围堰防渗效果。钻孔灌注桩直径为 $1\,000\text{ mm}$ ,桩长为 $20\text{ m}$ ,采用桩距 $>4d$ 的疏桩布置形式,桩体不作为泵站的主要竖向承力结构,充分发挥天然地基的承载力,节约工程造价。

泵站操作层标高 $10.00\text{ m}$ 以下池体,池壁厚为

$0.8\text{ m}$ ,底板厚为 $1.0\text{ m}$ ,为减小泵站的阻水效应,泵站两端设置半圆形池壁结构。泵池非进水部分填充河内开挖的砂卵石,增加池体质量,作为抗浮荷载使用,并起到加大泵房自身质量来减小运行期振动的作用。根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB 50069—2002),泵站均考虑在最不利情况下,抗浮安全系数 $\geq 1.05$ ,抗滑安全系数 $\geq 1.30$ 。泵站操作层标高 $10.00\text{ m}$ 以上房屋部分采用框架结构,为保证极端情况下河内水位上升至标高 $10.00\text{ m}$ 以上时泵房的稳定,框架柱尺寸适当加大至 $600\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ 。

## 2.5 水锤防护设计

根据本工程的组成和功能,取水泵站至输水隧道段为加压输水,穿越输水隧道后输水管道为重力输水。在工程运行中可能造成取水泵站和输水管道破坏的主要原因是取水泵站至输水隧道间能产生停泵水锤和关阀水锤。为解决停泵水锤、关阀水锤以及进、排气不畅对管道可能造成的破坏,在设计中分别采用了在取水泵站岸边设置多功能止回阀和压力波动预止阀、在输水管道设置空气阀三种措施。

### ① 多功能缓闭止回阀

多功能止回阀在每台水泵的出口处,利用储存的势能,按预先设定好的快慢两个阶段关阀,先快关 $70^\circ$ 历时 $5\text{ s}$ ;余下 $20^\circ$ 慢关,用 $35\text{ s}$ 关完,关阀总历时为 $40\text{ s}$ 。本工程6台水泵出口均设置DN600多功能止回阀。

### ② 压力波动预止阀

压力波动预止阀是一种自动控制阀,用于减小因水泵开启和关闭或停电而造成管道系统中所引起的压力波动,能够可靠地保护水泵及泵站。此阀门是一种导阀控制、液压驱动的隔膜控制阀,阀门两端的压力差是驱动它开启关闭的能量来源,无需外界动力源。当水泵突然停泵时,一般会产生巨大的压力波动。在管道较长的供水系统当中,这种压力波动往往首先表现出明显的低压段,继而高压段激聚出现。低压控制导阀可感应到这种最初的压力波降并自动开启,以使主阀随之开启,从而预防从系统返回的高压力波动。开启的主阀会将随之而来的高压力波排至大气。高压控制导阀会感应到同样的高压力波也会开启并使主阀保持开启状态,将多余能量排放掉。当系统压力恢复到高压控制导阀的设定值时,导阀本身将会关闭,导致主阀关闭,能有效地控



制压力波动的释放并保证主阀及时关闭,避免额外损失系统压力。使系统中的压力稳定在高压与低压预设值之间。压力波动预止阀除了可预防压力波动,还具有防止系统超压,即安全阀功能。它通过将过高的压力排向大气,可防止输水管道中发生超压和断流弥合水锤。

本工程在岸边设置一座泄水阀门井,内装2台DN400压力波动预止阀。

### ③ 空气阀设置

实践证明,压力输水管道排气和进气不畅是管线发生事故的重要原因之一。在输水管道的适当位置设置空气阀是保证输水管道安全运行的一种有效方法。本工程在管线驼峰处、长管段间隔约800 m处设置复合排气阀或防水锤排气阀。

## 3 运行效果

该取水泵站是一座建在江河中直接从江河取水的大流量、高扬程、大功率桥墩式泵站,在国内非常罕见,通过对其池体平面及竖向进行集约化设计,布置浑然一体,极为紧凑,最大限度地降低了对河流行洪的影响。

2016年9月遭遇台风“鲶鱼”带来的20年一遇洪水,洪水已淹没操作层,水位达到桥式起重机支撑牛腿处,泵站稳定性经受住了考验,洪水退去,泵站主体完好,已安装设备重新试运转正常,得到一致好评。

2017年3月取水泵站正式通水运行,取水量逐步达到设计流量,6台水泵按不同工况组合运行均稳定可靠,格栅截污效果良好,阀(闸)门启闭正常,电气自控设备均运转平稳,达到了预定的工程目标。

## 4 结论

该取水泵站是大流量、高扬程、大功率桥墩式泵站,在国内非常罕见,通过对其池体平面及竖向进行集约化设计,最大限度地降低了对河流行洪的影响。为国内同类工程提供了一个很好的范例,其经验值得推广。

## 参考文献:

- [1] 冯建刚. 大型城市取水泵站虹吸式出水管水力特性研究[J]. 给水排水, 2007, 33(11): 203-206.
- Feng Jiangang. Research on hydraulic characteristics of siphon-type water outflow pipe in big-size municipal water intake pumping station[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(11): 203-206 (in Chinese).



作者简介:常鹏飞(1982-),男,陕西米脂人,本科,高级工程师,主要从事市政给排水工程设计工作。

E-mail: 122700492@qq.com

收稿日期: 2017-09-15

绿水青山就是金山银山