

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 12. 007

浮船式泵站在嘉陵江取水工程中的应用与改进

阳佳中

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 为解决供水保证率不足及水质合格率偏低等问题,四川东北某县城实施嘉陵江供水工程,其中,取水工程采用浮船式取水泵站,浮船取水具有取水水质好、投资省的优点,但在实际运行中发现,在洪水期,江水浮渣量大、浊度高,易导致水泵吸水管堵塞、泵轴冷却水系统失效,同时变频泵受静扬程高的影响,调频过程中易出现停机等问题。通过分析格栅平面布置的缺陷,对拦渣格栅进行改进,设计了一种新型的拦渣箱;分析变频泵的运行工况,提出了一种新的水量平衡调节模式;对冷却水水源的选择给出了建议。经改造后,取水泵站运行稳定,可为类似工程提供参考。

关键词: 取水工程; 浮船式取水泵站; 浮渣; 变频泵

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0047-05

Application and Enhancement of Floating Boat Pumping Stations in a Water Intake Project of Jialing River

YANG Jia-zhong

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: A county in northeastern Sichuan Province has implemented a water supply project along the Jialing River to address issues such as insufficient water supply guarantee rate and low water quality qualification rate. Specifically, the water intake component of this project utilizes a floating boat water intake pumping station. While the water intake method offers advantages such as good water quality and reduced investment costs, operational challenges were identified during the flood season. During this period, the river water contains a significant amount of scum and exhibits high turbidity, which can lead to blockages in the suction pipes of the pumps and failures in the pump shaft cooling water systems. Additionally, shutdowns of the variable frequency pump may occur during the frequency adjustment process due to the high static head. Through a detailed analysis of the defects in the planar layout of the grid, the scum screen was optimized, and a novel type of scum trap was designed. The operating conditions of the variable frequency pump were thoroughly evaluated, leading to the proposal of a new water balance regulation mode. Furthermore, recommendations were provided regarding the selection of cooling water sources. After renovation, the water intake pumping station operates stably and can provide reference for similar projects.

Key words: water intake project; floating boat water intake pumping station; scum; variable

frequency pump

四川东北某县城老水厂建成于1997年,水源为县城以北的绿湖,受绿湖可取水量及水厂制水工艺限制,其设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,而现状运行规模仅 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在城市用水高峰期,水厂供水水质和水量无法同时满足用户需求。因此,为解决工程建设标准低、供水保证率不足及水质合格率偏低等问题,该县实施了嘉陵江供水工程,通过开辟新的水源,建设新的水厂,保障居民供水安全,满足城市经济发展的需要。

1 浮船式泵站的应用

1.1 工程概况

该工程远期总设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,近期设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要建设内容包括取水工程、预处理厂、加压泵站、水厂及输水管道工程。该工程从嘉陵江取水,取水规模 $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用浮船式泵站取水;泵站取水后提升至附近的预处理厂,经预处理后采用2根10.7 km长的DN900钢管重力输送至加压泵站;加压泵站采用2根15 km长的DN900钢管将水提升至水厂,处理后的成品水经配水管网供给城市用户。

1.2 取水口位置选择

经前期水资源论证,选取县域内的嘉陵江作为水源,嘉陵江可选河段为上游夕溪场至下游东西关电站。该工程河段全长约15 km,总体自北向南流,河段河谷呈“U”型,河床质多为砂卵石,河道比降为0.05%,水流流速缓慢。河段河谷宽350~680 m,主河槽偏左岸,河段弯道凸岸漫滩发育,边滩上种植农作物。河道两岸均为自然岸坡,陡峭坚固,植被茂密,工程河段河道基本稳定。该工程取水位置见图1。

取水口位置选择应综合考虑河道段的水质因素、水文、河床及地形、工程地质条件及卫生防护等。经论证,取水口位置选择在河道左岸的丁家石盘村,主要考虑因素如下:

① 取水口位于河道主流段,且在东西关电站库区内,水流速度较缓,水质较好,泥沙量较少。检测数据显示,水源水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类水要求。

② 水下地形图显示河段水深岸陡,岸边正常

水深达18 m,岸边坡度大于 45° 。取水口位于河段的凹岸,且避开凹岸主流的顶冲点。

③ 地勘报告显示,河段地质构造稳定,承载力较高。岩层主要为强风化粉砂岩、中风化粉砂岩和中风化泥岩。

④ 取水口距离上游镇裕镇约2 km,满足卫生防护要求,有利于水源保护区的划分。

⑤ 岸边场地标高满足100年一遇的洪水位,场地平整,交通运输方便,有利于施工。



图1 取水位置示意

Fig.1 Diagram of water intake location

1.3 取水构筑物形式选择

取水构筑物一般分为固定式取水构筑物和移动式取水构筑物,后者又分为缆车式取水及浮船式取水。取水构筑物应保证在枯水季节仍能取水,并满足在设计枯水保证率下取得所需的设计水量,取水保证率不低于90%。

移动式取水构筑物与固定式取水构筑物在国内均有不少成熟的应用案例,移动式取水构筑物在我国中南和西南地区较为常见,主要应用于工矿企业供水、城市供水和农田灌溉等;固定式取水泵站比浮船式取水泵站运行安全性高,运行管理方便,但建设周期长,施工难度大,工程投资高^[1]。该项目对上述两种取水方案进行了经济技术比较,具体如表1所示。可知,固定式取水泵站运行安全,稳定性高,操作简单方便,可实现无人值守;浮船式取水泵

站取水水质较好,工程投资较低,实际工程投资约为固定式估算投资的 36.23%。

表 1 取水方案经济技术比较
Tab.1 Economic and technical comparison of water intake schemes

项目	固定式取水泵站	浮船式取水泵站
取水点 选址	对选址要求较高,场地需具有稳定的地质条件等,与岸边需有一定的安全距离	对选址要求较低,场址需能满足浮船的安装运行条件
征地面积	泵房及配电间等需征地,面积约 1 335 m ²	配电间需征地,面积约 445 m ²
建设周期	围堰施工及泵房土建施工难度大,一般需 1~2 年	施工简单,浮船可现场拼装,周期短,一般需 3~6 个月
结构 安全性	采用圆形泵房,结构稳定	采用钢制泵船,随水位上下浮动,安全性较固定式低
取水水质	取水为中、下层水,水质相对较差;取水口不受水面漂浮物影响	取水为上层水,水质相对较好;取水口容易受水面漂浮物影响
运行管理	水泵等设备运行平稳,故障率低;运行环境较好,管理操作方便,可实现无人值守	由于浮船的不稳定性,设备运行可靠性低,平时需有人值守
工程投资/ 万元	5 576(估算)	2 020(实际)

由于取水泵站用地受现场地形及基本农田限制,仅岸边 10~20 m 宽的狭长地带可用,若采用固定式取水泵站,施工难度极大,施工后岸边坡稳定性差,工程投资较高。因此,经技术经济比较后,取水方式选用浮船式取水泵站。

1.4 浮船式泵站设计

① 设计流量

取水设计规模考虑 10% 厂区自用水后为 8.8×10⁴ m³/d。泵站按 24 h 工作,设计流量为 3 667 m³/h。

② 取水浮船

浮船按竖向布置分为上承式与下承式。由于上承式具有通风好,维护管理方便,进、出水管因沿甲板面敷设而使船体构造较为简单等优点,取水浮船采用上承式。浮船实景见图 2。

为尽量减少船体质量,满足设计参数要求,采用整体式船箱。浮船平台尺寸为 38.7 m×14.7 m,浮船浮力≥800 kN,吃水深度 1 m,设备等约 30 t。浮船上设钢管式栏杆,水泵机组及压力支座安装在船底板梁或其他承重梁上。水泵出水管通过钢丝软管与管道通廊上的管道相接,管道通廊两端由浮船

和支撑平台上的双面弧形压力支座支撑。



图 2 浮船实景
Fig.2 Actual view of the floating boat

③ 水泵选型

水泵选型应综合考虑供水量和浮船等因素,满足运行的各工况点。当供水量时变化系数较大时,水泵台数宜多,但会造成浮船尺寸较大,投资较高。在水泵选型拟合各工况点难度较大时,可以考虑采用变频调速与增加水泵台数相结合的方式。泵站选用卧式双吸离心泵 4 台,3 用 1 备,其中 1 台变频, $Q=1\,222\text{ m}^3/\text{h}$, $H=1\,350\text{ kPa}$, $N=710\text{ kW}$ 。

④ 配电间

配电间位于岸边,主要为浮船取水泵电机直接配电以及对水泵进行变频调速控制等,同时为泵站低压用电设备提供电源,其建筑平面尺寸为 32.7 m×13.5 m。

2 浮船式泵站的改进措施

2.1 运行中存在的问题

该工程投入运行后,在极端工况下出现了一些问题,影响了泵站的正常运行:

① 水泵吸水口格栅拦渣效果较差,当遇到洪水时,浮渣会聚集在格栅周围,影响水泵的正常进水。如 2021 年 10 月,嘉陵江上游区域遭遇持续暴雨,江水暴涨,大量浮渣从上游漂流而下,直接堵塞吸水管,造成泵站停用。

② 变频泵的调节范围有限,仅在频率为 45~50 Hz 范围内运行,当频率低于 45 Hz 时,频率的微小变化都易导致水泵停机。

③ 由于距离城镇自来水系统较远,泵站自用水采用地下水及江水。实际运行发现,若采用江水,洪水期容易造成水泵冷却水管堵塞;若采用地

下水,会造成水泵的冷却部件锈蚀。

2.2 原因分析及改进措施

① 设计新型的七面体拦渣箱替换简易的人工格栅。水泵吸水口原先采用传统的人工平板格栅,格栅尺寸 $1.2\text{ m}\times 1.2\text{ m}$,栅条间隙 50 mm 。人工格栅平面布置如图3所示。

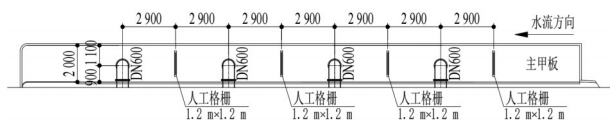


图3 人工格栅平面布置

Fig.3 Layout plan of manual grid

由图3可知,浮渣聚集在格栅的来水方向,若不及时清理,会对紧邻上游的吸水管吸水造成影响。平时浮渣量少时,可通过人工定期进行清理,但在洪水期,大量浮渣聚集,人工无法及时清理。

为彻底解决栅渣堵塞吸水管的问题,必须将栅渣整体拦截在吸水管外侧,因此,设计了一种新的拦渣方式。在艏部和艉部各设1个拦渣箱,分别为2根吸水管服务,箱体尺寸为 $L\times B\times H=8.2\text{ m}\times 1.25\text{ m}\times 1.6\text{ m}$ 。拦渣箱为七面体,上部敞开,采用 $\delta=6\text{ mm}$ 的钢板拼制而成;拦渣箱靠舷侧面采用角焊缝以及塞焊的型式与外板固定,上口采用拉攀与舷伸甲板固定;箱体内部采用 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 的角钢进行加强,防止变形;拦渣箱艏板、底板以及外侧板进行钻孔,孔直径 8 mm ,孔距为 15 mm 。安装后,拦渣箱水面线下为 1.2 m ,水面线上为 0.4 m 。单个拦渣箱示意图见图4。

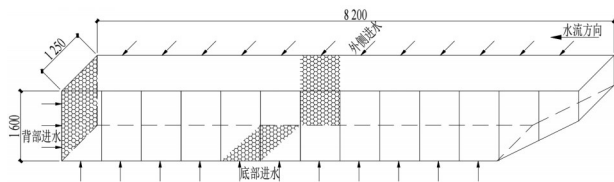


图4 拦渣箱示意

Fig.4 Schematics of the scum trap

浮船运行时,非洪水期通过箱内外的水位差控制清洗频率,洪水期为定期冲洗。非洪水期,当箱内外水位差达到 20 cm 时开始人工清洗,清洗时工人通过甲板上的检修孔进入箱体,先利用铲子将箱壁及底板上附着的贝壳及泥沙等清理干净,再采用便携式高压水枪紧贴孔隙进行冲洗,以冲走其中的残留物。改造后水泵运行良好,吸水管未再出现堵

塞现象。非洪水期的清洗频率一般为 $2\sim 3$ 个月1次;洪水期的清洗频率控制为1次/月,若上游出现特大暴雨,则增加清洗频次为 $2\sim 3$ 次/月。

② 优化水泵的控制模式,引入预处理厂的蓄水池水位作为控制参数。水量调节采用以水泵的开停台数和蓄水池调节为主、以水泵变频调节为辅的模式。取水泵站的高程系统如图5所示。

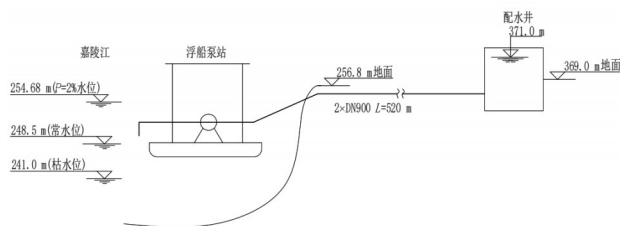


图5 取水泵站高程系统

Fig.5 Water intake pumping station elevation system

由图5可知,嘉陵江水位变幅达 13.68 m ,预处理厂配水井水位为 371.0 m ,其与嘉陵江正常水位高差为 122.5 m 。

水泵的运行工况点由泵及管路系统特性曲线方程求解得到。目前,变频调节主要用于夜间用水低峰时,以正常水位下单泵单管运行工况为例,其变频特性曲线见图6。

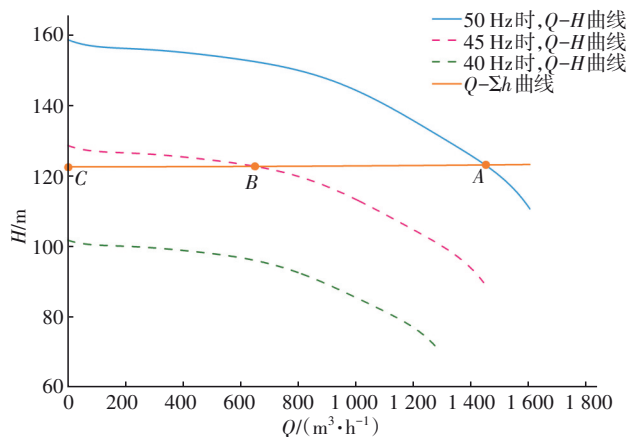


图6 变频特性曲线

Fig.6 Variable frequency characteristic curves

a. 工频情况下的运行工况

根据厂家提供的样本,采用多项式对水泵特性曲线 $Q-H$ 进行拟合,即图6的 $Q-H(50\text{ Hz})$ 曲线。正常水位时,静扬程 $H_{\text{ST}}=371.0-248.5=122.5\text{ m}$ ($1\text{ m}=10\text{ kPa}$),由管路的水头损失计算得出阻抗 $S=3.27$ 。因此,管路系统特性曲线方程为 $H=122.5+3.27Q^2$ 。

绘制管路特性曲线,即图6中的 $Q-\Sigma h$ 曲线。

$Q-H(50\text{ Hz})$ 曲线与 $Q-\Sigma h$ 曲线相交于A点,可知水泵在定速运行工况下, $Q=1\,441\text{ m}^3/\text{h}$, $H=123.0\text{ m}$,与水泵的实测运行数据吻合。

b. 变频情况下的运行工况

根据离心泵叶轮相似定律,相似工况下水泵的流量与转速成正比,水泵的扬程与转速的平方成正比,电动机的转速与其电源频率成正比。

分析水泵变频的运行工况,当 $f=45\text{ Hz}$ 时, $Q-H$ 曲线与 $Q-\Sigma h$ 曲线相交于B点,水泵 $Q=656\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=122.6\text{ m}$;当 $f=40\text{ Hz}$ 时, $Q-H$ 曲线位于 $Q-\Sigma h$ 曲线下方,水泵无法正常运行。

c. 变频调节幅度小的原因

水泵的变频调速范围一般为70%~100%,而此处的调节幅度仅10%。由图6可知,从A点到B点,频率由50 Hz降至45 Hz,扬程从123.0 m降至122.6 m,降幅约0.3%,但流量由1 441 m^3/h 降至656 m^3/h ,降幅达54.5%。 $Q-\Sigma h$ 曲线与纵坐标轴相交于C点,计算出对应的频率 $f=43.9\text{ Hz}$,理论上当频率调整至43.9 Hz以下时会引起水泵停机。主要原因在于系统的静扬程较高,管路水头损失小,A点管路水头损失0.5 m,仅占静扬程的0.4%; $Q-\Sigma h$ 曲线几乎为一条直线且斜率极小,当 $f<45\text{ Hz}$ 时,即使频率降低1 Hz,也易引起水泵扬程低于静扬程,导致水泵停机。因此,变频泵的频率应严格控制在45 Hz以上。

综上,引入蓄水池水位作为控制水泵开停的参数。以初始状态2台水泵(含变频泵)运行为例,控制模式如下:当需水量增加时,蓄水池的水位降低,当降至某设定水位后,增开1台水泵,蓄水池的水位上升,当水位超过最高水位时,说明取水量大于需水量,此时可以调节变频泵的流量,达到供需平衡;当需水量减少时,蓄水池的水位升高,升高至某设定水位后,调整变频泵的流量,若水位继续升高,超过最高水位时则关停1台水泵。

③ 泵站自用水改为江水与自来水联合供水,在不同季节切换使用。水泵的冷却水系统原利用经过滤后的水泵出水,非洪水期江水水质较好,浊度较低,水中杂质较少,通过定期清洗过滤器能够满足使用要求;但在洪水期江水浊度升高,杂质较多,冷却水管管径(DN25)较小,过滤器易堵塞,从而导致冷却水系统失效。

为解决冷却水水源问题,在泵站附近的河岸边开凿了两口井,采用深井泵取水,深井泵 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=500\text{ kPa}$ 、 $N=1.1\text{ kW}$ 。运行一段时间后,发现水泵的冷却部件存在腐蚀现象。通过对井水采样化验可知,水中氯离子达750.49 mg/L,具有腐蚀性。因此,地下水无法用作水泵冷却水,只能引入自来水。该项目从镇裕镇引1根DN32的自来水管,全长约2.4 km。为有效利用冷却水,节约自来水用量,在水泵的冷却进水管设置三通,分别连接江水管与自来水管。实际运行时,平时采用江水作为冷却水水源,采取定期清洗过滤器的措施,保证冷却水水质;8月—10月,江水浊度升高,泥沙含量增大,无法作为冷却水水源,此时人工切换水源为自来水。

3 结语

① 在江河取水时,浮船式泵站采用新型的七面体拦渣箱,拦渣效果较好,能够有效解决洪水期的浮渣问题,确保水泵安全运行。

② 在静扬程较高的情况下,水泵变频调节的幅度有限。因此,可以优化取水泵站系统的水量平衡调节模式,采用以水泵的启停台数和蓄水池调节为主、以水泵变频调节为辅的模式。

③ 江河取水泵站的位置一般与城区距离较远,泵站设计中应分析论证冷却水的来源,当采用地下水时,应事先进行水质检测。实际工程中,可采用江水与自来水互为备用的方式,在不同季节进行切换,从而节约水资源。

参考文献:

- [1] 杨华仙,袁绍春. 川北某山区水库应急补水工程设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 75-78.
YANG Huaxian, YUAN Shaochun. Design of emergency water supply project of a mountain reservoir in northern Sichuan[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 75-78 (in Chinese).

作者简介:阳佳中(1979—),男,湖南衡阳人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师,注册环保工程师,主要从事给水、排水及环境工程的设计咨询工作。

E-mail: 30234143@qq.com

收稿日期: 2024-12-13

修回日期: 2025-01-24

(编辑:沈靖怡)