

秦淮新河泵站偏离设计工况运行分析与对策

童建伟

(江苏省秦淮河水利工程管理处,江苏 南京 210001)

摘要:江苏省秦淮新河泵站工程多年来为秦淮河流域防汛抗旱和水环境改善发挥了重要作用。泵站建站之初的主要作用是为流域灌溉排涝服务,随着流域内经济社会的发展,常态化生态供水也成为重要任务。针对冬春季节泵站偏离设计工况运行的问题,对秦淮新河泵站运行情况进行分析,并提出对策建议,为泵站安全运行提供保障。

关键词:泵站; 运行工况; 对策措施

中图分类号:TV882.8

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)03-0057-0004

Analysis and countermeasures of Qinhuai River Pumping Station deviating from design operating conditions

TONG Jianwei

(Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210001, China)

Abstract: The Qinhuai River Pumping Station Project in Jiangsu Province has played an important role in flood control and drought relief and water environment improvement in the Qinhuai River basin for many years. The main function of the pumping station at the beginning of its construction is to serve the irrigation and drainage of the basin. With the development of the economy and society in the basin, the normalization of ecological water supply has also become an important task. In view of the problem that the pumping station deviates from the design operating conditions in winter and spring, the operation of Qinhuai River Pumping Station is analyzed, and countermeasures and suggestions are put forward to ensure the safe operation of the pumping station.

Key words: pumping station; operating conditions; countermeasures

1 概 述

大型卧式轴流泵具有较好的水力性能,土建投入少,适用于平原河网低扬程、大流量泵站^[1]。秦淮新河泵站位于南京市雨花台区天后社区秦淮新河入江口处,是秦淮河流域的主要控制工程之一。该站于1982年建成投运,多年来为流域的防洪、排涝、灌溉、水环境改善、航运等发挥了重要的作用。该站为灌溉排涝两用的双向泵站,正反向设计流量均为40 m³/s,装机总容量2 750 kW,采用5台

66QZW-100型卧式轴流泵,原设计水泵为单向叶片,通过调节叶片反转运行实现反向抽水,因调节机构失灵,将叶片固定,导致反向运行工况恶化,效率剧降,汽蚀剧增,叶片损坏,影响水泵机组稳定运行。

2002年对泵站进行加固改造,机电设备全部更换,安装1700ZWSQ10-2.5型双向卧式轴流泵、Y500-6/630kW异步电机、B2SH11齿轮箱5台套,设计流量50 m³/s,总装机容量3 150 kW。该站为双向灌排两用泵站,在国内大型水泵中首次采用“S”型

收稿日期:2023-01-16

作者简介:童建伟(1969—),男,高级技师,本科,主要从事水利工程管理工作。E-mail:2505317569@qq.com

双向叶片,水泵叶轮直径1.7 m,叶轮中心高程1.0 m,叶片调节机构采用蜗轮、蜗杆停机手动调节,叶片角度调节范围为 $-6^{\circ}\sim+4^{\circ}$,泵站采用原平面“S”形流道、快速闸门断流方式。

2 改造情况

2.1 设计水位组合

1982年泵站建成采用的运行水位组合见表1,2002年泵站进行加固改造后采用的运行水位组合见表2。该站为灌排两用双向泵站,原设计运行主要是灌溉期引水,长江侧最低运行水位3.65 m,但由于冬春季调水改善水环境频繁,冬春季长江侧低潮位基本在2.5 m左右。

表1 泵站原运行水位组合

工况	秦淮河侧水位/m	长江侧水位/m	净扬程/m
灌溉期 抽引江水	6.5~7.0	3.0~4.0	2.5~4.0
冬季补水期 抽引江水	6.5	2.0(最低水位)	4.5
排涝期抽排 秦淮河水	7.0	10.6(长江100年 一遇洪水位)	3.6

表2 泵站改造后运行水位组合

工况	秦淮河侧水位/m	长江侧水位/m	扬程/m
抽引	最大扬程	6.5	2.5
	设计扬程	6.5	4.0
抽排	最大扬程	8.5	11.5
	设计扬程	8.5	10.5

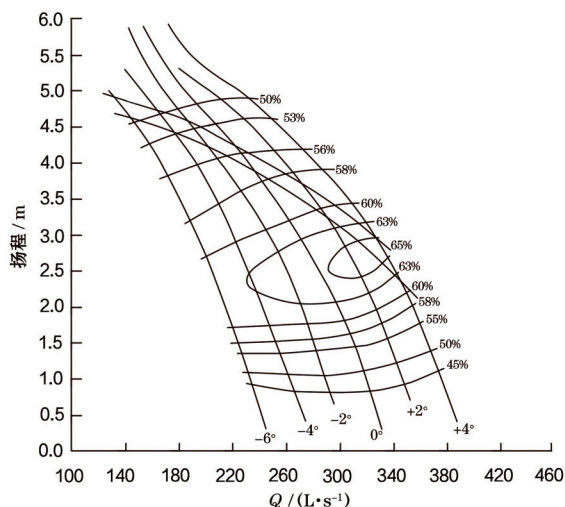


图1 双向泵模型装置正向性能曲线

2.2 水泵性能曲线

2002年5月泵站改造时在扬州大学试验台进行了秦淮新河泵站双向泵装置模型试验。为增加流量,将原型泵叶轮直径由原1.65 m增加到1.70 m,电机转速为991 r/min,减速齿轮箱传动比为1:4。试验得到的双向泵模型装置性能曲线见图1、图2,秦淮新河泵站原型装置性能曲线见图3、图4。

2.3 最大扬程选取及电机功率复核

秦淮新河泵站原设计抽引为正向运行,运行时设计净扬程为2.5 m,最大净扬程为4.0 m,考虑流道进口拦污栅及门槽损失0.4 m,泵站运行最大扬程为4.4 m。原设计叶片安放角为 2° ,最大扬程时流量为 $8.52 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵运行最大轴功率为573 kW,考虑齿轮箱的效率92%,泵站选用的630 kW已经没有任何余量。因此,秦淮新河灌溉设计最大扬程超过4.0 m时电机将超载,只有减小叶片角度才能降低负荷,但水泵效率损失较大。

2.4 水泵安装高程复核

抽引工况下进水侧(长江)设计水位为4.0 m,最低水位为2.5 m,而抽排工况下进水侧(内河)设计水位为8.5 m。抽排工况下水泵的淹没深度远远大于抽引工况,因此水泵安装高程的复核计算主要针对抽引工况。在抽引设计工况下,从水泵装置临界汽蚀余量约为8.6 m,取安全系数为1.35,则取用汽蚀余量为11.61 m,水泵安装高度要求水泵主轴中心线在最低水位以下2.77 m。现水泵主轴中心线高程为1.0 m,设计工况时进口水位为4.0 m,淹深为3.0 m,满足要求。

泵站流道原进口顶缘高程为2.45 m,由于进口淹没深度过小,实际运行当进口水位低于3.0 m时,

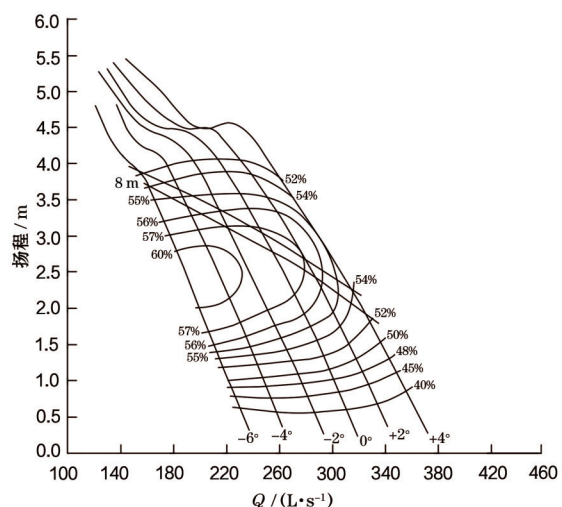


图2 双向泵模型装置反向性能曲线

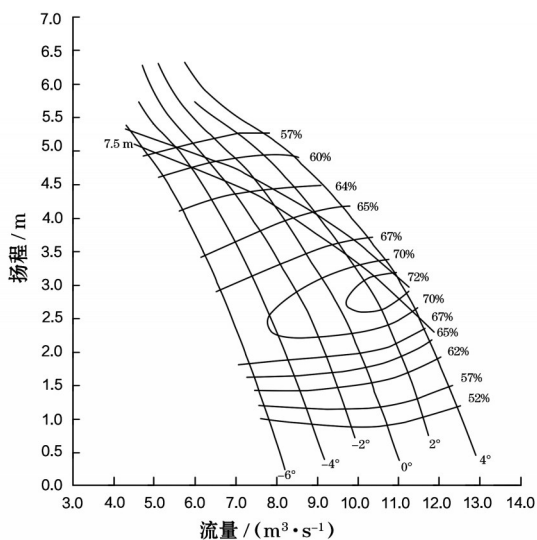


图3 秦淮新河原型装置正向性能曲线

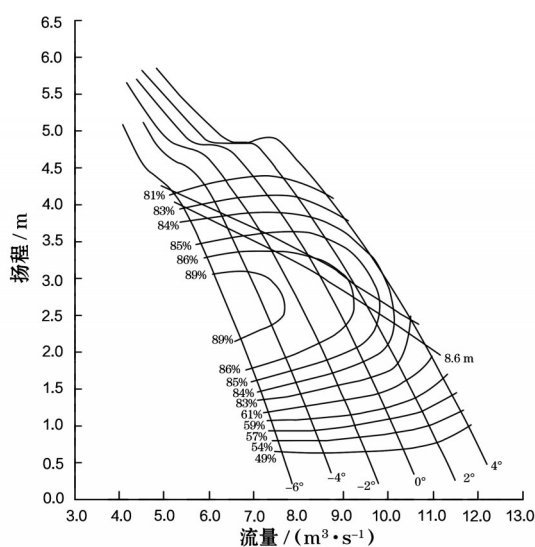


图4 秦淮新河原型装置反向性能曲线

流道进口即产生旋涡,大量气体进入流道,致使水泵进口流态紊乱,压力波动,引起水泵振动、汽蚀,不能正常稳定运行。2002年改造后,在长江水位2.5 m时抽引江水也将可能出现机组振动、汽蚀、压力波动、电机功率摆动等不正常现象。《泵站设计规范》要求流道进口上缘应淹没在进水池最低运行水位以下至少0.5 m,结合现场实际情况,该站最低运行水位定在3.0 m左右相对比较可靠。最低运行水位若按3.0 m考虑则最大扬程为3.5 m,复核水泵安装高程要求水泵主轴中心线在最低水位以下1.96 m,若最低水位为3.0 m,淹没深度为2.0 m,基本满足要求。因此,抽引工况运行中长江侧运行水位低于3.0 m时,秦淮新河泵站将不能正常运行。

3 运行故障及处理情况

3.1 叶片断裂

泵站于2002年12月开始进行除险加固,2003年6月试运行后进行了初验,主机泵运行良好。2005年以来机组运行频繁,尤其在非汛期、枯水期长江水位偏低,为保证城市河道水体流动,水泵长期在高扬程、超工况下运行。2010年3#机组叶片在运行过程中发生断裂,2014年汛后检查发现1#、5#机组叶片根部出现裂纹。叶片发生断裂后,结合机组大修更换了所有叶片,根部进行加厚,对检查发现的叶片裂纹进行了补焊。在非汛期开机运行时,为保证机组电机不超功率,需将叶片角度调至 $-4^{\circ} \sim -6^{\circ}$,减小水泵的出水流量,从而降低叶片的受力。非汛期运行时,水泵单机流量只有 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右,机组运行效率较低^[2]。

3.2 机组倒转

秦淮新河泵站采用液压快速闸门断流,闭门时快速闸门利用自重关门。由于运行工况的改变,机组在非汛期运行时,上下游水位差较大,净扬程有时已超过最大设计扬程,机组停机时由于上下游水位差较大,工作门无法利用自重关闭到位,造成机组倒转,后通过放上下游检修门,减小水流对工作门的压力,才能将工作门关闭到位。为此,经研究分析后修改操作流程,在机组停机时先关闭出水侧工作门,等工作门关闭到位后,机组自动停止运行^[3]。

3.3 工作拍门脱落

为了启动泵站机组,在上下游的混凝土工作门(液压快速闸门)上各设2扇钢结构拍门,拍门上部通过铰支座与混凝土闸门上预埋件连接。由于是先关门后停机,机组停机时,因水压作用,拍门关闭时会对工作门造成撞击。2009年5月机组停运时,1#上游左侧拍门一侧铰支座脱落。后经检查发现因拍门的撞击力量较大,铰支座螺栓卡销断裂,造成螺栓松脱、拍门脱落,现已将上下游拍门铰链全部更换为不锈钢材质,并将卡销点焊在在螺栓上,确保拍门正常运行。

3.4 水泵汽蚀振动

长江水位常年偏低,泵站进水侧水位偏低,叶轮中心淹没深度偏低,易造成水泵汽蚀振动,特别是5#机组,进水流态差,运行时机组振动情况较其他机组严重。经过长时间运行,水泵机组叶轮头、叶轮室、导叶体等部位存在汽蚀情况,由于叶片为不锈钢材质,汽蚀损坏情况较轻。

3.5 机组发热问题

由于运行工况发生改变,造成电机超负荷运行,机组推力轴承和齿轮减速箱发热量增加,运行中温升较高。原先泵站电机采用风冷、齿轮箱采用风冷加水冷、推力轴承采用自然冷却方式进行散热,由于安装在电机井内,空间狭小,无通风设备,散热效果一般,温升过高时会影响工程运行安全。2018年对泵站冷却水系统进行了改造,电机、齿轮箱、水泵推力轴承均采用恒压循环水冷却方式。系统由2台循环水泵、4台空调水冷机组(根据回水管的设定温度自动轮流投切)、稳流罐、管道、闸阀和压力、温度传感器等组成密闭循环回路,损耗极小,降低了运行成本。冷却水温度和压力由变频器、PLC自动控制,目前运行情况良好,保证了机组的安全运行。

3.6 主电机绝缘电阻较低

由于泵站电机井高程较低,常年处于常水位以下,电机井内湿度较大且无通风和除湿设施,对电机绝缘产生较大影响,平时需通过对电机绕组加热,对电机内部进行除湿。现在结合每年的机组大修在电机返厂维修时进行养护,同时增加了电机井内通风和除湿设备。

3.7 主电机噪声

秦淮新河泵站加固改造后使用的是10 kV三相异步电机Y500-630kW,转速为992 r/min,电机为空箱结构,噪声大且加工制造精度较低,设备在运行过程中噪声较大,经现场检测,电机井内运行时噪声达90 dB以上,是泵站运行时主要噪声源之一。通过泵站冷却水系统的改造,主电机由风冷改成水冷后噪声降低至73 dB左右,改善了运行条件。

3.8 叶片调节机构

秦淮新河泵站水泵叶片调节为停机手动全调节,采用蜗轮蜗杆手动调节机构。由于水泵叶轮密封效果一般,河水会渗入水泵叶轮内部,造成叶片调节机构润滑失效、零部件锈蚀、调节机构卡阻等问题。同时,叶片调节角度指示装置精度较差,叶片调节角度只能通过估算,无法对叶片角度进行准确调节,影响水泵运行效率。

3.9 上下游拦污栅情况

现秦淮新河泵站上下游均设置拦污栅,但无起吊和清污设备,拦污栅门槽为槽钢门槽,由于常年处于高水位,水下部分无法保养,在水位变化区门槽锈蚀严重,有些门槽已锈蚀损坏,造成拦污栅倾倒且维修困难,影响泵站机组安全运行。随着每年机组运行台时的不断增加,进水口侧拦污栅吸附的

杂物垃圾增加较多,均需人工清理,工作量较大。2015年汛后检查过程中,下游拦污栅与门槽之间因被船用缆绳卡死,无法吊起进行清理,导致在随后的运行过程中流道进水受到阻碍,进水流态紊乱,影响了泵站的运行效率,造成泵站运行的安全隐患。潜水员在水下检查时对卡阻的缆绳进行清理,消除了安全隐患。

4 原因分析

4.1 泵站运行工况的改变

自2005年实施外秦淮生态供水,泵站在枯水期运行时间逐年增加,2017年起生态供水常态化运行,泵站运行工况已发生改变,影响了机组的运行效率。有时为保证上游秦淮河水水位,在水位差超过5.0 m时,泵站仍开机运行,水泵已严重偏离原设计运行工况。2003年秦淮新河泵站加固改造过程中,为解决泵站长江侧进水口淹没深度偏低的问题,将长江侧进水口流道顶高程由2.45 m降低至2.0 m,以增加进水口淹深。但近年来在实际运行中,按照调度指令要求,长江水位较低时仍需开机运行,泵站进口淹没深度仍然偏低,机组运行效率极低,汽蚀情况严重,影响了泵站枯水期引水。

4.2 泵站下游进水侧流态不稳定

由于秦淮新河水利枢纽为闸站结合布局形式,上下游闸站间用导流墩分隔,秦淮新河枢纽初建时闸站间导流墩长度较短,泵站开机运行时,5#机组进水口流态紊乱。在高扬程工况下运行时,主机组振动较大。

4.3 机组内部压力脉动大幅增加

针对长期偏离设计工况运行开展了大型卧式轴流泵站机组压力脉动实时监控研究,通过真机试验和数值模拟,揭示了不同流量工况下大型卧式轴流泵内部水力振动诱发的压力脉动规律。真机试验表明前导叶进口处压力脉动的主频为转频,转轮进口处的主频为叶频。数值模拟表明机组内压力脉动幅值随流量增大而减小,小流量工况下存在流动失稳和扰动现象,压力脉动幅值的峰值可以达到大流量工况脉动幅值的3~4倍,低频段分布的次频成分复杂。同时,建立了基于双向流固耦合的轴流泵结构动力学分析模型,阐明叶片在耦合作用下受到的交变动应力以及发生的形变特性。水力振动引起的压力脉动主频远小于结构的固有频率,因此不会发生转轮结构的共振问题。交变载荷主频为

(下转第72页)

的景区建设投融资体制。以景区内“计家墩理想村”乡村振兴为样板,倡导乡村集体资产的整合和开发再利用,实现“乡村的新型产业化”。

(3)打造特色数字旅游项目。借鉴“环球影城”“迪士尼乐园”的成功经验和做法,用数字技术做出极致的景区场景,结合现代科技+文化IP打造互动式文化展览馆、沉浸式水域岸线、全息式水乡主题餐厅。加强对特色数字旅游项目的宣传,通过传统媒体与现代媒体多渠道推广,让旅游项目吸引游客体验后形成良好的口碑,再通过游客与游客之间传播,形成一种消费、再消费的良好性循环。

4 结 语

水利风景区拥有丰富的水资源、生态资源、文化资源等,它既是水利人对治水、护水、节水理念的浓缩,也是对水乡江南历史人文的凝练。当前,乡村振兴、生态文明建设、长三角一体化等一系列重大国家战略,为水利风景区发展和打响“江南文化”品牌创造了有利条件。

(上接第60页)

1倍的转频,叶片表面动应力幅值随着流量的减小而增大,小流量工况下的动应力幅值达到大流量工况下的5倍,机组长期在小流量区运行,转轮叶片易发生疲劳断裂。研究还揭示了轴流泵流动诱导噪声声场分布规律、辐射特性规律,阐述水力振动诱发的压力脉动变化与噪声变化的关系。机组声场分布呈现明显的偶极子特性,结构本身振动源头的噪声表现最为强烈。流量的增大会加快声压幅值衰减速率,小流量工况噪声最显著,随着频率的增大,噪声声压幅值也在减小^[4]。

5 对策措施

秦淮新河泵站原设计运行主要是灌溉期引水,长江侧最低运行水位3.65 m,调水改善水环境常态化运行以来,冬春季长江侧低潮位基本在2.5 m左右,致使泵站长期偏离设计工况运行,叶片汽蚀振动严重,装置效率低下,检修频繁。为适应现状工况,解决安全隐患,秦淮新河泵站拟移址新建,原泵站改造为水闸。泵站目前仍常态化运行,每年运行时长超过250 d。在改扩建工程实施前,为保证安全运行,需改善运行工况并开展精准调度研究,统筹防汛与生态供水的关系。

同时,在日益密切的区域交流和疫情后旅游需求反弹的背景下,“江南文化”品牌输出有了一个优质平台。在未来发展规划中,应将水利风景区建设与“江南文化”品牌建设相关联,探索二者的共性,谋求水文化与“江南文化”中的同向发展,基于水利风景区为载体,打响“江南文化”品牌建设。

参考文献:

- [1] 张茜,滕兆明. 昆山明镜荡自然河湖型水利风景区建设与管理模式探讨[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(6): 93-96.
- [2] 徐玉良. 昆山水文化内涵及城市水文化品牌建设浅析[J]. 中国水利, 2021(3): 59-61.
- [3] 黄朝斌,顾琛. 文化唤醒与需求再造:文化消费视域下传统手工艺的传承[J]. 学习与实践, 2022(7): 126-132.
- [4] 张妮. 关于做好水文化宣传报道提高文化自信的思考[J]. 传播力研究, 2018, 2(8): 17.
- [5] 李丹,王如高,陈杰. 水文化产业发展的路径选择[J]. 水利经济, 2015, 33(6): 30-33.
- [6] 张玉蓉,蔡雨坤. 数字文旅产业高质量发展的契机、挑战与对策研究[J]. 出版广角, 2022(7): 53-57.

同时,还要强化运行安全管理,在枢纽改扩建工程实施前,做好现闸站工程维修养护和日常管理,狠抓精细化管理,确保工程安全运行。非汛期运行时,将水泵叶片角度调至-6°。抽引工况运行时,当长江水位低于2.5 m或最大扬程超过4.5 m时,泵站应停止运行。根据水泵叶片(根部加厚)全部更换后运行情况的统计分析,水位差在5 m以内,叶片角度在-7°左右长江低潮时,负载接近满载,随着长江水位升高,负载逐渐减轻,故仍能运行。由于长江水位的周期变化规律,运行时应随时掌握水位变化和机组负荷情况,同时机组接近满载时需增加巡视频次,检查机组电流、噪声、汽蚀、振动、进出水道和工作门运行情况,确保泵站安全运行。

参考文献:

- [1] 杨树淮. 大型卧式轴流泵水导轴承的研究[J]. 排灌机械, 2003(1): 15-17.
- [2] 黄振富,张纯栋. 秦淮新河抽水站叶片折断分析[J]. 江苏水利, 2011(5): 40-41.
- [3] 王磊,姜志成. 秦淮新河泵站机组倒转问题浅析[J]. 科技信息, 2013(4): 439-440.
- [4] 吴东磊,郑源,等. 轴伸贯流泵多工况下的压力脉动特性[J]. 排灌机械工程学报, 2021(3): 244-250.