

泗洪站投运10年运行管理思考

潘宇轩,杜 威,顾 问,许朝瑞

(南水北调东线江苏水源有限责任公司宿迁分公司,江苏 宿迁 223800)

摘要:泗洪站是南水北调东线一期工程江苏境内第四梯级泵站,工程自2013年投入运行以来,参与调水、生态补水、抗旱运行等任务,充分发挥其工程效益。从工程实际出发,对运行管理工作进行总结,分析了工程设计的特点,从优化调度运行的角度提出相关建议。

关键词:运行管理;优化调度;泗洪站

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)11-0030-0004

Thinking on the operation and management of Sihong Station for 10 years

PAN Yuxuan, DU Wei, GU Wen, XU Chaorui

(Suqian Branch of The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,
Suqian 223800, China)

Abstract: Sihong Station is the fourth cascade pumping station in Jiangsu Province for the first phase of the Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project. Since its operation in 2013, the project has participated in tasks such as water diversion, ecological water replenishment, and drought resistance operation, give full play to its engineering benefits. Based on the actual situation of the project, this paper summarizes the operation management work, analyzes the characteristics of the project design, and puts forward relevant suggestions from the perspective of optimizing the scheduling operation.

Key words: operation management; optimize scheduling; Sihong Station

1 工程概况

泗洪站位于宿迁市泗洪县朱湖镇东南的徐洪河上,是南水北调东线一期工程第四梯级泵站之一,主要功能是与睢宁站、邳州站一起,通过徐洪河向骆马湖及以北输水。泗洪站和徐洪河节制闸、泗洪船闸、排涝调节闸、利民河排涝闸等共同组成泗洪站枢纽工程。该站同时可为泗洪站与睢宁站之间生活、生产和航运补充水源,并可为泗洪县沿利民河区域排涝。工程于2009年11月开工建设,

2013年5月投入运行,2020年8月通过竣工验收,工程投资6.19亿元。

泗洪泵站采用堤身式块基结构,平直管进水、灯泡型出水流道,液压快速闸门断流。泵站安装后置灯泡贯流泵5台套(含备机1台),泵站设计扬程3.23 m,水泵叶轮直径3 050 mm,单机设计流量30.0 m³/s,额定转速107.1 r/min。配套6 kV同步电动机,单机功率2 000 kW,泵站总设计流量120 m³/s,总装机容量10 000 kW。水泵采用变转速工况调节方式,配备GENIII/E型高压变频器^[1]。

收稿日期:2023-07-29

作者简介:潘宇轩(1993—),男,本科,主要从事水利工程运行管理工作。E-mail: 849121716@qq.com

2 工程设计

2.1 枢纽总体布置

泗洪站枢纽工程集调水、排涝、防洪、航运于一体,工程包括泵站、排涝调节闸、徐洪河节制闸、利民河排涝闸、船闸等建筑物,根据工程的功能并结合地形、地质、水力条件,统筹交通、征迁、施工、管理、投资等经济技术要素,对枢纽工程进行总体布置。可行性研究阶段推荐船闸、泵站布置在徐洪河两侧,船闸与节制闸结合、泵站分建的布置方案^[2]。初步设计阶段通过技术经济比较,采用“船闸与节制闸部分结合(船闸闸室与节制闸上游引河间设隔堤)、泵站分建”的布置方案,解决了船闸不对称受力和船闸抗浮稳定等问题,降低了工程投资。

枢纽工程各建筑物采用节制闸、船闸及泵站引河平行布置的方式,排涝调节闸、节制闸和船闸下闸首布置在同一轴线上。泵站引河中心线与节制闸中心线距离235 m,泵站与排涝调节闸之间横轴线相距350 m,排涝调节闸兼作清污机桥。利民河排涝引河通过利民河排涝闸接入泵站下游引河,距

离排涝调节闸轴线100 m。船闸布置在徐洪河节制闸左侧,船闸闸室与节制闸之间用隔堤分开,船闸上下游引航道与节制闸之间用混凝土导流墙分开,船闸下闸首与节制闸并列布置,船闸中心线与节制闸中心线相距102 m。管理设施布置在泵站与调节闸之间的中隔堤上,对外交通由徐洪河的右堤通过站上交通桥或下游排涝调节闸上交通桥进入站区,也可由徐洪河的左堤通过船闸下闸首交通桥进入站区。

2.2 水泵机组选型

可行性研究阶段,推荐采用灯泡贯流泵方案。初步设计阶段,在确定采用贯流泵方案的基础上,针对泗洪站扬程变幅范围大的特点,着重进行贯流泵的水力模型、灯泡体前后置、传动方式等方面的分析论证^[3]。

水力模型比选:根据“十一五”水利重大技术装置灯泡贯流泵课题的研究成果,对扬州大学、江苏大学研制成果以及蔺家坝贯流泵采用的装置试验成果进行比选。在泗洪站特征扬程下,叶片角度均为0°时,3个水力模型的真机性能参数见表1。

表1 3个水力模型的真机性能参数

装置扬程			扬州大学		江苏大学		蔺家坝	
特性		净扬程/ m	流量/ (m³/s)	装置效率/ %	流量/ (m³/s)	装置效率/ %	流量/ (m³/s)	装置效率/ %
调水	设计	3.23	30.86	77.1	31.02	76.0	30.36	78.0
	最大	4.23	25.06	67.9	26.48	68.6	22.91	64.0
	平均	1.60	37.51	68.5	37.84	69.6	37.41	66.7
排涝	设计	3.14	31.32	77.5	31.38	76.3	30.94	78.0

从表1可知,江苏大学开发的水力模型在调水平均扬程时效率相对较高,在设计扬程时能满足设计流量,基本满足泗洪站调水平均扬程低、最大扬程高的运行要求,确定采用江苏大学的贯流泵水力模型^[4]。

2.2.1 灯泡体前后置比选

初步设计阶段对灯泡体前置、后置方案的站身布置作了比较,在站身长度保持33.5 m不变的前提下,前置方案出水流道的当量扩散角为11.64°,而后置方案为8.74°。若出水流道都采用8.74°当量扩散角,则前置方案的站身长度约39 m。综合分析各方面的研究成果、站身结构布置等因素,确定采用灯泡体后置布置方案。

2.2.2 传动方式比选

初步设计阶段推荐采用齿轮箱传动方式,工程实施阶段对齿轮箱传动、水泵与电机直联进行了比较。齿轮箱方式可以提高电机转速,减小电机尺寸,但也存在齿轮箱噪声大、传动效率低、设备多等问题。采用同转速电机直联,传动效率高、设备少,但电机转速低、结构尺寸大、造价高。经对机组结构进行分析并综合比较,最终取消齿轮箱改为直联方式。

2.3 水泵工况调节

泗洪站设计扬程3.23 m,最低扬程0 m,最大扬程4.73 m,平均扬程1.6 m,运行扬程跨度从0 m到4.73 m,为尽可能提高运行工况的水泵效率,需要对

水泵运行工况进行调节。通常水泵调节方式有叶片角度调节和水泵转速调节。叶片调节方式的适用范围小,难以适应泗洪站运行水位变幅大的要求。水泵转速调节具有调节范围广的优点,如利用变频调速可以实现无级调节,同时可以在额定转速和变转速之间切换,变频调速是近代水泵及风机调节的发展趋势。针对泗洪站运行工况,借鉴淮阴三站采用变频调速的经验,经综合比选采用变频调速方式。

3 工程管理

3.1 技术管理

2017年率先在泗洪站试点泵站标准化管理,从管理组织、管理制度、管理表单、管理流程、管理条件、管理标识、管理行为、管理要求、管理信息、管理安全等10个方面提档升级,泵站规范化、精细化、标准化、信息化管理进步和成效显著,打造工程管理新标杆^[5]。2021年,泗洪站被授予一级安全生产标准化达标单位并通过江苏省二级达标创建考核,2023年通过江苏省一级精细化工程验收。

近年来,泗洪站重视技术创新,开展了双水源自动切换、循环冷却水自动补水等“五小”创新改造项目。“一种贯流泵冷却系统控制装置”“一种防止水尺污染的水位检测装置”“一种水闸钢丝绳除锈保养装置”“一种泵站水压警示装置”“一种水草及漂浮物打捞收集装置”“一种贯流泵展示台”等研究成果先后获实用新型专利,“泗洪泵站运行值班平台”取得计算机软件著作权登记证书。

3.2 技术改造

3.2.1 液压闸门开度仪改造

泗洪站液压工作门及事故门原采用静磁栅开度仪,因开度仪构件腐蚀,内部电路板经常因进水损坏,维修成本较高。2017年,将静磁栅开度仪更换为码盘式,故障率明显下降。

3.2.2 检修门堵漏方式改造

泗洪站下游侧配2扇检修闸门,机组水下检查

或检修时,用吊车将检修闸门吊入检修门槽。以往检修闸门堵漏采用潜水员重装潜水,能否成功堵漏存在不确定性,而且费用较高。2021年,对检修闸门进行改造,安装闸门平移装置,在检修闸门的4个角安装液压千斤顶,采用快速接头、油压分配阀、高压油管与移动液压站连接,通过液压平移检修闸门的方式,使闸门止水与门槽紧密结合,安全、高效地解决止水难问题,大大缩减排水时间,达到省钱、省时、省力的效果^[6]。

3.2.3 循环冷却水系统自动控制改造

泗洪站贯流泵机组循环冷却水系统原来依靠巡视期间人工补水,使冷却水系统压力维持在合理范围内。2020年,开展了自动补水控制改造,将供水母管上压力传感器4~20 mA电流提供供给智能控制器。根据电流转换为压力值,通过压力变化控制自动补水阀及泄压阀的动作,同时消除临界值时各闸阀频繁动作的情况,维持母管压力稳定,保障冷却循环水的供水压力稳定性和可靠性^[7]。该项改造被水利部科技推广中心列入2022年度水利先进实用技术重点推广指导目录。

3.2.4 自动化系统升级改造

2021年,对自动化系统进行升级改造,主要包括视频监视系统软硬件整体更换,计算机监控系统服务器、PLC设备等硬件模块更换,更新升级了计算机监控系统控制软件并增加了声光报警功能,上下游水文亭增设了浮子式水位计,主厂房实现了全域无线覆盖。新投运的自动化系统运行稳定,实现了工程运行重要数据的实时采集、上传及重要设备全时段监视。

3.3 工程效益

泗洪站自2013年投入运行以来,截至2023年上半年,累计开机846 d,运行65 279台时,抽水61.01亿m³,参与地方排涝2次。泗洪站历年运行情况见表2。

表2 泗洪站历年运行情况

年份	抽水量/亿 m ³	运行天数/d	运行台时/h	年份	抽水量/亿 m ³	运行天数/d	运行台时/h
2013	1.32	42	1 232	2019	11.77	156	13 260
2014	3.16	42	3 273	2020	9.39	116	9 719
2015	2.60	29	2 575	2021	6.24	77	6 319
2016	2.98	48	3 154	2022	4.14	63	4 397
2017	6.76	98	7 512	2023	5.62	94	6 199
2018	7.05	81	7 639	合计	61.01	846	65 279

4 工程特点

4.1 机组运行调节性能好

泗洪站下游为徐洪河河口,下接洪泽湖,水位变幅3 m左右,合适的机组调节方式对泵站的效率影响较大。在总结叶片角度调节、水泵转速调节优缺点的基础上,泗洪站采用电源变频、不变电压的方案,增设工频、变频切换配电设备。机组按照不同的设计扬程,在工频和变频运行之间实现自动无扰切换,可在0~120%额定转速范围内无级调节,有效提高了水泵装置在各种工况运行的效率。同时,机组实现软启动和平稳停机,确保机组启停过程的平稳安全^[8]。

4.2 机组结构减振技术优

灯泡体贯流泵壳体支承形式通常采用地脚螺栓与混凝土基础连接,由于流道断面变化复杂,流道内水流呈紊流状态,流道断面的突然扩大引起负压,在淹没深度较低工况下,会产生气蚀振动。加之水泵机组安装难免会产生一些尺寸误差,这些因素可能导致水泵机组运行时产生振动现象,若振动频率与混凝土基础接近,振动现象就会加剧,影响机组安全运行。机组的振动会导致连接部位松动,传动部位磨损加剧引起水泵漏水,缩短大修时间,减少使用寿命。为此,创新采用大型灯泡体贯流泵柔性支承技术,该减振支承由定位支座、拉杆、撑杆、填料组成。水泵采用间隔布置的拉杆、撑杆与混凝土基础连接,并通过填料与混凝土基础连成整体,有效避免轻微振动引起水泵机组固定连接部位产生松动、移位现象。

4.3 水泵整体空化性能好

泗洪站水泵转速107.1 r/min,叶轮直径3 050 mm,泵站下游设计水位11.27 m,叶轮有效淹没深度3.9 m。水泵性能参数 nD 值为南水北调东线泵站中较低,当实际运行水位低于设计水位时,可以通过变频调节来降低水泵运行转速, nD 值将更低。泗洪站合适的淹没深度和较低 nD 值,大大提高了水泵空化性能,保证了水泵具有较好的运行稳定性^[9]。至2023年上半年已运行65 279台时,调水61.01亿 m^3 。单台机组平均运行均超10 000 h,运行10年才开展机组大修,目前仍运行稳定。

5 分析思考

5.1 充分发挥机组变频调节作用

泵站机组采用变频调节,具有工况切换快、机

组启动对电机损伤小、工况调节范围广等特点。近年来,泵站管理单位已积累了大量的运行数据,提出了一些最优运行方式,如在平均扬程以下调水时,转速74.9~85.6 r/min(相应频率在35~40 Hz)时机组的效率较高,机组效率可达70%。下阶段,应继续开展泵站优化运行研究,以泵站单日能耗最小或泵站效率最高为目标函数,建立多台机组工频、变频联合运行数学模型,并将模型植入自动控制系统中,以充分发挥变频调节的作用^[10]。

5.2 深入开展减级优化运行研究

为提高梯级调水效率,减少运行费用,泗洪站曾开展减级优化运行研究,即当洪泽湖水位达到13.5 m时,不开启泗洪站,打开徐洪河节制闸,睢宁站直接抽水运行,但因睢宁站叶轮中心偏高且河道水力比降较大,未能实现长时间运行。为进一步研究减级运行的可能性,可以利用泗洪站至睢宁站之间河道的槽蓄量,以及泗洪站调节功能强的优势,进一步开展利用河道“快速充水、断续减级”的运行^[11]。同时也可以利用电网峰谷电价差,开展经济运行研究。

5.3 积极探索贯流机组在线监测

对于低扬程泵站,贯流机组具有效率高的显著特点,但贯流式机组安装在密闭空间中,存在着可观察性差、巡视难度大的缺点。目前缺少机组在线监测系统,机组振动、摆度、噪声等数据尚未得到有效采集,难以判断机组的安全运行状态,也不利于后续的设备维修。为适应泵站现代化管理要求,需研究贯流式机组在线测量传感器数量的设置、安装位置,规范贯流机组监测内容,引进智能分析系统,建立预报、预警的数学模型,从而进一步提高机组在线监测能力^[12]。

参考文献:

- [1] 林农,王丽,陆银军.南水北调东线一期工程泗洪站枢纽工程[C].//中国水利水电勘测设计协会.水利水电工程勘测设计新技术应用.北京:中国水利水电勘测设计协会,2018:7.
- [2] 岳修斌,林农.南水北调泗洪站枢纽工程总体布置研究[J].江苏水利,2013(10):12-16.
- [3] 刘军,黄海田,刘丽君.江苏南水北调一期工程泵站选用贯流泵机组的探讨[J].南水北调与水利科技,2004(5):15-16.
- [4] 冯旭松,关醒凡,井书光,等.南水北调东线灯泡贯流泵水力模型及装置研究开发与应用[J].南水北调与水利科技,2009,7(6):32-35.

(下转第38页)

程,使泵装置能长期运行在高效区附近,减小汽蚀的危害。选择合适的更优秀的泵水力模型,结合进出水流道进行泵站装置模型优化,从而保证水泵装置在运行区内的抽水效率不低于76%。

参考文献:

- [1] 周颖. 航塘港泵站泵装置选型及优化[D]. 扬州:扬州大学,2021.
- [2] 王德超,刘辉,谭淑敏. 谈南水北调邓楼泵站机组降噪技术改造[J]. 山东水利,2021(1):51-52.
- [3] 石丽建,汤方平,王瑄,等. 不同工况下大型箱涵式泵装置压力脉动特性及振动特性[J]. 农业工程学报,2018,34(9):95-103.
- [4] 胡秋瑾,汤方平,石丽建,等. 大型立式轴流泵装置水力模型比选分析[J]. 灌溉排水学报,2020,39(6):138-144.
- [5] 张付林,郑源,李城易,等. 双向轴伸泵装置反向运行流动及振动特性[J]. 工程热物理学报,2020,41(10):2452-2459.
- [6] 蒋红樱,刘金平,丁平,等. 某潜水贯流泵站噪声现场测试与分析[J]. 中国农村水利水电,2022(10):148-153.
- [7] 李扬,张宇,孙岚清,等. 大型泵站立式全调节轴流泵振动特性试验[J]. 中国农村水利水电,2018(3):81-95.
- [8] 张世杰,靳发业,姚志峰,等. 双吸离心泵泵站压力脉动与振动特性现场试验研究[J]. 水利学报,2021,52(9):1047-1058.
- [9] 陈洋. 簸箕型流道泵站水泵振动的处理和技术分析[J]. 水电能源科学,2021,39(11):187-190.
- [10] 于孝民,吕梁,胡德义,等. 大型泵站噪声与治理[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(4):308-311.
- [11] 莫兆祥,刘军,周晨露. 南水北调东线江苏段泵站工程标准化管理探索实践[J]. 江苏水利,2020(6):62-64.
- [12] 周和平,夏炎. 用于检修门强迫止水的弹压支承研究[J]. 江苏水利,2017(5):65-67.
- [13] 赵文军,王业宇,张前进,等. 沙集泵站供排水系统优化改造探索[J]. 水泵技术,2021(1):22-27,35.
- [14] 马晔锦. 南水北调泗洪站变频调节灯泡贯流泵运行性能分析[J]. 中国水能及电气化,2021(6):47-51.
- [15] 杜威,许朝瑞,白传贞,等. 南水北调东线工程泗洪站进出水流道优化设计[J]. 水利科技与经济,2022,28(7):30-35.
- [16] 张仁田,朱峰,刘雪芹,等. 变频调速灯泡贯流泵性能与控制方式[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(2):136-143.
- [17] 赵方玲. 南水北调东线洪泽湖至骆马湖段梯级泵站系统优化运行[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [18] 谢永涛,刘俊俊,贾嵘,等. 灯泡贯流式机组的状态监测与故障诊断系统设计[J]. 电网与清洁能源,2015,31(11):89-92,100.

(上接第33页)