

通吕运河水利枢纽泵站工程运行分析

唐 演¹, 沈雪梅², 张 季², 孙 扬²

(1. 南通市新江海河闸管理所, 江苏 南通 226000; 2. 南通市通吕运河水利工程管理所, 江苏 南通 226000)

摘要:通过分析探讨在潮汐变化下泵站机组的振动、电机功率、绕组温度、效率等实际运行数据, 分析在潮汐影响下泵站运行过程中存在的问题, 结合通吕运河水利枢纽泵站工程运行实践, 提出潮汐河段泵站控制运行机制, 能够减少泵站设备维修成本和有效提高设备运行效率, 相关分析成果对于长江沿线泵站的安全运行具有一定借鉴意义。

关键词:潮汐河段; 泵站扬程; 运行状态

中图分类号: TV675 文献标识码: A 文章编号: 1007-7839(2025)07-0065-0005

Operation analysis of the Tonglv Canal Water Conservancy Hub Pumping Station Project

TANG Yan¹, SHEN Xuemei², ZHANG Ji², SUN Yang²

(1. Nantong Xinjianghai River Sluice Management Office, Nantong 226000, China;

2. Nantong Tonglv Canal Water Conservancy Engineering Management Office, Nantong 226000, China)

Abstract: By analyzing and exploring the actual operating data of pumping station units under tidal changes, such as vibration, motor power, winding temperature, efficiency, etc., the problems existing in the operation process of pumping stations under tidal influence are analyzed. Combined with the operational practices of the Tonglv Canal Water Conservancy Hub Pumping Station Project, a control operation mechanism for pumping stations in tidal river sections is proposed, which can reduce the maintenance cost of pumping station equipment and effectively improve equipment operation efficiency. The relevant analysis and exploration results have certain reference significance for the safe operation of pumping stations along the Yangtze River.

Key words: tidal river section; pumping station head; operating status

1 概 述

通吕运河水利枢纽位于通吕运河上游入江口门处, 距长江口约2 km, 采用闸站结合方案, 包括通吕泵站和通吕闸, 其中泵站主要功能为当长江潮位低于通吕运河水位不能开闸自流引水时, 按需要开机提水。泵站下游受到长江潮汐影响, 水位呈现周期性的变化, 是典型的潮汐河段泵站。通吕泵站自2020年投入运行以来, 提水量超52亿m³, 为市区、通州、海门、启东运河沿线的农业、企业及生产生活用水等提供了水资源保障, 为改善区域

水环境, 做好防汛抗旱救灾工作发挥了重要作用。由于受到潮汐的影响, 泵站在运行中会出现超扬程、超水位、超流量等超工况运行的情况, 导致机组在运行中会出现主水泵气蚀振动加剧、机组噪声、摆动、摆度加剧等状况。因此, 为保障通吕泵站运行安全和效率发挥, 开展对潮汐河段泵站运行分析探讨显得极为重要。

2 工程基本情况

通吕泵站于2020年投入运行, 是一座单向提水泵站, 泵站运行时间长, 强度大, 年均提水10亿~15亿m³。

收稿日期: 2025-03-06

作者简介: 唐演(1987—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事大型水闸、泵站的建设与运行管理工作。E-mail: 1294570547@qq.com

通吕泵站工程等别为Ⅱ等,工程规模为大(2)型,站房底板高程-7.25 m(废黄河高程,下同),主厂房地面高程7.65 m,主机层高程-1.35 m,叶轮中心高程-4.80 m,水泵层高层-8.65 m。泵站设计流量为100 m³/s,采用3台套竖井贯流泵机组,单机33.3 m³/s,水泵叶轮直径3.3 m,配套10 kV高压异步电机,单机功率1 600 kW,总装机容量4 800 kW。水泵与电机采用弗兰德齿轮箱连接,型号为H2SH17+OWGE50.1。机组冷却水系统配套1套循环供水装置(型号为BGXHS-2*30)和3台轴瓦冷却机组(型号为ZWL-30)。机组配备振动监测系统,对机组运行时的振动、摆度、转速、压力脉动进行监测,泵站配置了自动控制系统和视频监视系统。

3 水文及长江潮汐特征

通吕泵站下游潮汐变化参考天生港潮位站。根据长江天生港潮位站多年统计资料^[1],该站多年平均高潮位2.12 m,平均低潮位0.23 m,最高潮位5.34 m,

最低潮位-1.32 m,最大潮差4.01 m,最小潮差0 m,平均潮差1.93 m,平均涨潮历时3.93 h,平均落潮历时为8.5 h。径流、潮流构成长江河口段的主要水动力因素,随着不同地点、不同季节、不同潮流、不同径流而变化,潮位是反映这些因素变化特征的重要标志之一。长江口的潮汐在口外属正规半日潮,在口内属非正规半日浅潮,每年春分至秋分为夜大潮,秋分至春分为日大潮,最高潮位出现在农历8月,最低潮位出现在农历2月。

通吕泵站控制的内河正常水位为2.4 m,警戒水位为2.8 m。设计扬程1.98 m,最大扬程3.70 m,设计净扬程1.73 m,最大净扬程3.45 m。电机振动允许振幅值不大于0.05 mm,水泵各部位振动允许振幅值不大于0.09 mm。根据《江苏省泵站技术管理办法》中技术指标相关规定,泵站效率不宜低于65%。为保证机组安全运行,泵站运行期间,要求长江侧水位不低于-1.05 m,通吕运河侧水位不高于2.8 m,详见表1。

表1 南通市通吕运河水利枢纽泵站工程综合特性指标

序号	类别	单位	数值	备注
1	泵站运行特征水位			采用废黄河高程系(下同)
1.1	站下			
(1)	设计水位	m	0.67	未计清污机、河道损失0.25 m
(2)	最高水位	m	2.40	
(3)	最低水位	m	-1.05	
1.2	站上			
(1)	设计水位(非汛期常水位)	m	2.40	
(2)	汛期高水位	m	2.80	
(3)	最高水位	m	3.83	
2	泵站扬程			
(1)	设计扬程	m	1.98	设计净扬程1.73 m
(2)	最大扬程	m	3.70	最大净扬程3.45 m
(3)	最小扬程	m	0.00	最小净扬程0 m
3	设计流量	m ³ /s	100	

4 潮汐与泵站机组运行状态相关性分析

4.1 天生港潮位分析

长江口潮水属不规则的半日潮,一般情况下每天有两高两低4个特征潮位,天生港历史最低潮位为-1.34 m,历史最高潮位5.34 m。通过分析天生港1960—2008年逐日潮位资料得出天生港最低潮位频率,历年冬春期(1—3月)水源保证率为95%的日

最低潮位为-1.03 m,灌溉高峰期(5月下旬至6月中旬)水源保证率为95%的日最低潮位为-0.51 m。历年最低潮位平均值为-0.75 m,历年汛期最低潮位平均值为0.06 m,历年平均低潮位为0.23 m^[2]。

4.2 长江潮位对泵站机组运行状态的影响

4.2.1 泵站每年发生超扬程运行的时间段分析

通吕泵站正式投入运行以来,结合泵站2020年2月至2023年10月的长江潮位数据及天生港潮位站日最低潮位频率,分析出泵站在每年10月至次年

3月(农历9月至次年农历2月)运行时会出现接近或超设计最低水位-1.05 m和超设计最高扬程3.7 m运行的工况。本文以泵站2022年7月至2023年6月运行期间长江月平均潮位为例进行分析。

4.2.2 长江潮位对机组运行产生的影响

(1)长江低潮位对泵站机组运行状态的影响

通过分析泵站运行数据可知,泵站在超设计水位和超设计扬程的工况下长时间运行,会导致主水泵气蚀振动加剧、机组噪声、电机功率、绕组温度超过设计工况正常数值或出现明显上升趋势等不稳定的运行状态。通吕泵站2022年12月份1号机组的运行数据见表2。

表2 通吕泵站1号机组运行数据

时间	天生港最低潮位/m	上游水位/m	栅前水位/m	扬程/m	功率/kW	流量/(m ³ /s)	效率/%
12月15日	-0.66	2.57	-0.72	3.29	1 383	28.11	0.66
12月18日	-0.92	2.49	-0.90	3.39	1 408	27.53	0.65
12月19日	-1.08	2.47	-1.17	3.64	1 436	26.10	0.65
12月21日	-0.86	2.42	-1.07	3.49	1 395	27.32	0.67
12月22日	-1.00	2.49	-1.23	3.72	1 437	26.23	0.67
12月23日	-1.04	2.49	-1.34	3.83	1 454	25.23	0.65
12月24日	-1.19	2.51	-1.18	3.69	1 429	26.10	0.66
12月25日	-1.15	2.45	-1.21	3.66	1 441	26.26	0.65
12月26日	-0.97	2.48	-1.01	3.49	1 410	27.10	0.66
12月27日	-0.88	2.48	-0.89	3.37	1 384	28.67	0.68
12月28日	-0.78	2.44	-0.98	3.42	1 353	27.92	0.69
12月29日	-0.73	2.43	-0.88	3.31	1 333	28.78	0.70

(2)长江高潮位对泵站机组运行状态的影响

通吕泵站单台机的设计流量为33.3 m³/s,通过分析泵站2022年7月至2023年6月3台机组在扬程0~3.83 m的平均流量数据(表3),泵站运行中会出现超流量(超设计流量的20%即40 m³/s)运行的工况。

根据表3中的泵站机组扬程-平均流量数据,通过分析机组扬程-平均流量关系曲线可知,当泵站机组扬程低于约0.6 m时机组会出现超流量运行的工况(图1)。泵站机组超流量运行会导致主机泵振动明显加剧、提水效率低等不稳定的运行状态^[3]。

4.2.3 机组扬程与效率曲线关系分析

通吕泵站上游水位一般控制在2.4~2.5 m,泵站扬程为上游水位减去下游水位(长江潮位)。

(1)潮位与泵站效率关系

通过分析泵站的运行数据(选取2023年12月23日3号机组24 h的运行数据),可以发现扬程越低泵站的运行效率就越低(图2)。

(2)潮位与电机功率与绕组温度关系分析

通过分析泵站的运行数据(选取2023年12月23日3号机组24 h的运行数据),可以发现扬程越大电机功率、绕组温度就越高(图3、图4)。

表3 泵站机组扬程-平均流量数据

序号	扬程/m	平均流量/(m ³ /s)		
		1号机组	2号机组	3号机组
1	0.00	41.97	40.52	41.24
2	0.11	40.98	40.39	40.40
3	0.26	40.61	39.89	39.97
4	0.46	40.26	39.61	39.62
5	0.54	39.93	39.30	38.95
6	0.74	39.15	38.48	38.80
7	0.95	38.50	37.56	37.33
8	1.03	38.20	37.48	37.34
9	1.22	37.25	36.98	36.94
10	1.47	36.35	36.17	35.44
11	1.52	36.43	35.93	35.12
12	1.70	35.54	35.08	34.75
13	1.89	34.77	34.35	34.22
14	1.99	34.82	34.03	32.93
15	2.22	33.01	32.81	32.21
16	2.42	32.36	31.82	31.59
17	2.50	31.65	31.48	30.79
18	2.76	30.48	30.06	29.92
19	3.07	28.72	28.62	28.21
20	3.32	28.50	27.14	27.54
21	3.68	26.79	25.35	25.28
22	3.83	25.23	24.05	24.20

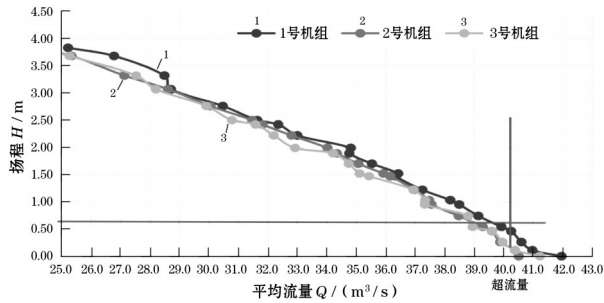


图1 机组扬程-平均流量曲线

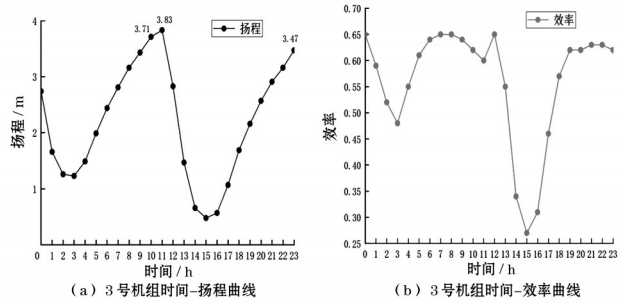


图2 机组扬程与效率曲线

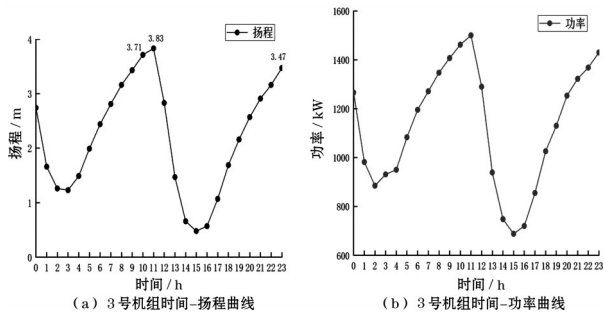


图3 机组扬程与功率曲线

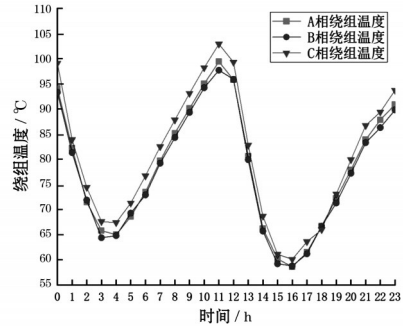


图4 3号电机时间与绕组温度曲线

4.2.4 潮位与水泵振动的关系

通过分析泵站的运行数据(选取2023年12月23日3号机组的从最低潮位到最高潮位振动监测数据),分析得出在最低潮位与高潮位水泵运行时的振动明显增大^[4]的结论(图5)。

5 存在问题与应对措施

5.1 存在的主要问题

泵站若在超设计水位、超扬程、超流量的工况

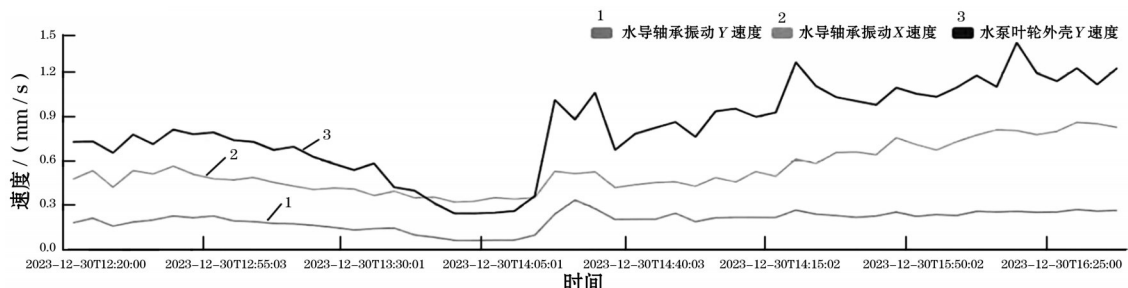
下运行,则可能存在以下问题:

(1)主水泵气蚀振动加剧

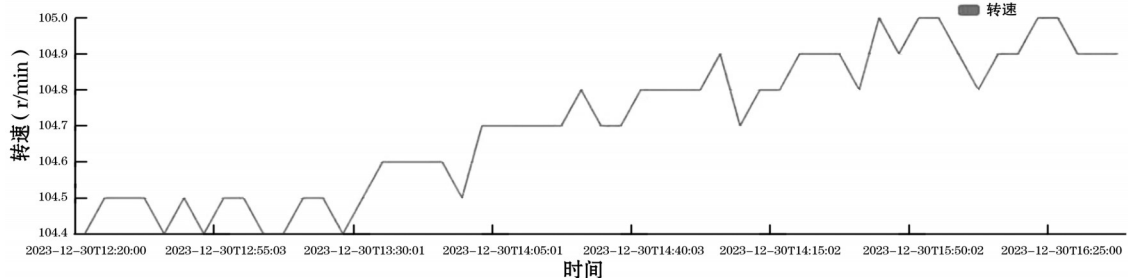
长江低潮位主机组若超设计工况运行时,水泵机组气蚀严重,振动加剧,导致紧固件松动,转动件磨损加剧,运行稳定性下降,水泵叶轮外壳、导叶体等过流部件易气蚀,将可能发生穿孔、砂眼等现象。

(2)主机组运行温度上升

若主机组在长江低潮位超设计工况运行时,可



(a) 速度变化



(b) 转速变化

图5 水泵振动趋势

能导致水泵机组效率不高^[5],电机电流上升,功率显著增加。绕组温度过高,绝缘性能下降,严重时可能会导致线圈绝缘击穿,电机轴承温度、齿轮箱轴承温度、推力轴承温度升高明显。

(3)水泵水导轴承及其密封部件易磨损

若主机组超设计工况运行,水泵机组振动剧烈,可能会导致水泵水导轴承、密封部件磨损严重,漏水量增加,设备稳定性下降。

(4)水泵填料函处填料磨损导致大轴磨损

若主机组超设计工况运行,水泵机组振动剧烈,填料函处存在过度磨损、过热现象,可能导致漏水严重、大轴磨损。

5.2 采取的应对措施

针对潮汐泵站运行中可能出现的问题,将采取以下应对措施^[6]:

(1)提前分析研判

加强与气象、水文等相关部门的联系,及时获取潮汐、水文等相应数据,根据实际情况优化调度运行机制。在长江低潮位期间,应提前对泵站机组运行数据进行监测和分析,如发现异常情况及时采取措施,确保在长江低潮位、持续高温、连续干旱等特殊形势下工程能长时间可靠运行,确保设备在最优工况下安全运行。

(2)加强巡查和监测

如遇到接近或超设计工况运行时,应加密对机电设备的巡查频次,密切监视主机泵运行状态,以便及时发现异常情况。同时,加强对设备温度、振动、噪声、功率、电气参数等的监测,以便及时采取措施,确保设备安全可靠运行。

(3)实行错峰运行

在非汛期,当长江低潮位持续变低,应根据当天泵站机组运行数据进行分析。当主电机功率接近额定功率,且长江低潮位还有继续下降的趋势时,应提前做出预判,及时在下低潮位来临前将运行的机组分批次退出运行,待长江最低潮位过后开启机组,实行错峰运行。

(4)限制超流量运行

针对泵站扬程低于约0.6 m时水泵会出现超流

量运行的不稳定工况,应密切关注机组各设备运行工况,一旦发现有监测数据超警戒值或机组出现异常响声时,将运行的机组分批次退出运行。当泵站扬程达到0 m且下游长江高潮位还有继续上升的趋势机组会出现负扬程时,及时将运行的机组退出运行,待长江最高潮位过后扬程高于0 m再开机运行。

(5)加强设备维护检修

潮汐泵站应定期对机组设备进行维护和检修,确保设备处于良好的运行状态。对于主水泵气蚀振动加剧、主机组运行温度上升、水泵导轴承及其密封部件易磨损、水泵填料函处填料磨损导致大轴磨损等问题,应采取相应措施及时进行修复和更换,确保设备稳定可靠运行。

6 结 语

本文通过对潮汐与泵站机组运行状态相关性进行深入分析,揭示了潮汐变化下泵站机组的运行状态,对潮汐变化下泵站的运行机制进行重点探讨。通过提前分析研判、加强巡查和监测、实行错峰运行、限制超流量运行和加强设备维护检修等措施,可以有效提高潮汐泵站的提水能力和设备运行效率,进一步保障工程运行安全。相关研究成果对于优化同类型潮汐泵站的调度运行具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 宋正逵,黄利亚,仇娟娟.长江上游径流对天生港站潮位影响浅析[J].水文,2010,30(4):56-58.
- [2] 黄竞争,张先毅,吴峥,等.长江感潮河段潮波传播变化特征及影响因素分析[J].海洋学报,2020,42(3):25-35.
- [3] 张礼华.受潮汐影响的大型泵站站内优化运行方式研究[D].扬州:扬州大学,2011.
- [4] 张礼华,秦灏.受潮汐影响的沿江中小型提水泵站优化规划[J].南水北调与水利科技,2014,12(1):135-137.
- [5] 柯帅,丁兵,渠庚.枯水情势对长江中下游取水工程运行影响及对策研究[J].中国防汛抗旱,2023,33(9):25-30.
- [6] 肖若富,龚诗雯,周玉国,等.泵站站内机组运行组合的优化研究[J].中国农村水利水电,2020(12):164-171.