

石港泵站超工况运行技术研究 与管理对策

郭 军, 沈 冲, 鲜凡凡, 张慧峰

(江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100)

摘要:针对大型排涝泵站石港泵站超工况进行抗旱运行,分析归纳泵站超工况运行产生的危害,通过对机组装置性能的分析计算,开展了管理方法、监测项目、结构优化等技术研究,落实有效的应对措施,总结形成科学的管理对策,在实现抗旱效益的前提下,最大程度做好工程安全运行和技术改进,为今后运行管理提供技术依据。

关键词:石港泵站; 超工况; 气蚀; 监测; 结构优化

中图分类号:TV675 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2021)11-0061-04

Technical research and management countermeasures of Shigang Pumping Station operating under overworking condition

GUO Jun, SHEN Chong, XIAN Fanfan, ZHANG Huifeng

(The Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, China)

Abstract: In view of the drought-resistant operation of Shigang Pumping Station of large-scale drainage pumping station under over-working conditions, the hazards caused by over-working operation of pumping station were analyzed and summarized. Through the analysis and calculation of unit device performance, technical research on management methods, monitoring items and structural optimization was carried out, effective countermeasures were implemented, and scientific management countermeasures were summarized and formed. On the premise of realizing drought-resistant benefits, safe operation and technical improvement of the project were done to the greatest extent, providing important technical basis for future operation and management.

Key words: Shigang Pumping Station; overworking condition; cavitation; monitoring; structure optimization

1 研究背景

1.1 工程基本情况

石港泵站始建于1973年,原为江苏引江济淮第二梯级泵站。2013年列入淮河入江水道整治工程拆除重建,2016年新泵站建成投运。新泵站按照宝应湖地区5年一遇排涝标准设计,安装4台套立式轴流泵,设计扬程5.0 m,设计排涝流量 $90 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

与石港泵站并联的南水北调金湖泵站,其设计

功能主要是向北调水,设计调水流量 $150 \text{ m}^3/\text{s}$,同时兼顾本地区抗旱和排涝的功能,设计排涝流量 $130 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.2 超工况运行情况

石港泵站超工况运行,主要指泵站上游或下游水位低于对应设计低水位的抗旱抽水运行^[1]。石港泵站设计为排涝泵站,而建成后,更多用于抗旱运行。经统计,2016年以来,工程年年运行,抗旱运行3年,抗旱抽水量占总抽水量的78%。泵站历年

收稿日期:2021-03-05

作者简介:郭军(1982—),男,高级工程师,主要从事泵站运行管理工作。E-mail:shzgj@qq.com

抽水量统计如表 1 所示。

表 1 历年抽水量统计

年份	运行天数/d	抗旱抽水/亿 m^3	排涝抽水/亿 m^3
2016	20	0.20	0.70
2017	5	0.00	0.31
2018	6	0.00	0.36
2019	117	3.95	0.00
2020	56	1.87	0.29
合计	204	6.02	1.67

其中旱情最严重的是 2019 年,淮河流域出现 60 年一遇气象干旱,根据省防指调度指令,石港泵站投入抗旱抽水运行,与南水北调金湖泵站联合向入江水道三河段补水,再由洪泽泵站抽水 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 入洪泽湖。

1.3 设计工况与抗旱运行工况水位对比

石港泵站设计水位与抗旱运行特征水位见表 2。

表 2 设计水位与抗旱运行特征水位对照

工况	上游水位/m	下游水位/m
设计	11.07	6.07
设计最低	7.60	6.07(停机水位)
运行最低	7.01	5.36

由表 2 可见,抗旱运行时,上下游水位均低于设计最低水位较多,严重偏离设计工况,而且石港泵站为虹吸流道出水,其出水口顶高程为 7.10 m,上游水位低于该高程,已不能正常运行。

1.4 装置有效气蚀余量偏小

石港泵站立式轴流泵技术参数如表 3 所示。

表 3 轴流泵技术参数

叶轮直径/m	设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	叶片调节角 度范围/(°)	临界气蚀 余量/m	叶轮中心 高程/m
2.60	22.50	-6 ~ 4	7.15	3.25

水泵设计临界气蚀余量 Δh_c 为 7.15 m,根据气蚀余量概念,水泵允许气蚀余量 $\Delta h = (1.1 \sim 1.3) \Delta h_c$,即允许气蚀余量 Δh 范围为 7.865 ~ 9.295 m,若使水泵运行不产生气蚀现象,必须保证装置有效

气蚀余量 Δh_a 不小于允许气蚀余量 Δh 。

装置有效气蚀余量 Δh_a 计算公式为: $\Delta h_a = \text{标准大气压} - \text{水泵吸程} - \text{安全量}$ 。

式中:标准大气压为 10.33 m,水泵吸程为 2.75 m,安全量为 0.5 m。

经计算,装置有效气蚀余量 Δh_a 为 7.08 m,小于允许气蚀余量 Δh ,证明了水泵超设计工况运行时将发生气蚀现象。

2 超设计工况运行危害

2.1 水泵抽水流态变差

抗旱运行时,因偏离了设计工况,水泵抽水流态变差,主要表现在以下 3 个方面。

(1)水泵叶轮室内声响异常。水泵运行时,能清晰听到叶轮室内连续的气泡爆裂声。

(2)水泵出水流量减少。利用 ADCP 超声波实时流量测量^[2]发现,在相同叶片角度运行下,实测的流量相比排涝抽水流量减少了约 10%,单台水泵出水量对比如表 4 所示。

(3)泵站进、出水池流态较差。进水池流道的进口处水面多处出现漩涡,出水池流道的出口处水浪花较大,并伴有大量白色气泡。

单台水泵出水量对比见表 4。

表 4 单台水泵出水量对比

叶片角度/(°)	排涝流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	抗旱流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
-4	22.80	20.40

2.2 水泵噪音与振动增大

抗旱运行时,现场测量水泵运行噪音和振动数值。经分析比较,下游进水池水位越低,水泵噪音越大,振动数值也呈增大趋势。噪音和振动实测值变化曲线如图 1、图 2。

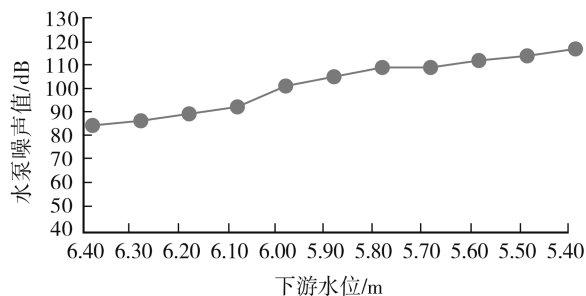


图 1 噪音实测值变化曲线

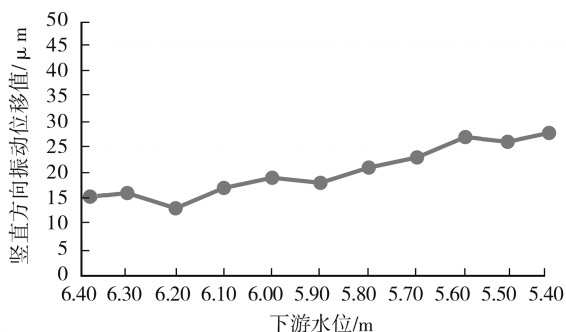


图2 振动实测值变化曲线

2.3 水泵上导橡胶轴承烧毁

抗旱运行时,泵站上游出水池最高水位仅有 7.72 m,远远低于排涝工况设计水位 11.07 m,而水泵上导橡胶轴承高程为 9.75 m。因此,抗旱运行时,即使上游水位能满足虹吸出水条件,但由于出水池水位低于上导轴承高程,上导轴承没有来自流道的自然润滑水,当附加润滑水无效时,橡胶轴承与泵轴颈发生干摩擦,出现轴承发热烧毁现象。

2.4 虹吸出水流动态无法形成

2019 年抗旱运行期间,石港泵站上游水位最低出现 7.01 m,低于泵站虹吸出水流动出水口上缘高程 7.10 m,水泵开启后,流道内水流无法形成虹吸流动态,造成机组严重偏离设计工况运行,抽水扬程变大,机组功率增加。

非虹吸流态下,水泵扬程的计算公式为

$$H = h_1 - h_2 \quad (1)$$

式中: h_1 为虹吸出水流动驼峰高程(12.10 m), h_2 为下游水位(6.30 m)。

经计算,非虹吸状态下抽水扬程为 5.80 m,超过虹吸运行时的上下游水位差 4 m,电机功率由正常的 800 kW 左右陡增至 1650 kW 左右,机组整体稳定性能明显变差,噪声、振动均超出常规,励磁电流接近限值。

3 装置效率分析计算

针对抗旱运行工况,开展泵站装置效率分析和计算,分析影响装置效率的因素,计算超工况运行时装置效率。

3.1 影响效率的因素

(1)扬程变小。设计排涝工况下,泵站扬程平均在 4 m 左右,而抗旱时最大扬程仅有 2.3 m,扬程大幅度减小,导致水泵明显偏离了高效区运行。

(2)流量不足。抗旱时,下游水位低于设计水位,实测流量较排涝工况下流量小了 10% 左右,也

验证了机组在非高效区运行。

(3)电动机功率偏大。抗旱时,下游水位过低,在上游水位不变的情况下,水泵提水的高度相对增加了,导致电机无用功占比增多,以致于机组功率变大。

3.2 装置效率计算

泵站装置效率计算公式为

$$\eta = \frac{\rho g Q_2 H}{1000 \sum P} \times 100\% \quad (2)$$

式中: H 为抽水扬程,m; P 为电机功率,kW; Q 为抽水流量, m^3/s 。

取一段时间内泵站运行参数进行分析计算,结果如表 5 所示。

通过计算,得出抗旱运行时装置效率较低,仅在 40% 左右。比对泵装置综合特性曲线^[2-3],计算结果与水泵的装置性能曲线相吻合。

4 管理对策

4.1 加强巡查和数据监测

抗旱运行时,机组偏离设计工况,为及时发现、解决问题,主要采取了以下巡查、监测措施。

(1)加密巡查频次,运行人员 1 h 巡查 1 次,管理人员巡查每天不少于 4 次。

(2)全过程对机组噪声和振动进行测量。噪声测量位置为距离水泵叶轮室外壳四周 1 m 范围内,振动分别测量水泵叶轮外壳连接法兰面和电动机上机架,包括水平和竖直两个方向的振动值。

(3)密切观察电动机运行参数,包括电流、功率、线圈温度、油温、瓦温等。

(4)对每次测量的噪声、振动和电量参数值分别进行纵向和横向比较,分析总结数据的规律,为开展研究提供基础数据。

4.2 优化机组运行调度

抗旱运行时,为最大程度改善水泵抽水流动态,运行中优化调度机组运行,按照补水量 $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 要求,开机 2 台,采用机组间隔运行模式^[3],即 1、3 号或 2、4 号运行,再或 1、4 号运行,这样能适当改善进水口流态,在一定程度上减轻水泵气蚀。

4.3 水泵负角度运行

抗旱运行时,下游进水池水位过低,进水池流态不顺,水泵气蚀严重,将叶片角度调至 -6° 运行,可有效降低机组运行功率,有利于改善机组运行状态。经现场查验和测量, -6° 运行时电机各项电气参数和温度均正常,水泵振动与噪声也小于设计角

表 5 装置效率计算值

开机台数	上游水位/m	下游水位/m	扬程/m	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	总功率/kW	装置效率/%
1	7.58	6.45	1.13	22.6	688	37.1
2	7.53	6.05	1.48	44.2	1700	38.5
3	7.59	6.10	1.49	65.7	2264	43.2
4	7.65	5.92	1.73	84.2	3446	42.2

度(0°)运行时状况^[4-5]。

4.4 增设轴承润滑水

为解决抗旱运行时水泵上导轴承缺少水润滑易烧毁问题,对水泵上导轴承结构进行了改造。一是增设轴承润滑供水管,供水压力为 0.3 MPa,供水量约 60L/min。二是聚氨酯橡胶轴承底部增设阻水环,阻水环与泵轴接触部位采用橡胶柔性材料,阻水环与泵轴保持单边间隙在 0.10 ~ 0.15 mm 范围内。结构改造有效解决了上游低水位时橡胶轴承润滑问题。

4.5 控制挡洪闸运行

针对泵站出水池水位低于虹吸出水流道顶口高程问题,采取非常措施将机组牵入正常运行状态。运行前关闭出水池挡洪闸门,非虹吸状态下强行启动主水泵抽水以抬高出水池水位,为尽可能减少水泵在非虹吸状态下的运行时间,必要时可开启 2 台。

经计算,出水池水面面积约为 89 000 m^2 ,水位上升 0.1 m,需要抽水约 8 900 m^3 ,按照开一台水泵抽水 22.5 m^3/s 计算,需要用时约 6.5 min。

2019 年 7 月旱情最严重时,出水池水位低于虹吸出水流道顶口高程 0.09 m,通过对设备性能分析和运行功率计算,制定了强迫运行方案,将叶片角度调至 -6° ,打开真空破坏阀,开启 2 台水泵运行,待水位上升到出水口顶面,关闭真空破坏阀,虹吸流态形成,机组进入正常运行状态。待出水池水位

上升超过设计最低水位 7.60 m 时,开启引江闸闸门至适当高度放水,调节水闸过水流量等于水泵抽水流量,严格控制出水池水位不低于设计最低水位。

5 结 语

石港泵站经过多年抗旱运行实践,管理单位有针对性地开展了检查和监测,采取了结构改造、优化调度、科学控制等措施,形成了一系列管理方法,保证了机组的运行安全和工程效益的正常发挥。

目前,管理单位正在进行水泵结构改造的研究,思考通过水泵叶片和导叶结构优化,提高抗气蚀特性,争取从根本上解决超工况运行的缺陷,以使按照排涝设计的石港泵站更好地发挥抗旱效益。

参考文献:

- [1] 仇宝云. 大中型水泵装置理论与关键技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.
- [2] 周伟, 陆银军. 石港泵站泵装置优化设计与模型试验研究[J]. 人民长江, 2011(6):86-88.
- [3] 马杰. 水泵装置工况点调节方法的技术分析[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2007(3):72-74.
- [4] 汤正军, 黄季艳, 仇宝云, 等. 大型水泵流量测定方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(12):67-69.
- [5] 张政凯, 顾翔, 杨俊. 轴流泵工况调节方法及其特性分析[J]. 水利规划与设计, 2017(12):135-138.