



水位波动对三峡升船机运行的影响

尚 桦

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 三峡升船机水位波动受电站调峰、船闸泄水等因素影响, 变化非常复杂, 下闸首水位变率可达0.9 m/h。三峡升船机运行期间, 水位波动导致的停机故障占比约29%, 经常影响升船机运行安全。通过收集升船机运行停机故障数据并展开分析, 研究水位波动对升船机运行的影响, 并从运行对接前期、船厢与闸首对接期间、开船厢门期间、船厢与航道连通期间4个阶段提出水位监测应对建议。在易受水位波动影响的敏感环节应提前做好水位趋势预判, 掌握水位波动规律, 及时采取相应措施避免三峡升船机发生停机故障。

关键词: 三峡升船机; 水位波动; 运行; 对接

中图分类号: U642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)03-0136-04

Influence of water level fluctuation on operation of Three Gorges ship lift

SHANG Hua

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

Abstract: The fluctuation of the water level of the Three Gorges ship lift is influenced by the peak shaving of the power station, the discharge of the ship lock and other factors, and the change is very complicated, and the water level variability at the head of the lower sluice can reach 0.9 m/h. During the operation of the Three Gorges ship lift, the shutdown failure caused by water level fluctuation accounts for about 29%, which often affects the operation safety of the ship lift. In this paper, the influence of water level fluctuation on ship lift operation is studied by collecting and analyzing the fault data of ship lift operation and shutdown. Suggestions on water level monitoring are put forward from four stages, including the early stage of operation docking, the docking period between the chamber and lock head, the opening period of the chamber, and the period of chamber connecting channel. The trend of water level should be predicted in advance in the sensitive links that are easily affected by water level fluctuation, the law of water level fluctuation should be mastered, and the corresponding measures are taken timely to avoid shutdown failure of the Three Gorges ship lift.

Keywords: Three Gorges ship lift; water level fluctuation; operation; docking

三峡升船机布置在三峡水利枢纽左岸, 与三峡船闸共同组成三峡水利枢纽永久通航设施, 过船规模为3 000吨级, 船厢有效尺寸为120 m×18 m×3.5 m(长×宽×水深), 提升质量1.55万t, 最大提升高度113 m^[1], 是目前世界上规模最大、技术难度最高的升船机^[2]。三峡升船机由上游引航道、上闸首、船厢室段、下闸首和下游引航道等部分

组成^[3], 上游通航水位145~175 m, 下游通航水位62.0~73.8 m。

三峡升船机引航道水位波动大小受大坝调洪方式、船闸泄水及出水口的位置、引航道水深、电站调峰及葛洲坝反调方式等诸多因素影响^[4], 波动变化非常复杂, 因此三峡升船机船厢对接过程中引航道水位波动引起的安全问题一直是业界较

收稿日期: 2023-07-06

作者简介: 尚桦(1989—), 女, 工程师, 从事船闸、升船机设备管理。

为关注的问题^[5-6]。通过对三峡升船机下游引航道非恒定流水力学计算，表明三峡枢纽电站调峰和大坝泄洪时，升船机下闸首水位变率达到0.9 m/h^[7]；三峡升船机试航测试发现^[8]，当上游水位在145~150 m时，受三峡船闸充水影响，升船机上游引航道水位变化对船厢上游对接影响明显加剧，易导致船厢水深不足，影响升船机及船舶安全^[9]。船舶在进出厢过程中，如果引航道水位变化超过对接允许范围或闸首挡水临界水位，有可能影响船舶和升船机安全，需要升船机运行和引航道水位变化有机联动^[10-11]。

引航道内水位波动对三峡升船机的安全影响至关重要^[12]。本文通过分析三峡升船机正常运行期间水位波动对运行的停机影响，归纳运行中易受水位波动影响的敏感环节，并提出水位监测应对建议，以期确保三峡升船机运行安全、高效。

1 水位波动对运行的停机影响

根据三峡水库特点，每年11月一次年3月三峡升船机上游水位大部分保持在167.5~175.0 m，上游工作大门位于1#、2#门位；下游水位在64~66 m，下游工作大门位于5#锁定位。这一时期航道水位相比其他月份波动较小，三峡升船机运行较平稳，对某年11月一次年3月期间的运行停机故障情况进行统计分析，结果见图1。

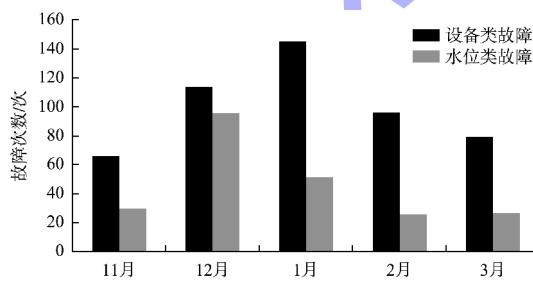


图1 某年11月一次年3月期间运行停机故障情况

从统计情况来看，运行停机故障分为两大类：1) 设备类故障，包括机械液压类故障、电气类故障、传感检测类故障；2) 水位类故障。

经过不断的调试和消缺^[13]，设备类故障随着设备的维护整改得到显著改善，而水位类故障随着运行的深入和运行厢次的增多而增加，在停机

故障中所占比例较大，且占比基本稳定。

水位类故障是指航道水位波动直接或间接导致的设备或流程不能正常进行，为进一步了解水位波动对三峡升船机运行的制约影响，对水位类故障进行分类分析，主要分为4种：1) 水位波动过大，无法确定对接位置；2) 水位波动，导致密封框、船厢门、卧倒门动作异常；3) 船厢对接时航道水位上涨，对接锁定信号丢失；4) 船厢补、排水超时。

对某年11月一次年3月期间的水位类故障情况进行统计，其中第1种故障占比为59.63%，第2种故障占比为27.33%，其他两种水位类故障占比为13.04%。

航道水位波动过大，使船厢无法确定对接位置，增加对接难度，甚至无法对接。因未与航道水位连通，一般不会引发关联故障，也很少造成碍航（故障时间超过30 min），运行中采取的措施是重新对位，水位波动较恶劣时等待水位稳定后再次对位。

当船厢与航道对接时，水位波动引起的密封框、船厢门、卧倒门动作异常和对接锁定信号丢失、船厢补排水超时等情况往往相互关联出现，对接的时间越长和水位变化越大时越容易出现，也容易扩大成碍航故障，严重影响通航效率，加大运行风险。

总之，水位波动会影响对接停位的准确性和控制条件的有效性，进而引起机构动作和运行流程的异常，影响通航效率，也带来了运行风险。

2 典型故障特点

故障发生时间的长短可以反映其影响的程度，时间超过30 min的故障即碍航是非常典型的故障，以下分析水位波动有关的典型碍航故障。

案例1：上行船舶会船结束后进厢，船舶经过卧倒门和船厢门区域时，下游水位变化较快，船厢水深迅速上涨至3.8 m以上，船厢对接后开门期间船厢水深变化见图2，船舶进厢后，立即关闭下游船厢门与卧倒门，进行船厢应急排水。排水

过程中，发现对接锁定到位信号丢失，且对接锁定机构退让，安全机构动作。船厢排水完毕后，

退密封框时出现油缸行程偏差过大的故障，经现场处理，约 2 h 后故障解除恢复运行，造成碍航。

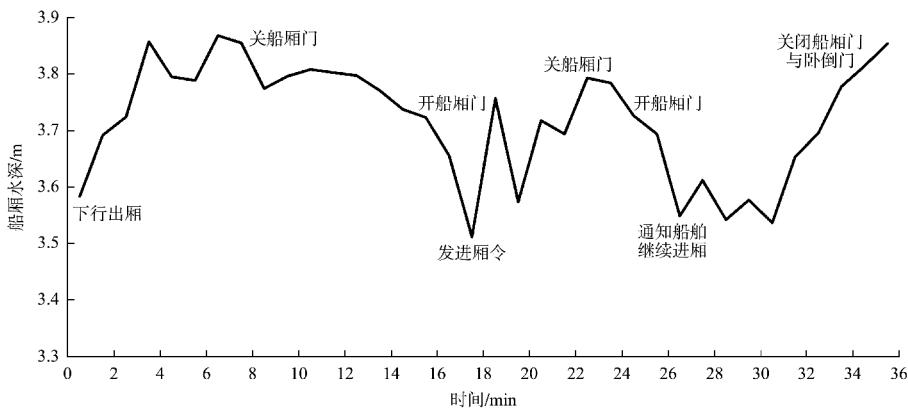


图 2 案例 1 船厢对接后开门期间船厢水深变化

三峡升船机双向运行时，上行船舶须与下行船舶会船结束后，才可上行进厢，导致上行船舶进厢历时较长；下游水位短时涨落变动较快，运行人员对下游水位变化预判不足，导致船舶进厢过程中，水位持续上涨。

案例 2：开下游船厢门和卧倒门后，下行船舶正常出厢，6 min 后船厢水深上涨至 3.8 m，此时

船舶正在经过下闸首卧倒门；1 min 后，船厢水深接近 3.9 m，此时船尾在下闸首门区域，运行人员立即联系船舶加速出厢，船厢对接后开门期间船厢水深变化见图 3。船舶离开船厢后关闭下游船厢门，调整船厢水深 2 次报排水超时故障，后续采取船厢应急排水，期间对接锁定到位信号丢失。经现场处理，约 2.5 h 后故障解除恢复运行，造成碍航。

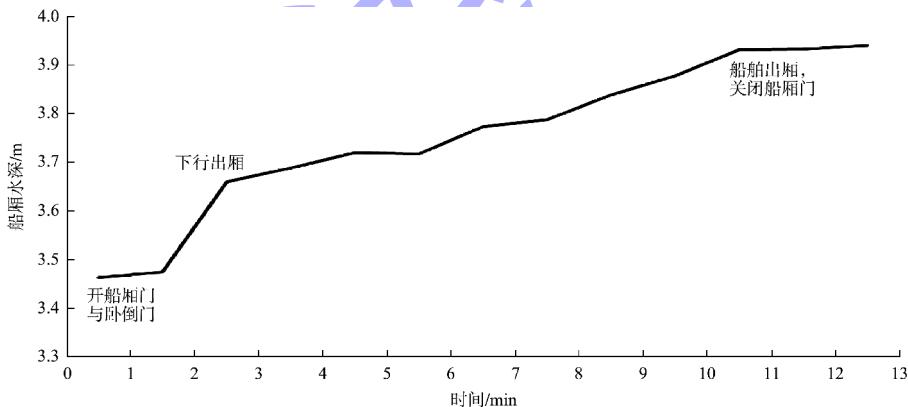


图 3 案例 2 船厢对接后开门期间船厢水深变化

船厢对接后，船厢与下游航道处于连通状态，下行船舶出厢，由于下游水位上涨较快，船厢水深由 3.46 m 涨至 3.94 m。

上述典型故障显著的特点为：1) 受水位波动的影响，引发对接锁定信号丢失、密封框偏差等故障；2) 受水位变高态势的影响，船厢水位随着航道水位波动上涨；3) 对接锁定信号丢失会导致有关其闭锁限制的调整水深等动作不能正常进行，解决该故障的过程又延长了对接时间，进而增加

密封框偏差大的可能性。

3 运行中易受水位波动影响的敏感环节

3.1 船厢水深低而停位高

船厢水深处于较低的水位状态，且船厢对接的位置相对航道水位较高，船厢与航道偏差为正值，船厢水深亏失，船厢与航道偏差越大，越容易使船厢水深低至运行闭锁下限值 (3.3 m)，引起开门动作停止，增加对接运行的时间。

3.2 船厢水深高而停位低

船厢水深处于较高的水位状态，且船厢对接的位置相对航道水位较低，船厢与航道偏差为负值，船厢水深过盈，船厢与航道偏差越大(绝对值)，越容易使船厢水深超过运行闭锁上限值(3.8 m)，引发对接锁定信号丢失和船厢排水超时故障，同时使对接状态拉长。

3.3 航道在临界水位而停位低

航道水位在三峡升船机临界水位波动，且船厢对接位置相对航道水位较低，船厢与航道偏差为负值，容易使密封框油缸状态不稳、船厢水深过盈，引起对接锁定信号丢失和船厢排水超时故障的“连锁效应”。

4 结论

1) 应对水位波动对三峡升船机运行带来的影响，既要掌握三峡升船机运行特点和船舶进出厢特点，也要掌握水位波动规律，建立针对水位波动的信息支撑和应对机制，其中水位监测是最重要的手段之一。

2) 提前了解三峡水库调度和三峡电厂调峰情况，跟踪记录升船机上下游水位变化情况，掌握水位趋势。三峡升船机上下游引航道水位受三峡水库调度和三峡电厂调峰影响，特别是临界水位时的水位变化对升船机运行影响较大，应尽量避免长时间处于临界水位运行。

3) 船厢与闸首对接时，做好航道水位预判。加强水位数据信息系统运用，若判断航道水位状态正常方可发令对接，一旦水位变动异常和波动剧烈，应暂停发令，不可盲目对接；若判断航道水位超过上下游工作门门位所设定的极限通航水位，在保证进厢船舶已就近系缆完毕或出厢船舶已离开门区以后，应紧急关门，尽快解除船厢与闸首的对接，准备调整工作门位。

4) 对接开船厢门时，密切观察船厢与航道水位偏差。船厢与航道水位存在较大的偏差，开船厢门过程中会在船厢内形成较大的水位波动，影

响船厢内船舶的停靠安全。在开船厢门时应监控船厢与航道水位偏差在0.15 m以内，确保开门后船厢水深不会波动很大。

5) 船厢与航道连通后，密切关注船厢水深变化趋势。为保证船舶正常进出厢，船厢与航道需持续保持对接状态，这段时间内应确保船厢水深在正常范围内，同时应关注密封框及对接锁定机构，避免设备状态发生变化。

参考文献：

- [1] 郑卫力.三峡升船机通航运行实践与思考[J].水运工程, 2022(9): 112-115, 121.
- [2] 梁仁强, 李锋.三峡升船机施工技术研究与实践[J].人民长江, 2011, 42(16): 51-55.
- [3] 齐俊麟, 张勇, 冯小俭, 等.设置辅助闸室解决下引航道非恒定流对三峡升船机运行影响初探[J].中国水运(上半月), 2013(3): 46-47.
- [4] 李中华, 胡亚安.非恒定水流作用下升船机对接安全预警措施研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版), 2015, 34(4): 87-90.
- [5] 梁应辰.三峡工程通航建筑物技术设计审查[J].中国工程科学, 2000, 2(5): 34-43.
- [6] 宋维邦.长江三峡水利枢纽通航建筑物设计[J].中国三峡建设, 1995(3): 10-11, 46-47.
- [7] 谢佩珍.水工枢纽泄洪及电站负荷调节对垂直升船机运行的影响[J].水利学报, 2000, 31(7): 77-85.
- [8] 长江三峡通航管理局.三峡升船机试航成果总报告[R].宜昌:长江三峡通航管理局, 2021.
- [9] 李君涛, 王鑫, 乾东岳, 等.三峡水运新通道建设对升船机上闸首水位波动影响研究[J].水道港口, 2023, 44(2): 225-230.
- [10] 张银婷, 彭享文, 陈新.三峡升船机上下游水情分析及运行应对建议[J].水运工程, 2020(12): 131-135.
- [11] 胡亚安, 王新, 陈莹颖, 等.三峡升船机145m水位上游对接厢内水面波动特性实船试验研究[J].水运工程, 2020(12): 1-6.
- [12] 龚国庆, 徐刚, 徐渊.三峡升船机闸首工作门位与通航水位关系研究[J].水道港口, 2019, 40(5): 572-577.
- [13] 王婷婷.三峡升船机抽管道水流程优化及效能分析[J].水运工程, 2022(3): 118-121, 145.

(本文编辑 王璁)