



三峡升船机船厢应对水位波动 对接方案优化及应用

彭享文, 金 锋, 闫晓青

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 针对三峡升船机引航道水位快速波动条件下, 船厢对接位置选择不合理影响升船机安全高效运行的问题, 本文开展了三峡升船机应对水位波动的船厢对接方案优化, 研究提出设置过厢船舶临时靠泊区和船厢对接位置判断方法, 实现了船厢与航道快速准确对接。总结三峡升船机船厢对接优化方案, 现场验证前后受水位波动影响情况的变化。结果表明: 对比原方案, 方案优化后能够提升升船机船厢对接位置合理性和准确性, 并有效减少航道水位波动对升船机运行的影响, 为建设在自然河流上的升船机安全高效运行提供了一种更为行之有效的船厢对接方法。

关键词: 三峡升船机; 水位波动; 临时靠泊区; 船厢水深; 船厢对接

中图分类号: U642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0154-04

Optimization and application of water level fluctuation in docking process of Three Gorges ship lift

PENG Xiangwen, JIN Feng, YAN Xiaoqing

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

Abstract: To the rapid fluctuations of water level in the approach channel of the Three Gorges ship lift, the unreasonable selection of the docking position of the ship chamber affects the safe and efficient operation of the ship lift. This article has carried out the optimization of the ship chamber docking scheme of the Three Gorges ship lift to cope with water level fluctuations. The study proposes the establishment of a temporary berthing area for ships passing through the chamber and a method for determining the docking position of the ship chamber, achieving rapid and accurate docking between the ship chamber and the waterway. It summarizes the optimization plan for the docking of the Three Gorges ship lift cabin and verifies the changes in the impact of water level fluctuations before and after on-site verification. The results show that compared with the original plan, the optimized scheme can improve the rationality and accuracy of the docking position of the ship lift, at the same time effectively reduce the impact of water level fluctuations on the ship lift, providing a more effective docking method for safe and efficient operation of ship lifts built on natural rivers.

Keywords: Three Gorges ship lift; water level fluctuation; temporary berthing area; ship chamber depth ; ship chamber docking

三峡升船机布置在三峡枢纽工程的左岸, 为齿轮齿条爬升全平衡式垂直升船机, 是三峡工程重要通航设施之一^[1]。船厢与闸首对接位置的选

择是影响三峡升船机船舶安全进出厢及设备稳定运行的重要因素, 而三峡升船机上下闸首和引航道分别与三峡水库、下游航道相连接, 因此在三

收稿日期: 2024-03-28

作者简介: 彭享文 (1994—), 男, 工程师, 从事升船机水工设备维护管理工作。

峡水库水位较低情况下,受枢纽泄洪、电站调峰、船闸充水等因素影响,上游引航道内的非恒定水流变化更容易引起水位波动,升船机上闸首水位随之产生波动。下游引航道水位受大坝调洪方式、船闸泄水及出水口位置、引航道水深、电站调峰及葛洲坝反调节方式等诸多因素影响产生波动,下闸首水位随之产生变化。升船机上闸首在引航道水位处于145 m时间段内,闸首水位1 h变幅超过0.5 m,下闸首水位1 h变幅最大为0.9 m,对升船机运行影响较大^[2-4]。

目前,国内其他升船机采用了一些方法,如向家坝采用增加辅助闸室^[5]的方式,相当于增加一级船闸,消除闸首水位波动影响,但工程投入较大,且影响过船效率。景洪升船机对接时,在工作小门开启过程中,采用门顶过流方式减小间隙水充水时间,并将工作小门/卧倒门开启、防撞桁架降落操作串联起来,缩短设备运行时间,从而减少船厢与闸首的对接时间,减小闸首水位变化对船厢的影响^[6]。

三峡升船机船厢标准水深为3.5 m,船厢与闸首对接至船舶进出厢完成后船厢解除对接的时间段内,船厢水深随闸首水位变化,而考虑船舶吃水、船厢与平衡重平衡等问题,船厢水深不应超过3.2~3.8 m,过大的船厢水深变化有可能造成过厢船舶触底或者水漫出船厢,进而危及升船机和过厢船舶安全^[7-8]。因此采用合理方案应对水位波动,增加船厢与闸首对接位置准确性和合理性,是提高升船机过厢船舶通航安全与效率的重要方法。

1 三峡升船机准确停位装置与船厢停位对接方式

三峡升船机船厢对接动作要求船厢停位时,船厢水位与闸首水位满足运行要求,船厢对接运行程序中存在船厢准确停位判断条件^[9],而升船机闸首水位一直处于振荡变化中,如图1所示,提前设定船厢停位的方式难以保证船厢停位的准确性,因此,目前三峡升船机船厢上布置了准确停位装置,以控制船厢停位。

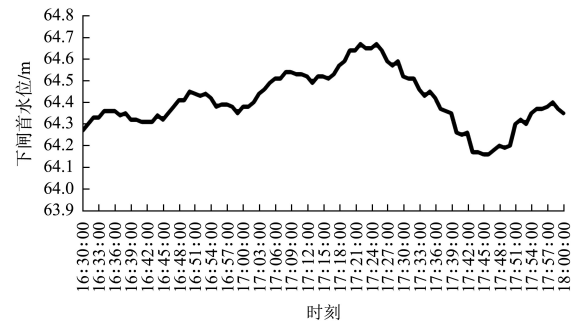


图1 三峡升船机下闸首水位2 h变化曲线(2018-09-14)
Fig. 1 2 hours variation curve of downstream water level of Three Gorges ship lift (2018-09-14)

三峡升船机船厢准确停位装置^[10]是船厢与闸首对接的主要设备,其主体部分为布置在闸首与船厢上下厢头的浮动标志镜^[11],如图2所示。每个对接停位检测装置由安装在闸首工作大门上的浮筒、伺服机构、浮动标志镜、配重、钢丝绳、定滑轮和安装于船厢对应位置的5个光电开关($B_0 \sim B_4$)等构成。当航道水位发生变化时,水体淹没浮子的深度将发生变化,钢丝绳的张力也随之变化,钢丝绳的张力与浮子的淹没深度呈反比。目前采用对接停位检测装置,利用此原理对钢丝绳的张力进行恒力控制,即采用有源元件(直流伺服电机)实时调节浮子牵引(测量)钢丝绳,使浮子牵引(测量)。钢丝绳随水位的升降而保持浮子淹没深度恒定,以达到实时准确跟踪测量水位的目的。工作流程为:当水位上涨时,浮子淹没深度增加,其浮力增加,钢丝绳张力减小,通过测力敏感元件将钢丝绳张力反馈给控制系统,恒张力控制系统驱动钢丝绳收卷装置收绳,使钢丝绳张力增大到系统给定值,浮子的淹没深度也恢复到给定值。当水位下降时,造成钢丝绳张力增大,此时的调节过程与水位上涨时正好相反。

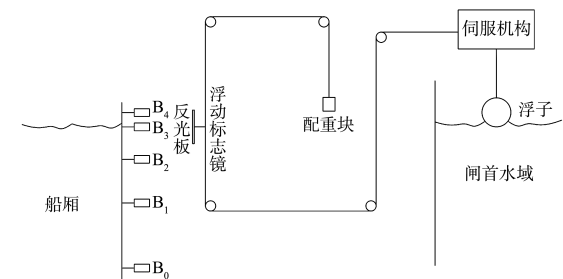


图2 浮动标志镜

Fig. 2 Floating logo mirror

通过以上工作流程，浮动标志镜作为闸首水位的检测装置，能实时反映闸首水位，在升船机上下行过程中，在承船厢侧安装有反射式的光电开关，由它发送出的光信号通过浮动标志镜的反射，被自身捕捉到后，转换为电信号输送给升船机控制系统，控制系统便会根据当时的水位信息调整承船厢的运行速度，从而实现三峡升船机在闸首准确停位。

三峡升船机之前采用的船厢停位对接方式是根据准确停位系统判断停位时刻船厢与闸首水位的位置是否相同，停位位置的选择具有随机性。当船厢准确停位，船厢执行对接锁定机构动作并开船厢门后，船厢水域与闸首水域连通，在船厢与闸首解除对接前船厢位置均不作调整，而实际上闸首水位会随着航道水位出现波动变化，船厢对接位置的随机性可能导致船厢与闸首对接期间船厢水深变化超出允许范围，从而影响升船机和进出厢船舶的安全。

2 应对水位波动优化方案

2.1 上下游引航道设置临时靠泊区

设置升船机上下游引航道临时靠泊区是升船机水位波动对接方案优化的一项措施，如图3所示。上下游引航道临时靠泊区为合适长度导航墙，临时靠泊区长度应不小于可通过升船机的最大尺度船舶，且临时靠泊区须与相应闸首门设置安全距离。进厢船舶从靠船墩进入临时靠泊区停靠，等待进厢信号允许后进入船厢。

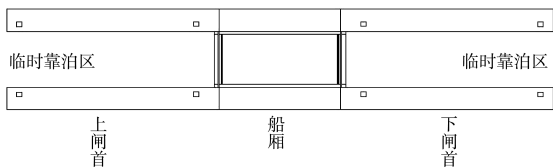


图3 升船机上下游引航道临时靠泊区

Fig.3 Temporarily berthing area in upstream and downstream of ship lift

通过设置上下游引航道临时靠泊区，过厢船舶在接收到升船机进厢信号后，直接从临时靠泊区进入升船机船厢，替代了过厢船舶从上下游靠

船墩进厢，缩短了进厢耗时。船舶进厢靠泊完毕后，船厢与闸首解除对接，缩短了船厢与闸首对接时间，从而减小闸首水位波动对船厢水位的影响。

2.2 船厢对接流程优化

原船厢对接流程选择的对接位置具有随机性，优化流程后通过判断对接位置的合理性，使船厢与闸首对接后的一段时间内，船厢水位波动不超过允许范围，这是升船机水位波动对接方案优化的另一项措施，优化后对接流程见图4。

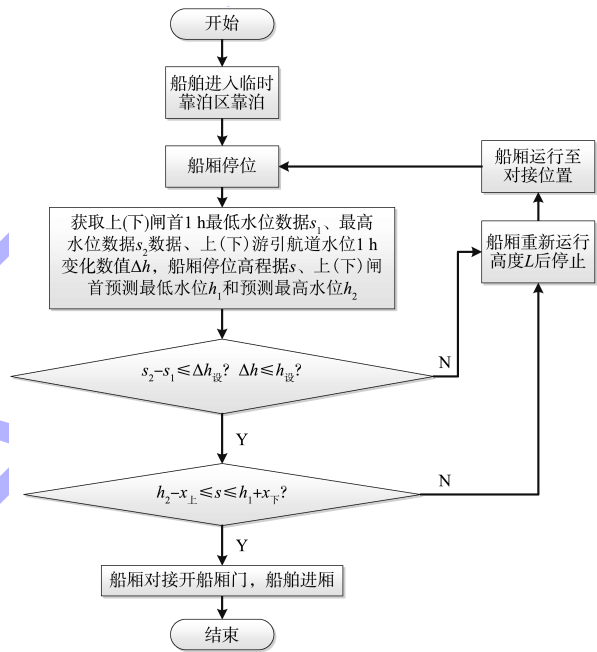


图4 优化后船厢对接流程

Fig.4 Optimum docking process for ship chamber

步骤1：升船机船厢停位后，获取停位时刻对应闸首前1h水位变化范围 $s_1 \sim s_2$ 和引航道平均1h水位变化值 Δh ，需船厢对接时闸首水位1h变化及引航道1h水位变化值均不大于设计水位变化要求，即判断1h水位变化满足 $s_2 - s_1 \leq \Delta h_{\text{设}}$ 且 $\Delta h \leq \Delta h_{\text{设}}$ ，满足条件进行步骤2，如果不满足条件则进行步骤3；步骤2：获取船厢停位高程 s ，比较对应闸首预测最低水位 h_1 、预测最高水位 h_2 、船厢最大允许误差水深 $x_{\text{下}}$ 、 $x_{\text{上}}$ 及船厢停位高程 s 之间的关系，如果满足 $h_2 - x_{\text{上}} \leq s \leq h_1 + x_{\text{下}}$ 条件，则直接进行步骤4，如果不满足条件则进行步骤3；步骤3：执行船厢位置调整，船厢重新上、下运行距

离±L后停止, 再次运行至与闸首对接位置, 重新进行步骤 1 船厢停位合理性判断; 步骤 4: 执行船厢与对应闸首进行对接流程。

步骤 1 中三峡升船机上游引航道 1 h 水位变化值为:

$$\Delta h = k_1(Q_{\text{入}} - Q_{\text{出}}) \quad (1)$$

下游引航道 1 h 水位变化值为:

$$\Delta h = k_2 \Delta Q \quad (2)$$

步骤 2 中闸首预测水位计算为:

$$\begin{cases} h_1 = s_1 + \Delta h \cdot t_{\text{对}} \\ h_2 = s_2 + \Delta h \cdot t_{\text{对}} \end{cases} \quad (3)$$

步骤 3 中船厢位置调整重新运行距离满足升船机准确停位装置的有效距离。

式中: s_1 为相应闸首对接前 1 h 内水位最低值, s_2 为相应闸首对接前 Δh 内水位最高值; Δh 由式(1)、(2)计算得到, $Q_{\text{入}}$ 为三峡枢纽入库流量, $Q_{\text{出}}$ 为三峡枢纽出库流量, k_1 为比例系数, ΔQ 为三峡枢纽出库流量变幅, k_2 为比例系数; $\Delta h_{\text{设}}$ 为设计运行水位变幅, $x_{\text{上}}$ 为船厢最大允许误差水深上界限, $x_{\text{下}}$ 为船厢最大允许误差水深下界限; h_1 为对应闸首预测最低水位, h_2 为对应闸首预测最高水位, 由式(3)计算获得; $t_{\text{对}}$ 为船厢对接开始至船厢门开启完成流程时间, s 为船厢停位位置高程。

通过船厢对接流程优化增加了对船厢对接位置合理性判断, 减少了原流程船厢对接位置随机性较大的问题。

3 优化方案实施效果

三峡升船机受水位波动影响会发生船厢对接时水位超限、准确停位信号丢失、水位波动引起的对接运行流程中断等停机故障, 直接影响三峡升船机运行安全和效率。自 2018 年 8 月初开始, 实施水位波动条件下船厢对接优化方案, 由于水位波动导致的船厢对接过程的停机故障明显减少, 升船机运行效率显著提升, 故障频次见图 5。

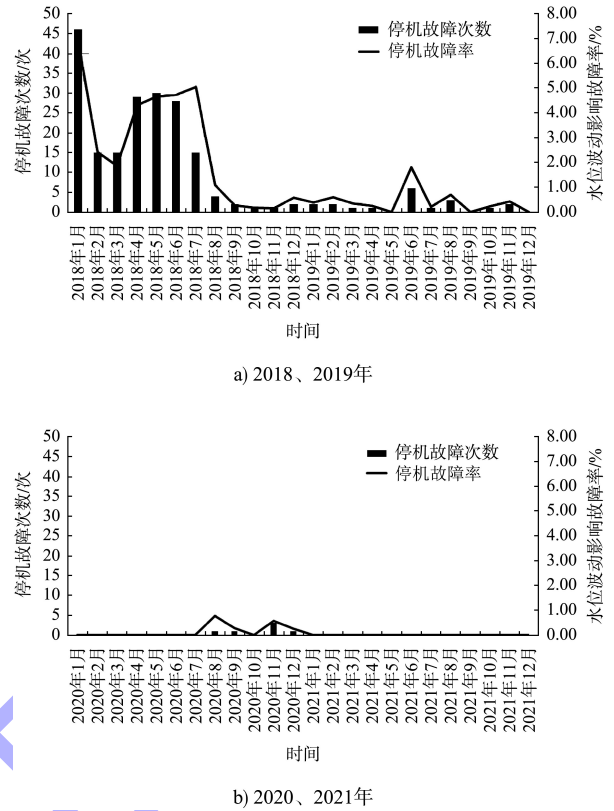


图 5 三峡升船机船厢受水位波动影响停机故障情况
Fig. 5 Failures caused by water level fluctuation of Three Gorges ship lift

对比原流程方案, 采用优化方案后三峡升船机受水位波动影响产生的停机故障率明显降低, 2018 年 1—7 月水位波动影响产生的停机故障累计 178 次, 运行厢次累计 4 282 次, 相应故障率为 4.16%; 2018 年 8 月—2021 年 12 月水位波动影响产生的停机故障累计 41 次, 运行厢次累计 1.599 3 万次, 相应故障率为 0.26%, 可见优化方案有效减少了闸首水位波动对升船机运行的直接影响, 极大地降低了升船机运行停机故障, 有效提高升船机运行效率。

4 结语

1) 水位波动对升船机运行影响较大时段是船厢与闸首对接时段, 通过设置上下游引航道临时靠泊区, 减小船舶进厢时间, 从而缩短船厢与闸首对接时间, 减小水位波动对升船机运行的不利影响, 增加船厢对接的可靠性和运行的安全性。

(下转第 163 页)