



三峡升船机船厢停位操作研究

冯盼盼, 邹斌斌

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 为研究三峡升船机船厢停位操作方法, 分析了三峡升船机运行工艺流程、对接停位装置工作原理及其可靠性, 数据表明, 对接停位装置的整体可靠性较高。根据对接停位装置工作原理, 结合三峡升船机运行经验, 提出船厢停位判断“RTA(水位波动幅度、水位变化趋势、船舶停位高程)三要素法”, 以确保船厢停位的安全性。同时, 针对船厢停位失败现象, 根据不同运行工况, 提出大行程重新对接法、小行程重新对接法以及强制信号重新对接法等船厢停位操作方法, 以实现三峡升船机准确停位。研究成果可提升三峡升船机运行安全和运行效率, 为三峡升船机船厢停位操作提供技术指导, 为国内外其他升船机的船厢对接操作提供借鉴。

关键词: 三峡升船机; 对接停位装置; 船厢对接停位; 水位波动

中图分类号: U642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0161-05

Docking stopping operation of Three Gorges ship lift trough

FENG Panpan, ZOU Binbin

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

Abstract: To study the docking operation method of the Three Gorges ship lift, the paper analyzes the operation process, working principle and reliability of docking stop device of the Three Gorges ship lift, the data show that the overall reliability of the docking stop device is high. According to the working principle of docking stopping device, combined with the operation experience of Three Gorges ship lift, the “RTA three-element method” is put forward to judge the trough’s docking position, so as to ensure the safety of the trough’s docking stopping. At the same time, according to different operating conditions, the large stroke re-docking method, small stroke re-docking method and forced signal re-docking method are proposed to realize the accurate stopping of the Three Gorges ship lift. The research results can improve the operation safety and efficiency of the Three Gorges ship lift, provide technical guidance for the trough’s docking stopping of the Three Gorges ship lift, and provide reference for other ship lift trough’s docking stopping operations at home and abroad.

Keywords: the Three Gorges ship lift; docking stopping device; trough’s docking stopping; water-level fluctuation

升船机是克服水位落差升降船舶的通航建筑物, 三峡升船机作为船舶通过三峡大坝的快速通道, 布置在三峡水利枢纽左岸, 是三峡水利枢纽永久通航建筑物, 具有工程规模大、控制技术复杂、运行维护难度大等特点^[1-2]。

船厢停位操作是升船机运行流程中的重要环

节, 是升船机船厢与闸首成功对接的前提, 而对接停位装置是船厢停位操作的重要运行机构, 因此, 研究船厢停位操作, 确保升船机船厢准确停位, 十分必要。针对三峡升船机船厢对接, 已有一些研究成果, 郑琴霞等^[3]根据三峡升船机对接停位原理, 提出优化船厢停位流程、采用人工干

收稿日期: 2023-12-08

作者简介: 冯盼盼(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事通航建筑物运行管理和技术研究。

预等措施，提高对接成功率；李若等^[4]针对对接停位系统，提出采用脉冲宽度调制调速和调压调速的改进措施，提高对接停位系统稳定性。本文根据三峡升船机船厢对接运行工艺及对接停位装置原理，结合前期研究成果和升船机多年运行经验，探讨三峡升船机船厢停位操作方法，提高三峡升船机的运行效率，确保三峡升船机安全、高效运行，旨在为其他升船机船厢停位操作提供借鉴。

1 运行工艺流程

三峡升船机运行工艺流程是指升船机从下游(上游)对接状态运行到与上游(下游)对接状态，将下游(上游)的船舶运送到上游(下游)航道的工艺过程。在三峡升船机运行中，采用自动流程对运行工艺进行控制，即设备联动运行、关键节点人工干预，自动流程运行工艺为：发进厢令→下行(上行)船舶进厢→船厢上游(下游)解除对接→船厢下行(上行)，准确停位→船厢下游(上游)对接→发出厢令，下行(上行)船舶出厢。

船厢停位操作是影响升船机运行安全和运行效率的关键节点，受水位波动影响，船厢停位时可能出现无法准确停位或停位后船厢水深与航道水位偏差过大、不满足设备闭锁条件而无法动作等现象，影响运行安全及效率。

2 船厢停位装置

2.1 对接停位装置组成

对接停位装置是升船机船厢停位的重要执行机构，在船厢与闸首对接时，对接停位装置通过检测闸首航道水位变化，实时控制船厢停位位置，实现船厢的准确停位。

升船机对接停位装置共4套，对称布置在船厢厢头及闸首工作大门内，分为上游设备和下游设备，主要有反射式光电开关、反光板、钢丝绳、滑轮、配重块、伺服机构、浮筒、浮球、浮筒进水管等组成。光电开关每套5个(编号为 B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4)，垂直安装于船厢厢头与闸首相对的端面；反

光板固定在钢丝绳上，位于闸首工作大门外与船厢厢头相对的端面；滑轮、配重块、伺服机构、浮筒、浮球、浮筒进水管等安装在闸首工作大门内部；滑轮布置在闸首工作大门内部及端面，为钢丝绳移动导向；配重块固定于钢丝绳一端，布置于闸首工作大门内部；伺服机构安装在闸首工作大门内部、浮筒上方，用于驱动钢丝绳升降，具有高精度和灵敏度的特点；浮球一端连接钢丝绳置于浮筒内部，随浮筒内水位变化上下浮动；浮筒作为盛水装置，位于闸首工作大门内，通过进水管与航道相连；进水管位于闸首工作大门内，一端与航道相接，一端与浮筒相接。对接停位装置如图1所示。

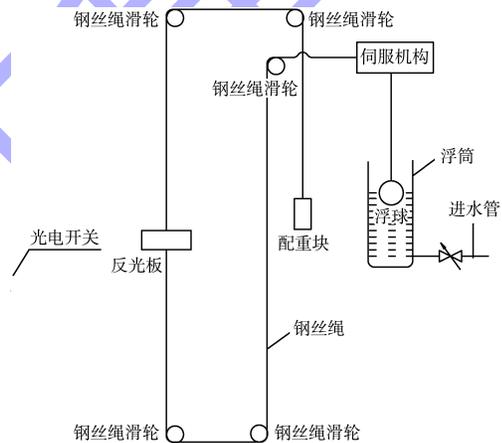


图1 对接停位装置

2.2 工作原理

浮球漂浮在浮筒内，在钢丝绳拉力、浮球自身重力及浮力等作用下保持动态平衡，当航道水位变化时，浮筒内水位跟随航道水位产生相应变化，浮球受力平衡被打破，伺服机构检测到浮球受力变化后，经运算输出驱动力，对浮球上端钢丝绳进行调节，引起钢丝绳移动，进而带动钢丝绳上发光板位置变化，此时，反光板位置实时对应航道水位的位置。

升船机船厢在与闸首对接时，根据航道水位确定船厢停位位置，正常情况下，在停位过程中，船厢厢头光电开关 B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 依次被触发，主传动机构接收到 B_0 信号时，根据当前水位重新确认停位位置，进行停位位置校验，并生成减速

曲线; 主传动机构接收到 B_1 信号时, 开始按照减速曲线减速; 主传动机构接收到 B_2 信号时, 判断主传动是否按照减速曲线进行减速, 如未正常减速, 则启动快速停机程序减速; 主传动机构接收到 B_3 信号时, 船厢基本运行到位, 若此时船厢未停机, 主传动机构将启动快速停机程序减速, 当船厢驱动装置停机时 B_3 信号仍存在, 主传动会发出准确停位信号; 主传动机构接收到 B_4 信号时, 启动紧急停机程序^[5]。

2.3 可靠性分析

对接停位装置的可靠运行保障了升船机船厢的准确停位, 在升船机设备可靠性分析中, 基于金锋^[6]提出的根据设备故障停机次数和检修停航时间计算可靠度的计算方法, 对三峡升船机对接停位装置可靠性进行分析, 得到对接停位装置可靠性, 见表 1。由表可知, 对接停位装置整体可靠性较高, 且逐年提高, 故本文主要从设备操作角度对船厢停位进行研究。

表 1 对接停位装置可靠度

装置部位	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
上游	99.79	99.95	99.97	99.96	99.98	99.86	99.95
下游	99.21	99.82	99.87	99.85	99.85	99.86	99.93

3 船厢停位操作

3.1 RTA 三要素法

大多数情况下, 三峡升船机采用自动流程进行船厢对接, 在船厢对接过程中, 操作人员根据船厢停位位置及航道水位变化情况, 及时进行人工干预, 确保船厢准确停位及后续流程运行安全。

根据升船机设计指标, 结合运行经验, 集控操作人员可运用“RTA 三要素法”对升船机船厢停位进行分析判断。RTA 三要素法是依据水位波动幅度 R (Range)、水位变化趋势 T (Trend)、船厢停位高程 A (Altitude) 3 个要素, 对船厢停位条件进行分析判断的方法, 具体要求为: 水位 60 min 波动幅度 $R_{60} \leq 0.5$ m、 A 处于 $(1/3 \sim 2/3)R$ 对应水

位高程范围, 水位变化趋势为上涨趋势时, A 应处于 $(1/2 \sim 2/3)R$ 对应的水位高程范围, 水位变化趋势为下降趋势时, A 应处于 $(1/3 \sim 1/2)R$ 对应的水位高程范围。 R 可在三峡升船机水位信息系统中查询, 水位变化趋势可通过询问枢纽梯级调度通信中心获得, A 由集控室上位机实时数据获取。

以船厢上游停位为例, 运用 RTA 三要素法操作船厢对接, 上游航道水位曲线如图 2 所示, $R = 0.409$ m 时, A 应处于 147.156 ~ 147.293 m, 当水位变化趋势为上涨趋势时, A 应处于 147.220 ~ 147.293 m, 当水位变化趋势为下降趋势时, A 应处于 147.156 ~ 147.220 m。

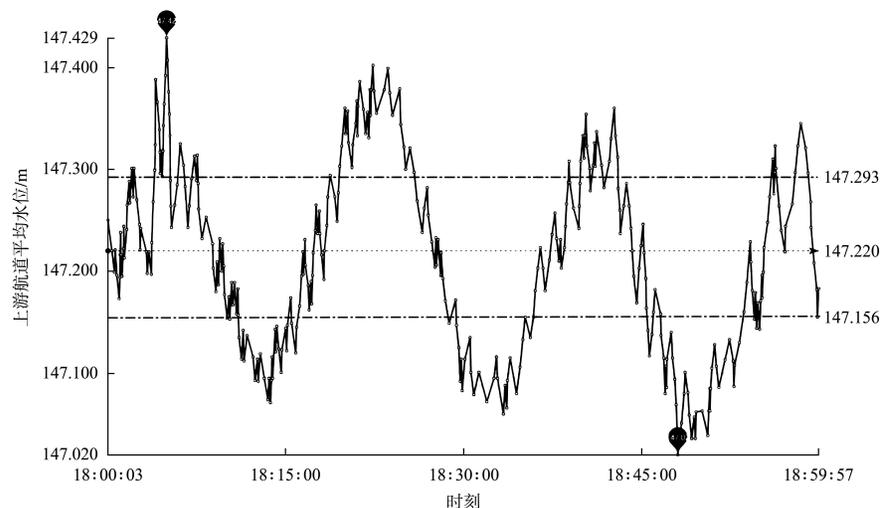


图 2 上游航道水位曲线

当航道水位波动范围过大或船厢停位位置不合理时,会造成船厢对接开门后,船厢内水位大幅度变化,影响运行安全,此时集控操作人员应通过取消自动流程,采用手动流程操作,避免船厢停位于水位波动波峰或波谷位置,确保安全运行。

3.2 重新对接操作

3.2.1 大行程重新对接

船厢停位失败后,将船厢驱离当前停位位置一段距离(一般选取5~10 m),接着操作船厢重新对接,这种方法称为大行程重新对接。在水位波动幅度及波动频率不大的情况下,均可采用大行程重新对接,对接前需要确认航道水位变化趋势及变化幅度,以判断船厢停位位置是否合理,操作流程如图3所示。

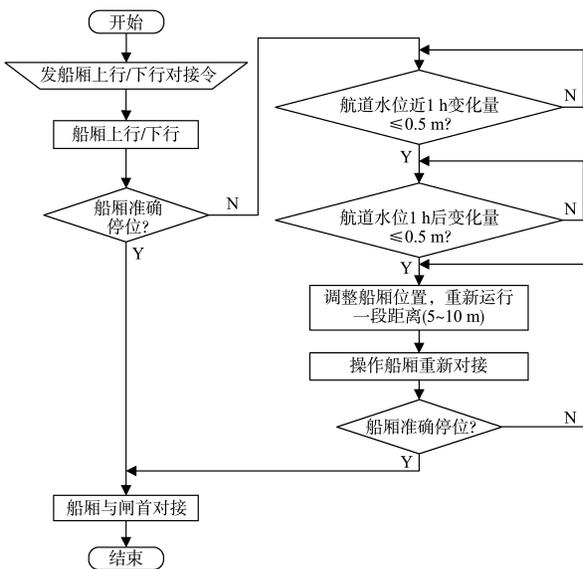


图3 大行程重新对接流程

3.2.2 小行程重新对接

在水位波动频繁时进行大行程重新对接,可能会出现船厢多次对接失败的现象,这是由于对接停位装置浮子跟随水位变化,其检测精度也随之发生动态变化。该情况下,可根据对接停位装置的工作原理,采用小行程重新对接。操作方法为:船厢对接失败后,将船厢驱离离开当前停位位置一段距离(一般选取5~25 cm),在航道水位变化满足条件下,操作船厢低速(一般为0.02 m/s)对接,船厢停位目标根据“RTA三要素法”手动输入,操作流程如图4所示。

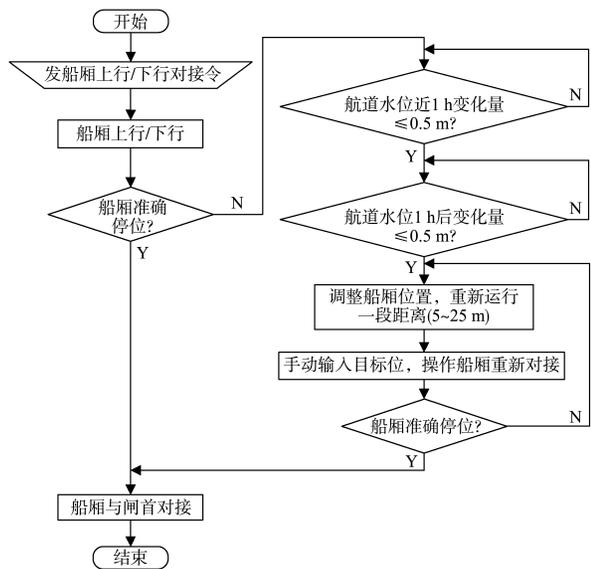


图4 小行程重新对接流程

小行程重新对接采用短距离对接,对接停位装置不会对船厢停位目标位置进行重新确认,船厢停位位置根据手动输入位置确定,船厢位置固定,提高了对接准确性;同时,小行程对接的船厢对接时间也较短,可有效克服对接停位装置对水位波动的滞后性,提高对接成功率。小行程重新对接需要集控操作人员熟悉设备工作特性,并时刻关注航道水位变化趋势,在合适的时刻操作船厢重新对接。

3.2.3 强制信号重新对接

在水位快速波动、小行程重新对接也无法成功时,可根据对接停位装置电气接线原理,进行强制信号重新对接。操作方法为:船厢对接失败后,将船厢驱离当前停位位置一段距离(一般选取5~25 cm),在航道水位变化满足条件时,现场强制对接停位装置 B₃ 信号,操作船厢低速(一般为0.02 m/s)对接,船厢停位目标根据“RTA三要素法”手动输入,操作流程如图5所示。

在强制信号重新对接中,因强制触发对接停位装置中的 B₃ 信号,船厢停位时必然会出现准确停位信号;同时,采用小行程重新对接缩短了船厢重新对接时间。强制信号重新对接操作中,需要现场人员熟悉设备原理,与集控操作人员配合完成。

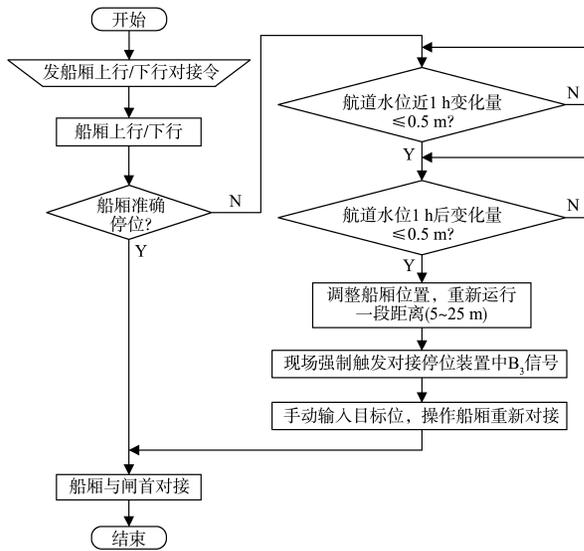


图5 强制信号重新对接流程

4 结论

1) 通过对三峡升船机运行工艺、对接停位装置及其可靠性分析, 表明船厢对接停位操作是升船机运行工艺的重要环节, 对三峡升船机运行安全及运行效率有重要影响。对接停位装置整体可靠性较高, 确保了船厢对接操作的稳定运行。

2) 在船厢对接操作中, 提出船厢停位判断“RTA 三要素法”, 根据航道水位变化幅度、水位变化趋势, 分析判断船厢停位位置的准确性, 指

导集控操作人员准确把握船厢停位控制规律, 提升三峡升船机运行安全。

3) 针对因水位波动造成的船厢停位失败现象, 提出大行程重新对接法、小行程重新对接法及强制信号重新对接法, 根据不同工况采用相应操作方法, 实现三峡升船机船厢准确停位。

4) 提出的船厢停位操作方法可提升三峡升船机船厢停位操作的安全性和高效性, 为三峡升船机船厢停位操作提供指导, 也可为其他升船机船厢停位操作提供借鉴。

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] 钮新强. 三峡升船机结构关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
 [3] 郑琴霞, 鄢玲祉, 吕小虎, 等. 三峡升船机船厢对接停位及运行分析[J]. 水运工程, 2020(2): 71-75.
 [4] 李若, 尚桦, 鄢玲祉. 三峡升船机准确停位系统优化改造[J]. 水运工程, 2020(2): 76-79, 111.
 [5] 冉志平, 吴笛. 三峡升船机船厢停位控制[J]. 中国水运(上半月), 2016(9): 54-55.
 [6] 金锋. 齿轮齿条爬升式升船机驱动系统运行可靠性分析[J]. 水运工程, 2021(2): 89-92, 136.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 144 页)

[4] 曲红玲, 张冉, 马洪亮. 长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程落成洲河段整治效果 [J]. 水运工程, 2021(1): 150-155.
 [5] 盛艳丽, 何国华, 周贵国. 深水大流速条件下和畅洲水道潜锁坝损毁特征分析[J]. 水运工程, 2023(8): 96-101, 183.
 [6] 徐敏. 水沙条件对护岸工程损毁影响的试验研究 [J]. 水运工程, 2021(1): 123-128, 135.
 [7] 杨云平, 郑金海, 张明进, 等. 长江下游潮流界变动段三

益桥边滩与浅滩演变驱动机制分析 [J]. 水科学进展, 2020, 31(4): 502-513.
 [8] 刘旺喜. 口岸直水道落成洲守护工程对三益桥浅区段水动力条件的影响 [J]. 水运工程, 2016(7): 1-5.
 [9] 雷雪婷. 长江下游口岸直水道落成洲守护工程平面方案优化 [J]. 水运工程, 2014(9): 1-10.
 [10] 南京水利科学研究院. 2021 年度、2022 年度、2023 年度长江镇江航道处航道整治建筑物技术状况分析评价[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2023.

(本文编辑 王璁)