



三峡升船机抽管道水流程优化及效能分析

王婷婷

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443133)

摘要: 针对三峡升船机运行流程中部分机构运行时间较长、影响运行效率的问题, 开展了升船机运行流程优化研究。通过统计分析和理论计算, 指出上下游航道水位差小于一定范围时抽管道水步骤会影响升船机运行效率。结合长期的运行管理经验, 提出三峡升船机抽管道水流程优化方案, 并进行安全性论证和效能分析。结果表明: 现有条件下, 流程优化后可每厢次节约升船机设备运行时间约 70 s, 极大提高升船机运行效率。

关键词: 三峡升船机; 抽管道水; 航道水位差; 流程优化

中图分类号: U 642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)03-0118-04

Optimization of pipeline water pumping process of the Three Gorges ship lift and efficiency analysis

WANG Ting-ting

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443133, China)

Abstract: In view of the long running time of some mechanisms in the operation process of the Three Gorges ship lift and its influence on the operation efficiency of the ship lift, we carry out research on optimizing the operation process of the ship lift. According to statistical analysis and theoretical calculation, when the water level difference between the upstream and downstream channel is smaller than a certain range, the pipeline water pumping sequence affects the operational efficiency of the ship lift. In light of long-term operation and management experience, we propose an optimization plan for the pipeline water pumping process of the Three Gorges ship lift and conduct safety argumentation and efficiency analysis. The results show that under the existing conditions, the operation time of the ship lift is saved by about 70 s per compartment after process optimization, which greatly improves the operational efficiency of the ship lift.

Keywords: Three Gorges ship lift; pipeline water pumping; water level difference along a channel; process optimization

三峡升船机作为世界上规模最大, 技术最复杂的升船机, 自 2016 年试通航以来, 经过不断的调试和消缺, 设备设施基本处于正常稳定的工作状态^[1]。为进一步提高通航效益, 针对现阶段影响升船机运行效率的问题, 开展运行流程优化研究十分必要。

在升船机设备运行历时达到指标的前提下, 提高升船机运行效率重点从流程优化着手。目前

关于升船机运行流程优化相关研究还较少, 胡亚安等^[2]对景洪水力式升船机对接流程进行研究, 优化卧倒小门开启和防撞梁下降的步骤, 节省了景洪升船机运行时间; 李飞等^[3]对三峡升船机船厢与航道解除对接的工艺进行研究, 从操作方法上提出了提高运行效率的操作建议。国内其他升船机, 由于规模较小、抽管道水时间短, 且航道水位差相对稳定, 船厢运行时间相对固定, 抽管

收稿日期: 2021-05-27

作者简介: 王婷婷(1989—), 女, 工程师, 从事三峡升船机电气设备技术管理。

道水可以在船厢上下行期间完成，同样的控制策略对主流程运行几乎不产生影响。三峡升船机上游通航水位变幅 30 m、下游通航水位变幅11.8 m，上下游水位差范围较大，这一特点对三峡升船机船厢上下行运行时间影响明显，又由于三峡升船机特有的管道结构导致抽管道水时间较长，因此本文针对抽管道水动作对升船机运行效率的影响开展流程优化研究。

1 三峡升船机运行流程特点

根据三峡升船机运行流程，抽管道水的作用是将间隙泄水重新抽回船厢。以下行为例，抽管道水从上游退密封框结束后，持续到下游伸密封框之前，抽管道水与其他动作的关系见图 1。若此过程其他设备运行时间大于抽管道水时间，抽管道水不会影响流程运行时间；若此过程其他设备运行时间小于抽管道水时间，抽管道水将影响流程运行时间。为研究同时运行的动作之间的时间关系，对无故障工况下升船机相关设备运行历时进行统计分析。

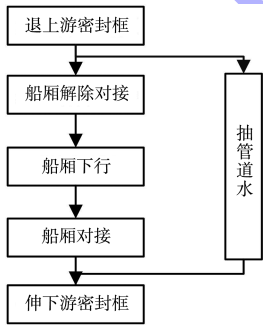


图 1 抽管道水与其他动作的关系

2 抽管道水流程对运行的影响

在无故障的情况下，影响抽管道水时间的主要因素是管道水深，而决定管道水深的两个变量为泄间隙水前管道水深 h_0 、(与船厢水持平的)间隙水深 h_1 。 h_0 、 h_1 同时最大时，抽管道水时间最长； h_0 、 h_1 同时最小时，抽管道水时间最短。通过采集数据样本分析，抽管道水动作开始时管道水深通常在 0.88~0.94 m，动作结束时停泵水位为 0.38 m，管道水深与抽管道水历时关系见图 2。

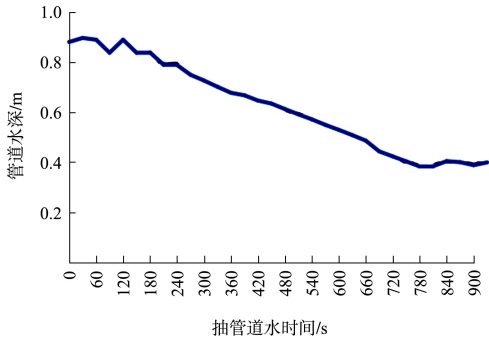


图 2 管道水深与抽水时间关系

影响船厢上下行运行时间的主要因素是船厢行程，船厢以正常加速度 0.01 m/s^2 和匀速度 0.2 m/s 运行时，船厢运行到最大匀速度后停位，运行时间与船厢行程为线性关系，上下行运行历时与船厢行程的关系见图 3。

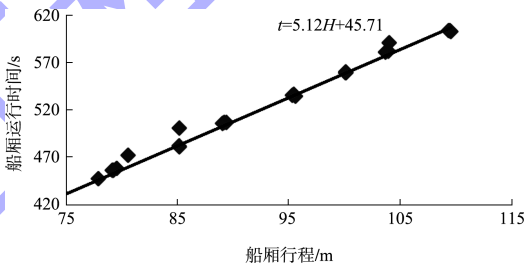


图 3 船厢运行时间与行程关系

设抽管道水时间为 T_1 ，由图 2 可知，抽管道水时间 $660\text{ s} \leq T_1 \leq 780\text{ s}$ 。设船厢运行时间为 T_2 ，由图 2 可知：

$$T_2 = 5.12H + 45.71 \tag{1}$$

式中： T_2 为船厢上下行运行时间(s)； H 为船厢行程(m)。式(1)适用条件为 $4\text{ m} \leq H \leq 113\text{ m}$ 。

设船厢从解除对接到对接的时间为 T_0 ，其中，船厢解除对接和船厢对接系列动作运行总时间约为 197s，根据流程串联步序可知：

$$T_0 = 197 + T_2 \tag{2}$$

将 T_1 与 T_0 进行比较，当 $T_2 < 463\text{ s}$ 时，抽管道水时间大于同时动作的其他设备运行总时间， T_2 对应的船厢行程为 81.5 m；当 $T_2 > 583\text{ s}$ 时，抽管道水时间小于同时动作的其他设备运行总时间， T_2 对应的船厢行程为 104.9 m；当 $463\text{ s} \leq T_2 \leq 583\text{ s}$ 时， T_1 与 T_0 大小关系不定，由泄间隙水前管道水深和船厢水深决定。

上一次抽管道水停泵时管道残余水量和船厢水深两者在程序中均有设置的控制范围,在每一次运行中,具有随机性,因此每一次都可能出现 $T_1>T_0$ 的情况。即上下游水位差 $<81.5\text{ m}$ 时,船厢对接后一定会出现等待时间;当上下游水位差 $<104.9\text{ m}$ 时,每一次船厢对接后均有可能出现等待时间。当抽管道水时间 T_1 最长为 780 s 、船厢行程 H 最小为 71.2 m 时,船厢从解除对接到对接的时间最小为 607 s ,此时等待时间最长为 173 s ,约占全流程设备运行历时的 10% 。

3 抽管道水流程优化方案

三峡升船机主要由船厢门、闸首门、船厢水深调节与间隙充泄水系统、对接密封装置、驱动机构、对接锁定机构、顶紧机构等组成。升船机

运行流程顺序控制,各步间有严格的逻辑闭锁关系,当条件不满足时操作不会起作用。各环节之间也有顺序闭锁保护,上一步未完成时下一步不能进行^[4]。闭锁和步序准确可靠,确保升船机运行流程安全高效。

在设备性能基本稳定的前提下,抽管道水时间过长对运行效率造成影响,考虑将抽管道水的允许动作时间延长、减少等待时间。目前抽管道水的起止节点为密封框退回和伸出之后,流程优化需重点研究抽管道水与密封框退回、伸出的步序关系,需要对密封框退回、伸出的闭锁条件进行安全分析。

对接密封框是连通航道与船厢的设备,密封框的闭锁是确保船厢与航道安全对接的重要保障。三峡升船机密封框退回、伸出的闭锁条件及各条件设置必要性分析见表1。

表 1 对接密封框闭锁条件及必要性分析

流程	控制逻辑	必要性
上游密封框退回	上厢头船厢门关到位、锁定到位	确保船厢安全
	上闸首卧倒门关到位	确保上游挡水安全
	上游泄间隙水完成	上一步序完成
下游密封框伸出	上游船厢门关到位、锁定到位	确保船厢安全
	下游船厢门关到位、锁定到位	
	抽管道水完成	上一步序完成
	下闸首工作大门锁定到位	确保下游挡水安全
	下闸首卧倒门关到位	
	$3.48\text{ m}\leq\text{下闸首工作大门坎上水深}\leq 5.75\text{ m}$	确保密封框压紧在止水面板范围
	下游准确停位	
	传动站对接允许	确保船厢安全
	$3.3\text{ m}\leq\text{船厢水深}\leq 3.8\text{ m}$	

根据表1可知,密封框退回与抽管道水在步序上没有必要限制;密封框伸出与抽管道水完成存在步序关系,但此步序是否完成不影响密封框及其他设备安全运行。综上,密封框退回、伸出与抽管道水之间的串联步序可进行优化。

优化抽管道水的步序,取消抽管道水完成信号对伸密封框动作的闭锁限制。在抽管道水持续过程中,可进行密封框退回和伸出动作。根据管

道特点,充、泄间隙水动作与抽管道水不能同时进行,故泄间隙水之后、充间隙水之前方可进行抽管道水步序,此处的串联步序是安全必需的。

优化前抽管道水与船厢解除对接、船厢上下行、船厢对接为并联工序,优化后退密封框、船厢解除对接、船厢上下行、船厢对接、伸密封框依然保持串联工序,然后与抽管道水并联,改变了抽管道水的起止节点,见图4。

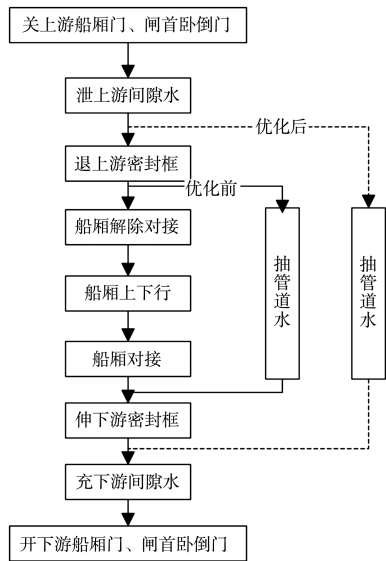


图 4 三峡升船机抽管道水优化流程

4 抽管道水流程优化效能分析

为了研究抽管道水对三峡升船机通航效益的影响，统计分析了升船机上下游水位差全年分布情况。以 2020 年为例，上下游航道水位差见图 5。2020 年上下游水位差在 104.9 m 以下的时间占 73.61%，水位差在 81.5 m 以下的时间占 8.29%。在全流程运行时，抽管道水对升船机运行效率的整体影响较大，进行优化改进效益显著。

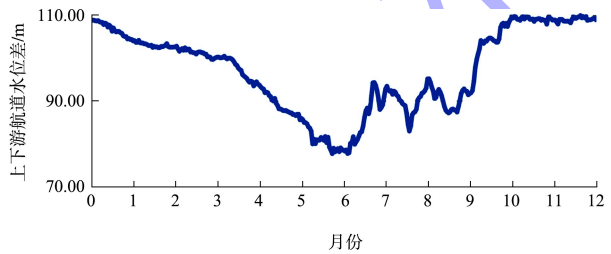


图 5 2020 年三峡升船机上下游航道水位差

- 1)在低水位运行时，每厢次可节省 1 次密封框退回和伸出运行的时间，约为 70 s。初步估计，每天可节省通航时间约 28 min，全年可节省通航时间约 7 460 min，折合厢次 120 余次。
- 2)三峡升船机上下游引航道水位变化对船厢对接过程厢内水面波动会产生影响，且在上游低水位通航条件下及汛期影响较大^[5-6]，这种工况下，升船机船厢与航道对接船厢水深波动相对较

大，造成管道水深较高的几率也较大，抽管道水时间更长；另外对接后航道水位波动，造成需要重新对接的几率增多。此时解除对接后再重新对接时，平均等待时间可达 10 min。此种运行工况下，抽管道水流程优化有助于快速解除对接和重新对接，对运行操作具有重要的意义。

3)现阶段三峡升船机对接密封装置的其他部件可靠性相对较低，如伸出到位、压紧到位等信号，在这些部件适应性改造前，密封框伸出动作的提前可有助于此类短时中断故障在抽管道水期间处理，错开了密封框故障处理时间，也节约了主流程运行时间。

4)在充间隙水过程中，密封框伸出或压紧信号丢失会导致充间隙水停止，同时也无法泄间隙水。此时，再次伸密封框动作，会受到抽管道水步序限制(充水阀件开到位状态)而无法执行。优化抽管道水的步序，使此类故障通过流程上手动操作(如重新进行密封框压紧)即可快速解决，避免了该工况下流程陷入死循环。

5 结论

- 1)三峡升船机抽管道水流程优化为：将抽管道水与退密封框、船厢解除对接、船厢上下行、船厢对接、伸密封框改为并联工序，在退上游密封框时可同时启动抽管道水，在抽管道水时可同时伸下游密封框。
- 2)抽管道水流程优化可在确保安全的前提下，提高低水位通航条件下和船厢与航道重新对接工况下的运行效率。
- 3)抽管道水步序的优化，有助于提高手动操作的灵活性，为密封框短时流程中断故障提供更安全便捷的处理方式。
- 4)优化抽管道水步序能很大程度上解决流程执行中等待的问题，但仍不能完全避免，抽管道水效率仍有进一步提升的空间，理论上极限管道水深时的抽水时间应小于 683 s，才能完全避免抽管道水对运行流程的影响。