



三峡升船机通航运行实践与思考

郑卫力

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要:三峡升船机规模大、技术难度高、机电设备种类繁多,维护难度大,且运行系统的安全保护等级高,极易出现停机故障,因此,保障升船机正常通航运行是三峡升船机建成后面临的一个挑战。本文全面回顾分析了三峡升船机2016年9月试通航以来在通航条件、设备设施运行与维护、船舶交通组织等方面面临的挑战,系统介绍了在设备设施运行改造、实船试验和配套设施建设方面取得的主要经验,指出了三峡升船机通航运行存在的不足以及后续工作展望。

关键词:三峡升船机;通航运行;实践

中图分类号: U 642.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0112-04

Navigation operation of Three Gorges ship lift: practice and reflection

ZHENG Wei-li

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

Abstract: The Three Gorges ship lift, characterized by large scale, high technical difficulty, various types of mechanical and electrical equipment, difficult maintainance, and high safety protection level of the operating system, is prone to shutdown failures. As a result, ensuring normal navigation operation became a challenge for this ship lift after its completion. This paper comprehensively reviews the challenges the Three Gorges ship lift has been faced with in navigation conditions, operation and maintenance of equipment and facilities, and ship traffic organization since its trial navigation in September 2016. Then, it systematically outlines the main experience obtained in the operation and reconstruction of equipment and facilities, real ship tests, and supporting facility construction. Moreover, the defects in the navigation operation of the Three Gorges ship lift are pointed out, and future work is suggested.

Keywords: Three Gorges ship lift; navigation operation; practice

三峡升船机是三峡水利枢纽永久通航建筑物,过船规模为3 000吨级,船厢有效尺寸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,是目前世界上工程规模最大、技术最复杂的升船机,涉及水工建筑物、金属结构、机械设备、电气系统、液压系统、安全保护系统等多个系统,且闸首桥机承担着三峡枢纽防洪、水库蓄水时升船机闸首门位调整和提落门挡水等重要任务。因此,作为三峡水利枢纽的快速过坝通道,三峡升船机安全高效运行的难度及

复杂程度远超国内外其它升船机,保障升船机正常运行是三峡升船机建成后面临巨大挑战^[1-3]。

1 通航运行面临的挑战

1.1 通航运行复杂,安全高效运行难

1)引航道水位变动对升船机船厢对接的影响。三峡升船机上游水位变幅30 m;下游水位变幅11.8 m,水位变率不超过0.5 m/h。上游工作大门一次调整范围为3.75 m,下游闸首工作大门一次调整范围为1.97 m,船厢对接允许误载水深±0.5 m。

在升船机运行过程中，受船厢与闸首实际对接范围的影响，当上下游水位达到升船机上下闸首门体调整的临界水位时，门体适应的水位范围较小，上游为临界水位的-0.15~0.10 m，下游为临界水位的-0.10~0.20 m。因此，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^[4-5]。

2)船舶在船厢内靠泊及系缆的安全问题。三峡升船机设计船型为江汉系列客货轮和一顶一推船队，对过厢船舶的船首结构、排水量、船速等均有明确要求。经过近30 a的快速发展，过坝船舶均为单船，实际船型也发生了变化，由此带来的主要问题有：部分货船船首结构由尖艏发展为球鼻艏，相应的防撞装置不同；客船和商品车滚装船船体结构为舷伸甲板，进出船厢时容易碰撞船厢甲板上的设备；空载货船干舷高远超升船机船厢0.8 m的系泊设施高度，系泊安全难以保证。

3)船舶进出船厢航行安全问题。进出船厢的船舶存在的主要安全风险有：上游引航道靠船墩与升船机中心线之间有26°夹角，靠船墩到浮式导航墙距离为110 m，且不在同侧，在风、流共同作用下大尺度船舶进厢有一定的难度，迎向运行时，上行船舶出厢后，存在与靠泊船舶的擦碰风险。升船机下游引航道由上段专用引航道和下段与三峡船闸共用的引航道组成，下行船舶驶出专用引航道时与三峡船闸南线出闸船舶不能互视，上行进升船机船舶与三峡船闸南线出闸船舶航路交叉，存在船舶碰撞风险。

1.2 设备设施系统复杂，运行维护难

三峡升船机包括水工建筑物、金属结构、机械设备、电气系统、液压系统等复杂系统，设备种类、数量繁多，整体协同运行要求高，极易出现停机故障，运行维护工作量大、难度高。

1)设备整体协同运行要求高。三峡升船机船厢驱动机构4点同步精度设计要求±2 mm。船厢驱动机构小齿轮、安全机构螺杆与安装在塔柱上的齿条、螺纹有啮合和间隙要求；下闸首工作大

门内的锁定机构与下闸首结构内埋件有互锁要求；船厢水体在对接和运行时有严格的水位要求。

2)设备停机故障几率大。三峡升船机设备运行工艺流程复杂，执行机构众多（液压油缸共60多支），闭锁严格，而且要有大量相互配合、相互协调的结构和设备，运行流程中某一个环节出现问题都可能导致运行中断，甚至故障停机，设备故障多发易发、处理难度大。

3)设备维护检修难度高。三峡升船机维护检修缺乏现成可借鉴的经验，需要日常维护检修的单机设备有116台套，涉及2 000多个润滑点（其中1 400多个为手动润滑点）、近500个传感检测点，而且绝大多数机电设备安装在船厢和闸首大门内，空间狭窄，安装紧凑，维护检修难度大。

1.3 通航调度制约因素多，船舶交通组织难

1)调度的关联性。三峡升船机建成以后，涉及到与三峡船闸和葛洲坝3座船闸之间的联合调度问题：升船机与葛洲坝三号船闸尺度相同，通过能力相近，需匹配运行方能充分发挥升船机的快速通道作用；为了提高升船机利用率和三峡船闸通过量，三峡升船机和三峡船闸需实行联合调度，将符合要求的船舶安排通过升船机。

2)指挥的关联性。三峡升船机建成后，过厢船舶待闸时还没有设置专用锚位，需要研究三峡升船机船舶与三峡船闸船舶待闸的相互干扰等问题，研究布置三峡升船机专用锚位。根据三峡升船机和船闸引航道的布置，以按照三峡船闸运行优先的原则，参考三峡升船机和三峡船闸的发航规律，遵循通航信号控制、引航道内的航路航法等，研究制定三峡升船机与三峡船闸联合运行通航指挥方案。在升船机下游专用引航道和共用引航道，研究如何在确保安全、兼顾效率的原则下，合理指挥船舶进出船闸和升船机。

2 通航运行主要经验

三峡升船机于2016年9月18日—2021年9月18日试通航，5 a时间内已安全运行2.22万厢次，日均运行16.31厢次，日最高运行37厢次，船舶

通过三峡升船机的平均历时约为 52 min, 相比三峡船闸 3~4 h 的通过时间, 船舶过坝历时大为缩短。通过三峡升船机与葛洲坝三号船闸的匹配运行, 船舶通过两坝更为快捷, 快速通道作用凸显^[6]。

2.1 设备运行维护和改造

为提高三峡升船机设备运行维护水平, 先后编制了设备设施维护规程、年度和月度维护计划; 制订了机电设备的维护作业指导书; 完善了船厢排空与充水、船厢调平等关键维护工序的工艺流程; 针对设备润滑、闸首桥机等重点维护工作编制专项维护方案; 形成了设备维护精细化、标准化管理体系。

为降低设备故障率, 在加强设备维护保养和技术改造的同时, 不断强化故障管理, 推行故障首问负责制, 实行故障“三不”(不过夜、不重复、不类

似)管理和故障挂摘牌制。设备停机故障率由试通航初期 11.37% 降至 1.12% (2021 年), 设备故障碍航率由试通航初期 4.49% 降至 0.11% (2021 年), 设备运行稳定性持续提升, 见表 1。

表 1 2016—2021 年升船机设备运行情况

年份	通航率/%	设备停机故障率/%	故障碍航率/%
2016(9—12 月)	95.04	11.37	0.16
2017	66.75	9.54	4.49
2018	88.85	4.15	0.75
2019	84.72	2.69	0.31
2020	55.79	2.50	0
2021(1—9 月)	83.51	1.12	0.11

三峡升船机试通航以来, 根据设备设施运行出现的问题开展停航检修和设备改造, 取得了良好效果, 有效提升了设备运行的稳定性和船舶过厢的安全性, 见表 2。

表 2 主要设备停航检修情况

检修项目	时间	主要检修内容
设备设施调整	2017 年 7 月 20 日—10 月 15 日	①船厢系船柱优化改造; ②船厢水深调节与间隙充泄水系统优化改造; ③闸首卧倒门止水座板与支铰优化改造; ④船厢对接密封框 C 型止水压板加固等
应急检修	2019 年 4 月 30 日—5 月 25 日	①厢头对接密封框 C 型止水更换; ②下闸首工作门止水更换; ③下闸首卧倒门北侧启闭油缸更换; ④同步轴系统 4#扭矩传感器更换等
加强性消防措施施工	2020 年 1 月 3 日—5 月 30 日	①加强性消防安全措施施工; ②上闸首工作大门、卧倒门及船厢门等止水更换; ③上游活动桥启闭系统优化改造; ④闸首桥机可靠性提高工程; ⑤控制程序及平衡重导向装置润滑优化等
计划性停航检修	2021 年 8 月 21—9 月 25 日	①操作员站等电气设备更新升级; ②上游船厢门启闭油缸、防撞缓冲油缸等油缸检修; ③上闸首卧倒门支铰轴承检修更换; ④同步轴系统扭矩传感器检修校验等

2.2 持续改进通航运行管理

2.2.1 优化设备设施性能

1) 按照原国务院三峡办要求开展达标完善工作, 在历次停航检修中实施设备优化, 增配了加强性消防措施, 改进了充泄水系统管路、闸首卧倒小门支铰连接装置以及 C 型止水受力结构等, 确保设备设施性能达到设计要求。

2) 根据设备故障情况, 对闸首桥机、传感检测装置、液压系统管路、工艺流程与闭锁条件等

进行优化改造, 提升三峡升船机设备设施运行可靠性。

3) 根据通航管理需要, 改进了船厢系泊装置闸首工作大门止水座板, 开展上闸首活动桥改造, 提升了船舶进出船厢的通过性和匹配性。

2.2.2 改进通航运行管理

1) 根据设计标准核定船舶船首结构, 鼓励符合升船机尺度的球鼻艏船舶按照设计要求进行改造, 增加通过升船机船舶数量。过厢船舶改进靠

把结构形式，进出船厢更为顺畅。

2) 探索低速状态下船舶测速测距方法，研发船舶测速测距一体化装置，对过厢船舶实施安全检测。

3) 分析总结升船机上下游水位变动规律，采取试行上下游导航墙待闸、船厢错峰对接和船舶延时进出的措施，与发电调度部门建立常态化的联动机制，减少了水位变化对升船机运行安全的影响。

4) 改进升船机油脂润滑方式和接油装置，研究升船机水域溢油应急措施，防范油液污染升船机水域。

2.2.3 推进科研成果转化应用

2012年三峡后续工作规划科研项目“三峡升船机通航与运行保障关键技术研究”启动研究，项目重点围绕三峡升船机标准船型尺度及技术要求、枢纽运行对升船机运行安全的影响与对策、三峡升船机运行维护关键技术、三峡升船机和船闸联合调度运行关键技术研究以及实船试验技术要求5个方面展开攻关，项目创新成果为规范引导升船机船型，全面完成运行生产准备以及实船试航、试通航提供了重要的技术支撑^[7]。

2.3 开展实船试航，规范通航管理

实船试航是通航建筑物试通航期间的重要技术工作，三峡升船机试通航前针对不同水文特征、不同船型和典型工况，分2个阶段开展了实船试航。第1阶段完成了4种类型、21项测试的实船测试；第2阶段分3个时段分别完成三峡水库145、175 m水位测试、大风大流量条件下测试、24 h满负荷运行测试以及大尺寸船舶通过测试等实船测试。通过实船试航检验了三峡升船机及其航道工程的适航性能以及航运配套设施(待闸锚地、航道航标、通信导航、船舶调度以及安全监管)与升船机运行的匹配性，在此基础上编制了船舶驾引指南，提出了完善升船机设备设施和通航运行管理的措施建议，为试通航安全高效运行奠定了坚实基础。

交通运输部颁布了《三峡升船机通航船型技术要求(试行)》，规范并引导通过升船机船型，保证

船舶与升船机的匹配性。长航局修订并实施《三峡—葛洲坝枢纽河段通航管理办法》《三峡—葛洲坝水利枢纽通航调度规程》，明确了三峡升船机通航航路航法、调度规则以及通航运行要求。

2.4 完善通航配套设施建设

建设了三峡升船机航运调度系统、三峡升船机水域通航监管系统以及船舶安全检测系统，将三峡升船机调度纳入到三峡通航整体调度体系中，通过VTS(vessel traffic services, 船舶交通服务)系统和CCTV视频监管系统对升船机船舶实施全过程安全监管，引航道信号标识和航标保证了升船机船舶安全有序航行，船舶在进出船厢过程中进行测速测距，防范船舶在船厢内超吃水风险。

3 结语

1) 近5 a来，通过通航配套设施建设、加强设备维护管理、推进设备优化改造，三峡升船机安全稳定运行2.2万厢次，通过船舶1.46万余艘次，货运量、客运量、通过船舶艘次呈稳步上升趋势，为长江黄金水道效益发挥提供了有力支持。

2) 三峡升船机与三峡船闸联合运行，实现了“小船坐电梯，大船走楼梯”，经过一系列技术创新与通航运行管理改进，三峡升船机日均运行厢次由通航初期7.3厢次上升至28.6厢次，增幅达3倍，船舶平均过厢时间由初期75 min缩短至50 min，充分发挥出快速过坝通道作用。

3) 经过5 a的努力，三峡升船机通航运行取得了很大成绩，但当前船舶过坝需求与三峡枢纽通过能力矛盾依然突出，三峡升船机保障安全和提升效率的压力越来越大。面对新的形势和挑战，必须坚持新发展理念，加强技术创新应用，深入研究实践，更好促进升船机通航效益发挥和行业发展。基于新形势下的枢纽通航要求和面临的挑战，在以下方面需要进一步深入研究和探索：①设备运行状态监测和基于工业互联网的健康管理系统研究应用；②重点设备快速检修技术研究应用；③绿色运维技术研究应用；④广泛开展行业交流与合作。

(下转第121页)