



景洪水力式升船机首次大修实践

付烈坤，董 勤，董士谦

(华能澜沧江水电股份有限公司景洪水电厂，云南 景洪 666100)

摘要：针对水力式升船机的特点和运行中存在的主要问题，制定科学的工作方案和严格的质量控制措施，完成了景洪水力式升船机首次大修。在开展金属结构、机电、电气等专业常规项目检修的同时，重点检修了水力式升船机特有水力驱动系统。研究提出一种更加安全、科学的船厢锁定和解锁方式，并掌握了同步轴扭矩超标处理方法，解决了扭矩超标停机问题。通过首次大修，设备设施整体技术状态得到大幅改善，并积累了丰富经验，为水力式升船机检修规程编制奠定了基础。

关键词：水力式升船机；首次大修；专项研究；同步轴扭矩

中图分类号：U 642

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)09-0126-05

Practice of first overhaul of Jinghong hydraulic ship lift

FU Lie-kun, DONG Qin, DONG Shi-qian

(Huaneng Jinghong Hydropower Station, Jinghong 666100, China)

Abstract: In view of the characteristics and main problems in the operation of the hydraulic ship lift, a scientific work plan, and strict quality control measures are formulated to complete the first overhaul of the Jinghong hydraulic ship lift. While carrying out the routine maintenance of metal structures, electromechanical devices, and electrical equipment, we focus on overhauling the unique hydraulic drive system of the hydrodynamic ship lift and propose a safer and more scientific way of locking and unlocking the ship chamber. The handling method of synchronous shaft torque exceeding standard is mastered, and the problem of operation stopping due to the torque's exceeding standard is solved. Through the first overhaul, the overall technical state of the equipment and facilities is improved greatly, and rich experience has been accumulated, which has laid the foundation for the compilation of the maintenance code for the hydraulic ship lift.

Keywords: hydraulic ship lift; first overhaul; special research; synchronous torque

1 水力式升船机

水力式升船机是一种新型升船机，景洪水力式升船机的建成在我国乃至世界高坝通航发展史上均具有里程碑式的意义^[1]。水力式升船机是采用水能作为驱动力，在众多设备设施方面与传统电力驱动升船机存在很大差异^[2]。景洪水力式升船机主要包括水工建筑物、水力驱动系统、机械同步系统、钢丝绳与浮筒平衡重系统、承船厢及其设备、运行监控系统等^[3](图1)，其中独特的水

力驱动系统包括等惯性输水管路、竖井、输水控制阀门等，浮筒平衡重既为平衡重也为驱动，没有由大型减速器、电机组成的主提升系统^[4]。景洪升船机主要设备设施于2010年完成安装，于2016年11月正式投入试通航运行^[5]，景洪电厂负责升船机运行维护工作。至2019年初，升船机机电设备已存在不同程度的老化，陆续出现设备“三漏”、测量元器件漂移失准、同步轴扭矩增大等缺陷，已影响到升船机的正常运行，有必要开

展一次全面的大修^[6]。由于水力式升船机尚无相关大修经验可供借鉴, 景洪升船机首次大修是一次具有重要意义的探索实践, 通过大修不仅解决景洪升船机存在的问题, 改善其技术状态, 同时为水力式升船机检修积累经验, 为制定水力式升船机检修规程奠定基础。

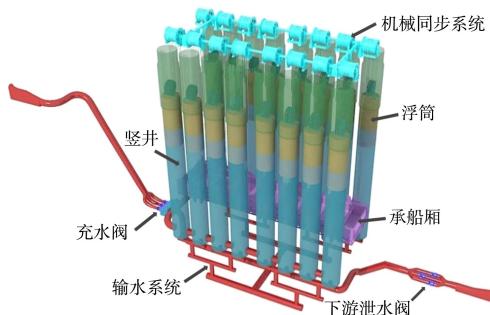


图1 景洪水力式升船机系统组成

2 大修前运行情况

景洪水力式升船机试通航运行期间各个系统发生的缺陷、故障情况如下:

1) 试通航后船只过坝次数逐年上升, 其中2016年2次, 2017年39次, 2018年131次。根据运行统计, 172次过坝中, 全自动操作64次, 占比37.21%; 因各类故障退出流程后单步操作108次, 占比62.79%(表1)。

2) 设备“三漏”缺陷数量呈逐年上升趋势, 主要集中在闸门水封、液压系统供排油管路等设备上。

3) 电气控制元器件缺陷数量呈逐年上升趋势, 主要集中在控制部分测量元件漂移、失准。

4) 闸门、船厢等金属结构存在一定的腐蚀。

表1 运行故障统计

故障部位	故障次数	占比/%	常见现象和应急处理情况
上闸首工作小门	34	31.48	小门动作卡涩, 常超时退出流程; 需要手动操作小门或对门槽充水平压后才能正常动作
同步轴扭矩	25	23.15	个别同步轴扭矩监测数据异常, 超过228 kN·m的报警值, 超标报警后退出流程, 调整船厢水平后单步操作正常
上闸首工作大门	13	12.04	两侧油缸动作不同步、液压系统超压停泵, 重新标定卧倒门两侧开度后正常
制动泵站	10	9.26	多为制动器接近开关(传感器)动作不正常造成, 调整接近开关位置后正常
充泄水阀门	8	7.41	充泄水阀门存在轻微渗漏, 升船机停运时间较长后造成竖井水位变化, 船厢位置发生变化, 导致顶夹紧装置卡涩; 手动操作并辅助外力方可退出
防撞梁故障	5	4.63	两侧动作不同步, 现地手动操作并配合纠偏后正常
卧倒门	3	2.78	两侧油缸动作不同步、液压系统超压停泵, 重新标定卧倒门两侧开度后正常
其他	10	9.26	操作员站、通讯系统、掺气系统及其他辅助设备故障等, 多为接线端子松动、主机死机等原因造成

3 问题对策及检修项目

3.1 主要问题对策

1) 同步轴扭矩是景洪升船机运行控制的重要指标, 个别同步轴扭矩超标频次较高, 对升船机运行影响较大, 是需要通过大修解决的核心问题。拟在大修过程中, 在船厢和浮筒锁定的情况下, 通过放松同步轴法兰螺栓, 在同步轴不受力的情况下, 对其扭矩监测设备进行校准, 保证监测值真实可靠性。

2) 上闸首工作小门故障频次较高, 其主要原因为小门的启门操作由闸门本体自身重力驱动, 而上游侧受水压力较大, 当小门与滑道摩擦力较大且存在不均匀的情况时会发生倾斜、卡涩。拟

在大修中对小门及其门槽尺寸进行校核, 检查、调整水封压缩量等。

3) 部分测量元器件达到使用寿命, 飘逸、失准现象对升船机运行造成影响。拟结合大修进行全面的校验, 更换不合格的测量元器件。

4) 液压操作设备同步性较差, 可能为控制部分偏移、液压阀组动作卡涩、阀门中有杂质、液压油油质不合格等原因。拟对液压阀门全面解体清洁、检查, 控制系统进行全面检查、调试。

5) 各类密封材料达到使用寿命。造成“三漏”增多、竖井水位变化, 需要对升船机油、气、水、闸门系统密封进行整体更换。

6) 金属结构腐蚀检查, 重新进行防腐处理。

3.2 主要检修项目

- 1) 同步轴扭矩超标专项检修处理；
- 2) 上闸首小门卡涩专项检修处理；
- 3) 输水系统排干检修，包括阀门、突扩体、输水管路等；
- 4) 闸门、船厢(下水式)、浮筒等金属结构检修，必要时开展无损检测，修后防腐处理；
- 5) 液压系统阀组及管路解体清洁、调试；
- 6) 易损件全面更换；
- 7) 测量元器件校验，达到使用年限或损坏的进行更换；
- 8) 参照《通航建筑物维护技术规范》开展升船机其他大修相关标准项目。

3.3 专项研究

为保证景洪水力式升船机首次大修关键技术问题处理效果，在同步轴扭矩超标原因方面应进行专项研究，建议增加同步轴扭矩临时观测，与扭矩长期监测进行对比，并加强升船机船厢锁定和解锁关键过程、修前修后运行特性方面的观测。

升船机同步轴配置有一套扭矩监测系统，共布置 12 个扭矩监测点，其中 1#~16# 为 16 个卷筒，卷筒间为同步轴，左侧 2#~7# 卷筒间和右侧 10#~15# 卷筒间分别布置 5 个扭矩测点，上下游横轴各布置 1 个测点。为了判断扭矩传感器是否存在故障，安装 1 套临时扭矩测试系统，采用传统应变测试方法在所有同步轴上布置扭矩应变计，共 20 个测点，其中 12 个与监测点相同，另在四角增加 8 个测点(图 2)。通过扭矩测试结果对比，对扭矩监测系统进行校验。

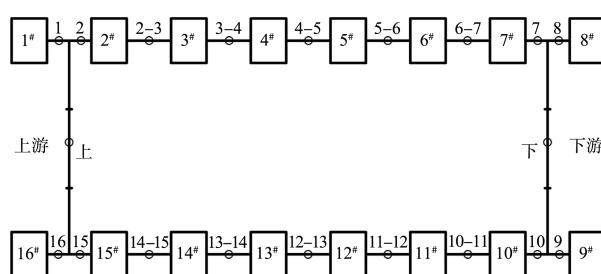


图 2 扭矩测点布置

4 检修实施

根据景洪升船机大修实施方案及具体工作计划

流程，于 2019 年 9—12 月，从下游船池和上游航槽排干、船厢和浮筒锁定、输水管路排干等准备工作，到现场设备设施具体的检修过程，再到船厢和浮筒解锁、船厢充水、运行调试、效果评估等，顺利完成了首次大修任务。常规的检修情况如下：

- 1) 重点进行上闸首工作小门检修。更换水封，并调整水封压缩量；发现小门两侧滑道存在不同变形，小门动作时摩擦力不均匀，因涉及工作大门本体，仅对表面进行打磨。调试后小门卡涩现象有所减轻，运行情况仍须关注。
- 2) 重点检查输水管路，输水压力管道焊缝腐蚀较为严重，对腐蚀部位进行清除和补焊处理；泄水阀门后压力短管存在一定汽蚀破坏，最大蚀坑深度为 3~4 mm(图 4)，对其进行补焊打磨处理；充泄水阀门存在个别汽蚀点(图 5)是阀门出现渗漏的主要原因。由于阀门本体为球墨铸铁，可焊性较差，且环境温度、湿度不能保证焊接质量，因此未进行补焊处理，采用金属修补剂进行填充、修型，在后续检修中需要加强检查。



图 4 压力钢管汽蚀



图 5 充泄水阀门汽蚀

3) 检查闸门、船厢、浮筒等金属结构, 对关键部位和疑似裂纹区域进行无损探伤, 均未见异常, 重点对腐蚀部位进行防腐补漆处理。其中浮筒检修时须排出浮筒内部水体, 抽排前做好水质检测, 抽排后对内部进行外观和探伤检查, 浮筒外部由于空间受限人员不能直接检查, 使用相机拍照、影像等方式检查。

4) 检查上下游检修闸门、进出水口快速事故门、闸首工作大门等水封, 对部分磨损严重的水封进行更换, 对弹性较好、无明显磨损的水封未进行更换, 对所有水封压板进行更换。

5) 检查液压操作设备的同步性, 存在的问题主要与控制部分偏移、液压阀组动作卡涩、阀门中有杂质、液压油油质不合格等有关; 对液压阀门进行全面解体清洁、检查, 并进行液压油更换, 控制系统端子紧固、控制回路检查调试, 液压系统联调, 液压阀组流量、压力调整。

6) 对所有辅助电机、电缆进行预防性试验, 对不合格的进行处理或更换, 全部电机加注润滑, 轴承检查、清洁; 所有控制柜端子紧固、回路检查、信号核对, 对个别定义有误的信号进行修改。

7) 对升船机全部表计进行校验, 对闸门控制开度仪检查、校验, 不合格的全部更换。

8) 对所有油、气、水管路及接头密封进行更换。

检修过程严格控制质量, 对照竣工图纸、设计说明、安装验收标准等严格验收; 专项处理项目由科研单位负责, 并辅以设备观测, 全面掌握检修前后及修中升船机指标变化情况, 优化检修措施。大修后组建验收专家组, 按照调试大纲开展整体验收, 对修后的各项指标全面检查。

5 专项研究

5.1 船厢锁定与解锁方式

水力式升船机大修过程需要对船厢和浮筒进行锁定与解锁。船厢锁定是将厢体落到船厢池内6个锁定平台上, 浮筒是采用4个对称布置的锁定销锁定, 锁定与解锁过程见图6。关于水力式升船

机承船厢解锁方式, 无相关经验可供参考。在前期调试过程中, 曾采用先锁定船厢再锁定浮筒、先锁定浮筒再锁定船厢2种锁定方式, 解锁过程相反。实测资料表明, 2种方式所引起的同步轴扭矩都很大, 最大达 $350\text{ kN}\cdot\text{m}$, 已远超其运行控制值 $190\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。尽管没有造成同步轴破坏, 但对其结构会造成一定损伤, 存在很大的安全风险, 所以2种方式都不可取。因此, 在本次大修中, 采用一种更加安全、科学的锁定和解锁方式。以船厢解锁为例, 其步骤如下: 1) 在制动器上闸的情况下, 向竖井充水, 直至浮筒在水体浮力作用下浮起, 退回所有浮筒的锁定轴销, 使浮筒解锁; 2) 同步收缩船厢上所有吊点处的调平油缸, 拉动船厢向上移动, 直至船厢完全脱离锁定平台; 3) 利用调平油缸对船厢进行调平, 使船厢达到水平状态, 所有调平油缸的油压一致; 4) 通过竖井泄水驱动浮筒缓慢向下运动, 逐渐增大浮筒侧钢丝绳拉力, 当浮筒侧钢丝绳对卷筒的拉力与船厢侧钢丝绳对卷筒的拉力相等时停止泄水, 此时卷筒两侧钢丝绳拉力相等; 5) 制动器松闸, 实现船厢解锁, 因卷筒两侧受力平衡, 卷筒不会发生同步转动或相对扭转, 同步轴仅出现很小的扭矩。大修过程船厢解锁产生的最大扭矩在 $50\text{ kN}\cdot\text{m}$ 内, 与旧解锁方式相比, 扭矩值显著降低, 达到很好的效果(图7)。

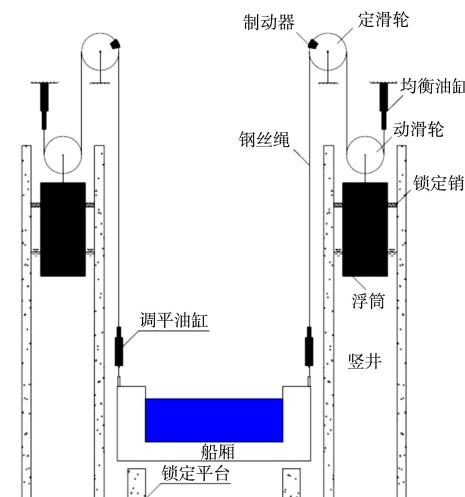


图6 锁定与解锁

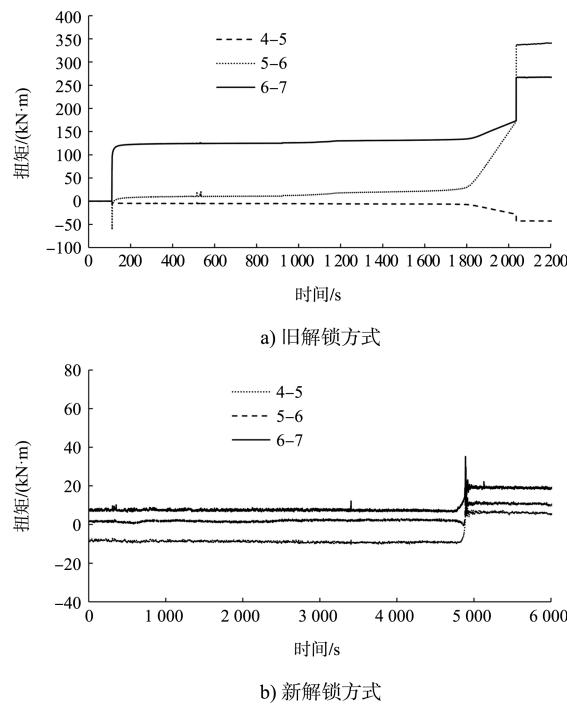


图 7 新、旧解锁方式同步轴扭矩

5.2 同步轴扭矩问题

同步轴扭矩是景洪升船机运行重要的监控指标，按 $228 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 预警。经过几年运行后，个别测点扭矩呈现逐渐增大的趋势并出现超标，影响升船机正常运行，且扭矩监测传感器自试通航运行以来未重新标定，无法判断扭矩值是测量偏差、传感器故障还是真实扭矩。解决该问题是本次大修的一项重要任务。

检修中重点比较长期监测系统与临时观测扭矩数据变化规律及幅值，以船厢下行入水、出水上行全过程为例，两套系统扭矩测量值对比发现，临时观测值与长期监测值变化规律和幅值总体一致，呈现与试运行初期相同的收敛、稳定特性，部分扭矩变化过程线对比见图 8，表明长期监测扭矩的变化值是可信的，传感器能真实反映扭矩变化，但对扭矩监测传感器是否存在零漂尚不能判断。

在确定扭矩传感器能正常响应扭矩变化后，需要对传感器进行零点标定，检验传感器是否存在零漂。针对现场传感器标定难题，研究提出行之有效的标定方法：在船厢和浮筒均锁定、同步轴没有负载的情况下，放松每根同步轴的法兰螺栓，使同步轴扭矩完全释放，即扭矩为 0，若扭矩监测值不为 0，则存在零漂，进行清零处理，然后

再收紧同步轴法兰螺栓。在对现场同步轴释放扭矩后，发现部分扭矩监测值不为 0，说明扭矩传感器存在漂移，进而对全部传感器进行了重新标定。本次大修后，升船机全过程运行同步轴扭矩均未超标，扭矩长期监测问题得到解决。大修前后升船机运行特性与试通航初期一致，试通航期间升船机运行特性无明显变化。

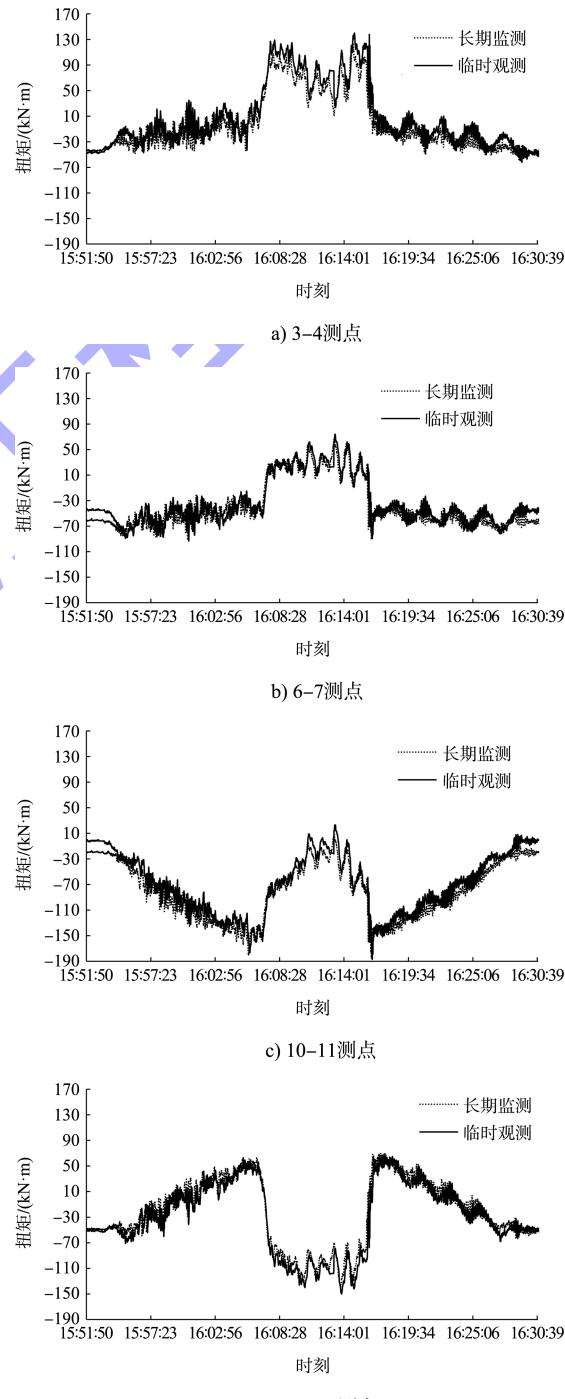


图 8 部分同步轴扭矩对比