

港口与航道工程施工设备全生命周期管理研究

吕 嘉

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300480

[摘要]港口和航道工程施工设备主要为大型专用船舶和陆域重型机械,投资大,水上作业环境恶劣,技术状态的好坏直接影响到船机安全、工程进度和施工成本。许多施工企业对于设备的管理还存在重使用维修、轻选型论证、重处置标准、轻各阶段数据融合的现象。文章从全生命周期出发,对设备前期、使用维护期、后期处置三个阶段的管理要点进行梳理,提出需求测算和选型评审的方法、基于状态监测的维护策略、备件库存控制模型、量化报废技术标准、闲置设备处置路径,强调用信息化档案贯通各个阶段的数据,给施工企业提高设备综合产出、压缩全生命周期费用赋予可行的参照。

[关键词]港口航道工程; 施工设备; 全生命周期管理; 维护策略

DOI: 10.33142/hst.v9i7.20240

中图分类号: U65

文献标识码: A

Research on the Full Life Cycle Management of Port and Waterway Engineering Construction Equipment

LYU Jia

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300480, China

Abstract: Construction equipment for port and waterway projects primarily consists of large specialized vessels and heavy land-based machinery, involving substantial investments and operating in harsh aquatic environments. The technical condition of the equipment directly impacts vessel safety, project progress, and construction costs. Many construction enterprises still exhibit a tendency to prioritize usage and maintenance over proper selection and evaluation, emphasizing disposal standards while neglecting data integration across stages. The article adopts a whole-life-cycle approach to outline key management points across three stages: equipment procurement, operation and maintenance, and post-disposal. It proposes methods for demand estimation and selection evaluation, maintenance strategies based on condition monitoring, spare parts inventory control models, quantitative scrapping technical standards, and disposal pathways for idle equipment. Emphasizing the integration of informatized records to connect data across all stages, it provides actionable references for construction enterprises to enhance equipment productivity and reduce lifecycle costs.

Keywords: port and waterway engineering; construction equipment; full life cycle management; maintenance strategy

引言

港口与航道工程水上施工所占比例大,受风浪潮汐的影响较大。绞吸船、抓斗船、打桩船、起重船等主力设备单艘价值动辄数千万元,折旧及维持费用在项目成本中所占比例较大。泥泵突然出现故障造成工期延误,起重船吊臂疲劳裂纹没有被及时发现而引发事故,其根本原因常常存在于管理不能涵盖从规划到退役的全部过程之中。大多数中小项目还坚持着“坏了再修”的旧观念,前期选型重购置价轻使用效果,使用阶段点检只是一句口号,后期处置没有量化的标准。

1 施工设备全生命周期管理的主要阶段与流程

设备的全生命周期是由前期管理、使用维护管理、后期处

置这三个阶段组成的。前期包含需求规划、选型论证、采购、交付验收;使用期包含调遣部署、现场作业、保养、计划修理、应急抢修、备件供应;后期包含技术鉴定、状态评价、报废审批、处置以及全过程的档案管理。最后阶段得到的运行数据、故障记录以及维修费用等可以反过来为前面的选择、后期的状态评价提供依据。管理主线可以概括为根据施工组织设计计算各个工序所用的设备类型及参数,经过比选采购后投入使用,执行检查、分级维护和应急抢修,并建立单机消耗和故障台账;设备老化或者经济性变差时,进行技术鉴定,按照报废标准作出续用、大修或者报废的决定^[1]。各个环节的关键数据被沉淀到一船一档中,缺少前期测算就无法进行寿命评价的基准,缺

少维修台账则报废只能靠经验。

2 设备前期管理

2.1 设备需求规划与选型

需求规划从施工组织设计入手，将绞吸清淤、抓斗开挖、打桩沉桩、起重安装等任务逐项分解。根据土质、泥层厚度、水深、允许流速、有效作业天数等来计算功率、挖掘深度、起重量、臂架幅度、抗风等级等硬性参数。对绞吸船，要计算出最大排距时的扬程和流量，保证柴油机可以同时驱动绞刀、泥泵和液压系统，防止功率不够或者过大。选型不能只看购入价，应该把初始投资、燃油消耗率、易损件寿命、大修周期、残值、年维护费用等全部考虑进去，建立全生命周期成本比较模型。油耗上要给出典型工况曲线，对液压主泵、马达等元件的通用性进行考察，削减非标件的使用。同时调取同型号设备在其他项目上的运行数据，了解衬板磨损速率、液压缸内泄周期等常见故障模式。选型评审会应有设备、工程、安全、财务人员参加，形成书面的评审意见，说明选型的理由及风险防范措施。

2.2 采购及验收

新造工程船舶技术规格书中除了主尺度、航速、装机功率外，还要具体到钢板材质、焊材牌号、涂装配套、管系试验压力、电缆型号、控制系统冗余要求等。建造期间派人驻厂监造，对分段合拢精度、轴系校中、管系密性、系泊试验数据进行检查，偏差以书面通知单的形式发出，不能在出厂前集中处理。

设备到港或者到场后分组验收。外观结构组检查船体、臂架、桩架有无变形、焊接缺陷；机械组启动绞刀回转、泥泵离合、变幅、回转、锚机收放等动作；电气仪表组核查配电屏、发电机并车、报警监测点。起重船用 1.1 倍额定载荷做静载、动载试吊，打桩船以最大设计能量连续锤击，观测桩架振动及液压油温升。测量数据同设计值、规范限

值相比较，不合格项必须在接收之前关闭。随机图纸、维护手册、液压原理图、电气接线图、外购件明细表等资料一同归档到单机档案中，便于投产时查询。

3 设备使用与维护管理

3.1 设备调动及现场作业管理

船舶长距离航行之前要制订专门的拖航方案，拖带阻力计算、拖轮马力匹配、气象窗口预测、避风锚地选择、封舱水密检查、应急拖带预案等都要考虑进去。调遣队伍应有相应的职务船员组成，拖带编队按规定显示信号灯、信号号型并保持同海事管理机构的联系。短途移泊也要防止锚缆挂碰海底管线或者跨越航道，作业前发布航行通告并征得海事同意。

施工现场设备布置要和施工顺序相适应。绞吸船管线布置尽量平直，减少弯头，防止爬坡段堵管、真空度损失^[2]。抓斗挖泥船抛锚艇配合要紧凑，减小移船空挡。起重船作业时对吊重、幅度、力矩限制器信号进行实时监测，不得超特性曲线。每班作业前船长或者机长根据检查表核对各个系统的工作情况，保证绞车制动、限位器、液压锁、应急停车等设备工作正常。交接班时接班人员逐项在交班记录上签字，记录运转小时、产量、异常描述及遗留问题，不得口头交接。

3.2 日常检查和维护保养

日常维护要将清洁、润滑、紧固、调整、防腐蚀这五个基本作业固定到具体的部位。以绞吸式挖泥船为例，每班检查绞刀齿磨损和断裂、泥泵衬板间隙、轴承温度、液压油滤器压差。每月用超声波测厚仪对泥泵蜗壳、吸排管弯头进行壁厚检测，壁厚小于原设计三分之二的及时更换，不能等到磨穿了再处理。定位桩液压缸活塞杆每月检查有无划痕、防锈处理，检测液压油含水量。不同的施工船检查要点、频次要分别确定，表 1 为几种主力船型的主要项目。

表 1 主要施工船舶日常检查与保养要点

设备类型	关键检查项目	检查频次	保养要点
绞吸式挖泥船	绞刀齿磨损与断裂、泥泵衬板间隙、液压油含水量、泥泵蜗壳壁厚	绞刀齿和液压油每班，衬板每周，蜗壳每月	绞刀齿更换后紧固力矩校验，泥泵叶轮间隙调整，液压油脱水或更换
抓斗挖泥船	抓斗斗瓣刃口裂纹、开闭钢丝绳断丝、回转齿圈润滑、同步油缸内泄	钢丝绳每班，刃口每周，齿圈每月	绳端浇铸接头探伤，齿圈涂抹二硫化钼润滑脂，油缸沉降量测试
全回转起重船	吊臂主焊缝、变幅钢丝绳、回转支承间隙、力矩限制器精度	吊臂每月磁粉探伤，钢丝绳每日目视，限制器每季校验	钢丝绳涂油，回转支承螺栓预紧力复查，液压管路管夹紧固
打桩船	替打和桩帽变形、桩锤活塞杆表面、液压管路接头渗漏、导向板磨损量	替打每根桩作业前，液压管路每日，导向板每周	替打堆焊修复并测量硬度，液压油清洁度取样送检，导向板间隙调整
拖轮	主机排温与爆压、舵机转舵时间、缆桩与拖钩腐蚀程度	主机每班，舵机每周，缆桩每月	更换滑油、燃油滤器，舵机液压油取样化验，缆桩测厚与除锈涂装

根据表 1 可知,项目部应根据此表编制出各自责任轮机员的点检卡,在机舱或者集控室悬挂起来,并由责任轮机员逐项划记。点检数据回传之后产生趋势图,使机务主管能够在损伤初现之时加以干预,而不是等到停机以后才被动应对。

3.3 计划修理与应急抢修

计划修理的分级根据累计运行小时、状态监测数据、上次拆检记录综合来定。小修在工地歇工期内完成,处理易损件更换、滤器清洗、漏油漏水缺陷消除及报警系统功能试验。中修部分解体,泥泵总成拆检、液压泵和马达效率试验、臂架铰点销轴及铜套更换。大修必须进坞或者返厂,主机、齿轮箱、主发电机和重要结构件全部拆检,修复或者换新,重新做系泊和航行试验。

确定大修时机不能只用运行小时阈值来决定,应该建立状态评估矩阵,将滑油光谱铁、铜含量变化趋势、缸套磨损量、船体测厚数据、上周期故障频次和维修费用等纳入其中。多个指标接近限值或者维修费用达到重置价值一定比例的时候,就触发大修评价。船机部门和项目部要一起出具技术分析报告,不能只靠口头判断。

应急抢修是快速反应。当海上出现突发故障的时候,船长在控制次生风险之后立刻向项目部报告,并且执行抢修预案。预案对岸基配件库出库流程、维修人员登船交通、海上作业安全措施、不良天气防护作出规定。抢修结束后 72 小时之内出具故障分析报告,写明故障原因、失效模式、更换件清单及防止再发措施,报告存档到单机档案里。

3.4 备件供应与库存控制

备件管理要为每台主力设备编制关键备件清单,把事故件和保养件区分开来。事故件如绞刀轴、泥泵轴、液压泵、主发电机 AVR 调节器等一旦损坏就会停机,必须保持最低库存。保养件滤芯、皮带、密封件等按使用周期备足。

库存控制使用 ABC 分类和订货点法相结合的方法。A 类备件品种数占总品种数的 10%左右,但是占库存资金的 70%以上,采用连续检查、固定订货量模型,安全库存覆盖采购前置期内的消耗。B 类周期检查,设最高最低库存量^[3]。C 类低值易耗品采用两箱法或者看板管理。对于独家供应、交货周期较长的专用件,可以同供应商签订寄售或者框架协议,按照领用量进行结算,施工高峰期前提前储备库存,防止出现缺件停机的情况,但是不能造成流动资金的过度占用。

4 设备后期处置及综合管理

4.1 技术状况鉴定和状态评价

设备到寿命的中后期,每年应做一次全面的技术鉴定。

测量外板、甲板、舱壁的蚀耗量,根据原图计算剖面模数损失,检查骨架变形和脱焊。柴油机做负荷试验,记录各缸爆压、排温、压缩压力,根据滑油光谱、曲轴箱压力的变化来判断内部磨损。作业机构满载状态下动作速度、压力保持情况的测试。评价结果分为四类,一类技术状况良好,按照正常计划使用;二类有轻微缺陷,下一次小修处理;三类有较重缺陷,限制作业负荷,一年内安排大修;四类达到或者接近报废标准,不得投入高负荷施工。设备调度中,三种船不能进行远距离的调遣。

4.2 设备报废标准及审批程序

报废标准要可测量。船龄以钢质工程船经济使用年限 18~22 年为限,结构强度能满足要求的可以延长。船体外板或者强力甲板腐蚀后剩余厚度小于原设计厚度的 70%,或者多个肋位出现超限凹陷变形,就丧失了报废豁免。柴油机曲轴经过两次以上的磨削修复或者机体出现贯通性裂纹时,不能再进行大修。起重船吊臂主要受力构件出现疲劳裂纹并扩大到不能修补的限度内,必须整机退出使用^[4]。单次大修费用超过当时市场价格的一半以上或者两年内累计维修费用超过重置价值的 65%的,应当进行报废论证。

审批由使用单位提出申请,附状态鉴定报告、测厚及探伤记录、维修台账、残值预估。企业船机管理部门会同技术、安全、财务联合会审,必要时委托第三方船检机构出具检验意见,经管理层会议批准后办理。

4.3 闲置和报废设备的处理

停泊在指定的港池或者存放场地的短期停置一个月到半年的设备,定期转车、通风、充放电、盘车,防止锈蚀卡滞。预计闲置超过一年的,进行油封、排空冷却水、封闭进排气口、抬高支重轮等深度封存,断开蓄电池。

已批准报废的设备有三种去向,即拆解回收、整机出售和部件再利用。有残余价值的可整机在产权交易平台公开竞价出售,合同中注明不保证适航性、不提供售后,防止安全责任倒挂。经检测可以降级使用的发电机组、锚机、液压绞车等大件总成,可以拆下来用作辅助船舶或者陆域简易装置。剩余船体钢材按照废钢价格进行招标处理,残值冲减设备原值。整个处置过程要有影像、文书的记录,保证资产去向可追溯。

4.4 设备信息档案及系统应用

一船一档、一机一档为数据贯通打下基础。档案从设备交付之日起开始建立,依次归入技术规格书、竣工图、船检证书、主要部套说明书、历次修理记录、事故及抢修报告、日常点检及滑油化验趋势、调遣记录和技改记录。

纸质档案扫描之后,在设备管理信息系统中按照统一的编码进行挂接,方便各个终端查询。

系统可以对运行小时、燃油消耗、备件更换频次、维修成本等进行月度汇总,自动计算出每立方米疏浚量或者每吨起吊量对应的设备维持成本,使项目经理能横向比较不同的船型效能。状态监测数据进入系统之后,系统就会对主要部件的剩余寿命展开趋势推测,从而协助创建预知性维修工单。后期处置决策也可以调取设备全生命周期费用曲线,和同型设备典型的费用曲线进行比较,判断是否进入经济劣化拐点。

5 结束语

港口与航道工程施工设备全生命周期管理,本质上就是把分散在技术、生产、物资、财务等各个部门的设备信息,整合成一条连续可追溯的数据链,围绕这条数据链设置各个阶段的控制节点和动作标准。前期做好需求测算和选型论证,使用阶段做好点检和状态监测,后期根据量化标准谨慎处置,三个环节脱节就会陷入高维修成本、高停工损失并存的困境。体系的落实要依靠清楚的流程、可量

化的指标以及稳定的信息化系统来支持。目前船载传感器和岸基分析平台逐渐趋于成熟,把实时振动、温度、滑油品质等动态数据同维修案例库、费用模型融合起来,创建起面向单机单船的健康度评价和剩余寿命预估模型,使得全生命周期管理由记录回溯转向前瞻干预,给精细化管理赋予了更为有力的技术支撑。

[参考文献]

- [1]魏增辉.港口与航道工程建设中的船舶浮游稳定风险评估与防控策略[J].珠江水运,2025(6):108-110.
- [2]刘清华,越云超.航道工程施工质量管理与质量控制技术研究[J].中国水运,2023(17):86-87.
- [3]田晓亮.港口与航道工程施工及其安全管理研究[J].中华建设,2025(2):45-47.
- [4]邓涛,姜常青,覃延鑫.智能建造技术在航道工程施工中的应用研究[J].珠江水运,2026(10):116-118.

作者简介:吕嘉(1990—),男,汉族,山东青岛人,中级工程师,本科,四川农业大学水利水电工程专业毕业,目前从事港口与航道工程施工及研究。