

面向精益管理的水电工程设备维护优化路径研究

李有军

中国水利水电第七工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6620

[摘要] 水电工程设备维护管理直接关系到工程质量、安全和生产。本研究基于精益管理理念,针对混凝土搅拌楼关键设备维护中存在的维护理念落后、标准不统一、资源配置不合理等问题,提出了维护流程再造、备件精益化管理、人员技能提升与信息化智能化应用等优化路径。并通过某大型水电站工程HL320-2S4500L型搅拌楼的实践应用验证,实现了故障率显著下降、停机时间大幅减少、设备可用率明显提高、维护成本显著节约的良好成效,为水电工程设备精益化维护提供了实用参考。

[关键词] 精益管理; 水电工程; 混凝土搅拌楼; 设备维护; 优化路径

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Research on the Maintenance Optimization Path of Hydropower Engineering Equipment Oriented to Lean Management

Youjun Li

China Water Conservancy and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., LTD.

[Abstract] The maintenance and management of hydropower engineering equipment is directly related to the project quality and safe production. Based on the concept of lean management, this study addresses the problems existing in the maintenance of key equipment in concrete mixing plants, such as backward maintenance concepts, inconsistent standards, and unreasonable resource allocation. It proposes optimization strategies including maintenance process reengineering, lean management of spare parts, improvement of personnel skills, and application of information technology and intelligence. And through the practical application verification of the HL320-2S4500L type mixing plant in a large hydropower station project, it has achieved good results such as a significant reduction in failure rate, a substantial decrease in downtime, a marked improvement in equipment availability, and a significant saving in maintenance costs, providing a practical reference for the lean maintenance of hydropower engineering equipment.

[Key words] Lean Management Hydropower engineering; Concrete mixing plant Equipment maintenance Optimize the path

引言

水电工程是国家重要的基础设施建设项目,其规模大、周期长、设备繁多,设备维护管理直接关系到工程质量、安全和生产。混凝土搅拌楼作为水电工程建设的核心设备之一,其稳定运行对整个工程进度和质量至关重要。然而,当前水电工程混凝土搅拌楼设备维护中普遍存在维护理念落后、标准不统一、资源配置不合理等问题,导致维护成本高、效率低、设备可靠性不足。精益管理起源于丰田生产系统,核心理念是消除一切浪费、追求价值最大化。

1 精益管理与水电工程设备维护的融合点

1.1 消除浪费、持续改进与设备维护

精益管理把消除一切不增加价值的活动也就是“浪费”当

作核心理念,在设备维护领域里,不必要的维护活动、过度或不足的维护、不合理的备件库存、低效的维护流程等是浪费的主要表现,识别并消除这些浪费,维护效率就能显著提高且维护成本也能降低。精益管理的另一个核心理念是持续改进,其强调借由PDCA循环(计划-执行-检查-行动)不断优化工作流程与方法,在设备维护中,持续改进表现为不断完善维护策略与方法,依据设备运行状况和故障数据对维护计划作出调整,从而让维护更有针对性、更有效。

1.2 全员参与在设备维护中的价值

全员参与是精益管理的基本理念,强调所有员工都应积极参与到组织的改进活动中。在设备维护中,全员参与体现为TPM(全面生产维护)的理念,即设备操作员、维护人员和管理人

员共同参与设备的日常维护和改进活动,形成设备维护的全员责任意识^[1]。对混凝土搅拌楼设备维护而言,全员参与可以表现为设备操作员负责设备的日常保养和异常情况监测,如混凝土搅拌楼的“日常保养”内容:“保证设备及周围环境的清洁”、“及时清除称斗内的积料,使电脑秤正常回零”、“检查各润滑点的润滑油是否足够”等,以及维护人员负责定期维护和故障诊断修复、管理人员负责维护资源的协调和支持。

2 混凝土搅拌楼关键设备维护现状分析

2.1 混凝土搅拌楼关键设备识别

混凝土搅拌楼是水电工程建设中的关键设施,负责混凝土的配比、搅拌和输送。现代化混凝土搅拌楼主要由以下关键设备组成:

(1) 搅拌系统:包括DKX6.00水工型双卧轴强制式搅拌机2台,单机功率为 $2 \times 110\text{kW}$,搅拌容量 4.5m^3 (捣实混凝土),最大骨料粒径 150mm 。搅拌系统是混凝土搅拌楼的核心设备,其性能直接决定混凝土的质量和生产效率。

(2) 配料计量系统:包括13台传感器电脑秤,负责各种物料(骨料、水泥、粉煤灰、水、外添加剂等)的精确计量。计量系统的精度和稳定性对混凝土配比的准确性至关重要。

(3) 输送系统:包括粗骨料上料胶带机($B=1000\text{mm}$)、砂上料胶带机($B=800\text{mm}$)、水泥/粉煤灰气力输送系统等,负责各种物料的输送和分配。

(4) 储料系统:包括骨料仓(总容量 1040m^3)、水泥仓($2 \times 100\text{m}^3$)、粉煤灰仓($2 \times 100\text{m}^3$)、水箱(3m^3)、外添加剂箱等,负责各种物料的储存和供应。

(5) 控制系统:由工业控制计算机和外围辅助设备组成,实现混凝土生产全过程的自动控制。

(6) 辅助系统:包括压缩空气系统、液压系统、除尘系统等,为搅拌楼的正常运行提供必要的支持。

2.2 问题成因深度剖析

理念层面,许多水电工程单位仍秉持着“重建设轻维护”这种传统思想,并普遍采用“故障后修复”这种被动维修模式。调研数据表明,被动维修在维护工作中占比约60%,预防性维护只占30%,预测性维护还不到10%,这种落后维护理念直接导致设备停机时间长、维修成本高、设备寿命短。

技术层面,维护技术更新缓慢,且缺乏先进的状态监测和故障诊断技术,设备制造商虽提供了详尽的维护手册但实际执行缺乏统一标准导致不同班组与个人维护方法差异较大,并且信息化程度大多较低,多数单位依旧用传统纸质记录,设备运行数据未有效积累和分析难以支撑预测性维护决策。

资源配置方面,备件管理粗放,存在库存过多和关键备件缺乏的两极分化现象,导致资金占用浪费,设备故障后无法及时修复,且维护资源投入不足、配置不合理的问题突出。

3 面向精益管理的混凝土搅拌楼关键设备维护优化路径

3.1 精益维护流程设计

先通过价值流图分析识别维护流程里的价值活动与浪费活动,消除不必要的等待、移动和重复工作,如搅拌机的一级技术保养,传统流程大概需8小时做完,而优化工作顺序、提前备好工具和备件、减少不必要的拆装后,保养时间就能缩短到5小时,设备停机时间也会减少。

依据HL320-2S4500L型混凝土搅拌楼的维护要求并结合实际经验制定出详细的维护作业指导书,在该指导书中要明确每项维护任务的操作步骤、所需工具和材料、质量标准以及安全要求,搅拌机润滑系统的维护,作业指导书要详尽说明需要检查哪些润滑点、使用何种型号的润滑油、如何判断润滑是否充分等内容。

设备状态看板、维护计划表、问题跟踪表等可视化工具能直观展示设备维护状态与计划,便于维护团队掌握工作进度和问题从而利于沟通协作^[2],在搅拌楼控制室设备状态看板,各关键设备的运行时间、上次维护时间、下次维护计划等信息都能显示,维护工作一目了然。

3.2 备件精益化管理

备件按重要性、使用频率和价值用ABC分类法分成A、B、C三类进行差异化管理,DKX6.00搅拌机叶片、衬板等关键易损件为A类需保持适量库存,普通紧固件属于C类采用低库存或者即时采购管理即可。利用经济订货量(EQO)模型和安全库存模型科学确定备件订货点、订货量和安全库存以减少库存资金占用,如搅拌机叶片可依据历史消耗数据和供应周期算出经济订货量和安全库存避免库存过多或过少,并且要和关键备件供应商建立长期合作关系以实现信息共享、协同备件管理来缩短供货周期和降低库存风险。与搅拌机制造商达成备件供应协议确保关键备件优先供应也可考虑寄售库存模式以减少资金占用,推动设备和备件标准化可减少备件种类、提高通用性从而降低库存管理难度和成本,如推动不同型号搅拌机的传感器、电磁阀等通用部件统一规格能减少备件种类并提高库存周转率。

3.3 维护人员技能提升与培训

以维护人员岗位和技能水平为依据设计分层分级的培训课程体系,其中包含设备基础知识、维护技能、故障诊断、安全操作等内容。初级维护人员以日常保养和基本故障处理能力为培训重点,高级维护人员则以复杂故障诊断和设备性能优化能力为重点培训内容。借助模拟故障场景开展实操演练以提高维护人员实际操作与应急处理能力并建立技能考核机制定期评估维护人员技能水平,如设置搅拌机叶片磨损、传动系统异常等常见故障模拟场景让维护人员进行故障诊断与排除训练。

3.4 信息化与智能化手段应用

专业的设备管理信息系统的引入使设备档案、维护计划、维护记录、备件管理等得以实现信息化管理,进而提高维护工作的计划性和可追溯性。系统要能自动生成维护计划提醒、记录维护工作过程与结果并对维护数据进行统计分析。为维护决策提

供支持,传感器安装在搅拌机、计量系统等关键设备上,实时采集设备的温度、振动、压力、电流等运行参数,经物联网技术传输到监测平台以实现设备状态的实时监测和异常预警。在搅拌机轴承处安装温度和振动传感器,数值超过预设阈值时系统会自动预警,提醒维护人员检查处理,基于移动设备的维护应用程序被开发出来,让维护人员在现场通过手机或者平板电脑具备查看设备信息、维护指导书、历史维护记录等并且记录维护过程与结果的能力,从而提高工作效率和质量。维护人员可以扫描设备二维码获取设备详细信息、维护历史和维护指导书,完成维护工作后直接在移动端记录维护结果和发现的问题,以设备运行数据和维护历史为依据建立设备健康评估模型,量化评估设备健康状态,预测潜在故障和剩余使用寿命,指导预测性维护决策^[3]。

4 案例分析与实践验证

4.1 案例选择与背景介绍

为验证精益管理在混凝土搅拌楼设备维护中的应用效果,选择某大型水电站工程的HL320-2S4500L型混凝土搅拌楼作为案例研究对象。该搅拌楼投入使用两年,日均工作10小时,主要负责大坝主体混凝土的生产,设备配置与前文所述一致。该搅拌楼在运行初期采用传统的设备维护管理模式,主要存在以下问题:设备故障率高,年平均停机时间达到240小时、维护成本高,年维护费用占设备价值的8%、备件管理混乱,库存周转率低、维护人员技能参差不齐,缺乏系统培训。严重影响了搅拌楼的生产效率和混凝土质量,给工程进度带来不利影响。

4.2 精益管理优化策略实施

项目部引入精益管理理念以全面优化混凝土搅拌楼设备维护,具体实施步骤如下:

- (1) 精益维护推进小组得以成立,由设备管理负责人牵头,邀请设备操作员、维护人员、备件管理员等一同参与,从而确保了全员参与和多角度考虑。
- (2) 设备维护价值流分析要开展起来,通过现场观察、数据收集把设备维护的价值流图画出来,从而在维护流程中识别价值活动和浪费活动,进而找出改进机会。
- (3) 依据价值流分析结果制定出包含维护流程再造、备件管理优化、人员培训以及信息化建设等内容的综合优化方案,之后分阶段实施该方案。

4.3 实施效果评估

精益管理优化策略实施一年后,通过对关键绩效指标的全面评估,验证了精益管理在混凝土搅拌楼设备维护中的显著成效。评估结果见下表:

表1 精益管理实施前后关键指标对比

评估维度	具体指标	实施前	实施后	改善幅度
设备可靠性	故障率下降	-	-	45%
	年平均停机时间	240 小时	130 小时	减少 110 小时
	设备可用率	92%	96%	提高 4 个百分点
	易损件使用寿命	-	-	延长 30%
维护成本	维护费用占设备价值比例	8%	5.50%	降低 2.5 个百分点
	年节约维护成本	-	-	约 100 万元
	备件费用	-	-	降低 35%
	维修人工成本	-	-	降低 25%
备件管理	备件库存金额	-	-	降低 30%
	库存周转率	-	-	提高 60%
	备件供应及时率	-	95%以上	-
	关键备件供应周期	7 天	3 天	缩短 4 天
人员能力	常见故障响应时间	-	30 分钟内	-
	常见故障处理率	-	95%	-
	复杂故障诊断准确率	-	90%以上	-
	维护人员离职率	-	-	降低 40%
信息化水平	维护计划执行率	75%	95%	提高 20 个百分点
	预测性维护比例	10%	30%	提高 20 个百分点

5 结语

本文基于精益管理理念,探讨了水电工程混凝土搅拌楼关键设备维护的优化路径,并通过实际案例验证了其有效性。水电工程混凝土搅拌楼的设备维护优化是一个系统工程,需要从管理理念、技术方法、人员素质和资源配置等多方面进行综合考虑和协同推进。本研究的成果对于水电工程设备维护管理具有一定的理论指导和实践参考价值,也可以为其他类型工程设备的维护优化提供借鉴。未来研究可以进一步探索基于大数据和人工智能的预测性维护技术,以及设备全生命周期管理的精益化策略,推动水电工程设备维护向更加智能化、精益化的方向发展。

参考文献

- [1] 郭文辉.浅谈水利水电工程机电设备运行维护与检修[J].水电站机电技术,2024,47(3):109-111.
- [2] 吴经纬,吕洛安,程浩威.水利水电工程机电设备运行维护及检修探讨[J].智能建筑与工程机械,2025,7(1):93-95.
- [3] 姚小飞.水电工程项目设备全过程质量管理策略[J].中国设备工程,2023(11):263-265.

作者简介:

李有军(1995--),男,土族,青海省海东市人,本科,职称:初级工程师、研究方向:水电工程设备维护优化。