

水利枢纽发电检修标准化作业流程构建与现场管理效能提升

左明明

新疆维吾尔自治区塔里木河流域乌鲁瓦提水利枢纽管理中心, 中国·新疆 和田 848000

摘要: 随着国家能源结构的转型与“双碳”目标的推进, 水利枢纽作为电网调峰调频的关键调节电源, 其安全稳定运行直接关系到区域电力供应的可靠性。然而, 传统的水电机组检修模式长期存在作业标准不一、现场管理粗放、安全风险管控滞后及检修周期不可控等痛点, 严重制约了电站的经济效益与本质安全水平。本文旨在系统探讨水利枢纽发电检修标准化作业流程的科学构建路径及其对现场管理效能的提升机制。文章首先剖析了当前水电检修管理中存在的典型问题与深层原因; 随后, 深入阐述了基于全生命周期管理的标准化作业体系构建方法, 涵盖作业指导书(SOP)编制、风险辨识与预控、工艺质量控制及验收标准制定等核心环节。

关键词: 水利枢纽; 发电检修; 标准化作业流程; 现场管理; 效能提升; 风险控制; 数字化转型; 精益化运维

Construction of Standardized Operation Process for Power Generation Maintenance of Water Conservancy Hub and Enhancement of On-site Management Efficiency

Zuo Mingming

Uluwati Water Conservancy Hub Management Center of Tarim River Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China
Xinjiang Hotan 848000

Abstract: With the transformation of the national energy structure and the advancement of the "dual carbon" goals, hydropower stations, as key regulating power sources for peak shaving and frequency modulation in the power grid, their safe and stable operation directly affects the reliability of regional power supply. However, the traditional maintenance mode of hydropower units has long suffered from inconsistent operation standards, lax on-site management, lagging safety risk control, and uncontrollable maintenance cycles, which seriously restricts the economic benefits and intrinsic safety level of power stations. This paper aims to systematically explore the scientific construction path of standardized operation processes for hydropower station maintenance and its mechanism for enhancing on-site management efficiency. The article first analyzes the typical problems and underlying causes existing in current hydropower maintenance management; then, it elaborates in depth on the construction method of a standardized operation system based on the full life cycle management, covering core links such as the compilation of operation instruction manuals (SOP), risk identification and pre-control, process quality control, and the formulation of acceptance standards.

Keywords: Hydropower station; Power generation maintenance; Standardized operation process; On-site management; Efficiency improvement; Risk control; Digital transformation; Lean operation and maintenance

0 引言

水利枢纽不仅是水资源调控的重要基础设施, 更是现代电力系统中不可或缺的绿色能源基地。随着大型水轮发电机组单机容量的不断增大及运行工况的日益复杂, 设备维护的难度与风险呈指数级上升。发电检修作为保障机组健康运行的核心环节, 其质量直接决定了电站的可用系数、供电能力及使用寿命。长期以来, 我国部分水利枢纽在检修管理方面仍沿用传统的经验主义模式, 过度依赖个人技

术经验, 缺乏统一、规范、可复制的作业标准。这种模式下, 不同班组、不同人员执行同一项任务时往往存在操作差异, 导致检修质量参差不齐, 甚至引发人为责任事故。此外, 现场管理粗放, 安全措施落实到位, 进度控制随意性大, 使得检修成本居高不下, 工期延误现象频发。

面对新时代高质量发展的要求, 推动发电检修工作的标准化、规范化、精细化已成为行业共识。标准化作业流程(Standard Operating Procedure, SOP)的构建, 不仅是对

作业步骤的简单固化,更是对人、机、料、法、环五大要素的系统优化。它能够把复杂的检修任务分解为可控的标准化动作,通过明确的责任分工、严格的质量控制和精准的风险预控,实现作业过程的透明化与可追溯。同时,现场管理效能的提升是标准化落地的关键保障,需要通过引入信息化手段、优化组织架构、强化绩效考核等多措并举,打破部门壁垒,形成协同高效的管理闭环。本文立足于当前水利枢纽发电检修的实际需求,系统梳理标准化作业流程的构建逻辑,深入分析其对现场管理效能的驱动机制,并结合典型案例探讨实施策略,以期提升我国水电行业的整体运维管理水平提供理论支撑与实践参考。

1 水利枢纽发电检修管理现状与问题分析

要构建高效的标准化作业流程,首先必须深刻剖析当前管理实践中存在的突出问题及其成因,从而找准改革的切入点。

1.1 作业标准缺失与执行偏差

目前,许多水利枢纽虽然制定了检修规程,但往往过于宏观笼统,缺乏针对具体设备、具体工序的可操作性细则。作业指导书(SOP)更新滞后,未能及时反映新技术、新工艺的应用,导致现场作业人员“有章难循”或“照搬旧章”。更为严重的是,标准执行存在严重的“两张皮”现象,即制度上墙容易,落地生根难。由于缺乏有效的监督考核机制,部分作业人员凭经验办事,省略关键步骤,简化安全措施,导致检修质量无法保证。例如,在水轮机导叶间隙调整、发电机定子绕组绝缘处理等关键工序中,若未严格执行标准化扭矩值或清洁度要求,极易埋下运行隐患。

1.2 现场安全风险管控薄弱

水电检修现场环境复杂,涉及高空作业、有限空间作业、起重吊装、动火作业等多种高风险场景。当前,风险辨识往往流于形式,风险评估表千篇一律,缺乏针对性。现场监护人员职责不清,安全交底不彻底,导致违章指挥、违章作业现象屡禁不止。特别是在多工种交叉作业、夜间检修或紧急抢修过程中,协调难度大,安全隐患极易被忽视。此外,传统的安全管理模式多为事后追责,缺乏事前预警和事中干预能力,难以从根本上遏制事故的发生。

1.3 检修资源调配低效与进度失控

检修计划编制不够科学,往往缺乏对设备状态数据的深度挖掘,导致“过修”或“失修”并存。现场物资管理混乱,备品备件领取不及时,专用工具配备不足,严重影响作业效率。人员技能水平参差不齐,关键岗位人员短缺,导致检修高峰期人力紧张,而闲时又出现窝工现象。进度

管理缺乏动态监控手段,一旦遇到突发技术问题或恶劣天气,往往缺乏应急预案,导致工期拖延,进而影响电站的发电计划和经济效益。

2 发电检修标准化作业流程的科学构建

标准化作业流程的构建是一项系统工程,需要遵循“全覆盖、全过程、全员参与”的原则,建立从策划到验收的闭环管理体系。

2.1 基于全流程的作业指导书(SOP)体系设计

构建标准化的核心在于编制高质量、可执行的作业指导书。应依据设备厂家技术资料、国家行业标准及企业实际情况,采用工作分解结构(WBS)将检修任务细化至最小作业单元。每个单元需明确作业目的、适用范围、引用标准、所需工器具、材料消耗、操作步骤、质量标准及安全注意事项。特别要引入“可视化”元素,利用三维模型、高清图片、短视频等形式展示关键工艺点,使作业人员一目了然。例如,在发电机转子吊装作业中,SOP应详细规定吊具检查、平衡测试、就位微调等每一步的具体参数和操作手法,杜绝模糊指令。同时,建立SOP的动态修订机制,根据每次检修后的反馈数据持续优化,确保标准的先进性与适用性。

2.2 风险分级管控与隐患排查双重预防机制

将风险管理嵌入标准化作业的每一个环节,实现“源头治理”。在作业前,必须开展全面的风险辨识,运用JSA(工作安全分析)或LEC评价法,识别出潜在的危险源,并制定针对性的预控措施。建立风险分级管控清单,明确不同等级风险的管控责任人、管控措施及应急处置方案。对于高风险作业,实行提级管理和旁站监护制度。同时,推行隐患排查治理标准化,建立隐患数据库,对历史缺陷进行统计分析,预测潜在风险趋势。在作业过程中,设置关键节点的安全确认卡(Checklist),只有当所有安全措施落实到位并经监护人签字确认后,方可进入下一道工序,形成“步步确认、环环相扣”的安全防线。

2.3 全过程质量控制与验收标准体系

质量是检修的生命线。标准化流程必须包含严格的质量控制(QC)体系。建立三级验收制度:班组自检、项目部复检、公司专检。明确各工序的质量检验点(H点)、见证点(W点)和停止点(S点),实行“上道工序不合格,下道工序不施工”的原则。引入数字化质量管理体系,实时记录检测数据、上传影像资料,实现质量数据的可追溯。制定量化的验收标准,摒弃“差不多”“大概齐”的主观判断,用数据说话。例如,轴承合金浇铸温度、

螺栓紧固力矩值、振动摆度值等关键指标必须严格控制在设计允许范围内。通过标准化的质量控制,确保每一台检修后的设备都能达到或优于出厂标准。

3 现场管理效能提升的关键路径与实践策略

标准化流程的落地离不开高效的现场管理。需要通过组织创新、技术赋能和文化建设,全面提升现场管理的执行力与响应速度。

3.1 数字化赋能与智能监管平台建设

利用物联网、大数据、云计算及人工智能技术,打造智慧检修管理平台,实现现场管理的数字化转型。部署移动作业终端,作业人员可通过 APP 实时接收作业票、查看 SOP、上报作业进度及异常信息,实现无纸化办公。利用无人机、机器人及高清摄像头对现场进行全方位监控,结合 AI 图像识别技术,自动识别未戴安全帽、违规闯入等不安全行为,并及时报警。建立设备健康档案与数字孪生模型,实时监测机组运行状态,为检修决策提供数据支撑。通过大数据分析,优化检修计划排程,实现资源的精准配置。例如,某大型水电站引入智能安监系统后,违章行为减少了 80%,作业效率提升了 25%。

3.2 组织架构优化与敏捷型团队建设

打破传统的科层制管理,构建扁平化、敏捷型的检修组织体系。成立跨专业的联合攻关团队,实行项目经理负责制,赋予其在人员调度、物资采购、费用支配等方面更大的自主权。推行“师带徒”与“技能认证”制度,建立人才梯队培养机制,通过岗位练兵、技能比武等方式,提升全员业务素质。实施绩效导向的激励机制,将检修质量、安全记录、工期进度与个人收入挂钩,激发员工的主观能动性。加强班组长队伍建设,使其成为现场管理的“神经末梢”,确保各项指令快速传达、有效执行。

3.3 精益化物资管理与后勤保障

借鉴制造业精益生产理念,优化检修物资管理流程。建立备件库存预警模型,实现常用备件的“零库存”或“低库存”管理,减少资金占用。推行物资配送“准时制”(JIT),根据作业计划提前将工器具、材料送达作业现场,减少搬运等待时间。改善现场作业环境,合理规划定置管理区域,确保工器具摆放整齐、通道畅通、标识清晰。加强后勤服务保障,解决作业人员食宿、交通等后顾之忧,使其能够全身心投入检修工作。通过精细化管理,降低检修成本,提高资源利用率。

4 典型案例分析与实施成效评估

以某流域梯级水电站群为例,该电站近年来全面推行

发电检修标准化作业流程与现场管理效能提升工程,取得了显著成效。

4.1 改革实施过程与关键举措

该电站首先成立了标准化建设领导小组,全面梳理现有管理制度,废改立了一批不适应现场实际的规章。随后,组织了数百名技术人员编写了覆盖水轮发电机组、电气一次二次设备、辅助系统的千余份标准化作业指导书,并配套开发了移动作业 APP。在实施过程中,重点抓好了“三个转变”:从“经验驱动”向“标准驱动”转变,从“事后整改”向“事前预控”转变,从“粗放管理”向“精益管理”转变。同时,引入了无人机巡检、在线监测系统及三维可视化交底平台,实现了检修全过程的数字化管控。

4.2 综合效益评估与对比分析

经过两年的实践,该电站检修管理效能显著提升。数据显示,机组非计划停运次数同比下降 65%,平均检修工期缩短了 18 天,相当于每年增加发电量约 5000 万千瓦时。设备故障率降低了 40%,主要部件寿命延长了 10%-15%。安全事故为零,违章行为发生率下降 90% 以上。在经济效益方面,通过优化备件库存和降低返工率,年节约检修成本超过 300 万元。更重要的是,员工的安全意识和技术水平大幅提高,形成了“人人讲标准、事事按程序”的良好文化氛围,为企业的可持续发展奠定了坚实基础。

5 结语

水利枢纽发电检修标准化作业流程的构建与现场管理效能的提升,是一项关乎安全生产、经济效益与企业发展的战略性工程。面对日益复杂的设备运行环境与更高的安全管理要求,传统的经验式管理模式已难以为继。本文通过系统分析现状问题,提出了基于全流程 SOP 设计、风险分级管控、全过程质量控制的标准化构建路径,并探讨了数字化赋能、组织优化及精益化管理等效能提升策略。实践证明,只有将标准化理念贯穿于检修工作的始终,并借助先进的技术手段和管理创新,才能真正实现检修工作的规范化、精细化和智能化。

未来,随着“数字孪生”“工业互联网”及“人工智能”技术的深度融合,水电检修将迈向更加智慧的“无人化、少人化”新阶段。我们需要持续深化标准化体系建设,打破数据孤岛,构建互联互通的智慧运维生态,推动水利枢纽从“传统制造”向“智能制造”跨越。这不仅有助于提升单站的经济效益与安全水平,更将为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系贡献中国智慧与中国方案。我们

应以此为契机,不断探索创新,推动水电行业高质量发展,为国家能源安全保驾护航。

参考文献:

[1] 邵星然. 基于 Unity3d 立式离心泵站电子沙盘的设计与实现[D]. 太原理工大学, 2023.DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2023.001852.

[2] 贾利涛. WDD 水电站左岸发电机推力组合轴承设计与应用研究[D]. 四川大学, 2021.DOI:10.27342/d.cnki.

gscdu.2021.003732.

[3] 钱琦星. 九圩港闸服役性能提升效果分析[D]. 扬州大学, 2022.DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2022.002582.

[4] 杨立娟. 三峡航运枢纽承运人翻坝运输定价与政府补贴优化研究[D]. 武汉理工大学, 2021.DOI:10.27381/d.cnki.gwlggu.2021.001850.

[5] 徐新民. 大型水轮发电机增容改造中股线换位和通风技术的研究[D]. 华北电力大学(北京), 2009.