

核电站设备运维管理

许乐

中广核核电运营有限公司，广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2025100008

摘要：在全球能源低碳化转型与“双碳”目标推进的背景下，核电作为清洁、稳定的能源支柱，其安全运行对能源供应保障与生态目标实现具有战略意义。核电站设备的可靠运行是机组稳定性的核心，而设备缺陷的高效管理直接影响机组的安全性、经济性与可靠性，因此构建科学的缺陷管理体系成为核电运营的关键课题。本文聚焦运营公司项目部的设备缺陷管理实践，阐述了“分级管理+数字化平台”模式的构建与应用：通过基地项目部统筹协调与项目队基层处置的分级架构，形成“发现—跟踪—处置—汇总”的闭环管理链条；依托数字化平台实现缺陷信息的结构化采集、多维度筛选与深度分析，破解传统管理中数据分散、分析滞后等瓶颈。该平台通过统计分析模型挖掘机组运行循环内的缺陷规律，为大修规划提供数据驱动的决策支持，推动缺陷管理从“经验驱动”向“精准化、预见性”转型。研究表明，该模式有效提升了设备缺陷处置效率与机组可用率，为核电行业智慧运维转型提供了可借鉴的实践范式。

关键词：设备缺陷管理；数字化平台；核电运营

Operation and Maintenance Management of Nuclear Power Plant Equipment

Xu Le

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : Against the backdrop of global energy transition towards low-carbon and the advancement of "dual carbon" goals, nuclear power as a clean and stable energy pillar holds strategic significance for ensuring energy supply security and achieving ecological objectives. The reliable operation of nuclear plant equipment is the core of unit stability, while efficient management of equipment defects directly impacts unit safety, economy, and reliability. Therefore, establishing a scientific defect management system has become a key challenge in nuclear power operations. This paper focuses on the equipment defect management practices of an operational company's project department, elaborating on the construction and application of a "tiered management + digital platform" model. Through a tiered framework where base project departments coordinate at the headquarters level and project teams handle grassroots-level issues, a closed-loop management chain of "discovery-tracking-rectification-aggregation" is formed. The digital platform enables structured defect data collection, multi-dimensional screening, and in-depth analysis, addressing bottlenecks like data fragmentation and delayed analysis in traditional management. By mining defect patterns through statistical models, the platform provides data-driven decision support for major overhaul planning, driving defect management from "experience-driven" to "precision and predictive" approaches. Research shows this model effectively enhances equipment defect resolution efficiency and unit availability, offering a replicable practical paradigm for smart operation transformation in the nuclear industry.

Keywords : equipment defect management; digital platform; nuclear power operation

引言

全球能源体系正朝着低碳化、清洁化转型，核电因技术成熟、近零排放、出力稳定等优势，成为实现“双碳”目标的关键能源。截至2024年，全球在运核电机组440余台，年发电量占全球总电量10%以上，中国在运机组达58台，装机容量居世界前列，其规模化发展对优化能源结构、保障能源安全意义重大。然而，核电运营对安全要求极高，设备缺陷可能引发严重后果，因此缺陷全流程管理是运营核心，其效率与精准度直接影响机组可靠性与经济性。传统模式存在局限：缺陷信息依赖纸质或分散电子文档，形成“信息孤岛”，跨部门汇总难；分析依赖人工，维度单一滞后，难寻规律与关联，导致大修规划依赖经验，预防性维护针对性不足。随着机组老化、系

统复杂度提升，传统模式已不适应精细化管理需求。为此，核电运营公司探索分级管理与数字化技术融合的创新路径：构建“基地项目部-项目队”分级体系，实现“处置-汇总-决策”闭环；引入数字化平台，将缺陷信息标准化为结构化数据，通过多维度筛选与趋势分析挖掘规律，为大修提供量化依据，推动从“被动应对”向“主动预防”转变。

一、流程管理介绍

(一) 管理框架

在缺陷管理流程中，项目部与基地各项目队依托明确的组织结构，制定了标准化的闭环处理机制。当缺陷信息反馈至项目部后，工程师通过数字化平台精准派发分析任务，由各项目队对应责任人员深入开展原因溯源，并填写原因。报告经项目队 QC 组长严格审核把关，确保分析逻辑严谨、结论可靠后，提交至 ETPG 组进行专业评审，ETPG 组结合技术规范与实践经验给出最终指导性意见^[1-3]。项目部每周对当周产生的缺陷信息及处理结果进行系统归集、汇总分析，组织专题会议完成集中收口，明确整改责任与时限。针对大修工作，项目部工程师提前一个月启动专项筹备，对拟大修机组上一运行循环内的设备缺陷数据进行全面梳理、筛选分类，形成专项清单。各项目队责任 QC 组长依据清单内容，组织技术骨干制定针对性处理措施或检修方案，经多层级复核后形成最终答复，为大修工作的高效开展提供精准技术支撑。

(二) 任务流程介绍

在分析任务的填写与流转环节，需严格遵循标准化流程确保

信息传递精准高效。任务发起阶段，项目部工程师需逐项明确核心要素：精准记录任务发起时间以锚定流程节点；清晰标注缺陷设备对应的功能位置，为定位排查提供依据；详细描述缺陷信息，涵盖现象特征、发生频次、关联参数变化等关键细节；同时注明所属机组编号及相关通知单编号，实现与前期记录的追溯衔接^[4-7]。信息提交后，流程自动流转至责任项目队，由设备负责人或责任田负责人牵头开展首轮原因分析，结合设备台账、运行记录等资料排查潜在诱因，形成初步分析报告。报告随后提交技术组长进行深度审核，重点校验分析逻辑的严密性、关联因素的完整性，并补充专业技术判断。审核通过后，任务推送至 ETPG 组进行最终技术评审，ETPG 组依据设备重要度、缺陷等级及技术规范，明确处理措施的实施场景——区分日常消缺或纳入大修计划，并标注具体工艺要求、资源需求及风险控制要点。全部意见确认后，流程返回项目部工程师处，工程师对整体分析结论、处理方案的可行性进行最终审核，确认无误后完成任务流程关闭，同时将相关数据同步至缺陷管理数据库，为后续统计分析提供支撑。（见表1）

表1

流程阶段	执行主体	核心工作内容	关键信息 / 输出
任务发起	项目部工程师	明确任务发起时间；标注缺陷设备功能位置； 详细描述缺陷信息； 注明所属机组编号及相关通知单编号	包含完整基础信息的分析任务单
首轮原因分析	责任项目队设备负责人/责任田负责人	结合设备台账、运行记录排查潜在诱因，形成初步分析报告	初步原因分析报告
技术审核	技术组长	审核分析逻辑严密性、关联因素完整性，补充专业技术判断	经审核的原因分析报告（含技术组长意见）
最终评审	ETPG 组	依据设备重要度、缺陷等级及技术规范，明确处理措施（区分日常消缺或大修计划），标注工艺要求、资源需求及风险控制要点	含处理措施及实施场景的最终评审意见
流程关闭	项目部工程师	审核整体分析结论及处理方案可行性，确认无误后关闭流程，同步数据至缺陷管理数据库	已关闭的任务流程记录、更新后的缺陷管理数据

(三) 缺陷信息数据库的用处

缺陷信息的收集工作，绝非简单的记录与存档，而是一项贯穿设备全生命周期的系统性工程。当这些信息经过长期积累形成规模化数据库后，其价值便会从零散的“数据碎片”转化为支撑设备管理决策的“智慧基石”。一个完善的缺陷数据库，往往覆盖特定周期内基地所有机组的运行痕迹，小到阀门异响的细微记录，大到主机振动超标的紧急告警，每一条数据都承载着设备状态的原始密码。从这样的数据库中挖掘深层信息，就如同为设备管理装上“透视镜”。通过对历史数据的纵向比对，可以精准统计各类设备的故障发生频率：比如某型号给水泵在三年周期内出现密封泄漏的次数占比，某批次传感器的误报率是否显著高于行业均值。这种频率分析能直接指向“高危设备”，为备品备件储备、重点巡检计划提供量化依据。进一步追踪故障根源，更能发现隐藏的管理盲区^[8-10]。数据库会清晰呈现同类缺陷的发生原因是否

存在共性，当同一原因导致的缺陷多次出现时，便暴露了前期整改措施的失效，促使技术团队从设计标准、维护规程等源头进行优化。时间维度的分析则像一把“标尺”，丈量着设备状态与检修工作的关联性。通过筛选数据可以发现：缺陷集中发生在大修后一个月内，可能意味着检修工艺存在疑问。更关键的是，将缺陷设备与大修期间的检修记录交叉验证，能快速判断：是未检修的部位频发故障，还是检修过的组件反而出现新问题？前者提示需补充检修范围，后者则要追溯检修质量与验收标准。而缺陷集中爆发的阶段特征，更是制定预防策略的核心依据。这些基于数据的精准分析，让预防措施从“大水漫灌”转向“精准滴灌”——既能避免过度维护造成的资源浪费，又能确保关键节点的防控力度，最终实现缺陷处理从“被动应对”到“主动预防”的质变，显著提升设备运行的可靠性与经济性。在工业领域，这样的数据库分析尤为重要。当每一条缺陷信息都能被充分解读，每一次异

常波动都能被提前预判，设备管理便真正迈入了智能化、精细化的新阶段，为企业稳定生产筑牢防线。（见表2）

表2

分析维度	核心内容	实际应用场景举例	管理价值
数据基础特性	贯穿设备全生命周期的系统性记录，覆盖周期内基地所有机组；包含从细微异常到紧急故障的全类型信息	记录阀门异响、主机振动超标等各类缺陷，形成覆盖全机组的规模化数据库	将零散数据转化为决策“智慧基石”，为后续分析提供完整原始依据
故障发生频率	分析通过纵向比对历史数据，统计各类设备故障发生的频率及占比	统计某型号给水泵三年周期内密封泄漏次数占比、某批次传感器误报率与行业均值对比	精准定位“高危设备”，为备品备件储备、重点巡检计划提供量化支撑
故障根源共性分析	追踪同类缺陷的发生原因，判断是否存在共性及重复出现的问题	分析轴承磨损是否始终源于润滑脂选型不当、管道腐蚀是否集中在特定水质处理环节	发现管理盲区，倒逼技术团队从设计标准、维护规程等源头优化整改措施
时间维度关联性	分析缺陷发生时间与检修工作的关联，包括大修后缺陷集中时段、设备运行周期与缺陷的关系	发现缺陷集中在大修后一个月内（提示检修工艺问题）、某类缺陷在机组运行2000小时左右频发（关联设备疲劳周期）	明确检修质量与缺陷的关联，指导补充检修范围或追溯验收标准
缺陷集中爆发阶段特征	识别缺陷在周期内的集中爆发阶段，结合环境等因素分析规律	夏季高温时段冷却系统缺陷激增、冬季启机阶段电气回路故障频发	为制定针对性预防策略提供依据，如提前改造散热装置、强化低温预启动检测流程
整体管理提升作用	推动预防措施从“大水漫灌”转向“精准滴灌”，实现缺陷处理从被动到主动的质变	避免过度维护浪费资源，同时确保关键节点防控力度	提升设备运行可靠性与经济性，推动设备管理迈入智能化、精细化新阶段，保障企业稳定生产

二、结语

本文以核电运营公司项目部的设备缺陷管理实践为研究对象，系统阐述了“分级管理+数字化平台”模式在核电设备缺陷全流程管理中的构建逻辑与应用成效。在全球能源低碳转型与“双碳”目标推进的背景下，核电作为清洁稳定的能源支柱，其设备缺陷管理的科学化、精准化水平直接关系到机组运行的安全性、经济性与可靠性，而传统管理模式中“信息孤岛”、分析滞后等痛点，需通过组织架构革新与数字化技术融合加以破解。本文提出的“基地项目部-项目队”分级管理架构，通过明确基层处置与统筹决策的权责边界，构建了“发现-跟踪-处置-汇总”的闭环管理链条，既保障了缺陷响应的时效性，又实现了跨机组、跨部门的资源协同；数字化平台的引入则进一步打破了数据壁垒，通过结构化信息采集、多维度筛选与深度分析模型，将零散的缺陷数据转化为支撑决策的“智慧基石”，为大修规划提

供了数据驱动的量化依据，推动缺陷管理从“经验驱动”向“精准化、预见性”转型。从实践成效来看，该模式通过故障频率分析精准定位“高危设备”，通过根源共性分析优化维护规程，通过时间维度关联校验检修质量，通过阶段特征分析制定针对性预防策略，有效提升了设备缺陷处置效率与机组可用率，为核电运营的稳定性提供了坚实保障。这一探索不仅验证了分级管理与数字化技术在设备缺陷管理中的适配性，更形成了可复制、可推广的实践范式，为核电行业智慧运维转型提供了有益参考。未来，随着核电机组运行年限的增长与系统复杂度的提升，设备缺陷管理将面临更高要求。后续研究可进一步深化数字化平台的智能化应用，例如引入机器学习算法实现缺陷风险的实时预警，或通过数字孪生技术模拟缺陷演化路径，从而持续提升缺陷管理的前瞻性与精准度。同时，也需加强跨基地的数据共享与标准统一，推动核电行业缺陷管理体系的整体升级，为全球能源低碳转型与核电可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 顾松鹰；尹闯；岳亮.核电厂复杂系统的维修规则可靠性指标的制定技术改进[J].核科学与工程,2023(05)989-995.
- [2] 姜峥嵘；孙洪波；成印健；王洪礼.电力工程建设汽车式起重设备施工技术研究.现代制造技术与装备,2024(03)91-93+97.
- [3] 谢筱亮；郝赛；吴英昌.进口起重设备自主维修研究与应用[J].中国电力企业管理,2022(12)88-89.
- [4] 安宏灿；张弛；陈培.通用型变频器在起重设备中的应用[J].机电信息,2011(24)91-92.
- [5] 刘宝松；李忠宝；唐永峰.多卷扬电机悬架起重设备系统的设计与应用[J].化学工程与装备,2019(11)156-157.
- [6] 韩伟.核电厂设备状态维修研究及应用[J].中国核电,2023(01)31-37.
- [7] 陈明泉,江会福.三峡水电站厂内起重设备选择[J].人民长江,2000(S1)22-23.
- [8] 张树轶；房永顺浅析集装箱起重设备电缆安装工作可能存在的问题及解决方法.[J].科技风,2018(28).
- [9] 张建；范如谷；徐建洪；蒋红；彭家彬.水电站起重设备控制系统国产化运用研究[J].四川水力发电,2024(S1)19-26.
- [10] 周洋；战蓉洁；袁巍；唐兴贵.核电厂起重设备管理及维护保养[J].科技视界,2019(06)77-78.