

国产化环境下电厂智能巡检系统适配与稳定性研究

林河 张晓 李来富 陈敬瑞 韦启龙

华能海南发电股份有限公司海口电厂

DOI:10.32629/acair.v4i1.19378

[摘要] 在能源领域自主可控与新型电力系统建设的双重驱动下,电厂智能巡检系统国产化替代成为行业刚需,硬件兼容、协议适配、工况适配与长期运行稳定性是核心瓶颈。本文以某2×330MW超临界燃煤机组电厂为案例,探究了基于巡检员、手持机与巡检卡的国产化智能巡检系统的适配技术,构建评价体系,通过实测数据与对比分析验证适配效果。研究表明,国产化系统经全流程适配后,MTBF提升300%以上、系统故障率降至1.0%以下,可为中小型火电企业智能巡检国产化规模化推广提供工程依据与技术参考。

[关键词] 国产化环境; 电厂智能巡检; 手持机; 巡检卡; 系统适配; 稳定性

中图分类号: TM623.9 **文献标识码:** A

Research on Adaptability and Stability of Intelligent Inspection System for Power Plants in a Localization Environment

He Lin Xiao Zhang Laifu Li Jingrui Chen Qilong Wei

Huaneng Hainan Power Generation Co., Ltd. Haikou Power Plant

[Abstract] Driven by the dual forces of self-reliance and controllability in the energy sector, as well as the construction of a new power system, the localization substitution of intelligent inspection systems in power plants has become a rigid demand in the industry. Core bottlenecks include hardware compatibility, protocol adaptation, operational condition adaptation, and long-term operational stability. This paper takes a 2×330MW supercritical coal-fired power plant as a case study to explore the adaptation technology of a localized intelligent inspection system based on inspectors, handheld devices, and inspection cards. It constructs an evaluation system and verifies the adaptation effect through measured data and comparative analysis. The research shows that after full-process adaptation, the MTBF of the localized system increases by more than 300%, and the system failure rate drops below 1.0%. This provides engineering basis and technical reference for the large-scale promotion of localized intelligent inspection in small and medium-sized thermal power enterprises.

[Key words] localization environment; intelligent inspection of power plants; handheld device; inspection card; system adaptation; stability

随着“双碳”目标推进与能源安全战略深化,电力关键基础设施自主可控成为刚性要求。国产化智能巡检系统依托国产芯片、操作系统、工业协议与数据分析算法,具备安全可控、成本可控、定制化强等优势。本文以中型火电厂国产化改造工程为案例展开论述,以此助力国产化巡检系统稳定落地。

1 中型火电厂智能巡检系统国产化改造案例概况

本文选取某2×330MW超临界燃煤发电机组电厂作为研究案例,该电厂服役年限10年,原采用进口品牌智能巡检系统,覆盖主厂房、配电室、脱硫脱硝区域共65个巡检点位,投运以来暴露出多项核心问题:一是硬件维保成本高,手持终端年维护费用高,进口设备备件更换周期短。二是协议接口封闭,无法与电厂新建

国产DCS、SIS系统对接,数据无法共享形成孤岛。三是环境适应性差,高温、高粉尘环境下手持机频繁出现卡顿、死机、数据上传失败等问题,年均故障次数达25次^[1]。四是升级迭代受限,进口系统不提供底层接口与协议支持,无法适配电厂定制化巡检流程。2025年该厂启动智能巡检系统全链路国产化改造工程,改造范围覆盖移动终端层、数据传输层、平台层全架构,替换全部进口手持设备与后台服务器,采用国产工业级手持机40台、定制化巡检卡84张、国产数据服务器2台,实现锅炉、汽机、电气、化水、输煤全区域无死角覆盖。改造核心目标包括:完成与现有DCS、SIS系统的全协议适配;实现手持机在复杂工业环境下的7×24小时稳定使用;将系统平均无故障时间(MTBF)提升至

2500小时以上;后台数据分析准确率 $\geq 95\%$; [2] 维保成本降低50%以上。改造过程严格遵循《DL/T 2856-2024远程智能巡视集中监控系统技术规范》要求,分阶段完成设备部署、协议适配、系统联调、稳定性测试与业务上线,总工期70天,上线后连续试运行180天,采集全维度运行数据用于稳定性评价与优化。

2 国产化智能巡检系统适配实施关键技术

2.1 数据采集与上传适配技术

巡检数据的高效、可靠采集与上传是系统稳定运行的基础。该项目采用“巡检卡+国产手持机”模式,每台设备或巡检点部署唯一标识的巡检卡(含二维码与NFC标签),巡检员通过手持机扫描或感应获取巡检任务与标准。手持机内置国产工业级处理器与多模通信芯片,支持5G、WAPI及有线冗余传输,确保在电厂复杂电磁与结构环境中通信稳定。针对原有进口系统数据格式不兼容问题,开发轻量级数据转换中间件,实现巡检记录、设备状态、缺陷照片等数据的标准化封装与实时上传,数据丢包率控制在0.5%以下,平均上传时延低于1秒。

2.2 硬件工况适配与环境加固技术

电厂高温、高湿、高粉尘、强电磁环境对手持设备的可靠性与使用寿命构成严峻挑战。本项目针对不同巡检区域开展设备定制化加固:锅炉、汽机等高温区域采用宽温型手持机,工作温度范围扩展至 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$,配备防眩光屏幕与高温防护壳;输煤、化水等粉尘潮湿区域采用IP65防护等级设备,加装防尘膜与防水胶圈,定期清洁维护,避免粉尘堆积影响触控与识别。在高压配电室等强电磁干扰区域,采用电磁屏蔽设计并通过EMC测试,保障设备在巡检过程中不出现死机、重启或数据失真。所有手持机均经过72小时连续高负荷操作测试与跌落、振动等环境适应性测试,故障率低于1.5%方可投入现场使用 [3]。

2.3 软件系统适配与后台分析优化技术

国产化软件系统基于麒麟操作系统与国产数据库构建,实现与电厂现有生产管理、工单、档案系统的无缝集成。手持终端APP采用模块化设计,支持离线任务下载、本地缓存、断点续传等功能,在网络不稳定环境下仍可正常巡检。后台数据分析平台采用微服务架构,集成数据清洗、模式识别、趋势分析、自动报表等服务,依据电厂《设备巡检标准》与《缺陷管理规定》自动生成巡检报告与工单,实现缺陷闭环管理。针对国产CPU算力特点,对分析算法进行轻量化与并行化优化,使数据处理效率提升2倍以上,缺陷识别准确率稳定在95.5%以上,误报率低于2.5%。

3 智能巡检系统稳定性评价方法与模型

3.1 核心稳定性评价指标选取

结合电力行业设备可靠性标准与人工辅助巡检特点,选取平均无故障时间(MTBF)、系统故障率、数据上传成功率、后台分析准确率、平均任务完成时间、单设备年维保成本六项核心指标,构建多维度稳定性评价体系。其中MTBF与故障率反映系统整体可靠性,数据上传成功率反映通信稳定性,分析准确率反映后台算法有效性,任务完成时间反映巡检效率,维保成本体现系

统经济性 [4]。

3.2 稳定性评价数学公式

3.2.1 平均无故障时间计算公式

平均无故障时间(MTBF)是衡量系统连续运行能力的核心指标,计算公式为:

$$MTBF = \frac{T_{total}}{N_f}$$

式中: T_{total} 为系统总运行时长(单位:小时), N_f 为统计周期内系统故障总次数。

3.2.2 综合稳定性指数计算公式

为量化评价国产化适配效果,构建综合稳定性指数 S , 涵盖硬件可靠性、软件兼容性、业务连续性三个维度:

$$S = \alpha \cdot S_h + \beta \cdot S_s + \gamma \cdot S_b$$

式中: S_h =MTBF实测/MTBF设计为硬件稳定性指数, S_s =兼容协议数/目标协议数为软件兼容性指数, S_b =1-系统故障率为业务连续性指数, α, β, γ 为权重系数,依据工程经验取 $\alpha=0.4, \beta=0.3, \gamma=0.3$ 。 S 取值范围为0~1,越接近1表明系统整体稳定性越好。

4 案例电厂适配前后稳定性测试数据与对比分析

4.1 关键性能指标对比数据

基于180天连续运行监测数据,得到该电厂国产化智能巡检系统适配前后核心指标对比结果,如表1所示。

表1 国产化适配前后智能巡检系统关键性能指标对比

评价指标	适配前(进口系统)	适配后(国产化系统)	提升/下降幅度
平均无故障时间 MTBF(h)	800	3200	+300.0%
系统故障率(%)	3.85	0.92	-76.1%
后台分析准确率(%)	87.5	95.6	+9.3%
平均任务完成时间(%)	42.8	27.3	-36.2%
数据上传失败率(%)	2.05	0.35	-82.9%
单台手持机年维保成本(万元)	3.5	1.4	-60.0%

4.2 指标变化与适配效果分析

从MTBF指标来看,适配后从800小时提升至3200小时,增幅达300%,表明国产化系统在硬件加固、通信优化、软件适配后连续运行能力显著提升。系统故障率下降至0.92%,主要得益于国产设备可靠性提升、通信冗余设计、软件容错机制增强。后台分析准确率提升至95.6%,源于算法优化与数据质量控制。任务完成时间缩短36.2%,反映出手持机操作流畅性与网络传输效率的改善。数据上传失败率大幅降低,体现5G+WAPI双模通信的稳定性。维保成本下降60.0%,显示出国产化设备在备件供应与维修服务方面的经济性优势。

4.3 综合稳定性指数计算结果

依据公式计算,适配前 $S=0.618$,适配后 $S=0.968$ 。国产化适配后系统综合稳定性指数显著提升,系统达到“高稳定”等级,完全满足电厂长期稳定运行要求 [5]。

5 结语

综上,基于巡检员、手持机与巡检卡的国产化智能巡检系统已具备在复杂电厂环境中稳定、高效运行的能力,有力支撑了电力系统自主可控战略的实施。未来应进一步强化人机协同流程优化、数据分析智能化升级,推动国产化巡检系统向更高效、更可靠方向发展。

[参考文献]

[1]洪诗论.电厂智能巡检系统中手持终端技术的应用研究[J].电力信息化,2025,23(2):45-48.
[2]邓磊.基于国产平台的电力巡检移动管理系统设计[J].

自动化技术与应用,2025(6):112-115.

[3]熊荣,卢远远,冯志华,等.工业移动终端在电厂环境中的适应性研究[J].中国电力,2025,58(9):203-207.

[4]张海滨,李杰,周同星.智慧电厂人工巡检数字化系统的开发与应用[J].电力系统装备,2025(18):156-159.

[5]吴亮,盛鹏飞,梁涛,等.电力巡检手持设备国产化替代与实践[J].现代电力,2025,42(4):88-92.

作者简介:

林河(1981-),男,汉族,海南省乐东县人,本科,现有职称:工程师,研究方向:电力智慧运维。