

动力与环境监测系统在雅万高铁项目中的应用实践

张磊

通号通信信息集团有限公司上海分公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17830

[摘要] 雅万高铁作为中国高铁全系统、全要素、全产业链海外落地的标杆项目,其运营安全与智能化水平直接关系到中国高铁海外品牌的影响力。动力与环境监测(以下简称“动环”)系统作为高铁机房及基础设施安全运行的主要支撑,在应对印尼高温高湿、地质复杂、自然灾害频发的极端条件,以及满足本地化运维需求、保障设备长期稳定运行中发挥关键作用。

[关键词] 雅万高铁; 动力与环境监测系统; 项目管理; 技术适配; 本地化运维; 中国标准出海
中图分类号: U238 **文献标识码:** A

Application Practice of Power and Environmental Monitoring Systems in the Jakarta–Bandung High–Speed Railway Project

Lei Zhang

CRSC Communication & Information Group Co., Ltd. Shanghai Branch

[Abstract] As a benchmark project for the overseas implementation of China's high-speed rail system in its entirety, including all elements and the entire industrial chain, the operational safety and intelligence level of the Jakarta–Bandung High–Speed Railway directly impact the influence of the Chinese high-speed rail brand abroad. The Power and Environmental Monitoring system, a key support for the safe operation of high-speed rail equipment rooms and infrastructure, plays a crucial role in addressing Indonesia's extreme conditions—such as high temperatures, high humidity, complex geology, and frequent natural disasters—and in meeting localized operation and maintenance requirements to ensure long-term stable equipment operation.

[Key words] Jakarta–Bandung High–speed Railway; Power and Environmental Monitoring System; Project Management; Technical Adaptation; Localized Operation and Maintenance; Going Global of Chinese Standards

引言

本文结合雅万高铁项目动环系统建设全流程实践,从需求分析、方案设计、实施落地到运维成效展开系统论述,重点聚焦项目管理过程中的技术适配优化、跨区域物流协同、本地化落地支撑及全周期风险管控四大核心策略,通过具体数据、案例验证方案可行性与成效。

1 项目背景与系统建设意义

1.1 项目概况

雅万高铁连接印度尼西亚雅加达与西爪哇省万隆,线路全长142.3公里,设计时速350公里,设4座车站、1个调度中心及1个动车所,总投资约73亿美元,是东南亚首条高速铁路,也是“一带一路”倡议与印尼“全球海洋支点”战略对接的标志性工程。项目2018年6月开工,2023年10月开通运营,将两地旅行时间从3.5小时压缩至40分钟,极大提升区域互联互通水平。

项目沿线自然环境复杂:地质上穿越多个地震液化层、火

山沉积土及软土地基,地震烈度达VIII度,面临滑坡、泥石流等灾害风险;气候属热带雨林气候,年平均气温25–27℃,相对湿度75%–90%,部分沿海区域存在高盐雾,“三高”环境对电气设备防护提出严苛要求;沿线地形起伏大,部分机房位于偏远区域,交通不便,给运维工作带来挑战^[1]。

1.2 系统建设必要性

雅万高铁全线设106个机房(通信机房68个、信号机房17个、信息机房21个),呈现“点多、线长、面广”分布特点,部分机房地处偏远,传统人工巡检模式存在显著短板:一是巡检效率低,全线路巡检需20人/天、周期3天,无法实现24小时全覆盖;二是响应速度慢,平均故障响应时间超8小时,易导致故障扩大;三是运维成本高,跨境人员调配、差旅等费用高昂。

此外,印尼本地运维人员对中国高铁技术标准、设备操作流程熟悉度有限,传统系统缺乏本地化适配,进一步影响运维效率,需要国内技术人员带领才能一步一步适应。因此,部署具备实时监控、智能预警、远程控制、本地化适配功能的动环系统,成为

解决运维痛点、保障高铁安全高效运营的必然选择,为雅万高铁全生命周期安全运行提供核心技术支撑。

2 系统总体设计与核心配置

2.1 设计原则

结合项目特点,动环系统建设遵循五大核心原则:

安全可靠原则:核心设备采用工业级设计,防护等级不低于IP67,可在-20℃-60℃、10%-95%相对湿度环境稳定运行;关键设备冗余设计,避免单点故障。

智能高效原则:构建“集中监控+分布式采集”架构,数据采集周期≤10秒,预警响应时间≤30秒,具备智能联动控制功能。

本地适配原则:软件支持中英双语切换,适配印尼运维人员操作习惯;设备支持DC48V±10%及AC100V-240V宽电压输入,应对电压波动。

绿色节能原则:通过智能群控算法优化空调运行,采用低功耗设备,降低系统能耗。

2.2 核心硬件配置

项目由通号通信信息集团提供全套设备及服务,硬件围绕“数据采集-传输-处理-联动控制”全链路设计:

监控主机:采用嵌入式PME-8048-1422/PME-8048-1421,搭载工业级处理器,防护等级IP67,具备EMC Level 3防电磁干扰能力。其中:PME-8048-1422为DC48V直流供电型,主要工作布防在沿线各类通信机房和信号机房;PME-8048-1421为AC220V交流供电型,主要布防沿线各类信息机房。

传感设备:部署1000余套传感器,含环境类(温湿度、水浸、二氧化碳传感器、压差传感器等)、安防类(门磁、红外人体感应、烟雾感应传感器、玻璃破碎传感器等)、控制类(灯控等),实现多维度全覆盖监测。

蓄电池监测系统:配套2V监测模块2016套、12V监测模块2608套及相关通信转换模块、直流电流传感器,测量精度高,支持全生命周期监测。

智能设备接口模块:800余通信端口支持与防雷配电箱、高频开关电源、精密空调、UPS、电源监测箱等设备对接,实现协同监控。

通信传输设备:利用高铁专用网络,通过站间互联,汇聚到归属信号楼,通过数据网进行与平台服务器互联互通,传输带宽≥100Mbps, latency≤20ms,确保数据传输稳定。

2.3 软件系统架构

软件采用“分层架构+模块化设计”,实现全流程闭环管理:

数据采集层:通过多协议适配模块实现设备数据采集与各种设备互通,保障数据实时完整。

数据传输层:采用加密传输协议,支持压缩与断点续传,主链路故障时自动切换备份链路。

数据处理层:边缘计算节点负责本地数据预处理,后端数据中心存储汇总分析,采用MySQL Cluster分布式数据库,支持≥2年数据存储,通过LSTM神经网络实现趋势分析与异常识别。

用户交互层:中英双语界面,操作流程简化,支持权限分级管理,适配印尼运维人员使用习惯^[2]。

3 项目实施与管理策略

3.1 项目团队以“目标导向、过程管控、风险前置、协同高效”为核心,构建全流程项目管理体系,应对多重挑战

设备防护升级:户外及核心设备采用强化防护,外壳喷涂防腐涂层,接口防水密封,电路板三防处理。

能耗适配优化:动环系统与精密空调、UPS、高频开关电源等设备协同优化,契合绿色运营需求。

电磁兼容适配:采用屏蔽电缆、接地防护等措施,通过EMC Level 3级测试,抵御强电磁干扰。

技术验证测试:国内建立模拟环境开展3个月可靠性测试,选取多个站点为试点机房现场测试,累计完成多轮技术迭代。

3.2 运输物流管理

针对7000余件、约10吨设备的跨境运输挑战,从运输、包装、管理三个方面制定专项方案:

运输方案优化:所有设备采取海运+陆运进行集中运输的方式统一集结、打包、发货、集港、报关等物流动作,海运(由通信信息集团负责人在国内仓库进行汇总项目所有物资,列单装箱,集港至青岛港,然后海运至至雅加达丹戎不碌港,15-20天,加上报关清关等时间约2个月的周期),紧急备件空运,陆运选择本地资质物流商,规避风险路段,非必须辅料采用本地化,降低运输成本。

设备包装防护:针对高温高湿、长途运输颠簸等问题,采用“三层防护包装”方案:内层采用防潮珍珠棉包裹设备,中层采用防震泡沫缓冲,外层采用密封木箱(内置干燥剂)包装;精密传感器、蓄电池监测模块等易损设备单独定制防震包装盒,确保运输过程中设备损坏率控制在0.5%以下。

3.3 设备分货配送与安装管理

分货配送:按机房建设进度,提前在库房将106个机房设备按站点分配完毕,将全线划分为4个区域,按“先核心后普通、先车站后沿线”顺序分批次配送,提前确认施工进度避免积压。

现场安装:制定标准化流程规范,成立联合安装团队,执行“三检制”,重点管控安装牢固性、线缆连接及防护措施,制定相应的应对措施,解决偏远机房交通、电力难题。

3.4 设备调试及系统测试

建立“三级测试”体系:

单机调试:检查设备通电、通信、数据采集准确性,传感器校准,接口通信测试,合格率100%。

全系统联调联试:整体联动测试,模拟多种故障场景,验证系统各项功能指标达标。

3.5 项目验收

采用“分阶段+整体”验收模式:

分阶段验收:含设备安装、单机调试、分系统测试、联调联试4个阶段,多方参与,整改闭环。

整体验收:涵盖系统功能、运行稳定性等多维度,3个月试运行MTBF≥99.9%,签署验收报告后移交。

本地化落地管理

构建“培训赋能+备件储备+协同运维”体系:

分层培训: 设计“理论+实操+考核”体系, 覆盖系统原理、操作、故障排查等内容。

备件储备: 动车所设本地化仓库, 储备800余件核心设备及易损部件, 覆盖80%以上常见故障, 信息化管理库存。

协同运维: 建立“中方技术支持+印尼本地运维”机制, 开通24小时服务热线, 远程协助解决复杂故障。

项目风险管控

识别四大类18项潜在风险, 建立评估矩阵:

物流风险(高): 优化包装、选择优质物流商, 部分通用耗材本地化采购。

进度风险(中): 明确交付协议、跟踪进度, 优化施工流程, 及时整改问题, 按期交付。成本风险(中): 签订固定价格合同, 优化物流与人力资源配置, 控制预算。

4 系统应用成效

雅万高铁动环系统自2023年10月投入运行以来, 经过24个月的实际验证, 在运维效率、安全保障、标准输出等方面取得显著成效, 为高铁安全高效运营提供了坚实支撑^[3]。

4.1 运维效率显著提升

动环系统实现了106个机房的“无人值守、远程管控”, 彻底改变了传统人工巡检模式:

4.1.1 巡检效率提升80%以上: 传统人工巡检全线路需20人/天, 周期3天, 而通过动环系统远程监控, 1名运维人员即可完成全线路机房实时监测, 巡检周期缩短至1小时内, 大幅降低了人力投入;

4.1.2 故障响应时间缩短75%: 系统平均预警响应时间30秒, 故障定位时间不超过10分钟, 运维人员可通过远程平台快速判断故障原因、制定维修方案, 平均故障修复时间从原来的8小时缩短至2小时以内;

4.1.3 运维成本大幅降低: 通过减少人工巡检频次、优化维修资源配置, 每年可节省人力成本、差旅费用等。

4.2 安全保障能力强化

动环系统通过多维度监测、智能预警与联动控制, 构建了机房安全防护闭环, 有效防范各类安全风险:

4.2.1 隐患预警成效显著: 运行24个月以来, 系统累计成功预警设备过热、电压异常、湿度超标、蓄电池性能衰减等安全隐患多起, 所有隐患均在萌芽状态得到妥善处理, 未引发设备故障或运行中断^[4];

4.2.2 物理安全防护有效: 与综合视频监控系统联动, 累计探测到人员非法闯入机房事件4起, 系统及时推送预警信息并联

动声光报警, 运维人员快速响应处置, 避免了设备被盗、破坏等风险;

4.2.3 动力供应稳定保障: 蓄电池监测系统精准监测蓄电池运行状态, 提前预警蓄电池性能衰减隐患8起, 通过及时更换维护, 确保机房动力供应零中断, 为雅万高铁累计安全运行565万余千米提供了核心支撑。

4.3 中国标准海外落地验证

技术标准: TB/T3554-2020等中国标准与印尼SNI标准对接融合, 验证兼容性与先进性;

模式推广: “技术适配-物流协同-本地化落地-风险管控”项目管理范式可复制;

品牌提升: 系统成效获印尼政府与业主认可, 成为中国高铁智能装备“走出去”的成功案例^[5]。

5 结论与展望

5.1 结论

雅万高铁动环系统项目通过精准需求分析、科学方案设计与高效项目管理, 实现了与印尼复杂环境及本地化需求的深度适配: 构建了海外复杂环境适配方案, 建立了全流程项目管理体系, 提升了运维效率与安全保障能力, 验证了中国高铁标准与建设模式的海外适配性, 为高端装备“走出去”积累经验。项目实践表明, 海外高铁动环系统建设需坚持“技术适配为核心、项目管理为保障、本地化落地为关键”原则。

5.2 展望

深化智能化运维: 融入大数据、人工智能、数字孪生技术, 构建机房数字孪生模型, 实现预测性维护;

优化本地化体系: 完善培训与备件储备, 开发印尼语专属平台, 探索区块链备件管理与本地企业合作运维。

未来, 系统将持续迭代升级, 为雅万高铁长期安全运行提供更强支撑, 为中国高铁智能装备海外落地提供成熟方案, 助力“一带一路”倡议高质量发展。

[参考文献]

[1]朱志成.雅万高铁自然灾害及异物侵限监测系统施工工艺研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(04):63-75.

[2]吴丽,李平,刘忠东,等.雅万高铁智能信息化方案研究[J].中国铁路,2023(12):112-118.

[3]王彦辰,王树杰.雅万高铁项目的中国标准本地化应用[J].铁路工程技术与经济,2025(10):45-50.

[4]李建华,张磊.海外高铁动环系统本地化适配技术研究[J].铁道标准设计,2024(06):145-150.

[5]张伟,李明.中老铁路动环系统项目管理实践[J].项目管理技术,2024(03):89-94.