

# Application of Intelligent Operation and Maintenance Technology in the Full Life Cycle Management of Communication Automation Equipment

Zhenhua Zhang

Shanxi Wanjiashai Yellow River Water Supply Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

## Abstract

With the exponential expansion of communication network scale and the complexity of its architecture, the traditional operation and maintenance paradigm has failed to meet the requirements for high reliability and efficiency of the full life cycle management of communication automation equipment. This paper focuses on the application practice of intelligent operation and maintenance technology in the entire process of planning, deployment, operation and decommissioning of communication automation equipment, relying on the integrated application of cutting-edge technologies such as big data analysis, machine learning algorithms and digital twin. It builds an intelligent operation and maintenance management system covering equipment health status assessment, fault early warning prediction, precise root cause localization and dynamic optimization of resources, and explains the specific implementation path and application effects of intelligent operation and maintenance technology. The measured data show that after the deployment of intelligent operation and maintenance technology, the accuracy of core network equipment fault prediction has been improved, the average fault handling time has been reduced, and the energy utilization efficiency of the equipment has been optimized. This research confirms that intelligent operation and maintenance technology is the core technical support for achieving lean management of communication automation equipment and ensuring the continuous and stable operation of communication networks.

## Keywords

Intelligent operation and maintenance; Communication equipment; Full life cycle management; Predictive maintenance

## 智能运维技术在通信自动化设备全生命周期管理中的应用

张振华

山西万家寨引黄水务集团有限公司, 中国·山西太原 030000

## 摘要

伴随通信网络规模扩容与架构复杂度的指数级攀升,传统运维范式已无法适配通信自动化设备高可靠性、高效率的全生命周期管控要求。本文聚焦智能运维技术在通信自动化设备规划、部署、运营及退网全流程管控中的应用实践,依托大数据分析、机器学习算法及数字孪生等前沿技术的融合应用,构建涵盖设备健康状态评估、故障预警预测、故障根因精准定位及资源动态优化的智能运维管控体系,阐释智能运维技术的具体落地路径与应用成效。实测数据表明,智能运维技术部署后,核心网设备故障预测精准度实现提升,平均故障处置时长实现缩减,设备能源利用效率实现优化。此次研究证实,智能运维技术是达成通信自动化设备精益化管控、保障通信网络持续稳定运行的核心技术支撑。

## 关键词

智能运维; 通信设备; 全生命周期管理; 预测性维护

## 1 智能运维技术体系概述

当前,实现现代通信网络的稳定运行大部分只是依赖于自动化通信设备,此项技术主要是通过基站设施、光传输设备、核心网元、数据中心服务器及动力环境监控系统等核心载体实现。其全生命周期的管控会贯穿规划设计、安装调试、运行监控、维护优化及退网回收等关键的流程。智能运维的目标是在于依托大数据、人工智能及自动化技术的深度

融合,从而实现运维数据的深度挖掘与智能化分析研判<sup>[1]</sup>,其核心技术架构包含数据采集与融合层、智能分析层、自动化行动层三层内容。

## 2 通信自动化设备全生命周期管理现状与挑战

当前通信运营商与大型互联网企业及水利、能源等关键基础设施行业在设备全生命周期管控环节均承受显著压力。水利行业内,布设于江、河、湖、库等水域的闸门启闭机、水文遥测站、泵站控制系统等自动化测控设备,长期面临野外工况恶劣、供电保障能力不足、通信链路稳定性欠佳、设备空间布设分散等行业性特殊挑战。传统人工巡检的运维模

【作者简介】张振华(1985-),男,中国山西左云人,本科,工程师,从事通信自动化研究。

式不仅存在运维成本高、作业效率偏低的问题，更无法实现对设备运行状态的实时感知与精准调控，进而造成设备故障的发现与处置环节存在显著滞后性，直接削弱了防洪调度、水资源优化配置等水利核心业务的运行可靠性。

### 2.1 规划设计阶段

在此阶段中，通过历史运维经验与静态化容量测算模型开展设备选型论证与容量规划设计，难以对未来业务扩张引致的非线性负载波动进行精准预判，极易造成初期建设投资冗余浪费或后期被迫实施高频次扩容改造<sup>[2]</sup>。水利自动化系统在规划与设计阶段，常对极端气象、突发水文情势等因素引发的设备负载骤升情形缺乏充分预判，致使部分核心监测与调控节点在汛期运行过程中陷入性能受限的瓶颈困境。

### 2.2 部署与调试阶段

设备加电启动、软件镜像部署、业务参数配置及系统联调测试全流程高度依赖人工操作模式，不仅作业效率长期处于低位，且人为失误诱发的故障风险居高不下。水利自动化设备的施工作业多布设于偏远野外场地，调试技术人员的现场往返调度存在显著不便，设备配置偏差、软硬件兼容性故障等问题往往需延迟数日方能被识别并完成处置，对整体工程的推进节奏造成严重阻滞。

### 2.3 运营与维护阶段

该阶段为全生命周期内存续周期最长、资源投入成本最高的关键环节，其面临的核心挑战集中体现于故障处置呈现显著被动响应特征性能管控模式呈现明显粗放化特征、资源调度机制呈静态固化特征、能耗管控体系存在明显缺位现象四个方面<sup>[3]</sup>。水利工程系统内，泵站非计划停机、闸门控制功能失效等设备故障问题，往往直至对供水保障、防洪安全造成实际影响时才被察觉，使得相关应急处置工作承受极大的响应压力。

### 2.4 退网与回收阶段

水利行业内部分自动化设备因缺乏精准的状态评估体系，普遍存在“故障失效后更换”或“固定周期强制更换”的粗放式资产管理问题，致使设备资产的整体利用效能处于较低水平。

## 3 智能运维在设备全生命周期管理中的核心应用

### 3.1 基于仿真的容量与风险评估

在前置阶段中，通过对数字孪生技术架构进行引入，进一步搭建高保真设备虚拟映射模型，通过对网络拓扑结构

与业务流量特征模型进行整合，进而开展多场景仿真推演。基于对未来多元业务增长场景的模拟分析，从而对设备容量承载压力、潜在性能瓶颈及故障诱发风险进行精准评估，以此为设备选型论证与网络架构优化设计提供量化决策依据。在水利工程领域，可搭建融合水文模型、设备物理模型及控制逻辑模型的数字孪生体系，针对不同来水工况下泵站、闸门等水工设备的运行负载状态与性能响应特征开展仿真模拟，以此实现设备选型方案与系统整体配置的科学化优化。

### 3.2 自动化部署与智能验收

基于智能运维平台内嵌的标准化配置模板与合规性校验规则，进而达成设备的无人工干预开局部署与配置策略自动化下发。针对水利领域的自动化测控设备，可研发适配性专用部署模板与标准化测试用例体系，实现设备的远程一键式部署与功能的全流程自动化校验，显著压缩设备现场调试的周期时长。

### 3.3 预测性维护与智能优化

#### 3.3.1 设备健康度综合评估与预测性维护

通过对多维度设备健康度评估模型进行搭建，对设备性能指标、告警事件、运行日志、业务负载等多源异构数据进行整合，依托 XGBoost、生存分析模型等机器学习算法，量化生成设备健康评分，同时精准预测设备剩余使用寿命、潜在故障发生概率及故障预判时间窗口。如表 1 所示为某数据中心针对使用年限超 3 年的服务器集群开展健康度评估及故障预测工作的结果抽样，表格数据为模拟数据，反映通用评估维度。水利设备健康状态评估工作，需重点聚焦振动、腐蚀、绝缘等可表征设备机械与电气运行状态的专属监测指标，针对性构建适配野外复杂工况的设备状态预测模型。

依托精准的预测分析结论，运维模式可实现从传统定期预防性维护向需求驱动型精准维护的转型，据此科学制定靶向性维护方案。

#### 3.3.2 故障智能诊断与根因定位

在告警触发或性能指标出现异常波动的场景下，依托知识图谱技术搭建“设备 - 链路 - 服务 - 应用”全链路关联拓扑图谱，融合时序异常检测算法模型，实现海量离散告警信息向根因设备或变更事件的快速收敛定位<sup>[4]</sup>。水利自动化系统的故障诱因往往涉及传感器、执行机构、通信链路、控制中心等多个技术环节，故障根因智能定位技术可对现场设备故障、通信链路中断、控制指令异常等故障类型实现快速甄别与精准判定。

表 1 服务器健康度评估与故障预测示例

设备序列号	CPU 老化指数	内存 ECC 错误率 (次 / 日)	硬盘 SMART 预警等级	历史告警 频次	健康度得分 (0-100)	未来 90 天内 故障概率	建议措施
SVR-2021-0017	0.85	5	中度	低	72	18%	加强监控, 准备备件
SVR-2021-0043	0.92	152	严重	高	41	65%	计划内更换
SVR-2021-0079	0.78	0	无	极低	94	2%	常规运维

### 3.3.3 资源弹性调度与能效优化

捕捉业务负载的周期性波动特征，依托强化学习算法动态调适设备运行参数，或实施跨设备负载调度，实现计算、存储资源的弹性调度与按需供给。在水利自动化应用场景下，可依托实时水情监测数据与调度指令要求，对泵站机组的启停组合方式及运行转速实施智能化动态调控，在保障提排水作业需求充分满足的基础上，达成系统运行能效的最优化目标。在能耗管控维度，处于数据中心场景下，借助人工智能算法实时研判IT负载水平、室外环境温度、冷却系统运行效率等多元参数，动态优化制冷系统的运行模式与策略。

## 4 S省级J运营商核心网设备智能运维实践案例详析

### 4.1 案例背景

S省J省级运营商于4G/5G融合核心网领域完成百台级虚拟化网元的分布式部署，所涉网元涵盖vMME、vPGW、vPCRF等关键类型，且全部承载于多套核心资源池的硬件架构上。此案例借鉴了S省A水利企业针对水雨情监测站、视频监控终端、闸门控制单元等通信自动化设备开展集中化智能运维管理的初步实践探索经验。现阶段该运营商在运维工作中面临一系列核心痛点，具体体现为故障根因定位效率低下、性能瓶颈的前瞻性预判能力匮乏、各核心资源池之间的负载分布态势失衡等问题。而该省A水利企业在运维环节同样存在显著难题，受设备品类繁杂、通信协议多样、布设区域分散等因素影响，其运维工作呈现出数据整合难度大、故障定位耗时长、预防性运维体系缺失等突出问题。

### 4.2 智能运维平台建设

该运营商联合设备厂商，共建核心网智能运维管控平台，核心功能模块部署包含全域数据采集模块、数字孪生建模模块、智能算法部署模块。全域数据采集方面，采集覆盖网元级性能指标包含每秒信令处理量、并发会话数、CPU/内存占用率等，虚拟基础设施层运行指标包含宿主机负载率、网络传输时延等，业务维度关键绩效指标包含终端附着成功率、网间切换成功率等，数据采集周期精准至分钟级。A水利企业的智能运维管理平台，需实现对各类传感监测数据、设备运行状态感知数据、控制指令执行日志数据与视频监控流媒体数据等多源信息的一体化整合。A水利智能运维平台需针对性研发适配时序水文数据解析与设备机械故障趋势预判的专属算法模型。

### 4.3 实施效果与量化数据

平台正式上线运行满一年后，斩获如下核心应用成效。故障管理效能显著提升，业务影响类重大故障预测精准度达87%，平均预警前置时长为4.5小时，告警收敛比、即原始告警总量与有效故障事件量比值达120:1，故障平均定位时长由原先2小时压缩至25分钟。资源利用效率实现优化，依托负载趋势预测与智能调度机制，资源池CPU平均利用率由24%提升至38%，借助削峰填谷动态调控策略，业务峰值时段资源过载风险降幅达70%。运维管理成本有效压降，非计划性紧急维护工单量降幅达55%，对应运维人力成本测算降幅约20%。集群能耗水平稳步下降，基于低负载时段物理服务器智能休眠与唤醒策略，目标集群整体能耗降幅约18%。依托水利企业的前期实践探索，经智能运维系统的落地应用，其核心遥测站点的监测数据完好率实现约15%的提升，设备平均故障修复时长则缩减约40%。

表2 智能运维平台应用前后关键指标对比

关键性能指标 (KPI)		应用前 (基准)	应用后	提升 / 降低幅度
通信网络核心指标	重大故障预测准确率	未系统实施	87%	-
	平均故障定位时间	约120分钟	约25分钟	降低约79%
	资源池CPU平均利用率	24%	38%	提升14个百分点
	计划外紧急维护工单数	月均40单	月均18单	减少55%
	相关设备集群能耗	基准值	基准值的82%	降低18%
水利自动化参考指标	关键遥测站点数据完好率	约82%	约94%	提升约12个百分点
	平均故障修复时间	约82%	基准值的60%	缩短约40%

## 5 结语

通信自动化设备全生命周期管理，正从凭靠人工经验的经验导向型技艺，演进为以数据与算法为核心驱动的量化决策型科学。智能运维技术凭借大数据分析 with 人工智能技术的深度耦合，为设备全生命周期管理各环节赋予智能化内核，智能运维技术的落地应用，可实现网络可靠性的显著提升、资源利用效率的优化配置、运维成本与能源消耗的双重压降，是通信行业迈向自动驾驶网络架构、践行可持续发展战略的核心技术路径。未来，伴随大模型等前沿技术的迭代升级，智能运维技术将朝着高阶认知智能与自主决策能力方

向持续演进，进而深度重塑通信自动化设备全生命周期管理模式。

### 参考文献

- [1] 周富龙. 电力通信网络智能运维故障诊断系统探讨[J]. 中国信息界, 2025, (09): 232-234.
- [2] 郑姣. 水利信息系统运维费支出标准建设研究[J]. 四川水利, 2024, 45(05): 164-166.
- [3] 彭蔚. 面向电力通信设备智能运维的知识图谱应用[J]. 无线互联科技, 2024, 21(23): 64-68.
- [4] 马宜东, 赵雨森. 水利行业构建一体化IT运维管理系统[J]. 网络安全和信息化, 2023, (07): 79-80.