

Research on informatization and intelligent management of electrical equipment operation and maintenance in natural gas stations

Chao Liu

Weinan operation area of Xi'an oil and gas transportation branch of Northwest Company of National Petroleum and natural gas pipeline network Group Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 710021, China

Abstract

under the background of national energy security and “double carbon” strategy, the operation and maintenance of electrical equipment in natural gas stations need to be transformed to informatization and intelligence. The traditional operation and maintenance mode has problems such as high manual dependence, scattered data and insufficient hidden danger identification, which has been difficult to meet the needs of group pipe network operation. Based on the practice of the National Petroleum and natural gas pipeline network group, this paper constructs the operation and maintenance mode of informatization intelligent integration, and proposes to form a closed-loop mechanism of “perception analysis decision execution” with the support of informatization platform, combined with intelligent perception, artificial intelligence diagnosis and predictive maintenance, digital twin simulation and other technologies. The research provides theoretical support and practical path for the digital upgrading of electrical equipment operation and maintenance of natural gas stations, and has practical significance for the construction of intelligent operation and maintenance system and energy security of energy enterprises.

Keywords

natural gas station; Electrical equipment; Operation and maintenance; Informatization; Intellectualization

天然气场站电气设备运行维护信息化与智能化管理研究

刘超

国家石油天然气管网集团有限公司西北公司西安输油气分公司渭南作业区, 中国·陕西 渭南 710021

摘要

在国家能源安全与“双碳”战略背景下,天然气场站电气设备的运行维护亟需向信息化与智能化转型。传统运维模式存在人工依赖度高、数据分散及隐患识别不足等问题,已难以满足集团化管网运营需求。本文基于国家石油天然气管网集团实践,构建了信息化—智能化融合的运维模式,提出以信息化平台为支撑,结合智能感知、人工智能诊断与预测性维护、数字孪生仿真等技术,形成“感知—分析—决策—执行”的闭环机制。研究为天然气场站电气设备运维的数字化升级提供了理论支撑与实践路径,对能源企业智能运维体系建设和能源安全保障具有现实意义。

关键词

天然气场站; 电气设备; 运行维护; 信息化; 智能化

1 引言

在能源结构转型与“碳达峰、碳中和”战略背景下,天然气已成为我国构建清洁低碳能源体系的重要支撑。天然气场站作为输配系统的关键节点,其电气设备运行的安全性与可靠性直接关系到国家能源安全与管网稳定。当前,传统的人工巡检与定期检修模式难以满足多站点、长距离、

高负荷的现代化运行需求,亟需引入信息化、智能化技术,实现运行状态的实时感知、隐患的提前识别与运维决策的科学化。

2 天然气场站电气设备运行维护现状与问题诊断

2.1 传统运维模式的局限性

天然气场站电气系统是输气过程连续性与安全性的基础,其运行维护水平直接决定能源输送体系的可靠性与效率。在多数场站中,电气设备运维仍依托“人工巡检—定期检修—事后处置”的线性模式。这一体系在早期条件下具有一定可行性,但在当前高负荷、连续运行和多场站远程管理

【作者简介】刘超(1988-),男,中国陕西西安人,本科,电工技师,从事天然气场站110kV变电所运行维护,防爆电气技术应用与维护研究。

的背景下,其内在缺陷日益突出。人工巡检依赖经验判断和目视识别,信息采集存在间歇性与滞后性,无法形成设备运行状态的连续记录。当局部故障处于隐蔽演化阶段时,往往因数据缺失而未能被识别,从而导致风险积累与延迟响应^[1]。运维数据的割裂亦是制约管理效能的重要因素。场站内DCS、SCADA、电能质量监测及防爆控制系统等多套子系统并行运行,缺乏统一的通信标准与数据接口,形成典型的信息孤岛结构。多套系统并行运行而缺乏统一接口,形成信息孤岛,数据难以关联分析,维护决策仍停留在经验层面。

隐患识别与风险响应能力的不足,是传统体系中最具潜在威胁的问题。由于监测手段以离线检测为主,缺乏对电流波动、温升变化、局部放电信号等细微征兆的连续分析,系统难以在早期阶段完成异常识别。故障判断依赖人工经验,响应过程滞后且随机性强,无法形成基于数据证据的量化决策。综观当前运维模式,其根本短板在于感知能力有限、数据链条断裂与决策逻辑滞后,难以支撑现代化天然气管网对高可靠性、高安全性和低人力依赖的系统需求。

2.2 设备运行环境与安全风险特征

天然气场站电气系统的运行环境复杂而高风险,具有高压、高湿、防爆及高温等多重耦合特征。设备普遍处于封闭或半封闭空间内,通风条件受限,热量难以有效散逸,局部温升成为影响设备寿命与安全的关键因素。在此运行背景下,传统检测手段的局限尤为明显。常规测温、测振或人工巡检只能获取表面特征参数,无法对内部状态进行精准判断。当设备内部发生局部放电、接触电阻升高或绕组松动等早期故障征兆时,传统手段往往无法及时识别。部分防爆区域设备因操作安全限制,检测频次较低,信息滞后严重,形成监测盲区。电气设备一旦发生故障,不仅影响局部供电稳定,还可能引发压缩机停机、自动联锁误动作及燃气压力波动等连锁效应,对输气过程安全造成系统性威胁。尤其是在高压带电条件下,绝缘击穿或弧光放电极易引发爆燃事故,其后果远超设备本身的经济损失。

3 电气设备运维的信息化与智能化融合模式构建

3.1 技术体系架构与逻辑框架

信息化与智能化融合体系由感知层、传输层、数据层、智能分析层和决策执行层构成,形成从数据获取到维护指令反馈的完整链条。感知层通过布设多源传感网络,对电流、电压、温度、振动、局部放电等运行参数进行实时采集,并借助边缘计算实现初步数据筛选与特征提取,提升现场数据处理效率^[2-3]。传输层利用工业以太网与5G通信技术,构建高速、低延迟的专用数据通道,确保多场站信息实时汇聚。

数据层是体系的核心支撑,数据层整合DCS、SCADA及能效监测系统,建立统一数据模型,实现多源数据的集中与一致管理。平台内设数据清洗与语义映射机制,保证信

息的一致性与可追溯性。智能分析层基于机器学习与知识图谱技术,建立设备健康评估与故障预测模型,利用历史数据与实时数据交叉分析,实现设备运行状态的动态识别与趋势判断。决策执行层将智能分析结果转化为维护计划和操作指令,形成“数据驱动—智能决策—闭环执行”的运维结构,实现由经验判断向算法决策的转变。该架构的核心在于通过纵向贯通数据流、横向融合业务流,构建“多源感知—集中分析—自适应控制”的智能管理体系,从而实现设备运行的状态可知、健康可评、风险可控与维护可预。

3.2 智能化关键技术与功能集成

融合体系的建设依托人工智能、大数据、数字孪生与云边协同等关键技术。智能感知技术通过多参数传感与边缘计算实现运行数据的高精度采集与本地处理,使系统能够即时识别异常变化。人工智能算法在此基础上进行模式识别与性能预测,利用神经网络与贝叶斯算法识别故障类型并预测趋势。数字孪生技术在虚拟空间中重构设备模型,实现物理实体与数字模型的同步更新。系统可在仿真环境中验证控制策略与检修方案,对不同工况下的运行行为进行预测与评估,减少现场试错风险。信息化平台则将监测、分析与管理模块集成于统一系统,实现运行数据的实时可视化与多角色协同。通过GIS与三维建模技术,运维人员可在数字界面中精准定位设备状态并制定维护计划,显著提高管理透明度与决策效率。云边协同技术的引入,使数据处理兼具分布式灵活性,又保持集中化优化能力。边缘节点负责现场计算与即时响应,云端平台承担算法训练与模型迭代,从而实现“局部智能—全局优化”的并行体系。

4 应用成效评估与发展对策

4.1 信息化与智能化融合体系的运行成效评估

信息化与智能化融合体系的应用首先在运行感知、运维规范和风险防控三个维度上取得显著进展。运行感知能力的增强,使设备状态监测从离散采集向连续感知转变,形成了全时段、全区域的数据监控体系。通过多源传感网络与边缘计算节点的构建,电流、电压、温度、振动、局部放电等关键参数得以实时采集与上传,构成了覆盖全设备生命周期的感知网络。这一变化突破了传统人工巡检的时空限制,使设备状态从“被动可视”向“主动可判”演化,为健康评估与隐患预警提供了基础数据支撑^[4]。而体系的运维管理环节逐步实现标准化与数据化。通过信息化平台的集成应用,巡检计划、工单调度、物资调配与检修记录得以统一管理。平台以数据驱动为核心,实现了计划编制、执行反馈与任务闭环的动态追踪,使管理决策建立在可量化的指标基础之上。数据的集中与共享进一步促进了部门间的协同,改变了以往“多系统割裂、信息孤岛”的状况,实现了“监测—分析—决策”的一体化运行管理模式。

风险防控机制的主动化是体系运行的另一突出特征。

传统的“事后检修”模式被“事前预警”与“过程防控”所取代。系统通过智能算法对运行数据进行趋势分析与异常识别，能够在设备状态偏离正常阈值时发出预警信号。数字孪生技术的引入，使虚拟模型与实际设备保持动态映射，运维人员可通过虚拟环境进行仿真推演，预测潜在风险并验证不同维护策略的有效性，从而实现风险识别的前置化与干预措施的最优化。可见体系运行后形成了以“运行感知增强—运维管理规范—风险防控主动化”为核心的多维协同格局（如图1所示）。

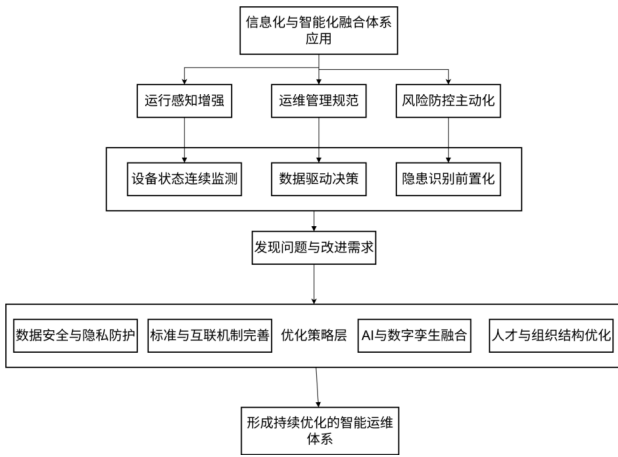


图1 天然气场站智能运维体系评估与优化逻辑图

4.2 优化路径与持续发展对策

在体系运行过程中，信息化与智能化融合虽然取得了显著成效，但实践中“发现问题与改进需求”部分所示，系统仍面临若干制约因素，如数据标准不统一、信息安全防护不足、算法模型融合深度有限以及组织结构适应性不强。为实现体系的持续优化，应从三个层面构建长效发展路径。其一，应强化数据安全与隐私保护机制。运行数据是智能运维体系的核心资产，其安全性直接关系到场站生产系统的稳定。应在数据采集、传输、存储和调用的全过程建立防护体系，通过多级权限管理、动态加密及可信存证技术，确保数

据不被篡改与泄露。其二，应完善数据标准体系与互联机制。现有系统在数据格式、接口协议与命名规则方面差异较大，制约了跨平台数据的整合。应在集团层面制定统一的数据接口标准与信息模型，建立涵盖场站、区域与集团三级的数据管理体系，实现纵向集中与横向协同。其三，应推动人工智能与数字孪生的深度融合。数字孪生模型可实现设备的虚实映射与动态仿真，而人工智能算法则能在此基础上实现模式识别与性能预测。二者的深度结合将使系统具备自主学习与自适应能力，实现从“状态监测”向“认知决策”的跃升^[5]。通过不断训练模型、优化算法与反馈机制，可形成具备进化能力的智能运维体系。在上述多维优化策略的支撑下，信息化与智能化融合体系将实现由阶段性成果向持续优化的转变。

5 结论

天然气场站电气设备运行维护的信息化与智能化转型，是提升能源装备可靠性与实现“双碳”战略目标的重要路径。研究表明，基于“感知—分析—决策—执行”的闭环体系，能够有效实现设备状态的精准感知、故障趋势的预测与维护资源的最优配置，推动运维管理从经验驱动向数据驱动转变。

参考文献

- [1] 刘力虎,鲁放,李洪全. 天然气长输管道场站电气设备安全运行[J]. 中国化工贸易,2024,16(1):102-104.
- [2] 纪刚,臧露阳,肖永强,等. 天然气长输管道场站电气设备安全运行探究[J]. 中国化工贸易,2024(6):118-120.
- [3] 马慧峰,詹华英. 天然气长输管道场站电气设备安全运行探究[J]. 中国化工贸易,2022(34):82-84.
- [4] 张勇,谭晓伟,韦鑫. 天然气输气场站竣工防爆电气设备验收常见问题与防范措施研究[J]. 电气防爆,2025(2):37-39.
- [5] 张勇. 老旧天然气场站防爆电气设备常见问题与解决措施研究[J]. 电气防爆,2024(2):44-46.