

# 工业管道与电力安装工程的数字化运维管理平台设计与实现

娄宜宽

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

**摘要:** 工业管道与电力安装工程作为工业生产和城市运行的核心基础设施,其运维至关重要。本文针对两者运维需求,设计了数字化运维管理平台。采用“云-边-端”架构,选型适配关键技术,规划数据流程。核心功能模块涵盖设备状态监测、智能诊断与预测、运维任务管理、可视化与决策支持等。该平台可提升运维标准化与高效性,推动工业领域高质量发展,保障能源安全。

**关键词:** 工业管道; 电力安装工程; 数字化运维

引言: 在工业4.0与新型电力系统建设背景下,工业管道与电力安装工程运维正从“事后维修”向“预防性、预测性维护”转型。作为工业生产和城市运行的关键基础设施,其稳定运维关乎生产安全、经济效益与社会民生。然而,传统运维面临诸多难题,难以满足当下需求。因此,设计并实现数字化运维管理平台,成为提升运维水平、保障基础设施稳定运行的迫切需要。

## 1 工业管道与电力工程运维的重要性

工业管道与电力工程作为工业生产、城市运行的核心基础设施,其稳定运维直接关系到生产安全、经济效益与社会民生。工业管道承担着流体输送、能源传输等关键任务,广泛应用于石油化工、冶金、市政供水等领域,一旦发生泄漏、堵塞或腐蚀失效,可能引发火灾、环境污染、生产中断等重大安全事故,造成巨额经济损失;电力工程作为能源供给的核心载体,涵盖发电、输电、配电等全链条设施,其运维质量直接决定电力供应的稳定性与可靠性,停电事故不仅会导致工业生产线停滞、商业活动瘫痪,还会影响居民日常生活、医疗救援等关键场景,甚至引发区域性公共安全问题。从长期发展视角来看,科学高效的运维工作能够延长设备使用寿命、降低全生命周期成本,减少非计划停机时间,提升生产运营的连续性与稳定性;合规的运维管理是满足行业安全标准、环保要求与政策法规的基本前提,有助于企业规避监管风险、树立良好的行业形象<sup>[1]</sup>。在当前工业4.0与新型电力系统建设的背景下,运维工作已从传统的“事后维修”向“预防性维护”“预测性维护”转型,成为推动工业领域高质量发展、保障能源安全的重要支撑,其战略重要性愈发凸显。

## 2 工业管道与电力工程运维需求分析

### 2.1 工业管道运维核心需求

工业管道运维核心需求聚焦安全、性能与风险三方面。安全上,要实时监测压力、温度、泄漏等关键参数,针对复杂工况建立精准泄漏预警,防止安全事故。设备健康管理方面,管道长期运行易出现腐蚀、疲劳损伤等问题,需定期检测评估,制定维修保养计划以延长寿命。合规性与应急处置也不可或缺,要满足安全规范与环保标准,建立运维档案,针对突发状况制定应急方案。随着管道网络复杂度提升,对运维高效性、精准性要求更高,需借助数字化手段,解决传统人工巡检效率低、故障定位难的问题,提升运维水平。

### 2.2 电力安装工程运维核心需求

电力安装工程运维以保障系统安全稳定、提升供电可靠性为目标,形成多维度需求。一是设备状态实时监控,持续监测关键设备运行参数,及时发现潜在故障,避免供电中断。二是故障快速诊断与抢修,电力系统故障突发且影响大,需快速定位分析,缩短抢修时间,尤其提升配电网末端故障诊断精准度。三是预防性维护与寿命管理,通过数据分析评估设备状态,预测寿命,制定科学维护计划。四是合规性与智能化管理,符合行业规程标准,建立设备台账,利用智能化手段整合分析数据,实现运维流程自动化,适应新业态需求。

### 2.3 共性需求与挑战

工业管道与电力工程运维有共性需求与挑战。共性需求上,均以“安全优先”,建立风险防控与应急机制;强调设备全生命周期管理,降低成本;满足合规性,应对监管;需数字化、智能化转型,解决传统运维问题。共性挑战有:设备分布广、环境复杂,人工巡检难且成本高;数据整合分析难,难以发挥价值;故障预测精准度不足,易

出现过度或维护不足；运维资源优化配置困难，资源分配缺乏数据支撑；另外，行业专业运维人才短缺、老旧设备改造难度大等问题，也制约着两者运维水平的提升<sup>[2]</sup>。

### 3 工业管道与电力工程的数字化运维管理平台总体设计

#### 3.1 平台架构设计

数字化运维管理平台采用“云-边-端”三级架构设计，实现数据采集、传输、处理与应用的全流程覆盖，确保平台的稳定性、扩展性与实时性。边缘层作为数据采集终端，部署在工业管道与电力设备现场，包括传感器（压力、温度、泄漏、电压、电流等）、巡检终端（手持PDA、无人机、机器人）、视频监控设备等，负责实时采集设备运行参数、环境数据与现场图像信息，同时具备边缘计算能力，可对原始数据进行预处理（过滤、清洗、压缩），减少数据传输压力；网络传输层采用5G、LoRa、光纤等多种通信技术，构建稳定可靠的传输网络，根据数据优先级实现差异化传输，确保关键故障数据的实时上传，同时支持离线缓存功能，避免网络中断导致的数据丢失；云平台层作为核心处理中心，采用微服务架构，划分为数据存储、数据处理、业务应用等子模块，通过分布式数据库存储海量结构化与非结构化数据，利用大数据处理引擎实现数据整合、分析与挖掘；应用层面向不同用户（运维人员、管理人员、决策人员）提供个性化功能模块，支持Web端、移动端等多终端访问，确保运维工作的便捷性与高效性。平台架构遵循模块化、可扩展原则，可根据业务需求灵活增减功能模块，适配不同规模企业与不同类型基础设施的运维需求。

#### 3.2 关键技术选型

平台关键技术选型围绕数据全流程，结合工业管道与电力工程运维特点，选适配性强的方案。数据采集上，用物联网技术实时采集设备状态参数，搭配高精度传感器提升精度，针对移动巡检场景，选用无人机、机器人巡检技术，结合机器视觉自动识别设备缺陷。数据传输采用5G+边缘计算融合方案，5G保障高带宽、低时延传输，边缘计算实现本地预处理，减轻云端压力，还兼容LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术，满足户外偏远地区传输需求。数据存储与处理选用分布式存储架构，如Hadoop、MongoDB，满足海量结构化与非结构化数据存储，搭配Spark、Flink等大数据处理框架，实现实时流处理与批处理。数据分析与智能诊断采用机器学习与深度学习算法，构建故障诊断与寿命预测模型，引入数字孪生技术，实现设备状态可视化模拟与故障模拟分析。平台开发采用前后端分离架构，前端用Vue.js等构建可视化

界面，后端用SpringBoot等微服务框架，集成区块链技术保障运维数据安全。

#### 3.3 数据流程设计

平台数据流程按“采集-传输-处理-分析-应用-反馈”闭环设计，保障数据高效流转与价值转化。数据采集时，边缘层设备按预设频率采集工业管道的压力、温度等参数，以及电力设备的电压、电流等数据，巡检终端采集设备外观缺陷图像、记录等信息，视频监控设备录制现场视频。原始数据经终端预处理，如过滤异常值、压缩后存本地缓存<sup>[3]</sup>。数据传输阶段，预处理数据按优先级上传云平台。关键故障数据用5G实时传，非关键数据批量定时上传，网络中断时离线缓存，恢复后自动补传，保证数据完整。数据处理环节，云平台先清洗数据（去噪声、补缺失值），再标准化（统一格式与单位）、融合多源异构数据，存入分布式数据库并建索引。数据分析时，大数据引擎与智能算法模型深度剖析数据，进行设备状态评估、故障识别等，生成健康报告、预警信息与维护建议。数据应用阶段，分析结果推送至功能模块，为运维任务等提供支撑，并通过可视化界面展示。反馈阶段，用户提交运维执行结果等信息，作为模型优化输入，持续提升算法精准度与平台适配性，形成数据闭环优化。

### 4 平台核心功能模块设计与实现

#### 4.1 设备状态监测模块

设备状态监测模块是平台基础核心，能全面感知与实时监控工业管道和电力设备运行状态。该模块支持多类型设备接入，兼容不同品牌、型号的传感器等设备，通过标准化接口统一采集数据，涵盖工业管道的压力、温度等关键参数，以及电力设备的电压、绝缘电阻等运行指标。它具备数据实时展示功能，以仪表盘等形式直观呈现，支持单设备多参数与多设备集中监测，用户可自定义监测指标和更新频率。同时提供异常数据预警，用户设置安全阈值后，数据超限或异常波动时会通过多种方式实时报警，并关联设备基础信息等辅助用户掌握情况。模块支持历史数据查询与趋势分析，用户可按时间维度查询，以多种可视化形式展示趋势，为设备评估和维护计划提供数据支撑。模块采用高并发处理技术，保障海量数据实时采集与稳定传输，还有数据备份与恢复功能，确保监测数据安全完整。

#### 4.2 智能诊断与预测模块

智能诊断与预测模块基于大数据与人工智能技术，实现设备故障的精准诊断与潜在风险的提前预判，是平台智能化水平的核心体现。模块内置多类型设备的故障诊断模型，通过对设备运行数据、历史故障记录、维护记

录等多源数据的深度挖掘,结合机器学习算法(如支持向量机、神经网络),自动识别工业管道的腐蚀泄漏、焊缝开裂、堵塞等故障类型,以及电力设备的绝缘老化、部件磨损、电路故障等问题,并精准定位故障位置,分析故障产生的原因(如环境因素、运行负荷、维护不当等),生成详细的故障诊断报告,提出针对性的维修建议(如更换部件、局部修复、停机检修等)。同时模块具备设备寿命预测功能,基于设备运行年限、运行参数、故障历史等数据,通过寿命预测算法(如LSTM、Weibull分布模型)构建设备剩余寿命评估模型,动态预测设备的剩余使用寿命,为预防性维护提供科学依据,避免设备“带病运行”或“过度维护”。另外,模块支持故障模拟与趋势预警功能,通过数字孪生技术模拟设备故障演化过程,直观展示故障对设备运行的影响,同时根据数据变化趋势提前预警潜在风险(如管道腐蚀速率加快、电力设备温度持续升高等),帮助用户提前采取防控措施。

#### 4.3 运维任务管理模块

运维任务管理模块聚焦运维全流程,实现任务自动化分配、执行跟踪与闭环管理,提升运维标准化与高效性。模块支持多种任务创建方式,既能依据智能诊断模块的故障预警、设备寿命预测结果自动生成维修任务,也允许用户手动创建定期巡检等任务。创建时需明确任务类型、执行时间、责任人员等信息,并关联设备与历史运维记录。它具备智能任务分配功能,基于运维人员技能、负荷、位置等因素,通过算法自动分配任务,也支持人工调整,确保分配合理高效。任务执行中,运维人员通过移动端APP接收通知、查看详情并上传现场信息;管理人员可实时跟踪进度,对逾期任务提醒督办。模块支持运维档案自动生成,任务完成后自动整理归档执行情况等信息,形成完整档案。此外,还能按时间、区域等维度统计任务完成率等指标,为运维资源优化与人员绩效评估提供数据支撑。

#### 4.4 可视化与决策支持模块

可视化与决策支持模块通过直观的可视化展示与深度的数据挖掘分析,为管理人员提供全面的运维状态视图与科学的决策依据。模块采用数字孪生与三维可视化技

术,构建工业管道网络与电力系统的三维仿真模型,精准还原设备布局、管道走向、线路连接等物理场景,实时映射设备运行状态(正常、预警、故障),支持模型缩放、旋转、漫游等操作,用户可通过点击模型中的设备查看详细运行参数、历史数据、运维记录等信息,实现设备状态的可视化监控与全局掌控<sup>[4]</sup>。模块提供多维度数据可视化分析功能,通过仪表盘、趋势图、热力图、统计报表等形式,展示设备运行指标、故障分布、运维任务完成情况、资源使用效率等关键数据,支持用户自定义分析维度与展示形式,帮助用户快速把握运维工作重点与存在的问题。决策支持功能基于大数据分析结果,为用户提供多场景决策建议,如针对设备老化趋势提出最优更新改造方案,根据故障分布规律建议优化运维资源配置,结合运行负荷数据制定合理的设备调度策略等。模块支持应急预案可视化功能,针对管道泄漏、设备故障等突发情况,展示应急处置流程、人员分工、物资调配、疏散路线等信息,辅助管理人员快速制定应急方案并组织实施。模块具备权限管理功能,根据用户角色分配不同的查看与操作权限,确保数据安全与管理规范。

#### 结束语

本文设计的工业管道与电力安装工程数字化运维管理平台,通过合理架构、关键技术选型与数据流程规划,以及核心功能模块的实现,有效解决传统运维的难题。该平台提升了运维的标准化、高效性与智能化水平,为工业领域和能源供应的稳定发展提供有力支撑。未来,随着技术进步,平台将不断优化升级,更好地适应行业发展需求。

#### 参考文献

- [1]雷建联.石油化工工艺管道安装工程施工管理中的常见问题研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(1):75-77.
- [2]史亚鹏.工业设备高压管道安装存在的质量缺陷及处理措施探讨[J].建筑·建材·装饰,2022(19):142-144.
- [3]冯海波.压力管道安装焊接质量控制探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(21):12-13.
- [4]张玉.工业管道安装过程中的焊接缺陷及预防措施[J].建材发展导向,2024,22(06):106-108.