

基于物联网技术的特种设备检验检测系统分析

张秀旺 阿布杜外力·艾尼

喀什地区特种设备检验检测所 新疆 喀什 844000

摘要:为突破传统特种设备检验检测模式局限,提升安全监管效能,本文围绕物联网技术在特种设备检验检测中的应用展开分析。探讨了物联网技术与特种设备安全监管需求的适配性,阐述了感知层多源异构传感器融合、边缘计算等关键技术,深入研究数据传输架构、大数据平台、故障预测模型及风险评估体系的构建,最后提出了技术标准与检测规范协同发展路径。研究表明,物联网技术可推动检验检测向实时化、精准化转型,为特种设备安全管控提供可靠技术支撑,具有重要实践价值。

关键词:物联网技术;特种设备;检验检测系统;

引言:特种设备安全运行直接关系人身与财产安全,传统检验检测模式存在监测不连续、数据滞后、效率低下等问题,难以适配新时期安全监管的高质量要求。物联网技术凭借泛在感知、实时互联等核心特性,为特种设备检验检测升级提供了可行路径。本文立足特种设备检验检测实践需求,系统分析物联网技术的适配性与关键应用,构建基于物联网的检验检测核心技术体系,探索标准与规范协同发展路径,旨在为提升特种设备安全监管水平提供理论与技术参考。

1 物联网技术在特种设备检验检测中的适配性分析

1.1 物联网技术特征与特种设备安全监管需求的契合点

物联网技术具备泛在感知、实时互联、智能分析及可靠追溯的核心特征,与特种设备安全监管的核心需求形成高度契合。特种设备安全监管以全周期风险管控为目标,要求实现对设备运行状态的持续监测、隐患的及时预警及监管数据的可追溯管理。物联网的泛在感知能力可突破空间与时间限制,满足对特种设备关键运行参数的全面采集需求;实时互联特征能够保障监测数据的即时传输,契合监管工作对隐患处置的时效性要求;智能分析功能可实现对海量监测数据的深度挖掘,精准识别潜在风险,匹配监管工作对风险预判的精准性需求;可靠追溯特性则能构建完整的设备运行与检测数据链条,为监管核查、责任认定提供数据支撑,全面贴合特种设备安全监管的全流程管控诉求。

1.2 传统检测模式的局限性及物联网技术的突破价值

传统特种设备检验检测模式存在显著局限性,主要体现在监测不连续、数据滞后、效率低下及数据整合能力薄弱,难以适配新时期特种设备安全监管的高质量要求。该模式下的检测多依赖周期性人工现场操作,无法

实现对设备运行状态的实时掌握,易导致隐患漏判或处置延迟,且分散的检测数据难以形成系统的风险研判依据。物联网技术的应用可实现对传统模式的精准突破,其持续监测能力弥补了传统周期性检测的不连续性短板,实时数据传输解决了检测数据滞后问题;自动化数据采集与分析大幅提升了检测效率,降低了人工干预带来的误差;同时,物联网技术可实现多源检测数据的集中整合与共享,构建全周期数据链条,为风险预判、精准监管提供技术支撑,推动特种设备检验检测从“事后处置”向“事前预警”“主动防控”转型,凸显其核心突破价值^[1]。

2 特种设备物联网感知层关键技术

2.1 多源异构传感器融合部署策略

多源异构传感器融合部署是特种设备物联网感知层稳定运行的核心技术支撑,其核心在于通过科学的传感器选型、布局规划与数据协同机制,实现对特种设备运行状态的全面精准感知。在传感器选型环节,需基于特种设备核心运行参数与安全监测指标,匹配不同类型传感器的技术特性,构建涵盖力学、热力学、电学等多维度的感知体系,同时兼顾传感器的环境适应性与数据传输兼容性,确保在复杂工业环境下的稳定采集。布局规划层面,采用分布式与重点区域聚焦相结合的部署逻辑,针对设备关键受力点、易损耗部位及风险高发区域优化传感器布设密度,通过空间拓扑优化减少感知盲区,同时规避传感器信号干扰问题。数据融合机制通过标准化接口实现异构传感器数据的格式统一与时序对齐,采用数据级融合算法消除冗余信息、修正采集误差,提升感知数据的一致性与可靠性,为后续数据处理环节提供高质量数据源。整个部署过程需统筹感知覆盖全面性、数据采集精准性与系统运行稳定性,形成适配

特种设备运行特性的感知体系。同时要配套建立传感器定期校准与维护机制,结合运行环境动态调整校准周期,保障感知设备长期稳定工况,进一步夯实感知层数据采集的可靠性基础。

2.2 边缘计算在设备状态实时监测中的应用设计

边缘计算在特种设备物联网感知层的应用,核心是通过在感知终端就近部署边缘节点,实现对监测数据的实时处理与本地决策,突破传统云端集中处理模式的延迟瓶颈。应用设计主要涵盖边缘节点部署架构、数据处理流程优化与资源调度机制三大核心环节。在部署架构上,采用“感知终端-边缘节点-云端平台”的三级架构,边缘节点就近接入各区域传感器终端,形成分布式处理单元,降低数据传输距离与网络带宽占用。数据处理流程采用分层过滤机制,先通过边缘节点对原始采集数据进行预处理,筛选剔除无效数据与异常干扰信号,再对关键数据进行实时分析与特征提取,实现对设备异常状态的即时判断。资源调度机制基于特种设备运行工况的动态变化,自适应分配边缘节点的计算资源,优先保障核心监测指标的数据处理优先级,同时构建边缘节点与云端平台的协同机制,实现本地决策与远程管控的有机衔接。该技术设计通过将部分数据处理任务下沉至感知层边缘端,大幅提升数据处理时效,保障设备状态监测的实时性,同时降低云端平台的数据处理压力,提升整个物联网系统的运行效率与可靠性^[2]。

3 物联网驱动的特种设备检验检测核心技术与体系构建

3.1 基于低功耗广域网的特种设备数据传输架构

基于低功耗广域网的特种设备数据传输架构,核心是结合特种设备分布广、运行环境复杂及低功耗需求,构建稳定高效低成本的传输链路,实现感知层数据向平台层精准流转。具体设计如下:(1)架构层级设计。采用“感知终端-低功耗广域网网关-核心网络-平台接入层”四级架构,感知终端与网关通过低功耗广域网协议交互,网关承担汇聚、格式转换及协议适配功能,核心网络采用公网与专网结合保障稳定,平台接入层通过标准化接口实现与大数据平台无缝对接,形成全链路传输闭环。(2)协议选型适配。采用多协议融合策略,户外远距离低数据量场景优先选LoRa协议,依托长距离、强抗干扰特性保障传输;城市密集部署场景选用NB-IoT协议,借助运营商基站覆盖降本;工业厂区内部搭配ZigBee协议实现短距离高可靠局部传输,通过协议互补提升适配性。(3)传输安全保障。全流程嵌入防护机制,采用AES加密算法加密传输数据防窃取篡改;网关接

入环节实施身份认证,通过设备唯一标识与密钥验证合法性;设置数据校验模块,对数据完整性校验,异常时触发重传机制保障可靠性。(4)网络优化配置。采用网关分布式部署与信号增强技术优化覆盖;通过动态功率调节适配传输距离,平衡质量与功耗;建立网络状态监测模块,实时监控带宽、延迟等指标,异常时自动切换备用通道提升稳定性。

3.2 特种设备检验检测大数据平台构建方法

特种设备检验检测大数据平台构建以数据整合与价值挖掘为核心,通过科学架构设计、数据治理及功能搭建实现多源数据高效管理与深度应用。具体方法如下:

(1)平台架构搭建。采用微服务架构,分为数据采集、存储、处理、应用服务及安全保障五层。采集层通过标准化接口接入感知、业务及档案数据;存储层采用“关系型+非关系型”混合模式,分别存储结构化与海量时序数据;处理层部署数据清洗、融合及分析模块;应用服务层封装业务接口;安全保障层覆盖全维度防护。(2)数据治理体系。建立数据标准规范明确格式、编码等要求;构建清洗机制处理缺失、异常数据提升质量;建立血缘追溯体系记录全流程确保可核查;实施分级分类管理,按敏感程度划分等级采取差异化管控。(3)核心功能模块。搭建数据汇聚、分析、可视化及共享模块,实现多源数据实时整合、运行规律与风险特征挖掘、信息直观呈现及权限管控下的高效共享。(4)性能优化设计。采用分布式计算框架实现大规模数据并行处理;通过数据分片存储提升查询速度;建立缓存机制减少数据库压力;实施弹性扩容策略,动态调整资源保障平台稳定运行^[3]。

3.3 基于数字孪生的特种设备故障预测模型

基于数字孪生的特种设备故障预测模型,核心是通过虚实实时映射,结合数据与模型驱动融合方法实现精准预测。具体构建如下:(1)数字孪生体建模。采用多维度方法构建全要素孪生体,涵盖基于设计图纸的几何模型、基于材料特性的物理模型、基于运行数据的行为模型及整合故障机理的规则模型,实现虚实精准映射。(2)数据交互与同步。建立实时交互通道,感知终端采集物理设备参数传输至孪生体,孪生体动态更新状态实现同步;将模拟分析结果反馈至管控系统,形成“物理实体-数字孪生体”双向闭环。(3)故障预测算法融合。采用“机理+数据”驱动融合算法,基于故障机理建立传播路径与演化模型,明确故障触发条件;基于海量运行与故障数据训练机器学习模型,挖掘参数与故障关联;加权融合两类模型输出结果提升预测精准度。(4)模型

验证与优化。构建验证体系，通过实际数据与故障案例验证预测精度等指标；分析偏差优化参数与算法；建立动态更新机制，持续接入新数据迭代训练，提升模型对状态变化的适配性。

3.4 物联网驱动的特种设备风险评估体系

物联网驱动的特种设备风险评估体系，核心是依托物联网实现评估实时化、精准化与动态化，通过科学指标、方法与流程设计全面管控风险。具体构建如下：

(1) 风险评估指标体系。遵循科学、全面、可操作原则，构建多维度指标体系，涵盖设备状态、运行环境、管理及历史风险维度，选取运行偏差、环境参数、合规性等指标，通过层次分析法确定权重并明确评分标准。

(2) 风险评估方法。采用“实时监测+静态基础”数据融合方法，结合定性定量分析，动态指标定量计分、静态指标定性评分，加权求和计算综合风险等级，明确高、中、低风险划分标准实现精准判定。(3) 动态评估流程。建立“数据采集-指标计算-风险评级-预警-措施反馈”闭环流程，实时采集数据自动计算等级，达到阈值触发预警推送信息，结合结果制定管控措施并反馈优化，形成动态闭环管理。(4) 评估体系保障。建立数据质量保障机制确保数据可靠；构建标准动态更新机制，适配技术与法规修订；建立结果应用机制，关联检验维护计划提升管控有效性；实施安全保障防范数据泄露与篡改^[4]。

4 物联网技术标准与特种设备检测规范协同发展路径

4.1 现有检测标准的物联网适配性改造需求

现有特种设备检测规范多基于传统人工检测模式，与物联网技术应用存在明显适配缺口，改造需聚焦三大核心维度。检测流程层面，需打破周期性、现场式固化框架，融入实时在线监测理念，优化检测周期与状态评估的弹性调整机制，适配物联网全周期持续感知特性。数据要求层面，需补充感知数据质量规范，明确采集精度、传输时效、存储格式等关键指标，建立数据有效性判定标准，实现感知数据与检测结果的有效衔接。技术

适配层面，需完善物联网设备接入要求，规范传感设备部署与传输链路技术参数，明确安全管控要求，消除技术应用与现有规范的冲突，构建协同基础框架。

4.2 跨行业数据接口统一化标准制定建议

跨行业数据接口统一化是技术与规范协同的关键，制定建议围绕接口架构、数据协议与协同机制展开。接口架构采用模块化、可扩展设计，构建分层级体系，明确感知设备与终端、终端与平台、平台与业务系统的接口功能定位，保障兼容性与互操作性。数据协议层面，统一传输编码格式、交互规则与校验标准，规范各类数据接口传输规范，减少转换冗余与误差，提升流转效率。协同机制上，建立跨领域协调机制推动技术协同，明确标准更新迭代流程，结合技术发展与检测需求动态优化规范，保障标准与技术应用、检测实践的持续适配，实现数据跨环节、跨系统顺畅流转。

结束语：本文全面分析了物联网技术在特种设备检验检测中的应用价值与实现路径，明确了感知层、传输层、平台层等关键环节的技术要点，构建了涵盖故障预测与风险评估的完整体系，并提出了技术标准与检测规范的协同发展建议。物联网技术赋能特种设备检验检测，有效弥补了传统模式短板，推动安全管控模式转型升级。未来可进一步深化技术融合应用，持续优化标准规范体系，助力特种设备安全监管实现更高效的全周期智能化管控。

参考文献

- [1] 尤增猛.基于物联网技术的特种设备检验检测系统分析[J].科学与信息化,2025(9):37-39.
- [2] 肖晖,隆立勇,闫富强.物联网技术在特种设备检验检测系统中的应用[J].中国地名,2025(1):0049-0051.
- [3] 袁乃营.物联网技术在特种设备起重机械检验检测中的应用分析[J].中国设备工程,2024(11):196-198.
- [4] 张汉林,李麒麟.物联网技术在特种设备检测系统中的应用[J].集成电路应用,2024,41(3):126-127.