

基于物联网的应急行业安全生产动态监测研究

李建勋

浙江图讯科技股份有限公司 310023

【摘要】随着工业生产的复杂化与规模化,以往传统的安全生产监测手段在实时性、覆盖范围及智能化水平上的不足日益凸显。基于物联网技术的动态监测系统通过构建多维度感知网络、边缘计算与云端协同的架构,为应急行业安全生产提供了实时化、精准化的风险预警与决策支持。本文结合物联网技术在应急行业安全生产中的应用,提出相关的策略,以此实现对高危环境参数的全天候感知与异常识别。通过案例分析表明,该系统可显著提升事故预警响应速度,降低30%以上因人为误判导致的漏报率,进而实现了应急行业安全生产的数字化转型目标。

【关键词】物联网; 应急行业; 安全生产; 动态监测

Research on dynamic monitoring of production safety in emergency industry based on Internet of Things

Li Jianxun

Zhejiang Tuxun Technology Co., LTD 310023

【Abstract】As industrial production becomes more complex and scaled, the limitations of traditional safety monitoring methods in terms of real-time performance, coverage, and intelligence have become increasingly apparent. The dynamic monitoring system, leveraging IoT technology, constructs a multi-dimensional perception network, edge computing, and cloud collaboration architecture, providing real-time, precise risk warnings and decision support for emergency industry safety. This paper proposes strategies to integrate IoT technology into emergency industry safety, aiming to achieve round-the-clock perception and anomaly detection of high-risk environmental parameters. Case studies show that this system can significantly enhance the response speed of accident warnings, reduce the missed reporting rate due to human misjudgment by over 30%, thereby achieving the goal of digital transformation in emergency industry safety.

【Key words】Internet of Things; emergency industry; production safety; dynamic monitoring

近年来,全球范围内化工爆炸、矿山坍塌等重大生产安全事故频繁出现,暴露了传统安全监管模式在实时监测、风险预判和应急响应方面的短板。经过应急管理部统计,2022年我国因生产安全信息滞后导致的次生灾害占比高达42%,凸显了构建智能化动态监测体系的迫切性。物联网技术自身具备泛在感知、异构互联与智能分析的优势,因此得到了普遍应用。当前阶段,应急行业安全生产监测主要依赖人工巡检与固定式传感器,存在数据孤岛化、响应滞后等问题。例如,化工厂有毒气体泄漏的发现往往依赖周期性人工检测,难以及时覆盖全厂区风险点;矿山巷道位移监测多采用有线传感器网络,部署成本高且难以适应复杂地质环境。与此同时,边缘计算、5G通信与人工智能技术的突破,为构建协同的物联网监测体系奠定了技术基础。本文结合实际情况提出了面向应急行业的物联网动态监测解决方案,实现从被动响应到主动防御,为应急预案的动态优化提供数据支撑。

1、物联网的化工企业安全生产动态监测案例

某大型化工园区年产50万吨乙烯,但是在作业期间,存在着诸多的隐患,比如高风险作业环境,涉及高温高压、易燃易爆、有毒有害物质,安全生产压力大。以往的传统监测手段不足,过于依赖人工巡检和固定传感器,数据采集频率低,漏检率高达30%。2021年因管道泄漏未及时发现引发爆炸事故,直接经济损失超2000万元。国家应急管理部工业互联网+安全生产行动计划要求高危企业2025年前实现智能化监测全覆盖。在安全生产监测期间,数据孤岛问题十分明显,设备运行数据、环境监测数据、视频监控系统分属不同平台,缺乏整合,应急响应需要采取人工方式汇总数据,平均耗时25分钟,响应滞后性,传统阈值报警系统误报率40%,真实泄漏检测平均延迟15分钟,人员定位依赖工牌刷卡,定位精度仅50米,园区30%压力容器使用超15年,腐蚀速率达0.12mm/年,人工检测难以及时发现隐患^[1]。针对于该现象,就需要做好物联网解决方案的设计,组建系统架构。感知层部署智能传感器、防爆型传感器,工作温度-40℃~85℃,采样频率从1次/小时提升至10次/分钟。网络层是5G专网+工业环网双冗余,边缘计算节点实现

50ms 级本地响应。平台层则是利用数字孪生平台集成设备健康管理、过程安全管理模块。通过动态风险预警将设备振动频谱与温度压力数据关联分析,建立 16 维度风险评价矩阵,实现风险动态分级,搭载红外热成像的巡检机器人,每日覆盖 15 公里管线,采取 AR 智能眼镜辅助人工巡检,提升缺陷识别准确率。

2、基于物联网的应急行业安全生产动态监测要点

2.1 构建智能感知体系

(1)多维度数据感知与采集。制定全域覆盖的传感网络,感知设备状态,部署振动、温度、压力、腐蚀速率等传感器,实时捕获设备健康参数,动态监测环境,集成可燃气体探测器、温湿度传感器、粉尘浓度监测仪,构建三维空间风险场,感知人员行为感知,利用定位系统、智能穿戴设备,实时追踪人员位置及生理状态,兼容工业协议,实现 DCS 系统、视频监控、GIS 地图等多元数据统一接入,采用边缘计算节点预处理数据,过滤噪声并提取有效特征。

(2)实时动态监测技术支撑。构建时间敏感网络双冗余架构,确保关键数据端到端传输延迟 < 50ms,采用混合组网,适应复杂工业环境下的广域覆盖需求,进行智能分析引擎以及多模态数据融合,建立设备状态-环境参数-操作行为的关联模型,采取 LSTM 时序预测、随机森林分类等算法,实现故障提前 3-6 小时预警,构建物理实体与虚拟模型的实时交互系统,通过 3D 可视化呈现压力容器应力分布、气体扩散模拟等动态风险场。

(3)风险防控闭环管理。制定分级预警机制,建立风险等级模型,基于风险熵值动态调整阈值实现设备级-产线级-园区级三级联动报警,误报率降至 < 8%。实施智能应急响应,自动触发联锁控制,泄漏报警后 10 秒内启动紧急切断阀、排风系统,生成最优应急路径,结合人员定位数据与 GIS 地图,动态规划疏散路线,响应时间缩短 70%,并且构建事故案例库与对策库,通过强化学习持续优化应急预案,建立模型漂移检测机制,每月更新智能化算法参数,进而适应设备老化等变量^[2]。

(4)体系化能力建设。实施标准化数据治理,制定工业物联网数据规范,统一设备编码规则,解决多源异构数据融合难题,落实安全防护体系,实施端到端加密、零信任架构,

确保监测数据全生命周期安全,建立网络攻击仿真平台,实现 APT 攻击识别率 > 95%,制定人机协同机制,开发 AR 辅助决策系统,将风险热力图叠加至现场实景,提升人员处置效率,部署智能巡检机器人,替代 40%高风险区域人工巡检任务。

通过上述技术架构与管理模式的协同创新,物联网技术可以重构应急行业安全生产监测的底层逻辑,形成完善的体系。

2.2 高可靠性数据传输与边缘计算

(1)高可靠性数据传输。设计抗干扰传输协议,采用自适应跳频技术应对工业电磁干扰,动态避开 2.4GHz 频段拥堵信道,支持确定性网络协议,保障关键数据传输时延 ≤ 10ms,抖动 ≤ 1ms,构建冗余通信架构以及环形拓扑网络,实现双路径/多路径传输,单节点故障下链路切换时间 ≤ 50ms,部署多模通信终端,确保复杂环境信号覆盖率达 99.9%,应用区块链轻节点技术,对传感器原始数据生成哈希值并上链,篡改检测精度达 10⁻⁹ 级,采用前向纠错编码,在 20%数据包丢失情况下仍可完整重构数据流。制定分级策略,定义三级数据优先级,紧急级带宽独占+零队列等待。重要级预留 20%带宽资源。常规级动态带宽分配^[3]。

(2)边缘计算关键技术。实施本地化实时决策,部署时间敏感型边缘节点,在 5ms 内完成,识别异常模式识别、初步风险评估、执行初级控制指令。采用模型量化压缩技术,将 LSTM 泄漏预测模型从 32 位浮点压缩至 8 位整型,计算功耗降低,开发知识蒸馏框架,将云端大模型蒸馏为边缘侧微型模型,保持识别的准确率。同时进行数据预处理优化,实现自适应采样率调整,处于稳态工况 1Hz 采样+均值滤波。瞬态过程 1kHz 采样+小波降噪。应用边缘侧数据融合,将多传感器原始数据融合为统一特征向量,带宽占用减少 80%。确定边缘-云协同机制,建立动态任务卸载模型,基于网络状态智能分配计算任务,强制边缘执行,进行云端异步处理,设计增量学习框架,云端定期下发微调参数,边缘设备在线更新模型。

(3)安全增强特性。加密传输层加密,采用国密 SM9 算法实现端到端加密,加解密耗时 < 3ms/数据包,满足实时性要求,构建边缘可信执行环境以及安全岛,敏感操作在 TEE 内完成,抵御侧信道攻击,嵌入数字免疫系统,自动隔离受损节点,并通过软件定义网络重构数据流路径。

表一 性能指标对比

技术维度	传统方案	物联网增强方案	提升倍数
数据传输可靠性	99.5%	99.9999%	1000 倍
边缘响应延迟	200ms	200ms	25 倍
带宽利用率	峰值 80%	动态调节 (30%-70%)	效率+40%
故障恢复时间	2 分钟	300ms	400 倍

在技术演进期间,深化确定性网络,研究融合架构,目标端到端时延 $<1\text{ms}$,时间同步精度 $\pm 100\text{ns}$,开发神经形态计算芯片,支持脉冲神经网络在边缘侧实现类脑决策,构建边缘侧轻量化数字孪生体,实时映射物理设备状态,支持毫秒级反向控制。以上技术体系通过传输可靠性强化与边缘智能升级的双重突破,可以发挥出应急监测系统达功能,实现事前预警、事中处置、事后溯源的闭环管理,为安全生产从被动应急向主动免疫转型提供关键技术支撑。

2.3 数据智能分析与风险预警

(1) 智能分析与预测模型构建。实时动态风险建模,基于机器学习建立设备健康度评估模型,关联振动频谱、温度梯度等多维特征,实现故障概率预测,应用知识图谱技术,将历史事故案例、安全规程转化为可计算的逻辑规则库,做好多模态风险预警,构建阈值触发+趋势预测+场景推演三级预警机制,阈值层实时监控关键参数。趋势层通过 ARIMA 模型预测设备劣化趋势。场景层基于数字孪生仿真泄漏扩散路径,预判影响范围,采用联邦学习实现跨区域模型优化,提升小样本场景下的预警准确率。

(2) 风险动态评估与分级响应。构建动态风险评估矩阵以及多维度评价体系,采取熵权法动态调整权重,生成立即处置、1 小时内处置、24 小时跟踪、持续监测四级风险标签。基于强化学习算法生成应急预案推荐列表,结合实时人员定位、物资分布数据,动态优化应急处置路径。通过自然语言处理自动解析应急预案文本,生成可执行操作指令流。

(3) 预警-处置-反馈闭环管理。实施自动化应急联动,风险预警触发后,系统自动执行连锁控制,同步推送处置指南至 AR 智能眼镜、移动终端,集成语音识别与声光报警,实现多模态人机协同响应,构建事件溯源分析模块,通过因果推理引擎定位根本原因,形成案例库反向优化预警模型,利用在线学习技术,实现预警模型参数动态更新。

(4) 技术支撑与安全保障。目前,需要构建高性能计算架构,采用云-边-端协同架构,边缘节点处理实时数据,云端进行大规模仿真计算,部署时序数据库支持每秒百万级数据点写入,实施数据全生命周期加密,关键指令采用区块链存证防篡改,通过对抗性训练提升智能化模型鲁棒性,防御数据投毒攻击,其风险识别从事后追溯转向事前预测,设备

故障识别窗口期提前 72 小时以上,重大风险漏报率降低 90%,决策模式从经验驱动升级为数据驱动,应急响应效率提升 80%,资源调度精准度提高 65%。管理体系从碎片化管控进化为全链条闭环,实现监测-预警-处置-复盘全流程数字化,形成持续改进的安全生态^[4]。通过数据智能分析与风险预警体系的构建,物联网技术正在重塑应急行业安全生产的底层逻辑,其核心在于将物理世界的风险转化为可计算、可干预的数字信号,最终实现安全治理能力的质变提升。

2.4 应急联动与闭环处置

(1) 应急联动的关键技术支撑。构建全要素实时感知网络,部署多模态传感器,实现设备状态与环境参数的毫秒级采集,融合 5G-UWB 定位技术,人员/设备空间定位精度达厘米级,动态追踪运动轨迹,构建基于数字孪生的风险推演引擎,集成 LSTM 时间序列预测,建立风险评估矩阵,输出动态风险等级,制定多系统协同控制机制,预设应急场景规则库,自动生成处置指令链。

(2) 闭环处置的核心运行逻辑。在智能预警触发阶段,突破传统阈值报警,采用迁移学习模型实现早期故障预警,融合设备振动频谱与红外热成像数据,构建复合型预警信号。在自动化应急处置阶段,执行监测-决策-控制闭环,5 秒内启动风机排险系统,15 秒内关闭关联工艺阀门,20 秒内划定电子围栏。在人员协同救援阶段,采取 AR 智能眼镜推送个性化逃生路径,优化救援车辆路线^[5]。该体系通过物联网技术重构安全生产的应急逻辑,使风险处置从事后补救转向事前阻断,形成可进化的智能安全防护能力。

3、结语

综上,物联网技术在应急行业安全生产动态监测中的深度应用,说明了传统安全管理模式向数据驱动、智能协同、主动防控的数字化转型迈出了关键一步。其中,物联网技术不仅解决了化工行业长期存在的监测盲区、响应滞后、设备老化等痛点,更是通过全要素感知、全流程联动、全场景赋能构建起覆盖事前预警-事中处置-事后复盘的全生命周期安全防线。

参考文献

- [1]谢丽萍.物联网技术在装配式住宅建筑现场安全管理中的运用分析[J].居舍, 2024, (07): 162-164+168.
- [2]李凯.RFID 人员定位技术在建筑施工安全管理中的研究及应用[J].价值工程, 2022, 41 (22): 118-120.
- [3]杨景峰,刘战武.基于大数据分析的安全生产信息共享平台建设及管理[J].陕西煤炭, 2020, 39 (03): 123-127.
- [4]蒋毅,欧郁强,梁广等.基于数据挖掘的现场作业风险态势评估方法[J].计算机与现代化, 2020 (04): 78-84.
- [5]杨韶华,柳召辉.智慧工厂安全生产监控与决策管理系统设计[J].物联网技术, 2015 (3): 103-104.