

数字化赋能天然气接收站应急管理的运行机制与实施路径研究

李震宇

国家管网集团天津液化天然气有限责任公司 天津 300457

摘要: 数字化技术通过实时监测预警、智能决策支持、协同联动及应急处置优化四大机制, 重构天然气接收站应急管理体系。实施路径涵盖硬件升级、数据平台构建、人才培养、智能感知深化、数字孪生拓展、流程精益化改造及长效保障完善, 推动应急管理从被动响应向主动预防转变, 实现“人防”向“技防+智防”跨越, 提升能源安全与可持续发展保障能力, 为行业提供创新范式。

关键词: 数字化赋能; 天然气接收站; 应急管理

引言: 天然气接收站作为能源供应链核心节点, 其应急管理能力关乎区域能源稳定与社会安全。随着物联网、大数据、AI等技术发展, 数字化逐步成为提升安全运营的关键驱动力。聚焦数字化赋能的运行机制与实施路径, 探索技术融合与管理创新路径, 可推动传统模式向智能驱动转型, 为接收站安全运营提供理论支撑与实践指导, 助力能源安全与可持续发展。

1 数字化赋能天然气接收站应急管理概述

天然气接收站作为能源供应链的关键节点, 其应急管理能力直接影响区域能源安全与生产稳定。数字化技术通过重构信息传递路径、优化决策逻辑、提升执行效率, 推动传统模式向“预防-响应-恢复”全周期智能化升级。(1) 技术底座构建: 聚焦物联网、大数据、人工智能三大技术支柱, 部署高精度传感器网络实现设备状态实时监测, 搭建边缘计算节点完成数据筛选与处理, 依托云计算平台整合多源异构数据, 形成“感知-传输-分析”的技术闭环, 为应急决策提供可靠数据支撑。(2) 风险预测前置: 运用机器学习算法构建动态风险评估模型, 结合设备运行日志、环境参数、历史故障记录, 实现泄漏风险、设备故障、人为操作失误等潜在风险的精准预测与分级预警, 推动应急管理从被动响应向主动预防转变。(3) 协同网络升级: 基于数字孪生技术构建虚拟接收站模型, 模拟应急场景下的处置路径, 通过虚拟推演验证跨部门协同流程; 同时开发跨平台应急指挥系统, 实现指挥中心、现场团队、后方专家的实时信息共享与指令传递, 提升多方协同作战能力^[1]。这一转型过程通过构建智能感知网络、优化决策支持系统、升级协同处置平台, 推动天然气接收站应急管理更精准、更高效、更灵活, 为能源安全供应构筑数字化防线, 同时通过技

术迭代与模型优化, 形成可推广的智能应急管理新范式。

2 数字化赋能天然气接收站应急管理的运行机制

2.1 数字化赋能应急管理的机制构成要素

数字化赋能天然气接收站应急管理, 需构建以数据驱动为核心的动态响应体系。机制构成要素可从多维协同、智能感知、实时决策三个层面展开, 形成闭环管理链条。(1) 多维数据融合平台: 整合站场设备运行数据、环境监测指标及历史应急事件信息, 构建统一数据仓库; 通过物联网传感器实时采集压力、温度、泄漏浓度等参数, 结合视频监控图像识别异常行为, 实现“人-机-环”数据全覆盖。(2) 智能预警算法模型: 基于机器学习构建风险预测模型, 对设备故障、泄漏风险、自然灾害等潜在威胁进行分级预警; 模型可动态调整阈值, 结合实时数据流更新预测结果, 提升预警精准度与时效性。(3) 应急资源动态调配系统: 依托数字化平台实现应急物资、救援队伍及外部支援力量的智能调度; 系统可实时显示资源分布状态, 根据事件等级自动匹配最优调配方案, 并通过移动终端向现场人员推送处置指引, 缩短响应时间。上述要素通过数字化平台实现数据互通、算法协同与资源联动, 形成“监测-预警-响应-评估”的全流程闭环管理, 推动应急管理从被动应对向主动防控转变, 提升接收站安全运行水平。

2.2 数字化驱动的应急协同运行机制

数字化技术通过构建智能感知网络, 推动应急管理从被动响应向主动预防转变, 形成覆盖“监测-分析-处置”全流程的协同机制。(1) 多源数据采集: 部署高精度传感器网络, 实时监测设备运行状态、环境参数及人员位置, 结合卫星遥感获取区域气象与地质信息, 实现多维度数据实时汇聚与交叉验证, 为风险识别提供精准

数据基础。(2) 动态风险评估: 运用深度学习算法对历史数据与实时信息进行关联分析, 建立动态风险评估模型, 自动识别设备异常、管道泄漏等潜在风险, 并生成分级预警信息, 推动应急决策从经验驱动向数据驱动转型。(3) 跨部门协同平台: 开发基于云计算的应急指挥平台, 集成视频监控、智能巡检、无人机巡查等系统, 实现指挥中心与现场人员的实时交互, 优化应急资源调配与处置流程, 提升多部门协同作战能力^[2]。该机制以数字化技术为纽带, 打通信息传递壁垒, 实现风险早发现、响应早启动、处置早完成, 为天然气接收站构建起安全屏障, 保障能源供应稳定与生产运行安全, 同时通过持续数据积累与模型迭代, 形成可复制、可推广的应急管理新范式。

2.3 数字化支撑的应急预警响应机制

数字化支撑的应急预警响应机制通过技术融合实现风险精准识别与快速处置, 构建起“感知-分析-决策-执行”的闭环链条。该机制以数据为核心驱动力, 依托物联网设备实时采集设备状态、环境参数等关键信息, 结合大数据分析平台对多源异构数据进行深度挖掘, 实现风险隐患的早期识别与动态评估。(1) 智能预警模块: 基于机器学习算法构建预警模型, 通过历史故障数据训练模型参数, 实现设备异常、泄漏风险、环境超标等场景的提前预测, 预警准确率较传统模式提升30%以上。(2) 协同响应网络: 依托5G通信与数字孪生技术, 构建虚实交互的应急指挥平台, 实现现场人员、物资、装备的实时定位与动态调配, 支持跨部门、跨层级的信息共享与协同作业, 响应时间缩短至分钟级。(3) 动态优化机制: 通过持续采集实际应急事件数据反哺预警模型, 形成“监测-预警-响应-反馈”的持续优化循环, 不断提升预警精度与响应效率。该机制通过数字化技术重构了传统应急管理模式, 实现了从被动应对向主动防御的转变, 为天然气接收站的安全稳定运行提供了坚实保障。

2.4 数字化赋能的应急处置优化机制

数字化技术通过智能算法与实时数据融合, 推动应急处置从经验驱动向智能驱动升级, 构建精准高效的优化机制。(1) 智能决策支持: 运用机器学习模型分析历史处置案例与实时态势, 生成设备故障隔离、泄漏源封堵等最优操作指引, 辅助现场人员快速决策, 减少人为判断误差, 提升处置精准度。(2) 资源动态调配: 基于物联网与GIS技术, 实时追踪应急物资、设备及人员位置, 结合交通路况、天气等动态信息, 优化物资运输路线与人员调度方案, 确保资源高效抵达现场, 缩短应急响应时间。(3) 处置效果评估: 通过传感器网络与视频监控,

实时采集处置过程中的气体浓度、设备状态等关键参数, 结合预设指标进行效果评估, 及时调整处置策略, 形成“执行-评估-优化”的闭环管理, 提升处置效率。该机制以数字化技术为支撑, 实现应急处置的精准化、高效化与动态化, 提升天然气接收站应对突发事件的能力, 保障生产安全与能源供应稳定^[3]。通过持续的数据积累与模型优化, 推动应急管理水平的持续提升, 形成可复制的智能处置新模式, 为能源行业应急管理提供创新范式。

3 数字化赋能天然气接收站应急管理的实施路径

3.1 夯实数字化应急管理基础支撑

数字化应急管理的基础支撑需聚焦硬件、数据与人才三维度协同建设, 筑牢技术底座与能力根基。(1) 硬件设施升级: 部署工业级传感器网络与边缘计算设备, 实现设备振动、温度、压力等参数的实时采集与本地预处理, 提升数据传输稳定性与系统抗干扰能力, 为应急决策提供可靠数据源。(2) 数据平台构建: 搭建基于云计算的统一数据中台, 整合设备运行日志、历史应急预案、气象地质信息等多源异构数据, 通过数据清洗、标注与标准化处理, 形成结构清晰、质量可控的数据资产库, 支撑智能算法的精准运行。(3) 人才能力培育: 开展数字化技能培训与场景化应急演练, 提升一线人员对智能巡检、远程操控等工具的熟练度; 同时引进算法工程师、数据分析师等复合型人才, 推动技术团队与业务团队的深度融合, 增强应急管理的创新驱动能力。这一支撑体系通过硬件升级保障数据采集质量, 数据平台整合实现信息共享, 人才培育提升操作与创新能力, 三者形成闭环, 为数字化应急管理提供稳固基础, 推动天然气接收站应急能力向智能化、精准化持续演进, 有效提升风险防范与处置效能。

3.2 推进数字化应急技术落地应用

数字化应急技术落地应用需围绕实际需求展开, 以技术创新破解传统应急管理痛点。该领域的技术实践需注重场景适配性与效能提升, 形成可复制的技术应用范式。(1) 智能感知网络深化: 通过部署激光气体检测器、声波传感器等先进设备, 结合AI算法实现泄漏源快速定位与浓度扩散趋势预测, 将风险识别时间压缩至秒级, 提升早期干预能力。(2) 数字孪生场景拓展: 构建动态更新的三维数字孪生模型, 集成设备全生命周期数据与实时运行状态, 支持压力异常、管道腐蚀等场景的仿真推演, 为应急预案优化提供数据支撑, 增强决策的科学性。(3) 智能决策系统升级: 开发基于知识图谱的应急决策模型, 通过关联设备故障特征、历史处置记录与专家经验, 自动匹配最优处置路径, 并同步推送至现场人

员智能终端,实现指令传达与执行的精准同步^[4]。这些技术的落地应用,将推动应急管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型,形成“感知-分析-决策-执行”的智能闭环。通过技术迭代与场景深耕,数字化应急技术将为天然气接收站构建起全天候、多维度的安全防护网,保障能源供应的连续性与安全性。

3.3 重构数字化应急管理流程体系

数字化技术推动应急管理流程从“经验驱动”向“数据+智能”驱动转变,重构需围绕效率提升与灵活适配展开。(1) 流程精益化改造:运用流程挖掘工具对现有应急流程进行全链条扫描,识别报警响应、资源调配、现场处置等环节的冗余操作,通过RPA机器人实现标准流程自动化执行,例如自动生成处置工单、实时更新设备状态,减少人工操作延迟与误差。(2) 跨域信息无缝衔接:构建基于低代码平台的应急信息中枢,整合视频监控、传感器数据、人员定位等多源信息,实现指挥中心、现场团队、后方专家间的实时数据共享与交互,解决传统流程中信息孤岛导致的决策滞后问题。(3) 场景动态响应机制:依托数字孪生技术构建虚拟应急场景库,模拟泄漏扩散、设备故障等不同场景下的处置路径,通过AI算法实时分析现场态势,动态调整人员疏散路线、物资投放策略,实现流程与场景的精准匹配。这一重构体系通过流程优化提升执行效率,信息共享强化协同能力,动态适配增强应对灵活性,形成“感知-分析-决策-执行”的闭环管理,推动天然气接收站应急管理向更智能、更高效的方向演进,为能源安全供应提供坚实保障。

3.4 完善数字化应急管理长效保障

数字化应急管理长效保障需构建持续演进的支持体系,确保技术、人员与制度协同发展,形成自我优化的保障生态。该体系以动态平衡为目标,通过多维保障措施实现应急能力的长期稳定提升。(1) 制度规范完善:建立数字化应急管理标准操作流程与考核机制,通过定期评审与动态调整,确保制度与实际运行需求相匹配,提升执行

效率与规范性,避免制度僵化带来的管理漏洞。(2) 人才梯队建设:构建多层次、跨专业的应急管理人才培育体系,通过专项培训、实战演练与知识共享平台,提升人员的数字化素养与应急处置能力,形成可持续的人才供应链,支撑复杂场景下的应急需求。(3) 技术迭代机制:建立技术更新与系统升级的常态化机制,通过定期评估技术性能、引入前沿技术(如AIoT、边缘计算)及优化系统架构,确保技术始终适应应急管理需求,保持系统的高效性与可靠性,避免技术滞后导致的安全风险^[5]。通过制度规范、人才培育与技术迭代的协同推进,数字化应急管理将形成自我完善、持续进化的长效保障机制,为天然气接收站的安全稳定运行提供坚实支撑,实现从短期应急到长期安全管理的转变。

结束语:未来,需深化数据采集与分析能力,提升传感器精度与数据融合水平,优化AI算法模型以增强风险预测准确性。完善跨学科人才培育体系,强化技术团队与业务团队融合,推动系统集成与智能决策协同。通过构建“数据-算法-人才”创新生态,形成全天候智能防护网,实现从短期应急到长期安全管理的战略转型,为能源安全与可持续发展提供长期、稳定的保障支撑。

参考文献:

- [1]宋自海,张龙,徐斌.LNG加气站应急救援的数字化应用[J].漫科学(科技应用),2025(8):40-42.
- [2]胡小波.海上多管并排天然气管道运行管理与应急组织探讨[J].石化技术,2021,28(11):170-172.
- [3]原野.LNG接收站的数字化管理建设与探讨[J].智能建筑与智慧城市,2025(5):79-81.
- [4]赵光辉,石阳,郭鹏,等.智能工地技术在北京燃气天津南港LNG应急储备项目中的应用与实践[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(8):65-67.
- [5]李广东.天然气输气站建设及运行安全管理策略探究[J].清洗世界,2021,37(12):155-156.