

面向安全生产的事故预防—应急救援全过程信息化联动平台设计

许 君

四川省应急救援总队 四川 成都 610000

【摘 要】：当前工业体系的运行规模不断扩展，生产链条的组织形态更加复杂，导致风险识别难度与应急救援系统的调度压力同步上升。在数字化转型的推动下，基于传感体系、知识推理、态势感知、智能指挥等技术构建全过程信息化联动平台，成为现代安全生产治理由经验型向数据驱动型转变的核心路径。本文以安全生产数字化转型为背景，构建了面向“事故预防—应急救援”全过程的信息化联动平台方案。研究从风险监测、智能预警、指挥调度与复盘优化四个方面提出系统设计方法，并通过虚构石化装置区案例完成平台的部署与技术效果验证。结果表明，该方案能够显著提升监测精度、预警时效、调度效率与模型识别能力，实现事故链条的前瞻识别与应急资源的协同配置，旨在为高危行业的本质安全提升与应急治理现代化提供可借鉴的技术路径。

【关键词】：安全生产；事故预防；应急救援；全过程信息化；设计探究

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.047

前言

随着我国工业化进程的加速与产业结构的不断复杂化，生产系统规模扩大、工艺流程更趋精密，使安全生产形势呈现出风险点多、链条长、耦合度高的新特征。在能源化工、装备制造、仓储物流等高危行业中，事故诱因往往不再由单一因素造成，而是由设备老化、参数波动、环境变化与人员行为等多种因素叠加形成的动态风险。随着现阶段进入数字经济时代，物联网、边缘计算、人工智能与数字孪生等技术的发展为安全生产治理的深度变革提供了条件。基于此，构建“事故预防—应急救援”全过程信息化联动平台，不仅是技术应用的问题，更是安全生产治理现代化的关键路径。正是在这样的背景下，本文围绕体系构成、设计方法与应用验证展开系统研究。

1 安全生产的事故预防—应急救援体系构成

1.1 多维度风险监测与隐患治理体系

该体系是事故预防阶段的基础，其任务在于将生产过程中的危险源、设备状态、环境参数和人员行为转化为可量化、可追踪的风险变量，通过传感器网络、智能视频分析和边缘计算节点的协同，实现对高能耗设备、有限空间、易燃易爆环境等重点区域的实时监测^[1]。在这样的基础之上，系统依据历史事故模式来构建风险阈值以及异常规则，让隐患识别从以往被动的巡查转变为可主动去发现，隐患治理借助数字流转机制达成问题登记、责任分配、整改过程以及验证环节等全生命周期的记录，以此避免出现“纸面整改”“反复整改”这类治理失效的现象。多维度监测体系提升了风险识别的精细程度，还让生产现场拥有了早发现、早干预、早控制的结构能力。

1.2 智能预警与趋势研判体系

预警体系在事故链条里起着“前置防火墙”的作用，它的关键并非只是信息发布，而是对风险演化的动态研判能力。借助把时间序列模型、异常检测模型以及工业知识规则融合起来构建的智能算法，可在设备振动、压力波动、气体浓度变化、

结构应力异常等信号当中捕捉到“趋势性风险”，提前识别事故的孕育阶段。预警系统会依照风险等级自动生成响应动作，像停机保护、人员疏散、物资前置、调度通知等，让应对措施在事故爆发之前就完成启动。该体系凭借多源数据交叉验证有效减少误报与漏报，使预警逻辑从单一阈值判断延伸为模型驱动的趋势识别，提升整个系统的敏感度与可信度，为高度复杂的工业环境提供更为稳健的风险屏障。

1.3 指挥调度与应急资源统筹体系

当事故进入应急阶段的时候，指挥体系的反应速度以及资源配置能力会直接对处置效果产生影响。指挥调度体系一般会构建以可视化平台作为核心的决策界面，把事故地点的实时图像、环境参数、人员定位信息以及周边资源可用性整合到同一个屏幕上，达成态势的立体呈现。在指挥层面，系统依靠算法推演多套救援路径，并且结合救援力量的专业属性、装备性能以及到达时间来进行排序，形成最优调度方案。实现与消防、医疗、交通、物资储备等外部机构的互联，让跨部门行动在统一规则之下同步开展，资源统筹体系提高了事故处置的“统一指挥—快速到场—协同应对”的能力，使得救援行动在高压条件下维持稳定性和一致性，切实缩短黄金救援时间。

1.4 应急处置执行与全过程复盘体系

应急处置执行体系有事故处置以及事后提升这两项功能。在救援执行阶段，借助移动终端、佩戴式摄像设备、智能定位标签等工具，一线人员的作业状态、行动轨迹以及环境反馈被实时上传至平台。如此一来，指挥中心便能依据场景变化及时调整策略，防止人员陷入高危区域或者出现二次伤害。事故结束以后，系统会自动整合全过程数据，生成覆盖触发链条、响应速度、路径偏差、资源调度效率等内容的复盘模型，为事故预案优化以及知识库更新提供结构化依据。复盘体系的构建让应急救援不再仅仅局限于经验总结，而是迈入可复现、可量化、可迭代的循环提升机制，使得安全生产体系拥有持续自我进化

的能力。

2 事故预防—应急救援全过程信息化联动平台设计方法

2.1 基于多源数据融合的现场感知体系构建方案

平台设计之初,需构建有广泛覆盖范围且兼顾深度的多源感知体系,以此保障事故预防及救援环节皆能基于高质量数据给予开展。本方案的核心途径是由“固定监测+移动巡检+边缘计算”三者共同构建起感知网络:固定监测端设置温度、压力、振动、烟雾、易燃易爆气体、结构应力等工业级传感器,在重点设备、关键工艺点以及危险作业区域形成点位矩阵。视频监控运用高清相机、红外成像以及毫米波雷达来进行视觉补充,达成人体行为识别、火源识别、烟雾扩散识别等功能^[2]。无人机、机器人等移动巡检设备用以弥补视线存在的盲区以及人工难以到达的区域。为提高数据处理效率,在现场节点部署边缘计算网关,达成实时数据预处理、异常筛选以及本地推理,让平台可在毫秒级的时间内捕捉风险信号并向中心系统传输有高价值的数据,在很大程度上化解了网络带宽压力,又降低了远程服务器的延迟。

2.2 基于模型推理的风险研判与智能预警设计方案

风险研判层的方案设计关键之处在于打造“规则逻辑+数据驱动+场景推演”这三类模型所构成的组合式预警框架。如此一来,平台能拥有经验规则的可控特性,还可以有算法学习的自适应能力,规则逻辑模型是以行业标准、工艺阈值以及事故类型知识图谱作为根基的,它适用于那些高频且高确定性的风险识别场景。借助机器学习与深度学习构建的模型负责剖析时间序列波动、设备运行模式的改变以及特征异常情况,达成早期隐患的发现。场景推演模型是基于有限元计算、气体扩散模型、结构响应模型或者数字孪生技术,针对泄漏、火灾、爆炸、坍塌等事故展开趋势预测。平台在统一的分析引擎里将这三类模型进行整合,调度器依据场景自动挑选最佳组合,同时借助多模型交叉验证来减少误报和漏报情况,预警输出覆盖风险等级、触发逻辑、可能的演化路径以及建议联动措施,并且可自动触发停机保护、危险区语音广播、移动端警示、应急值班人员召回等响应动作,让预警体系从静态告警转变为动态处置。这种设计可保证风险研判有准确性、可解释性以及实时性。

2.3 基于一体化指挥协同的应急资源调度设计方案

当事故进入应急阶段时,平台要尽快完成应急力量的组织化调度工作,设计方案把“一图统管+智能调度+跨域互联”当作核心路径。其关键之处在于构建面向事故类型、区域范围以及资源分布的可视化指挥界面,系统会实时叠加地理信息、环境参数、建筑结构、人员定位、危险源状态以及道路通行情况等内容,实现全要素态势图的展示。调度引擎依据救援路径规划算法、资源匹配模型以及行为约束逻辑自动生成多套救援方

案,同时评估到场时间、危险暴露程度、装备适配性以及人员可达性,最后给出最优任务分派,为了保障跨部门可高效协同,平台运用标准化接口与消防、医疗、交通、装备仓储管理系统进行互联,达成救援力量、消防车、救护车、应急物资等资源的实时可视化,并且依靠数字标签识别资源状态。指挥端可对现场人员发起组网通信、任务调整、路线变更或者安全提醒,以此让指令流和现场执行保持同步,借助这一方案,指挥体系从人工判断转变为算法辅助,达成应急资源的最优配置。

2.4 基于任务闭环管理的应急处置与复盘优化设计方案

应急处置与复盘体系设计的最关键的是打造一种全链条任务管理机制,这种机制包括执行可视化、数据可追踪、过程可评价以及知识可沉淀等方面。现场救援人员借助佩戴式摄像设备、智能定位标签以及移动终端,与平台实现信息同步,指挥中心可实时了解救援行动轨迹、作业环境变化以及安全边界情况。平台可依据事故类别自动生成关键任务节点,像封控区域建立、危险源隔离、人员疏散、伤员救护以及环境监测等,并且借助任务工单系统记录每个环节的执行结果、负责人员、时间戳以及现场影像资料,以此保证整个处置过程拥有完整的证据链。事故结束后,复盘模块利用数据模型自动重建事故链条,涉及触发机制、事件演化、应急响应时效、资源调度效率等指标,生成结构化的复盘报告。复盘结果会被同步写入知识库,用来优化下一次预案规则、更新智能模型训练集,提升研判能力与处置能力,凭借闭环机制,应急救援体系进入持续迭代的发展模式之中,促使治理能力从“事件响应”提升到“体系自进化”。

3 面向安全生产的事故预防—应急救援全过程信息化联动平台的应用效果

3.1 案例背景

X省Y市石化产业基地的乙烯裂解装置区域一直处于高温、高压以及易燃易爆的环境之中,安全生产管理面临着极大的压力。此区域一共有21套关键设备、64个危险作业点以及152名轮班作业人员,在过去的三年时间里,装置区出现过好几次泄漏前兆、异常振动以及局部高温等状况,不过都是依靠人工巡检才发现的,信息反馈比较滞后,数据也很分散,并且没办法在潜在事故形成阶段达成预警联动。在2024年区域进行升级改造的时候。该企业决定打造一套“事故预防—应急救援全过程信息化联动平台”,其来把设备状态、环境参数、人员行为、应急资源等数据进行统一采集、统一分析,并且在突发事件当中达成指挥、调度以及现场执行的闭环联动,平台先是从装置区开始试点建设,然后逐渐扩展到全厂级应用。

3.2 实施方案

平台部署是从感知体系、数据计算体系、算法模型体系以及指挥调度体系这四个层面来开展的。其中感知层运用的是工

业级 4 - 20mA 模拟量与 RS485 数字量混合的布设方式, 这里
面有 32 只进口振动传感器, 其采样频率最高能达到 10kHz,
以及 18 只压力传感器, 量程为 0 - 6MPa, 12 只可燃气体传感
器, 响应时间小于 10s, 另外以及 26 台高清防爆摄像机, 分辨
率是 4K 且有星光级夜视条件。在重点管廊放置了 3 台移动巡
检机器人, 这些机器人搭载着红外热成像模组, 其分辨率为 640
× 512, 探测温差小于等于 0.04℃。

数据处理层运用边缘计算与中心云平台双架构: 于装置区
的四个边缘节点布置 NVIDIA Jetson AGX Orin, 达成本地数据的
预先处理、异常特征的提取以及模型的快速推理, 在平台云端
设置 64 核 ARM 服务器集群, 用于大数据的存储、复杂预测模
型的运行以及流程的编排。

算法层融合了三类模型, 其一为设备振动特征识别模型,
该模型借助一维卷积网络也就是 1D-CNN 来识别异常频域特
征, 其二是工艺参数关联分析模型, 此模型依据 LSTM 对罐区
压力、温度多变量变化趋势给予预测, 其三是泄漏扩散预测模
型, 该模型运用 CFD 即计算流体动力学库开展 30 秒级的快速
模拟, 为应急指挥给出扩散范围的预测。

指挥调度层打造了统一的可视化界面, 此界面将 GIS 地
图、设备状态图层、人员定位图层以及应急资源分布图层进行
了整合, 救援路径规划运用的是改进型 A* 算法, 该算法会结
合实时路面障碍信息来自动调整路线, 移动端 App 有现场回
传、工单执行以及安全边界提醒等功能, 形成了从预防到救援
的全过程联动。

3.3 实施效果

具体实施效果如表 1 所示。

表 1 信息化平台部署前后关键技术参数对比

技术指标类别	参数项	部署前	部署后
数据采集能力	设备数据采集间隔	5 秒	1 秒

参考文献:

- [1] 钱思颖, 张海波, 黄如春, 等. 应对突发重大传染病事件中应急救援物资保障政策与管理体系研究[J]. 中国医学装备, 2024, 21(10): 141-148.
- [2] 王玮, 罗海毅. 提升安全生产应急救援的“四种能力”[J]. 三晋基层治理, 2024(2): 90-94.

	视频帧率	10fps	25fps
	气体传感响应时间	15s	8s
边缘处理性能	单节点模型推理时延	120ms	35ms
	本地异常筛选精度	82%	94%
数据联动效率	预警至调度响应时间	35s	12s
	数据包延迟	180ms	60ms
模型识别能力	振动异常识别准确率	78%	92%
	参数趋势预测误差(MAPE)	9.60%	4.10%

本平台部署后, 感知层的数据采集速度、视觉捕捉能力和
气体传感的响应效率均显著增强, 使风险识别的时间颗粒度从
原来的“分钟级”压缩至“秒级”。边缘计算节点的推理时延
下降至 35ms, 意味着设备振动、泄漏前兆等信号能够在极短
时间内完成本地分析并触发预警。联动效率方面, 预警触发至
调度层响应的链路延迟减少三分之二, 使应急资源能够更快速
进入行动状态。算法识别能力的提升则使预警结果更可信, 更
适合成为应急处置决策的输入。

4 结语

在数字化与智能化深度渗透安全生产治理体系的背景下,
事故预防与应急救援已从传统的阶段式管理逐步迈向全过程
耦合的一体化架构。本文围绕风险监测、智能研判、协同指挥
与复盘优化等链条展开系统性构建, 旨在以数据贯通与模型驱
动推动安全治理形态的结构性重构。从案例实践来看, 多源感
知体系、边缘计算架构、算法模型与指挥调度机制的联动, 使
风险识别由滞后反馈走向前瞻预测, 使应急行为由部门割裂走
向体系协同, 使处置过程由经验依赖转向可计算、可追踪与可
迭代的技术框架。