

# 长输燃气管道第三方破坏风险评估与智能预警系统设计

张宇坤 (山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

龚圣涵 (济南港华环通市政工程有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要:** 伴随我国燃气管道网络的持续拓展, 第三方施工引发的管道破坏已成为威胁长输管道安全运行的核心风险。传统人工巡检模式存在效率低下、应急响应迟缓等固有缺陷, 难以适配现代管道安全管理的高标准要求。本研究整合空天地一体化监测技术、多源数据融合分析方法与人工智能算法, 创新构建长输燃气管道第三方破坏风险评估与智能预警系统。该系统借助卫星遥感、无人机巡检、分布式光纤传感及物联网监测设备, 搭建立体化监测网络, 实现对管道沿线第三方活动的全天候、无死角监控。结合 AI 智能识别技术与风险评估模型对采集数据进行深度处理, 建立风险分级预警机制, 形成“监测-预警-处置”的完整闭环管理体系。

**关键词:** 长输燃气管道; 第三方破坏; 风险评估; 智能预警; 空天地一体化

**中图分类号:** TU996.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0154-03

## Third party damage risk assessment and intelligent warning system design for long-distance gas pipelines

Zhang Yukun (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Gong Shenghan (Jinan Ganghua Huantong Municipal Engineering Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

**Abstract:** With the continuous expansion of China's gas pipeline network, pipeline damage caused by third-party construction has become a core risk threatening the safe operation of long-distance pipelines. The traditional manual inspection mode has inherent drawbacks such as low efficiency and slow emergency response, making it difficult to adapt to the high standard requirements of modern pipeline safety management. This study integrates air space integrated monitoring technology, multi-source data fusion analysis methods, and artificial intelligence algorithms to innovatively construct a third-party damage risk assessment and intelligent warning system for long-distance gas pipelines. The system utilizes satellite remote sensing, drone inspection, distributed fiber optic sensing, and IoT monitoring equipment to build a three-dimensional monitoring network, achieving all-weather and blind spot monitoring of third-party activities along the pipeline. Combining AI intelligent recognition technology with risk assessment models to deeply process collected data, establish a risk grading warning mechanism, and form a complete closed-loop management system of "monitoring warning disposal".

**Keywords:** long-distance gas pipeline; Third party destruction; Risk assessment; Intelligent warning; Integration of space, sky, and earth

长输燃气管道作为能源输送领域的关键基础设施, 具备输送距离远、压力等级高、穿越区域地形复杂等显著特征。近年来, 城市化建设进程不断加快, 管道沿线第三方施工活动愈发频繁, 因施工操作不当导致的管道破坏事故频发。国内外管道事故统计数据显示, 第三方破坏已成为造成管道失效的首要原因之一, 此类事故不仅会引发巨额经济损失, 还会对公共安全与生态环境造成严重威胁。

随着物联网、人工智能及空天地一体化监测技术的快速发展, 管道安全管理模式正逐步从“人工防控为主”向“技术防控主导”转型。基于现有技术成果, 针对长输燃气管道第三方破坏风险管控的实际需求, 本研究提出集风险评估与智能预警功能于一体的系统设计方案, 旨在提升管道安全管理的信息化、智能化水平, 实现第三方破坏风险的早期发现、及时预警与快速处置。

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统架构

本系统采用分层模块化设计思路, 涵盖感知层、传输层、平台层与应用层四个核心部分, 构建全方位的管道安全防护体系。

感知层由多种类型的监测设备组成, 打造空天地一体化监测网络。空中监测模块采用卫星遥感与无人机巡检相结合的方式: 卫星遥感技术可实现对管道沿线大范围地表变化的监测; 无人机巡检则针对重点区域开展定期或按需巡查, 弥补卫星监测在局部细节识别上的不足。地面监测模块包含高清视频监控设备、分布式光纤传感器及物联网监测终端: 高清视频监控可实时捕捉管道周边人员与车辆活动; 分布式光纤传感器能精准识别管道沿线的振动信号; 物联网监测终端则实现对管道运行环境参数的实时采集。例如, 青海省在涩宁兰输气管线保护工作中, 构建“空天地一

体化智能巡护体系”，整合无人机巡检、AI 智能识别视频监控及振动光纤预警系统等技术手段，实现多维度智能设备协同联动，大幅提升风险识别能力。

传输层采用“光纤+4G/5G+卫星”的混合组网模式，保障监测数据的稳定传输。对于干线管道区域，优先采用光纤传输方式，利用其低延迟、大带宽的优势，确保海量监测数据的实时传输；在偏远郊区等4G/5G信号覆盖区域，通过移动通信网络实现数据广域传输；针对无信号覆盖的偏远山区或荒漠地带，借助卫星通信技术补充数据传输链路，避免数据传输中断。同时，在关键节点设置边缘数据缓存节点，当网络出现短暂中断时，可临时存储监测数据，待网络恢复后再进行数据补传，保障数据完整性。

平台层作为系统的“智慧中枢”，集成数据管理、风险分析与预警决策三大核心功能。平台基于云计算与大数据技术，构建统一的数据管理平台，实现对卫星遥感数据、无人机巡检数据、视频监控数据、光纤传感数据及物联网监测数据的集中存储与统一管理。通过大数据分析算法对多源数据进行深度挖掘，提取与第三方破坏风险相关的特征信息；结合人工智能算法构建风险分析模型，为预警决策提供数据支撑与技术保障。

应用层面向不同类型的用户群体，提供风险预警、应急处置、决策支持等个性化功能界面。通过与管道运营单位的业务系统无缝集成，实现预警信息自动推送、处置任务智能分配与处置流程实时跟踪，形成完整的闭环管理流程。不同用户可根据自身职责权限，获取相关的风险信息与处置数据，提升管道安全管理的协同效率。

## 1.2 空天地协同监测网络

空天地协同监测网络是本系统的核心创新点，通过整合空中、地面不同层次、不同类型的监测设备，实现对管道沿线第三方活动的全方位、立体化监测，有效消除监控盲区，提升风险识别的全面性与及时性。

空中监测系统由卫星遥感与无人机巡检两部分组成。卫星遥感采用合成孔径雷达技术，可对管道沿线地表形变及大型工程施工活动进行监测，监测频率可达每周一次，形变监测精度能达到毫米级，可及时发现因施工导致的地表沉降或隆起等异常情况。无人机巡检作为卫星遥感的补充手段，搭载高清摄像机与多光谱传感器，对管道重点区段（如穿跨越段、人口密集区周边管道）开展定期巡检或应急巡查，采集管道沿线高清影像数据与多光谱数据，精准识别管道周边的施工机械、人员聚集等第三方活动迹象。西安石油大学研发的油气管网空天地协同智慧监测系统，便是

通过卫星遥感与无人机巡检的协同工作，实现对管道沿线地形地貌变化、周边施工干扰等情况的实时监测，有效识别地质灾害隐患与第三方破坏风险。

地面监测系统包含分布式光纤传感器、智能视频监控设备与物联网监测终端。分布式光纤传感器利用管道沿线已铺设的通信光缆，通过检测光缆周边的振动信号，识别机械挖掘、人工开挖等第三方入侵行为，定位精度可达10m，可实现对管道沿线的全天候不间断监测。福州市应用的AI鹰眼系统，通过接入管道沿线的公共视频资源，结合AI识别算法，自动识别第三方施工围挡、工程车辆等风险目标，并生成预警工单，为管道安全防控提供及时支持。

## 2 风险评估方法

### 2.1 多源数据融合

为精准评估长输燃气管道第三方破坏风险，系统需整合来自空天地协同监测网络的多源监测数据，构建全面、可靠的风险感知体系。数据融合过程主要分为空间数据融合、时序数据融合与多模态数据关联三个层次，通过多层次数据融合，提升风险信息的准确性与完整性。

空间数据融合旨在整合不同监测平台获取的地理空间信息，包括卫星遥感影像数据、无人机航拍地理坐标数据、管道GIS系统坐标数据等，构建统一的管道空间数据库。通过地理信息系统（GIS）的空间分析功能，对整合后的空间数据进行叠加分析、缓冲区分析等处理，识别管道沿线可能影响管道安全的地物变化，如新建建筑物、道路施工区域、土地开挖区域等第三方活动迹象，为风险评估提供空间位置参考。

时序数据融合针对连续监测的动态数据（如分布式光纤振动信号、视频监控流数据、物联网监测终端采集的环境参数时序数据等），采用时间序列分析方法，提取数据的时间特征规律。通过对历史监测数据的统计分析，建立管道正常运行状态下的数据分析模型，确定各监测参数的正常波动范围；在实时监测过程中，将实时数据与历史正常数据模型进行对比，及时发现数据异常波动，识别潜在的第三方破坏风险。

### 2.2 风险评估模型

基于多源数据融合的结果，系统采用动态风险评估方法，对长输燃气管道第三方破坏风险进行量化评估。

风险识别阶段借助AI算法对多源融合数据进行深度分析，识别潜在的第三方破坏风险。系统内置三类风险识别算法：一是阈值判断算法，针对分布式光纤振动强度、视频监控中施工车辆出现频率等可量化参数，设定风险预警阈值，当监测参数超过预设阈值时，直接标识为风险事件；二是深度学习算法，通过

构建神经网络模型，分析多源数据间的关联关系（如振动信号特征与施工类型的对应关系、人员车辆活动密度与施工强度的关联关系），识别隐性风险（如小规模人工开挖、夜间隐蔽施工等）；三是行为识别算法，基于视频监控数据，通过目标检测与行为分析，自动识别施工机械操作行为、人员靠近管道的异常活动等潜在风险行为。

概率评估阶段结合历史事故数据与实时监测信息，评估各类第三方破坏风险事件发生的可能性。概率评估过程中，综合考虑以下因素：第三方活动类型（如道路施工、建筑施工、农业开垦等）、活动强度（如施工机械数量、每日施工时长）、活动区域与管道的距离、该区域历史第三方破坏事故发生频率、施工单位的安全管理水平等。通过机器学习算法（如逻辑回归、随机森林等），构建风险概率预测模型，基于实时监测数据动态更新风险发生概率，提升概率评估的时效性与准确性。

### 3 智能预警机制

#### 3.1 预警信息生成与推送

当系统完成第三方破坏风险识别与评估后，自动生成标准化的预警信息，预警信息内容涵盖风险发生位置（精确到具体里程桩号与GIS坐标）、风险类型（如机械挖掘、人工开挖、施工围挡侵占管道保护范围等）、风险等级、现场图像或视频证据、初步处置建议等，为后续应急处置提供全面的信息支持。

预警信息推送采用分级分类机制，根据风险等级的不同，制定差异化的推送策略，确保相关人员及时获取预警信息并启动响应。对于红色风险（重大风险），采用多渠道协同推送方式：系统弹窗提醒（管道调度中心监控终端）、调度中心声光报警、管理人员电话通知与短信提醒、地方应急管理部门专项通知，要求相关责任人在30min内启动应急响应，组织现场处置；对于橙色风险（较大风险），通过系统消息推送（管道运营单位内部管理系统）、管理人员短信提醒、现场巡检人员移动APP推送三种方式，要求1h内完成响应与现场核实；对于黄色风险（一般风险），采用系统消息推送与班组长通知相结合的方式，要求2h内安排人员关注并核实；对于蓝色风险（低风险），仅推送至现场安全员的移动APP，由安全员在4h内进行现场查看，确认风险是否消除。

鄂尔多斯市建设的燃气安全监测预警平台，作为当地燃气管道安全管理的“智慧中枢”，整合管网监测、数据分析、风险预警与协同处置等功能，具备秒级数据采集与智能研判能力。该平台可对不同区域的管道泄漏风险（含第三方破坏导致的泄漏）进行分级响应，

通过GIS系统精准定位泄漏点位，将预警信息同步推送至属地燃气企业抢修队伍与住建部门，构建多方联动的应急处置机制，大幅提升风险处置效率。

#### 3.2 闭环处置流程

智能预警机制的核心目标是构建“监测-预警-处置-反馈”的闭环管理流程，确保每一条预警信息都能得到及时处理，每一项处置任务都能跟踪到位，直至风险完全消除。当系统发出预警信息后，自动生成标准化的处置任务单，明确任务内容、责任单位、责任人与完成时限，并通过系统对处置全过程进行跟踪管理。

福州市在管道安全管理中，构建“智能识别+闭环处置”的防控体系，通过对管道沿线各路视频监控进行并发轮巡，自动识别第三方施工围挡、工程车辆等风险目标，生成预警工单后，严格执行“预警上报-现场处理-处置结果反馈”的全流程管理，实现第三方破坏风险的闭环处置。该体系推动福州市燃气管网运行安全管理实现三大转变：从“被动处置事故”转向“主动预防风险”、从“人工排查隐患”转向“智能识别风险”、从“单一部门监管”转向“多部门协同共治”。2024年以来，福州市未发生一起因第三方施工导致的地下燃气管道破坏事件，充分验证了闭环处置流程的有效性。

### 4 结论与展望

本研究针对长输燃气管道第三方破坏风险管控的现实需求，设计并研发集风险评估与智能预警功能于一体的系统解决方案。该系统通过构建空地协同监测网络实现对管道沿线第三方活动的全方位监测，借助多源数据融合技术提升风险信息的准确性，运用动态风险评估模型实现风险的科学量化，依托分级预警与闭环处置机制保障风险的及时处置。系统的应用实践表明，其能够有效提升第三方破坏风险的识别精准度与响应效率，为长输燃气管道的安全运行提供可靠技术保障。

#### 参考文献：

- [1] 赵晔青. 燃气管道第三方破坏风险因素及防控措施分析[J]. 煤气与热力, 2025,45(08):58-65.
- [2] 邵博文. 天然气管道第三方破坏动态风险分析与事故后果管控研究[D]. 浙江海洋大学, 2023.
- [3] 左广宇. 城市燃气管道第三方破坏研究及应对措施[D]. 华南理工大学, 2014.
- [4] 徐浩然. 天然气长输管道第三方破坏风险分析与防控[J]. 石化技术, 2025,32(10):237-239.
- [5] 黄明辉. 浅谈天然气管道安全风险及防范措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(17):55-57.