

Identification and prevention system of third-party damage risk in long distance oil and gas pipeline

Cheng Xia Jian Cheng Lingxiang Wang

Huazhong Branch of National Oil and Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

In the context of national energy security strategies and rapid pipeline network development, long-distance oil and gas pipelines serve as critical infrastructure for large-scale energy transportation. Their operational safety directly impacts socioeconomic stability. Current pipeline vulnerabilities to third-party sabotage have become increasingly prominent, characterized by diverse attack methods, severe consequences, and heightened prevention challenges, posing significant operational risks. To address these threats, this study establishes a scientific identification framework through risk assessment models and evaluation processes. Building on this foundation, it proposes targeted prevention systems and key technical solutions, forming a systematic protection framework that plays a vital role in promoting safe and efficient industry development.

Keywords

long distance oil and gas pipeline; third party damage; risk identification; risk assessment; prevention and control system

长输油气管道第三方破坏风险识别与防控体系构建

夏城 程坚 王凌翔

国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

在国家能源安全战略和管道网络快速发展的环境下, 长输油气管道作为大规模输送能源的重要基础设施, 其运行安全直接关系到经济社会稳定。当前管道受第三方破坏的风险逐渐凸显, 表现为破坏类型多样、危害程度严重、防范难度加大, 给安全运营带来隐患。针对其面临的风险特征, 研究从风险识别流程和评估模型入手, 建立科学的识别方法, 并在此基础上提出具有针对性的防控体系和关键技术手段, 形成系统化的防护框架, 对促进行业安全高效发展具有重要意义。

关键词

长输油气管道; 第三方破坏; 风险识别; 风险评估; 防控体系

1 引言

长输油气管道作为国家能源输送的关键通道, 在保障能源供应和支撑社会经济发展方面发挥着不可替代的作用, 伴随管网规模不断扩大和运行年限逐渐延长, 其运行环境日趋复杂, 沿线人类活动和自然因素对管道安全的影响不断增强, 第三方破坏已成为威胁管道完整性和运行稳定性的突出风险, 如何科学识别风险并构建有效的防控体系已成为行业亟待解决的重要课题。

2 长输油气管道第三方破坏风险概述

2.1 第三方破坏的定义与分类

第三方破坏是指在长输油气管道建设和运行周期内, 由非管道建设单位和运营管理部门之外的社会主体在生产、

建设、运输及其他社会活动过程中对管道本体、附属设施或安全保护区造成的直接或间接损伤行为, 这类行为不具备管道运维管理属性, 通常具有偶发性、隐蔽性和不确定性。为了便于科学识别与防控, 可从行为动因、实施方式和造成后果等角度对第三方破坏进行系统分类。根据破坏动因, 可分为无意破坏与蓄意破坏两类, 其中无意破坏多出现在施工单位、农业作业人员或交通运输过程中, 由于信息不对称或安全意识不足导致误伤管道; 蓄意破坏则包括盗油盗气、非法接孔、恶意破坏设施等行为, 具有目的明确、手段隐蔽、社会危害性大的特征。按照实施方式, 可划分为机械性损伤、化学性损害和物理性冲击三类, 机械性损伤最为常见, 表现为挖掘、打桩、推土等工程机械直接接触及管体或保护层造成穿孔、压痕与变形; 化学性损害主要源于沿线工业活动产生的酸碱物质、石油化工原料或固废堆放引起防腐层失效; 物理性冲击则体现为车辆碾压、爆炸波及或高能量冲击载荷导致管体结构性损伤。若从后果严重性划分, 可分为表面性轻微损伤、潜在隐患性损伤和灾难性事故三类, 前者多为局

【作者简介】夏城(1984-), 男, 中国湖北监利人, 本科, 工程师, 从事管道保护, 长输管道第三方施工管理研究。

部涂层脱落，中者表现为管体产生裂纹并在运行过程中逐渐扩展，后者则直接造成大规模泄漏、爆燃或长时间停输。

2.2 长输油气管道面临的主要破坏风险

长输油气管道因跨越城镇、农田、交通干道、河流及山区等多元地理单元，空间分布广且运行周期长，在运营中面临复杂的第三方破坏风险，其中最显著的威胁源于大规模基础设施建设与市政工程施工——此类工程常涉及道路拓宽、桥梁搭建、电力电缆与通信光缆敷设等深根性施工活动，工程机械误触埋地管道的概率显著增加，而施工管理粗放、信息共享缺失更放大了风险敞口。农业生产活动同样构成高频次风险，管道沿线农田深耕翻土、钻井取水、苗木栽植等农事操作易破坏管道外防腐层，引发局部点蚀，为长期安全隐患埋下伏笔。交通运输带来的风险亦不可轻视，重载车辆的反复碾压会改变表层覆土的应力分布，进而诱发管体形变或沉降，尤其在长期累积荷载作用下，易形成隐蔽性损伤。部分地区存在的盗采行为更具突发性，非法搭接分支管线、私装取气阀门、违规盗采油气等行为往往难以被及时监测，极易引发严重泄漏甚至爆炸事故。自然环境因素在此过程中起到风险放大作用，地震、滑坡、洪涝等自然灾害会降低土体抗剪强度，放大外部活动对管体的作用强度，促使原本轻微的损伤升级为重大事故。值得强调的是，伴随城镇化进程加速，管道周边人口与设施的密集程度持续攀升，第三方破坏的影响范围随之扩展，对社会公共安全与生态环境保护构成双重威胁。总体来看，长输油气管道所面临的破坏风险具有多样性、叠加性和复杂性，其共同特征是破坏来源分散、识别难度大、发展速度快，若不加以科学管理和分级控制，将对管道运行安全与区域能源供应稳定产生重大影响。在江汉平原地区，第三方施工风险具有明显的地域特征。该区域农业耕作季节性强，春季深耕翻土、秋季收割复种等操作频繁，农机具作业深度往往超过 30 厘米，容易触及管道上方覆土层。与此同时，区域内水产养殖业发达，养殖池塘开挖及水利设施施工普遍分布于管道沿线，若缺乏与管道企业的信息沟通，极易导致管道保护层损伤或覆土厚度削减，埋下腐蚀与泄漏隐患。

3 长输油气管道第三方破坏风险的识别方法

3.1 风险识别的流程与方法

长输油气管道第三方破坏风险识别的核心在于将外部威胁转化为可量化、可分类、可预警的对象，其流程主要包括数据收集、因子提取、权重确定、空间判定和动态修正五个环节。数据收集阶段整合施工许可、交通流量、土地利用、治安记录及灾害监测等信息，并辅以遥感影像和无人机巡检，构建完整数据库。因子提取阶段针对不同风险类型设立指标，典型如施工扰动类因子包含施工点数量与管道间距，农业作业类因子涉及耕作深度与农机重量，交通荷载类因子涵盖道路等级与车流量，盗采类因子参考历史案件频率与人

口密度，自然灾害类因子包括滑坡系数与降雨量等。为实现不同指标的可比性，采用标准化方法计算因子值，公式如下：

$$X_i = \frac{V_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

其中， X_i 表示标准化后的风险因子值， V_i 为原始指标值， V_{\min} 与 V_{\max} 分别为该指标的最小值和最大值。权重确定可通过层次分析法或专家打分法，计算一致性比率以保证合理性。空间判定环节依托 GIS 系统，将标准化因子与管道走向叠加，生成综合风险值并划分风险等级。动态修正环节则将巡护数据、事故案例与实时监测结果持续反馈至模型，周期性更新参数，确保识别结果具备时效性与前瞻性，从而为风险评估和分级管控提供稳定支撑。

3.2 风险评估模型的构建与应用

在完成风险识别后，必须建立科学的风险评估模型以实现不同风险源的量化比较和等级划分，从而明确防控重点。评估模型的构建应当基于风险发生概率与后果严重程度的耦合关系，并结合识别的各类风险因子进行数学表达。常用的基本模型为：

$$R = P \times C$$

其中， R 表示综合风险值， P 为风险发生概率， C 为风险后果严重程度。概率部分可通过统计历史案例频率、模拟实验结果和专家打分相结合的方式确定，例如施工扰动概率可按施工次数与施工区域靠近管道的比例进行计算，农业作业概率可依据农田覆盖率与深耕频率得到，交通荷载概率则取决于车辆流量与超载率，盗采概率结合历史案件与治安等级评估，自然灾害概率依赖于灾害易发性和年均发生次数。后果严重程度的量化则需引入经济损失、环境影响和人员伤亡三个维度，其中经济损失可用泄漏量与油气市场价格估算，环境影响可按泄漏面积与生态敏感度赋值，人员伤亡可根据人口密度与爆炸冲击半径进行推算。为了提高模型的科学性，可采用多指标综合法建立扩展公式：

$$R = \sum_{i=1}^n W_i \cdot (P_i \times C_i)$$

其中， W_i 为第 i 类风险因子的权重， P_i 为该风险因子的发生概率， C_i 为该风险因子的后果严重程度。模型应用时，需对每个管段计算综合风险值并进行分级划分，高等级风险区段应优先配置视频监控、声学传感器和地面巡护力量，中等级风险区段应增加无人机巡检频率并加强重点抽查，低等级风险区段保持常规监测以保证资源利用的合理性。

4 长输油气管道第三方破坏防控体系的构建

4.1 防控体系的目标与框架

在完成第三方破坏风险的识别与评估后，长输油气管道安全管理重点在于构建一套覆盖全周期的防控体系，实现分级管控、动态预警与快速处置。体系的总体目标是通过

制度约束、技术防护和信息化支撑,降低第三方破坏发生概率,减轻事件后果,保障管道运行的稳定与可靠。框架上包括五个核心模块:风险分级管理模块,基于评估结果对管段进行高、中、低风险划分并设定差异化巡护和监管措施;监测预警模块,利用光纤传感、无人机、视频感知等手段实现高风险区段实时监测与告警;技术防护模块,配置隔离网、承重板及智能监测设备应对施工扰动、农业作业和交通荷载等风险;应急处置模块,建立分级响应流程并配备应急物资与抢修队伍,确保事故快速处置;协同管理模块,形成政府、企业与沿线公众三方联动机制,统一信息共享与防控责任^[1]。在体系运行机制上,应建立基于GIS的管道全生命周期数据库,对沿线地质、地貌、施工活动与人口分布进行动态叠加分析,实现风险区段的空间可视化管理。数据库与无人机巡检、地面巡护终端实现互联互通,可在发现高风险事件苗头时自动推送至调度中心并生成预警工单,保障管理闭环的可追溯性和时效性。

4.2 关键防控措施

在明确防控体系的目标与框架后,需要根据风险识别与评估结果,将防控措施细化为可操作的工程手段和管理机制,以保证不同类别的第三方破坏风险得到针对性控制。针对施工扰动风险,应在管道保护区范围内建立严格的工程准入制度,所有施工单位在进入施工前必须向管道运营方提交施工图纸和作业方案,经专业人员审核并通过管线定位检测确认无冲突后方可批准,同时在施工现场设置全程监护人员,并采用地下管线探测雷达对作业范围进行实时扫描,施工机械进入警戒区域时须由监护人员发出指令以确保安全距离不被突破^[2]。针对农业作业风险,应在管道上方覆土厚度不足的区段安装防深耕隔离网,该设施可采用金属网格或高强度复合材料制成,埋设深度控制在耕作层以下并与管体保持安全间距,同时由地方农业部门和管道企业联合发布农机作业深度规范,明确禁止在管道走向上进行超过30厘米的深耕作业,并通过村镇广播和定期培训提高沿线农户的认知水平。针对交通荷载风险,应在高等级公路与管道交叉区设置限高门架与警示牌,明确禁止超过规定重量的车辆通行,并在重点管段覆土上方铺设钢筋混凝土承重板,其厚度

和强度需依据交通荷载评估结果确定,以均匀分散车辆压力,减轻对管体的集中应力作用。

对于盗采风险,应在历史案件高发区和高风险区段布设光纤传感器与振动监测装置,这些装置能够实时捕捉土体扰动信号并上传至监控平台,经大数据分析后与治安部门共享信息,发现异常时立即触发报警并联动就近巡护力量前往核查。针对自然灾害风险,应在滑坡易发区段建设排水沟与挡土墙,在洪涝频繁区域铺设排水涵管并加固河岸,同时安装地质灾害监测传感器以实时采集地表位移与雨量信息,当监测值达到预警阈值时立即启动应急预案,组织抢险队伍和物资进入待命状态。除此之外,应在整体层面构建智能管控平台,将风险识别结果、评估模型和防控措施统一接入信息系统,平台具备对传感器、视频监控和巡护数据的集中管理功能,可根据风险等级动态分配巡护频率和应急资源,从而实现全流程闭环管理,使管道防控由被动响应转向主动预警^[3]。在关键措施的落实中,需强化传感器信号与人工巡护的融合机制。传感器采集到扰动信号后,系统通过机器学习算法识别其特征频率与能量分布,区分正常机械作业与潜在破坏行为,减少误报率。巡护人员可通过移动终端实时接收事件坐标,并调用周边视频监控实现远程确认。

5 结语

长输油气管道在国家能源战略与经济社会发展中具有重要地位,但受第三方破坏风险威胁,运行安全形势复杂严峻。本文围绕风险概述、识别方法与评估模型、防控体系目标与措施展开研究,提出系统化的风险识别与防控框架,形成从识别、评估到防控的闭环管理模式,为管道安全运行提供了理论与实践支撑。

参考文献

- [1] 段含斌.基于第三方施工的长输油气管道保护方案研究[J].化工管理,2022,(13):161-168.
- [2] 陈雪锋.天然气长输管道定量风险评估方法及其应用研究[D].北京科技大学,2020.
- [3] 杨建功,练章华,于浩,等.油气长输管道第三方破坏监测优化仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(02):469-474.