

长输油气管道高后果区风险分级动态评估及管控策略

王 慧(济宁市煤矿安全生产监测监控中心, 山东 济宁 272000)

摘要: 长输油气管道高后果区风险管理至关重要。本文探讨风险分级动态评估及管控策略, 分析其内涵与核心特征, 构建评估框架, 阐述实施路径, 提出分级管控资源配置、针对性防控及应急机制等策略, 以实现风险精准防控, 为保障长输油气管道安全提供系统性方法。

关键词: 长输油气管道; 高后果区; 风险分级; 动态评估

中图分类号: TE88

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167(2025)032-0148-03

Dynamic risk assessment and control strategy for high consequence area of long-distance oil and gas pipeline

Wang Hui (Jining coal mine safety production monitoring center, Jining Shandong 272000, China)

Abstract: risk management and control of high consequence area of long-distance oil and gas pipeline is very important. This paper discusses the risk classification dynamic assessment and control strategy, analyzes its connotation and core characteristics, constructs the assessment framework, expounds the implementation path, and proposes strategies such as hierarchical management and control resource allocation, targeted prevention and control and emergency mechanism, so as to achieve precise risk prevention and control, and provide a systematic method to ensure the safety of long-distance oil and gas pipelines.

Key words: long distance oil and gas pipeline; High consequence area; Risk classification; Dynamic assessment

长输油气管道是重要的能源运输通道, 是保障国家能源安全和社会公共利益的重要基础设施。高后果区是其沿线事故后果最严重的区域, 因人员稠密、环境敏感或设施重要等因素的存在, 在该类区域内一旦出现泄漏、爆炸等事故, 容易造成重大人员伤亡、环境污染和经济损失。风险分级动态评估及管控是高后果区风险管理的重点工作内容, 摆脱了传统以经验为主的静态评估方式, 针对风险因素的变化情况进行动态管控, 使高后果区的风险等级和对应的管控措施实现动态匹配, 为高后果区的安全防控提供了一个系统性的风险管控方法。

随着长输油气管道的大量投用, 高后果区风险因素愈加复杂: 一方面随着城市化进程推进中人口结构的变化, 另一方面由于高温、强风、暴雨、极寒等极端天气频发加大了高后果区的外部因素影响。要想解决高后果区带来的危害, 建立适应环境变化的动态风险评价机制和实现精准施策是重中之重。

1 长输油气管道高后果区风险分级动态评估的内涵

长输油气管道高后果区风险分级动态评估, 其含义是指对长输油气管道高后果区风险分级动态评估中, 以管道自身、周边环境和外力影响等风险因素为基础, 通过建立量化评估模型, 实现评估指标体系中各类风险因素的实时跟踪监测、风险等级的实时更新、风险级别的动态调优以及分类分组精准化治理。可以

说这种“动态性”“分级性”相结合的特性, 是对长输油气管道高后果区采取科学管理的必然选择。“动态性”指的是, 评估周期会随上述风险因素变化而变化, 并不是固定时间段。“分级性”是要根据不同的危害级别进行划分。与静态评估相比, 动态评估更强调风险的时效性与不确定性, 不仅关注当前风险状态, 还注重风险演化趋势的预测, 通过持续收集风险数据, 实现从“事后分析”向“事前预警”的转变, 为风险管控争取主动^[1]。

2 高后果区的风险核心特征

2.1 评估要素的多维性

高后果区的风险主要体现在管道本身因素、周边因素及运行因素等, 其内容主要包括: 管道本身的因素, 如材质、壁厚、腐蚀程度、焊接质量等; 周边因素, 主要是人口密集程度、周围建筑物种类、地质环境、水文气象等; 运行因素, 主要有管道的输送压力、流量以及检测维护频次等。各个部分因素之间均会发生作用和影响, 相互交织成为高后果区的风险因素, 因此进行评价的时候需要将各方面信息收集并整合起来。

2.2 评估周期的灵活性

改变了以往定时定期进行风险评估的方式, 实现了根据风险要素的变化频率随时改变评估的周期间隔。对人口密集程度、建筑物状况等变化频率较低的因素, 可以实行季度或半年的评估方式; 对输送压力、天气情况等需要实时变化的风险要素要进行实时评

估，当出现地震、洪水等情况时，应马上启动应急评估来保证风险等级能够真实地反应当前情况。

2.3 评估结果的时效性

动态评估是利用信息化平台进行信息的数据化采集和分析，评估结果能够第一时间更新到管控系统中，为决策提供依据。若评估等级大于预警值时将发出预警信号，使管控系统能够及时做出反应，从而杜绝因评估时间滞后产生的风险失控问题^[2]。

3 长输油气管道高后果区风险分级动态评估的框架构建

3.1 评估指标体系设计

①指标选取原则。在建立指标体系过程中，要坚持科学性、系统性、可操作性、动态性的原则。所谓科学性是指所设置的指标必须能客观地体现风险的本质，所谓系统性是指要覆盖风险的所有方面，可操作性是指指标的数据可得且可量，而动态性则是指指标要能随着风险的因素变化而变化。

②具体指标设置。从管道本体、周边环境和运行管理三个方面设定指标，管道本体方面主要是：腐蚀速率、缺陷数量和尺寸、管道剩余强度等。周边环境方面主要是：人口密度指数、环境敏感区等级、第三方施工活跃程度等，运行管理方面主要是：检测覆盖率、维护及时率、应急预案完善程度等。分别对上述3个方面设立分指标，并为分指标设定权重，使得指标重要性和其风险的贡献度相匹配。

③指标量化方法。对于定性的评价指标使用模糊综合评价法量化，如划分等级：极敏感、高敏感、中敏感、低敏感，分别赋予4、3、2、1分。对于定量评价指标，采用标准化的办法处理，如腐蚀速率的评分，是按照其值与管道腐蚀允许值的比值来赋分的，数值越大，说明对应的管道风险越大。用上述的方式使得各维度上的众多风险因素可以量化到具体的数值上，从而能够进一步做风险分级。

3.2 动态评估模型构建

①风险等级划分标准。根据量化结果用风险矩阵法进行等级划分，横坐标表示事故的可能性大小，依据管道失效概率、第三方破坏概率等指标。纵坐标表示后果严重度，根据人员伤亡人数、破坏程度、损失额等因素评估。将风险等级按照高风险(I级)、较高风险(II级)、中风险(III级)和低风险(IV级)4个级别分别对应相应的风险值范围划分。

②模型运行流程。动态评估模型运行包括数据采集、指标计算、风险评级、结果输出4个环节，从在线监测设备获取数据，或由专业人员定期取得监测报告和现场勘查形成的报告中，确定指标数据。利用设

计的算法将原始数据转换为指标得分，并通过加权计算确定综合风险值，根据综合风险值大小与等级划分确定等级，最后生成评估报告，指出相应的风险等级、主要风险因子和演变趋势。

③模型动态调整机制。在制定模型参数过程中，应建立定期校准的工作制度，以历史事故数据及偏差值为参照，修正各项指标权重值与风险等级划分标准，保证模型参数能更好反映实际情况。在发现出现新风险因素时，应将新出现的风险因素纳入指标体系中，提高模型的适应性^[3]。

4 长输油气管道高后果区风险分级动态评估的实施路径

4.1 数据采集与整合

①多源数据采集网络。建立由“在线监测+离线检测+人工巡查”组成多源化数据采集网络。实现在线监测是，利用安装在线路两侧管道沿线的腐蚀在线监测仪、压力变送器和光纤预警等获取管道运行参数及第三方干扰的数据；离线检测是指定期开展内检测、外检测以及开展环境调查等工作，获取管道缺陷、腐蚀状况以及周边环境变化数据；人工巡查则是用于采集需要通过人工观察才能获取的信息，比如人口分布、建筑物新修等情况。

②数据标准化处理。按照统一的数据标准要求，统一规范各类源数据和格式化数据的一致性和可比性，将腐蚀速率转换成毫米/年，将人口密度转换成每平方千米人数等。对数据做质量校核并剔除异常值和缺失值，使用插值或者模型预测等方式填充数据的缺项值，确保评估数据的完整性。

③数据共享平台建设。搭建高后果区风险数据共享平台，整合管道运营单位、监管部门、科研机构等多方数据资源，实现数据的实时交互与共享。平台具备数据存储、分析、可视化等功能，支持评估模型的在线运行，为动态评估提供技术支撑^[4]。

4.2 风险等级动态更新机制

①常规更新周期。根据风险因素的稳定性确定常规更新周期。对于Ⅲ、Ⅳ级风险区，因风险变化较慢，每季度更新一次风险等级，对于Ⅰ、Ⅱ级高风险区，每月更新一次，确保能够及时掌握风险变化。

②触发式更新条件。当发生管道泄漏、第三方破坏等突发险情，或遭遇地震、洪涝等自然灾害，或管道周边环境发生较大改变（如新增学校、医院等敏感设施），或管道运行参数发生较大变化（如压力发生突然变化）等情况时，则需立即启动即时更新。触发式更新可以针对突发风险及时更新，避免滞后于常规周期更新。

③更新结果验证。风险等级更新后，需通过现场核查

验证结果的准确性。组织专业人员对评估报告中的主要风险因素进行实地检查，比对实际情况与评估结果的差异，若差异超过 10%，则重新校准模型参数，确保风险等级的真实性。

5 长输油气管道高后果区风险分级管控策略

5.1 分级管控资源配置

① I 级(高风险)区管控。对 I 级风险区，坚持“严防死守”，保障最高级别管控资源投入到位，加密在线监测频次，人工巡检每日巡查 2 次以上，全年全面内检测至少 2 次，及时发现管道缺陷。外围设置物理围栏，严禁非相关人员进入，协调地方政府根据属地特点拟定线路周边人员疏散预案，并开展应急演练工作^[5]。② II 级(较高风险)区管控。II 级风险区采取

“强化防控”，每 2h 采集 1 次在线监测数据，每周巡查 3~4 次，每 1.5 年开展 1 次内检测。严抓第三方施工管控，实行“强化防控”制度，要求施工单位提前报备施工方案，施工期间指派专人现场监护，在其附近重要环境敏感点处设置提示牌，告知风险信息^[6]。

③ III、IV 级(中、低风险)区管控。III 级风险区实施“常规防控”，每天采集一次监测数据，每月巡查 1~2 次，每 2 年开展一次内检测，定期对周边环境变化情况进行排查。IV 级风险区实行“动态监测”，每周采集一次监测数据，每季度巡查一次，避免风险等级提高，合理配置管控资源，不要过分防控而浪费资源。

5.2 针对性风险防控措施

① 管道本体风险防控。针对管道腐蚀、缺陷等本体的风险，采用防腐层修复、阴极保护系统优化等方法控制腐蚀速率。在发现重大缺陷时，及时修理或者更换管道，保证管道剩余强度满足运行条件，合理设置运行参数，避免管道出现超压情况，降低管道失效的概率^[7]。② 周边环境风险防控。对人口密集区采取管道改线、加设防护等措施，可减少事故发生几率。针对环境敏感区域加强管道管理，设置好应急抢修设备和物质，防止泄露时发生污染事件，加强同地方政府部门的联系，在与当地政府的配合下把高后果区范围纳入到城乡规划当中，并且禁止在该区域建设易引发破坏性后果的建(构)筑物及相关设施。③ 第三方干扰风险防控。建立第三方施工信息通报机制，与施工单位、住建部门等建立联动，提前掌握施工计划。在易发生第三方破坏的区域安装光纤预警系统或视频监控，发现异常挖掘、打孔等行为及时预警。加强管道保护宣传，提高周边群众和施工单位的管道保护意识。

5.3 应急管控机制

① 应急预案分级制定。根据风险等级制订不同等

级的应急预案：I 级风险区应编制详细场景式预案，并明确应急组织机构、响应流程、应急处置措施和物资保障等内容，且预案每年至少组织演练两次；II 级风险区的应急预案每半年组织开展一次演练；III、IV 级风险区的应急预案每一年组织开展一次演练，确保应急处置的熟练度。② 应急响应快速启动。发生突发事件后，依据事故发生事件类别及波及范围迅速启动对应的应急响应，由应急指挥平台调动抢修队伍、设备和物资，并确保最短时间到达现场进行处置。同时上报地方人民政府和监管部门等单位，共同做好事故受伤人员救治与疏散转移、周边地区和下游管道安全警戒，以及管道泄露和管道变形部位的环境监测等工作。③ 事后评估与改进。当事故发生后应进行事后评估，总结应急处置效果，从管控措施角度发现问题，完善预案和管控方案，并将事故原因、处置经过等内容补充到风险评估数据库中，为后期的风险分级动态评估提供参考依据，从而实现“评估-管控-改进”闭环管理。

6 结语

长输油气管道高后果区风险分级动态评估及管控是一个非常复杂的工程问题。在运行过程中，需开展高后果区风险的分级动态评估，并根据评估等级采取差异化的风险管控措施，以此实现对高后果区风险的有效识别、预警和防控。全程应注重数据的收集与共享、评估模型的建立以及管控资源的调配等问题，充分重视从技术、制度和人员等方面为动态评估和管控工作提供有力支撑，保证分级动态评估和管控工作的顺利进行。

参考文献：

- [1] 吴广春, 李德明, 濮春明. 长输天然气管道高后果区识别与风险管理[J]. 上海煤气, 2021(05):4-7+32.
- [2] 陈诚. 长输油气管道防腐补口质量的控制策略[J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(02):123-124.
- [3] 朱晏萱. 油气长输管道的风险评价研究[J]. 广州化工, 2022, 50(24):270-272.
- [4] 周小超, 张智辉, 赵俊芳. 长输油气管道运维中存在的问题及预防措施[J]. 化工管理, 2023(20):124-126+143.
- [5] 郭涛. 长输油气管道含缺陷环焊缝失效定量风险研究[J]. 石油工程建设, 2024, 50(05):61-66.
- [6] 左秋河. 天然气输气管道高后果区识别及风险管理[J]. 化工安全与环境, 2024, 37(07):24-29.
- [7] 施昊彤. 长输管道高后果区法规标准及管理现状探讨[J]. 石油和化工设备, 2023, 26(07):9-11.