

Research on risk identification and Control strategy in high-consequence areas of long-distance Natural gas Pipeline

Gang Wu Meng Ai Zhonglu Yang

National Pipeline Network Group, Beijing Natural Gas Pipeline Co., Ltd. Shanxi Branch, Yangquan, Shanxi, 045100, China

Abstract

With the continuous growth of energy demand in China, the role of long-term natural gas pipeline in energy supply is becoming more and more important. However, the long-term natural gas pipeline may encounter many risks in the process of operation, especially in the high-consequence area, and its potential safety risks can not be ignored. This paper mainly studies the risk identification and control strategy of high consequence area of long distance natural gas pipeline. Through the definition and characteristics analysis of the high-consequence area, combined with the actual cases, the paper discusses the risk assessment method, and the corresponding control measures are put forward. The research shows that, based on the modern risk management theory, taking systematic risk identification, assessment and control measures can effectively reduce the safety risks in high-consequence areas and ensure the safe and stable operation of natural gas pipeline. This paper provides theoretical basis and practical guidance for the safety management of high consequence area of long natural gas pipeline.

Keywords

long-term natural gas pipeline; high-consequence area; risk identification; control strategy; safety management

长输天然气管道高后果区风险识别与管控策略研究

吴刚 艾蒙 杨忠路

国家管网集团北京天然气管道有限公司山西输油气分公司, 中国·山西 阳泉 045100

摘 要

随着我国能源需求的不断增长, 长输天然气管道在能源供应中的作用愈加重要。然而, 长输天然气管道在运行过程中可能遭遇多种风险, 尤其是在高后果区, 其潜在的安全隐患更是不可忽视。本文主要研究了长输天然气管道高后果区的风险识别与管控策略。通过对高后果区的定义与特点分析, 结合实际案例, 探讨了风险评估方法, 并提出了相应的管控措施。研究表明, 基于现代风险管理理论, 采取系统化的风险识别、评估和管控措施, 可以有效降低高后果区的安全风险, 确保天然气管道的安全稳定运行。本文为长输天然气管道高后果区的安全管理提供了理论依据和实践指导。

关键词

长输天然气管道; 高后果区; 风险识别; 管控策略; 安全管理

1 引言

长输天然气管道高后果区的风险识别与管控, 涉及多个方面的研究内容, 包括管道路径选定、区域风险评估、事故后果模拟、安全管控措施等。当前, 国内外在管道风险管理方面已有一定的研究, 但针对高后果区的特有风险识别与管控策略尚缺乏深入的探讨。本文通过对长输天然气管道高后果区的风险识别与管控策略的系统研究, 旨在提出有效的解决方案, 以降低管道事故的发生概率和减少事故的影响。

2 长输天然气管道高后果区的定义与特点

2.1 高后果区的定义

高后果区是指那些一旦发生事故, 可能对人身安全、

环境保护、公共财产以及社会稳定等方面造成严重后果的区域。在长输天然气管道的安全管理中, 高后果区指的是管道经过或附近的区域, 若发生泄漏、爆炸等事故, 其影响范围大, 后果严重, 且事故发生的概率较高。

高后果区的划分依据通常包括以下几个因素: 人口密度、重要设施分布、环境敏感性、社会经济影响等。通常, 管道周边居民区、工业区、交通枢纽等区域, 因其潜在的高风险与高损失, 常被划定为高后果区。

2.2 高后果区的特点

高后果区的风险管理难度较大, 主要表现在以下几个方面:

人口密度高: 高后果区通常位于人口密集的城市或周边区域, 事故一旦发生, 可能对大量人员造成直接伤害或影响。

关键设施集中: 高后果区内可能分布着大量的关键基

【作者简介】吴刚 (1976-), 男, 中国河北辛集人, 工程师, 从事管道保护研究。

基础设施，如电力站、医院、交通枢纽等，一旦发生泄漏或火灾等事故，不仅会造成财产损失，还可能影响社会的正常运转。

环境敏感性强：部分高后果区位于自然保护区、生态敏感区或水源保护区，事故发生后，可能导致生态环境破坏，造成无法修复的长远损失。

事故后果的级联效应：高后果区的事故不仅会造成直接伤害，还可能通过级联效应引发更广泛的社会影响，如交通中断、电力停供等。

2.3 高后果区的风险评估要素

高后果区的风险评估需要综合考虑以下几个要素：

事故发生的概率：主要通过历史事故数据、管道技术状况、运营环境等因素，评估事故发生的可能性。

事故后果的严重性：根据事故类型、泄漏量、火灾爆炸的威胁范围等，评估事故发生后可能造成的损失与影响。

管道的地理与环境特征：高后果区的地理环境、气候条件等对事故的发生及其影响有着重要作用，需重点分析其对管道安全的潜在威胁。

3 长输天然气管道高后果区的风险识别方法

3.1 风险识别的基本方法

在对长输天然气管道进行风险识别时，通常采用定性与定量相结合的方法。定性分析帮助识别潜在的风险源，定量分析则通过概率与后果评估，量化风险的大小与可能性。两者结合，可以为管道安全管理提供更为全面和深入的风险识别与管控方案。

定性分析法：定性分析法主要通过专家评估法、故障树分析法（FTA）、事件树分析法（ETA）等方法对管道风险进行系统化评估，识别潜在的风险源和风险情景。专家评估法依赖于多名专家的知识 and 经验，对管道可能发生的风险进行定性判断，并提出相应的管控措施。

专家评估法：专家评估法通过邀请管道领域的专家，根据过往的事故数据、管道设备的技术参数以及运行环境进行综合评估，识别潜在的安全隐患。专家评估法能够基于主观经验和直觉，快速判断管道所处环境中的潜在风险。

故障树分析法（FTA）：故障树分析法通过将系统中的各个潜在故障事件拆解成更小的部分，以树形结构的方式对其进行层层分析，识别系统内的关键故障源，明确发生重大事故的具体原因。FTA 适用于分析复杂系统的结构性失效，通过识别单点故障和系统级别的风险，帮助找到根本原因。

事件树分析法（ETA）：事件树分析法用于分析事故发生后可能的后续发展，基于初始事件，评估一系列后续事件的发生概率及其后果。通过 ETA，可以全面分析一旦事故发生后可能导致的多重结果及其影响，有助于为管道事故的应急响应做出准备。

定量分析法：定量分析方法主要通过对事故发生概率

和后果进行数学建模，评估风险的大小。定量分析能够为高后果区的风险管理提供量化依据，帮助决策者采取更具针对性的安全措施。常用的定量分析方法包括风险矩阵法、蒙特卡洛模拟等。

风险矩阵法：风险矩阵法是一种通过对事件的发生概率与后果严重性进行评分，形成一个矩阵，以此对不同的风险进行排序的方法。矩阵法通过将风险事件分级，帮助管理者识别高风险区域和关键设施，进而集中资源进行管控。

蒙特卡洛模拟：蒙特卡洛模拟是一种通过大量随机抽样，评估系统在不同情境下可能产生结果的统计方法。它能够通过模拟不同风险情景的发生频率及后果分布，预测潜在风险的大小。蒙特卡洛模拟为高后果区的风险评估提供了一个多维度的模拟过程，可以预测事故发生的概率和后果范围，从而为管控措施的制定提供数据支持。

3.2 长输天然气管道高后果区风险识别的具体步骤

长输天然气管道高后果区的风险识别需要经过严格的分析与评估过程，确保全面识别潜在的风险源。具体步骤包括：确定高后果区范围、风险源识别与评估、事故后果分析，以及最终的风险评估和管控策略制定。

确定高后果区范围：确定高后果区的范围是风险识别的第一步。根据管道的路径、周围环境和设施分布等因素，明确哪些区域应被划定为高后果区。通常，管道周围的 1 公里至 5 公里范围内的区域，需要重点评估其安全风险。对这些区域进行精确划分，不仅有助于识别潜在的高风险地带，也为后续的管控策略实施提供了依据。

因素考虑：在划定高后果区时，主要考虑人口密度、设施分布、重要资源、生态环境等因素。若管道途经繁华的城市区域、高度工业化地区或是环境敏感区域，这些区域将被视为高后果区，需要重点监控。

风险等级划分：通过对不同区域的风险进行评估，可以将高后果区按危险程度划分为不同等级。较为危险的区域将需要更加严格的风险管控措施和应急预案。

风险源识别与评估：识别并评估高后果区内所有潜在风险源，是确保管道安全的关键步骤。潜在风险源包括管道的材质、输送气体的压力、管道的老化程度以及周围环境的影响等因素。

管道本身的风险源：管道材质的选择和制造质量直接影响管道的安全性。老化或损坏的管道容易导致泄漏等事故的发生，因此，对管道材质和老化程度的评估至关重要。

输送气体的风险：天然气作为易燃易爆的物质，其输送过程中产生的高压和高温是风险源之一。高压管道容易在事故发生时引发爆炸或火灾等灾难性后果。

外部环境因素：包括地质条件、天气因素、人为破坏等。极端天气（如暴雨、冰冻等）可能影响管道的结构，而人为因素（如非法开挖、施工等）也可能成为潜在的风险源。

事故后果分析：对可能发生的泄漏、爆炸、火灾等事

故进行后果分析,是评估高后果区风险的重要步骤。事故后果分析通过模拟不同类型事故发生后的连锁反应,评估可能造成的人员伤亡、财产损失和环境污染等。

后果分析方法:常用的后果分析方法包括爆炸模拟、火灾模拟、毒气泄漏模拟等,通过计算不同类型事故可能造成的伤害范围、爆炸波及范围、火灾蔓延速度等,评估事故发生后的影响程度。

影响范围评估:事故发生后,管道周边区域的影响范围需通过数学模型进行模拟。例如,泄漏气体的扩散、爆炸波的传播速度、火灾蔓延的路径等,这些都需要进行详细的后果模拟,以确保后续管控措施的有效性。

风险评估与管控策略的制定:根据识别出的风险源及其后果,结合定量与定性分析结果,制定相应的管控策略。这些策略包括但不限于管道监控、应急响应、修复和保养等。

管控策略制定:管控策略应涵盖风险预防、监测、应急响应等方面。具体策略包括加强管道检测频次、更新老化管道、部署实时监控系統、定期进行安全演练等。

管控措施实施:结合评估结果,建立起严格的风险管理体系,定期评估管道的运行状态,对高后果区进行重点监控,确保管道的安全稳定运行。

4 长输天然气管道高后果区的管控策略

4.1 管控策略的基本原则

高后果区的风险管理应坚持以下基本原则:

预防为主,防治结合:风险管理工作应强调事故的预防,制定完善的管道检测、监控及维修制度,防止事故的发生。同时,应结合应急预案,确保在事故发生时能够及时有效地应对,最大限度地减少事故的影响。

多层次管控,分级管理:高后果区的管控应采取多层次、分级管理的方式,结合区域特点,合理划分风险管理区域,确保每个区域的风险管控措施得当。不同等级的高后果区应采取不同的管控策略与应急预案。

动态监控,持续改进:管道的风险管控工作应是一个动态的过程,需要通过持续监控和定期评估,不断改进和完善风险管控措施。通过实时监控管道状态,及时发现隐患,并根据新情况调整管控策略。

4.2 管控策略的实施路径

建立全面的风险评估体系:通过建立长期、全面的风

险评估体系,定期对管道线路、设备状态以及高后果区内的风险源进行评估,及时发现潜在的风险点,确保管控措施的有效实施。

加强管道监控与检测技术的应用:采用现代化监控技术,如智能传感器、卫星遥感技术、无人机巡检等手段,进行管道的实时监测和检测,确保及时发现管道的异常状态,及时采取修复措施。

完善应急预案与事故响应机制:针对高后果区的特殊性,制定科学、有效的应急预案,并定期进行演练。通过演练,评估应急响应的有效性,并确保事故发生时能够快速、有效地进行应急处置。

4.3 高后果区安全管控案例分析

通过分析某长输天然气管道在高后果区的实际管控案例,结合管控措施的实施效果,评估管控策略的可行性和实际效果,从中提取经验,指导其他地区的管控工作。通过这一案例的分析,可以看到,在高后果区实施多层次的安全管控措施和严格的应急响应机制,能够有效降低事故发生的风险,减少事故发生后的损失。

5 结语

随着长输天然气管道的不断发展,特别是在高后果区的风险管理方面,如何有效识别和管控潜在风险,是保障管道安全运行的重要课题。本文通过对长输天然气管道高后果区风险识别与管控策略的研究,提出了一系列有效的措施,为管道安全管理提供了理论依据与实践指导。在未来的研究和实践中,需进一步完善风险评估方法和管控技术,推动长输天然气管道在更高安全标准下的运行,为社会提供更加安全、可靠的能源保障。

参考文献

- [1] 唐君言,孙学良,袁芳,等.国土空间规划中油气管线管控策略研究[C]//中国城市规划学会,合肥市人民政府.美丽中国,共建共治共享——2024中国城市规划年会论文集(02城市安全与防灾规划)。中国城市规划设计研究院;中规院(北京)规划设计有限公司;2024:8.
- [2] 艾力群,江玉友,门立国,等.管输行业甲烷排放现状与管控对策[J].油气田环境保护,2022,32(04):14-19.
- [3] 李伟,李新屋,王俊贺,等.航空煤油管道安全管理浅析[J].石化技术,2021,28(07):203-204.