

# 天然气管道地质灾害风险评估与防护措施

鲁巨跃 胡锡福 孙超

国家管网集团北京管道有限公司 山西 吕梁 033500

**摘要:** 天然气作为一种清洁、高效的能源,在国民经济中占有重要地位。天然气管道作为其主要运输方式,其安全运行对于保障国家能源安全具有重要意义。然而,天然气管道穿越复杂的地质环境,面临多种地质灾害的威胁。本文旨在探讨天然气管道地质灾害的风险评估方法,并提出相应的防护措施,以确保管道的安全运行。

**关键词:** 天然气管道; 地质灾害; 风险评估; 防护措施

## 引言

天然气管道在建设和运营过程中,经常穿越山区、丘陵、河流等复杂地形,这些地区地质灾害频发,对管道安全构成严重威胁。因此,对天然气管道地质灾害进行风险评估,并采取有效的防护措施,对于保障管道安全、减少经济损失具有重要意义。

### 1 天然气管道地质灾害类型及特点

#### 1.1 岩土体失稳与移动灾害

岩土体失稳与移动灾害,作为天然气管道面临的主要自然灾害之一,具体可细分为滑坡、崩塌、泥石流等多种形态。这些灾害的触发因素多样,包括但不限于长期或短期的强降雨、地震活动引发的地表震动以及人类活动对自然环境的干扰等。它们以极高的突发性和破坏性著称,对天然气管道构成直接且严重的威胁。滑坡发生时,大量岩土体沿一定滑动面下滑,不仅可能直接撞击和挤压管道,造成管道变形、破损甚至断裂,还可能通过改变地形地貌,使原本埋设于地下的管道暴露于地表,增加受损风险。崩塌则是岩土体在重力作用下突然断裂、脱落并沿坡面滚落的过程,其对管道的破坏作用与滑坡相似,但往往更为迅猛和集中。泥石流则是山区特有的自然灾害,由大量泥沙、石块和水混合而成,具有流速快、冲击力强的特点。泥石流在流动过程中,能够轻易冲刷和掩埋沿途的天然气管道,造成管道结构的严重破坏和天然气泄漏等严重后果。

#### 1.2 水流侵蚀与冲刷灾害

水流侵蚀与冲刷灾害,主要包括坡面流水害、河道变迁水害以及洪水冲刷等。这类灾害的发生与水流的动力作用密切相关,长期或短期的水流冲刷和侵蚀作用会不断削弱管道周围的土壤和岩石支撑,导致管道埋设深度逐渐减小,甚至直接暴露于地表或处于悬空状态。坡面流水害主要发生在山区和丘陵地带,由于地形坡度大、土壤松散,雨水在坡面上快速流动并携带大量泥

沙,对管道造成冲刷和侵蚀<sup>[1]</sup>。河道变迁水害则是由于河流改道、河床抬高或降低等自然因素导致管道所处位置的河流环境发生变化,进而对管道造成威胁。洪水冲刷则是洪水期间水流对管道的强烈冲刷作用,可能导致管道移位、破损或断裂。

#### 1.3 地质构造活动与地震灾害

地质构造活动与地震灾害是天然气管道面临的另一类严重自然灾害。这类灾害由地壳内部的应力变化和运动所引起,具有预测难度大、破坏力强的特点。断层位移是地壳内部岩石层因应力作用而发生相对移动的现象。当断层发生位移时,地表形态会发生剧烈变化,如地面抬升、沉降或错动等,这些变化可能直接破坏天然气管道或使其处于不稳定状态。地震则是地壳内部能量释放的一种形式,其产生的震动波能够直接对管道造成物理破坏,如断裂、错位等。此外,地震还可能引发滑坡、崩塌等其他地质灾害,进一步加剧对天然气管道安全的威胁。

## 2 天然气管道地质灾害风险评估方法

### 2.1 构建综合风险评估指标体系

为了全面、准确地评估天然气管道面临的地质灾害风险,需构建一个多层次、多维度的风险评估指标体系。该体系应综合考虑灾害发生的可能性(即概率)、灾害对管道造成的潜在影响程度(即后果严重性)以及管道自身对灾害的抵抗能力(即脆弱性)三大核心要素。具体如下表:

表1: 构建综合风险评估指标体系

评估维度	主要指标	子指标/考量因素
灾害发生概率	滑坡风险	滑坡发生的历史频率; 滑坡体规模(体积、面积); 滑坡体稳定性评估; 降雨诱发因素(年均降雨量、降雨强度)
	泥石流风险	泥石流流域特征(流域面积、坡度); 泥石流物质组成(泥沙比例、石块大小); 历史发生频率; 降雨及融雪触发条件

续表:

评估维度	主要指标	子指标/考量因素
	地震风险	地震活动带分布; 历史地震记录; 地震烈度区划; 地震断层活动性; 地震波传播特性
灾害影响程度	对管道的直接影响	灾害直接作用于管道的物理损伤程度(破裂、变形、位移等)
	间接影响评估	灾害引发的次生灾害对管道的影响; 灾害导致的管道运行环境恶化(土壤松动、埋深减少)
管道脆弱性	结构强度	管道材料; 壁厚; 接头类型
	维护状况	日常维护频率; 检测与监测体系; 历史维修记录
	防护措施	已实施的防灾减灾措施(滑坡治理、泥石流拦挡、抗震支架等); 措施的有效性与覆盖范围

通过细化上述指标,并结合地理信息系统(GIS)、遥感技术、数值模拟等现代科技手段,可以实现对天然气管道地质灾害风险的精细化、动态化评估,为制定有效的防灾减灾策略提供科学依据。

### 2.2 定性评价方法

定性评价方法作为天然气管道地质灾害风险评估的重要手段,侧重于利用专家知识和实践经验对风险进行主观评判。以下是几种常用的定性评价方法及其特点:

**安全检查表(Safety Checklist):**此方法通过编制包含一系列关键检查项目的清单,如管道沿线地质条件、防灾措施实施情况、历史灾害记录等,由专家根据现场实际情况逐一核对并评估风险。安全检查表简洁明了,易于操作,但受限于检查项目的全面性和专家经验的差异性,可能无法涵盖所有潜在风险。

**预先危险性分析(Preliminary Hazard Analysis):**预先危险性分析是在项目设计或运营初期,通过专家讨论和头脑风暴,识别可能存在的地质灾害风险,并评估其潜在后果。该方法强调对风险的初步识别和分类,有助于在项目早期发现潜在问题,但同样受限于专家知识的主观性和对未来情况预测的不确定性。

**危险和可操作性分析(Hazard and Operability Analysis):**该方法通过系统分析管道运营过程中的潜在危险和可操作性问题,识别可能导致地质灾害的因素,如管道设计缺陷、维护不足等,并评估其对管道安全的影响<sup>[2]</sup>。危险和可操作性分析注重从系统角度出发,综合考虑多种因素,但同样面临量化困难和主观性较强的问题。

### 2.3 半定量评价方法

半定量评价方法融合了定性与定量的优势,为天然气管道地质灾害风险评估提供了更为精细化的工具。其

核心在于,通过构建一套涵盖地质灾害致灾体活动特性与受灾体(即管道)特征的风险指标体系,并运用数学模型对这些指标进行量化处理,从而实现管道地质灾害事故发生概率及管道失效后果严重程度的综合评估。在众多半定量评价方法中,专家评分法(Expert Scoring Technique, EST)尤为突出。EST方法特别适用于那些受多重不确定因素影响,且难以通过传统定量手段进行精确分析的复杂系统,如天然气管道地质灾害风险评估。该方法依赖于领域专家的深厚知识和丰富经验,通过组织专家团队对预先设定的风险指标进行打分,进而汇总得出综合评价结果。EST方法的实施步骤通常包括:首先,明确评估目标,即确定需要评估的管道段及其潜在的地质灾害类型;其次,构建风险指标体系,该体系应全面反映致灾体的活动规律(如地震频度、滑坡规模)和受灾体(管道)的固有属性(如材质、埋深);接着,邀请多位专家依据自身专业知识和经验,对各项指标进行独立评分;最后,通过加权平均等数学手段,将专家评分转化为综合风险值,以此判断管道地质灾害风险的相对高低。EST方法不仅考虑了地质灾害的自然属性,还充分融入了管道系统的工程特性,使得评估结果更为贴近实际,为后续的防灾减灾措施制定提供了科学依据。

## 3 天然气管道地质灾害防护措施

### 3.1 工程防护措施:构筑安全防线

针对天然气管道面临的地质灾害威胁,工程防护措施是构建安全防线的关键一环。对于滑坡和泥石流这类地质灾害,采取了一系列行之有效的工程治理手段。滑坡治理方面,挡土墙作为常见的防护结构,被广泛应用于稳定边坡、防止土体滑动。其设计需根据滑坡体的规模、性质及滑动方向等因素综合考虑,确保墙体的稳定性与耐久性。抗滑桩则通过深入滑坡体内部,提供强大的抗滑力,有效遏制滑坡体的下滑趋势。此外,合理布设的排水沟能够引导地表水流畅通无阻,减少水流对边坡的冲刷作用,从而降低滑坡发生的风险。在泥石流防治方面,工程措施同样发挥着重要作用。修建泥石流拦挡结构,如拦砂坝、格栅坝等,能够拦截泥石流中的固体物质,减轻其对下游管道的冲击。同时,结合地形特点,设计合理的导流槽或排导渠,将泥石流引导至安全区域,避免其对管道造成直接威胁<sup>[3]</sup>。对于地震灾害,抗震支架和减震器的应用成为保护管道免受地震破坏的有效手段。抗震支架通过增强管道与周围结构的连接强度,提高管道在地震作用下的稳定性。而减震器则能够吸收和分散地震波传递的能量,减少管道因震动而产生

的应力和变形,从而保障管道的安全运行。工程防护措施在天然气管道地质灾害防护中扮演着至关重要的角色。通过科学设计、合理布局和精心施工,这些措施能够有效降低地质灾害对管道安全的影响,为天然气管道的稳定运行提供有力保障。

### 3.2 监测与预警系统:守护天然气管道的安全前哨

为了更有效地应对天然气管道沿线的地质灾害风险,建立一套完善的地质灾害监测与预警系统显得尤为关键。这一系统融合了现代科技的力量,特别是遥感技术与地理信息系统的广泛应用,为地质灾害的早发现、早预警、早处置提供了强有力的技术支持。遥感技术,凭借其远距离感知地表信息的能力,成为监测地质灾害动态变化的利器。通过卫星或无人机搭载的高分辨率相机,可以定期或实时捕捉管道沿线地质环境的细微变化,如地表形变、植被覆盖变化等,这些往往是地质灾害发生前的先兆。结合图像处理与数据分析技术,能够及时发现潜在的地质灾害隐患点,为预警提供可靠依据。地理信息系统(GIS)作为空间信息管理的强大工具,将遥感获取的数据与地质、地貌、气象等多源信息进行整合,构建起一个全面的地质灾害风险评估与预警模型。通过空间分析功能,可以直观地展示地质灾害的风险分布,预测灾害可能的扩散路径和影响范围,为应急响应和灾害防治提供科学依据。监测与预警系统的核心在于实时性和准确性。系统一旦监测到地质灾害的异常信号,会立即触发预警机制,通过短信、邮件、APP推送等多种方式,迅速将预警信息传达给相关管理人员和应急响应团队。同时,系统还能根据灾害的严重程度和紧急程度,自动启动相应的应急预案,指导现场人员进行快速有效的处置,从而最大限度地减少地质灾害对天然气管道安全运行的威胁。

### 3.3 应急响应机制:确保天然气管道地质灾害高效应对

面对天然气管道可能遭遇的地质灾害,建立健全一套高效、有序的应急响应机制至关重要。这一机制以详细的应急预案和处置流程为核心,旨在确保在灾害发生时,能够迅速、准确地采取行动,最大限度地保障管道安全。应急预案的制定,需全面考虑各类地质灾害的特点和可能造成的后果。针对滑坡、泥石流、地震等不同

类型的灾害,制定具体的应对措施和救援方案。预案中应明确应急组织的架构、职责分工、通信联络方式,以及抢险救援队伍的组织、装备和物资准备等关键要素。处置流程则细化了应急响应的每一个环节。从灾害信息的接收与核实,到应急响应的启动与级别判定,再到抢险救援队伍的集结与出发,每一步都需有明确的操作规范和时间要求<sup>[4]</sup>。同时,流程中还应包含对灾害现场的安全评估、抢险方案的制定与实施、管道安全的监测与保护,以及后续的危害恢复与总结评估等环节。在应急响应机制中,还特别强调快速响应与协同作战。一旦灾害发生,应立即启动预案,迅速调集抢险救援队伍和物资装备,确保第一时间到达灾害现场。同时,加强与地方政府、消防、医疗等部门的沟通协调,形成合力,共同应对灾害挑战。通过建立健全地质灾害应急响应机制,不仅能够提高天然气管道地质灾害的应对能力,还能够灾害发生时,迅速有效地保护管道安全,减少灾害造成的损失和影响。这一机制的完善,是天然气管道安全管理不可或缺的重要一环。

### 结语

天然气管道地质灾害风险评估与防护措施是确保管道安全运行的重要保障。通过构建科学的风险评估指标体系、选择合适的风险评估模型、收集并分析相关数据,可准确评估地质灾害对天然气管道的风险。同时,采取工程防护措施、建立监测与预警系统、完善应急响应机制等措施,可有效降低地质灾害对管道的影响。未来,随着科技的不断发展,地质灾害风险评估与防护技术将不断进步,为天然气管道的安全运行提供更加有力的保障。

### 参考文献:

- [1]陈啟斌,肖江鸿,陈帝文.天然气管道地质灾害风险调查与评价方法[J].石化技术,2024,31(09):94-96+34.
- [2]游鹏,曹松,史桂珍.都凯天然气管道地质灾害分布特征与风险评价[J].西部探矿工程,2024,36(10):20-24.
- [3]钱东良.天然气管道地质灾害及其风险控制分析[J].四川水泥,2019,(08):211.
- [4]张志玲.黔北天然气管道工程地质灾害防治及管道通过方案设计[D].中国地质大学(北京),2021.