

# 天然气长输管道建设期的地质灾害风险分析及控制

杜跃玮

中石化石油工程设计有限公司成都分公司 四川 成都 610000

**摘要:** 天然气长输管道建设期面临多种地质灾害威胁。本文梳理了斜坡、地面变形、特殊土及河流等地灾类型及其对管道的危害,探讨了地质环境调查、风险评估及关键影响因素等分析方法,提出了工程避让、治理、监测预警及施工期动态管理等风险控制策略,为保障管道建设安全提供理论支持与实践参考。

**关键词:** 天然气长输管道; 地质灾害; 风险分析; 风险控制; 监测预警

引言: 天然气长输管道作为能源输送大动脉,其建设期地质条件复杂,易受多种地质灾害影响。从斜坡到地面,从特殊土到河流环境,各类灾害威胁管道安全与施工进度。准确识别灾害风险并有效控制,是确保管道顺利建设与长期稳定运行的关键。深入分析地质灾害类型、风险成因及控制策略,对保障能源通道安全意义重大。

## 1 天然气长输管道建设期常见地质灾害类型

### 1.1 斜坡地质灾害

滑坡对管道威胁较大。地形坡度大易使岩土体失稳,松软破碎地层易被水流侵蚀,降水会增加岩土体重量、降低内摩擦力,这些因素可能引发滑坡。滑坡发生时,土石沿滑动面移动,若管道处于滑坡体或影响范围,可能被掩埋导致施工受阻,或因滑坡体推力大被拉伸断裂,影响工程与管道安全。崩塌多在陡崖或高边坡区域发生<sup>[1]</sup>。岩体或土体经长期风化裂隙发育,在重力或外界扰动下突然坠落。管道建设期经过此类区域,崩塌岩土体可能直接冲击管道造成变形或断裂,土石堆积还会阻碍施工设备通行与操作,延误工期。泥石流常见于山区沟谷。沟谷内松散土石在强降水或冰雪融水作用下,与水流混合成黏稠流体。泥石流冲击力与搬运能力强,流经管道区域时会冲击破坏管道结构,掩埋管道,影响施工进度并损耗管道材质,增加后期维护难度。

### 1.2 地面变形灾害

地面沉降主要因地下水位下降或土体压实引发。管道区域过度开采地下水会降低含水层水位,增加土层应力导致土体压缩沉降;施工对土体的挤压、振动也可能使土体密实引发沉降。地面沉降会让管道下方土体支撑不均,部分管道可能悬空并在荷载作用下弯曲变形,影响结构完整性与密封性。地面塌陷多见于岩溶发育区或采空区。岩溶区地下溶洞经地下水长期溶蚀扩大,上方土体失撑后突然塌陷;采空区因地下空洞使周围岩土体向空洞移动引发塌陷。地面塌陷时,管道可能随土体下

沉,若塌陷范围大、速度快,管道易受力不均断裂,严重时导致泄漏。

### 1.3 特殊土灾害

软土含水量高、孔隙比大、承载力低。管道敷设于软土区域,软土无法提供足够支撑,在管道自重与施工荷载下压缩变形,导致管道不均匀沉降。不均匀沉降会使管道接口产生应力,可能破坏密封,管道弯曲会影响介质输送,埋下运行隐患。膨胀土对湿度敏感,干湿循环下会胀缩。管道建设期遇干旱,膨胀土失水收缩与管道脱离,使管道失去侧向支撑;遇降水或地下水渗透,膨胀土吸水膨胀对管道产生侧向压力,可能破坏防腐层增加腐蚀风险,胀缩循环还可能松动管道接口。冻土低温时坚硬且含冰。温度升高使冻土融沉,温度降低使土体冻胀,冻融循环让管道周围土体反复胀缩,对管道产生推拉作用,可能导致管道位移、弯曲或断裂,破坏管道周围防渗、保温设施,影响施工与运行。

### 1.4 河流地质灾害

河床冲刷由水流长期侵蚀作用引发。河流流动过程中,水流会对河床底部的泥沙、土石进行冲刷搬运,导致河床高程降低。若管道采用水下敷设方式穿越河流,河床冲刷会使管道下方的土体被掏空,管道失去支撑后出现裸露或悬空,悬空的管道在水流冲击、波浪作用下易发生振动,长期振动会导致管道疲劳损伤,影响管道结构强度。河岸坍塌与河岸土体性质、水流作用相关。河岸土体若为松散的砂土层或粉质黏土,抗冲刷能力较弱,水流长期拍打、侵蚀河岸,会使河岸土体逐渐失稳,发生坍塌。管道若沿河岸敷设或穿越河岸,河岸坍塌会带动管道一同位移,导致管道变形,坍塌的土石还会覆盖管道,阻碍施工人员对管道的检查与维护,增加工程建设难度。

## 2 天然气长输管道建设期地质灾害风险分析方法

### 2.1 风险识别

地质环境调查是风险识别的基础,需全面考察管道建设区域的地形地貌、岩土体性质与地质构造。地形地貌调查关注区域坡度、坡向及沟谷分布,判断是否存在易引发滑坡、崩塌的陡峭区域;岩土体性质调查分析土层或岩层的密度、孔隙度、抗剪强度等,明确岩土体是否有易失稳、易压缩等特征;地质构造调查排查断层、节理等分布,了解区域地质结构稳定性,为后续风险判断提供依据<sup>[2]</sup>。灾害历史分析需梳理区域过往地质灾害情况,总结灾害发育规律与活动特征。通过查阅区域地质灾害档案,掌握历史上滑坡、泥石流、地面塌陷等灾害的发生时间、地点及规模,分析灾害与地形、气候等因素的关联,判断同类灾害在当前管道建设区域的潜在发生趋势,提前识别可能重复出现的灾害风险。工程活动影响分析聚焦施工对原始地质条件的扰动。管道建设中的开挖作业会改变原有地形坡度与土体应力状态,可能打破岩土体原有平衡;填方作业若压实度不足,易导致填土区域后期沉降,影响管道周边土体稳定性;爆破作业产生的振动传递至周边岩土体,可能诱发原有裂隙扩展,增加岩土体失稳风险,这些扰动均需纳入风险识别范畴。

## 2.2 风险评估

风险评估是对天然气长输管道建设期地质灾害风险大小及严重程度的量化与定性判断。定性评估主要依靠经验判断与综合分析。依据地质环境调查、灾害历史分析以及工程活动影响分析的结果,结合类似管道建设项目的案例经验,对不同地段可能发生的地质灾害类型、发生可能性及影响范围进行初步评估。例如,在地质构造复杂、灾害历史频繁且开挖深度较大的区域,定性判定其发生滑坡等灾害的风险较高。定量评估则借助科学模型与数据分析。运用概率统计方法,分析地质灾害发生的频率与影响因素之间的关系,计算不同灾害在特定条件下的发生概率。比如,根据历史降水数据与滑坡发生次数的关联,预测在特定降雨强度下管道沿线各区域滑坡的发生概率。同时,采用数值模拟方法,如有限元分析,模拟地质灾害发生时对管道的应力应变影响,评估管道的损坏程度。风险矩阵法是常用的综合评估手段。将地质灾害发生概率划分为高、中、低三个等级,影响程度分为严重、较大、一般、较小四个等级,构建风险矩阵。根据定量与定性评估结果,确定每个地段地质灾害在矩阵中的位置,进而划分出高、中、低不同风险等级,为后续制定针对性的风险应对措施提供科学依据,确保天然气长输管道建设安全有序推进。

## 2.3 关键影响因素

自然因素直接作用于地质灾害风险。地震产生强烈振动,破坏岩土体结构稳定性,可能诱发滑坡、崩塌等灾害;降水增加岩土体含水量,降低岩土体抗剪强度,还可能形成地表径流冲刷坡面或沟谷,为泥石流、滑坡发生创造条件;气温变化影响特殊土性质,如冻土区域气温升高会加剧冻融循环,增加地面沉降、管道冻胀融沉风险,这些变化都会改变灾害发生的可能性与影响程度。工程因素与地质灾害风险紧密相关。施工方法选择不当会加剧地质扰动,如在斜坡区域采用大规模开挖而非分层开挖,易引发坡体失稳;管道埋深过浅会使管道受地表荷载与地质灾害影响更直接,埋深过深则可能面临更复杂的岩土体条件;防腐措施不完善会让管道在地质灾害导致的潮湿、腐蚀性环境中更易受损,这些工程环节的选择与实施质量都会影响风险水平。人类活动间接影响地质灾害风险。管道建设区域周边的开发活动,如临近区域的矿产开采、道路修建,可能改变区域地下水流动路径或土体应力状态,间接影响管道周边地质稳定性;植被破坏减少地表覆盖,降低土体抗侵蚀能力,在降水条件下易引发水土流失,增加泥石流、滑坡等灾害发生风险,这类人类活动需纳入风险分析考量。

## 3 天然气长输管道建设期地质灾害风险控制策略

### 3.1 工程避让措施

线路优化是从源头降低风险的关键手段,需在管道规划阶段避开高风险区域。活动断层区域地质结构不稳定,易受地壳运动影响引发地层错动,若管道穿越此类区域,可能因地层位移被拉断或挤压变形;泥石流沟谷在降水集中中期易爆发泥石流,携带的土石会冲击、掩埋管道,因此线路规划时需绕开这些区域,选择地质条件稳定、灾害发生概率低的路线,从根本上减少灾害对管道的威胁。空间布局调整通过增大管道与灾害体的安全距离进一步降低风险。即使线路无法完全避开潜在灾害影响范围,也需通过调整管道敷设位置,拉开与灾害体的距离。例如在斜坡区域,若存在潜在滑坡体,需让管道远离滑坡体边界,避免滑坡发生时土石直接作用于管道;在河岸附近,需与河岸保持足够距离,减少河岸坍塌对管道的影响,通过空间上的合理布局为管道提供缓冲空间,降低灾害直接作用的概率。

### 3.2 工程治理措施

斜坡加固通过多种技术手段增强坡体稳定性,预防滑坡、崩塌灾害。抗滑桩深入坡体下部稳定地层,阻挡坡体下滑趋势并提供支撑力;挡土墙设置在坡脚,承受坡体侧向压力以防止坍塌;锚固技术通过锚杆或锚索连接坡体表层岩土与深层稳定岩体,约束岩土体位移,这

些措施共同提升斜坡整体稳定性,减少对管道的威胁。地面稳定措施针对地面沉降、塌陷问题,保障管道下方土体支撑能力。注浆加固向土体裂隙或孔隙注入浆液,填充空隙、胶结土体,提高密实度与承载力;换填处理将管道周边软弱或易压缩土层替换为高强度、稳定性好的填料,减少后期沉降;排水系统设计及时排除地表积水与地下渗水,降低水对土体的软化作用,避免因含水量过高引发沉降或塌陷。特殊土改良通过针对性措施改善特殊土性质,减少对管道的破坏<sup>[3]</sup>。化学固化向软土或膨胀土添加化学药剂,改变土体颗粒结构以提高强度与稳定性;隔水层设置阻断地下水与膨胀土、冻土的接触,减少水分变化对特殊土胀缩或冻融的影响;保温措施用于冻土区域,铺设保温材料维持冻土温度稳定,减缓冻融循环速度,降低冻胀融沉对管道的作用。河流防护措施保护穿越河流的管道,抵御水流与河岸变化的影响。护岸工程修建在河岸两侧,减少水流对河岸的冲刷以防止坍塌;抛石防护在河床管道敷设区域抛投石块,形成保护层减少水流对河床的侵蚀,避免管道裸露;管道锚固将管道固定在河床或河岸稳定地层,防止水流冲击导致位移,保障管道在河流环境中的安全。

### 3.3 监测预警系统

自动化监测通过实时采集数据掌握地质与管道状态变化。位移监测设备可跟踪斜坡、河岸等区域的岩土体位移情况,及时发现潜在滑动或坍塌趋势;沉降监测设备记录地面高程变化,掌握地面沉降动态;孔隙水压力监测设备监测土体中孔隙水压力变化,预判土体稳定性变化,这些数据实时传输至监测平台,为风险判断提供及时依据。预警阈值设定需结合管道安全限值与灾害演化规律,明确风险预警标准。根据管道材质、结构强度等确定管道可承受的最大位移、沉降量等安全限值,同时分析区域地质灾害从初始变化到灾害发生的演化过程,设定不同阶段的预警指标,当监测数据达到对应阈值时,及时发出预警信号,为后续处置争取时间。应急响应机制通过分级预警与快速处置流程应对突发风险。根据预警阈值将预警等级划分为不同层级,不同层级对应不同的响应措施,低等级预警时加强监测频率、做好应急准备,高等级预警时及时组织施工人员撤离、暂停施

工;快速处置流程明确各部门职责与处置步骤,确保预警发出后能迅速启动应对措施,减少灾害造成的损失。

### 3.4 施工期动态管理

分阶段风险评估根据施工进度更新灾害风险图,动态掌握风险变化。管道建设不同阶段对地质环境的扰动不同,风险分布与程度也会发生变化,在勘察设计、管道敷设、试压验收等不同阶段,需重新分析区域地质条件与工程扰动情况,调整风险评估结果,更新风险图,确保风险管控措施与当前风险状态匹配。现场巡查制度通过重点区域定期检查与隐患排查,及时发现潜在问题。对斜坡、河岸、特殊土区域等重点风险区域,制定定期巡查计划,检查岩土体是否出现裂缝、沉降,排水系统是否畅通,管道周边是否存在异常变形等,发现隐患后及时记录并采取临时处置措施,防止隐患进一步发展。应急预案演练通过模拟灾害场景,提升应对灾害的抢险与恢复能力。根据区域常见地质灾害类型,设计模拟灾害场景,如模拟滑坡逼近管道、河岸坍塌威胁管道等情况,组织施工人员、应急队伍开展抢险演练,练习人员撤离、设备转移、管道保护、灾害处置等流程,熟悉应急处置步骤,提高突发灾害发生时的应对效率,保障能快速恢复施工秩序。

### 结束语

天然气长输管道建设期地质灾害风险多样且复杂,对管道安全与施工影响重大。通过全面识别灾害类型、深入分析风险成因、科学评估风险程度,并采取工程避让、治理、监测预警及施工期动态管理等综合控制策略,可有效降低灾害风险。未来需持续优化风险分析方法与控制技术,以适应不同地质条件下的管道建设需求,保障能源输送安全。

### 参考文献

- [1]唐彬彬,陆耀民.天然气长输管道运行中的地质灾害风险分析及控制[J].现代盐化工,2024,51(02):71-73.
- [2]王西,刘涛.天然气长输管道建设期的地质灾害风险分析及控制[J].石油工程建设,2025,47(2):154-156.
- [3]马新雨,伍颖.石油天然气长输管道工程项目风险管理探讨[J].居舍,2021(12):138-139.