



中华人民共和国国家标准

GB/T 40702—2021

油气管道地质灾害防护技术规范

Specification for geohazard prevention of oil and gas pipelines

2021-10-11 发布

2022-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 地质灾害防护工作	3
4.1 通则	3
4.2 建设阶段	3
4.3 运营阶段	4
4.4 废弃阶段	6
5 调查识别	6
5.1 概述	6
5.2 调查识别方法	6
5.3 调查识别内容	8
6 评价	8
6.1 通则	8
6.2 灾害易发性	9
6.3 管道易损性	9
6.4 失效后果评价	10
7 监测与检测	10
7.1 监测	10
7.2 检测	10
8 预警	14
8.1 概述	14
8.2 预警等级与模型	14
8.3 预警响应	14
9 工程防治	15
9.1 通则	15
9.2 管道主动保护	15
9.3 工程防治措施	15
10 应急抢险	17
10.1 通则	17
10.2 常见地质灾害的应急抢险	18
10.3 应急抢险措施	19
11 数据管理与移交	19
附录 A (规范性) 管道路由选线要求	21

附录 B (资料性) 管道沿线地质灾害专业调查工作	23
附录 C (资料性) 管道防汛工作内容	24
附录 D (资料性) 常见管道地质灾害调查内容和要素	25
附录 E (资料性) 管体径向稳定性计算方法	29
附录 F (资料性) 管体轴向整体稳定性计算方法	30
附录 G (资料性) 管体应力/应变监测截面的布设、传感器的安装和相关计算方法	31
附录 H (资料性) 利用超声波法开展管体应力检测工作的常见应用场景及作业程序	33
参考文献	35

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本文件起草单位：国家管网集团北方管道有限责任公司、国家石油天然气管网集团、中国地质大学(武汉)、中国石油大学(北京)、中国石油天然气管道工程有限公司、中国地质环境监测院、国家管网集团西南管道有限责任公司、国家管网集团西部管道有限责任公司、中国石油化工股份有限公司天然气分公司、国家管网集团北京管道有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司西气东输分公司、广东大鹏液化天然气有限公司。

本文件主要起草人：吴张中、李亮亮、荆宏远、杨建、邓清禄、张宏、徐光黎、吴志平、张栋、郝建斌、颜宇森、冼国栋、陈朋超、李永宏、刘建平、白路遥、施宁、吴斌、罗鹏、汪鹏飞、马云宾、蔡永军、吴夏、刘冰、李云杰、黄伟杰、毛建。

油气管道地质灾害防护技术规范

1 范围

本文件规定了油气输送管道地质灾害防护的内容、方法和要求,包括调查识别、评价、监测与检测、预警、工程防治、应急抢险、数据管理与移交等。

本文件适用于输送油气介质的陆上钢质管道全生命周期的地质灾害防护。

本文件不适用于城镇燃气管道和炼油、化工等企业厂区内管道。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 12328 综合工程地质图图例及色标
- GB 17741 工程场地地震安全性评价
- GB 32167 油气输送管道完整性管理规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范(2009年版)
- GB 50251 输气管道工程设计规范
- GB 50253 输油管道工程设计规范
- GB 50423 油气输送管道穿越工程设计规范
- DZ/T 0220 泥石流灾害防治工程勘查规范
- DZ/T 0286 地质灾害危险性评估规范
- SY/T 6597 油气管道内检测技术规范
- SY/T 6828 油气管道地质灾害风险管理技术规范
- SY/T 7040 油气输送管道工程地质灾害防治设计规范
- SY/T 7413 报废油气长输管道处置技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管道地质灾害 pipeline geohazard

对管道工程建设、输送系统安全和运营环境造成危害的地质作用或与地质环境有关的灾害。

注:本文件所称地质灾害包括岩土类灾害、特殊土灾害、水毁灾害和地质构造类灾害。岩土类灾害包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷(仅包括采空区塌陷和岩溶塌陷)、地面沉降和地裂缝;特殊土灾害(仅包括黄土湿陷、膨胀土胀缩、冻土冻胀融沉、盐渍土盐胀溶陷和风蚀沙埋);水毁灾害包括坡面水毁、河沟道水毁和台田地水毁;地质构造类灾害仅包括活动断裂和地震。

3.2

地质灾害清单 geohazard inventory

在管道全生命周期内,可登记或描述地质灾害的特征属性、评价结果、整治规划内容、风险减缓措

施、防控效果等信息的库或表。

3.3

专业调查 professional investigation

由具备地质灾害调查评估能力的单位、组织或个人所开展的管道沿线地质环境调查,以及识别或登记地质灾害、不良地质作用或现象、人类工程活动、已有地质灾害防治工程等。

注:专业调查包括基线调查(3.4)和周期调查(3.5)。

3.4

基线调查 baseline investigation

管道投产初期针对管道全线开展的首次专业调查。

3.5

周期调查 periodic investigation

基线调查完成后对管道全线开展的计划性或周期性的专业调查。

3.6

地质灾害易发性 geohazard susceptibility

各类地质环境条件组合下导致地质灾害发生的可能程度。

3.7

管道易损性 pipeline vulnerability

管道抵抗地质灾害损伤的能力。

3.8

失效后果 failure consequence

受地质灾害作用,管道或相关设施等失去原有设计所规定的功能或发生一定物理变化(包括泄漏、损坏或性能下降)而产生的影响或损失。

3.9

地质灾害风险 geohazard risk

地质灾害易发性、管道易损性和失效后果的综合度量。

3.10

地质灾害危险性评估 risk assessment for geohazard

根据各种致灾地质作用的性质、规模、承灾对象的社会经济属性、致灾体稳定性以及致灾体与承灾对象遭遇的概率,对其潜在的危险性进行客观评价,主要包括现状评估、预测评估、综合评估、地质灾害防治措施建议及建设用地适宜性评价等。

注:承灾对象在本文件中特指管道线路、站场及其附属设施。

3.11

信息化施工 informationization construction

根据施工现场的地质情况、管道赋存信息和监测数据,对地质结论、设计参数进行验证,对施工安全性进行判断并及时修正施工方案的施工方法。

3.12

动态设计法 dynamic design approach

根据施工信息和施工勘察反馈的资料,对地质结论、设计参数及设计方案进行再验证,如确认原设计条件有较大变化,及时补充、修改原设计的设计方法。

3.13

管道防汛 pipeline flood control

在汛前、汛中和汛后开展的一系列管道运营安全风险预防、消减活动。

3.14

管道地质灾害预警 pipeline geohazard early-warning

对管道所处灾害环境及管道安全状态的发展趋势做出的预测、预报和报警。

3.15

治早治小 early treatment for small hazard

在地质灾害发育和成灾早期或灾害规模较小时,对致灾体进行快速治理、对诱发因素进行及时阻断的活动。

3.16

效能评价 performance assessment

对地质灾害防治工程(包括水工保护工程)降低管道系统地质灾害风险的程度和能力进行评估的活动。

注:效能评价内容通常涉及防治工程的风险减缓效果、质量现状、可持续发挥作用的能力等方面,并可对工程的相对价值进行综合判断并提出改进建议。

4 地质灾害防护工作**4.1 通则**

4.1.1 应围绕管道建设、运营、废弃等阶段开展管道全生命周期的地质灾害防护工作,宜建立地质灾害清单并进行动态管理。

4.1.2 油气管道工程在相关地质灾害区域路由选择应符合附录 A 的规定。

4.1.3 管道建设期,地质灾害防治工程的勘察设计应与管道工程设计同步开展。防治工程施工宜在管道敷设及附属设施建设前完成。管体及管沟岩土体变形等相关物理量监测宜与管道工程施工同步开展。

4.1.4 试运投产前应对管道沿线在建设阶段识别出的地质灾害及防护措施进行确认。按 11.1 的要求,将建设期形成的地质灾害防护相关成果移交管道运营单位。

4.1.5 管道运营期,宜建立群测群防机制,开展地质灾害巡检、专业调查与评价、整治规划、管道防汛、应急抢险、工程管理、特殊区段灾害管理等工作。

4.1.6 管道退出运营、废弃的处置措施应避免诱发新的地质灾害或相关问题。

4.2 建设阶段**4.2.1 可行性研究阶段**

4.2.1.1 应开展地质灾害危险性评估、地震安全性评价和防洪影响评价。

4.2.1.2 地质灾害危险性评估应按 DZ/T 0286 执行,并在此基础上开展针对拟定管道路由和新调整后管道路由的地质灾害调查识别、评价和防治等工作。

4.2.1.3 地震安全性评价技术要求和方法应按 GB 17741 执行,评价内容和管道线路工程抗震设计宜按 GB/T 50470 执行。

4.2.1.4 管道水域穿越设计应符合 GB 50423 的规定。防洪影响评价可参考 SL 520 编制报告,并应经有关水行政主管部门审查批准。

4.2.2 初步设计阶段

4.2.2.1 在可行性研究阶段工作成果基础上,应对管道沿线已识别的地质灾害进行充分论证,宜基于技术可行、安全、环境、经济合理等因素提出两个以上的工程防治方案,并对这些方案进行分析论证和

优选。

4.2.2.2 针对已识别的地质灾害和不良地质作用,宜通过岩土工程勘察(见 5.2.5)搜集必要特征参数或岩土体物理力学参数。

4.2.3 施工图设计阶段

4.2.3.1 根据地质条件复杂程度和防治工程初步设计方案,应开展灾害体的工程地质测绘,比例尺不宜小于 1:1 000。

4.2.3.2 应对防治工程涉及的各工程单元进行施工图设计,并编制相应的说明书。

4.2.4 施工阶段

4.2.4.1 管道地质灾害防治工程宜采用信息化施工,对开挖和钻孔揭露的地质情况、管道的方位及状态等信息进行编录,对重大地质结论变化的区段进行补充勘察,对竣工后地形差异显著的区段重新测绘。可编制施工前后地质情况变化对比图,并给出评价结论。

4.2.4.2 针对场地地质环境条件变化情况,应及时提出施工改进意见或措施建议,必要时进行设计变更。如出现重大地质结论改变威胁施工安全,应采取应急处置措施。

4.2.4.3 山区管道建设工程施工期间,宜对管沟开挖过程揭露的地质条件进行编录。

4.2.4.4 管道设计应采取必要措施防止管道工程建设活动诱发新的地质灾害或加剧原有地质灾害的危险性。

4.3 运营阶段

4.3.1 地质灾害巡检

4.3.1.1 管道运营单位应建立地质灾害巡检机制,对地质灾害清单内灾害点和地质灾害易发区定期巡检。每次巡检应有记录,可参考 SY/T 6828 推荐的巡检记录表进行记录。

4.3.1.2 地质灾害巡检频率应符合以下规定:

- 巡检时间间隔可根据灾害风险等级、地质灾害易发区易发等级及现场踏勘确定,一般为 60 d;
- 汛期巡检时间间隔不宜大于 20 d;
- 当强降雨、长历时降雨、地震、人类工程活动等可能诱发或加剧地质灾害时,应立即进行巡检。

4.3.1.3 巡检发现的地质灾害变化、异常现象以及新灾害体,应进行现场复核、评价及处置,经论证需要应急抢险的,应立即实施应急抢险。

4.3.2 地质灾害专业调查与评价

4.3.2.1 新建管道应开展地质灾害基线调查,宜在管道投产前或投产后第一个水文年内完成。

4.3.2.2 基线调查后应择机开展地质灾害周期调查。地质灾害易发区周期调查宜每 3 年~5 年一次,非易发区周期调查可调整至每 5 年~8 年一次,山区地质灾害高易发区可适当加密。当发生极端气候、强震等导致管道沿线工程地质条件发生变化、造成地质灾害易发性显著增加时,宜立即开展地质灾害周期调查。

4.3.2.3 专业调查工作参见附录 B。

4.3.2.4 专业调查范围应根据现场具体地形地貌条件确定,宜包含所有可能对管道造成影响的地质灾害,一般为管道两侧各 500 m。

- 崩塌、滑坡及潜在不稳定斜坡调查范围应包括第一斜坡带。
- 泥石流调查范围应以完整的沟道流域边界为限。
- 地面塌陷、地面沉降和特殊土灾害调查范围应与初步推测的可能影响范围一致。

4.3.2.5 调查发现的以下情况应及时报告并采取防护措施：

- 已经成灾的或正在快速发展的滑坡和崩塌、水毁导致的管道露管悬空、正在开采的采空区等；
- 重大的防汛薄弱点，如防护能力不足的河沟道穿越处、非计划水库泄洪通道穿越点等；
- 出现严重损毁或功能失效的地质灾害防治工程(包括水工保护工程)；
- 其他高风险重大地质灾害，或发育情况不明确需要开展监测、勘察等工作的灾害点；
- 其他危害管道需立即采取措施的情况。

4.3.2.6 应及时在地质灾害清单中登记调查识别的新灾害点，并更新发生变化的历史灾害点。

4.3.2.7 灾害点风险评价和区域易发性评价参照 SY/T 6828 执行，并给出风险等级和易发区易发等级。

4.3.3 地质灾害整治规划

4.3.3.1 应建立主动防护体系，宜采用风险管理技术组织开展地质灾害整治规划工作，包括但不限于：

- 制定地质灾害整治规划方案，规划周期宜为 3 年~5 年，并逐年滚动更新；
- 对地质灾害风险进行主动调查和评价，并实施监测、工程防治等措施。

4.3.3.2 宜根据地质灾害风险等级和风险可接受能力制定整治规划方案，应对每个灾害点提出处理建议。规划分期可列为近期、中期和远期，宜按表 1 进行划分。

表 1 地质灾害整治规划分期

规划分期	灾害点描述	整治原则
近期治理 (1 年~2 年)	符合下列任意条件： 1) 风险等级为高和较高的灾害点； 2) 治早治小的灾害点； 3) 需修复或重建的地质灾害防治工程	地质灾害巡检，在下一个汛期来临前完成风险减缓措施，宜以工程治理措施为主，实施前可先开展监测
中期治理 (2 年~3 年)	不符合近期和远期治理的其他灾害点	地质灾害巡检，根据灾害发展情况确定下一步治理措施
远期治理 (3 年~5 年)	符合下列全部条件： 1) 风险等级为较低和低的灾害点； 2) 发展趋势不明显的灾害点	地质灾害巡检

4.3.4 管道防汛

4.3.4.1 宜建立以防为主、防抢结合的防汛管理机制。

4.3.4.2 每年主汛期前应进行汛前准备、主汛期期间开展汛期防汛、主汛期后开展汛后管理，工作内容参见附录 C。

4.3.5 应急抢险

应建立突发地质灾害应急响应体系，包括但不限于：

- 制定地质灾害相关应急预案，定期开展演练；
- 储备应急物资并定期检查更新；
- 开展气象预警等。

4.3.6 防治工程管理

4.3.6.1 宜根据地质灾害整治规划方案开展地质灾害防治工程项目的立项、勘察设计、施工、竣工验收

等工作。治早治小、维修维护和临时抢修等项目可根据实际情况组织实施。

4.3.6.2 对已实施的地质灾害防治工程,宜开展防治工程效能评价,可在工程竣工后 1~3 个水文年内实施。

4.3.7 特殊区段灾害管控

对位于管道高风险段、高后果地区、缺陷或焊缝异常管段等特殊区段的地质灾害,宜实施管体应力应变监测/检测、地质环境监测、视频监控等技防措施,并结合管道日常管理适当加密巡检次数。对需采取工程防治的灾害点,宜优先安排。

4.4 废弃阶段

4.4.1 挖沟法穿越水域的废弃管段,最小埋深要求不满足 GB 50423 时应按 SY/T 7413 进行拆除。河堤下不能拆除的管道,宜采取灌浆等方式对管道进行封闭。

4.4.2 拆除既有地质灾害影响范围内的管道时,应观测灾害体稳定性,必要时采取防治措施。拆除斜坡敷设的管道时,宜采取边坡防护措施。

5 调查识别

5.1 概述

5.1.1 调查识别宜以地面调查(见 5.2.4)为主,结合资料收集分析(见 5.2.1)、卫星遥感图像判译(见 5.2.2)、无人机航空摄影测量(见 5.2.3)、岩土工程勘察(见 5.2.5)和管道惯性测绘内检测等技术方法。地面调查实施前,可先开展卫星遥感图像判译、无人机航空摄影测量等工作,圈绘地质灾害体并辨识其周围地质环境特征。

5.1.2 根据地质灾害易发区及管道高后果区分布情况,划分一般调查区和重点调查区。平原、低缓丘陵地貌、地质灾害低易发区和非易发区为一般调查区,其他为重点调查区。

5.1.3 线路调查底图比例尺宜采用 1:10 000~1:50 000,一般调查区可采用 1:50 000,重点调查区宜采用 1:10 000 或更大比例尺。

5.1.4 地质灾害点宜进行大比例尺工程地质测绘,包括工程地质平面图及剖面图。成图比例尺宜为 1:200~1:2 000,滑坡、泥石流、地面塌陷宜为 1:2 000,崩塌、水毁、特殊土灾害等宜为 1:200~1:500。

5.2 调查识别方法

5.2.1 资料收集分析

5.2.1.1 应收集和分析相关资料,初步掌握管道沿线的地质环境条件,包括区域地质背景、气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体类型及工程地质性质、水文地质条件等。区域地质图和水文地质图比例尺不应小于 1:200 000,地形图比例尺不应小于 1:50 000。

5.2.1.2 应收集管道沿线人类工程活动资料、管道路由所在区/县级范围内地质灾害现状与防治资料,必要时还应收集管道沿线社会发展和人文经济资料,包括人口与经济现状,城镇、交通、水利水电、矿山、耕地等工农业建设现状与发展规划,各类自然、人文资源现状与发展规划等。

5.2.1.3 应收集当地政府和有关部门制定的地质灾害防治法规、规章、规划或防灾减灾文件资料等。

5.2.1.4 管道运营期应收集以下资料并开展分析:

- 管道工程建设相关资料,包括地质灾害危险性评估报告、勘察报告、设计报告以及竣工报告等;
- 管道地质灾害及防治工程资料,包括建设期、运营期管道沿线各类地质灾害的历史资料、已开展的监测及防治工程资料等。

5.2.1.5 应结合已收集的资料,初步分析确定管道沿线地质灾害易发区、主要灾害类型及其发育控制因素、重点调查区段,可借助地理信息系统(GIS)等空间分析手段辅助开展。

5.2.2 卫星遥感图像判译

5.2.2.1 判译工作宜以收集利用已有的遥感信息源(存档数据)为主,必要时可利用最新遥感信息源(编程数据)。

5.2.2.2 宜以遥感数据和地面控制为信息源:

- 获取地质灾害及其发育环境要素信息;
- 初步确认灾害体及类型;
- 判定灾害体及其组成部分(尤其指沟谷型泥石流)的边界,估算覆盖面积或规模;
- 通过不同时相图像对比了解灾害的活动状态。

5.2.2.3 宜结合灾害体所处地貌、岩性、产状、斜坡结构、水文地质以及区域地质构造环境特征,初步解译分析灾害形成的基本地质环境条件及触发因素。

5.2.2.4 应对遥感解译的地质灾害逐一进行验证核(排)查。

5.2.3 无人机航空摄影测量

5.2.3.1 针对人员或设备介入较困难、需要快速应急、调查精度要求较高的重点调查区,可借助无人机航空摄影测量开展灾害调查识别工作。

5.2.3.2 针对已识别的较复杂、规模较大的地质灾害,可借助无人机进行专项摄影测量。

5.2.3.3 利用无人机航空摄影测量方法获取地质灾害的特征信息,宜包括数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)和数字表面模型(DSM)等。用于管道路由选线、区域范围内地质灾害体排查时,成图比例尺不宜小于1:10 000;用于单一灾害体精确测量时,成图比例尺宜为1:500~1:2 000;用于灾害应急调查时,成图比例尺不宜小于1:1 000。

5.2.3.4 无人机航空摄影测量方法包括正射摄影、倾斜摄影和激光雷达测量(LiDAR),应根据灾害体调查目标、任务需求、灾害体分布和形态特征选取适宜的测量方法。

5.2.3.5 无人机作业应符合国家和当地政府的相关许可。

5.2.4 地面调查

5.2.4.1 建设期地面调查工作可仅限专业调查,运营期地面调查工作宜包括地质灾害巡检、防汛排查以及专业调查。

5.2.4.2 地质灾害巡检工作宜与管道日常巡检结合,由管道日常巡检人员实施,采用肉眼观察、简易工具测量、简易监测等方式。

5.2.4.3 防汛排查工作主要包括汛前排查、汛后排查及汛期不定期排查,宜由相关技术人员、管道日常巡检人员实施,也可由地质灾害专业调查机构实施。

5.2.4.4 应根据管道所处阶段和地面调查目的确定专业调查的内容和深度。建设期可参考DZ/T 0284中关于灾害排查的内容和要素。运营期可参考附录D并应符合SY/T 6828关于地面调查的相关规定。

5.2.4.5 专业调查宜采用追索法结合穿越法,沿管道路由追索为主导,在潜在地质灾害发育段进行穿越调查,并按GB/T 12328在调查底图上标绘灾害体的面积和形状等信息。

5.2.4.6 专业调查应按照灾害类型填写调查表,绘制平面、剖面示意图或素描图,并摄影。

5.2.4.7 地质灾害非易发区专业调查,可布设控制性调查点并调查编录,优选的控制性调查点包括地貌特征点、地层岩性及构造点、水文地质点、工程经济活动点、防治工程点等。

5.2.5 岩土工程勘察

5.2.5.1 对于地质敏感地区或复杂地质灾害体,可根据需要实施必要的岩土工程勘察。

5.2.5.2 岩土工程勘察方法包括工程地质测绘、勘探和取样、原位测试、室内土工试验等,根据数据需求选取适当的方法,应按照 GB 50021 执行。

5.2.5.3 可在地面调查的基础上开展工程地质测绘,对地质条件简单的场地,可用地面调查代替工程地质测绘。

5.2.5.4 勘察作业前应查明管道及伴行光缆位置,勘探时应采取有效措施确保作业安全,不应损伤管道及附属设施,勘探后应妥善回填。

5.3 调查识别内容

5.3.1 地质环境条件调查

5.3.1.1 地质环境条件调查内容宜包括:区域地质背景、气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体类型及工程地质性质、水文地质条件、人类活动对地质环境的影响等。

5.3.1.2 可在管道沿途设置地质环境调查控制点,观察描述以下地质环境条件:

- 地形地貌调查,观察描述管道沿线地形起伏变化及组合特征,包括地貌类型、沟谷展布、斜坡形态与微地貌结构、植被发育特征等;
- 地层岩性调查,观察描述管道沿线岩土物质组成、结构、成因及空间展布,划分工程地质岩组类型;
- 地质构造调查,分析区域构造格架、区域地震活动及活动断层活动性;观察描述各种结构面的产状、形态、规模、性质、密度及其相互切割关系,分析结构面与斜坡坡面的几何关系及其对斜坡稳定性的影响;
- 水文地质调查,调查测量河沟谷水位、流量、流速,及其变化趋势;调查测量泉点等地下水露头特征;
- 工程经济活动调查,调查编录管道沿线正在开展的或近期已完成的工程经济活动,如交通建设、房屋修建、矿山开采、河道整治、农业开发、地下水抽采等,评价各类工程经济活动对管道安全的影响。

5.3.2 管道及站场调查

应明确管道敷设方式、测定地质灾害影响范围内管道的埋深,宜在调查底图上勾绘管道线位、阀室及场站轮廓,标绘管道里程桩号。

5.3.3 地质灾害调查

滑坡、崩塌等常见管道地质灾害的详细调查内容和要素参见附录 D。

6 评价

6.1 通则

管道地质灾害评价应在管道地质灾害调查识别的基础上,充分考虑灾害体的致灾机理、成灾过程以及管道的承载能力,包括灾害易发性、管道易损性及失效后果评价,宜采用基于风险的评价方法,可参考 SY/T 6828 执行。

6.2 灾害易发性

6.2.1 灾害易发性宜考虑灾害体规模、形变特征、发展趋势、诱发因素等。采用定性和半定量评价方法时,应明确灾害发生的可能性;采用定量评价方法时,宜计算出灾害体的稳定性或形变特征数据,如滑坡、崩塌和溶洞的稳定性、河沟道水毁的冲刷深度及岸坡稳定性、泥石流的动力参数、采空塌陷特征值、特殊性土的形变量等。

6.2.2 灾害易发性宜结合评价目的,采用工程地质类比、理论解析、数值与物理模拟、大数据分析与人人工智能等方法,并依据岩土工程勘察成果、反分析和经验数据,综合选用岩土体物理力学性质指标。

6.2.3 滑坡稳定性参照 GB/T 38509 计算,崩塌和溶洞的稳定性、采空塌陷特征值参照 SY/T 7040 确定。可采用概率积分法对采空塌陷地表移动变形值进行预计,有经验的地区也可采用典型曲线法、负指数函数法或数值计算分析法等。

6.2.4 河沟道水毁的冲刷深度应作为确定挖沟法水域穿越管道最小埋深和水工保护工程基础埋深的设计依据,当河道疏浚深度大于冲刷深度时,应取其深者。

6.2.5 河沟道水毁的冲刷深度应包括河床自然冲刷深度、水工建(构)筑物影响下的一般冲刷深度和局部冲刷深度三部分:

- 自然冲刷深度可通过调查或利用历年河床断面、河段地形图、洪水、泥沙等资料,分析河床逐年自然下切程度,估算管道使用年限内河床自然下切的深度;也可通过实地调查或参考类似河流的观测资料,结合河段的特点和整治规划做出适当的估计;
- 一般冲刷深度可参考 JTG C30 关于桥梁墩台冲刷的计算方法确定;
- 局部冲刷深度可参考 GB 50286 关于护岸工程冲刷深度的计算方法或 GB 50707 关于河道控制工程冲刷深度的计算方法确定,宜根据河道实际情况选用或取较大值。

6.2.6 河沟道水毁冲刷深度计算所采用的设计洪水频率不应低于 50 年一遇,并应符合表 2 关于水域穿越管段设计洪水频率取值的规定。

表 2 水域穿越管段设计洪水频率取值表

危害对象及程度	设计洪水频率
1) 危害管道及站场、阀室等重要设施,并可能造成生产中断	1%
2) 高后果区 ^a	(100 年一遇)
危害管道及站场、阀室、伴行路等重要设施,但一般不会造成生产中断	2%
	(50 年一遇)
^a 高后果区划分按照 GB 32167 确定。	

6.2.7 泥石流的流速、流量和过流弯道超高计算按照 SY/T 7040 确定,冲击力、冲起高度计算按照 DZ/T 0220 确定。计算采用的设计洪水频率不应低于 50 年一遇。

6.3 管道易损性

6.3.1 管道易损性宜考虑管道埋深、管沟岩土特性、管道与灾害体的空间关系、管道损伤类型、管道运行参数等,采用定性和半定量评价方法时,应明确灾害影响到管道的可能性或管道发生损伤的可能性,采用定量评价方法时,宜计算出下列管道安全状态数据:

- 管体应力或应变;
- 管体位移或椭圆度;
- 管体轴向整体稳定性或局部稳定性;
- 管体径向稳定性;

——管体结构可靠度。

6.3.2 管道易损性量化评价宜采用解析分析法、数值模拟法等方法,宜采用经实测资料验证的边界条件。

6.3.3 管体应力的计算应充分考虑灾害作用规律、机理,对埋地管道需确定管土相互作用的定量关系,对水冲管道需确定水流作用于管道的力学模型并进行应力校核,对瞬间冲击管道可利用数值模拟方法进行分析。

6.3.4 当评价对象为含缺陷管道时,应充分考虑管体缺陷类型、大小、分布对管道易损性的影响,可借助经验公式、物理试验、数值模拟等方法。

6.3.5 管土相互作用的量化评价宜在构建管体周围土壤本构模型的基础上,结合试验、数值模拟方法开展,当不具备上述条件时,可采用温克尔地基梁模型或土弹簧模型等进行评价。采用管体结构-土弹簧模型时,宜通过管轴方向土弹簧、水平横向土弹簧和垂直方向土弹簧进行模拟,土弹簧的参数宜根据土的力学特性通过现场试验或参照 GB/T 50470 计算确定。

6.3.6 利用管体应力数据进行评价时,管材的许用应力参照 SY/T 6828 关于地质灾害作用下管道许用应力阈值的规定。

6.3.7 利用管体应变数据进行评价时,对于活动断裂与地震灾害,参照 GB/T 50470 确定管材的许用应变,其他灾害类型根据管道设计资料确定,无法确定的可参考 GB/T 50470 对一般埋地管道抗震设计中管材许用应变的规定。

6.3.8 埋地管道在堆载、压覆等外荷载作用下的管体径向稳定性,宜按附录 E 确定。埋地管体轴向整体稳定性,宜按附录 F 确定。埋地管体轴向局部稳定性,可参考 SY/T 7403 中关于管道许用压缩应变的相关要求确定。

6.4 失效后果评价

失效后果评价宜考虑人员伤亡、经济损失、环境污染和停输影响等,失效后果等级按 GB 32167 划分。

7 监测与检测

7.1 监测

7.1.1 通则

7.1.1.1 管道地质灾害监测应明确其目的和功能,建设期监测宜与运营期监测统筹考虑,并应做好监测数据和系统的移交对接工作。

7.1.1.2 需要大量土石方作业的监测工程,宜在建设期完成必要监测施工作业。

7.1.1.3 宜结合管道工程设计文件、岩土工程勘察报告、相关论证或评估结论、现场及周边地质环境条件制定监测方案。

7.1.1.4 监测方案应根据灾害体的地质条件、灾害规模以及对管道和附属设施的危害程度,选择安全、可靠的监测技术和方法。经济、技术条件许可时,应优先考虑通过长期稳定性和可靠性验证的自动化监测仪器和设备,并保证监测仪器、设备间的兼容性。

7.1.1.5 监测方案内容宜包括监测项目概况、监测依据、监测目的、监测内容、监测方法及精度、监测仪器、监测频率、监测点布设、监测工程施工与仪器安装要求,以及报警等级与阈值、信息发布、信息反馈、运行维护、经费预算等内容。涉及监测预警信息系统建设或升级/维护的,还应编制相关方案。

7.1.1.6 监测运行期间,应保持监测系统的完好性,及时修复存在的问题,每年度检查维护次数不应低于 1 次。

7.1.1.7 新建或维护监测设施,应避免引发灾害体失稳或危及管道本体、管道附属设施的安全。

7.1.2 监测类型

7.1.2.1 按监测对象划分,可将监测项目分为管体变形监测、管道附属监测、灾害体监测、防治工程结构监测和管土相互作用监测。

7.1.2.2 按监测目的划分,可将监测项目分为风险点监测、施工安全监测、工程效果监测和应急监测。

7.1.3 监测等级

管道地质灾害监测等级宜按表 3 进行划分。

表 3 监测等级划分

监测类型		监测等级		
		I	II	III
建设期	风险点监测	岩土工程勘察结论为高风险(或地质灾害危害程度 ^a 为大),且无法避让的地质灾害点	岩土工程勘察结论为较高风险(或地质灾害危害程度为中等)且无法避让的地质灾害点	其他影响到管道的地质灾害点
	施工安全监测	防治工程等级 ^b 为 I 级	防治工程等级为 II 级	防治工程等级为 III 级
	工程效果监测			
	应急监测	可能导致管道失效或严重施工安全事故的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件	可能导致管道大变形或普通施工安全事故的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件	可能导致管道轻微变形或较小施工安全事故的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件
运营期	风险点监测	地质灾害风险等级为高的灾害点	地质灾害风险等级为较高的灾害点	地质灾害风险等级为中及以下的灾害点
	施工安全监测	防治工程等级为 I 级	防治工程等级为 II 级	防治工程等级为 III 级
	工程效果监测			
	应急监测	发生的可能导致管道失效或油气输送中断的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件	发生的可能导致管道大变形或降压输送操作的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件	发生的可能导致管道轻微变形、露管、硅管裸露的岩土体移动或泥石流、洪水等水力侵蚀的破坏事件
^a 建设期地质灾害危害程度按 DZ/T 0286 确定。 ^b 防治工程等级按 SY/T 7040 确定。 ^c 运营期地质灾害风险等级按 SY/T 6828 确定。				

7.1.4 监测内容

7.1.4.1 监测内容宜按表 4 所列的灾害类型、监测需求并结合现场实际情况选取。

表 4 监测内容

监测内容		灾害类型/监测需求	
管体变形 监测	管体应力/应变	监测应变传感器安装时刻始至监测数据采集时刻止的管体应力/应变变化量	
	管体位移	监测管体在管周岩土体移动或悬空状态下的绝对位移或相对位移	
管道附属 监测	伴行光缆温度	监测管道伴行光缆的温度,能一定程度反映自然环境变化、管输介质温变或泄漏而引起的管周土壤温度变化情况。如需更高精度监测,可采用特种温度缆	
	伴行光缆应变	监测管道伴行光缆的应变,可估计显著土体移动(如亚米级滑坡地表变形、采空岩溶塌陷变形和冻胀融沉变形等)作用下管道伴行光缆的受力变形情况,可用于亚米级土体移动异常点的定位。如需更高精度监测,可采用特种应变缆	
灾害体 监测	变形	地表位移	监测各类土体移动类灾害发生时地表移动量
		深部位移	监测滑坡、崩塌等灾害体内部不同深度岩土体的移动量
		地表裂缝	监测各类土体移动类灾害发生时产生地表裂缝的宽度和上下错动、充填情况
		倾斜度	监测危岩体倾斜的程度
		泥位	监测泥石流、河沟道水毁的泥位
		管道埋深监测	监测管道的埋深或覆土厚度
		离岸距离监测	监测泥石流、河沟道水毁作用下管道距冲刷岸坡的距离
		冲刷深度监测	监测泥石流、河沟道水(泥)流对河床冲刷的深度
	气象水文	塌岸监测	监测泥石流、河沟道水毁作用下岸坡坍塌程度
		降雨量	适用降雨敏感性灾害或泥石流、河(沟)道的水文监测
		流速、流量	监测泥石流、河沟道水(泥)流的流速和流量
		土壤或管周温度	监测土壤温度或管周温度,一般用于冻土灾害
		含水率(量)	监测灾害体内部岩土体的含水率(量)
		孔隙水压力	监测灾害体内部岩土体的孔隙水压力,一般用于滑坡、崩塌
		地表水动态	监测灾害体地表水入渗、蒸发、流动特征
		地下水动态	监测灾害体内部地下水流动、水位、渗透特征
	荷载	水位	监测河流或湖泊等的水位变化
		土压力	监测土体内部压力或作用于支护结构的作用力
	防治工程 结构监测	振动监测	监测地表振动
建(构)筑物变形		监测灾害体影响范围内既有建(构)筑物的裂缝、倾斜、位移、表面形变等变形量	
结构裂缝		监测混凝土或砌体结构表面裂缝变化量,适用施工安全监测和工程效果监测	
	结构应力	监测抗滑桩应力、锚杆(索)应力、其他混凝土或砌体结构应力,适用施工安全监测和工程效果监测	

表 4 监测内容 (续)

监测内容		灾害类型/监测需求
防治工程结构监测	其他支护结构变形	监测防治工程支护结构的倾斜、位移、表面形变等变形量,适用施工安全监测和工程效果监测
管土相互作用监测	管土相互作用监测	监测岩土体移动时作用于管体的作用力

7.1.4.2 对受滑坡、崩塌、地面塌陷、地面沉降、活动断层等典型土体移动类地质灾害影响的管段,宜采用管体应力/应变监测的方式持续观测管道的安全状态。

7.1.4.3 当管道与活动断层相交时,宜对断裂带范围的管体实施应力/应变监测,可对断裂带范围内影响管道的滑坡、崩塌等灾害实施灾害体监测。当管道与活动断层并行距离小于 200 m 时,宜实施管体应力/应变监测。

7.1.4.4 当管道跨越工程位于基本地震动峰值加速度为 0.30 g 和 0.40 g 的地区时,宜实施管体应力/应变监测或跨越工程结构监测。

7.1.4.5 管体应力/应变监测截面的布置、传感器的安装和数据的计算参见附录 G。实施监测前,宜采用检测设备获取管体待监测部位的实际应力或应变值,并以此作为监测的初值。

7.1.4.6 可借助合成孔径雷达干涉测量(InSAR)和机载激光雷达测量技术开展区域范围内地质灾害体的地表变形监测工作。宜借助分布式光纤传感、分布式同轴电缆电栅传感等技术开展长距离管体变形监测或管沟异常土体移动感知。

7.1.5 监测频次

监测频次应符合以下规定:

- 开展风险点监测和工程效果监测时, I 级、II 级自动化监测应至少每 24 h 观测 1 次,非自动化监测应至少每 15 d 观测一次,在汛期和特殊情况下宜适当加密观测频次; III 级自动化监测应至少每 72 h 观测 1 次,非自动化监测应至少每 45 d 观测 1 次,在汛期和特殊情况下宜适当加密观测频次;
- 施工安全监测和应急监测应至少每 12 h 观测 1 次,对正在活动的灾害点,宜实时监测。

7.2 检测

7.2.1 针对高和较高风险的地质灾害点,当工程防治、监测等措施无法短时间实施时,应采用检测手段获取管体的状态数据。

7.2.2 所采用的检测手段,不应在管道本体造成损伤或影响其正常使用,但以下情况是允许的:

- 作业所需的防腐层剥离,剥离后 48 h 内修复完整;
- 作业所需的管体表面打磨,打磨深度不大于 100 μm ;
- 作业所需的管道介质降压输送。

7.2.3 管体检测工作可包括管体应力、管道埋深、管道位移、管道中心线、管道几何变形等物理量。

7.2.4 宜根据检测需求、场地条件、检测设备的技术特点和指标选取适用的管体应力检测设备:定量检测宜采用超声波法(如残余应力超声临界折射纵波检测方法),定性检测可采用磁测法(如矫顽力测量方法)。X 射线法、压痕法、盲孔法和涡流法等,应在对其实际应用环境条件下的适用性和有效性验证后选择使用。超声波法开展管体应力检测作业的常见应用场景及其作业流程参见附录 H。

7.2.5 宜采用管线探管仪或探地雷达对埋地管道埋深和走向进行探测,应采用专用管道水下埋深检测设备对水域穿越管道进行探测。

7.2.6 采用管道内检测器开展管道位移、中心线和几何变形检测,应符合 SY/T 6597 的规定。

8 预警

8.1 概述

8.1.1 预警内容宜包含地质灾害发生区域、受威胁管段位置、灾害点成灾与管道破坏时间等预测信息。

8.1.2 预警工作宜在研究预测预报理论、致灾体变形机制与管道破坏关系的基础上,针对不同区域和灾害类型专项开展,可采取室内模型试验、气象与形变监测数据统计分析等方法。

8.1.3 预警工作宜联合管道沿线省、地、县、乡、村构建五级群测群防网络体系,做到早发现、早处置。

8.2 预警等级与模型

8.2.1 预警等级应以受灾管段受损或被破坏的时间和可能性大小为依据。

8.2.2 宜在地质灾害监测和评价结果的基础上建立预测模型,对可能发生和可以预警的管道地质灾害进行中长期、短期和临灾预警,对应的等级宜划分为Ⅰ级(特别严重)、Ⅱ级(严重)、Ⅲ级(较重)、Ⅳ级(一般),依次用红色、橙色、黄色和蓝色表示。

- a) 中长期预警,对1年以上可能发生的地质灾害区域和灾害体的类型、地点、危害情况等进行预测,多为Ⅳ级。
- b) 短期预警,对未来1年到几天内将要发生的地质灾害的类型、地点、危害情况和管道安全状态等进行预报,以Ⅲ级~Ⅳ级为主。
- c) 临灾预警,对未来几天到几十分钟内地质灾害发生发展和管道破坏趋势进行报警,多为Ⅰ级~Ⅱ级。

8.2.3 管道地质灾害常用的预测模型见表5,宜根据应用对象和预测需求适宜选用。

表5 管道地质灾害常用预测模型

模型名称	内容描述	适用对象
确定性预测模型	将预测对象作为线性的和可解析表达的,建立确定或经验的预警阈值或数学表达式,开展预警或预测地质灾害的分布规律和动态过程	单体地质灾害
统计预测模型	将预测对象作为不确定的随机事件,通过对现有灾害现象、信息、标志及其类似不稳定现象所处的地质环境条件和影响因素进行统计分析和拟合,预测地质灾害的时空分布规律	单体地质灾害、 区域地质灾害
灰色模型	基于灰色系统理论的不确定性方程,通过概率统计的方法确定需要的参数和因子,预测地质灾害的演变规律	单体地质灾害
人工智能模型	利用人工智能技术,将灾害信息处理为符号系统和适用信息,通过模拟人脑神经网络认知、获取并分析预测地质灾害的成灾过程与规律	单体地质灾害、 区域地质灾害
非线性预测模型	通过探讨管道受灾系统的非线性行为,分析系统从简单到复杂的随机干扰因素及动态演化过程,开展受随机事件影响的确定性预测或受偶然性支配的预测	单体地质灾害 特别重要的局部区域

8.3 预警响应

8.3.1 宜采用地理信息技术(GIS)融合监测和检测技术建立信息化预警平台,及时对预警范围、等级、时段进行响应和信息发布。

8.3.2 开展预警工作时,应根据预测的预警等级与内容,密切关注地质灾害点和易发区附近情况,加密巡检巡查,响应措施可按表 6 选取。

表 6 管道地质灾害预警等级划分与响应措施

预警等级	预警内容	色标	发布要求	响应措施
I	管体断裂; 站场附属设施破坏; 人员伤亡	红色	发布 预警内容	关断阀室; 紧急避难; 启动应急预案; 实施应急抢险工程
II	管体变形; 管体破损; 应力或应变超限; 站场附属设施功能受损; 人员受伤	橙色		紧急避难; 专家会商; 启动应急预案; 实施应急抢险工程
III	应力或应变明显增加	黄色		加密巡检巡查与监测分析; 实施防治工程
IV	暂未对管道及附属设施 造成影响	蓝色	发布 预警信息	监控预警区域环境变化情况; 提出防治规划

9 工程防治

9.1 通则

9.1.1 工程防治设计应以管道为主要保护对象,遵循预防为主、防治结合的原则,并应符合环境保护的要求,采取合理的综合治理方案和有效的治理工程措施。

9.1.2 防治工程等级应按 SY/T 7040 划分为 I 级、II 级和 III 级。I 级防治工程应采用动态设计法,II 级防治工程宜采用动态设计法。

9.1.3 对列入工程整治规划且确需治理的地质灾害点,应进行防治工程设计。对场地复杂程度简单的水毁、黄土湿陷、风蚀沙埋、盐渍土等灾害,可在现场详细调查的基础上直接进行施工图设计。

9.1.4 管道地质灾害防治工作开展前,应确定管道中心线、伴行光缆等管道附属设施的准确位置,并在工程地质测绘时将管道位置标出,管道中心线位置误差不应大于 0.5 m。治理工程施工作业时,应对管道及附属设施进行防护。

9.2 管道主动保护

宜对崩塌、泥石流、河沟道水毁等灾害易发区的埋地管道进行主动保护,采取的措施包括草袋素土管堤、盖板、U 型槽、箱涵、混凝土浇筑稳管、水工挡墙涵洞等。

9.3 工程防治措施

9.3.1 可按表 7 选取适宜的工程防治措施。

表 7 管道地质灾害工程防治措施

序号	灾害类型	措施类型	措施名称
1	崩塌	危岩清理	清理危岩
		缓冲层	沙袋、柔性缓冲材料
		被动拦挡	被动防护网、拦石墙
		主动防护	清理危岩、封填和支顶(嵌补支撑)、填充和灌浆、挂网喷混凝土锚杆锚固、素混凝土喷护、锚索(杆)、主动防护网
2	滑坡	抗滑	抗滑桩、抗滑挡墙(重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙、锚定板挡土墙、加筋挡土墙、桩板式挡土墙)
		锚固	锚索(杆)、格构锚固
		减载与反压	削方减载、回填压脚
		截排水	截水沟、排水沟
		植物防护	生态袋、植被喷播(液力喷播)、植生带
3	泥石流	拦挡	防冲墙、防冲墩、重力式拦挡坝、刚性及柔性格栅坝、拦砂坝、停淤场
		排导	排导槽、导流堤、单边防护堤、渡槽
		截排水	截水沟、排水沟
		其他	岸坡防护、沟道整治、坡面治理、植被(生物)工程
4	岩溶塌陷	治水	地表及下水截流、排泄、疏导、堵水
		填垫	洞口封闭、洞底填塞、塌陷坑回填夯实、换填、挖填、垫褥
		灌注	钻孔灌注、洞口灌注
5	采空塌陷	—	注浆、砌筑支撑、开挖回填、强夯
6	河沟道水毁	护岸	挡墙式护岸、坡式护岸、石笼护岸、丁坝护岸、草袋植物护岸
		护底	过水面、地下防冲墙、拦砂坝、淤积坝或石谷坊、U型槽
		护脚	柔性混凝土块板、抛石护脚、石笼护脚、柴枕护脚
		稳管	混凝土连续浇筑稳管、混凝土配重块稳管、石笼稳管、袋装土稳管、打桩护管
7	坡面水毁	护坡	挡土墙、砌石护坡、骨架护坡、草袋护坡、预制块护坡、换填、回填
		护面	实体护面墙、截水墙、素喷护面、锚杆挂网喷浆护面、冲土墙、灰土干打垒
		坡面整治	堡坎、水平沟、鱼鳞坑、植生带、植树、种草
		地表排水	截水沟、排水沟、跌水、急流槽
8	台田地水毁	—	挡土墙、堡坎、回填、排水沟、改良换填及复垦

9.3.2 崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷和采空区等地质灾害防治工程设计参照 SY/T 7040 执行,同时满足 SY/T 6828 关于管道保护的相关要求。坡面水毁、河沟道水毁和台田地水毁的防治工程(水工保护工程)设计参照 SY/T 6793 执行,同时满足 GB 50251 和 GB 50253 关于管道线路水工保护的设计要求。不稳定斜坡支挡防护可参考 GB 50330 执行。其他防治工程设计要求如下:

- 山地地区,管道经过滑坡、崩塌、泥石流地质灾害地段时,应依据地质灾害现状、发展趋势及对管道的危害程度分析评价结果,采取适宜防治工程措施;
- 平原地区,管道穿越池塘、水库库区、水网、沼泽、水源地等静水水域时,宜采取稳管措施;管道

穿越水源保护区和水体时,水工保护工程所采用的材料不应对水域造成污染;管道穿越池塘、水网、沼泽等地基承载力较低的水域时,稳管措施可结合管沟细土回填一并考虑,稳管结构宜采用袋装土或混凝土配重块连续稳管方式;

- 风沙与戈壁地区参照 SY/T 6793 执行;
- 黄土地区,油气站场黄土地基处理和相关灾害防治可参考 GB 50025、SY/T 7363 执行,黄土微地貌、黄土高陡边坡、黄土冲沟、黄土蠕变防治参照 SY/T 7363 执行;
- 多年冻土地区参照 SY/T 7364;
- 盐渍土及膨胀土地区,盐渍土相关灾害防治可参考 GB/T 50942、SY/T 0317 执行,膨胀土相关灾害防治可参考 GB 50112 执行;
- 管道穿越活动断层及地震带,采用的抗震措施参照 GB/T 50470 执行。

9.3.3 当管道敷设于水库下游泄洪影响区以及河道、沟谷冲刷侵蚀区时,应采取防冲和护底、护岸等措施。管道埋深应综合泄洪时的局部冲刷及常规泄水的清水冲刷深度确定,并满足库岸再造作用后的稳定性要求。

10 应急抢险

10.1 通则

10.1.1 应急抢险方案宜与永久性治理措施相结合。险情过后应对灾害点风险和防护效果进行评价,并根据结果考虑下一步措施。

10.1.2 抢险前应查明灾害活动范围、诱发因素、灾害体与管道位置关系、对管道危害形式并评价管道安全状态。对稳定性受地表水或地下水影响的灾害,应立即采取截排水措施。

10.1.3 地质灾害抢险应遵循技术可靠、易于施工、迅速起效、确保安全的原则,并考虑以下因素:

- 所需物资、人力资源的可获得性;
- 抢险期间影响施工的气象预报信息,上游水库泄洪、河道行洪计划及其可协调性;
- 管道生产运行需求,是否具备停输、降压、放空、置换等条件;
- 下一步永久治理措施的结合;
- 其他影响抢险施工进度、效果的因素。

10.1.4 抢险可采取控制灾害体、保护管道及其附属设施、切断灾害与管道的相互作用等单个或综合措施,可参考第9章的相关要求。

10.1.5 应急抢险期间应采取安全监测措施确保管道、抢险施工人员及周边人员的安全。宜对灾害活动性、管道安全性、灾害诱发因素等进行单项或综合实时监测和预警,可采用易于快速实施的简易监测措施。对河沟道水毁等,应对上游降雨、洪水情况进行密切关注或监测,预计洪水到达时间,确保施工人员、机具设备有足够撤离时间。存在油气泄漏可能时,应进行可燃气体监测/检测,并采取必要措施避免爆炸起火。

10.1.6 对以下情况不宜开展抢险:

- 灾害规模大,抢险措施无法控制灾情的;
- 灾害发展快,无抢险时间的;
- 抢险风险大,严重威胁抢险人员生命安全的;
- 其他不宜抢险的情况。

10.1.7 对无法开展抢险和抢险过程中可能发生管道断裂失效的情况,宜采取降压、停输、灾害影响范围外两侧设置临时截断阀(带压封堵)、放空天然气、氮气置换或吹扫油品等措施,必要时架设临时管线,同时划定危险区及影响区,及时上报并配合地方政府做好危险区人员疏散撤离等工作。

10.1.8 对已造成管道外露、悬空等情况,应对管道本体进行检测/监测和评估;对长距离悬空段,宜进

行管道降压或停输,在具备作业条件时对管道进行支撑保护;对因过大变形等无法继续使用的管段,应进行改线或换管;对已发生泄漏的管段,应立即对泄漏点上、下游管段进行隔离并控制泄漏范围。

10.1.9 抢险过程中应安排专职或兼职安全员,对不稳定边坡和管沟进行稳定性观测,对临边、临空、临水、吊装等作业进行监督指引。

10.2 常见地质灾害的应急抢险

10.2.1 滑坡

10.2.1.1 对滑坡后缘出现的拉张裂缝宜进行回填夯实;在滑坡及周边设置临时截排水措施,对仍有持续降雨的,可在滑坡体或局部易积水下渗部位覆盖防渗布。

10.2.1.2 对变形量在容许范围内的不稳定滑坡体,宜采取支挡、削方、压脚等措施防止进一步变形。

10.2.1.3 对变形量超出容许范围的滑坡体,宜在采取防止滑坡进一步变形的基础上进行管道应力释放,可参考 SY/T 0330 执行。

10.2.1.4 滑坡失稳可能导致管道悬空时,宜对管道周边土体进行加固;已对悬空管段进行支撑的,应对影响支撑措施稳定性的不稳定体进行加固。

10.2.2 崩塌

10.2.2.1 根据现场情况,可采取以下一种或综合措施:

——对不稳定岩土体进行加固或清除,清除前应对管道采取保护措施;

——在崩塌体与管道之间有空旷场地的,宜设置落石槽、偏转墙等;单个崩塌体不大于 20 m³、悬空高度不大于 15 m 的危岩体可增大管道埋深,在管道上方堆土或袋装土。

10.2.2.2 发生崩塌后,应排查是否存在后续崩塌的可能,并采取措施加固或清除不稳定岩土体。

10.2.2.3 崩塌体堆积在管道上方、管道安全状况不明时,应根据管道压力、现场可燃气体检测等情况判断管道是否已发生泄漏,及时破碎、清除崩塌堆积体,并对管道安全进行评估,必要时进行管道开挖、检查、修复。

10.2.3 泥石流

10.2.3.1 泥石流成灾前,宜对泥石流影响管段可采取在管道上下游设置钢桩联合硬覆盖的保护措施,并对可能导致的河岸后退段进行防护。

10.2.3.2 泥石流成灾后,应首先评估抢险施工期间再次发生泥石流的可能性,在确保安全的情况下实施抢险。位于泥石流形成区、流通区的管段,应保持埋深,宜在管道上下游设置淤土坝、谷坊坝等建(构)筑物。

10.2.4 水毁

10.2.4.1 截排地表汇水,宜引至天然沟道等已有排水系统,当采用散排方式时不应引发新的水毁问题。

10.2.4.2 对于管道短距离悬空、露管或埋深不足的坡面水毁,宜在冲蚀沟内间隔设置截水墙,间距根据坡度、土质确定,宜为 10 m~20 m。地貌恢复后可对坡面进行护面保护。

10.2.4.3 对于管道长距离悬空的坡面水毁,应采用悬吊、支撑等措施,将管道恢复至正常位置。悬空深度较大时,宜对悬空管道两端边坡进行防护;降雨或无法截排汇水时,应设置防渗、防水土流失等措施。

10.2.4.4 静水中的管道漂管,可采取稳管、压覆措施;流动水流中的管道漂管,宜采取稳管措施,必要时可设置围堰或挑流措施。

10.2.4.5 因河流决堤、内涝导致的长距离淹没管道,应对受冲刷部位的管道埋深、外露、漂管情况进行观测,发生外露、漂管的应及时处置。对水库泄洪、上游溃坝将要影响的河沟道穿越段,应检查当前水工

保护工程和管道埋深等情况,必要时加固水工保护工程并采取稳管、护岸、护底等措施。

10.2.4.6 对丧失功能的水工保护工程,应采取临时防护措施,抢险后及时进行修复或重建。

10.2.5 地面塌陷

10.2.5.1 对采空引起的地面塌陷,应根据地下采空情况、地面沉降量、监测数据等对管道安全状态进行评价,需应力释放的,宜按 SY/T 0330 对管道进行开挖、抬管;对持续沉降的可对管道进行悬吊,根据沉降量调整管道悬吊高度;在沉降未稳定前,宜不回填或回填轻量土。

10.2.5.2 对岩溶引起的地面塌陷,根据受影响长度和地基情况可采取回填、打桩等方式对管道进行支撑,无法采取支撑措施的,宜进行改线。

10.2.5.3 对冻土融沉导致的管道差异沉降,可对管道受约束部位进行应力释放。

10.2.5.4 对黄土湿陷引起的塌陷、落水洞,宜在落水洞周边设临时截排水措施,排查落水洞出口位置,对塌陷、落水洞进行开挖,检查管道悬空情况;宜对开挖的管沟设置截水墙后夯填并恢复地貌,也可进行改良换填后恢复地貌。

10.2.6 风蚀沙埋

对风蚀沙埋导致的管道浅埋、悬空,应对管道进行回填,恢复埋深。

10.2.7 阀室站场灾害

10.2.7.1 对受水淹的手动阀室宜以监控为主,必要时可设置围堰或排水措施;对受水淹的远程控制终端(RTU)阀室,宜调整生产工艺,采用越站或停输方式,并临时移走电子器件;对不可停输、越站的 RTU 阀室,宜在周边设置围堰或排水措施。

10.2.7.2 对阀室站场地面出现裂缝或显著沉降的,应检查工艺管道及设备受地面形变影响的情况,若工艺管道受力变形,应评估管道是否能继续运行,不能继续运行的,进行应力释放并对管道损伤部位进行修复。

10.2.8 地震

10.2.8.1 地震后宜对阀室、站场、跨越管段、固定约束管段以及地震所诱发的次生灾害对管道及附属设施的损坏情况等进行检查,评估管道及设施安全状况。

10.2.8.2 对发生砂土液化、地表破裂、错动等管段应查明管道是否发生泄漏,宜对管道进行开挖、应力释放。

10.3 应急抢险措施

应综合考虑灾情变化、管道状态和施工条件选取适宜的应急抢险措施,包括打桩/压重块/石笼稳管、管道应力释放、管道支撑与悬吊、临时压覆、临时截排水、护岸加固和围堰等。

11 数据管理与移交

11.1 管道工程建设完成后,应将以下建设期形成的管道地质灾害相关成果移交运营管理部门:

- 地质灾害清单;
- 可行性研究阶段相关成果,包括地质灾害危险性评估报告、水土保持方案、防洪评价报告、河流穿越专项评估报告(如果有)、地震与活动断层专项评估报告(如果有)等;
- 管道线路及站场岩土工程勘察报告、管道线路及站场工程施工图设计报告;
- 地质灾害防治工程勘察及施工图设计报告;

- 水工保护工程及水土保持设计报告；
- 监测方案、数据、设施设备与系统(如果有)；
- 开挖和钻孔揭露的地质编录资料(如果有)；
- GIS 相关或类似图件(如果有)。

11.2 管道运营部门宜建立数据库或数据库系统,包括适当的地理信息系统,用以维护和管理地质灾害数据。数据应至少包含以下要素:

- 灾害名称、类型、地理位置和唯一标识；
- 灾害影响范围；
- 灾害影响范围内管道的敷设方式、位置、长度、埋深；
- 管道与灾害体的空间关系；
- 管沟回填土性质及埋设方式；
- 灾害体形态特征；
- 灾害体对管道本体和管道附属设施的潜在影响；
- 历次风险评价(如果有)的结果、类型、完成时间及评价机构等；
- 风险减缓措施(如果有,如工程防治、监测等)的类型、规模、竣工时间、现状及效果等；
- 历年应急抢险信息(如果有)。

附 录 A

(规范性)

管道路由选线要求

A.1 通则

管道应避免滑坡、崩塌、塌陷、泥石流、河沟道水毁严重侵蚀等地质灾害地段,宜避开地质灾害危险性评估结论为中等危险及以上的灾害点、矿山采空区和全新世活动断层。当受到条件限制必须通过时,应选择危害程度较小的位置,并采取工程防治或监测等必要的防护措施。

A.2 滑坡发育地区

A.2.1 应绕避地质条件复杂的大、中型滑坡与滑坡群,以及潜在不稳定斜坡体。

A.2.2 在具有滑坡发生条件或因管道建设可能诱发滑坡的地段,应合理布置线路平面、断面位置;通过现状稳定的老滑坡时,应避免易导致滑坡复活的部位。

A.2.3 应尽量减少管道横坡敷设长度,当必须敷设时,宜选择在反向坡通过。

A.3 危岩及崩塌发育地区

A.3.1 管道及其附属设施宜避开崩塌及危岩分布较多地段、崩塌落石直接冲击区和不稳定的崩塌堆积体。

A.3.2 在具有崩塌产生条件或因管道工程施工扰动可能产生崩塌的地段,应合理布置线位。

A.4 泥石流发育地区

A.4.1 宜绕避大、中型泥石流沟谷的形成区和流通区。

A.4.2 通过小型泥石流形成区、流通区时,应确定适宜管道埋设的稳定层位,判断谷坡稳定性,提出相应的岩土工程防治措施建议及要求。

A.4.3 可采用穿越方式通过稳定的堆积区,勘察时应预测其横向扩展最大宽度,确定适宜管道埋设的稳定层位。

A.4.4 管线不宜顺泥石流沟谷敷设。

A.5 水域区

宜绕避下列河段:

- 河道弯曲、易改道、易变洲滩、汇流口、分流口等控制河段;
- 河床冲淤变幅大的河段;
- 不良地质作用发育,对穿越工程稳定性有直接危害或潜在威胁的河段;
- 活动断裂及其影响范围内的河段;
- 已建和拟建水工构筑物、锚泊地影响区;
- 当穿越位于水库库区时,库岸再造影响区;
- 挖砂区、采石区、采矿区。

A.6 岩溶地区

A.6.1 宜选择在岩溶塌陷不发育或较弱、覆盖土层较厚、地下水埋藏较深的地段通过,避开岩溶塌陷强和中等的地段。

A.6.2 宜绕避以下地段：

- 岩溶塌陷强和中等的地段；
- 岩溶洞隙、土洞和塌陷密集地带、地下河或以大角度通过；
- 岩溶地区的采石区及影响范围；
- 多元层结构、地下水埋藏较浅且变化幅度较大或水位线在基岩附近的地段；
- 沿断裂带、可溶岩与非可溶岩的接触带、有利于岩溶发育的褶皱轴部，断裂的交汇处、岩溶水富集区及岩溶水排泄区。

A.7 采空区

A.7.1 宜绕避至采空区的影响范围外一定距离。

A.7.2 通过规划矿区时，应了解矿区的具体规划，分析对线路的影响及应采取的措施，不宜影响矿区采矿生产及未来规划。

A.7.3 无法绕避采空区时，选线应结合当地实际情况，宜沿高速公路、建筑物、水体、铁路、井田边界线等已有安全矿柱的地区敷设。

A.8 活动断层

A.8.1 应选择抗震有利场地，宜避开全新世活动断层、活跃的地震构造带以及地震动峰值加速度大于0.40 g的地区。

A.8.2 当线路不能避开活动断层时，宜选择断层位移量和断裂带宽度相对小的地带穿越，并合理调整管道通过活动断层的方向。

附录 B

(资料性)

管道沿线地质灾害专业调查工作

B.1 地质灾害基线调查包括但不限于：

- 管道沿线地质灾害调查测绘、工程地质测绘和水文地质测绘，查明沿线地貌形态、水文地质特点、地层岩性组成、构造特点等工程地质条件；通过分析研究地质环境特征，进行管道沿线地质灾害易发性评价、分区，并编制信息化图件等；
- 调查管道沿线滑坡(滑塌)、潜在不稳定斜坡、崩塌(危岩)、泥石流、黄土湿陷、水毁、地面塌陷、多年冻土相关灾害、软弱地层、水土流失等地质灾害及不良地质现象，查明各类地质灾害的位置、规模(范围)、形成条件及与所在管道的空间关系；
- 调查评价沿线工程活动对管道安全的影响，包括开挖及弃渣场、高填方区、尾矿库、高陡边坡对环境的影响及环境的潜在变化对管道的危害，沟渠鱼塘清淤对管道的危害等；
- 对已有地质灾害防治工程(包括水土保持工程)开展防治工程效能评价，总结经验教训，提出效能改进建议；
- 建立管道地质灾害信息数据，包括地形、地层、构造、水文地质等地质信息，复核建设期移交的地质灾害信息等，根据需要还可调查管道及周边地理环境信息。

B.2 地质灾害周期调查应以基线调查成果为基础，对管道沿线地质灾害和发育环境变化进行调查，包括但不限于：

- 调查测绘管道沿线地质灾害，调查地质灾害清单内灾害点；
- 调查管道沿线滑坡(滑塌)、潜在不稳定斜坡、崩塌(危岩)、泥石流、黄土湿陷、水毁、地面塌陷、多年冻土相关灾害、软弱地层、水土流失等地质灾害及不良地质现象，查明各类地质灾害的位置、规模(范围)、形成条件及与所在管道的关系；
- 调查评价沿线工程活动对管道安全的影响，包括开挖及弃渣场、高填方区、尾矿库、高陡边坡对环境的影响及环境的潜在变化对管道的危害，沟渠鱼塘清淤对管道的危害等；
- 对已有地质灾害防治工程(包括水土保持工程)开展防治工程效能评价，总结经验教训，提出效能改进建议。

附 录 C
(资料性)
管道防汛工作内容

C.1 主汛期前防汛准备工作,包括但不限于:

- 结合年度气象预测、管道地质灾害发育情况制定年度防汛工作方案;
- 根据管道地质灾害变化情况修订应急预案(必要时);
- 检查防汛物资的可用性,根据管道地质灾害变化情况调配应急物资,并在消耗后及时补充;
- 对管道全线进行防汛排查、更新防汛重点地段,对影响防汛安全的灾害点在主汛期来临前完成处置;
- 维修维护地质灾害治理工程和监测设施,检测存在冲刷风险的河流大开挖穿越段管道埋深、堤坝等;
- 收集管道沿线大型机械、大宗应急物资、人力资源等社会依托资源信息并建立联系;
- 建立健全各类气象预警、水库泄洪、河道行洪等汛情信息的收集与发布机制,并与气象、水库、河道等相关机构建立沟通协调机制。

C.2 主汛期防汛工作,包括但不限于:

- 宜安排防汛人员、应急抢险队伍 24 h 防汛值班,抢险设备应保持良好状态,具备随时进入正常使用工况的能力;
- 建立汛情信息和灾情信息报送机制,跟踪气象、水文、台风等汛情信息,及时调整防汛部署;
- 降雨后开展巡检,排查降雨诱发的地质灾害情况;对防汛重点地段可采取“三检制”,即雨前检查评估能否安全度过本轮降雨;雨中检查是否存在变化;雨后检查是否存在灾情等,发现问题立即上报,并采取应急措施;
- 对发现的地质灾害及时采取防护措施,如针对小规模水毁灾害点实施治早治小。

C.3 主汛期结束后汛后管理工作,包括但不限于:

- 主汛期结束后宜对地质灾害高易发区、中易发区开展一次防汛排查;
- 对影响下一个汛期管道防汛安全的灾害点应纳入近期治理规划并实施治早治小;
- 结合年度实际防汛工作经验和防灾减灾效果,对防汛工作进行分析、总结,提出改进建议。

附录 D

(资料性)

常见管道地质灾害调查内容和要素

D.1 概述

常见管道地质灾害调查主要包括工程地质及发育条件调查、危害性调查和防治调查等,各类灾害的防治调查可参考 D.2.3 执行。

D.2 滑坡调查

D.2.1 滑坡工程地质条件调查:

- 滑坡形态,调查滑坡及邻近坡面的形态、坡度、滑坡周界等特征,预估滑坡规模;
- 物质组成与结构,调查滑体、滑体外围及滑床的岩性组成、岩土结构特征等;
- 地质构造,调查测量滑坡及邻近斜坡岩层产状、结构面及软弱夹层发育特征,划分坡体结构类型;
- 水文地质,调查滑坡及邻近斜坡区沟谷、地表水分布情况、地下水露头出露情况,初步查明地下水赋存类型及补排关系等;
- 变形特征及发展趋势,调查测量地面开裂、鼓胀、塌滑、房屋建筑变形、树木歪斜等现象;访问调查滑坡变形发展的历史;分析滑坡滑动方式、力学机制、稳定性现状及发展趋势等;
- 控制及诱发因素,调查分析引发滑坡的原因,包括地质构造等内在因素及降雨、工程活动等诱发因素;
- 综合滑坡变形现状及地质与诱发因素条件,分析判断滑坡易发性。

D.2.2 滑坡危害性调查:

- 与管道空间位置关系,查明管道在滑坡体内外的通过位置,管道敷设方向与滑坡滑动方向的关系,管道埋深及可能影响长度等情况;
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内的城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.2.3 滑坡防治调查:

- 已有防治措施情况,包括工程措施与监测措施,工程措施的类型、防治效果等;
- 建议防治措施,提出进一步需采取的措施、工程布置方案,估算工程量等。

D.3 崩塌调查

D.3.1 崩塌工程地质条件调查:

- 危岩体地质环境条件,调查危岩体及其周边地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质等特征;
- 危岩体形态及规模,调查测绘危岩体边界形态,确定危岩体规模;
- 变形特征及发展趋势,调查测量危岩体开裂、错动、局部崩塌或掉块等现象,访问调查崩塌变形破坏的发展历史;
- 崩塌模式,调查危岩体发育的控制性结构面特征,分析确定危岩崩塌的破坏模式;
- 控制及诱发因素,调查分析形成危岩体的原因,包括地质构造等内在因素以及降雨、工程活动等诱发因素;
- 综合危岩体现状 & 地质与诱发因素条件,分析判断崩塌易发性;
- 崩塌堆积体调查可参考 D.2 执行。

D.3.2 崩塌危害性调查：

- 与管道空间位置关系,分析判断崩塌落石可能的运动路径,以及管道与崩塌落石运动路径的相对关系,管道埋深及可能影响长度等情况；
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.4 泥石流调查

D.4.1 泥石流工程地质条件调查：

- 泥石流地质环境条件,调查泥石流形成区、流通区及堆积区地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、工程经济活动等；
- 历史泥石流特征,调查观察泥石流堆积物、泥位痕迹、危害情况,初步确定泥石流类型、规模、发生频率等；
- 物源组成,预估泥石流物源静储量和动储量；
- 泥石流诱发因素,调查泥石流沟可能的水动力类型,包括暴雨型及水库溃决型等；
- 综合泥石流发育条件现状、活动历史及诱发因素,分析判断泥石流易发性。

D.4.2 泥石流危害性调查：

- 与管道空间位置关系,分析判断管道与泥石流的空间关系,管道埋深及可能影响长度等情况；
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内的城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.5 河沟道水毁调查

D.5.1 河沟道发育条件调查：

- 河沟谷地形地貌特征,包括沟谷形态、岸坡坡度、岸坡坡高、岸坡植被以及汇水面积等情况,了解河床演变历史；
- 河沟谷地质条件,包括岸坡及河床的岩土体组成与结构；
- 沟谷水文情况,调查测量河床宽度、沟床坡降、水体深度、流量、流速及其季节变化；
- 冲淤现状及趋势,调查测量岸坡冲刷或掏蚀现象、河床冲刷或淤积现象,分析发展过程及演变趋势；
- 管道穿越水库泄洪区时,调查收集坝体结构、水库库容、正常蓄水位、最大泄洪流量、行洪通道或潜在行洪通道的位置以及管道穿越行洪通道的方式等；
- 影响因素,除调查河床坡降、岸坡形态、山洪暴发等自然因素外,还应调查管道邻近河段采砂、河道整治等工程经济活动情况。

D.5.2 河沟道水毁危害性调查：

- 管道与河沟谷空间关系,包括管道敷设方式、凹凸岸形式、管道埋深;分析可能的危害形式及管道受影响长度等情况；
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内的城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.6 坡面水毁调查

坡面水毁调查包括：

- 坡面水毁发育条件,包括坡面形态、坡度、岩土体组成与结构、植被情况等；
- 管道敷设方式,包括管道走向与斜坡坡向关系、管道埋深等；
- 坡面水毁现状与发展趋势,观察冲刷细沟分布、规模、发展快慢程度,分析发展趋势；

——分析造成管沟覆土减薄、露管或悬空的可能性以及可能影响的管道长度。

D.7 台田地水毁调查

台田地水毁调查包括：

- 台田地形态及组成,包括台坎形态、高度、岩土体组成与结构、农业耕作情况等；
- 管道敷设方式,包括管道走向与台田坎关系、管道埋深等；
- 水毁现状与发展趋势,观察描述台田坎开裂变形或塌滑等情况,测量变形或塌滑长度,分析发展趋势；
- 观察分析造成管沟覆土减薄、露管、悬空或影响农田耕作的可能性及程度,判断可能影响到的管道长度。

D.8 地面塌陷调查

D.8.1 地面塌陷工程地质条件调查：

- 地面塌陷地质环境条件,调查地面塌陷及其邻近场地地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、工程经济活动等特征；
- 地面塌陷现状及发展历史,调查观察地面塌陷形态、大小、深度,相邻塌陷之间的空间展布规律,调查访问塌陷发展历史过程等,判断发展趋势；
- 划分地面塌陷成因类型,调查地面塌陷引发因素；
- 综合地面塌陷发育条件现状、活动历史及诱发因素,分析判断其易发性。

D.8.2 地面塌陷危害性调查：

- 与管道空间位置关系,分析判断管道与塌陷变形区及潜在塌陷区的空间关系,管道埋深及可能影响长度等情况；
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内的城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.9 地裂缝调查

D.9.1 地裂缝工程地质条件调查：

- 地裂缝地质环境条件,调查地裂缝及其邻近场地地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、工程经济活动等特征；
- 地裂缝现状及发展历史,调查观察地裂缝形态、宽度、长度、深度,相邻地裂缝之间的空间展布及组合规律,调查访问地裂缝发展历史过程,判断发展趋势；
- 地裂缝成因类型,调查分析地裂缝引发因素。

D.9.2 地裂缝危害性调查：

- 与管道空间位置关系,观察测量管道与地裂缝的空间关系,管道埋深及可能影响长度等情况；
- 与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内的城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

D.10 特殊土调查

D.10.1 特殊土工程地质环境条件调查：

- 场地地形地貌特征,包括地面起伏及坡度、沟谷分布及形态、植被覆盖等情况。
- 场地地质条件,包括岩土体组成与结构、特殊土类型及分布、厚度等情况。
- 水文地质条件,调查沟谷池塘等地表水的分布、地表汇流与地表入渗条件、地下水类型、埋深及动态变化情况。

——特殊土不良现象现状及发展趋势,包括:

- 黄土孔洞、沉陷、裂缝、水土流失、地下暗穴等发育和分布情况;
- 膨胀土场地地面开裂及其分布情况、滑塌现象等;
- 淤泥软土场地地面开裂、沉降、鼓丘、侧向挤出等现象;
- 冻土冰锥、冻胀丘、融冻泥流、热融滑塌、热融湖塘、热融洼地、冻土沼泽、冻土湿地等冻融现象及分布;
- 旱区沙地管沟及邻近地带风蚀坑槽、沙丘(垄)分布、规模等风蚀沙埋现象。

——影响特殊土变形或失稳因素,如降雨、大风、工程活动、地表水入渗、植被破坏等。

D.10.2 特殊土危害性调查:

——与管道空间位置关系,分析判断管道与特殊土变形或失稳范围的空间关系,管道埋深及可能受影响长度等情况;

——与周围环境关系,调查管道失效可能波及范围内城镇、住户、交通干线、江河或水源地等分布情况。

附 录 E
(资料性)
管体径向稳定性计算方法

埋地管道在堆载、压覆等外荷载作用下的径向变形(水平方向直径的变形量),不应大于钢管外径的3%。径向变形可按公式(E.1)~公式(E.3)计算:

$$\Delta X = \frac{ZKW D_m^3}{8EI' + 0.061E_s D_m^3} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

$$I' = \frac{\delta^3}{12} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

ΔX ——钢管水平方向最大变形量,单位为米(m);

Z ——钢管变形滞后系数,宜取 1.5;

K ——基床系数,可按表 E.1 选取;

W ——作用在单位管长上的总竖向荷载,单位为牛每米(N/m);

D_m ——钢管平均直径,单位为米(m);

E ——钢材的弹性模量,可取 2.05×10^5 MPa;

I' ——单位管长截面惯性矩,单位为四次方米每米(m^4/m);

E_s ——土壤变形模量,单位为兆帕(MPa), E_s 值应采用现场实测数,当无实测资料时,可按表 E.1 选取;

W_1 ——单位管长上的竖向永久荷载,单位为牛每米(N/m);

W_2 ——地面可变荷载传递到管道上的荷载,单位为牛每米(N/m);

δ ——钢管公称壁厚,单位为米(m)。

表 E.1 基床系数和土壤变形模量

敷管条件	E_s MPa	基床包角 (°)	K
管道敷设在未扰动的土上,回填土松散	1.0	30	0.108
管道敷设在未扰动的土上,管中线以下的土轻轻压实	2.0	45	0.105
管道敷设在厚度不小于 10 cm 的松土垫层内,管顶以下的回填土轻轻压实	2.8	60	0.103
管道敷设在砂卵石或碎石垫层内,垫层顶面应在管底以上 1/8 管径处,且不小于 10 cm,管顶以下回填土夯实,夯实密度约为 80%(标准葡式密度)	3.8	90	0.096
管中线以下敷设在压实的黏土内,夯实管顶以下回填土夯实,夯实密度约为 90%(标准葡式密度)	4.8	150	0.085

附录 F

(资料性)

管体轴向整体稳定性计算方法

埋地直管道在土体移动等外荷载、温差和内压共同作用下将产生轴向力,当轴向力为压力时应满足式(F.1)关于管体轴向整体稳定性的要求:

$$N \leq \frac{N_{cr}}{n} \dots\dots\dots (F.1)$$

$$N = [\alpha E (t_2 - t_1) + (0.5 - \mu) \sigma_h + \sigma_{ex}] A \dots\dots\dots (F.2)$$

$$N_{cr} = 2 \sqrt{\frac{0.12 E_s n_e}{(1 - \mu_0^2) \sqrt{j D}}} (1 - e^{-2h_0/D}) DEI \dots\dots\dots (F.3)$$

$$\sigma_h = \frac{pd}{2\delta} \dots\dots\dots (F.4)$$

式中:

- N —— 由外荷载、温差和内压产生的轴向力,单位为兆牛(MN);
- N_{cr} —— 管道开始失稳时的临界轴向力,单位为兆牛(MN);
- n —— 安全系数,公称直径大于 500 mm 的钢管宜取 1.33;公称直径小于或等于 500 mm 的钢管宜取 1.11;
- α —— 钢材的线膨胀系数,可取 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- E —— 钢材的弹性模量,可取 $2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$;
- t_2 —— 管道内被输送介质的温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$);
- t_1 —— 管道安装闭合时的环境温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$);
- μ —— 管材泊桑比,宜取 0.3;
- σ_h —— 由内压产生的环向应力,单位为兆帕(MPa);
- σ_{ex} —— 由外荷载引起的附加应力,单位为兆帕(MPa),此处压应力取正值,宜取外荷载作用前后管体应力变化的实测值或估算值,可通过管体应力监测、应力检测、管体形变检测、数值计算或模拟等技术手段获取;
- A —— 钢管横截面积,单位为平方米(m^2);
- E_s —— 土壤变形模量,单位为兆帕(MPa), E_s 值应采用现场实测数,当无实测资料时,可按附录 E 的规定选取;
- n_e —— 回填土变形模量降低系数,根据土壤中含水量的多少和土壤结构破坏程度取 0.3~1.0;
- μ_0 —— 土壤的泊桑系数,砂土取 0.2~0.25,坚硬的和半坚硬的黏土、亚黏土取 0.25~0.30,塑性的取 0.30~0.35,流动的取 0.35~0.45;
- j —— 管道的单位长度($j = 1 \text{ m}$);
- D —— 钢管外直径,单位为米(m);
- h_0 —— 地面至管道中心的距离,单位为米(m);
- I —— 钢管横截面惯性矩,单位为四次方米(m^4);
- p —— 管道当前运行内压,单位为兆帕(MPa);
- d —— 钢管内直径,单位为米(m);
- δ —— 钢管公称壁厚,单位为米(m)。

附录 G

(资料性)

管体应力/应变监测截面的布置、传感器的安装和相关计算方法

G.1 监测原理

土体移动类地质灾害对管道的作用,通常表现为使管道的轴向应变和弯曲应变发生变化,从而影响管道的整体纵向强度。安装应变传感器可获取安装时刻至监测时刻期间管体轴向应变和弯曲应变的变化量,即管体轴向附加应变(轴向应变与弯曲应变的和)。

注:土体移动类地质灾害对管道作用将使管道的应力和应变发生变化,安装应力/应变传感器可获取其变化量,为便于表述,在本附录中仅以应变为例进行说明。

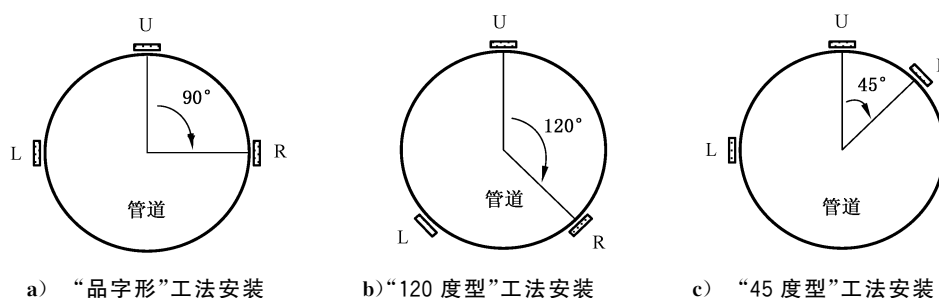
G.2 监测截面布置

G.2.1 监测截面应在管道变形严重区域和应力集中区域重点布置,应避免阴极保护测试线焊接处,如遇有变壁厚结构设计时应布置在薄壁管道段。

G.2.2 监测截面间距宜取 10 m~50 m,大范围区域性地表形变可取高值,差异沉降段、变形区域边界、裂缝处应加密布置。

G.3 传感器安装

G.3.1 单个监测截面应至少安装 3 支传感器。3 支传感器的安装方式可分为“品字型”“120 度型”和“45 度型”三种常用工法,如图 G.1 所示。当管沟条件受限或上述三种工法安装困难时,可灵活布置截面内三支传感器安装位置,但任两支传感器与中心点连线的夹角不应小于 45°。



标引序号说明:

L——监测截面左侧传感器;

R——监测截面右侧传感器;

U——监测截面正上方传感器。

图 G.1 传感器截面布置

G.3.2 应变传感器安装前应进行检验和测试,安装时应按照仪器出厂使用手册标明的技术要求执行。

G.3.3 传感器应安装在管道金属表层,安装工序包括防腐层去除、传感器粘接(焊接)、防腐层恢复、传感器初始值标定等。

G.3.4 安装传感器部位的管道防腐层去除,不应造成管道金属表层出现划痕、损伤。

G.3.5 应变传感器在满足剥离强度的条件下,宜选用金属粘结剂粘接和无熔池焊接的安装工艺,且安装的传感器应带有与外界隔离的保护装置。

G.3.6 对安装传感器部位的防腐恢复宜采用粘弹体防腐膏抹覆、加盖粘弹体胶带的补伤方式;应在监

测截面安装位置加装补强设施。

G.3.7 宜按 SY/T 5918 对安装后的应变监测截面进行全截面防腐检漏。

G.3.8 安装后的应变传感器应进行初始值标定,按管道埋地回填后测取 3 次数据的平均值计。

G.4 轴向附加应变计算

传感器按 G.3 所示工法安装的管体监测截面,其最大管体轴向附加应变、轴向应变、弯曲应变分别按式(G.1)、式(G.2)、式(G.3)计算:

$$\epsilon^{\max} = \epsilon_t + \epsilon_b^{\max} \dots\dots\dots (G.1)$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (G.2)$$

$$\epsilon_b^{\max} = \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{T} \dots\dots\dots (G.3)$$

式中:

ϵ^{\max} ——由外荷载产生的管体轴向附加应变,单位为微应变($\mu\epsilon$);

ϵ_t ——由外荷载产生的管体轴向应变,单位为微应变($\mu\epsilon$);

ϵ_b^{\max} ——由外荷载产生的管体弯曲应变,单位为微应变($\mu\epsilon$);

$M、N、T$ ——计算变量,无实际物理意义,“品字型”“120 度型”和“45 度型”三种常用工法的计算可根据表 G.1 选用;

$\epsilon_L、\epsilon_U、\epsilon_R$ ——分别为图 G.1 所示 L、U、R 三支传感器的应变测量值,单位为微应变($\mu\epsilon$)。

管体截面最大管体轴向附加应变所在的角度按式(G.4)或式(G.5)计算:

$$\text{若 } M \geq 0, \phi = \frac{3\pi}{2} - \arctan\left(\frac{N}{M}\right) \dots\dots\dots (G.4)$$

$$\text{若 } M < 0, \phi = \frac{\pi}{2} - \arctan\left(\frac{N}{M}\right) \dots\dots\dots (G.5)$$

式中:

ϕ ——管体截面最大轴向附加应变所在的角度,单位为弧度,以监测截面正上方为 0 度计,顺时针序。

表 G.1 三种常用工法安装时计算变量选用表

传感器安装工法	M	N	T
品字型	$\frac{\epsilon_L - \epsilon_R}{\epsilon_L + \epsilon_R}$	$\frac{\epsilon_L - 2\epsilon_U + \epsilon_R}{\epsilon_L + \epsilon_R}$	$\frac{2}{\epsilon_L + \epsilon_R}$
120 度型	$\frac{\sqrt{3}\epsilon_L - \sqrt{3}\epsilon_R}{\epsilon_L + \epsilon_U + \epsilon_R}$	$\frac{\epsilon_L - 2\epsilon_U + \epsilon_R}{\epsilon_L + \epsilon_U + \epsilon_R}$	$\frac{3}{\epsilon_L + \epsilon_U + \epsilon_R}$
45 度型	$\frac{(\sqrt{2} - 1)\epsilon_L + \epsilon_U - \sqrt{2}\epsilon_R}{\epsilon_L - \epsilon_U + \sqrt{2}\epsilon_R}$	$\frac{\epsilon_L - (\sqrt{2} + 1)\epsilon_U + \sqrt{2}\epsilon_R}{\epsilon_L - \epsilon_U + \sqrt{2}\epsilon_R}$	$\frac{\sqrt{2}}{\epsilon_L - \epsilon_U + \sqrt{2}\epsilon_R}$

附录 H

(资料性)

利用超声波法开展管体应力检测工作的常见应用场景及作业程序

H.1 应用场景

利用超声波法开展管体应力检测作业的常见应用场景有：

- 管体应力/应变监测作业现场,检测传感器安装位置管体的应力大小,检测值将作为管体应力/应变监测的初值;
- 动火作业现场,检测待动火管段的应力大小,辅助确定切管部位和方式;检测管道连头口附近应力大小,评估连头口焊接质量;
- 大开挖管道应力释放作业现场,检测管道应力释放前后管体关键部位应力大小,评估应力释放效果;
- 高风险管段风险排查现场,检测管段关键部位应力大小,评估管体应力风险;
- 管道环焊缝安全排查现场,检测环焊缝热影响区应力大小,评估管体环焊缝应力风险。

H.2 作业程序

利用超声波法开展管体应力检测作业的一般流程如图 H.1 所示。

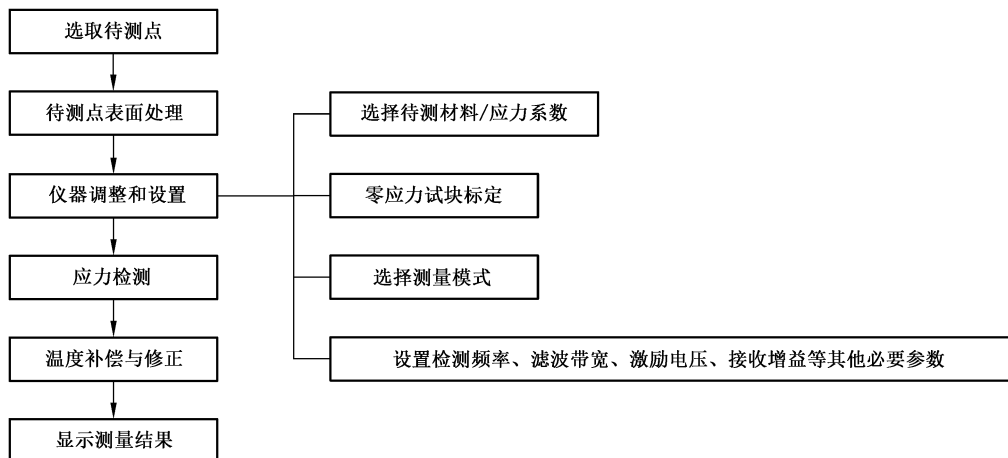


图 H.1 超声波法开展管体应力检测一般作业流程

具体操作步骤如下。

- 选取待测点。H.1 a) 应用场景情况下,应力/应变传感器安装位置设为检测点,其他应用场景情况下,每个检测截面应至少包含 4 处检测点,检测点宜选取在检测截面 0 点钟、3 点钟、6 点钟和 9 点钟位置,可在重点部位加密检测或沿检测截面圆周均匀布置检测点。H.1 c) 应用场景情况下,不应在焊接完成 30 min 内开展应力检测工作,宜选择环焊缝上游 10 cm 和下游 10 cm 两处截面作为应力检测截面。
- 待测点表面处理。对待测点表面进行打磨,粗糙度不大于 $1\ \mu\text{m}$ 。
- 仪器调整和设置。设置与待测管道相符的管材参数、声弹系数、测量模式、温度补偿方式等。

- d) 应力检测。对待测点进行超声应力连续测试,待测量数据稳定后读数即为待测点的应力实测值。
- e) 温度补偿与修正。对应力实测值进行温度和管道曲面补偿修正。
- f) 显示测量结果。

参 考 文 献

- [1] GB/T 38509 滑坡防治设计规范
 - [2] GB 50025 湿陷性黄土地区建筑标准
 - [3] GB 50112 膨胀土地区建筑技术规范
 - [4] GB 50286 堤防工程设计规范
 - [5] GB 50330 建筑边坡工程技术规范
 - [6] GB/T 50470 油气输送管道线路工程抗震技术规范
 - [7] GB 50707 河道整治设计规范
 - [8] GB/T 50942 盐渍土地区建筑技术规范
 - [9] DZ/T 0284 地质灾害排查规范
 - [10] JTG C30 公路工程水文勘测设计规范
 - [11] SL 520 洪水影响评价报告编制导则
 - [12] SY/T 0317 盐渍土地区建筑规范
 - [13] SY/T 0330 现役管道的不停输移动推荐作法
 - [14] SY/T 5918 埋地钢质管道外防腐层保温层修复技术规范
 - [15] SY/T 6793 油气输送管道线路工程水工保护设计规范
 - [16] SY/T 7344 油气管道工程无人机航空摄影测量规范
 - [17] SY/T 7363 黄土地区油气输送管道线路设计规范
 - [18] SY/T 7364 多年冻土地区油气输送管道工程设计规范
 - [19] SY/T 7366 油气输送管道工程水域开挖穿越设计规范
 - [20] SY/T 7403 油气输送管道应变设计规范
 - [21] T/CAGHP 005 采空塌陷勘查规范(试行)
 - [22] T/CAGHP 021 泥石流防治工程设计规范(试行)
 - [23] ISO 20074 Petroleum and natural gas industry—Pipeline transportation systems—Geological hazard risk management for onshore pipeline
-