

# Discussion about Pipeline Vulnerability in the Geological Hazards Based on the Relationship between Long Gas Pipeline and Slope Position

—Take the China-Myanmar Natural Gas Pipeline (Guizhou Section) as an Example

Wenxi Zhou<sup>1,2</sup>, Chaogui Xie<sup>1,2</sup>, Jihong Yang<sup>1,2</sup>, Ruyi Shao<sup>1,2</sup>, Zaihui Huang<sup>2</sup>, Jibin Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>111th Geological Team, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Prospecting and Exploitation, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>Guizhou Geological Engineering Investigation Design and Research Institute, Guiyang Guizhou

Email: gzzhouwenxi@126.com

Received: Jun. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 14<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 21<sup>st</sup>, 2020

---

## Abstract

The occurrence of geological hazards is one of the causes resulting in oil and gas pipeline accidents. The landforms along the route of China-Myanmar natural gas pipeline is complicated and varied. The relationship between pipeline laying and slope position mainly includes three types, which are transverse, oblique and coaxial. These special positions are usually the areas with high incidence of pipeline geological hazards. Based on the statistics of the geological hazards of 143 pipelines along the China-Myanmar natural gas pipeline (Guizhou section), this paper analyzed the effects of the relationship between long gas pipeline (pipe ditch) and slope position on the geological hazards controlling and pipeline vulnerability. In the present article, the conclusions were as follows: 1) There are significant differences in the pipe ditch changing the slope boundary conditions due to different relationship between the pipelines and slopes position. Among them, the transverse pipe ditch changes the slope more significantly, resulting in the alteration of the slope boundary and usually forming a high and steep slope with poor stability, which is the most developed type of geological hazards; the second is the oblique pipe ditch, but the influence of the coaxial pipe ditch is small. 2) Transverse pipeline is the most vulnerable to damage in the event of geological hazards, followed by oblique pipeline, with the least vulnerability in the oblique pipeline, and the most vulnerable part of the pipeline is the defective part of pipe or welding.

## Keywords

Gas Pipeline, Slope Position, Geological Hazards, Vulnerability

---

# 基于长输气管道与斜坡位置关系的管道地质灾害易损性探讨

## ——以中缅天然气输气管道(贵州段)为例

周文喜<sup>1,2</sup>, 谢朝贵<sup>1,2</sup>, 杨继红<sup>1,2</sup>, 邵如意<sup>1,2</sup>, 黄再辉<sup>2</sup>, 周继彬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>贵州省地质矿产勘查开发局111地质大队, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>贵州地质工程勘察设计院, 贵州 贵阳

Email: gzzhouwenxi@126.com

收稿日期: 2020年6月29日; 录用日期: 2020年7月14日; 发布日期: 2020年7月21日

### 摘要

地质灾害的发生是导致油气管道事故的原因之一。中缅天然气管道沿线地形错综复杂,地貌类型多样。管道敷设与斜坡的位置关系主要有横向、斜交和同向3种类型,这些特殊位置往往是管道地质灾害的高发区。本文通过对中缅天然气输气管道(贵州段)沿线143处管道地质灾害进行统计,分析了天然气管道(管沟)与斜坡的位置关系对管道地质灾害的控制及管道易损性的影响。本文得出如下结论: 1) 管道与斜坡的位置关系不同,管沟对斜坡边界条件的改变存在较大差异性,其中横向管沟对斜坡的改变较为显著,导致斜坡边界的改变较大,常形成高陡边坡,稳定性往往较差,是地质灾害最发育的类型,其次为斜交类管沟,而坡向同向类管沟影响较小; 2) 横向管道在灾害发生时最易受损,其次为斜交管道,同向管道易损性最小,管道易损部位为管材或焊接有缺陷处。

### 关键词

输气管道, 斜坡位置, 地质灾害, 易损性

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

长输油气管道是推动国家经济运行的重要能源保障[1],在其运营期间,自然及地质灾害是造成管道事故的原因之一[2]。由于管道运输物质易燃易爆,导致了管道地质灾害的危害具有放大效果,更容易产生较为严重的次生灾害[3],因此小型地质灾害也可能对其造成严重危害[4] [5]。若管道沿线发生地质灾害,不仅对管道安全造成严重的损坏,还可能引发爆炸和火灾等[6],燃烧和爆炸产生的热辐射、冲击波及有毒气体等会给周边居民带来严重的破坏[7]。中缅天然气管道是我国“十一五”期间规划的重大管道项目之一,是我国油气进口的西南战略通道,管道起缅甸西海岸皎漂市,从云南瑞丽市进入中国境内,终点到达广西贵港市,经过贵州省境内多个县、市、区。如此长距离输气管道面临了沿途复杂的地形地貌、恶劣的地质环境条件及频繁的人为工程活动等的影响,因此崩塌、滑坡等自然及地质灾害频发。沿线地质灾害的发生,轻则影响管道正常运营,重则发生爆炸,造成能源损失、环境污染以及对管道及周边人居、行人及车辆造

成危害,产生灾难性的安全事故,对运营单位的维护、抢修及灾害治理的成本及安全性产生一定的压力。

目前,已有的研究大多通过分析各类地质灾害与管道的位置关系,来研究地质灾害对管道的危害性[8],虽然可得出管道沿线地质灾害的危害规律,但是缺少对长输油气管道全线斜坡地质灾害对管道危害性的归纳总结。为进一步从区域上探究长输油气管道穿切斜坡诱发地质灾害的可能性及其对管道的危害性,本文就中缅天然气输气管道与斜坡的位置关系对沿线地质灾害的控制及管道易损性进行探讨,为管道沿线地质灾害的防治与规划提供科学依据,使其在生命周期内稳定、安全运行,从而达到经济效益、社会效益和生态环境效益相协调。

## 2. 地貌背景

地形地貌是地质灾害发生的主控因素,为地质灾害的形成提供了有利场所及物质来源[9]。管道在贵州境内西起点六盘水市盘州市,东至黔南布依族苗族自治州荔波县(图1),地貌处于云贵高原东部向湖南丘陵过渡地带,西部高原景观显著,中部起伏较大,为屹立于四川盆地和广西丘陵盆地之间的强烈岩溶化山区,属我国地势第二阶梯东部边缘的一部分。

管道穿越地域广,贵州境内干线全长约512 km,管道沿线地形错综复杂、高差悬殊,山势绵延、河谷纵横,地貌类型多样,管道经过高原、山地、丘陵区,跨越北盘江、乌江流域等水网,跨越了峰从沟谷、垄岗谷地、峰从谷地、溶丘洼地、峰从洼地以及峰林洼地等地貌区[10]。其中地势最高一带位于西部

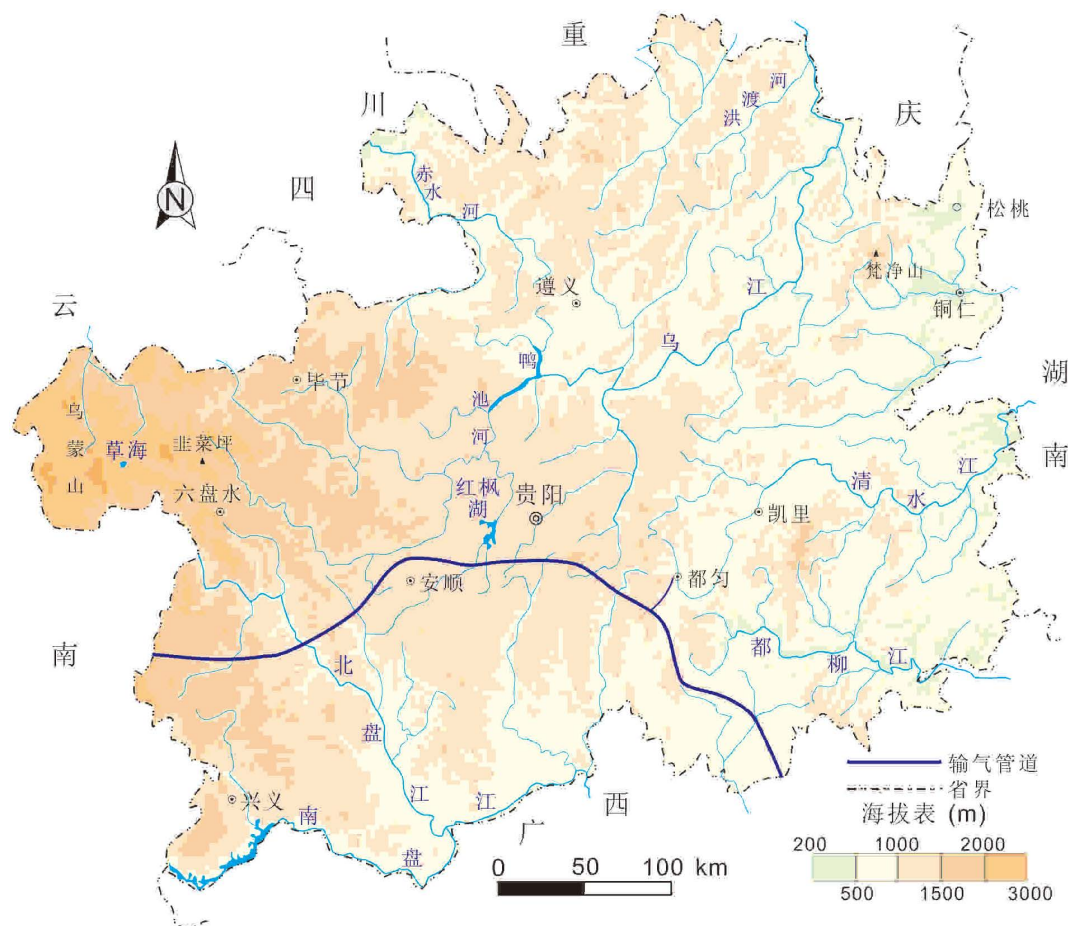


Figure 1. Geomorphologic outline along the China-Myanmar natural gas pipeline (Guizhou section)

图1. 中缅天然气管道(贵州段)沿线地貌略图

盘州市~晴隆一带最高,地面海拔一般 1800~2300 m,安顺~贵阳~独山次之,地面海拔一般 1100~1600 m,东南部三都~荔波一带最低,地面海拔一般 400~1000 m (图 1)。

### 3. 孕育地质灾害的斜坡与管道敷设的位置关系特征

管线建设设计时,受限於贵州特殊的地形地貌及成本预算,管线规划不得不翻山越岭,因此管道敷设中形成的横穿斜坡(横向)、斜穿斜坡(斜交)和垂向穿切斜坡(同向)等现象较为普遍。

根据统计分析(表 1),本研究中地质灾害主要为崩塌、滑坡和不稳定斜坡 3 种类型,共 143 处。按管道与斜坡的位置关系来分,本文将管道走向与斜坡的位置关系分为横向、斜交和同向 3 种类型,其中有 96 处为横向(67.13%),25 处为斜交(17.48%),22 处为同向(15.38%)。3 种不同埋管位置的斜坡中,横向中崩塌地质灾害为 21 处,所占横向中灾害点比例为 21.88%,明显高于斜交及同向;斜交中滑坡地质灾害为 8 处,占斜交灾害点比例为 32.00%,高于横向及同向;同向中不稳定斜坡地质灾害为 15 处,占同向灾害点比例的 68.18%,明显高于横向及斜交。另外,由表 1 还可以看出各种位置关系中,滑坡和不稳定斜坡所占比例均高于崩塌地质灾害。

**Table 1.** Statistical table of relationship between pipeline and slope position of various geological hazards

**表 1.** 各类地质灾害管道与斜坡位置关系统计表

灾害类型	横向		斜交		同向	
	(n = 96, 67.13%)		(n = 25, 17.48%)		(n = 22, 15.38%)	
	No.	%	No.	%	No.	%
崩塌	21	21.88%	2	8.00%	1	4.55%
滑坡	23	23.96%	8	32.00%	6	27.27%
不稳定斜坡	52	54.17%	15	60.00%	15	68.18%

## 4. 讨论

### 4.1. 中缅长输气管道(贵州段)与沿线斜坡位置之间的关系

中缅天然气管道(贵州段)沿线地形较为复杂,地势落差大,跨越了除平原之外的多种山地地貌,因此沿线管道的敷设通常要穿切斜坡、跨越沟谷及河流,其中穿切斜坡较在整个贵州段内极为频繁,主要表现为横穿斜坡(横向)、斜穿斜坡(斜交)和垂向穿切斜坡(同向)。此外,部分地段管道沿冲沟走向敷设,部分地段因山势较为陡峭,施工条件较为复杂,管道的敷设采用隧道的方式。在本研究 143 处管道沿线各类地质灾害中,管道沿横向坡敷设的情况所占比例较大(67.13%),而管道沿斜坡斜交敷设与管道沿斜坡坡向(同向)的情况所占比例相差不大,说明管道沿横向坡敷设的情况是管道沿线地质灾害高发区段,其次管道沿斜坡斜交敷设与管道沿斜坡坡向(同向)的情况也是管道地质灾害较为频发的管道与斜坡的位置关系类型。

### 4.2. 不同斜坡位置敷设管道对沿线地质灾害的控制解析

斜坡边界条件的改变也是地质灾害发育的一个重要因素之一,管道敷设与斜坡的位置关系不同,管沟开挖对斜坡原始形态及岩土体应力分布等均产生不同程度的改变。横向切坡比斜交及同向程度较大,常形成高陡边坡,为地质灾害提供了有利的场所及丰富的物质来源。

地形地貌的突发性变化是引发地质灾害的重要因素,这里所说的地形地貌,既指地质作用形成的天然地形地貌,也指人为开挖或堆载等行为形成的人工地貌[11],在管道建设过程中管沟的开挖对原有地形地貌的改变较大,打破了原有稳定机制,可能引发更多的地质灾害[8],主要表现在两方面,一是原有地



质灾害在管道建设过程中再次激活,二是稳定地段因施工打破原有的自然平衡而诱发地质灾害[12]。由于管道敷设与斜坡的位置关系不同,因而建管时开沟对斜坡边界的改变程度差异也较大,统计结果显示(表2),143处地质灾害中横向敷设管道对斜坡的破坏程度明显远大于斜交和同向,其次是斜交。对于横向和斜交类型,管沟开挖后形成人工边坡,长期降雨淋滤、入渗,风化作用变强,其两侧岩土体,尤上侧岩土体卸荷破坏和基座软化导致其支撑力剧减或抗滑力降低,往往因产生应力集中点或应力集中区,当该点或区域应力超过岩土体抗拉或抗剪强度时则发生崩塌或滑坡。另外,后期运营过程中扫线、管沟开挖施工作业等对岩土体的扰动也会诱发地质灾害[13]。

此外,斜坡形态变化伴随着空间条件的改变,管道敷设后形成了反填物与沟底原始地层组合而成的二元结构地质层[14],由于管沟反填物结构松散,渗水性强,多年降雨入渗及地下水排泄等作用均可使管沟内岩土体呈饱水状态,管沟内反填物与原岩土体接触面的特征在一定程度上决定了地下水在不连续边界处的渗流场及岩土体应力场的性质[11]。与同向和斜交管沟相比,上层滞水在横向管沟内水位相对较高,停留时间也较长,从而对岩土体软化作用也相对较强,增加岩土体重度,岩土体的抗拉、抗剪强度降低,应力场发生变化,当达到临界值时岩土体失稳形成灾害。

**Table 2.** Statistical table of damage degree of original geomorphology at geological disaster points

**表 2.** 地质灾害点原始地貌被破坏程度统计表

原始地貌被破坏程度	横向		斜交		同向	
	(n = 96, 67.13%)		(n = 25, 17.48%)		(n = 22, 15.38%)	
	No.	%	No.	%	No.	%
轻	32	33.33%	6	24.00%	9	40.91%
中	18	18.75%	5	20.00%	7	31.82%
重	46	47.92%	14	56.00%	6	27.27%

### 4.3. 不同斜坡位置管道受易损性分析

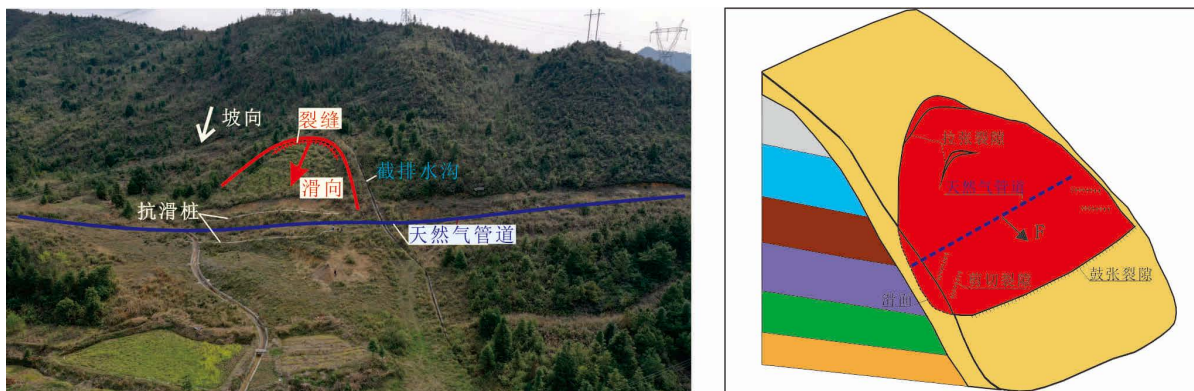
崩塌、滑坡和不稳定斜坡等斜坡地质灾害一般是在较短时间内完成灾害运动,其变形剧烈、运动速度快、破坏性大[15]。中缅管道沿线崩塌主要位于与管道水平距离较远,但高差相对较大的斜坡上部,对天然气管道的破坏方式主要有冲砸和压覆[6],而滑坡和不稳定斜坡主要分布于管道上侧、正上方和下侧等距离较近或管道直接从灾害体内部通过,对管道的破坏方式为推移、挤压、压覆、剪断、拉裂等。

中缅天然气管道采用 X80/X70 级钢管,抗压强度较高,设计压力为 10 MPa,在灾害体作用力小于该压力的前提下,管道最容易受损部位为每两段管道相接焊口处。按前面分类,分别对 3 种不同斜坡位置处管道的易损性进行分析。

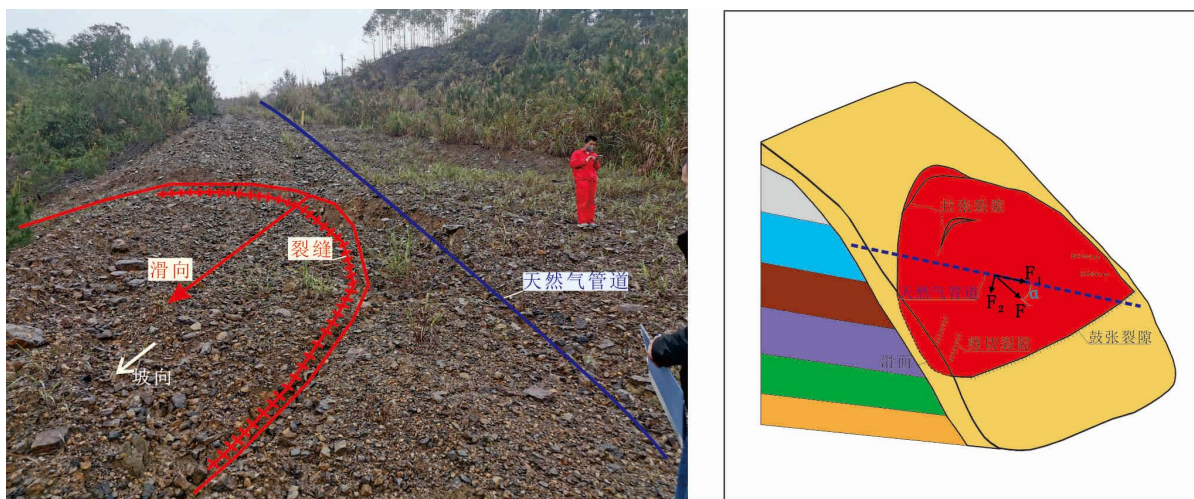
管道沿横向坡敷设时(图 2),滑坡、不稳定斜坡若发生滑动,其运动方向近于垂直管道,滑动岩土体产生下滑力  $F$  挤压、推移管道,当  $F$  达到管道的抗剪临界值时将会在管材或焊接有缺陷处使管道变形或直接剪断管道,这种缺陷可能是管材、焊接质量、腐蚀、施工损伤、设计不当或安装不当等因素[2] [16]。此外,管道沿斜坡脚敷设时,为横向坡敷设的特殊情形,管道上主岩土体运移至管道上方,对管道产生垂向压力,当压力达到一定值时,在管道或焊接缺陷处易受损伤。

管道与斜坡斜交敷设时(图 3),管道沿线滑坡、不稳定斜坡失稳时,岩土体运动方向与管道斜交,下滑力  $F$  对管道主要产生了垂直于管道向下的分力  $F_1$  和斜向沿管道向下的分力  $F_2$ ,由于  $F_1$ 、 $F_2$  的合力  $F$  与管道存在夹角  $\alpha$ ,且方向向下,此时管道易受损性存在 2 种情,一种情况是当分力  $F_2$  超过管道抗剪临界值时,同理在管材或焊接有缺陷处剪断管道,这种情况分力  $F_2$  随着夹角  $\alpha$  增大而增大,当  $\alpha$  无限接近

90°时, F2 无限接近下滑力 F, 管道最容易被剪断; 另一种情况则是分力 F1 对管道剪切作用, 易外层保护层造成损伤, 此类情况下当  $\alpha$  无限接近 0°时, F1 无限接近下滑力 F, 管道外保护层最易受损。



**Figure 2.** Schematic diagram of pipeline vulnerability when the pipeline is laid transversely along the slope  
**图 2.** 管道沿斜坡横向敷设时管道易损性示意图



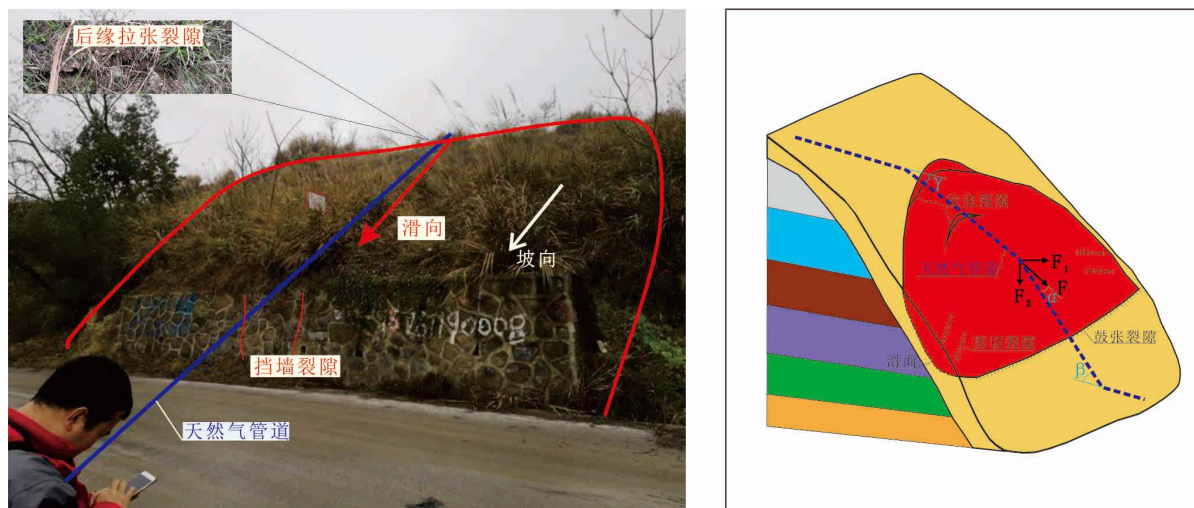
**Figure 3.** Schematic diagram of pipeline vulnerability when the pipeline is laid obliquely along the slope  
**图 3.** 管道沿斜坡斜交敷设时管道易损示意图

管道与斜坡坡向同向敷设时(图 4), 滑坡、不稳定斜坡失稳时, 灾害体运动方向与管道敷设方向近于平行, 在灾害体滑动范围内, 若管道在整个斜坡体上呈直线型敷设, 则管道主要受岩土体剪切作用, 表层保护层易受损伤。若管道为非直线型敷设, 即管道存在拐点, 也就是两段管道的焊接处, 在焊接处管道所受灾害体的下滑力 F 方向与另一段管道夹角为  $\alpha$ , 下滑力 F 存在分力 F1 和分力 F2, F1 方向斜坡外, F2 方向向斜坡内侧且向下, 此时管道易受损性存在 2 种情: 第一, 当分力 F1 超过管道抗剪临界值时, 在焊接处管道易被剪断, 且  $\alpha$  越大则 F1 越大, 拐点处越易被 F1 剪断; 第二, 分力 F2 沿管道方向的剪切作用, 易对外层保护层造成损伤, 且  $\alpha$  越小 F2 就越大, 保护层越易受损。另外, 管道坡脚段与斜坡段在阳起处存在仰角  $\beta$ , 以及在斜坡上部与管道平敷段存在俯角  $\gamma$ , 这种管道具有拐点(焊口)的地方也是最容易受到损坏。

### 5. 结论与不足

管沟开挖改变斜坡边界条件, 原始斜坡空间改变是诱发管道沿线地质灾害的重要因素。管道敷设与斜坡的 3 相对位置关系中, 横向管沟对斜坡的改变较为显著, 导致斜坡边界的改变较大, 常形成高陡边





**Figure 4.** Schematic diagram of pipeline vulnerability when the pipeline is laid coaxially along the slope  
**图 4.** 管道沿斜坡坡向(同向)敷设时管道易损性示意图

坡, 稳定性往往较差, 是地质灾害最发育的类型, 其次为斜交类管沟, 而与坡向同向类管沟影响较小。对于管道在灾害发生时的易受损性, 横向管道最易受损, 其次为斜交管道, 而同向管道易损性最小。管道易损部位为管材或焊接有缺陷处。

鉴于本研究中管道沿线地质灾害点的数量有限, 且在项目开展过程中, 调查人员在对地质灾害的认识上存在差异性, 因此得出的结论可能存在一定局限性。

## 致 谢

本文的完成得到贵州地质工程勘察设计院《中缅天然气管道(贵州段)沿线地质灾害隐患调查及评价》项目组全体成员以及中国石油集团西南管道有限公司贵阳输油气分公司在项目开展中的支持, 特此说明并致谢!

## 参考文献

- [1] 李越, 刘波. 油气长输管道建设中地质灾害风险管理的研究与应用——以阆中 - 南充输气管道为例[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 152-155+161.
- [2] 狄彦, 帅健, 王晓霖, 等. 油气管道事故原因分析及分类方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(7): 109-115.
- [3] 么惠全, 冯伟, 张照旭, 等. “西气东输”一线管道地质灾害风险监测预警体系[J]. 天然气工业, 2012, 32(1): 81-84.
- [4] 谢玉华. 论地质灾害对油气管道的危害及风险消减措施[J]. 中国金属通报, 2018, 994(7): 300, 302.
- [5] 薛辉, 杨学青. 中缅管道途经典型地质灾害影响区域的设计与建设[J]. 油气储运, 2013, 32(12): 1320-1324.
- [6] 孟凡, 汤棠. 天然气管道地质灾害及其风险控制分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(13): 76-77.
- [7] 房庆磊, 翁扬煌, 贾绪平. 城市燃气管道地质灾害易损性评价[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017(10): 133-136.
- [8] 刘晓娟, 袁莉, 刘鑫. 地质灾害对油气管道的危害及风险消减措施[J]. 四川地质学报, 2018, 38(3): 488-492.
- [9] 罗大游, 温兴平, 张皓楠, 等. 基于 GIS 的元谋县地质灾害地貌特征研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2019, 30(2): 97-100.
- [10] 杨继红, 骆诗颖, 杨鑫, 等. 中缅天然气管道(贵州段)沿线地质灾害隐患调查及评价报告[R]. 贵州地质工程勘察设计院, 2019.
- [11] 刘传正. 论地质灾害风险识别问题[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(4): 1-7.
- [12] 吴士强, 钟国华, 张淑娟, 等. 中缅油气管道地质灾害的类型及防治方法[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(4X):

219-221.

- [13] 沈茂丁, 王峰, 徐文毅, 等. 油气管道地质灾害治理工程设计与审查要点[J]. 油气储运, 2014, 33(10): 1052-1054.
- [14] 陈大中. 中缅油气管道沿线地质灾害风险消减规划[J]. 化工管理, 2017(34): 108-109.
- [15] 肖锐铧. 斜坡地质灾害特点与风险管理[J]. 城市与减灾, 2019(3): 75-79.
- [16] 张启波, 贾颖, 闫晓静. 石油天然气长输管道危险性分析[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(7): 134.