

崩塌落石地区长输油气管道防护

马清文^{1,2}, 王成华¹, 孔纪名¹, 宋书志^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:我国石油天然气储运设施建设正在高峰期。在广泛分布的山区修建管道, 崩塌落石的威胁是不可避免的, 针对输油管道敷设与崩塌落石区的关系, 探讨了崩塌落石对输油管道的破坏特征及力学机理。结合铁路、公路沿线崩塌落石治理的经验, 对管道沿线的崩塌落石灾害提出了以前期重点选线、工程防护以及运营期间加强维护等为主的对应治理方案。强调了加大管道埋深的办法来保护管道。

关键词:长输油气管道; 崩塌; 滚石; 力学机理; 埋深; 治理方案

中图分类号: P642. 21; X171. 4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)05-0146-03

Prevention of Rockfall and Falling of Long Distance Oil and Gas Pipeline

MA Qing-wen^{1,2}, WANG Cheng-hua¹, KONG Ji-ming¹, SONG Shu-zhi^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: During the times of building long distance oil and gas pipeline at high speed, the hazards of rockfall and falling can't be avoid in the mountain area. In according to the relative of pipeline and rockfall, their characteristics and mechanism are analyzed. Comparing and summarizing the experiences of controlling the hazards of railway and road, the method of mitigating the hazards is as follows: choose the right way through the area of falling, reasonable engineering works, patrolling the pipeline in regularity. At the same time, the method of increasing the depth of pipeline is emphazed in the controlling works.

Key words: long distance oil and gas pipeline; falling; mechanism; depth of pipeline; prevention and cure

1 前言

我国石油天然气储运设施建设正在高峰期。国家已将“加强输油气管道建设, 形成管道运输网”发展战略列入“十五”经济社会发展规划。根据有关方面的规划, 我国将建成14条油气输送管道, 形成“两纵、两横、四枢纽、五气库”, 总长超过上万公里的油气管输格局^[1]。管道运输已与铁路、公路、水运、航空一起构成了我国五大运输行业体系。管道运输能源在国民经济中的作用越来越大。

崩塌落石是山区常见的一种不良物理地质现象, 在我国, 西南、西北、三峡地区、横断山区和台湾山地经常发生崩塌现象^[2], 在其他省份的山区及丘陵地区也有分布。管道不宜敷设在崩塌落石等不良地质地区, 但在广泛分布的山区修建管道, 其威胁是不可避免的, 这是因为:

(1) 崩塌落石虽然是局部的地质现象, 管道可以绕避, 但有时需要在经济上付出相当大的代价, 不如将管道敷设滑坡上并对滑坡适当整治来的合算。

(2) 崩塌落石从岩石变形到破坏脱离母岩需要一个过程, 或由于勘察工作的疏忽, 在选线过程中未能发现, 有可能无意中管道敷设在崩塌落石区。

由于崩塌落石从较高的地方到达地面, 具有较大的动

能, 容易砸伤管道, 造成较大的事故。管道为线形工程, 这与铁路、公路沿线的崩塌落石灾害类似, 但管道一般敷设在地下, 又具有与铁路、公路工程不一样的特性。因此, 在管道工程快速建设的今天, 研究崩塌落石对管道的破坏特征及防治对策就显得十分重要, 本文根据崩塌落石的自然特征, 对崩塌地区的管道建设提出一些意见, 以供探讨。

2 崩塌体(落石)类型

崩塌的分类从不同的方面出发方案有许多种。为评价在崩塌落石区是否适宜铺设管道, 表1列举了常见的几种分类方案及对管道的影响。

3 崩塌落石的运动形式及对管道作用的力学分析

坠落岩块在自然坡面上的运动规律和速度是及其复杂的, 除了边坡高度、坡角、岩块质量、岩块刚度、坡面的弹(塑)性等制约因素外, 能影响岩块运动形式和规律的因素繁多, 例如岩块的粒度(包括形状、比重)、温度、风向、风速、空气阻力、坡面植被情况等^[3]。依据山坡坡度角将山坡分为4种坡度地带^[3]:

(1) 缓坡地带。 $0 < \phi \leq 27^\circ \sim 31^\circ$, 崩塌体沿坡面呈滑动方式运动, 在此坡面上逐渐减速, 最终停止运动, 覆盖输油管

收稿日期: 2006-05-25

基金项目: 中石油科技基金“兰(州) — 成(都) — 渝(重庆)输油管道地质灾害综合预测与防治”; 中石化“西南成品油管道工程(茂名 — 昆明)地质灾害评价与防治对策”项目资助

作者简介: 马清文(1978—), 男, 博士研究生, 主要从事地质灾害与防治研究。

道上方,对输油管道没有影响。

表 1 常见的崩塌分类方案及对管道的影响

分类依据	类型	简述	分类依据	类型	简述
体积/m³	特大型	>1000	运动方式	坠落式	崩塌体呈自由落体方式运动
	大型	100~1000		跳跃式	崩塌体碰撞地面呈跳跃方式运动
	中型	10~100		滚动式	崩塌体沿坡面呈滚动方式运动
	小型	1~10		滑动式	崩塌体沿坡面呈滑动方式运动
	落石	<1		复合式	崩塌体沿坡面呈多种复合方式运动,如跳滚式、滚滑式、跳滑式等
物质	岩崩	崩塌块体是岩质			
	土崩	崩塌块体是土质			

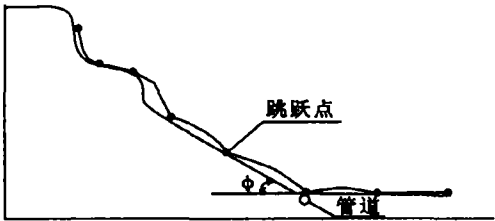


图 1 崩塌落石区运动方式示意图

(2)较陡坡地带。 $27^{\circ}\sim 31^{\circ}<\phi\leq 40^{\circ}$,崩塌体沿坡面呈滚动方式运动,其运动的距离大小与坡面的岩性、地表覆盖层及植被的特性等因素有关。从管道上方滚过,对管道的冲击较小,几乎没有破坏作用。

(3)陡坡地带。 $40^{\circ}<\phi\leq 60^{\circ}$,岩块在此陡度的坡面上,呈加速跳跃式运动,对坡面有较大的冲击力。如果管道刚好在岩块运动轨迹上,则可能造成管道的破坏。

(4)陡峻地带。 $60^{\circ}<\phi\leq 90^{\circ}$,岩块呈自由落体运动,对坡面有很大的冲击力,其冲击的次数与山坡的高度、坡角及坡面有无突出部分决定。为管道最大危险区。

由上可知,崩塌落石滑动和滚动对管道的危害较小,而跳跃所携带的巨大动能,通过对管道的冲击是管道损伤的主要原因。我们主要研究的对象是崩塌落石的冲击能和管道上方的土层对冲击能消散特性。因此,以崩塌落石跳跃运动形式为主要研究对象,其动能 T 为:

$$T=\sum_{i=1}^n\frac{1}{2}mv_0^2\gamma_i+\sum_{i=1}^n mgh_i\gamma_i$$

(1)

式中: m ——崩塌体质量; v_0 ——初速度; h_i ——弹跳间的高度; n ——弹跳次数; γ_i ——崩塌体落点的衰减程度,与坡面覆盖土(岩)体的物理力学性质、崩塌体的刚度、碰撞时崩塌体的形状有关。

管道顶端距地面高为 H ,当崩塌落石冲击到地面,由于地基反力的作用,产生跳跃,继续往下运动。管道上方的覆盖层承受了巨大的冲击力,即地基反力,其计算公式为:

$$P\times Z=T+\frac{1}{2}mv_r^2$$

(2)

式中: P ——地基反力; Z ——崩塌体陷落深度,与其物理力学性质有极大的关系^[4], v_r ——在该弹跳点反弹速度。

为最大保证管道安全,简化计算,把管道上方覆盖层承受了巨大的冲击力看做恒定的附加荷载,根据《土力学》地基中计算附加应力的公式,管道顶端所受的有附加荷载引起的附加应力为:

$$\sigma_H=\alpha\frac{P}{(H-Z)^2}$$

(3)

式中: σ_H ——管道顶点处所受垂直压应力; α ——应力系数。

从式 3 可知:(1) σ_H 与输油管道埋深 H 的平方成反比,增大 H 的值,则 σ_H 迅速减少。(2) σ_H 与 P 成正比,增大 P ,则 σ_H 相应增大。(3)假设管道允许最大破坏压力为 σ_k ,当 σ_H 小于 σ_k 时,崩塌体或落石将不会造成管道破坏。(4)由于 P 为瞬时应力,不具有累加性,当一块落石不对管道造成伤害的话,那再多次同样的落石也不会对管道造成损伤。

4 崩塌落石的防治对策

崩塌落石对管道的破坏类型单一,其防护方法主要为选线、工程防护以及运营期间的维护。

(1)选线。A 大型崩塌落石具有极大的摧毁力,非拦截、遮挡建筑物所能抵抗。因此,对于可能发生大型崩塌、落石的地区,管道选线时必须设法绕避,其办法有 3 种:其一,远离病害地区,另选途径。其二,远离崩塌落石停积区,如绕到山谷对岸。其三,将线路移至较稳定的山体内部,以隧洞方案通过,洞口路线应远离崩塌落石的影响范围(见图 2)。

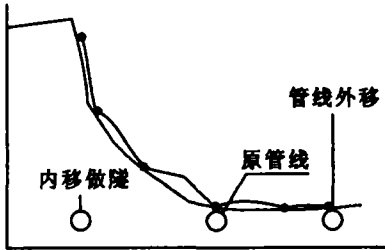


图 2 管道选线示意图

B 中型崩塌、落石具有相当的冲击破坏力,其选线原则是在有条件的情况下,以绕避为上策;如果受地形所限,非通过不可时,宜将线路外移,使其远离崩积区正冲区,同时修建必要的防治工程。

C 小型崩塌落石的冲击荷载不大,加上管道又有一定的埋深,铁路、公路选线需考虑崩塌落石砸伤行人、汽车,破坏铁轨和公路路面等灾害。一般来说,可以大胆通过。但需对不稳定的局部岩体、危岩、孤石进行加固。

(2)工程防治措施。由于管道具有一定的强度,能抵抗较大的压力,原则上崩塌落石地区的防护工程尽量少做,从对式 3 的分析可知,通过加大管道埋深的办法来保护管道,达到安全经济的目的。其一是深挖深埋,开挖前进行预支护,管道安装后迅速复原地貌,不破坏原始斜坡的应力;其二是浅挖深埋(见图 3)。

如地形条件不满足,则采取一定的工程措施。结合铁路公路沿线崩塌落石的防护措施,对管道保护的工程措施进行

简单的探讨。

A 清:清除危石是崩塌落石防治最简易和最有效的方法之一。在管道施工前期,根据地质勘察资料对崩塌体进行爆破清理崩塌危石,这种方法既经济、又合理。清除危石应注意不能扩大化,以免愈清愈多^[5]。

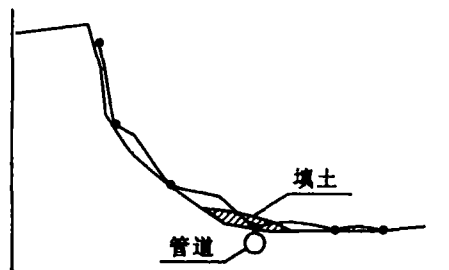


图3 浅挖深埋保护管道示意图

B 拦:危石不可能全被检查出来,也不可能全部被清除。采取拦截危石也是有效的。通过准确的地质论证与力学计算,在管道上方设置拦石挡墙(见图 4a)或棚洞遮盖或导石棚(见图 4b),使管道所受应力 $\sigma_H < \sigma_R$,则可一劳永逸。导石棚则是固定于工程之上的一种拦挡设施,以引导落石跨越工程而避免受其伤害。

C 固:经检查确定是孤石,不能清除或用其他方法处理,或用其他方法处理经济不合理,可采用灌浆、水泥砂浆片石固定的嵌补,小型支顶等固定方法。

D SNS 防护系统是一种新型的柔性防护系统,整个系统由钢绳网、减压环、支撑绳、钢柱和拉锚 5 个主要部分构成,系统的柔性主要来自于钢绳网、支撑绳和减压环等结构,且钢柱与基座间亦采用可动联结以确保整个系统的柔性匹配。与传统的防护方法相比较,具有明显的优点:①设计及施工简单,费用低廉。②不破坏原始地貌,有利于保护环境。③使用寿命长,维护简单。④施工时不影响既有建筑物的正常运营。⑤特别适用于长、大面积,病害分散地区^[6,7]。目前广泛应用于铁路、公路等道路建设中。但这种方法不太适用于管道建设,因为 SNS 防护系统针对的是小方量的崩塌和危石,而这些对埋设一定深度的管道都无法造成损坏,而加强 SNS 防护系统,可以防治较大量或冲击能的崩塌落石,但

费用也相应增高,不如采取拦挡工程措施。崩塌落石地区管道保护应优先考虑“清危方”,其次加大管道埋深,然后是工程措施保护。无论采取什么措施,都应进行安全评估和经济评估,使安全效果与经济效益达到统一。

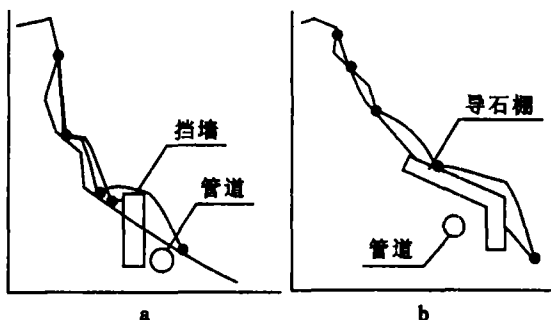


图4 管道加固工程示意图

(3)管道维护。管道在运营期间,应对管道地带进行常规巡视和维护,巡视内容包括:一是崩塌有无新的发展迹象;二是防护工程有无破坏;三是管道是否裸露及埋深有无变化。根据巡视结果及时采取措施,避免管道事故的发生。

参考文献:

- [1] 王功礼,等. 油气管道技术现状与发展趋势[J]. 石油规划设计, 2004, 15(4): 1-7.
- [2] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 25-45.
- [3] 曾廉. 崩塌与防治[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1990. 1-45.
- [4] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1982. 20-60.
- [5] 谭凤灵. 崩塌落石病害的防治[J]. 路基工程, 1998, (3): 63-66.
- [6] 阳友奎, 方向池. 崩塌落石的 SNS 柔性拦石网系统[J]. 云南交通科技, 1999, 15(5): 21-25.
- [7] 陈喜昌, 陈莉. 扩离—落石灾害防治浅论[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1430-1432.

(上接第 110 页)

参考文献:

- [1] Phene C J. Maximizing water use efficiency with sub-surface drip irrigation [Z]. ASAE Paper 922090, Charlotte, NC, 1992. 21-24.
- [2] 张国祥. 地下滴灌(渗灌)的技术状况与建议[J]. 山西水利科技, 1996, 18(2): 51-54.
- [3] 程先军, 许迪, 张昊. 地下滴灌技术发展及应用现状综述[J]. 节水灌溉, 1999, (8): 13-15.
- [4] 胡笑涛, 康绍忠, 马孝义. 地下滴灌灌水均匀度研究现状及展望[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 113-117.
- [5] 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 176-181.
- [6] 李道西, 罗金耀. 地下滴灌技术的研究及其进展[J]. 中国农村水利水电, 2003, (7): 15-18.
- [7] 张玉龙, 黄毅, 张恒明, 等. 蔬菜保护地节点式渗灌管的研制与应用[J]. 土壤通报, 2004, 35(1): 12-15.