

长线状构建物地质灾害调查与危险性评估方法探讨

——以天然气输气管道泸威线为例

李朝安¹ 黄晓光²

¹ 中铁西南科学研究院有限公司, 成都, 610031; ² 四川省冶金地质勘察局水文工程大队, 成都, 610501

摘要: 本文以天然气输气管道泸威线地质灾害调查与危险性评估为例, 分析输气管道沿线可能遇到的地质灾害类型, 以及各类地质灾害对输气管道可能造成的危害和作用形式进行分析, 介绍了输气管道的地质灾害调查与危险性评估方法, 最后探讨了长线型构建物地质灾害调查与危险性评估方法。

关键词: 长线型构建物 地质灾害 调查方法 危险性评估方法

1 引言

中国是一个多山的国家, 山地面积约占三分之二, 地质条件复杂, 构造运动剧烈, 是世界上地质灾害分布广泛的国家之一^[1]。输气管道线路以其特有的线状结构穿山越岭, 跨越各个不同的地域单元, 在不同的地形、地质区域内穿行, 不可避免地经过一些地质环境复杂、地形反差强烈的区域, 而这些地区往往是地质灾害活动最强烈的地段。

天然气输气管道是能源输送的大动脉, 属于高压输气管道, 一旦管道破坏失效, 发生事故将会造成重大的经济损失和社会影响, 天然气高压输气管道的安全性日益受到人们的重视。随着天然气输气管道的大量敷设和已建管线运营时间的延长, 管道事故时有发生。由于管道所输送的物质为天然气, 易燃易爆, 一旦发生泄漏或断裂, 就会对其周围的环境和人员产生严重的后果。高压天然气输气管道, 一旦破裂, 压缩气体迅速膨胀, 释放大量的能量, 引起爆炸、火灾, 会造成巨大的损失。例如, 1960 年美国 Transwestern 公司的一条 X56 钢级的、直径为 762mm 的输气管道破裂, 破裂长度达 13km。1989 年 6 月苏联拉乌尔山隧道附近由于对天然气管道维护不当, 造成天然气泄漏, 随后引起大爆炸, 烧毁了兩列铁路列车, 死伤 800 多人, 成为 1989 年震惊世界的灾难性事故^[2]。同样在泸威线上, 1992 年 8 月威远县庆卫镇的狮子岩曾发生过崩塌体砸毁高压输气管道天然气泄漏的事故, 所幸未造成人员伤亡。因此加强对天然气输气管道线路地质灾害调查及危险性评估、指导管线的选线是非常必要的, 本文以泸威线天然气输气管道为例探讨这种长线状构建物的地质灾害调查及危险性评估方法。

2 灾害类型及作用形式

地质灾害的形成是致灾地质作用和受灾对象相遇的结果, 二者缺一不可。在地质灾害的发生发展过程中, 地形地貌、地层岩性、地质构造等是地质灾害产生所应具备的基本条件, 降雨、地震、人类工程经济活动等是地质灾害发生的主要诱发因素, 当地质灾害产生的基本条件与主要诱发因素发挥作用时, 即可能发生地质灾害^[3]。

天然气输气管线是一种特殊线型结构, 跨越不同的地质单元, 地理跨度大, 地域幅员辽阔, 各地气候类型复杂多样, 地质灾害发育类型较多; 同时由于压输管线的服务对象为居民及厂矿企业, 往往需要经过城镇和乡村, 人类工程活动对其影响较大, 管线是长线型结构, 会遇到不同的地质灾害, 管线沿线不良地质作用及特殊地质现象主要有滑坡、崩塌、泥石流、断裂活动、地震灾害、采空区沉降、跨河河流冲刷等, 不良地质作用的类型、分布规律与地质构造、地层岩性及组合、地形地貌、地下水等因素紧密相关, 以下就管线可能遇到的地质灾害类型和作用形式进行分别论述。

2.1 滑坡

滑坡灾害直接影响管道的安全, 尤其大型滑坡危害更大。在夏季降雨(暴雨)或强震作用下, 可能直接引起(岩)土体下滑, 形成对管道堆砸、剪切等破坏作用, 对管线构建物破坏性强。其表现形式主要有: 一种是输气管道位于滑体中, 则滑坡一旦滑动将对管道形成剪切和移位破坏, 造成管道变形破坏; 如果输气管线位于滑坡前缘, 滑坡将对管道形成堆砸, 造成管道变形破坏; 如果输气管道位于滑坡后缘, 将会使管道悬空, 造成管道变形破坏。在这次调

查中,滑坡是泸威线天然气输气管道的主要地质灾害之一,沿线滑坡共有5处,类型有堆积层滑坡、基岩顺层滑坡和基岩切层滑坡三类。堆积层滑坡主要集中在江安县、南溪县山区,总体规模小,局部规模较大,对路线安全影响明显;基岩潜在切层滑坡在富顺县的局部地段发育,其中以基岩最为危害性最大。

2.2 崩塌

崩塌是管线经过河谷区、断裂带的主要地质灾害之一,它主要发育于高中低山区、深丘地貌区、河谷地貌区和断裂地貌区,常分布于河谷及支沟两岸坡顶、陡崖边等,因基岩裂隙、差异性风化,以及河流冲刷侵蚀,形成局部段危岩、危石及崩塌岩堆,人类工程活动影响主要为工程施工开挖管沟或修路,高陡边坡失稳形成崩塌。灾害表现形式主要为:使管线悬空、剪切变形、崩塌危岩体崩落时产生的巨大冲力砸毁管道等。泸威线上所遇的崩塌较多,主要分布于中低山-深丘的较软-较坚硬岩区的河谷地貌区,根据本次调查和评估,其中以威远庆卫镇的曹家坝(威远穹隆段)最为显著,该地区地形起伏较大,冲沟深切,海拔高程一般500~1300m,相对高差300~500m,山体多呈单斜状,岩层风化较强,软、硬岩性相间,地形较陡且与岩层倾向一致,且降雨丰富,崩塌裂隙发育,差异性风化严重。管线沿河谷展布,崩塌对其造成了极大的危害,曾于1992年8月远县庆卫镇的狮子岩发生崩塌,砸毁管道,所幸处理科学及时,未造成人员伤亡。本次调查泸威线管道沿线的崩塌主要有13处,其中自然形成的主要为中型和大型,人为形成的主要为小型。

2.3 不稳定斜坡

管线沿线经过的深丘区、低山区及河谷地带,由于地形高差较大,地形坡度普遍在18~30°以上,基岩坡岩层风化严重,局部斜坡松散层堆积厚度较大,尽管目前没有变形迹象,但存在崩塌和滑坡形成的条件,即在外部条件改变的情况下,如连降大雨、强烈震动、水库库水位涨落、前缘开挖或后缘加载等因素,极可能形成崩塌和滑坡,对危害范围内敷设的高压天然气输气管线造成变形破坏等危害,破坏性强。本次调查将其作为潜在不稳定斜坡,沿线潜在不稳定斜坡共有8处,类型为堆积层不稳定斜坡,总体规模小-中等,对输气管线有一定的威胁和破坏,影响管线的正常使用。

2.4 泥石流

由于泥石流突发性强,在泥沙、块石等固体物质的快速移动和水的渗透压力作用下产生巨大的推力

和浮力^[5],使管道受到强烈的冲击而产生弯曲变形和断裂,泥石流灾害对管道危害十分严重。本次调查区域内在平坝、浅丘、中丘地貌、深丘区和低山区泥石流发育较弱,对管道威胁较弱,但在中低山地貌、河谷地貌区,特别是威远县庆卫镇的曹家坝(威远穹隆段)河谷断裂区,该段岩体风化破碎严重,固体物源丰富,沟谷相对高差较大,加之该地区降雨丰富,具有形成泥石流的条件。本次共发现6条管线跨越的沟有泥石流沟活动迹象,所幸未造成灾害性后果。但该管路段以后运营中应对加强对泥石流的调查、监测,防止泥石流突发灾害事件的发生,对管道安全形成威胁。

2.5 地塌陷

地下采矿场有可能形成采空区,有可能导致地表沉降、塌陷变形、地表开裂等^[5]。采空区地面沉降塌陷变形破坏将造成管道变形、悬空或断裂。对于管线地质灾害评估,应加强采空区对管线的危险性评估,查明对于地表已产生沉降、裂缝和塌陷的采空区,以及对正在开采的矿区的采空区进行估算和评估。

2.6 洪水冲沟

压输管线是长线型结构,经过不同的地质单元,多次穿越河道或沟谷,特别是断层发育、覆盖层较厚、坡度较陡的沟谷,在集中降雨(暴雨)水流的(面蚀、冲蚀、潜蚀等多种)侵蚀作用下,水土流失严重,水流强烈面蚀作用导致管沟上覆回填土流失,冲沟的溯源侵蚀、沟床下切,沟岸拓宽和扩展,使得沟壁边坡土体失稳,易于产生崩塌或滑坡,抑或导致管道下部掏空,悬空裸露,危及管道安全。洪水冲沟是对输气管道工程危害最为严重的侵蚀方式之一。

2.7 断裂活动和地震灾害

压输管道线路地域辽阔,会跨越不同的断裂带,全新世以来的活动断裂在百年内可能发生断错地表的运动,一旦这些活断裂突发活动将对埋于地表以下的管道的安全构成严重威胁。断层根据其上下盘的活动方式可分为正断层、逆断层、平移断层及他们的组合。急剧的地面断层活动对埋地管道会产生严重影响。不同的断层运动方式可导致管道遭受剪切、伸长或缩短变形,其发生变形的大小取决于管道和断层的方位、断层滑动的位移和断层的倾角等因素,也与发震断裂上覆盖层的厚度有很大关系。

当地震时,通常在饱和、松散、排水不良的非黏性土层会发生土壤液化。发生液化时,当管道上覆盖非液化土层厚度较小时,管道有上浮的趋势,同时

由于土层承载能力的丧失,与管道相连接的设备基础会产生滑动或下沉,使管道产生过大的形变,会让管线断裂、扭曲变形、悬空裸露等,强震对管道的破坏是灾难性的。

管线也会穿过不同的地震区,强震会引起岩土体开裂、山体滑坡、砂土液化等次生灾害,这些管道沿线的次生地质灾害都会对管道安全构成了严重的威胁。

3 线状构建物地质灾害调查及危险性评估

3.1 目的与任务

根据《地质灾害防治条例》、《地质灾害危险性评估技术要求(试行)》和《国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知》,对于输气管道的地质灾害评估的主要任务是:按照《地质灾害危险性评估技术要求》,对输气管道建设用地范围内(包括影响范围内)的地质灾害危险性作出现状调查和评估;在现状评估的基础上,对工程建设诱发和加剧地质灾害的可能性和工程建设本身可能遭受地质灾害的危害性作出预测评估,为工程建设用地审批和工程建设防治地质灾害提供科学依据。

由于管线是线型结构,浅埋于地表以下,穿越不同的地质单元,管线地理跨度大,地域幅员辽阔,各地气候类型复杂多样,灾害类型较多。针对压输管线工程的特点,对管线地质灾害评估任务主要集中在:①查明管道沿线的各类地质灾害点的分布、大小和危险性进行逐点调查和评估,预测对管线可能造成的危害;②查明管道工程建设可能引发的地质灾害;③管线附近的人类工程活动引发地质灾害对管线的危害;④根据可能发生的地质灾害提出防治措施建议。

3.2 工程建设本身可能诱发地质灾害评估

压输管线建设工程为线状工程,管线建设以挖沟埋管为主,沟槽较浅,工程断面小,一般大小为 $1\text{m} \times 2\text{m}$,施工中一般不会有较大的人工边坡形成,且管道埋设完毕后,基本都恢复到原有地形,故总体上工程建设本身诱发地质灾害可能性较小,仅局部产生小型垮塌,因此对压输气管线评估工作主要是针对现有地质灾害以及管线附近人类工程活动对诱发地质灾害进行预测评估。

3.3 沿线灾害点危险性评估

现有地质灾害评估根据各类地质灾害对管线的表现及危害形式,查明管道沿线一定范围内的崩塌、滑坡、泥石流、地塌陷等地质灾害点的分布情况,对

各灾害点逐点进行灾害点的类型、规模、范围、灾害体的致灾能力、管道本身的抗灾能力的评估,通过灾害体的致灾能力与工程本身的抗灾能力之间的比值评估灾害的危险性,根据压输管线工程特点对管线工程建设提出防治措施建议。

$$\text{危险性程度或灾害发生几率}(D) = \frac{\text{治灾体的致灾能力}(F)}{\text{受灾体的承(抗)灾能力}(E)}$$

式中: F ——致灾体(灾害)的致灾能力:以通过对灾害活动的强度、规模、发生频率等外动力参数进行综合量化分析后取值。

E ——受灾体(管线)的承(抗)灾能力:在综合量化分析抗灾能力时取管线的设计标准、工程质量、所在区位条件、有无防护建筑物及效果等参数进行综合量化分析后取值。

当 $F/E < 1$,受灾体处于安全工作状态,成灾可能性很小;

当 $F/E > 1$,受灾体处于危险工作状态,成灾可能性很大;

当 $F/E = 1$,受灾体处于灾变的临界工作状态,成灾与否的几率各占50%,要警惕可能成灾的那部分。

3.4 管道沿线人类工程活动诱发地质灾害危险性评估

输气管道建成后,由于管线是线型结构,所跨区域较广,且常常穿越繁华地带(城镇、乡村、厂矿企业),受到人类工程活动影响较大。近年来由于经济的快速发展,城镇化规模加快,在管道附近的开挖方工程较多,诱发的人为地质灾害较多,对管线的安全构成了较大的威胁。

目前人类工程活动在管线附近主要表现为开挖基础,其次是修建高等级道路、建房切坡、城镇建设等,以及压输气管道沿线的小加工点、采石场、由于部分矿产的无序开发、矿渣废弃物的乱堆乱放、工业废水的不合理排放等,都带来了一系列的边坡变形、失稳、泥石流等环境地质问题,以及废弃物对管道的腐蚀作用,比如管线旁边修建管线旁垃圾处理场,有可能使管道遭到腐蚀作用,对安全形成了极大的威胁。人类工程活动逐渐成为管线沿线地质环境恶化的隐患。

本次现场实地调查共查明了泸威线沿线灾害点的分布、发育规模、灾害作用形式,评估各灾害点对管道危险性,其中共查明滑坡5处、崩塌13处、不稳定斜坡8处等,此次调查未见泥石流活动迹象,为泸威线的改建、运营维护以及地质灾害防治提供了科

学依据。

害调查为例,对调查及危险性评估方法进行了初步总结,一管之见,欢迎共同探讨,不当之处盼指正。

4 结论

本文结合泸威线天然气输气管道的地质灾害调查和危险性评估工作,对高压输气管道这种特殊长线型构筑物沿线各种地质灾害类型及作用形式的分析,探讨了压输管线工程的工程建设地质灾害评估的方法及要点。指出管线评估应着重于查明管线沿线附近现有各灾害点以及对各灾害点进行灾害危险性评估,其次应着重管线沿线附近人类工程活动诱发地质灾害对管线危害的危险性做预测评估。希望通过本文对压输管线的地质灾害调查及危险性评估方法的探讨,能对公路、铁路等线型构建物的地质灾害调查及危险性评估有借鉴作用。本文以泸威线灾

参考文献

- [1] 中国灾害防御协会铁道分会等. 中国铁路自然灾害及其防治[M]. 北京:中国铁道出版社,2000
- [2] 张艳. 天然气长输管道系统风险评价技术研究[D]. 大庆石油学院,2007
- [3] 泥石流灾害防治工程勘察规范(DZ/T 0220—2006), 北京:中国标准出版社,2006
- [4] 李朝安,魏鸿. 西南地区泥石流灾害及防灾预警[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,(09)
- [5] 冯启民,高惠瑛. 受沉陷作用埋地管道破坏判别方法[J]. 地震工程与工程振动,1997,(02)