

文章编号: 1000-8241(2011)11-0805-03

# 坠落式危岩对输油管道的影响评价

谭超<sup>1</sup> 潘国耀<sup>1</sup> 刘宗祥<sup>1</sup> 王林<sup>2</sup>

(1. 四川省地质工程勘察院, 四川成都 610072; 2. 中油管道西安输油气分公司, 陕西西安 710018)

谭超等. 坠落式危岩对输油管道的影响评价. 油气储运, 2011, 30(11): 805-807, 815.

**摘要:** 危岩是兰成渝输油管道沿线分布最广的地质灾害之一, 以坠落式、滑塌式类型为主, 其中坠落式危岩对输油管道的安全威胁极大。选取兰成渝输油管道 K0510+700 典型的坠落式危岩体为例, 从危岩的基本特征、破坏机制、影响因素等方面进行定性分析; 运用能量守恒原理定量计算危岩坠落时的最大陷入深度、最大冲击力。分析表明: 该类危岩对管道的破坏与坠落危岩体体积、坠落高度、触地面积密切相关。危岩块体越大, 坠落高度越高, 触地面积越小, 危岩体坠落陷入土体深度越大, 对输油管道的冲击力越大。提出了危岩体风险消减措施, 可供同类危岩的防治借鉴。

**关键词:** 输油管道; 坠落式危岩体; 最大冲击力; 评价

**中图分类号:** TE832

**文献标识码:** A

**DOI:** CNKI:13-1093/TE.20110913.1825.010

危岩体是指陡峭边坡上被多组结构面切割, 在重力、风化营力、地应力、地震、水体等作用下与母岩逐渐分离, 稳定性较差的岩体<sup>[1-2]</sup>。其广泛分布于山区管道伴行路沿线、河流两岸的陡峭边坡上, 孕育发展过程具有渐进性, 失稳过程具有突变性, 对危岩体下方的输油管道和附属设施构成严重的潜在威胁, 可能造成灾难性的后果。因此, 对管道沿线危害严重的危岩体进行详细调查和分析, 提出安全、经济、适用的防治措施是保证管道安全运营的当务之急。崩塌(危岩)地质灾害在兰成渝输油管道沿线分布最广, 以兰成渝输油管道 K0510+700 典型的坠落式危岩体为例, 从危岩体的基本特征、破坏机制、最大冲击力方面进行分析, 提出合理的防治措施, 对管道沿线其他类似的危岩体的防治提供参考。

## 1 危岩体类型与破坏机理

崩塌(危岩)地质灾害是兰成渝输油管道沿线分布最多、危害最大的地质灾害之一。从工程防治的角度按照失稳类型进行分类<sup>[3]</sup>, 可将危岩分为坠落式危岩、滑塌式危岩和倾倒式危岩(图 1~图 3)。坠落式危岩体底部悬空, 顶面和后部受结构面切割, 但尚未与母岩完全脱离, 危岩体底部悬空的原因是由于危岩体下部软岩的差异风化形成凹岩腔, 或者是由于下部先期危

岩体渐进崩落后而成, 破坏方式为危岩体沿结构面拉断或折断, 运动方式近似于自由落体; 滑塌式危岩的危岩体后部存在与边坡倾向一致的贯通或断续贯通的主控结构面, 结构面倾角小于边坡坡角, 剪出部位多数出现在陡崖或斜坡中下部, 也可能出现在危岩体基座岩土体中, 危岩体沿着主控结构面剪切滑移失稳; 倾倒式危岩的危岩体后部存在与边坡坡向一致的陡倾角贯通或断续贯通的主控结构面, 危岩体底部局部临空, 危岩体重心多数情况下出现在基座临空支点外侧, 支点为中风化岩层外缘点, 危岩体可能围绕支点对临空方向旋转倾倒破坏。

坠落式危岩的破坏机理主要体现在主控结构面的剪张破坏, 滑塌式危岩则是在荷载作用下主控结构面以压剪破坏为主, 倾倒式危岩的破坏机理主要表现为主控结构面在荷载作用下的拉剪破坏。

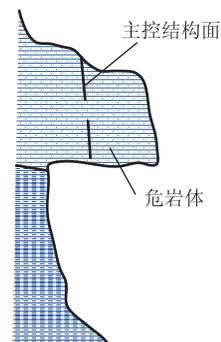


图 1 坠落式危岩示意图

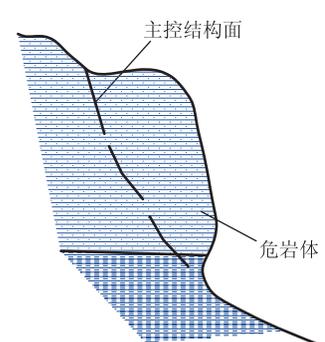


图 2 滑塌式危岩示意图

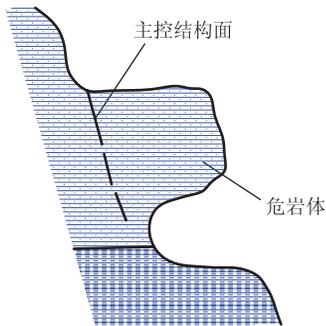


图3 倾倒式危岩示意图

## 2 K0510+700 危岩的特征

兰成渝输油管道 K0510+700 为典型的坠落式危岩,危岩体底部由于先期危岩体渐进崩落形成悬空,为危岩体的失稳提供了足够的空间。

### 2.1 危岩体的地理位置

该危岩体位于甘肃省康县阳坝镇龙潭村甘陕交界附近,八海河河流左岸。危岩呈北东向展布。管道从危岩体坠落点正下方伴行路内侧通过,管道顺坡脚长约 120 m,受危岩体危害影响极大。管道敷设方式以管沟开挖为主,管顶埋深约 1 m,管顶上方为开挖回填堆积层。

### 2.2 危岩区的地质环境条件

危岩体所处区域属于侵蚀构造中山峡谷地貌,伴行路傍河劈山而建,位于中山斜坡中下部,管道沿伴行路内侧敷设,危岩边坡为人工开挖形成的岩质边坡,最大高度 35 m,长约 120 m,危岩卸荷带厚度 10~20 m,坡度 82°,主崩方向 255°,岩层产状 277°∠78°,为顺向基岩边坡,岩性为深灰色砂质板岩。

### 2.3 危岩体规模

据调查,危岩带横向分布长度 120 m,危岩卸荷带厚度 10~20 m,估算危岩带体积 20 000 m<sup>3</sup>,单个大危岩体体积约 300 m<sup>3</sup>,属小型崩塌(图 4)。

### 2.4 危岩体结构特征

斜坡岩体节理裂隙较发育,统计有两组主要的裂隙:①产状 145°∠64°,张开度 5~8 mm,贯通长度 2.8 m,发育深度 0.4 m,结构面光滑,无充填;②产状 310°∠46°,张开度 3~6 mm,贯通长度 1.5 m,发育深度 0.3 m,结构面光滑,无充填。两组岩体裂隙相交将坡体岩体切割成楔形块状,坡体发育多处危岩体,危岩体

坠落高度 15~25 m,极其危险。其中该边坡发育有一块体积约 300 m<sup>3</sup> 稳定性极差的悬空危岩体,危岩体最大落距 25 m,危岩体底部悬空,且呈尖棱角状。

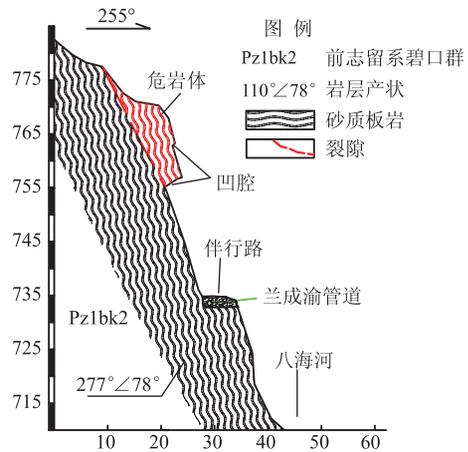


图4 K0510+700 危岩剖面示意图

### 2.5 危岩破坏机制与稳定性评价

边坡临空面高陡,基岩裸露,裸露岩体受层面、节理及卸荷裂隙、风化裂隙面的相互交错,形成不良结构面组合,且悬空危岩体底部坠落空间良好,利于危岩发生坠落式崩塌。根据赤平极射投影(图 5),两组裂隙组合交线倾向与斜坡倾向基本一致,且倾角小于坡角,危岩体属于不稳定结构,稳定性较差,在外界诱因的作用下,危岩容易坠落。

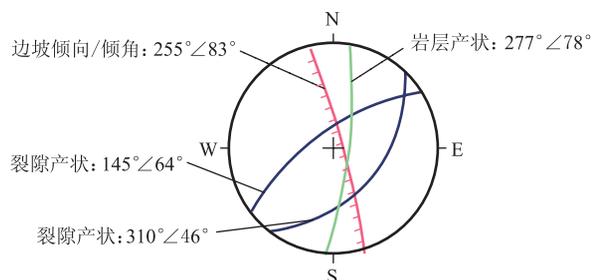


图5 赤平极射投影图

## 3 危害程度分析与风险控制措施

### 3.1 定性分析

危岩是一类典型的突发性地质灾害。对于危岩而言,不论其规模大小,都可能对管道造成致命的危害,这和危岩与管道之间的相对位置关系、危岩的落距、触地面积、触地形状、管顶上方的覆盖物等密切相关。K0510+700 危岩位于管道正上方,落距 15~25 m,危岩体坠落触地面积小且为尖棱状,该危岩坠落将会产

生巨大的冲击力,对管道造成极大危害。

### 3.2 危害程度定量分析<sup>[4]</sup>

假定危岩为刚性质点,碰撞过程中不变形,质点与地表不分离,管道上方的回填土层为线弹性体,当危岩体坠落触地冲击时,危岩体损失的能量全部转化为土体弹性形变能。其中不考虑危岩坠落时的空气阻力、危岩与母岩之间的摩擦力。

危岩体的势能为:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = mgh \quad (1)$$

式中: $m$ 为坠落危岩体的质量,kg; $g$ 为重力加速度,取9.8 N/kg; $h$ 为危岩体坠落高度,m。

土体的弹性形变能为:

$$W = \frac{k\delta^2}{2} \quad (2)$$

式中: $k$ 为土体的刚度,N/m; $\delta$ 为土体的最大压缩量,m。

其中 $k$ 的计算式为:

$$k = \frac{2.26G\sqrt{A}}{1-\mu} \quad (3)$$

式中: $G$ 为土体剪切模量,Pa; $\mu$ 为泊松比; $A$ 为危岩体触地时与地面的接触面积,m<sup>2</sup>。

由式(1)~式(3),根据能量守恒原理得到:

$$\delta = 0.94 \sqrt{\frac{mgh(1-\mu)}{G\sqrt{A}}} \quad (4)$$

当土体产生最大压缩量 $\delta_{\max}$ 时,土体与危岩体之间的作用力最大,此时的最大冲击力 $p_{\max}$ 为:

$$p_{\max} = k\delta_{\max} = 2.126 \sqrt{\frac{Gmgh\sqrt{A}}{1-\mu}} \quad (5)$$

在最大冲击力 $p_{\max}$ 作用下,管顶上方土体应力为:

$$\sigma_z = \frac{3p_{\max}}{2\pi z^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+(r/z)^2)^5}} \quad (6)$$

式中: $r$ 为计算点与冲击力作用线之间的距离,m; $z$ 为计算点深度,m。

取单个较大易崩落的10 m×10 m×3 m危岩体进行计算,密度 $\rho=2.75 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,坠落高度 $h=20$  m,管道上方回填土 $\mu=0.25$ ,管道上方回填土 $G=1.35 \times 10^7$  Pa。该处管道埋深0.8~1.2 m,计算点埋深 $z=1$  m。

计算出危岩体坠落最大压缩量 $\delta_{\max}=1.20$  m,即危岩坠落陷入土体的最大深度;最大冲击力 $\delta_{\max}=2.23 \times 10^8$  N;管顶土体应力 $\delta_z=106$  MPa。可知危岩体坠落的最大陷入深度位于管道埋深范围内,且管顶土体应力较大,危岩体将造成管道变形,甚至破坏。

### 3.3 发展趋势预测与风险消减措施

在风化程度加剧、岩体卸荷带深度增大的状况下,危岩体潜在破裂面将逐步向高处和纵深扩展,在降雨、较大震级余震和人为工程活动等因素触发下,可能发生坠落式崩塌,造成崩塌体直接冲击管道,可能导致管道破裂。

针对该危岩体提出两种风险消减措施:清除危岩体;对危岩体采取锚杆锚固处理。前者是治理危岩体的一般直接措施,在清除原有危岩体的同时必须控制不出现新危岩体,一般坠落式危岩都发育在高陡边坡上,清除时施工难度较大,难以保证安全;后者是治理危岩体较好的措施,工程手段易于控制,但成本较高。综合比较,对该类危岩采取锚杆锚固处理措施消减风险更有效,防治更彻底,且锚固可以限制危岩体主控结构的扩展(图6)。

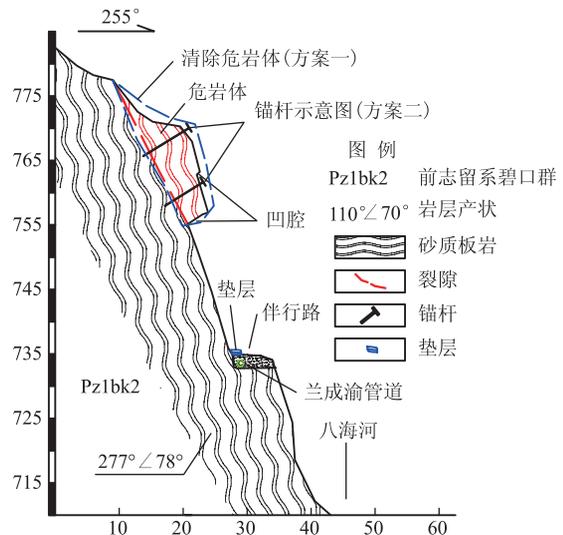


图6 K0510+700危岩风险措施布设示意图

## 4 结论

通过定性分析和定量计算相结合,对典型坠落式危岩K0510+700进行综合分析,得出该类危岩对管道  
(下转第815页)

其中,最大关联度  $R_{\max}=0.8317$ ,因此,该加油站的安全等级为II级,较安全。

### 3.4 安全措施

为进一步提高加油站的安全等级,建议采取以下安全措施:①对计量加油设备进行定期计划检修;②定期更换各设备内的易损件;③制定设备操作规程、应急预案;④做好站内操作人员的安全技术培训。

## 4 结束语

结合加油站的特点,提出了基于灰色关联分析和层次分析法的综合评价方法。在分析影响加油站安全因素的基础上,建立加油站安全评价指标体系,并通过层次分析法求出各指标的权重,运用灰色关联分析法求出参评数据序列与标准数据序列的灰色关联度,对某加油站进行安全评价,得出相应的安全等级,结果与该加油站实际运行情况相符,说明使用该方法进行加油站的安全评价是合理、有效的。由于影响加油站安全因素众多,以上对安全评价指标体系进行了初步探索,仍需全面考虑影响加油站安全的因素,进一步完善指标体系,使评价结果更符合加油站实际运行状况。

### 参考文献:

- [1] 陈军. 运用道化法对加油站进行安全评价[J]. 石油化工安全技术, 2004, 20(4): 11-14.
- [2] 梁缙,李志宪,王海燕. 加油站模糊数学安全评价模型及应用[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(8): 106-108.
- [3] 李玉慧,易松华. 加油站安全的模糊数学评价模型及其应用[J]. 怀化学院学报, 2007, 26(8): 14-18.
- [4] 朱序璋,杨宏刚,赵江平,等. 基于模糊理论的加油站安全评价方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1(6): 52-54.
- [5] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 51-60.
- [6] 储敏. 层次分析法中判断矩阵的构造问题[D]. 江苏: 南京理工大学, 2005.
- [7] SAATYTL. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

(收稿日期:2010-03-04)

**作者简介:** 邓宗竹,在读硕士生,1987年生,2009年毕业于辽宁石油大学油气储运专业,现主要从事管道安全评价的研究工作。

电话: 13470585720; Email: dzz1987628@sina.com

(上接第 807 页)

的破坏与坠落危岩块体大小、坠落高度、触地面积密切相关。危岩体越大,坠落高度越高,触地面积越小,危岩体坠落陷入土体深度越大,对输油管道冲击力越大。对危岩进行野外调查分析时,可根据该结论对危岩进行初步定性分析,掌握危岩对输油管道的危害程度,为危岩的防治提供有力依据,同时可供今后同类危岩的防治借鉴。

### 参考文献:

- [1] 陈洪凯,唐红梅,胡明,等. 危岩锚固计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1321-1327.
- [2] 吴文雪,刘耕. 三峡库区危岩稳定性分析[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(增刊): 112-116.

[3] 陈洪凯,王蓉,唐红梅. 危岩研究现状及趋势综述[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(3): 80-88.

[4] 王磊,邓清禄,杨辉建,等. 危岩体坠落冲击对输气管道影响的分析评价[J]. 水文地质工程地质, 2007(5): 29-31.

(收稿日期:2010-02-12)

**作者简介:** 谭超,工程师,1981年生,2009年硕士毕业于成都理工大学地质工程专业,现主要从事岩土工程勘察、地质灾害勘察设计评估和治理工作。

电话: 028-87777016; Email: tc521mwl@126.com