

## 某输气管线 760<sup>#</sup> 滑坡形成机制及稳定性分析\*

杨永明, 杨天俊

(中水顾问集团 西北院工程勘察研究分院, 兰州 730050)

**摘要:**通过区域地质调查,大比例尺平面图测绘,滑坡微地貌和变形破坏特征测量等手段,对某滑坡的特征和形成机制进行了系统研究。在认识滑坡形成机制的基础上,采用多种极限平衡计算方法,并结合滑坡所处的地质环境,评价该滑坡在天然、降雨、地震以及降雨和地震耦合作用下的稳定性,为该滑坡的治理提供理论指导。

**关键词:**滑坡; 降雨; 地震; 稳定性

中图分类号: P642. 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0177-03

## Forming Mechanism and Stability Analysis of 760<sup>#</sup> Landslide at Oil Transporting Pipelines

YANG Yong-ming, YANG Tian-jun

(Engineering Investigation Research Institute of Northwest Hydro Consulting Engineers, CHECC, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** A systematic research on characteristics and forming mechanism of 760<sup>#</sup> landslide at a Oil Transporting Pipelines was achieved in terms of such methods as regional geological investigation, large scale topographical map measurement of micro physiognomy and failure and geophysical reconnaissance survey. Based on landslide's forming mechanism, the stability of state was evaluated by various limit equilibrium methods. Combining geological environment where landslide located on effects of natural state, or rainfall, or earthquake, or rainfall and earthquake. The research result can take a theoretic guide rule in the landslide treatment.

**Key words:** landslide; rainfall; earthquake; stability

某输气管线 760<sup>#</sup> 地段出现滑坡, 导致管线下大半幅基础滑入沟底, 对输气管线的安全造成了严重的威胁。虽然该滑坡目前暂时处于稳定状态, 但在暴雨及地震等诱发因素下还有可能出现复活滑动, 所以有必要预测其在未来条件下的稳定状态及发展演化趋势。滑坡是多种因素耦合作用下地质环境演化的产物, 其演化是一个复杂的动态过程<sup>[1]</sup>, 包括发生、发展演化和稳定(或消亡)的全过程。在此意义上, 滑坡当前稳定状态评价以及未来发展演化趋势预测均应置于滑坡动态演化的全过程之中, 因此, 必须根据滑坡区的地质环境及该滑坡的特征, 基于滑坡的形成机理和演化机制, 分析其形成条件及形成机制, 通过定性评价方法<sup>[2]</sup>和定量计算评价该滑坡在天然、降雨、地震以及降水和地震耦合(引)作用下的稳定状态, 为该滑坡治理提供依据。预测发展趋势及进行有效地预防和整治<sup>[1-2]</sup>。

### 1 工程地质环境

研究区属高原半干旱大陆性气候, 多年平均降水量为 327.7 mm, 最大年降水量 395.4 mm(1997 年), 最小年降水量为 194.2 mm(1982 年)。滑坡地处青藏高原东部, 总体地势南高北低, 南部边界为祁连山支脉拉脊山, 北部边界是低缓的湟水河谷地。境内山峦起伏, 沟谷相间, 高差悬殊, 依成

因类型和形态特征, 调查区可划分为构造侵蚀低山丘陵区、侵蚀堆积河谷平原区两种地貌类型。

调查区内出露有元古界、古生界、中生界及新生界地层。下元古界地层主要分布于本滑坡西部的小峡一带, 岩性多为片麻岩、片岩夹大理岩。上元古界地层零星分布于石壁等地, 岩性为变质砂岩、千枚岩、板岩夹大理岩。中生界地层有侏罗系和白垩系。侏罗系主要在平安县百草湾、红土庄、小峡及东沟等地出露, 岩性为灰色砂岩、砂砾岩夹页岩及煤层, 上部有红色砂岩、泥岩等。白垩系分布范围较广, 岩性为棕红色泥岩、砂岩, 地层中沉积有大量钙芒硝和石膏岩。新生界地层有第三系和第四系。

滑坡区大地构造属祁连山地槽褶皱系的拉脊山地向斜褶皱带及湟水河凹陷两个次级构造单元。区内的断裂构造及构造结构面对基岩崩塌的分布和发生具有一定的控制作用。

研究区内尚未见到有地震记录, 但据“青海省地震目录”统计, 在该县周边的乐都、化隆、西宁、互助等地区发生大于 2.0 级以上的地震有数十次之多, 但均以中小型地震为主。平安县地震设防烈度为 VII 度, 设计基本地震加速度为 0.10 g, 为第二组。

\* 收稿日期: 2008-01-05

作者简介: 杨永明(1961-), 陕西周至人, 教授级高级工程师, 主要从事岩土工程的生产、科研工作。E-mail: donglanfeng@lzu.edu.cn

## 2 滑坡特征

### 2.1 基本特征

滑坡在平面上呈“马蹄形”，后壁呈广口状的圈椅形，前部蹄凹两端突出部，左端长，右端短，形成偏向左侧的不对称分布状态，宽度约为 145 m，该滑坡的平均厚度约为 13~18 m，面积 1.16 万 m<sup>2</sup>，体积约 1.5 万 m<sup>3</sup>，属于中型滑坡(图 1, 2)。

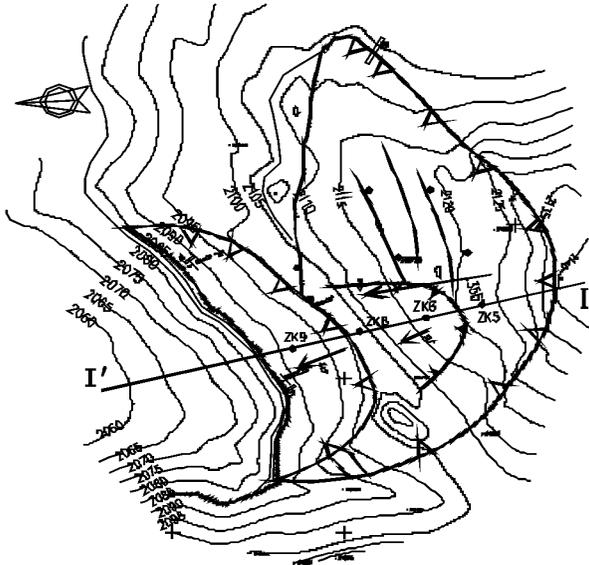


图 1 滑坡区工程地质平面图(1: 500)

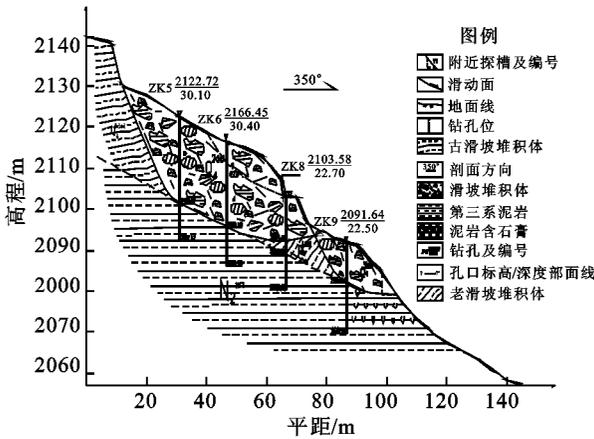


图 2 滑坡纵剖面图

### 2.2 地貌特征

#### 2.2.1 后壁及侧壁

该滑坡后壁呈圈椅状，走向 103°，高差 10~14 m，局部存在坍塌现象，倾角达 55~75°，右后壁走向 57°，主要由 300°∠80°，323°∠75° 两组发育良好的节理控制(图 3)，左后壁走向 142°，由厚层的灰白色石膏和泥质砂岩组成，高 6~8 m，直立，侧界主要由其中发育的 324°∠72°，357°∠63° 两组平直、延伸好的节理控制(图 4)；据 T9 探槽揭示，右侧界位于原古滑坡堆积体陡坡处，走向 NE48°，因偏离主滑方向，滑体呈散开状分布；左侧界线清晰，由自然冲沟控制。

#### 2.2.2 前缘出口

研究区滑坡前剪出口分为东、中二段：东段滑体因前部山嘴的阻挡，呈逆冲状覆盖在西侧小山梁的伴行路南小山包上，其走向为 90~98°；中段走向 240~190°，在揭示的范围内

呈弧形向斜坡右上方延伸，揭露的滑动面镜面特征明显，擦痕清晰，擦痕指向 346°，在反倾的滑面上呈逆冲状铲出，滑面剪出口产状从坡脚向上依次为：175°∠55°，187°∠66°，200°∠53°，195°∠48°。



图 3 滑坡后壁特征



图 4 滑坡侧界特征

### 2.2.3 裂隙

滑坡裂隙发育，可分为拉张裂隙和剪裂缝两类，拉张裂隙要分布在以 I-I' 剖面以东，该裂隙带南北宽约 25 m，东西长约 40 m，由南、中、北 3 组规模较大的拉张裂隙群组成；剪裂缝主要位于平台的左中部，该组裂缝在平面上形成次级滑坡的周界，两侧以扭剪裂隙为主，形成中间低、两侧高、高差约 50~80 cm 的局部负地貌。

### 2.3 滑带特征

由钻孔揭示的滑动面位置处于 19~22.8 m，其间紫红色破碎泥岩风化严重，含水量逐渐增大，呈可塑到软塑状态，土化作用强烈，杂色土呈条带状间隔分布，泥化层有错动迹象。

## 3 滑坡形成机制

### 3.1 滑坡形成条件和影响因素分析

#### 3.1.1 古、老滑坡基础

根据区域地质环境调查，该滑坡位于巨大的古、老滑坡群上。由于古滑坡规模巨大，滑动距离长，因而滑体遭受了强烈的扰动，岩体的完整性和结构被破坏，为地表各种地质营力的侵蚀创造了有利的条件，物理、化学风化加深，坡体的整体强度大幅度降低，稳定性不断恶化，是该滑坡得以复活的物质基础。

#### 3.1.2 暴雨是该滑坡滑动的主要引发因素

暴雨除对滑坡表面土体造成冲刷外，雨水渗入裂隙及潜

在滑面, 将导致滑面软化, 力学性质降低, 并可能由于相对隔水层而导致水体滞留形成高动水压力, 从而导致滑坡体变形加剧<sup>[3]</sup>。

### 3.1.3 地震的影响

根据区域构造资料, 勘察滑坡处于青藏高原的边缘、昆仑-秦岭构造带, 区内新构造运动活跃, 地震较频繁, 邻区地震不仅造成已扰动的古滑体更加破碎, 而且其水平加速度会对古滑体的稳定性造成极不利的影

### 3.1.4 人类活动的影响。

该滑坡区段内人类工程活动强度相对较大, 由于大量的石膏矿开采, 致使坡脚破坏严重, 也是导致滑坡复活的原因之一。

## 3.2 滑坡形成机制

古滑坡发生后, 巨大的位移不仅严重破坏了滑体的完整性, 造成结构破碎、裂隙发育、土体强度降低, 而且整个滑体被分为数个滑块, 除主滑面以外, 在不同深度形成了几个相对的滑动面或错动面, 为下次失稳滑动创造了有利的力学边界条件。之后, 长期的大气降水沿滑体上的各种裂缝进入滑体内并在一定的部位(如滑动面处)滞留, 引起相应部位土质发生物理-化学风化作用, 黏粒增多, 持水能力增强, 抗剪强度降低; 同时坡面上的汇水在中下部相对低洼的沟槽处横向切割, 在 Z2、Z4 钻孔一线形成喇叭口向东的冲沟, 不仅使以上的古滑体失去了支撑, 而且为局部滑体的再次滑动创造了有利的临空条件; 而左侧冲沟的持续冲刷, 带走了滑体赖以稳定的大量支撑体, 致使以上一定范围古滑体不断松弛, 稳定状态恶化, 最终导致该滑坡复活。

## 4 滑坡稳定性分析

### 4.1 滑坡稳定性定性分析

研究区由于不同部位滑体前地形的差异, 造成不同滑块的位移量不同。I 剖面以东滑体受古滑坡鼓丘的阻挡, 滑体从鼓丘南逆冲铲起, 主要滑体被限在鼓丘后, 仅有少量松散滑体披覆在鼓丘顶上, 因而其稳定性较好; I 剖面以西滑体绕过古滑坡鼓丘, 向冲沟方向滑动, 因其临空条件好, 滑动体厚度及位移量都相对较大, 并有愈向 I 剖面愈大的趋势, 据此分析, 该段滑坡体的稳定性差。

### 4.2 滑坡稳定性定量计算

滑坡滑带土力学参数是滑坡稳定性定量评价的重要参数, 能否正确选取十分关键<sup>[4]</sup>。该滑坡定量计算的有关力学参数是在试验资料的基础上, 根据本滑坡的岩土体组成, 再以该滑坡目前还处于活动状态的实际情况运用参数反分析法<sup>[5-6]</sup>, 最后综合确定的, 稳定性计算所选用的参数见表 1。

表 1 滑坡稳定性计算参数表

岩土层	重度/(kN·m <sup>-3</sup> )	内聚力/kPa	内摩擦角/(°)
滑带土	23	30	22

在自然条件、降雨条件、地震条件、降雨和地震耦合作用

这 4 种工况下, 利用简化 Bishop 法(B)、Morgenstern price 法(M)、简化 Janbu 法(J) 和不平衡推力法(U) 进行定量计算, 计算结果(表 2) 表明, 天然状态下该滑坡处于暂时稳定状态, 但稳定系数很低; 在暴雨条件、地震条件、降雨和地震耦合作用下滑坡将整体复活滑动。

表 2 滑坡稳定性计算结果(I-I 剖面)

状态	不同方法计算的 $F_s$			
	B	M	J	U
天然	1.115	1.133	1.077	1.087
暴雨	0.997	1.012	0.982	0.994
地震	0.978	0.991	0.965	0.971
降雨和地震耦合作用	0.901	0.922	0.887	0.902

## 5 结论

(1) 该滑坡的平均厚度约为 13~18 m, 面积 1.16 万 m<sup>2</sup>, 体积约 15 万 m<sup>3</sup>, 属于中型滑坡。

(2) 该滑坡位于巨大的古、老滑坡群上, 暴雨及人为开挖坡脚是诱发该滑坡复活的主要因素。

(3) I 剖面以东滑体受古滑坡鼓丘的阻挡, 故其稳定性较好; I 剖面以西滑体绕过古滑坡鼓丘, 向冲沟方向滑动, 因其临空条件好, 滑动体厚度及位移量都相对较大, 所以该段滑坡体的稳定性差。

(4) 经过滑坡稳定性定量计算, 计算结果(表 2) 表明, 天然状态下该滑坡处于暂时稳定状态, 但稳定系数很低; 在暴雨条件、地震条件、降雨和地震耦合作用下滑坡将整体复活滑动。

### 参考文献:

- [1] 刘高, 张帆宇, 李新召. 凤安山滑坡地质过程研究[C]// 第二届全国岩土与工程学术大会论文集. 北京: 科学出版社, 2006: 418-424.
- [2] 王恭先, 徐峻龄, 刘光代. 滑坡学与滑坡防治技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [3] 肖学沛, 李天斌, 张志龙. 三峡水库区严家坡滑坡成因分析及稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 39-43.
- [4] 郑明新. 论滑带土强度特征及强度参数的反算法[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 528-532.
- [5] Sonmez H, Ulusay R, Gokceoglu C. A practical procedure for the back analysis of slope failures in closely jointed rock masses[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1998, 35(2): 219-233.
- [6] Deng J H, Lee C F. Displacement back analysis for a steep slope at the Three Gorges Project site[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001, 38(2): 259-268.