

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.07

青海同仁隆务镇西山岩质切层滑坡破坏机理 及防治措施分析

朱 飞¹, 彭红明¹, 王占巍², 贾 君¹

(1. 青海省环境地质勘查局, 青海省环境地质重点实验室, 青海 西宁 810007;

2. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810007)

摘要: 青海同仁县隆务镇西山基岩切层滑坡群中的 11# 滑坡处于蠕变变形与滑动破坏临界状态, 严重威胁坡脚居民的生命财产安全。本文通过现场勘查及室内试验, 深入探究其滑动破坏机理, 得出了引起滑坡滑动破坏的主要原因为水和人类工程活动的作用以及与滑坡体特殊的内在因素的相互配合; 同时通过建立滑坡计算模型和考虑不同荷载工况, 分析和评价了滑坡的稳定性, 据此提出针对性的综合治理方案: 滑动体上部削方处理、加固已松动滑体前段、坡体中部采用格构梁和锚索 + 坡体前端抗滑桩; 后期监测表明滑坡治理效果良好。

关键词: 岩质滑坡; 切层滑坡; 机理; 变形破坏; 防治

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)01-0043-05

Mechanism and prevention and cure measures of the landslide in the west of Qinghai province

ZHU Fei¹, PENG Hongming¹, WANG Zhanwei², JIA Jun¹

(1. Qinghai Environmental Geology Exploration Bureau, Key Laboratory of Environmental Geology of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810007, China; 2. Qinghai Geological Survey Institute, Xining, Qinghai 810007, China)

Abstract: The 11# landslide, which lies in bedrock layer landslides group of Xishan Mountain in Longwu town of Qinghai Province, was in creeping deformation and critical state of sliding failure, and it has become a serious threat to safety and property of residents. This paper has explored the mechanism of sliding failure by site investigation and laboratory test, and got the main cause of landslide failure was interaction of the extrinsic factor of water and human engineering and the intrinsic factor of landslide. Meanwhile, by modeling the landslide and considering different working conditions, landslide stability analysis and evaluation can be got. According to the above, comprehensive control scheme was put forward that: cutting the upper part of the slope body, reinforce the loosened section of the front slope body, adopting lattice beam and anchor cable at the middle part of slope body and anti-slide pile at the front. This landslide controlling scheme gets better effect shown by post monitoring.

Keywords: rocky landslide; cutting layer landslide; the mechanism; deformation and failure; governance

0 引言

隆务镇位于黄河一级支流隆务河的中游, 是闻名中外的“热贡艺术”诞生地, 是青海省黄南藏族自治州

政府及同仁县政府所在地, 是黄南州、同仁县的经济、文化中心, 是旅游观光的重要景区之一^[1]。该镇受地理条件的限制, 有相当一部分行政机关、学校、部队、宗教寺院等建在西山坡地前缘, 西山地区发育有新近系

收稿日期: 2016-03-20; 修订日期: 2016-06-16

第一作者: 朱 飞 (1984-), 男, 汉族, 陕西户县人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地质灾害防治工程的勘查和设计工作。E-mail: zhufeixl@qq.com

上新统地层上部及残坡积层中的大量滑坡群。故该地区存在较大地质灾害隐患,滑坡、崩塌灾害时有发生。2012 年 7 月 29 日~30 日,该地区强降雨天气频繁。强降雨造成山体表层土壤含水量增大,土体呈饱和状态,在重力作用下,2012 年 7 月 31 日凌晨,隆务镇西山 11#滑坡局部发生滑动,虽未造成人员及财产伤亡,但仍对坡脚的居民生命财产安全构成巨大威胁。

本文基于对 11#滑坡的分析研究,从滑坡各特征要素角度分析了该类滑坡的破坏机理,并通过室内试验^[2]及反演计算^[3-6],推断出合理的计算参数,利用极限平衡方法计算了不同工况下滑坡的稳定性,采取相应的防治措施进行治理,以期为该地区后续滑坡的防治工程提供参考依据。

1 滑坡工程概况

隆务镇西山 11#滑坡位于隆务镇西山巷西侧。该地区属高原温带半干旱气候,寒冷干燥,日照充足,日温差及年温差较大,干湿季节分明,海拔在 2 500 m 以上。11#滑坡地形整体较陡,平均坡度约 49°。滑坡边界特征非常明显,两侧以剪切裂缝为界,后缘以山脊分水岭为界,滑坡剪出口较明显,位于坡脚处,剪出口部位高程为 2 512.3 m。滑坡体后缘有因滑动而形成的明显错落陡壁,滑坡后壁清晰可见,后壁高约 4 m,呈圆椅状,滑坡坡面呈斜平面形,坡面上部主要发育有 7 条较大拉张裂缝,坡面中下部发育有 5 条扇形裂缝,滑坡整体处于蠕动变形阶段。滑坡面积 14 258 m²,滑坡平均厚度约 16 m,前深后薄,体积方量 14.9 × 10⁴ m³,滑动面为破碎泥岩碎块与完整泥岩接触面,滑动破坏形式为牵引式滑坡,滑动剪出口位置在坡脚部位,地面高程为 2 512.3 m。

2 滑坡的地质条件及主要危害

2.1 滑坡地质条件特征

(1) 地形地貌。滑坡海拔高程 2 512~2 653 m,前后缘高差约为 142 m,滑坡长 187 m,宽 71 m,平均厚度 16 m,平面面积约 14 258 m²,体积方量约 14.9 × 10⁴ m³,坡度 49°,坡向为 141°,滑坡平面形状为不规则形,剖面形态呈直线形,为岩质滑坡。滑坡坡面植被覆盖差,滑坡后壁清晰可见,高约 4 m(图 1)。

(2) 岩性结构特征。滑坡滑体部分主要以泥岩碎块为主,局部含有少量砾石及粉土;滑带厚约 0.8~1.0 m,滑带土以含砾石粉土为主,滑坡后壁部分滑面清晰可见,滑床为新近系上新统泥岩(图 2)。

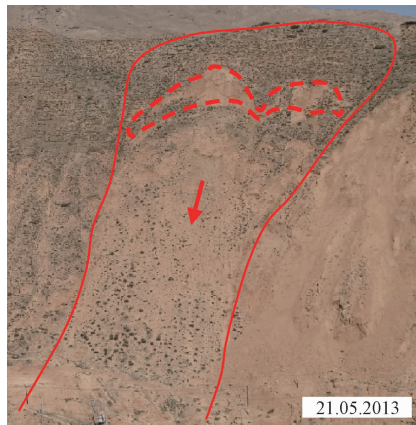


图 1 滑坡形态特征图

Fig. 1 Landslide morphological characteristics

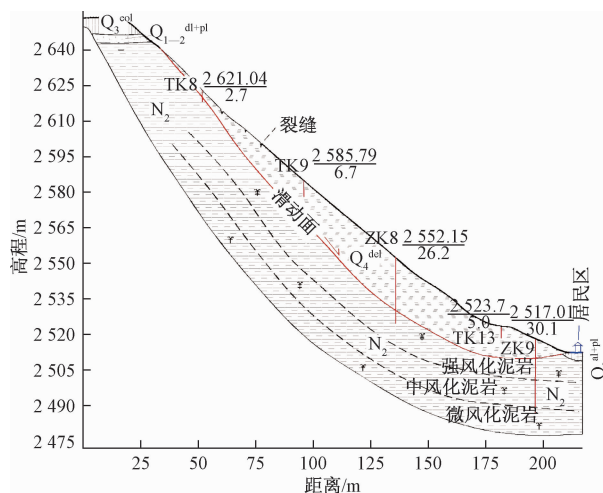


图 2 滑坡断面示意图

Fig. 2 The section of landslide

滑体:据勘探揭露资料,滑体成分以泥岩碎块为主,局部夹杂少量粉土及砾石,泥岩碎块呈土黄色,褐黄色,稍湿,稍密,呈碎块状,泥岩块体粒径约为 4~35 cm,最大可见粒径达 50 cm,粉土含量约占 2%~4%,砾石含量约占 1%~3%,粉土及砾石为坡顶风积黄土及其底砾石因先期滑坡滑动形成。滑体的厚度变化较大,总体上具有中部及前缘厚,后缘薄的特点,平均厚度 20 m,为中层滑坡。

滑带(面):位于第四系全新统滑坡堆积层与基岩接触面处,其滑带物质成份以粉土为主,含有少量较小粒径砾石,呈土黄色,湿-潮湿,密实,主要成分为粉土及砾石。其中粉土呈土黄色,湿-潮湿,以粉质土为主,含量约占 80%~90%;在 11#号滑坡后缘 TK8 探井中 1.8 m 位置处发现有滑坡滑动面,滑动面呈黄褐色,表面光滑,滑动面处含水量较高,呈硬塑状态(图 3)。

滑床:岩性主要为新近系上新统泥岩,褐红色,泥

质结构,层状构造,节理较发育,岩芯呈碎块-短柱状,沉积层面不明显,成份以黏土为主。



图 3 滑坡后缘 TK8 探井 1.8 m 位置处滑面
Fig.3 The sliding surface at 1.8 m of TK8 well

(3)水文地质条件。滑坡内未发现有地表水,本次只在钻孔 ZK9 中揭露到地下水,为碎屑岩类裂隙孔隙水,初见水位为 25.6 m,无稳定水位,含水层为新近系上新统泥岩。主要受大气降水补给,因地形坡度较陡,地表径流条件好,地下水仅微弱赋存于岩体风化裂隙和构造裂隙中。

(4)变形破坏特征。滑坡上发育的变形破坏特征主要为坡面上部发育有 7 条较大拉张裂缝(图 4),坡面中下部发育有 5 条扇形裂缝,滑坡体两侧发育有较明显的剪切裂缝(表 1)。

表 1 滑坡裂缝统计表
Table 1 Landslide crack statistics

野外编号	裂缝长度/m	裂缝宽度/cm	可见深度/m	裂缝走向/(°)	裂缝类型
DZ54	60	10~20	0.1~0.3	150	扇形裂缝
DZ55	62	20~30	0.3	150	扇形裂缝
DZ56	61	20~30	0.1~0.3	140	扇形裂缝
DZ57	64	20~30	0.1~0.2	143	扇形裂缝
DZ58	63	10~30	0.1~0.2	141	扇形裂缝
DZ59	122	20~30	0.5~1.0	135	剪切裂缝
DZ60	50	10~20	0.3~0.4	155	剪切裂缝
DZ61	25	3~5	0.04~0.1	110	拉张裂缝
DZ64	30	10~15	0.2~0.3	230	拉张裂缝
DZ65	45	5~10	0.3~0.6	50	拉张裂缝
DZ66	65	15	0.5	57	拉张裂缝
DZ67	67	10	0.4~0.5	56	拉张裂缝
DZ68	65	10~15	0.1~0.15	63	拉张裂缝
DZ69	60	10~20	0.3~0.4	59	拉张裂缝
DZ47	110	30~50	0.3~0.9	132	剪切裂缝

滑坡坡体变形非常严重,滑坡处于蠕动变形阶段后期,除了坡面的张拉、剪切及扇形裂缝非常发育外,因滑坡整体下滑而形成的滑坡后壁也非常明显,其形态为高约 4 m,坡度约为 70°的斜平面形。



图 4 滑坡后缘处的张拉裂缝
Fig.4 The tensile cracks at the edge of the landslide

2.2 滑坡的主要危害对象

滑坡紧邻隆务镇居民屋,受当地居民开挖坡脚影响较严重,紧邻边坡陡坎建有隆务镇居民屋。据调查,11#滑坡坡脚的威胁户数为 52 户,威胁人口约 256 人,威胁财产损失约为 2 600 万元,威胁范围自坡脚至金热贡佳苑小区处。

3 滑坡破坏机理分析

该滑坡的变形为岩石切层滑动变形,因西山滑坡滑体物质为后期风化、残坡积物质,其结构松散,空隙大,透水性较强,强度较低,而下部滑床岩体则结构紧密,透水性较差,强度较高,其接触面向谷底倾陡,基本与斜坡面倾向一致。上下岩性结构差异引起的岩土强度的差异是蠕变(滑)产生的决定性条件。水是滑坡的主要激发条件,大气降水加剧和控制了新滑坡蠕变(滑)的速度和强度。该区多年平均降水量多集中在 7、8 两月,占全年降水量的 45%,水的入渗,使滑体土容重急剧增加,同时由于入渗水运移时间长,大容重的土体保持时间较长,对新滑坡的产生有一定的时间效应。另外,由于枯、雨季的变化,导致浅部土体呈疏干和充水交替的恶性循环中,其变化过程中形成许多裂缝,又为水的渗入提供了良好的通道,入渗水对岩、土体及结构面的泥化、软化作用明显,促使其强度大大降低。而且,由于滑体土相对渗水强烈,滑床岩体相对阻水的岩性结构特征,在雨季雨量集中,而坡面排水不畅时,有可能造成滑带范围恶性充水,导致滑带土强度急剧下降。因此,裂缝的扩张、蠕变的发生,受降雨强度、过程控制明显。人类经济工程活动急剧加大,忽视了地质环境的保护,对滑坡的滑动起到了推波助澜的作用,据了解,20 世纪 90 年代初该滑坡群坡脚已被开挖,

且滑坡前缘原为地区砖瓦厂,切削边坡取土烧砖的活动非常大,目前坡脚居民对 12#滑坡前缘坡脚的开挖仍时有发生,人为削切边坡导致了坡体应力状态及临空条件改变。

综上所述,水和人类经济工程活动的作用,在与坡体特殊的内在因素的相互配合下,促使了滑坡的发生。

4 滑坡稳定性评价

4.1 滑坡稳定性计算模型

根据现场地面调查结合前述分析,西山滑坡的滑动破坏模式为岩质折线面破坏,故计算模型采用传递系数法(折线型滑动面)进行计算^[7](图 5)。

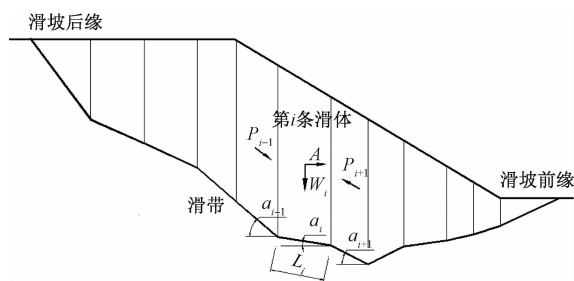


图 5 传递系数法(折线型滑动面)计算模型

Fig. 5 The calculation model of transfer coefficient method

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} ((W_i(\cos\alpha_i - A\sin\alpha_i))\tan\varphi_i + C_i L_i) \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} [(W_i(\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i)) \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j] + T_n} \quad (1)$$

$$R_n = W_n(\cos\alpha_n - A\sin\alpha_n)\tan\varphi_n + C_n L_n \quad (2)$$

$$T_n = W_n(\sin\alpha_n + A\cos\alpha_n) \quad (3)$$

$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_i \psi_{i+1} \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1} \quad (4)$$

$$\psi_j = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1})\tan\varphi_{i+1} \quad (5)$$

式中: W_i ——第 i 条块重量/(kN/m);

C_i ——第 i 条块滑面上粘聚力/kPa;

φ_i ——第 i 条块滑面上内摩擦角/(°);

L_i ——第 i 条块滑面长度/m;

α_i ——第 i 条块滑面倾角/(°),岩土体反倾时取负值;

A ——地震加速度(重力加速度 g);

F_s ——稳定系数;

ψ_i ——第 i 条块的剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块段时的传递系数($j=i$)。

4.2 滑坡抗剪强度的选取

根据滑带土室内试验报告,滑带土的天然状态下

粘聚力 C 值为 21 ~ 24 kPa, 平均值 22 kPa, Φ 值为 27.3° ~ 30.2°, 平均值 28.97°; 饱和状态下粘聚力 C 值为 20 ~ 22 kPa, 平均值 21 kPa, Φ 值为 26.3° ~ 30.6°, 平均值 28.7°。

组成滑带土的物质成分为粉质粘土, 由于受试件及试验条件的限制, 采取的滑带土试验样其抗剪强度试验结果离散性大, 变异性高, 但其抗剪强度值与含水量有一定的相关性, 随着含水量的增大, 粘聚力和内摩擦角都有逐渐减小的趋势。故通过反演计算来进一步确定滑坡的抗剪强度参数, 反演分析根据滑坡的宏观变形状况假设滑坡的稳定性系数 F , 再反算滑带土的内摩擦角, 通过观察试验结果, 得出内摩擦角 φ 对滑坡的稳定性较敏感, 故假定其为未知参数, 给定粘聚力 C , 来反求内摩擦角 φ ^[3-6], F 为稳定系数, 根据野外地质调查结果, 在自重工况下具体取值为: XI 号滑坡 $F = 1.01$; 在暴雨工况下具体取值为: XI 号滑坡 $F = 0.99$ 。

反演过程中对西山 XI 滑坡分别取其经过试验得到的抗剪强度 C 值, 将其带入上式中, 可得到内摩擦角 φ 值, 通过反复对比多种计算结果, 最终确定出滑坡的稳定性计算参数(表 2)。

表 2 滑坡参数综合确定表

Table 2 Landslide-parameter determination table

天然重度/ (kN/m ³)	饱和重度/ (kN/m ³)	粘聚力 C /kPa		内摩擦角 φ /(°)	
		天然	饱和	天然	饱和
20.0	21.0	23.0	22.0	25.5	25.3

4.3 设计工况

工况 I: 自重

工况 III: 自重 + 暴雨(或连续降雨)

工况 IV: 自重 + 地震(地震动峰值加速度取 0.10 g)

滑坡防治工程级别的划分需根据受灾对象、受灾程度以及工程投资等因素综合划分。滑坡处在黄南藏族自治州州府隆务镇, 加之民族因素的影响, 其重要程度非同一般, 社会敏感性极强, 滑坡失稳对社会影响极大。根据初步统计, 滑坡影响范围内现有村民约 223 户居民, 人口约 1 108 人, 威胁的直接财产损失合计可达 1.13×10^8 元。故该滑坡防治工程级别为 I 级。工况 I、工况 III 及工况 IV 三种工况下其抗滑稳定安全系数为 1.25(自重)、1.10(暴雨)及 1.05(地震)。

4.4 计算结果

11#滑坡在工况 I 自重工况下处于“欠稳定”状态, 定量计算稳定系数接近于欠稳定与不稳定的临界状态, 与勘查定性分析结论一致, 勘查期间在天然状态下已经处于蠕动变形与滑动破坏的临界状态, 而在工

况Ⅲ自重 + 持续暴雨工况下处于“不稳定”状态,在工况Ⅳ地震工况下处于“不稳定”状态(表 3)。

表 3 滑坡计算结果

Table 3 Calculation results of Landslide				
工况	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	稳定系数 k_f	稳定程度
I	23.0	25.5	1.008	欠稳定
Ⅲ	22.0	25.3	0.982	不稳定
Ⅳ	23.0	25.5	0.957	不稳定

5 防治方案措施

(1) 削方减载工程

为了提高滑坡整体稳定性,根据滑坡的地形特征和变形特征,对滑坡地形较陡位置实施削方减载工程。削方卸载主要在各滑坡体上部进行,共设置 6 级削方边坡。削方边坡高度每级 10 m,边坡坡度 1:1,各级边坡间设置宽 2~5 m 平台(表 4)。

表 4 削方前后稳定性对比表

Table 4 The table of stability comparison about whether cutting slope				
工况	削方减载前		削方减载(坡脚反压)后	
	稳定系数	剩余下滑力/(kN/m)	稳定系数	剩余下滑力/(kN/m)
I	1.008	2 995.74	1.054	2 320.75
Ⅲ	0.982	1 540.32	1.061	464.91
Ⅳ	0.957	1 196.17	1.044	71.84

(2) 锚杆格构梁和植被种植

在滑坡中部采用格构梁进行坡面防护,共设置 2 级锚杆框架护坡,8 排锚杆,间距 3.5 m,每根锚杆长 8 m,格构采用钢筋混凝土结构,梁截面 0.3 m × 0.3 m。做好格构梁和锚索后在格构中间种植植被,美化环境同时也达到护坡的效果。

(3) 抗滑桩支挡工程

滑坡虽采取削方卸载和格构梁和锚索结构,但滑坡仍不能满足规范要求的设防标准,有较大的剩余下滑力,需进行抗滑支挡。故削方卸载后在滑坡前沿设置一排 3.5 m × 2.5 m 的抗滑桩,桩间距 6 m,桩长 20 m,锚固段 8 m,共 10 根。并在前沿进行反压,反压土方 3 600 m³。

(4) 地表截排水工程

坡体后部设置 60 cm × 60 cm 截水沟,总长 130 m,采用 M10 浆砌片石砌筑,砌筑厚度 30 cm,在坡体两侧设急流槽,总长 400 m,用 M10 浆砌片石砌筑。

6 结语

(1) 青海隆务镇西山滑坡是典型的岩质切层滑

坡,地层岩性、降雨及人类工程活动等多种影响因素综合诱发了其变形破坏特征。

(2) 该滑坡治理工程竣工以来,滑坡体未见新发展,且通过对支挡结构检测,变形基本稳定,说明对该滑坡破坏机理的分析而采取的削方减载工程 + 锚杆格构梁和植被种植 + 抗滑桩支挡工程 + 地表截、排水工程的综合治理方案是可行的、合理的。

(3) 通过对隆务镇西山滑坡的成功治理,为青海地区岩质切层滑坡的防治工作积累了经验。

参考文献:

[1] 徐旭. 切层岩质滑坡稳定性评价及其治理方案研究[M]. 西安:长安大学,2008:1-3.
XU Xu. Study on stability evaluation and control scheme of cut rock mass landslide [M]. Xi 'an: Changan University, 2008:1-3.

[2] 柏永岩, 聂德新. 茨菇滑坡滑带土扰动样强度参数取值分析及滑坡稳定性评价[J]. 工程地质学报, 2009,17(4):496-502.
BO Yongyan, NIE Dexin. Analysis of strength parameters of landslide and stability evaluation of Cigu landslide [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(4):496-502.

[3] 李治广, 董昕, 马健. 反演法与室内实验法确定岩质边坡结构面抗剪强度对比研究—以西伯坡纪念馆不稳定斜坡为例[J]. 工程地质学报, 2009, 17(4):569-605.
LI Zhiguang, DONG Xi, MA Jian. Comparative study on determining the shear strength of structural slope with inversion method and indoor experiment method-a case study of unstable slope in Xibo memorial hall [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(4): 569-605.

[4] 胡启军. 长达顺层边坡渐进失稳机理及首段滑移长度确定的研究[D]. 西南交通大学博士论文, 2008.
HU Qijun. study on asymptotic vortex stabilization mechanism and determination of the first slip length of bedding slope [D]. 2008.

[5] Hoek E, Rock slope engineering [M]. London: Inst. Min and Metall, 1997.

[6] Goodman R. E. Introduction to rock mechanics [M]. New York: John Wiley and Metall, 1997.

[7] 徐邦栋. 滑坡分析与防治[M]. 北京:中国铁道出版社, 2001.
XU Bangdong. Analysis and prevention of landslide [M]. Bei Jing: China Railway Press, 2001.