

和平沟滑坡风险性评价

赵其华^{1,2}, 彭社琴¹, 孙钧²

(1. 成都理工大学工程地质研究所, 四川, 成都 610059; 2. 同济大学岩土工程研究所, 上海 200092)

摘 要: 本文从工程可靠性出发, 对和平沟滑坡可能的失稳规模、方式及其危害性进行了深入分析。初步估算出该滑坡的危险性(风险)概率, 否定了该滑坡治理的必要性, 从而为国家节约了可观的建设资金。这一分析思路对其他工程有一定的借鉴意义。

关键词: 滑坡; 稳定性分析; 风险分析

中图分类号: P462.22

文献标识码: A

1 前言

滑坡是最常见的地质灾害类别之一。在我国进行西部大开发及大规模基础设施建设的今天, 它与人类工程活动的相互关系日益密切。人类工程活动不慎, 可以引发或诱发地质灾害, 从而造成经济上、政治上、社会上、乃至人民生命财产上的损失。而地质灾害的客观存在或再活动, 对工程活动有一定的制约作用。比如, 它可以影响工程活动的选线选址、影响设计方案选择、增加投资等。对滑坡这类地质灾害, 一般的处理方式有避让和治理两类措施。而对滑坡的认识和评价是处理方案抉择的基础。作者曾对西南西北很多大型水电站库岸边坡、西部诸多高等级公路沿线滑坡进行过评价和治理方案论证工作。深刻认识到, 在这一过程中所需系统的专业知识和科学的工作态度缺一不可。

本文以和平沟滑坡为例, 从滑坡的地质环境、活动特征、结构因素以及滑坡体与工程的关系等方面, 结合破坏概率评价、风险分析, 开展了较为详细地论证, 否决了已列入治理工程投资预算的和平沟滑坡治理的必要性。该结论已为业主单位采纳, 从而为国家节约直接建设资金 800 万元以上。实例分析表明, 对边坡类地质灾害的处置, 除了基本的工程地质条件研究、评价外, 从工程角度, 引进可靠性分析、风险分析思路的必要性及可靠性。

2 和平沟滑坡概况

和平沟滑坡位于川藏公路二郎山隧道西出口左侧, 和平沟左岸。地貌上呈近东西向弧形凹地。凹地内覆盖层前缘和平沟高程 2 145 m~2 165 m, 后缘高程 2 320 m, 高差达 155 m 左右。覆盖层前缘宽约 150m, 中上部宽约 90m~100m, 长度达 250m 左右, 估计方量 $32.4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其中浅层滑塌体总方量约 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

纵方向上可见两级平台和一个缓坡地带(图 1), 其中 I 级平台高程 2 180m 左右, II 级平台高程 2 255m, 缓坡带前沿高程为 2 260m。平台坡度 $5^\circ \sim 15^\circ$, 平台前缘斜坡坡度 $30^\circ \sim 40^\circ$, 斜坡平均坡度 26° 左右。I、II 级平台前缘及上部缓坡带前缘可见多处新近发生的小型浅层滑塌体。

滑坡区内上部发育灌木植被, 下部植被已遭破坏。I 级平台上曾住有二郎山公路隧道施工队, 建有工棚及空压机房。

堆积物成因较复杂。主要可见崩坡层、洪积层、泥石流堆积层和冲积层。而滑坡区基岩为泥盆系中统养马坝组灰岩与炭质泥岩互层。

3 滑坡规模及稳定性分析

滑坡的发生发展是特定地质体与环境因素变化相协调的一种行为表现。和平沟滑坡目前的环境不与古环境相一致, 因而现阶段滑坡复活的规模与原滑坡一致的概率极小。实际中人们往往容易忽略

收稿日期: 2002-03-18。

基金项目: 本文研究内容获博士后基金资助(工程作用诱发边坡地质灾害的机理研究)。

作者简介: 赵其华(1965-), 男, 博士, 教授, 现为同济大学岩土工程研究所博士后, 主要从事岩土工程的勘察、设计, 以及各类地质灾害的
?1994-2020 分析评价、设计、治理等方面的科研、教学及生产工作。Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

这一点,即看到滑坡有变形迹象就认为滑坡便会发生,忽视了滑坡的现时变形破裂特征是收敛性,还是发散性,及活动规模的再认识。

3.1 滑坡的野外变形破裂迹象

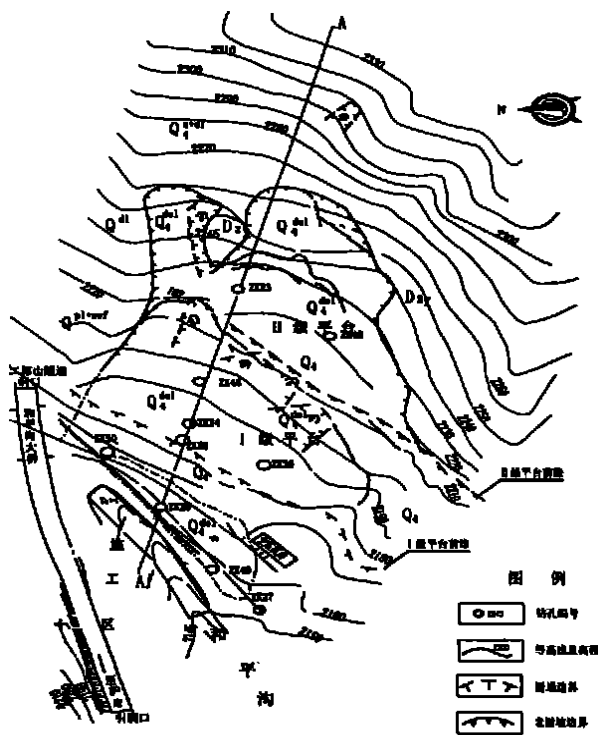


图 1 和平沟滑坡平面图

Fig. 1 Plan of He-ping-gou Land-slide

据野外调查,和平沟滑坡上部缓坡带至 I 级平台后缘可见多处新近发生的小型浅层滑塌,新近拉张裂

缝极为发育;横向上,弧形裂缝带的下错量以后缘弧顶最大,向两侧减小;滑坡侧向裂缝,在 2 265m~2 205m 高程段最为明显,II 级平台及其以下部位未见明显的变形迹象;II 级平台后缘至上部缓坡带前缘发育圈椅的陡坎地貌,说明堆积体曾经发生过滑塌下错。据陡坎高度,估计下错量达 1m 左右。另外,I 级平台前缘至便道挡墙的斜坡带,发育有小规模滑塌体引起局部挡墙倾倒变形和破裂(见图 1)。

从上述和平沟滑坡的野外变形破裂迹象可以看出,现阶段和平沟滑坡主要表现为浅层局部滑塌,未有大规模深层连续滑动表象。

3.2 滑坡的深孔位移监测资料分析

在和平沟滑坡调查初期便开展了变形监测工作,除了坡面简易监测外,还在坡体中布置了测斜孔。从已获得的资料可以初步确定滑坡的变形情况。

(1) ZK25 号孔

该孔位于和平沟滑坡前缘中部(见图 1),孔深 36.77m,有效观测深度 30m。

从测试资料可以看出 1~5 月份位移不大,其中 X 方向(N39°W)位移变化仅为 10mm, Y 方向(S51°W)变幅稍大,为 25mm。进入 6 月份,该孔的 Y 方向几乎无位移变化,而 X 方向位移增加很快,尤其是从 10m 深到孔顶端位移增加了 65mm 之多,其中 5m 段以上合位移达 79.83mm(图 2)。合位移方向近正西方向。

以上情况表明,该孔位处无深层变形破坏迹象,主要表现为浅层滑塌。且随 6 月份降雨量增加有进一步发展的趋势,波及深度 5m~10m,尤其是 5m 以上部位。

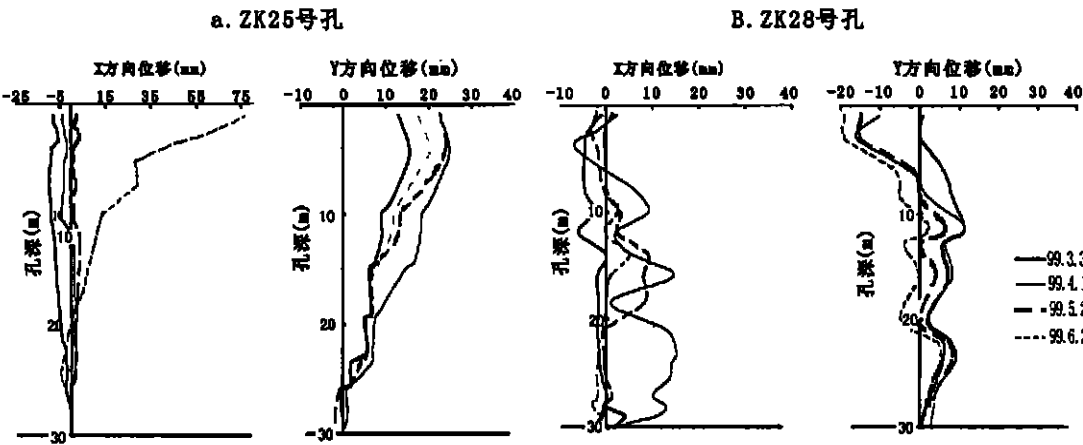


图 2 钻孔监测资料成果图

Fig. 2 Diagram of monitoring result in borehole

(2)ZK28 号孔

该孔位于和平沟滑坡Ⅰ级平台前缘,孔深 30.9m,有效观测深度为 30m。自监测以来,X 方向(N78°W)位移变幅在 15mm 以内,Y 方象(S12°W)位移在 20mm 以内,且一直无显著累进变化,表明该处覆盖层基本处于稳定状态,无明显变形破裂迹象。

上述资料分析表明,和平沟滑坡当前主要表现为浅表层的分块式滑塌,它的形成主要与Ⅰ级平台前缘和后缘等处的开挖,Ⅱ级平台后部地表排水及丰富的地下水有关。无整体深层变形破坏迹象。

3.3 稳定性计算

滑坡的稳定性是滑坡危险性评价的基础,本文采用不平衡推力法,分浅层滑动和整体失稳两种情况进行计算,以期获得其稳定性系数及相应的破坏概率。

1. 浅层滑动

计算断面依据 A—A 工程地质纵剖面选定(图 3),滑动面的后缘设在上部缓坡拉裂带,前缘剪出口设在Ⅱ级平台前缘,计算参数取 $\gamma=19\text{KN/m}^3$, $C=$

10KPa , $\phi=21^\circ$ 。计算结果表明,现状稳定性系数 K 值为 1.0237,其破坏概率 P_f 为 0.19,说明计算块体已处于极限平衡状态,与现场观察到的变形迹象相吻合。暴雨情况下 $K=0.94$, $P_f=0.43$;一旦遇暴雨再加上强震,则 $K=0.78$, $P_f=0.99$,此时破坏概率接近 1。若失稳,其方式主要表现为分块解体式的滑塌,滑体将主要覆于Ⅰ级台面之上。它的破坏主要对Ⅰ级平台上的施工工棚造成危害。目前该处的工棚已遭废弃。

2. 深部整体滑动

前面分析得出和平沟滑坡在当前环境条件下,主要表现为浅层的覆盖层滑坡。但由于巨厚覆盖层的存在,为了对滑坡进行合理有效控制,评价有无深层滑动,以及发生大规模整体失稳的可能性亦十分必要。

深层滑动计算断面仍依据 A—A 工程地质纵剖面选定。后缘设在上部缓坡拉裂带,中上部沿基岩面,下部从覆盖层内部切过,前缘从沟底切出(最危险滑动面)。计算参数及结果见下表。

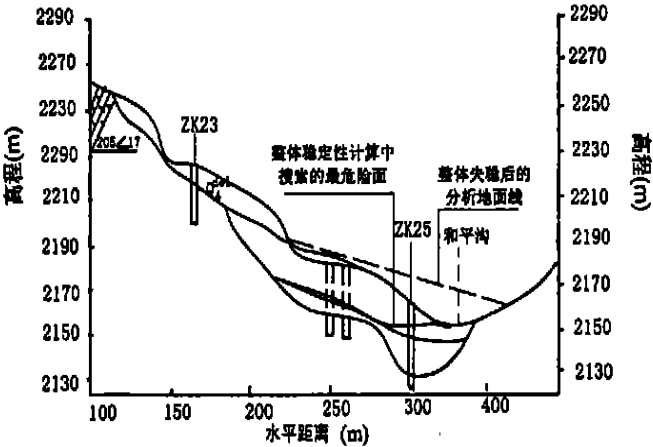


图 3 稳定性计算剖面

Fig. 3 Sectional drawing for slope stability computation

表 1 整体滑动计算参数及计算结果

Table 1 calculation parameter and result of land-slid failure from the deep plane

密度 (KN/m^3)	状态	基覆面		潜在滑动面		天然状态				特大暴雨状态			
		C (KPa)	ϕ ($^\circ$)	C (KPa)	ϕ ($^\circ$)	无大震		Ⅷ度地震		无大震		Ⅷ度地震	
						K	P_f	K	P_f	K	P_f	K	P_f
18.5	有水	15	21	25	24	1.213	0.0	1.041	0.165				
18.5	有水	5	18	10	21					1.032	0.19	0.784	0.99

计算结果表明①在天然状态下,堆积体整体处于稳定状态,而考虑Ⅷ度地震作用时,堆积体稳定性降低将接近临界状态。②在特大暴雨条件下,无地震作用时,堆积体处于极限平衡状态。③在特大暴雨条件下,考虑Ⅷ度地震联合作用,堆积体有沿深部出现整体破坏的可能。

4 滑坡的危险性分析

滑坡的危险性与滑坡本身的稳定性、可能的滑动规模、失稳破坏方式、波及范围及造成的危害等因素有关。如果滑坡失稳不会造成破坏或影响(对人类及工程而言),那么可以不管它。但如果具有造成一定危害和损失的可能性,则治理就非常必要。

4.1 滑坡的工程危险性分析

和平沟滑坡区涉及的工程有和平沟大桥,二郎山隧道西出口,川藏公路的二郎山隧道引道段(见图1)。从地形地貌上看,和平沟滑坡一旦发生,将堰塞和平沟,形成回水。若为高速滑坡,还有冲击对岸路基以及和平沟桥基的可能性。以下从几个方面进行分析。

(1)从滑坡区的地形地貌及堆积物的性质判定,和平沟滑坡一旦失稳,不会形成高速滑坡。原因有以下几个方面:

①潜在滑动带岩土性能相对软弱,没有高的储能条件;②可能滑动体的主体部分位能较小;③假设的深部破坏面下部倾角较小,可能的剪出口附近无陡坡、陡坎等有利于滑体加速的地貌形态;④无有利的运动空间。

(2)对于堰塞沟谷导致回水,若水位过高,将影响二郎山隧道西出口的安全畅通。对这一问题,采用堆填平衡法,经初步计算,回水最高水位为2175m,低于二郎山隧道出口10多米。

因此,和平沟滑坡即使出现整体失稳,也不会产生高速滑坡,破坏后的壅水高程低于隧道出口高程。不会对隧道及公路大桥构成有危害的威胁。

4.2 滑坡的环境危险性分析

和平沟为二郎山隧道西口主要水系,是区内频发的泥石流沟。下游10km左右处有一冷碛镇,人口约千余人。其余地段人烟稀少。河水年流量极不平衡。该水系往下汇入大渡河。和平沟从滑坡的前沿切过,滑坡前沿沟底高约为2415m,沟谷宽约10m~20m。二郎山隧道一出口便由和平沟大桥跨越该沟,亦即隧道口及和平沟大桥在此滑坡的右上侧(即

东北方向)约2185m高程处。而滑坡失稳的环境影响主要是堰塞,坝体溃决后对下游居民可能造成危害。分析沟谷形态,沟谷的落差在此段较大,即使堰塞沟谷,储水量亦不大(无库容条件),对下游的水毁较小。所以环境影响亦较小。

4.3 和平沟滑坡的危险性评价

滑坡危险性应该包含滑坡失稳与失稳后造成危害双层含义,即应该为滑坡失稳事件与滑坡造成危害事件的交集。从滑坡的稳定性分析可知,和平沟滑坡失稳方式可能包含了失稳机率较高的浅层局部滑塌和失稳机率较低的深层整体滑动两种方式。一般来讲局部浅层滑塌波及面较小,造成危害较轻;而整体失稳,则波及面较广,危害性较复杂。

假设:整体滑动事件为 E_1 ,整体滑动造成危害事件为 E_1' ,浅层滑动事件为 E_2 ,浅层滑动造成危害事件为 E_2' ,则滑坡的危险性概率

$$P = \text{MAX}[P(E_1 \cap E_1'), P(E_2 \cap E_2')]$$

上式中, P 为滑坡的危险性概率; E_1' 及 E_2' 为事件的发生概率。

(1)关于 E_1' 及 E_2' 事件的发生概率

滑坡造成的危害是一个较复杂的综合指标。一般应该包含滑坡失稳波及区的人口状况、建(构)筑物分布状况、资源环境状况等。而人口因素中又包含人口密度及现时人口活动频繁程度。资源环境状况则包括影响区域中的耕地资源、旅游资源、交通资源、文物资源等等。在每一个单因素的概率分布未知的情况下,要想获得在 E_1, E_2 发生条件下滑坡的危害性概率几乎是不可能的。为此,本文避开了纷繁复杂的概率理论推导,应用滑坡危险性分析结论来考虑 E_1' 及 E_2' 事件的概率取值问题。

前述分析得出,整体滑动事件涉及到人、工程、及环境等方面的危害。但结论是每个方面的可能危害均较小,即可认为小概率事件(通常认为发生概率一般小5%)。浅层滑动造成的危害均较小,危害较单一。因此亦可认为其发生的机率更小。考虑一定的安全度,则 E_1', E_2' 发生的概率取如下值:

$$P_{m1} = P(E_1' | E_1) = 0.2$$

$$P_{m2} = P(E_2' | E_2) = 0.1$$

(2)关于荷载效应组合

滑坡稳定性分析中考虑了三种荷载作用情况,其一为天然状态;二为暴雨情况;三为暴雨加上Ⅷ度地震。从工程角度讲,考虑地震效应组合(小概率事

件), 工程的可靠度会有所提高, 但由此而产生的投资代价过大。而暴雨发生却较为频繁, 再加上水对滑坡的稳定性至关重要, 因此本文考虑暴雨情况下的荷载效应。

(3) 滑坡危险性概率

在暴雨情况下, 整体滑动的破坏概率 $P_f = 0.21$; 浅层滑动的破坏概率 $P_f = 0.43$, 因此滑坡危险性概率估算为

$$\begin{aligned} P &= \text{MAX}[P(E_1 \cap E_1'), P(E_2 \cap E_2')] \\ &= \text{MAX}(0.21 \times 0.2, 0.43 \times 0.1) \\ &= 0.043 \end{aligned}$$

对于一般工程, 置信度达 95% 即认为有保证。因此, 和平沟滑坡在当时环境条件下无治理的必要。

5 结语

本文在滑坡治理工程的勘察评价中, 打破了传统的评价方式, 渗入了工程可靠度思想, 将治理工程

的必要性由滑坡体本身的稳定性及失稳后可能造成的危害性两个方面来确定, 虽在危害性事件概率的取值上有主观因素, 但不失为一条探索途径。获得了危险性概率的量化指标。得出了和平沟滑坡在当时环境及工程背景下无治理必要这一重要结论。以此为依据, 当时已列入投资预算, 准备与其它地质灾害一同治理的和平沟滑坡的治理工程被取消。二郎山公路隧道运行已三年时间, 未进行整治的和平沟滑坡没有进一步破坏或整体失稳的迹象(结合监测资料)。工程实践进一步验证了本文分析结论的可靠性。

参考文献:

- [1] 赵其华, 王兰生. 坡地质工程理论与实践[M]. 成都: 四川大学出版社, 2001.
- [2] 吴世伟. 结构可靠度分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
- [3] 张俤元, 王十天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

Risk Analysis of He-Ping-Gou Land Slide

ZHAO Qi-hua¹, PENG She-qin¹, SUN Jun²

(1. Institute of engineering geology, Chengdu university of technology, Sichuan, Chengdu, 610059 China;

2. Institute of geotechnical engineering, Tongji University, Shanghai, 200092 China)

Abstract: In order to estimate the treatment engineering of He-Ping-Gou landslide, the risk of the landslide was studied in this paper. By site investigation, ground crack inspecting and monitoring the landslide deformation in drill, the instability scale, the failure pattern and the likely damage it might caused while sliding was deeply analysed. Abide by the thought of engineering reliability, we figure out the dangerous probability roughly, and reach the conclusion of unnecessary treatment for He-Ping-Gou landslide. This saved a quantity of building fund for our country. Above all, the analysis clue of this paper was useful for other geological hazard preservation reference.

Key words: landslide; stability analysis; risk analysis