

文章编号: 1009-6248(2003)04-0084-06

二郎山和平沟滑坡成因分析及稳定性评价

张志龙, 李天斌, 赵其华

(成都理工大学工程地质研究所, 四川成都 610059)

摘要: 在对二郎山和平沟滑坡的地质地貌条件及变形迹象调查的基础上, 结合滑坡位移监测资料分析, 研究了滑坡的成因并对其稳定性进行了评价和预测。

关键词: 二郎山和平沟滑坡; 位移监测; 成因; 稳定性评价

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

和平沟滑坡位于川藏公路二郎山隧道西口南侧和平沟左岸, 为一覆盖层滑坡。隧道西口引道公路的和平沟大桥经和平沟上通过, 距和平沟滑坡前缘较近, 因此, 和平沟滑坡可能对国家“九五”重点工程——川藏公路二郎山隧道的顺利通车产生影响, 引起了有关部门的高度重视。

该滑坡在山区公路建设中有一定的代表性, 在四川省交通厅的关注和支持下, 现已完成了对该滑坡的系统勘查工作。在此基础上, 笔者讨论滑坡的成因, 并对其稳定性以及对隧道和平沟大桥的影响进行评价。

1 滑坡的地质环境条件

和平沟滑坡位于二郎山西坡, 大渡河支流和平沟左岸。滑坡所在区处于四川盆地中亚热带季风湿润气候与青藏高原大陆性干冷气候区的交接地带, 全年早、季节分明, 雨季常产生山洪和泥石流, 冬季经常积雪、结冰。

滑坡所在区在地貌上位于四川盆地向青藏高原过渡的盆地边缘山区分水岭地带, 隶属于龙门山深切切割高山区。大渡河的支沟——和平沟从滑坡的前缘通过^[1]。

滑坡所在区构造上位于龙门山北东向断裂、鲜水河北西向构造带和川滇南北向构造带等三大构造带所组成的“Y”型构造交汇地带的NE侧, 和平沟滑坡位于二郎山断裂带东侧, 该断裂为龙门山断裂的南西向伸长部分, 为控制性的主干断裂。

滑坡区堆积层较复杂, 主要由泥石流堆积层、洪积层、坡积物、崩坡积层等组成。基岩主要为泥盆系中统养马坝组(D_{2y})的灰岩与碳质泥岩互层。岩层为倾向坡内的单斜构造。产状为175°~200°∠20°~25°; 岩体内断层不发育, 可见330°∠65°~70°和65°∠75°两组节理(图1)。

滑坡区位于次稳定和中等稳定分区, 区内主干断裂——二郎山断裂目前无明显的活动性。滑坡区处于NW向构造应力场, 为六级地震危险区, 地震烈度为Ⅵ度。

2 滑坡的基本特征

2.1 外貌特征

和平沟滑坡在地貌上呈近东西向圆弧形凹地, 凹地内覆盖层前缘高程2145~2165 m, 后缘高程2320 m。覆盖层前缘宽约150 m, 中上部宽约90~100 m, 长度达260 m左右。

收稿日期: 2003-03-17; 修回日期: 2003-05-07

作者简介: 张志龙(1977-), 男, 硕士研究生, 地质工程专业。

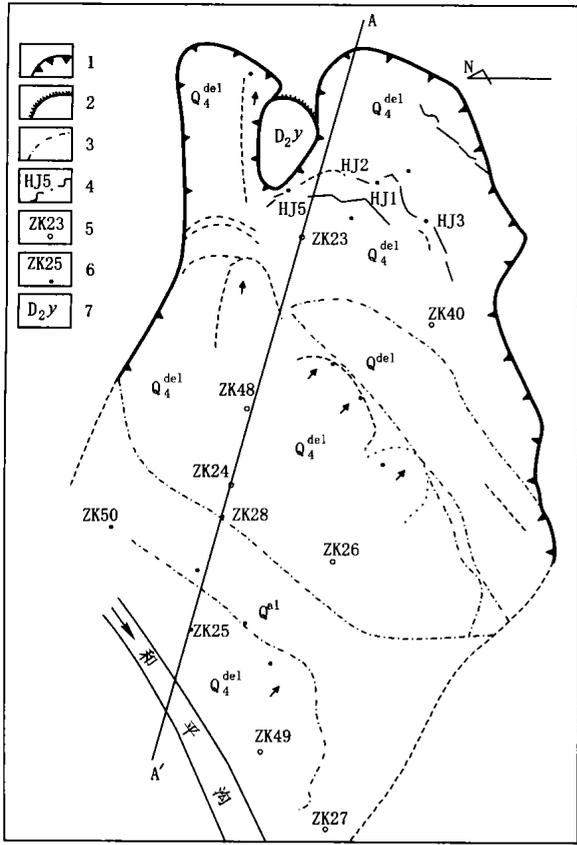


图 1 和平沟滑坡工程地质平面示意图

Fig. 1 The diagram showing the engineering geology of Hepinggou landslide

- 1. 滑坡边界; 2. 基覆界线; 3. 第四系内部分区界线; 4. 监测点及编号; 5. 一般钻孔及编号; 6. 测斜孔及编号; 7. 地层代号

在剖面上 (图 2), 斜坡平均坡度约 26°; 覆盖层体积约 32.4 万 m³, 其中浅层滑塌体总方量约 6 万 m³。可见两级平台和一级缓坡带。其中 II 级平台高程约 2 180 m; I 级平台高程约 2 230 m; 缓坡带前缘高程约 2 250 m。平台坡度 5°~15°; 平台前缘斜坡坡度 30°~40°。

I 级平台前缘及缓坡带前缘多处可见新近发生的小型表部滑塌。II 级平台后缘已被局部开挖, 前缘 (高程 2 150~2 165 m) 因修筑施工便道而被开挖, 并筑有片石挡墙。

2.2 结构特征

(1) 覆盖层分区特征明显。缓坡带前缘 (高程约 2 250 m) 之上为崩坡积层, 厚度约 5 m; 缓坡带下至 II 级平台后缘主要为坡积层, 厚度 5~8 m; I 级平台、II 级平台至和平沟沟地为洪积和泥石流堆积层, 厚度约 30 m。

(2) 勘察资料显示, 覆盖层下厚上薄, 下部近和平沟处厚度达 30 m, 平均厚度达 20 m, 而缓坡带后缘滑坡中心轴偏北存在一基岩脊。

(3) 勘探揭示, II 级平台洪积层和泥石流堆积层略具成层性, 层理近水平, 中间夹透镜体状细砂层; 滑塌前缘堆积体具明显的成层性, 层理近水平, 中间夹多层细砂土及淤泥质土透镜体。

(4) 除缓坡带中见到明显的滑面外, 多数钻孔内未见明显的滑面特征, 说明除表层发育的滑塌体外, 覆盖层内尚未有贯通性的深部滑面存在。

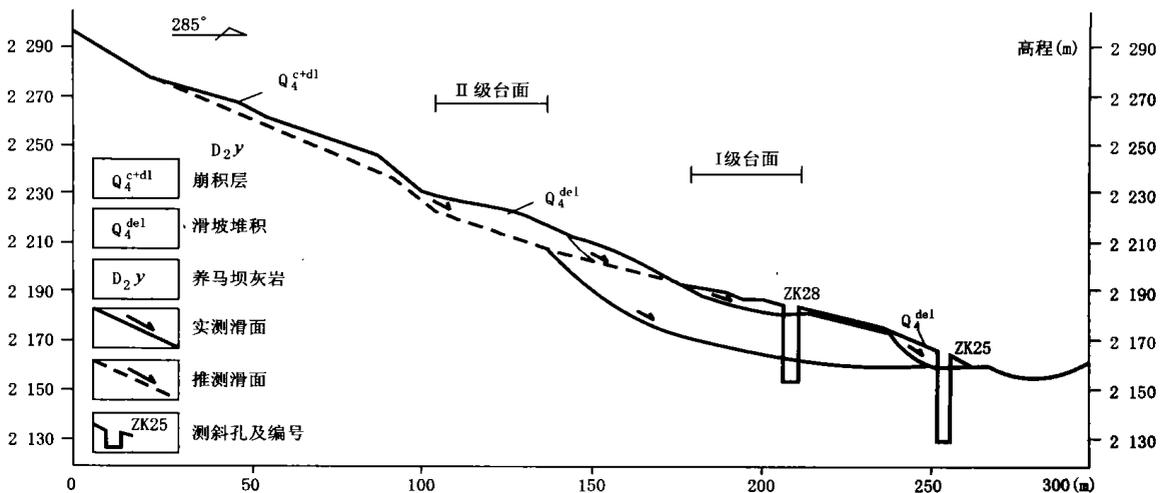


图 2 滑坡工程地质剖面图

Fig. 2 The engineering geology sectional drawing of the landslide

2.3 变形破裂特征

(1) 缓坡带至一级平台后缘见多处新近发生的小型表部滑塌, 并可见非常发育的新近拉张裂缝。裂缝以基岩脊为界呈圆弧形带状分布, 大致可分为3个带, 分别位于: 一级平台前缘(高程2 210~2 115 m)、一级平台后缘斜坡(高程2 235~2 245 m)、缓坡带(高程2 250~2 265 m)。

(2) 基岩脊南2 265 m 高程附近的裂缝呈圆弧形陡坎, 显示曾经下错的特征, 新近又发生拉裂下错现象, 下错距离5~10 cm。2 240~2 245 m 高程段的裂缝下错量较大, 最大可达1.5~1.8 m。由此可见裂缝下去活动量有向上减少的趋势。

(3) 横向上, 弧形裂缝带的下错量以后缘弧顶最大, 向两侧逐渐变小。

(4) 滑坡侧向裂缝在2 265~2 275 m 高程段较为明显。一级平台以下覆盖层结构保存较好, 无明显错动特征。

(5) 南侧缘2 240 m 高程及基岩脊下侧多处可见明显的新近滑移面, 滑移面产状 $300^{\circ} 50' \sim 55'$; 滑面上发育清晰的长大擦痕, 倾伏向 295° 。弧形裂缝空间展布及擦痕显示, 滑坡的滑动方向为 295° 左右。

(6) 一级平台后缘至缓坡带前缘发育圆弧状的陡坎地貌, 说明滑坡曾经发生过滑塌下错。

3 滑坡监测

根据和平沟滑坡的特征和地表裂缝的发育情况, 于1998年底, 在滑坡中上部圆弧形裂缝处布置简易相对位移监测点6个。1999年1月, 沿剖面(图2)布置了ZK28、ZK25两个测斜孔。1999年6月, 又在滑坡的东侧缘布置了ZK50测斜孔。滑坡监测点(孔)的具体布置如图1所示。

3.1 地表相对位移监测资料分析

和平沟滑坡地表裂缝相对位移监测资料(表1)显示, 1999年3月底位移达到第一个相对峰值, 平均变化速率约为0.25~0.4 mm/d, 然后位移速率减小。自6月中、下旬起位移又开始增大, 变化速率也增大。可以看出, 1999年3月位移变化速率增大, 与冰雪融化(冻融作用)有关; 6月中、下旬至

10月底位移变化速率的增大与降雨量的增大及上部截水沟不合理排水有关。11月以后随降雨量的减小, 位移变化速率相对减小。这表明大气降水、冰雪融化及人工排水是影响地表裂缝位移变化的主要原因^①。

表1 和平沟滑坡地表裂缝相对位移监测结果

Tab. 1 Displacement characteristics of Hepinggou landslide surface at the monitoring points

测点编号	裂缝走向	监测日期	测点相对位移及变化速率	
			位移(mm)	速率(mm/d)
HJ1	N23 E	1998. 12. 18 ~ 1999. 3. 28	38.0	0.38
		1999. 3. 28 ~ 1999. 6. 6	-27.0	-0.39
		1999. 6. 6 ~ 1999. 10. 31	153.0	1.04
		1999. 10. 31 ~ 2000. 3. 3	3.0	0.02
HJ2	N201 E	1998. 12. 18 ~ 1999. 4. 13	37.0	0.32
		1999. 4. 13 ~ 1999. 5. 1	-22.0	1.22
		1999. 5. 11 ~ 1999. 7. 15	16.0	0.21
		1999. 7. 15 ~ 1999. 10. 31	354.0	3.28
		1999. 10. 31 ~ 2000. 3. 3	15.0	0.12
HJ3	N24 E	1998. 12. 18 ~ 1999. 4. 2	23.0	0.22
		1999. 4. 2 ~ 1999. 5. 23	-8.0	-0.16
		1999. 5. 23 ~ 1999. 10. 31	93.0	0.58
		1999. 10. 31 ~ 2000. 3. 3	5.0	0.04
HJ5	N20 E	1998. 12. 26 ~ 1999. 3. 8	6.0	0.08
		1999. 3. 8 ~ 1999. 4. 2	18.0	0.72
		1999. 4. 21 ~ 1999. 6. 6	-14.0	-0.22
		1999. 6. 6 ~ 1999. 10. 31	160	1.09
		1999. 10. 31 ~ 2000. 3. 3	5.0	0.04

3.2 钻孔测斜资料分析

和平沟滑坡3个监测孔(ZK25、ZK28、ZK50)位移总体变化规律比较一致, 即X、Y方向在监测初期位移都不明显, 而监测后期位移主要沿X方向(NW)发展。

现以ZK28测斜孔为例, 分析滑坡深部位移变化情况。该孔位于滑坡体一级平台, 1999年2月至6月, X、Y方向均未出现大的位移, 坡体处于相对稳定状态; 自7月份开始, 滑坡体出现滑动迹象; 8

① 靳晓光. 山区公路建设中的岩土工程监测与信息化控制. 成都理工学院博士学位论文, 2000.

月至9月, 18.5~21 m 深度段位移增大很快, 该段位移曲线几乎垂直于初始值轴线, 至9月底, 由于位移太大, 测斜管在19 m 处被剪断。该孔1999年2月至6月位移-深度曲线如图3所示。10月至12月, 19 m 以上孔段位移变化不大, 总体上又一次处于相对稳定期, 这与10月至12月降雨量的减少有直接关系。

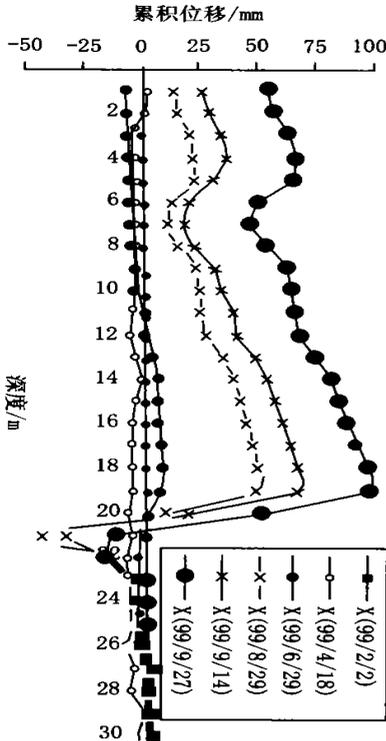


图3 ZK28 测斜孔累积位移-深度曲线

Fig.3 The relationship between cumulative displacement and depth of ZK28

4 滑坡成因分析

4.1 堆积体成因

滑坡区堆积体较复杂, 主要由泥石流堆积物、洪积物、坡积物和崩积物等组成。堆积体分区较明显: 缓坡带(高程2250 m 以上)为崩积物; 缓坡带以下至二级平台后缘主要为坡积物; 一级平台及其以下部位主要为泥石流堆积物和洪积物。

4.2 表部滑塌成因

通过对和平沟滑坡的工程地质环境条件、基本特征及监测资料的分析, 和平沟滑坡目前主要表现为表部的覆盖层滑塌。表部滑塌主要是由于地表水

的下渗、冰雪融化、生活用水不合理排放及工程开挖等引起的。

4.3 前缘深层滑动的可能性及成因

级平台到滑坡前缘部分, 随着和平沟对滑坡前缘坡角的冲蚀及地表水的下渗, 有发生局部深层滑动的可能。ZK28 测斜孔于1999年9月因位移太大而在19 m 深处被剪断也证明了这一点。造成局部发生深层滑动的主要原因是和平沟对前缘坡角的冲蚀、地表水的下渗、生活用水的排放及工程开挖等。

4.4 影响因素

通过上述分析可知, 滑坡的形成主要与一级平台前缘和后缘等处的工程开挖, 二级平台中后部地表的排水及丰富的地下水、生活用水的不合理排放、和平沟对前缘坡脚的冲蚀等因素有关。

5 滑坡的稳定性评价及预测

5.1 定性分析

从和平沟滑坡的工程地质环境条件、滑坡的基本特征(包括滑坡的外貌特征、结构特征、变形破裂特征等)及监测资料等方面来分析, 该滑坡目前主要表现为浅表的覆盖层滑坡, 尚未形成统一的贯通性滑动面。目前在天然状态下, 滑坡尚处于极限平衡状态, 若遇暴雨或地震, 则有滑动的可能。

5.2 定量评价

在定量计算中, 取一级平台浅层滑动断面为计算剖面, 滑动后缘设在缓坡带的拉裂带, 前缘剪出口设在二级平台前缘与一级平台接合部。采用不平衡推力法计算, 参数取值为: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $C = 10 \text{ kPa}$, $\phi = 21^\circ$; 计算结果表明, 现状稳定性系数 K 值接近于1(1.0195), 其破坏概率为0.33, 说明已处于极限平衡状态, 与现场观察到的变露迹象相吻合。若遇暴雨或地震, 则有滑动的可能, 其破坏形式主要表现为分块解体式的滑塌^[2]。潜在剪切带在二级平台后缘。

根据沟谷覆盖层的形成演化, 一级平台覆盖层历史上曾受和平沟切割而临空, 故其有一定的稳定程度。但由于巨厚覆盖层的存在, 为评价有无深层滑动及大规模整体失稳的可能, 也对其做了稳定性计算。深层滑动计算断面后缘设在缓坡拉裂带, 沿基覆面从沟底切出。计算参数及结果见表2。

计算结果反映: ①在天然状态下, 堆积体处于基本稳定状态, 而考虑地震作用时, 堆积体的稳定

性降低, 将处于临界稳定状态; 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

表2 和平沟滑坡潜在深部滑动稳定性计算

Tab. 2 Calculation for stability of a potential deep slide in Hepinggou landslide

容重 (kN/m ³)	基覆面		潜在滑动面		天然状态稳定系数 (K)		特大暴雨状态稳定系数 (K)	
	C (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)	C (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)	无震	有震	无震	有震
无水 20	15	21	25	24	1.188 (0.0)	1.021 (0.275)		
有水 17	10	20	15	21			1.026 (0.26)	0.90 (0.99)

注: 表中圆括号内数据为破坏概率。

在特大暴雨条件下, 考虑地震作用, 堆积体有可能沿深部出现整体破坏失稳。

若堆积体沿深部破坏, 滑动面可能追踪细砂土、淤泥质土等相对软弱层发育, 但不会形成高速滑坡, 原因是: ①滑带土相对软弱, 没有很高的储能条件; ②可能滑动体的主体部分位能较小; ③假设的深部滑动面倾角较小, 假定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。

5.3 成灾可能性预测

若滑坡的剪切带在二级平台后缘, 滑体将主要覆于二级平台之上, 它的破坏主要对二级平台上的施工作业棚造成危害。

若产生深部滑坡, 将堰塞和平沟沟谷, 导致回水。经计算, 回水高程为2175m, 低于二郎山隧道出口高程, 故不会对隧道出口及和平沟大桥造成大的威胁。

6 结论及建议

(1) 和平沟滑坡目前主要表现为浅表层的分块解体式覆盖层滑坡, 由若干小的滑塌体组成。滑坡

形成主要与工程开挖、地下水及地表水的作用有关。地下水对滑坡稳定性极为敏感, 在地下水作用下, 稳定性明显降低, 可达极限平衡状态。

(2) 地质分析结合室内稳定性计算, 该滑坡在特定条件下(如地震、暴雨等)仍存在深层滑动的可能。经分析, 即使出现整体失稳, 也不会产生高速滑坡, 破坏后的涌水高程约2175m, 低于隧道出口高程, 不会对隧道出口及和平沟大桥构成大的威胁。

(3) 由于地下水对其整体稳定性极为敏感, 故建议对滑坡做: ①排水处理。包括地表排水及地下排水工程; ②加固滑坡前缘原有挡墙; ③加强深孔位移监测, 视监测资料决定对滑坡的进一步整治措施。

参考文献:

- [1] 沈军辉, 王兰生, 赵其华, 等. 二郎山榛子林滑坡形成演化机制及整治对策[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(2): 184-188.
- [2] 张俦元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

The cause and the stability evaluation of Hepinggou landslide in Erlang Mountain

ZHANG Zhi-long, LI Tian-bin, ZHAO Qi-hua

(Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Hepinggou landslide is located at west approach of the Erlang mountain highway tunnel. On the basis of investigating the geological-geomorphic condition and the deformation feature, and according to the analysis of displacement monitoring, the stability of the slide is evaluated and the cause of the slide is analyzed.

Key words: Hepinggou landslide; displacement monitoring; cause; evaluation of stability

“全国矿山环境保护研讨会”在西安召开

由国土资源部地质环境司、陕西国土资源厅、中国地质调查局水文地质环境地质部、西安地质矿产研究所和矿山环境保护专业委员会共同主办, 西安地质矿产研究所承办的“全国矿山环境保护研讨会”已于 2003 年 11 月 1 至 2 日在西安召开。

来自全国 25 个省(市、自治区)的 76 家单位 150 余名代表出席了会议, 68 篇论文入选“全国矿山环境保护学术研讨会论文集”——《西北地质》2003 年增刊。

会议期间, 国土资源部地质环境司姜建军司长、国土资源部规划司鞠建华副司长、陕西国土资源厅张德新厅长、中国地质调查局水环部武选民副主任、西安地质矿产研究所李向所长、中国科学院张国伟院士、中国工程院汤中立和刘广润院士、陕西省国土资源厅李冬玉副厅长和国土资源部地质环境司刘建伟副处长等分别做了重要讲话和发言。

共有 19 位代表做了精彩的大会发言。不同部门、不同专业的代表汇聚一堂, 时间虽然短暂紧凑, 但交流的气氛严肃而热烈, 有恢宏阔论, 又有精微切磋。高等院校和科研院所的代表, 从不同角度介绍了他们从事矿山地质环境调查研究的成果; 地质调查单位的代表, 相互交流了他们在地质环境调查工作中获取的第一手丰富的资料和阶段性成果; 通过矿山环境保护的具体实践, 矿山企业的代表为大家展示了矿山环境保护与治理方面鲜活的典型实例。如张梁研究员提出了矿山环境应由国土资源部统一管理的优势依据; 张进德高级工程师介绍了全国矿山地质环境调查信息库建设成果; 徐友宁高级工程师介绍了矿山环境地质问题分类系统、矿山地质环境评价系统和数据库等重要调查研究成果; 张振生高级工程师介绍了遥感技术在矿山地质调查中的优势; 黄敬军高级工程师提出了矿山废弃土地恢复、资源二次开发、生态保护及综合整治模式等。

与会代表一致认为: 要进一步加大矿山地质环境现状调查研究的力度, 为政府实施矿山环境保护立法、规划和恢复治理提供基础依据。面对众多国有老矿山和无主矿山严重的矿山环境问题的治理, 有赖于国家和地方政府投入足够的治理费用的同时, 建立矿山土地恢复治理市场机制, 多渠道筹措资金, 保护人居环境, 促进矿业可持续发展乃是当前矿山环境保护工作的重点。

(西安地质矿产研究所矿山环境项目组供稿)