

某高速公路边坡成因机制分析与稳定性评价

刘 杰, 赵 晓, 巨能攀, 邓 辉, 赵建军

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要:在山区修筑高等级公路不可避免地进行深挖高填, 会形成大量的高陡路基边坡或者路堤边坡。由于岩土体原有的地质环境平衡被打破, 客观上为这些边坡的坍塌、滑动等地质灾害创造了地质条件。工程实践表明, 在我国已修建的山区高等级公路中, 几乎是“无路不坍、无路不垮”, 特别是在雨季, 公路的坍方、滑坡更为普遍。所以如何正确认识山区公路边坡的地质条件、结构特点、形成机制和正确评价边坡的稳定性, 已成为我国山区高等级公路建设中的重大地质工程问题。以某高速公路的边坡为例, 详细阐述了采用“地质与工程”充分结合方法, 评价该边坡施工全过程的稳定性状况, 并以此为基础, 提出了有效的治理措施。监测结果表明, 治理工程实施后, 边坡的稳定性达到了高等级公路的设计要求。

关键词: 边坡; 滑坡; 稳定性分析; 极限平衡理论

中图分类号: P642. 22; U412. 366

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0088-03

The Mechanism Analysis and Stability Evaluation of an Expressway Landslide

LIU Jie, ZHAO Xiao, JUN Neng pan, DENG Hui, ZHAO Jian jun

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Constructing first-class highway in mountainous area inevitably to carry on deep cuts and high fills-in, which can form massive high steep roadbeds side slope or the slope of embankment. Because the gneiss original geology environment balance is broken, objectively created geological condition for collapse and slide. The project practice indicated that the constructed highway in our country in mountainous area is nearly “does not have the road without collapse, not to have the road without break down”, in the rainy season, the road soil slip, the landslide is specially more common. How therefore correctly knew the geological condition mountainous area road side slope, the unique feature, forming mechanism and the correct appraisal of side slope stability, has become the geological project question in our country mountainous area first-class highway construction. Take a highway side slope as an example, the combination method of “the gology and the project” is elaborated in detail, the entire process stability of this side slope is appraised, and based on this, the effective government measure is proposed. The result indicated, after the government project implementation, the side slope stability has met the first-class highway design requirements.

Key words: landslide; slope; stability analysis; balanced theory of limit

某高速公路大部分位于安徽的南部山区。A 边坡位于此高速公路主线与支线连接处, 处于黄山南大门的下游, 滑坡体积约 36 万 m^3 , 边坡一旦失稳, 将切断该高速公路, 堵塞坡脚逍遥河, 形成堰塞湖, 威胁上游数万居民的生命和财产安全, 将带来不可估量的经济损失和造成重大的社会影响。

1 工程地质环境

边坡所在区属于构造侵蚀中山区, 山势陡峭, 地形复杂, 植被发育。逍遥河沿线经过坡脚, 河谷深切呈“V”字形, 边坡自然坡度 30~35°。边坡两侧均发育有切割较深的冲沟, 坡体两侧临空。边坡覆盖层为第四系全新统残坡积碎石土 (Q_4^{el+dl}), 下伏基岩为震旦系休宁组 (Z_1X^1) 硅化粉砂岩, 基岩岩层产状为 N10~20°E/SE 50~53°。边坡所处区地质构造复杂, 断裂发育。地形起伏大, 山体陡峻, 有利于地表水

体的排泄, 粉砂岩近似隔水层, 不利于地下水入渗进入基岩裂隙中, 但是边坡岩体节理裂隙发育, 有利于地表水沿裂隙下渗, 同时裂隙也有利于地下水向河流排泄, 雨季坡体内部地下水极为发育, 钻孔时可见喷水现象。

2 滑坡基本特征

2.1 分布特征

边坡位于山脊中部, 两侧为切割较深的冲沟, 开挖面倾向 110°, 坡度 53°, 设计开挖宽度为 198 m, 高度 39 m。2004 年 9 月 26 日下午 17 时左右, AK3+729~AK3+832 段坡顶坡口线沿倾向路线方向发现一弧形裂缝, 裂缝宽度 10~45 cm, 可见深度 0.8 m, 后缘母体与滑体形成 15~20 cm 的陡坎。裂缝距坡口线平距约 62 m, 高差约 45 m, 裂缝最高位置位于 AK3+785, 高程 452.5 m。弧形裂缝 NE 翼延伸方向 30~40°, 延

伸长度 70 m,其 SE 翼裂缝延伸方向 155°,延伸长度 75 m,均消失于第四系碎石土中。平面上该变形呈喇叭状,后缘裂缝弧长 145 m,变形体宽度近 125 m,厚度近 18 m,主滑方向与开挖面基本近于垂直,方向 110~120°。(见图 1)

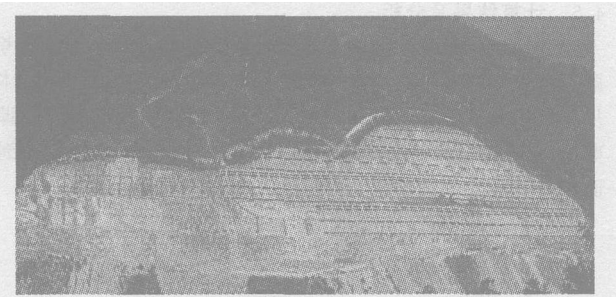


图 1 边坡及滑坡工程地质分布照片

2.2 结构特征

滑坡为一处于发展阶段的顺层岩质滑坡。边坡岩性主要为中厚层粉砂岩和泥质砂岩互层,层间局部加有厚度约 10~30 cm 的软弱夹层。据现场调查,边坡岩体结构较差,节理裂隙较发育,特别在坡体表层,由于表生改造的影响,多数层面张开且局部夹泥,工程性质较差。在小里程方向距沟口 24m 处可见弱风化砂岩,产状 N10~20°E/SE 50~60°,层间夹 10 cm 厚的灰绿色糜棱岩粉,沿层面有地下水渗出。又根据钻孔资料推测该组软弱结构面可能形成滑坡底滑面。

边坡节理裂隙密集,结构面相互切割岩体结构总体呈碎裂结构。根据现场的节理统计主要发育四组节理: N67°W/NE 74°, SN/E 48°, N4°W/SW 78°, N19°E/SE 86°。多为压扭性,局部为张性,裂隙宽 1~3 mm,个别宽度可达 10 mm,充填又岩屑、黏土、粉砂、铁等,闭合较好。其中 和 、 和 与坡面组合极易发生小的崩塌或小规模滑坡。

2.3 变形特征

由于坡体表面岩体破碎,呈碎裂-散体结构,坡体内部的变形将引起块碎石位置的内部调整,在坡面上表现为松弛松动,因此变形在坡面上表现的并不明显,但局部变形仍较明显。屯溪侧靠近沟口处开挖揭露岩体中可见表层岩体沿层面滑动,后缘产生 5~10 cm 的拉裂缝。变质砂岩层面(滑面)张开 3 cm,充填次生泥、岩屑,主要发育两组节理 SN/W 58°,沿该组节理发育一条软弱夹层; N70°E/SE 85°。它们将岩体切割成 20~30 cm 的块体,上部块体沿层面下滑,挤压 SN 向的软弱面产生变形,导致后缘形成 10 cm 的拉裂缝,但其下部岩体变形并不明显。

3 滑坡成因

影响该滑坡稳定性的主要原因有复杂的区域构造地质环境、坡体结构特征、强烈的构造地质活动、高强度的集中降雨以及人类工程活动。边坡坡面表层第四系残坡积层较厚,结构松散,孔隙度大,稳定性差。边坡处于汤口断裂及几个小断裂影响范围内,造成区域岩体产状变化较大,总体上为 NWW/NE 35~40°,坡体上岩层产状为 N10~20°E/SE 50~60°。边坡岩性主要为震旦系休宁组粉砂岩,砂岩从成分上为泥质砂岩和石英砂岩,在层间还局部夹有厚约 10~30 cm 的软弱夹层。该夹层同样是复杂构造运动的产物。在岩相和构造的共同作用下,该边坡的岩体结构较差,节理裂隙较发育,层面多张开夹泥。地层走向与开挖面成小角度

相交,倾角与开挖面大致相同。岩体节理裂隙密集,结构面相互切割岩体总体呈碎裂结构,局部呈散体结构。该边坡为中倾角顺向坡,且层间夹有软弱夹层,加之坡体岩体破碎,在坡体的中上部岩体沿软弱夹层发生顺层滑动,下部破碎的岩层强大的推动力下,泥质粉砂岩的工程特性进一步恶化,层状的石英砂岩在坡脚也发生了溃曲型折断,在这样的环境下坡体产生较大的变形,在后缘形成拉裂甚至滑坡。在有就是强降雨的影响,本区降雨丰富且集中,连续集中的降雨弱化了潜在滑动面的抗滑能力,增加了后缘的静水推力,大大降低了坡体的稳定性。还有就是人工活动对其的影响,切坡及爆破等都将破坏原有的坡体平衡,引起坡体内的应力重新调整,并为坡体的变形提供空间。

4 稳定性分析

4.1 计算参数选取

本次参数取值,以现场携剪为基础,在采用类比方式和反演综合进行取值。在前期的高边坡岩体物理力学特性研究中,在 A 边坡上共取样三组,每组 7 个试验,得到了饱水顺层面的强风化变质砂岩结构面的残余强度参数 C 值为 118.3 kPa, ϕ 值为 26.1°;块裂-碎裂岩的天然容重 22.25 kN/m³,饱水容重 22.85 kN/m³;崩坡积碎块石土天然重度为 20.5 kN/m³,饱水重度为 21.0 kN/m³。对坡体浅部已失稳的块体和局部滑塌体在降雨条件下反演结果当 ϕ 为 26°时, C 值为 20 kPa。

表 1 计算参数综合取值表

岩体类型	状态	滑体容重		滑带土强度
		C /KPa	ϕ /°	τ /(kN·m ⁻³)
软弱结构面	天然状态	62.5	28.5	
	饱和状态	50	26	
碎块石	天然状态	100	30	22.25
	饱和状态	80	28	22.85
崩坡积	天然状态	16	24	20.5
	饱和状态	14	22	21.0

该地区地震区划基本烈度为 Ⅵ 度,边坡稳定性评价时地震水平系数 K_e 取 0.05。

4.2 计算剖面

本次选用和坡体主滑方向基本一致的 AK3+799 工程地质剖面图,以钻探揭露和地表测绘的潜在滑动面为主,进行坡体整体稳定性;在一级和二级平台附近由于岩体较破碎,近似于均质体,其变形破坏受最大剪应力面控制,可以采用搜索的方式确定坡体浅部的潜在不稳定块体。

4.3 计算工况

根据坡体的环境条件,拟定如下三种计算工况:

天然状态 天然+暴雨(持续降雨) 天然+暴雨+地震

工况 Ⅰ:仅考虑边坡岩土体自重和已有其他荷载作用

工况 Ⅱ:勘察报告表明坡体岩体破碎透水性较强,坡体内没有统一的地下水位线

工况 Ⅲ:在工况 Ⅱ 的基础上,考虑地震的影响,地震系数取 0.05。

4.4 稳定性计算原理

边坡稳定性分析采用极限平衡分析法。极限平衡法的要点是:首先根据具体情况假定破坏面(滑面)形状,而不是按塑性理论计算得到;其次破坏面所围限的岩土体不需要满足塑性条件,仅需在滑动面上满足塑性条件即可(亦即把坡体当作刚体来处理),而不是象塑性理论那样要求坡体内部每一点均需满足塑性条件。对岩土体进行稳定性评价时,首先假设滑面,滑面可为各种形态;然后根据滑面确定极限抗力,再求得稳定系数。由于滑面是假设的,具有较大的不确定性,各个滑面所求得的安全系数可能会有较大差异,其最小值最接近于问题的解答,相应破坏面就是该坡最危险滑

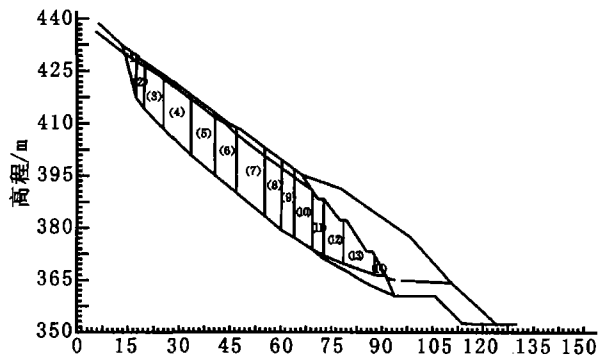


图 2 AK3+799-1 计算剖面

表 2 边坡稳定性计算结果表

滑坡名称	计算剖面	计算方法	工况	工况	工况
A K3 + 799 - 1		一般条分	1.165	1.004	0.918
		Bishop 法	1.175	1.011	0.925
		传递系数法	1.193	1.027	0.937
A 边坡	A K3 + 799 - 2	一般条分	1.126	0.989	0.906
		Bishop 法	1.134	0.98	0.901
		传递系数法	1.136	1.015	0.929
A K3 + 799 - 3		一般条分	0.903	0.813	/
		Bishop 法	0.921	0.824	/
		传递系数法	0.987	0.853	/

从计算结果表中可以看出,在天然状态(无雨状态)下,坡体的 1、2 两种滑动模式的稳定性系数达到了 1.1 以上,处于基本稳定状态,在降雨和地震的影响下的坡体的稳定性降低,其值在 1.0 附近,处于极限平衡状态。而 3 剖面主要体现坡体浅表部岩土体的稳定性,计算表明在天然状态下其稳定性均在 1.0 以下,其稳定较差。但是综合分析该边坡的工程地质条件和坡体、岩体结构特征可看出,坡体的局部失稳可以影响坡体的整体的稳定性,特别时在小桩号方向,局部的失稳相当于在相对抗滑段减载。其整体稳定性会有所降低。

在降雨条件下,坡体的稳定性较差,坡体总体上处于极限平衡状态。坡体的稳定性现状达不到高等级公路的基本

参考文献:

[1] 黄润秋.高边坡整体稳定性评价探讨[J].水文地质工程地质,1995,(6):1-5.
[2] 陈静曦,等.顺层滑移路堑边坡的分析和治理[J].岩石力学与工程学报,2002,21(1):48-51.
[3] 张倬元,等.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1981.

面。规范推荐和生产实际中常用的方法有一般条分法、简布(Janbu)法和不平衡推力法等。条分是这些方法的基础,一般而言,竖直条分和萨尔玛法条分是稳定性计算中常用的方法,竖直条分法尤为常用。

4.5 计算结果及分析

选用 A K3 + 799 为主要剖面,考虑到边坡实际状况,考虑三种可能性较大的失稳形式,分别为:A K3 + 799 - 1(坡体从已开挖的坡脚剪出)、A K3 + 799 - 2(坡体从一级平台坡脚剪出)和坡体浅表部局部失稳(A K3 + 799 - 3)三种计算剖面。计算成果分述如下。

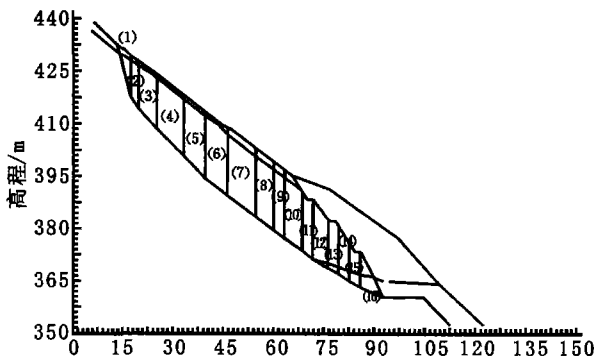


图 3 AK3+799-2 计算剖面

要求,必须进行治理。

5 结论及治理建议

综上计算及分析结果,对 A 边坡的稳定性可得出以下主要认识:

(1) A K3 + 799 - 1、A K3 + 799 - 2 计算模式(整体稳定性)下,计算得到坡体的整体稳定性系数达到了 1.1 以上,坡体处于基本稳定状态,在降雨和地震的影响下坡体的稳定性降低,其值在 1.0 附近,处于极限平衡状态。

(2) A K3 + 799 - 3 剖面主要评价坡体浅表部岩土体的稳定性,计算表明在天然状态下坡体的局部稳定性均在 1.0 以下,其稳定较差。

(3) A K3 + 799 - 1、A K3 + 799 - 2 稳定性评价表明 A K3 + 799 - 2 的稳定性稍小于 A K3 + 799 - 1,所以在进行设计计算时,以 A K3 + 799 - 2 为主。

综上,在无雨或者其他诱发因素的影响下,坡体的整体稳定性较好,其系数达到 1.1 以上。坡体局部稳定性较差,在无雨状态下,失稳的可能性较大。其计算结果和相一致。在暴雨或久雨的作用下,滑坡将发生整体变形,而再加上地震的作用,滑坡将会整体向下蠕滑。对 A 边坡进行治理的目的是提高该坡体的整体稳定性,同时控制坡体出现的局部失稳变形,以保证公路施工和长期运营的安全。结合坡体特征、变形规律以及推力特性,综合考虑各种工程措施的技术、经济、施工等诸方面的适宜性,建议以下综合治理方案:锚拉抗滑桩+预应力锚索+排水+坡面局部防护。