

文章编号: 0451-0712(2006)08-0012-05

中图分类号: P642.22

文献标识码: B

渝黔高速公路向家坡 滑坡成因及防治对策研究

石晋旭¹, 唐红梅¹, 李 明¹, 叶四桥¹, 祝 辉¹, 王昌贤²

(1. 重庆交通大学岩土工程研究所 重庆市 400074; 2. 重庆交通大学河海学院 重庆市 400074)

摘 要: 渝黔高速公路向家坡滑坡由不合理的开挖而诱发, 虽已治理, 但效果不明显。前排抗滑桩出现少量的回弹现象, 说明原抗滑桩并未完全失效, 但滑坡仍然在缓慢变形之中, 目前仍处于欠稳定状态。滑坡随时有继续滑动破坏的可能, 一旦失稳, 直接危及公路及立交桥正常营运, 可能造成不可估量的损失。在分析其成因机理的基础上, 提出了防治措施, 为公路滑坡的后续研究提供有价值的参考。

关键词: 公路滑坡; 成因机理; 稳定性分析; 防治对策

从我国的地形、地貌、地质、水文、气候条件可以看出, 我国的大部分地区, 尤其是山区存在大量滑坡等地质灾害的条件^[1]。当我们在这些地区进行公路建设时, 不可避免地会遇到大量的滑坡等地质灾害的危害。公路滑坡是山岭重丘区公路经常遇到的一种自然灾害, 滑坡一旦发生, 会给公路及其沿线设施造成严重损坏, 同时会给公路沿线居民、单位等造成诸多不便, 甚至造成生命、财产的巨大损失。因此, 对公路滑坡的成因及防治对策进行研究, 具有现实而深远的意义。

公路滑坡具有以下特点^[1,2,7,10]: (1) 在平面形态上, 一般具有一定的几何形状, 如椭圆形、三角形、箕形及其他几何形态或不规则形态; (2) 滑坡在主轴断面上, 滑动面与水平面的夹角各个段落不同; (3) 滑坡的滑体, 绝大多数都是松散体, 或已崩解的岩体, 滑坡面都是软弱带(面), 地下水一般沿此面渗流; (4) 滑坡的滑出方向, 绝大多数是与路线方向垂直或近于垂直, 少数滑坡滑动方向与公路路线方向斜交; (5) 公路规模的大小也直接影响滑坡的规模; (6) 从成因方面分析, 公路滑坡大多数是在开挖中复活, 而且公路滑坡有一个共性, 就是超过 90% 的滑坡是由于公路开挖产生临空面或加载造成的。

关于公路滑坡的成因, 地质构造、地层岩性及地下水是主控因素, 地形、气候等是次要因素, 地震、人

类工程活动等是诱发因素^[2,6,7], 水及人类工程活动的影响最为显著^[14]。降水渗入地下, 使地下水源源不断地得到补给, 产生两个方面的作用: 一是使岩土体软化, 强度降低^[3~5]; 二是地下水渗入岩土体后产生静水压力, 当裂隙水与地下水渗流连通时, 产生动水压力和上浮力, 诱发或促进滑坡的发生。根据资料统计^[11,12], 公路滑坡中 85% 以上是由于公路路线走向不合理、工程设计不合理和公路建设过程中施工方案不当等人为因素造成或诱发的。

公路滑坡的防治, 一般采用“以防为主、防治结合”的原则^[10,15~17]。对性质复杂、规模较大、可预知的滑坡, 因其工程量大、技术复杂应尽量绕避; 对规模较小、较易防治的中小型滑坡, 一般情况下不必绕避, 应注意调整路线平面位置, 要采取有效措施及时处理, 力求做到处理方案的工程量小、施工方便、经济合理, 能达到根治效果。滑坡的治理措施^[1,2,5], 通常采用排水(设置截、排水沟排除地表水和疏干地下水)、支挡(修建抗滑挡土墙、抗滑桩等改善滑坡体的力学平衡条件)、卸载或加载(目的在于减少下滑力)、固定(使滑动体固定或胶结在滑床上, 增加抗滑阻力)等。

渝黔高速公路向家坡滑坡^[13]是较为有代表性的由不合理的人类工程活动和高强度降雨而形成的公路滑坡, 其平面示意图 1。向家坡滑坡是在古滑

坡体基础上发育而成的。在原始自然条件下,古滑坡体处于稳定状态。1998年渝黔高速公路施工,内边坡的古滑坡出现明显的复活,多次出现大面积滑坍,由于治理效果不佳,坡体仍在继续滑动。2000年~2001年再次对该路段边坡进行处理,主滑区采用锚拉桩形式,局部使用了挡土墙,并采用格构锚进行护坡。2004年7月雨季期间,滑坡再次复活,造成抗滑桩弯曲、挡板鼓出;公路边沟外侧条石与路面出现张裂;上排桩南侧挡墙剪裂;上排桩北侧未进行抗滑桩支挡部分的坡面开裂,局部滑动致使坡面反翘;滑坡上部的公墓小路一带出现大量长10~20 m的弧形裂缝。滑坡一旦失稳,直接危及公路及立交桥正常营运,危及到滑坡周围的建筑及居民的安全,因此对该滑坡进行成因分析及防治对策研究是十分必要而且紧急的。

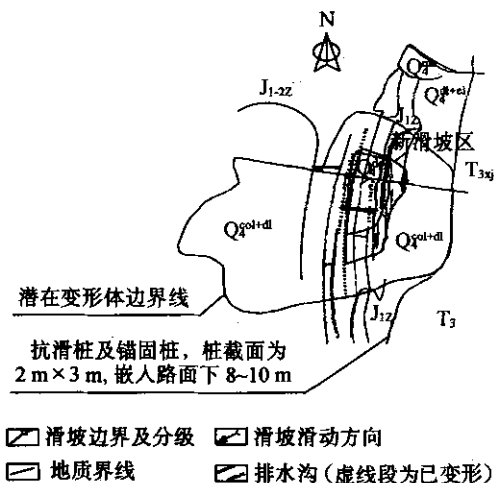


图1 渝黔高速公路向家坡滑坡平面示意

1 滑坡处工程地质条件

向家坡滑坡位于渝黔高速公路K13+500~K13+960段,交通较为方便。区内原始地形东高西低,为阶梯状斜坡地貌,总体上陡下缓,地貌形态受岩性和构造控制,为低山构造剥蚀地貌。斜坡上部植被茂密,杂草丛生。由于公路的修建和滑坡的前期治理,现状地形可明显分为3级台阶。

滑坡区位于川中台坳川东褶皱束南温泉背斜的西翼,为单斜构造,岩层产状在 $285^{\circ}\sim 300^{\circ}/75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 之间。坡面局部受构造影响近于直立,边坡走向为 $N25^{\circ}E$,构成临空外倾结构面,因其倾角大于 75° ,故对边坡的稳定性影响较小。岩体中主要发育有 $9^{\circ}/80^{\circ}$ 、 $14^{\circ}/37^{\circ}$ 及 $214^{\circ}/38^{\circ}$ 等3组构造裂隙,地震基

本烈度为Ⅵ度。滑坡区分布的地层为第四系全新统地层(主要为粉质粘土夹碎块石)和侏罗系下统珍珠冲组 J_{1z} (由粉砂岩、泥岩互层组成)、自流井组 J_{1-2Z} (由砂质泥岩、泥岩、泥质粉砂岩互层组成)和三叠系上统须家河组 T_{3xj} (由长石石英砂岩组成)。

向家坡滑坡的水文地质条件对滑坡的形成、发展、滑动具有极其重要的作用,其地下水类型主要为松散岩类孔隙水和基岩风化裂隙水。值得注意的是,滑坡区的面积仅有 0.12 km^2 ,大气降雨对松散岩类孔隙水和基岩裂隙水而言都是主要的补给源,由于滑坡后壁外围的斜坡面积大,接受降雨的补给面积亦大,在后缘切断与外围地表水的联系乃治水之关键。保证钢筋水泥混凝土挡墙泄水孔的畅通,是维持斜坡水力平衡、恢复地下水自然排泄的重点。

2 滑坡空间分布特征

向家坡滑坡为人为诱发的多级多期滑坡,主要由潜在变形体、中层滑坡及浅层滑坡组成。

2.1 潜在变形体

潜在变形体在平面上呈半椭圆形,空间分布上呈现明显的阶梯地形。椭圆轴长为 204.74 m ,前缘宽度为 376.82 m ,中部宽为 335.00 m ,后缘宽度为 255.19 m ,平均宽度为 305.52 m ;潜在变形体厚度变化较大,南侧和北侧较薄、厚度为 $23.0\sim 24.0\text{ m}$,中部厚度一般为 32.0 m ,平均厚度为 27.75 m ,滑体形态顺公路走向呈“船形”。采用平均厚度法计算,潜在变形体的体积为 $1.736\times 10^6\text{ m}^3$ 。滑坡主滑方向为 280° 。

2.2 中层滑坡

滑坡平面上呈新月形,空间分布上呈现明显的阶梯地形。该级滑坡轴长为 104.80 m ,前缘宽度为 224.50 m ,中部宽为 213.81 m ,后缘宽为 184.40 m ,平均宽度为 207.57 m ;滑体厚度变化较大,南侧和北侧较薄、厚度一般为 $15.0\sim 16.0\text{ m}$,中部厚度一般为 24.0 m ,平均厚度为 20.0 m ,滑体形态顺公路走向呈“船形”。采用平均厚度法计算,该级滑坡的体积为 $4.351\times 10^5\text{ m}^3$ 。滑坡滑动方向为 275° 。

2.3 浅层滑坡

滑坡平面上呈椭圆形,空间分布上呈现明显的阶梯地形。椭圆轴长为 59.05 m ,前缘宽度为 157.20 m ,中部宽为 147.91 m ,后缘宽为 129.85 m ,平均宽度为 144.96 m ;滑体厚度变化较大,南侧和北侧较薄,厚度一般为 $8.0\sim 12.0\text{ m}$,中部厚度一般为 15.80 m ,平均厚度为 12.90 m ,滑体形态顺公路

走向呈“船形”。采用平均厚度法计算,该级滑坡的规模为 $1.104 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。主滑方向为 280° 。

3 滑坡成因机理分析

3.1 滑坡的影响因素

3.1.1 地层岩性

向家坡滑坡岩土体主要由透水性差的粉质粘土夹碎块石以及具膨胀特征的强风化泥岩组成。粉质粘土夹碎块石,遇水易软化变形,具膨胀性,特别是在饱和状态下,滑体土的力学强度(主要是抗剪强度)急剧下降;强风化泥岩的网状裂隙发育,部分泥化现象突出。以上为滑坡的形成提供了充分的物质基础,是滑坡产生的内在因素。

3.1.2 地质构造

潜在变形体、中层滑坡及浅层滑坡的下伏基岩岩面总体均倾向坡外,为滑坡的形成提供了滑动结构面。此外,不同的地质构造对滑坡的形成又有不同的影响。潜在变形区岩层陡立,岩石风化强烈,陡倾的岩体倾倒剪断对滑坡的滑动具有一定的孕育作用;中层滑坡及浅层滑坡的裂缝发育,为地表水的入渗提供了渗流通道,地下水易渗入滑带,对滑坡的滑动具有一定的孕育作用。

3.1.3 地下水

潜在变形体地下水多沿泥岩顶面、强风化和中风化的界面一带渗流,中层滑坡地下水在挡墙内富集,浅层滑坡地下水多沿泥岩顶面渗流,饱水后对滑面均起到润滑剂作用,软化滑带土体,形成软弱结构面(带),为滑坡的滑动提供了有利的滑动介质。

3.1.4 降雨

水的作用是产生滑坡的最主要外因:一是渗透水进入土体孔隙、裂缝之中,使土体重度增大,并造成抗剪强度降低;二是产生动水压力及静水压力,并造成土体达至塑性、接触面润滑,减少摩擦力和粘聚力,最终诱发滑坡的失稳。

3.1.5 人类工程活动

潜在变形体中部的深开挖,使阻滑段降低了滑坡的阻滑力,且边坡开挖过深,边坡应力失衡;高速公路的开挖,特别是开挖滑坡前缘斜坡阻滑段,边坡开挖过陡,边坡应力失衡,地下水的软化作用使滑面向纵深发展,形成厚度较大的软弱带,造成中层滑坡向深部发展、滑移;高速公路的施工,边坡开挖过陡,前缘临空,边坡应力失衡,产生浅层滑坡土体失稳。

3.2 滑坡的形成机制

向家坡滑坡是由于不合理的人类工程活动诱发古滑坡体的复活而形成的。滑坡岩土体在地下水的作用下,逐渐形成软弱结构面(带),再加上不合理的人类工程活动,致使边坡应力失衡,最终使之沿着软弱结构面产生滑移破坏。

(1)滑坡岩土体主要由透水性较差的粉质粘土夹碎块石以及具膨胀特征的强风化泥岩组成,由于地下水位埋深较浅,使得大部分土体长期处于饱和状态,软化滑带土体,抗剪强度极低^[4],饱水后对滑面起润滑剂的作用,形成软弱结构面(带)(图2)。

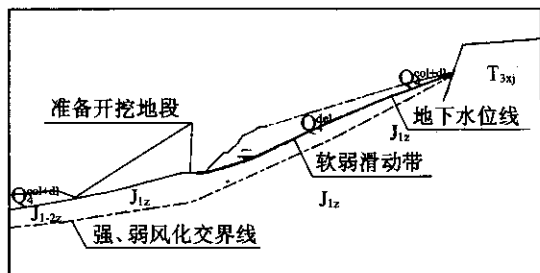


图2 开挖前古滑坡体中形成软弱滑动带

(2)后缘土体在不合理的人类工程活动影响下,边坡开挖过陡,使得前缘临空,边坡应力失衡,土体不断产生蠕滑变形,使土体内部产生一系列顺路线方向长达140 m的多条裂缝(图3),同时为雨水的下渗创造了良好的条件。

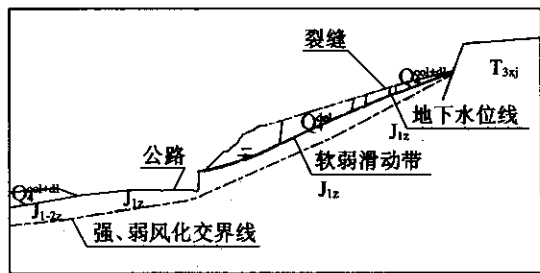


图3 开挖后坡体后缘产生裂缝

(3)滑坡前缘土体在雨水作用浸泡下饱和,由于滑体土渗透性差而不能及时排水,形成了较大的动水压力,使得滑坡沿土体内形成的圆弧形滑面产生滑动破坏(图4)。

3.3 滑坡的稳定性分析及评价

3.3.1 稳定系数计算公式

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + T_n} \quad (1)$$

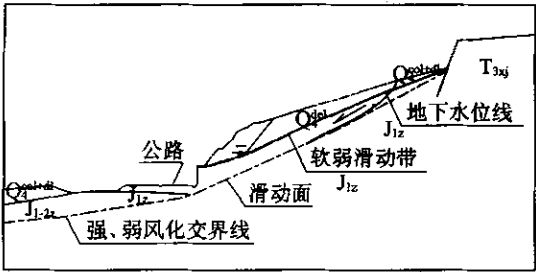


图 4 降雨诱发滑坡发生滑移破坏

式中: F_S 为稳定系数; R_i 为作用于第 i 块段的抗滑力, kN/m ; T_i 为作用于第 i 块滑动面上的滑动分力, kN/m ; Ψ_j 为第 i 块段剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块段的传递系数 ($j=i$)。

3.3.2 参数综合取值

根据典型断面滑面土体室内试验值及内摩擦角反算结果(深层滑坡无),稳定性计算的综合取值见表 1。

表 1 稳定性计算滑带土抗剪强度参数采用值

滑动面	天然残值		饱和残值	
	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$
浅层滑坡体	50.0	20.0	45.0	18.0
中层滑坡体	55.0	26.0	46.0	25.0
深层滑坡体(潜在变形体)	60.0	25.0	50.0	20.0

3.3.3 计算结果

根据表 1 的参数取值、计算模型选取、荷载及工况组合,利用剩余推力法对深层、中层及浅层滑坡分 3 种工况进行稳定性计算,结果见表 2。

表 2 向家坡滑坡稳定系数

剖面编号	滑坡稳定性系数 F_S								
	深层滑坡(潜在变形体)			中层滑坡			浅层滑坡		
	工况一	工况二	工况三	工况一	工况二	工况三	工况一	工况二	工况三
1—1'	1.767	1.255	1.235						
2—2'	1.647	1.255	1.223	1.109	1.005	0.997	1.191	1.013	0.986
3—3'	1.715	1.296	1.230	1.121	1.009	1.000	1.224	1.016	0.983
4—4'	1.723	1.346	1.294	1.122	1.006	0.974	1.200	1.010	0.981
5—5'	2.310	1.757	1.688	1.157	1.024	1.017	1.232	1.020	0.990

注:工况一为天然状态;工况二为饱水状态;工况三为地震+饱水状态。

稳定性计算结果表明:潜在变形体在天然状态(工况一)和饱水状态(工况二)下滑坡均处于稳定状态,在地震+饱水工况(工况三)下欠稳定;中层滑坡在天然状态(工况一)下稳定,在饱水状态(工况二)下滑坡处于欠稳定或不稳定状态,在地震+饱水工况(工况三)下滑坡不稳定;浅层滑坡在天然状态下(工况一)下稳定或欠稳定,在饱水状态(工况二)下滑坡处于欠稳定或不稳定状态,在地震+饱水工况(工况三)下滑坡不稳定。

总之,滑坡在饱水状态下多数为不稳定或欠稳定,所以在降雨的诱发下滑坡可能会出现失稳,应结合形成原因对其进行合理的防治。

4 工程防治对策

结合该滑坡体特征以及坡体变形的规律,综合

考虑各种工程方案的适宜性、经济性、可操作性、工期等方面因素,提出了向家坡滑坡的防治方案。

4.1 排水工程

在既有排水沟的基础上,建立地表排水网。原排水沟可以利用,但单条排水沟过长,一旦一处破坏,排水系统将处于瘫痪状态,应建立相互干扰较小的地表排水网络。但值得注意的是,滑坡土体和岩体为膨胀岩类,滤水管易堵塞,故在滤水管的四周填砾,以达到长期排水效果。另在滑坡后壁设置截水沟,拦截斜坡上部的坡面径流。

4.2 封闭

对滑坡体及其后缘的拉裂缝采用粘土夯填密实,再采用水泥混凝土封闭;对排水沟上的拉裂缝进行修补,在排水沟的下沉段设立排水口,防止排水沟排水不畅造成积水或渗入滑体。

4.3 支挡工程

在路堑中上部,针对浅层滑坡的抗滑工程可以防止滑坡在半坡剪出,并辅以格构锚护坡,固定浅层滑坡及表土。前缘桩锚挡土墙1—1号~1—7号桩加锚索施加预应力;1—8号~1—29号桩段施行强挡,加固原有抗滑桩,并考虑在其桩前加抗滑桩。原有抗滑桩与设计抗滑桩以合适的结构体刚性连接,并布设预应力锚索,施加预应力。1—29号桩以后以加固原抗滑桩为主,并布设预应力锚索施加预应力。锚索抗滑桩布置见图1。

5 结语

(1)该滑坡发育于膨胀岩土中,其形成和发展受地下水控制明显。由于不合理的开挖(开挖过陡),使滑坡前缘路堑边坡高陡,斜坡应力失衡,是诱发滑坡的主要因素。地表、地下排水系统的失效,是加剧、加深滑坡的关键。

(2)该滑坡岩土体为特殊类土,具有多层滑面、结构复杂、机理复杂的特点。特殊的地层岩性、地质构造和地下水的作用是该滑坡形成的内在因素,而降雨及不合理的人类工程活动则是滑坡失稳的外在因素及诱发因素。

(3)滑坡前缘开挖临空,边坡高陡,天然状态下(工况一),潜在变形体、中层滑坡稳定,浅层滑坡稳定或欠稳定;饱水状态下(工况二),潜在变形体稳定,中层滑坡欠稳定,浅层滑坡不稳定;地震+饱水状态下(工况三),潜在变形体欠稳定,中层、浅层滑坡不稳定。

(4)根据向家坡滑坡发育的特征和影响因素的特点,通过工程经济性及可操作性对比,建议滑坡防治方案为:排、截水沟+预应力锚索抗滑桩。

(5)由于浅层和中层滑坡变形严重,建议施工前后派专人做好监测、巡山工作,做好险情预报。

参考文献:

- [1] Aleotti P, Chowdhury R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives [J]. Bull. Env., 1999, 58(1).
- [2] Riemer. Landslides and reservoirs [A]. In: Proc. of the Int. Symp. Landslides [C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1995.
- [3] Chen Hong-kai, Tang Hong-mei, Wang Qi-neng, et al. Research on creep and non-linear decrease and soil

landslide start for loose earth to suction in Chongqing reservoir (Founded by the Chongqing Nature Fund) [R]. Journal of Chongqing Normal University, 2000.

- [4] Chen Hong-kai, Tang Hong-mei. Research on start-up of loose landslide in lab [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(1).
- [5] 陈洪凯, 唐红梅, 等. 地质灾害防治系统工程方法论及散体滑坡研究 [J]. 重庆师范学院学报, 2001, 2.
- [6] 徐克逊, 王万平, 曹校勇. 浅谈公路滑坡分析评价的若干问题 [J]. 岩土工程界, 2003, 8.
- [7] Jiao J J. A confined groundwater zone in weathered igneous rocks and its impact on slope stability [A]. In: Proc. of the Int. Symp. Oil Hydrogeology and the Environment [C]. Beijing: China Environment Science Press, 2000.
- [8] Furuya G, Sassa K, Hiura H, et al. Mechanism of creep movement caused by landslide activity and underground erosion in crystalline schist [J]. Southwestern Japan Engineer Geology, 1999, 53.
- [9] Balige M M, Azzouz A S. End effects on the stability of cohesive slope [J]. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1975, 101(GT11).
- [10] Arai K, Tagyo K. Determination of non-circular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis [J]. Soils and Found, 1985, 25(1).
- [11] 何继善. 防灾减灾工程理论与实践 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2001.
- [12] Chen Hong-kai, Tang Hong-mei, Wang Qi-neng. Systematic engineer for preventing and geologic disasters and the study and prevention of the landslides of loose soil [J]. Journal of Chongqing Normal University, 2001, 18(2).
- [13] 渝黔高速公路K13+500~K13+960向家坡立交左侧滑坡治理工程地质勘察报告 [R]. 重庆长江工程勘察院, 2004.
- [14] Bishop A W. The use of slip circle in the stability analysis of slopes [J]. Geotechnique, 1955, 5(1).
- [15] 仪晓慧, 白国华. 高速公路滑坡的形成与治理 [J]. 山西交通科技, 2002, (增).
- [16] Xu Bang-dong. Landslide Analysis and Control [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.
- [17] De Roo A P J. Modeling surface runoff and soft erosion in catchments using geographical information systems [R]. Utrecht: Nederlandse Geographische Studies 157, 1993.