

公路高陡病害边坡的三次治理浅析

虞兴福¹, 周红武², 张 莉³, 李俊文²

(1. 同济大学 地下工程系, 上海 200092; 2. 云南国土建设工程公司, 云南 昆明 650041; 3. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310014)

摘要: 结合云南某高速公路开挖高陡路堑病害边坡治理工程实例, 在时间紧迫、未进行详细地质勘察的情况下先后进行两次治理均未取得成功, 滑坡仍有变形迹象。在第 3 次治理前, 充分分析前 2 次治理失败的经验教训, 重新对该边坡进行详细的地质勘察评价, 找到病害边坡存在的根源所在, 最终结合已有的工程措施提出较完整的补充治理方案, 取得较为宝贵的类似工程治理经验。

关键词: 边坡工程; 滑坡; 地下水; 削坡减载; 喷锚; 灌浆补强; 抗滑桩

中图分类号: TD 824.7

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2005)增 2 - 5619 - 06

ANALYSIS OF THE THREE TREATMENTS FOR FAILURES OF A HIGH-STEEP HIGHWAY SLOPE

YU Xing-fu¹, ZHOU Hong-wu², ZHANG Li³, LI Jun-wen²

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Yunnan Land Construction Engineering Company, Kunming 650041, China;

3. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Yunnan province is a mountainous region of China in southwest district, and there are many rainy days every year, thus the highway slope soaked with rainwater is reliable to slide during construction. A typical project case is discussed. The slope has been treated twice with many conventional methods, such as cutting slope, prestressed anchor rope, vertical anchor, combined bolting and shotcreting to the slope surface and slope surface drainage (for the first treatment), and grouting and anchoring (for the second treatment). However, due to the requirements of project schedule, a detailed investigation is not conducted, resulting in the failure of the slope in the following rainfall seasons, and the slope is found to crack in the top, slope surface, shoulder, and upheaval in discharge ditch and asphalt pavement. In order to find incipient fault and ensure safety of slope, the employer decided to give an overall investigation, design, and treatment for the slope. Based on a more detailed investigation, more thorough understanding of landslide, the causes for landslide, slope calculation for checking reliability, and effective schemes are proposed including cutting slope, anti-slide piles, drainage, and slope protection measures. The treatment has been verified to be satisfactory through three rainy seasons. Practice shows that the groundwater is the main factor. So the treatments to the crack at the back of landslide mass and installation of drainage system are very important. Landslide treatment is a comprehensive process, and a satisfactory result could not be expected with single technical measure, and the prerequisite of treatment is a general and accurate understanding of landslide. The failure of treatment in the first and second time, and success in the third time could function as a valuable reference to other similar landslide treatment projects.

收稿日期: 2004 - 12 - 30; **修回日期:** 2005 - 03 - 04

作者简介: 虞兴福(1971 -), 男, 1996年毕业于长春地质学院探矿工程专业, 现为博士研究生、高级工程师, 主要从事岩土工程的勘察、设计、施工等方面的研究工作。E-mail: yuxfmail@126.com。

Key words: slope engineering; landslide; ground water; reducing load by cutting slope; shotcrete and anchor; grouting for strengthening; anti-slide pile

1 引言

云南某高速公路 K259+640~K259+640 段下行线(东侧)边坡,系一典型的公路路堑高边坡^[1],开挖深度约 40 m。该边坡开挖施工完工及公路建成通车后,于 1999 年 6 月发生滑坡,坡面防护工程已全部毁坏,部分滑体已滑落至路边,路肩挡墙将要倾倒,严重影响公路的安全运营。时值昆明世博会期间,为保证高速公路的畅通,建设方决定尽快对该边坡进行应急治理。由于时间紧迫,所以未来得及对该边坡进行工程地质勘察。

设计单位、施工单位中标后,在建设方组织安排对现场进行踏勘的基础上,根据以往的设计施工经验进行了工程治理施工图设计。采用常规的削方、预应力锚索、竖向锚杆、坡面锚喷护坡和坡面排水工程的综合手段进行治理加固^[2~4]。工程于 1999 年 7 月 20 日进场施工,1999 年 11 月完工。完工后,坡体基本保持稳定,保证了该段公路的正常运营。但是在雨季,边坡仍有变形迹象,后部滑坡继续缓慢发展,前部推挤路肩挡墙而挤压路侧边沟。为此 2000 年 9~10 月再次进行了补充治理,采用灌浆及部分锚杆补强等措施加以整治。

该边坡通过前两次的施工治理,部分已趋于稳定,但尚未完全根除其病害隐患。2001 年 5 月和 6 月连续降雨后,坡顶地裂缝发育范围有所扩大,坡面喷护混凝土再次出现拉裂,路肩墙体拉裂变形,公路排水沟沟肩、公路沥青路面隆起等一系列变形迹象,这些迹象表明此段边坡正孕育着滑坡灾害,已较严重地威胁到高速公路的正常运营。为彻底消除隐患,确保边坡稳定,建设方决定对边坡进行全面勘察、设计、施工治理。

2 地质背景概况

2.1 地形地貌

公路路堑全长 140 m,底部宽 40~59 m,最大高差约 40 m。边坡由 3 级台阶(不含路肩台阶)组成,坡比一般为 1:1.5,总体走向 339°~344°,坡面整体倾向 250°,倾角 34°。坡顶南端为 NE45°~50°延伸的负地形;北侧为底宽约 8.50 m,下切深近

5.00 m,走向近南北的负地形;坡体顶端发育一走向约 NE80°(与坡面近于垂直、与山脊近于平行)延长近 300 m,底宽 2.00~4.00 m,下切深 1.00~2.40 m 的负地形。

2.2 地层岩性

边坡区内分布地层按其工程地质特征分为 4 层,分述如下:

(1) 填土:主要分布于坡体下端,为路肩挡墙砌筑及墙后回填块石、碎石及砂浆等,厚 1.50~1.90 m。

(2) 残积碎石土:主要分布于坡体顶部,为棕红色强风化泥岩、砂岩碎石混可塑状粘土组成,厚度一般小于 2.00 m。

(3) 强风化泥岩夹砂岩:分布于坡体中上部,厚 3.50~10.60 m。钻探时有塌孔现象,岩心较破碎。

(4) 中等风化泥岩夹砂岩:分布于边坡中下部,厚 6.00~18.00 m,岩心破碎或呈短柱状。

边坡岩土体主要为软质层状碎裂-散体的泥质岩,岩层产状 70°~110°∠69°~83°。属易滑岩体,且发育顺坡向结构面(包括层面、节理和各种裂隙)。

2.3 水文地质特征

区内本身赋存较丰富的基岩裂隙水,在雨季地下水还受大气降水的进一步补给。滑坡地处我国南海北部,受海洋气候的影响,年降雨量大而集中在 5~8 月份。坡体中、下部泄水点较多,地下水动态变化显著^[5]。勘察期间曾遇暴雨,0.5 h 以上大部分泄水口水量增加到 3 倍以上,水质变浑。雨后 3 d 泄水点水量大幅下降,部分泄水点干枯。

3 滑坡特征

该滑坡为推移式活动滑坡,地表变形迹象明显。坡顶地表部位沿山脊线发育走向 80°,延伸长 19.0 m,上宽 2~12 cm 与坡体近于垂直的地裂缝;沿山脊北侧、坡顶以东 27.0 m 范围内发育 14 条走向与坡顶排水沟大致平行的张裂缝,其地裂缝水平位移量达 15 cm,垂直位移在 3 cm 左右,连续延伸长 30 余米以及坡顶排水沟拉裂破坏等。坡体上则主要表现在沿坡体中部和北端坡面喷射混凝土严重拉裂,沿原整治工程上方的挤压变形和下方发育拉张裂缝,平行锚索锚板的剪张裂缝以及坡面排水沟拉裂等。坡

体下端则表现为路肩墙变形开裂, 公路排水沟盖板挤压断裂, 部分沟肩沥青路面挤压隆起。滑坡体的主要下滑推力来自坡体中后部^[6-11]。通过勘察, 查明滑坡的工程地质特征和滑坡要素, 与进行第一次施工治理前的认识在以下几方面存在一些较大的出入。

3.1 滑坡后缘边界的认识

初期后缘开口(地裂缝)处于铁丝网界定的施工范围后 8 m 左右的负地形区域内, 原来的滑坡后缘边界由于建设方征地所限, 在治理时没有进行处理, 从而造成了地表流水大量顺缝下渗到滑面。详细勘察后发现, 地裂缝已发展至天沟之后 27.40 m 处。滑坡平面形态呈波状的不对称扇形, 分布面积约 $5.2 \times 10^3 \text{ m}^2$, 体积约 $3.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3.2 滑面判定

依据野外钻探, 钻孔穿过的风化岩层是不均匀的, 往往会遇到多个岩芯潮湿、松软段而转速相对较快的孔段, 这些地段多为相对软弱岩体或结构面发育段, 是可能的滑动(带)面。 γ 测井曲线上反映出的低密度、高泥质段也是可能的滑动(带)面。

综上所述, 并结合其他资料及前两次治理后的经验, 可以确定滑坡体滑动面的位置。后部滑面追踪顺坡向的陡倾结构面发育, 倾角 44° ; 中部滑面追踪强风化层与中等风化层界面及其附近的顺坡向结构面发育, 倾角 $25^\circ \sim 29^\circ$; 下部滑面追踪中等风化软质岩体中顺坡向结构面发育, 倾角 25° 左右。滑面总体呈折线状, 中~后部滑面深 $9.00 \sim 10.20 \text{ m}$, 与原分析确定的浅层滑坡具有明显的差别。

3.3 地下水的危害

勘察资料表明, 滑体中地下水明显受降雨控制。对于滑坡而言, 滑体的性质、结构的变化是比较缓慢的, 而水文地质的变化却是相对比较迅速的。由于滑坡发育坡段的时间及空间位置不同, 滑坡赋存的水文地质环境呈现其独特的水文地质特征。

经过旱季的滑体, 地下水位出现不同程度的降低, 形成深厚的非饱和区。在继之而来的连续强降雨使地下水位受地表水渗入过程的反应敏感, 当雨水不断的下渗于滑带(面)上并汇流贯通, 则浸润了相对干燥的滑带(面), 从而降低滑带(面)的摩擦阻力; 此外雨水的下渗使滑体某一部分的水头迅速提高, 可以在较短的时间内形成较大的水头差, 产生较大的水力梯度, 从而形成较大的静动水压力, 使之成为滑体失稳的主要诱发因子^[5], 但第 1 次治理时没有对地下水产生的危害引起足够的重视。

3.4 滑坡的发展趋势

前两次的治理和补强工程, 较大地减少滑体的下滑力, 同时增加抗滑阻力, 避免了剧滑的发生。但随着时间的推移, 外界环境的改变, 边坡应力状态的不断调整, 原有的边坡稳定平衡趋势将被打破, 若不及时彻底根治, 滑体将摧毁原治理工程产生的整体效应而产生突然剧滑, 造成交通中断。

4 滑坡稳定性计算

计算稳定性时选取与主滑方向一致或相近的工程地质剖面为计算剖面。详见图 1(以图 2 的 3-3' 剖面为例, 下同)。根据滑坡的滑面特征, 选用文[7]的折线滑面滑坡稳定性计算公式并应用北京理正岩土工程软件进行计算, 结果详见表 1。

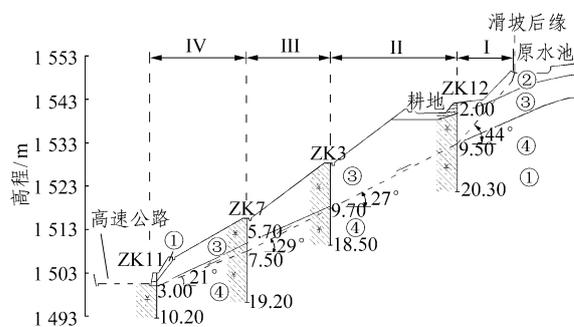


图 1 典型稳定性计算地质剖面图

Fig.1 Typical geological profile for stability computation

5 治理工程设计

5.1 前 2 次治理措施

5.1.1 第 1 次治理措施

根据当时对现场的调查和分析, 采取了以下几种常规的治理措施:

(1) 锚索

在路肩挡墙之上台阶横向布设预应力锚索加梁板 19 条, 条间距 8 m, 每条两根锚索, 每根锚索长 15 m, 提供 400 kN 以上的预应力, 共计 570 m/38 根。每根梁板之间用联系梁连接。

锚索作用在于“锁定”边坡, 通过其提供的切向抗滑力和法向正压力来提高滑体的抗滑阻力, 阻止边坡变形发展。联系梁的作用在于增加防护工程整体性, 保护坡面, 抑制坡面变形。

(2) 削坡减载

削坡减载以减小浅部滑体的下滑推力, 同时减

表 1 第 3 次治理前滑坡稳定性验算结果

Table 1 Results of stability computation of the slope before the third treatment

计算剖面	层号	块段编号	计算参数			滑动面形态		稳定系数 K	剩余下滑力 E/(kN·m ⁻¹)
			γ /(kN·m ⁻³)	c/kPa	φ /(°)	α /(°)	L/m		
2-2'	③	I	22.3	15.5	15.4	29	29.0	0.86 (0.78) [1.05]	1 785.40
	③	II	22.3	15.5	15.4	25	18.0		2 462.10
	④		23.5						
	①		20.0						
	③	III	22.3			22	20.5		2 102.60
	④		23.5	29.9	21.6				
3-3'	②	I	19.4			44	21.0	0.81 (0.74) [0.98]	813.40
	③		22.3	0.0	15.4				
	③	II	22.3	15.5	15.4	27	30.8		2 452.66
	③		22.3	15.5	15.4	29	21.6		3 448.90
	④	III	23.5						
	①			20.0					
	③	IV	22.3			21	22.5		2 794.20
	④		23.5	29.9	21.6				

注：(1) 剩余下滑力已考虑了工程安全系数(1.25)；(2) “()”内数值为考虑地震时的稳定性系数；(3) “[]”内数值为考虑前二次工程抗滑附加力条件下的稳定性系数；(4) 剩余下滑力未考虑地震力和治理工程的附加力；(5) 表中的计算参数引用自《岩土工程勘察报告》。

缓边坡坡角，降低边坡应力释放程度。削坡后坡比为 1 : 1.5(坡度约为 34°)。

(3) 喷锚护坡

封闭整个坡面，隔离降水，保持坡面稳定。坡面封闭面积为 8 070 m²，采用短锚杆挂金属网喷射混凝土。锚杆长 1.5 m，挂网框架为 1.5 m×1.5 m，网眼为 15 cm×15 cm，框架与锚杆焊接，其他编网钢筋用铁丝绑扎，喷射混凝土厚度为 6 cm。

(4) 截(排)水沟

在边坡边缘及坡面上修截(排)水沟。

以上措施的施工顺序：先进行削方清坡，然后预应力锚索、坡面喷锚和截(排)水沟等工程同时开展施工。

5.1.2 第 2 次补强措施

采用了灌注水泥浆措施对坡顶地裂缝进行密实处理，同时对部分锚杆采取了补强整治措施。

5.2 重新勘察后的最终治理方案

根据勘察资料反映，治理该滑坡的关键是消除或减小滑坡中后部的下滑推力；在滑坡前部采取适当的支挡措施，以确保路肩的稳定，以及处理滑坡后缘及坡面的地裂缝，阻止地表径流和地下水对滑面的软化，完善排水系统。详见图 2(3-3'剖面)和 3。

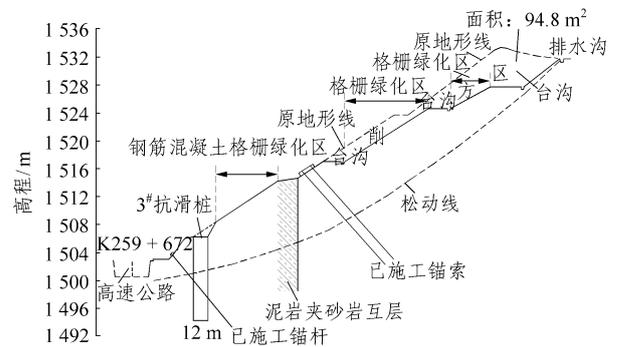


图 2 滑坡三次治理后的典型剖面图(3-3'剖面)

Fig.2 Typical geological section after three treatments(section 3-3')

原治理工程中的主体工程为预应力锚索，其最终张拉荷载为 580 kN，目前仍发挥一定的作用，才使得该滑坡没有产生剧滑，所以，在此次治理工程中仍保留。

(1) 削方

其主要目的是减少中后部的荷载，减小滑体上部下滑推力，消除滑坡后缘的负地形，故后缘一直削至开口裂缝处。

(2) 抗滑桩

在滑坡下部下平台即滑体前缘设置一排抗滑桩，共 7 根，其中 Z1~Z3 桩心距为 10 m，Z3~Z7

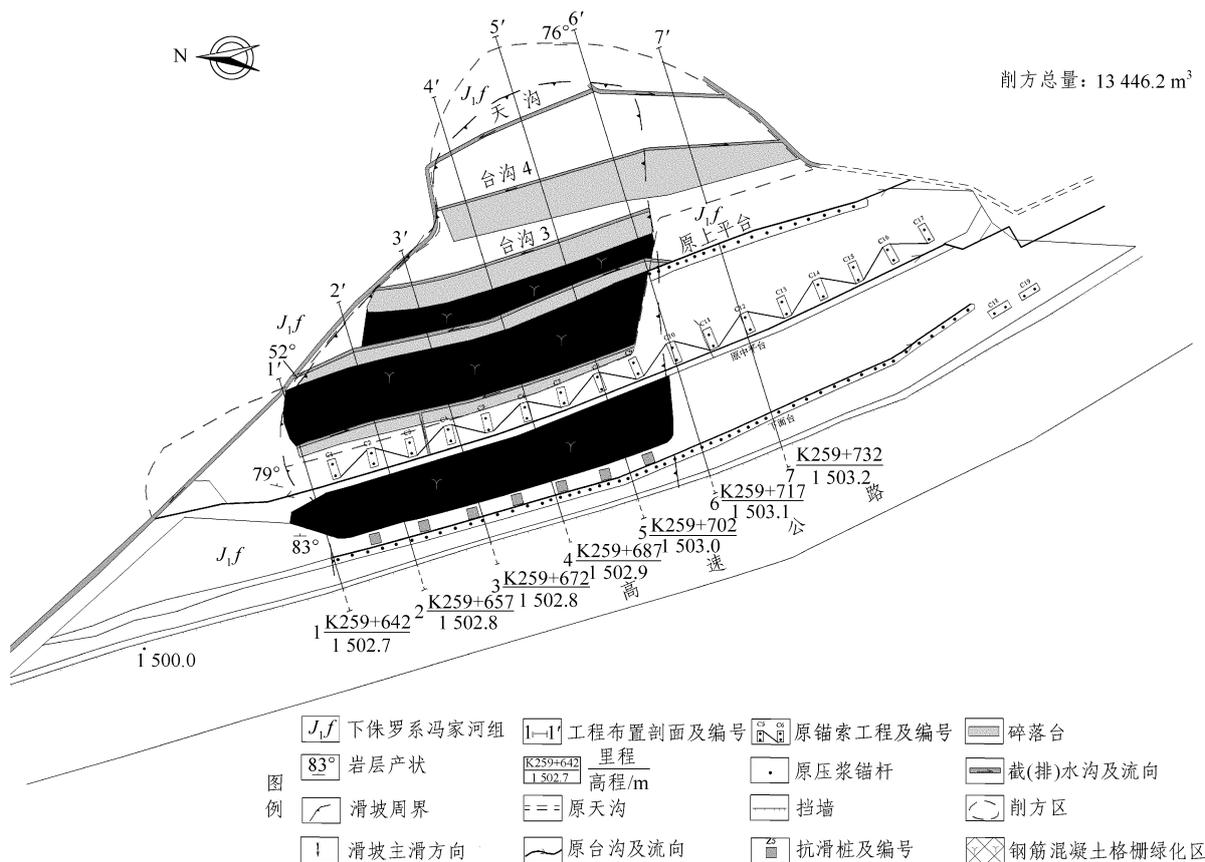


图 3 滑坡三次治理后的立面图

Fig.3 Elevation view after three treatments

桩心距为 9 m, 桩长均为 12 m(伸入路面下 5.0~5.5 m)桩截面均为 2.0 m×2.0 m, 桩身混凝土强度等级均为 C25。

(3) 护坡工程

为保证坡体内部的地下水从坡面溢出排泄通畅, 在前方区下部, 即预应力锚索下部采用钢筋混凝土格栅绿化护坡。

(4) 排水工程

设置环形排水沟, 截排后部山体地表来水, 坡面和平台根据地形设置相应的排水沟并汇集于环形沟内排走。

6 施工效果

6.1 前 2 次施工效果

第 1 次治理时, 由于没有进行详细勘察, 对滑坡的认识了解不透, 对滑坡后缘开口(地裂缝)进行处理的重要性没有引起足够的重视, 从而导致工程治理的力度不够、工程量不足及滑面被地表径流和地下水软化等隐患, 致使治理不彻底。

第 2 次补强时, 对以上的隐患也没有充分认识到, 只是对滑坡后缘开口(地裂缝)进行简单的水泥浆灌浆处理, 没有从根本上对滑坡进行治理, 滑坡仍在变形滑动, 所以, 灌浆处理的滑坡后缘开口(地裂缝)也将是再次被破坏的结果。另外, 由于对滑坡的具体情况了解不够, 锚杆补强的工程量不够, 其结果也是没有起到应有的效果。

6.2 第 3 次施工效果

通过再次削坡减载、支挡工程(抗滑桩工程)施工及对坡面排水措施的加强, 该滑坡体已处于相对稳定状态, 隐患和险情已基本消除, 高速公路恢复了正常的运营。经 3 个雨季的考验, 并通过滑坡体的变形监测, 特别是抗滑桩体及滑坡后缘地裂缝的发展情况表明, 滑坡体已无明显的位移发生, 充分表明治理是比较成功的。

7 结 语

(1) 该滑坡体属典型的人工诱发滑坡, 为推移式中型滑坡;

(2) 降雨使得坡体地下水富集于岩体结构面和滑面, 并迅速软化、泥化岩体结构面和滑面, 使其强度大幅降低。同时水头差还会产生较大的静动水压力。所以, 地下水是滑坡的主要激发因素, 治理时应给予充分重视;

(3) 滑坡后缘拉裂缝的处理和排水系统的设置, 在滑坡治理中是非常重要的环节和工序;

(4) 滑坡治理是个综合的治理过程, 单种措施是不能满足要求的。但在整治时, 也应有主次之分。本工程中第1次治理以预应力锚索为主, 并配以其他措施。而第3次治理则以抗滑桩工程为主, 效果明显;

(5) 彻底治理滑坡的前提是对滑坡体有全面准确的认识。前2次治理失败的原因在于时间仓促, 未能对滑坡体做充分的勘察评价, 对滑坡体的认识存在偏差。

参考文献(References):

- [1] 宋学安, 安孟康. 路堑高边坡稳定性分析的方法[A]. 见: 滑坡文集(第十五集)[C]. 北京: 中国铁道出版社, 2002. 132 - 137.(Song Xue'an, An Mengkang. Analytical method for high cut slope stability[A]. In: Proceedings of landslides (Volume 15)[C]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002. 132 - 137.(in Chinese))
- [2] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.(Lin Zongyuan. Manual of Geotechnical Engineering Treatment[M]. Shenyang: Liaoning Technology and Science Press, 1993.(in Chinese))
- [3] 谢建清. 滑坡治理方法及其应用实例[J]. 岩土钻凿工程, 2001, (1): 28 - 32.(Xie Jianqing. Methods of controlling landslide and case histories[J]. Exploration Engineering (Drilling and Tunneling), 2001, (1): 28 - 32.(in Chinese))
- [4] 殷跃平. 中国滑坡防治工程理论与实践[J]. 岩土钻凿工程, 2001, (1): 20 - 24.(Yin Yueping. The theory and practice of landslide controlling engineering in China[J]. Exploration Engineering Drilling and Tunneling, 2001, (1): 20 - 24.(in Chinese))
- [5] 韩龙, 李荷生, 陈正平. 南昆线八渡车站滑坡的形成与发展[A]. 见: 滑坡文集(第十五集)[C]. 北京: 中国铁道出版社, 2002. 93 - 100.(Han Long, Li Hesheng, Chen Zhengping. Formation and development of the landslide in Badu railway station along Nanning—Kunming railway line[A]. In: Proceedings of Landslides (Volume 15)[C]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002. 93 - 100.(in Chinese))
- [6] 徐邦栋. 滑坡分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.(Xu Bangdong. Landslides Analysis and Controlling[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.(in Chinese))
- [7] 中华人民共和国国家标准编写组. 岩土工程勘察规范(GB50021 - 2001)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.(The National Standard Compilation Group of People's Republic of China. Code for Investigation of Geotechnical Engineering(GB50021 - 2001)[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002.(in Chinese))
- [8] 马永潮. 滑坡整治及防治工程养护[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.(Ma Yongchao. Maintenance of Landslide Repairing and Control Engineering[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1995.(in Chinese))
- [9] 朱平生. 云南大保高速公路 K399 滑坡活动特征及治理设计[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 14(3), 28 - 32.(Zhu Pingsheng. The movable feature and control design of K399 landslide on Dali—Baoshan highway, Yunnan[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2002, (14): 28 - 32.(in Chinese))
- [10] 刘以波, 穆道贵, 潘金禄, 等. 已通车高速公路路堤滑坡处治方案设计与施工[J]. 探矿工程, 2002, (6): 7 - 9.(Liu Yibo, Mu Daogui, Pan Jinlu, et al. Scheme design and building for causeway landslides of highway in use[J]. Exploration Engineering, 2002, (6): 7 - 9.(in Chinese))
- [11] 樊怀仁, 郭春. 滑坡灾害防治技术回顾与展望[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(4): 47 - 48.(Fan Huairan, Guo Chun. The review and prospect for controlling landslide[J]. Coal Geology and Exploration, 2002, 30(4): 47 - 48.(in Chinese))

收稿日期: 2004 - 12 - 30; **修回日期:** 2005 - 03 - 04

作者简介: 虞兴福(1971 -), 男, 1996年毕业于长春地质学院探矿工程专业, 现为博士研究生、高级工程师, 主要从事岩土工程的勘察、设计、施工等方面的研究工作。E-mail: yuxfmail@126.com。