

西藏妥昌公路 K351 滑坡形成机制及危险性评价

樊晓一, 乔建平, 陈永波

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 对滑坡成因机制及稳定性分析是一个由表及里、由微观到宏观分析的过程。通过对 K351 滑坡的表面形态特征、滑坡内部岩性结构面的分析, 从滑坡的微观形态(如裂缝)、宏观形态(如滑坡后壁、滑坡前缘)出发, 结合当地的地形地貌条件, 对 K351 滑坡的形成特征、运动特征进行了探讨。并运用滑坡危险度判别模型对滑坡的危险程度进行了评价。

关键词: K351 滑坡; 形成机制; 危险性评价

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)01-0152-04

The Formative Mechanism and Evaluation of Stability of
K351 Landslide on the Road From Tuoba to Changdu in Tibet

FAN Xiao-yi, QIAO Jian-ping, CHEN Yong-bo

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese

Academy of Sciences and Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: It is a process from the outside to inside and from the microcosm to the macrocosm to analyze the formative mechanism and stability of the landslide. The authors analyze the K351 landslide's superficial characteristic and inner structure, from the landslide's microstructure and macrostructure, and combine with local conditions of the topography to explore the K351 landslide's formative characteristic, movement characteristic. And the assessment model of landslide danger degree was used to assess the danger degree of K351 landslide.

Key words: K351 landslide; formative mechanism; stability analysis

妥昌公路是国道 317 线川藏公路的一部分, 由于该路段地质条件复杂, 滑坡、崩塌等自然灾害十分频繁, 严重影响了妥昌公路改线工程的正常实施。妥昌公路改线工程 K351 滑坡位于西藏自治区昌都县妥坝乡, 地理坐标为东经 97°28'34"、北纬 31°20'05"。距妥坝乡所在地 7.5 km, 位于澜沧江二级支流妥曲河左岸。目前滑坡变形强烈, 处于极不稳定状态, 通过对 K351 滑坡的形成特征分析和危险性评价, 提出了对其进行治理的必要性和治理的措施。

1 滑坡概况

K351 滑坡区位于青藏高原东南部, 横断山脉北端, 甲丕拉—康沙背斜之东翼。滑坡区属于峡谷地貌, 地形起伏较大。滑坡区地层较单一, 出露的地层主要由三叠系下统(C₁)灰岩、第四纪崩坡积层(Q_{4^{cdl}})、滑坡堆积层(Q_{4^{dl}})和人工堆积

层(Q_{4^{ml}})组成。基岩岩层产状 290°∠20°~30°; 区内发育着区域性的断层和节理, 其中妥坝断层沿妥曲河贯穿其中, 且岩体中发育的节理, 以走向 NW15°和 NE65°两组为主。受断层破碎带和节理的影响, 滑坡区的基岩非常破碎, 倒石堆十分发育。

K351 滑坡为一堆积层内部沿软弱结构面顺坡向滑动, 滑坡的两侧以季节性冲沟为界, 剪出口位置位于公路面附近, 滑坡后缘位于出露基岩中下部坡崩积堆积体平台前部。滑坡整体长约 130 m, 宽约 150 m。主滑方向 105°; 近垂直于妥曲河(图 1)。通过地貌形态、裂缝分布和坡体上其它迹象综合分析, K351 滑坡应为一老滑坡复活体, 历史上曾有过活动。由于受人类活动和降雨的影响, 近几年来滑坡活动加剧, 到 2001 年 7 月老滑坡中前部发生了较大规模的滑动。从滑坡形态上分析可将复活滑坡分为左右两部分。

¹ 收稿日期: 2003-09-24
基金项目: 本文研究内容获(国道 317 线妥昌公路改建工程重点滑坡整治研究)资助
作者简介: 樊晓一(1974-), 男, 四川双流人, 硕士研究生, 主要从事滑坡危险度评价和滑坡预测研究。

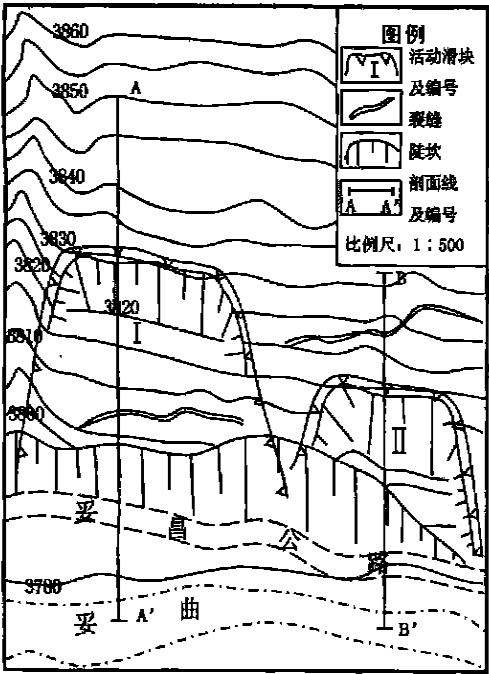


图 1 K351 滑坡地形图

1.1 右滑坡的特征

右滑坡体长 155 m, 平均宽约 85 m, 平均厚度 20 m, 体积约 $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。后缘高程为 3 832 m, 前缘高程为 3 790 m, 剪出口位于公路路面内侧。滑体具有典型推移式滑动特点。组成物质由上而下分别分布着崩坡积层、滑坡堆积层和块石夹土。下覆的基岩为石炭系下统的碳酸岩组, 岩层的产状为 $290^\circ \angle 25^\circ$ 。根据钻孔资料分析, 滑坡体内分布着两级滑动面。次一级的滑动面于 2001 年 7 月发生了一次滑动, 形成了高 6~7 m 的滑坡后壁。滑坡体前部坡度较大, 后部较为平坦, 其前缘受上部滑体下滑挤压而向上翘起, 形成一条近东西向的挤压裂缝, 裂缝宽约 15~25 cm, 可见深约 20~50 cm。

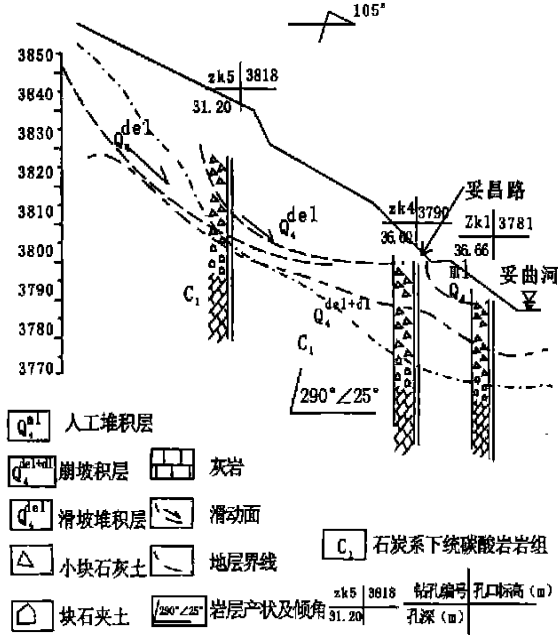


图 2 K351 滑坡工程地质纵剖面图(A-A')

1.2 左滑坡特征

左滑坡的坡度较为一致, 约为 32° ; 坡体长 82 m, 平均宽度约为 70 m, 平均厚度约为 7 m, 体积约 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡后缘高程为 3 832 m, 前缘高程为 3 785 m, 剪出口位于公路内侧。活动滑块 后缘海拔为 3 817 m。地面变形以弧形拉张裂缝为主, 坡体上主要发育着 3 组近似平行的裂缝(图 3), 裂缝长 3~10 m, 可见深度 10~40 cm, 宽 5~40 cm, 并且裂缝之间正逐渐贯通。坡体的物质组成主要为块石土、坡崩积层和滑坡堆积层。坡体上植物生长茂盛, 坡体的中下部生长有“马刀树”、“醉汉树”, 左滑坡为一浅层滑动体, 滑动距离较短。在滑体坡脚散落着表层的坍塌体。

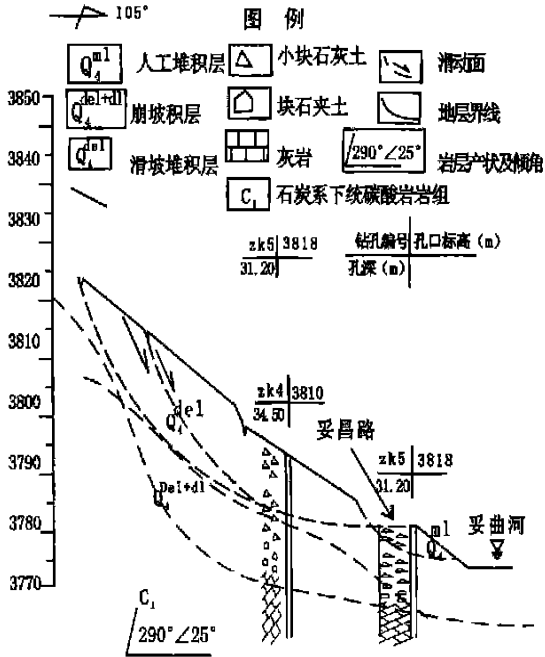


图 3 K351 滑坡工程地质纵剖面图(B-B')

2 滑坡形成机制分析

2.1 滑坡形成特征

K351 滑坡所在地属于高山峡谷地貌。根据现场调查分析, K351 滑坡的对岸为一古滑坡, 历史上曾发生过整体向下滑移活动, 挤压或堵塞妥曲河, 迫使其改变原有的水流方向, 造成河水对滑坡前缘的剧烈冲刷淘蚀, 形成有效临空面^[3]。滑坡体的组成物质主要是由上部基岩的风化、剥蚀、崩落堆积而成的。这些在不同时期基岩风化、剥蚀、崩落的堆积物主要为碎石土、碎石夹块石土、含碎屑黏土和黏土。其中碎石土和碎石夹块石为透水地层。根据钻孔资料揭露, 松散堆积层下覆黏土层湿度很大, 形成了滑坡体内的相对隔水层。地下水沿松散堆积物渗入到黏土层, 降低了黏土的抗剪强度。由于坡体的坡度较大, 这些坡体内的软弱结构面就形成了剪应力的集中带。当黏土层的抗剪强度降低到低于坡体的破坏强度时, 坡体就会发生累进性破坏, 使坡体内的破裂面逐渐贯通, 导致坡体整体失稳, 产生滑坡。

2.2 滑坡的运动特征

K351 滑坡的主滑面发生于黏土层与含碎屑黏土层之间。从滑坡的形态上分析, 右滑坡的滑动为平移滑动^[4], 滑坡体顺

坡向向前和向下滑动, 滑坡前缘的浅层滑动体有向后倾的转动滑坡的特征。滑坡的运动首先是从后部启动, 推移着整个坡体向下滑动。当滑坡滑动到滑坡前缘受到公路路面和挡墙的顶托时, 使其前缘的运动速度减小, 而后部的深层滑动体仍具有较大的势能, 会继续滑动一段距离, 使浅层滑动体沿着次一级的滑面相对于深层滑动体往相反的方向运动, 使其后缘产生反倾现象。在深层滑动体的表面, 发育了挤压裂缝, 而在浅层滑动体表面则发育了拉裂缝。

K351 滑坡左右两侧滑坡在滑动距离上具有明显的差异。根据钻孔分析, 右侧滑坡的黏土层的深度为 15~20 m, 滑动面埋藏较深, 从滑坡体的表面形态上看, 坡体产生了整体滑动。左侧滑坡的黏土层深度为 5~13 m。并且在滑坡体前缘剪除口位置, 可见黏土外露, 表明滑动面埋藏的位置较浅。坡体上分布的裂缝表明坡体各部分滑动的位移不同, 并且在滑动的过程中坡体发生了解体。根据现场勘察资料分析, 左滑坡发生了分块运动。从整体上是由于滑坡后部推移滑动, 但滑坡前缘具有有效临空面, 本身在适当的条件下也会产生滑动。滑坡中部由于滑动面的较平缓并受到前缘的顶托, 滑动位移较小, 并在其前后分别产生了拉张裂缝和挤压裂缝。

2.3 滑坡触发因素

2.3.1 大气降水是滑坡的诱导因素

K351 滑坡地属大陆性半干旱高原气候, 干湿季分明, 年降水量 400~500 mm, 并且集中在 6~8 月。坡体的排水条件较差, 此时雨水沿地表裂缝大量渗入, 使变形斜坡力学强度降低, 土体自重下滑力、斜坡静水压力、动水压力均增大, 打破了变形体临界平衡状态, 是促成斜坡变形破坏的主要诱因之一。槽探发现黏土层湿度较大, 并且在坡体中可见多处泉水呈浸润状产出。

2.3.2 人工开挖坡脚是触发滑坡的触发因素

人工开挖坡脚不仅削弱了抗滑段的抗滑能力而且增大了地下水的水力坡度, 加大了动水压力, 破坏了坡体的完整性。K351 滑坡前缘公路路基开挖, 形成了高陡的边坡, 使公路内侧的坡度达 40°以上, 不仅为滑坡形成提供了有利的临空面, 而且破坏了坡体的应力状态, 加速了滑坡的发育。

3 滑坡危险性评价

K351 滑坡在 2001 年 7 月快速滑动后, 右滑坡形成了高达 6.5~7.5 m 的滑坡后壁, 左滑坡后缘也形成了 1.8~2.5 m 高的陡坎。两滑坡后部的裂缝仍在不断加宽、贯通, 滑坡区前缘变形强烈, 小型崩塌时有发生, 勘察期间, 前缘在建的挡土墙顶部已开始出现裂缝。K351 滑坡处于极限平衡状态。虽然左滑坡在经过了一次快速滑动后, 滑坡体中积聚的能量部分被释放, 但是滑体的重心位置仍然很高, 斜坡的平均坡度也较大, 并且剪出口的位置也较高, 目前滑坡整体上处于缓慢变形并重新积聚能量的阶段。

根据危险斜坡的判别模型^[9], 将危险斜坡的判别因子分为三级。一级判别因子指危险斜坡判别的内部条件(因子)、外部条件(因子)和斜坡变形现状因子。二级判别因子是在每一个一级判别因子中, 根据其作用类别可进行二级判别因子划分。如内部条件中可分为地形、地层岩性和斜坡结构构造等 3 个二级

因子。三级指标是按上述划分原理, 将二级因子的每一类型, 按其在高速滑坡形成中的作用程度进行三级指标划分。若用 A_i^j 表示某一判别因子的某一级作用指数, i 为作用因子编号, 共选取了 15 个因子。 j 表示每个因子作用程度分级。对任何一个斜坡都可建立危险斜坡判别因子指数集:

$$A_i^j = A_1^j, A_2^j, \dots, A_{15}^j \tag{1}$$

一个斜坡发生高速滑坡可能性大小(危险性大小), 一定是用于判别因子作用指数的和, 即:

$$\sum_{i=1}^{15} A_i^j = A_1^j + A_2^j + \dots + A_{15}^j \tag{2}$$

式(2)即可表示斜坡危险性大小, 也可进行斜坡危险程度分级。但此法得出的危险斜坡判别因子作用指数和与其他方法得出的斜坡危险度数据无法比较。所以还需对上述数集并进行“归一”处理, 转变为小于 1 的斜坡危险度:

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^{15} A_i^j}{\sum_{i=1}^{15} N_i} \tag{3}$$

式中: DS ——斜坡危险度, $\sum_{i=1}^{15} N_i$ ——15 个判别因子作用指数之和, 本判别法取值为 20。则式(3)则变成:

$$DS = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{15} A_i^j \tag{4}$$

(4) 式即是斜坡危险度的判别模型。据调查和资料统计分析, 可将发生滑坡的斜坡危险度分为以下三级:

- ① 极危险斜坡 $DS > 0.70$
- ④危险斜坡 $DS: 0.40 \sim 0.69$
- ④④相对稳定斜坡 $DS < 0.39$

根据模型判别, 共列出 15 个作用因子且各作用因子的作用指数列于表 1。根据表 1 中各个作用因子的作用指数, 计算出 K351 滑坡的危险度为 0.88, 属于极危险斜坡。必须对其进行必要的治理。

表 1 K351 滑坡危险度判别指标体系				
一级因子	二级因子	三级因子	作用指数	
内部条件	基本地形	相对坡高(62 m) — 高坡	0.73	
		平均坡度(38 °) — 陡坡	0.73	
		纵向坡形 — 阶状陡坡	1.18	
		横向坡形 — “凹”型	0.28	
	地层岩性	基本岩性 — 具脆性坚硬岩	1.55	
		风化程度 — 强风化岩体	0.95	
		斜坡结构、构造	斜坡岩性组合 — 软硬相	0.59
			间顺向坡	
外部条件	地下水作用	完整结构面	1.91	
		自然地下水作用 — 弱作	0.64	
	削弱坡脚	用		
		渗漏地下水作用 — 强渗	1.46	
斜坡变形现状	滑坡中有多条正在变形的裂缝 — 强变形	水作用	1.46	
		河水冲蚀 — 强冲蚀	1.46	
		人工开挖 — 强开挖	2.36	
			3.82	

4 结 语

(1) K351 滑坡是在其特定的地质、地形条件下形成的推移式堆积层顺坡向滑坡。松散堆积体为 K351 滑坡提供了物

质基础,特殊的地形条件为滑坡的运动提供了基础。

(2) 人工开挖坡脚是触发滑坡的直接因素,降雨是滑坡产生的诱发因素。

(3) K351 滑坡目前处于极限平衡状态,由于坡体的结构复杂,治理措施应包括以下几个方面:

1 根据地形特征和滑坡特征分析,抗滑工程既要阻止滑坡沿新滑动面的滑动,又必须考虑沿老滑动面滑动的可能。由于坡面较陡,表部有多处塌滑现象,可采用面广、孔多、分散加

力的钢筋混凝土格梁加预应力锚索措施。

④在滑坡后部稳定的台地上,布置排水沟。将后部的雨水直接排入妥曲。在坡体内修筑排水渗沟,排除坡体内的地下水。

(四)在公路内侧修筑挡墙和河边修筑挡水墙,防止浅层塌滑和河水冲蚀坡脚影响公路及滑坡的稳定性。

¼ 在对岸坡体的坡脚应修筑一定的保护工程,防止河水对坡体的淘蚀。以避免对岸坡体失稳而对其产生影响。

参考文献:

[1] 张小刚,孔纪名,王成华,等. 国道 317 线妥昌公路改线工程治理研究报告[R]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所,2002. 11, 24- 38.

[2] 乔建平. 滑坡体结构与坡形[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(9): 1 355- 1 358.

[3] 乔建平. 滑坡减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社,1997. 28- 41.

[4] R L 舒斯特,R J 克利泽克(美). 滑坡分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社,1987. 16- 20.

[5] 王成华. 滑坡的危险斜坡判别模型[A]. 中国泥石流滑坡编目数据库与区域规律研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社,1998. 66- 72.

(上接第 147 页)

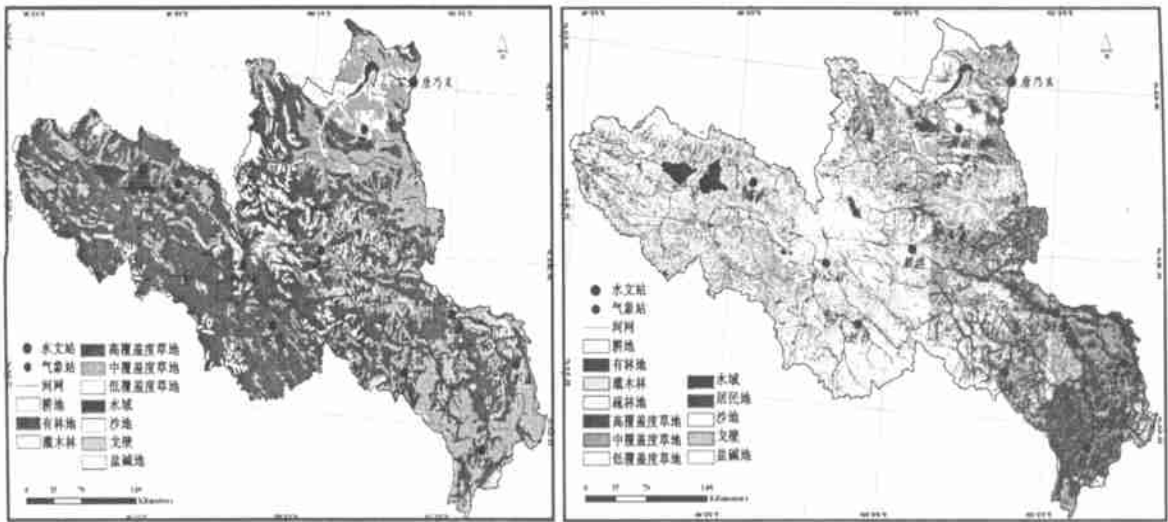


图 6 黄河河源区 80 ~ 90 年代土地覆被现状图

河源区多年平均径流量不同年代变化较大,80 年代最大,到 90 年代急剧下降。80 年代径流系数最大,为 0.29。多年平均径流系数在 0.25 ~ 0.30 之间。河源区径流量的变差系数、年际变化绝对比率和不均匀系数分别为 0.46、2.46 和

0.62,说明径流量年际波动较大。

选取径流系数为反映水文效应的参数,从理论上定型分析了土地覆被变化是影响流域径流系数变化的次要原因,而降水强度和降水量则是影响径流系数变化的主要原因。

参考文献:

[1] 姜爱林,祝国勇. 西部黄河河源区生态环境现状及治理对策[J]. 理论学刊,2000,9(5): 77- 81.

[2] 巴金福,祁万明,汪青春,等. 黄河上游降水时空分布特征及变化趋势[J]. 青海电力,2000,(1): 9- 12.

[3] 祁明荣. 黄河源头考察文集[C]. 西宁: 青海人民出版社,1982. 34- 50.

[4] 史辅成,等. 黄河流域暴雨与洪水[M]. 郑州: 黄河水利出版社,1997. 120- 121.

[5] 汪青春,周陆生,张海玲,等. 长江黄河源地气候变化诊断分析[J]. 青海环境. 1998, 8(2): 73- 77.

[6] 王国庆,史忠海. 气候变化对黄河上游水文的影响[J]. 河南气象,2000,(4): 20- 22.

[7] 闫敏华,邓伟,马学慧,等. 大面积扰动下的三江平原近 45 年气候变化[J]. 地理学报,2001,56(2): 159- 168.

[8] 燕华云. 黄河源区地表水资源特点初步研究[J]. 西北水资源与水工程,2000,11(1): 31- 34.