

大保高速公路 K401 滑坡治理

李光慧

(中国地质大学 北京 100083, 铁道第二勘察设计院)

摘 要 通过对 K401 滑坡地质概况、特征、形成及变形机理以及稳定性分析, 采用排水与支挡结构物相结合的措施对滑坡进行综合治理, 同一根抗滑桩被巧妙地设计为具备稳定滑坡和挡土墙基础两重功效。

关键词 抗滑桩 挡土墙 排水 滑坡治理

1 概述

大理至保山高速公路是国道主干线上海—昆明—瑞丽的重要组成部分, K401 滑坡位于公路里程 K401+000 ~ +250 段, 原设计为半填半挖路基, 路线右侧设置路堑挡土墙、左侧设置路堤挡土墙。该段工程于 1998 年秋季开工, 1999 年 11 月右侧路堑边坡发生大规模坍塌, 地下水从路堑边坡大面积渗出, 路线左侧 220 m 外挡墙出现开裂变形。经地质勘察后进行设计方案招标, 本方案在充分认识滑坡成因的基础上, 采用抗滑桩、抗滑桩基承台衡重式挡土墙和排水等措施综合治理, 被云南省交通厅评定为中标方案。

2 地质概况

2.1 地形地貌

K401 滑坡位于云贵高原西部永平盆地南端山麓, 属构造侵蚀、风化剥蚀中山地貌区, 滑体相对高差大于 250 m, 地表自然横坡 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 滑坡体外山体植被较好。

2.2 地层岩性

滑体范围内地表为第四系滑坡堆积 (Q^{del})、人工弃土 (Q^{me})、残坡积 (Q^{el+dl}) 亚粘土、角砾土、碎石土和块石土, 基岩为侏罗系上统 (J_3) 泥岩夹砂岩。

2.3 地质构造

滑坡范围内主要构造为北西向断裂, 并发育有东西向和北东向次生断裂, 构造节理主要有 $326^{\circ}/79^{\circ}NE$ 、 $46^{\circ}/90^{\circ}SW$ 、 $316^{\circ}/67^{\circ}SW$ 三组, 受构造作用影响, 岩体破碎。

2.4 地下水

滑体内赋存有孔隙水, 水量分布不均匀, 水位变化较大: I 区滑坡后部及滑体内冲沟侧壁有多处渗水; II 区滑坡后缘有少量渗水; III 区滑坡中前部

有大范围渗水。

基岩内赋存有裂隙水, 由大气降雨补给, 含水量小。

地下水类型为 $HCO_3^- - C_2^{+} + Na^{+}K^{+}$ 型水, 对钢筋混凝土无侵蚀性。

2.5 地震烈度

滑坡范围内地震基本烈度为 VIII 度。

3 滑坡特征

3.1 滑坡形态

依据滑坡形成的先后秩序将滑坡分为 I、II、III 区 (图 1)。

I 区滑坡后缘距公路约 150 m, 主滑方向为 $S10^{\circ}W$; 滑体宽度约 170 m, 主轴方向长度约 700 m, 后部滑体厚度 16.2 ~ 32.9 m; 滑坡地貌特征明显, 周界清晰, 滑体体积约 $300 \times 10^4 m^3$, 属大型滑坡。

II 区滑坡后缘位于公路 K400+980 ~ K401+150 左侧约 20 m, 主滑方向与 I 区滑坡一致; 滑体宽度约 145 m, 主轴方向长度约 200 m, 高差约 90 m; 滑体最大厚度 33.6 m, 平均厚度 27 m, 滑体体积约 $78 \times 10^4 m^3$, 属大型滑坡。

路线从 III 区滑坡下部通过, 公路里程为 K401+050 ~ +205; 主滑方向为 $S38^{\circ}E$; 滑体主轴方向长度约 280 m, 滑体宽度约 50 ~ 150 m, 高差约 130 m, 滑体最厚 39.2 m, 平均厚度约 23 m, 滑体体积约 $64 \times 10^4 m^3$, 属大型滑坡。

3.2 滑体、滑带土、滑动面及滑床特征

(1) 滑体特征。滑体物质成份不均匀、上部松软、中下部物质成份较为紧密, 局部有 10 m 厚弱风化泥岩夹砂岩。

(2) 滑带土特征。滑带土为软塑—硬塑状亚粘土夹泥岩质角砾, 角砾含量 10% ~ 40%, 松散—中密, 潮湿—饱和状, 一般厚 0.2 ~ 1.5 m, 局部厚达 5.1 m。取土样进行物理力学试验, 滑坡物理力学指标为: 滑体物质容重 $\gamma = 22 kN/m^3$, 滑带

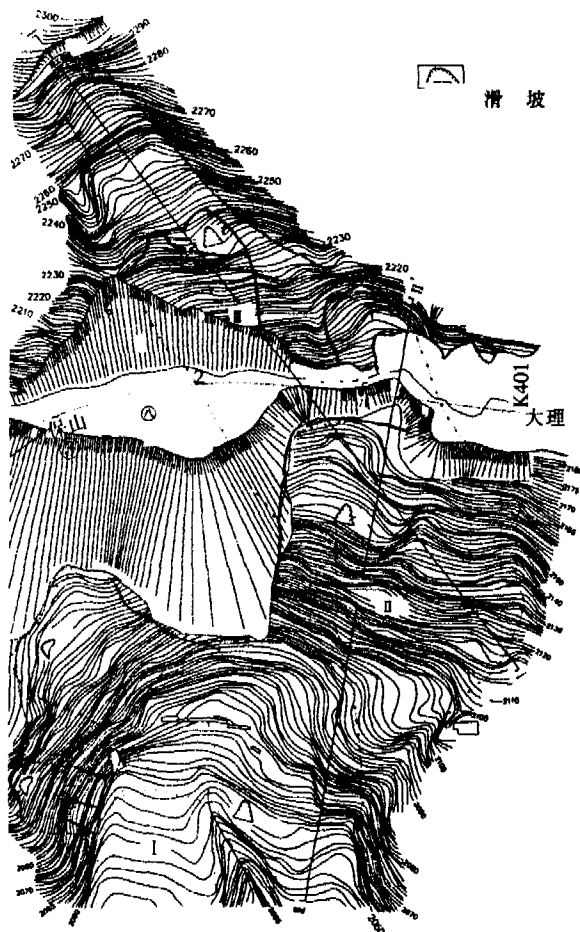


图1 滑坡平面示意图

土抗剪强度指标 $c = 16 \text{ kPa}$, $\varphi = 19^\circ$ 。

(3) 滑动面特征。滑动面是由层理面、构造节理面组合成的软弱结构面;滑动面呈直线型,后部倾角约 30° ,中部主滑段倾角约 22° ,下部倾角小于 8° ,后部、中部主滑段及前部之间均有圆弧型过渡性滑动面。

(4) 滑床特征。滑床物质成份为泥岩夹砂岩,为弱风化,岩石较完整,构造节理面风化物极少。

4 滑坡形成及变形机理

由于构造作用、断裂及岩石节理裂隙发育,致使岩体破碎,在岩体中形成由层理面、构造节理面组合的软弱结构面,软弱结构面以泥岩为主,泥岩具膨胀性、遇水软化、粘性强、抗滑能力弱等特点,风化作用破坏其原始结构,地下水在软弱结构面上浸泡,产生突滑形成 I 区滑坡。

I 区古滑坡形成后,在滑坡后缘形成临空面,在地质和雨水共同作用下形成了 II 区滑坡。

II 区古滑坡形成后,其后缘形成临空面,在地质和雨水共同作用下形成 III 区滑坡,III 区古滑坡后缘已接近山顶。

滑坡是由下而上依次间断产生的牵引式基岩切层滑坡。

5 滑坡稳定性分析

5.1 定性评价

施工前滑坡有多处地面裂缝,随着工程实施,在 I 区滑坡后部和 II 区滑坡体上堆载了约 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 工程弃土,在 III 区滑坡前缘开挖路堑切断部分滑体形成临空面,雨水沿松散岩土体渗入,降低了软弱面的力学强度,导致了滑坡体的加速变形。

滑坡变形表现为多种形式:施工弃土沿原始地表溜坍和滑移,滑坡体表层溜坍,滑坡体浅层次生滑动。表层溜坍多为快速滑移,浅层滑体于 1999 年雨季部分完成初滑,部分处于蠕变阶段,滑坡产生复活变形迹象,未发现明显整体位移的迹象。

5.2 定量评价

采用极限平衡理论计算滑坡稳定系数 F 值,滑坡稳定系数计算主要参数选取如下。滑体密度: $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ 。滑带土抗剪指标: $c = 16 \text{ kPa}$, $\varphi = 19^\circ$ 。滑坡稳定性安全系数 (F_s) 在工程条件下取 1.05;地震影响综合系数 (C_E) 值取 0.25。

计算结果表明:在工程状态下,II 区滑坡剩余下滑力 $3\,959 \sim 8\,343 \text{ kN/m}$;III 区滑坡剩余下滑力 $5\,536 \sim 8\,252 \text{ kN/m}$ 。在工程状态下,II、III 区滑坡均处于不稳定状态;I 区滑坡未进行定量分析计算。说明对 II、III 区滑坡必须整治。

6 滑坡整治方案

6.1 滑坡整治总体思路

(1) 滑动带以下为软质岩石,岩体较为破碎,所有工程基础均需置入滑动面以下一定深度;加强地表排水措施,防止地表水渗入滑坡体,降低滑坡体物理力学指标。

(2) I、II 区滑坡体上布设观测桩,定期测量,以进一步研究两区滑坡的发展趋势;K401 + 205 ~ + 250 稳定路堑边坡渗出的地下水应排到下游,防止恶化滑坡条件。I 区和 II 区滑坡采取加强地表排水等工程措施改善滑体的稳定条件,滑体逐步排水、固结和压密,提高滑体的物理力学指标。

(3) III 区滑坡的稳定直接关系到大保高速公路能否建成和建成后的安全问题,必须采用安全稳妥而又经济节约的方案进行整治。

(4) III 区滑坡整治方案。设计考虑了三个方案比选:方案 1 采用桥梁通过,滑坡按现状稳定进行治理,该方案的优点施工中对 II 区滑坡的扰动和影响小,有利于滑坡稳定,缺点是工程结构较复

杂、投资较大,因滑体治理后还有挤密压实阶段,对桥墩有一定影响,需作特殊处理;方案 2 采用路基通过,滑坡按增设路基工程后稳定治理,优点是工程简单,允许滑体有压密变形过程,工程风险较小,缺点是路线左侧施工对 II 区滑坡的影响较大;方案 3 采用隧道通过,路线向右改移,优点是彻底避开滑坡,安全可靠,缺点是费用较大。因路线两端大桥都已开工建设,改移路线则会出现大量报废工程而不经济,故采用方案 2 作为 K401 滑坡整治方案。

6.2 滑坡整治措施

6.2.1 滑坡整治总体措施

鉴于滑坡复活的主要原因是地表水沿泥岩夹砂岩构造裂隙下渗转化为地下水,引起滑带土物理力学指标降低,加之太保高速公路修建弃碴于 II 区滑体后缘,致使 I、II 区滑体向前滑动,III 区滑体在失去前缘支撑的条件下复活。为确保太保高速公路及 III 区滑体稳定,设计本着标本兼治、技术上可行、经济上合理的原则;采用拦截地表水、排走地下水、抗滑桩与抗滑桩基承台衡重式挡土墙等措施相结合对滑坡进行整治,抗滑桩设计推力为 3 568 kN/m,安全系数为 1.15,按本滑坡治理方案和路基方案进行施工,可确保太保公路安全。

6.2.2 滑坡整治具体措施

(1) K401+051.2 ~ +184.51 左侧距路线中心 11.0 ~ 14.2 m, 设置抗滑桩一排, 共 17 根抗滑桩, 桩截面分别为 3.5 m × 3.0 m、3.0 m × 2.5 m 两种, 桩长分别为 42.5 m、37.0 m、32.0 m。

(2) K401+069.44 ~ +190.26 右侧距路线中心 14.2 ~ 15.4 m, 设置抗滑桩一排, 共 16 根抗滑桩, 桩截面分别为 3.5 m × 3.0 m、3.0 m × 2.5 m 两种, 桩长分别为 44.5 m、37.0 m、32.0 m、24.5 m、20.0 m。

(3) 抗滑桩长轴方向与 III 区滑坡主轴方向一致, 与 III 区滑坡主轴垂直方向桩中心间距 6.0 m; 在 III 区滑坡中部及外缘各设矩形截水沟一道, 两截水沟汇合后将水引至公路边沟。截水沟截面 0.4 m × 0.6 m, 浆砌厚度为 0.3 m。

(4) 路线右侧抗滑桩间设 11 道支撑渗沟, 截面为 1.6 m × 2.0 m, 渗沟总长 851.3 m; 渗沟上游自然坡面上方向与 III 区滑坡主轴方向一致, 下游路基开挖坡面上方向与路基横断面方向一致。

(5) K401+050 ~ +235 右侧, 在抗滑桩前设置护面墙, 最大墙高 7.3 m, 墙顶与抗滑桩顶高程一致, 在渗沟出水口处留 0.4 m × 0.4 m 排水通道。护面墙隔 15 m 设一道伸缩缝, 边沟底以上沿墙长及墙高每隔 2.5 m 交错设置 0.15 m × 0.10 m 泄水

孔一个, 护面墙两端顺接原设计护面墙。

(6) K401+058.3 ~ +157.68 左侧抗滑桩顶设托梁, 托梁上砌筑路肩挡土墙, 最大墙高 10.0 m; K401+050 ~ +215 右侧护面墙顶沿 III 区滑坡主轴方向按 1:1.5 坡率刷坡, 最大边坡高 27.7 m。(见图 2)

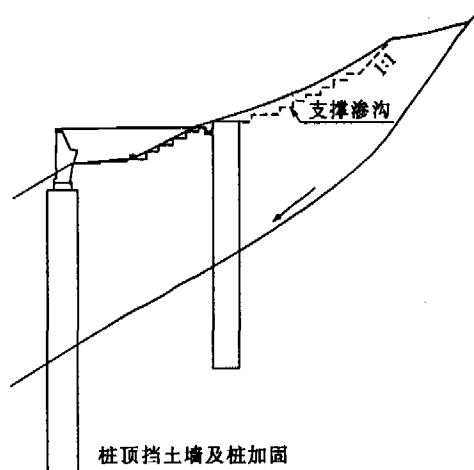


图 2 路基横断面设计示意图

(7) III 区滑坡中部截水沟以下至路线右侧护面墙顶坡面种草籽防护; III 区滑坡坡面上裂缝用粘性土回填夯实, 以防表水下渗, 恶化滑坡条件。

(8) 下排桩 6 号与 7 号桩间、10 号与 11 号桩间、13 号与 14 号桩间, 对应上排桩 24 号与 25 号桩间、28 号与 29 号桩间、31 号与 32 号桩间设三道排水隧洞, 排水隧洞方向与 III 区滑坡主轴方向一致, I 号、III 号排水隧洞出口修筑 0.4 m × 0.6 m 梯形截水沟将水引至 II 号排水隧洞出口, 汇聚后用 0.4 m × 0.6 m 梯形截水沟将水引至滑坡体外。

(9) 排水隧洞路面以外部分每隔 2 m 设一组 (2 根) φ42 带梅花孔钢管, 管长 3.5 m, 排水隧洞除抗滑桩处外, 两侧设排水盲沟用于排泄滑体内地下水。

(10) 路堤填方采用土工格栅加固, 土工格栅间距 0.6 m, 要求采用双向拉伸的土工格栅, 其极限抗拉强度不小于 20 kN/m。土工格栅沿横断面方向铺设, 搭接宽度不小于 0.1 m。(见图 3)

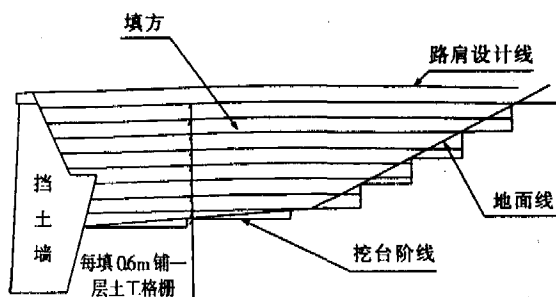


图 3 土工格栅加固路基横断面设计示意图

滑坡稳定度的分析*

刘振明

(中铁西北科学研究院 甘肃兰州 73000)

摘 要 对滑坡的整体稳定度按滑距、时间、运动速度等进行力学分析,对一些文献随滑动阶段取 K_0 值计算力学方法提出作者的不同观点,供同行探讨。

关键词 稳定系数 加速度 运动定律

滑坡是斜坡部分岩土,在重力作用下,受自然或人为因素影响,沿一定的软弱面(软弱带),整体位移的变形现象。滑坡可按地质、岩土类别、物质组成、变形条件、规模大小等有多种分类,但其力学本质是下滑力与抗滑力的对抗。本文对滑坡的整体稳定度进行力学分析,作为后续文章的铺垫,与同行探讨。

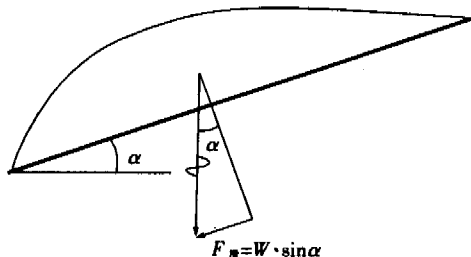


图1 下滑力示意图

1 滑坡整体稳定度(稳定系数)的定义

$$K_0 = \frac{\text{抗滑力(矩)}}{\text{下滑力(矩)}} = \frac{F_{\text{抗}}}{F_{\text{滑}}} \quad (1)$$

(这里有两层含义,一是力的平衡,二是力矩的平衡,常规指力的平衡。)

滑坡的经典文献对稳定系数的取值(在反算 c 、 φ ,或判断滑坡的稳定性时)是这样界定的(这是滑坡整治工程力学分析的基础,引用此界定值的资料浩如烟海):

蠕动挤压阶段 $K_0 = 1.10 \sim 1.05$

初动时: $K_0 = 1.00$

滑动阶段: $K_0 = 0.95 \sim 0.99$

2 理论分析

再从另一角度来看滑坡的整体稳定度:

$$K_0 = \frac{F_{\text{抗}}}{F_{\text{滑}}} \Rightarrow F_{\text{抗}} = K_0 F_{\text{滑}}$$

使滑坡体沿滑面(带)运动的力为式(2)

$$F = F_{\text{滑}} - F_{\text{抗}} = F_{\text{滑}} - K_0 F_{\text{滑}} = F_{\text{滑}} (1 - K_0) \quad (2)$$

因为 $F_{\text{滑}} = W \cdot \sin \alpha$ (见图1)

$$\text{所以 } F = W \cdot \sin \alpha (1 - K_0) \quad (3)$$

由于滑面为弧线或直线或折线或组合线,而 F 为一运动方向的矢量,所以不排除滑坡体内部的挤压与拉伸现象。

根据运动定律:加速度 a 与稳定系数 K_0 和滑床倾角 α 的关系式如式(4)

$$a = \frac{F}{m} = \frac{W \sin \alpha (1 - K_0) g}{W} = \sin \alpha (1 - K_0) g$$

$$= 9.81 \times \sin \alpha (1 - K_0) \quad (4)$$

加速度 a 值随 K_0 、 α 而变,不同 α 随 K_0 变化的 a 值如表1。

表1 a 值表 m/s^2

K_0	$\alpha / (^{\circ})$			
	10	20	30	40
0.99	0.017	0.034	0.049	0.063
0.98	0.034	/	/	0.126
0.97	0.051	/	/	0.189
0.96	0.068	/	/	0.252
0.95	0.085	/	/	0.315

当滑坡初速 $v_0 = 0$ 时,按滑距 $= \frac{1}{2} a \times 60^2$ 计算

可得滑坡1分钟末的滑距如表2。

* 滑坡治理工程力学分析之一

7 治理体会

本项目关键技术是长度42.5 m、截面3.5 m × 3.0 m的抗滑桩与桩顶托梁及托梁上10 m高衡重式路肩挡土墙的有机组合。

设计主体思路是确保公路安全,对I、II区滑

坡只作地表水拦截和排泄处理。

抗滑桩作为稳定滑坡的主要手段,同时作为挡土墙的基础;施工过程中采用护壁和内支撑相结合,配用抽水和通风设备,成功完成桩体挖基和浇注。现工程已竣工三年多,公路路基稳定、完好。

收稿日期:2005-01-24