

# 山区高速公路超长滑坡体变形机制及治理方案研究

葛绪祯<sup>1</sup>, 王雄江<sup>2</sup>

(1. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071;

2. 武汉理工大学 土木工程学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 以贵州省道新(道真—新寨)高速公路超长滑坡体为例,在概述坡体变形情况的基础上,分析了边坡滑塌产生的原因和机制,进行了边坡稳定性定性评价,通过滑坡稳定性计算分析提出了相关治理方案及施工注意事项。

**关键词:** 公路;高边坡;滑塌;抗滑桩

中图分类号:U485

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0099-04

## 1 项目概况

贵州省道新(道真—新寨)高速公路 K92+191—368 段左侧边坡原设计为一级坡,坡高约 10 m,坡率为 1:1,采用攀爬植物防护。于 2014 年 12 月中下旬开挖施工,现场开挖揭露坡体为淤积夹孤石、坡面渗水严重。2015 年 1 月上旬,坡顶外侧地面出现微裂缝,坡体出现滑移现象;2015 年 1 月中旬坡体变形迹象越趋明显,红线外约 300 m 区域多处出现裂缝,包括 2 处民房地坪开裂。

2015 年 5 月 15 日召开边坡变更方案评审会,形成如下意见:同意采取双排支挡方案,建议将一级边坡增设抗滑桩,确保坡脚稳定;采用双排支挡变更设计,一次设计分期实施,第一排支挡实施后,根据监控稳定情况确定是否施作第二排抗滑桩支挡。

2015 年 8 月 15—19 日持续降雨,第一排抗滑桩施工中后缘坡体裂缝持续发展,民房多处开裂。

## 2 坡体变形情况及变形原因

### 2.1 边坡边界、规模及形态特征

边坡位于线路左侧,边坡裂缝边界以基岩出露带、地形陡变带、裂缝控制带为界;边坡后缘未见明显陡坎,以大量出现的张拉裂缝为界;前缘位于高速公路路基开挖后的坡脚部位,左右两侧以基岩出露带为界。

边坡裂缝带平面形态呈舌状,前缘高程约 678 m,后缘高程约 774 m,高差约 96 m;纵向长约 600 m,横向宽 100 m。边坡体平均厚 20 m,面积约 6×

10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>。

### 2.2 边坡变形破坏过程及特征

路基边坡开挖后,边坡前缘发生一定变形,以小裂缝为主,未造成重大损失。2015 年 1 月 13 日,边坡变形加剧,前缘剪出口基本形成,剪出位移 10~20 cm,左右缘剪切裂缝间断发育,形成众多张拉裂缝,裂缝宽度 2~7 cm、长度 2~20 m。受其影响,边坡体位置 2 户居民房屋受损严重,地坪开裂,基础发生偏移,危险性较大;边坡后缘多处房屋出现张拉裂缝。

### 2.3 边坡体物质组成与结构特征

根据调查测绘及勘探资料,该边坡物质组成在边坡中下部、边坡上部差异较大。分述如下:

(1) 分布于边坡体中下部的崩塌堆积层。崩塌堆积层主要为块石,呈青灰色、灰色;块石含量 50%~70%;成分为灰岩,粒径 5~50 mm,个别达 70 mm;呈次棱角状,间隙充填碎石、黏性土、砾砂等。工程地质性质差,厚度大,抗剪强度低。

(2) 分布于边坡体上部的耕植土、碎石等。耕植土呈土黄色、紫红色,以黏土为主,表层含较多植物根系,底部含较多碎石,钻孔揭示厚度约 4.0 m。碎石呈紫红色、灰绿色,碎石含量约 55%,主要成分为泥岩,粒径一般为 5~9 cm,充填 45%的黏性土,钻孔揭示厚度约 3.3 m。工程地质性质差,厚度较大,抗剪强度低。

(3) 分布于堆积体下部的强风化泥岩。强风化泥岩呈灰绿色、紫红色,风化强烈,泥质结构,层状构造,岩体极破碎,岩芯呈碎石状、半岩半土状。工程

地质性质差,厚度不均,遇水后力学性质下降明显,抗剪强度低。

### 2.4 影响因素及变形机制分析

#### 2.4.1 影响因素

边坡变形影响因素包括内、外部条件,内部条件包括地形地貌、地层岩性,外部条件包括坡体排水、降雨、人类工程活动等。

(1) 地形地貌。整个坡体破裂带为两山脊夹一宽缓冲沟,地形较平缓,局部形成宽缓平台,由于地形低洼,两侧雨水、地下水从该处径流排泄。边坡前缘为冲沟,为边坡变形破坏提供了良好临空条件。

(2) 地层岩性。坡体地层主要为崩塌堆积形成的块石,块石间隙由碎石、黏性土、砾砂充填,由于堆积体地表水、地下水丰富,地下水可能将块石间隙中的黏土、砾砂逐渐掏空,对坡体的稳定性极为不利。块石为透水层,为边坡体的主要组成物质,边坡体下覆基岩为灰岩,属硬质岩,为相对隔水岩层,块石与灰岩的接触地带地下水富积,容易形成软弱滑动带,坡体可能沿该软弱面滑移失稳。

(3) 地表灌溉引水、坡体排水。为方便农田灌溉,坡体上修筑了大量引水灌溉水渠,滑坡坡体上分布大量水田,溪流交错。总体上滑坡体地表水较发育,长年流水不断。地表灌溉水从坡顶沿水渠流入芙蓉江,坡体发生滑移后,地表水从坡体后缘渗入、前缘剪出口流出。路基开挖后,在路基左侧发育一泉眼,流水不断,流量 0.5 L/s(43 200 L/d)。泉眼排水一段时间后,坡体顶部的民房地坪开裂,基础偏移,斜坡体地下水位明显下降。

(4) 降雨。根据气象资料,边坡体处雨水较丰富,连续而丰富的降水使冲沟坡体长期处于湿润~半饱水状态,不仅加大了边坡土体自重,同时软化、泥化边坡岩土体。

(5) 人类工程活动。坡表耕种、山路交通,长期的动荷载改变了下部岩土体结构,使其一定深度的强度降低;水田蓄水、生活蓄水长期软化坡体,边坡区岩土体参数远低于两侧岩体;路基开挖形成临空面,为边坡变形提供了空间条件,减少了阻滑段长度,降低了坡体稳定性。

综上,在内因和外在的共同作用下打破原有力学平衡而导致边坡向下发生滑移,边坡体冲沟地形、较差的物理力学性质是内因,前缘路堑开挖、连续降雨是外部诱因。

#### 2.4.2 变形机制分析(见图 1)

(1) 破裂面 1。位于临近高速公路位置、坡体前缘。边坡体上部覆盖层为崩塌堆积形成的块石,下伏岩体为灰岩、碎裂岩,逆向坡,层面稳定。边坡体覆盖的块石层厚度大,超过 30 m,坡体地表水、地下水丰富。坡表居民人工活动较多,降低了坡体岩土体物理力学性质。路基的开挖使滑坡前缘阻滑段长度减小,随着滑坡体及滑坡体边缘裂缝的不断扩大,地表水沿裂隙不断下渗,坡体内部形成水流通道,在滑坡体剪出口处发育下降泉。坡体内流水贯通后,产生动静水压力,下滑力增大,抗滑力减小,边坡稳定性降低。在重力作用下,坡体前缘容易沿最不利滑面变形剪出,并牵引上部坡体滑移。

(2) 破裂面 2。位于高速公路左侧约 450 m 位置、坡体后缘。边坡体上部为第四系耕植土、崩塌形成的块石、强风化泥岩,下部为中风化砂质泥岩、中风化泥灰岩。受破裂面 1 的牵引作用,破裂面 2 的下滑力得到有效释放,后缘张拉裂缝不断形成,但前缘剪出口无有效临空面。在下滑力作用下,前缘不断隆起(位于高速公路左侧约 450 m 位置房屋破损严重),同时形成大量裂缝,地表水流入地下,坡体发生缓慢蠕变。

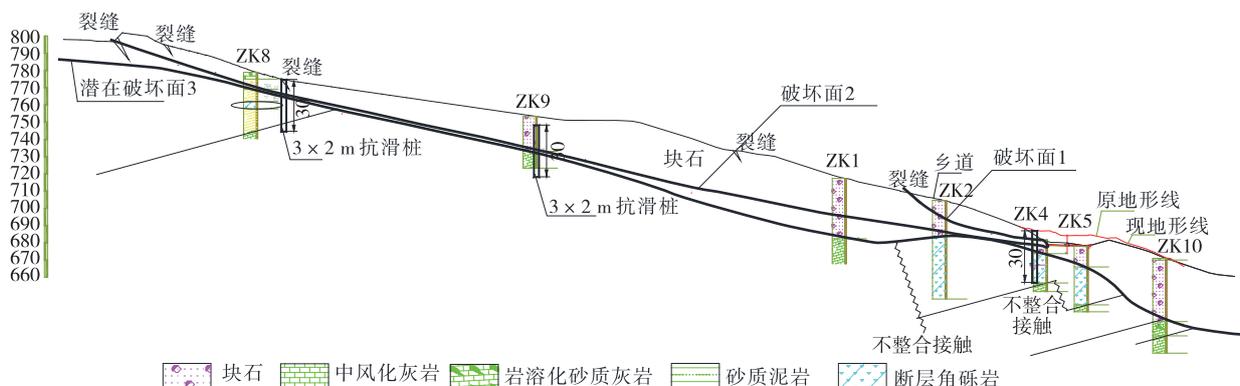


图 1 边坡变形机制分析示意图(单位:m)

## 2.5 边坡稳定性定性评价

边坡前缘破坏面1、边坡后缘破坏面2在天然情况下均处于基本稳定状态,但在暴雨、边坡施工等不利条件下均处于不稳定状态,可能发生进一步滑动。且随着破坏面1的牵引作用,破坏面2将发生大规模破坏。目前边坡总体(潜在破坏面3)处于稳定状态。

## 3 滑坡稳定性计算分析

### 3.1 计算剖面的确定

根据钻探资料绘制4条断面,其中P1-P1'断面地表发育大量裂缝,前缘出现明显破坏带,选取该断面进行稳定性计算(见图1)。根据边坡工程地质条件及变形破坏机制,采用不平衡推力传递系数法进行稳定性验算。

### 3.2 参数选取

根据地质勘探报告,经综合分析,确定表1所示边坡主要物理力学计算参数。

表1 边坡主要物理力学指标值

断面	岩性	性能指标	取值	
			天然状态	饱和状态
破坏面1	块石土	重度/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	21.5	22.5
		内聚力/kPa	12.6	11.3
		内摩擦角/( $^{\circ}$ )	17.4	15.7
破坏面2	块石土 黏土(含砾石)	重度/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	21.5	22.5
		内聚力/kPa	13.2	10.82
		内摩擦角/( $^{\circ}$ )	9.7	8.05
潜在破坏面3	块石土	重度/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	21.5	22.5
		内聚力/kPa	10.1	9.1
		内摩擦角/( $^{\circ}$ )	18.2	16.3

### 3.3 计算工况与安全系数

该边坡工程安全等级为一级,根据JTG D30—2015《公路路基设计规范》,边坡安全系数,工况一[自重(天然状态)]下取1.25,工况二[自重+暴雨(饱水状态)]下取1.15。

### 3.4 稳定性分析计算

P1-P1'断面的稳定性系数和剩余下滑力计算结果见表2。

从表2来看,边坡前缘地带出现的破裂面1,天然状态下的稳定性系数为1.122,处于基本稳定状

表2 P1-P1'断面的稳定性系数和剩余下滑力

断面	破坏模式	稳定性系数		剩余下滑力/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	
		工况一	工况二	工况一	工况二
破坏面1	最不利滑面	1.122	0.995	564.61	723.03
破坏面2	软弱滑动带	1.223	0.996	354.56	2 142.77
潜在破坏面3	上部:岩土界面 下部:最不利滑面	1.551	1.376	—	—

态;暴雨状态下的稳定性系数为0.995,处于不稳定状态。边坡后缘地带出现的破裂面2,天然状态下的稳定性系数为1.223,处于基本稳定状态;暴雨状态下的稳定性系数为0.996,处于不稳定状态。坡体总体(潜在破坏面3)处于稳定状态,计算结果与现场实际情况相符。

## 4 工程处治

### 4.1 处治措施(见图2)

(1)在第一排抗滑桩桩顶增设桩顶系梁,增加抗滑桩的整体刚度。

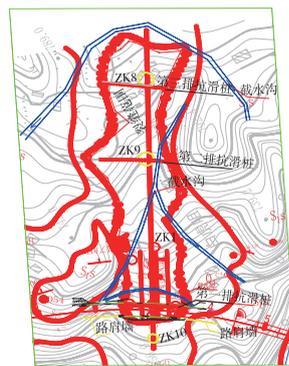


图2 边坡工程处治平面图

(2)为保证运营期间高速公路的安全,立即实施第二排抗滑桩。在路基左侧324 m处设置16根 $3 \times 2 \text{ m}$ 矩形抗滑桩,桩长25~30 m,间距6 m;为保证嵌岩深度,埋入地下5 m;桩身采用C30砼现浇,主筋采用HRB500,构造筋等采用HRB400。

(3)在路基左侧448.5 m处设置第三排抗滑桩。设置24根 $3 \times 2 \text{ m}$ 矩形抗滑桩,桩长30 m,间距5 m,必须保证其嵌岩深度;桩身采用C30砼现浇,主筋采用HRB500,构造筋等采用HRB400。

(4)进行边坡变形观测,结合深部位移监测整个坡体。

(5)为防止地表水下渗,对坡体裂缝采用黏土

或砂浆封闭。

(6) 地表、深层排水处理。1) 地表排水措施。边坡体周界外缘 5 m 处及坡体中部设置截水沟排除地表水。2) 深层排水措施。由于坡体已滑移扰动, 裂缝、裂隙发育, 地表水及地下水集中于滑动带处, 影响边坡的稳定。为排出坡体内部积水, 于第一级边坡布设 9 m 长深层导水孔排水。导水孔直径为 110 mm, 导水管采用 φ100 mm PVC 或 HDPE 带孔波纹管, 管外用透水无纺土工布包裹。导水孔上仰与水平夹角为 10°, 呈梅花形布设, 导水孔间距 2~3 m、长 9 m。实际工程中可根据边坡开挖情况、边坡水出露位置、抗滑桩开挖后验证的地下水埋深、层位等适当调整。在路堑边沟下方加设排水渗沟, 降低地下水位, 避免地下水对路基产生影响。

4.2 施工步骤

(1) 完善山体坡面防排水。在原有边坡体周围设置截水沟, 将坡体周围和内部雨水排走, 并封闭已有裂缝, 防止雨水下渗加快坡体滑动。

(2) 结合深部位移监测进行坡体监测, 放样实施第二、三排抗滑桩, 进行抗滑桩基坑开挖和钢筋砼抗滑桩浇筑。抗滑桩采取隔桩施工方法, 待抗滑桩浇筑完成达到设计强度后进行相邻隔桩基坑开挖。

(3) 采用动态设计, 如地质情况发生变化, 及时进行调整。

5 结语

通过对 K92+191—368 段左侧边坡滑塌的治

理, 得到高速公路超长滑坡体治理体会如下:

(1) 因工程地质的复杂性和多变性, 在制订高边坡滑塌治理方案时, 先应现场了解坡体变形情况、变形过程, 分析坡体产生变形的原因及变形机制, 结合地质、水文特征等提出有针对性的处治方案。

(2) 水是产生滑坡体的最主要原因之一, 边坡施工最好避开雨季, 并在施工前做好排水措施, 以免边坡受雨水冲刷和降雨下渗而失稳。

(3) 在施工和后期运营过程中都应加强对边坡变形的监测, 发现问题及时提出解决方案。

参考文献:

[1] 常士骝, 张苏民. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

[2] JTG D30—2015, 公路路基设计规范[S].

[3] 廖小平, 朱本珍. 路堑边坡工程设计理论与实践[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.

[4] 尹平保, 贾文文, 罗忠涛, 等. 震区岩质边坡动力特性及影响因素数值模拟研究[J]. 公路与汽运, 2017(6).

[5] 陈小波, 李钊, 刘龙武, 等. 土工格栅加筋土治理红黏土路堑边坡软化滑塌探讨[J]. 公路与汽运, 2017(6).

[6] 吴勇. 山区高速公路边坡滑塌治理方案分析[J]. 建筑知识: 学术刊, 2011(11).

[7] 朱益军, 杨少华. 浙江某高速公路大型复杂滑塌治理方案[J]. 中外公路, 2010, 30(3).

收稿日期: 2017-11-13

\*\*\*\*\*

(上接第 98 页)

(2) 填筑高度 < 8 m 时, 滑动面在原状土坡上; 随着填筑土体的增大, 滑动面位置增高, 滑动弧线长度减小。填筑高度为 8~10 m 时, 滑动面转移到填筑土体上, 容易发生一级边坡局部滑动; 填筑高度为 10~19 m 时, 随着第二级边坡的填筑, 滑动面延伸至第二级边坡上, 容易导致一、二两级边坡整体滑动; 填筑高度 > 19 m 时, 随着第三级边坡的填筑, 滑动面延伸至第三级边坡上, 容易导致三级边坡整体滑动。

(3) 数值模拟、瑞典条分法、简化 Bishop 法所得稳定性安全系数均呈先增大后减小的趋势, 且有两种方法所得稳定性系数比规范值小, 该边坡初步设计方案不足以保证安全, 需进一步采取加固措施。

参考文献:

[1] 史卜涛, 张云, 张巍. 边坡稳定性分析的物质点强度折减法[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(9).

[2] 李广权, 黄震, 周国云. 基于 FLAC<sup>3D</sup> 强度折减法的边坡稳定性影响因素分析[J]. 公路与汽运, 2013(6).

[3] 姚文敏, 胡斌, 余海兵, 等. 三维软硬互层边坡的破坏模式与稳定性研究[J]. 工程科学学报, 2017, 39(2).

[4] 杨校辉, 朱彦鹏, 周勇, 等. 山区机场高填方边坡滑移过程时空监测与稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 35(增 2).

[5] 何忠明, 刘登生, 付宏渊, 等. 降雨入渗对粗粒土斜坡路堤稳定性及变形影响的数值分析[J]. 长沙理工大学: 自然科学版, 2017, 14(1).

收稿日期: 2017-11-16