

# The Stability Analysis and Prevention of a Retrogressive Landslide Induced by Construction

Wei Zhou<sup>1</sup>, Feng Chen<sup>2</sup>, Tianzhu Lan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Wuhan Harbour Engineering Design and Research Co. Ltd., Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Second Highway Consultants, Co. Ltd., Wuhan Hubei

<sup>3</sup>China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Email: 1349023503@qq.com

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 15<sup>th</sup>, 2017; published: May 18<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Retrogressive landslide is one of the common types of slope disaster in the highway construction. K7 landslide caused by engineering construction is a medium landslide which occurred in highway of Jiangkou to Weng'an in Guizhou province. Based on the engineering geology analysis, the engineering geological conditions of the landslide, the landslide stability influence factor and failure mechanism was analyzed. Furthermore, we calculated the landslide stability coefficient and evaluated the influence of excavation and the rainfall on landslide stability quantitatively, coming to the conclusion that excavation and rainfall had great influence on state stability and the stable factor of the landslide, and the excavation and rainfall will larger influence on safety coefficient and stability state. And we took the comprehensive management measures including anti-slide pile, drainage, closing the cracks of the slope and so on to treat the landslide. The monitoring results show that the cause analysis of the K7 landslide is correct, and the comprehensive treatment scheme is reasonable.

## Keywords

Retrogressive Landslide, Impact Factor, Stability Analysis, Treatment of Engineering Measures

---

# 某施工诱发牵引式滑坡的稳定性分析及防治

周 威<sup>1</sup>, 陈 锋<sup>2</sup>, 蓝天助<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉

<sup>2</sup>中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉

<sup>3</sup>中国地质大学(武汉), 湖北 武汉

Email: 1349023503@qq.com

收稿日期：2017年4月28日；录用日期：2017年5月15日；发布日期：2017年5月18日

## 摘要

牵引式边坡滑坡是高速公路建设中常遇到的边坡灾害类型之一。K7滑坡为一发生于贵州省江口至瓮安高速公路境内的中型滑坡，是由于工程建设而引发的牵引式滑坡。基于工程地质分析法，对该滑坡的工程地质条件、滑坡稳定性影响因数及破坏机制进行了分析，通过计算该滑坡的稳定性系数及定量地评价开挖及降雨对滑坡稳定性的影响，得出该滑坡在开挖及降雨作用下处于不稳定状态，且开挖和降雨都会对安全系数及稳定性状态产生较大的影响。并对该滑坡采取了抗滑桩、排水、封闭坡体裂缝相结合的加固措施。通过监测表明，K7滑坡原因分析正确，综合治理方案合理。

## 关键词

牵引式滑坡，影响因数，稳定性分析，治理工程措施

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

滑坡是全球性三大地质灾害之一，滑坡地质灾害对人民生命及正常生产生活造成了极大的危害[1]。随着我国高等级公路、快速铁路的迅猛发展，由于工程建设引发的地质灾害越来越突出，对其进行分析并设计合理的防治措施是工程得以安全建设和运营的保证。对滑坡地质灾害的分析与治理，一般是先进行稳定性计算，在稳定性分析的基础上开展治理工作。

本文以位于贵州省江口至瓮安高速公路 K7 滑坡为例，基于极限平衡法及工程地质分析法，对该滑坡的工程地质条件、滑坡稳定性影响因数及破坏机制进行了分析，并在稳定性定量分析的基础上，提出了抗滑桩防护为主，排水、封闭坡体裂缝等为辅的加固措施，为类似工程提供参考依据。

## 2 工程地质条件

### 2.1. 气象与地形

工作区地处亚热带湿润季风气候区，四季分明，冬无严寒，夏无酷暑，无霜期长，光照适宜，雨量充沛，风速较小。多年平均气温 16.3℃，历年最高气温 40.1℃(7 月)，常年日照 1639.1 h，最低气温 -6.2℃(一月)，无霜期 288 天，刮风以南风为主，多年平均风速 1.4 m/s。多年平均降雨量 1458.6 mm。降雨规律是冬春干旱少雨、夏秋雨量丰富集中。4~9 月为雨季，占全年雨水量的 73.93%，5~8 月为丰水期，占全年雨水量的 55.55%。灾害气候主要有干旱、暴雨、倒春寒、冰雹、大风等。

滑坡地处构造剥蚀、侵蚀切谷地斜坡地貌亚区，地面标高 651.0~809.07 m，相对高差 158.07 m，总体地势为西高东低。滑坡位于山坡腰部，自然坡度 10°~30°。山坡坡面主要种植庄稼。

### 2.2. 地层组成

滑坡区地层为第四系滑坡堆积( $Q_4^{del}$ )碎石土、志留系中上统韩家店群第一段( $S_{2-3hn}$ )泥质粉砂岩及志

留系中统石牛栏群( $S_{2sh}$ )炭质灰岩。

1)第四系滑坡堆积( $Q_4^{del}$ )碎石土:灰褐、黄褐色,稍湿,稍密~中密状,广泛分布于边坡上,碎石成分为泥质粉砂岩,碎石含量约53%~78%,粒径2~5 cm,棱角状,厚度4.9~16.2 m,滑坡后缘、两侧厚度较小,前缘、中部厚度较大。

2)志留系中上统韩家店群第一段( $S_{2-3hm}$ )泥质粉砂岩:灰绿色为主,泥质粉砂结构,薄层状构造,节理裂隙极发育,裂隙面见深褐色铁锰氧化物浸染,岩体极破碎,岩心呈碎块状、砂砾状。厚度2.1~10.80 m。

3)志留系中统石牛栏群( $S_{2sh}$ )炭质灰岩:黑色、深灰色,微晶结构,薄~中厚层状构造,节理裂隙发育,隙间充填少量方解石脉,揭露岩心呈柱状、短柱状及碎块状。层厚大于17 m。

### 2.3. 地质构造、地震概况

根据现场地质调绘结合区域地质资料,边坡区大地构造部位处于新华夏系第三隆起带和第三沉降带之结合部位,构造线大部分为NS向、NNE向及NE向,主要为雪峰期、燕山期地质构造形迹。滑坡区出露地层主要为志留系中上统韩家店群第一段( $S_{2-3hm}$ )及志留系中统石牛栏群( $S_{2sh}$ ),倾向西北,倾角23~37°。路线走向与地层走向平行。局部岩石节理裂隙较发育,岩体多切割成块状。主要发育节理有L1(120°∠80°)、L2(215°∠73°)。节理多闭合,少数张开,充填泥质,对自然山坡稳定性有一定影响。

根据1:400万《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001) [2],项目区地震动峰值加速度0.05g,反应谱特征周期为0.35s,对应的地震基本烈度Ⅵ度。

### 2.4. 水文地质条件

#### 2.4.1. 地表水

区内地表水为锦江河,属于沅水一级支流,水量充沛。滑坡周界冲沟较发育,冲沟主要为季节性流水,雨季冲沟内才有水,斜坡表层土体结构松散,渗透性较好,雨季大气降水通过孔隙下渗至滑坡带后沿滑动面径流,受山体切割于滑坡前缘渗出地表。

#### 2.4.2. 地下水

地表水对边坡的影响是下渗增加地表岩土体的含水量,增大了坡积物孔隙水压力,降低岩土体的抗剪强度,影响边坡的稳定性,从而对拟建路线造成危害。

勘察区根据赋存条件和水动力特征的不同,将地下水划分为三类,其活动及影响情况如下:

##### (1) 松散层类孔隙水

第四系松散堆积层含水性较差,且地表径流条件较好,水量较贫乏,部分地段由于岩土和地形条件及人工活动,形成局部上层滞水对边坡稳定影响较小。

##### (2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水主要赋存于志留系中上统韩家店群泥质粉砂岩中,受裂隙开启性、充填物等制约,富水性弱,对工程影响较小。

##### (3) 碳酸盐岩类裂隙溶洞水。

石牛栏群炭质灰岩分布较广,该地层具有一定裂隙和溶洞,具有一定的储水条件,接受大气降水后形成地下水,并沿裂隙和溶洞发育方向排泄和径流,这类地下水较贫乏,对边坡的影响有限。

## 3. 滑坡特征

### 3.1. 滑坡形态特征及规模

K7滑坡位于贵州省江口至瓮安高速公路K7+580~K7+957段的右侧,根据斜坡的地形地貌及追踪坡体

内部继承性裂缝的展布特征,确定该堆积体的边界。滑坡前缘剪出口位于施工便道内侧,滑体后缘位于坡体陡缓交界第四系覆盖层与基岩交界处,滑坡边界线与地质分界线基本重合,滑体南部边界位于公路开挖形成的陡坎处,北部边界位于农田与坡体交界处,呈一“圈椅状”形态。滑坡主滑方向为 $93^{\circ}$ ,滑动方向与线路呈 $51$ 度角,滑坡在主滑方向上,滑体上部较薄、下部较厚,平均厚度约 $10$  m。滑坡体后缘高程 $726$  m左右,前缘高程 $668$  m左右,相对高差约 $58$  m,滑坡最宽约 $128$  m,纵向最长约 $120$  m,面积约 $12,820$   $\text{m}^2$ ,体积约 $12.8$ 万 $\text{m}^3$ ,属于牵引式中型堆积层滑坡。

### 3.2. 滑坡体结构特征

滑体为滑坡堆积成因的碎石土、充填较多的粘性土、角砾等,多呈稍密~中密状,棱角状,碎石成分为泥质砂岩。

滑带为覆盖层与基岩之间的过渡带,滑带土体成分为含粘性土、角砾的碎石土,褐黄色、灰褐色,在位于施工便道的剪出口处可见该层滑带土。

滑床物质为下伏的基岩,岩性为强风化泥质粉砂岩。纵向看,滑床呈圆弧形。滑床基岩多为志留系中上统韩家店群第一段泥质粉砂岩,岩层倾向 $323^{\circ}$ ,倾角 $37^{\circ}$ 。滑坡及周围为单斜地层,与山坡呈斜逆向坡。

### 3.3. 滑坡变形特征

滑坡后缘山坡上出现多条大的拉裂缝,最长的一条为贯穿整个滑坡的圆弧形主裂缝,距离前缘约 $115$  m,裂缝长约 $190$  m,宽度约 $10\sim 30$  cm,深 $0.5$  m~ $1.1$  m,部分错台约 $30\sim 60$  cm,在坡体后缘及中部还有数条次级裂缝。

滑坡前缘剪出口可见剪切位移约 $3\sim 5$  cm,剪出口处可见一层褐黄色的滑带土,在雨季,结合面处在雨后还出现少许渗水点,流量与降雨有明显的联系,暴雨后流量增大。

从滑坡目前已破坏情况看,坡体破坏较严重,滑坡前缘产生了明显坍塌,并发育多条拉裂缝,随着雨水冲到坡底,各种迹象表明滑坡体目前处于变形发展阶段。

## 4. 滑坡影响因素及破坏机制

据滑坡区所处的工程地质环境分析,滑坡的影响因素包括内部条件和外部条件两类,内部条件包括地形地貌、地层岩性;外部条件包括降雨、风化、地震、人类工程活动等[3]。

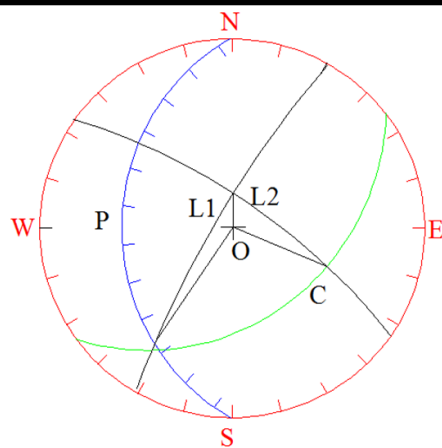
该滑坡分布地层主要为碎石土、强风化泥质粉砂岩及中风化灰岩,属于典型的松散堆积体沿基岩层面滑动的滑坡。其形成与地形地貌、坡体结构状态、等内部因素以及滑坡削坡开挖人为扰动坡体、降雨等外部因素相关。

### 4.1. 地形地貌与地层岩性

滑坡区为深切构造侵蚀中-低山地貌,滑坡坡度较陡,高陡的地形地貌为滑坡的变形破坏提供了良好的临空条件和重力条件。

滑坡及周围为单斜地层,与山坡呈斜逆向坡,对岩体的整体稳定有利。此次勘察过程中并未在岩层中发现软弱夹层。根据图1赤平投影图可知,岩层倾向与坡向呈斜逆向坡,裂隙L1与层面交线与坡向大角度斜交,利于边坡稳定,裂隙L2与层面交线与坡向相反,利于边坡稳定。因而基岩不会沿着坡体发生滑动。滑坡形成主要是由于表层覆盖层沿着覆盖层与基岩界面发生浅层滑动坍塌。

坡体滑坡堆积碎石土覆盖层较厚,钻孔揭露最深覆盖层厚度约 $16.2$  m,覆盖层较松散,孔隙大,强



编号	结构面名称	倾向	倾角
P	坡面 (°)	89	30
C	层面 (°)	323	37
L1	裂隙 1 (°)	120	80
L2	裂隙 2 (°)	215	73

Figure 1. Stereographic projection  
图 1. 赤平投影图

度较低，土体的饱和抗剪强度很低，加上长期雨水作用下使原本就具有松散的土体抗剪强度降低很大，从而易产生滑坡。

#### 4.2. 工程建设扰动

开挖坡脚是牵引式滑坡的主要诱发因素。在自然条件下，堆积层、风化带、岩土体的软弱夹层及软弱结构面所组成的斜坡处在基本稳定或略高于极限平衡状态，坡脚往往是提供抗滑力重要部段，坡脚被切后(如图 2 所示)，斜坡临空高度增加，抗滑力减小，导致切坡后的斜坡产生变形，坡面出现裂缝[4]。

该滑坡表层土体因施工便道及路基施工开挖部分或全部挖除了残坡积体的前缘抗滑段，破坏了山体原有应力分布状态，造成滑坡坡脚段抗滑力减小，且开挖后较陡峭的边坡且未及时防护，边坡前缘开挖后在雨水作用下发生变形，导致工程滑坡，滑坡破坏机制属牵引式破坏。

#### 4.3. 降雨

滑坡区雨量充沛，年降雨量 1458.6 mm，且降雨量分布不均，多集中于 4~9 月。滑坡发展的诱发因素主要是由于地表水与地下水作用：由于山坡上以堆积体为主，加之此处土体结构松散，强度较低，岩土间孔隙率较大，容易吸收大气降水，在下伏基岩面易造成积水，软化滑体物质，在雨水的作用下，上部覆盖层饱水后容重增加，雨水同时还降低了潜在破坏面的抗剪强度、润滑滑面，导致滑坡变形速度加快，表面再加上暴雨的冲刷，最终造成滑坡松散覆盖层的滑塌[5] [6]。此外坡体内产生动静水压力，造成滑坡稳定性降低。

2014 年 5 月底，在连续暴雨过后，坡体发生变形破坏，局部出现坍塌，后缘出现多条弧形裂缝；6 月至 7 月，坡体后缘出现多处错台，坡体中部和前缘仍不断有新的裂缝产生。

综上所述，该边坡的地形较陡，受地层岩性特征影响较大，边坡开挖产生临空面，使得边坡发生变形破坏。并且边坡开挖改变了边坡原始的应力分布，因此边坡应力需要重分布。在应力重分布的过程中发生连续降雨，使得岩体的抗剪强度大大降低，从而边坡的抗滑力减小，下滑力增加。边坡有了发生滑动的力学条件，因此产生了滑坡。所以，该边坡变形是边坡内因和外因在诱发原因的共同作用下打破原有的力学平衡而导致边坡向下发生垮塌。





**Figure 2.** Construction of pavement and subgrade excavation in front of landslide  
**图 2.** 滑坡前缘施工便道及路基开挖

## 5. 滑坡稳定性分析

### 5.1. 计算模型、参数、工况的选取

根据边坡工程地质条件,破坏形式是由于覆盖土层主要沿强弱风化基岩接触面附近滑动,对弧线逐段取直,采用极限平衡理论的不平衡推力传递系数法公式进行稳定性计算。本工点在滑坡范围内共布设 9 个钻孔,其中主滑方向剖面共 3 个钻孔,纵剖面 4 条。根据钻探资料及测绘地质剖面图,选取 2 个剖面(1-1'、2-2'),采用开挖前天然状态、开挖后天然状态、开挖前饱和状态和开挖后饱和状态四种工况进行稳定性计算。本次边坡稳定性计算参数的选取主要有四种途径:①试验值,根据测试,滑体土天然重度平均值  $19.2 \text{ kN/m}^3$ ,滑体土饱和重度平均值  $19.8 \text{ kN/m}^3$ ;滑带土在天然状态下平均值: $C = 11.2 \text{ kPa}$ 、 $\phi = 23.8^\circ$ ;②极限平衡反算法:假定滑坡处于极限稳定状态(稳定系数  $K = 1.00$ ),反演计算饱和抗剪指标, $C = 10.5 \text{ kPa}$ 、 $\phi = 19.9^\circ$ ;③经验值: $C = 7\sim 16 \text{ kPa}$ 、 $\phi = 11\sim 25^\circ$ 。结合上述几种方法经综合分析确定边坡稳定性分析的物理力学计算参数见表 1。

### 5.2. 滑坡体稳定性分析及开挖和降雨对安全系数的影响

#### 5.2.1. 计算公式[7] [8] [9]

滑动带指标的确定,根据滑坡的地质环境条件、滑坡性质、滑塌区目前所处的稳定状态(裂缝变形现象)及其环境变化因素,判断稳定度,反求滑动带力学参数,参考滑带的力学性能试验及类似工程实例的相关经验指标综合确定。计算方法采用传递系数法进行计算,滑坡稳定系数  $F_s$  计算公式如下:

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

其中:

**Table 1.** Physical mechanical parameters  
**表 1.** 物理力学计算参数

	岩性	参数	天然状态	饱和状态
滑体	含碎石亚粘土、碎石土	重度(kN/m <sup>3</sup> )	19.2	19.8
滑面	含碎石亚粘土、碎石土	内聚力 C(kPa)	11.3	10.2
		内摩擦角 Φ(°)	21.9	19.7

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (2)$$

$$\prod_{j=1}^{n-1} = \psi_i \times \psi_{i+1} \times \psi_{i+2} \times \cdots \times \psi_{n-1} \quad (3)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i \quad (4)$$

$$N_i = Q_i \cos \theta_i \quad (5)$$

$$T_i = Q_i \sin \theta_i \quad (6)$$

第  $i$  块土体推力计算基本公式:

$$P_i = P_{i-1} \times \psi_j + F_{st} \times T_i - R_i \quad (7)$$

式中:

$F_s$ ——稳定系数;  $Q_i$ ——第  $i$  块段滑体所受的重力(kN/m);  $R_i$ ——作用于第  $i$  块段的抗滑力(kN/m);  $N_i$ ——第  $i$  块段滑动面的法向分力(kN/m);  $\varphi_i$ ——第  $i$  块段土的内摩擦角(°);  $c_i$ ——第  $i$  块段土的粘聚力(kPa);  $L_i$ ——第  $i$  块段滑动面的长度(m);  $T_i$ ——作用于第  $i$  块段滑动面上的滑动分力(kN/m), 出现与滑动方向相反的滑动分力时,  $T_i$  应取负值;  $\psi_j$ ——第  $i$  块段剩余下滑动力传递至  $i+1$  块段时的传递系数( $j=i$ )。

根据上述公式, 安全系数计算结果如表 2 所示。根据《公路路基设计规范》(JGT D30-2004)第 7.2.2 条第 1 款有关规定, 高速公路边坡安全标准采用: 小于 1.0 为不稳定; 1.0~1.05 为欠稳定; 1.05~1.15 为基本稳定; 大于 1.15 为稳定[10]。

### 5.2.2. 计算结果分析

该边坡在开挖前天然状态下处于稳定状态, 开挖前饱和状态下处于欠稳定状态, 开挖后天然状态下处于基本稳定状态, 开挖后饱和状态下处于不稳定状态; 从表 3 可以看出, 开挖和降雨都会使安全系数产生较大的下降, 对该边坡的稳定性状态也会改变。在施工开挖影响下, 边坡安全系数下降的比例达 3.25%, 使边坡的稳定性状态从稳定过渡到基本稳定; 暴雨使滑坡土体达到饱和时, 边坡安全系数降低比例达 15.22%, 使边坡的稳定性状态从稳定过渡到欠稳定; 而前两者因素共同作用下, 边坡的稳定性系数降低比例达 15.22%, 使边坡的稳定性状态从稳定过渡到不稳定状态。

## 6. 滑坡治理工程措施

根据综合分析地质计算结果, 考虑到治理工程的紧迫性, 确定立即对该滑坡采用以抗滑桩防护为主, 排水、封闭坡体裂缝等为辅的加固措施。

### 6.1. 封闭裂缝

为防止地表水下渗, 对山体上裂缝及时用粘土或砂浆封闭。防止地表水沿裂缝渗入土体, 形成新的滑动。

**Table 2.** Landslide stability calculation  
**表 2.** 滑坡稳定性计算

计算剖面编号	工况	稳定性		
		稳定系数(Fs)	稳定性评价	
1-1'	开挖前	天然状态	1.176	稳定
		饱和状态	1.018	欠稳定
	开挖后	天然状态	1.153	稳定
		饱和状态	0.997	欠稳定
2-2'	开挖前	天然状态	1.169	稳定
		饱和状态	1.007	欠稳定
	开挖后	天然状态	1.131	欠稳定
		饱和状态	0.993	不稳定

**Table 3.** Influence of excavation and rainfall on safety factor  
**表 3.** 开挖及降雨对安全系数的影响

剖面 编号	开挖对安全系数的影响		降雨对安全系数的影响		开挖加降雨对安全系数的影响	
	安全系数降低比例	稳定性状态变化	安全系数降低比例	稳定性状态变化	安全系数降低比例	稳定性状态变化
1-1'	1.96%	未改变	13.44%	从稳定变为欠稳定	15.22%	从稳定变为不稳定
2-2'	3.25%	从稳定变为欠稳定	13.86%	从稳定变为欠稳定	15.06%	从稳定变为不稳定

## 6.2. 排水措施

将滑坡区外的地表水通过两侧边沟排出滑坡体外，在滑坡边界外缘 5~7 m 处布置环形截水沟，防止雨水渗入坡体。

## 6.3. 抗滑桩

在与路线平行方向布置一排抗滑桩 Z1~Z10，桩径 2.0 × 3.0 m，间距 5 m，桩长 20~25 m；在与主滑方向垂直方向布置一排抗滑桩 Z11~Z28，桩间距 5 m，其中 Z11~Z20，桩径 2.4 × 3.6 m，桩长 25 m，Z21~Z28，桩径 2.0 × 3.0 m，桩长 23~25 m，布置剖面图见图 3。

## 6.4. 监测滑坡体

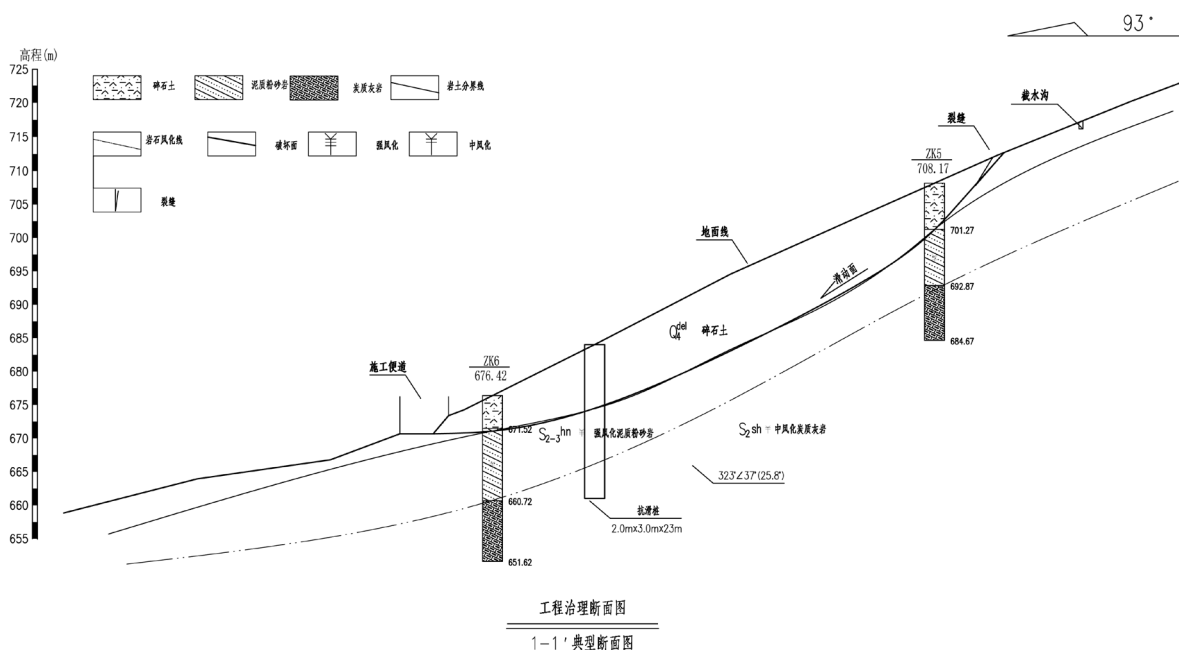
应加强滑坡防治的监测工作，并以施工安全监测和防治效果监测为主，施工期间监测数据采集宜为每天一次，营运期间的监测数据采集时间间隔宜为 7~15 天，在外界扰动较大时，如暴雨期间，应加密观测次数；应及时分析滑坡监测资料，预测滑坡位移、变形的发展趋势和整治工程的效果，适时调整滑坡整治工程设计和施工方案，保证工程施工安全和使用期间的稳定。

## 7. 结语

1) K7 滑坡属构造剥蚀、侵蚀斜坡地貌区，滑坡体主要为碎石土，滑带为覆盖层与基岩之间的过渡带及含粘性土、角砾的碎石土。滑坡为工程滑坡，机制为牵引式滑坡，边坡变形是地形地貌、地层岩性、降雨、人类工程活动等内外因素的共同作用下打破原有的力学平衡而导致边坡向下发生垮塌。

2) 对该边坡进行稳定性计算分析可知，该边坡在天然状态下处于稳定状态；在开挖和降雨条件下





**Figure 3.** Landslide 1-1' profile section of project management  
**图 3.** 滑坡 1-1'剖面工程治理断面图

处于不稳定状态，对高速公路存在安全隐患。本文采用抗滑桩防护为主，排水、封闭坡体裂缝等为辅的加固措施，并采用了加强滑坡防治的监测工作，以检验该滑坡的防治效果。

3) 在修筑公路、铁路过程中一定要加强地形、地质选线工作，选线遇到破残积土、强风化岩体而形成的陡峭边坡时，尽量避让或选择合理的加固方式，提前采取预防措施，避免不必要的麻烦。

4) 在高速公路、铁路建设过程中，对一些潜在的滑坡隐患点，前缘开挖会对潜在的斜坡的稳定性产生较大的影响，故切不可随意开挖，建议先分析开挖及其他因素对斜坡稳定性的影响，若在开挖及其他因素影响下会使斜坡失稳，可以在开挖前先对斜坡进行加固，如可对斜坡前缘进行加固或事先在斜坡体上设置排水措施，从而来降低开挖对斜坡稳定性的影响。

### 参考文献 (References)

- [1] 王俊杰, 吴洋, 刘良军. 金佛山水库左岸岩质高边坡稳定性分析[J]. 水电能源科技, 2013, 31(6): 163-166.
- [2] GB 18306-2001, 中国地震动参数区划图[S].
- [3] 李玉奎. 边坡变形及其失稳影响因素分析[J]. 福建建筑, 2006, 99(3): 67-69.
- [4] 袁从华, 童志怡, 卢海峰. 牵引式滑坡特征及主被动加固比较分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(10): 2853-2858.
- [5] 谢守益, 徐卫亚. 降雨诱发滑坡机制研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(1): 21-23.
- [6] 宋东日, 任伟中, 沈波, 徐志忠, 周英博, 张思渊. 牵引式滑坡的破坏机制及其加固措施探讨——以某高速公路牵引式滑坡为例[J]. 岩土力学, 2013(12): 3587-3593.
- [7] DZ/T0218—2006 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [8] 徐邦栋. 滑坡分析与防止[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [9] 方玉树. 滑坡与边坡治理工程加固的两个计算问题[J]. 工程勘察, 2011, 39(12): 11-16.
- [10] JTGD30-2004. 公路路基设计规范[S].

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)