

# 通江县沙窝寺滑坡变形破坏分析及防治设计

崔华丽<sup>1,2</sup>, 王军朝<sup>1,2</sup>, 谢忠胜<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都 611734)

**摘要:**随着我国山区公路建设的加快,许多公路的修建无法避免会引起边坡灾害,本文以通江县两河口乡沙窝寺滑坡工程为例,通过分析边坡变形历史、滑坡体边界特征及坡体稳定性,得出滑坡体处于缓慢蠕变阶段,属于中型土质滑坡,在遭遇 20 年一遇强降雨情况下,坡体处于不稳定状态,有可能再次发生滑动。根据滑坡体分布范围、危险区范围、滑坡性质,提出采用桩板墙与后缘裂缝填埋并设置排水沟的治理措施,可以很好地抑制边坡变形,为这类滑坡的治理提供参考,为公路边坡的治理提供示范作用。

**关键词:**滑坡;公路边坡;边坡稳定性;桩板墙

**中图分类号:** P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)08-0107-05

**Deformation Analysis and Control Measures of Shawosi Landslide in Tongjiang County/CUI Hua-li<sup>1,2</sup>, WANG Jun-zhao<sup>1,2</sup>, XIE Zhong-sheng<sup>1,2</sup>**(1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** With the acceleration of mountain highway, it is unavoidable to induce landslide disasters in many road constructions. Take Shawosi landslide as an example, this paper analyzes the history of slope deformation, the characteristics of the landslide boundary and the slope body stability, the conclusion is that the landslide body is in a slow creep stage and belongs to a medium-sized landslide. In the case of 20-year severe rainfall, the slope is in an unstable state and may slip again. According to the distribution range of the landslide bodies, the dangerous area range and the nature of the landslide, the treatment measures of sheet-pile wall and back edge crack landfill with drainage ditch is are proposed for control the slope deformation, which can provide example for the treatment of highway slopes.

**Key words:** landslide; highway slope; slope stability; sheet-pile wall

## 0 引言

地震灾后重建中,遇到很多由于公路不正当切坡而引发的滑坡现象,对于此类滑坡的治理,既要考虑到公路正常运行的同时也要注意不引发次生灾害。通江县两河口乡两河口村沙窝寺滑坡是新增的一个灾害点,由于加宽公路,不正当开挖护脚,改变了坡脚处应力状态,增加了应力集中和下滑力,为滑坡提供了临空面。在长期雨水浸润下,表层土体的抗剪强度大幅降低,导致滑坡体变形过大。

笔者调查发现,此滑坡由三个小滑坡体组成,通过分析 3 个小滑坡堆积物、变形特征及诱因机制,并结合当地地形、居民情况,为彻底消除滑坡带来的危害,提出采用坡脚设置桩板墙的防治措施。

## 1 滑坡概况

### 1.1 滑坡基本情况

沙窝寺滑坡属构造侵蚀低山地貌,后缘高程 630~654 m,前缘高程 586~595 m,高差约 60 m,总体坡向为 94°,平均坡度约 35°,覆盖层厚 2~8 m,受后缘强烈下错变形影响,滑坡纵向形状基本保持了与原地形地貌相协调的特征,坡脚有公路通过,造成滑坡堆积物均在坡脚堆积,后期清理堆积物坡脚形成陡坎状,坡体较陡,中上部平均坡度 17°~35°,坡脚陡坎最大坡度接近 80°。滑坡区后缘接近山脊,形成西高东低的特征,平面形态呈下大上小圈椅状(图 1)。

### 1.2 滑坡变形迹象及特征分析

3 个小滑坡体变形历史统计如表 1 所示。

收稿日期:2018-07-01

作者简介:崔华丽,女,汉族,1983 年生,岩土工程专业,硕士,从事地质灾害防治技术研究和项目管理工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路 139 号,huali8831@126.com。

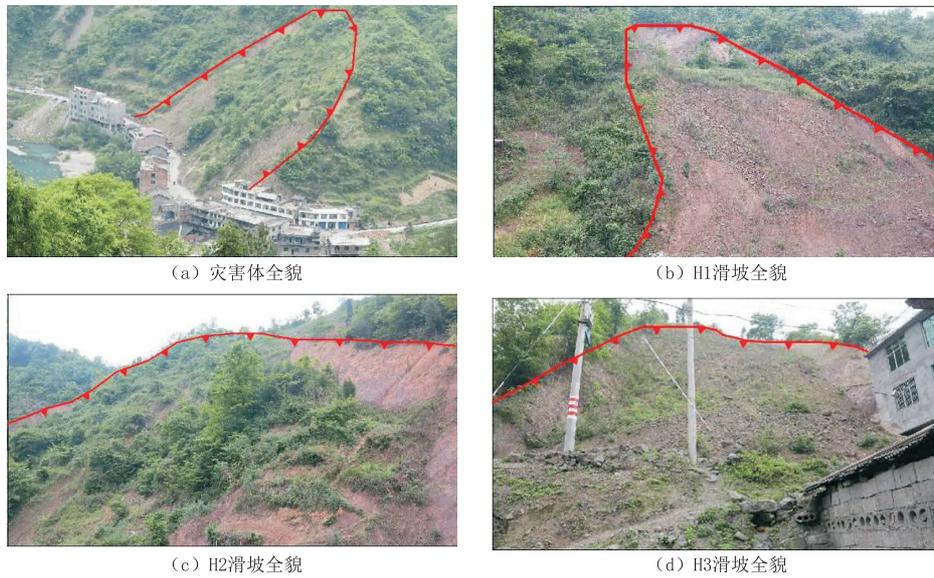


图1 滑坡平面形态

表1 滑坡发育历史情况

滑坡名称	首次变形时间	首次变形前是否连降暴雨	引起损失	诱因	滑动次数/次	备注
H1 滑坡	2012年8月中旬	是	堵断水空公路	开挖坡脚	1	每年雨季坡体上有碎石滚下
H2 滑坡	2011年10月	否	堵断水空公路,9间民房损毁	开挖坡脚	2	第二次变形是在坡脚修挡墙,施工过程中发生滑动
H3 滑坡	2010年5月	否	堵断水空公路	切坡修房	1	雨季有石头滚下

滑坡体的变形主要有以下几各方面,分 H1 滑坡、H2 滑坡、H3 滑坡分别叙述如下。

(1)H1 滑坡区后缘高程 646~646.68 m,前缘高程 594.8~596 m,高差约 51 m,平均坡度约 35°,覆盖层厚 2~8 m,受前缘挤压变形影响,滑坡纵向形状基本保持了与原地形地貌相协调的特征。后缘以陡坎处错落的岩、土界线分界,岩土分界高度约 80 cm;左、右侧可见明显的岩土滑动现象,前缘以垄起土体为界。滑坡主滑方向为 94°,长 77 m,平均宽 34 m,滑体平均厚度 6 m(根据左、右侧出露的基岩和前缘土体隆起估测),滑坡面积  $2.618 \times 10^3 \text{ m}^2$ ,体积约  $1.57 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为小型土质滑坡。

(2)H2 滑坡区后缘高程 653.98~654.43 m,前缘高程 586~587 m,高差约 70 m,总体坡向为 94°,平均坡度 36°,覆盖层厚 3~8 m,滑坡体整体较陡,中后部平均坡度 28°~40°,下部陡坎最大坡度达 75°。滑坡区后缘接近山脊,坡体平面形态呈现下大上小的喇叭形,H2 滑坡边界后缘以拉张裂缝为界,左右两侧均以岩土体错动界面为界,前缘以垮塌陡坎为界。滑坡长 105 m,宽 42 m,滑体平均厚度 8 m,体积约  $3.53 \text{ 万 m}^3$ ,为小型土质滑坡。

(3)H3 滑坡区后缘高程 629~630 m,前缘高程 589.05 m,高差约 40 m,总体坡向为 103°,平均坡度 39°,覆盖层厚 2~6 m,滑坡体整体上陡中缓下陡,后缘坡度接近 60°,前缘陡坎坡度下部平均坡度 25°~35°。H3 滑坡边界后缘以基岩陡坎为界,左、右侧可见明显的岩土错动滑动现象,左侧岩土体最宽错动高度约 150 cm,右侧岩土体最大错动高度约 80 cm。主滑方向为 103°,滑坡长 54 m,宽 25 m,滑体平均厚度 4 m,体积约  $0.54 \text{ 万 m}^3$ ,为小型土质滑坡。

### 1.3 滑坡诱因及变形机制

(1)坡体结构:斜坡地表物质较松散,为第四系残坡积物,边界出露的岩土风化严重,多处可见卸荷裂隙,坡向为顺坡,有利于滑坡形成。

(2)地形地貌:滑坡所处斜坡高度约 70 m,平均宽度近 130 m,平均坡度 35°左右,这种地形较陡、汇水面广的斜坡地形地貌条件,加剧斜坡不稳定性,可导致滑坡的形成。

(3)人类工程活动:2011年10月当地加宽坡体前部的水空公路,开挖坡脚,为坡体变形提供了临空面,由于加固措施不当,诱发了 H1 和 H2 滑坡,H3

滑坡是由于居民修建房屋开挖坡脚而引起的。

(4)水的因素:降雨是影响坡体稳定的自然因素中最经常发生的和最活跃的因素,是滑坡的重要触发因素。2011年8月连降大雨后,直接浸泡表层土层,使得土体自重增加,增大下滑力;另一方面由于表层土体物质结构松散,孔隙度大,雨水入渗充满裂隙或空隙时,形成静水压力;当出现水头差时,形成动水压力,由于水的作用,急剧改变岩土体的受力情况;再者,由于雨水渗入,弱化岩体,泥化软化滑带导致粘着力降低;另外,坡体上的沟谷流水也成为坡体水源,当遇到洪水期时,沟谷流水蔓延至整个坡体,也会导致坡体水体饱和。这些都造成滑面的抗剪强度降低,甚至完全丧失抗剪能力,导致坡体失稳,从而形成滑坡。

3个滑坡前期主要是由于开挖坡脚而诱发的牵引式滑坡特征,目前,坡脚堆积了大部分松散固体物质,起到了压脚作用,而后缘引开裂缝极利于雨水下渗,一旦后缘裂缝和滑体中松散的碎块石孔隙中充水、加宽,将增大滑体的浮托力和水压力,使得滑体进一步向前缘临空面发生滑移破坏,从而极易产生沿基覆界面的推移式滑动。从岩体结构及变形情况来看滑坡已经发生过较大变形,内因是岩体结构破碎,诱因是人为不正常切坡。再发生变形的触发因素为暴雨,每年雨季H1滑坡均有不同程度的变形,暴雨已成为控制滑坡稳定性的关键因素;从变形时序看,自2012年10月后,坡体没有再发生大变形,只是在雨季产生小面积垮塌,初步判断目前3个滑坡处于缓慢蠕动变形阶段。

## 2 防治措施的设计计算

现场钻探、槽探及岩土样测试结果表明,滑坡后缘出现了较明显的下错,前缘出现明显的膨胀,其前缘剪出口位于公路前,滑面形状为折线形,如果该滑坡体再次滑动,将沿岩土层交界处呈折线型滑动,在防治措施选择前首先选择典型剖面根据目前变形情况,反演出滑面的抗剪强度参数,然后选择在自重加暴雨工况下验算剩余下滑力,进而确定防治措施。

### 2.1 计算模型及抗剪强度参数选取

在划分牵引段、主滑段和抗滑段的基础上,选择折线型滑坡计算模型,反演出滑面的强度参数,再选择典型剖面及局部下滑剖面计算在自重及自重加暴雨工况下剩余下滑力。计算模型选取如图2所示,

抗剪强度参数选取见表1。

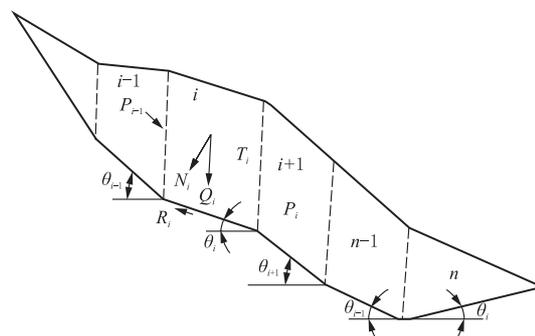


图2 计算模型

计算模型按式(1)计算:

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

式中: $\psi$ ——传递系数; $T_i$ ——滑动力; $R$ ——抗滑力。

共计选择4个剖面进行计算,滑面抗剪强度参数选取见表2。

表2 滑面抗剪强度参数选取

剖面	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$		$c/\text{kPa}$		$\varphi/(\text{°})$	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
I—I'	19.7	20.2	14.17	13.45	25.28	24.77
II-II'	18.7	19.1	15.07	14.75	24.85	24.27
III-III'	19.0	19.4	13.04	12.45	24.90	24.27
IV-IV'	18.7	19.1	14.17	13.45	24.05	20.27

### 2.2 稳定性计算

滑坡体所受到的力有自身重力、地表水下渗形成的渗透力及滑面间的粘聚力,剩余下滑力的计算选择传递系数法,抗滑安全设防等级为Ⅲ级。按自重状态下进行设计,安全系数取1.15,按自重及20年一遇暴雨工况下进行校核,最小安全系数取1.05。根据反演得到的抗剪强度指标,计算各剖面的安全系数见表3。

表3 计算剖面的稳定性系数

剖面	工况1(自重)		工况2(自重+暴雨)	
	稳定系数	稳定状态	稳定系数	稳定状态
I—I'	1.108	稳定	1.031	欠稳定
II-II'	1.072	稳定	1.029	欠稳定
III-III'	1.060	稳定	1.032	欠稳定
IV-IV'	1.329	稳定	1.329	稳定

此计算结果反映坡体在自重荷载作用下处于基本稳定状态,但是如果遭遇20年一遇持续降雨,则处于欠稳定的状态而出现滑动。

### 2.3 剩余下滑力计算

抗滑设防安全等级为Ⅲ级,且在20年一遇暴雨工况下欠稳定,有可能产生滑动,采用最小安全系数1.15,选取4个典型剖面计算整体及局部下滑力,采用计算模型如图3所示,滑坡剩余下滑力计算结果见表4。



图3 传递系数法计算模型

表4 滑坡剩余下滑力计算结果 kN

剖面	整体下滑力	局部下滑力
I - I'	184.842	122.361
II - II'	218.983	
III - III'	238.382	149.057
IV - IV'	119.847	77.430

传递系数法下滑力计算:

$$P_i = P_{i-1}\phi + K_s T_i - R_i \quad (2)$$

式中:  $P_i$ ——第  $i$  条块的推力, kN/m;  $P_{i-1}$ ——第  $i$  条的剩余下滑力, kN/m;  $\phi$ ——传递系数;  $K_s$ ——安全系数;  $T_i$ ——滑动力;  $R$ ——抗滑力。

### 3 防治措施的探讨

根据沙窝寺滑坡破坏特征、滑坡分区及威胁对象的分布范围,提出治理方案为:桩板墙(抗滑桩+挡土板)+裂缝夯填+后缘排水沟。

#### 3.1 桩板墙工程设计

根据滑坡的稳定性、滑坡推力的大小、滑面特征、土层的厚度、场地的地形条件等,抗滑桩布设在滑坡前缘,抗滑桩承担滑坡推力后,桩后的土体基本处于稳定状态。根据受力不同,设置A、B型2种桩型,其中H1和H3滑坡体前缘设置A型桩10根(H1坡体前缘布置6根,H3坡体前缘布置4根),A型桩桩间距均为6m,桩长为8m,桩截面为1.0m×1.2m;H2滑坡体前缘设置B型桩11根,桩间距为5m,桩长12m,桩截面为1.5m×2.0m。A、B型桩均采用悬臂桩设计,桩间设置挡板,挡板高4.0~5.0m,厚30cm。桩板墙设置纵横剖面如图4、图5所示。

#### 3.2 裂缝夯填及坡体后缘设置排水沟

对沙窝寺滑坡H3滑坡后缘的拉陷裂缝进行

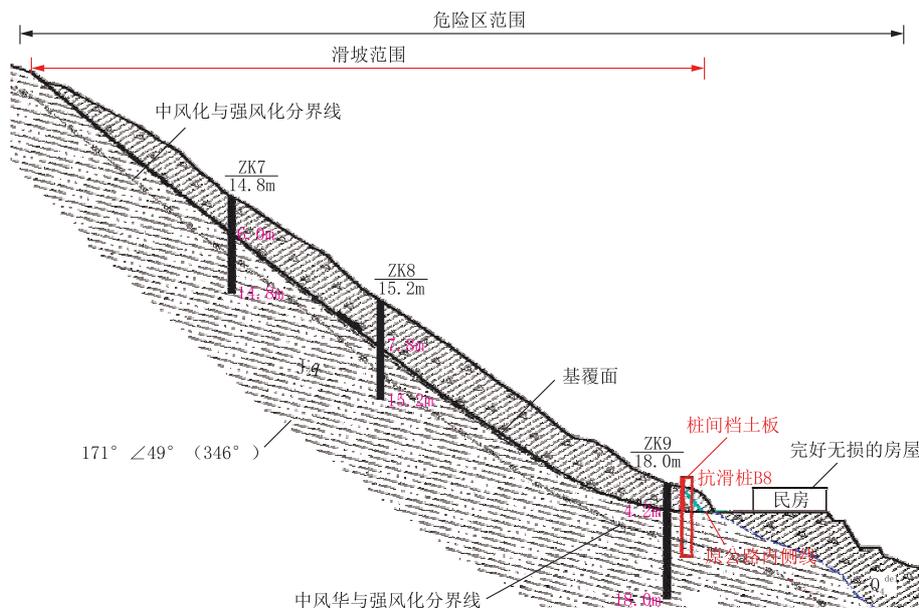


图4 桩板墙布置纵剖面图

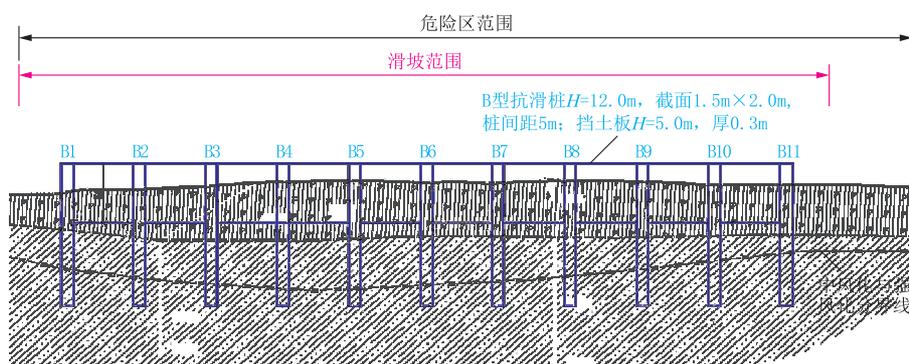


图 5 桩板墙布置横剖面图

夯填。采用粘土生石灰填缝,生石灰与粘土按 3:7 的比例均匀混合,填缝前清除裂缝内淤埋的松散土体,清方量为  $60 \text{ m}^3$ ,用粘土生石灰混合物填埋并夯实,裂缝封填方量约  $40 \text{ m}^3$ 。根据坡体地形,在裂缝后面布设一条排水沟,减轻斜坡上地表水、雨水的汇集。

#### 4 结语

(1)本文以沙窝寺滑坡为例,对公路修建引起的岩质滑坡成因机理进行了分析,得出该滑坡如果在遭遇 20 年一遇降雨情况下,将发生再次滑动。通过滑坡推力计算,提出采用桩板墙加后缘裂缝夯填及设置排水沟的方式来治理,可以有效的控制边坡变形产生的次生灾害,也为同类边坡病害治理提供了依据。

(2)切坡开挖公路时应该尽量根据地质地形条件和岩土性质,充分研究边坡稳定性,开挖后及时采取支护措施,避免形成次生灾害。

(3)对采取的反演抗剪强度指标与传递系数法计算滑坡推力均与实际存在一定的差别,工程治理设计要采取偏安全措施。

#### 参考文献:

- [1] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 潘家铮.建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M].北京:水利水电出版社,1980.
- [3] 许强.滑坡的变形破坏行为与内在机理[J].工程地质学报,2012,20(2):145-151.
- [4] 王浩,王晓东,泮俊.超高路堑边坡治理工程案例研究 I:边坡失稳机制模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2017,36(4):899-909.
- [5] 王恭先,徐峻岭,刘光代,等.滑坡学与滑坡防治技术[M].北京:中国铁道科学出版社,2004:135-139.
- [6] GB 50021-2001(2009 年版),岩土工程勘察规范[S].
- [7] GB/T 50266-2013,工程岩体试验方法标准[S].
- [8] GB/T 50330-2013,建筑边坡工程技术规范[S].
- [9] 编写组.工程地质手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [10] 朱崑,黄昊,杨昭宇.公路边坡稳定影响因素及分析方法[J].山西建筑,2009,35(12):277-278.
- [11] 夏元友,李梅.边坡稳定性评价方法研究与发展趋势[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1087-1091.
- [12] 祝玉学.边坡可靠性分析[M].北京:冶金工业出版社,1993:4.
- [13] 程良奎.岩土锚固的现状与发展[J].土木工程学报,2001,(3):7-12,34.
- [14] 程良奎,范景伦,韩军,等.岩土锚固[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [15] 蒲德红,翟文光,周敬程.斜插式桩板墙在公路边坡中的应用分析[J].路基工程,2016,(1):137-141.