

# 陕南地区某滑坡发育特征及稳定性分析

高卫<sup>1</sup> 杨旭园<sup>2</sup> 贺俊<sup>1</sup>

1 陕西矿业开发工贸有限公司 2 西安荣岩地质勘探有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v6i5.1593

**[摘要]** 每到汛期,陕南地区强暴雨频发,已成为该地区滑坡地质灾害所面临的重要问题之一。本文以汉中市勉县新铺镇马家梁H1滑坡为例,分析了该滑坡的平面及空间形态特征、变形形成机制,综合考虑了影响滑坡稳定性的因素,利用传递系数法对不同工况条件下滑坡稳定性进行了分析评价,确定了该滑坡在自重+暴雨工况下,处于不稳定状态。并提出了滑坡防治的对策建议。

**[关键词]** 发育特征; 变形机制; 稳定性计算; 传递系数; 分析评价

**中图分类号:** P642.22 **文献标识码:** A

## Development Characteristics and Stability Analysis of a Landslide in the Southern Shaanxi Region

Wei Gao<sup>1</sup> Xuyuan Yang<sup>2</sup> Jun He<sup>1</sup>

1 Shaanxi Mining Industry and Trade Co., Ltd 2 Xi'an Rongyan Geological Exploration Co., Ltd

**[Abstract]** Every flood season, heavy rains occur frequently in southern Shaanxi, which has become one of the important problems faced by landslide geological disasters in this area. Taking Majialiang H1 landslide in Xinpu Town, Mianxian County, Hanzhong City as an example, this paper analyzes the plane and spatial morphological characteristics and deformation formation mechanism of the landslide, comprehensively considers the factors affecting the stability of the landslide, and analyzes and evaluates the stability of the landslide under different working conditions by using the transfer coefficient method, and determines that the landslide is in an unstable state under the working conditions of self-weight and rainstorm. The countermeasures and suggestions for landslide prevention are put forward.

**[Key words]** development characteristics; deformation mechanisms; stability calculations; transfer coefficients; analytical evaluation

### 引言

陕南地区地处秦巴山区,地质构造复杂,强降雨明显,人类工程活动强烈,导致该地区地质灾害发育,其中以滑坡灾害为主<sup>[1]</sup>。滑坡的发育直接影响着人民群众的生命财产安全。通过对滑坡稳定性调查可以有效判断滑坡发育情况<sup>[2]</sup>,对滑坡的治理提供必要的依据。

### 1 自然地理条件

1.1 气象水文。马家梁滑坡位于汉中市勉县县城257°方位,直线距离25.5km处,行政区划属勉县新铺镇东边河村六组管辖,中心地理坐标:东经106°24'22.78",北纬33°6'9.44"。勉县地处北亚热带大陆季风气候,雨量充足,气候温和。气候受季节变化明显,春暖干燥,夏热多雨,秋凉湿润,冬冷少雪。区内雨量充沛,但时空分布不均,受地理因素影响,空间分布有两种趋势:一是汉江以南地区随海拔升高降水量逐渐增加;二是汉江以北地区随海拔升高降水量呈抛物线变化,转折点约

在海拔1000m左右。降水量以7、8、9三个月为最多,多为连阴雨和暴雨,局部短时间强暴雨常常诱发地质灾害的发生。境内河流均属长江水系—汉江流域。据武侯水文站记录,最大流量为5650m<sup>3</sup>/s(1964年),枯流量2.2m<sup>3</sup>/s,为常年性河流,滑坡区内坡面冲沟较发育,植被覆盖率整体较低,平均约为30%。

1.2 地形地貌。勉县地处汉中盆地西端,为中部汉江冲积平原(盆地),南北两侧依次为丘陵区和中低山区,西部则主要为低中山区。地势北、西、南部较高,向中东部逐渐变低,最高海拔2621m,最低海拔513m。研究区地形总体东高西低,海拔760~883m,最大高差约123m。据工程地质测绘及钻探工作,研究区分布的岩土地层主要为第四系全新统残坡积物(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>)和中志留系强风化泥质页岩(S<sub>2</sub>)及中风化泥质页岩。

1.3 地质构造及地震。勉县构造位置处于勉县—阳平关断裂构造带(F1)与勉—略构造带(F2)交汇部位,横跨扬子、秦岭微板块两大构造单元,构造格架总体表现为NWW向和NEE向及其与两

断裂平行的次级断裂组。该滑坡位于勉县—阳平关断裂构造带(F1)南侧,受F1断裂及其次级构造影响,地质构造较复杂,下部泥质页岩产状变化较大,构造导致下伏基岩较破碎。

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)规定,汉中市勉县新铺镇基本地震动峰加速度值为0.10g,基本地震动加速度反应谱特征周期值0.40s,对应地震烈度Ⅶ度。

1.4岩土体工程地质特征。区内岩土体可分为土体和岩体两大类。上覆土体为第四系残坡积层粉质粘土,呈红褐色,强度中等,土质较均匀,固结性较好,工程性能较好,整体结构及力学强度较好。下伏基岩为强风化及中风化泥质页岩,呈黄褐色,其中强风化泥质页岩岩质较软,节理裂隙发育,岩石完整程度为极破碎。中风化泥质页岩节理裂隙稍发育,质地坚硬,干燥抗压强度为14.14MPa,单轴饱和抗压强度5.33MPa,岩体完整程度属较破碎~破碎,岩体基本质量等级属Ⅳ~Ⅴ类。

## 2 滑坡发育特征

2.1滑坡平面特征。勉县新铺镇马家梁H1滑坡位于斜坡坡上,村民雍官珍等3户村民房屋前后,地形总体坡向235°,坡度一般在20~30°,整体前缘较陡、后缘较缓。滑坡纵向长21m,平均宽100m,滑坡体平均厚度5.4m,滑坡体积为 $1.13 \times 10^4 \text{m}^3$ ,为小型堆积层滑坡,滑移方式为推移式。

滑坡体前缘居民房前出现垮塌,村民院子出现多条裂缝,裂缝长20~50m、宽6~20mm的裂缝。



图1 马家梁H1滑坡 平面示意图



(a)滑坡后缘(镜向130°)



(b)滑坡前缘(镜向155°)

2.2滑坡空间形态及特征。该滑坡滑体主要由第四系全新统残坡积物(Q4d1+e1)组成,根据钻孔揭露,滑坡体岩性主要为含碎石粉质粘土、基岩为强风化及中风化泥质页岩,其中粘土呈红褐色,硬塑,局部可塑,黏粒含量高,土质均匀,该土层广泛分布于全场地;强风化泥质页岩呈黄褐色,板状构造,岩芯极破碎,岩质较软,节理裂隙发育,岩石完整程度为极破碎;中风化泥质页岩呈黄褐色,局部夹强风化泥质页岩,板状构造,节理裂隙稍发育,质地坚硬,该层厚度较大,岩体完整程度属较破碎~破碎。

图2 滑坡空间结构发育特征

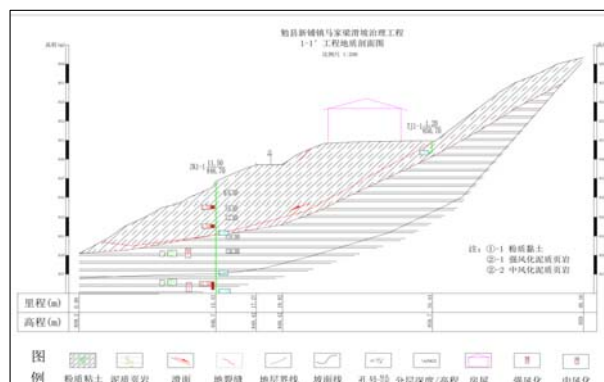


图3 滑坡1-1' 主剖面示意图

## 3 滑坡形成机制分析

滑坡的形成包括三个基本条件和两个诱发因素,基本条件包括地形条件、地层岩性和人类活动,诱发因素为大气降水和地震<sup>[3-5]</sup>。

(1)地形条件。滑坡处于低中山区,微地貌为斜坡地貌,受地表水侵蚀严重,地形较陡,为滑坡变形形成提供了地形地貌条件;(2)地层岩性。上部滑体为残坡积粉质粘土,下部滑床为泥质页岩基岩,土岩结合面为滑坡提供了物质条件;(3)大气降水。持续降雨,斜坡含水量急剧增高,增大了斜坡静水压力,滑带岩土体力学参数降低,发生滑动。该滑坡滑体主要为粘土以及粉质粘土,利于雨水的入渗,下伏中风化泥质页岩层透水性差,形成相对隔水层,沿接触面易形成滑面;雨水进入地下增大了坡体自重,同时降低了土体与岩石内部的粘聚力和摩擦力,导致其抗剪

强度降低。斜坡顶部坡度较陡,雨水沿滑坡体及裂缝灌入不能及时排出,易渗入坡体,增加了滑坡体上部荷载,使滑带土处于饱和状态,遇持续强降雨和地震时导致滑体抗剪强度降低,从而造成滑坡发生;(4)人类工程活动。村民削坡建房使得坡体失衡,发生位移,引发上部土体滑动。

#### 4 滑坡稳定性分析评价

4.1 传递系数法计算原理。根据野外勘探资料和室内土工实验结果,该滑坡为堆积层(土质)滑坡和岩质滑坡,根据该滑坡灾害的特点,采用传递系数法(折线形滑动面)定量分析计算其稳定性。

滑坡稳定性计算采用公式如下:

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

其中:

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

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

$$R_i = (N_i - u_i) \tan \varphi_i + c_i L_i$$

$$N_i = w_i \cos \theta_i$$

$$T_i = w_i \sin \theta_i$$

式中:  $K_f$ ——稳定系数;

$w_i$ ——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);

$T_i$ ——作用于第  $i$  块段的滑动分力(kN/m);

$c_i$ ——第  $i$  块段滑带土的粘聚力(kPa);

$\varphi_i$ ——第  $i$  块段滑带土的内摩擦角( $^{\circ}$ );

$L_i$ ——第  $i$  块段滑动面长度(m)。

4.2 参数的选择。根据滑坡体的稳定情况,考虑降雨、地震等不利因素,计算工况按照天然状态和饱和状态两种情况考虑。在统计土工试验数据基础上,滑坡土体的天然重度和饱和重度以及其余各层岩土体计算的基础数据均采用实验室结果。计算过程借助于理正边坡稳定性分析系统软件完成。

计算选取参数如表1所示:

表1 场地岩土主要物理力学性质指标

岩土类型	天然重度 (kN/m)	饱和重度 $\gamma_s$ (kN/m)	天然状态		饱和状态		承载力 (kPa)
			粘聚力 $c$ (kPa)	内摩擦 $\phi$ ( $^{\circ}$ )	粘聚力 $c$ (kPa)	内摩擦 $\phi$ ( $^{\circ}$ )	
①Q <sub>4</sub> 粉质粘土	18.9	19.3	26.4	17.1	14.3	11.6	120
②S <sub>2</sub> 强风化泥质页岩	20.7	21.5	17.28	15.62	15.30	10.20	260
③S <sub>3</sub> 中风化泥质页岩	24.6	25.9	850	43.4	620	41.40	2000

4.3 稳定性计算与评价。勉县新铺镇马家梁H1滑坡1-1'剖面稳定性计算简图,如图4所示:

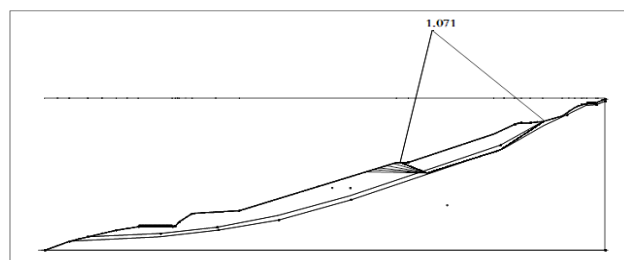


图4 滑坡1-1'剖面稳定性计算简图

根据勘查结果及坡体的稳定情况,考虑降雨作用因素的影响,同时考虑到滑坡所在区地震烈度为VII度,地震动峰值加速度0.10g,根据斜坡变形的特点,选择以下三种工况分别进行计算。滑坡稳定性系数及稳定性评价见表2。

表2 滑坡稳定性系数及稳定性评价

剖面名称	工况编号	工况条件	稳定性系数	稳定性评价
1-1'剖面	I	自重	1.071	基本稳定
	II	自重+暴雨	0.951	不稳定
	III	自重+暴雨+地震	0.920	不稳定

经计算:在天然状态下,滑坡稳定性系数 $K=1.071$ ,处于基本稳定状态;在持续降雨饱和状态下,滑坡稳定性系数 $K=0.951$ ,处于不稳定状态;在持续降雨饱和水及地震条件下,滑坡稳定性系数 $K=0.920$ ,处于不稳定状态。

#### 5 结论与建议

(1)该滑坡的形成是地形地貌、地层岩性、降雨和人类工程活动等多种因素共同作用的结果,其中降雨和人类工程活动是滑坡发生破坏的主要诱发因素。(2)根据滑坡稳定性计算及现场调查情况,滑坡在自重工况下处于基本稳定状态;在自重+暴雨工况下,处于不稳定状态;自重+暴雨+地震的工况下,处于不稳定状态。(3)综合分析来看,由于区内强降雨影响,滑坡在暴雨条件下处于不稳定状态。建议采用“抗滑桩+挡土墙+截排水渠”进行治理。在滑坡体中村民房屋前布设抗滑桩、屋后设置挡土墙,沿滑坡周界外缘及挡土墙底部设置截排水渠。

#### 【参考文献】

- [1]陈建兵,陈帆,金涛.陕南地区突发地质灾害应急处置与防治[J].陕西地质,2019,37(02):40-46.
- [2]郭晓亮,王伟刚.黄土地区边坡稳定性分析[J].陕西地质,2019,37(02):52-56.
- [3]岩土工程勘察规范(GB50021-2001)[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [4]何晓磊,张彬,王涛,等.大通县韩家山滑坡发育特征及成因机制研究[J].干旱区资源与环境,2014,(10):169-175.
- [5]谢云峰.湖南省郴州市梨树山滑坡的成因机制及防治[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):165-167.

#### 作者简介:

高卫(1994-),男,汉族,助理工程师,硕士研究生,从事地质灾害防治与生态修复研究工作。