

## 双头寨村滑坡稳定性分析及防治措施

石爱红 王征征

**摘要:**边坡失稳属于较为常见的地质灾害,存在一定的风险性。导致边坡失稳的因素较为复杂,需结合各方面诱发因素,及时采取有效防治措施,对边坡失稳进行预防。本文以实际工程案例为基础,对边坡失稳的诱因进行分析,并对相关防治措施进行总结。

**关键词:**边坡失稳;稳定性;防治措施

边坡失稳为当前最常见的地质灾害,影响因素较为复杂。一方面部分内在因素,包括边坡地形地貌、坡度、地层岩性以及植被覆盖情况等会对边坡稳定性造成影响。另外受部分外界因素影响,如地震、灌溉、降水、人类活动等同样会对边坡稳定性造成影响<sup>[1]</sup>。内在因素属于导致边坡失稳的主要因素,而外在因素则属于导致边坡失稳的激发因素。尤其对于部分岩土体结构较为松散或者易风化,或被地下水侵蚀的斜坡地区,以及部分存在裂隙地区,出现滑坡、崩塌等边坡失稳问题的风险较大。本文以双头寨村为例,针对滑坡稳定性进行分析,并对相关防治方案进行总结。

### 一、研究区地质环境与滑坡特征

#### (一)地质环境条件

##### 1.位置与地形地貌

双头寨村滑坡位于伊川县葛寨镇西部,地理坐标东经112°12'~112°46',北纬34°13'~34°33',地处伊河右岸,属丘陵与伊河冲积阶地结合部位。区域地势东南高西北低,滑坡体高程235~285m,高差50m,平均坡度15°,前缘高切坡坡度达50~80°。坡体呈阶梯状地貌,表层覆盖粉质黏土,植被覆盖率大于80%,中后缘分布联排居民房屋,前缘为耕地与人工开挖陡坡。

##### 2.气象水文

伊川县属暖温带大陆性季风气候。四季分明,气候温和,雨量适中,无霜期长,季风气候显著。春季多风少雨,夏季多雨较热,秋季气候凉爽,冬季较少雪。

伊川县地形复杂,光、热、水等气候资源丰富。据1970年至2020年共50年气象资料统计,年均气温15.1℃,1月最冷,月均气温1.3℃,7月最热,月均气温27.2℃;历年极端最高气温43.2℃,历年极端最低气温-15.8℃。降水较为充沛但时空分布不均,年均降水量620.6mm,最大年降水量854.3mm(2011年),一日最大降水量154.4mm(1982年8月1日),最小年降水量418.7mm(2012年);降水量多集中在7、8、9三个月,占全年降水量的53.25%,每年12月份至次年的2月份降水量最小,仅占全年降水量的5.32%。多年平均年蒸发量为1477.9mm,6月份蒸发量最大为225.6mm,1月份蒸发量最小为50.1mm。年均相对湿度65%,年均日照1999.3h,年均日照百分率45%;年均无霜期217.7d,最长253d,最短197d。伊川县风向主要为东南风,瞬时最大风速31.5m/s,平均风速2.6m/s,风力可达8级。

##### 3.地层岩性与地质构造

勘察区地层主要为第四系全新统(Q<sub>4</sub>)、中更新统(Q<sub>3</sub>)、新近系(N)及古近系(E)地层;Q<sub>4</sub>为黄褐色粉质黏土(层厚8.5~13.9m),Q<sub>3</sub>为褐黄色粉质黏土(层厚3.4~9.1m),N为杂色卵石土与褐黄色粉质黏土(累计层厚8.1~15.8m),E为灰黑色玄武岩(层厚7.7~18.5m)。区域构造以九皋山—绝金顶背斜为主体,周边发育伊河推断层、石锅镇—葛寨断层等,抗震设防烈度6度,地震动峰值加速度0.05g。勘察区周边主要的褶皱构造有九皋山—绝金顶背斜。该背斜轴呈北西—南东东向,轴部地层分别为中元古界熊耳群及汝阳群云梦山组。南翼依次为白草坪组、北大尖组等元古界地层。

#### (二)滑坡特征

##### 1.滑坡规模及形态特征

滑坡体整体为圈椅状,其走向为西南方向,坡体倾向近似南东方向,地形呈东南低北西高。滑坡纵向长度约199.2m,宽度约241.6m;总面积约0.042km<sup>2</sup>,厚度2.0~23.8m,体积约为50.0×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>,主滑动方向约310°。滑坡体前缘高程235m,后缘最高程为285m,坡体相对高差约为50m,平均坡度为15°,前缘有15~20m高的陡坡,坡角下有约3~5m高的易落土体堆积。根据斜坡变形运动形式划分为牵引式滑坡,根据滑体体积划分为中型滑坡。

##### 2.滑坡物质组成及结构特征

##### (1)滑体物质结构特征

滑坡体的主要岩性为褐黄色粉质黏土,具有较高的强度和韧性,呈现出可塑至硬塑状态,结构相对紧密。其干强度和韧性都较高,使得土壤在干燥条件下能保持较好的稳定性。局部夹杂有卵石,这些卵石的存在可能会对土体的整体稳定性产生一定影响,尤其是在雨水或地下水的作用下,卵石与土体的界面可能会成为潜在的滑动面。此外,部分土体的土质较脆硬,孔隙发育,这可能会影响土体的抗剪强度和透水性。

滑坡体的厚度分布呈现出后缘较薄、前缘较厚的特点,由后缘至前缘厚度逐渐增加,这种分布规律可能与滑坡体的形成机制和演化过程有关。通常情况下,滑坡体的后缘较薄可能是因

为在滑坡过程中,这部分土体受到了拉伸和剪切作用,导致土体厚度减小;而前缘较厚则可能是因为滑坡体在向前移动的过程中,土体发生了堆积和挤压,使得厚度增加。

##### (2)滑面(带)物质结构特征

滑坡体的活动性通过建筑物变形情况得到了明显的体现,表明该滑体目前仍处于蠕变阶段。这种蠕变变形是滑坡活动的一个早期迹象,它可能导致地表建筑物出现裂缝、倾斜或其他形式的损坏。在坡体前缘的高切坡位置,可以看到新近的土体垮塌痕迹,这进一步证实了滑坡体的不稳定性 and 持续的活动性。

通过勘探资料的分析,可以确定滑带(面)主要位于粉质黏土层下部和卵石层下部,埋深约2.0~23.8m。这一滑带是滑坡体滑动的主要通道,其物质成分主要由粘粒、粉粒组成,并含有少量的砂岩碎石。这些碎石的粒径一般在3~10cm之间,含量约占25%至50%。滑带土体的状态为硬塑状,具有中等的韧性,结构相对较松散。因此,确定该地层为滑坡体的滑动带。该层位于地下水水位附近,容易受到地下水水位升降影响,稳定性较差,且地下水的升降也加快了下部玄武岩的风化速度和程度,使滑面更加脆弱,而局部卵石透镜体的存在则为地下水的赋存提供了空间,也降低了滑面的稳定性。

##### (3)滑床物质结构特征

滑床的物质组成主要为新近系可塑—硬塑状态粉质黏土及其下部强风化、中风化的玄武岩。

在滑体堆积物较厚部位,大气降水沿堆积物空隙渗入下部弱透水或隔水地层,便以粉质黏土层为径流,降低其抗剪强度而形成滑床,其空间形态呈弧状线。

##### 3.变形特征

滑坡变形始于2015年前缘开挖取土,2023年调查显示,坡体中部耕地、民房墙面及路面出现大量裂缝,裂缝走向多垂直于坡体走向,长度1.5~2.5m,宽度1.1~21.0cm。前缘高切坡存在土体垮塌堆积,滑坡中后缘房屋开裂严重,部分已拆除,目前滑坡仍处于蠕变阶段,呈欠稳定状态。

##### 4.影响因素

滑坡稳定性受多重因素控制:地形地貌上,前缘高切坡形成临空面,破坏坡体应力平衡;地层岩性上,粉质黏土与卵石层相间分布,粉质黏土遇水软化形成软弱夹层;水文地质上,降雨入渗与地下水活动降低岩土体抗剪强度;人类活动方面,前缘开挖与坡体加载加剧滑坡变形。

### 二、研究方法与数值模拟

#### (一)研究方法

##### 1.野外勘察与资料收集

开展为期20天的野外地质勘察,查明滑坡地质环境、变形特征及岩土体物理力学性质,采集土样25kg进行室内试验;收集区域地质、气象、水文及监测数据,系统梳理84篇相关中英文文献。

##### 2.数值模拟方法

采用Geo-studio软件中的SEEP/W与SLOPE/W模块,构建饱和—非饱和渗流与稳定性耦合模型。SEEP/W模块基于达西定律与非饱和土渗流理论,模拟降雨入渗过程中滑坡渗流场演化;SLOPE/W模块采用摩尔—库伦强度准则,计算不同降雨工况下滑坡稳定性系数。

#### (二)数值模型构建

##### 1.模型参数

选取滑坡主剖面构建计算模型,模型含4070个节点、3944个单元,网格类型为四边形与三角形单元。岩土体物理力学参数基于室内试验与野外测试确定,滑体(粉质黏土夹碎石块)和滑床(玄武岩)结果如下:天然重度(kN·m<sup>-3</sup>)18.90、22,饱和重度(kN·m<sup>-3</sup>)20.10、23.5,天然黏聚力(kPa)29.5、180,饱和黏聚力(kPa)25.0、130,天然内摩擦角(°)15.2、28,饱和内摩擦角(°)13.3、20,弹性模量(MPa)10、150000,泊松比0.3、0.27,渗透系数(m·d<sup>-1</sup>)0.5、0.01。

##### 2.边界条件

渗流边界设置:底部及无穷远处为不透水边界;坡体两侧水位以下定为定水头边界,水位以上为压力水头边界;坡面为自由入渗边界。模拟4种降雨强度(0.02、0.04、0.06、0.08m/d),分析不同降雨工况对滑坡渗流场与稳定性的影响。

##### 3.计算原理

非饱和土渗流控制方程如下:

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial H}{\partial y}) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

式中,H为总水头;k<sub>x</sub>为x方向的渗透系数;k<sub>y</sub>为y方向的渗透系数;Q为施加边界流量;θ为单位体积含水量;t为时间。

滑坡稳定性系数采用简化毕肖普法计算,非饱和土抗剪强度公式

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + (u_a - u_w) \left[ \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^k \tan \varphi^s \right]$$

式中,c'为有效黏聚力;σ为总应力;u<sub>a</sub>、u<sub>w</sub>分别为孔隙气压力与孔隙水压力;φ'为有效内摩擦角;θ为体积含水量;θ<sub>s</sub>为饱和体积含水量;k为拟合参数

### 三、结果与稳定性分析

#### (一)渗流场演化规律

数值模拟结果显示,降雨入渗显著改变滑坡渗流场特征:初始状态下,滑体内孔隙水压力呈负值,基质吸力明显;降雨开始后,雨水沿地表入渗,土体含水量逐渐增加,孔隙水压力增大,基质吸力减小。随着降雨强度增大与降雨历时延长,地下水位抬升,饱和区向深部扩展,坡体前缘与中部孔隙水压力增长最为显著,形成明显的渗流通道。当降雨强度为0.08m/d时,降雨2天后滑体表层土体完全饱和,孔隙水压力由负转正,基质吸力丧失,显著降低岩土体抗剪强度。

#### (二)稳定性分析

天然状态下,滑坡稳定性系数为1.452,处于稳定状态;随着降雨进行,稳定性系数逐渐降低。当降雨强度为0.02m/d时,降雨2与8天后稳定性系数分别为1.091与1.068,处于基本稳定状态;降雨强度0.06m/d时,降雨2天与6天后稳定性系数分别为1.012与1.000,处于欠稳定状态;降雨强度0.08m/d时,降雨2天后稳定性系数降至0.993,处于不稳定状态。对比相同降雨量下不同降雨强度的稳定性可知,高强度短时降雨对滑坡稳定性的影响更为显著。

### 四、防治措施

#### (一)滑坡风险监测

在进行滑坡风险防治的过程中,需要做好各方面滑坡风险监测工作,准确观察滑坡变化情况,判断发生滑坡的风险。结合地质勘探结果,对该地区出现滑坡的风险进行评估,在容易出现滑坡的区域安装各类位移传感器或者雨量计等,实时监测滑坡体的变化情况,统计降雨量变化情况,分析发生滑坡的风险<sup>[2]</sup>。提前制定相关应急方案,评估滑坡可能造成的风险,并制定相关应急措施,最大限度降低滑坡造成的危害。

#### (二)开展工程防治

针对存在滑坡风险的区域,结合场地特点对排水系统进行完善,合理设置排水沟、截水沟等,促使地表水可以顺利排出,对坡体含水量进行控制,降低坡体滑动力<sup>[3-4]</sup>。同时,可以通过设置挡土墙或者抗滑桩等对滑坡进行预防,通过增加土地抗滑能力,降低滑坡发生率。

#### (三)积极开展生态防治

可以在存在滑坡风险的地区大面积种植植被或者树木,从而增加土壤的稳定性,起到对水土流失进行预防的作用。同时,在植被的作用下,可以对表层土壤颗粒进行固定,促使土体的抗剪强度得到提升<sup>[5]</sup>。此外,在不影响居民日常生活或者出行的情况下,需要对当地生态进行恢复,减少人为因素对坡体造成的影响,提升坡体的稳定性,降低滑坡的风险。

#### (四)针对滑坡体形态进行调整

对于滑坡风险较高的区域,可以通过减少坡体荷载的方式对滑坡进行预防。例如对滑坡体后缘的岩石以及土体进行处理,从而对滑坡体的重量进行控制,间接起到对下滑力进行降低的作用,对滑坡进行预防。此外,可以通过锚杆或者注浆等方式,对坡体内软弱层进行处理,增加坡体抗滑能力,起到对滑坡进行预防的作用。

### 五、总结

总之,滑坡属于较为常见的地质灾害,存在一定风险性。对于滑坡风险较高的区域,需要及时对当地地质情况、水文情况以及人类活动情况进行综合性评估,分析影响坡体稳定性的因素,并及时采取有效预防措施,对坡体下滑力进行合理的控制,对滑坡进行有效预防,降低滑坡对居民日常生活、当地经济发展等方面造成的影响。

#### 参考文献:

- [1]王荣.滑坡勘察参数分析及其设计应用研究[J].科技创新,2025(23):141-144.
- [2]张财务.梅江区清凉山库区县道滑坡稳定性评价及防治对策[J].科技创新,2025(23):73-76.
- [3]李冰,童伟,周成凯,等.水库滑坡失稳机制及防治措施研究[J].中国新技术新产品,2025(21):116-118.
- [4]刘有梦,马良腾,何亚宁.加西高速滑坡形成机制分析及治理建议[J].山西建筑,2025,51(22):79-84.
- [5]李懿.灰岩地区某滑坡稳定性分析及防治措施研究[J].河南科技,2025,52(20):117-121.