

# 张家口市张北县草原天路某滑坡发育特征及稳定性分析\*

刘峰旭<sup>1</sup> 秦明辉<sup>1\*</sup> 刘宇轩<sup>1</sup> 唐虎<sup>2</sup>

1. 河北省煤田地质局第四地质队; 2. 有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所

**摘要:** 河北省张北县草原天路作为旅游热点景区, 沿线发生的滑坡地质灾害对游客生命财产安全造成严重威胁。本次以草原天路刘家房村段HP01滑坡为对象, 对其基本特征和稳定性进行了研究。结果认为, HP01滑坡为潜在小型牵引式土质滑坡, 前缘临空, 雨水渗下渗使黏土岩活化, 整体为欠稳定状态; 暴雨工况下的HP01滑坡剩余下滑力为898.894KN, 稳定性相对天然和地震工况最差; 建议采取“桩板式抗滑挡墙+截排水沟”工程对HP01滑坡进行综合治理。研究结果可为草原天路沿线地质灾害防治提供参考。

**关键词:** 草原天路; 滑坡; 成因机制; 剩余下滑力; 地质灾害防治

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.11.058

## 引言

张北县位于河北省张家口市西北部, 是张家口市有名的坝上四县之一。张北县夏季凉爽, 气候宜人, 是京津冀地区夏季旅游避暑胜地(宫凤梧, 2016)。张北县更有草原天路贯穿而过, 沿途“空中草原”景色优美, 加上2019年张家口与北京联合举办冬奥会, 使张家口地区声名远扬, 这也使张北县草原天路游客与日俱增。然而, 由于修建道路时进行的边坡开挖等工程活动, 草原天路沿线局部路段地质灾害较为发育, 地质灾害类型以滑坡和崩塌为主, 严重威胁了草原天路上来往的车辆、游客和当地居民的生命财产安全(李改梅等, 2016)。因此, 对草原天路局部路段的滑坡地质灾害进行研究, 分析发育特征和稳定性, 对于草原天路沿线减灾防灾工作和当地社会经济发展具有重要意义。

## 一、地质环境条件

本次研究对象HP01滑坡位于河北省张家口市张北县台路沟乡刘家房村西南1km处。HP01滑坡所在地区地貌类型为波状高原, 海拔在1145~1570m, 地势北高南低, 冲沟、河谷切割较强, 局部有泉水出路。区内气候类型为温带大陆性干旱季风气候, 多年平均降水量为401.6mm, 主要集中在7-8月份。区内无明显断裂构造, 距离最近的尚义—赤城断裂约8km, 地层从老到新为白垩系南天门组、新近系汉诺坝组、第四系马兰组、第四系全新统冲洪积物和人工填土。区内地下水主要包括松散岩类孔隙水和基岩裂隙水, 含水层透水性较好, 工程岩组主要为块状硬质岩组、厚层状软质岩组及松散堆积土体。整体而言, HP01滑坡所在地区地质环境条件复杂程度为中等级别, 具备滑坡孕灾条件(宋德东等,

2022)。

## 二、滑坡基本特征

### 1. 滑坡形态特征

HP01滑坡纵长约20m, 平均宽度约75m, 滑体面积约1900m<sup>2</sup>, 滑体平均厚度8.0m, 体积约15200m<sup>3</sup>, 主滑方向为203°, 为小型浅层土质滑坡。滑坡坡面形态上部缓, 中下部趋陡, 总体呈圆弧状, 坡面最高点位于东北侧公路边, 最低点位于南侧坡脚沟谷。经钻孔勘察, 坡体表面为人工填土, 厚度约为4~7m; 中部为粉土或砂砾石层, 厚度约0.9~3m, 层厚不均; 下部为厚层状白垩系黏土岩, 钻孔未揭穿。坡面植被覆盖率极低, 只见少量杂草。坡面总体角度20°左右, 坡向约203°, 坡体前缘由于人工填土形成临空面, 角度75°~90°, 高约2m。

### 2. 滑坡变形特征

滑坡周界以岩土体是否产生变形破坏界定, 潜在滑坡周界以岩土体是否可能产生变形破坏界定。经调查, HP01滑坡属于潜在滑坡, 滑坡后缘以公路左侧为边界, 滑坡两侧, 东侧以回填土与原始边坡交界为界, 右侧山体棱角转折线及回填土边界为界。经调查, 目前该滑坡土体未见变形, 坡体后缘未发现拉张裂缝, 侧缘未发现剪切裂缝, 但坡体前缘有临空面, 坡体受雨水冲刷严重, 坡体人工填土、粉土和砂砾石层透水性好, 尤其人工填土压实度差, 又缺少植被护坡, 在降雨侵蚀和面流冲刷下, 土体遇水饱和泥化, 而下部黏土岩隔水性强, 之间形成滑面(滑面角度17°), 具备牵引式滑坡破坏模式。

## 三、滑坡稳定性分析

### 1. 滑坡形成机制

HP01滑坡在牵引式破坏模式基础上, 形成机制主要为滑带土的应力应变与其抗剪强度的不平衡。降水入渗、开挖坡脚及地震作用, 改变了斜坡的形状和应力状态, 增大了主滑带土体剪应力和下滑分力。同时, 降雨和地表水渗入坡体, 一方面使主滑带土体饱和、软化, 强度降低; 另一方面导致地下水位升高, 主滑带土孔隙水压力增大, 抗剪强度降低, 浮力减小了抗滑力。综上所述, 当剪应力大于主滑带的抗剪强度时, 主滑带就先失稳变形, 引起地面开裂, 继而造成滑坡的发生(李胜等, 2023)。

### 2. 滑坡稳定性影响因素

影响区内滑坡形成的因素主要是自然因素和人为因素。自然因素包括地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨、地震等。其中地形地貌、地层岩性和地质构造是内因, 对滑坡的形成和发展起控制作用, 降雨、地震是外因, 对滑坡的形成和发展起促进作用。人类工程活动主要是坡脚开挖和回填覆土。HP01滑坡的影响因素具体分述如下:

#### (1) 地形地貌

HP01滑坡地区属上缓下陡的陡坡地形, 坡角约 $20^{\circ}$ 左右, 坡脚处为陡坎临空面, 近乎直立, 在长期的重力作用下, 坡体的整体平衡状态较脆弱。

#### (2) 工程岩组

山体斜坡上部第四系残坡积碎石土层厚度大, 组成物质结构松散, 透水性好; 下部分布中等风化白垩系黏土岩, 抗剪强度低, 遇水易软化; 底部基岩结构完整, 透水性差, 形成一个相对阻水面。

#### (3) 大气降水

HP01滑坡地区土体结构松散, 孔隙发育, 当大气降雨渗入坡体后, 增加土体的孔隙水压力及土体的重度, 加剧滑坡变形发展。

#### (4) 地震活动

地震是滑坡诱发的主要因素之一。在地震作用下, 一方面滑坡体中的竖向节理、裂隙易垮塌, 另一方面地震使坡体表层覆盖层更加松散, 更有利于地表水的入渗。

#### (5) 人类活动

坡脚开挖破坏了整个坡体的自然平衡条件, 在重力作用下, 上部碎石土层沿基岩面下滑, 加剧了滑坡形成。

### 3. 滑坡稳定性计算

从定性角度, HP01滑坡前缘临空条件好, 土体结构松散, 叠加降水下渗, 滑面黏土岩软化, 定性来看, 该滑坡处于欠稳定~不稳定状态, 随时有滑移破坏的可能。为进一步分析HP01滑坡稳定性, 以下对该滑坡稳定性进行定量计算和评价。

滑坡稳定性计算参数主要包括滑坡岩土体物理力学参数、几何形状参数以及滑面参数等。岩土体物理力学参数主要是依据土工试验结果, 对岩土体的物理力学结果反算、类比、修正后确定; 几何形状参数从剖面中量取, 结合实地量测确定; 软弱滑动面的粘聚力和内摩擦角等, 主要采用经验数据, 结合土工试验修正确定。研究区抗震设防烈度为VII度, 地震力计算综合系数取值为0.25。根据《滑坡防治工程设计规范》(GB/T38509—2020), 对HP01滑坡设置三种不同工况进行稳定性计算, 工况1为天然工况, 安全系数取1.25, 工况2为暴雨工况, 安全系数取1.20, 工况3为地震工况, 安全系数取1.10。经测试、反算、修正后的滑坡稳定性计算主要参数见表1, 基于这些参数, 在滑坡体上选取2个剖面, 即剖面1-1和剖面2-1(图1), 进而采用极限平衡法, 对滑坡剩余下滑力进行计算。极限平衡法被工程界广泛应用, 形成了大量的计算经验和计算模型, 计算结果也已经达到了很高的精度, 因此, 该法目前仍为边坡稳定性分析最主要的分析方法(王永增等, 2023; 施威等, 2023; 黎俊华, 2023)。

计算结果显示(表2和表3), 滑坡在天然状态下处于基本稳定状态, 在发生地震时处于不稳定状态, 在暴雨或长时间降雨状态下处于不稳定状态。与此同时, 该滑坡在其他人为因素条件影响下, 坡体蠕动变形进一步发展, 坡体可能产生大范围失稳, 加速滑坡移动, 严重威胁到道路行人及游客的生命财产安全。

表1 HP01滑坡稳定性计算主要参数

重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )		内聚力 (kPa)		内摩擦角 ( $^{\circ}$ )	
天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
18	20	5	4	12	10

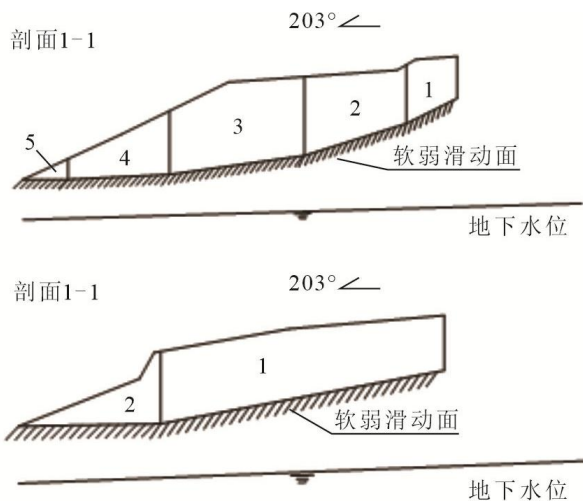


图1 HP01滑坡稳定性计算剖面

表2 剖面1-1剩余下滑力计算结果

工况	条块	下滑力 (kN/m)	抗滑力 (kN/m)	剩余下滑力 (kN/m)
天然	1	410.747	117.563	258.121
	2	974.934	330.019	577.880
	3	1084.628	537.030	462.228
	4	529.434	217.019	248.996
	5	248.726	25.322	195.005
暴雨	1	446.221	71.844	346.327
	2	1123.447	206.759	863.060
	3	1444.383	343.030	1033.058
	4	1136.468	144.799	940.934
	5	943.558	21.944	898.894
地震	1	381.898	117.563	229.273
	2	912.859	329.242	516.582
	3	1044.327	535.246	423.712
	4	515.493	216.394	235.681
	5	239.056	25.213	185.443

表3 剖面2-2剩余下滑力计算结果

工况	条块	下滑力 (kN/m)	抗滑力 (kN/m)	剩余下滑力 (kN/m)
天然	1	605.629	318.594	159.824
	2	172.365	72.527	37.324
暴雨	1	668.750	194.696	372.284
	2	399.946	49.821	300.115
地震	1	605.542	318.594	159.737
	2	186.048	72.525	51.009

#### 四、结论与建议

##### 1. 结论

HP01滑坡位于河北省张家口市张北县台路沟乡刘家房村西南1km处。HP01滑坡纵长约20m，平均宽度约75m，滑体面积约1900m<sup>2</sup>，滑体平均厚度8.0m，体积约15200m<sup>3</sup>，主滑方向为203°，为小型浅层土质滑坡，具

备牵引式滑坡破坏模式。在地形地貌、工程岩组、大气降水、地震活动及人类活动影响下，HP01滑坡处于欠稳定~不稳定状态。经过极限平衡法计算，HP01滑坡在天然状态下处于稳定状态，在发生地震时处于不稳定状态，在暴雨或长时间降雨状态下处于不稳定状态，对张北县草原天路上来往行人及游客威胁较大，急需进行工程治理。

##### 2. 建议

该处滑坡可采用“桩板式抗滑挡墙+截排水沟”工程进行综合防治。在滑坡剪出口附近，修筑抗滑桩，抗滑桩之间设置挡板，加强滑坡的抗滑作用。在滑坡体后缘修截水沟，滑坡体侧、中及下部修排水沟，对地表水进行拦截导流，防治渗入滑坡体中。

##### 参考文献

- [1] 官凤梧. 张家口市崇礼县小梨沟泥石流地质灾害基本特征及防治措施[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(06): 151-152+156.
- [2] 李改梅, 张国新, 冯燕, 等. 张家口市下花园区地质灾害防治与地质环境可持续发展[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(03): 125-126.
- [3] 宋德东, 龚甲桂, 高文凯, 等. 青云寺滑坡隐患体稳定性分析及防治措施[J]. 矿产勘查, 2022, 13(11): 1713-1718.
- [4] 李胜, 邓立雄, 徐世光. 保山盆地某边坡稳定性与防治工程设计[J]. 中国水运, 2023, (09): 98-100.
- [5] 王永增, 王润, 曹洋, 等. 基于极限平衡法的边坡稳定性分析[J]. 露天采矿技术, 2023, 38(02): 57-60.
- [6] 施威, 刘刚, 狄万明, 等. 南京某堆积层滑坡稳定性评价及治理措施研究[J]. 勘察科学技术, 2023, (03): 26-31.
- [7] 黎俊华. 基于极限平衡法的边坡稳定性分析[J]. 采矿技术, 2023, 23(01): 39-44.

作者简介: 刘峰旭(1985-), 男, 本科, 助理工程师, 就职于河北省煤田地质局第四地质队, 主要研究方向为水文地质、环境地质与地质灾害。

\*通信作者: 秦明辉。

基金项目: 河北省煤田地质局财政专项资金项目(13000024P00B04410073H)