

贵州印江县孟郊滑坡群 成因及稳定性评价

李应平

(贵州地矿基础工程有限公司，贵州贵阳 550004)

【摘要】分析了贵州省印江县北部杉树乡孟郊滑坡群的形成原因，主要收到地形条件、季节性冲沟的冲刷、后期人类工程活动以及大气降水、生活污水的影响，通过极限平衡法，评估了滑坡区两个主要滑坡“P”和“P2”的稳定性系数和剩余下滑推力。分析表明，“P”和“P2”滑坡体均处于欠稳定的状态。为避免发生地质灾害，建议尽早进行处理。根据滑坡区水文地质情况以及滑坡体的基本特征，建议采取“抗滑桩、抗滑桩+锚杆框架梁”的治理措施。

【关键词】孟郊；滑坡群；成因；稳定性；治理措施

【中图分类号】P642.22 **【文献标识码】**A

【文章编号】1003-6563(20J6)06-0025-05

0 引言

贵州省位于我国西南地区，该区域内地质灾害具有“点多面广、类型多样、突发性强、灾害损失大”的特点，其中以泥页岩、页岩为主的软岩层和以灰岩为主的硬岩层形成的软硬互层型结构边坡，是贵州地区较为常见的一种典型结构边坡。印江县自然地质条件复杂，地形起伏大，地质环境总体较脆弱，且区内暴雨、洪水频繁，是地质灾害的多发区和重灾区。孟郊滑坡位于印江县北部杉树乡西侧孟郊村所属的斜坡地带，整个地势呈南低北高状。由于地形坡度大，冲沟发育、第四系覆盖厚、构造发育等、再加之后期人类建筑、开荒种地等影响，致使片区岸坡环境地质条件较脆弱。在不利条件下，会诱发多处地质灾害。

1 滑坡区地质环境条件

1.1 地质构造

滑坡区在区域构造上属扬子准地台黔北台隆遵义断拱凤冈北北东向构造变形区，滑坡区无活动断裂通过，岩体层状较平缓，岩层产状为 $310^{\circ} \angle 12^{\circ}$ ，无优势外倾结构面。

1.2 地层岩性

1.2.1 第四系堆积层 (Q)

(1) 耕植土层 (Q^{pd})

局部地段见大量植物根系，结构松散。主要分布于 HP1 滑坡中上部、HP2 滑坡上部耕地地段。在 HP1、HP2 滑坡的中部及中上部有零星分布，大数分地段由于村民修建民房等影响而缺失。

(2) 残坡积层 (Q^{al+dl})

主要分布于滑坡体一带，杂色，主要由粘土夹少量碎石、块石等组成，为滑坡体的滑体物质。

1.2.2 志留系中上统韩家店群 (S2.3hn)

灰色、灰白色砂质页岩、钙质粉砂岩，夹薄层灰色砂质灰岩，主要出露于 HP1 前沿缓斜坡一带，岩体产状为 3100 角 12。岩体的在垂向可分为强风化层及中风化层，其中强风化层厚 3.1m-4.9m，岩体风化严重，灰白色、浅灰色，多风化呈土状，其下为中风化层，岩体多呈紫色、紫色泥岩、钙质砂岩夹祠层砂质，该层岩体强度较高。

1.3 气象、水文

本区属中亚热带温暖湿润季风气候。区内多年平均降水量 1100mm，年内降雨量分配不均，雨季（4-8 月）降水量累计 738.99mm，占年降水量的 68.52%。降水量偏集于春夏两季，而每次暴雨滑坡均有明显的变形活动，故降雨与滑坡的形成有密切的关系。区内地表水系较发育，在 HP2 滑坡体上有泉点 1 处，流量约 0.3L/s，HP1 滑坡体下部为季节性溪沟，最大流量为 1m³/S。

1.4 地形、地貌

本区为低山地貌，滑坡区位于斜坡地带，其中 HP1 滑坡前缘为陡坎，平均坡度约 60°左右；HP2 滑坡前缘为陡坎与公路，其中后部缓平台。

2 滑坡体工程地质特征

根据滑坡体的位里，结合滑坡区的微地貌特征、滑坡的变形特征、运动趋势等将该滑坡群分为南（HP2）、北（HP1）两块滑体，如图 1 所示。图中虚线代表滑坡边界，箭头代表滑坡体滑动方向。

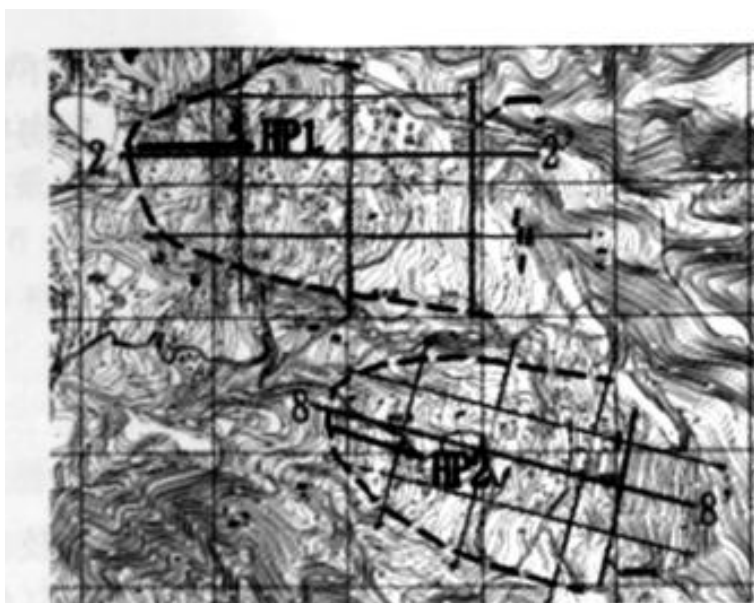


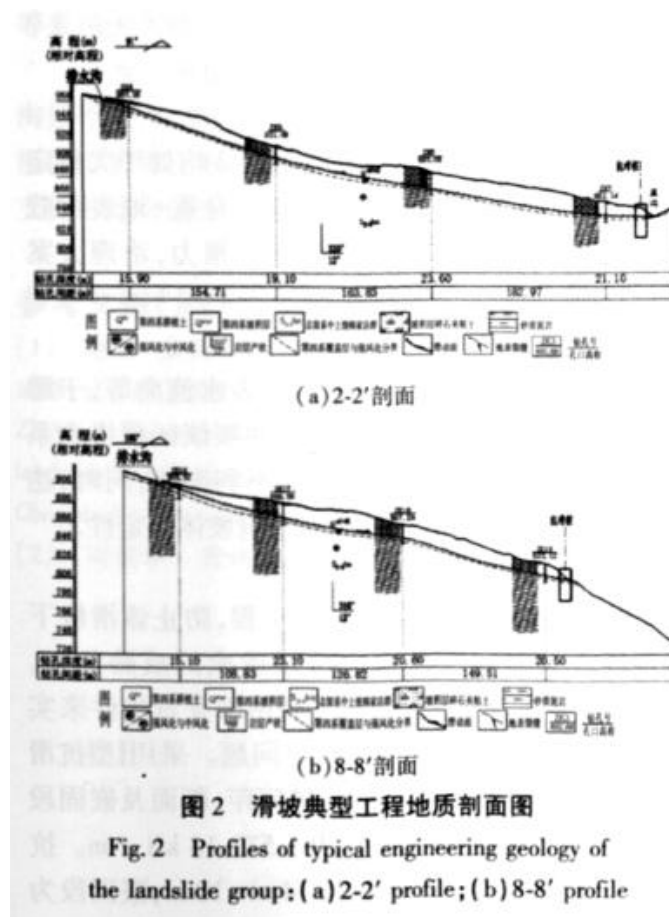
图 1 孟郊滑坡群平面形态

Fig. 1 Plane shape of Mengjiao Landslide group

HP1 滑坡纵长 310m — 680m, 宽约 140m — 370m, 滑体最大厚度为 16.8m, 平均厚度约 12.3m, 滑体体积约为 $1.3 \times 10^5 \text{m}^3$, 属中型、浅层、推移式土质滑坡。

HP2 滑坡纵长 180m — 420m, 前缘宽约 315m, 滑体最大厚度为 16.9m, 平均厚度 11.8m, 滑体体积约为 $1.1 \times 10^5 \text{m}^3$, 属中型、浅层、推移式土质滑坡。

各滑坡沿主滑方向的剖面为本次滑坡的计算剖面, 因为沿主滑向的滑坡推力最大, 更有效的反映滑坡的变形发展现状: HP1 滑坡选用 2-2' 剖面作为计算剖面, HP2 滑坡选用 8-8' 剖面作为计算剖面。滑坡典型工程地质剖面图如图 2 所示。



3 滑坡群成因及稳定性分析

3.1 滑坡群的成因

滑坡群成因分析如表 1 所示

表 1 滑坡群成因分析

Tab. 1 Analysis on formation mechanisms
of the landslide group

滑坡编号	滑坡成因分析
	(1) 滑坡的地形条件为滑坡提供了良好的位移空间。滑坡体的前缘为缓斜坡, 中后部为缓斜台地, 印江河从滑坡的前缘通过, 且滑坡区为残坡层堆积区, 第四系覆盖较厚, 该地形条件为滑坡的形成提供了良好位移空间。 (2) 季节性冲沟, 多年对坡前冲刷是该第四系滑坡形成的主要原因。根据调查的资料显示: 季节性冲沟冲刷及陡坎出现临空, 后部第四系堆积区提供了临空条件, 后部第四系在重力作用下, 产生向前滑移, 该过程逐步向滑坡后部发展, 从而诱发形成滑坡。另外, 季节性冲沟长年对该滑坡的前缘冲刷, 也对滑坡的形成创造了条件。
HP1 滑体	(3) 滑坡区中后缘为缓平台, 大量的建筑物对滑坡体加载, 增加了滑体的重量, 致使滑坡的下滑力增大, 使滑坡的变形加剧。 (4) 持续性强降雨致使岩土体处于全饱水状态, 致使滑坡的重度增加, 由于滑坡的形成, 造成滑坡体的排水管道、渠道局部有拉裂破坏的现象, 生活污水渗入滑体内, 同样增加了滑坡滑体的重度, 加剧了滑坡的变形。
HP2 滑体	(1) 前缘公路切坡形成临空面, 为滑坡的形成即提供了位移空间, 同时减短了前缘阻抗段, 是滑坡形成原因之一。 (2) 滑坡区中后缘为缓平台, 大量的建筑物对滑坡体加载, 增加了滑体的重量, 致使滑坡的下滑力增大, 是滑坡形成的主要原因。 (3) 持续性强降雨致使岩土体处于全饱水状态, 致使滑坡的重度增加, 由于滑坡的形成, 造成滑坡体的排水管道、渠道局部有拉裂破坏的现象, 生活污水的渗入滑体内, 同样增加了滑坡滑体的重度, 加剧滑坡的变形。

3.2 滑坡稳定性分析

关于滑坡的稳定性分析, 前人已经作过很多的研究, 使用最广泛的是基于极限平衡理论的极限平衡法。该方法建立在 Mohr-Coulomb 准则基础上, 把影响土体或岩体抗剪强度的所有因素均纳入计算。采用综合野外与室内分析的滑面即软弱面来计算, 滑面呈折线形, 故稳定计算采用折线型滑动面计算公式。采用 (岩土工程勘察规范) (GB50021-2001) 条文中第 5.2.8 条规定的折线型稳定性公式进行计算, 其计算公式如下:

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

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

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

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

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

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

式中: F_i 为滑坡稳定性系数; ψ_i 为滑体的剩余下滑力传递系数; R_i 为第 i 计算条块滑体抗滑力, kN / m ; N_i 为第 i 计算条块滑体在滑动面法线上的反力, kN / m ; T_i 为第 i 计算条块滑体下滑力, kN / m ; c_i —第 i 计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值, kPa ; φ_i —第 i 计算条块滑带土的内摩擦角标准值, $(^\circ)$; l_i —第 i 计算条块滑动面长度, m ; θ_i —第 i 计算条块底面倾角, $(^\circ)$, 反倾时取负值。

3.3 滑体参数及稳定性计算

第四系滑坡的滑带土的剪切破坏是一个互相联系、互相转化的过程, 滑面的模拟主要以钻探岩芯样进行鉴定分析, 结合现场实地调查综合分析而得。滑带土、滑体的计算参数的选取考虑如下条件: 1) 滑坡已产生明显的蠕滑现象, 其主要的滑带土 (Q^{a1+p1}) 室内反复直剪试验峰值强度接近于现场滑带土抗剪强度, 因此, 滑带土计算指标宜采用扰动最大的土的反复直剪峰值强度; 2) 两滑坡的滑面均以粉质粘土为主, 且膨胀性高, 有滑感, 遇水易软化, 因此, 计算采用值 (c, θ) 接近于试验值的残余值。由于滑坡的滑带土附近长年处于饱水状态, 故饱水状态与天然状态滑面的抗剪强度相同。滑带土、滑体的计算参数如表 2 所示。

表 2 滑带土计算参数			
Tab. 2 Soil calculating parameters in sliding zone			
滑面位置	粘聚力 c / kPa	摩擦角 φ / °	天然重度 / (kN / m ³)
HP1 滑坡 2-2'剖面	9.46(16.5)	4.55(11.15)	19.30
HP2 滑坡 8-8'剖面	9.5	5.0	18.89

注:括号内数值代表滑面穿越了第四系及强风化层段的土体抗剪强度参数

根据以上公式及土体参数,计算得到滑坡体的稳定系数如表 3 所示。

表 3 滑坡体稳定性评价			
Tab. 3 Stability evaluation of the landslides			
滑坡编号	计算剖面	自重+地表荷载	
		稳定性系数	评 价
HP1	2-2'	1.04	欠稳定
HP2	8-8'	1.03	欠稳定

计算结果表明，HP1、HP2 滑坡在饱水状态下处于欠稳定状态，这与滑坡体后缘开裂、居民住房形开裂等现象相吻合。

4 滑坡推力计算及治理措

4.1 滑坡推力计算

推力计算采用《滑坡防治工程设计与施工技术规范》（DZ219-2006）附录 A 中 A.1 堆积层（包括土质）滑坡稳定性评价和推力计算中公式 A.10，按传递系数法计算，其计算公式如下：

$$F_i = F_{i-1} \cdot \psi_{i-1} + K_i \cdot T_i - R_i \quad (7)$$

式中： F_i 、 F_{i-1} —分别为第 i 条块、第 $i-1$ 条块的剩余下滑力， kN / m ，如果 $F_{i-1} < 0$ ，则计算 F_i 时式中 F_{i-1} 取 0；

K_i —推力安全系数，在本算例中取 1.3。

推力作用点取在滑体厚度的 $1 / 2$ 处，作用方向取计算条块滑动方向。

HP1 滑体 2-2' 剖面，安全系数 $K_i = 1.3$ 时计算的滑坡推力 $F = 1\,572.16 \text{ kN} / \text{m}$ 为设计水平推力；HP2 滑体 8-8' 剖面取安全系数 $K_i = 1.3$ 时计算的滑坡推力 $F = 1\,359.22 \text{ kN} / \text{m}$ 为支挡部位的设计水平推力。

4.2 滑坡治理措施

根据滑坡稳定性分析，HP1、HP2 均处于欠稳定状态，应分级治理。以饱水状态下自重 + 地表荷载作为设计工况，计算滑坡剩余下滑推力，治理方案

建议如下。

1) 截流排水工程

利用滑坡块体坡体地形及地表水流向等，于滑坡体后部及中部修建截排水沟，理顺该区截排水系统，减少地表水下渗对滑坡造成不利影响；同时，达到防止坡面水流对坡体冲刷而影响坡体稳定性。

2) 抗滑支挡工程

在滑坡前缘设置抗滑支挡工程，防止该滑坡下滑直接对学校建筑及围墙挤压造成的威胁危害。抗滑桩布置于滑坡前缘一带，利用深受弯构件来实施滑坡治理，解决滑坡整体稳定问题。采用 I 型抗滑桩，抗滑桩配筋率一样，桩型、桩间距、断面及嵌固段一致。HP1 滑坡设计水平推力 $1572.16 \text{ kN} / \text{m}$ 。抗滑桩截面 $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ ，桩长 $14 \text{ m} - 18 \text{ m}$ ，嵌固段为 5.0 m ，滑坡设防宽度 280 m ，桩间距 5.0 m ，总计 56 根；HP2 滑坡设计水平推力 $1359.22 \text{ kN} / \text{m}$ ，抗滑桩截面 $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ ，桩长 $13 \text{ m} - 17 \text{ m}$ ，嵌固段为 $\dots 5.0 \text{ m}$ ，滑坡设防宽度 220 m ，桩间距 5.0 m ，总计 44 根。

3) 削坡锚固工程

在滑坡后部采取削坡卸荷后锚固护坡工程，稳定滑坡体，消除滑坡根源。

5 结论与建议

1)本堆积层滑坡为第四系松散滑坡,规模巨大,严重威胁着人民的生命财产安全。位于滑坡体的建筑物均遭受不同程度的开裂变形现象,少数房屋已成危房,应尽早加以治理,防止不利因素诱发恶化,增加后期工程治理费用及难度。

2)水是滑坡的主要原因,第四系覆盖厚是滑坡形成的主要物源,应做好坡面排水措施。此外,后期人类的工程活动对滑坡也有一定影响,因此应合理规划各类工程。

3)计算结果表明,在饱水状态下滑坡体处于欠稳定状态。为避免持续性强降水诱发滑坡,长远来说,建议采用“抗滑支挡工程+外围截排水沟工程”等采用永久性工程治理方案。

4)为了防止季节性冲沟及对边坡前缘的冲刷、淘蚀作用,在滑坡前缘应采取有效的排水措施。应根据滑坡体工程地质条件及环境条件,采用减、排支挡的综合治理方案。

参考文献:

赵锐. 贵州省德江县香树坪滑坡形成机制研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.

周训华. 贵州山区高速公路滑坡类型及特征分析[J]. 路基工程, 2011(5):178-180.

贵州省地矿一建设工程有限公司. 贵州省印江县杉树乡孟郊滑坡群防治工程可行性研究报告[J]. 2009.

王涛, 吴树仁, 石菊松, 等. 国内外典型工程滑坡灾害比较[J]. 地质通报, 2013, 32(12):1881-1899.

崔芳峭, 胡瑞林, 谭播蛟, 等. 青海八大山滑坡群形成机制及稳定性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4):848-857.

毛硕, 王运生. 雅砻江中游某滑坡形成机制及稳定分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2016, 33(1):91-95.

王粗明, 赵华宏, 张胜, 等. 安徽繁昌滑坡群形成机理及稳定性分析[J]. 灾害学, 2007, 22(3):53-57.

徐文. 郭强. 贵州大方县城滑坡群稳定性评价[J]. 贵州地质, 1997, 14(3):268-273.