

贵州省印江县罗场中学滑坡的影响因素及稳定性分析*

李应平¹

(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罗场中学滑坡的影响因素, 主要是有利的地形地貌及地质环境条件, 大气降雨以及人类工程活动。该滑坡分为已滑动和潜在滑动两部分, 采用极限平衡法分析了潜在滑坡体的稳定状态及剩余下滑推力。分析表明, 滑坡在自然条件下处于基本稳定或暂时稳定状态, 在暴雨情况下处于欠稳定或基本稳定状态, 在地震作用下处于不稳定或局部稳定状态。根据保护对象和滑坡的特点, 建议采取分区分段治理, 治理方案包含截流排水、抗滑支挡、削坡锚固及爆破卸荷等工程。

【关键词】滑坡, 影响因素, 极限平衡法, 稳定性, 治理方案

【中图分类号】 P642.22

【文献标识码】 A

【文章编号】 1003-6563 (2018) 02-0068-05

0 引言

贵州省位于我国西南部地质灾害多发地区, 在降雨 (特别是大雨或暴雨) 诱发下发生滑坡是十分常见和多发的^[1]。印江县地质条件复杂, 地形起伏大, 地质环境总体较脆弱, 是贵州省地质灾害的重灾区^[2-3]。该区脆弱的环境地质条件对形成各种地质灾害起到促进作用^[4], 再加之后期人类工程活动, 在不利条件下, 极易诱发地质灾害。2014年7月16日, 印江县罗场乡罗场中学后山斜坡发生局部滑坡, 滑动土体堆积于学校挡墙内侧, 成为潜在滑坡体的一部分^[5]。潜在滑坡体直接威胁着滑坡前缘罗场中学校舍及全校师生, 间接威胁着滑坡后缘的村庄及前缘的城镇, 对其进行稳定性分析及治理十分必要。

1 滑坡区地质环境条件

1.1 地质构造

项目区内无大断裂通过, 岩层产状 $286^{\circ} \angle 42^{\circ}$ 。受区域构造影响, 岩体节理裂隙发育, 主要发育有 2 组: 第一组产状 $181^{\circ} \angle 53^{\circ}$, 面平直粗糙, 微张无充填或少量泥质充填, 延伸长 5~8m, 线密度为 0.5~1 条/m; 第二组产状 $88^{\circ} \angle 59^{\circ}$, 面平直粗糙, 微张无充填或少量泥质充填, 延伸长 3~5m, 线密度为 1~2 条/m。

1.2 地层岩性

收稿日期: 2017-12-28; 修回日期: 2017-12-28

*基金项目: 贵州省科学技术基金项目“软质岩石边坡病害风险评估模型研究”(黔科合 J 字 (2015) 2037 号)。

作者简介: 李应平 (1983-), 男, 湖北荆门人, 工程师, 主要从事岩土工程勘察、施工工作。

滑坡区地层岩性主要为第四系残坡积层 (Q_4^{el+dl}) 和志留系下统秀山组 (S_{1x})，具体如下：

1) 第四系残坡积层 (Q_4^{el+dl}) 含碎块石粘土:土黄色、褐色及灰绿色，松散-稍密。碎石含量 15~25%，粒径一般为 0.5~5cm；块石含量 20~30%，多为巨石，径一般为 1.5~3m。碎块石岩性为强-弱风化状灰岩、白云质灰岩。局部粘土呈可塑-硬塑状，土体整体结构较松散，碎块石分布不均一，主要分布于斜坡上部及后缘台坎地带。

2) 志留系下统秀山组 (S_{1x}) 泥岩:黄绿、黄灰、蓝灰色，薄-中厚层状结构，层状构造。质较软，出露地表位置风化严重，风化后多碎裂为碎石、碎块状，径 1~5cm。

1.3 气象水文条件

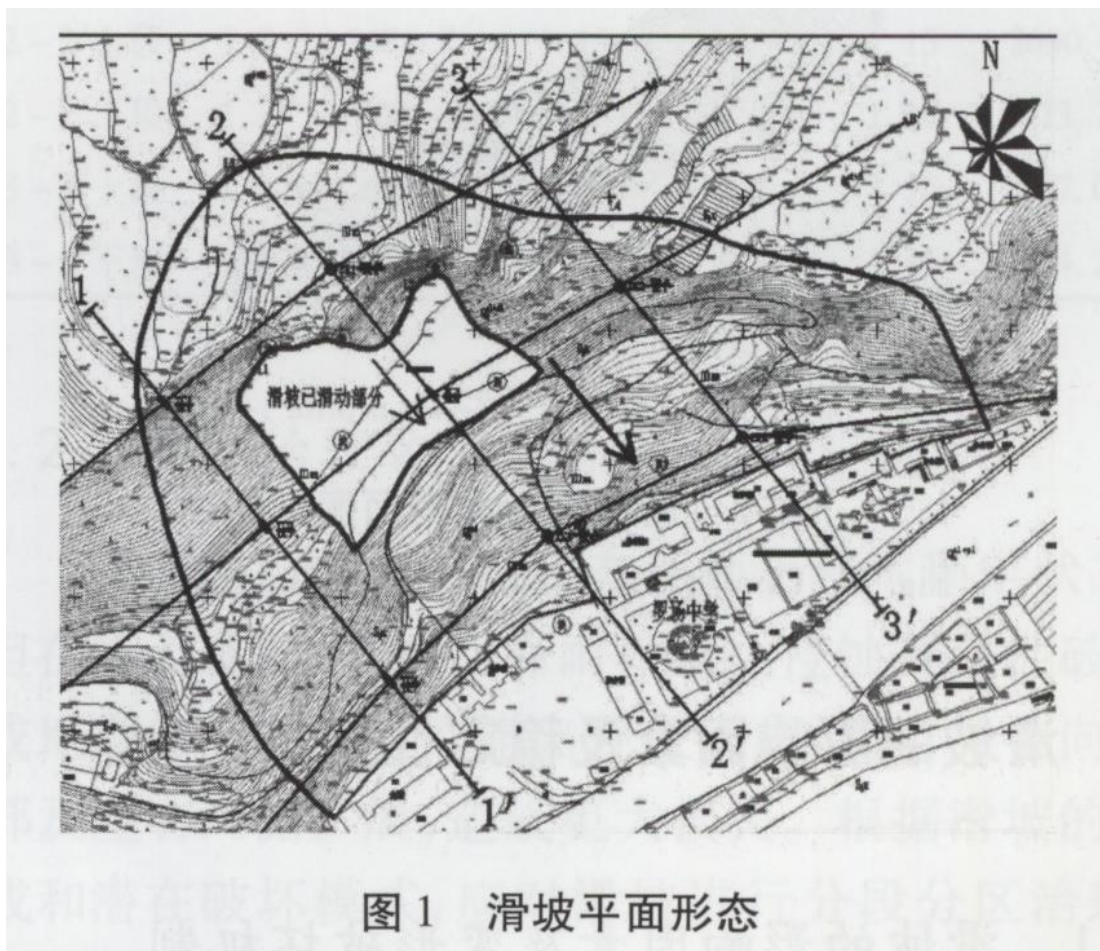
项目区属亚热带季风性湿润气候。全县多年平均降水量为 1100mm，降雨主要发生在 5~8 月，占全年总量 82.35%。该区地表水体主要以大气降雨为主，地下水以泉的形式表现，斜坡中部雨季时可见地下水泉点出露。

1.4 地形地貌

项目区位于罗场中学西北侧斜坡，属剥蚀、溶蚀中低山地貌区，侵蚀切割强烈，地形相对高差大，总体地形呈折线形。最高点海拔 712.37m，最低点海拔 577.14m，相对高差 135.23m。地形坡度后部 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、中部约 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、前部约 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

2 滑坡体工程地质特征

该滑坡整体呈不规则“半圆”形，主滑方向为 141° 自然斜坡坡度 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 其平面形态如图 1。

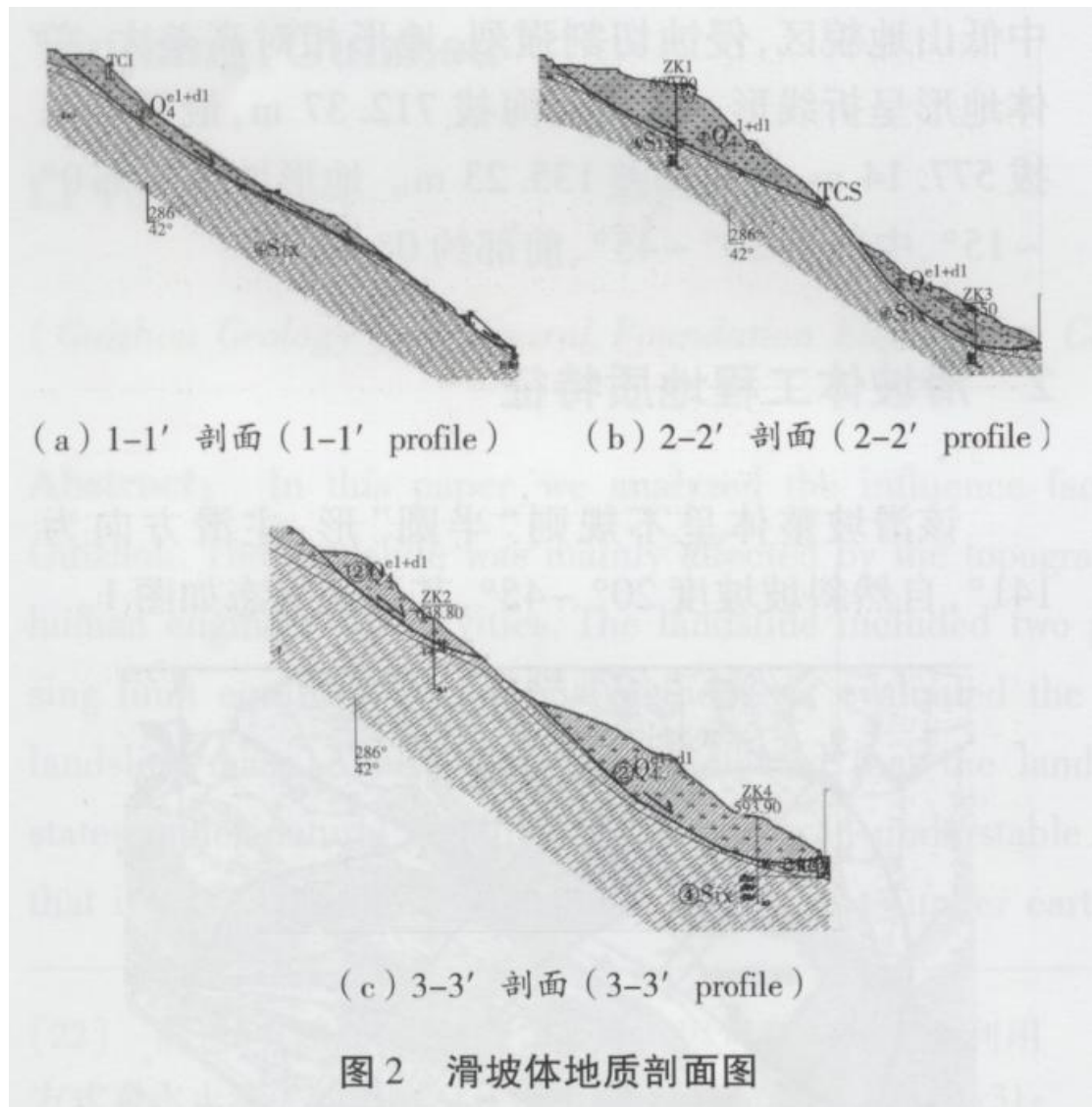


该滑坡可分为已滑动和潜在滑动两部分，具体如下：

1) 已滑动部分。该部分位于滑坡中后部，平面形态呈平面“凹”形，主滑方向 141° 。该部分滑坡周界清楚，地形坡度前陡后缓，前部坡度 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，中后部为缓坡平台，地形坡度 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。该部分主轴长 30m，平均宽 70m，滑体一般厚 2.0 ~ 5.0m，平均厚 4.0m，体积 $0.84 \times 10^4 \text{m}^3$ 。土体滑动后堆积于学校挡墙内侧，成为潜在滑坡滑体的一部分。

2) 潜在滑动部分。该部分潜在滑体主要由残坡积含碎块石粘土夹大块石构成，滑床岩性为泥岩，裂缝导致岩土体松散、灰岩块体局部临空，遇到降雨，雨水极易渗入坡体，导致灰岩块体滚落的可能性很大。该滑坡段长 90~125m、平均长 110m，宽 150~220m、平均宽 180m，厚 3~20m、平均厚 8m，滑坡体积约 $4.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

为有效预测滑坡的发展趋势，沿主滑向推力最大的方向选取三个剖面(1-1'、2-2'、3-3')作为计算剖面，剖面的选取见图 1，滑坡体纵向地质剖面图如图 2 所示。



3 滑坡的影响因素及稳定性分析

3.1 滑坡的影响因素及变形破坏机制

滑坡影响因素与变形破坏机制主要包含以下四个方面：

1) 地形地貌。滑坡区属典型的中低山斜坡地貌，地形坡度 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，滑坡中部较陡，局部基岩出露，存在较好的剪出口及临空面，从而降低了滑坡的稳定性。后部为缓坡平台，每年雨季雨水入渗致使滑坡体变形明显。此外，斜坡上存在多处灰岩块体，在支撑物逐年流失情况下形成危岩体。

2) 地质环境条件。受区域地质环境条件的影响，滑坡区分布有大量的松散残坡积体及孤石，坡体上第四系堆积物主要为含碎块石粘土，厚度一般在 $8.0 \sim 20.0\text{m}$ ，岩土接触面分布有 $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$ 厚的可塑粘土(滑带土)。较陡的地形以及较松散的残坡积堆积物为滑坡的产生提供了有利的环境地质条件。

3) 大气降雨。滑坡区后部地势总体平坦,有利于雨水形成坡面径流而排到滑坡区,使得大量地表水体渗入坡体。雨水渗入坡体后增加坡体重量,同时还促进软弱面的形成,降低了坡体的抗剪强度。同时,斜坡下伏基岩为相对隔水层,水体下渗至岩土界面后,致使岩土界面的土体软化,并起润滑作用,岩土体岩土力学参数降低,抗滑力减小,从而降低了滑坡的稳定性。

4) 人类工程活动:项目区内人类工程活动较强烈,主要表现为斜坡后部人类耕地区域,耕地破坏了斜坡区植被的生长,致使斜坡区水土流失和地表水体垂直入渗坡体,对斜坡松散堆积体滑动起到一定的诱发作用。

3.2 边坡稳定性分析

边坡稳定性分析是边坡整治工程设计的依据,其主要任务是进行边坡稳定性计算、评价当前边坡的稳定状态及发展趋势^[6]。目前边坡稳定性分析中最常用的是基于极限平衡理论的极限平衡法。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:

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

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

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

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

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

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

式中: F_s 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 滑体参数选取

该区地质灾害防治等级为 I 级，滑坡设计中暴雨重现期按 50 年设计，按该区地震抗震设防烈度为 VI 度进行校核。工况 1 为自然工况、工况 2 为设计工况、工况 3 为校核工况，详细如下：

- 1) 工况 1。自然情况，自重+地表荷载， $\gamma_{\text{天然}}=18.1\text{kN}/\text{m}^3$, $c=30.2\text{kPa}$, $\phi=14.8^\circ$ ，设计安全系数取 1.3;
- 2) 工况 2。暴雨情况，自重+地表荷载+50 年一遇暴雨， $\gamma_{\text{天然}}=18.1\text{kN}/\text{m}^3$, $\gamma_{\text{饱和}}=19.6\text{kN}/\text{m}^3$, $c=27.3\text{kPa}$, $\phi=12.7^\circ$ ，设计安全系数取 1.15;
- 3) 工况 3。地震情况，自重+地震，设计安全系数取 1.15;

潜在滑动面长度 l 、倾角 θ 和潜在滑块面积 A 根据地质剖面图量取和计算。由于滑坡区坡体上部填土层结构松散，降雨入渗厚度按 3.0m 考虑。

3.4 滑坡稳定性计算结果

根据上文的公式及土体参数，计算得到滑坡体的稳定系数如表 1 所示。

表 1 滑坡体稳定性系数

剖面	工况 1		工况 2		工况 3	
	F_s	稳定状态	F_s	稳定状态	F_s	稳定状态
1-1' 上段	1.10	基本稳定	1.07	基本稳定	0.93	不稳定
1-1' 下段	1.40	稳定	1.34	稳定	1.19	稳定
2-2' 上段	1.05	基本稳定	1.04	欠稳定	0.90	不稳定
2-2' 下段	1.10	基本稳定	1.09	基本稳定	0.93	不稳定
3-3' 上段	1.13	基本稳定	1.10	基本稳定	0.96	不稳定
3-3' 下段	1.07	基本稳定	1.06	基本稳定	0.91	不稳定

由表 1 可知，在自然状态下，滑坡体处于基本稳定或暂时稳定状态;在暴雨情况下，滑坡体处于欠稳定或基本稳定状态;在地震作用下，滑坡体多处于不稳定状态。

4 滑坡推力计算及治理方案

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》(DZ/T0219-2006)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：

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

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_s 推力安全系数, 取值与上文稳定性计算时一致, 详见表 2。

滑坡推力的作用点取在滑体厚度的 1/2 处, 作用方向取计算条块的滑动方向。各工况下, 滑坡体的剩余下滑推力 F 计算结果见表 2。

表 2 各工况下的剩余下滑力

剖面-	工况 1		工况 2		工况 3	
	K_s	$F / (kN / m)$	K_s	$F / (kN / m)$	K_s	$F / (kN / m)$
1-1' 上段	1.3	1265.7	1.15	517.5	1.15	1437.3
1-1' 下段	1.3	0	1.15	0	1.15	0
2-2' 上段	1.3	2471.7	1.15	1115.4	1.15	2690.0
2-2' 下段	1.3	808.4	1.15	259.6	1.15	973.7
3-3' 上段	1.3	282.6	1.15	91.2	1.15	337.0
3-3' 下段	1.3	778.1	1.15	330.6	1.15	904.2

4.2 滑坡治理方案

该滑坡目前在自然状态下处于基本稳定状态, 但在特大暴雨、持续性降雨、风化、侵蚀累进性破坏或地震作用下极有可能出现大面积滑移, 并会向后部及左右两侧扩展, 造成更大损失。根据滑坡的形成和潜在破坏模式, 应对滑坡进行分段分区治理。以自重+50 年一遇暴雨工况作为设计工况, 采取减荷、排水、加固和支挡的综合治理方案, 详细如下。

1) 截流排水工程

利用滑坡地形及地表水流方向, 在滑坡体后部及中部距离滑坡周界外围 3.0~5.0m、削坡马道内侧及滑坡中前部设置截、排水沟, 减少地表水下渗带来的不利影响, 同时防止坡面水流对坡体的冲刷。

2) 抗滑支挡工程

根据滑坡稳定性及推力计算结果, 在滑坡中前部距离现有建筑房屋 4~7m 设计一排抗滑桩, 总设防宽度为 225m, 桩中心距为 5.0m, 共布设抗滑桩 45 根。抗滑桩锚固段按 6~8m 考虑, 自由段按 8.0~12m 考虑。设计抗滑桩单桩总长 14~20m, 桩截面宽 1.5m, 桩截面高 2.0m。

3) 削坡锚固工程

对滑坡后部采取削坡卸荷, 以减小滑坡后部自重。对斜坡零星分布的灰岩块体进行人工静态液压爆破清除, 对坡面进行分级放坡, 分级高 15m, 削坡坡比为 1:1.2~1:1.5。后进行锚固护坡工程, 坡面采用“土钉+钢筋混凝土格构”进行护坡, 以稳定滑坡体, 消除滑坡根源。

4) 爆破卸荷

对残存于斜坡上的灰岩块石采用静态爆破卸荷方法进行处理，防止孤石在支撑物缺失条件下失稳、塌落，损毁教学楼及设施。同时修复现被巨石毁坏的挡墙，保证滑坡前缘松散岩土体的稳定。

5 结论

1) 该滑坡为第四系含碎块石粘土堆积体，经雨水冲刷、斜坡中部卸荷后，沿土石软弱界面滑动形成。有利的地形地貌及环境地质条件，大气降雨及人类工程活动为该滑坡的主要影响因素。

2) 稳定性分析表明，在自然工况下，滑坡体处于基本稳定或暂时稳定状态；在暴雨工况下，滑坡体处于欠稳定或基本稳定状态；在地震工况下，滑坡多处于不稳定状态。

3) 滑坡治理工程应分段分区进行，采用减荷、排水、加固和支挡的综合治理方案：对滑坡后部采取削坡卸载及坡面锚固，对滑坡中前部采取抗滑桩支挡，对局部孤石采取爆破卸荷；同时，设置合理的截、排水沟，以消除持续性强降雨对坡体稳定性的影响。

参考文献

- [1] 常金源，包含，伍法权，等. 降雨条件下浅层滑坡稳定性探讨[J]. 岩土力学, 2015, 36(4):995-1001.
- [2] 李俊杰. 贵州省印江县革底滑坡成因机制研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [3] 李应平. 贵州印江县孟郊滑坡群成因及稳定性评价[J]. 贵州科学, 2016, 34(6):25-29.
- [4] 舒多友. 印江县地质灾害特征、成因及防治[J]. 贵州地质, 2001, 18(4):263-267.
- [5] 贵州省地矿建设工程有限公司. 贵州省印江自治县罗场乡罗场中学滑坡防治工程勘查及可行性研究[R]. 2015.
- [6] 马建勋，赖志生，蔡庆娥，等. 基于强度折减法的边坡稳定性三维有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16):2690-2693.