

主管单位：四川省住房和城乡建设厅  
主办单位：四川省土木建筑学会 四川华西集团有限公司

ISSN 1007-8983  
CN 51-1133 / TU

# 四川建筑

SICHUAN ARCHITECTURE

第42卷 总第204期

2022 **2**

Sichuan Jianzhu

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊 中国期刊全文数据库收录期刊 《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊 《中文科技期刊数据库》收录期刊 龙源期刊网收录期刊



**龙峰佳苑农民统建安置小区项目**  
成都建工第九建筑工程有限公司总承包



# 重庆市垫江实验中学危岩稳定性及运动特征研究

李亨, 郭代泉, 谢力欢

(四川志德岩土工程有限责任公司, 四川成都 610041)

**【摘要】** 重庆市垫江实验中学男生宿舍西侧, 危岩的稳定性直接影响校内师生的生命财产安全, 需要对其稳定性进行评估。文章通过对地质资料的分析, 采用有限元法对危岩所在边坡的稳定性进行评估。采用稳定性系数法对危岩稳定性进行评估, 结果表明: 在天然工况下, 危岩处于基本稳定状态; 在暴雨工况下, 危岩处于欠稳定—不稳定状态。采用基于运动学参数的 Rockfall 数值模拟方法对危岩下落后的运动轨迹进行评估, 结果表明: 危岩失稳下落后会运动停止在坡脚男生宿舍区域。建议在对边坡及危岩采取相应的防护措施。

**【关键词】** 危岩; 有限元数值分析; 稳定性系数法; Rockfall; 运动特征

**【中图分类号】** P642.22

**【文献标志码】** A

重庆市垫江县实验中学边男生宿舍西侧坡表面基岩裸露, 风化严重, 裂隙发育强烈, 松动垮塌明显。目前处于稳定—欠稳定状态, 在长期内外因素作用下, 可能发生崩塌, 直接威胁到坡脚在校师生 6 000 余人及坡顶 12 户居民的生命财产及房屋安全, 危害严重。因此, 按 DB 50/5029《地质灾害防治工程设计规范》<sup>[6]</sup> 对该边坡的稳定性进行研究是十分有必要的。

本文在对重庆市垫江实验中学边坡及危岩进行工程地质资料分析的基础上, 采用有限元法对危岩所在边坡的稳定性和应力分布特征进行研究, 采用稳定性系数法对危岩稳定性进行研究, 采用基于运动学参数的数值分析方法对危岩下落后的运动特征及运动轨迹进行研究。

## 1 边坡特征

边坡高度约 15.5 m, 分布高程 425.2 ~ 440.3 m, 总体坡角约 250°~280°, 坡顶为缓坡 0°~8°, 边坡下部为陡崖。陡崖高约 10 m, 长约 70 m, 倾角约 65°~85°。边坡坡面多数裸露, 局部崩塌岩块仍堆积在坡脚, 陡崖中部生长一棵黄桷树, 根系发育(图 1)。

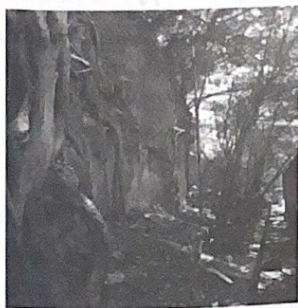


图1 边坡特征

## 2 危岩判别

### 2.1 模型的建立

结合地形图、地勘资料及现场调查结果, 建立边坡计算模型(图 2), 边坡上部及表层为素填土和强风化砂岩, 重度

取  $20 \text{ kN/m}^3$ , 弹性模量取  $1\,000 \text{ kPa}$ , 泊松比取  $0.15$ , 粘聚力取  $5 \text{ kPa}$ , 内摩擦角取  $28^\circ$ , 下部基岩为中风化砂岩, 重度取  $24.6 \text{ kN/m}^3$ , 弹性模量取  $2\,967 \text{ kPa}$ , 泊松比取  $0.23$ , 粘聚力取  $1\,110 \text{ kPa}$ , 内摩擦角取  $36^\circ$ 。

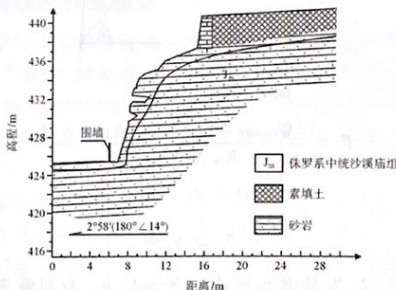


图2 边坡数值计算模型

### 2.2 计算结果及分析

利用有限元数值计算软件对边坡进行网格划分见图 3(a), 对模型进行边界约束: 侧面 X 向不变形, 地面 Y 向不变形。边坡在天然和地震两种工况下剪应力分布特征见图 3(b)、图 3(c), 场区地震动峰值加速度值  $0.05g$ 。

应力分析: 在自然及地震状态下, 边坡坡面中部临空区的岩体产生较明显的剪应力集中现象, 且相比天然状态, 地震状态下剪应力集中区的岩体剪应力增大 20%。剪应力集中区的岩体处于潜在失稳破坏状态, 存在剪切破坏的可能。结合现场调查结果, 该剪应力集中区为危岩发育区域。

## 3 危岩稳定性分析

### 3.1 危岩特征

危岩体失稳方式受多方面因素的影响, 通过对危岩体形

[定稿日期] 2021-07-15

[作者简介] 李亨(1993—), 男, 硕士, 主要从事岩土工程设计工作; 郭代泉(1989—), 男, 本科, 工程师, 从事岩土工程施工管理工作。



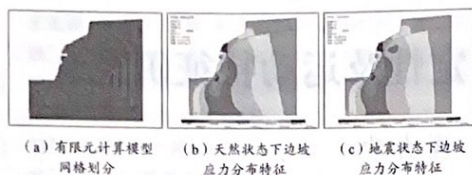


图3 边坡有限元数值计算结果

表1 危岩基本特征

野外编号	顶底标高/m	形态	规模				失稳方式	崩塌方向/(°)
			宽/m	高/m	厚/m	体积/m <sup>3</sup>		
W1	430.4 ~ 431.7	块状	1.6	1.3	1.0	2.1	滑移式	258
W2	432.3 ~ 435.1	块状	3.7	2.8	1.4	14.5	滑移式	258

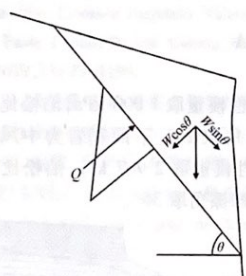


图4 理论计算模型

$$F = \frac{(W \cos \theta - Q \sin \theta - U) \tan \varphi + cl}{W \sin \theta + Q \cos \theta} \quad (1)$$

$$Q = \zeta_c \times W \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w \quad (3)$$

式中:  $U$  为滑面水压力(kN/m);  $h_w$  为裂隙充水高度(m),天然工况下裂隙充水高度取裂隙深度的1/5,暴雨工况下裂隙充水高度取裂隙深度的2/3;  $\gamma_w$  为取10 kN/m<sup>3</sup>;  $Q$  为地震力(kN/m);  $K$  为危岩稳定性系数;  $c$  为后缘裂隙黏聚力标准值(kPa),当裂隙未贯通时,取贯通段和未贯通段黏聚力标准值按长度加权和加权平均值,未贯通段黏聚力标准值取岩石黏聚力标准值的0.4倍;  $\varphi$  为后缘裂隙内摩擦角标准值(°),当裂隙未贯通时,取贯通段和未贯通段内摩擦角标准值按长度加权和加权平均值,未贯通段内摩擦角标准值取岩石内摩擦角标准值的0.95倍;  $\theta$  为滑面倾角(°);  $W$  为危岩体自重(kN/m).

危岩 W1、W2 外倾裂隙少量黏土充填,为软弱结构面,结构面天然黏聚力取30 kPa,天然内摩擦角取17°;饱和黏聚力取25 kPa,饱和内摩擦角取15°;砂岩岩体天然重度取24.6 kN/m<sup>3</sup>,砂岩岩体饱和重度取24.8 kN/m<sup>3</sup>.

对于滑移式危岩,当稳定性系数  $F < 1.0$  时危岩处于不稳定状态;当  $1.0 \leq F < 1.15$  时危岩处于不稳定状态;当  $1.15 \leq F < 1.4$  时危岩处于不稳定状态;当  $F \geq 1.4$  时危岩处于不稳定状态。危岩 W1、W2 的稳定性计算结果及稳定性评价见表2。

计算结果表明:在天然工况下,W1 处于基本稳定状态,

态、发育规模、底界特征、空间分布特征、节理裂隙发育特征、水文地质条件分布规律等进行调查和研究,现状危岩 W1、W2(基本特征见表1)尚在倾覆点之内,且随着时间的增长,危岩重心将向外位移,危岩的失稳破坏方式主要为滑移式。

### 3.2 危岩稳定性分析

危岩稳定性系数法的理论计算模型见图4,危岩稳定性系数  $F$  的计算见式(1)~式(3)。

表2 危岩单体稳定性评价结果

编号	破坏模式	稳定系数		安全系数	稳定性评价	
		天然工况	暴雨工况		天然工况	暴雨工况
W1	滑移式	1.33	1.04	1.30	基本稳定	欠稳定
W2	滑移式	1.19	0.96	1.30	基本稳定	不稳定

W2 处于基本稳定状态;在暴雨工况下,W1 处于欠稳定状态,W2 处于不稳定状态。

### 4 危岩运动特征分析

边坡坡面法相恢复系数取0.3,切向恢复系数取0.6,摩擦角取30°,危岩 W1、W2 失稳下落后的运动轨迹见图5(a),危岩下落后在边坡上运动时的弹跳高度分布曲线见图5(b)、运动能量分布曲线见图5(c)。

Rockfall 模拟结果表明:危岩失稳下落后的运动方式主要是滑动和弹跳,危岩运动停止在坡脚的概率为86%,且集中在距离坡脚1.2~2 m 位置处,危岩下落运动过程中的弹跳高度最大值为2.97 m,最大动能为15 054.51 kJ。坡脚为男生宿舍,危岩下落后将会威胁到学校师生的生命安全。

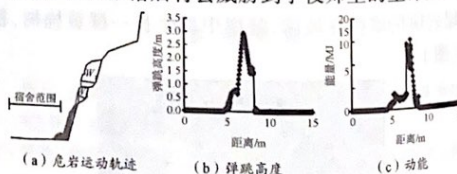


图5 危岩运动计算结果

### 5 结论

(1) 边坡坡面凌空区的岩体发生剪应力集中,岩体处于潜在失稳破坏状态,存在剪切破坏的可能,结合现场调查结果,剪应力集中区为危岩发育区域。

(2) 在天然工况下,危岩 W1、W2 处于基本稳定状态;在暴雨工况下,W1 处于欠稳定状态,W2 处于不稳定状态。在暴雨工况下,随着遇水的下渗和坡面流水的冲刷作用,使得危岩与母岩的摩擦力降低,从而导致危岩的稳定性降低而发生失稳下落。

(下转第205页)