

文章编号: 1008-2786-(2016)6-741-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000181

# 郭达山后山危岩带特征分析及危险性评价

徐 伟<sup>1</sup> 张 云<sup>2</sup> 梅朱寅<sup>3</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 湖北省鄂东南地质大队, 湖北 黄石 435100;

3. 浙江华东建设工程有限公司, 浙江 杭州 310030)

**摘 要:** 郭达山后山危岩带位于康定县城郭达街后山山腰, 直接威胁康定县城近 2000 人的生命财产安全, 开展相应研究工作具有紧迫性和必要性。对郭达山后山危岩带的工程地质条件和演化历史进行了分析描述; 将危岩带分为崩塌 I 区、崩塌 II 区、崩塌 III 区, 分析其基本特征, 并对每个区内的典型危岩体进行了崩塌类型及稳定性定性分析; 采用 RMR 岩体分类与质量评价法对崩塌岩体进行岩体分级, 属 IV 级, 岩体质量属差岩体, 表明郭达山后山危岩带岩体整体稳定性较差; 采用赤平投影分析得出崩塌 I 区、II 区内由层面与裂隙 1、裂隙 3 切割成的楔形体在风化、降雨、地震等外力条件下极易发生崩塌; 采用运动学原理分析运动特征, 计算落石滚动滑动模式下落石与受灾体碰撞前的速度, 分别为崩塌 I 区 33.05 m/s、崩塌 II 区 52.15 m/s、崩塌 III 区 57.41 m/s; 采用恢复系数法计算落石坠落碰撞弹跳模式下的弹跳高度落为 16.46 m, 最后对郭达山后山危岩带进行了危险性评价, 分高危险性、中危险性、低危险性三个等级制作了危险性区划图。为地方的防灾减灾提供了一定的科学依据和技术支撑。

**关键词:** 康定县; 郭达山; 赤平投影法; 滑动模式; 碰撞弹跳模式; 危险性评价

**中图分类号:** TU 443

**文献标志码:** A

崩塌和落石是山区常见的地质灾害现象, 具有发生时间不定、崩落速度快、垂直坠落的特点。许强、陈伟<sup>[2]</sup>对四川省丹巴县危岩崩塌开展了风险评价; 许多学者对崩塌的机理、稳定性方面开展了研究<sup>[2-8]</sup>, 采用运动学原理对崩塌的运动特征进行了计算分析<sup>[10-15]</sup>; 针对郭达山后山不稳定危岩带的研究工作很少, 仅王春山、巴仁基等<sup>[17]</sup>通过试验获得了岩土体的物理力学指标, 使用 Rockfall 软件进行了数值分析模拟。

郭达山后山不稳定危岩带, 直接威胁康定县城近 2000 人的生命财产安全, 开展相关研究工作具有紧迫性和必要性。对该崩塌进行了演化历史分析和基本特征分析, 对崩塌岩体进行了 RMR 岩体分类与质量评定和赤平投影分析, 采用运动学原理对落石滚动滑动模式下的速度以及落石坠落碰撞弹跳模式下的速度、弹跳高度进行了计算, 最后对郭达山后

山危岩带进行了危险性评价, 分高危险性、中危险性、低危险性三个等级制作了危险性区划图。上述成果可为康定县城的地质灾害防治工作提供了一定的科学依据和技术支持。

## 1 工程地质条件

郭达山后山危岩带位于康定县城炉城镇郭达街后山山腰, 瓦斯河左岸, 其经纬度为东经 101°57′58.57″, 北纬 30°03′22.43″。危岩带大比例尺 (1:3000) 遥感解译图如图 1 所示。

危岩带两面临空, 全貌及分区图如图 2 所示, 高程约 2 491 m 往上至 2 822 m 之间危岩体较集中, 基岩为震旦系灯影组的白云岩, 该套岩体坚硬, 但易脆, 易形成崩塌。岩层产状 275°∠42°, 危岩卸荷带宽度 10-20 m, 危岩带顺坡长度 350 m, 最大宽度约

收稿日期(Received date): 2014-09-15; 改回日期(Accepted): 2014-10-27。

基金项目(Foundation item): 中国地质调查局地质调查项目(DD20160274) [Geological Survey Project of China Geological Survey (DD20160274)]

作者简介(Biography): 徐伟(1986-), 男, 山东淄博人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 地质灾害调查与评价 [Xu Wei(1986-), male, born in Zibo, Shandong province, engineer, research on geological hazard investigation and evaluation] E-mail: 052054@163.com



图1 郭达山后山危岩带遥感解译图(1:3000)

Fig.1 Remote sensing interpretation chart (1:3000)  
of Guo Dashan Mount

800 m。斜坡坡度为  $53^{\circ} - 58^{\circ}$ , 局部大于  $60^{\circ}$ , 危岩的主崩方向为  $150^{\circ}$ 。基岩中主要发育有三组节理裂隙, 与岩层将岩体切割成大小不等块体, 岩体破碎, 为崩塌形成创造了条件。①裂隙:  $100^{\circ} \angle 70^{\circ}$ , 张开度 2-5 mm, 贯通长度为 1-3 m, 裂隙率 6 条/m; ②裂隙:  $353^{\circ} \angle 49^{\circ}$ , 张开度为 2-5 mm, 贯通长度为 1-5 m, 裂隙率 7 条/m; ③裂隙:  $154^{\circ} \angle 68^{\circ}$ , 张开度为 2-3 mm, 贯通长度为 2-3 m, 裂隙率 4 条/m。裂隙将基岩切割成大小不一的岩块, 最大岩块根据测量约为  $10 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ , 受裂隙切割, 有的岩块已脱离母岩。

该地区地貌特征为坡陡、谷深。山地坡度陡峻, 大于  $35^{\circ}$  的坡地占 50% 以上, 悬崖峭壁随处可见。山势起伏, 形成自然景观的垂直带分布。受季风气候影响, 干湿季分明, 年平均降雨量的 80% 左右集中在雨季, 而且多大雨, 形成强大的冲刷力。加



图2 郭达山后山危岩带全貌及分区图

Fig.2 Full view of Guo Dashan Mount, including section I, section II and section III

之断裂带发育, 地表切割强烈, 沟谷纵横, 干季温差大, 物理风化强烈。昼夜温差大, 风化作用较强烈, 郭达山后山危岩带无植被覆盖, 坡体岩石几乎完全裸露, 降雨后高势能块石沿斜坡弹跳翻滚且崩塌距离较大, 并形成灾害。

该地区构造位置位于鲜水河、龙门山及安宁河构造带的交汇处, 断裂构造十分发育。受鲜水河活动断裂带的影响, 本区的新构造运动强烈、地震烈度大, 属Ⅸ级, 位于鲜水河断裂南东段的康定断裂。康定城区几乎处于康定断裂的次级断层范围中, 压扭性的跑马山逆冲断裂近南北向贯穿郭达山, 如图3所示, 节理裂隙发育坡表岩体破碎。

将郭达山后山危岩带分为三个区域: 崩塌Ⅰ区、崩塌Ⅱ区、崩塌Ⅲ区。平面图如图4所示, 剖面图如图5所示。崩塌Ⅰ区为三角形、Ⅱ区为扇形、Ⅲ区为

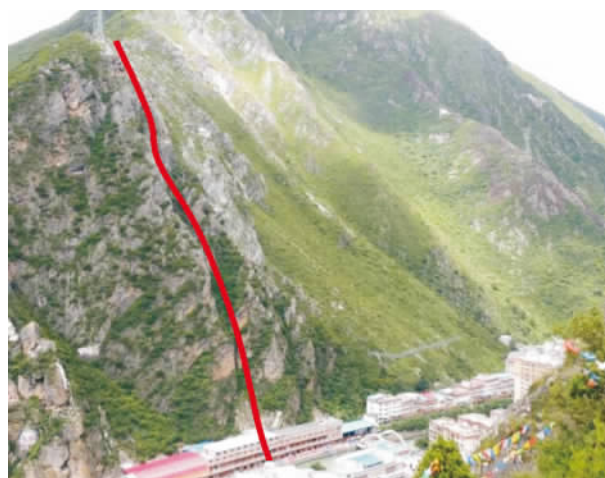


图3 跑马山断裂带贯穿郭达山示意图

Fig.3 Pao Ma mountain fault runs through Guo Dashan Mount

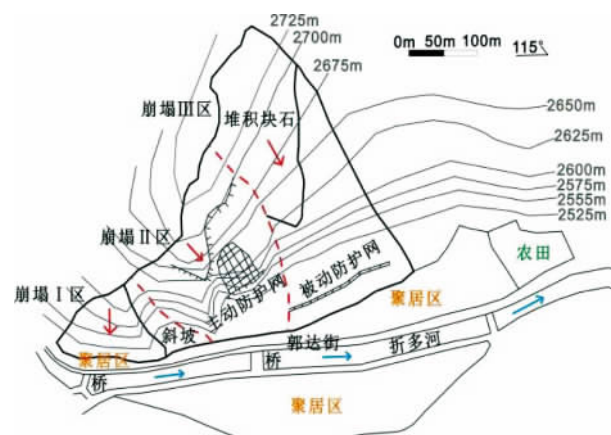


图4 郭达山后山危岩带平面图

Fig.4 The plan of Guo Dashan Mount

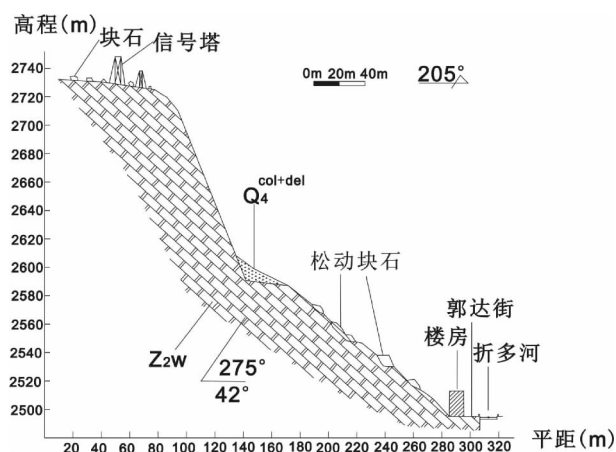


图5 郭达山后山危岩带剖面图

Fig. 5 Section plan of Guo Dashan Mount

多边形;崩塌Ⅰ区和Ⅱ区的临空面走向为 $205^{\circ}$ ,崩塌Ⅲ区的临空面走向为 $135^{\circ}$ 。在崩塌Ⅰ区和Ⅱ区交界处,出露有一斜坡,长约144 m,宽约40 m,高差约65 m,斜坡坡度为 $40^{\circ}$ ,主要组成第四系崩塌积物,崩塌堆积物呈锥状,具有一定的分选,锥尖指向上部山体沟槽,具有明显的溯源性,显示Ⅰ区和Ⅱ区交界处的崩塌落石大都沿此沟槽而下,并堆积于斜坡面和坡脚。该斜坡的存在就像“倾斜的挡板”一样改变了从崩塌Ⅱ区右侧崩落的岩块,改变了其崩落路径,许多崩落的岩块也在斜坡上滚动并堆积于坡面及坡脚,这也是将崩塌Ⅰ区和Ⅱ区的界线定于斜坡右侧的原因。

## 2 演化历史分析

有关崩塌落石的史料记载包括崩塌发生地原住民的口头传述等,是研究崩塌演化历史的重要补充资料。2004年以来,发生过3次块石滚落;2007年4月28日11时30分发生的崩塌砸毁农贸市场顶部钢架棚,致使3人受伤,落石洞穿一面墙体;2008年5月12日地震发生当天,坠落块石最远距离弹射至折多河对岸,造成1人死亡。郭达山后山危岩带主要威胁对象为危岩带下方、瓦斯河左岸沿岸呈线形分布建筑物、居民、道路、过往车辆等,崩塌Ⅰ区、Ⅱ区、Ⅲ区威胁范围及威胁对象如图6、图7所示。整个东关农贸市场、牦牛肉销售中心市场、甘孜州中心血站、甘孜州交警队等10家单位分布在河岸两侧,近2000人的生命财产安全受到威胁。



图6 崩塌Ⅰ区威胁范围及威胁对象

Fig. 6 Threatened area and affected objects of section I



图7 崩塌Ⅱ区、Ⅲ区威胁范围及威胁对象

Fig. 7 Threatened area and affected objects of section II and III

## 3 基本特征分析

郭达山后山危岩带的基本特征分析从崩塌Ⅰ区、崩塌Ⅱ区、崩塌Ⅲ区三个区域进行详述,如表1所示,并分析每个区域内的典型危岩体的可能发生崩塌时的类型及目前稳定性,如图8、图9、表2所示。

根据崩塌发展的模式,崩塌可划分为五个基本类型:倾倒式崩塌、滑移式崩塌、鼓胀式崩塌、拉裂式崩塌、错断式崩塌。

## 4 岩体分类与质量评价

采用RMR岩体分类与质量评定法对郭达山后山危岩带岩体进行评价。单轴抗压强度在此参照《岩



表 1 郭达山危岩带基本特征分析表

Tab. 1 Basic feature of Guo Dashan Mount

| 崩塌<br>区域    | 基本<br>特征                  | 面积                         | 危岩体特征  | 分布<br>特征               | 已有防<br>治措施                    |
|-------------|---------------------------|----------------------------|--|------------------------|-------------------------------|
| 崩塌<br>I 区   | 坡向 205°, 约 1.52<br>坡度 53° | 约 1.52<br>万 m <sup>2</sup> | 存在 5 块危岩<br>体呈强风化,破<br>碎                       | I 区斜坡<br>左侧均有<br>分布    | 无                             |
| 崩塌<br>II 区  | 坡向 205°, 约 3.08<br>坡度 50° | 约 3.08<br>万 m <sup>2</sup> | 存在 4 块危岩<br>体呈强风化,破<br>碎                       | II 区斜坡<br>顶部           | 斜坡中部<br>布设有主<br>动防护网          |
| 崩塌<br>III 区 | 坡向 135°, 约 1.47<br>坡度 46° | 约 1.47<br>万 m <sup>2</sup> | 分散的不稳定<br>块石堆积区,块<br>石仅靠与斜坡<br>间的摩擦力维<br>持稳定状态 | III 区斜坡<br>顶部及右<br>侧中部 | 坡脚布设<br>有被动防<br>护网,长<br>210 m |



图 8 崩塌 I 区不稳定危岩体及凹岩腔

Fig. 8 Dangerous rock masses and concave holes of section I

表 2 崩塌 I、II 区危岩体基本特征分析表

Tab. 2 Basic feature of dangerous rock masses in section I and II

| 危岩体编号 | 尺寸               | 崩塌类型 | 稳定性分析   |
|-------|------------------|------|---|
| 1 号   | 10m × 8m × 4m    | 错断式  | 在雨水冲刷、重力、风化剥蚀作用下,危岩体下部与母岩接触的断面不断减小,当自重所产生的剪应力超过岩石的抗剪强度时,将导致岩体被剪断。   |
| 2 号   | 6m × 4m × 4m     | 滑移式  | 在重力、地震或连续大雨渗入岩体裂缝中产生的静水压力和动水压力,同时雨水软化软弱面,都能诱发危岩体的重心向下滑移,一旦重心滑出陡坡,便会向下崩落。                                  |
| 3 号   | 20m × 16m × 5m   | 滑移式  | 破坏模式与危岩体 2 类似,在此不再赘述。需注意的是其前部存在凹岩腔,已悬空,悬空部分会产生一定的拉裂效果。  |
| 4 号   | 5m × 4m × 3m     | 倾倒式  | 近垂直的节理将其与母岩分开,横向稳定性差,如底部遭受不断地冲刷掏蚀,在重力或地震产生的水平力作用下,岩体将倾倒崩落。  |
| 5 号   | 7m × 5m × 3.5m   | 滑移式  | 是上部岩体崩塌破碎形成的堆积块石,在暴雨作用下,块石与坡面的接触面将软化;或在地震作用下,产生的沿坡向下的力大于块石与坡面的接触摩擦力时,也会沿坡面崩落。                             |
| 6 号   | 9m × 6.5m × 4.7m | 拉裂式  | 岩体中间被结构面切割,切割深,隙宽达 5 mm,岩体在暴雨、地震和风化剥蚀作用下,垂直节理不断加深,岩体自重不断增加;岩体下部的断面不断减小,导致岩体的下部被剪断。                        |
| 7 号   | 3m × 2.6m × 1.8m | 倾倒式  | 上部岩体崩塌堆积在此。两块岩石沿临空面一侧已部分悬空,在暴雨、地震、风化作用下会发生倾倒式崩塌。  |
| 8 号   | 3m × 2.5m × 1.5m | 倾倒式  | 底部块石已有明显的松动迹象,且其下方为凹岩腔,在暴雨、地震、风化作用下,底部块石先发生崩塌,凹岩腔继续扩大扩深,中部及上部块石像“多米诺骨牌”式的从下往上依次垮塌。                        |
| 9 号   | 12m × 10m × 6m   | 倾倒式  | 崩塌类型与危岩体 7、8 相似,在此不再赘述,不同之处在于,由于层厚在此较小,所以将危岩体 9 切割成小块块石,在外力作用下,仅表层的小块块石发生倾倒式崩塌,块石块径约 1 m × 0.8 m × 0.5 m。 |



图 9 崩塌Ⅱ区不稳定危岩体及凹岩腔  
Fig. 9 Dangerous rock masses and concave holes of section Ⅱ

石力学参数手册》,郭达山后山危岩带出露基岩为白云岩,厚层且坚硬,因此取值 $66.4\text{MPa}^{[9]}$ ;根据以往勘察资料,得到岩石质量指标 RQD 为 49%。具体岩体质量评价结果见表 3。RMR 岩体分类与质量评定结果表明郭达山后山危岩带岩体岩体分级属Ⅳ级,岩体质量属差岩体,表明郭达山后山危岩带岩体整体稳定性较差。

表 3 郭达山后山危岩带岩体质量评价表  
Tab. 3 Evaluation result of RMR method

| 岩体质量评价          | 特征    | 得分  |
|-----------------|-------|-----|
| 单轴抗压强度/MPa      | 66.4  | 7   |
| RQD 值/%         | 59    | 8   |
| 结构面间距/m         | 20-60 | 10  |
| 不连续结构面长度(延展性)/m | 3-10  | 2   |
| 张开度/mm          | 1-5   | 1   |
| 粗糙度             | 轻微粗糙  | 3   |
| 填充物             | 无     | 6   |
| 风化程度            | 弱风化   | 3   |
| 地下水条件           | 潮湿    | 10  |
| 节理走向            | 一般    | -25 |
| RMR 评分值         | /     | 25  |
| 岩体分级与质量描述       | Ⅳ级    | 差岩体 |

5 赤平投影分析

郭达山后山危岩带基岩为白云岩,岩层产状

$275^{\circ}\angle 42^{\circ}$ ,主要发育有三组节理裂隙,①裂隙: $100^{\circ}\angle 70^{\circ}$ ②裂隙: $353^{\circ}\angle 49^{\circ}$ ③裂隙: $154^{\circ}\angle 68^{\circ}$ 。崩塌Ⅰ区、Ⅱ区的崩塌形式为块石主要从母岩上崩落;崩塌Ⅲ区的崩塌形式主要为坡面堆积的块石发生滑动、滚动。崩塌Ⅰ区的临空面产状为 $205^{\circ}\angle 53^{\circ}$ ;崩塌Ⅱ区的临空面产状为 $205^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 。赤平投影法分析结果如图 10、11 所示。

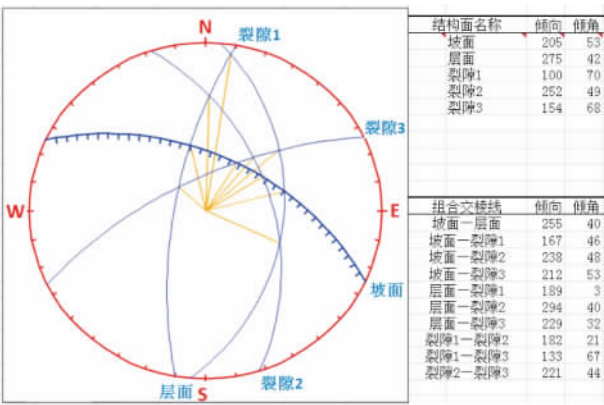


图 10 崩塌Ⅰ区赤平投影图  
Fig. 10 Stereographic projection of section I

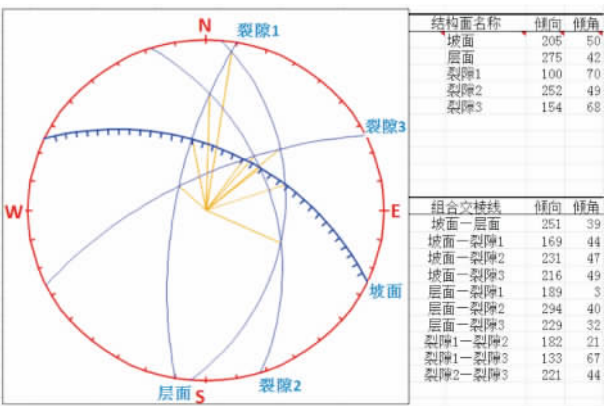


图 11 崩塌Ⅱ区赤平投影图  
Fig. 11 Stereographic projection of section Ⅱ

由图 10、图 11 显示,层面与裂隙 1 的交线位于坡面大圆外,表明这两组结构面的组合交线的倾角比坡面的倾角缓,且为顺坡向;层面与裂隙 3 的交线位于坡面大圆外,表明这两组结构面组合交线的倾角比坡面的倾角缓,且为顺坡向;裂隙 1 与裂隙 3 的交线位于坡面大圆内,表明这两组结构面的组合交线的倾角比坡面的倾角陡,与坡面斜交;层面与裂隙 1、裂隙 3 将岩体切割为楔形体,且该楔形体倾向坡外,属于不稳定状态,因此崩塌Ⅰ区、Ⅱ区内由层面

与裂隙 1 裂隙 3 切割成的楔形体在风化、降雨、地震等外力条件下极易发生崩塌。

## 6 运动速度及轨迹计算

通常崩塌落石运动形式按运动的性质与山坡坡度关系可将边坡分成三种具有代表性的地带: ①减速运动地带山坡坡度小于  $28^\circ$ ; ②加速运动地带, 山坡坡度角度  $28^\circ - 60^\circ$  之间; ③自由坠落地带, 边坡坡度角在  $60^\circ - 90^\circ$  之间。

崩塌 I 区、II 区、III 区的平均坡度均小于  $60^\circ$ , 坡面形态均近似直线型, 因此崩塌的块石多以滚动滑动模式下落, 少数以坠落碰撞弹跳模式下落。



图 12 崩塌 I 区 II 区 III 区危岩体滚动滑动路径示意图

Fig. 12 Rolling and sliding path of section I, II, III

### 6.1 落石滚动滑动模式下的速度计算

为方便计算, 忽略斜坡表面的堆积块石及表层植被, 崩塌 I 区、II 区、III 区的剖面线简化为连续的直线段。为了不失一般性, 将落石理想化为球体。

采用落石滚动滑动模式下的运动学计算公式<sup>[11]</sup>, 可计算出崩塌 I 区、II 区、III 区三个区域顶部的落石沿斜坡面滚动下落, 至受灾体的速度  $v$ , 已知初始速度  $v = 0$ , 重力加速度  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , 运动摩擦系数  $\mu$  在此取 0.5。计算结果如表 4 所示。

由计算可知, 崩塌 I 区、II 区、III 区的落石自顶部开始滚动下落, 沿斜坡速度逐渐变大, 至坡脚处由于受灾体的阻挡, 与受灾体发生碰撞, 能量耗尽, 落石与受灾体碰撞前的速度分别为崩塌 I 区  $33.05 \text{ m/s}$ 、崩塌 II 区  $52.15 \text{ m/s}$ 、崩塌 III 区  $57.41 \text{ m/s}$ , 可见碰撞前速度很快, 能量很大, 破坏力很强。

表 4 崩塌 I 区、II 区、III 区落石速度计算表

Tab. 4 Speeds of rockfall in section I, II, III

| 崩塌<br>区域 | 坡面<br>坡度/ $^\circ$ | 斜坡<br>长度/m | 加速度 a<br>$\text{m/s}^2$ | 滚动<br>时间 t/s | 落石速度 v<br>$\text{m/s}$ |
|----------|--------------------|------------|-------------------------|--------------|------------------------|
| I 区      | 53                 | 112        | 4.88                    | 6.78         | 33.05                  |
| II 区     | 50                 | 312        | 4.36                    | 11.97        | 52.15                  |
| III 区    | 46                 | 452        | 3.65                    | 15.75        | 57.41                  |

### 6.2 落石坠落碰撞弹跳模式下的速度、弹跳高度计算

为方便计算, 崩塌 II 区的剖面线简化为连续的折线段。为了不失一般性, 将落石理想化为球体。取崩塌 II 区顶部较陡边坡上的典型块石进行计算, 该处边坡坡度  $63^\circ$ , 块石自陡坡上坠落至坡脚处, 在崩塌 I 区和 II 区交界处的缓坡面上发生碰撞弹跳, 在此计算块石至斜坡面末端的速度及第一次弹跳后的高度。

块石自坠落点至第一次碰撞点的高差为  $H_1 = 183 \text{ m}$ , 碰撞点至斜坡面末端高差  $H_2 = 46 \text{ m}$ , 陡坡面坡度  $\alpha_1 = 63^\circ$ , 缓坡面坡度  $\alpha_2 = 40^\circ$ 。

采用恢复系数法<sup>[16]</sup>来描述落石碰撞问题。把斜抛运动看成是作水平方向的匀速直线运动和竖直上抛运动的合运动来处理。经计算得出落石自由落体到缓坡面时的速度  $v = 59.89 \text{ m/s}$ , 用时  $t = 3.5 \text{ s}$ ; 将  $v$  分解为垂直于缓坡面和平行于缓坡面两个速度  $vx_1 = 38.5 \text{ m/s}$ ,  $vy_1 = 45.88 \text{ m/s}$ ; 根据恢复系数法得到碰撞后速度  $vx_2 = 30.8 \text{ m/s}$ ,  $vy_2 = 13.76 \text{ m/s}$ ; 碰撞后开始弹跳的初速度  $v_1 = 33.7 \text{ m/s}$ , 与缓坡面夹角  $\beta = 24.1^\circ$ 。发生碰撞后的速度方程为:

$$v_x = 30.8 + 6.3t \quad v_y = 13.76 - 7.5t;$$

发生碰撞后的位移方程为:

$$x = 30.8t + 3.15t^2 \quad y = 13.76t - 3.754t^2$$

最后计算  $y$  方向的位移分量的最大值  $y_{\max} = 12.61$ , 最终得到落石弹跳最高处距离缓坡面的垂直高度  $H = 16.46 \text{ m}$ 。

## 7 危险性区划

按照高危险性、中危险性、低危险性三个等级对郭达山后山危岩带进行危险性区划。通过实地地质灾害详细调查和第三节分析确定高危险性区域, 主要分布在崩塌 I 区 5 块危岩体所在的 I 区斜坡左侧部分、崩塌 II 区的 4 块危岩体所在的 II 区斜坡顶



部、崩塌Ⅲ区不稳定块石群所在的Ⅲ区斜坡顶部及右侧中部。通过岩体分类与质量评价和赤平投影法分析结果确定中危险性区域,主要分布在崩塌Ⅰ区、Ⅱ区内发育有层面、裂隙1、裂隙3,并相互切割的裸露基岩面上;通过实地地质灾害详细调查和后期分析确定低危险性区域,主要分布在无危岩体发育、坡体表面无块石堆积、岩体稳定性好的植被覆盖的区域。最终得到了郭达山后山危岩带危险性区划图,如图13所示。



图13 郭达山后山危岩带危险性区划图

Fig. 13 Risk zoning map of Guo Dashan Mount

## 8 结论与讨论

通过野外的详细调查以及后续的研究分析工作,总结出以下几点结论:

1. 将郭达山后山危岩带划分为崩塌Ⅰ区、崩塌Ⅱ区、崩塌Ⅲ区,并对三个区域的基本特征进行了细致分析;对9块典型危岩体的崩塌类型及稳定性进行了分析。

2. 采用RMR岩体分类与质量评定的方法对郭达山后山危岩带岩体进行半定量评价,评价结果为岩体分级属Ⅳ级,岩体质量属差岩体,表明郭达山后山危岩带岩体整体稳定性较差。

3. 采用赤平投影图法对郭达山危岩带的层面及三组节理裂隙进行空间分析。分析结果为层面与裂隙1、裂隙3将岩体切割为楔形体,且该楔形体倾向坡外,属于不稳定状态。崩塌Ⅰ区、Ⅱ区内由层面与裂隙1、裂隙3切割成的楔形体在风化、降雨、地震等外力条件下极易发生崩塌。

4. 采用运动学原理对落石滚动滑动模式下的速度以及落石坠落碰撞弹跳模式下的速度、弹跳高度进行了计算。崩塌Ⅰ区落石与受灾体碰撞前的速度

为33.05 m/s、崩塌Ⅱ区为52.15 m/s、崩塌Ⅲ区为57.41 m/s,可见碰撞前速度很快,能量很大,破坏力很强;落石坠落第一次碰撞后的速度为33.7 m/s,对斜坡坡面的垂直最大弹跳高度为16.46 m。

5. 最后对郭达山后山危岩带进行了危险性区划,划分为高危险区、中危险区、低危险区。以上研究结果为当地的地质灾害防治工作提供了一定的参考价值和技术支持。

## 参考文献(References)

- [1] 许强,陈伟. 单体危岩崩塌灾害风险评价方法——以四川省丹巴县危岩崩塌体为例[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1039-1046 [Xu Qiang, Chen Wei. Risk assessment method for single rockfall geo-disaster: a case study on the rockfall in Danba County, Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(8): 1039-1046]
- [2] 刘传正. 重庆武隆鸡尾山危岩体形成与崩塌成因分析[J]. 工程地质学报, 2010, 18(3): 297-304 [Liu Chuanzheng. Mechanism analysis on the JIWEISHAN rockfall disaster happened in WuLong, ChongQing, JUNE 5, 2009 [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(3): 297-304]
- [3] 王根龙,伍法权,祁生文. 悬臂-拉裂式崩塌破坏机制研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(增2): 269-274 [Wang Genlong, Wu Faquan, Qi Shengwen. Research on failure mechanisms for cantilever and tension crack-type collapse [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(增2): 269-274]
- [4] 冉涛,文宝萍,苏昌等. 湖北五峰赵家岩崩塌形成机理分析[J]. 水文地质工程地质, 2012, (39) 06: 114-118 [Ran Tao, Wen Baoping, Su Chang et al. Analysis of the formation mechanism of the Zhaojiayan rock fall in Wufeng County, Hubei Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology 2012, (39) 06: 114-118]
- [5] 胡斌,黄润秋. 软硬岩互层边坡崩塌机理及治理对策研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(2): 200-205 [Hu Bin, Huang Runqiu. Collapse mechanism and treatment measures of slopes with interbeddings of soft and hard rocks [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(2): 200-205]
- [6] 王根龙,伍法权,祁生文等. 塑流-拉裂式崩塌机制及评价方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(增1): 2863-2869 [Wang Genlong, Wu Faquan, Qi Shengwen, et al. Mechanism and assessment methods for plastic flow and tensile crack-type collapse [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(增1): 2863-2869]
- [7] 李广平,常中华. 马河崩塌堆积体结构特征与稳定性评价工程地质学报[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 588-593 [Li Guangping, Chang Zhonghua. The structural characteristic and the stability analysis of Mahe collapse body [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 588-593]
- [8] 董金玉,杨继红,伍法权等. 三峡库区软硬互层近水平地层高切坡崩塌研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(1): 151-157 [Dong Jinyu, Yang Jihong, Wu Faquan et al. Research on collapse of high cutting slope with horizontal soft-hard alternant strata in Three Gorges reservoir area [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(1): 151-157]
- [9] 水利水电科学研究院, 水利水电规划设计总院, 水利电力情报研

- 究所. 岩石力学参数手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991: 473  
[Institute of Water Resources and Hydropower Research, Hydropower and Water Resources Planning and Design General Institute, Institute of Water Resources and Electric Intelligence. Rock mechanical parameters manual [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1991: 473]
- [10] 裴向军, 黄润秋, 裴钻等. 强震触发崩塌滚石运动特征研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 498 – 504 [Pei Xiangjun, Huang Runqiu, Pei Zuan, et al. Analysis on the movement characteristics of rolling rock on slope caused by intensive earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 498 – 504]
- [11] 梁璋彬. 崩塌落石的运动特征研究—以黄金坪水电站“6.18”崩塌为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2008: 52 [LIANG Zhangbin. Study on motion feature of rockfalls [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008: 52]
- [12] 魏云杰, 张波工, 谢怀前等. 崩塌体运动的全过程模拟及工程应用研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2010, (30) 06: 655 – 659 [Wei Yunjie, Zhang Bogong, Xie Huaqian, et al. Simulation on Motion Process of Collapse Mass and Its Engineering Application [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, (30) 06: 655 – 659]
- [13] 吕庆, 孙红月, 翟三扣等. 边坡滚石运动的计算模型[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 79 – 84 [LU Qing, SUN Hongyue, ZHAI Sankou, et al. Evaluation models of rockfall trajectory [J]. Journal of natural disasters, 2003, 12(2): 79 – 84]
- [14] 唐红梅, 易朋莹. 危岩落石运动路径研究 [J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(1): 17 – 23 [TANG Hongmei, YI Pengying. Research on Dangerous Rock Movement Route [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2003, 25(1): 17 – 23]
- [15] 刘永平, 佘磊, 李广杰. 某高陡边坡崩塌落石运动特征分析及其防治 [J]. 水文地质工程地质, 2005, 1: 30 – 33 [LIU Yongping, NAI Lei, LI Guangjie. Falling rock movement characteristic and reinforcement measures of a high steep slope [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, 1: 30 – 33]
- [16] 苏胜忠. 边坡工程勘察中崩塌落石运动模式及轨迹分析 [J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 577 – 581 [Su Shengzhong. Motion mode calculation and analysis on rock falls in slope engineering investigation [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 577 – 581]
- [17] 王春山, 巴仁基, 刘宇杰等. 高陡边坡滚石危险性评价与防治 [J]. 四川地质学报, 2013, 33(2): 217 – 220 [WANG Chunshan, BA Renji, LIU Yujie, et al. Assessment and Prevention and Cure of Steep Slope Boulder Danger [J]. Acta Geologica Sichuan, 2013, 33(2): 217 – 220]

## Characteristic Analysis and Risk Assessment of Guo Dashan Mount

XU Wei, ZHANG Yun, MEI Zhuyin

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China; 2. Hubei southeast geological brigade, Huangshi 435100, China; 3. Zhejiang Huadong Construction Engineering CO., LTD Hangzhou 310030, China)

**Abstract:** The unstable rock zone was developed at the rear of Guo Dashan Mount, on the middle hillside immediately behind Guo Da Street of Kangding City, posing great threats to lives and properties of nearly 2000 people in the vicinity. It was imperative to initiate field work on its stability. In this research, it started with an analytical survey of the unstable rock zone in the engineering geological conditions and evolutionary history. Result confirmed that the unstable rock zone of Guo Dashan Mount could be divided into three rockfall sections, I, II and III. Typical unstable rock mass was selected at each section for qualitative categorization with reference to stability analysis and definite rockfall type. RMR method was referred to for determination of rock mass classification and it concluded that the unstable rock zone was in the poor quality, IV level, indicating that the whole rock mass was suffering from collapse; By stereographic projection analysis, it suggested that spalls, which consist of rock wedges enveloped by strata, joint 1 and joint 3, was very prone to drop off from the rockfall section I, II in case of favorite conditions, such as weathering, rainfall, earthquakes and other external forces. Kinematics analysis exhibited that falling rocks in the rolling-sliding model would arrived at a rate of 33.05 m/s, 52.15 m/s, 57.41 m/s, in the rockfall section I, II and III respectively, before it hit the collision mass; Restitution coefficient method was used to calculate the bouncing height of a falling rock in the numerical model of rockfall bounce and collision, with an estimated number 16.46m in height. In the end, the unstable rock zone of Guo Dashan Mount were zoning for risk division and accordingly geohazard division map was produced in terms of three levels, high risk, medium risk and low risk. This research provides some scientific basis and technical support for geohazard prevention and mitigation on a local basis.

**Key words:** Kangding County; Guo Dashan Mount; equatorial projection method; sliding mode; crashing and bouncing mode; risk assessment