

川西 108 国道高位崩塌成因与运动特征

胥良¹, 李云贵¹, 刘艳梅²

(1. 四川省地质环境监测总站, 成都 610081; 2. 西南民族大学化学与环境保护工程学院, 成都 610041)

摘要: 2007 年 5 月 25 日于川西 108 国道某段发生的高位崩塌造成了重大人员伤亡和财产损失。综合地质调查、三维激光扫描技术、爆破振动效应分析以及历史崩塌与降雨关系的统计分析, 得出了地形高陡、岩体破碎及降雨诱发等是崩塌产生的主要原因, 爆破振动对其也有轻微间接影响。根据边坡形态及塌落高度, 运用运动学原理及能量法还对崩塌体的撞击速度及冲击力进行了计算分析。

关键词: 崩塌; 诱发因素; 成因机制; 运动轨迹

中图分类号: P642 21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0028-04

1 基本情况

2007 年 5 月下旬, 四川境内 108 国道某段公路斜坡发生岩体崩塌, 崩塌处距公路相对高差 93m, 崩落体积约 7m^3 , 其中一块约 1.5m^3 的岩块直接砸向坡下由西向东行驶的一辆客车(另有两小块砸向一载重汽车), 并将客车砸翻至公路南侧斜坡下, 造成 10 名司乘人员死亡、10 余人受伤(其中两人重伤)以及毁车两辆的重大灾害。

崩塌是西南山区尤其是交通及旅游沿线最为常见的地质(灾害)现象, 其形成不仅有其特定的地质环境条件, 而且往往也与人类工程活动的形式、程度以及降雨等作用密切相关。在调查的基础上, 通过对其成因机制、稳定现状、发展趋势、危害大小等进行综合分析评判, 不仅可以帮助预警预报机制及防治措施的确立, 而且有助于事故责任的准确界定, 更好地服务地方经济建设, 维护社会和谐稳定。

2 成因分析

调查及研究认为, 该崩塌灾害属于在复杂的地形地貌及构造环境控制下, 由于降雨诱发而产生的高位小型崩塌, 其致灾原因主要为地形陡峻、岩体破碎、连续(强)降雨及边坡开挖活动等。

2.1 地形陡峻

崩塌点地处大渡河中游深切峡谷区, 切割深度

600~1000m, 斜坡高陡, 地形坡度一般在 80° 左右, 坡面基岩裸露, 坡面走向与公路近于平行, 倾向河谷 ($195^\circ \angle 80^\circ \sim 85^\circ$) (图 1)。崩塌区主要地层为元古界花岗岩, 受青藏滇缅巨型歹字型构造影响, 加之河谷干热, 风化作用强烈, 岩体破碎, 不利于陡崖斜坡带碎裂岩块的稳定。国道 108 线从左岸坡脚穿过, 一旦发生高位崩塌掉块(即便是小块石), 因其速度快、动能很大, 只要砸中路上车辆、行人都可能造成不小的安全事故。

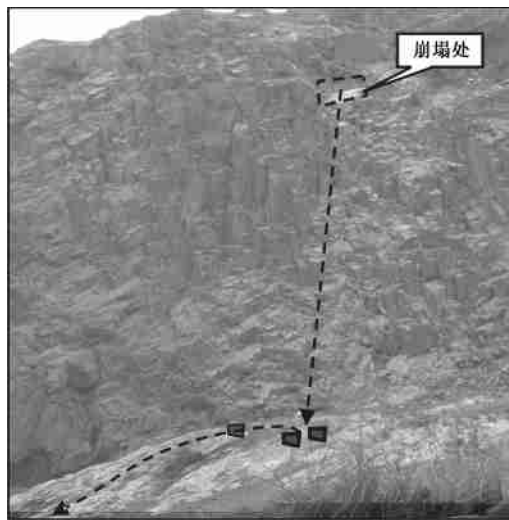


图 1 崩塌现场

Fig. 1 Scene investigation of collapse

2.2 岩体破碎

崩塌区位于大渡河中游左岸斜坡, 出露的是一套元古界花岗岩地层, 由于火成岩在成岩过程中冷凝收缩, 形成原生柱状节理, 间距一般 20~100cm 不等, 将岩体分隔成四方柱块体, 节理面平直光滑。伴随着区

收稿日期: 2007-09-17; 修订日期: 2007-11-10

作者简介: 胥良(1973), 男, 工程师, 从事水文地质工程地质环境地质方面的研究与管理。

E-mail: liangxu28@sina.com

域构造运动引起的地壳抬升,河谷下切,斜坡岩体遭受构造及卸荷等作用产生次生结构面,这些次生结构面与原生节理间相互切割,岩体节理裂隙发育,使得边坡浅表层岩体变得更加破碎,在结构面与斜坡的不利组合下而形成危岩,特别是在陡崖上部。加之该区属于干热河谷气候,物理风化作用强烈,斜坡浅表层岩体破碎,多呈块状—碎块状结构(图2),块体大小悬殊,小者仅数十立方厘米,大者可达 10m^3 甚至更大。由于斜坡高陡,植被稀少,无法直接量测崩塌处岩体结构面产状,借助于先进的三维激光扫描仪对崩塌处进行激光扫描,利用 Polyworks8.0 处理软件解译得出了特征结构面产状,与公路边量测得的十分吻合。



图2 斜坡岩体破碎
Fig.2 Cracked rock of slope

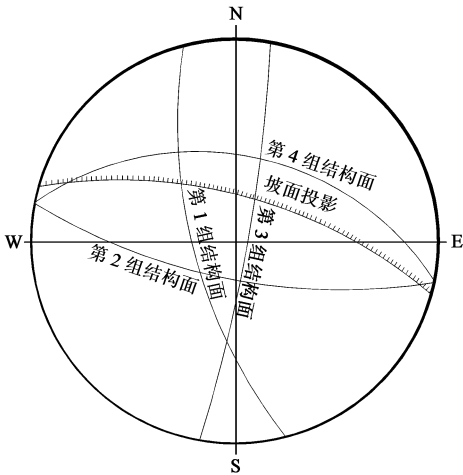


图3 典型结构面组合与坡面关系
赤平投影图(上半球投影)

Fig.3 Stereo graphics of typical structure
faces and slope(upper hemisphere)

在该区岩体中主要发育4组结构面,第1组结构面产状为 $75^{\circ}\angle 67^{\circ}$,第2组为 $357\sim 30^{\circ}\angle 67\sim 69^{\circ}$,第3组为 $280\sim 310^{\circ}\angle 78\sim 83^{\circ}$,第4组为 $185\sim 200^{\circ}\angle 35\sim 50^{\circ}$,结构面与斜坡的组合关系见图3。从图3上可知,第1、3组陡倾裂隙刚好将岩体切割成外大内小的楔形块体,切断了块体与周围岩体的联系,而中陡倾坡外的第4组裂隙(较斜坡倾角缓)恰好构成潜在的底滑面,形成潜在危岩,这为斜坡浅表层的崩塌破坏提供了条件,经常产生小规模崩塌掉块是不可避免的。公路部门的崩塌掉块记录也充分印证了这一点。

表1 施工放炮记录

Table 1 Blasting records of construction				
日期	4月23日	4月24日	4月25日	4月27日
放炮数(孔)	10	20	15	10
单炮装药量(kg)	4.8	4.8	3.2	4.8

备注:均为钆子炮,采用网状布孔,孔深3~4m,每日放炮2轮

2.3 爆破松动

崩塌点上方斜距28m处即为正在施工的改建公路,崩塌发生前一月进行过爆破切坡,表1系调查获取的施工记录,由于工程设计变更,2007年4月29日以来一直处于停工状态。放炮所产生的冲击波不可避免地会对附近斜坡岩体产生振动影响,由于爆破振动引起的松动效应必然会加剧岩体结构的累进破坏。

成昆铁路技术总结委员会专门通过爆破地震效应实验观测对爆破地震波的衰减规律进行了分析研究^[1],总结出了不同地质条件下爆破地震波在垂直及径向上衰减的经验公式,并在此基础上形成了以最大地面垂直振动速度为震害评价指标的经验判据。根据该文献得出的爆破引起地面的垂直振动速度的经验公式(1)并结合其震害判据,通过类比,可以初步判断该处道路施工爆破对斜坡碎裂岩体稳定的震害影响程度。

$$V_{\text{垂}} = 152 \times [Q^{\frac{1}{3}}/R]^{1.3} \tag{1}$$

式中: $V_{\text{垂}}$ ——爆破引起的地面垂直振动速度(cm/s);
 Q ——一次爆破最大装药量(kg);
 R ——爆破点距塌落点的斜距(m)。

根据该处道路爆破施工一次最大装药量48kg、24kg、单孔4.8kg以及与崩塌点斜距28m来计算,爆破在崩塌点形成的地面最大垂直振动速度分别为10.67 cm/s 、7.91 cm/s 、3.94 cm/s ,因此,其范围在5~10 cm/s 之间,对破碎岩层开始有松动影响,其影响程度轻微。但是,被裂隙分割的花岗岩刚性块体(特别是倾坡外组结构面极少充填)的位移一般可以认为仅伴随动力作用的瞬间而产生,且考虑到爆破作业已停工近一个月,因此,施工放

炮对斜坡崩塌形成的作用是间接的。

2.4 降雨诱发

在灾发前10天内崩塌区经历了2次大的降雨过程,总降雨量超过50mm。由于受前期降雨的影响,地表水沿楔形块体的陡倾结构面渗入,一方面造成结构面因充水而受到静水压力的作用(指向坡外),另一方面底滑面上还要受到动水渗透压力的作用以及水的润滑作用影响(特别是对于这类刚性结构面),从而大大减小了坡面碎裂岩块的抗滑力,最终引起岩块的崩落破坏。

图4反映的是该段历年来斜坡崩塌与降雨的关系。从图中可以看出,斜坡崩塌与降雨关系比较密切,一般随降雨均诱发崩塌产生,特别是前一周内降雨量的大小对崩塌的发生有比较显著的影响,但掉块方量的大小与降雨量没有较明显的联系。

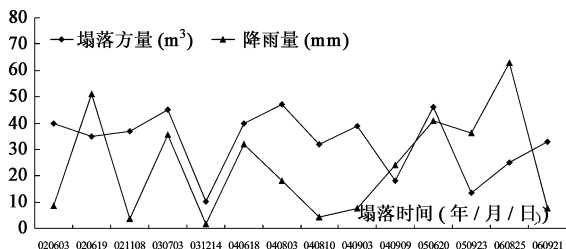


图4 斜坡崩塌与降雨关系

Fig. 4 Relation between collapse and rainfall

3 危岩崩塌运动特征分析

据调查,本次崩塌失稳后的运动过程包括自由落体运动阶段及弹跳阶段,其运动轨迹如图5所示。

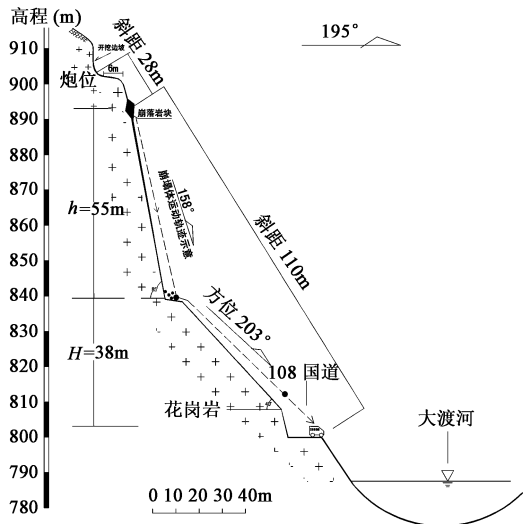


图5 崩塌体运动轨迹示意图

Fig. 5 Diagram of movement track of the collapse

3.1 崩塌危岩体失稳运动分析

(1) 自由落体阶段。由于该处斜坡高陡,地形坡度达85°,坡面基岩裸露,崩塌块体坠落可以视为自由落体运动,触地瞬间的运动速度为:

$$V_R = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

式中: V_R ——危岩体失稳落地速度(m/s);

h ——崩塌体自由落体运动高度(m);

g ——重力加速度,取 9.8m/s^2 。

(2) 弹跳阶段。由于坡肩处基岩裸露,崩落体高速跌落碰撞中部相对较缓平台后(A点)的基本运动形式为弹跳-俯冲(图6),在理论上可以借用球体(或质点)撞击斜面后的运动轨迹曲线描述。岩块自平台向前运动的反射切线速度 V_1 可以用下式表示为^[2]:

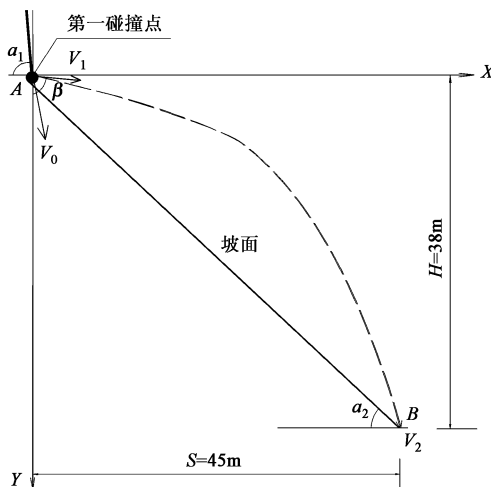


图6 崩塌体弹跳分析模型

Fig. 6 Analysis model of jump process of the collapse

$$V_1 = (1 - \lambda) V_R \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3)$$

式中: V_1 ——弹跳阶段反射线速度(m/s);

α_1 ——陡坡段平均坡度(°);

α_2 ——缓坡段平均坡度(°)。

其余参数同前。

崩落岩块撞击坡下公路行驶车辆(B点)的撞击速度 V_2 可以用下式描述:

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + \varepsilon^2 H}, \varepsilon = \sqrt{2g(1 - k \cot \alpha)} \quad (4)$$

式中: V_2 ——撞击速度(m/s);

ε ——较缓坡段的计算速度系数;

k ——阻力特性系数;

H ——弹跳点与撞击点的高差(m)。

根据斜坡特征, $k_1 = 0.543 - 0.0048\alpha +$

$0.000162\alpha^2$, 由此可以得出撞击客车的崩落岩块的撞击速度为 25.28m/s 。

3.2 崩落体冲击力确定

高速飞落而下的崩落岩块与车辆顶部的撞击可以近似地当作刚性块体间瞬间冲击碰撞(忽略车辆运动速度影响)。冲击力与冲击体质量一次方和冲击速度的平方成正比, 其关系可用下式描述^[4]:

$$F = 48.062 + 0.6857MV^2, (R^2 = 0.96) \quad (5)$$

式中: F ——冲击力(kN);

M ——冲击体质量(kg);

V ——冲击速度(m/s)。

由此可得崩落体产生的冲击力高达 1774.82kN 。车辆在如此大的冲击力作用下, 直接被推下公路外侧边坡, 造成重大人员伤亡及财产损失。

4 结论

(1) 受构造、卸荷、风化等动力作用以及人类工程切坡活动(尤以爆破)影响的高陡斜坡, 岩体结构发育, 一旦结构面空间组合不利, 崩塌掉块往往不可避免, 而降雨是最常见的诱发因素。

(2) 斜坡表层岩块的松动脱落必将造成其后部的

块体因失去支撑而变得更加容易失稳。根据对类似崩塌现象(灾害)的统计分析, 一般此类现象多具有连动性。同时, 由于高速崩塌的块体在向下滚动的过程中对下部碎裂块石产生碰撞, 也可能造成原本相对稳定的岩块发生松动脱落。

(3) 对于基岩裸露的高陡斜坡, 崩塌块体往往动能大, 冲击破坏力强, 造成的危害也大, 因此, 必须采取有效的预警预报及工程处治措施, 最大限度地减低灾害可能造成的损失。

参考文献:

- [1] 成昆铁路技术总结委员会. 成昆铁路线路、工程地质及路基(第二册)[M]. 北京: 人民铁道出版社, 1980: 313-314.
- [2] 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989: 71-92.
- [3] 陈洪凯, 唐红梅, 叶四桥, 等. 三峡库区危岩发育链式机理及失稳运动路径研究[C]//第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 2004: 820-825.
- [4] 马少健, 陈炳辰. 冲击力的测定及其数学建模研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2001, 26(1): 63-65.

Formation mechanism and movement characteristic of a high altitude collapse on the No. 108 National Highway in west Sichuan Province

XU Liang¹, LI Yurrgui¹, LIU Yairmei²

(1. General Geo-environmental Monitoring Station of Sichuan Province, Chengdu 610081, China;

2. College of Chemistry and Environment Protection Engineering, SWUN, Chengdu 610041, China)

Abstract: A high altitude collapse on the No. 108 National Highway in west Sichuan Province took place in May 25, 2007, which led to heavy casualties and loss. By comprehensively using many kinds of means, such as geological survey, 3D laser scanning technology, analysis of blasting vibration effects and statistical analysis on many historical collapse and rainfall, the paper objectively sets forth the reasons to the collapse, including high steep terrain, fractured rock mass and rainfall triggering, and so on. At the same time, blasting vibration is a minor and indirect factor to the collapse. Based on the shape of the slope and height of the collapse, through kinematics theory and energy method, the authors calculate velocity of the falling rock and impulsive force that the falling rock impacted the bus.

Key words: collapse; inducing factor; formation mechanism; movement track

责任编辑: 张明霞