

山区高速公路高陡岩质边坡防护设计的工程实践

吕 栋
(河北锐驰交通工程咨询有限公司)

摘 要:山区高速公路的设计中不可避免的会遇见高边坡防护形式选择问题。结合工程实际对滚石产生的影响因素,滚石运动轨迹及滚石与坡面的相互作用进行分析。建立了边坡滚石运动模型,采用随机概率方法对边坡滚石轨迹进行预测。结合工程实际对边坡防护方案的选择展开探讨,试图从山区边坡防护方案优化的角度降低山区公路建设造价。
关键词:高速公路;高边坡;滚石;概率分布;选择合理的防护
中图分类号:U412 **文献标识码:**C **文章编号:**1008-3383(2009)07-0090-02

0 引 言

山区高速公路高边坡区段是滚石肇事的多发路段,而滚石肇事都具有突发性和随机性的特点。一直以来,在高速公路防护的勘察中对于边坡防护的设计主要是以边坡整体的稳定问题为主,而对于边坡滚石问题却研究得较少。滚石灾害的补救措施大多以经验为主,减少或消除这一问题的技术措施包括:每隔一定高度设置碎落台或采取合理的遮挡措施。由于滚石的不确定性,其速度、动能及水平抛掷距离都难以预测,因此根据边坡地形地貌、滚石尺寸、岩性等因素,计算岩石崩落的轨迹和特点,是研究和防止滚石灾害的首要任务。

通过借鉴露天矿山研究滚石问题的经验,对处理这种边坡问题有很高的实用价值,利用计算机对合理观测而收集到有价值的试验数据的分析,采用合理的运行程序和反复分析获得更精确的预测,使得客观的认识了公路高边坡区段滚石肇事问题,从而提出安全、经济的防护措施。

1 工程概况

青兰高速公路邯郸至涉县段沿线在区域地貌上属太行山低山区,该区山势陡峭,沟壑纵横,地形复杂,地面相对高程 100.00~300.00 m,以侵蚀作用为主,将沟谷切割成“V”型及“U”型。

K150+020~K150+260、K150+300~K150+600、K152+500~K152+600区段路线左侧为高边坡段落。野外调查及钻探结果显示该区段出露地层为灰色中厚层灰岩,顶部约 3.00~5.00 m 为强风化带,节理、裂隙较发育,岩芯多呈碎块状。弱风化带厚约 5.00~8.00 m,岩体较完整,岩体稳定性较好,路基开挖最大高度在 28.00~35.00 m。该区段岩体工程性质较好,岩体稳定性较好,不易发生岩体滑坡,但开挖时易发生岩体崩塌,施工时应将危岩、危石及时排险处理,多发滚石灾害。

2 边坡滚石分析及计算

2.1 影响因素

高速公路的边坡形状比较规则但滚石的起点和终点位置不容易确定。通过对高边坡地段的工程地质勘察,可总结出影响滚石灾害的主要因素包括:边坡几何形状、坡面地形、

滚石和边坡材料力学属性、坡体地质结构和植被、滚石的块体条件及初始状态等。

2.2 滚石运动的计算模型

2.2.1 基本假设

- (1)在二维空间内分析滚石;
- (2)与边坡坡体相比,滚石体积很小,假定为一个质点;
- (3)滚石滚落过程中,质量用于滚石的能量计算且质量在滚落过程中不发生变化;
- (4)滚石滚落时,不引起后继边坡体的变化;
- (5)空气阻力忽略不计。

2.2.2 计算方法

滚石从坡体上部向下滚落主要包括 2 个过程:即滚石的空中运动过程和滚石与坡面相互作用过程。其运动模型如图 1、图 2 所示。

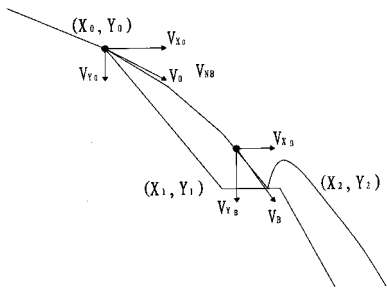


图 1 滚石空中运动示意图

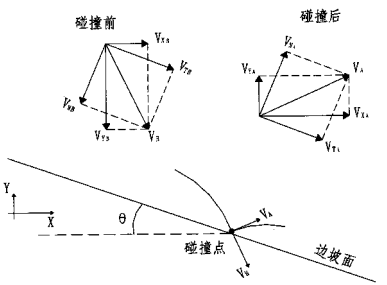


图 2 滚石与坡面碰撞示意图

(1)滚石的空中运动。

根据滚石运动抛物线方程和坡面直线参量方程,经简单推导可得

$$\frac{1}{2} g t^2 + (V_{Y_0} + qY_{X_0}) t + [Y_0 - Y_1 + q(X_1 - X_0)] = 0 \quad (1)$$

式中: X_1 、 Y_1 为直线段起点坐标, g 为重力加速度, X_0 、 Y_0 为滚石初始位置, V_{X_0} 、 V_{Y_0} 为滚石初始速度。若 X_2 、 Y_2 为直线段终点坐标,则 q 值为

$$q = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (2)$$

将 (2) 代入 (1) 中可求得滚石与坡面接触前消耗的时间 t 为

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3)$$

其中 $a = \frac{g}{2}$ 、 $b = V_{Y_0} - qV_{X_0}$ 、 $C = Y_0 - Y_1 + q(X_1 - X_0)$ 。

从而可确定滚石与边坡坡面接触点位置,并可求得接触前任一时刻滚石的位置,滚石与边坡接触前一时刻滚石运动速度, V_{X_B} 、 V_{Y_B} 为。

$$\left. \begin{aligned} V_{X_B} &= V_{X_0} \\ V_{Y_B} &= V_{Y_0} + gt \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(2)滚石与坡面的相互作用。

滚石与坡面撞击前滚石沿法向和切向的速度分量为 V_{N_B} 、 V_{T_B} ;滚石与坡面撞击后法向和切向的恢复系数为 R_N 、 R_T ;其沿法向和切向的速度分量为 V_{N_A} 、 V_{T_A} ;滚石与坡面撞击后滚石的速度发生了变化即:

$$\left. \begin{aligned} V_{N_A} &= R_N V_{N_B} \\ V_{T_A} &= R_T V_{T_B} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中,通过图 2 分析可得 V_{N_B} 、 V_{T_B} :

$$\left. \begin{aligned} V_{N_B} &= V_{Y_0} \cos \alpha - V_{X_0} \sin \alpha \\ V_{T_B} &= V_{Y_0} \sin \alpha + V_{X_0} \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: α 为边坡坡面倾角。

2 3 现场实例中滚石的运动轨迹

(1)地质条件及参数。

青兰高速邯郸至涉县段 K150 + 020 ~ K150 + 260 区段路面设计高程为 555.770 m,左侧边坡坡顶高程为 590.800 m 左右,其中分别在 585.400 m、570.460 m、555.500 m 设置平台,平台宽度为 2 m,其中 555.500 ~ 570.460 段边坡坡率为 1:0.3,570.460 ~ 585.400 m 段边坡坡率为 1:0.5,585.400 ~ 590.800 m 段边坡坡率为 1:0.75。依据野外调查及钻探结果,青兰高速邯郸至涉县段 K150 + 020 ~ K150 + 260 区段地层主要为灰岩,岩体稳定性较好。结合相关文献研究成果,得到物理参数的经验值:取边坡法向恢复系数为 0.50,标准差 0.04,切向恢复系数为 0.80,标准差 0.04,摩擦角为 40°;粗糙度为 2°;在平台至 590.800 m 至 585.400 m 平台间进行分析。

(2)结果分析。

每次计算滚石 100 块,滚石平均质量为 2.5 kg,采用 Pseudo-random 方法。应用随机数来进行计算机模拟,滚石

的迹线为抛物线形,在 570.460 m 平台弹跳高度较大,在达到该平台之前滚石的总动能达到极大值,碰撞后随着滚石弹起的高度的增加,动能逐渐减小,势能逐渐增大。计算结果显示总动能和弹跳高度的极大值都出现在 570.460 m 平台。滚石在本段边坡的水平运动距离约 22 m,同现场调查结果基本一致。

3 防护形式的选取

目前常用的边坡危岩、危石的防护措施有,棚洞(明洞)、拦石挡墙、全坡面挂网客土喷播植草防护和新型 SNS(safety netting system)柔性防护网等方案备选。结合本工程的实际,由于在边坡岩质稳定,开挖施工时已将危岩、危石做了排险处理,并且还在公路占地界上设置刺铁丝防护网防止人畜误入带来安全隐患。现场调查得知,边坡滚石来源较少,但分布具有很大的随机性,采用棚洞(明洞)、新型 SNS 柔性防护网虽然安全性高,但从经济、实用的原则出发上述两方案不适合该项目。全坡面挂网客土喷播植草防护既可以较好的防护危岩、危石的滚落,又可以增强边坡的绿化效果。但这是一种工程造价相对较高的防护工艺,况且本相目的所在地位于河北省邯郸市西部太行山区,该地区只有春夏两季植物生长期,若选用此方案将使后期养护费用大大增加,造成极大的浪费。

根据滚石路径预测显示的滚石总动能与水平距离之间的关系,拟在边沟外侧碎落台上设置挡墙的防护形式。在保证所选边坡防护方案安全可靠的此基础上,再从经济、实用的原则出发,结合项目所在地区适宜的绿化形式,以及高速公路上行驶车辆的视觉效果等要求,最终选定挡墙高度为 1.3 m,挡土墙后增加回填种植土,高度低于挡土墙顶面 0.2 m,栽种灌木绿化。

4 结 语

(1)根据简化模型,应用随机概率统计理论,对岩质边坡滚石运动轨迹进行预测。基于概率分析的滚石运动预测分析思路,对于高陡岩质边坡滚石灾害分析及防护措施确定具有应用价值。

(2)山区高速公路建设不可避免的会遇到高陡岩质边坡防护问题,本文客观的分析了危岩、危石对高速公路运营产生危害的程度,结合工程实际对边坡防护方案的选择展开探讨,试图从山区边坡防护方案优化设计的角度降低山区公路建设造价。

参考文献:

[1] 张路青,杨志法,许兵.滚石与滚石灾害[J].工程地质学报,2004,12(3).
[2] 吴顺川,高永寿,杨占峰.基于正交试验的露天矿高陡边坡落石随机预测[J].岩石力学与工程学报,2006.
[3] 赵丽娜,周科平,高峰,等.露天矿边坡滚石运动特征及控制[J].灾害学,2008,(9).
[4] 吕庆,孙红月,翟三扣.边坡滚石运动的计算模型[J].自然灾害学报,2003,12(2).
[5] 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.