

桂林七星公园危岩落石治理工程 被动防护网设计与施工

黄晨忱, 许曼钰

(桂林理工大学土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要:结合桂林市七星公园危岩治理工程实例,探讨在危岩落石地质灾害治理工程中采用被动防护网的设计和施工,为今后的危岩地质灾害治理工程提供参考。

关键词:危岩;落石;被动防护网;柔性防护网;防护能级;防护高度

中图分类号:TV223;P642.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)12-0079-04

Passive Protection Net Design and Construction of Holding Rockfall Treatment in Guilin/HUANG Chen-chen, XU Man-yu (Guilin University of Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Based on the case of dangerous rocks treatment project in Qixing Park of Guilin, this paper discusses the passive protection net design and construction for holding rockfall geological disaster treatment, which can provide reference for the dangerous rocks geological disaster control project in future.

Key words: dangerous rocks; rockfall; passive protection net; feasible protection net; protection level; protection height

0 引言

危岩是高陡斜坡产生了拉裂、松动变形并随时可能发生破坏,向坡下运动的岩体。落石是在自身重力、震动、降雨等作用下丧失稳定性,脱离母岩,向下坠落的石块。目前,危岩治理工程主要采用主动治理,如:清除、支顶、嵌补、锚固、喷射混凝土等,当山体表面构造风化严重,节理裂隙发育,岩体破碎,可能存在小块落石掉落现象,或悬崖上的危岩不宜清除或清除困难,及不经济和存在较大施工安全隐患时,宜选择被动防护,如:落石槽、拦石墙、拦石堤、刚性栅栏和被动防护网等。

柔性防护网产品自20世纪90年代中期从国外引进后,经过相关科研院所、生产企业的升级研究,在国内铁路、公路、水电、地灾等工程项目中已得到广泛应用,技术和产品均有一定程度的发展和进步。但规程、规范及相关技术标准较少,目前,仅铁路部门于2004年发布了《铁路沿线斜坡柔性安全防护网》(TB/3089—2004),其余部门、行业均无统一标准,各行其是。本文根据桂林市七星公园危岩落石治理工程实例说明被动柔性防护网在危岩落石治理

工程中的应用。

1 工程概况

七星公园位于桂林市区东部,东部、北部滨临小东江,西侧紧靠龙隐路,由普陀山天枢、天璇、天玑、天权4峰与月牙山玉衡、开阳、瑶光3峰组成,山体中下部为著名景点七星岩入洞口,经调查分析目前存在安全隐患确定的危岩体有9处,危岩体破坏形式属于滑塌式(如图1所示)。七星岩上方危岩对游客构成威胁,据现场调查,受危岩威胁的游客和工作人员约150人,潜在经济损失达300万元,危岩崩塌危害对象等级为Ⅲ级。崩塌危害对象为县级以上城市,危岩防治工程等级为Ⅰ级。

2 自然条件

2.1 地形、地貌

治理区处于漓江东岸的孤峰平原地貌区,为一多峰山体,由普陀山天枢、天璇、天玑、天权4峰与月牙山玉衡、开阳、瑶光3峰组成,普陀山天玑峰山顶标高241~248m,地面标高150m,相对高差约

收稿日期:2017-04-07;修回日期:2017-11-12

基金项目:广西大学生创新创业训练计划项目(编号:201610596142);广西自然科学基金项目(编号:2017JJA150020);广西岩土力学与工程重点实验室项目(编号:2015-A-01)

作者简介:黄晨忱,女,壮族,1996年生,土木(岩土)工程专业,广西桂林市七星区建干路12号,3071177496@qq.com。

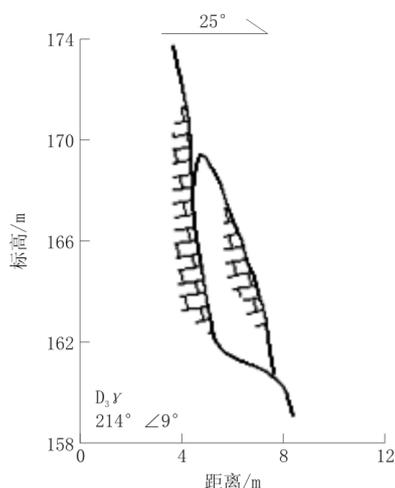


图1 危岩剖面图

91~98 m。本次治理的范围主要是七星岩上方的山体,为七星公园普陀山的天玑峰东侧,山体宽120 m,标高248~150 m,相对高差约98 m,总体坡向约为75°,上部山体较缓,坡度为45°~65°,下部山体近似垂直,坡度80°~85°,局部岩壁直立。山体上方大部生长有灌木丛,中下部岩石裸露。

2.2 地层岩性

治理区分布的地层主要有第四系和泥盆系上统桂林组白云质灰岩。

①第四系(Q)粘土层:黄色粘土,稍湿—湿,呈硬塑—可塑状,主要分布于山脚处,厚度多为3~6.5 m,山腰较缓处也有零星分布,厚度多为0.3~0.7 m。

②泥盆系上统容县组(D₃γ)白云质灰岩:浅灰色,隐晶质结构,中厚—厚层构造,岩石坚硬,性脆,结构破碎,岩溶较发育。地层产状为214°∠9°。据本次野外调查,在山体主要有二组裂隙,其裂隙产状分别为:J1 200°∠89°、J2 105°∠90°,裂隙长0.2~12 m,宽度0.1~20 cm,大多无充填,局部充填粘土,密度2~3条/m。

3 被动防护网方案设计

危岩治理方案的确定主要是根据危岩体所处的地质环境条件、危岩基本特征、破坏失稳方式,同时考虑治理效果的持久性和安全性、现场施工条件以及对围岩稳定性的影响程度、经费等综合因素。综合上述因素,本设计针对危岩采用静态爆破清除危岩和采用定型化被动防护网的治理设计方案。采取静态爆破施工,操作简单,一劳永逸。静态破碎剂胀

裂破碎是在危岩体上钻凿密集炮眼,在炮眼中灌装按一定水粉比加工好的爆破剂,通过爆破剂的膨胀作用产生压力将岩石破碎,将清除后的危岩块放置于安全地带,防止次生灾害的发生。由于山体表面构造风化严重,节理裂隙发育,岩体破碎,仍存在小块落石掉落现象,为保证安全,在山腰位置布设一排被动防护网;同时辅助监测措施。

3.1 危岩破坏后的运动计算

3.1.1 计算落石滚落距离

落石运动方式受下部斜坡的物质组成、边坡坡度角等的影响,运动距离各不相同。根据R·M·Spang(1978)的研究成果,崩落体只有坡度角小于一定临界值(约27°)时,才停积于崖角,随坡度角增大(大于55°),可分别表现为滑动、滚动、跳跃和自由崩落等方式(图2所示),大部分或全部堆积于坡脚。因此岩体在产生变形破坏后,大部分以滚动、跳跃或自由崩落的方式向坡脚运动,最后堆积于坡脚地带或滚入坡下,直接影响坡下建筑和七星岩入口及山下过往游客的生命财产安全。

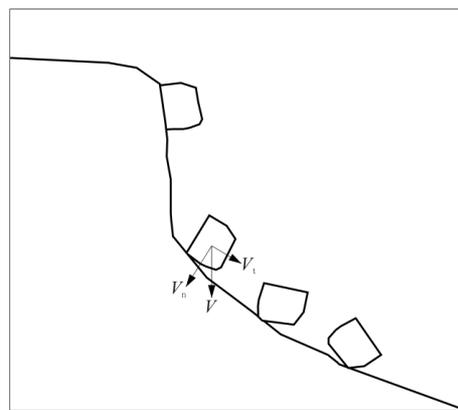


图2 危岩崩塌运动轨迹示意图

因区内危岩岩体内部节理裂隙发育、较破碎,岩石已被分割成较小的块体,滚石体积按3 m³计算。预测该危岩发生破坏滚动时的滚动距离和速度。

当落石第一次坠落在斜坡表面,因碰撞,能量发生变化,部分能量消耗在碰撞过程中,部分能量将使落石在坡面上继续运动。

据能量守恒定律:

$$mgh = (1/2)mV^2$$

据上式可以计算出落石碰撞前夕的速度V,根据地形剖面可以计算出碰撞时的切向速度V_t与法向速度V_n,以及V_t与V_n的夹角β。

即:

$$V_n = V \sin \beta$$

$$V_t = V \cos \beta$$

落石与斜坡松散层地面的法向碰撞可认为是离心塑性碰撞,所以 $V_n = 0$ 。切向碰撞,损失率采用 10%。所以落石第一次在斜坡上碰撞与维持其继续运动的动能为 $(1/2)m(0.9V_t)^2$ 。块石在斜坡上的继续运动是以滚动和滑动为主的综合形式。为了计算方便,可简化为沿斜坡的综合摩擦运动来分析。据功能原理,落石的势能变化等于动能变化和克服摩擦所做的功:

$$\sum mg \Delta h_i = (1/2)m(V_i^2 - V_1^2) + \sum mg \cos d_i \tan \varphi_r L_i$$

式中: V_i ——落石在斜坡面上任意位置处所具有的速度, m/s; d_i ——各直线段斜坡的平均坡度($^\circ$); Δh_i ——各直线段斜坡的垂直高度, m; φ_r ——落石与坡面之间的综合摩擦角, ($^\circ$); L_i ——各直线段斜

坡的长度, m。

由此式便可预测危岩崩塌的最大落距,当末速度 $V_i = 0$ 时,便可求得 $\sum L_i, \sum L_i \cos d_i$ 就是崩塌的最大水平运动距离。

3.1.2 撞击能量计算

据查尔斯(Chasles)理论,动能 = 运动能 + 滚动能。在这里采用经验公式计算滚石的冲击能量 K_E :

$$K_E = 1.2 \times (1/2)mV^2$$

落石在此时的速度 V 的水平 and 垂直(x, y) 方向分量分别为 V_x, V_y :

$$V_x = V \cos d_i$$

$$V_y = V \sin d_i$$

根据能量守恒定律:

$$(1/2)mV_y^2 = mgH$$

式中: H ——危岩体的弹跳高度, m。

山坡落石撞击能计算结果如表 1。

表 1 落石弹跳高度及能量计算结果

计算剖面	石块从陡坡坠落高度 H_i/m	石块从陡坡上坠落到坡脚时的速度 $V/(m \cdot s^{-1})$	石块自坡脚向前运动的反射切线分速度 $V_i(0)/(m \cdot s^{-1})$	石块运动至较缓坡段末端处的速度 $V_1/(m \cdot s^{-1})$	落石能量 K_E/kJ	落石从陡坡落下的落点到拦截网的垂直高度 $H_2(\Delta h_i)/m$	上部坡段坡度 $\alpha_1/^\circ$	下部坡段坡度 $\alpha_2/^\circ$	上部坡段计算速度系数 V_i°	下部坡段计算速度系数 V_1°	石块冲击到缓坡上的瞬间摩擦系数 μ	岩石的密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	岩石的体积 V_s/m^3	岩石的质量 m/kg	弹跳高度 H/m
C	5.0	4.70	4.17	11.15	101	15	37	46	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	1.20
	33.4	12.14	10.79	14.94	103	15	46	40	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	1.50
	29.5	11.41	10.14	14.48	105	15	46	40	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	3.10
A	4.2	4.30	3.83	11.03	98	15	37	46	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	1.10
	19.5	9.27	8.24	13.22	102	15	37	46	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	1.30
	29.6	11.43	10.16	14.49	112	15	37	46	2.1	2.67	0.1	2700	12	32400	3.19
B	4.2	4.30	3.83	11.03	106	15	38	57	2.2	2.87	0.1	2700	12	32400	1.20
	25.4	11.09	9.44	14.58	123	15	38	57	2.2	2.87	0.1	2700	12	32400	1.45
	23.5	10.66	9.08	14.35	131	15	38	57	2.2	2.87	0.1	2700	12	32400	3.32

3.2 设计工程量

根据以上计算危岩体撞击能结果,按 $3 m^3$ 滚石计算撞击能为 105 ~ 1311 kJ,故拦截撞击能在设计和校核情况下按 2000 kJ 进行设计。在三级防护位置,滚石弹跳高度为 3.10 ~ 3.32 m,系统高度 H 应比计算弹跳高度大于 1.0 m 作为安全储备,故防护设置高度为 5.0 m。经危岩体撞击能计算共需一道 2000 kJ 级被动防护网,被动防护网拐点坐标如下:

- (1) $X = 3742846.4214$ $Y = 2798770.7090$
- (2) $X = 3742862.8456$ $Y = 2798782.1215$
- (3) $X = 3742869.0367$ $Y = 2798801.1392$
- (4) $X = 3742854.8979$ $Y = 2798815.2847$

$$(5) X = 3742837.4318 \quad Y = 2798825.0281$$

同时,为保护景观,在 5.0 m 高被动网下种植紫藤,种植间隔 0.5 m/株,在其他被动防护网下种植爬山虎,种植间隔 0.5 m/株。被动防护网具体工作量详见表 2。

表 2 被动防护网工程工程量汇总

序号	内 容	工程量
1	XI-200 型柔性被动防护网	长 60.0 m, 高 5.0 m
2	基座开挖	4.3 m ³
3	拉锚开挖	12.3 m ³
4	C25 砼浇筑	26.6 m ³
5	R/3/190 环形网	200 m ²

4 施工技术要求

工程设计选型中,当采用定型化被动防护网时,应给出满足产品加工制造或采购、质量检验、施工安装与工程验收需要的技术条件或要求,或指出定型化技术文件的出处,并给出附加技术条件或要求。

(1)对坡面防护区域的松土及落石进行清除。

(2)相邻基座间连线与水平面的夹角 $>10^\circ$ 或其间高差 $>1.5\text{ m}$ 时,应考虑所需柔性网片的尺寸增大或形状改变。

(3)相邻两跨在水平面内的走向朝上坡侧偏离直线且走向改变角 $>5^\circ$ 时,应考虑增加共用钢柱上的下坡侧拉锚绳;如这种走向改变是朝下坡侧偏离直线且走向改变角 $>30^\circ$,则应考虑增加共用钢柱上的上拉锚绳。

(4)连续布置的单道被动防护网长度较大时,应进行支撑绳分段,并结合被动防护网的局部走向改变综合考虑分段位置,设置分段钢柱上的拉锚绳。如所采用被动防护网定型化技术文件规定了支撑绳分段方法时从其规定,否则,各支撑绳分段长度不应大于 100 m 或 10 跨。

(5)应尽可能不砍伐树木,对需要砍除的灌木,应保持其重新生长的条件;防护工程实施可能破坏原有植被时,宜考虑人工绿化措施。

(6)因在半山腰上安装被动防护网,要做好材料运输、施工等安全措施。

5 结语

桂林市七星岩上方危岩经过采用被动防护网等

综合治理工程后,消除了七星岩入洞口处的安全隐患,确保公园的正常营运。实例应用实践表明,被动防护网以其独特的柔性和高强度特征以及对复杂地形的灵活适应性,具有其他防护方法常常难以解决的优势。特别是在解决高陡悬崖上危岩采用清除或加固治理存在安全风险极大及造价太高时,具有很好效果,其环保效果突出。

参考文献:

- [1] 七星公园七星岩洞上方危岩应急治理工程施工图设计[Z].广西桂林:广西地质灾害防治工程勘察设计院,2015.
- [2] 阳有奎,原振华.柔性防护系统及其工程设计及应用[M].北京:科学出版社,2015.
- [3] 阳有奎.坡面地质灾害柔性防护的理论与实践[M].北京:科学出版社,2005.
- [4] 罗伟.破石山坡SNS主动柔性防护系统综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):73-76.
- [5] 李念.SNS边坡柔性安全防护系统工程应用[M].四川成都:西南交通大学出版社,2002.
- [6] 阳友奎,姜瑞琪.SNS柔性防护技术及其与传统边坡防护方法之比较[C]//2002年中国西北部重大工程地质问题论坛论文集,2002.
- [7] 谢正富.采用SNS柔性防护系统整治危岩落石病害[C]//铁道工务论文集(第3册),2004.
- [8] 李文勇.浅谈SNS柔性防护网在山体高边坡中的应用[C]//河南地球科学通报2009年卷(下册),2009.
- [9] 李铁振.SNS柔性防护在公路边坡治理上应用[C]//2005年公路交通学术论文集,2005.
- [10] 袁关松.公路路基的边坡防护中采用刚性防护与柔性防护的范围及特点[C]//中国新时期思想理论宝库——第三届中国杰出管理者年会成果汇编,2007.
- [11] 韩富强,张锦灵,庞磊.兰州徐家湾不稳定边坡的综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):78-84.