

# 典型岩溶区危岩地质灾害防治措施研究

葛 莎<sup>1</sup>, 姜盛蹇<sup>2</sup>

(1. 湖南城建职业技术学院, 湖南 湘潭 411101;  
2. 广西壮族自治区地质环境监测站, 广西 桂林 530029)

**摘 要** 典型岩溶区由于区内地层岩性、气象条件、地质构造作用、地形地貌等条件的作用, 导致危岩情况复杂多样, 对危岩崩塌灾害的治理, 需考虑各影响因素, 根据危岩防治原则进行综合治理。本文以岩溶区阳朔县碧莲洞危岩为例, 结合危岩体所在位置及其地质环境和工程条件、危岩的基本特征和失稳方式, 考虑治理效果的有效性和稳定持久性条件, 针对危岩体现场施工、经费等条件, 采用静态爆破清除危岩、主动防护网防护、被动防护网防护等方案进行综合治理, 旨在能够对危岩崩塌灾害起到较好的防护效果。

**关键词** 岩溶区; 危岩; 地质灾害

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)09-0109-03

危岩在岩溶地区分布广泛, 并且多处呈现独立岩峰的形式, 危岩一般所处地势较高, 在崩塌灾害区, 危岩体稳定性普遍较差<sup>[1]</sup>。不利的气候条件、植物根劈作用及人工活动等因素对其稳定性影响显著, 随着各影响因素的综合作用, 危岩的稳定性将愈差, 最终将导致危岩岩石崩塌地质灾害现象的发生。一旦危岩发生崩塌地质灾害, 将威胁人民群众的生命财产安全, 危害程度大, 危险性大。实现对危岩体防灾减灾的控制, 要降低或消除危岩地质灾害给周边带来的潜在威胁, 危岩的治理工作需根据其自然及工程环境, 制定相应的治理措施。

本文以阳朔县碧莲洞危岩为例, 根据治理的原则和依据, 针对不同类型和不同发育程度的危岩制定相应的治理方案, 对同类地区危岩地质灾害的控制和分析有一定的借鉴作用<sup>[2-4]</sup>。

## 1 典型危岩防治措施

### 1.1 危岩静态爆破清除

静态爆破技术是采用静态爆破或控制爆破, 结合人工清除治理的手段, 对危岩整体或局部进行清除, 将危险性较大的危岩体逐步分解, 再逐步清除。危岩体清除的同时要配合施工检测, 避免由于爆破活动产生新的不稳定因素。应当充分论证清除后的危岩情况, 再开始着手危岩体清除工作, 考虑对母岩的损伤情况。一般而言, 静态爆破技术应谨慎使用。

### 1.2 人工清除危岩

人工清除危岩是指对危岩体坡面的小碎岩块、落石及滚石进行排查与清除<sup>[5]</sup>。在清除的过程中, SRT 单绳技术常被用来进行边坡调查, 并排查清除坡面小块岩石及滚石。另外, 还需对存在危险性的岩石进行调查。采用人工清除危岩, 应当在排查范围内对拉网式危岩进行排查, 并喷漆标记, 对于体形较大危岩 (直径大于 80cm), 排查时要尽可能对其大小规模、可能崩落方向进行了解, 并拍照且直接在危岩体上喷漆编号。

### 1.3 被动防护网

被动防护网治理危岩的措施包括拦网、拦石栅栏、落石平台、落石槽等。被动防护网的柔性和灵活性使其能够很好地符合危岩处理工作, 适用于各种复杂的地形地貌环境, 可通过逆作法施工或平行作业实现同步或超前于土石方主体工程的施工。当断崖或坡体局部岩体数量较多、形体复杂、零散多样时, 被动防护网技术适用于遇到治理难度较大、不便于其他大范围作业的情况。对于内部软弱层经长期风化、雨水冲刷、浸泡、溶蚀等情况产生支点缩进的危岩体, 可采用喷锚挂网护坡, 同样对于崩塌危岩体不稳定岩体的临空区域喷锚挂网护坡支护效果也很好<sup>[6]</sup>。

### 1.4 混凝土裂缝封填原地固化

通过对危岩灾害点采用部分卸荷清除, 采取混凝土砂浆加固危岩的措施, 可实现危岩治理的较好效果。

★基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目——岩溶区典型危岩崩塌机理及预防研究 (21C0990)。

危岩体稳定性劣化的重要影响因素是岩腔形成和扩展,为防止地表水从裂隙下渗,产生对危岩体中弱软夹层的浸泡和软化作用,通常采用混凝土裂缝封填的方法,以阻止风化作用下的岩腔扩展,有效封闭软弱岩层,阻止软弱夹层风化新危岩的产生,并支撑岩体。

### 1.5 砂浆锚杆加固

砂浆锚杆加固危岩是指在清除危岩后,为确保整块危岩体的稳定性,对大块、稳定系数低、平缓的危岩采取锚固措施。以设计要求为依据,将危岩所有锚杆在工作范围均匀分布,尽可能在岩石较完整区段布点。如遇因危岩周边界限不明或其它情况而导致锚杆定位困难时,需立即采取措施。

### 1.6 钢筋混凝土墙支撑加固

钢筋混凝土墙支撑加固常用于在局部治理中的大面积、大量清除工作,而严重影响危岩体的稳定的情况。对于一般危岩的岩石局部裂隙,也可采用混凝土岩腔及裂缝封填护坡的施工措施。在一些情况下,对于危岩体下部因各种因素导致存在不安全因素,如向坡内凹陷的岩腔。若岩腔底部为中风化基岩,其稳定性通常较好,当危岩体的重心位于岩腔中心线内侧,此类情况,宜采取钢筋混凝土墙支撑加固技术措施进行危岩的治理,此方法对于错断式危岩体及部分滑移式危岩体能起到较好的效果,有时还可采用将支撑体底部设置成内倾斜或台阶的方式。

此外,还可采用混凝土喷浆护坡、浆砌片石支撑加固、嵌入式光纤复合FRP智能锚杆等危岩治理措施。确定危岩的治理方案,一般要根据危岩区域的工程环境情况,结合危岩周边地质环境条件及其基本特征、破坏失稳方式等,综合考虑治理效果的整体性、持久性、对危岩稳定性的影响程度、费用等因素,防治结合,综合治理,消除危岩地质灾害隐患<sup>[7]</sup>。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

危岩带地处广西壮族自治区阳朔县碧莲洞峰林谷地地貌区,山体表面溶蚀裂隙及溶沟槽将岩体切割,岩体被分割成块体,山顶岩石多呈块状,部分岩石呈悬空状,部分岩块产生松动或已经出现位移,形成具滑移或坠落式崩塌趋势的危岩体。该区域岩溶裂隙水主要赋存于溶蚀裂隙中及溶洞中,排泄形式多为地下河。大气降雨对山体表面形成连通冲刷裂隙。碧莲洞进洞口处危岩带分布在西峰山体的西面陡坡,危岩体

呈不规则状,表面破碎,危岩体W1尺寸为 $3.5 \times 3 \times 0.6$ ,高程136m,相对高差14m,主崩方向为 $222^\circ$ ,危岩体W2尺寸为 $2.5 \times 4 \times 1$ ,高程134m,相对高差12m,主崩方向为 $223^\circ$ 。

### 2.2 治理方案

#### 2.2.1 静态爆破清除

本项目静态爆破工程布置:自上而下,逐层逐步由危岩顶部向下钻孔、破碎,随后对岩块进行清理,清除后,将残余危岩块体运送至安全地带,以避免因人工作业导致次生灾害的发生。当危岩清除完毕,封填危岩体本身周边及因人工作业而造成的裂缝,以免造成危岩体的不稳定危害发生。本次治理中,共有2处静态爆破清除的危岩体的设计。这些危岩体一部分为浮石,另一部分为相对完整的岩体(周围裂隙较少),施工时对周边危岩的影响较小,危岩体在清除过程中对母岩的稳定性影响不大。

静态爆破临时锚杆设计:临时锚杆间距控制在 $0.5\text{m} \sim 2.0\text{m}$ 。间距过大,导致单根锚杆承载力集中;间距太小,可能发生群锚效应而降低锚固力。相邻锚杆间距小于 $1.5\text{m}$ 时,通过改变其安设角,使其锚固段错开。考虑危岩体的潜在破坏方向,确定锚杆安设角,倾角避开与水平方向成 $-10^\circ \sim +10^\circ$ 的范围。采用 $\Phi 20\text{mm}$ 高强螺纹钢临时锚杆,锚固段长度不小于 $0.6\text{m}$ ,采用M30水泥砂浆进行充填。

$$P=3.14 \times L_a \times d \times q_s = 3.14 \times 0.6 \times 0.042 \times 1500 = 118.69\text{KN} \quad (1)$$

其中:

P为锚杆的极限锚固力。

$L_a$ 为锚杆锚固段长度。

d为锚杆锚固体的直径。

$q_s$ 为锚杆体表面与周围岩体间的粘结强度,此处计算取 $1500\text{KPa}$ 。

$$N_t = P/K = 118.69/1.5 = 79.12\text{KN} \quad (2)$$

其中,K为安全系数,临时岩石锚杆设计值取1.5。

临时锚杆结构类型采用全粘结圆柱形,取 $\Phi 20\text{mm}$ 的高强螺纹钢设计拉杆,孔径 $42\text{mm}$ ,用M30水泥砂浆进行充填,砂浆与周围岩体之间的粘结强度,此处取 $1500\text{KPa}$ 。临时锚杆杆体截面面积计算,如下:

$$A_s = (K_t \times N_t) / F_{yk} = (1.6 \times 50) / 400 = 200\text{mm}^2 \quad (3)$$

其中:

$K_t$ 为锚杆杆体抗拉安全系数,取1.6。

$N_t$ 为锚杆的轴向拉力设计值。

$F_{yk}$  为锚杆钢筋的抗拉强度标准值, 取 400MPa。

本工程中, 锚杆的轴向拉力设计值  $N_t$ , 经计算得最高为 79.12KN, 本设计轴向拉力取 50KN, 由上式计算得  $A_s \geq 200.0\text{mm}^2$ , 即杆件直径  $D \geq 16.0\text{mm}$ , 工程统一采用  $\Phi 20$  高强螺纹钢筋 (HRB335), 满足设计要求, 具体设计时杆件抗拉强度不做验算。

锚固段长度设计值:

$$L_a = (K_t \times N_t) / (3.14 \times d \times q_s) = (1.6 \times 71) / (3.14 \times 20 \times 1500) = 0.6\text{m} \quad (4)$$

锚固段长度进入完整基岩不低于 0.60m, 锚杆的锚固长度等于锚固段长度和危岩体厚度相加。临时锚杆数量  $n$  根据危岩体加固所需的加固力  $T$  (采用危岩体的重力大小作为需施加锚固力; 对于体积大于  $200\text{m}^3$  的危岩体, 以危岩体的质量 (危岩体的自重) 作为下滑力进行计算), 单根临时锚杆设计锚固力  $N_t$ , 按式  $n=T/N_t$  确定, 考虑到临时锚杆分布的均匀性及施工稳定性, 每块危岩体临时锚杆数量不少于 4 根。静态爆破工程量考虑静态爆的危岩多为浮石或者周围岩体稳定性好, 危岩清除过程中对周围危岩扰动小。

### 2.2.2 主动网网固

主动网网固危岩主要用于大部已脱离母岩, 底部有部分支撑, 稳定性差的危岩体, 这类危岩体通常危险性较大, 也常用于经静态爆破清除处理后, 危岩体周边围岩有松动情况。采用这种方式进行防治的有 1 号危岩带及 1 号危岩点。

锚杆布设: 对于锚固要锚固的危岩, 按 1m~3m 间距布设锚杆。锚杆间距过大, 可能会导致单根锚杆承载力集中; 间距太小, 可能发生群锚效应而降低锚固力。相邻锚杆间距小于 1m 时, 通过改变其安设角, 使其锚固段错开。本次设计锚杆倾角取  $20^\circ$ 。

锚杆极限锚固力是计算: 设计采用的锚杆类及填充料同上静态爆破时一致。锚杆极限锚固力 (每米) 计算代入式 (1)、(2) 如下:

$$P = 3.14 \times L_a \times d \times q_s = 3.14 \times 1 \times 0.075 \times 1500 = 353.25\text{KN}$$

锚杆设计锚固力的计算:  $N_t = P/K = 353.25/3 = 117.75\text{KN}$

锚杆结构类型: 锚杆结构类型采用全粘结圆柱型, 钢筋采用高强螺纹钢筋 (HRB335), 锚杆杆体截面积代入式 (3)、(4)。

$$A_s = (K_t \times N_t) / F_{yk}$$

$$L_a = (K \times N_t) / (3.14 \times d \times q_s)$$

锚固段长度进入完整基岩不低于 1.44m, 取值 2m。锚杆长度为危岩体厚度与锚固段长度之和即为锚杆长度设计值。

### 2.2.3 被动防护网

由于出洞口调查区山体没有发现明显的危岩体, 山脚处发现的最大堆积岩块, 单块体积不超过  $3\text{m}^3$ , 现在在山顶处 (与地面相对高差 130m) 模拟存在一块体积为  $3\text{m}^3$  的危岩体, 分析危岩破坏后的运动。治理区内, 坡脚碧莲洞出洞口为受岩体破坏影响较大的区域, 此处基岩出露地段的坡度角均大于  $45^\circ$ , 在危岩体出现变形破坏后, 坡脚聚集较多跳跃或自由崩落及滚动下落的石块, 最后堆积过多而滚入坡下洞口。

采用 MC 200/A0 型陡壁被动网方案, 主要针对出洞口处的危岩隐患进行防护, 出洞口直接位于山体陡壁的正下方山脚处, 无危岩崩塌缓冲区域, 危岩隐患点具有隐蔽性好, 体积小等特点, 大部分在  $0.75\text{m}^3 \sim 3\text{m}^3$  之间, 危岩体积小易于被动网拦截, 采用陡壁被动网 (垂直于坡面) 在位于坡脚处出洞口上方进行拦截, 基本能达到危岩防治的要求。

## 3 结语

典型岩溶区的特殊气候条件、地质环境、植物根劈作用或人为工程活动等因素对危岩崩塌岩体稳定性产生很大的影响, 岩溶区危岩地质灾害的治理措施主要包括: 危岩静态爆破技术、钢筋混凝土墙支撑加固、被动防护网、砂浆锚杆加固危岩、人工清除危岩、浆砌片石支撑加固、混凝土裂缝封填原地固化等方法进行处理。文章以阳朔县碧莲洞进出洞口危岩为例, 采用静态爆破清除、主动防护网、被动防护网结合 MC 200/A0 型陡壁被动网方案进行综合治理, 对危岩崩塌灾害起到了较好的防护效果。

## 参考文献:

- [1] 葛莎. 桂林岩溶区典型危岩崩塌机理及预防研究 [D]. 桂林: 桂林理工大学, 2016.
- [2] 罗东生, 张凯, 褚晶磊. 桂林岩溶区胀裂式危岩稳定性分析 [J]. 四川建筑, 2018, 38(03): 82-85.
- [3] 李和志, 葛莎, 姜盛骞, 等. 典型岩溶区危岩特征及稳定性分析 [J]. 价值工程, 2022, 41(25): 157-159.
- [4] 杨麒麟, 李阳春, 余朝雯. 贵州岩溶区危岩体稳定性分析及防治措施研究——以六枝特区南极山危岩群为例 [J]. 贵州地质, 2014, 31(01): 70-75.
- [5] 同 [1].
- [6] 黄晨忱, 许曼钰. 桂林七星公园危岩落石治理工程被动防护网设计与施工 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2017, 44(12): 79-82.
- [7] 陈洪凯, 唐红梅. 三峡水库区危岩防治技术 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(02): 105-110.