

危岩崩塌地质灾害调查评价与防治分析

陈国文 邓荫万 潘宏坚

广西壮族自治区地质环境监测站

摘要：文章以危岩崩塌灾害为分析对象，结合具体的项目，归纳其定性与定量、综合评价结果。并从静态破碎与防护网、脚手架等技术手段讨论防治方法，旨在为有类似地质灾害的地区，提供调查及防治思路。

关键词：危岩崩塌；调查评价；防治施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.21.020

引言：危岩崩塌本质上是被多组结构面切割分离的岩体在重力等因素作用下，突然离开母岩，以滑移、倾倒、坠落等形式向下运动，最终堆积于坡脚的现象。该类地质灾害对附近设施与人员来说，存在极大的安全隐患。其发生过程非常复杂，无法精准预测，所以要在调查评价的基础上，提出安全、可行、合理的防治措施，降低或消除其安全隐患。

一、危岩崩塌地质灾害调查项目

本次危岩崩塌调查目标位于玉林市陆川县珊罗镇某小学后山区域，附近交通条件比较便利。经专业团队的现场调查，危岩集中在小学北西面的石灰岩山峰处。其

中北峰局部为悬崖峭壁，坡体则大面积分布着危岩，为溶蚀裂隙和节理裂缝面、岩层面长期切割形成。单体危岩大小不一，小则数立方米，大则上百立方米。在北峰140m标高、东峰120m标高、西峰130m标高以下坡面，分布着风化残余黏土与碎石，以及大量石灰岩单体构成的危岩，体积在1-20m³间。此次共调查37处危岩个体，总体积约643.5m³，主要分布于陡崖、陡崖顶部边缘等处，标高在95-160m之间。经调查发现，项目区域内山体上陡崖形成4个危岩带。

二、危岩崩塌地质灾害调查评价

(一) 定性评价

按照危岩区的地质环境条件、危岩特征等情况，通过赤平投影方法，评价分析危岩的稳定性^[1]。根据实地调查情况，结合岩体的结构裂隙发育特征，以其中一个典型危岩带为例，进行定性评价。该危岩带边坡倾向185°、倾角约65°；岩层产状J5：130°∠70°；节理裂隙J1：170°∠68°、J2：28°∠34°、J3：275°∠47°、J4：155°∠72°。

表1 边坡稳定性分级及评价指标表

序号	稳定性分级	评价指标	备注
1	稳定	结构面倾角或交割线倾角≤0°	逆向坡
		结构面倾角或交割线倾角≥边坡角	顺向坡
		结构面倾向或交割线倾向与坡向夹角>60°	顺向斜交坡
2	基本稳定	30° < 结构面倾向或交割线倾向与坡向夹角 ≤ 60°；结构面倾角或交割线倾角 < 边坡角	斜交坡两条件同时具备
3	不稳定	0° ≤ 结构面倾向或交割线倾向与坡向夹角 ≤ 30°；结构面倾角或交割线倾角 < 边坡角	斜交坡和顺向坡两条件同时具备

表2 稳定性评价统计结果表

边坡坡向	结构面不利组合	稳定性评价结果
185°	J1、J2	J1稳定、J2稳定，切割体稳定
	J1、J3	J1稳定、J3稳定，切割体基本稳定
	J1、J4	J1稳定、J4稳定，切割体不稳定
	J1、J5	J1稳定、J5基本稳定，切割体稳定
	J2、J3	J2稳定、J3稳定，切割体稳定
	J2、J4	J2稳定、J4稳定，切割体稳定
	J2、J5	J2稳定、J5基本稳定，切割体稳定
	J3、J4	J3稳定、J4稳定，切割体基本稳定
	J3、J5	J3稳定、J5基本稳定，切割体不稳定
	J4、J5	J4稳定、J5基本稳定，切割体基本稳定

由赤平投影分析及现场实地调查分解结果，各危岩体在各组不利结构面影响下，处于基本稳定~不稳定状态。

(二) 定量评价

危岩体的稳定性受多种因素制约。为了深刻认识区内危岩的稳定性，选择部份典型危岩崩塌类型进行稳定性计算分析。计算参数及计算公式根据广西壮族自治区地方标准《危岩防治工程技术规范》(DB 45/T 1696-2018)所提供的方法理论，结合危岩体的受力情况和可能破坏形式，通过野外勘查和室内分析确定。

计算考虑天然工况(工况I)和暴雨工况(工况II)：对工况I工况II，考虑自重，同时对滑移式危岩考虑现状裂隙水压力和暴雨时裂隙水压力。裂隙充水高度对现状裂隙水压力根据调查资料确定，对暴雨时裂隙水压力根据汇水面积、裂隙蓄水能力和降雨情况确定；当汇水面积和蓄水能力相当时，取裂隙深度的1/3~1/2。

计算参数的选择考虑裂隙的贯通程度、裂隙的填充

程度及裂隙的结合情况，结构面的抗剪强度指标依据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)表4.3.1取值，岩体力学性质按《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/143-2003)10.6要求进行折减。弹性模量、抗压强度、抗拉强度、抗剪指标C值及 Φ 值各自的折减系数分别取0.66、0.33、0.2-0.4、0.2、0.85。

表1 危岩体定量评价计算参数取值

参数		取值
重度 (KN/m)	天然	24.1
	饱和	24.5
弹性模量 (10^4 MPa)		3.50
泊松比		0.28
单轴抗压强度 (MPa)	天然	55.0
	饱和	50.0
抗拉强度 (MPa)		2.40
抗剪强度	C (MPa)	5.4
	Φ (°)	36.0

根据《危岩防治工程技术规范》(DB 45/T 1696-2018)的相关计算公式，对各危岩体稳定性进行计算分析。工况I下：滑移式危岩体稳定系数在1.23-1.47间，处于稳定~基本稳定状态；倾倒式危岩体稳定系数在1.38-1.59间，处于稳定~基本稳定状态。工况II下：滑移式危岩体稳定系数在1.05-1.26间，处于基本稳定状态；倾倒式危岩体稳定系数在1.28-1.35间，处于基本稳定状态。

(三) 综合评价

区内危岩体位于山体陡崖及陡坡处，呈高耸突兀之势，其岩性为石炭系中统马平组浅灰色中厚层~块状灰岩、白云质灰岩夹白云岩，坚硬性脆，节理裂隙发育，岩体较破碎。当地昼夜温差较大，溶蚀风化、剥蚀作用较强，且岩溶较发育，易形成溶蚀裂隙和风化裂隙，故山体本身受裂隙切割较破碎，危岩体稳定性差。赤平投影定性评价结果显示危岩体处于基本稳定~不稳定状态。从定量评价的计算结果也可以看出，在天然状况下，危岩体处于稳定~基本稳定状态；在暴雨状况下，危岩体处于基本稳定状态。故危岩体在暴雨、振动等外力的作用下极有可能发生崩塌，将直接威胁到山脚学校师生及人民群众的生命财产安全，因而有必要采取防治措施处理。

三、危岩崩塌地质灾害防治措施

(一) 静态破碎施工

爆破是清除危岩的主要手段之一，本项目选用了静态破碎工艺解决山体上与母岩分离较为彻底，崩塌条件充分，且不具备锚固或支撑加固条件的危岩。现场施工选用手持风钻与洛阳电钻进行凿眼，孔径在40-50mm之间，相邻孔距离是0.4m，总体按照“品”字结构分布，倾斜孔深度需根据各点危岩层的厚度确认。此处选择高效无声的爆破剂，按照2.5-2.8kg/m³的标准进行装药，为保障施工过程的安全性，选择全封闭的作业模式，在危岩处铺设防护网，作业面下方留有防护平台，破碎后的岩块随即运到山下，避免在施工期间出现崩塌灾害。

静态破碎的作业台宽度是3-4m，由扣件钢管制成。

现场破碎作业中，主要有几项施工环节。一是钻孔。按照施工参数标准，尽量设置更多自由面，缩短危岩破碎的时长。例如某处原本仅有好1个自由面，最低标准是额外造出1个自由面，这可通过提高预裂孔的密度，亦或借助垂直孔和倾斜孔的组合，分批爆破。另外，现场钻孔尽可能采用纵向孔，否则可能会提高作业难度，并要一次性钻取数个孔洞、灌进炸药，缩短各点爆破作用的发生时间间隔。同时现场作业人员也应尽量沿着原本的纹理钻取，这样能提高破碎效果。二是填孔。施工人员先需全面清理孔洞，不可留有任何杂物，甚至是水体。垂直孔能直接灌进炸药与捣实，而斜孔及水平孔则要用到挤压及灌浆泵将爆破剂送进孔中，且需及时封孔^[3]。对于危岩层过厚的部分，可能要分层爆破，要注意的是两次同一位置的装药要间隔12h，破碎的同时利用物品覆盖。如果孔洞本身过于干燥，可选择在装填前适当湿润，也可提高配浆的含水量。在灌浆环节中，应当连续从四周向中间推进。

在现场静态破碎作业中，全体施工人员要明确其中的注意事项，保障现场安全。危岩体爆破选用的破碎剂属于碱性，会轻微腐蚀皮肤，所以使用人员必须穿戴好相应的防护用具，而且要避免在装填后直视洞口，以免冲孔情况损害眼睛。此外，为了填孔浆料处于发烫的状态，应该在拌制成后的3分钟内填充结束，但如果拌制期间浆体急速升温与变干，就不可使用。在现场正式爆破时，要先布置与检查防护设施，不可在雨天开工，防止由于危岩体不稳定，威胁到施工人员。

(二) 锚杆作业技术

锚杆作业前，先向危岩体裂缝处填充水泥砂浆，避免锚杆注浆中有漏浆，或者裸露锚杆质量下降。根据设计要求，锚杆水平布置孔距误差需在50mm以内，而纵向误差则要保持100mm之下。现场利用锚杆钻机设置孔洞，并做好孔深复测作业。在锚杆施工中，选择了干作业法成孔，及时下锚与注入砂浆，预防塌孔与岩体风化。在锚杆入孔中，操作人员先需核对编号与锚杆尺寸，借助导向探头辅助入孔。

在锚杆布置好后，现场及时安排抗拔试验，设定荷载最高不可大于锚杆极限水平的80%。技术人员则利用千斤顶与油泵调节加荷压力，并通过位移计、压力表及测力计控制试验精度。各组试验的极限结果偏差在30%以内的情况下，可按照其中的最小值计算。但如果偏差超出30%，需要继续试验，补充抗拔分析的锚杆数量，以95%的保证率，确认锚杆极限水平。

检验锚杆质量中，选取样本数要达到总量5%，并且至少要有3根，如果局部危岩体比较特殊，也可继续增加检验数目。对于永久性锚杆，轴向拉力检验数值要按照1.5倍设定参数施加，而临时类的锚杆，可适当降低至1.2倍。另外应该强调的是，锚杆检验需分级加载，以设计参数的0.1倍作为初始值，随后按照0.4、0.25、0.25、0.2、0.13、0.17倍不断累加。验收试验期间，各级荷载需维持5-10分钟左右，记录实际的位移增量。当到最后一级时，需稳定10分钟。倘若在某级荷载中，发现位移增量大于1mm，需继续延长停留在此级的时间，一共大约60分钟，同时从15分钟开始到半个小时之间，每5分钟记录一次，而从半小时到一小时之间可每刻钟记录一次位移增量。在最终锚杆彻底稳定后，可逐

级卸荷到0.1N。

(三) 主动防护网

在项目区坡面防护区内，全面清理落石与松土，由其下沿中部开始往上与两侧进行放线，确认锚杆位置，各点凿取深度至少要达到锚杆外露环套的尺寸，坑穴直径及深度分别是20、15cm。随后尽快清理坑中的粉尘，复测孔深至少需长于锚杆5cm，同时孔径要达到Φ90及以上。注浆的同时需插进锚杆，此处水泥砂浆为M25，灰砂比是1：(1-1.2)，水灰比在0.45-0.5之间。混合原料中水泥是常规的硅酸盐水泥，砂则以3mm居多，使浆液充分饱满，而后需连续养护3d以上才能继续后续的工作。

格栅网需由上至下依次设置，搭接部分宽度需有20cm，主要由1.5号的镀锌铁丝固定扎结。在坡度不足45°的部分，扎结间距不可超过2m，而坡度超过45°，则要将间距缩小到1m。钢绳网同样要按照从上往下的顺序进行缝合，此处会用到Φ8钢绳，和周围支撑绳连接的同时进行预张拉，在缝合绳的端头利用绳卡固定。钢绳网与格栅网之间要通过Φ12铁丝相连。

(四) 被动防护网

在被动防护网的处理中，第一步是清坡、放线。清理划定区域内的杂物，并且要人工调节局部坡面。在清理好的坡面上放线，挑选操作难度相对偏低的位置，设置支撑柱基座。第二步是固定基础位置。如果基础位置点存在裸露基岩，或者覆盖层厚度不足，就可选择钻凿孔洞的方式。钢柱砵基础选用的地脚螺栓锚杆尺寸是Φ50mm，顶部采用细石混凝土找平。倘若基础位置的地层实际厚度未达到相应覆盖层要求，可换填混凝土，而下层同样运用钻凿锚杆孔的方法，构成复合式的基础^[4]。其中的钻凿环节，用到风枪与空压机，规格是16*37mm，孔深及直径分别是1.5m与50mm。钢柱砵基础的露出部分高度达到30cm以上，就要选择C25强度钢筋砵，钢筋笼则由Φ16型号的螺纹钢制成，外部保护层要有20mm厚。地下部分与锚杆基础都选择了C25素砵制成。第三，基座主要依靠地脚螺栓固定，随后把钢柱布置在基座上，牢牢扣紧。第四，拉绳。设置支撑绳中，技术人员需始终观察绳子松紧情况。

(五) 搭设脚手架

在此次防治项目中，用到施工脚手架与防护系统架体。在具体设计选择中，本项目考虑了经济性、耐久性、方便性等问题，并根据项目区危岩状态与实践经验，选择双排亦或三排的钢管落地架体。钢管外径是48mm，管壁厚度是3.5mm。在搭设之前，现场通过取样检查与试验，保障原料质量。具体搭设流程为：

一是立杆，将钢管运送到施工处，标记立杆点，清除基底的杂物，露出岩石。随后在其上面钻取孔洞，布置生根锚杆。假设山脚处存在建筑物，应当直接在砵楼板上立杆，并设置于梁柱及承重墙的位置。脚手架的立杆横纵间距是1.05、1.5m，步距为1.8m。为确保脚手架结构的稳定，立杆纵向偏差不可超过架体高度的1/400，并在高度方向上的接头需错开分布。二是横杆与扫地杆。其中，从高度方向上看，相邻大横杆间距要控制在1.8m，这样可方便设置立网，而且大横杆需搭接在立杆内侧，长度需达到3跨。水平方向的接头处也要交错分布，距离需超过500mm。小横杆则设置在主接点，通过直角扣件固定，与主接点距离需在150mm

以内。扫地杆安设于底座上层不足200mm高度的立杆，同样借助直角扣件安设。三是剪刀撑，顺着架体外侧立面的长度方向，从下向上布置，通过搭接的方式固定在脚手架上，搭接部分需留出1m的长度，配以至少3个扣件，而扣件的中心线和主接点不可超过150mm。四是设置脚手板，其放置在小横杆处，接头位置要增设2根水平杆。基于架体，板材需伸出130-150mm，搭接处长度需超过200mm。另外，脚手板还要通过钢丝绑扎固定，同时可检查板材的状态，倘若有损坏的问题，要立刻更换。四是设置防护栏。在架体外侧要安装防护栏，高度需达到1.2m，并配以18cm的踢脚板。脚手架顶层要设置两道以上的栏杆，对应高度是0.6、1.2m。二是拉结。靠近架体的岩壁上设置锚杆孔，用于拉结架体。现场要按照脚手架的实际高度，每提高3m，水平方向每3m需增加拉结点。通过拉结绳连接锚杆弯头，并在连接处增加钢管顶撑。同时考虑到拉结点的稳定性，避免发生位移变形，组件可能靠近主接点。架体与岩体连接，尽可能水平设置，倘若无法实现，就要将和架体连接的端部，直接斜向下设置。

(六) 临时性防护

由于本项目是防治危岩崩塌，现场岩体的稳定性普遍偏差，为确保作业过程的安全性，待脚手架系统完工后，进一步结合各部分危岩体的情况，增加锚杆钢绳网作为临时类的防护设施^[5]。固定锚杆需插入稳固岩内，和危岩体边缘的间距按照现实情况确认，此部分锚杆孔的直径是40-50mm，长度按照设计参数延长5cm。相邻锚杆距离是1-1.5m不等，由钢丝绳固定，每根强度要处于30到100kN。

本项目中，临时类防护体系通过人工插入的方式，注浆后才能插进钢筋。其中，浆料灰砂比和水灰比都和主动防护网相同。同时，为避免施工期间，岩体直接崩塌下落，采用钢丝绳网进行包裹。

结束语：在关于危岩崩塌的研究、实践追歼深入中，调查评价和防治方法都得到优化。但危岩崩塌具有极强的不可控性，现有的任一方法均存在不足。所以，在防治之前要调查评价项目区的危岩情况，尽量得出“最优解”，实现合理、有效预防。

参考文献

- [1]周俊，龙海花，梁风. 基于RocPro3D的崩塌地质灾害数值模拟分析[J]. 中国水运(下半月)，2022，(07)：42-44.
- [2]李重阳. 浅析危岩崩塌地质灾害治理方案[J]. 冶金管理，2022，(09)：115-117.
- [3]刘飞，尚明召，李锋，等. 徐州市某人工边坡崩塌地质灾害评价与防治措施[J]. 西部探矿工程，2022，(03)：49-51+56.
- [4]王聪聪，潘知博，颜李冰清，等. 全州县某大米建设工程地质灾害危险性评估及防治措施[J]. 冶金管理，2022，(01)：100-102.
- [5]湛雨欣，袁锦凤，陶俊文，等. 桂林象山公园危岩崩塌地质灾害调查评价[J]. 河南科技，2021，(11)：127-130.

作者简介：陈国文(1987-)，男，汉族，广西浦北人，本科，工程师，主要从事水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害防治等相关工作。