

危岩体稳定性评估研究

张巷生¹, 孙玄^{2, 3}

(1. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430050;

2. 湖北省地质局地球物理勘探大队, 湖北 武汉 430056;

3. 湖北省神龙地质工程勘察院有限公司, 湖北 武汉 430050)

摘要 本文首先介绍了危岩体稳定性评估的主要流程与方法。其次, 从危岩体的调查识别开始, 通过找到危岩的成因机制和影响因素, 采用定量和定性的研究手段来分析危岩的稳定性, 预测危岩体的未来发展趋势。最后, 对危岩体的危险性等级以及周边用地的适宜性进行全面评估, 以期对危岩体稳定性评估提供一个有效的方法和思路。

关键词 危岩体; 稳定性评估; 地质灾害

中图分类号: P642

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)06-0109-03

在地质工程中, 评估危岩体稳定性是预防地质灾害的关键步骤, 危岩体因自然与人为因素易引发滑坡、崩塌等风险, 其失稳对财产、生态和安全构成重大威胁, 识别过程需详尽的地质勘查和技术检测, 考虑岩石特性、结构裂隙及环境影响, 通过数值模拟和物理模型实验量化稳定性, 预测在不同条件下的行为并计算风险范围, 根据评估结果, 制定监测预警系统和干预措施, 如安装实时监控设备以探测微动, 采取支护加固、排水改善等工程手段增强稳定, 融合先进技术与策略, 不仅精准评估危岩稳定性, 更有效指导安全保障和生态保护^[1], 且随着技术进步, 该领域的防治方案正不断精细化和完善化。

1 地质灾害危险性现状评估

地质灾害危险性现状评估是对建设场地及其周边自然条件下存在的地质灾害及其危险性做出评估, 实质上就是查清地质灾害类型及其分布、规模、形成机制、发展变化规律、危害对象、危害程度及其与工程建设的关系等。

各种灾害的形成机制与气象水文、地形地貌、区域性断裂破碎带、地下水 and 地表水的活动、岩土体疏松破碎情况、岩土体的工程地质特征等地质环境条件因素关系密切。

2 危岩体的调查与识别

2.1 危岩体的现场调查

不同的地质灾害体, 其形成原因和致灾因子会有不同, 危岩体作为一种山区常见的地质灾害, 可以分为: 节理型危岩体、层理型危岩、岩溶型危岩体、断

层型危岩体; 按照失稳以后的运动方式又可以划分为: 滑移型危岩体、落块型危岩体、塌方型危岩体、溃决型危岩体。在初步了解危岩体的类型后, 我们通过现场调查、地质勘查、遥感解译等手段, 确定危岩体所在位置地形、地貌, 查清危岩体的地层岩性, 规模大小以及节理裂隙发育情况, 具体评估时采用模糊评判方法进行界定, 根据调查得到的灾害发育程度和危害程度, 判定其危险性。

2.2 危岩体成因机制分析

2.2.1 地形地貌

形成危岩的主要条件是陡峭的斜坡地形, 这种高而陡的地形为临界岩体的变形和失稳提供了有利的空间。当岩体在临界方向上卸载时, 应力被释放, 随后斜坡内岩石应力的重置, 导致了沿临界方向的变形。随着时间的推移, 拉伸裂缝逐渐向深处延伸, 形成从上到下的岩体分布模式: 断裂(断裂岩块)一更多断裂(断裂岩块)一更完整(基岩)。随着风化、侵蚀和其它地质影响的加剧, 应力逐渐累积, 拉伸裂缝不断扩展, 最终贯穿整个裂缝表面。

2.2.2 溶蚀作用

溶蚀作用是岩体形成危岩带的主要因素之一, 含有可溶性岩石的石灰岩、石膏岩等, 长期的地下水作用下, 通过化学溶解和物理侵蚀, 导致构造裂隙逐渐扩张, 最终形成溶蚀卸荷裂隙。

2.2.3 地质构造

地质构造过程产生的作用力, 能够导致岩体形成多组裂隙, 即节理, 削弱了岩体的完整性。此外, 岩体内部发育的节理, 将岩体分割成大小不一、形状各

异的危岩块体，一旦这些结构面之间的组合关系不利于整体稳定，就极易引发崩塌事件。

2.3 危岩体灾害的诱发因素

影响危岩稳定性的因素主要有以下几个方面：

1. 人类活动：人类进行建筑工程时，开挖山体，破坏边坡原有的植被覆盖，植被在边坡危岩体的稳定性中起着重要作用，通过固定土壤，减少土壤侵蚀和水分渗透，防止边坡危岩体失稳，这些人类活动会改变危岩体的原始形态和稳定性，增加崩塌的风险。

2. 地震作用对危岩的稳定性具有双重不利影响：首先，地震造成强烈冲击和振动，加剧危岩体内部破裂，增加其碎裂程度，并触发崩塌现象；其次，地震释放的横向剪切力可导致原本存在的裂隙扩张，从而增加崩塌的风险。

3. 降雨与岩石崩塌事件的关联性尤为明显，通过日常经验总结为：“大雨常常触发大规模滑坡，小雨则较易引发局部塌方，而在无降水的情况下，此类灾害相对较少见。”体现在3个方面：（1）数据显示，超八成以上的崩塌案例集中发生在雨季阶段，而在干旱季节或无雨水环境下，此类灾害的发生概率显著降低。（2）连续降雨时长的增加以及暴雨强度的加剧，会直接导致崩塌和滚石事故的发生率上升。（3）不同于短暂而剧烈的强降雨事件，长时间连绵不断的阴雨天气实际上更易于催生大面积的崩塌状况。

2.4 危岩体灾害的发展趋势

危岩体的发展趋势受到多种因素的影响，一般分为以下几种类型：

1. 稳定型：危岩体的稳定性较高，崩塌可能性较低，威胁范围较小，致灾后果较轻，风险等级较低，且随着时间的推移，这些指标基本保持不变或有所改善，危岩体的发展趋势是稳定的。

2. 恶化型：危岩体的稳定性较低，崩塌可能性较高，威胁范围较大，致灾后果较重，风险等级较高，且随着时间的推移，这些指标呈现不断恶化的趋势，危岩体的发展趋势是恶化的。

3. 突变型：危岩体的稳定性、崩塌可能性、威胁范围、致灾后果和风险等级在一段时间内保持相对稳定，但在某些特定的时刻或条件下会发生突然的变化，导致危岩体的发展趋势发生突变。

4. 复杂型：危岩体的稳定性、崩塌可能性、威胁范围、致灾后果和风险等级随着时间和空间的变化而呈现复杂的波动，危岩体的发展趋势是复杂的。

3 危岩体的稳定性分析

3.1 危岩体现状稳定性调查分析

根据危岩体的稳定性，我们可以将其分为三种状态：不稳定、欠稳定和稳定。（1）弱发育：危岩体和崩塌处于稳定状态，周边同类崩塌分布，但尚未发生，多年来，裂面内没有掉块现象，崩塌上方也没有新的裂隙分布。（2）中等发育：危岩体及其潜在崩塌现象处于相对不稳定的状况，破裂面上出现石土流出或局部掉块的现象，在崩塌区域上方已能识别出新的细微裂隙痕迹。（3）强发育：危岩体和崩塌处于欠稳定到不稳定状态，崩塌体上方有多条平行沟谷的张性裂隙，主控裂隙面上宽下窄，且下部向外倾。近期内，裂隙内有碎石土流出或掉块。

3.2 危岩体坡现状稳定性影响因素分析

影响危岩稳定性的因素众多，结合现场的实际情况，一般可以归纳得到4大因素，分述如下^[2]：

1. 岩体结构：体现在结构面的发育程度、尺寸规模、连通状况、填充物充实度及其组成成分，以及结构面在危岩体中的空间展布状态等多个维度，对危岩体稳定性具有显著影响。

2. 降雨和库水位的变化主要影响表现为：由于降雨入渗到危岩体的后缘，产生孔隙水压力，在危岩体背后形成一个推力，使得底部裂缝进一步张开，裂缝深度进一步扩展，同时水的溶蚀会削弱岩石的参数；库水的周期性的变化，岩石交替干湿循环会使得岩石的抗剪能力削弱。

3. 人工开挖和施加荷载：岩体各部分不是均质的，在开挖过程中应力得到释放，岩石会发生变形，但是岩体是各向异性，会产生形变差，岩体内部就会出现应力集中，产生裂缝；同时施加荷载则对危岩体产生破坏，削弱其稳定性。

4. 卸荷裂隙：长期处于水平卸荷状态，从而改变了岩体的原有力学条件，导致岩体原生结构面发生表生改造作用，原生陡倾裂隙进一步扩大，形成了卸荷裂隙带。

3.3 危岩体稳定性定量分析

危岩体稳定性评判标准把危岩体的类型分为三类：滑移式危岩、倾倒式危岩、坠落式危岩^[3]，定量分析采用理论计算公式，从现场调查获取计算参数，对危岩体稳定性计算，进而判别其稳定性，其中仅列举倾倒式变形的计算。

危岩破坏由后缘岩体抗拉强度控制时，按下式计算

1. 危岩体重心在倾覆点之外时：

$$K = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \frac{H}{\sin \beta} \left[\frac{2H-h}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \theta} \cos(\beta-\theta) \right]}{W \cdot a + Q \cdot h_0 + V \left[\frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \theta} \cos(\beta-\theta) \right]} \quad (1)$$

2. 危岩体重心在倾覆点之内时:

$$K = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \frac{H-h}{\sin \beta} \left[\frac{2H-h}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \theta} \cos(\beta-\theta) \right] + W \cdot a}{Q \cdot h_0 + V \left[\frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \theta} \cos(\beta-\theta) \right]} \quad (2)$$

式中: h 为后缘裂隙深度 (m); h_w 为后缘裂隙充水高度 (m); H 为后缘裂隙上端到未贯通段下端的垂直距离 (m); a 为危岩体重心到倾覆点的水平距离 (m); b 为后缘裂隙未贯通段下端到倾覆点之间的水平距离 (m); h_0 为危岩体重心到倾覆点的垂直距离 (m); f_{lk} 为危岩体抗拉强度标准值 (kPa), 岩石较为破碎, 根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.2 的折减系数确定; θ 为危岩体与基座接触面倾角 ($^\circ$), 外倾时取正值, 内倾时取负值; β 为后缘裂隙倾角 ($^\circ$); W 为危岩体自重 (kN/m³); V 为裂缝孔隙水压力 (kN/m)。

3.4 危岩体稳定性定性分析

危岩体稳定性分析数值模拟是一种利用数学模型和计算机软件模拟危岩体的力学行为和失稳过程的方法, 可以定量评估危岩体的稳定性和崩塌风险。危岩体稳定性分析数值模拟的软件有很多种, 例如 Flac3D, 3DEC, Rockfall 等^[4], 它们各有特点和适用范围, 需要根据具体的工程地质条件和目的选择合适的软件。

4 地质灾害危险性综合分区评估

地质灾害危险性综合分区评估是一种重要的技术手段, 用于评价一个区域内地质灾害的潜在风险, 这种评估通常包括以下几个步骤:

1. 现状评估: 分析当前地质环境条件, 识别已存在的地质灾害及其特征。

2. 预测评估: 基于现有数据和可能的变化趋势, 预测未来地质灾害的发展和可能的新灾害点。

3. 危险性量化: 根据地质灾害的类型、规模、发生频率以及可能造成的损害程度, 确定各个灾害点的危险性等级。

4. 综合分区: 将评估区域根据危险性等级进行划分, 通常为大、中、小三个等级, 以指导防灾减灾措施的制定和资源的合理分配。

在实施综合分区评估时, 需要考虑地质环境条件

的差异, 以及不同地质灾害之间的相互影响, 评估结果可以帮助决策者和工程师更好地理解区域内的地质风险, 制定有效的防灾策略, 保障人民生命财产安全。

5 危岩体防治措施

危岩体的治理和防治是一项需要充分考虑多方面因素的工作, 它不仅涉及地质学、工程技术, 还需要关注生态保护, 下面是危岩体治理和防治措施^[5-6]:

(1) 削坡与加固: 对高陡边坡进行削坡, 以适宜坡度减小应力, 并通过锚杆和喷混凝土技术增强稳定性; (2) 排水与监测: 设计合理的排水系统控制水蚀, 建立监测网络以地质雷达等设备实时监控岩体动态;

(3) 分类施策: 依据危岩体稳定性分级, 优先处理高风险岩体, 采取结构加固和深层排水等措施; (4) 应急预警: 建立预警系统, 包括风险感知、信息传递和应急响应, 确保紧急情况下的快速疏散; (5) 生态保护: 在治理过程中注重生态保护, 评估工程影响, 采用生态友好技术进行植被恢复和土壤改良, 实现工程与环境和谐共生。

这些措施旨在综合考虑地质安全和生态平衡, 确保有效防治危岩体带来的风险。

6 结论

对危岩体进行评估时, 应综合考虑地质环境、工程特点及潜在地质灾害触发因素, 以区分不同地段的危险性级别。现场调查帮助明确危岩的规模、形态和岩性特征, 理解其变形机制和影响因素, 进而评估稳定性和潜在风险。最终, 依据评估结果提出场地划分建议和具体的地质灾害防治措施, 确保工程安全及降低人员和财产损失风险。

参考文献:

- [1] 赵岗, 刘丹, 蒋思维, 等. 大足石刻石篆山危岩体稳定性评价及加固方案 [J/OL]. 土木与环境工程学报 (中英文): 1-10 [2024-03-15].
- [2] 刘新荣, 王浩, 郭雪岩, 等. 考虑消落带岩体劣化影响的典型危岩岸坡稳定性研究 [J]. 岩土力学, 2024, 45(02): 563-576.
- [3] 任恩. 雷波县莫红集镇后山危岩的成因机制及稳定性分析 [J]. 四川地质学报, 2023, 43(04): 667-673.
- [4] 何宇航, 裴向军, 梁靖, 等. 基于 Rockfall 的危岩体危险范围预测及风险评价: 以九寨沟景区悬沟危岩体为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(04): 24-33.
- [5] 崔志强. 自然边坡危岩体落石运动分析与风险评估 [D]. 绍兴: 绍兴文理学院, 2023.
- [6] 杨威. 危岩落石灾害危险性评价及防治决策方法研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.