

# 北京飞云瀑景点崩塌地质灾害分析及防治方法研究

刘 伍, 樊金桂, 郑小体, 孙 楠

(北京市地质工程设计研究院, 北京 100050)

**摘要:**近 15 年来,北京飞云瀑景点附近发生过 2 次大规模崩塌,崩塌堆积岩块体积累计达  $450 \text{ m}^3$ ,崩塌岩块已滚落覆盖至景区小路。经勘查,确定了 1 处危岩体及 1 处危岩带,该危岩体及危岩带对本景点的正常观赏及过往游人构成极大威胁。本文对该景点的崩塌地质灾害地质特征进行了简要介绍;对地质灾害成因、自然发展趋势等进行了初步探讨;对危岩体(带)的稳定性进行了计算、分析及评价;对可能采用的治理方法进行了比选分析。为了最大程度地保护景观资源,最终选择了以避让为主的治理措施,并对选定的治理方案及计算进行了阐述。

**关键词:**地质灾害;景点及景观资源;危岩体(带);崩塌地质灾害特征;稳定性评价;北京飞云瀑景点

**中图分类号:**P642.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0009-07

**Analysis on Collapse Geological Disaster in Feiyun Waterfall Scenic Spot and the Study on Prevention and Control Methods/LIU Wu, FAN Jin-gui, ZHENG Xiao-ti, SUN Nan** (Beijing Geological Engineering Design Institute, Beijing 100050, China)

**Abstract:** In recent 15 years, 2 large-scale collapses happened near Feiyun waterfall scenic spot, the volume of fallen rocks are accumulated to  $450 \text{ m}^3$ , rolling to the scenic path. A dangerous rock mass and a dangerous rock belt were found by investigation. This paper gives a brief introduction to the geological features of the collapse in this scenic spot. The preliminary discussion is made on the causes of geological disasters and the natural development trend, the stability of dangerous rock mass(belt) is calculated, analyzed and evaluated, and the possibly-used treatment methods are compared and analyzed. In order to protect landscape resources to the greatest extent, avoiding treatment measures are selected, and the calculation on this treatment scheme are illustrated.

**Key words:** geological disaster; scenic spot and landscape resources; dangerous rock mass(belt); characteristics of collapse geological disaster; stability evaluation; Feiyun waterfall scenic spot

## 0 引言

近些年受气候变化影响,地质灾害频发,尤其在自然风景区地质灾害时有发生,给游人安全造成极大威胁,也给景区管理带来极大挑战。自然风景区往往具有复杂的地质背景、强烈发育的地质构造,在长期的风化剥蚀条件下逐渐造就了优美的自然景观,同时也往往伴随着多种地质灾害隐患。风景区地质灾害治理工作明显不同于非景区场地条件下的地质灾害治理,主要是由于地质灾害治理与景观(点)资源保护之间往往存在相互冲突的现象。因此,必须在景观(点)资源保护与地质灾害治理程度(深度)之间做出恰当选择,同时还要考虑道路运输条件及运输成本。所有这些因素的相互叠加,使得风景区的地质灾害治理工作变得极为复杂。北京飞云瀑景点的地质灾害治理工作就是这样一个典型实例,因

此,从该风景区地质灾害治理工作的特殊性上来讲,本灾害点的治理工作具有一定研究及探讨价值。

## 1 崩塌地质灾害基本特征

### 1.1 景点概况

本景点位于北京市云蒙山附近,属于百泉山风景区的一个自然景观。景点位于景区主沟上游附近的一条次级沟谷内,距景区出口约 4 km。整个景区谷深路窄,在谷底有上下行简易小路,从景区主沟至此景点仅有一条简易小路。本景点由一高约 20 m 的岩石陡壁及溪流瀑布构成,溪水四季流淌,雨季水量一般不大(暴雨除外),冬季水量更小,在冬季形成冰瀑。

在近 15 年内,飞云瀑景点旁侧的 2 处岩石陡壁(景点西侧陡壁及南侧陡壁)先后发生过 2 次大规

收稿日期:2016-07-13

基金项目:北京市旅游发展委采购项目“旅游景区地质灾害治理工程勘查设计”(怀柔区)(编号:BJJQ-2015-026)

作者简介:刘伍,男,汉族,1965 年出生,高级工程师,主要从事岩土工程勘察、设计及地质灾害治理工作,北京市西城区南纬路 4 号,liuwu1832@163.com。

模崩塌,分别在2000年及2006年,此后每年均有零星岩块崩落。在本灾害点坡脚堆积的崩塌岩块体积共计约 $450\text{ m}^3$ ,在西侧陡壁的中下部可清晰的看到因崩塌而形成了一个巨大岩腔,体积达 $255\text{ m}^3$ ,岩腔正上方的陡立岩体处于危险状态,构成危岩体,其

体积达 $690\text{ m}^3$ ,根据《地质灾害危险性评估技术规范》(DB11/T 893—2012),判定本崩塌危岩体规模为中型。崩塌堆积岩块已滚落并覆盖至附近的景区小路,对本景点的正常观赏及游人构成极大的安全隐患。参见图1。

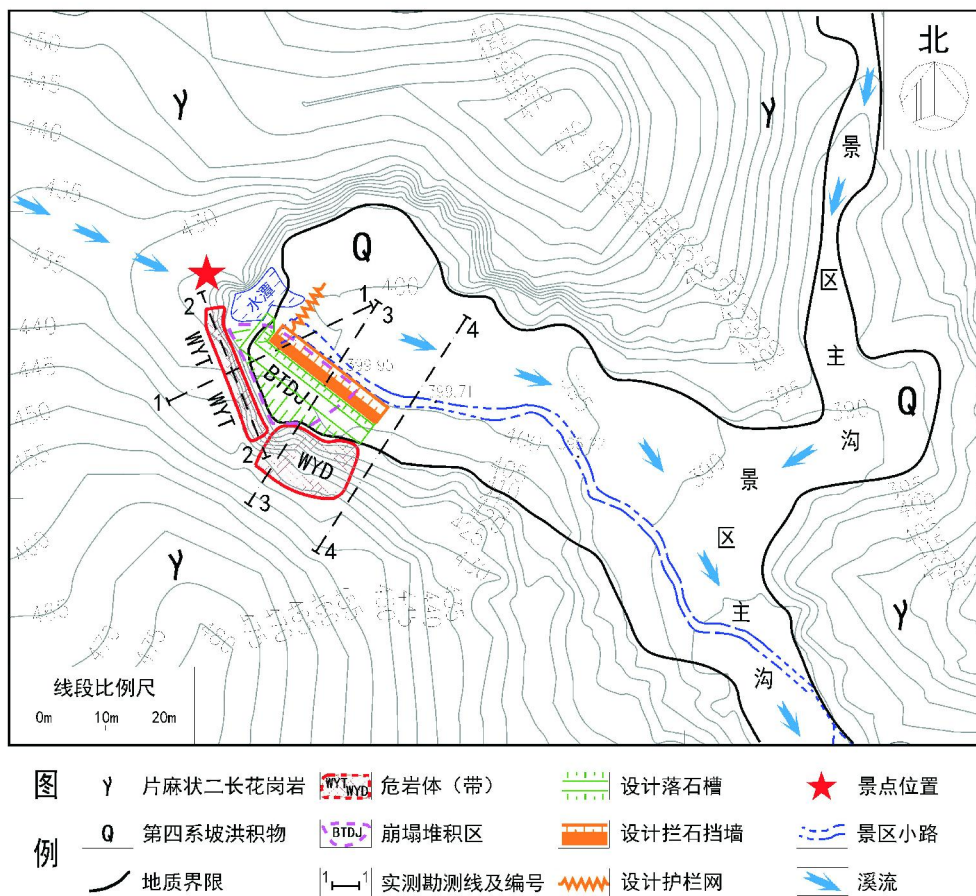


图1 崩塌地质灾害勘查及治理设计工程地质简图

## 1.2 危岩体(带)组成及规模

本景点地质灾害主要由2部分组成,即瀑布西侧陡壁危岩体及南侧附近的陡壁危岩带。

瀑布西侧陡壁的中下部因崩塌而形成一个岩腔,岩腔长约 $26\text{ m}$ ,净空最大高度约 $5.5\text{ m}$ ,最大进深约 $3\text{ m}$ ,岩腔体积约 $255\text{ m}^3$ 。见图2(a)、(b)。

岩腔上方为直立陡壁岩体,岩体节理裂隙极为发育,将其确定为危岩体,危岩体水平长度 $24.9\text{ m}$ ,平均高度 $11\text{ m}$ ,平均厚度 $2.5\text{ m}$ ,沿坡面面积 $276\text{ m}^2$ ,体积 $690\text{ m}^3$ 。

在危岩体岩壁坡脚下存在大量崩塌堆积岩块,岩块尺寸、体积差异较大,一般为 $1.5\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ ,最大可达 $7.0\text{ m} \times 4.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ ,呈棱角状,岩块表面较新鲜。分布面积约 $220\text{ m}^3$ ,平均厚度约

$2.5\text{ m}$ ,总体积约 $550\text{ m}^3$ 。见图2(c)。

瀑布南侧附近的陡壁高达 $43\text{ m}$ ,沿坡面宽度约 $15\text{ m}$ ,坡面近直立,节理裂隙极为发育,在坡面上存在大量大小不等的松动岩块,岩块尺寸一般为 $1.0\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ ,将此陡壁确定为危岩带。见图2(a)、(c)、(d)。

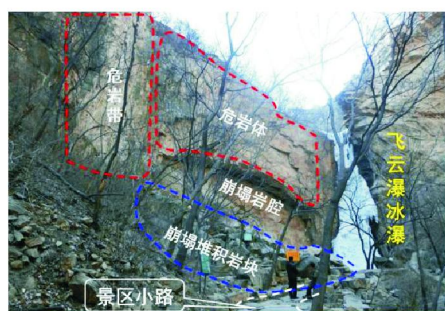
本景点坡脚处堆积的大量崩塌岩块来自西侧陡壁的崩塌岩腔及南侧陡壁危岩带。见图2(c)。

本灾害点岩石类型为片麻状二长花岗岩<sup>[2]</sup>。

## 1.3 危岩体(带)结构特征及破坏模式

### 1.3.1 危岩体结构特征及破坏模式

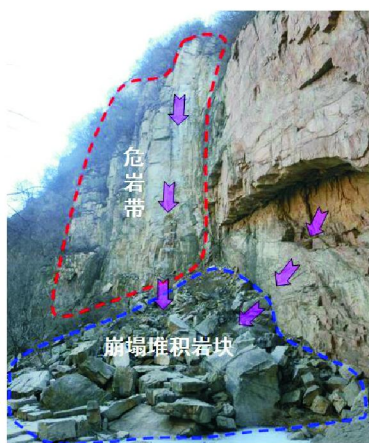
危岩体陡壁节理裂隙极为发育,发育3组优势节理:(1)外倾节理,节理面平直,产状 $70^\circ \angle 85^\circ$ ;(2)内倾节理,节理面闭合、平直,产状 $230^\circ \angle 12^\circ$ ;



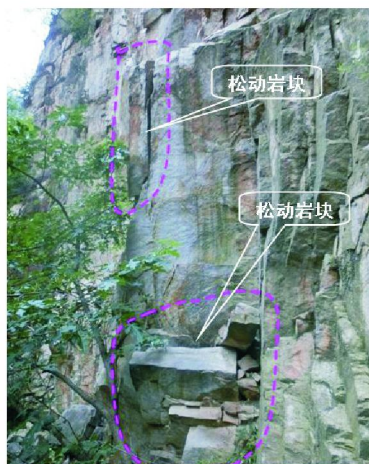
(a) 飞云瀑灾害点全貌



(b) 危岩体及崩塌岩腔近观图



(c) 危岩带及崩塌堆积岩块近观图



(d) 危岩带松动岩块近观图

图 2 飞云瀑灾害点现状图

(3) 侧向节理, 闭合、平直, 产状  $340^\circ \angle 70^\circ$ 。

危岩体南北两侧节理贯穿程度已达  $1/3 \sim 1/2$ , 危岩体后壁节理极为发育, 按完全贯通考虑, 其稳定性主要靠危岩体南北两侧的未贯通节理支撑, 判定本危岩体崩塌破坏模式为坠落式。见图 3。

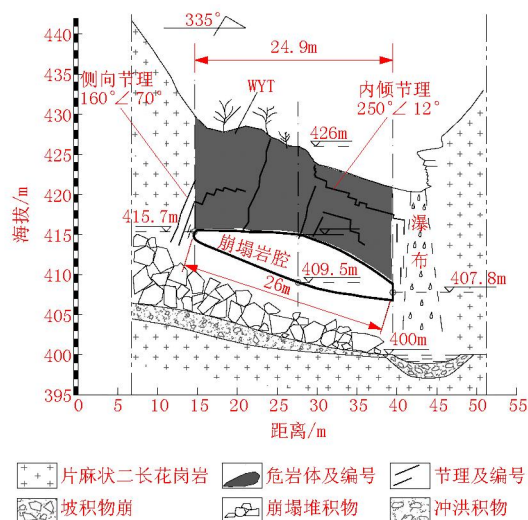


图 3 危岩体立面图

### 1.3.2 危岩带结构特征及破坏模式

危岩带陡壁节理裂隙极为发育, 发育有 3 组优势节理: (1) 外倾节理, 节理面平直, 产状  $0^\circ \angle 86^\circ$ ; (2) 内倾节理, 节理面平直, 产状  $235^\circ \angle 5^\circ$ ; (3) 侧向节理, 节理面平直, 产状  $80^\circ \angle 86^\circ$ 。

此 3 组密集节理的存在, 造成危岩带陡壁坡面上形成大量大小不等的岩石块体, 部分块体成松动状态。但此 3 组优势节理目前尚未形成连续贯通的整体结构面, 因此, 危岩带整体上是稳定的, 但危岩带陡壁表面的松动岩块, 在瞬时力 (强风、震动、暴雨冲刷)、冻融等外力作用下, 会产生下滑崩落。

## 2 崩塌地质灾害成因分析

### 2.1 危岩体及崩塌岩腔成因分析

本灾点所在的次级沟谷长年流水, 水量不大, 冬季水量极小, 在冬季常形成冰瀑。推测, 受溪流影响, 景点附近的密集节理裂隙在冬季饱和并冻结, 经冻融作用, 岩石沿节理裂隙更容易破裂、崩解、坍塌, 为岩壁下部优先胀裂、崩塌、进而形成岩腔提供了条件, 初步认为景点西侧附近的崩塌岩腔可能与冻融作用有关。

### 2.2 向源侵蚀锥形及分析

根据目前飞云瀑景点附近的沟谷地形特点, 谷



底前端及两侧岩壁陡立,从景区主沟分叉处到此景点长度约80 m,此段沟谷平面上呈陡立U字形。笔者认为向源侵蚀作用所致,本景点溪流附近的岩体陡壁在冬季冻融作用下,首先发生下部崩落,形成岩腔,进而引起上方岩块下坠→崩落,如此周而复始,尤其在来自上游沟谷四季溪流不断冲刷、侵蚀、裂隙充水冻融胀裂等作用下,形成了向源侵蚀效果,初步认为向原侵蚀长度已达80 m。

### 2.3 崩塌地质灾害发展趋势分析

本景点西侧的危岩体陡壁,如果对其不采取彻底的治理措施,遏制其进一步发展,推测在长年源源不断的溪流瀑布冲刷、侵蚀、冻融作用下,向原侵蚀作用仍将继续,岩壁下部产生崩塌→坠落→再崩塌→再坠落,循环往复,直至侵蚀达到平衡方可结束。

### 3 危岩体稳定性计算

危岩体下方为崩塌岩腔,危岩体处于凌空状态,危岩体后壁节理按完全贯通考虑,其稳定性主要靠危岩体南北两侧的未贯通节理支撑。危岩体的三维空间状态与现有计算模型出入较大,根据《北京市地质灾害治理项目实施技术指南(试行)》(2015.02),本次采用“后缘有陡倾裂隙的坠落式悬挑危岩模型”(见图4)进行计算。

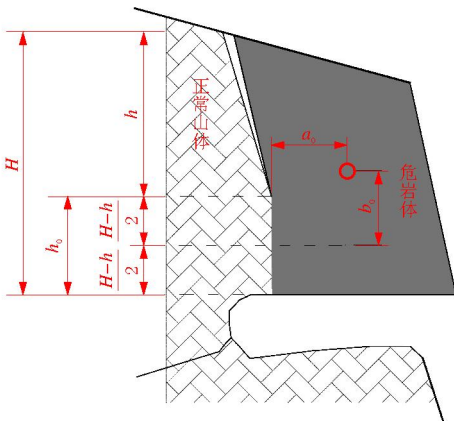


图4 坠落式危岩稳定性计算示意图(后缘有陡倾裂隙)

稳定性系数按以下2个公式计算:

$$F_1 = \frac{c(H-h) - Q \operatorname{tg} \varphi}{W}$$

$$F_2 = \frac{\xi f_{lk}(H-h)^2}{W a_0 + Q b_0}$$

式中: $c$ ——危岩体粘聚力标准值, kPa;  $H$ ——后缘裂隙上端到未贯通段下端的垂直距离, m;  $h$ ——后缘裂隙深度, m;  $Q$ ——地震力, kN/m,  $Q = \xi_e W$ ;  $\xi_e$ ——地震水平作用系数, 本区取 0.038;  $\varphi$ ——危岩体内摩擦角标准值, ( $^\circ$ );  $W$ ——危岩体自重, kN/m;  $\xi$ ——危岩抗弯力矩计算系数, 依据潜在破坏面的形态取值, 一般可取 1/12 ~ 1/6, 当潜在破坏面为矩形时可取 1/6;  $f_{lk}$ ——危岩体抗拉强度标准值, 根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.20 的折减系数确定, kPa;  $a_0$ ——危岩体重心到潜在破坏面的水平距离, m;  $b_0$ ——危岩体重心到过潜在破坏面形心的铅垂距离, m。

危岩体稳定性评价结果:危岩体在自然状态下,欠稳定;在暴雨状态下,欠稳定;在地震状态下,不稳定。见表1~3。

表1 岩石物理力学性质试验结果

密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )		单轴抗压 强度/MPa		抗拉强度/ MPa		抗剪强度 粘聚力/ 内摩擦 角/( $^\circ$ )	
天然	饱水	天然	饱水	天然	饱水	MPa	
2.64	2.67	79.30	77.65	5.21	5.06	15.48	40.5

### 4 崩塌落石运动模拟计算

采用 Rockfall 软件,对危岩体中的岩块崩塌运动及危岩带中的松动岩块崩落运动分别进行计算,计算结果表明:危岩体中的岩块崩落后水平运动距离达 17.3 m,已覆盖附近的景区小路。危岩带表面的松动岩块崩落后,水平运动距离达 39.5 m,同样覆盖了附近的景区小路。这与已经发生的崩塌规模、覆盖范围基本吻合,说明模拟计算基本合理。见表4。

### 5 治理方法比选分析及计算

#### 5.1 治理方法比选分析

表2 坠落式危岩体稳定性计算表(后缘有陡倾裂隙)

工况	$W/$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	$L/$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ )	$H/$ m	$h/$ m	$\gamma/$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$c/$ kPa	$\varphi/$ ( $^\circ$ )	$f_{lk}/$ kPa	$a_0/$ m	$Q/$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	$b_0/$ m	$\zeta$	$h_0/$ m	$F_1$	$F_2$
现状	731.3	27.7	11.0	8.8	26.4	1000	35	1000	0.85	0	4.65	0.17	2.2	3.00	1.32
暴雨	739.6	27.7	11.0	8.8	26.7	900	30	900	0.85	0	4.65	0.17	2.2	2.68	1.18
地震	739.6	27.7	11.0	8.8	26.7	900	30	900	0.85	28.10	4.65	0.17	2.2	2.65	1.06

表 3 危岩体稳定系数及稳定性评价结果表

工 况	稳定系数	稳定性评价
现状	1.32	欠稳定
暴雨	1.18	欠稳定
地震	0.98	不稳定

表 4 岩块崩落运动计算结果统计表

分析项目	理想化落石直径/m	崩落水平距离/m	原位落石距小路距离/m
危岩体	2.0	17.3	15.0
危岩带	1.0	39.5	17.0

注:理想化落石直径按较大块体考虑。

表 5 危岩体(带)治理方案比选分析简表

方案	治 理 方 案 概 要	优 点	缺 点
方 案 一	对危岩体(带)进行彻底治理,治理方案:(1)对崩塌岩腔进行嵌补;(2)对整个危岩体陡壁(包括嵌补后的岩腔部位)进行锚固;(3)对危岩带陡壁采用主动网防护;(4)清除坡脚处崩塌堆积岩块	对危岩体(带)治理较彻底,安全性高	(1)头外露,嵌补后的外观、危岩带主动防护网外观与周围原貌不协调,影响景点整体观赏效果,应采取必要的装饰措施;(2)治理工程所需材料、设备较多,均须采用人工运输,成本较高
方 案 二	优先保护景点资源,灾害治理以避让为主,治理方案:(1)在危岩体(带)崩塌坠落影响区内的景区小路南侧设置落石槽及挡墙;(2)在该景点跌水池附近设置防护栏,禁止游人靠近;(3)清除坡脚处崩塌堆积岩块	(1)最大程度地保护景点资源;(2)治理成本大大降低	(1)地质灾害没有根本治理;(2)危岩体所在陡壁仍会继续崩塌,并且规模会更大,岩块崩塌滚落距离会超过以前发生的崩塌;(3)危岩带所在陡壁的松动岩块仍会继续崩塌,规模、滚落距离与以前类似

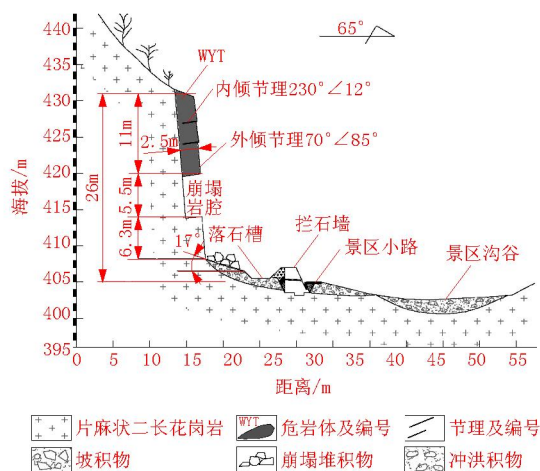


图 5 危岩体治理工程纵剖面图

落石槽及挡墙设计如下:

(1) 拦石挡墙高度 3.5 m, 墙面侧埋深  $\leq 1.0$  m, 墙顶宽 1.55 m, 底宽 3.34 m, 墙面坡比为 1: 0.45, 墙背为直立式, 墙底设抗滑榫;

(2) 墙背侧设缓冲层, 缓冲层采用碎石土回填, 坡比 1: 1, 缓冲层顶部标高与拦石挡墙顶标高平齐, 底标高为落石槽槽底;

(3) 落石槽设在紧靠缓冲层内侧, 根据现场场地条件, 西侧落石槽底宽度为 2.5 m, 东侧落石槽底宽度为 1.5 m, 落石槽底低于拦石挡墙墙顶 1.5 m, 落石槽两侧坡比 1: 1。

本灾害点与景点比邻, 需要对灾害治理工作的深度、程度、效果与景观资源保护之间进行综合比较, 因此, 治理方法受到极大限制<sup>[3-8]</sup>。见表 5。

### 5.2 治理工程设计

经对比分析, 认为本景点崩塌地质灾害治理难度较大(尤其对危岩体)、费用较高, 如对地质灾害进行彻底治理, 势必极大的影响本景点景观资源, 经与景区领导及有关部门沟通, 最终采用了以避让为主的治理措施。即, 在景区小路南侧设置落石槽及挡墙, 拦挡落石。见图 5~7。

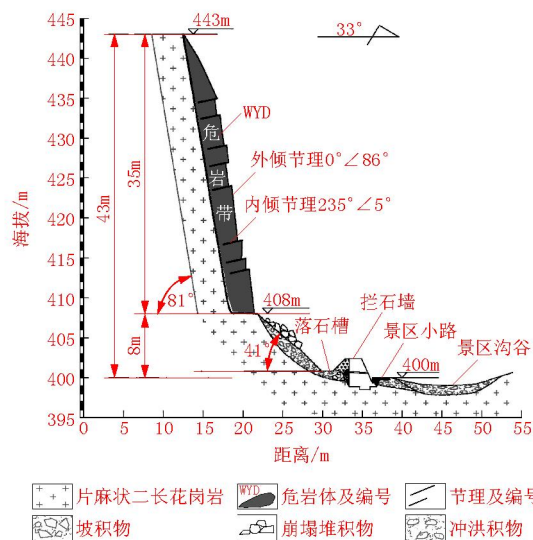


图 6 危岩带治理工程纵剖面图

### 5.3 治理工程计算

#### 5.3.1 落石冲击拦石挡墙的冲击能量计算

经计算, 危岩带的崩塌落石对拟设落石挡墙的威胁远小于危岩体崩塌落石的威胁, 因此, 在挡墙抗冲击力设计时按危岩体落石考虑(参见表 6)。

危岩体坡面坡度为 85°, 其下面为已有崩塌岩腔, 危岩体高度为 10 m, 其中点至坡脚的高度为 16.8 m, 坡脚地面坡度为 17°, 经模拟计算, 落石坠落至坡脚后弹跳 2~3 次, 然后在坡脚缓坡滚动至停止。

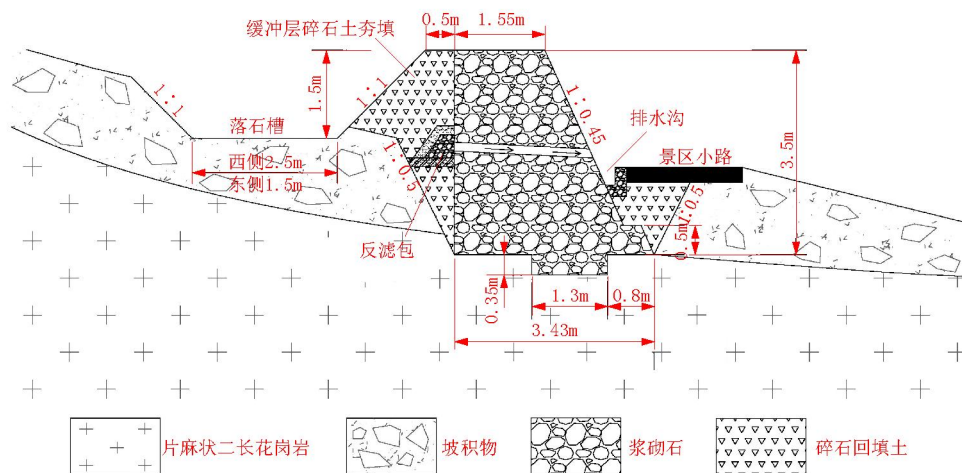


图7 落石槽及拦石墙大样图

表6 危岩体(带)落石冲击拦石挡墙计算参数简表

项目	一般落石尺寸/m	一般落石体积/m <sup>3</sup>	等效球体半径/m	岩石密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	落石质量/kg	转动惯量/(kg·m <sup>-2</sup> )
危岩体	1.5×1.0×0.5	0.75	0.564	2636	1487.0	314.02
危岩带	1.0×0.5×0.2	0.10	0.2879	2636	758.9	10.93

注:从经济上考虑,治理设计时未按最大落石体积计算其冲击能量,仅按一般落石体积考虑。

根据前苏联尼·米·罗依尼什维里教授提出的落石运动速度计算方法进行计算。

(1) 落石从陡坡上坠落至坡脚时的速度计算:

$$V_R = \varepsilon_1 \sqrt{H_1}$$

$$\varepsilon_1 = \mu_1 \sqrt{2g}$$

$$\mu_1 = \sqrt{1 - \frac{K}{\tan \alpha_1}}$$

式中: $V_R$ ——落石坠落至坡脚的速度, m/s;  $H_1$ ——石块从陡坡上坠落至坡脚的高度, m;  $g$ ——自由落体加速度, m/s<sup>2</sup>;  $K$ ——石块沿山坡运动所受一切有关因素综合影响的阻力特征系数;  $\alpha_1$ ——陡坡坡角, (°)。

(2) 落石坠落至坡脚地面,碰撞弹跳后,做斜抛运动,其运动轨迹是抛物线,分段计算结果如下。

第一次撞击地面后,落石经过一次弹跳落入落石槽内。弹跳的初速度为 6.9 m/s,反射角为 42.9°。

第二次弹跳撞击至缓冲层上,弹跳的初始速度 5.51 m/s,反射角度 25.41°;撞击速度 5.25 m/s,入射角 18.5°。

第三次弹跳撞击至缓冲层上,弹跳的初始速度 2.34 m/s,反射角度 81.975°;撞击速度 1.7 m/s,入

射角 56.1°;反射速度为 0.87 m/s,反射角度 29.17°。

第二次弹跳撞击缓冲层的速度大于第三次,因此,按第二次撞击速度(5.25 m/s)计算冲击力。

### 5.3.2 落石冲击拦石墙的冲击力计算

落石对拦石墙的冲击力采用《公路路基设计规范》(JTJ 013—1995)中的相关公式进行计算。

$$P = P(Z) \cdot F$$

$$P(Z) = 2\gamma Z \left[ 2 \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right]$$

$$Z = v \sqrt{\frac{Q}{2g\gamma F \left[ 2 \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right]}}$$

$$F = \pi \left( \frac{3Q}{4\pi\gamma_s} \right)^{2/3}$$

式中: $P$ ——落石对拦石墙的冲击力, kN;  $Z$ ——碰撞的石块陷入深度, m;  $F$ ——假定石块为球体的圆截面面积,经计算为 0.9995 m<sup>2</sup>;  $\gamma$ ——缓冲填土的容重,取 20 kN/m<sup>3</sup>;  $\varphi$ ——缓冲填土的内摩擦角,取 30°;  $v$ ——落石碰撞前的末段速度,即 5.25 m/s;  $Q$ ——石块重力,取 14.57 kN;  $g$ ——重力加速度,取 9.81 m/s<sup>2</sup>;  $\gamma_s$ ——落石的容重,取 26.4 kN/m<sup>3</sup>。

经计算,作用在每米拦石墙上的力为 94.88 kN,作用点为墙顶下 1.22 m 处(拦石墙高 3.5 m)。

### 5.3.3 拦石挡墙稳定性计算(见表7、表8)

#### 5.3.4 拦石挡墙稳定性验算

(1) 自然工况:荷载取墙后的土压力+落石冲击力;

(2) 暴雨工况:荷载取墙后的土压力+水压力+落石冲击力;

表7 挡墙稳定性计算参数取值表

项 目	数值
地震烈度	Ⅶ度
地震加速度/( $m \cdot s^{-2}$ )	0.15
挡墙基底风化岩地基承载力/kPa	300
挡墙基底与风化岩的摩擦系数	0.5
填碎石土内摩擦角/(°)	35
挡墙墙背与填土的摩擦角/(°)	17.5
填土容重/( $kN \cdot m^{-3}$ )	19
圬工砌体容重/( $kN \cdot m^{-3}$ )	23.000
砂浆强度	M10
石块强度等级	≥MU30

表8 挡土墙设计安全系数

计算项目	工 况		
	自然	暴雨	地震
抗滑移	≥1.3	≥1.3	≥1.2
抗倾覆	≥1.5	≥1.5	≥1.3

(3)地震工况:荷载取墙后的土压力+地震力+落石冲击力。参见表9。

表9 拦石挡墙稳定性验算结果

工况	抗滑安全系数	抗倾覆安全系数	基底压力/kPa		最大剪力/kPa
			墙趾	墙踵	
自然	1.604 > 1.3	2.573 > 1.5	84.482	57.608	4.649
暴雨	2.048 > 1.3	1.926 > 1.5	84.693	36.263	5.258
地震	2.190 > 1.2	2.499 > 1.3	88.271	53.999	6.062

## 6 结论

(1)本灾害点存在1处崩塌危岩体及1处危岩带,灾害体与飞云瀑景点毗邻,近15年内已发生过2次大规模崩塌,对游人构成极大威胁。

(2)本灾害点距景区入口约4 km,沿途均为简

易小路,崎岖不平,治理施工所用材料、设备均需人工运输,治理成本极大。

(3)经综合考虑,最终采用以避让为主的治理措施,既保证了游人的安全,又最大程度地保护景观资源。

(4)本次采用的治理方法虽然较为安全、经济、可行,但存在对地质灾害治理并不彻底的弊端。这就是保护景观资源与地质灾害彻底治理之间往往不能兼顾,需要做出妥善选择,这可能就是沟谷型自然风景区内的地质灾害治理过程中所遇到的共性问题。

## 参考文献:

- [1] 刘伍,郑小体,田志军,等.旅游景区地质灾害治理工程勘查设计项目(怀柔区)勘查及治理设计报告[R].2015.
- [2] 姬广义,汪洋,孙永华.北京云蒙山岩浆杂岩体的岩石学和构造变形特征[J].北京地质,2004,16(3):1-11.
- [3] 王亚军,王亚民,朱宏斌.河北省平山县大柳树村崩塌地质灾害治理设计[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(4):7-12.
- [4] 程江涛,晏鄂川,刘莉.格构锚杆组合加固技术在高边坡治理中的应用[J].三峡大学学报(自然科学版),2007,29(3):230-233.
- [5] 汪敏,石少卿,阳友奎.边坡主动防护系统加固力简化计算方法研究[J].公路交通科技,2011,28(5):12-17.
- [6] 赵世春,余志祥,韦韬,等.被动柔性防护网受力机理试验研究与数值计算[J].土木工程学报,2013,46(5):122-128.
- [7] 刘成清,陈林雅,陈驰,等.落石冲击作用下被动柔性防护网整体结构试验[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(4):37-43.
- [8] 胡厚田.崩塌与落石[M].北京:中国铁道出版社,1989:1-183.