

文章编号: 1008 - 2786 - (2011)2 - 202 - 08

# 龙虎山丹霞地貌危岩景观成因及保护

姜伏伟<sup>1</sup>, 郭福生<sup>1</sup>, 姜勇彪<sup>1</sup>, 胡中华<sup>2</sup>

(1. 东华理工大学, 江西 抚州 344000; 2. 龙虎山管理委员会, 江西 鹰潭 335000)

**摘 要:** 龙虎山地处江西省东北部鹰潭市境内, 据鹰潭市区 10 km, 是以丹霞地貌景观为特色的世界地质公园。龙虎山丹霞地貌主要以砂岩、砾岩、泥岩等岩层组成, 岩壁陡峭, 节理错综, 发育众多外形奇特, 有突出的旅游观光及美学欣赏价值的不稳定岩体, 即危岩景观。龙虎山危岩景观经历了漫长的地质演变过程, 是多因素耦合作用的结果, 其主要影响因素有地形地貌、地层岩性、构造应力及水文地质条件以及雕蚀作用(包括流水侵蚀溶蚀、温度差异风化、微观化学风化等), 其中雕蚀作用是危岩景观形成的核心要素。危岩景观保护须符合不破坏性、相近性、可逆性、无干扰性及如旧性五大原则。在分析现有危岩防治技术及危岩景观特殊性的基础上, 提出吊索法保护危岩景观, 即由绳索、钢索等能提供一定向上拉力, 使危岩体达到要求的稳定系数的一种方法。吊索法具有适用范围广, 理论计算简单, 能较好提高稳定系数, 施工方便, 后续维修方便和易监测等诸多优点, 适用于各类岩质景观的保护。

**关键词:** 吊索法; 雕蚀作用; 危岩景观; 危岩防治; 龙虎山丹霞地貌

**中图分类号:** P931

**文献标识码:** A

山地风景区内普遍存在很多外形独特而引人入胜、遐想联翩的不稳定性岩体, 如石林、石柱等。这些具有很强的的形象性、感染性、独特性、神奇性等旅游观赏及美学欣赏价值的不稳定岩体称为危岩景观。它属于地质遗迹, 具有稀有性、珍贵性、脆弱性及不可再生性。很多危岩景观为地质公园的特色景点, 但其稳定性较差, 在暴雨、冰冻、地震等因素诱发下很容易崩落坍塌。因而, 在景观资源开发过程中, 保护危岩景观显得十分重要, 不仅可以保护地质遗迹、减轻地质灾害, 还可以促进景观资源可持续性发展。目前, 危岩景观理论研究尚处于起步阶段, 远远落后于景区旅游开发及地质遗迹保护的需求。国内山地风景名胜区内<sup>[1-4]</sup>都只是停留在灾害调查与评估的阶段, 并未开展深入系统的专项危岩失稳的预测预防工作。国内外学者研究了风景名胜区内危岩的崩塌因素<sup>[5]</sup>、危岩灾害分析及其治理<sup>[6]</sup>、危岩加固设

计与施工<sup>[7]</sup>、边坡危岩治理<sup>[8]</sup>、危岩体的稳定性及其稳定性因素<sup>[9-10]</sup>、危岩风险性评估<sup>[11]</sup>、危岩的岩土工程勘察<sup>[12]</sup>等。但是, 这些学者研究的只是景区的危岩(非景观)。

## 1 危岩景观概况

### 1.1 地质概况

龙虎山(包括龙虎山、象山、龟峰三个园区, 以下皆同), 地处江西省东北部的鹰潭市和弋阳县境内, 北东长 64.5 km, 南东宽 9 ~ 34.5 km, 面积 996.63 km<sup>2</sup>, 116°53'00" ~ 117°29'00"E, 27°59'30" ~ 28°26'00"N。龙虎山处于亚欧大陆东南部的扬子古板块与华夏古板块的结合带, 属于西太平洋构造域、华南构造区、信江中生代断陷盆地中段, 南靠武夷山隆起带。龙虎山总的地势南高北低, 多低山岗地, 冲

收稿日期(Received date): 2010 - 10 - 20; 改回日期(Accepted): 2010 - 03 - 01。

基金项目(Foundation item): 江西省自然科学基金(项目号 2010GZC0001); 东华理工大学研究生创新基金资助项目(项目号 DYCA10018); 江西省“龙虎山地质遗迹保护”项目资助。[Supported by Jiangxi Nature Science funds (No: 2010GZC0001), Graduate innovative funded projects of East China Institute of Technology (No: DYCA10018), and project of geological heritage protection in Mt. Longhushan World Geopark.]

作者简介(Biography): 姜伏伟(1987 -), 男, 江西临川, 硕士研究生, 主要从事地质灾害成因及防治研究。[Jiang Fuwei(1987 -), man, Linchuan county of Jiangxi Province, master in reading, major in Causes and prevention of Geological disaster]E - male: jfwci\_666@yahoo.com.cn; Tel: 13437943206

积平原宽广肥厚,北临信江,东倚武夷山。龙虎山地质层由老至新为晚元古代及早古生代的中、浅变质岩系,早、中侏罗世含炭碎屑岩、杂色碎屑岩及晚侏罗世陆相火山岩,白垩纪红色陆相碎屑岩系,新生代第四系。

1.2 危岩景观概况

龙虎山丹霞景观各具独特,内容丰富,有挺拔壮观的丹霞群峰、千姿百态的丹霞洞穴、明净秀美的碧水丹崖及钟灵毓秀的丹霞障谷等。这些丹霞景观形态逼真,凸显了幽、奇、绝、秀、险之神奇与瑰丽,具有很高的旅游观赏和美学欣赏价值。但是,在这众多独具魅力的景观中,有很多景观岩体稳定性较差(危岩景观),易失稳消亡,且对游客、旅游设施有很大的危害性。据不完全统计,龙虎山有危岩景观37处(表1),其中不乏园区最具特设景点,如象鼻山、金枪峰等。

2 危岩景观形成机理

根据大量的文献研究资料<sup>[13-15]</sup>,危岩的形成因素主要为地质条件和风化营力。危岩景观是在危岩的基础上,受到外界的强烈雕蚀作用而造就的独特景观。

2.1 地形地貌条件

根据铁路上大量的崩塌危岩统计资料<sup>[16]</sup>,有75.4%的危岩崩塌发生在坡度>45°的陡坡地形,而且96.5%的危岩崩塌发生在边坡高度>20 m以上的坡面上。龙虎山大量发育方山、嶂谷、残峰、孤山等,四周近直立,地形复杂,山势陡峭,起伏大,沟谷深。山体坡面坡度绝大多数>60°,而且坡面高度从几十米至上百米不等,有的甚至达到300 m多,如仙人城。因而,龙虎山有良好的危岩景观发育的地形

地貌条件。

2.2 岩性条件

龙虎山丹霞地貌造景地层主要为晚白垩世河口组,次为塘边组。河口组(K<sub>2</sub>h)为山麓洪-冲积扇粗碎屑岩建造,岩性为紫红色层状砾岩、砂岩、砂质砾岩。其中,砾岩成分复杂,分选性差,磨圆度低,多呈棱角状、次棱角状,以硅铁质或钙质呈基底式胶结为主。塘边组(K<sub>2</sub>t)为一套红色河流相碎屑岩建造,岩性为紫红色含砾细砂岩及薄层状粉砂岩,岩性硬度低,抗风化能力较弱,易于湿解和片状剥落。龙虎山造景地层物质成分复杂,岩体软硬相间,胶结物性质差异大,抗风化能力不同,具有危岩发育的岩性条件。在软硬相互叠加的岩层中,较软岩体易风化,易侵蚀,形成凹腔,而上部较坚硬岩体受重力作用,沿着已有或新生节理、裂隙拉裂,形成危岩主控结构面。受其他风化营力作用,危岩成为景观,即危岩景观。

2.3 动力条件

2.3.1 地质构造作用

龙虎山处于扬子与华夏两大古板块的碰撞结合带南缘,由于印支、燕山和喜马拉雅等多个构造运动,经历了伸展拉张-碰撞挤压-拉张裂(断)陷等构造发展过程。目前,龙虎山在新构造运动的作用下,受区域地壳上隆影响,在红层形成宽缓褶皱及新生断裂,并发育NE、NW、NNE三组节理,它们互相交错切割,形成节理结构面。这些结构面连通性好,且与岩体坡面倾向相同,是潜在危岩景观形成的基础。

2.3.2 崩塌作用

崩塌作用是龙虎山丹霞地貌危岩景观重要的形成方式之一。河口组、塘边组巨厚层状砂砾岩、含砾砂岩、砂岩中发育的不同方向相互交切穿插的断裂、垂直节理或裂隙,经长期流水侵蚀、下切形成沟谷后,

表1 龙虎山部分丹霞地貌危岩景观  
Table1 Landscape-rockfalls in Long-HuShan Danxia landform

园区	景区	代表景点
龙虎山	仙水岩	排衙石、象鼻山、龙胆坡、神斧开山、牵龙洞、百岁岩、僧尼峰(神龟翘首)、仙桃石、飞云阁、仙姑庵、金钟峰、文豪峰、骆驼峰、老子峰、河豚堡岩洞等
	马祖岩	金枪峰、金龙庙、千丈坡、试胆壁、母子洞等
	峨眉峰	峨眉峰丛、金蝉望月、狮子滚球、狮子岩等
	应天山	峭石、九峰联屏等
龟峰	龟峰	老君峰、金钟峰、骆驼峰、仙葵峰、八戒峰、罗汉峰、断墙峰、天外来客、百年道、孝子哭坟、老鹰戏小鸡、骆驼峰天险、鹰嘴峰等

山体底部或根部被冲蚀掏空,谷坡因卸荷作用产生平行于崖面的卸荷节理,山体沿卸荷节理发生崩塌后退,当主要山体或山体主体部分崩塌掉所残余的小部分山体、岩块。这些崩塌作用残余的山体、石块规模均相对较小,且在后期的风化溶蚀等作用下常被塑造成千姿百态、栩栩如生的造型,如拇指山(图1)。

### 2.3.3 雕蚀作用

雕蚀作用是塑造地质体多种外观形态作用的总称,包括阳光、雨水、冰冻、温度、风、化学腐蚀、构造切割、重力崩塌等作用。危岩经过雕饰作用使其外形独特,形态各异,具有观赏性,而成为景观。雕蚀作用是危岩景观形成的决定性因素。

龙虎山丹霞地貌成景地层主要是砾岩、砂岩及泥岩等。这三种岩性物理性质差异性较大,尤其是膨胀系数、粘结力等。它们内部颗粒间的胶结物主要为泥质、铁质、钙质、硅质和碳酸盐矿物。这些物质抗风化性相差较大。铁质、硅质胶结力较大,不易风化;泥质胶结性较差,易被水流剥蚀;而钙质、碳酸盐矿物很容易受酸性化学物腐蚀。胶结物性质的差异是雕饰作用的主要内部因素。

龙虎山危岩景观的雕饰作用主要体现在以下三方面:

1. 流水侵蚀溶蚀作用。龙虎山世界地质公园基岩表面以强风化为主,厚度 $>5\text{ m}$ 。雨水沿着危岩岩体表面向下流,初期流水富集程度低,侵蚀面积较大,能量低。随着下蚀面的深入,流水容易在下蚀面集中,高差增大,动力增强,表面胶结性较差的部位很容易被剥蚀而形成很多蜂窝状岩穴景观。当流水沿着构造运动产生的断裂、节理、裂隙等危岩结构面不断渗透,发生向下侵蚀、两侧旁蚀及溶蚀作用,使得下层岩体不断被雕饰形成千奇百态的外形,形成拟物状、林柱状、奇特状、怪异状等丹霞地貌景观,如象鼻山、仙人桥、展旗峰。当流水动力较大,侵蚀力较强时,软硬相间的危岩岩体软弱部分被冲蚀,剩下较坚硬的核部。这些危岩岩体核部往往表现上大下小,外形独特,具有很高的欣赏性、神奇性,强烈的吸引游客的好奇心,如老人峰(图2)。

2. 温度差异风化作用。龙虎山世界地质公园年平均气温为 $17.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $40.7^{\circ}\text{C}$ ,最低气温 $-8.6^{\circ}\text{C} \sim -7^{\circ}\text{C}$ ,最大温差 $48.6^{\circ}\text{C}$ ,一天温差可达 $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。岩性不同,膨胀系数不同,危岩边缘易在温差、导热性差异等的影响下,热胀冷缩,

体积反复增大缩小,进而发生张性破裂,软化,片状剥落。危岩内部颗粒受温度影响而差异膨胀,产生膨胀力,使得内部结构不断松动,粘结力减弱。在温差反反复复地作用下,危岩微观结构越来越松散,粘结力渐渐变弱。加上流水或雨水的侵蚀和溶蚀作用,危岩表面不断圆化或浑圆化,从而不断塑造和改造而成奇特的丹霞地貌景观,如天外来客(图3)。

3. 微观化学风化作用。在各种地质营力及外部环境下,危岩原矿物内部化学成分不断变化,尤其是内部化学元素不断迁移、替代、流失,产生新生矿物。据研究资料<sup>[17]</sup>,从微观化学风化下元素的迁移规律来看,泥质、铁质、钙质、硅质和碳酸盐矿物等胶结物中,易溶元素如K、Mg、Ca随着水溶液带走,而难溶元素如Fe等残留在原地附近,铁的氧化物。由于元素迁移而新生矿物与原矿物成分物理性质不尽相同,破坏了原岩原有结构及力学强度。而且,在危岩表面,水、氧、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 时刻不断与岩石中矿物发生反应。危岩岩体矿物成分的变化,改变了危岩的原有结构,加强或减弱了岩体力学性质。而且,力学性质被减弱的岩体更容易被雕饰,力学性质加强的岩体难侵蚀而残余下来。这种微观化学风化使得某些危岩体雕饰成壮丽秀美的景观,如八戒峰(图4)。

流水侵蚀溶蚀作用、温度差异风化作用、微观化学风化作用,这三种作用互相耦合,相辅相成,形成了龙虎山丹霞地貌独具特色的危岩景观。

综上所述,危岩景观的形成因素主要有地形地貌、地层岩性、构造应力及水文地质条件以及流水侵蚀溶蚀、温度差异风化、微观化学风化等雕蚀作用,其中雕蚀作用是危岩景观形成的核心要素。

## 3 丹霞地貌危岩景观保护

结合大量工程实践,迄今危岩防治技术包括支撑、锚固、拦截、封填、灌浆、排水等。目前,危岩景观研究资料极少,而且鲜有危岩景观的保护实践。由于危岩景观是地质营力长期作用的结果,具有不可再生性、稀有性、特殊性,危岩景观的保护须符合地质遗迹可持续性发展战略。因而,危岩景观的保护须满足以下原则:1. 不改变景观的原貌原则,包括景观本身和其环境;2. 加固与维修过程原材料、原工艺的相似性原则;3. 加固整修可逆性原则;4. 最小限度干扰原则;5. 维护后如旧原则。

### 3.1 象鼻山危岩景观保护

#### 3.1.1 象鼻山危岩景观概况

象鼻山位于江西省鹰潭市龙虎山世界地质公园内(图5)。仙水岩景区的象鼻山属石梁景观的特殊造型。象鼻山岩墙外伸方向为 $320^\circ$ ,鼻长约50余m,石鼻下部宽约10~15 m、上部宽约15~20 m,鼻端处海拔约100 m。象鼻的穿洞向下变窄成为一竖向裂隙面空间(宽10~30 cm),且向下变窄直至尖灭。其侧的象鼻下部又有一裂隙面斜贯鼻根,同时还有一分叉的斜交裂隙(内长草被,成线状)向下伸展。构成象鼻的紫红色砂砾岩之倾角近水平。穿洞下的竖向裂隙将继续下切侵蚀,而斜贯鼻根的裂隙面及其分支裂隙,在外动力长期作用下将扩张成为不稳定的软弱结构面。一旦暴雨或地震,或放炮开山采石,可能激发处在趋于极限平衡状态下的危岩发生崩滑。上重下轻的万余吨重的象鼻便岌岌可危。

#### 3.1.2 象鼻山危岩景观保护方案

##### 1. 吊索法

象鼻山鼻根处裂隙为此危岩的主控结构面。根据此景点的工程地质概况,危岩体横截面较小,很容易穿爆,锚杆、支挡等现有的主动防护技术,并不一定应用。被动防护技术是为了保护行人,避免崩落后的损失,显然不适用于危岩景观治理。作者根据现场勘查,及现场地质环境,认为使用吊索法治理比较好。

所谓吊索法是指由绳索、钢索等能提供一定向上拉力,使得危岩体达到要求的安全系数的一种方法。研究区域内无地震记载,裂隙无水压力,且场内地内风力很小,故这些力忽略不计。地面对象鼻的向上支持力不确定,与重力不在一条线上。而且象鼻山失稳主要是中间凌空部位坍塌,与地面向上支持力大小关系不大。故假设象鼻不受地面支持力。因而,取象鼻山危岩体为研究对象,计算模型如图6。针对主控结构面进行受力分析。AB面法向上

$$F_N = W \cos \theta \quad (1)$$

利用 Mohr - coulomb 强度理论,假定法向力沿主控结构面均匀分布,单位正应力可得

$$\sigma = \frac{F_N}{L \times 1} \quad (2)$$

进而,可得 AB 面的抗剪强度为

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi + C \quad (3)$$

则由 AB 面产生的抗剪力为

$$T_f = \tau_f \times L = F_N \tan \varphi + CL \quad (4)$$

联合以上各式可得,危岩的稳定系数  $F_s$  为

$$F_s = \frac{T_f}{W \sin \theta} = \frac{W \cos \theta \tan \varphi + CL}{W \sin \theta} \quad (5)$$

由式5,带入表1物理参数,得  $F_s = 1.067$ ,略 $>1$ ,因而,象鼻山处于极限平衡状态,不稳定。

##### 2. 计算

由于象鼻危岩景观(图6)为一级景点,危岩体下部风化严重,承载力较低,为了确保安全,设计稳定系数  $F_s = 1.5$ 。绳索位置选择在危岩体的几何中心处,即重心位置,为了避免绳索的剪切作用,绳索方向与危岩体相切,倾角  $\beta = 79^\circ$ 。单位宽度受力分析(如图7)得

$$F_s = \frac{T_f}{W \sin \theta - F_T \cos(\beta - \theta)} = \frac{[W \cos \theta - F_T \sin(\beta - \theta)] \tan \varphi + CL}{W \sin \theta - F_T \cos(\beta - \theta)} \quad (6)$$

$$F_T = \frac{F_s W \sin \theta - W \cos \theta \tan \varphi - CL}{F_s \cos(\beta - \theta) - \tan(\beta - \theta) \sin \varphi} \quad (7)$$

代入表2相关物理参数,计算得单位宽度所需力  $F_T = 60$  kN。象鼻山平均宽度约12 m,因而其整体达到稳定系数1.5时,绳索力为720 kN。

##### 3. 美化处理

由图6,绳索破坏了象鼻山整体的美观性,须进一步美化处理。美化处理需根据原景观形态、周围环境及旅客观赏等角度综合考虑,尽量保持景观原貌,符合景观整体性原则。首先,美化处理要坚持以人为本,符合大多数游人观赏的多重需求和体念要求。其次,合理利用原有景观,顺应景观周边环境,在形态、结构、颜色等方面与其相得益彰,和谐与共。

##### 4. 保护效果

吊索法构件少,稳定性好,干扰小,维护方便,易美化处理。它能很好的增大岩体的稳定性,减小灾害性,而且经其构件经美化处理能较好地与周围环境相匹配。吊索法措施符合上文危岩景观的保护五项原则,是一种较理想的危岩景观保护措施。

龙虎山丹霞地貌其他危岩景观与象鼻山类似,造成坍塌的主要因素为重力,而且重力也是研究区内很多危岩景观裂隙扩张的主因。吊索法能很好地克服重力,而且美观,是龙虎山丹霞地貌危岩景观较好的保护方法。

### 3.2 吊索法与危岩现有防治技术的比较

危岩景观的保护课题,目前面临很多技术问题,实践治理的经验更很少,对当今的工程技术提出了严峻的挑战。作者根据现场实际情况,提出吊索法



图1 江西龙虎山拇指山

Fig. 1 thumb stone in Long Hushan, Jiangxi



图2 江西龙虎山老人峰

Fig. 2 Old man peak in Long Hushan, Jiangxi



图3 江西龙虎山天外来客

Fig. 3 Guest From Sky in Long Hushan, Jiangxi



图4 江西龙虎山八戒峰

Fig. 4 Pig peak in Long Hushan, Jiangxi



图5 江西龙虎山象鼻山

Fig. 5 Elephant Trunk Hill in Long Hushan, Jiangxi

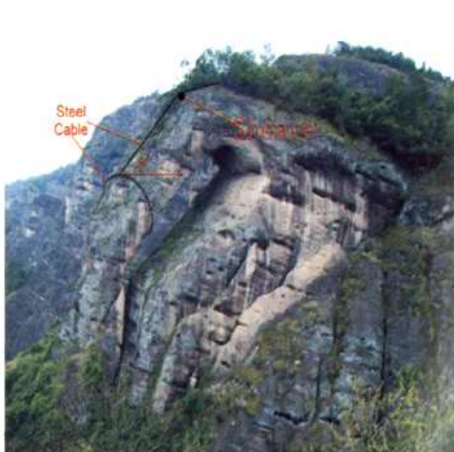
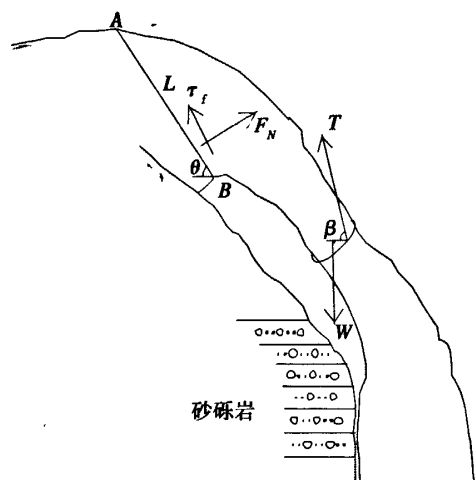


图6 象鼻山保护简化示意图

Fig. 6 Protecting sketch map of Elephant Trunk Hill



注:图中AB为主控结构面,长度 $L$ ,其与水平面夹角为 $\theta$ ;  $W$ 为危岩体的自重, $\tau_f$ 为AB面上抗剪力, $F_N$ 为AB面法向支持力, $F_T$ 为绳索拉力,其与水平面夹角为 $\beta$ 。

图7 受力分析图  
Fig.7 Force analysis

保护危岩景观的方案,从文中象鼻山设计实例可以看出,其理论计算简便,施工方便,对景观破坏性小。

相对于拦石墙、拦石栅栏、森林防护等被动防治方式,吊索法显得更加主动,不仅可以避免伤害,还使危岩体稳定,对于危岩景观的保护有显著作用。支挡技术的应用范围较小,要求危岩底部具有一定的凹陷,且底部岩层具有较高的承载力。裂隙封填、灌浆、排水等防治手段主要是降低外界水流深入危岩结构面内,阻止危岩结构面摩擦力(即抗滑力)减小而促使危岩失稳。而吊索法提供向上的力,中和部分重力,减小了沿结构面方向的下滑力,且下滑力比抗滑力减小的更多,两者比值(即稳定系数)相对增大。因而,吊索法较好地增加了危岩的稳定系数。

吊索法与锚固有相似性,但也有差异。锚固技术主要是指采用锚杆、锚索、锚钉等进行危岩处理的技术类型。危岩锚固深度应深入主控结构面下方,一般不 $<5\sim6\text{ m}$ 。若持力层岩体风化严重或整体结构性较差,很难保障锚固的效果。而且,锚固设计施工还要对每个危岩体钻取 $3\sim5$ 个超深孔,以判别危

岩体内部裂隙发育程度。锚固治理方案应考虑锚杆或锚索的耐久性。锚杆若出现松动,事后很难修复。而吊索法很好地弥补了锚固的一些缺陷。吊索法的持力层位于危岩上方,可以根据设计及施工需要选着合适的持力层。吊索法持力层一般可以选择整体结构良好,裸露在外的易勘察有足够承载力的岩体,避免危岩主控结构面下部岩体由于勘察不明而出现工程事故。在受力绳索上安装相关监测设施,可以监测绳索拉力的大小。而且,通过对绳索的绷紧或松懈可以调解绳索轴力的大小。即使绳索崩断,也可以很方便地维护。

但是,吊索法也存在缺陷。其理论、设计等还不够成熟,治理实践经验几乎没有,此方法的使用存在一些不确定因素。在工程实践中须综合考虑很多可能因素,确保治理有效。

3.3 应用

吊索法不仅适用于丹霞地貌的危岩景观治理,也适用于花岗岩、砂岩等地貌类型危岩景观的治理。在危岩景观上建立支点,使用绳索提供向上的力,克服部分或全部使其下滑的力,能有效增加抗滑力,进而提高稳定系数。这种方法可以单独使用,还可以与锚杆、锚索等配合使用。当然,这些均要求危岩景观本身具有一定的力学强度,若其岩性力学性质很弱,不适宜吊索法。

吊索法也适用于岩质滑坡、崩塌(危岩)灾害治理。在岩质滑坡及崩塌(危岩)中,重力往往是使其失稳造成灾害的一个重要方面。克服重力,将可以提高岩质滑坡及崩塌(危岩)灾害体的稳定性,降低灾害程度,达到防灾减灾的目的。吊索法为克服重力的有效方法。

4 结论

1. 外形独特,形态上有突出的形象性、感染性、独特性、神奇性等不稳定的岩体景观,称为危岩景观。龙虎山丹霞地貌景区危岩景观达37处(其中不乏丹霞特色景观),且大多数位于游道边,对游客

表2 象鼻危岩体物理参数  
Table 2 Physical parameter of Elephant Trunk Hill

岩性	单位体积/ $\text{m}^3$	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	主控结构面			
			内聚力 $C/\text{MPa}$	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	倾角 $\theta/^\circ$	延伸长度 $L/\text{m}$
紫红色砂砾岩	$1\times1.5\times50$	2 670	18.2	35	68	8

及旅游设施危害性较大。

2. 危岩景观的形成因素主要有地形地貌、地层岩性、构造应力及水文地质条件以及雕蚀作用,其中以流水侵蚀溶蚀作用、温度差异作用、微观化学风化作用为主的雕蚀作用,形成了龙虎山丹霞地貌独具特色的危岩景观,是危岩景观形成的核心要素。

3. 危岩景观具有不可再生性、稀有性、特殊性,但其易失稳。危岩景观的保护有重大的意义,其须满足不改变景观的原貌原则(包括景观本身和其环境)、加固与维修过程原材料、原工艺的相似性原则、加固整修可逆性原则、最小限度干扰原则、维护后如旧原则。

4. 根据现场工程勘察,本文提出吊索法保护危岩景观的方案。吊索法构件少,稳定性好,干扰小,维护方便,易美化处理,是危岩景观治理的一种有效手段,与现今危岩防治技术相比,其理论计算简便,适用范围广,施工方便,后续维修方便和易监测等诸多优点。

5. 吊索法适用于砂砾岩、砂岩、花岗岩等危岩景观的治理,及岩质滑坡、崩塌(危岩)灾害的治理。

## 参考文献(References)

- [1] Jia Yonggang. The style, causation and distribution of geological hazards in laoshan touring area[J]. Marine Sciences, 1995, 1: 64-6 [贾永刚. 崂山旅游区地质灾害类型、成因及分布研究[J]. 海洋科学, 1995, 1: 64-6]
- [2] Zeng Yuqing, Qiu Yehui. Geological hazards types and its genesis analysis about scenery area of Wulingyuan[J]. Hunan Geology, 2000, 19(3): 191-194 [曾玉清, 邱业惠, 文晓惠. 武陵源风景区地质灾害类型及其成因分析[J]. 湖南地质, 2000, 19(3): 191-194]
- [3] Hongyi. Investigating and assessing the geological hazards in scenery area of Mt. Emei[J]. Science and Technology Consulting Herald, 2008, 4(11): 201 [冯义. 峨眉山景区地质灾害调查与评估[J]. 科技创新导报, 2008, 4(11): 201]
- [4] Ruan Jue. Application of High-Density Resistivity method to mountain geo-hazard in the west of Jiulong Basin Park of Yuxi City[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(4): 475-479 [阮珏. 高密度电阻率法在玉溪市九龙池公园西侧山体地质灾害调查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(4): 475-479]
- [5] Wang Hui, Cao Binglan. Research on influence factors of collapse-slide in tourist area of Changbai mountain[J]. Global Geology, 2004, 23(1): 56-59 [王慧, 曹炳兰. 长白山旅游区崩滑形成影响因素研究[J]. 世界地质, 2004, 23(1): 56-59]
- [6] He Siming. Analysis and prevention of the unstable rock near Jingyun Pavilion in Leshan Giant Buddha scenic area[J]. Journal of Catastrophology, 2009, 24(3): 39-45 [何思明. 乐山大佛景区景云亭危岩灾害分析及其防治研究[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 39-45]
- [7] Liu Fangzhen. Design and treatment for reinforcing the rocks under bad condition in the Great Buddha Temple[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(5): 12-115 [刘芳珍. 彬县大佛寺石窟危岩加固设计与施工[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(5): 12-115]
- [8] Chen Wei. Crag slop repairing at southern side of Caiyongxiang Martyr Memorial[J]. Zhejiang Construction, 2009, 26(2): 23-27 [陈伟. 蔡永祥烈士纪念馆南侧边坡危岩治理[J]. 浙江建筑, 2009, 26(2): 23-27]
- [9] Fang Yun. Stability studies of dangerous rock slumping of Huashan rock in Ningming County[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2009, 19(4): 36-39 [方云. 宁明花山岩画区危岩体稳定性研究[J]. 文物保护与考古科学, 2007, 19(3): 36-39]
- [10] M. C. Tunusluoglu. Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey)[J]. Environ Geol, 2009, 56: 963-972
- [11] Topal, T, Akin, M, and Ozden, U. A. Assessment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey [J]. Environmental Geology, 2007, 53: 191-200
- [12] Yosoon Choi. Engineering geological investigation into rockfall problem; a case study of the Seated Seokgayeorae Image carved on a rock face at the UNESCO World Heritage site in Korea[J]. Geosciences Journal Vol. 13, 2009, No. 1, p. 69-78.
- [13] Jiang Yongbiao, Guo Fusheng. A study on the features and genesis of Danxia Landform in Longhushan World Geopark and comparing with others in China[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(3): 353-360 [姜勇彪, 郭福生. 龙虎山世界地质公园丹霞地貌特征、成因及其国内对比[J]. 山地学报, 2009, 27(3): 353-360]
- [14] Chen hongkai. Review on current situation to study and trend of dangerous rock mass[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2003, 22(3): 18-22 [陈洪凯等. 危岩研究现状及趋势综述[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(3): 18-22]
- [15] Yang Zhunyun. Analysis of typical conditions of unstable rock development[J]. Technology of Highway and Transport, 2005, 6: 106-110 [杨转运. 危岩体发育的典型环境条件分析[J]. 公路交通技术, 2005, 6: 106-110]
- [16] Hu Houtian. Collapse and prevention[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1989: 11, 9-10 [胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989: 11, 9-10]
- [17] Guo Guolin, Guo Fusheng. Study by epmaonmicrocosmic chemical weathering to sand stone in danxia landform[J]. Carsologica Sinica, 2006, 25(2): 172-176 [郭国林等. 丹霞地貌砂岩的微观化学风化作用电子探针研究[J]. 中国岩溶, 2006, 25(2): 172-176]



## Causes of Formation and Protection for Landscape-rockfall of Danxia Landform in Longhushan

JIANG Fuwei<sup>1</sup>, GUO Fusheng<sup>1</sup>, JIANG Yongbiao<sup>1</sup>, HU Zhonghua<sup>2</sup>

(1. East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China; 2. Management Committee of Longhu Mountain, Yingtan 335000, China)

**Abstract:** Longhushan is a large geo-park, owning the specially characteristic landscape of Danxia landform, and 10 km far from Yingtan city, which located in northeast of Jiangxi Province in China. The Danxia landscape's layer in Longhushan mainly make up of the rock of sandstone, conglomerate, mudstone. With steep cliffs, intricate joints, the area developed a number of peculiar shape rock with the value of prominent tourism and aesthetic appreciation, which is named landscape-rockfall. Landscape-rockfall went through a long-term revolution of geological process, and was the results of many internal and external geological actions. The main factors are topography, lithology, geological structure, hydrogeological conditions and the carved-erosion action (including erosion and dissolution, the weathering in different temperature, micro-chemical weathering). The carved-erosion plays the core role in the process of formation. Landscape-rockfall disaster prevention ought to follows the five principles of nondestructibility, approximability, reversibility, no interference and compatibility. According to the present technology of preventing rockfall and the particularity of landscape-rockfall, the text proposed a hang-pull method that made by the rope, cable, etc. to provide some upward pull to make the unstable rock meet the required coefficient of stability. The hang-pull method has many advantages of wide application, simple theoretical calculation, better improving stability coefficient, convenient construction, easy maintenance and easy follow-up monitoring, etc, and it is suitable for protecting the rock landscape.

**Key words:** hang-pull method; carved-erosion action; landscape-rockfall; preventing rockfall; Longhushan Danxia landform



作者：[姜伏伟](#)，[郭福生](#)，[姜勇彪](#)，[胡中华](#)，[JIANG Fuwei](#)，[GUO Fusheng](#)，[JIANG Yongbiao](#)，[HU Zhonghua](#)

作者单位：[姜伏伟, 郭福生, 姜勇彪, JIANG Fuwei, GUO Fusheng, JIANG Yongbiao \(东华理工大学, 江西, 抚州, 344000\)](#)，[胡中华, HU Zhonghua \(龙虎山管理委员会, 江西, 鹰潭, 335000\)](#)

刊名：[山地学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)

英文刊名：[JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)

年，卷(期)：2011, 29 (2)

被引用次数：2次

## 参考文献(17条)

1. [贾永刚](#) [崂山旅游区地质灾害类型, 成因及分布研究](#) 1995
2. [曾玉清](#); [邱业惠](#); [文晓惠](#) [武陵源风景区地质灾害类型及其成因分析](#) 2000 (03)
3. [冯义](#) [峨眉山景区地质灾害调查与评估](#) [期刊论文] - [科技创新导报](#) 2008 (11)
4. [阮珏](#) [高密度电法在玉溪市九龙池公园西侧山体地质灾害调查中的应用](#) [期刊论文] - [工程地球物理学报](#) 2008 (04)
5. [王慧](#); [曹炳兰](#) [长白山旅游区崩塌形成影响因素研究](#) [期刊论文] - [世界地质](#) 2004 (01)
6. [何思明](#) [乐山大佛景区景云亭危岩灾害分析及其防治研究](#) [期刊论文] - [灾害学](#) 2009 (03)
7. [刘芳珍](#) [彬县大佛寺石窟危岩加固设计与施工](#) [期刊论文] - [岩土工程学报](#) 1998 (05)
8. [陈伟](#) [蔡永祥烈士纪念馆南侧边坡危岩治理](#) [期刊论文] - [浙江建筑](#) 2009 (02)
9. [方云](#) [宁明花山岩画区危岩体稳定性研究](#) [期刊论文] - [文物保护与考古科学](#) 2007 (03)
10. [M. C. Tunusluoglu](#) [Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage \(Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey\)](#) 2009
11. [Topal, T](#); [Akin, M](#); [Ozden, U. A](#) [Assessment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey](#) 2007
12. [Yoseon Choi](#) [Engineering geological investigation into rockfall problem: a case study of the Seokgyeora Image carved on a rock face at the UNESCO World Heritage site in Korea](#) 2009 (01)
13. [姜勇彪](#); [郭福生](#) [龙虎山世界地质公园丹霞地貌特征、成因及其国内对比](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2009 (03)
14. [陈洪凯](#) [危岩研究现状及趋势综述](#) [期刊论文] - [重庆交通学院学报](#) 2003 (03)
15. [杨转运](#) [危岩体发育的典型环境条件分析](#) [期刊论文] - [公路交通技术](#) 2005 (6)
16. [胡厚田](#) [崩塌与落石](#) 1989
17. [郭国林](#) [丹霞地貌砂岩的微观化学风化作用电子探针研究](#) [期刊论文] - [中国岩溶](#) 2006 (02)

## 本文读者也读过(10条)

1. [闫云霞](#). [许炯心](#). [Marwan Hasson](#). [廖建华](#). [YAN Yunxia](#). [XU Jiongxin](#). [Marwan Hasson](#). [LIAO Jianhua](#) [长江流域侵蚀产沙尺度效应的区域分异](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (2)
2. [宋亮](#). [刘文耀](#). [马文章](#). [赵相健](#). [周蒙](#). [杨国平](#). [SONG Liang](#). [LIU Wenyao](#). [MA Wenzhang](#). [ZHAO Xiangjian](#). [ZHOU Meng](#). [YANG Guoping](#) [云南哀牢山西南麓季风常绿阔叶林及思茅松林的群落学特征](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (2)
3. [郭福生](#). [姜勇彪](#). [胡中华](#). [刘林清](#). [李虹](#). [GUO Fusheng](#). [JIANG Yongbiao](#). [HU Zhonghua](#). [LIU Linqing](#). [LI Hong](#) [龙虎山世界地质公园丹霞地貌成景系统特征及其演化](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (2)
4. [刘云鹏](#). [黄润秋](#). [邓辉](#). [LIU Yunpeng](#). [HUANG Runqiu](#). [DENG Hui](#) [小湾水电站库区新民坝子滑坡稳定性研究](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (3)
5. [刘新圣](#). [张林](#). [孔高强](#). [罗天祥](#). [LIU Xinsheng](#). [ZHANG Lin](#). [KONG Gaoqiang](#). [LUO Tianxiang](#) [藏东南色季拉山急尖长苞冷杉林线地带地上生物量随海拔的变化特征](#) [期刊论文] - [山地学报](#) 2011, 29 (3)

6. [陈剑](#), [崔之久](#), [戴福初](#), [许冲](#), [CHEN Jian](#), [CUI Zhijiu](#), [Dai Fuchu](#), [XU Chong](#) [金沙江奔子栏-达日河段大型泥石流堆积扇的成因机制](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29(3)
7. [张乐勤](#), [荣慧芳](#), [许杨](#), [许信旺](#), [ZHANG Leqin](#), [RONG Huifang](#), [XU Yang](#), [XU Xingwang](#) [九华山森林生态系统生态服务价值评估](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2011, 29(3)
8. [花明](#), [叶张煌](#), [郭福生](#) [龙虎山旅游可持续发展的市场开发](#)[期刊论文]-[江西社会科学](#)2004(9)
9. [周园园](#), [王小德](#), [符秀玉](#), [周苏勤](#), [李东](#), [ZHOU Yuan-yuan](#), [WANG Xiao-de](#), [FU Xiu-yu](#), [ZHOU Su-qin](#), [LI Dong](#) [浙江省江郎山丹霞地貌岩生植被群落特征](#)[期刊论文]-[浙江林学院学报](#)2010, 27(5)
10. [姜勇彪](#) [江西信江盆地丹霞地貌研究](#)[学位论文]2010

#### 引证文献(2条)

1. [郭福生](#), [姜伏伟](#), [胡中华](#), [吴知勇](#), [姜勇彪](#), [蒋兴波](#) [丹霞地貌危岩景观分类及可持续开发对策——以龙虎山景区为例](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2012(1)
2. [郭福生](#), [姜伏伟](#), [姜勇彪](#), [黄宝华](#) [丹霞地貌研究的几个发展方向](#)[期刊论文]-[东华理工大学学报（社会科学版）](#) 2013(3)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdxb201102009.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdxb201102009.aspx)