

文章编号: 1007-3701(2012)03-243-05

# 鄂西清江水布垭库区鹰嘴岩崩塌体成因机理分析

黎义勇<sup>1</sup>, 彭轲<sup>1</sup>, 赵信文<sup>1</sup>, 穆启超<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉 430205; 2. 河南省地勘局第一地质调查队, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 鹰嘴岩崩塌体为典型的逆向岩层崩塌, 属于拉裂式崩塌, 该崩塌的形成受地形地貌、地层岩性、地质构造、大气降雨等因素的控制。由于崩塌体上部岩层和下部岩层坚硬, 中间存在软弱夹层, 构成了三明治式的地层岩性组合形式, 这种地层岩性组合是造成鹰嘴岩崩塌体失稳的重要因素, 另外, 当大气降雨渗入危岩体裂隙, 加速了崩塌的发生。本文对鹰嘴岩崩塌体地质环境条件及该崩塌体的成因机理进行分析, 结果表明鹰嘴岩崩塌体目前处于不稳定状态, 随着现存危岩体上裂缝的不断发展变化, 鹰嘴岩崩塌体有再次发生崩塌的危险。

**关键词:** 崩塌体; 成因机制; 不稳定状态; 鄂西鹰嘴岩

**中图分类号:** P642.21

**文章标识码:** A

崩塌是指陡峻斜坡上的危岩体在重力作用下脱离母体的崩落现象, 是高山峡谷地区普遍发育的地质灾害之一<sup>[1]</sup>。近年来, 我国崩塌灾害不断发生, 给人民的生命财产造成了不同程度的损失, 如 2004 年 12 月 3 日, 贵州纳雍县鬃岭镇左家营村岩角发生崩塌, 掩埋山坡下住户 18 户, 死亡人数 44 人, 受灾村民 108 人<sup>[2]</sup>, 又如 2009 年 6 月 5 日, 重庆武隆县铁矿乡鸡尾山发生山体崩塌, 造成至少 26 人死亡, 因此, 崩塌体形成机制的研究逐渐被许多专家学者关注和重视。本文研究的鹰嘴岩崩塌体自 1949 年 5 月发生过一次大规模崩塌, 此后一段时间内随机发生小规模崩塌、掉块现象, 最近几年以来, 由于降雨的影响和崩塌下部人工采石, 崩塌体上的裂缝变形趋势进一步加大, 到目前为止, 虽未造成大的经济损失, 但直接威胁崩塌体下居住居民 3 户 13 人及交通行人、采石场工人生命财产安全, 还间接威胁到崩塌体周边居民约 30 户 180 人, 因而, 对于探明鹰嘴岩崩塌体的成因机制是十分重要的。本文在分析崩塌体特征以及形成原因的基础上, 对鹰嘴岩崩塌体的形成机制进行研究, 并提出

一定的防治措施, 对于地方政府防灾减灾工作具有一定的指导意义。

## 1 崩塌体概况

鹰嘴岩崩塌体位于水布垭库区景阳镇, 地理中心坐标 X:3364300, Y:19402855, 该处为构造溶蚀、侵蚀中低山峡谷地貌, 微地貌表现为陡崖, 坡向 160°, 为逆向斜坡结构类型斜坡, 临空面高度 200m, 边坡形态呈直线型。崩塌体坡顶高程约 1225m, 崩塌体下部高程约 980 m, 崩塌体坡度下部约 40°, 上部近垂直, 平均坡度 60° ~ 85°, 局部直立, 壁高 150 ~ 200 m。壁面形态呈直线型, 系由岩体结构面控制形成。在陡崖底部, 由崩落物质形成的堆积体构成稍缓的斜坡, 岩壁走向 250° ~ 280°, 岩层倾向 NNW, 倾角较平缓(图 1)。

## 2 崩塌体特征

鹰嘴岩崩塌体崩塌区高度约 50 m, 宽 1000 m, 平均厚度约 20 m, 面积约 15×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>, 体积约 300×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。崩塌体底部为三叠系大冶组二段厚层状灰岩, 在此处厚约 150 m, 其中间夹软弱泥岩不均分

收稿日期: 2011-12-26; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 地质大调查项目“湘鄂桂山区地质灾害详细调查”(编号: 1212010740604)。

作者简介: 黎义勇(1980—), 男, 工程师, 主要从事环境地质及地质灾害调查研究方面工作, Email: lixiangyushine@163.com。

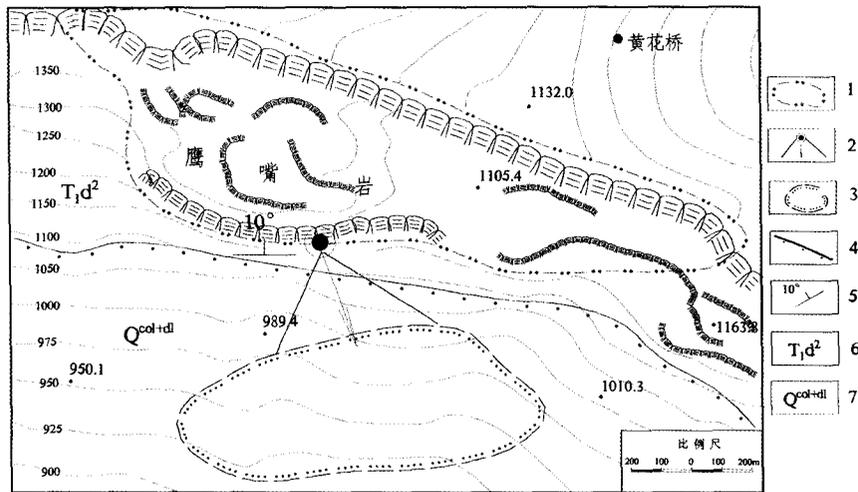


图1鹰嘴岩崩塌体平面图

Fig. 1 Plane graph of Yingzuiyan collapse, western Hubei province

1-崩塌范围线;2-崩塌体;3-堆积体范围线;4-地质界线;5-岩层产状;6-三叠系大冶组二段;7-崩塌积物

布与层间;这种软硬岩组结构易于产生岩体压缩变形不均的情况。形成断裂结构面,岩体主要发育二组裂隙,①E-W向裂隙走向 $230^{\circ} \sim 270^{\circ}$ ,近平行壁面,倾SE为主,倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ;长 $10 \sim 25$  m,宽度 $0.1 \sim 1$  m之间;②NNE向裂隙走向 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,倾SE为主,倾角 $78^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ;垂直高约 $50$  m,宽约 $5$  m,无充填,裂面平直光滑。鹰嘴岩崩塌体发生时间为1949年5月,在此之前,鹰嘴岩陡壁一带开始发生小规模崩塌掉块现象,当时鹰嘴岩顶部地面距岩壁 $200$  m处出现一条长约 $200$  m,宽约 $1$  m左右的裂隙,根据现状地表调查,其变形特征

主要表现在崖壁顶端延伸于陡崖地带的裂缝普遍见拉开现象,与崖壁近平行的E-W向裂隙尤为强烈,并沿这组裂隙产生规模不等的崩塌危岩解体(图2)。陡崖面裂缝垂直于岩层面,裂缝走向约 $10^{\circ}$ ,垂直高度约 $50$  m,宽约 $5$  m,由于该裂缝的存在,该部分形成的危岩体逢降雨后存在一定的掉块现象。

### 2.1 危岩体特征

根据岩体内结构面性状,发育程度、岩体的完整性、地下水动力条件等工程水文地质条件,将岩体划分为块裂岩体结构和块状碎裂岩体结构两种类型。块裂结构岩体,结构面切割密度小,连通差,

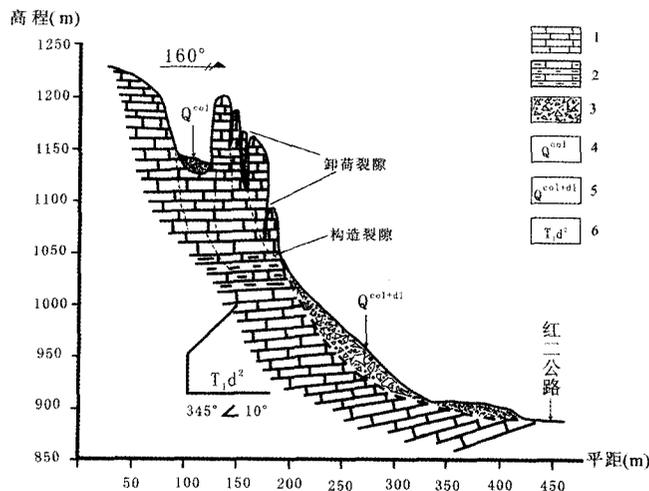


图2鹰嘴岩崩塌体剖面示意图

Fig. 2 Profile map of Yingzuiyan collapse, western Hubei province

1-灰岩;2-泥质灰岩;3-碎块石夹粉质粘土;4-第四系崩积物;5-第四系崩积坡积物;6-三叠系大冶组二段

岩体较完整,块状碎裂岩体结构面切割密集,一些规模较大的裂缝将岩体分割成规模不等块体。现阶段,鹰嘴岩崩塌体上方存在三块危岩体,其中 I 号危岩体高约 25 m,宽约 20 m,厚约 3 m,II 号危岩体高约 50 m,宽约 15 m,厚约 10 m,III 号危岩体高约 30 m,宽约 10 m,厚约 5 m。

## 2.2 堆积体特征

在崩塌体下坡脚部位,由于崩塌的发生,产生的崩落物质形成崩塌堆积体,该崩塌堆积体长约 200 m,宽度 1000 m,平均厚 20 m,面积  $20 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,体积约  $400 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为块石、碎石夹粉质粘土,块石块度大者约  $10 \text{ m}^3$ ,碎石粒径 2~6 cm 之间。

## 3 崩塌体形成原因

### 3.1 地形地貌

崩塌危岩的发育受特有地形地貌的控制,峡谷地区、岸坡陡立的库岸地区、高陡的路堑及人工边坡地区等为危岩崩塌易发区<sup>[3]</sup>。鹰嘴岩崩塌所在区域地形地貌为构造溶蚀、侵蚀中低山峡谷地貌,微地貌上表现为陡崖,坡向  $160^\circ$ ,为逆向结构类型斜坡,临空面高度约 200 m,高陡边坡以及深切河谷为崩塌危岩体提供了良好的临空面条件,是水布垭库区景阳段崩塌体发生的重要因素。

### 3.2 地层岩性

鹰嘴岩崩塌的发生与山体软硬相间的介质结构有关,软硬相间的岩层必然产生差异风化,软岩抗风化能力差而多成岩腔,硬岩抗风化能力强而多成为陡崖。页岩、热液蚀变岩石及强风化岩石失稳的主要原因是由岩体本身的坍塌或滑动引起的,其稳定边坡的设计属于土力学理论的延伸;硬岩及另一类软岩,则其天然存在的不连续往往对滑移途径起控制作用<sup>[4]</sup>。鹰嘴岩崩塌所在水布垭库区景阳段河谷深切,形成坡度较陡的微地貌陡崖,临空面条件较好,而陡崖上的岩石比较坚硬,在陡崖底部存在着软岩如泥岩、灰质泥岩、灰岩夹泥质条带灰岩,这些软弱的岩石构成了上硬下软的岩性组合条件,在上部坚硬岩石自身重力的作用下,形成缓慢的下座现象,当底部基座无法承受上部岩石重压的情况下,高陡的边坡岩石便会发生崩落,形成崩塌,或者致使上部岩石在风化裂隙以及构造裂隙的影响下,由于裂隙的进一步扩展变形,从而发展为危岩体或崩塌,因此,软硬相间的岩性组合是水布垭库区鹰

嘴岩崩塌体发育的重要因素。崩塌体下部为三叠系大冶组二段岩层,岩性为薄层灰岩夹薄层状泥岩,薄层软弱夹层变形模量大,易产生压缩变形,上部灰岩易产生拉裂或整体下沉。由于这种软硬岩性的组合,在地壳上升、河流下切的作用下,造成大卸荷,形成高大陡崖,给危岩体的形成创造了环境条件。

### 3.3 构造作用

岩体中的各种不连续面,如节理、裂隙面、岩层界面、断层等,对坡体切割、分离,为崩塌的形成提供了脱离母体(山体)的边界条件,坡体中裂隙越发育,越易产生崩塌<sup>[5]</sup>。

鹰嘴岩崩塌体的发生与山体构造条件有关,危岩体的变形和破坏显著受到岩体中构造结构面控制,表现在山体后缘的拉张缝和陡壁的崩塌体都是追踪山体内部的构造节理发生的,并且主要受到与陡壁平行的近 E-W 向节理控制。区内构造褶皱为主,兼有少量断裂,在褶皱部位,应力比较集中,构造裂隙发育,岩体切割致使岩石较破碎,特别是先压后张的高倾角切层裂隙,往往起到岩体崩塌的边界控制作用。鹰嘴岩崩塌体的变形和破坏显著受到岩体中构造结构面制约,多数表现在山体后缘的拉张缝和陡壁的危岩体受构造裂隙的切割,并且主要受到与陡壁平行的卸荷裂隙控制,地质构造作用的影响是鹰嘴岩崩塌体发生的重要因素之一。

### 3.4 大气降雨

雨季是危岩失稳的多发季节,降雨强度越大、历时越长越易发生失稳。强降雨将导致岩石内渗水作用增强,岩石内渗水后岩石强度降低和应力增加。另外,边坡表面水的冻结能堵塞排水通道,渗流水无法排出坡外,导致地下水位升高,引起边坡中水压的增高,从而降低边坡的稳定性<sup>[6]</sup>,大气降水从裂隙渗入岩体裂缝,改变了结构面的力学状态,水的静压效应对岩体中的陡倾裂面起水楔作用,产生向临空方向的推力,同时加速了结构面的软化。水布垭库区景阳段位于鄂西多暴雨区,多年平均降雨量 1366.2 mm,日最大降雨量 234.7 mm(1975 年 8 月 8 日),月最大降雨量 429.1 mm(1983 年 7 月),降雨集中在每年的 6~9 月份,且常成暴雨或特大暴雨,暴雨的时间分布呈现不均匀,6~8 月占全年暴雨次数的 67.7%,集中降雨给崩塌提供了有利的条件,受大气降雨的影响,大气降水渗入岩体裂缝,改变了结构面的力学状态,水的静压效应对岩体中的陡倾裂面起水楔作用,产生向临空方向的推

力,同时加速了结构面的软化。由于崩塌危岩体上部裂隙发育,空隙、间隙(部分架空)较大,透水性较好,有利于下渗水的排泄,因此大气因降雨是水布垭库区景阳段崩塌危岩体失稳的关键因素之一。

### 3.5 人类工程活动

崩塌体下部采石、人工开挖边坡建房、修路、耕种等人类工程和活动是致使山体发生加剧变形的主要因素,尤其是采石对崩塌体底部的掏空作用造成山体中应力重新分布并产生相应较强的变形。大规模人类活动是导致自20世纪80年代以来中国大陆大型地质灾害发生相对频繁的主要因素,随着社会的发展,自20世纪中期以来,人类活动的力量就在与日剧增,并表现出逐渐取代自然营力成为导致地球环境变化和日益恶化的主要因素。中国大陆大型地质灾害发生的频度呈上升趋势的事实也正好印证这一点<sup>[7-9]</sup>。因此,不合理的人类工程活动对鹰嘴岩崩塌体的发生起着重要作用。

## 4 崩塌体形成机理

根据崩塌体所在的地形地貌、地层岩性、地质构造、大气降雨及裂缝的发育程度综合分析,鹰嘴岩崩塌体为典型的逆向岩层崩塌,该崩塌体属于拉裂式崩塌,鹰嘴岩崩塌体主崩区岩层为浅灰色灰岩,岩层倾向与坡向相反,岩层倾角 $32^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ,坡角 $30^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ,由于岩层普遍发育垂直层面的拉张裂隙,和平行层面的压剪性裂隙。卸荷裂隙沿构造拉

张裂隙继承发展,卸荷裂隙切穿岩层面形成危岩体。在重力等外力作用下,危岩体坠落,或向外凸落,形成崩塌。其形成机理大致为(图3):

(a)构造裂隙发育阶段:鹰嘴岩崩塌体在经历1949年5月第一次崩塌之后,由于岩体构造裂隙发育,岩体在第一次崩塌的基础上,由于重力失稳,对崩塌壁上原存岩体形成拉张作用,岩体自身存在的构造裂隙进一步被拉裂;(b)构造裂隙贯通阶段:在岩体自身重力的进一步影响下,岩体上的构造裂隙进一步被拉裂张开演化为上宽下窄的楔形裂缝,并不断向下部岩体发展贯通,形成危岩体;(c)新的卸荷裂隙形成阶段:当构造裂隙贯穿整个岩体之后,构造裂隙便转化为新的卸荷裂隙,岩体近垂直岩层面裂隙发育,多为风化裂隙和重力拉张裂隙,由于上部硬岩层以悬臂梁<sup>[9]</sup>形式突出,在张拉应力的作用下,崩塌体上的危岩体被拉裂,然后,危岩在自身重力的作用下产生卸荷,卸荷裂隙在构造裂隙的基础上继承发展,在危岩体压应力作用下,垂向裂隙面贯通后形成崩落,崩塌区由内边坡中下部向上、向后扩展,最终将形成二次崩塌,崩塌体处于不稳定状态。

## 5 防治措施

根据鹰嘴岩崩塌体的形成机理分析表明,鹰嘴岩崩塌体处于不稳定状态,其上部存在的危岩体随时都有崩落的危险,对于崩塌体下居住的居民形成

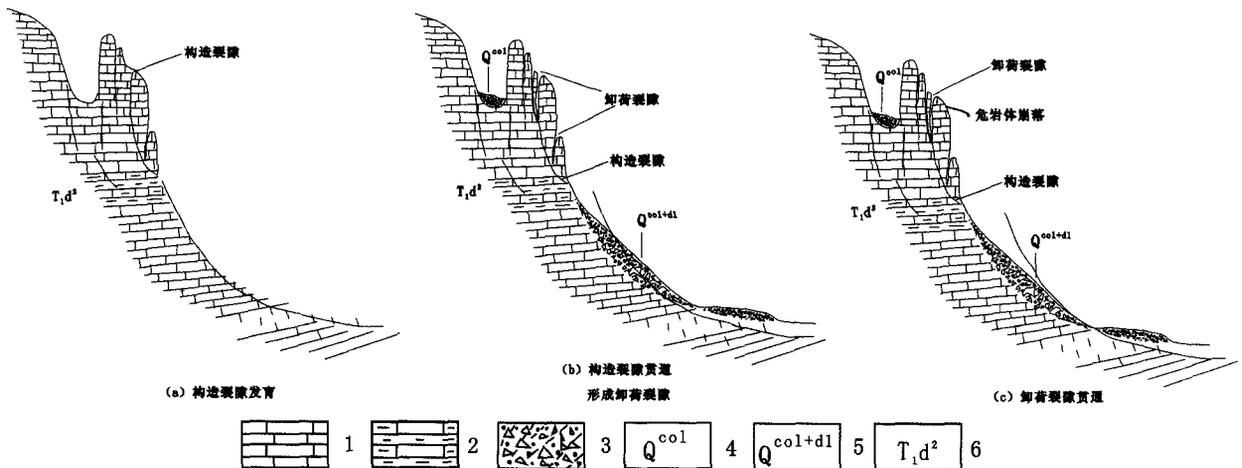


图3鹰嘴岩崩塌体形成过程示意图

Fig. 3 Formation mechanism schematic diagram of Yingzuiyan collapse, western Hubei province

1-灰岩;2-泥质灰岩;3-碎块石夹粉质粘土;4-第四系崩积物;5-第四系崩积坡积物;6-三叠系大冶组二段

威胁,因此,防治鹰嘴岩崩塌体的发生是十分必要的,防治崩塌的主要措施主要为修建护坡(护墙、锚杆等),防止岩土体剥落;疏导地表水和地下水,减缓冲刷及侵蚀;对于小型崩塌体,可直接采用人工削坡的方法消除隐患<sup>[10]</sup>。结合鹰嘴岩崩塌体的实际情况,防治措施可以分为非工程措施和工程措施两个方面。

### 5.1 非工程措施

建立群策群防管理体系,国土部门对崩塌体派专人进行监测,定期对危岩顶部的裂缝进行目视检查,另外,将崩塌体下方所波及范围划分危险区,对危险区居住的居民采取搬迁避让措施。

### 5.2 工程措施

在危岩顶部安装伸缩仪对裂缝变形情况进行测量,并安装报警器,在崩塌体顶部修建截水沟,对崩塌上方汇水区的地表水进行截排,防止其对危岩的进一步冲刷。采用对崩塌体上现存危岩体进行爆破清除处理,或者采取对危岩体进行锚固措施,运用锚索对危岩体进行锁定。

## 6 结论

鹰嘴岩崩塌体为属于拉裂式崩塌,其发生第一次崩塌后崩落物质在坡脚堆积,形成崩塌堆积物,崩塌的发生受地形地貌、地层岩性、地质构造、大气降雨等因素的影响,由于现阶段鹰嘴岩崩塌体上危岩后部的变形裂缝在不断加宽加深,其变形裂缝表

现为由构造裂隙发展为卸荷裂隙,在大气降雨及危岩自身重力作用影响下,危岩体失稳的可能性进一步加大,有发生再次崩塌的危险,崩塌体处于不稳定状态。

### 参考文献:

- [1] 骆银辉,胡斌,朱荣华,等.崩塌的形成机理与防治方法[J].西部探矿工程,2008,12:1-3.
- [2] 陈泽富,孔纪名,王成华.贵州纳雍崩塌式滑坡成灾特征及其避灾警示作用[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):33-35.
- [3] 董好刚,张宏鑫,陈洲丰.三峡库区云阳至江津段崩塌发育及破坏特征分析[J].人民长江,2009,40(21):20-22.
- [4] 杨转运,刘会,叶四桥,等.危岩体发育的典型环境条件分析[J].公路交通技术,2005,12(6):106-110.
- [5] 王丽琴,赖天文,栾红.工程地质[M].北京:中国铁道出版社,2008,152.
- [6] 蔡美峰.岩石力学与工程[M].北京:科学出版社,2002.
- [7] 许东俊,陈从新,刘小巍,等.岩质边坡滑坡预报研究[J].岩石力学与工程学报,1999,18(4):369-372.
- [8] 黄润秋,陈龙生.中国的人类活动诱发滑坡灾害:机制及对灾害控制的意义[J].岩石力学与工程学报,2004,23(16):2766-2777.
- [9] 董好刚,彭轩明,陈立德,等.猴子包危岩体变形机理及稳定性预测[J].华南地质与矿产,2008,(4):56-63.
- [10] 邓国仕,郑万模,杨桂花,李明辉等.四川省丹巴县地质灾害及其防治对策[J].沉积与特提斯地质,2006,26(4):101-105.

## Mechanism Analysis of Yingzuiyan Collapse in Shuibuya Reservoir, Western Hubei Province

LI Yi-Yong<sup>1</sup>, PENG Ke<sup>1</sup>, ZHAO Xin-Wen<sup>1</sup>, MU Qi-Chao<sup>2</sup>

(1. Wuhan Centre of China Geological Survey, Wuhan 430205, China; 2. No.1 Geological Survey Team, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** Yingzuiyan collapse is a typical reverse strata collapse, belongs to ripping-type collapse, and formation of which is under the control of terrain geomorphology, lithology, geological structure, rainfall and other factors. Upper-part and under-part of the collapse are composing of rigid rocks, while the middle-part has got a weak layer, which makes a sandwich-type lithology combination. This type of rock structure is the key factor influence the stability of Yingzuiyan collapse, while the infiltration of rainfall to the rock mass fissures accelerated the collapse occurred. Geological environment conditions and genetic mechanism analysis of Yingzuiyan collapse indicated that the collapse body is in an unstable state, with the evolving cracks in the existing dangerous rocks mass, the next landslide may happen in the near future.

**Key words:** collapse; formation mechanism; unstable state; Yingzuiyan, western Hubei province