

# 新疆天山天池景区飞龙涧崩塌及其防治<sup>\*</sup>

刘 黎<sup>1,2</sup>, 陈宁生<sup>1,2,3</sup>, 罗德富<sup>2</sup>

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 四川省山区减灾工程技术研究中心, 四川 成都 610041)

**摘 要:**飞龙涧崩塌位于新疆天山天池景区内, 发育在天池冰碛湖堤东侧, 三工河左岸陡崖上, 4个崩塌体组成的一大型浅层崩塌。崩塌平面形态呈不规则的马蹄形, 面积 $0.105\text{ km}^2$ 。飞龙涧大型崩塌是地质因素、地貌因素、气象因素、水文因素综合作用的结果; 是激发因素——暴雨、有利的地质地形条件——基岩破碎、山高坡陡和地下水长期作用、河流冲刷等综合作用的结果。针对本区的社会条件和自然条件, 提出了防崩减灾对策, 具体分为工程措施和非工程措施。

**关键词:**崩塌; 防治措施; 天山天池; 新疆

**中图分类号:** P642.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0079-04

## 1 自然地理条件

### 1.1 地理位置

飞龙涧崩塌位于新疆天山天池景区内, 即三工河天池出口下游约 $1.2\text{ km}$ 河段两岸陡崖上, 南起三工河天池出口, 北至游客中心。地理坐标: $88^{\circ}06'54.14''\sim 88^{\circ}07'18.12''\text{E}$ ,  $43^{\circ}54'09.04''\sim 43^{\circ}54'34.70''\text{N}$ (图1)。景区公路(S111线)沿崩塌后缘(海拔 $1720\sim 1860\text{ m}$ )在冰碛堤坝蜿蜒上下, 而飞龙涧景区栈道布设于河段右岸。

### 1.2 地貌环境

飞龙涧崩塌位于天山北坡海拔 $1900\text{ m}$ 以下的中山地带, 紧邻三工河, 东以安山岩为界, 西侧河岸基岩亦为安山岩, 其上覆盖为第四纪冰碛层。三工河飞龙涧河段枯洪水位变幅大, 枯水期河漫滩较宽, 滩上的块石、砾石磨圆较差。

冰碛湖堤位于三工河飞龙涧段左岸一侧, 长约 $1.5\text{ km}$ , 宽约 $0.5\text{ km}$ , 呈三级阶梯形舌状体, 自南向北逐级降低<sup>[1]</sup>。平台坡度较缓, 在 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间。表面土壤以栗钙土为主, 植被为针叶林, 林下草本植被发育, 地面苔藓层较厚。

飞龙涧崩塌位于冰碛湖堤东侧, 三工河左岸。崩塌体后缘海拔 $1720\sim 1948\text{ m}$ , 前缘海拔 $1619\sim 1855\text{ m}$ , 高差 $40\sim 120\text{ m}$ , 长 $73\sim 160\text{ m}$ , 宽 $85\sim 425\text{ m}$ , 表面十分破碎, 缺失土壤层和植被。只有

局部坡面覆盖有草被。

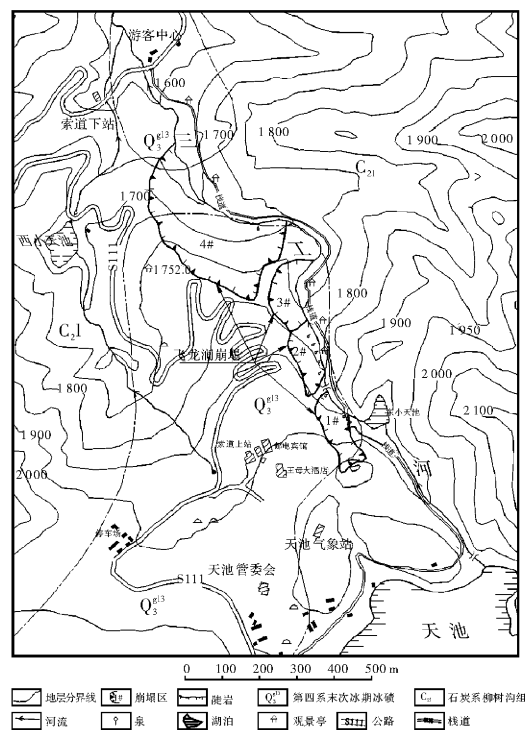


图1 飞龙涧崩塌分布图

### 1.3 地质条件

飞龙涧崩塌基岩为石炭系柳树沟组( $C_2l$ ), 岩性为安山岩、凝灰岩。地表覆盖有第四纪地层末次冰期堆积成的冰碛物( $Q_3^{al}$ )。基岩节理发育, 岩体破碎, 易发生河岸岩崩、滚石和崩积等。区内

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-04-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAJ06B02)

作者简介: 刘黎(1982-), 女, 重庆人, 硕士, 工程师, 主要从事山地灾害防治方向的研究. E-mail: cowaway@163.com

未见断层,地震烈度为Ⅶ度,相应的地震动峰值加速度为0.15 g。

#### 1.4 气候条件

飞龙涧崩塌位于天山北坡针叶林带内,为高山寒温带,气候具有以下几个特征:一年雨旱两季分明,4-10月为雨季,11月至次年3月为旱季。根据天池气象站(海拔1 927 m)1971-2007年观测资料统计,区内多年平均降雨量562 mm,其中雨季降水量占85.6%,旱季降水量占14.4%。最大降水月发生在6月,这一月的平均降水量占全年的16.3%。雨日少,2001-2007年的多年平均雨日率仅为27.4%。雨量一般较小,为几毫米到十几毫米,超过25 mm的雨日不多,在2001-2007年的7年观测中出现的频率仅占总雨日率的6.5%。暴雨出现频率小,在2001-2007年的7年观测中仅出现过6次,仅占总雨日的0.8%。区内年平均气温低,1971-2007年的统计平均气温2.2℃。

#### 1.5 水文条件

三工河自南向北从崩塌坡脚通过。三工河飞龙涧段丰水期流量6~8 m<sup>3</sup>/s,枯水期1 m<sup>3</sup>/s左右。飞龙涧崩塌地段的地下水主要来源于天池,其次由降水、冰雪融水补给。地下水类型为孔隙水。孔隙水主要分布于松散层中,即末次冰期冰碛Q<sub>3</sub><sup>gl3</sup>地层中。

经调查,出露泉眼有9个,大致在海拔1 850~1 670 m之间。其中流量最大为2.2 L/s。地下水无色、无味、无臭、透明,水温0~4℃;地下水化学类型为硫酸盐·钙钠型水,对砼及钢筋无腐蚀性;pH值7~8,为弱碱性水;矿化度<1 g/L,为淡水;硬度1.5~3 meq/L,为软水。

## 2 崩塌发育特征

### 2.1 地表形态特征

飞龙涧4个崩塌体组成一个大型浅层崩塌。崩塌平面形态呈不规则的马蹄形,表面上陡下缓,崩积坡段平均坡度37.1°~39.8°。崩塌方向与三工河近于直角相交。表1为4个崩塌体的基本情况。

表1 飞龙涧大型崩塌基本情况统计表

崩塌 编号	后缘高程 /m	前缘高程 /m	坡度 /°	长度 /m	宽度 /m	崩落 方向
1 <sup>#</sup>	1 878~1 948	1 825~1 855	38.0	147	81	NE 39°
2 <sup>#</sup>	1 800~1 858	1 760~1 805	39.8	75	151	NE 57°
3 <sup>#</sup>	1 794~1 800	1 720~1 760	38.7	73	186	NE 68°
4 <sup>#</sup>	1 720~1 792	1 619~1 698	37.1	160	428	NE 22°

4<sup>#</sup>崩塌体后缘有一条平行于后壁的横向拉张裂缝,裂缝离后缘平均距离1 m,长约7 m,宽约0.5 cm。

崩塌前缘海拔1 850~1 670 m一带有多处地下水出露,加之降水的作用,崩积物质结构松散,致使地表水切割侵蚀作用比较强烈。现在崩塌群坡面发育多条崩槽沟,将崩塌区表面侵蚀切割得支离破碎。其中两条冲沟规模较大,切割深度为0.1~0.5 m。

### 2.2 崩塌危岩体特征

崩塌危岩体位于崩塌区后缘平面上,呈带状分布。危岩体岩性主要为石炭系柳树沟组(C<sub>2</sub>l)安山岩、凝灰岩。岩体节理发育,风化破碎,节理产状分别为144°∠75.5°、40°∠28°、280°∠29°。切割后的岩体在空间形态上为块状体、柱状体、板状体、楔形体等。部分岩体已出现绿泥石化现象,随时都有可能发生小型崩落。岩体基本质量等级为Ⅳ级,风化程度为中—强风化。

### 2.3 崩塌堆积体特征

崩积体位于崩塌区前缘。崩塌堆积体成群分层堆积,每层厚约30 cm,由于重力分选,上部颗粒细小,下部颗粒粗大,崩积体平均堆积坡度34°左右。

崩积体较厚,最厚为12~14 m,从坡脚向上逐渐变薄,为5~8 m,堆积体总体积为68.1万m<sup>3</sup>。

崩积体主要由崩积物组成,为岩块、碎石土。岩块和碎石由绿色、紫色的块石、碎石、砾粒及灰色的砂粒、黄色的粉粘粒组成,结构中密—松散。碎石粒径多为6~20 cm,分选及磨圆差,成份为安山岩、凝灰岩等。块石粒径最大可达2 m,成分为安山岩、凝灰岩等,中—微风化。在砂砾中,砾粒约占72.9%~44.3%,砂粒约占48.5%~20.7%,粉粒约占4.3%~6%,粘粒约占0.5%~2.6%。

### 2.4 崩塌与三工河的关系

三工河自南向北从崩塌坡脚流过,下蚀沟道的同时也侧蚀崩积体坡麓。三工河飞龙涧段丰水期流量6~8 m<sup>3</sup>/s,枯水期1 m<sup>3</sup>/s左右。从上游到下游河道纵坡度逐渐变缓,沟床逐渐变宽。1<sup>#</sup>崩塌前缘沟床平均坡度最大为20°,沟床平均宽度最窄,为17 m左右;4<sup>#</sup>崩塌前缘沟床平均坡度最大为10°,沟床平均宽度最宽,为45 m左右。山洪的下蚀作用减弱,侧蚀作用增强。

### 3 崩塌形成机制

飞龙涧大型崩塌是在特定的自然环境条件与地质环境条件下形成和发生的,是地质因素、地貌因素、气象因素和水文因素综合作用的结果<sup>[2]</sup>。

#### 3.1 三工河持续下切和侧蚀河道形成左岸陡坡,为崩塌提供地形条件

自从冰后期(约1万年前)以来,冰川退出天池冰湖后,出湖的三工河河流不断下蚀沟道,同时沟道向左岸迫进;在这个过程中右岸崩落大岩块坠入沟道,利于沟道左移。长期以来三工河的下蚀深度达到40~120 m,该数值为崩塌发生发展的临空高度。由于三工河河道摆动,摆动到崩塌体坡脚时,会扰动崩塌体(尤其是崩积体)。

崩塌体的坡度上陡下缓,上部为崩塌坡,下部为崩积坡,坡度变化在30°~40°之间,为崩塌提供势能条件。

#### 3.2 陡崖基岩破碎,为崩塌提供危岩条件

崩塌基岩为石炭系安山岩、凝灰岩。凝灰岩三组节理发育,将岩层分割成块体、柱状体、楔状体;再经第四纪冰期与间冰期气候的冰川气候冰缘气候交替影响,风化强烈,节理内岩块表层出现绿泥石化现象,这是构成崩塌的地质基础。

#### 3.3 暴雨的诱发作用

飞龙涧地区是天池周围多暴雨区之一。对于崩塌体(坡),暴雨雨水进入裂隙,会加快裂隙的纵深发展。在岩体自重和水的动、静水压力作用下,就会容易脱离母体而形成崩塌。

据临近的天池气象站资料与飞龙涧崩塌斜坡变形的相关分析,大雨、久雨后斜坡变形快,少雨、小雨斜坡变形慢,无雨的干旱季节斜坡几乎无明显的变形。

#### 3.4 地下水的长期作用

根据水文地质调查,飞龙涧崩塌的形成与地下水的的作用密切相关。

(1) 冻融作用 飞龙涧崩塌所在地区一年气温在0℃上下波动的时间较长,崩塌体上从天池渗透的径流使得整个崩塌岩体含水量较高,冻融作用强烈。每年从10月下旬开始冻结,到4月上旬开始解冻融化。冻结期内昼夜温差大,岩体因空隙中水的冻结而体积增加,使岩体中的裂隙膨胀继续扩展;当温度升至0℃以上时,岩体体积又趋于缩小。多次循环后,岩体就会更破碎,裂隙也会更加扩大、增长,为水在岩体中分布提供更大的

空间。当温度再一次降至0℃以下时,扩大的裂隙中水的冻胀作用更为强烈。反复经历这种冻融循环作用将会导致岩体裂隙空间尺度持续叠加,使岩体结构破坏,强度降低。另一方面,从更长的时间尺度分析,由于冻融作用只能影响一定深度,从而引起岩体表层与深层岩体之间存在物理力学性质的差异。此外,在冰融成水期间,水在岩体中流动还将引起其裂隙空间的变化,对岩体的结构、强度影响很大。

(2) 渗透力作用 渗透力是坡体中动水压力和静水压力的总称,在高含水的坡体中,渗透应力对坡体的破坏作用非常明显,它作为一种体力叠加在坡体上,增加了坡体的下滑力。天池水位的变化对高陡斜坡稳定有很大影响。根据野外调查,飞龙涧出露的地下水主要来源于天池,一年之中天池洪枯两季水位的变幅在3m左右,夏季天池水位增加,相应地对飞龙涧高陡斜坡的渗透力增大,反之亦然。

(3) 化学溶蚀作用 飞龙涧崩塌岩体主要为凝灰岩、安山岩。地下水的活动加速了岩石中长石矿物的风化,并在溶蚀过程中逐渐被地下水带走,增大了裂隙。

#### 3.5 洪水冲刷作用

河流的冲刷作用是飞龙涧崩塌形成的重要外因。河流的侵蚀作用,特别是丰年夏季洪水流量聚增,由冬季的1 m<sup>3</sup>/s增至8 m<sup>3</sup>/s,冲刷河床,侧蚀崩塌堆积体坡脚,从而导致坡体失稳。

### 4 崩塌稳定性分析

#### 4.1 崩塌危岩体(坡)稳定性分析

飞龙涧崩塌坡体上基本无植被覆盖,为裸露坡,陡坡坡度大于40°。岩体遭受三组节理分割,十分破碎;部分岩体已经绿泥石化,岩体基本质量等级为Ⅳ级,风化程度为中—强风化。在强风或暴雨条件下,危岩体极易脱离基岩,发生崩塌或滚石。

在距崩落坡坡顶1 m处有2条与后壁大致平行的拉张裂缝。其中一处裂缝长7 m,宽0.5 cm,距公路弯道一条不足3 m,另一条不足5 m。在暴雨冲刷、行驶车辆的震动等作用下,裂缝将不断发展,裂缝外侧的岩体极易脱离母岩,向下崩塌,危及公路及栈道。

因此,排除地表水,提高危岩体的整体稳定性,控制裂缝的发展是防治崩塌的重要措施。

## 4.2 崩塌堆积体(坡)稳定性分析

飞龙洞崩塌堆积体(坡)中下部较厚。当无三工河水冲刷河道和侧蚀崩积坡坡脚时,崩积坡坡顶向上发展,直抵崩落坡上部(图2A)( $a \rightarrow a'$ );崩落坡坡脚往外扩展(由 $b \rightarrow b'$ ),则不仅崩积体趋于稳定,崩落坡亦将趋向稳定。当前提不存在,趋向便走向反面(图2B、图2C)。可见,改变三工河河道(图2A)、防止侧蚀崩积坡坡脚(图2B)、杜绝河道下蚀(图2C)和提高河床高度(图2D)是防治崩塌危害的主要措施。

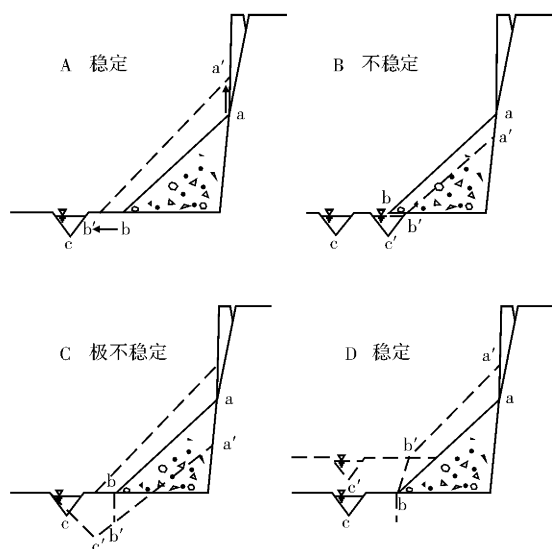


图2 河道变迁与崩积体(坡)稳定性关系示意图

## 5 防治措施

为了使灾害尽快得到治理,参考相关灾害治理的经验<sup>[3-7]</sup>,本崩塌灾害的防治分工程措施和非工程措施。

### 5.1 工程措施

对危害突出而严重的重点整治区域实施工程治理措施,从治灾的角度来确保景区安全。

(1) 沟道内采用谷坊坝稳定沟床,防止沟床下切而使崩积体坡脚悬空导致崩积物垮塌。

(2) 沿崩积体坡脚修建导流墙,防止三工河洪水掏蚀崩积体坡脚,实现水土分离。

(3) 对于危害突出的地段,即临近崩塌区后缘的公路,进行钻孔灌浆或用灌注桩,以固结岩土,提高坡体的整体稳定性,防止地裂缝进一步发展,防止崩塌后壁进一步后退而危及公路。

(4) 在崩塌区后缘平台上修建排水沟,拦截和排泄变形体以外的地表水,防止地表水渗入变形体内。

(5) 对坡体表面崩槽沟进行护砌和防渗处理,在泉眼出露的位置采用预制钢筋混凝土管将水引入下游河道内,防止变形体地表水下渗至变形体内,降低变形体土石的物理力学指标。

### 5.2 非工程措施

(1) 为提高景区工作人员防御灾害的意识,使其在景区起到“安全责任人”的作用,应专门举办学习班,组织相关工作人员进行地质灾害防御相关的培训工作。

(2) 崩塌既是一个复杂的地质地貌过程,也是一个复杂的水文气象过程,具有很强的突发性。为了避免景区游客伤亡、交通阻断,应在危害严重的地段设立安全警示牌,上山车辆应减速行进,减少震动;同时,编制安全手册发放给每一位进入景区的游客。景区工作人员在广泛宣传的基础上认真贯彻执行景区安全守则。

(3) 在每年雨季来临之前或雨季结束之后,应组织有关技术人员对灾害易发地段、地裂缝以及已有的防治工程进行检查,发现问题应及时处理,不能处理的应采取相应的应急措施,并开展崩塌监测预报工作。

## 参考文献:

- [1] 郑本兴. 天池成因探讨[J]. 干旱区地理, 1994, 17(1): 68-75.
- [2] 唐邦兴. 山洪、泥石流、滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 83-100.
- [3] 陈晓清, 崔鹏, 唐邦兴, 等. 峨眉山5·2崩塌灾害及防治措施[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 42-46.
- [4] 吴彩燕, 乔建平, 王成华, 等. 贵州省纳雍县鬃岭镇“12·3”大型崩塌灾害分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 100-102.
- [5] 陈强, 聂德新, 李树武. 澜沧江乌弄龙电站坝前崩塌堆积体发育特征及稳定性评价[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 95-100.
- [6] 吴积善, 王成华, 程尊兰. 中国山地灾害防治工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997: 155-210.
- [7] 朱平一, 何子文, 汪阳春, 等. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 158-184.

(下转至第132页)