

# 海螺沟景区典型泥石流流域地貌特征及灾害防治

倪化勇

(成都地质矿产研究所, 成都 610081)

**摘 要:**海螺沟景区泥石流对当地居民和外来游客的生命安全、景区公路和旅游设施以及景区生态环境构成严重威胁,严重影响到景区旅游业的发展。在查明景区内泥石流沟分布的基础上,对景区内泥石流流域地貌特征进行初步分析,探讨景区内泥石流流域地貌的演化模式,采用面积-高程分析方法对泥石流流域地貌所处的发育阶段进行判别,发现景区内泥石流沟主沟长度和流域面积之间呈现出明显的幂函数关系,并且所有泥石流沟现正处于壮年期或壮年偏幼期发育阶段;最后提出了景区泥石流的防治措施。

**关键词:**海螺沟景区;泥石流;流域地貌;防治

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2010)01-0154-05

## Geomorphologic Characteristics of Typical Debris-flow Basins in Hailuoguo Scenic Spot and Disaster Prevention

NI Hua-yong

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** On the basis of field investigation and former researches, 10 typical debris-flow gullies were found in the Hailuoguo scenic spot, Sichuan province, Southwest China, which have been threatening the life safety of both local residents and visitors, the tourism equipments such as roads and cableways, as well as the environments. In this paper, the geomorphologic characteristics of the above-mentioned 10 typical debris-flow gullies were analyzed preliminarily including the relation between drainage area and gully length, the evolution model of the drainage basin of debris-flow gully and the differentiation of developing stage of debris-flow gullies through the application of area-elevation-curve method. And it was concluded that a power-law relation is existed between debris-flow-gully drainage area and gully length and that all the debris-flow gullies are at the prime stage which indicates a great probability of the occurrence of serious debris flows in the future. In the end of this paper, some prevention measures were advised including both the non-engineering measures and engineering measures.

**Key words:** Hailuoguo scenic spot; debris flow; geomorphology; prevention

海螺沟冰川森林公园景区位于贡嘎山东麓,泸定县县城以西 52 km 处(图 1),流域面积约 200 km<sup>2</sup>,沟口地理坐标东经 102°07',北纬 29°38'。景区以大型低海拔现代冰川著称于世,融原始森林、珍稀动植物、温泉、瀑布于一沟,构成了壮丽奇特的景观,具有知识性、趣味性、惊险性、娱乐性等特色。

景区处于川西高原与四川盆地的交接带上,地势总体呈东西两侧和北面高、中部和东南部低。区域内岭谷高差一般 1 500~3 000 m。区域内各支沟狭窄,多呈“V”型谷,沟床深切而陡峻,多跌坎;两岸

陡峭,谷坡坡度 35°~55°,沟谷宽 10~60 m;在支沟和主沟交汇处相对开阔,两岸谷坡的坡度 25°~35°,河谷宽 100~200 m。

该区出露地层由老至新分别为震旦系、奥陶系、志留系、泥盆系、二叠系、第四系,区内岩性主要为花岗质混合岩、花岗闪长岩、大理岩夹千枚岩、石英云母片岩,第四系崩坡积物、残坡积物和冲洪积物等。

该区受磨西断裂影响强烈。磨西断裂属鲜水河断裂带南延部分,活动性质为左旋走滑型,属全新世活动断裂,全长达 150 km,主体呈 NNW-SSE 向

\* 收稿日期:2009-08-30

基金项目:中国地质调查局“四川泸定县地质灾害详细调查项目”(项目编号 1212010640503)

作者简介:倪化勇(1979-),男,硕士,山东临朐人,主要从事泥石流灾害预测预报、评价与灾害地貌的研究。E-mail:nihuayong@126.com

延伸。断裂西盘为震旦系、泥盆系、二叠系地层,东盘为晋宁 - 澄江期花岗岩和闪长岩。主断带多由构造透镜体、千枚岩、糜棱岩、断层泥等组成,片理发育,断面光滑,多具擦痕。该区同时也是受地震影响较为严重的地区。根据地震资料统计,海螺沟景区所在的泸定县外围 300 km 范围内自公元 1216 年以来,共记载 7.0~7.9 级地震 7 次;6.0~6.9 级地震 21 次;5.0~5.9 级地震 71 次。近场区 25~50 km 范围内记载到 7.0~7.9 级地震 2 次;6 级地震 2 次;5 级地震 1 次。

该区气候属于大陆性季风高原型气候。根据对中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站 1 600 m 台地气象站(1991 年 7 月至 2005 年 12 月)及 3 000 m 台地气象站(1988 年 1 月至 2005 年 10 月)降水资料<sup>[1]</sup>的统计分析表明,该区降水区域差异性、季节差异性和垂直地带差异性明显,降水主要集中在 6 - 9 月。海螺沟景区降雨量特征值见表 1。

表 1 海螺沟风景区降雨量特征值							mm
气象站	年最大降雨量	年平均降雨量	月平均降雨量	月最大降雨量	日最大降雨量	日平均降雨量	
1600 m 台地气象站	1113.6	897.8	81.4	300.5	75.3	2.8	
3000 m 台地气象站	2160	1941.5	161.8	438.5	91	5.3	

1 泥石流概况

受上述地形地貌、地层岩性、地质构造及气象降水特征的影响,海螺沟两岸泥石流沟发育广泛。其中,近期暴发频繁且对当地居民、游客、景区公路、旅游设施等构成威胁的典型泥石流沟有 10 条,分别为二台子沟、小河沟、一号营地沟、红崩溜沟、三号营地沟、黄崩溜沟、热水沟、马场沟、欧家大槽沟和无名沟。这 10 条典型泥石流沟的分布见图 2。

从分布岸别上来看,主要分布在海螺沟的左岸;从成因上来看,除位于海螺沟上游的三号营地沟、红崩溜沟、无名沟泥石流属于暴雨 - 冰雪融水混合型外,其他多属于暴雨型泥石流;从威胁对象上来看,主要威胁包括游客在内的生命安全以及景区公路、索道、酒店和温泉等旅游设施的财产安全;从暴发时

表 2 海螺沟景区典型泥石流灾害			
泥石流暴发时间	暴发泥石流的沟谷	泥石流暴发时间	暴发泥石流的沟谷
1989-07-26	黄崩溜沟、热水沟等	1995-08-11 至 08-12	黄崩溜沟、热水沟等
1990-07-12	黄崩溜沟等	2003-07-26	黄崩溜沟等
1995-07-28	黄崩溜沟、热水沟等		

2 景区泥石流流域地貌特征

2.1 流域地貌要素

关于泥石流发生的地形地貌条件,前人已经作

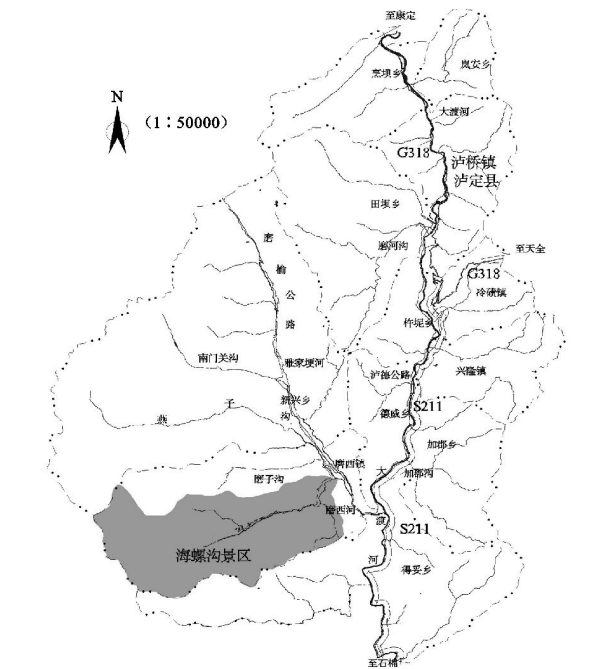


图 1 海螺沟景区地理位置示意图

间来看,景区泥石流的暴发存在一定的准周期性,如 1989 年、1995 年、2003 年曾是景区泥石流群发年份(表 2),间隔时间约 6~8 a。

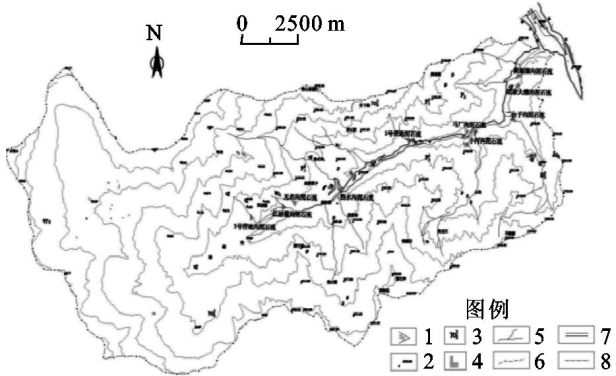


图 2 海螺沟风景区泥石流灾害分布图

了大量的研究,泥石流发生在特定的流域面积、流域长度和流域高差或比降范围内已成定论,但不同的地区范围可能不同。在实地量测和 1 50 000 地形图判读基础上,得到海螺沟景区典型泥石流沟流域

地貌要素特征值(表 3)。从表 3 可以看出,海螺沟景区泥石流流域面积均在 20 km<sup>2</sup> 以下,主沟长度在 10 km 以下,而主沟纵坡比降一般较大。

2.2 流域形态指数

流域形状对泥石流汇水区、形成区的汇水速度以及沟道中洪峰流量大小具有重要影响。流域形状可用形态指数来定量计算:

$$= \frac{A}{L^2}$$

(1)

式中: —形态指数; A ——流域面积 (km<sup>2</sup>); L ——主沟长度(km)。

根据上式对海螺沟景区 10 条典型泥石流沟的

流域形态指数分别进行计算,计算结果见表 4。根据形态指数计算结果和 1 : 50 000 地形图,发现景区内泥石流沟流域形状多为栎叶形和桃叶形,这种形态均有利于泥石流的发生。进一步可以看出,景区内 3 号营地沟的流域形态指数最大,明显高于其他泥石流沟流域的形态指数,而无名沟流域形态指数最小。据研究<sup>[2]</sup>, 值越大,反映沟道中洪峰流量越大。因此,可以初步判断,景区内 3 号营地沟泥石流易发程度和频度应大于其他泥石流沟。事实上,据调查访问和文献查阅<sup>[3]</sup>得知,自 1976 年以来,该沟已经发生 6 次泥石流事件,造成了严重的损失,其暴发频率明显高于其他泥石流沟。

表 3 景区泥石流沟流域地貌要素特征值

沟名	经度/(°)	纬度/(°)	流域面积/km <sup>2</sup>	主沟长度/km	主沟纵坡/‰	相对高差/m
黄崩流沟	102.1117	29.6272	5.3	4.4	350	2522
欧家大槽沟	102.1133	29.6225	0.5	1.3	515	643
二台子沟	102.1147	29.6113	9.4	7.1	151	1866
热水沟	102.0310	29.5889	12.2	6.8	212	3411
无名沟	102.0106	29.5806	0.2	1.1	615	464
3 号营地沟	101.9914	29.5758	3.3	2.6	575	2319
红崩溜沟	102.0023	29.5860	1.5	2.2	571	1476
1 号营地沟	102.0640	29.6034	2.2	2.5	400	1794
小河沟	102.0938	29.6066	19.6	9.1	242	2840
马场沟	102.0893	29.6076	0.6	1.5	634	1469

表 4 景区泥石流沟流域形态指数

流域名称	黄崩溜沟	欧家大槽沟	二台子沟	热水沟	马场沟
形态指数	0.269	0.282	0.184	0.263	0.281
流域名称	无名沟	3 号营地沟	红崩溜沟	1 号营地沟	小河沟
形态指数	0.162	0.483	0.297	0.358	0.239

2.3 流域地貌演化模式

泥石流流域地貌演化过程中,由于沟床揭底、溯源侵蚀和侧蚀,沟谷长度、流域面积和沟床比降等都发生变化。统计发现,海螺沟景区上述 10 条泥石流沟流域地貌演化过程中,沟谷长度和流域面积之间存在幂函数关系(图 3)。两者之间的定量关系式为

$$L = 1.94A^{0.49}$$

(2)

式中:A ——流域面积(km<sup>2</sup>);L ——主沟长度(km), R<sup>2</sup> = 0.9588。

该关系在一定程度上反映了景区内泥石流流域地貌演化的模式,根据该模式可以判断泥石流沟今后的演化趋势和活动程度。

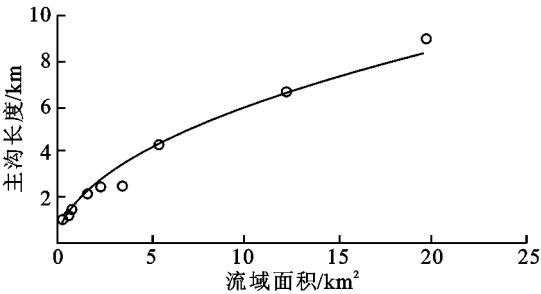


图 3 景区泥石流沟流域面积和主沟长度关系图

2.4 流域面积 - 高程曲线

2.4.1 面积 - 高程曲线分析 面积 - 高程曲线分析越来越多地应用于河流地貌与泥石流流域地貌特征分析及其演化阶段的定量判别<sup>[4+11]</sup>。设流域面积为 A,该流域内某等高线以上的面积为 a,该等高线与流域最低点的高差为 h,流域最高点与最低点的高差为 H。首先在地形图上,确定某泥石流流域范围,再量出每一条等高线以上流域的控制面积和每条等高线与流域最低点的高差。以  $x = a/A$ ,  $y = h/H$  分别为横坐标和纵坐标,显然  $x, y$  的值域为[0,1],根据一系列( $a_i, h_i$ )值,就可在  $x, y$  坐标系上绘出曲线:

$y = f(x)$  (3)

该曲线即为流域面积 - 高程曲线,如图 4 所示,将其积分记为  $S$ :

$S = \int_0^1 f(x) dx$  (4)

根据 Stranler 理论,当  $0.6 < S < 1$  时,表示流域的地表物质被侵蚀小于 40%,此时曲线形状为上凸,地貌发育阶段为幼年期;当  $0.35 < S < 0.6$  时,表明地表物质被侵蚀大于 40%而小于 65%,曲线接近直线,地貌发育阶段为壮年期;当  $0 < S < 0.35$  时,表明有 65%以上的物质被侵蚀掉,曲线形状为下凹,此时为老年期。

因此,根据曲线形状与  $S$  值的大小,按照一定的划分标准就可确定泥石流流域的发育阶段,如图 5 所示。

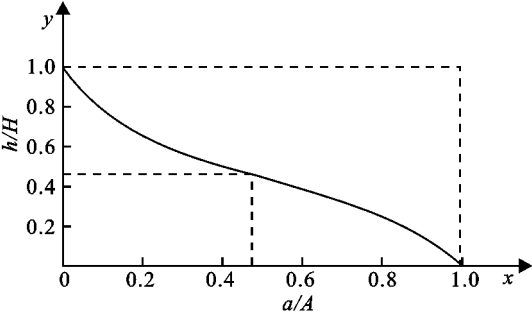


图 4 面积 - 高程曲线图

2.4.2 景区泥石流流域面积 - 高程曲线及其发育阶段 根据上述面积 - 高程曲线分析方法,在 1 50 000 地形图上分别绘制了海螺沟景区泥石流流域范围,利用 Map Gis 软件进行地形图矢量化并分别统计了不同高程(等高距约 200 m)以上的控制面积。最后用 Excel 进行相关处理,得出系列  $(x_i, y_i)$ ,采用拟合的方式分别绘制出景区内各泥石

流流域的面积 - 高程曲线。比较发现,三次多项式拟合效果最佳。拟合曲线和方程及相关系数分别见图 6 和表 5。

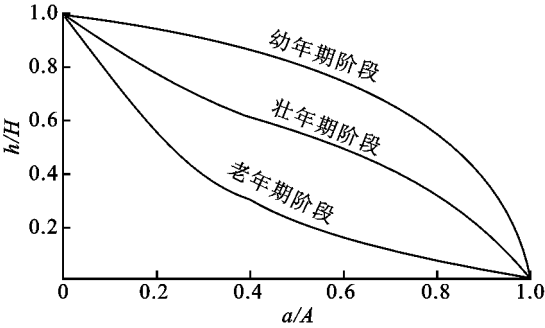
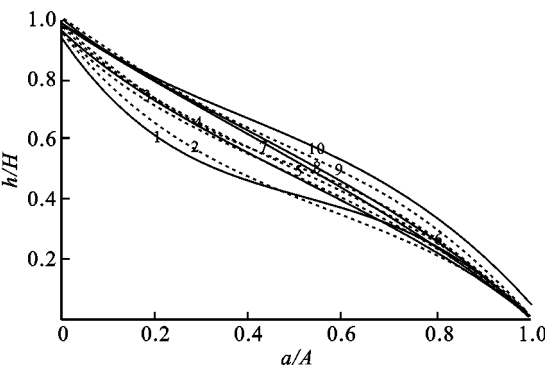


图 5 面积 - 高程曲线反映的地貌发育阶段

从表 5 可以看出,拟合方程相关系数均在 0.99 以上,拟合精度高。据此,分别对曲线方程在  $[0, 1]$  区间进行积分计算,计算出景区 10 条典型泥石流流域的面积 - 高程积分  $S$ 。



1、二台子沟;2、小河沟;3、1 号营地沟;4、红崩溜沟;5、3 号营地沟;6、黄崩溜沟;7、热水沟;8、马场沟;9、欧家大槽沟;10、无名沟

图 6 景区泥石流沟面积 - 高程曲线

表 5 景区泥石流流域 - 面积高程曲线方程、积分及发育阶段

沟名	曲线方程	$S$	$R^2$	发育阶段
黄崩溜沟	$y = -1.7671x^3 + 2.5938x^2 - 1.8081x + 0.9782$	0.497	0.9991	壮年期
欧家大槽沟	$y = -1.1396x^3 + 1.4616x^2 - 1.3331x + 1.0135$	0.549	0.9977	壮年(偏幼)期
二台子沟	$y = -2.1256x^3 + 3.4814x^2 - 2.2927x + 0.9516$	0.434	0.9932	壮年期
热水沟	$y = -0.2799x^3 + 0.2877x^2 - 0.9726x + 0.9787$	0.518	0.9983	壮年期
无名沟	$y = -1.0425x^3 + 1.2277x^2 - 1.1332x + 0.9967$	0.579	0.9954	壮年(偏幼)期
3 号营地沟	$y = -1.4464x^3 + 2.1476x^2 - 1.6733x + 0.9660$	0.484	0.9952	壮年期
红崩溜沟	$y = -0.7416x^3 + 1.1858x^2 - 1.4144x + 0.9864$	0.489	0.9979	壮年期
1 号营地沟	$y = -0.9650x^3 + 1.5471x^2 - 1.5710x + 0.9940$	0.483	0.9997	壮年期
小河沟	$y = -1.3609x^3 + 2.4303x^2 - 2.0143x + 0.9740$	0.437	0.9975	壮年期
马场沟	$y = -0.5133x^3 + 0.5412x^2 - 0.9936x + 0.9679$	0.523	0.9976	壮年期

从表 5 进一步可以看出,景区内 10 条典型泥石流流域面积 - 高程曲线积分值  $S$  介于 0.43 ~ 0.58 之间,其中以位于景区三号营地下游 500 m 处的无

名沟和位于海螺沟下游的欧家大槽沟  $S$  值相对较大,曲线近乎上凸,而位于海螺沟下游的二台子沟和小河沟  $S$  值相对较小,曲线近乎下凹。根据 A. N.

Stanler 地貌侵蚀循环理论对流域地貌发育阶段的划分,海螺沟景区内 10 条典型泥石流流域地貌全部处于壮年期发育阶段,其中欧家大槽沟和无名沟泥石流流域地貌处于壮年偏幼期,山坡从凸形坡转为凹形坡,松散物质聚集速度快,沟槽堆积严重,形成区将进一步扩大,流通区将进一步向上游延伸。据此可以判断,这 10 条典型泥石流沟正处于泥石流暴发的旺盛阶段。因此,在今后时间里,景区内仍然存在暴发泥石流的可能且暴发频率较高,应加以防范。

### 3 泥石流防治措施

(1) 在游览线路图和旅游门票设计上,标明风景区主要泥石流灾害点,加简要说明,让人们了解景区内泥石流灾害的分布;

(2) 在游览道路上和风景点受泥石流威胁的地段,竖立明显的地质灾害警示牌,并标明逃避路线;

(3) 组织旅游区工作人员、导游、马夫及酒店和温泉场所工作人员进行地质灾害科学预防知识与救灾技能的培训。

(4) 二号营地和三号营地及其附近修建有索道站、酒店、温泉等游客住宿、休闲和娱乐等场所,分别受到热水沟和三号营地沟泥石流的威胁,建议在这两条沟的下游修建排导槽或堡坎等工程以确保这些场所的安全。

(5) 景区公路受到多条泥石流沟的威胁,如无名沟、红崩溜沟、二台子沟等。近年来,多次出现景区公路被泥石流冲毁而导致游客滞留的险情,如 1989 年、1995 年及 2005 年等。对此,建议在泥石流沟沟口修建石拱高桥跨越或吊桥通过,或修建防冲低凹式过水路面通过,以确保在泥石流等地质灾害发生的情况下,游客能够迅速撤离。

### 4 结论

(1) 受地形地貌、地层岩性、地质构造和气候特征的影响,海螺沟景区泥石流灾害分布广泛。调查发现,近年来活动频繁且对景区居民、游客以及景区公路、酒店、索道、温泉等旅游景点和设施构成威胁的典型泥石流沟有 10 条。

(2) 通过对景区内泥石流流域形态要素统计计算发现,景区内 10 条典型泥石流沟流域形态指数集中在 0.15 ~ 0.50,流域形状多为栎叶形或桃叶形,有利于降水的迅速汇集和松散固体物质的启动。

(3) 景区内 10 条典型泥石流沟流域地貌演化过程

中,沟谷长度和流域面积之间存在幂函数关系,该关系在一定程度上反映了景区内泥石流流域地貌演化的模式,据该模式,可以判断泥石流沟今后的演化趋势。

(4) 通过对景区内 10 条典型泥石流流域进行面积 - 高程分析,发现曲线积分值  $S$  均介于 0.43 ~ 0.58 之间,说明这 10 条典型泥石流沟均处于壮年期或壮年偏幼期,山坡从凸形坡转为凹形坡,松散物质聚集速度快,沟槽堆积严重,据此判断这 10 条沟谷正处于泥石流暴发的旺盛阶段,应加以防范。

(5) 提出了景区泥石流防治的工程措施和非工程措施。

**致谢:**野外考察得到了泸定县国土局和海螺沟景区管理局的支持,参加野外考察的还有成都地质矿产研究所教授级高级工程师李宗亮、工程师巴仁基、刘宇杰,在此一并谢意。

#### 参考文献:

- [1] 倪化勇,李宗亮,巴仁基,等.贡嘎山东坡磨西河流域泥石流暴发的临界雨量值初探[J].山地学报,2007,25(6):719-728.
- [2] 沈玉昌,龚国元.河流地貌学概论[M].北京:科学出版社,1986.
- [3] 谭万沛.海螺沟风景区地质灾害对旅游的影响及防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,1996,7(2):81-85.
- [4] 陆中臣,贾绍凤,黄克新,等.流域地貌系统[M].大连:大连出版社,1991.
- [5] 周必凡,李德基,罗德富,等.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.
- [6] 蒋忠信,姚令侃,艾南山,等.铁路泥石流非线性特征研究与防治新技术[M].成都:四川科学技术出版社,1999.
- [7] 姜鲁光,张祖陆.鲁中南山地流域地貌的高程 - 面积分析[J].山东师范大学学报:自然科学版,2003,18(1):63-66.
- [8] 李青,曾凡伟,徐刚,等.泥石流流域地貌发育阶段的定量分析:以北碚区为例[J].宜宾学院学报,2004,4(4):82-85.
- [9] 吕学军,刘稀林,苏鹏程.四川达曲河流域泥石流沟发育阶段的面积 - 高程分析[J].山地学报,2005,22(3):336-341.
- [10] Li Y, Hu K H, Cui P, et al. Morphology of Basin of Debris flow[J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(1):1-11.
- [11] 王晓朋,潘懋,任群智.基于流域系统地貌信息熵的泥石流危险性定量评价[J].北京大学学报:自然科学版,2007,43(2):211-215.