

四川省石棉县安顺场飞水岩沟泥石流 综合评判及风险性分析^{*}

王春山, 巴仁基, 刘宇杰, 邓国仕

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘 要: 飞水岩泥石流位于四川省石棉县安顺场乡, 是一条中频中等规模的泥石流沟。该泥石流沟严重威胁着沟口附近的医院、办公楼和民居等安全。在对该沟进行详细调查和研究的基础上, 采用数量化综合评判法和模糊数学综合评判法对其严重性进行了分析。综合评判结果显示飞水岩沟属中等严重的泥石流沟。运用泥石流风险评价理论, 结合泥石流的危险度评价和易损度评价, 综合飞水岩沟泥石流危险度评价($H_{\text{单}} = 0.52$)和灾害的易损度评价($V_{\text{单}} = 0.59$), 运用自然灾害风险度模型, 得出了飞水岩沟泥石流的风险度为0.31, 为中度风险泥石流沟。针对飞水岩沟的特点提出了相应的防治建议。

关键词: 泥石流; 综合评价; 风险度; 飞水岩沟; 安顺场; 四川

中图分类号: P315.9; P426.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0069-05

安顺场位于四川省西南部的大渡河中游南岸, 距石棉县城11 km, 是太平天国著名的军事将领石达开全军覆灭的地方, 也是中国工农红军强渡大渡河革命纪念地。由于红色教育基地的建立以及当地政府对旅游事业的大力扶持, 安顺场成为中外友人旅游之地和青少年爱国主义教育的重要场所。飞水岩泥石流沟位于安顺场乡政府东南方向1 km左右, 地理位置: $29^{\circ}15'47.69''\text{N}$ 、 $102^{\circ}17'10.41''\text{E}$ 。该沟在1976年和2003年发生大规模的泥石流, 造成了严重的生命及财产损失, 近些年来每年发生小规模泥石流, 严重地威胁了当地群众及往来行人的生命财产, 因此有必要对其进行综合评价及风险性分析。

1 泥石流形成的环境背景条件

1.1 地形地貌

飞水岩泥石流沟位于石棉县下侧, 属中山地区。在大地构造单元上位于扬子陆块康滇断层带的北部。飞水岩沟海拔分布范围为960~2 140 m, 流域面积为4.62 km², 但沟口到源头海拔高差达到1 180 m, 主沟纵坡比降达236‰。流域源头地形陡峻, 坡降大, 岸坡坡度30°~40°。流域内地貌格局受构造和岩性的制约, 地壳的强烈上升形成了深切的沟道, 呈“V”字型。河谷中发育有滑坡、崩塌地貌。

1.2 水文、气象

飞水岩所属区域为亚热带季风气候, 区内多年平均气温10.7℃~18.0℃, 最高温度40.3℃,

最低温度零下15.0℃。多年平均年降水量为1 200.9 mm, 但分布不均, 主要集中于5~9月, 占全年降水量的86.4%。同时, 山地降雨多于河谷地带, 且多以暴雨或阵雨出现。年蒸发量达1 573.9 mm, 为降雨量的1.31倍。相对湿度为69%, 变化规律与降水一致。全年日照丰富, 无霜期长, 平均日照数1 237 h, 夏季较多、冬季较少, 平均无霜期为236 d。

1.3 地层岩性

根据区域资料和工程地质测绘, 飞水岩流域的地层较为简单, 主要为第四系全新统残坡积物(Q_4^{edl})、第四系冲洪与泥石流堆积物($Q_4^{\text{apl+df}}$)、第四系冰水堆积物(Q_4^{gl})、第四系崩坡积($Q_4^{\text{col+dl}}$)、第三系冲洪积物($Q_3^{\text{al+pl}}$)、标水岩组(D_2b) (图1)。

1.4 地质构造

飞水岩泥石流沟位于磨西断裂带的南端, 受构造作用有麂子坪—大桥断层和安顺场—公益海断层发育在流域周围。其中麂子坪—大桥断层距上游分水岭边界约1.0 km, 安顺场—公益海断层距飞水岩分水岭下游边界约1.5 km。在磨西构造带的影响下, 流域内的岩体节理发育, 崩塌现象普遍。

1.5 土壤及植被

流域内以白云质大理岩强风化形成的红褐色壤土为主, 保水能较好, 土中含有5%左右的角砾和碎石, 土质较薄, 含水量很少。区内水文地质条件简单, 地下水以弱裂隙含水层为主, 地下水位普

^{*} 收稿日期: 2012-07-27

修回日期: 2012-08-28

基金项目: 中国地质调查局“大渡河重点地区地质灾害监测预警示范”(1212011014017)

作者简介: 王春山(1979-), 男, 吉林桦甸人, 工程师, 博士, 主要从事地质工程方面的研究工作. E-mail: Brown02@126.com

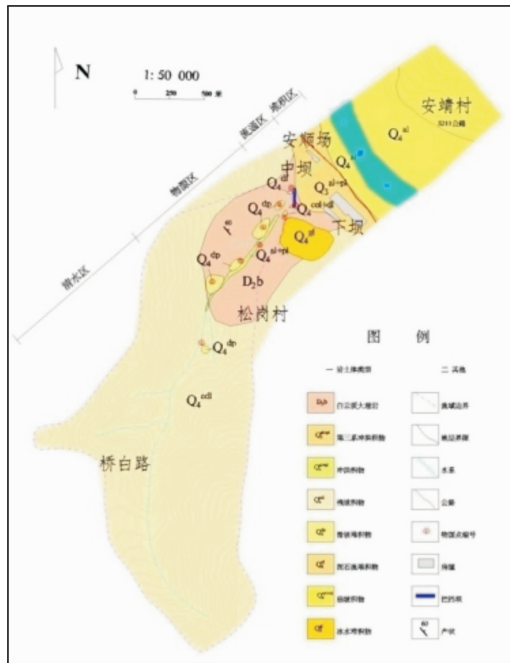


图1 飞水岩沟工程地质图

遍埋深较大，泉水出露点少见。

飞水岩沟流域内森林植被保护极好，植被覆盖率达80%以上。植被类型有：针叶林、灌木林、草地。从流域内整体土地利用上看，森林占40%、灌丛占50%、草地占5%，植被覆盖率达95%。在桥北路有缓坡耕地占5%，流域的其他耕地已经退耕还林。

2 泥石流特征

2.1 泥石流沟谷特征

飞水岩沟主沟长5 km，流域总面积约4.62 km²，海拔范围900~2 100 m，高差1 180 m，流域边界周长4.64 km，主沟纵比降为236‰。主沟以“V”型谷为主，各支流与主沟呈锐角交汇，根据其地貌及泥石流物源补给特征，将飞水岩沟划分为清水区、物源区、流通区和堆积区四个区，各区的特征见表1。

表1 飞水岩沟泥石流分区特征

分区	面积/km ²	沟长/m	高程范围/m	高差/m	纵比降/‰
清水区	3.67	3 282	1 360~2 100	740	225
形成区	0.91	1 125	1 000~1 360	360	320
流通区	0.066	262	940~1 000	60	229
堆积区	0.18	344	900~940	40	116

2.2 泥石流分区特征

(1)清水区

飞水岩沟清水区面积约3.67 km²，沟道高程范围为1 360~2 100 m，该区植被覆盖良好，未见基岩出露。清水区沟道总长约3 282 m，沟道比降

为225‰，以“V”型谷为主，沟床平均宽度约5 m。该区域植被覆盖良好，清水汇集方式主要为山坡型。虽然坡面残积物分布较广，但基本被植被根系所固定，所以汇流区地表松散物质对飞水岩沟泥石流的贡献不大。

(2)物源区

飞水岩沟形成区主要分布在主沟的中上游段，区域面积约0.96 km²，高程范围为1 000~1 360 m，物源区沟道长为1 125 m，沟道比降为320‰。物源区沟道以“V”型谷为主，部分沟道两岸坡度陡，呈“U”型谷，沟床较宽，平均宽度约15 m。物源区内主要有滑坡、崩塌，其中以滑坡为主。物质总储量为295 007 m³，强活动物源(一次泥石流最大可能提供的物源量)储量达177 000 m³。

(3)流通区

流通区位于飞水岩沟的下游段，沟道高程范围940~1 000 m，全长仅262 m，面积约0.066 km²，沟道平均宽度3~5 m，沟道纵比降为299‰，两岸皆有基岩出露，岩石为白云质大理岩。沟谷呈典型的“V”字形，两岸山坡陡峭，坡度在55°~80°，大部分由植被覆盖。流通区沟谷内的物质储量较少，多为山上的崩塌的块石。在沟口处形成一个近百米的陡岩，有流水跌落，这就是飞水岩名字的由来。

(4)堆积区

堆积区主要分布在飞水岩沟下游基岩狭窄处与大渡河之间，地势开阔，堆积体特征明显。堆积区总长344 m，总面积约0.18 km²，高程分布范围900~940 m，沟道纵比降为116‰，扩散角为90°，沟道平均宽度6 m，沟内物质以卵砾砂组成，含泥。其中最大粒径1.5 m，30~50 cm粒径占20%，10~30 cm粒径占25%，1~10 cm粒径占50%。堆积区分布大量建筑物与农田，左侧有安顺场乡医院和华能国际公司办公楼和3栋民居2层小楼，右侧为11栋2层小楼，并有电线杆16根，高压电塔一座。飞水岩堆积区冲沟有上游至下游分别修建了4个拦挡坝，受近年来泥石流的破坏作用，下游的3个拦挡坝已经破坏失效，上游的5 m高拦挡坝已经被物质淤满，失去了防护作用。

2.3 泥石流类型及运动力学特征

飞水岩沟有明显的分区特征，属于沟谷型泥石流，泥石流爆发诱因为暴雨，物质来源较多，但主要以滑坡失稳为主。飞水岩沟有记录的大规模泥石流最早发生在1976年，在2003年又发生一次规模大的泥石流，最近几年小规模泥石流爆发不断，属于中频泥石流。

飞水岩泥石流的流速计算采用《规范》^[1]中推荐的综合西藏古乡沟、东川蒋家沟、武都火烧沟的粘性泥石流通用公式：

$$V_c = H_c^{2/3} \cdot I_c^{1/2} \cdot \frac{1}{n_c} \quad (1)$$

其中,取 H_c 泥位为 4.2 m,主沟坡度为 13° ,则 I_c 水力坡度为 0.226,粘性泥石流的河床糙率取 15.5。通过以上公式计算,飞水岩泥石流的平均流速为 6.05 m/s。

飞水岩泥石流的流量采用了雨洪法和形态法进行计算。雨洪法假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生,先按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量 Q_p ,然后选用堵塞系数和泥砂修正系数,按下式计算泥石流流量 Q_c :

$$Q_c = (1 + \Phi) \cdot Q_p \cdot D_c \quad (2)$$

式中: Φ 为泥沙修正系数; Q_p 为清水洪峰流量; D_c 为堵塞系数。形态法在泥石流沟道中选择测流断面,计算出泥石流流速 V_c ,再与泥石流过流断面面积 W_c 结合,按下式求泥石流断面峰值流量:

$$Q_c = W_c \cdot V_c \quad (3)$$

相关参数及计算结果见表 2。通过对雨洪法计算出泥石流流量做比较,飞水岩沟泥石流形态调查法流量值与 $p = 20\%$ (50 年一遇)基本吻合。

表 2 流量计算结果

雨洪法				形态法	
泥沙修正系数 Φ	0.6			泥位 H_c/m	4.2
堵塞系数 D_c	2.3			水力坡度 I_c	0.226
设计频率 $p/\%$	5	2	1	流速/(m/s)	6.05
暴雨洪峰流量 $Q_p/(\text{m}^3/\text{s})$	30	37.8	44.1	断面面积/ m^2	16.4
泥石流峰值流量 $Q_c/(\text{m}^3/\text{s})$	79.1	99.9	116.5	泥石流流量 $Q_p/(\text{m}^3/\text{s})$	99.22

泥石流撞击力是泥石流防治工程设计的重要参数,按照规范中的公式对飞水岩沟泥石流整体冲击力和块石冲击力进行了计算,计算结果为整体冲击力约为 1.05×10^4 Pa,石块的冲击力为 1.17 KN。

3 泥石流综合评判

3.1 泥石流数量化综合评判

早在 1986 年谭炳炎将数量化综合评判方法用在了泥石流的严重程度评价中,并取得了基本满意的成果^[2]。之后许多学者开展了泥石流的数量化综合评判的研究。《规范》^[1]中对泥石流的综合评判是国内诸多著名专家的经验和建议,选用泥沙沿程补给长度比、河沟纵坡、植被覆盖率、区域构造影响等 15 个因素,通过对每一项的评分最后取总分进行评价。按照规范中的标准对飞水岩沟泥石流进行各项评分(表 3),评分总结果为 88 分,严重等级为中等。表中数据显示崩塌滑坡及水土流失、泥沙沿途补给长度比以及河沟纵坡度这三个因素较为活跃,对泥石流的发生起到主要的作用。

表 3 飞水岩沟数量化综合评判表

影响因素	飞水岩数据	得分
崩塌滑坡及水上流失严重程度	有零星崩塌、滑坡,冲沟较为发育,植被覆盖率高	14
泥沙沿程补给长度比/%	22.40	11
沟口泥石流堆积活动程度	沟口无扇形地形	1
河沟纵坡/%	236	12
区域构造影响程度	抬升区,4~5 级地震区,有中小支断层	7
流域林、灌、草植被覆盖率/%	>85	1
河沟近期一次冲淤变幅/m	1~2	6
岩性影响	灰白色大理岩风化强烈和节理发育的硬岩	4
沿沟松散物贮量/ $(10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2)$	29.5	6
沟岸山坡坡度/ $^\circ$	>32	6
产沙区松散物横断面	形成区为“V”型谷	5
产沙区松散物平均厚度/m	4.2	3
流域面积/ km^2	4.62	5
流域相对高差/m	1 180	4
河沟堵塞程度	中等	3
总计		88

3.2 泥石流模糊数学综合评判

控制和激发泥石流发生发展的各个因素数量多且变化复杂,数量化综合评判虽然可以对泥石流进行定量化评价,但不能对泥石流这种变化特性进行表述,因此模糊数学综合评判便被提出来。模糊数学是一种以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评判方法,它对受多种因素影响的现象或事物进行总的评价,很多学者在该方面进行了广泛地研究和应用^[3-7]。模糊数学方法虽然在泥石流研究中地应用已较为广泛,但其影响因素的选取和权重的取值并未统一,因此本文将以《规范》中数值量化综合评判中的因子为基础进行模糊数学综合评价,具体方法见相关文献^[8]。通过计算得到评判矩阵 R ,由于权重子集 $W = [0.16, 0.12, 0.11, 0.09, 0.07, 0.07, 0.06, 0.05, 0.05, 0.05, 0.04, 0.04, 0.04, 0.03, 0.03]$,模糊数学综合评判集为 $B = W \cdot R$,得到评判结果(表 4),由表 4 可以看出飞水岩沟泥石流更偏重于中等严重的泥石流。

表 4 模糊数学综合评价结果

严重等级	一般	轻微	中等	严重
评分	0.18	0.2	0.33	0.3

$$R = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.25 & 0.75 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4 泥石流风险性分析

泥石流风险度是指一定区域和时段内，由于泥石流灾害而引起的生命财产和经济活动的期望损失值。泥石流灾害风险度除了与承灾体的社会、经济和环境属性有关以外，还与灾害发生的频率（概率）有关，同时也与灾害发生的规模有关^[9]。风险度包括危险度和易损度两个方面。危险度表示了形成灾害的自然属性，易损度表示了承灾体的社会特征，因此风险度是自然属性和社会特征的有机结合。许多学者利用风险性分析方法对不同泥石流沟进行了研究^[10-13]，主要采用的是刘希林教授提出的泥石流风险评价模型^[14]，因此本文也将采用该方法对飞水岩沟进行评价。

4.1 泥石流危险度评价

飞水岩沟泥石流的危险度评价需要发生频率、流域面积等 10 个因素，表 5 列出了这 10 个因素的实际值和转换值，将转换值代入泥石流危险度评价公式：

$$H_{\text{单}} = 0.44L_1 + 0.26L_2 + 0.12S_1 + 0.1S_2 + 0.09S_3 + 0.07S_4 + 0.06S_5 + 0.04S_6 + 0.03S_7 + 0.01S_8 \quad (5)$$

得出飞水岩沟危险度为 0.52，根据单沟泥石流的危险度分级标准，飞水岩沟泥石流属于中度危险泥石流。

表 5 飞水岩沟泥石流危险度评价因子

危险因子	代号	实际值	赋值
一次泥石流（可能）最大冲出量/（10 ⁴ m ³ ）	L ₁	5.91	0.44
泥石流发生频率/（年/次）	L ₂	17	0.26
流域面积/km ²	S ₁	4.62	0.57
流域切割密度/（km/km ² ）	S ₂	1.56	0.50
主沟长度/km	S ₃	5	0.80
流域最大相对高差/km	S ₄	1.18	1.27
泥沙补给段长度比	S ₅	0.22	0.44
24 小时最大降雨量/mm	S ₆	85.4	0.54
流域内人口密度/（人/km ² ）	S ₇	42	0.76
主沟床弯曲系数	S ₈	1.09	0.20

4.2 泥石流易损度评价

泥石流的易损度评价涉及到物质易损度、经济易损度、环境易损度和社会易损度，而这四个方面又包含若干子项目，由于篇幅所限，各子项的说明和公式将不再累述，仅给出飞水岩沟各子项的数值（表 6）及易损度评价中的指标值（表 7），计算结果显示飞水岩沟泥石流的易损度 $V_{\text{单}} = 0.59$ ，属于中度易损泥石流沟。

表 6 易损度各子项数值列表

为建筑资产 I_1 /万元	1 000
为交通设施资产 I_2 /万元	35
生命线工程资产 I_3 /万元	100
人均年收入 E_1 /（万元/年）	1.5
人均储蓄存款余额 E_2 /（万元/人）	0.5
人均拥有的固定资产 E_3 /（万元/人）	1
总人口数 N	44
面积/km ²	0.3
土地等级	中等适宜
65 岁以上和 15 岁以下人口比例 $a/\%$	0.28
初中及以下学历人口比例 $b/\%$	0.8
人口自然增长率 $r/\%$	3.5
人口密度 D /（人/km ² ）	147

表 7 飞水岩沟易损度评价指标及结果

物质易损度 I /万元	1 135
经济易损度评价 E /万元	132
环境易损度评价 $L_{\text{单}}$ /万元	6 000
财产指标 V_1 单/万元	7 267
统计拟合经验值 $F_{V1\text{单}}$	0.91
人口指标 $V_{2\text{单}}$ /（人/km ² ）	52.97
统计拟合经验值 $F_{V2\text{单}}$	-0.20
单沟泥石流易损度 $V_{\text{单}}$	0.59
易损度评价	中度易损

4.3 泥石流风险度评价

根据单沟泥石流风险度计算公式，最终得到石棉县安顺场乡飞水岩沟泥石流风险度为：

$$R_{\text{单}} = H_{\text{单}} \cdot V_{\text{单}} = 0.52 \times 0.59 = 0.31 \quad (6)$$

根据最新单沟泥石流的风险分级标准：极低风险 $0 < H_{\text{单}} < 0.04$ ，低度风险 $0.04 < H_{\text{单}} < 0.16$ ，中度风险 $0.16 < H_{\text{单}} < 0.36$ ，高度风险 $0.36 < H_{\text{单}} < 0.64$ ，极高风险 $0.64 < H_{\text{单}} < 1$ 。可知飞水岩沟泥石流属于具有中度风险的泥石流沟。

5 结论及防治建议

（1）该沟分区明显，具有典型沟谷泥石流的特征，固体物质储量较大且流速冲击力大，对沟口的办公楼、医院、住房以及公路农田和行人等造成严重威胁。

(2) 数量化综合评价和模糊数学综合评判结果显示, 飞水岩沟泥石流属于或者说更趋向于中等严重泥石流。泥石流风险性分析结果显示, 飞水岩泥石流具有中度危险特征, 其承灾体具有中度易损特征, 该沟泥石流属于中度风险的泥石流沟, 需要对其进行密切关注。

(3) 飞水岩泥石流整治工程主要是拦挡、排导相结合的方式整治, 主要工程措施包括: 在泥石流的流通区布置多级拦沙坝; 在堆积区内修建排洪沟, 将泥石流物质直接引入大渡河。此外, 继续退耕还林恢复植被, 以减少泥石流固体物质来源; 同时要加强泥石流监测和天气预报工作, 及时准确地做出灾前预报和预警, 加强群测群防。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部. DZ - T0220 - 2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] 谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J]. 铁道学报, 2012(8): 74 - 82.
- [3] 郭万铭, 焦金鱼. 基于模糊综合评判法分析的岷县洮河流域单沟泥石流危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(2): 15 - 18.
- [4] 麦华山, 徐林荣, 匡乐红. 基于超熵理论的泥石流危险性模糊综合评判[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 18(4): 62 - 66.
- [5] 杨秀梅, 梁收运. 基于模糊层次分析法的泥石流危险度评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(2): 73 - 78.
- [6] 王子健, 肖盛燮, 戴廷利, 等. 泥石流危险度模糊综合评判方法及应用[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(5): 794 - 798.
- [7] 王念秦, 姚勇. 基于模糊数学和权的最小平方法的泥石流易发性评价方法[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 5 - 9.
- [8] 王春山, 巴仁基, 刘宇杰, 等. 低频泥石流特征及基于模糊综合评判的危险性分析[J]. 人民长江, 2012(5): 46 - 50.
- [9] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报, 2002(3): 266 - 273.
- [10] 杨宗信, 乔建平, 宋书志, 等. 四川凉山州越西县打虎沟泥石流风险评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 46 - 49.
- [11] 李倩, 黄勇. 新疆天山公路泥石流风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 154 - 158.
- [12] 苏鹏程, 刘希林, 吕学军. 四川色达县切都柯沟“7·8”泥石流灾害风险评价[J]. 灾害学, 2005, 20(1): 72 - 75.
- [13] 铁永波, 唐川. 汶川县城泥石流灾害风险评价研究[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 43 - 47.
- [14] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都: 四川科技出版社, 2002: 18 - 26.

Comprehensive Evaluation and Risk Assessment of Debris Flow in Feishuiyan Gully of Anshunchang Township of Shimian County of Sichuan

Wang Chunshan, Ba Renji, Liu Yujie and Deng Guoshi

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

Abstract: The Feishuiyan debris flow gully is located in Anshunchang township of Shimian county in Sichuan province. The debris flow gully is a serious threat to hospitals, office buildings and residential securities near the ditch mouth. On the basis of detailed investigations and studies on the debris flows gully, the severity of debris flow gully are analyzed by quantitative comprehensive evaluation method and fuzzy mathematics comprehensive evaluation method, then the results show that the Feishuiyan gully is a medium serious debris flow gully. The risk assessment of the debris flow is analyzed on the basis of an assessment on hazard and vulnerability, and it is concludes that the risk degree of the debris flow is 0.31, which attributes to middle risk degree. The prevention suggestions are given aiming at the characteristics of Feishuiyan gully.

Key words: debris flow; comprehensive evaluation; risk degree; Feishuiyan gully; Anshunchang township; Sichuan province