

# 基于模糊评价法优选泥石流防治方案

## ——以青河县泥石流为例

李 刚<sup>1</sup> 赵新生<sup>1</sup> 封丽华<sup>1</sup> 梁世川<sup>2</sup> 李 升<sup>1</sup> 石晓闪<sup>3</sup>(1. 新疆大学地质与矿业工程学院 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆维吾尔自治区地质环境监测院  
(地质灾害应急中心) 新疆 乌鲁木齐 830000; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘要:**通过对呼尔阿泥石流沟形态、泥石流类型等特征进行分析,结合泥石流防治紧迫性、工程措施和体系,提出防治方案;对不同方案经专家打分,运用模糊数学理论,综合评比优选其一,对呼尔阿沟泥石流地质灾害防治方案决策具有一定指导意义。

**关键词:**模糊数学;专家打分法;地质灾害;泥石流;预防治理

文章编号:1003-8035(2014)04-0018-06

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

呼尔阿沟位于青河县城东北约 9km 处,2008 年 7 月 20 日左右,沟谷发生泥石流,导致约 20m 公路冲毁,破坏阿热勒乡第二中学墙,掩埋校园 0.3m,造成直接经济损失 30 余万元<sup>[1]</sup>。泥石流地质灾害防治研究对呼尔阿沟防治方案设计、优选与工程施工有一定指导作用。

## 1 泥石流基本特征

### 1.1 泥石流沟形态

呼尔阿泥石流沟谷东西最大相对高差达 648m,其由南北两侧多条小支沟及主沟构成,整体轮廓呈树枝状,主沟总体走向 NW-SE,最终在南东出山口流入小青格里河,沟道总体顺直,多呈 V-U 字型,主沟总长约 2.50km,汇水面积 8.2km<sup>2</sup>,沟床平均纵比降 3.22%~6.7%。

### 1.2 泥石流类型

通过实地勘查,泥石流主要发育于呼尔阿沟单沟谷内,物源主要为冲沟侵蚀、浅层坍塌,且集中于沟道内,在一定水分条件下形成泥石流。结合泥石流特征,按泥石流划分原则,呼尔阿沟泥石流类型主要为:按水体供给成因划分为暴雨型泥石流;按土体供给成因划分为坡面侵蚀型泥石流;按集水区地貌特征划分为沟谷型泥石流;按暴发频率划分,为中频率泥石流(1 次/5 年~20 年);按物质组成划分为水石型泥石流;按流体性质划分为稀性泥石流。

## 2 泥石流防治紧迫性、措施及体系

### 2.1 防治紧迫性

呼尔阿沟泥石流的发生,未造成人员伤亡,但破

坏第二中学院墙,掩埋校园 0.3m,破坏乡间公路 20 余米,造成直接经济损失 30 余万元;虽经济损失不大,但危害对象为学校、公路、民房、农田、林带、电力设施等较重要设施;根据泥石流特征和第二中学现场勘查结果,按照勘查规范,对泥石流致灾体综合致灾能力和受灾体综合承灾能力打分量化得到相应综合评分分别为: F = 8 和 E = 10,据此判别泥石流致灾体综合致灾能力等级为较强和受灾体综合承灾能力等级为较好。

按照勘查规范中泥石流治理紧迫性分析一览表(表 1),依据综合致灾能力(F)和受灾体综合承灾能力(E)的量化数值,得到研究区泥石流灾害治理紧迫性综合分析结果为 II 类,即其工程治理是较紧迫的。

表 1 泥石流治理紧迫性分析一览表<sup>[2]</sup>

Table 1 Debris flow treatment urgency analysis list

致灾能力(F)	承灾能力(E)			
	很差(4~6)	差(7~9)	较好(10~12)	好(13~16)
很强(16~13)	I	I	I	II
强(12~10)	I	I	II	III
较强(9~7)	I	II	II	III
弱(6~4)	II	III	III	III

注: I 治理紧迫; II 治理较紧迫; III 预防为主。

收稿日期:2013-08-26; 修订日期:2013-12-05

基金项目:2010 年自治区两权使用费和价款项目  
(XJDZKC2010-06)

作者简介:李 刚(1989—),男,汉族,在读硕士研究生,研究方向为水文地质与工程地质。

E-mail: 779758544@qq.com

## 2.2 防治措施<sup>[3]</sup>

泥石流防治措施可分为硬性和软性,硬性措施是构筑若干强制性设施以控制泥石流形成与活动过程,而软性措施主要采用行政手段与社会管理方法来避让泥石流灾害。

### 2.2.1 硬性措施

采用工程和生物措施构筑综合防御体系,对泥石流形成与活动过程施加强制作用。旨在有效直接控制泥石流灾源地,预防或抑制泥石流发生而免灾;或降低暴发频率,减小规模,削弱危害作用而减灾。通常硬性措施需耗用较大财力和人力,故难广泛采用。

### 2.2.2 软性措施

通过监测泥石流形成主导因素如:气象、水文等的动态变化,进行预测、预报和报警,及时疏散人畜和重要财产,撤出危险区避灾。依靠预研究和科学决策,对泥石流危险性评价分区并指导防治工程规划选址和避灾。目前,软性措施可靠性尚待提高,以满足防灾应用推广的需要。

## 2.3 防治基本体系

根据泥石流特征、防治目的和实际可行性,泥石流防治措施多种多样,这些措施又可形成不同防治体系组合。从防治功能角度出发,一般将这些措施及其组合分为三个体系。

### 2.3.1 防止泥石流发生体系( SPDO)

该体系采取治坡、治沟、治滩工程,以及行政管理和法令措施等,对流域进行综合治理,控制水土,改善环境,防止泥石流发生。

### 2.3.2 控制泥石流运动体系( SGDM)

该体系主要是采取拦挡、调节和排导工程等,使泥石流发生时顺利通过,或堆积到预定区域,对保护区不造成危害。

### 2.3.3 预防泥石流危害体系( SPDD)

在泥石流发生前采取预防措施,发生过程中采取警报措施,并对危险区内的项目采取保护措施,使泥石流在活动过程中不致引起严重危害。

## 3 防治方案设计与初选

针对威胁阿热勒乡第二中学的呼尔阿沟泥石流,在地质灾害勘查的基础上,根据泥石流发育特征及威胁对象,经过综合分析研究,提出了两个可行的工程防治方案。防治方案原则以“治”为主,以“防”为辅,防治结合。在加强勘查区周边牧民防范意识及防灾

减灾能力的同时,进行工程治理,将泥石流灾害可能造成的损失降至最低。<sup>[4]</sup>“防”主要采取宣传教育,警示牌等手段,“治”主要采取透水拦砂坝或谷坊坝、过水涵洞扩容等工程设施。并结合相关规范与治理要求,对两个防治方案各项相关指标进行对比分析评价,初步优选其中一方案。

## 3.1 工程地段选择

根据勘查结果及资料分析,在形成—流通区布设主要拦砂坝和谷坊坝(图1):第一条主坝修建于沟谷上游物源集中部位出口,即沟谷上游两支沟与主沟交汇后主沟拐弯处。利用沟谷拐弯增加坝前回淤库容,且沟谷南北两侧基岩出露,修建谷坊或拦砂坝可以拦截30%的物源及降低泥石流的势能;第二条主坝修建于沟谷中游,为沟谷北侧一较大支沟与主沟交汇后主沟拐弯处。沟谷两侧基岩出露,工程地质条件良好,修建拦挡工程既可拦截泥石流的部分固体颗粒,又能降低泥石流的势能;第三条主坝修建于形成—流通区的尾部,为沟谷即将出山口处;因该处位于主沟拐弯的下部,通过弯度降势,并利用纵坡缓、沟谷洼地宽阔,形成东西长约250m、宽约50m的“三角地带”,增加坝前泥石流物源储淤场的库容,且该处南北两侧基岩出露,地形上也是修筑坝体较佳地段;对堆积区垂直泥石流沟乡间公路下部过水涵洞扩容,增加过水能力,保障泥石流顺利通过过水涵洞,并通过下游基岩边坡形成“天然导流渠”,汇入小青格里河。

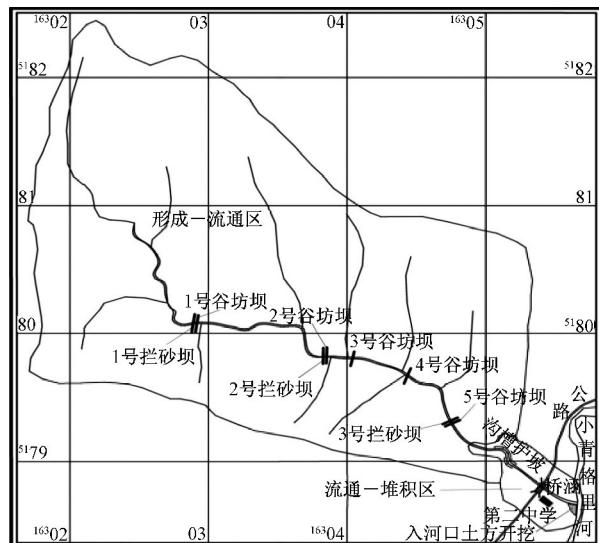


图1 防治工程地段选择示意图

Fig. 1 Location choice of prevention and treatment project sketch map

### 3.2 防治方案设计

根据勘查设计相关规范<sup>[5]</sup>,结合本次泥石流地质灾害勘查情况,拟设计如下三套方案<sup>[6]</sup>。

#### 3.2.1 方案一

采用三条浆砌石透水拦砂坝、修筑过水涵洞、入河口进行土方开挖工程、修筑沟槽护坡、警示牌一个,并加强监测和预警。

##### (1) 拦挡工程

1号主坝修建于沟谷上游,两支沟与主沟交汇后主沟拐弯处,库容量为5785m<sup>3</sup>;

2号主坝修建于沟谷中游,北侧一较大支沟与主沟交汇后主沟拐弯处,库容量为8077m<sup>3</sup>;

3号主坝修建于沟谷即将出山口处,库容量为9461m<sup>3</sup>。

##### (2) 疏浚排导工程

a. 将原有乡间公路下部埋设的过水涵洞拆除重建,原过水涵洞宽度约为4m,高度约为1.8m;现将过水涵洞改扩建为现浇钢筋混凝土双孔箱涵,单孔涵洞净宽3.5m,净高3m;

b. 呼尔阿沟与小青格里河垂直相交,为防止沟谷洪水下切河道,对沟谷入河口处进行少量土方开挖工程(开挖后废弃土方置于第二中学围墙南侧地势低洼“凹坑”地带,该凹坑长约100m、宽约50m,深度约1~1.5m,弃方拉运距离约75m),以改变水流方向,使沟谷与小青格里河锐交,洪水顺利下泄河道,保持沟谷畅通。

##### (3) 护坡工程

对堆积区上部沟槽拐弯处凹岸设置护坡,防止离心环流横向冲刷掏蚀凹岸形成小型塌岸成为新的物源,与洪水混杂后再次形成泥石流。沟槽北岸修筑长200m、高2.5m、厚0.3m浆砌石护坡,沟槽南岸修筑长75m、高2.5m、厚0.3m浆砌石护坡,均与阶地顶部接触,考虑冻土厚度,基础埋深1.5m,基础厚度约0.5m。

(4) 其他:警示牌立于受灾公路的一端,牌体高2m,宽1.2m,基础埋深0.7m;加强监测气象、水文等影响泥石流形成的主导因素,并及时警报采取预防措施。

#### 3.2.2 方案二

采用五条谷坊坝、修筑过水涵洞、入河口进行土方开挖工程、修筑沟槽护坡、警示牌一个,并加强监测和预警。

##### (1) 拦挡工程

1号谷坊坝修建于沟谷上游,两支沟与主沟交汇后拐弯处,库容量为941m<sup>3</sup>;

2号谷坊坝修建于沟谷中游,一较大支沟与主沟交汇后拐弯处,库容量为830m<sup>3</sup>;

3号谷坊坝修建于沟谷中游,一较大支沟与主沟交汇后拐弯处,库容量为1397m<sup>3</sup>;

4号谷坊坝修建于沟谷中游,一较大支沟与主沟交汇后拐弯处,库容量为899m<sup>3</sup>;

5号谷坊坝修建于沟谷即将出山口处,库容量为1524m<sup>3</sup>。

##### (2) 疏浚排导工程

a. 将原有乡间公路下部埋设的过水涵洞拆除重建,扩建为现浇钢筋混凝土双孔箱涵,单孔涵洞净宽3.5m,净高3m;

b. 入河口土方开挖工程与方案一②b相同。

##### (3) 护坡工程

对堆积区上部沟槽拐弯处凹岸设置护坡,实施方法与方案一③相同。

(4) 其他:警示牌、监测预警与方案一④相同。

#### 3.2.3 方案三

考虑到青河县属贫困县的特殊情况,提出将校址搬迁的方案。重建校园应切实提高灾害抵御能力,同时需考虑交通、水电、教学、医疗、体育等设施,并定期对师生加强疏散逃生演练与提高防灾意识<sup>[7]</sup>。搬迁后的校址应尽量选择在平坦开阔的灾害少发地区,如若无法完全避开地质灾害影响区域,应有针对性地对地质灾害进行预防治理,并将费用考虑在内。

#### 3.3 方案初选

通过定性分析以上防治方案的设计,并对比三种治理方案的优缺点,得到指标的定性评价结果见表2。

考虑以上各项影响因素指标,综合对比分析可得如下定性结论:

方案一采用的拦砂坝坝体稳固,使用寿命长,人工维修频率低,坝高5~5.5m,比谷坊坝体库容大,更利于沟谷内水土保持,可保障校区安全及长久使用,阻挡50a一遇泥石流;但造价费用较方案二高。方案二造价费用较方案一低,采用的谷坊坝对单个沟谷发育泥石流阻挡作用明显,也可达治理效果;但钢筋笼谷坊易腐蚀断裂和氧化生锈,人工维修频率较高,破坏后笼体中块石可成为泥石流再发时的新物源,使用寿命不超过10a,防护50a一遇泥石流效果欠佳。方案

一、二工程造价比方案三偏高,特别是方案一造价最高,对于贫困县青河县来说实施较为困难,但其治理

效果和安全可靠性相比于后两者却较有优势;另外如果时间限制并不紧迫,方案三也是较优选择。

表2 指标定性评价表

Table 2 Qualitative evaluation form of indicators

评价指标	方案名			
	方案一	方案二	方案三	
工程技术因素	工程造价(万元)	高(425.53)	一般(180.13)	较低(90)
	施工难易程度	较好	好	一般
	施工相互干扰程度	不干扰	不干扰	不干扰
	施工工期	一般	较短	较长
	科学性与新颖性	较好	一般	一般
	治理效果	好	较好	好
环境影响因素	安全可靠性	较好	不好	好
	施工对环境的影响	一般	较小	较小
	工程对环境的影响	一般	一般	较小
	产生次生灾害的可能性	较小	较大	小

依据相关规范,结合勘查情况和防治要求,综合以上对比分析,初步判定方案一、三优于方案二,即采用三条浆砌石透水拦砂坝、修筑过水涵洞、入河口进行土方开挖工程、修筑沟槽护坡、警示牌、加强监测和预警,或合理搬迁校址。下面采用模糊数学法进一步验证筛选,并最终确定最优方案。

## 4 模糊数学法

### 4.1 模糊评价模型选择

地质灾害都是在一定地质环境背景条件下形成的,相应地,地质灾害的防治也是受多方面因素影响的,既有工程造价,也有工程技术因素,如:施工难易程度、施工相互干扰程度、施工工期、科学性与新颖性、治理效果、安全可靠性,也有环境影响因素,如:施

工和工程对环境的影响、产生次生灾害的可能性等。由于决策地质灾害防治方案时,各评价因素间相互影响,出现了模糊性<sup>[8]</sup>。为解决这一矛盾,模糊数学为我们提供了一条比较合理的途径。因此选用模糊综合评价模型  $M(\cdot, +)$  来优选防治方案,其中:

$$b_j = \sum_{i=1}^m (a_i \cdot r_{ij})$$

### 4.2 专家打分与模糊评价

通过对两个设计方案进行工程造价、工程技术及环境影响等因素对比分析,研究出评价指标体系,经不同专家对指标满意度进行百分制打分,评价定量分级标准采用:好  $\geq 90$ , 90 > 较好  $\geq 75$ , 75 > 一般  $\geq 60$ , 不好  $< 60$ <sup>[10]</sup>, 各项指标再取平均值汇总,最终得到综合评价结果见表3。

表3 评价指标打分汇总表

Table 3 Scoring summary sheet of evaluation indicators

评价指标	方案一	方案二	方案三	权重		
				A1	A2	A3
工程造价 $U_1^{(1)}$	59.50	75.46	76.02	1.00		
施工难易程度 $U_2^{(1)}$	84.32	90.25	74.50		0.10	
施工相互干扰程度 $U_2^{(2)}$	85.19	86.07	82.00		0.10	
施工工期 $U_2^{(3)}$	71.68	72.44	58.94		0.20	
科学性与新颖性 $U_2^{(4)}$	86.95	73.90	74.22		0.20	
治理效果 $U_2^{(5)}$	92.76	76.73	91.85		0.20	
安全可靠性 $U_2^{(6)}$	86.21	58.86	90.10		0.20	
施工对环境的影响 $U_3^{(1)}$	73.87	77.54	71.96			0.30
工程对环境的影响 $U_3^{(2)}$	74.24	73.60	75.27			0.30
产生次生灾害的可能性 $U_3^{(3)}$	88.69	61.90	90.03			0.40

由上表中的分值计算评价指标的隶属度:  $r_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^m C_{ij}}$  形成评判矩阵 R。

对于二级因素集  $U_i (i = 1, 2, 3)$ , 有

$$U_1 = \{u_1^{(1)}\}, \dots, R_1 = [0.282 \ 0.358 \ 0.360]$$

$$U_2 = \{U_2^{(1)}, U_2^{(2)}, \dots, U_2^{(6)}\}, \dots,$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.339 & 0.362 & 0.299 \\ 0.336 & 0.340 & 0.324 \\ 0.353 & 0.357 & 0.290 \\ 0.370 & 0.314 & 0.316 \\ 0.355 & 0.294 & 0.351 \\ 0.367 & 0.250 & 0.383 \end{bmatrix}$$

$$U_3 = \{U_3^{(1)}, U_3^{(2)}, U_3^{(3)}\}, \dots,$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.331 & 0.347 & 0.322 \\ 0.333 & 0.330 & 0.337 \\ 0.369 & 0.257 & 0.374 \end{bmatrix}$$

采用模糊评价综合模型  $M(\cdot, \cdot, +)$ , 计算得

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.282 \ 0.358 \ 0.360)$$

$$B_2 = A_2 \cdot R_2 = (0.356 \ 0.313 \ 0.330)$$

$$B_3 = A_3 \cdot R_3 = (0.346 \ 0.306 \ 0.348)$$

对于一级因素集  $U = \{U_1, U_2, U_3\}$ , 总评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.282 & 0.358 & 0.360 \\ 0.356 & 0.313 & 0.330 \\ 0.346 & 0.306 & 0.348 \end{bmatrix}$$

由专家判定权重分配为  $A = (0.30 \ 0.30 \ 0.40)$ , 作二级综合评判, 得

$$B = A \cdot R = (0.330 \ 0.324 \ 0.346)$$

#### 4.3 方案对比优选

通过以上模糊评价综合模型的计算, 结合定性分析结论的对比, 根据最大隶属度原则, 因为  $0.346 > 0.330 > 0.324$ , 故选择方案三为最优, 与初选结果方案一、三较优一致。另外, 当资金支持力度足够并为阿热勒乡基础建设长远打算时, 方案一即是较优选择。以上方案优选结果恰好表明呼尔阿沟泥石流地质灾害防治方案优选的定性对比分析与定量计算评价的一致性, 二者相互验证, 共同说明了各方案的优越性依次为方案三 > 方案一 > 方案二, 故最终选择方案三为优选方案。

## 5 结论

呼尔阿泥石流沟位于青河县城东北约 9km 处,

总体地势北西高南东低, 2008 年突发的泥石流灾害对当地特别是阿热勒乡第二中学造成经济损失, 并对其以后的安全构成一定威胁。根据相关规范和设计要求, 对泥石流地质灾害防治提出可行方案, 经初步定性对比分析, 专家打分和模糊评价计算, 最终优选之一。专家打分法及模糊数学在泥石流地质灾害中的应用研究对呼尔阿沟泥石流防治工程方案优选有一定指导意义。同时, 对该区周边其他相似类型泥石流防治方案的优选提供了一种定量评价思路和计算方法, 对地质灾害的预防与治理具有一定借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 新疆青河县阿热勒乡第二中学泥石流灾害专项勘查报告 [R]. 乌鲁木齐: 新疆华光地质勘察总公司 2010. Debris flow disasters special exploration report of the second middle school at arele village in Qinghe county, Xinjiang [R]. Urumqi: Xinjiang Huaguang Geological Prospecting Corporation 2010.
- [2] 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. DZ/T0220—2006. Specification Of Geological Investigation For Debris Flow Stabilization [S]. Peking: China Standards Press 2006.
- [3] 冯明硕. 干旱半干旱地区暴雨型稀性泥石流运动学特征及防治研究——以西宁市郭家沟泥石流为例 [D]. 西安: 长安大学 2007. FENG Mingshuo. The study on dynamic characteristic and countermeasure of stormy and watery debris flow in arid and semi-arid region——take the guos' diteh debris flow of Xi'ning as an example [D]. Xi'an: Chang'an University 2007.
- [4] 赵兴有, 戴新俊. 新疆阿勒泰市城市山地灾害及减灾对策研究 [J]. 干旱区地理 2005, 28(2): 234–238. ZHAO Xingyou, DAI Xinjun. Study on the mountainous disasters and their reduction measures in the urban area of Altay city [J]. Arid Land Geography, 2005, 28(2): 234–238.
- [5] DZ/T0239—2004. 泥石流灾害防治工程设计规范 [S]. 北京: 中国地质调查局 2004. DZ/T0239—2004. Specification Of Engineering Design For Debris Flow Disaster Prevention And Control [S]. Peking: China Geological Survey 2004.
- [6] 陈洪凯, 刘涛, 唐红梅, 等. 新疆天山公路北段泥石流病害形成机制与治理 [J]. 工程地质学报 2007, 15(增刊): 471–475.

CHEN Hongkai, LIU Tao, TANG Hongmei, et al. Formation and control of debris flow disaster at north area of the tianshan highway in the Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. Journal of Engineering Geology 2007, 15(s): 471-475.

[7] 崔鹏, 韦方强, 谢洪, 等. 中国西部泥石流及其减灾对策 [J]. 第四纪研究 2003, 23(2): 142-150.

CUI Peng, WEI Fangqiang, XIE Hong, et al. Debris flow in western China and its disaster reduction countermeasures [J]. Quaternary Sciences 2003, 23(2): 142-150.

[8] 周志广, 李广杰, 陈伟伟. 磐石市富太镇泥石流危险性评价与危险范围预测 [J]. 水文地质工程地质, 2007, (2): 101-105.

ZHOU Zhiguang, LI Guangjie, CHEN Weiwei. Risk evaluation and hazardous dimension forecast for debris flow in the Futai town of Panshi [J]. Hydrogeology and Engineering Geology 2007(2): 101-105.

[9] 王欣宝, 王昕洲, 王艳. 河北元氏县佃户营泥石流危险性评价与防治 [J]. 中国地质灾害与防治学报 2000, 11(3): 93-97.

WANG Xinbao, WANG Xinzhou, WANG Yan. The evaluation and prevention on the debris flow risk in Dianhuying of Yuanshi county of Hebei province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2000, 11(3): 93-97.

[10] 尹飞. 滇中晋宁县地质灾害易发性评价方法研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学 2010.

YIN Fei. Geological disaster liability evaluation method research in Jinning county, central Yunnan province [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010.

## Application of fuzzy mathematics in geological disaster prevention and treatment research for debris flow in Qinghe county

LI Gang<sup>1</sup>, ZHAO Xin-sheng<sup>1</sup>, FENG Li-hua<sup>1</sup>, LIANG Shi-chuan<sup>2</sup>, LI Sheng<sup>1</sup>, SHI Xiao-shan<sup>3</sup>

(1. College of Geology and Mineral Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830047, China;

2. Geological Environmental Monitoring Institute of Xinjiang Uygur Autonomous Region

(Geological Disaster Emergency Center), Urumqi, Xinjiang 830000, China;

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** By analysing Huera debris flow gully pattern, debris flow type, combined with the urgency of prevention and treatment, measures and systems for prevention projects of debris flow, we propose prevention and treatment schemes preliminarily; After scoring by expert for both schemes, applying fuzzy mathematics, comparing and valuating, we optimize the better scheme. The geological disaster prevention and treatment research for debris flow has a guiding significance for making a strategic decision of debris flow prevention and treatment scheme in Huera gully, Qinghe county.

**Key words:** fuzzy mathematics; expert evaluation method; geological disaster; debris flow; prevention and treatment