豆 丁 推 荐

↓

精 品 文 档

The Best Literature

小秦岭大湖峪矿渣型泥石流的物源特征及其危险度评价

陈华清[1], 徐友宁[1], 张江华[1], 何 芳[1], 刘向东[2], 曹琰波[2]
CHEN Hua- qing[1], XU You- ning[1], ZHANG Jiang- hua[1],
HE Fang[1], LIU Xiang- dong[2], CAO Yan- bo[2]

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
2. 长安大学, 陕西 西安 710054
1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要: 河南省灵宝市大湖峪峪道金矿开采活动强烈, 采矿废渣成为当地泥石流主要的物源隐患。在2007年对峪道内采矿废渣堆进行实地调查的基础上, 依据矿渣型泥石流的特点, 选择渣堆规模、河道堵塞程度、渣堆稳定性、沟谷纵坡降比、河流弯曲度和沟谷汇水面积6个因子, 利用层次分析法确定各因子的权重, 进而对大湖峪主峪道及其支沟进行了泥石流危险度评价。结果表明, 13条沟谷中有10条为高危险度区, 其中东峪黑峪子沟、东峪主峪道、西峪东槽桐沟和槽桐沟均为泥石流极高危险区。大湖峪泥石流危险度评价结果为泥石流的防治和预警提供了科学依据。

关键词: 矿渣型泥石流; 物源; 危险度评价; 小秦岭大湖峪
中图分类号: P694 **文献标志码**: A **文章编号**: 1671- 2552(2008)08- 1292- 07

Chen H Q, Xu Y N, Zhang J H, He F, Liu X D, Cao Y B. Source characters and risk assessments of mine slag- type debris flows in the Dahu valley, Xiaoqinling, China. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8):1292- 1298

Abstract: Gold mining operations were very active in the Dahu valley, Lingbao City, Henan Province, and plenty of mine slagheaps became the main source of the debris flows. According to the characteristics of the slag- type debris flow and on- the- spot investigation of the slagheaps in the valleys in 2007, the authors assessed the risk degrees of debris flows in the main course and tributaries of the Dahu valley by using six factors, i.e. slagheap size, clogging degree of the watercourse, slagheap stability, longitudinal slope ratio of the valley, river curvature and catchment area of the valley, whose weights were established using the analytic hierarchy process. The results indicate that 10 of the 13 valleys are high- risk areas, of which the Heiyuzi gully and the main watercourse of the East valley and the East Caotong valley and West Caotong valley of the West valley are very high- risk areas of debris flows. The hidden trouble of slag- type debris flow in the Dahu valley was very serious. The assessments provide a scientific basis for the early warning, prevention and control of debris flows in the Dahu valley.
Key words: mine slag- type debris flow; material source; risk assessment; Dahu valley, Xiaoqinling

随着社会经济的发展, 对矿产资源的需求量逐年上升, 矿产资源开发活动日趋强烈。粗放、无序的开发行为带来了多种地质灾害隐患, 引发了众多社会问题。矿山泥石流就是一种山地矿产开发导致的

收稿日期: 2008- 06- 02; **修订日期**: 2008- 06- 25
地调项目: 中国地质调查局国土资源调查项目《小秦岭金矿区环境地质问题调查与评价》(编号: 1212010741003)、偃点矿区环境地质问题专题调查》(编号: 200412300057)、《陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查》(编号: 200412300057- 1)资助。
作者简介: 陈华清(1984-), 男, 助理工程师, 从事矿山地质环境调查研究。E- mail: chenhuaqing1984@tom.com

人为地质灾害。矿山泥石流主要是由矿区资源开发过程中废石弃土的不合理堆排造成的[1]，由于其爆发突然、不易预测和破坏性巨大而受到人们的广泛关注。矿渣型泥石流[2]是一种典型的矿山泥石流类型，矿产资源开发过程中的废石弃土不合理堆排构成了矿山型泥石流的主要物质，其发生、发展与自然泥石流或其他人为泥石流有显著差别，主要表现为废渣的块度较大、抗风化能力强、松散且孔隙度大、渣量丰富且持续堆积、地点集中，因而矿渣型泥石流具有人为性、易发性、频发性、危害集中性、可控性等特点[3-6]。

泥石流危险度这一概念最早于1977年由日本提出，1981年美国地质工程师Hollingsworth和Kovacs采用打分的方法，提出了泥石流危险度评价的框架[2]。20世纪90年代以来，中国主要以泥石流的形成机理和动态过程为研究重点，以其预测预报为研究目的，通过多学科、多方位、多手段的观测及进行泥石流危险度评价模型的实验研究。泥石流危险度评价研究的发展主要体现是对其评价因子选取的变化及评价方法的改进，这是由于泥石流的形成是个复杂的过程，受不确定因素的影响。由于各要素之间的关系亦不明确，泥石流的影响因素还有待于进一步研究。

已有资料表明[5]，大湖峪所在的小秦岭金矿区是泥石流的高发区，然而目前对该区还未进行过泥石流危险度的评价工作。2007年笔者在小秦岭大湖峪开展了大量野外工作，对泥石流发生的地形、降雨及物源条件进行了调查分析，在此基础上，本文试图根据区内泥石流的特殊性，结合调查结果选取评价泥石流危险度的因子，对该峪道内各支沟进行泥石流危险度评价，以期通过泥石流危险度评价的结果为地区防治、预警泥石流灾害提供科学依据。

1 研究区概况

大湖峪位于陕西和河南2省交界的小秦岭金矿带东段的北麓，是河南省灵宝市阳平河的山区河流，为常年性河流，属黄河水系。大湖峪峪道呈南北向发育，南高北低，河流全长10.61 km，汇水面积约31.76 km^2。地貌上属于小秦岭北麓中低山基岩陡坡区，沟谷呈V字形，海拔高程700~2100 m，最大高差达1400 m。山势陡峭，平均纵坡降比高达34.71%。研究区属暖温带半干旱大陆性季风气候区，四季分明，年均气温为13.6℃，年均降水量645.8mm，最大年降水量984.7mm(1958年)，最小年降水量318.7 mm(1997年)，降水多集中在7~9三个月，这3个月的降水量占全年降水量的50.8%，且多为暴雨；最大24 h降雨量194.9 mm，最大1 h降雨量93.2 mm，10 min最大降雨量26.2 mm(1960年7月22日)。

2 大湖峪泥石流的物源特征

大湖峪金矿开采活动频繁，基本为无序开采。采矿废渣随意堆放于沟坡、河床之上(图1)，大多数未修建任何防护工程，稳定性较差，挤占河道、抬高河床现象普遍，严重影响河流的泄洪能力。采矿废渣为泥石流的发生提供了丰富的物源。

对照泥石流的形成要素，地区降雨、地形及物源均满足了泥石流的形成条件，大湖峪及其支沟均为矿渣型泥石流隐患沟。鉴于区内泥石流的类型，分析该峪道中各个支沟的物源规模、挤占河道的情况、稳定性等物源特征，对预测大湖峪各支沟发生泥石流的可能性具有很大意义。

2.1 物源组成

丰富的松散物质是泥石流形成的必要条件。小秦岭矿区地层岩性主要为太古宙黑云母斜长片麻岩、斜长角闪岩、石英岩和大理岩，岩石坚硬、抗风化能力强，残坡积的厚度0~50 cm，成为一部分泥石流的天然物源。含金石英脉开采排放的采矿废石是矿山峪道最主要的泥石流物源，占到了峪道内泥石流物源的90%以上，同时也表明区内的泥石流类型为矿渣型泥石流[6]。

2.2 物源颗粒特征

通过对2000 kg采矿废渣颗粒的级配分析，根据维诺格拉多夫的观点，把泥石流细粒物质和粗大碎屑物质之间的分界值假定为1 mm，得出大湖峪泥石流的物源(采矿废石渣)颗粒级配曲线。分析结果表明(图2)，物源成分颗粒级配悬殊。渣堆颗粒粒径主要分布范围在1~500 mm之间，其中大于10 mm的颗粒占总重量的80%左右，为泥石流物源主要的颗粒组成。这种粒径组成就决定了物源的孔隙度大、透水性能好。另一方面由于绝大多数渣堆为随意堆放，其堆积结构松散、稳定性较差。

2.3 渣堆规模

大湖峪共有采矿废石渣堆106处(图1)，渣堆累计占地面积达43.27×10^{4}m^2，渣堆总体积约369.07×10^{4}m^3。在渣堆总量上，大湖峪渣堆规模最大的为西

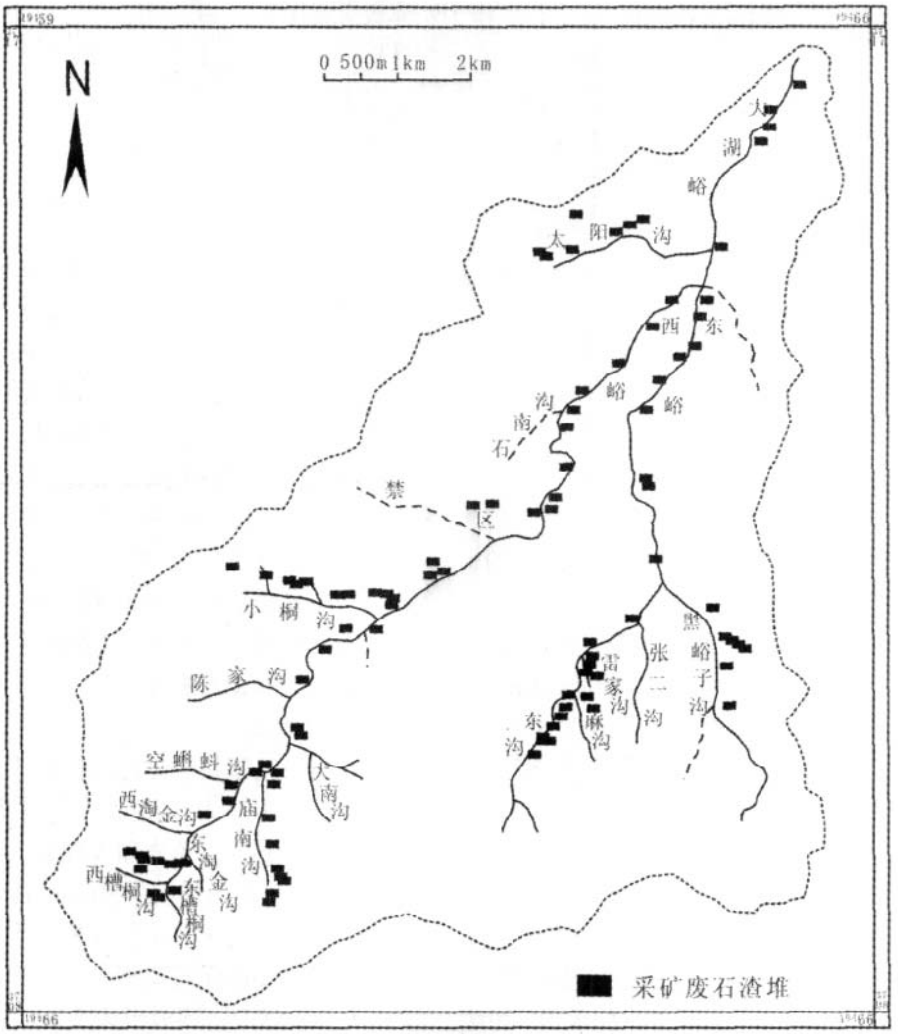

图1 大湖峪水系及采矿废渣的分布

Fig. 1 Distribution of the Dahu valley drainage system and mining slagheaps

峪主峪道，渣堆数量最多；就各支沟渣堆的平均规模而言，西峪主峪道、西峪西槽桐沟、西峪东槽桐沟和西峪槽桐沟单处渣堆规模较大，超过了平均值。主峪道单渣堆平均压占面积较大，但由于堆渣高度低，单处渣堆的平均体积较小(表1)。

2.4 挤占河道情况

由于沟谷狭窄、边坡坡度大，大量采矿废石渣直接倾倒在坡脚或者河道边上，挤占河道情况非常严重，严重降低了沟谷的泄洪能力。西峪挤占河道情况明显比东峪严重，尤以西峪上游西槽桐沟、东槽桐沟和槽桐沟最为严重，渣堆挤占河道的比例均在2/3以上。主峪道河谷较其支沟相对开阔、平坦，故主峪道河道挤占情况相对较轻(表1)。

2.5 渣堆稳定性

渣堆的稳定与否关系着成为泥石流物源的可能性大小。一般堆放时间较长的渣堆在历经长时间降水渗透、外力影响后，要比新渣堆稳定一些；有护挡工程的渣堆在相同的降雨或外力作用下，再次发生滑塌的可能性相对较低。调查表明，大湖峪废石渣堆总体稳定性较差，稳定性差和极差的渣堆数量占到总数的68.9%。其中，以东峪雷家沟、东峪麻子沟、西峪桐沟和西峪槽桐沟情况最为严重，所有渣堆稳定性均极差(图3)。

3 泥石流危险度评价

泥石流危险度(hazard)是指一定范围和一定时

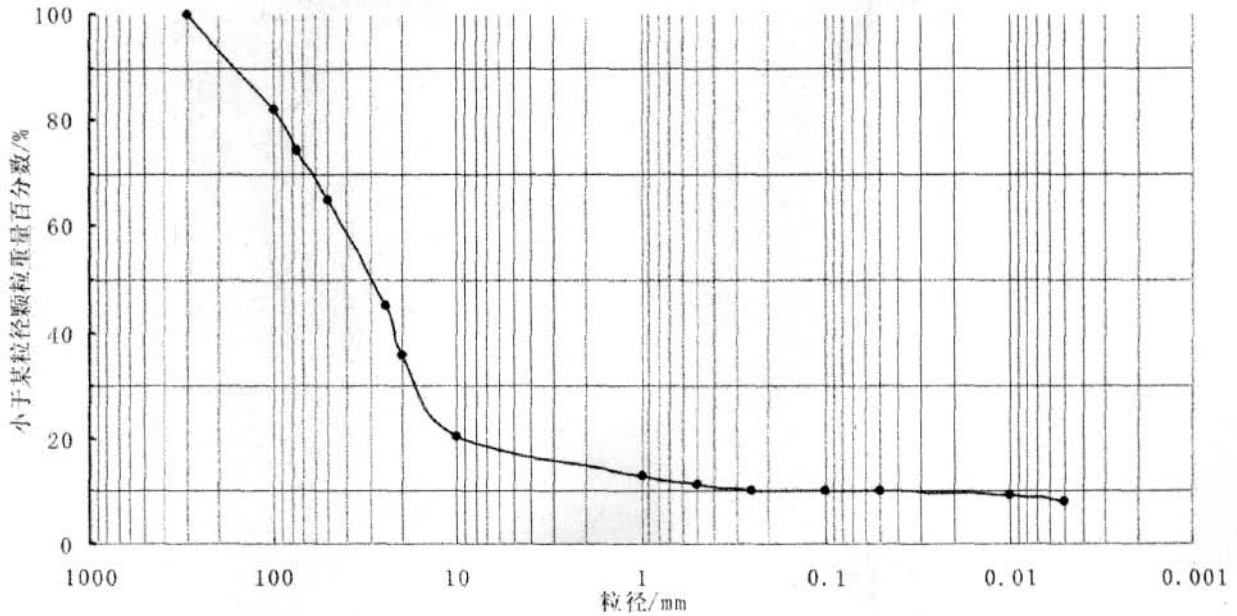

图2 大湖峪泥石流物源颗粒级配曲线

Fig. 2 Grain size distribution curve of the debris flow source of the Dahu valley

间内一切人和物遭到泥石流损害的可能性的大小。主要是从自然条件和历史条件出发，合理选择形成泥石流的诱发因子,通过一定的方法模型评价泥石流灾害的危害,侧重于泥石流灾害的自然特性评价[7]。

3.1 评价因子的选择

泥石流的形成是个复杂的过程，受不确定因素的影响。目前对泥石流的影响因素还有待进一步研究,同时各要素之间的关系亦不明确。如刘希林[2]采用7个评价因子评价泥石流的危险度,7个因子分别为泥石流规模、发生频率、流域面积、主沟长度、流域相对高差、流域切割密度和不稳定沟床的比例。徐友宁等[4,6]采用9个因子评价矿渣型泥石流的潜

表1 大湖峪采矿废石渣堆调查结果

Table 1 Statistics of investigation of the Dahu valley mining slagheaps

位置	渣堆规模			渣堆挤占河道情况			
	数量/处	面积/m^2	体积/m^3	不挤占/处	挤占1/3/处	挤占2/3/处	挤占2/3以上/处
主峪道	8	41310	217890	6	2		
东峪主峪道	11	41840	310530	4	1	1	5
东峪黑峪子沟	7	23410	291288	3			4
东峪雷家沟	3	4150	36500	1	1		1
东峪东沟	9	14040	94780	1	1		7
东峪麻子沟	3	7100	65800				3
西峪主峪道	23	114500	921410	6	5	5	7
西峪桐沟	10	30010	238044			2	8
西峪庙南沟	9	30400	145300	2			7
西峪西槽桐沟	6	31150	365700				6
西峪东槽桐沟	5	22700	435500				5
西峪槽桐沟	5	60825	507050				5
西峪太阳沟	7	11300	60920		1	1	5
合计	106	432735	3690712	23	11	9	63

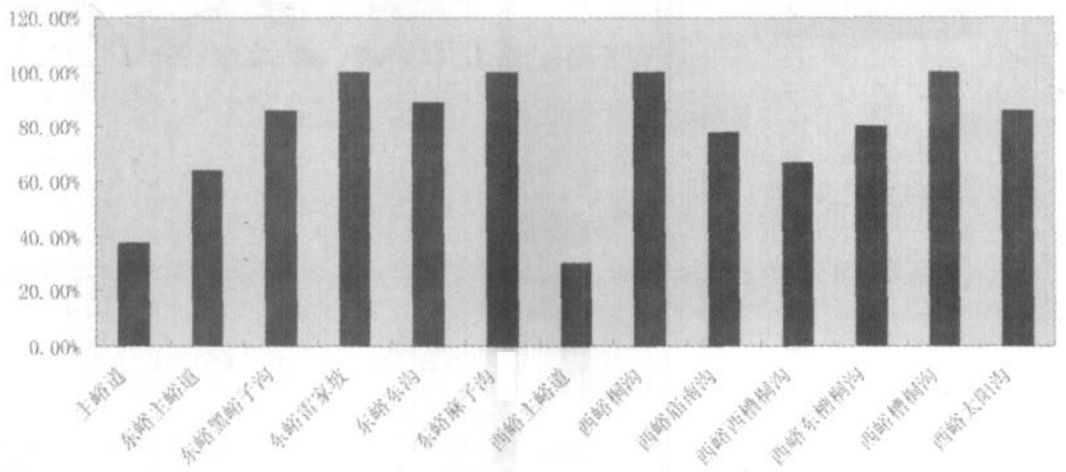

图3　大湖峪各支沟不稳定渣堆所占的比例

Fig. 3　Proportions of unstable slagheaps in various tributaries of the Dahu valley

势度。由于泥石流的发生与发展具有地域性特点，因此评价其危险度时随评价区域、泥石流类型的不同评价因子各异。因此，本文在选取影响泥石流危险度的因素时主要从该区矿渣型泥石流的特点出发，将泥石流物源的特征作为重要因子参与评价。

由于主峪道及其支沟并无历史泥石流记载资料，泥石流发生频率无从获得，因此未选取该因子。鉴于研究区矿渣型泥石流的特殊性，其物质来源90%以上为采矿废石渣堆，因此采用采矿废渣的规模作为准泥石流的流体规模；而流域切割密度倾向于评价更大区域内的泥石流危险度，对于支沟评价并不适用；主沟长度和流域相对高差这2个因素在文中以沟谷纵坡降比来反映；对于不稳定沟床比例，考虑到采矿废石渣堆的稳定性是影响泥石流发生的重要因素，因此用渣堆稳定性来反映。另外，由于渣堆的随意堆放改变了河床的原有位置及过水断面的大小，造成河流弯曲度变大、河床变窄，在突发暴雨的情况下，阻碍了河流行洪，因此河流弯曲度和河流堵塞系数也是对泥石流形成和危害具有较大影响的因素。

最终，本文对大湖峪矿渣型泥石流沟危险度的评价采用了渣堆规模、沟谷纵坡降比、河流弯曲度、河道堵塞度、汇水面积和渣堆稳定性6个参数作为评价因子。数据获取方法为：通过采矿废渣堆调查而得到渣堆规模、河道堵塞度和渣堆稳定性3个因子，从1∶50000地形图提取沟谷纵坡降比、河流弯曲度和汇水面积3个因子。

3.2　评价方法

泥石流危险度的评价方法由于对指标的侧重点不同而异。本文评价泥石流危险度的方法为指标加权评判法，即采用评价因子权重与因子赋值相乘求和的方法。这种评价方法的优点在于能够正规化各影响因子，易于分析计算，另一方面由于其危险度评价结果(H)取值范围在[0,1]之间，便于和其他评价方法的结果进行对比。

危险度评价公式为：

$$H=\sum_{i=1}^{6} n_i x_i (i=1,2\cdots\cdots 6) \quad (1)$$

其中：n为各因子分值，x为各因子权重。i为各个因子的序号，其中1代表渣堆规模，2代表沟谷纵坡降比，3代表渣堆稳定性，4代表河流弯曲度，5代表河道堵塞系数，6代表流域面积。各评价因子的分值划分如表2。

评价因子的权重取值方法采用层次分析法。首先通过专家评判各因子之间的相对重要性，得到相对重要性的定量表达，进而建立因子判别矩阵，计算出各因子相对重要性的几何平均值，最终可以获得各因子几何平均值所占总和的比例，即为其权重取值[8](表3)。

3.3　评价结果

将参与泥石流危险度评价的相关原始数据(表4)转化为评价因子分值，代入危险度评价公式式(1)中计算，得到大湖峪各支沟泥石流危险度评价结果(表5)。

表2 矿渣型泥石流危险度评价因子及其赋值

Table 2 Risk assessment factors of mine slag-type debris flow and their valuations

评价因子	因子赋值（n）			
	1.0	0.7	0.4	0.1
1.渣堆规模/10^4m^3	≥30	30~20	20~10	<10
2.沟谷纵坡降比/%	≥30	30~20	20~10	<10
3.渣堆稳定性/%	≥75	50~75	25~50	0~25
4.河流弯曲度	≥1.1	1.1~1.08	1.08~1.05	<1.05
5.河道堵塞度/%	≥80	50~80	20~50	0~20
6.汇水面积/hm^2	≥200	200~150	150~100	<100

注：河道堵塞系数采用支沟内挤占1/2以上的河道渣堆所占的比例来确定，渣堆稳定性以支沟中稳定性差和极差渣堆之和占渣堆的总比例来确定

表3 矿渣型泥石流危险度评价因子的权重

Table 3 Weights of risk assessment factors of slag-type debris flow

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	权重 X_i
R_1	1	1	2	2	1	1	0.218
R_2	1	1	2	2	2	2	0.245
R_3	0.5	0.5	1	2	0.5	0.5	0.109
R_4	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	0.097
R_5	1	0.5	2	1	1	0.5	0.137
R_6	1	0.5	2	2	2	1	0.194

注：2个因素中，前1个因素比后1个因素相对重要取值为2，前1个因素没有后1个因素重要取值为0.5；两个因素同等重要则取值为1

根据泥石流危险度评价结果，对大湖峪内13条支沟按照危险度从大到小进行排序，泥石流危险度最高的为东峪黑峪子沟，危险度H高达0.893；危险度最低的为东峪雷家沟，危险度H为0.516。

按照泥石流危险度的划分等级[2]0.0~0.2为极低危险，0.2~0.4为低度危险，0.4~0.6为中度危险，0.6~0.8为高度危险，0.8~1.0为极高危险，对大湖峪主峪、东西支沟和10条子沟进行评价。评价的13条泥石流支沟危险度评价结果均大于0.4（图4），表明评价的所有支沟均处于中度危险以上，其中10条支沟处于泥石流高度危险以上，占到总数的76.9%。

泥石流极高危险区：东峪黑峪子沟(0.893)、东峪主峪道(0.853)、西峪东槽桐沟(0.825)和西峪槽桐沟(0.824)，危险度评价结果表明这些支沟发生泥石流的可能性极大。

泥石流高度危险区：西峪小桐沟(0.760)、西峪主峪道(0.747)、西峪西槽桐沟(0.705)、西峪太阳沟(0.687)、东峪东沟(0.660)和西峪庙南沟(0.624)。

表4 大湖峪矿渣型泥石流危险度评价原始数据

Table 4 Original data of risk assessments of slag-type debris flow of the Dahu valley

位置	渣堆规模/10^4m^3	纵坡降比/%	渣堆稳定性/%	河流弯曲度	河道堵塞系数/%	汇水面积/hm^2
主峪道	21.79	13.57	37.50	1.13	0.00	3326.16
东峪主峪道	31.05	21.61	63.64	1.12	54.55	1168.25
东峪黑峪子沟	29.13	37.94	85.71	1.80	57.14	328.31
东峪雷家沟	3.65	14.15	100.00	1.07	33.33	396.15
东峪东沟	9.48	29.56	88.89	1.08	77.78	258.80
东峪麻子沟	6.58	69.05	100.00	1.03	100.00	51.39
西峪主峪道	92.14	16.21	30.43	1.42	52.17	1673.82
西峪小桐沟	23.80	38.29	100.00	1.06	100.00	102.51
西峪庙南沟	14.53	44.69	77.78	1.04	77.78	142.06
西峪西槽桐沟	36.57	54.58	66.67	1.02	100.00	54.05
西峪东槽桐沟	43.55	60.19	80.00	1.11	100.00	53.58
西峪槽桐沟	50.71	16.88	100.00	1.09	100.00	239.00
西峪太阳沟	5.96	34.54	85.71	1.24	85.71	139.41

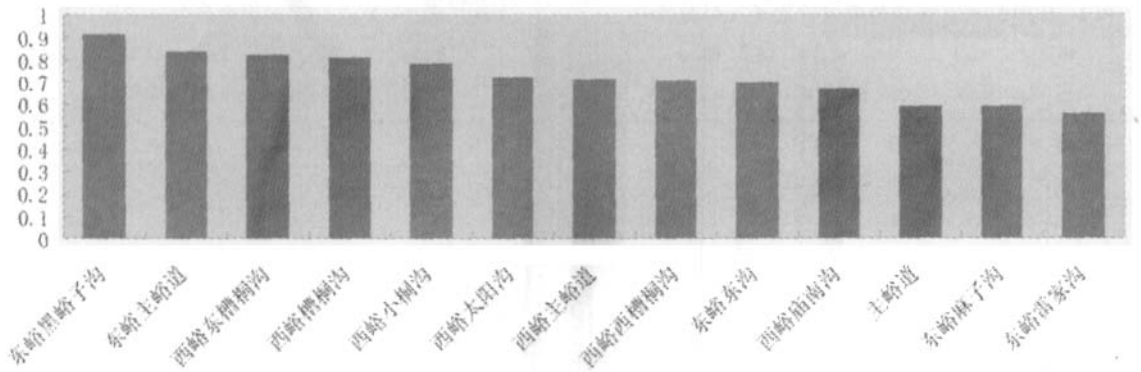

图4 大湖峪各支沟泥石流危险度柱状图

Fig. 4 Histogram of the results of risk assessments of various tributaries of the Dahu valley

表5 大湖峪泥石流危险度评价因子赋值和评价结果

Table 5 Valuations and results of the risk assessments of debris flow of the Dahu valley

位 置	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	H
主峪道	0.7	0.4	0.4	1.0	0.1	1.0	0.599
东峪主峪道	1.0	0.7	0.7	1.0	0.7	1.0	0.853
东峪黑峪子沟	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	0.893
东峪雷家沟	0.1	0.4	1.0	0.4	0.4	1.0	0.516
东峪东沟	0.1	0.7	1.0	0.7	0.7	1.0	0.660
东峪麻子沟	0.1	1.0	1.0	0.1	1.0	0.1	0.542
西峪主峪道	1.0	0.4	0.4	1.0	0.7	1.0	0.747
西峪小桐沟	0.7	1.0	1.0	0.4	1.0	0.4	0.760
西峪庙南沟	0.4	1.0	1.0	0.1	0.7	0.4	0.624
西峪西槽桐沟	1.0	1.0	0.7	0.1	1.0	0.1	0.705
西峪东槽桐沟	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.825
西峪槽桐沟	1.0	0.4	1.0	0.7	1.0	1.0	0.824
西峪太阳沟	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	0.687

泥石流中度危险区：主峪道(0.599)、东峪麻子沟(0.542)和东峪雷家沟(0.516)。

4 结 语

大湖峪所在的小秦岭矿区泥石流隐患严重，但未曾进行过泥石流危险度方面的研究工作，本文的研究成果完善了该区泥石流的研究领域。

(1)调查分析表明，大湖峪峪道具备发生泥石流的地形、降雨和物源条件。同时，由于其物源中90%以上来源于采矿废渣，该区泥石流类型为矿渣型泥石流。

(2)泥石流的形成是个复杂的过程，受众多不确定因素的影响，在选取危险度评价因子时应考虑评价区域、泥石流类型等因素。本文在泥石流危险度评价的过程中，结合矿渣型泥石流的特点，选择了该地区影响泥石流发生的6个主要因素作为评价因子参与评价，对该地区泥石流隐患沟进行了危险度划分。

(3)泥石流危险度评价结果定量地反映了区内各支沟发生泥石流的可能性大小，为该地区泥石流的防治、预警提供了科学依据。

本文在评价泥石流危险度的过程中，在确定因子权值时采用了层次分析法。虽然这种方法能通过对各要素之间相对重要性的判别予以赋值，计算出各自的权值，相对于通过专家直接给出权值更加科学合理，但其权值确定中不可避免地存在各专家的主观判别，权值的合理性还有待于进一步论证。

参考文献：

[1]徐友宁，何芳，袁汉春，等.中国西北地区矿山环境地质问题调查与评价[M].北京：地质出版社，2006.

[2]刘希林.我国泥石流危险度评价研究——回顾与展望[J].自然灾害学报，2002，11(4)：1- 8.

[3]陈廷方，崔鹏等，刘岁海，等.矿产资源开发与泥石流灾害及其防治对策[J].工程地质学报，2005，13(2)：179- 182.

[4]徐友宁，陈社斌，张江华，等.潼关金矿区矿渣型泥石流潜势度熵权评价[J].地质科技情报，2006，(5)：101- 104.

[5]徐友宁，何芳，陈华清.西北地区矿山泥石流及分布特征[J].山地学报，2007，25(6)：729- 736.

[6]徐友宁，陈社斌，李育敬，等.陕西潼关金矿区泥石流潜势度评价[J].水文地质工程地质，2006，33(2)：89- 92.

[7]李昭淑.陕西省泥石流灾害与防治[M].西安：西安地图出版社，2002.

[8]张丽萍，唐克丽.矿山泥石流成灾度模糊综合评价——以神府东胜矿区为例[J].山地学报，2002，20(2)：212- 217.