

文章编号: 1008-2786-(2016)2-216-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000121

工程弃渣泥石流易发性评估方法

谢湘平^{1,2} 苏鹏程^{1,2} 王小军^{1,2} 陈自生¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所/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. 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 为了对工程弃渣转化成泥石流的可能性进行评估, 针对工程弃渣特点, 在考虑自然沟道泥石流活动情况的基础上, 叠加弃渣场局部环境特征、弃渣体堆积特征及物料特征等三方面共计 12 个评价指标, 运用层次分析法确立指标的权重, 利用黄金分割法为各指标定量赋值, 通过计算弃渣泥石流易发性指数 RQ 来评估工程弃渣泥石流的易发性, 将评价结果分成 4 级: 高度易发、中度易发、低度易发和不易发, 并通过对长江三峡巴东县黄家大沟工程弃渣泥石流与重庆奉节李家大沟弃渣泥石流易发性进行评价, 结果显示黄家大沟弃渣泥石流易发性指数为 0.602 (偏保守估算), 属于中度易发, 与实际发生泥石流较符合; 李家大沟弃渣泥石流易发性指数为 0.707, 属于中度易发, 与弃渣稳定性理论计算评价结果一致, 验证了该方法的准确性和可行性。

关键词: 工程弃渣; 泥石流; 易发性评估; 层次分析法

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

近年来, 弃渣泥石流频频暴发, 造成的危害十分严重^[1]。随着城市建设和山区的发展, 工程弃渣泥石流灾害将成为不可忽视的环境工程地质问题。

目前, 相关方面的研究一方面主要关注弃渣场稳定性问题, 如刘菲等通过选取影响因子, 根据力学平衡分析工程弃渣体的稳定性并通过实验探讨了坡面弃渣泥石流形成过程^[2-3], 许虎等结合工程实例利用 geoslop 软件进行弃渣稳定评价^[4], 上述研究主要关注弃渣体本身的稳定问题, 弃渣场的稳定与否与是否发生弃渣泥石流并不存在必然联系, 弃渣稳定性只是影响弃渣泥石流发生的一个因素。另一方面则主要集中在弃渣泥石流相关评价, 如徐友宁等对潼关矿山地区的泥石流潜势度评价^[5], 陈华清等人对小秦岭大湖峪地区的矿渣型泥石流危险度评价^[6], 宫雪等对南芬铁矿弃渣场泥石流危险度评价^[7]。众所周知, 危险度与易发性属于两个不同的

概念, 危险度描述泥石流事件对人们生命财产造成损失的可能性大小, 而易发性主要指泥石流发生的可能性, 两者从不同方面描述泥石流的活动情况, 而关于弃渣泥石流易发性评价的研究几乎没有。

本文拟在已有泥石流易发性评价方法的基础上, 利用层次分析法, 建立一套适用于工程弃渣泥石流易发性评价的定量评价方法, 为工程弃渣场的选址和弃渣方案的设计提供决策依据, 减少因弃渣场选址不当或防护措施不到位而引发人为泥石流灾害。

1 影响因素及评价指标

一般而言, 工程弃渣多选择就近堆积在山坡坡脚或沟道里。沟道里弃渣转化成泥石流分两种情况: 一是所在沟道上游已经形成泥石流, 弃渣作为补

收稿日期(Received date): 2015-10-28; 改回日期(Accepted): 2015-11-21。

基金项目(Foundation item): 雅康高速公路重点段泥石流危险性评估与弃渣可行性专题研究。[Monographic study on debris flow risk assessment and abandon slag feasibility along Ya-Kang highway.]

作者简介(Biography): 谢湘平(1987-), 女(土家族), 湖南永顺县人, 博士研究生, 主要从事山地灾害防灾减灾技术研究。[Xie xiangping(1987-), female, born in Yongshun County, Hunan Province, Ph.D student, majoring in mountain disasters prevention and mitigation technology.]
E-mail: xyp_imde@163.com; Tel: 18583835761

充物源参与泥石流运动,二是仅弃渣作为物源启动形成泥石流。因此,自然条件下沟道是否为泥石流沟以及泥石流活动情况影响着弃渣转化成泥石流流的方式。无论哪种方式,弃渣场的稳定性决定了弃渣参与或形成泥石流的难易程度,一般认为影响弃渣场稳定性与渣场地貌特征、弃渣体堆积形态、水、渣体颗粒粒径、渣体岩性、弃渣力学性质以及防护措施等因素有关,上述因素可初步分为弃渣场环境特征以及弃渣堆积体及物料特征两方面来考虑。

1.1 自然沟道泥石流活动情况

自然沟道泥石流活动情况一般通过实地调查和遥感影像解译等方式进行了解。首先判别沟道是否为泥石流沟,其次可进一步根据洪痕调查、堆积扇形态、堆积扇规模、植被、遥感影像解译以及访问当地群众等来了解泥石流活动情况,综合选取自然沟道泥石流活动频率及泥石流易发性两个指标来表征自然沟道的泥石流活动情况。

1.1.1 自然沟道泥石流历史活动频率

根据村民的记忆,一般对50年来所发生的泥石流事件能有较清楚的记忆。因此,可采取50a内暴发的次数作为评价指标,50a内暴发0~1次,将其定义为低频泥石流沟(或清水沟)、2~5次(中频泥石流沟)、5~10次(高频泥石流沟)、>10次(极高频率泥石流沟)。泥石流暴发越频繁,则对弃渣活动越不利,风险越大。从另一角度讲,暴发频次越低,则可能暴发的泥石流规模越大,一旦暴发大规模泥石流,对弃渣场同样造成巨大威胁。然而,当自然沟道暴发大规模泥石流,可认为弃渣作为物源参与到泥石流运动中,起到加大泥石流灾害的作用,不单独讨论弃渣形成泥石流的可能性。

1.1.2 自然沟道泥石流易发程度

自然沟道泥石流易发性根据历史活动情况及现有沟道地貌、物源及降水条件等来判断未来泥石流易发程度,对自然沟道未来的泥石流活动进行预测,对沟道内弃渣泥石流的形成影响较大。该指标主要参照《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T 0220-2006)^[8]的评估方法,得出易发程度指标计算值,结果可划分为“极易发”、“易发”、“轻微易发”及“不易发”4个等级。

1.2 弃渣场环境特征指标

弃渣场环境特征为弃渣泥石流的形成提供了地形因子。综合选用弃渣场所在流域地貌部位、沟道纵坡、沟道横断面形态、上游汇水面积、沟道堵塞程

度等5个指标来描述弃渣场环境特征。

1.2.1 弃渣场所在流域地貌部位

将泥石流沟道按泥石流运动划分成清水区、形成区、流通区及堆积区等4个区域,弃渣场所在区域反映了汇水面积大小、泥石流规模等因子对弃渣转化成泥石流的影响。

1.2.2 弃渣段沟道纵坡

堆渣段沟道纵坡是直接表征弃渣场地貌特征的因子之一,对弃渣形成泥石流有着直接的影响,单位为°或‰。

1.2.3 弃渣段沟道横断面形态

堆渣段沟道横断面形态同样是直接反映弃渣场环境特征的因子之一。从河谷地貌的演变发展而言,在沟谷形成早期,垂直侵蚀作用强烈,一般呈现断面狭窄的V型谷,此时沟岸崩塌发育、沟床坡度陡,为泥石流的发育提供良好的地形条形。而发育到中后期,由于溯源侵蚀等作用的作用,河谷逐渐拓宽,沟岸逐渐稳定,沟坡变缓。因此,按照沟谷所处发展阶段可划分成“V型”、“下切U型”、“宽U型”以及“复式断面”。

1.2.4 弃渣场上游汇水面积

弃渣场上游汇水面积直接反映了启动弃渣的水力条件,是直接影响弃渣转化成泥石流的因子之一,其一般小于或约等于整个流域面积,单位为km²。

1.2.5 弃渣场堵塞沟道程度

赵芹等^[9]根据弃渣堆放在沟道中的具体位置和与沟中水流相对位置的不同,将沟道型弃渣场分为拦沟型弃渣场、顺沟型弃渣场和填沟型弃渣场3类,也即意味着不同类型的弃渣场对原有沟道的堵塞程度不一样,从而影响原有沟道的行洪断面和排泄能力。根据弃渣场沿沟道横断面上的最大宽度与所在处沟道宽度之比,可将堵塞程度分成“严重堵塞”(≥3/4堰塞)、“中等堵塞”(3/4~1/2堰塞)、“轻微堵塞”(1/2~1/4堰塞)及“基本不堵塞”(≤1/4堰塞)4个等级。

1.3 弃渣体堆积及物料特征

弃渣体堆积形态和物料形式决定了弃渣体本身的稳定性,在工程设计中最为关注。选取单位面积弃渣量、弃渣体平均厚度、弃渣岩性、弃渣颗粒粒径以及相关防护措施等5个指标来表征。

1.3.1 单位汇水面积弃渣量

弃渣量是弃渣形成物源量的直观反映,也直接影响着弃渣可能转化成泥石流的规模,同时反映了

对沟道泥石流物源的补给程度,且由于弃渣是人为添加的松散堆积物,可将其作为物源动储量来看,比较容易参与泥石流运动。同时,因为绝对的体积量不能反映其对环境造成的负荷,所以采取单位汇水面积上的弃渣体积量更科学地反映弃渣量对所在沟道带来的负担,以及水动力条件相对弃渣量的影响,单位为 $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

1.3.2 弃渣体平均厚度

陈永亮指出弃渣场自稳能力主要由渣体临空面及渣体平均高度决定,临空面越大、高度越高,渣场自稳能力越低^[10]。因此,弃渣体平均厚度能反应弃渣体的稳定性,同时也影响着弃渣形成泥石流的难易程度。根据一般弃渣规模与厚度的关系,可以大致分为“巨厚层”(> 50 m)、“厚层”(50 ~ 30 m)、“中厚层”(30 ~ 10 m)及“薄层”(< 10 m)。

1.3.3 弃渣岩性

岩性直接影响着弃渣堆积体的物理力学性质。研究表明,渣体的粘聚力和内摩擦角对弃渣场的稳定性有着重要作用^[11],从而影响着弃渣转化成泥石流的启动、运动特征,是一项重要的指标。

1.3.4 弃渣体颗粒粒度特征

弃渣材料的颗粒级配影响着弃渣体的堆积密实度和强度,级配越好,颗粒间相互填充咬合,密实度越高,内摩擦角越大,反之则越小;其次,研究表明弃渣颗粒粒径的大小对渣场的稳定性具有一定的影响,当颗粒较均匀时,颗粒越大,边坡自然堆积高度越小,安全稳定系数越小,易形成表层剥落;反之,则安全稳定系数相对较大,若失稳,则形成深层滑面^[12]。因此,综合采用不均匀系数 C_u 、曲率系数 C_c 和颗粒粒径 d 来表征颗粒粒度特征。根据一般工程经验, $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 为级配良好的土, $d \geq 20 \text{ cm}$ 算作粗颗粒。

1.3.5 弃渣体防护措施

防护措施对弃渣体的稳定性有重要的作用,直接影响着弃渣转化泥石流的可能性。按照一般工程经验,弃渣场常用防护措施可分为拦挡措施、放坡措施、排水导水措施以及注浆等其他类型措施等。防护措施越到位,弃渣体越稳定,则形成弃渣泥石流的可能性越小。

2 沟道弃渣泥石流易发性评估方法

本文采用层次分析法^[13]建立弃渣泥石流易发

性评价指标体系,通过判断矩阵来确定评价指标的权重。由于评价指标量级、量纲各异问题,且有些指标无法直接定量描述,需对指标进行分级并采用黄金分割法^[14]各级进行定量赋值。最后,计算弃渣泥石流易发性指数,划分等级标准,得出弃渣泥石流易发性评价标准。

2.1 建立评价指标体系

根据对弃渣泥石流易发性影响因素及评价指标的选取,建立层次分析结构模型,分别为目标层 A、准则层 B 和因子层 C,关系如图 1 所示。

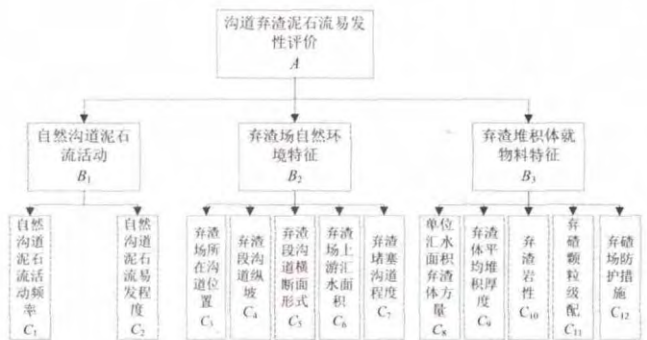


图 1 沟道弃渣泥石流易发性评价指标体系

Fig. 1 Factors system for the probability assessment of channel waste-slag debris flow occurrence

2.2 确定评价指标权重

2.2.1 构造各层次的判断矩阵

在确定目标层次后,需依据各评价因素的具体指标值以及实地考察后的个人主观评价进行综合分析,将因素指标逐对地进行两两比较判断,并根据表 1 所示的九级标度将这种判断结果定量化,从而形成比较判断矩阵 P ,分别构造各层次的判断矩阵 $P_1(A-B)$ 、 $P_2(B_1-C)$ 、 $P_3(B_2-C)$ 和 $P_4(B_3-C)$ 如表 2~5 所示。

表 1 判断矩阵标度及含义

Tab. 1 Calibration of the judgment matrix

标度	含义*
1	i 和 j 同样重要
3	i 比 j 稍微重要
5	i 比 j 明显重要
7	i 比 j 强烈重要
9	i 比 j 极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	假如 i 与 j 因素相比的相对重要性值为 a_{ij} , 则 j 与 i 因素相比的相对重要性值为 $1/a_{ij}$

* : i 为判断矩阵中列所对应的指标; j 为矩阵中行所对应的指标。

表 2 $P_1(A-B)$ 判断矩阵
Tab. 2 Judgment matrix of A to $B(P_1)$

A	B_1	B_2	B_3	权值
B_1	1	1/4	1/5	0.097
B_2	4	1	1/2	0.333
B_3	5	2	1	0.570

表 3 $P_2(B_1-C)$ 判断矩阵
Tab. 3 Judgment matrix of B_1 to $C(P_2)$

B_1	C_1	C_2	权值
C_1	1	1/5	0.167
C_2	5	1	0.833

2.2.2 一致性检验

权重分配是否合理,还需要对判断矩阵进行一致性检验。检验式如下

$$CR = CI/RI$$
 其中 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$

式中 CR 为一致性指标值; CI 为判断矩阵的随机一致性比率; λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根; n 为判断矩阵的阶数; RI 为判断矩阵的平均一致性指标。1~9 阶的判断矩阵的 RI 值参见表 6。当 $CR < 0.1$, 认为 P 具有满意的一致性,否则需调整 P 中的元素以使其具有满意的一致性。通过计算得到上述 4 个矩阵的 CR 值见表 7,均满足 $CR < 0.1$ 的要求,表明判断矩阵具有很好的一致性。

表 4 $P_3(B_2-C)$ 判断矩阵
Tab. 4 Judgment matrix of B_2 to $C(P_3)$

B_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	权值
C_3	1	1/5	2	1/7	1/3	0.062
C_4	5	1	5	1/3	3	0.259
C_5	1/2	1/5	1	1/7	1/3	0.047
C_6	7	3	7	1	5	0.510
C_7	3	1/3	3	1/5	1	0.123

表 5 $P_4(B_3-C)$ 判断矩阵
Tab. 5 Judgment matrix of B_3 to $C(P_4)$

B_3	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	权值
C_8	1	1/3	1/5	1/2	1/7	0.049
C_9	3	1	1/3	2	1/5	0.119
C_{10}	5	3	1	3	1/3	0.246
C_{11}	2	1/2	1/3	1	1/5	0.083
C_{12}	7	5	3	5	1	2.502

表 6 随机一致性指标 RI 取值
Tab. 6 Random consistency index(RI)

n	RI	n	RI
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12		

表 7 一致性检验
Tab. 7 Consistency check results

矩阵	λ_{\max}	CI	CR
P_1	3.02	0.01	0.02
P_2	2.00	0.00	0.00
P_3	5.19	0.05	0.04
P_4	5.14	0.03	0.03

2.2.3 各指标对目标层的合成权重

各元素对目标层的合成权重,是指每一个判断矩阵各因素针对目标层(最上层)的相对权重的合成。这一权重的计算采用从上而下的方法逐层合成,得到的各指标合成权重如表 7 所示。

表 8 评价指标合成权重
Tab. 8 Synthetic weight of the assessment factors

评价指标	合成权重(W)	评价指标	合成权重(W)
C_1	0.016	C_7	0.041
C_2	0.081	C_8	0.028
C_3	0.021	C_9	0.068
C_4	0.086	C_{10}	0.140
C_5	0.016	C_{11}	0.048
C_6	0.170	C_{12}	2.286

2.2.4 评价指标等级划分与赋值

每个指标主要根据文章第二节的分析,按照对弃渣泥石流形成的贡献程度依次分为“高”、“中”、“低”、“微”四级,采用黄金分割法将每个等级分别定量赋值为 1、0.618、0.382、0.146,见表 9。

2.2.5 计算弃渣泥石流易发性指数

各评价指标的合成权重系数 W_k 乘以各指标的定量赋值 J_k 作为各评价指标得分数,所有因子得分相加总和即为工程弃渣场泥石流易发性指数 R_Q

$$R_Q = \sum J_k \times W_k$$

式中 k 为 1, 2, ..., 12 对应的评价指标取值。

表 9 评价指标等级划分标准及定量赋值

Tab. 9 Assessment factors grading and quantitative assignment

一级因子	二级因子	等级划分及赋值(J)			
		高	中	低	微
		1	0. 618	0. 382	0. 146
自然沟道泥石 流易发情况	C_1 : 泥石流历史活动频率	极高频	高频	中频	低频
	C_2 : 泥石流易发性	≥ 116	87 ~ 115	44 ~ 86	≤ 43
	C_3 : 弃渣场所在位置	流通区	形成区	清水区	堆积区
弃渣场 环境特征	C_4 : 弃渣段沟道纵坡($^{\circ}$ (%))	$\geq 12^{\circ}$ (213)	$12^{\circ} \sim 6^{\circ}$ (213 ~ 105)	$6^{\circ} \sim 3^{\circ}$ (105 ~ 52)	$\leq 3^{\circ}$ (52)
	C_5 : 弃渣场所在沟道横断面型式	V 型	U 型	宽 U 型	复式
	C_6 : 弃渣场上游汇水面积(km^2)	≥ 10	10 ~ 5	5 ~ 2	≤ 2
	C_7 : 弃渣体堵塞沟道程度	$\geq 3/4$ 堰塞	$3/4 \sim 1/2$ 堰塞	$1/2 \sim 1/4$ 堰塞	$\leq 1/4$ 堰塞
	C_8 : 单位汇水面积弃渣量($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)	≥ 10	5 ~ 10	2 ~ 5	≤ 2
弃渣体 堆积特征	C_9 : 弃渣体厚度(m)	≥ 50	50 ~ 30	30 ~ 10	≤ 10
	C_{10} : 弃渣岩性	软岩、黄土及建筑垃圾	软硬相间	破碎的硬岩	完整的硬岩
	C_{11} : 弃渣颗粒粒度特征	$C_u < 5$ (多细颗粒)	$C_u < 5$ (多粗颗粒)	$5 \leq C_u$ 或 $C_c > 3$	$5 \leq C_u$ 且 $C_c = 1 \sim 3$
	C_{12} : 弃渣体防护措施(拦挡、排水、放坡、其他)	均无	有其中一种	有其中两到三种	均有

表 10 工程弃渣泥石流易发性分级

Tab. 10 Probability of waste-slag debris flow occurrence grading

弃渣泥石流易发性分级	易发性指数 R_Q	特征
高度易发	1. 0 ~ 0. 75	弃渣场极不稳定 ,形成泥石流的条件非常充分
中度易发	0. 75 ~ 0. 5	弃渣场不稳定 ,形成泥石流的条件充分
低度易发	0. 5 ~ 0. 25	弃渣场较不稳定 ,具备形成泥石流的条件
不易发	0. 25 ~ 0	弃渣场稳定 ,形成泥石流的条件不充分

根据各项指标的权重赋值及计算结果 ,按照均分原则将易发性指数 R_Q 分为 4 个等级 ,即高度易发(1 ~ 0.75)、中度易发(0.75 ~ 0.5)、低度易发(0.5 ~ 0.25)、不易发(0.25 ~ 0)。具体分区等级见表 10。

3 实例分析

3.1 巴东黄家大沟工程弃渣泥石流易发性评价

2003 - 03 - 31—04 - 01 ,三峡库区湖北省巴东县出现大范围连续降雨 ,位于巴东县新城区的黄家大沟弃渣形成泥石流 ,泥石流冲出沟道导致公路和沿江大桥堵塞 ,淤积土石厚度达 1 m ,最大碎石块需 4 人才能抬动 ,堆放在路旁的玻璃钢排污管被冲出约 100 m^[15]。根据文献[15]的背景资料介绍 ,在自然条件下 ,黄家大沟的地形条件、天然堆积物特征不利于泥石流的产生 ,发生大规模泥石流的可能性较小。弃渣主要堆积在黄家下游及沟口处 ,平均纵坡

278‰ ,横剖面上呈上宽下窄的 V 形 ,弃渣主要为建筑弃渣和生活垃圾 ,分两处堆积 ,上游处堆积量方约 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$,高 20 ~ 3 m ,完全堰塞沟道 ,下游处堆积 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$,沿沟谷东坡延伸 ,不完全堰塞沟道。宽级配 ,大量粗大的块石构成骨架结构 ,小的颗粒形成粒状结构充填 ,粘粒呈网状结构包裹粗大颗粒。采用本文介绍的弃渣泥石流易发性评价方法 ,对弃渣进行弃渣泥石流易发性评估 ,具体取值见表 11。通过计算得出该弃渣泥石流易发性指数 R_Q 为 0.602 ,属于中度易发等级 ,很可能发生弃渣转化成泥石流的情况。其中 ,因自然沟道泥石流活动情况没有详细资料 ,按最低标准取值 ,具体的汇水面积也无法估算 ,按全流域面积计算 ,从而导致估算的结果偏安全 ,也即说明实际情况沟道内弃渣转化成泥石流的可能性更大 ,与实际情况已发生泥石流较吻合 ,一定程度上证明了该方法能较好的预测沟道内弃渣转化成泥石流的可能性。

表 11 黄家大沟与李加大沟弃渣泥石流易发性评价

Tab. 11 Probability of waste-slag debris flow occurrence assessment for the Huangjia gully and Lijia gully

沟名	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	R_Q
黄家大沟	低频	不易发	流通区	278‰	V 型	3.6	完全堰塞	4.17	50~20	软岩、黄土及建筑垃圾	级配良好	均无	0.602
	0.146	0.146	1	1	1	0.382	1	0.382	0.618	1	0.382	1	
李家大沟	低频	低度易发	形成区	249.1‰	V 型	0.018	完全堰塞	305.5	4	泥灰岩及泥质灰岩	级配差(多粗颗粒)	均无	0.707
	0.146	0.382	0.618	1	1	0.146	1	1	0.146	1	0.618	1	

3.2 奉节李家大沟弃渣泥石流易发性评价

根据文献 [2] 描述的三峡库区重庆市奉节县李家大沟弃渣背景资料,李家大沟中下游已被建筑弃渣分级填平,并修有大量建筑物。本文仅关注其上游弃渣,泥石流形成区汇水面积 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^2$,沟道纵坡 249.1‰,沟道横剖面成 V 型,边坡与沟道内均有弃渣,方量约为 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。利用本文提出的易发性评价方法进行评价,评价结果如表 11 所示。根据评价结果,该流域弃渣泥石流易发性指数为 0.707,属于中度易发偏高型,说明该流域形成弃渣泥石流的条件充分,与文献 [2] 采用弃渣稳定性力学计算得出该弃渣为不稳定松散体,在一定的暴雨频率作用下可能形成泥石流的结论一致。

4 结 论

1. 本文针对工程弃渣的特点,详细分析了工程弃渣泥石流易发性影响因素,在考虑自然沟道泥石流活动情况的基础上,叠加弃渣场的环境特征和弃渣体堆积及物料特征,共选取了 12 项评价指标,构建了工程弃渣泥石流易发性评价体系,得出了工程弃渣泥石流易发性定量评价方法。

2. 利用已有文献资料对湖北省巴东县黄家大沟弃渣和重庆市奉节县李家大沟弃渣泥石流易发性进行评价,评价结果显示:黄家大沟弃渣泥石流易发性指数为 0.602,属于中度易发,因评估值在多项指标取值时偏安全,导致评估结果偏安全,与实际发生泥石流情况相符,李家大沟的弃渣泥石流易发性指数为 0.707,属于中度易发偏高,与已有的弃渣场稳定性力学计算评价结构一致,表明在一定的暴雨频率作用条件下,将很可能发生弃渣泥石流。

参考文献(References)

[1] 孟晖,胡海涛. 我国主要人类工程活动引起的滑坡、崩塌和泥石流灾害[J]. 工程地质学报,1996,04: 69~74 [Meng Hui, Hu Haitao. Disasters of landslides rockfalls and mudflows induced by human engineering in china[J]. Journal of Engineering Geology, 1996, 04: 69~74]

[2] 刘菲,唐红梅. 重庆库区工程弃渣泥石流形成机理[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2010,04: 620~623+640 [Liu Fei, Tang Hongmei. Formation mechanism of construction spoil debris flow in Chongqing Reservoir [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2010, 04: 620~623+640]

[3] 刘菲,唐红梅. 工程弃渣型坡面泥石流形成过程试验[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2011, S1: 519~522+529 [Liu Fei, Tang Hongmei. Developing process of debris flow on slope of engineering slag [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science) 2011, S1: 519~522+529]

[4] 许虎,顾平,罗飞. 金沙江某水电站弃渣场稳定性评价[J]. 水电与新能源,2012,03: 51~53 [Xu Hu, Gu Ping, Luo Fei. Stability evaluation of the abandoned dreg field of a hydropower station in Jinsha River[J]. Hydropower and New Energy, 2012, 03: 51~53]

[5] 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,2006,02: 89~92 [Xu Youning, Chen Shebin, Li Yujing, et al. Potentiality degree assessment of slag mudslide geo-hazard on the gold mine area in Tongguan, Shanxi Province[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 02: 89~92]

[6] 陈华清,徐友宁,张江华,等. 小秦岭大湖峪矿渣型泥石流的物源特征及其危险度评价[J]. 地质通报,2008,08: 1292~1298 [Chen Huaqing, Xu Youning, Zhang Jianghua, et al. Source characters and risk assessments of mine slag-type debris flows in the Da hu valley, Xiao Qinling, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1292~1298]

[7] 宫雪,倪磊. 南芬铁矿 2~#排土场泥石流危险度评判[J]. 中国水土保持,2007, (01): 53~54 [Gong Xue, Er Lei. Risk assessment on debris flow in 2# waste-dump of Nan fen Iron Mine[J]. Soil and Water Conservation in China 2007, (01): 53~54]

[8] 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地质矿产行业标准, 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. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Standard of the People's Republic of

- China on the Geological and Mineral Industry, DZ/T0220-2006, Engineering exploration specifications of debris flow disaster prevention and control [S]. Beijing: China Standard Press, 2006.]
- [9] 赵芹, 郑创新. 沟道型弃渣场分类及工程防护措施分析[J]. 中国水土保持, 2010, (04): 38-40 [Zhao Qin, Zheng Chuangxin. Channel-type waste-slag field classification and analyses of the engineering protection measures [J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, (04): 38-40]
- [10] 陈永亮, 蔡德志. 影响弃渣场稳定的因素及针对性治理措施探讨[J]. 西部探矿工程, 2009, (12): 32-34 [Chen Yongliang, Cai Dezhi. Effects of waste-slag field stability and pertinence control measures [J]. West-china Exploration Engineering, 2009, (12): 32-34]
- [11] 张家铭, 付金丹, 刘浩. 基于改进正交设计的山区弃土场边坡稳定性敏感分析[J]. 科技导报, 2012, 30(17): 38-42 [Zhang Jiaming, Fu Jindan, Liu Hao. Sensitivity factors of mountain spoil field slopes stability based on improved orthogonal method [J]. Science & Technology Review, 2012, 30(17): 38-42]
- [12] 肖志红. 不同粒径渣体对弃渣场稳定性影响研究[J]. 人民长江, 2014, 45(12): 38-42 [Xiao Zhihong. Research on stability of slag field affected by slag accumulation containing different particle size [J]. Yangtze River, 2014, 45(12): 38-42]
- [13] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法在安全科学研究中的应用[J]. 中国安全科学生产技术, 2008, 4(2): 148-153 [Guo Jinyu, Zhang Zhongbin, Sun Qingyun. Applications of AHP method in safety science [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(2): 148-153]
- [14] 毛建, 姚安林, 蒋宏业, 李又绿. 采用黄金分割法进行管道第三方破坏风险评价[J]. 油气储运, 2009, 28(10): 42-44 [Mao Jian, Yao Anlin, Jiang Hongye, et al. Pipeline damage risk assessment using golden section method [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28(10): 42-44]
- [15] 张永双, 金逸民, 吴树仁, 等. 人工弃渣诱发泥石流的动力学研究——以三峡库区巴东县黄家大沟为例[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 571-576 [Zhang Yongshuang, Jin Yi min, Wu Shuren, et al. Dynamics of debris flow caused by human waste - Dump: a case study of the Huangjia Valley in Badong County of the Three Gorges Region [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2005, (26) 6: 571-576]

Occurrence Probability of Channel Waste-slag Debris Flow Assessment

XIE Xiangping^{1 2}, SU Pengcheng¹, WANG Xiaojun^{1 2}, CHEN Zisheng¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy/ Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, CAS, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to evaluate the probability of construction waste slag to debris flow, analyzed the characteristic of construction waste slag. Considering the activity situation of natural valley as well as the stability of waste slag field, 12 factors were chosen for the assessment system based on AHP method. Defined RQ (occurrence probability index of waste-slag debris flow) as the direct index, four levels were divided as highly probability (1~0.75), moderately probability (0.75~0.5), lowly probability (0.5~0.25) and little probability (0.25~0) to depict the occurrence probability degree. Two instances were used to testify the accuracy of this method. One was Huangjia valley in Dan Ba county. The RQ was 0.606, belonging to moderately probability, which was according with the reality that under consistent precipitation, waste slag debris flow was occurred in 2003. The other was Lijia valley in Chongqing Reservoir. The RQ was 0.707, which demonstrated that it is quite possible to accrue waste slag debris flow in this area. And the result was quite coincident with the theoretical calculation analyses did by Liu Fei (2010).

Key words: waste slag; debris flow; occurrence probability assessment; Analytic Hierarchy Process