

山坡泥石流场地风险性评价

蒋庆丰¹, 游 珍^{2,3}

(1. 南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226008; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;
3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 鉴于山坡泥石流的危险性主要表现为冲击破坏作用, 运用能量守恒原理, 将泥石流场地危险性评价公式改进为“危险度= 能量×频率”。初步探讨了山坡泥石流场地易损性问题, 给出了场地易损性的评价指标和计算公式, 依据“风险度= 危险度×易损度”计算了山坡泥石流场地风险性, 并给出了具体评价实例。

关键词: 山坡泥石流; 场地风险性; 危险性; 易损性

中图分类号: P642. 23 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005) 03-0158-04

Site-specific Risk Assessment on Hill Slope Debris Flow

JIANG Qing-feng¹, YOU Zhen^{2,3}

(1. College of Geographical Science, Nantong University, Nantong 226007, China;
2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China;
3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Applying to the conservation law of energy, the formula of hazard assessment was approved as “hazard = energy × probability”. The preliminary discussion of site-specific vulnerability of hill slope debris flow was made and the assessment method and formula were given. These methodologies were applied to Beibei district of Chongqing and a good agreement was achieved.

Key words: hill slope debris flow; site-specific risk assessment; hazard; vulnerability

山坡泥石流是指发育在山坡坡面上的小型泥石流沟谷, 没有明显的流通区, 形成区和堆积区相贯通, 沟坡和山坡坡度几乎一致的一类泥石流, 包括散流坡泥石流、重力泥石流、间歇性水沟泥石流等^[1]。泥石流风险评价一般分为两个层次: 区域泥石流风险评价和场地(单沟)泥石流风险评价。风险性评价一般采用数学关系式: 风险度= 危险度×易损度进行。

1 山坡泥石流场地危险性评价

1.1 评价原理

危险性是指遭受损害的可能性的多少, 它是一个概率概念, 其定量表达即为危险度, 在[0, 1]闭区间上取值。泥石流危险度是指遭受泥石流损害的可能性大小。它与泥石流发生的可能性大小和泥石流本身的规模有关。国际上常采用两者的乘积形式来表示泥石流的危险度, 即:

泥石流危险度(Hazard) = 泥石流规模(Magnitude) × 泥石流发生概率(Probability)

但上式不能很好的体现泥石流的危险度。因为泥石流的

危险作用主要表现为冲击破坏和淤埋两个方面, 仅用泥石流规模这一静态概念不能很好的表征泥石流的冲击破坏作用。对山坡泥石流来说尤其如此。尽管山坡泥石流规模小, 但它们多发生在山坡坡面上, 坡陡高差大, 流速快, 速度可以在一定程度上弥补其规模小的不足, 因而山坡泥石流的冲击破坏作用极强。因此用能量来代替规模更能体现山坡泥石流的危险性大小。这样上式就转化为:

泥石流危险度(Hazard) = 泥石流能量(Energy) × 泥石流发生概率(Probability)

因而评价山坡泥石流的场地危险性就转化为评价山坡泥石流能量和发生概率的问题。在上述山坡泥石流的危险度表达式中, 必须用乘积形式, 而不能用相加或变相的相加。因为只有乘积形式才能表明上述原理, 且满足边界条件。采用相加或变相相加都破坏了其物理意义和内涵, 而且边界条件会被突破。

直接测定泥石流的能量是非常困难的, 但可以用间接的方法来求得预测值。如果把山坡泥石流看作是一个系统, 那

¹ 收稿日期: 2005-01-20
基金项目: 南通大学青年基金项目(03QL02)
作者简介: 蒋庆丰(1976-), 男, 讲师, 博士研究生, 安徽和县人, 主要从事灾害和环境方面的研究。

么泥石流活动所需要的能量只有两个来源: 一是系统自身所具有的能量, 如重力势能等; 二是暴雨水体的激发能量(动能) 和水体自身的重力势能。两者之和为系统的总能量。根据能量守恒定律, 不论泥石流在整个运动过程中能量是如何的相互转化, 但总能量始终守恒。假如把山坡泥石流流通区出口处作为一个断面, 只要能估算出出口断面处的泥石流体能量(动能), 就相当于计算出了山坡泥石流的总能量。

1.2 评价指标

根据上述评价原理和思路, 我们选取了山坡泥石流出口断面处的流量; 泥石流出口断面处的平均流速; 泥石流出口断面处的容重和山坡泥石流的暴发频率四个指标来评价山坡泥石流场地危险性。其中前三个指标用以计算山坡泥石流的能量, 公式为:

$$E = (1/2) W_{pc} \cdot r_c \cdot V_c^2 \tag{1}$$

式中: W_{pc} ——(总流量)采用配方法^[2]; r_c ——(容重)采用体积比法^[3]; V_c ——(流速) 稀性泥石流采用铁道部第二勘探设计院推荐公式^[4]、黏性泥石流采用通用公式^[5] 计算。

泥石流暴发概率的确定主要根据泥石流的激发条件, 评定泥石流发生的可能性, 并根据激发条件出现的概率确定泥石流的发生概率。在泥石流的多种激发条件中, 最主要的是水量。泥石流水量的主要来源是降雨形成的洪流。根据激发泥石流活动的临界水量值和不同地区的实际观测结果可以确定泥石流活动的始发雨量和始发径流量, 据此可以根据不同程度的降雨概率和沟谷径流频率, 确定泥石流的发生概率。在实际操作过程中以激发山坡泥石流的设计暴雨频率计算。

1.3 评价模型

由于 E 值是一个数值巨大且有单位的值, 必须通过一定的数学模型将其转化为无量纲的相对值。本文拟采用下列数学模型将泥石流能量 E 转化为相对能量等级 E , 公式为:

$$\log E = a + b \cdot E \tag{2}$$

式中: E ——泥石流能量; E ——泥石流能量等级; a, b ——待定系数;

据四川、甘肃和云南等省多条资料详细的泥石流的能量计算值, 泥石流的 最大能量约为 1.0×10^{16} J, 将其定为 10 级能量等级, 利用上式求得待定系数为: $a = 8/3, b = 4/3$ 。泥石流能量和其能量等级之间的关系见表 1。

表 1 泥石流的能量与能量等级关系对应表

能量/J	能量等级	能量/J	能量等级
1.0×10^4	1	4.642×10^{10}	6
2.154×10^5	2	1.0×10^{12}	7
4.642×10^6	3	2.154×10^{13}	8
1.0×10^8	4	4.642×10^{14}	9
2.154×10^9	5	1.0×10^{16}	10

由泥石流危险度(H) = 相对能量等级(E) \times 发生频率(P) 得到山坡泥石流场地评价模型为:

$$H = 0.1 \cdot E \cdot P \tag{3}$$

2 山坡泥石流场地易损性评价

灾害易损性评价是灾害风险性评价的重要一环。灾害学界自姜彤倡导社会易损性分析与评价以来^[7], 易损性的研究受到了广泛的关注, 取得了丰硕的成果^[6~20]。泥石流在初步解决了危险性之后^[21], 其易损性评价也逐步展开。但目前主要还是对区域泥石流易损性进行评价, 提出的评价指标和公式更适用于泥石流发育普遍、危害严重的大区域。对一个泥石流点状发育但危害较小的小区而言, 进行场地易损性评价更切合实际, 更具有实践意义。

易损性(Vulnerability) 的定义到目前为止尚未统一, 国内外主要有三种观点: (1) 强调受灾体易于受到伤害或损失的性质、状态或敏感性^[7~15]; (2) 强调可能造成的损失或损失程度^[16~18]; (3) 认为受灾体易损性在理论上与其自身的自然性质、构成材料(物质成分)、结构、制作工艺过程及防灾力度等有关^[19~20]。

笔者认为易损性应该反映受灾体因自身性质、结构、状态和质地(材料) 不同所造成的在同一灾害面前表现出的差异性, 它应该是受灾体内在抵抗能力的体现, 受其自身内在属性决定; 而价值只是依附于内在属性的一种外在表现, 不宜将经济价值作为易损性的评价指标。据此将山坡泥石流的场地易损性定义为: 受灾体易于遭受山坡泥石流损害的性质和状态, 主要与受灾体遭受泥石流破坏的机会大小(即可能性) 和受灾体受泥石流破坏自身发生损毁的难易程度有关。

2.1 受灾体遭受泥石流破坏机会大小的确定

受灾体遭受泥石流破坏的机会大小取决于受灾体与泥石流的相对空间位置关系, 受灾体群体分布方式和地面条件等因素。

(1) 受灾体与泥石流的相对空间位置关系。受灾体遭受泥石流破坏的机会大小与受灾体到泥石流流通区出口中央处的相对距离大小有关。所谓相对距离是指每个受灾体类型的各个个体到泥石流流通区出口中央处的实际距离与泥石流流通区出口中央处到泥石流流域边缘的最大距离之比。受灾体越靠近泥石流流通区出口中央处, 即相对距离越小, 则遭受泥石流破坏的可能性就越大; 反之可能性就越小。对同一类型的受灾体来说, 因为各个个体到泥石流流通区出口中央处的相对距离不同, 遭受泥石流破坏的可能性就不同。为了能表征各个受灾体类型遭受泥石流破坏机会的大小, 选用平均相对距离系数指标。其量算方法是: 在地形图上先勾绘出泥石流的流域范围, 找出泥石流流通区出口中央处, 然后量算出同一类型受灾体的各个个体到泥石流流通区出口中央处的相对距离, 再取它们的平均值, 即为这一类型受灾体到泥石流流通区出口中央处的平均相对距离系数。在其它条件相同的情况下, 平均相对距离系数越大, 则遭受泥石流破坏的可能性就越小。

(2) 受灾体群体分布方式。对集中分布的受灾体来说, 前一受灾体可为后一受灾体提供屏障和保护作用。但同时, 集中分布则意味着受灾体群体遭受泥石流破坏的机会增大。而分散分布的受灾体虽然个别个体遭受泥石流破坏的机会很

大,但对整体而言,由于大多数受灾体遭受泥石流破坏的机会小,因而总体上受破坏的机会小。因此选用受灾体相对集中分布程度来表征受灾体群体分布方式对其遭受泥石流破坏机会的影响。相对集中分布程度拟作如下划分并赋值:非常集中(0.8);相对集中(0.6);相对分散(0.4);非常分散(含孤立情况)(0.2)

(3) 山坡坡面条件。山坡坡面条件影响着泥石流的能量损耗和泥石流的主流线方向。山坡坡面条件有利,泥石流下泄顺畅,能耗小,冲击淤埋范围大;相反,冲击淤埋范围小。用山坡坡面条件系数反映山坡坡面条件对泥石流破坏能力的影响。山坡坡面条件系数分级赋权如下:顺直平整(1.0);弯曲平整(0.7);顺直起伏(0.4);弯曲起伏(0.1)

2.2 受灾体受泥石流破坏发生损毁的难易程度的确定

受灾体受泥石流破坏发生损毁的难易程度因受灾体的类型、结构和状态等不同而不同。

(1) 受灾体类型的划分。受灾体类型基本按文献[6] 划分

表 2 抗力系数等级一览表

受灾体类型	抗力系数等级划分极其赋值			
	抗力系数大(1/ K_{ij})= 0.1	抗力系数中(1/ K_{ij})= 0.4	抗力系数小(1/ K_{ij})= 0.7	无抗力系数(1/ K_{ij}) = 1.0
人	健康健全 18~60 岁群体	健康健全小于 18、大于 60 岁的群体	非健康健全 18~60 岁的群体	非健康健全小于 18、大于 60 岁的群体
房屋	新钢架结构	新钢混结构、旧钢架结构	新砖结构、旧钢混结构	简易结构、旧砖结构
道路	国家级	省级	县级	乡、镇级
桥梁	钢架	钢混	混凝土	简易
生命线	极重要主干线	重要主干线、极重要专线	一般主干线、重要专线	一般线路
水利	特大型	大型	中型	小型、微型
生产及生活构筑物	极重要	重要	一般	不重要
室内设备及物品	钢铁质	木质	塑料质	土质
农作物				
林木、草				
土地资源				
其它				

2.3 易损度的确定

由前述定义和讨论,有以下易损度公式:

$$V = (1/n) \sum_{i=1}^n f(P_i) \cdot f(Q_i) \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (4)$$

式中: V ——易损度; $f(P_i)$ ——第 I 种受灾体遭受破坏的可能性; $f(Q_i)$ ——第 i 种受灾体受到破坏时发生损毁的难易程度值; n ——受灾体类型数。

$$f(P_i) = D_i \cdot F_i \cdot \mu \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (5)$$

式中: D_i ——第 i 种受灾体类型的平均相对距离系数; F_i ——第 i 种受灾体类型的相对集中分布系数; μ ——山坡坡面条件系数。

$$f(Q_i) = \sum_{j=1}^4 (B_{ij}/K_{ij}) \quad (i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,4) \quad (6)$$

式中: B_{ij} ——第 i 种受灾体类型的第 j 种抗力系数等级的比重系数; K_{ij} ——第 i 种受灾体类型的第 j 种抗力系数等级值。

为 12 类(见表 2)。

(2) 受灾体结构。受灾体的结构不同,其发生损毁的难易程度不同。

对人来说,人的年龄结构、性别结构影响人的损毁情况。在年龄结构中,老人和儿童最易发生损毁,其划分标准如下:小于 18 岁的为儿童,大于 60 岁的为老人;对房屋建筑来说,其发生损毁的难易程度由钢结构向钢筋混凝土结构、砖结构、简易结构逐渐增大;其它类型受灾体也都存在着结构的影响(表 2)。

(3) 受灾体的状态。受灾体的新旧、有无病害和完整程度等状态也影响着受灾体的损毁难易程度。对人来说,健康状态比非健康状态难损毁,健全状态比非健全状态难损毁;对房屋来说,新建筑比旧建筑难损毁,没有隐患、保存完整的比有安全隐患、不完整的要难损毁;其它类型受灾体也存在着状态的影响(表 2)。

3 山坡泥石流场地风险性评价

风险性的定量表示即为风险度,我们已经给出山坡泥石流场地危险度和易损度评价方法和计算公式,根据公式“风险度= 危险度×易损度”,便能得到山坡泥石流的场地风险度。

4 评价实例

北碚位于 29°37′~30°06′N,106°18′~106°41′E 之间,面积 735 km²,是重庆市西北面的一个郊区,距主城区约 50 km。在地质构造上,北碚区为西南地台、川东南坳褶带、华蓥山隔档式复背斜昂状弧形构造区重庆弧的一部分。地表出露的主要是二叠系、三叠系和侏罗系地层,岩性以砂岩、页岩、灰岩和泥岩为主。它们褶皱形成构造线方向为北北东—南南西向的三个背斜和三个向斜:沥滩峡背斜、转龙向斜、温塘峡背斜、北碚向斜、观音峡背斜和灯塔向斜。这些背向斜构成了北碚区地貌的骨架。在地形上,北碚区主要以低山丘陵为主,

间有槽谷、平坝。气候上北碚属亚热带季风性湿润气候, 具有四季明显、气温高、热量丰富、雨量充沛、风力小、湿度大、云雾多光照少等特点。年平均降雨量 1 078. 65 mm, 主要集中于 5~9 月(占全年雨量的 70%), 且多暴雨、夜雨。北碚区水网发达, 水系密度大, 嘉陵江横贯全境, 为全区最大河流, 其它溪流主要有龙凤溪、运河、郑家溪、明家溪、万家溪等, 呈羽枝状汇入嘉陵江, 地形破碎、切割严重。人口稠密、工业发达、交通便捷, 开矿、修路等人为活动强烈, 水土流失严重, 崩塌、滑坡、泥石流和地裂等地质灾害频繁, 妨碍了工农业生产和人民生活, 制约了区域经济的发展。

本文选取北碚区襄渝铁路北碚——磨心坡站长约 8. 5 km 的铁路沿线 9 条山坡泥石流作为评价实例(表 3)。

风险性大小顺序为: 散流坡> 醪糟坪> 北碚厂后山 2# 沟> 北碚 1 号隧道北 1# 沟> 王家湾> 北碚厂后山 1# 沟> 楼子沟> 大石沟> 大水凼。排序的结果符合当地实际情况。

5 讨 论

(1) 用能量代替规模来评价山坡泥石流的场地危险性避免了原有公式中只能表达静态概念, 没有考虑动态情况的弊端, 能较好的将山坡泥石流的冲击破坏作用和淤埋破坏作用同时加以考虑, 尤其是突出了山坡泥石流的冲击破坏作用, 比较符合实际情况。同时危险度评价公式的改进也是对统一各种泥石流的危险度评价, 进行区域对比的一种初步尝试。以前的评价式因为缺乏统一的物理学基础, 因而因人而异, 难以进行区域对比, 甚至出现了对于同一地方, 不同的人有不同的结果的现象。

参考文献:

[1] 吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 17.

[2] 甘肃省交通科学研究所, 中国科学院冰川冻土研究所. 泥石流地区公路工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1983.

[3] 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 171— 172.

[4] 康志成. 我国泥石流流速研究与计算方法[A]. 第二届全国泥石流学术会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1991.

[5] 陈光曦, 王继海, 王林海. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.

[6] 张梁, 张业成, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 77— 80.

[7] 姜彤, 许朋柱. 自然灾害研究的新趋势— — 社会易损性分析[J]. 大自然探索, 1996, 15(2): 45— 50.

[8] 金晓东, 罗云. 区域社会经济 ‘ 易灾性 ’ 综合评价实践[J]. 灾害学, 1993, 8(4): 1— 5.

[9] 张业成, 郑学信. 云南省东川市泥石流灾害灾情评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(2): 67— 76.

[10] 蒲淳. 关于我国粮食生产的易损性评价[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 30— 34.

[11] 商彦蕊, 史培军. 人为因素在农业旱灾形成过程中所起作用的探讨[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 35— 42.

[12] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展— — 脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(2): 73— 77.

[13] 毛德华, 王立新. 湖南城市洪涝易损性诊断与评估[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 89— 94.

[14] 陈亚宁. 新亚欧大陆桥新疆段易损性分析[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 106— 110.

[15] 冯利华, 吴樟荣. 区域易损性的模糊综合评判[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(2): 63— 67.

[16] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 承灾体脆弱性评价指标中的量化方法探讨[J]. 灾害学, 2000, 15(2): 78— 82.

[17] 刘希林. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 7— 12.

[18] 李闽. 地质灾害人口安全易损性区划研究[J]. 中国地质矿产经济, 2002, (8): 24— 27.

[19] 高兴和. 地质灾害承灾体易损性探究[J]. 中国地质矿产经济, 2002, (4): 28— 31.

[20] 高庆华, 张业成, 苏桂武. 自然灾害风险初议[J]. 地球学报, 1999, 20(1): 81— 86.

[21] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.

表 3 山坡泥石流场地风险性评价

沟谷及编号	设计暴雨频率	设计频率 P 下的山坡泥石流	泥石流能量 /(10 ⁸ J)	泥石流能 量等级 E	危险度/ (10 ⁻³)	易损度	风险度/ (10 ⁻⁴)
		总量/m ³					
1 王家沟	0.02	8250. 1	1. 0061	4. 002	8. 004	0. 101 1	8. 8092
	0.01	9118. 2	1. 0812	4. 025	4. 025		4. 4069
	0.02	1935. 6	1. 5863	4. 150	8. 300		38. 0721
2 散流坡	0.01	2064. 7	1. 6921	4. 171	4. 171	0. 458 7	19. 1324
	0.02	1843. 0	2. 7276	4. 436	8. 872		8. 8029
后山 1# 沟	0.01	1970. 0	2. 9260	4. 466	4. 466	0. 0905	4. 4042
4 北碚厂	0.02	2072. 0	4. 0966	4. 459	8. 918		10. 9959
后山 2# 沟	0.01	2222. 8	4. 3947	4. 482	4. 482		5. 5263
5 北碚 1 号	0.02	4856. 9	11. 8780	4. 806	9. 612	0. 1088	10. 4579
隧道北 1# 沟	0.01	5209. 8	12. 7410	4. 829	4. 829		5. 2540
6 醪糟坪	0.02	55579. 6	8. 4642	4. 696	9. 392	0. 1809	16. 9901
	0.01	59608. 0	9. 0775	4. 718	4. 718		8. 5349
7 大水凼	0.02	5818. 3	1. 0368	4. 012	8. 024	0. 0570	4. 5737
	0.01	6243. 4	1. 1125	4. 035	4. 035		2. 3000
8 楼子沟	0.02	5451. 9	1. 5381	4. 140	8. 280	0. 0840	6. 9552
	0.01	5848. 7	1. 6500	4. 163	4. 163		3. 4969
	0.02	16512. 3	1. 6201	4. 157	8. 314		5. 3625
9 大石沟	0.01	17687. 5	1. 7355	4. 180	4. 180	0. 0645	2. 6961

(2) 对易损性的概念和范围一直存在着争论, 主要有两种观点: 一种观点强调经济损失情况; 另一种则强调自然易损情况。我们认为在灾害面前 “ 人人、物物平等 ”, 不存在因价值大小不同而出现易损度不同的情况, 价值损失应属于破坏损失层面, 不应作为易损度评价的内容。

致谢: 本文承蒙徐刚导师的指导, 在数据采集过程中, 曾得到重庆市 208 地质队的帮助, 在此一并表示感谢!