

泥石流危险性评价的问题^{*}

李 泳

(中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 分析了现行泥石流危险性评价方法在因子选择、权重确定、危险度计算、区划原则和区划结果等方面存在的问题, 提出对泥石流危险性应进行三个层次的评价: 泥石流存在环境的质量评价、泥石流活动性的评价和泥石流破坏能力的评价, 并以势函数定义了泥石流危险度的统一形式, 它可以满足不同目的的危险性评价。

关键词 泥石流 危险性评价 问题 势函数 评价模型

分类号 《中图法》X4, X820.4 **文献标识码** A

泥石流危险性评价是环境评价、特别是山地环境评价的重要组成部分。泥石流危险性评价问题的兴起, 可能受其他自然灾害评价的影响, 例如, 我们可以看到它与地震的区域性的定量评价有较深的渊源, 的确, 大多数泥石流危险性评价都是区域性的。但是与其他灾害过程(如洪水、地震、飓风等)相比, 泥石流活动在现象上有极强的“定域”特征:

(1) 在空间分布上, 泥石流有很强的定域性, 即沿水系呈以点为基本单元的带状分布, 而且这些“点”(单个泥石流流域)和“带”(水系)是确实的存在物, 不同于地震和气象上的“带”。

(2) 从时间分布看, 泥石流活动发生在水动力条件良好的时期, 绝大多数暴雨泥石流发生在雨季。

(3) 在对环境的影响上泥石流也有很强的定域性, 显然它直接影响的基本区域都在本流域范围内。

由于这些定域特征, 泥石流不是严格意义的区域活动, 因此对泥石流的评价不能代表对区域的评价; 反过来, 区域性的评价并不适宜于泥石流活动的评价。我们考察了近年来常见的一些关于自然灾害、特别是泥石流灾害的危险性评价(或危险度分区)的思想和方法^[1~5], 发现这些评价不论在内容上还是方法上, 几乎都实际存在或在逻辑上可能出现不确定的、模糊的、甚至矛盾的东西。我们将分析这些问题, 并提出一种新的评价方法。

1 泥石流的环境评价中存在的问题

我们所说的“泥石流环境的评价”, 指那些用流域环境因子对泥石流危险性所进行的评价, 即通常的“泥石流危险度”的定量评价, 虽然“危险度”在定义上还不统一, 但在内容上大家还是比较一致的。

1.1 问题的表现

我们来看一个例子: 某评价方法选取一个区域的以下因子的组合作为一组定量评价指标: $\{X_i\} = \{\text{区域的海拔高差, 岩石的破碎程度, 断层的数量, 区域年降雨量, 区域气温年较差, 区域地震烈度}\dots\}$, 然后定义 $P = \prod x_i$ (x_i 是因子 X_i 的赋值), 似乎很难从这些因子判断这个指标 P 在评价什么, 尽管它实际评价的对象是“泥石流危险度”, 但将它用于滑坡评价, 也不会发生更多的疑问。实际上, P 更像是一个区域的环境质量指标, 至多是与某些灾害过程相关联的指标, 而没有更确定的意义。当然, 我们也找不到确定 P 的乘积形式的任何可靠根据。

^{*}基金项目: 中国科学院资源与生态环境研究重大项目研究基金 B (项目号: KZ951-B₁-202) 的部分研究成果。

收稿日期: 1999-05-31; 改回日期: 1999-06-11。

1.2 问题的提出

泥石流危险性的区域评价多数都存在这类问题。当然, 更多的方法是选择了与泥石流活动直接相关的一些因子, 如泥石流流域的数量、流域特征值、泥石流活动的频率和规模。这样包罗一切因子的办法, 又产生了新的问题, 从下面的讨论会看清楚这一点。

当我们用区域环境因子来对泥石流活动进行评价时, 实际上或多或少依赖于下面这个隐含的假定: 环境因子决定泥石流活动, 从而环境因子的组合将唯一确定泥石流的特征。更明确地说, 存在若干函数 f_i , 使泥石流的特征参数 D_i 分别满足

$$D_i = f_i(X) \tag{1}$$

式中 X 是某些环境因子构成的子集。现在还不知道 f_i 是什么样的函数, 但我们确实知道与泥石流活动“正相关”的一些因子。因此, 可以考虑用这些因子的线性组合来确定一个量

$$P_i = \sum_j a_j X_{ji} \tag{2}$$

作为某个单元(如一个流域或一个区域)的泥石流危险性的评价指标。其中 a_j 是因子 X_j 的权重, 现在来看这种方法可能存在哪些问题。

1.2.1 因子的选择

因子的选择主要靠经验指导, 但这种对个别现象的单向经验在理论上会带来别的问题。

1. 如果因子集合 X_i 都是环境因子而没有选择泥石流活动因子(如上面举的那个例子), 那就没充分理由说 P_i 反映了泥石流的危险度, 因为这些环境因子同时影响着其他的自然过程(如滑坡、山洪, 我们不能相信线性组合的系数能区别这些不同的现象); 考虑到不同研究者对这个概念的不同定义和实际需要, 即使“不忍”放弃这样的选择, 我们也可以说, 如此定义的量, 不足以反映泥石流活动的基本特征。

2. 在因子选择中还有一个问题: 只选对泥石流有利的因子, 而不选对它不利的因子。从系统来看, 有正反馈因子, 也必然有负反馈因子, 我们没有理由拒绝后者。一般而言, 为全面评价一个区域的泥石流活动, 应该考虑各种条件, 而不能以占区域面积百分之几的局部环境为根据来评价整个区域。

3. 如果在因子中选择了泥石流特征量, 那么根据假定(1), 这样做实际是将原因与结果一起来评价结果, 这在逻辑上是不能令人满意的。

1.2.2 因子的影响与权重

相同因子对不同过程的影响作用不同, 不同因子对同一过程的影响也不同, 如果能够区分它们, 便有可能用 P_i 来唯一评价泥石流, 但现在用以确定叠加系数(a_j)和因子权重的方法还做不到这一点。

首先, 不论是量化的因子(如降水、温度、面积等)还是非量化因子(如地层、岩性等), 我们所获得的关于它们的信息, 只有对各因子本身才有确定的意义, 而对泥石流活动来说, 它们的影响是模糊的。例如, 三个区域的年降雨量分别为 $R_1=870\text{mm}$ 、 $R_2=950\text{mm}$ 和 $R_3=1\,020\text{mm}$, 对三个区域来说, 它们的意义是明确的, 数值也是准确的, 但对三个区域的泥石流来说, 哪一个雨量影响更大呢? 经验只大概地告诉我们, 雨量大的影响也较大。如果以权重来区别其影响, 则大雨量应被赋以较大的权值, $g_{R1} < g_{R2} < g_{R3}$ ¹⁾。对于相同因子, 由其本身的大小来决定其相对权值, 似乎是可能的, 实际上存在如下几方面的问题:

1. 绝对值的确定。例如, 将降雨量分成若干区间, 为每一区间赋一个值, 这种方法掩盖了一个事实: 存在某个临界值 R_c , 降雨量 $< R_c$ 和 $> R_c$ 有显著的差异, 也许在 R_c 以下不存在泥石流活动。这样, $g_{R < R_c} = 0$ 。问题在于, 不同区域的 R_c 是不同的¹⁾, 但确定权值的原则只是雨量的绝对大小, 而没有考虑

1) 实际上, 直接影响泥石流活动的是局地暴雨, 暴雨的时空分布对泥石流的影响显然远大于区域平均(尽管二者也是“正相关”的)。不过, 这里只讨论方法问题, 不考虑具体因子的选择。

降雨的区域特征。

2. 因子的组合形式问题。线性叠加是对我们无知的函数关系的一种近似, 这种近似的可靠性不能以经验和结果来证明(因为它本身就是通过经验构造出来的), 而只能用未来的系统动力学理论来判断。不过有一点是确实的: 我们既然承认泥石流活动是一种复杂的(即“非线性的”)环境现象, 那么, 因子的线性组合至少不应该是“好的”形式。虽然从另一角度来看, 任何非线性关系在一定程度上都可以用线性关系逼近, 但只有在非线性关系确定的情况下, 才能确定线性近似的可靠程度。

3. 因子的相对作用强度问题。从线性叠加关系中各因子的系数可以看到它们对泥石流影响的相对作用强度, 但是很难根据经验决定这些系数, 对泥石流的发生来说, 我们选择的因子几乎都是不可缺少的(如果哪个因子没有影响, 就不会选择它了), 在这种意义上, 每个因子都是平等的; 实际上这些因子对泥石流的作用又都是间接的, 如图 1 的影响路线, 我们不知道如何区别这些作用关系。

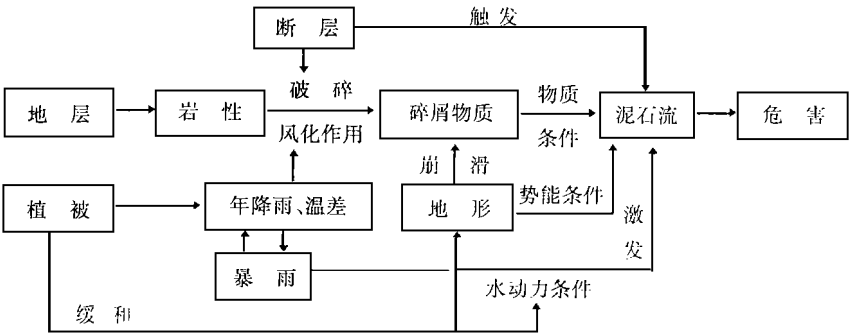


图 1 泥石流因子的影响路线

Fig. 1 Action Ways of factors in debris flow system

4. 因子叠加的问题。在有些评价方法中, 用公式(2)定义单沟泥石流危险度, 然后通过对一个区域内所有泥石流沟求和作为区域的危险度

$$P = \sum_i P_i = \sum_i \sum_j a_j X_{ji} = \sum_j a_j \sum_i X_{ji} = \sum_j a_j X_j \tag{3}$$

在这里, i 对沟求和, j 对因子类别求和。显然, X_j 是区域内所有沟谷的 j 类因子的和。因此, 在这种条件下, 区域危险度也等于各类因子的和的线性组合。这相当于在原来单沟危险度的定义中, 以区域内同类因子的数量和代替单沟的该类因子。这些因子可能是流域面积、沟床比降、流域相等高差、地层岩性、气温、降水等直接或间接影响泥石流活动的因子, 但是显然, 许多因子(即代表“强度”那些量, 如温度、坡度、降雨、比降等)不具备可加性。如 50% 与 80% 的比降, 不等效于某个 130% 的比降。

1.2.3 区划原则

通常遵循的区划原则是: 相似性原则、区域完整性原则、综合性原则和主导因子原则。前两点是任何区划都应遵守的原则, 后两点在我们看来不是“原则”问题, 而是方法问题。从实际情况看, 这些原则不能保证区划结果的确定性。我们并不强求不同的区划方法一定要得到相同的结果, 但是区划原则必须为不同方法提出可以比较的基础。比如, 它至少应该规定, 在什么条件或要求下, 应该取多大的基本区划单元。这种要求首先应该以泥石流的活动特征为基础, 然后使它尽可能地符合实用的目的; 而不应该从实用目的出发, 以行政区或图幅面积为区划单元。我们不能以与泥石流活动无关的因素来决定对泥石流活动的评价。

1) 临界雨量本来是针对个别流域的泥石流发生状况定义的, 从区域考虑, 我们假想存在一个与临界暴雨相应的区域降雨量, 这种代替与用区域降雨代替局地降雨在逻辑上是一致的。

1.2.4 区划结果

我们认为, 不能以泥石流的实际分布和发生情况作为危险度区划结果的检验标准, 原因有几点:

(1) 我们所选择的因子都是有利于泥石流活动的, 而泥石流当然发生在那些因子数量和强度集中的地方, 这并不是区划的结果。

(2) 危险度应回答的问题, 不仅是哪里的泥石流活动多, 哪里的泥石流活动少, 它还应该以一个有确定意义的度量直观地表现不同区域的泥石流活动差别, 如 1 度与 2 度的差别, 3 度与 5 度的差别. 我们现在看到的区划结果往往是用语言来描述的, 在“最”危险(或 I 级危险)、“重度”危险(或 II 级危险)、“中度”危险(或 III 级危险)等“等级”之间, 不能直观地表示存在多大差别, 这样的结果, 相当于从经验出发, 在数字上绕了一圈儿, 又回到了原地。

(3) 不同区划方法和描述方式, 可能得到截然不同的结果, 科学的区划原则应该为不同结果的比较和判别提供可依赖的标准, 而不是通过从头开始比较这些区划方法来比较这些结果。

1.2.5 泥石流的环境影响

从环境角度看, 泥石流的危害不仅表现在它每一次的活动所造成的破坏, 还更多地表现在它的存在所产生的长期持续的环境影响和社会影响, 泥石流危险度是否应该考虑这种影响? 我们来看泥石流在环境系统中的位置和作用(图 2):

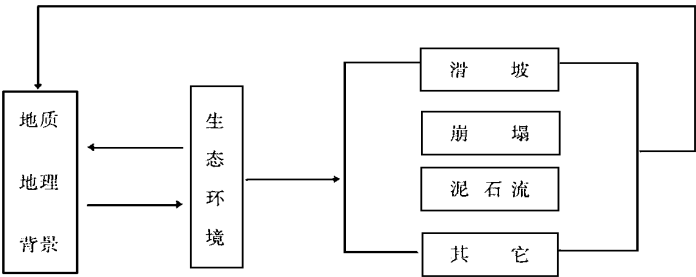


图 2 泥石流在环境影响中的位置

Fig. 2 The environment action of debris flow

从环境系统看泥石流, 泥石流只是诸多环境破坏过程的一个特例, 从而, 完整评价泥石流的环境影响将涉及不同的过程和互相作用模式, 自然也涉及不同的评价内容和评价标准, 这原则上应该属于另外的问题. 不论在评价方法上还是在评价内容上混淆对泥石流本身的评价和对泥石流存在环境的评价, 结果都会给危险度评价体系的建立带来人为的障碍。

2 泥石流危险性评价

2.1 评价内容

通过以上几方面的讨论, 我们可以看到, 泥石流危险性评价的主要问题是评价因子作用模糊, 评价结果不确定, 为此, 我们认为, 泥石流的危险性应该从以下几个层次予以评价:

(1) 泥石流存在的环境评价。我们看到的大多数危险性评价, 实际上就做着这件事情;

(2) 泥石流活动性的评价。存在的泥石流沟不一定会暴发泥石流, 一个区域内泥石流暴发的规模、频率和概率¹⁾才是直接影响区域危险度的决定因素, 可惜对泥石流发生概率, 还没有专门的研究。

(3) 泥石流破坏能力的评价。这是对泥石流动力学特征的评价, 当然这种评价的基础来自泥石流的动力学理论。

不同层次的评价为不同目的服务, 各因子在不同层次上所处地位不同, 所产生的作用和作用方式也

不同。将不同问题区别开来,从而更好地区别不同因子的作用,然后才能选择适当的数学方法建立确定的模型,在不同层次上回答所提出的问题。在复杂系统中,我们不赞成囊括一切因子的模糊的处理方式。

2.2 评价方法

现在,我们提出一个泥石流危险度的评价方案,它可能克服上面提到的问题,并满足不同的需要。

2.2.1 危险度的形式

首先,我们约定两个原则: 1. 泥石流危险度的数学形式对任何评价因子都是相同的; 2. 危险度的量级是由数量关系唯一确定的。然后,我们确定一种满足这两个原则的危险度形式。设危险度(D)由某个特征函数(φ)决定 $D = f(\varphi)$, 我们将 φ_0 所确定的危险度 D_0 作为度的基数, 即 $f(\varphi_0) = D_0$ 。 φ_1 与 φ_2 所确定的“度”的级差, 应该由 φ_1 与 φ_2 的数量关系唯一决定。例如, 我们可以约定, 如果 $\varphi_1 = 2\varphi_2$, 则 $D_2 = D_1 + 1$, 即函数值增加 1 倍, 危险度增加 1“度”: $f(2\varphi) - f(\varphi) = 1$, 对一般情况, 我们设 $f(x\varphi) - f(\varphi) = f(x)$, 即如果函数值每增一系数 x , 则危险度增加 $f(x)$ 。显然, 满足以上条件的函数形式为 $f(x) = k \ln x$, 从而泥石流危险度

$$D = D_0 + k \ln \varphi \quad (4)$$

这里, φ 是以 φ_0 为单位的数值, k 由 D 与 φ 的对应关系决定, 如 $D(2\varphi) = D(\varphi) + 1$, 则 $K = 1/\ln 2$ 。

2.2.2 特征函数问题

上面确定的危险度的定量形式, 显然与内容无关, 也就是说, 不论作者如何理解“危险度”, 在定量上它都应满足类似的关系, 而评价内容则完全由特征函数 φ 来描述。

对于泥石流存在环境的评价和泥石流活动性的评价, 我们分别需要构造由环境因子决定的“环境状态函数”和由泥石流发生因子决定的“泥石流势函数”, 这些函数应该建立在系统动力学基础上, 没有经验带来的随意性, 从而将避免上面指出的那些不确定性。

对泥石流危害能力的评价, 问题具体得多。我们可以选择泥石流源物质的重力势能作为评价的势函数^[6], 也可以选择其他的动力学参量, 如动能、流量、堆积量等, 不过现在的动力学理论还不足以很好地计算这些量。

2.2.3 危险度区划

用这个危险度来进行区划时, 函数 φ 将在区域中进行考虑, 也就是引入一个刻画区域分异特征的因子或函数(这个系数应该以一种自然的方式出现)。这样, (4) 式中的函数 φ 应由 $\varphi(x, r)$ 来代替, r 即区域分异因子。在特殊情况下, $\varphi(x, r)$ 可以分解为一个势函数与一个分布函数的乘积。例如, 在以 φ 为泥石流源物质重力能的情形下, 我们自然引入了一个关于泥石流分布的因子, $r = n_j/n$, n 对研究的大区域为常数, 它相当于一个可比的泥石流流域密度^[9]。这时,

$$D = D_0 + k \ln r \varphi \quad (5)$$

显然, 对同一泥石流分布, 在不同尺度的区划范围内, 因流域密度 n_j 不同而将给出不同的危险度, 这是很有实际意义的结果, 它将为我们提供确定的区划界线。

1) 概率与频率的意义是不同的, 频率在这里指一定规模的泥石流在一定历史时期内出现的次数, 概率指任意沟谷发生泥石流的可能性。在数学上, 事件的频率与概率的关系由大数定理决定。

考虑一个泥石流分布中心,我们先确定某一级危险度 D_c

$$D_c = D_0 + k \ln r_c^{\varphi} \tag{6}$$

该分布中心对任意区域的危险度 D_R 与 D_c 的关系可由(5)、(6)得到 $\Delta D = D_R - D_c = k \ln r_R / r_c$ 。注意到 $r = N / A$ (N 为中心泥石流流域数, A 为所考虑区域的面积) $A_R = A_c e^{-\Delta D / k}$, 以等效距离 R 表示, 因为 $A \sim R^2$, 所以

$$R = R_c e^{-\Delta D / 2k} \tag{7}$$

这就是由危险度级别所确定的相应范围。

这样,我们就建立了一个较为规范的泥石流危险性评价系统,至于其中所涉及到的特征函数的确立,那是泥石流理论研究的课题,不是危险度评价的问题。

参 考 文 献

[1] 刘希林、唐川. 泥石流危险性评价, 北京: 科学出版社, 1995
[2] 谭万沛, 王成华, 姚令侃等. 暴雨泥石流 滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 185 ~ 204
[3] 钟敦伦, 谢洪, 韦方强. 长江上游泥石流危险度区划研究. 山地研究, 1994, 12(2), 65 ~ 70
[4] 韦方强, 谢洪, 钟敦伦. 资料完整区泥石流危险度区划方法. 见: 钟敦伦, 王成华, 谢洪等编. 中国泥石流滑坡 编目数据库与区域规律研究. 成都: 四川科学技术出版社, 1998. 31 ~ 36
[5] 马宗晋、李闯锋. 自然灾害评估、灾度和对策. 见: 中国减轻自然灾害研究会. 全国减轻自然灾害研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 11 ~ 19
[6] 李泳. 根据能量确定的泥石流危险度. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 168 ~ 171

作者简介 李泳(19—), 男, 助研, 1990年毕业于浙江大学地球科学系, 现在成都山地所山地灾害研究中心从事地理学的数学物理方法研究。

PROBLEMS IN ESSESSMENT OF DEBRIS FLOW
POTENTIALITY

LI Yong

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancys, Chengdu 610041*)

Abstract Current quantative methods in essessing the risk or dangerous potentiality of debris flow are to a certain extent in the nature of uncerntainty, innormality, and ungenerality, and are exposed especially in the following aspects:
(1) vagueness in the relations between debris flow and the environmental factors;
(2) emperical operations in the factor selections from environment;
(3) factor weight determinations beyond dynamical basis;
(4) weak principles in ensuring the determinacy and comparability of regionalization results.

In conclusion, a new recognition of the assessment of risk of debris flow arises, suggest-

ing a assessment system, consisting of valuation of environment quality, of debris flow activity and violability, to clarify the above uncertainty by imposing restrictions on the action of each factor. In other words, the action of a certain factor will be distinguished by specified purpose.

Regarding all the quantities to be valued as a special form of a general function, i. e., the potentiality φ , we suppose a universal definition of the magnitude of degree,

$$D=D_0+k\ln \varphi$$

which will be applicable to assessments of any purpose and overcome the problems present in the current assessing programs.

Key Words debris flow, assessment of risk, problem, potentiality, assessing model

《山地学报》来稿要求

1. 每篇论文(包括图表与参考文献)以不超过8 000字为宜,文章题目一般不超过20个汉字。文前有300字左右的中文提要,文后附英文摘要(约800~1 000汉字的对应译文,内容要包括研究目的、方法、结果及结论,并附相应中文对照),摘要采用第三人称表述,并在其后列出关键词3~5个。作者排名最多不超过5名。

2. 来稿请用A4复印纸打印,在回寄修改稿时请将软盘同时寄来。稿件与软盘中内容不相符者,以打印稿件为准。

3. 插图一般不宜超过5幅。请用黑墨、透明纸清绘,图中文字请植字贴好。照片要清楚,应在背面用铅笔标明序号、说明文字、摄影者和摄影日期。所有照片与插图勿贴于纸上,应另行封装。

4. 稿中外文字母、符号必须分清大、小写、正、斜体、黑、白体、上、下标,请在第一次出现时用铅笔批注(注意:计量单位用正体,物理量符号用斜体)。

5. 参考文献只择已出版书刊资料,文献作者应列出前3名,超过3名的后加“等(etal)”,具体著录格式为:
(1)专著类
作者(外文姓列名前).书名〔文献类型标识代码〕.版本(第1版不著录).出版地:出版者,出版年.起止页码
(2)期刊类
作者.文题名〔文献类型标识代码〕.刊名,出版年份,卷号(期号);起止页码
(3)论文集
作者.题名〔文献类型标识代码〕.见(英文用In);编者.论文集名(多卷为论文集名,卷号)〔文献类型标识代码〕.出版地:出版者,出版年.起止页码

6. 计量单位名称以国家法定计量单位为准,请用m、km、kg、hm²(公顷)等符号表示。
7. 来稿在第一页脚注位置写明第一作者简介:姓名、出生年份、籍贯、学位、现任职称及主要研究方向。
详细内容请参考1999年《山地学报》第1期中的征稿简则。

附表 文献类型标识代码

参考文献类型	专著	论文集	期刊文章	学位论文	报告	标准	专利	报刊文章
类型标识代码	M	C	J	D	R	S	P	N