

泥石流风险评价中若干问题的探讨

刘希林^{1, 2}

(1. 北京大学 城市与环境学系 北京 100871; 2 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 介绍了自然灾害风险评价的一般模式及泥石流危险性和泥石流区域易损性的评价方法。探讨了危险度的指标选择及其量值表达, 以及风险度和易损度的异同。论述了风险评价和环境评价的关系, 并对有关文献中的危险性和易损性评价问题进行了讨论。

关键词: 危险性; 易损性; 风险评价; 泥石流

中图分类号: X820.4

文献标识码: A

1 引 言

风险、危险性、易损性和敏感性等术语在灾害研究中早有使用, 但它们的定义和相互关系一直不很清楚, 而它们的定量表达则仍在继续探索。早期 Devin 等涉及到的风险表达式为^[1]

$$\text{易损性} = \text{风险} \times \text{敏感性}$$

有文献介绍了 Blaikie 等 1994 年提出的风险表达式为^[2]

$$\text{风险} = \text{危险性} + \text{易损性}$$

自 90 年代初, 国际上逐渐形成了自然灾害风险的定量表达式

$$\text{风险度} = \text{危险度} \times \text{易损度}$$

80 年代中期, 美国风险分析学会成立了一个风险定义工作组, 工作近 4 年后, 列出了 14 种不同的风险定义^[3]。联合国人道主义事务部于 1992 年公布了自然灾害风险的定义: 风险是在一定区域和给定时段内, 由于特定的自然灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值, 并采用了“风险度(R) = 危险度(H) \times 易损度(V)”的表达式。这一定义和表达式已逐渐为广大学者和有关机构所认同^[4~8]。Shook 进一步解释了为什么危险度和易损度只能相乘而不能相加的问题^[9]。设想某地的易损度存在着某一数值, 但该地并不存在泥石流灾害, 即该地的泥石流危险度为 0。如果两者相加就会产生某一数值, 该数值意味着该地仍可能遭受泥石流灾害损失, 即存在着泥石流风险, 显然这是不合逻辑的, 两者相乘就排除了出现这一问题的可能。

由以上国际通用的自然灾害风险评价模式可知, 危险度评价是前提, 易损度评价是基础, 风险度评价是结果。风险度表达为危险度和易损度的乘积, 因此前者由后两者自动生成。危险度和易损度有“点评价”和“面评价”之分, 相应地风险度评价也存在点、面之分。

2 泥石流危险度评价

泥石流危险度是指在一定范围(单沟或区域)内所存在的一切人和物有遭到泥石流损害的可能性大

收稿日期: 2000-02-01; 改回日期: 2000-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49771004)、水利部水利科技重点资助项目(SZ9831)、人事部 1997 年度非教育系统留学回国人员科技活动择优资助 A 类项目(人字[1997]294 号)。

作者简介: 刘希林(1963-), 男(汉族), 湖南新邵县人, 中科院成都山地所研究员, 主要从事泥石流灾害评价和灾害管理研究。出版专著 1 部, 发表论文 43 篇, 获省级科技进步二等奖 1 项, 三等奖 2 项。

小^[19]。危险度(Hazard)比较公认的表达式为灾害发生规模(Magnitude)和灾害发生概率(Probability)的乘积^[5,7,11~14],即

$$\text{危险度}(H)=\text{规模}(M)\times \text{概率}(P) \tag{1}$$

危险度(H)取值范围介于0~1或0%~100%间。

然而,正如Fdl指出的那样^[5],估计潜在泥石流规模(泥石流源区松散固体物质储量)是很困难的,要确定泥石流发生概率就更加主观了。1984年,Eisbacher等认为当时的灾害评价尚不是一门精确的科学^[15]。近十多年来,许多学者一直在探索这一难题,提出了一些估计泥石流规模的经验公式^[10,16~19]。尽管这些半定量公式还含有许多经验成分,但总比没有要好一些。要定量估计泥石流发生概率就显得更加困难。在此,本文借用Fdl总结的用于估计滑坡发生概率的方法来估计泥石流的发生概率^[3]:1. 用历史资料;2. 基于降雨量与泥石流发生的关系,用特定的降雨量;3. 用地貌学和土壤学信息。在许多情况下,可能没有泥石流发生的历史记载,那么植被恢复好和堆积物固结程度高的流域比那些植被恢复差和堆积物固结程度低的流域,泥石流发生的概率可能要低一些。这些估计仍然是相当主观和粗略的,但总比不去估计要好一些。因为泥石流发生规模和概率的不确定性,采用泥石流危险度的多因子综合判定就显得尤为必要^[19],考虑到现行方法估计出的泥石流发生规模和概率误差较大,两者相乘将会导致更大的误差,因此采用两者相加。作为减小误差的一种补救措施,通过相关分析,选用一些与泥石流发生规模和概率密切相关的特征参数作为补充,分别客观地赋予不同权重(规模和概率赋以等权且权重最大)叠加求和,得到泥石流危险度,其目的在于提高泥石流危险度判定的正确性和准确度。这一作法与目前国际上通行的灾害评价方法是一致的^[20]。

任何评价方法都应考虑其可操作性。基于此,泥石流危险度的多因子综合判定模式和计算公式又被不断改进,修订后的单沟泥石流危险度计算公式为^[21]

$$H=0.2857M+0.2857P+0.1429S_1+0.0857S_2+0.0571S_3+0.1143S_6+0.0286S_9 \tag{2}$$

式中包括有泥石流发生规模(M)和泥石流发生概率(P)两个主导因子以及流域面积(S₁)、主沟长度(S₂)、流域相对高差(S₃)、流域切割密度(S₆)和活动沟床比例(S₉)5个易于获取的辅助性次要因子。各因子均根据其不同的绝对数值转换成相应的替代数值。式(2)中危险度(H)和各危险因子M、P、S₁、S₂、S₃、S₆、S₉的替代数值均介于0~1。

区域泥石流危险度评价中一个最重要的指标是泥石流沟分布密度(主导因子),这一指标包含有区域泥石流发生规模和发生概率的双重信息。一般情况,泥石流沟分布密度与区域泥石流发生规模和发生概率呈正变关系,即某区域内泥石流沟分布密度越大,该区域内泥石流发生规模和发生概率可能就越大,反之亦然。但泥石流沟分布密度并不能完全等同于区域泥石流发生规模和发生概率,因此还必须寻找一些既能代表区域特征、又与泥石流沟分布密度密切相关的环境背景因子(次要因子),用以作为对区域泥石流发生规模和发生概率的补充。通过一定的数学方法较为客观地分配各主导因子和次要因子的权重,从而构成目前区域泥石流危险度的多因子综合判定模式^[10]。使区域泥石流危险度具有绝对意义和横向可比性的改进方法已有研究成果发表^[22]。

3 泥石流易损度评价

泥石流易损度是指在一定范围(单沟或区域)和给定时段内,由于潜在泥石流灾害而导致的潜在的最大损失程度。易损度(Vulnerability)由最大可能发生的损失值通过数值变换而获得。易损度(V)取值范围介于0~1或0%~100%之间。有关单沟泥石流易损度的评价方法目前尚在探索之中,本文所及仅指区域泥石流易损度评价。根据最新研究成果^[23],区域泥石流易损度计算公式为

$$V=\sqrt{(FV_1+FV_2)/2} \tag{3}$$

式中 V 为区域泥石流易损度(0~1或0%~100%);FV₁ 为人的价值赋值(0~1);FV₂ 为财产价值赋值(0~1)。

$$FV_1=K\times fV_1 \tag{4}$$

$$K = (a + b + c) / 3 \tag{5}$$

式中 fV_1 为人口密度的定量赋值; V_1 为人口密度(人/ km^2); $V_1 \geq 800$, $fV_1 = 1$; $250 < V_1 < 800$, $fV_1 = 0.27 + 0.0009 V_1$; $V_1 \leq 250$, $fV_1 = 0.002 V_1$; K 为修正系数; a 为老年人和少年儿童人口的比例; b 为文盲、半文盲和只受过初等教育人口的比例; c 为农业人口的比例。

$$V_2 = G + P + L \tag{6}$$

式中 V_2 为财产价值(亿元); G 为国内生产总值(亿元); P 为固定资产投资(亿元); L 为土地资源价值(亿元); $V_2 \geq 10000$, $FV_2 = 1$; $1 \leq V_2 < 10000$, $FV_2 = 0.25 \log V_2$ 。

4 泥石流风险度(Risk)评价

泥石流风险度是指在一定范围(单沟或区域)和给定时段内,由泥石流灾害引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值。风险度表达为危险度和易损度的乘积,由危险度和易损度自动生成,即

$$R = H \times V \tag{7}$$

风险度(R)取值范围介于 $0 \sim 1$ 或 $0\% \sim 100\%$ 之间。当 H 和 V 分别为单沟泥石流危险度和易损度时, R 亦为单沟泥石流风险度;当 H 和 V 分别为区域泥石流危险度和易损度时, R 亦为区域泥石流风险度。

风险度和易损度均表示一定范围内的可能损失量。不同之处,前者是指一旦灾害发生后,该范围内将要产生的损失量,它与灾害的危险度有关,是预测值;后者是指受灾害威胁的范围内潜在的最大损失量,它与灾害的危险度无关,是现状值。因此就两者的量值关系而言,总是有 $R \leq V$ 。

在泥石流危险度和易损度从 0 到 1 的取值范围内,采用布拉德福定律以 0.2 为公差分别将其分为 5 个等级,那么风险度在 $0 \sim 1$ 取值范围内相应构成 $0 \sim 0.04$ (可忽略风险)、 $0.04 \sim 0.16$ (低风险)、 $0.16 \sim 0.36$ (中等风险)、 $0.36 \sim 0.64$ (高风险)、 $0.64 \sim 1.0$ (极高风险) 5 个等级。

5 讨 论

在早期有关泥石流沟严重程度和危险度的评价中,多采用数量化指标分级,然后计算危险因子得分,再划分等级标准($1 \rightarrow n$, n 为正整数),各方法不能相互对比。例如有人将危险因子得分 $63 \sim 87$ 定为中等危险^[23],有人则将危险因子得分 $72 \sim 108$ 定为中等危险^[24],尤其是未能体现泥石流危险度是一个预测值(可能性大小)的概念。危险度主要由规模和概率两个要素组成,例如空难为一灾害事件,飞机失事的灾害规模(强度)很大,但飞机失事的概率却很小,因而发生空难的危险度很小,所以乘坐飞机仍然是最好的旅行方式之一。

改进后的泥石流危险度评价方法^[10,21],将危险度取值于 $[0, 1]$ 的闭区间内,即 $0\% \sim 100\%$ 的范围内。这样既含有概率概念,又便于与国际上灾害评价的惯例接轨和各种方法之间的结果比较。

地震震级由地震释放的能量来表示,因而没有概率含义。但地震危险性分析却采用了概率计算(地震年平均发生率),含有概率含义^[25,26]。因此地震震级和地震危险度是两个不同的概念。危险度必须含有规模(强度)和概率(频度)的双重信息。有文献提出用能量来确定泥石流危险度^[27],实际上只含有规模(强度)的单一信息。将这样的数值表达理解为泥石流危险度,似乎值得商榷。

有文献在进行区域易损性分析时,将灾害频数和灾害密度作为“承灾体易损性评价”的主要指标^[28],似乎有些欠妥。很显然,灾害频数和灾害密度是反映致灾体(灾害)危险性的致灾因子,而不是表征承灾体易损性的承灾因子,且文章作者也将它们认为是反映灾害发生规模和强度的指标。

有文献认为应将泥石流危险性评价从环境评价中独立出来^[27],或者在泥石流危险性评价中,将泥石流灾害本身的评价和泥石流存在环境的评价区分开来^[29],对此,本文引用意大利 Modena 大学地球科学系 Panizza 教授在其《环境地貌学》专著中的有关论述(图 1)来说明风险评价与环境评价关系的转换。

图 1 中的 Diablo 天生桥(位于西班牙 Santander 附近)可作为是风险评价还是环境评价的一个例证。Panizza 认为^[30],如果我们将这一天生桥作为一种灾害体(Hazard),将人和牛作为易损体(Vulnerability),那么桥的最终垮塌就代表一种风险,对它的评价就是风险评价(包括危险性评价和易损性评价);相反,如果我们将这一天生桥作为一种地貌资源(由于它的独特性和稀缺性),将在桥上长期通过的人和牛作

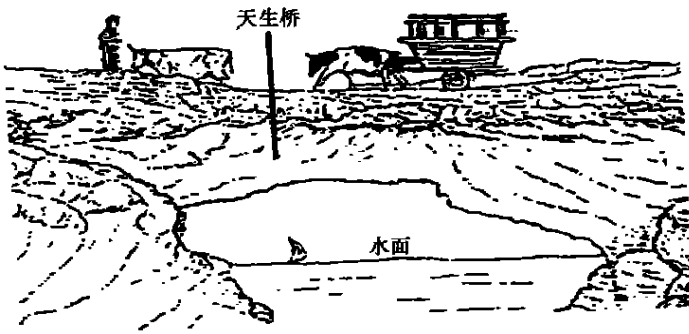


图 1 天生桥与风险评价和环境评价

Fig. 1 Natural bridge and Risk or environment assessment

为一种可以引起该桥最终垮塌的活动(Activity),那么我们是在研究人类活动对环境的影响,对它的评价就是环境评价。

由此可见,泥石流风险评价(包括危险性评价和易损性评价)是环境评价的一部分;反过来,环境评价也应包含有对自然灾害(包括泥石流)的风险评价、危险性评价和易损性评价。风险评价和环境评价是一个问题的两个方面,只不过看问题的角度不同而已。

参考文献:

- [1] Devin, L. B. and Hobbs L. J. Considerations for establishing flood mitigation priorities and the appropriate level of adjustment (Australia)[A]. Proceedings of the Floodplain Management Conference[C], Canberra: Australian Government Publishing Service, 1998. 261 ~ 266.
- [2] Shang Yanrui. Seismic disaster vulnerability analysis— Taking Zhangbei— Shangyi earthquake disaster in Hebei province as an example[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(2), 37 ~ 42.
- [3] Kaplan, S. The general theory of quantitative risk assessment[A]. In: Y. Y. Haimes, D. A. Moser and E. Z. Stakhiv. Risk based decision making in water resources. American Society of Civil Engineers, Water Resources Planning and Development Division[C], 1991. 11 ~ 39.
- [4] 青春炳, 苟兴华. 灾害评价、风险评价和灾情评价[J]. 大自然探索, 1991, 10(2): 65 ~ 70.
- [5] Fell, R. Landslide risk assessment and acceptable risk [J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1994, 31: 261 ~ 272.
- [6] Mejia-Navarro, M., Wohl, E. E. and Oaks, S. D. Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS model for Glenwood Springs, Colorado [J]. *Geomorphology*, 1994, 10: 331 ~ 354.
- [7] Hearn, G. J. Landslide and erosion hazard mapping at Ok Tedi copper mine, Papua New Guinea [J]. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 1995, 28: 47 ~ 60.
- [8] 彭荣亮. 万县市地质灾害风险评价[J]. 中国地质, 1996, (6): 17 ~ 19.
- [9] Shook, G. An assessment of disaster risk and its management in Thailand [J]. *Disasters*, 1997, 21(1): 77 ~ 88.
- [10] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 1 ~ 93.
- [11] Alexander, D. Natural disasters: a framework for research and teaching [J]. *Disasters*, 1991, 15: 209 ~ 226.
- [12] Carrara, A., Cardinali, M. and Detti, R. et al. GIS techniques and Statistical models in evaluating landslide hazard [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1991, 16: 27 ~ 45.
- [13] De Ploey, J., Kirkby, M. J. and Ahnert, F. Hillslope erosion by rainstorms—a magnitude—frequency analysis [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1991, 16: 399 ~ 409.
- [14] Zam, B. and Davies, T. R. H. The significance of processes on alluvial fans to hazard assessment [J]. *Annals of Geomorphology*, 1994, 38: 487 ~ 500.
- [15] Eisbacher, G. H. and Clague, J. J. Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Management [M]. Ottawa: Canadian Government Publishing Center, 1984. 1 ~ 230.
- [16] Public Works Research Institute. Technical Standards for Erosion and Sediment Control (Design Booklet): Basics of Planning Measures against Debris Flow (Draft), Planning Countermeasure Facilities against Debris Flow (Draft) [S]. Tokyo: Ministry of Construction of Japan, 1984. 1 ~ 39.
- [17] Hungr, O., Morgan, G. C. and Kellerhals, R. Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures [J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1984, 28: 47 ~ 60.
- [18] Johnson, P. A., McCuen, R. H. and Hromadka, T. V. Magnitude and frequency of debris flow [J]. *Journal of Hy-*

drology, 1991, 123: 69 ~ 82.

- [19] Rickenmann, D. and Zimmermann, M. The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis[J] . *Geomorphology*, 1993, 8: 175 ~ 198.
- [20] Zektser, I. S., Belousova, A. P. and Dudov, V. Y. Regional assessment and mapping of groundwater vulnerability to contamination[J] . *Environmental Geology*, 1995, 25: 225 ~ 231.
- [21] Xilin Liu. Assessment on the severity of debris flows in mountainous creeks of southwest China[A] . Internationales Symposium—Interpraevent 1996, 4[C] . Garmisch—Partenkirchen: Tagungspublikation, 1996. 145 ~ 154.
- [22] 刘希林. 区域泥石流风险评估研究[J] . 自然灾害学报, 2000, 9(1): 54 ~ 61.
- [23] 谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J] . 水土保持通报, 1986, 6(1): 51 ~ 57.
- [24] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J] . 灾害学, 1988, 3(3): 10 ~ 15.
- [25] 姚兰予, 杨国军, 聂永安. 与地震危险性分析结果相一致的震害预测方法[J] . 灾害学, 1991, 6(1): 27 ~ 30.
- [26] 聂永安, 陈宇坤, 崔晓峰. 不确定性校正对地震危险性分析结果的影响[J] . 灾害学, 1998, 13(4): 12 ~ 16.
- [27] 李泳. 根据能量确定的泥石流危险度[J] . 自然灾害学报, 1999, 8(2): 168 ~ 171.
- [28] 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.
- [29] 李泳. 泥石流危险性评价的问题[J] . 山地学报, 1999, 17(4): 305 ~ 312.
- [30] Panizza, M. *Environmental Geomorphology*[M] . Amsterdam: Elsevier, 1996. 1 ~ 268.

APPROACHES TO RISK ASSESSMENT OF DEBRIS FLOW

LIU Xi-lin^{1,2}

(1. Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871 PRC;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 PRC)

Abstract: For debris flow, risk is generally expressed as the product of hazard and vulnerability. Moreover, hazard is commonly expressed as the product of magnitude(intensity)and probability(frequency). However at present, magnitude and probability of debris flow are difficult to obtain, and the estimates are still rather inaccurate and uncertain. Therefore, five precise environmental parameters, i.e. drainage basin area, main channel length, drainage basin relief, drainage density and active channel proportion significantly related to the magnitude and probability, are supplemented for the hazard assessment of debris flow. This paper also introduces the method of regional vulnerability assessment of debris flow and the difference between the definition of risk and vulnerability. Finally the relationships between the assessments of risk and environment are discussed. Risk assessment is a part of environment assessment, and environment assessment should contain risk, hazard and vulnerability assessments.

Key words: hazard; vulnerability; risk assessment; debris flow