

文章编号: 1004- 4574(2011) 02- 0036- 08

泥石流点密度和面密度对区域泥石流危险度的影响

——对比研究

刘希林^{1,2}, 陈宜娟³

(1 中山大学 地理科学与规划学院, 广东 广州 510275 2 中山大学 自然灾害研究中心,
广东 广州 510275 3 成都市温江区国土资源局, 四川 成都 611130)

摘 要: 泥石流分布密度是区域泥石流危险度评价的主要指标。泥石流分布密度分为点密度和面密度,前者是指每 10^3 km^2 内泥石流沟的数量;后者是指每 10^3 km^2 内泥石流沟的流域面积。以川西山区 60 个县市区为研究样本,分别以泥石流点密度和面密度作为区域泥石流危险度的主要评价指标,结合 7 个相同的区域泥石流危险度的次要评价指标,对研究区以县市区为基本单元的区域泥石流危险度进行了定量评价。结果表明,各县市区面积加权平均后的泥石流危险度分别为 0.51(面密度)和 0.52(点密度),差别甚微,整体上均属于泥石流中度危险区。两者的平均绝对差值 0.04,远小于 0.2 这一危险度等级差值,平均相对差值为 6.49%,小于 10% 这一允许的均方差范围。由此可知,用泥石流面密度来评价区域泥石流危险度,并非优于点密度;相反地,由于泥石流点密度具有获取资料相对容易、计算比较简便、工作量较小等优点,因而具有更为便利的推广应用价值。

关键词: 泥石流; 分布密度; 区域危险度

中图分类号: P642.23 TP391

文献标志码: A

Influence of debris flow spot and area densities on regional hazardousness of debris flow: a comparative study

LU Xilin^{1,2}, CHEN Yijuan³

(1. School of Geographical Sciences and Planning Sun Yat-sen University Guangzhou 510275, China 2. Natural Disaster Research Center Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China 3. Land Resource Bureau of Wenjiang Chengdu 611130, China)

Abstract Debris flow density is the primary factor to assess regional hazardousness of debris flow. Debris flow density includes spot density and area density. The former is the number of debris flows per 10^3 km^2 land; the later is the drainage area of debris flows per 10^3 km^2 land. Taking 60 counties in west Sichuan for the study samples, using the spot and area densities as primary indices incorporated with the other 7 secondary indices, this paper assesses the regional hazardousness of debris flow with the basic unit of county. The results indicate that the hazardousness is 0.51 and 0.52 separately for area density and spot density of debris flows which are differential each other very slightly and are the same class of moderate hazardousness of debris flow. The mean of absolute difference of the both is 0.04, which is far smaller than 0.2 of the class difference. The average relative difference of the both is

收稿日期: 2009- 07- 23 修回日期: 2010- 05- 21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41071186)

作者简介: 刘希林 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地貌灾害过程及评估和预测的科研和教学工作. E-mail: luxilin@mail.sysu.edu.cn

6.49%, which falls in the neglected mean square difference. Thus the assessment using the area density is not better than that using the spot density. Adversely, because of the relative easy for data acquisition, simplicity for calculation and laborsaving work, the spot density assessment for regional hazardousness of debris flow is more valuable to application.

Key words debris flow; distribution density; regional hazardousness

泥石流分布密度是一个地区泥石流发育和危害程度最为重要的指标,它包含了区域内泥石流规模和发生频率的双重信息,反映泥石流发育历史,代表泥石流分布现状,也预示将来泥石流发展趋势,是区域泥石流危险度评价中的主要因子。泥石流分布密度的获取,需要做大量野外和室内的工作,包括 20 世纪末中科院以项目为支撑的中国泥石流滑坡数据库和本世纪初国土资源部的泥石流滑坡普查和详查。因为这一基础性任务的艰巨性和长期性,20 世纪 90 年代初,本文第一作者提出了泥石流相对分布密度的概念及其确定方法^[1],就是用间接的方法,由已知推未知,试图解决这一问题。泥石流相对分布密度毕竟不是泥石流实际分布密度,只是当时为便于在泥石流资料缺乏地区进行泥石流危险度评价的权宜之计。

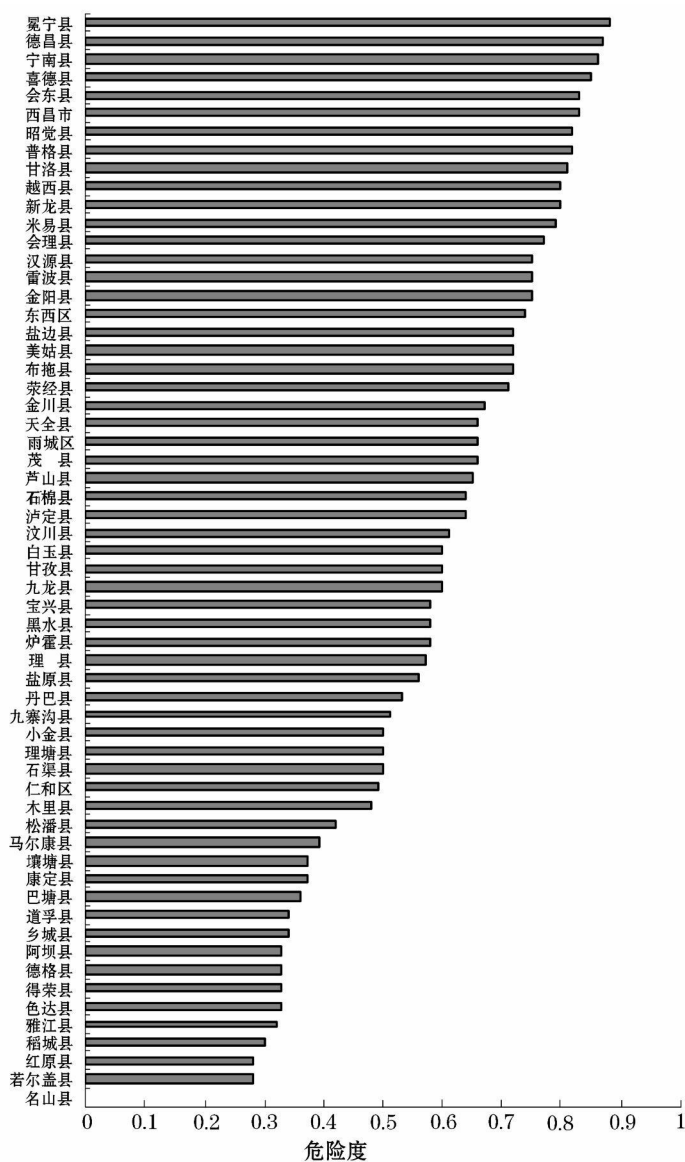


图 1 各县市区泥石流危险度排序(点密度)

Fig 1 Sequencing of regional hazardousness of debris flow in counties and districts of west Sichuan(spot density)

随着全国泥石流滑坡编目、普查和详查工作的推进,以及高分辨率航空遥感影像覆盖度增加和更新周期

加快, 获取泥石流分布密度这一实际数据已逐渐成为可能和现实, 因此促使我们对泥石流分布密度这一重要指标作精细的考究。此前, 我们在区域泥石流危险度评价中, 把泥石流分布密度作为“点密度”来处理, 用“条 / 10^3 km^2 ”表示, 因为在 1: 10 万或更小比例尺地形图上, 基本上可将泥石流沟概化为“灾害点”来处理, 用沟口经纬度代表它所在的地理位置, 这样的处理在泥石流区域研究中有其合理性。但实际的泥石流沟不仅具有长度, 而且具有宽度, 它是有一定流域面积的, 这就产生了泥石流分布“面密度”的概念, 即泥石流沟流域面积与每 10^3 km^2 国土面积之比, 用“ $\text{km}^2 / 10^3 \text{ km}^2$ ”来表示。多年前在一篇国际论文发表时的结论中, 提到了美国马里兰大学 Richard M. Cuern 教授当时的猜想: “泥石流流域面积百分比可能是一个好的间接指标来取代现有的泥石流沟分布密度。”^[2] 这项研究的目的, 就是实证在区域泥石流危险度评价中, 泥石流分布面密度是否优于泥石流分布点密度。

1 研究区域

川西山区位于四川省西部, 东经 $97^\circ 22' - 104^\circ 27'$, 北纬 $26^\circ 03' - 34^\circ 20'$, 行政区域包括甘孜州、阿坝州、凉山州、雅安市和攀枝花市 5 个州市, 共 60 个县市区, 国土总面积约 32 万 km^2 。研究区大地构造位于我国东部地台区和西部地槽区的接合部, 地壳运动强烈。主要断裂构造有龙门山—金沙江断裂带, 理塘—甘孜断裂带, 金沙江断裂带, 龙门山断裂带, 安宁河断裂带, 小江断裂带等。地层齐全, 从最古老的前震旦系变质砂岩、板岩、千枚岩到最新的第四系全新统地层均有出露。川西山区处于青藏高原的东部边缘, 在地势上为最高一级到第二级地貌阶梯, 属青藏高原与四川盆地和云贵高原之间的过渡地带。地形上以中、高山地形为主, 平原、盆地、丘陵、水域等地貌类型齐全。区域内高原辽阔, 山脉绵延, 峡谷深邃, 许多山峰终年积雪, 海拔 5200 m 以上地区现代冰川发育, 景色蔚为壮观。研究区属川西山地多雨地带, 年降水量 $600 \sim 2000 \text{ mm}$, 南部多于北部, 东部多于西部。研究区内河流众多, 干流成系的有长江水系的金沙江、雅砻江、岷江和嘉陵江四大水系。植被类型分为山地亚热带常绿阔叶林带, 高山暖温带针阔叶混交林带, 高山、山原温带~寒温带暗针叶林带, 高山、高原寒温带灌丛草甸带和高山寒冻带稀疏垫状草本及终年积雪带 5 个垂直自然带。

参考 1998 年完成的“中国泥石流编目数据库” (1997 年资料)^①, 以及该地区已有的公开出版的相关文献资料^[3-5], 当时业已查明的泥石流沟 3 308 条。按平均每 10^3 km^2 国土面积内的泥石流沟数目计算, 分布密度为 $10.40 \text{ 条} / 10^3 \text{ km}^2$, 按研究区 60 个县市区计算, 平均每个县市区有泥石流沟 55.13 条; 泥石流沟分布密度在 $30 \text{ 条} / 10^3 \text{ km}^2$ 以上且分县市区统计泥石流沟数目在 100 条以上的县市区有 4 个, 包括理县、金川县、德昌县和喜德县。从流域分布来看, 泥石流集中分布在安宁河流域、雅砻江河谷及金沙江沿岸, 其中, 以攀西地区安宁河流域的泥石流沟数目最多。研究区 3308 条泥石流沟的总面积为 $41\,641 \text{ km}^2$, 占研究区国土面积的 13.01%。分县市区统计泥石流沟的面积分布率较大的县市区有: 泸定县、丹巴县、理县、西昌市、德昌县、攀枝花市东西区、米易县。研究区各市(州)根据以上泥石流沟的点密度和面密度等指标得出的统计情况见表 1。

表 1 各市(州)泥石流沟分布情况

Table 1 Distribution of debris flows in cities and prefectures of west Sichuan

州市名	国土面积 / km^2	泥石流沟条数 条	泥石流沟点密度 / $(\text{条} \cdot 10^3 \text{ km}^2)^{-1}$	泥石流沟面积 / km^2	泥石流沟面密度 / $(\text{km}^2 \cdot (10^3 \text{ km}^2)^{-1})$
甘孜州	152 629	359	2.35	6 771.15	44.36
阿坝州	84 242	1 157	13.73	13 782.98	163.61
凉山州	60 423	1 386	22.94	16 219.77	268.44
攀枝花市	7 440	197	26.48	3 015.73	405.34
雅安市	15 410	209	13.56	1 851.78	120.17

需要说明的是, 表 1 反映的仅为 1997 年泥石流沟分布的实际数据, 近 10a 来泥石流沟的发育情况肯定有所变化。国土资源部曾就全国 400 个县有过一次地质灾害普查, 在此基础上又开展了重点县市地质灾害详查工作, 但普查和详查资料正在整编, 至今未见刊布。就泥石流灾害点资料而言, 历史资料总是有用的, 它们不会随着时间的推移而失效。泥石流现象作为一种自然过程, 它的发生发展具有相对不变的规律性, 因

① 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流编目数据库. 1998.

此, 本研究用所能收集到的历史泥石流资料来进行泥石流分布点密度和面密度对区域泥石流危险度评价影响的对比研究, 由于泥石流点密度和面密度获取资料的年代相同, 因此, 资料年代的新老并不会影响区域泥石流危险度评价的对比结果。

2 区域泥石流危险度评价结果比较

2.1 区域泥石流危险度评价模型

危险是指遭到损害的可能性。危险的定性表达即危险性, 危险的定量表达即危险度, 是一个概率概念^[6], 最小概率为 0(0%), 最大概率为 1(100%)。

泥石流危险度评价分为点状评价和区域评价, 其中点状评价以泥石流沟单个流域为评价单元, 区域评价反映的是区域内泥石流灾害的整体特征和区域间泥石流灾害的空间异质性。由于行政区域的确定既考虑了管理上的便利, 又考虑了山川、湖海、气候等的差异, 故以行政区域为基本单元来进行区域泥石流危险度评价是目前较常用的方法之一。本研究即以 60 个县市区为基本单元来进行泥石流分布点密度和面密度对区域泥石流危险度评价结果影响的对比研究。

区域泥石流危险度评价以刘希林 1989 年提出、2000 年改进后的多因子综合评价模型为基础^[7-8], 结合研究区实际, 对原来的 7 项次要评价因子中的 2 项作了调整:

$$H_{\text{区}} = 0.33Y + 0.14X_1 + 0.1X_3 + 0.02X_5 + 0.12X_9 + 0.07X_{11} + 0.17X_{12} + 0.05X_{16} \quad (1)$$

式中 $Y, X_1, X_3, X_5, X_9, X_{11}, X_{12}, X_{16}$ 分别为 $y, x_1, x_3, x_5, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{16}$ 的转换赋值; y 为泥石流沟分布密度 (点密度: 条 / 10^3 km^2 ; 面密度: $\text{km}^2 / 10^3 \text{ km}^2$); x_1 为岩石风化程度系数 (取倒数, 小数); x_3 为断裂带密度 ($\text{km} / 10^3 \text{ km}^2$); x_5 为区域相对高差 (km); x_9 为月降雨量变差系数 (小数); x_{11} 为年平均 $\geq 25 \text{ mm}$ 大雨日数 (d), 在四川雅安多雨地区用 x_{10} 年平均 $\geq 50 \text{ mm}$ 的大雨日数 (d) 替代; x_{12} 为年平均降雨量 (mm); x_{16} 为 $\geq 25^\circ$ 坡耕地面积百分比 (%), 随着退耕还林和水土保持工程的实施, 陡坡耕种越来越少, 这一指标将逐渐失去意义, 有必要在后续研究中发展出新的替代指标。转换赋值函数见表 2^[8]。

3.2 区域泥石流危险度点密度评价结果

泥石流沟分布点密度是指每 10^3 km^2 泥石流沟的数量。根据式 (1) 和表 2 计算出研究区 60 个评价单元的区域泥石流危险度评价结果, 由大到小排序结果见图 1。危险度取值介于 0~0.88 之间, 以各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.52。

2.3 区域泥石流危险度面密度评价结果

泥石流沟分布面密度是指每 10^3 km^2 泥石流沟的流域面积。在确定“泥石流沟分布面密度”这一因子的赋值函数时, 仍然遵循现行评价模型中的分段函数赋值原理: 假定超过或等于某一上限值时赋值为 1, 下限值赋值为 0, 处于中间值时赋值为 0.5。以这 3 个数值作为 3 个控制点, 假定在每两个点之间, 赋值呈线性变化, 当中间点为上、下限两点的平均值时为双线性模型, 当中间点不为上、下限两点之平均值时为三线性模型^[9]。研究区已有泥石流沟流域面积分布密度见图 2。

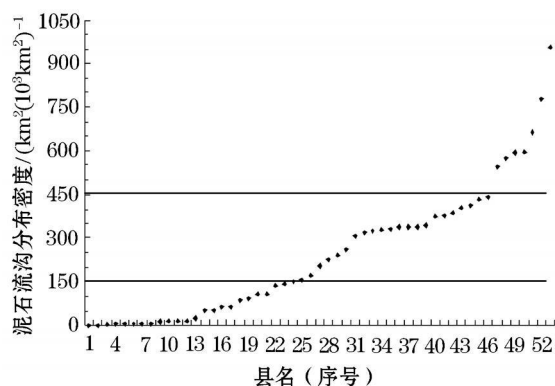


图 2 泥石流沟分布密度图

Fig 2 Densities of debris flow ravines in counties of west Sichuan

表 2 区域泥石流危险度评价因子的权重系数及转换函数

Table 2 Weight coefficients and transformation functions of assessment factors for regional hazardousness of debris flow

转换赋值	权重数	权重系数	转换函数
Y	14	0.33	$Y = y/30$ $Y = 1$
X_1	6	0.14	$X_1 = 5x_1/17$ $X_1 = 0.625x_1 - 0.5625$ $X_1 = 1$
X_3	4	0.10	$X_3 = x_3/150$ $X_3 = 1$
X_5	1	0.02	$X_5 = 2x_5/7$ $X_5 = 1$
X_9	5	0.12	$X_9 = 0.0625x_9^9$ $X_9 = 5x_9 - 3.5$ $X_9 = 1$
X_{10}	3	0.07	$X_{10} = 0.25x_{10}$ $X_{10} = 1$
X_{11}	3	0.07	$X_{11} = x_{11}/7$ $X_{11} = 1$
X_{12}	7	0.17	$X_{12} = 0.0006x_{12}$ $X_{12} = 0.0025x_{12} - 1.5$ $X_{12} = 1$
X_{16}	2	0.05	$X_{16} = x_{16}/30$ $X_{16} = 1$

注: 据参考文献 [8] 修改

根据 60 个样本 (即评价单元) 的泥石流沟分布面密度的分布范围确定控制点, $0 \text{ km}^2 / 10^3 \text{ km}^2$ 为下限点取值, $150 \text{ km}^2 / 10^3 \text{ km}^2$ 为中间点取值, $450 \text{ km}^2 / 10^3 \text{ km}^2$ 为上限点取值 (图 2)。由前述赋值原理得到 y 的分段赋值函数如下:

$$\begin{cases} Y = y / 300, & y \leq 150 \\ Y = y / 600 + 0.25, & 150 < y < 450 \\ Y = 1, & y \geq 450. \end{cases} \quad (2)$$

根据式 (1) 和表 2 以及泥石流分布面密度转换赋值函数式 (2), 计算出研究区 60 个评价单元的区域泥石流危险度评价结果, 由大到小排序结果见图 3。危险度取值介于 $0 \sim 0.87$ 之间, 以各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.51 。

2.4 泥石流点密度和面密度评价结果比较

两种不同评价指标得出的区域泥石流危险度评价结果极为相似, 用泥石流分布面密度评价得出的研究区各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.51 ; 用泥石流分布点密度评价得出的研究区各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.52 。两者差异甚微, 且均属于泥石流中度危险区的范围 (危险度取值 $0.4 \sim 0.6$)。图 4 显示了分别用泥石流点密度和面密度计算出的区域危险度的评价结果。

进一步分析表明, 用泥石流面密度进行评价, 结果有 27 个县市区区域泥石流危险度比用泥石流点密度评价结果略高, 但同时有 15 个县市区比用泥石流点密度的评价结果略低, 其中 11 个县市区两者的评价结果相同 (九龙县、甘孜县、新龙县、白玉县、石渠县、理塘县和稻城县 7 个缺乏泥石流沟流域面积的县市区除外)。两者的平均绝对差值 0.04 远小于 0.2 这一危险度等级差值; 两者的平均相对差值为 6.49% , 小于 10% 这一允许的均方差范围, 且其中 95% 的变差均在 10% 以内, 只有丹巴县、盐边县和昭觉 3 县的变差超过了 10% 。因此整体上来看, 用泥石流分布面密度代替泥石流分布点密度来进行区域泥石流危险度评价, 并没有导致的危险度数值的明显变化。

根据危险度分区等级的区域泥石流危险度数值, 极低危险区危险度 $0 \sim 0.2$ 低度危险区危险度 $0.2 \sim$

0.4 中度危险区危险度 0.4~0.6 高度危险区危险度 0.6~0.8 极高危险区危险度 0.8~1。除去九龙县、甘孜县、新龙县、白玉县、石渠县、理塘县和稻城县 7 个缺乏泥石流沟流域面积的县市区以外, 其余 53 个县市区泥石流点密度和面密度对区域泥石流危险度等级影响的对比结果见表 3。由表 3 可见, 两种评价结果中, 极低危险区和极高危险区的县市区数目完全相同, 低度危险区、中度危险区和高度危险区分别有 3 个、1 个和 2 个县市区数目不同, 分别占用于对比的总县市区数的 5.67%, 1.89% 和 3.78%。总体看来, 两种评价结果的偏差很小。

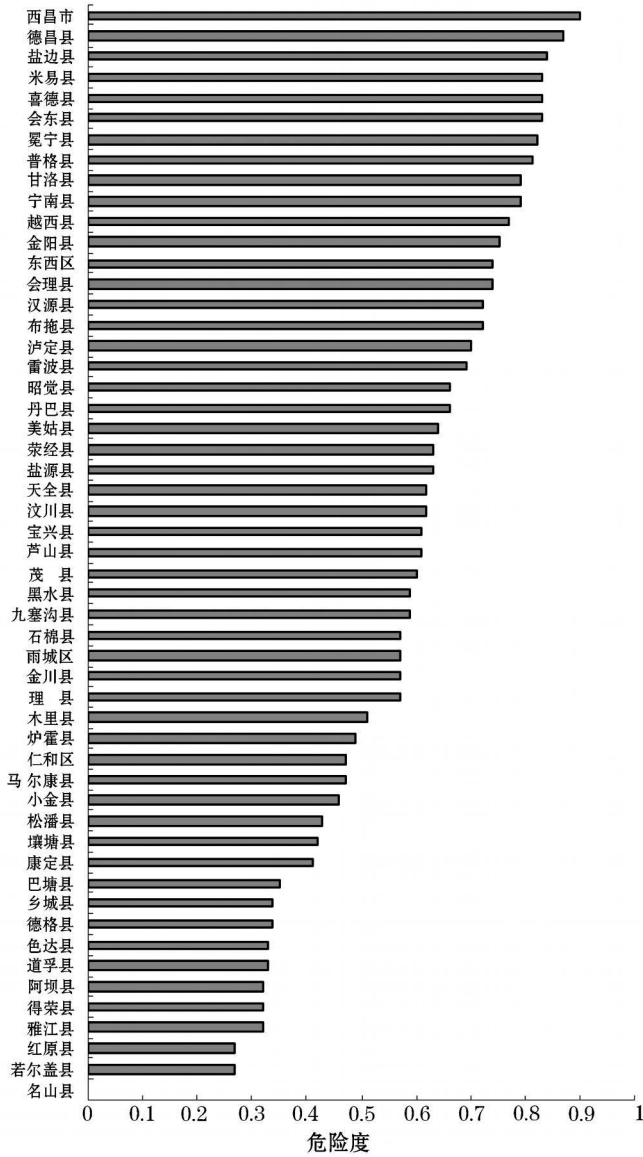


图 3 各县市区泥石流危险度排序 (面密度)

Fig 3 Sequencing of regional hazardousness of debris flow in cities, counties and districts of west Sichuan (area density)

表 3 泥石流点密度和面密度对区域危险度等级影响

Table 3 Influence of differences between debris flow spot density and area density on regional debris flow hazardousness classes

	极低危险区	极度危险区	中度危险区	高度危险区	极高危险区
点密度 - 县市区	1	13	11	18	10
面密度 - 县市区	1	10	12	20	10

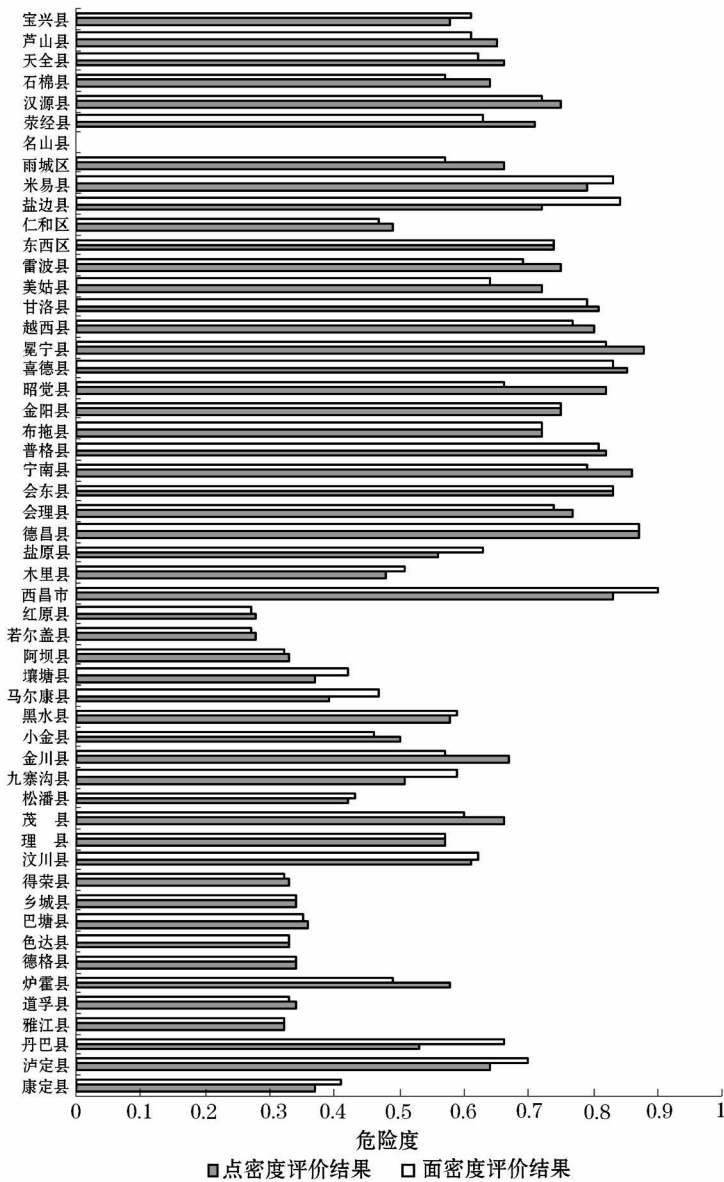


图 4 区域泥石流危险度点密度和面密度评价结果比较

Fig 4 Comparison of debris flow spot density and area density as two different factors assessing the regional hazardousness of debris flow in wes Sichuan

3 结论

泥石流分布面密度可以代替泥石流分布点密度用于区域泥石流危险度评价,得出川西山区各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.51;用泥石流分布点密度计算出的各县市区面积加权平均后的区域泥石流危险度为 0.52。区域泥石流危险度数值两者相差 0.01,整体上均属于泥石流中度危险区。泥石流面密度与点密度评价结果的比较,最大绝对差值 0.16(昭觉县),最小绝对差值 0(共 11 个县市),平均绝对差值 0.04 远远小于 0.2 这一危险度等级差值;最大相对差值 24.53% (丹巴县),最小相对差值 0% (共 11 个县市),平均相对差值为 6.49%,小于 10% 这一允许的误差范围。尽管个别评价单元两者差值较大,但总体来看,无论从平均绝对差值还是平均相对差值,泥石流面密度和点密度得出的区域泥石流危险度评价结果差异很小。

研究表明,用泥石流分布面密度代替泥石流分布点密度将明显改善区域泥石流危险度评价结果的猜想并没有实现,由于两者评价结果差别很小,进一步反证了用泥石流点密度进行区域泥石流危险度评价的可靠性和合理性。在泥石流区域危险度评价中,泥石流面密度并非一定优于点密度,相反地,由于泥石流点密度具有获取资料相对容易、计算比较简便、工作量较小等优点,因而具有更为便利的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 刘希林, 唐川, 张松林. 泥石流相对分布密度的确定方法 [J]. 水土保持学报, 1992, 6(1): 57- 62.
- [2] Xilin Liu, Junzhong Lei. A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China) [J]. Geomorphology, 2003, 52(3- 4): 181- 191.
- [3] 唐邦兴, 柳素清. 四川省阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 1- 179.
- [4] 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 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 1- 279.
- [5] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 四川与重庆泥石流分布及危险度区划图 [M]. 成都: 成都地图出版社, 1997.
- [6] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [7] 刘希林. 泥石流危险区划的探讨 [J]. 灾害学, 1989, 4(4): 3- 9.
- [8] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 54- 61.
- [9] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 1- 9.