

基于危险度区划的县级区域降雨引发滑坡 的风险预警方法 ——以四川省米易县降雨滑坡为例

田宏岭, 乔建平, 王 萌, 石莉莉

TIAN Hong-ling, QIAO Jian-ping, WANG Meng, SHI Li-li

中国科学院地表过程与山地灾害重点实验室/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

Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process/Institute of Mountain Hazards and Environment,
Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, Sichuan, China

摘要:降雨滑坡预警在世界上开展广泛,但对小区域的降雨滑坡风险进行预警尚不多见。以通用的风险定义为基础,首先对目标区域——四川省米易县的地质灾害进行调查,以典型滑坡进行反演,获得灾害的本底因素,按贡献率权重叠加法进行危险度分区;通过对承灾体的调查确定承灾对象,并将各承灾对象按密度由行政界限向 1km×1km 的网格单元转化后叠加形成易损度分区。二者相乘完成风险分区。对研究区域近 5 年逐日降雨数据与 172 条地质灾害记录进行分析,按前期日降雨量模型得到降雨阈值,根据滑坡空间概率和降雨引发滑坡的时间概率叠加的结果,得到研究区域的降雨滑坡概率,对照风险分区,完成风险预警。

关键词:降雨滑坡;风险;预警

中图分类号:P694 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2009)08-1093-05

Tian H L, Qiao J P, Wang M, Shi L L. A method of early warning on rainfall-induced landslide risk probability based on hazard zoning: a case study on the rainfall-induced landslide of Miyi County, Sichuan, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(8):1093-1097

Abstract: Rainfall-induced landslide early warning is broadly conducted in the world, but still little work has been done for small-scale risk. This paper starts from the common definition of risk, investigated the geo-hazard of Miyi County, Sichuan province, China. The first step is landslide zoning by contributing weight method after obtaining the main factors that cause landslide with inversion, then the second step is vulnerability zoning after analyzing the main disaster-bearing objects and convert their density from administrative regionalism to 1km×1km grid. After these two steps the risk zoning is achieved. The third step is get the rainfall threshold value according to daily rainfall modeling, by analyzing the relationship between daily precipitation in the past 5 years and 172 pieces of geo-hazard records. Trough overlaying landslide spatial probability with precipitation time probability, regional rainfall-induced landslide probability is obtained. Early warning work can be carried out with the help of risk zoning result.

Key words: rainfall-induced landslide; risk; early warning

降雨滑坡灾害在世界上由于分布广、发生频率高,受到了包括政府在内的组织和机构的广泛重视。近 30 年来,降雨滑坡预测预报一直是滑坡研究中的

热点课题之一,其核心是通过研究降雨与滑坡的各种关系,预测可能的滑坡状态^[1]。

由于各国或地区的政府部门对此项研究的重视

收稿日期:2009-05-31;修订日期:2009-06-10

科技项目:中国科学院三期重要方向创新项目(编号:KJ CX3-SW-L1-6)、国家科技部“十一五”重点科技支撑计划项目(编号:2006BAC04B05)、国家科技部国际合作项目(编号:2007DFA21150)和中国科学院西部博士项目(编号:O8R2170170)资助

作者简介:田宏岭(1974-),男,博士,从事滑坡机理与预警研究。E-mail:thl@imde.ac.cn

程度和经济水平不一,降雨滑坡预警研究的水平也存在差异。美国、日本等多个国家和地区都已经开展了面向公众的区域性降雨型滑坡实时预警预报,预报精度可以达到小时^[2-7]。国内区域降雨滑坡灾害预警一般在研究灾害地质环境特征和滑坡特征的基础上,运用空间预测模型得出滑坡灾害空间预测结果,再利用具有动态性的灾害诱发因素对灾害区域进行时间预警^[4]。

从研究区域来看,目前研究尺度相对较小,比例尺一般在 1:20 万或以下。中国当前的防灾工作主要由各级政府机构负责^[5],对于基层的县乡村等一线减灾管理人员来说,这种比例尺的研究成果难于实际应用,因此县乡级的区域(比例尺大于 1:50000)降雨滑坡预警更具有实际意义。此外,目前灾害预警很少与风险评价相结合,使决策部门在开展减灾防灾工作时不能分辨轻重缓急,常常错过险情严重区域。因此,完成县乡级的降雨滑坡风险预警工作,无论对基层使用还是对滑坡预警研究都更具有实际意义。

1 研究区概况

米易县位于四川省南部,幅员面积 2104.32 km²,有人口 20.7 万人,地形属高中山区。研究区内主要地貌类型为侵蚀构造地形和侵蚀堆积地形;地层出露齐全,岩性变化大,广泛发育第三系昔格达组,性质软弱,抗剪程序低,属极易滑地层;区内新构造运动活跃,地震活动频繁,属于Ⅶ级地震烈度区;区内水系发育,中部安宁河由北东向南西贯穿全境,西部边境雅砻江从北向南流过。气候上干雨季分明而四季不分明,降水集中,雨量充沛。雨量集中成为诱发滑坡和泥石流的重要因素。

由于以上因素,米易县地质灾害发育较多。根据区域调查,该县共有 180 余处地质灾害,以滑坡为主。

2 滑坡风险预警

Varnes^[6]提出的风险定义为

Risk=Hazard×Vulnerability (1)

资料的详细程度决定着研究方法与最终的效果。本研究中滑坡灾害资料的空间精度最高,据此首先进行危险性评价和易损性评价,得到较为可靠的风险分区;降雨资料的时间精度可以精确到小时,据此统计降雨与滑坡的相关性,进行以降雨诱发滑坡的时间预警,并与风险分区相结合,形成滑坡风险预警(图 1)。

2.1 危险度区划

尽管危险度区划评估已有多种方法,但是由于受评估模型需要的条件和模型的可靠性、实用性、结果的检验方法等因素的限制,到目前为止仍没有建立统一的标准模型。

本研究采用贡献权重叠加模型进行滑坡危险度区划^[6]。根据收集到的米易县 172 条历史灾害记录反演地质灾害(主要是滑坡)的本底因素,得到米易县影响地质灾害的 5 个最关键因素为:地层、坡度、坡形、高差和坡向。通过 1:50000 数字化地形图构建 DEM,生成坡度、高程、坡向、坡形等地形要素信息;地层信息由 1:200000 地质及构造图获得。将以上因子图层按贡献权重叠加模型进行滑坡危险度区划:

$$H=\sum_{i=1}^5W_iW'_iU_i$$
 (2)

式中:H—危险度、W_i—自权重、W_i'—互权重、U_i—贡献指数^[8]。

其自权重(表 1)为各因素内部分级评价的因子。在 ArcGIS 内按 25 m×25 m 栅格完成运算后,得到米易县 1:50000 危险度分区图(图 2)。

2.2 易损度区划

易损性的定义仍然处在争议中,本研究将易损性定义为承灾体遭受灾害损失的难易程度。根据调查,米易县地质灾害影响区域内受影响的承灾体主要是人员、土地、道路和建筑。由于原始数据是按乡

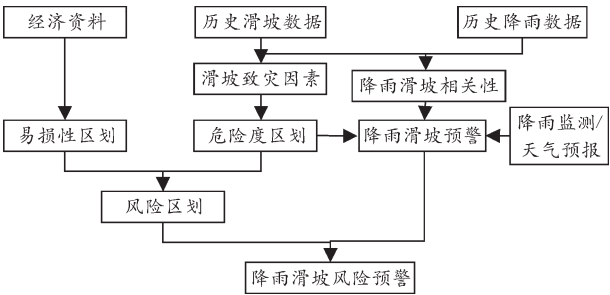


图 1 降雨滑坡风险预警流程

Fig. 1 Flow sheet of rainfall-induced landslide risk early warning

表 1 米易县危险度互权重权值(W')分配

Table 1 Contributing weights of landslide fatality in Miyi County

因素	地层	坡度	坡形	高差	坡向
W'	0.271	0.221	0.142	0.156	0.210

镇统计的,为了便于量化运算,所有数据均按乡镇密度形式表达。

将人口、道路、林地、建筑和耕地 5 项数据由行政界限转化为网格单元,并进行归一化,网格数据是在 ArcGIS 支持下生成的,网格单元大小为 1 km×1 km。评价模型为

$$V=\sum_{i=1}^5Z_iW_iW_i'$$

(3)

式中:V—易损度;Z_i—归一化后的指标值;W_i—自权重;W_i'—互权重。易损度权重值见表 2。

根据以上模型对米易县滑坡易损度的情况进行计算,将结果分为 6 级,得到米易滑坡(地质灾害)易损度分区图(1:50000)(图 3)。

2.3 风险区划

根据公式(1),将危险度和易损度评价公式代入公式(1),并以概率表示:

$$R=(\sum W_1W_1'U_1)\times(\sum W_2W_2'U_2)\in(P)$$

(4)

经过上述计算,得到米易县风险区划结果图(图 4)。在计算过程中,危险度区划精度为 25 m×25 m 栅格,易损度以乡、镇为统计单位。风险分区精度受到一定的影响,精度是经差值后达到 1 km×1 km 的,但是完全可以满足政府以乡、镇为区域评价的需求。

2.4 降雨滑坡概率预警

研究区的地质灾害是主要由降雨诱发的。当降雨条件满足临界值时,区内不同地质灾害危险度区的承灾体就可能遭到不同程度的破坏,破坏的概率随时间和空间的不同而各异。

地质灾害的时间概率是由临界降雨量的发生时间条件决定的^[9-10],所以地质灾害时间分布概率是条件概率问题。滑坡概率计算应该在满足事件样本足够的条件下完成。而本研究中的滑坡和降雨资料

都很难满足这些基本条件。如雨量站只有 1 处,无法代表山区小气候的特点^[11],滑坡记录的时间精度不够导致统计的滑坡与降雨的相关性可靠度不高。在有限的资料的情况下,以研究为目的,采用“滑坡发生频率”近似“滑坡发生概率”的方法进行计算。两者同样具有描述滑坡发生可能性的意义:滑坡发生频率↔滑坡发生概率。

据此,由 2002—2007 年米易县逐日降雨数据和 172 个地质灾害记录分析得到滑坡频率、降雨滑坡频率,按前期日降雨量模型确定降雨诱发滑坡的临界值^[12]:

$$Q(T,Q_i)=\begin{cases} \text{单体地质灾害预警 } Q_1\geqslant 30\text{mm}/24\text{h} \\ \text{群体地质灾害预警 } Q_2\geqslant 70\text{mm}/48\text{h} \\ \text{或} \\ Q_3\geqslant 100\text{mm}/72\text{h} \end{cases}$$

式中:Q—降雨量;T—降雨时间;Q_i—降雨阈值。
在降雨条件不变的情况下,地质灾害的空间分布是随机变化的。因为研究区内不同危险区的空间分布面积不同,所以地质灾害发生概率也将随空间取样单元的大小而变化(图 5)。

根据时间与空间概率的乘积可以确定各乡镇发生灾害的概率如下:

$$P_i=P_s\times P_T$$

(5)

式中:P_i代表各乡镇发生灾害的风险概率,P_s代表该乡镇的灾害空间概率,P_T代表该乡镇发生灾害的时间概率。

由公式(5)可得降雨滑坡预警模型(表 3)。

表 3 降雨地质灾害预警模型
Table 3 Rainfall-induced landslide risk early warning model

降雨量	低	中	高	时间分布概率
Q<30mm				
Q ₁ ≥30mm 单体启动	0.063	0.282	0.3	0.3
Q ₂ ≥70mm 群发性灾害	0.1325	0.4982	0.53	0.53
Q ₃ ≥100mm 群发性灾害	0.21	0.7896	0.84	0.84
空间分布 概率(近似)	0.25	0.94	1	

注:概率<0.25 为极低危险区(安全区),介于 0.25~0.5 之间为低风险预警,0.5~0.75 为中风险预警,>0.75 为高风险预警

表 2 米易县易损度权重分配

Table 2 Contributing weights of landslide vulnerability in Miyi County

指标	人口 密度	道路 密度	林地 密度	建筑 密度	耕地 密度
互权重	0.266	0.190	0.094	0.309	0.142
自权重	低	0.082	0.108	0.127	0.114
	中	0.303	0.303	0.363	0.308
	高	0.614	0.589	0.510	0.578

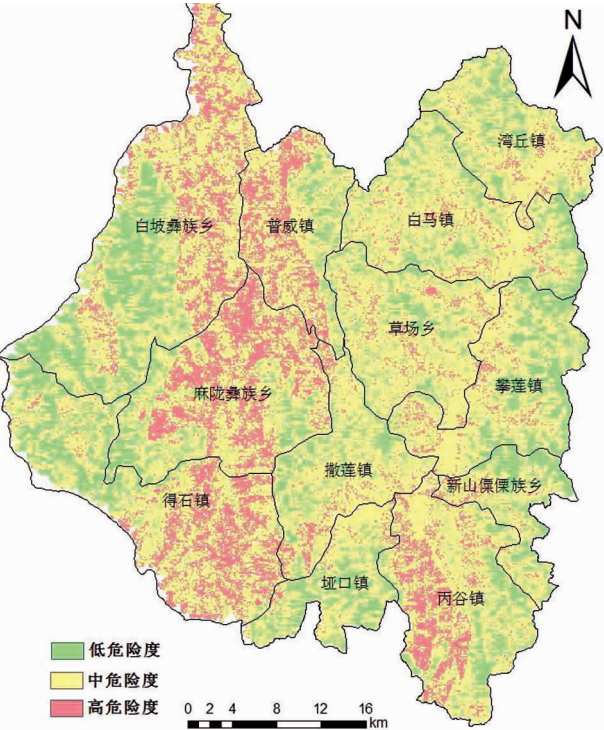


图 2 米易县滑坡危险度区划图

Fig. 2 Landslide fatality zoning map in Mi Yi County

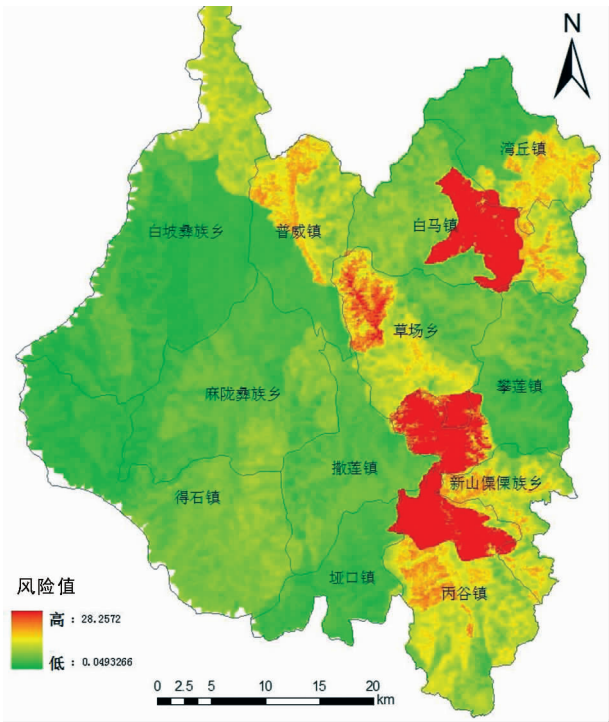


图 4 米易县滑坡风险区划结果

Fig. 4 Risk zoning map in Mi Yi County

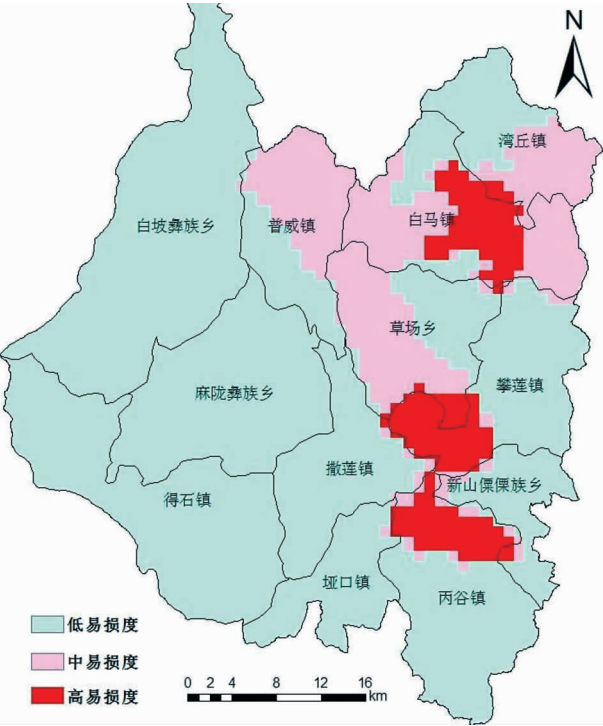


图 3 米易县滑坡易损度区划图

Fig. 3 Landslide vulnerability zoning map in Mi Yi County

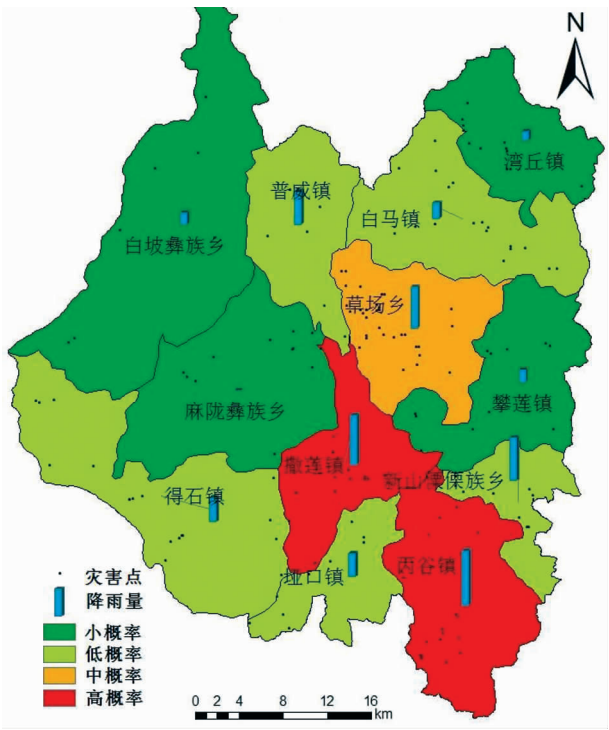


图 6 米易县降雨滑坡风险预警示例

Fig. 6 Example of rainfall-induced landslide risk early warning in Mi Yi County

当输入对应乡镇的降雨预报值或降雨监测值后,可以按表 3 得出各乡镇的灾害概率(图 6)。查询对应区域的风险信息,即可得知未来的风险趋势。

3 效果验证

上文中采用的数据均为 2002—2007 年的数据,验证采用米易 2008 年的新增滑坡来对比验证。

2008 年米易县降雨相对往年偏少,其中 1、2、3、4、11、12 月累计降雨量都小于 30 mm,只有 6、7 月份累计雨量大于 50 mm。由此带来的 2008 年新增地质灾害只有 7 处,其中 5 处为滑坡。这 7 处灾害处于中危险度区和高危险度区的比例占到全部灾害数量的 80%,与 2007 年以前滑坡的分布特点一致。由于远离县城,滑坡发生处并无雨量站,调查中也未得到降雨量的准确值,因此难以验证降雨滑坡预警的效果,只能在以后降雨较多时再行验证。

4 结论与建议

由于研究区域的灾害资料空间精度高,降雨资料的时间精度可靠,故本文以危险度分区、易损度分区再至风险分区叠加降雨进行风险预警,最大程度地减少了资料所带来的不确定性,危险度分区和风险分布情况基本符合本地灾害及风险分布的状况。但是由于该研究区域雨量站少,对降雨滑坡的相关分析显得可靠性不够,影响了最终预警的有效性。为了加强预警效果,建议完善雨量计的设置与分布,如果条件允许,建成实时传输的降雨监测网络可以有效地提高其预警的准确性。

致谢:感谢米易县国土资源局提供研究数据及其他方面的协助。

参考文献

[1]文宝萍.国外降雨滑坡灾害预测预报动态研究现状发展趋势[EB/OL]. [2008-04-23].<http://www.cigem.gov.cn/qingbao/No1/guojijiaoliu/2.htm>.

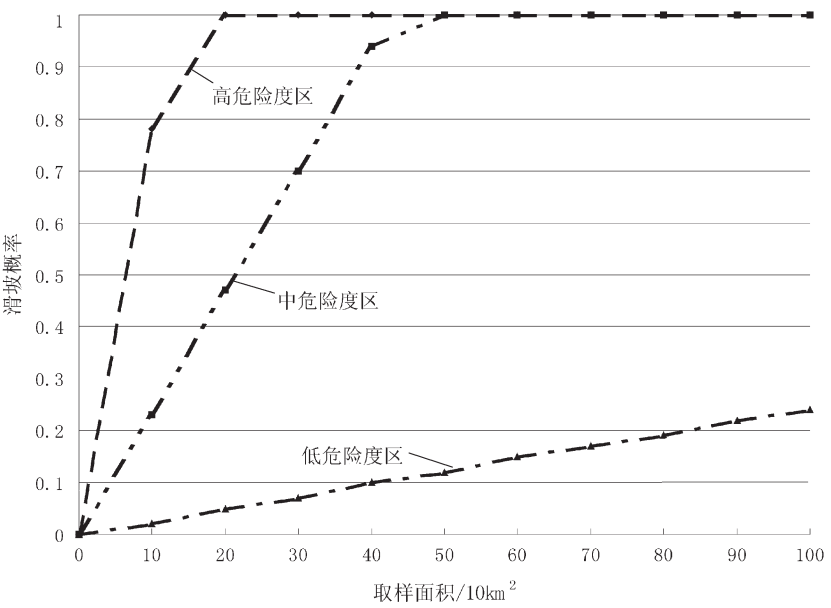


图 5 米易县地质灾害空间分布概率曲线图
Fig. 5 Landslide spatial distribution probability curve in Miyi County

[2]David K K, Raymond C W, Robert K M, et al. Real-time landslide warning during heavy rainfall[J]. Science, 1987, 238: 921-925.

[3]Dai F C, Lee C F. Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides[J]. Engineering Geology, 2001, 59(3/4): 253-266.

[4]殷坤龙,陈丽霞,张桂荣.区域滑坡灾害预测预警与风险评价[J].地质学前沿,2007, 14(6): 85-97.

[5]郝玲玲,魏战英.我国政府决策的责任分析[J].行政与法,2007,9: 19-21.

[6]Varnes D J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice[M]. Paris: UNESCO, 1984.

[7]乔建平,吴彩燕.滑坡本底因子贡献率与权重转换研究[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(3): 13-15.

[8]乔建平,石莉莉,王萌.基于贡献权重叠加法的滑坡风险区划[J].地质通报,2008, 27(11): 1787-1794.

[9]陈剑,杨志法,李晓.三峡库区滑坡发生概率与降水条件的关系[J].岩石力学与工程学报,2005, 24(17): 3052-3056.

[10]李长江,麻士华,朱兴盛,等.区域群发性滑坡灾害概率预报系统[J].国土资源信息化,2005,4: 32-38.

[11]张明,胡瑞林,谭儒蛟,等.降雨型滑坡研究的发展现状与展望[J].工程勘察,2009,3: 11-16.

[12]Glade T, Crozier M, Smith P. Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using empirical "antecedent daily rainfall model" [J]. Pure and Applied Geophysics, 2000,157: 1059-1079.