

汶川地震重灾区地质灾害 风险评价的重要意义和方法

张春山

(中国地质科学院,北京 100000)

内容提要 地质灾害发生的几率及其可能造成的损失等问题一直国内外研究的重点。地质灾害风险评价的方法很多,各有优劣。采取什么评价方法,怎样进行快速评价和制图,在减灾防灾中,特别是应急救援中能发挥更大的作用是进行风险评价的主攻方向。

关键词 地质灾害 风险评价 指标体系

【中图分类号】P315

【文献标识码】A

【文章编号】1008-6323(2010)03-0054-05

本文在进行地质灾害调查和遥感解译资料的基础上,采用专家评判方法利用GIS技术对重灾区14县市地质灾害进行的快速定量的危险性评价,并在此基础上进行定性评价。这种方法可以进行快速评价和制图,为地震灾区恢复重建工作中重建规划、特别是场地选址、地质灾害的防治提供急需的次生灾害方面的基础资料,为国家和地方政府规划决策提供科学依据。

一、地质灾害风险评价指标体系

(一)地质灾害风险评估体系构成

地质灾害风险评估是对风险区发生不同强度地质灾害活动的可能性及其可能造成的损失进行的量化分析与评估。地质灾害风险评估的目的是反映评价区地质灾害总体风险水平与地区差异,为指导国土资源开发、保护环境、规划与实施地质灾害防治工程提供科学依据。地质灾害风险评估主要包括以下两方面内容:

一是危险性分析——通过对历史地质灾害活动程度以及对地质灾害各种活动条件的综合分析,评价地质灾害活动的危险程度,确定地质灾害活动的密度、强度(规模)、发生概率(发展速率)以及可能造成的危害区的位置、范围。

二是易损性分析——通过对风险区内各类受灾体数量、价值以及对不同种类、不同强度地质灾害的抗御能力进行综合分析,评价承灾区易损性,确定可能遭受地质灾

害危害的人口、工程、财产以及国土资源的数量(或密度)及其破坏损失率。

危险性分析和易损性分析是地质灾害风险评估的基础,通过这两方面分析,确定风险区位置、范围以及地质灾害活动的分布密度与时间概率,进而确定可能遭受地质灾害的人口、工程、财产以及资源、环境的空间分布与破坏损失率。这二方面分析相互联系,形成具有层次特点的地质灾害风险评估系统。在地质灾害影响因素分类分析的基础上,根据风险评价目标和内涵的不同,可采用层次分析的方法,建立相应的评价指标体系。根据风险评价目的、评价内容的不同,可将指标体系的最高层次一目标层划分为两大类——危险性评价、易损性评价,进一步可依据研究对象的分布范围的大小划分为不同的亚类。针对不同的评价对象,进行相应的影响因素分析,初步确定出对评价有影响的因素,如地质环境因素、动力环境因素、人类工程经济活动因素等,构造出指标体系的一级指标层。对于不同的评价目标,指标选择的侧重点不同,可选择不同的评价指标准则,具体到某一区域斜坡或某一类型地质灾害时,其基础指标要进行一定的取舍和细化,评价成功的关键在于因素筛选和因素权重赋值。

(二)指标体系建立中几个关键问题

1. 评价指标的选取。评价指标的选取在某种程度上说是评价成功的关键。不同层次、不同目的危险性评价,评价指标的选取即要反映地质灾害地质体本身的特征属

作者简介 张春山,中国地质科学院地质力学研究所研究员。

收稿日期 2010-04-20

性,又要反映地质灾害的经济和社会属性,评价指标侧重于反映地质灾害的运动变化特征。如果评价的目的是为国土规划服务,评价指标侧重于反映地质灾害的空间分布特征;如果评价的目的是减灾,评价指标则要同时反映地质灾害的空间分布特征和承灾体的分布及特性。

2. 评价指标的量化。地质灾害影响因素众多,有定性指标、定量指标,也有半定量指标。对于定量指标只要统一量纲,进行归一化处理后便可为评价直接利用。而对于定性指标,由于对指标状态的描述是采用一些模棱两可的词语,具有较大的随意性和不确定性,需应用一些数学方法对指标进行定量或半定量描述;目前通常采用德尔菲法、信息量法、模糊隶属度、各种统计方法等,在指标转换的过程中要注意统一指标尺度,以免有些变量被夸大。

在对地质灾害的众多影响因素量化后,还应对这些指标进行筛选,选出对地质灾害的发生贡献大的指标,以排除某些指标对预测结果的干扰。通常指标筛选是以地质灾害易发性分析为基础的。目前常用的易发性分析方法有:主成分分析、距离系数、灰色关联度、效果测度、数据本构等。

3. 评价指标的权重赋值。由于地质灾害系统是一个复杂系统,各种指标对地质灾害产生的影响程度是不尽相同的,那么在评价模型中还应确定出各指标的权重,以反映指标对地质灾害事件产生的影响程度。近年来,随着现代数学理论与计算机发展与应用,人们确定权重的方法正从主观判断向定量、客观判断的方向发展。目前常用的方法有德尔菲法、信息量法、层次分析法、模糊区间映射法、综合评判系数法等。

二、地质灾害风险评价技术方法及流程

1. 通过野外调查和充分收集获得评价范围内的相关资料,并进行相关资料整理。

2. 数据预处理:依据指标体系对主要影响因素进行赋值;能够直接用数据表示的因素,直接用数据表示;不能直接用数据表示的描述性因素,通过数据概化赋值后转化为数值数据。为了在计算过程中方便使用,使指标无量纲化,对所有指标均进行了归一化处理。

3. 权值确定:统计分析各主要影响因子对地质灾害形成和风险的贡献大小,在此基础上确定各主要影响因素的权值;

4. 地质灾害发生的几率及其可能造成的损失等问题一直国内外研究的重点。地质灾害风险评价的方法很多,各有优缺点。采取什么评价方法,怎样进行快速评价和制图,在减灾防灾中,特别是应急救灾中能发挥更大的作用

是进行风险评价的主攻方向。建立风险评价的数学模型:依据各因素的权重值建立数学模型,包括危险性、易损性、风险评价模型;

地质灾害的风险程度可用概率或风险指数来表示。概率或风险性指数越高,未来发生地质灾害的风险性就越大。概率或风险性指数是在危险性分析和易损性分析的基础上获得的,可用危险性指数和易损性指数的乘积来表示。风险性评价指数可用下列数学模型表示。

$$FX_i = XZ \cdot WX_i \cdot YS_i$$

$$WX_i = \sum_{j=1}^m R(j) \cdot X(i, j)$$

$$YS_i = \sum_{j=m+1}^M R(j) \cdot X(i, j)$$

式中: FX_i ——评价单元的风险性指数;

WX_i ——评价单元的危险性指数;

YS_i ——评价单元的易损性指数;

XZ ——修正系数,使风险指数的值落在一定的范围内;

M ——关联因子总数;

m ——危险性要素关联因子总数;

$R(j)$ ——各关联因子的权重值;

$X(i, j)$ ——各关联因子概化后的数据。

进行危险性、易损性和风险评价并提出减灾对策:根据风险评价结果进行风险区划,依据社会发展需要提出减灾对策建议。

三、重灾区地质灾害危险性评价

(一)危险性评价要素选取

1. 地质灾害活动程度:主要是指地质灾害活动的历史,在本次地质灾害危险性评价中,主要考虑地质灾害活动的点密度和面密度,将其作为地质灾害危险性分区的依据。但地质灾害活动的历史只能说明地质灾害的过去,而未来地质灾害活动程度怎样,危险性大小主要取决于地质灾害的潜在形成条件及诱发因素。

2. 地质灾害潜在形成条件:包括地质灾害形成的主要控制因素和影响条件,本次地质灾害危险性评估中主要选取斜坡结构类型、工程地质岩组、水文地质条件、斜坡几何形态、断裂构造和人类活动等条件。

3. 地质灾害扩展范围:是指地质灾害一旦发生,其可能影响波及的范围,也就是地质灾害存在危险的范围。本次确定的地质灾害扩展范围主要包括易发区本身斜坡地带,同时也包括沟谷底部及河流、水库内的一定范围。

4. 地质灾害的诱发因素:是指能够使地质环境系统向着地质灾害发生的方向演化或者导致地质灾害发生的内动力和外动力地质作用。本区诱发条件主要包括地震、降

雨和人类工程活动。能够代表地震活动程度的指标用地震烈度来表示,人类工程活动用公路、铁路等线密度表示。由于缺少本区降雨资料,诸如暴雨日数、多年平均降雨量等,且本次研究主要考虑地震次生地质灾害,因此,评价中未考虑降雨诱发因素。

根据目前掌握的资料和地质灾害分析的结果,本次危险性评价选取的主要影响因素包括:地层岩性中选取易灾岩土,断裂构造中选取活动构造,地形地貌中选取斜坡坡度、边坡坡高、河流水系,历史活动中选取灾害点密度,地震条件中选取地震烈度,人类工程活动选取公路、铁路,降雨条件中选取多年平均降雨量作为主要影响因素。根据已往经验和本次地震次生灾害野外调查的认识,确定各主要影响因素的权值(表1)。

表 1 各主要影响因素的权值

序号	危险性评价要素	权值	代码
1	灾害点(面)密度	0.18	X(i,1)
2	地形坡高	0.12	X(i,2)
3	地形坡度	0.15	X(i,3)
4	易灾岩土(岩组)	0.13	X(i,4)
5	活动构造	0.09	X(i,5)
6	水系	0.05	X(i,6)
7	降雨量	0.08	X(i,7)
8	地震烈度	0.10	X(i,8)
9	公路	0.06	X(i,9)
10	铁路	0.04	X(i,10)

(二)危险性要素的原始数据整理

为了对本区崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害进行综合

性评价,在广泛收集资料和实地调查的基础上,根据崩塌、滑坡、泥石流的形成条件和危险构成,对地质灾害的危险性要素进行了统计和概化。由于有些要素的数据是可以进行量化统计的,有些要素只是描述性的,则只能根据一定的标准进行概化,用数据来表示。描述性的危险性要素的原始数据整理与概化按照确定的各要素的等级标准(表2)进行,其它危险性要素可从资料直接取得,得到各评价单元的危险性要素的统计分析结果,将其按评价单元统计,形成基础属性数据库。

(三)危险性评价要素的数据预处理

第一,将前面统计和概化的数据按表3-4-3进行赋值预处理。首先用崩滑流发育处数与单元国土面积相除后得到崩滑流发育密度,活动断裂用距断裂的垂直距离的大小作为活动断裂的发育程度。然后按表3-4-3的分级标准进行赋值预处理,即将各要素按照不同的标准分为5级,并按1、2、4、7、10从低到高依次赋值,得到赋值预处理的结果。

第二,将赋值预处理后的各评价要素的数据进行归一化处理,其目的是使所有要素的评价结果均位于区间(0,1]之间。其计算公式为:

$$X_1(i,j) = \frac{X(i,j) - \min(x(i,j))}{\max(x(i,j)) - \min(x(i,j))}$$

式中: $X_1(i,j)$ ——评价要素 j 的第 i 评价单元归一后的数值;

$X(i,j)$ ——评价要素 j 的第 i 评价单元的数值;

$\min(x(i,j))$ ——评价要素 j 的最小值;

$\max(x(i,j))$ ——评价要素 j 的最大值。

表 2 崩滑流危险评价要素概化赋值分级表

危险评价要素	危险评价要素分级					
	类别	极低危险	低危险	中等危险	高危险	极高危险
崩滑流发育密度(处/km ²)	数值	0	0.01 - 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 0.1	>1.0
地震烈度	类别	<6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	>9
活动断裂发育程度(距断裂 km)	类别	>4	2 - 4	1 - 2	0.5 - 1	<0.5
易灾性岩土发育程度	类别	坚硬岩组,主要为岩浆岩、变质岩、厚层石灰岩、厚层砂岩、砂砾岩或变质砂岩	较坚硬岩组,主要为中薄层砂岩、灰岩、白云岩;部分地区发育有易灾性岩土	软硬相间岩组,主要为中薄层砂岩夹薄层泥岩、中薄层灰岩夹泥页岩或煤层	软弱岩组,主要为千枚岩、片岩、板岩、泥岩、弱胶结的断裂带构造岩,易灾性岩土发育	松散岩组,主要为岷江两岸以及山前冲洪积扇土层、冰水沉积物、残坡积物、岩浆岩强风化带
边坡坡度	数值	按实际读取数值代入算子中				
边坡坡高	数值	按实际读取数值代入算子中				
河流水系(距河谷 km)	类别	>2	1.5 - 2	1 - 1.5	0.5 - 1	<0.5
多年平均降雨(mm)	数值	<600	600 - 700	700 - 800	800 - 1000	>1000
公路(距公路 km)	类别	>2	1.5 - 2	1 - 1.5	0.5 - 1	<0.5
铁路(距铁路 km)	类别	>2	1.5 - 2	1 - 1.5	0.5 - 1	<0.5
等级赋值		1	2	4	7	10

(四) 崩滑流地质灾害危险性评价

1. 崩滑流危险性评价的数学模型。利用危险评价的数学模型,将各因素的权重值代入模型,建立起崩滑流危险性评价的数学模型:

$$WX_i = 0.18X(i,1) + 0.12X(i,2) + 0.15X(i,3) + 0.13X(i,4) + 0.09X(i,5) + 0.05X(i,6) + 0.08X(i,7) + 0.10X(i,8) + 0.06X(i,9) + 0.04X(i,10)$$

2. 崩滑流危险性评价。按危险性评价的数学模型,利用 ARCGIS 进行栅格运算,单元大小为 100m ×100m,分别计算出各评价单元的危险性指数,最大值为 0.719,最小

值为 0.074。为了比较直观地反映各评价单元的危险程度,本文利用自然断点法对危险性指数进行分组区划,共划分为 3 个等级,高危险区、中等危险、低危险区。其中高危险区面积为 10493.72 km²,灾点平均密度为 18.3 处 /100km²,震后次生灾点 8.9 处 /100km²,占评价区总面积的 23.48%;中危险区面积为 17631.64 km²,灾点平均密度为 8.9 处 /100km²,震后次生灾点 5.3 处 /100km²,占评价区总面积的 39.46%;低危险区面积为 16557.36 km²,灾点平均密度为 3.4 处 /100km²,震后次生灾点 2.1 处 /100km²,占评价区总面积的 37.06% (表 3、4)。

表 3 地质灾害危险性评价结果表

危险等级	危险指数范围	单元数	面积 (km ²)	震前 +震后灾点总数				灾点密度 (处 /km ²)
				崩塌	滑坡	泥石流	总数	
高危险	>0.438	1049372	10493.72	411	1157	289	1911	0.183
中危险	0.332 - 0.438	1763164	17631.64	419	1091	100	1641	0.089
低危险	<0.332	1655736	16557.36	184	343	7	537	0.034
合计		4468272	44682.72					

表 4 地震次生地质灾害危险性评价结果表

危险等级	危险指数范围	单元数	面积 (km ²)	震后次生灾点数				灾点密度 (处 /km ²)
				崩塌	滑坡	泥石流	总数	
高危险	>0.438	1049372	10493.72	185	692	57	934	0.089
中危险	0.332 - 0.438	1763164	17631.64	283	672	34	989	0.053
低危险	<0.332	1655736	16557.36	186	198	4	338	0.021
合计		4468272	44682.72					

四、地质灾害的预测分析

地质灾害危险性预测评价内容包括:依据地质灾害的历史活动程度、潜在形成地质灾害的地质环境条件和人类工程活动程度、地震烈度及距本次震中及余震发育带的距离等组合条件,对研究区内可能发生地质灾害的可能性做出预测分析。汶川地震震中区属扬子地台地层分区,各时代地层自元古界至新生界均有不同程度出露,受龙门山断裂带切割影响,岩石相对比较破碎。

该区构造运动强烈,地层发生强烈褶皱和断裂,并伴随大量岩浆侵入,岩层遭受构造作用变质、破碎。受龙门山三条主要大断裂(青川—茂汶断裂带、北川—映秀断裂带、江油—灌县断裂带)的影响,龙门山断裂带及其两侧,岩石破碎,完整性差,工程性质差。

本区的易滑地层主要包括:志留系岩性为中~浅变质的灰色、绿色千枚岩;泥盆系岩性为千枚岩、绢云母石英千枚岩、铁硅质灰岩、结晶灰岩、块状灰岩等;三迭系地层岩性为紫灰色厚层泥质粉砂岩、灰色炭质页岩、砂质页岩等。这些地层均为软硬相间地层,存在软弱结构,是本区形成滑坡、崩塌的主要地层。此外,松散碎屑堆积物及地表风

化层由于本区山高坡陡,在降雨等因素作用下,饱水后极易起动与水混合在一起形成泥石流。

预测汶川震中区滑坡、崩塌、泥石流等灾害可能发生在上述地层发育的地区,特别是新滑坡体的边缘和后缘陡坎部位,更容易发生滑坡、崩塌灾害。这是由于先期发生的滑坡、崩塌等灾害已造成周边岩体松动,比其它部位更容易发生滑坡、崩塌等灾害。

依据本区地质灾害的分布特征和岩性组合特征,结合危险性定量评价的结果,圈定了本区次生地质灾害高危险的区域主要包括以下几个地区:水磨镇 - 都江堰 - 汉王镇 - 安县低山丘陵地带,理县 - 薛城 - 汶川 - 茂县 G317、G213国道及两侧沟谷中,卧龙镇 - 映秀镇 S303省道两侧,北川县 S302省道两侧及沟谷中,江油市 - 重华镇 - 雁门镇一带,响岩镇 - 南坝镇 - 凉水镇 S302省道及沟谷中,平武县古城镇 - 水晶镇及 S302省道沿线,青溪镇北部地区小流域内,甘肃文县与四川的省道两侧,武都县城四周及省道两侧。

五、结语及建议

1. 本文只是从宏观上对 2008 年 5 月 12 日汶川大地

震9度烈度带内的地区进行了各类灾害分布规律、形成条件和易发岩层等进行了初步分析。由于资料来源不同,有的地区缺少必要的资料,难免存在偏差,建议补充收集资料后再进行详细的次生灾害评价工作。

2. 本文的评价工作主要针对重灾区恢复重建和居民安置,但在其研究的深度和广度上还有待于深化,应进行后续的风险评价与管理等方面的研究,这对政府进行地质灾害的风险控制和管理更实用,具有实践意义。

3. 震区降雨高峰主要集中在7-8月份,其间的降雨量是5月份降雨量的3倍左右,而目前由于地震的影响,很多山体已经发生滑坡或坍塌,地质结构欠稳定,由此将会带来更多的滑坡和泥石流等地质灾害、道路坍塌、植被被毁以及可能诱发的水库运行安全和余震形成堰塞湖决堤等问题,建议地方政府应当给予高度关注。

4. 依据本文地质灾害危险性评价结果,在汶川地震灾害城镇和居民点恢复重建过程中,应充分考虑次生地质灾害的破坏能力,选址时应尽可能避开高危险区,对于必须在高危险区进行建设选址的,应采取必要的防治措施和加强工程本身的强度,并编制相应的应急预案。

5. 建议政府和科技部门加强和重点支持地震次生灾害形成机理、危险性评估和场地安全评价、区域地壳稳定性评价、国土安全评价、风险评价与风险管理、以及应急预案研究编制等方面的科研工作。

6. 地质灾害的发生往往不是孤立的,而是形成一个灾害链。动力因素主要包括内动力、外动力和人类活动。内动力是决定性因素,外动力和人类活动主要表现为影响因素。地壳运动异常、地应力变化与地质条件耦合是灾害链产生的本质。大地震往往诱发群发性地质灾害。但是,群发性地质灾害究竟是怎样产生的?其动力来源及耦合机制和形成机理是什么?灾害一旦发生其破坏损失程度怎样?发生的概率是多少?目前国内外还没有形成系统的研究理论和方法。建议进行地震次生灾害内外动力耦合作用下地质灾害链研究。这对提高理论研究水平具有重要的理论意义。

(致谢:交通部科学研究院的张庆研究员、王江平副研究员和刘礼勇副研究员等曾与作者一起参加科技部汶川抗震救灾专家组的工作,并提供了部分公路损毁方面的资料,在此表示感谢。)

参考文献:

- [1] 张春山,韩金良,孙炜锋,等. 陕西陇县地质灾害危险性分区评价[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1795 - 1801.
- [2] 刘希林. 四川省泥石流风险评价[J]. 灾害学, 2000, 15(3): 7 - 11.
- [3] 张春山,张业成,马寅生,等. 区域地质灾害风险评价要素权值计算方法及应用[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(6): 84 - 88.
- [4] 张春山,吴满路,张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J].

自然灾害学报, 2003, 12(1): 96 - 102.

- [5] 张春山,张业成,张立海. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害危险性评价[J]. 地质力学学报, 2004, 10(1): 27 - 32.
 - [6] 魏平新,汤连生,张建国等. 基于GIS的广东省滑坡灾害区划研究[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(4): 6 - 9.
 - [7] 张春山. 北京北山地区泥石流灾害危险性评价[J]. 北京地质, 1996, 8(2): 11 - 20.
 - [8] 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.
 - [9] 张春山,张业成,胡景江,等. 中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 559 - 566.
 - [10] R. Fell, K. K. S. Ho, S. Lacasse et al. A framework for landslide risk assessment and management. Fell, Couture & Eberhardt (eds), Landslide Risk Management - Hungr, Taylor & Francis Group, London, 2005, ISBN 04 1538 043 X.
 - [11] Bell F. G. Geological Hazards, Their Assessment, Avoidance and Mitigation. Published by E & FN Spon. London. 1999: 648.
 - [12] Am S. Al-homoud, Gutaiba A. Al-masri. An expert System For Analysis and Design of Cut Slopes and Embankments. Environmental & Engineering Geoscience. 1999, 5(2): 157 - 172.
 - [13] C. J. Van Westen, T. W. J. van Asch, R. Soeters. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? ORIGINAL PAPER, Bulltion of engineering geology and environment (2005) DOI 10. 1007/s10064 - 005 - 0023 - 0.
 - [14] C. J. Van Westen. Landslide hazard and risk zonation - why is so difficult [J]? Bulltion of engineering geology and environment, 2005, 64: 5 - 23.
 - [15] Nichl J E, Shaker A, Wong M S. Application of high - resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment [J]. geographology, 2006, 76(1/2): 68 - 75.
 - [16] Wu Shuren, Jin Yimin, Zhang Yongshuang, et al. investigation and assessment of Landslide hazards of Fengdu county in the reservoir region of Three Gorges Project on the Yangtze River[J]. Environmental Geology, 2004, 45: 560 - 566.
 - [17] 张永波,张礼中,周小元等. 地质灾害信息系统的设计与开发[M]. 地质出版社. 2001.
 - [18] 殷跃平,康宏达,陈波. 三峡工程移民区滑坡防治与利用技术研究. 地质灾害与环境保护 [J]. 2000, 11(2): 135 - 140.
 - [19] 殷跃平,柳源. 中国地质灾害防治研究——对国际减灾十年活动(1990 - 2000)的思索. 工程地质学报 [J]. 2000, 增刊: 1 - 10.
 - [20] 张梁,张业成,高兴和,刘晓燕. 地质灾害经济学 [M]. 河北人民出版社, 2002.
 - [21] 国家地震局. 2001年编制. 中国地震烈度区划图(1/400万) [R]. 北京:地震出版社, 2001.
- (注:参与本文调研的有:孙炜锋,谭成轩,吴树仁,杨为民,张永双,石菊松,王涛,王磊)

责任编辑:李翔