第11卷 第4期 地质灾害与环境保护 Vol. 11, No. 4
2000年12月 Journal of Geological Hazards and Environment Preservation December 2000

文章编号: 1006－4362(2000)04－0323－06

地质灾害风险区划理论与方法

张梁
(中国国土资源经济研究院,北京 101149)

张建军
(首都经贸大学,北京 100069)

摘要: 文章论述了地质灾害风险基本概念,地质灾害风险区划原理和区划方法,构造了地质灾害风险评价指标和模型,建立了地质灾害风险区划的理论基础。

关键词: 地质灾害风险; 风险区划; 风险模型
中图分类号: P694 文献标识码: A

1 地质灾害的基本概念

地质灾害的概念是理论基础。这个概念的含混,给防灾工作带来了一些影响。所以必须确切界定地质灾害一词的本质含意。

对地质灾害的理解不一。比较有代表性的有:

(1)地质灾害是地质环境的一种变异现象[1]。

(2)直接或间接恶化环境、降低环境质量,危害人类和生物圈发展的地质作用,都属于地质灾害。如:地震、地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降等[2]。

(3)地质灾害就是指那些对人类生命财产安全造成危害或潜在威胁的自然或人为地质作用[3]。

(4)所谓地质灾害,就是在自然和人为因素的作用或影响下形成的,对人类生命财产、环境造成损失的地质作用(现象)。按致灾速度可分为突变性和缓变性两大类:前者如崩塌、滑坡、泥石流等,习惯上的狭义地质灾害;后者如水土流失、土地沙漠化等,又称环境地质灾害[4]。

从这些定义可以看出,尽管各家表述不一,但实质内容并无太大的差别。基本可以这样理解,地质灾害的内涵是对人类生命财产造成损失的地质作用。外延包括地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、水土流失等等。很显然,这些定义将地质灾害的基本属性认为是一种作用。只不过这种地质作用有特殊性,它是造成了人员伤亡和经济损失的地质作用。为了进一步作出区别,一些专家明确指出:只有造成损失的地质作用才能成为地质灾害;而发生在没有人居住、没有工程活动的地方、没有造成损失的,只能成为外动力地质现象。

地质灾害作为一种灾害,就其基本属性来说是对人类生命财产造成的危害,这是它被当作一种灾害的根本原因,是与其他灾害的共同之处。当然,作为地质灾害,也有与其他灾害不同之处,那就是:它是由地质作用引起的,而不是其他原因引起的。实际上,无论哪一种灾害,作为灾害其共性就是对人类生命财产造成危害。只是根据成因不同而被人们分为不同的灾种而已,如地震灾害就是地震引起的灾害;气象灾害就是大气对人类生命财产造成的损害;海洋灾害就是海洋环境发生变异或激烈变化,导致在海上或海岸发生的灾害。因此,近年来各方面专家对地质灾害的理解逐渐趋向一致,比较有代表性的有:

(1)地质灾害是由于地质作用使地质自然环境恶化,并造成人类生命财产毁损以及人类赖以生存的资源、环境严重破坏的事件[5]。

(2)地质灾害是指各种(天然的和人为的)地质作用对人民生命财产和国家建设事业(人类的生存与发展)造成的灾害[6]。

(3)地质灾害定义为:各种地质作用对人类生命财产造成的危害[7]。

(4)地质灾害定义:地球在内动力、外动力或人为地质动力作用下,发生的危害人类生命财产、生产

收稿日期: 2000-05-08

生活活动或破坏人类赖以生存与发展的资源与环境的不幸事件[8]。

地质灾害内涵应该包括以下两方面内容。

第一,强调致灾的动力条件,即因地质作用形成的灾害事件才是地质灾害。地质作用是促使组成地壳的物质组份、构造和表面形态等不断变化和发展的各种作用。地质作用是地质动力引起的。地质动力的能源来自太阳辐射,日月引力、地球转动、重力和放射性元素蜕变等,据此分为内动力地质作用和外动力地质作用。除上述自然地质作用外,随着人类工程-经济活动的规模和范围迅速扩展,人类对地球表面形态和物质组成产生愈来愈大的影响,有人把这类作用称为人为地质作用。因此,由内动力地质作用、外动力地质作用和人为地质作用导致地质环境变化形成的灾害称为地质灾害。

第二,强调灾害事件的后果,即对人类生命财产和生存环境产生毁损的地质事件称为地质灾害,而那些仅仅是地质环境恶化,但并没有直接破坏人类生命财产和生产、生活环境的地质事件,则只是一种变异,尚未构成灾害,对此,我们习惯地称其为环境地质问题。例如发生在荒无人烟地区的崩塌、滑坡、泥石流等,没有直接造成人类生命财产的毁损,所以不称为灾害。同样的崩塌、滑坡、泥石流发生在社会经济发达的地区,造成不同程度的人员伤亡和财产损失,则称为灾害。基于这种认识,地质灾害不但具有一定的自然属性,而且具有不可忽视的社会属性,因此,在地质灾害研究中,只注重分析灾害强度、频次等自然特征,忽视成灾区人口、经济等社会属性的调查分析,是不妥当的。

2 地质灾害风险基本概念

2.1 金融投资风险的概念

风险是与不确定性或可能性联在一起的。一种意见认为:风险就是实现预期投资收益的不确定性;另一种意见认为:风险应是投资结果损失的可能性。

理论模型有(1)概率度模型:以投资损失发生的概率计量投资风险的大小。$K=K(R)=P(x<\overline{R})$

式中,K 为风险值;$\overline{R}$ 为预期投资收益;x 为投资损益变量;P 为概率函数符号。其中,第一种意见下:$\overline{R}>0$,在第二种意见下,$\overline{R}\leqslant 0$。

(2)离散度模型:以投资工具价格或损益量波动的均方差计量投资风险的大小。$K=K(x)=\mathrm{Var}(x)$

式中,x 为投资损益变量;Var 为方差函数符号

第三种意见认为上述两种观点均有失偏颇,认为风险是与不确定性和相应的不利投资后果同时相联系的,是两者的对立统一,只有在不确定性可能给投资者带来损失时,或者说,只有在投资损失具有不确定性时,才构成投资风险,两者缺一不可,通常以一定置信水平下投资工具所可能发生的最大投资损失计量风险,即 $K=K(L,L_p)$

式中,L 为投资损失变量;L_p 为投资损失发生的概率。这种观点是在综合前两种观点的基础上而发展出来的,即考虑了可能发生的投资损失,也考虑了投资损失发生的不确定性。是一种比较全面,先进的风险概念,可以避免和消除前两种观点的缺陷,但关键是采用何种具体的计量函数形式。

投资风险的定义[9]:在特定的客观条件下,由于不确定性因素的存在,投资本金在一定的时间内以一定的概率水平遭受损失的期望程度。$K=K(T,L,L_p)=E_T(L)$

式中,K 为风险值;T 为时间变量;L 为时间 T 内的投资损失变量;L_p 为时间 T 内遭受损失 L 的概率变量;E_T 为变量在时间 T 内的期望值函数形式。

2.2 地质灾害风险的概念

地质灾害风险具有客观性和不确定性

(1)客观性:地质灾害风险是客观存在的,不以人们的意志为转移,这是由于地质灾害的形成、发展、运动过程中各种不确定性因素的客观存在而决定的。人们只能认识这些不确定性因素,但却无法根本消除这些不确定性因素,这些不确定性因素的运动具有随机性,人类采取预防措施,即有可能消弱或减少一些不确定因素;人类不合理的工程经济活动,则有可能诱发和加大这些不确定因素,使灾害风险增大。

(2)不确定性:地质灾害风险是地质灾害发生并造成一定损失的不确定性。因为,地质灾害的发生是由很多因素(条件)促成的,这些因素的变化受地形地貌条件、地质构造、岩性条件、水文气象条件、人类工程经济活动条件所制约,这些条件的变化具有不确定性。同样强度的灾害造成的可能损失也有很多不确定性。受险对象的类型、时空分布、价值和易损性等都是不确定性因素。这种不确定性在短期内也许是无规律可循的,概率是用来测度不确定性程度的有效数学工具,地质灾害的发生概率可以通过历史灾害发生数据进行估算。

地质灾害风险的不确定性,反映了自然界本身固有的不确定性与人类对自然界的认识能力之间的关系。可以说,这一特性的两方面是互为消长的。随着科学技术的进步,灾害科学研究的发展,灾害发生的不确定性必将趋于减小。然而,由于自然界以及社

会经济的复杂多变,加之未来人口发展,经济、环境资源受随机现象的影响而难以预测,灾害发生的不确定性依然存在,不可能因人为的防灾工程和预警预报系统的完善而降为零,即灾害发生的不确定性所带来的成灾风险是自然界本身固有的,很难完全避免。因此,灾害乃至灾害经济的研究必然要以风险客观存在这一命题为前提条件,否则,一切与之有关的研究便成了杞人忧天。

地质灾害风险包含两个主导因素,①某种灾害事件的发生概率(P_C),②事件的后果($C(v)$)。因此,地质灾害风险可定义为:地质灾害发生并导致一定损失水平的可能性。

$$R=f(P_C,C(v))$$

式中,R 为地质灾害风险值;P_C 为地质灾害发生概率;$C(v)$为地质灾害期望损失值。

3　地质灾害风险区划理论方法

3.1　地质灾害风险评价原理

地质灾害自然属性与社会属性并重,这是地质灾害研究不同于传统工程地质学研究的特点。因此,地质灾害的风险特征一方面是自然属性,表现为地质灾害发生、发展内在的随机性和不确定性。地质灾害的发生受内在不确定性因素影响,使得人类无法准确预测和完全控制,这就构造了风险的自然属性。第二方面社会属性,表现为地质灾害的危害对象-受灾体的承受能力的不确定性,各种防灾工程的可变性,人类社会和经济活动的日益加剧而导致不确定因素增加等,构成了风险的社会属性。

地质灾害发生和危害的不确定因素是导致地质灾害存在风险的主要原因。因此,地质灾害风险是地质灾害发生及造成损失的可能性或不确定性。是风险源(可能的致灾因子)的数量、价值和脆弱性以及人类社会的防减灾能力,人类的管理和政策水平等主要因素综合作用的产物。地质灾害风险评价是对这种不确定性进行定量评估与制图,一般包括风险源(可能的致灾因子)的危险性评价、受险对象(可能的承灾体)的易损性评价和可能灾情(期望损失)评价三个部分。

3.1.1　风险源的危险性评价

(1)蕴险环境的稳定性

蕴险环境是蕴育发生风险源的空间及其填充实体和过程。例如:滑坡的蕴险环境是具有易于滑动的滑面物质,结构和有效临空面广阔的坡体。蕴险环境的稳定性是指影响灾害形成的各类自然条件在一个较大时空尺度上的时空一致性,是决定在什么地方和在什么时候可以促成什么样的风险源发育发展的根本。

(2)风险源的危险性

导致地质灾害风险存在的风险源是可能发生的致灾因子(或自然变异),通常包括自然风险源和人为自然风险源两类。某单类风险源的危险性是指该类风险源转化为致灾因子的时间(持续时间)和地点(区域)、物理强度和对其承灾体的影响强度。这种单类风险源的发生时间、地点、物理强度和对其承灾体的影响强度,以及这些变量的概率分布就构成了该类风险源的危险性。因多种风险源而产生的一个地区的地质灾害综合危险性,则是各单类地质灾害危险性在该区域上的叠加。但不是简单的线性叠加,其主要与如下因素有关:风险源的种类及其时空配置关系,各单类风险源的危险性及其时空耦合形式等。

3.1.2　受险对象的易损性评价

受险对象是可能的承灾体。受险对象的易损性是相对于风险源而言的,某风险对象相对于某风险源的易损性是该风险源与该受险对象相互作用水平的度量。假如某受险对象相对于某风险源的易损性足够低,以致于该风险源不可能对其造成破坏作用,那么两者相互作用而产生的风险就是 0,即不存在风险。某受险对象的易损性水平与风险源的种类和强度,受险对象的结构和功能、风险源及受险对象的时空配置关系以及人类社会的综合防减灾能力都有联系。例如:相对于一个可能的泥石流而言,钢筋混凝土的楼房和砖混结构的平房相对于该泥石流的易损性是不同的;同样的一栋楼房位于泥石流主沟口和位于泥石流沟边上,其易损性也是不同的。

易损性评价内容有

(1)社会易损性:　主要是地质灾害对人类的可能伤亡。人对地质灾害的易损性主要集中于一些特殊的脆弱团体、处在危险中的生活方式、风险观念、地方现有的风俗习惯、贫困程度等方面。贫困程度很重要,因为穷人经受的风险越多,他们越少关心不常发生的灾害;而且,贫困的人一般多住在边远地区、陡坡下等地质灾害易发区。灾害发生的频次高、风险大。因此应评价人口密度、人口构成、贫困程度、风险观念、保险发展水平等。

(2)物质易损性:　主要评估建筑物、基础工程、工业、生命线工程等的易损性,研究不同类型建筑物等承受不同地质灾害不同强度侵袭时的破坏率,通过工程分析和实际破坏调查进行。

(3)经济易损性:　定量评估可能造成经济财富和发展的损失。地质灾害可能对国民经济的影响,对

减产、就业、重要的服务及生产活动的影响。

(4)资源环境易损性： 评估地质灾害对自然资源和生态环境的破坏效应及影响。

3.1.3 可能灾情(期望损失)评价

灾害是由灾害体加上承灾体构成的,地质灾害期望损失计算应用下式:

$$Sq=\Sigma Ej \cdot P \cdot R$$

式中,Sq 为地质灾害期望损失;Ej 为承灾区经济价值(包括人的价值、土地价值、建筑物价值、室内财产价值);R 为某种地质灾害的破坏率;P 为某种地质灾害的发生概率。

地质灾害风险区划是按计算的地质灾害期望损失值分成不同等级风险区,针对不同风险区的特点提出减少风险的各项对策。基本原理如下图。

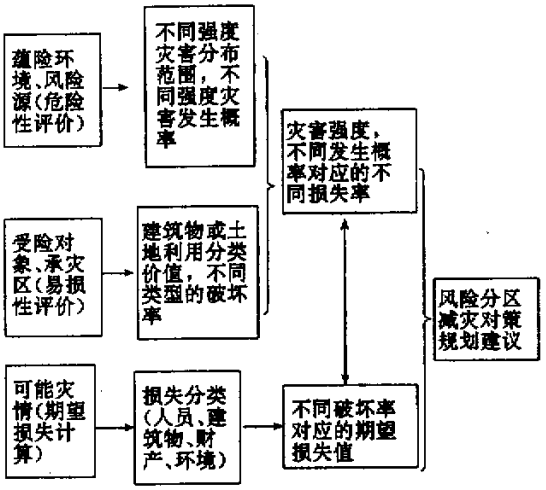

图 1 地质灾害风险区划原理框图

Fig. 1 The principle of geo-hazard risk zonation

地质灾害风险区划可分解为 4 个相互关联的步骤:

(1)地质灾害危险性评价： 在地质灾害系统中,风险源称为致灾因子。就地质灾害而论,风险源就是特定地质灾害事件的地质—水文条件,诱发因素形成的灾害体。地质灾害危险性评价的主要任务是,研究给定区域内各种强度的地质灾害发生的概率或重现期,地质灾害发生时空强的可能性。因此,是对已发生灾害的不同强度(规模)、灾害发生概率(频次)、灾害密度进行评价;对潜在地质灾害的形成条件(地形地貌、地质构造、岩性、水文气象、人类工程经济活动)进行评价,圈定灾害危险区,进行地质灾害危险性区划。

(2)灾承体易损性评价： 对危险区内主要建筑物、结构类型、其他固定设备和建筑物内部财产;危险区内的人口数量、分布、质量;土地利用类型和经济发展水平等进行评价。

(3)可能灾情评估(期望损失计算)评估危险区内一定时段内可能发生的一系列不同强度地质灾害给危险区造成的可能后果。

(4)地质灾害风险区划 a. 风险等级划分:根据计算各区块地质灾害期望损失值制定出风险等级划分标准。b. 风险区划图:地质灾害风险区划是在风险评价基础上进行的,其基本方法是以地质灾害风险程度的区域分布为主要依据,结合区域自然条件和社会经济条件,将地质灾害风险水平相近,且地质灾害形成条件类似的地区划为同一亚区或区,将地质灾害风险水平不一,且地质灾害形成条件有较大差异的地区划为不同的亚区或区,以显示地质灾害的空间变化特点及区域规律。风险区划图是以不同风险等级标示的风险程度分区图。c. 分区损失风险描述。d. 减灾措施。

4 地质灾害风险评价指标体系

4.1 危险性评价指标体系

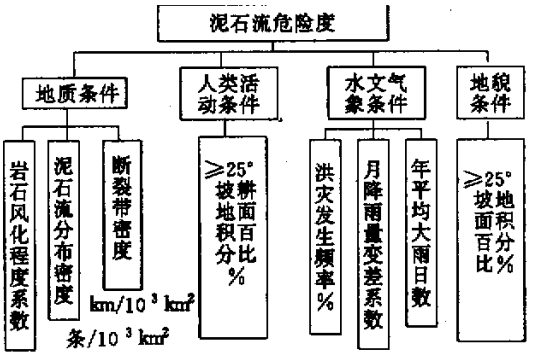

图 2 泥石流危险性评价指标

Fig. 2 Index of risk evaluation of debris flow

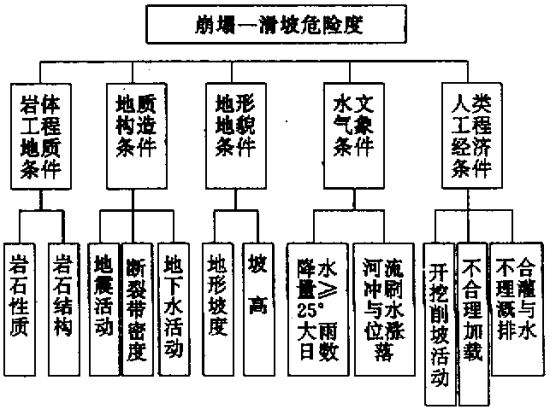

图 3 崩塌—滑坡危险性评价指标

Fig. 3 Index of rockfall-landslide risk assessment

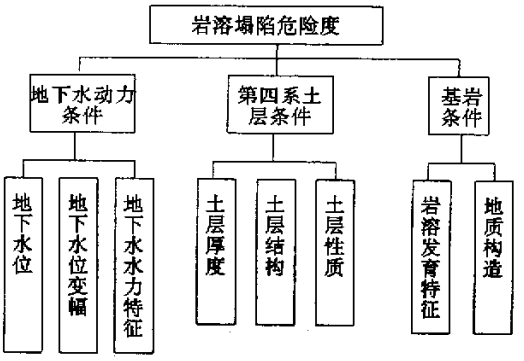

图 4　地面塌陷危险性评价指标

Fig. 4　Index of ground collapse risk assessment

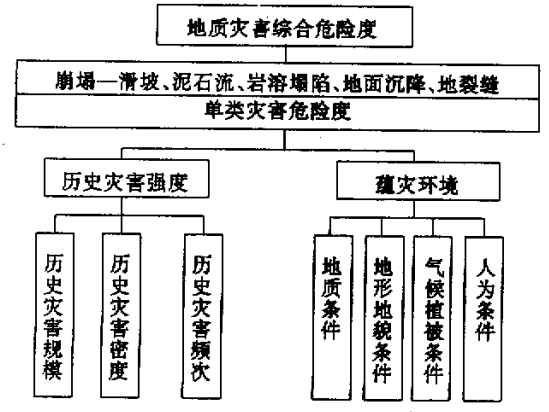

图 5　地质灾害综合危险性评价指标

Fig. 5　Index of comprehensive risk assessment of geo-hazards

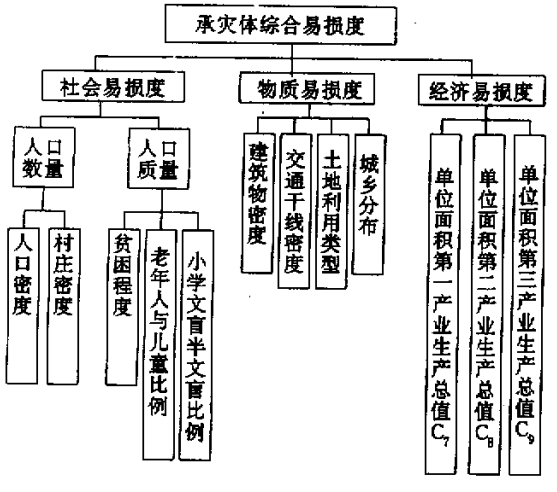

图 6　承灾区易损性评价指标体系

Fig. 6　Index of vulnerability assessment of disasterous area

5　地质灾害风险评价模型

5.1　致灾因子模型 $P_H(T,S,M)$

目前，对致灾因子的研究，常出现的两种形式是：

(1)物理模型关系式 $M=\Phi(T,S)$，即对给定的空间 S，预报何时量值为 M 的地质灾害会发生。

(2)概率关系式 $\mathrm{Prob}(T,S,M)$，即在 T 时(或时段内)，在 S 位置(或区域)上量值为 M 的地质灾害发生的概率值。

显然，Φ 是预测模型，Prob 是统计模型，它们均没有考虑自然系统的复杂性和人类认识能力的阶段局限性。事实上，许多灾种并没有实用的预测模型，统计结果也很不可靠。在这种情况下，致灾因子模型应该包含有显示未确知度的成分。最简单的模型是用模糊集理论中的用可能性概念表达的可能性概率模型。$\mathrm{Poss}(T,S,M,P)$，即在 T 时，S 位置上最大值为 M 的灾害发生概率为 P 的可能性。该模型说明，P 估计不准，有未确知度。这样，我们就把不确定性从上一个层次(P 估计不准)驱赶到了下一个层次(可能性估计不准)中。这实际上也是用分明性向模糊性步步进逼。

5.2　易损性模型 $D=f(M)$

从理论上讲，或许能依据经衰减后的致灾因子强度 M 由某个函数关系计算出承灾体的破坏程度 D。然而实际中，很难找到所需要的函数关系 f。通常的做法是：

用历史灾情资料统计 M 与 D 的关系，例如线性回归方法。或用模糊关系矩阵来替代这种函数的关系，即，输入 M，输出为 D 只是某种程度。一个 M，对应多个可能的破坏程度。统计结果体现了一种频率分布，常取期望值走向为函数曲线；模糊关系体现一种标准模式向非标准模式的过渡。

5.3　经济损失和人员伤亡模型 $L=g(D)$

对地质灾害系统，几乎不可能用物理模拟的方式寻找关系 g，更多地是用统计方法，并用专家经验来加以校正。显然，模糊关系矩阵仍然是表达 g 的较好办法。

利用模糊综合评价及灰色聚类综合评价技术，设计了一种多元、多级(n 元、m 级)综合评价法。其评价模型为：

$$Z_{sm} = \mathrm{Max}\{B\}$$
$$= \mathrm{Max}\{A \cdot R\}$$

$$= \mathrm{Max}\{^{[A_1,A_2,\cdots,A_n]} \cdot \begin{bmatrix} R_{11}, & R_{12}, & \cdots, & R_{1m} \\ R_{21}, & R_{22}, & \cdots, & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1}, & R_{n2}, & \cdots, & R_{nm} \end{bmatrix}\}$$

5.4 风险区划模型 $P(L,T,S)$

如果 f,g 均是一一对应的数学映射，则在致灾因子上表现出来的概率特性可以十分容易地过渡到损失上面去。假定 $P_H(T,S,M)$ 已知，则

$$\begin{aligned} P(L,T,S) &= P(g(D),T,S) \\ &= P(g(f(M)),(T,S) \\ &= PH(T,S,g(f(M)) \end{aligned}$$

事实上，一一对应的 f,g 就是存在，也不易找到。当它们用模糊关系表达时，风险区划模型就是模糊关系的合成算法。最简单的是 max－min 方式。例如，设用 $R_L=\{l_{kj}\}$ 来表达 g，即程度为 k 等级的破坏产生程度为 j 的损失的可能性值是 l_{kj}，又假定用 $R_D=\{d_{ik}\}$ 表达 f，则 $P=R_D \cdot R_L=\{r_{ij}\}$ 中的 r_{ij} 可由下式算出：

$$r_{ij} = \max(\min(d_{ij},l_{ij}))$$

r_{ij} 表达了程度为 I 等级的灾害打击产生损失是 j 等级的可能性。“等级”本身也是一个较粗糙的概念。

参考文献

[1] 方鸿琪．城市地质灾害的预测与防治[J]．中国地质灾害与防治学报，1990，1(1)．

[2] 郭希哲．我国地质灾害评估和防治对策建议[J]．中国地质灾害与防治学报，1990，1(1)．

[3] 夏其发．论外力作用形成的地质灾害的预报和防治[J]．中国地质灾害与防治学报，1990，1(1)．

[4] 段永侯 等．中国地质灾害[M]．北京：中国建筑工业出版社，1993．

[5] 张梁 等．关于地质灾害涵义及其分类分级的探讨[J]．中国地质灾害与防治学报，1994，5(增刊)．

[6] 柳源．论地质灾害的基本属性[J]．中国地质灾害防治学报，1999，10(3)．

[7] 姜宝军．衍生金融工具的价格风险、收益及其非对称性研究[D]．北京：中国人民大学，1998．

[8] 张梁 等．地质灾害灾情评估理论与实践[M]．北京：地质出版社，1998．

[9] 张梁．地质灾害风险评价理论与方法[J]．中国地质矿产经济，1996，9(4)．

[10] 苏桂武 等．中小城镇和城市边缘区自然灾害风险构成要素的基本特征[A]．中国可持续发展研究会 1999 年学术年会论文集[C]．1999．

[11] 刘希林．泥石流危险性评价[M]．北京：科学出版社，1995．

[12] 雷明堂 等．城市岩溶塌陷地质灾害风险评估[J]．中国地质灾害与防治学报，2000，11(1)．

[13] Huang C F. Concepts and methods of fuzzy risk nalysis[A]. Risk research and Management in Asian Perspective[C]. Proceedings of the First Chain-Japan Conference on Risk Assessment and Management. Bejjing: International Academic Publishers, 1998. 12－13.

[14] Huang C F. Fuzzy risk assessment of urban natural hazard [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 83: 271－282.

[15] 汪培庄．模糊集与随机集落影[M]．北京：北京师范大学出版社，1985．

[16] 黄崇福．自然灾害风险分析的基本原理[J]．自然灾害学报，1999，8(2)．

THE THEORY AND METHOD OF RISK ZONATION OF GEO－HAZARD

ZHANG Liang

(China Research Institute of Land Resources and Economy, Bejing 101149)

ZHANG Jian-jun

(Capital Economic and Trading University, Bejing 100069)

Abstract: The article discusses the basic concept of geo-hazard risk, and type classification principle and method of geo-hazard risk zonation. It also develops a geo-hazard risk model, and establishes the theoretical basis of geo-hazard risk zonation.

Key words: geo-hazard risk; risk zonation; risk model

作者简介：张梁(1943—)男，研究员。从事地质环境经济、地质灾害经济研究工作。