

文章编号：1006-6616(2004)01-0007-12

地质灾害风险评价的理论与方法

马寅生¹，张业成²，张春山¹，王金山³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081；

2. 国土资源部实物资料中心，河北 三河 065201；

3. 黑龙江省煤田地质勘察设计院，黑龙江 哈尔滨 150008)

摘要：地质灾害风险研究是近年来新兴起的一个研究领域，并且越来越受到人们的重视与关注。本文系统阐述了地质灾害风险研究的现状、地质灾害风险的定义及其主要特征、地质灾害风险构成与基本要素，在此基础上进行了地质灾害风险评价类型划分，建立了地质灾害风险评价系统、地质灾害风险评价的指标体系以及地质灾害风险评价的步骤与方法。

关键词：地质灾害；风险评价；实例

中图分类号：P694

文献标识码：A

1 地质灾害风险研究现状

地质灾害风险研究是自然灾害风险研究的一个分支，是近年来兴起的一个越来越受到重视的新领域。

国内外自然灾害的研究历史久远，但有关自然灾害风险研究仅是近几十年才兴起的一个新的领域，虽然有关理论和方法迅速发展且日益丰富，但迄今尚没有形成完整的体系。尽管如此，已有的自然灾害风险研究与实践不但为减灾提供了重要的基础依据，而且为合理开发国土资源、保护区域环境发挥了重要作用。

自20世纪70年代以来，国外一些发达国家开始进行比较系统的灾害风险评估及相关理论、方法研究。美国于1970年开始对加利福尼亚州的地震、滑坡等10种自然灾害进行了风险评估，1973年完成，得出1970~2000年加利福尼亚州10种自然灾害可能造成的损失为550亿美元^[1]。与此同时，由美国地调所和住房与城市发展部的政策发展与研究办公室，联合支持对洪水、地震、台风、风暴潮、海啸、龙卷风、滑坡、强风、膨胀土等9种自然灾害进行预测评估，对美国各县发生的灾害建立起一套预测模型，估算9种灾害到2000年的期

收稿日期：2003-10-09

基金项目：本文是“黄河上游新构造活动与地壳稳定性调查研究”国土资源大调查项目的部分成果（项目编号：200012400103）

作者简介：马寅生（1962-），男，研究员，主要从事构造地质、新构造、地质灾害和构造应力场研究。Email：mayinsheng@sohu.com

望损失。美国组成一个由 17 位成员组成的专门委员会,制定了减灾十年计划,把自然灾害评估列为研究的重要内容,要求开展单类的或者综合的灾害风险评估工作。日本、英国等一些国家近年来也陆续开展了地震、洪水、海啸、泥石流、滑坡等灾害风险分析或灾害评估,并把有关成果作为确定减灾责任与实施救助的重要依据^{2~9]}。

为了推进广泛的国际间协调与合作,联合国在 1987 年通过决议,确定在 20 世纪最后十年开展“国际减轻自然灾害十年”活动。1991 年,联合国国际减灾十年(IDNDR)科技委员会提出了《国际减轻自然灾害十年的灾害预防、减少、减轻和环境保护纲要方案与目标》(PREEMPT),在规划的三项任务中的第一项就是进行灾害评估,提出:“各个国家对自然灾害进行评估,即评价危险性和脆弱性。主要包括:①总体上哪些自然灾害具有危害性;②对每一种灾害威胁的地理分布和发生间隔及影响程度进行评价;③估计评价最重要的人口和资源集中点的易灾性。”把自然灾害评估纳入实现减灾目标的重要措施。一些国际组织提出了多项重大自然灾害评估的国际合作计划^{10~16]}。如 90 年代联合国国际减灾十年科技委员会组织实施的“全球地震危险性评估计划”等,使世界范围的地震研究进入一个新的阶段。

近年来,专门性的地质灾害风险评价研究也得到长足进展,特别是在滑坡、泥石流等灾害危险性评价方面,更是蓬勃发展^{17~37]}。例如 Jefferies 等 1996 年提出了用 Bayesian 方法进行风险概率的评估。Cross 于 1998 年采用滑坡敏感性指数 LSI (landslide susceptibility index) 作为定量化指标进行滑坡灾害危险性区划,并在英国 Derbyshire 地区进行了实践。Mario Mejia-Navarro & Ellen E. Wohl (1994) 在分析 Colombia 的 Medellin 地区滑坡、泥石流等斜坡不稳定性引起的区域地质灾害敏感性和土地及生命易损性的基础上,利用 GIS 技术将二者合成产生了风险评价分区图。R. Anbalagan & Bhawani Singh (1996) 在 R. Anbalagan (1992) 前期关于山区滑坡灾害评估和区划制图研究的基础上,提出了风险评价制图的新方法——风险评价矩阵(RAM)。Ragozin 等于 2000 年提出了应用于滑坡灾害风险评价的危险性指标和易损性指标以及相应的表达式。Johnson 等于 2000 年在澳大利亚一项为城市发展规划服务的崩塌、滑坡、泥石流灾害预测中,把地质灾害危险性、易损性和风险评价作为一体,以 GIS 软件为技术平台,分别采用平面和三维评价系统,对 Cairns 地区进行了崩滑流地质灾害的危险性分析和风险区划研究。P. Aleollt (2000) 采用 GIS 技术对意大利北部阿尔卑斯山前缘 Piedmont 地区的滑坡、洪水、雪崩、山谷口堆积等灾害的危险性及总的风险进行了区划性制图研究。M. Michael-leiba 等(2000) 在澳大利亚的一项城市发展规划项目的斜坡地质灾害研究中,把斜坡灾害的危险性、易损性、风险评价作为一体,以 GIS 软件为技术平台,分别采用平面和三维评价系统,对 Cairns 地区进行了斜坡地质灾害的危险性和风险区划研究。A. Ragozin (2000) 从理论上研究了滑坡灾害风险评价中的危险性、易损性和风险性,提出了考虑危险性评估目标有效期限在内的单个滑坡灾害危险性指标,并用其主要控制因素的概率乘积表示;对于区域性滑坡灾害评估,提出用给定地区的面积、滑坡发生面积、滑坡数量和时间之间的关系建立定量模型。

近几十年来,我国自然灾害风险评估研究得到广泛而又迅速的发展^{38~42]}。我国比较系统深入的灾害风险评估当属地震灾害。其代表性的工作成果首先是由国家地震局先后完成的三代《中国地震烈度区划图及使用规定》。该图在对全国区域地震危险性评估基础上,确定了不同地区一般场地条件下在未来一定期限内可能遭遇超越概率为 10% 的烈度值,即地震基本烈度。与此同时,国家地震局震害防御司等先后进行了“中国地震灾害损失预测”、“未来地震损失评估方法”等研究。通过这些工作,建立了地震灾害评估指标体系,基本完善了

评估内容，初步形成了比较系统的灾害评估理论和方法。水利、农林、气象等部门和一些专家分别对一些区域性洪水灾害、森林灾害、台风灾害等进行了风险分析或灾情预测评估，编制了风险图，提出了灾情评估或风险评价的方法和技术。虽然这些工作还比较肤浅、零散，但对指导行业减灾，提高灾害风险管理水平发挥了一定作用。

在单类自然灾害风险研究不断发展的同时，综合性自然灾害风险研究也开始起步。于光远、马宗晋、高庆华、张业成、苏桂武、黄崇福、李永善、张显东、于庆东等对自然灾害风险特征、风险要素、指标体系、评价模型等进行了广泛探索，使自然灾害风险评价理论与方法得到不断发展丰富^[38-54]。与此同时，马宗晋、高庆华、张业成等在对中国大陆洪水、地震、气象、地质、风暴潮等 5 类、16 种自然灾害时空分布与发展趋势分析的基础上，进行了综合风险评估与保险区划。

近年来，地质灾害风险研究得到广泛关注。张梁、张业成、罗元华、柳源、金晓媚等对地质灾害属性特征、风险构成、易损性及其在灾害风险评价中的地位进行了研究；殷坤龙、晏同珍等对滑坡灾害危险性和斜坡不稳定性的空间预测与区划进行了系统研究，先后提出了定量评价的信息分析模型、多因素回归分析模型、判别分析模型等，并对秦巴山区和三峡库区滑坡灾害进行了危险性分析与区划；刘希林等提出了判断泥石流危险性程度和评估泥石流泛滥堆积范围的统计模型，并对云南和四川省泥石流灾害风险进行了评估；胡瑞林等初步提出了地质灾害评价的计算机预测系统与应用方法。这些研究取得的成果，不但丰富了地质灾害研究内容，而且有的已为减灾管理发挥了作用。

当前，自然灾害风险研究正处于方兴未艾之时，地质灾害作为自然灾害的一个重要类型，其研究将与自然灾害风险研究同步，甚至超前发展。其基本趋势是：从历史与现状分析走向预测与研究相结合；从个体分析走向个体与区域研究相结合；从定性分析走向定量评价；从单项要素分析走向综合要素评价；从传统的调查统计和手工制图走向以 GIS 技术为核心的模型化评价与计算机制图，并向网络技术化发展。

2 地质灾害风险定义及其主要特征

目前对灾害风险这一概念有不同的定义和解释。大部分权威性辞典的定义为“面临的伤害和损失的可能性”；“人们在生产劳动和日常生活中，因自然灾害和意外事故侵袭导致的人身伤亡、财产破坏与利润损失”。1984 年，联全国教科文组织 UNESCO 将其定义为：由于某特定的自然灾害对经济、社会、人口所可能导致的损失。

基于自然灾害风险的普遍意义和地质灾害减灾需要，将地质灾害风险定义为：地质灾害活动及其对人类造成破坏损失的可能性。它所反映的是发生地质灾害的可能机会与破坏损失程度。

地质灾害种类很多，根据其活动特点可分为突发性地质灾害和缓发性（累进性）地质灾害两类。地质灾害风险一般是对突发性地质灾害的特征表述或量度。地质灾害风险具有一般自然灾害风险的主要特点，主要表现在下述两个方面。

一是风险的必然性或普遍性。地质灾害是地质动力活动、人类社会经济活动相互作用的结果。由于地球活动不断进行，人类社会不断发展，所以地质灾害将不断发生。从这一意义上说，地质灾害乃是一种必然现象或普遍现象。

二是风险的不确定性或随机性。地质灾害虽然是一种必然现象，但由于它的形成和发展

受多种自然条件和社会因素的影响,所以具体某一时间,某一地点,地质灾害事件的发生仍是随机的,即在什么时候、什么地点发生何种强度(或规模)的灾害活动,将导致多少人死亡或造成多大损失,都具有很大的不确定性。

地质灾害风险特征是构建地质灾害风险评价理论与方法的基础或出发点。基于地质灾害风险的复杂性,对地质灾害风险认识与评价是一个不断深化、完善的理论研究与技术方法的创新过程。

3 地质灾害风险构成与基本要素

地质灾害风险程度主要取决于两方面条件:一是地质灾害活动的动力条件——主要包括地质条件(岩土性质与结构、活动性构造等)、地貌条件(地貌类型、切割程度等)、气象条件(降水量、暴雨强度等)、人为地质动力活动(工程建设、采矿、耕植、放牧等)。通常情况下,地质灾害活动的动力条件越充分,地质灾害活动越强烈,所造成的破坏损失越严重,灾害风险越高。二是人类社会经济易损性,即承灾区生命财产和各项经济活动对地质灾害的抵御能力与可恢复能力,主要包括人口密度及人居环境、财产价值密度与财产类型、资源丰度与环境脆弱性等。通常情况下,承灾区(地质灾害影响区)的人口密度与工程、财产密度越高,人居环境和工程、财产对地质灾害的抗御能力以及灾后重建的可恢复性越差,生态环境越脆弱,遭受地质灾害的破坏越严重,所造成的损失越大,地质灾害的风险越高。上述两方面条件分别称为危险性和易损性,它们共同决定了地质灾害的风险程度。基于此,地质灾害的风险要素亦由危险性和易损性这两个要素系列组成。危险性要素系列包括地质条件要素、地貌条件要素、气象条件要素、人为地质动力活动要素以及地质灾害密度、规模、发生概率(或发展速率)等要素。易损性要素系列包括人口易损性要素、工程设施与社会财产易损性要素、经济活动与社会易损性要素、资源与环境易损性要素。

4 地质灾害风险评价类型

针对不同目的或服务对象,可进行不同类型的地质灾害风险评价。

根据风险评价灾种,可分为单灾种风险评价和多灾种综合风险评价。二者的评价内容和方法基本相同,单灾种风险评价所涉及的要素比较单一,因此其评价方法和过程比较简单;而多灾种综合评价则需要单灾种评价基础上,进一步对比不同种类地质灾害的危害程度,进而评价地质灾害的综合风险程度。

根据地质灾害风险评价范围或面积,将地质灾害风险评价分为点评价、面评价、区域评价(表1)。

点评价是指对一个地质灾害体或一个具有相同活动条件和特征的相对独立的灾害群的灾情或风险程度进行的评价。评价范围一般不超过几十平方公里,行政区范围一般不超过几个乡(镇)或一个县(市)。面评价是对一个具有相对统一特征的自然区域或社会经济区域(如一个小流域或一个城市)进行的地质灾害风险评价。评价区面积一般从几十平方公里到几千平方公里,行政区范围一般为一个县(市)到几个县(市)。评价的地质灾害一般有几十处或几百处,且常常不是一种地质灾害,而是几种地质灾害的综合评价。区域评价是指跨流域、跨地区的大面积的地质灾害风险评价,评价范围为一省或几省乃至全国区域,面积达

几万到几百万平方公里。评价区内灾害点成千上万，常常难以准确计数，涉及的灾种几乎包

表 1 地质灾害评价范围及其特征表

Table 1 Scope and characteristics of geological hazard risk evaluation

评价类型	点评价	面评价	区域评价
评价对象	灾害体或灾害群灾情与风险	地区地质灾害综合灾情与风险	区域地质灾害总体灾情与风险
评价面积	一般不超过几十平方公里	几十到几千平方公里	几万到几百万平方公里
行政区范围	一般不超过一个县	一个县到几个县	一省或几省到全国
评价意义	为抗灾、救灾和实施防治工程提供依据	为布置防治工程和地区规划提供依据	为宏观减灾决策和制定规划提供依据
评价手段	专门调查统计和必要的观测、试验	专门调查统计	区域调查统计
评价精度	绝对量化	以绝对量化为主	相对量化

括所有类型的地质灾害。

不同范围地质灾害风险评价的目的、基础、途径和方法不尽一致。点评价的对象是具体的单一的灾害体或灾害事件，通过评价要比较准确地量化它的损失水平和风险程度，为具体的防治工程提供依据。点评价是在对灾害活动条件和受灾体易损性进行深入研究基础上进行的，其基本手段除了专门性调查统计外，还需要进行必要的测试和试验。它所使用的各种指标以及得出的不同层次的评价结果，基本上达到绝对的量化程度。面评价的目标是认识一个有限地区的地质灾害的破坏损失程度或风险水平，其意义除了指导灾害防治工程外，还将为地区规划和资源开发提供依据。面评价的内容与点评价基本一致，仍然是危险性评价、易损性评价和期望损失评价，但所采取的调查方法一般限于全面调查统计，辅以必要的重点专门勘查，所使用的指标和各层次的评价结果虽然达到绝对量化程度，但精度要低于点评价。区域评价的目标是对大面积区域性地质灾害的破坏损失或风险程度进行评价，它的意义是为宏观减灾决策和区域经济规划提供依据。区域评价仍以危险性评价、易损性评价和期望损失评价为中心内容，采取的基本方法是区域性调查和相应的统计分析，所使用的指标和各层次的评价结果一般达到相对的量化程度，所取得的评价结果主要体现在风险区划上。

5 地质灾害风险评价系统

地质灾害风险评价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定量化分析与评估。

地质灾害风险评价的目的是清晰地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。

根据地质灾害风险构成，地质灾害风险评价主要包括下列三方面内容：

(1) 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。

(2) 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抵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。

(3) 期望损失分析

在危险性分析和易损性分析的基础上,计算评价地质灾害的期望损失(未来一定时期内地质灾害可能造成的人口伤亡与经济损失的平均值)与损失极值(未来一定时期内可能造成的人口伤亡与经济损失的最高值)。

在上述三方面分析中,危险性分析和易损性分析是地质灾害风险评价的基础,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;期望损失分析是地质灾害风险评价的核心,其目标是预测地质灾害可能造成的人口伤亡、经济损失以及资源、环境的破坏损失程度,综合反映地质灾害的风险水平。这三方面分析相互联系,形成具有层次特点的地质灾害风险评价系统(图1)。

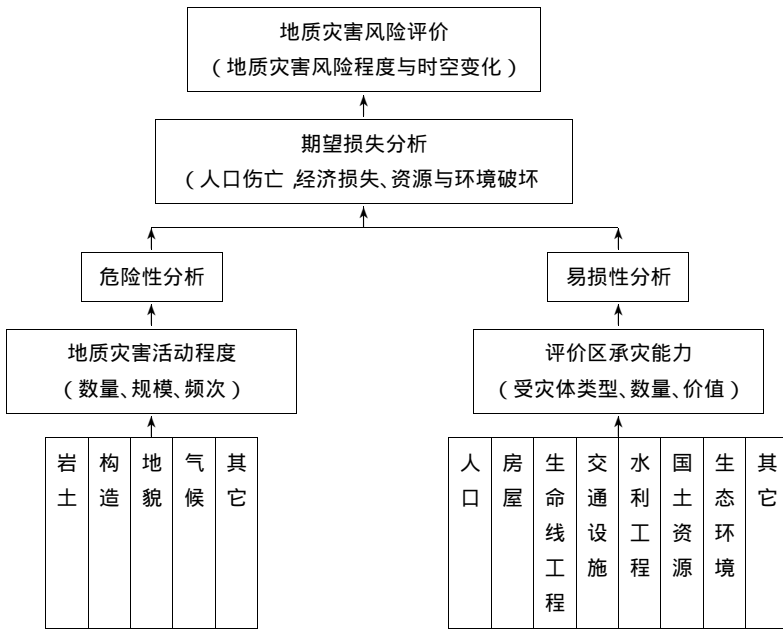


图1 地质灾害风险评价系统示意图

Fig.1 Evaluation system of geological hazard risk

6 地质灾害风险评价指标体系

根据地质灾害风险构成及风险评价内容,风险评价指标分为不同层次、不同方面,它们组成地质灾害风险评价指标体系(表2)。

表 2 地质灾害风险评价指标体系简表

Table 2 Indicator system of geological hazard risk evaluation

分类 \ 分层		基础层指标	分析层指标	目的层指标
危险性	历史灾害	密度、规模、频次	地质灾害活动强度、活动概率	地质灾害危害面积
	形成条件	活动断裂密度、历史最高震级、地震烈度、易灾性岩土分布面积，相对高差、沟谷密度，年降水量、暴雨日数、平均雨强、融雪日数及径流量，森林覆盖率、植被覆盖率，坡耕地面积，工程挖填面积，弃土弃渣体积，地下水超采率，地下水水位变幅		
易损性	人口	人口密度、人口增长率、易灾人口比率	受灾人口密度	受危害人口、财产及产业、资源、环境数量、密度与破坏损失率
	财产与经济	房屋、铁路、公路、生命线工程、构筑物数量、价值，农作物、农产品数量、价值，设备、工具、仪器、材料、物资用品等数量、价值，产业产值、增长率	受地质灾害直接危害的财产价值密度、间接危害的财产价值与产值密度	
	资源与环境	土地数量、价值，矿产资源、水资源、生物资源数量、价值	受危害的资源、环境价值	
防治能力	工程防治	监测覆盖范围，防治工程种类、数量与效能	危害人口、财产、产业及资源、环境的减灾数量与减灾程度	防灾有效度
	非工程防治	群测群防效能，抢险救灾效能，生物防治与环境治理效能		
期望损失			人口死亡、经济损失	综合损失率及破坏损失等级

7 地质灾害风险评价的步骤与方法

7.1 地质灾害风险评价的基本步骤

根据风险评价的目的和评价区的具体条件，构建地质灾害风险评价系统，建立指标体系和评价模型，确定风险分区原则和评价方法；

全面调查各项基础数据，并根据风险评价需要进行统计分析，编制历史地质灾害分布图、易灾性岩土分布图、地震与活动性构造分布图、地貌图、降水量与暴雨强度图、人口密度图、交通设施分布图、水利工程分布图、土地类型图等各种基础图件及地质灾害风险评价表；

根据危险性构成、易损性构成，进行危险性分析、易损性分析，在此基础上，进行期望损失分析；

综合地质灾害可能造成的人口伤亡、经济损失以及资源环境破坏作用，进行综合风险评价，并分析评价区风险分布特点与形成条件，根据社会发展需要提出减灾对策建议。

7.2 地质灾害风险评价的基本方法

地质灾害风险评价的关键指标是期望损失。期望损失程度主要取决于风险区范围及其危险性程度，风险区内各种受灾体数量、价值及破坏损失率，防治工程的减灾有效度。可以应

用下述模型计算地质灾害的期望损失值：

$$D(s) = \sum_{D_{wi}} \sum_{D_{yn}} M(D_{wi}, D_{yn}) \cdot L(D_{yn}, D_{wi}) \cdot (1 - D_f)$$

式中： $D(s)$ ——地质灾害期望损失（人口死亡或财产损失）数量；

$D(wi)$ ——地质灾害的危险性等级；

$D(yn)$ ——地质灾害的受灾体类型；

$M(D_{wi}, D_{yn})$ ——不同危险区内人口数量或不同种类受灾财产价值；

$L(D_{yn}, D_{wi})$ ——不同危险区内人口平均死亡率或不同种类财产损失率；

D_f ——地质灾害减灾有效度。

为了便于不同地区和不同时间之间对比，可采用期望损失率 $D(s)_i$ 反映期望损失程度（%或‰）；其值等于期望损失值 $D(s)_i$ 与评价区同类对象（人口、财产等）总量 $D(z)$ 的比率。即：

$$D(s)_i = \frac{D(s)_i}{D(z)}$$

如何确定风险评价各项要素不仅十分重要而且特别复杂。其复杂性主要表现在每项要素都包含着众多因子，而这些因子常常隶属于不同的方面，在评价系统中属于不同的层次。为了进行量化与可比，首先需要对各项评价要素进行定量化标识和归一化处理，实现要素的量化可比。例如：在危险性分析中，将影响地质灾害活动的各方面条件中的主要因素首先进行定量化标识——地质条件选取活动性构造密度、易灾性岩土发育面积，地貌条件中选取相对高差、沟谷发育密度，气候条件中选取年平均降水量、暴雨强度……，在此基础上，依据它们对地质灾害活动的作用方式和影响程度，划分影响程度等级和相应的标度，从而纳入危险性评价模型，实现危险性分析。在易损性分析中，面对种类繁多的受灾体，首先进行分类，然后根据各类受灾体的数量、单位价值以及折旧等因素，转化为风险区受灾体总价值，进而应用易损性分析评价模型实现易损性分析。

地质灾害风险评价是对一个复杂系统的定量化分析过程，所采用的方法属于多层次分级聚类分析。其数学模型主要包括模糊聚类综合评价、灰色聚类综合评价、物元模型综合评价以及积分值法、W值法等^[55 56]。整个系统分析则常采用层次分析法。

模糊聚类综合评价的基本步骤是：根据地质灾害风险构成，建立因素集、综合评价集和权重集，确定隶属函数，得到综合评价结果，并进行解释分析。

灰色聚类综合评价的基本步骤是：确定聚类白化数和白化函数，标定聚类权，求聚类系数，构造类向量，求解聚类灰数。

物元模型综合评价的基本步骤是：确定物元组合，分析评价对象对于综合评价等级的关联度，评定综合等级。

层次分析法（AHP法）是对一个包括多方面因子而又难以准确量化的复杂系统进行分析评价时，根据各因子之间以及它们与评价目标的相关性，理顺组合方式和层次，据此建立系统评价的结构模型和数学模型；对模型中的各种模糊性因子，根据它们的强度以及对影响对象的控制程度，确定标度指标和作用权重；将这些指标作为基本参数，代入评价模型，逐级进行定量分析并最终取得评价目标。根据地质灾害风险系统组成，大致可通过4个层次的统计分析完成评价工作：以各种要素为主体的基础层统计分析；以危险性、易损性、减灾能力为目标的过渡层分析；以期望损失为目标的准则层分析；以风险度或风险等级为最终目标

的目标层分析。

8 西宁—兰州—天水地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害风险评价

采用上述地质灾害风险评价理论和方法，作者对西宁—兰州—天水地区崩滑流灾害进行了危险性评价、易损性评价和风险评价。

根据西宁—兰州—天水地区崩滑流灾害的形成条件和风险构成，将崩滑流灾害风险要素归结为危险性要素和易损性要素两个方面。危险性要素包括崩滑流发育密度、活动断裂发育程度、易灾性岩土发育程度、地貌类型、地形切割程度、年降水量、暴雨与融雪强度、人为活动程度；易损性要素包括人口密度、房屋密度、铁路密度、公路密度、水利工程密度、耕地面积比。以县（市）为评价单元，分析各要素的强弱、多寡、充分程度，并分为 5 个等级，绘制各要素的分布图；采用专家评判方法分别确定不同等级要素的评判分值以及不同要素对崩滑流危险程度和易损性指数的作用权值；利用评价模型分别计算各县（市）的危险性指数和易损性指数，根据危险性指数和易损性指数分布情况，分别将危险性和易损性分为轻重不同的 5 个等级，绘制评价区崩滑流灾害危险性程度图和易损性分布图。

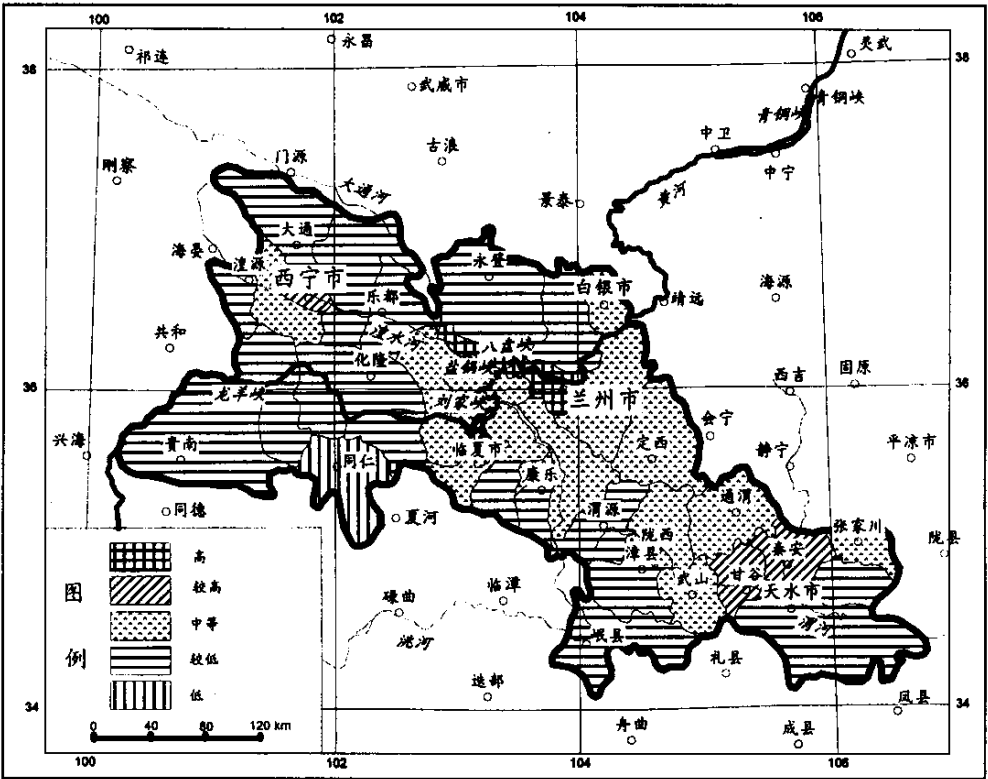


图 2 西宁—兰州—天水地区崩滑流地质灾害风险程度图

Fig.2 Map showing the geological hazard risk of collapses , landslides and debris flows in the Xining-Lanzhou-Tianshui area

在危险性分析和易损性分析基础上,根据风险评价模型,计算评价单元风险指数;根据风险指数分布情况,划分风险等级,绘制出西宁—兰州—天水地区崩滑流地质灾害风险程度分布图(图2)。

评价结果显示,西宁—兰州—天水地区崩滑流地质灾害风险程度的总体分布特点是,中部的兰州市、西宁市及天兰铁路沿线地区崩滑流地质灾害的危险性、易损性和风险程度较高;东部陇中高原上的甘肃省临夏、定西、天水地区,崩滑流地质灾害的危险性、易损性和风险以中等为主;西北部和西南部的高原、山地地区,崩滑流地质灾害的危险性、易损性和风险程度较低。根据这一评价结果,我们可以对该区的减灾防灾工作进行科学的规划和安排。

参 考 文 献

- [1] Brabb E E, Panpeyan E. H, Bonilla M G. Map of Landslide Susceptibility in San Mateo Country, California [M]. US Geological Survey, 1972.
- [2] Arattano M. On the Use of seismic detectors as monitoring and warning system for debris flows [J]. Natural Hazards, 1999, 20 (2/3).
- [3] Arnould M. Geological Hazards-insurance and legal and technical aspects [J]. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1976, 14 : 263~274.
- [4] Bell F G. Geological Hazards, Their Assessment, Avoidance and Mitigation [M]. E & FN Spon, London, 1999, 648.
- [5] Besson L, Tacher Y. The Regulation of Map-making of Natural Hazards in Isere, France. Landslides [M], Ch. Bonaard (ed): 1988. 1497~1498.
- [6] Blaikei P T, Cannon I Davis, B Wisner. At Risk : Natural Hazards. People's Vulnerability, and Disasters, Routledge [M]. London, 1994.
- [7] Brand E W. Landslide risk assessment in Hong Kong [J]. Landslide, 1988. 1059~1074.
- [8] Brunsten D, Prior D B. Slope Instability [M]. John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [9] Busoni E P S, Scncis C, Calzolari A, Romagnoli. Mass Movement and Erosion Hazard Patterns by Multivariate Analysis of Landscape Integrate data : the Upper Orcia River Valley (Siena, Italy) Case [M]. Catena, 1995.
- [10] 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年)的思索 [J]. 工程地质学报, 2000, 增刊 : 1~10.
- [11] 张业成, 张梁. 正在兴起的地质灾害风险评价 [A]. 当代地质科学进展(1995) [C]. 武汉 : 中国地质大学出版社, 1996.
- [12] 国家地震局震害防御司. 地震灾害预测与评估手册 [M]. 北京 : 地震出版社, 1993.
- [13] 张业成, 张春山, 张梁, 等. 中国地质灾害系统层次分析与综合灾度计算 [J]. 中国地质科学院院报, 1993, (27, 28): 139~154.
- [14] 刘化仁. 跨世纪的十大人为环境灾难及其对策 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11 (4): 279~282.
- [15] 陈毓川, 赵逊, 张之一, 等. 世纪之交的地球科学——重大地学领域进展 [M]. 北京 : 地质出版社, 2000.
- [16] William J. Petak, Arthur A. Atkission 著, 向立云, 程晓陶, 等译, 自然灾害风险评价与减灾对策 [M]. 北京 : 地震出版社, 1993.
- [17] Azm S. Al-homoud, Gutaiba A. Al-masri. An expert system for analysis and design of cut slopes and embankments [J]. Environmental & Engineering Geoscience, 1999, 5 (2): 157~172.
- [18] Brabb E. E. Innovation Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping [A]. Proc. of 4th ISL [C], Toronto : 1984. 307~323.
- [19] Carrara. Multivariate Models For Landslide hazard evaluation [J]. Math. Geology, 1983, (15): 403~426.
- [20] Carrara, A., F. Guzzetti, M. Cardinali, P. Reichenbach. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of

landslide hazard natural disaster. *Natural Hazards*, 1999. (2/3).

- [21] Charles E. Glass, Ray Klimmek. Routing debris flows [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*. 2001, 7 (2): 177~191.
- [22] Christopher S. Hitchcock. Mapping liquefaction hazards in Simi Vally, Veutura County California [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*, 1999, 5 (4): 441~458.
- [23] Chung, R. M. *Natural Disaster Studies* [M]. Natural Academy Press, Washington D. C., 1994.
- [24] Flanklin J. Predictive Vegetation Mapping: Geographic modeling of biospatial patterns in relation to environment gradients [J]. *Progress in Physical Geography*, 1995, 19 (2).
- [25] G. F. Wiecaorek, B. A. Morgan, R. H. Campbell. debris flow hazards in the Blue Ridge of Central Virginia [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*. 2000, 6 (1): 3~23.
- [26] Humbert M. Risking-map of areas exposed to movement of soil-French "zermos" map [J], *Bulletin of the Inter National Association of Engineering Geology*, 1976, 16: 80~82.
- [27] Hongey Chen. Initiation of the Tungmen debris flow, eastern Taiwan [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*, 1999, 5 (4): 459~473.
- [28] Lucio Lirer, Livia Vitelli. Volcanic Risk assessment and mappng in the vesuvian area using GIS [J]. *Natural Hazards*, 1998, 17 (1).
- [29] Marco Lazzari, Paolo Salvaneschi. Embedding a geographic information system in a decision support system for landslide hazard monitoring [J]. *Natural Hazards*, 1999, 20 (2/3).
- [30] Mccall, G. J. Hl, Laming, K. J. C. And S. C. Scott. *Geohazards-Natural and Man-made* [M]. Chapman Hall, London, 1992.
- [31] Ronald B. Chase, Karl E. Chase, Alan E. Kehew et al. Determining the kinematics of slope movement using low-cost monitoring and cross section balancing [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*. 2001, 7 (2): 193~203.
- [32] Rossi, G. N. Harmancioglu and V. Yevjevich. *Coping With Floods* [M], Kluwer Acadmic Pulishers, Dordrecht, 1994.
- [33] Scott B. Miles, David K. Keeper. Evaluation of seismic slop-performance models using a regional case study [J]. *Environmental & Engineering Geoscience*. 2000, 6 (1): 25~39.
- [34] Sevtap A., M. Semith Yucemen. Reliability of lifeline networks with multiple sources under seismic hazard [J]. *Natural hazards*, 2000. 21 (1).
- [35] Turcker B. A. M. Erdik, C. N. Hwang. *Issues in Urban Earthquake Risk* [M]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994.
- [36] Turner D. P., Koerper, H. Gucinski, and C. Peterson. Monitoring global change comparison of forest cover estimates using remote sensing and inventory approaches [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1993. (26).
- [37] Van Westen, C. J., A. C. Seijmonsbergen, F. Mantovan. Comparing landslide hazard evaluation: three case support system for landslide hazard monitoring [J]. *Natural Hazards*, 1999, 20 (2/3).
- [38] 高文学, 等. 中国自然灾害史(总论)[M]. 北京:地震出版社, 1996.
- [39] 张业成, 胡景江, 张春山, 等. 中国地质灾害危险性分析与灾变区划 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1995, 15 (3): 55~67.
- [40] 刘希林. 泥石流危险性评价 [M]. 北京:科学出版社, 1995.
- [41] 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.
- [42] 罗元华, 张梁, 张业成, 等. 地质灾害风险评估方法 [M]. 北京:地质出版社, 1998.
- [43] 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).
- [44] 于庆东. 灾害经济损失评估理论与方法探讨 [J]. *灾害学*, 1999, 8 (2).
- [45] 向喜琼, 黄润秋. 地质灾害风险评价与风险管理 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2000, 11 (1): 38~41.
- [46] 刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的讨论 [J]. *山地学报*, 2000, (4).
- [47] 张梁, 张建军. 地质灾害风险区划理论与方法 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2000, 11 (4): 323~328.
- [48] 陈喜昌. 一个用于防灾的坡型系统 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2000, 11 (2): 107~111.
- [49] 冯利华. 基于神经网络的洪水预报研究 [J]. *自然灾害学报*, 2000, 9 (2): 45~48.

- [50] 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]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [51] 许强, 黄润秋, 巨能攀, 等. 边坡岩块体稳定性分析系统的开发与研究 [J]. 工程地质学报, 2001, 9 (4): 408 ~ 413.
- [52] 胡宝清, 刘顺生, 张洪恩, 等. 长江流域地质—生态环境的演化机制及综合自然灾害区划 [J]. 自然灾害学报, 2001, 10 (3): 13 ~ 19.
- [53] 张梁, 张业成, 高兴和, 等. 地质灾害经济学 [M]. 石家庄: 河北人民出版社, 2002.
- [54] 黄崇福. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法 [J]. 自然灾害学报, 1998, 7 (2).
- [55] 邓聚龙. 灰色系统基本方法 [M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1987.
- [56] 汪晶. 风险评价技术的原理与进展 [J]. 环境科学, 1998, (3).

THEORY AND APPROACHES TO THE RISK EVALUATION OF GEOLOGICAL HAZARDS

MA Yin-sheng¹, ZHANG Ye-cheng², ZHANG Chun-shan¹, WANG Jin-shan³

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;*

2. *Center of Geological Archival Materials, Ministry of Land and Resource, Yanjiao, Sanhe, Hebei 065201;*

3. *Heilongjiang Coalfield Exploration and Design Institute, Harbin, Heilongjiang 150008, China*)

Abstract : The study of geological hazard risk is a new research field that has developed recently and drawn more and more attention of the society. In this paper, the present state of research, definition, characteristics and basic constructive elements of geological hazard risk are systematically dealt with, and on that basis the types of geological hazard risk evaluation are determined and the system, indicator system and procedures and approaches of geological hazard risk evaluation are established.

Key words : geological hazard ; risk evaluation ; case history