

· 灾害地质 ·

地质灾害风险调查的方法与实践

张茂省, 唐亚明

ZHANG Mao-sheng, TANG Ya-ming

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:风险管理是一门新兴的管理学科,风险调查是风险源识别、分析、评价和风险处置的基础。在分析国内外地质灾害风险管理进展和差异的基础上,提出了中国地质灾害风险管理中术语统一的意见,论述了地质灾害风险调查的类型和精度,风险的分级,不同精度下风险调查的内容和方法,以及风险调查的技术要点。并以陕西省延安市市区和虎头峁场址风险调查为例,分别阐述了1:10000、1:1000比例尺精度下的风险调查和区划的过程、结果。

关键词:地质灾害;风险;调查与区划

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)08-1205-12

Zhang M S, Tang Y M. Risk investigation method and practice of geohazards. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (8): 1205-1216

Abstract: Risk management is a new branch of management science. Risk investigation is the basis of risk identification, analysis, evaluation and treatment. This paper discusses the progress in geohazard risk management in China and abroad and their differences and puts forward the unified opinions of the terminology of geohazard risk management in China. It deals with the types and accuracies of geohazard risk investigation, risk classification, content and methods for risk investigations at different accuracies and technical requirements for risk investigation. Take for example the risk investigations of the urban area of Yan'an City and Hutoumao site, Shaanxi, the paper separately describes the process and results of geohazard risk investigations and zoning at scales of 1:10000 and 1:1000.

Key words: geohazard; risk; investigation and zoning

“风险”一词的由来主要有2种说法。一种观点认为,在远古时期,渔民祈祷让神灵保佑自己在打鱼捕捞时能够风平浪静,因为他们深深地体会到“风”给他们带来的无法预测、无法确定的危险,“风”即意味着“险”,因此有了“风险”一词。另一种观点则认为“风险(RISK)”是舶来词, RISK的语源是意大利古语“RISCARE”,从意大利语的“RISQUE”演变而来。现代意义上的风险一词越来越被概念化,已经大大超越了“遇到危险”的狭义含义,而且与人类的决策和行为后果联系越来越紧密,风险一词已成为人

们生活中出现频率很高的词汇。

风险管理是一门新兴的管理学科。风险管理从20世纪30年代在美国开始萌芽,到20世纪50年代风险管理一词才形成,到20世纪70年代以后逐渐掀起了全球性的风险管理热潮,美国、英国、法国、德国、日本等国家先后建立起全国性和地区性的风险管理协会,标志着风险管理的发展已进入了一个新的发展阶段。随着社会的发展和科技的进步,现实生活中的风险因素越来越多,既有自然风险,也有政治风险,还有经济风险,无论是企业还是家庭,无论是个

收稿日期:2008-06-02;修订日期:2008-07-07

地调项目:“十一五”国家科技支撑计划重点项目《重大地质灾害监测预警及应急救援关键技术研究》(编号:2006BAC04B00)和中国地质调查局项目《陕西省延安市宝塔区地质灾害详细调查与风险管理示范》(编号:1212010640326)、《延安宝塔区地质灾害监测预警示范》(编号:1212010740907)资助。

作者简介:张茂省(1962-),男,研究员,从事水工环地质调查与研究工作。E-mail:xazmaosheng@cgs.gov.cn

体还是群体，都日益认识到进行风险管理的必要性和迫切性。

地质灾害是自然灾害的一种，地质灾害风险管理始于20世纪80年代末，20世纪90年代末开始流行。2005年在加拿大温哥华召开的滑坡灾害风险管理国际会议，对滑坡(含崩塌、泥石流)灾害风险管理的基本理论、方法、经验及实例进行了研究讨论，代表了国际上滑坡灾害风险评价管理的最新进展^[1]。

中国是各类地质灾害频发、遭受人员伤亡和经济损失十分严重的国家，在以往的地质灾害防治管理中采取了一系列卓有成效的措施，取得了令人瞩目的成就。但是由于体制、科技发展等方面的原因，国内(不含香港地区)的地质灾害风险管理还处于刚刚起步的阶段，不但缺乏适合国情的地质灾害风险评估框架体系和理论方法，而且缺乏地质灾害风险评估所需的基础数据。具体地讲，与国际流行的地质灾害风险管理相比，中国现行的地质灾害风险管理术语尚不统一；在地质灾害易发性和危险性区划方面尽管已取得一定成绩，但在风险区划方面还很薄弱；没有形成风险分析的方法准则，也未建立地质灾害风险容许标准，尚未形成地质灾害风险调查、评价和区划的规程或指南；在基础调查方面，如何应用风险管理的理念进行地质灾害野外调查，如何根据应用要求选择不同比例尺的调查精度，如何进行地质灾害风险分级，如何根据不同精度要求确定风险调查的内容、方法及具体的技术要求等。以上都是中国地质灾害风险管理中存在的和亟待解决的问题。本文试图借鉴国外地质灾害风险管理取得的经验，顺应国际上风险管理的发展趋势，探讨适合中国国情和管理现状的地质灾害风险调查和区划的方法。

1 地质灾害风险管理理念与进展

1.1 地质灾害风险管理理论框架

本文中的“地质灾害”系指滑坡、崩塌、泥石流灾害，与Varnes(1984)划分的滑坡(landslide)相对应，包含了滑动型、崩塌型和泥石流型地质灾害隐患。按照2005年温哥华国际滑坡风险管理会议倡导的理论框架，滑坡灾害风险管理包括危险性分析、危害性分析、风险分析、风险评价和风险管理5个有机组成部分。其中，风险分析是风险管理的重要组成部分，按照Fell等^[2]的意见，财产风险按下式计算：

$$R_{(prop)}=P_{(L)}\times P_{(T:L)}\times P_{(S:T)}\times V_{(prop:S)}\times E \quad (1)$$

式中： $R_{(prop)}$ 为财产年损失； $P_{(L)}$ 为滑坡发生概率； $P_{(T:L)}$ 为滑坡到达承灾体概率； $P_{(S:T)}$ 为承灾体时空概率； $V_{(prop:S)}$ 为承灾体易损性； E 为承灾体价值。

单人生命风险按下式计算：

$$P_{(LOL)}=P_{(L)}\times P_{(T:L)}\times P_{(S:T)}\times V_{(D:T)} \quad (2)$$

式中： $P_{(LOL)}$ 为单人年死亡概率； $V_{(D:T)}$ 为人的易损性；其他定义同上。

(1)式、(2)式是滑坡风险分析的理论基础，在风险分析的基础上，再进行风险评价、采取相应的风险减缓措施等，就构成了地质灾害风险管理的整体框架。

1.2 主要国家和地区的地质灾害调查与风险管理

美国1994年的加利福尼亚州Northridge地震引发了10000 km²内的11000多处滑坡。基于此编制了详细的滑坡目录，并建立了地震与滑坡的相关关系，利用Arc-info地理信息系统，在1:2.4万的地质底图上划分以10 m为单元的栅格，用单元的土体强度参数、数字高程模型、地震峰值加速度、Newmark位移模型、破坏概率模型等计算单元的危险，形成了滑坡、崩塌、泥石流危险区划图^[3]。

意大利在1999—2000年2年的时间里，完成了全国的1:2.5万滑坡危险性区划图，总面积约30×10⁴km²，将滑坡强度划分为3级，危害程度划分为4级，通过叠加敏感性区划和危害性区划得到危险等级，完成了全国的危险区划图。之后，在此基础上又选择局部地区做了更深入的调查，以更大的比例尺(1:5000、1:2000)形成风险区划图^[4]。

法国陆地总面积为544965 km²，20世纪70年代开始编制比例尺为1:2.5万的类似于滑坡分布图的全国性图件，覆盖了全国主要的地质灾害分布区。1982年法国提出了基于防灾目标的PER计划，局部地区编制了更详细的1:10000或1:5000的滑坡分布图和易发性区划图，为城市土地利用服务。1995年又提出风险预防规划(PPR)，在国家层面投入巨资，进行全国性的1:2.5万滑坡风险填图，对土地利用规划等具有法律约束效力^[4-5]。

中国香港的区域性滑坡调查把全区分为7个亚区，面积在50~100 km²之间，形成了1:2万比例尺的系列图件。对地段性的滑坡调查，分区面积一般在2~4km²之间，1977年对城市地区的边坡进行了编目，识别了大约8500个人工切坡和2000个填土边坡，1979年开发了边坡分级系统，采用定性的权重打分方法，

计算“不稳定得分”、“危害得分”及“风险总分”,对编目边坡进行分级。20世纪90年代中期,重新对边坡进行了编目,识别了大约57000个边坡,开发了新的分级系统,采用定量的风险评价方法(QRA),对全部的边坡进行了分级评价^[6]。

以上各国和中国香港地区的地质灾害风险调查的方法和实践表明,不同比例尺精度下的风险调查所使用的方法和手段是不同的。小比例尺的风险调查主要适用于大的区域范围,并且精度要求低,主要使用定性的评价方法,如基于GIS系统的叠加计算、权重打分法等,形成的主要是反映易发性和危险性的评价图件。中大比例尺的风险调查适用于较小的面积,调查精度要求高,可以使用定性或定量的评价,如模型模拟、安全系数法等,能够形成反映风险大小的评价性图件。

1.3 中国的地质灾害调查与风险管理

1.3.1 中国的地质灾害调查与区划

20世纪80年代以来,中国有计划地开展了全国大江大河和重要交通干线沿线的地质灾害专项调查,开展了1:50万以地质灾害为主的区域环境地质调查。1999年以来,又相继部署开展了近1400个县(市)的准1:10万地质灾害调查与区划。2005年开始实施地质灾害高风险区1:5万地质灾害调查,还开展了重点地区地质灾害监测预警示范研究。2007年启动了主要省区特大滑坡调查与风险管理等工作。这些工作是实施地质灾害风险管理的基础,相当于风险管理中的滑坡编目(inventory)、易发性(susceptibility)、危险性(hazard)调查与区划,而地质灾害风险调查与区划工作尚处于探索阶段。

1.3.2 中国的地质灾害防治管理

中国地质灾害防治管理的职能曾经划归水利系统防汛办,个别省市放在地矿系统、地震系统或城建系统等,1999年机构改革和职能调整后,地质灾害防治的组织、协调、指导和监督工作划归国土资源部门统一管理。总体来说,中国在地质灾害防治管理方面起步较晚,但取得的成效十分明显:颁布并实施了《地质灾害防治条例》,实行了建设用地地质灾害危险性评估制度,使地质灾害的防治步入了法制轨道;编制了省、市、县级地质灾害防治规划及年度防灾预案;初步组建了地质灾害应急指挥系统,建立了地质灾害群测群防网络,开展了国家和省级地质灾害气象预警;针对水利、水电、铁路、公路等工程建设中遇

到的地质灾害实施了勘查治理措施。尽管和国外地质灾害风险管理框架体系并不完全接轨,但采取的管理措施有效地减缓了地质灾害带来的风险。

1.3.3 对中国实施地质灾害风险管理的几点意见

(1)顺应国际潮流,逐步推行地质灾害风险管理制度。中国是一个地质环境脆弱、地质灾害多发的国家,随着经济社会的不断发展,人类活动对地质环境的改变日益增强,一方面地质灾害将呈现更加频发的态势,另一方面地质灾害带来的经济损失也将随之增大。如何落实科学发展观,有效地减缓地质灾害带来的风险,保护人民生命和财产安全,仅靠中国现行的管理办法就显得不完全适应,必须顺应国际潮流,借鉴国际上一些发达国家在地质灾害风险管理方面取得的经验与教训,完善中国在地质灾害防治管理中的薄弱环节。形成既能与国际地质灾害风险管理接轨,又适合中国国情的地质灾害风险调查与评价标准、法律法规体系、预警预报与应急指挥体系、灾后重建和风险分担机制、灾害的日常防护管理体系、风险意识宣传教育制度等,逐步推行现代地质灾害风险管理制度。

(2)明晰地质灾害风险管理概念,建立既适合中国国情又与国际接轨的风险管理术语。1999年国土资源部第4号令发布了《地质灾害防治管理办法》,2004年国务院第394号令公布了《地质灾害防治条例》,从1999年12月1日起推行了建设用地地质灾害危险性评估制度。中国推行的地质灾害危险性评估制度借鉴了国际上一些发达国家地质灾害风险评估的经验与教训,在防止地质灾害发生,避免和减轻地质灾害造成的损失,维护人民生命和财产安全,促进经济和社会的可持续发展方面起到了积极的作用。但是经过几年的实施,也暴露出一些不足,尤其是在地质灾害易发性、危险性等概念方面,与国际上相关的概念和名词术语有一定差异,有必要进一步明晰地质灾害风险管理的概念,建立既适合中国国情又与国际接轨的风险管理术语。

(3)解决中国地质灾害风险管理面临的关键问题,出台地质灾害风险管理指南。地质灾害风险管理面临一些关键性的技术问题,如建立地质灾害危险性评价和风险评估的指标体系,建立危险度和风险程度分级标准,建立地质灾害风险评估技术流程,开发风险管理决策支持系统等。解决中国地质灾害风险管理面临的关键问题,尽快出台地质灾害风险管

理方面的有关指南,或制订一整套的风险管理计划是十分必要的。

2 地质灾害风险管理术语讨论

2.1 中国现阶段使用的主要术语

中国在地质灾害领域中采用的术语总体上与国际接轨,但亦有一定的差异。据国土资源部门颁发的《地质灾害分类分级标准》、《建设用地地质灾害危险性评估技术要求》、《县(市)地质灾害调查与区划基本要求(实施细则)》的规定等,现阶段中国采用的主要术语及概念如下。

(1)地质灾害:是指自然产生或人为诱发的对人民生命和财产安全造成危害的地质现象。

(2)地质灾害易发区:是指容易产生地质灾害的区域。

(3)地质灾害危险区:是指明显可能发生地质灾害且将造成较多人员伤亡和严重经济损失的地区。

(4)地质灾害危害程度:是指地质灾害造成的人员伤亡、经济损失与生态环境破坏的程度。

(5)建设用地地质灾害危险性评估:是指对工程建设可能诱发、加剧地质灾害和工程建设本身可能遭受地质灾害危害程度的估量。

2.2 与国际上主要术语的区别

与国际土力学和土木技术工程学会(ISSMGE)风险评估与管理技术委员会(TC32)制定的滑坡风险评估术语相比,主要差别表现在以下几个方面。

(1)滑坡与地质灾害:国际标准中的Landslide是指岩石、碎屑物或土质沿斜坡向下的运动,包括了滑动型、崩塌型和泥石流型。中国地质灾害分类分级标准中的地质灾害是泛指造成危害的地质现象,包括了八大类,突发型和缓变型2个型,34种,建设用地地质灾害危险性评估的灾种主要包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝和地面沉降6种。国际标准中的Landslide相当于中国使用的滑坡、崩塌和泥石流。

(2)地质灾害易发性:国际标准中的滑坡易发性(Susceptibility)是指一个地区内现有或潜在滑坡的类型、体积(或面积)和空间分布的定性或定量评价。中国的地质灾害易发区是指容易产生地质灾害的区域。国内外对易发性的定义比较接近,有的学者将Susceptibility直译为“敏感性”或“脆弱性”,其实译为“易发性”更为贴切。

(3)地质灾害危险性:国际标准中的危险性(Hazard)是指一种具引发危害的可能性,强调的是在一个给定期限内滑坡发生的可能性,但并未考虑威胁的对象。中国的地质灾害危险性是指发生地质灾害且造成人员伤亡和(或)经济损失的可能性,既涉及了灾害的发生及强度,又考虑了威胁的对象,其概念综合了国际标准中的危险性和风险。国内外对危险性采用的术语完全一致,但其定义的内涵却相差很大。

(4)地质灾害危险性评估与风险评价:中国实施的建设用地地质灾害危险性评估是指对工程建设可能诱发、加剧地质灾害和工程建设本身可能遭受地质灾害危害程度的估量,评估内容包括工程建设可能诱发、加剧地质灾害的可能性,工程建设本身可能遭受地质灾害危害的危险性,拟采取的防治措施等。国际标准中的风险(Risk)是指生命、健康、财产或环境所遭受的不利影响的可能性和严重程度大小。风险评价包括风险分析和风险评价2个阶段,风险分析包括危险识别、灾害发生概率估计、承灾体估计、承灾体时空概率估计、易损性估计、风险计算等过程;风险评价是用风险分析的结果与容许风险的标准对比,以决定目前的风险是否是可以容许的,或者现有的风险控制措施是否是可行的。

2.3 对于今后术语使用的建议

由于社会制度、历史背景和习惯的不同,中国没有必要完全照搬国外的术语。但是很有必要借鉴滑坡和工程边坡联合技术委员会(JTC-1)、国际土力学与岩土工程协会(ISSMGE)、国际岩石力学学会(ISRM)和国际工程地质与环境协会(IAEG)联合制订的标准,根据中国的实际情况,修订和完善相关的术语。建议仍沿用“易发性”和“危险性”的术语,引入“风险”术语,并对易发性和危险性的定义作必要的修改。

(1)地质灾害分类:国际上目前仍沿用Varnes(1984)的分类体系,新的分类体系正在编制之中。在新的分类标准出台之前,建议仍采用中国现行的标准,将国际上的Landslide术语分为滑坡、崩塌、泥石流3个术语。

(2)地质灾害易发性:可以采用国际标准中Susceptibility的术语和概念。术语应采用易发性,不宜采用敏感性或脆弱性,定义为一个地区内现有或潜在地质灾害的类型、体积(或面积)和空间分布的定性

或定量评价。在易发性评价中要考虑现有的和潜在的地质灾害,但不考虑时间维度,可用地质灾害的点密度、线密度、面密度或体密度来表征。

(3)地质灾害危险性:可以采用国际标准中Harzard的术语和概念。术语仍然采用危险性,但应与中国目前采用的危险性概念有所区别,剥离威胁对象的内涵,定义为一种具引发危害的可能性。危险性的描述应包括潜在灾害体的位置、体积(面积)、类型、可能的滑移速度,以及在一个给定期限内滑坡发生的可能性。

(4)地质灾害风险:可以采用国际标准中Risk的术语和概念。术语可直接采用风险,定义为生命、健康、财产或环境所遭受的不利影响的可能性和严重程度大小。定量地说,风险=危险性×潜在的价值损失。它还可以表达为“不利事件发生的概率乘以事件发生的结果”^[2]。

(5)地质灾害评价与区划:包括易发性评价与区划、危险性评价与区划、风险评价与区划。

3 地质灾害风险调查方法

3.1 调查的类型与精度

地质灾害风险调查和评价结果主要用于制订土地利用规划、减灾防灾计划、工程建设的场址规划等。对重大地质灾害隐患实施治理工程时,还要开展地质灾害防治工程可行性论证阶段的初步勘查和设计阶段的详细勘查甚至施工阶段的补充勘查。不同的应用对象其管理主体不同,所要求的精度也不同。地质灾害风险调查的类型可划分为小比例尺、中比

例尺、大比例尺和详细比例尺4种类型。各种类型调查的精度、管理主体、应用对象和所能形成的区划成果列于表1。

3.2 地质灾害风险分级

地质灾害的风险分级可以是绝对的,也可以是相对的。为了便于对不同地区之间的风险区划结果进行对比,一般使用绝对的风险分级;为了对某个地区内的地质灾害采取监测、治理、搬迁避让等管理措施,进行优先排序时,使用相对的分级可能更为有效。地质灾害的风险分级可由危害可能性和引起的后果严重程度综合确定,前者由地质灾害发生的概率、到达承灾体的概率和承灾体的时空概率确定,后者由承灾体的经济价值和易损性的大小确定。危害可能性的分级参照澳大利亚地质力学联合会的规定(AGS,2007a)划分为6级(每级相当的年概率有一个量化的范围值)^[7],危害程度分级根据受威胁的人数和直接经济损失参照《滑坡崩塌泥石流灾害1:50000调查规范》的规定划分为4级,综合给出一个定性的地质灾害风险分级方案(表2)。

3.3 地质灾害风险调查的主要内容和方法

滑坡、崩塌、泥石流风险调查的内容设置应以能满足获取评价风险所需的各种参数为目的,除常规调查的地质灾害形成条件、地质灾害基本特征、影响因素、稳定性状况外,还应主要调查5类数据:①达到一定体积规模的地质灾害发生的年频率;②潜在地质灾害隐患的滑距和滑速;③承灾体及经济价值;④承灾体时空概率和⑤承灾体易损性。上述数据因调查的面积不同、评价结果的使用者不同,或调查阶

表1 地质灾害调查的区划类型与精度
Table 1 Zoning types and accuracies of geohazard investigation

类型	比例尺精度	管 理 主 体 和 应 用 对 象	区 划 结 果
小比例尺 调查	<1:100000	国家、省级或地市级国土资源主管部门制订土地利用规划或减灾防灾计划	灾害分布、易发性区划
中比例尺 调查	1:25000~ 1:100000	县级国土资源主管部门制订土地利用规划或减灾防灾计划	灾害分布、易发性区划、危险性区划
大比例尺 调查	1:5000~ 1:25000	国土资源主管部门为城市、城镇、工业园区制订土地利用规划或减灾防灾计划;大型工程建设项目建议阶段	灾害分布、易发性区划、危险性区划、风险区划
详细比例 尺调查	>1:5000	国土资源主管部门对当地重大地质灾害隐患点的防治;大型工程建设项目可行性论证与设计阶段,土地开发利用者对场址的评估和勘察阶段	危险性区划、风险区划

表2 地质灾害风险分级

Table 2 Grades of geohazard risk

危害可能性 (年概率)	危害程度			
	特大级 (特重)	重大 级(重)	较大 级(中)	一般 级(轻)
几乎一定($\geq 10^{-1}$)	VH	VH	H	H
很可能($\geq 10^{-2} \sim 10^{-1}$)	VH	H	H	M
可能($\geq 10^{-3} \sim 10^{-2}$)	H	H	M	L
不一定($\geq 10^{-4} \sim 10^{-3}$)	H	M	L	L
很少($\leq 10^{-5} \sim 10^{-4}$)	M	L	L	VL
几乎不可能($< 10^{-5}$)	L	L	VL	VL

注:VH—风险很高,H—风险高,M—风险中等,L—风险低,VL—风险很低。一般级<10人,<100万元;较大级10~100人,100~500万元;重大级100~1000人,500~1000万元;特大级>100人,>1000万元

段、调查经费的限制,其获取方法和获取结果在精度上是不同的(表3)^[8]。一般而言,低精度的调查适用于中小比例尺(<1:2.5万),采用的方法也是一般性的收集资料、遥感解译、地面调查等;中精度的调查适用于大比例尺(1:2.5万~1:5000),采用的方法主要有工程地质测绘、经验办法、走访知情者、简单模型、统计技术等;高精度的调查适用于详细比例尺(>1:5000),采用的方法主要有详细比例尺工程地质测绘、钻探、物探、山地工程、测试与试验、承灾体资产评估等。

3.4 地质灾害风险调查的技术要点

地质灾害风险调查获取的调查数据和所形成的风险填图是风险评价和风险区划的基础,风险评价结果的可靠性很大程度上依赖于调查数据的准确性。地质灾害风险野外调查除了满足以往相关规范的技术要求外,还应满足不同比例尺风险调查类型对应的精度要求。

(1)中小比例尺风险调查。调查工作手图可采用小于1:2.5万的地形图,重点调查区域灾害的发育和分布特征,掌握地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体结构、降雨、地震等因素对地质灾害的影响权重,掌握承灾体的分布。宜在遥感解译的基础上采用点、线、面相结合的方式。点:根据已掌握的资料和群众报险线索,对灾害点或出险点逐一进行现场调查。对县城、村镇、矿山、重要公共基础设施、主要居民点进行地质调查。线:沿滑坡、崩塌、泥石流易

发生的沟谷和人类工程活动强烈的公路、铁路、水库、输气管线等进行追索调查。面:采用网格控制调查,对地质条件进行修测,了解灾害形成演化的地形地貌、岩(土)体结构等地质背景条件;了解人类活动较弱地带滑坡、崩塌、泥石流等的分布和发育规律。

(2)大比例尺风险调查。野外工作手图宜采用比例尺1:5000~1:2.5万的地形图,调查重点是识别崩塌、滑坡、泥石流等各类地质灾害隐患点。主要采用点、线结合的方式调查,沿沟谷两侧的斜坡地带逐段调查坡体的稳定性,圈画潜在的灾害发源区和威胁范围,不得遗留未调查的空白斜坡地段。野外调查要点包括:①凡能在图上表示出滑坡、崩塌、泥石流发源区和可能威胁范围的面积或形状的,均应实地勾绘在手图上,不能表示实际面积、形状的,用规定的符号表示,但在调查记录本或卡片上应勾绘地质灾害的发源区和可能威胁范围的平剖面图。②实地确定可能的承灾体,在调查表中填写估计的建筑物类型数量、村镇住户数、工矿企业类型数量、公路、铁路和其他基础设施的长度等。③粗略估计被威胁的人口分布数量,估算建筑物、工矿企业、公路、铁路和其他基础设施的经济价值,并填写调查卡片。

(3)详细比例尺风险调查。详细比例尺的风险填图一般应在完成区域性的滑坡、崩塌、泥石流灾害分布或者易发性和危险性区划后,根据对整个区域灾害危险性的分析结果,结合减灾防灾的需求,选择重点地段或区域开展进一步的调查和评价。采用的工作底图应为大于1:5000的地形图,除调查、测绘外,可布置一定的勘探工作量。野外调查要点包括:①在图上绘制场地发育的所有不稳定坡体的范围,标注它们的变形破坏方式。②实地判断各灾害发源区可能的运移路径或轨迹,并在图面上用箭头和虚线标明。③推测滑移速度、最大滑距和最可能的滑距,实地勾绘可能威胁的范围和对象。④详细调查和估计受威胁的人员数量,建筑物的结构类型、经济价值等。⑤详细调查和估计流动承灾体的时空概率,如人员呆在建筑物内的时间、交通工具的流量等。

4 地质灾害风险调查实践

尽管中国在地质灾害风险管理方面起步较晚,还没有建立起相应的评价标准和体系,但已做了大量的前期准备和研究工作,取得了较好的效果。以延安宝塔区为例,中国地质调查局于2005年在该地

表3 地质灾害风险调查的主要内容和方法

Table 3 Main content and method of geohazard risk investigation

项目	精度	调 查 内 容	调 查 方 法
灾害发生频率	低精度	从历史记录的灾害数据库统计发生频率;从一定时间间隔的遥感影像解译数量统计发生频率	收集资料、遥感解译、野外核查等
	中精度	统计达到一定体积的灾害的发生频率;研究触发因素(如降雨、地震等)临界值的重现期,估计灾害发生频率	收集资料、地面调查、统计技术等
	高精度	确定岩土参数和孔隙水压力参数,建立不确定性安全系数模型,模拟斜坡破坏概率	工程地质测绘、钻探、物探、山地工程、测试等
滑距和滑速	低精度	收集已有滑坡的滑距和滑速资料;遥感解译和核查滑坡的最大滑移距离;估计不同类型滑坡的最大滑距和可能滑速	收集资料、遥感解译、野外核查等
	中精度	调查岩土体类型和斜坡破坏机理;调查不同阴影角对应的滑距和滑速;估算不同类型滑坡可能的滑距和滑速	地面调查,滑坡阴影角等经验办法,简单模型等
	高精度	斜坡几何参数、岩土物理力学性质参数、地下水参数,建立数学模型模拟滑距和滑速	工程地质测绘,钻探、山地工程,物探、测试与试验等
承灾体及经济价值	低精度	估计评估区的居住、工作和旅行人口;对已有的或规划中的房屋、道路、铁路、基础设施、交通工具等做一般性的分类,粗略估计经济价值	收集资料、遥感解译、野外核查等
	中精度	调查内容同上,分类和调查更具体和细化,估计承灾体的经济价值	收集资料、遥感解译、地面调查,走访知情者等
	高精度	调查内容同上,分类和调查比中精度更具体和细化,评估承灾体的经济价值,并考虑间接损失的经济价值	收集工程建设规划图,工程地质测绘,资产评估等
承灾体时间概率	低精度	对固定建筑物和居住区内的人员,假定时间概率为 1.0;对工厂、学校等的人员,根据使用模式估计;对公路、铁路和其他交通工具的流动人口,根据交通容量和速度估计	收集资料、遥感解译、野外核查等
	中精度	调查内容同上,人员时间概率要同时考虑人员的生活工作模式、保护设施、动态性、灾害强度的影响等;财产时间概率要同时考虑灾害运动轨迹的变化等	收集资料、遥感解译、地面调查,走访知情者等
	高精度	调查内容同上,根据人员的生活工作模式、保护设施、动态性、灾害强度的影响等确定人员时间概率;根据灾害运动轨迹的变化等确定财产时间概率	收集资料、地面调查,走访知情者等

区部署了1:5万地质灾害详细调查示范工作,2006年部署了风险管理示范工作,2007年部署了监测预警示范工作,2007年启动的“十一五”科技支撑项目又把本区作为黄土地区地质灾害风险管理研究示范区。4个阶段的工作各有侧重。1:5万调查阶段主要完成了区域性滑坡、崩塌、泥石流调查,与国际上的滑坡编目对应,在宝塔区3556 km²的范围内开展了1:5万地质灾害调查,在延安市市区及规划区155 km²的范围内开展了1:1万地质灾害调查,对30处重大地质灾害开展了1:2000~1:5000的工程地质测绘,分别对

应风险调查中的中比例尺调查、大比例尺调查和详细比例尺调查。风险管理示范项目阶段是在区域性调查的基础上,分别对1:5万和1:1万2种比例尺的调查资料进行完善,主要开展了地质灾害影响因素补充调查,以及人员和财产分布的资料收集与调查,并选择虎头峁滑坡、宝塔山景区、东馨花园商住区、赵家岸水库诱发滑坡等典型地质灾害隐患点,补充了详细比例尺的地质灾害风险填图。地质灾害监测预警是风险减缓的重要措施,本项目探索了适合黄土地区地质灾害专业监测的技术方法,为地质灾害群

测群防和气象预警提供了技术支撑。“十一五”科技支撑项目主要是探索黄土地区地质灾害风险调查与管理的技术方法。这些工作的实施过程都体现了地质灾害风险管理的新理念,除了发挥减灾防灾效益外,还为中国地质灾害风险管理指南和法规的出台做了有益的探索工作。下面以延安市区和虎头崙斜坡场址为例,分别阐述1:1万和1:1000比例尺精度下的地质灾害风险调查过程和结果。

4.1 延安市区地质灾害风险调查与区划

4.1.1 不稳定斜坡危险性特征

延安市区斜坡主要由黄土组成,侏罗系砂、页岩近水平状出露于坡脚,局部地段黄土层与基岩之间夹有第三纪红粘土,坡体结构比较简单。根据斜坡的物质组成,延安市区斜坡可以划分为3类,即黄土斜坡、基岩斜坡和黄土-基岩斜坡,其中黄土-基岩斜坡占绝大多数。

斜坡的破坏类型主要有滑坡和崩塌2类。滑坡滑面多在黄土和基岩接触面、第三纪红粘土顶面、古土壤面和黄土层内,形成机理多属坡脚冲刷、切坡及降雨沿垂直节理或落水洞入渗形成软弱带而引发。该区滑坡规模一般在 $(10\sim 100)\times 10^4\text{m}^3$ 之间,少数达 $(200\sim 300)\times 10^4\text{m}^3$,无特大型滑坡,其滑移速度较快,有些表现为蠕滑特性,危害性主要表现为对道路、桥梁、建筑物等的破坏。区内的崩塌多沿黄土垂直节理、风化、卸荷节理、顺坡向结构面、软硬岩层面、岩石拉张或风化裂隙发生,其变形破坏形式有倾倒式、滑移式、鼓胀式和错断式,规模一般较小,在 $(0.1\sim 10)\times 10^4\text{m}^3$ 之间,个别超过 $10\times 10^4\text{m}^3$,但由于其运动速度快,人员往往来不及躲避而造成伤亡。据统计,延安市13个区县2001—2005年共发生导致人员伤亡的地质灾害16起,除1起为泥石流外,其余全部为崩塌,可见崩塌所带来的灾害风险很大。

对市区 155km^2 内约50 km的斜坡地带进行了详细调查,调查结果表明,市区内斜坡地带共有各类不稳定坡体67处,其中滑坡隐患33处,崩塌隐患20处(仅统计了规模在 100m^3 以上的),不能确定失稳模式的不稳定斜坡14处^[9]。

4.1.2 风险调查

市区斜坡潜在的风险大小由于地质条件和人员财产分布的差异,表现出一定的地段差异性,风险调查以1:1万地形图为野外工作底图,沿沟谷两侧逐段进行地面调查,识别潜在的地质灾害隐患点,并进行

风险各要素的调查。

(1)滑坡、崩塌发生概率调查。区域上整个延安市宝塔区(3556km^2)在2001—2005年的5年时间内,共发生滑坡、崩塌32个,则调查区(155km^2)滑坡、崩塌发生频率为 $32\text{个}\times 155\text{km}^2/5\text{年}\times 3556\text{km}^2=0.28\text{个/年}$ 。野外调查时根据斜坡的变形迹象、地下水活动情况、坡度、坡高、坡形、岩土类型、植被和人类工程活动的强度,逐个调查并定性地判断各斜坡破坏的可能性大小(分级按表2中的规定)。

(2)滑距和滑速调查。根据区域上的调查结果,宝塔区发生的滑坡的平均滑距是75m,以此为平均滑距,野外调查时,根据滑坡的体积规模和地形地貌,必要时使用阴影角的办法,确定滑距。在手图上勾绘滑坡、崩塌的可能影响范围和形状(图1)。滑速的确定主要依据斜坡可能的破坏形式,崩塌以高速为主,滑坡以高速和中速为主,同时结合地貌特征进一步确定滑速的大小。

(3)承灾体调查。本区建筑几乎全部建设在山脚或山坡斩坡处,黄土梁顶一般无人员或财产分布,因此威胁对象一般位于主滑方向的坡脚下或坡体上。对延安市区的潜在承灾体做一般性的分类,首先分为固定承灾体和流动承灾体两大类,固定承灾体进一步分为高层建筑、多层建筑、普通民房等9类,流动承灾体进一步分为居民区人员、办公区人员等4类(表4)。对于固定承灾体按一般分类的价格标准粗略估计其价值(注:不考虑间接经济损失)。流动承灾体主要是居住、工作和流经该处的人口和交通工具。居民区人员按4人/户,办公区人员按3人/间,露天公共区按场地大小、人口密度和流动性粗略估计受险区的人口数量。对于交通工具不仅应估计车辆的价值,还应估计车内人员的数量。

(4)时空概率调查。承灾体的时空概率按如下办法估计:固定承灾体的时空概率为1.0;居民区的人员,按人均每天有14h呆在屋内计为 $14/24=0.58$;工厂、学校、医院、办公楼等区域的人员,按人均每天有8h呆在屋内计为 $8/24=0.3$;露天公共区的人员,按人均每天有12h呆在场计为 $12/24=0.5$;交通工具的时空概率根据交通流量估算(表4)。

(5)易损性调查。承灾体的易损性主要由灾害的强度和承灾体的物质结构所决定,其确定比较困难。在此给出一般分类情况下的各类承灾体的易损性范围,调查时根据现场情况做大致判断,其中人员的易

表4 延安市区承灾体的分类、时间概率和易损性

Table 4 Classification, time probability and vulnerability of hazard bearers in the urban area of Yan'an City

类型	一般分类	单位	价值/万元	时间概率	易损性
固 定 承 灾 体	高层建筑	m ²	2	1.0	0.1~0.3
	多层建筑	m ²	0.5	1.0	0.1~0.4
	普通民房	间	2	1.0	0.2~0.8
	窑洞	间	1	1.0	0.2~1.0
	高速公路	m	1	1.0	0.1~0.8
	普通公路	m	0.15	1.0	0.1~0.9
	铁路	m	2.5	1.0	0.1~0.8
	旅游景点	m ²	1	1.0	0.1~0.5
	公共场地	m ²	0.1	1.0	0.1~0.5
流 动 承 灾 体	居民区人员	人	/	0.58	0.5~0.8
	办公区人员	人	/	0.3	0.5~0.8
	露天公共区 人员	人	/	0.5	0.5~1.0
	交通工具	辆	15	/	0.5~1.0
		人	/	/	0.5~0.9

损性因保护程度不同而有差异,建筑物内人员易损性为0.5~0.8,露天人员易损性为0.5~1.0,车辆中人员易损性为0.5~0.9(表4)。

4.1.3 风险估算和区划

风险的大小是根据危害的可能性和危害程度综合确定的,其中危害可能性由滑坡、崩塌发生的概率、到达承灾体的概率和承灾体的时空概率相乘获得,危害程度由承灾体(人口数量或经济价值)和易损性相乘获得。如延安市区的凤凰山—棉土沟一带,在整个调查区是风险较高的地带,共发育滑坡或崩

塌隐患点19处,其危害可能性为“很可能”和“可能”。危害程度为“一般级”、“较大级”和“重大级”,对每个隐患点综合其危害可能性和危害程度,按表1的风险矩阵逐一确定风险等级为VL—H(表5),根据风险等级可编制风险区划图(图1)。

4.2 虎头崙场址风险调查与区划

4.2.1 斜坡概况

虎头岭斜坡位于延安市宝塔区柳林镇,系在一老滑坡上复活的新滑坡体(图2),坡体平均坡度 20° ,纵向长约280 m,横向宽约260 m,体积约 $105 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。坡体上部为中—上更新统黄土,下伏为下侏罗统泥质页岩及砂岩^①。勘查结果表明,地下水赋存状态主要有黄土孔隙—裂隙水、基岩裂隙水2种,前者对斜坡的稳定性影响很大,后者位于滑带以下,对坡体的稳定性没有影响。目前斜坡的中后缘部位发育大量张裂缝和落水洞,坡体土体疏松,各类变形迹象明显,处于临界稳定状态。斜坡正前方规划建设延安市王家沟经济适用房小区,若坡体失稳将对规划中的小区造成很大的危害。

4.2.2 场地风险详细调查

(1) 灾害发源区识别

以1:1000地形图为基础,对场址进行了详细的地质灾害风险调查和工程勘察。虎头崙斜坡区能够识别出3个可能的灾害发源区,分别是老滑坡北部Ⅰ号区、老滑坡南部Ⅱ号区和以老滑坡后壁滑塌物为主的中后部Ⅲ号区(图3)。Ⅰ号区规模较大,前缘具有滑动临空面,滑体上裂缝密集,宽度、长度和深度都较大,该区降水集中在7—8月份,降雨尤其是大暴雨容易沿裂隙入渗,并在与下伏基岩的接触面汇聚形成软弱带,发生滑坡的可能性较大。Ⅱ号区土体非常破碎松散,已基本失去整体结构,土体上裂缝纵横

表5 鳳凰山—棉土溝一帶滑坡、崩塌風險調查結果
Table 5 Landslide and avalanche risk investigations in the Fenghuangshan-Miantugou area

序号	编号	地理位置	失稳模式	危害可能性	危害程度	风险等级
1	BT1127	桥儿沟西沟小蒜沟东	滑坡	可能	较大级	M
2	BT1128	桥儿沟西沟小蒜沟西	滑坡	可能	较大级	M
3	BT1129	城区防暴大队后	滑坡	可能	较大级	M
4	BT1130	城区计量局	崩塌	很可能	较大级	H
5	BT3086	城区棉土沟东坡	滑坡	很可能	较大级	H
.....						

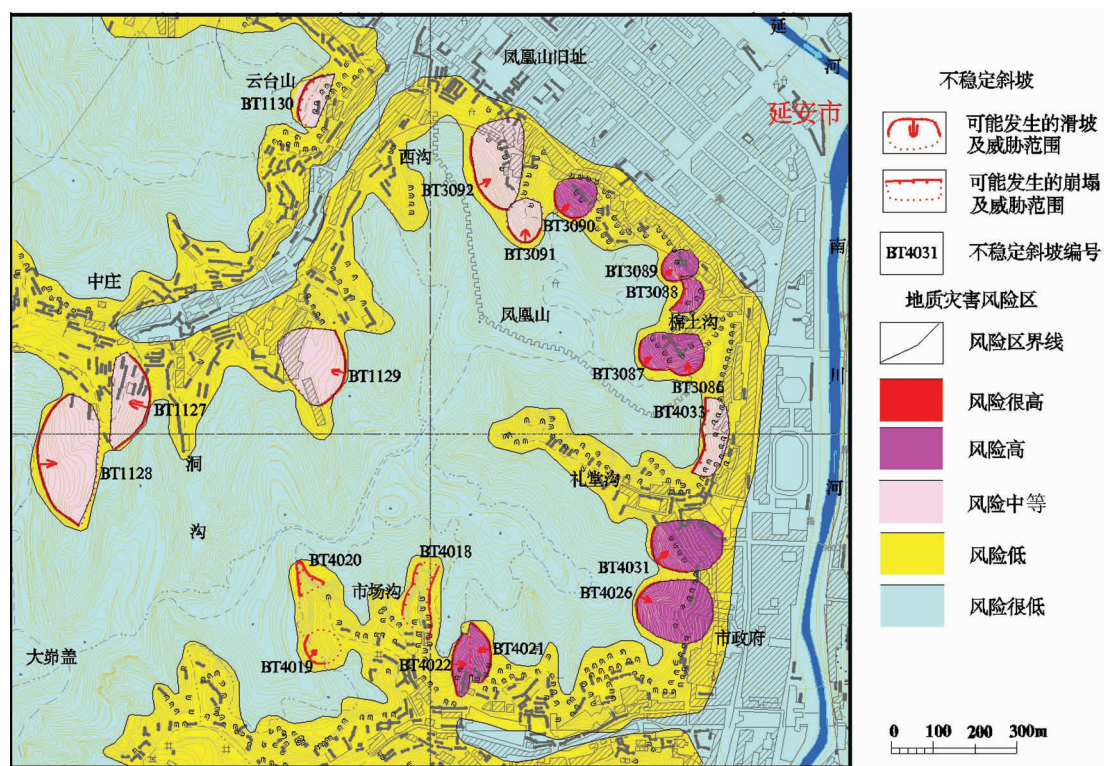


图1 延安市市区地质灾害风险区划

Fig. 1 Geohazard risk zoning of the urban area of Yan'an City

交错、密布连通,非常有利于水的入渗和涵养,如果连阴雨之后遇大暴雨,非常有可能引发土体软化崩塌,并转化为泥石流灾害。Ⅲ号区变形特征和破坏机理与前者类似,但坡体上方汇水面积较Ⅰ号坡体为小,故其稳定性稍好于前者。

(2) 风险要素调查

$P_{(L)}$:经计算该滑坡的破坏概率介于32%~37%之间^[10],但由于缺乏降雨及孔隙水压力的观测资料,难以确定斜坡破坏的年概率,所以斜坡的失稳概率仍以实地勘查后的定性判断为主。参照AGS 2007a^[7]规定的灾害可能性分级所使用的描述符,Ⅰ、Ⅱ号区的失稳可能性是“很可能”,相当于年概率 10^{-2} ,Ⅲ号区的失稳可能性是“可能”,相当于年概率 10^{-3} 。

$P_{(TL)}$:灾害到达承灾体的概率主要由承灾体距离灾害源的远近所决定。根据黄土地区的滑坡或泥石流的经验数据,滑坡阴影角 α 的最大值和最小值分别为 25° 和 20° ,相应的 $P_{(TL)}$ 为0.75和0.25;泥石流阴影角 α 的最大值、中间值和最小值分别为 25° 、 20° 和 15° ,相应的 $P_{(TL)}$ 分别为0.67、0.25和0.08。



图2 虎头岭滑坡全貌

Fig. 2 Full view of the Hutoumao landslide

承灾体及经济价值(E)是在收集场地规划资料和野外详细调查的基础上确定的。根据一定的房屋使用模式估算承灾的人口数量,住宅楼按每户平均5人计算,综合楼按每10m² 1人计算,由住户数量和建筑面积确定承灾人口。小区中主要为多层或高层住宅楼或综合楼,根据建筑物的概算价格确定不同楼

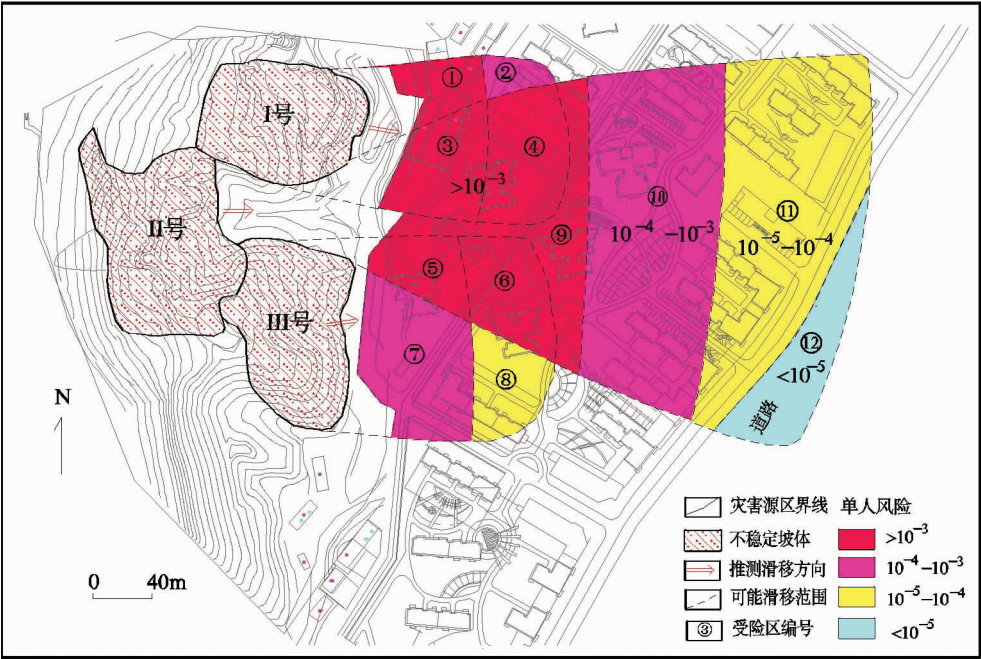


图3 虎头崩斜坡地质灾害风险图

Fig. 3 Geohazard risk of the Hutoumao landslide

表6 虎头崩斜坡地质灾害风险计算结果

Table 6 Results of calculation of the Hutoumao slope geohazard risk

灾害源	$P_{(L)}$	$\alpha/^\circ$	$P_{(T,L)}$	财 产				单 人		
				$P_{(S,T)}$	$V_{(prop,S)}$	E /万元	$R_{(prop)}$ /万元	$P_{(S,T)}$	$V_{(D,T)}$	$P_{(LOL)}$
I	10^{-2}	$>25^\circ$	0.75	1.0	0.5	50	0.2	0.92	0.5	3.5×10^{-3}
		$20\sim25^\circ$	0.25	1.0	0.3	8000	6.0	0.92	0.3	6.9×10^{-4}
II	10^{-2}	$>25^\circ$	0.67	1.0	0.4	20000	53.6	0.92	0.7	4.3×10^{-3}
		$20\sim25^\circ$	0.25	1.0	0.3	15000	11.3	0.92	0.4	9.2×10^{-4}
		$15\sim20^\circ$	0.08	1.0	0.2	10000	1.6	0.92	0.1	7.4×10^{-5}
III	10^{-3}	$>25^\circ$	0.75	1.0	0.5	8000	3.0	0.92	0.5	3.5×10^{-4}
		$20\sim25^\circ$	0.25	1.0	0.3	8000	0.6	0.92	0.3	6.9×10^{-5}

体的经济价值,在此仅考虑了直接的建筑成本,未考虑其他财产价值和间接损失。

$P_{(S,T)}$:承灾体时空概率根据房屋的居住情况确定,假设人们365天在房屋内呆的平均天数为300天,每天呆14 h,则时空概率为 $14/24\cdot300/365=0.48$ 。单人风险的时空概率需要调查那些受险最大的对象的时间分布规律,假设有居民1天24 h有22h不离开小区,则他暴露在风险中的时空概率为0.92。

$V_{(D,T)}$ 、 $V_{(prop,S)}$:易损性的确定较为困难,在此根据

斜坡失稳的模式和距离灾害源区的远近赋值。因泥石流的流速较大,故对于人员来说,泥石流导致的易损性要比滑坡大;而对于建筑物来说,滑坡造成的易损性可能要比泥石流的大。各灾害源区不同滑移距离内的人员和财产易损性如表6。

4.2.3 风险分析和区划

(1)风险计算

根据以上风险各要素的详细调查结果,分别按前边公式(1)、(2)计算3个不同灾害源的财产风险和

表7 各受险区单人生命风险
Table 7 Life risk in various risk-hit areas

受险区	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
$P_{(LOL)}$	3.5×10^{-3}	6.9×10^{-4}	7.8×10^{-3}	5.0×10^{-3}	4.7×10^{-3}	4.4×10^{-3}	3.5×10^{-4}	6.9×10^{-5}	4.3×10^{-3}	9.2×10^{-4}	7.4×10^{-5}	8.0×10^{-6}

单人风险,计算结果如表6。

(2)风险叠加与区划

斜坡上各灾害源的财产风险依次是:Ⅰ号灾害源6.2万元,Ⅱ号灾害源66.5万元,Ⅲ号灾害源3.6万元。假设斜坡上发育的3个不稳定斜坡所导致的破坏事件是相互独立的事件,则场地的财产损失总风险应为3个不同灾害源所带来的损失的算术和,应为76.2万元。

对于单人的生命风险而言,由于暴露在风险中的位置不同,其所遭受的风险源和作用强度亦不同,如(3)号受险区的人员不仅受到来自于Ⅰ号灾害源滑坡的影响,同时还受到来自于Ⅱ号灾害源泥石流的影响(图3),其单人风险应为2个灾害源导致的风险叠加,即 $3.5\times 10^{-3}+4.3\times 10^{-3}=7.8\times 10^{-3}$ 。逐一分析各受险区的灾害来源和风险大小,进行风险叠加(表7),根据叠加后的风险进行区划(图3)。区划结果表明,(1)(3)(4)(5)(6)(9)号受险区的风险较大,具有大于 10^{-3} 的生命风险,其中(3)号区风险最大,为 7.8×10^{-3} ; (2)(7)(10)号受险区的风险次之,在 $10^{-4}\sim 10^{-3}$ 之间; (11)号受险区的风险较小,为 $10^{-5}\sim 10^{-4}$; (12)号受险区的风险小于 10^{-5} ,为最小。

5 结束语

中国是一个地质环境脆弱,地质灾害多发的国家,随着经济社会的发展和生活水平的提高,对生命财产安全和居住环境提出了更高的要求。要有效地减缓地质灾害带来的风险,从根本上做到地质灾害的防范和事前管理,就必须顺应国际潮流,从土地利用规划、地质灾害防治规划到场址规划都运用地质灾害风险管理的理念和方法,逐步推行既能与国际接轨,又适合中国国情的地质灾害风险管理制度。必须加快地质灾害风险管理指南或规程的出台,加强

地质灾害风险源早期识别技术,地质灾害风险调查、评价与区划技术,地质灾害风险容许标准、地质灾害风险减缓措施与机制等技术和关键问题的研究。

参考文献:

[1]Oldrich Hungr, Robin Fell, Réjean Couture, et al. Preface [C]//Hungr O, FellR, Couture R, et al. Landslide Risk Management. The International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 31 May-3 June, 2005.

[2]Fell R, Ho K K S, Lacasse S, et al. A Framework for Landslide Risk Assessment and Management[C]//Hungr O, FellR, Couture R, et al. Landslide Risk Management.. The International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 31 May-3 June, 2005.

[3]Jibson R W, Harp E L, Michael J A. A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps[J]. Engineering Geology, 2000, 58: 271-289.

[4]Cascini L, Bonnard Ch, Corominas J. Landslide Hazard and Risk Zoning for Urban Planning and Development[C]//Hungr O, FellR, Couture R, et al. Landslide Risk Management.. The International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 31 May-3 June, 2005.

[5]张丽君.法国滑坡灾害风险预防管理政策[J].国土资源情报, 2006, (10): 13-18.

[6]Wong H N. Landslide Risk Assessment for Individual Facilities[C]//Hungr O, FellR, Couture R, et al. Landslide Risk Management. The International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 31 May-3 June, 2005.

[7]AGS (2007a). Landslide Risk Management Practice Note [S]. Australian Geomechanics Society, 2008, In press.

[8]Joint Technical Committee on Landslide and Engineered Slopes. Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning[S]. February 2008.

[9]张茂省,等.延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害[M].北京:地质出版社, 2008: 43-54、105-108.

[10]唐亚明.基于可靠度的黄土斜坡稳定性分析[J].地质通报, 2008, 27 (8): 1217-1222.