

徐继维, 张茂省, 范文. 地质灾害风险评估综述[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 130–134. [Xu Jiwei, Zhang Maosheng and Fan Wen. An Overview of Geological Disaster Risk Assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 130–134.]

地质灾害风险评估综述*

徐继维^{1,2}, 张茂省², 范文¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 国土资源部 黄土地质灾害重点实验室/中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 地质灾害风险评估是地质灾害风险管理的重要组成部分, 是主动防灾减灾战略核心内容, 是经济发展、土地利用规划、城乡建设规划和地质灾害防治规划的编制依据, 是当前和今后社会经济发展的必然需求。该文系统阐述了风险的定义、地质灾害风险评估的研究现状, 在此基础上总结归纳了地质灾害风险评估的方法, 最后探讨了风险评估的难点并展望了地质灾害风险评估的发展趋向。

关键词: 地质灾害; 风险评估; 危险性; 概率

中图分类号: P694; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)04–0130–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.04.025

风险起源于远古时期, 渔民打鱼时有“风”就意味着“险”, 故此得名^[1]。风险最早出现在保险金融业, 20世纪30年代, 风险应用到了地质工程及灾害科学领域。发展至今, 风险指生命、健康、财产或环境所遭受的不利影响的可能性和严重程度^[2]。

我国是一个地质灾害频发、遭受人员伤亡和经济损失十分严重的国家。从某种程度上讲, 完全杜绝地质灾害发生是不可能的, 滑坡等地质灾害引起的风险将永远存在, 要想主动有效地预防和减轻地质灾害, 就要对地质灾害本身有比较全面的认识。地质灾害风险评估研究具有重要的现实意义, 是减轻灾害损失的非工程性重要措施, 其研究成果科研为区域发展规划、建设用地适宜性评估、制定应急措施及防灾减灾提供必要的依据^[3]。地质灾害风险评估也是地质灾害风险管理的重要组成部分, 是主动防灾减灾战略核心内容, 是经济发展、土地利用规划、城乡建设规划和地质灾害防治规划的编制依据, 是当前和今后社会经济发展的必然需求^[4]。

但是, 风险如何评估及评估过程中的难点至今仍困扰着全世界的地质专家及学者。明确风险评估过程中的难点及问题可以更好地了解风险的内涵, 进一步推动风险评估的发展。

1 地质灾害风险的定义

国外许多机构和学者提出了各种各样的地质

灾害风险的定义(表1)。联合国救灾组织(UNDRO)^[5]于1982年提出自然灾害风险的定义: “风险(Risk) = 危险(hazard) × 暴露(elements at risk) × 易损性(vulnerability)”。1984年在联合国教科文组织的一项研究计划中由美国著名滑坡专家 Vane^[6]提出的, 地质灾害风险就是地质灾害破坏产生不良后果的可能性, 包括地质灾害发生破坏的可能性及其产生的后果(损失)两个方面。1987年世界环境与发展委员会(WCED)^[7]指出地质灾害风险应考虑抗灾能力; 1989年 Maskrey^[8]提出“风险是某一事故发生后所造成的损失”; 联合国人道主义事业部(UNDHA)^[9]于1992年两次正式公布的自然灾害风险的定义: “地质灾害风险是在一定区域和给定时段内, 由于某一自然灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值”。1996年 Smith^[10]提出“风险是某一灾害发生的概率”; 1997年 Fell^[11]提出“Risk = Probability × Vulnerability”; 同年 Tobin^[12]也提出是两部分相加, 最后 Shook 在文章中指出只能相乘不能相加; 1998年 Deyle^[13]提出“风险是某一事故发生的概率与发生后果规模的结合”; 2002年联合国(UN)^[14]提出“Hazard × Vulnerability ÷ Resilience”; 2005年 Fell^[3]在加拿大国际滑坡会议上指出“Risk = $P_{(L)} \times P_{(T;L)} \times P_{(S;T)} \times V_{(prop;S)} \times E$ ”, 这一定义得到了世界上广大学者的认可。

此外, 国内地质学者也对风险进行了一定的研究。向喜琼等^[15]在总结发达国家和中国香港地区风险评估经验的基础上, 提出从区域上对地质

* 收稿日期: 2015–04–17 修回日期: 2015–05–25

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目“高山峡谷区域暴雨泥石流启动阈值研究”(2014KJXX-20); 国家自然科学基金项目“高山峡谷区域暴雨泥石流成灾临界阈值研究”(41302224); 国土资源大调查项目“陕西省重要城镇地质灾害风险评估”(12120113008900)

作者简介: 徐继维(1987–), 男, 辽宁阜新人, 博士研究生, 主要从事地质灾害研究、风险评估研究. E-mail: xujiwei@chd.edu.cn

表 1 地质灾害风险的定义

时间	作者	定义
1982	UNDRO ^[5]	$Risk = Hazard \times Vulnerability \times Elements\ at\ risk$
1984	Varnes ^[6]	$Risk = Hazard \times Vulnerability \times Amount$
1987	WCED ^[7]	$Risk = Hazard \times Vulnerability \div Capacity$
1989	Maskrey ^[8]	$Risk = Hazard + Vulnerability$
1991	UNDHA ^[9]	$Risk = Hazard \times Vulnerability$
1996	Smith ^[10]	$Risk = Probability \times Loss$
1997	Fell ^[11]	$Risk = Probability \times Vulnerability$
1997	Tobin ^[12]	$Risk = Probability + Vulnerability$
1998	Deyle ^[13]	$Risk = Hazard \times Consequence$
2002	UN ^[14]	$Risk = Hazard \times Vulnerability \div Resilience$
2005	Fell ^[3]	$Risk = P(L) \times P(T; L) \times P(S; T) \times V(prop; S) \times E$ $Risk = P(L) \times P(T; L) \times P(S; T) \times V(D; T)$

灾害进行风险评估的基本构想。韩用顺等^[16]提出, 用危险性、易损性和暴露性的“积函数”来计算风险; 张茂省等^[1,17]提出, 按照危险性和危害性的风险矩阵方式评估风险, 并以陕西延安宝塔区为例进行地质灾害风险评估研究和探索。吴树仁等^[18-19]针对地质灾害风险评估方法做了系统的总结。

综合上述定义, 可以看出风险的定义主要包含了两方面的内容: 地质灾害自身固有的属性(危险性)和承灾体的属性(潜在危害后果)。由此, 可以将风险定义为“ $Risk = Hazard \times Vulnerability \times Parameter$, $P = Elements\ at\ risk, Amount, Capacity - 1, et\ al.$ ”。Fell 在 2005 年提出的公式是将上述公式进行的细化。

2 地质灾害风险评估的现状

20 世纪 90 年代联合国公布了自然灾害风险的评估方法, 提出并完成了以降低地质灾害造成的损失 30% 为目标的十年计划 (IDNDR)^[20], 标志着地质灾害风险评估研究“扬帆起航”。1994 年美国^[21]年绘制 1:2.4 万地质灾害危险区划图。1995 年法国进行全国性的 1:2.5 万地质灾害风险填图^[1]。20 世纪 90 年代中期中国香港地区采用定量的风险评价方法 (QRA), 对全部的边坡进行分级评价^[22]。意大利在 1999-2000 年两年时间里完成了全国的 1:2.5 万地质灾害危险性区划图和更大比例尺 (1:5 000, 1:2 000) 的地质灾害风险区划图^[23]。1999 年 7 月, 联合国提出了以“减轻灾害和危险”为主题的《国际减灾战略》(ISDR) 倡议, 促进了地质灾害风险评估研究的国际化脚步。2005 年滑坡灾害风险管理国际会议^[3]对地质灾害风险评估的基本理论、方法、经验及实例进行了总结、研究及讨论, 地质灾害风险评估进入了“黄金时期”。

根据中国地质环境监测院的统计, 全国约有 26 万处地质灾害隐患点, 严重影响人们的正常生活和生命财产安全。为此, 国务院及国土资源部开展了一系列的工作: 1993 年开展了 1:50 万环境

地质调查; 1999 年开展了约 2 000 县的 1:10 万丘陵山区县(市)地质灾害调查与区划; 2003 年国务院第 394 号令公布了《地质灾害防治条例》; 2005 年国土资源部中国地质调查局代表团参加了在加拿大温哥华举办的《滑坡风险管理》国际会议, 并随后部署并开展了 1:5 万的地质灾害高易发区详细调查工作; “十二五”科技支撑计划将地质灾害风险评估列为一个课题专门研究。2014 年, 计划将《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范》和《地质灾害防治勘查规范》升级为国家标准, 并开展了《陕西省重要城镇地质灾害风险评估》等 6 个试点型项目, 为全国地质灾害风险评估工作“投石问路”。

3 地质灾害风险评估的方法

根据量化的水平, 通常将风险评估的方法分成定性和定量两种。针对不同的情况采用不同的风险评估方法。

3.1 定性方法

定性分析的优点在于可以利用有限的数据较准确和有效地表达风险^[24], 特别适合于调查和研究程度不高的地质灾害风险分析与风险评估研究。主要包括地质灾害的危险性和发生灾害后的危害性两方面, 根据定性的水平可以将危险性和危害性划分不同的等级, 进而形成不同的风险矩阵进行风险评估^[25]。

3.1.1 危险性定性估算方法

研究者根据几十年的时间跨度的历史记载, 通过已知的重复时间间隔来推测可能的地质灾害发生频次, 并依此来核对地质灾害在时空序列的稳定性^[26-28]。

通过辨别不同时期的航空数据, 确定每年新生地质灾害数量或者某悬崖被侵蚀后退的距离, 进而确定平均滑坡发生频率, 形成遥感数据评估 (航片、卫星影像) 生成地质灾害数量频次曲线^[29-30]。

利用地质灾害诱发因素的关系, 如暴雨与地震是最常见的滑坡诱发因素, 一旦有某地区的临

界降雨值或者地震临界加速度值, 滑坡频次就可以根据降雨等诱发因素的时间间隔来确定^[28,31]。

如果没有直接的数据, 可以根据地质灾害发生后灾害堆积物上的植物生长情况, 以及灾害产生的池塘里的动物生活痕迹来判断地质灾害^[32-34]。

3.1.2 危害性定性估算方法

AGS^[25]根据造成损失的等级划分为5个等级, 我国《滑坡崩塌泥石流灾害1: 50 000调查规范》根据受威胁的人数和直接经济损失将危害程度划分为4级^[1]。总体来说, 危害性是一种社会属性, 主要反映评估地区的财产和人员伤亡情况。

3.2 定量方法

定量方法要求在具有详实调查资料及数据的基础下完成, 优点在于风险评估的精度和可靠性较高, 适用于重大地质灾害风险分析与风险评估研究。本文以Fell^[2]提出的风险计算公式为基础定量评估地质灾害风险。

3.2.1 时间概率

主要有2种计算方式: 统计分析方法和诱发因素重现周期分析方法。

统计分析法需要以历史灾害的详细编录数据依托, 利用每年发生的地质灾害数量与地质灾害总数量(包括灾害和灾害隐患)的比值来表示当年地质灾害的发生概率, 利用多年地质灾害发生概率的均值作为衡量一个地区地质灾害年发生概率即地质灾害年危险性大小; Crovelli^[35]提出地质灾害事件可以利用二项分布函数和泊松分布函数分析概率的观点; Jordi Corominas^[36]提出服从二项分布的地质灾害(特定规模)事件的年概率为: $P(N=1; t=1) = 1/T = \lambda$ 。

诱发因素重现周期分析法是利用地质灾害诱发因素如降雨、地震等的重现周期(以100年计)来换算地质灾害发生概率。

3.2.2 空间概率

概括起来, 地质灾害的空间概率可以用5类方法来分析。①基于地质灾害编录的概率分析方法。即认为过去容易发生地质灾害的地方, 将来仍旧是地质灾害的高发区^[37-38]。②基于经验的定性推理方法。工程地质学家和地貌学家运用专家经验知识直接或间接地分析绘制滑坡易发性分区图, 进行滑坡的空间预测, 如Castellanos等对古巴Guantanamo地区做的滑坡易发性定性评价^[39]等。③基于数据的数学模型评价法。有人将几种数学模型应用于同一地区建立滑坡易发性预测模型并比较其结果^[40]。Guzzetti等在意大利中部Collazzone地区建立了滑坡易发性统计分析模型, 并实现了模型可靠性、易发性和预测技术的定量分析评价^[41]。④确定性模型方法。这种方法采用边坡稳定性计算的物理力学模型, 输入岩土体物理力学和水文参数, 利用GIS算法实现区域的稳定性计

算, 并输出定量评价成果图, 如Gorsevski等的研究^[42]。⑤不确定性模型方法, 主要是基于可靠度的概率模型方法。其计算方法主要有统计矩法、一次二阶矩法、一阶、二阶可靠性法、几何法, 以及基于试验模拟的Monte Carlo法等^[43]。近20年来, 学者们将该方法应用于斜坡系统的稳定性分析, 取得了显著成果, 近来又将其与数字高程模型结合, 输出斜坡稳定性的概率分布图, 如Haneberg等的研究^[44]。

3.2.3 时空概率

张茂省等^[1]根据承灾体类型计算时空概率, 将承灾体简单地分为固定和流动两种, 认为地质灾害影响范围内的房屋、道路等固定承灾体时空概率为1, 而人员、车辆等流动承灾体的时空概率按照统计方法计算。对人而言, 根据人在承灾体范围内的时间来计算其暴露在地质灾害面前的时空概率, 例如房屋中居住有4个人。其中一人每天在房屋中呆20 h, 每周呆7 d; 另外3个人每天在房屋中呆12 h, 每周呆2 d。对第一个人的时空概率为: $P_{(s,t)} = 20/24 = 0.83$; 对另外三个人: $P_{(s,t)} = 12/24 \times 2/7 = 0.14$ 。对交通工具而言, 应统计其每天经过地质灾害影响范围的时间来计算其时空概率等。例如当车辆通过有地质灾害危险的100 m长的路段, 且平均车速为30 km/h时, 车辆每次通过该路段的时空概率为: $P_{(s,t)} = 100/(3\ 000 \times 365 \times 24) = 3.9 \times 10^{-5}$ 。

3.2.4 易损性

基于国际土力学与岩土工程协会(ISSMGE)确定的易损性定义, Uzielli^[45]提出承灾体的易损性表达式为“Vulnerability = landslide intensity $\times$ susceptibility of elements at risk”。Kaynia^[46]在Uzielli的基础上, 基于FOSM方法对易损性的概率问题进行了一定的探讨。Li^[47]提出了基于事件分析的滑坡易损性评价模型。Amatruda等^[48]对建筑物、人口、线路工程及资源环境提出易损性评价的计算指标。

国内, 姜彤^[49]对易损性的评价考虑了人口的职业、年龄、健康状况、性别、居住地的偏僻性等因素。李闽^[50]将地质灾害中最大可能死伤人数占其灾前人口总数的比重作为人口安全易损性, 并综合考虑人口密度、人口质量、人口年龄、文化程度和城乡分布的因素条件下建立的人的易损性评价模型。蒋庆丰^[51]在建立山坡泥石流易损性评价模型时, 对经济类承灾体的自身属性主要考虑了其结构类型, 维护状态及重要性三方面。

4 地质灾害风险评估难点与展望

4.1 风险评估的难点

地质灾害风险评估的内容主要是地质灾害的危险性和发生灾害后的危害性。Van Westen^[52]曾

提出地质灾害风险评估的难点是缺少地质灾害记录、时间概率、空间概率、Runout 模型和易损性 5 方面。我国也有学者^[53]进行了地质灾害实践中的难点的总结。本文在大量阅读文献的基础上,对目前地质灾害风险评估的难点提出了自己的观点。

(1)空间概率与时间概率叠加难。随着 GIS 的发展,我们现阶段对地质灾害易发性评估有了较大的进步。对于地质灾害发生的空间概率计算有了长足的进步,对于时间概率的问题,虽然解决的方法少,但是仍有一些方法可以计算。目前主要的难点是如何将时间概率与已有的空间概率进行叠加。

(2)地质灾害影响范围确定难。Runout 模型虽然可以很好地解决这一问题,但是仍存在一些问题。一方面灾害发生前后地形和环境的变化很大,随之灾害类型、体积等都会有所改变,灾害影响范围难以计算。另一方面,确定性模型能计算可靠的结果,但是需要详细的数据集、输入参数值、水文参数等。

(3)易损性评估难。目前对于承灾体的易损性研究仍没有具体的标准,有学者认为易损性是承灾体的固有属性,不以外界条件变化而转变,在 0~1 之间。也有学者认为易损性与灾害强度有关,简单地呈正比关系。但是,两种观点都没有具体学理层面的表达,评估者的主观因素对其有一定的作用,没有统一标准。不同的评估者会评估出不同的易损性。

(4)风险评估的标准不统一。估算出的风险值需要与风险允许标或风险矩阵准进行对才能完成风险评估。但是,对于不同的评估方法,其风险允许标准不同,评价结果不同。对于以后的风险评估的使用有一定的限制作用。

4.2 风险评估的展望

21 世纪是地质灾害风险评估的“黄金期”。地质灾害风险评估作为防灾减灾的有效途径,必将得到进一步发展。地质灾害风险评估是地质灾害自然属性和社会属性的结合,是多学科综合的一项研究。鉴于地质灾害风险评估的研究现状,展望地质灾害风险评估研究工作的未来,作如下总结。

(1)进一步完善地质灾害编目数据库。详细记录地质灾害的日期、类型、数量和触发事件等,为地质灾害风险评估奠定基础。

(2)进一步提高地形数据精度。GIS 的快速发展,使越来越多的工具可用于风险评估。因此,地形数据的精度对滑坡风险评估有着至关重要的作用。

(3)进一步丰富风险地质灾害风险评估的内容,构建更加系统的风险评估公式,综合多学科领域知识,完善风险评估方法,统一风险评估标准。

(4)进一步完善风险计算公式中的各项内容,解决风险评估中的难点。利用现有的研究手段和 GIS 新技术有效解决地质灾害风险评估中的风险动态变化等问题。

参考文献:

- [1] 张茂省,唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205-1216.
- [2] Fell R, Ho KKS, Lacasse S, et al. A framework for landslide risk assessment and management[C]//Hungr O, Fell R, Couture R, et al. Landslide Risk Management. Vancouver, Canada: AABalkema Publishers, 2005.
- [3] 卢全中,彭建兵,赵法锁. 地质灾害风险评估(价)研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 59-63.
- [4] 吴树仁. 滑坡风险评估理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [5] UNDRO. Natural Disasters and Vulnerability Analysis[R]. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, 1982.
- [6] Varnes D J. Landslide hazard zonation: A review of principles and practice[R]. Paris: United Nations International, 1984.
- [7] WCED. Report of the world commission on environment and development our common future[R]. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [8] Maskrey A. Disaster mitigation: A community based approach [M]. Oxford: Oxfam, 1989: 1-100.
- [9] UNDHA. Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management [R]. United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva, 1992.
- [10] Smith K. Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster[M]. London: Routledge, 1996: 12-38.
- [11] Fell R, Hartford D. Landslide risk management[C]//Cruden D, Fell R, Landslide risk assessment. Balkema, Rotterdam, 1997: 51-109.
- [12] Tobin G, Montz B E. Natural hazards: Explanation and integration [M]. New York: The Guilford Press, 1997. 1-388.
- [13] Deyle R E, French S P, Olshansky R B, et al. Hazard assessment: the factual basis for planning and mitigation[M]. Washington D. C.: Joseph Henry Press, 1998.
- [14] United Nations. Risk awareness and assessment in living with risk [M]. ISDR, UN, WMO and Asian Disaster Reduction Centre, Geneva, 2002, 39-78.
- [15] 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.
- [16] 韩用顺,崔鹏,刘洪江,等. 泥石流灾害风险评价方法及其应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(12): 141-147.
- [17] 张茂省. 延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [18] 吴树仁,石菊松,张春山,等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 8(8): 995-1005.
- [19] 吴树仁,石菊松,王涛,等. 地质灾害活动强度评估的原理、方法和实例[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1127-1137.
- [20] United Nations Department of humanitarian affairs. Mitigating natural disasters: Phenomena, effects and options-a manual for policy makers and planners[M]. New York: United Nations, 1991.
- [21] 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.
- [22] Wong H N. Landslide risk assessment for individual facilities [C]//Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E. Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Vancouver, Canada, 31 May-3 June, 2005, Taylor and Francis, London, 2005: 237-296.
- [23] Cascini L, Bonnard Ch, Corominas J. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development[C]//Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E. Proceedings of International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, London: Taylor and Francis, 2005: 159-198.
- [24] Hu Zejiang. Qualitative and quantitative analysis method risk as-

- essment[J]. Journal and Dalian Maritime University, 2010, 36: 13–15.
- [25] Australian Geomechanics Society. Landslide risk management[J]. Australian Geomechanics, 2007, 42(1): 1–36.
- [26] Fell R, Finlay P J, Mostyn G R. Framework for assessing the probability of sliding of cut slopes[C]//K Sennehet. 7th International Symposium on Landslides. Trondheim. A. A. Balkema. Rotterdam, 1996, 1: 201–208.
- [27] Hungr O, Evans S G, Hazzard J. Magnitude and frequency of rockfalls and rock slides along the main transportation corridors of south-western british columbia[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1999, 36: 224–238.
- [28] Picarelli L, Oboni F, Evans S G., et al. Hazard Characterization and Quantification[C]//Hunger O, Fell R, Couture R, Eberhardt E. Proceedings of International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada. London: Taylor and Francis, 2005: 27–61.
- [29] Cardinali M, Reichenbach P, Guzzetti F, et al. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risk in Umbria, Central Italy[J]. Natural Hazards and Earth Systems Sciences, 2002, 2: 57–72.
- [30] Guthrie R H., Evans S G. Analysis of landslide frequencies and characteristics in a natural system, coastal british columbia[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2004, 29: 1321–1339.
- [31] Baum R, Coe J A, Godt J W, et al. Regional landslide-hazard assessment for seattle, Washington, USA[J]. Landslides, 2005, 2: 266–279.
- [32] Corominas J, Copons R, Moya J, et al. Quantitative assessment of the residual risk in a rockfall protected area[J]. Landslides, 2005, 2(4): 343–357.
- [33] Stoffel M. A review of studies dealing with tree rings and rockfall activity: the role of dendrogeomorphology in natural hazards research[J]. Natural Hazards, 2006, 39: 51–70.
- [34] Irmiler R, Daut G, Mäusbacher R. A debris flow calendar derived from sediments of lake lago di braies (N. Italy)[J]. Geomorphology, 2006, 77: 69–78.
- [35] Crovelli R A. Probabilistic models for estimation of number and cost of landslides. U. S. geological survey open file report 00–249, 2000: 23[EB/OL]. [2015–01–12]. <http://pubs.usgs.gov/of/2000/ofr-00-0249/ProbModels.html>.
- [36] Jordi Corominas, J Moya. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes (in landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning)[J]. Engineering Geology, 2008, 102(3/4): 193–213.
- [37] 刘传正, 李铁锋, 杨冰, 等. 长江三峡库区地质灾害空间评价预警研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(4): 9–19.
- [38] Chau K T, Sze Y L, Fung M K, et al. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS[J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(4): 429–443.
- [39] Enrique A, Castellanos Abella, Cees J, et al. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis; a case study from an Antonio del Sur, Guantnamo, Cuba (in GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk)[J]. Geomorphology, 2008, 94(3/4): 453–466.
- [40] Isik Yilmaz. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison; a case study from kat landslides (Tokat-Turkey)[J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(6): 1125–1138.
- [41] Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, et al. Estimating the quality of landslide susceptibility models[J]. Geomorphology, 2006, 81(1/2): 166–184.
- [42] Gorsevski P V, Gessler P E, Boll J, et al. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility[J]. Geomorphology, 2006, 80(3/4): 178–198.
- [43] 唐亚明. 基于可靠度的黄土斜坡稳定性分析及方法探讨[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1217–1222.
- [44] Haneberg W C. A rational probabilistic method for spatially distributed landslide hazard assessment[J]. Environmental and Engineering Geoscience, 2004, 10(2): 27–43.
- [45] Marco U, Farrokh N, Suzanne L, et al. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides[J]. Engineering Geology, 2008(102): 251–256.
- [46] Kaynia A M, Papathoma-Kohle M, Neuhauser B, et al. Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: Application to the village of lichtenstein, Baden-Württemberg, Germany[J]. Engineering Geology, 2008, 101: 33–48.
- [47] Li Z H, Imadim F, Huang H W, et al. Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards, Landslides, 2010, 7: 125–134. doi: 10. 1007/s 10346–009–0190–3.
- [48] Amatruda G, Bonnard C, Castelli, et al. A key approach: the IMIRILAND project method. Identification and mitigation of large landslide risks in europe-advances in risk assessment[C]//European Commission, Fifth Framework Program. Balkema, 2004: 13–44.
- [49] 姜彤, 许朋柱. 自然灾害研究的新趋势—社会易损性分析[J]. 灾害学, 1996, 11(2): 5–9.
- [50] 李闻. 地质灾害人口安全易损性区划研究[J]. 中国地质矿产经济, 2002(8): 24–27.
- [51] 蒋庆丰, 游珍, 沈吉, 等. 山坡泥石流场地易损性评价[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 123–127.
- [52] Van Westen C J, Van Asch TWJ, Soeters R, et al. Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? [J]. Bull Eng Geol Environ 65(2): 167–184.
- [53] 石菊松, 石玲, 吴树仁, 等. 滑坡风险评估实践中的难点与对策[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1020–1030.

An Overview of Geological Disaster Risk Assessment

Xu Jiwei¹, Zhang Maosheng² and Fan Wen¹

(1. College of Geological Engineering and Geometry, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MLR/Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: Geological disaster risk assessment is an important part of the geological disaster risk management, core content of disaster prevention and mitigation strategy and foundation of economic development, land use planning, rural construction planning and geological disaster prevention. We expound the definition of geological disaster risk assessment as well as the present research situation of geological disaster risk assessment. On the basis of these works, the methods of geological disaster risk assessment were summarized. In the end, existing problems and future development of the geological disaster risk assessment were discussed and prospected.

Key words: geological disaster; risk assessment; hazard; probability