

区域滑坡灾害风险评价方法研究

金江军¹, 潘懋¹, 李铁锋²

(¹ 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; ² 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘 要: 回顾了滑坡灾害风险评价研究进展, 指出了现有评价方法的不足。然后提出了基于土地利用类型的滑坡灾害易损性评价方法, 建立了针对滑坡灾害的防灾减灾能力评价指标体系, 并给出了具体评价方法。最后提出了基于 GIS 的区域滑坡灾害风险评价流程以及滑坡灾害风险等级确定方法。

关键词: 滑坡; 风险评价; 易损性; 防灾减灾能力; 地理信息系统

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

滑坡灾害是我国最主要的突发性山地地质灾害类型之一。根据中国地质环境信息网发布的《2006 年地质灾害通报(1~12月)》, 2006 年全国共发生 102 804 起, 其中滑坡 88 523 起, 占 86.1%。近 10 a 来, 特大滑坡灾害时有发生。例如, 1996-05-31, 云南省元阳县发生滑坡, 导致 89 人死亡, 149 人失踪; 2001-05-01, 重庆市武隆县发生滑坡, 导致 79 人死亡; 2002-08-14 云南省新平县发生特大滑坡泥石流, 死亡 33 人, 失踪 13 人, 直接经济损失 1.2 亿。1986 年以来, 云南省碧江县城由于滑坡难以治理而撤县, 耿马、镇沅、西盟、元阳 4 个县城由于滑坡灾害多发而异地搬迁, 盐津、镇康县城则由于滑坡灾害而局部搬迁。

2004 年, 联合国开发计划署对风险做了如下定义: 风险是指自然或人为灾害与承灾体的脆弱性(或称为“易损性”)之间相互作用而导致一种有害的结果或预料损失发生的可能性, 其数学表达式为“ $\text{风险} = \text{危险性} \times \text{易损性} / \text{防灾减灾能力}$ ”^[1]。在 2004-08 召开的第 32 届国际地质大会上, 地质灾害风险评价成为一个热点话题。

随着我国城镇化进程的加速和工程建设规模的增大, 滑坡灾害的发生频率将越来越高, 造成的经济损失也将越来越大。由于滑坡灾害多发生在经济落后的山区, 这些地方的滑坡治理资金往往非常有限。开展滑坡灾害风险评价工作, 一方面可以为城市规划、土地利用、工程选线/选址等提供科学依据, 另一方面可以使滑坡防治工作充分考虑经济效益, 并使滑坡治理工作分轻重缓急地依次开展。例如, 香港土力工程处采用量化风险分析(QRA)方法圈定滑坡高风险区, 并用 QRA 方法制定边坡工程经费分配政策, 对老边坡维修顺序进行排序^[2]。

1 相关研究进展述评

1988 年, H. H. Einstein 给出了包含 5 个层次(自然状态图、危险图、致灾图、风险图、滑坡管理图)的滑坡风险评价框架^[3]。20 世纪 90 年代以来, 随着联合国开展“国际减灾十年”活动, 滑坡灾害风险评价逐渐兴起^[4]。在美国、加拿大等国家已有不少基于风险的边坡管理实例^[5]。1996 年, R. Anbalagan

收稿日期(Received date): 2006-08-28; 改回日期(Accepted): 2007-02-05.

基金项目(Foundation item): 辽宁省鞍山市地质灾害评价预警系统(辽国资项发[2004]6号)[The Assessment and Early-warning System Geohazard in Anshan, Liaoning Province, supported by Land Resources Office of Liaoning province]

作者简介(Biography): 金江军(1978-), 男, 汉族, 博士研究生, 研究方向为地质灾害风险管理。[Jin Jiangjun(1978-), male, Han nationality, Ph.D. major in geohazard risk management] E-mail: jiangjun@pku.edu.cn

通信作者(Communication Author): 潘懋(1954-), 男, 汉族, 教授, 博导, 研究方向为信息地质、灾害地质、石油地质。[Pan Mao(1954-), male, Han nationality, professor, Ph.D. tutor, major in informational geology, geologic hazards, petrolicology] E-mail: panmao@pku.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

等提出了基于风险评价矩阵 (RAM) 的山区滑坡灾害风险评价制图方法^[6]。1999年, Piggin指出了滑坡灾害风险评价对于滑坡防治决策的重要性^[7]。2000年国际滑坡会议重点讨论了 GIS 技术在滑坡灾害风险评价中的应用。2004年, C. KoKo提出了定性的滑坡风险评价方法, 并验证了该方法的可靠性^[8]; Zom提出了一种确定性滑坡风险建模方法^[9]。2006年, C. J. van Westen指出了由于滑坡风险评价过程中存在很多不确定性, 滑坡灾害风险区划很难^[10]。总的来说, 国外滑坡灾害风险评价起步早, 新理论、新技术、新方法多, 而且与土地利用、滑坡防治政策制定等结合起来, 使评价结果能够发挥真正实际作用。

近年来, 国内滑坡灾害风险评价相关研究文献不断出现, 特别是危险性评价方面的文献。例如, 汪敏等研究了滑坡灾害易损性和破坏损失评价方法, 分析了滑坡灾害破坏效应以及受灾体的价值^[11]; 彭满华等认为滑坡灾害风险评价步骤包括: 基础信息的采集、滑坡体的识别、滑坡风险因子及发生概率的确定, 滑坡灾害的风险评价^[12]; 戴福初等对滑坡风险评价与管理研究进行了综述^[13]; 谢全敏等探讨了滑坡灾害风险特征以及风险评价的基本内容, 认为滑坡危险性分析、承灾体易损性分析和滑坡灾害破坏损失评估是核心内容^[14]。

不过, 目前国内许多滑坡灾害风险评价方面的研究文献沿用的是 1992 年联合国人道主义事务部提出的风险概念, 即“风险 = 危险性 * 易损性”, 没有考虑人们对滑坡的防灾减灾能力^[15-17]。实际上, 如果当地对滑坡的防灾减灾能力很强, 即便是大型滑坡, 造成的人员伤亡和经济损失也会少很多。相反, 如果当地防灾减灾能力弱, 小规模滑坡也可能造成惨重的人员伤亡和巨额的经济损失。有的甚至把“风险评价”等同于“危险性评价”^[18-19]。这是不对的, 因为“危险性”只是表示发生滑坡的可能性, 而风险则涉及滑坡可能造成的人员伤亡和经济损失。如果某次特大滑坡发生后没有造成人员伤亡和经济损失, 那么这次滑坡就只是“自然现象”。但如果某次很小规模的滑坡发生后造成了人员伤亡和经济损失, 那么这次滑坡就是“灾害”。

2 滑坡灾害易损性评价方法

从灾害风险定义可知, 灾害风险评价包括危险

性评价、易损性评价、防灾减灾能力评价三项内容。由于迄今滑坡危险性评价方面的研究成果很多, 已经有不少成熟的评价方法, 本文不再赘述。只是把滑坡危险性统一划分成 5 个等级: 5 级 (极高危险性)、4 级 (高危险性)、3 级 (中危险性)、2 级 (低危险性)、1 级 (无危险性)。当然也可以采用 3 个或 4 等级甚至更多等级, 不在本文讨论范围。

国内滑坡灾害易损性评价方面的研究不多。唐川在编制红河流域滑坡风险图时, 选取了“县市人口密度、房屋资产、GDP、耕地、公路分布”作为滑坡灾害易损性评价指标^[16]。吴益平等在巴东新县城区滑坡灾害风险预测中, 选取了“房屋建筑、道路工程、生命线工程、人口分布和土地利用类型”作为易损性评价因子^[17]。

历史滑坡灾情调查显示, 滑坡灾害造成的人员伤亡与直接经济损失与滑坡影响范围内的人口、资产情况有关。这里所说的“资产”包括房屋建筑、道路设施、农田等可以用货币来衡量价值的地物。在人烟稀少的地区, 即便发生特大规模的滑坡, 造成的人员伤亡与直接经济损失是很少的。而在城市化地区, 即便发生小规模滑坡, 造成的人员伤亡与直接经济损失往往是很大的。实际上, 一个地区的人口、经济分布情况能够在一定程度上从该地区的土地利用情况中反映出来。因此, 滑坡灾害易损性与滑坡影响范围内的土地利用情况密切相关。

与前人的评价思路不同, 本文采用基于用地类型的区域滑坡灾害易损性评价。根据 2001-08-21 国土资源部试行《土地分类》的通知 (国土资发 [2001] 255 号), 土地分类体系由 3 个一级类 (农用地、建设用地、未利用地), 15 个二级类、71 个三级类, 每种类型对应滑坡灾害的易损性等级如表 1 所示。

区域土地利用现状数据可以通过遥感方式快速获取。根据滑坡灾害风险评价图的比例尺大小选取遥感影像的分辨率大小。当然, 表 1 中土地利用类型的滑坡灾害易损性等级划分是粗线条的、示意性的, 还应该根据评价区具体的人口、资产分布情况进行修正。这是因为同样一种用地类型, 在不同地方其人口密度和资产价值总额是不一样的。例如, 同样是住宅用地, 但由于住宅种类不同 (有楼房、平房、简易住宅之分, 有别墅、公寓、普通住宅之分), 易损性是不一样的。

表 1 土地类型对应滑坡灾害的易损性等级示意表

Table 1 Vulnerability of land types to landslide disaster

| 一级类 | 二级类 | 人口易损性等级 | 经济易损性等级 |
|------|---------------------|---------|---------|
| 农用地 | 耕地 | 1级 | 2级 |
| | 园地 | 1级 | 2级 |
| | 林地 | 1级 | 2级 |
| | 牧草地 | 1级 | 2级 |
| | 其他农用地 | 1级 | 2级 |
| 建设用地 | 商服用地 | 5级 | 5级 |
| | 工矿仓储用地 | 4级 | 5级 |
| | 公用设施用地 | 1级 | 5级 |
| | 住宅用地 | 5级 | 4级 |
| | 公共建筑用地 | 5级 | 5级 |
| | 特殊用地 | 3级 | 3级 |
| | 交用地 (除农村道路) | 2级 | 4级 |
| 未利用地 | 水利建设用地 | 2级 | 4级 |
| | 未利用土地 (除田坎) 和未进入农用地 | 1级 | 1级 |
| | 建设用地的其他水域 | 1级 | 1级 |

注: 5级代表极高易损性, 4级代表高易损性, 3级代表中易损性, 2级代表低易损性, 1级代表无易损性。

3 滑坡防灾减灾能力评价方法

实际情况表明, 滑坡监测预报水平高, 滑坡群防群测工作组织得好, 就能及时发现滑坡隐患点, 以便提前做好防灾减灾准备 (如削坡减载、坡脚加固)。发现滑坡隐患点后及时把有关信息告诉附近群众和当地政府主管部门, 以便这些群众能够在发生滑坡前转移到安全地带。

尽管切坡修路等人类工程活动是诱发滑坡的重要因素, 但只要地质工程技术水平高, 施工过程中防护得当, 发生滑坡的概率并不会大。有不少滑坡灾害是由于居民点、工程设施选址不当引起的, 例如有的就坐落在滑坡体上, 有的坐落在潜在滑坡体的影响范围内。

如果能够及时采用抗滑桩、预应力锚索、预应力锚固、灌浆、柔性拦截网、混凝土框等来治理滑坡隐患点, 就可以在一定程度上避免发生滑坡。如果当地政府财力雄厚, 防灾减灾方面的资金投入和灾后重建的资金投入就有保障。

老弱病残人口由于生理、心理的原因, 他们的防灾减灾能力很弱。因此, 如果老弱病残人口比例大, 则区域整体防灾减灾能力就弱, 反之则强。滑坡防灾减灾教育和知识普及情况好, 群众的防灾减灾意

识就强, 群众防灾减灾、自救互救的能力就强。

如果当地政府主管部门编制了《地质灾害应急预案》, 救灾工作就会有有条不紊。如果救援队伍专业化程度高, 救援技术装备良好、救灾物资贮备充足、所需信息资料完备, 救灾工作效率就高, 就能够及时、快速地进行抢险救灾, 滑坡造成的人员伤亡和经济损失相对就会少一些。

根据上述分析, 可以选取“滑坡监测预报水平、滑坡群防群测情况、滑坡防护实施情况、选址合理程度、滑坡隐患点治理率、当地政府财力、老弱病残人口比例、群众防灾减灾意识、地质灾害应急预案编制情况、当地抢险救灾能力”作为防灾减灾能力评价指标。由于防灾减灾工作是按照行政区划来组织的, 因此采用行政区划单元作为评价单元。在具体评价时, 每个指标赋予 10 分, 10 个指标总分为 100 分, 邀请若干专家根据不同行政区划单元的实际情况进行打分, 最后求平均分 (如果打分专家超过 5 人, 也可以先去掉最高分和最低分, 剩余求平均分)。如果得分 90~ 100 分, 则防灾减灾能力等级为 5 级 (极强); 如果得分 80~ 90 分, 则防灾减灾能力等级为 4 级 (强); 如果得分 60~ 80 分, 则防灾减灾能力等级为 3 级 (中等); 如果得分 40~ 60 分, 则防灾减灾能力等级为 2 级 (弱); 如果得分 0~ 40 分, 则防灾减灾能力等级为 1 级 (极弱)。

4 滑坡灾害风险评价方法

滑坡灾害风险评价流程如图 1 所示。首先把评价区划分若干网格单元, 网格单元大小根据评价区面积和评价图比例尺要求确定。然后选取评价指标和评价模型开展危险性评价, 如果对危险性评价结果不满意, 可以调整评价模型及其参数, 重新进行评价, 直到满意为止, 得到危险性评价图。根据每个网格单元的土地类型确定该网格单元的易损性等级, 再根据具体人口、资产情况进行修正, 得到易损性评价图。对每个行政区划单元的防灾减灾能力进行评价, 得到防灾减灾能力评价图。最后, 根据公式“风险 = 危险性* 易损性 防灾减灾能力”, 利用地理信息系统 (GIS) 的叠加功能, 对这三张图进行叠加, 计算每个网格单元的风险等级, 5 级表示极高风险, 4 级表示高风险, 3 级表示中等风险, 2 级表示低风险, 1 级表示风险极低或无风险, 最终得到滑坡灾害风险评价图。

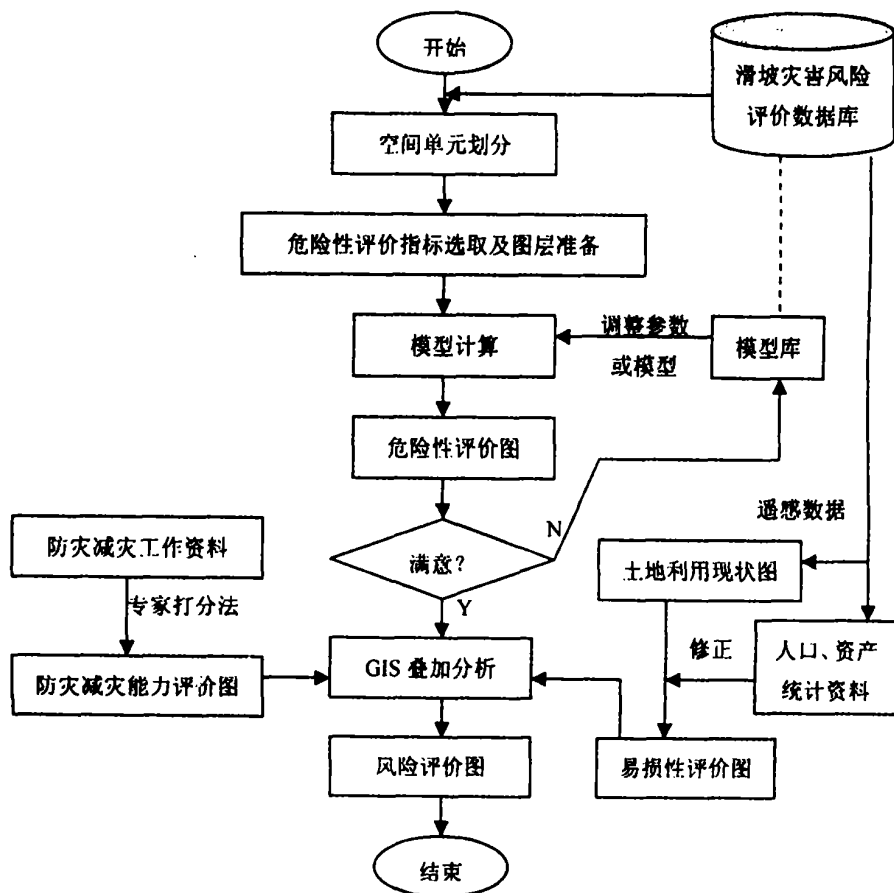


图 1 滑坡灾害风险评价流程

Fig 1 The flow of landslide disaster risk assessment

为了方便计算, 滑坡危险性等级、易损性等级以及防灾减灾能力等级从 5 级到 1 级分别赋 10、8、6、4、2, 建立危险性等级矩阵 A, 易损性等级矩阵 B, 设防灾减灾能力等级为 C, 则

$$A = \begin{bmatrix} 10 \\ 8 \\ 6 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix}, B = [10 \ 8 \ 6 \ 4 \ 2],$$

$$A \times B = \begin{bmatrix} 100 & 80 & 60 & 40 & 20 \\ 80 & 64 & 48 & 32 & 16 \\ 60 & 48 & 36 & 24 & 12 \\ 40 & 32 & 24 & 16 & 8 \\ 20 & 16 & 12 & 8 & 4 \end{bmatrix}, C = 10 \ 8 \ 6 \ 4 \ 2$$

$$\left| \frac{A \times B}{C} \right|_{\max} = 50, \left| \frac{A \times B}{C} \right|_{\min} = 0.4 \text{ 一般认为,}$$

当 $30 \leq \left| \frac{A \times B}{C} \right| \leq 50$ 则风险等级为 5 级; 当 $18 \leq$

$\left| \frac{A \times B}{C} \right| < 30$ 则风险等级为 4 级; 当 $12 \leq \left| \frac{A \times B}{C} \right| < 18$ 则风险等级为 3 级; 当 $6 \leq \left| \frac{A \times B}{C} \right| < 12$ 则风险等级为 2 级; 当 $\left| \frac{A \times B}{C} \right| < 6$ 则风险等级为 1 级。在滑坡灾害风险评价图中, 不同风险等级用不同颜色来表示。

根据公式“风险 = 危险性 * 易损性 / 防灾减灾能力”, 对于那些不满足发生滑坡条件的地区 (如坡度 $< 10^\circ$), 风险等级为 1 级 (没有风险); 对于哪些上方、滑动沿线及其激起的气浪所能达到的范围内没有人口和资产分布的潜在滑坡体, 即便发生滑坡也不会造成任何人员伤亡和经济损失, 风险等级为 1 级 (没有风险)。这样, 需要用调查统计资料修正网格单元的易损性等级的工作量大大减低了。

参考文献 (References)

[1] Liu Yanhua, Ge Quansheng, Wu Wenxiang. Risk Management

- Challenge in New Century[M]. Beijing Weather Press, 2005 [刘燕华, 葛全胜, 吴文祥. 风险管理——新世纪的挑战[M]. 北京: 气象出版社, 2005]
- [2] A. W. Mabon, Huang Run-qiu. Slope safety and landslides risk management[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(02): 187~191 [A. W. Mabon, 黄润秋. 香港的边坡安全管理与滑坡风险防范[J]. 山地学报, 2000, 18(02): 187~191]
- [3] H. H. Enste in. Special lecture. Landslide risk assessment procedure [C]. Proc. 5th Int. Symp. Landslide, lausanne, 1988, 2: 1075~1090
- [4] Xu Shuguang. Landslide risk assessment procedure in foreign countries[J]. *Intelligence of Land Resources*, 2002(06): 47~52 [徐曙光. 国外滑坡风险评价的进展[J]. 国土资源情报, 2002(06): 47~52]
- [5] Zhao Yujun. Review of landslide risk assessment in Canada[J]. *Technology developments of hydrogeology and engineering geology*, 2005(4): 13~24 [赵玉军. 加拿大滑坡风险评估近期研究成果评论[J]. 水文地质工程地质技术方法动态, 2005(4): 13~24]
- [6] R. Anbakagan, Bhavani Singh. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains—a case study from Kum auri Himalaya, India[J]. *Engineering Geology*, 1996, 43: 237~246
- [7] Landslides. Risk and Decision-making in Kinnaird district. Bridging the Gap between Science and Public Opinion[J]. By: Pilgrim, Nicholas Kumoi. *Disasters*, 1999, 23(1): 45~65
- [8] C. Kocak, P. Flentje, R. Chowdhury. Landslides qualitative hazard and risk assessment method and its reliability[J]. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, 2004, 63(2): 149~165
- [9] Zorn Matija Komac, Blaž. Deterministic modeling of landslide and rockfall risk[J]. *Geografski zbornik Arta geographica Slovenica*, 2004, 44(2): 53~100
- [10] C. J. van Westen, T. W. J. van Aalsch, R. Soeters. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult[J]? *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, 2006, 65(2): 167~184
- [11] Wang M in Li Dongyan. Vulnerability and loss assessment in landslide risk analysis[J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2001(03): 7~9 [汪敏, 刘东燕. 滑坡灾害风险分析中的易损性及破坏损失评价研究[J]. 工程勘察, 2001(03): 7~9]
- [12] Peng Manhua, Zhang Haishun, Tang Xingda. method of landslide risk analysis[J]. *Geotechnical Technology*, 2001(04): 235~239 [彭满华, 张海顺, 唐祥达. 滑坡地质灾害风险分析方法[J]. 岩土工程技术, 2001(04): 235~239]
- [13] Dai F. C.; Lee C. F.; Ngai Y. Y.. Landslide risk assessment and management: an overview[J]. *Engineering Geology*, 2002, 64(1): 65~87
- [14] Xie Quann in, Bian Xiang, Xia Youyuan. system analysis of landslide risk assessment[J]. *Geotechnical Mechanics*, 2005, 26(01): 71~74 [谢全敏, 边翔, 夏元友. 滑坡灾害风险评价的系统分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(01): 71~74]
- [15] Zhu Liangfeng, Wu Xincan, Yin Kunlong, et al. China landslide risk zonation based on informatics[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 2004, 26(03): 52~56 [朱良峰, 吴信才, 殷坤龙, 等. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(03): 52~56]
- [16] Tang Chuan. A study on compilation of landslide risk map[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(03): 8~12 [唐川. 滑坡风险图编制探讨[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(03): 8~12]
- [17] Wu Yiping, Tang Huiming, Jiang Wei. GIS based landslide risk system of new Badong county seat[J]. *Journal of hydrogeology and engineering geology*, 2004(5): 117~121 [吴益平, 唐辉明, 姜玮. 基于 GIS 的巴东新城滑坡灾害风险系统[J]. 水文地质工程地质, 2004(增刊): 117~121]
- [18] Zhao Qihua, Sun Jun. landslide risk assessment at Heping channel [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(05): 611~615 [赵其华, 孙钧. 和平沟滑坡风险性评价[J]. 山地学报, 2002, 20(05): 611~615]
- [19] Li Jun, Zhou Chenghu. Appropriate Grid Size for Terrain Based Landslide Risk Assessment in Lantau Island, Hong Kong[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 07(02): 86~91 [李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中网格大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 86~91]

Regional Landslide Disaster Risk Assessment Methods

JN Jiangjun¹, PAN Mao¹, LI Tiejing²

(1 School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2 China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract With the mode of people cope with disaster changed from passive salvation to active prevention, risk management became a hot topic in the domain of disaster prevention and mitigation. In this paper, the progress of landslide disaster risk assessment research was reviewed, the shortcomings of existing methods were pointed out. Then the vulnerability assessment method of landslide disaster based on land use types was presented, indicator system of disaster prevention and mitigation capacity was established, and disaster prevention and mitigation capacity assessment method was expatiated. At last, the regional landslide risk assessment flow and risk level partition method were given out.

Key words landslide; risk assessment; vulnerability; disaster prevention and mitigation capacity; Geographic Information System