姬怡微，李成，高帅，等. 陕西省韩城市地质灾害风险评估[J]. 灾害学，2018，33(3)：194 - 200. [JI Yiwei，LI Cheng，GAO Shuai，et al. Risk Assement of Geological Hazard of Hancheng City in Shaanxi Province[J]. Journal of Catastrophology，2018，33(3)：194 - 200. doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2018. 03. 037.]

陕西省韩城市地质灾害风险评估*

姬怡微[1,2]，李 成[1,2,3]，高 帅[1,2]，陈建平[1,2]，郑苗苗[1,2]

（1. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室，陕西 西安 710054；2. 陕西省地质环境监测总站，陕西 西安 710054；
3. 西安科技大学 地质与环境学院，陕西 西安 710054）

摘 要：地质灾害风险评估方法较多，但主要集中在对单体地质灾害的风险评估研究，对区域风险评价较少。该文以韩城市为研究对象，以网格划分为评价单元，以 1：50 000 地质灾害详细调查数据及收集到的相关社会、经济资料为基础，以概率统计法、ArcGIS、Mapgis、AutoCAD 等为手段，对地质灾害危险性与承灾体易损性分项评价，采用定性综合评估的方法，实现韩城市地质灾害风险评估。将承灾体易损性分为人口易损性和财产易损性，提出人口比率和财产损失比率的概念，分别用因灾人口死亡总和/受威胁人口总和、已造成的财产损失总和/可能造成的财产损失总和表示，以单体地质灾害为基础，在评价单元内叠加评价，最终形成韩城矿区地质灾害风险评估分区图，根据不同的风险等级提出不同的防治建议，旨在为政府部门进行宏观决策、地方进行减灾防灾提供基础依据。

关键词：地质灾害；危险性评价；易损性评价；风险评估；陕西韩城

中图分类号：X43；P694　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000 - 811X(2018)03 - 0194 - 07

doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2018. 03. 037

地质灾害是由自然因素或者社会因素引起的，危害人民生命安全和财产损失的各种灾害的总和。包括滑坡、崩塌和泥石流等。陕西省因其特有的地貌单元、地质环境及经济发展状况，地质灾害频发，是全国地质灾害较严重的省份之一，而本文的研究对象韩城市为陕西省地质灾害多发县(区)之一。地质灾害防治最根本的手段是有效预防，从而减轻地质灾害的危害，为了达到这个目的，我们需要对地质灾害的发育特征、引发因素和可能造成的损失(或已造成的损失)有个科学的认识和合理的评估，即地质灾害风险评估。此项工作的开展有利于管理者从宏观层面对地质灾害形势进行研判，减轻地质灾害造成的损失，进而实现地质灾害的风险管理，为地方减灾防灾和生态文明建设服务，为建设和谐社会做贡献。

地质灾害风险评估研究开始于 1970 年，最早开始这方面研究的是美国，通过对研究区内地质灾害进行风险评价，得出在未来 30 年该区因这些灾害可能造成的损失为 550 亿美元[1]，随后，印度、英国等国分也开展了地质灾害评估工作[2-3]。国内对地质灾害风险评估的研究起步晚于国外，且研究内容的多集中在对单体地质灾害风险评估的研究，对区域上的风险评价研究较少，体现不出区域风险的差异[4-5]。所以，对区域地质灾害风险评估研究势在必行。

以往的地质灾害风险评估研究大多以单体地质灾害为研究对象或者以县域为单元对多个县域组合成的大范围面积进行风险评估，而对单个县域进行风险评估研究较少。地质灾害风险评估方法较多，但大都赞成风险是由危险性和易损性两部分构成的[6]，但不论何种方法，易损性评价一直是地质灾害风险评估的重点和难点之一，且目前尚无统一的指标和方法。本文基于韩城市 1∶5 万地质灾害详细调查数据[7]及收集到的相关社会、经济资料，以概率统计法为基础，以 ArcGIS、Mapgis、AutoCAD 等为手段，初步探讨以县域为研究对象、以网格划分为单元的易损性量化评价方法及其分级标准，在地质灾害危险性和易损性分

* 收稿日期：2017 - 11 - 16　　修回日期：2018 - 03 - 15
基金项目：国家重点基础研究发展(973)计划(2013CB227901)；陕西省地质调查院关于下达 2015 年地质灾害详细调查任务的通知(陕地调院发[2015]17 号)；“陕西省典型矿山地质环境治理恢复技术方法研究”(20150202)
第一作者简介：姬怡微(1989 -)，女，陕西榆林人，硕士，工程师，主要从事地质灾害调查与防治工作.
E-mail：723654832@ qq. com.

项测算的基础上综合分析，研究县域地质灾害风险评估，旨在为政府部门进行宏观决策、地方进行减灾防灾提供基础依据。

1　研究区概况

韩城市位于陕西关中平原的东北隅，关中盆地与陕北黄土高原的过渡地带，总面积 1 621km^2。研究区地形地貌类型多样，地层岩性复杂，且区内分布大量煤矿资源，人类工程活动强烈，导致地质灾害发育。本文在 1∶5 万详细调查基础上进行风险评估研究，旨在为地方经济发展及政府防灾减灾服务。

本文所需地质灾害基础数据主要来自于研究区 1∶10 万陕西省韩城市地质灾害调查与区划、1∶5 万陕西省韩城市地质灾害详细调查及县市地质灾害动态更新数据库[8]；地质灾害点灾情及险情数据来源于 1∶5 万陕西省韩城市地质灾害详细调查；基础地质条件数据主要包括地形地貌图、地层岩性图、地质构造图、水文地质图、岩土体类型图等。

2　采用的评估方法

2.1　地质灾害危险性评价

地质灾害危险区是指明显可能发生地质灾害且将可能造成较多人员伤亡和严重经济损失的地区。因此，其区域划分应基于地质灾害演化趋势，采用造成损失的地质灾害点，结合地质灾害形成条件与触发因素、演变趋势与人类工程活动，从而圈定不同区域地质灾害的危险程度。

地质灾害危险性评价方法较多，常用的有层次分析法、综合指数评价法[9]、模糊综合评价法等，这些方法形成基于的理论存在差异，导致计算所需数据不同，每种评价方法均存在优缺点，在选择计算方法时，根据研究区的实际情况选择合适方法，本文基于层次分析法，结合 AutoCAD 和 Excel 计算韩城市地质灾害危险性评价区块图，从而概化形成韩城市地质灾害危险性分区。

2.2　承灾体易损性评价

因地质灾害作用，导致受威胁群众的生命、财产、赖以生存的环境和资源等受到危害，把受到危害的部分称之为承灾体，而承灾体易损性为承灾体可能造成的破坏、损失程度等。地质灾害造成的损失分为直接损失和间接损失，主要包括造成的人员伤亡、财产损失、资源破坏程度等。由于这些因素的性质不同，且对灾险情按类别进行了调查和统计。所以，本文对承灾体易损性分两部分评价，分别为人口易损性评价和财产易损性评价。在进行易损性评价时，需要创建模块进行计算，将人口易损性和财产易损性进行叠加，在单个区块内，按“就高原则”选择易损性等级，即在相同区块下，人口易损性等级和财产易损性等级哪个高就选择其易损性等级进行计算，形成承灾体易损性评价分区结果。

(1)人口易损性评价：人口易损性是指因地质灾害造成的最大可能的人口死亡程度[10]。本文是以单个地质灾害体为对象，从而研究整个县域的地质灾害风险评估。在此采用单个地质灾害体已造成的人口死亡数量与目前该灾害体依然威胁的人口数量之比来表示，即人口比率。因为在评价时采用的是划分网格的形式，对于单个网格的人口比率计算方法可表示为：单元格内人口死亡总和与受威胁人口总和之比。从该定义我们可以看出，人口易损性程度与人口比率呈正比，人口比率越大，人口易损性程度越高。

人口比率 = 因灾人口死亡总和/受威胁人口总和。　　(1)

(2)财产易损性评价：财产易损性是指因地质灾害造成的最大可能的财产损失程度。采用财产损失比率表示，其表示方法为：已造成的财产损失总和与可能造成的财产损失总和之比。从该定义我们可以看出，财产损失程度与财产损失比率成正比，财产损失比率越大，财产易损程度就越高。

财产损失比率 = 已造成的财产损失总和/可能造成的财产损失总和。　　(2)

人口比率、财产损失比率分级标准，根据县域实际情况、灾险情数据及前人研究成果[11-12]，按以下分级标准评价(表 1 和表 2)。

表 1　人口易损性评价分级

易损性等级	高易损性	中易损性	低易损性	极低易损性
人口比率	>0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	<0.001

表 2　财产易损性评价分级

易损性等级	高易损性	中易损性	低易损性	极低易损性
财产损失比率	>1	1~0.1	0.1~0.01	<0.01

2.3　地质灾害风险评估

将地质灾害危险性评价结果和承灾体易损性评价结果进行叠加，按地质灾害风险性评价标准表(表 3)，形成地质灾害风险评估分区。本文数据

来源的项目的工作精度级别为中等[13]，所以在划分地质灾害危险性分区和易损性分区均按四级标准进行划分，从而形成的地质灾害风险评估结果也为四级。为了保证风险评价结果的可靠性，应通过现场验证对评价结果进行检查、修改和完善。

表 3 地质灾害风险评价标准表

地质灾害风险		承灾体易损性			
		高易损性	中易损性	低易损性	极低易损损性
地质灾害危险性	高危险区	高风险区	高风险区	中风险区	低风险区
	中危险区	高风险区	中风险区	中风险区	低风险区
	低危险区	中风险区	中风险区	低风险区	低风险区
	极低危险区	低风险区	低风险区	低风险区	低风险区

3 韩城市地质灾害风险评估

3.1 地质灾害危险性评价

地质灾害危险性评价是在易发性评价基础上，将单个灾害点险情等级进行叠加，按照危险性评价标准表，形成地质灾害危险性分区图。本文选用层次分析法，选取十个评价指标，形成韩城市地质灾害易发分区图。选取的指标为：坡高、坡形、坡度、地层岩性、降雨、水系、断裂、人类工程活动(包括修路和煤矿开采两类)和灾害点密度，利用 ArcGIS 对各个评价指标进行栅格化及归一化处理，利用层次分析法确定各个评价因子权重，然后进行加权叠加，概化形成韩城市地质灾害易发评价区块图，在考虑实际情况条件下，对区块图略加修改形成韩城市易发分区图。

本文基于易发评价对研究区进行危险性评价，在易发分区已考虑各类影响因素基础上，对危险性分区来说，需着重考虑威胁对象，也就是险情等级(威胁人数和经济损失)。将易发评价结果与险情等级进行叠加，得到研究区危险评价结果，评价标准见表 4。

表 4 地质灾害危险性评价标准表

地质灾害危险性	险情等级			
易发程度	特大	大	中	小
高易发	高危险	高危险	高危险	中危险
中易发	高危险	中危险	中危险	低危险
低易发	中危险	低危险	低危险	低危险
非易发	极低危险	极低危险	极低危险	极低危险

本文首次采用 AutoCAD 与 excel 相结合的技术方法对研究区进行危险评价，通过剖分网格，在网格内按“就高原则”取威胁人数和潜在经济损失之险情等级较大者作为该区块的险情等级，然后与易发程度评价结果进行叠加得到研究区危险评价结果，其流程图见图 1。

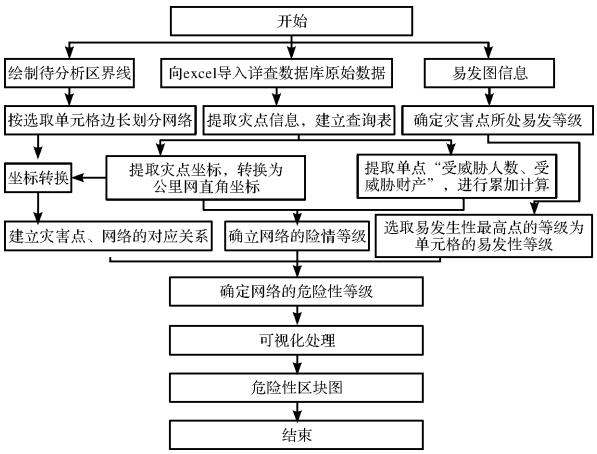

图 1 危险性区块划分流程图

本次危险程度评价网格的剖分按四个方案进行，单个网格大小分别为 0.5 km × 0.5 km、1 km × 1 km、2 km × 2 km、4 km × 4 km 四种。其评价结果见图 2。综合考虑各因素后，概化形成研究区危险程度评价图(图 3)。

3.2 承灾体易损性评价

(1)人口易损性评价

通过 1∶5 万地质灾害详查结果及近两年动态更新系统数据更新可知，韩城市近些年地质灾害防治效果成效较好，共有 4 处地质灾害点造成 7 人死亡，且这四处地质灾害点均为地质灾害隐患点，仍然威胁住户，按上述人口易损性评价公式可计算出单点的人口比率，最高的为中易损性。对研究区划分区块计算区块内的人口比率，均未降低单点的易损性。所以，本文在评价人口易损性时，将区块划分为等面积(4 km × 4 km)的大小，在单个区块内评价易损性，其评价结果见图 4。从图 4 中我们可以看到，韩城市绝大部分属于极低易损区，少部分为中易损区和低易损区，总体而言，研究区人口易损性等级为低。

(2)财产易损性评价

通过 1∶5 万地质灾害详细调查数据可知：韩城市因地质灾害造成的直接经济损失共计 12 132 万元，潜在经济损失为 23 605 万元。从以上数据可以看出，因地质灾害造成的经济损失是巨大的，这主要是因为该区地面塌陷发育，影响范围广且开挖前未对上部住户进行搬迁，造成住户房屋不同程度的受损，耕地、道路等破坏严重，因地面塌陷造成的直接经济损失为 11 636 万元，潜在经济损失为 18 753 万元，崩塌、滑坡等地质灾害造成的损失及潜在经济损失均较小。在对财产易损性进行评价时，同样通过划分区块的方式进行计算，

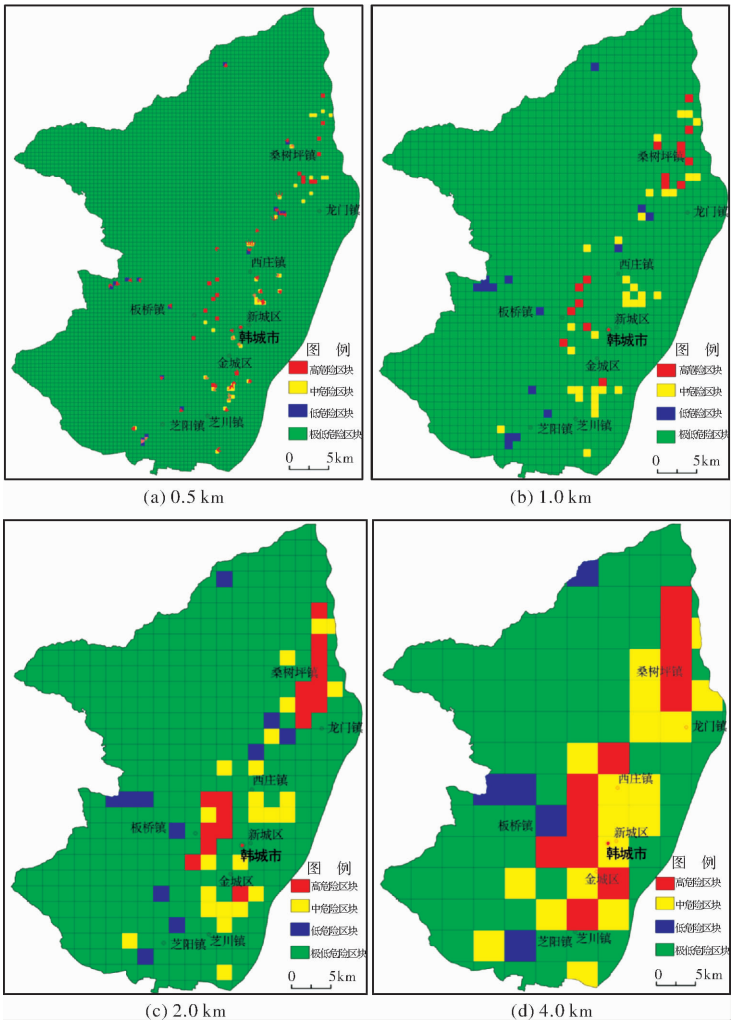

图 2　地质灾害危险性区块图

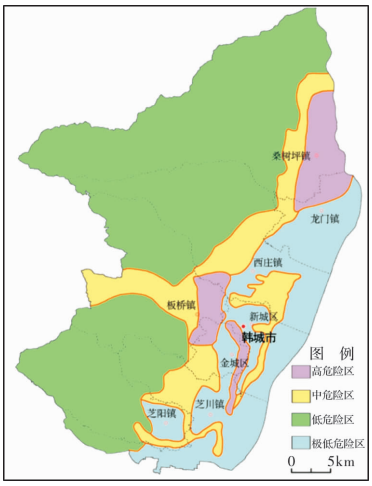

图 3　地质灾害危险性评价图

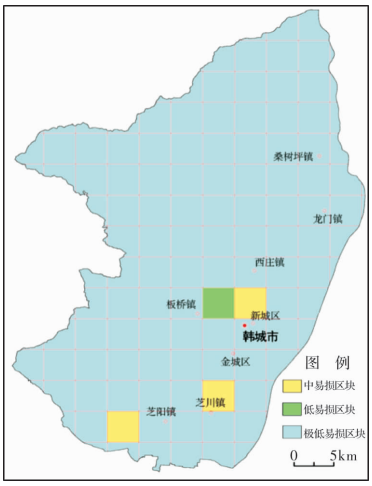

图 4　地质灾害人口易损性评价区块图

地面塌陷的影响范围一般较大，属于面状区域，且为了与人口易损性叠加时计算方便，将区块大小分为(4 km×4 km)。其评价结果见图 5。从图 5 可以看出，研究区财产易损性等级包括四级：高、中、低和极低易损区。

(3)承灾体易损性评价

将人口易损性和财产易损性按“就高原则”叠加，形成韩城市承灾体易损性评价区块图(图 6)。

3.3　地质灾害风险定性综合评估

根据表 3 的地质灾害风险评价标准表，按定性

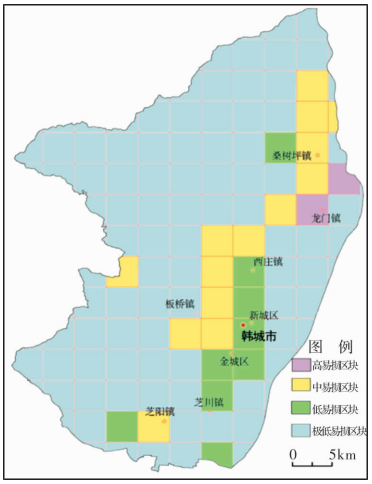

图 5 地质灾害财产易损性评价区块图

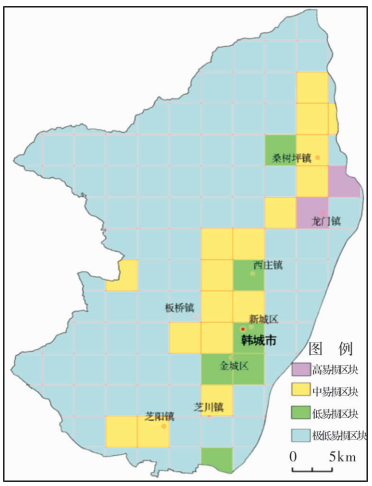

图 6 地质灾害承灾体易损性评价区块图

评估方法，结合上述对危险性、承灾体易损性评价结果，形成韩城市地质灾害风险评估结果(图 7)。从图 7 中可以看出，韩城市风险区可分为三类；高风险区、中风险区和低风险区，其中高风险区分两个亚区，其面积为 103 km^2，占研究区总面积的 6.35%，发育地质灾害灾害隐患点 28 处，潜在经济损失为 16 850 万元，约占全部潜在损失的 71.4% 以上，面积小但危害巨大，灾点数量少但潜在经济损失大。这是因为该区地面塌陷发育，单个灾害点威胁住户较多，为地质灾害高风险区；中风险区面积 165 km^2，主要分布崩塌、滑坡等地质灾害共计 22 处，其潜在经济损失为 5 416 万元，约占全部潜在经济损失的 22.9%，危险性相对小，易损性低，为地质灾害中风险区；低风险区面积最大，为 1 353 km^2，分布崩塌、滑坡等地质灾害隐患点 25 处，其潜在经济损失为 1 339 万元，约占全部潜在经济损失的 3.0%，该区面积广灾点少危险低易损性低，为地质灾害低风险区。

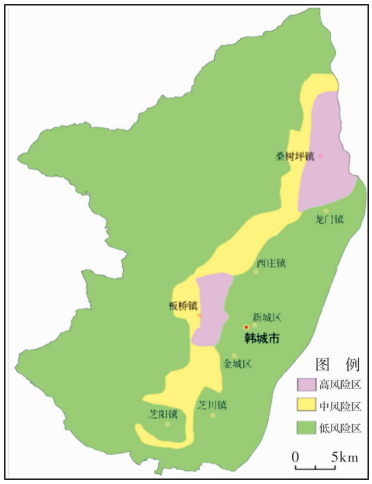

图 7 地质灾害风险评估分区图

4 防治建议

(1)高风险区内的地质灾害隐患点，主要以地面塌陷为主，威胁较大，且难以治理，建议与煤矿企业、矿管等部门协同合作，对塌陷区内的住户实行搬迁政策，同时结合矿山地质环境恢复治理对地面塌陷、地裂缝、采空区等进行及时治理。

(2)中风险区内的地质灾害隐患点，以地面塌陷、滑坡和崩塌为主。对地面塌陷影响区内的居民实行搬迁政策；公路沿线的滑坡崩塌灾害，与公路部门协同对隐患点进行监测；住户房前屋后的隐患点，险情大型且不稳定的首先申请治理经费对其实行工程手段，目前相对稳定的主要以群测群防为主，监测其变化情况，发生险情后及时撤离等。

(3)低风险区内的地质灾害隐患点，以滑坡和崩塌为主，且数量少、危险程度低。对该区域的隐患点以群测群防[14-16]为主，加强监测。

5 结论与建议

(1)本文对地质灾害风险评估的研究是一次尝试和探索。我们知道，国内外对地质灾害风险评估的研究主要集中在对单体的研究和大面积的区域性研究，如以县域为单元，以一个地区为研究对象进行研究。对以县区为研究对象的风险研究较少，本文以区块为单位，以 1∶5 万详查数据、地质灾害动态更新系统数据等为依据，对研究区进行风险评估，其结果旨在为地方工程建设和防灾减灾服务。

(2)本文将承灾体易损性分为人口易损性和财产易损性，首次采用人口比率和财产损失比率量

化表达。其量化表达方式分别为：因灾人口死亡总和与受威胁人口总和之比、已造成的财产损失总和与可能造成的财产损失总和之比。地质灾害所威胁到的面积有限，它的大小决定了受威胁的范围，本文在计算时，选择实地调查的数据，用已造成的损失与将要造成的损失求比例，对小区域的评价较为合理。且所使数据均为项目组野外实地调查所得，有效且合规。

(3)风险评价结果在外界条件变化后可相互转换。风险评估时考虑的是地质灾害危险性和易损性两方面的因素，按定性评估方法得到风险评估结果，而地质灾害危险性是基于现状地质灾害定量评价的，但是地质灾害的稳定性及威胁对象是动态变化的，导致地质灾害的危险性是变化的，所以地质灾害风险评价的结果也是不定的。例如高危险区与高易损区叠加结果肯定为高风险区，高危险区与低易损区叠加可能为中风险区也可能为低风险区，低危险区与低易损区叠加肯定为低风险区。高风险区的受威胁住户如果移民搬迁至安全地带或者该地质灾害隐患点进行了工程治理，该区可能变为低风险区；低风险区内受威胁住户在地质灾害隐患点旁进行大量的人类工程活动，如开挖坡体建房或者地下采煤等，使得灾害体危险性升高，易损性提升，从而使得该区风险提高，可能从低风险区变为高风险区。因此，监测员、监测负责人及政府负责人员在地质灾害防范过程中，要随时注意这种转化，不要因处于低风险区而疏于防范，更不可疏忽对如不规范的人类工程活动等易造成地质灾害发生的各种条件变化的防范。

(4)根据研究区的实际情况，本文易损性评价单元格大小为 4 km × 4 km，每个单元格为同一易损性等级，默认在同一单元格内易损性是均匀分布的，虽然跟以县域为单元的易损性评价方法相比，评价单元更精确。但是研究区地貌类型多样、地层岩层复杂且人口分布极不均匀，导致单个评价单元内也存在一定差异，如何解决评价单元内承灾体易损的不均匀性，评价单元的大小与易损性的关系，需要在以后的工作中进一步的研究。

参考文献：

[1] William J Petak，Arthur A Atkission . 自然灾害风险评价与减灾对策[M]. 北京：地震出版社. 1993.

[2] GuPta P，Anbalgana R. Slope stability of Their Dam Reservoir Area，India，using langslide hazard zonation(LHZ) mapping[J]. Quarterly Journal of Eng Gology，1997，30：27 - 36.

[3] P K Pachauri，P V GuPta，R Chander. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas[J]. Environmental Geology. 1998，36(3 - 4)：325 - 334.

[4] 卢全中，彭建兵，赵发锁. 地质灾害风险评估(价)研究综述[J]. 灾害学，2003，18(4)：59 - 63.

[5] 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.

[6] 张春山，何淑军，辛鹏，等. 陕西宝鸡市卫滨区地质灾害风险评价[J]. 地质通报，2009，28(8)：1054 - 1063.

[7] 李成，姬怡微，高帅，等. 陕西省韩城市地质灾害详细调查报告[R]. 西安：陕西省地质环境监测总站，2015.

[8] 徐岩岩，李芳，娄月红，等. 陕西省地质灾害群测群防动态更新系统[J]. 地质灾害与环境保护，2015，26(4)：92 - 96.

[9] 李永红，向茂西，贺卫中，等. 陕西汉中汉台区地质灾害易发性和危险性分区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报，2014，25(3)：107 - 113.

[10] 孟晖，李春燕，张若琳，等. 京津冀地区县域单元地质灾害风险评估[J]. 地理科学进展，2017，36(3)：327 - 334.

[11] 吴树仁，石菊松，张春山，等. 滑坡风险评估理论与技术[M]. 北京：科学出版社，2012.

[12] 李春燕，孟晖，张若琳，等. 中国县域单元地质灾害风险评估[J]. 水文地质工程地质，2017，44(2)：160 - 166.

[13] 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，2009，28(8)：997 - 1005.

[14] 刘海南，李永红，杜江丽，等. 陕西省神木县地质灾害群测群防体系现状与对策[J]. 灾害学，2016，31(1)：144 - 147.

[15] 范立民，何进军，李存购. 秦巴山区滑坡发育规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报，2004，15(1)：44 - 47.

[16] 韩健楠，李永红，刘海南，等. 基于综合防治体系抗灾能力的泥石流沟风险评价[J]. 灾害学，2018，33(1)：230 - 234.

Risk Assessment of Geological Hazards of Hancheng City in Shaanxi Province

JI Yiwei[1,2], LI Cheng[1,2,3], GAO Shuai[1,2], CHEN Jianping[1,2] and ZHENG Miaomiao[1,2]
(1. *Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control*, *Xi' an* 710054, *China*;
2. *Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring Station*, *Xi'an* 710054, *China*;
3. *College of Geology and Environment*, *Xi'an University of Science & Technology*, *Xi' an* 710054, *China*)

Abstract: There are many methods to assess the risk of geological hazards, which are mainly focused on the risk assessment of the single geological hazard, and less are on the evaluation of regional risk. Taking Hancheng city as the research object, with the grid as evaluation unit, relevant social and economic data, we collect data and detailed investigation of geological disasters to 1∶5 0000 based on probability statistics method, ArcGIS, Mapgis, AutoCAD etc, to evaluate the geological hazard and vulnerability of disaster affected body sub. Using the method of qualitative evaluation, implementation of risk assessment of geological hazards in Hancheng city. The disaster is divided into population vulnerability and property vulnerability, and puts forward the concept of population and property loss ratio, respectively, with death tolls sum/threatened population sum, has caused property damage may cause damage to property/ sum of said monomers in the geological disaster based on superposition in the evaluation the evaluation unit, and ultimately the formation of risk of geological disaster assessment of Hancheng zoning map, according to put forward different prevention suggestions of different risk levels, to provide the basis for disaster prevention and reduction according to government departments, local macro decision.

Key words: geological hazard; fatalness assement; vulnerability assement; risk assement; Hancheng of Shaanxi Province

(上接第 193 页)

Application of Cloud Computing Technology to Emergency Communication in Earthquake Affected Areas

ZHENG Hang
(*System Integration Co. Ltd China Telecom Guangxi Company*, *Nanning* 530005, *China*)

Abstract: in view of the influence of the surrounding environment factors in the traditional communication process, there is a problem of poor communication effect and high energy consumption. The emergency communication technology of earthquake affected area based on cloud computing is proposed. The overall structure of the affected area of emergency communication system through the analysis of the earthquake, in the part of hardware, the introduction of cloud computing technology to improve its; in the part of software, based on cloud computing technology, the energy consumption due to the communication delay is too large problem analysis, gives the concrete software realization flow chart. The experimental results show that the improved communication method, compared with the traditional communication method, the disturbance to the surrounding environment brought about by the ability to eliminate large, low energy consumption, with the increase of communication time, energy consumption does not appear to improve the ability of eliminating the phenomenon, and because of the increased interference to the outside world, the energy consumption decreased gradually, has certain advantages.

Key words: cloud computing; earthquake; disaster; region; emergency; communication