

杨斌,帅向华,李继赓. 2023. 基于居民地不同烈度下的地震灾害评估系统设计与实现. 中国地震, 39(1): 189~197.

基于居民地不同烈度下的地震灾害 评估系统设计与实现

杨斌^{1,2)} 帅向华³⁾ 李继赓³⁾

1) 山西省地震局, 太原 030021

2) 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 太原 030025

3) 中国地震台网中心, 北京 100045

摘要 现有地震灾害评估系统多以设定地震的方式进行震害评估, 无法满足地震灾害风险评估中按照不同烈度对整个行政区域进行地震灾害评估的业务需求, 本文以现有计算模型为框架, 以 ArcEngine 为 GIS 开发平台, 采用 C/S 结构进行基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统设计。系统以居民地为评估单元, 根据选择的评估区域, 按照Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ度、大于等于Ⅹ度 5 个级别分别进行地震灾害建筑物损坏情况和人员伤亡评估, 结果可为各级政府及相关部门进行区域地震风险评估、地震灾害预评估提供技术支持。

关键词: 地震 居民地 评估系统

[文章编号] 1001-4683(2023)01-0189-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震灾害风险评估、地震危险区灾害预评估都需要对评估区域按照不同设定烈度进行灾害评估。前期有众多学者对地震灾害评估系统进行了研究, “十五”期间全国各省部署的地震灾害快速评估系统是以区县为评估单元, 以设定地震方式进行震害评估, 例如辽宁省地震灾害快速评估系统、鲁北地震危险区地震灾害快速评估系统等(冯志泽等, 1999; 宋思然等, 2009; 杨天青等, 2005)。以区县或乡镇为评估单元的地震灾害快速评估系统由于数据精度不够, 容易造成评估结果与实际损失之间存在较大差距。如 2010 年玉树 7.1 级地震, 由于采用基于区县的评估单元数据, 将人口及建筑物数据平均分配在整个评估单元内, 玉树县总人口约为 10.9 万人, 县人口密度约为 8 人/km², 但实际上, 地震震中玉树县结古镇当时人口约为 2.3 万人, 人口密度达到 28.5 人/km², 以区县为评估单元的评估方法会造成评估结果误差(和朝霞等, 2016)。经过地震事件的不断检验, 原有基于行政区划的评估系统已不能满足业务需求, “十二五”期间, 国家地震社会服务工程及部分省市结合自身特点陆续开发

[收稿日期] 2021-08-28 [修定日期] 2022-05-01

[项目类别] 地震科技星火计划项目(XH18009)、山西省地震局攻关项目(SBK-2040)、大中城市地震灾害情景构建重点专项(2016QJGJ05)共同资助

[作者简介] 杨斌, 男, 1981 年生, 高级工程师, 主要从事地震应急技术的研究。E-mail: ybsuning@163.com

帅向华, 通讯作者, 女, 1973 年生, 研究员, 主要从事地震信息化研究。E-mail: Shuaixhua@sina.com

的一些震害评估系统多基于千米格网数据进行评估计算(张翼等,2012;张方浩等,2019)。但是现有的大多数评估系统都以设定地震为触发机制,设定地震后按照地震影响场影响烈度及范围进行灾害评估,无法满足地震灾害风险评估中按照不同烈度对整个行政区域进行地震灾害评估的业务需求(杨斌等,2020)。

居民地通常指人们按照生产和生活需要而集聚定居的地方。在空间数据中,居民地一般是以建筑物为主要特征的人员活动的面状地块。随着遥感系统的快速发展,居民地数据主要通过遥感影像获得。相对于以区县为评估单元的评估系统,基于居民地的评估系统中人口、建筑物等数据不再以行政区划为单元,而是以居民地块的形式输入,在评估结果输出上,基于居民地的结果也更加细致准确(蔡宗文等,2007)。对比基于千米格网的震害评估系统,居民地评估系统评估精度基本与其一致,但弥补了现有评估系统无法满足按照不同烈度对整个行政区域进行震害评估的业务需求。本文以山西为例,研究基于居民地的地震灾害评估系统,该系统的主要功能是以全省 1:10000 居民地为单位,从地震应急基础数据库中提取灾害评估所需的人口、建筑物等基本信息,并按照地震烈度,分Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ度、大于等于Ⅹ度 5 个级别分别进行建筑物损坏情况和人员伤亡情况的评估,产出计算结果可为地震灾害风险评估、地震危险区预评估等提供技术支撑。

1 系统设计

1.1 系统总体设计

系统以 ArcEngine 为 GIS 开发平台,运用现有建筑物损坏评估模型、人员伤亡预估模型、经济损失预估模型为框架,整合各计算模型及数据库成果,采用 C/S 结构进行设计,开发基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统。

系统总体结构如图 1 所示,主要包括基础设施层、数据资源层、服务层、应用表现层。

基础设施层主要是为系统提供计算分析所需的各类服务器、计算机设施以及输入输出等设备。

数据资源层主要包括地震应急基础数据库、地震灾害评估数据库。数据资源层接受服务层对数据库操作的请求,实现对数据库入库、分类、查询、修改、更新以及日志管理等功能,并把运行结果提交给服务层。

服务层主要为应用表现层提供最基础的服务,包括 GIS 开发组件、空间数据库引擎、数据库访问引擎等。

应用表现层提供主要业务功能,包括系统参数设置、系统计算设置、震害评估等。

1.2 系统功能设计

系统功能主要包括系统计算设置、地震震害评估、系统参数设置等,如图 2 所示。

系统计算设置包括居民地数据源设置、成果输出区域设置、建筑物震害矩阵分区设置、震害评估区域设置及结果保存路径设置五部分。地震震害评估是整个系统的核心功能,在给定烈度下,其基于数据库中人口、建筑物、经济等数据,并通过建筑物震害矩阵、人员伤亡模型、经济损失模型等提前设置好的系统计算模型,完成房屋破坏计算、人员伤亡、经济损失等评估,并以空间数据的形式完成计算结果展示(Xu et al,2016;Yang et al,2016)。系统工具提供对整个系统人员伤亡计算模型、经济损失计算模型参数调整的功能,并可对建筑物震

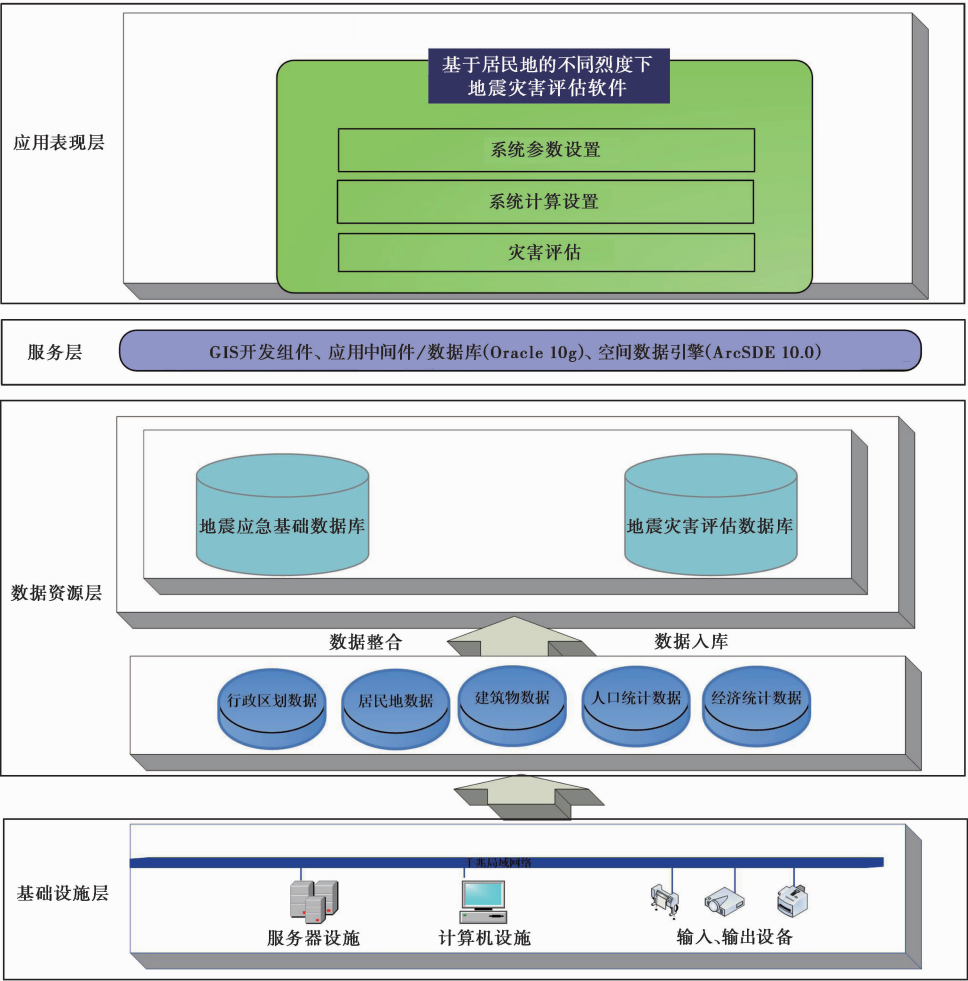


图1 系统总体结构

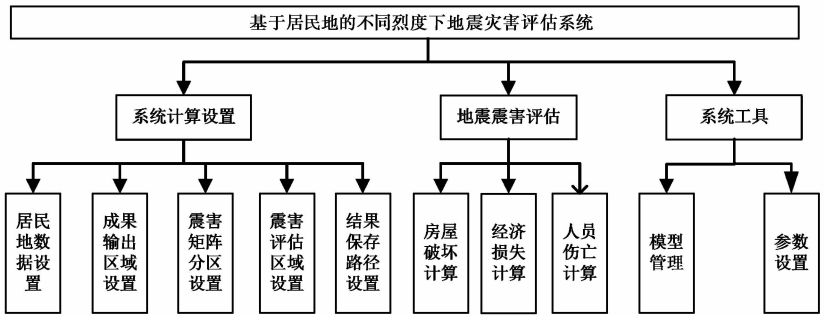


图2 系统功能架构

害矩阵进行设置调整。

1.3 数据库设计

基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统数据库可分为基础数据与评估数据两大

类。基础数据中包含了基础地理数据与统计数据两类。其中,基础地理数据主要包含了行政区划、居民地等空间数据,空间坐标系为西安 80 坐标系,按照区域抗震救灾指挥部地震应急基础数据库格式规范进行编码,并通过编码与统计数据完成关联。统计数据主要来源于统计年鉴、普查数据、地震灾害预评估调查数据等,通过卫星遥感影像及现场抽样调研,得出各居民地块分配权重,最终形成居民地人口、居民地经济、居民地建筑物等属性统计数据,数据精度达到村级,并通过代码与空间数据完成关联。评估数据主要为居民地统计单元的Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ度、大于等于Ⅹ度 5 个烈度等级下的人员伤亡评估数据及建筑物破坏评估数据。数据库数据内容如表 1 所示。

表 1 系统数据库内容

数据类别	子数据库	序号	要素名称	说 明
基础数据	基础地理数据	1	行政区划	空间信息
		2	地名	
		3	地物	
		4	居民地信息	
	统计数据	5	居民地人口信息	属性信息
		6	居民地建筑物类型信息	
		7	各类型建筑物面积信息	
		8	居民地经济信息	
评估数据	人口伤亡评估数据	9	Ⅵ度人员死亡统计数据	空间信息及属性信息
		10	Ⅶ度人员死亡统计数据	
		11	Ⅷ度人员死亡统计数据	
		12	Ⅸ度人员死亡统计数据	
		13	大于等于Ⅹ度人员死亡统计数据	
		14	Ⅵ度人员受伤统计数据	
		15	Ⅶ度人员受伤统计数据	
		16	Ⅷ度人员受伤统计数据	
		17	Ⅸ度人员受伤统计数据	
	建筑物破坏评估数据	18	大于等于Ⅹ度人员受伤统计数据	空间信息及属性信息
		19	Ⅵ度建筑物破坏统计数据	
		20	Ⅶ度建筑物破坏统计数据	
		21	Ⅷ度建筑物破坏统计数据	
		22	Ⅸ度建筑物破坏统计数据	
		23	大于等于Ⅹ度建筑物破坏统计数据	

2 系统实现

基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统在网络环境支持下,从地震应急基础数据库中提取所需要的基础数据,包括居民地的具体位置、面积、人口、建筑物的类型、数量等数据,在建筑物震害矩阵及各评估模型的支持下完成震害评估。计算结果包括居民地的房屋破坏数据、人员伤亡数据、经济损失数据等,计算结果写入地震灾害人员伤亡评估数据库,并

以空间数据的形式进行结果展示。

2.1 模型实现

系统的各类产出依赖于模型的计算实现。模型实现以现有模型公式为基础,结合数据情况及系统功能需求,建立输入输出参数表及模型计算流程,最终实现模型计算产出,本文以经济损失模型为例进行说明。

经济损失模型主要是根据建筑物破坏状态来计算不同结构建筑物重建费用及室内的经济损失情况,模型公式为

$$L(I) = \sum_s \sum_j b_s(j) \beta_s(j) + \sum_s \sum_j Q_s(j) W_s(j) \quad (1)$$

其中, $L(I)$ 为烈度为 I 时的经济损失; $b_s(j)$ 为 S 类建筑发生 j 级破坏时的损失比,即破坏修复或重建费用与建筑物总价值之比; $\beta_s(j)$ 为发生 j 级破坏的 S 类建筑总价值,即每平方米造价与建筑物总面积的乘积; $Q_s(j)$ 为 S 类建筑发生 j 级破坏时的室内财产损失比,即室内财产损失与室内总资产之比值; $W_s(j)$ 为发生 j 级破坏的 S 类建筑室内资产总值。

经济损失模型计算流程图如图3所示。首先,利用空间分析技术将建筑物数据、行政区划数据、居民地数据进行叠加,其次,通过空间提取和统计分析,计算出不同行政区域的经济损失情况。经济损失计算中输入的居民地建筑物数据如表2所示,输出结果为评估模型计算形成的不同烈度下经济损失。

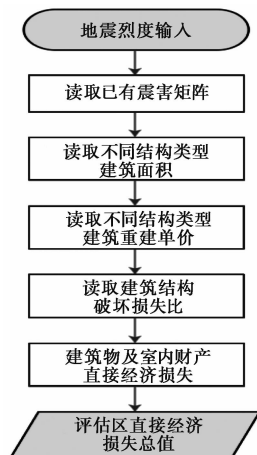


图3 经济损失计算流程

2.2 系统实现

基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统是运用建筑物震害矩阵、人员伤亡评估模型、经济损失评估模型等,以 ArcEngine 作为 GIS 开发平台,采用 C/S 结构开发以居民地为评估单元,计算不同烈度影响下,集人员伤亡评估、经济损失评估、分区建筑物震害矩阵设置为一体的综合评估系统,系统计算流程图如图4所示。

基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统主界面如图5所示,系统功能主要包括数据区域设置、输出位置设置、震害矩阵分区设置等。

计算结束后,系统将产生所选评估区域在地震烈度 VI ~ X 度下预估的建筑物破坏、人员

表 2 经济损失计算模型所需建筑物数据

英文字段	中文含义	数据类型	字段长度	备注
cityname	地市名称	varchar2	40	必填
countyname	县市名称	varchar2	40	必填
Residentname	居民点名称	varchar2	40	必填
intensity	抗震设防烈度	int		Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ度
high_rise	高层建筑面积	Number	10	万 m ²
high_rise_price	高层建筑单位面积平均造价	Number	10	元/m ²
high_rise_property	高层建筑单位面积平均室内财产价值	Number	10	元/m ²
reframe	多层钢筋混凝土房屋面积	Number	10	万 m ²
reframe_price	多层钢筋混凝土房屋单位面积平均造价	Number	10	元/m ²
reframe_property	多层钢筋混凝土房屋单位面积平均室内财产价值	Number	10	元/m ²
brick_structure	多层砌体房屋面积	Number	10	万 m ²
brick_price	多层砌体房屋单位面积平均造价	Number	10	元/m ²
brick_property	多层砌体房屋单位面积平均室内财产价值	Number	10	元/m ²
single_area	单层民宅面积	Number	10	万 m ²
single_price	单层民宅平均造价	Number	10	元/m ²
single_property	单层民宅平均室内财产价值	Number	10	元/m ²
other_structure	其他类别面积	Number	10	万 m ²
other_price	其他类别单位面积平均造价	Number	10	元/m ²
other_property	其他类别单位面积平均室内财产价值	Number	10	元/m ²

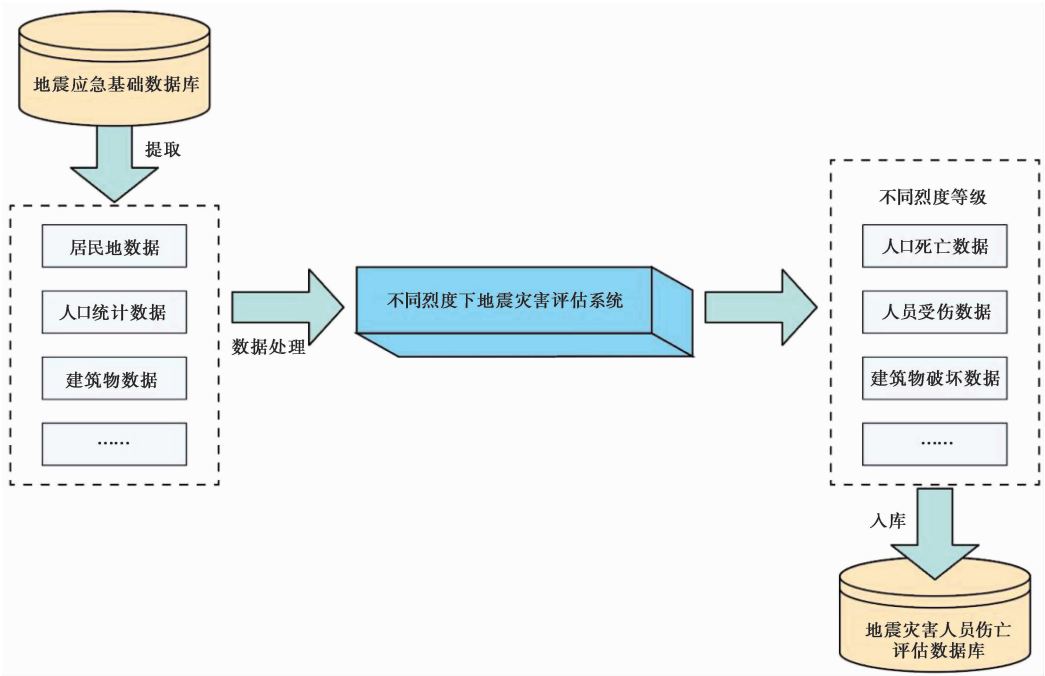


图 4 系统计算流程

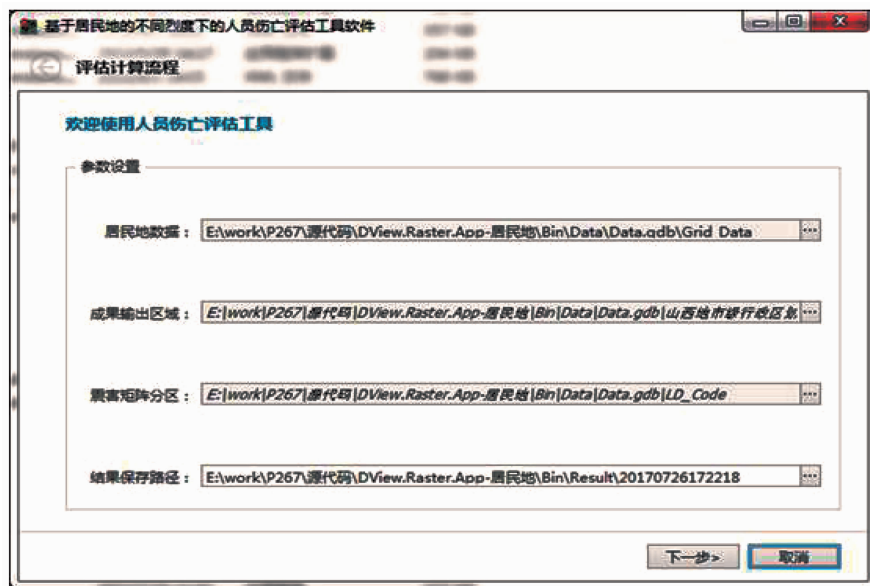


图5 系统主界面

伤亡、经济损失等震害计算结果,并以空间数据形式存储在数据库内。打开数据库,选择不同的烈度值即可查看对应烈度下的震害计算结果(图6、图7)。

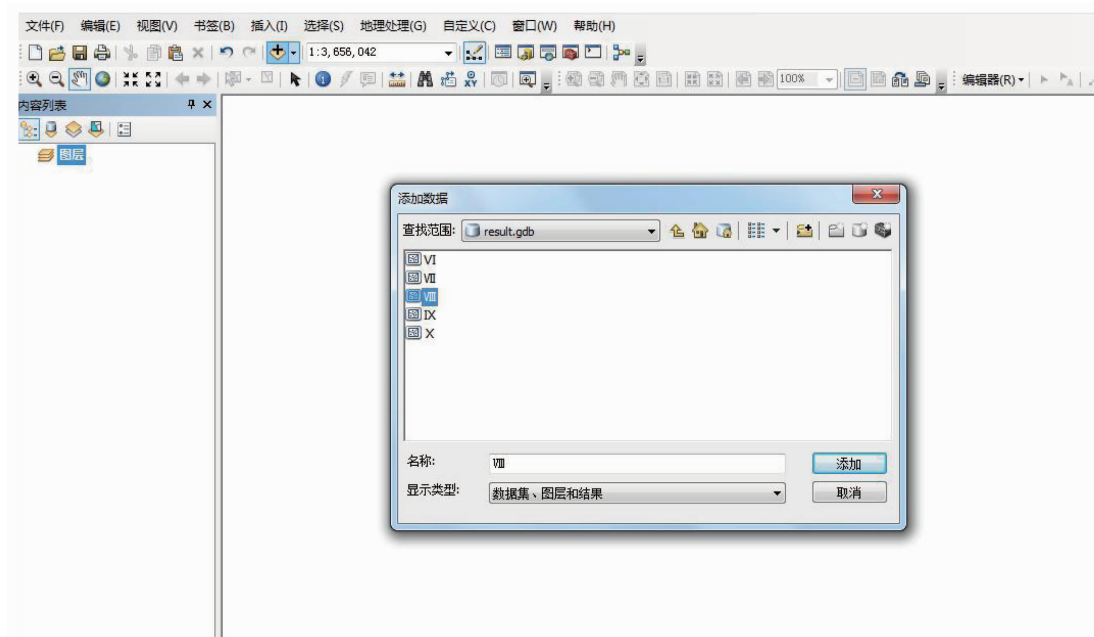


图6 计算结果示意图

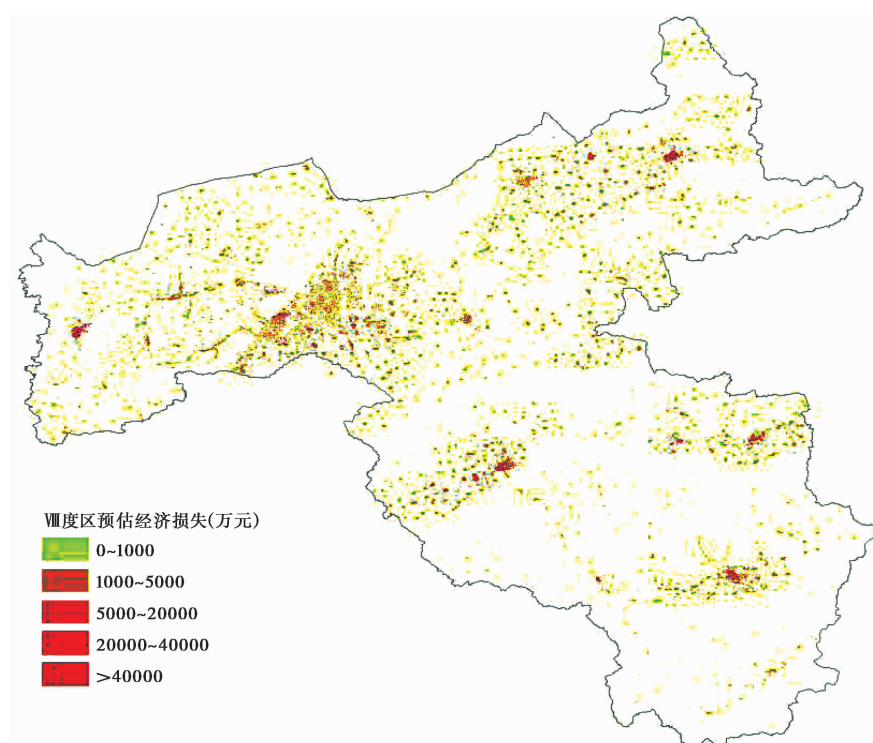


图7 大同市Ⅷ度预估经济损失

3 结语

现有地震灾害评估系统多以区县或千米格网数据为基础,采用设定地震后按照地震影响场烈度及范围进行灾害评估的方法。此方法无法满足地震灾害风险评估、危险区灾害预评估按照不同烈度对整个行政区域进行地震灾害评估的需求。本文以居民地为评估单元,研究基于居民地的不同烈度下地震灾害评估系统,以满足地震风险评估及预评估需求,更好地为地方政府了解本辖区的地震灾害风险和可能造成的灾害损失,有针对性地在地震应急准备能力提供科技服务。

参考文献

- 蔡宗文,危福泉,方瑞峰,等. 2007. 基于居民地分布的震害快速评估方法. 中国地震, **23**(4):410~415.
- 冯志泽,杜宪宋,吴子泉,等. 1999. 鲁北地震危险区地震灾害快速评估系统. 华南地震, **19**(1):72~77.
- 和朝霞,韶丹,孙哲,等. 2016. 基于行政村居民地的地震人员死亡评估方法研究——以陕西礼泉县为例. 灾害学, **31**(2):84~88.
- 宋思然,姜德录,王丽莉,等. 2009. 辽宁省地震灾害快速评估系统设计与开发. 东北地震研究, **25**(1):29~36.
- 杨斌,甄盟. 2020. 基于天地图数据平台的地震应急评估决策服务系统设计与实现. 震灾防御技术, **15**(1):165~175.
- 杨天青,姜立新. 2005. 关于地震灾害快速评估系统的思考. 地震, **25**(3):123~128.
- 张方浩,李永强,曹彦波,等. 2019. 基于云技术的云南地震现场应急指挥技术系统优化. 地震研究, **42**(2):257~264.
- 张翼,林洋,唐姝娅. 2012. 四川地震应急指挥大厅技术系统集成及应用. 四川地震, (4):34~37.
- Xu J H, An J W, Nie G Z. 2016. A quick earthquake disaster loss assessment method supported by dasymmetric data for emergency

response in China. Nat Hazards Earth Syst Sci, **16**(3):885~899.

Yang X H, Xie Z, Ling F, et al. 2016. Post-earthquake people loss evaluation based on seismic multi-level hybrid grid: a case study on Yushu M_s 7.1 Earthquake in China. Open Geosci, **8**(1):639~649.

Design and Implementation of Earthquake Disaster Assessment System under Different Intensity Based on Residential Area

Yang Bin^{1,2)}, Shuai Xianghua³⁾, Li Jigeng³⁾

1) Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan 030021, China

2) National Observation and Research Station of Taiyuan Continental Rift Dynamics, Taiyuan 030025, China

3) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract The previous earthquake disaster assessment system mostly carries out the earthquake disaster assessment in the way of setting earthquakes, which cannot meet the business needs of the earthquake disaster assessment of the entire administrative region with different intensities in the earthquake disaster risk assessment. In this paper, taking the previous calculation model as the skeleton, based on the GIS platform with ArcEngine, we apply C/S structure to design the seismic disaster assessment system under different intensity based on residential area. The system takes the residential area as the evaluation unit. For each selected assessment area, the system evaluates the damage of buildings and casualties of earthquake disasters in the five grades of VI, VII, VIII, IX and $\geq$ X. The results can provide technical support for governments at all levels and relevant departments to carry out regional earthquake risk assessment and earthquake disaster pre assessment.

Keywords: Earthquake; Residential area; Evaluation system