

基于GIS的中国地震灾害人口风险性分析

刘 欢^{1,2}, 徐中春¹, 吴绍洪¹, 刘荣高¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘 要:中国地震灾害发生频繁,因此进行有关地震灾害风险性分析十分必要。本文在分析地震灾害形成的各主要因子的基础上,结合1900-2009年地震灾害数据,建立了地震灾害风险评估模型,定量确定了各风险性影响因子。最后利用ArcMap软件的栅格计算功能,对于地震灾害中最重要的的人口因素进行了分析,形成了中国地震灾害人口风险性分布图,并划分出了人口高风险区。

关 键 词:地理信息系统;地震灾害;人口危险性;人口风险性;中国

1 引言

中国是世界上遭受地震灾害损失最严重的国家之一,地震具有突发性、毁灭性,常常造成严重人员伤亡,也容易引起滑坡、泥石流、崩塌、地裂缝等次生灾害。1976年唐山地震造成的人员死亡和经济损失居全球之冠,因此进行地震灾害承灾体的预测评估成为了中国长期以来的重大研究课题。

地震灾害风险性估算是是指在预测未来一定时间范围内由地震灾害事件引起的有关承灾体的损失。风险性分析可以为震灾风险管理提供依据,这对提高应对震灾风险能力以及防灾减灾能力等具有重大实际意义。一直以来,国内外的学者都非常关注地震灾害风险性的预测评估,同时也取得了很大研究进展^[1]。聂高众等^[2]根据地震灾害的风险特点得到了地震灾害的风险性计算公式,并进行了中国一定时间尺度的地震灾害风险性评估。陈棋福等^[3]利用国内生产总值和人口数据建立了地震灾害损失预测评估模型并进行了震例的分析及验证。刘吉夫等^[4-5]通过改进有关地震脆弱性模型,建立了地震宏观风险性模型,验证后得到了很好效果。

以上专家学者在地震灾害风险性预测评估方面取得了很多成果,但重点关注的是相对的、定性的地震灾害风险性预测评估,而没有对其进行定量的分析研究。本文通过建立一种比较简单的灾害风险性模型,结合ArcMap软件的栅格计算功能,定

量的预测了中国地震灾害人口风险性值,并结合风险性值划分出了地震灾害人口高风险区。

2 地震灾害人口风险性估算及风险区划分

2.1 人口风险性估算

地震对人的生命往往有着很大的威胁,而构成地震灾害严重程度的评价标准中,人员的伤亡占很大比重。地震灾害人口风险性研究涉及到自然与社会经济系统诸多方面:①致灾因子。主要是指地震的震级、烈度及震源深度。②孕灾环境。主要包括地震区域的人口密度、地势地形、建筑物结构等。例如混凝土结构的房屋比土混结构的房屋抗震能力强,人员损失风险率小,坡度大的地形震后容易形成滑泥石流等次生灾害人员损失风险率较大。③承灾体。可以分为一级(男性和女性)和二级(幼儿、儿童、青年、中年、老年)。在相同孕灾环境和致灾因子的前提下,男性中青年的抗震能力大于女性幼老年的抗震能力。

地震灾害人口风险性估算是是指在预测未来一定时间范围内由地震灾害事件引起的可能人口损失,是分析不同地震因素下人口的死亡数及其可能造成的损失,主要包括人口易损性分析、人口危险性分析等方面。地震灾害人口易损性是指人员在不同地震因素下的可能损失程度,常采用人口灾

收稿日期:2011-10; 修订日期:2012-02.

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAK50B06, 2008BAK49B01)。

作者简介:刘欢(1985-),男,在读硕士,研究方向为3S技术及其集成。E-mail: liuhuanraul@126.com

通讯作者:刘荣高(1970-),男,研究员,主要从事定量遥感及GIS技术的研究。E-mail: liurg@igsrr.ac.cn

损系数来表示。地震灾害人口危险性受研究地区地震灾害发生可能性及由地震因素决定的人口灾损系数的影响,而灾害发生可能性则可用历年地震灾害的频次来表达。

2.2 人口风险区划分

地震灾害人口风险性估算主要是确定震灾对人口风险性的相对大小,往往多是定性、半定量,其中风险区的划分是一种常用的分析方法。需要重点说明的是,本文对于危险性区、风险性区的划分,是在定量的基础上进行的定性划分,即不同的区域拥有不同的危险性、风险性值。

地震灾害对人口的风险区划指根据研究区地震危险性值,通过叠加人口暴露量,把研究区按照一定的区域尺度划分,得出各区域的风险值,然后根据一定的风险值范围,将这些区域归纳到不同的风险性等级中去。

2.3 GIS与人口风险性

GIS经过40多年的发展,以其强大的地理信息空间分析功能,在各行各业中发挥着越来越重要的作用。目前,GIS已经在地震分析、预测、预报、抗震、减灾、救灾等方面有成熟的应用。地震灾害人口风险性的确定更是建立在GIS系统强大的功能之上的。

(1) 基础数据的空间化集成

GIS的核心是一个集成的海量地理数据库系统,发生地震灾害的相关数据信息,如地震震级、烈度、人口伤亡数等都必须首先归纳到同一个框架下,即同一个地理数据库中,通过各种方式的集成,由GIS系统以二维或者三维的方式来显示和表达。

(2) 构造数据的分析方法

通过对基础数据的分析得到一定的决策结论,是GIS的出发点和归宿。这方面由美国ESRI公司开发的ArcGIS软件,从其9.0版本开始包含了ArcToolbox功能模块,它包含了ArcGIS地理处理的大部分分析工具和数据管理工具,如缓冲区分析、叠置分析以及本文将要采用的栅格数据计算功能等都是进行空间分析的有效手段。

(3) 基于GIS的灾害管理系统

目前有很多有关灾害管理与评估系统是以GIS为基础而集成起来的^[6]。如早期英国河流管理部建立的海岸带管理系统(SMS)的防洪子系统则以MGE为集成平台^[7];加拿大紧急事务管理部门建立的洪水应急遥感信息系统(FERSIT)则以ArcView

为集成环境的;于贵华等^[8]建立的中国活动断裂信息咨询分析系统等。地震灾害的评估系统开发方面中国学者以取得的很大成果,但具体到地震灾害单一承灾体的风险性预测评估系统开发方面还需要加大研究。

3 地震灾害人口风险性模型的建立

3.1 风险性因子的选择

地震灾害的形成与发展受到多种自然与社会经济因素的影响。在综合了大量地震成灾机理信息基础上,可将影响地震灾害对人口风险性估算的因子分为以下3类:

(1) 人口暴露量(E)

①暴露量是指风险评价区承灾体的总量,对于财和物,可以全部换算为金钱来表示,单位为元;对于人口,则为风险评价区的全部人口,单位为个。本文研究对象为人口,所以暴露量为中国区域的全部人口。②人口风险性评估指预测未来一定时间内人口在地震灾害中损失量的大小。对于未来某一年或某一特定时期的人口暴露量,可用当前人口暴露量近似代替,也可用预测模型预算。如2010年的人口数=2000年人口数 $\times(1+\text{人口增长率})^{10}$ 。

(2) 人口灾损系数(Q)

①人口灾损系数即人口死亡率, $Q \leq 1$,为无量纲。②其确定主要考虑到以下几个主要因素:致灾因子、孕灾环境、承灾体。主要由过去灾害损失的统计数据近似替代(假设某位置的灾损系数是不变的),或用相关函数模拟出灾损曲线。③值得注意的是,现在获得的灾害统计数据是损失量,需要转换为损失系数,即需要除以灾害发生时的暴露总量,因此尽可能用最近的数据来估算。

(3) 地震灾害发生可能性(P)

①未来一定时间范围内灾害发生的频度的量(次/年)。②可用过去的发生历史事件的统计结果近似替代或者建立模型进行估算。对于重复度较高的灾害,如气象灾害、洪涝灾害,可用历史事件直接替代;而重复度较低的灾害,则用模型估算更好,如地震、滑坡泥石流。

3.2 风险性模型建立

3.2.1 总体模型

通过风险性因子的选择标准可知,地震灾害人

口风险区划着重震灾形成的环境与机理,通过对影响震灾形成的各种因子的分析,赋予每种因子一定权重来进行得综合分区,因此属于一种定量的模型。

$R(\text{震灾人口风险性})=f(\text{人口暴露量}, \text{人口灾损系数}, \text{地震灾害发生可能性}) \quad (1)$

在以上方程中,等号右边独立因子都是通过不同的计算方法而得出的值。各因子间组合关系是非线性。考虑到风险性的空间分布特征,将3种因子纳入统一的空间框架中,借助于空间叠加分析功能,综合各影响因子,从而可得到风险性。在分析计算中多采用均匀格网作为空间框架,完成风险性制图后,对每一格网像元点进行分析,从而可以得到单位面积上的人口风险性。

3.2.2 模型建立步骤及过程

建立灾害风险性模型之前,需要对各个因子进行分析,首先提出震灾人口危险性这一概念,即指单位人口暴露量不变或不考虑人口暴露量的情况下,人口的损失比:

$\text{震灾人口危险性}(H)=\text{人口灾损系数}(Q) \times \text{地震灾害发生可能性}(P) \quad (2)$
即: $H=Q \times P \quad (3)$

而震灾人口风险性则是人口危险性在不同暴露量上的反映,可以归纳为公式(4):

$\text{震灾人口风险性}(R)=\text{人口暴露量}(E) \times \text{人口灾损系数}(Q) \times \text{地震灾害发生可能性}(P) \quad (4)$
即: $R=E \times H=E \times Q \times P \quad (5)$

4 中国地震灾害人口风险性分析

4.1 风险性因子的定量性确定

(1) 人口暴露量(E)

前面已经指出,本文的风险性分析计算是采用均匀格网作为空间框架,进行基于格网的矩阵地图代数运算而获得的,所以人口暴露量数据选用由中国科学院地理科学与资源研究所制作的2003年全国1 km格网人口分布图。

(2) 人口灾损系数(Q)

本文研究所用的基础地震数据主要来源于楼宝棠^[9]所编著的《中国古今地震灾情总汇》、国家地震科学数据共享中心^[10]的《中国震例(1994-2002)》、以及历年的地震灾害述评等。在整理分析1900-2009年中国257次有人口损失的地震灾情数据的基础上,对地震活动强度指标震级、烈度、动峰值加

速度进行筛选,通过统计学的有关方法,采用了Pearson相关系数法,得出了地震烈度与承灾体各损失要素之间的相关性较好(表1),故采用地震烈度来表征地震活动强度。

地震人口灾损系数的确定,选择了地震灾害事件中人口死亡情况与地震烈度区的分布建立了灾害损失标准,拟合出了地震灾害人口灾损函数曲线(图1), $y=3 \times 10^{-5}e^{0.8185x}$ 并进行了相关验证(表2)。

根据民政部和国家地震局公布的数据,在2010年4月14日的青海玉树地震中,共造成2968人死亡(含失踪270人)。青海玉树地震的震中位于玉树县结古镇,整个玉树县都位于7度以上的烈度带上,震中烈度为9度,2010年玉树县人口约为6.7万,经计算此次地震的人口死亡数应为67000×

表1 地震强度指标与承灾体损失 Pearson 相关系数
Tab.1 Correlation coefficient between earthquake strength index and disaster-affected bodies

Pearson 相关系数	死亡人口	受伤人口	直接经济损失	倒塌房屋
地震震级	0.280	0.262	0.236	0.322
地震烈度	0.409	0.392	0.441	0.468

表2 不同地震烈度下的人口灾损系数
Tab.2 Coefficient of the population damage under different earthquake intensity

地震烈度	函数 $y=3 \times 10^{-5}e^{0.8185x}$ 下的人口死亡率
4	0.000792504
5	0.001796683
6	0.004073254
7	0.00923446
8	0.020935412
9	0.047462603
10	0.107602309
11	0.243944832
12	0.55304651

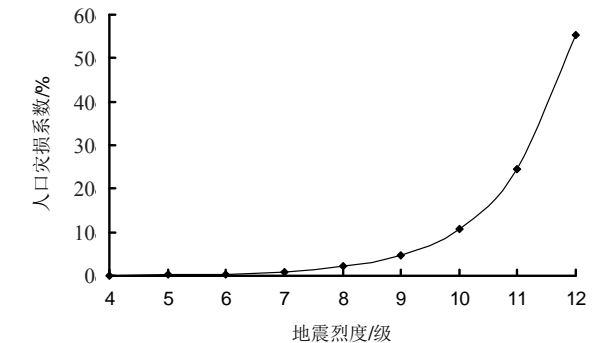


图1 地震灾害人口灾损系数曲线图
Fig.1 Function curve of coefficient of the population damage

0.047462603=3179人,这样实际造成的死亡人数之间的误差率为7.1%,考虑到也有8度、7度烈度带存在,以及有流动人口存在,此人口灾损曲线比较精确,可用。

(3) 地震灾害发生可能性(P)

本文研究区域为中国大陆,所以以省级行政区为研究对象,根据近1900-2009年有人口损失的地震灾害事件震中的分布情况,计算出了各省级行政区不同烈度的地震灾害发生可能性(次/年),由于省份较多,仅将地震灾害严重省份的灾害发生可能性列表如下(表3)。

4.2 人口风险性制图分析

人口风险性的确定,本文采用ArcMap软件的栅格地图计算功能,将各个影响因子进行叠加分析,最后得到人口风险性分布图。具体可以分为2步进行:①综合考虑人口灾损系数和地震灾害发生可能性,形成人口危险性分布图;②将人口危险性分布图与人口暴露量进行叠加,从而得到了人口风险性分布图。

(1) 人口危险性分析

人口危险性是人口灾损系数与灾害可能

性的乘积,而对于不同烈度下的不同人口灾损系数,人口危险性的确定则需要做如下处理:

$$H=\sum_{i=4}^{12}Q\cdot P$$
(6)

以四川省为例,地震灾害人口危险性=(5级烈度地震发生可能性×5级烈度人口灾损系数)+……(11级烈度地震发生可能性×11级烈度人口灾损系数)=0.014。通过有关计算,利用ArcMap的空间分析功能,得到了中国地震灾害人口危险性分布图,并进行了基于省级行政区的危险性等级划分。

如图2所示,以省级行政区为单位,将人口危险性分为了5个等级(图3),即低危险区、较低危险

表3 重点省份不同烈度地震灾害发生可能性
Tab.3 The possibility of earthquake disaster occurrence under different intensity

省份	不同烈度地震灾害发生可能性/(次/年)						
	6级	7级	8级	9级	10级	11级	12级
四川	0.0636	0.1636	0.1	0.0636	0.04545	0.0091	0
云南	0.1091	0.2545	0.2364	0.1364	0.0091	0	0
青海	0.0091	0.0091	0.0091	0.0182	0	0	0
新疆	0.0182	0.1	0.1182	0.0455	0.0364	0.0091	0
宁夏	0	0.0273	0.0091	0	0	0	0.0091
甘肃	0.0091	0.0182	0.0455	0.0091	0.01812	0.0091	0

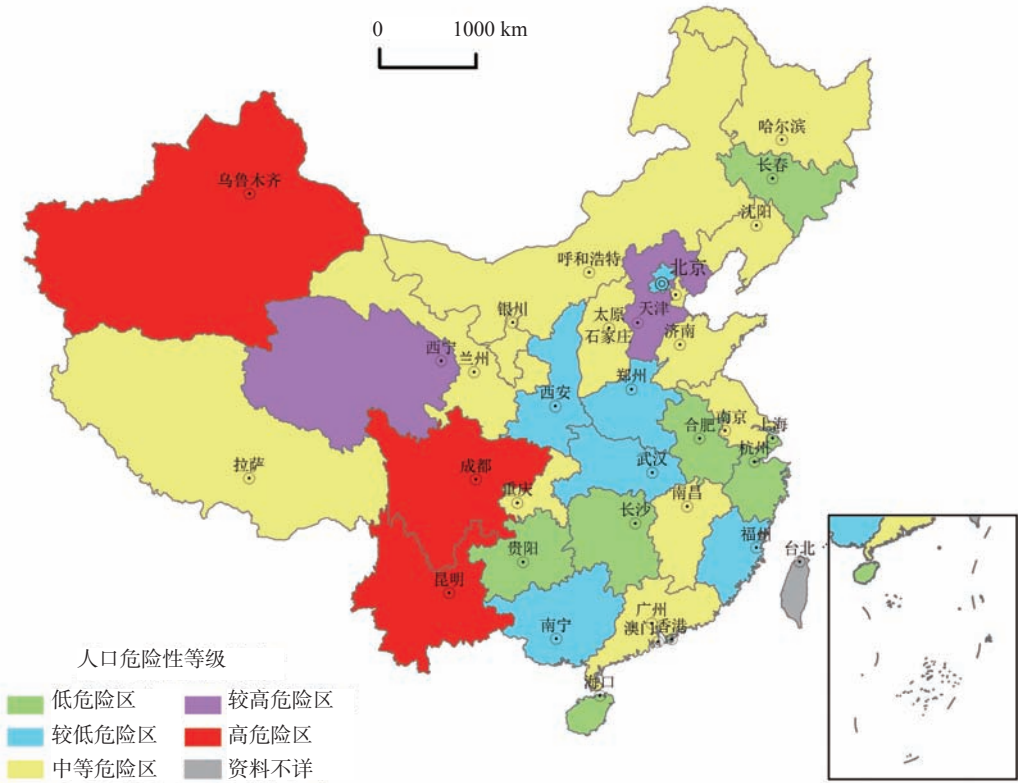


图2 中国地震灾害人口危险性分布图
Fig.2 The zonation for population hazard degrees induced from earthquake disasters in China

区、中等危险区、较高危险区和高危险区。需要说明的情况有:①以上5个等级的划分,是以危险性范围来确定的,其中结合了中国地震带,断裂带以及历史地震震中的分布等,而实际上,计算出来的每个省份的危险性是不一样的。②湖南、浙江等省份的危险性计算值为0,并不代表不会发生地震或人口不会受到地震事件的侵害,只是在统计的时间尺度内,没有发生地震灾害而已,而在历史上,这些地方是有地震灾害记录的,可按低危险区对待。

(2) 人口风险性分析

人口风险性是人口暴露量与人口危险性共同作用的结果,可表示为公式(5),人口暴露量选用2003年全国1 km 格网人口分布图,人口危险性分布图也为全国1 km 的格网分布图,通过 ArcMap 软件的栅格计算功能,得出了中国地震灾害人口风险性分布图(图4)。

经查询可知,此图中包含有效像元 9408823 个,像元值最大为 517 人,有 1 个像元,最小为 0 人,共有 8901643 个,每个像元大小为 1 km²,所以单位面积(1 km²)人口风险值最大为 517 人。需要说明的

是,以上风险值的确定是基于 2003 年人口数据,如要进行 2010 年人口风险性估算,则必须有 2010 年人口分布数据或利用人口增长率来进行 2010 年人口估算。

通过上述制图分析及有关区域人口风险值查询,划分出了 7 个中国地震灾害人口高风险区域:

I 西南区,主要包括四川、云南等地震多发区,以成都、昆明等人口密集城市为中心。

II 华南区,主要以广东沿海的人口密集区为分布范围。

III 华东区,主要以江苏中北部为分布范围。

IV 华北区,主要以河北、天津为分布范围,都属于人口特别密集的区域。

人口危险性等级	低危险区	$H=0$
	较低危险区	$0<H<0.0005$
	中等危险区	$0.0005\leq H<0.005$
	较高危险区	$0.005\leq H<0.01$
	高危险区	$0.01\leq H$

图3 人口危险性等级分级原则

Fig.3 The standard of the population hazard classification

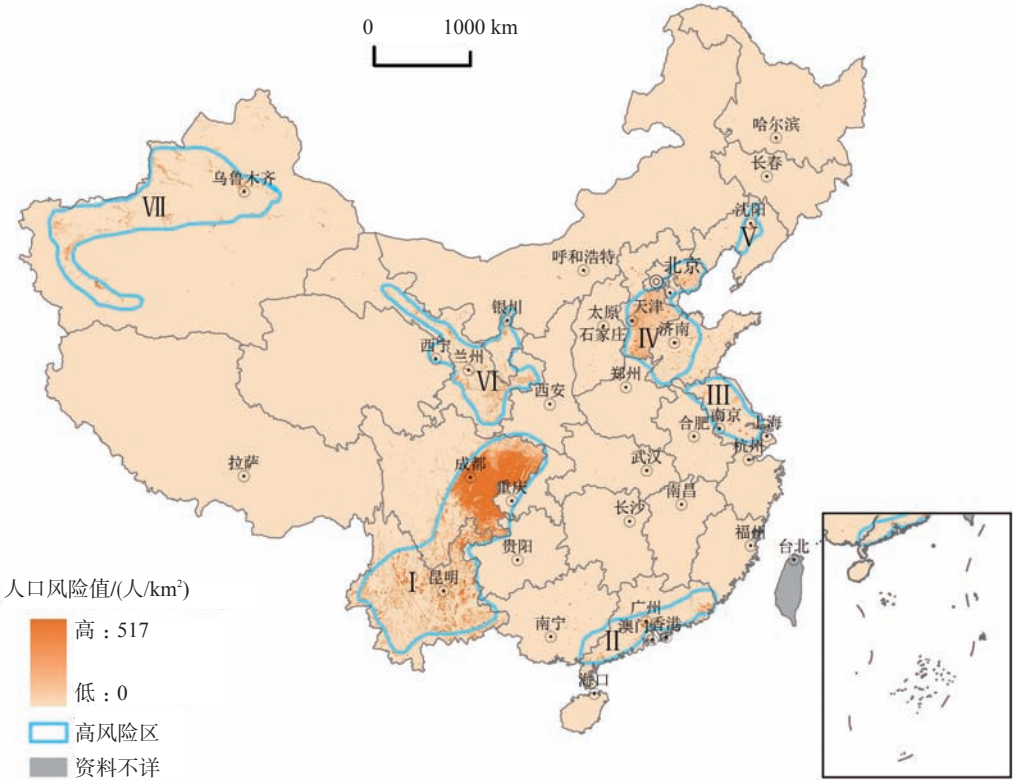


图4 中国地震灾害人口风险性分布图

Fig.4 The distribution of population risk induced from earthquake disasters in china

V 东北区, 主要分布在以沈阳为中心的区域。

VI 西北区, 主要分布在甘肃中南部、宁夏, 且以兰州、西宁、银川为中心。

VII 新疆区, 沿天山山脉分布, 以乌鲁木齐、喀什等大城市为中心。

从人口高风险区的划分中, 不难发现存在以下规律: ①高风险区往往是地震频发的地区, 这也和中国地震带的分布比较吻合, 如西南区。②高风险区的人口往往是最密集的, 即一旦发生相同烈度的地震, 人口损失最大, 如华北区。

4.3 小区域尺度人口风险性分析

为了更清楚地说明, 采取缩小区域的尺度的方法, 以喀什地区为例进行分析(图5)。此区域包括喀什市、伽师县、疏勒县、岳普湖4市县, 面积约13401 km²(有效像元个数), 经查询, 图中共有73种不同的风险值, 由于数量较多, 挑选了部分风险值的拥有的像元个数以作说明(图6)。最大值为304人, 有2个像元, 位于喀什市西(图5右下角绿色点); 最小值为0人, 共有10307个像元。

5 总结

(1) 地震灾害的形成具有复杂性, 影响因子很多, 本文对于地震灾害承灾体之一的人口做出的定量性分析, 所建立的模型, 也可以用于其他承灾体, 如建筑物等的风险性分析上去。

(2) 本文所建立的模型是一种确定性模型, 可以实现与地理信息系统的有机结合, 利用ArcMap软件的栅格地图计算功能, 实现了各风险性因子的定量描述与综合叠加。

(3) 通过某一区域的人口风险性查询功能, 可以知晓此区域的地震灾害人口风险性大小, 则可以通过必要的措施, 如提高建筑物的抗震等级来减小风险性。

(4) 地震灾害人口风险区的划分, 能够帮助各级部门明确所在区域的风险性大小, 并能提出相应的防震减灾建议, 以提高政府部门对地震灾区的宏观把握能力, 将震灾损失降低到最小限度。

参考文献

[1] 陈报章, 仲崇庆. 自然灾害风险损失等级评估的初步研究. 灾害学, 2010, 25(3): 1-5.

[2] 聂高众, 高建国, 马宗晋, 等. 中国未来10-15年地震灾

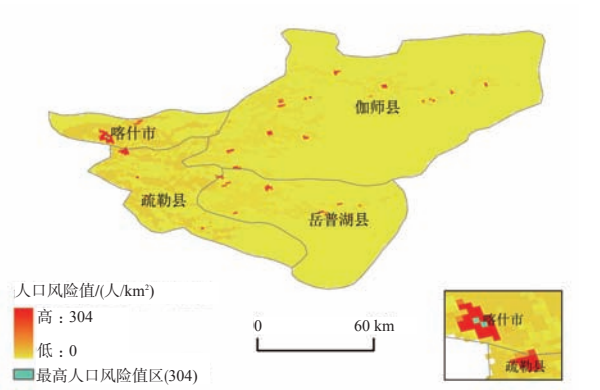


图5 喀什地区地震灾害人口风险性分布图

Fig.5 The distribution of population risk induced from earthquake disasters in Kashi

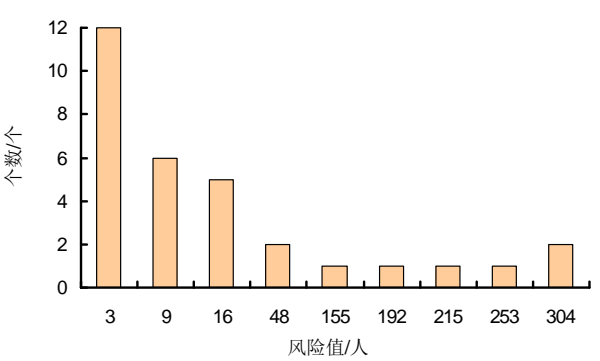


图6 不同风险值像元统计图

Fig.6 Statistical chart of different pixel values

害的风险评估. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 68-69.

[3] 陈棋福, 陈颢, 陈凌, 等. 利用国内生产总值和人口数据进行地震灾害损失预测评估. 地震学报, 1997, 19(6): 640-649.

[4] 刘吉夫, 陈颢, 史培军, 等. 中国大陆地震风险分析模型研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(5): 520-523.

[5] 刘吉夫, 陈颢, 史培军, 等. 中国大陆地震风险分析模型研究(II): 生命易损性模型. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 404-407.

[6] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于GIS的洪水灾害风险区划研究. 地理学报, 2000, 55(1): 15-24.

[7] Leggett D J, Jones A. The application of GIS for flood defense in the Anglicanregion: Developing for the future. Int 7 of Geographical Information Systems, 1996, 10(1): 103-116.

[8] 于贵华, 邓起东, 邬伦, 等. 利用GIS系统建立中国活动断裂信息咨询分析系统. 地震地质, 1996, 18(2): 156-160.

[9] 楼宝棠. 中国古今地震灾情总汇. 北京: 地震出版社

- 1996.
- [10] 国家地震台网中心, 国家地震信息共享中心. 中国震例 (1994-2002). 北京: 地震出版社, 2002.
- [11] 中国地震局震灾应急救援司. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996-2000年). 北京: 地震出版社, 2000.
- [12] 刘明广, 郭章林. 基于 GA - ANN 的震灾风险预测模型研究. 中国工程科学, 2006, 8(3): 83-86.
- [13] 张秋文, 张培霞. 地理信息系统(GIS)在地震危险性分析中的应用. 地壳变形与地震, 1999, 19(1): 82-86.
- [14] 侯建盛, 苗崇刚, 李成日, 等. 2000年中国大陆地震灾害评述. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 52-55.
- [15] 孙士宏, 彭克银. 2001年震情述评. 中国地震, 2002, 18(1): 112-116.
- [16] 刘杰, 李纲, 余素荣, 等. 2002年震情述评. 中国地震, 2003, 19(1): 97-102.
- [17] 侯建盛, 苗崇刚, 李成日, 等. 2003年中国大陆地震灾害评述. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 24-29.
- [18] 李卫平, 赵荣国. 2004年全球灾害地震的灾情综述. 中国地震, 2005, 21(1): 123-129.
- [19] 张晓东, 张国民. 2004年中国大陆地震活动概况. 国际地震动态, 2005, 3: 47-47.
- [20] 米宏亮, 李洋, 侯建盛. 2005年中国大陆地震灾害损失述评. 自然灾害学报, 2006, 15(3): 164-168.
- [21] 任志林, 白立新, 杨建思. 河北文安地震与云南盐津地震震害比较分析. 国际地震动态, 2006, 8: 30-35.
- [22] 米宏亮, 李洋, 侯建盛. 2007年中国大陆地震灾害损失述评. 国际地震动态, 2008, 2: 41-45.
- [23] 郑通彦, 李洋, 侯建盛. 2008年中国大陆地震灾害损失述评. 灾害学, 2010, 25(2): 112-118.
- [24] 郑通彦, 李洋, 侯建盛. 2009年中国大陆地震灾害损失述评. 灾害学, 2010, 25(4): 96-101.
- [25] 张业成. 中国自然灾害综合风险预测与分区减灾对策. 地质灾害与环境保护, 1998, 9(1): 1-3.

GIS-based Analysis of Earthquake Disaster Population Risk in China

LIU Huan^{1,2}, XU Zhongchun¹, WU Shaohong¹, LIU Ronggao¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Since the earthquake disaster frequently occurred in China, it is necessary to do some research on the risk analysis of earthquake. The paper first analyzed major factors of earthquake disaster, then established earthquake disaster risk assessment model based on the data of earthquake disasters between 1900 and 2009, and determined the value of three factors quantitatively. Finally, through using the spatial analyst function of ArcMap system, this paper analyzed the risk of population in earthquake disaster and created the population risk distribution map with a division of population high risk areas.

Key words: geographic information system; earthquake disaster; population hazard; population risk; China

本文引用格式:

刘欢, 徐中春, 吴绍洪, 等. 基于 GIS 的中国地震灾害人口风险性分析. 地理科学进展, 2012, 31(3): 368-374.