

城市经济脆弱性模拟评估系统的构建及其应用

袁海红^{1,2}, 牛方曲¹, 高晓路¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 经济脆弱性评价是风险评估的重要步骤和制定有效防灾减灾规划的前提条件, 是应急管理和灾后恢复的重要依据。本文提出了一个微观尺度的城市经济脆弱性评估模型, 从各类企业的空间布局及其行业经济特征入手, 综合考虑企业属性、产业易损性、产业重要性、经济密度等因素, 并在此基础上构建了城市经济脆弱性模拟评估系统, 以北京市海淀区为案例区对上述模型方法进行了检验。结果表明, 城市经济脆弱性评估方法及系统的构建有利于决策者准确把握城市经济脆弱性的分布状况, 甄别风险地区和确定风险级别, 为城市灾害风险管理提供了可靠依据。系统的运行取得了良好的效果, 在辅助决策方面有很好的应用前景, 也为城市灾害管理的信息化提供了有益的探索。

关键词: 经济脆弱性; 评估方法; 模拟评估系统; 海淀区

DOI: 10.11821/dlxb201502008

1 引言

在全球灾害频发、灾害损失不断增加的背景下, 灾害风险研究正引起国际社会和国内外学者的高度关注^[1]。鉴于城市, 尤其是大城市和特大城市在区域、国家经济和社会发展战略中的地位, 城市社会经济系统的灾害风险问题尤为重要。目前, 中国正处于快速城市化和社会经济转型期, 资源环境问题突出、人口和产业集聚、城市扩张、产业升级、城市空间结构调整等致使城市经济社会系统的复杂性和脆弱性大大增强、安全系数下降, 产生了许多可能导致灾害的潜在因子, 如高度密集的人口^[2]、重大(工业)危险源^[3]、不完善的基础设施^[4]等, 各类安全事故频发^[5], 在这种形势下, 城市公共安全管理面临严峻挑战, 而另一方面, 目前城市公共安全管理还相对薄弱, 各种风险难以得到有效的识别和防控^[5]。为了破解这一难题, 亟需加强针对城市复杂系统的脆弱性和风险评估, 特别是要提高评估的空间精度和准确度, 增强动态预测能力, 满足公共安全规划和应急决策的需求。

自然灾害造成的社会经济损失是在一定的孕灾条件下, 致灾因子对承灾体破坏的结果^[6], Blaikie等^[7]指出致灾因子是灾害形成的必要条件, 脆弱性是灾害形成的根源、是导致灾害最终形成和不同区域灾情产生差异的主要原因。现有科技条件下, 致灾因子很难掌控, 城市灾害风险管理中, 减少其社会经济系统脆弱性是降低灾情损失最为直接和有

收稿日期: 2013-12-12; 修订日期: 2014-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101119); 国家科技支撑计划项目 (2011BAK07B02); 中科院重点部署项目(KZZD-EW-06) **[Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No.41101119; National Science and Technology Support Program of China, No.2011BAK07B02; The Key Project of Chinese Academy of Sciences, No.KZZD-EW-06]

作者简介: 袁海红(1986-), 女, 博士, 主要从事灾害风险、经济地理方面的研究。E-mail: haihongyuan321@126.com

通讯作者: 牛方曲, 男, 博士, 助理研究员, 主要从事可持续发展模拟分析研究。E-mail: niufq@lreis.ac.cn.

效的方法^[8]。

目前,国内外已经开展了许多关于社会脆弱性的研究^[9-10],但有关经济脆弱性研究却相对较少。经济系统是一个复杂系统,随着经济全球化的发展,社会分工日益精细,产业链变得越来越长,其中的企业越来越多,且地域分布更加宽泛,产业链系统演进成由不同地区(甚至全球分布)的供应商、制造商、分销商、批发商和零售商组成的复杂网络系统,众多参与者和它们之间的相互依赖关系使得系统更加复杂,系统上任何节点发生事件往往很快影响到与之相连接的上下游企业,进而沿着链条连接影响到所有企业,因此,一个突发事件可能会对整个产业链的正常运营产生严重影响,产业链系统在公共安全事件面前往往表现的十分脆弱^[11]。由于经济系统的复杂性和难以量化的特点,国内外关于经济脆弱性的研究多处于理论探索阶段,目前尚无完善的、统一的方法^[12-13],这对城市经济脆弱性评估提出了迫切要求,也带来了挑战。目前飞速发展的信息技术在信息共享、信息获取等领域得到了广泛关注^[14],在此背景下,如何利用信息技术手段进行灾害风险管理成为另一关注点。信息技术应用于灾害管理方面较为著名的是HAZUS(多灾害损失评估模型),该模型结合自然科学和3S技术对地震洪水等灾害潜在损失进行风险评估,较为专业,应用起来需要大量的人口、社会经济数据^[15];美国的“紧急事物管理系统”;欧洲EUREKA计划下研制的“重大紧急事件智能管理系统”;日本的“灾害响应系统”等,对于人类抗御灾害起到了积极作用^[16-17]。国内关于信息技术在灾害管理方面的应用研究^[6,18]多集中于基础资料和研究成果的管理与演示,缺乏科学的脆弱性评估方法,如:有效的经济脆弱性评估方法,在城市灾害管理方面,还不能满足日益增长的应用需求;同时,管理系统的构建多是研究成果的附属物,以研究成果的展示为目标,在决策支持和普及应用方面极为欠缺。

为了降低城市灾害风险,为快速城市化背景下的中国城市公共安全管理提供决策支撑,深化城市经济系统脆弱性评估方法研究,构建城市经济脆弱性模拟评估系统势在必行。本研究从实际需求出发,建立了微观尺度的城市经济脆弱性评估模型,在此基础上利用GIS技术,构建了城市经济脆弱性模拟评估系统,在研究城市经济脆弱性理论和方法的同时,探索灾害信息化管理的实现和应用,试图为中国灾害和城市公共安全的信息化管理提供参考。

2 城市经济脆弱性评估方法

2.1 经济脆弱性的定义

经济脆弱性有多种概念定义,应用宽泛^[19]。国内外许多学者关注的是宏观经济或区域经济系统自身发展情况,并没有在灾害背景下进行研究,大多数灾害背景下经济脆弱性的定义是把脆弱性的定义用于经济系统^[20]。本研究将经济脆弱性定义为致灾因子影响下经济承灾体可能遭受的损失程度,由暴露量和易损性组成,易损性是指一旦发生灾害经济承灾体遭受损失的可能性,暴露量与易损性乘积反应了经济承灾体可能遭受的损失程度。经济脆弱性是个相对值,表征的是承载体的脆弱程度,而非灾害所造成经济损失的绝对值。

这里没有考虑应对能力这一多数学者认同的脆弱性构成要素,以及其他一些相关要素,如恢复力等,现有考虑到应对能力的经济脆弱性实证研究基本都在区域大尺度^[19,21]或企业尺度^[22-23],笔者研读范围内,尚未发现基于微观尺度的城市经济脆弱性研究,区域大尺度的脆弱性研究不能反映小尺度范围内经济脆弱性的变化,而企业尺度的研究不可能在

较大范围内进行,两者都难以直接为政府防灾减灾(如城市公共安全规划、应急管理)提供有效信息,因此本文选择进行城市小尺度的经济脆弱性研究,而绝大部分衡量经济方面的适应能力或恢复力的指标在小尺度是没有统计的,由于数据可得性问题,本文暂没有把灾后应对灾害的能力或恢复力等考虑进来,正如王静爱^[24]所定义的,脆弱性是一个状态量。

企业是基本的承灾体单元,它的规模体现了经济暴露量。企业易损性很难逐一评估,基于精确性和可行性的权衡,利用企业所属产业类型(国民经济行业分类与代码中的二位数、三位数、四位数行业)的易损性来代替企业易损性,这样做具有可行性和合理性。据此,单个企业的经济脆弱性可定义为企业规模指数(表征暴露量)与产业易损性指数(表征易损性)的乘积。

2.2 灾害类型

灾害类型不同,承灾体可能遭受的经济损失也不同,本文主要考虑那些会产生重大影响灾种,在本文中把地震作为潜在的灾种来考虑,但衡量地震致灾危险性的地震峰值加速度(PGA)在整个海淀区都是一样的,甚至在整个北京的变化都不大,因此海淀区内各区域遭受的经济损失主要由于其自身的社会经济属性决定。具体解释如下:

经济系统的脆弱性可表示为:

$$V(R) = V(I, S) \quad (1)$$

式中: V 为区域 R 的经济脆弱性指数; I 表示外界干扰的强度和可能性; S 为经济系统,是影响脆弱性的各种社会经济因素集合; I 、 S 相互作用形成暴露,而敏感性是 S 内部属性。

当整个区域面对相同强度和相同概率的外界干扰时,那么灾害对不同区域造成的经济影响主要是区域自身的经济属性的函数,因此上式可以简化为:

$$V(R) = V(S) \quad (2)$$

在中国,自然灾害已经有了很多研究,却极少有研究关注区域内部经济社会属性所造成的脆弱性,因此,本文将重点关注经济系统自身性质所造成的经济脆弱性。

2.3 城市经济脆弱性的影响要素

Hiete和Merz^[12]总结了灾害损失的类型和来源。企业作为承灾个体,在灾害扰动之下一般会遭受以下损失:①直接经济损失:包括企业生产设备、原材料、库存的破坏等,这些可以根据企业的资产总额等指标来衡量;②产业链中断造成的损失:企业作为生产链条中的一环,其中断会对上下游企业造成影响,产生间接损失;③基础设施系统的破坏导致企业生产中断所带来的损失,④其它损失,例如石化、核燃料加工等特殊产业可能会发生二次灾害(爆炸)或次生灾害(核泄露等),造成二次损失。实际操作中由于数据可得性和计算复杂性,难以对每个企业造成的所有损失进行定量衡量,因此,为了进行地域空间尺度(包含众多企业)的经济脆弱性研究,采用企业所属的产业易损性替代企业易损性进行定量评估,这在理论意义上具有合理性,在实际操作上也更为可行。

为了衡量与产业性质密切相关的间接损失、二次灾害等,通过半定量方法筛选出易损产业和重要产业。本文中产业易损性是指受到干扰后由产业自身性质决定的遭受损失的可能性,不同产业对于灾害的敏感程度不同;重要产业分为对应急管理、救援及对日常生产有重要作用的产业。重要产业的破坏会导致更大的连带损失。本文分别设计了产业易损性和产业重要性调查问卷,通过专家打分对难以量化的间接损失、二次灾害损失等进行量化。

经济密度是影响经济脆弱性的又一重要因素。如果企业所在的空间单元经济密度极

小(如一些以农业为主的乡镇),那么在救援及经济恢复资源有限的情况下应该优先考虑经济密度较大的地区,从而带来更大的经济效益。

综上,经济脆弱性受到企业规模、产业易损性、产业重要性和经济密度4个因素影响。企业规模等级因子用于衡量直接经济损失(实物损失),而直接经济损失也是造成间接经济损失的主要原因;产业易损等级值和产业重要性等级值相对衡量了因自身脆弱、实物损失、供应中断及基础设施破坏造成间接损失的可能性及损失程度。

2.4 城市经济脆弱性评估方法

2.4.1 城市经济脆弱性综合评估方法 根据上述讨论,城市经济脆弱性受产业易损性、产业重要性、企业等级规模及经济密度等因素影响,基于此,构建了以下城市经济脆弱性的线性综合评估模型:

$$V = \alpha \times S \times (\beta \times X_1 + (1 - \beta) \times X_2) + (1 - \alpha) \times X_3 \quad (3)$$

式中: V 是城市的经济脆弱性表征指数; S 是企业规模指数; X_1 是产业易损性指数; X_2 是产业重要性指数; X_3 是经济密度; α 和 $1 - \alpha$ 分别为企业脆弱性和经济密度的权重; β 和 $1 - \beta$ 为易损性和重要性的相对权重。

根据评估模型,城市经济脆弱性包含两大部分: $S \times (\beta \times X_1 + (1 - \beta) \times X_2)$ 部分表征了企业可能遭受的损失程度,而 X_3 表征经济密度。企业规模与产业易损性、产业重要性紧密相关,三者综合反映可能的损失程度;经济密度反映了地区经济活动的密集程度,两者加权表征经济脆弱性。另外,由于指标(影响因素)的量纲不同,因此在进行经济脆弱性综合评估之前,还需对各参数进行无量纲化处理。

经济脆弱性评价模型涉及了产业易损性、产业重要性、企业等级规模以及经济密度等级,因此,首先需要对各影响因素进行评估。下面将对各影响因素评估方法分别进行讨论。

2.4.2 产业易损性评估 Tierney^[22]总结了灾害损失三个组成部分:一是实物损失,二是因生命线系统损坏导致的生产破坏,三是因产业链破坏而出现的损失。对应地,产业易损性的影响因素主要有投入要素依赖程度、供应链依赖程度、基础设施依赖程度及产业集中程度。不同的因素对产业易损性有不同的影响机理,本文对此进行了系统总结(表1)。据此,①选取的投入要素指标包括各产业就业人员学历、技术等级、中间投入率,资产总额等。②产业链主要考虑了本地供应链,利用影响力系数来判断依赖程度。影响力系数是指国民经济某一个产品部门增加一个单位最终产品时,对国民经济各部门所产生的生产需求波及程度与社会平均水平的比较,产业影响力系数越大说明对其他产业的投入

表1 产业易损性影响因素

Tab. 1 Influencing factors of industrial vulnerability and their mechanism

产业易损性影响因素	作用机理
投入要素(劳动力、资本、设备、原材料等)供给不足或者损坏造成的损失	高学历、高技术等级员工的比例越高、生产设备价值及专业化程度越高、中间(原材料)投入率越高、资本需求越高的产业一旦遭受灾害,直接损失可能越大,投入要素的替代性也越低,因此造成生产停滞的可能性越大。
生命线系统(交通、电力、供水等)破坏造成的损失	越依赖于交通、电力和供水的产业越脆弱,运输量、电力和水消耗越大的企业因生命线系统破坏遭受的损失可能越大。
产业链(供需链、空间链)中断造成的损失	垂直一体化程度越高的产业,由于内部交易,有专业供应商,可替代性差,越有可能因为其中一部分供应中断而破坏整个生产过程造成损失。 后向联系效应(该产业对上游产业的需求)较大的产业,任一上游产业的中断,都会对它造成影响,对上游产业需求大使得该产业更容易遭受损失。
产业本地集中程度	产业的本地集中程度越大,产业在这个地区所占的比例越高,总暴露越大,越容易受到影响

需求越大,越有可能因其他产业的中断供应而受到影响。本研究利用区域投入产出表计算得到影响力系数。③ 产业对基础设施系统的依赖程度,选择水资源消耗量、电能消耗量、运输量(公路/铁路)来衡量。④ 产业的本地集聚程度,采用各产业生产总值占地区生产总值比例来衡量。

在对上述指标无量纲化处理的基础上进行加权求和,初步筛选出易损性产业。同时,利用国内外文献资料^[25-28]、传媒资讯等对灾害易损性产业进行了补充,最终从国民经济二位数、三位数及四位数行业分类表中筛选出69个易损性产业。

根据初步筛选出的易损行业,设计了产业易损性调查问卷,并采用德尔菲法对相关专业的70多位专家开展了问卷调查,要求专家根据产业易损程度对易损行业进行打分:非常易损为7分;很易损为5分;较易损为3分;一般易损为1分。共回收71份有效问卷。根据结果,计算了产业易损等级得分的平均值(表2)。

2.4.3 产业重要性评估 重要产业分为对应急管理、应急救援有重要作用的产业(如交通运输、通讯、医药、食品等)和对其他产业部门的生产有重要作用的产业(如电力、能源、原材料)。前者通过传媒资讯和相关研究作定性研究,后者通过感应度系数进行定量研究。感应度系数是指国民经济各部门每增加一个单位最终使用时,某一部门由此而受到的需求感应程度,与社会平均水平相比较,感应力系数大说明该部门是国民经济的“基础产业”,同时也是国民经济的制约产业,重要性越大。根据投入产出表,对不同行业的感应力系数进行了计算,同时根据相关研究和传媒资讯等对重要行业进行了补充^[29]。

采用了与产业易损性评估相似的方法,首先初步筛选出49个重要行业,然后设计了产业重要性调查问卷,采用德尔菲法对相关专家进行调查。产业重要性分为4个等级,非常重要为7分;很重要为5分;较重要为3分;一般重要为1分。表4展示了部分行业的重要性等级得分的平均值。

2.4.4 企业规模等级的确定 体现企业规模的数据主要有年营业额、员工人数、资产总额。为了综合反映企业规模大小,采用因子分析法提取这3个指标中共同包含的企业规模公因子。为了避免提取的因子值出现负值,对因子值进行了变换,将因子加上大于且最接近最小值绝对值的一个整数进行变换,变换公式如下:

$$S_i = S + \varepsilon \quad (4)$$

式中: S_i 为变换后企业规模因子值; S 为变换前的企业规模因子; ε 为大于且最接近 S 最小值绝对值的一个整数。

2.4.5 经济密度等级评价 中国绝大多数经济数据都是以行政区为统计单元,没有街区尺度的统计数据,甚至无法获得海淀区各乡镇街道的GDP数据。企业数据中提供了资产总额,资产总额是指拥有或控制的全部资产,更能体现一个地区的规模和价值,而且企业在空间上是连续的,可以计算任意空间尺度的资产总额,这样就解决了数据限制的问

表2 部分产业的易损等级值示例

Tab. 2 The rating score of the vulnerability of some industrial sectors

行业类型	平均得分	行业类型	平均得分
核燃料加工	6.27	化学原料及化学制品制造业	5.14
核辐射加工	6.21	电力生产	5.09
燃气生产和供应业	5.7	专用化学产品制造	4.89
电力供应	5.51	精炼石油产品的制造	4.86
石油加工、炼焦及核燃料加工业	5.34	石油和天然气开采业	4.83
水的生产和供应业	5.2	生物、生化制品的制造	4.78

题,因此,利用街区所有企业的资产总额之和来代替街区资产总额,并除以街区面积,计算各街区单位面积上的资产总额作为街区经济密度,这样就消除了街区面积的影响。

3 城市经济脆弱性模拟评估系统架构与功能模块

基于上述讨论,本研究构建了城市经济脆弱性模拟评估系统,实现城市经济脆弱性的信息化管理,为城市经济脆弱性评估提供了有力工具。

3.1 功能模块

系统目标是基于上述模型实现城市经济脆弱性模拟评估,并对评估结果提供统计分析可视化表达功能,从而辅助城市防灾决策。系统功能模块包括:数据管理模块、地图工程模块、系统配置管理模块、产业易损性评估模块、产业重要性评估模块、经济脆弱性综合评估模块、统计分析模块、专题图制作模块(图1)。

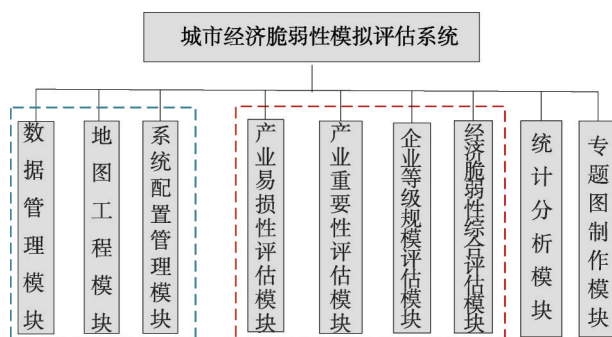


图1 系统主要功能模块图

Fig. 1 Main functions of the system

①“数据管理模块”用于实现数据的读、写及编辑等功能,本模块同时与数据层和各功能模块层交互。各个功能模块通过该模块实现对数据的读写操作。②“地图工程模块”用于实现地图操作功能,包括地图查询、缩放、漫游等基础的GIS地图功能及可视化表达功能,并负责工程文件的组织管理。③“系统配置管理功能模块”用于实现对系统功能的配置管理,服务于不同用户的个性化管理、环境变量的设置与存储等。本功能模块的开发服务于系统的运行,如用户权限的管理、用户的增删等。④“产业易损性评估模块”、“产业重要性评估模块”、“企业等级规模评估模块”分别根据上述研究成果,利用产业数据对城市产业易损性、产业重要性、企业等级规模进行评估。⑤“经济脆弱性综合评估模块”是根据④的评估结果,结合经济密度数据对城市经济脆弱性进行综合评估。⑥“统计分析模块”及“专题图制作模块”提供对评估结果的统计分析、专题图制作功能,此两模块是面向用户需求、应用功能模块,是在脆弱性评估基础上的进一步强化,方便用户专业应用。

其中④是本系统的核心功能模块,实现了城市经济脆弱性的评估运算功能。

3.2 系统框架与数据处理分析流程

3.2.1 系统框架 根据上述功能模块设计进一步建立了系统架构。系统架构分为三层:用户接口层、核心运算层、数据中心层(图2,最底层为操作系统、数据库管理系统等平台)。

(1) 用户接口层

用户接口层即用户界面(User Interface, UI),是系统用户终端,为用户提供操作接口。基于GIS技术实现了可视化的用户操作界面。用户可基于地图直观操作,实现评估结果的有效的可视化表达。

(2) 核心运算层

本层执行核心运算功能,该层实现了系统各评估模型。该层不但实现了系统的评估

功能,而且实现了统计分析功能。为适应不同的用户应用需求,本层提供了用户自定义模型功能,通过该功能模块,用户可以对模型进行参数设定、定义不同的评估模型,从而增强了系统的普适性。本层利用AO(ArcObject)数据访问控件实现与数据层的交互(数据的读写功能)。

(3) 数据中心层

本层实现数据的读取与操作,包括地图数据和产业经济数据两大部分,采用ESRI推出的空间数据文件格式(SHP文件)。SHP文件将空间属性数据一体化存储,易于操作。实验中将产业经济学数据作为地图文件的属性数据,生成一体化的SHP文件,这样便于系统的处理。同时,由于用户的产业经济数据常是孤立的存储于EXCEL文件中,因此,为了便于用户使用,系统提供了数据链接功能,用户可根据统一字段将其产业经济数据与地图文件进行关联,从实现基于地图的运算、统计、查询与可视化表达。

3.2.2 系统数据处理分析流程 用户登录系统后,首先输入城市经济数据和地图数据;系统基于数据进行城市经济脆弱性评估,得出产业脆弱性、产业重要性、企业等级规模及城市经济脆弱性综合评估结果,因此,数据流可分为数据输入(数据读取)、数据处理(脆弱性评估)、数据分析(统计分析)、数据输出(可视化表达)4个部分。可视化表达实现脆弱性的分级渲染、专题图制作等功能(图3)。

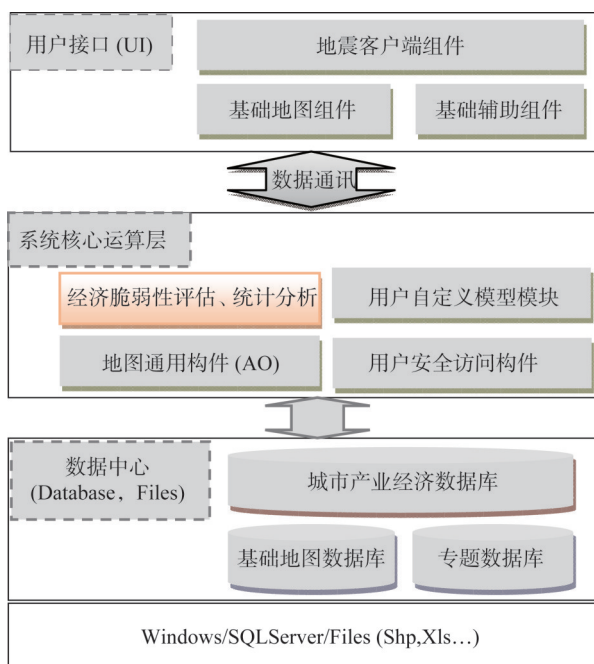


图2 系统架构

Fig. 2 Framework of the system

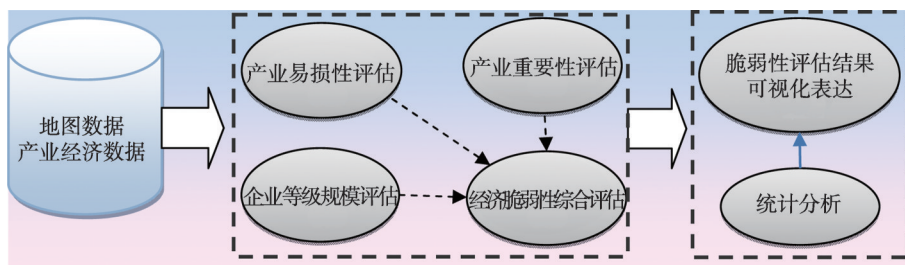


图3 系统数据流程图

Fig. 3 Flow chart of system processing

4 系统实现与应用

4.1 系统实现

基于前文关于城市经济脆弱性影响因素、评估模型和系统框架的深入探讨,初步开发了城市经济脆弱性模拟评估DEMO系统。系统开发环境采用Visual Studio2008,开发

表3 部分产业的重要等级值
Tab. 3 The rating score of the importance of some industrial sectors

行业类型	平均得分	行业类型	平均得分
医院	6.61	燃气生产和供应业	5.96
水的生产和供应业	6.49	电信	5.73
疾病预防控制及防疫活动	6.38	互联网信息服务	5.51
电力供应	6.32	铁路旅客运输	5.45
卫生院及社区医疗活动	6.07	城市公共交通业	5.39
电力生产	5.96	道路货物运输	5.34

语言为C#，采用ESRI的ArcObject地图组件。

评价模型中各参数 (α , β) 以文件的形式存储于系统目录下，即在系统运行时会自动读取相应的模型参数，系统给定的初始默认值参照表2和表3给出。用户可利用文本编辑器对参数文件进行编辑修改，提升了系统的普适性。系统的可视化表达功能可对脆弱性评估结果进行成图，更为直观的展现脆弱性空间分布。

4.2 案例应用

4.2.1 研究区域与数据来源 2012年，北京市常住人口为2069.3万人，GDP 17879.4亿元^[30]。作为特大城市暴露量巨大，同时面临较多的外界胁迫因素和外界扰动。作为实验，选择北京市海淀区作为案例地区进行了2010年海淀区经济脆弱性模拟评估。主要数据包括海淀的企业数据（2010年）、海淀区第二次土地调查数据、海淀区经济普查年鉴2008年（各产业员工学历、技术等级、资产总额等）、2010年中国环境统计年报（用水量等）、北京统计年鉴2011年（用电量等）、2010年公路水路交通运输行业发展统计公报（运输量）、2010年北京市42部门投入产出表（中间投入率、影响力系数、感应力系数等）、2010年北京海淀区的企业数据。其中，海淀区企业数据有15万多条，数据库提供了多方面信息，包括企业属性（年营业额、资产总额、员工人数、注册资本、行业类型、所有制等）、成立时间以及空间位置等。

4.2.2 空间单元的选择 街区是由城市道路划分的建筑地块，街区是城市形态结构、城市功能、城市管理及城市认知的基本单元，进行街区尺度研究具有重要意义^[31]。而以往的地学领域中，脆弱性评估的空间单元较大，难以为政府防灾减灾和应急管理提供细致和有效的依据。

鉴于此，本文选择街区作为经济脆弱性评价的基本空间单元。利用海淀区的行政区划图、城市道路等图层作为基础数据，在ArcGIS中利用矢量线段转换成多边形，从而将研究区域划分成不同的街区单元，进而利用土地利用数据，对西北山区的单元进行删除、修正，最终得出647街区，作为基础评价单元。

4.2.3 参数选择 在经济脆弱性评价的计算公式中，参数的赋值比较困难，也是指标体系法的一个不足之处。现有国内外研究在进行经济脆弱性研究时也常常是根据经验或专家打分进行权重赋值^[21]，带有较大的人为性。作为改进，本研究对采用各种不同参数时结果的稳定性进行了统计检验， α 、 β 分别取0.3~0.7，间隔为0.1的各数，共25种组合，进行经济脆弱性的计算，并计算这25个经济脆弱性值的变异系数，判断不同权重组合计算出的经济脆弱性数值的稳定性，计算结果显示647个街区经济脆弱性的变异系数都小于30%，其中经济脆弱性平均值较高的街区的变异系数绝大多数都小于20%，说明计算出的经济脆弱性值具有相对较高的稳定性，即经济脆弱性对各种不同的权重组合敏感性不是太大，同时本研究参考了国内外经济脆弱性的一些相关研究^[21, 32]，最终赋予的权重为 $\beta = 0.6$ 、 $1-\beta = 0.4$ 、 $\alpha = 0.5$ 、 $1-\alpha = 0.5$ 。

4.2.4 评估结果 基于上述数据，对城市经济脆弱性模拟评估 DEMO 系统进行了试应用，模拟评估结果如表4所示。

结果显示，海淀区有103个街区处于脆弱性较高地区，占总街区数量的比例达到15.8%，但所占面积较小，经济脆弱性较高、很高地区所占的面积为全区的4.91%。可视化结果显示，脆弱性较高的地区主要集中在南部城市生活服务区 and 东部高科技园区，西部旅游与农业区基本都处于一般脆弱地区，总体来说脆弱性从北部往南逐渐增强，经济脆弱性较高集聚片区主要在海淀街道，中关村街道、上地街道、北下关街道、甘家口街道、万寿路街道、北太平庄街道、羊坊店街道等。根据海淀区空间发展规划，这些地区已经形成了高科技产业、商业服务、会展服务、医疗服务以及政务服务的集聚区。由于这些地区产业高度集聚，地区人口密度较大，尤其是白天这些地区集聚了大量的工作人员及流动人口，人口脆弱性较大；海淀区避难场所的相关研究^[33]表明，这些地区仍有不少地方是有限疏散时间内的不可达地区，因此未来这些地方将是公共安全和防灾减灾的难点，需给予重点关注。

较之以往的评价方法，图4的结果准确地描述了城市中各个地方脆弱程度，评价的空间精度较高。构成经济脆弱性的各个因子，包括企业集聚的规模、密度等也都可以实时展现出来。当企业或经济的布局发生变化，如某处增加新的危险源企业时，只要将数据予以补充，即可在新的条件下预测出整个系统的经济脆弱性，这极大地提升了动态预测能力。因此，本研究对于实施公共安全规划和应急决策具有重要参考意义。

5 结论

城市经济脆弱性评估是城市灾害风险评估的重要内容，也是制定防灾减灾规划的先决条件。随着信息技术的快速发展和计算机的普及应用，实施城市灾害风险的信息化管理已被提上日程。本文探索了城市经济脆弱性影响因素，建立了城市经济脆弱性评估模型，在此基础上构建了城市经济脆弱性模拟评估系统，在以下几个方面有所突破。

(1) 以企业数据等为基础，进行了城市街区小尺度经济脆弱性评价，有效探测了不

表4 海淀区经济脆弱性等级街区统计
Tab. 4 Statistics of economic vulnerability in Haidian district by blocks

脆弱性	街区数	所占比例 (%)	面积比例 (%)
较低	330	51	73.1
中等	214	33.07	21.97
较高	65	10.04	3.71
很高	38	5.87	1.2

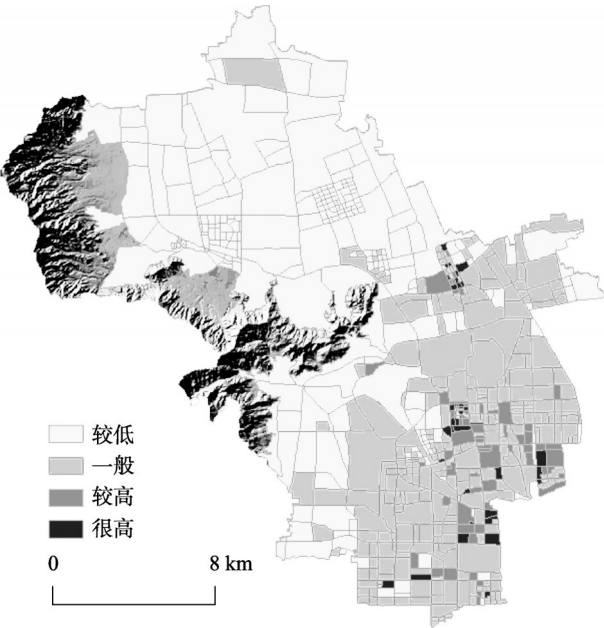


图4 海淀区经济脆弱性等级分布图
Fig. 4 Distribution of blocks by four economic vulnerability levels

同区位的经济脆弱性变化,对防灾减灾和应急管理措施的落地具有重要实际意义,这与其他一些大尺度的研究相比具有较大的进步。

(2) 初步构建了经济脆弱性评估模型,进行经济脆弱性评估的理论探索。本研究提出了经济脆弱性评估模型,包括产业易损性评价模型、产业重要性评价模型等,这些基础工作为经济脆弱性的进一步深入研究奠定了基础。

(3) 构建了城市经济脆弱性模拟评估系统,为城市经济脆弱性评估提供了方便有力的工具。城市经济脆弱性评估方法及系统的构建使得决策人员对城市经济脆弱性分布状况有更好的把握,为城市制定防灾减灾规范提供可靠依据。系统的运行取得了良好的效果,在辅助决策方面有很好的应用前景,也为城市灾害的信息化管理的实现提供了很好的探索。

本研究有以下方面需要进一步探索。首先,在城市经济脆弱性评估方法上还有待进一步改进:一是仅仅考虑了产业的本地经济联系,而实际上产业链的联系并不局限于单个城市的空间范围;二是由于产业的各个部门及产业链各个环节之间的复杂联系难以准确量化,本研究主要借助了专家知识来半定量地衡量,因此关于易损性、重要性的评估结果存在一定的主观性。此外,在不同灾害类型、不同灾害等级以及难以预测的极端事件的影响下,经济脆弱性可能会有差异,但在本研究中没有考虑到具体灾害类型和等级的差异。将地震作为潜在的灾害来考虑,其隐含的假定条件是整个研究区将面对同一等级的同一灾害,在未来的研究中,需要把更多灾害类型和等级考虑进来,深入考虑产业链的空间联系问题,同时也需要对经济脆弱性评估模型的普适性进行验证。再则,目前网络应用广为普及,相比之下 B/S (Browser/Server) 结构系统更方便用户使用,因此,实现 B/S 架构的应用系统是进一步的研究目标。

参考文献(References)

- [1] Yin Zhan'e. Research of urban natural disaster risk assessment and case study [D]. Shanghai: East China Normal University, 2009. [尹占娥. 城市自然灾害风险评估与实证研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2009.]
- [2] Niu Wenyuan. (2002-2003) China Urban Development Report. Beijing: The Commercial Press, 2004. [牛文元. (2002-2003). 中国城市发展报告. 北京: 商务印书馆, 2004.]
- [3] Yu Hanhua, Yu Qian. Supervision of the major risk sources and emergent rescue system in big cities. China Safety Science Journal, 2005, 15(9): 96-99. [虞汉华, 虞谦. 大型城市重大危险源监管与应急救援体系的研究. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 96-99.]
- [4] Jiang Furen, Jiang Bin. Impact of super thunderstorm on 21 July in Beijing and countermeasures. China Water Resources, 2012, (15): 19-22. [姜付仁, 姜斌. 北京“7·21”特大暴雨影响及其对策分析. 中国水利, 2012, (15): 19-22.]
- [5] China Association of Mayors. China Urban Development Report 2005. Beijing: China City Press, 2006. [中国市长协会组织编. 中国城市发展报告 2005. 北京: 中国城市出版社, 2006.]
- [6] Niu Fangqu, Gao Xiaolu, Ji Jue. A house damage evaluation system of regional long-term seism in China. Resources Science, 2012, 34(2): 359-366. [牛方曲, 高晓路, 季珏. 区域中长期房屋震灾损失评估系统. 资源科学, 2012, 34(2): 359-366.]
- [7] Blaikie P, Cannon T, Davis I et al. At risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters. London: Routledge, 1994.
- [8] Shi Yong. Research on vulnerability assessment of cities on the disaster scenario: A case study of Shanghai city. Shanghai: East China Normal University, 2010. [石勇. 灾害情景下城市脆弱性评估研究: 以上海市为例. 上海: 华东师范大学, 2010.]
- [9] Adger W N, Brooks N, Bentham G et al. New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, 2004.
- [10] Cutter S, Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. PNAS, 2008, 105(7): 2301-2306.
- [11] Yan Yan. Research on prevention strategies and response methods for the resilient supply chain network [D]. Shenyang:

- Northeastern University, 2009. [闫妍. 弹性供应网络系统的防御策略和应急方法研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2010.]
- [12] Hiete M, Merz M. An indicator framework to assess the vulnerability of industrial sectors against indirect disaster losses. International ISCRAM Conference, Gothenburg (Sweden), 2009.
- [13] Wu Jidong, Li Ning, Wen Yuting et al. Economic impact of natural disaster and indirect economic loss estimation methods. *Progress in Geography*, 2009, 28(6): 877-885. [吴吉东, 李宁, 温玉婷 等. 自然灾害的影响及间接经济损失评估方法. *地理科学进展*, 2009, 28(6): 877-885.]
- [14] He Yawen, Su Fenzhen, Du Yunyan et al. The design and implement of marine environmental information grid platform. *Geo-information Science*, 2010, 12(5): 680-686. [何亚文, 苏奋振, 杜云艳 等. 海洋信息网格服务平台的设计与实现. *地球信息科学学报*, 2010, 12(5): 680-686.]
- [15] Schneider P J, Schauer B A. HAZUS-its development and its future. *Natural Hazards Rev.*, 2006, 7(2): 40-44.
- [16] Shabestari K T, Yamazaki F, Saita J et al. Estimation of the spatial distribution of ground motion parameters for two recent earthquakes in Japan. *Tectonophysics*, 2004, 390(1-4): 193-204.
- [17] Yin Z Q. Content of analyzing earthquake losses in city and the process of countermeasures decision-making for disaster mitigation. *Chinese Science Abstracts Series B*, 1995, 14(3): 60.
- [18] Xie L, Tao X, Wen R et al. A GIS based earthquake losses assessment and emergency response system for Daqing oilfield. Auckland: 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000.
- [19] Saldaña-Zorrilla S O. Reducing economic vulnerability in Mexico: Natural disasters, foreign trade and agriculture. WU Vienna University of Economics and Business, 2006.
- [20] Li He, Zhang Pingyu. Economic system vulnerability of mining cities in Northeast China. *Journal of China Coal Society*, 2008, 33(1): 116-120. [李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市经济系统脆弱性分析. *煤炭学报*, 2008, 33(1): 116-120.]
- [21] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions. *Environmental Impact Assessment Review*, 2002, 22(4): 393-414.
- [22] Tierney K J. Business impacts of the Northridge earthquake. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 1997, 5(2): 87-97.
- [23] Chang S E, Falit-Baiamonte A. Disaster vulnerability of businesses in the 2001 Nisqually earthquake. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 2002, 4(2): 59-71.
- [24] Wang Jing'ai, Shi Zhihai, Liu Zhen et al. Assessment and regional difference of disaster resilience capability in China. *Journal of Natural Disasters*, 2006, 15(6): 23-27. [王静爱, 施之海, 刘珍 等. 中国自然灾害灾后响应能力评价与地域差异. *自然灾害学报*, 2006, 15(6): 23-27.]
- [25] Du Jikui, Zhang Qin, Zhu Lijun et al. Assessment method of indirect economic loss from Wenchuan M8.0 earthquake. *Journal of Catastrophology*, 2008, 23(4): 130-133. [都吉夔, 张勤, 宋立军 等. 四川汶川 8.0 级地震间接经济损失评估方法. *灾害学*, 2008, 23(4): 130-133.]
- [26] Deng Yuji. Effects of earthquake on eleven industries. *Chinese Modern Enterprises*, 2008-05-20(3). [邓玉杰. 大地震对十一个行业的影响. *中国现代企业报*, 2008-05-20(3).]
- [27] Chen Xuejun. Effects on the economy of earthquake. *Shanghai Securities News*, 2008-05-22(6). [陈学军. 汶川地震会对经济产生什么影响. *上海证券报*, 2008-05-22(6).]
- [28] Yang Hongxu. Four effects of earthquake on real estate industry. *China Real Estate News*, 2008-05-26(23). [杨红旭. 地震对房地产业的四大影响. *中国房地产报*, 2008-05-26(23).]
- [29] She Lian, Guo Xiang. Industry policy of China's emergency rescue: Lessons learned from Wenchuan earthquake. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Social Science Edition)*, 2008, (4): 65-71. [余廉, 郭翔. 从汶川地震救援看我国应急救援产业化发展. *华中科技大学学报 (社会科学版)*, 2008, (4): 65-71.]
- [30] Beijing Municipal Bureau of Statistics. *Beijing Statistical Year Book: 2013*. Beijing: China Statistics Press, 2013. [北京市统计局. *北京统计年鉴: 2013*. 北京: 中国统计出版社, 2013.]
- [31] Xiao Liang. The research on urban block [D]. Shanghai: Tongji University, 2006. [肖亮. 城市街区尺度研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006.]
- [32] Briguglio L. Small island developing states and their economic vulnerabilities. *World Development*, 1995, 23(9): 1615-1632.
- [33] Ji Jue, Gao Xiaolu, Wang Kaiyong. Evaluation methods about service quality of emergency shelters for evacuation in cities//ISCRAM ASIA 2012 Conference on Information System for Crisis Response and Management. Beijing (China), 2012: 119-124.

Establishment and application of an urban economic vulnerability evaluation system

YUAN Haihong^{1,2}, NIU Fangqu¹, GAO Xiaolu¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cities in China face high and rapidly increasing exposure to disaster risk, calling for effective countermeasures. Reducing disaster vulnerability is a direct and effective way to reduce disaster risk, which requires first and foremost the identification and assessment of vulnerabilities of societies, economies, etc. Economic vulnerability assessment is a significant step in risk evaluation, a prerequisite for effective disaster prevention planning and an important base for emergency management and recovery plan. This paper develops a model for the economic vulnerability assessment, which takes into account of scale of enterprises, vulnerability of industrial sectors, importance of industrial sectors and economic density. Based on the economic vulnerability assessment model, this paper develops an urban economic vulnerability evaluation system, and conducts a case study of Haidian District in Beijing using this system. According to the results, we can identify how many and which blocks are at the level of high and very high economic vulnerability, which can provide useful and practical information for pre-disaster prevention planning, emergency response and recovery plan. Therefore, this evaluation system proves to be effective for economic vulnerability assessment. The economic vulnerability assessment model and the establishment of economic vulnerability assessment system in this paper make it possible for the government to quickly evaluate the economic vulnerability and identify the spatial distribution of vulnerable areas, in all, they are useful explorations into the construction of disaster management information system and will have good application prospects in the area of decision support.

Keywords: economic vulnerability; assessment model; evaluation system; Haidian District