

中国地震灾害宏观人口脆弱性评估

聂承静^{1,2}, 杨林生¹, 李海蓉¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:地震灾害脆弱性不但是国家和地区中长期规划的基础,也是地震应急时的重要决策依据,因此地震灾害脆弱性评估是当前研究的热点和重点。本文首先介绍了地震灾害人口脆弱性定义,指出了地震灾害人口脆弱性的影响因子和影响模式;然后通过分析传统地震灾害人口脆弱性的宏观和微观评价方法和模型,利用人口总量、儿童人口比例、老年人口比例、人口密度和人均GDP 5个指标建立了地震灾害宏观人口脆弱性综合评价模型,并对全国各县市区的人口脆弱性进行了评估。结果表明:中国地震灾害人口脆弱性区域差异明显,东部地区人口脆弱性明显高于西部;人口总量是脆弱性的主要因素,宏观人口脆弱性综合评估模型对地震灾害人口脆弱性的修正作用显著。

关 键 词:地震灾害;宏观;人口脆弱性;评估;中国

1 引言

自然灾害风险已经引起国内外学者的广泛关注^[1-3]。国际上开展了一系列的灾害研究计划,如DRI计划、HotsPot计划、美洲计划等,并取得了诸多研究成果。20世纪末,国际减灾十年(IDNDR, The International Decade for Natural Disaster Reduction)科学与技术委员会列出了21世纪国际减灾界面临的5个挑战性领域,其中4个与灾害中的脆弱性问题密切相关,且灾害研究的主要论著都强调脆弱性研究的重要地位,甚至中心或立论基础地位^[4]。由此可见,脆弱性研究乃是当前灾害研究中的核心和热点之一。

中国位于世界两大地震带——欧亚地震带和环太平洋地震带包围之中,具有地震活动频度高、强度大、分布广、震源浅等特点,具有明显的地区性和成带性,在空间上具有迁移性和重复性的特点,因此,中国是破坏性地震频繁的国家之一。据统计,20世纪以来,全球大陆7级以上的强震,中国约占35%;造成20万以上人口死亡的两次大地震都发生在中国。目前,中国的地震仍然十分活跃,2003-2008年,5级及以上地震265次,6级及以上59

次,7级及以上6次,2008年“5.12”汶川大地震一次巨灾就造成69227人死亡,17923人失踪,375783人受伤,因灾直接经济损失超过8523亿元^[5]。地震灾害风险严重威胁着人们的生命和财产安全,与社会经济发展的矛盾愈加突出。

在当前的技术水平下,地震预测仍是世界性的难题。在人类尚不能准确预报、控制和改变地震过程的情况下,不仅需要加强地震预测研究,更应该加强地震灾害人口脆弱性研究,以此降低人类面对地震时的脆弱性。地震发生后,在各方面人员伤亡信息尚未完全汇总的情况下,根据宏观人口脆弱性初步预测的人员伤亡数量,就可以在地震发生后的短短几分钟内,为应急决策指挥和抢险救灾争取宝贵的时间,为抗震救灾科学决策提供依据。此外,人口脆弱性评估还可为城市和乡村发展、环境保护、健康保健、社会福利、经济发展、制定减灾战略和规划等提供科学参考。因此,地震灾害人口脆弱性评估无论在地震应急中,还是在经济社会发展规划中,都是一项十分重要的内容^[6]。

虽然目前一致认为脆弱性是造成地震风险不可或缺的因素,但是关于地震灾害脆弱性的认识仍处于起步阶段,许多关键技术问题尚未得到很好的

收稿日期:2011-10; 修订日期:2012-02.

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-01);国家科技支撑计划课题(2008BAK50B05)。

作者简介:聂承静(1982-),女,河北保定人,博士生,主要从事自然灾害风险、环境与健康研究。E-mail: chengjingnie@163.com

通讯作者:杨林生(1966-),男,河南唐河人,研究员,博士生导师,主要从事自然灾害风险、医学地理和环境健康等方面的研究。

E-mail: yangls@igsnrr.ac.cn

解决,如脆弱性的定义,影响因子和影响模式,数量化、机制模型等模型化方法的选取等。传统的地震人口脆弱性预测通常采用易损性清单方法^[7]。此方法需要评估区域内大量的详细数据资料,而中国地震分布广泛,且各种条件设施变化很快,因此,搜集这样的资料很难做到,也就无法快速得到地震灾害损失的定量估计,从而影响政府部门和社会团体紧急救援等方面的应对时效。所以需要进一步发展评估指标体系,建立快速简便的地震灾害人口脆弱性评估方法和模型。所需指标数据应具有易获取、可靠、更新性强、易于量化等特点;在以上原则指导下,本文在研究传统脆弱性研究模型的基础上,尝试利用人口总量、儿童人口比例、老年人口比例、人口密度、人均GDP等5个指标来建立地震灾害宏观人口脆弱性综合评价模型,并对全国各县市区的人口脆弱性进行评估。

2 人口脆弱性

2.1 定义

联合国人道主义事务部于1992年公布了自然灾害风险的定义:风险是在一定区域和给定时段内,由于特定的自然灾害而引起的人民生命财产和经济活动的期望损失值,并采用了“风险度(Risk)=危险度(Hazard)×脆弱度(Vulnerability)”。

在灾害学研究中,由于人类社会经济系统自身的复杂性,不同组织、学者对脆弱性理解不同。2004年,ISDR(International Strategy for Disaster Reduction)将脆弱性定义为:“脆弱性是受能够增加或减少人群面对灾害敏感性的自然、社会、经济和环境因素或过程影响的一种状态”^[8]。UNDP(United Nations Development Programme)将脆弱性定义为:“由自然、社会、经济和环境因素而导致的能够影响人群受害可能性和受害程度的状况和过程”^[9]。ISDR和UNDP均强调自然、社会、经济和环境是脆弱性的主要根源。由哥伦比亚国立大学和美洲开发银行共同研究的美洲灾害风险管理指标体系(A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas)认为脆弱性包括暴露性、敏感性、恢复力3个方面^[10-11]。中国学者葛全胜等在继承国内外观点的基础上,将脆弱性定义为:“承灾体在面对潜在的灾害危险时,由于自然、社会、经济和环境等因素的作用,所表现出来的物理暴露性、应对外部

打击的固有敏感性及与承灾体相伴生的人类防抗风险的能力”^[12]。综合上述观点,本文将地震灾害人口脆弱性定义为:“在一定区域内,人类生命、生理和心理健康受到地震灾害风险冲击时的易损程度。主要包括人口的暴露性、人口的敏感性和应灾能力3个方面”。总之,人类面对同等强度的危险,脆弱性越高,安全性越低。

2.2 影响因子和影响模式

目前对人口脆弱性的研究虽多,但国内外尚无对脆弱性影响因素与作用模式的系统论述。笔者在前人工作的基础上,综合考虑生理、自然、社会和经济因素^[13-14]的影响,探索4个因素对人口脆弱性的影响模式。①人口脆弱性的生理因素是指人们的不同生理特征影响他们的受损伤程度。由于其身体机能的不成熟、老化或缺陷,人群中的儿童、老人、病人、残疾人更易受到伤害^[15]。通过对历史地震伤亡人口构成所进行的分析表明,人员伤亡比例与人群的这些生理特性有很大关系^[16]。②人口脆弱性的自然因素是指不同自然环境影响人们的地震受损程度。若地震发生在山区,建在山坡上的住房则比平原地区损毁更为严重,室内人员伤亡率也越高。③人口脆弱性的经济因素是指由于经济原因影响受灾人口受到地震灾害生命、身体健康和心理损害的程度。例如,不同收入的人群,经济条件使得他们居住的房屋质量和特点不同,其抗震性能、逃生途径、救灾难易程度不同,从而造成他们的生命和健康受损程度不同。④人口脆弱性的社会因素是指由于受灾人口所处的社会地位、社会文化等原因使得他们对地震灾害的灾前预防、灾中的逃生、灾后的恢复重建能力会有不同。例如,文盲人口,由于受教育程度较低,对地震灾害的认识水平和应对技术掌握均欠缺,导致在地震预防和灾后逃生时更为不利。

生理、自然、社会、经济各因素间并不是孤立存在的,而是相互依赖相互影响,共同作用于人口脆弱性,如自然环境相对恶劣的山区,多为农业人口,职业特点多为户外,人口密度低,人均收入低等自然、社会、经济、生理各因素间可产生一系列相关关系(图1)。

在对一个区域地震灾害人口脆弱性进行定量分析时,多从人类暴露程度、人类在面对地震的敏感性以及社会经济文化背景相关的应对地震灾害的各种能力3方面考虑。地震灾害的生理、自然、

社会和经济4个影响因子也是通过影响人口暴露度、敏感性和应灾能力3个方面来影响人口脆弱性水平的。①人口暴露性是指面临某种危险程度地震威胁或遭受某种强度地震打击的人口数量的多少,对一个空间范围一定的区域而言,区域内人口数量越多则该区域一旦遭受地震打击,产生的人员伤亡损失一般也越多。人口暴露性除包括人口总量外,还包括人口增长、人口密度等。②人口敏感性是指人本身的生理特性、所处的自然、社会和经济环境决定的接受一定强度的地震打击后敏感程度不同,敏感性越强脆弱性越大。个人体质、健康状况、年龄结构、受教育程度、职业特点、房屋质量、保护措施、经济状况等都会影响人口的敏感性。以职业特点为例,相比农田、农业生产系统而言,建筑、厂房对地震打击的敏感性强,受到的损失大,所以室内的工作人员比农田劳作的农民面对地震打击的敏感性更大。③应灾能力反映的是人类社会为保障人口免受、少受地震灾害威胁而采取的基础及专项的防备和救助措施力度的大小,应灾能力越强,脆弱性越小。人类发展、社会财产分配、管理效率、灾害风险意识、环境保护等会影响人们在灾害预防、抗灾救灾、灾后重建过程中的应灾能力^[17-18]。例如发达地区的灾后重建、自我恢复能力通常较贫困地区强,因此灾害应灾能力较强等。

人口脆弱性的生理、自然、社会、经济4个影响因子,对脆弱性3方面的影响有正向影响,也有负向影响,有的因子可能是既有正向影响也有负向影响。不同影响因子的具体方面对脆弱性3方面的影响方向和大小都有待进一步研究。

3 现有模型及其适用

根据灾害风险评估中涉及空间尺度问题和评估所需指标,地震人口脆弱性研究可分为2类^[19-20]:考虑结构易损性的微观方法和不考虑结构易损性的宏观方法。考虑结构易损性的微观研究方法,认为房屋破坏程度(结构易损性)对人员伤亡影响最大,根据地震人员伤亡率与地震震级、地震烈度、房屋倒塌率、房屋各种破坏状态的关系等来确定人员伤亡情况^[20-21]。房屋破坏程度的计算需要用传统的生命易损性分类清单,包括研究区域内房屋建筑类别、建筑的面积、建筑物的位置和地基类型、居民在建筑物内地时间、破坏比、生命线工程等多方面的

数据^[22]。美国 FEMA(Federal Emergency Management Agency)根据建筑物分类清单法统计了建筑物与人员死亡率^[23-24]的关系。该方法对于一个区域来说,如果能够掌握研究区详细的建筑物资料,可以用易损性分类清单法进行细致评估,结果比较可靠,但是一个地区详细的建筑设施分类清单资料获取难度大,获取周期长,而且可更新程度很差,适合于为中长期规划作参考的精确评估研究,不适合于地震应急(表1)。

不考虑结构易损性的宏观人口脆弱性主要研究人口脆弱性与人口总量、分布、经济发展水平等的关系。通常根据历史震害资料,研究人员伤亡率与烈度、震级、人口密度、人均GDP、发震时间等因素之一或多个因素的关系,进而预测伤亡人数。陈颢等^[25-26]发展起来的宏观脆弱性研究方法用人口和GDP指标代替繁琐的建筑物分类清单。相对而言,宏观研究方法资料获取容易,不仅大大简化了资料获取周期,而且易于更新。所以,当评估的对象是较大区域,掌握资料不足时,就可以根据政府部门公开的统计数据,用宏观人口脆弱性评估方法进行快速评估。不足之处是宏观人口脆弱性分析法精确度不高(表1)。

下面通过对人口脆弱性研究方法和模型的分

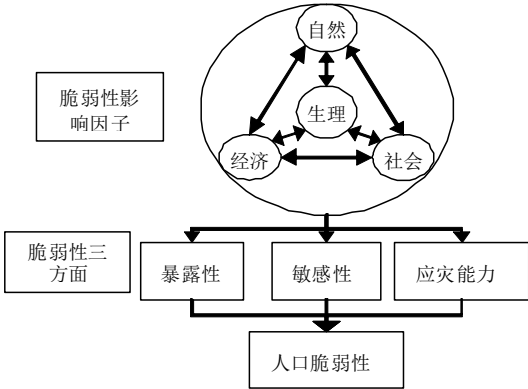


图1 人口脆弱性影响因子和影响模式
Fig.1 Influencing factors and pattern of life vulnerability

表1 宏观、微观评价对比						
Tab.1 The comparison of macro and micro assessments						
研究尺度	对象	用途	时间要求	指标可获取性	资料更新性	精确度
微观	较小区域	精确评估	时间长	指标多 不易获取	不易	高
宏观	较大区域	快速评估	时间短	指标少 易获取	易	低

析来研究宏观人口脆弱性与人口总量、儿童人口比例、老年人口比例、人口密度和人均GDP的关系,确定宏观人口脆弱性综合评估模型。

3.1 人口脆弱性与人口暴露性

国家地震局灾害防御司未来地震灾害损失预测研究组等^[27-28]根据历史震害资料,考虑烈度因素,得到烈度与伤亡率的关系,即地震人员伤亡损失矩阵,进而预测伤亡人数。公式如下:

$$P_k(m_j)=\sum_I P(m_j|I)P_k(I)B_k, \quad j=1,2 \quad (1)$$

式中: $P_k(m_j)$ 为在 k 地区,由地震灾害造成的人员伤亡的期望值; $P(m_j|I)$ 为地震伤亡易损性矩阵,表示在烈度 I 下的震伤率和震亡率; m_1 、 m_2 分别为人员受伤、死亡情况; $P_k(I)$ 为在 k 地区烈度 I 的发生率; B_k 为该地区总人口数。

在上述预测伤亡人数方法中,考虑了烈度因素,得到烈度与伤亡率的关系。该方法认为人口脆弱性只与人口暴露量有关,人口脆弱性等于人口暴露性,即公式(1):

$$V_{人口}=E_{人口}=M \quad (1)$$

式中: $V_{人口}$ 为人口脆弱性; $E_{人口}$ 为人口暴露性; M 为总人口。

3.2 人口脆弱性与老幼人口比例

老年人口和儿童人口比例越高,地震灾害人口脆弱性越高^[29]。为了定量研究儿童人口比例和老年人口比例对人口脆弱性的影响,模型改进如下:

$$V_{人口}=f_{老幼人口比} \cdot E_{人口}=\frac{f_{儿童人口比}+f_{老年人口比}}{2} \cdot M \quad (2)$$

式中: $V_{人口}$ 为人口脆弱性; $f_{老幼人口比}$ 为老幼人口修正系数; $E_{人口}$ 为人口暴露性; $f_{儿童人口比}$ 为儿童人口比例修正系数; $f_{老年人口比}$ 为老年人口比例修正系数; M 为总人口。

3.3 人口脆弱性与人口密度

马玉宏等^[30]综合考虑房屋倒塌率、人员密度、发震时间及烈度等因素,提出人员伤亡估算公式:

$$\begin{aligned} \log_{10}RD &= 9.0RB^{0.1} - 10.07 \\ ND &= f_i \cdot f_\rho \cdot RD \cdot M \end{aligned} \quad (4)$$

式中: RD 为人员死亡率; ND 为某城市或地区人员伤亡数估计值; RB 为房屋的倒塌率(指某地区倒塌房间数与全部房间数之比或倒塌建筑的面积与全部建筑面积之比); M 为该城市或地区的总人数; f_i 为地震发生时间的修正系数; f_ρ 为该地区人口密度修正系数,人口密度越高,伤亡率越高,因此提出采用人口密度修正系数来考虑人口密度因素对人口脆弱性的影响。

上述方法考虑了房屋倒塌率、人员密度、发震时间及烈度因素,在只考虑人口密度和人口暴露性的情况下,人口脆弱性模型如下:

$$V_{人口}=f_\rho \cdot E_{人口}=f_\rho \cdot M \quad (5)$$

式中: $V_{人口}$ 为人口脆弱性; $E_{人口}$ 为人口暴露性; f_ρ 为人口密度修正系数; M 为总人口。

3.4 人口脆弱性与人均GDP

刘吉夫等^[31-32]收集了1989年以来的地震灾害评估数据,从分类指标的客观性和合理性与结果的科学性考虑,结合中国区域社会经济发展不平衡的特点,最终确定以2000年不变价格计算的人均GDP值2700元为分类阈值,确定人员死亡率与地震烈度的关系:

$$R_{MDF}=C \cdot A \cdot I^B \quad (6)$$

式中: R_{MDF} 代表生命损失率; I 为地震烈度; A 、 B 为系数; C 为修正系数。根据实际资料统计,可得到 $C=0.264$ 。

按照上述地震生命易损性统计的思路,统计获得了系数取值以及不同地震烈度下的地震人员伤亡率易损性矩阵(表2)。

从表2可以看出,人均GDP越高,人口脆弱性越高,为了定量的研究人均GDP对人口脆弱性的影响,因此提出采用人均GDP修正系数来考虑人均GDP因素对人口脆弱性的影响,即在只考虑人均GDP和人口暴露性的情况下,人口脆弱性模型如下:

$$V_{人口}=f_{人均GDP} \cdot E_{人口}=f_{人均GDP} \cdot M \quad (7)$$

式中: $V_{人口}$ 为人口脆弱性; $E_{人口}$ 为人口暴露性;

表2 地震生命易损性模型参数

Tab.2 The coefficient of seismic life vulnerabilities models

人均GDP/元 (2000年不变价)	不同地震烈度时生命损失比				易损性统计参数	
	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	A	B
≥2700	4.06×10 ⁻⁵	0.000409	0.00302	0.0176	9×10 ⁻¹⁵	14.98
<2700	2.76×10 ⁻⁵	0.000126	0.000471	0.0015	6×10 ⁻¹¹	9.85

$f_{\text{人均GDP}}$ 为人均 GDP 修正系数; M 为总人口。

3.5 综合人口脆弱性

人口总量、儿童人口比例、老年人口比例、人口密度和人均 GDP 越高,人口易损性越高。为了定量的研究老幼人口比例、人口密度和人均 GDP 对人口脆弱性的影响,将模型改进如下:

$$V_{\text{人口}} = f \cdot E_{\text{人口}}$$
$$= \frac{f_{\text{儿童人口比}} + f_{\text{老年人口比}}}{2} \cdot f_{\rho} \cdot f_{\text{人均GDP}} \cdot M \tag{8}$$

式中: $V_{\text{人口}}$ 为人口脆弱性; f 为综合修正系数; $E_{\text{人口}}$ 为人口暴露性; $f_{\text{儿童人口比}}$ 为儿童人口比例修正系数; $f_{\text{老年人口比}}$ 为老年人口比例修正系数; f_{ρ} 为人口密度修正系数; $f_{\text{人均GDP}}$ 为人均 GDP 修正系数; M 为总人口。

4 全国人口脆弱性评估

4.1 数据处理

(1) 总人口的标准化

利用 SPSS 软件对全国 2354 个县市区(不包括港澳台和金门县)总人口指标进行标准化处理,处理方法为极大值标准化法,见公式(6),则标准化后的值在 0~1 之间。

$$Y'_i = \frac{Y_i}{Y^{\max}} \tag{6}$$

式中: Y'_i 为标准化后的值; Y_i 为指标的第 i 个值; Y^{\max} 为指标的最大值。

(2) 老幼人口比标准化

据相关研究成果^[35],确定地震灾害人口脆弱性的老幼人口比例修正系数(表3)。

(3) 人口密度的标准化

应用马玉宏等^[30]提出的人口密度修正系数(表3)对全国 2354 个县市区的人口密度指标进行标准化处理,即 $f_{\rho} = \{0.8, 1.0, 1.1, 1.2\}$ 。

(4) 人均 GDP 的标准化

参照不同地震烈度下的生命损失率(表3)对人均 GDP 进行赋值:按人均 GDP 从低到高,将全国 2354 个县市区平均分为 5 级,并分别赋值为 $f_{\text{人均GDP}} = \{0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6\}$,以此来对人均 GDP 指标进行标准化处理。

4.2 评价结果分析

将标准化后指标值代入公式(2)和(8)两个模型中,然后利用 ArcGIS 软件对评价结果进行分级,分

表3 地震人口脆弱性老幼人口比例修正系数

Tab.3 Corrected coefficient of proportion of young and old

儿童人口比例		老年人口比例	
(%)	修正系数	(%)	修正系数
<17	0.8	<4	0.8
17~22	0.9	4~6	0.9
22~27	1.0	6~7.5	1.0
27~34	1.1	7.5~9.5	1.1
>34	1.2	>9.5	1.2

表4 人口密度修正系数

Tab.4 Corrected coefficient of population density

人口密度/(人/km ²)	<50	50~200	200~500	>500
修正值	0.8	1.0	1.1	1.2

级方法为:将全国 2354 个县市区平均分为 5 个等级(图2,3)。

对比分析图2、图3可以发现,全国人口脆弱性等级总趋势变化不大,具有相对一致性,说明人口总量对人口脆弱性的影响是最主要的,地震灾害人口脆弱性综合模型基本能够反映各区的脆弱性水平。脆弱性较低的地区主要分布在中国的胡焕庸线西北侧,因西北地区的人口总量、人均 GDP、人口密度相对较低。脆弱性等级最高的地区主要分布在沿海地区、黄淮海平原和四川盆地,主要由于这些地区的人口总量和人口密度较大。

进一步对图2和图3统计对比发现,在全国 2354 个县市区中,共 736 个县市区的脆弱性等级发生了变化,变化率为 31.25%,两幅图的差异性较大,说明老幼人口比例、人口密度和人均 GDP 对人口脆弱性具有较大的修正作用。

5 结论与讨论

(1) 通过对历史地震资料和分析成果的分析发现,人口总量越大,人口脆弱性越高,所以在人口总量较大的县市区应加强对地震灾害的自然、社会、经济、生理等影响因子的干预,降低人们面对地震灾害的敏感性,提高应灾能力。老幼人口比例越高,人口脆弱性越高,所以应加强老幼人口的监护,提高老幼人群活动场所的抗震性。人口密度越大,人口脆弱性越高,为此,建议在土地节约集约利用的背景下,将人口密度控制在合理范围内,不过度提高人口密度。人均 GDP 越高,人口脆弱性越高,

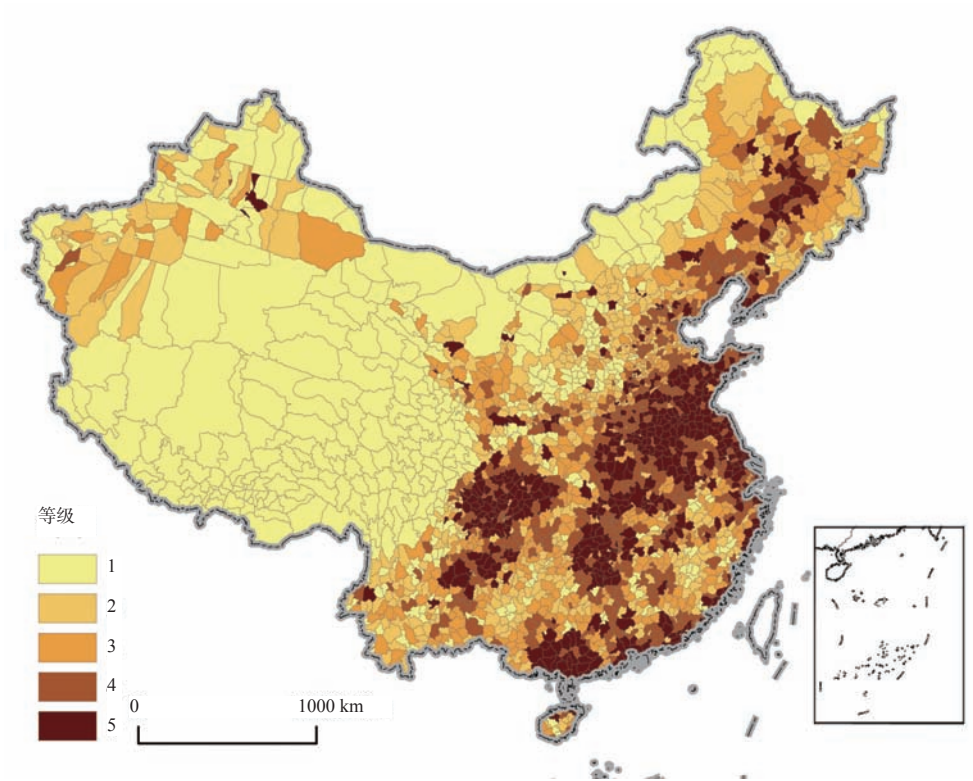


图2 全国总人口脆弱性

Fig.2 Life vulnerability for the total population in China

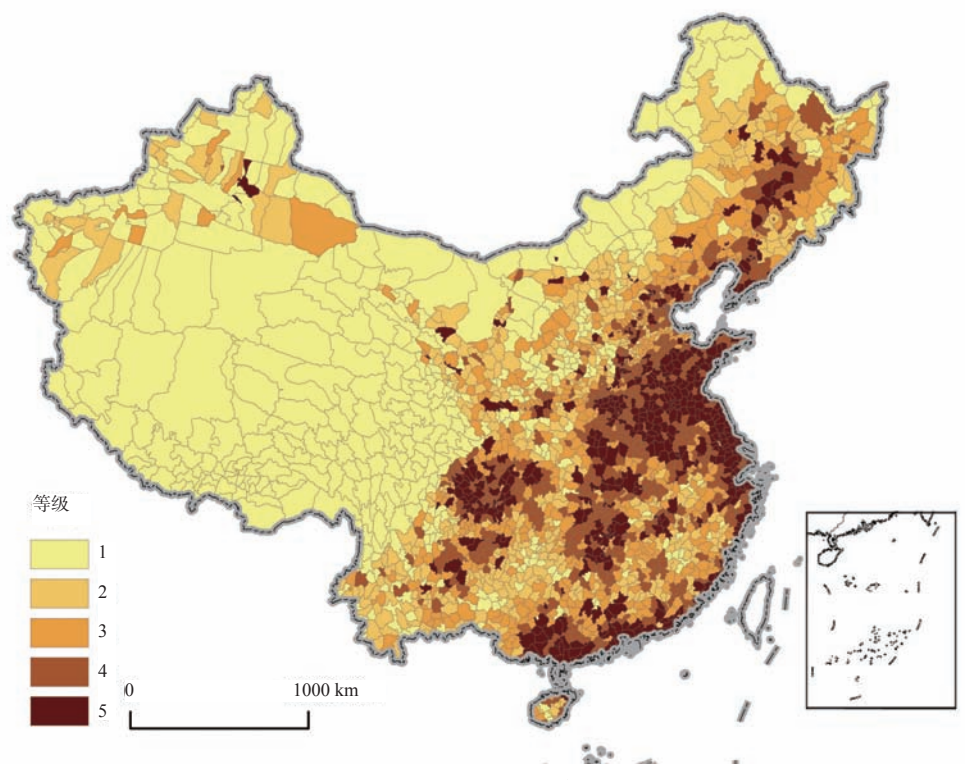


图3 老幼人口比例、人口密度和人均GDP修正后的全国人口脆弱性

Fig.3 Life vulnerability revised by population density and per capita GDP

这似乎与人均GDP越高,抗震救灾能力越强相矛盾,笔者认为主要有2个原因:①人均GDP较低的地区第一产业比重较大,这就决定了人们的职业活动地点多为户外,降低了其地震敏感性,故受地震的影响较小,②不发达地区楼层较低,地震逃生所需时间较短,故人口脆弱性较低。而在人均GDP较高的地方,因其职业特点、建筑特点等因素可能会提高人们面对地震的敏感性,使其脆弱性更高,所以在建房时应注意保证建筑的抗震级别,控制楼层高度,不可一味追求高层,尤其是在强震多发区。

此外,人均GDP提高有助于应灾能力的提高,但并不能自动提高人们的抗震救灾能力,需要我们主动有所作为,加强应灾设施建设。

(2) 本文提出的地震灾害宏观人口脆弱性评估方法,其使用资料易获取,动态更新性强,在县级尺度使用便利,为较大尺度的地震灾害人口脆弱性分析提供了一种可行的研究解决方案。该方法将复杂的建筑物分类清单简化为几个简单的宏观指标,对复杂问题简单化处理进行了一次有益探索。

需要指出的是,本研究仅局限于县级较大空间尺度的平均地震人口脆弱性分析,没有考虑地形地貌、人们的生理条件、城市与乡村建筑物文化的不同、生命线工程完备程度等具体情况对人口脆弱性的影响,分析结果还有相当的不确定性。为了完善、充实和验证这一方法,今后需加强宏观研究与微观研究的结合,提高评估的准确性和精确度。在宏观分析方法中加入建筑结构易损性、人群生理结构易损性、职业活动易损性等指标的考虑,进一步加强自然、社会、经济、生理等地震灾害人口脆弱性影响因子与地震灾害风险之间作用模式的研究,找到宏观人口脆弱性法与易损性分类清单法或实际结果的对应关系等,都有待于进一步研究。

参考文献

- [1] United Nations Development Programme(UNDP). A Global Report Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. New York: UNDP, 2004
- [2] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [4] Cutter S L, Mitchell J T, Scott M S. Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 2000, 90(4): 713-737.
- [5] 郑通彦, 李洋, 侯建盛, 等. 2008 年中国大陆地震灾害损失述评. *灾害学*, 2010, 25(2): 112-118.
- [6] 李智, 王晓青. 地震震害微观与宏观方法快速盲估综述. *地震*, 2010, 30(2): 134-142.
- [7] 周光全, 毛燕, 施伟华. 云南地区地震受灾人口与经济损失评估. *地震研究*, 2004, 27(1): 88-93.
- [8] ISDR. *Living with risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. Geneva, Switzerland: United Nations, International Strategy for Disaster Reduction, 2004.
- [9] UNDP. *Human development report 2004: cultural liberty in today's diverse world*. New York, United Nation Development Programme, 2004.
- [10] Davis I. *The Effectiveness of Current Tools for the Identification, Measurement, Analysis and Synthesis of Vulnerability and Disaster Risk*, IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, National University of Colombia, Manizales, 2003.
- [11] IDEA System of Indicators for Disaster Risk Management: Program for Latin American and the Caribbean. Main Technical Report. IDB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management, National University of Colombia, Manizales, 2005.
- [12] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 杨挺. 城市局部地震灾害危害性指数(ULEDRI)及其在上海市的应用. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 2000.
- [14] Shang Y R. Seismic disaster vulnerability analysis: Taking Zhangbei-Shangyi earthquake disaster in Hebei Province as an Example. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 1999, 10(2): 37-43.
- [15] 王飞, 蒋建群. 城市地震灾害综合易损性分析方法探讨. *地震研究*, 2005, 28(1): 95-101.
- [16] 苏桂武, 朱林, 马宗晋, 等. 京津唐地区地震灾害区域宏观脆弱性变化的初步研究: 空间变化. *地震地质*, 2007, 29(1): 25-33.
- [17] 科技部、国家计委、国家经贸委灾害综合研究组. 灾害社会减灾发展: 中国百年自然灾害态势与21世纪减灾策略分析. 北京: 气象出版社, 2000.
- [18] Wisner B. Turning knowledge into timely and appropriate action: Reflections on IADB/IDEA program of disaster risk indicators, IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, National University of Colombia, Manizales, 2003.
- [19] 马玉宏, 赵桂峰. 地震灾害风险分析及管理. 北京: 科学出版社, 2008.

- [20] 邹其嘉,毛国敏,孙振凯,等.地震人员伤亡易损性研究.自然灾害学报,1995,4(3): 60-68.
- [21] 陈颢,陈棋福,陈凌,等.地震损失预测评估中的易损性分析.中国地震,1999,15(2): 97-105.
- [22] 周光全,毛燕,施伟华.云南地区地震受灾人口与经济损失评估.地震研究,2004,27(1): 88-93.
- [23] ATC(Applied Technology Council). Earthquake damage evaluation data for California (ATC213). Redwood City, California: Applied Technology Commission, 1985.
- [24] Whitman R V. Damage probability matrices for prototype buildings. Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering Research Report R732 57. Cambridge: Massachusetts, 1973.
- [25] 陈颢,刘杰,陈棋福,等.地震危险性分析和震害预测.北京:地震出版社,1999.
- [26] Chen Yong, Chen Qifu, Chen Ling. Vulnerability analysis in earthquake loss estimate. Natural Hazards, 2001, 23 (2-3): 349-364
- [27] 孙林松,蒋能强.我国地震人员伤亡预测研究及问题讨论.国际地震动态,1993(10): 9-14.
- [28] 国家地震局灾害防御司未来地震灾害损失预测研究组.中国地震灾害损失预测研究.北京:地震出版社,1990.
- [29] 王飞,蒋建群.城市地震灾害综合易损性分析方法探讨.地震研究,2005,28(1): 95-101.
- [30] 马玉宏,谢礼立.地震人员伤亡估算方法研究.地震工程与工程振动,2000,20(4): 140-147.
- [31] 刘吉夫,陈颢,史培军,等.中国大陆地震风险分析模型研究:生命易损性模型.北京师范大学学报,2009,45(4): 404-407.
- [32] 国家减灾委员会科学技术部抗震救灾专家组.汶川地震灾害综合分析与评价.北京:科学出版社,2008.
- [33] 葛全胜,方修琦,叶谦,等.全球环境变化视角下中国粮食、水与健康安全问题研究.北京:气象出版社,2011.

Macro Assessment of Seismic Population Vulnerability in China

NIE Chengjing^{1,2}, YANG Linsheng¹, Li Hairong¹

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

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

Abstract: Seismic vulnerability assessment is not only the basis for a long-term planning, but also provides support for emergency decision-making in earthquake emergency, therefore it is a focus in current research of vulnerability. First, this paper introduced the definition of seismic population vulnerability, and proposed its vulnerability factors and influence patterns. Second, after researching the macro and micro assessment models and methods of seismic population vulnerability, the macro assessment model of seismic population vulnerability was established by using five indicators, which are the total population, proportion of the young, proportion of the the old, population density and per capita GDP. The seismic population vulnerability at county level was assessed across China. The results showed that the differences of seismic population vulnerability were significant, the vulnerability in the eastern region was higher than that in the western, and the total population was the key factor. The assessment model designed in this paper had a significant effect on the amendment to the population vulnerability of the earthquake.

Key words: seismic; macro; population vulnerability; assessment; China

本文引用格式:

聂承静, 杨林生, 李海蓉. 中国地震灾害宏观人口脆弱性评估. 地理科学进展, 2012, 31(3): 375-382.