

地震经济损失评估研究综述

叶珊珊, 翟国方

(南京大学城市与区域规划系, 南京 210093)

摘 要:地震经济损失评估是地震风险分析研究的重要组成部分,也是政府制定地震风险防范管理措施的基础和依据,因此如何准确评估地震造成的经济损失,具有重要的理论和现实意义。文章回顾了国内外地震经济损失评估研究的发展进程,对地震造成的直接经济损失、间接经济损失的评估方法进行了概括和总结,并通过分析指出运用模型评估时存在的困难和有待解决的问题。从总体上来看,国内外对于地震直接经济损失的研究均已形成了较为稳定的、系统的评估方法,但仍然存在无法整合社会经济这一整体进行评估的不足;而在间接经济损失评估时由于涉及领域广泛、受影响时间较长、各经济体间联系复杂等原因,很难得出较为精准的结果,因而其评估方法也仍然处于探索和研究之中。文章最后展望了今后地震经济损失评估研究的发展方向。

关 键 词:地震经济损失;直接经济损失评估方法;间接经济损失评估方法

1 引言

我国是一个地震多发国,每年发生在我国的地震次数约占全世界的25%。2008年5月12日北京时间14时28分,四川省汶川县发生了里氏8.0级地震,破坏地区超过10万km²,由于地震的突发性强,破坏性大,不仅会造成人员伤亡,建筑物、基础设施的损毁,还会对灾区经济社会各个层面产生重创,带来巨大的经济损失。人员伤亡和经济损失这两个指标是评判地震灾害程度最主要的指标^[1],随着社会的发展和科学技术的进步,同样等级的地震造成人员伤亡会不断减少,而整个社会的经济损失绝对数值会不断增加,因此越来越多的人开始关注地震造成的经济损失的研究。合理的经济损失评估,可以为未来人们面对地震灾害时提供决策依据,以便采取适宜的防震减灾措施应对可能出现的地震,使地震灾害造成的人员伤亡和经济损失降到最小。

地震经济损失包括直接经济损失和间接经济损失2类。直接经济损失一般指社会物质财产的减少,包括房屋建筑物、室内财产、各基础设施的破坏等造成的损失。间接经济损失包括由于地震造成的

生产暂时停止或减少、原有的平衡经济系统出现扰动以及外部投资的减少等产生的损失,是直接损失造成的后续影响。美国国家科学研究委员会——自然灾害费用评估委员会(Committee on Assessing the Costs of Natural Disaster, National Research Council)认为在短期内,自然灾害造成间接损失包括3类^[2]:①由于对商业结构的物质破坏导致功能丧失,从而引起的销售、工资或利润方面的损失;②由于直接的物质破坏或基础设施破坏导致上、下游产业停产造成的进货/出货损失;③由于企业停减产,因收入减少而造成开支也减少,即所谓的多重(Multiplier)或涟漪效应(Ripple Effect)造成的损失,如企业雇员因为产品生产或销售的减少造成个人收入的减少,随后雇员的开支也会缩减,进而形成对企业生产力新一轮的削减。并且有数据显示,灾害越大,间接损失占总损失的比重也越大^[3-4]。

随着人们对地震灾害认识的不断深入,地震经济损失评估的重要性得到越来越多学者的重视,地震经济损失的评估方法特别是间接经济损失评估方法也随之不断更新和完善,基于评估方法的多样性,有必要对这些方法进行归纳和总结,通过分析各个方法的特点,发现评估过程中存在的问题和困

收稿日期:2009-10;修订日期:2010-01.

基金项目:中欧城市与区域合作研究计划项目(FP7-230824 ECURBS);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428506);教育部“留学回国人员启动基金”项目;江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目;南京大学“高层次人才引进人才”基金项目。

作者简介:叶珊珊(1985-),女,硕士研究生,主要研究方向为城市防灾、风险管理。E-mail: yss1456@163.com

通讯作者:翟国方(1964-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为城市规划、城市防灾、风险管理。

E-mail: guofang.zhai@gmail.com

难,为经济损失评估研究的发展提供方向性的意见和建议,期望通过模型的改良和学科之间的知识融合,能够更准确地对经济损失进行评估。而对于地震经济损失评估的综述,却少有人涉猎,国内只有林均岐等^[5]做过地震间接经济损失研究的综述,他总结了国内外地震间接经济损失的评估方法,并提出以 GIS 强大的信息库功能解决评估中的数据缺乏的问题,有积极的意义。本文总结了国内外地震直接、间接经济损失的评估方法,并对存在问题和发展方向进行了初步的探究。

2 国外地震经济损失评估方法总结

日本、美国等地震多发的发达国家早在 20 世纪 60 年代以来,便开展了有关地震经济损失方面的研究工作,并取得了一定的进展,为之后发展中国家的研究奠定了一定的理论基础和指导经验。

2.1 国外地震直接经济损失评估方法

地震的损失评估中包括 2 个重要的组成部分:
①地震危害分析,通过地震学、地质学、国内工程学等学科的知识对地震进行鉴定和定量的描述分析,为损失评估工作打下基础。②易损性分析,在工程师、建筑师、公共系统管理者、城市规划师、房地产及社会经济学领域的专家经过合作商讨估计破坏可能造成的损失。虽然在大多数损失评估中,都会把重点放在由于地面震动直接造成的破坏与损失,但地震危害的其他方面,如断层断裂、泥石流、沙土液化、海啸、震荡波等与地震相关联的灾害,其危害也是不容忽视的^[6]。

易损性分析的一个初始工作就是把建筑物按标准进行分级,20 世纪 80 年代末美国最常用的地震损失评估建筑物分级系统是由 Algermissen 和 Steinburgg^[7]提出的,该系统包含 21 个分类,1A-1 至 1B 是对木质结构和泥土结构的建筑物在不同高度和面积的分类,2A-2B 是全金属结构的建筑物在不同高度和面积的分类,3A-3D 是钢结构的建筑物不同特征的分类,4A-4E 为钢筋混凝土不同结构的分类,5A-5E 为混合结构的不同特征建筑物的分类,6 是为抵御地震而特殊建造的建筑物。在建筑物分级基础上,专家结合经验分析(Modified Mercalli Intensity, *MMI*)烈度和破坏性的关系,可以得到每一级的平均破坏率,图像上可表示为平均破坏率曲线。

破坏状态的表述还可以通过破坏概率矩阵

(Damage Probability Matrix, *DPM*)来表示,反映不同 *MMI* 烈度下,7 种破坏等级可能所占的概率(表 1)。

表 1 中受损状况分别用文字和破坏率来表示,破坏概率一般由专家经验给出,通过计算某一烈度下的平均破坏率(Mean Damage Ratio, *MDR*),再由下式就可以得出总建筑设施的直接经济损失:

$$L_{总} = \sum_{所有建筑物种类} 每类建筑的货币价值 \times MDR_i \quad (1)$$

至 1995 年,美国联邦紧急事务管理局(Federal Emergency Management Agency, *FEMA*)在 GIS 基础软件的平台上,结合当时的科技、工程知识,开发了又一震害评估软件——HAZUS-MH (*Hazards U.S. Multi-Hazard*),该软件在进行易损性分析时以定量的峰值地面运动(Peak Ground Motions, *PGM*)代替了以往用 *MMI* 为地震特征参数,使得各级建筑物的破坏概率更为准确,通过该软件不仅能对建筑物、基础设施的直接破坏进行损失评估,同时还能对灾区长期的经济损失、社会影响做出评估(如由地震造成的失业、商业中断的损失,避难所、转置灾民等对社会的影响等)。

除此之外,还有一些研究机构将直接损失划分为对于政府的、商业的和个人的损失 3 个部分^[4],在整个灾害保险体系下,计算各部分在不同层面上的损失(通过保险赔付、政府支出等方面计算),Pidlke^[8]曾用该框架对 Andrew 飓风造成的直接经济损失做过评价,同时也促进了该评价体系的进一步完善。由于不同的评价体系中,所得到的损失评估结果也不同,缺乏统一标准的评估体系框架很难对灾害损失得出精确定位^[9],从而造成政府难以选择成本收益更高的减灾政策。

2.2 国外地震间接经济损失评估方法

地震间接经济损失的评估,从空间上来看涉及整个灾区甚至灾区外的其他地区,时间上看经历受灾时和灾后恢复的一段较长时间,影响范围包括经

表 1 损失概率矩阵表
Tab.1 A damage pobability matrix form

损毁状态	破坏率范围/%	破坏率 中值/%	基于 <i>MMI</i> 和损毁状态的 破坏概率/%				
			VI	VII	VIII	IX	X
1 无损伤	0	0.0	95.0	49.0	30	14	3
2 微小	0~1	0.5	3.0	38.0	40	30	10
3 轻度	1~10	5.0	1.5	8.0	16	24	30
4 中度	10~30	20.0	0.4	2.0	8	16	26
5 较重	30~60	45.0	0.1	1.5	3	10	18
6 严重	60~100	80.0	—	1.0	2	4	10
7 毁灭性	100	100.0	—	0.5	1	2	3

资料来源:Applied Technology Council (1985)。

济社会的各行各业,加之社会经济体本身就是多层次、多环节、关联性强、动态复杂的大系统,所以其评估工作也相对比较复杂。基于这些特点,越来越多有关灾害对经济社会影响的评估开始从区域整体经济结构^[10-12]、长期经济影响^[13-15]的角度来进行研究,使评估范围从空间和时间上得到了延展。

20 世纪 80 年代末,美国 FEMA 在研究地震经济损失的第二阶段影响时,采用了 Wilson^[16]的内部区域产业模型——投入产出分析 (Input-Output Model, IO 模型)结合 ATC-13 的方法,进行了间接经济损失的进一步研究^[4]。由 n 部门的投入产出表可以建立经济平衡关系:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + y_i = x_i \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (2)$$

式中: x_{ij} 表示第 i 个物质生产部门分配给第 j 个物质生产部门的产品产值, y_i 表示第 i 个生产部门的最终需求, x_i 表示第 i 个生产部门的总产出。根据投入产出表定义直接消耗系数 a_{ij} , 表示生产单位产品 j 所消耗的产品 i 的数量, 公式(3):

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (i, j=1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

$$\text{则可得: } x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (4)$$

设直接消耗系数矩阵 $A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$, 则

公式(4)可表示为: $X=AX+Y$

$$\text{整理得: } X=(I-A)^{-1}Y \quad (5)$$

从纯经济学角度来看,该模型可以估算经济系统中总产出和最终外部需求的数量关系 (如知道 Y 可以求的 X), 运用到地震经济损失评估中, 可以通过直接经济损失估算由于产业关联造成的间接经济损失。由于 IO 模型法具有简便、合理以及可操作性优点, 在世界范围内得到了较广泛的应用, 曾被应用于计算洛马普列塔地震^[17], 新港地震(英格伍德断裂带上)^[18]等灾害的损失评估中。但模型假定灾前灾后社会经济体的经济活动和商业联系是不变的, 并没有考虑企业采用柔性生产或调整合作伙伴等因素, 因此所得评估值一般比实际损失要高。

20 世纪 80 年代, 日本学者 Kuribayashi 等^[19]提出了一个地震长期影响的计量经济学模型来计算

间接经济损失, 由 Cobb-Douglas 生产函数($Y = AL^\alpha K^\beta$)估计直接损失对产出的影响; 在 A, α, β 不变的条件下, 考虑灾后劳动力 L 和资本 K 的变化量导致的产出 Y 的减少; 以及考虑投资和消费对支出的影响, 投资对供求机制的影响等。但由于假定参数震前震后不变, 也没有考虑各个经济部门活动的相互联系和影响, 因此所得评估值往往偏低。

日本学者 Kawashima 等^[20]对地震间接经济损失进行了进一步的研究, 在投入产出分析的基础上, 运用式(6)对 1983 年 Nihonkai-chubu 地震进行了间接经济损失评估:

$$G_0(t) = G_N(t) - G_D(t) + G_R(t) \quad (6)$$

式中: $G_0(t)$ 为灾后地区总产值; $G_N(t)$ 为假设 t 年未发生地震的地区总产值; $G_D(t)$ 为由于地震破坏造成地区产值的减少; $G_R(t)$ 为由于灾后重建投资形成的地区产值的增加。该模型不仅考虑了地震造成的地区产值的减少量 $G_D(t)$, 同时考虑了外部投资引起的产值的增量 $G_R(t)$, 较客观地反映了震区总产值的变化情况, 但却没有考虑外部系统因为重建资金的投入造成的损失, 由于全局性考虑不足, 因此该模型所得评估值比实际损失值低。

澳大利亚学者 Narayan^[21]用可计算的一般均衡模型 (Computable General Equilibrium Model, CGE) 对 2003 年斐济岛遭受 Ami 飓风袭击的短期宏观经济影响做出了评估。当然, 该方法同样适用于地震等其他自然灾害造成的经济影响分析。适用于斐济的可计算一般均衡模型 (Fiji's CGE Model) 尽可能将所有经济部门纳入同一个模型中, 甚至将一些非农业非正式的群体作为一个独立的部门也纳入模型中, 例如辍学者以及未能找到正式工作的失业者等等。模型表述为:

$$F[Z_1(t), Z_2(t), Z(0)] = 0 \quad (7)$$

式中: $Z_1(t)$ 和 $Z_2(t)$ 是 t 时点上内生变量和外生变量的向量值, $Z(0)$ 是原始数值。这个模型公式考虑了家庭等部门对商品的最终需求、工业部门对初级要素和中间产品的需求、价格、服务于初级要素和商品的市场结算的公式, 以及确定 GDP、统计就业、消费价格指数、投资价格指数的公式等。最终运用 GEMPACK 软件包计算出宏观经济影响和损失。虽然 CGE 模型能够对价格的变化做出反应, 将投入与进口的替代关系纳入模型, 并能明确处理供给限制问题, 但是由于对参数的调整, 这种方法通常会

低估灾害对经济的影响^[2],且由于该模型是在经济构成较为简单的小国背景上建立,因此对于较为发达和复杂的经济体是否适用,则有待进一步验证。

运用 IO 模型计算间接经济损失的好处是可以将产业关联损失计算在内,但也不可避免的存在缺陷:如模型的线性性、有关进出口的刚性模型结构、缺乏明确的资源限制以及未能对价格的变动做出反应等^[23]。为了克服这些缺点,IO 模型也在不断被学者改良。2008 年,Hallegatte 在传统 IO 模型基础上,提出了适应区域的投入产出模型(Adaptive Regional Input-Output model,ARIO)^[24],新模型阐明了灾后生产能力的变化、中间消耗品的供需状况、价格、利润、劳动力以及最终需求的变化,并针对这些变化将适应调整举措(Adaptive Behaviors)纳入该模型中,使模型计算结果更接近真实的间接经济损失。Hallegatte 修正模型的适应调整举措包括设置过度生产参数(Overproduction Parameters)、适应性参数(Adaptation Parameters)以及对需求和价格的反应(Demand and Price Responses)。最后以卡特琳娜飓风为例,用该模型对自然灾害造成的间接经济损失进行评估,评估结果与现实情况能够较好地拟合。但是由于模型中各个修正参数取值是凭借作者的经验确定的,不免主观性过强,ARIO 模型是否能够适合所用震后经济体的间接经济损失评估也仍需实践进一步检验。

3 国内地震经济损失评估方法总结

3.1 国内地震直接经济损失评估方法

20 世纪 90 年代初,我国各地陆续展开现场地震损失的评估工作,1998 年出版的《地震现场工作大纲和技术指南》^[25]一书中在第 4 章详细地介绍了现场地震灾害损失的评估方法:通过抽样调查得出评估所需的损失比和破坏比,再按照各类别汇总求和得到总损失。

房屋建筑的损失可按式(8)来计算:

$$L_f=\sum_{s=1}^n\sum_{j=1}^5TS\cdot\lambda S(j)\cdot\eta S(j)\cdot BS \tag{8}$$

式中: L_f 表示破坏总损失值; TS 表示第 S 类结构的总面积; $\lambda S(j)$ 表示第 S 类结构 j 级破坏的破坏比; $\eta S(j)$ 表示第 S 类结构 j 级破坏的损失比; BS 表示第 S 类结构的重建单价。

室内财产损失按式(9)计算:

$$L_s=\sum_{s=1}^n\sum_{j=1}^5T_s\cdot\lambda S(j)\cdot WS(j) \tag{9}$$

式中: L_s 表示室内财产总损失值; T_s 表示第 S 类结构的总面积; $\lambda S(j)$ 表示第 S 类结构 j 级破坏的破坏比; $WS(j)$ 表示第 S 类结构 j 级破坏单位面积室内财产的损失比。公共基础设施的损失可按式(10)得出:

$$L_g=\sum_{k=1}^na(k)\cdot b(k) \tag{10}$$

式中: L_g 表示各项基础设施及其他工程结构的总损失值, $a(k)$ 表示第 k 个工程结构的总价, $b(k)$ 表示第 k 个工程结构的损失比。

2005 年又颁布实施了国家标准《地震现场工作第 4 部分:灾害直接损失评估》,根据全国各地灾评实践中的有关意见和建议、吸收各地区地震现场灾害损失评估的实践经验、参考《地震灾害预测和评估工作手册》(国家地震局震害防御司编,1993)和《地震现场工作大纲和技术指南》(中国地震局,1998),新增并调整了一些内容,例如,提出简易房屋的概念,调整了破坏等级及对应的损失比等参数的划分和取值。周光全采用新国家标准对 2005 年 8 月 5 日会泽 5.3 级地震中简易房屋的经济损失进行了模拟评估^[26],新标准的评估值大于原标准的评估值,并分析了产生差异的原因主要是破坏等级合并后提高了对应的损失比,使评估结果更符合实际情况。

陈颢、陈棋福等^[27]在总结国内外相关文献基础上,提出了地震宏观经济易损性位于常规易损性分类清单中的最好和最差两种极端建筑条件的中间。地震损失可概括为:

地震损失=地震危害性×易损性×社会财富
但由于易损性分类清单在许多地区并不可获得,因此陈颢等提出基于其他宏观经济指标,如 GDP、人口等进行地震损失评估。首先根据已有的原始数据,建立跨越几个地震烈度的 GDP 与地震损失的经验关系式;再通过将全球陆地划分为 0.5°×0.5°单元网格,并根据网格格点所属区域的人口与 GDP 值以格点所在的人口比例计算得到单元格点的 GDP 值;格点的预测地震损失则由地震危险性概率、GDP 值、GDP 与地震损失经验关系等得到。在没有详尽的建筑物易损性资料的情况下,该方法可以快速、及时的对新地震进行损失评估,且方法简便易行,但所运用的宏观经济易损性曲线还较为粗略,结果的精确性有待通过积累更多的地震损失数据

加以提高。

周光全等(2004)^[28]也曾用受灾人口来评估地震经济损失,通过对历史资料的整理,分析受灾人口与地震经济损失的关系,以此进行震后快速经济损失评估。但由于未能考虑不同地区受灾程度和社会经济的差异,该方法的结果与地震现场评估结果存在一定偏差。

3.2 国内地震间接经济损失评估方法

国内地震间接经济损失的评估起步较为晚,但发展较快,在借鉴和学习国外经验的基础之上研究了地震对我国经济的损失和影响。

王中宇等^[29]通过唐山地震对唐山、天津的影响入手,研究固定资产的破坏与生产能力的损失之间的关系以及社会生产的长期损失。首先建立了含有一个自由参数的公式:

$$P(Q)=(2+a)Q-(1+2a)Q^2+aQ^3 \quad (11)$$

式中: P 指生产能力的破坏比, Q 指建筑物的破坏比, P 为 Q 的函数。并由原始统计数据(由于数据缺乏,作者采用工业生产总值代替 GNP)拟合参数 a ,得出 $a=-0.54436$ 。最后分行业汇总估算社会总生产能力破坏的绝对值。对于社会生产的长期损失,作者假定受破坏的经济恢复轨迹在未受破坏的轨迹下方,并大体与之平行,且轨迹之差为常值,在考虑贴现率的情况下(未来可能的损失折算成现值),计算 GNP 长期损失,公式如式(12):

$$D=\int_{t_0}^{\infty} D_0 \times (1+r)^{(t_0-t)} dt \quad (12)$$

式中: D_0 为破坏后 GNP 的下降量, r 为社会贴现率, t_0 为破坏发生的时刻, t 为时间变量。经积分 $D=D_0/\ln(1+r)$,为 GNP 损失的净现值,也即社会生产的长期损失。该模型把经济学中的贴现原理运用到经济损失的评估中,有其积极的意义,但模型假定粗糙,且本质是静态模型,未能考虑生产能力及产业结构的地理分布随时间的变化的影响。

赵直、尹之潜^[30]同样根据唐山地震的震害资料,提出了地震破坏后一个地区或城市因停产和减产而造成的经济损失的一个估计方法。首先假设停产损失主要受建筑物破坏的影响,通过分析震后工业生产总值的减少和建筑物破坏比,给出对应于破坏等级的生产能力损失向量 $S[D_j]$,由生产能力损失向量乘以建筑物的破坏概率矩阵 $P[D_j/I]$,即可得出生产能力损失比 $B[I]$,即:

$$B[I]=P[D_j/I] \times S[D_j] \quad (13)$$

再通过参考唐山地震中唐山、天津等城市生产恢复时间与城市平均震害指数的关系进行了分析,得出了用以估计震后生产能力恢复时间的公式如

$$\text{式(14): } T=\frac{1}{365} \exp[5.265 \times \sqrt{\bar{Z}}+2.543] \quad (14)$$

式中: T 为生产恢复时间, \bar{Z} 为城市平均震害指数。

最后假定生产能力恢复符合直线关系,得震后企业停减产损失为: $L(I)=\frac{1}{2}B(I) \times N \times T$ (15)

式中: $L(I)$ 为烈度为 I 时的减产或停产经济损失; $B(I)$ 为烈度为 I 时的生产能力损失比,计算如(13)式; N 为年产值; T 为生产能力恢复时间。该模型充分考虑了生产能力恢复时间与震害指数的关系,把时间因素更为具体精确的引入损失计算中,但模型的有效性有待验证。

胡聿贤、何扬等人提出一种大系统震害预测理论^[9],该理论从宏观的视角把社会看成是个复杂的大系统,并由许多子系统如:能源、交通、电力、通信等系统组成,进行地震经济损失评估时,应当同时考虑地震给整个社会系统本身造成的直接经济损失和各个子系统之间相互影响造成的间接经济损失,则模型可表示为:

$$TL=\sum DL(K)+\sum IL_1(K)+\sum IL_2(K,M) \quad (16)$$

$$K, M=1, 2, 3 \cdots \cdots, n$$

式中: TL 代表社会系统总的经济损失; $DL(K)$ 代表第 K 个子系统的直接经济损失; $IL_1(K)$ 是第 K 个子系统的自身间接经济损失; $IL_2(K,M)$ 是第 K 个子系统给第 M 个子系统带来的外部间接经济损失。该方法是以投入产出分析和生产函数为理论基础的,考虑到了多个系统之间的联系,但同样该模型的有效性还有待实践进一步检验。

郭章林等^[31]把人工神经网络引入到地震灾害经济损失评估中。选取震级、地震动输入参数、人均国内生产总值 GDP 、受灾面积和灾区人口密度作为网络的输入节点,用直接经济损失率作为网络的输出节点,建立了基于遗传神经网络的震灾经济损失评估模型。首先对样本做归一化处理,使用的传递函数为Sigmoid函数或Tansig函数进行输入,得出学习样本,并作为后续数据的测试样本进行网络训练,最后运用训练好的网络权值及阈值进行震灾经济损失评估。该模型可用于地震经济损失的快速评

估，但网络训练精度和时间对数据样本的依赖性大,若要广泛应用仍需进一步研究。

2008 年 5.12 汶川地震发生后，国内也有学者对地震造成的间接经济损失进行评估。地震局的学者都吉夔等^[32]提出利用灾区各市(县)国内生产总值 GDP(第二、三产业)数据、各评估子区震害系数、企业服务业生产营业恢复时间以及地震对企业服务业生产营业影响时间，进行地震灾害间接经济损失评估方法。计算公式如下： $L=L_1+L_2$ (17)

$$L_1=\sum_{i=1}^4 G_i T1_i \tag{18}$$

$$L_2=\sum_{i=1}^4 G_i Z_i T2_i \tag{19}$$

式中： G_i 为*i*评估区国内第二三产业生产总值(亿元)； $T1_i$ 为*i*评估区企业、服务业恢复生产营业时间(*a*)； $T2_i$ 为地震对*i*评估区企业、服务业恢复生产营业后的影响时间(*a*)； Z_i 为*i*评估区的综合震害系数。

Z_i 可由公式(20)计算：

$$Z_i=\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^5 R_{ij} D_{ij} \frac{S_k}{\sum_{k=1}^4 S_k} \tag{20}$$

式中： S_k 为*i*评估区*k*类结构房屋的面积； R_{ij} 为*i*评估区*j*破坏等级下的破坏比； D_{ij} 为*i*评估区*j*破坏等级下的损失比。通过抽样调查计算出 Z_i 、确定 $T1_i$ 和 $T2_i$ 系数的值,由统计年鉴计算出 G_i 。最终得出 5.12 汶川地震造成的间接经济损失为 11000 亿人民币,其中四川省灾区为 10300 亿人民币。但该方法在预测恢复时间($T1_i$)和影响时间($T2_i$)的取值时,主观性过强,方法的科学性有待证实;并且仅考虑了受灾区内 GDP 的减少量,而未考虑由于产业关联可能对灾区外造成的经济损失,将间接经济损失固化在了一定的空间范围内,评价结果应低于实际损失。

叶珊珊、翟国方^[33]运用 IO 模型最早对 5.12 汶川地震经济间接经济损失进行了评估,并计算了旅游业等非生产性服务业受到的损失。结果表明在第一时间中地震造成的直接和间接损失超过 1 万亿人民币,并随着灾后重建恢复时间的延续,损失将继续增加。虽然 IO 模型是目前运用最广泛的间接经济损失评估模型,但其内生缺陷(见 2.2 小节)仍然影响结果的准确性。

吴继东等^[34]运用 ARIO 模型(Adaptive Regional Input-Output Model)对 5.12 汶川地震造成的间接经

济损失进行评估。有关 ARIO 模型的优缺点在 2.2 小节已经描述,因此这里不再赘述。结果表明,若按照地震发生后 48 个月的恢复期和 90 个月的灾后重建期来计算,汶川地震造成的间接经济损失约为 4634 亿人民币。但由于模型中参数取值的主观性过强,结果有待实践检验。

4 结论与讨论

随着社会的进步,科技的发展,地震灾害给人类社会造成的经济损失被越来越多的人所关注,地震经济损失的评估方法也在融入越来越多的新技术元素而得到了更新和发展。总体上来说,国内外对与地震直接经济损失的研究已经形成了稳定的较为系统的评估方法,但仍然存在不足之处,FEMA 的评估方法依赖于大量的建筑物、分级系统以及与专家反复商讨,给出可能低估了的损失,因为这种方法没有把经济和社会功能与破坏的结构类型整合起来,而只是针对单个的建筑物或基础设施的损毁进行经济损失评估。我们所期待的是通过一定的技术去发现经济功能、地理位置、建筑物的结构类型和年代是否和地震损失有一定的系统性的联系。

但对于间接经济损失部分的评估方法仍然处在探索和研究之中。评估间接经济损失的模型一般可以分为 2 大类:经济学模型(如投入—产出模型、一般均衡模型、区域经济动力学模型等)和统计学模型(一般采用间接损失与 GDP 或直接损失的统计关系)^[9],但都需要以大量的数据作为支撑,而灾后往往难以获得较为准确的社会经济的统计数据。加之影响间接经济损失的因素非常复杂,生命线等基础设施的损毁造成的不仅仅是重置的损失,更多的是其交织成网深入到社会生产生活的各个方面,给各行各业造成的影响无疑是巨大而复杂的,因此间接经济损失的研究还存在很大的空间有待人们去探索。

本文总结了近 20 年来国内外评估地震经济损失的主要方法,评估的角度不同,所用的方法也各有特色。特别是间接经济损失评估方法,受到了越来越多学者的关注与研究,评估方法日渐完善。研究地震灾害对经济社会的影响和损失,使评估值越来越逼近实际值,是经济损失评估学者不断追求的目标,因此笔者对经济损失评估存在的问题和未来

发展方向提出了自己的一些看法:

(1) 在评估经济损失过程中,很可能出现由于统计口径或层次问题造成损失的重复计算,特别是间接经济损失涉及经济社会的方方面面,各部门经济关系交织成网、错综复杂,在我们追求尽可能全面、不漏算经济损失的时候,重复计算问题可能会越来越多的影响评价结果的精确性。因此,如何在全面评估经济损失的同时尽可能避免重复计算,是今后评估的一个重要问题。

(2) 人员伤亡的经济损失应纳入损失核算体系中。人的生命健康是无价的,更是无法用金钱来衡量的,但是为了更准确的获得经济损失数据,为今后防震减灾工程做投资收益分析提供依据,在经济损失评估中还是应考虑人员伤亡造成的经济损失。如今,对人的生命价值 (Value of a Statistical Life, VSL)的研究已经被纳入经济学方法论中^[35],其理论基础可以追溯到亚当·斯密^[36]的补偿性工资差别理论,通常衡量 VSL 的方法有人力资本法、意愿支付法和条件价值法^[37],采取何种方法来计算人员伤亡造成的经济损失仍有待进一步的研究。

(3) 在当代社会条件下,地震发生之后,通常会有大量的外部资金注入灾区,为灾区的恢复重建进行援助和投资。因此会使灾后的灾区经济发展超过灾前水平,从丽江地震、包头地震等案例中可以体现出来。但是,虽然该举措促进了灾区的经济恢复和发展,表面上看似可以抵消一部分灾害造成的经济损失,但是从更大的区域角度来看(全国乃至全世界范围),经济主体在投资决策中没有以资本边际生产率(MPK)为依据(由于资本边际生产率递减^[38],有限的资本总是向 MPK 高的地方流动),投资效率受损,未来产量的提升无法达到市场条件下的预期,因此这种由于资本投资效率降低造成的经济损失也应纳入今后损失评估体系进行研究。

(4) 地震发生后,灾害并没有停止,而是沿着灾害链继续引发一系列次生灾害,如山体崩塌,形成滑坡、泥石流;水坝河堤决口造成水灾;震后流行瘟疫;易燃易爆物的引燃造成火灾、爆炸或由于管道破坏造成毒气泄漏及细菌和放射性物质扩散对人畜生命威胁等等^[39],虽然次生灾害并非如地震一样剧烈凶猛,但同样对社会造成巨大的直接和间接经济损失,甚至在灾后导致持续的年经济损失^[40]。

(5) 震后灾区的生存环境受到了极大的破坏,因此灾害对环境造成的损失也应计入总的经济损

失之中。目前对于生态环境价值评估的方法很多,包括应用广泛的条件价值法^[41-42]、选择实验法、直接市场评价法、恢复费用法^[43]等。根据实际情况选择合适的方法,对地震引起的环境经济损失进行评估,使地震经济损失评估体系的内容更加完善。

参考文献

- [1] 马玉宏, 谢礼立. 我国社会可接受地震人员死亡率的研究. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 56-63.
- [2] Committee on Assessing the Costs of Natural Disasters, National Research Council. The Impacts of Natural disasters: A Framework for Loss Estimation. Washington DC: The National Academies Press, 1999: 37-38.
- [3] Gorddon P, Richardson H W. The Business Interruption Effects of the Northridge Earthquake, Lusk Center Research Institute, Research Report No. LCRI-95-01R. School of Urban and regional Planning, University of Southern California, Los Angeles, CA. 1995.
- [4] Toyoda T. Economic Impacts and Recovery Process in the case of the Great Hanshin Earthquake. Fifth U.S.-Japan Workshop on Urban Earthquake Hazard Reduction. Pasadena, Calif. 1997: 15-17.
- [5] 林均岐, 钟江荣. 地震间接经济损失研究综述. 世界地震工程, 2003, 19(3): 1-5.
- [6] Panel on Earthquake Loss Estimation Methodology, Committee on Earthquake Engineering, National Research Council. Estimating Losses From Future Earthquake. Washington D.C: National Academy Press, 1989: 35-36.
- [7] Algermissen S T, Steinbrugge K V. Seismic hazard and risk assessment: Some case studies. The Geneva Papers on Risk and Insurance, 1984, 9(30): 8-26.
- [8] Pielke R A. Hurricane Andrew in South Florida: Mesoscale Weather and Societal Responses. Boulder, Colo.: National Center for Atmospheric Research Institute, 1995: 155.
- [9] Howe C W, Cochrane H C. Guidelines for the Uniform Definition, Identification, and Measurement of Economic Damages from Natural Hazard Events. Program on Environment and Behavior Special Publication, 1993, (28): 19-20.
- [10] Ellson R W, Milliman J W and Roberts R B. Measuring the regional economic effects of earthquake predictions. Journal of Regional Science, 1984, 24(4): 559-579.
- [11] Guimaraes P, Hefner F L and Woodward D P. Wealth and income effects of natural disasters: an economic analysis of Hurricane Hugo. Review of Regional Studies, 1993, 1

- (23): 97-114.
- [12] West C T, Lenze D G. Modeling the Regional Impact of Natural Disaster and Recovery: A General Framework and an Application to Hurricane Andrew. *International Regional Science Review*, 1994, 1(17): 121-150.
- [13] Friesma H, Caporaso J, Goldstein G, et al. *Aftermath: Communities After Natural Disasters*. Beverly Hills, California: Sage, 1979: 181-183.
- [14] Wright J D, Rossi P, Wright S, et al. *After the Clean-up: Long-Range Effects of Natural Disasters*. Beverly Hills, California: Sage, 1979: 2-12.
- [15] Wrigh J D, Rossi P H. *Social Science and Natural Hazards*. Cambridge, Massachusetts: Abt Books, 1981: 1-22.
- [16] Wilson R. *Earthquake Vulnerability Analysis for Economic Impact Assessment*. Washington, D.C.: Information Resources Mangement Office, 1982.
- [17] Cochran H. Assessment of damage from Hurricane Hugu and the Loma Prieta earthquake. Ft. Collins.: Colorado State University, unpublished report, 1992.
- [18] Gordon P, Richardson H W. Business interruption effects of a major earthquake in the Newport/Inglewood Fault Zone (NIFZ). Report submitted by The Planning Institute. School of Urban and Regional Planning. University of Southern California, to the National Committee on Property Insurance, Boston, Mass, 1992.
- [19] Kuribayashi E, Ueda O, Tazaki T. An econometric model of long-term effects of earthquake losses. 13th Joint Meeting of US-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, Tsukuba, 1987.
- [20] Kawashima K, Kanoh T. Evaluation of indirect economic effects caused by the 1983 Nihonkai-chubu, Japan, earthquake. *Earthquake Spectra*, 1990, 1(6): 739-756.
- [21] Narayan P K. Macroeconomic Impact of Natural Disasters on a Small Island Economy: Evidence from a CGE Model. *Applied Economics Letters*, 2003, 1(10): 721-723.
- [22] Okuyama Y. Economic Modeling for Disaster Impact Analysis: Past, Present, and Future. *Economic Systems Research*, 2007, 19(2): 115-124.
- [23] Rose A. Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation//Okuyama Y, Chang S E. *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. New York: Springer, 2004: 13-36.
- [24] Hallegatte S. An adaptive regional input-output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina. *Risk Analysis*, 2008, 28 (3): 779-799.
- [25] 中国地震局. 地震现场工作大纲和技术指南. 北京: 地震出版社, 1998.
- [26] 周光全. 简易房屋的地震灾害经济损失评估. *地震研究*, 2007, 30(3): 265-270.
- [27] 陈颢,陈棋福,陈凌. 地震损失预测评估中的易损性分析. *中国地震*, 1999, 15(2): 97-105.
- [28] 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.
- [29] 王中宇, 陈颢, 陈鑫连, 等. 中国经济系统地震易损性分析. *自然灾害学报*, 1995, 4(1): 26-32.
- [30] 赵直, 尹之潜. 震后企业停产减产损失估计方法的研究. *地震工程与工程振*, 2001, 21(1): 152-154.
- [31] 郭章林, 刘明广, 解德才. 震灾经济损失评估的遗传神经网络模型. *自然灾害学报*, 2004, 13(6): 92-96.
- [32] 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.
- [33] 叶珊珊, 翟国方. 汶川地震经济损失的初步评估. 2008 年 11 月, 广州, 中国灾害防御协会风险分析专业委员会第三届年会论文. http://hkarms.zapto.org:85/hkarms/Public_Docs/3rd_AM_Risk_Aly_CnL_China_Astn_Ditr_Pvtn.pdf.
- [34] Wu Jidong, Li Ning, Hu Aijun. Modeling Economic Impact of Wenchuan Earthquake on Sichuan Province Based on ARIO Model. Presentation at Asian Conference on Risk Assessment and Management 2009, Beijing.
- [35] Viscusi W K. The Value of Life: Estimates with risks by occupation and industry. *Economic Inquiry*, 2004, 42(1): 29-48.
- [36] Smith A. *The Wealth of Nations*. New York: Modern Library, 1937: 43-58.
- [37] 梅强, 陆玉梅. 人的生命价值评估方法综述. *中国安全科学学报*, 2007, 17(3): 56-61.
- [38] 杰弗里·萨克斯, 费利浦·拉雷恩. 全球视角的宏观经济学. 上海: 上海人民出版社, 2004: 111-112.
- [39] 罗祖德. 次生灾害杀伤力不逊主震. *文汇报*, 2008-06-04 [2008-07-23]. http://www.china.com.cn/news/zhuant/zhej/2008-06/04/content_15623049.htm.
- [40] Atkisson A A, Petak W J, Alesch D J. Natural hazard exposures, losses and mitigation costs in the United States 1970-2000. *Transactions—Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letter*, 1984, 1(72): 106-112.
- [41] 张茵, 蔡运龙. 条件估值法评估环境资源价值的研究进展. *北京大学学报: 自然科学版*, 2005, 41(2): 317-328.
- [42] 张志强, 徐中民, 程国栋. 条件价值评估法的发展与应用. *地球科学进展*, 2003, 18(3): 454-463.
- [43] 张浩. 环境价值评估方法简介. *甘肃科技纵横*, 2006, 35 (1): 66-67.

A Review on Seismic Economic Loss Estimation

YE Shanshan, ZHAI Guofang

(Department of Urban and Regional Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Risk is usually defined as the product of the probability and the consequence, so seismic economic loss estimation is an important component of seismic risk analysis. What's more, a reasonable loss estimation is a foundation and basis for the government to take earthquake risk prevention management measures. Therefore, how to accurately estimate the economic loss caused by the earthquake has important theoretical and practical significance. This paper reviews the development process of seismic economic loss estimation at home and abroad. The evaluation methods of direct and indirect economic loss caused by earthquake are summarized. The existing difficulties to use the model to estimate the seismic economic loss and problems to be solved are also pointed out. Seismic economic loss comprises two parts: direct economic loss and indirect economic loss. Direct economic loss generally refers to the decrease in physical property, including the damage of buildings, indoor property and infrastructure. Generally speaking, the research on direct seismic economic loss estimation, domestically or internationally, has already formed stable and systematic methods, but the problem is that it is still unable to integrate overall socio-economic entirely into seismic economic loss estimation. Indirect economic loss often consists of loss from factory's production interpretation, inter-industry loss, and the loss due to breaking the equilibrium state of the original economic system by seismic disaster. The research on indirect seismic economic loss estimation at home and abroad is still in the stage of constant exploration and improvement due to many reasons such as the wide range of affected areas, long time of impact and recovery, and the complex linkages among the economies, which result in that the indirect seismic economic loss estimation can't provide a more accurate result. Finally, this paper discusses the prospects for the development of study on the seismic economic loss estimation in the future.

Key words: seismic economic loss; estimation method of direct economic loss; estimation method of indirect economic loss

本文引用格式:

叶珊珊, 翟国方. 地震经济损失评估研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(6): 684–692.