

郑山锁, 尚志刚, 贺金川, 等. 地震灾害经济损失评估方法及应用[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 94–101. [ZHENG Shansuo, SHANG Zhigang, HE Jinchuan, et al. Method and application of economic loss assessment for earthquake disasters[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 94–101. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.018.]

地震灾害经济损失评估方法及应用^{*}

郑山锁¹, 尚志刚¹, 贺金川², 郑 湔¹, 董晋琦¹

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 建筑设计研究院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 地震灾害经济损失的科学评估对减少突发地震灾害损失和实现震后快速救灾具有重要意义。基于易损性分类清单法提出考虑主体结构损失、建筑物装修损失及室内财产损失的地震灾害直接经济损失评估模型, 并确定其主要参数取值; 根据国内生产总值、各评估区震害程度及各生产部门直接经济损失占比, 计算各生产部门停减产损失, 进而采用投入产出法建立考虑停减产损失和产业关联损失的地震灾害间接经济损失评估模型。最后将所提出的直接经济损失评估模型以1556年华县地震为例在西安市灞桥区进行应用示范, 将所建立的间接经济损失评估模型以2008年汶川地震为例在四川省进行应用计算。结果表明, 灞桥区在华县地震下的直接经济损失为176.51亿元, 与中国地震局评估结果相差约6.54%; 四川省在汶川地震下的间接经济损失为11 209.29亿元, 与实际震害数据相差约8.83%, 上述对比结果验证了模型的科学性和合理性。

关键词: 地震灾害; 直接经济损失; 间接经济损失; 易损性分类清单法; 投入产出法

中图分类号: P315.9; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0094-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.018

我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带之间, 是世界上遭受地震灾害最严重的国家之一, 并且随着我国经济发展、人口增长, 地震灾害损失呈现同等震级条件下越来越高的态势。因此, 科学合理地预测与评估地震灾害经济损失, 进而为政府防震减灾规划和应急救援决策制定提供理论依据, 对于减少突发地震灾害损失和实现震后快速救灾具有重要意义。地震灾害经济损失主要分为直接经济损失和间接经济损失两大类。经过国内外学者的大量研究, 前者的预测和评估已有了较为成熟的方法与模型。目前, 我国地震灾后损失评估最常用的是现场调查法^[1], 然而, 该方法工作量大, 不利于政府的快速应急救援。刘双庆等^[2]提出了一种基于宏观经济指标 GDP 的灾害快速评估法, 但其在实现上存在一定不足^[2]。赵福军等^[3]提出了利用高分辨率遥感影像进行地震应急和震后快速评估, 但其易受限于遥感数据质量及外部气候条件等。易损性分类清单法因具有较为成熟、易操作、准确度相对较高, 且建筑物调查资料可提前准备等优点^[4], 所以适合对城市进行震害预测和快速评估, 是目前国际上应用最为广泛的损失评估方法。

随着各国对间接经济损失的日益重视, 大量的间接经济损失评估方法与模型亦被提出。黄敏等^[5]建立基于综合灾损系数和生产恢复时间的停减产损失模型, 并以此评估芦山地震造成的工业企业停减产损失。刘希林等^[6]根据比例系数法对泥石流灾害造成的间接经济损失进行粗略估计。WU等^[7]利用区域投入产出(ARIO)模型对汶川地震造成的间接经济损失进行评估并模拟灾后重建期。Cole等^[8]在社会核算矩阵的基础上估算间接经济损失, 并对灾后经济恢复政策进行评价。WANG等^[9]以北京市为例, 采用可计算一般均衡(CGE)模型对暴雨造成的间接经济损失进行评估, 并指出间接经济损失远大于直接经济损失。总体来说, 相对于国外而言, 目前国内评估间接经济损失仍以比例系数等经验型方法为主, 非经验型方法相对较少且多停留在实证应用相对缺乏的理论研究阶段。

鉴于此, 本文在上述已有理论的基础上, 对适用于我国的地震灾害经济损失评估方法与模型进行系统性研究, 提出考虑结构体系、建筑高度、设计规范等因素的建筑物分类方法, 进而建立基于易损性分析的地震灾害直接经济损失评估模型, 并确定

^{*} 收稿日期: 2019-07-30 修回日期: 2019-09-29

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAJ08B03); 国家自然科学基金(51678475); 陕西省重点研发计划(2017ZDXM-SF-093); 陕西省教育厅产业化项目(2018JC020); 西安市科技计划项目(19XC009)

第一作者简介: 郑山锁(1960-), 男, 陕西渭南人, 教授, 博士生导师, 主要从事结构工程与工程抗震研究。

E-mail: zhenshansuo@263.net

通信作者: 尚志刚(1994-), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事结构工程与工程抗震研究。E-mail: 312629255@qq.com

其主要参数取值;此外,根据国内生产总值、各评估区震害程度及各生产部门直接经济损失占比,计算各生产部门的停减产损失,进而建立基于投入产出平衡关系的地震灾害间接经济损失评估模型。最后采用所提出的直接经济损失评估模型以 1556 年华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震为例对西安市灞桥区进行应用示范,采用所建立的间接经济损失评估模型以 2008 年汶川 8 级地震为例对四川省进行应用计算。结果表明,本文提出的经济损失评估模型兼顾准确性和实用性,可用于地震灾害损失评估、防震减灾规划制定及应急救援工作开展等领域。

1 地震灾害直接经济损失评估方法

1.1 易损性分类清单法

易损性分类清单法的首要工作是建筑结构分类。因此,参考 SYNER - G^[10] 的建筑物分类标准,并结合《GB 50011 - 2010 建筑抗震设计规范》^[11] (以下简称:10 规范)相关要求,本文提出考虑结

构体系、建筑高度、设计规范等因素的建筑物分类方法(表 1)。

表 1 中,底层~超高层分别指 1~3 层、4~5 层、6~9 层、10~13 层、14~17 层、18~22 层、23~27 层、28 层以上且 100 m 以下、100 m 以上;无退化~重度退化分别指服役龄期 30 年以内、31~40 年、41~50 年、50 年以上。考虑到后文模型参数的精确性,需将建筑结构体系进一步细分(表 2)。

建筑物分类后,便可对各类建筑结构进行地震易损性分析。考虑到基于震害数据统计得到的经验易损性存在基础数据少、适用性差、不连续和主观性强等固有缺陷^[12],本文采用解析易损性法,其易损性模型为:

$$P_i = p[D \geq C | IM] \quad (1)$$

式中: P_i 为地震作用下结构的超越概率; D 为地震作用下结构的需求; C 为结构的能力; IM 为地震动强度指标。

通过建立的各类型结构解析易损性曲线,可得到相应结构在某一强度地震作用下发生破坏状态 j 时的破坏概率 P_j 。

表 1 建筑物分类方法

| 结构体系 | 服役环境 | 建筑高度 | 抗震设计规范 | 设防烈度 | 多龄期退化性能 | 场地类别 | 地震分组 |
|----------------|----------------|--|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 砌体结构、RC 结构、钢结构 | 一般大气、近海大气、冻融大气 | 低层、多层 I、多层 II、高层 I、高层 II、高层 III、高层 IV、高层 V、超高层 | 无规范、78 规范、89 规范、01 规范、10 规范 | VI 度、VII 度、VII 度半、VIII 度、VIII 度半、IX 度 | 无退化、轻度退化、中度退化、重度退化 | I 类、II 类、III 类、IV 类 | 第 1 组、第 2 组、第 3 组 |

表 2 结构体系分类及代码

| 结构体系 | 代码 | 结构子类型 | 代码 |
|-------|----|---------------|-----|
| 砌体结构 | M | 土坯砌体 | A |
| | | 石砌体 | ST |
| | | 无抗震构造措施砌体结构 | URM |
| | | 配筋砖砌体结构 | RBM |
| | | 有抗震构造措施砖砌体结构 | RM1 |
| | | 有抗震构造措施砌块砌体结构 | RM2 |
| | | 底部框架-抗震墙砌体结构 | FSW |
| | | 大开间砌体结构 | LM |
| | | 多排柱内框架结构 | RCF |
| | | RC 框架结构 | C1 |
| RC 结构 | C | 框架-抗震墙结构 | C2 |
| | | 抗震墙结构 | C3 |
| | | 部分框支抗震墙结构 | C4 |
| | | 框架-核心筒结构 | C5 |
| | | 筒中筒结构 | C6 |
| | | 板柱-抗震墙结构 | C7 |
| | | 钢框架结构 | S1 |
| 钢结构 | S | 支撑钢框架 | S2 |
| | | 轻钢结构厂房 | S3 |
| | | 无筋砌体填充的钢框架 | S4 |
| | | 带现浇剪力墙的钢框架 | S5 |
| | | 钢与混凝土组合结构 | S6 |
| | | | |

1.2 地震灾害直接经济损失评估模型

HAZUS^[13] 和陈洪富^[14] 的研究表明, 建筑物直接经济损失 L 主要包含主体结构损失 L_s 、建筑物装修损失 L_D 及室内财产损失 L_C 。基于此, 本文通过易损性分类清单法建立地震灾害直接经济损失评估模型, 该模型是关于破坏概率 P_j 的函数关系:

$$L = \alpha(L_s + L_D + L_C); \quad (2)$$

$$L_s = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^5 M_i \cdot P_j \cdot \mu_j^s; \quad (3)$$

$$L_D = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^5 \eta_1 \cdot M_i \cdot P_j \cdot \mu_j^d; \quad (4)$$

$$L_C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^5 \eta_2 \cdot M_i \cdot P_j \cdot \mu_j^c. \quad (5)$$

式中: α 为地震灾害直接经济损失修正系数, 一般取 $1.0 \sim 1.3$ ^[1]; M_i 为重置成本, 可基于当地市场成本价确定; P_j 为建筑物发生破坏状态 j 时的破坏概率。本文根据《GB/T 24335 - 2009 建(构)筑物地震破坏等级划分》^[15] 将极限破坏状态定义为 4 种, 即轻微破坏极限状态 LS1、中等破坏极限状态 LS2、严重破坏极限状态 LS3 和倒塌极限状态 LS4。 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 分别为考虑经济发展水平、使用用途及装修等级差异的装修损失修正系数; η_1 为装修比; η_2 为财产比; μ_j^s 、 μ_j^d 、 μ_j^c 分别为建筑物发生破坏状态 j 时的主体结构损失比、建筑物装修损失比及室内财产损失比。

1.3 主要参数取值

(1) γ_1 的确定

参考《GB/T 18208.4 - 2011 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估》^[1] 中相关规定, 确定 γ_1 的取值(表 3)。

表 3 考虑经济发展水平差异的装修损失修正系数

| 经济发展水平 | 发达 | 较发达 | 一般 |
|--------|------|------|------|
| 修正系数 | 1.30 | 1.15 | 1.00 |

注: 经济发展水平以“人均 GDP”为标准进行划分: 发达($\geq 30\,000$ 元), 较发达($15\,000 \sim 30\,000$ 元), 一般($\leq 15\,000$ 元)。

(2) γ_2 的确定

参考《GB/T 18208.4 - 2011 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估》^[1] 中相关规定, 确定 γ_2 的取值(表 4)。其中, 建筑物使用用途分类是基于国内外研究^[13,16] 并结合相关年鉴、普查资料及统

计公报后确定的。

表 4 考虑使用用途差异的装修损失修正系数

| 使用用途 | 住宅 | 商业 | 医疗 | 工业 | 办公 | 教育 | 其他 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 修正系数 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 |

(3) γ_3 的确定

陈洪富^[14] 将建筑物的装修等级划分为普通、中档和高档。在此基础上, 本文结合调研分析与数据统计, 确定 γ_3 的取值(表 5)。

表 5 考虑装修等级差异的装修损失修正系数

| 装修等级 | 普通 | 中档 | 高档 |
|------|-----------|-----|-----------|
| 修正系数 | 0.8 ~ 0.9 | 1.0 | 1.1 ~ 1.2 |

(4) η_1 的确定

装修比 η_1 是指房屋装修费用与主体结构造价之比。参考《GB/T 18208.4 - 2011 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估》^[1] 中相关规定, 并结合表 2 结构体系分类确定 η_1 的取值范围, 同时给出其建议取值(表 6)。

(5) η_2 的确定

财产比 η_2 是指建筑物室内财产价值与主体结构造价之比。参考 HAZUS^[13] 和毕可为^[16] 相关研究, 确定 η_2 的取值(表 7)。

(6) μ_j^s 的确定

主体结构损失比 μ_j^s 是指建筑物发生破坏状态 j 时主体结构的修复单价与其重置单价之比。参考《GB/T 18208.4 - 2011 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估》^[1] 和尹之潜^[17] 所给主体结构损失比, 并结合表 2 结构体系分类, 确定 μ_j^s 的取值(表 8)。

(7) μ_j^d 的确定

建筑物装修损失比 μ_j^d 是指建筑物发生破坏状态 j 时建筑物装修的修复费用与其总造价之比。参考陈洪富^[14] 所给建筑物装修损失比, 并结合表 2 结构体系分类, 确定 μ_j^d 的取值(表 8)。

(8) μ_j^c 的确定

室内财产损失比 μ_j^c 是指建筑物发生破坏状态 j 时室内财产的损失值与其总价值之比。参考谢礼立^[18] 和吴文英^[19] 所给室内财产损失比, 并结合表 2 结构体系分类, 确定 μ_j^c 的取值(表 8)。

表 6 装修比 (%)

| 结构体系代码 | A、ST | URM、FSW、LM、RCF | RBM、RM1、RM2、 | C1 ~ C3 | C4 ~ C7、S |
|--------|---------|----------------|--------------|---------|-----------|
| 取值范围 | 16 ~ 25 | 16 ~ 25 | 16 ~ 25 | 19 ~ 38 | 26 ~ 48 |
| 建议值 | 16 | 25 | 21 | 29 | 37 |

表 7 财产比

| 使用用途 | 住宅 | 商业 | 医疗 | 工业 | 办公 | 教育 | 其他 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 比值 | 0.2 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 |

表 8 主体结构损失比、建筑物装修损失比及室内财产损失比 (%)

| 结构体系代码 | 基本完好 | | | 轻微破坏 | | | 中等破坏 | | | 严重破坏 | | | 倒塌 | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | μ_1^s | μ_1^d | μ_1^c | μ_2^s | μ_2^d | μ_2^c | μ_3^s | μ_3^d | μ_3^c | μ_4^s | μ_4^d | μ_4^c | μ_5^s | μ_5^d | μ_5^c |
| A、ST | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 0 | 20 | 20 | 5 | 60 | 50 | 30 | 100 | 90 | 80 |
| URM | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 1 | 20 | 20 | 10 | 55 | 50 | 40 | 100 | 90 | 90 |
| RBM、FSW、LM、RCF | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 1 | 20 | 20 | 10 | 55 | 50 | 40 | 100 | 90 | 90 |
| RM1、RM2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 1 | 20 | 20 | 10 | 50 | 50 | 40 | 100 | 90 | 90 |
| C | 0 | 0 | 0 | 9 | 12 | 1 | 25 | 30 | 5 | 60 | 60 | 20 | 100 | 90 | 60 |
| S | 0 | 0 | 0 | 9 | 12 | 5 | 25 | 30 | 8 | 60 | 60 | 35 | 100 | 90 | 90 |

2 地震灾害间接经济损失评估方法

地震灾害间接经济损失是指由地震灾害直接经济损失造成的后续影响。本文定义地震灾害间接经济损失是地震造成的企业生产能力下降而导致的停减产损失与生产部门间协调关系破坏而导致的产业关联损失之和。

2.1 停减产损失

鉴于模型参数获取的难易程度, 在兼顾准确性和易操作性的前提下, 采用基于国内生产总值并考虑各评估区震害程度的评估模型^[20]对区域停减产损失 L_1 进行计算:

$$L_1 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 G_k D_i R_j \quad (6)$$

式中: G_k 为灾区内第 k 个市的国内生产总值, 可通过每个地区统计年鉴得到; D_i 为 GDP 分配系数, 其意义为跨越不同评估区域的市需按照其在各评估区内所占面积比例分配该市总 GDP, 其值可基于 GIS 系统查询某市在各评估区的所占面积后除以全市总面积计算得到; R_j 为考虑各评估区震害程度不同的停减产影响系数(表 9)。

表 9 停减产影响系数

| 评估区 | 极灾区 | 严重灾区 | 重灾区 | 受灾区 |
|---------|------|------|------|------|
| 停减产影响系数 | 1.00 | 0.50 | 0.25 | 0.10 |

考虑到企业停减产的主要原因是建筑物与生产设备破坏导致的生产能力下降, 而建筑物与生产设备损失又可通过直接经济损失体现。因此, 假定各生产部门的停减产损失 L_{li} 按下式计算:

$$L_{li} = \frac{L_i}{n} \times L_1 \quad (7)$$

式中: L_i 为第 i 个生产部门直接经济损失; L_1 为总停减产损失。

2.2 地震灾害间接经济损失评估模型

产业关联损失本质上是灾害作用下生产部门停减产, 部门间协调关系破坏造成的二次间接经济损失。在经济系统中, 可用投入产出表(表 10)来描述这种部门间的协调关系。

根据投入产出表中行向平衡关系可建立投入

产出模型:

$$Q = (I - Q)^{-1} Y \quad (8)$$

式中: Q 为总产出的列向量; Y 为最终产出的列向量; $(I - A)^{-1} = \{a_{ij}\}$ 称为列昂惕夫逆矩阵, 其中 $A = \{a_{ij}\}$ 为直接消耗系数矩阵, 可由 $a_{ij} = x_{ij}/Q_j$ 计算得到。

由于产业关联损失是生产部门停减产后造成的二次间接经济损失, 且停减产损失既影响中间产出又影响最终产出^[21], 因此将停减产损失作为归属于总产出层次的投入产出系统外生变量。假定各部门的初始总产出损失为停减产损失 L_{li} , 则各部门的初始最终产出损失 Y_i^i 可表示为:

$$Y_i^i = \frac{Y_i^0}{Q_i^0} \times L_{li} \quad (9)$$

式中: Y_i^0 为未受地震影响时第 i 部门最终产出; Q_i^0 为未受地震影响时第 i 部门总产出。

第 j 部门受第 i 部门损失影响的最终产出损失 Y_j^i , 可根据受灾前各部门最终产出之间的比例关系确定:

$$Y_j^i = \frac{Y_j^0}{Y_i^0} \times Y_i^i \quad (10)$$

式中: Y_j^0 为未受地震影响时第 j 部门最终产出。

为了避免多部门产业关联效应影响的重复作用, 当某个部门受其它多个部门影响时, 只选择影响最大者纳入计算^[22]。即对部门 i 而言, 其最终产出损失 ΔY_i 为:

$$\Delta Y_i = \max(Y_i^1, Y_i^2, \dots, Y_i^n) \quad (11)$$

根据式(8)可得:

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_i \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{a_{11}} & \overline{a_{12}} & \cdots & \overline{a_{2i}} & \cdots & \overline{a_{1n}} \\ \overline{a_{21}} & \overline{a_{22}} & \cdots & \overline{a_{2i}} & \cdots & \overline{a_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \overline{a_{i1}} & \overline{a_{i2}} & \cdots & \overline{a_{ii}} & \cdots & \overline{a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \overline{a_{n1}} & \overline{a_{n2}} & \cdots & \overline{a_{ni}} & \cdots & \overline{a_{nn}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Y_2 \\ \vdots \\ \Delta Y_i \\ \vdots \\ \Delta Y_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: ΔQ_i 为部门 i 的总产出损失。

总的间接经济损失 \bar{L} 为:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \quad (13)$$

总的产业关联损失 L_{II} 为:

$$L_{II} = \bar{L} - L_1 \quad (14)$$

表 10 投入产出表

| 投入 | 产出 | 中间产出 | | | | 最终产出 | 总产出 |
|-----|--------|----------|----------|-----|----------|-------|-------|
| | | 部门 1 | 部门 2 | ... | 部门 n | | |
| 中 | 部门 1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1n} | Y_1 | Q_1 |
| 间 | 部门 2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2n} | Y_2 | Q_2 |
| 投 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 入 | 部门 n | x_{n1} | x_{n2} | ... | x_{nn} | Y_n | Q_n |
| 增加值 | | N_1 | N_2 | ... | N_n | - | - |
| 总投入 | | Q_1 | Q_2 | ... | Q_n | - | - |

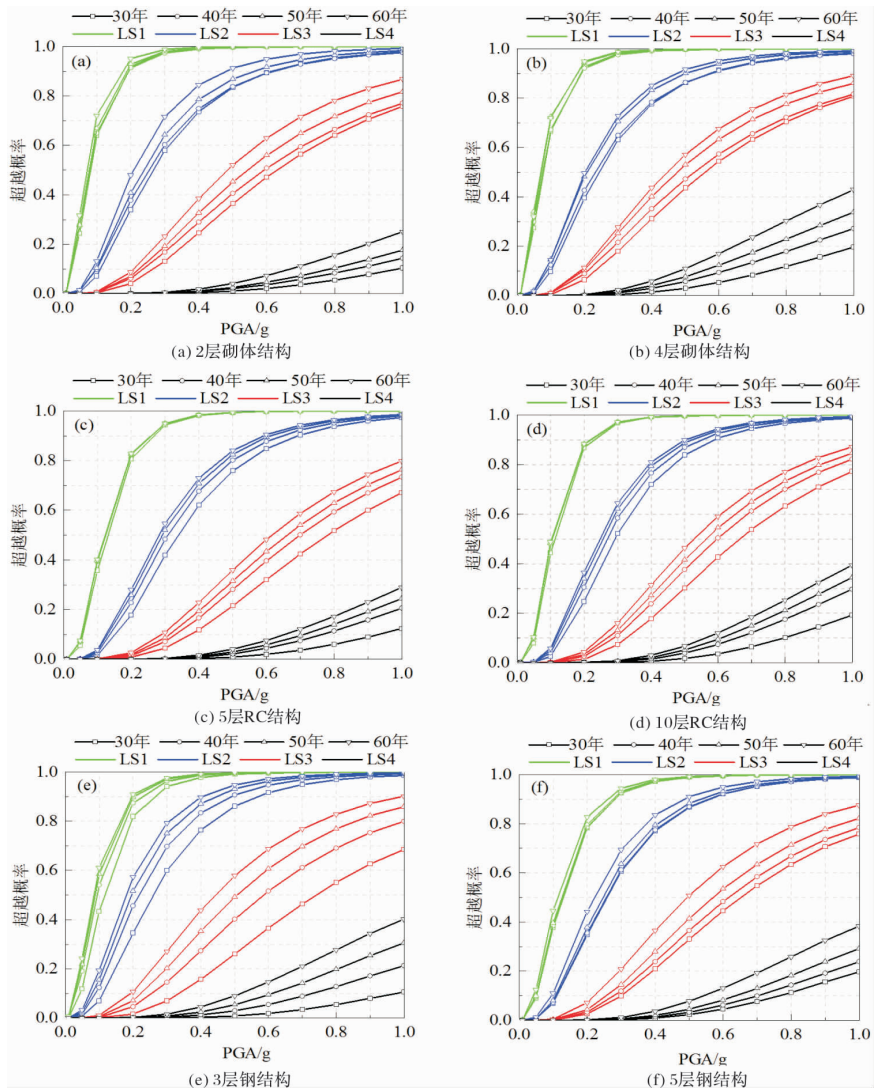


图1 地震易损性曲线

3 示范与应用

3.1 地震灾害直接经济损失评估模型应用示范

本文提出的地震灾害直接经济损失评估模型已被集成于课题组研发的“中国地震灾害损失评估系统(CEDLAS)”中,系统数据库收录7 210条基于本文建筑物分类方法并根据试验数据和数值模拟结果计算得到的各类型结构解析易损性曲线。以按10规范设计的一般大气环境下设防烈度为Ⅷ度(0.20 g)、设计地震分组为第2组、场地类别为Ⅱ类的不同层数和服役龄期典型RC框架结构、有抗震构造措施砖砌体结构及钢框架结构为例,给出其地震易损性曲线(图1)。

根据历史资料统计,选取1556年华县地震(震级为 $8\frac{1}{4}$ 级),对西安市灞桥区进行确定性地震危险性分析,得到华县地震下灞桥区地震动峰值加速度分布如图2所示(峰值加速度位于0.30 g

~0.45 g范围,约相当于本地区设防烈度Ⅷ度所对应的罕遇地震烈度Ⅸ度作用^[23])。进而基于已建立的建筑工程信息数据库对灞桥区建筑物进行直接经济损失评估的示范应用,其示范结果如图3和表11所示。

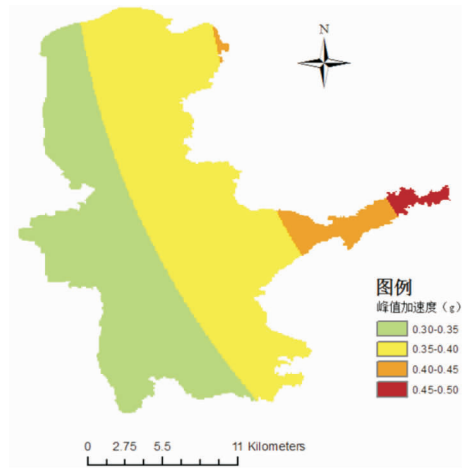


图2 华县 $8\frac{1}{4}$ 级地震下灞桥区峰值加速度分布图

基于式(6)计算出汶川地震对四川省造成的停减产损失约为 1 680 亿元, 将其带入式(7)中, 可得各生产部门停减产损失(表 12)。根据式(9)~式(15), 并结合表 12, 可计算汶川地震对四川省造成的总间接经济损失约 11 209.29 亿元。其中, 停减产损失为 1 680 亿元, 产业关联损失为 9 529.29 亿元。四川省各生产部门间接经济损失构成如图 4 所示, 比重如图 5 所示。

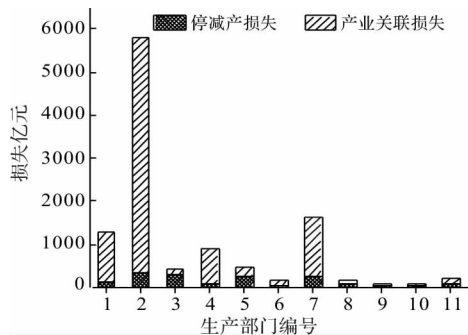


图4 汶川地震下四川省各生产部门间接经济损失构成

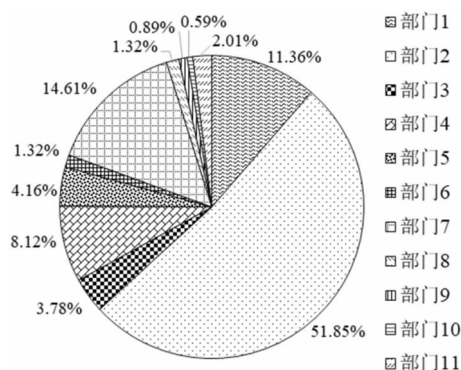


图5 汶川地震下四川省各生产部门间接经济损失比重

可以看出, 采矿业和制造业间接经济损失最多, 为 5 811.49 亿元, 占总间接经济损失的 51.85%。其中停减产损失为 350.03 亿元, 产业关联损失为 5 461.46 亿元; 文化、体育和娱乐业间接经济损失最少, 为 66.44 亿元, 占总间接经济损失的 0.59%。其中停减产损失为 36.24 亿元, 产业关联损失为 30.20 亿元。

中国地震局地震现场应急工作队通过震后调查估算出汶川地震间接经济损失约 11 000 亿元, 其中四川省灾区为 10 300 亿元^[27]。本文的评估结果 11 209.29 亿元与其相差约 8.83%, 说明了本文所建立间接经济损失评估模型的科学性和合理性。

4 结 论

(1)提出了建筑结构分类方法, 并结合解析易损性法, 进行了各类型建筑结构破坏概率的计算,

进而建立了基于易损性分析的地震灾害直接经济损失评估模型并确定了其主要参数取值, 该模型考虑了主体结构损失、建筑物装修损失及室内财产损失。

(2)根据国内生产总值、各评估区震害程度及各生产部门直接经济损失占比, 计算了各生产部门停减产损失, 进而建立了基于投入产出平衡关系的地震灾害间接经济损失评估模型, 该模型考虑了停减产损失和产业关联损失。

(3)将提出的直接经济损失评估模型集成于课题组研发的“中国地震灾害损失评估系统(CED-LAS)”, 并采用该系统对西安市灞桥区在华县地震下的直接经济损失进行了应用示范评估, 其评估结果与中国地震局的评估结果相差约 6.54%, 验证了所提出直接经济损失评估模型的科学性和合理性。

(4)基于合并后的 2007 年四川省 11 部门投入产出表, 采用建立的间接经济损失评估模型对四川省在汶川地震下的间接经济损失进行了应用计算评估, 其评估结果与实际震害数据相差约 8.83%, 验证了所建立间接经济损失评估模型的科学性和合理性。

参考文献:

- [1] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 18208.4-2011 地震现场工作第4部分: 灾害直接损失评估[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [2] 刘双庆, 邱虎, 王晓青. 一种基于宏观经济指标的地震灾害快速评估方法及实现[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 16-19, 31.
- [3] 赵福军, 蔡山, 陈曦. 遥感震害快速评估技术在汶川地震中的应用[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 1-7.
- [4] 李智, 王晓青. 地震震害微观与宏观方法快速盲估综述[J]. 地震, 2010, 30(2): 134-142.
- [5] 黄敏, 王健, 袁一凡, 等. 工业企业地震灾害停减产损失评估方法研究-以庐山 7.0 级地震为例[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 171-174.
- [6] 刘希林, 赵源. 地貌灾害间接经济损失评估: 以泥石流灾害为例[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 7-12.
- [7] WU J D, LI N, Hallegatte S, et al. Regional indirect economic impact evaluation of the 2008 Wenchuan earthquake[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 65(1): 161-172.
- [8] Cole S, Pantoja E, Razak V. Social Accounting for Disaster Preparedness and Recovery Planning [R]. New York: NCEER Technical Report, 1993.
- [9] WANG G Z, LI X, WU X H, et al. The rainstorm comprehensive economic loss assessment based on CGE model: using a July heavy rainstorm in Beijing as an example[J]. Natural Hazards, 2015, 76(2): 839-854.
- [10] Pitilakis K, Kaynia A, Crowley H. Syner-G: Typology Defini-

- tion and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk [M]. SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk. Springer Netherlands, 2014; 105 – 143.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [12] 郑山锁, 相泽辉, 郑捷, 等. 我国建筑物地震保险制度及保险费率厘定研究[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 1 – 7, 19.
- [13] FEMA-NIBS. Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS97, Technical Manual [R]. Washington, D. C: Federal Emergency Management Agency, 1997.
- [14] 陈洪富. 城市房屋建筑装修震害损失评估方法研究[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2008.
- [15] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24335 – 2009 建(构)筑物地震破坏等级划分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [16] 毕可为. 群体建筑的易损性分析和地震损失快速评估[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [17] 尹之潜. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 101 – 102.
- [18] 谢礼立, 马玉宏, 翟长海. 基于性能的抗震设防与设计地震动[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 95 – 101.
- [19] 吴文英, 吴炳玉, 李进强. 城市地震灾害风险分析模型研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012: 255 – 256.
- [20] 卢永坤, 周光全, 安小伟, 等. 汶川 8.0 级地震四川灾区间接经济损失评估初探[J]. 地震研究, 2008, 31(S1): 521 – 524.
- [21] 徐嵩龄. 灾害经济损失概念及产业关联型间接经济损失计量[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 7 – 15.
- [22] 黄渝祥, 杨宗跃, 邵颖红. 灾害间接经济损失的计量[J]. 灾害学, 1994, 9(3): 7 – 11.
- [23] 郑山锁, 张睿明, 相泽辉, 等. 基于家庭决策的震后应急庇护物需求研究[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 184 – 190.
- [24] 中国地震局工程力学研究所. 西安市阎良区震害预测与防震对策[R]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2008.
- [25] 杜兴. 地震间接经济损失评估方法研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [26] 国家减灾委员会与科学技术部抗震救灾专家组. 汶川地震灾害综合分析与评估[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 172 – 173.
- [27] 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[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 130 – 133.

Method and Application of Economic Loss Assessment for Earthquake Disasters

ZHENG Shansuo¹, SHANG Zhigang¹, HE Jinchuan², ZHENG Hao¹ and DONG Jinqi¹

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Architectural Design and Research Institute, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: For reducing the loss due to sudden earthquake disasters and achieving rapid post-earthquake relief, it is of great significance to evaluate scientifically earthquake-caused economic loss. Based on the vulnerability classification list method, a direct economic loss assessment model for earthquake disasters considering main structure loss, building decoration loss and interior property loss was proposed. The mean values of model were also determined. In addition, according to the gross domestic product, the degree of earthquake damage in each assessment area, and the proportion of direct economic losses in various production sectors, the production stop and reduction loss of each production section were calculated. On this basis, an indirect economic loss assessment model for earthquake disasters considering production stop and reduction loss and sections-related loss was established by used the input-output method. Finally, taking the Huaxian earthquake as an example, the direct economic loss assessment model was used to applicate and demonstrate in Baqiao district of Xi'an; Taking the Wenchuan earthquake as an example, the indirect economic loss assessment model was used to applicate and calculate in Sichuan province. The results showed that, the direct economic loss of Baqiao district caused by Huaxian earthquake was 17.651 billion yuan, which was about 6.54% different from the assessment results of China Earthquake Administration. The indirect economic loss of Sichuan province caused by Wenchuan earthquake was 1120.929 billion yuan, which was about 8.83% different from the actual earthquake damage data. The above comparisons verified the scientificity and feasibility of two models.

Key words: earthquake disasters; direct economic loss; indirect economic loss; vulnerability classification list method; input-output method