全球地震灾害预测

陈棋福 陈 颙 陈 凌 刘 杰 李闽峰
(中国地震局分析预报中心, 北京 100036)

摘要 大多数地震损失研究采取易损性清单方法, 即通过评估研究区内各类建筑结构和设施的预期损失, 并将分类损失累加得到总损失估值. 这类方法需要建立详细的社会财富分类系统及其数据资料, 但在世界上许多地区并不容易搜集可使用的这种资料. 因此提出了基于宏观经济指标(如国内生产总值(GDP)和人口资料)进行地震损失预测评估的方法, 并对搜集到的1980~1995年间全球震灾资料进行分析, 立足于地震的破坏烈度得到GDP损失率与地震烈度的统计关系. 通过将全球的陆地以0.5°×0.5°为单元划分网格, 并根据网格格点的人口和所属区域的人均GDP值计算得到单元格点的GDP值, 进而使用GDP损失率的经验关系与地震危险性分析给出的地震概率得出预期的地震损失, 得到全球地震损失分布图. 采用易于更新获取的社会经济数据作为地震易损性分析的基础, 提出的方法可方便地用于没有详细的建筑设施分类数据的区域进行地震损失评估; 对于世界上经济发展快速的地区, 该方法容易通过社会经济数据的及时搜集和更新得到新的地震损失估计结果.

关键词 **地震损失评估 国内生产总值(GDP)**

常规的地震损失研究采取易损性清单方法, 即需要建立详细的研究区内各类建筑结构和设施的分类系统, 但在世界上许多地区, 搜集如此详细的易损性清单分类资料和研究区详细的断层和场地土壤条件是有一定困难的, 因此使得常规的地震损失评估方法无法加以应用. 另外对专门的城市研究提出的地震损失评估方法, 往往并不十分适合于其他城市, 甚至不适用于该城市市区之外. 事实上, 许多地震损失评估是针对一些特殊的城市或地区进行的[1~3]. 随着国际减灾十年活动的开展和近年来日益增多的严重地震灾害威胁, 社会对地震损失研究提出了迫切的需求, 即以系统一致的方法进行地震的经济损失预测, 也就是需要开展全球尺度的地震潜在损失的综合分析研究. 社会迫切需要寻求极少依赖于传统的详细分类的建筑易损性清单, 而完全基于可靠和易用的数据资料的地震损失预测评估的其他途径.

本文讨论了一种可行的地震损失预测评估途径, 即基于宏观经济指标和地震危险分析结果进行地震损失预测评估的方法. 该方法提出的前提假设是: 由地震导致的直接损害和商业中断引起的潜在损失, 与该地区的经济条件(或可称为社会财富)直接相关. 某地的经济条件或社会财富常常以一些宏观经济指标, 如国内生产总值或国民生产总值(GNP)进行概略地表述. 如此符合实际的假设, 大大简化了在全球大部分地区评估因地震致使的经济(损失)影响的方法.

1 社会财富的GDP宏观描述

易于遭受地震侵袭地区的地震损失常表示为

$$\text{损失} = \sum_I P(I) \cdot F(I, S) \cdot S, \qquad (1)$$

式中 S 表示可能遭受地震损坏的社会财富, $F(I, S)$ 是社会财富遭受地震时的破坏程度,

$P(I)$是不同地震烈度I的危险概率,地震总损失是不同地震烈度损失的总和.

如何对社会财富进行适当量度使地震损失评估易于使用呢? 本文采用GDP作为社会财富的描述量进行地震损失评估. 因为容易遭到地震破坏的建筑设施的价值与商业中断引起的收入丧失是与该地区的经济生产能力紧密相关的,所以地震经济损失与经济状况直接相关. 经济状况条件常以GDP来描述,即如同世界银行[4]所定义的新增社会财富来进行统计表述. GDP是以国土原则来衡量的,指的是统计区域内的人们在一定时期所生产的供最终使用的物质和服务类产品的总产值, 而一种相似的统计指标——GNP是以国民原则来衡量的,包括了国内居民在国外的收入. 显然,这种国外收入是不受当地的地震事件所影响,因此可用的GDP资料是更适合用作地震损失评估中的社会财富的宏观经济描述指标.

因此,(1)式给出的地震期望损失估计式修改为

$$\text{损失} = \sum_I P(I) \cdot F(I, \text{GDP}) \cdot \text{GDP}. \qquad (2)$$

(2)式中的$F(I, \text{GDP})$表示了进行损失评估地区遭受地震时的破坏程度,即(1)式中的所有建筑物的地震破坏程度由(2)式中的区域GDP的损失程度所代替.

2 全球GDP分布

(2)式表示的地震期望损失方法包括几个关键性的要素:地震危险性概率、GDP数值、GDP损失率与地震烈度的统计关系. GDP是各种机构或团体正常统计编发的许多宏观经济指标之一,极适合用来表示社团的经济水准条件. 然而,GDP常常是以国家或省市这样大的地区给出的,必须将其进行适当的分配以达到地震损失分析所需的分辨精度,如何系统地导出小区域GDP的合适分配计算方法是本文首先要考虑的问题.

综合分析认为:人口数据可能是进行GDP地理分配计算最有效的基础资料. 如图1所示的世界各国的GDP和人口关联图,可以发现GDP和人口间的明显比例关系. 因此,本文提出了进行GDP地理分配的计算式如下:

$$\text{单元GDP} = (\text{区域GDP} \times \text{单元人口}) / \text{区域人口}. \qquad (3)$$

图1中2条线将这些国家划分为由世界银行[4]和联合国[5]定义的高收入(HIE)、中收入(MIE)和低收入(LIE) 3种经济状态,即( )高收入国家人均GNP达到8356美元以上的国家; ( )中收入国家人均GNP在675~8 356美元的国家; ( )低收入国家人均GNP低于675美元的国家.

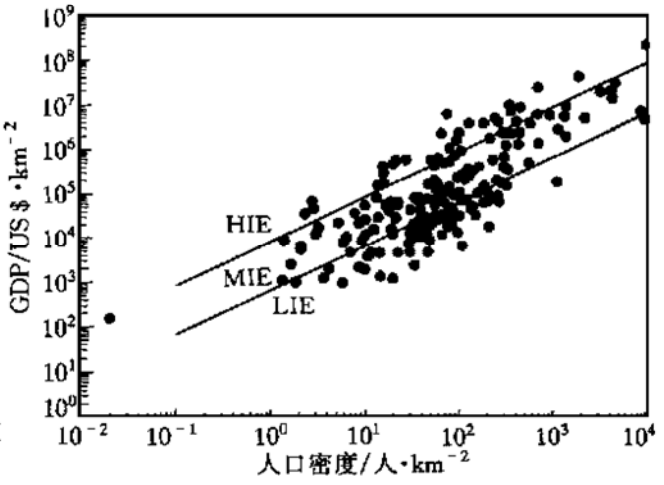


图1 世界上不同国家的GDP和人口关系图

在美国的国际地学信息联合网(CIESIN)和环境系统研究所(ESRI)编制和提供了包含全球19000个子区域(国家辖属的次级行政单元)的人口分布数据[6]. CIESIN发布的达到5′×5′(经度×纬度)单元精度的人口数据和世界银行[4]给出的GDP数据提供了本文所需的基础资料, 通过将全球陆地划分为0.5°×0.5°单元网

格，并根据网格格点的人口和所属区域的人均 GDP 值由(3)式计算得到单元格点的 GDP 值.

如此计算得出的以 GDP 代表的社会财富分布正确与否？且以经典的按照建筑物结构分类的方法，根据中国大陆最近一次(1986 年)全国性建筑普查的资料和考虑不同种类建筑或房屋的造价，得出的社会财富分布与以 5′×5′单元格的人口数和中国大陆各省 GDP 数值(都以 1994 年资料计算)计算得出的中国大陆以 GDP 代表的社会财富分布十分相近[1)].

3 GDP 损失率与地震烈度的统计关系

地震造成的破坏影响区及其损失记录是用于建立 GDP 损失率与地震烈度统计关系的基础资料，然而，大多地震损失报告没有给出较明确的破坏影响区域及其相应的分区损失，常常是给出整个地震事件的总损失. 考虑到大地震的大部分损失源于震中周围大约 30 km 的范围内，在本文目前的分析中故将距震中 0.25°的区域当作为地震损失的影响区.

根据(3)式将国家或区域的 GDP 统计值依据 CIESIN 提供的人口数据进行分配计算，即可得到本文设定的地震影响区的 GDP 值，并使用发表的 1980～1995 年间部分地震损失数据[7～11]，可以建立跨越几个地震烈度的 GDP 损失经验关系式. 如图 2 给出的报告的地震损失与设定影响区的 GDP 比值和烈度(MMI)关系所显示的，针对不同经济条件(低收入 LIE、中等收入 MIE 和高收入 HIE[4])的损失与烈度经验曲线有所不同，可能是由于经济收入的不同而有所不同的抗震设防能力和预防措施. 当然，图 2 给出的 GDP 损失率与地震烈度的统计关系是初步的，还须通过搜集积累更多的地震损失资料进行修正.

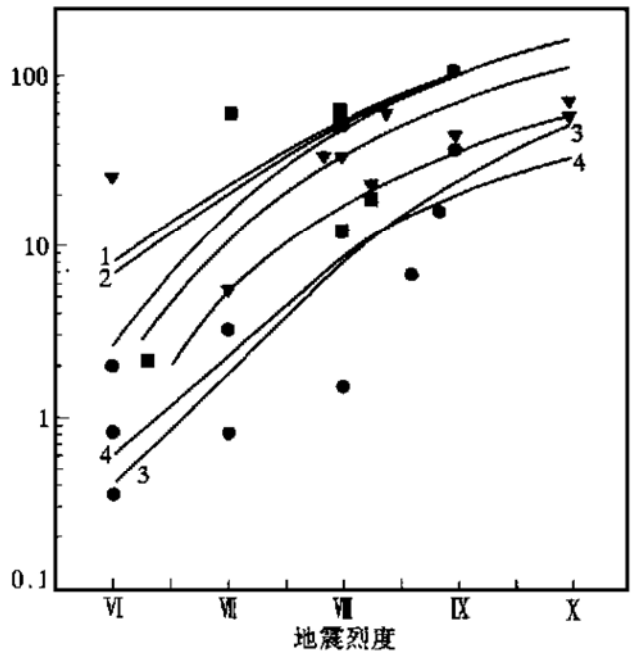


图 2　利用 1980～1995 年损失数据得到的 GDP 损失率与地震烈度的统计关系

传统方法给出的易损性曲线[13, 14]作为对比亦画在图中. ■——LIE, ▼——MIE, ●——HIE, 1——土坯房[12], 2——土坯砖房[13], 3——抗震设计的钢框架[12], 4——良好设计的钢筋混凝土剪切墙房[13]

4 全球地震损失图

利用全球地震危险性的简化分析[14]以单元格点方式给出的全球地震烈度概率分析结果，使用上述的分析方法，本文得出了未来50 a 的全球地震期望损失分布图(图版 iv). 表 1, 2 列出了一些国家和地区在未来50 a 的期望损失统计结果. 表 1, 2 中震灾程度定义为

$$\text{震灾程度} = \text{地震期望损失}/\text{GDP} \times 100. \qquad (4)$$

显然，震灾程度的给出，可以较好的量化对比不同地区可能遭受的地震危害程度和该区域的抗震救灾能力. 同时可以避免因不同的经济社会财富水准的较大差异，致使地震损失预测评估数值的较高，而可能造成的震灾风险管理决策的不便.

1) 陈棋福. 大尺度地震灾害损失预测评估方法研究. 中国地震局地球物理所博士论文, 1997. 93

表 1 未来 50 a 全球各洲预期的地震危害统计

地区	1994 年人口(万)	1994 年 GDP(亿美元)	期望损失(亿美元)	年均期望损失(亿美元)	期望的震灾程度
全球	562216	229770	9480	189.6	4.13
亚洲	336287	60300	6090	121.8	10.10
北美洲	44626	68661	1427	28.5	2.08
欧洲	79537	84643	1061	21.2	1.25
南美洲	30632	8063	795	15.9	9.86
非洲	68683	4653	70	1.4	1.50
大洋洲	2451	3450	37	0.74	1.07

表 2 未来 50 a 预期地震损失最多的 18 个国家或地区

地区	1994 年人口(万)	1994 年 GDP(亿美元)	期望损失(亿美元)	年均期望损失(亿美元)	期望的震灾程度
日本	12496	47046	3664.6	146.6	7.79
美国	26065	67384	904.4	36.2	1.34
中国大陆	119850	5082	785.8	31.4	15.46
中国台湾	2118	2410	386.6	15.5	16.04
印度尼西亚	19222	1746	375.7	15.0	21.52
墨西哥	9301	3755	329.3	13.2	8.77
意大利	5719	10070	325.6	13.0	3.23
希腊	1030	731	241.3	9.7	33.01
智利	1360	522	183.1	7.3	35.08
哥伦比亚	3448	644	173.4	6.9	26.92
菲律宾	6704	639	170.2	6.8	26.64
阿根廷	3418	2817	167.4	6.7	5.94
印度	90938	2911	146.9	5.9	5.05
土耳其	6118	1310	141.8	5.7	10.82
巴基斯坦	12661	520	126.2	5.0	24.28
秘鲁	2460	504	115.3	4.6	22.89
伊朗	6419	1108	109.7	4.4	9.90
俄罗斯	14900	2749	99.9	4.0	3.63

5 讨论与小结

本文提出的基于 GDP 和人口资料进行地震损失评估的新方法, 不可否认还有如下的局限性: ( ) 该方法得出的直接损失估计也许不适用于一些具有高抗震设防能力的地区; ( ) 由于几乎不可能得到单元格点的实际 GDP 产值, 只能使用以人口为权重进行计算得出的 GDP 值; ( ) 该方法分析给出的地震损失仅包括了地震烈度 VI 以上的损失值, 但对高抗震设防区在 VI 或 VII 等低烈度时损失较少的情况下, 有可能过高估计高抗震设防区域的损失值; ( ) 该方法没有考虑基岩或土壤的不同地震影响场地的损失差异; ( ) 使用的 GDP 损失率经验关系是初步建立的, 更好的关系式有待于更多的地震损失资料积累和详细的烈度衰减关系研究. 另外, 该方法的更精确分析结果还有赖于搜集局部小区域的 GDP 和人口资料.

尽管有上述局限性, 该方法: ( ) 提供了一种可行的地震损失评估办法, 使得在全球范围

内利用极少的资金和有限的易损性资料进行地震灾害分析;( ) 该方法所使用的数据资料易于搜集使用,避免了传统方法搜集易损性资料的艰辛;( ) 该方法极适合于经济快速发展的地区,容易计入建筑设施和商业中断导致的间接损失在短时间内的快速递增;( ) 通过财政机构定期发布的宏观经济数据,可以很容易地及时更新地震危害分析结果. 当然,该方法得出的结果精度受制于宏观经济数据和GDP损失率关系的精确程度,但与传统的易损性分类清单方法的评估结果精度类似,可能控制在一个数量级的差别之内. 与该方法的局限性相比较而言,在这里谈及上述优越之处可能有点太早,但该方法确实使全球范围内的地震灾害定量评估都可以快速实现,为政府实施抗震规划提供了有益的科学依据. 震灾程度即可为不同区域的地震危害对比分析提供了有效的灾害管理信息,同时也可对面临较低的地震威胁但积累了相当的易受损害的社会财富地区存在的潜在地震危害,不断增强警惕性.

致谢 对国际地学信息联合网(CIESIN)提供的全球人口分布数据表示感谢. 本工作为国家自然科学基金(批准号:49574207)资助项目,为国际地震学和地球内部物理学协会(IASPEI)与国际地震工程协会(IAEE)全球地震安全促进会(WSSI)支持的"全球地震评价"工作的一部分.

参 考 文 献

1 Steinbrugge K V, Algermissen S T, Lagorio H J, et al. Metropololitan san francisco and los angeles earthquake loss studies: 1980 Assessment. U S Geological Survey Operr-File Report, 1981. 81~113
2 Steinbrugge K V, Bennett J H, Lagorio H J, et al. Earthquake planning scenario for a magnitude 7.5 earthquake on the hayward fault in the san francisco bay area. Calif Dept Conservation, Sacramento, 1987. 243
3 Rogers A M, Algermissen S T, Hayes W W, et al. A study of earthquakes losses in the salt lake city, utah srea. U S Geological Survey Operr-File Report, 1976. 76~89
4 World Bank. World development report 1994: infrastructure for development. Oxford: Oxford University Press, 1995. 254
5 United Nations. Statistical yearbook (Thirty-eighth issue, CDROM), 20pp. + 1CDROM. New York: United Nations Publications, 1994
6 Tobler W, Deichmann U, Gottsegen J, et al. The global demography project, technical report TR-95-6, National center for Geographic Information and Analysis. California: Univ of California, Santa Barbara, 1995. 75
7 Dunbar P K, Lockridge P A, Whiteside L S. Catalog of Significant Earthquakes (2150 aBC~1991 aAD), Report SE-49. World Data Center A for Solid Earth Geophysics September, 1992
8 赵荣国,陈英方. 1992年世界地震活动性和地震灾害. 国际地震动态, 1993(4): 1~6
9 赵荣国,陈英方. 1993年世界地震灾害综述. 国际地震动态, 1994(8): 12~15
10 赵荣国. 1994年世界灾害地震综述. 国际地震动态, 1995(8): 10~14
11 赵荣国. 1995年上半年世界灾害地震综述. 国际地震动态, 1995(11): 14~19
12 Sauter F, Shah H C. Studies on earthquake insurance, proceeding of the centeral american conference on earthquake engineering, V2. San Salvador, El Salvador, 1978
13 Akkas N, Erdik M. Consideration on assessment of earthquake resistance of existing buildings. Int Jour for Housing Science and Application, 1984, (8): 49~66
14 刘 杰,陈 颙, 陈 凌, 等. 全球地震危险性评估的简化方法. 科学通报, 1999, 44(1): 92~96

(1998-02-20收稿,1998-04-14收修改稿)