

文章编号: 0253-3782(2005)05-0551-10

云南省农村乡镇地震灾害房屋损失评估^{*}

王 瑛¹⁾ 史培军¹⁾ 王静爱²⁾

1) 中国北京 100875 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室; 北京师范大学资源学院

2) 中国北京 100875 北京师范大学地理学与遥感学院; 北京师范大学区域地理研究重点实验室

摘要 根据 1990—2000 年 20 余次云南省地震的房屋损坏调查数据, 建立了目前云南省农村居民最主要的 4 类房屋地震脆弱性模型(烈度-损失率曲线); 进而利用设定地震灾害损失模拟方法, 基于 2002 年云南省房屋状况, 模拟了历史上的破坏性地震如果再次发生, 将造成的云南省房屋的经济损失。误差分析表明, 该模拟计算方法实用性强, 对一般性地震的模拟误差在 30 % 左右。将云南省 886—2002 年的 398 次地震依次进行了房屋经济损失模拟。结果表明, 云南省年均因地震引起的经济损失约为 4.1 亿元, 占当年云南省 GDP 值 2 232.32 亿元的 0.18 %。由于房屋造价的上涨和农村居民人均住房面积的增加, 历史上的强震一旦今天再次发生, 对云南省经济的影响将远远大于当年。

关键词 地震灾害 损失评估 设定地震 农村乡镇 云南省

中图分类号: P315.9 **文献标识码**: A

引言

根据自然灾害系统理论, 致灾因子强度和承灾体的脆弱性共同决定了灾情的大小(史培军, 1991, 2002)。建筑物设施是地震灾害系统中最主要的承灾体, 由于城市人口、财富集中, 建筑物密度大, 城市抗震减灾一直是地震灾害研究的重要方面。我国农村经济落后, 居民房屋在设计、建设等方面存在较多问题, 房屋抗震性能与城市房屋相差悬殊。因此, 对我国目前 70 % 以上人口生活的农村地区, 地震安全问题同样应给予关注(高云学, 1995; 鄢家全, 郝玉芹, 2003)。

地震是云南省最主要的自然灾害之一。云南省除曲靖、文山东部地区和沿红河断裂带中段的滇中狭长地带较少地震发生外, 其它地区几乎都受到地震灾害的影响。与我国西藏、新疆、甘肃、青海、四川等 5 个大陆地区地震频发省份相比, 云南省单位面积上的强震活动频度最高。根据 1900—2000 年地震资料统计, 云南省 $5.0 \leq M_s < 7.0$ 地震百年频次为 72.8 次/ 10^5 m^2 ; $M_s \geq 7.0$ 地震百年频次为 2.86 次/ 10^5 m^2 , 位居各省区首位。此外, 云南省地震强度大, 历史上云南最大的地震是 1833 年发生在昆明以东的嵩明 8 级大地震; 20 世纪, 除 1970 年 1 月 5 日发生在通海的 7.8 级地震以外, 还有 1976 年 5 月 29 日发生在德宏州龙陵县的 7.3, 7.4 级地震, 以及 1988 年 11 月 6 日发生在澜沧、耿马的 7.4, 7.2 级地

^{*} 国家自然科学基金(40301003)资助项目, 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室开放课题资助。
2004-09-13 收到初稿, 2005-06-08 收到修改稿并决定采用。

震. 从最大地震震级、单位面积平均发生 5 级、7 级以上地震次数 3 个指标综合评定看, 云南地区地震的严重程度排在中國大陸地区的首位(刘祖荫等, 2002). 因此, 准确评估云南省未来地震可能引起的经济损失, 是各级灾害风险管理部门、保险公司制订科学抗震减灾策略的重要前提.

根据 2002 年行政区划, 云南省共有 16 个地区、州(市), 包括 9 个市辖区, 10 个县级市, 109 个县. 但是由于经济水平发展较落后, 云南省第五次人口普查资料表明, 9 个市辖区中, 除省会昆明市的 2 个城区(五华区、盘龙区)以外, 其它 7 个市辖区的城市化水平都不高, 非农业人口占总人口的比例均低于 30 % (云南省统计局, 2003). 本文的地震损失评估主要针对云南省的广大农村地区, 即除昆明市五华区、盘龙区以外的云南省所有地区, 包括 15 个居委会、581 个镇、961 个乡, 共计 1 557 个统计单元, 简称云南省农村乡镇.

1 设定地震灾害损失模拟模型

由于地震的发生与断层有关, 很多地震都是在相同或附近的地方发生(许绍燮, 2003). 目前国际上较多使用设定地震灾害损失模拟模型(scenario earthquake loss model)(陈颢等, 1999; 陈颢, 李丽, 2003; 陈棋福等, 1997; 陈棋福, 2000), 它模拟历史地震在完全相同的位置、同一震级再次发生时, 某地区可能遭受的经济损失. 该模拟最大的特点是, 着重于承灾体的脆弱性研究. 在致灾因素方面, 完全使用历史地震资料, 不需要对地震的发生情况进行预测. 因此, 该方法通常被用于模拟估算人口密集、经济发达的大城市地震损失. 例如, Risk Management Solutions 对世界一些大城市进行了设定损失地震模拟, 结果表明, 若再发生一次像 1923 年 9 月 1 日 8.3 级关东地震那样的地震, 日本直接经济损失将为 10 000 亿美元.

常用的结构分类清单地震损失评估方法, 首先对固定场地的建筑结构设施进行分类, 建立相应的地震损失概率矩阵. 固定场地在 t 年的期望损失 E_t 为

$$E_t = \left\{ \sum_{B_k} P(I_i / B_k) \cdot \left[\sum_{df_j} P(df_j / I_i, B_k) \cdot (df_j / B_k) \right] \cdot V_{B_k} \right\} \quad (1)$$

式中, E_t 为总损失, B_k 表示场地中建筑设施的类型, I_i 为场地可能遭受的造成损失的地震烈度, df_j 为期望的损失率, V_{B_k} 为场地中 B_k 类建筑设施的总价值, 而 $P(I_i / B_k)$ 为 t 年内场地 B_k 类建筑遭受地震烈度 I_i 的危险性概率, $P(df_j / I_i, B_k)$ 为 B_k 类建筑遭受地震烈度 I_i 时期望的损失率 df_j 发生的概率.

在设定地震损失模拟方法中, 由于场地的地震烈度已知, 因此其期望损失值为

$$E_t = \left\{ \sum_{B_k} \left[\sum_{df_j} P(df_j / I, B_k) \cdot (df_j / B_k) \right] \cdot V_{B_k} \right\} \quad (2)$$

若第 k 类建筑在 i 度烈度下的平均损失率为 D_k , 则

$$D_k = \sum_{df_j} P(df_j / I, B_k) \cdot (df_j / B_k) \quad (3)$$

式(2)可简化为

$$E_i = \sum_{B_k} (D_k \cdot V_{B_k}) \quad (4)$$

假定一次地震影响区中有 n 个居民点(场地), 则该次地震引起的经济期望损失值为

$$E = \sum_n \left[\sum_{B_k} (D_k)_n \cdot (V_{B_k})_n \right] \quad (5)$$

其中, $(V_{B_k})_n$ 为第 n 个居民点的建筑物价值; $(D_k)_n$ 为第 n 个居民点第 k 类建筑的场地平均损失率, $(D_k)_n$ 由两个因素决定: 居民点所处的烈度; 居民点的建筑类型及其在相应烈度下的平均损失率. 式(5) 为设定地震损失模拟的基本公式, 模型表达较为简单, 适用于地震宏观损失模拟估算.

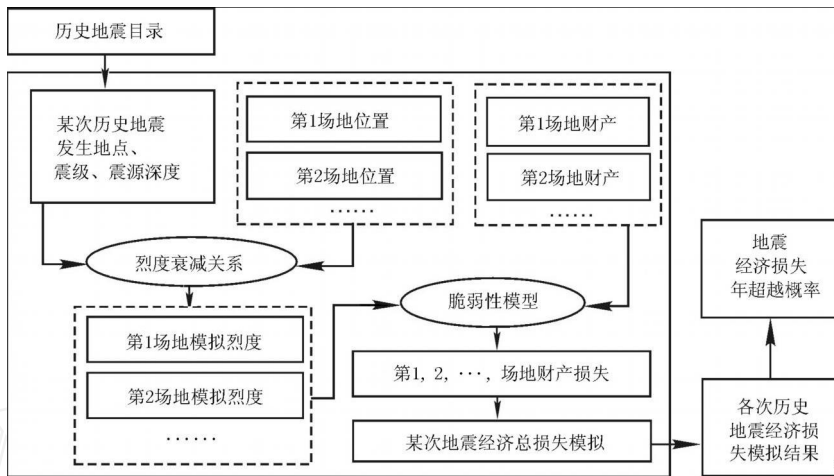


图 1 设定地震损失模拟流程示意图

设定地震模拟分析的具体流程如图 1 所示. 计算各个场地距离某次历史地震震中的距离, 根据烈度衰减公式, 模拟各个场地在该次地震中的烈度, 进而由场地中各种财产设施的脆弱性模型, 得到各个场地在该次地震中的经济损失值. 所有场地的损失值求和的结果即为这次地震所造成的经济总损失. 将历史地震目录中的所有地震按上述步骤计算, 结合历史地震发生的时间跨度, 就可以知道一个地区发生某种程度的经济损失概率. 在具体运用中主要包括 4 个部分的计算:

1) 财产估算(portfolio). 这里的财产对于保险公司就是损失暴露单位(exposure), 即保险公司承保的存在风险的财物, 包括民用房屋、公共房屋等建筑物、企业财产、社会公共设施、生命线工程, 以及各种室内财产等.

2) 脆弱性模型(vulnerability). 根据历史地震资料或试验数据, 按分类清单建立的各类建筑物在不同地震动条件下的损失率模型. 其表达形式通常为概率性地震脆弱性矩阵, 或烈度-平均损失率曲线.

3) 设定地震(scenario earthquake record). 根据完备的历史地震记录, 包括震中位置、震级、震源深度, 模拟该地震造成的影响范围、程度, 通常用地震烈度表示.

4) 经济损失及年超越概率(losses and yearly exceedance frequency). 将上述结果代入式(5), 模拟历史上各次地震所造成的经济损失, 并根据造成损失的地震发生频率, 得到各种程度的经济损失发生的年超越概率.

2 云南省农村乡镇设定地震灾害损失模拟

2.1 数据来源

将《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)》($M_s \geq 4.0$)以及《中国近代地震目录(1912—1990 年, $M_s \geq 4.7$)》中的云南省地震记录(国家地震局震害防御司, 1995; 中国地震局震害防御司, 1999), 按照震中的经纬度数据, 建立“云南省地震空间信息系统”, 将各种地震基本参数, 如地震发生时间、地点(震中经纬度)、震级大小、震源深度、震中烈度、伤亡人数、倒塌房屋、经济损失等也输入其相应的属性数据库中。

破坏性地震发生后, 在这次地震的震源附近会连续发生余震, 虽然余震对一个地区会产生累加效应, 加重灾害损失, 但是在人们采取一定的防灾措施以后, 余震所造成的损失相对于独立地震引起的损失要小。因此, 在进行设定地震灾害分析前, 首先从应力扰动的角度(刘祖荫等, 2002)在时间、空间两个方面共同消除地震目录中的余震, 将消除余震后的地震记录重新建立“云南省主震地震空间信息系统”, 共有 $M_s \geq 5$ 地震记录 398 次, 时间跨度为公元 886—2002 年。

我国自 1990 年以来, 每次破坏性地震发生后, 中国地震局或各省(自治区、直辖市)地震部门都及时会同有关部门组织地震现场的灾害损失评估工作, 并提交相应的地震灾害损失评估报告。本文根据《中国大陆地震灾害损失评估报告汇编(1990—1995 年)、(1996—2000)》中云南省 10 余年的破坏性地震房屋损失调查数据(国家地震局、国家统计局, 1996; 中国地震局监测预报司, 2001), 建立了“云南省地震灾情数据库”, 包括 1990—2002 年云南省 20 余次地震的建筑物破坏比、建筑物损失比。

根据云南省农村社会经济调查队对 1 557 个乡镇农户抽样调查统计得到的《2002 年云南省农村乡镇统计概要》, 建立“云南省农村乡镇经济地理信息系统”。其属性数据包括: 乡镇名称、乡镇总户数(户)、乡镇总人口(人)、乡镇从业人员数(人)、乡镇行政区域面积(公顷)、农民人均纯收入(元)、镇区人均住房面积(平方米)等。各个农村乡镇的地理位置根据云南省地图集数字化后得到。

2.2 云南省农村乡镇财产分类及估算

目前云南省农村居民的主要财产是居民的生活性和生产性用房, 约占财产值的 87% (国家统计局农村社会经济调查总队, 2002)。因此, 云南省农村乡镇的财产估算主要是计算各乡镇的建筑物价值。

《中国大陆地震灾害损失评估报告汇编(1990—1995 年)、(1996—2000 年)》中的云南省震区分布在云南省各个地区、州, 这些震区的房屋调查数据基本可以代表云南省农村乡镇房屋, 尤其是云南多震地区农村房屋情况。因此, 本文将这些震区的房屋调查资料应用至云南省全省农村乡镇范围。

根据震害评估报告, 农村居民住房主要分为 4 大类: 土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构。1990—2000 年云南省农村房屋造价如表 1 所示, 同种类型房屋在云南省各地区的价格波动在 100~200 元左右, 因此, 全省可以取统一的房屋单位面积造价。1996 年

云南省农村社会经济调查队. 2003. 云南农村乡镇 2002 年统计概要, 246.
云南省测绘局编制. 2002. 云南省地图集.

后房屋造价有所上涨，其中框架结构房屋造价涨幅最大，从 600 元/ m² 涨至 1 200 元/ m²。考虑到近几年物价上涨较小，房屋造价取 1996—2000 年报告中出现频率最多的数值作为云南省农村房屋平均造价，分别为 300 元、450 元、750 元和 1 000 元。

表 1 云南省农村房屋平均造价

单位：元/ m²

房屋类型	土木结构	砖木结构	砖混结构	框架结构
1990—1995 年房屋造价	300 ~ 100	480 ~ 250	550 ~ 450	750 ~ 600
1996—2000 年房屋造价	380 ~ 200	520 ~ 350	750 ~ 450	1 200 ~ 850
房屋平均造价	300	450	750	1 000

我国只在 1985 年由建设部进行过大规模的全国建筑物普查，但是 20 年来我国城乡经济发展迅速，建筑房屋变化巨大。因此，只能根据与农村居民住房密切相关的居民人均纯收入计算得到。通常农村居民收入越高，住房造价越高，即人均钢筋混凝土结构面积越大。但是由于我国南北气候差异，农村居民生活习惯等多方面因素，住房类型存在较大不同，即使收入相近的南北地区 2 个省份，其钢筋混凝土结构的面积比例也有较大差异。因此，

本文选择上海、江苏、浙江、重庆、四川、云南、贵州、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南等 15 个省份，对其 1991—2001 年的农民人均纯收入 (x) 与年末人均钢筋混凝土结构占房屋面积比例 (P_g) 共 159 对数据 (重庆市为 1997—2001 年数据) 作回归分析，如图 2 所示。两者存在显著的相关性，相关系数 R^2 达到 0.752 5。由于住房最多只可能 100 % 为钢筋混凝土结构房屋，因此式 (7) 的约束条件为

$$P_{g, \max} = 100.$$

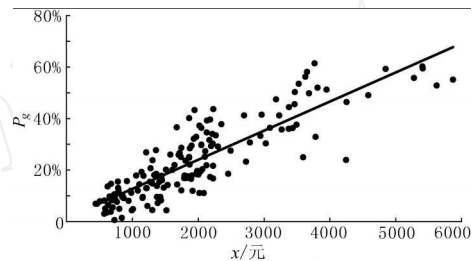


图 2 南方省份农村居民人均纯收入 (x) 与钢筋混凝土结构占房屋面积比例 (P_g)

$$P_g = 0.011\ 3x + 1.338\ 7 \tag{7}$$

根据云南省地震灾区评估资料和一些地区的实地抽样调查结果，云南全省农村乡镇的框架结构与砖混结构的平均面积比例为 30 % ◇ 70 %，砖木结构与土木结构的比例为 15 % ◇ 85 %。由此得到 4 类房屋结构的面积比例为

$$\text{框架结构占房屋面积的比例} \quad P_1 = 0.3\ P_g \tag{8}$$

$$\text{砖混结构占房屋面积的比例} \quad P_2 = 0.7\ P_g \tag{9}$$

$$\text{砖木结构占房屋面积的比例} \quad P_3 = 0.15(1 - P_g) \tag{10}$$

$$\text{土木结构占房屋面积的比例} \quad P_4 = 0.85(1 - P_g) \tag{11}$$

将“云南省农村乡镇经济数据库”中 1 557 个乡镇的居民人均纯收入 (x) 代入式 (7) 得到各乡镇的钢筋混凝土结构比例 P_g ，进而由式 (8) ~ (11)、各乡镇居民人均房屋面积、乡镇总人口和表 1 中 4 类结构房屋造价，得到云南省 1 557 个乡镇的农村居民 4 类房屋价值。

2.3 脆弱性模型

通过“云南省地震灾情数据库”中 20 余次地震的 4 类房屋的破坏比、损失比数据，得到了云南农村 4 种结构类型的脆弱性模型，即 4 类房屋在不同地震烈度下的房屋平均损失率 D ，结果如图 3 所示。1990 年以来，云南省最大地震为 1996 年丽江 6.9 级地震，因此缺少

度烈度的房屋损坏资料. 本文根据尹之潜(1995)建立的建筑物概率性地震脆弱性矩阵计算后补充, 农村地区建筑没有考虑抗震设计, 按最低设防区 度区取值.

从图 3 可以看出, 砖混结构房屋的抗震性能稍好于土木和砖木结构, 但是在 度烈度下, 部分房屋倒塌、严重毁坏, 平均损失率也在 35 % 以上. 在 度烈度下, 土木结构和砖木结构大部分倒塌, 砖混结构平均损失 55 %, 只有框架结构抗震性能最好, 房屋多为中等破坏, 基本不发生倒塌.

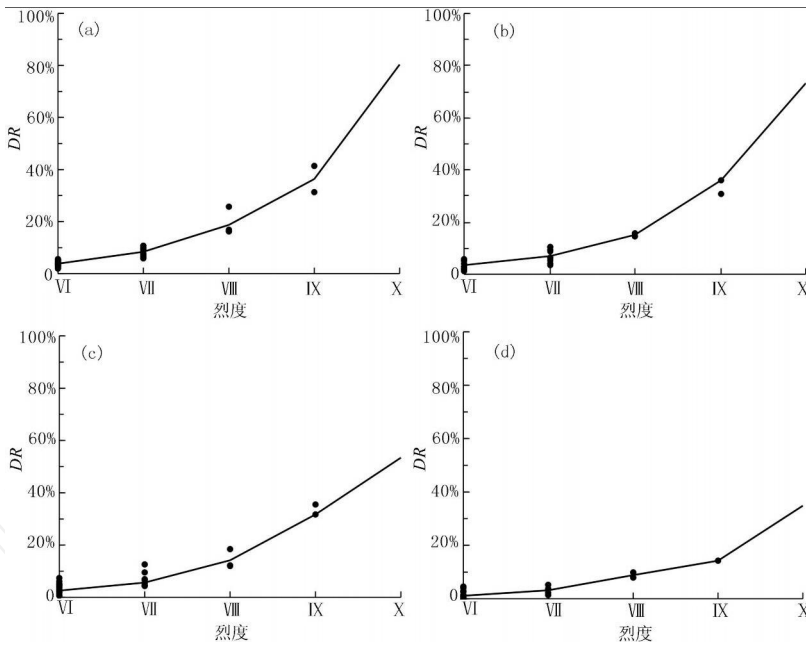


图 3 云南农村乡镇 4 类房屋建筑平均损失率
(a) 土木结构; (b) 砖木结构; (c) 砖混结构; (d) 框架结构

云南省土木结构的脆弱性几乎与砖木结构相同. 同一烈度条件下, 土木结构的损失率只略高于砖木结构. 这是由于云南地区土木结构房屋多为穿斗木骨架形式, 相对于北方地区的双坡木骨架形式, 整体性强, 抗震性能要好(殷维翰等, 1997). 这类房屋由木屋架支撑屋顶和楼层重量, 墙体只起围护作用, 因而屋架与墙体之间没有什么拉接, 此类房屋具有一定的抗震能力. 在地震烈度 ~ 度的作用下, 多数木屋架不会产生明显变形, 但较高的墙体则会出现开裂, 瓦屋面梭瓦; 年久失修、木屋架糟朽的老旧房屋也会出现木屋架歪斜, 墙体严重开裂, 山墙倒塌, 屋面大量梭瓦现象. 遭遇 度地震情况下, 部分木屋架会出现拔榫、脱榫、位移、木屋架倾斜现象; 多数墙体开裂, 山墙倒塌, 屋顶普遍梭瓦漏天窗, 个别老朽民房也可能出现屋盖塌落现象. 此外, 在有的地震多发区, 当地农民建房时, 都比较注重建房质量, 因此总的来说, 云南省的土木结构抗震性能要好于其它省区.

2.4 地震烈度模拟

我国有很多学者根据不同的资料和拟合方法, 对中国大陆地区的地震烈度衰减关系, 进行过研究. 例如, 1990 年中国地震烈度区划图(国家地震局, 1991)中使用的西部地区平均轴烈度衰减关系式(12); 汪素云等(2000)利用我国丰富的地震烈度等震线资料, 建立了我国东西分区烈度衰减关系[式(13-1), (13-2)].

$$I = 4.524 + 1.443M - 1.844 \ln(d + 16) \quad ^2 = 0.610 \quad (12)$$

式中, M 表示震级, I 为距震中 d km 处的场地烈度.

$$I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164 \lg(d + 26) \quad = 0.632 \quad (13-1)$$

$$I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943 \lg(d + 8) \quad = 0.632 \quad (13-2)$$

将上述烈度衰减关系代入本模型进行模拟计算, 结果表明式(12)不仅运算简单, 同时模拟结果精度相比较较高. 如表 2 中括号内所示的数据, 即为根据式(13)计算的模拟结果与模拟值偏差. 在 25 次地震的损失模拟结果中, 有 21 次模拟计算结果的偏差都大于式(12)的模拟结果.

式(12)是针对我国 105 °E 以西地区的衰减关系, 云南省大部分区域都在 105 °E 以西, 只有文山州富宁县、广南县、麻栗坡县和昭通市镇雄县、威信县在 105 °E 以东, 并且历史上这些地区地震很少. 因此, 本文完全使用式(12)进行云南省地震烈度模拟.

2.5 模拟结果分析

根据前面得到的财产估算, 脆弱性模型, 以及地震的烈度模拟公式, 假定 398 次历史地震的各项地震基本参数不变, 由式(5)分别模拟计算各次地震对云南省 1 557 个乡镇所造成的经济损失之和.

为了检验模拟结果的精确度, 将 1993—2002 年发生的 5 级以上破坏性地震所造成的房屋实际损失评估与损失模拟结果进行了比较(表 2). 从表 2 看出, 除编号 7~9、编号 12,

表 2 1993—2002 年云南省 $M_s \geq 5$ 地震目录

编号	地震	年-月-日	N/(°)	E/(°)	震级	震源深度/km	房屋模拟损失*/万元	实际房屋损失/万元	模拟值偏差* 百分比
1	普洱	1993-01-27	101.08	22.93	6.2	14	21347(37391)	5 521	286.7%(577.3%)
2	大姚	1993-02-01	101.35	25.87	5.3	10	3517(6051)	703	400.3%(760.7%)
3	中甸	1993-07-17	99.70	27.78	5.6	10	8247(9906)	1 554	430.7%(537.5%)
4	姚安	1993-08-14	101.25	25.45	5.3	8	9327(15088)	1 270	634.4%(1088%)
5	金平	1995-04-25	102.73	22.77	5.6	20	4123(12636)	547	653.7%(2210.1%)
6	武定	1995-10-24	102.32	25.83	6.5	15	86199(186558)	45 116	91.1%(313.5%)
7	丽江	1996-02-03	100.22	27.30	6.9	10	68702(116365)	196 081	- 64.9%(- 40.7%)
8	丽江	1996-07-02	100.10	26.92	5.2	10	5455(7241)	1 882	189.9%(284.8%)
9	丽江	1996-09-25	100.40	27.32	5.7	23	1770(6240)	1 400	26.4%(345.7%)
10	勐腊-景洪	1997-01-25	101.10	21.90	5.1	10	718(1535)	670	7.2%(129.1%)
11	景洪-江城	1997-01-30	101.40	22.40	5.5	9	852(1414)	2 100	- 59.4%(- 32.7%)
12	丽江	1997-10-23	100.30	26.80	5.3	10	8137(11126)	1 660	390.2%(570.2%)
13	宁蒗	1998-11-19	100.90	27.30	6.2	10	9561(19927)	25 255	- 62.1%(- 21.1%)
14	澄江	1999-11-25	102.80	24.50	5.1	10	4545(11121)	5 320	- 14.6%(109%)
15	姚安	2000-01-15	101.12	25.58	6.5	30	94722(167861)	81 204	16.7%(106.7%)
16	丘北-弥勒	2000-01-27	103.63	24.15	5.5	10	7938(18339)	8 010	- 0.9%(129%)
17	中缅边境	2000-10-06	97.60	24.30	5.8	18	6286(10592)	5 532	13.6%(91.5%)
18	澜沧	2001-03-12	99.82	22.30	5.0	10	1445(3655)	3 431	- 57.9%(6.5%)
20	施甸	2001-04-12	99.02	24.83	5.9	6	45826(70595)	33 660	36.1%(109.7%)
21	施甸	2001-06-08	99.00	24.83	5.3	5	10928(17789)	2 440	347.9%(629.1%)
22	楚雄	2001-07-10	101.38	24.93	5.3	13	1332(3336)	1 287	3.5%(159.2%)
23	江川	2001-07-15	102.63	24.40	5.1	8	4357(8556)	3 016	44.5%(183.7%)
24	景谷	2001-09-04	100.55	23.63	5.0	8	1705(3693)	2 507	- 32%(47.3%)
25	永胜	2001-10-27	100.57	26.23	6.0	15	22606(48322)	27 367	- 17.4%(76.6%)

注: 偏差 = (模拟房屋损失 - 实际房屋损失) / 实际房屋损失, 负值表示模拟值小于实际损失.

* 括号内数值为式(13)计算的模拟结果与模拟值偏差.

13, 21 等地震偏差较大外, 1996 年以后的地震模拟结果和实际结果的偏差都在 60 % 以下. 这是由于 1996 年 2 月发生的 6.9 级地震对丽江地区影响严重, 其后的地震损失评估都是除去 6.9 级地震损失的结果, 因此造成这几次地震的实际地震损失统计数字都偏小, 模拟结果比实际结果大很多. 表 2 中编号 13 宁蒗地震的实际房屋损失值是在此前两次 5.3 级、5.2 级地震累加的结果, 因此模拟结果远远小于实际结果. 编号 21 施甸地震属于编号 20 地震的余震, 已有大部分房屋在编号 20 地震中损坏, 本次地震实际损失值无法测算, 因此模拟结果与实际结果相差较大. 1993—1995 年(编号 1~5)地震的模拟结果与实际损失两者相差较大, 这是由于承灾体的价值已经发生了变化. 如表 1 所示, 1996 年之前的 4 类房屋单位造价较低, 平均每平方米的造价都低了 100 元左右. 此外, 各类房屋的面积比例也发生了较大变化. 因此 1996 年前的模拟结果都远远大于当年实际损失. 这说明, 随着承灾体价值的增加, 地震损失将成倍地增加.

综上所述, 本文的模拟计算方法除特殊地震案例外, 对一般地震案例模拟结果与实际损失的偏差都在 60 % 以内. 这个偏差范围在地震实际损失评估工作中是允许的. 因此, 本文的财产估算方法, 地震烈度模拟公式, 以及所建立的脆弱性模型都是合理的, 模拟方法是正确可行的.

将 398 次地震损失的模拟结果从大到小排序, 有地震损失的共 372 次地震. 其中 368 次地震的发生时间在 1400—2002 年之间, 另外 4 次地震的发生时间在 1400 年以前, 造成的地震损失排序均在 90 位以后, 因此将这 4 次排除在外. 将模拟地震时间跨度取为 600 年, 模拟经济损失最大的地震的年超越概率为 $1/600 = 0.167\%$, 第二大地震损失的概率为 $2/600 = 0.333\%$. 依此类推, 得到云南省地震房屋经济损失超越概率曲线(图 4).

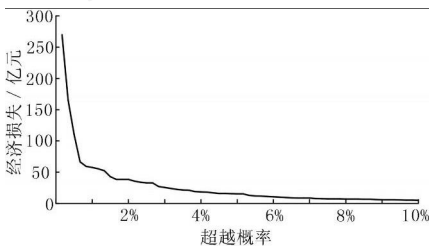


图 4 云南省地震房屋模拟经济损失超越概率曲线

由图 4 可知, 云南省平均每 500 a 地震引起的最大房屋经济损失达 240 亿元, 每 100 a 最大地震造成的房屋经济损失为 57.6 亿元. 将 361 次历史地震造成的房屋经济损失求和后求年平均值, 得到云南省平均每年因地震引起的房屋经济损失为 3.28 亿元. 根据《中国大陆地震灾害损失评估报告汇编》中有关云南省农村地震震例的经济损失数据(国家地震局, 国家统计局, 1996), 农村地震的房屋经济损失大约占总经济损失的 80 % 左右.

云南省平均每年因地震引起的总经济损失将达 4.1 亿元, 占 2002 年云南省 GDP 值 2 232.32 亿元的 0.18 %. 可以看出, 减轻地震灾害造成的损失, 减少自然灾害对经济的负影响, 是保证云南省经济快速发展的一个重要方面.

地震灾害的灾情大小是由地震强度和结构承灾体的抗震性能共同决定的. 造成云南省农村乡镇房屋经济损失最大的地震震级都在 7 级以上, 并且震中位置都处在云南省经济相对发达地区. 这些历史上曾对云南省经济发展造成极大破坏的地震, 如果再次发生将对现今社会经济的影响依然巨大. 以玉溪通海 7.7 级地震为例, 该地震如果在 2002 年发生, 造成的总经济损失将为 207 亿元, 占全省 2002 年 GDP 值的 9.27 %; 在 1970 年, 玉溪通海 7.7 级地震造成的总经济损失为 3 亿元(楼宝棠, 1996), 占云南省当年 GDP 值 38.52 亿元的 7.79 %. 这说明 1970 年的地震如果在 2002 年再次发生, 对灾区居民的影响更大, 对云

南省经济的影响甚至远远超过当年。

经过 32 a 的经济发展, 云南省的很多居民住房已经从土木结构、砖木结构房屋建成为框架结构。结构建筑物的脆弱性在减小, 为什么地震造成的经济影响却没有降低而是更大了? 分析其原因, 1970—2002 年以来, 云南省的单位面积房屋造价逐年上涨, 虽然房屋的脆弱性降低了, 但是脆弱性的降低幅度往往小于价格的增加幅度。因此, 云南省未来地震引起的房屋经济相对损失会更大, 对社会造成的经济影响也会随之加大。但是如果把房屋损坏造成的人员伤亡也考虑进来, 框架结构在 I 度、II 度烈度区的毁坏率和严重破坏率都较低, 即房屋倒塌的情况较少。它能最大程度的避免人员伤亡, 降低人类承灾体的脆弱性。因此, 考虑结构承灾体和人类承灾体的脆弱性, 框架结构具有综合减灾效益, 应该成为地震多发区的房屋首选。

3 讨论和结论

本文根据 1990—2002 年云南省 20 余次地震中的房屋损坏调查数据, 建立了目前云南省农村居民最主要的 4 类房屋地震损失率曲线; 进而利用设定地震灾害损失模拟方法, 基于 2002 年云南省房屋状况, 模拟历史上的破坏性地震如果再次发生, 将造成的云南省房屋经济损失。误差分析表明, 该模拟计算方法实用性强, 对一般性地震的模拟误差在 30% 左右。

将云南省历史上的 398 次地震依次进行房屋经济损失模拟。结果表明, 云南省平均每年因地震引起的经济损失约为 4.1 亿元, 占 2002 年云南省 GDP 值 2 232.32 亿元的 0.18%。由于房屋造价的上涨和农村居民人均住房面积的增加, 历史上的强震一旦今天再次发生, 对云南省经济的影响将远远大于当年。因此, 减轻地震灾害造成的损失, 减少自然灾害对经济的负影响, 是保证云南省经济快速发展的一个重要方面。在云南省广大农村乡镇, 土木结构房屋占 80% 以上。如何改善农村房屋质量、提高土木结构房屋的抗震性能是农村地震承灾体脆弱性的关键问题。

由于农村房屋建设缺乏统一标准, 缺乏相关实验数据, 本文将从局部地区的震害资料得到的房屋脆弱性模拟, 推广至全省范围, 对某些地区的房屋损失评估势必存在较大误差。此外, 为了简化模拟步骤, 本文在进行震害评估时忽略了各种场地土壤条件的影响, 而这两方面对灾情的影响都极大。因此上述资料、数据的收集有待进一步完善, 以提高损失评估的精确性。

参 考 文 献

- 陈棋福. 2000. 大尺度地震灾害损失预测评估方法研究[J]. 国际地震动态, (10): 11
- 陈棋福, 陈颢, 陈凌. 1997. 利用国民生产总值和人口数据继续地震灾害损失预测评估[J]. 地震学报, 19(6): 640~649
- 陈颢, 陈棋福, 陈凌, 等. 1999. 地震损失预测评估中的易损性分析[J]. 中国地震, 15(2): 97~105
- 陈颢, 李丽. 2003. 地震科学的几个发展趋势[J]. 国际地震动态, (1): 2~6
- 高云学. 1995. 关于如何减轻我国农村居住建筑地震灾害的建议[J]. 自然灾害学报, 4(1): 47~50
- 国家地震局. 1996. 中国地震烈度区划图(1990)概论[M]. 北京: 地震出版社, 137~144
- 国家地震局, 国家统计局. 1996. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990—1995)[M]. 北京: 地震出版社, 210
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)[M]. 北京: 地震出版社, 490~494
- 国家统计局农村社会经济调查总队. 2002. 中国农村统计年鉴(2002)[M]. 北京: 中国统计出版社, 413

- 刘祖荫, 苏有锦, 秦嘉政, 等. 2002. 20 世纪云南地震活动[M]. 北京: 地震出版社, 17~19
- 楼宝堂. 1996. 中国古今地震灾情总汇[M]. 北京: 地震出版社, 210
- 史培军. 2002. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 11(3): 1~9
- 史培军. 1991. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报(自然科学版), 自然灾害研究专辑, 17~20
- 汪素云, 俞言祥, 高阿甲, 等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 16(2): 99~103
- 许绍燮. 2003. 探索地震预报[J]. 国际地震动态, (2): 1~6
- 鄢家全, 郝玉芹. 2003. 关注农村的地震安全问题[J]. 国际地震动态, (11): 5~10
- 殷维翰, 陶世龙, 赵松龄, 等编著. 1997. 地震问答——知识·预测·防范[M]. 北京: 地震出版社, 81~84
- 尹之潜. 1995. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社, 58~66
- 云南省统计局. 2003. 云南省 2003 年统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 415
- 中国地震局监测预报司. 2001. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996—2000)[M]. 北京: 地震出版社, 390
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元 1912—1990 年, $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 511~523

THE HOUSING LOSS ASSESSMENT OF RURAL VILLAGES CAUSED BY EARTHQUAKE DISASTER IN YUNNAN PROVINCE

Wang Ying¹⁾ Shi Peijun¹⁾ Wang Jingai²⁾

1) Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China;
College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2) College of Geography and Remote Sensing Sciences; Key Laboratory of Regional Geography of
Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Based on the assessment report of destructive housings caused by more than 20 earthquakes occurred in Yunnan Province in 1990—2004, the vulnerability models of 4 types housings of rural residents in Yunnan province are setup. The scenario earthquake disaster loss simulation model are used to simulate the housing loss if the historical earthquakes that occurred in since AD in 886 Yunnan Province reoccurs in 2002. The analysis of deviation shows the simulation deviation of the usual earthquakes is less than 30 % and the method is high practicality. Meanwhile, the simulation result of 398 historical earthquakes in Yunnan Province shows that the annual economic loss caused by earthquake is about RMB 0.41 billion Yuan that is the 0.18 % of GDP of Yunnan Province for the year. Because the average living area of everybody and the price of the housing increase year by year, if the historical destructive earthquake reoccurs in today, the loss of Yunnan Province will be greater than in those years. The government of Yunnan Province must pay more attention to the improving capability for disaster prevention and reduction in rural areas.

Key words: earthquake disaster; loss assessment; scenario earthquake; rural village; Yunnan Province

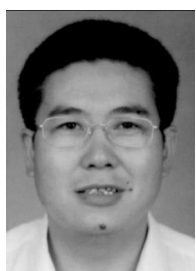
作者简介



兰从欣 北京市地震局副研究员。1996 年中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业研究生毕业，获硕士学位。现主要从事数字地震学和地震分析预测等研究工作。中国地震学会会员。



王 瑛 北京师范大学讲师。1999 年北京师范大学资源与环境科学系毕业，获地图学与遥感专业硕士学位；2004 年北京师范大学资源学院毕业，获自然灾害风险管理专业博士学位。主要从事自然灾害信息管理等、挖掘，自然灾害地图编制，地震灾害损失评估、风险评价，自然灾害救助研究。



李 宏 中国地震局地壳应力研究所副研究员。1988 年中国矿业大学矿山工程力学专业毕业，获硕士学位。长期从事原地应力测量技术、方法和理论研究。中国地震学会会员，中国岩石力学与工程学会

测试专业委员会委员。



杨竹转 中国地震局地质研究所实习研究员。1996 年防灾技术高等专科学校毕业；2004 年中国地震局地质研究所研究生毕业，获硕士学位。主要从事地下流体和地震预测的相关研究。中国地质学会会员。

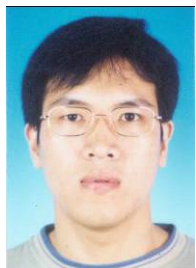


王 伟 上海市地震局研究员。1969 年中国科学技术大学地球物理专业毕业。主要从事地震学、地震预报以及人工智能应用等方面的研究。中国地震学会、中国地球物理学会会员，上海市地球物理学会副理

事长。



张志中 中国地震局地球物理研究所高级工程师。1975 年浙江大学光学系学习；后在北京大学英语系获学士学位。曾参加地震前兆、地震观测仪器的研制工作。目前从事历史地震、强震观测技术的研究及科研管理工作。中国地震学会、中国地球物理学会会员。



王满生 北京科技大学土木与环境工程学院讲师。2002 年北京工业大学建筑工程学院毕业，获结构工程硕士学位；2005 年中国地震局地球物理研究所研究生毕业，获固体地球物理博士学位。主要从事地

震工程研究，包括强震地面运动模拟、自由场地震反应分析、桩-土-结构动力相互作用分析与研究、土-结构体系的模态识别等。

注：刘瑞丰、刘希强、刘红桂、楼海、陈时军、龙思胜等的简介分别见本刊：Vol. 25, No. 2; Vol. 20, No. 4; Vol. 25, No. 4; Vol. 21, No. 3; Vol. 20, No. 2; Vol. 22, No. 5.