

国家自然科学基金委员会 联合资助
国家地震局

十年尺度中国地震灾害损失 预测研究

RESEARCHES ON PREDICTION OF CHINESE
EARTHQUAKE LOSSES WITH
SCALE OF TEN YEARS

陈 颢 陈鑫连 傅征祥 主编

地震出版社

国家自然科学基金委员会 联合资助
国家地震局

十年尺度中国地震灾害损失 预测研究

RESEARCHES ON PREDICTION OF CHINESE
EARTHQUAKE LOSSES WITH
SCALE OF TEN YEARS

陈 颢 陈鑫连 傅征祥 主编

地震出版社

1995

内 容 提 要

本书汇集了十年尺度地震灾害损失预测研究的成果,包括应用非线性力学的概念研究十年尺度的中国地震危险性,建立 2005 年前中国不同地区建筑物等的动态易损性破坏矩阵的方法,预测 2005 年前中国地震灾害损失的概率性和确定性的方法和结果,以及应用计算机成图技术编制预测图的方法等。上述研究思路和方法可供从事地震及其灾害损失预测研究的专业人员参考。本书提供的预测图件可供政府和社会制定防震减灾规划和对策时参考。

十年尺度中国地震灾害损失预测研究

陈 颢 陈鑫连 傅征祥 主编

责任编辑:吴 冰

责任校对:李 珩

*

地 震 出 版 社 出版发行

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 7 印张 180 千字

1995 年 7 月第一版 1995 年 7 月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1239-3 / P·771

(1661) 定价: 12.00 元

序

本世纪以来，我国因地震死亡的人数约占世界地震死亡总人数的50%。减轻我国地震灾害损失，尤其是面临未来十年地震新的活跃期，更是刻不容缓。

减轻由潜在震灾可能造成的社会与环境影响的过程，使公众的社会和经济结构在震灾中的损失减轻到最低程度，首要任务是对灾害进行危险性分析，确定灾害类型，尔后作出震灾损失预测，并在此基础上，部署灾害预防工作和制定相应的减灾措施。应运而生的“十年尺度中国地震灾害损失预测研究”项目的研究结果，显示了其战略作用和实用意义。

本项目的主要研究特点是：把非线性动力学的构思引入十年尺度中国地震活动性和地震危险性的预测研究中；该项研究采用概率法和确定法相结合的地震危险性分析和易损性建筑的动态分析的方法；按模块编制研究有关程序，使之适用于其他灾种的灾害预测；采用计算机成图技术，编绘各类地震灾害损失预测的图集和数表。

本项目汇成的文集《十年尺度中国地震灾害损失预测研究》主要包括：中国大陆长时间尺度的地震危险性分析；十年尺度我国新的活跃期的地震危险性分析；建筑、经济、人口的易损性分析和地震灾害损失估计等四大部分内容，其中不乏新理论、新方法和新结论，表现在：

(1) 在基础资料中，由于早期地震目录的不完全，首次用定量方法估计了历史地震目录中各种震级不容忽视的遗失率。

(2) 在充分研究的基础上，将全国划分成729个最大地震的潜在震源区；按衰减关系，计算近3万个点的最大影响值，并绘制成长期的地震区划图。同时，计算了单元体的地震释放的全部能量，并以折合震级标识其能量释放等级，绘制成图。

(3) 建立了一个模拟地震活动性的层次模型，导出统计公式。同时建立分维数 D 与 b 值间的定量关系。分别用改进的M8和CN算法研究强震前TIP，得出TIP警戒约占总空域的30%以上的结果，成为中期预测有效方法之一。利用十年尺度地震发生概率的空间分布，提

出十年尺度地震烈度发生概率的估计方法。

(4) 建立未来建筑震害矩阵与目前震害矩阵的关系，首次给出到2000年我国四类易损建筑的震害动态矩阵。同时，建立地震造成的经济破坏以及地震对国民经济总体危害的数学模型。应用概率法得到2005年全国地震直接损失与人员死亡的期望值分别为3500亿元（以1985年不变价计）和18万人。

(5) 给出三类地震、在三类不同地区发生时可供决策的九种救灾方案。

本项目是集地震科学、工程科学和社会科学为一体，理论与实践紧密结合的前沿性课题，它系统地研究震灾预测，集腋成裘，汇集成册，对发展灾害定量学有着重要作用，其中不少成果已受到国际学术界的关注。1994年IASPAI大会的决议6中，首肯本项目的方向与内容，推选本项目负责人（陈颢）为组长成立专门研究小组。本书问世，其理论与方法的研究成果将有益于其他灾种进行灾害预测与评估时借鉴；而提供的实际预测结果，除已作为我国地震重点监视防御区划分的重要依据外，无疑还对国土规划、工业布局、重大工程项目投资、社会保险事业等方面有着重要的参考作用。

陈颢

1995年3月

目 录

地震灾害损失预测 (综述)	陈颢 刘杰 (1)
中国历史地震目录的完全性分析	陈颢 陈棋福 (11)
中国地震释放能量的空间分布	姜立新 傅征祥等 (15)
一个能产生分形结构的地震活动性模型	陈颢 季颖 (19)
图象动力学概述	陈颢 季颖 (24)
强震前中期地震活动的变化及 TIP 预测研究	黄德瑜 陈颢 (26)
CN 算法应用于我国 23 次强震的预测研究	黄德瑜 陈颢等 (31)
地震损失概率预测研究中的地震危险性分析方法探讨	傅征祥 姜立新等 (39)
中国长期地震区划图研究	鄢家全 潘华 (44)
十年尺度地震烈度发生概率预测方法	高孟潭 (53)
结构易损性分类和未来地震灾害的估计	尹之潜 (58)
中国经济系统地震易损性分析	王中宇 (67)
未来 5—10 年中国建筑物地震经济的确定性易损性分析	傅征祥 姜立新等 (74)
计算机辅助绘制震害损失预测图的一般方法	杨满栋 姜立新等 (79)
2005 年前我国大陆地震灾害损失预测图的编制	傅征祥 杨满栋等 (82)
震灾预估与救灾决策	陈鑫连 孙士宏等 (96)

Contents

Review of earthquake losses prediction	<i>Chen Yong Liu Jie</i> (1)
Completeness analysis of historical earthquake catalogues in China	<i>Chen Yong Chen Qifu</i> (11)
Space distribution of earthquake release energy in China	<i>Jiang Lixin Fu Zhengxiang et al.</i> (15)
A seismicity model of producing fractal structure	<i>Chen Yong Ji Ying</i> (19)
Introduction of Pattern dynamics	<i>Chen Yong Ji Ying</i> (24)
Intermediate-term variations on seismicity and researches on TIP prediction	<i>Wang Deyu Chen Yong</i> (26)
CN algorithm and application to prediction of 23 strong earthquakes in China	<i>Wang deyu Chen Yong et al.</i> (31)
A method of seismic hazard analysis for researches on probabilistic prediction of earthquake losses	<i>Fu Zhengxiang Jiang Lixin et al.</i> (39)
Researches on long-term seismic zoning in China	<i>Yan Jiaquan Pan Hua</i> (44)
Probabilistic method of predicting earthquake intensity with scale of ten years	<i>Gao Mentang</i> (53)
Classification of structure vulnerability and estimation of the coming earthquake disasters	<i>Yin Zhiqian</i> (58)
Seismic vulnerability analysis of economic system in China	<i>Wang Zhonyu</i> (67)
Deterministic economic vulnerability analysis of Chinese buildings in the coming 5-10 years	<i>Fu Zhengxiang Jiang Lixin et al.</i> (74)
General method of making maps of earthquake disaster prediction by computer	<i>Yang Mandong Jiang Lixin et al.</i> (79)
Compilation of maps for earthquake loss prediction in Chinese continent before 2005	<i>Fu Zhengxiang Yang Mandong et al.</i> (82)
Estimation of earthquake disasters and countermeasures of rescue	<i>Chen Xinlian Shun Shihong et al.</i> (96)

地震灾害损失预测（综述）

陈 颢

刘 杰

（国家地震局）

（国家地震局分析预报中心）

一、前 言

某个地区未来地震造成的灾害损失由三方面因素所确定（图 1）：

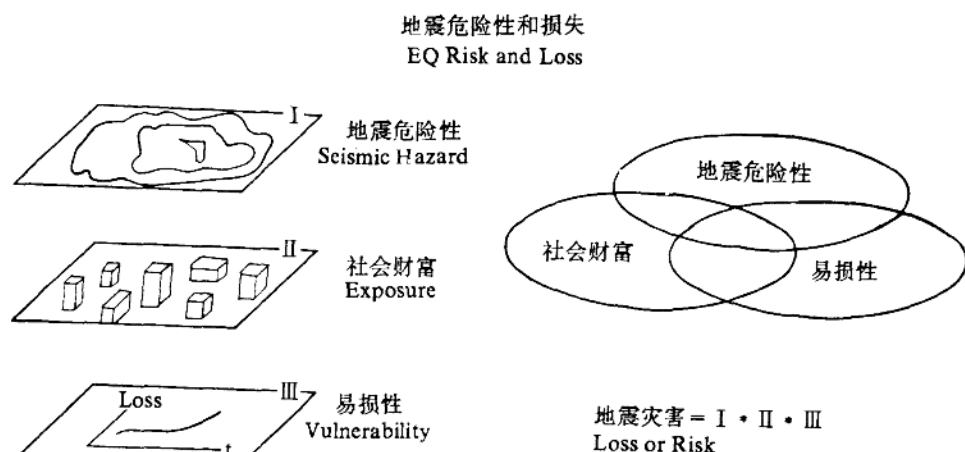


图 1 未来地震损失预测的主要内容

地震危险性（Seismic Hazard）——该地区在今后一定时期内发生参数为 I 的地面震动的可能性，或说发生地震的危险程度；

社会财富（Exposure）——该地区的社会财富，包括建筑物、设施、人口、经济及社会功能、各种生命线工程等；

易损性（Vulnerability）——社会各种财富遭受地震后发生损失的容易程度。

地震危险性分析主要是地震学的研究内容，而社会财富和易损性则分别是社会经济学和工程科学研究的主要内容。因此，未来地震损失的预测，是将地球科学、社会经济学和工程科学结合起来的综合研究。从地球科学角度来看，它是地震科学为保障社会进步和经济发展作出贡献的主要领域，也是地球科学从社会取得支持与发展动力的主要经费来源。

了解未来地震造成灾害损失的大小，对于减轻地震灾害是十分关键的问题。通过对损失大小的分析，可以找到造成灾害的主要环节，以便针对这些环节采取预防措施，从而大大提高减灾工作的科学性和减灾投入的合理性。因而，自 80 年代开始，各国科学家相继在这方面开展了大量的研究工作，逐步形成了地震灾害损失预测工作的基本工作框架，取得了一些

初步的研究成果^[1-3]。

90 年代以来，在美国加利福尼亚州相继发生了三次大地震：Loma Prieta 地震、Landers 地震和 Northridge 地震。在这三次地震发生以前，对震中附近地区均做过地震灾害预测。实际地震造成的灾害损失与事先预测的灾害损失相比有明显的不同。这三次地震发生的情况各不相同，但它们都揭示了在灾害损失预测方法方面一些共同的科学问题，这些问题是：

(1) 三次地震都没有发生在加州圣安德烈斯大断层上，而是发生在其附近。而地震之前的灾害预测模型是假定地震发生在圣安德烈斯大断层之上的。这表示，估计地震危险性的模型与方法应当重新考虑，问题的核心是未来地震的发生和已知的断层究竟存在什么关系？如何描述和研究断层网络？在目前这个问题还存在许多争论的情况下，美国科学家在原有的地震危险性分析模型上加入了“背景地震 (background earthquake)”。在加州，“背景地震”的震级取为 6 级，而在日本，“背景地震”震级则取为 6.5 级。

(2) 场地的土质条件对地震损失的影响比人们在震前估计的要大得多。仅以 Loma Prieta 地震为例 (图 2)，Holzer 指出^[4]，这次 6.9 级地震造成的 70% 左右的破坏，是由于局部地基土质的放大作用造成的 (经济损失为 60 亿美元，其中由于地震动被局部地基放大作用造成的损失占总损失的 69%)。图 2 给出了造成这次地震灾害损失的各种因素的比例。

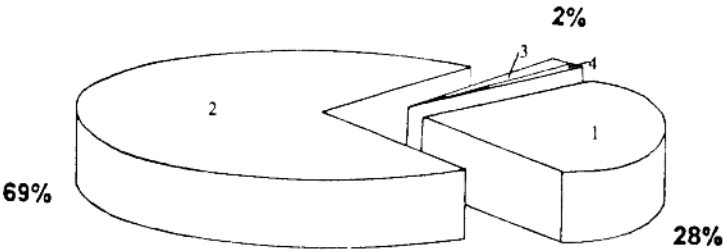


图 2 1989 年美国 Loma Prieta 6.9 级地震中由于不同因素造成经济损失的比例^[4]

1. 地震动（正常）；2. 地震动（放大）；3. 地面液化；4. 滑坡、地面破裂、海啸

(3) 这三次地震实际的灾害损失，比震前预测的损失要大，从事地震保险的保险公司都受到了相当的经济损失。其原因之一，是在过去预测方法中对于诸如生命线工程和场地条件影响等因素估计不足。

通过美国加州三次地震的检验，发现了不少问题，加速了地震灾害损失预测研究工作的发展，引起了国际地震学、工程科学以及保险行业对这种研究的重视。

IASPEI（国际地震学和地球内部物理学联合会）1994 年在新西兰惠灵顿召开了全会，会议通过了第 4 号决议，决议说：“认识到地震学界在深化和重视灾害损失方面的巨大需要，IASPEI 赞同在局部 (local) 和区域 (regional) 尺度开展的地震危险性和危害性 (risk) 的先行性的研究计划，以期实验和发展预测方法、技术和做法，从而更可靠地对地震危害性进行评定”。IUGG（国际地球物理学和大地测量联合会）计划在 1995 的大会上设立专门的工作讨论会，这个名为“地震危害性评估方法”的讨论会将近年来从全球、区域、局部和特定

地区（超大型城市）各种尺度预测地震危害性和经济损失的方法进行研究，重点将放在危害性理论和地震对社会的影响方面。

IAEE（国际地震工程学会）在 1992 年通过决议，批准成立 WSSI（全球地震安全性推进）工作组。1993 年由 20 多个国家的工程师们组成的 WSSI 工作组在曼谷成立。这个工作组与环太平洋地区的几个国家合作，在新加坡、印度开展了地震灾害损失预测工作。该工作组的主席、世界著名地震工程学家 Haresh Shah 最近积极地与地震学界的组织（例如 IASPEI）合作，建议共同进行全球地震灾害损失预测工作，1995 年夏天将由地震学家和工程师们第一次召开联席会议。

保险行业对灾害预测表示出强烈兴趣，最近，慕尼黑再保险公司的 Berz 在“Stop Disaster”杂志上发表文章，称保险行业与国际减灾十年活动有着共同的兴趣与任务，他还列举了下面一些可能合作的项目^[5]。

- (1) 危险区域分布图；
- (2) 对于假想地震（Scenario）造成可能的损失分布；
- (3) 关于土地利用的规定和限制的提议；
- (4) 关于建筑规范的提议；
- (5) 预报、预警设施的利用与改进等。

斯堪地业保险公司的 Munkhammar（个人通讯，1994）则把保险行业对地球科学家的要求归纳成 5 个问题：

- (1) 合理重复周期的地震产生的烈度预期分布；
- (2) 可能的震中位置；
- (3) 破坏区域的大小；
- (4) 建筑物对所发生的烈度的承受能力；
- (5) 平均损失比率的空间分布。

不仅国际地球科学界、工程科学界和保险行业十分重视地震灾害损失预测问题，而且各国科学家近年来也开展了许多相应的科研工作，例如：1992 年美国地质调查局推出了“全球地震危害性管理计划（Worldwide Earthquake Risk Management (WWERM) Project）”^[6]；1993 年中国国家自然科学基金会批准“中国十年尺度地震灾害损失研究”作为国家重点计划；美国联邦紧急事务署的“美国地震灾害损失预测标准方法”正式向全国招标；欧共体科技委员会发表“地震灾害损失预测”工作蓝皮书，在整个欧洲试行^[7]。

本文将地震危险性分析和地震危害性分析两个问题为题，分别对预测的科学内容、存在的问题和今后发展趋势做简要的综述。

二、地震危险性分析

全球已有 70 多个国家做过国家范围内的地震危险性分析，如图 3 所示，图中的黑色区域代表做过地震危险性分析的区域。

地震危险性分析的本质，就是地震的长期预测。如果我们对于地震发生的机理有完全的认识，就可以用物理学方法进行地震预测；如果我们对于过去很长时期的地震事件有完全的记录资料，就可以用统计学方法进行地震预测。遗憾的是，上述两种方法的前提条件都不具

备，因此，地震预测成为全球性的科学前沿课题。因此，目前地震危险性分析，是利用有限的知识和有限的资料进行的一种“混合式”的预测工作。

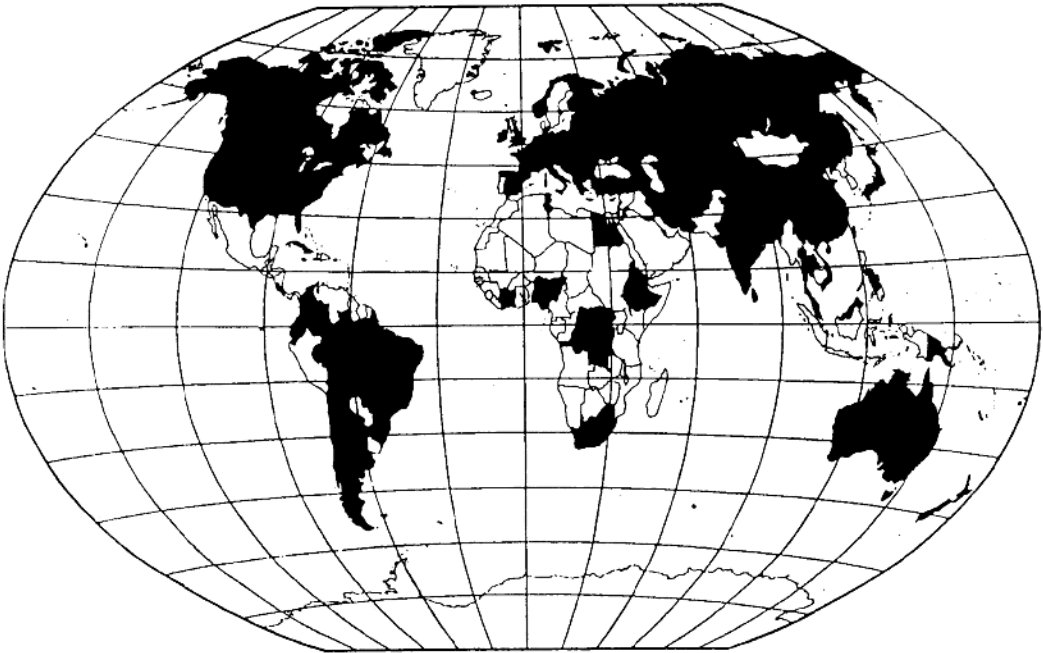


图 3 全球做过地震危险性分析的国家（用黑色表示）分布^[8]

最具有代表性的地震危险性分析方式，是 Cornell 于 1968 年提出的综合概率法^[9]，虽经过后来的许多改进和发展，但其要点大致可以陈述如下（详细的方法和计算公式可以参考文献 10）：

- (1) 找出未来有可能发生地震的潜在震源，目前多从已知的断层中寻找，地质学方法在确定潜在震源中起重要作用。
- (2) 计算潜在震源所在区域的地震活动性参数，如地震发生的震级上限、重复率等，所用的是地震活动性研究的统计方法。
- (3) 计算未来所发生的地震地震波的衰减与震中距的关系，这部分主要属于地震工程学；对于早期地震，主要是统计烈度的衰减与震中距的关系；对于有仪器记录的近代地震，主要是利用强地震震动的记录资料获得衰减关系。
- (4) 按照地震发生的某种统计模型（如泊松模型），计算某地点地震动参数超过给定值的概率。

新的中国地震区划图（1990）就是应用综合概率法编制的，它不但利用了中国在地质学研究方面大量的资料，而且在地震活动性方面吸收了地震中、短期预报的经验，考虑了空间的不均匀性、时间的不平稳性，发展和改进了传统的综合概率方法。

正如前面所提到的，在知识不完全和资料不完全前提下产生的“混合式”方法，其本身必然包括许多待研究的问题。例如，在地震发生和已有断层之间关系需要进一步研究情况下，人们不得不引入“背景地震”的概念去模糊两者的关系，但当“背景地震”的强度可达 6 级或 6

级以上, 甚至超过或接近潜在震源的震级上限时, 问题就复杂化了。又如地震动衰减规律与场地地质条件两个问题又经常结合在一起, 观测得到的地面震动数据包含了两者的影响, 要从中分离出来衰减关系和场地条件两个因素各自的影响, 必然需要更多的资料和合理的假设模型。关于这样一些问题, 本文不打算展开叙述。下面只叙述小样本统计学这样一个在地震危险性分析中非常重要的问题。

当对由一群地震组成的集合进行统计特征研究时, 必须要求参加统计事件有足够大的样本, 样本的大小可以用地震目录、地震目录的空间范围和地震目录的时间长度等量来表示。当样本大小达不到统计要求时, 这就是小样本统计学问题。一般说来, 小样本统计出来的结果是不可靠的, 是不稳定的。下面以综合概率法中关于地震活动性参数的分析为例, 说明小样本统计学的问题。

地震活动性研究中最令人瞩目的统计关系是地震的年频度 $\dot{N}$ ($\geq M$) 和地震震级 M 的关系^[1]

$$\lg \dot{N} = 8 - M$$

式中, $\dot{N}$ 表示全球每年震级大于或等于 M 的地震数目, 这个关系是 Gutenberg - Richter 关系式的特例。而 G-R 关系式是地震统计学中最重要的一个关系式。

现在我们来研究一个区域, 它在纬度方向占据了 s 度, 在经度方向占据了 t 度, 我们把在这一个 ($s \cdot t$) 范围内每年发生震级大于或等于 M 的地震的平均发生间隔时间^① 记为 T , 单位为 a, 为计算简单, 不考虑地图上经、纬度的畸变, 不难得出:

$$\dot{n} = \dot{N} \frac{s \cdot t}{180 \times 360} \approx 1.5 \times s \cdot t \times 10^{3-M}$$

$$T = \frac{1}{\dot{n}} = \frac{6.5}{s \cdot t \times 10^{4-M}}$$

式中, $\dot{n}$ 为某一区域不同震级的年发生率, 表 1 给出了 $\dot{n}$ 和 T 随震级 M 和空间区域大小的变化, 这里是针对全球平均而言的, 没有考虑区域的差别。

在对某地区震级为 M 的地震进行统计研究时, 所需资料的时间长度至少要比该震级地震在该地区的重复周期 (return period) T 要长得多, 我们经常会看到这样的例子: 历史地震资料统计得到的参数与现代仪器资料所得到参数不同; 用不同震级范围的地震目录所得到的统计结果并不相同, 这都是因为不满足必要的统计条件, 即不能保证足够的样本 (时间) 长度的原因。最近有人报道 G-R 关系出现非线性^[12], 其实也是因为统计中样本空间大小不够造成的小样本统计结果, 而不是非线性现象。从表 1 中可以看到, 如果对一个 $2^\circ \times 2^\circ$ 的地区进行地震统计, 当研究 $M=3$ 或 3 以下地震, 地震目录时间比 0.65 年长就可以了。但研究 7 级以上地震的统计特征 (或研究包括 7 级地震在内的统计特征) 时, 至少需要 250 年以上的该地区完整的地震目录。因此, 在研究大地震时, 统计方法遇到了小样本统计学问题。小样本统计学问题是一个科学问题, 通过增加台网数目, 改善计算能力等技术途径难以

①此处 T 与同一断层上地震重复周期不同, T 是指某一区域 (并非只限于某一断层) 地震重复周期。由于小地震数目多, 此处把 $T(>M)$ 与 $T(M)$ 不加以区别, 因为大于 M 地震在统计中, 因数目小, 可以先不考虑。

解决这个问题。

表 1 不同大小区域中各种震级的地震的年发生频数 $\dot{n}$ 和重复周期 T (a)

震级 M	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$		$2^{\circ} \times 2^{\circ}$		$3^{\circ} \times 3^{\circ}$		$4^{\circ} \times 4^{\circ}$	
	$\dot{n}$	T	$\dot{n}$	T	$\dot{n}$	T	$\dot{n}$	T
3	1.5	0.65	6	0.16	14	0.07	37	0.025
5	0.015	65	0.06	16	0.14	7	0.37	2.5
7	0.00015	6500	0.0006	1600	0.0014	700	0.0037	250

当编制 50 年的地震危险性图时，从表 1 可以看出，如果编图过程中计算地震活动性参数统计单元的大小为几万平方公里时，50 年大约相当于 5—6 级地震的复发周期，因此，用综合概率法对于大震复发周期长的地区的短期预测，会过高估计地震发生概率。而对于长期预测，特别是对小地震（或低烈度地区），则会低估地震发生概率。这也是小样本统计带来的结果。

涉及到小样本统计学的另一个问题，就是大地震或特大地震的预测问题。地震灾害主要是特大地震造成的，而综合概率方法往往给出平均的结果，特大地震的发生作为小概率事件而没有得到应有的强调。针对这种情况，近年来，地震危险性分析常用假想地震 (Scenario) 方法。假想地震方法针对大城市和特定地区往往是非常有用的。它和综合概率法目前构成了地震危险性分析的两种主要方法。下节中将通过一个实例介绍假想地震方法的应用。

在地震危险性分析上，有两个发展趋势是值得重视的：

(1) 微震统计学在危险性分析中的应用。应用短时间的完整微震记录，在满足正确统计所要求的条件下，可以对未来的地震危险性作出一定程度的估计。图 4 是利用 3 级地震目录做出的地震危险性图。将图 4 与新的中国烈度区划图对比，会发现在东部地区两者十分相似。这表明利用微震资料进行危险性分析的潜力。微震统计学，加上联系微震与强震的非线性层次模型，可能会减少对地质资料的过分依赖，有可能将其推广到缺少历史记录和详细地质调查资料的其他地区和国家。

(2) 用其他地震动参数代替烈度作为地震危险性描述的参数。这主要是由于工程界的需要。可以预料，不久的将来，加速度时程曲线、反应谱等越来越容易地出现在地震危险性研究中。

三、地震危害性分析和损失估计

地震危害性分析是指已知某地区未来可能出现的地面震动程度时，估计该地区社会财富遭到的损失情况。

社会财富是个内涵极其广泛的集合概念。有许多种类的社会财富，如建筑物、工厂、厂房、各种设施、设备和工程、商店、仓库等，又如人口、社会经济、金融、交通、通信功能等。而每一种社会财富都是由大量的单元所组成。所以，作为地震危害性分析的第一步，需要建立一个社会财富的分类系统，列出各类财富的清单（图 5）。目前除特殊目的外，易损

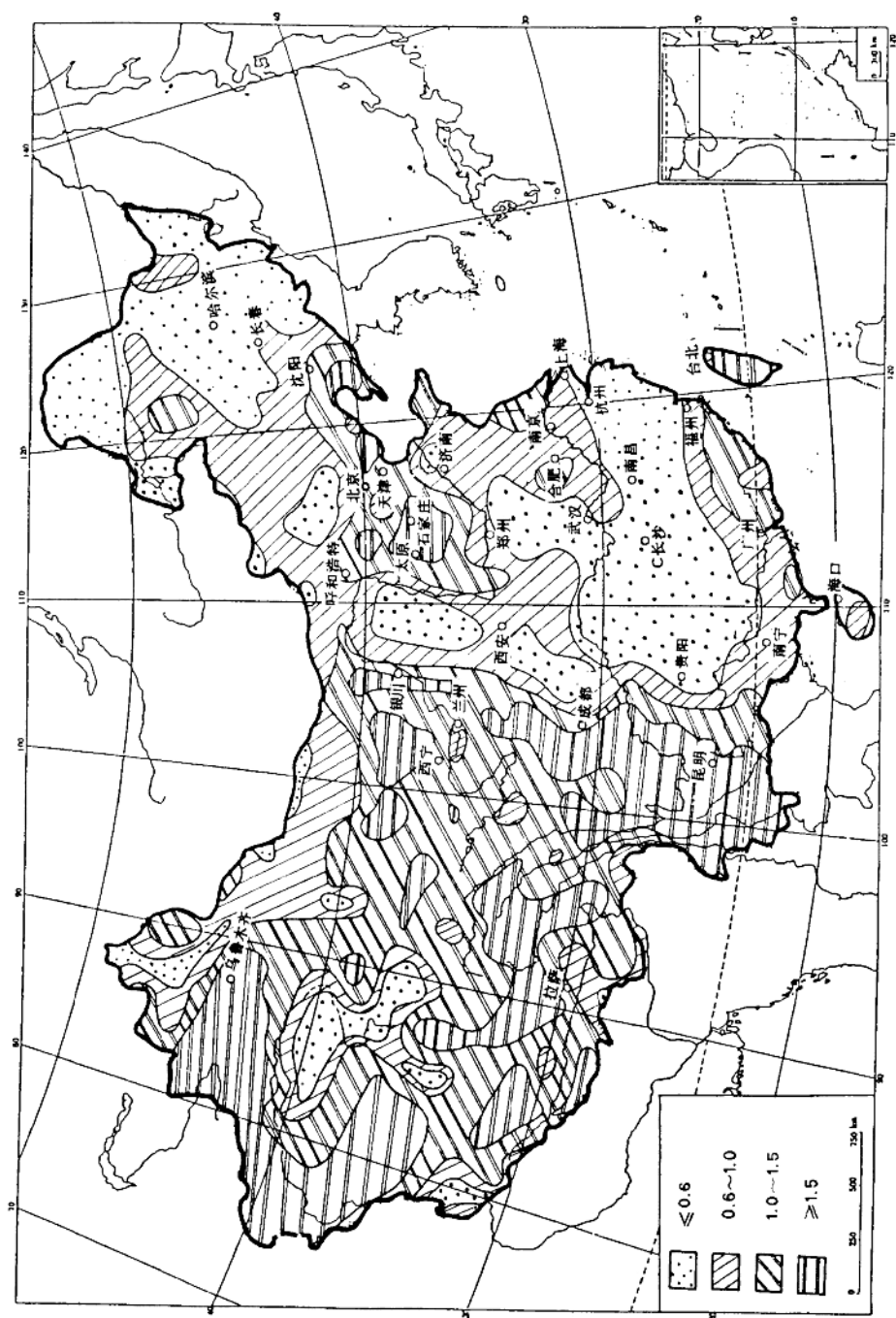


图4 利用3级地震目录勾划的地震危险性图

性清单往往从下列统计资料中得到：①人口普查资料；②建筑物普查资料；③经济普查资料；④生命线工程统计资料；⑤重大工程（如大坝、核电站等）的统计资料；⑥各种社会经济年鉴。

这里有一点值得强调的是：地震危害性分析按照用途不同可以分成非常详细、一般和非常粗糙（即所谓的“Quick and dirty”估计）几种类型。各种详细程度不同的分析基本上由易损性清单的详细程度所决定。

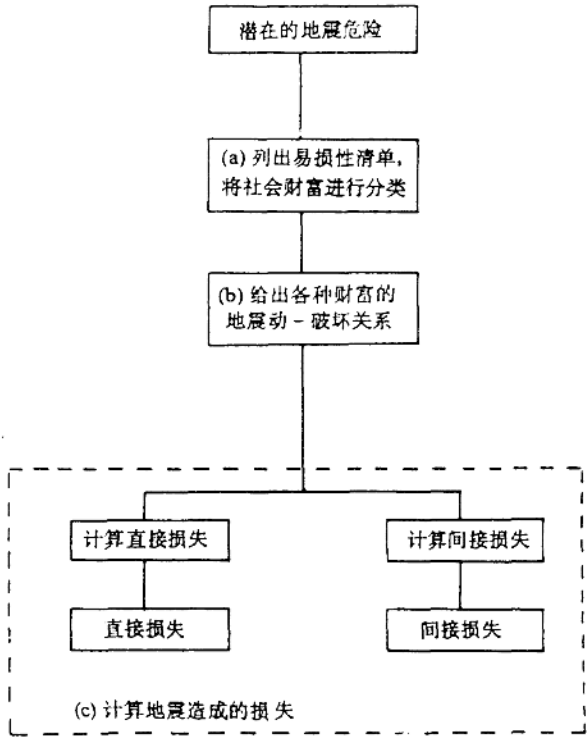


图5 地震危害性分析和损失估计的研究范围框图

地震危害性分析的第二步，是分析各种、类的社会财富在所给定的地面震动参数下的破坏情况，即找出所谓的地震动-破坏关系式（图5）。目前这种关系式大多是通过过去的震害进行调查后归纳而得到的。社会财富的破坏又可分为直接破坏和间接破坏两大类。直接破坏主要包括建筑物的破坏、设备设施的破坏（特别是那些容易损坏和十分重要的设施）以及各种交通、供水、供电、煤气和通信系统的破坏。间接破坏主要指地震引起的火灾，由于水库大坝毁坏造成的水灾，有害物质的泄露等。各种社会财富的地震动-破坏关系是由各次地震的危害情况调查总结得到的，这是地震危害性分析中最重要也是最困难的工作，因为搜集这方面的资料十分困难。

第三步的工作是根据各类社会财富的破坏情况，计算恢复其原来状态所需要的费用，也就是计算地震造成的损失。

关于危害性分析，有两点值得指出，第一，人是现代社会的组成部分，具有一定知识和劳动能力的人是社会财富中的重要部分。但地震造成的人员伤亡，难以用金钱来计算，所以，多数的地震危害性分析采用了双指标体系，将人口伤亡估计作为地震损失的一个指标，

而人口伤亡以外的其他损失，以恢复重建标准统一折合为钱来表示。第二，目前多数地震危害性分析大多采取概率分析方法。这种方法能够给出的是损失的数学期望值，即是一种平均的结果。按照保险行业的地震危害性分析已经可以给出下列结果：某一地区：

- 未来一段时间地震损失的平均结果（数学期望值）；
- 未来一段时间地震损失超过某一值的概率；
- 未来一段时间地震造成的最大的损失值。

除概率方法外，假想地震方法近年来越来越多地用于地震危害性分析。表 2 为 Shah 给出的几个用假想地震进行地震危害性分析的例子。

表 2 用假想地震进行地震危害性分析的几个例子^[1]

假想地震（发生在今天）		人员（千人）		经济损失 （亿美元）
地 点	震 级	伤	亡	
东 京 (1923 年东京地震的重演)	7.9		40—60	12000
旧金山 (1906 年旧金山地震的重演)	8.3	20	2.6	1150—1350
洛杉矶	7.0	5—15	2—5	1250—1450

近 10 年来，地震危害性分析和损失估计是一门发展很快的科学和行业，它的迅猛发展，可以概括有 4 个明显的发展趋势：

(1) 越来越多的居民、企业家和政府官员，从最初关心“某一地区今后会发生多大地震，有多大的地震危险性？”转向“某一地区今后会遭受多大的地震灾害损失？如何减少这种损失？”。因此，地震危害性分析工作的社会需求有超过对地震危险性分析需求的趋势。随着减灾十年活动开展，灾害管理（risk management）这个新名词已经深入社会每个单元。将地震学、工程科学和社会经济科学集为一体的灾害管理学，成为科学为社会进步和经济发展服务的前沿科学。现代社会发展对科学发展的需求，将成为灾害管理学不断发展的强大驱动力。

(2) 地震学、工程科学和社会经济学的结合，通过计算机模块化技术而加以实现。计算机技术的应用，不仅促进了这三类科学技术的结合，而且随着地震危害性研究工作的进展，计算的结果将十分容易地改进和调整。特别是由于地理信息系统（GIS）的应用，使得过去按行政区划（省、地、市、县）建立数据库的做法可以进一步详细化到按照邮政编码和房屋号码建立的新型数据库。大容量光盘的使用，使得地震危险性分析比过去任何时期都能更充分利用迄今为止的全部资料和数据。反过来，地震危害性分析研究的需要，亦进一步促进了计算机技术、光盘存储技术和 GIS 系统的发展。

(3) 在传统的地震危害性研究中，地震危险性分析离不开某一区域的历史地震资料；易损性分析离不开大量震害调查而得到的统计资料；社会财富调查只能立足于今天的数据，难以估计今后社会财富的发展情况。在缺乏历史地震资料和缺乏震害资料的许多地区，传统的方法遇到了问题。解决问题的方法在于建立动力学模型，利用近代仪器记录的地震资料和必要的地质资料去进行地震危险性分析；利用地震动谱参数和建筑物震动谱特征去求得地震

动-破坏关系式。因此,以这样的动力学为目的的基础研究是地震危害性分析是否能够深入的关键之一。在新的方法产生前,势必在世界上的某些地区进行新方法和传统方法的对比研究。在这方面,中国大陆是个理想的地区,它具有资料方面得天独厚的优势。这是中国地震危害性分析的一个好机会。把握住这个机会,中国在全球地震灾害减轻中就能够发挥更大的作用,做出更大的贡献。

(4) 地震灾害主要集中在城市,尤其是超大型城市。对分析这种超大型城市的地震危害性而言,本文前面介绍的线性模型肯定不适用。80年代,慕尼黑再保险公司给出了地震损失率和烈度的经验关系式。这是对于全球平均的一种关系式。这种关系式的背后,基于线性的灾害损失模型。这种关系式要求对于相同烈度地区,社会财富的相对损失也应相同。事实证明这种观点是不对的。1971年和1994年在洛杉矶附近发生了震级为6.5和6.6的两次地震,两次地震震中仅相距10英里(1英里=1609.344m),几乎在同一地点,两次地震造成的烈度分布也大致相同。但1971年地震损失5亿美元,而1994年地震损失了170亿美元。原因在于从1971年到1994年23年中该地区经济发生了巨大变化。地震灾害损失不仅与烈度有关,而且与该地区的经济状态、人口密度、社会功能等因素有关,因此,发展适用于巨大城市的非线性模型已成为地震危险性分析中十分迫切的问题。

参 考 文 献

- [1] 曹新玲等译,未来地震损失估计,地震出版社,1989.
- [2] 国家地震局震害防御司译,加利福尼亚未来地震的损失估计,地震出版社,1991.
- [3] Research group for estimating loss from future earthquake, Estimation Losses from Earthquakes in China in the Forthcoming 50 Years, Seismological Press, 1992.
- [4] Holzer, T. L., Loma Prieta damage largely attribution to enhanced ground shaking, EOS, 299, June 28, 1994.
- [5] Berz, G., The insurance industry and IDNDR: common interest and task, Stop Disaster, 5, 25, 1994.
- [6] USGS, The worldwide earthquake risk management (WWERM) project, U.S. Geological Survey Open-File Report 92, Nov. 6, 1992.
- [7] Grunthal, G., European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-scale), 1993.
- [8] McGuire, K., The Practice of Earthquake Hazard Assessment, IASPEI and European Seismological Commission, 1993.
- [9] Cornell, C.A., Engineering seismic risk analysis, BSSA, 58, 1583-1606, 1968.
- [10] 胡聿贤,地震工程学,地震出版社,1988.
- [11] Purcaru, G. and H. Berckhemer, Quantative relations of seismic source parameters and a classification of earthquakes, Tectonophys., 84, 57-128, 1985.
- [12] Papadopoulos, G. A., Nonlinearity of magnitude-frequency relation in the Hellenic arc-trench system and characteristic earthquake model, JGR, V98, B10, 17737-17744, 1993.
- [13] Shah, H., "Repeat" quakes may cause fewer deaths, more damage, Los Angeles Times, Aug. 16, 1994.