

文章编号: 0253-3782(2003)06-0621-09

综 述

减轻地震灾害^{*}

陈 颛¹⁾ 陈棋福²⁾ 黄 静³⁾ 徐文立⁴⁾

- 1) 中国北京 100036 中国地震局
2) 中国北京 100036 中国地震局分析预报中心
3) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所
4) 中国北京 100029 中国科学院地质与地球物理研究所

摘要 回顾了过去 4 年来中国在减轻地震灾害方面的研究进展。地震灾害定量化的研究结果表明, 随着社会经济的发展和人口城市化的加快, 地震造成的灾害将越来越严重。减轻地震灾害的研究, 出现了一些新的趋势: 从研究地震危险性向研究地震危害性的过渡; 从研究工程灾害向研究社会灾害的过渡; 以及发展了以社区为中心的减灾体系。

关键词 地震灾害 地震危险性 地震危害性 社会灾害

中图分类号: P315.9 文献标识码: A

1 地震灾害呈上升趋势

城市化是世界范围的大趋势。根据联合国的统计数据(United Nations, 1988), 世界范围的城市化率在持续增长。1950 年时, 全世界 25 亿人中有 30% 居住在城市。而现在世界 60 亿总人口中, 生活在城市的已经大约有 50%。预计到 2025 年估计的 83 亿总人口中, 城市化的比例将会超过 60%。另一方面, 百万人口的城市个数从 1950 年的 83 个增加到了现在的 325 个, 几乎增长了 4 倍。这种趋势在第三世界国家尤为明显, 百万人口的城市增加了 6 倍。在中国, 城市化也是一个显著的趋势, 根据国家统计局(1999)的数据, 在过去的半个世纪, 城市数量飞速增长(图 1)。

比起农村居民, 城市居民更加依赖基础设施, 比如供水、供电、供气、供热、通信、运输连接等等。农村居民则习惯于在紧急情况下互相帮助。近些年, 很多自然灾害都证明了主要城市的基础设施很容易破坏, 并且破坏在短时间内就能扩散。陈颙等(2001a)给出多年来自然灾害造成的经济损失(百万美元)与国内生产总值(百万美元)代表的社会财富之间的经验关系式

$$\text{自然灾害造成的损失} = a + b \times \text{GDP} + c \times \text{GDP}^2$$

这里, a , b 和 c 是常量。 $a = 4 \times 10^7$, $b = -5000$, $c = 2.5 \times 10^{-1}$ 。

随着人口城市化和经济的快速发展, 自然灾害造成的损失大幅度增加。表 1 给出了中国从 1950 年起每 10 年地震造成的损失, 显示出损失的大幅度增长。

* 基础研究重大项目前期研究专项(2001CCA02100)和国家自然科学基金重点项目(40234038)资助。
2003-05-16 收到初稿, 2003-06-08 收到修改稿, 2003-06-17 决定采用。

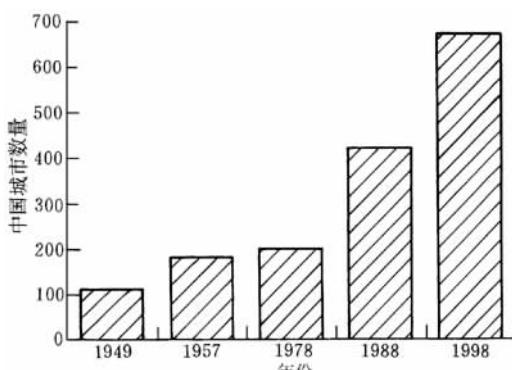


图 1 中国城市数目随时间的变化

近些年很多地方发生的地震不断刷新地震损失的历史纪录. 例如, 1994 年美国发生的北岭地震, 虽然没有明显的地表破裂, 但是引起的自然灾害造成的损失竟是美国历史上最惨重的一次; 2001 年印度古吉拉特邦的 $M_w 7.7$ 地震是印度历史上最大的地震之一, 该板内地震同时也是印度历史上造成灾害损失最严重的地震.

2 地震危险性和危害性评估

在讨论到减轻地震灾害的问题时, 一定要提及的关键问题是: 在将来的地震中, 某城市或地区究竟能承受多大的损失?

地震灾害的量化是减轻自然灾害和危害性管理的基础(图 2).

2.1 地震危险性和危害性分析: 简化途径

由于其清楚的地质学背景, 断层模型作为可能震源的线性形式, 已经被当作基本原则广泛应用于确定的或者可能的危险性分析中. 但是, 在把断层模型应用到危险性评估时, 则存在一些显而易见的问题, 其中包括数据收集的困难, 不明的地震断层关系, 以及最大破裂长度的不确定性等. 而且, 近期的研究还发现, 某地区内相同的地震活动性和该地区欧几里德几何都不符合地震活动性的不规则时空分布. 因此, 断层模型的区域几何学重建可能会成为有争议的话题.

考虑到以上关于地震危险性评估的问题, 陈颤等(Chen, 2002a, b; 1998a, b; Chen, Seismic Risk Assessment, 2001)、陈龙生等(Chen et al, 1998)、陈棋福等(Chen et al, 1997)和李娟等(2000)提出了一种危险性分析的新方法. 通过用面源模型来定义潜在地震震源, 把新近仪器的地震目录作为基本数据确定描述地震活动性特征的源参数, 并把 Kernel 方法发展用来评估各源以历史记录为基础的地震的最大震级. 这种方法应用于现有的地震目录, 我们重建了全球地震危险性区划图(图 3), 并与以前用传统方法得到的结果进行对比, 作为检验新方法的一个试验.

在地震危险性分析中存在两类问题: 科学的和其它技术的问题.

表 1 1950~1999 年中国地震造成的破坏统计

时间	事件次数	经济损失 / 亿元(人民币)
1950~1959	61	0.73
1960~1969	84	24.26
1970~1979	142	33.14
1980~1989	125	61.78
1990~1999	126	126.92

注: 数据来自楼宝棠(1996)和中国地震局监测预报司(1996, 2001).

近些年很多地方发生的地震不断刷新地震损失的历史纪录. 例如, 1994 年美国发生的北岭地震, 虽然没有明显的地表破裂, 但是引起的自然灾害造成的损失竟是美国历史上最惨重的一次; 2001 年印度古吉拉特邦的 $M_w 7.7$ 地震是印度历史上最大的地震之一, 该板内地震同时也是印度历史上造成灾害损失最严重的地震.

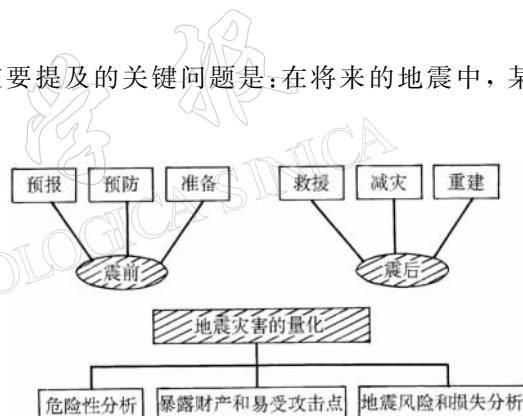


图 2 地震灾害的量化(Chen et al., 2002a)

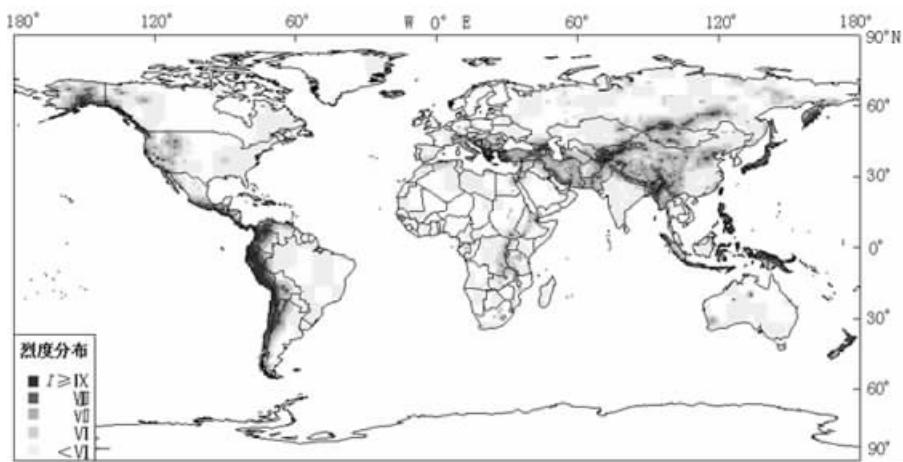


图 3 全球地震危险性区划图 [$0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 50年内超越概率 10%, 用 MMI 烈度表示,
根据陈颙等发展的简易方法得到(Chen et al., 2002a)]

2.2 关键的科学问题——地震会在哪里发生?

为了减轻自然灾害, 科学家不得不面对很多科学挑战. 其中之一就是活动构造研究. 中国唐山地震、美国新马德里地震、印度拉杜尔和贾巴尔普尔的地震等, 很多都让人感到稳定大陆地区好像更容易受到地震袭击, 而不像我们曾经认为的那样(Chen et al., 1988). 为了理解地震的潜在性, 活动构造的综合研究(包括活动断层和隐伏断层)已经成为大陆动力学的一个新主题(陈颙等, 2001b).

为了理解对改变地球陆壳起主要作用的构造过程的来龙去脉, 应该进行活动构造的综合研究和创新研究, 并且利用新的、有用的技术, 把构造活动地区看成是一个天然的实验室. 研究领域应该是地球陆壳的活跃形变区或者次区, 该处可以观察或者测量直接关联于理解构造过程的动力特征. 这些地区一般具有以下特征: ①与活动形变相结合的地形、应力和流体特征或分布; ②伴随流体和矿物化学反应的热流和地热梯度; ③与当前构造作用相关的地震和地震滑动; ④没有被新变形覆盖的应变和变形.

2.3 技术问题: 改进的数据、信息、知识的采集和管理

现代自然灾害减轻原则和实行依赖于可靠的信息基础、健全的信息管理、分析危险性和危害性的有力的方法及工具.

我们需要一种国家级的、更综合的、支持危害性评估和减轻自然灾害的方法来扩展数据库. 对于个别自然灾害有影响的数据信息, 要鼓励、协调、系统化其收集整理. 数据必须包括危险性观察(图 4a, b)、物理损坏、修理、重建建筑物和其它基础设施的代价. 这类信息对灾害的直接损失的改善评估十分重要. 这种信息大部分通过地震调查、保险评估、当地政府报告和损失及修复造价的报告等得到.

3 从危险性科学到危害性科学

大多数国家, 包括中国, 地学部门——比如中国地震局和很多大学——管理着国家台网, 进行地震监测和报告, 研究趋向于直接理解地震危险性的地球物理学过程. 这种工作一般都可以叫做“危险性科学”.

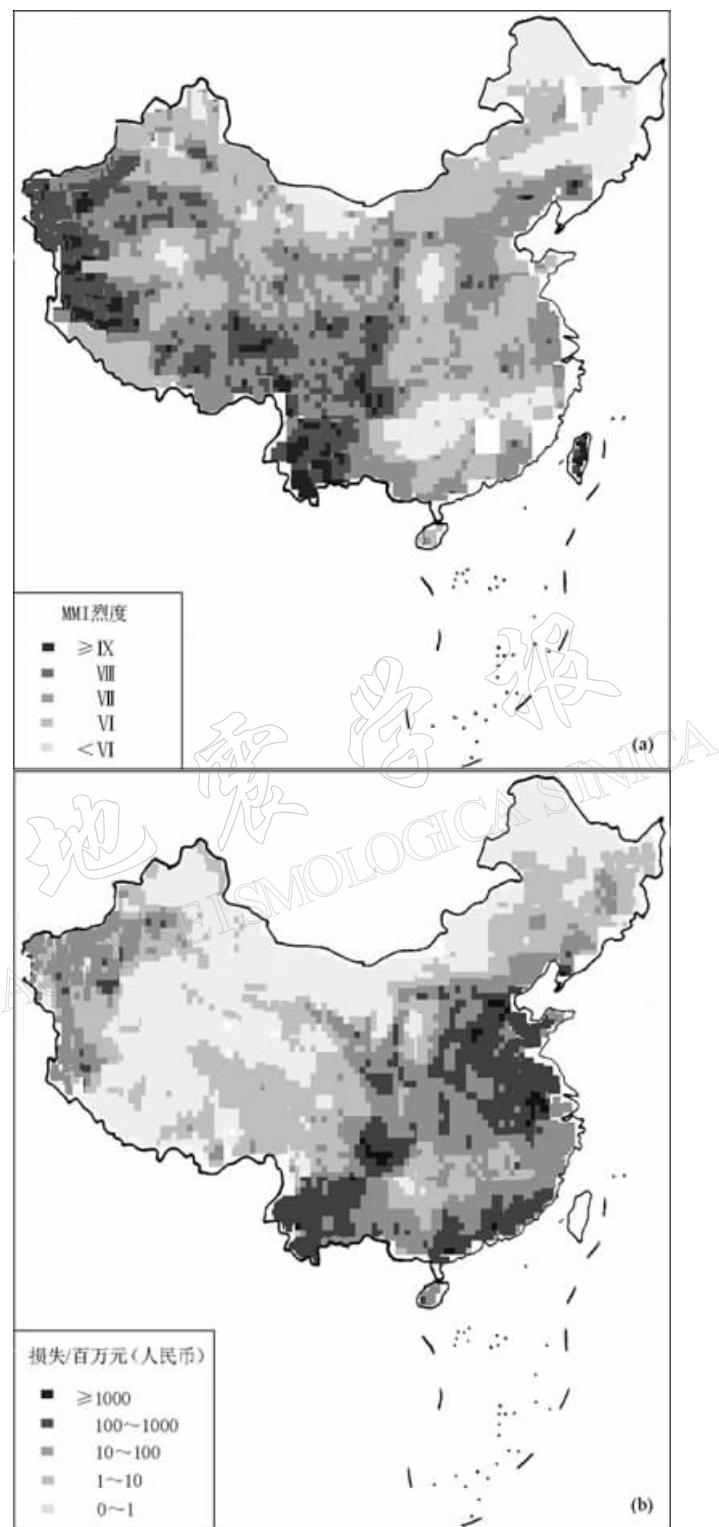


图 4 地震危险性区划图(未来 50 年, 超越概率 19%, MMI 烈度)(a)和
预计中国大陆未来 50 年的地震灾害损失分布示意图(b)

在过去 20 年间, 在方法上已发生了重大的改变, 主要由国际十年减灾委员会(IDNDR)成功地联系形成了与中间机构的合作。现在重视危险性影响对社会的重要性, 而不仅仅是危险性本身的地球物理学性质。因此, 需要把自然科学与社会科学结合在一起, 给地震对社会造成的影响一个更加整体的理解。

国家危害性管理标准已经成为从危险性科学到社会和危害性基础科学的转换的驱动。第一部是 1999 年颁布的澳大利亚标准 4360。而中华人民共和国防震减灾法于 1997 年颁布, 1998 年 3 月 1 日起实施。这些标准和法律为危害性的识别、评估和处理提供了基本框架, 也通过提供危害性的常见过程为科学部门之间、研究团体与自然灾害管理部门之间更多的合作提供可能。这些工作可以叫做“危害性科学”。

科学领域中, 评估危险性、易受危险性、危害性和不确定性时所用的途径、方法和工具, 对任何研究危险性的团体都不是保密的(Chen *et al*, 2001)。如果信息是基于可以负责分析和定义不确定性的话, 危害性和不确定性的评估和模型就是非特殊过程, 可以被同等的应用到热带飓风(突发的自然灾害)、旱地盐度(慢发的环境灾害)、或者恐怖主义袭击(社会灾害)等灾害的危险性分析中。科学直接面向社会的保险性、安全性、可承受能力和稳固性, 因此, 为社会和政府提供了应付真实大灾害和危害性的整个过程的可能。

4 从工程灾害到社会灾害

损失评估模型一般只给出地震造成的全部损失中的一部分内容, 通常是灾害的直接损失或直接代价。例如, 美国 ATC 标准给出的是某些类型的建筑物和设施的损失情况(ATC, 1985)。这些损失被称为“工程灾害”。但是, 我们需要把评估方法的研究扩展到间接影响(例如收入损失、生活质量), 社会、政治和其它经济等因素在确定危害性对策时都起了很大的作用。最近发生的一些地震灾害表明, 对工程灾害评估的经济损失远远少于整个经济损失。比如, 阪神 7.2 级地震(1995 年 1 月 17), 建筑物和设施的经济损失是 480 亿美元, 比整个经济损失 1 000 亿美元要少得多。1995 年, 危害性管理方案有限公司出版了一本书, 名为《如果 1923 年大地震重现将会怎样? 东京地区 5 个地区的损失预估》。书中, 建筑物和其物品的经济损失(10 000 亿美元)远比整个经济损失(21 000 亿美元)要少得多。随着城市化的发展和经济的提高, 在很多地方, 尤其在人口超过 100 万的大城市, 过去意义上的间接损失现在在经济损失中已经变成了更重要的组成部分, 比建筑设施破坏造成的损失还严重。我们把地震灾害造成的所有损失称为“社会灾害”。

大部分地震损失研究使用了详细分类的方法, 可以在相关区域对不同结构类别和设施预测损害(McGuire, 1993)。对详细的烈度区, 预测并把它们加在一起得到整个估计损失。这种方法需要该地区提供结构和设施的详细的分类清单, 这在世界上很多地区还没有。因此, 我们发展了另一种评估地震损失的方法, 它基于一些宏观经济指标, 比如国内生产总值(GDP)和人口等参数。根据已发表的 1980~1995 年地震损失数据, GDP 和地震损失之间的关系在一些烈度区用经验公式表示。世界陆地表面被分成 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的单元, 每个单元的 GDP 根据人口以及 GDP 和人口属于的地区来分配; 然后根据地震危险性能力函数、它的 GDP 和 GDP 与地震损失之间的经验关系式, 评估所预测的单元的地震损失。因此, 就给出了烈度在 VI 级和 VI 级以上的全球地震损失图。使用可用的社会经济数据作为易损性分析的基础, 而不用详细的外露结构的目录清单或者必需的间接地质信息, 可以得到对

地区的地震损失评估(图 5). 通过对世界快速发展地区的社会经济数据的收集更新, 地震损失评估还可以方便地升级.

该方法在世界上率先评估地震造成的国家经济损失, 率先说明全世界每年由地震破坏造成的经济损失平均达 226 亿美元(表 2). 其结果与全球再保险机构——比如瑞士再保险和慕尼黑再保险公司 1995~1999 年的统计结果是一致的.

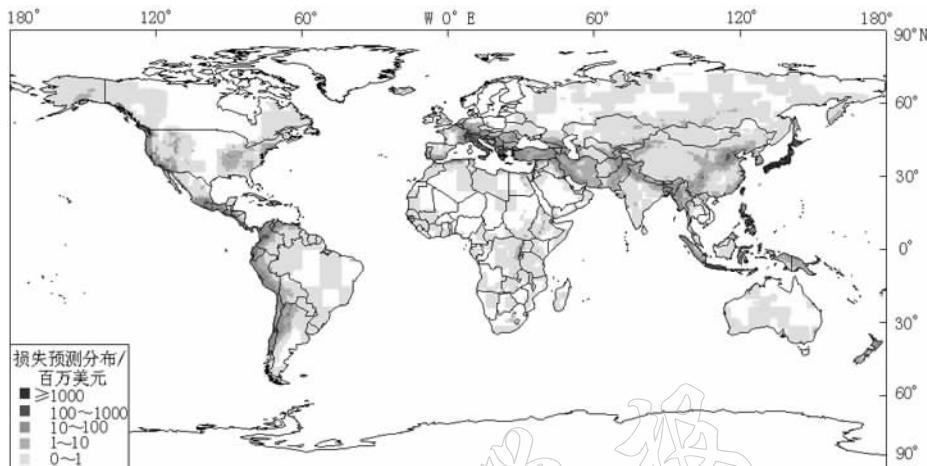


图 5 未来 50 年全世界预期由地震造成的损失分布图

表 2 未来 50 年不同国家的预期年损失(可能性大于 10%)(Chen et al., 2002a)

国家与地区	人口/亿	国内生产总值(1999) /亿(美元)	每年平均损失(1999) /亿(美元)
全球	56.78	285 840	226
日本	1.26	46 000	71
中国大陆	12.18	8 050	25
美国	2.65	74 320	20
印度尼西亚	1.98	2 260	10
意大利	0.57	102 080	8

谈到灾害, 必定要涉及易损性问题. 人们都对工程的易损性很熟悉, 但是社会财富的易损性是什么? 震例研究表明: 哥斯达黎加的砖坯房的易损性几乎与中国的老旧民房易损性一样, 代表着最坏情况下的易损性; 另一方面, 由于国家级艺术设计和建筑技术, 中东高质量的建筑与中国钢筋混凝土建筑的易损性又一致, 代表了最好情况中的易损性. 整体经济易损性被定义为在一给定区域由地震对 GDP 造成的物理经济损失率. 既然整体宏观损失是不同类型建筑设施损失之和, 那么整体经济易损性一定大于最好情况, 同时小于最坏情况.

从图 6 可以看出, 对所有类型的建筑, MDF 随烈度 I 增高而变化, 但是变化的形式几乎是一样的. 通过统计分析, 其变化形式可近似为

$$\lg MDF_{i, I} = \lg MDF_{i, VI} - 0.065 I^2 + 1.44 I - 6.3 \quad (1)$$

这里, $\lg MDF_{i, I}$ 是烈度 I 第 i 种建筑的平均破坏因子的对数, 等号右边第一项是烈度 I 为 VI 时第 i 种建筑的 MDF 的对数. 根据建筑类型, 即抵抗力越差, $\lg MDF_{i, VI}$ 越高. 公式(1)等号右边余下的 3 项仅依赖于烈度而不依赖建筑类型, 表明可以区分开建筑类型和烈

度对 MDF 的影响。为了更清楚, 把式(1)可写为

$$MDF_{i, I} = MDF_{i, VI} F(I) \quad (2)$$

这里

$$F(I) = 10^{-0.065 I^2 + 1.44 I - 6.3} \quad (3)$$

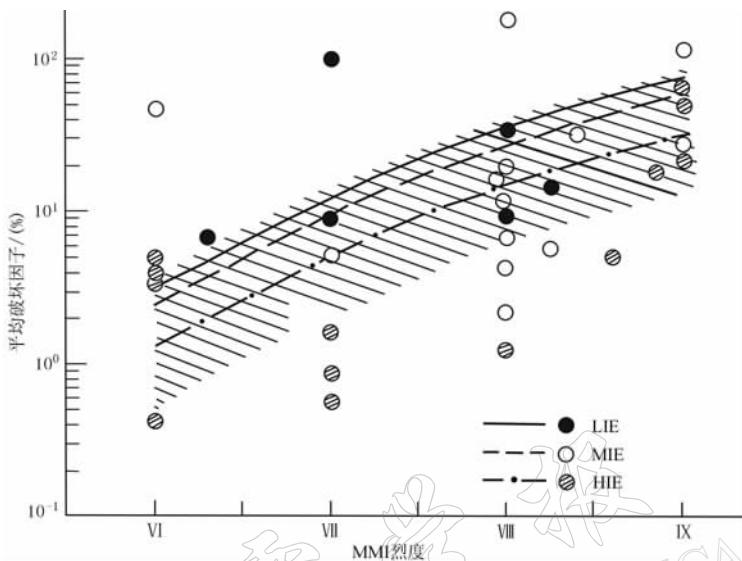


图 6 社会财富易损性曲线[(烈度范围在 VI~IX, MMI 烈度). 纵轴是平均破坏因子(代表整个财富的损失率(%)). 最上面的曲线和最下面的曲线根据震例调查数据得到(中东: Akkas 和 Erdik, 1984; 中美洲:Sauter 和 Shah, 1978; 中国: 尹之潜, 1995), 分别代表最好和最坏的建筑条件. LIE, MIE 和 HIE 分别代表低收入经济、中等收入经济和高收入经济(Chen et al., 2001)]

5 社区中心法

对减轻自然灾害来说, 社区中心法能建立更好的管理方法。这样, 就需要社区成员的积极贡献来降低和减轻危害。自然灾害管理机构自己不能达到这种目的, 因为危害的结果通常在机构实践的范围之外。在很多事例中, 社区成员通过他们自己每天的锻炼来寻找危害成因, 这会更加主动有效。

转换到社区中心法需要更好地理解社会特征、文化、期望、决策过程和需求。这方面比较困难, 因为社区是复杂的, 没有完全一样的两种社区。这可以让社会科学研究来帮忙。重要的是, 在社会中, 社会成员对不同危险的情绪和应付偏激事件的能力也非常不同。因此, 危害性管理的社会约定十分重要。危害性通讯研究表明信息的供应量是不够的: 人们对此有既得权利, 所以机构必须吸引并保持人们对危害性的兴趣。过去几年中, 以谢礼立为首的中国科学家小组, 发展了对社区, 特别是对城市防震减灾能力的定量评价指标体系^①(马玉宏, 谢礼立, 2001; 张风华, 谢礼立, 2001, 2002), 为城市的减灾提供了定量的基础。

^① Xie Lili, Ma Yuhong. Casualty control based on seismic design criterion for buildings. *Earthquake Spectra* (in press).

理解和吸引社会的策略已经变成很多地区的公众方针。对其他纪律、方针的研究和训练会对以社会为中心的减灾作出贡献。在其它地区，需要有识别、检验、复习理解和吸引社会的方法，以保证其有效地适合管理危害性。

面临减灾的挑战应该得益于物理科学和社会科学的研究的输入。为了成为更安全的社会，最基本的是要建设、增强和维持恰当的研究能力。在 2001 年，欧洲地震学会建议支持在易受损地区帮助贯彻执行“社会中心”法，使之应用到减轻自然灾害的研究。中国也有同样的趋势，在要减轻灾害的地区，近些年已经显著地发展起科学的研究和信息管理，在危害性管理方面有了更大的影响，并高度关注社会易损性和需求性。

参 考 文 献

- 陈颤, 李丽, 王宝善. 2001a. 人类活动、自然灾害和活动构造[J]. 第四纪研究, **21**(4): 313~320
- 陈颤, 陈棋福, 李娟. 2001b. 活动构造研究的一些进展[J]. 地震研究, **15**(4): 346~353
- 国家统计局. 1999. 建国 50 年中国城市的发展. 人民日报(海外版), 10 月 1 日第 1 版
- 李娟, 陈颤, 陈棋福. 2000. 中亚地区地震损失评估[J]. 内陆地震, **14**(1): 1~8
- 马玉宏, 谢礼立. 2001. 我国社会可接受地震人员死亡率的研究[J]. 自然灾害学报, **10**(3): 56~63
- 楼宇堂. 1996. 中国古今地震灾情总汇[M]. 北京: 地震出版社, 15~49
- 尹之潜. 1995. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社, 1~201
- 张风华, 谢礼立. 2001. 城市防震减灾能力评估研究[J]. 自然灾害学报, **10**(4): 57~64
- 张风华, 谢礼立. 2002. 城市防震减灾能力指标权重数确定研究[J]. 自然灾害学报, **11**(4): 23~29
- 中国地震局监测预报司. 1996. 1990~1995 中国大陆地震灾害损失资料汇编[M]. 北京: 地震出版社, 1~232
- 中国地震局监测预报司. 2001. 1996~2000 中国大陆地震灾害损失资料汇编[M]. 北京: 地震出版社, 1~386
- ATC(Applied Technology Council). 1985. *Earthquake Damage Estimation Data for California (ATC-13)* [M]. Redwood City, California: Applied Technology Commission, 280
- Akkas N, Erdik M. 1984. Consideration on assessment of earthquake resistance of existing buildings[J]. *Int J Housing Science and application*, **8**: 49~66
- McGuire R K. 1993. *The Practice of Earthquake Hazard Assessment* [M]. Denver, Colorado, USA: International Association of Seismology and the Physics of Earth's Interior, 284
- Chen Yong, Chen Qifu, Liu Jie, et al. 2002a. *Seismic Hazard and Risk Analysis: A Simplified Approach* [M]. Beijing: Science Press, 1~219
- Chen Yong, Chen Ling, Federico Guendel, et al. 2002b. Seismic hazard and loss estimation for Central America[J]. *Natural Hazards*, **35**, 161~175
- Chen Longsheng, Chen Yong, Chen Qifu, et al. 1998. Assessment of global seismic loss based on macroeconomic indicators[J]. *Natural Hazards*, **17**: 269~283
- Chen Qifu, Chen Yong, Liu Jie, et al. 1997. Quick and approximate estimation of earthquake loss based on macroscopic index of exposure and population distribution[J]. *Natural Hazards*, **15**: 217~229
- Chen Yong, Kam-ling Tsui, Chen Feibi, et al. 1988. *The Great Tangshan Earthquake of 1976—An Anatomy of Disaster* [M]. Oxford: Pergamon Press, 23~176
- Chen Yong, Li Geping, Chen Qifu, et al. 1998a. Earthquake damage and loss estimation with geographic information system[J]. *Acta Seismologica Sinica*, **11**(6): 751~758
- Chen Yong, Liu Jie, Chen Qifu, et al. 1998b. Global seismic hazard assessment based on area source model and seismicity data[J]. *Natural Hazards*, **17**: 151~267
- Chen Yong, Seismic Risk Assessment. 2001. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, GA365 [M]. Toronto: John Wiley and Sons
- Chen Yong, Chen Qifu, Chen Ling. 2001. Vulnerability analysis in earthquake loss estimation[J]. *Natural Hazards*,

23: 349~364

- Sauter F, Shah H. 1978. Studies on earthquake insurance[A]. *Proceedings of the Central American Conference on Earthquake Engineering*, Vol II [C]. San Salvador: El Salvador, 265~271
- United Nations. 1988. *World Demographic Estimates and Projections (1950~2025)* [M]. New York: United Nations Press, 1~386

REDUCTION OF EARTHQUAKE DISASTERS

Chen Yong¹⁾ Chen Qifu²⁾ Huang Jing³⁾ Xu Wenli⁴⁾

1) China Seismological Bureau, Beijing 100036, China

2) Center for Analysis and Prediction, China Seismological Bureau, Beijing 100036, China

3) Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China

4) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract: The article summarizes the researches on mitigating earthquake disasters of the past four years in China. The study of earthquake disasters quantification shows that the losses increase remarkably when population concentrates in urban area and social wealth increase. The article also summarizes some new trends of studying earthquake disasters mitigation which are from seismic hazard to seismic risk, from engineering disaster to social disaster and introduces the community-centered approach.

Key words: earthquake disaster; seismic hazard; seismic disaster; social disaster