

56.25-9

7569

未来地震的损失估计

〔美〕地震工程委员会地震损失估计专家小组 编
国家地震局灾害防御司 译



地震出版社

PDFG

未来地震的损失估计

[美] 地震工程委员会 编
地震损失估计专家小组

国家地震局灾害防御司 译

地震出版社

1989

Estimating Losses From Future Earthquakes, Panel Report

Panel on Earthquake Loss Estimation Methodology
Committee on Earthquake Engineering
Commission on Engineering and Technical Systems
National Research Council

NATIONAL ACADEMY PRESS 1989

未来地震的损失估计

[美] 地震工程委员会地震损失估计专家小组 编

国家地震局灾害防御司 译

责任编辑: 陈非比

*

地震出版社出版、发行

北京复兴路63号

国防大学第一印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 3印张 72千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷

印数: 0001—1500

ISBN 7-5028-0303-3/P·191

(692) 定价: 1.80元

内 容 提 要

地震给人类带来了重大的伤亡和痛苦。根据地震带的分布，各地经济发展状况和人口密度，科学地预测今后某一区域发生地震所造成的各种损失，并根据这种预测在地震前采取有效的抗御措施，这显然是在减轻地震灾害方面最基础性的工作。本书是美国政府组织许多科学家经过多年努力而编写的，关于未来地震（特别是城市地震）损失估计的最终研究报告之一——专家小组报告。它全面而概括地阐述了该项研究工作的思路、方法与问题，有助于读者了解这项工作的全貌。

本书可供从事地震工程、地震危险性预测、城市规划、土地利用、生命线工程、地震保险、抗震救灾研究的科技人员与管理人员，以及各级政府人员阅读和参考。

前 言

减轻地震灾害中的一个关键性问题是：假若一个城市或一个地区遭受到未来地震时，怎样估计地震造成的损失到底有多大？一次地震所造成的破坏取决于地震的大小、地震距该地区的远近以及该地区对于地震的预防状态。当这三个因素都处于不利情况时，地震可以造成巨大的损失。对于社会公众来说，下列巨大的地震灾难一直是人们记忆犹新的：里斯本地震，1755 年；旧金山大地震，1906 年；迈斯纳地震，1908 年；东京大地震，1923 年；阿拉斯加地震，1964 年；唐山大地震，1976 年；墨西哥地震，1985 年；亚美尼亚地震，1988 年。另外的一些地震也造成数千人死亡和巨大的财产损失，但它们并未被全世界公众知晓，而当地的居民却记忆犹新。这些地震如阿根廷圣胡安 1984 年地震；墨西哥 1960 年的阿加狄尔地震；南斯拉夫 1963 年的斯卡皮地震等。

每一次近代的地震都有这种特点，即地震灾害引起了政府和社会公众对于地震危险性的注意，而且使他们采取适当的抗震建筑规范来保护城市免遭未来地震的袭击。当然更好的做法是评估地震对这些城市所造成的灾害，并在地震发生之前采取减少灾害损失的各种措施。

按照美国联邦紧急事务管理署(FEMA)的报告，美国有 39 个州的 7000 万居民面临着地震灾害和地震引起的次生灾害（如地震引起的滑坡等）的巨大危险。最近发生在加利福

尼亚州的一次 5.9 级中等强度地震，地面震动持续了不到 5 秒钟，但却造成了超过 3.5 亿美元的损失。过去的 150 年间，在加利福尼亚州，类似的地震所造成的死亡人数已超过了两万人，造成的经济损失超过了 600 亿美元。不仅如此，许多城市和地区特别容易受到地震的袭击。这些城市是：西亚图、华盛顿、孟菲斯、田纳西、查里斯顿、南卡罗里那、波士顿和马萨诸塞州。上述地区对未来地震的预防工作做得不如加利福尼亚州，因此如果发生大地震的话，其后果将是极为严重的。

1977 年颁布的美国减轻地震灾害法，是朝着减轻地震灾害迈出的实质性和有组织的第一步。四个联邦机构[联邦紧急事务管理署(FEMA)、美国地质调查局(USGS)、美国科学基金会(NSF)和美国标准局(NBS)]以及州政府、地方政府和私营机构一起，在以下方面开展了对地震灾害的研究：地震预报，危险性评定，土地规划，抗震建筑物的设计和建造，抗震建筑规划的改进，地区经济损失评定，救灾预案制定，培训计划以及召开旨在交流救灾技术的地方讨论会等。

在过去 10 年中，全国计划的执行获得了许多结果。特别是联邦紧急事务署(FEMA)与城市、州和地方政府一起，制订了评估地震灾害和一步一步地计算灾害损失的方法。对于一个城市来说，它所面临的主要问题是：今后有理由地设想发生的最大灾害是什么？对于今后一代人来说最大可能发生的地震灾害是什么？

评估潜在的地震灾害损失是很困难的，但它对于激励和引导减灾行动又是至关重要的。评估未来地震损失的方法有许多种，而且各种方法之间存在着明显的不一致。为

此，联邦紧急事务管理局要求地震工程委员会(Committee on Earthquake Engineering)进行研究，目的在于提出一套统一的估计灾害损失的方法指南，以向各界推荐。

目前不可能非常精确地预测地震发生的时间和地点，也不可能精确地预测地震中有多少人死亡与受伤，以及不同年代和不同条件的各类建筑物的破坏情况。但是做出一种近似的估计，说明一个城市或一个地区地震灾害的性质和灾害的大小则是可能的。成立的地震损失评估专家小组提出了本报告，作为估计地震损失的指南。虽然本书中的材料是一致的，但是各位专家在地震灾害损失方面一些意见的差别还是存在的。

专家小组的工作得到了许多组织的帮助，除了做出贡献的许多人以外（名单略），我还特别感谢专家小组的主席怀特曼先生和各位专家委员，联邦政府各种机构的代表，国家研究委员会的各位先生，以及为本书工作做出技术贡献，提出许多意见和提供设备方便的诸位先生。

地震工程委员会主席

G. W. 豪斯纳

地震损失估计专家小组名单

Robert V. Whitman	组长, 麻省理工学院土木工程系
Christopher Arnold	加州圣玛蒂奥, 建筑系统和发展公司
Richard N. Boisvert	康奈尔大学农业经济系
Gilbert A. Bollinger	弗吉尼亚州立大学地质科学系
Henry J. Degenkolb	旧金山 Degenkolb 联合公司
Edward S. Fratto	麻省民防和防灾办公室
Robert P. Kennedy	加州, 顾问
Frank E. McClure	加州劳伦斯·伯克利实验室
Robin K. McGuire	科罗拉多危险性工程公司
Alvin Mushkatel	阿利桑那州立大学公共事务学校
Robert B. Rigney	加州 Redlands 公司
Jean B. Savy	加州劳伦斯·利弗莫尔实验室地学部
Daniele Veneziano	麻省理工学院土木工程系
Delbert B. Ward	犹他州盐湖城建筑师

顾问

Gregory Andranovich	华盛顿特区宇宙公司
Robert Reitherman	加州半月湾 Reitherman 公司

目 录

摘 要	(1)
1. 引言	(6)
基本方法	(11)
不确定性的考虑	(17)
2. 对灾害损失估计的要求	(18)
争论的问题	(18)
特别的建议	(20)
3. 地震危险性分析	(22)
确定性方法	(22)
概率性方法	(24)
地动强度的描述	(26)
局部场地条件的影响	(27)
4. 建筑物的破坏和损失	(28)
建筑物的分类	(28)
易损性清单	(31)
地震动-破坏关系	(35)
与建筑物有关的损失	(42)

5. 次生灾害	(47)
断层破裂	(47)
滑坡和液化	(48)
海啸	(53)
湖啸	(54)
6. 特殊设施和城市系统的破坏与损失	(55)
生命线工程	(55)
重要的救灾设施	(58)
可能造成巨大损失的设施	(61)
7. 间接损失	(64)
火灾	(64)
有害物质的泄漏	(65)
对经济的影响	(66)
8. 震后损失的快速估计	(67)
9. 结论和建议	(68)
多用途、大尺度地震灾害损失估计的要点	(68)
对进一步研究和发展的建议	(77)
参考文献	(82)

摘 要

地震损失估计就是对假想的一次地震的各种效果的预测。根据不同的目的，地震损失估计可以包括：死亡和受伤人数估计；财产损失；工业、生命线工程和救灾设施的功能损失；无家可归者的估计以及对经济的冲击。本报告主要研究由联邦紧急事务管理署所资助的那些类型的损失估计。这些估计方法是针对城市地区的，它们可以用来帮助城市政府和州政府制订灾害对策及减轻灾害规划，确立近期和长期的减轻地震灾害战略。当然，这些基本方法和许多技术也可以用于其他类型的灾害损失估计。

大多数损失估计是针对给定了震级和位置的一次地震或几次地震做出的。这种给定地震后描述其结果的做法就好像是一个或几个电影剧本一样。这是研究地震损失所得到的最普遍的结果，特别当研究是为制定灾害响应计划时。但它并不是最有意义的一类结果。当为了减轻灾害的目的去寻找最可能发生地震的位置时，运用概率性危险性分析可以得到更多的信息，使我们可以根据一群可能发生的不同位置、不同震级的地震，去研究地震造成的损失问题。

对于联邦紧急事务署（FEMA）最感兴趣的那些灾害估计，地震损失估计专家小组也不能够给出进行该项研究的一套严格的标准方法，虽然这套标准方法对于提高效率和保持一致性是必不可少的。尽管进行了多学科的合作，但仍未

能给出所需损失估计的标准方法。专家小组能够给出的是进行这种研究时的总体想法，或称之为工作指南。

这些想法首先是要制定研究工作的规划，并且应积极吸收州政府官员、地方政府官员和其他使用者参加研究。研究的目的是范围必须非常明确，应搜集有关设施（桥梁和其他结构物）和网线的情况清单，使这张清单对于各种需求都有用途，甚至在研究完成后这张清单仍然有用。州政府和地方政府官员是发布、解释和使用这些研究成果的人。因此，让他们参加研究过程，尽早或不断地了解估计损失的全过程，是十分重要的事情。

工作指南讨论了：假想地震的选择（地震危险性分析），准备易损性清单，确定地震动与破坏和损失之间的关系，以及对生命线工程、救灾设施与那些可能造成重大潜在灾难的设施的评价问题。

假想的地震必须是有可能发生的，而且是破坏性的地震。若选择的假想地震数目过多而发生的可能性很小，就会导致错误的估计，这是一种不严肃的做法。而选择的假想地震虽然经常发生，但震级过小，也不会提供有价值的结果。

在准备易损性清单时，我们强调使用当地的资料，在经费允许的条件下，可以在地震现场通过审查和检查得到这些资料。

关于地震动与破坏和损失的关系，保险办公室（Insurance Services Office，以下简称 ISO）与美国海洋和大气管理局及地质调查局资助的大尺度灾害损失计划密切合作，得到了加利福尼亚某些类型建筑物方面的一些有价值的经验关系。联邦紧急事务管理署（FEMA）资助的应用技术委员

会听取了许多专家的意见，搜集了加州许多类型的建筑物和结构物的资料。对于其他地区的灾害研究，可以根据专家（指有经验的专家、地方的工程师们、建筑师、建筑部门的官员以及生命线工程的操作人员等）意见或其他的方法对加利福尼亚的资料进行适当的修正，以适用于该研究地区的实际情况。

在指南中最后一点建议是写出一个灾害损失估计报告。这样以报告形式把主要的发现和重要的结果公布于众，可以有助于公众或使用这个报告采取行动的人员利用和理解这些发现和结果。同时在报告中建立的各类设施与损失情况也是重要的资料。为了达到上述两个目标，报告无论从形式至内容都必须精心对待。

这些想法包含了不少建议，在专家小组邀请的过去或今后利用灾害损失研究成果的使用者座谈会上，调查了使用者们的意见。在使用者的需要和损失估计的现状之间存在着两个主要的分歧：（1）希望把损失用特定的数字表示出来；（2）用户要求具体指出哪一建筑物或其他结构物最容易遭到严重破坏。须知损失的估计是近似的，它存在着不确定性，它只能给出一个最好的估计值再加上估计的误差范围。不仅如此，对特定设施破坏情况的肯定性预测需进一步深入研究，它不仅超出了大尺度损失估计研究的范围，而且这种预测会引起法律上的问题和政治上的矛盾。

即使利用目前最好的方法，依靠最有经验的专家，假想的地震所造成的灾害损失也只能近似地予以估计。估计财产损失方面的不确定性经常可差到 2 至 3 倍，估计人口伤亡方面的不确定性甚至可差 10 倍。不仅如此，今后估计准确程

度的改进也不会很快，这是因为造成不确定性的主要因素在于实际地震造成损失的资料很少，而且在统计内容方面存在着许多固有的困难。尽管如此，了解这种估计方法的长处和短处，正确进行灾害损失估计，对于在减轻地震灾害和应急计划方面进行规划、行动和计划都是十分有用的。

除了上述估计损失的工作外，另外一项更有希望的研究是估计一次地震给经济带来的广泛影响，例如丧失收入和失业，这些会影响一个地区或与之存在着经济联系的广大区域。这类研究也可以用来探索地震对国防的影响。专家小组认识到这类工作的价值，并建议在今后的地震灾害估计研究方面安排一些超前性的课题。

专家小组也考虑了这样的可能性，即在地震发生后数小时，无须现场勘查，即能通过发展起来的技术和工作能力了解到地震后的损失情况，从而为灾害响应和财政支持提供依据。专家小组对这种可能性并不十分相信，因为在预测问题中包含了太多的不确定性，也因为快速搜集实际损失资料是不现实的。

专家小组的工作以两种形式发表：一种是专家小组的报告；另一种是专家小组的报告并附有 7 篇工作论文。工作论文讨论问题比较深入，而且是为技术方面的读者准备的。专家小组报告的第一章介绍结果和进行一般灾害损失估计的基本方法。接下去的 7 章分别讨论了：对灾害损失估计的要求，地震危险性分析，建筑物的破坏和损失，次生灾害，特殊设施和城市系统的破坏和损失，以及震后快速损失估计等。最后，第 9 章提出了为了改进损失估计，专家小组所建议开展的研究和发展工作。它们可以概括如下：

- 在一次破坏性地震袭击了美国的的城市地区以后，立即将用一种或几种估计方法得到的损失与实际损失进行比较。

- 利用各种机会去比较大尺度损失估计方法（即易损性清单方法）与小尺度的更精确、更详细方法的异同。目前加利福尼亚州地方政府正在经常地收集许多可靠的资料，例如它们有地震可能造成危险的那些建筑物的详细情况。

- 进行敏感性（Sensitivity）分析，评估在确定总损失分析中各个阶段的可能误差。

- 统一行动，发展对全美国适用的建筑物和其他设施的分类系统。

- 比较现有的各种易损性清单方法，以突出清单的重点。

- 比较各种方法中地震动—破坏—损失关系，目的在于综合它们的共同特征，同时发展一种更为满意的震动—破坏尺度表。

- 当地学领域中出现能够更精确预测地面破坏位置和强度的新进展时，及时将它吸收用于损失估计。

- 更加明确地用文件说明在减轻灾害和紧急应急计划中如何应用损失估计的研究成果。

- 当大地震发生之后，立刻从统计意义上改进收集损失资料的过程。

除了上述建议外，对于生命线工程、救灾设施和有害物质贮藏容器永远要特别地注意。

1. 引言

地震的损失估计就是对未来的地震所造成的效果的估计和描述。地震损失一般说来包括人员伤亡；直接的修复费用；通讯、交通和生命线系统的破坏和功能损害；救灾响应和救灾设施；无家可归人员的安置；以及对该区域的经济影响。估计地震损失要根据：

- 给定的发生灾害的地理区域；
- 发生灾害地区建筑物和构筑物的总情况；
- 在发展灾害应急计划方面所做的工作；
- 对经济的总体影响；
- 在减轻灾害方面总的战略安排，例如是否有土地利用规划和建筑规范，以及减轻地震灾害各种计划的有效性的评估；
- 对地震计划资助的优先考虑程度和支持程度；
- 是否有能力在地震发生后数小时内对灾害的影响做出评估；
- 地震预报预期效果的估计。

对参加财产保险的人做出财产的估计，显然是地震损失估计的一个非常常见的用途。但本报告对此不过于强调，因为本报告的重点是供公共机构广泛使用。

本报告强调的地震损失估计主要限于由联邦紧急事务管理署所资助的那些项目。它们是用来为地方政府和州政府使

用的，主要是为灾害响应计划以及制订减轻灾害的近期和长期战略目标服务的。这种大尺度的损失估计包括一个城市、一个地区、一个州甚至全国区域的灾害损失估计。它可以用来估计多种损失，典型的是估计人员伤亡、财产损失和重要的服务功能的损失。这种损失的研究有很多，一些已经完成，另一些正在研究之中，图 1-1 给出了这种大尺度研究地区的分布，而表 1-1 列举出一些主要的研究工作。

在 70 年代，美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 和美国地质调查局组织了主要由工程顾问人员和地球科学家组成的专家小组，开展了大尺度灾害损失的研究工作。这些工作的范围和方法形成的基本特点一直为后人所仿效。首先进行的是四个大城市的研究：旧金山 (Algermissen et al., 1971)；洛杉矶 (Algermissen et al., 1973)；普杰特桑 (Hopper et al., 1975) 和盐湖城 (Rogers, 1976)。这些研究的集合经常称为 NOAA-USGS 研究。后来的一些研究则是由联邦紧急事务管理署资助的，研究工作主要由一些顾问公司承担。

国家安全委员会(National Security Council)希望了解地震对国防工业的影响。为此，联邦紧急事务管理署最近开始了一项大尺度的研究工作，目的是模拟一次大地震对地区经济的影响。这项工作包括了由应用技术委员会 (Applied Technology Council, 以下简称 ATC) 进行的估计损失和功能损害的研究。最终研究报告发表在 1985 年，登记号为 ATC-13，题为“加利福尼亚州地震损害评估资料”。FEMA 还开始了室内工作，并支持由顾问公司进行的将这些新方法应用于选定地区和部门的努力。