

7771

16.259

加利福尼亚 未来地震的损失估计



地震出版社



加利福尼亚未来地震的损失估计

[美] 应用技术委员会 编

曹新玲 毛国敏 译
金学申 刘永恩
李兴才 邹其嘉 校

地震出版社

1991

(京)新登字 095 号

内 容 简 介

本书是美国联邦紧急事务管理局委托应用技术委员会进行的,关于加利福尼亚未来地震损失估计研究的成果报告,简称 ATC-13 报告。书中全面、详尽地介绍了未来地震的损失估计方法,并给出了加利福尼亚地震损失估计的结果:地震引起的破坏、次生灾害损失、功能损失和人员伤亡的估计。本书反映了当前美国关于地震损失估计研究领域的最新进展,书中的某些结果和内容曾多次被国内外有关学者所引用,是国际上地震损失估计方面最有影响的研究成果之一。读者从本书中可以看到地震灾害损失预测研究内容和方法的全貌。

本书可供从事自然灾害预测、减灾研究、地震工程、国土规划、保险和救灾研究的有关人员,特别是从事地震灾害预测的科技人员阅读,同时对各级防灾机构和政府管理人员也有一定的参考价值。

Earthquake Damage Evaluation Data for California Applied Technology Council

*

加利福尼亚未来地震的损失估计

[美] 应用技术委员会 编

曹新玲 毛国敏 译

金学申 刘永恩

李兴才 邹其嘉 校

责任编辑:陈非比

*

地震出版社出版、发行

北京民族学院南路9号

国防大学第一印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 18印张 460千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-5028-0513-3/P·340

(901) 定价: 14.00 元

译者前言

社会的进步与发展,一方面改善了人类的生存条件,增强了人类对自然的适应能力和控制能力;另一方面人类对社会的依赖性也越来越强。因此,与社会进步和发展的同时,自然灾害,特别是地震灾害对人类社会造成的影响和经济损失越来越严重。为此,如何有效地减轻自然灾害的影响及经济损失已成为人们所关心的问题。联合国决定于本世纪最后 10 年开展“国际减轻自然灾害十年”活动,即旨在通过国际行动以减轻地震灾害和其他自然灾害对人类和社会所造成的损失,保护已有的劳动成果和人类的生命安全。

地震灾害预测是在地震发生之前采取减轻地震灾害损失的重要措施之一。地震灾害预测是在地震危险性分析和地震易损性分析的基础上,根据人口和设施的分布及设施的使用情况,预测具有潜在地震危险的地区未来地震造成的破坏分布,以及地震灾害导致的人员伤亡和经济损失,进而综合评估地震危害的程度和社会影响。地震灾害预测可为有关部门编制防震规划,制定减轻地震灾害对策和应急计划,提供必要的基础技术资料 and 科学依据,从而更有效地减轻地震灾害。

美国在地震灾害预测方面所进行的研究比较系统、全面。早在 30 年代,美国学者就开始了地震灾害预测的研究;70 年代,美国海洋大气管理局(NOAA)和美国地质调查局(USGS)有组织地开展了地震灾害预测研究,并由此形成了所谓 NOAA/USGS 方法,这实际上就是这一阶段研究成果的体现。80 年代,美国联邦紧急事务管理局(FEMA)为了推行地震灾害预测研究的实用化,又委托应用技术委员会(ATC)审查并给出一套可以推广应用的方法。应用技术委员会组织各方面专家对加利福尼亚未来地震的损失估计进行了系统的研究,并发表了 ATC-13 报告,从而又形成了所谓的 ATC 方法。

我国政府对震害防御工作一直非常重视,从我国震情的实际情况来看,今后十几年内我国地震活动将进入一个新的活跃期,地震灾害也会相应地频繁起来。在这种形势之下,1989 年国家地震局组织有关单位开展了“中国地震灾害损失预测”研究。在我们查阅有关文献的过程中,发现国内外许多关于地震灾害损失估计文献中均引用了 ATC-13 的成果,当时就产生了要翻译此书,把它介绍给国内同行的愿望,这一想法得到了国家地震局震害防御司的支持。

《加利福尼亚未来地震的损失估计》(即 ATC-13 报告)一书全面、详尽地介绍了地震损失估计的方法,并给出了加利福尼亚地震损失估计的结果:地震引起的破坏、次生灾害损失、功能损失和人员伤亡的估计。该书基本上反映了当前美国关于地震损失估计研究领域的最新成就,也是国际上地震损失预测研究方面最有影响的研究成果之一。书中的某些结果和内容曾多次被国内外有关学者所引用。

不管是 NOAA/USGS 方法,还是 JBA(Jack Benjamin 提出)方法以及 ATC 方法,它们之间除对预测对象的分类,即编制清单有所差别外,各种方法的本质特征主要体现在地震动-破坏关系的研究上;或者说各种方法的主要差别在于易损性的表述方式不同。比如,NOAA/USGS 方法使用平均破坏率曲线, JBA 方法亦称脆弱性曲线法则,对所定义的各

种破坏状态,分别做出破坏概率曲线。而ATC方法则使用破坏概率矩阵来表征地震动与破坏的关系。ATC方法中,更为明确地提出了关于功能损失的研究。对一设施,不仅要从地震工程角度去分类,还要从社会功能角度去分类。因为结构相同的两种设施,由于其用途不同,社会功能有别,即使地震对结构物造成的破坏是相似的,它们引起的社会后果,造成的社会影响和损失也可能迥然不同,如果只从地震工程角度去研究,将不能反映出该设施的社会价值。所以,ATC更明确地将功能损失和破坏程度联系了起来,这体现了,从社会的角度去看待灾害,当然也应该从社会的角度去预测灾害。ATC方法在确定破坏概率矩阵过程中发展了一套专家意见法,这也是很值得我们借鉴的。

预测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。预测地震灾害损失,各有关国家都在积极进行,预测的方法也各不相同,但就总体上而言,都在研究发展之中。各个国家、各个地区的地震危险性不同,地震易损性分析方法也不同;重要的是要结合当地的实际情况,如建筑物的具体特点,当地的经济发展状况,人口分布情况等来进行。只有结合这些具体情况,才能给出较为符合实际的预测结果。尽管目前还不可能精确地预测地震发生的时间、地点和强度,也不可能精确地预测地震中有多少人死亡与受伤,以及不同条件下的破坏和损失。但是,做出一种近似的估计,以定量的方式说明一个城市或一个地区可能遭受地震灾害的程度和大小还是可能的。尽管这种预测还存在着相当的不确定性,但它对于部署地震灾害预防,实施减灾行动和措施是十分必要和不可缺少的。这也正是我们将ATC-13报告推荐给广大读者的意义之所在。

我们翻译出版此书的目的,就是想将ATC的研究成果介绍给国内的读者,以借此能为有关部门进一步深入开展灾害预测的研究,提供有用的参考资料。近几年来,在介绍国外有关地震灾害预测研究方面,已翻译了几本书,如《未来地震的损失估计》(地震出版社,1989),《未来地震的损失估计方法》(地震出版社,1991)。国内的一些单位也开展了地震灾害预测的研究工作,并取得了一些成果,如出版了《中国地震灾害损失预测研究》一书(地震出版社,1990)。读者如果将本书与这些著作结合起来阅读,便可对地震灾害预测的理论方法、主要内容、最新进展有一个比较全面而系统的了解。

本书的出版承蒙国家地震局震害防御司大力支持和帮助,没有他们的鼎力支持和热情鼓励,要完成这本书的翻译和出版是不可能的,对此译者谨在这里表示衷心的感谢。

本书的第一章至第五章由毛国敏译,第六章、第七章及附录由曹新玲译,第八章由刘永恩译,第九章、第十章和前言由金学申译,全书由邹其嘉和李兴才校审。此书翻译中,由于篇幅所限,我们删掉了原书附录中有关专家意见的统计结果,感兴趣的读者可查阅原著。正文中可在国内有关书刊上查到的内容,也做了少量删节。

由于本书涉及的资料来源及缩写的机构名称众多,这就给翻译上带来很多困难。因此,译文中错误疏漏之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

译者

1991年5月

目 录

前言	(1)
实施概要	(2)
第一章 引言	(9)
1.1 报告的结构	(10)
第二章 地震损失及其机制: 综述和方法	(11)
2.1 地震损失的类型	(11)
2.1.1 直接物质破坏	(11)
2.1.2 社会损失	(11)
2.1.3 经济损失	(11)
2.2 影响地震损失的因素	(12)
2.2.1 结构物或设施	(12)
2.2.2 地震动严重程度或烈度	(13)
2.2.3 次生灾害	(13)
2.2.4 占用率	(15)
2.2.5 设施的使用情况	(15)
2.3 地震损失的定量化	(16)
2.3.1 损失估计的一般数学形式	(16)
2.3.2 估计直接物质破坏的方法	(18)
2.3.3 估计地震伤亡的方法	(19)
2.3.4 估计功能损失和恢复时间的方法	(19)
2.4 系统对地震损失的影响	(19)
第三章 设施分类	(21)
第四章 编制清单的方法	(26)
4.1 概述	(26)
4.1.1 清单问题涉及的范围	(26)
4.1.2 完成清单所需要的资料	(27)
4.1.3 设施清单的基本地理单元	(28)
4.1.4 所提出的编制清单方法的局限性	(29)
4.2 清单资料的有效来源	(29)
4.2.1 FEMA 数据库	(29)
4.2.2 工程经济协会数据库	(35)
4.2.3 人口普查资料	(35)
4.2.4 保险图和保险文件	(35)
4.2.5 县征税员的资料	(36)

4.2.6	州和地方政府机构的资料	(36)
4.2.7	商业和工业资料的来源	(36)
4.2.8	土地使用图和航空照片	(37)
4.2.9	美国地质调查局	(37)
4.2.10	经济和地理情报机构	(37)
4.2.11	加利福尼亚地质矿产处	(37)
4.2.12	专家意见	(37)
4.3	其他编制清单的方法	(38)
4.3.1	Algermissen, Steinbrugge 和 Lagorior 的方法	(38)
4.3.2	Gates 和 Scawthorn 的方法(Dames & Moore)	(38)
4.3.3	Arnole 和 Eisner 的方法	(38)
4.3.4	Gulliver 的方法	(38)
4.3.5	Algermissen 和 Steinbrgge 的方法	(38)
4.3.6	旧金山湾地区政府联合会方法	(38)
4.3.7	南加利福尼亚地震准备计划	(38)
4.3.8	科学服务机构	(39)
4.3.9	专家系统方法	(39)
4.4	建议的编制清单方法	(39)
4.4.1	一级方法——现有设施专门数据库的使用	(39)
4.4.2	二级方法——据 FEMA 和 EEA 经济资料合成设施清单	(48)
4.4.3	三级方法——据人口普查或其他资料合成设施清单	(53)
4.4.4	地震工程设施类别分布的估计	(53)
4.4.5	建筑物大小与雇员人数关系的建立	(70)
4.4.6	地质灾害清单	(75)
4.4.7	建筑物的内容物和设备的估计	(75)
4.4.8	占用人数的估计	(75)
4.5	用于每一社会功能类别的清单编制方法	(76)
4.5.1	居住设施	(76)
4.5.2	商业设施	(77)
4.5.3	工业设施	(78)
4.5.4	农业和采矿设施	(78)
4.5.5	宗教和慈善业设施	(78)
4.5.6	政府设施	(78)
4.5.7	教育设施	(78)
4.5.8	运输设施	(79)
4.5.9	公用事业设施	(80)
4.5.10	通讯设施	(81)
4.5.11	洪水控制设施	(81)
4.6	小结	(81)

第五章 地面运动特征的选取	(83)
5.1 地震引起的地面震动	(83)
5.2 地震动的地震学表征	(83)
5.3 地震动的工程特征	(85)
5.4 地震动特征的选择	(86)
5.5 修订麦卡利烈度表的使用	(86)
第六章 地震破坏的文献调查	(88)
6.1 地震对建筑物的影响	(88)
6.1.1 低层木结构建筑	(90)
6.1.2 低层无筋砖房	(91)
6.1.3 低层有筋砖房	(91)
6.1.4 高层钢建筑	(91)
6.1.5 高层混凝土建筑	(91)
6.1.6 其他建筑	(93)
6.2 地震对桥梁的影响	(93)
6.3 地震对隧道的影响	(94)
6.4 地震对地下管道的影响	(97)
6.5 地震对水坝的影响	(101)
第七章 关于地震动直接破坏的专家意见	(104)
7.1 概述	(104)
7.2 问卷格式	(108)
7.3 问卷调查的小结	(109)
7.4 问卷调查结果的统计分析	(118)
7.5 破坏概率矩阵	(126)
7.6 Delphi 方法及其结果的局限性	(149)
7.7 设计和建造质量对破坏估计的影响	(150)
第八章 次生灾害的直接破坏	(152)
8.1 地基失效	(152)
8.1.1 劣质地基	(153)
8.1.2 滑坡	(157)
8.2 断层破裂	(164)
8.2.1 断层运动与局部形变	(165)
8.2.2 断层运动和局部形变对结构物的影响	(169)
8.2.3 断层运动影响的估计	(169)
8.3 洪水	(170)
8.3.1 海啸	(170)
8.3.2 湖震	(170)
8.3.3 滑坡诱发的水浪	(171)
8.3.4 水库破坏	(171)

8.3.5 高速水流造成的破坏	(171)
8.3.6 地震引起的洪水造成破坏的估计	(172)
8.4 震后火灾	(173)
8.4.1 影响火灾损失的因素	(173)
8.4.2 近代地震中的火灾	(173)
8.4.3 预测火灾的定量方法	(175)
8.4.4 本项目得出的火灾情况	(175)
第九章 间接损失	(178)
9.1 伤与亡	(178)
9.2 功能损失和恢复时间	(180)
9.2.1 影响功能损失和恢复时间的因素	(180)
9.2.2 各种设施功能损失的可用资料	(181)
9.2.3 生命线系统功能损失的可用资料	(182)
9.2.4 估计功能损失和恢复时间的方法	(185)
第十章 结论意见与建议	(220)
参考文献	(223)
附录 A MMI-定意地面运动关系	(241)
附录 B 有关建筑物地震动-破坏关系的文献资料	(246)
附录 C 损失率问卷实例	(270)
附录 D 功能损失问卷实例	(273)
附录 E 应用技术委员会及其计划和报告	(276)

前 言

1982年10月,联邦紧急事务管理局(FEMA)与应用技术委员会(ATC)签订了一项合同,以开展加利福尼亚众多设施地震破坏估计的研究工作。FEMA打算使用这些资料和相应的损失估计以及清单编制方法,来评估加利福尼亚一次大地震对全州、全地区乃至全国的经济影响。

由于现有的文献中没有我们所需要的有关地震破坏、地震损失以及清单的资料,ATC与FEMA一致认为,取得所需资料的最佳途径是利用当今地震工程师们的经验和判断意见。于是,ATC成立了一个由若干高水平的地震工程学家所组成的咨询性的项目工程专家小组(PEP),目的在于为取得对破坏与损失估计的一致意见提供必要的资料,同时也为该项目其他方面提供咨询。他们的工作已扩大到另外58名地震专家,这些人曾应聘参加了用来产生一致的破坏或损失估计的问卷调查。项目中的具体技术工作是由ATC的全体工作人员,3名顾问和3名研究生或博士后完成的。

本报告包括相应的背景资料,关于地震破坏或损失估计方法和清单资料编制方法的详细描述,以及表示所得到的破坏或损失估计的图和表。报告还包括78种不同设施类型的破坏概率矩阵,和使破坏的设施恢复到它们震前使用水平所需时间的估计。

ATC衷心地感谢对本报告的编制作出贡献的众多人士。R.E. Scholl作为地震损失估计的顾问参与工作,报告的大部分是由他撰写的,他对报告中表述的概念和资料的全面开发作出了卓越的贡献;A.S. Kiremidjian作为统计和概率计算方面的顾问,拟定了用来向地震专家提出问题的问卷,并承担了资料分析和说明的工作;R.V. Nutt作为清单编制方法的顾问,既开发了清单资料,也提出了编制方法;T. Anagnos, A.C. Boissonnade和R.J. Nielsen(斯坦福大学土木工程系的研究生或博士后)协助进行了资料收集和分析工作;ATC工作人员M. Quinonez, N. Day和C. Day打印了最终报告并参与了最终报告的编制;研究发展局顾问S. Rush担任技术编辑。

特别要感谢项目工程专家小组的13名成员,没有他们持续的支持和忠告,要完成这项研究是不可能的。此外,我们还要向联邦紧急事务管理局负责本项目的官员Robert R. Wilson表示诚挚的谢意,感谢他在整个项目执行阶段所给予的必不可少的指导与持续不断的支

Christopher Rojahn

(主要研究者, ATC执行理事)

实施概要

序 言

最近的研究表明,一次震中位于加利福尼亚主要城市附近的中至大地震造成的破坏及随后的经济损失可能是严重的(Steinbrugge et al., 1981; NOAA, 1972, 1973)。从这些假定的巨大损失出发,联邦紧急事务管理局(Federal Emergency Management Agency, 即 FEMA)已经开始着手一项综合计划,以便估计加利福尼亚一次大地震对州、地区乃至国家的经济影响。破坏与损失估计是利用一种计算机模拟的模型得到的,这个模型通称为联邦紧急事务管理局的地震破坏和损失估计系统(FEDLOSS)(Moore et al., 1985)。对经济影响的估计是在FEDLOSS结果的基础上,使用另一种计算机模拟方法求得的,这种方法称之为联邦紧急事务管理局地震影响模拟系统(FEIMS)。

FEDLOSS利用本报告所阐述的工程学方法和资料,来提供实际的或假想地震的破坏、损失及伤亡估计。FEDLOSS模型使用了一种模块结构,这种结构能不影响其他模块的情况下,改变和替换系统的主要数据成分和参数。它要求把地震对设施的破坏或损失情况作为输入,作为一个先决条件,它还要求经济部门提供的设施资料(设施类型)与结构清单资料(结构类型)相互匹配。根据与FEMA签订的合同,应用技术委员会(Applied Technology Council, 即 ATC)已经开发出所需的现有设施的地震破坏或损失估计及清单资料。

FEIMS采用了一个联合供方或求方的经济影响模型(Lofting, 1982),它包括对加利福尼亚现有的各类设施地震破坏的评价,也包括对这些设施各种功能之间的相互经济影响的评价。经济影响模式也是依照与FEMA的合同,由加利福尼亚伯克利的工程经济协会(Engineering-Economics Associates, 即 EEA)提出的。

由于在现有文献中没有可利用的地震破坏与损失的资料,ATC和FEMA一致认为,获得所需资料的最佳途径是利用当今地震工程师们的经验判断意见。因此,ATC成立了一个咨询性的项目工程专家小组(Project Engineering Panel, 即 PEP),它由若干高级地震工程专家组成,目的是为获得一致的破坏或损失估计提供必要的资料,同时也对该项目的其他方面提供咨询。项目的详细技术工作由ATC的工作人员和3名顾问来完成。本报告提供了FEDLOSS模型所使用的技术方法和资料,进而用来计算FEIMS模型的输入参数。

本项目包括四项主要任务:

1. 选定最适于估计地震破坏和损失的地震动特征;
2. 拟定设施分类方案,应考虑加利福尼亚现有的所有设施;
3. 依据所选定的地震动特征和设施分类,作出地震破坏和损失估计;
4. 建立与所采用的设施分类方案和FEMA当前使用的清单资料一致的清单资料及编制方法。

地震动特性

本项目可考虑的地震动特征包括修订的麦加利烈度(Wood and Newmann, 1931), 罗西

-佛瑞尔烈度(Rossi, 1883), 反应谱烈度(Housner, 1952), 阿里亚斯烈度(Arias, 1970)和工程烈度(Blume, 1970)等标准。由于在美国大多数专家的认识和现有的地震动-破坏资料几乎都是以麦卡利烈度资料保存的, 所以, 修订的麦卡利烈度表(以下称 MMI)被选作本研究中表征地震动的最合适的标准。

人们认为(见第五章), 利用如工程烈度表(EIS)所表征的那种工程地面运动特征, 可以得到更精确、可靠的地震动-破坏关系。然而本项研究不利用工程地面运动特征, 原因在于对这样的特征而言, 现有的破坏资料太少, 同时也因为依据某种工程特征和使用工程分析来求得地震动-破坏关系需要作出相当的努力, 而这已远远超出了本项研究范围。

设施分类

由于 FEMA 经济影响全面调查的综合性, 本研究必须包括加利福尼亚有关工业、商业、住宅、公用事业、运输和其他现有设施的所有类型。这些设施用两种途径进行分类(见第三章): (1)按地震工程设施分类, 它是根据工程设施的尺度、结构系统和类型(例如, 低层无筋砖房)来表征结构特性的; (2)按社会功能分类, 它是根据设施的经济功能(如商业零售业)来表征其特征的。

地震工程设施分类是需要的, 因为由地震引起的物质破坏取决于结构特性。这种分类包含 78 种结构类型, 其中 40 种是建筑物, 38 种是其他结构类型——桥梁(3 种), 管道(2 种), 大坝(2 种), 隧道(3 种), 储藏器(6 种), 车行道和人行道(3 种), 高的工业烟囱(3 种), 起重设备(1 种), 传送系统(1 种), 岸上灯塔(3 种), 离岸灯塔(1 种), 运河(1 种), 挡土结构(1 种), 挡水结构(1 种)和设备(共 6 种——居民用、办公用、电子的、机械的、高技术与实验室的、运输工具)。这 78 种结构类型是根据它们在加利福尼亚现有的结构物清单中占优势的程度, 和它们抗震性能的独特性确定的。结构种类并不是根据清单抽样建立的。

社会功能分类也是需要的, 因为在现有的 FEMA 数据库中正是按这种方式列出结构物的, 同时也因为在 FEMA 所利用的经济影响模式中, 需要这种形式的输入。此外, 功能损失(或可用性损失)与社会功能类别有关。这种分类包括了 35 种设施——住宅类 3 种, 商业类 7 种, 工业类 8 种, 农业类 1 种, 采矿类 1 种, 宗教和慈善机构类 1 种, 政府机构类 2 种, 教育类 1 种, 运输设施类 4 种, 公用事业类 5 种, 通讯类 1 种, 防洪类 1 种。我们选择这 35 种设施是为了考虑美国商务部的四位数标准工业分类中列出的全部设施类型。

地震的破坏与损失估计

由 FEMA 开发的 FEDLOSS 模型计算了以下各类损失估计:

- 地面震动引起的预期的物质破坏;
- 次生地震灾害——如地基失效、洪水和大火引起的预期损失;
- 功能或可用性损失的预期比率, 其中包括使设施功能恢复到破坏前水平所需的时间;
- 人口伤亡的预期比率。

估计每一类损失的方法及得到的资料在第二章、第七章和第八章中叙述, 这里概述如下。

地震动引起的物质破坏

对于所有 78 种地震工程设施类别, 由地面震动引起的物质破坏比率的估计, 是用不同麦卡利烈度下的损失率来表示的, 它是通过包括 PEP 和挑选出的其他 58 位地震工程专家的

多次问卷调查产生的。问卷调查的目的是要形成破坏概率矩阵(DPM'S), 其形式与 Whitman, Reed 和 Hong(1973)提出的形式相类似。使用这类破坏概率矩阵, 乘上结构的损失率, 我们便可能分别估计出由地面震动引起的各类设施的预期经济损失(美元), 以及更换各类设施所需的投资。下面给出的是破坏状态和由本项目确定的相应损失率的取值范围。

破坏状态	损失率的取值范围 (%)	损失率中值 (%)
1——完好	0	0
2——基本完好	0—1	0.5
3——轻度破坏	1—10	5
4——中等破坏	10—30	20
5——严重破坏	30—60	45
6——极重破坏	60—100	80
7——毁坏	100	100

在三轮问卷调查的第一轮, 要求每位专家对所选择的地震工程设施类型提供麦卡利烈度 VI 至 XII 度的损失率估计, 分别给出低、最佳和高的估计。对除管线以外的各类设施, 损失率定义为地震经济损失(美元)与设施重置价值之比。对众多的管线, 要求每位专家给出每公里管线的破损处数目。除提供低、最佳和高的损失率估计外, 还要求每位专家针对评价的设施类别, 评定他们自己的经验水平, 并对低、最佳和高的估计提出确定性的自身评价度。为了在第一轮调查中保持没有偏见, 要求专家们在作出他们的评价之前, 不要就项目这方面的问题互相通信联系。

第二轮与第三轮问卷调查的目的是要解决损失率估计的一致性, 并再次要求每位专家对有关麦卡利烈度 VI 至 XII 度的破坏程度问题作出回答。但是, 这两轮问卷调查与第一轮稍有不同: 调查时, 把被调查者以前对问题的答案和其他所有专家(匿名的)对同一问题的答案的图表提供给每位专家, 并要求每位专家参照其他人的反应再次评价自己的估计。其他所有的规定必须与第一轮相同。

第三轮回答之后和在变换成破坏概率矩阵之前, 利用 β 分布、正态分布和对数正态分布等对数据进行检验。

通过用这三种分布检验所有设施类别的数据, 我们认为对同样的数据, β 分布比正态分布和对数正态分布拟合得要好, 所以 β 分布被用来构成本项目所考虑的 78 种地震工程设施类别的破坏概率矩阵。在表 7.10 中, 提供了多个破坏概率矩阵, 下面给出一个例子。

基于专家意见的低层钢筋混凝土剪切墙建筑物的破坏概率矩阵(有抗弯框架)

损失率中值	麦卡利烈度						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	18.1	***	***	***	***	***	***
0.50	69.8	17.8	0.6	***	***	***	***
5.00	12.1	82.2	97.7	71.8	14.6	0.3	***
20.00	***	***	1.7	28.2	83.2	68.8	29.4
45.00	***	***	***	***	2.2	30.9	70.4
80.00	***	***	***	***	***	***	0.2
100.00	***	***	***	***	***	***	***

*** ——概率值很小。

这些破坏概率矩阵应用于有着标准结构的设施，故除了那些注明是特殊的或非标准的之外，它包括了所有的设施。特殊结构包括(1)加利福尼亚中小学的建筑物；(2)加利福尼亚1972年以前的某些医院；(3)铁路桥；(4)具有特殊约束地震破坏性能的任何设施。非标准结构包括那些对地震破坏比标准建筑更为敏感的建筑物。本项目中，处理特殊的和非标准结构的定量方法，是根据设计和建筑的等级或质量，将一给定破坏状态的概率 P_{DSI} 上移或下移。

次生灾害损失

除了强烈地面震动引起的破坏外，次生灾害如地基失效、断层破裂、洪水和大火等也能对设施造成严重的破坏。首先，查阅有关文献以查明现有的有关这些次生灾害引起损失的定量数据；然后，依据这些数据，加上部分项目参加者的判断，提出次生灾害影响的定量化方法。所提出的方法(第八章)可以估计由下列次生灾害引起的破坏。

- 劣质地基或液化，因为它影响地表和地下设施；
- 滑坡，用边坡失效概率表示；
- 断层破裂，在断裂带和拖曳带中；
- 洪水，用高速水流的深度表示。

估计由上述四种次生原因中每一种所造成的破坏，也采用平均损失率，其形式与描述地面震动引起的破坏相同。然后，按保守的估计，设施总的平均损失率是地面震动、劣质地基或液化、滑坡、断层破裂和洪水的平均损失率之和。本报告不提供估计火灾破坏的定量方法，因为通常不存在一种对美国任何城市都有意义的有效方法。

功能或可用性损失

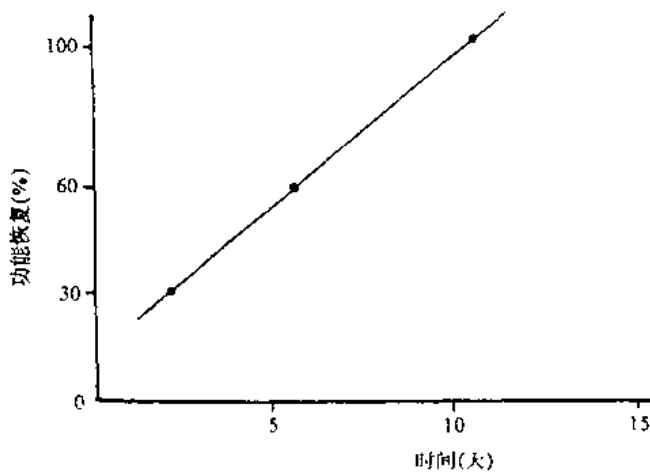
本项目中功能损失与恢复时间的估计方法所依据的前提是，功能损失与随之而来的恢复时间直接与下述两个因素有关：(1)单个设施的直接破坏；(2)设施所依赖的生命线的直接破坏。要考虑的生命线系统包括水源、污水管道(废水)、动力或能源(电力、天然气、石油燃料)、运输(公路、铁路、航空、海运或内河运输)和通讯(电话、广播和电视)。

估计生命线失效对特殊设施功能损失影响的方法假定，生命线系统受影响的轻重很大程度上取决于本源部分、分布部分和服务部分受破坏的程度。本项目考虑 11 种不同空间分布的生命线系统，其本源部分和分布部分的破坏将会对 35 种社会功能类别中的每一类造成影响。反映这种影响程度的主要因素已经得到并在表 9.8(第九章)中给出。

考虑到缺少统计数据，我们在征求专家们对 35 种社会功能的有关功能损失估计的意见时，采用了与确定地震动-破坏关系时相类似的保护专家意见的方法。对每一类社会功能，要求 PEP 和另外 29 名专家估计设施功能恢复到震前可用性的 30%，60%和 100%所需的时间，也要求给出前面定义的 7 种破坏状态每一种的恢复时间。为了达到这种调查目的，要求专家仅仅考虑现场的破坏，如对结构的破坏，对设施运转所必需的设备的破坏以及现场公用设施的损失。除提供恢复时间的估计外，还要求每位专家评价他们自己对所考虑设施的经验水平。在第一轮的两轮问卷调查过程中，要求每位专家依据他本人的经验作出估计，而在第二轮中，则要求他们参考其他人的反应来重新评价自己的估计，这些反应用绘制在问卷上的附图来表示。

对所考虑的每一损失率水平和恢复水平，都计算了每一类设施恢复时间的加权平均值，这些数据汇总在表 9.10 中(第九章)。功能恢复曲线给出了功能恢复到 30%，60%，和 100%

水平所需的时间。这是一些简单的曲线，提供这些曲线便于数据的特殊应用。下图给出了一个例子。



在破坏状态 4 情况下住宅设施的功能恢复曲线

利用来自专家意见的恢复时间估计及其所提供的重要性因子，通过下列步骤，人们便可确定具体设施的功能：

1. 确定该区震动灾害；
2. 确定设施的次生灾害；
3. 确定设施的破坏状态，它是由地面震动引起的破坏比率与由次生灾害引起的破坏比率之和；
4. 利用专家意见资料，构制设施的功能恢复曲线；
5. 确定对设施有影响的生命线分布部分和本源部分的破坏状态；
6. 构制生命线分布部分与本源部分的功能恢复曲线；

7. 计算任何时间 T 的功能率，它是设施功能率(由设施功能恢复曲线确定的 T 时刻的功能百分比)与生命线本源和分布部分功能率的乘积(用来计算生命线功能率的公式在第九章中给出)。

人员伤亡估计

加利福尼亚强烈地震造成的人员伤亡，将主要是由于象大坝和房屋这样的人工设施的破坏造成的。为了进行本项目的伤亡估计，首先是查阅文献，以此来决定伤亡率，它可看作是各种设施的破坏的函数。以这种资料为基础(NOAA, 1972, 1973; Anagnostopoulos and Whitman, 1977)，获得了基于一个结构物总体破坏的伤亡率，其中包括地面震动和次生灾害引起的破坏。所提供的是两类结构的估计结果，见第九章表 9.3。这两类结构是：(1) 轻质钢结构和木框架结构，(2) 所有其他类型的结构。

清单编制方法

按设计要求，本项目拟定的编制清单的方法要对 FEMA 具有资料通用的优点，因为 FEMA 所作的这种努力的目的，是要预测加利福尼亚大地震的经济影响，所以，需要众多类型的人工设施(包括现有数)的清单资料。此外，还必须收集现场的具体特征方面的资料，如预期的地面运动强度，附近的发震断裂，地质灾害和由大坝破坏导致的潜在洪水威胁，以及不同假想地震造成的海啸和湖震等。

为了确定经济影响，包括大震造成的功能损失和人员伤亡，需要有与每一社会功能类别有关的设施清单资料。对每一设施必须要得到的数据有：

- 地震工程设施分类；
- 设施的重置价值；
- 设施的位置；

- 设施内容物的类型及价值;
- 设施占有者或使用者的数量。

因为仅有很少的设施清单数据库能够用于本研究,因此结构清单的大部分必须由经济资料综合得到。这些经济资料根据研究的需要,按照工程经济协会(EEA)提出的工业部门划分作了分类。于是 EEA 的工业部门与本项采用的相应的社会功能类别可相互比照。

对本研究而言,合适的做法是,对位于具体的地理区域且类别相似的设施,考虑它们的总量价值、大小以及占用人数。在许多情况下,邮政编码提供了相对准确的地理分区,它已被选定作为适当的地理单元。一旦这些区域中每一个的地震灾害被判定,便能确定地震工程设施类别与社会功能类别每一种组合的总体设施破坏。这种方法有若干优点。首先,对于能借助于计算机技术的问题它是一种快速方法;第二,如果或当我们得到适于单个或部分设施类别的精度更高的设施专门资料时,本方法不会排除使用这样的资料;最后,如果我们获得更精确的设施类别分布的资料,本方法还适宜于精细处理。

按本项目所涉及的设施类别范围,需要使用若干方法来建立所需清单的不同部分。在第四章里将详细描述这些方法。一般来说,编制清单的方法可作如下分级:

- 一级:使用现有设施的专门数据库得到清单;
- 二级:由 FEMA 和 EEA 经济资料得到综合设施清单;
- 三级:由人口和其他资料得到综合设施清单。

一级方法一般说来是最可靠的,由它完成清单矩阵元素的全部或尽可能多的部分是有希望的。清单矩阵元素由邮政编码、社会功能类别和地震工程类别的唯一组合来确定。把有用的现存设施数据库全部用尽之后,清单矩阵元素仍不完备时,应在可能的范围内使用二级方法。只有当使用一级和二级方法都不能使清单元素完备时,才应使用三级方法。

重要的是,编制清单方法基本上未进行检验,为此,作某些修正将是需要的。第四章中表述的多数资料反映了专家意见,它们通过对实际设施的科学取样而得到改进,使用者应该知道这种弱点,并警惕清单资料中的明显矛盾。

结论意见与建议

项目参与者(PEP、项目顾问及工作人员)一致认为,在本项研究中,已经就所描述过的主要损失类型和主要损失原因给出了地震损失估计的范围。与此同时,项目参与者意识到要进行大量的地震损失估计,建议对报告中所表述的资料要合理和谨慎地使用。重要的是本项目的 70 多名参与者表达了一千多人在地震工程方面几年的专业经验,因此所作出的判断与估计是有意义的。

目前,地震损失估计与其说是一门科学还不如说是一种技术。我们具有足够的知识来描述地震破坏问题的范围,但是有关地震损失的观测资料却不够充分,所以还不能把它称为一门硬科学。考虑到当前的技术现状,地震破坏最好是用统计的方法来定量描述。在第六章中,提供了关于观测到的地震对楼房、桥梁、地下管线和大坝影响的综述,它指出对大约 6 类结构,通常仅有很少的关于破坏的统计资料。而在本项目中,对 78 种不同类型的设施和设备(也就是对加利福尼亚所有的结构类型),都提出了地震动-破坏关系的估计。

本报告的读者和资料使用者必须要意识到,地震动(第七章)、次生灾害(第八章)、间接损失和功能损失(第九章)的估计是根据判断得到的,并且是利用多次问卷调查建立起来的。

注意以下几点也是重要的：(1)所提供的是对加利福尼亚众多设施的估计，那里的多数结构物在设计时已考虑了抗震；(2)这种估计表达的是平均意义上的估计；(3)需要有大量的经验数据来证实或改进这些估计。当使用本研究提供的专家意见资料时，必须注意辨别在获得它们时所使用方法的局限性。这些估计依据的是许多人的主观判断，他们仅仅凭借他们的经验和非常有限的资料。尽管如此，这些估计还是反映了一批非常杰出的地震工程师的最佳判断，除了大约6类结构缺乏充分的破坏统计资料外，这些估计仍是加利福尼亚现有各类型结构的唯一可用的信息。

在本项研究的过程中，发现许多问题尚需进一步注意或研究。下面是项目工程小组、项目工作人员及顾问们的建议：

1. 检查 FEMA 最初对本项目发展的方法及数据的应用(通过 FEDLOSS)，这种检查应由一个小组来执行，它包括项目工作人员，项目顾问和挑选出来的若干 PEP 成员。

2. 拟定一个综合方法来预测加利福尼亚震后火灾的发生及波及的范围。应用一种为预报日本震后火灾而提出的模型，并依据美国震后火灾的经验作出修正似乎是合理的。

3. 依据实验资料，检验或修正本项目得到的专家意见。

4. 检查和评价修正的麦卡利烈度表，发展与改进应用麦卡利烈度资料研究地震破坏及损失估计的多种方法。评估地震动的严重程度随麦卡利烈度增高(一直到Ⅷ度)而增加这一前提，同时也需检查与滑坡有关的规范。最近的研究结果表明(Keefe, 1984)：(1)在 MMI 为Ⅵ度时，陡峭边坡发生严重的浅层碎裂型滑坡是常有的事；(2)在Ⅷ度情况下，平缓边坡经常发生快速的土体流动、土壤的侧向扩张和粘聚以及深位滑动；(3)各类滑坡有时会在比通常发生滑坡的烈度水平低1至2度的情况下发生。

5. 为了更完善地利用地面震动的工程特征，需作进一步的研究。努力的方向应是开发地面运动的工程特征，它包括振幅、频率成分和持续时间。

6. 进行包括结构抽样在内的研究，其目的是为了改进结构清单资料与编目方法。由于本研究开发的资料反映的是专家意见，而且完全没有经过检验，所以应该通过实际设施科学抽样对它们进行改进。对所提到的不同社会功能类型的建筑类型的划分特别需要依据抽样来加以验证或修正。

7. 开发在加利福尼亚县级区域的滑坡灵敏度清单。在这类地区，现今还没有这种清单。目前，在加利福尼亚已编制了滑坡灵敏度清单的地区仅有圣马特奥、旧金山(加利福尼亚北部)，以及圣莫尼卡丘陵地区(加利福尼亚南部)。

8. 在加利福尼亚各县编制劣质地基和液化作用的区域性清单。在那些地区普遍还没有这类清单。

9. 开发加利福尼亚各类生命线系统的生命线网络清单。

10. 研究生命线系统冗余度对功能损失及恢复时间的影响。

11. 发展多种改进的方法来估计由地震动和其他次生灾害引起的总平均损失率，这些次生灾害包括地基或液化、滑坡、断层破裂和洪水等。本项目假定总的平均损失率恒等于各类平均损失率之和，其值小于等于1。