

灾害风险防控与应急管理译丛

NATIONAL EARTHQUAKE RESILIENCE RESEARCH IMPLEMENTATION AND OUTREACH

国家地震韧弹性 研究、实施与推广

美国国家科学院国家研究委员会

地震韧弹性研究、实施与推广委员会

地震与地球动力学委员会

著

地球科学与资源理事会

地球与生命研究部

马海建 董丽娜 贾路路 王新胜 朱 林 游新兆 译

地震出版社

◎ 灾害风险防控与应急管理译丛

NATIONAL EARTHQUAKE RESILIENCE RESEARCH IMPLEMENTATION AND OUTREACH

国家地震韧弹性： 研究、实施与推广

美国国家科学院国家研究委员会
地震韧弹性研究、实施与推广委员会

地震与地球动力学委员会 著

地球科学与资源理事会

地球与生命研究部

马海建 董丽娜 贾路路 王新胜 朱 林 游新兆 译

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

国家地震韧性: 研究、实施与推广 / 美国国家科学院国家研究委员会等著; 马海建等译. — 北京: 地震出版社, 2018.5

书名原文: National Earthquake Resilience: Research, Implementation and Outreach
ISBN 978-7-5028-4965-8

I. ①国… II. ①美… ②马… III. ①防震减灾—研究—美国 IV. ①P315.94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 069549 号

This is a translation of *National Earthquake Resilience: Research, Implementation and Outreach*, Committee on National Earthquake Resilience--Research, Implementation, and Outreach; Committee on Seismology and Geodynamics; National Research Council © 2011 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.

著作权合同登记 图字: 01-2018-0606 号

地震版 XM3865

国家地震韧性: 研究、实施与推广

美国国家科学院国家研究委员会 地震韧性研究、实施与推广委员会 著
地震与地球动力学委员会 地球科学与资源理事会 地球与生命研究部
马海建 董丽娜 贾路路 王新胜 朱 林 游新兆 译

责任编辑: 董 青

责任校对: 刘 丽

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

<http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印有限公司

版 (印) 次: 2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 235 千字

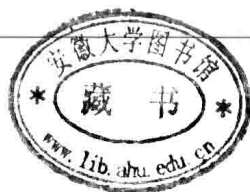
印张: 18.75

书号: ISBN 978-7-5028-4965-8/P (5668)

定价: 88.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)



译丛前言

随着我国社会经济快速发展，地震、滑坡、洪水和台风等重大自然灾害所造成的冲击和影响越来越严重。重大自然灾害事件是影响国家长治久安和安全发展的重大风险源，它不仅会造成重大人员伤亡和巨大经济损失，而且会影响经济可持续发展，影响社会秩序。重大自然灾害多发是我国基本国情。京津冀协同发展区域、长三角城市群及长江经济带、港珠澳超级城市群和众多的省会城市均处于重大自然灾害风险非常高的区域。迅速提升重大自然灾害事件应对能力和风险防范能力已经成为当务之急。习近平总书记在唐山大地震 40 周年之际视察唐山时发表重要讲话，揭开了我国防灾减灾救灾的新篇章，明确提出“两个坚持”“三个转变”的重要论断，即坚持以防为主、防抗救相结合，坚持常态减灾和非常态救灾相统一，努力实现从注重灾后救助向注重灾前预防转变，从应对单一灾种向综合减灾转变，从减少灾害损失向减轻灾害风险转变，全面提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力。习近平总书记防灾减灾救灾新理念新思想新战略，为新时期防震减灾工作指明了发展方向。为此，2018 年，党的十九届三中全会和十三届全国人大一次会议，作出了党和国家机构改革的重大部署，组建应急管理部，整合优化应急力量和资源，推动形成统一指挥、专常兼备、反应灵敏、上下联动、平战结合的中国特色应急管理体制，提高防灾减灾救灾能力，确保人民群众生命财产安全和社会稳定。这是我国防震减灾体制机制的重大变革，是推进国家治理体系和治理能力现代化的重大举措，对

提高我国综合防灾减灾救灾能力、推进新时代防震减灾事业现代化建设具有重大而深远的意义。

由高孟潭研究员等负责选题策划的“灾害风险防控与应急管理译丛”（以下简称“译丛”）密切关注国际相关动态，翻译或编译出版国际上有关重大自然灾害风险防控、灾害韧弹性和应急备灾的研究报告、重大计划实施进展报告、政府白皮书和著名学者论著，是一件很有意义的工作。“译丛”适合于政府管理部门、科研院所、从事自然灾害防抗救工作人员以及广大公众阅读，可为我国政府公共政策制定、重大自然灾害应急备灾管理和广大学者开展自然灾害研究提供参考。我很高兴看到“译丛”的出版，特写下以上几句感想，向读者热忱推介这套“译丛”。

陈运泰

2018年4月

译者的话

地震是群灾之首。我国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广，地震灾害非常严重，是国家重大公共安全风险源之一，提升地震灾害风险防范和应急管理成为迫切之需。为了更好应对可能发生的重大地震灾害，美国、日本等国家都已经建立了自己的国家地震韧性发展计划，其中有许多做法措施值得我们学习借鉴。

美国国家研究委员会（NRC）专门设立了美国地震韧性研究、实施与推广委员会，组织了涉及减轻地震风险领域的高水平专家，编写了这份研究报告，在《2008 国家地震减灾计划（NEHRP）战略规划》的框架内，提出了研究、实施与推广国家地震韧性的任务路线图，并评估了实施成本，是目前最系统的国家层面建设地震韧性的研究报告之一。

鉴于该研究报告对于我国加强重大地震灾害风险防范和应急管理具有非常重要的参考价值，故译成中文版本，以飨读者。本书既可以为防震减灾宏观管理和政策制定提供参考，亦可供从事防震减灾相关领域及专业的科技人员和研究人员参考。

参与本书翻译工作人员：游新兆负责翻译概述；马海建负责翻译第 1 章、第 2 章；贾路路负责翻译第 3 章第 1 节至第 9 节；王新胜负责翻译第 3 章第 10 节至第 18 节；董丽娜负责翻译序、致谢、第 4 章和第 5 章；朱林负责翻译附录。全书由马海建统稿和校对，最终由高孟潭研究员定稿。

本书由中国地震局发展研究中心策划、资助出版。本书的中文版权引进、翻译和出版得到了中国地震局发展研究中心、地震出版社、中国地震局地球物理研究所和安德鲁·纳伯格国际有限公司的大力支持。在此，译者向原著者及为本书出版提供支持和帮助的单位和个人表示衷心的感谢。

由于译者水平有限，难免有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

译者

2018年4月

序

地震威胁着美国大部分地区，1964 年和 2002 年的阿拉斯加州、1857 年和 1906 年的加利福尼亚州以及 1811 年和 1812 年的密西西比河中心流域地区均遭遇了破坏性地震的袭击。造成重大损失的 5 级以上中强震反复袭击西部大部分州以及若干中西部和东部的州，比如 1886 年的南卡罗来纳州和 1755 年的马萨诸塞州。最近袭击日本北部的 9 级灾难性大地震尤其引人注目，因为日本在实施地震灾害防御措施方面是公认的佼佼者¹。此外，地震灾害具有潜在复杂性，容易引发级联影响效应，引发海啸、切断电力供应以及破坏核反应堆冷却剂泵等。这些灾害组合可能袭击任何地震多发地区。

我们可以做许多事情来减轻地震的影响。通过优化土地利用方式，可以避免让活动断层带和不稳定地区。应用建筑抗震规范和措施可以减少损失和人员伤亡。保险和政府援助有助于恢复和减轻经济影响。快速响应可以挽救生命，恢复基本服务。除了这些减少地震损失的传统方法之外，还需要更加关注社区在地震灾害恢复方面的必要行动。

由于认识到地震的严重威胁和减轻地震影响手段的必要性，国会于 1977 年制定了“国家地震减灾计划（NEHRP）”，并定期再授权。该计划要求美国联邦紧急事务管理署（FEMA）、美国国家标准与技术研究院（NIST）、美国国家科学基金会（NSF）以及美国地质调查局（USGS）等四个联邦机构提高对

¹ 日本 9 级大地震发生时，报告已经完成编制和审查，正在印刷，因而无法将其纳入分析。

地震成因和影响的认识，制定并颁布措施以减轻其影响。

美国国家标准与技术研究院（NIST）作为国家地震减灾计划的牵头机构，发布了《2008 NEHRP 战略规划》，明确了 2009—2013 年国家地震减灾计划的愿景、使命、战略目标和具体目标（NIST，2008；摘录于附录 A）。2009 年，美国国家标准与技术研究院要求美国国家研究委员会（NRC）在此基础上开展研究，在研究、成果转化、实施和推广等方面提出国家需求路线图，提升美国地震灾害韧性。此外，还要求该路线图吸收 2003 年美国地震工程研究所（EERI）编制的题为“保护社会免受地震损失——地震工程研究与推广计划”（EERI，2003b；摘录于附录 B）报告（以下简称《2003 EERI 报告》）中的结果。该报告包含了根据专家意见估算的国家地震减灾计划实施 20 年所需成本，美国国家标准与技术研究院（NIST）要求由我们委员会进行更新和验证。

为了开展这项研究，美国国家研究委员会在地震与生命研究部下设立了地震韧性研究、实施与推广委员会。委员会的成员包括涉及减轻地震风险的所有学科的专家。委员会共召开了四次会议，其中一次研讨会在加州尔湾市的美国国家学院贝克曼中心举办，除了委员会成员之外，还邀请了包括国家地震减灾计划机构代表在内的约 40 人参加。参会代表帮助委员会了解了国家地震减灾计划的许多关键问题和关注点，并对报告起草作出了实质性贡献。

Robert M. Hamilton 主席

致 谢

本报告得到了委员会开放会议专题发言者以及在委员会主办的开放论坛参与者的的大力支持，感谢 David Applegate, Walter Arabasz, Ralph Archuleta, Mark Benthien, Jonathan Bray, Arrietta Chakos, Mary Comerio, Reginald DesRoches, Andrea Donnellan, Leonardo Duenas-Osorio, Paul Earle, Richard Eisner, Ronald Eguchi, John Filson, Richard Fragaszy, Art Frankel, James Goltz, Ronald Hamburger, Jim Harris, Jack Hayes, Jon Heintz, Eric Holdeman, Doug Honegger, Richard Howe, Theresa Jefferson, Lucy Jones, Ed Laatsch, Michael Lindell, Nicolas Luco, Steven Mahin, Mike Mahoney, Peter May, Dick McCarthy, David Mendonca, Dennis Milet, Robert Olson, Joy Pauschke, Chris Poland, Woody Savage, Hope Seligson, Kimberley Shoaf, Paul Somerville, Shyam Sunder, Kathleen Tierney, Susan Tubbesing, John Vidale, Yumei Wang, Gary Webb, Dennis Wenger, Sharon Wood, and Eva Zanzerkia。这些会议上的介绍和讨论为委员会的审议提供了宝贵的意见和参考。

本报告的送审稿已按照美国国家研究委员会（NRC）报告审查委员会批准的程序，由各种不同观点和技术专长的人士进行了审查。独立审查的目的是提供公正的和批评性的意见，这将有助于尽可能完善该报告，并确保其符合有关研究责任的客观、有据和响应的制度标准。审查意见和稿件仍然保密，以保护审议过程的完整性。感谢以下人士参与审查本报告：

John T. Christian, 马萨诸塞州沃尔瑟姆的独立顾问 ;

Lloyd S. Cluff, 加利福尼亚州旧金山太平洋煤气电力公司 ;

James H. Dieterich, 加州大学河滨分校 ;

Carl A. Maida, 加州大学洛杉矶分校 ;

Chris D. Poland, 加利福尼亚州旧金山 Degenkolb 工程公司 ;

Barbara A. Romanowicz, 加州大学伯克利分校 ;

Hope A. Seligson, 加利福尼亚州亨廷顿海滩 MMI 工程公司。

尽管上述审稿人提供了许多建设性的意见和建议,但他们没有被要求认可这些结论或提议,也没有在报告发布之前看到最终版。本报告审查的监督工作由科罗拉多大学博尔德分校土木环境与建筑工程系的 Ross B. Corotis 和科罗拉多州博尔德国家大气研究中心的 Warren M. Washington 负责。他们由美国国家研究委员会任命,负责确保本报告按照规定程序进行独立审查,并认真审议所有审查意见。本报告最终内容由编写委员会和国家研究委员会 NRC 全权负责。

目 录

译丛前言	I
译者的话	III
序	V
致 谢	VII
概 述	1
第 1 章 引 言	11
1.1 地震风险与灾害	12
1.2 国家地震减灾计划过去 30 年的成就	17
1.3 路线图背景——EERI 报告和 NEHRP 战略规划	23
1.4 委员会职责和这项研究的范围	25
第 2 章 什么是国家地震韧性	27
2.1 定义国家地震韧性	27
2.2 度量灾害韧性	31
2.3 地震韧性社区是什么样子的	34
2.4 韧性的维度	44
第 3 章 路线图要素	47
3.1 任务 1：地震物理过程	51
3.2 任务 2：美国国家地震监测台网升级	62

3.3	任务 3：地震预警	66
3.4	任务 4：美国国家地震危险性模型	73
3.5	任务 5：可操作的地震预报	82
3.6	任务 6：地震场景构建	90
3.7	任务 7：地震风险评估与应用	99
3.8	任务 8：震后科学响应与恢复研究	107
3.9	任务 9：震后信息管理	115
3.10	任务 10：减灾和恢复的社会经济研究	119
3.11	任务 11：社区韧弹性和易损性观测网络	131
3.12	任务 12：地震破坏和损失的物理模拟	141
3.13	任务 13：现有建筑物评估和加固技术	145
3.14	任务 14：基于性能的地震工程	150
3.15	任务 15：生命线系统韧弹性指南	157
3.16	任务 16：下一代可持续材料、构件和系统	166
3.17	任务 17：知识、工具和技术转移给公共和私人实践	170
3.18	任务 18：地震韧弹性社区和区域示范项目	172
第 4 章	路线图成本	179
4.1	经费解释说明	181
第 5 章	结论——实现地震韧弹性	191
5.1	定义地震韧弹性	192
5.2	韧弹性路线图要素和成本	192

5.3	路线图各项任务的时间安排	196
5.4	地震韧弹性和机构协调	197
5.5	落实国家地震减灾计划知识	198
参考文献		201
附 录		227
附录 A	《2008 NEHRP 战略规划》概要	227
附录 B	《2003 EERI 报告》概要	231
附录 C	委员会和工作人员简历	234
附录 D	社区研讨会参会人员与报告	243
附录 E	其他成本信息	251
附录 F	缩略语	275
美国国家研究院——科学、工程和医学领域的国家顾问		279

概 述

美国将来肯定会发生破坏性地震，其中有些地震还可能发生在人口稠密的脆弱区域。应对卡特里娜飓风灾害的惨痛教训表明，在人口稠密地区，应对一般 5 级以上中强震的措施和指标对于 7 级以上大震并不适用。这篇报告提出了一个提高美国地震韧弹性的路线图，包括应对罕见的又不可避免的卡特里娜飓风式的太地震事件。

自 1964 年阿拉斯加 9.2 级地震以来，美国还未遭遇到 8 级以上巨震^[1]。由于阿拉斯加人烟稀少，地震造成的破坏相对较轻。1906 年旧金山地震是美国最近真正遭受的毁灭性大地震，而其他破坏性地震只是中到强震级，由此给人们的一种感觉就是我们国家已经可以有效应对地震威胁，具有“地震韧弹性”。然而，应对中强地震的准备措施指标事实上并非适用于应对巨大地震。帮助理解大震可能造成的影响程度的一个有效方法是应用地震情景构建，即模拟社区对特定地震的影响和反应。2008 年美国加利福尼亚地震情景构建项目“The ShakeOut Scenario”，（Jones 等，2008），涉及 5,000 多名应急人员，超过 550 万居民，地震情景模拟表明，当加利福尼亚发生 7.8 级强烈地震，将造成约 1,800 人死亡，建筑物及生命线工程损失 1130 亿美元，业务中断损失近 700 亿美元。这么大的地震显然会对整个国家产生重大影响，这就需要着重发展减少这种影

^[1] 地震破坏影响不仅反映地震震级，而且反映地震动速度、加速度、频率和震动持续时间。美国 USGS 定义的地震震级分为：“great”（巨震）， $M \geq 8$ ；“major”（大震）， $M=7 \sim 7.9$ ；“strong”（强震）， $M=6 \sim 6.9$ ；“moderate”（中强震）， $M=5 \sim 5.9$ ；等。见 <http://www.earthquake.usgs.gov/learn/faq/?faqID=24>。

响的能力，即增强国家的地震韧性。

美国国家地震减灾计划（NEHRP）是经国会批准的多机构计划，旨在减少未来美国地震的影响。该计划最初于 1977 年获得国会授权，随后每 2 ~ 5 年再重新授权一次。由获得资金授权和立法权限的美国联邦紧急事务管理局、美国国家标准与技术研究院、美国国家科学基金会和美国地质调查局四个联邦机构共同负责实施。2009 年，该计划预算资金为 1.297 亿美元，其中美国地质调查局 6120 万美元，美国国家科学基金会 5530 万美元，美国联邦紧急事务管理局 910 万美元，美国国家标准与技术研究院 410 万美元（NIST，2008）。2008 年，该计划执行机构制定了实施战略规划，即《2008 NEHRP 战略规划》，其目的是为今后开展相关工作提供良好基础。该规划重点凝练出了 14 个具体目标，分为三个方面：提高对地震过程及影响的认识，制定节约成本的措施以减轻地震对个人、建筑环境和全社会的影响，提高全国社区的地震韧性。

作为国家地震减灾计划的领导机构，美国国家标准与技术研究院委托美国国家研究委员会（NRC）根据《2008 NEHRP 战略规划》中描绘的实现国家韧性的实施目的和目标，制定减轻美国地震灾害和降低地震风险的路线图。美国国家研究委员会评估了未来 20 年实现国家地震韧性所需要开展的工作及其经费成本。评估报告还认为，国家地震减灾计划实施 20 年之后，有些工作仍需要持久开展（见专栏 1.2）。

一、定义地震韧性

实现国家地震韧性首先应了解地震韧性的内容构成。本报告从工程 / 科学（物理方面）、社会 / 经济（行为方面）和公共机构（管理方面）几个维

度结合，多方面解释了“韧性（Resilience）”一词。韧性也被解释为增强国家所有地震脆弱地区的稳健性和能力以在发生破坏性地震后充分发挥作用的灾害前、后的行动组合的统称。

委员会也认识到，要成为一个“完全”地震韧性国家的成本是高昂的。因此，我们的任务是帮助设定未来 20 年提高国家韧性的效绩目标，进而为国家地震减灾计划制定更详细的路线图以及优先事项。基于这些思考，委员会建议国家地震减灾计划采取如下“国家地震韧性（National Earthquake Resilience）”定义：

灾害韧性国家，是其社区有减灾措施和灾前准备，具备当重大灾害发生时可维持社区的重要功能并迅速恢复的自适应能力。

二、韧性路线图的要素和成本

在《2008 NEHRP 战略规划》的基础上，委员会着手制定重点工作，为进一步实施该规划和建设更具地震韧性国家提供基础。最终确定了 18 项任务，范围涉及基础研究到面向社区应用的相关领域，构成了推进国家地震减灾计划战略目标和实施战略规划的“路线图”。这些任务与《2008 NEHRP 战略规划》所述的战略目标和具体目标有交叉，因为它们是从知识构建到实施的连贯一致的活动。

委员会通过了《2008 NEHRP 战略规划》，明确了执行该规划并实质性提高国家地震韧性所需要实施的 18 项具体任务。