



建筑工程质量控制丛书

建筑结构 抗震技术

● 周德源 张 晖 施卫星 余 楠 编著



化学工业出版社



建筑工程质量控制丛书

建筑结构抗震技术

● 周德源 张 晖 施卫星 余 楠 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《建筑工程质量控制丛书》的一个分册。

本书对各类建筑结构（砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构、组合结构与混合结构等）的抗震技术和措施、基础隔震技术、建筑结构消能减震技术以及建筑结构抗震加固技术作了较全面的介绍。本书注重基本概念的阐述，兼顾介绍国家有关标准的要求；为了便于读者对相关内容的理解，书中介绍了二十多个工程实例，供读者参考、借鉴。

本书除可供教学、科研、设计人员，在校学生和研究生学习参考外，对建筑施工、监理和建筑行业管理人员学习掌握抗震技术也有较大的参考价值。

图书在版编目（CIP）数据

建筑结构抗震技术/周德源等编著. —北京：化学工业出版社，2006.7

（建筑工程质量控制丛书）

ISBN 7-5025-9094-3

I. 建… II. 周… III. 建筑结构-抗震设计 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 080246 号

建筑工程质量控制丛书

建筑结构抗震技术

周德源 张 晖 施卫星 余 楠 编著

责任编辑：郭乃铎 马燕珠

文字编辑：陈 喆

责任校对：战河红

封面设计：于 兵

*

化学工业出版社发行

（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）

购书咨询：（010）64982530

（010）64918013

购书传真：（010）64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 26¼ 字数 482 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9094-3

定 价：58.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

丛书编委会名单

主任 姚燕 中国建筑材料科学研究院院长、教授级高级工程师、博士生导师，中国建筑材料工业协会副会长，中国混凝土外加剂协会会长、中国水泥制品工业协会副会长、中国硅酸盐学会水泥分会主任、中国水泥协会副会长、中国建筑学会建材分会副主任

副主任 韩素芳 中国建筑科学研究院教授级高级工程师，中国土木工程学会混凝土质量专业委员会主任委员

王铁梦 冶金建筑研究总院原副院长兼上海分院总工程师、教授级高级工程师、博士生导师，国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心技术顾问

陈龙珠 上海交通大学教授、博士生导师，安全与防灾工程研究所所长，建设部桩基动测单位资质评审专家委员会委员

王玲 中国建筑材料科学研究院高级工程师，中国混凝土外加剂协会秘书长，中国土木工程学会外加剂专业委员会副主任，中国建筑学会建材分会外加剂应用技术委员会副主任

委员（按姓氏笔画排序）

王玲

王铁梦

邱平

中国建筑科学研究院、国家建筑工程质量监督检验中心高级工程师

沈荣熹

中国建筑材料科学研究院水泥新材料研究所顾问、教授级高级工程师

张荣成

中国建筑科学研究院、国家建筑工程质量监督检验中心教授级高级工程师

张树凯

原建材局生产司司长、中国水泥制品工业协会名誉会长、高级工程师

陈龙珠

陈拴发

长安大学公路学院教授

岳跃真

中国水利水电科学研究院结构材料所副总工程师、教授级高级工程师

周德源

同济大学土木工程学院教授、博士生导师

胡曙光

武汉理工大学教授、武汉市副市长

姜红

国家建筑工程质量监督检验中心常务副主任、中国建筑科学研究院建筑工程检测中心主任、教授级高级工程师

姚燕

崔庆怡

陕西建筑科学研究院顾问、教授级高级工程师

隋同波

中国建筑材料科学研究院院长助理、所长、教授级高级工程师、博士生导师，中国硅酸盐学会水泥分会秘书长

韩素芳

韩继云

中国建筑科学研究院、国家建筑工程质量监督检验中心研究员、一级注册结构师

出版者的话

混凝土具有强度高、耐久性好、原料来源广、制作工艺简单、成本较低、适用于各种自然环境等优点，因此，它是世界上使用量最大、最为广泛的工程材料。近年来，随着工程技术的不断更新，混凝土的组成及施工工艺也发生了巨大变化，混凝土结构的研发与创新，新材料、新工艺、新技术的开发应用，典型工程的创新应用等均取得了长足的进步，建造了许多举世瞩目的工程项目。为了及时总结推广和应用混凝土的新技术、新工艺、新材料，总结在混凝土研究开发方面的创新，以期能进一步促进对混凝土的科学研究和技术发展，我们特邀请了中国建筑材料科学研究院、中国建筑科学研究院、原冶金部建筑科学研究总院、上海交通大学、同济大学等有关科研院所和企业的专家、教授编写了《混凝土技术丛书》、《建筑工程质量控制丛书》。

这两套丛书总结和反映了国内外有关混凝土研究、开发、应用的最新技术和最新进展，书中有不少数据与理论是作者的长期实践经验与总结，这些资料非常宝贵，有的是第一次公开出版，有非常重要的参考价值。这两套丛书是从事土木与水利工程的地质勘探、结构设计、施工技术、质量检测和监理等科研院所人员和工程技术人员自学提高的参考书，同时也可作为继续教育的培训用书及相关院校师生的参考书。

我们真诚地欢迎读者和用户对本丛书提出宝贵的意见和建议，以便在再版时不断使其得到改进和完善。

化学工业出版社

2005 年 11 月

前 言

本书编者多年来从事建筑结构抗震的教学、科研、设计工作和建筑改造与抗震加固的工程实践，曾参加上海市有关建筑抗震标准的编制和修编工作，也曾参加国内多项超高层建筑和大型复杂结构的设计工作。目前，国内已有许多关于建筑抗震理论和抗震设计的论著，而介绍建筑结构抗震技术的书籍较少。鉴于此，本书编者尝试以建筑结构抗震技术为重点，在收集总结国内外有关资料和研究成果的基础上，编写一本关于各类建筑结构抗震技术的参考书，一方面可供国内有关技术人员参考，另一方面起到抛砖引玉的作用。

本书注意基本概念的阐述，重点介绍各类建筑结构的抗震技术和措施，兼顾介绍国家有关标准的要求；本书还介绍了二十多个工程实例，可供读者参考、借鉴。

本书第1章、第3章、第4章、第6章和第7章由同济大学周德源编写；第2章、第5章由上海现代集团上海建筑设计研究院张晖编写；第8章、第9章由同济大学施卫星编写；第10章由上海英南建设工程有限公司余楠编写。全书由周德源修改定稿，孙黄胜、陈端华、陈曦、刘爱民参加了部分章节的起草工作，张鹏在本书的文字录入、插图和照片准备以及编排工作中付出了辛勤的劳动，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2006年5月于上海同济大学

目 录

1 概述	1
1.1 地震和地震灾害	1
1.1.1 20 世纪以来的灾难性地震	1
1.1.2 地震灾害	4
1.2 地震成因与地震类型	5
1.2.1 地球构造	5
1.2.2 地震的发生过程	6
1.2.3 地震的成因与类型	6
1.3 地震波及其传播	7
1.3.1 体波	7
1.3.2 面波	8
1.3.3 地震波的主要特性及其在工程中的应用	9
1.4 地震震级与地震烈度	10
1.4.1 地震震级	10
1.4.2 地震烈度	11
1.4.3 震级与震中烈度的关系	13
1.5 我国地震的特点	14
1.5.1 我国的地震活动与分布	14
1.5.2 我国地震活动的主要特点	15
1.6 我国建筑抗震技术发展回顾	16
1.6.1 我国建筑抗震设计规范的发展沿革	16
1.6.2 我国建筑抗震技术的发展	19
2 建筑结构的抗震设防和抗震概念设计技术	20
2.1 地震作用的特点	20
2.1.1 地震作用的随机性	20
2.1.2 地震作用随建筑结构特性变化而变化的特性	21
2.1.3 地震作用的短时性和往复性	21
2.1.4 地震作用的复杂性	22
2.2 建筑结构的抗震设防	22

2.2.1	抗震设防类别	23
2.2.2	抗震设防标准	24
2.2.3	抗震设防目标	24
2.3	建筑结构抗震概念设计技术	26
2.3.1	选择对抗震有利的建筑场地	26
2.3.2	合适的地基和基础	26
2.3.3	建筑体形和结构布置原则	27
2.3.4	避免不规则结构	28
2.3.5	防震缝与结构分段	33
2.3.6	楼板的作用	35
2.3.7	对材料的要求	36
2.3.8	合适的结构体系	38
2.3.9	结构的整体性	40
2.3.10	强度、刚度和变形能力的统一	42
2.3.11	提高结构的延性	43
2.3.12	多道抗震防线	48
2.3.13	隔震和消能减震	51
2.3.14	非结构构件的抗震	51
3	建筑场地和地基抗震技术	52
3.1	建筑场地	52
3.1.1	建筑地段的选择	52
3.1.2	场地类别的分类	53
3.1.3	建筑场地类别	56
3.2	抗震验算	56
3.2.1	天然地基的抗震能力	56
3.2.2	天然地基的抗震验算	57
3.2.3	桩基的抗震验算	58
3.3	液化地基的判别与处理	59
3.3.1	地基土的液化现象	59
3.3.2	地基抗液化措施	61
3.4	地基加固处理技术	62
4	砌体结构抗震技术	65
4.1	砌体结构概述	65
4.2	砌体结构房屋主要类型	66

4.3 砌体结构房屋震害·····	68
4.3.1 多层砌体房屋的震害及原因分析·····	68
4.3.2 底部框架-抗震墙砌体房屋的震害及原因分析·····	71
4.3.3 内框架房屋的震害及原因分析·····	72
4.3.4 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋抗震性能和应用前景·····	73
4.3.5 砌体结构房屋抗震设计三要素·····	76
4.4 多层砌体房屋抗震技术措施·····	76
4.4.1 建筑布置与结构选型技术措施·····	76
4.4.2 加强房屋整体性的技术措施·····	79
4.4.3 加强构件间连接的技术措施·····	83
4.4.4 工程实例·····	85
4.5 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震技术措施·····	87
4.5.1 建筑布置与结构选型技术措施·····	88
4.5.2 加强房屋整体性和连接的技术措施·····	89
4.6 内框架砌体房屋抗震技术措施·····	90
4.6.1 建筑布置与结构选型技术措施·····	90
4.6.2 加强房屋整体性和连接的技术措施·····	91
4.7 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋抗震技术措施·····	92
4.7.1 建筑布置与结构选型技术措施·····	92
4.7.2 加强房屋整体性和连接的技术措施·····	95
4.7.3 确保房屋墙体强度和变形能力的技术措施·····	96
5 钢筋混凝土结构抗震技术·····	98
5.1 概述·····	98
5.1.1 常用的钢筋混凝土结构形式·····	98
5.1.2 震害及分析·····	99
5.2 框架结构·····	102
5.2.1 柱网布置·····	102
5.2.2 框架变形性质·····	103
5.2.3 抗震能力·····	103
5.2.4 框架设计要点·····	104
5.2.5 整体计算方法·····	105
5.2.6 框架柱的抗震设计和构造要求·····	106
5.2.7 框架梁的抗震设计和构造要求·····	112
5.2.8 框架节点的抗震设计和构造要求·····	115

5.2.9 工程实例	118
5.3 剪力墙结构	119
5.3.1 墙体布置	119
5.3.2 剪力墙变形性质	120
5.3.3 抗震能力	121
5.3.4 剪力墙设计要点	121
5.3.5 整体计算方法	122
5.3.6 剪力墙的抗震设计和构造要求	124
5.3.7 连梁的抗震设计和构造要求	129
5.3.8 工程实例	131
5.4 框架-剪力墙结构	132
5.4.1 结构布置	132
5.4.2 变形性质	132
5.4.3 抗震性能	133
5.4.4 设计要点	134
5.4.5 整体计算方法	138
5.4.6 框架的抗震设计和构造要求	140
5.4.7 剪力墙的抗震设计和构造要求	142
5.4.8 工程实例	142
5.5 框架-核心筒结构	143
5.5.1 平面布置	143
5.5.2 变形性质	144
5.5.3 抗震能力	145
5.5.4 设计要点	146
5.5.5 整体计算方法	146
5.5.6 外框架的抗震设计和构造要求	147
5.5.7 内核心筒的抗震设计和构造要求	147
5.5.8 设置加强层的框架-核心筒结构	148
5.5.9 工程实例	151
5.6 筒中筒结构	153
5.6.1 结构布置	153
5.6.2 变形性质	154
5.6.3 抗震能力	154
5.6.4 设计要点	154

5.6.5	抗震设计和构造要求	155
5.6.6	工程实例	156
5.7	带转换层的高层建筑结构	156
5.7.1	建筑功能对结构的要求	156
5.7.2	抗震能力	157
5.7.3	设计要点	157
5.7.4	框支柱的抗震设计和构造要求	160
5.7.5	框支梁的抗震设计和构造要求	162
5.7.6	框支层楼板的抗震设计和构造要求	163
5.7.7	转换厚板的抗震设计和构造要求	164
5.7.8	转换桁架的抗震设计和构造要求	164
5.7.9	框支梁上部的剪力墙的抗震设计和构造要求	165
5.7.10	部分框支剪力墙结构剪力墙的抗震设计和构造要求	165
5.7.11	工程实例	166
5.8	异形柱结构	167
5.8.1	建筑功能对结构的要求	167
5.8.2	结构设计的一般规定	168
5.8.3	设计计算要点	170
5.8.4	工程实例	173
6	钢结构房屋抗震技术	174
6.1	钢结构房屋概述	174
6.2	钢结构房屋的震害	177
6.3	多高层钢结构民用建筑抗震技术	179
6.3.1	结构体系布置的技术措施	179
6.3.2	地震作用计算	182
6.3.3	杆件抗震验算	184
6.3.4	抗震设计对杆件的构造要求	186
6.3.5	节点和连接的抗震验算及构造要求	190
6.3.6	工程实例	194
6.4	单层钢结构厂房抗震技术	196
6.4.1	单层钢结构厂房结构体系布置的技术措施	196
6.4.2	地震作用计算	199
6.4.3	杆件验算和构造措施	201
7	组合结构与混合结构抗震技术	205

7.1 组合结构与混合结构概述	205
7.1.1 组合结构	205
7.1.2 混合结构	207
7.2 组合结构抗震技术	208
7.2.1 组合结构中的剪切连接技术	208
7.2.2 压型钢板与混凝土组合楼板	210
7.2.3 钢与混凝土组合梁	214
7.2.4 型钢混凝土结构	221
7.2.5 钢管混凝土结构	234
7.2.6 组合结构节点	240
7.3 混合结构抗震技术	246
7.3.1 一般要求	246
7.3.2 结构布置和结构设计	247
7.3.3 型钢混凝土构件的构造要求	250
7.3.4 钢-混凝土混合结构梁-墙节点连接技术	253
7.3.5 工程实例	257
8 建筑结构基础隔震技术	261
8.1 基础隔震一般原理	261
8.2 基础隔震发展历史	264
8.2.1 基础隔震方法的发展历史	264
8.2.2 基础隔震研究的现状与新进展	264
8.2.3 隔震建筑物在大地震时的表现	269
8.3 基础隔震常用橡胶支座性能	270
8.3.1 工程橡胶的特点	270
8.3.2 叠层橡胶支座的性能	271
8.3.3 铅芯橡胶支座的性能	275
8.3.4 其他隔震支座的性能	278
8.4 建筑结构基础隔震设计方法	282
8.4.1 基础隔震设计方法	282
8.4.2 基础隔震结构的构造措施	287
8.5 建筑结构基础隔震工程实例	288
8.5.1 基础隔震工程实例	288
8.5.2 各国基础隔震工程(部分)	295
9 建筑结构消能减震技术	302

9.1	结构消能减震基本原理	302
9.1.1	结构消能减震的基本概念	302
9.1.2	结构消能减震的优越性及应用范围	303
9.1.3	结构消能减震体系的分类和构造	304
9.2	阻尼器	308
9.2.1	软钢阻尼器	308
9.2.2	摩擦阻尼器	311
9.2.3	黏弹性阻尼器	313
9.2.4	黏滞阻尼器	319
9.3	耗能减震结构体系分析和设计方法	324
9.3.1	基于等价线性化的振型分解法	325
9.3.2	时程分析法	325
9.3.3	能量分析法	326
9.4	耗能减震工程实例	326
9.4.1	工程实例	326
9.4.2	国内外部分耗能减震工程	330
10	建筑结构抗震加固技术	338
10.1	抗震加固技术概述	338
10.2	加固用新型材料的介绍	339
10.2.1	碳纤维片材	339
10.2.2	碳纤维片材配套树脂	340
10.2.3	化学植筋胶	342
10.2.4	裂缝修补剂	343
10.2.5	建筑结构胶	343
10.2.6	建筑物结构加固料	345
10.2.7	混凝土保护剂	346
10.2.8	钢筋阻锈剂	347
10.2.9	聚合物水泥砂浆及混凝土	348
10.3	建筑结构抗震加固常用技术	350
10.3.1	加大截面加固技术	350
10.3.2	置换混凝土加固技术	360
10.3.3	外包型钢加固技术	362
10.3.4	粘钢加固技术	369
10.3.5	粘贴纤维片材加固技术	374

10.3.6	预应力加固技术.....	380
10.3.7	增加支承加固技术.....	385
10.3.8	化学植筋（螺栓）.....	387
10.3.9	砌体加固技术.....	389
10.3.10	建筑结构缺陷处理技术	392
10.3.11	与混凝土结构加固改造配套使用的技术	401
参考文献		404

1 概述

1.1 地震和地震灾害

地震是一种自然现象。据统计,全世界每年发生的地震约达五百万次,绝大多数地震由于发生在地球深处或者它所释放的能量小而人们难以感觉到。人们能感觉到的地震叫有感地震,占地震总数的1%左右。造成灾害的强烈地震则为数更少,平均每年发生十几次。强烈地震会引起地震区地面剧烈摇晃和颠簸,并会危及人民生命财产安全和造成工程建筑物的破坏。地震还可能引起海啸、火灾、水灾、山崩以及滑坡,这些都会给人类造成灾难。

1.1.1 20 世纪以来的灾难性地震

(1) 印度尼西亚苏门答腊岛地震

较近一次对人类造成重大灾难的地震是2004年12月26日上午8时(当地时间)印度尼西亚苏门答腊岛以北海域发生的里氏8.7级强烈地震,该地震引发浪高10m的海啸,地震引起的海啸首先袭击泰国南部,然后一路奔袭1600km,席卷印度和斯里兰卡等东南亚和南亚数个国家,造成重大人员伤亡,灾难甚至波及到东非沿岸的索马里。此次印度洋地震和海啸造成的死亡人数超过15万人,还有至少9000名外国游客在这次海啸中遇难或失踪。

(2) 我国台湾集集地震

1999年9月21日,我国台湾发生里氏7.6级强烈地震,地震释放的能量相当于40枚“广岛原子弹”的能量,完全倒塌的房屋53551户,半倒塌53633户,20余座桥梁严重受损,2400人死亡,11300人受伤,经济损失达3766亿新台币。

(3) 土耳其地震

1999年8月17日凌晨3时01分,土耳其西部地区发生里氏7.4级强烈地



震, 1.3 万人死亡, 大批人无家可归, 供电通信中断。此次地震的震中位于第一大城市伊斯坦布尔以东 110km 处的伊兹米特市 (该市位于一条断层带上) 阿达帕区域, 地震除造成大量人员伤亡和建筑物倒塌外, 还使包括首都安卡拉和伊斯坦布尔在内的一些地区发生大范围停电, 并引发许多地方的交通混乱, 震后共发生 33 次 4 级以上余震, 最大 5.3 级。

(4) 阪神地震

1995 年 1 月 17 日当地时间清晨 5 时 46 分, 北纬 34.6 度, 东经 135.0 度, 一次可怕的地震降临了, 几万栋房屋顷刻成了一片废墟, 路面开裂, 地基变形, 铁道弯曲, 列车脱轨, 港口破坏, 拦腰折断的大楼倒下来将道路隔截, 断裂的高速公路从几十米高处塌落下来, 地震引起的火灾将神户市上空映得一片通红, 这次地震震级为 7.2 级, 造成人员死亡 5466 人, 3 万多人受伤, 几十万人无家可归, 受害人数达 140 多万人, 被毁房屋超过十万栋, 生命线工程和大量公共设施被严重破坏, 造成经济损失达 1000 亿美元。

(5) 洛杉矶地震

1994 年 1 月 17 日凌晨 4 时 31 分, 历时 45s 的强烈地震袭击了美国洛杉矶地区, 成千上万的人们奔上了街头, 也有众多的人们本能地钻到了桌子或者床底下以求生。这次地震发生在洛杉矶西北部 35km, 是美国西部近年来破坏性最大, 损失最为严重的一次地震。死亡人数达 55 人, 受伤者达 7000 多人, 直接经济损失约 200 亿美元。

(6) 伊朗拉什特地震

1990 年 6 月 21 日, 伊朗拉什特发生了 7.7 级强烈地震, 10 万多幢房屋坍塌, 7 万多幢房屋半毁, 5 万人死亡, 近 20 万人受伤, 50 万人无家可归, 直接经济损失达 100 亿美元。

(7) 前苏联亚美尼亚地震

1988 年 12 月 7 日前苏联亚美尼亚发生了 6.9 级强烈地震, 列宁纳坎和斯皮塔克两个大城市完全被毁, 5.5 万人死亡, 重伤 1.3 万人, 51 万人无家可归, 经济损失达 85 亿卢布。

(8) 墨西哥城地震

1985 年 9 月 19 日, 在离墨西哥首都墨西哥城约 400km 的海域发生了 8.1 级强烈地震, 21 日又发生了 7.5 级强余震。这两次地震, 给远离震中的墨西哥城市造成了严重的震害和经济损失, 墨西哥城是在填湖造地基础上建立起来的, 城市不断扩大, 人口越来越集中, 城市的这个弱点在这次地震中充分暴露出来, 这次地震共造成 1 万多人死亡, 伤 4 万多人, 房屋倒塌 2000 余栋, 墨西哥城中 8000 多幢房屋遭到不同程度的破坏, 许多建筑物受到严重破坏, 累计经济损失

达 70 亿~80 亿美元。这是 20 世纪非极震区死亡人数最多的地震。

(9) 唐山地震

1976 年 7 月 28 日在河北省唐山、丰南一带发生的 7.8 级强烈地震,造成了我国历史上一次罕见的城市地震灾害。北京和天津市受到严重波及,地震破坏范围超过 3 万平方公里,有感范围达 14 个省、市、自治区,相当于全国面积的 1/3,这次地震的震中位于唐山市区,震中烈度为 XI 度,震源深度为 11km。极震区内几乎所有建筑物均荡然无存,在震区及周围地区,出现大量的裂缝带,喷水冒沙、井喷、重力崩塌,滚石、边坡崩塌,地基沉陷,岩溶洞陷落以及采空区坍塌等。唐山地震造成 24.2 万人死亡,16.4 万人重伤,仅唐山市区终身残废者达 1700 多人,倒塌民房 530 万间。唐山地区总的直接经济损失达 54 亿元,公共设施遭受严重破坏,灾情之大举世罕见。

(10) 秘鲁钦博特地震

1970 年 5 月 31 日秘鲁钦博特发生了 7.8 级强烈地震,地震引起世界上最为罕见、最为猛烈的泥石流,导致容加依城全部被毁,2.3 万人死亡。

(11) 智利地震

1960 年 5 月 22 日下午 3 时 11 分,智利发生 8.9 级强烈地震,震中烈度超过 XI 度。自 5 月 21 日~6 月 22 日,在南纬 36 度~48 度之间,沿海岸南北长 1400km 的狭长地带,持续发生数百次较强烈地震,其中超过 8 级的有 3 次,超过 7 级的有 10 次,同时还引起剧烈的海啸,猛烈的火山喷发,由此造成 5700 人死亡。在震中地区,有 15.8 万余栋房屋遭到破坏,占全部房屋的 50%。在地震波的横扫之下,许多城市被夷为平地,许多湖泊消失了,又出现不少新的湖泊,两座小山也不翼而飞。地震引起火山喷发和海啸,海啸冲击了整个太平洋。

(12) 日本关东地震

1923 年 9 月 1 日中午以东京一横滨为中心的广阔都市地带(北纬 35.0 度,东经 139.5 度)发生 8.3 级强烈地震,地震造成 60 万座建筑被毁,大火几乎与地震同时发生,地震引发的火灾毁坏了 57.5 万栋房屋,14.3 万人丧生,20 万人受伤,50 万人无家可归。在东京的商业区,几千人被大火烧死,海岸边几百条木船被大火烧毁。经济损失折合近 300 亿美元,这是 20 世纪最大的地震火灾。

(13) 我国海原地震

1920 年 12 月 28 日,我国海原发生 8.5 级强烈地震,地震导致群体性的山体滑坡,面积达 2001010km²,海原、固原、西吉、静宁四县城全部破坏,23.4 万人死亡。

(14) 意大利墨西拿地震

1906 年 12 月 28 日意大利墨西拿发生 7.5 级强烈地震,地震伴随着海啸摧