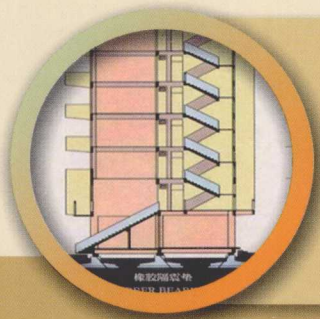
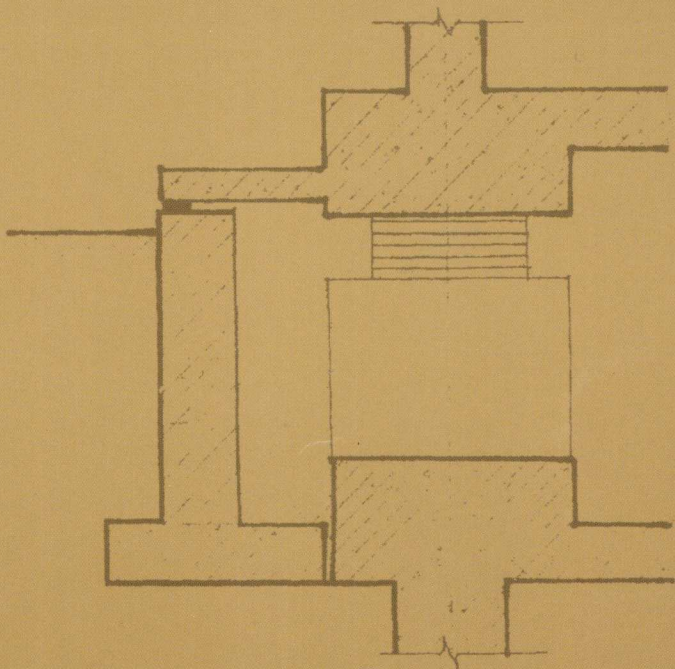




徐至钧 主编 徐 卓 赵尧钟 等编著

建筑结构隔震技术与应用



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

014037537

TU352.104
66

建筑结构隔震技术与应用

徐至钧 主 编

徐 卓 赵尧钟 等编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



北航

C1725672

TU352.104

66

内 容 提 要

本书主要根据建筑结构隔震技术的要求,介绍建筑抗震到建筑隔震、隔震建筑的计算分析、隔震建筑设计与构造、隔震橡胶支座施工与维护、隔震技术在加固和重建工程中的应用、隔震工程应用案例、隔震与抗震建筑工程造价对比分析、建筑的隔震设备、隔震建筑在我国的发展前景等。

本书可供从事隔震、减震设计施工的工程技术人员参考,也可供高等院校教师和研究生阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构隔震技术与应用/徐至钧主编;徐卓等编著.

--上海:同济大学出版社,2014.3

ISBN 978-7-5608-5376-5

I. ①建… II. ①徐…②徐… III. ①建筑结构—抗震设计 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 287050 号

建筑结构隔震技术与应用

主 编 徐至钧

组稿 解明芳

责任编辑 解明芳

责任校对 徐春莲

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟华顺印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13

印 数 1—2100

字 数 324 000

版 次 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5376-5

定 价 28.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前言

地震是世界上对人类构成巨大威胁的自然灾害之一。为了防止地震给人民的生命财产带来重大损失,各国科技人员纷纷致力于对地震预测及结构工程中防震减灾的研究。由于地震的成因十分复杂,并且,人们对地球本身的了解还不充分,因此,还不能够准确地进行地震预测。于是,建筑防震减灾已逐渐成为世界上的热门课题,研究成果推旧出新。隔震便是较好的防震措施之一。就文字而言,隔震就是隔离地震,与普通抗震理论通过抗震强度或由塑性化引起的能量吸收,即所谓硬性抵抗地震动不同,隔震是采用动态的抵抗方法。目前,日本作为地震多发国家,对隔震、减震研究较多,并将其部分研究成果运用到实际工程中,效果较好。

我国是个多地震的国家,为了减轻地震灾害,我国的地震工作者长期从事建筑物抗震能力的研究,已经形成了一套完整的抗震理论并应用于工程实践。传统的建筑抗震设计以保证结构本身具有足够的强度、刚度和延性,使所设计的建筑做到“小震不坏、中震可修、大震不倒”从而减轻地震灾害。实践证明,这种设计其代价是很高的。随着社会的发展,采用传统的抗震设计方法,已不能适应工程的实际需要,不能减少地震后结构物大量破坏的问题,因此,人们提出了“隔震”的方法,即将橡胶垫层放置于上部建筑物和基础之间,增大建筑物的固有周期,以避免地震的卓越周期,避免共振,同时,在上部建筑物和基础之间加设阻尼减震装置,用以吸收地震能量。理论研究和实际地震分析都表明,这种结构可以大大减少地震时上部结构物的加速度和变形,从而可以大大减少建筑物的破坏。

所谓隔震就是隔离地震,它是与普通抗震理论不同的一种动态的抵抗方法。基础的隔震是在基础与上部结构之间设置隔震装置,分为周期延长、能量吸收及绝缘等方法。周期延长法是采用某种装置将整个结构体系周期加长的方法,其装置有将橡胶和钢板相互交错重叠的叠合橡胶,此外,还有柔性底层等,无论采用哪种方案,由于应力与位移集中于此,需要保证该处有充分的变形能力和韧性,实用中,一般加上减震阻尼装置。能量吸收是采用减震装置以控制地震时结构物不产生过大变形,并在地震结束时尽早停止振动。一般是周期延长装置和绝缘装置共同使用。

结构的隔震有地基隔震、基础隔震及上部结构隔震,而基础隔震因其优良的隔震效果已成为一个新的抗震新对策,它不仅适用于新建房屋设计,而且也为旧房加固及珍贵历史文物的保护开辟了新的途径。一般地,根据隔震消能机理及隔震层主要部件的不同,隔震体系有橡胶支座隔震体系、摩擦滑移隔震体系及混合隔震体系等。任一隔震体系一般都应包括以下三类部件:隔震部件(支座或支承、阻尼器)、恢复力部件及锁位限位部件。其中,隔震部件中的支座能稳定地支承建筑物的自重,阻尼器则在地震时抑制较大的变形,地震结束时,迅速中止晃动。支承分为弹簧支承和滑动支承两种,前者在水平方向起到弹簧的效果,有天然

橡胶类叠合橡胶、铅芯叠合橡胶、高阻尼叠合橡胶等。滑动支承的作用是通过支承的滑动将建筑物与地基隔开,其摩擦起到阻尼器的作用。阻尼器有弹塑性阻尼器、黏性体阻尼器、油阻尼器及摩擦阻尼器。对不同类型的隔震结构很多国家有侧重地进行了研究,但大多数集中在橡胶支座与铅芯阻尼组成的橡胶支座减震体系上。

自 20 世纪 80 年代后期以来,我国也加快了隔震研究,并根据世界上较为成熟的技术内容,编制了橡胶支座隔震设计规范、规程。在基础隔震结构中,若阻尼器或支座采用滑移摩擦隔震支座和滑移垫层,即为摩擦滑移隔震体系。若采用叠层橡胶支座和滑板摩擦隔震支座共同抗震的体系则称为混合隔震体系。

橡胶支座隔震系统的支座常用的主要有普通叠层橡胶支座、铅芯叠层橡胶支座、高阻尼叠层橡胶支座等。20 世纪 90 年代末,我国西安建筑科技大学研制了一种新的基础隔震装置——自阻尼叠层橡胶支座,该支座由钢板、橡胶、自阻尼材料经高压硫化成型,兼有隔震器和自阻尼的作用,其自阻尼大小可根据自阻尼材料的直径来调节。它利用了叠层橡胶支座对阻尼材料的约束力,使之仅产生剪切变形,充分发挥了阻尼材料的吸能性能,有效吸收了水平运动的能量。是一种性能稳定、受力良好的理想的基础隔震装置。

建筑结构采用隔震措施后,与相同的非隔震结构相比,将具有较长的周期(通常是原周期的 2~3 倍)。根据反应谱理论,层数较少的非隔震结构周期较短,地震作用较大,而隔震建筑的周期明显延长,使得地震作用显著减小。目前,这是对隔震建筑原理的一般解释,并由此认为,隔震建筑一般适用于层数不多的建筑。近年来,国外在不少高层建筑中也采用隔震技术,我国也开始对高层建筑隔震开展研究和应用。但传统的基于延长周期的隔震原理似乎无法解释隔震技术在高层建筑中应用的合理性,而实际高层建筑隔震的动力分析结果又表明高层建筑隔震仍具有明显的减震效果。隔震技术在高层建筑中应用的合理性来源于多个方面,其中比较主要的方面在于隔震层,同时,也是绝好的消能减震层,结构的大部分变形集中在隔震层,使得隔震层中阻尼器的消能作用具有更高的效率。除此之外,即使只考虑隔震本身,高层建筑隔震仍具有其他优势,主要体现在上部结构绝对加速度响应的降低。而延长周期原理不能直观地反映高层建筑隔震在降低绝对加速度响应方面的效果。

本书由教授级高级工程师徐至钧主编,赵尧钟、徐卓等参加主要编写工作,另外,还有张勇、付细泉、陈静、易亚东、林婷、全科政、张亦农等参加了部分编写工作。广东汕头宇泰减震科技有限公司提供了隔震设备应用的有关资料,谨在此表示衷心的感谢。

编著者

2013 年 6 月于深圳

目 录

前言

1	总论——地震灾害	1
1.1	地震灾害 / 1	
1.2	中国地震带的分布 / 3	
1.3	汶川 8.0 级地震的成因分析 / 5	
1.4	地震震级 / 6	
1.5	地震作用特点 / 11	
2	从建筑抗震到建筑隔震	13
2.1	抗震与隔震 / 14	
2.2	隔震技术 / 14	
3	隔震建筑应用的隔震设备	22
3.1	我国建筑结构隔震减震研究现状与发展 / 22	
3.2	建筑隔震橡胶支座 / 25	
3.3	建筑消能减震技术 / 43	
4	隔震建筑的计算分析	53
4.1	设计要点 / 53	
4.2	基础隔震体系结构动力分析 / 53	
4.3	多质点平摆动体系结构动力分析模型 / 56	
4.4	隔震基础结构概念设计 / 59	
4.5	分析我国高层隔震技术现状及研究新问题 / 61	
5	隔震建筑设计 with 构造	67
6	隔震橡胶支座施工 with 维护	79
6.1	隔震橡胶工程施工 / 79	
	[施工实例 1]唐山工程 / 79	
6.2	隔震橡胶支座施工技术 / 89	

[施工实例 2]北京工程 / 89

6.3 隔震设备的维护 / 94

7 隔震技术在加固和重建工程中的应用 95

[工程实例 1]橡胶隔震支座技术在灾区重建工程中的应用 / 95

[工程实例 2]隔震技术在砌体结构抗震加固中的应用 / 100

[工程实例 3]启东市长江新村住宅楼隔震设计 / 105

[工程实例 4]隔震技术在学校建筑中的应用 / 109

[工程实例 5]某保护性建筑隔震加固技术研究 / 112

[工程实例 6]南京江南大酒店平移工程基础隔震设计 / 117

[工程实例 7]成都凯德风尚高层建筑隔震设计 / 120

[工程实例 8]宿迁市人防指挥大楼隔震设计 / 126

[工程实例 9]西安 330 kV 西北郊变电站 110 kV 配电楼隔震设计 / 133

[工程实例 10]22 层空港公租房隔震设计 / 139

8 隔震工程应用案例 151

9 隔震与抗震建筑工程造价对比分析 181

9.1 抗震结构 / 181

9.2 隔震结构 / 182

9.3 隔震建筑设计合理,检测、检修方便 / 182

9.4 工程造价实例分析 / 182

9.5 抗震建筑与隔震建筑工程造价对比 / 184

9.6 隔震建筑新趋势 / 185

9.7 超高层在隔震建筑物上的应用技术 / 185

10 隔震建筑在我国的发展前景 186

10.1 引言 / 186

10.2 隔震技术工作原理简单 / 186

10.3 隔震建筑适用的建筑物 / 186

10.4 推广应用隔震技术的建议 / 187

10.5 隔震橡胶支座在我国的发展前景 / 188

10.6 建筑结构隔震技术在我国推广应用需进一步研究的一些问题 / 188

附录 A 橡胶隔震支座应用一览表 190

参考文献 200

1.1 地震灾害

地震是各种自然灾害中,最具突发性、毁灭性的灾害。强烈的地震给世界各国人民造成了巨大的灾害,地震中建筑物、构筑物的大量破坏和倒塌,是造成其灾害的直接原因。

据《减灾必读》(地震出版社)中统计,历史上各种自然灾害曾毁灭了 52 座城市,其中,因地震而毁灭的城市有 27 座。1976 年,我国唐山 7.8 级大地震,百万人口的唐山市被彻底摧毁,24 万人死亡。1995 年 1 月,日本阪神 7.2 级大地震,5 400 余人死亡,经济损失达 1 000 亿美元。2004 年 12 月 26 日,由强地震引起海啸,造成印度周边国家超过 28 万人死亡和失踪……

1. 日本福岛地震

时间:2011 年 3 月 11 日下午 13 点 46 分。

震级:里氏 9.0 级。

伤亡人数:3 月 11 日发生的日本大地震及其引发的海啸已确认造成 15 848 人死亡、3 469 人失踪。

房屋倒塌 12 万间,经济损失 300 亿美元。地震 2 年后的今天,核污染至今还未清除。

2. 台湾省南投县地震(图 1-1)

1999 年 9 月 21 日,台湾省南投县发生 7.6 级强地震,整个灾区死亡 2 329 人,伤 8 722 人,倒塌建筑物 9 909 栋,严重破坏 7 575 栋,受灾人口 250 万,财产损失 92 亿美元。

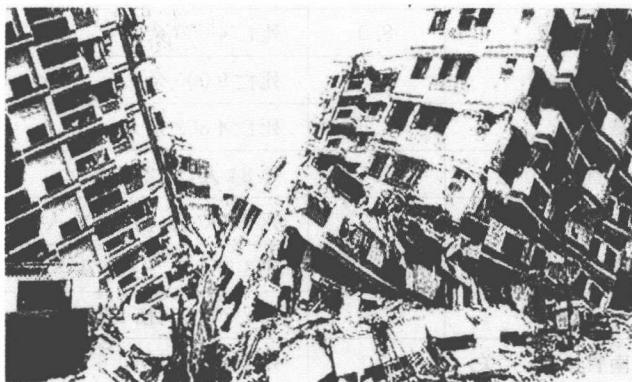


图 1-1 台湾省南投县发生 7.6 级强地震倒塌房屋

3. 汶川大地震和 2013 年 4 月 20 日芦山地震

2008 年“5·12”汶川大地震是我国 1949 年以来破坏性最大、波及范围最广的一次地震,地

震的强度、烈度都超过了 32 年前的唐山大地震。汶川大地震造成直接经济损失 8 451 亿元。
20 世纪我国发生的地震灾害见表 1-1 和图 1-2。

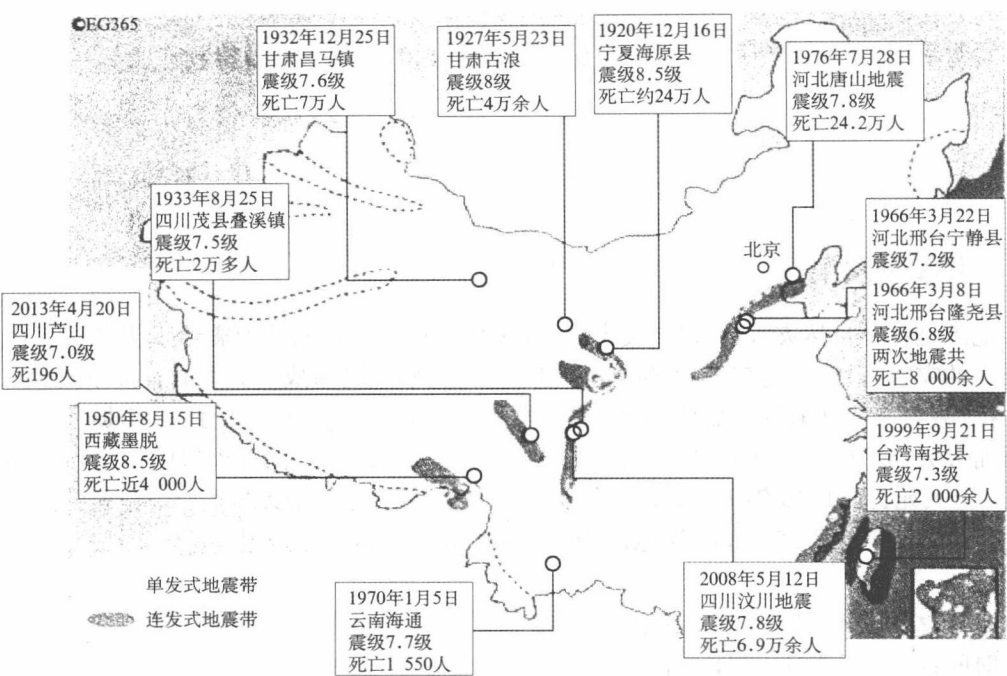


图 1-2 20 世纪中国特大地震示意图

表 1-1 20 世纪我国地震灾害

时间	地点	震级	死(伤)亡	损失
1902-08-22	新疆阿图什	8.25	死亡 1 万余人	
1920-12-16	宁夏海原	8.5	死亡 23.4 万余人	
1921-04-12	宁夏固原	6.5	死亡 1 万余人	
1927-05-22	甘肃省古浪	8.0	死亡 4 000 余人	
1933-08-25	四川省叠溪	7.5	死亡 9 000 余人	
1950-05-15	西藏墨脱	8.6	死亡 4 300 余人	
1955-04-14	四川省康定	7.5	死 84 人,伤 224 人	
1966-03-7	河北省邢台	7.2	死 7 900 人,伤 8 600 人	
1970-01-4	云南省海通	7.7	死 1 550 人,伤 2 670 人	
1973-02-6	四川省炉霍	7.9	死 2 200 人,伤 2 700 人	
1974-05-11	云南省永善、大关	7.1	死 1 640 人,伤 1 600 人	
1975-02-4	辽宁省海城	7.3	死 1 300 人,伤 4 300 人	8.1 亿元
1976-07-28	河北省唐山	7.8	死 24.2 万人,伤 16.4 万人	100 亿元
1976-08-16	四川省松潘、平武	7.2	伤亡 8 000 余人	2 亿元

续 表

时间	地点	震级	死(伤)亡	损失
1979-07-9	江苏省溧阳	6.0	死 42 人, 伤 3 000 余人	2 亿元
1988-11-6	云南省澜沧、耿马	7.6	死 748 人, 伤 7 800 人	20.5 亿元
1990-04-26	青蛤生共和、兴海	7.0	死 115 人, 重伤 149 人	2.7 亿元
1996-02-3	云南省丽江	7.0	死 248 人, 重伤 3 700 人	约 40 亿元
2008-05-12	四川汶川	8.0	死 6.9 余万人, 失踪 1.79 万人	8 450 多亿元
2013-04-20	四川芦山	7.0	死 196 人, 失踪 21 人	1 700 亿元

1.2 中国地震带的分布

我国的地震活动呈带形分布, 主要地震带有两条。

(1) 南北地震带, 北起贺兰山, 向南延伸至六盘山, 穿越秦岭, 沿川西至云南省, 地质构造复杂, 有一系列大断裂带、断陷盆地。

(2) 东西地震带, 主要有东西向两大构造带: 北方的一条, 沿陕西、山西、河北北部、辽宁; 南方的一条, 自帕米尔高原起, 经昆仑山、秦岭, 到大别山。

我国的地震活动相当频繁, 除个别省份(浙江、江西)外, 大部分地区发生过强烈地震。如台湾、新疆、西藏、西南、西北、华北和东南沿海地区曾经发生过较多的破坏性地震。

我国的 6 个地震活动区:

- (1) 台湾及其附近海域地震区;
- (2) 喜马拉雅山脉地震活动区;
- (3) 南北地震带;
- (4) 天山地震活动区;
- (5) 华北地震活动区;
- (6) 东南沿海地震活动区。

我国的地震活动主要分布在 10 个地区的 29 条地震带上。

泉州—汕头地震带。是东南沿海地震亚区中地震活动水平最高的一条地震带。1067 年至 1976 年, 共记录到 8 级地震 1 次, 7~7.3 级地震 2 次, 6~6.9 级地震 6 次。

邵武—河源地震带。东起福建崇安以北, 经邵武、太宁、宁化、长汀、连城、武平入广东。1520 年至 1976 年共记录到 4.7 级以上地震 12 次。

广州—阳江地震带。北起佛冈、清远, 南至阳江、吴川, 由一系列大致平行的北东向断裂组成, 本地震带发生在广州、佛山、高鹤、阳江等地, 最大为 6.4 级。

灵山地震带。北起梧州、藤县, 南至北海、东兴。1558 年至 1976 年, 共记录到 4 次破坏性地震, 最大震级 6.7 级, 属于地震频度比较低的地震带。

琼雷地震带。位于雷州半岛和海南岛北部的雷琼断陷内。1605 年至 1976 年, 共记录到 4 次破坏性地震, 最大震级为 7.5 级。

扬州—铜陵地震带。包括江苏东部、安徽南部和江西北部一部分, 强震主要分布在长江破碎带两侧及黄海海域。

麻城—常州地震带。包括湖北大部 and 河南、安徽、湖南等省一部分, 公元 1946 年至 1976

年共记录到6级以上的地震5次,最大震级6.5级。

邢台—河间地震带。西界为太行山前大断裂,东界为沧东大断裂及聊城—兰考大断裂,北界为涿州—宝坻断裂带,南界为朱仙镇断裂带。是对京、津、唐地区威胁较大的地震带。

郯城—营口地震带。包括从宿迁至铁岭的辽宁、河北、山东、江苏等省的大部或部分地区。是我国东部大陆区一条强烈地震活动带。据记载,本带共发生4.7级以上地震60余次。其中,7~7.9级地震6次,8级以上地震1次。

许昌—淮南地震带。北起三门峡,经洛阳、开封、徐州一线向南,南界的西段在周口拗陷南缘,东段以肥中断裂为界。

怀来—西安地震带。南起渭河、灵保盆地,经运城、临汾、太原、忻定、灵丘、大同、阳原、蔚广等盆地,最北至怀来—延庆盆地。1998年1月张北6.2级地震就在这个带的附近。

三河—滦县地震带。西起北京南口,北抵宽城附近,东至秦皇岛一带,南以涿县—宝坻断裂为界。公元294年至1976年共记录到4.7级以上的地震29次,最大震级为8级。

五原—呼和浩特地震带。西起磴口,北抵五原附近,东达呼和浩特以东的河套平原地区,南到默特右旗一带。

炉霍—康定地震带。西起甘孜经炉霍、道孚至康定。1752年至1976年共记录到破坏性地震32次,其中,6级以上地震15次。

冕宁—西昌地震带。北起石棉,经冕宁、西昌、会理、米易至元谋,公元前116年至1976年,共记录到破坏性地震16次,其中,6级以上地震8次。

东川—嵩明地震带。北起巧家,南经东川、嵩明、寻甸、宜良、开远至个旧一带。地震活动强度较大,频率较低。

马边—昭通地震带。包括四川马边地区和云南昭通地区。1974年的永善7.1级大地震就发生在这个带上,地震活动频度较高,多为震群性地震。

通海—石屏地震带。包括玉溪、通海、峨山、曲江、石屏、建水等地区,1970年通海7.8级大地震就发生在此,地震活动强度较大,地震重复性高。

中甸—大理地震带。包括中甸、丽江、鹤庆、剑川、洱源、大理、弥渡、巍山、南涧等地区,公元886年至1976年共记录到6级以上地震16次。

西海固地震带。包括陇中黄土高原的大部分地区。地震活动强度大,频度高,且具有明显的迁移现象。

天水地震带。包括临夏、天水、甘南、武都等地,公元前193年至公元1976年,共记录到破坏性地震46次,最大震级为7.5级。

松潘地震带。包括武平、南坪、漳腊、松潘、叠溪及其以东的龙门山地区。震源深度一般较浅,烈度偏高。

银川地震带。包括贺兰山、银川盆地和卓子山,以银川盆地为主体,地震活动强度大,但频度较低。

民勤地震带。东侧为贺兰山,西北侧为巴音乌拉山与雅布赖山,南侧为天景山等,1952年至1976年,共记录到5级以上地震11次,最大震级为7级。

河西走廊地震带。祁连山地区活动性最强的一条地震带,包括整个河西走廊与祁连山北麓,地震活动强度大,频度高。

祁连山地震带。包括祁连山山脉主体部分。1900年至1976年,共记录到5级以上地震25次,最大震级6.5,地震活动水平不高。

柴达木地震带。以柴达木盆地为主体。1930年至1976年共记录到5级以上地震17

次,最大震级 6.8 级。

拜城—和静地震带。地震主要分布在库车至轮台一带和乌什以北地区,震源深度 10~30 km。

喀什—柯坪地震带。包括阿克苏、巴苏、喀什、鸭子山一线以北至国境线以南的天山及其山前地区。1896 年至 1976 年共记录到破坏性地震约 130 次。

1.3 汶川 8.0 级地震的成因分析

2008 年 5 月 12 日 14:28,在四川东部龙门山构造带汶川附近发生了 8.0 级强烈地震。此次地震不仅在震中区附近造成灾难性的破坏,而且在四川省和邻近省市大范围造成破坏,其影响更是波及全国绝大部分地区乃至国外,是新中国建立以来我国大陆发生的破坏性最为严重的地震。

汶川地震发生在四川龙门山逆冲推覆构造带上。该构造带是青藏高原内部巴颜喀喇地块和中国东部华南地块的边界构造带,经历了长期的地质演化历史,具有十分复杂的结构和构造。晚新生代的构造变形主要集中在灌县—江油断裂(前山断裂)、映秀—北川断裂(中央断裂)和汶川—茂县(后山断裂)及其相关褶皱之上,这次 8 级强震发生在映秀—北川断裂之上,是龙门山逆冲推覆体向东南方向推挤并伴随顺时针剪切共同作用的结果。

从地缘机制断层错动上看,唐山地震是拉张性的,是上盘往下掉。汶川地震是上盘往上升,要比唐山地震影响大。

唐山地震的断层错动时间是 12:00:09,汶川地震是 22:00:02,错动时间越长,人们感受到强震的时间越长,也就是说汶川地震建筑物的摆幅持续时间比唐山地震要强。

从地震张量的指数上看,唐山地震是 2.7 级,汶川地震是 9.4 级,差别很大。

汶川地震波及的面积、造成的受灾面积比唐山地震大。有人说,这主要是由于断层错动的原因,汶川地震是挤压断裂,错动方向是北东方向,也就是说汶川的北东方向受影响比较大,但是它的西部情况就会好一些。

汶川地震波及面积大,据称几乎整个东南亚和整个东亚地区都有震感。主要是因为汶川地震错动时间特别长,比唐山地震还长,就是为什么唐山地震虽然死亡人数多,但是实际上灾害造成的影响不如汶川地震大。因为汶川灾情分布比较广。

汶川地震诱发的地质灾害、次生灾害比唐山地震大得多。国土资源部高级咨询研究中心分析认为,因为唐山地震主要发生在平原地区,汶川地震主要发生在山区,次生灾害、地质灾害的种类都不太一样,汶川地震引发的破坏性比较大的崩塌、滚石加上滑坡等,比唐山地震的次生地质灾害要严重得多。另外,因为四川水比较多,所以,堰塞湖跟唐山地震相比也是不一样的。

中国地质科学院地质力学所基础地质研究室专家补充说,汶川地震的震级比唐山地震的震级稍微高一点,能量差 3 倍,地震波及能量越大,地震传得更远,在更远的距离内造成破坏。另外,汶川地震的位置也非常特殊。唐山地震发生在中国东部,因为东部地区延迟线比较薄,东部地震波衰减厉害,而四川的延迟线厚,所以地震波衰减慢。从这两个角度来说,汶川地震造成的影响要比唐山大。

相比唐山大地震,汶川地震死亡人数相对较少,主要是因为唐山地震发震时间是夜间,大部分人睡觉了,汶川地震发生在白天。另外,唐山地震主要发生在市区,而汶川地震主要是在山区或者说农村人口密度不是很大的地方。

中国地质调查局初步监测和评价认定,汶川地震是印度板块向亚洲板块俯冲,造成青藏高原快速隆升导致的,震源深度为 10~20 km,持续时间较长,因此,破坏性巨大。

中国地质调查局在召开汶川地震及其诱发的次生地质灾害情况分析会上,对灾情进行“会诊”初步形成三个结论。

一是印度板块向亚洲板块俯冲,造成青藏高原快速隆升。高原物质向东缓慢流动,在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压,遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡,造成构造应力能量的长期积累,最终在龙门山北川—映秀地区突然释放。

二是逆冲、右旋、挤压型断层地震。发震构造是龙门山构造带中央断裂带,在挤压应力作用下,由南西向北东逆冲运动;这次地震属于单向破裂地震,由南西向北东迁移,致使余震向北东方向扩张;挤压型逆冲断层地震在主震之后,应力传播和释放过程比较缓慢,可能导致余震强度较大,持续时间较长。

三是浅源地震。汶川地震不属于深板块边界的效应,发生在地壳脆——韧性转换带,震源深度为 10~20 km,属于浅源地震,因此,破坏力度较大。

中国地震局地震预测研究所介绍,这次地震是我国大陆内部地震,属于浅源地震,破坏力度较大。

一般发生的震级越高,其破坏力度越大。这次汶川地震 8 级,其震中地区的破坏力度在 10 度左右,会造成房屋倒塌、地震滑坡和地面裂缝等灾害。

汶川县“因县西汶水为名”,东西宽 84 km,南北长 105 km,而汶水即为岷江。如果可以鸟瞰这里,蜿蜒的岷江由县北部入境,贯穿东部,长达 88 km。这里的地势由西北向东南倾斜,西部多分布海拔 3 000 m 以上的高山,四姑娘山海拔更高为 6 250 m,东南部岷江出口处海拔则仅为 780 m。相对高差大,地形坡度陡,临空面发育,沟谷纵横,切割强烈。西南部受制于邛崃山系,东北部为龙门山脉所控。

据有关专家介绍,全球 7 级以上地震每年有 18 次,8 级以上 1~2 次。我国受印度洋板块和太平洋板块推挤,地震活动比较频繁。从大的方面来说,汶川地处我国一个大地震带——南北地震带上,中部地区的中轴地震带位于经度 100 度到 105 度之间,涉及地区包括从宁夏经甘肃东部、四川西部直至云南,属于我国的地震密集带。从小的方面说,汶川又在四川的龙门山地震带上,而 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7 级地震也发生在这里,距汶川地震约 500 km。因此,这里发生地震的概率较高。

斜跨北东南西方向的龙门山断裂带,位于四川盆地与青藏高原东缘之间,其规模大而位置特殊。该地震带长约 400 km,宽 70 km。

汶川地震发生 5 级以上余震 261 多次(图 1-3、图 1-4),其中,4—5 级震级的余震发生 222 次,占 85.6%,发生 5—6 级 31 次,占 11.88%。

变化多端的地形地貌是大地构造活动与地表共同孕育的结果。龙门山形成于中生代和早新生代。

现今龙门山最显著的地貌特征就是南北分段性:北段海拔普遍处在 1 000~2 000 m 之间。沿北东方向,龙门山北段和四川盆地之间界限逐渐模糊;南段地形陡峭,盆山界限清楚。

1.4 地震震级

每次地震发生以后,在一定范围内会造成不同程度的破坏。地震的大小用震级衡量,地面被破坏的程度用烈度来评价。两者既有区别又有联系。

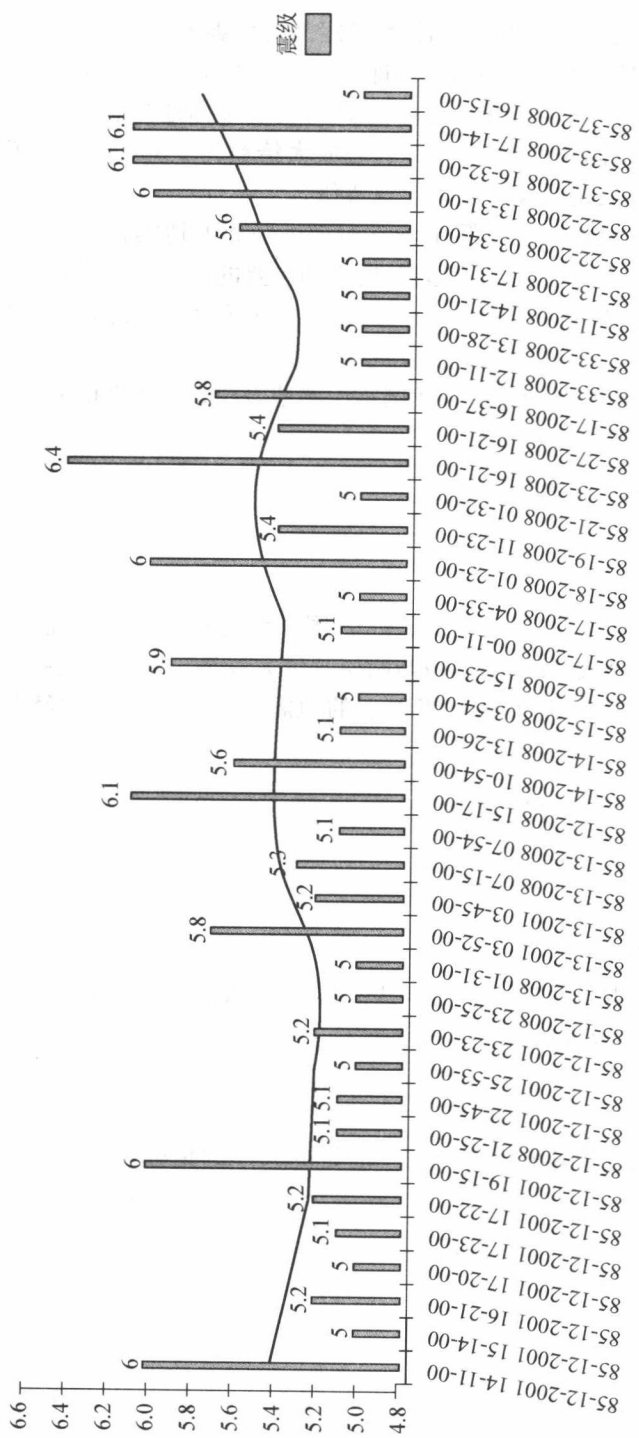


图 1-3 汶川地震余震时间序列图(5 级以上)

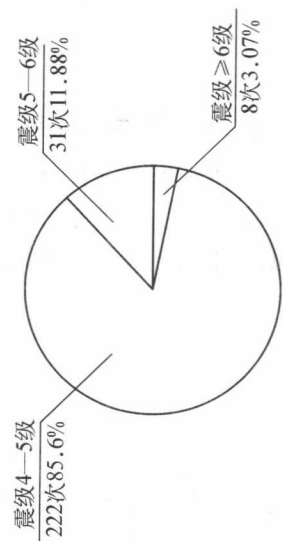


图 1-4 汶川地震余震震级统计图

1.4.1 震级定义

地震本身大小由震级定量,它是震源所释放能量大小的一种量度。

震级高即震源释放的能量大。国际上通用的里克特震级 M 定义为距震中 100 km 处,伍德·安德森地震仪所记录的最大水平地震位移 A 的对数值,即 $M = \lg A$,例如,当测得振幅为 100 mm,即 $1 \times 10^5 \mu\text{m}$,其对数值为 5,则震级为 5 级。这样定义的震级又称地方震级 M_L 。伍德·安德森地震仪的自振周期为 0.8 s,阻尼系数为 0.8,静态放大倍数为 2 800 倍。由于选定了这种仪器,等于规定了按照短周期的地震动分量来定义震级。

一次地震只有一个震级,而且是指主震震级。实际上常常需要远距离的地震台记录,因此,古登堡提出了面波震级 M_s ,适用于浅源远震。对于远震,地震动主要的波是面波,周期为 3~20 s,面波震级就是依据 20 s 周期的地震动确定的。同时为了适应深源远震情况,古登堡又提出了体波震级 M_b ,其根据为周期 1 s 左右的体波地震动记录。

前面介绍的三种震级之间存在着一定的经验关系。我国常用的地震仪是短周期的 64 型或 65 型和长周期的基氏型。 M_L 与 M_s 存在的关系为

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1-1)$$

1.4.2 震级与断层的关系

震级与震源断层及位移量有关。对于震级与断层的关系,各国学者进行过很多研究,提出过 20 多个公式,这些半经验半理论的公式,反映出震级与断层长度大致是一种对数关系。

根据对中国地震历史资料的分析,从 30 多个 6.8 级以上的地震归纳得出下面的经验公式:

$$M = 6.53 + 0.28 \ln L \quad (1-2)$$

$$M = 6.60 + 0.20 \ln R \quad (1-3)$$

式中 L ——断层最大长度(km);

R ——断层最大水平或垂直位移(cm)。

由于各次地震所处的地质构造、震源深度等有差别,其数据是很离散的,总拟合度为 30%~60%。尽管该公式不够精确,但可以提供一个分析依据。

1.4.3 震级与能量的关系

震级表示地震本身的大小,是衡量地震震源释放出的总能量的大小的指标,震级越大,表示释放能量越多。

$$\lg E = 18.8 + 1.5M \quad (1-4)$$

式中 E ——地震释放出的能量;

M ——里氏震级;

$$M = \lg A \quad (1-5)$$

A ——标准地震仪(周期 0.8 s,阻尼比为 0.8,放大倍数为 2 800 倍,在震中距 100 km 处记录的最大单振幅,单位为 μm)。如果距震中不是 100 km 时,则以式(1-6)换算:

$$M = M_{\Delta} - 1.73 \lg \frac{100}{\Delta} \tag{1-6}$$

式中 Δ ——距震中的距离(km);
 M_{Δ} ——从距震中 Δ 处的观测值直接得出的震级。

1.4.4 地震烈度

地震烈度是指某一地区的地表及各种人工建筑物遭受地震影响的强弱程度。地震烈度与震源深度、震中距、震级及地震波所通过的介质等有关。不少工程技术人员把地震烈度理解为震害的强弱程度和通过震害强弱程度反映的地震动的大小。

一次地震只有一个震级,然而地震所波及的地区破坏程度不同,因而有不同的烈度。

1.4.5 震中烈度与震级 M 和震源深度 H 的关系

(1) 震中烈度与震级 M 和震源深度 H 的关系

一般说来,震中区烈度最大,距震中区越远,则烈度越低。震中烈度与震级和震源深度有关,根据我国的地震资料总结了如下一些经验公式,其定量关系参见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 地震震级与震中烈度大致关系

地震震级(M)	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
震中烈度(I_0)	1~2	3	4~5	6~7	1~8	9~10	11	12

表 1-3 震中烈度与震级和震源深度的关系

$M \backslash \begin{matrix} H/\text{km} \\ I_0 \end{matrix}$	5	10	15	20	25
2	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0
3	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5
4	6.5	5.5	5.0	4.5	4.0
5	8.0	7.0	6.5	6.0	5.5
6	9.5	8.5	8.0	7.5	7.0
7	11.0	10.0	9.5	9.0	8.5
8	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0

$$I_0 = \frac{M-1.5}{0.58} \tag{1-7}$$

$$I_0 = \frac{2}{3}M - \frac{6}{5} \lg H + 3.0 \tag{1-8}$$

式中 I_0 ——震中烈度;
 M ——震级;
 H ——震源深度(%)。

(2) 影响烈度

任何距离震中为 R 处的震级为影响烈度。其关系式如下:

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.49\lg R \quad (1-9)$$

式中 I ——影响烈度;

M ——里氏震级;

R ——震中距离(km)。

(3) 地震烈度表

地震对地表及建筑物的破坏程度,是人们能感觉到的一种宏观现象,迄今为止,地震烈度都是按宏观现象评定的,评定时并不考虑地震动的大小。将宏观现象与烈度对比起来并表格化。即地震烈度表,目前,除日本以外,世界上基本采用 12 度划分的烈度表。

过去烈度表主要依据宏观破坏现象,没有确切的定量指标,只反映地震的破坏后果,而未能反映其破坏作用。用这种标准去评定烈度往往带有鉴定者的主观成分,烈度是抗震设防的依据,因此,要求在烈度标准中反映出定量的指标。地震工程学家进行了不少的研究工作,试图将烈度的宏观标志与地面运动的物理量对应起来,给烈度的定量指标。根据大量研究,我国 1999 年修定的地震烈度表中规定了参考的物理指标,其中包括水平加速度和水平速度,见表 1-4。

表 1-4 中国地震烈度表(1999 年)

烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度		其他震害现象	水平向地面运动	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	峰值速度 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
I	无感					
II	室内个别静止中人有感觉					
III	室内少数静止中人有感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		
IV	室内多数人、室外少数人有感觉,少数人梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动,器皿作响		
V	室内普遍、室外多数人有感觉,多数人梦中惊醒	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,抹灰出现微细裂缝,有檐瓦掉落,个别屋顶烟囱掉砖		不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	损坏——墙体出现裂缝,檐瓦掉落,少数屋顶烟囱裂缝、掉落	0~0.10	河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水,有的独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)