



普通高等教育“十三五”规划教材

建筑结构抗震

■ 主编 娄树立 王丽霖

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN



西北工业大学出版社

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN

建筑结构抗震

主 编 姜树立 王丽霖

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书参考《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)及相关法规资料编写而成,全书共8章,主要包括地震与建筑抗震概述、场地与地基、结构地震反应分析与抗震验算、多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计、多层砌体结构和底部框架—抗震墙结构的抗震设计、多层和高层建筑钢结构抗震设计、单层厂房抗震设计、隔震和消能减震设计等。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材,也可作为建筑结构抗震设计和施工等领域研究人员和技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震/姜树立,王丽霖主编. —西安:西北工业大学出版社, 2017.8
高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5612-5630-5

I. ①建… II. ①姜…②王… III. ①建筑结构—抗震设计—高等学校—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 220703 号

策划编辑:付高明 李栋梁

责任编辑:张 潼

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮政编码:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:河南理想印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17

字 数:418 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

地震的突发性和破坏力不仅对经济造成巨大的破坏,还对人民的生命财产安全造成严重的威胁。随着地震的频频发生,如何更好地防震减灾已是摆在我们面前的一个重要课题。只有长期坚持抓防震减灾工作,做好建筑施工的质量监督,采用抗震技术,才能最大限度地降低地震带来的危害。

本书依据中华人民共和国住房和城乡建设部以及中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局于2016年7月7日联合发布的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)及相关的法规编写而成。在讲述理论知识的基础上由浅入深地论述抗震理论的应用和相关的计算方法,不仅注重内容之间的连贯性,而且特别关注理论的实用性,便于读者理解和掌握。

本书每章均以学习目标和案例引入开篇,相关知识中间穿插例题学以致用,章后设置复习思考题回顾本章知识。全书共8章,主要内容包括地震与建筑抗震概述、场地与地基、结构地震反应分析与抗震验算、多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计、多层砌体结构和底部框架—抗震墙结构的抗震设计、多层和高层建筑钢结构抗震设计、单层厂房抗震设计、隔震和消能减震设计等。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材,也可作为建筑结构抗震设计和施工等领域研究人员和技术人员的学习参考书。

本书由娄树立、王丽霖担任主编,高霖、党玲博、郭琳琳、郭艳坤担任副主编。具体分工如下:娄树立编写第1章、第2章,王丽霖编写第3章,郭艳坤编写第4章的第一节至第三节、附录,党玲博编写第4章的第四节、第6章,郭琳琳编写第4章的第五节和第六节、第7章,高霖编写第5章、第8章。

本书在编写过程中,参考了大量国内外近年来出版的建筑抗震设计方面的出版物、规范以及学术论文等资料,在此一并向其作者表示感谢。

因水平有限,书中难免存在不足甚至错误之处,敬请广大读者批评指正,以便及时改进。

编者

2017年7月

第 1 章 地震与建筑抗震概述	1
第一节 地震的基本知识	2
第二节 地震波、地震等级和地震烈度	4
第三节 地震活动和地震分布	8
第四节 地震震害	11
第五节 建筑结构的抗震设防	14
第六节 建筑结构抗震概念设计	20
第 2 章 场地与地基	28
第一节 场地	28
第二节 天然地基与基础	33
第三节 液化土地基	38
第四节 基础抗震验算	44
第 3 章 结构地震反应分析与抗震验算	47
第一节 概述	47
第二节 单自由度弹性体系的水平地震反应	49
第三节 单自由度弹性体系的水平地震作用及其反应谱	54
第四节 多自由度弹性体系的地震反应分析	60
第五节 多自由度弹性体系的水平地震作用	72
第六节 结构的地震扭转效应	80
第七节 竖向地震作用	89
第八节 建筑结构抗震验算	91
第 4 章 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	99
第一节 震害分析	99
第二节 抗震设计的一般要求	103
第三节 框架内力与位移计算	107

第四节	框架结构构件设计·····	113
第五节	抗震墙结构的抗震设计·····	125
第六节	框架—抗震墙结构的抗震设计·····	130
第 5 章	多层砌体结构和底部框架—抗震墙结构的抗震设计·····	142
第一节	概述·····	143
第二节	震害现象及其分析·····	143
第三节	砌体结构的结构方案与结构布置·····	147
第四节	多层砌体房屋的抗震计算·····	149
第五节	多层砌体结构房屋的抗震构造措施·····	159
第六节	底部框架—抗震墙砌体房屋抗震设计·····	164
第 6 章	多层和高层建筑钢结构抗震设计·····	169
第一节	多层和高层钢结构的震害特征·····	170
第二节	多层和高层钢结构的选型与布置·····	174
第三节	多层和高层钢结构的抗震计算与设计·····	180
第四节	多层和高层钢结构的抗震构造要求·····	190
第 7 章	单层厂房抗震设计·····	199
第一节	单层厂房的震害分析·····	199
第二节	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计·····	201
第三节	单层钢结构厂房抗震设计·····	218
第 8 章	隔震和消能减震设计·····	222
第一节	概述·····	222
第二节	隔震结构房屋设计·····	223
第三节	消能减震结构设计·····	232
附录	·····	235
附录 A	我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组·····	235
附录 B	中国地震烈度表·····	264
参考文献	·····	266

第 1 章 地震与建筑抗震概述



学习目标

1. 了解地震的类型及其成因。
2. 掌握地震波、地震等级和地震烈度。
3. 了解地震活动和地震分布。
4. 熟悉地震的危害。
5. 熟悉建筑结构的抗震设防。
6. 掌握建筑结构抗震概念设计的基本内容和要求。



案例引入

地震是一种灾害性自然现象,全世界每年大约发生 500 万次地震,其中绝大多数地震是人感觉不到的微小地震,只有灵敏的仪器才能监测到它们的活动。人能够感觉到的地震(有感地震)每年发生约 5 万次,其中 5 级以上破坏性地震约有 1 000 余次,能够造成严重破坏的强烈地震平均每年发生约 18 次。我国是世界上多地震国家之一,20 世纪共发生破坏性地震 3 000 余次,其中 6 级以上地震近 800 次,8 级以上特大地震 9 次。

由于地震时产生的巨大能量,往往造成各类建筑物和设施的破坏,甚至倒塌,并引起各种次生灾害的发生以及人员的伤亡。提高建筑物和各类设施抵抗地震破坏能力,防止地震时人员伤亡,减少地震所造成的经济损失,是地震工程和抗震工程学的重要任务。

对各类建筑物和设施进行抗震设防,免不了要增加工程的造价和投资,因此如何合理地采用设防标准,既能有效地减轻工程受到的地震破坏、避免人员伤亡、减少经济损失,又能合理地使用有限的资金,是当前工程抗震防灾中迫切需要解决的关键问题。由于制定的设防标准不同,各类建筑物和设施在地震中的表现会截然不同,因而地震时造成的损失也会有巨大的差别。例如,日本东京历史上曾发生过 8 级以上大地震,日本政府以及各界一向对此十分关心和重视,长期以来一直致力于将东京建成一个能抗御 8 级大地震的城市。1986 年一次 6.2 级地



震发生在东京城底下,一座上千万人口的城市仅死亡2人,整个城市几乎未遭受到破坏。可是一向认为没有发生大地震危险的日本第二大港——神户市对工程抗震设防就不那么重视。在1995年1月17日的一次6.9级(JMA震级为7.2)的地震中,导致了近10万栋房屋毁坏、5500人死亡和约1000亿美元的经济损失。

地震给人类社会带来灾难,造成不同程度的人身伤亡和经济损失,为了减轻或避免这种伤亡及损失,就需要对地震有较深入的了解。作为土木工程技术人员,其主要任务就是研究如何防止或减少建筑物由于地震而造成的破坏,这就是建筑物的抗震问题。

第一节 地震的基本知识

地震是世界上最严重的自然灾害之一,它在极短的时间内给人类的生命财产造成了巨大的损失。据统计,全球每年大约发生500万次地震,其中人类可以感觉到的约有5万次,可能造成严重破坏的地震将近20次,毁灭性地震2次。为了防御和减轻地震灾害所造成的损失,世界各国的专家、学者进行了大量的探索和研究,而对在地震区的工程进行抗震设防,被公认为是目前最有效减轻地震灾害的措施。

为了弄清地震成因,就需要了解人类所生活的星球,有必要探究地球的内部构造。

一、地球的构造

地球的外形像一个倒扣的鸭梨(见图1-1),平均半径约为6400 km,由性质不同的三部分组成(见图1-2)。

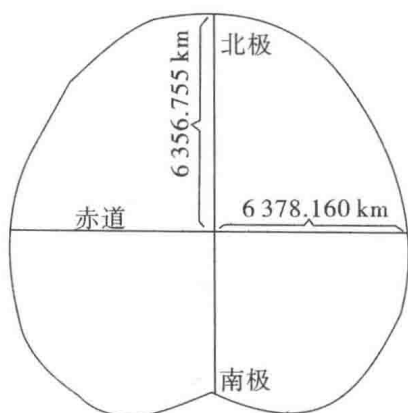


图 1-1 地球的形状



图 1-2 地球的内部构造

(1)地壳。地球最外部的一层硬壳,地壳表面为沉积层,陆地下面的地壳主要由上部的花岗岩层和下部的玄武岩层构成,海洋下面的地壳只有玄武岩层。地壳厚度为5~70 km,平均厚度为30 km。

(2)地幔。地壳以下到深度约为2900 km的部分。地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成,从地下20~700 km,温度由600~2000℃。地幔在这一范围内存在一个厚度约为几百千米的软流层,由于温度分布不均匀,就发生了地幔内部物质的对流运动。

(3)地核。地球的核心部分,平均半径约为3500 km,主要的构成物质可能是铁和镍。



二、地震的成因和类型

(一)地震的成因

从上述地震的定义可以看出,理解地震的成因应把握两个层面:一是地球内部存在断层;二是断层破裂存在动力或诱因。

板块构造运动学说是目前被广泛认可的学说,有许多证据可以印证该学说。该学说认为,地球岩石圈可以分为六大板块,即欧亚大陆板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印度洋板块、南极板块。这些板块位于地球的软流层之上,软流层内的物质在大洋中脊涌出至洋底,在大洋板块和大陆板块边缘的海沟处插入软流层,形成“对流”,并构成海底的扩张从而产生板块运动,这是大多数地震形成的宏观背景。

事实上,岩石圈不仅只有六大板块,在板块内部也并非均匀,而是存在很多大小不同的断裂面,大的断裂面即是断层。目前已经探明了不少断层,但还有很多是没有认识到的断层。

其次看断层破裂的动因。断层的破裂其实也是结果,是地震发生的局部机制,诱发断层发生破裂的原因则可以理解为地震发生的宏观背景。

就大多数地震而言,地球本身的运动特点、内部构造和物理性质(如温度、压力等),形成了地幔软流层物质的对流,从而构成板块的构造运动,导致不同板块间的冲撞挤压摩擦或是板块内部不均匀变形积累应变能,当能量达到或超过断层岩体的承载能力时,岩体发生突然的破裂,短时间内释放出大量的能量。这些能量以地震波的形式向四周传播,其中大部分以热能的形式在地球介质内部耗散,而另一部分形成动能,造成地表的剧烈振动。

当然,不仅板块构造运动可以诱发地震,一些人类的活动(如大规模的地下开采和水库建设等)也可能导致断层岩体应力的变化,从而诱发地震。

(二)地震的类型

对于非常复杂的地震来讲,从不同的角度可以有多种分类方法。

按照成因,地震可以分为构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震等。由于地球构造运动引起的地震,称为构造地震,这类地震发生次数最多,占全球地震总数的90%以上,是地震工程的主要研究对象;由于火山爆发,岩浆猛烈冲出地表或气体爆炸而引起的地震称为火山地震,这类地震约占全球地震总数的7%,在我国很少见;由于地表或地下岩层较大的溶洞或古旧矿坑等的突然大规模陷落和崩塌而导致的地面振动称为陷落地震,这种地震级别不大,很少造成破坏;由于地下核爆炸、水库蓄水、油田抽水、深井注水、矿山开采等活动引起的地震称为诱发地震,这类地震一般不强烈,仅个别情况会造成灾害。

按照震源深度,地震可分为浅源地震(震源深度 ≤ 70 km)、中源地震(70 km $<$ 震源深度 < 300 km)和深源地震(震源深度 ≥ 300 km)。震源越深,对地表造成的影响越小,灾害也越小。多数地震属于浅源地震。

按照发震位置,地震可分为板边地震和板内地震。板边地震发生在板块边缘附近,地点集中、发生频率高,约占全球地震总数的75%,但由于与人类活动不直接相关,危害性通常较小。板内地震则发生地点零散,危害性通常较大。

按强度大小,地震又可分为弱震、有感地震、中强震和强震等。弱震指震级小于3级的地震,如果震源不是很浅,这种地震人们一般不易觉察;有感地震的震级在3到4.5级之间,这种地震人们能够感觉到,但一般不会造成破坏;中强震指震级大于4.5级而小于6级的地震,属



于可造成破坏的地震,但破坏轻重还与震源深度、震中距等多种因素有关;强震是指震级 ≥ 6 级的地震,其中震级 ≥ 8 级的又称为巨震。

三、地震的活动性

所谓地震活动性,是指地震发生的时间、空间、强度和频度的规律。由于地震的发生是一个能量的积累、释放、再积累、再释放的过程,所以同一个地区的地震发生存在时间上的疏密交替现象,一段时间活跃,之后的一段时间相对平静,地震活跃期和地震平静期的时间跨度称为地震活动期。

统计表明,全球平均每年发生的地震数量约为3级地震100 000次,4级地震12 000次,5级地震2 000次,6级地震200次,7级地震20次,8级及以上地震3次。

四、地震序列

每次大地震的发生都不是孤立的,大地震前后在震源附近,总有与其相关的一系列小地震发生,把它们按发生时间先后顺序排列起来,就叫做地震序列。在一个地震序列中,其中最大的一次地震,称为主震;主震前发生的地震,称为前震;主震后发生的地震,称为余震。根据地震能量释放和活动的特点,地震序列有三种基本类型。

(1)主震余震型地震(60%)。这一类型的地震,前震较少,主震震级突出,释放能量一般占全序列能量的80%以上,而余震较多,往往数日不绝。

(2)震群型地震(占30%)。这一类型地震没有突出的主震,前震和余震都较多,主要能量是通过多次震级相近的地震释放出来。

(3)单发型地震(占10%)。这类地震也称孤立型地震,前震和余震都很少很小,主震的能量占全部地震能量的99%以上。主震的震级比最大的余震大得多。

第二节 地震波、地震等级和地震烈度

一、地震术语

(1)震源。地壳深处发生岩层断裂、错动的地方。

(2)震中。震源在地面上的垂直投影。

(3)震源深度。震中到震源的垂直距离,称为震源深度。

(4)浅源地震。震源深度小于60 km。我国发生的绝大部分地震都属于浅源地震,一般深度为5~40 km。

(5)中源地震。震源深度为60~300 km。

(6)深源地震。震源深度大于300 km。

(7)极震区。在震中附近,振动最剧烈、破坏最严重的地区叫极震区。

(8)震中区。震中附近地区。

(9)震中距。建筑物到震中之间的距离叫震中距。

(10)震源距。地面上某点到震源的距离。

(11)等震线。一次地震中,在其所波及的地区内,用烈度表可以对每一个地点评估出一个



烈度,烈度相同点的外包线叫等震线。

二、地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量,这就是地震波。它包含在地球内部传播的体波和只限于在地球表面传播的面波。地震波是一种弹性波。

体波包括纵波和横波两种。纵波是由震源向外传播的疏密波,其介质质点的振动方向与波的前进方向一致,从而使介质不断地压缩和疏松,故也称压缩波或疏密波。如在空气中传播的声波就是一种纵波。纵波的特点是周期较短、振幅较小、传播速度快,在地壳内它的速度一般为 $200 \sim 1400 \text{ m/s}$ 。

横波是由震源向外传播的剪切波,其介质质点的振动方向与波的前进方向相垂直,亦称剪切波。横波的周期较长、振幅较大、传播速度较慢,在地壳内它的速度一般为 $100 \sim 800 \text{ m/s}$ (见图 1-3)。还应指出,横波只能在固体内传播,而纵波在固体和液体内都能传播。

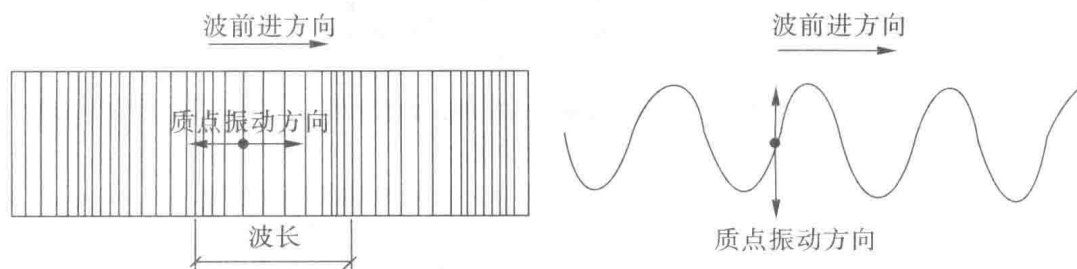


图 1-3 体系质点震动形式

根据弹性理论,纵波的传播速度 v_p 与横波的传播速度 v_s 可分别按式(1-1)和式(1-2)计算

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1-1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 E ——介质的弹性模量;

G ——介质的剪切模量;

ρ ——介质的密度;

μ ——介质的泊松比。

在一般情况下,当 $\mu=0.22$ 时,从式(1-1)和式(1-2)可得

$$v_p = 1.67 v_s \quad (1-3)$$

由此可见,纵波的传播速度要比横波的传播速度快,所以在仪器的观测记录纸上,纵波一般都先于横波到达。因此,通常又把纵波叫作 P 波(即初波),把横波叫作 S 波(即次波)。根据 P 波和 S 波到达的时间差,可确定震源的距离。

研究表明,体波在地球中的传播速度将随深度的增加而加快(见图 1-4),并且由于地球的层状构造特点,体波通过分层介质时,将会在界面上反复发生反射和折射。当体波经过地层界面的多次反射和折射后投射到地面时,又激起两种仅沿地面传播的面波,即瑞雷波(R 波)和洛夫波(L 波)。瑞雷波传播时,质点在波的传播方向和地面法向所组成的平面内(xz 平面)做



与波前进方向相反的椭圆形运动,而与该平面垂直的水平方向(y 方向)没有振动,故瑞雷波在地面上呈滚动形式(见图 1-5(a))。瑞雷波振幅随着距地面深度增加而急剧减小,这可能是地震时地下建筑物比地上建筑物受害较轻的一个原因。洛夫波传播时将使质点在地平面内做与波前进方向相垂直的水平方向(y 方向)的运动,即在地面上呈蛇形运动形式(见图 1-5(b))。洛夫波也随着深度的增加而不断衰减。

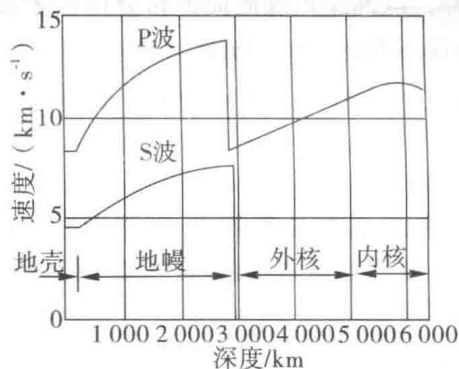


图 1-4 体波在地球内传播速度的变化

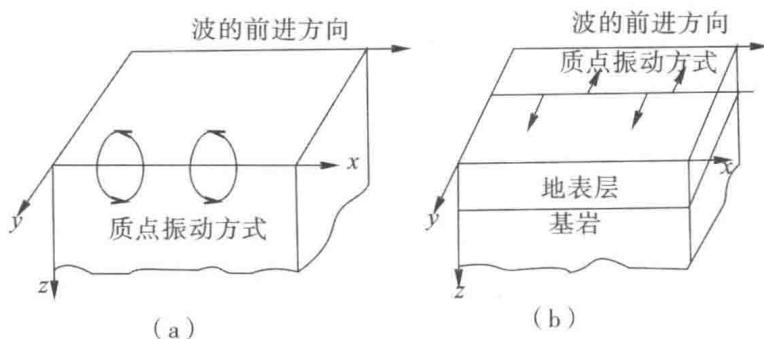


图 1-5 面波质点震动形式

(a)瑞雷波;(b)洛夫波

面波振幅大、周期长,只能在地表附近传播,比体波衰减慢,故能传播到很远的地方。

综上所述,地震波的传播以纵波最快,剪切波次之,面波最慢。所以在任意一地震波的记录图(见图 1-6)上,纵波总是最先到达,剪切波次之,面波到达最晚。然而就振幅而言,面波却最大。由于面波的能量要比体波大,所以造成建筑物和地表破坏的以面波为主。大量震害

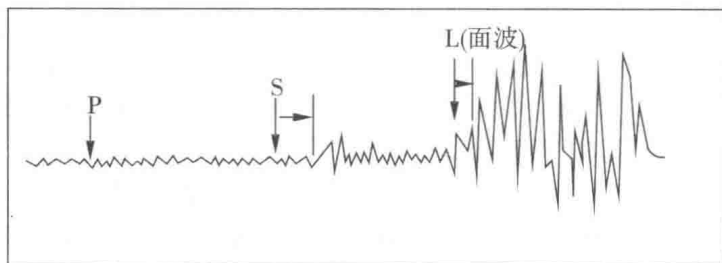


图 1-6 地震波记录图



调查表明,一般建筑物的震害主要是由水平振动引起,因此,由体波和面波共同引起的水平地震作用通常是最主要的地震作用。从图 1-6 中还可看出,这三种波到达之间有一相对稳定区段,稳定区段的时间间隔随观测点至震源之间距离的减小而缩短。在震中区,由于震源机制和地面扰动的复杂性,三种波的波列几乎是难以区分的。

三、地震震级

国际上比较通用的是里氏震级,其原始定义是在 1935 年由美国学者里克特(C. F. Richter)给出。震级是衡量地震大小的一种度量,每次地震只有一个震级,它是根据地震时释放能量的多少来划分的。地震震级计算公式为

$$M = \lg A \quad (1-4)$$

式中 M ——里氏震级;

A ——标准地震仪(Wood-Anderson 式地震仪:指摆的自振周期为 0.8 s,阻尼系数为 0.8,放大系数为 2 800 倍)在距震中 100 km 处记录的以微米($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)为单位的最大水平地动位移(单振幅)。

当震中距不足 100 km 时,需要按修正公式进行计算

$$\lg E = \lg A - \lg A_0 \quad (1-5)$$

式中 $\lg A_0$ ——依据震中距变化的起算函数,当震中距为 100 km 时, $A_0 = 1 \mu\text{m}$, $\lg A = 0$;

E ——地球释放的能量,单位是尔格(erg), $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ 。

根据上述关系,地震震级每增加 1 级,地震释放的能量大约增大 32 倍。6 级地震释放的能量为 $6.31 \times 10^{20} \text{ erg}$ 相当于一个 2 万 t 级的原子弹所释放的能量。

不同的震级 M 与地震释放能量 $E(\text{erg})$ 之间有如下关系

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-6)$$

$M < 2$ 级的地震,人们感受不到,称为微震; $M = 2 \sim 4$ 级的地震,人有感觉,称为有感地震; $M \geq 5$ 级的地震,建筑物会出现不同程度的破坏,称为破坏性地震; $7 \leq M < 8$ 级的地震,称为强烈地震; $M \geq 8$ 级地震,称为特大地震。

四、地震烈度

(一)地震烈度

地震烈度是指某一地区的地面震动和各类建筑物遭受一次地震影响的强弱程度,是衡量地震引起后果的一种度量。地震烈度与震级、震中距、震源深度、地质构造、建筑物和构筑物的地基条件有关。烈度的大小是根据人的感觉、器物的反应、建筑物受破坏的程度和地貌变化特征等宏观现象综合判定划分的。我国根据房屋建筑震害指数,地表破坏程度以及地面运动加速度指标将地震烈度分为 12 度,制定了《中国地震烈度表》,见附录 B。

地震震级和地震烈度是描述地震现象的两个参数。对应于一次地震,表示地震大小的震级只有一个,然而各地区由于距震中远近不同,地质情况和建筑物状况不同,所受到的地震影响程度不一样,因而地震烈度不同。一般地说,震中区烈度最高;距震中越远,地震烈度越小;震源深度越浅,地震烈度越高。

我国根据 153 个等震线资料统计的地震烈度(I)、地震震级(M)、震中距(R)的经验公式为

$$I = 1.63M - 3.49 \lg R + 0.92 \quad (1-7)$$



(二)基本烈度

基本制度指某地区在一定时期(我国取 50 年)内在一般场地条件下按一定概率(我国取 10%)可能遭遇到的最大地震烈度。我国根据 45 个城镇的历史震灾记录进行统计并依据烈度递减规律进行预估,得到 50 年内超越概率为 10%的烈度。

(三)抗震设防烈度

按照国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度,根据建筑物的重要性,在基本烈度的基础上,按区别对待的原则进行调整确定的。但一般情况下取基本烈度,对于特别重要的建筑物,经国家批准,设防烈度可以按照基本烈度提高一度取值。

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)规定,抗震设防烈度应该根据《中国地震动参数区划图》确定地震基本烈度。抗震设防烈度和设计基本地震加速度值之间的对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值之间的对应关系

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度	9 度
设计基本地震加速度值	0.05 g	0.10(0.15 g)	0.20(0.30 g)	0.40 g

注: g 为重力加速度。

进行某地区抗震设计时,需要明确该地区的场地类别和设计地震分组,来确定相关的设计参数,如场地特征周期。我国主要城镇(县级及县级以上城镇)中心地区的抗震设防烈度、设计地震分组和设计基本地震加速度值,见附录 A。

第三节 地震活动和地震分布

一、世界地震分布

在空间上,地震发生的地点是很不均匀的。世界范围内的地震呈现出条带分布的特征,称为地震带。全球有三大地震带(见图 1-7),即环太平洋地震带、欧亚地震带和海岭地震带(也有称两大地震带,海岭地震带通常由于和人类工程建设活动关系不大而被忽略)。

环太平洋地震带:该地震带分布在东太平洋的美洲大陆西海岸、北太平洋和西太平洋的岛屿外侧,绵延长达 40 000 km,带宽只有约 200 km,是地球上地震活动最强烈的地带,全世界约 80%的浅源地震、90%的中源地震和几乎所有的深源地震都集中在该带上。该地震带所释放的地震能量约占全球地震能量的 80%。

欧亚地震带:该地震带横贯欧亚大陆,大致呈东西向分布,全带总长约 15 000 km,宽度各地不同(北纬 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$),西起大西洋亚速尔群岛,穿地中海,经伊朗高原,进入喜马拉雅山东端向南拐弯经缅甸西部、安达曼群岛、苏门答腊岛、爪哇岛至班达海附近与环太平洋地震带相连。该带的地震活动仅次于环太平洋地震带,约占全球大陆地震的 90%,地震释放的能量约占全球地震能量的 15%。

海岭地震带:此地震活动带蜿蜒于各大洋中间,几乎彼此相连,总长约 65 000 km,宽为 1 000~7 000 km。该地震带的地震活动性较之前两个带要弱得多,均为浅源地震。

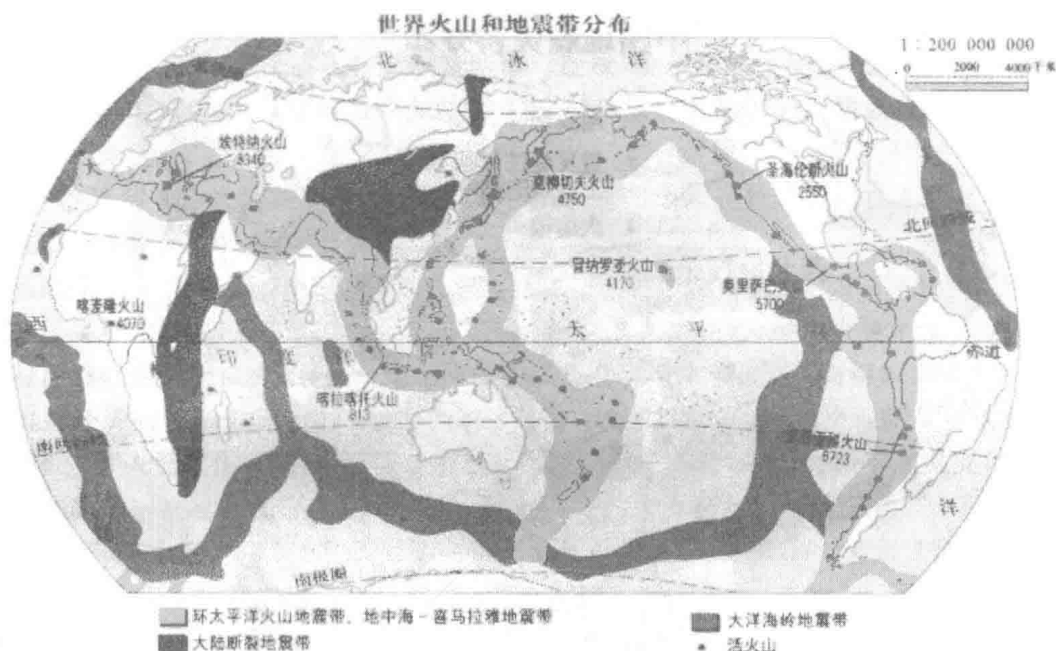


图 1-7 世界地震带示意图

二、中国的地震环境

我国地处欧亚大陆东南部,位于环太平洋地震带和欧亚地震带之间,有些地区本身就是这两个地震带的组成部分。受太平洋板块、印度洋板块和菲律宾板块的挤压作用,我国地质构造复杂,地震断裂带十分发育,地震活动的范围广、强度大、频率高。我国发生的地震占全球大陆地震的 $1/4 \sim 1/3$ 。

中国的地震在空间上也大致呈条带型分布(见图 1-8)。东部主要有郯城—庐江地震带、河北平原地震带、汾渭地震带、燕山—渤海地震带、东南沿海地震带、台湾地震带等;西部主要有北天山地震带、南天山地震带、祁连山地震带、昆仑山地震带和喜马拉雅地震带;中部为南北地震带,贯穿宁夏、甘肃、青海、四川、云南等地。

按照区域,我国的地震分布又划分为 10 个地震区和 23 个地震亚区,这些亚区又分为 30 个地震带。东部的 5 个地震区是台湾、南海、华南、华北和东北;西部的 5 个地震区是青藏高原南部、青藏高原中部、青藏高原北部、新疆中部和新疆北部。

据统计,近一个世纪以来,我国 6 级以上地震约 500 次,7 级以上的地震约 100 次,8 级以上的地震 10 次。除贵州、浙江外,其余省份都发生过 6 级以上地震。

近期我国正处于新的地震活跃期。

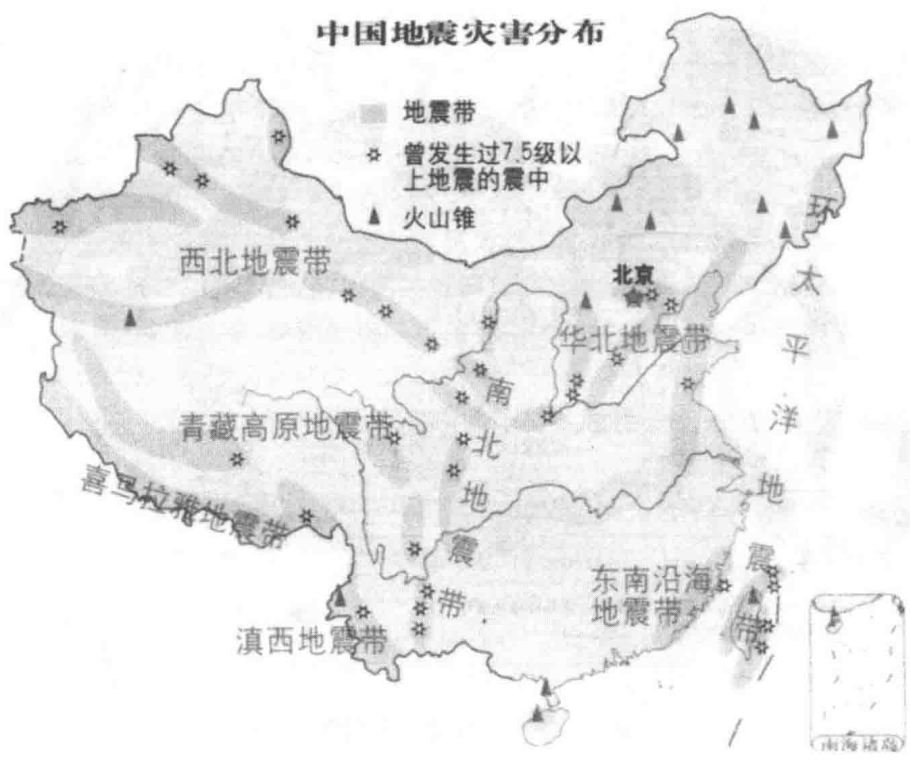


图 1-8 中国地震带示意图

三、我国严重的地震灾害

我国是世界上地震活动最强烈的国家之一。中国位于环太平洋地震带和欧亚地震带之间,受太平洋板块向西、印度洋板块向北、欧洲向东等多向的推动和挤压,从而地震活动活跃,具有分布广、频度高、强度大、震源浅的特点。从历史上的地震情况来看,全国除个别省份外,大部分地区都发生过较强烈的破坏性地震。20 世纪以来,根据地震仪器记录资料统计,我国已发生 6 级以上地震 700 多次,其中 7.0~7.9 级地震近 100 次,8 级及 8 级以上 11 次,如表 1-2 所示。

表 1-2 20 世纪以来发生在我国的 11 次 8 级以上强震统计表

序号	发震时间	地震名称	震级(M)
1	1902.08.22	新疆阿图什	8.3
2	1906.12.23	新疆玛纳斯	8.0
3	1920.06.05	台湾花莲东南海中	8.0
4	1920.12.16	宁夏海原	8.5
5	1927.05.23	甘肃古浪	8.0
6	1931.08.31	新疆富蕴	8.0
7	1950.08.15	西藏察隅、墨脱间	8.5
8	1951.11.18	西藏当雄西北	8.0
9	1972.01.25	台湾新港东海中	8.0
10	2001.11.14	青新交界	8.2
11	2008.05.12	汶川地震	8.0



强烈的地震活动使我国成为世界上地震灾害最严重的国家之一。1949年以来,100多次破坏性地震袭击了我国22个省(自治区、直辖市),造成34万余人丧生,占全国各类灾害死亡人数的54%以上。地震作为我国第一大自然灾害,与其他自然灾害一起构成我国最基本的国情之一。

例如,1976年唐山大地震和2008年汶川大地震,这两次地震导致的死亡人数之和占到新中国成立以来地震死亡人数的85%以上。

北京时间1976年7月28日凌晨3时42分,在河北省唐山市(北纬 39.6° ,东经 118.1°)发生了7.8级强烈地震,极震区烈度高达XI度,使唐山这座人口稠密、经济发达的工业城市几乎沦为一片废墟。根据有关方面统计,这次地震毁坏公产房屋1479万 m^2 ,倒塌民房530万间,造成的直接经济损失高达54亿元,总损失估计超过100亿元。另外,该次地震共导致24.2万人死亡,16.4万人受重伤,仅唐山市区终身残疾的就达到1700多人,是新中国成立以来人员伤亡最为惨重的一次地震。

北京时间2008年5月12日14时28分,四川省汶川县(北纬 31.0° ,东经 103.4°)发生了8.0级特大地震,极震区烈度也高达XI度。这次地震影响范围极大,超过40万 km^2 ,其中严重受灾地区达到10万 km^2 。地震造成大面积的基础设施、建筑工程损坏和垮塌,并且由于四川省特殊的地形地貌和山地特征,导致严重的次生地质灾害,造成巨大的经济损失和人员伤亡。据统计,该次地震中死亡69227人,失踪17933人,374643人受伤,直接经济损失达到8451亿元人民币。汶川大地震作为新中国成立以来破坏性最强、涉及范围最广、救灾难度最大的一次地震,将会被历史永远铭记。

北京时间2010年4月14日清晨,青海省玉树县(北纬 33.1° ,东经 96.6°)发生两次地震,最高震级7.1级,造成了县城结古镇多数民居倒塌或发生严重破坏,导致2220人遇难,70人失踪。玉树地震是汶川大地震以来我国发生的又一次严重的地震灾害,再次给我们敲响了防御地震灾害的警钟,提醒我们当前的抗震防灾形势依然严峻。

第四节 地震震害

一、地表的破坏

(一)地裂缝

在强烈地震作用下,常常会在地面产生裂缝。根据产生的机理不同,地裂缝分为重力地裂缝和构造地裂缝两种。重力地裂缝是由于在强烈地震作用下,地面做剧烈震动而引起的惯性力超过了土的抗剪强度所致。这种裂缝长度可由几米到几十米,其断续总长度可达几千米,但一般都不深,多为1~2 m。构造地裂缝是地壳深部断层错动延伸至地面而出现的裂缝。美国旧金山大地震圣安德烈斯断层的巨大水平位移,就是现代可见断层形成的构造地裂缝,如图1-9所示。



图1-9 地裂缝

(二)喷砂冒水

在地下水位较高、砂层埋深较浅的平原地区,地震时由于地震波的强烈振动使地下水压力