

新世纪土木工程系列规划教材

建筑结构抗震

郭海燕 戴素娟 彭亚萍 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新世纪土木工程系列规划教材

建筑结构抗震

郭海燕 戴素娟 彭亚萍
王子辉 魏 巍 孙黄胜 编著
冯启明 主审



机械工业出版社

本书依据新颁布的 GB50011—2001《建筑抗震设计规范》(2008 版)等规范,按照教育部规定的土木工程专业培养目标要求编写。本书的编写注重基本概念、基本原理和抗震设计规范的应用。主要包括:地震及工程抗震设防的基本知识,场地与地基,结构地震反应分析与抗震验算,多层砌体房屋和底部框架-抗震墙房屋抗震设计,单层工业厂房抗震设计,多层和高层钢筋混凝土房屋结构抗震设计,多层和高层钢结构抗震设计,结构隔震、耗能减震控制等。书中主要章节附有例题,每章后有思考题与习题。

本书可作为高等院校土木工程专业专业教材,也可供建筑设计、施工、监理等工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震/郭海燕等编著. —北京:机械工业出版社, 2010
(新世纪土木工程系列规划教材)
ISBN 978 - 7 - 111 - 30169 - 1

I. ①建… II. ①郭… 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 (2010) 第 048704 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:季顺利 责任编辑:马军平

版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm · 19.5 印张 · 379 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 30169 - 1

定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

2008年“5.12”汶川大地震发生后，国家组织相关科技人员对震害现场进行了调查分析，对建筑结构的抗震性能和设计方法做了进一步的研究和探索，并取得了一系列研究成果。在此基础上，对GB50011—2001《建筑抗震设计规范》进行了局部修订。我们按照修订后的GB50011—2001《建筑抗震设计规范》（2008版），充分吸收国内外建筑结构抗震的研究成果，并结合多年的教学经验编写了本书。

本书共分8章，第1章为地震与工程抗震设防的基本知识，第2章为场地与地基，第3章为结构地震反应分析与抗震验算，第4章为多层砌体房屋和底部框架-抗震墙房屋抗震设计，第5章为单层工业厂房抗震设计，第6章为多层和高层钢筋混凝土房屋结构抗震设计，第7章为多层和高层钢结构抗震设计，第8章为结构隔震、耗能减震控制。参加本书编写工作的有：中国海洋大学郭海燕（第1章和第2章），魏巍（第3章），山东科技大学戴素娟（第5章和第7章），孙黄胜（第8章），济南大学彭亚萍（第6章），烟台大学王子辉（第4章）。全书由郭海燕统稿，由冯启民教授主审。

本书的编写力求文字简练、层次清楚、重点突出。编写时既注重对基本概念和基本原理的阐述，也注重新规范的实践与应用，同时适当地补充了国内外最新科技成果。本书可作为高等院校土木工程专业的建筑结构抗震专业课教材，也可作为土木工程技术人员的参考资料。

本书编写时参考了大量已出版的教材和发表的论文、论著，在此谨对其作者致以诚挚的谢意。

在本书的编写过程中，济南大学的研究生马明、山东科技大学研究生马飞飞参与了例题的计算工作，中国海洋大学的研究生张莉、戴拯参与了文字校对和处理等工作，在此表示感谢。

限于作者水平，书中难免会有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

目录

前言

第1章 地震与工程抗震设防的基本知识	1
1.1 工程地震学基本知识	2
1.2 建筑工程的抗震设防	11
1.3 建筑抗震的概念设计	14
思考题与习题	17
第2章 场地与地基	19
2.1 建筑场地类别划分	19
2.2 地基的抗震验算	22
2.3 地基土的液化及其防治	24
思考题与习题	30
第3章 结构地震反应分析与抗震验算	32
3.1 概述	32
3.2 单自由度弹性体系水平地震反应分析	33
3.3 多自由度弹性体系水平地震反应分析	45
3.4 结构的地震扭转效应	63
3.5 地震剪力调整及最低地震剪力要求	65
3.6 竖向地震作用	66
3.7 结构抗震验算	68
思考题与习题	73
第4章 多层砌体房屋和底部框架—抗震墙房屋	
抗震设计	75
4.1 震害现象及其特征	75
4.2 多层砌体房屋的结构布置原则	78
4.3 多层砌体房屋的抗震计算	81
4.4 多层砌体结构抗震构造措施	90
4.5 底部框架—抗震墙房屋抗震设计	96
思考题与习题	101
第5章 单层工业厂房抗震设计	102

5.1 概述	102
5.2 单层钢筋混凝土厂房	102
5.3 单层钢结构厂房	128
5.4 单层砖柱厂房	135
5.5 计算实例	141
思考题与习题	154
第6章 多层和高层钢筋混凝土房屋结构抗震设计	156
6.1 震害及其分析	156
6.2 抗震设计的基本要求	163
6.3 框架结构的抗震设计	172
6.4 抗震墙结构的抗震设计	214
6.5 框架-抗震墙结构的抗震设计	229
思考题与习题	233
第7章 多层和高层钢结构抗震设计	234
7.1 震害现象及其分析	234
7.2 抗震设计基本要求	236
7.3 钢结构抗震计算要点	244
7.4 钢结构抗震构造措施	255
7.5 计算实例	260
思考题与习题	270
第8章 结构隔震和耗能减震控制	271
8.1 结构控制方法分类	271
8.2 结构隔震	273
8.3 建筑结构耗能减震设计	284
思考题与习题	299
附录	300
附录 A 中国地震烈度表	300
附录 B 我国部分城镇抗震设防烈度、设计基本 地震加速度和设计地震分组	302
参考文献	305

第1章 地震与工程抗震设防的基本知识

地震是一种自然现象，是地球内部扰动所释放的能量以波的形式由地层传到地表引起的振动。据估计，即使是人们刚能感觉到的轻微地震也要释放出 $10^3 \sim 10^8 \text{J}$ 的能量，这些能量足以使万吨重的物体升高 1m。而一个 8.5 级的大震，其能量约为 $3.6 \times 10^{17} \text{J}$ ，比一颗氢弹爆炸所释放的能量还大，相当于一个 10^6kW 发电站连续十年所发出的电能总和，可见其威力之大。

历史统计资料表明，地球上平均每年发生震级为 8 级以上、震中烈度在 11 度以上的毁灭性地震约 2 次，震级为 7 级以上、震中烈度在 9 度以上的大地震约 20 次，震级在 2.5 级以上的有感地震 15 万次以上。通常地震台上仪器能够记录到的地震至少在 100 万次以上，可见地震发生之频繁。

大地震给人类带来的灾害是巨大的。我国是世界上的多地震国家之一。20 世纪以来，世界上 20 次灾难性地震中共约死亡 101 万人，其中发生在我国的有 2 次（占 10%），共死亡 32.7 万人（约占 32%）。1976 年唐山 7.8 级地震中死亡 24 万多人，伤残 16 万多人，是 20 世纪一次伤亡人数最多的地震。而 2008 年 5 月 12 日发生在我国四川省汶川县的里氏 8.0 级特大地震，更是让人深刻体会到地震灾害的突发性、高破坏性。这次地震造成严重受灾地区达 10 万多平方 km，69226 人遇难，374177 人受伤，18522 人失踪，累计受灾人数近 5000 万人，2314.3 万间房屋损坏，其中倒塌的房屋就达 652.5 万间。地震同时还引发了大量地质灾害，山体滑坡引发村庄、城镇甚至城市房屋的掩埋（图 1-1）。汶川地震是我国建国以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震，在世界地震史上也是罕见的。2010 年 4 月 14 日，青海玉树 7.1 级地震，又有两千多人遇难，一万多人受伤。

大量资料的统计研究表明，地震活动存在着周期性，其在时间上的分布是不均匀的，有一段时间发生地震较多，震级较大，称为地震活跃期（高潮）；另一段时间发生地震较少，震级较小，称为地震活动平静期（低潮）。地震活动的周期与地震能量的累聚和释放过程有关。大地震释放的能量大，需要积累的时间长，因而一个地区发生一次大地震之前，往往有一段相当长的平静时间，而在地震活跃期，可能发生多次大地震。

对于我国这样的地震灾害高发地区，灾害带来的损失是惨重的，教训是深刻的。面对目前人类尚无法控制的地震，要求我们必须不断吸取经验，加强预防，对地震和抗震的研究工作常抓不懈。因此，提高城镇综合抗震防灾能力，最大限

度地减轻地震灾害,搞好新建工程的抗震设计,成为一项重要的根本性的减灾措施。GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》规定:抗震设防烈度 6 度及以上地区的建筑必须进行抗震设计。

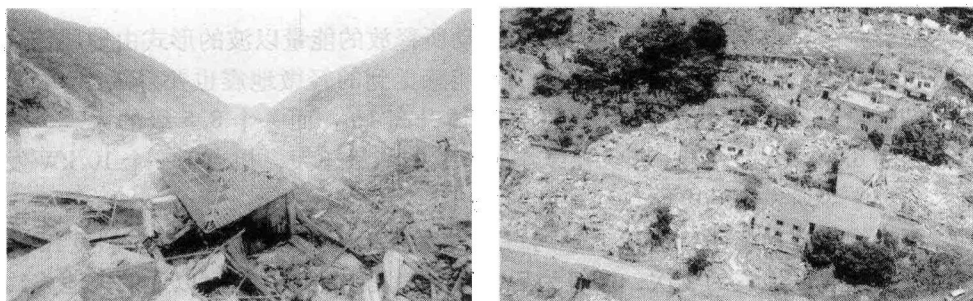


图 1-1 汶川地震震后航拍照片(网络图片)

本章将针对工程地震学基本知识及工程抗震设计的基本要求两个方面进行介绍。

1.1 工程地震学基本知识

1.1.1 地球的构造

地球是一个平均半径约 6400km 的椭圆球体,如图 1-2 所示,由地表至核心可分为性质不同的三个圈层。

1) 最外层是相对较薄的地壳,由各种不均匀的岩石组成。地壳厚度变化很大,海洋下一般仅为几 km,大陆下的平均厚度为 30 ~ 40km,在大山脉下厚度更大,如我国青藏高原地壳最厚可达 70km。绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。

2) 地壳之下为地幔,分为上地幔和下地幔,厚约 2900km,主要由质地坚硬的橄榄岩组成。

3) 最内的球为地核,半径约 3500km,分为外核与内核,据推测,外核

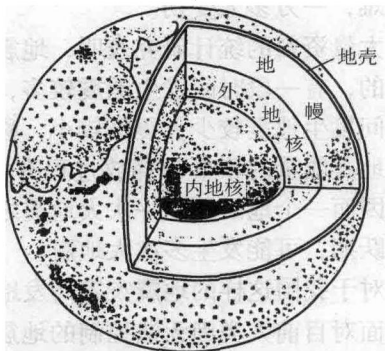


图 1-2 地球内部圈层示意图

可能处于液态，而内核可能是固态。地核物质主要是镍和铁。

1.1.2 地震的相关概念及分类

1. 地震的相关概念

(1) **震源** 指地球内部断层错动并引起周围介质振动的部位，即地震时地下岩石最先开始破裂的部位，是一个有一定深度和范围的区域（也称震源区），但研究地震时常把它看成一个点。

(2) **震源深度** 如果把震源看成一个点，那么这个点到地面的垂直距离就称为震源深度。

(3) **震中** 指震源正上方的地面位置，即震源在地面上的投影。震中及其附近的地方称为震中区，也称极震区，是破坏最严重的区域。

(4) **震中距** 指地面某处（观测点或建筑物）至震中的水平距离。一般来讲，震中距越小，越靠近震中，震感越强烈。

图 1-3 给出了相应的示意图。

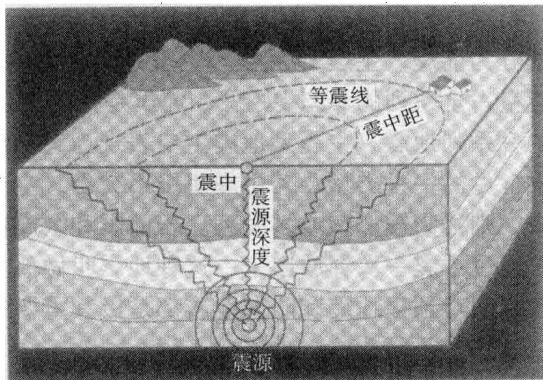


图 1-3 地震的相关概念

2. 地震的分类

地震按照不同标准，可以有多种分类方式。

1) 按成因可分为诱发地震和天然地震。诱发地震是由于人工爆破、矿山开采、水库储水等人为活动引发的。天然地震又分为火山地震、陷落地震和构造地震。火山地震是指由于火山爆发导致岩浆猛烈冲出地面而引起的地震；陷落地震是由于地表或地下岩层突然发生大规模陷落和崩塌时所引起的小范围内地面振动；构造地震是由于地壳运动推挤地壳岩层，使其薄弱部分发生断裂错动而引起的地震。构造地震占地震发生总数的 90% 以上，因此在工程上经常讨论的是构造地震。

2) 按震源深度可分为浅源地震、中源地震、深源地震。震源深度小于 60km 的为浅源地震，震源深度介于 60 ~ 300km 之间的为中源地震，震源深度大于 300km 的为深源地震。世界上绝大多数地震都是浅源地震，震源深度集中在 5 ~ 20km，占地震总数的 95%。对于同样大小的地震，当震源较浅时，波及范围较小，破坏程度较大；当震源深度较大时，波及范围则较大，而破坏程度相对较小。深度超过 100km 的地震在地面一般不会引起灾害。

3) 按震级通常可分为微震、有感地震、破坏性地震、强烈地震和特大地震。一般认为,小于2级的地震,人们感觉不到,只有仪器才能记录下来,称为微震;2~4级地震,人可以感觉到,称为有感地震;5级以上地震能引起不同程度的破坏,称为破坏性地震;7级以上地震,则称为强烈地震或大震;8级以上的地震,称为特大地震。

4) 按地震形式、地震序列可分为主震型、震群型、孤立型。地震序列一般可划分为前震、主震和余震。主震是指地震系列中最大的一次地震(一般释放的能量占全系列的90%以上),前震是指主震前的一系列小地震,余震是指主震后的一系列地震。主震型地震主要表现为有突出主震的地震序列,这是破坏性地震中常见的一种类型。若主震震级不突出,主要能量由多个震级相近的地震释放出来,则称为震群型或多发型。若前震和余震都很稀少甚至没有,大部分能量基本上通过主震一次释放出来,这种地震叫做孤立型或单发型地震。地震序列的认识和判别对预报地震和防御地震都是极其重要的。

1.1.3 构造地震的成因

所谓构造地震,是指由地壳构造变动而引起的地震。构造地震的发生与地质构造密切相关。这类地震通常发生在地应力比较集中、构造比较脆弱的地段,即原有断层的端点或转折点处与不同断层的交汇处。当地应力在某一地区逐渐增加,增大到超过岩石的极限强度时,在岩石的薄弱处发生断裂和错动,部分应变能突然释放,从而引起振动。

构造地震成因有多种学说予以解释,较为公认的是板块构造学说。

板块构造学说是20世纪60年代初由美国地质学家提出来的。这一学说认为地壳与上地幔顶部厚度约为70~100km的岩石层是由若干大大小小的板块组成,由于岩石层下面强度较低并同带有塑性的地幔岩流层的对流,使得这些板块一直在缓慢地相互运动着、漂移着,相对运动速度平均约为每年几厘米,持续了至少两亿年左右。在运动过程中,地球板块之间的相互作用力会使地壳中的岩层发生变形,从而引起板块之间的互相挤压和冲撞。当板块间的相互作用力聚集到一定程度后,将使地壳的薄弱岩层产生褶皱和弯曲,甚至有些板块呈现插入另一板块下欲使其翘起的趋势。当这种变形积聚到超过岩石所能承受的程度时,就会发生突然破裂或错动。岩层破裂或错动时会激发出一种向四周传播的地震波,当地震波传到地表时,就会引起地面的振动。

全球地壳大致可分为六大板块:亚欧、太平洋、美洲、非洲、印度洋板块和南极板块,各大板块之内还可以划分为许多较小的板块。世界上两个主要地震带都处于这些大板块的交界地区,如图1-4所示。因此,板块构造学说的提出,有助于解释地震带的成因。

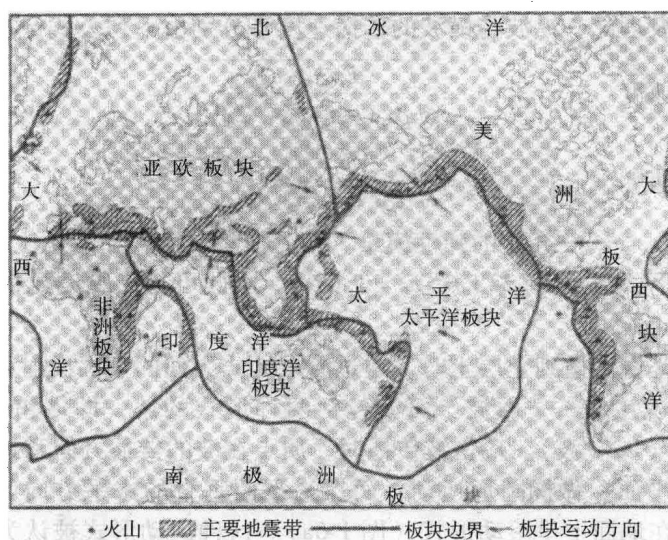


图 1-4 地壳板块分布与地震带分布图

1.1.4 地震波与地震动

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。正如把石子投入水中，水波会向四周一圈一圈地扩散一样。地震波是一种弹性波，它包含在地球内部传播的体波和只限于沿地球表面传播的面波。体波在地球内部的传播速度随深度的增加而增大。体波又包括两种形式的波，即纵波和横波。在纵波的传播过程中，其介质质点的振动方向与波的前进方向一致（图 1-5a），故又称为压缩波或疏密波。纵波的特点是周期短、振幅小，通常在地面引起上下颠簸运动。在横波的传播过程中，其介质质点的振动方向与波的前进方向垂直（图 1-5b），故又称为剪切波。横波的周期较长、振幅较大，通常引起地面左右晃动。

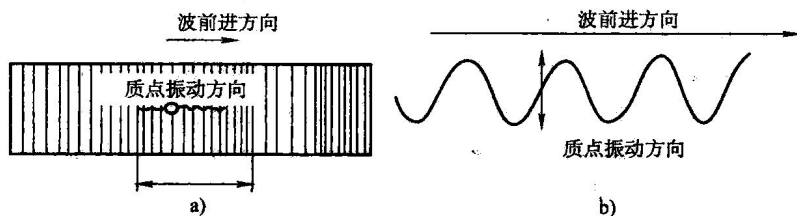


图 1-5 体波质点振动形式

根据弹性波理论，纵波与横波的传播速度可分别由下列公式计算：

$$\text{纵波传播速度。} \quad v_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1-1)$$

$$\text{横波传播速度。} \quad v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 E 、 G 、 ρ 、 ν ——介质的弹性模量、切变模量、密度和泊松比。

一般情况下，当 $\nu=0.22$ 时， $v_p=1.67v_s$ 。由此可见，纵波比横波传播速度快。

当体波从基岩传播到上层土时，通过分层地质界面的多次反射和折射，将在地表形成一种次生波——面波。面波包括两种形式的波，即瑞雷波（Rayleigh 波）和乐夫波（Love 波）。瑞雷波传播时，质点在波的传播方向和地面法线组成的平面内（ xz 平面）做椭圆形运动，而在与平面垂直的水平方向（ y 方向）没有振动，质点在地面上呈滚动形式（图 1-6a）。这种运动形式被认为是形成地面晃动的主要原因。乐夫波传播时，质点只是在与传播方向相垂直的水平方向（ y 方向）运动，在地面上呈蛇形运动形式（图 1-6b）。面波的振幅大、周期长，只在地表附近传播，比体波衰减慢，故能传播到很远的地方。

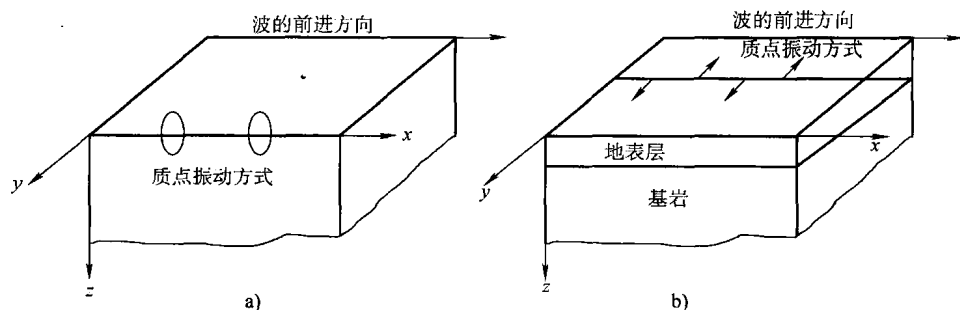


图 1-6 面波质点振动形式

波在介质中传播是需要时间的。首先到达的是纵波，继而是横波，面波到达最晚。所以通常在地震发生的中心地区人们的感受是：先上下颠簸，后左右摇晃，当横波或面波到达时，其振幅最大，地面振动最为猛烈，产生的破坏作用也大。在离震中较远的地方，由于地震波在传播过程中逐渐衰减，地面振动减弱，破坏作用也逐渐减轻。震级越大，地震波的传播路径也越远，持续时间也越长。

由于地球中岩层是分层的，地壳与地幔、地幔与地核之间存在着明显的分界面，地震波从震源产生后，向四面八方传播的过程中，在分界面上产生反射和折射。因此，在地面一点观测到的地震波是多种波的混合，是极为复杂的。

由地震波传播所引发的地表土层振动称为地震动（也称地面运动）。地震动是引起震害的外因，其作用相当于结构分析中的荷载，只不过是运动的方式出现。

人们一般是通过记录地面运动的加速度来了解地震动的特征的。一般来说，一点处的地震动在空间具有六个方向的分量：东西 WE、南北 NS、上下 UD 及三个转动分量。图 1-7 给出了某地震台测得的某次地震的地面运动加速度时程曲线，由图可知，地震动是一个复杂的现象，地震动记录的最明显特征即是不规则性。对工程抗震而言，地震动的特性可以通过与工程结构地震破坏密切相关的三要素来描述：

(1) 峰值 即地震动加速度时程曲线的峰值，是描述地震动强烈程度的最直观的参数。

(2) 频谱 通过对地震记录的频谱分析可以揭示地震动的周期分布特征。地震动不是简单的谐和振动，而是振幅和频率都在变化的随机振动。但是，对于给定的地震动时程，总可以把它看作是由不同频率的简谐波组合而成。频谱即反应了地震动中振幅与频率的关系特性。

(3) 持时 即地震动持续时间，反映了地震动往复作用程度的强弱。有些结构的破坏不是在一次大的地震脉冲下发生倒塌破坏，而是从开裂到倒塌经过了几次、几十次甚至几百次的反复振动过程。显然，在结构已经发生开裂时，连续振动的时间越长，则结构倒塌的可能性就越大。

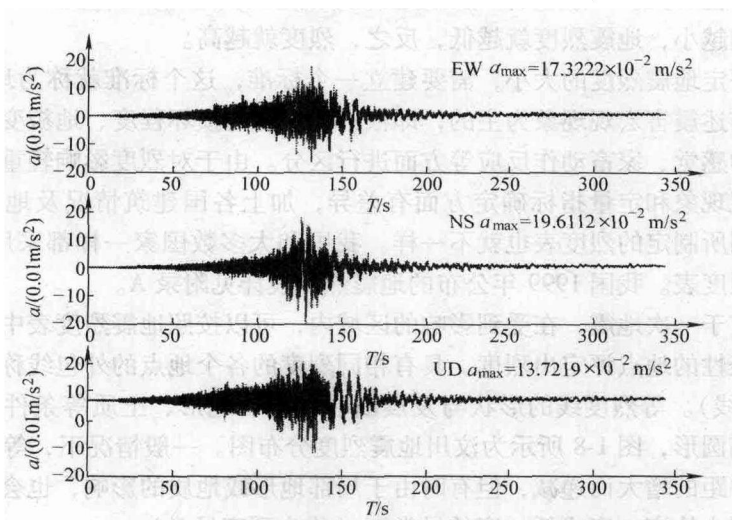


图 1-7 地震台测得的某次地震地面运动加速度时程曲线

1.1.5 地震震级与地震烈度

地震有强有弱,从工程应用来讲,能以定量的形式描述地震的强弱是非常重要的。用来衡量地震强度大小的指标有两种:其一为地震震级,其二为地震烈度。

震级是衡量地震本身强度大小的一种度量指标,通常是用地震时地面运动的振幅来确定的。目前国际上较通用的是里氏震级,最早由美国学者里克特(C. F. Richter)于1935年提出,通过一次地震所能释放能量的程度来表示,符号为 M_L 。我国使用的震级标准即是里氏震级。

震级与震源所释放的能量 E 的大小有关,可以用下述关系式表达

$$\lg E = 1.5 M_L + 11.8 \quad (1-3)$$

震级表示一次地震释放能量的多少,震级越高,释放的能量越多。震级每增加一级,地震所释放出的能量约增加30倍。

同样大小的地震,造成的破坏程度不一定相同;而同一次地震,由于地震波传播的远近和地面地质特性的差异,在不同的地方造成的破坏也是不一样的。地震烈度即是用来衡量地震的破坏程度的一把“尺子”。所谓地震烈度是指某一地区的地面和各类建筑物遭受到一次地震影响的强弱程度,是衡量地震引起的实际后果的一种度量。地震烈度的大小与震源、震中、震级、地质构造和地面建筑物等综合特性有关。一般来讲,震级越大震源越浅,地震烈度越高。距震中越远,地震影响越小,地震烈度就越低,反之,烈度就越高。

为评定地震烈度的大小,需要建立一个标准,这个标准就称为地震烈度表。它是以描述震害宏观现象为主的,即根据建筑物的损坏程度、地貌变化特征、地震时人的感觉、家畜动作反应等方面进行区分。由于对烈度影响轻重的不同,以及在宏观现象和定量指标确定方面有差异,加上各国建筑情况及地表条件的不同,各国所制定的烈度表也就不一样。我国和大多数国家一样都采用分成12度的地震烈度表。我国1999年公布的地震烈度表详见附录A。

对应于一次地震,在受到影响的区域内,可以按照地震烈度表中的标准对一些有代表性的地点评定出烈度。具有相同烈度的各个地点的外包线称为等烈度线(或等震线)。等烈度线的形状与发震断裂取向、地形、土质等条件有关,多数近似呈椭圆形,图1-8所示为汶川地震烈度分布图。一般情况下,等烈度线的度数随震中距的增大而递减,但有时由于局部地形或地质的影响,也会在某一烈度区内出现小块高一度或低一度的异常区(称为烈度异常)。

利用历史地震的等烈度线资料,对于浅源地震,可以针对不同地区给出宏观的烈度衰减规律

$$M_L = \frac{2}{3}I_0 + 1 \quad (1-4)$$

式中 I_0 ——震中烈度。

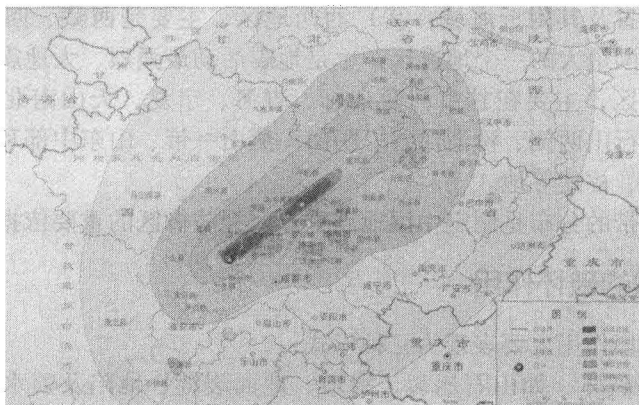


图 1-8 汶川地震烈度分布图

1.1.6 地震带

若将每年发生的地震震中绘到地图上，则可得到震中分布图。而地震带就是指地震集中分布的地区，该地区呈有规律的带状，在地震带内震中密集，在带外地震的分布零散。由震中分布图可以看出地球上最主要的两条地震活动带（图 1-4），其一为环太平洋地震带，它像一个巨大的环，环绕太平洋一周，这个地震带是地震活动最强烈的地带，全球约 80% 的地震都发生在这里。其二为亚欧地震带，也称地中海——喜马拉雅地震带。这个地震带全长两万多千米，横贯亚欧大陆南部、非洲西北部，主要分布于欧亚大陆，全世界地震总数的 20% 左右发生于此。

我国位于世界两大地震带的交汇区域，东濒环太平洋地震带，西部和西南部是欧亚地震带所经过的地区，是世界上多地震的国家之一，地震活动频度高、强度大、震源浅，分布广，震灾严重。20 世纪以来，我国共发生 6 级以上地震近 800 次，遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自

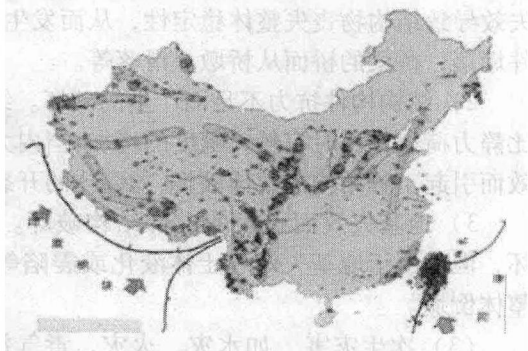


图 1-9 中国主要地震带

治区、直辖市。我国位于6度区以上的城市占城市总数的70%以上,近60%的大城市位于7度及7度以上的地震区。

我国的地震活动主要分布在五个地区的23条地震带上(图1-9)。这五个地区是:①台湾省及其附近海域;②西南地区,主要是西藏、四川西部和云南中西部,是我国最大的一个地震区,也是地震活动最强烈、大地震频繁发生的地区;③西北地区,主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓;④华北地区,主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕山一带、山东中部和渤海湾;⑤东南沿海的广东、福建等地。

中国地震带的分布是制定中国地震重点监视防御区的重要依据。

1.1.7 地震的破坏作用

地震的破坏作用主要表现为三种形式:

(1) 地表破坏 如山石崩裂、滑坡、地面裂缝、地陷及喷水冒砂等。地震造成的山石崩裂的塌方量可达近百万立方米,崩塌的石块可阻塞公路,中断交通,在陡坡附近还会发生滑坡。地陷大多发生在岩溶洞和采掘的地下坑道地区,在喷水冒砂地段,也可能发生。地裂缝往往都是地表受到挤压、伸张、旋扭等力作用的结果,其中构造裂缝是地震断裂带在地表的反映,其走向与地下断裂带一致,规模较大,裂缝带最大可达几十千米,带宽甚至几十米。地裂缝穿过房屋会造成墙和地基的断裂或错动,严重时会造成房屋的倒塌。在地下水位较高的地区,地震的强烈振动会使含水粉细砂层液化,地下水夹着砂子经裂缝或其他通道喷出地面,形成喷水冒砂现象。

(2) 建筑物破坏 如房屋倒塌、桥梁断裂、水坝开裂、铁轨变形等。工程结构的破坏随结构的类型及抗震措施的不同而有较大差别,常见的破坏情况如下:

1) 结构丧失整体稳定性而引起的破坏。地震作用下,由于构件之间的连接失效导致结构物丧失整体稳定性,从而发生局部或整体破坏,如房屋的屋盖等构件塌落,桥梁的桥面从桥墩上滑落等。

2) 结构构件抗力不足而产生的破坏。结构在强烈地震作用下产生的内力将比静力荷载作用时有较大幅度的增加,当内力超过构件本身的抗力时,会使构件失效而引起工程结构的整体破坏,如墙体的开裂、崩塌,承重墙与柱的弯剪破坏等。

3) 地基失效而引发的上部结构破坏。地震时上部结构本身并没有发生破坏,但是由于地基失效(土体液化或震陷等)而造成结构物的倾斜、开裂甚至整体倒塌。

(3) 次生灾害 如水灾、火灾、毒气污染、滑坡、泥石流、海啸等。地震的直接灾害发生后,会引发次生灾害,有时次生灾害所造成的伤亡和损失,比直

接灾害还大。1932年日本关东大地震直接因地震倒塌的房屋仅1万幢,而地震时失火却烧毁70万幢。2004年印尼苏门答腊岛附近海域特大地震,由地震引发的印度洋海啸给印尼等国造成巨大人员伤亡,死亡近30万人。2008年我国的汶川地震引起了大量的山体滑坡和泥石流,冲毁了许多城镇和村庄,山体滑坡在地震灾区还形成了多处堰塞湖,对下游居民的生命财产造成了严重的威胁。

1.2 建筑工程的抗震设防

地震带给人类的灾难是惨重的。面对如此强大的自然灾害,人们会想到,如能准确地预测出未来大地震的时间、地点和强度,无疑可以拯救数以万计人的生命,减少地震造成的经济损失。但遗憾的是,迄今为止,地震预测仍处于探索阶段,人类尚未完全掌握地震孕育发展的规律。目前的主要对策是进行工程抗震设防,即对工程结构物进行抗震设计和采取抗震构造措施,最大限度地限制和减轻建筑物的地震破坏,保障人民生命财产的安全。

1.2.1 抗震设防的基本思想

GBJ 11—1989《建筑抗震设计规范》中确立了“三水准设防目标,两阶段设计步骤”的抗震设计思想。实行二十年来,得到了广大设计工程技术人员认可,达到了在一定的经济条件下最大限度地限制和减轻建筑物由地震引起的破坏,保障人民生命安全,减少经济损失的目的。这一设计思想既符合我国当前的技术和经济情况,也符合国际上近些年来抗震设防的科学发展状况,因此,新修订的GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》(2008年版)继续采用这一基本设计思想。

“三水准设防目标”,即“小震不坏、中震可修、大震不倒”三个水准,要求建筑物在使用期间,对不同频度和强度的地震应具有不同的抵抗能力。具体就是:

1) 当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时,建筑物一般不受损坏或不需修理仍可继续使用。

2) 当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时,建筑物可能损坏,经一般修理或不需修理仍可继续使用。

3) 当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时,建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

以上三个水准的地震作用水平是根据我国主要地震区的地震危险性分析结果给出的地震烈度的概率密度函数(图1-10),按三个不同超越概率(或重现期)来区分的:①多遇地震烈度(众值烈度)即50年内超越概率为63.2%,重现期