



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

结构抗震设计

(第2版)

主 编 祝英杰

提供电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

结构抗震设计(第 2 版)

主 编 祝英杰

副主编 谷 伟

参 编 高立堂 隋杰英



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)编写,主要阐述建筑结构及梁式桥结构抗震设计的基本原理和实用方法。全书共9章,主要内容包括:结构抗震设计引论,建筑场地、地基与基础,结构抗震设计计算原理,多层和高层混凝土结构建筑抗震设计,多层砌体结构建筑抗震设计,多层和高层钢结构建筑抗震设计,单层工业厂房抗震设计,结构隔震及减震设计,混凝土结构梁式桥抗震设计。

本书既可作为高等院校土木工程专业的教材,也可作为从事土木工程结构、桥梁结构设计与施工技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

结构抗震设计/祝英杰主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2014.8

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-24679-5

I. ①结… II. ①祝… III. ①建筑结构—防震设计—高等学校—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第197595号

书 名: 结构抗震设计(第2版)

著作责任者: 祝英杰 主编

策 划 编 辑: 卢 东 吴 迪

责 任 编 辑: 伍大维

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-24679-5/TU·0426

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 三河市博文印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 432千字

2009年10月第1版

2014年8月第2版 2014年8月第1次印刷(总第5次印刷)

定 价: 37.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

第2版前言

我国是地震多发国家,破坏性地震造成建筑结构、桥梁结构的损坏,人员的伤亡及经济损失都是巨大的。因此,建筑结构及桥梁结构抗震是结构设计的重要内容。本书以《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)及《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02—01—2008)为依据进行编写,吸收了国内外最新结构抗震方面的研究成果,更新了设计理念,改善了设计方法,增补了许多新内容。本书吸取我国汶川特大地震的震害经验教训,对灾区设防烈度进行了变更,增加了部分条款的修订。通过本书的学习将有助于学生及相关设计人员熟悉和掌握新规范内容,为结构抗震设计奠定良好的基础。

结构抗震设计是高等院校土木工程专业的一门主要专业基础课,属于必修课程。本书结合作者多年的教学和科研实践,重点突出创新型应用本科教学的特点,整合抗震设计的概念、原理、方法、内涵,将抗震概念设计、抗震计算和验算及抗震构造措施三方面内容有机地统一起来,力争使本书内容精练,浅显易懂,实用性强。本书分别介绍了地震特性及震害、抗震设防要求、抗震概念设计、场地类别、地基与基础的抗震、地震反应分析、地震作用的计算,还包括多层和高层混凝土结构、多层砌体结构、多层和高层钢结构、单层工业厂房结构及混凝土结构梁式桥实用抗震设计方法等内容。本书系统地介绍了非弹性地震反应时程分析方法及静力弹塑分析方法,还介绍了结构隔震与减震设计的基本概念、原理及方法。为指导学生学习和掌握每章内容,书中各章开头给出了教学目标与要求,以及导入案例。每章后都有思考题及习题,并附有习题参考答案。

本书在总结编者教学经验及科研成果的基础上,突出以下几个方面。

(1) 建筑抗震概念设计、抗震计算和验算及抗震构造措施三大模块的统一性,并在各章内容编写上着重将抗震概念设计、抗震计算和验算、抗震构造措施三者的内涵依次编排,每章引入了背景知识,增强了教材内容的结构系统性,便于教学,也有利于学生学习并掌握。

(2) 将同类教材中比较零散的单自由度和多自由度体系的弹性地震反应分析、地震作用计算方法、建筑抗震验算等内容整合为“结构抗震设计计算原理”的范畴,增强了教材内容的层次性和知识的条理性。

(3) 以《建筑抗震设计规范》为主线,纳入了《建筑抗震设计规范局部修订》的主要内容及汶川特大地震的典型震害,并加入新的技术内容,如建筑抗震性能化设计、push-over法、配筋混凝土小型砌块结构体系的抗震设计等。

(4) 为便于学生掌握每章的重点、难点,在各章思考题及习题的设计上,采用问答题、选择题、计算题等多种题型。

本书以满足新形势下土木工程专业创新应用型人才的培养要求为基本出发点,充分考虑了与其他课程内容的统一协调,以基本概念、基本原理和实用方法为重点,以少而精为编写原则叙述结构抗震的基本知识。

全书共分9章,第1、2、3、4、5章由祝英杰编写,第6章由高立堂编写,第7章由隋杰英编写,第8、9章由谷伟编写。全书由祝英杰任主编并统稿,由谷伟任副主编。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年4月

目 录

第 1 章 结构抗震设计引论	1	第 2 章 建筑场地、地基与基础	18
1.1 地震特性	1	2.1 建筑场地	18
1.1.1 地震分类	1	2.1.1 场地土类型	18
1.1.2 地震波	2	2.1.2 场地类别	19
1.1.3 地震动	3	2.1.3 场地卓越周期	20
1.1.4 地震震级	4	2.2 地基与基础的抗震验算	21
1.1.5 地震烈度	4	2.2.1 抗震验算的一般原则	21
1.1.6 基本烈度	5	2.2.2 天然地基基础抗震验算	21
1.2 地震震害综述	5	2.3 地基土的液化	22
1.2.1 地震活动带	5	2.3.1 地基土液化概述	22
1.2.2 地震引起的破坏形式	6	2.3.2 液化的判别	22
1.3 建筑结构的抗震设防	8	2.3.3 液化地基的评价	24
1.3.1 抗震设防的目标	8	背景知识	25
1.3.2 建筑物抗震设防分类及设防标准	9	本章小结	26
1.3.3 抗震设计方法	10	思考题及习题	26
1.4 建筑抗震概念设计	10	第 3 章 结构抗震设计计算原理	28
1.4.1 确定建筑抗震设防类别及相应设防标准	11	3.1 计算概述	28
1.4.2 选择有利场地	11	3.1.1 地震作用	28
1.4.3 合理选用建筑结构体型	12	3.1.2 结构地震反应	28
1.4.4 采用合理抗震结构体系	12	3.1.3 计算简图及结构自由度	29
1.4.5 保证非结构构件安全	13	3.2 单自由度弹性体系的水平地震反应分析	29
1.4.6 采用隔震、消能减震技术	13	3.2.1 单自由度弹性体系计算简图	29
1.4.7 结构材料和施工质量	13	3.2.2 运动方程的建立	30
1.5 建筑抗震性能化设计	14	3.2.3 运动方程的求解	31
1.5.1 建筑结构损坏与预期性能	14	3.3 单自由度弹性体系水平地震作用的计算及反应谱法	32
1.5.2 抗震性能化设计的内容和要求	15	3.3.1 水平地震作用	32
1.5.3 结构及其构件在不同性能目标时的抗震计算要求	15	3.3.2 地震反应谱	32
背景知识	15	3.3.3 地震作用计算的设计反应谱	33
本章小结	16	3.3.4 地震作用的计算方法	37
思考题及习题	16	3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应分析	38

3.4.1	多自由度弹性体系计算简图	38
3.4.2	多自由度弹性体系的运动方程	39
3.4.3	多自由度弹性体系的自振特性	40
3.4.4	地震反应分析的振型分解法	43
3.5	多自由度弹性体系水平地震作用的计算	45
3.5.1	振型分解反应谱法	45
3.5.2	底部剪力法	48
3.6	结构基本周期的近似计算	51
3.6.1	能量法	51
3.6.2	顶点位移法	52
3.6.3	基本周期的修正	53
3.7	结构平动扭转耦合振动时地震作用的计算	54
3.7.1	结构的质心和刚心	54
3.7.2	平扭耦合振动时地震作用的计算	55
3.7.3	平扭耦合地震作用效应的组合	56
3.8	竖向地震作用的计算	57
3.8.1	高层建筑及高耸结构的竖向地震作用计算	58
3.8.2	大跨度结构的竖向地震作用计算	58
3.9	结构非线性地震反应分析方法简介	59
3.9.1	非线性地震反应分析的目的	59
3.9.2	非线性地震反应分析的方法	59
3.10	结构抗震验算	66
3.10.1	结构抗震计算的一般原则	66
3.10.2	结构构件截面承载力抗震验算	67
3.10.3	结构构件抗震变形验算	68
	背景知识	70
	本章小结	71
	思考题及习题	71

第4章	多层和高层混凝土结构建筑抗震设计	74
4.1	多层和高层混凝土结构震害特征及其原因	74
4.2	多层和高层混凝土结构抗震概念设计	76
4.2.1	结构体系的选择及相关要求	76
4.2.2	抗震等级的划分	78
4.2.3	结构布置	80
4.2.4	结构材料	83
4.3	框架结构的抗震设计	83
4.3.1	框架结构抗震概念设计	83
4.3.2	框架结构抗震计算及验算	83
4.3.3	框架结构薄弱层弹塑性变形验算	95
4.3.4	框架结构的抗震构造措施	95
4.3.5	多层钢筋混凝土框架结构设计实例	101
4.4	抗震墙结构的抗震设计	113
4.4.1	抗震墙结构的抗震概念设计	113
4.4.2	抗震墙结构的抗震计算方法	116
4.4.3	抗震墙结构的抗震构造措施	119
	背景知识	122
	本章小结	122
	思考题及习题	122
第5章	多层砌体结构建筑抗震设计	124
5.1	多层砌体结构震害特征及其原因	124
5.2	多层砌体结构抗震概念设计	125
5.2.1	结构承重体系和布置	125
5.2.2	房屋层数和总高度的限制	126
5.2.3	房屋高宽比的限制	126
5.2.4	砌体抗震横墙的间距	127
5.2.5	房屋局部尺寸限制	127
5.2.6	对结构材料的要求	128
5.3	砌体结构的抗震计算	128
5.3.1	砌体结构计算简图	128

5.3.2 水平地震作用及地震剪力的 计算	128	6.2.6 地下室	157
5.3.3 楼层水平地震剪力的 分配	129	6.2.7 钢结构材料选择	157
5.3.4 墙体抗震承载力计算	131	6.3 钢结构抗震计算	158
5.3.5 多层砌体结构抗震设计 实例	133	6.3.1 钢结构计算模型的技术 要点	158
5.4 砌体结构的抗震构造措施	138	6.3.2 钢结构抗震设计要点	159
5.4.1 设置钢筋混凝土构造柱	139	6.4 钢结构抗震构造措施	166
5.4.2 设置钢筋混凝土芯柱	139	6.4.1 钢框架结构抗震构造 措施	166
5.4.3 合理设置圈梁	140	6.4.2 钢框架-中心支撑结构 抗震构造措施	168
5.4.4 加强楼梯间的构造措施	141	6.4.3 钢框架-偏心支撑结构 抗震构造措施	169
5.4.5 加强结构各部位的连接	142	背景知识	172
5.5 配筋混凝土小砌块砌体抗震墙结构 建筑抗震设计	142	本章小结	172
5.5.1 配筋混凝土小砌块砌体 抗震墙结构建筑抗震 概念设计	143	思考题及习题	173
5.5.2 配筋混凝土小砌块砌体 抗震墙结构建筑抗震 计算	144	第7章 单层工业厂房抗震设计	174
5.5.3 配筋混凝土小砌块砌体 抗震墙结构抗震构造 措施	146	7.1 单层工业厂房震害特征及其原因	174
背景知识	148	7.1.1 横向地震作用下厂房主体 结构的震害	174
本章小结	148	7.1.2 纵向地震作用下厂房主体 结构的震害	175
思考题及习题	149	7.2 单层厂房抗震概念设计	176
第6章 多层和高层钢结构建筑抗震 设计	151	7.2.1 单层钢筋混凝土柱厂房的 一般规定	177
6.1 多层和高层钢结构震害特征及其 原因	151	7.2.2 单层钢结构厂房的一般 规定	179
6.2 多层和高层钢结构抗震概念 设计	153	7.2.3 单层砖柱厂房的一般 规定	180
6.2.1 结构平、立面布置以及 防震缝的设置	153	7.3 钢筋混凝土单层厂房抗震计算	180
6.2.2 钢结构房屋结构体系的选择及 所适用的结构尺寸	153	7.3.1 横向抗震计算	180
6.2.3 确定钢结构房屋的抗震 等级	155	7.3.2 纵向抗震计算	190
6.2.4 支撑、加强层的设置要求	155	7.3.3 厂房设计实例	201
6.2.5 多层和高层钢结构房屋中 楼盖的形式	157	7.4 钢结构单层厂房抗震计算	209
		7.4.1 结构计算模型和地震作用 计算方法的选择	209
		7.4.2 抗震计算要点	210
		7.4.3 构件截面抗震验算	212
		7.5 单层工业厂房的抗震构造措施	212
		7.5.1 钢筋混凝土厂房	212
		7.5.2 钢结构厂房	217
		背景知识	218

本章小结	219	9.2.5 规则桥梁地震作用的 计算	248
思考题及习题	219	9.3 桥梁延性抗震设计	255
第8章 结构隔震及减震设计	221	9.3.1 延性抗震设计原则	255
8.1 结构隔震及减震概述	221	9.3.2 能力保护构件计算	256
8.2 基础隔震设计原理及方法	223	9.3.3 墩柱强度验算	258
8.2.1 基础隔震原理	223	9.3.4 墩柱变形验算	259
8.2.2 常用隔震方法	225	9.3.5 支座抗震验算	260
8.2.3 结构隔震设计要点	227	9.4 桥梁减隔震设计	262
8.2.4 结构隔震构造措施	230	9.4.1 减隔震技术应用范围	262
8.3 消能减震设计原理及方法	231	9.4.2 减隔震桥梁设计原则	263
8.3.1 消能减震原理	231	9.4.3 减隔震装置及抗震验算	264
8.3.2 消能减震方法	232	9.5 桥梁抗震构造措施	264
8.3.3 结构消能减震设计要点	236	9.5.1 一般抗震构造措施	264
背景知识	237	9.5.2 延性构造措施	266
本章小结	237	背景知识	270
思考题及习题	238	本章小结	270
第9章 混凝土结构梁式桥抗震设计 ...	239	思考题及习题	270
9.1 混凝土结构梁式桥震害特征及其 原因	239	附录A 中国地震烈度表(2008)	272
9.2 桥梁抗震设计原理	243	附录B 我国部分主要城市和地区的 抗震设防烈度及设计地震 分组	274
9.2.1 桥梁抗震设防分类及设防 目标和标准	243	附录C D值法计算用表	278
9.2.2 地震作用分量选取与 组合	244	附录D 习题参考答案	283
9.2.3 桥梁地震作用的计算	245	参考文献	285
9.2.4 抗震计算方法	246		

第1章

结构抗震设计引论

教学目标与要求：熟悉地震特性及震害现象；掌握地震震级、地震烈度、基本烈度、设防烈度的概念及区别；深刻领会三水准设防目标及两阶段设计方法；掌握建筑物抗震设防分类及其设防标准；理解和掌握建筑抗震概念设计的概念内涵；了解建筑抗震性能化设计一般原则。

导入案例：2008年5月12日，我国汶川发生了8.0级特大地震(5·12特大地震)，此次地震造成了震中及附近地区的许多房屋建筑、道路、桥梁的严重损坏，造成救援困难，并引发山体滑坡、形成堰塞湖等灾害。地震为什么会造成房屋的开裂、倾斜或倒塌和道路、桥梁的破坏？为什么会造成山体崩裂、滑坡等自然灾害？地震具有怎样的特性？又该怎样设防？我们可以通过本章的学习得到了解。

1.1 地震特性

地震(earthquake)是来自地球内部构造运动的一种自然现象，它的产生原因与其内部构造及人类活动有关。每次地震的强弱程度(震级)与其释放的地震能大小有关，且释放的地震能以不同的地震波传播，并引起地面上结构的振动。地震对地面上结构的破坏程度(烈度)与地震的震级大小、发生的部位深浅以及距离震中的远近(震中距)有关。

1.1.1 地震分类

1. 地震按其成因分类

诱发地震：由于人工爆破、矿山开采及兴建水库等工程活动所引发的地震。影响范围较小，地震强度一般不大。

火山地震：由于活动的火山喷发，岩浆猛烈冲出地面引起的地震。主要发生在有火山的地域，我国很少见。

构造地震：地球内部由地壳、地幔及地核3圈层构成(图1.1)。其中地壳是地球外表面的一层很薄的外壳，它由各种不均匀岩石及土组成，其厚度全球各处不一，最厚处可达70km，最薄处约为5km。地幔是地壳下深度范围约为2895km的部分，由密度较大的超基岩组成；地核是地幔下界面(称为古登堡界面)至地心的部分，地核半径约为3500km，分内核和外核。从地下2900~5000km深处范围，称作外核，5000km以下的深部范围称作内核。地球内部各部分的密度、温度及压力随深度的增加而增大。

根据板块构造学说，地球表层主要由6个巨大板块组成：美洲板块、非洲板块、亚欧板块、印度洋板块、太平洋板块、南极洲板块(图1.2)。板块表面岩石层厚度约为70~100km，

板块之间的相对运动使板块边界地区的岩层发生变形而产生应力，当应力积累超过岩体抵抗它的承载极限时，岩体即会发生突然断裂或错动(图 1.3)，释放应变能，因此引发的地震称为构造地震。构造地震发生次数多，影响范围广，是地震工程的主要研究对象。

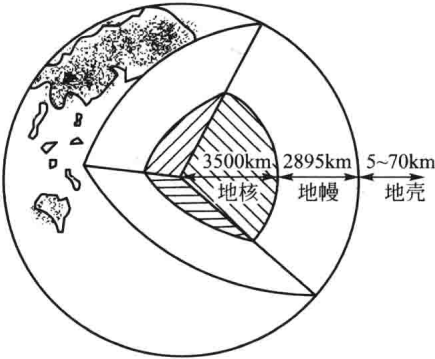


图 1.1 地球内部构造示意

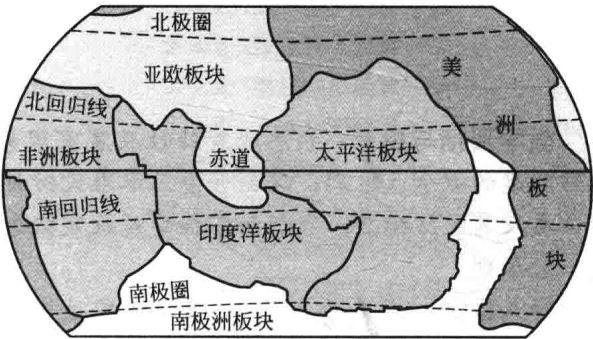


图 1.2 地球表层主要板块分布

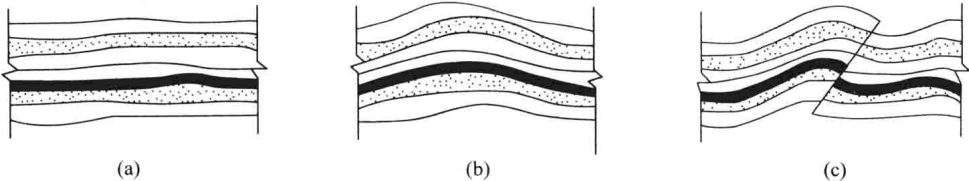


图 1.3 构造板块之间岩层的破坏过程

(a) 无地震时状态；(b) 地震前受力弯曲变形；(c) 地震发生时产生断裂及滑移

2. 地震按震源的深度分类

浅源地震：震源深度在 70km 以内的地震。

中源地震：震源深度在 70~300km 范围以内的地震。

深源地震：震源深度超过 300km 的地震。

3. 地震按震级大小分类

无感地震：震级小于 3 级，人们感觉不到的地震。

有感地震：震级 3 级到小于 4.5 级，人们可以感觉到的地震。

中强地震：震级 4.5 级到小于 6 级的地震。

强烈地震：震级 6 级到小于 7 级的地震。

大地震：震级 7 级到小于 8 级的地震。

特大地震：震级 8 级及 8 级以上的地震。

一般 5 级及 5 级以上的地震属于破坏性地震。目前，世界上已记录到的最大的地震震级为 9.0 级，于 2011 年发生在日本本岛附近海域。

1.1.2 地震波

地震发生时，地球内岩体断裂、错动滑移产生的振动，即地震动，每次地震所释放出

的变形能以波动能的形式通过地球介质从震源向四周传播，这就是“地震波”。地震波是一种弹性波，它包括体波和面波。

(1) 体波：在地球内部传播的波称为体波。体波有纵波和横波两种形式。纵波是压缩波(P波)，其介质质点运动方向与波的前进方向相同。纵波周期短、振幅较小，传播速度最快，能引起地面上下颠簸；横波是剪切波(S波)，其介质质点运动方向与波的前进方向垂直。横波周期长、振幅较大，传播速度次于纵波，能引起地面左右摇晃(图 1.4)。

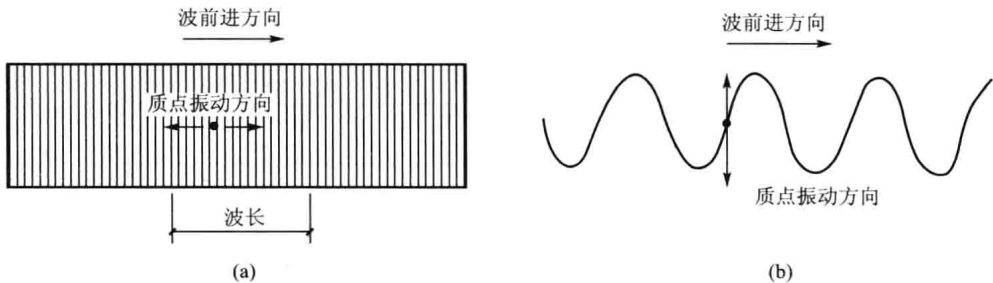


图 1.4 体波质点振动形式
(a) 纵波或压缩波；(b) 横波或剪切波

(2) 面波：沿地球表面传播的波称作面波。面波有瑞雷波(R波)和乐夫波(L波)两种形式。瑞雷波传播时，质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内作逆时的椭圆运动(图 1.5)，会引起地面晃动；乐夫波传播时，质点在与波的前进方向垂直的水平方向作蛇形运动。面波速度最慢，周期长、振幅大，比体波衰减慢。

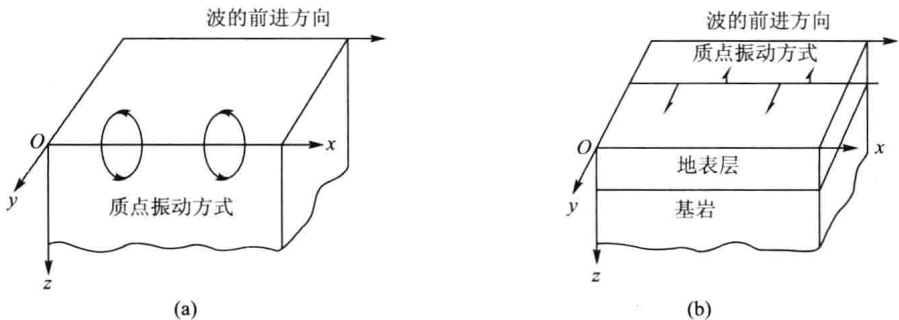


图 1.5 面波质点振动方式
(a) 瑞雷波；(b) 乐夫波

综上所述，地震时纵波最先到达，横波次之，面波最慢；就振幅而言，则后者最大。当横波和面波都到达时振动最为强烈，因此横波和面波是引起地表和建筑物破坏的主要原因。由于地震波在传播的过程中逐渐衰减，随震中距的增加，地面振动逐渐减弱，地震的破坏作用也逐渐减轻。

1.1.3 地震动

每次地震发生时，由于地震波的传播而引起的地面运动，称为地震动。地震动的指标参数(位移、速度、加速度)可以用仪器记录下来。人们可以根据强震记录的加速度了解和研究地震动的特征，利用加速度记录，可以对建筑结构进行直接动力时程分析以及绘制地

震反应谱曲线；对加速度记录进行积分，可以得到地面运动的速度和位移(图 1.6)。一般而言，一点处的地震动在空间具有 6 个方向的分量(3 个平动分量和 3 个转动分量)，目前，一般只能获得平动分量的记录。

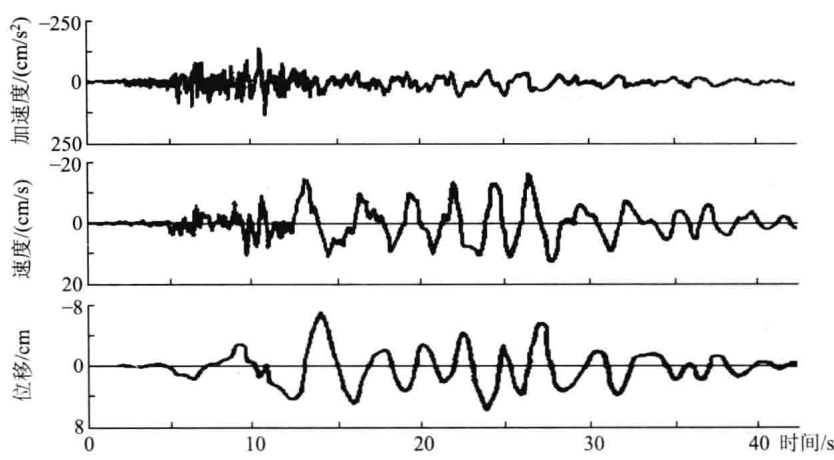


图 1.6 某强震记录(加速度、速度、位移)

实际上，地震动是多种地震波综合作用的结果。因此，地震动的记录信号是不规则的。但通过分析，我们可以采用几个有限的要素来反映不规则的地震波。例如，通过最大振幅，可以定量反映地震动的强度特性；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；通过对强震持续时间的定义和测量，可以考察地震动循环作用程度的强弱。地震动指标参数的峰值(最大振幅)、频谱(不同频率简谐振动的幅值与其频率的关系)和持续时间，通常称为地震动的三要素。工程结构的地震破坏与地震动的三要素密切相关。

1.1.4 地震震级

地震震级(earthquake magnitude)是表示一次地震时所释放能量的多少，也是表示地震强度大小的指标。一次地震只有一个震级。目前，我国采用的是国际通用的里氏震级 M ，并考虑了震中距小于 100km 的影响，即按下式计算：

$$M=\lg A+R(\Delta)$$

(1-1)

式中 A ——地震记录图上量得的以 μm 为单位的最大水平位移(振幅)；
 $R(\Delta)$ ——随震中距而变化的起算函数。

震级 M 与地震释放的能量(地震能) E (单位 erg, $1\text{erg}=10^{-7}\text{J}$)之间的关系为

$$\lg E=1.5M+11.8$$

(1-2)

式(1-2)表明，震级 M 每增加一级，地震所释放的能量 E 约增加 32 倍。

1.1.5 地震烈度

地震烈度(earthquake intensity)是指某一地区的地面和各类建筑物遭受一次地震影响的平均强弱程度。距离震中的远近不同，地震的影响程度不同，即烈度不同。一般而言，

震中附近地区烈度高；距离震中越远的地区烈度越低。根据震级可以粗略地估计震中区烈度的大小，即

$$I_0=\frac{3}{2}(M-1) \tag{1-3}$$

式中 I_0 ——震中区烈度；
 M ——地震震级，通常称为里氏震级。

为评定地震烈度，需要建立一个标准，这个标准称为地震烈度表。世界各国的地震烈度表不尽相同。如日本采用 8 度地震烈度表，欧洲一些国家采用 10 度地震烈度表；我国采用的是 12 度的地震烈度表，也是绝大多数国家所采用的标准，该地震烈度表见附录 A。

按照地震烈度表中的标准可以对受一次地震影响的地区评定出相应的烈度。具有相同烈度的地区的外包线，称为等烈度线(或等震线)。等烈度线的形状与地震时岩层断裂取向、地形、土质等条件有关，多数近似呈椭圆形。一般情况下，等烈度线的度数随震中距的增大而减小，但有时也会出现局部高一度或低一度的异常区。

震中烈度与地震震级大小之间的大致对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 震中烈度与地震震级的对应关系

地震震级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	>8 级
震中烈度	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

1.1.6 基本烈度

基本烈度是指一个地区在一定时期(我国取 50 年)内在一般场地条件下，按一定的超越概率(我国取 10%)可能遭遇到的最大地震烈度。可以取为抗震设防的烈度。

目前，我国已将国土划分为由不同基本烈度所覆盖的区域，这一工作称为地震区划。随着研究工作的不断深入，地震区划将给出相应的震动参数，如地震动的幅值等。

1.2 地震震害综述

1.2.1 地震活动带

地震的发生与地球板块地质构造密切相关，板块之间的岩层中已有断裂存在的区域，致使岩石的强度较低，容易发生错动或产生新的断裂，这些容易发生地震的板块间区域称为地震活动带(简称地震带)。对世界各国强烈地震的记录统计分析表明，全球地震分布主要发生在以下两大地震活动带上(图 1.7)。

(1) 环太平洋地震活动带：包括南北美洲太平洋沿岸和阿留申群岛、俄罗斯堪察加半岛，经千岛群岛、日本列岛南下经我国台湾，再到菲律宾、新几内亚和新西兰的区域。全球地震约 80%的浅源地震及 90%的中源地震发生在这一地带。

(2) 喜马拉雅地中海地震活动带：从印度尼西亚西部经缅甸至我国横断山脉、喜马拉雅

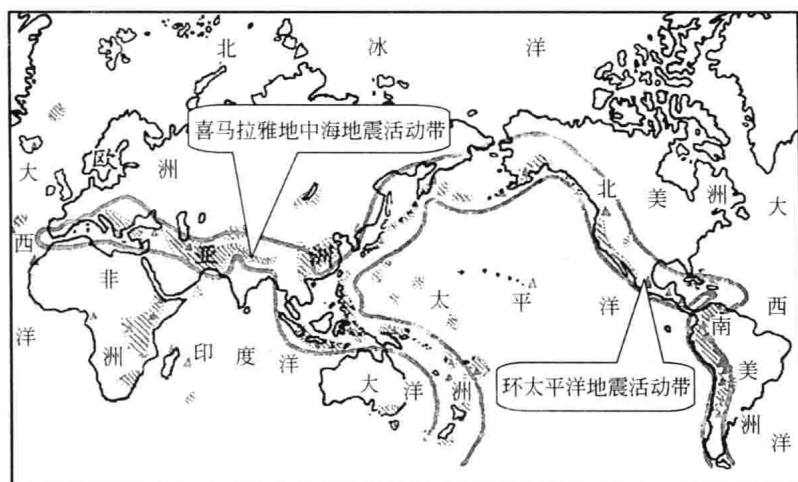


图 1.7 全球两大主要地震带分布

雅山脉，越过帕米尔高原，经中亚细亚到达地中海及其沿岸地区。全球大陆地震的 90% 发生在这一地域。

我国位于两大地震带的交汇区域，地震情况比较复杂，地震区域分布广泛。我国主要有两条地震带。

(1) 南北地震带：北起贺兰山，向南经六盘山、穿越秦岭沿川西至云南省东北，纵贯南北，宽度不一，构造复杂。我国四川汶川地区位于该地震带上。

(2) 东西地震带：主要包含两条构造带，一条是沿陕西、山西、河北北部向东延伸，直至辽宁北部的千山一带；另一条是起自帕米尔高原经昆仑山、秦岭，直到大别山区。

据此，我国大致划分为 6 个地震活动区：①台湾及其附近海域；②喜马拉雅山脉活动区；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。

从历史上看，全国除个别省份外，绝大部分地区都发生过较强烈的破坏性(震级大于 5 级)地震。据统计，1900—1980 年间，我国发生 6 级以上地震 607 次，8 级以上强震 8 次，死亡约 146 万人。2008 年 5 月 12 日我国四川汶川发生里氏 8.0 级特大地震，造成 6.9 万余人死亡，3.7 万余人受伤，1.8 万余人失踪。强烈地震不仅造成大量人员伤亡，而且还使许多建筑物、桥梁、道路遭到破坏，引发火灾、水灾等次生灾害，给人类带来了巨大灾难。

1.2.2 地震引起的破坏形式

在地震带区域发生的破坏性地震，所造成的破坏形式包括地表破坏、建筑物破坏及次生灾害。

1. 地表破坏

地表破坏包括地裂缝(图 1.8)、地面下沉、平移、喷水冒砂和滑坡等形式。

地裂缝分为构造裂缝和非构造裂缝。构造裂缝是地震断裂带在地表的反映，其走向



图 1.8 汶川地震的道路裂缝破坏

与地下断裂带一致,特点是规模大,裂缝带长达几千米甚至几十千米,带宽可达数米;非构造裂缝(又称重力式裂缝)是受地形、地貌、土质等条件影响所致,其规模小,大多沿河岸边、陡坡边缘等形成。当地裂缝通过建筑物时,会造成建筑物开裂或倒塌。

地面下沉多发生在软弱土层分布地区和矿业采空区。地面的不均匀沉陷容易引起建筑物的开裂甚至倒塌。

地下水位较高的地区,地震波的作用使地下水压急剧增高,地下水可经地裂缝或其他通道喷出地面。当地表土层含有砂层或粉土层时,会造成砂土液化甚至喷水冒砂现象,砂土液化可以造成建筑物整体倾斜或倒塌、埋地管网的严重破坏。

在河岸、山崖、丘陵地区,地震时极易诱发滑坡或泥石流。大的滑坡可切断交通、冲垮房屋或桥梁。

2. 建筑及桥梁结构的破坏

据历史地震资料表明,建筑物的破坏(图 1.9)一部分是由上述地表破坏引起,属于静力破坏;而大部分则是由于地震作用引起的动力破坏。因此,对结构物动力破坏机理的分析,是结构抗震研究的重点和结构抗震设计的基础。建筑物的破坏主要有以下几点。



图 1.9 汶川地震的建筑物倒塌破坏

(1) 结构承载力不足或变形过大而造成的破坏。地震时,地震作用(地震惯性力)附加于建筑物或构筑物上,使其内力和位移增大,往往改变受力形式,导致结构构件的抗剪、抗弯、抗压等强度不足或结构变形过大而受到破坏,如墙体开裂、混凝土压酥、房屋倒塌等。

(2) 结构丧失整体性而引起的破坏。结构构件的共同工作保证了结构的整体性。在强烈地震时,部分结构构件材料进入弹塑性变形阶段。若节点强度不足、延性不够、主要竖向承重构件失稳等就会使结构丧失整体性,造成局部或整体倒塌破坏。

(3) 地基失效引起的破坏。在可液化地基区域,当强烈地震作用时,由于地基产生液化现象而使其承载力下降或消失,引起整个建筑物倾斜、倒塌而破坏(图 1.10)。

(4) 梁式桥的结构破坏。这种现象一般为桥梁的支承桥柱破坏或两端支承长度不足而引起上部结构塌落破坏,如四川汶川地震引起的公路桥梁破坏(图 1.11)。



图 1.10 地基液化导致建筑物倾斜



图 1.11 汶川地震引起的公路桥梁破坏

3. 次生灾害

由于地震而引发的水坝、煤气和输油气管道、供电线路的破坏,以及易燃、易爆、有毒物质容器的破坏、山体滑坡(图 1.12)、堰塞湖等,可造成水灾、火灾、环境污染等次生



图 1.12 汶川地震时山体崩裂滑坡

灾害。例如,1995 年日本的阪神大地震震后火灾多达 500 多处,使震中区的木结构房屋几乎全部烧毁。在海洋区域发生的强烈地震还可能引起海啸,也会对海边建筑物造成巨大破坏和引起人员伤亡。如 2005 年在印度尼西亚附近印度洋海域发生的强震所引发的海啸,造成了周边国家的十几万人死亡和巨大的经济损失。我国四川汶川特大地震形成了 300 多处堰塞湖,最大的是唐家山堰塞湖,堰塞坝体高达 750 多米,由于及时采取措施,而未造成溃坝的次生灾害。

1.3 建筑结构的抗震设防

1.3.1 抗震设防的目标

抗震设防是指对建筑物或构筑物进行抗震设计,以达到结构抗震的作用和目标。抗震设防的目标就是在一定的经济条件下,最大限度地减轻建筑物的地震破坏,保障人民生命财产的安全。目前,许多国家的抗震设计规范都趋向于以“小震不坏,中震可修,大震不倒”作为建筑抗震设计的基本准则。

根据大量数据分析,我国地震烈度的概率分布基本符合极值Ⅲ型分布。我国对小震、中震、大震的 3 个概率水准做了具体规定。根据分析,当设计基准期取为 50 年时,概率密度曲线的峰值烈度对应的超越概率(超过该烈度的概率)为 63.2%,将这一峰值烈度定义为小震烈度,又称众值烈度或多遇地震烈度,为第一水准烈度,对应的地震称为多遇地震;当超越概率为 10%时所对应的地震烈度,称为中震烈度,我国地震区划规定的各地基本烈度可取为中震烈度,即为抗震设防烈度(seismic precautionary intensity,为按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),也就是第二水准烈度,由此可确定与其对应的设计基本地震加速度值(即按设计基准期 50 年、超越概率 10%而形成的地震加速度设计值),抗震设防烈度与设计基本地震加速度值之间的对应关系如表 1-2 所示;当超越概率为 2%~3%时所对应的地震烈度,称为大震烈度,又称罕遇地震烈度,为第三水准烈度,对应的地震即称为罕遇地震。根据我国对地震危险性的统计分析得知:基本烈度比众值烈度高约 1.55 度,而罕遇地震烈度比基本烈度高约 1 度。