



“十三五”普通高等教育本科规划教材

建筑结构 抗震设计

车 轶 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

建筑结构 抗震设计

主 编 车 轶
编 写 殷福新 霍林生 王怀亮 徐博瀚
主 审 李宏男



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是“十三五”普通高等教育本科规划教材。本书结合《建筑抗震设计规范》(GB 50010—2010)等有关现行国家规范和标准编写,着重介绍建筑结构抗震的基本理论和各类结构的设计方法。全书共分9章,主要内容包括结构抗震的基本概念和设计原则,场地、地基和基础,结构地震反应分析与抗震验算,多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计,多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计,多层和高层钢结构房屋抗震设计,单层钢筋混凝土厂房抗震设计,隔震与消能减震设计初步,抗震性能化设计初步。为便于读者学习和应用,书中附有大量计算实例、思考题和习题。

本书可作为普通高等院校土木工程及相关专业的教材,也可供从事土木工程研究、设计和施工等工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/车轶主编. —北京:中国电力出版社, 2015.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-7942-8

I. ①建… II. ①车… 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 (2015) 第 140909 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015年8月第一版 2015年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.5印张 471千字

定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

我国是多地震国家，地震活动具有频度高、强度大、震源浅、分布广等特点。强烈地震会导致建筑物的严重破坏或倒塌，从而造成大量的人员伤亡和经济损失。新中国成立以来我国发生的两次大地震——1976年的唐山地震和2008年的汶川地震，给我们带来了惨痛的教训。因此，建筑结构的抗震是结构设计的重要内容。

本书主要介绍建筑结构抗震设计的原理与方法，书中的内容紧密结合现行的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和有关的现行国家规范、标准，同时也反映了当前国内外的研究成果。在内容上力求做到深入浅出，循序渐进，理论联系实际。为了便于读者理解与学习，主要章节给出了详尽的计算实例，并且各章附有思考题与习题，供读者参考。

全书共9章，第1章、第5章、第9章由大连理工大学车轶编写，第2章、第3章由大连大学王怀亮编写，第4章由大连理工大学徐博瀚编写，第6章由大连理工大学殷福新编写，第7章、第8章由大连理工大学霍林生编写。全书由车轶主编并负责统稿。

大连理工大学李宏男教授审阅了全书并提出宝贵意见和建议，在此表示感谢。本书在编写过程中参考和引用了一些公开出版和发表的文献，谨向作者致以谢意。

限于编者水平，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2015年6月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 地震及其成因	1
1.2 地震波与地震动	3
1.3 震级与烈度	5
1.4 地震活动性与地震灾害	8
1.5 建筑工程的抗震设防	11
1.6 抗震概念设计	15
思考题	25
第 2 章 场地、地基和基础	27
2.1 建筑场地	27
2.2 天然地基和基础的抗震设计	32
2.3 地基土的液化与防治措施	34
2.4 桩基础的抗震验算	40
思考题	42
习题	42
第 3 章 结构地震反应分析与抗震验算	43
3.1 地震作用及计算简图	43
3.2 单自由度弹性体系的地震反应分析	44
3.3 单自由度弹性体系水平地震作用与反应谱	50
3.4 多自由度弹性体系的地震反应分析	55
3.5 多自由度弹性体系的水平地震作用	63
3.6 结构基本周期的近似计算	71
3.7 考虑扭转影响的水平地震计算	75
3.8 竖向地震作用	80
3.9 多自由度体系地震反应的时程分析法	81
3.10 结构抗震验算	90
思考题	95
习题	95

第4章 多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计	98
4.1 震害特征	98
4.2 多层砌体房屋的抗震设计基本要求	101
4.3 多层砌体房屋抗震计算	104
4.4 多层砌体房屋抗震构造措施	117
4.5 底部框架砌体房屋的抗震设计	122
思考题	128
习题	129
第5章 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计	131
5.1 震害特征	131
5.2 抗震设计的一般要求	136
5.3 框架结构的抗震设计	142
5.4 抗震墙结构的抗震设计	171
5.5 框架-抗震墙结构的抗震设计	179
5.6 框架结构抗震设计实例	184
思考题	200
习题	200
第6章 多层和高层钢结构房屋抗震设计	202
6.1 震害特征	202
6.2 钢结构房屋的结构体系与结构布置	208
6.3 抗震计算	216
6.4 抗震构造措施	224
6.5 计算实例	229
思考题	232
习题	233
第7章 单层钢筋混凝土厂房抗震设计	234
7.1 震害现象	234
7.2 抗震设计一般规定	237
7.3 抗震计算	237
7.4 抗震构造措施	251
7.5 单层厂房抗震设计实例	255
思考题	260
习题	260
第8章 隔震与消能减震设计初步	262
8.1 基础隔震体系	262

8.2 吸振减震结构体系 270

8.3 耗能减震结构体系 272

思考题..... 277

习题..... 277

第 9 章 抗震性能化设计初步 278

9.1 抗震设计方法的演变 278

9.2 抗震性能化设计 279

思考题..... 285

附录 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 286

参考文献 300

第 1 章 概 述

地震是一种自然现象。据统计，全球每年发生大约 500 万次地震，平均每天多达 1 万次以上。其中，绝大多数地震由于发生在地球深处或所释放的能量较小而不被人们觉察，须借助精密仪器才能监测到，人们能够感觉到的地震大约占发生地震总数的 1%，造成灾害的强烈地震则更少，平均每年发生十几次。强烈地震会引起地面剧烈颠簸和摇晃，造成建筑物的破坏和倒塌，危及人民生命财产安全。此外，地震还可能引起火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸等次生灾害。

1.1 地震及其成因

1.1.1 地球构造

地球是一个平均半径约为 6400km 的椭球体，由地壳、地幔和地核三部分组成（见图 1-1）。地球外表面一层很薄的外壳是地壳。地壳的下界称为莫霍界面，或称莫霍不连续面。地壳表面为沉积层，陆地下面主要有花岗岩层和玄武岩层，海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的厚度变化很大，平均厚度为 30~40km。大陆内一般厚度为 16~40km，高山地区的厚度较大，例如，我国青藏高原厚度可达 70km。海洋下面厚度较小，一般为 10~15km，最薄处约为 5km。世界上绝大部分地震都发生在地壳内。

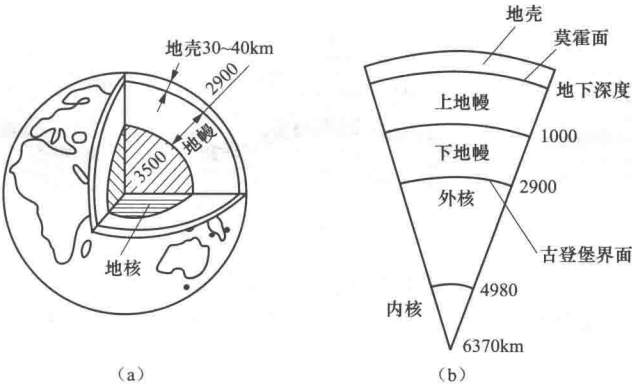


图 1-1 地球构造

(a) 地球断面；(b) 分层构造

地幔是指地壳以下到深度约 2895km 的古登堡界面为止的部分，约占地球体积的 5/6。地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成，其中上地幔物质结构不均匀，中、下地幔部分较均匀。由于地幔能传播横波（剪切波），所以根据推算地幔应为固体。

古登堡界面以下直到地心的部分为地核。地核的半径为 3500km，分为外核和内核。据推测，地核的物质成分主要为镍和铁。由于至今还未发现有地震横波通过外核，故推断外核

处于液态，内核可能是固态。地球各部分的密度随深度增加而增大，地球内部的温度也随深度增加而升高。

1.1.2 地震类型及成因

地震按其形成原因可以分为构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震。构造地震是指由于地壳构造运动（岩层构造状态的变动）使岩层发生断裂、错动而引起的地面振动。由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起的地震是火山地震。由于地表或地下岩石因某种原因（如较大的地下溶洞的塌陷或古旧矿坑的塌陷等）突然造成大规模陷落和崩塌，导致小范围的地震叫陷落地震。由于人为活动（如人工爆破、矿山开发、水库蓄水、深井抽液或注液等）引起的地震叫诱发地震。上述地震中，构造地震发生的次数最多（约占全球地震总数的90%），涉及范围最广，释放的能量最大，造成的危害也最大，是地震工程研究的主要对象。结构抗震主要考虑对构造地震影响下的建筑结构抗震设防问题。

关于构造地震的成因有很多学说，这里简单介绍一下板块构造学说和断层弹性回跳理论。板块构造学说认为地球的岩石圈分为亚欧板块、非洲板块、美洲板块、太平洋板块、印度洋板块和南极洲板块共六大板块，这些板块漂浮在“软流层”之上处于不断运动之中，正是由于这种运动使得板块之间产生相互挤压、顶撞，导致板块边缘附近岩石层脆性破裂而引发地震。地球上两个主要地震带都处于这些大板块的交界地区，板块构造学说的提出有助于解释两大地震带的成因。

断层弹性回跳理论认为岩石断裂两侧的弹性回跳是地震的直接原因。由于地壳始终处于缓慢的运动状态中，邻近地区的位移差异在岩层中引起弹性应变，当弹性应变累积到超过岩石所能承受的程度时，岩层便产生断裂和错动。于是，承受应变的岩体在其自身的弹性应力作用下发生回跳，达到新的平衡位置（见图1-2）。岩层中原先累积的能量在回弹过程中全部释放，并以波的形式传至地面，地面随之产生强烈运动，这就是地震。

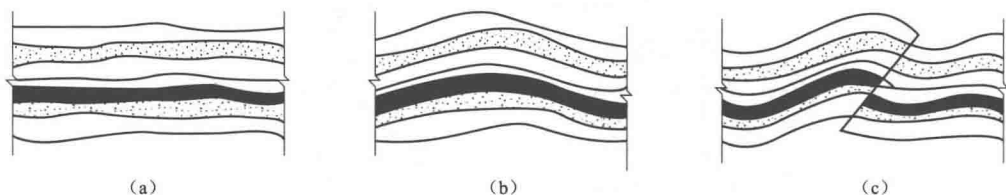


图1-2 构造地震的形成

(a) 岩层的初始形态；(b) 受力后发生变形；(c) 岩层断裂产生振动

如图1-3所示，地壳深处发生岩层断裂、错动的地方称为震源。震源是有一定范围的，但地震学中常常把它当做一个点来处理，这是因为地震学考虑的是大范围的问题，震源相对来说很小，可以当做一个点来处理。震源正上方的地面叫震中。震中邻近地区称为震中区。地面上某点到震中的距离称为震中距。震源至地面的距离称为震源深度。

通常把震源深度小于60km的地震称为浅源地震，60~300km的称为中源地震，大于300km的称为深源地震。世界上绝大部分地震是浅源地震，震源深度在5~20km，中源地震较少，深源地震为数更少。我国吉林省东部地区曾发生过深源地震。到目前为止，所观测到的地震震源最深为720km。一般来说，对于释放能量相同的地震，当震源较浅时，波及范围

小但危害较大；当震源深度较大时，波及范围较大，但地震释放的能量在长距离传播过程中大部分被损失掉，所以对地面上的建筑物影响较小。

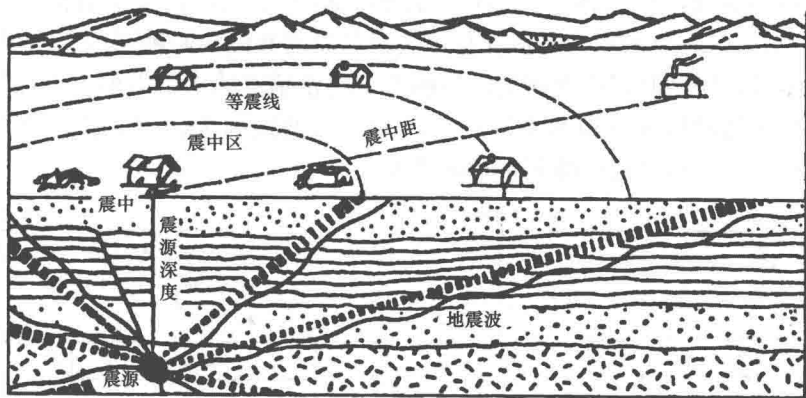


图 1-3 常用地震术语示意图

1.2 地震波与地震动

1.2.1 地震波

地震引起的振动以波的形式由震源向各个方向传播，称为地震波。地震波是震源辐射的弹性波，分为体波和面波。

体波是指在地球本体内传播的波，分纵波和横波两种。纵波是由震源向外传递的压缩波，在传播过程中质点的振动方向和波的前进方向相一致 [见图 1-4 (a)]，又称为 P 波 (Primary wave)。纵波的传播是介质质点间弹性压缩与张拉变形相间出现、周而复始的过程，因此纵波能够在固体、液体介质中传播。纵波具有周期短、振幅小的特点，会引起地面的上下振动，在地壳内的波速一般为 $200\sim1400\text{m/s}$ 。横波是由震源向外传递的剪切波，在传播过程中质点的振动方向和波的前进方向相垂直 [见图 1-4 (b)]，又称为 S 波 (Secondary wave)。横波的传播过程是介质质点不断受剪切变形的过程，因此只能在固体介质中传播。横波具有周期长、振幅大的特点，会引起地面的水平方向振动，在地壳内的波速一般为 $100\sim800\text{m/s}$ 。

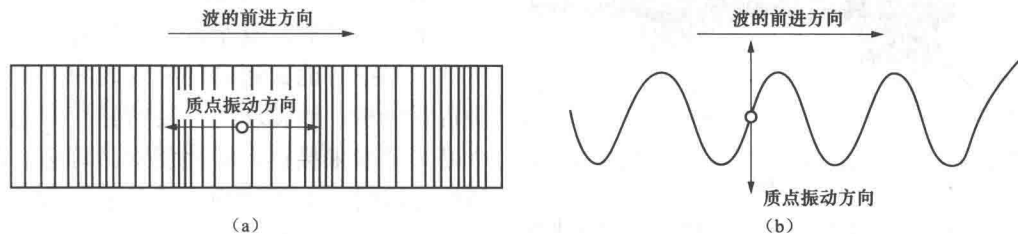


图 1-4 体波传播示意图
(a) 纵波；(b) 横波

面波是指沿介质表面（或地球表面）及其附近传播的波，是体波经地层界面多次反射、折射形成的次生波，分瑞雷波和乐甫波两种。瑞雷波 (Rayleigh wave) 是纵波和横波在固体

层中沿界面传播相互叠加的结果。瑞雷波在传播时,质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内做逆进椭圆运动,如图 1-5 (a) 所示。这种波一般认为是引起地面运动的主要原因,它在震中附近并不出现,而是在离开震中一段距离后才形成,其振幅沿径向按指数规律衰减。乐甫波 (Love wave) 的形成与波在自由表面的反射和波在两种不同介质界面上的反射、折射有关。乐甫波在传播时,质点在与波的前进方向相垂直的水平方向上做剪切型运动,在地面上表现为蛇形运动形式,如图 1-5 (b) 所示。面波振幅大、周期长,只在地表附近传播,比体波衰减慢,所以可以传播到很远的地方。

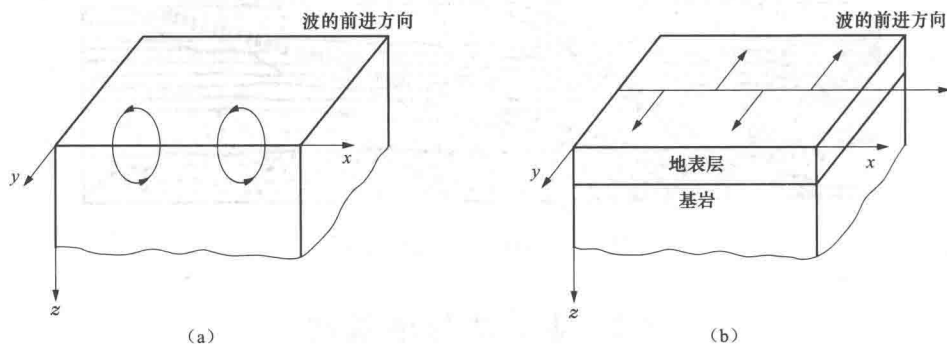


图 1-5 面波传播示意图

(a) 瑞雷波; (b) 乐甫波

地震波的传播以纵波波速为最快,其次是横波,最后是面波。所以在震中附近,人们通常先感觉到地面的上下颠簸,然后左右摇晃,当横波或面波传播到达时,地面振动最为强烈。地震波在传播的过程中,能量也在逐渐衰减,因此,距离震中越远,地面振动越弱,地震的破坏作用越轻。地震波记录是确定地震发生时间、震级和震源位置的重要依据,也是研究工程结构物在地震作用下的实际反应的重要资料。

1.2.2 地震动

地震动是指地震波在传播过程中引起的地面运动,可以用地面上质点的加速度、速度或

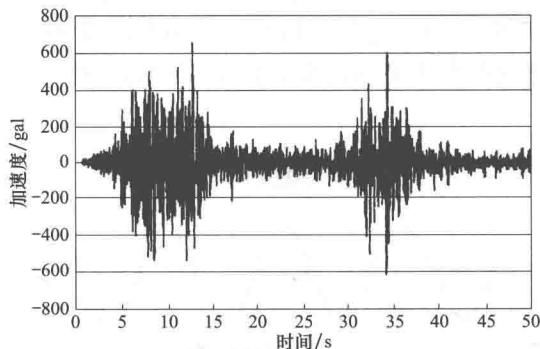


图 1-6 汶川地震中记录到的一条加速度时程曲线

位移的时间函数来表示。这些用地震仪记录到的时间函数分别称为地震加速度、速度和位移时程曲线。图 1-6 是汶川地震中记录到的一条加速度时程曲线。

地震动是非常复杂的,且具有很强的随机性。根据对地面运动的宏观现象和强震观测资料分析,地震动的主要特性可以通过三个基本要素来描述,即地震动的峰值、频谱特性和持时。工程结构的地震破坏与这三个基本要素密不可分。

地震动峰值可以是地面运动的最大加速度、最大速度或者最大位移等,常采用的是地面运动的最大加速度值。它可以用来衡量地震动的强弱程度,与震害有密切关系,可以作为地震烈度的参考指标。地震动峰值的大小受震级、震源机制、传播途径、震中距、局部场地条件等因素的影响。一般来说,在近场内,基岩上的加速度峰值大于软弱场地上的加速度峰

值, 远处则相反。

地震动频谱特性是指相同地震动对具有不同自振周期的结构的反应特性, 它可以描述地震动的周期分布特征。地震动频谱特性通常可以用反应谱、功率谱和傅里叶谱来表示。反应谱是工程中最常用的形式, 实际工程中常用反应谱作为抗震设计的依据。震级、震中距和场地条件对地震动的频率特性有重要影响, 震级越大、震中距越远, 地震动记录的长周期分量越显著。硬土且土层薄的地基上的地震动记录包含较丰富的高频成分, 而软土且土层厚的地基上的地震动记录卓越周期偏向长周期。另外, 震源机制也对地震动的频谱特性有重要影响。

持时是指地震动的持续时间, 它对结构的破坏程度有较大影响。在地震的往复作用下, 结构构件通过产生不可恢复的塑性变形来耗散地震能量, 在这一过程中, 随着地震持续时间的增加, 即使在结构最大变形反应尚未达到静力试验条件下的最大变形条件时, 结构也可能因结构构件的耗能能力达到某一限值而发生倒塌破坏。通常, 在相同的地面运动最大加速度作用下, 地震的持续时间越长, 则地面的破坏程度越严重, 地震烈度越高; 反之, 地震的持续时间越短, 则地震烈度越低, 结构物的破坏程度越轻。

1.3 震级与烈度

1.3.1 震级

震级是衡量一次地震大小的尺度, 用符号 M 来表示。震级的定义有很多种, 目前常用的是由美国的 C. F. Richter (里克特) 于 1935 年提出的里氏震级。里氏震级的定义为: 用标准地震仪 (指周期为 0.8s, 阻尼系数为 0.8, 放大倍数为 2800 的地震仪) 距震中 100km 处记录到的地面最大水平位移 A (单位: μm) 的常用对数值, 即

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

震级的大小直接与震源释放的能量大小有关。震级 M 与地震释放能量 E (单位: erg) 之间有如下的经验关系

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (1-2)$$

由式 (1-1)、式 (1-2) 可知, 地震震级相差一级, 地面最大位移相差 10 倍, 地震能量相差约 32 倍。一般来说, 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 级地震人能够感觉得到, 称为有感地震; 5 级以上的地震会造成不同程度的破坏, 称为破坏性地震; 7 级以上的地震称为强烈地震; 8 级以上的地震称为特大地震。

1.3.2 烈度

地震烈度是指某一地区地面和建筑物遭受一次地震影响的强弱程度, 用符号 I 表示。地震烈度主要依据宏观的地震影响和破坏现象, 如人的感觉、物体的反应、房屋建筑物的破坏和地面现象的改观 (如地形、地质、水文条件的变化) 等方面进行判断。它是对地震破坏作用大小的一个总评价。

对地震破坏作用的评价依据是地震烈度表。我国和世界上的多数国家均采用 12 度划分的地震烈度表, 少数国家采用 10 度或 8 度划分的烈度表。表 1-1 是我国颁布的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008), 它把地震的强烈程度从无感到建筑物毁灭及山河改观等划分为 12 个等级, 以统一的尺度衡量地震的强烈程度。

表 1-1 中国地震烈度 (2008 年)

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 (m/s ²)	峰值速度 (m/s)
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	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	室内绝大多数，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，个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝，个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动，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	A	少数中等破坏，多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动，河岸和松软土出现裂缝，饱和砂层出现喷砂冒水；个别独立砖烟囱轻微裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏，少数轻微破坏，多数基本完好				
		C	个别轻微破坏，大多数基本完好	0.00~0.08			
VII	大多数人惊逃户外，骑自行车的人有感觉，行驶中的汽车驾驶人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重毁坏，多数中等和/或轻微破坏	0.09~0.31	物体从架子上掉落；河岸出现塌方，饱和砂层常见喷水冒砂。松软土地上裂缝较多；大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏，多数轻微破坏和/或基本完好				
		C	少数中等和/或轻微破坏，多数基本完好	0.07~0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸，行走困难	A	少数毁坏，多数严重和/或中等破坏	0.29~0.51	干硬土上出现裂缝，饱和砂层绝大多数喷砂冒水；大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏，少数严重破坏，多数中等和/或轻微破坏				
		C	少数严重和/或中等破坏，多数轻微破坏	0.20~0.40			

续表

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 (单位)	峰值速度 (单位)
Ⅸ	行动的人摔倒	A	多数严重破坏或/ 和毁坏	0.49~ 0.71	干硬土上多处 出现裂缝,可见 基岩裂缝、错动, 滑坡、塌方常见; 独立砖烟囱多数 倒塌	5.00 (3.54 ~7.07)	0.50 (0.36 ~0.71)
		B	少数毁坏,多数 严重和/或中等破坏				
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~ 0.60			
Ⅹ	骑自行车的人会 摔倒,处不稳定状态的人 会摔离原地,有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~	山崩和地震断裂出现; 基岩上拱桥破坏;大多 数独立砖烟囱从根部破坏 或倒塌	10.00 (7.08 ~14.14)	1.00 (0.72 ~1.41)
		B	大多数毁坏	0.91			
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~ 0.80			
Ⅺ	—	A	绝大多数毁坏	0.89~ 1.00	地震断裂带延续很长; 大量山崩滑坡	—	—
		B		0.78~ 1.00			
		C					
Ⅻ	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化, 山河改观	—	—
		B					
		C					

- 注 1. 表中用于评定地震烈度的房屋包括以下三种类型:
A类—木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋。
B类—未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。
C类—按照 7 度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。
2. 表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括弧内给出的是变动范围。
3. 评定地震烈度时,Ⅰ~Ⅴ度应以地面上及底层房屋中的人的感觉和其他震害现象为主;Ⅵ~Ⅹ度应以房屋震害为主,参照其他震害现象,当用房屋震害程度与平均震害指数评定结果不同时,应以震害程度评定结果为主,并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数;Ⅺ度和Ⅻ度应综合房屋和地表震害现象。
4. 房屋的破坏等级及其对应的震害指数如下:
(1) 基本完好:承重和非承重构件完好,或个别非承重构件轻微损坏,不加修理可继续使用,震害指数为 0~0.10。
(2) 轻微破坏:个别承重构件出现可见裂缝,非承重构件有明显裂缝,不需要修理或稍加修理即可继续使用,震害指数为 0.10~0.30。
(3) 中等破坏:多数承重构件出现轻微裂缝,部分有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后可使用,震害指数为 0.30~0.55。
(4) 严重破坏:多数承重构件破坏较严重,非承重构件局部倒塌,房屋修复困难,震害指数为 0.55~0.85。
(5) 毁坏:多数承重构件严重破坏,房屋结构濒于崩溃或已倒毁,已无修复可能,震害指数为 0.85~1.00。
5. 平均震害指数为各级震害指数与相应破坏率(%)乘积的总和。
6. 农村可按自然村,城镇可按街区为单位进行地震烈度评定,但面积以 1km² 为宜。
7. 表中数量词的含义:个别指 10%以下;少数指 10%~45%;多数指 40%~70%;大多数指 60%~90%;绝大多数指 80%以上。

地震烈度与震级、震源深度、震中距和场地条件等因素有关。对于一次地震,震级只有一个,烈度则随地点的变化而有多。一般而言,震中烈度最高;距震中越远,地震影响越小,烈度越低。震中烈度一般可看作是震级和震源深度的函数。在环境条件基本相同的情况下,震级越大,震源深度越浅,则震中烈度越高。对人类生命财产安全影响最大且发生次数最多的地震,其震源深度大多在 10~30km 范围内。对这类地震,震级 M 可根据宏观地震资

料（震中烈度）按下面的经验公式进行估算

$$M = 0.58I_0 + 1.5$$

(1-3)

表 1-2 给出了震源深度为 10~30km 时，震级 M 与震中烈度 I_0 与的对应关系。

表 1-2 震中烈度与震级的对应关系

震级 M	2	3	4	5	6	7	8	>8
震中烈度 I_0	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

一次地震后，可根据地震烈度表确定地震影响区域内各点的地震烈度，把烈度相同点各点连接起来形成的线，称为等烈度线。一般地，地震烈度随震中距的增大而递减，但等烈度线并不是理想的同心圆，而是不规则的封闭曲线。这是因为在某一烈度区内，有时会因局部场地的地形、地质条件等影响，出现局部烈度较高或较低的地震烈度异常区。

1.4 地震活动性与地震灾害

1.4.1 地震活动性

据统计，地球上平均每年发生震级为 8 级以上、震中烈度为Ⅺ度以上的毁灭性地震 2 次，震级为 7 级以上、震中烈度为Ⅸ度以上的大地震不到 20 次，震级为 2.5 级以上的有感地震 15 万次以上。根据宏观地震资料调查和地震台观测数据研究结果，全球地震主要集中在两大地震带内，即环太平洋地震带和欧亚地震带。

环太平洋地震带是地球上最主要的地震带，沿北美洲太平洋东岸的美国阿拉斯加向南，经加拿大本部、美国加利福尼亚和墨西哥西部地区，到达南美洲的哥伦比亚、秘鲁和智利，然后从智利转向西，穿过太平洋抵达大洋洲东边界附近，在新西兰东部海域折向北，再经斐济、印度尼西亚、菲律宾、我国台湾省、琉球群岛、日本列岛、千岛群岛、堪察加半岛、阿留申群岛，回到美国的阿拉斯加，环绕太平洋一周，也把大陆和海洋分隔开来，地球上约有 80% 的地震都发生在这里。

欧亚地震带是全球第二大地震活动带，主要分布于欧亚大陆，从印度尼西亚开始，经中南半岛西部和我国的云、贵、川、青、藏地区，以及印度、巴基斯坦、尼泊尔、阿富汗、伊朗、土耳其到地中海北岸，一直还伸到大西洋的亚速尔群岛。发生在这里的地震占全球地震的 15% 左右。

我国位于全球最活跃的两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震十分活跃，是世界上内陆地震最多的国家之一。我国地震活动具有频度高、强度大、震源浅、分布广的特点。从历史上看，全国除个别省份以外，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 级地震近百次，8 级及 8 级以上 11 次。

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 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%。新中国成立以来，我国发生了两次罕见的特大地震灾害：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新中国成立以来地震死亡人数总和的 85% 以上。

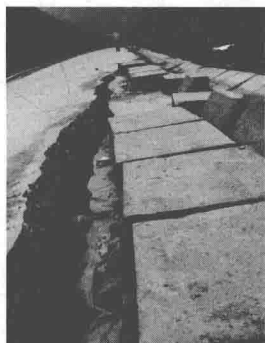
1.4.2 地震灾害

地震灾害是一种自然灾害，对社会生活和地区经济发展有着广泛而深远的影响。地震灾害突发性强，破坏性大，影响面广，并具有继发性和多发性等特点。据不完全统计，20世纪全世界地震死亡人数达170万人，直接经济损失达4100亿美元，间接经济损失超过万亿美元。其中，城市地震造成的死亡人数约占61%，经济损失约占85%。同时，瞬间的巨大灾难给人们的精神带来强烈的恐惧。地震导致的灾害可分为直接灾害和次生灾害。

1. 直接灾害

地震的直接灾害是指在强烈地震发生时，地面受地震波的冲击而产生的强烈运动、断层运动及地壳变形等出现的各种破坏现象，也就是与地震有直接联系的危害，如地表破坏、建筑物破坏等形式的灾害。

(1) 地表破坏。地表破坏形式主要有地面裂缝、地面下沉、喷水冒砂及滑坡等。地面裂缝是地震中常见的现象，分为构造地裂缝和重力地裂缝。构造地裂缝是地震时由于地下断层错动延伸而形成的裂缝。这类裂缝通常和断裂带走向一致，其形成与断裂带的受力性质有关，一般规模较大，形状比较规则，通常呈带状，裂缝带长度最大可达几十公里，宽度可达几十米。重力地裂缝是地震时由于土质不均匀及特殊地貌影响而形成的地裂缝，如在河道、湖岸、陡坡等土质松软的地方会在地表产生交错裂缝。若地裂缝通过建筑物，会造成建筑结构破坏甚至倒塌。图1-7(a)为地震地面裂缝情况。



(a)



(b)



(c)

图1-7 地表的破坏

(a) 地面裂缝；(b) 地面下沉；(c) 地面喷水冒砂

地面下沉 [见图 1-7 (b)] 一般发生在土质松软的地区和地下采空的地区, 如煤矿开采的地下通道或矿区等。地震发生时由于该地区反应较敏感, 会对地面及建筑物造成严重破坏。

喷水冒砂 [见图 1-7 (c)] 也是地震中常见的现象。在地下水位较高的地区, 在地震波作用下会造成地下水压升高, 地下水经过地裂缝或其他空隙时会喷出地面。当地表含有砂层或粉土层时会造成砂土液化及喷水冒砂。地面喷水冒砂会淹没农田、堵塞道路等, 从而造成十分严重的危害。

在强烈地震的作用下, 一些陡坡、河岸等地域由于土体失稳非常容易产生山石滑动而诱发滑坡。较严重的滑坡会堵塞交通通道、掩埋村庄、堵塞河流等。

(2) 建筑物破坏。地震时各类房屋的倒塌破坏是造成人们生命财产损失的主要原因。据统计, 由房屋破坏所造成的人员伤亡占总数的 95%。年代较久的房屋, 抗震性能普遍较低, 地震造成的房屋破坏损失情况十分严重。建筑物的破坏随结构类型及抗震措施的不同有较大差别。

1) 结构丧失整体性的破坏。在地震作用下, 建筑物通过各个构件之间的协同工作, 构件之间的相互支撑及有效连接来共同承担地震作用。地震发生时, 若构件之间连接强度不足, 构件之间支撑失效或支撑长度不够, 以及构件节点之间锚固质量差等, 就会使建筑结构丧失整体性而发生破坏 [见图 1-8 (a)]。

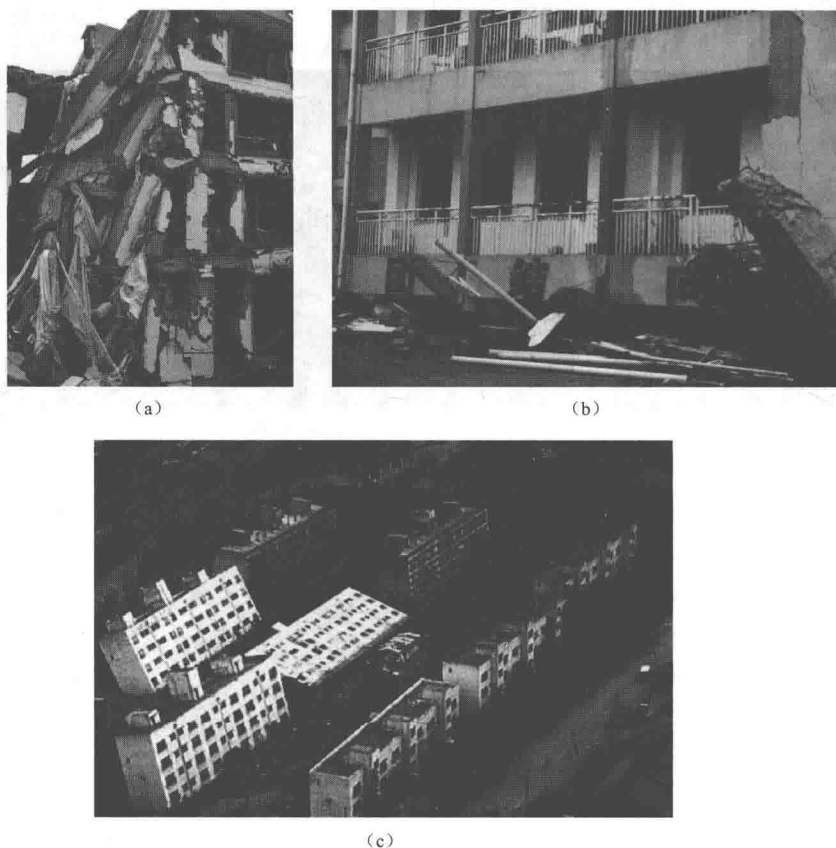


图 1-8 建筑物的破坏

(a) 结构丧失整体性破坏; (b) 承载力不足造成的破坏; (c) 地基沉陷造成的破坏