



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑结构抗震设计

王建强 主 编
楚留声 副主编



出版
POWER P



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑结构抗震设计

主 编 王建强
副主编 楚留声
编 写 范 量 钱 辉 丁永刚
主 审 童丽萍



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

前 言

本书为普通高等教育“十二五”规划教材，根据高等院校土木工程专业的教学要求，并结合 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》进行编写。

本书结合作者多年的教学和科研实践，根据创新应用型本科教学的特点，将建筑结构的抗震概念设计、抗震计算及验算、抗震构造措施三方面有机地结合起来，引领学生不仅逐步了解和掌握建筑结构抗震设计的方法、过程及理论，而且逐步形成建筑结构抗震设计的整体思想，即重视概念设计、把握抗震计算、注重构造措施。

本书共分 8 章，主要包括地震相关知识，抗震设防的原则和要求，场地类别和地基、基础抗震设计，结构地震反应分析方法和抗震验算要求，钢筋混凝土房屋、砌体房屋、钢结构房屋和单层工业厂房的抗震设计及隔震与减震设计等，与其他专业课程（混凝土结构、砌体结构、钢结构等）形成有效地衔接和补充。

本书在编写过程中，参考最新的相关规范及规程，采用许多汶川大地震中的典型震害图片，并结合新版抗震设计规范，对 Push-over 分析方法及建筑抗震性能化设计等进行了阐述。

本书在编写过程中，参考了大量相关教材、论著及资料，在此谨向资料的提供者致以诚挚的谢意。

本书具体编写分工如下：第 1 章、第 3 章、第 5 章由王建强编写；第 2 章由丁永刚编写；第 4 章、第 8 章由楚留声编写；第 6 章由范量编写；第 7 章由钱辉编写。本书由王建强担任主编、楚留声担任副主编。全书由王建强统稿。

全书由童丽萍教授审阅，提出了许多宝贵意见，特此表示诚挚的感谢！

限于时间和水平，书中的疏漏和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 地震与地震动	1
1.2 震级与烈度	6
1.3 地震活动	7
1.4 地震灾害	9
1.5 工程抗震设防.....	11
1.6 建筑抗震概念设计.....	15
思考题	18
第 2 章 场地、地基和基础	19
2.1 场地.....	19
2.2 天然地基和基础抗震验算.....	22
2.3 地基土的液化与抗液化措施.....	24
2.4 桩基抗震验算.....	31
思考题	33
习题	33
第 3 章 结构地震反应分析与抗震验算	35
3.1 概述.....	35
3.2 单自由度弹性体系地震反应分析.....	36
3.3 单自由度弹性体系的水平地震作用与反应谱.....	41
3.4 多自由度弹性体系地震反应分析.....	46
3.5 多自由度弹性体系的水平地震作用.....	52
3.6 结构基本周期的实用计算方法.....	60
3.7 平扭耦联体系的地震作用和作用效应.....	64
3.8 结构非弹性地震反应分析.....	69
3.9 竖向地震作用.....	78
3.10 结构抗震验算	80
思考题	86
习题	86
第 4 章 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计	88
4.1 多层和高层钢筋混凝土房屋的震害特征.....	88
4.2 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定.....	91
4.3 钢筋混凝土框架结构抗震设计	100
4.4 钢筋混凝土框架结构抗震构造措施	108

4.5	抗震墙结构和框架—抗震墙结构抗震设计	114
4.6	框架结构抗震设计例题	120
	思考题	131
第5章	多层砌体房屋和底部框架—抗震墙砌体房屋抗震设计	133
5.1	多层砌体房屋和底部框架—抗震墙砌体房屋的震害特征	133
5.2	多层砌体房屋抗震设计的一般规定	136
5.3	多层砌体房屋抗震设计	138
5.4	多层砌体房屋抗震构造措施	145
5.5	底部框架—抗震墙砌体房屋抗震设计	150
5.6	多层砌体房屋抗震设计例题	156
	思考题	163
第6章	多层和高层钢结构房屋抗震设计	164
6.1	多高层钢结构的震害特征	164
6.2	多高层钢结构体系和抗震设计一般规定	166
6.3	多高层钢结构房屋抗震计算	172
6.4	多高层钢结构房屋抗震构造措施	178
	思考题	183
第7章	单层工业厂房抗震设计	185
7.1	单层钢筋混凝土柱厂房的震害特征	185
7.2	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定	188
7.3	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	192
7.4	单层钢筋混凝土柱厂房抗震构造措施	210
	思考题	216
第8章	隔震和消能减震结构设计	217
8.1	概述	217
8.2	隔震结构设计	219
8.3	消能减震结构设计	227
	思考题	234
附录		235
附录A	中国地震烈度表 (GB/T 17742—2008)	235
附录B	我国部分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	238
参考文献		243

第 1 章 概 述

1.1 地震与地震动

地震是一种自然现象。据统计,地球平均每年大约发生 500 万次地震,其中,5 级以上的破坏性地震有 1000 多次,7 级以上的大地震有十几次。地震给人类社会带来灾难,造成不同程度的人员伤亡和经济损失。为了抗御和减轻地震灾害,进行建筑结构的抗震设计是非常必要的。

1.1.1 地球的构造

地球是一个近似于绕椭圆短轴旋转的椭球,赤道半径约 6378km,极半径约 6357km。从物质成分和构造特征来划分,地球可分为三大部分:地壳、地幔和地核(见图 1-1)。

一、地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳。地壳的下界称为莫霍界面(M界面)。地壳的厚度在全球各处变化很大,在大陆地区,地壳平均厚度为 30~40km,最厚处为我国青藏高原地区,厚达 70km;在大洋地区,地壳平均厚度仅 10~15km,最薄处约 5km。地壳由各种不均匀的岩层组成。大陆地壳分为上部的花岗岩层和下部的玄武岩层,而海洋地壳仅有玄武岩层。世界上绝大部分地震都发生在地壳内。

二、地幔

地壳以下到深度约为 2895km 的古登堡界面(G界面)为止的部分称为地幔,约占地球体积的 5/6。地幔主要由较均匀的橄榄岩组成。

三、地核

古登堡界面以下直到地心的部分称为地核。地核半径约为 3500km,可分为外核和内核,其主要物质成分是镍和铁。根据地震波观测发现,地震横波不能通过外核,故推测外核可能处于液态,而内核可能是固态。

由于地球内部放射性物质不断释放热量,地球内部的温度随着深度的增加而升高。从地下 20km 到地下 700km(绝大多数地震发生在这个深度范围内),其温度由大约 600℃ 上升到 2000℃。在这一范围内的地幔中存在着一个厚度约几百千米的软流层。由于温度分布不均匀,造成了地幔内物质的蠕动而产生对流。同时,地球内部的压强也是不均衡的,在地幔上部约为 900MPa,地幔底部约为 140 000MPa,地核中心可达 370 000MPa。地幔内部的物质在高温和不均衡的压力作用下而缓慢运动,这可能是地壳运动的根源。

1.1.2 地震类型与成因

地震按其成因可划分为构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震。

构造地震主要是由于地壳的构造运动及断裂构造活动而引起的地震。这类地震发生次数多(约占全球地震总数的 90%),破坏性大,影响范围广,是地震工程的主要研究对象。

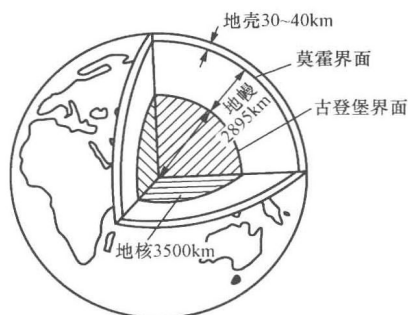


图 1-1 地球分层剖面

火山地震是由于火山爆发,岩浆猛烈冲出地面而引起的地震。这类地震占全球地震的7%左右。如1914年日本樱岛火山爆发,产生的震动相当于6.7级地震。

陷落地震是由于地下岩洞或矿井顶部塌陷而引起的地震。这类地震的规模比较小,次数少,主要发生在溶洞密布的石灰岩地区或大规模地下开采的矿区。如1972年山西大同煤矿发生采空区大面积顶板塌落,产生的震动相当于3.4级地震。

诱发地震是由于水库蓄水或深井注水等引起的地面震动。这类地震仅仅在某些特定的水库库区或油田地区发生。如1962年3月19日在广东河源新丰江水库坝区发生了诱发地震,震级为6.1级。

对于构造地震,可以从宏观背景和局部机制两个层次来解释其成因。从宏观背景上来看,根据板块构造学说,地球表面的岩石层是由欧亚板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、印度洋板块和南极板块等六大板块和若干小板块组成。由于地幔软流物质的涌出与对流,这些板块在地幔软流层上一直缓慢地相互运动着,从而使板块之间相互挤压和碰撞,使其边缘附近岩石层发生脆性破裂而引发地震。另外,由于软流层与板块之间的界面很不平坦,加之软流层本身仍具有较大刚度,造成板块内部的复杂应力状态和不均匀变形,导致板块内部的岩层断裂而发生地震。据统计,全球85%左右的地震发生于板块边界带上,仅有15%左右发生于大陆内部或板块内部。从局部机制上分析,在板块的构造运动过程中,板块之间的相互作用使得岩层发生变形,当变形超过岩层的极限应变时,岩层就会发生突然断裂和错动,从而引起地震(见图1-2)。

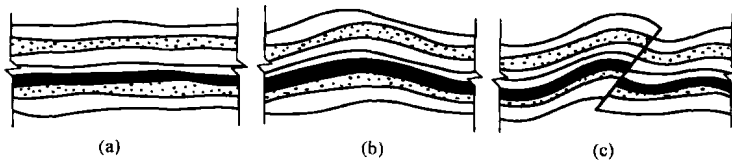


图1-2 地壳构造变动与地震形成示意图

(a) 岩层原始状态; (b) 受力后发生褶皱变形; (c) 岩层断裂、产生错动

地下岩层断裂时,通常形成一个由一系列裂缝组成的破碎带。由于破碎带中的岩层不可能同时达到新的平衡状态,因而,每次大地震的发生一般都不是孤立的,大地震前后,在发震地区,总有很多次中小地震发生。在一定时间内(一般是几十天至数月)相继发生在相邻地区的一系列大小地震称为地震序列,其中,最大的一次地震称为主震,主震之前发生的地震称为前震,主震之后发生的地震称为余震。根据以往地震记录,地震序列可分为三种基本类型:①主震余震型:主震释放能量最大,伴以相当数量的余震和不完整的前震,如2008年汶川大地震、1976年唐山大地震等;②震群型:主震震级不突出,主要能量通过多次震级相近的较强地震释放,并伴以大量小震,如1966年邢台地震、1988年澜沧—耿马地震等;③单发型:主震突出,前震和余震次数少,强度低,如1959年菏泽地震、1976年内蒙古和林格尔地震等。在上述三种类型地震中,主震余震型地震约占60%,震群型地震约占30%,单发型地震仅占10%左右。

1.1.3 地震常用术语

在地球内部岩层发生断裂错动的部位,释放大量的能量,并引起周围介质的剧烈振动,此处称为震源。震源正上方的地面位置称为震中。震中到震源的垂直距离称为震源深度。在

震中附近，地面振动最剧烈、破坏最严重的地区称为震中区或极震区。地面某处至震中的水平距离称为震中距。如图 1-3 所示。

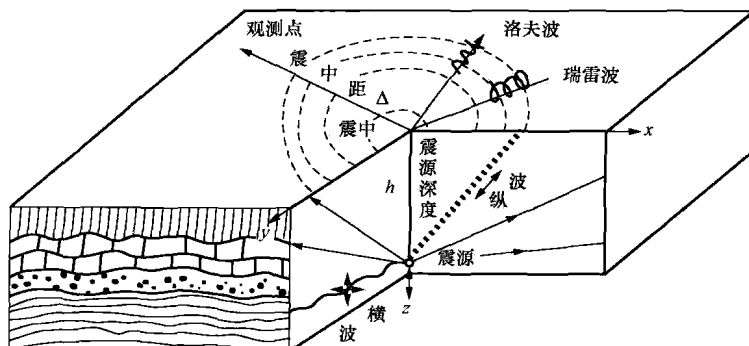


图 1-3 地震波传播示意图

按照震源深度，地震又可分为：①浅源地震：震源深度在 70km 以内，约占地震总数的 72%，所释放的能量约占地震总释放能量的 85%，如 2008 年 5 月 12 日中国汶川 8.0 级地震，震源深度为 14km；2011 年 3 月 11 日日本东北部海域 9.0 级地震，震源深度为 20km。②中源地震：震源深度在 70~300km 范围内，约占地震总数的 23%，所释放的能量约占地震总释放能量的 12%，如 2007 年 8 月 2 日西南太平洋瓦努阿图海域 7.1 级地震，震源深度约 160km。③深源地震：震源深度超过 300km，约占地震总数的 5%，所释放的能量约占地震总释放能量的 3%，如 2002 年 6 月 29 日吉林省汪清县 7.2 级地震，震源深度为 540km。截至目前，观测到的最大震源深度为 720km。

1.1.4 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，称为地震波。其中，在地球内部传播的波称为体波，沿地球表面传播的波称为面波。

一、体波

体波包括纵波和横波两种形式。

纵波是震源向外传播的压缩波，其介质质点的振动方向与波的前进方向一致，使介质不断地压缩和疏松，故又称为压缩波见图 1-4 (a)。纵波的特点是周期较短、振幅较小，引起地面垂直方向的上下颠簸。由于任何一种介质（固态、液态、气态）都可以承受不同程度的压缩和拉伸变形，所以纵波可以在所有介质中传播。

横波是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，故又称

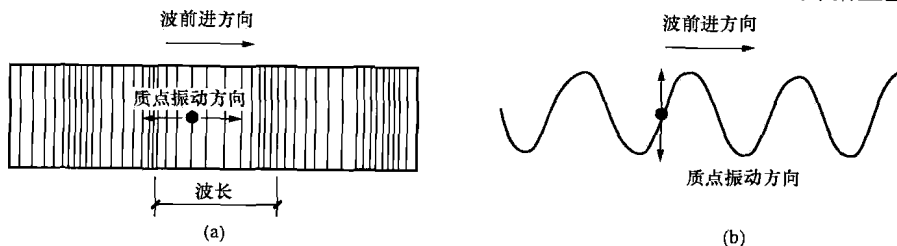


图 1-4 体波质点振动形式
(a) 纵波；(b) 横波

为剪切波见图 1-4 (b)。横波的特点是周期较长、振幅较大,引起地面水平方向的左右摇晃。由于液态和气态介质不能承受剪切作用,因而横波只能在固体内传播。

根据小变形弹性理论,纵波的波速 v_p 和横波的波速 v_s 可分别按式 (1-1) 和式 (1-2) 计算

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

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

式中 E ——介质的弹性模量;
 G ——介质的剪切模量;
 μ ——介质的泊松比;
 ρ ——介质的密度。

在弹性空间中,纵波与横波的波速之比为

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}} \quad (1-3)$$

可见,纵波的波速大于横波的波速,如当 $\mu = 0.22$ 时, $v_p = 1.67v_s$ 。所以在记录到的地震波中,纵波一般先到达,横波次之。因此,通常纵波又被称为初波 (P 波),横波又被称为次波 (S 波)。

二、面波

面波是指沿着地球表面及其附近传播的波。面波是体波经地层界面多次反射形成的次生波,包括瑞雷波 (R 波) 和洛夫波 (L 波) 两种形式。

瑞雷波在传播时,质点在波的传播方向和地表法向组成的平面内 (xz 平面) 作逆向的椭圆运动,见图 1-5 (a)。瑞雷波引起的地面运动以垂直运动为主。瑞雷波的波速为 $v_R = 0.92v_s$ 。

洛夫波在传播时,质点在与波的传播方向相垂直的水平方向 (y 方向) 运动,在地面上呈蛇行运动,见图 1-5 (b)。洛夫波引起的地面运动以左右晃动为主。洛夫波的波速与波动频率有关。

$$v_L = \frac{\omega}{a}$$

式中 ω ——波动频率;
 a ——波长。

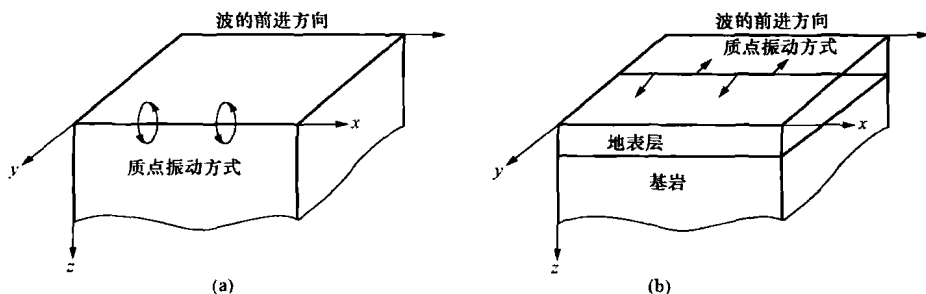


图 1-5 面波质点振动形式
 (a) 瑞雷波; (b) 洛夫波

面波的特点是周期长，振幅大，由于只在地表附近传播，衰减比体波慢，影响范围广。

综上所述，地震波的传播速度以纵波最快，横波次之，面波最慢；从波动幅度来看，纵波振幅较小，横波和面波振幅较大（见图 1-6）。所以，地震时，纵波先到达，使建筑物产生上下颠簸；而后横波到达，使建筑物产生水平方向摇晃；最后面波到达，使建筑物既产生上下颠簸又产生左右摇晃。当横波或面波到达时，地面振动最为剧烈，产生的破坏作用最大。

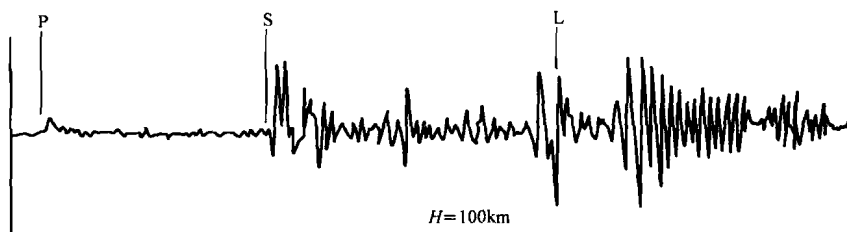


图 1-6 典型地震波记录

1.1.5 地震动特性

地震动是指由震源释放出来的地震波引起的地表附近土层的振动，包括地震动的加速度、速度和位移。通常，一点处的地震动在空间具有六个方向的分量。通过对强震观测数据和建筑结构震害特征的分析 and 总结，对工程抗震而言，地震动的特性可以通过三个基本要素来描述，即地震动的幅值、频谱和持时（持续时间）。各类结构的震害表现是这三个基本要素综合影响的结果。

一、地震动幅值

地震动幅值可以指地震动加速度、速度或位移中的任何一种的最大值或某种意义上的有效值。目前最常用的地震动幅值是地震动加速度最大值，它不仅可表示地震动的强弱程度，而且与建筑物的震害密切相关，并可作为地震烈度的参考物理指标。如 1940 年美国 Imperial Valley 地震中 EL-Centro 地震波加速度记录南北分量加速度幅值为 341.7cm/s^2 ，东西分量加速度幅值为 210.1cm/s^2 。

地震动幅值受震级、震源机制、震中距、传播途径、结构和局部地质条件等影响。通常，近场基岩上的加速度幅值大于软弱场地上的加速度幅值；而远场则相反。

二、地震动频谱特性

频谱是指一次地震动中振幅与频率（或周期）的关系曲线，地震动频谱特性可以反映一次地震动中具有不同自振周期的结构的反应特征。如 1962 年墨西哥地震中，地震动频谱中以长周期（低频）成分为主，虽然地震动加速度峰值仅为 $0.05g$ ，却造成了墨西哥市高层建筑的严重破坏，而多层房屋破坏较轻。目前通常用反应谱、功率谱和傅里叶谱表示地震动的频谱特性，其中最常用的地震动反应谱已被多国抗震设计规范广泛采用。

地震动频谱特性受震级、震源机制、震中距和场地条件等因素影响。通常，震级越大，震中距越远，地震动记录中的长周期（低频）分量越显著；软土地基上地震动记录的卓越周期显著，以长周期成分为主，而硬土地基上的地震动记录则包含多种频率成分。

三、地震动持时

地震动持时是指强地震动的持续时间。目前有关强震持时的定义较不统一，工程上通常

采用有效持时，一般取超过一定加速度值（可取该地震动最大峰值的 10%）的第一个峰点和最后一个峰点之间的时间。地震动持时对结构反应的影响主要表现在结构的非线性反应阶段。如 1962 年墨西哥地震，震级为 6.8，阿卡普尔科地区震中距为 60km，加速度峰值为 $0.27g$ ，强震持续时间为 8s，地震烈度为 5 度；1949 年美国奥林匹亚地震，震级为 7.1，西雅图地区震中距为 40km，加速度峰值为 $0.07g$ ，强震持续时间为 20~45s，地震烈度为 7 度。

1.2 震级与烈度

1.2.1 震级

震级是表示一次地震本身强弱程度和大小的一种度量。目前，国际上比较通用的是里氏震级，其原始定义是在 1935 年由里克特（C. F. Richter）给出，即地震震级 M 为

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

式 (1-4) 中 A 代表标准地震仪（指摆的自振周期为 0.8s，阻尼系数为 0.8，放大倍数为 2800 倍的地震仪）在距震中 100km 处记录的以 μm ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$) 为单位的最大水平位移（即振幅）。例如，在距震中 100km 处标准地震仪记录的振幅是 10mm，即 10 000 μm ，则此次地震的震级为 4 级。若震中距不是 100km 或采用非标准地震仪，则需进行适当的修正以确定震级。

震级表示一次地震释放能量的多少，因而，一次地震只有一个震级。震级 M 与地震释放能量 E 之间的关系为

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-5)$$

式中 E ——地震释放能量，erg， $1\text{erg}=10^{-7}\text{J}$ 。

以上关系表明，震级相差一级，地震所释放的能量相差约 32 倍。一次 6 级地震所释放的能量，相当于一个 20 000t 级的原子弹。

一般来讲，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 级以上的地震人们能感觉到，称为有感地震；5 级以上的地震能引起不同程度的破坏，称为破坏性地震；7 级以上的地震称为强烈地震或大震；8 级以上的地震称为特大地震或巨大地震。

1.2.2 地震烈度

地震烈度是指某一区域的地表和各类建筑物遭受某一次地震影响的平均强弱程度。一次地震，表示地震大小的震级只有一个，但由于同一次地震对不同区域的影响程度不同，因而，随着距离震中的远近，在不同区域会出现各种不同的烈度。一般来说，距震中越近，地震影响越大，地震烈度越高；距震中越远，地震烈度越低。同时，地震烈度还受震级、震源深度、场地条件、建筑物动力特性等因素影响。

为评定地震烈度而建立起来的标准称为地震烈度表。地震烈度表主要是根据人的感觉、建筑物的破坏程度、器物反应和地貌变化特征等宏观震害现象来划分的，并对应于不同烈度给出了地面运动加速度、速度等参考物理指标。由于对烈度影响轻重的分段不同，以及在宏观现象和定量指标确定方面的差异，加之各国建筑情况和地表条件不同，各国所制定的地震烈度表也不尽相同。目前，除了日本采用 0~7 度的 8 度烈度表，少数国家（如欧洲一些国家）采用分成 10 度的地震烈度表外，绝大多数国家包括我国都采用分成 12 度的地震烈度

表, 见我国 2008 年公布的《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008) 附录 A。

震中区的烈度称为震中烈度 I_0 。根据震级可以粗略地估算震中烈度为

$$I_0 = 1.5 \times (M - 1) \quad (1-6)$$

1.2.3 基本烈度与地震区划

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概率(我国取 10%)可能遇到的最大地震烈度。

地震区划是指根据历史地震规律、地质构造条件和强震观测资料, 采用地震危险性分析的方法确定不同地区的基本烈度。我国在 1990 年颁布了《中国地震烈度区划图(1990)》, 给出了全国各地区的基本烈度。随着研究的深入, 我国在 2001 年颁布了《中国地震动参数区划图(2001)》(GB 18306—2001), 给出了全国各地区的地震动峰值加速度和地震动反应谱特征周期。

1.3 地震活动

1.3.1 世界地震活动

世界地震活动主要集中于以下两个地震带。

(1) 环太平洋地震带: 全球规模最大的地震活动带, 主要位于太平洋边缘地区, 基本上是大洋岩石圈与大陆岩石圈相聚合的边缘带。它沿南、北美洲西海岸, 经阿留申、堪察加、千岛群岛到日本列岛, 而后分成东西两支, 西支经我国台湾省、菲律宾、印度尼西亚至新几内亚, 东支经马里亚纳群岛至新几内亚, 两支汇合后, 经所罗门至汤加, 然后突转向南至新西兰。全球约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震以及几乎所有深源地震都发生于此, 所释放的地震能量占全球地震总能量的 80%。

(2) 欧亚地震带: 全球第二大地震活动带, 横贯欧亚两洲并涉及非洲部分地区。它东起环太平洋地震带的新几内亚, 经印度尼西亚南部和西部、缅甸, 其后进入我国西南部和西部, 再经伊朗北部、土耳其、希腊、意大利南部等地中海地区和非洲北部至大西洋亚速尔群岛。所释放的地震能量占全球地震总能量的 15%。我国大部分地区处于此地震带中。

近 30 年来世界发生的部分大地震见表 1-1。

表 1-1 近 30 年世界范围部分大地震

地震名称	时间	震级	伤亡情况
墨西哥地震	1985 年 9 月 19 日	8.1 级	死亡 1 万多人, 受伤 4 万多人
亚美尼亚地震	1988 年 12 月 7 日	7.1 级	死亡 2.4 万多人, 受伤 1.9 万多人
美国洛马·普雷塔地震	1989 年 10 月 17 日	7.1 级	死亡 62 人, 受伤 3700 多人
美国洛杉矶北岭地震	1994 年 1 月 17 日	6.8 级	死亡 55 人, 受伤 7000 多人
日本阪神大地震	1995 年 1 月 17 日	7.2 级	死亡 5 万多人, 受伤约 3 万人
中国台湾集集大地震	1999 年 9 月 21 日	7.6 级	死亡 2000 多人, 受伤 6500 多人
土耳其伊兹米特地震	1999 年 8 月 17 日	7.4 级	死亡 1.8 万多, 受伤 4.3 万多人
印度古吉拉特邦地震	2001 年 1 月 26 日	7.9 级	死亡 16 000 多人, 受伤 55 000 多人
伊朗巴姆地震	2003 年 12 月 26 日	6.3 级	死亡 5 万多人, 受伤 1.5 万多人

续表

地震名称	时间	震级	伤亡情况
印度尼西亚苏门答腊大地震	2004年12月26日	8.7级	约30万人死亡
巴基斯坦地震	2005年10月08日	7.8级	死亡79000多人, 受伤65000多人
秘鲁地震	2007年8月15日	8.0级	死亡500多人, 受伤1500多人
中国汶川大地震	2008年5月12日	8.0级	死亡69227人, 失踪17923人
海地地震	2010年1月12日	7.3级	死亡近30万人, 受伤19万多人
智利康塞普西翁地震	2010年2月27日	8.8级	死亡800多人
中国青海玉树地震	2010年4月14日	7.1级	死亡2698人, 失踪270人
新西兰克莱斯特彻奇地震	2011年2月22日	6.3级	死亡145人
东日本大地震	2011年3月11日	9.0级	死亡13232人, 失踪14554人

1.3.2 我国地震活动及特点

一、我国地震活动

我国位于欧亚板块的东南端, 东接太平洋板块, 南临印度洋板块, 由于板块的构造运动, 我国大陆受到太平洋板块向西、印澳板块向北、欧洲向东的推动和挤压, 因此我国地震分布十分广泛。据统计, 我国除个别省份(如浙江、江西)外, 绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震, 有不少地区现代地震活动还相当强烈, 如我国台湾省大地震最多, 新疆、西藏次之, 西南、西北、华北和东南沿海地区也是破坏性地震较多的地区。

我国的地震带主要有以下两条。

(1) 南北地震带: 北起贺兰山, 向南经六盘山、穿越秦岭, 沿四川西部至云南东北部, 纵贯南北。

(2) 东西地震带: 主要的东西构造带有两条, 北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸, 直至辽宁北部的千山一带; 南面的一条, 西起帕米尔高原, 经昆仑山、秦岭, 直至大别山区。

据此, 我国大致可划分成六个地震活动区: 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。

二、我国地震活动特点

(1) 地震活动分布范围广。据统计, 我国的绝大多数省份都发生过6级以上的地震, 地震基本烈度在6度及其以上地区的面积占全部国土面积的60%。

(2) 地震震源浅、强度大。我国的地震绝大多数是震源深度小于30km的浅源地震, 对地面建筑物和工程设施破坏严重。只有东北鸡西、延吉一带, 及西藏、新疆西部个别地区, 发生过震源深度大于30km的浅、中源地震或400~500km的深源地震。

(3) 位于地震区的大、中城市多, 建筑物抗震性能差。我国城市中约有一半城市位于基本烈度为7度或7度以上地区, 其中, 百万人以上的大城市中处于基本烈度为7度或7度以上的达70%。特别是一些重要城市, 如北京、太原、西安、兰州、乌鲁木齐、包头、拉萨、银川、海口、台北、高雄等城市均位于基本烈度为8度的高烈度区。

由于我国开展抗震研究相对较晚和经济发展水平的限制, 使得我国相当一部分城市建筑和广大农村建筑的抗震性能差, 抵御地震能力低。

1.4 地震灾害

地震灾害主要表现在三个方面：地表破坏、工程结构破坏和次生灾害。

1.4.1 地表破坏

地表破坏主要表现为地裂缝、地面下沉、砂土液化、山石崩裂和滑坡等形式。

地裂缝（见图 1-7）分为构造地裂缝和非构造地裂缝。构造性地裂缝是地震断层错动后在地表形成的痕迹，其走向与地下断裂带一致，规模较大。裂缝带可延伸几公里到几十公里，带宽达数十厘米到数米。非构造地裂缝主要是由于地表土质不均匀及受地貌影响所形成，其规模较小。当地裂缝穿过建筑物时，会造成结构开裂甚至倒塌。

地面下沉多发生在软土地区、岩溶洞地区和矿业采空区。地面的不均匀沉陷会引起建筑物的破坏甚至倒塌。

在地下水位较高的地区，地震波的作用使地下水压力急剧增大，地下水经地裂缝喷出地面。当地表土层含有砂土或粉土时，会造成砂土液化甚至形成喷水冒砂现象（见图 1-8）。砂土液化会导致建筑物地基失效，造成建筑物的倾斜甚至倒塌，并对地下管网造成大面积的破坏。



图 1-7 地裂缝



图 1-8 砂土液化

在河岸、山崖、丘陵地区，地震极易引发山崩和滑坡，会切断交通，冲毁房屋和桥梁，堵塞河流（见图 1-9）。

1.4.2 工程结构破坏

工程结构的破坏主要有以下几种。

(1) 地基失效引起的破坏。在地震作用下，由于地基承载力下降或地基土液化而造成建筑物倾斜、倒塌（见图 1-10）。

(2) 承重结构承载力不足或变形过大而造成的破坏。在地震作用下，结构的内力和变形增大，并且往往伴随着受力形式的改变，导致承重结构的抗剪、抗弯、抗压等承载力不足或变形过大而破坏。如墙体裂缝（见图 1-11）、钢筋混凝土构件开裂或酥裂（见图 1-12）、房屋倒塌（见图 1-13）、桥梁坍塌（见图 1-14）、水坝垮塌（见图 1-15）等。

(3) 结构丧失整体性而造成的破坏。在地震作用下，结构进入弹塑性变形阶段，由于延性不足、节点连接失效、主要承重构件失稳等原因而丧失整体性，从而造成局部或整体结构倒塌。



图 1-9 山体滑坡



图 1-10 地基失效引起建筑物倾斜、倒塌

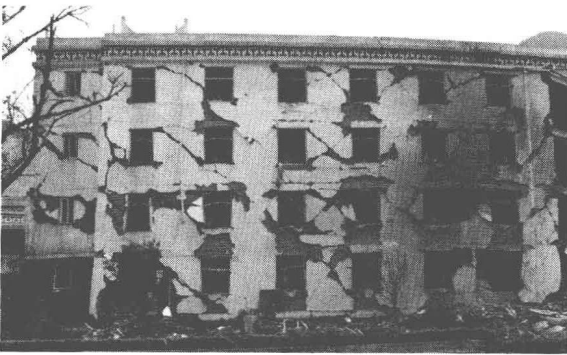


图 1-11 墙体裂缝



图 1-12 钢筋混凝土柱酥裂

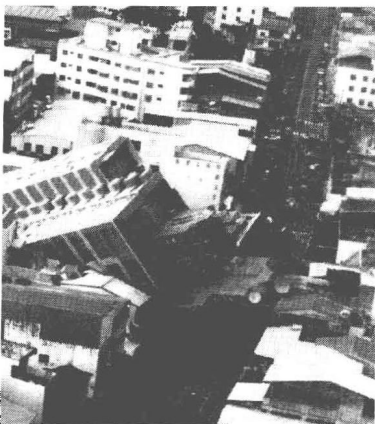


图 1-13 房屋倒塌



图 1-14 桥梁坍塌

(4) 非结构构件的破坏。由于女儿墙、填充墙、外围墙板、玻璃幕墙及建筑附属机电设备等等的设置对主体结构的受力性能可能会产生一定的影响，或其与主体结构的连接或锚固不足，在地震中可能造成主体结构或非结构构件的破坏（见图 1-16）。

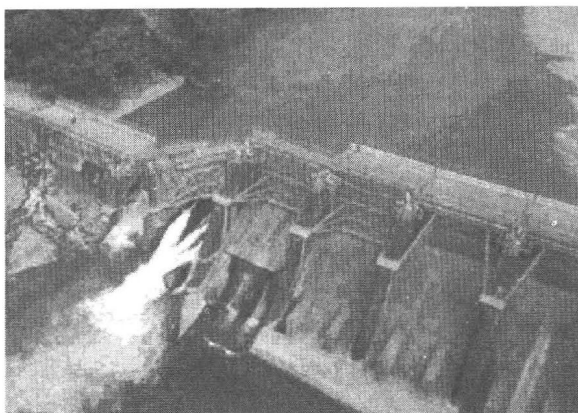


图 1-15 水坝垮塌



图 1-16 外围墙板脱落

在上述破坏形式中，第 1 种破坏属于静力破坏；而其他三种破坏是由于地震动的动力作用所引起的破坏，属于动力破坏，也是绝大多数工程结构破坏的形式。因此，对结构动力破坏机制的分析，是结构抗震研究的重点和结构抗震设计的基础。

1.4.3 次生灾害

地震可造成水灾、火灾、空气污染、海啸等次生灾害。如 1995 年 1 月 17 日日本阪神 7.2 级地震，震后火灾多达 600 多处，震中区木结构房屋几乎全部烧毁；2011 年 3 月 11 日日本东北部海域发生 9.0 级强烈地震，引发海啸，已造成 14 704 人死亡，10 969 人失踪，并导致福岛第一核电站发生核泄漏事故，使周边 30km 范围内的几十万人被迫撤离。

1.5 工程抗震设防

1.5.1 基本术语

抗震设防烈度 (seismic precautionary intensity): 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。一般情况，取 50 年内超越概率 10% 的地震烈度。

抗震设防标准 (seismic precautionary criterion): 衡量抗震设防要求的尺度，由抗震设防烈度或设计地震动参数及建筑抗震设防类别确定。

地震作用 (earthquake action): 由地震动引起的结构动态作用，包括水平地震作用和竖向地震作用。

设计地震动参数 (design parameters of ground motion): 抗震设计用的地震加速度（速度、位移）时程曲线、加速度反应谱和峰值加速度。

设计基本地震加速度 (design basic acceleration of ground motion): 50 年设计基准期超越概率 10% 的地震加速度的设计取值。

设计特征周期 (design characteristic period of ground motion): 抗震设计用的地震影响

系数曲线中,反映地震震级、震中距和场地类别等因素的下降段起始点对应的周期值,简称特征周期。

建筑抗震概念设计 (seismic concept design of buildings):根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想,进行建筑和结构总体布置并确定细部构造的过程。

抗震措施 (seismic measures):除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容,包括抗震构造措施。

抗震构造措施 (details of seismic design):根据抗震概念设计原则,一般不需计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。

1.5.2 抗震设防烈度和地震影响

抗震设防烈度是一个地区建筑物进行抗震设防的依据。一般情况下,抗震设防烈度可采用中国地震动参数区划图的地震基本烈度,具体参见《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(以下简称《抗震规范》)中设计基本地震加速度值所对应的烈度值。抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系应符合表 1-2 的规定。设计基本加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的建筑,除《抗震规范》另有规定外,应分别按抗震设防烈度 7 度和 8 度的要求进行抗震设计。

表 1-2 抗震设防烈度和设计基本加速度值的对应关系

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

《抗震规范》规定,抗震设防烈度为 6 度及以上地区的建筑,必须进行抗震设计。在进行抗震设计时,建筑所在地区遭受的地震影响,应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和设计特征周期或《抗震规范》规定的设计地震动参数来表征。建筑的设计特征周期应根据其所在地的设计地震分组和场地类别确定。

震害调查表明,一个地区中的高柔建筑在大震级远震中距的地震中遭受的破坏比该地区此类建筑在中、小震级近震中距的地震中遭受的破坏要重得多,这表明震源机制、震级大小、震中距远近对同样场地条件的反应谱形状有较大影响。在《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—1989)中以设计近震和设计远震适当考虑了震级、震中距对反应谱形状的影响。在《中国地震动参数区划图(2001)》(GB 18306—2001)中则考虑了震级、震中距和场地条件对反应谱形状的影响,将同一类场地的反应谱特征周期分为三个区。在最新《抗震规范》中称为三个组,分别为设计地震分组第一组、第二组和第三组。

我国部分主要城镇的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组见附录 B,详细内容见《抗震规范》附录 A。

1.5.3 抗震设防目标

工程抗震设防的基本目的是在一定的经济条件下,最大限度地限制和减轻建筑物的地震破坏,保障人民的生命财产安全。为实现这一目的,近年来,许多国家抗震设计规范的发展趋势是要求建筑在使用期间,对于不同频率和强度的地震,应具有不同的抵抗能力,即“小震不坏、中震可修、大震不倒”,并将其作为建筑抗震设计的基本准则。

我国对小震、中震和大震规定了具体的概率水准。根据对我国几个主要地震区的地震危险性分析结果,我国地震烈度的概率分布符合极值Ⅲ型分布,地震烈度的概率密度函数曲线