

建筑结构 抗震设计

柳炳康	周 安	编著
马克俭	黄慎江	
肖鹤麟	董 平	主审

中国科学技术出版社

建筑结构抗震设计

柳炳康 周 安 编 著
马克俭 黄慎江

肖鹤麟 董 平 主 审

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国科学技术出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/柳炳康等编著. —北京: 中国科学技术出版社, 1996
ISBN7-5046-2234-6/TU · 28

I. 建…

II. 柳…

III. 建筑结构: 抗震结构—结构设计

N. TU234

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08292 号

中国科学技术出版社出版
北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
合肥工业大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 字数 380 千字

1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 18.50 元

内 容 提 要

本书依据《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)以及1993年7月颁发的局部修订版进行编写,并参考了全国建筑工程学科专业指导委员会建议的《建筑抗震设计》课程基本要求。内容包括:地震基本知识、抗震设计基本要求、场地地基和基础抗震设计、弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论、弹塑性体系地震反应分析的时程分析法,以及多层砌体结构、单层厂房、钢筋混凝土框架、底层框架和内框架结构的抗震设计方法,为反映目前结构抗震的发展趋势,介绍了结构隔震、减震和制振技术。主要章节后均附有计算实例。

本书可作为大专院校建筑工程专业(即工民建专业)的教学用书,也可供建筑工程设计、施工人员参考。

前 言

我国是多地震的国家之一,抗震设防的国土面积约占全国国土面积的60%。历次强震经验表明,地震造成的人员伤亡和经济损失,主要是因为房屋破坏和结构倒塌引起的,造成伤亡的是建筑物而不是地震本身。因此,对各类建筑进行抗震设计,提高结构的抗震性能是减轻地震灾害的根本途径。作为结构工程师应当掌握工程地震基本知识、工程抗震原理以及结构抗震设计的方法。有鉴于此,我们结合多年来的教学科研经验,吸收国内外抗震研究成果,编写了这本教材。

本书依据《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)(书中简称抗震规范)以及1993年7月颁布的局部修订进行编写,并参考了全国建筑工程本科专业指导委员会建议的《建筑抗震设计》课程基本要求。书中内容注意深入浅出,力求理论联系实际。书中首先介绍了地震基础知识、抗震设计基本要求和地基与基础的抗震设计,进而讨论了弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论、弹塑性体系地震反应分析的时程分析法,接着给出了多层砌体结构、单层厂房、钢筋混凝土框架结构、底层框架和内框架房屋的抗震设计方法,为反映结构抗震发展趋势,书的最后介绍了结构隔震、减震与制振技术。主要章节后面均附有计算实例,便于读者掌握相应的抗震计算方法。

参加本书编写工作的有:柳炳康(第一、二、四、五、八、十章)、周安(第三、九章)、马克俭(第七章)、黄慎江(第六章)。全书由柳炳康修改、统稿、定稿。本书由肖鹤麟、董平主审,主审时对初稿提出不少宝贵意见,在此一并致谢。

本书在编写和出版过程中,得到和合肥工业大学教材科郑象鹤同志的大力支持,编写者深表感谢。

由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

前言

第一章 地震基础知识..... 1

1.1 地球构造与地震成因..... 1

1.2 地震特征描述..... 3

1.3 地震活动与地震灾害..... 6

第二章 抗震设计的基本要求..... 11

2.1 建筑结构抗震设防..... 11

2.2 结构隔震、减震和制振技术..... 17

第三章 场地、地基与基础..... 19

3.1 概述..... 19

3.2 工程地质条件对震害的影响..... 19

3.3 场地选择与场地分类..... 20

3.4 地基基础抗震验算..... 22

3.5 地基液化..... 23

3.6 地基基础抗震措施..... 27

第四章 结构弹性地震反应分析与抗震验算..... 30

4.1 概述..... 30

4.2 单自由度体系的弹性地震反应..... 30

4.3 单自由度弹性体系水平地震作用..... 34

4.4 多自由度体系的弹性地震反应及振型分解..... 39

4.5 多自由度弹性体系水平地震作用..... 49

4.6 结构自振周期及振型的实用计算方法..... 55

4.7 结构的扭转地震效应..... 62

4.8 竖向地震作用..... 66

4.9 地基与上部结构的相互作用..... 69

4.10 建筑结构抗震验算..... 70

第五章 结构弹塑性地震反应分析..... 74

5.1 概述..... 74

5.2 钢筋混凝土构件的恢复力特征..... 74

5.3 弹塑性结构计算模型..... 77

5.4 基本动力方程求解..... 83

5.5 地震波的选用..... 91

5.6 结构抗震变形验算..... 94

第六章 多层砌体房屋抗震设计..... 97

6.1	概述	97
6.2	震害现象及其分析	97
6.3	抗震设计基本要求	99
6.4	多层砌体房屋抗震计算	102
6.5	多层砌体房屋抗震构造措施	109
6.6	多层砖房抗震验算实例	114
第七章	钢筋混凝土框架结构抗震设计	121
7.1	概述	121
7.2	震害现象及其分析	121
7.3	抗震设计基本要求	124
7.4	框架结构的内力计算	127
7.5	水平地震作用下框架位移验算	137
7.6	截面抗震承载力验算	138
7.7	框架结构抗震构造措施	144
7.8	框架结构抗震计算实例	149
第八章	底层框架砖房和多层内框架砖房抗震设计	164
8.1	震害现象及其分析	164
8.2	结构布置	167
8.3	底层框架砖房抗震计算	169
8.4	内框架砖房抗震计算	177
8.5	抗震构造措施	178
8.6	底层框架砖房抗震计算实例	180
第九章	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	187
9.1	概述	187
9.2	震害及其分析	187
9.3	抗震设计基本要求	190
9.4	厂房横向抗震计算	193
9.5	厂房纵向抗震计算	200
9.6	抗震构造措施	209
9.7	单层厂房抗震计算实例	216
第十章	结构隔震、减震与制振技术	227
10.1	结构基底隔震	227
10.2	结构耗能及阻尼减震	233
10.3	结构被动控制 P-TMD 体系及 TLD 体系	237
10.4	结构主动控制体系	239
附录一	中国地震烈度表(1980)	242
附录二	框架 D 值法反弯点高度比系数表	243
附录三	天然地基的抗压刚度系数 C_z 表	246

第一章 地震基础知识

1.1 地球构造与地震成因

1.1.1 地球构造

地球是一个略呈椭圆的球体,它的平均半径约为 6400km。研究表明,地球是由性质不同的三个层次构成:最外层是薄薄的地壳,中间层是很厚的地幔,最里层是地核(图 1-1)。

地壳是由各种结构不均匀厚薄不一的岩层组成。在陆地上,除表面的沉积层外,陆地地壳主要有两大层:上部花岗岩层和下部的玄武岩层,平均厚度约为 30~40km。在海洋中,海洋地壳一般只有玄武岩层,平均厚度约为 5~8km。地球上绝大部分地震都发生在这一层薄薄的地壳内。

地幔主要是由质地非常坚硬,结构比较均匀的橄榄岩组成。地壳与地幔的分界面叫莫霍面,莫霍面以下 40~70km 内是一层岩石层,它与地壳共同组成岩石圈。岩石层以下存在一个厚度几百公里的软流层,该层物质呈塑性状态并具有粘弹性质。岩石层与软流层合称上地幔。上地幔之下为下地幔,其物质成份与结构和上地幔差别不大,但物质密度增大。

地核是半径为 3500km 的球体,可分为外核和内核。对地核的成份和状态目前尚不清楚,据推测外核厚度约为 2100km,处于液态;内核半径约为 1400km,处于固态。地核构成物质主要是镍和铁。

到目前为止,所观察到的地震深度最深为 700km,比起地球半径来仅占 1/10,可见地震仅发生于地球的表面部分——地壳内和地幔上部。

地球内部的温度随着深度增加而升高。地下 20km 处温度约为 600℃,100km 处约为 1000~1500℃,700km 处约为 2000℃,地核内部温度可达 4000~5000℃,地球内部长期保持高温主要是内部放射性物质不断释放热量的缘故。地球内部的压力也随深度增加而变化,地幔上部约为 900MPa,地核外部约为 140000MPa,地核中心可达 370000MPa。地球内部积蓄了大量的热量,存在很大的应力,由于温度分布不均匀和压力作用不平衡,地幔内的物质发生对流,使得地球内部处于不断运动之中。

1.1.2 地震类型与成因

地震按照其成因可分为三种主要类型:火山地震、塌陷地震和构造地震。

伴随火山喷发或由于地下岩浆迅猛冲出地面引起的地面运动称为火山地震。这类地震一般强度不大,影响范围和造成的破坏程度均比较小,主要分布于环太平洋、地中海以及东非等地带,其数量约占全球地震的 7%左右。

地表或地下岩层由于某种原因陷落和崩塌引起的地面运动称为塌陷地震。这类地震的

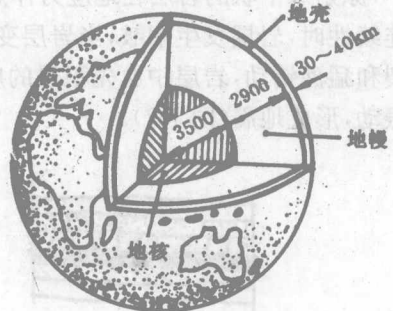


图 1-1 地球的构造

发生主要由重力引起,地震释放的能量与波及的范围均很小,主要发生在具有地下溶洞或古旧矿坑地质条件的地区,其数量约占全球地震的3%左右。

由于地壳构造运动,造成地下岩层断裂或错动引起的地面振动称为构造地震。这类地震破坏性大、影响面广,而且发生频繁,几乎所有的强震均属构造地震。构造地震为数最多,约占全球地震的90%以上。构造地震一直是人们的主要研究对象,下面主要介绍构造地震的发生过程。

构造地震成因的局部机制可以用地壳构造运动来说明,地球内部处于不断运动之中,地幔物质发生对流释放能量,使得地壳岩石层处在强大的地应力作用之下。在漫长的地质年代中,原始水平状的岩层在地应力作用下发生形变;当地应力只能使岩层产生弯曲而未丧失其连续性时,岩层发生褶皱;当岩层变形积累的应力超过本身强度极限时,岩层就发生突然断裂和猛烈错动,岩层中原先积累的应变能全部释放,并以弹性波的形式传到地面,地面随之振动,形成地震(图1-2)。



图1-2 构造运动与地震形成示意图

构造地震成因的宏观背景可以借助板块构造学说来解释。板块构造学说认为,地壳和地幔顶部厚约70~100km的岩石组成了全球岩石圈,岩石圈由大大小小的板块组成,类似一个破裂后仍连在一起的蛋壳,板块下面是塑性物质构成的软流层。软流层中的地幔物质以岩浆活动的形式涌出海岭,推动软流层上的大洋板块在水平方向移动,并在海沟附近向大陆板块之下俯冲,返回软流层。这样在海岭和海沟之间便形成地幔对流,海岭形成于对流上升区,海沟形成于对流下降区(图1-3)。全球岩石圈可以分为

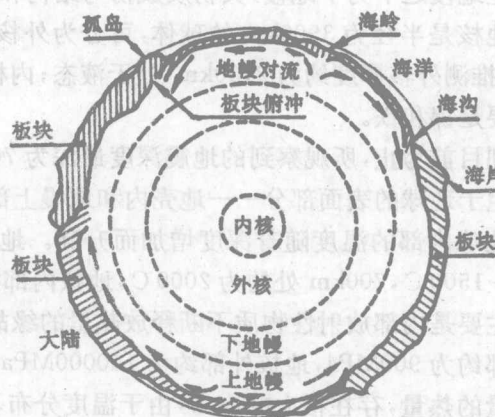


图1-3 板块运动

六大板块,即欧亚板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印澳板块和南极板块(图1-4)。各板块由于地幔对流而互相挤压、碰撞,地球上的主要地震带就分布在这些大板块的交界地区,据统计,全球85%左右的地震发生在板块边缘及附近,仅有15%左右发生于板块内部。

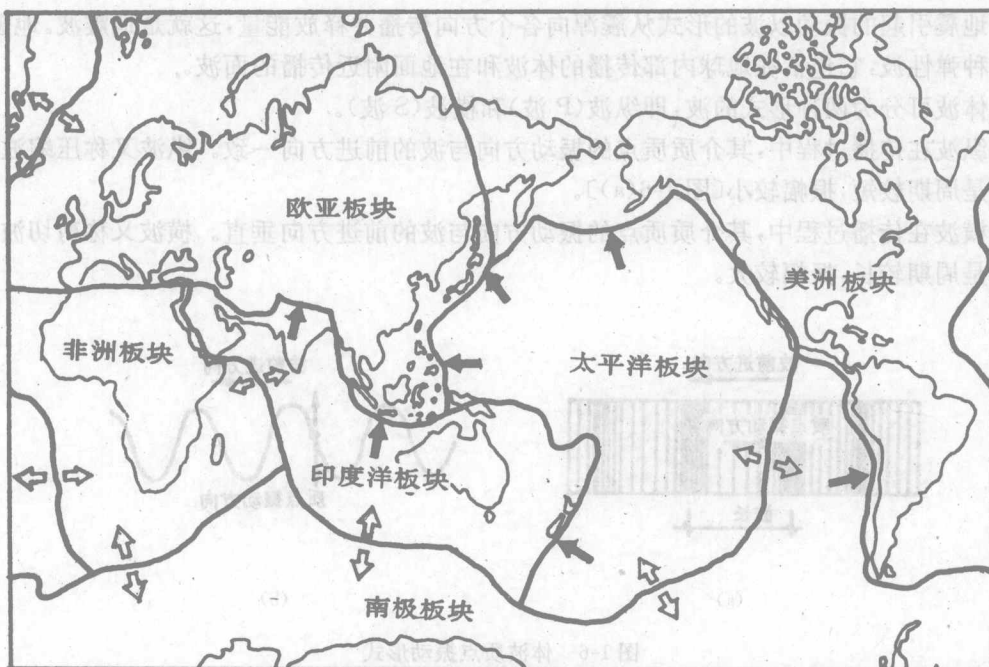


图 1-4 全球大板块划分示意图

1.2 地震特征描述

地震在发生的空间、强度、时间等方面有很大的随机性。为了同地震灾害作斗争，需要对地震的特征加以描述，下面介绍描述地震空间位置、强度大小和发生时间的有关概念。

1.2.1 地震空间位置

图 1-5 示意了描述地震空间位置的常用术语。震源是指地球内部发生地震首先射出地震波的地方，往往也是能量释放中心。震源在地面上的投影称为震中。震源到地面的垂直距离，或者说震源到震中的距离称为震源深度。地面某处到震中的距离称为震中距。地面某处到震源的距离称为震源距。震中周围地区称为震中区。地面振动最剧烈、破坏最严重的地区称为极震区，极震区一般位于震中附近。

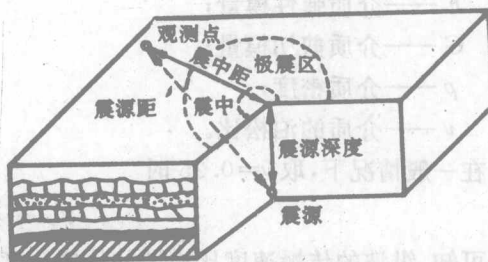


图 1-5 地震术语示意图

地震按震源深浅可分为浅源地震(震源深度小于 60km)、中源地震(震源深度在 60~300km)和深源地震(震源深度大于 300km)。其中浅源地震造成的危害最大，全世界每年地震释放的能量约有 85% 来自浅源地震。我国发生的地震绝大多数是浅源地震，震源深度在 10~20km。

1.2.2 地震强度度量

1. 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。地震波是一种弹性波,它包括在地球内部传播的体波和在地面附近传播的面波。

体波可分为两种形式的波,即纵波(P波)和横波(S波)。

纵波在传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向一致。纵波又称压缩波,其特点是周期较短,振幅较小[图 1-6(a)]。

横波在传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向垂直。横波又称剪切波,其特点是周期较长,振幅较大。

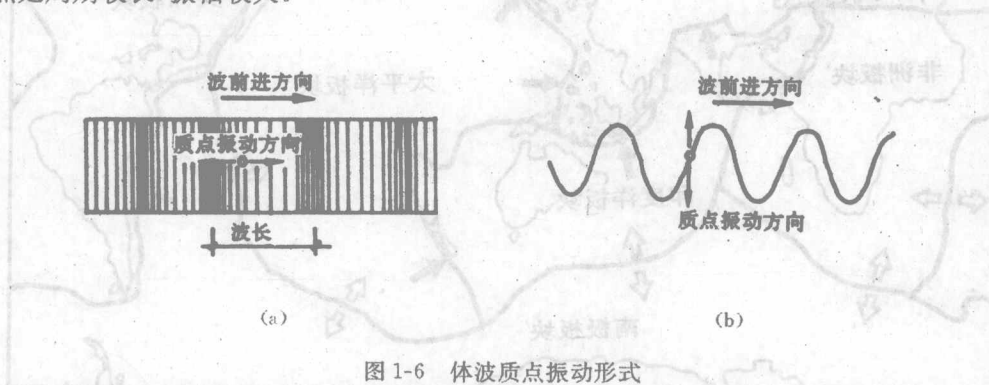


图 1-6 体波质点振动形式

根据弹性理论,纵波和横波的传播速度可分别用下列公式计算:

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

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

式中, V_P ——纵波波速;

V_S ——横波波速;

E ——介质弹性模量;

G ——介质剪切模量;

ρ ——介质密度;

ν ——介质的泊松比。

在一般情况下,取 $\nu=0.25$ 时

$$V_P = \sqrt{3} V_S \quad (1-3)$$

由此可知,纵波的传播速度比横波的传播速度要快。所以当某地发生地震时,在地震仪上首先记录到的地震波是纵波,随后记录到的才是横波。先到的波通常称为初波(Primary wave),或P波;后到的波通常称为次波(Secondary wave),或S波。

面波是体波经地层界面多次反射形成的次生波,它包括两种形式的波,即瑞雷波(R波)和乐甫波(L波)。瑞雷波传播时,质点在波的前进方向与地表面法向组成的平面内[图 1-7(a) xz 平面]作逆向椭圆运动;乐甫波传播时,质点在波的前进方向垂直的水平方向[图 1-7(a) y 方向]作蛇形运动。与体波相比,面波周期长,振幅大,衰减慢,能传播到很远的地方。

地震波的传播速度,以纵波最快,横波次之,面波最慢。纵波使建筑物产生上下颠簸,横波使建筑物产生水平摇晃,而面波使建筑物既产生上下颠动又产生水平晃动,当横波和面波

都到达时振动最为剧烈。一般情况下,横波产生的水平振动是导致建筑物破坏的主要因素;在强震震中区,纵波产生的竖向振动造成的影响也不容忽视。

2. 震级

地震震级是表示地震本身大小的等级,它以地震释放的能量为尺度,根据地震仪记录到的地震波来确定。

1935 年里克特(Richter)给出了震级的原始定义:用标准地震仪(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 处记录到的最大水平位移(单振幅,以 μm 计)的常用对数值。表达式为

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

式中, M —震级,即里氏震级; A —地震仪记录到的最大振幅。

例如,某次地震在距震中 100km 处地震仪记录到的振幅为 10mm 即 10000 μm ,取其对数等于 4,根据定义这次地震就是 4 级。实际上地震发生时距震中 100km 处不一定有地震仪,现在也都不用上述的标准的地震仪,需要根据震中距和使用仪器对(1-4)式确定的震级进行修正。

震级 M 与震源释放的能量 E (尔格)之间有如下对应关系。

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

上式表明,震级每增加一级,地震释放的能量增大大约 32 倍。

一般地说,小于 2 级的地震,人感觉不到,称为微震;2~4 级地震,震中附近有感,称为有感地震;5 级以上地震,能引起不同程度的破坏,称为破坏地震;7 级以上的地震,则称为强烈地震或大地震;8 级以上地震叫作特大地震。到目前为止,世界上记录到的最大的一次地震是 1960 年 5 月 22 日发生在智利的 8.5 级地震。

3. 烈度

地震烈度是指某地区地面和各类建筑物遭受一次地震影响的强弱程度,它是按地震造成的后果分类的。相对震源来说,烈度是地震场的强度。一次地震表示地震大小的震级只有一个,但同一次地震对不同地点的影响是不一样的,因而烈度随地点的变化而有差异。一般来说,距震中越远,地震影响越小,烈度越低;距震中越近,地震影响越大,烈度越高。震中区的烈度称为震中烈度,震中烈度往往最高。

为了评定地震烈度,需要制定一个标准,目前我国和世界上绝大多数国家都采用 12 等级划分的地震烈度表。我国 1980 年修订的地震烈度表见附录一,它是根据地震时人的感觉、器物的反应、建筑物破坏和地表现象划分的。上述烈度标准只是地震现象的宏观描述,缺乏定量指标。从工程抗震角度,需要具体的物理量作为建筑抗震设计的量化依据,各国地震工作者已进行了不少研究,试图把烈度宏观现象描述和地面运动物理量对应起来,赋予烈度定

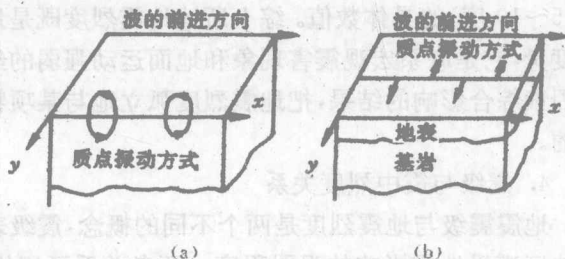


图 1-7 面波质振动

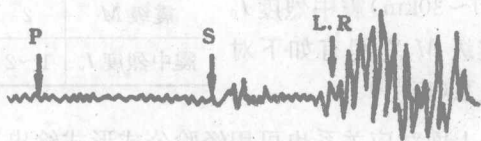


图 1-8 地震波记录图

量指标。附表一把地面运动最大加速度和最大速度作为参考物理指标,给出了对应于不同烈度(5~10度)的具体数值。综上所述地震烈度既是地震后果的一种评价,又是地面运动的一种度量,它是联系宏观震害现象和地面运动强弱的纽带。需要指出的是,地震造成的破坏是多因素综合影响的结果,把地震烈度孤立地与某项物理指标联系起来的观念是片面的、不适当的。

4. 震级与震中烈度关系

地震震级与地震烈度是两个不同的概念,震级表示一次地震释放能量的大小,烈度表示某地区遭受地震影响的强弱程度。两者关系可用炸弹爆炸来解释,震级好比是炸弹的装药量,烈度则是炸弹爆炸后造成的破坏程度。震级和烈度只在特定条件下存在大致对应关系。

对于浅源地震(震源深度

表 1-1 震中烈度 I_0 与震级 M 之间对照关系

在 10~30km)震中烈度 I_0

和震级 M 之间有如下对

照关系(表 1-1)。

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

上面对应关系也可用经验公式形式给出

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \quad (1-6)$$

1.2.3 地震时间描述

发震时刻指地震发生的时间,用仪器记录一般可准确到 0.1 秒,或更高精度。

强震持时指地震发生时强震阶段持续的时间,可自几秒到几十秒甚至上百秒。地面运动持续时间对建筑物破坏有很大影响,持时长会加重结构破坏程度。强震持时的确定方法将在后面章节给出。

地震序列是指一定时间内在相近地区相继发生的一系列大小地震。地震序列中最强烈的一次叫做主震;主震前的一系列小地震叫做前震;主震后的一系列地震叫做余震。根据地震活动和释放能量特点,地震序列大致可分为三种基本类型。主震余震型地震:这类地震前震较少,主震震级突出,释放的能量一般占全序列能量的 80% 以上,而余震较多数目不绝。例如唐山地震,1976 年 7 月 28 日凌晨发生 7.8 级强震后,当天就发生一次 7.1 级强余震和 10 次大于 6 级的较强余震,以后余震逐渐衰减;震群型地震:这类地震没有突出的主震,前震和余震较多,地震能量是通过多次震级相近的地震释放出来。例如邢台地震,1963 年 3 月 8 日发生 6.8 级强烈地震,接着 3 月 22 日在 8 分钟内相继发生 6.8 级和 7.2 级两次强震,随后又发生两次 6 级以上地震;单发型地震:这类地震几乎没有前震和余震,地震能量基本上通过主震一次释放。例如 1976 年 4 月 6 日发生内蒙古和林格尔的 6.3 级地震就属此类地震。在上述三种类型地震中,主震余震型地震约占 60%,震群型占 30%,单发型仅占 10% 左右。

1.3 地震活动与地震灾害

1.3.1 世界地震活动

地震是一种随机现象,从统计的角度,地震的时空分布呈现某种规律性。在地理位置上,地震震中呈带状分布,集中于一定的区域;在时间过程上,地震活动疏密交替,能够区分出相对活跃期和相对平静期。根据历史地震的分布特征和产生地震的地质背景,可以编绘出世界地震震中分布图(图 1-9)。由图可明瞭地球上的地震活动集中分布在两个主要地震带和其

他几个次要地震带。世界上的两个主要地震带是：

(1) 环太平洋地震带。它从南美洲西海岸起,经北美洲西海岸、阿留申群岛转向西南至日本列岛;然后分成东西两支,西支经我国台湾省、菲律宾至印尼,东支经马里亚纳群岛至新几内亚;两支汇合后,经所罗门群岛至汤加,再向南转向新西兰。该地震带的地震活动最强,全球地震总数的 75% 左右发生于此。

(2) 欧亚地震带又称地中海南亚地震带,西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部,再经我国西部和西南地区,由缅甸至印尼与环太平洋地震带相衔接。全球地震总数的 22% 左右发生于此地震带内。

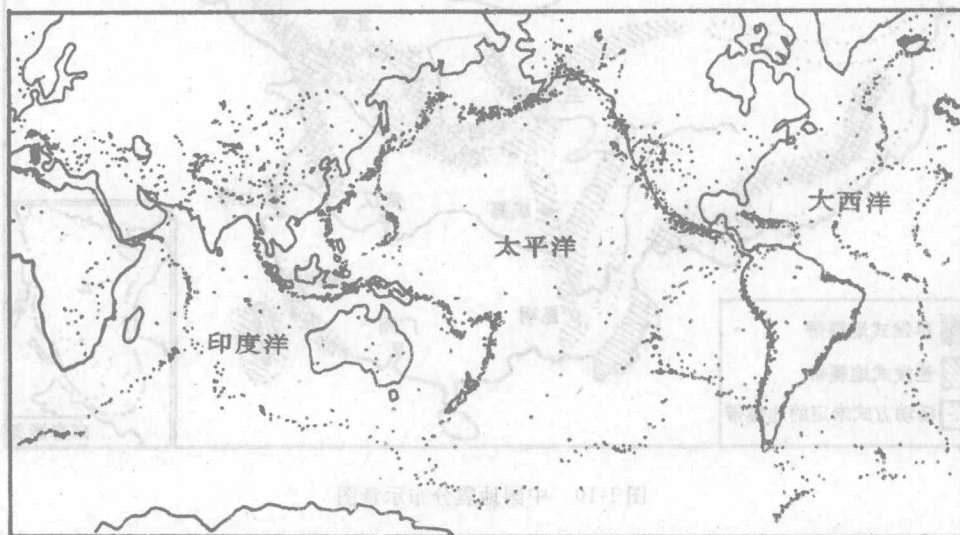


图 1-9 世界震中分布示意图

除了上述两条主要地震带以外,在大西洋、太平洋、印度洋中也有一些洋脊地震带,沿着洋底隆起的山脉延伸。这些地震带与人类活动关系不大,地震发生的次数在地震总数中占的比例亦不高。

对比一下板块划分图(图 1-4)可知,上述地震带大多数位于板块边缘,或者邻近板块边缘。

1.3.2 我国地震活动

我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带之间,是一个多地震国家。从地震地质背景看,我国存在发生频繁地震的复杂地质条件,因此,我国境内地震活动频度较高,强度较大。图 1-10 给出了我国历史上震级大于 6 级的地震活动分布图,由图可见地震活动呈带状分布,从中可以归分 10 个地震区:台湾地震区、南海地震区、华南地震区、华北地震区、东北地震区、青藏高原南部地震区、青藏高原中部地震区、青藏高原北部地震区、新疆中部地震区和新疆北部地震区。

上述地震区中,台湾地震区、南海地震区和华南地震区中的一部分,属环太平洋地震带,是由太平洋板块与欧亚板块挤压引起的。其中台湾东部是我国地震活动最强、频度最高的地区。青藏高原南、中、北部地震区和新疆中、北部地震区,属欧亚地震带,其活动与印度板块俯冲欧亚板块的运动有密切关系,除青藏高原北部地震区外,均属地震活动程度强烈地区。华

北地震区主要是古生代褶皱系统,由一系列大断裂带组成,是典型的板块内部地震区,近期活动较为活跃。

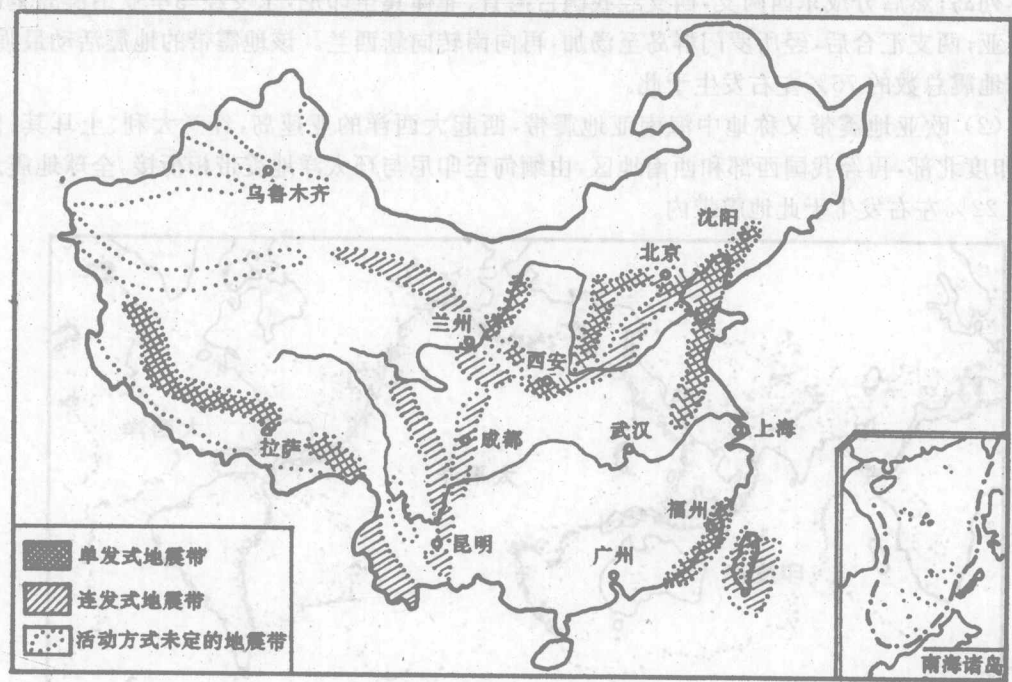


图 1-10 中国地震分布示意图

1.3.3 地震灾害

地震灾害以其发生突然、破坏惨重被认为是威胁人类生存与发展的最大自然灾害之一。全世界平均每年发生破坏性地震近千次,其中震级达 7 级以上的大地震约十几次,表 1-2 列出近 20 年来国内外部分灾害性大地震的情况。

我国是一个多地震国家。地震分布范围广,抗震设防的国土面积约占全国国土面积的 60%;地震频度高,强度大,本世纪以来已发生 7 级以上地震逾百次;地震震源浅,灾害重,绝大多数地震都是浅源地震,震源深度在 30km 以内,因而人员伤亡惨重,经济损失巨大。

地震成灾有三种机制,一是由地震造成的直接灾害(一次灾害),如地

表 1-2 近 20 年世界部分大地震情况

时 间	地 点	震 级	震中烈度	震源深度 (km)	震亡人数
1975.2.4	中国海城	7.3	9	12	1300
1976.7.28	中国唐山	7.8	11	16	24 万
1976.8.17	菲律宾	7.9		33	6500
1976.11.24	土耳其	7.3		36	5000
1977.3.4	罗马尼亚	7.2	8	94	1500
1978.6.12	日 本	7.5		42	约 20
1978.9.16	伊 朗	7.7		33	3.6 万
1979.12.12	厄瓜多尔	7.9		32	800
1980.10.10	阿尔及利亚	7.3			4500
1983.10.30	土耳其	7.1			1300
1985.9.19	墨西哥	8.1			9500
1988.12.7	亚美尼亚	7.1	9		2.5 万
1989.10.19	美国旧金山	7.1			约 60
1995.1.17	日本神户	7.2		20	5000

表的破坏,建筑物倒塌等;二是由直接灾害继发的次生灾害(二次灾害),如地震后的火灾、水灾、海啸、毒气逸散等;三是由前面两种灾害引起的诱发灾害(三次灾害),如工厂停产、城市瘫痪、瘟疫蔓延等。

1. 直接灾害

(1) 地面的破坏。地震造成的地表破坏有地面裂缝、滑坡塌方、砂土液化和软土震陷等。地裂缝主要有两种,一种是构造地裂缝,它是地下断层错动在地表留下的痕迹。这种地震缝与地下断层走向一致,可断断续续延伸几公里至几十公里甚至数百公里。1906年美国旧金山8.3级地震圣安德烈斯断层延伸约430km,断层上一栅栏错动达2.6m。另一种是重力地裂缝,地震时由于地貌重力作用,地面土体受到挤压、伸张、旋扭产生的结果。常发生在古河道、河湖堤岸等地表土质松软潮湿的地方。1976年唐山7.8级地震时,天津附近某疗养院内出现地裂缝,地裂缝垂直及水平错位达0.9m左右,地裂原因是该院建于古河道填土之上。滑坡塌方多发生在山区或丘陵地区。地震时滑坡可以切断公路,冲毁房屋;大的滑坡还会吞没村庄、堵塞河流。1970年秘鲁利马7.7级地震,引起海拔6770m的华斯卡兰山峰崩塌,大量的崩塌物滑入山谷湖中,致使湖水上涨决口,大约100万 m^3 泥石流,从3700m高度飞泄而下,附近一座2万人口的城市瞬间埋没。

砂土液化是饱和砂土在地震作用下丧失抗剪承载力所致,一般发生在地下水位较高,砂层埋深较浅的沿海或平原地区。地震时的强烈振动会使含水层受到挤压,地下水从地裂缝或土质松软的地方夹带砂土冒出地面,形成喷水冒砂现象。砂土液化会造成地面不均匀沉降和地基失效,从而导致建筑物和工程设施严重破坏。1964年日本新潟7.5级地震中,发生大面积砂土液化并伴随喷水冒砂,造成地基失效,房屋倾倒。1976年唐山地震时,天津市区内喷水冒砂处约50个,喷水冒砂点近万个。

软土震陷发生于高压缩性的饱和软粘土和强度较底的淤泥质土地区。在强烈地震作用下,软土被压密,产生不均匀沉陷,导致建筑物开裂、倾斜乃至破坏倒塌。唐山地震时,天津新港某处住宅群发生不均匀沉陷380mm,房屋严重倾斜,无法继续使用。

(2) 工程结构的破坏。地震对各类建筑物的破坏是造成地震灾害的主要原因,按房屋破坏机理划分,工程结构的破坏主要表现在承重结构强度不足,结构丧失整体性和地基失效等方面。

对于设计时没有考虑抗震设防或抗震设防不足的结构,地震作用附加于建筑物或构筑物上,不仅使结构构件的内力突然增大,而且往往改变构件的受力方式,使得构件因强度不足而破坏。例如承重砖墙,受到附加水平地震力的作用,墙面产生交叉裂缝,发生剪切破坏。又如钢筋混凝土柱在地震力作用下被剪断、压溃等都是结构强度不足引起的破坏。

工程结构是由许多构件组成,对于构件间连接薄弱,空间整体性较差的建筑物,有时各部分主要受力构件并未破坏,由于构件连接不牢,支承长度不够和支撑数量不足致使结构丧失整体性而破坏。

地基失效破坏是指地震作用下地基丧失承载力引起的结构破坏。地面裂缝、砂土液化、软土震陷等都会使地基承载力下降,结构物发生不均匀沉降,严重的会使上部结构拉裂以至倒塌。

需要指出,地基失效破坏是由于地基失效产生过大位移引起的结构破坏,属静力作用;

而结构强度不足,空间整体性差造成的破坏,则是由于振动产生的惯性力引起,属动力作用。

2. 次生灾害

地震时建筑物或其他设施遭受破坏而导致的一系列继发性灾害称为次生灾害。在城市或人口稠密地区,有时次生灾害造成的损失比地震直接造成的损失还要大。

次生灾害中首先是火灾,房屋倒塌后火源失控极易起火,同时震后消防系统受损,火势得不到有效控制,往往酿成火灾。1923年日本关东大地震,震倒房屋13万栋,震后大火蔓延,烧毁房屋竟达45万栋。其次是水灾,地震时或因河堤水坝毁坏,或因山崩滑坡堵塞河流,均可引起水灾。1786年四川康定地震,大渡河沿岸发生山崩,引起河道堵塞,10天后河岸溃决洪水吞没10余万百姓。再次是海啸,地震产生的地震波能在海洋中激起巨浪,引起海啸,洗劫沿岸村镇和码头设施。1960年发生在海底的智利大地震激起6m高的巨浪,吞没了智利中南部沿海的村落和海港,海啸还以每小时640km速度横扫太平洋,23小时后到达日本本洲和北海道海岸,使海港设施和码头建筑遭到严重破坏。在岩手县海岸一条大渔轮被4m高的浪头抛上码头40多米远。地震引起的毒气逸散也时有发生,厂房、仓库的倒塌会使贮存有毒物质的容器破坏,导致毒气、毒液泄漏,造成灾害。1978年日本伊豆近海地震,某矿业公司蓄水坝开裂,被氰化物污染的泥水排入附近河中,致使10万条鱼中毒死亡。

3. 诱发灾害

由地震直接灾害和次生灾害引发的各种社会性灾害称为诱发灾害。地震发生在人口密集的工业城市,会使供电、供水、通讯、交通等生命线工程遭到破坏,造成震后社会功能混乱,城市陷入瘫痪状态。地震还会毁坏生产设施,扭曲人的心理,恶化工农业生产条件,影响正常经济发展。地震能够带来各种疾病流行。地震还能导致计算机事故,在高科技时代,大量金融、商务、科技信息被贮存在计算机中,一旦计算机系统在地震中受损、丧失记忆,将会引起混乱和灾害。