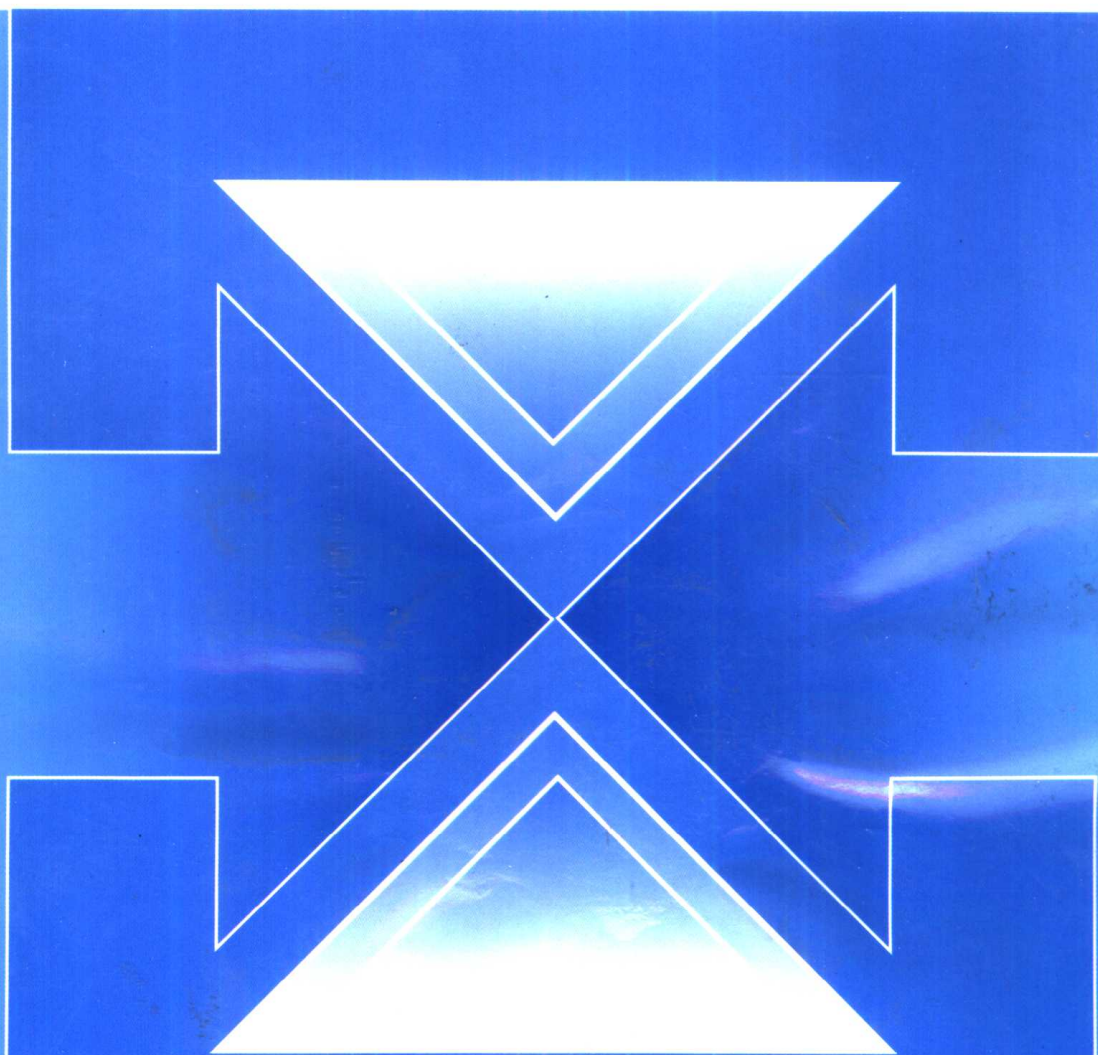


高等学校教材

工程结构抗震设计

阎兴华 韩 淼 主编



中国计量出版社

高等学校教材

工程结构抗震设计

阎兴华 韩 森 主编

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震设计/阎兴华,韩森主编. —北京:中国计量出版社,2000.1

ISBN 7-5026-1265-3

I. 工… I. ①阎…②韩… II. 抗震结构-结构设计 IV. TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 01799 号

内 容 提 要

本书是为了适应高等院校专业调整及国民经济发展的新形势而编写的。书中除了一般的建筑结构抗震设计的内容外,还包括了“桥梁结构抗震设计”、“钢结构抗震设计”以及“工程结构的隔震与减震”等内容。

本书在编写过程中力求概念清晰、文字简练,重点突出。为了方便教学和自学,书中给出了适量的例题,并在章节后附有思考题和习题。

本书可作为大专院校土木工程专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16开本 印张16.75 字数407千字

2000年2月第1版 2000年2月第1次印刷

*

印数1—3000 定价:26.00元

前 言

本书是为了适应高等院校专业调整及国民经济发展的新形势而编写的。书中除了一般的建筑结构抗震设计的内容外，还包括了“桥梁结构抗震设计”、“钢结构抗震设计”以及“工程结构的隔震与减震”等内容，以期满足调整后的土木工程专业的教学要求，并对地震工程领域的新成果给以适当反映。

本书以《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)、《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)以及其他相关的国家现行规范为主要编写依据。在编写过程中力求概念清晰、文字简练、重点突出。为了方便教学和自学，书中给出了适量的例题，并在每章后附有思考题和习题。本书可作为大专院校土木工程专业的教材，也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

本书由北京建筑工程学院编写。各章的编写者分别为：阎兴华：第一章及第三章的十、十一节；韩淼：第二章；罗键：第三章的一至九节；曾杰：第四章；何渐渐：第五章；刘栋栋：第六章及第九章；赵赤云：第七章；周坚：第八章。本书的主编为阎兴华，副主编为韩淼。

由于编者水平所限，加之专业调整后的教学实践不足，书中会有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

1999年10月

目 录

第一章 地震及抗震设计基本原则	(1)
第一节 地震成因及其分类	(1)
第二节 震源、震中、地震波	(4)
第三节 震级和烈度、近震、远震	(6)
第四节 地震的破坏作用	(13)
第五节 抗震设防目标	(17)
第六节 抗震设计的基本原则	(20)
思考题及习题	(22)
第二章 场地、地基和基础	(24)
第一节 工程地质条件对震害的影响	(24)
第二节 场地	(25)
第三节 地基基础抗震验算	(28)
第四节 地基土的液化	(30)
第五节 地基抗震措施及处理	(34)
思考题及习题	(36)
第三章 地震作用计算及结构抗震验算原则	(38)
第一节 单自由度弹性体系的地震反应	(38)
第二节 地震反应谱	(42)
第三节 多自由度弹性体系的地震反应	(46)
第四节 振型分解反应谱法	(54)
第五节 底部剪力法	(56)
第六节 时程分析法简介	(60)
第七节 水平地震作用下的扭转效应	(62)
第八节 竖向地震作用	(64)
第九节 结构自振周期的近似计算	(66)
第十节 地震作用计算的一般规定	(75)
第十一节 结构抗震验算	(75)
思考题及习题	(79)
第四章 多层砌体结构抗震设计	(81)
第一节 多层砌体结构抗震设计的一般规定	(81)
第二节 多层砌体结构抗震验算	(84)

第三节	多层砌体结构抗震构造措施	(92)
第四节	底层框架砌体结构抗震设计	(103)
第五节	多层内框架砌体结构抗震设计	(107)
	思考题及习题	(110)
第五章	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	(111)
第一节	钢筋混凝土排架厂房的震害	(111)
第二节	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计原则	(114)
第三节	单层钢筋混凝土柱厂房的横向抗震计算	(116)
第四节	单层钢筋混凝土柱厂房的纵向抗震计算	(126)
第五节	抗震构造措施	(139)
	思考题及习题	(154)
第六章	多高层钢筋混凝土结构抗震设计	(156)
第一节	抗震设计一般规定	(156)
第二节	地震作用计算	(160)
第三节	框架结构抗震设计	(161)
第四节	框架-剪力墙结构抗震设计	(180)
	思考题及习题	(194)
第七章	钢结构抗震设计	(196)
第一节	抗震设计一般规定	(196)
第二节	钢结构抗震计算	(200)
第三节	抗震构造措施	(205)
	思考题及习题	(211)
第八章	桥梁结构抗震设计	(212)
第一节	桥梁结构抗震设计的基本知识	(212)
第二节	桥梁结构抗震设计反应谱的特点与地震力计算	(217)
第三节	桥梁结构抗震设计	(226)
第四节	示例	(232)
	思考题及习题	(248)
第九章	工程结构的隔震与减震	(249)
第一节	结构减震控制的基本概念	(249)
第二节	基础隔震	(252)
第三节	结构消能减震	(256)
参考文献	(260)

第一章 地震及抗震设计基本原则

第一节 地震成因及其分类

地震是一种和刮风、下雨一样的自然现象。据统计，世界上每年都会发生数百万次地震，其中绝大多数是人们感觉不到的微小地震，只有地震测量仪器才能记录下它们的活动。人们能够感觉到的有感地震每年发生约 5 万次，其中能够造成严重破坏的强烈地震平均每年发生近 20 次，如 1976 年我国河北的唐山地震、1994 年美国加州的北岭地震、1995 年日本的阪神地震均属于这种破坏性严重的强震。

一、地震成因及类型

地震究竟是如何形成的呢？不同类型的地震其成因是不同的。根据地震成因，可以把地震大致分为三类：火山地震、陷落地震、构造地震。

由于火山爆发，岩浆猛烈冲出地面时引起的地面振动称为火山地震。

由于地表或地下岩层因某种原因（如较大地下溶洞的塌陷或古旧矿坑的塌陷），突然造成大规模陷落和坍塌时，导致的地面振动称为陷落地震。

由于地壳的构造运动使得地壳的岩层在其薄弱部位突然发生断裂、错动而引起地震，称为构造地震。

火山地震和陷落地震的影响范围及破坏程度均较小；构造地震的影响范围广、破坏性大，结构工程抗震设计中的地震作用就是指构造地震对各种结构物产生的地震效应。下面将对构造地震的发生和发展过程作进一步的描述。

我们知道，地壳是由各种岩层构成的。由于地球自身的运动以及其他天体（如太阳、月亮等）对地球的引力作用，地球内部存在着大量的能量，这些能量使得地壳承受着巨大的作用力并处于虽然缓慢但连续不断的变动之中，地球表面广大地区的上升、下沉或倾斜就是这种变动的结果。地壳中的岩层在这种巨大的力的作用下，将偏离其原始的平行状态，发生褶皱变形，当岩层中某些脆弱部位的岩石强度承受不了这种力的作用时，岩层便发生突然的断

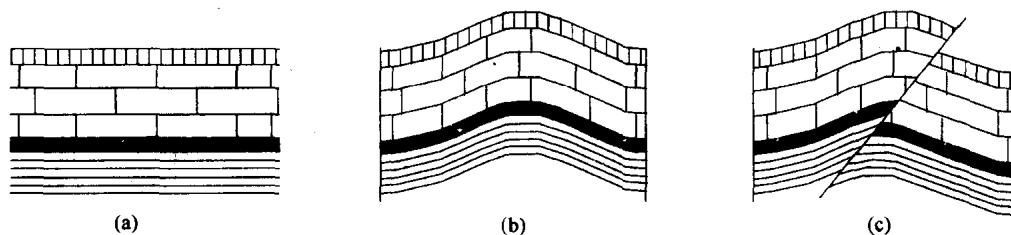


图 1-1 构造地震形成示意图

(a) 岩层原始状态 (b) 受力后发生变形 (c) 岩层断裂产生震动

裂和错动，形成断层（图 1-1），引发剧烈的振动，并以弹性波的形式将振动能量向地面传播，导致地面运动，即构造地震。

二、地震序列

由于岩层的断裂往往不是沿着一个平面发生，而是形成由一系列裂缝组成的破碎地带，而整个破碎地带的岩层不可能同时达到新的平衡状态，因此一次大的地震通常总要伴随多次中小地震的发生。这种在一定时间内相继发生在相近地区的一系列大小地震称为地震序列。

某一序列地震中，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。

根据地震能量释放和地震活动的特点，地震序列可以分为如下三种基本类型：

(1) 主震型 序列中主震很突出，主震释放的能量占全序列的绝大部分，是破坏性地震中常见的一种类型。

(2) 群震型 或称为多发型地震。没有突出的主震，主要能量是通过多次震级相近的地震释放出来。

(3) 孤立型 或称为单发型地震。前震和余震都很稀少甚至没有，地震能量基本上通过主震一次释放出来。

三、地震分布

构造地震的发生与地质构造密切相关，一般说来地震大多发生在如下区域：活动性大断裂带的两端和拐弯的部位，两条活动断裂带的交汇处，以及现代断裂差异运动变化剧烈的大型隆起和凹陷的转换地带。这些区域的地应力比较集中，地质构造比较脆弱，往往易于发生地震。

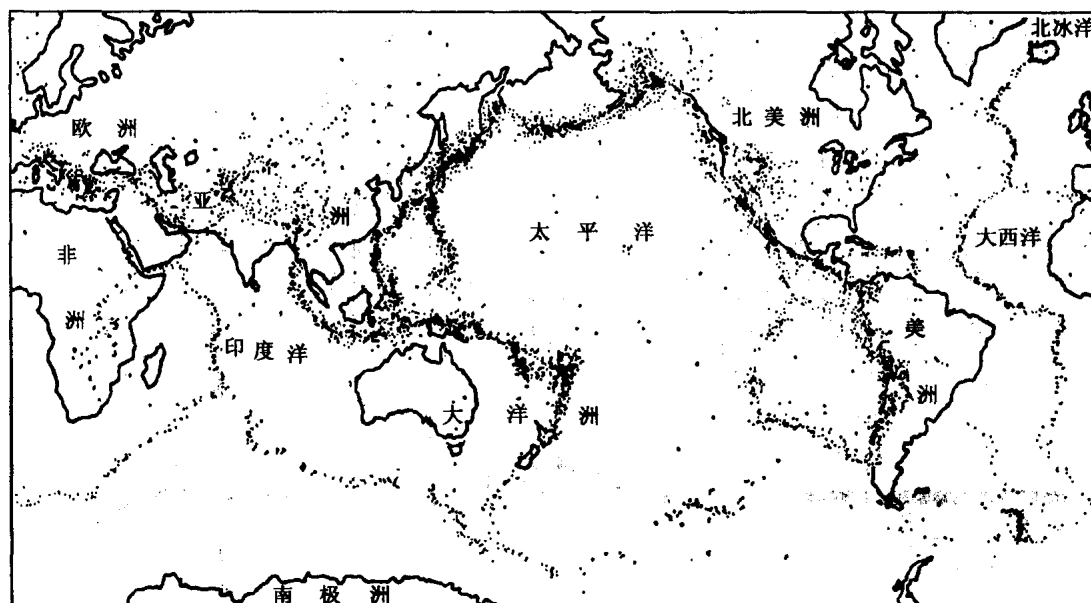


图 1-2 世界地震震中分布略图

地震在世界上的分布并不是均匀的,大部分集中在太平洋沿岸和欧亚两洲大陆的南端,主要有两条活动地震带(图 1-2)。

1. 太平洋沿岸地震带

沿南、北美洲西海岸从阿拉斯加经阿留申至堪察加,转向西南沿千岛群岛至日本列岛,然后分成两支,一支向南经马里亚纳至伊里安,另一支向西南经我国台湾省、菲律宾、印度尼西亚至伊里安,两支在此汇合后经所罗门至新西兰。这一地震带的地震活动性最强,发生地震的数量达世界地震总数的 80%~90%。

2. 阿尔卑斯地震带(又称地中海地震带或欧亚地震带)

西起大西洋亚速岛,经地中海、希腊、土耳其、印度北部、我国西部和西南地区,经缅甸至印度尼西亚与太平洋地震带相遇。

此外,在大西洋、太平洋和印度洋中也有呈条形分布的地震带。

我国处于两大活动地震带的中间,是一个多发地震的国家。我国地震活动带的分布见图 1-3。

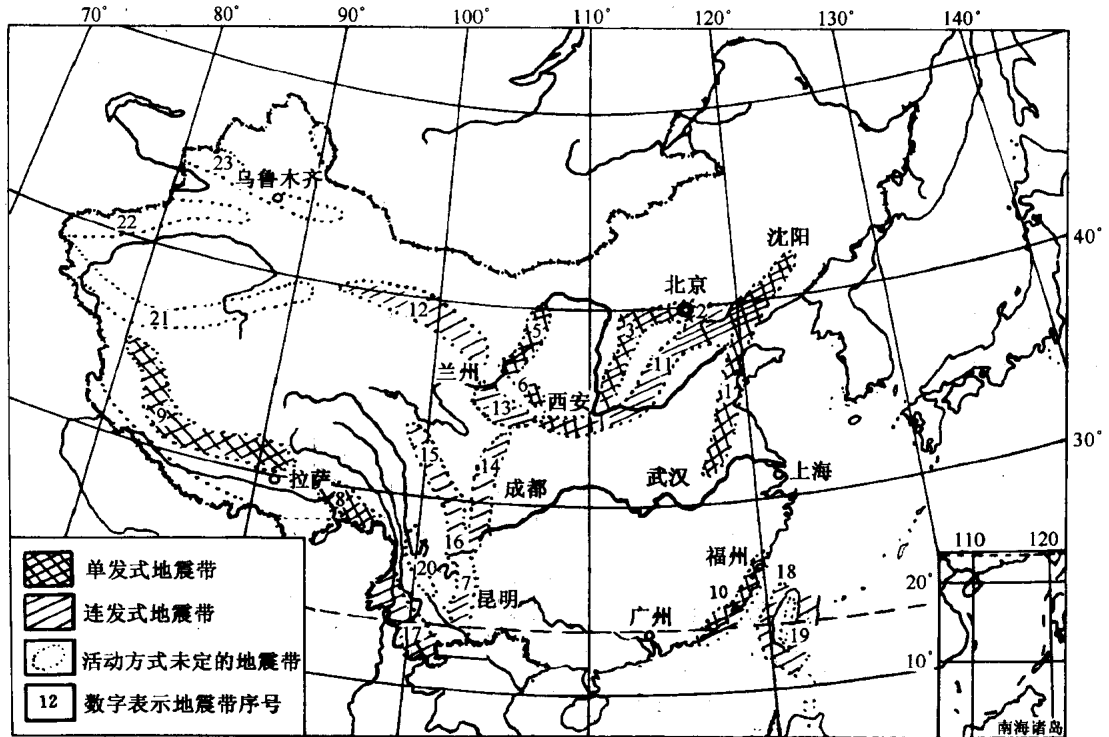


图 1-3 我国地震活动带示意图

由图可以看出,我国的地震活动带大致可以划分成 6 个区域:①台湾及其附近海域;②喜马拉雅山脉地震活动区;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。

国内外发生的较大地震列于表 1-1。

表 1-1 国内外较大地震

时间	地点	震级	震中距 (km)	加速度峰值 (m/s ²)	持续时间 (s)	场地类别
1940. 5. 18	EL centro	6. 7	9. 3	341. 7	24. 5	4
1952. 7. 21	Taft	7. 7	43	175. 9	28. 9	3
1966. 6. 27	Parkfield	5. 6	32. 4	425. 7	6. 8	4
1978. 9. 16	Tabas Vilage	7. 7	35	800. 5	16. 3	2
1967. 12. 11	Koyna Dam	5. 5	1. 0	525. 0	5. 1	1
1976. 8. 9	北京饭店	7. 8	147. 9	71. 1	20. 7	2
1976. 8. 9	迁安滦河桥	5. 3	8. 2	161. 7	6. 2	1
1976. 11. 15	天津医院	6. 9	40. 9	148. 3	13. 2	3
1976. 8. 16	文县	7. 2	38. 4	148	13. 2	2

第二节 震源、震中、地震波

一、震源和震中

地壳深处发生岩层断裂、错动而引起构造地震的地方称为震源。震源正上方的地面称为震中。震中到震源的距离称为震源深度（图 1-4）。

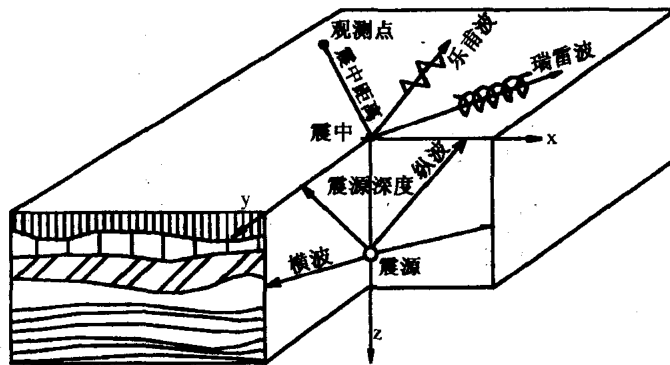


图 1-4 震源、震中示意图

震源深度大于 300km 的地震称为深源地震；震源深度小于 60km 的地震称为浅源地震；震源深度在 60~300km 之间的地震称为中源地震。发生在我国境内的地震绝大多数均为浅源地震，其震源深度一般为 5~40km。

一般说来，对于同样大小的地震，当震源较浅时，波及范围较小，但破坏程度较大；反之，当震源较深时，波及范围较大，但破坏程度较小。世界上绝大多数破坏性地震均发生在

震源较浅的地方，而震源深度超过 100km 的地震在地面上已不致引起地震灾害。

地面上某一点到震中的距离称为震中距。震中附近的区域称为震中区。一般情况下，震中区的地震危害要比震中区以外的地方大得多，故震中区有时又称为极震区。

二、地震波

由震源释放出来的地震能量是以波的形式向四周的地面传播的，这种波称为地震波，它是一种弹性波。

在地壳内部传播的地震波称为体波，在地面附近传播的地震波称为面波。

1. 体波

根据质点运动方向的不同，体波又可分为纵波和横波。纵波的质点运动方向与波传递的方向相同，又称为压缩波。横波的质点运动方向与波传递的方向相垂直，又称为剪切波。

纵波周期较短，振幅较小；横波周期较长，振幅较大。

纵波既可在固体也可在液体中传播；横波只能在固体中传播而不能在液体中传播。

纵波波速为：

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

横波波速为：

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

式中： E ——介质的弹性模量；

G ——介质的剪切模量；

ρ ——介质的密度；

ν ——介质的泊松比。

一般情况下，可以取泊松比 $\nu=0.22$ ，则：

$$V_p = 1.67V_s \quad (1-3)$$

可见纵波的波速比横波快得多，纵波将先于横波到达地面。因此，通常也把纵波称为 P 波（即初波），把横波称为 S 波（即次波）。

在地壳内，纵波波速约为 700~800m/s；横波波速约为 400~500m/s。

2. 面波

由于地球具有层状构造的特点，体波通过分层介质时，将会在界面上反复发生反射和折射。面波是体波经地层界面多次反射后形成的次生波，它只沿地球表面传播，具有瑞雷波和乐甫波两种类型。

瑞雷波传播时，质点在波的传播方向和地表面法向组成的平面内（图 1-5， xz 平面）作椭圆运动，而与该平面垂直的水平方向（图 1-5， y 方向）没有振动，在地面上呈滚动形式。

乐甫波只在与传播方向垂直的水平方向（图 1-5， y 方向）运动，即地面水平运动，或者说在地面上呈蛇形运动形式。

面波的传播速度约为剪切波传播速度的 90%。

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。因此在地震记录图上，纵波最先到达，横波次之，面波到达最晚（图 1-6）。一般当横波和面波都到达时，地面振动

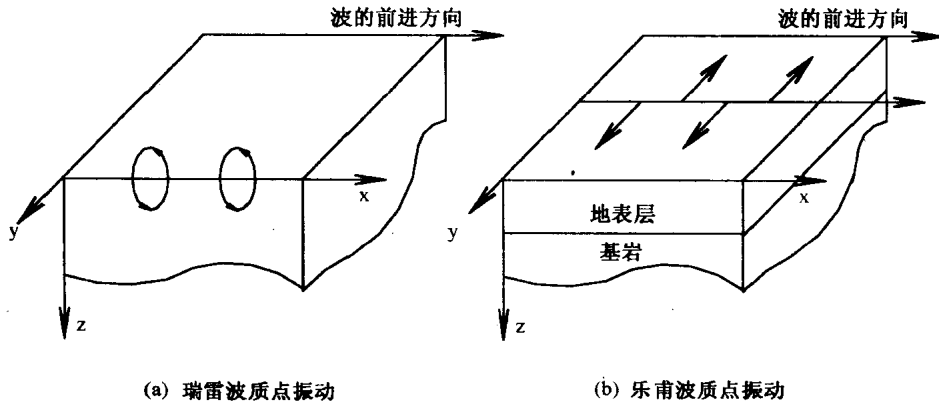


图 1-5 面波质点振动示意图

最为剧烈。

地震现象表明，纵波使结构物产生上下颠簸，横波使结构物产生水平方向摇晃，面波则使结构物产生既上下颠簸又左右摇晃的振动。由于面波的能量大于体波，所以对结构物和地表造成的破坏，以面波为主。

三、地震记录

在工程抗震领域，地震记录主要是指地震时的地面运动加速度记录。一条完整的加速度记录通常包括了东西、南北及上下三个方向的地面运动加速度分量，目前在世界范围内，已取得了数千条有用的地震加速度记录。

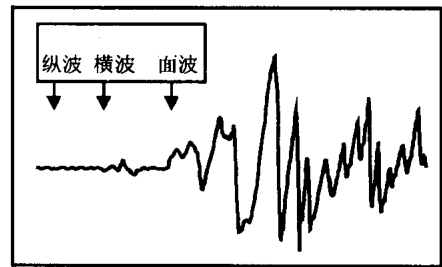


图 1-6 地震波记录图

在进行结构地震反应的动力分析、工程结构的抗震设计以及结构抗震试验时，地震加速度记录提供了地震地面运动输入的初始参数。

用于结构地震反应分析的加速度记录是经过数值化处理以后的记录。

采用不同的地震加速度记录，同一结构的地震反应是不同的。研究表明，地震加速度记录对结构地震反应的影响主要有三个方面：地面运动加速度峰值、频谱特性以及震动持续时间。

第三节 震级和烈度、近震、远震

一、震级

地震震级是表示地震本身大小的尺度，其数值是根据地震仪记录的地震波图来确定的。

目前，用 M 表示的、国际上通用的里氏震级，其定义是 1935 年里希特 (C. F. Richter) 给出的：

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

式中， A 是标准地震仪在距震中 100km 处记录的以微米 ($\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$) 为单位的最大水

平地动位移。所谓标准地震仪是指周期为 0.8s, 阻尼系数为 0.8, 放大倍数为 2800 的地震仪。

实际上, 距震中 100km 处不一定设有地震仪, 而且观测点的地震仪也不一定是上述标准地震仪。因此, 对于采用非标准地震仪且震中距不等于 100km 所确定的震级, 必须进行适当的修正和换算, 才能得到所需要的震级。

震级直接与震源所释放的能量的大小有关, 可以用下述关系式表达:

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

式中: M 为震级; E 为地震能量, 用尔格表示。

一个一级地震所释放的能量约为 2×10^{13} 尔格 (erg), 震级每增加一级, 能量增大 30 倍左右。一个 6 级地震所释放的能量相当于爆炸一颗 2 万吨级的原子弹。

一般说来, 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; 人们可以感觉到了, 称为有感地震; 5 级以上地震就会引起不同程度的破坏, 统称为破坏性地震, 其中 7 级以上的地震称为强烈地震或大地震, 大于 8 级的地震称为特大地震。目前, 世界上已记录到的最大地震震级为 8.9 级。

二、地震烈度

1. 地震烈度

地震烈度是指某一地区地面和各类结构物遭受一次地震影响的强弱程度。

对应于一次地震, 表示地震大小的震级只有一个, 然而由于同一次地震对不同地点的影响是不一样的。因此, 烈度就会随震中距离的远近而有所不同。一般说来, 距震中越近, 地震影响越大, 烈度就越高; 反之, 距震中越远, 地震影响越小, 烈度就越低。震中点的烈度称为震中烈度。

对于浅源地震, 震级 M 与烈度 I 之间的大致对应关系见表 1-2。

表 1-2 震级 M 与烈度 I 的对应关系

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

2. 地震烈度表

地震烈度表是评定地震烈度大小的标准和尺度。

早期的地震烈度表是根据地震的宏观现象, 如人的感觉、器物的反应、地表和各类结构物的影响及破坏程度等, 总结出来的宏观烈度表。我国 1957 年制定的《新中国地震烈度表》就属于宏观烈度表的范畴。由于宏观烈度表不能提供定量的数据, 因此不能直接应用于工程抗震设计。

随着科学技术的发展、强震观测仪器的出现, 人们已经有可能利用记录到的某些地面运动的参数, 如加速度峰值、速度峰值等来定义烈度, 从而出现了将宏观烈度与地震地面运动参数结合起来的地震烈度表。我国国家地震局 1980 年制定的《中国地震烈度表 (1980)》就属于这种烈度表 (表 1-3)。

表 1-3 中国地震烈度表 (1980)

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震害 指数		水平加速度 (cm/s ²)	水平速度 (cm/s)
1	无感					
2	室内个别 静止中的人 感觉					
3	室内少数静 止中的人感 觉	门、窗轻微 作响		悬挂物微动		
4	室内多数 人感觉。室 外少数人感 觉。少数人 梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动， 器皿作响		
5	室内普遍 感觉。室外 多数人感 觉。多数人 梦中惊醒	门窗、屋顶、 屋架颤动作 响，灰土掉落， 抹灰出现微细 裂缝		不稳定器物翻倒	31(22~44)	3(2~4)
6	惊慌失 措，仓皇逃 出	损坏——个 别砖瓦掉落、 墙体微细裂缝	0~0.1	河岸和松软土上出 现裂缝。饱和砂层出 现喷砂冒水。地面上 有的砖烟囱轻度裂缝 掉头	63(45~89)	6(5~9)
7	大多数人 仓皇逃出	轻度破坏 ——局部破 坏、开裂，但 不妨碍使用	0.11~0.30	河岸出现坍方。饱 和砂层常见喷砂冒 水；松软土地裂缝 较多。大多数砖烟囱 中等破坏	125 (90~177)	13 (10~18)
8	摇晃颠 簸，行走困 难	中等破坏 ——结构受 损，需要修理	0.31~0.50	干硬土上亦有裂 缝。大多数砖烟囱严 重破坏	250 (178~353)	25 (19~35)

续表

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震害 指数		水平加速度 (cm/s ²)	水平速度 (cm/s)
9	坐立不 稳。行动的 人可能摔跤	严重破坏 ——墙体龟 裂、局部倒塌， 复修困难	0.51~0.70	干硬土上有许多地 方出现裂缝，基岩上 可能出现裂缝。滑坡， 坍方常见。砖烟囱出 现倒塌	500 (354~707)	50 (36~71)
10	骑自行车 的人会摔 倒。处不稳 状态的人会 摔出几尺 远。有抛起 感	倒塌——大 部倒塌，不堪 修复	0.71~0.90	山崩和地层断裂出 现。基岩上的拱桥破 坏。大多数砖烟囱从 根部破坏或倒毁	1000 (708~1414)	100 (72~141)
11		毁灭	0.91~1.00	地震断裂延续很 长。山崩常见。基岩 上拱桥毁坏		
12				地面剧烈变化、山 河改观		

注：

1) 1~5度以地面上人的感觉为主，6~10度以房屋震害为主，人的感觉仅供参考，11, 12度以地表现象为主。11, 12度的评定，需要专门研究；

2) 一般房屋包括用木构架和土、石、砖墙构造的旧式房屋和单层或数层的、未经抗震设计的新式砖房。对于质量特别差或特别好的房屋，可根据具体情况，对表列各烈度的震害程度和震害指数予以提高或降低；

3) 震害指数以房屋“完好”为0，“毁灭”为1，中间按表列震害程度分级。平均震害指数指所有房屋的震害指数的总平均值而言，可以用普查或抽查方法确定之；

4) 使用本表时可根据地区具体情况，作出临时的补充规定；

5) 在农村可以自然村为单位，在城镇可以分区进行烈度的评定，但面积以1km²左右为宜；

6) 烟囱指工业或取暖用的锅炉房烟囱；

7) 表中数量词的说明，个别：10%以下；少数：10%~50%；多数：50%~70%；大多数：70%~90%；普遍，90%以上。

3. 基本烈度和烈度区划图

地震基本烈度是指在50年期限内，一般场地条件下可能遭遇的超越概率为10%的地震烈度值。

地震烈度区划图是指在地图上按地震基本烈度的差异划分出不同区域的图。也就是说，在地震烈度区划图上，将表示出不同地区的地震基本烈度值。地震烈度区划图不仅表示出了不

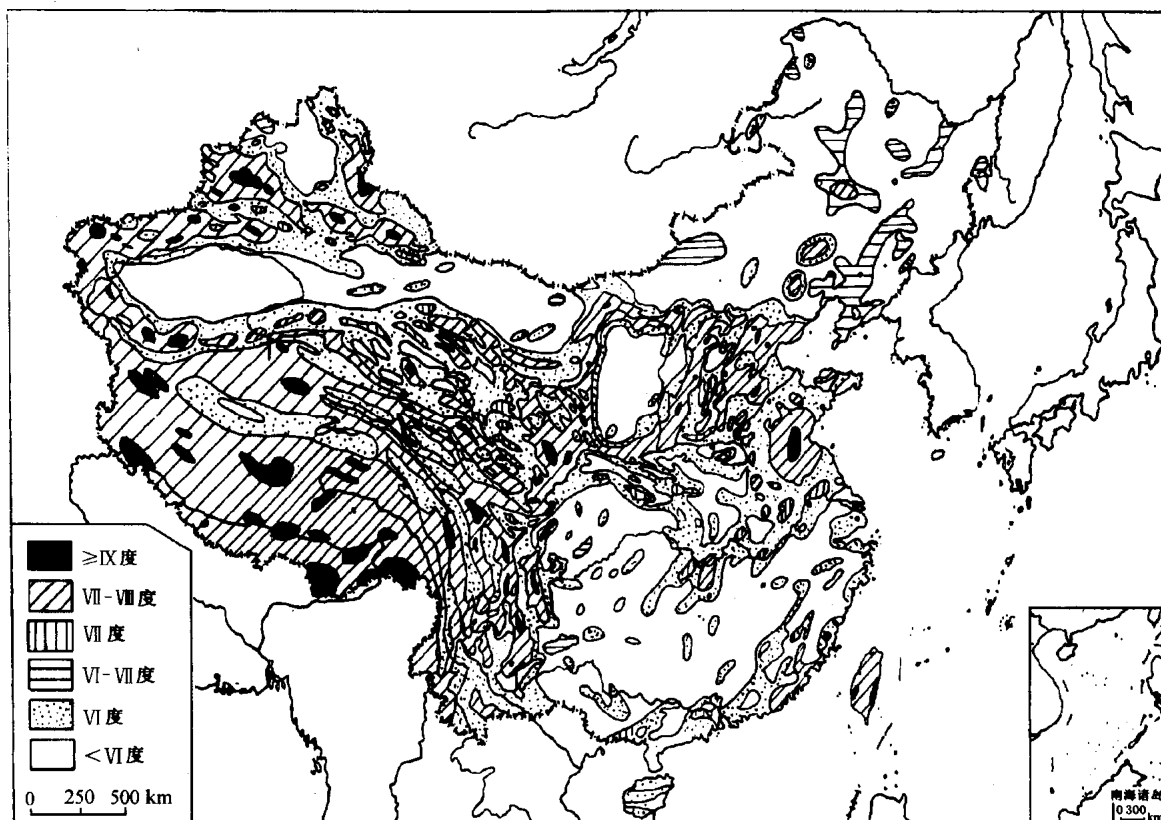


图 1-7 中国地震烈度区划图

同地区的历史震害情况，也给出了各地区未来地震活动的趋向，对工程抗震工作具有重要的指导意义。

根据 1990 年我国编制的《中国地震烈度区划图（1990）》（图 1-7），全国一些主要城市的地震基本烈度如下：

(1) 9 度及 9 度以上的城市

华东区 宿迁；

西北区 昭苏，乌恰；

西南区 康定，西昌，大理，澜沧，墨脱，当雄；

台湾地区 台中，台南，台东，南投，花莲。

(2) 8 度区的城市

华北区 北京市，唐山，廊坊，太原，临汾，呼和浩特，包头，乌海；

华北区 新金，扶余，宁城；

华东区 郟城，泗洪；

中南区 汕头，潮州，范县，新乡，三门峡；

西北区 西安，兰州，天水，银川，石嘴山，独山子，乌鲁木齐，阿克苏，喀什；

西南区 昆明，景洪，畹町，泸定，石棉，拉萨，普兰，林芝，那曲；

台湾地区 台北，高雄，基隆。

(3) 7 度区的城市

华北区 天津市, 邯郸, 张家口, 保定, 秦皇岛, 邢台, 任丘, 大同, 侯马, 阳泉;
 东北区 沈阳, 辽阳, 旅大, 鞍山, 抚顺, 营口, 丹东, 铁岭, 朝阳, 长春, 吉林, 通辽;
 华东区 上海, 南京, 徐州, 连云港, 镇江, 扬州, 淮阴, 泰州, 盐城, 合肥, 阜阳, 六安, 蚌埠, 舟山, 福州, 厦门, 泉州, 漳州, 枣庄, 济宁, 烟台, 德州, 威海;
 中南区 广州, 香港, 深圳, 湛江, 佛山, 珠海, 洋浦, 琼海, 岳阳, 常德, 郑州, 开封, 焦作, 鹤壁;
 西南区 成都, 乐山, 自贡, 攀枝花, 宜宾, 楚雄, 个旧, 日喀则;
 西北区 咸阳, 宝鸡, 安康, 玉门, 嘉峪关, 西宁, 格尔木, 伊宁, 奎屯, 库尔勒。

(4) 6度区的主要城市

华北区 承德, 集宁, 石家庄, 长治;
 东北区 阜新, 本溪, 锦州, 哈尔滨, 大庆, 齐齐哈尔, 延吉;
 华东区 苏州, 无锡, 常州, 铜陵, 芜湖, 马鞍山, 杭州, 宁波, 绍兴, 温州, 济南, 泰安, 青岛, 九江;
 中南区 南宁, 北海, 三亚, 梅州, 肇庆, 洛阳, 武汉, 宜昌, 鄂州;
 西北区 德令哈, 吐鲁番, 哈密;
 西南区 重庆, 贵阳, 六盘水。

据统计, 在全国 450 个城市中, 位于地震区的占 74.5%, 约有一半城市位于基本烈度 7 度和 7 度以上地区。28 个百万以上人口的大城市中, 有 85.7% 位于地震区。

按不同基本烈度的分布面积进行统计, 其结果见表 1-4。

表 1-4 中国地震基本烈度面积分类

地震基本烈度分类	面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	百分比 (%)
5 度及其以下地区	384.5	40.1
6 度区	263.5	27.4
7 度区	206.4	21.55
8 度区	71.3	7.37
9 度区	23.6	2.46
10 度及其以上地区	10.7	1.12
小计	960.0	100.0

4. 等震线

烈度相同区域的外包线称为等震线(或等烈度线)。等震线的形状与地震构造断裂带和地面断裂密切相关, 并与地形、土质等条件有关, 通常为椭圆形状或不规则的封闭曲线。

绘制等震线图时, 通常取一度作为地震烈度的差值。图 1-8 给出了 1976 年我国唐山地震的等震线图。

一般情况下, 等震线的度数随震中距的增大而递减。但有时由于局部地形、地质情况的影响, 也会在某一烈度区内局部出现比它高一度或低一度的烈度异常区。