

建筑抗震理论与设计方法

曹 资 朱志达 编著
王松涛 审核

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书是依据《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)及其1993年局部修订本、《钢筋混凝土高层建筑设计规程》(JGJ 3—91)和1995年《建筑抗震鉴定标准》(GB 50023—95)的主要内容编写的,主要阐述了地震及抗震设计基本原理、建筑场地与地基基础、地震作用、结构动力特性与地震反应分析理论以及多层砌体房屋、单层厂房、多层和高层钢筋混凝土房屋的抗震设计方法,并介绍了我国房屋抗震鉴定及加固的基本原则和方法。

本书可作为高等院校建筑工程、工民建、建筑学专业学生用教材,亦可作为相关专业工程设计与施工技术人员参考书。

建筑抗震理论与设计方法

曹 资 朱志达 编著

王松涛 审核

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

※

1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷

787mm×1092mm 16开本 20.5印张 505千字

印数:1~2000册

ISBN 7-5639-0620-7/T·61

定价:20.00元

目 录

前言

第一章 地震及抗震设计基本原则	(1)
第一节 地震类型及地震灾害	(1)
第二节 地震波、震级和地震烈度	(5)
第三节 我国抗震防灾的形势和战略	(13)
第四节 我国抗震设计的基本原则	(17)
第五节 抗震结构的概念设计	(19)
第二章 建筑场地与地基基础	(24)
第一节 影响地震作用效应的因素	(24)
第二节 建筑场地类别划分	(25)
第三节 地基基础抗震验算	(28)
第四节 场地土液化	(31)
第三章 地震作用及结构抗震验算	(36)
第一节 地震作用及地震反应分析理论的发展	(36)
第二节 体系自由度及动力计算简图	(39)
第三节 单自由度弹性体系的水平地震反应	(40)
第四节 抗震设计反应谱	(44)
第五节 多自由度弹性体系的水平地震反应——振型分解法	(50)
第六节 振型分解反应谱法	(56)
第七节 底部剪力法	(62)
第八节 结构动力特性的近似计算及测试	(65)
第九节 平动扭转耦连振动时结构的抗震计算	(71)
第十节 竖向地震作用	(78)
第十一节 截面抗震验算	(83)
第十二节 结构变形验算	(86)
第十三节 结构弹塑性地震反应的时程分析	(90)
第四章 多层砌体房屋抗震设计	(106)
第一节 概述	(106)
第二节 震害分析	(107)
第三节 建筑布置与结构选型的一般规定	(110)
第四节 多层砌体房屋的抗震验算	(112)
第五节 多层砖房的抗震构造措施	(120)
第六节 多层砌块房屋的抗震构造措施	(125)
第五章 单层厂房抗震设计	(133)
第一节 单层钢筋混凝土柱厂房的震害分析	(133)
第二节 单层钢筋混凝土柱厂房结构布置与选型的一般规定	(136)
第三节 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震计算	(138)

第四节 抗震构造措施 (167)
 第五节 单层砖柱厂房的抗震设计要点 (180)
 第六章 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计 (183)
 第一节 概述 (183)
 第二节 震害分析 (184)
 第三节 抗震设计的一般规定 (185)
 第四节 框架结构的抗震计算 (193)
 第五节 框架结构的抗震构造措施 (211)
 第六节 砖填充墙框架的抗震验算 (231)
 第七节 剪力墙结构的抗震计算与构造要点 (235)
 第八节 框架—剪力墙结构的抗震计算与构造要点 (259)
 第七章 房屋抗震鉴定及加固 (291)
 第一节 房屋抗震鉴定及加固的基本原则 (291)
 第二节 整体结构的抗震加固理论 (294)
 第三节 多层钢筋混凝土房屋的抗震鉴定 (297)
 第四节 多层钢筋混凝土房屋的抗震加固 (300)
 第五节 多层砖房的抗震鉴定 (305)
 第六节 多层砖房的抗震加固 (312)
 参考文献 (318)

第一章 地震及抗震设计基本原则

第一节 地震类型及地震灾害

一、地震类型及板块构造学说

地震是严重危及人民生命财产安全的一种突发式自然灾害。按其成因可分为以下三类。

- (1) 构造地震：约占发生地震的 90% 左右；
- (2) 火山地震：约占发生地震的 7% 左右；
- (3) 陷落地震：约占发生地震的 3% 左右。

火山地震，顾名思义是由于火山爆发引起的地震；而由于地壳顶板陷落引发的地震为陷落地震。火山地震与陷落地震发生的机率少，且危害影响面相对构造地震来说也较小。因此，在地震工程学中主要的研究对象是构造地震。

对构造地震（以下简称地震）成因的研究已有近百年历史。早期较侧重于断层破裂学说，近期较公认的是板块构造学说。根据科学勘查可知，地球表面地壳系由厚度很不均匀的岩石组成，海底地壳厚度一般仅为几 km，而我国青藏高原地壳厚度可达 70km。世界上大部分地震发生于地壳内。由地壳与上地幔顶部形成几十 km 到一百多 km 的全球岩石圈，岩石圈下有厚约为几百 km 的软流层（图 1-1）。由国际海洋调查，地球岩石层可分为六大板块，即欧亚板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印澳板块与南极板块，各大板块内又可分为若干小板块，由于地幔软流物质的涌出与对流，促使板块的构造运动而引发地震（图 1-2），此即板

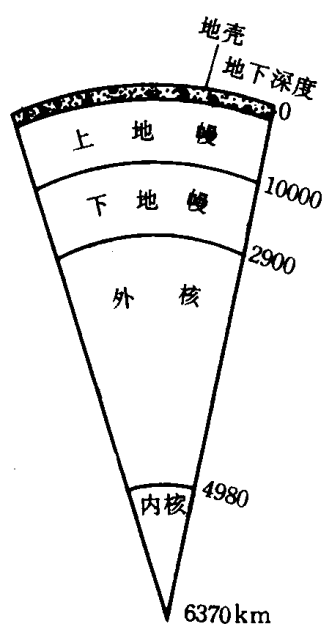


图 1-1 地球内部的分层

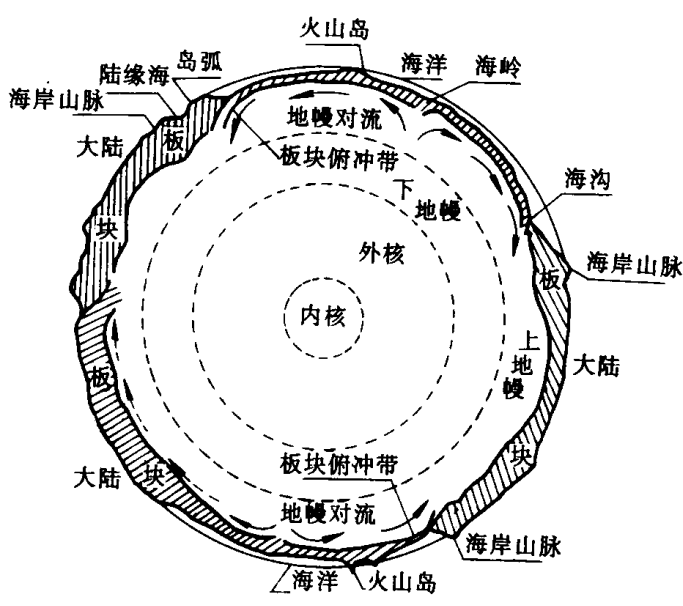


图 1-2 海底扩张示意图

块构造学说。按照板块构造学说，地震可分为板边地震和板内地震。

板边地震系指两个板块相遇时，其中一块板俯冲插入另一板块之下，引起板边地壳和岩石层的脆性破裂而发生地震。

板内地震是由于板块内部的不均匀变形所引起，多发生在更为薄弱的岩体断层处。板内地震与板边地震相比地点较分散，发生频率较低。但由于板内多为人类密集处，因此危害性大。

历史资料表明，全球 85% 的地震发生在板块边缘及其附近，15% 的地震发生在板块内部。

根据震源深度（以 d 表示），构造地震可分为浅源地震（ $d \leq 70\text{km}$ ）、中源地震（ $70\text{km} < d \leq 300\text{km}$ ）和深源地震（ $d > 300\text{km}$ ）。

震源在地面的投影称为震中，从震源到震中的距离为震源深度，即从震源到地面的最短距离。浅源地震对震中区破坏大。如 1976 年的唐山大地震，其震源深度约为 $12\text{km} \sim 16\text{km}$ ，属于浅源地震。

根据已发生的地震震中绘出分布图，可看出明显的地震带。图 1-3 系根据 1961 年~1967 年世界上发生的 4 级以上地震绘出的震中分布图。由该图可见，地球上主要有两个地震带：一是环太平洋地震带，系沿南北美州的西海岸，经阿留申群岛、千岛群岛转向日本列岛，然后分为两支，西支经我国的台湾省、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，两支汇合后转向新西兰，全世界 75% 左右的地震发生在该地震带。另一是地中海南亚地震带，西起太平洋亚速岛经意大利、土耳其、伊朗、印度北部，再经我国西南地区及印度尼西亚，与环太平洋地震带相接，全世界地震总数的 22% 左右发生在该地震带。

二、地震灾害

地震灾害具有突发性和毁灭性。全世界每年发生破坏性地震近千次，其中震级达 7 级或 7 级以上的大地震约十几次。表 1-1 列出了近 20 年以来部份破坏性较大的地震简况。

表 1-1 近 20 年以来世界部份大地震简况

时 间	地 点	震 级	震中烈度	震源深度 (km)	震亡人数
1974. 5. 11	中国云南昭通	7. 1	10	11	2 万多
1975. 2. 4	中国辽宁海城	7. 3	9	12	1300
1976. 2. 4	危地马拉	7. 7		5	2. 3 万
1976. 5. 29	中国云南潞西	7. 5	9	20	
1976. 7. 28	中国河北唐山	7. 8	11	16	24 万
1976. 8. 16	中国四川松潘	7. 2	9	11~12	
1976. 8. 17	菲律宾	7. 9		33	6500
1976. 10. 29	印度尼西亚	7. 2		33	6133
1976. 11. 24	土耳其	7. 3		36	5000
1977. 3. 4	罗马尼亚东部	7. 2	8	94	1500
1977. 3. 21	伊朗	7. 0			167
1977. 11. 23	阿根廷圣胡安	7. 4		13	70
1978. 6. 12	日本	7. 5		42	22
1978. 9. 16	伊朗	7. 7		33	3. 5 万

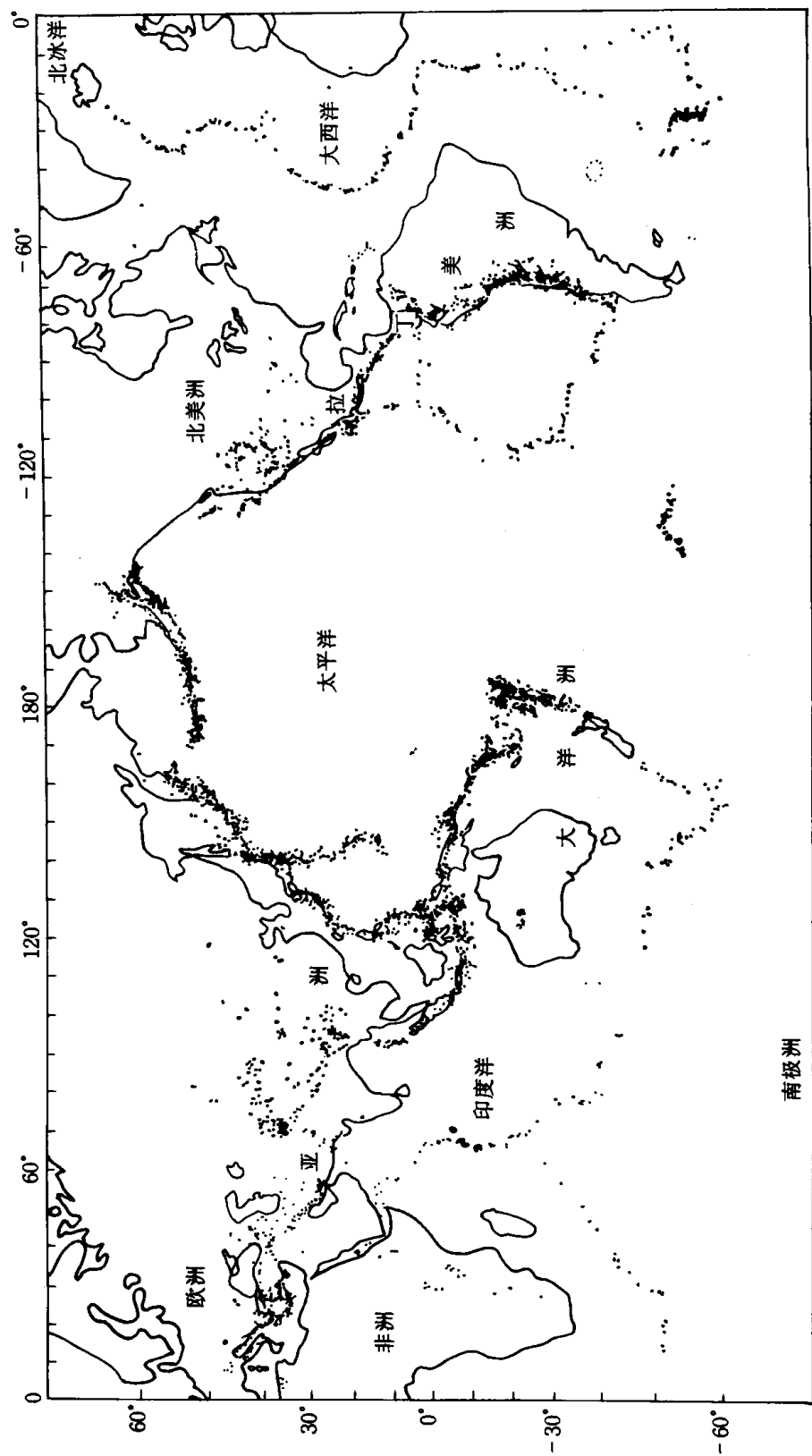


图 1-3 世界震中分布图 (1961~1967)

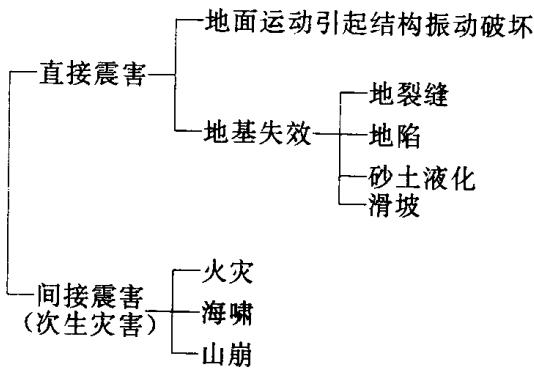
续表

时 间	地 点	震 级	震中烈度	震源深度 (km)	震亡人数
1979.11.14	伊朗	7.1			300
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
1985.8.23	中国新疆乌恰	7.4	9	22	64
1985.9.19	墨西哥	8.1			9500
1988.11.6	中国云南澜沧	7.6	9	13	748
1988.12.7	亚美尼亚	6.9			2.5 万
1989.10.19	美国旧金山	7.1			62
1990.6.21	伊朗	7.8			
1994.1.17	美国洛杉矶				
1995.1.17	日本神户	7.2		明石海峡下 20	5000
1995.9.14	墨西哥	7.3			

针对人类赖以生存的自然环境及工程结构物产生的震害情况，地震灾害可由地震外因及结构物内因来分类。

（一）按外因不同区分

按外因不同，地震灾害可分类如下：



由地震引起建筑物的强烈振动或地基失效，直接造成结构的破坏，称为直接震害。由于地震还可引起火灾、海啸、山崩等间接震害，亦称为次生灾害。国际上把地震灾害分为一次灾害、二次灾害和三次灾害。一次、二次灾害即为直接震害和间接震害，三次灾害是指由一、二次灾害引起的混乱、停工、城市瘫痪及瘟疫流行等。

在建筑抗震设计中，主要研究由于地面运动引起结构与地基基础振动的动效应及如何进行抗震防灾设计。这是量最大、面最广、最为普遍的震害原因，也是本书主要介绍的内容。

地基失效是指由地面振动引起地基承载力的下降和丧失。如 1971 年美国圣尔南多大地震，地面水平错动最大达 1.9m，垂直错动达 1.4m，错动长度为 15km，严重加重了地下管线工程的震害。砂土液化（详见第二章）将伴随着喷水冒砂，造成地基失稳而引起结构破坏。最典型例子是 1964 年 3 月 28 日美国阿拉斯加 7.9 级地震和 1964 年 6 月 16 日日本新泻 7.4 级地震，都因大面积大量喷水冒砂造成地基失效而导致大量建筑物破坏。我国 1966 年邢台地震与 1976 年唐山大地震也都出现了大面积砂土液化现象。滑坡多发生在山区、堤岸及人工整平回填等场地处，如唐山地震时，塘沽碱场即产生严重滑坡震害。

将直接震害分为结构振动和地基失效两类，其原因除了要采取不同抗震措施外，主要原因是一般地基失效引起的结构震害可近似视为静力作用，而结构振动破坏必属于动力作用，以便分别采取抗震计算方法与措施。

由地震引起的次生灾害有时比直接灾害更为严重，尤其是在大城市与大工业区更应在整体规划和设计中予以密切关注。典型的火灾震害如 1906 年美国旧金山 8.3 级大地震与日本 1923 年关东大地震。据统计，日本关东大地震震倒房屋 13 万栋，而震后大火烧毁房屋 45 万栋，即为震倒房屋的三倍多，烧死人数约占总死亡人数的 40%；最典型的由地震引起的海啸灾害为 1960 年 5 月 22 日南美智利 8.9 级特大地震，海啸浪高 22m，除摧毁了智利中南部沿海房屋外，还不远万里横渡太平洋，于 22h 后在远距智利 17000km 的日本东海岸本州、北海道登陆，浪高还有 4m~5m，冲走房屋 3000 多栋，并将海边巨轮抛上陆地。

(二) 按建筑结构内因不同区分震害

1. 承重结构强度不足导致的破坏

在强烈地震作用下，由于与使用荷载作用性质不同，不仅使结构构件内力大大增加，而且其受力性质往往也会改变。如在使用荷载作用下，砌体结构中以受压为主的承重墙在地震作用下常发生剪切破坏。因此，当没有进行抗震设计时，主体承重结构常遭到强度破坏。

2. 结构局部或整体丧失稳定

由于支撑系统失效、结构构件间连接不牢或支承破坏等原因，均可导致建筑物丧失稳定，以致于局部破坏或整体倒塌。

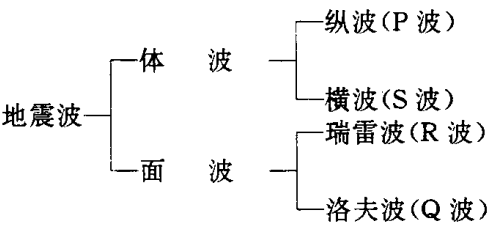
3. 由于变形过大导致非结构破坏

在强烈地震作用下，当结构产生过大振动变形时，有时主体结构并未达到强度破坏，而墙饰面、围护墙、雨篷等非结构构件往往会发生脱落或倒塌等震害。

第二节 地震波、震级和地震烈度

一、地震波

地震发生时，震源岩石断裂错动，其能量以波动形式向各方向传播，这种波就是地震波。地震波可分为体波与面波，可示意如下：



（一）体波和面波

在地球内部传播的地震波称为体波。根据介质质点振动方向与波传播方向不同，体波又可分为纵波和横波，或称压缩波和剪切波（图 1-4）。

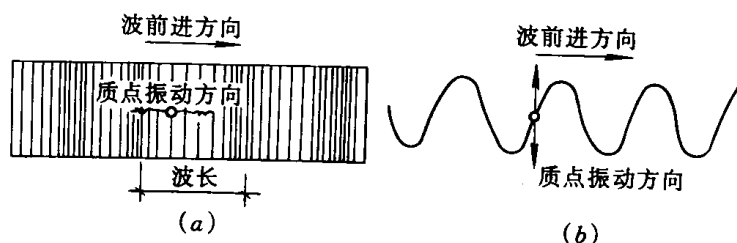


图 1-4 体波质点振动形式

(a) 压缩波；(b) 剪切波

当质点振动方向与波的传播方向一致时称为纵波，亦称压缩波，即 P 波，纵波在震中区主要引起地面垂直方向振动。横波则指其质点振动方向与波传播方向正交的地震波，又称剪切波或 S 波，剪切波在震中区主要引起地面水平方向振动。与横波相比，纵波周期短、振幅小而传播速度快。

在地面（自由表面）或地壳表层各不同地质层界面处传播的波称为面波，又称 L 波。它是体波经地层界面反射形成的次生波。由于地壳表层物质形成的年代不同等地质原因，地壳成层状结构，很容易产生面波，所以面波是地震波研究的主要内容之一。在地面上一般存在两种面波的运动，即瑞雷波（R 波）和洛夫波（Q 波）。瑞雷波传播时，质点在地表法向与波前进方向组成的平面内做椭圆运动。洛夫波传播时质点运动方向是水平的且垂直于波前进方向，在地面上表现为蛇形运动（图 1-5）。面波周期长、振幅大、传播速度较慢。瑞雷波一般在震中区并不出现。

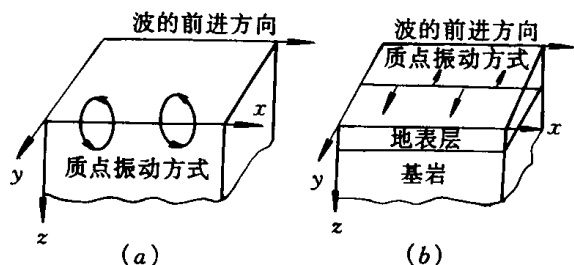


图 1-5 面波质点振动方式
(a) 瑞雷波质点振动；(b) 洛夫波质点振动

（二）传播速度

1. 各种波的传播速度

纵波、横波和瑞雷波波速 v_P 、 v_S 和 v_R 表达式依次为

$$v_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad (1-1)$$

$$v_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

$$v_R = 0.92v_S \quad (1-3)$$

其中

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

式中 E 、 G ——分别为介质的弹性模量和剪切模量；

ν ——介质的波松比；

ρ ——介质密度。

在地幔内，一般波松比 $\nu = \frac{1}{4}$ ，代入式 (1-1) 和式 (1-2) 可得

$$\left(\frac{v_P}{v_S}\right)^2 = 1 + \frac{1}{1+2\nu} = 3$$

由上可见,纵波比横波传播速度快, $\frac{v_P}{v_S}=1.73$,而面波传播速度最慢。

在地震时,震中区人们的感受常是先上下颠簸,而后才左右摇晃。这主要可由不同波传播速度不同来解释。由于纵波传速快,先到达地表,其质点运动方向与波前进方向一致而首先引起地表垂直振动,当横波到达时则引起水平振动。

由于地壳构造及质点振动类型复杂,所以地震时地表振动是多方位多形式的随机振动。大量震害调查表明,水平地震作用通常是最主要的地震作用。因此规范规定一般情况下可在建筑结构的两个主轴方向分别考虑水平地震作用,仅在8度和9度时的大跨度结构、长悬臂结构、烟囱和类似的高耸结构,9度时的高层建筑,应考虑竖向地震作用。

2. 由波速进行震源距估计

场地到震中的距离为震中距,而场地到震源的距离为震源距。根据纵横波到达该场地的时差 Δt ,可近似估计震源到场地的距离。

假若从震源同时发出纵波和横波,它们到达震源距为 r 的场地时差为 Δt ,则

$$\Delta t = r \left(\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P} \right) = \frac{r}{v_0}$$

在地壳中,P波的速度约为 $7\text{km/s} \sim 8\text{km/s}$,S波波速约为 $4\text{km/s} \sim 5\text{km/s}$,又 $v_P=1.73v_S$,则

$$v_0 \approx 1.4v_P \approx 10\text{km/s} \sim 11\text{km/s}$$

v_0 常称为虚波速度。根据纵横波时差 Δt ,可近似估计震源距 r ,其表达式为

$$r = v_0 \Delta t \quad (1-4)$$

(三) 地震动

为了掌握地震波特性以进行建筑抗震设计,就要了解地面振动情况。由震源释放出来的地震波引起的(近地表)地面运动,称为地震动。

一般通过地震仪记录地面运动情况。图1-6给出一典型的强震记录,持续时间为5s。图1-6(a)表示三个方向所测的加速度记录。图1-6(b)表示由加速度记录积分处理得出的速度和位移时程曲线。可以看出,地震动是由不同频率、不同幅值在一个有限时间范围组合的随机过程。地震动的峰值(最大振幅)、持续时间与频谱称为地震动的三要素。

二、地震震级

地震震级(Magnitude)是表示地震大小或强度的一种度量指标,简称震级,由符号 M 表示。

(一) 里氏震级或地方震级 M_L

在提出震级这个概念之前,人们都是由宏观现象如人的感觉、结构物与自然界的反应来衡量一次地震的大小。最早提出用科学手段地震仪器来度量地震大小的是美国学者里克特(Richter C. F.)。1935年,里克特提出用地震仪记录的水平波最大位移的平均值来测定震级的大小,其提出的震级计算公式为

$$M_L = \lg A_L - \lg A_{0L} \quad (1-5)$$

式中 A_L ——最大水平振幅平均值(一般取两水平分量平均值),量纲为微米(μm) $1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}$ 。

$\lg A_{0L}$ ——为起算函数,与震中距有关。当震中距为 100km 时, $A_{0L}=1$,此时震级简化公

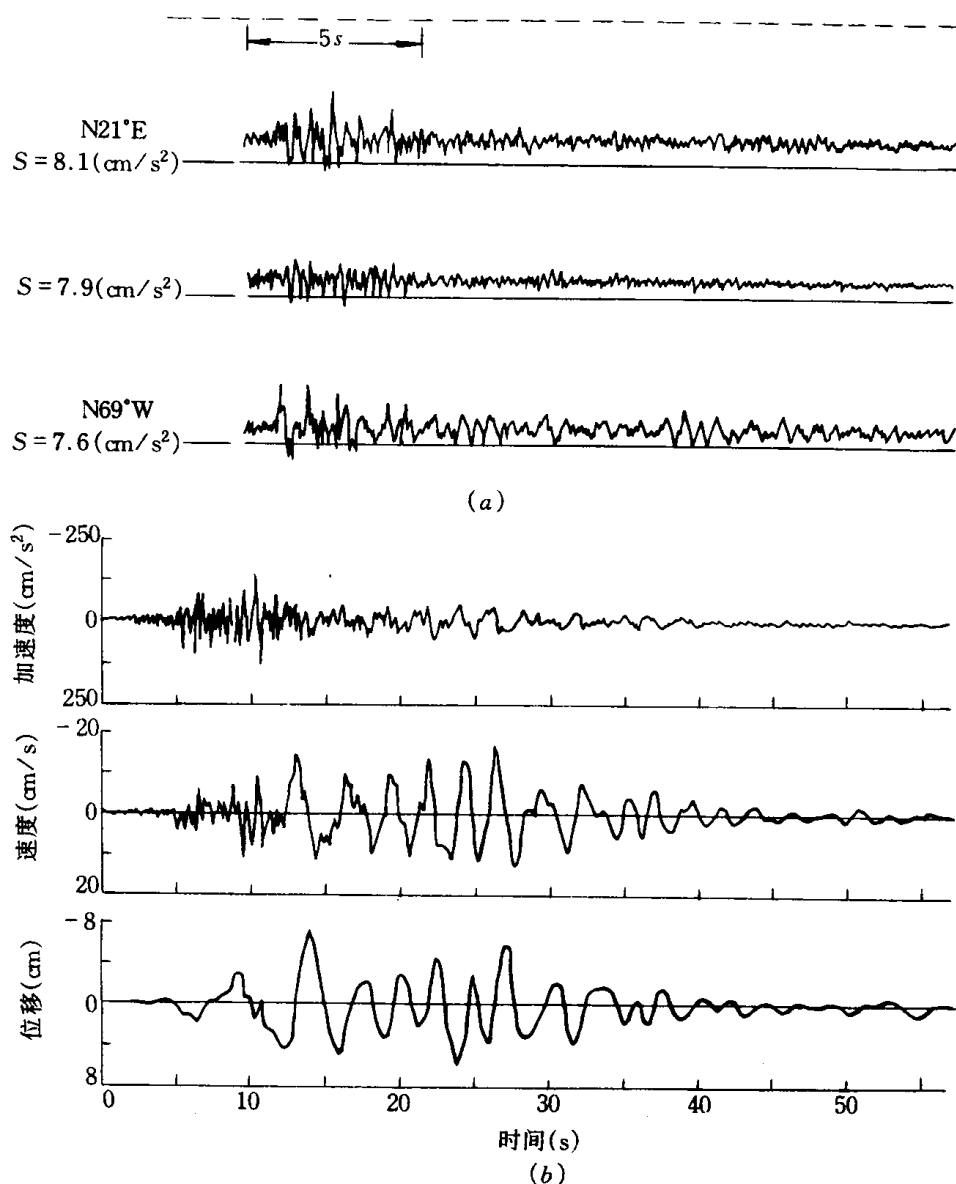


图 1-6 典型强震记录 (地震工程和土动力问题译文集, 1986)
(a) 三个分向加速度记录; (b) 由加速度记录经积分得到的速度和位移时程

式为 $M_L = \lg A_L$ 。

里克特所给出的起算函数仅适用于他采用的伍德—安德森 (Wood—Anderson) 标准扭摆仪 (自振周期 0.8s, 阻尼系数 0.8, 静态放大倍数为 2800) 的美国南加州情况, 因该地震仪是一种短周期地震仪, 只适于周期为 0.1s~3s 的地震动, 所以被后人称为地方震级或里氏震级, 用 M_L 表示。一般仅适用于 2 级~6 级地震标度。

(二) 面波震级 M_s

由于一般地震仪布置较分散, 针对震中距较远处记录, 古登堡 (B. Gutenberg) 推广了里克特公式:

$$M_s = \lg A_s - \lg A_{0s} \quad (1-6)$$

该式形式与式 (1-5) 相同, 但 A_s 系记录的远距离水平分量面波震动的最大幅值 (两水平

分量的矢量和的最大值),测定范围为 3s~20s 地震动,适用于大于 4 级而小于 8 级之间的地震标度,而 $\lg A_{0s}$ 由经验方法确定。

应当说明,式 (1-6) 仅适用于浅源强震情况。这是由于约在 2000km 以外震区地震波主要为面波,只有浅源强震才能产生此情况。 M_s 称为面波震级。1945 年古登堡又提出体波震级 M_B (略)。

M_s 与 M_L 的近似关系为

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1-7)$$

我国采用的震级公式与上述形式相同,仅由于地震仪不同,而有不同的起算函数。

(三) 矩震级 M_w

由前述可见,震级系由最大位移振幅来定量,而最大位移大体是由该段频率范围的频谱决定。由于地震的复杂性及地震仪的局限性,由此定义出的震级很难全面反映地震能量的大小,由不同地点不同记录计算出来的震级常相差 0.5 级左右,有时甚至相差 1 级。为此,如何更准确的确定震级一直是一些学者研究的课题。

1979 年汉克斯和金森博雄 (Hanks and Kanamori) 给出表示地震能量的参数 M_0 , 并给出与 M_0 相关的矩震级 M_w , 即

$$M_w = \frac{2}{3} \lg M_0 - 10.7 \quad (1-8)$$

式中 M_0 ——地震矩,可由地震波谱或经验关系求出。

矩震级几乎适应所有频段的地震波,世界上大部份仪器记录的地震都可以换算成 M_w , 因此有可能将来成为通用震级表示法。

有关 M_L 、 M_s 和 M_w 标度的经验关系为:对于 5.5 级~8 级地震, $M_w \approx M_s$; 对于小于 6.5 级地震, $M_w \approx M_L$ 。

(四) 震级与能量的关系

震级是一次地震大小的指标,其物理意义是反映该次地震释放地震波能量的大小。发震时,震源积累的应变能除少部分转换成热能外,大部分则转换成机械能和波能向四周传播,从而引起地面强烈振动。

1956 年古登堡—里克特给出了地震波辐射能量 E_s (尔格) 与面波震级的近似关系为

$$\lg E_s = 11.8 + 1.5M_s \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可见:

- (1) 震级每增加一级,释放能量约增加 30 多倍。
- (2) 式 (1-9) 为近似公式,其中没有反映振动持续时间的影响。
- (3) E_s 仅为地震释放能量的一部分。

根据震级 M 的大小,一般将地震分为:

$M=2\sim4$ 时为有感地震;

$M>7$ 时为强烈地震;

$M>8$ 时为特大地震;

当 $M>5$ 时统称为破坏性地震。

三、地震烈度

(一) 地震烈度及中国地震烈度表

地震烈度 (Intensity) 是指某一地区的地面和各人工建筑物遭受一次地震影响的强弱程度。发生一次地震，只有一个震级，而相应这次地震的不同地区则有不同的地震烈度。

虽然早在 1564 年欧洲即有对地震烈级的等级划分，但直到 1874 年才由西伯格最先指出又经多次实践才大体定型。现今世界上大部分国家（如美国、西欧、中国、前苏联等）采用 12 度烈度表，而日本则仍采用 7 度烈度表。

对于不同烈度的划分各国虽有不同，但至今各国所采取的标准均以宏观现象为主，其中包括：

- (1) 人的感觉及器皿移动。
- (2) 一般建筑物震害情况。
- (3) 地面破坏现象。

19 世纪以来，由于地震测试仪器的的发展，人们开始在宏观现象的基础上拟增加地面振动的加速度、速度、位移等定量指标，以便更科学地划分地震烈度。但由于因素过于复杂，有不少实测资料说明同一烈度可以有相差几十倍甚至一百倍的加速度值与之相对应，所以烈度的定量指标仍处于研究阶段。

我国于 1957 年编制出的《新中国地震烈度表》全部为宏观现象标准。《现行建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89) 沿用的烈度指标系根据 1980 年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表 (1980)》。在低烈度时 ($I \leq 5$ 度) 以人的感觉和器皿的移动为准，而在高烈度 ($I \geq 6$ 度) 时一般以建筑物的破坏程度和地面破坏效应等定性指标加以评定。与此同时，还根据中国建筑和地质情况给出了与各烈度相应的地面运动定量指标，详见表 1-2 中国地震烈度表 (1980)。

表 1-2 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的感觉					
3	室内少数静止中的人的感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		
4	室内多数人的感觉。室外少数人的感觉。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。室外多数人的感觉。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，仓惶逃出	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)

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)
7	大多数人仓惶逃出	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 (36~35)
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，修复困难	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	山崩和地震断裂出现。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：①1度~5度以地面上人的感觉为主，6度~10度以房屋震害为主，人的感觉仅供参考，11度、12度以地表现象为主。11度、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1平方公里左右为宜。

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。

(二) 平均震害指数

在中国地震烈度表(1980)中给出了不同烈度的平均震害指数这个定量指标，这是因为建筑结构类型繁多，构造各异，影响因素复杂，因此在同一次地震中同样结构震害多不相同。为了能正确综合概括总的破坏形势，找出各类房屋的平均震害程度，给出了平均震害指数。

表 1-3 列出了建筑物破坏级别与震害等级的关系。

表 1-3 建筑物破坏级别与震害等级的关系

破坏程度级别	破坏程度	震害等级 i	破坏程度级别	破坏程度	震害等级 i
I	全部倒塌	1.0	IV	局部倒塌	0.4
II	大部倒塌	0.8	V	裂 缝	0.2
III	少部倒塌	0.6	VI	基本完好	0

若第 j 类房屋震害指数为 I_j ，则

$$I_j = \frac{\sum_{k=1}^m (n_i \cdot i)_k}{N_j} \tag{1-10}$$

式中 n_i ——被统计的某类（这里即为第 j 类）房屋 i 级破坏栋数；

i ——震害等级；

k ——某类房屋不同震害等级序号；

m ——某类房屋不同震害等级数量；

N_j ——被统计的某类房屋总栋数， $N_j = \sum_{k=1}^m (n_i)_k$ ，式（1-10）中的 I_j 表示该类房屋的平均震害程度。

为了确定某地区各类房屋的平均震害指数 I_m ，可近似取各类平均震害指数的代数和平均值，即

$$I_m = \frac{\sum I_j}{N} \tag{1-11}$$

式中 N ——不同类别房屋的类别数。

平均震害指数与各烈度对照关系见中国地震烈度表（1980）。

（三）烈度、基本烈度和设防烈度

烈度、基本烈度和设防烈度是三个完全不同的概念。前面所述即为烈度，是指某地区遭受一次地震影响强弱程度的量度指标，其与基本烈度、设防烈度的区别可见表 1-4。

表 1-4 烈度、基本烈度和设防烈度的区别

	烈 度	基本烈度	设防烈度
定义	某地区遭受一次地震影响的强弱程度	在一定时期内，一个地区可能遭遇到的最大地震烈度	抗震设防时所采用的烈度（是就一个地区或一个大的建设工程项目而言，与 78 规范中设计烈度不同）
确定依据	在地震发生后按中国地震烈度表（1980）来确定不同地区的不同烈度	以长期地震预报为基础，现最新基本烈度在中国地震烈度区划图（1990）中给出。系指 50 年*期限内，一般场地条件下，可能超越概率为 10% 的烈度值	按现行规范规定设防烈度应按国家规定的权限审批、颁发的文件确定，一般情况下可采用基本烈度值

*注：按我国 1981 年中国地震烈度区划工作报告规定，基本烈度系指 100 年内、标准Ⅱ类土（那时按Ⅲ类划分）、一般地形、地貌及水文地质条件下可能遭受到的最大烈度。

(四) 震中烈度与震级的关系

震中烈度与震级代表不相同的物理概念，震级反映一次地震释放能量的大小，而震中烈度则代表该次地震震中区破坏的程度，是一个宏观定量指标。

但两者又存在一定联系，当震源深度相同时，震级 M 越大则震中烈度 I_0 必然越高。两者的数值关系受到多种因素的影响，并不是简单的线性关系。为了给出一种简单的定量概念，国际上最早由古登堡和里克特（Gutenberg and Richter）根据美国南加州地震研究，提出了两者的近似关系为

$$M = \frac{2}{3}I_0 + 1 \tag{1-12}$$

我国学者在 70 年代根据我国 1900 年以来的 152 次地震资料得出关系式与式 (1-12) 相近似，后又根据更多的资料进行研究，给出近似关系式为

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \tag{1-13}$$

以上近似公式适用于常见的浅源地震情况。

根据式 (1-12) 与式 (1-13) 算出的震级与震中烈度的近似关系列于表 1-5。

表 1-5 震中烈度与震级的近似关系

震中烈度 I_0	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$M=0.58I_0+1.5$	3.8	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.3	8.0	8.5
$M=\frac{2}{3}I_0+1$	3.7	4.4	5.0	5.7	6.4	7.0	7.7	8.4	9.0

第三节 我国抗震防灾的形势和战略

一、我国地震分布特点

我国是世界上最多地震国家之一，地球上最活跃的两个地震带——太平洋地震带和欧亚地震带分别经过我国的东部及西部、西南部，自本世纪以来发生 6 级以上地震 500 余次，平均每年 5.4 次。8 级以上地震 9 次(表 1-6)，均处于该两个地震带上。

表 1-6 本世纪以来的 8 级以上强震

序 号	发 震 时 间	地 震 名 称	震 级
1	1902.8.22	新疆阿图什	8.3
2	1906.12.23	新疆马纳斯	8.0
3	1920.6.5	台湾花莲东南海中	8.0
4	1920.12.16	宁夏海原	8.5
5	1927.5.23	甘肃古浪	8.0
6	1931.8.11	新疆富蕴	8.0
7	1950.8.15	西藏察隅	8.5
8	1951.11.18	西藏当雄	8.0
9	1972.1.25	台湾新港东海中	8.0