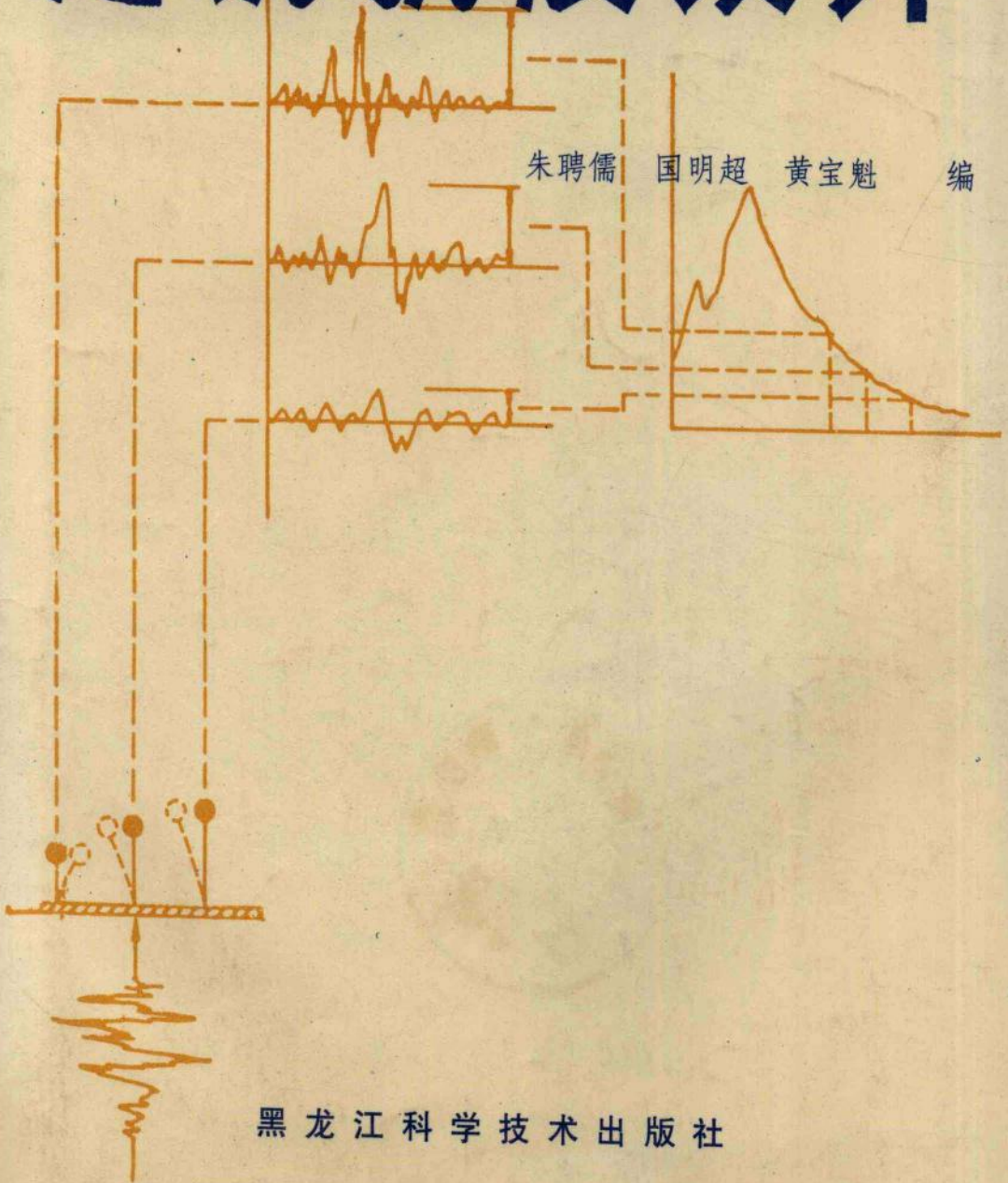


建筑抗震设计

朱聘儒 国明超 黄宝魁 编



黑龙江科学技术出版社

建 筑 抗 震 设 计

朱聘儒 国明超 黄宝魁 编

黑龙江科学技术出版社

内 容 提 要

本书根据已出版的新规范《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89),系统地介绍了建筑结构抗震设计的原理和方法。全书共分九章,内容包括:建筑结构抗震设计基本原则,建筑结构地震反应分析基本方法,场地、地震与基础,地震作用和结构抗震验算,以及砌体、钢筋混凝土房屋和单层工业厂房的抗震设计方法及构造措施,并附有抗震计算例题。

本书可供工科土建类大专院校师生学习使用,亦可供建筑结构工程设计、施工技术人员学习参考。

建 筑 抗 震 设 计

朱聘儒 国明超 黄宝魁 编

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

哈尔滨建筑工程学院附属印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 15.125印张 310千字

1991年8月第1版,1991年8月第1次印刷

印数:1—4000册 定价:6.50元

ISBN 7-5388-1901-1/TU·77

前 言

我国新修订并已颁布实施的《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)无论在内容上,还是在技术水平上都较原规范(TJ11—78)有较大的充实、提高和发展。本书根据新规范编写,采用国家规定的建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语。

本书的内容与新规范(GBJ11—89)基本对应,并有针对性地补充了一些关于地震、结构地震反应分析方法及抗震设计基本原理等基本内容。全书共分九章,第一、第二章介绍地震和结构地震反应分析方面的基本知识;第三章为场地、地基与基础;第四、第五章分别介绍了地震作用和结构抗震验算方面的内容;第六、第七及第八章分别介绍了多层砌体房屋、多层及高层钢筋混凝土房屋及单层工业厂房的抗震设计,在第七章中还介绍了底层框架砖房、多层内框架房屋和填充墙框架房屋的抗震设计要点,在第八章中还介绍了单层空旷房屋的抗震设计;第九章为几种房屋抗震设计的计算例题。本书在内容上还结合震害、结构性能及设计经验实际,力求做到概念清楚、深度适宜和把规范用活;同时兼顾工科土建类大专院校师生和建筑工程结构技术人员均可参考使用。

本书的第一、五、七章由朱聘儒编写,第二、四、六、八、九章由国明超编写,第三章由黄宝魁编写。本书由朱聘儒任主编;吴振声主审,并提出许多宝贵意见。国明超完成全书绘图及校阅工作。刘学东协助完成部分绘图工作。

本书是在对长春、大连和哈尔滨等地的工程技术人员及校内学生进行抗震规范宣讲讲义的基础上,经多次修改而定稿的。但由于水平有限,可能有错误或不当之处,请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 地震及抗震设防	1
第一节 地震的成因.....	1
第二节 地震波.....	1
第三节 震级和烈度.....	5
第四节 近震和远震.....	9
第五节 地震的破坏现象.....	10
第六节 工业与民用建筑的设防范围.....	11
第七节 抗震设防的基本要求.....	14
第二章 结构地震反应分析基本方法	15
第一节 单自由度体系在地震作用下的振动方程.....	15
第二节 振动方程的杜哈美积分解.....	16
第三节 直接动力分析法.....	20
第四节 地震反应谱及其在抗震设计中的应用.....	21
第五节 多自由度体系弹性地震反应分析.....	27
第六节 结构弹塑性地震反应分析.....	34
第七节 弹塑性反应谱及地震作用降低.....	37
第三章 场地、地基和基础	40
第一节 建筑地段的选择.....	40
第二节 建筑场地的类别.....	41
第三节 地基抗震验算.....	44
第四节 地基液化的判别和处理.....	46
第四章 地震作用	52
第一节 概述.....	52
第二节 水平地震作用.....	56
第三节 竖向地震作用.....	62
第四节 地基与结构相互作用的实用算法.....	64
第五章 结构抗震验算	66
第一节 关于“小震不坏，大震不倒”二阶段设计的指导思想.....	66
第二节 截面承载力抗震验算设计表达式.....	67

第三节	多遇地震作用下结构层间弹性位移验算	69
第四节	罕遇地震作用下结构层间弹塑性位移验算	72
第六章	多层砌体房屋抗震设计	83
第一节	震害及其分析	83
第二节	结构布置原则	84
第三节	计算要点	86
第四节	构造措施	92
第七章	多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	99
第一节	钢筋混凝土房屋抗震设计特点及概念设计	99
第二节	多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定	101
第三节	钢筋混凝土结构及其构件的抗震等级	103
第四节	钢筋混凝土框架的抗震设计	104
第五节	框架结构的抗震设计步骤	118
第六节	框架-抗震墙结构和抗震墙结构的抗震设计	122
第七节	底层框架砖房的抗震设计	133
第八节	多层内框架房屋抗震设计要点	138
第九节	填充墙框架房屋抗震设计要点	140
第八章	单层工业厂房与空旷房屋抗震设计	149
第一节	单层工业厂房抗震设计原则	149
第二节	单层工业厂房的横向抗震计算	152
第三节	单层工业厂房的纵向抗震计算	161
第四节	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	175
第五节	单层砖柱厂房抗震设计	187
第六节	单层钢结构厂房抗震设计	189
第七节	单层空旷房屋抗震设计	191
第九章	房屋抗震计算例题	196
第一节	多层砌体房屋	196
第二节	多层及高层钢筋混凝土房屋	205
第三节	单层工业厂房	221
	主要参考文献	235

第一章 地震及抗震设防

第一节 地震的成因

在各种地震中，占地震绝大多数，并且影响最大的是构造地震。

地壳是由各种岩层组成的。由于地球在它的运动和发展过程中内部存在大量的能量，地壳中的岩层在这些能量所产生的巨大力的作用下，使原始成水平状态的岩层（图1-1(a)）发生形变，岩层发生褶皱（图1-1(b)）；随着地应力的逐渐加剧，岩层构造变动也逐渐加剧，当岩层薄弱部位的岩石强度承受不了强大力作用时（或者说其应变已超过了岩石所能容忍的应变时），岩层发生了突然的断裂和猛烈的错动（图1-1(c)），岩层在构造变动过程中累积起来的应变能突然得到释放，并以弹性波的形式传到地面，地面也随之运动，这就是地震。

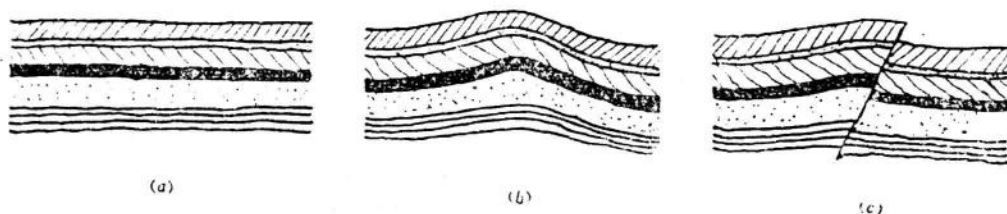


图1-1 构造变动与地震形成

(a) 原始状态 (b) 褶皱 (c) 断裂错动

除了构造地震之外，还有由于火山爆发、溶洞塌陷、水库蓄水、核爆炸等原因引起的地震，这些地震和构造地震相比，其影响小、频度低。

第二节 地震波

一、震源和震中

断层产生剧烈的相对运动的地方叫震源。震源正上方向的地面位置叫震中。由震中到观测点的距离叫震中距（图1-2）。

一般把深度小于60km的地震称为浅源地震，深度为60~300km的地震称为中源地震，深度大于300km的地震称为地震深源地震。在我国境内，除黑龙江和吉林省的个别地区有深度为400~600km的深源地震外，绝大部分属于浅源地震。

一般说来，对于同样大小的地震，浅源地震波及面小而破坏程度大，深源地震则相反。多数破坏性地震发生于较浅的地方，深度大于100km的地震在地面上不致引起灾害。

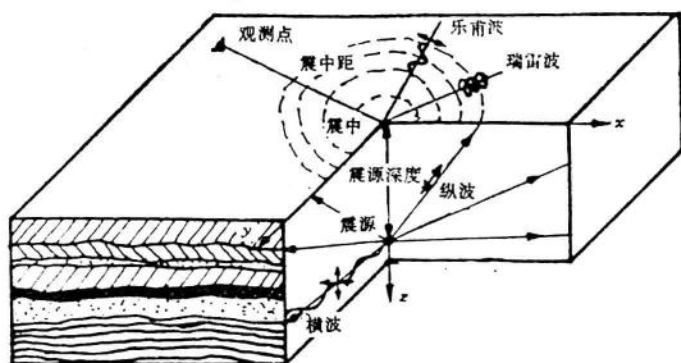


图1-2 地震波传播及地面运动示意

二、地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各方向传播，这就是地震波。它包含通过地球本体的“体波”和仅限于地面附近传播的“面波”。

(一) 体波

1. 一般情况

体波又包含“纵波”和“横波”两种(图1-2)。

纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向与波的前进方向一致。声波就是一种纵波，它以空气为介质。地震中的纵波一般表现为周期短、振幅小。

横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与波的前进方向相垂直。一般表现为周期较长。

横波只能在固体中传播，而纵波在固体、液体、气体中都能传播。

纵波与横波的传播速度在理论上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 ——介质泊松比。

在一般情况下， $\nu = 0.22$ ，则由(1-1)及(1-2)式得

$$v_p = 1.67v_s$$

亦即纵波比横波的传播速度快。纵波将先于横波到达地震观测站，故纵波又称做“P

波”（即初波），横波又称做“S波”（即次波）。

《地震工程概论》一书中，给出了波的传播速度，见表1-1。

S波的传播速度(m/s)

表1-1

土质类别	砂	人工填土	砂质粘土	粘土	含砂砾石	饱和砂土	砾石	第三纪岩层
S波波速	60	100	100~200	250	300~400	340	600	>1000

事实上，影响波速的因素很多，要用一个确切的S波速来与土质类别对应是不现实的，抗震规范组成员根据近年来国内实测资料，并与国外实测资料对比后，给出表1-2所示的不同土质S（剪切波）波速范围。该表适用于深度小于10m的情况，由于每种土的S波波速变动范围都很大，而且几种土的波速范围有大部分已重复在一起，故实用上意义也不太大。

S波波速范围(m/s)

表1-2

土质类别	填土	粘土、亚粘土	砂土	砾石、卵石、碎石	风化岩	岩石
S波波速范围	90~270	100~450	150~500	200~500	350~500	>500

体波在地球内部的传播速度 V_s 随深度 H 增加而增加。可以归结为如下表达式：

$$V_s = aH^b \tag{1-3}$$

根据我国各大城市实测资料统计，系数 a 的平均值为118.993，方差为42.758，指数 b 的平均值为0.308，方差为0.086。 a 的变异要比 b 的大。这有可能说明，地区和土质差异要比沿深度变化大。

2. 体波的传播途径（折射与反射）

同已知的光波类似，在介质①中传播的体波在进入介质②后要发生折射，在界面处

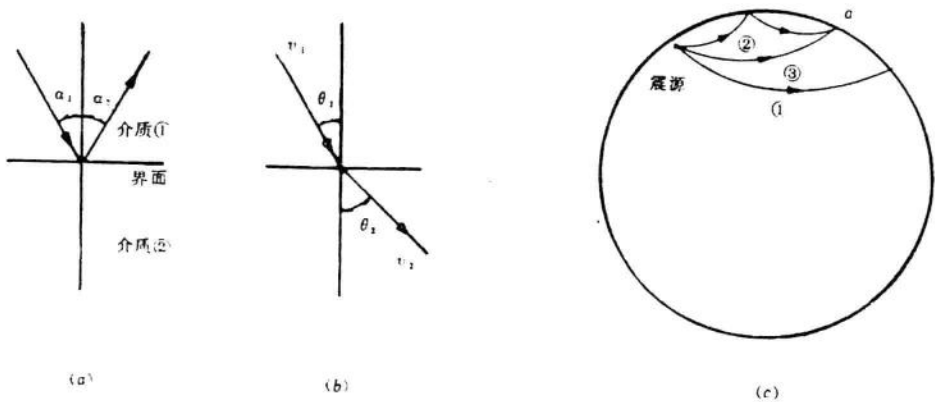


图1-3 地震波射线途径
(a) 反射 (b) 折射 (c) 地震波途径

有部分体波还要反射。根据已知的定理，波的入射角 α_1 等于反射角 α_2 （图1-3(a)），波在折射时有如下关系：

$$\frac{v_1}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{\sin\theta_2} \quad (1-4)$$

其中 v_1 为来自介质①中的波速， θ_1 为入射波对界面法线的夹角； v_2 为进入介质②后的波速， θ_2 为折射波对界面法线的夹角（图1-3(b)）。显然，当 $v_2 > v_1$ 时，则 $\theta_2 > \theta_1$ 。

因为波速随土层深度增加而增加，所以由震源向四面八方发出的波就不是直线传播（图1-3(c)）。例如图中的①号波，虽然一开始是向下传播的，但由于随着深度的增加波速增加，由公式（1-4）可知，波的传播途径要逐渐向水平弯曲，直到速度增大到 $v_2 = v_1 / \sin\theta$ 时，波的走向就弯到水平方向，而后波还可以继续向上弯，直到地面。此外，当体波遇到一个界面，不但产生折射，而且还要反射。作为一个例子，在图1-3(c)中，当②号波达到地面时，遇到了地球和空气的界面，就要发生与入射角相等的反射，所以在a点所接收到的应该是直接由震源传来的③号波及遇地面而反射过来的②号波。

总之，地震波自震源发出之后，要经过不同的岩层土层，发生了种种的折射和反射，传到地面后，已是一个极不规整的随机波形，既有水平振动又有竖向振动，并且前者大于后者。

（二）面波

面波只限于沿地球表面传播的波。一般可以说是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包含瑞雷(R)波和乐甫(L)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1-4(a)中的 xz 平面）作椭圆运动，而在该平面垂直水平方向(y方向)没有振动，犹如在地面上呈滚动形式。

乐甫波只是在传播方向相垂直的水平方向（图1-4(b)中的y方向）运动，在地面上呈蛇形运动形式。

面波的振幅大而周期长。它比体波衰减慢，能传到很远的地方。它的波速约为剪切波（横波，S波）的0.9倍左右。

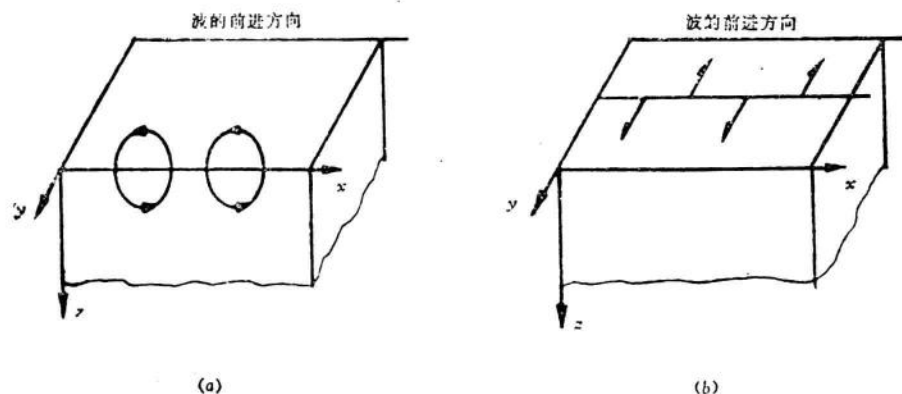


图1-4 面波质点运动
(a) 瑞雷(R)波 (b) 乐甫(L)波

综上所述，地震波的传播以纵波(P)最快，横波(S)次之，面波最慢，而振幅以后者为最大。图1-5为地震波记录的示意图。

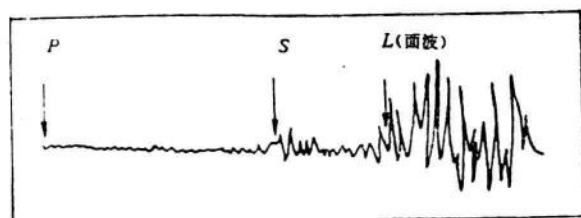


图1-5 地震波记录图

第三节 震级和烈度

一、震级

震级是反映一次地震大小的级别。震级 M 的原始定义是1935年里希特给出的：

$$M = \log A \quad (1-5)$$

A 是标准地震仪（周期为0.8秒、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 (10^{-3}mm) 为单位的最大水平地动位移。例如，在上述条件下测得的 A 值为10000 μm ，取其对数等于4，这次地震即定义为4级。

震级直接与震源释放出来的能量大小有关。不同震级 M 与所释放出来的能量 E （尔格，1尔格 = 10^{-7} 焦耳）有如下关系：

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5M \quad (1-6)$$

根据公式(1-6)推算，震级每增加一级，地震波能量增加32倍。

2级以下地震称为微震，人们感觉不到；2~4级地震称为有感地震；5级以上地震统称为破坏性地震；7级以上的称为强烈地震；8级以上的称为特大地震。至今已发生的最大震级为8.9级。

二、烈度

1. 烈度的评定

地震烈度是指某一地区地面和各类建筑物遭受一次地震影响的程度，一般用 I 表示。对应于一次地震，震级只有一个。但各地区由于震中距的不同，地质构造的不同，所受到的地震影响不一样，因而烈度也不一样。

可以这么说，迄今为止，尚未能找到一个理想的统一标准来度量地震烈度。在没有仪器观测的年代，唯一的方法就是从地震现象总结的宏观的烈度表。有了仪器观测之后，人们就试图用地面运动参数，如加速度、速度、位移、持续时间、反应谱等来定义烈度，也出现了含有这些物理量的烈度表。但由于各地区不能随时随地取得仪器记录，在地震现场评定烈度还不能借助于宏观的烈度表以及与地面运动参数之间的联系进行烈度评定。

我国的地震烈度表是根据我国地震调查经验、建筑物的特点和历史资料并参考国外烈度表而编制的。它是根据人的感觉、家具物品的振动情况、房屋和构筑物的破坏程度

以及地表现象等宏观的定性的标志来划分的。我国的地震烈度表一共分12度，1度最轻微，12度最严重。表1-3是我国烈度表中关于烈度7度的宏观描述。

烈度7度时的地震影响 表1-3

房 屋	结 构 物	地表现象	其 它 现 象
* I类房屋大多数损坏，许多破坏，少数倾倒。 * II类房屋大多数损坏，少数破坏。 * III类房屋大多数轻微损坏，许多破坏（可能有破坏的）。	* 不很坚固的院墙少数破坏，可能有些倒塌，较坚固的院墙损坏。 * 不很坚固的城墙很多地方损坏，有些地方破坏，墙少数倒塌，较多坚固的城墙有些地方损坏。 * 牌坊、砖、石砌的塔和工厂烟囱可能损坏。 * 碑石和纪念物很多轻微损坏。 * 由于黄土崩滑，土窖洞的洞口遭受破坏。 * 个别情况下，道路上有小裂缝。 * 路基陡坡和新筑道路，土堤斜坡上偶有塌方。	* 干土中有时产生细小裂缝。潮湿或疏松的土中裂缝较多，较大；少数情况下冒出夹泥的水。 * 个别情况下，陡坎滑坡。山区中有不大的滑坡和土石散落。土质松散的地区，可能发生崩滑。水泉的流量和地下水位可能发生变化。	* 人从室内仓惶逃出。 * 驾驶汽车的人也能感觉。 * 悬挂物强烈摇摆，有时损坏。 轻的家具移动。 书籍、器皿和用具坠落。

2. 基本烈度、众值烈度及罕遇烈度

按照既往的笼统概念，基本烈度是指某一地区今后一定时期内在一般场地条件下可能遭受的较大烈度。它实质上是某地区今后一定时间内的震害预报，同时也是抗震设防设计的依据。

应该指出，这里所指的地区，并非指工程建筑物的场地，而是指一个较大的范围。例如一个区、县或更大的范围。至于具体工程场地的局部浅层构造、地基土、地形地貌等影响震害程度的因素，尚需作具体考虑。

我国地震主管部门，以我国的地震危险区为基础，考虑了地震烈度随震中距增加而衰减的统计分析，结合历史地震调查，制定了我国的地震烈度区划图，烈度区划图中划定的烈度即为基本烈度。

一个地区发生地震是随机事件，而地震烈度更是随机变量。随机变量只能用概率分布规律来描述。对于基本烈度应该赋以概率上的定义。

根据《建筑结构设计统一标准》规定，一般建筑物以50年为设计基准期。由国内主

50年内地震烈度统计参数

表1-4

地 点	超 越 概 率						基本 烈度	众值 烈度	超越概率 0.1的烈度
	5 度	6 度	7 度	8 度	9 度	10度			
烟 台	0.836	0.380	0.087	0.013	0.001	0.0002	7	5.4	6.6
长 治	0.909	0.483	0.124	0.019	0.002	0.0002	7	5.7	7.1
灵 丘	0.934	0.565	0.169	0.034	0.006	0.001	7	5.8	7.3
玉 门	0.610	0.294	0.111	0.034	0.008	0.002	7	5.0	7.0
平 凉	0.846	0.453	0.155	0.041	0.009	0.001	7	5.5	7.3
固 原	0.877	0.489	0.166	0.043	0.009	0.002	7	5.6	7.3
西 宁	0.908	0.538	0.191	0.050	0.011	0.002	7	5.7	7.5
哈 密	0.641	0.840	0.186	0.042	0.010	0.002	7	5.0	7.2
北 京	0.979	0.729	0.300	0.077	0.014	0.002	8	6.2	7.3
天 津	0.989	0.786	0.342	0.086	0.015	0.002	8	6.3	7.9
唐 山	0.977	0.721	0.293	0.075	0.014	0.002	8	6.2	7.8
中 甸	0.999	0.950	0.572	0.205	0.053	0.011	8	6.8	8.5
楚 雄	0.999	0.920	0.405	0.089	0.012	0.002	8	6.6	7.9
兰 州	0.932	0.575	0.202	0.049	0.010	0.002	8	5.8	7.5
炉 霍	1.000	0.984	0.750	0.327	0.089	0.018	9	7.2	8.9
理 塘	1.000	0.970	0.555	0.137	0.023	0.004	9	6.9	8.2
西 昌	1.000	0.995	0.719	0.218	0.042	0.007	9	7.1	8.5
东 川	1.000	0.979	0.675	0.253	0.053	0.012	9	7.1	8.7

要震区45个（严格地说41个）城市的统计，其中一些城市50年内地震烈度的统计资料见表1-4。这些统计参数可用直方图或是概率密度曲线表示（以烟台为例，图1-6(a)）。由表可知，我国烈度区划图上所标定的基本烈度，可以认为是50年内具有超越概率为0.1的保证率，见图1-6(c)。

此外，为了后面所讲的二阶段抗震验算的需要，尚应对一些专用的名义烈度给以概率上的含义：

(1) 众值烈度 又称常遇烈度或多遇烈度，它是该地区出现频度最高的烈度，相当于概率密度曲线上峰值时的烈度，故称众值烈度。根据分析，它具有超越概率为63%的保证率，见图1-6(b)。根据分析（由表1-4也可以直接看出），多遇（众值）烈度比基本烈度低1.5度（严格地说1.55度）。结构在多遇烈度情况下，应该设计得保证不坏，即通常所谓的“小震不坏”。

(2) 罕遇烈度 在设计基准期内，遭遇大于基本烈度的大烈度震害还不能看作是不可能发生的小概率事件。表1-5给出了7、8、9基本烈度区超越概率为1~4%的平均大震烈度。

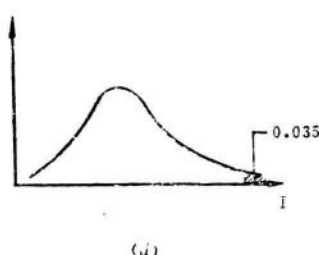
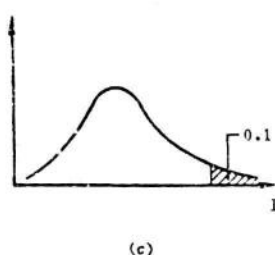
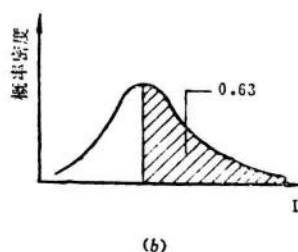
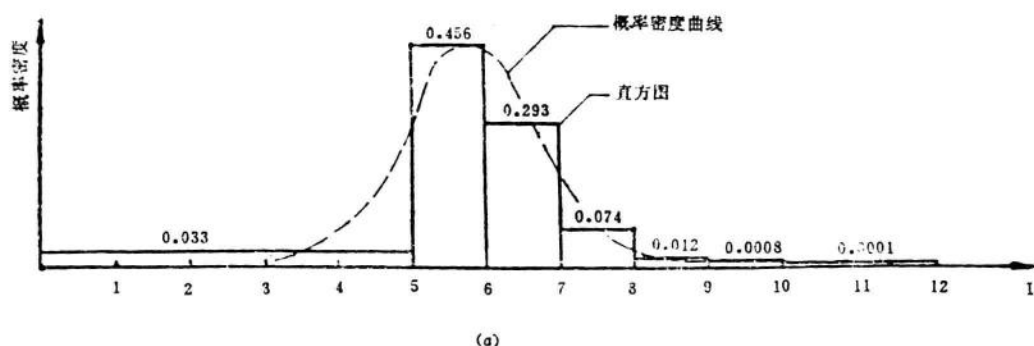


图1-6 烈度的超越概率
(a) 直方图示例 (b) 众值烈度 (c) 基本烈度 (d) 罕遇烈度

大震烈度及其超越概率

表1-5

基本烈度	平均大震烈度，当超越概率为		
	3.5%	2.5%	1.5%
7度	8.03	8.2	8.44
8度	8.13	8.6	8.84
9度	9.08	9.3	9.44

由表可知，随着基本烈度的提高，大震烈度增加的幅度有所减少，不同基本烈度对应的“大震烈度”的定量标准也不应相同。通过对43个城市地震危险性的分析，并结合我国经济实况，可粗略地将50年超越概率2~3%的烈度作为罕遇地震的概率水平；当基本烈度为6度时为7度强，7度时为8度强，8度时为9度弱，9度时为9度强。在罕遇烈度情况下，结构应设计得保证不倒，即所谓“大震不倒”。

3. 烈度的加速度定量标准

目前的烈度标准是以宏观的指标为主，还缺少定量的指标，它只能反映震害的后果而不能反映地震的作用。另外，既然地震烈度是抗震设防的标准，则应在烈度的标准中包括抗震设计所需要的工程数据，即定量的标准。在这方面各国已做了不少工作，试图把地震烈度和地面运动的种种物理量联系起来，给烈度以定量的描述。但至今问题尚未解决。

由于在工程方面习惯上比较普遍地认为地震对结构的影响主要取决于地面最大加速度，并且由于地震作用是一种惯性力，加速度更便于和地震作用计算联系起来，因此大多用加速度作为地震烈度的定量标准。为简便起见，烈度指标用地震系数 K 来表示，

$$K = a/g \quad (1-7)$$

式中 a 为地面最大加速度； g 为重力加速度。根据我国资料，地面最大加速度 a (以 cm/s^2 计) 与烈度 I 的关系可用下式表示：

$$a = 10^{(1.108I - 0.01)} \quad (1-8)$$

不同基本烈度的地震系数 K 列于表1-6。

烈度的地震系数

表1-6

规范	基本烈度 烈度种类	7 度			8 度			9 度		
		基本的	多遇的	罕遇的	基本的	多遇的	罕遇的	基本的	多遇的	罕遇的
64规范		0.075			0.150			0.300		
74、78规范		0.100			0.200			0.400		
新烈度表		0.125	0.04	0.22	0.250	0.08	0.40	0.500	0.16	0.62

至于多遇烈度，由于多遇烈度比基本烈度平均低1.55度，利用公式 (1-8) 的关系，不难得出多遇烈度对基本烈度的加速度折减系数 $\psi = 0.32$ 。多遇烈度的地震系数 K 值亦列于表1-6中。

对于罕遇地震，表1-7列出了超越概率为1~4%的大震烈度时的最大地面加速度对多遇（小震）烈度时最大加速度的比值 λ 。

大震与小震时最大加速度比值

表1-7

超越概率	3.5%	2.5%	1.5%
基本烈度			
7 度	6.0	6.8	8.0
8 度	4.0	4.5	5.3
9 度	3.1	3.6	4.0

表1-7的统计表明，罕遇烈度时的地面最大加速度可取多遇烈度时的4~6倍。现将其地震系数亦列于表1-6中。

地震时，地面除水平振动之外，还有竖向振动，尤其在震中区更为明显。根据部分资料认为，竖向最大加速度为水平方向的1/2~2/3，规范建议取2/3或0.65。

第四节 近震和远震

概括地讲，中等地震（例如震级 $M = 5.5$ ）的震中区和大地震（例如震级 $M = 7.5$ 级）中距震中较远的地区（例如震中距为50km），在同样烈度和同样场地条件下的破坏作用很不相同。因为长周期地震波比短周期地震波随距离增加衰减得轻，刚性结构在震中的破坏大于震中较远的地方，而高柔结构则相反。此外，同一烈度而地震持续时间不同，震害也不同。例如震级为8级，震中距远的8度区，地震持续时间常达40s以

上,而震级为6级,震中区附近的8度区,地震持续时间仅几秒,两者震害颇不相同。故除了明确地震烈度之外,尚应明确是近震还是远震。

由于烈度随距离的衰减与震级关系较为密切,根据国内资料统计,不同震级 M 情况下,地震烈度与震中距 D (以km计)的关系为:

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.49 \log D \quad (1-9)$$

而在震中区为

$$I = 0.24 + 1.29M \quad (1-10)$$

如:对于 $M = 7.5$ 级地震,距震中 $D = 50\text{km}$ 的地方 A ,由公式(1-9), $I = 0.92 + 1.63 \times 7.5 - 3.49 \log 50 = 7.2$ 度。而在震中区 B ,由公式(1-10), $I = 0.24 + 1.29 \times 7.5 = 9.9$ 度,比地方 A 高2.7度。对于 $M = 5.5$ 级地震,在震中区 C ,由公式(1-10), $I = 0.24 + 1.29 \times 5.5 = 7.3$ 度,与地方 A 烈度基本相同。

由公式(1-9)及(1-10)的近似关系式,不难在 $M - \log D$ 为直角坐标的平面上勾画出等烈度区,见图1-7。根据图的启示,近震和远震定义为:

当某地区是受震中烈度与该地区给定的基本烈度相等或比它大一度的地震影响时,称为近震;当某地区是受震中烈度比该地区给定的基本烈度大二度或二度以上的地震影响时,称为远震。上述算例中的地方 A 属于7.2度远震,地方 C 属于7.3度近震。

按现行烈度区划图,我国绝大多数地区只考虑近震影响,需要考虑远震影响的城镇大致如下:

8度远震:独山子、泸定、石棉

7度远震:侯马、连云港、徐州、淮阴、蚌埠、德州、枣庄、五原、南投、乌鲁木齐、喀什、伊宁、渡口、拉萨、高雄

6度远震:赤峰、济宁、青岛、济南、泰安、潍坊、阳泉、安丘、商丘、盐城、滁县、盐津、招远、承德、本溪、哈密、库尔勒、永昌、武威、托克逊、吐鲁番、景洪、景谷、定西、雅安、株洲、湘莆、益阳、潭田

第五节 地震的破坏现象

一、地面破坏现象

(1) **地裂缝** 由于地下断层错动的结果,地表面受挤压、受拉或受扭,地表可以出现长达数十米,断续长度可达几公里的裂缝,深度为1~2米左右。

(2) **喷砂冒水** 在地下水位较高、砂层埋深较高的平原地区,地震波的作用使地下水受到挤压,地下水将从地裂缝处或土层松软处冒出,在有砂的地方,砂子一同夹带而出,形成了喷砂冒水泥浆。

(3) **滑坡塌方** 在陡峻的山坡和河

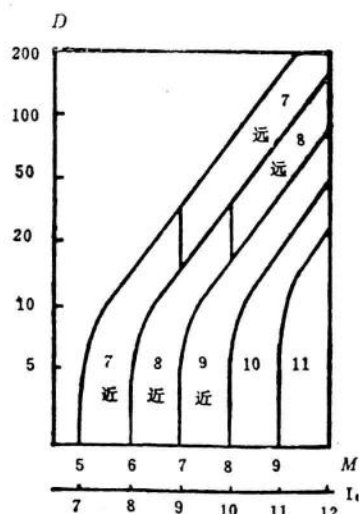


图1-7 近震和远震

旱,地震时由于土体失稳而形成滑坡塌方。

二、工程结构破坏现象

(1) 结构丧失整体性 因为结构是由很多部件组成的,地震时由于它们之间联系不牢而丧失整体性破坏。如纵横墙的脱榫、板(屋面板)和墙体的支承脱离、结构的支撑失去功能等。

(2) 结构内主要承重构件承载力不足而破坏 如柱子的受剪破坏、烟囱的倒塌等。

(3) 结构的变形过大而致倒塌 由于地震是通过地面运动对结构发生作用,地震时结构要产生较大的位移和层间相对位移,如果这些位移超过了结构所能容忍的极限位移,结构也要发生倒塌。

(4) 地基失效 在强烈地震作用下,地基承载力可能下降。另外,由于地基饱和砂层的液化结果,地基几乎完全丧失了承载能力,造成建筑物倾倒或破坏。

三、次生灾害的破坏现象

地震时,如果水坝塌方或者给排水、供电、供煤气系统或易燃易爆有毒物容器等破坏,就会引起水灾、火灾和空气污染等灾害。这种次生灾害有时比地震的直接灾害还大,特别是大工业区和大城市更为显著。

第六节 工业与民用建筑的设防范围

一、概述

抗震设防烈度应按国家规定的权限审批颁发的文件(图件)确定,一般情况下可采用基本烈度;对做过抗震防灾规划的城市,可按抗震设防区划(设防烈度或设计地震参数)进行抗震设防。

曾经有人持这样看法:①地震烈度是宏观的地震学中的概念,它是地震所造成的破坏后果的分级标准,它和地震作用虽有一定联系,但仍不能充分反映地面运动的实际作用,因而出现了同一烈度情况下不同类型结构的破坏程度有很大的差别。②抗震设计要求提供地震时地面运动的数据,而烈度未能给出地面运动的各种参数,目前我国规范只提供了一个定量的数字指标。因而主张采用地震时地面运动参数作为抗震设防依据,让烈度概念为其他工作服务。

另一种看法是:①历史的地震资料和地震烈度衰减规律是地震危险性分析的重要基础,而在我国两者都依赖于宏观烈度分布的资料。②宏观烈度是抗震设计与地震实践经验的纽带,丢掉这个纽带将会带来难以弥补的损失。③宏观烈度是地震破坏的形象化,容易为人们理解和接受,它是地质、地球物理和工程人员的共同语言。

规范综合各看法,在保留烈度的基础上,对过去的规定做某些改革,包括对做过地震小区规划的地区允许采用地震动参数作为设防依据。在地震动反应谱谱形上也作了进一步的完善。