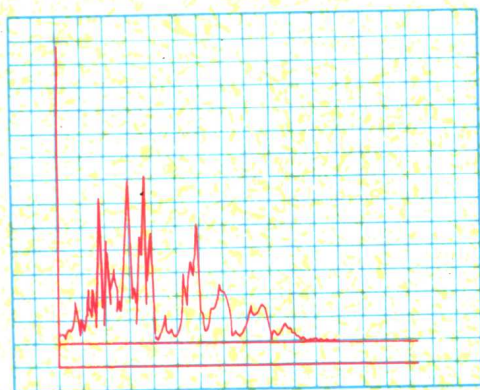
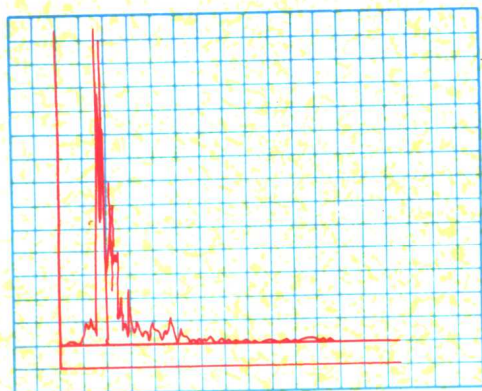


吕西林 周德源 李思明 编著

房屋结构 抗震设计理论与实例



同济大学出版社

房屋结构抗震设计理论与实例

吕西林 周德源 李思明 编著

同济大学出版社

(沪)新登字 204 号

内 容 提 要

本书主要阐述了房屋结构抗震设计的基本理论和实用方法,并给出了几种房屋结构抗震设计的实例。全书共分为十章。第一、二章介绍地震、场地和地基基础的有关基本知识。第三、四、五章介绍了结构地震反应的基本理论和按《建筑抗震设计规范 (GBJ11-89)》进行房屋结构抗震设计的基本方法。第六、七、八、九章介绍了各类房屋结构抗震设计的方法和实例。第十章介绍了房屋结构隔震设计的理论和方法。

本书可作为土建类专业的教学用书、成人教育的自学用书和从事结构抗震设计、施工和科研人员的参考书。

责任编辑 冯时庆

封面设计 李志云

房屋结构抗震设计理论与实例

吕西林 周德源 李思明 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

上海市印刷三厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20.25 字数: 510 千字

1995 年 1 月第 1 版 1995 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—3000 定价: 24.00 元

ISBN7-5608-1543-X/TU.158

前 言

本书是作者在教学和工程实践中学习、使用《建筑抗震设计规范 (GBJ11—89)》基础上, 结合十几年来工程抗震方面的研究成果而编著的。作者希望读者通过本书的学习, 不仅能掌握工程抗震方面的基本理论和基本方法, 而且能熟练运用规范进行房屋结构的抗震设计。

本书的特点是理论叙述与设计例题并重, 注意基本概念的阐述, 辅之以详细的例题示范。书中所附的部分计算机程序, 不仅可在本书的教学中使用, 亦可用于工程实践和科研工作。

本书第一、二、八、十章由吕西林编写; 第三、四、六章由周德源编写; 第五、七、九章由李思明编写。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。书中疏漏之处, 欢迎读者批评指正。

作者

1994年8月

目 录

第一章 地震及结构抗震的基本知识

- 1.1 地震成因与地震类型 (1)
- 1.2 地震波及其传播 (3)
- 1.3 地震震级与地震烈度 (6)
- 1.4 中国地震的特点与地震灾害 (10)
- 1.5 结构的抗震设防 (14)

第二章 场地、地基和基础

- 2.1 场地 (16)
- 2.2 地基基础的抗震验算 (18)
- 2.3 地基抗震措施 (19)
- 2.4 地基基础的抗震加固 (25)
- 2.5 地基基础抗震设计中应注意的几个问题 (27)

第三章 单自由度体系结构的地震反应

- 3.1 概述 (28)
- 3.2 单自由度体系的自由振动 (29)
- 3.3 单自由度体系在任意荷载作用下的受迫振动 (33)
- 3.4 单自由度体系地震反应的数值计算 (35)
- 3.5 抗震设计反应谱 (40)
- 3.6 单自由度体系的非线性地震反应与计算 (43)

第四章 多自由体系结构的地震反应

- 4.1 概述 (49)
- 4.2 多自由度体系的自由振动 (49)
- 4.3 多自由度体系的振型分解法 (60)
- 4.4 多自由度体系的水平地震作用及效应 (64)
- 4.5 多自由度体系地震反应的时程分析 (69)

第五章 各类房屋抗震设计要点

- 5.1 抗震概念设计 (76)
- 5.2 建筑重要性分类与抗震设防标准 (79)
- 5.3 地震作用的计算 (82)
- 5.4 结构抗震验算 (88)

第六章 多层砌体房屋抗震设计

- 6.1 概述 (92)
- 6.2 建筑布置与结构选型 (93)
- 6.3 多层砌体房屋抗震强度验算 (96)

6.4 多层砌体房屋抗震构造措施	(108)
第七章 多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计	
7.1 概述	(114)
7.2 震害及分析	(114)
7.3 结构抗震设计原则	(116)
7.4 框架结构的抗震设计	(119)
7.5 抗震墙结构的抗震设计	(143)
7.6 框架-抗震墙结构的抗震设计	(158)
7.7 抗震构造措施	(180)
7.8 钢筋混凝土多层和高层建筑抗震设计实例	(189)
第八章 底层框架和多层内框架砖房抗震设计	
8.1 概述	(210)
8.2 结构布置	(212)
8.3 抗震计算要点	(214)
8.4 抗震构造措施	(219)
8.5 抗震设计实例	(220)
第九章 单层厂房抗震设计	
9.1 单层钢筋混凝土柱厂房震害及其分析	(233)
9.2 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定	(235)
9.3 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	(235)
9.4 单层砖柱厂房抗震设计	(260)
9.5 单层厂房抗震构造措施	(266)
9.6 单层厂房抗震设计实例	(272)
第十章 房屋结构隔震设计	
10.1 概述	(299)
10.2 房屋结构的基础隔震	(299)
10.3 隔震装置	(300)
10.4 隔震系统的动力分析	(302)
10.5 隔震房屋的抗震设计	(305)
10.6 房屋隔震示范工程 and 实际工程简介	(307)

第一章 地震及结构抗震的基本知识

1.1 地震成因与地震类型

地震是一种自然现象。据统计,全世界每年发生的地震约达五百万次,绝大多数地震由于发生在地球深处或者它所释放的能量小而人们难以感觉到。人们能感觉到的地震叫有感地震,是地震总数的1%左右。造成灾害的强烈地震则为数更少,平均每年发生十几次。强烈地震会引起地震区地面剧烈摇晃和颠簸,并会危及人民生命财产安全和造成工程建筑物的破坏。地震还可能引起火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸。这些现象都会给人类造成灾难。

1.1.1 地球构造

为了便于了解地震的成因及其发展规律,我们简单地介绍一下地球的构造。

地球是一个近似于球体的椭球体,平均半径约6370km,赤道半径约6378km,两极半径约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(图1.1)。

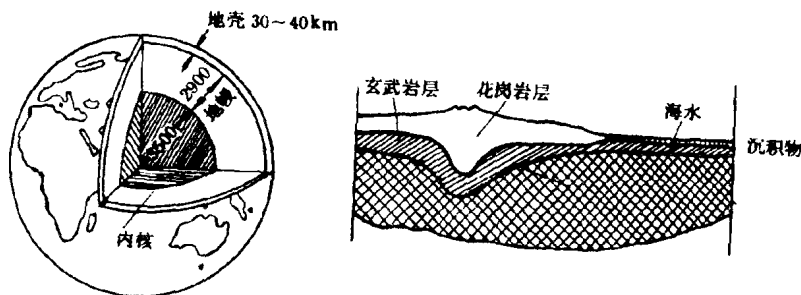


图 1.1 地球断面与地壳剖面

1.地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳,它由各种不均匀的岩石组成。地壳的下界称为莫霍界面,或称莫霍不连续面。地壳的厚度在全球变化很大,大陆内一般厚16~40km,高山地区厚度更大,中国西藏高原及天山地区厚达70km。海洋下面厚度最小,一般为10~15km,最薄的约5km,世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。地壳表面为沉积层,陆地下面主要有花岗岩层和玄武岩层,海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。

2.地幔

地壳以下到深度约 2 895km 的古登堡界面为止的部分为地幔，约占地球体积的 5/6。地幔由密度较大的黑色橄榄岩等超基性岩石组成，其中上地幔物质结构不均匀，中、下地幔部分是比较均匀的。由于地幔能传播横波（剪切波），所以根据推算，地幔应为固体。

3.地核

古登堡界面以下直到地心的部分为地核，地核半径约为 3 500km，又可分为外核和内核。据推测，地核的物质成分主要为镍和铁。由于至今还没有发现有地震横波通过外核，故推断外核处于液态，而内核可能是固态。

地球各部分的密度随深度增加而增大，地球内部的温度随深度增加而升高。地球内部的压力强度在地幔上部约为 $883\text{MPa}(9 \times 10^3\text{kg}/\text{cm}^2)$ ，地核中心达 $36\,284\text{MPa}(37 \times 10^5\text{kg}/\text{cm}^2)$ 。

1.1.2 地震的发生过程

地震就是地球内某处岩层突然破裂，或因局部岩层塌陷、火山爆发等发生了振动，并以波的形式传到地表引起地面的颠簸和摇晃，从而引起了地面的运动。发生地震的地方叫震源。震源是有一定范围的，但地震学里常常把它当作一个点来处理，这是因为地震学考虑的是大范围的问题，震源相对来说很小，可以当做一个点。震源在地表的投影叫震中。震源至地面的垂直距离叫震源深度。通常把震源深度在 60km 以内的地震叫浅源地震，60~300km 以内的叫中源地震，300km 以上的叫深源地震。

世界上绝大部分地震是浅源地震，震源深度集中在 5~20km 左右，中源地震比较少，而深源地震为数更少。中国东北吉林省东部地区曾发生过深源地震。一般来说，对于同样大小的地震，当震源较浅时，波及范围较小，而破坏程度较大；当震源深度较大时，波及范围则较大，而破坏程度相对较小，深度超过 100km 的地震在地面上不致引起灾害。

1.1.3 地震的成因与类型

从地震成因来分，可分为构造地震、火山地震、塌陷地震等，此外，水库也能诱发地震，核爆炸可能在场地激发地震。

构造地震是由于地应力在某一地区逐渐增加，岩石变形也不断增加，到一定时候，在岩石比较薄弱的地方突然发生断裂错动，部分应变能突然释放，其中一部分能量以波的形式在地层中传播，这就产生了地震。构造地震发生断裂错动的地方形成断层，叫做发震断层，以区别于其它一些由于地震地面运动而造成的断层。构造地震常常发生在已有的断层上，这是因为这些地方既是应力集中的地方，又是岩石强度低的地方^{〔1〕}。

由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起的地面振动叫做火山地震，火山地震的影响一般比较小，不致引起较大的灾害。

由于地表或地下岩层因某种原因（如较大的地下溶洞的塌陷或古旧矿坑的塌陷等）突然造成大规模陷落和崩塌时导致小范围内的振动叫塌陷地震，塌陷地震造成的危害一般也比较小。

一般造成较大灾害的都为构造地震，尤以浅源构造地震造成的灾害更大。因此，从工

程抗震角度来说，主要是研究占全球地震发生总数约 90% 的构造地震。

1.2 地震波及其传播

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播，这就是地震波。地震波是震源辐射的弹性波，一般分为体波和面波。体波是纵波和横波的总称，包括原生体波和各种折射、反射及其转换波。面波为次生波，一般指乐甫(Love)波和瑞雷(Rayleigh)波。下面分别介绍这两种波的主要特性。

1.2.1 体波

体波是指通过地球本体内传播的波，它包含纵波与横波两种。

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，如图 1.2(a) 所示，一般表现出周期短、振幅小的特点。纵波的传播过程是介质质点间弹性压缩与张拉变形相间出现、周而复始的过程，因此，纵波在固体、液体里都能传播。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垂直，如图 1.2(b) 所示，一般表现为周期长、振幅较大的特点。由于横波的传播过程是介质质点不断受剪变形的过程，因此横波只能在固体介质中传播。

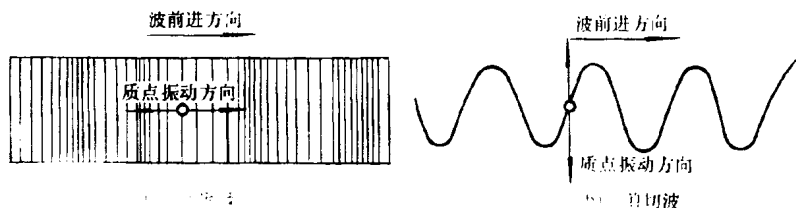


图 1.2 体波传播示意图

纵波与横波的传播速度理论上可分别用下式计算：

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\gamma)}{\rho(1+\gamma)(1-2\gamma)}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad (1.1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\gamma)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2)$$

式中 V_p ——纵波速度；

V_s ——横波速度；

E ——介质的弹性模量；

γ ——介质的泊松比；

ρ ——介质的密度；

G ——介质的剪切模量；

λ ——拉梅常数， $\lambda = \frac{\gamma E}{(1+\gamma)(1-2\gamma)}$ 。

在弹性介质中，这两种体波的传播速度之比为

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\gamma)}{1-2\gamma}} \quad (1.3)$$

一般情况下，(1.3)式的值大于1。例如当 $\gamma=0.25$ 时， $V_p = \sqrt{3} V_s$ 。因此纵波传播速度比横波传播速度要快，在仪器观测到的地震记录图上，一般也是纵波先于横波到达。因此，通常也把纵波叫P波，把横波叫S波。

通过(1.1)、(1.2)和(1.3)式，不仅可以得到两种体波的传播速度和它们之间的关系，还可以得到介质的一些弹性参数。例如，当实际测得 V_p 和 V_s 时，利用(1.3)式可以得到介质的泊松比 γ ；在介质密度 ρ 已知的情况下，在 $(E, G), (\gamma, \lambda), (V_p, V_s)$ 这三组参数中，若已知其中一组，利用式(1.1)、(1.2)、(1.3)就可以求得其它两组参数，这些参数在地震工程的研究与应用中是非常重要的。

1.2.2 面波

面波指沿介质表面（或地球地面）及其附近传播的波，一般可以认为是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包含瑞雷（Rayleigh）波和乐甫（Love）波两种。

地震瑞雷波是纵波P和横波S在固体层中沿界面传播相互叠加的结果。瑞雷波传播时，质点在波的传播方向与地表面法向组成的平面内作逆进椭圆运动，如图1.3所示。瑞雷波在震中附近并不出现，要离开震中一段距离才形成，而且其振幅沿径向按指数规律衰减。

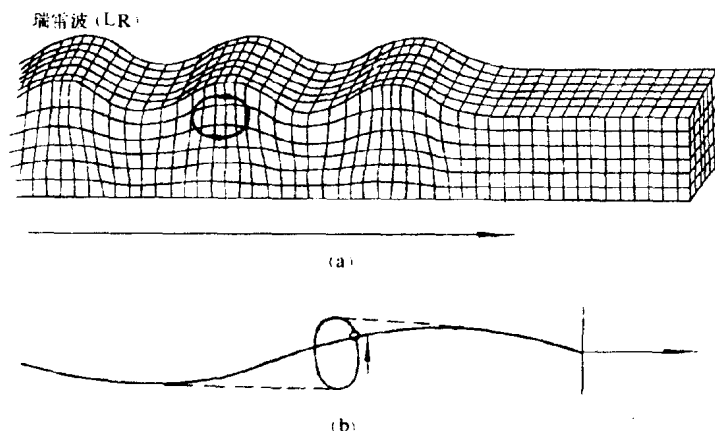


图 1.3 瑞雷波振动轨迹剖面(a)和射线(b)

乐甫波的形成与波在自由表面的反射和波在两种不同介质界面上的反射、折射有关。乐甫波的传播，类似于蛇行运动，质点在与波传播方向相垂直的水平方向作剪切型运动，如图1.4所示。质点在水平方向的振动与波行进方向耦合后会产生水平扭转分量，这是乐甫波的一个重要特点。

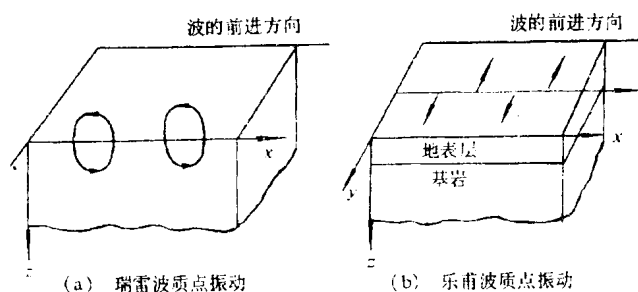


图 1.4 面波质点振动示意图

地震波的传播以纵波最快，横波次之，面波最慢。所以在地震记录上，纵波最先到达，横波到达较迟，面波在体波之后到达，一般，当横波或面波到达时地面振动最强烈。地震波记录是确定地震发生的时间、震级和震源位置的重要依据，也是研究工程结构物在地震作用下的实际反应的重要资料。

1.2.3 地震波的主要特性及其在工程中的应用

由震源释放出来的地震波传到地面后引起地面运动，这种地面运动可以用地面上质点的加速度、速度或位移的时间函数来表示，用地震仪记录到的这些物理量的时程曲线习惯上又称为地震加速度波形、速度波形和位移波形。在目前的结构抗震设计中，常用到的则是地震加速度波形，以下就地震加速度波形的一些特性作简单的介绍。

1. 地震加速度波形的最大幅值

最大幅值是描写地震地面运动强烈程度的最直观的参数，尽管用它来描写地震波的特性时还存在一些问题，但在工程实际中得到最普遍的接受与应用。在抗震设计中对结构进行时程反应分析时，往往要给出输入的最大加速度峰值，在设计用反应谱中，地震影响系数的最大值也与地面运动最大加速度峰值有直接的关系（见第三章）。

2. 地震加速度波形的频谱特性

对时域的地震加速度波形进行变换，就可以了解这种波形的频谱特性，频谱特性可以用功率谱、反应谱和傅里埃谱来表示。本书不再说明这些谱的有关理论和方法，仅对一些研究结果作一介绍。图 1.5 和图 1.6 是根据日本一批强震记录求得的功率谱，它们是同一地震、震中距近似相同而地基类型不同的情况，显示出硬土、软土的功率谱成分有很大不同，即软土地基上地震加速度波形中长周期分量比较显著；而硬土地基上地震加速度波形则包含着多种频谱成分，一般情况下短周期的分量比较显著。利用这一概念，在设计结构物时，人们就可以根据地基土的特性，采取刚柔不同的体系，以减少地震引起结构物共振的可能性，减少地震造成的破坏。

3. 地震加速度波形的持续时间

人们很早就从震害经验中认识到了强震持续时间对结构物破坏的重要影响，并且认识到了这种影响主要表现在结构物开裂以后的阶段。在地震地面运动的作用下，一个结构物从开裂到全部倒塌一般是有一个过程的，如果结构物在开裂后又遇到了一个加速度峰值很

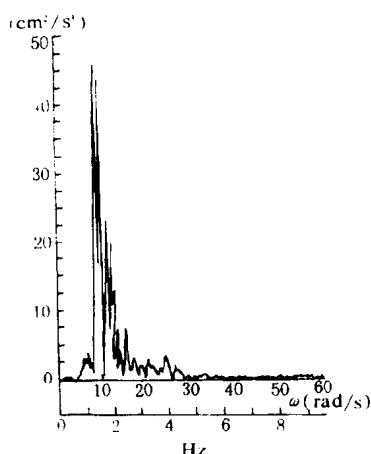


图 1.5 软土地基功率谱示意图

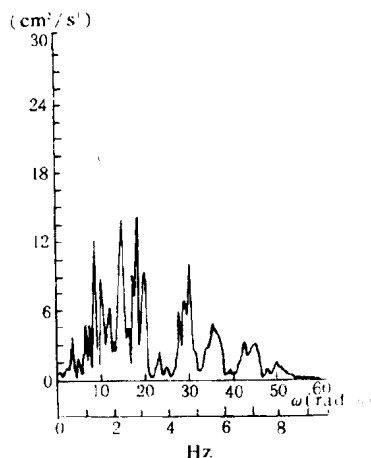


图 1.6 硬土地基功率谱示意图

大的地震脉冲并且结构物产生了很大的变形，那么结构的倒塌与一般的静力试验中的现象比较相似，即倒塌取决于最大变形反应。另一种情况是，结构物从开裂到倒塌，往往要经历几次、几十次甚至几百次的反复振动过程，在某一振动过程中，即使结构最大变形反应没有达到静力试验条件下的最大变形，结构也可能由于长时间的振动和反复变形而发生倒塌破坏。很明显，在结构已发生开裂时，连续振动的时间越长，则结构倒塌的可能性就越大。因此，地震地面运动的持续时间成为人们研究结构物抗倒塌性能的一个重要参数。在抗震设计中对结构物进行非线性时程反应分析时，往往也要给出一个输入加速度波形的持续时间。

1.3 地震震级与地震烈度

1.3.1 地震震级

地震震级是表征地震强弱的指标，是地震释放多少能量的尺度，它是地震的基本参数之一，是地震预报和其它有关地震工程学研究中的一个重要参数。

震级一般有三种定义，一是近震震级 M_L ，二是面波震级 M_S ，三是体波震级 M_B 。

近震震级的最早定义由美国的里克特 (C.F.Richter) 给出，计算震级 M_L 的公式为

$$M_L = \log A - \log A_0 \quad (1.4)$$

式中 A 为地震记录的最大幅值， A_0 为标准地震在同一震中距上的最大振幅。如果 $A = A_0$ ，则 $M_L = 0$ 。里克特规定：用标准地震仪（周期 0.8s，阻尼系数 0.8，放大倍率 2800 倍），在震中距 100m 处，记录最大振幅的地动位移为 $10^{-3}\text{mm}(1\mu\text{m})$ ，相应的震级为零级。 $-\log A_0$ 是震中距的函数，是零级地震在不同震中距的振幅对数值，称作起算函数或标定函数。

中国的李善邦将近震震级的定义发展为采用一般的近震记录，建议按下式确定震级：

$$M_L = \log A_\mu + R(\Delta) \quad (1.5)$$

式中 A_μ 为近震记录的最大地动位移(μm)，取两水平向分量的算术平均值，两水平向分量不必追踪同一时间的振幅， $R(\Delta)$ 值为

$$R(\Delta) = \log V_0(T) - \log A_0 - 3 \quad (1.6)$$

式中 $V_0(T)$ 为标准地震仪在最大振相周期 T 时的放大倍数， $\log A_0$ 与式(1.4) 中的定义相同。

中国规定面波震级 M_s 按下式确定：

$$M_s = \log (A / T) + \sigma(\Delta) + C \quad (1.7)$$

式中， A 是面波最大地动位移(μm)，取两水平向分量的矢量和； T 为相应于 A 的周期； $\sigma(\Delta)$ 为起算函数； C 为台站校正值。

由于随着震源深度的加大，面波迅速减弱，故深源地震时难以用面波测定震级。为了测定深源地震的震级，古登堡推广为使用体波。对于体波震级，目前中国仍采用古登堡和里克特的方法，按下式计算：

$$M_B = \log (A / T) + Q + S \quad (1.8)$$

式中， A 是地震体波波组的最大振幅(μm)，对水平向分量则采用两水平向分量的向量和； T 是周期； Q 为体波起算函数； S 为台站校正值。

以上介绍了三种计算震级的方法，理论上讲，同一地震中得到的 M_L ， M_s 和 M_B 应该相同，但实际上观测结果表明各种震级间有系统偏差。根据国内外资料求得的经验公式如下：

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1.9)$$

$$M_B = 0.63M_s + 2.5 \quad (1.10)$$

中国地震部门为统一起见，规定全部用面波所计算的震级 M_s 上报。

由于地震震级本身只反映地震某些方面的参数，再加上震源与观测台站之间地震波经过的介质有差异，以及近震、面波、体波震级之间的折算也有差异，故同一地震，所报的震级有一定的差异也是正常的。

一般来说，小于 2 级的地震人们感觉不到，只有仪器才能记录下来，叫做微震；2~4 级地震人就感觉到了，叫有感地震；5 级以上地震就要引起不同程度的破坏，统称为破坏性地震；7 级以上地震则称为强烈地震。

1.3.2 地震烈度

地震烈度是地震对地面影响的强烈程度，主要依据宏观的地震影响和破坏现象，如从人们的感受、物体的反应、房屋建筑物的破坏和地面现象的改观（如地形、地质、水文条件的变化）等方面来判断。因此，地震烈度是表示某一区域范围内地面和各种建筑物受到

中国地震烈度(1980)

表 1.1

烈度	人的感觉	一般房屋		其它现象	参考物理指标	
		大多数房屋震害程度	平均震害指数		水平向	
					加速度 (cm / s ²)	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, 少数人惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动, 器皿作响		
5	室内人们普遍感觉, 室外多数人感觉, 多数人惊醒	门窗、屋顶、屋架颤动作响, 灰土掉落, 抹灰出现微细裂缝		不稳的器皿翻倒	31 (22~44)	3 (2~4)
6	惊慌失措, 仓惶逃出	损坏一个别砖瓦掉落, 墙体细微裂缝	0~0.1	河岸和松散土上出现裂缝, 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	大多数人仓惶逃出	轻度破坏一局部破坏, 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	中等破坏一结构受损, 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)
9	坐立不稳, 行动的人可能摔跤	严重破坏一墙体龟裂, 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, 处于不稳状态的人会摔出几尺远, 有抛起感	倒塌一大部倒塌, 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塌	1000 (708~1414)	100 (72~141)
11		毁灭	0.91~1.0	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		

一次地震影响的平均强弱程度的一个指标。这一指标反映了在一次地震中一定地区内地震动多种因素综合强度的总平均水平，是地震破坏作用大小的一个总评价。地震烈度把地震的强烈程度，从无感到建筑物毁灭及山河改观等划分为若干等级，列成表格，以统一的尺度衡量地震的强烈程度。表 1.1 是 1980 年颁布的中国地震烈度表。

关于各种烈度划分的说明如下：

(1) 1~5 度以人的感觉为主；6~10 度以房屋震害为主，人的感觉仅作参考；11，12 度以房屋和地表现象为主。

(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多层的新式砖房。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“完好”为 0，“全毁”为 1，中间按轻重分级，平均震害指数为各级震害指数与相应破坏率（%）乘积的总和。

(4) 震害程度

损坏——个别掉砖落瓦，墙体微细裂缝。指数 0~0.1；

轻度破坏——局部破坏开裂，但不妨碍使用。指数 0.11~0.30；

中等破坏——结构受损，需要修理。指数 0.31~0.50；

严重破坏——墙体裂缝较宽，局部倒塌，修复困难。指数 0.51~0.70；

倒塌——大部倒塌，不堪修复。指数 0.71~0.90；

毁灭——墙倒顶塌，荡然无存。指数 0.91~1.0。

(5) 使用时可根据具体情况，作出临时的补充规定。

(6) 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。

(7) 表中数量词的含义为：个别指 10% 以下；少数指 10%~15%；多数指 50%~70%；大多数指 70%~90%；普遍指 90% 以上。

国际上目前使用的地震烈度表还有：①修订的麦加利烈度表(Modified Mercalli Scale, MMS)，主要为美国、加拿大和拉丁美洲国家所采用。② MSK 烈度表，由麦德维捷夫、施蓬怀尔和卡尔列克于 1964 年共同提出，主要在欧洲各国使用。③日本七阶烈度表，1949 年由大森房吉提出，适合于日本国情，在日本使用。

1.3.3 震级与震中烈度的关系

地震震级和地震烈度是完全不同的两个概念。地震震级近似表示一次地震释放能量的大小，地震烈度则是经受一次地震时一定地区内地震影响强弱程度的总评价。如果把地震比做一次炸弹爆炸，则炸弹的药量就好比震级；炸弹对不同地点的破坏程度就好比是烈度。一次地震只有一个震级，然而烈度则随地而异，有不同的烈度。对于中浅源地震，震中烈度与震级的大致对照关系如表 1.2 所示。

地震震级与震中烈度大致关系

表 1.2

地震震级 (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

1.4 中国地震的特点与地震灾害

1.4.1 中国的地震活动与分布

中国地处世界上两个最活跃的地震带中间，东濒环太平洋地震带，西部和西南部是欧亚地震带所经过的地区，是世界上多地震国家之一。中国台湾大地震最多，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。

根据 1990 年版的《中国地震烈度区划图》，中国各地震烈度分区的总面积和所占百分比如表 1.3 所示。

中国地震烈度分区总面积及百分比

表 1.3

地震烈度分区	< 6 度	6 度	7 度	8 度	≥ 9 度	总 计
总面积($10^4 \times \text{km}^2$)	201	361	320	68	9.5	959.5
所占百分比(%)	21	38	33	7	1	100

由表可见，中国有 79% 的国土面积需按国家标准 GBJ11-89 进行抗震设防（烈度 ≥ 6 度）；有 8% 的国土面积处于较高烈度设防区（烈度 ≥ 8 度）。

从《中国地震烈度区划图(1990)》得知，高烈度区（烈度 ≥ 9 度）全国共有 34 个，主要分布在西部，其中 24 个分布在青藏高原及其周边，6 个在新疆，2 个在华北，2 个在台湾；低烈度区（烈度 ≤ 7 度）主要分布在华南、内蒙北部、东北、西北等地区。

为了便于工程应用，将《中国地震烈度》1990 年版中有关城市基本烈度摘录如下。

1. 各省、自治区省会城市和直辖市的地震基本烈度

北京	8 度；	上海	7 度；	天津	7 度；
广州	7 度；	沈阳	7 度；	武汉	6 度；
南京	7 度；	成都	7 度；	福州	7 度；
济南	6 度；	郑州	7 度；	昆明	8 度；
长沙	6 度；	哈尔滨	6 度；	长春	7 度；
太原	8 度；	石家庄	6 度；	呼和浩特	8 度；
杭州	6 度；	合肥	7 度；	南昌	< 6 度；
南宁	6 度；	贵阳	6 度；	拉萨	8 度；
西安	8 度；	兰州	8 度；	西宁	7 度；
银川	8 度；	海口	8 度；	乌鲁木齐	8 度；
台北	8 度；				

2. 其它有关城市的地震基本烈度

特别行政区:	香港	7 度;	澳门	7 度。	
经济特区:	深圳	7 度;	珠海	7 度;	厦门 7 度。
沿海开放城市:	大连	7 度;	秦皇岛	7 度;	烟台 7 度;
	青岛	6 度;	连云港	7 度;	南通 6 度;
	宁波	6 度;	温州	6 度;	湛江 7 度;
	北海	6 度;	汕头	8 度。	

其余城市和地区的地震基本烈度可以从《中国地震烈度区划图(1990)》中查到^[6]。

1.4.2 中国地震活动的主要特点

1. 中国地震活动分布范围广

据历史记载,中国的绝大多数省份都曾发生过6级以上的地震,地震基本烈度6度及其以上地区的面积占全部国土面积的79%。由于地震活动范围广,震中分散,再加之科学技术上的原因,以致不易捕捉地震发生的具体地点,难以集中采取防御措施。

2. 地震的震源浅、强度大

中国的地震大部分发生在大陆地区,这些地震绝大多数是震源深度为20~30km的浅源地震,对地面建筑物和工程设施的破坏较重。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或400~500km的深源地震。近80年来,中国发生7级以上强震约占全球的1/10多,而地震释放的能量则占全球同期强震释放总能量的2/10~3/10。

3. 位于地震区的大、中城市多,建筑物抗震能力低

中国450个城市中,位于地震区的占74.5%,其中有一半位于地震基本烈度7度及其以上地区;28个百万以上人口的特大城市,有85.7%位于地震区,50~100万人口的大城市和20~50万人口的中等城市80%位于地震区。特别是一些重要城市,如北京、昆明、太原、呼和浩特、拉萨、西安、兰州、乌鲁木齐、银川、海口、台北等,都位于地震基本烈度8度的高烈度地震区。

在本世纪70年代以前,新建工程一般均未考虑抗震设防,因此这些房屋和工程设施一般不能抵抗地震的袭击。城市的大部分老旧房屋,广大农村建筑,土、石结构房屋,南方地区的空斗墙房屋,抗震能力更差。历次地震造成的人民生命财产的损失,主要是由于抗震能力差的房屋和工程设施的破坏造成的。

4. 强震的重演周期长

中国强震的重演周期大多在百年乃至数百年,因此,地震的活动范围和地震烈度很难预测,在中国的一些6度区发生高于或远高于6度的强震的许多实例,就充分说明了这一点。历史上中国强震的重演周期举例如下。在中国人口稠密、城市密集、工业集中的东部地区,自1604年福建泉州8级地震,1668年山东郯城8.5级地震,1679年河北三河、平谷8级地震和1695年山西临汾8级地震之后,在280多年内没有发生8级左右的大震。河北历史上发生过3次7.5级以上的强震,发震时间分别相隔151年和146年。山西历史上发生过7.5级以上强震,发震时间分别相隔791年和392年。山东的郯城地震和菏泽地震相隔269年。由于强震的重演周期长,容易使人们在现实生活中忽视地震灾害的威胁,也容易忘记地震灾害的惨痛教训,因而对抗震设计与研究工作的重要性认识不足,对于地震灾害的突发性准备不够,这样地震时就可能造成较大的灾害。

1.4.3 中国的地震灾害

中国是世界上地震灾害最严重的国家,地震造成的人员伤亡,中国居世界首位,地震造成的经济损失,也十分巨大,地震造成的房屋破坏和倒塌,中国所占的比例也最大。地震灾害主要表现在三个方面,即地表破坏,工程建筑物破坏和因地震而引起的各种次生灾