



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑 结构

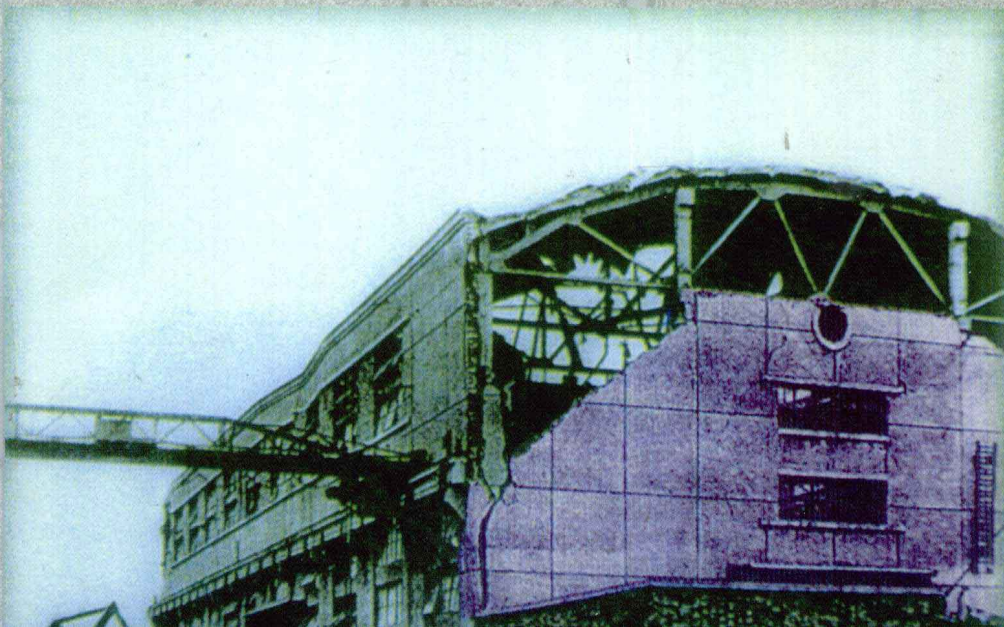
抗震设计理论与实例 (第三版)

按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)编写

■ 吕西林 周德源 李思明 陈以一 陆浩亮 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



土木工程专业系列丛书



级规划教材

建筑 结构

抗震设计理论与实例

(第三版)

按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)编写

■ 吕西林 周德源 李思明 陈以一 陆浩亮 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



第三版前言

自本书第二版出版以来近 10 年间,世界各地发生了 7 级以上强震数十起,其中 2008 年 5 月我国汶川发生的 8.0 级强震造成了大量的人员伤亡和建筑结构破坏。震后的灾害调查使我们积累了新的震害经验,对各类建筑结构的抗震性能又有了进一步认识,也发现了现行抗震设计规范存在的不足或有待改进的地方;同时也有许多抗震新技术经受了大地震的考验。

近几年,世界上抗震水平比较先进的国家如美国、日本、欧洲、新西兰等先后完成了抗震规范修订工作,为了认真总结震害经验和有关科研成果,吸收国外抗震规范的优点,我国 2010 年也完成了抗震设计规范的修订。

本书的作者多年来从事地震工程、地基基础、结构动力学、钢筋混凝土结构、钢结构和砌体结构的研究、教学和工程实践,也参加了国家《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和上海市《建筑抗震设计规程》的修编工作,深感结构抗震是一门涉及多个学科、综合性很强的学科,要把这一领域的知识在一本书中介绍给读者,需要多个学科的同人们共同努力,把上述各个学科在结构抗震方面的精华深入浅出地奉献给读者。有鉴于此,同济大学的多位作者,在总结十多年结构抗震研究成果和工程实践的基础上,于 1995 年编写了《房屋结构抗震设计理论与实例》教材,并曾在国内 7 所高等院校使用。2010 年 12 月新修订的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)出版后,又结合学习和使用该《建筑抗震设计规范》,在该书第二版的基础上,修改、编写了《建筑结构抗震设计理论与实例》(第三版),以满足教学和工程实践的需求。

本书(第三版)由吕西林担任主编并编写第 1 章(地震及结构抗震的基本知识)、第 5 章(地震作用和结构抗震设计要点)、第 10 章(非结构构件抗震设计);第 11 章(结构隔震与消能减震设计的基础知识);陆浩亮编写第 2 章(场地、地基和基础);周德源编写第 3 章(单自由度体系结构的地震反应)、第 4 章(多自由度体系结构的地震反应)、第 7 章(多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计);李思明编写第 6 章(多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计)、第 9 章(单层厂房及单层空旷房屋抗震设计);陈以一编写第 8 章(钢结构房屋抗震设计);全书由吕西林修改定稿。

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。本书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。作者希望读者通过本书的学习,不仅能掌握结构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各类建筑结构的抗震设计。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,欢迎读者批评指正。

作 者

2011 年 5 月于同济大学

第二版前言

本书的作者多年来从事地震工程、地基基础、结构动力学、钢筋混凝土结构、钢结构和砌体结构的研究、教学和工程实践,也曾参加过国家《建筑抗震设计规范》或上海市《建筑抗震设计规程》的修编工作,深感结构抗震是一门涉及多个学科、综合性很强的学科,要把这一领域的知识在一本书中介绍给读者,需要多个学科的同仁们共同努力,把上述各个学科在结构抗震方面的精华深入浅出地奉献给读者。有鉴于此,同济大学的多位作者,在总结十几年来结构抗震研究成果和工程实践的基础上,于1995年编写了《房屋结构抗震设计理论与实例》教材,并曾在国内7所高等院校使用。2001年10月新修订的《建筑抗震设计规范》出版后,又结合学习和使用《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001),编著了这本《建筑结构抗震设计理论与实例》,以满足教学和工程实践的需求。

本书由吕西林担任主编并编写第一章(地震及结构抗震的基本知识)、第五章(地震作用和结构抗震设计要点)、第十章(非结构构件抗震设计);陆浩亮编写第二章(场地、地基和基础);周德源编写第三章(单自由度体系结构的地震反应)、第四章(多自由度体系结构的地震反应)、第七章(多层砌体房屋和底部框架、内框架砌体房屋抗震设计);李思明编写第六章(多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计)、第九章(单层厂房及单层空旷房屋抗震设计);陈以一编写第八章(钢结构房屋抗震设计);全书由吕西林修改定稿。

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。本书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。作者希望读者通过本书的学习,不仅能掌握结构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各类建筑结构的抗震设计。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,欢迎读者批评指正。

作者

2002年4月于同济大学

目 录

第三版前言

第二版前言

第 1 章 地震及结构抗震的基本知识	(1)
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	(7)
1.4 中国地震的特点与地震灾害	(11)
1.5 结构的抗震设防	(15)
第 2 章 场地、地基和基础	(18)
2.1 建筑场地	(18)
2.2 抗震验算	(23)
2.3 液化地基的判别与处理	(25)
2.4 地基基础的抗震加固	(35)
第 3 章 单自由度体系结构的地震反应	(37)
3.1 概述	(37)
3.2 单自由度体系的自由振动	(38)
3.3 单自由度体系在任意荷载作用下的受迫振动	(42)
3.4 单自由度体系地震反应的数值计算	(43)
3.5 抗震设计反应谱	(49)
3.6 单自由度体系的非线性地震反应与计算	(51)
第 4 章 多自由度体系结构的地震反应	(57)
4.1 概述	(57)
4.2 多自由度体系的自由振动	(57)
4.3 多自由度体系的振型分解法	(74)
4.4 多自由度体系的水平地震作用及效应	(77)
4.5 多自由度体系地震反应的时程分析	(83)

第 5 章 地震作用和结构抗震设计要点	(90)
5.1 建筑的分类与抗震设防	(90)
5.2 抗震概念设计	(93)
5.3 地震作用的计算	(96)
5.4 结构抗震验算	(106)
第 6 章 多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计	(112)
6.1 概述	(112)
6.2 震害及分析	(112)
6.3 结构体系与抗震等级	(114)
6.4 框架结构抗震设计	(119)
6.5 抗震墙结构抗震设计	(139)
6.6 框架-抗震墙结构抗震设计	(152)
6.7 抗震构造措施	(163)
6.8 抗震设计实例	(171)
第 7 章 多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计	(185)
7.1 概述	(185)
7.2 建筑布置与结构选型	(188)
7.3 抗震强度验算	(191)
7.4 抗震构造措施	(201)
7.5 抗震设计实例	(209)
第 8 章 钢结构房屋抗震设计	(223)
8.1 概述	(223)
8.2 多高层钢结构民用建筑	(226)
8.3 单层钢结构厂房	(244)
8.4 抗震设计实例	(250)
第 9 章 单层厂房及单层空旷房屋抗震设计	(260)
9.1 单层钢筋混凝土柱厂房震害及其分析	(260)
9.2 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定	(261)
9.3 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	(262)
9.4 单层砖柱厂房抗震设计	(287)
9.5 单层空旷房屋抗震设计	(293)

9.6	单层厂房和单层空旷房屋的抗震构造措施	(303)
9.7	单层厂房抗震设计实例	(310)
第 10 章	非结构构件抗震设计	(322)
10.1	概述	(322)
10.2	抗震计算要点	(323)
10.3	建筑非结构构件的基本抗震措施	(326)
10.4	建筑附属机电设备支架的基本抗震措施	(328)
10.5	考虑附属设备与结构共同工作的简化抗震分析方法	(329)
10.6	抗震设计实例	(332)
第 11 章	结构隔震与消能减震设计的基础知识	(334)
11.1	概述	(334)
11.2	建筑结构的基础隔震	(335)
11.3	建筑结构的消能减震	(347)
参考文献	(356)

第 1 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 500 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使人们难以感觉到。人们能感觉到的地震叫有感地震,占地震总数的 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 6370 km,赤道半径约 6378 km,两极半径约 6357 km。从物质成分和构造特征来划分,地球可分为地壳、地幔和地核三大部分(图1-1)。

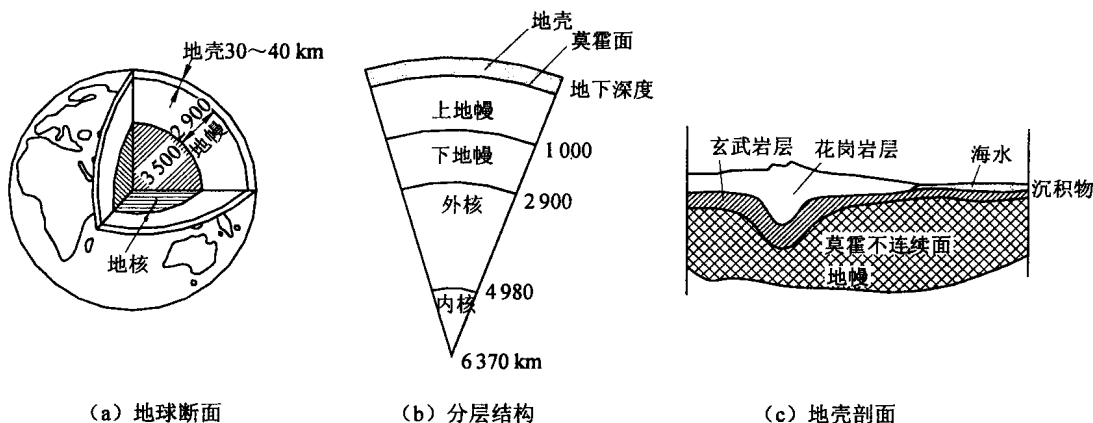


图 1-1 地球断面与地壳剖面

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 16~40 km,高山地区厚度更大,中国西藏高原及天山地区厚达 70 km。海洋下面厚度最小,一般为 10~15 km,最薄的约 5 km,世界上绝大部分地震都发生在这一层薄薄的地壳内。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 2895 km 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 3500 km,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 MPa($9 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$),地核中心的压力强度达 36284 MPa ($37 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)。

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,可以当作一个点。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 60 km 以内的地震叫浅源地震,60~300 km 以内的叫中源地震,300 km 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 5~20 km,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 100 km 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,以区别于其他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]。

近年来,从获得的地震记录和地震所伴生的地壳变动进行分析,有些学者认为,地震的成因是地下某地区因受到外力而破坏,亦即应力使地层面的两侧发生错移运动,形成断层,产生地震。从断层运动的种类来看,又分为正断层(图 1-2(a))、逆断层(图 1-2(b))以及横向断层(图 1-2(c))。1999 年 9 月 21 日,中国台湾集集大地震的现场可以清晰地看到上述三种断层的实际震害情况。

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

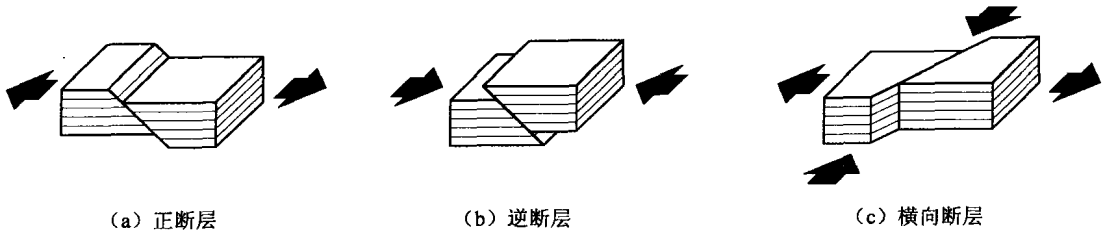


图 1-2 断层运动的种类

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。

一般地,造成较大灾害的为构造地震,尤以浅源构造地震造成的危害大。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 1-3(a)所示,一般表现出周期短、振幅小的特点。纵波的传播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 1-3(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。

纵波与横波的传播速度理论上可分别用下式计算:

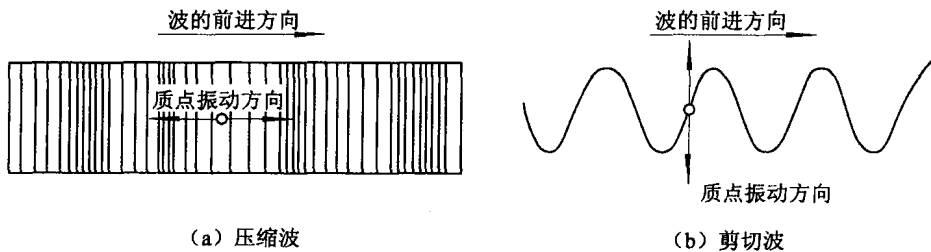


图 1-3 体波传播示意图

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

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

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，式(1-3)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(Primary wave)，把横波叫S波(Secondary wave)。

通过式(1-1)一式(1-3)，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，利用式(1-3)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) ， (γ, λ) ， (V_p, V_s) 这三组参数中，若已知其中一组，利用式(1-1)一式(1-3)就可以求得其他两组参数，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

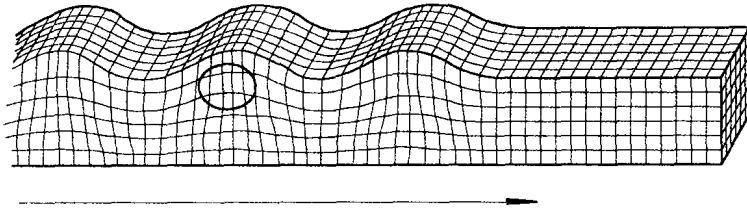
面波是指沿介质表面(或地球地面)及其附近传播的波，一般可以认为是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包含瑞雷波和乐甫波两种。

地震瑞雷波是纵波(P波)和横波(S波)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做逆进椭圆运动，如图1-4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。

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1-5所示。质点在水平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。

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

瑞雷波(LR)

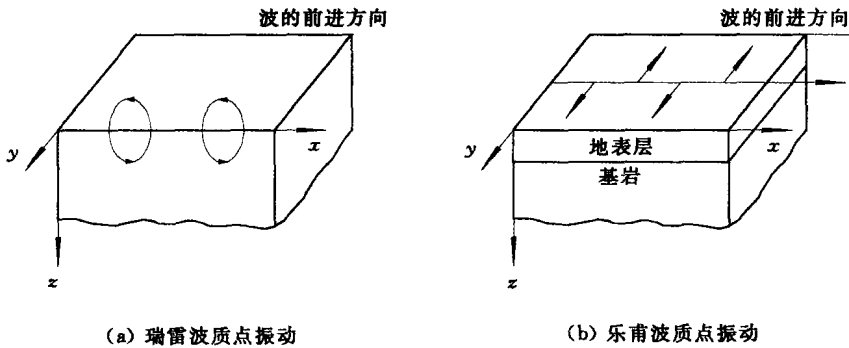


(a) 振动轨迹剖面



(b) 射线

图 1-4 瑞雷波振动轨迹剖面和射线



(a) 瑞雷波质点振动

(b) 乐甫波质点振动

图 1-5 面波质点振动示意图

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。我国在 2008 年 5 月 12 日汶川地震中记录到的加速度时程曲线如图 1-6 所示,这是我国近年来记录到的最有价值的地震地面运动记录之一。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3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、反应谱和傅利叶谱来表示。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1-7和图1-8是根据日本一批强地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。

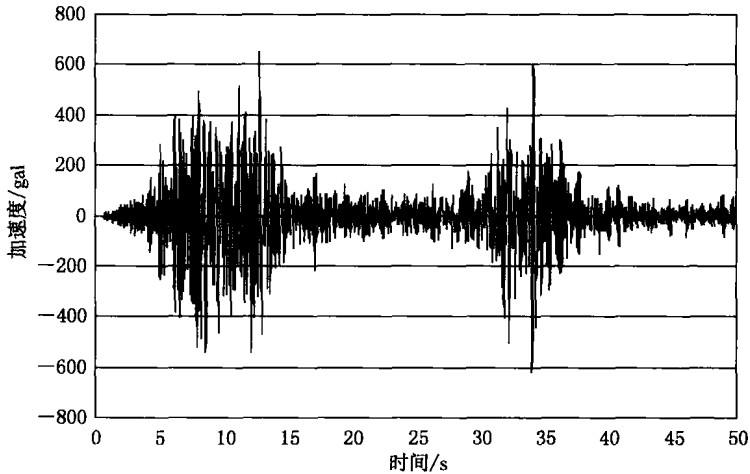


图 1-6 汶川地震中记录到的加速度时程曲线

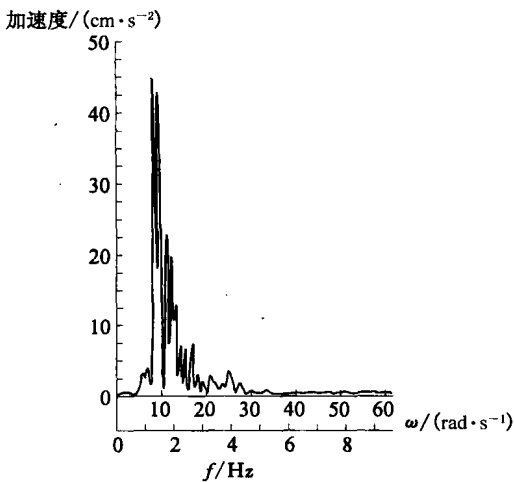


图 1-7 软土地基功率谱示意图

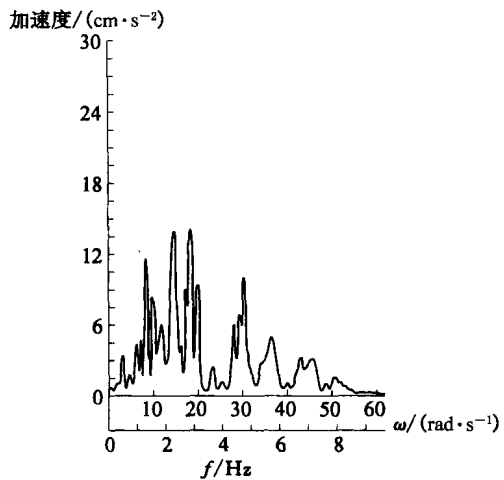


图 1-8 硬土地基功率谱示意图

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,是地震预报和其他有关地震工程学研究中的一个重要参数。

震级一般有以下三种定义: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 0.8 s, 阻尼系数 0.8, 放大倍数 2800 倍), 在震中距 100 m 处, 记录最大振幅的地动位移为 10^{-3} 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。

我国面波震级 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,目前我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,叫作微震;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 2008 年颁布的中国地震烈度表。

表 1-1 中国地震烈度(2008 年)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	峰值速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
I	无感	—	—	—	—	—	
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	
III	室内少数静止中的人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	
IV	室内多数人、室外少数人有感觉,少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动,器皿作响	—	

续表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	峰值速度/ ($m \cdot s^{-1}$)
V	室内绝大多数、室外多数人有感觉,多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			
VII	大多数人惊逃户外,骑自行车的人有感觉,行驶中的汽车驾乘人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.09~0.31	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常见喷水冒砂,松软土地裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好				
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好	0.07~0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~0.51	干硬土上出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏				
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			
IX	行动的人摔倒	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~0.71	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏				
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~0.60			
X	骑自行车的人会摔倒,处不稳状态的人会摔离原地,有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~0.91	山崩和地震断裂出现,基岩上拱桥破坏;大多数独立砖烟囱从根部破坏或倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)
		B	大多数毁坏				
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~0.80			
XI	—	A	绝大多数毁坏	0.89~1.00	地震断裂延续很大,大量山崩滑坡	—	—
		B		0.78~1.00			
		C					
XII	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

注:①表中房屋包括以下三种类型:

A类——木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋。

B类——未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。

C类——按照Ⅶ度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。

②表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括弧内给出的是变动范围。

关于各种烈度划分的说明如下：

(1) I—V度以人的感觉为主；VI—X度以房屋震害为主，人的感觉仅作参考；XI度和XII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1所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) 震害程度分类如下：

基本完好——承重和非承重构件完好，或个别非承重构件轻微损坏，不加修理可继续使用，震害指数0~0.10。

轻微破坏——个别承重构件出现可见裂缝，非承重构件有明显裂缝，不需要修理或稍加修理即可继续使用，震害指数0.10~0.30。

中等破坏——多数承重构件出现轻微裂缝，部分有明显裂缝，个别非承重构件破坏严重，需要一般修理后可使用，震害指数0.30~0.55。

严重破坏——多数承重构件破坏较严重，非承重构件局部倒塌，房屋修复困难，震害指数0.55~0.85。

毁坏——多数承重构件严重破坏，房屋结构濒于崩溃或已倒毁，已无修复可能，震害指数0.85~1.00。

(5) 使用时可根据具体情况，做出临时的补充规定。

(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1 km²左右为宜。

(7) 表1中数量词的含义：个别指10%以下；少数指10%~45%；多数指40%~70%；大多数指60%~90%；绝大多数指80%以上。

国际上目前使用的地震烈度表还有：①修订的麦卡利烈度表(modified mercalli scale, MMS)，主要为美国、加拿大和拉丁美洲国家所采用。②MSK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。如果把地震比作一次炸弹爆炸，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。

表 1-2 地震震级与震中烈度大致关系

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