


中央广播电视大学教材

桥梁结构抗震

艾军 主编

QIAOLIANG JIEGOU KANGZHEN



 中央广播电视大学出版社

中央广播电视大学教材

桥梁结构抗震

艾 军 主编

中央广播电视大学出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁结构抗震/艾军主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2012. 12

中央广播电视大学教材

ISBN 978-7-304-05857-9

I. ①桥… II. ①艾… III. ①桥梁结构-防震设计-
广播电视大学-教材 IV. ①U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 303580 号

版权所有, 翻印必究。

中央广播电视大学教材

桥梁结构抗震

艾军 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010-58840200

总编室 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 杜建伟

版式设计: 何智杰

责任编辑: 申敏

责任版式: 张利萍

责任印制: 赵联生

责任校对: 王亚

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

印数: 0001~2000

版本: 2012 年 12 月第 1 版

2012 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 13 字数: 290 千字

书号: ISBN 978-7-304-05857-9

定价: 20.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

内容提要

本书根据中央广播电视大学土木工程专业（本科）人才培养方案要求编写。本书囊括桥梁抗震设计的基本理论、常用设计和分析方法、各种常用构造措施，以及桥梁抗震评估及改造等内容，理论部分涵盖知识面广，应用案例浅显易懂，且每章后附有复习思考题。本书内容符合国家现行《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）、《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004—89）和《公路桥梁抗震设计细则》（JTG/T B02—01—2008）。学员通过本书的学习，能够在从事土木工程桥梁设计的工作中，具备从事桥梁结构设计所必需的与地震工程相关的基本知识、基本理论，并能够结合教材涉及内容，更深入地学习和理解相应设计规范，培养和提高在桥梁抗震设计工作中的实践应用能力，从而成为桥梁设计的专业高素质人才。

本书可作为土木工程、桥梁工程等相关专业本科及大专的教材，也可以作为相应专业工程技术人员的参考书籍。

前 言 Preface

本书根据中央广播电视大学土木工程专业（本科）人才培养方案要求制定，面向开放教育培养相关专业的技能型应用人才而编写，是中央广播电视大学开放教育非统设课程系列教材之一。

本书在编写时注重理论联系实际，力求简明扼要，突出重点理论，结合设计实例，对桥梁结构抗震相关知识做了深入浅出的说明。教材参照国家相关规范编写，主要包括：《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）、《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004—89）和《公路桥梁抗震设计细则》（JTG/T B02—01—2008）。本书理论知识点准确简洁，案例浅显易懂且有代表性，相关图表直观，便于学习者接受。同时本书适当吸收国内外相关桥梁理论及实践研究内容，具备开放性，便于学习者在此基础上深入研究相关内容。

本书共八章内容，主要包括：地震基本知识；桥梁抗震设计基础；桥梁地震分析的反应谱法；桥梁地震分析的时程分析法；桥梁的延性设计；桥梁的减隔震设计；桥梁抗震构造措施；桥梁抗震评估与改造。每章后附有复习思考题。书后配备每章复习思考题的答案要点。与本书同步配备重点、难点知识讲解录像八讲，以及教学大纲和课程一体化实施方案。

本书内容体系及框架由南京航空航天大学艾军教授制定。第一章由江苏广播电视大学火映霞讲师编写；第二章由江苏广播电视大学嵇小雷讲师编写；第三章、第四章、第五章由南京航空航天大学张丽芳副教授编写；第六章、第七章由江苏广播电视大学侯新宇副教授编写；第八章由南京航空航天大学艾军教授编写。本书由艾军主编并负责统稿，侯新宇、张丽芳为副主编。

在本书编写过程中得到河海大学曹平周教授的帮助，在此致以深切的谢意。

在本书编写过程中还参考了书后所列参考文献中的部分内容，在此向其作者致以衷心的感谢。同时，对本书付出辛勤劳动的相关专家表示深切谢意！

由于编写时间紧迫，加之编者水平有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2012年2月

目 录 Contents

第一章 地震基本知识	1
第一节 地震基本概念	1
第二节 地震动特性及结构地震反应	11
第三节 场地类别及地基承载力	20
本章小结	30
复习思考题	31
第二章 桥梁抗震设计基础	33
第一节 桥梁抗震设防标准	33
第二节 桥梁结构震害	36
第三节 桥梁抗震设计原则	51
第四节 结构动力学基础	55
本章小结	65
复习思考题	65
第三章 桥梁地震分析的反应谱法	67
第一节 桥梁抗震设计反应谱	67
第二节 地震作用计算	72
第三节 地震作用组合	83
第四节 桥梁抗震验算	87
本章小结	92
复习思考题	92
第四章 桥梁地震分析的时程分析法	94
第一节 动力学计算模型	94
第二节 模型参数确定	99
第三节 时程分析计算方法	104
本章小结	106

复习思考题	107
第五章 桥梁的延性设计	108
第一节 延性概念及延性指标	108
第二节 延性设计对桥梁抗震的意义	114
第三节 能力设计方法	116
第四节 钢筋混凝土桥墩的延性设计	121
本章小结	129
复习思考题	130
第六章 桥梁的减隔震设计	131
第一节 减隔震基本概念	132
第二节 减隔震装置	137
第三节 减隔震设计方法	144
第四节 减隔震技术的应用实例简介	148
本章小结	152
复习思考题	153
第七章 桥梁抗震构造措施	154
第一节 总体设计的一般要求	155
第二节 桥梁细部抗震措施	158
本章小结	166
复习思考题	166
第八章 桥梁抗震评估与改造	168
第一节 桥梁调查及评估	169
第二节 桥梁抗震加固措施	174
本章小结	188
复习思考题	189
附：复习思考题答案	190
参考文献	199

第一章 地震基本知识

引言

【背景】桥梁抗震设计的目的是减轻桥梁的地震破坏，保障人民的生命财产安全，减少经济损失，更好地发挥交通网的功能及其在抗震救灾中的作用。掌握地震基本知识、了解地震动特性及结构地震作用、熟悉场地类别和地基承载力，是进行桥梁结构抗震设计的前提。

【依据】目前我国公路桥梁抗震设计的主要依据是《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）、《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004—89）和《公路桥梁抗震设计细则》（JTG/T B02—01—2008）。对于单跨跨径不超过 150 m 的混凝土梁桥、圬工或混凝土拱桥，可依此设计；对斜拉桥、悬索桥、单跨跨径超过 150 m 的特大跨径梁桥和拱桥，可参照设计。

学习目标

- ◎ [掌握] 地震基本概念：成因、类型、地震波、震级、烈度。
- ◎ [掌握] 地震动特性。
- ◎ [熟悉] 场地类别和地基承载力。

第一节 地震基本概念

一、地球的构造

要知道地震的发生和发展的规律，首先必须了解地球的内部构造。地球是一个近似于球体的椭球体，平均半径约为 6 400 km。经研究表明，地球的内部构造由地表至核心可分为性质不同的三层：最外层是相当薄的地壳，平均厚度约为 17 km，约占地球体积的 0.8%；中间一层是地幔，平均厚度约为 2 900 km，约占地球总体积的 83%；最里面的部分叫地核，半径约为 3 500 km，如图 1-1 所示。

地壳由各种不均匀的岩石组成。地表覆盖一层薄薄的沉积岩、风化土以及疏松沉积物

等。陆地下面的地壳主要为：上部是花岗岩层，下部为玄武岩层。海洋下面的地壳性质较单一，一般只有玄武岩层。地壳的下界面为莫霍界面，是一个地震传播速度发生急剧变化的不连续面。地壳的厚度也不均匀，高山或高原处厚度可达 60 ~ 80 km，而在深海底只有 5 ~ 8 km。世界上绝大多数的地震都发生在地壳这一层内。

地壳以下到深约 2 900 km 的古登堡界面以上的部分为地幔。一般认为，地幔主要由质地非常坚硬、密度较大的黑色橄榄岩组成。地下 20 ~ 700 km，其温度由约 600 °C 上升到 2 000 °C。在这一范围内，存在着一个厚几百千米的软流层。由于温度分布不均匀，故内部物质会发生对流；此外，地球内部的压力也不均匀。因此，地幔内部物质在这样的热状态下和不均衡压力的作用下缓慢地运动着。这可能是地壳运动的根源。

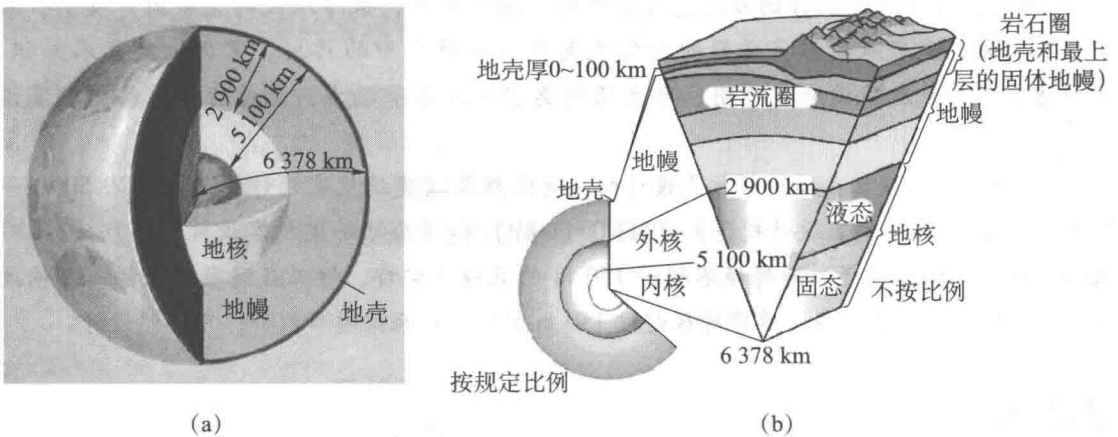


图 1-1 地球的构造
(a) 地球断面；(b) 分层构造

地核是地球的核心，体积约占整个地球的 16.2%，但总质量约占整个地球的 31.5%。地核分为外核和内核。外核可能处于液态，厚度约为 2 100 km；内核可能是固态，半径约为 1 400 km。据推测，地核主要由铁、镍等物质组成。内核的压力高达 360 万大气压力（约 3.65×10^{11} Pa），温度高达 4 000 °C ~ 5 000 °C。

二、地震的类型和成因

地震的类型有很多种，按照正常人在安静状态下的感觉程度可以划分为以下几类：

(1) 无感地震：震级小于 3 级，正常人在安静状态下感觉不到，只能用地震仪器测量出来。其中震级小于 1 级的无感地震称为超微震；震级在 1 ~ 3 级的称为微震。

(2) 有感地震：震级大于 3 级，正常人在安静状态下能够感觉到。其中震级在 3 ~ 5 级的称为小震，一般不会造成破坏；震级在 5 ~ 7 级的称为中震，会造成不同程度的破坏；震级大于 7 级的称为大地震，常造成严重的破坏。

按照震源（地球内部发生地震的地方称为震源）深度，可以把地震划分为以下几类：

- (1) 浅源地震：震源深度小于 60 km。
- (2) 中源地震：震源深度为 60 ~ 300 km。
- (3) 深源地震：震源深度在 300 km 以上。

地震按其成因可分为：构造地震、火山地震、诱发地震、塌陷地震等。

(1) 构造地震。构造地震是地球内部岩层构造活动在某些阶段发生急剧变化时引起的地震。地球内部存在巨大的能量，而组成地壳的岩层在巨大的能量作用下，不停地连续变动，不断地发生褶皱、断裂和错动等地壳构造状态的变动，使岩层处于复杂的地应力作用之下，如图 1-2 所示。由于地应力在某一地区逐渐增加，岩石变形也不断增加，当地球内部在运动中积累的能量对地壳产生的巨大压力超过岩层所能承受的限度时，岩层便会突然发生断裂或错位，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，引起地面振动，就产生了地震。由于岩层的破裂往往不是沿一个平面发展，而是形成由一系列裂缝组成的破碎地带，沿整个破碎地带的岩层不可能同时到达平衡，因此，在一次强烈地震（主震）之后，岩层的变形还有不断的零星调整，从而形成一系列余震。

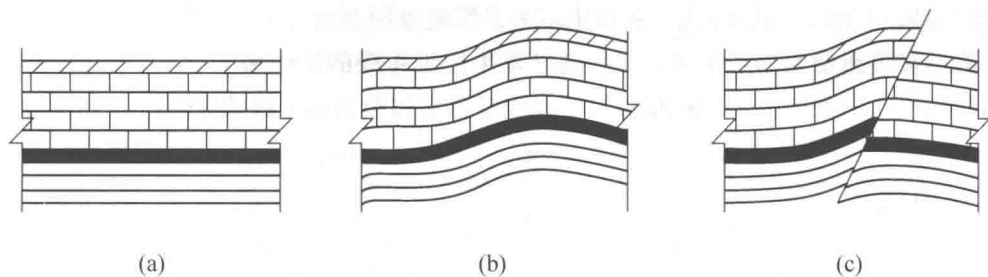


图 1-2 构造地震

(a) 岩层原始状态；(b) 受力后发生变形；(c) 岩层断裂产生振动

构造地震发生的次数最多，约为全球地震总数的 85%。此类地震持续时间长，影响范围广，释放能量大，破坏力强，并且有重复性，给人类造成的危害非常大。如 1976 年的唐山大地震，在几十秒内，将一座拥有百万人口的工业城市夷为平地。

(2) 火山地震。火山地震是由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起地面振动而形成的地震。地球内部温度很高，往深处每增加 100 m，温度上升 $2^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，在地下 100 km 深处的地温已达到 $1\ 200^{\circ}\text{C} \sim 1\ 300^{\circ}\text{C}$ 。在强大压力的作用下，高温下岩石呈熔融状态的岩浆向上喷出，激起地面的振动，从而产生火山地震。例如，1914 年日本樱岛火山喷发产生的地震相当于 6.7 级。火山地震一般影响范围较小，发生的次数也较少，约占全球地震总数的 7%。地震和火山往往存在关联。火山爆发可能会激发地震，而发生在火山附近的地震也可能引起火山爆发。火山地震可分为 A 型火山地震（发生在火山附近，震源深度为 1 ~ 10 km，其发生与火山喷发活动没有直接或明确的关系，但与地下岩浆或气体状态变化所产生的地应力分布的变化有关）、B 型火山地震（集中发生在活火山口附近的狭长范围内，震源深度浅于 1 km，影响范围很小）、潜火山地震（在地下岩浆冲至接近地面，但未喷出地表的情况下

产生的地震)。

(3) 诱发地震。在特定的地区因某种地壳外界因素诱发而引起的地震,称为诱发地震。这些因素主要是地下核爆炸、水库蓄水、油田抽水和注水、矿山开采等。按诱发因素,诱发地震可分为水(和其他流体)引起的诱发地震和非水诱发地震两类。前者主要是由于水的参与,改变了应力条件,降低了岩体结构面的摩擦强度而产生地震。后者是由于工程活动改变了地壳表层的应力分布,在某些应力集中部位发生破坏而引起地震。在各种诱发地震中,水库诱发地震的震例最多,震害最重;其次是抽、注液诱发的地震和采矿诱发的地震。

水库诱发地震早在 20 世纪 30 年代就有发现,全世界已知有 100 多座水库蓄水后诱发了地震。自有记载以来,我国最大的水库诱发地震是 1962 年 3 月 19 日在广东河源新丰江水库坝区发生的水库诱发地震,震级为 6.1 级,之后余震活动不断。

(4) 塌陷地震。塌陷地震指天然的岩洞、溶洞以及矿区的采空区支撑不住上覆岩层,造成岩石顶部和土层崩塌陷落,引起地震。塌陷地震主要发生在石灰岩或其他岩溶岩石地区。这是因为易溶岩长期受地下水侵蚀而形成许多溶洞,并不断扩大,最终引起洞顶塌落,产生地震。矿洞塌陷或大规模山崩、滑坡等亦可导致这类地震的发生。塌陷地震为数较少,约占地震总数的 3%,且震源浅,震级也不大,影响范围及危害较小。在国内外曾经发现过矿山塌陷地震震级最大达到 5 级,在我国已发生过近 4 级的矿山塌陷地震。如 1972 年在山西大同煤矿发生的采空区大面积顶板塌落,引起最大震级为 3.4 级的地震。

三、地震波

震源正上方的地面位置称为震中。震中与震源之间的垂直距离称为震源深度。建筑物与震中之间的距离称为震中距,如图 1-3 所示。建筑物与震源之间的距离叫震源距。在震中附近振动最剧烈的,一般也就是破坏最严重的地区,称为极震区。

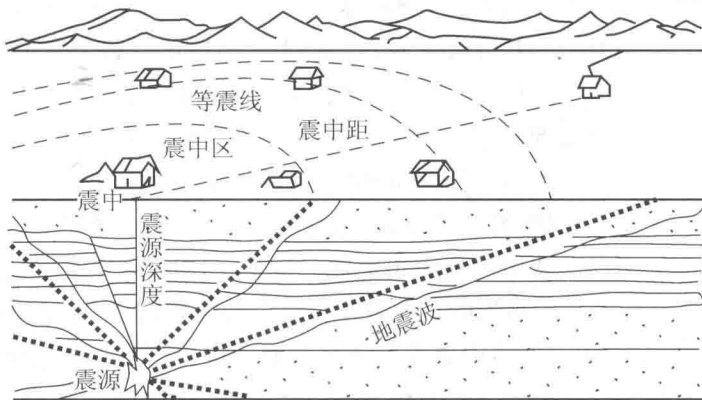


图 1-3 常用地震术语示意图

按震源的深浅,地震可以分为浅源地震(震源深度小于 60 km)、中源地震(震源深度 60~300 km)和深源地震(震源深度大于 300 km)。其中,浅源地震造成的危害最大,当震

源深度超过 100 km 时，通常不会在地面上造成震害。我国发生的地震，绝大多数是浅源地震，震源深度在 10 ~ 20 km。

按震中距的大小，地震又可分为地方震（震中距小于 100 km）、近震（震中距为 100 ~ 1 000 km）和远震（震中距大于 1 000 km）。

当震源岩层发生断裂、错动时，岩层所积聚的变形能突然释放，引起剧烈的振动，振动以弹性波的形式从震源向各个方向传播并释放能量，这种波就称为地震波。地震波按其在地壳中传播位置的不同，分为体波和面波。

1. 体波

在地球内部传播的地震波称为体波，又称为 P 波。体波又分为纵波和横波。纵波是由震源向四周传播的压缩波，如图 1-4 所示。纵波介质质点的振动方向与波的传播方向一致，在传播过程中，质点间的弹性相对位移疏密相间，故纵波也称为疏密波。纵波能够在所有介质中传播，这是纵波的一个重要特性，并且周期较短，振幅较小，波速较快，在地壳内的速度一般为 200 ~ 1 400 m/s。

横波是由震源向四周传播的剪切波，在传播过程中，其介质质点的振动方向与波的传播方向垂直，又称为 S 波。横波只能在固体介质中传播。这是因为横波在传播过程中，其介质质点不断受到剪切变形，而液态和气态介质不能承受剪切作用。与纵波相比，横波的周期较长，振幅较大，波速较慢，在地壳内的波速一般为 100 ~ 800 m/s。

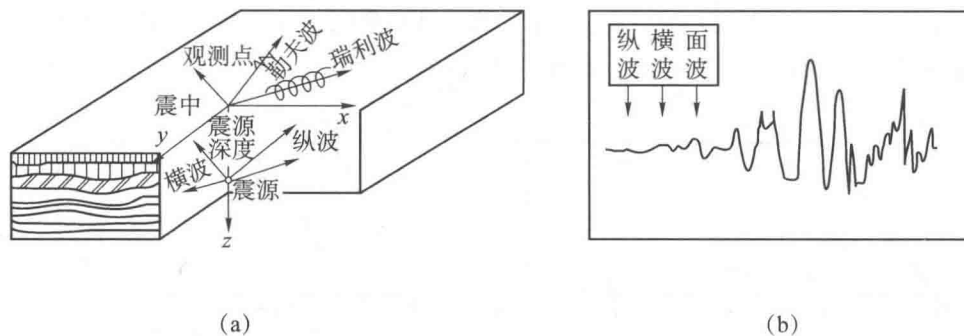


图 1-4 地震波传播方式和地震波记录

(a) 震源、震中与地震波的传播方式；(b) 地震波记录

假定地球介质为弹性各向同性，根据弹性波动理论，纵波与横波的波速可按式 (1-1) 和式 (1-2) 计算：

$$V_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho} \quad (1-1)$$

$$V_s = \sqrt{\mu/\rho} \quad (1-2)$$

式中： V_p ——纵波波速；

V_s ——横波波速；

ρ ——介质密度；

λ, μ ——拉梅常数，分别表示为：

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (1-3)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1-4)$$

式中： E ——介质弹性模量；
 ν ——泊松比。

则式 (1-1) 与式 (1-2) 可表示为：

$$V_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1-5)$$

$$V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (1-6)$$

在一般情况下，当 $\nu=0.22$ 时，可得纵波波速与横波波速之间的关系为：

$$V_P = 1.67V_S \quad (1-7)$$

2. 面波

沿地球表面或地壳不同地质层界面传播的地震波称为面波。一般认为面波是体波经地层界面多次反射、折射所形成的次生波。

面波又分为瑞利波 (R 波) 和勒夫波 (L 波)。瑞利波传播时，质点在波的传播方向和地表面法向所组成的平面内做与波的前进方向相反的椭圆运动。瑞利波的特点是振幅大，在地表以竖向运动为主，如图 1-5 (a) 所示。勒夫波传播时，质点在地平面内做与波前进方向相垂直的运动，类似于蛇形运动，如图 1-5 (b) 所示。

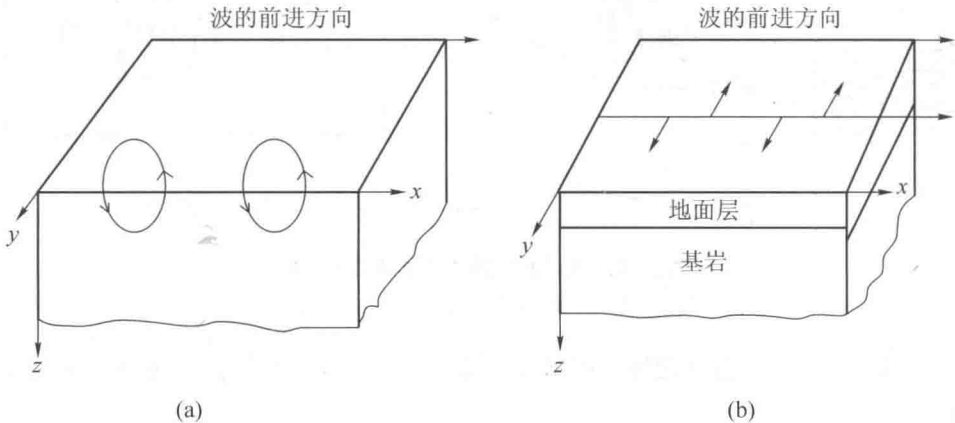


图 1-5 面波质点振动方式

(a) 瑞利波；(b) 勒夫波

一般来说，与体波相比，面波的传播速度较慢（约为横波传播速度的 90%），但周期长，振幅大，衰减慢，因此面波能传播到较远的地方。

地震波的传播速度以纵波最快，其次是横波，面波最慢。因此，在一般的地震波记录图上，最先到达的是纵波，横波次之，面波最晚到达。而就振幅而言，面波的振幅最大。纵波

使结构产生竖向振动，横波使结构产生水平摇动，而面波使结构既产生竖向振动，又产生水平摇动。大量震害调查表明，一般建筑物的震害主要由水平振动引起，因此，由横波和面波共同引起的水平振动是导致地震破坏的最主要因素。

四、地震震级

地震震级是地震的强度级别，用以衡量地震的大小，用 M 表示。目前，国际上常用的是里氏震级。关于震级，最初由里克特（Richter）于 1935 年在他的论文《用仪器测定地震的震级》中作出定义：首先以微米为单位测出距离震中 100 km 处的地面上由标准地震仪记录的最大位移（振幅），然后以它的常用对数来表示。这里的标准地震仪即为伍德-安德森（Wood-Anderson）扭摆仪，自振周期为 0.8 s，阻尼系数为 0.8，放大倍数为 2 800。地震震级表示为：

$$M = \lg A - \lg A_0 \quad (1-8)$$

式中： A ——待定震级的地域记录的振幅；

A_0 ——标准地震在同一震中距离处的振幅。

里克特规定：用标准地震仪，在震中距 100 km 处，记录最大振幅的地动位移 $1 \mu\text{m}$ 时对应的震级为零。

地震震级 M 与震源所释放的能量 E 的多少有关，两者之间的关系为：

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (1-9)$$

由式（1-9）可知，震级每差一级，地震波的振幅就增加 10 倍，地震所释放的能量就相差 31.6 倍，一个 6 级地震所释放的能量相当于一个两吨级原子弹所释放的能量。

五、地震烈度

地震烈度是用来衡量地震破坏作用大小的一个指标，它表示某一地区的地面和建筑物遭受一次地震影响的强弱程度。由于地面振动的强烈程度与震级大小、震源深度、震中距的大小以及该地区的地形地貌、土质情况有关，因此，不同地区在同一次地震中的地震烈度是不同的。对于一次地震来说，震级只有一个，烈度则随着地点的变化而有若干个。一般来说，震中的烈度最高，距离震中越远，地震影响越小，烈度也越低。震中点的烈度称为“震中烈度”。对于发生频率较高的浅源地震，震级 M 与震中烈度 I_0 的关系可以表示成如式（1-10）所示的经验公式：

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \quad (1-10)$$

震中烈度 I_0 与震级 M 的大致对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 震中烈度与震级对照表

震中烈度 I_0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
震级 M	4	4.5	5	5.5	6.5	6.75	7.25	8	8.5

但是，在某一烈度区里，有时会因局部场地的地形、地质条件等的影响，而出现局部烈度较高或较低的“烈度异常区”。

地震烈度是一个定性指标，主要根据该地区“大多数房屋的震害程度”与“人的感觉以及其他现象”来综合评定。为了在实际工作中评定烈度的高低，有必要制定一个统一的评定标准，这个规定的标准称为地震烈度表。国际上绝大多数国家包括我国都采用 I ~ XII 等级划分的地震烈度表来评定地震烈度。个别国家如日本，则采用 I ~ VIII 级的 8 级别分类。工程抗震设防的依据一般是采用烈度，而不是震级；目前的发展趋势则是直接采用地面运动加速度值作为工程抗震设计的依据。我国目前采用的烈度表是 2008 年颁布的《中国地震烈度表》(GB/T 17442—2008) (见表 1-2)。

表 1-2 中国地震烈度表

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/ ($m \cdot s^{-1}$)
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	—	—
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			

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/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	峰值速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
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, 多数中等破坏和/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, 松软土地地上地裂缝较多; 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	干裂土上亦出现裂缝, 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			

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/ ($m \cdot s^{-1}$)
X	骑自行车的人会摔倒, 处于不稳定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毁倒	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	地震断裂延续很长; 大量山崩滑坡	—	—
		B		0.78 ~ 1.00			
		C		1.00			
XII	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化, 山河改观	—	—
		B					
		C					

注: 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。

(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、XII度以房屋和地表现象为主。

(2) 在高楼上人的感觉要比地面上人的感觉明显, 应适当降低评定值。

(3) 表中用于评定烈度的房屋, 包括3种类型: ①A类: 木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋; ②B类: 未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋; ③C类: 按照XII抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。对于质量特别差或特别好的房屋, 可根据具体情况, 对表中各烈度相应的震害程度和震害指数预测适当提高或降低。

(4) 震害指数是用于评定震害的数值指标, 主要从各类房屋震害的普查和抽查中确定, 0表示无震害, 1表示毁灭, 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。

(5) 震害程度。

房屋破坏等级分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏五类, 其定义和对应的震害指数 d 如下:

①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。对应的震害指数范围为 $0.00 \leq d < 0.10$ 。

②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。对应的震害指数范围为 $0.10 \leq d < 0.30$ 。

③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。对应的震害指数范围为 $0.30 \leq d < 0.55$ 。