



高等学校土建类专业应用型本科系列教材

建筑结构抗震设计

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN SHEJI

主编 马成松

104



WUTP

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

建筑结构抗震设计

主 编 马成松

副主编 赵 果 王 蕾

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书根据中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)(08 版)和《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)编写,内容包括:地震基础知识,场地、地基和基础,各类工业与民用建筑的抗震设计的理论和方法,以及隔振与消能减震等。内容简明扼要,注重实用,既重视基本概念的阐述,又强调抗震理论的应用。

本书可作为应用型本科院校土木工程专业的教材,也可供从事工程抗震设计、施工和相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/马成松主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2010.3
ISBN 978-7-5629-3153-9

- I. 建…
- II. 马…
- III. 建筑结构-抗震设计-高等学校-教材
- IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 035869 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.25

字 数:406 千字

版 次:2010 年 3 月第 1 版

印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数 1~3000 册

定 价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

出版说明

近年来,随着我国高等教育事业的快速发展,独立学院和民办高校已经成为高等教育的一个重要组成部分,其发展速度与办学规模呈现出前所未有的发展势头。与此同时,独立学院和民办高校的办学方向、专业设置、人才培养目标、人才培养途径和方式、教学管理制度等进一步明确与规范,以及市场需求赋予独立学院和民办高校一些新的发展思路与特点,独立学院和民办高校改革教学内容,探索新的教学方法,整合各校教师资源,编写优质、适用的教材就成了刻不容缓的任务。

武汉理工大学出版社一贯坚持为高校的教学、科研工作服务的办社宗旨,以组织、出版反映我国高等教育教学改革阶段性成果的精品教材、教学参考书为己任。通过广泛调查研究,在武汉地区独立学院和民办高校的积极倡导与支持下,得到了全国 30 余所独立学院和民办高校的热情参与,我们决定组织编写出版一套代表当前独立学院和民办高校教学水平,反映阶段性教学改革成果并适合独立学院和民办高校教学需要的土建类专业应用型本科系列教材。

本系列教材编写的指导思想是:

1. 依据独立学院和民办高校土建类本科各专业的培养目标和培养方案,系列教材应立足于面向市场培养高级应用型专门人才的要求。
2. 教材结构体系要合理。要善于学习和借鉴优秀教材,特别是国内外精品教材的写作思路、写作方法和章节安排,使教材结构合理,重点突出,通俗易懂,便于自学。
3. 教材内容要有创新,要注意相关课程的关联性。对于知识更新较快的学科,要将最新的学科知识和教学改革成果体现在教材中,既要兼顾学科的系统性,又要强调学科的先进性。
4. 知识体系要实用。以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才所需的内容和关键点,突出知识的实用性和可操作性。
5. 重视实践环节,强化案例式教学和实际操作的训练。教材中要融入最新的实例及操作性较强的案例,通过实际训练加深对理论知识的理解。实用性和技巧性强的章节要设计相关的实践操作案例。同时,习题设计要多样化、具备启发性,题型要丰富。
6. 相关内容要力争配套。即理论课教材与实验课教材要配套;理论课教材与习题解疑要配套;理论课教材与多媒体课件要配套;教材与案例化素材要配套。
7. 坚持质量第一。

为了贯彻以上指导思想,我们组建了由具有丰富的独立学院和民办高校教学经验及较高学术水平的院(系)领导、教授、骨干教师组成的编委会,由编委会研究提出本系列教材的编写指导思想,并推荐作者。

新形势下的高等教育正在经历前所未有的变革和发展,我社将秉承为高校教学、科研服务的宗旨,以服务于学校师资队伍建设、教材建设为特色。我们愿与各位教师真诚合作,共同努力,为新世纪的高等教育事业作出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2008 年 12 月

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

编 审 委 员 会

主 任:李新福 雷绍锋

副 主 任:(按姓氏笔画排列)

马成松 孙 艳 江义声 陈俊杰 陈素红
孟高头 杨树林 郑 毅 荀 勇 唐友尧
熊丹安

委 员:(按姓氏笔画排列)

马成松 邓 训 牛秀艳 王有凯 史兆琼
江义声 许汉明 刘 江 刘 伟 刘 斌
张朝新 陈金洪 陈俊杰 陈敏杰 陈素红
杜春海 李新福 杨双全 杨伟忠 杨学忠
杨树林 孟高头 郑 毅 荀 勇 赵元勤
赵永东 柳立生 施鲁莎 唐友尧 郭建华
葛文生 熊丹安

秘 书:王利永 高 英

总责任编辑:于应魁

前 言

本书是为适应普通高等学校土木工程专业应用型本科的建筑物抗震设计课程教学大纲和 32 学时课程教学要求而编写的,内容包括:地震基础知识,场地、地基和基础,各类工业与民用建筑的抗震设计的理论和方法以及隔震与消能减震等。

本书根据中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)(08 版)和《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)编写,内容简明扼要,讲求实用,既重视基本概念的阐述,又强调抗震理论的应用。每章开头有本章提要,每章末尾有本章小结和思考题与习题,便于学生对该章内容有较全面的把握。

本书分为 8 章,其中第 1~3 章为基本理论部分,第 4~8 章为专题部分。各章编写分工如下:长江大学马成松(第 1 章,第 8 章),马进军(第 2 章),河南科技大学赵果、新疆石河子大学王蕾(第 3 章,第 7 章),河南理工大学董春敏(第 4 章,第 6 章),湖南文理学院孙晋(第 5 章)。全书由马成松担任主编,赵果、王蕾担任副主编。

由于编者水平有限,加之时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

目 录

1 地震基础知识与工程结构抗震设防	(1)
本章提要	(1)
1.1 地震灾害	(1)
1.1.1 工程结构的破坏	(1)
1.1.2 地面破坏	(1)
1.1.3 地震的次生灾害	(2)
1.2 地震的成因	(2)
1.2.1 地震的类型	(2)
1.2.2 地震成因	(3)
1.2.3 地震波的传播	(3)
1.3 地震度量	(5)
1.3.1 地震震级	(5)
1.3.2 地震烈度	(5)
1.3.3 基本烈度	(7)
1.4 地震活动	(7)
1.4.1 世界地震活动	(7)
1.4.2 中国地震活动	(9)
1.5 工程结构的抗震设防	(10)
1.5.1 抗震设防的目的和要求	(10)
1.5.2 建筑抗震设防分类和设防标准	(11)
1.5.3 建筑抗震设计方法	(12)
1.6 抗震设计的基本要求	(12)
1.6.1 场地的选择	(12)
1.6.2 建筑和结构的规则性	(12)
1.6.3 抗震结构体系	(15)
1.6.4 非结构构件	(17)
1.6.5 结构材料与施工	(17)
本章小结	(18)
思考题与习题	(18)
2 场地、地基和基础	(19)
本章提要	(19)
2.1 场地	(19)
2.1.1 场地选择	(19)
2.1.2 场地类别划分	(19)

2.1.3	发震断裂对工程影响的评价	(21)
2.2	天然地基和基础	(22)
2.2.1	地基基础抗震设计一般要求	(22)
2.2.2	可不进行地基基础抗震验算的范围	(22)
2.2.3	地基抗震承载力验算	(23)
2.2.4	地基土抗震承载力确定	(23)
2.3	液化土地基	(24)
2.3.1	液化的机理及危害	(24)
2.3.2	液化判别与危害性分析	(24)
2.3.3	地基抗液化及选择依据	(26)
2.4	桩基的抗震验算	(28)
2.4.1	桩基不验算范围	(28)
2.4.2	低承台桩基的抗震验算	(28)
2.4.3	桩的构造要求	(29)
	本章小结	(29)
	思考题与习题	(30)
3	工程结构地震反应分析与抗震验算	(31)
	本章提要	(31)
3.1	概述	(31)
3.2	单质点弹性体系的水平地震反应	(32)
3.2.1	单质点弹性体系	(32)
3.2.2	运动方程的建立	(32)
3.2.3	运动方程的解	(33)
3.3	单质点弹性体系的水平地震作用	(35)
3.3.1	水平地震作用	(35)
3.3.2	地震系数	(36)
3.3.3	动力系数	(36)
3.3.4	地震影响系数	(37)
3.4	多质点弹性体系的水平地震反应	(39)
3.4.1	多质点弹性体系	(39)
3.4.2	重力荷载代表值的确定	(39)
3.4.3	多质点弹性体系的自由振动	(40)
3.4.4	多质点弹性体系的地震反应	(44)
3.5	多质点弹性体系的水平地震作用	(47)
3.5.1	振型分解反应谱法	(47)
3.5.2	底部剪力法	(49)
3.5.3	水平地震作用下地震内力的调整	(52)
3.6	结构自振周期的近似计算	(53)
3.6.1	瑞利法	(53)

3.6.2	等效质量法	(54)
3.6.3	顶点位移法	(55)
3.7	水平地震作用下的扭转效应	(56)
3.8	结构竖向地震作用的计算	(57)
3.8.1	反应谱法	(57)
3.8.2	静力法	(58)
3.9	地震作用计算的一般规定	(59)
3.9.1	结构抗震计算原则	(59)
3.9.2	结构抗震计算方法的选用	(59)
3.10	结构抗震验算	(60)
3.10.1	截面抗震验算	(60)
3.10.2	抗震变形验算	(61)
本章小结		(63)
思考题与习题		(65)
4	多层及高层混凝土结构抗震设计	(67)
本章提要		(67)
4.1	震害及其分析	(67)
4.1.1	结构布置不合理产生的震害	(67)
4.1.2	防震缝处碰撞产生的震害	(68)
4.1.3	共振效应引起的震害	(68)
4.1.4	框架柱的震害	(68)
4.1.5	框架梁的震害	(69)
4.1.6	框架梁、柱节点的震害	(69)
4.1.7	抗震墙的震害	(69)
4.1.8	填充墙的震害	(69)
4.2	抗震设计的一般规定	(70)
4.2.1	房屋适用的最大高度	(70)
4.2.2	抗震等级	(71)
4.2.3	结构平面和竖向布置	(73)
4.2.4	一般抗震措施	(75)
4.3	框架结构的抗震设计	(79)
4.3.1	结构计算简图	(79)
4.3.2	框架在竖向荷载下的内力计算	(80)
4.3.3	框架在水平荷载下的内力计算	(82)
4.3.4	框架侧移计算	(87)
4.3.5	内力组合	(88)
4.4	框架截面设计	(89)
4.4.1	结构的合理破坏机制及有关原则	(89)
4.4.2	框架柱的设计	(90)

4.4.3	框架梁的设计	(99)
4.4.4	框架节点的设计	(104)
4.5	框架计算实例	(108)
	本章小结	(120)
	思考题与习题	(121)
5	多层砌体房屋抗震设计	(122)
	本章提要	(122)
5.1	震害及其分析	(122)
5.2	抗震设计的一般规定	(123)
5.2.1	建筑平面及结构布置	(124)
5.2.2	多层房屋的总高度和层数限值	(124)
5.2.3	多层砌体房屋高宽比限值	(125)
5.2.4	房屋抗震横墙的间距	(125)
5.2.5	房屋局部尺寸限值	(125)
5.3	多层砌体房屋的抗震设计	(126)
5.3.1	计算简图	(126)
5.3.2	地震作用	(126)
5.3.3	楼层地震剪力在墙体中的分配	(127)
5.3.4	墙体抗震承载力验算	(132)
5.4	构造要求	(134)
5.4.1	多层砖房构造措施	(134)
5.4.2	多层砌块结构房屋的抗震构造措施	(137)
5.5	底部框架-抗震墙房屋的抗震设计	(138)
5.5.1	结构方案与结构布置	(138)
5.5.2	底部框架-抗震墙房屋的抗震设计要点	(139)
5.5.3	底部框架-抗震墙房屋的抗震构造措施	(141)
5.6	多层内框架房屋的抗震设计	(142)
5.6.1	结构方案与结构布置	(142)
5.6.2	内框架砖房的抗震设计要点	(142)
5.6.3	内框架砖房的抗震构造措施	(143)
5.7	设计实例	(144)
	本章小结	(150)
	思考题与习题	(150)
6	单层厂房抗震设计	(151)
	本章提要	(151)
6.1	震害及其分析	(151)
6.1.1	单层钢筋混凝土柱厂房	(151)
6.1.2	单层钢结构厂房	(154)
6.1.3	单层砖柱厂房	(154)

6.2	抗震设计的一般规定	(154)
6.2.1	单层钢筋混凝土柱厂房	(155)
6.2.2	单层砖柱厂房	(157)
6.2.3	单层钢结构厂房	(157)
6.3	钢筋混凝土柱厂房抗震设计	(157)
6.3.1	计算模型的选择与抗震计算的主要内容	(157)
6.3.2	横向抗震计算	(159)
6.3.3	纵向抗震计算	(168)
6.3.4	截面抗震验算	(178)
6.3.5	抗震构造措施	(181)
6.3.6	实例	(186)
6.4	钢结构厂房抗震设计	(190)
6.4.1	结构计算模型和地震作用计算方法的选择	(190)
6.4.2	抗震计算要点	(191)
6.4.3	抗震构造措施	(192)
6.5	砖柱厂房抗震设计	(193)
6.5.1	地震作用计算方法的选择	(193)
6.5.2	抗震计算要点	(194)
6.5.3	抗震构造措施	(194)
	本章小结	(196)
	思考题与习题	(196)
7	多层钢结构抗震设计	(197)
	本章提要	(197)
7.1	多层钢结构的震害分析	(197)
7.1.1	底层或中间层的坍塌	(197)
7.1.2	构件的破坏	(197)
7.1.3	节点的破坏	(198)
7.2	多层钢结构房屋的抗震性能	(198)
7.2.1	框架结构的抗震性能	(198)
7.2.2	框架-支撑结构的抗震性能	(198)
7.2.3	框架-抗震墙板结构的抗震性能	(199)
7.3	抗震设计的一般规定	(200)
7.3.1	钢结构民用房屋适用的结构类型和最大高度	(200)
7.3.2	房屋最大高宽比的限制	(201)
7.3.3	防震缝的设置	(201)
7.3.4	结构体系的选用和布置	(201)
7.3.5	楼盖的设置	(201)
7.3.6	地下室的设置	(202)
7.4	多层钢结构的抗震计算	(202)

7.4.1	地震作用的计算	(202)
7.4.2	在地震作用下的内力和变形的调整	(202)
7.4.3	在地震作用下的变形验算	(203)
7.4.4	钢结构构件与连接的抗震承载力验算	(203)
7.5	多层钢结构抗震构造措施	(209)
7.5.1	钢框架结构抗震构造措施	(209)
7.5.2	钢框架-中心支撑结构抗震构造措施	(211)
7.5.3	钢框架-偏心支撑结构抗震构造措施	(213)
7.6	多层钢结构厂房抗震设计	(215)
7.6.1	多层钢结构厂房的结构体系	(215)
7.6.2	多层钢结构厂房的布置	(215)
7.6.3	多层钢结构厂房的抗震计算要点	(216)
7.6.4	多层钢结构厂房的抗震构造措施	(217)
	本章小结	(218)
	思考题与习题	(218)
8	隔震和消能减震结构设计	(219)
	本章提要	(219)
8.1	概述	(219)
8.2	隔震结构设计	(219)
8.2.1	结构隔震原理	(219)
8.2.2	隔震系统的构成	(220)
8.2.3	隔震结构的设计要点	(220)
8.2.4	隔震结构的构造措施	(223)
8.3	消能减震结构设计	(224)
8.3.1	结构消能减震原理	(224)
8.3.2	消能减震装置的类型	(224)
8.3.3	消能减震结构的设计要点	(225)
	本章小结	(227)
	思考题与习题	(227)
附录 A	我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组	(228)
附录 B	中国地震烈度表(GB/T 17742—2008)	(241)
附录 C		(243)
参考文献		(246)

1 地震基础知识与工程结构抗震设防

本章提要

地震是一种对人类威胁最大的自然灾害。本章介绍了地震灾害的主要表现,从震害分析入手,讨论了地震的成因、地震的度量和工程结构抗震设防的基本目的及要求。

1.1 地震灾害

地震是一种对人类威胁最大的自然灾害。2008年5月12日四川汶川8.0级大地震,造成了大量的人员伤亡和财产损失。来自自然界的警示,迫使我们去认真探求地震造成建筑物倒塌或损坏的规律,掌握工程结构抗震设防的基本要求,尽可能地减少或减轻地震灾害引起的破坏后果。

1.1.1 工程结构的破坏

地震中工程结构的破坏是造成人民生命财产损失的主要原因,其破坏可能是由于地基失效引起的,也可能是由于上部结构承载力不足形成的破坏或结构丧失整体稳定性造成的。地震历史资料表明,由于地基失效引起的工程结构的破坏仅仅占结构破坏的10%左右,而其余90%都是由于结构承载力不足或丧失整体稳定造成的。

1.1.2 地面破坏

(1) 地裂缝

强烈的地震发生时,地下断层将达到地表,从而改变地形和地貌。地表的竖向错动将形成悬崖峭壁,地表大的水平位移会产生地形、地物的错位、挤压、扭曲,将造成地面的起伏。地裂缝将造成地面工程结构的严重破坏,使得公路中断、铁轨扭曲、桥梁断裂、房屋破坏、河流改道、水坝受损等。

地裂缝是地震时最常见的地表破坏现象,地裂缝的数量、长短、深浅等与地震的强烈程度、地表情况、受力特征等因素有关。它主要有两种类型:一种是强烈地震时由于地下断层错动延伸到地表而形成的裂缝,称为构造地裂缝,这类裂缝与地下断层带的走向一致,一般规模较大,形状比较规则;另一种地裂缝是在古河道、湖河岸边、陡坡等土质松软地方产生的地表交错裂缝,规模较小,形状大小各不相同。

(2) 喷砂冒水

在地下水位较高、砂层埋深较浅的平原地区,特别是在河流两岸较低平的地方,地震时地震波产生的强烈振动使得地下水位急剧增加,地下水经过地裂缝或土质松软的地方冒出地面,当地表土层为砂土或粉土时,则夹带着砂土或粉土一起冒出地面,形成喷砂冒水现象,实际上

是砂土液化的表现。

(3) 地表下沉

在地下存在溶洞的地区,或者由于人们的生产活动产生的空洞,如矿井或者地铁等区域,强烈地震发生时,地面土体将会产生下沉,造成大面积陷落。

(4) 河岸、陡坡滑坡

在河岸、陡坡等地方,强烈的地震使得土体失稳,造成塌方,淹没农田、村庄,堵塞河流,大面积塌方还会使房屋倒塌。

1.1.3 地震的次生灾害

强烈地震除了引起结构的破坏外,常常还会引起其他一些次生灾害,如火灾、水灾、泥石流、海啸、滑坡等。一般来说,地震本身造成的直接损失往往还小于由于地震所产生的次生灾害所造成的间接损失。因此,对地震灾害的预防应强调其综合性和连锁性。

1.2 地震的成因

1.2.1 地震的类型

地球内部发生地震的地方称为震源,震源在地球表面的投影称为震中。地球上某一地点到震中的距离称为震中距,震中附近地区称为震中区。破坏最为严重的地区称为极震区。震源到震中的垂直距离称为震源深度。如图 1.1 所示。

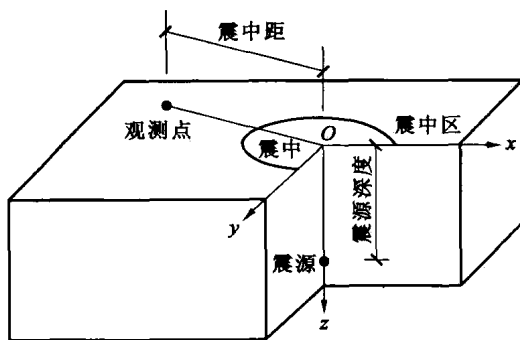


图 1.1 地震术语示意图

地震按其成因分为诱发地震和天然地震两类。诱发地震是由于人工爆破、矿山开采、水库储水、深井注水等原因所引发的地震。天然地震又可以分为构造地震和火山地震;火山地震是由于火山爆发引起的地震;构造地震是由于地表构造运动产生的地震,通常工程上讨论的就是这种地震,因为构造地震占发震总数的 90% 以上。

按震源的深浅,地震又可分为浅源地震、中源地震和深源地震。浅源地震的震源深度在 60 km 以内,约占地震总数的 70%,一年中全世界所有地震释放的能量约 85% 来自浅源地震。浅源地震波及范围较小,破坏程度较大。中源地震震源深度在 60~300 km 之内,约占地震总数的 25%。深源地震的震源深度在 300 km 以上,约占地震总数的 5%。

根据震中距的大小,地震又可分为地方震、近震和远震。震中距在 100 km 以内的地震叫地方震;震中距在 100~1000 km 之间的地震称近震;震中距大于 1000 km 的地震称远震。

依据震级大小,地震可分为七类,如表 1.1 所示。

表 1.1 地震按震级的分类

类 型	震 级	类 型	震 级
超微震	震级 < 1	强烈地震	6 ≤ 震级 < 7
弱震和微震	1 ≤ 震级 < 3	大地震	7 ≤ 震级 < 8
有感地震	3 ≤ 震级 < 4.5	巨大地震	震级 ≥ 8
中强地震	4.5 ≤ 震级 < 6		

1.2.2 地震成因

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,当地应力超过岩石的极限强度时,在岩石的薄弱处突然发生断裂和错动,部分应变能突然释放,引起振动,其中一部分能量以波的形式传到地面,就产生了地震。构造地震发生断裂错动的地方所形成的断层叫发震断层。

根据对地应力产生机理解释的不同,产生了多种关于地震成因的学说,其中比较公认的是板块构造学说。该学说认为,地球的岩石圈不是一块整体,而是由一些活动的构造带——海岭、岛弧、平移大断层等割裂的若干板块组成。全球岩石圈可分为欧亚板块、太平洋板块、澳洲板块、美洲板块、非洲板块和南极板块六大板块。它们又可分成若干小板块。各板块之间因岩石层下面的地幔软流层的对流运动而产生相互运动,从而产生力的作用,形成地应力。地球上的主要地震带就处于这些大板块的交接处。据资料统计,全世界 85% 左右的地震发生在板块边缘。

1.2.3 地震波的传播

当震源岩层发生断裂、错动时,岩层所积累的能量突然释放,以波的形式从震源向四周传播,这种波称为地震波。地震波是一种弹性波,按其在地壳中传播的位置的不同分为体波和面波。

(1) 体波

体波为在地球内部传播的波。体波根据其介质质点振动方向和波传播方向的不同又可以分为纵波和横波。

纵波的介质质点振动的方向和波传播的方向相同,是从震源向四周传播的压缩波。纵波一般周期较短,波速较快,振幅较小,在地面上引起上下颠簸波动。纵波由于波速较快,在地震发生时往往最先到达,因此纵波也称为初波、P 波、压缩波或拉压波。纵波波速一般用 v_p 来表示,在地壳内纵波的传播速度一般为 200~1400 m/s。根据弹性动力学可以得到 v_p 的计算式为:

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1.1)$$

式中 E ——介质的弹性模量;

μ ——介质的泊松比;

ρ ——介质的密度。

横波的介质质点振动的方向和波传播的方向垂直,是从震源向四周传播的剪切波。横波一般周期较长,波速较慢,振幅较大,引起地面水平方向的运动。横波由于波速较慢,在地震发生时到达的时间将比纵波慢,因此横波也称为次波、S波、剪切波、畸主波和等体积波。横波波速一般用 v_s 来表示,在地壳内横波的传播速度一般为 $100\sim 800\text{ m/s}$ 。根据弹性动力学可以得到横波波速的计算式为:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \tag{1.2}$$

式中 G ——介质剪切弹性模量。

地基中纵波和横波的波速参考值如表 1.2 所示。

表 1.2 地基土纵波、横波的传播

地基土名称	纵波波速 v_p (m/s)	横波波速 v_s (m/s)
湿黏土	1500	150
天然湿度黄土	800	260
密实砾石	480	250
细砂	300	110
中砂	550	160
粗砂	750	180

(2) 面波

面波为在地表面传播的波。面波主要有瑞雷波和洛夫波。

瑞雷波传播时,介质质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内做椭圆运动,如图 1.2(a)所示。洛夫波传播时,介质质点在与波的前进方向垂直的水平方向运动,在地面上表现为蛇形运动,如图 1.2(b)所示。

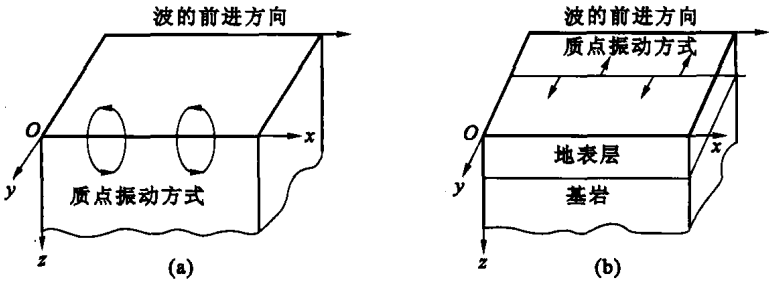


图 1.2 面波质点振动形式

(a) 瑞雷波质点振动; (b) 洛夫波质点振动

面波是经过地层界面的多次反射、折射形成的次生波,其周期长、振幅大、衰减慢,在地震发生时往往最后到达。利用纵波、横波和面波传播速度的不同,可以大致确定震源的距离。

1.3 地震度量

地震震级是度量地震中震源所释放能量多少的指标。人们通过地震地面运动的振幅来量测地震震级。

1.3.1 地震震级

1935年,美国地震学家里希特(C. F. Richter)首先提出了震级的概念,采用标准地震仪(周期为 0.8 s,阻尼系数为 0.8,放大倍数为 2800 的地震仪)在距离震中 100 km 处记录到的以微米($\mu\text{m}=10^{-6}\text{ m}$)为单位的最大水平地面位移 A 的常用对数值来表示震级的大小,即:

$$M = \lg A \quad (1.3)$$

式中 M ——地震震级,通常称为里氏震级;

A ——由记录到的地震曲线图上得到的最大振幅。

地震震级是表征地震大小或强弱的指标,是一次地震释放能量多少的度量,它是地震的基本参数之一。一次地震只有一个震级。震级直接与震源释放的能量的多少有关,可以用下式表示:

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (1.4)$$

式中 M ——地震震级;

E ——地震能量(J,焦耳)

从地震震级的定义可以看出,震级相差一级,振幅相差 10 倍,能量相差 $10^{1.5}$ (≈ 32) 倍。一个 1 级地震所释放的能量约为 $2 \times 10^6 \text{ J}$ 。一个 6 级地震相当于一个 2 万吨级原子弹所释放的能量。到目前为止,世界上记录到的最大地震的震级为 8.9 级,于 1960 年发生在南美洲的智利。

1.3.2 地震烈度

地震烈度表示地震造成地面上各地点的破坏程度。地震烈度与震级、震中距、震源深度、地质构造、建筑物和构筑物的地基条件有关。烈度的大小是根据人的感觉、地面房屋受破坏程度等综合因素的评定结果。地震震级和地震烈度是描述地震现象的两个参数。一次地震只有一个震级,而地震烈度值可以有多个。震级越大,震中烈度越高;离震中越远,地震烈度越低。震源深度越浅,地震烈度越高;震源深度越深,地震烈度越低。对于浅源地震而言,地震震级与震中烈度有大致的对应关系,如表 1.3 所示。

表 1.3 震中烈度与震级的大致关系

震 级	2	3	4	5	6	7	8	8 以上
烈 度	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

地震烈度表示地震影响的强弱程度。为了便于评判,需要建立一个合适的标准,这个标准就是地震烈度表。目前各国普遍采用 12 度的烈度表。表 1.4 所示为我国 1999 年批准实施的新烈度表。