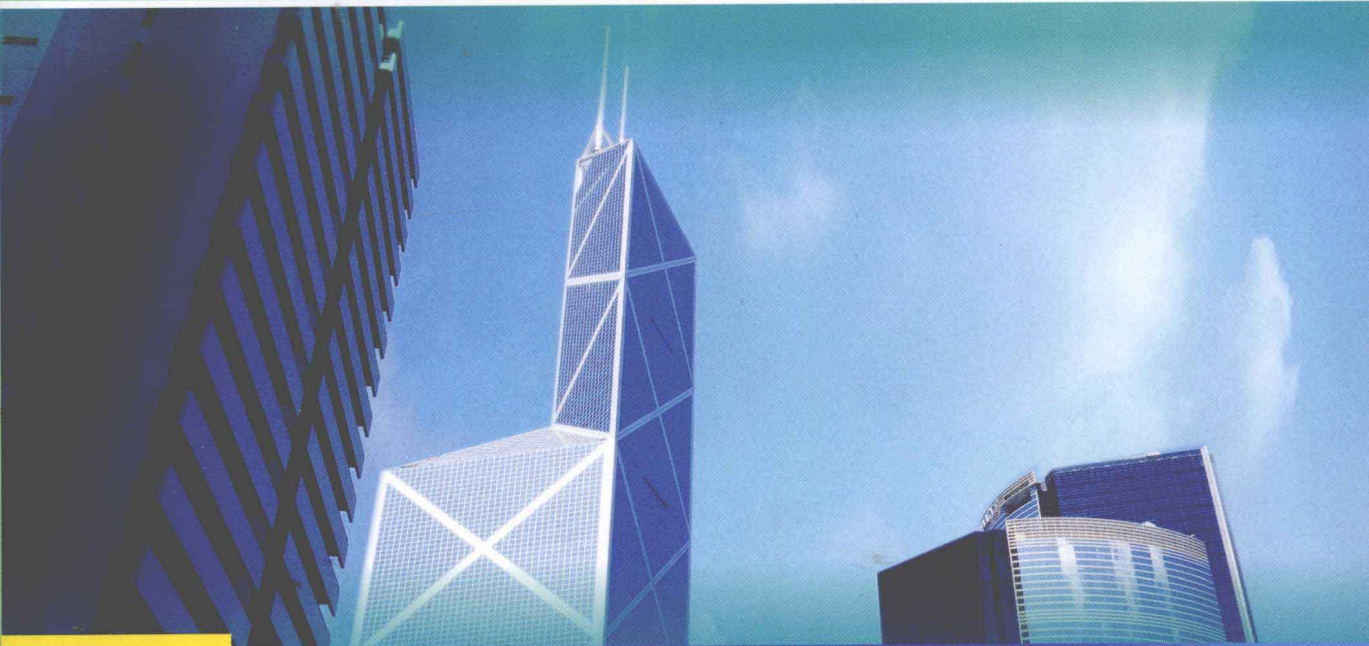


交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



建筑结构

第五版 设计

杨德健	李亚娥	主 编
袁 康	宗金辉	副主编
乌 兰	周 坚	主 审



人民交通出版社

China Communications Press



高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

— 建筑结构 抗震设计

Jianzhu Jiegou Kangzhen Sheji

杨德健	李亚娥	主 编
袁 康	乌 兰	副主编
	周 坚	主 审



人民交通出版社

China Communications Press

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

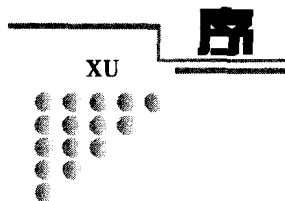
(第一版)

主任委员: 阎兴华

副主任委员: 张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘
宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员: 彭大文 林继德 张俊平 刘春原
党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长: 张征宇



随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平 and 质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动了该套教材的修订工作。

这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的专业基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、

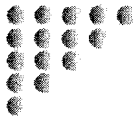
正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社
2011年5月

前言

QIANYAN



本书以人民交通出版社提出的“厚基础、重能力、求创新,培养应用型人才为主”的编写思想为指导,依据我国最新版《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),并根据高等院校土木工程专业建筑结构抗震设计教学大纲的要求编写而成。

《建筑结构抗震设计》是土木工程专业一门重要的学科方向专业课,也是一门理论性和实践性都很强的专业限选课程。全书共分九章,主要内容包括:绪论,场地、地基和基础,结构地震反应分析及抗震验算,建筑结构抗震概念设计,混凝土结构房屋抗震设计,多层砌体及底部框架砌体房屋抗震设计,单层钢筋混凝土厂房抗震设计,多层和高层钢结构房屋抗震设计,以及隔震与消能减震结构设计。

参加本书编写工作的有:天津城市建设学院杨德健(第一、三章),兰州理工大学李亚娥(第六、七章),新疆石河子大学袁康(第四、五章),天津城市建设学院乌兰(第二、八章),河北工业大学宗金辉(第九章)。全书由杨德健统稿,由北京建筑工程学院周坚教授主审。书中打“*”者,在教学时可根据学时数及教学对象的需要选讲。

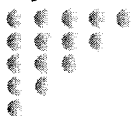
本书在编写过程中参考了近年来出版的多本优秀教材,书中直接或间接引用了参考文献所列书目中的部分内容,对上述作者表示感谢。

限于编者水平,书中难免有不当或错误之处,敬请专家同行和读者批评指正。

编者

2011年5月

目录 MULU

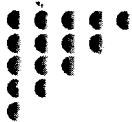


第一章 绪论	1
第一节 地震基本知识与地震震害.....	1
第二节 地震波、震级和烈度	7
第三节 地震动特性	12
第四节 工程结构的抗震设防	13
第五节 基于性能的抗震设计	15
思考题与习题	17
第二章 场地、地基和基础	18
第一节 场地	18
第二节 天然地基与基础的抗震验算	22
第三节 场地土的液化与抗液化措施	23
第四节 桩基的抗震设计	28
思考题与习题	30
第三章 结构地震反应分析及抗震验算	31
第一节 单质点弹性体系的水平地震反应	31
第二节 单质点弹性体系水平地震作用计算——反应谱法	37
第三节 多单质点弹性体系水平地震反应——振型分解法	40
第四节 多质点体系水平地震作用——振型分解反应谱法	49
第五节 底部剪力法	53
* 第六节 结构的扭转耦联效应计算	57
* 第七节 竖向地震作用的计算	59
第八节 结构自振周期和振型的简化计算	60
第九节 结构抗震验算	68
思考题与习题	75
第四章 建筑结构抗震概念设计	77
第一节 场地选择	77
第二节 结构选型与结构布置	78

第三节	结构材料	84
第四节	加强结构整体性与控制结构变形	85
第五节	非结构构件处理	85
	思考题与习题	87
第五章	混凝土结构房屋抗震设计	88
第一节	震害及其分析	88
第二节	多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定	91
第三节	框架结构抗震计算	94
第四节	框架—抗震墙结构抗震计算	122
第五节	抗震构造要求	134
	思考题与习题	145
第六章	多层砌体及底部框架砌体房屋抗震设计	146
第一节	震害及其分析	146
第二节	多层砌体房屋抗震设计	148
第三节	底部框架砌体房屋抗震设计	164
第四节	抗震构造措施	170
	思考题与习题	177
第七章	单层钢筋混凝土厂房抗震设计	179
第一节	震害及其分析	179
第二节	单层厂房结构布置及抗震构造要求	181
第三节	单层厂房的横向抗震设计	189
第四节	单层厂房的纵向抗震设计	201
	思考题与习题	212
第八章	多层和高层钢结构房屋抗震设计	214
第一节	震害及分析	214
第二节	多层和高层钢结构房屋抗震设计	215
第三节	单层钢结构厂房抗震设计	231
	思考题与习题	235
第九章	隔震与消能减震结构设计	236
第一节	概述	236
第二节	结构隔震设计	238
第三节	结构消能减震	247
第四节	结构主动减震控制简介	253
	思考题与习题	256
参考文献	257

第一章 绪 论

DIYIZHANG



本章提要:本章将主要介绍地震的主要类型及其成因、地震波及其传播规律;介绍地震震级、烈度、基本烈度等基本概念;了解地震动的三大特性、规律,及其震害现象;重点介绍建筑抗震设防分类、抗震设防目标和两阶段抗震设计方法,提高对工程结构抗震重要性的认识。此外,将简要介绍基于性能的抗震设计的基本思想。

第一节 地震基本知识 with 地震震害

一、地球的构造

地球是一个平均半径约 6 400km 的椭球体。由外到内可分为 3 层:最表面的一层是很薄的地壳,平均厚度约为 30km,中间很厚的一层是地幔,厚度约为 2 900km;最里面的为地核,其半径约为 3 500km。

地壳由各种岩层构成。除地面的沉积层外,陆地下面的地壳通常由上部的花岗岩层和下部的玄武岩层构成;海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳各处厚薄不一,从 5 ~ 40km 不等。世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。

地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成。由于地球内部放射性物质不断释放热量,地球内部的温度也随深度的增加而升高。从地下 20km 到地下 700km 其温度由大约 600℃ 上升到 2 000℃,在这一范围内的地幔中存在着一个厚约几百公里的软流层。由于温度分布不均匀,就发生了地幔内部物质的对流。另外,地球内部的压力也是不均衡的,在地幔上部约为 900MPa,地幔中间则达 370 000MPa。地幔内部物质就是在这样的热状态下和不均衡压力作用下缓慢地运动着,这可能是地壳运动的根源。到目前为止,所观测到的最深的地震发生在地下约 700km 处,可见地震仅发生在地球的地壳和地幔上部。

地核是地球的核心部分,可分为外核(厚 2 100km)和内核(厚 1 400km),其主要构成物质是镍和铁。据推测,外核可能处于液态,而内核可能是固态。

二、地震的类型与成因

地震按其成因主要分为火山地震、陷落地震和构造地震。

由于火山爆发而引起的地震叫火山地震；由于地表或地下岩层突然大规模陷落和崩塌而造成的地震叫陷落地震；由于地壳运动，推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震叫构造地震。火山地震和陷落地震的影响范围和破坏程度相对较小，而构造地震的分布范围广、破坏作用大，因而对构造地震应予以重点考虑。就构造地震的成因，仅介绍断层说和板块构造说。

1. 断层说

构造地震是由于地球内部在不断运动的过程中，始终存在着巨大的能量，造成地壳岩层不停地连续变动，不断地发生变形，产生地应力。当地应力产生的应变超过某处岩层的极限应变时，岩层就会发生突然断裂或错动。而承受应变的岩层在其自身的弹性应力作用下发生回弹，迅速弹回到新的平衡位置，这样，岩层中原先构造变动过程中积累起来的应变能在回弹过程中释放，并以弹性波的形式传至地面，从而引起振动，形成地震（图 1-1）。构造地震与地质构造密切相关，这种地震往往发生在地应力比较集中、构造比较脆弱的地段，即原有断层的端点或转折处和不同断层的交会处。

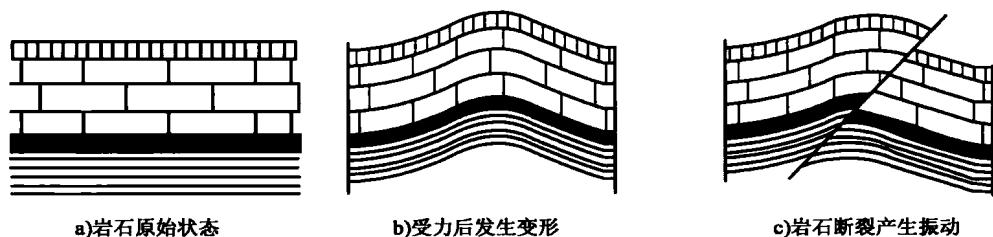


图 1-1 构造地震的形成

2. 板块构造说

板块构造学说认为，地球表面的岩石层不是一块整体，而是由 6 大板块和若干小板块组成。这 6 大板块即欧亚板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、澳洲板块和南极板块。由于地幔的对流和地球的自转运动，这些板块在地幔软流层上异常缓慢而又持久地相互运动着，由于它们的边界是相互制约的，因而板块之间处于拉张、挤压和剪切状态，从而产生了地应力。当地应力产生的变形过大时致使其边缘附近岩石层脆性破裂而产生地震。地球上的主要地震带就位于这些大板块的交界地区。

三、世界的地震活动

据统计，地球上平均每年发生震级 2.5 级以上的有感地震在 15 万次以上；震级为 7 级以上、震中烈度在 9 度以上的大地震不到 20 次；震级为 8 级以上、震中烈度 11 度以上的毁灭性地震 2 次左右。

根据宏观地震震害资料调查及地震台观测数据统计，世界上绝大多数破坏性地震发生在两个主要地震带上（图 1-2）。一是环太平洋地震带，它沿南、北美洲西海岸、阿留申群岛，转向

西南到日本列岛,再经我国台湾省,到达菲律宾、新几内亚和新西兰等地。全球约 80% 浅源地震和 90% 的中源,以及几乎所有的深源地震都集中在这一地带上。二是欧亚地震带,它西起大西洋的亚速尔群岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区,过缅甸至印度尼西亚与上述环太平洋带衔接。除分布在环太平洋地震活动带的中源、深源地震以外,几乎所有其它中源、深源地震和一些大的浅源地震都发生在这一活动带。

此外,在大西洋、太平洋和印度洋中也有呈条形分布的地震带。

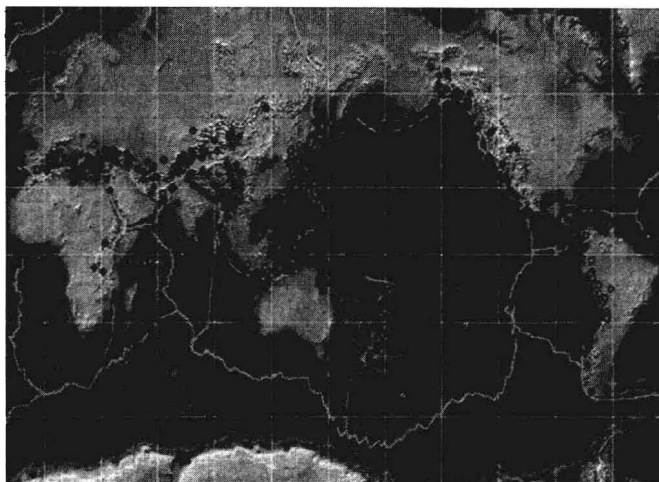


图 1-2 世界上两条主要地震带

四、我国的地震活动

我国东临环太平洋地震带,南接欧亚地震带,是世界上多地震国家之一,地震分布相当广泛。据统计,全国除浙江、江西等个别省份外,绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震。有不少地区现在地震活动还相当强烈,以我国台湾省大地震最多,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。

我国主要地震带主要有两条:一是南北地震带,它北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西至云南省东北,纵贯南北;二是东西地震带,主要的东西构造带有两条,北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直至辽宁北部的千山一带;南面的一条,自帕米尔高原起经昆仑山、秦岭,直到大别山区。据此,我国大致可划分成 6 个地震活动区:①台湾及其附近海域活动区;②喜马拉雅山脉活动区;③南北地震带;④天山地震活动区;⑤华北地震活动区;⑥东南沿海地震活动区。

五、近期世界地震活动

近半个世纪以来,国内外发生的大地震如表 1-1 所示。

国内外发生的大地震一览

表 1-1

时 间	地 点	震级	死亡(备注)	时 间	地 点	震级	死亡(备注)
1960.5.22	智利南部	8.5	15 621 人	1965.5.16	日本十胜冲	7.5	22 778 人
1964.3.27	美国阿拉斯加	8.4	66 794 人	1970.1.5	中国海通	7.7	15 621 人
1964.6.27	日本新潟	7.5	2 199 人	1970.5.31	秘鲁北部	7.6	66 794 人

续上表

时 间	地 点	震级	死亡(备注)	时 间	地 点	震级	死亡(备注)
1973. 2. 6	中国甘孜	7. 9	2 199 人	1999. 1. 25	哥伦比亚	6. 2	1 200 多人
1976. 2. 4	危地马拉	7. 5	22 778 人	1999. 8. 17	土耳其西部	7. 4	13 000 多人
1976. 7. 28	中国唐山	7. 8	242 769 人	1999. 9. 21	中国台湾	7. 6	2 300 多人
1980. 10. 10	阿尔及利亚	7. 3	2 500 多人	1999. 9. 30	墨西哥	7. 5	
1980. 11. 23	那不勒斯市	7. 2	2 735 人	1999. 11. 12	土耳其博鲁省	7. 2	约 1 000 人
1981. 6. 11	伊朗克尔曼省	6. 8	3 000 多人	2000. 6. 4	印度明古鲁省	7. 9	
1981. 7. 28	伊朗克尔曼省	7. 3	1 500 多人	2000. 1. 13	萨尔瓦多	7. 6	约 1 000 人
1982. 12. 13	也门扎马尔省	6	3 000 多人	2001. 1. 26	印度西部	7. 9	20 000 多人
1983. 10. 23	土耳其	6	1 300 多人	2001. 6. 24	秘鲁	7. 9	
1985. 9. 19	墨西哥城	8. 1	6 000 多人	2001. 10. 27	云南永胜县	6. 0	
1986. 10. 10	萨尔瓦多	7. 5	1 500 多人	2001. 10. 31	巴布亚新几内亚	7. 0	
1987. 3. 5	厄瓜多尔	7	1 000 多人	2001. 11. 14	中国新疆、青海交界	8. 1	
1988. 12. 7	亚美尼亚	6. 9	约 25 000 人	2002. 3. 3	阿富汗	7. 1	
1990. 6. 21	伊朗里海地区	7. 7	约 35 000 人	2002. 3. 6	菲律宾	7. 1	
1990. 7. 16	菲律宾	7. 7	约 35 000 人	2002. 6. 27	苏门答腊西南	7. 4	
1991. 2. 1	巴基斯坦	6. 8	1 200 多人	2002. 6. 29	中国吉林汪清	7. 2	深源无损坏
1992. 12. 12	印度尼西亚	6. 8	2 200 多人	2003. 2. 24	中国新疆伽师	6. 8	260 多人
1993. 9. 30	印度	6. 4	约 22 000 人	2004. 12. 26	苏门答腊海域	8. 9	30 万人
1994. 6. 6	哥伦比亚		1 000 多人	2008. 5. 12	中国汶川	8. 0	69 226 人死亡, 17 923 人失踪
1995. 1. 17	日本神户	7. 2	6 500 多人	2009. 9. 30	苏门答腊海域	7. 9	1 115 人死亡, 210 人失踪
1995. 5. 28	俄罗斯远东地区	7. 5	2 000 多人	2010. 1. 12	海地太子港	7. 3	27 万人死亡
1997. 2. 28	伊朗西北部	6. 1	1 000 多人	2010. 2. 27	智利中部近岸	8. 8	802 人死亡
1997. 5. 10	伊朗东北部	7. 1	1 560 多人	2010. 4. 14	中国青海玉树	7. 1	2 016 人死亡, 256 人失踪
1998. 2. 4	阿富汗塔哈尔省	6. 1	4 500 多人	2011. 3. 11	日本宫城县近海	9. 0	13 895 人死亡, 13 864 人失踪
1998. 5. 30	阿富汗塔哈尔省		约 3 000 人	2011. 3. 24	缅甸	7. 2	数百人

六、地震的破坏现象

如上所述,地震是一种经常发生的自然现象,但只有较强烈地震才会造成灾害。强烈地震所造成的破坏,主要表现为以下几个方面。

1. 地表和道路的破坏

强震时,地表发生大的改变,造成地裂、地陷、山崩、滑坡、地表隆起,以及喷砂冒水等地质灾害,使道路、房屋的地基、地下结构等发生破坏,甚至造成严重灾害(图 1-3 ~ 图 1-5)



图 1-3 日本 9 级大地震公路路面开裂

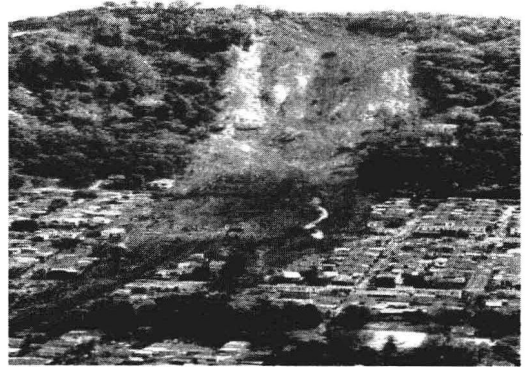


图 1-4 地震引起山体滑坡

2. 桥梁结构的破坏

在水平地震作用和竖向地震作用下,对桥梁的上下部结构均会造成严重破坏,例如:基础的破坏(图 1-6)、桥墩的破坏(图 1-7)以及桥梁的滑落(图 1-8)。

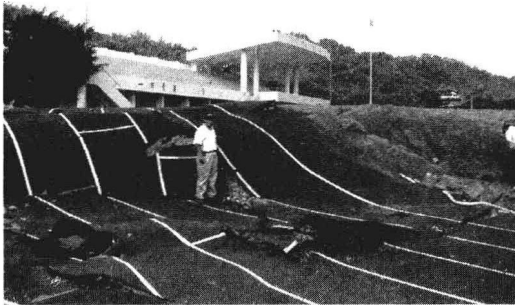


图 1-5 地震断层一侧地面抬升 2m 以上

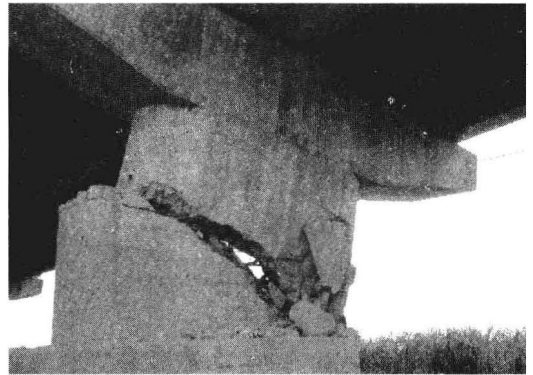


图 1-6 桥梁支柱破坏



图 1-7 高速路桥墩破坏

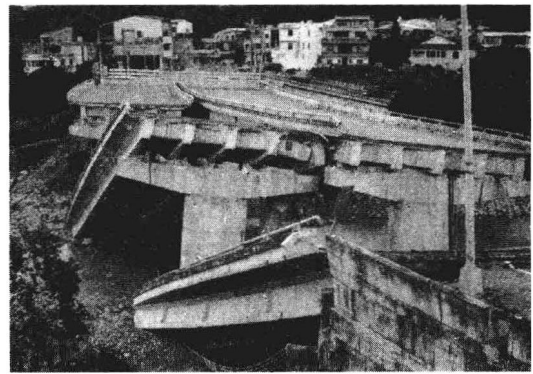


图 1-8 桥梁落梁破坏

3. 建筑物的破坏

因结构部件强度不足,在强烈地震作用下由构件的破坏导致整体结构丧失稳定性,或因连接部件和锚固失效导致结构整体倒塌(图 1-9);因结构节点强度不足而引起节点破坏(图 1-10);因建筑存在薄弱层(或薄弱部位),引起结构的整体倒塌、破坏(图 1-11)。

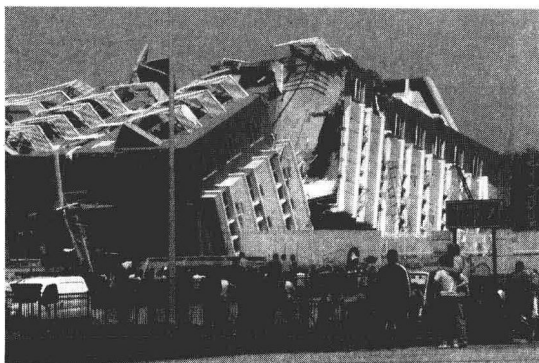


图 1-9 建筑物整体倒塌



图 1-10 框架强梁弱柱破坏



a)底部薄弱层(两层)倒塌



b)房屋中部薄弱部位倒塌

图 1-11 薄弱层(部位)倒塌

4. 次生灾害

地震时,水坝、给排水管网、煤气管道、供电线路以及易燃、易爆、有毒物质容器的破坏,可造成水灾、火灾、空气污染以及海底地震引发的海啸等灾害,称为次生灾害。这种灾害有时造成的损失更大,特别是在大城市和大工业区。例如,2011年3月11日发生在日本东北部近海9.0级的特大地震,引发了强烈海啸和火灾,造成重大人员伤亡和财产损失(图 1-12、图 1-13),并导致福岛一号核电站四台机组发生爆炸,造成严重核泄露。



图 1-12 日本 9.0 级特大地震引发强烈海啸



图 1-13 地震引发火灾

第二节 地震波、震级和烈度

一、震源和震中

地层构造运动中,地球内部断层错动、断裂并引起周围介质振动的部位称为震源。震源正上方的地面位置叫震中。震中附近的地面振动最剧烈,也是破坏最严重的地区,叫震中区或极震区。地面某处至震中的水平距离叫做震中距。把地面上破坏程度相同或相近的点连成的曲线叫做等震线。震源至地面的垂直距离叫做震源深度,见图 1-14。按震源的深浅,地震又可分为 3 类:一是浅源地震,震源深度在 70km 以内;二是中源地震,震源深度在 70 ~ 300km 范围;三是深源地震,震源深度超过 300km。浅源、中源和深源地震所释放的能量分别约占所有地震释放能量的 85%、12% 和 3%。

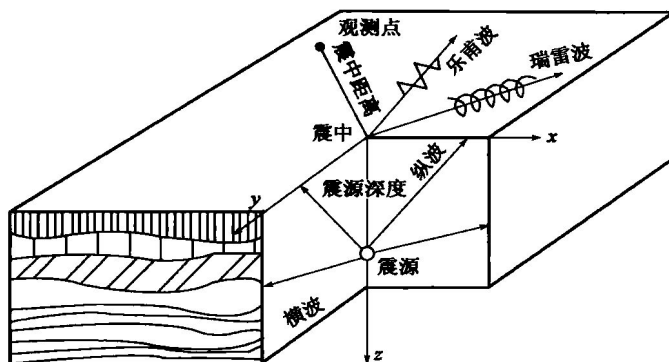


图 1-14 地震震源及地震波传播示意图

二、地震波

地震发生时,因地下岩层断裂、错动释放能量引起地表振动,并以波的形式从震源向各个方向传播,这就是地震波。它包含在地球内部传播的体波和只限于在地面附近传播的面波。

体波又包括两种形式,即纵波与横波。

在纵波的传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向一致,故纵波又称为压缩波或疏密波。纵波的特点是周期较短、振幅较小。在横波的传播过程中,其介质质点的振动方向

与波的前进方向垂直,故横波又称为剪切波。横波的周期较长、振幅较大,见图 1-15。体波在地球内部的传播速度随深度的增加而增大。

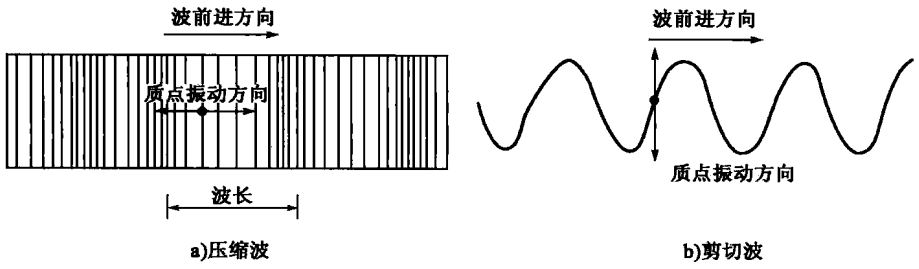


图 1-15 体波质点振动形式

从物理学可知,压缩波的波速为:

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

剪切波的波速为:

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中: E ——介质的弹性模量;

G ——介质的剪切模量, $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$;

ρ ——介质密度;

μ ——介质的泊松比。

若取 $\mu = 0.25$,则上式有 $v_p = \sqrt{3}v_s$ 。可见,压缩波比剪切波的传播速度快。

观测表明,土层土质自上而下由软至硬,在其中传播的剪切波速自上而下由小到大变化。剪切波速度不仅与地基土的强度、变形特性等因素有密切关系,而且可采用较简便的仪器测得,故在地基土动力性质评价中占有重要地位。

面波是体波经地层界面多次反射、折射后形成的次生波,它包括两种形式的波,即瑞利波(R波)和乐甫波(L波)。乐甫波传播时,质点只是在与传播方向相垂直的水平方向(y 方向)运动,在地面上呈蛇形运动形式;瑞利波传播时,质点在波的传播方向和地面法线组成的平面内(xoz 平面)作与波前进方向相反的椭圆形运动,而在与该平面垂直的水平方向(y 方向)没有振动,质点在地面上呈滚动形式,如图 1-16 所示。

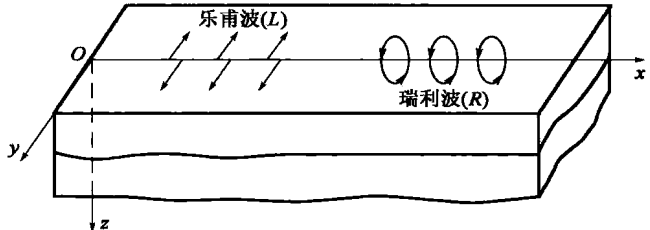


图 1-16 面波质点振动形式

由图 1-16 所示,乐甫波主要使地面产生水平摆动,质点振动方向垂直于波的传播方向;瑞利波不仅使地面产生水平方向的摆动,还使地面上下颠簸震动。

面波的传播速度比体波慢,且具有随土层深度增加而急剧减小的趋势。根据记录的地震波曲线(图 1-17)可以看到,压缩波最先到达,然后是剪切波,面波(L波和 R 波)到达最晚,但面波振幅最大。

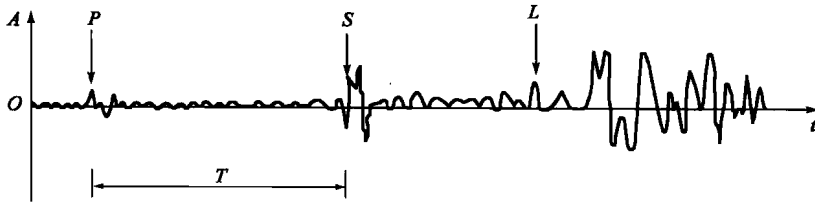


图 1-17 地震波记录曲线

三、地震震级

震级是表示地震本身大小的尺度。目前,国际上比较通用的是里氏震级,它是由里查德(C. F. Richter)在 1935 年首先提出的,其地震震级 M 定义为:

$$M = \log A \quad (1-3)$$

式中: M ——地震震级(里氏震级);

A ——地震时程曲线图上的最大振幅(μm), A 是标准地震仪(指摆的自振周期 0.8s,阻尼系数 0.8,放大倍数 2 800 倍的地震仪)在距震中 100km 处记录的以微米($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)为单位的最大水平地震动位移(即振幅)。

例如,在距震中 100km 处地震仪记录的振幅是 100mm,即 100 000 μm ,则 $M = \log A = 100\ 000 = 5$ 级

实际上,地震时距震中 100km 处不一定恰好有地震仪,且现今一般都不用上述标准地震仪。因此,对于震中距不是 100km 的地震台站和采用非标准地震仪时,要按修正后的计算公式计算震级。

根据我国现用仪器,测定震级的方法一般采用体波法和面波法。当震中距小于 1 000km 时,体波震级按下式计算:

$$M_L = \log A_\mu + R(\Delta) \quad (1-4)$$

式中: M_L ——近震体波震级;

A_μ ——地震曲线上水平向最大振幅(μm);

$R(\Delta)$ ——随震中距 Δ 变化的起算函数。

当震中距大于 1 000km 时,采用面波震级,按下式计算:

$$M_s = \log\left(\frac{A_\mu}{T}\right) + \sigma(\Delta) \quad (1-5)$$

式中: M_s ——远震面波震级;

A_μ ——地震曲线上水平向最大振幅(μm);

T ——与 A_μ 相应的周期;

$\sigma(\Delta)$ ——面波震级的量规函数。

地震震级 M 与震源释放的能量 E (单位:erg——尔格)之间有如下经验关系式:

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (1-6)$$

一个 6 级地震释放的能量约相当于一颗 2 万吨级的原子弹爆炸的能量。由式(1-3)和式