



北京市高等教育精品教材立项项目

建筑抗震设计

Seismic Design of Buildings

薛素铎 赵 均 高向宇 编著



科学出版社

www.sciencep.com

北京市高等教育精品教材立项项目

建筑抗震设计

Seismic Design of Buildings

薛素铎 赵 均 高向宇 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书按《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)编写,主要阐述建筑抗震设计理论与方法。全书共分九章,主要内容包括:地震与抗震概论;建筑场地与地基基础;地震作用与结构抗震验算;结构非弹性地震反应分析;多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计;多层及高层钢结构房屋抗震设计;砌体结构房屋抗震设计;单层厂房抗震设计;隔震与消能减震设计。为便于学习,每章均给出学习提要、习题及思考题。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可作为从事工程结构设计与施工技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震设计/薛素铎,赵均,高向宇编著. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-011717-4

I. 建… I. ①薛…②赵…③高… II. 建筑结构-抗震设计
N. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 059356 号

责任编辑:刘剑波/责任校对:宋玲玲
责任印制:刘士平/封面设计:张 放

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 一 版 开本:787×960 1/16
2003年8月第一次印刷 印张:24 1/2
印数:1—4 000 字数:483 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

我国是世界上地震多发国家之一,抗震设防烈度在 6 度以上的地区几乎遍及全国各个省和自治区。地震灾害具有突发性和毁灭性,历次地震造成的生命和财产损失不可估量。近年来的工程实践表明,对建筑结构进行必要的抗震设计是减轻地震灾害积极有效的措施,因此,结构抗震成为建筑结构设计的重要内容。本书以《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)为依据进行编写,与 1989 年规范相比,新规范吸收了近年来各国在工程抗震方面的最新研究成果,更新了设计概念,改善了设计方法,增加了许多新内容。本书编写对新建筑抗震设计规范的实施,对推动学生及设计人员掌握新规范的内容、适应新世纪的教学要求具有积极意义。

建筑抗震设计是高等学校土木工程专业的一门主要专业课程。本教材紧密结合新的《建筑抗震设计规范》内容,并结合作者多年的教学和科研实践经验,力争成为一部内容新、实用性强、适应新世纪土木工程教学改革要求的高等教育精品教材。与原有教材相比,本书增加了多、高层钢结构房屋抗震设计以及结构的隔震与消能减震设计。为了使本书体系完整,拓宽读者对结构抗震基本理论的掌握,本书还编写了结构非弹性地震反应分析一章,对新规范中建议采用的静力弹塑性分析方法和弹塑性时程分析法进行了较系统的论述。同时,为便于学生掌握书中的基本理论和计算方法,书中各章均附有典型例题、习题及思考题,并给出了每章的学习提要。

本书共分九章,第一、二、三、九章由薛素铎执笔,第五、七章由赵均执笔,第四、六章由高向宇执笔,第八章由赵均、高向宇共同执笔。全书由薛素铎统稿。本书被列为北京市高等教育精品教材立项项目,作者对北京市教委的支持表示衷心感谢。由于作者水平有限,对书中不当或错误之处,敬请读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 地震与抗震概论	1
1.1 本课程的目的与任务	1
1.2 地震与震害	2
1.3 地震波、震级和地震烈度	7
1.4 建筑抗震设防要求.....	12
1.5 建筑抗震概念设计.....	14
本章学习提要	18
习题及思考题	18
第二章 建筑场地与地基基础	19
2.1 概述.....	19
2.2 建筑场地.....	20
2.3 地基基础抗震验算.....	24
2.4 地基土的液化.....	26
本章学习提要	31
习题及思考题	31
第三章 地震作用与结构抗震验算	33
3.1 概述.....	33
3.2 单自由度弹性体系的地震反应.....	34
3.3 单自由度弹性体系地震作用计算的反应谱法.....	37
3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应.....	45
3.5 振型分解反应谱法.....	53
3.6 底部剪力法.....	57
3.7 结构基本周期的近似计算.....	61
3.8 平动扭转耦联振动时结构的抗震计算.....	65
3.9 竖向地震作用计算.....	68
3.10 结构抗震验算	70
本章学习提要	76

习题及思考题	77
第四章 结构非线性地震反应分析	79
4.1 概述	79
4.2 结构计算模型	81
4.3 时程分析法	88
4.4 结构静力弹塑性分析	99
本章学习提要	105
习题及思考题	105
第五章 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	108
5.1 震害及其分析	108
5.2 抗震设计的一般规定	111
5.3 框架结构的抗震设计	122
5.4 抗震墙结构的抗震设计	167
5.5 框架-抗震墙结构的抗震设计	189
本章学习提要	215
习题及思考题	215
第六章 多层及高层钢结构房屋抗震设计	217
6.1 钢结构房屋的震害与抗震性能	217
6.2 抗震设计规定	224
6.3 钢结构房屋的抗震计算	227
6.4 钢结构房屋的抗震构造要求	236
6.5 钢结构抗震技术的新进展	243
本章学习提要	245
习题及思考题	245
第七章 砌体结构房屋抗震设计	246
7.1 震害及其分析	246
7.2 砌体结构房屋抗震设计的一般规定	248
7.3 砌体结构房屋抗震验算	250
7.4 砌体房屋抗震构造措施	263
7.5 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋抗震设计要点	268
本章学习提要	276
习题及思考题	277
第八章 单层厂房抗震设计	278
8.1 震害分析	278
8.2 单层厂房抗震设计的一般规定	282

8.3 钢筋混凝土柱厂房抗震设计	287
8.4 钢结构厂房抗震设计要点	317
8.5 抗震构造措施	319
本章学习提要	324
习题及思考题	325
第九章 隔震与消能减震设计	327
9.1 结构振动控制概述	327
9.2 隔震设计	329
9.3 消能减震设计	341
9.4 结构的被动调谐减震控制	352
本章学习提要	355
习题及思考题	355
附录 I 中国地震烈度表	357
附录 II 我国主要城市的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组	359
附录 III D 值法计算用表	365
附录 IV 函数 $\Phi(\xi)$ 计算用表	371
附录 V 框架-抗震墙协同工作内力系数、位移系数计算图表	377
参考文献	382

第一章 地震与抗震概论

1.1 本课程的目的与任务

地震是人类社会面临的一种严重的自然灾害。据统计,地球每年平均发生 500 万次左右的地震,其中,5 级以上的破坏性地震约占 1000 次。地震通常给人类带来巨大的经济和财产损失,其产生的影响是长久的。目前,科学技术还不能准确预测并控制地震的发生。长期的工程实践证明,地震并不可怕,完全可以运用现代科学技术手段来减轻和防止地震灾害,对建筑结构进行抗震设计即是减轻地震灾害的一种积极有效的方法。

我国为地震多发区,全国大部分大中城市处于地震区,由于城市人口及设施集中,地震灾害会带来严重生命和财产损失。根据统计,全国 450 个城市中有 $3/4$ 处于地震区,而其中大中城市的 $4/5$ 以上均在地震区。因此,为了抗御和减轻地震灾害,有必要进行建筑结构的抗震分析与设计。我国《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)中明确规定:抗震设防烈度为 6 度及以上地区的建筑,必须进行抗震设计。本课程的目的就是讲述建筑结构抗震设计的原理、方法与要求,培养学生具有建筑结构抗震设计的能力与理论基础,使之能够从事一般建筑物的抗震设计。

在学习本课程时,同学们既要注意本课程的特殊性(如抗震概念与方法),又要注意本课程与其他课程的联系,从而加深对课程的理解和掌握。如图 1.1 所示多层钢筋混凝土框架结构,若已知各层水平地震作用力,则各杆件截面内力可利用一般结构力学的方法计算,或利用“高层建筑结构”课程中介绍的反弯点法或 D 值法计算。当确定出各截面内力(弯矩、剪力、轴力)后,即可按“混凝土结构”中对构件承载力的要求计算所需要的配筋。由此可见,问题的关键是作用在结构上的地震作用力有多大?如何确定这些地震作用?同时,结构上的地震作用受到场地条件、结构动力特性(周期、阻尼)、地震烈度等多种因素影响,因此,我们应首先搞清各种影响因素的特点。此外,对不同的结构有其特殊的抗震设计要求和构造规定,这也是学习中要注意掌握的。

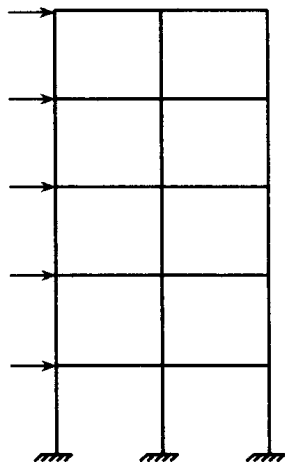


图 1.1 多层框架简图

1.2 地震与震害

1.2.1 地震基本知识

地震按其成因主要分为构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震 4 种类型。

构造地震是由于地壳运动,推挤地壳岩层,使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震。火山地震是指由于火山爆发,岩浆猛烈冲出地面而引起的地震。陷落地震是由于地表或地下岩层,如石灰岩地区较大的地下溶洞或古旧矿坑等,突然发生大规模的陷落和崩塌时所引起的小范围内的地面震动。诱发地震是由于水库蓄水或深井注水等引起的地面震动。

在上述 4 种类型地震中,构造地震分布最广,危害最大,发生次数最多(约占发生地震的 90% 左右)。其他三类地震发生的几率很少,且危害影响面也较小。因此,在地震工程学中主要的研究对象是构造地震。在建筑抗震设防中所指的地震就是构造地震,通常简称为地震。

关于构造地震的成因研究已有近百年历史,早期较侧重于断层学说,近期较公认的是板块构造学说。板块构造学说以海底扩张学说为基础,它是 20 世纪 60 年代初由美国地质学家提出的。这一学说认为,地球表面的最上层是由强度较高的岩石组成,叫做岩石层,其厚度约为 70~100km;岩石层的下面为强度较低并带有塑性性质的软流层。岩石层不是一块整体,而是由若干个板块组成。地球表面的岩石层可以分为六大板块,即美洲板块、非

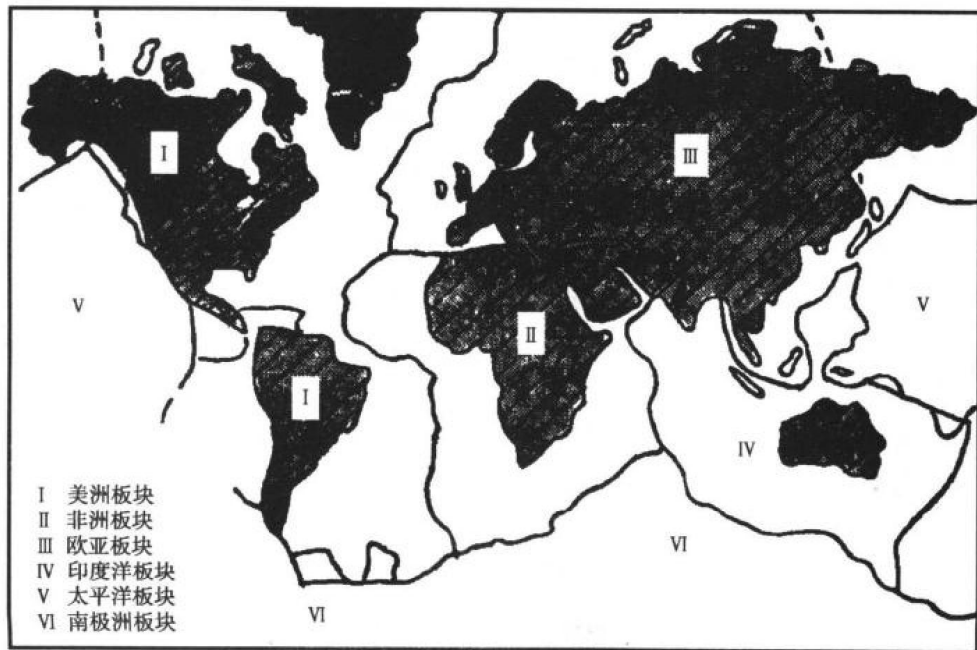


图 1.2 板块分布示意图

洲板块、欧亚板块、印度洋板块、太平洋板块和南极洲板块(图 1.2)。各大板块之间又可分为若干小板块。这些板块由于其下软流层的对流运动而产生相互挤压、顶撞和插入,引发地震。

构造地震不仅发生在板边,也会在板内出现。板内地震主要是由于软流层在流动过程中,与其上非常不平坦的岩石层界面接触而产生不均匀变形。当这些变形产生的应力超过地壳岩石或破碎带的极限强度时,就会突然产生脆性破坏而发生地震。与板边地震相比,板内地震地点分散,发生的频率较低。但由于板内多为人类密集处,因此往往会造成严重震害。据统计,全球 85% 的地震发生在板块边缘及其附近,15% 的地震发生在板块内部。

地震常用术语可用图 1.3 的示意图说明。我们将导致地震的起源区域叫震源。震源正上方的地面位置,或震源在地表的投影叫震中。震中附近地面运动最剧烈,也是破坏最严重的地区,叫震中区或极震区。地面上被地震波及的某一地区称为场地。由场地到震中的水平距离叫做震中距,由场地到震源的距离叫做震源距。震源到震中的垂直距离称为震源深度。

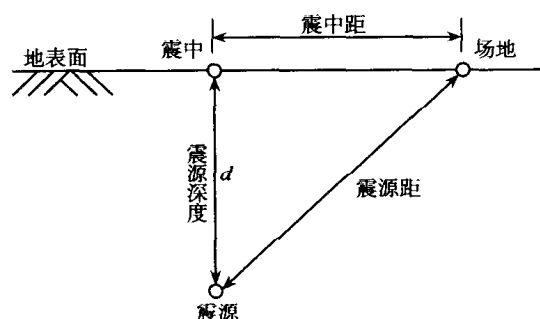


图 1.3 常用地震术语示意图

根据震源深度(以 d 表示),构造地震可分为浅源地震($d < 60\text{km}$)、中源地震($d = 60 \sim 300\text{km}$)和深源地震($d > 300\text{km}$)。浅源地震距地面近,在震中区附近造成的危害最大,但相对而言,所波及的范围较小。深源地震波及的范围较大,但由于地震释放的能量在长距离传播中大部分被耗散掉,所以对地面上建筑物的破坏程度相对较轻。世界上绝大部分地震是浅源地震,震源深度集中在 $5 \sim 20\text{km}$ 左右,一年中全世界所有地震释放能量的约 85% 来自浅源地震。

1.2.2 地震震害

根据地震的板块构造学说,世界上绝大多数地震发生在板块的边缘地区。图 1.4 给出根据历史资料统计绘出的世界地震震中分布图,由图可看出,地球上主要有两个地震带:

(1) 环太平洋地震带。它从南美洲西部海岸起,经北美洲西部海岸、阿拉斯加、千岛群岛、日本列岛,再经我国台湾省、菲律宾、印度尼西亚、新几内亚,直到新西兰。全球约有

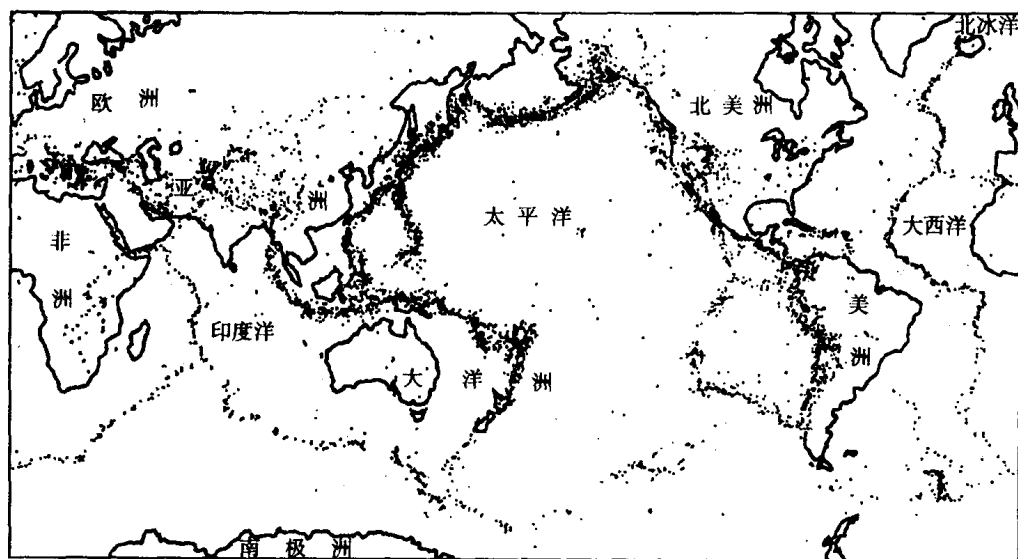


图 1.4 世界地震震中分布图

80%的浅源地震和 90%的中、深源地震都集中发生在这一带。

(2) 欧亚地震带。它西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部,再经我国西部和西南部,过缅甸至印度尼西亚与环太平洋地震带相衔接。

除这两条主要地震带以外,在大西洋、太平洋、印度洋中也有引人注目的条形地震带。

我国地处上述两个世界上最活跃的地震带之间,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。自 20 世纪以来,我国共发生破坏性地震 2700 余次,其中 8 级以上地震 9 次,6 级以上破坏性地震 560 余次,平均每年 5~6 次。我国建国以来造成严重破坏的 7 级以上地震 18 次(其中 8 级以上 3 次),受灾面积近 30 万平方公里,伤亡人数达 49 万多人,震毁房屋近 900 万间,直接经济损失数百亿元。

地震灾害具有突发性和毁灭性,全世界每年发生破坏性地震近千次,其中 7 级以上的大地震约十几次。地震是一种突发式的强震动,一般从地震开始到结束仅几秒到几十秒,最多 1 分多钟,但其破坏性极大,是必须认真对待的一种灾害。表 1.1 给出了近 10 年来由地震造成的人员死亡和经济损失情况。在近代大地震中,死亡人数最多的一次地震是在中国,即 1976 年 7 月 28 日的河北唐山大地震,震级 7.8 级,震中烈度为 11 度。该次地震死亡 24 万多人,伤残 16 万多人,倒塌房屋 320 万间,直接经济损失近百亿元,震后恢复重建又有近百亿元。

中国是世界上地震灾害最严重的一个国家,地震造成的人员伤亡居世界首位,造成的经济损失也十分巨大。究其原因,主要表现在以下几个方面:

(1) 地震活动分布范围广,难以预报和集中防御。按现行的烈度区划图,地震基本烈度 6 度及其以上的地震区面积约占全国面积的 60%,其中 7 度和 7 度以上的地震区面积

表 1.1 近 10 年地震造成的人员死亡和经济损失

时 间	地 点	震 级	死亡人数/人	经济损失
1992-03-13	土耳其 艾耳津坎	6.8	800	8 亿美元
1993-09-29	印度 凯拉里	6.2	10 000	
1994-01-17	美国 洛杉矶	6.7	57	170 亿美元
1995-01-17	日本 神户	7.2	5438	超过 1000 亿美元
1995-05-27	俄罗斯 萨哈林	7.6	2965	
1996-02-03	中国 丽江	7.0	309	25 亿元
1996-03-19	中国 伽师	6.9	24	3 亿元
1996-05-03	中国 包头	6.4	26	27 亿元
1997-05-10	伊朗 加恩—比尔兼德	7.1	1560	
1998-02-09	中国 张北	6.2	49	9 亿元
1999-08-17	土耳其 伊兹米特	7.4	17 000	超过 100 亿美元
1999-09-21	中国 集集	7.3	2405	超过 100 亿美元
2001-01-26	印度 古古拉特	7.7	19 984	

约占全国面积的 1/3。在历史上,全国除个别省外,都发生过 6 级以上的地震。

(2) 地震的震源浅、强度大。我国地震的 2/3 发生在大陆地区,其中绝大多数是震源深度为 10~30km 的浅源地震。这些地震对地面建筑物的破坏性大,如 1976 年的唐山大地震,其震源深度为 12~16km。

(3) 位于地震区的大、中城市多,多数旧有建筑物未进行抗震设防。由于城市人口和设施集中,地震灾害必然严重。另外,历史上大地震造成的震害,主要是发生在未进行抗震设计的旧有建筑中。

地震灾害主要表现在三个方面:地表破坏,建筑物破坏以及各种次生灾害。

1. 地表破坏

地震造成的地表破坏一般有地裂缝、地陷、地面喷水冒砂及滑坡、塌方等。

(1) 地裂缝。

强地震作用下,常有地裂缝产生。根据产生的机理不同,地裂缝主要分为构造地裂缝和重力地裂缝两种。构造地裂缝与地质构造有关,是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝,缝长可达几公里到几十公里,缝宽几米到几十米。重力地裂缝是由于土质软硬不匀及微地貌重力影响,在地震作用下形成的,与土质原稳定状态密切相关。这种裂缝在地震区分布极广,在道路、古河道、河堤、岸边、陡坡等土质松软潮湿处常见到,其形状大小不一,规模较构造地裂缝小,缝长可由几米到几十米,深多为 1~2m。地裂缝穿过的地方可引起房屋开裂和道路、桥梁等工程设施的破坏。

(2) 地陷。

在强地震作用下,地面往往发生震陷,使建筑物破坏。地陷多发生在松软而压缩性高的土层中,如大面积回填土、孔隙比大的黏性土和非黏性土。地震使土颗粒间的摩擦力大大降低或使链状结构破坏,土层变密实,造成地面下沉。此外,在岩溶洞和采空(采掘的地下坑道)地区也可能发生地陷。

(3) 地面喷水冒砂(砂土液化)。

在地下水位较高、砂层埋藏较浅的平原及沿海地区,地震的强烈振动使地下水压力急剧增高,会使饱和的砂土或粉土层液化,地下水夹带着砂土颗粒,经地裂缝或其他通道喷出地面,形成喷水冒砂现象。喷水冒砂严重的地方会造成房屋下沉、倾斜、开裂和倒塌。

(4) 滑坡、塌方。

强烈地震作用下,常引起河岸、陡坡滑坡,在山地常有山石崩裂、塌方等现象。滑坡、塌方会导致公路阻塞,交通中断,冲毁房屋和桥梁,堵塞河流,淹没村庄等震害。

2. 建筑物的破坏

各类建筑物在地震时发生破坏是造成生命财产损失的主要原因。按建筑物破坏的形态和原因,可分为以下几类:

(1) 结构丧失整体性而破坏。

在强烈地震作用下,由于构件连接不牢、节点破坏、支撑系统失效等原因,会使结构丧失整体性而导致破坏或倒塌。

(2) 承重结构承载力不足造成破坏。

地震时,地面运动引起建筑物振动,产生惯性力,不仅使结构构件内力增大很多,而且往往其受力性质也发生改变,导致结构承载力不足而破坏。

(3) 由于变形过大导致非结构破坏。

在强烈地震作用下,当结构产生过大振动变形时,有时主体结构并未达到强度破坏,但围护墙、隔墙、雨篷、各种装修等非结构构件往往由于变形过大而发生脱落或倒塌等震害。

(4) 地基失效引起的破坏。

强烈地震时,地裂缝、地陷、滑坡和地基土液化等会导致地基开裂、滑动或不均匀沉降,使地基失效,丧失稳定性,降低或丧失承载力,最终造成建筑物整体倾斜、拉裂以至倒塌而破坏。

3. 次生灾害

地震的次生灾害是指由地震间接产生的灾害,如地震诱发的火灾、水灾、有毒物质污染、海啸、泥石流等。由次生灾害造成的损失有时比地震直接产生的灾害造成的损失还要大,尤其是在大城市、大工业区。例如,1923年日本东京大地震,诱发了火灾,震倒房屋13万幢,而烧毁的房屋达45万幢;死亡人数10万余人,其中房屋倒塌压死者不过数千人,其

余都是被火烧死的。1970 年秘鲁大地震,瓦斯卡兰山北峰泥石流从 3750m 高度泻下,流速达每小时 320km,摧毁、淹没了村镇、建筑,使地形改观,死亡达 25 000 人。

1.3 地震波、震级和地震烈度

1.3.1 地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量,这就是地震波。根据地壳中传播的位置不同,地震波可分为体波和面波。

1. 体波

在地球内部传播的地震波称为体波。根据介质质点振动方向与波传播方向不同,体波又可分为纵波和横波,或称 P 波和 S 波(图 1.5)。

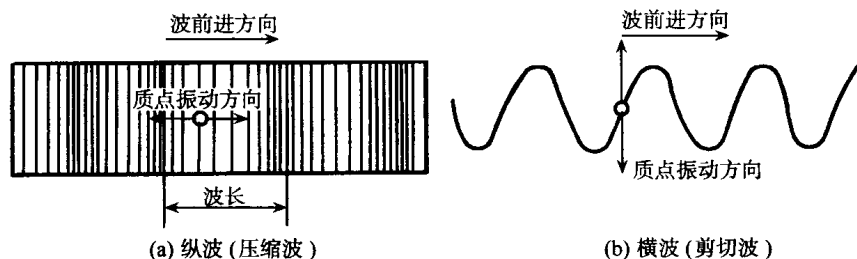


图 1.5 体波质点振动形式

当质点的振动方向与波的传播方向一致时称为纵波。在纵波由震源向外传播的过程中,介质不断地被压缩和疏松,所以纵波又称为压缩波。纵波在震中区主要引起地面垂直方向的振动。纵波的特点是周期短、振幅小。

横波是指质点的振动方向与波的前进方向垂直的地震波。横波又称为剪切波。横波在震中区主要引起地面水平方向的振动。横波一般周期较长、振幅较大。

根据弹性理论,纵波传播速度 v_p 和横波传播速度 v_s 可分别按下列公式计算:

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

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

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 ——介质的密度;

μ ——介质的泊松比。

在地幔内,一般泊松比 $\mu=1/4$,于是得

$$v_p = 1.73v_s \quad (1.3)$$

由此可知,纵波的传播速度比横波的传播速度快。根据此特性可很好地解释为什么在地震时,震中区的人们先是感觉到上下颠簸,然后才左右摇摆。由于纵波和横波的传播速度不同,纵波传播速度快,先到达地面,其质点振动方向与波前进方向一致而首先引起地表垂直振动,当横波到达时才引起水平振动。

2. 面波

面波是沿地表或地壳不同地质层界面传播的地震波。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。

面波包括两种形式的波,即瑞利波(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前进方向相反的椭圆运动,在地面上表现为滚动形式[图1.6(a)]。勒夫波传播时,质点在地平面内产生与波前进方向相垂直的运动,在地面上表现为蛇形运动[图1.6(b)]。面波的传播速度较慢,约为剪切波传播速度的90%,而面波周期长、振幅大、衰减慢,故能传播到很远的地方。面波使地面既垂直振动又水平振动。

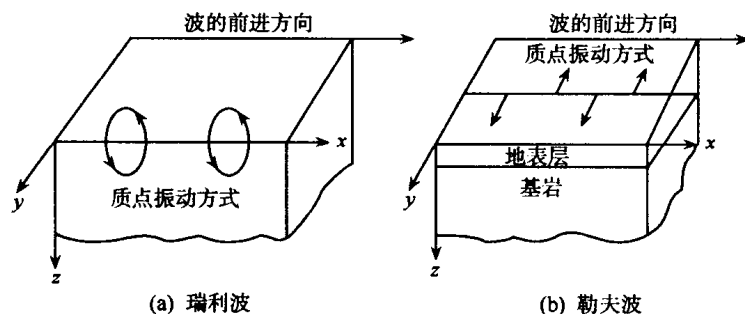


图 1.6 面波质点振动方式

综上所述,地震波的传播速度以纵波最快,剪切波次之,面波最慢。所以在一般地震波记录图上,纵波最先到达,剪切波次之,面波到达最晚,然而就振幅而言,后者最大。由于面波的能量要比体波大,所以造成建筑物和地表破坏的主要以面波为主。大量震害调查表明,一般建筑物的震害主要是由水平振动引起,因此,由体波和面波共同引起的水平地震作用通常是最主要的地震作用。

1.3.2 地震动的三要素

地震引起地面运动,称为地震动。地面运动的位移、速度和加速度可以用仪器记录下

来。地面运动记录是地震工程的重要资料。建筑抗震设计采用直接动力法计算地震时程反应时,需要用到强震地面运动记录,绘制地震反应谱曲线(供抗震设计之用)时,更需要有大量的强震地面运动记录。人们一般通过记录地面运动的加速度来了解地震动的特征,对加速度记录进行积分可进一步得到地面运动的速度和位移,图 1.7 所示为一典型强震记录结果。一般说来,一点处的地震动在空间具有 6 个方向的分量(3 个平动分量和 3 个转动分量),目前一般只能获得平动分量的记录,对转动分量的记录很难获得。从前面对于地震波的介绍可知,地面上任一点的振动过程实际上包括各种类型地震波的综合作用。因此,从地震记录上很难分清是哪一种波的作用。

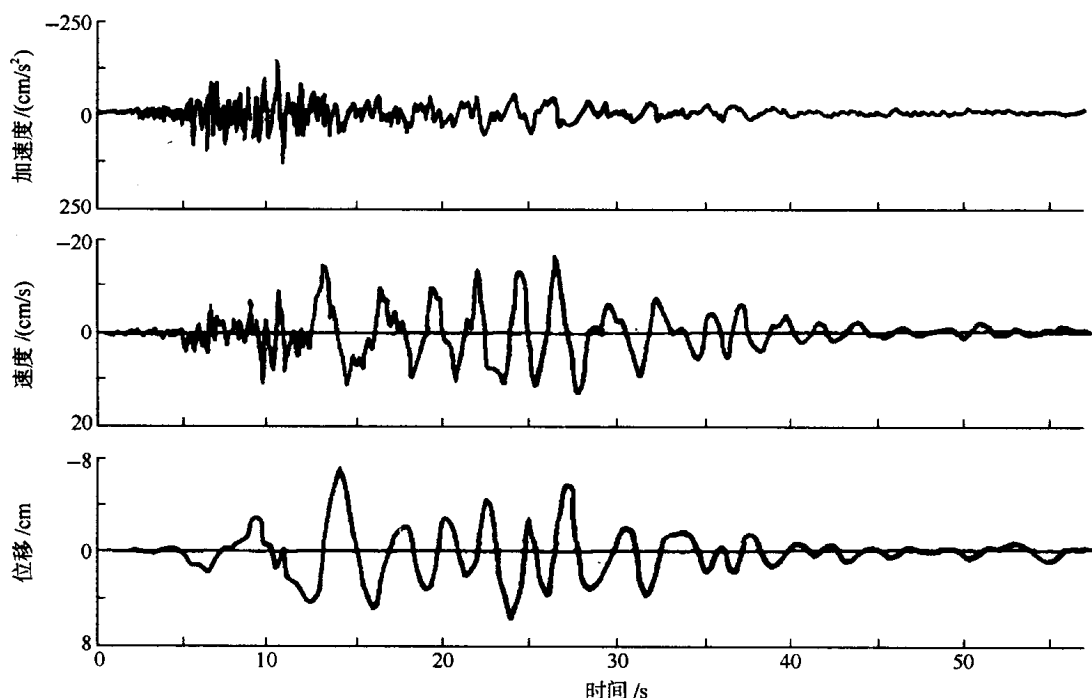


图 1.7 典型强震记录(加速度、速度、位移)

地震动是一种随机过程。因此,地震动记录的信号是极不规则的。然而,我们可以通过分析,采用几个特定的要素来反映不规则的地震波。例如,通过最大振幅,可以定量反映地震动的强度特性;通过对地震记录的频谱分析,可以揭示地震动的周期分布特征;通过对强震持续时间的定义和测量,可以考察地震动循环作用程度的强弱。地震动的峰值(最大振幅)、频谱特性和持续时间,通常称为地震动的三要素。工程结构的地震破坏,与地震动的三要素密切相关。

1.3.3 震级

地震震级(Magnitude)是表示地震本身强度或大小的一种度量指标,用符号 M 表示。

目前国际上比较通用的是里氏震级,最早是由美国学者里克特(C. F. Richter)于 1935 年提出,其给出的震级计算公式为

$$M = \lg A - \lg A_0 \quad (1.4)$$

式中 A ——地震记录图上量得的以微米(μm)为单位的最大水平位移;

$\lg A_0$ ——依震中距而变化的起算函数:当震中距为 100km 时, $A_0 = 1\mu\text{m}$, 即 $\lg A_0 = 0$ 。

里氏震级具有一定的适用条件,如必须使用特定的地震仪。后来,人们在里氏震级的基础上,又提出了一些其他震级表示法,如面波震级、体波震级和矩震级等。

震级与地震释放的能量之间有如下关系:

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

式中 E ——地震释放的能量,单位为尔格(erg), $1\text{erg} = 10^{-7}\text{J}$ 。

根据上述关系,震级每增加一级,地震释放的能量约增大 32 倍。一个 6 级地震所释放出的能量为 $6.31 \times 10^{20}\text{erg}$,相当于一个两万吨级的原子弹所释放的能量。

根据震级 M 的大小,可将地震分为:

有感地震: $M = 2 \sim 4$ 级;

破坏地震: $M \geq 5$ 级;

强烈地震: $M \geq 7$ 级;

特大地震: $M \geq 8$ 级。

迄今记录到的世界上最大的地震是 1960 年 5 月 22 日发生在智利的 8.9 级地震。

1.3.4 地震烈度

地震烈度(Intensity)是指某一地区的地面和各类建筑物遭受一次地震影响的强弱程度,是衡量地震引起的后果的一种度量。对于一次地震来说,震级只有一个,但相应这次地震的不同地区则有不同的地震烈度。一般地说,震中区地震影响最大,烈度最高;距震中越远,地震影响越小,烈度越低。

1. 地震烈度表

地震烈度表是评定烈度大小的尺度和标准,目前主要是根据地震时人的感觉、器物的反应、建筑物破损程度和地貌变化特征等宏观现象综合判定划分的。在有充分记录时,也可采用加速度和速度等定量指标划分。目前我国和世界上绝大多数国家采用的是划分为 12 度的烈度表,欧洲一些国家采用划分为 10 度的烈度表,日本则采用划分为 8 度的烈度表。

我国最早的地震烈度表是 1957 年颁布实施的。进入 20 世纪 70 年代以后,我国地震工作者在研究总结的基础上,对 1957 年烈度表进行了全面修订,颁布了 1980 年地震烈度表。近几年来随着防震减灾标准化工作的深入开展,我国的地震烈度表已列入国家标准化系列,并按照国家标准要求对 1980 年烈度表进行了修订。新烈度表已于 1999 年 11 月 1 日起实施,全名为《中国地震烈度表》(GB/T 17742-1999),见附录 I。新的烈度表继承了