

土木工程系列

高等学校“十一五”规划教材

建筑结构抗震设计

主 编 吴 猷

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材·土木工程系列

建筑结构抗震设计

主编 吴 猷

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

全书共分 8 章,分别介绍了地震与抗震概论、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、混凝土结构房屋抗震设计、砌体房屋抗震设计、单层厂房抗震设计和隔震与消能减震设计。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供从事建筑结构抗震设计、施工、科研及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/吴献主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2009. 12

ISBN 978 - 7 - 5603 - 2976 - 5

I . 建… II . 吴… III . 建筑结构-抗震设计
IV . TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 225242 号

责任编辑 郝庆多

封面设计 张孝东

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 17.75 字数 412 千字

版 次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2976 - 5

定 价 35.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

我国位于世界两大地震构造系的交汇区域,是地震灾害最严重的国家,抗震设防烈度在 6 度以上的地区几乎遍及全国各个省份和自治区。地震灾害具有突发性和毁灭性,目前还不能准确预报,历次地震造成的生命财产损失十分巨大。5.12 汶川大地震以来,国家出台了一系列政策措施,对抗震减灾工作起到了指导性的作用。本书以《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001,2008 年版)为依据进行编写,汲取了工程抗震方面的最新研究成果和由四川地震总结的经验,更新了部分内容和设计方法。

本书以该学科的基本理论、基本知识为核心内容,反映该学科科研新成果和发展趋势。为了便于读者理解和掌握实际技能,每章之首列出“学习要点”,并分为掌握、理解与了解三个层次,各章后设有习题,帮助读者复习该章内容,加深对所学知识的理解。本书注重知识与技能的结合,适应从知识型向能力型发展的需要,在内容上尽可能结合实际,突出规范的作用。

全书共分 8 章,分别介绍了地震与抗震概论、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、混凝土结构房屋抗震设计、砌体房屋抗震设计、单层厂房抗震设计和隔震与消能减震设计。本书第 1、2 章由刘明执笔,第 3 章由王强、王广林、孙巍巍共同执笔,第 4 章由张延年执笔,第 5 章由吴献执笔,第 6 章由崔熙光执笔,第 7 章由张景玮执笔,第 8 章由张延年执笔。全书由吴献统稿。由于作者水平有限,书中难免存在不当或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2009 年 12 月

目 录

第 1 章 地震基本知识及抗震设防与概念设计	1
1.1 地 震	1
1.2 地震震级和地震烈度	3
1.2.1 地震震级	3
1.2.2 地震烈度	3
1.2.3 地震烈度与震级的关系	6
1.3 地震地面运动的一般特征	7
1.3.1 地面运动最大加速度	7
1.3.2 地面运动的周期特性	8
1.3.3 强震的持续时间	8
1.4 地震震害	9
1.5 抗震设防的基本概念	12
1.5.1 地震基本烈度	13
1.5.2 抗震设防烈度和地震影响	13
1.5.3 建筑抗震设防分类	14
1.6 抗震设防目标和标准	15
1.6.1 抗震设防目标	15
1.6.2 建筑抗震设防的标准	15
1.7 抗震概念设计	16
1.7.1 选择对抗震有利的场地、地基和基础	17
1.7.2 有利的房屋体形和合理结构布置	17
1.7.3 正确选择抗震结构体系	18
1.7.4 重视非结构构件的设计	19
1.7.5 保证结构材料和施工的质量	19
习 题	20
第 2 章 建筑场地与地基基础	24
2.1 概 述	24
2.2 工程地质条件对震害的影响	24
2.2.1 局部地形的影响	24
2.2.2 局部地质构造的影响	25
2.2.3 地下水位的影响	26
2.3 场 地	26

2.3.1	场地条件对震害的影响	26
2.3.2	场地土类型	27
2.3.3	场地覆盖层厚度	28
2.3.4	场地类别划分	28
2.3.5	场地选择	29
2.4	地基基础抗震验算	29
2.4.1	地基不验算的范围	29
2.4.2	地基土抗震承载力调整	30
2.4.3	天然地基抗震验算	31
2.5	地基液化	32
2.5.1	砂性液化机理及影响液化的因素	32
2.5.2	液化的类别	33
2.5.3	液化地基危害程度评价	35
2.5.4	地基抗液化措施	39
2.6	桩基抗震设计	40
2.6.1	非液化土中桩基抗震验算	40
2.6.2	液化土中桩基抗震验算	41
习 题		42
第3章	地震作用与结构抗震验算	45
3.1	概 述	45
3.2	单自由度弹性体系的地震反应	46
3.3	单自由度弹性体系的地震作用计算的反应谱法	50
3.3.1	单自由度弹性体系的水平地震作用	50
3.3.2	地震系数、动力系数	50
3.3.3	地震影响系数和抗震设计反应谱	52
3.3.4	建筑物的重力荷载代表值	55
3.3.5	利用反应谱确定地震作用	55
3.4	多自由度弹性体系的水平地震反应	56
3.4.1	多自由度弹性体系的运动方程	57
3.4.2	多自由度弹性体系的自振频率与振型分析	58
3.4.3	频率、振型特点	60
3.4.4	地震反应分析的振型分解法	61
3.5	振型分解反应谱法	64
3.5.1	多自由度体系的水平地震作用	64
3.5.2	地震作用效应的组合	65
3.6	底部剪力法	66
3.7	结构基本周期的近似计算	69
3.7.1	能量法	69

3.7.2	顶点位移法	70
3.7.3	基本周期的修正	71
3.8	平动扭转耦联振动时结构的抗震计算	73
3.9	竖向地震作用计算	76
3.9.1	高层建筑的竖向地震作用计算	77
3.9.2	大跨度结构的竖向地震作用计算	77
3.10	结构抗震验算	78
3.10.1	结构抗震计算的一般原则	79
3.10.2	截面抗震验算	80
3.10.3	多遇地震作用下结构的弹性变形验算	81
3.10.4	罕遇地震作用下结构的弹塑性变形验算	81
习 题		84
第 4 章	结构非线性地震反应分析	87
4.1	概 述	87
4.1.1	非线性地震反应分析的必要性	87
4.1.2	非线性地震反应分析方法	88
4.2	构件与结构的恢复力模型	90
4.2.1	刚度退化二线性模型	90
4.2.2	刚度退化三线性模型	93
4.3	结构动力弹塑性分析	95
4.3.1	动力分析模型的建立	96
4.3.2	刚度矩阵的形成	99
4.3.3	质量矩阵的形成	106
4.3.4	阻尼矩阵的形成	106
4.3.5	地震波选取和调整	106
4.3.6	运动微分方程的直接积分方法	109
4.3.7	拐点的处理	111
4.4	结构静力弹塑性分析	112
4.4.1	水平加载模式	113
4.4.2	建立荷载 - 位移曲线	114
4.4.3	结构抗震能力评估	114
4.4.4	推覆分析法技术要点	117
习 题		118
第 5 章	混凝土结构房屋抗震设计	119
5.1	震害及其分析	119
5.1.1	结构平面或竖向布置不当引起的震害	120
5.1.2	共振效应引起的震害	120
5.1.3	防震缝处碰撞引起的震害	120

5.1.4	框架柱、梁、节点的震害	120
5.1.5	抗震墙的震害	121
5.1.6	填充墙的震害	121
5.2	抗震设计的一般要求	122
5.2.1	建筑物高度和高宽比限制	122
5.2.2	抗震等级	122
5.2.3	结构选型和布置	124
5.2.4	屈服机制	126
5.2.5	基础结构	127
5.3	框架内力和位移计算	127
5.3.1	水平地震作用的计算	127
5.3.2	地震作用在结构各部分的分配和内力计算	128
5.3.3	截面设计和构造	132
5.3.4	框架节点核心区的设计	139
5.3.5	预应力混凝土框架的抗震设计要求	142
5.4	抗震墙结构的抗震设计	143
5.4.1	抗震墙结构的设计要点	144
5.4.2	地震作用的计算	144
5.4.3	地震作用在各剪力墙之间的分配及内力计算	148
5.4.4	截面设计和构造	149
5.5	框架-抗震墙结构的抗震设计	152
5.5.1	框架-抗震墙结构的设计要点	152
5.5.2	地震作用的计算	152
5.5.3	内力计算	152
5.5.4	截面设计和配筋构造	160
习 题		171
第 6 章	砌体房屋抗震设计	177
6.1	震害及其分析	178
6.2	多层砌体房屋抗震设计一般规定	179
6.3	多层砌体房屋抗震验算	182
6.3.1	水平地震作用计算	182
6.3.2	楼层地震剪力在各墙体间的分配	182
6.3.3	墙体截面抗震承载力验算	188
6.4	多层砌体房屋抗震构造措施	190
6.4.1	多层砖房的抗震构造措施	191
6.4.2	多层砌块房屋的抗震构造措施	195
6.5	多层砖房抗震计算实例	197
习 题		203

第7章 单层厂房抗震设计	206
7.1 震害分析	206
7.1.1 钢筋混凝土单层厂房其主要震害表现	206
7.1.2 单层砖结构厂房	208
7.2 抗震设计的一般规定	209
7.2.1 单层钢筋混凝土柱厂房	209
7.2.2 单层砖结构厂房	211
7.3 单层厂房抗震计算	212
7.3.1 横向抗震计算	212
7.3.2 纵向抗震计算	218
7.4 构造要求	225
7.4.1 钢筋混凝土柱厂房的构造要求	225
7.4.2 砖柱厂房构造要求	229
习 题	231
第8章 隔震与消能减震设计	233
8.1 土木工程结构振动控制概述	233
8.1.1 土木工程结构抗震技术的演变与发展	233
8.1.2 土木工程结构振动控制的研究历史与发展	234
8.1.3 土木工程结构振动控制技术分类	236
8.2 隔震设计	239
8.2.1 隔震原理及设计要求	239
8.2.2 隔震装置简介	241
8.2.3 隔震装置的设计	243
8.2.4 隔震结构的设计与计算	247
8.2.5 隔震结构的构造要求	253
8.3 消能减震设计	254
8.3.1 消能减震原理及设计要求	254
8.3.2 消能减震装置简介	255
8.3.3 消能减震结构的设计与计算	262
习 题	264
附 表	266
参考文献	273

第1章 地震基本知识及 抗震设防与概念设计

学习要点:了解地震基本知识和震害,掌握地震波、震级和地震烈度等概念,掌握建筑抗震设防分类标准,领会建筑抗震概念设计思想,深刻理解三水准设防目标和两阶段设计方法。地震是怎么回事?地震是如何分布的?地震地面运动的一般特征是什么?它可能带来的灾害有哪些?破坏性地震是一种自然灾害,目前,地震及结构所受到的地震作用还有许多规律未被认识。房屋建筑的抗震设计,只能以现有的科学水平和经济条件为前提,努力减轻地震造成的破坏,避免人员伤亡,减少经济损失。因此,合理确定抗震设防目标、抗震设防依据和抗震设防标准,是由国家防震减灾的总政策决定的。

1.1 地 震

地震和风、雨、雪一样是一种自然现象。地球上每天都有地震发生,一年中会发生五百多万次地震,大约有五万次才是人们可以感觉到的地震。其中约有二十次地震造成严重破坏,至于像唐山遭受到的那种大地震,大约每年发生一次。总之,地震的规律是:绝大多数的地震对人类不会造成危害,只有强烈的大地震才会造成人类生命和财产的严重损失。为什么会发生地震呢?地震是地球表层的的地壳构造运动的一种表现形式和结果,主要是由于地球上有八大板块,分别是亚欧板块、太平洋板块、印度洋板块、北美洲板块、南美板块、南极板块、非洲板块、Nazca 板块,此外,还有众多小板块,这些板块始终处在挤压、推拉的状态,这种状态下产生的应力就是使地壳发生断裂的力。在这种力的作用下,板块会以每年 5~10 cm 的速度缓慢移动,这种运动使地壳积累了巨大的变形能,地壳中的岩层产生很大的应力,当这些应力超过某处岩层的强度极限时,岩石突然破裂、错动,从而将积累的变形能转化为波动能传播出去,引起了地面的震动,将之前积累的能量释放出来,然后慢慢恢复平静。实际上,我们把这种由于地球内部扰动所释放的能量经由地层传到地面引起的地面震动称为构造地震。

实际上,地震按其产生的原因,除构造地震外,还有火山地震、陷落地震。由于地下空洞突然塌陷而引起的地震叫陷落地震;而由于火山爆发、岩浆猛烈冲击地面引起的地面震动叫火山地震。一般火山地震和陷落地震强度低,影响范围小,而构造地震释放的能量大,影响范围广,造成的危害严重,工程结构设计时主要考虑构造地震的影响。

地震开始发生的地方叫震源(见图 1.1),是指岩层断裂、错动的部位。震源正上方的地面位置称为震中,震中附近的地区称为震中区。震中至震源的垂直距离为震源深度。地面某处到震中的距离称为震中距。

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。在地球内部传播的波称为体波;仅限于在地球表面传播的波称为面波。地震波是一种弹性波。

体波中包括纵波和横波两种。纵波是由震源向外传播的疏密波,质点的振动方向与波的前进方向一致,使介质不断地压缩和疏松。所以纵波又称为压缩波、疏密波。如在空气中传播的声波就是一种纵波。纵波的周期较短,振幅较小。横波是由震源向外传播的剪切波,质点的振动方向与波的前进方向相垂直,也称为剪切波。横波的周期较长,振幅较大。还应指出,横波只能在固体内传播,而纵波在固体和液体内都能传播。

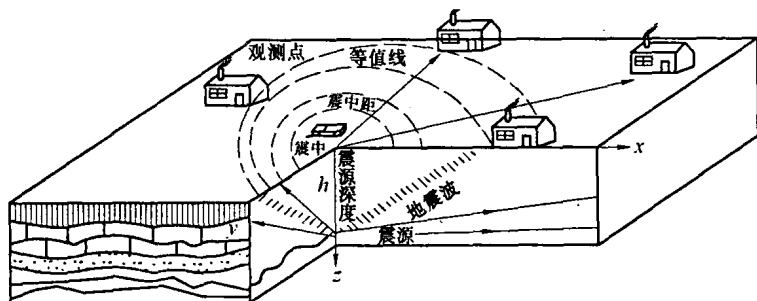


图 1.1 地震术语示意图

由于地球的层状构造特点,体波通过分层介质时,将会在界面上反复发生反射和折射。当体波经过地层界面多次反射、折射后,投射到地面时,又激起两种仅沿地面传播的面波,它们是瑞雷波和洛夫波。瑞雷波传播时,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,而与该平面垂直的水平方向没有振动。故瑞雷波在地面上呈滚动形式。瑞雷波具有随着距地面深度增加而振幅急剧减小的特性,这可能就是在地震时地下建筑物比地上建筑物受害较轻的一个原因。洛夫波传播时使质点在地平面内做与波前进方向相垂直的运动,即在地面上呈现蛇形运动。洛夫波也随深度而衰减。面波的传播速度约为剪切波传播速度的 90%。面波振幅大而周期长,只在地表附近传播,比体波衰减慢,故能传到很远的地方。

地震现象表明,纵波使建筑物产生上下颠簸,剪切波使建筑物产生水平方向摇晃,而面波则使建筑物既产生上下颠簸又产生左右摇晃。一般是在剪切波和面波都到达时震动最为激烈。由于面波的能量比体波要大,所以造成建筑物和地表的破坏是以面波为主的。

地震按震源的深浅,可分为浅源地震(震源深度小于 60 km)、中源地震(震源深度在 60 ~ 300 km)和深源地震(震源深度大于 300 km)。一般来说,浅源地震造成的危害最大,发生的数量也最多,约占世界地震总数的 85%。当震源深度超过 100 km 时,地震释放的能量在传播到地面的过程中大部分被损失掉,故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,震源深度一般为 5 ~ 50 km。

从世界范围对地震进行历史性的研究,可以得出历史上地震的分布规律。世界上地震主要集中分布在下列两个地震带:一是环太平洋地震带,它从南美洲西部海岸起,经北美洲西部海岸、阿拉斯加南岸、阿留申群岛,转向西南至日本列岛,再经我国台湾省,到达菲律宾、新几内亚和新西兰,上述环形地带的地震活动性最强,全球约 80% ~ 90% 的地震都集中在这一地带;二是地中海南亚地震带,它西起大西洋的亚速岛,后经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区,再经缅甸、印尼的苏门答腊与爪哇,最后与上述太平洋地震带相连接。此外,在大西洋、印度洋中也有呈条形分布的地震带。

我国地处两大地震带的中间,地震分布相当广泛。除台湾省和西藏南部分别属于上述环太平洋地震带和地中海南亚地震带之外,其他地区的地震主要集中在下列两个地带:南北地震带,北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西直至云南东部,形成贯穿我国南北的条带;东西地震带,西起帕米尔高原,向东经昆仑山、秦岭,然后一支向北沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直至辽宁北部,另一支向南向东延伸至大别山等地。

1.2 地震震级和地震烈度

1.2.1 地震震级

地震震级是衡量一次地震释放能量大小的尺度,一次地震只有一个震级,地震震级越高,释放的能量越大,震级每升高一级,地震所释放的能量平均增大约 30 倍。震级的表示方法有很多,目前国际上常用的是里氏震级,其定义首先由里克特(Richter)于 1935 年给出,即

$$M = \lg A \quad (1.1)$$

式中 M ——里氏地震等级;

A ——用标准地震仪(周期为 0.8 s,阻尼比为 0.8,放大倍数为 2 800)在距震中 100 km 处记录的以 μm ($= 10^{-6} \text{ m}$) 为单位的水平最大地震震动位移振幅。

实际上,地震时距震中 100 km 处不一定恰好有地震观测台站,而且地震观测台站也不一定有上述标准地震仪,这时,应将记录的地面位移修正为满足式(1.1)条件的标准位移,才能按式(1.1)确定震级。

地震是由于岩层破裂释放能量引起的,一次地震所释放的能量称为地震能,用 E 表示。经统计分析,可得震级 M 与地震能 E (单位:尔格)之间关系为

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1.2)$$

一般对于 $M < 2$ 的地震,人们感觉不到,称为微震;对于 $M = 2 \sim 4$ 的地震,人体有所感觉,称为有感地震;而对于 $M > 5$ 的地震,会引起地面工程结构的破坏,称为破坏性地震。另外,将 $M > 7$ 的地震习惯称为强烈地震或大地震,而将 $M > 8$ 的地震称为特大地震。

1.2.2 地震烈度

1. 地震烈度与地震烈度表

地震烈度是指地震对地表和工程结构影响的强弱程度,是衡量地震引起后果的一种尺度。地震烈度表是按照地震时人的感觉、地震所造成的自然环境变化和工程结构的破坏程度所列成的表格,可作为判断地震强烈程度的一种宏观依据。目前,我国使用的是 1980 年由国家地震局颁布实施的《中国地震烈度表》,见表 1.1。表中的量词个别表示 10% 以下;少数为 10% ~ 50%;多数为 50% ~ 70%;大多数为 70% ~ 90%;普遍为 90% 以上。

表 1.1 中国地震烈度表(1980)

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震害 指数		水平加速度 $/(cm \cdot s^{-2})$	水平速度 $/(cm \cdot s^{-1})$
1	无感觉					
2	室内个别静止中的人感觉					
3	室内少数静止中的人感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		
4	室内多数人感觉;室外少数人感觉;少数人梦中惊醒	门、窗作响		悬挂物明显摆动,器皿作响		
5	室内普遍感觉;室外多数人感觉;多数人梦中惊醒	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,抹灰出现微细裂缝		不稳定器物翻倒	31 (22 ~ 44)	3 (2 ~ 4)
6	惊慌失措,仓惶逃出	损坏——个别砖瓦掉落、墙体微细裂缝	0 ~ 0.1	河岸和松软土上出现裂缝;饱和砂层出现喷砂冒水;地面上有的砖烟囱轻度裂缝、掉头	63 (45 ~ 89)	6 (5 ~ 9)
7	大多数人仓惶逃出	轻度破坏——局部破坏、开裂,但不妨碍使用	0.11 ~ 0.30	河岸出现塌方;饱和砂层常见喷砂冒水;松软土地裂缝较多;大多数砖烟囱中等破坏	125 (90 ~ 177)	13 (10 ~ 18)
8	摇晃颠簸,行走困难	中等破坏——结构受损,需要修理	0.31 ~ 0.50	干硬土上亦有裂缝;大多数烟囱严重破坏	250 (178 ~ 353)	25 (19 ~ 35)

续表 1.1

烈度	人的感觉	一般房屋		其他现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震害 指数		水平加速度 /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$)	水平速度 /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
9	坐立不稳,行动的人可能摔跤	严重破坏——墙体龟裂、局部倒塌,复修困难	0.51 ~ 0.70	干硬土上有许多地方出现裂缝,基岩上可能出现裂缝;滑坡、坍方常见;砖烟囱出现倒塌	500 (354 ~ 707)	50 (36 ~ 71)
10	骑自行车的人会摔倒;处不稳状态的人会摔出几尺远;有抛出感	倒塌——大部倒塌,不堪修复	0.71 ~ 0.90	山崩和地震断裂出现;基岩上的拱桥破坏;大多数砖烟囱从根部破坏或倒毁	1 000 (708 ~ 1 414)	100 (72 ~ 141)
11		毁灭	0.91 ~ 1.00	地震断裂延续很长;山崩常见;基岩上拱桥毁坏		
12				地面剧烈变化、山河改观		

2. 地震的宏观调查

对应一次地震,在其波及的地区内,根据地震烈度表可以对该地区内每一个地点评出一个地震烈度。中国科学院工程力学研究所于 1970 年调查通海地震灾害时,发现用地震烈度表评定一个村庄的烈度并保证精度在 1 度以内是不易的,而即使这样的精度也不能满足研究场地条件对烈度影响的要求。为此,提出了“震害指数”的概念,并在“中国地震烈度表(1980)”中得到应用。

用震害指数评价某地区烈度的具体步骤如下。

(1) 确定各类房屋的震害等级

根据建筑物的破坏程度(由基本完好到全部倒塌)分成若干等级,每级用震害等级 i 表示,见表 1.2。

(2) 计算各类房屋的震害程度

某类房屋的震害程度用震害指数 I_i 表示为

$$I_i = \frac{\sum_{k=1}^m (i \cdot n_i)_k}{N_j} \quad (1.3)$$

$$N_j = \sum_{k=1}^m (n_i)_k \quad (1.4)$$

式中 i ——震害等级;
 n_i ——被统计的某类房屋第 i 等级破坏的栋数;
 j ——房屋类型;
 k, m ——不同震害等级的序号和数量;
 N_j ——被统计的该类房屋总数。

式(1.3)的物理意义是表示该类房屋的平均震害程度。通过算出各类房屋的震害指数,可以对比各类房屋之间抗震性能的优劣。如某类房屋的震害指数 I_i 越大,则说明该类房屋抗震性能越差。

(3) 计算该地区房屋平均震害指数

为了确定某地区房屋平均震害情况,就要求出该地区各类房屋(有代表性的房屋结构)的平均震害指数,即

$$I_m = \frac{\sum I_j}{N} \quad (1.5)$$

式中 $\sum I_j$ ——各类房屋震害指数之和;
 N ——不同类别房屋的类别数。

(4) 根据表 1.2 给出的平均震害指数与烈度之间的对应关系,即可评定出该地区的地震烈度

表 1.2 建筑物破坏级别与震害等级

破坏程度级别	破坏程度	震害等级 i
I	全部倒塌	1.0
II	大部倒塌	0.8
III	少数倒塌	0.6
IV	局部倒塌	0.4
V	出现裂缝	0.2
VI	基本完好	0

1.2.3 地震烈度与震级的关系

地震烈度 I 和地震震级 M 是两个不同的概念。两者既相互联系,又有区别,两者的关系可以用炸弹来比喻,地震震级好比是炸弹的装药量,地震烈度则是炸弹爆炸后离爆炸源不同距离各处的破坏程度。对于一次地震,只能有一个地震震级。然而,由于同一次地震对不同地点的影响是不一样的,因此,烈度就会随震中距离的远近而有所不同。一般情况是离震中越远,地震烈度越小。震中区的地震烈度最大,并称之为“震中烈度”,用符号 I_0 表示之。对于震源深度为 15 ~ 20 km 的浅源地震,地震震级 M 和震中烈度 I_0 的对应关系,大致如表 1.3 所示。

表 1.3 地震震级 M 和地震震中烈度 I_0 的关系表

地震震级 M	2	3	4	5	6	7	8	> 8
震中烈度 I_0	1 ~ 2	3	4 ~ 5	6 ~ 7	7 ~ 8	9 ~ 10	11	12

1.3 地震地面运动的一般特征

地震地面运动的一般特征,可用强震时地震运动加速度记录曲线来说明。图 1.2 给出了 1940 年 5 月 18 日美国加利福尼亚州帝谷(Imperial Valley)7.1 级地震在震中距为 9 km 的埃尔森特罗(El centro)测得的 N-S 方向地面运动加速度记录。图中的地震地面运动加速度的记录曲线由一系列非周期性的加速度脉冲所组成,初看起来似乎是极不规则的。从曲线外形来看,具有从开始震动、逐步增强、然后再衰减而趋于零的过程。一般可将这一现象称为地震的不平稳性,它取决于震级、震源特性、震中距和地震波传播介质的特性等因素。实际上,所有强震记录都具有如上的特点。研究表明,就建筑结构抗震设计而言,地震地面运动的一般特征可用地面运动最大加速度、地面运动周期特性和强震的持续时间三个参数来描述。

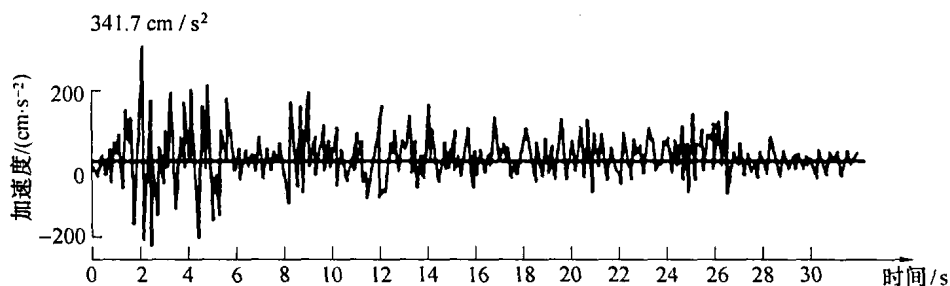


图 1.2 埃尔森特罗地震加速度记录

1.3.1 地面运动最大加速度

人们用静力学观点处理结构抗震设计问题时认为,强震时作用于结构的地震力是一种惯性力,其值主要取决于地面运动的最大加速度,所以地面运动最大加速度是地震地面运动的重要特征参数。另外,地面加速度也可视为地面震动强弱程度的量。实测与研究表明,地震烈度与地面运动最大加速度之间一般存在某种对应关系,所以我国地震烈度表已采用地面运动最大加速度作为地震烈度的参考物理指标。例如,埃尔森特罗地震加速度记录(见图 1.2)中的最大值为 341.7 cm/s^2 ,由表 1.1 可知,该地区的地震烈度应为 8 度。

地面运动最大加速度无疑与震害有密切关系。一般来说,地面运动最大加速度值增大,则地面建筑震害加重。

1.3.2 地面运动的周期特性

地震地面运动的周期特性对结构地震反应具有重要的影响。人们已知任意建筑物都有其自振周期,假若地震地面运动周期以长周期为主,则它将引起长周期柔性建筑物的强烈地震反应;反之,若地震地面运动周期特性以短周期为主,则它对短周期刚性建筑物的危害大。这就是所谓的共振效应。地震地面运动的周期特性,一般可用地震加速度反应谱峰点周期来表示。一般认为,加速度反应谱曲线最高峰点所对应的周期为地震卓越周期;有时也将相对较高的几个峰点所对应的周期都称为地震卓越周期。例如,埃尔森特罗地震加速度反应谱中两个峰点对应的卓越周期分别约为 0.3 s 和 0.5 s,则埃尔森特罗地震的周期特性属于中等周期。

地震地面运动的周期特性,也可采用下列方法进行粗略的估计。地面运动加速度记录中两个相邻的零点之间的时间间隔作为半周期,并把相应的峰值加速度看做为振幅。加速度记录中最大峰值的波和相对应的周期对结构反应的影响较大,有时周期与相应加速度反应谱的峰点周期大致相对应。因此,地震地面运动加速度记录中最大峰值所对应的周期也可反映该地震地面运动的周期特性。

一般来讲,震级大,断层错位的冲击时间长,震中距离远,场地土层松软、厚度大的地方,其地面运动加速度反应谱的主要峰点偏于较长的周期;相反,震级小,断层错位的冲击时间短,震中距离近,场地土层坚硬、厚度薄的地方,其地面运动加速度反应谱的主要峰点则一般偏于较短的周期。

1.3.3 强震的持续时间

地震地面运动的强震持续时间对建筑物的破坏程度有较大的影响。地面运动特征参数与震害的对比研究表明,在同等地面运动最大加速度的情况下,当强震的持续时间短时,则该地点的地震烈度低,建筑物的地震破坏轻;反之,当强震的持续时间长时,则该地点的地震烈度高,建筑物的地震破坏重,例如,埃尔森特罗地震的强震持续时间为 30 s,则该地的地震烈度为 8 度,地震破坏较严重;而另一次日本松代地震(发生于 1966 年 4 月 5 日),其地面运动最大加速度略高于埃尔森特罗地震,但其强震持续时间比埃尔森特罗地震短很多,仅有 4 s,则该地的地震烈度仅为 5 度,未发现明显的地震破坏。

持续时间长的强烈地震将导致较重的结构破坏,可用结构的积累破坏来说明。建筑物从微小的局部开裂到全部倒塌,一般都要需要一个过程,完成这个过程的反复振动需要一段时间;而振动过程过短,则不能完成破坏过程。在地震地面运动作用下,当结构反应超过其弹性阶段后,建筑物将产生局部破坏,可能发生一些肉眼不能观察到的微裂缝,在这些微裂缝处,应力状态极其复杂,容易产生应力集中,在振动过程的下一个反复中,即使振动不再加强,微裂缝还可能继续发展;当建筑物的局部破坏严重时,结构体系将改变,在尔后的振动过程中各局部之间可能发生碰撞而产生进一步的破裂或很大的错位、移动或局部的倒塌,即建筑物在振动的前一阶段开裂破坏,而在振动的后期倒塌。只有当震动强度特别大时,可能在一刹那间摧毁一栋建筑物,过程极短;假若震动强度略小,一次持续时间短的振动可以使这个破坏过程开始,但不能使整个破坏过程完成。