

高等院校土木工程专业规划教材

# 工程结构抗震设计

王显利 主编  
孟宪强 李长凤 武征宵 副主编



科学出版社  
www.sciencep.com

TU352.104/23

2008

高等院校土木工程专业规划教材

# 工程结构抗震设计

王显利 主编

孟宪强 李长风 武征宵 副主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书依据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)等规范,并参考了高等学校土木工程专业指导委员会推荐的“工程结构抗震设计”课程的基本要求而编写。本书内容包括:地震的基本知识、场地地基和基础抗震设计、结构地震反应分析与抗震验算、砌体结构抗震设计、混凝土结构抗震设计、钢结构的抗震设计、构筑物抗震设计、地下结构抗震设计、隔震和消能减震结构设计和桥梁结构的抗震设计方法。

本书可作为高等院校应用型本科土木工程专业或成人教育土建类的教学用书,也可供土木工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震设计/王显利主编. —北京:科学出版社,2008

高等院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-03-022096-7

I. 工… II. 王… 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(2008)第 073845 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年6月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—3000 字数:343 000

定价:24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303



## 前 言

近年来,由于地震活动的频繁,国内外学者对建筑结构的抗震性能均给予了充分的重视,并在系统研究的基础上取得了丰硕的成果。本书根据近年来我国在结构抗震方面所积累的丰硕科研成果,并结合多年的教学经验,为培养实践型、应用型科学技术人员所编写。

为贯彻土木工程专业实践性强、应用范围广的特点,本书严格按照我国现行《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)等规范编写。

本书所述内容严格遵从“工程结构抗震设计”这门课程实践性强的特点,紧密联系实际;力求文字简练,重点突出;注重理论与实践相结合,确保其实践性和应用性。本书所述内容既有基本理论讲解又有实践训练环节,便于读者理解与掌握工程结构抗震设计的主要方法;紧密依据现行相关规范,注重了对结构的概念设计的理解与运用,对学习和理解相关规范具有很好的指导意义。本书主要介绍地震的基本知识和地基与基础的抗震设计问题;结构抗震设计的基本方法及应用范围;结合工程实例,针对性地对砌体结构、混凝土结构、钢结构、桥梁结构等抗震设计的构造要求及设计过程进行讲解;阐述工程结构耗能减震及构筑物抗震等方面的知识。本书可作为应用型土木工程专业本科生“工程结构抗震设计”课程的教材,也可作为工程技术人员的参考资料。

在本书编写过程中,作者参考了大量兄弟院校和科研院所发表的文章和论著,在此对其作者谨致以诚挚的谢意。

参加本书编写工作的有:北华大学王显利(第1章和第7章)、孟宪强(第2章和第5章)、韩玮(第6章),黑龙江科技学院李长凤(第4章和第10章),山东农业大学武征霄(第8章和第9章),太原理工大学李达(第3章)。全书由王显利统稿。

在本书的编写过程中,北华大学的蒙彦宇、仲玉侠等教师参与了文字处理和图表制作等工作,在此表示感谢!

限于编者水平,书中尚有不足之处,敬请广大读者批评指正。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 地震初步知识 .....	1
1.1.1 地球的构造 .....	1
1.1.2 地震的类型 .....	2
1.1.3 地震的成因 .....	3
1.1.4 地震波、震级及地震烈度 .....	3
1.2 地震活动与地震破坏作用 .....	8
1.2.1 地震活动 .....	8
1.2.2 地震灾害 .....	10
1.3 抗震设防的概念与抗震设计方法 .....	11
1.3.1 抗震设防的概念 .....	11
1.3.2 工程结构抗震的二阶段设计方法 .....	12
1.3.3 抗震设防的分类和设防标准 .....	12
1.4 抗震设计的基本要求 .....	13
复习思考题 .....	15
<b>第 2 章 场地、地基和基础</b> .....	16
2.1 概述 .....	16
2.1.1 局部工程地质条件对工程结构抗震的影响 .....	16
2.1.2 结构抗震的破坏作用 .....	16
2.2 场地 .....	17
2.3 地基基础抗震验算 .....	22
2.3.1 地基与基础的抗震验算 .....	23
2.3.2 天然地基基础在地震作用下的抗震承载力验算 .....	24
2.4 场地土的液化 .....	25
2.4.1 地基土的液化 .....	25
2.4.2 地基土液化的判别 .....	27
2.5 地基抗震措施及处理 .....	32
2.5.1 液化地基的抗震措施及处理 .....	32
2.5.2 软弱黏性土地基的抗震措施及处理 .....	34
2.5.3 不均匀地基的抗震措施及处理 .....	35
复习思考题 .....	35

<b>第3章 结构地震反应分析与抗震验算</b> .....	36
3.1 概述 .....	36
3.1.1 地震反应及地震作用 .....	36
3.1.2 结构抗震设计理论的发展 .....	36
3.1.3 结构动力计算简图及体系自由度 .....	37
3.2 单自由度弹性体系的地震反应分析与设计反应谱 .....	38
3.2.1 单自由度弹性体系的地震反应分析 .....	38
3.2.2 单自由度弹性体系水平地震作用及反应谱法 .....	40
3.3 多自由度体系的地震反应分析与水平地震作用计算 .....	45
3.3.1 多自由度体系的运动方程 .....	45
3.3.2 多自由度体系的自振频率与振型分析 .....	47
3.3.3 振型分解法 .....	49
3.3.4 振型分解反应谱法 .....	51
3.3.5 底部剪力法 .....	52
3.4 考虑扭转和地基与结构相互作用影响的水平地震作用计算 .....	57
3.4.1 考虑扭转的水平地震作用计算 .....	57
3.4.2 考虑地基与结构相互作用影响的水平地震作用计算 .....	59
3.5 结构的竖向地震作用计算 .....	60
3.5.1 高层建筑与高耸结构的竖向地震作用计算(竖向反应谱法) .....	60
3.5.2 大跨度结构的竖向地震作用计算(静力法) .....	61
3.6 结构的弹塑性静力分析 .....	61
3.6.1 非弹性时程分析方法 .....	62
3.6.2 结构静力弹塑性分析 .....	63
3.7 结构自震频率的实用计算方法 .....	64
3.7.1 能量法 .....	64
3.7.2 折算质量法 .....	65
3.8 结构抗震验算 .....	66
3.8.1 结构抗震验算的一般原则 .....	66
3.8.2 结构抗震计算方法的确定 .....	67
3.8.3 截面抗震验算 .....	67
3.8.4 多遇地震作用下结构的弹性变形验算 .....	68
3.8.5 罕遇地震作用下结构的弹塑性变形验算 .....	69
复习思考题 .....	69
<b>第4章 砌体结构抗震设计</b> .....	71
3.4.1 震害现象及其分析 .....	71
3.4.2 砌体结构的抗震概念设计 .....	72
3.4.2.1 多层砌体房屋 .....	72
3.4.2.2 底部框架砌体房屋 .....	74

4.2.3 多层内框架砌体房屋	75
4.3 多层砌体结构的抗震设计	76
4.3.1 计算简图及水平地震作用	76
4.3.2 楼层地震剪力在抗侧力墙体间的分配	77
4.4 底部框架-砌体结构抗震设计	81
4.4.1 底部框架砖房的结构特点	81
4.4.2 底部框架-抗震墙房屋的抗震计算要点	81
4.5 多层内框架砌体房屋的抗震设计	84
4.6 砌体结构抗震验算实例	85
4.6.1 普通砖砌体抗震设计实例	85
4.6.2 内框架砌体结构抗震计算	88
4.7 砌体结构的抗震构造措施	89
4.7.1 多层砖房的抗震构造措施	90
4.7.2 多层砌块房屋的抗震构造措施	93
4.7.3 底部框架砌体的抗震构造措施	94
4.7.4 内框架砌体结构的抗震构造措施	96
复习思考题	96
<b>第5章 混凝土结构抗震设计</b>	<b>97</b>
5.1 震害现象及其分析	97
5.1.1 共振效应引起的震害	97
5.1.2 结构布置不合理引起的震害	97
5.1.3 框架结构的震害	98
5.1.4 单层钢筋混凝土柱厂房	100
5.2 混凝土结构的抗震概念设计	100
5.2.1 结构体系选择及最大适用高度	100
5.2.2 抗震等级	101
5.2.3 防震缝的设置	103
5.2.4 结构布置	103
5.2.5 抗震墙的局部加强	104
5.3 框架结构的抗震设计	104
5.3.1 抗震设计步骤及地震作用计算	104
5.3.2 水平荷载作用下框架内力计算	104
5.3.3 控制截面及其内力不利组合	107
5.3.4 框架结构水平位移验算	107
5.3.5 框架结构截面抗震设计	110
5.4 框架-抗震墙结构的抗震设计	111
5.4.1 框架-抗震墙结构的受力特点	111
5.4.2 框架-抗震墙结构计算的基本假定及计算简图	112

5.4.3	框架-抗震墙结构简化计算要点	113
5.4.4	框架-抗震墙结构截面设计	115
5.6	混凝土结构的抗震设计实例	117
5.7	混凝土结构的抗震构造措施	119
5.7.1	框架结构抗震构造措施	119
5.7.2	抗震墙结构抗震构造措施	124
5.7.3	框架-抗震墙结构抗震构造措施	126
	复习思考题	127
<b>第 6 章</b>	<b>钢结构的抗震设计</b>	<b>131</b>
6.1	震害现象及其分析	131
6.2	钢结构的抗震概念设计	133
6.2.1	钢结构房屋的结构体系及其抗震性能	133
6.2.2	钢结构房屋抗震设计的一般规定	136
6.3	多层和高层钢结构抗震设计	138
6.3.1	计算模型	138
6.3.2	变形验算	139
6.3.3	地震作用下的内力调整	139
6.3.4	抗震承载力和稳定性验算	139
6.4	多层与单层钢结构厂房的抗震设计	145
6.4.1	多层钢结构厂房的抗震设计	145
6.4.2	单层钢结构厂房的抗震设计	148
6.5	网架结构抗震设计	149
6.5.1	抗震设计一般规定	149
6.5.2	网架抗震设计要点	150
6.6	钢结构的抗震构造措施	153
6.6.1	构件	153
6.6.2	连接	155
	复习思考题	159
<b>第 7 章</b>	<b>构筑物抗震设计</b>	<b>160</b>
7.1	震害现象及其分析	160
7.1.1	震害情况	160
7.1.2	震害分析	164
7.2	构筑物的抗震概念设计	164
7.2.1	烟囱的抗震设计原则	164
7.2.2	塔架的抗震设计原则	165
7.2.3	贮仓的设计原则	166
7.2.4	水池的设计原则	167
7.3	烟囱的抗震设计	168



7.3.1	抗震设计一般规定	168
7.3.2	烟囱水平地震作用及其效应计算	169
7.3.3	烟囱竖向地震作用及其效应	171
7.3.4	地震作用效应组合及附加弯矩	172
7.3.5	烟囱的抗震构造措施	173
7.4	塔架的抗震设计	175
7.4.1	塔架抗震设计的一般规定	175
7.4.2	水塔的抗震计算	176
7.5	水池的抗震设计	178
7.5.1	水池抗震设计的一般规定	178
7.5.2	水池的抗震计算	179
7.5.3	水池的抗震构造措施	182
7.6	贮仓的抗震设计	183
7.6.1	抗震设计的一般规定	183
7.6.2	地震作用计算	185
7.6.3	贮仓的抗震构造措施	191
	复习思考题	195
<b>第 8 章</b>	<b>地下结构抗震设计</b>	<b>196</b>
8.1	震害现象及其分析	196
8.1.1	引言	196
8.1.2	地下结构震害调查	197
8.1.3	震害分析	198
8.2	地下空间结构抗震设计	199
8.2.1	地下结构抗震设计方法	199
8.2.2	地下结构抗震设计的基本原则	200
8.2.3	地下结构抗震构造措施	202
	复习思考题	203
<b>第 9 章</b>	<b>隔震和消能减震设计</b>	<b>204</b>
9.1	概述	204
9.2	隔震结构设计	204
9.2.1	结构隔震设计的减震机理与基本特征	204
9.2.2	隔震技术分类与应用范围	205
9.2.3	隔震结构设计要点	206
9.3	消能减震结构设计	211
9.3.1	消能减震体系的减震机理与特点	211
9.3.2	消能减震结构体系分类	212
9.3.3	消能减震结构设计要点	213
	复习思考题	216

<b>第 10 章 桥梁结构的抗震设计</b> .....	218
<b>10.1 桥梁结构抗震概述</b> .....	218
10.1.1 桥梁结构的震害 .....	218
10.1.2 桥梁抗震的地震力计算理论的发展 .....	219
10.1.3 桥梁结构抗震设防标准及抗震设计一般要求 .....	221
<b>10.2 桥梁结构抗震分析方法</b> .....	223
10.2.1 桥梁结构抗震概念设计 .....	223
10.2.2 地震反应分析的反应谱法 .....	223
10.2.3 地震反应分析的时程分析法 .....	226
<b>10.3 桥梁结构的抗震构造措施</b> .....	227
10.3.1 桥梁的结构布置 .....	227
10.3.2 桥梁抗震的基本构造措施 .....	228
10.3.3 基础设计中的地基问题 .....	228
<b>复习思考题</b> .....	229
<b>主要参考文献</b> .....	230

态固干拉道河对内而, 态新干拉道河对状, 既甜甜, 为味甜

烟类的录状 5.1.1

# 第 1 章 绪 论

本章主要介绍地震有关的初步知识、基本概念和抗震设计的基本要求。

## 1.1 地震初步知识

地震是一种能够对人类社会造成不同程度伤亡事故和经济损失的突发性自然灾害, 所产生的影响是长久的。地震时强烈的地面运动会造成建筑物倒塌或损坏, 并可能引发火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸等一系列次生灾害, 对人类社会威胁巨大。

我国地处世界上两个最活跃的地震带之间, 东部处于环太平洋地震带, 西部和西南部处于欧亚地震带, 是一个地震频发的国家。据统计, 全国 80% 以上的大中城市均在地震区, 6 度及 6 度以上的震区几乎遍及全国各个省和自治区。为了减轻地震灾害, 有必要进行工程结构的抗震分析与设计, 《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001) 中明确规定: 抗震设防烈度 6 度及以上地区的建筑, 必须进行抗震设计。为此, 为防止和减少结构物由于地震而造成的破坏, 土建技术人员就需要对地震有较深入地了解, 就需要研究建筑物及构筑物的抗震问题。本章主要就地震的基本知识作一简要介绍。

### 1.1.1 地球的构造

地球是一个平均半径约 6400km 的近似椭球体。从物质成分和构造特征来划分, 地球可以分为三大部分: 地表面很薄的一层叫地壳, 平均厚度 30km, 中间很厚的一层叫地幔, 厚度约 2900km, 最里面的一层叫地核, 半径约 3500km。

地壳是地球的外壳, 有各种不均匀的岩石组成。地壳表面为沉积层, 陆地下面主要有花岗岩和玄武岩, 海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的下界称为莫霍界面, 是一个地震波传播速度发生急剧变化的不连续面。地壳各处厚薄不一, 相差也很大, 约为 5~70km。

地壳以下到约 2895km 的古登堡界面为止的部分称为地幔, 约占地球体积的 5/6。其主要由质地坚硬的橄榄岩组成, 该物质具有黏弹性。地球内部的温度随深度的升高而升高, 这一范围内的地幔中存在着一个厚约几百公里的软流层, 由于温度和压力分布的不均匀, 就发生了地幔内部物质的对流, 地幔内的物质就是在这样的热状态与不平衡的压力作用下缓慢地流动着, 这可能就是地壳运动的根源。到目前为止, 所观测到的最深地震发生在地下 700km 左右处, 可见, 地震仅发生在地球的地壳和地幔上部。

古登堡界面以下直到地心的部分为地核, 地核可分为内核和外核, 主要构成物质是

镍和铁。据推测,外核可能处于液态,而内核可能处于固态。

### 1.1.2 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。

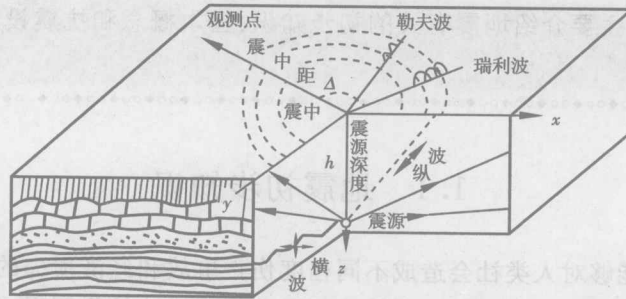


图 1.1 地震术语示意图

地震就是地球内某处岩层突然破裂,或因局部岩层塌陷、火山爆发等发生振动,并以波的形式传到地表,从而引起地面的运动。地震按其成因主要分为诱发地震和天然地震两种类型。天然地震又分为火山地震、陷落地震和构造地震三种。

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。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振动。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。工程上通常讨论的就是构造地震,因为构造地震占地震发生总数的 90% 以上。

按震源的深浅,地震又可分为浅源地震(震源深度  $d < 60\text{km}$ )、中源地震( $60 \leq d < 300\text{km}$ )和深源地震( $d \geq 300\text{km}$ )。浅源地震约占地震总数的 70% 左右,一年中全世界所有地震释放能量约 85% 来自浅源地震。浅源地震波及范围较小,破坏程度较大。中源地震约占地震总数的 25% 左右,深源地震约占地震总数的 5% 左右。

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 100km 以内的地震叫地方震;震中距在 100~1000km 之间的地震称近震;震中距大于 1000km 的地震称远震。

根据震级的大小,地震可以分为七级,见表 1.1。

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	震级 6~7
弱震和微震	震级 1~3	大地震	震级 $\geq 7$
有感地震	震级 3~4.5	巨大地震	震级 $\geq 8$
中强地震	震级 4.5~6		



### 1.1.3 地震的成因

构造地震与地质构造密切相关,这种地震通常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点处和不同断层的交汇处。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播到地面,就产生了地震。

对于地应力的产生较为公认的是板块构造学说。该学说认为:地球表面的岩石层不是一块整体,而是有六大板块和若干小板块组成,这六大板块即欧亚板块、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,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。由于它们的边界是互相制约的,因而板块之间处于拉长、挤压和剪切状态,从而产生了地应力。地球上的主要地震带就处在这些板块的交界地区。据统计,地球上85%左右的地震发生在板块边缘。

### 1.1.4 地震波、震级及地震烈度

#### 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。根据在地壳中传播的路径不同,地震波可以分为在地球内部传播的体波和只限于在地面附近传播的面波。

体波又可以根据介质质点振动方向与波传播方向的不同分为纵波(P波)和横波(S波)。

当质点的振动方向与波的传播方向一致时称为纵波,纵波由震源向四周传播,它可以在固体和液体里传播。纵波的特点是周期短、振幅小、波速快,在地面上引起上下颠簸。由于纵波波速快,在地震发生时往往最先到达,因此也叫初波、P波、压缩波或拉压波。

横波是指质点的振动方向与波的前进方向垂直的地震波。由于横波的传播过程是介质不断受剪变形过程,因此横波只能在固体介质中传播,横波一般周期较长、振幅较大、波速较慢,引起地面水平方向的运动。由于横波波速较慢,在地震发生时达到的时间比纵波慢,因此也称为次波、S波、剪切波、畸主波和等体积波。

根据弹性理论,纵波传播波速 $v_P$ 和横波传播波速 $v_S$ 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;

$\rho$ ——介质的密度;

$\mu$ ——介质的泊松比。

地基土中纵波和横波的波速参考值见表 1.2。

表 1.2 地基土中纵波、横波的波速

地基土名称	$v_p/(m/s)$	$v_s/(m/s)$
湿黏土	1 500	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

面波是沿地表或地壳不同地质层界面传播的波。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。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(见图 1.2)。面波的传播速度较慢,周期长、振幅大、衰减慢,故能传播到很远的地方。面波使地面既产生垂直振动又产生水平振动。

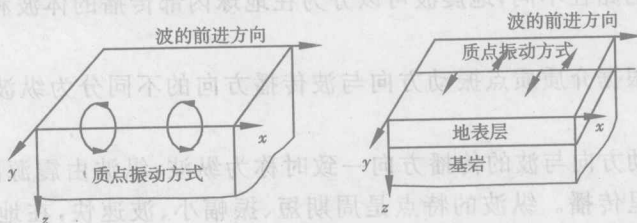


图 1.2 面波质点振动形式

地震波的传播速度以纵波最快,横波次之,面波最慢。所以在一般地震波记录图上,纵波最先到达,横波次之,面波到达最晚;振幅则恰好相反,纵波的振幅最小,横波的振幅较大,面波的振幅最大。

## 2. 震级

地震震级是表示地震中震源所释放能量多少、地震本身强度或大小的一种度量指标,是地震的基本参数之一。通常用地震时地面运动的振幅来确定地震震级。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 年提出的,其概念为:采用标准地震仪(周期为 0.8s,阻尼系数为 0.8,放大倍率为 2800 倍),在距离震中 100km 处记录到的以微米为单位的最大水平地面位移的常用对数来表示震级的大小,即

$$M = \lg A \tag{1.3}$$

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上得到的最大振幅。

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,这里不作详细介绍。一次地震只有一个震级,利用震级可以估计出一次地震所释放出的能量,震级与地震释放的能量之间有如下关系为

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

式中, $E$ ——地震能量(J)。

从地震震级的定义可以看出,震级相差一级,振幅相差10倍,能量相差约32倍。一个1级地震所释放的能量约为 $2 \times 10^6$ J。一个6级地震相当于1个2万吨级原子弹所释放的能量。到目前为止,世界上记录到的地震的最大震级为8.9级,为1960年发生于南美洲的智利和2004年发生于印度尼西亚苏门答腊岛附近海域的两次大地震。

### 3. 地震烈度

地震烈度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。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。地震烈度把地震的强烈程度,从无感到建筑物毁灭及山河改观等划分为若干等级,列成表格,即烈度表。地震烈度表是评定烈度大小的尺度和标准,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。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地震烈度。一般说来,震级越大,震中烈度越高;距震中越远,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,地震震级与震中烈度有大致如表1.3的对应关系。

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。表1.4是我国1999年批准实施的新烈度表。

表 1.4 1999年中国地震烈度表

烈度	地面上人的感觉	房屋震害程度		其他现象	物理参量	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 /( $m/s^2$ )	峰值速度 /( $m/s$ )
1	无感觉					
2	室内个别静止的人有感觉					
3	室内少数静止的人有感觉	门、窗轻微作响		悬挂物微动		

续表

烈度	地面上人的感觉	房屋震害程度		其他现象	物理参量	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 /(m/s <sup>2</sup> )	峰值速度 /(m/s)
4	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		
5	室内普遍、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，抹灰出现细微裂缝。有檐瓦掉落，个别屋顶烟囱掉砖		不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
6	站立不稳，少数人惊逃户外	墙体出现裂缝，檐瓦掉落、少数屋顶烟囱裂缝、掉落	0~0.1	河岸和松软土出现裂缝，饱和砂层出现喷砂冒水；有的独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
7	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	轻度破坏——局部破坏、开裂，小修或不需要修理可继续使用	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)
8	多数人摇晃颠簸，行走困难	中等破坏——结构破坏，需要修复才能使用	0.31~0.50	干硬土上亦有裂缝；大多数独立砖烟囱严重破坏；树梢折断；房屋破坏导致人畜伤亡	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
9	行动的人摔倒	严重破坏——结构严重破坏，局部倒塌，修复困难	0.51~0.70	干硬土上许多地方出现裂缝。基岩可能出现裂缝、错动；滑坡塌方常见；独立砖烟囱出现倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
10	骑自行车的人会摔倒，处于不稳状态的人会甩出，有抛起感	大多数倒塌	0.71~0.90	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倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)



续表

烈度	地面上人的感觉	房屋震害程度		其他现象	物理参量	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度 (m/s <sup>2</sup> )	峰值速度 (m/s)
11		普遍倒塌	0.91~1.00	地震断裂延续很长;大量山崩滑坡		
12				地面剧烈变化,山河改观		

#### 4. 地震区划图与设防烈度

地震区划就是地震区域的划分,地震区划图是指在地图上按地震情况的差异,划分不同的区域。根据地震区划的目的和指标不同分为:地震活动区划、震害区划和地震动区划。我国在总结按地震烈度来划分的3代地震区划图的基础上,提出了直接以地震动参数表示的新区划图,即《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001),已于2001年8月1日起实施。该图根据地震危险性分析方法,提供了II类场地土,50年超越概率为10%的地震动参数,共给出两张图:①地震动峰值加速度分区图;②地震动反应谱特征周期分区图。《建筑抗震设计规范》(简称《规范》,下同)提供了与新《中国地震动参数区划图》相对应的我国主要城市地震动参数值。

抗震设防烈度是按国家规定的权限批准的作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。我国《规范》规定,一般情况下,抗震设防烈度可采用中国地震动参数区划图的地震基本烈度,或与规范中设计基本地震加速度对应的烈度值。基本烈度是指该地区今后一定时间内(一般指50年),在一般场地条件下可能遭遇的超越概率为10%的地震烈度,它是一个地区进行抗震设防的依据。对已编制抗震设防区划的城市,可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防。抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系见表1.5。设计基本地震加速度为0.15g和0.30g地区内的建筑,除《规范》另有规定外,应分别按抗震设防烈度7度和8度的要求进行抗震设计。

表 1.5 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系( $g$ 为重力加速度)

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10(0.15)g	0.20(0.30)g	0.40g

根据地震危险性分析,一般认为我国地震烈度的概率密度函数符合极值III型分布(如图1.3所示),概率密度函数和分布函数分别为

$$f_{\text{III}}(I) = \frac{k(\omega - I)^{k-1}}{(\omega - I_m)^k} e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - I_m}\right)^k} \quad (1.5)$$

$$F_{\text{III}}(I) = e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - I_m}\right)^k}$$

式中, $\omega$ ——地震烈度上限值;

$I$ ——地震烈度;

$k$ ——形状参数;