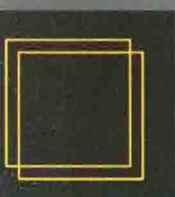


全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材



建筑抗震设计

Seismic Design of Structures

杨润林 编著

中国建筑工业出版社

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

建筑抗震设计

Seismic Design of Structures

杨润林 编著

闫维明 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震设计/杨润林编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 6

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材
ISBN 978-7-112-17917-6

I. ①建… II. ①杨… III. ①建筑结构-防震设计-高等学校-教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 050950 号

本书在参考《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的基础上, 作者结合其近十年来的授课经验撰写而成。全书分为七篇 18 章, 主要内容为: 地震与工程抗震 (地震与地面运动, 结构抗震设计原则, 结构抗震概念设计); 场地·地基与基础抗震; 结构抗震计算 (结构振动原理, 抗震计算原理); 结构抗震设计 (混凝土结构抗震设计, 钢结构抗震设计, 砌体结构抗震设计, 厂房抗震设计, 桥梁抗震设计); 结构振动控制 (结构振动控制简介, 结构基础隔震设计, 结构消能减震设计); 地震反应数值计算 (结构非线性动力反应分析, 结构地震反应数值分析); 专题 (地下工程结构抗震设计, 冻土地区中的工程抗震问题)。

本书可供高校师生、科研单位的研究和企业的工程技术人员参考使用。

* * *

责任编辑: 郭 栋 辛海丽

责任设计: 张 虹

责任校对: 李美娜 陈晶晶

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

建筑抗震设计

杨润林 编著

闫维明 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17½ 字数: 424 千字

2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-17917-6

(27161)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

在土木工程学科领域,抗震问题是个旧话题,但又始终避不开。仅以国内为例,无论三十多年前的唐山地震,还是近几年的汶川地震或玉树地震,都造成了极为严重的灾害损失。严重的震害提示人们:即使在今天甚至未来很长的一段时间内,结构抗震都是不可懈怠值得重视研究的一个学科领域。基于此,撰写本书的目的是希冀能够帮助读者对结构抗震方面的知识能有一个比较清晰而又全面的了解,重点放在计算分析和抗震设计方面,力求相关内容可在工作实践中直接予以应用。

在过去的十余年中,各种计算程序和专业软件日渐普及。这种发展趋势对于抗震计算是大有裨益的,因为它们可以大幅降低结构抗震计算分析方面的难度,并节约大量的计算时间,使特殊或复杂结构的抗震分析成为可能。虽然,传统的抗震计算方法譬如设计反应谱法、振型分解方应谱法也可以进行简单的计算,但通过专业程序和软件中的计算动画、云图可以使读者直观地了解地震的加载过程、结构模态特性和地震下的结构动力反应,更好地深刻了解地震作用下结构的变形破坏过程。因此,在本书中增加了地震反应时程分析方面的内容,以适应这一潮流。

本书是在参考新版《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的基础上,由作者结合近十年来《结构抗震设计》的授课讲义数易其稿撰写而成。主要篇章如下:第一篇简要介绍关于地震的基本概念以及结构抗震设防的原则、结构抗震概念设计等方面的内容;第二篇重点在于阐述场地选址、地基基础抗震验算和地基液化处理等方面的知识;第三篇为有助于读者更好地理解抗震计算方面的知识,先讲述必须用到的结构动力学知识点譬如结构振动体系的自由振动、强迫振动以及振型正交性等基本理论,然后介绍具体的抗震计算方法——振型分解反应谱法和底部剪力法;第四篇分别针对混凝土结构、钢结构、砌体结构、桥梁结构和厂房结构展开,包括震害分析、基本计算和构造措施等内容;第五篇围绕结构振动控制技术展开,重点讲述基础隔震技术和消能减震技术,可为结构抗震设计在实际工程中的应用提供一条除关注材料强度和结构刚度以外的新途径;第六篇首先介绍常规结构地震动力反应的数值计算方法,然后重点讲述结构或构件的恢复力计算模型,有助于培养自行编制相关程序的能力和熟悉常见有限元软件进行相关计算的基本过程和原理;第七篇属于研究专题,在这部分中涉及了地下工程结构抗震设计和冻土地区的抗震问题,相关研究成果现阶段很少。作者在专题这部分引入了部分最新研究成果,希望能起到抛砖引玉的效果,进一步深化这方面的研究。

在编写的过程中涉及的文献资料很多,包括公开发表的著作、论文和各种规范等。书中部分规范的插图由荣维生博士提供;震害图片(譬如唐山地震)部分传承自恩师——已故的周锡元院士,在此谨表示深深的怀念。此外,少量图片由网上的搜索引擎百度获得。作者尽可能地罗列于参考文献之中,但百密一疏,若有遗漏在此先表示歉意。在具体的编写过程中,规范编制成员之一罗开海研究员给出了非常具有建设性的意见,研究生冯哲、

李靖和杨涛等参加了文字修改和插图绘制方面的工作。在此，作者一并表示衷心的感谢和诚挚的敬意。

在本书编撰的过程中，作者结合多年的授课经验，尽可能做到深入浅出、通俗易懂，而不求以繁复见长，以尽可能地扩大读者群体。本书若能对广大高校师生、科研单位的研究人员和企业的工程技术人员有所帮助，将甚感欣慰。限于水平，书中可能仍存不足之处，欢迎批评指正或者给出修改建议。

目 录

第一篇 地震与工程抗震

第 1 章 地震与地面运动	1
1.1 引言	1
1.2 抗震减灾的主要内容	1
1.3 我国的地震情况	2
1.4 地震描述	2
1.5 震级与烈度	5
1.6 设计地震分组	9
1.7 地震效应	9
1.8 地震动特性	9
1.9 地震灾害	10
思考题	12
第 2 章 结构抗震设计原则	13
2.1 抗震设防的目标及方法	13
2.2 抗震设防范围	14
2.3 抗震设防分类及抗震设防措施	14
思考题	15
第 3 章 结构抗震概念设计	16
3.1 概念设计的定义和基本内容	16
3.2 建筑结构的规则性	16
3.3 结构体系的合理性	18
3.4 结构构件的延性	19
3.5 结构失效机制的合理性	20
3.6 非结构构件连接设计	20
思考题	20

第二篇 场地·地基与基础抗震

第 4 章 场地·地基与基础抗震	21
4.1 地震破坏作用	21
4.2 建筑场地类别划分	21
4.3 建筑场地选址	23
4.4 地基基础的抗震验算	24

4.5 地基液化及其处理措施	25
思考题	31

第三篇 结构抗震计算

第5章 结构振动原理	32
5.1 单自由度体系的自由振动	32
5.2 单自由度体系的强迫振动	33
5.3 多自由度体系的自由振动	36
5.4 振型的正交性	39
5.5 多自由度体系的强迫振动	41
思考题	43
第6章 抗震计算原理	44
6.1 单自由度体系的地震作用分析	44
6.2 地震反应谱	45
6.3 抗震设计反应谱	46
6.4 多自由度弹性体系的地震反应分析——振型分解反应谱法	48
6.5 底部剪力法	53
6.6 建筑结构的扭转地震效应	59
6.7 结构抗震验算	61
思考题	65

第四篇 结构抗震设计

第7章 混凝土结构抗震设计	66
7.1 震害描述	66
7.2 抗震设计的基本要求	71
7.3 框架结构抗震计算	78
7.4 框架结构抗震构造措施	93
7.5 抗震墙结构的抗震设计	98
7.6 框架-抗震墙结构的抗震设计	110
思考题	112
第8章 钢结构抗震设计	113
8.1 震害描述	113
8.2 钢结构震害及其分析	117
8.3 抗震设计的一般规定	119
8.4 钢结构抗震计算	121
8.5 钢结构的抗震构造要求	125
思考题	129
第9章 砌体结构抗震设计	130
9.1 震害描述	130

9.2 砌体结构的震害分析	130
9.3 抗震设计的一般规定	132
9.4 砌体结构的抗震计算	135
9.5 砌体结构的抗震构造措施	142
思考题	150
第 10 章 厂房抗震设计	151
10.1 厂房的减隔震方案及抗震构造措施	151
10.2 厂房的震害特点及其原因	152
10.3 厂房抗震设计原理	155
10.4 厂房减隔震及抗震构造措施	161
思考题	165
第 11 章 桥梁抗震设计	166
11.1 桥梁概述	166
11.2 桥梁震害及其原因	169
11.3 桥梁抗震设计原理	171
11.4 结构延性抗震设计	176
11.5 桥梁的减隔震设计	179
11.6 桥梁的抗震构造措施	183
思考题	185

第五篇 结构振动控制

第 12 章 结构振动控制简介	186
12.1 引言	186
12.2 结构抗震设计	185
12.3 结构振动控制	187
12.4 地震波分类与结构振动控制的效果	187
12.5 结构控制系统性能的优劣	188
12.6 结构控制的分类	189
12.7 控制算法	198
12.8 影响振动控制效果的因素	199
思考题	200
第 13 章 结构基础隔震设计	201
13.1 基础隔震的概念及原理	201
13.2 基础隔震发展简史	202
13.3 基础隔震装置的构造	206
13.4 隔震结构设计计算	208
13.5 房屋隔震设计要求	210
思考题	211

第 14 章 结构消能减震设计 212

14.1 消能减震的概念及原理..... 212

14.2 常见的消能阻尼装置..... 212

14.3 消能减震结构的设计计算..... 215

14.4 消能减震结构设计计算要求..... 217

思考题..... 218

第六篇 地震反应数值计算

第 15 章 结构非线性动力反应分析 219

15.1 结构线性运动方程与非线性运动方程..... 219

15.2 逐步积分法..... 221

15.3 线性加速度法..... 221

15.4 Wilson- θ 法..... 223

15.5 Newmark- β 法 225

15.6 多自由度的逐步积分法..... 225

第 16 章 结构地震反应数值分析 229

16.1 动力反应时程分析法..... 229

16.2 结构（构件）恢复力计算模型..... 230

16.3 计算模型及刚度矩阵..... 233

16.4 地震反应增量方程数值解法..... 241

思考题..... 245

第七篇 专 题

第 17 章 地下工程结构抗震设计 246

17.1 地下工程结构概述..... 246

17.2 地下工程结构的震害及其原因分析..... 247

17.3 地下结构抗震设计方法..... 249

17.4 地下结构抗震设计原则和构造措施..... 251

思考题..... 252

第 18 章 冻土地区中的工程抗震问题 253

18.1 冻土地基概述..... 253

18.2 冻土地区震害问题..... 254

18.3 冻土地基抗震设计的一般要求..... 256

18.4 专题——冻土场地内地基液化对单桩抗震性能影响试验研究..... 256

附录 266

参考文献 269

第一篇 地震与工程抗震

第 1 章 地震与地面运动

1.1 引 言

自然界中的灾害有火灾、水灾、污染、核泄漏、战争和地震等，但就其破坏后果而言，由于地震具有突发性和不可预测性，以及频度较高，并产生严重次生灾害，故总体上地震的破坏后果是最为严重的。

在人类社会发展的历史上，许多国家均曾因地震出现而造成重大的人员伤亡和财产损失，譬如中国、美国、日本、新西兰和土耳其等。历史上曾出现过地震几近毁灭整个城市的现象，状况十分惨烈。近一百多年来世界各地伤亡逾万人的地震事件统计如表 1.1 所示。

近百余年重大强震事件

表 1.1

时间	地 区	里氏震级	死亡人数 (万)	时间	地区	里氏震级	死亡人数 (万)
1905. 4. 4	克什米尔	8. 6	1. 9	1939. 12. 27	土耳其埃尔津詹	8	5
1908. 12. 18	意大利墨西拿	7. 5	7. 5	1960. 5. 21	智利	8. 5	1
1920. 12. 16	中国海原	8. 5	24	1970. 5. 31	秘鲁钦博特市	7. 6	6
1923. 9. 1	日本关东	8. 2	13	1976. 7. 28	中国唐山	7. 6	24
1927. 5. 23	中国古浪	8	4	1985. 9. 19	墨西哥	7. 8	3. 5
1932. 12. 25	中国昌马	7. 6	7	1990. 6. 21	伊朗	7. 3	5
1935. 5. 30	巴基斯坦	7. 5	3	2008. 5. 12	中国汶川	8. 0	6. 9
1939. 1. 25	智利	8. 3	3	2010. 1. 12	海地	7. 3	11. 3

就我国而言，近些年来地震比较活跃，如云南、汶川、玉树等地均出现了较大的地震灾情，造成了极大的伤亡和财产损失。由此可见，在自然界众多灾害中，地震是最具危险性和破坏性的，在防灾中是首先需要考虑的。

1.2 抗震减灾的主要内容

1.2.1 建立地震监测预报体系

地震监测预报是抗震减灾的基础。一个完整的地震监测预报体系应包括地震前兆观

测、地震预报、地震监测和地震数据分析等环节。在 1975 年,我国有在海城地震中成功进行地震预报的先例,挽救了成千上万的生命,避免了重大的经济损失。如果能成功地预报地震,就能事先采取相应防范措施,极大地降低地震所能带来的潜在风险。

1.2.2 建立地震灾害预防体系

地震灾害预防体系是抗震减灾的核心内容。因为即使能成功预报地震,但建筑物和构筑物不能撤离震区,在地震过程中,仍不可避免受破坏,因此抗震减灾工作重在预防。完整的地震灾害预防体系包括工程场地安全性评价、工程抗震和地震灾害预测等几个环节。特别需要强调的是根据规范进行抗震设计,这是抗震减灾工作中最为重要的内容。

目前,我国已通过《中华人民共和国防震减灾法》,包括下述法律条文:以后新建、扩建、改建建设工程,必须达到抗震设防要求;新建的建设工程必须按照抗震设防要求和抗震设计规范进行抗震设计,并按照抗震设计进行施工,否则追究其相应的法律责任。

1.2.3 建立地震紧急救援体系

完整的地震应急救援体系包括地震应急预案、信息传输系统、物资储备系统和应急救援队伍等。在地震已经发生的情况下,对灾区进行紧急救援是必须的,它能够挽救伤者生命,避免造成更大的经济损失。

1.3 我国的地震情况

纵观人类历史上全世界范围内出现的地震,主要集中在以下两个地震带:

1. 环太平洋地震带:包括南北美洲的太平洋沿岸和从阿留申群岛、堪察加半岛、经千岛群岛、日本列岛南下至我国台湾省,再经菲律宾群岛转向东南,直到新西兰。

2. 欧亚地震带:从印度、尼泊尔经缅甸至我国横断山脉、喜马拉雅山区,越帕米尔高原,经中亚细亚到地中海沿岸及其附近区域。

我国恰好处于上述两大地震带中间,东部与环太平洋相接,西部和南部与欧亚地震带毗邻,因此在历史上我国地震活动频繁,特别是出现过多次强震,如 1956 年陕西的华县大地震和 1976 年的唐山大地震。

我国的地震活动主要分布在五个地区的 23 条地震带上,这五个地区是:①台湾省及其附近海域;②西南地区,主要是西藏、四川西部和云南中西部;③西北地区,主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓;④华北地区,主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕山一带、山东中部和渤海湾;⑤东南沿海的广东、福建等地。中国的台湾省位于环太平洋地震带上,西藏、新疆、云南、四川、青海等省区位于地中海—喜马拉雅地震带上,其他省区处于相关的地震带上。中国地震带分布和震中分布是制定中国地震重点监视防御区的重要依据。

1.4 地震描述

地震是指因地球内部缓慢积累的能量突然释放而引起的地面震动。在日常生活中人们

很少能感受到地震，但是其实地震却每时每刻都在发生。这是因为很多地震强度都很弱或发生于无人居住的偏僻荒野地区。

参照图 1.1，在地球内部发生地震的地方叫震源；震源在地面上的投影点称为震中；震中及其附近的地方称为震中区，也称极震区；从震中到地面上任何一点的距离称为震中距；从震源到某一点的距离称为震源距。

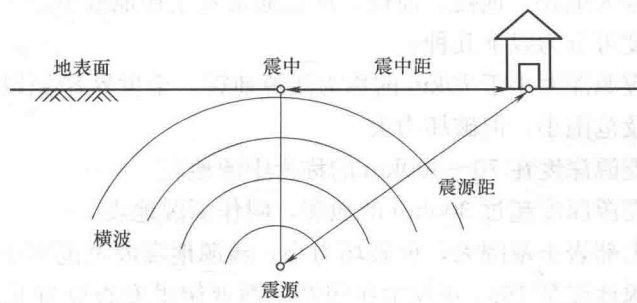


图 1.1 震源、震中示意图

1.4.1 地震分类

简单来说，地震分为天然地震和人工地震。由于天然地震一般威胁较大，因此是人们防范的重点。天然形成的地震主要可以分为三种，即构造地震、火山地震和塌陷地震。除此之外，人类本身的活动也可引起地震，如地下核爆炸以及水库蓄水。由于人类活动、火山喷发和局部地表塌陷诱发的地震一般波及范围小，因此主要讨论由断层运动引起的构造地震。

1. 按地震成因分类

(1) 构造地震：由于地壳运动，推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂而引起的地震。据统计，构造地震约占世界地震总数的 90% 以上，如图 1.2 所示。破坏地震多为构造地震。92% 的地震发生在地壳中，其余的发生在地幔上部。

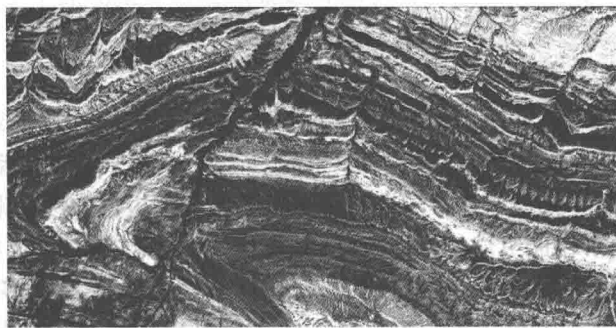


图 1.2 构造地震示意图

(2) 火山地震：由于火山作用，如岩浆活动、气体爆炸等引起的地震称为火山地震，这类地震只占全世界地震的 7% 左右。

(3) 塌陷地震：由于地下溶洞或矿井顶部塌陷而引起的地震称为塌陷地震。这类地震

的影响范围和危害程度都比较小，次数也很少。

人为因素直接造成的地震属于人工地震。譬如工业爆破和地下核爆炸造成的地震振动。有时，在深井中进行高压注水以及大容量水库蓄水，由于大幅增加了地壳的压力，有时也会诱发地震。

2. 按震源深浅分类
- 地球的构造可分为地壳、地幔、地核，地震通常发生在地核中。
- 地震按震源深度可分为以下几种：
- 浅源地震——震源深度小于 70km 的称为浅源地震。全世界 85% 以上的地震都是浅源地震。浅源地震波及范围小，但破坏力大。
- 中源地震——震源深度在 70~300km 的称为中源地震。
- 深源地震——震源深度超过 300km 的地震，叫作深源地震。
- 深源地震波及上部岩土范围大，但破坏力小；浅源地震波及范围小，但破坏力大。目前有记录的最深震源地震是 1963 年发生在印度尼西亚伊里安查亚省北部海域的地震，震源深度达 768km。

1.4.2 地震波分类

地震波是地震发生时由震源地方的岩石破裂产生的弹性波。地震波根据传播方式分为体波和面波。

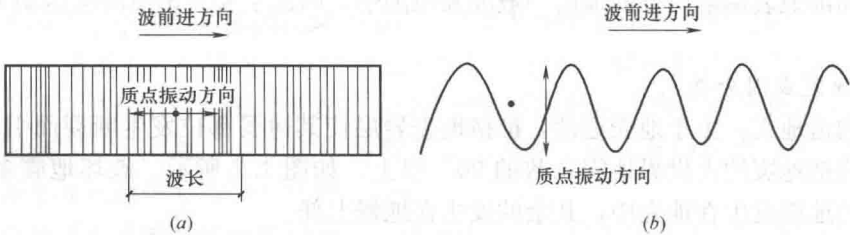
1. 体波是在地球内部传播的波，包括纵波和横波。体波质点振动如图 1.3 所示。
- 
- The figure consists of two diagrams, (a) and (b), illustrating the particle vibration forms of body waves. Diagram (a) shows a longitudinal wave (疏密波) where the particle vibration direction is parallel to the wave propagation direction. Diagram (b) shows a transverse wave (剪切波) where the particle vibration direction is perpendicular to the wave propagation direction.

图 1.3 体波质点振动形
(a) 疏密波；(b) 剪切波

纵波：在传播过程中，介质质点的振动方向与波的前进方向一致，又称为压缩波或疏密波。纵波特点：周期短，振幅小。横波：在传播过程中，介质质点的振动方向与波的前进方向垂直，又称为剪切波。横波特点：周期较长，振幅较大。根据弹性理论，纵波的传播速度大约为横波的 1.67 倍，说明纵波的传播速度快，因此也把纵波叫初波，横波叫次波。

2. 面波是限于在地面附近传播的波，也就是体波经过地层界面多次反射形成的次生波。面波主要包含瑞雷波和洛夫波。面波特点：周期长，振幅大，只在地表附近传播，比体波衰减慢，传播远，面波质点振动形如图 1.4 所示。

根据弹性理论，横波和纵波的传播速度可分别用下列公式计算：

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

式中 V_s ——横波波速；
 V_p ——纵波波速；
 E ——介质弹性模量；
 G ——介质剪切模量；
 ρ ——介质密度；
 ν ——介质泊松比。

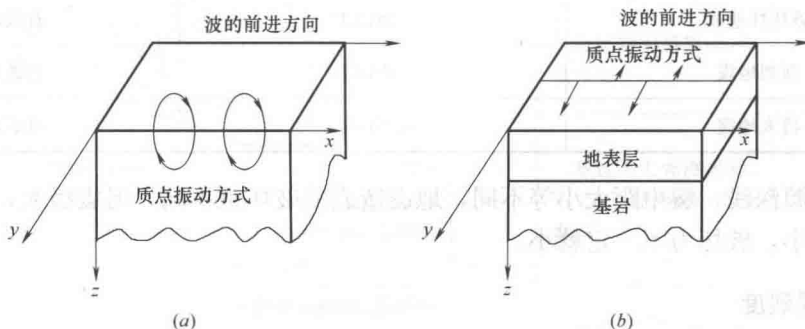


图 1.4 面波质点振动形式
 (a) 瑞雷波；(b) 洛夫波

在一般情况下，取 $V=0.25$ 时：

$$V_p = \sqrt{3}V_s$$

综上所述，纵波的传播速度比横波的传播速度快，因此当发生地震时，首先在地震仪上记录到的地震波是纵波，随后记录到的才是横波。地震波的传播速度，以纵波最快，横波次之，面波最慢。纵波使建筑物产生上下颠簸，横波使建筑物产生水平晃动，而面波使建筑物既产生上下颤动又产生水平晃动。当横波和面波都达到时，振动最为强烈。一般情况下，横波产生的水平振动是导致建筑物破坏的主要因素，在强震中区，纵波产生的竖向振动造成的影响也不容忽视。

1.5 震级与烈度

1.5.1 地震震级

震级是衡量一次地震强度的指标，常用 M 表示，以及反映一次地震所携带释放能量的多少。一次地震只有一个震级。目前，国际上比较常用的是里氏震级，即地震震级为：

$$M = \log A$$

式中 A 是标准地震仪（周期 0.8s，阻尼系数 0.8，放大倍数 2800 倍的地震仪）在距震中 100km 处记录的以微米（1 微米 = 10^{-6} m）为单位最大水平地动位移（单振幅）。

震级与能量的关系符合下面的对数关系式：

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

式中能量 E 的单位：尔格（1 尔格 = 10^{-7} J）。震级越大，能量越大；震级相差一级，能量相差约 32 倍；相差二级，能量相差 1000 倍。

按照震级的大小，地震按表 1.2 进行分类，如表 1.2 所示。

地震震级分类		表 1.2
地震级别	里氏震级	破坏程度
微震	2 级以下	人感觉不到
有感地震	2~4 级	人有感觉
破坏性地震	5 级以上	有破坏
强烈地震	7 级以上	有破坏
特大地震	8 级以上	有破坏

由于震源深浅、震中距大小等不同，地震造成的破坏也不同。但震级大，破坏力不一定大；震级小，破坏力不一定就小。

1.5.2 地震烈度

地震烈度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。一次地震对某一地区的影响和破坏程度称地震烈度，简称为烈度。地震烈度主要与震级、震中距离、震源深度、地震波传播介质、建筑物的动力特性和施工质量等许多因素有关。对于一次地震，表示地震大小的震级只有一个，但它对不同地点的影响是不一样的。一般来说，震级越大，烈度就越大，距离震中越远，地震影响越小，烈度就越低。等震线（等烈度线）是一次地震作用下，烈度相同地区的外包线，图 1.5 为等震线示意图。

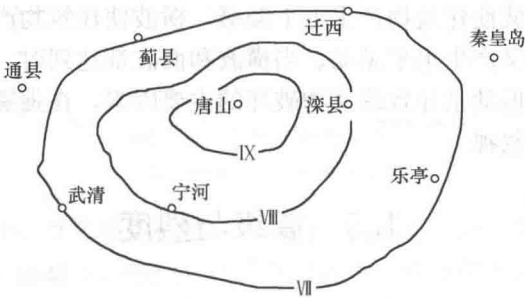


图 1.5 等震线示意图

1.5.3 地震烈度表

地震烈度表是评定烈度的标准和尺度。它以描述地震灾害宏观现象为主，即根据建筑物的破坏程度、地貌变化特征、地震时人的感觉、器物的振动反应等进行区分。我国最新的烈度表见表 1.3。

日本或欧洲则采用八个等级或十个等级的地震烈度表。

中国地震烈度表 (GB/T 17742—2008)

表 1.3

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地面运动	
		类 型	震 害 程 度	平均震 害指数		峰值加速 度(m/s ²)	峰值速度 (m/s)
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	—
IV	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	—	—
V	室内绝大多数、室外多数人有感觉;多数入梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,个别房屋抹灰出现细微细裂风,个别有檐瓦掉落,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~ 0.44)	0.03 (0.02~ 0.04)
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~ 0.89)	0.06 (0.05~ 0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好	0.11			
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~ 0.08			
VII	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	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.09~	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常见喷水冒砂,松软土地地裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~ 1.77)	0.13 (0.10~ 0.18)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.31			
		C	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.07~ 0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~	干硬土上出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~ 3.53)	0.25 (0.19~ 0.35)
		B	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.51			
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~ 0.40			
IX	行动的人摔倒	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.54~ 7.07)	0.50 (0.36~ 0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.71			
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~ 0.60			

续表

地震 烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地面运动	
		类型	震 害 程 度	平均震害指数		峰值加速度 (m/s ²)	峰值速度 (m/s)
X	骑自行车的人会摔倒,处不稳状态的人会摔离原地,有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~	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)
		B	大多数毁坏	0.91			
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~ 0.80			
XI		A	绝大多数毁坏	0.89~	地震断裂延续很大,大量山崩滑坡	—	—
		B		1.00			
		C		0.78~ 1.00			
XII	—	A	—	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

注:表中的数量词:“个别”为10%以下;“少数”为10%~45%;“多数”为40%~70%;“大多数”为60%~90%;“绝大多数”为80%以上。

1.5.4 基本烈度

规范规定的设防烈度通常是指一个地区未来50年内一般场地条件下可能遭受的具有10%超越概率的地震烈度值,相当于475年一遇的最大地震的烈度。基本烈度也称为偶遇烈度或中震烈度。它是一个地区抗震设防的依据。各地区的基本烈度由《中国地震动参数区划图》GB 18306—2001确定。

抗震设防烈度(基本烈度)和设计基本地震加速度值的对应关系如表1.4所示。

除设计基本地震加速度以外,设计特征周期也是表征地震影响的一个重要因素,特别是在抗震设计反应谱应用方面也是一个非常重要的参数。

地震设防烈度与设计加速度表 表 1.4

抗震设防烈度	6度	7度	8度	9度
设计基本加速度	0.05g	0.10(0.15)g	0.20(0.30)g	0.40g

注: g 为重力加速度。

1.5.5 设防烈度

所有抗震设防的建筑均应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008确定其抗震设防类别及其抗震设防标准,一般情况下采用抗震设防烈度。建筑的抗震设防烈度应采用根据中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度(《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010设计基本地震加速度值所对应的烈度值)。在满足一定条件下可采用抗震设防区划所提供的地震动参数。

按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度称为设防烈度。规范规定:一般情况下,可采用《中国地震动参数区划图》中的地震基本烈度。对已编制抗震设