



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

建筑抗震与 高层结构设计

主 编 周锡武 朴福顺

提供电子课件



预览、申请样书



公众号: pup2book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

建筑抗震与高层结构设计

主 编 周锡武 朴福顺
参 编 吴本英



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书作为 21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划系列教材之一,是在建筑抗震设计与高层建筑结构设计内容整合的基础上,依据我国现行规范,结合多年教学、科研及工程实践经验编著而成。

全书分为 9 章,内容包括地震与结构抗震概论,场地、地基与基础,结构地震反应分析,高层建筑发展与荷载作用,高层建筑结构设计基本规定,高层框架结构设计,高层剪力墙结构设计,高层框架-剪力墙结构设计,高层筒体结构设计简介等。本书在强调基本概念和基本理论的基础上,力求深入浅出,联系实际。为了帮助学习及执业资格考试,书中给出了学习提要、小结、相关例题及习题。

本书可作为高等院校土木工程专业的本科教材或教学参考书,也可作为注册结构工程师的考试用书和相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震与高层结构设计/周锡武, 朴福顺主编. —北京: 北京大学出版社, 2016.6

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-27088-2

I. ①建… II. ①周… ②朴… III. ①高层建筑—结构设计—防震设计—高等学校—教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 084039 号

书 名 建筑抗震与高层结构设计

Jianzhu Kangzhen yu Gaoceng Jiegou Sheji

著作责任者 周锡武 朴福顺 主编

责任编辑 刘 霁

标准书号 ISBN 978-7-301-27088-2

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 北京溢漾印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 396 千字

2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

我国是世界上地震灾害较为严重的国家之一，也是当今高层建筑快速发展的国家。地震作用是建筑抗震设计的主要研究内容，也是高层建筑结构设计最为关注的作用之一。基于《建筑抗震设计规范》和《高层建筑混凝土结构技术规程》，现行教材多分别从建筑抗震设计和高层建筑结构设计两个方面进行讲解，但两方面内容重叠较多。考虑高校学时分配及土木工程专业人才培养需要，结合多年的教学、科研和工程实践经验，我们吸收了国内外一些最新成果，组织编写了本教材。

本书适应大土木方向的教学内容要求，并结合了专业实际需要。书中以建筑工程相关规范为主线，紧密联系了高层建筑最新发展。

“建筑抗震与高层结构设计”是高等学校土木工程专业的主要专业课程之一。本书依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等国家现行规范或规程进行编写，并参考了同类优秀教材等文献资料。

本书第3、5、6章由周锡武编写，第7、8、9章由朴福顺编写，第1、2、4章由吴本英编写。在编写过程中得到北京大学出版社的大力支持，在此深表谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016年3月

目 录

第 1 章 地震与结构抗震概论	1	2.3.3 液化指数与液化等级	26
1.1 构造地震	2	2.3.4 地基抗液化措施	27
1.1.1 地球构造	2	2.4 桩基的抗震验算	28
1.1.2 地震基本知识	2	2.4.1 桩基不需抗震验算的 范围	28
1.2 地震波、震级和烈度	4	2.4.2 桩基的抗震验算	28
1.2.1 地震波	4	本章小结	30
1.2.2 地震震级	5	习题	30
1.2.3 地震烈度	6	第 3 章 结构地震反应分析	32
1.2.4 基本烈度与设防烈度	9	3.1 概述	33
1.3 地震活动性及震害	9	3.2 单自由度弹性体系的地震反应	33
1.3.1 地震活动性	9	3.2.1 计算简图	33
1.3.2 地震灾害	10	3.2.2 运动方程	34
1.4 建筑抗震设防	12	3.2.3 自由振动	35
1.4.1 抗震设防目标及实现	12	3.2.4 强迫振动	36
1.4.2 建筑抗震设防类别及 标准	13	3.3 单自由度弹性体系的地震作用 计算的反应谱	37
本章小结	14	3.3.1 水平地震作用基本公式	37
习题	15	3.3.2 地震反应谱	38
第 2 章 场地、地基与基础	17	3.3.3 标准反应谱	38
2.1 建筑场地	18	3.3.4 设计反应谱	40
2.1.1 场地土类型	18	3.3.5 重力荷载代表值	42
2.1.2 场地覆盖层厚度	19	3.4 多自由度弹性体系的水平地震 反应	43
2.1.3 场地类别	20	3.4.1 计算简图	43
2.1.4 场地的卓越周期	21	3.4.2 运动方程	44
2.2 天然地基基础抗震验算	22	3.4.3 自由振动	46
2.2.1 一般规定	22	3.4.4 振型分解法	50
2.2.2 天然地基抗震承载力	22	3.5 多自由度弹性体系的水平地震 作用	53
2.2.3 天然地基抗震承载力 验算	23	3.5.1 振型分解反应谱法	53
2.3 地基土的液化	23	3.5.2 底部剪力法	57
2.3.1 液化的概念	23	3.6 结构基本周期的近似计算	59
2.3.2 液化的判别	24		

3.6.1	能量法	59	5.2.4	变形缝设置原则	90
3.6.2	顶点位移法	60	5.2.5	结构截面尺寸初估	92
3.6.3	基本周期的修正	61	5.2.6	基础结构布置	92
3.7	竖向地震作用	61	5.3	水平位移限值和舒适度要求	93
3.7.1	高耸结构和高层建筑	61	5.3.1	多遇地震作用下水平位移 限值	93
3.7.2	屋盖结构	62	5.3.2	罕遇地震作用下水平位移 限值	94
3.7.3	其他结构	62	5.3.3	风振舒适度要求	94
本章小结		62	5.4	构件承载力计算	95
习题		63	5.4.1	计算公式	95
第4章	高层建筑发展与荷载作用	65	5.4.2	结构抗震等级	96
4.1	高层建筑的定义	66	5.5	结构简化计算原则	98
4.2	高层建筑的发展概况	66	5.6	结构概念设计	99
4.2.1	高层建筑的发展	66	本章小结		103
4.2.2	高层建筑的发展趋势	69	习题		104
4.3	高层建筑的荷载作用	70	第6章	高层框架结构设计	106
4.3.1	控制因素	70	6.1	一般规定	107
4.3.2	恒荷载	71	6.2	计算简图	109
4.3.3	活荷载	71	6.3	竖向荷载作用下的近似计算	110
4.4	风荷载	72	6.4	水平荷载作用下的内力计算	112
4.4.1	风荷载标准值	72	6.4.1	反弯点法	112
4.4.2	横风向风振	75	6.4.2	<i>D</i> 值法	114
4.4.3	总风荷载和局部荷载	75	6.5	水平荷载作用下位移的近似 计算	127
4.5	荷载效应组合	76	6.6	框架结构的内力组合	128
4.5.1	非抗震设计时的组合	76	6.6.1	控制截面及最不利内力 组合	128
4.5.2	有地震作用效应的组合	77	6.6.2	梁端弯矩调幅	129
本章小结		78	6.7	框架梁的设计	129
习题		78	6.7.1	框架梁的受力性能	129
第5章	高层建筑结构设计基本规定	80	6.7.2	框架梁承载力计算	130
5.1	高层建筑结构体系	81	6.7.3	框架梁构造要求	132
5.1.1	框架结构体系	81	6.8	框架柱的设计	133
5.1.2	剪力墙结构体系	82	6.8.1	框架柱的受力性能	133
5.1.3	框架-剪力墙结构体系	83	6.8.2	框架柱承载力计算	134
5.1.4	筒体结构体系	84	6.8.3	框架柱构造要求	136
5.1.5	巨型结构体系	84	6.9	框架节点的设计	139
5.2	高层建筑结构布置原则	85	6.9.1	框架节点的受力性能	139
5.2.1	房屋适用高度和高宽比	85			
5.2.2	结构平面布置原则	87			
5.2.3	结构竖向布置原则	88			

6.9.2 框架节点的承载力 计算	140	习题	200
6.9.3 框架节点的构造要求	141	第8章 高层框架-剪力墙结构 设计	202
本章小结	144	8.1 一般规定	203
习题	144	8.1.1 框架-剪力墙结构协同 工作性能	203
第7章 高层剪力墙结构设计	147	8.1.2 适用高度及高宽比	206
7.1 一般规定	148	8.1.3 框架-剪力墙结构的 选型布置	207
7.1.1 剪力墙结构的受力 变形特点	148	8.1.4 结构体系与框架部分分配 地震倾覆力矩比值的 大致关系	208
7.1.2 剪力墙结构概念设计	150	8.1.5 板柱-剪力墙结构的 布置	211
7.2 剪力墙结构的简化计算	153	8.1.6 板柱-剪力墙结构的 抗风设计	211
7.2.1 剪力墙结构的基本 假定	153	8.1.7 框架的剪力调整	211
7.2.2 剪力墙的分类和计算 方法	154	8.2 框架-剪力墙结构的内力和 位移计算	213
7.2.3 整体墙的计算	156	8.2.1 基本假定与计算简图	213
7.2.4 双肢墙的计算	158	8.2.2 总框架的剪切刚度和剪力墙 抗弯刚度计算	215
7.2.5 多肢墙的近似计算	172	8.2.3 框剪结构铰接体系在水平 荷载下的计算	215
7.2.6 墙肢剪切变形和轴向变形 的影响以及各类剪力墙 的划分判别方式	173	8.2.4 框剪结构铰接体系的 内力计算	217
7.2.7 小开口整体墙的计算	178	8.2.5 框剪结构刚接体系在水平 荷载下内力计算	221
7.2.8 壁式框架的近似计算	179	8.2.6 框架-剪力墙的受力和位移 特征以及计算方法应用 条件的说明	224
7.3 剪力墙结构截面设计	183	8.2.7 结构扭转的近似计算	225
7.3.1 剪力墙材料强度及截面 厚度选定	183	8.3 框架-剪力墙结构截面设计	232
7.3.2 剪力墙墙肢轴压比限值及 边缘构件设计	184	8.3.1 剪力墙的分布钢筋	232
7.3.3 墙肢内力设计值	188	8.3.2 带边框剪力墙的构造	232
7.3.4 墙肢正截面承载力 计算	188	8.3.3 板柱-剪力墙结构设计	233
7.3.5 墙肢斜截面受剪承载力 计算	191	8.3.4 板柱-剪力墙中板的 构造设计	234
7.3.6 墙肢施工缝的抗滑移 验算	192	本章小结	240
7.3.7 墙肢构造措施	192	习题	240
7.3.8 短肢剪力墙抗震设计 要求	193		
7.3.9 连梁设计	195		
本章小结	200		

第9章 高层筒体结构设计简介 244

9.1 筒体结构的类型及受力特征 245

9.1.1 框筒结构 245

9.1.2 框架-核心筒结构 246

9.1.3 筒中筒结构 247

9.1.4 束筒结构 248

9.1.5 筒体结构空间受力

特征 248

9.2 一般规定 250

9.3 筒体结构计算方法 252

本章小结 253

习题 253

参考文献 255

第1章

地震与结构抗震概论

教学目标

主要讲述地震与地震动、地震活动性与地震灾害、抗震设防目标与标准等，旨在让学生熟悉和掌握地震基本知识及抗震设计基本要求。通过学习本章，应达到以下教学目标：

- (1) 了解地震基本知识及地震灾害；
- (2) 掌握地震波、震级和地震烈度的概念，深刻理解震级与烈度的区别与联系；
- (3) 深刻理解三水准设防目标和两阶段设计方法；
- (4) 掌握建筑抗震设防类别及设防标准。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
构造地震	<ol style="list-style-type: none">(1) 了解地球构造；(2) 熟悉地震分类；(3) 熟悉板块构造学说	<ol style="list-style-type: none">(1) 地球尺度及地壳、地幔与地核；(2) 构造地震、火山地震、陷落地震、诱发地震及构造板块学说；(3) 浅源地震、中源地震和深源地震
地震波、震级和烈度	<ol style="list-style-type: none">(1) 熟悉地震波分类及特性；(2) 掌握地震度量分类及相互关系；(3) 掌握地震烈度分类及相互关系	<ol style="list-style-type: none">(1) P波、S波、R波、L波；(2) 地震震级、地震烈度；(3) 基本烈度、设防烈度
地震灾害	<ol style="list-style-type: none">(1) 了解世界及我国地震活动性；(2) 熟悉地震灾害分类	<ol style="list-style-type: none">(1) 环太平洋地震带、欧亚地震带；(2) 我国地震分布、灾害及原因；(3) 地表破坏、建筑物破坏、次生灾害
建筑抗震设防	<ol style="list-style-type: none">(1) 掌握抗震设防目标及实现；(2) 熟悉抗震设防类别及标准	<ol style="list-style-type: none">(1) 小震不坏、中震可修、大震不倒；(2) 建筑物抗震分类及抗震措施

引例

地震是一种对人类造成极大威胁的自然灾害。我国是世界上地震灾害最严重的国家之一，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。在进行某个特定类型的土木结构设计之前，需要先了解：什么是地震？如何度量地震？地震有哪些危害性？建筑抗震设防目标如何设定？这是建筑抗震

设计所必需的前期知识积累。

如果要在我国深圳某住宅小区内新建数栋高层住宅楼，场地Ⅱ类，地下室一层、二层为停车场及设备用房，地上18层为住宅楼，高度54m。作为设计者，在进行建筑抗震设计前需掌握哪些抗震基本知识？地震对高层住宅有何影响？高层住宅设防目标及标准如何确定？高层住宅楼设计如何才能满足《建筑抗震设计规范》《高层建筑混凝土结构技术规程》等国家现行规范或规程的要求？

1.1 构造地震

地震是地球内部构造运动的产物，是一种自然现象。据统计，全世界每年发生地震约500万次，其中绝大多数地震都很小而使人们难以感觉到。人们能感觉到的地震称为有感地震，占地震总数的1%左右，而能造成严重破坏的大地震，平均每年发生十几次。地震时强烈的地面运动会造成建筑物或构筑物倒塌或损坏，并可能引发火灾、水灾、山崩、滑坡及海啸等一系列灾害。

1.1.1 地球构造

地球是一个近似于球体的椭球体，平均半径约6370km，赤道半径约6378km，两极半径约6357km。从物质成分和构造特征来划分，地球可分为地壳、地幔和地核三大部分，如图1.1所示。

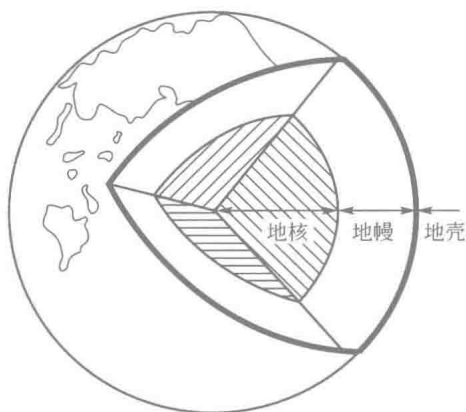


图 1.1 地球分层剖面图

1. 地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳，由各种不均匀的岩石组成。地壳厚度在全球变化很大，大陆内一般厚度16~40km，高山地区厚度更大，如我国天山地区厚度达70km，海洋下面厚度最小，一般为10~15km，最薄处约5km。

2. 地幔

地壳以下至深度约2895km的古登堡界面为止的部分为地幔，约占地球体积的5/6。地幔由质地坚硬的橄榄岩等岩石组成，其中上地幔物质结构不均匀，中、下地幔部分是比较均匀的。

3. 地核

古登堡界面以下直到地心的部分为地核，地核半径约为3500km，又可分为外核和内核。据推测，地核的物质成分主要为镍和铁。

1.1.2 地震基本知识

地震按其成因可划分为四种类型：构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震。

构造地震在建筑抗震设防中简称地震，约占四种地震发生数量的90%，其分布最广，危害最大。

关于构造地震的成因研究已有近百年历史，近期较得到公认的是板块构造学说。该学说认为，地球表面的最上层是由强度较高的岩石组成，称为岩石层，其厚度为70~100km，岩石层的下面为强度较低并带有塑性性质的软流层。地球表面的岩石层由美洲板块、非洲板块、欧亚板块、印澳板块、太平洋板块和南极洲板块等若干大板块组成，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运动，引发应力的产生与积聚。据统计，全球约85%的地震发生在板块边缘及其附近。由于地应力在某一地区逐渐增加，岩石变形也不断增加，当达到一定程度时，在岩石薄弱处突然发生断裂和错动，部分应变能突然释放，其中一部分能量以波的形式在地层中传播，这就产生了地震。

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。火山地震的影响一般较小，不至于引发较大的灾害。

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所引起的小范围内的地面震动。陷落地震所造成的危害一般也比较小。

诱发地震是由于水库蓄水或深井注水等引起的地面震动。

地质构造运动中，在断层形成的地方大量释放能量，产生剧烈振动，此处为地震的震源。震源正上方的地面位置为震中。震中附近地面运动最剧烈，也是破坏最严重的地区为震中区或极震区。地震各术语含义如图1.2所示。

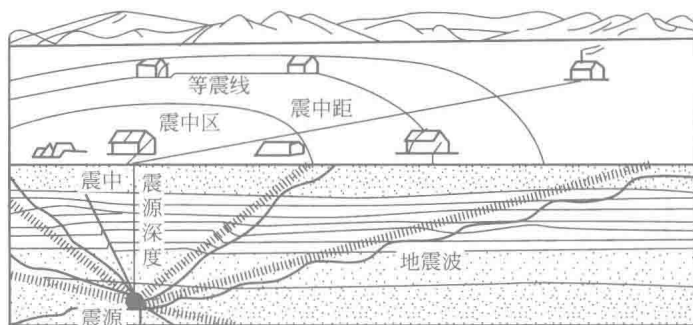


图 1.2 地震术语含义示意图

按震源深度 d ，地震又可分为：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，但所波及范围较小；深源地震波及范围较大，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，震源深度集中于5~20km，一年中全世界所有地震释放能量中约85%来自浅源地震。

1.2 地震波、震级和烈度

1.2.1 地震波

地震发生时，震源岩石断裂错动，其能量以波的形式向各方向传播，这种波就是地震波。地震波是一种弹性波，按其传播位置不同，分为体波和面波。

1. 体波

体波是指通过地球本体内部来传播的波。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(P波)和横波(S波)，如图 1.3 所示。

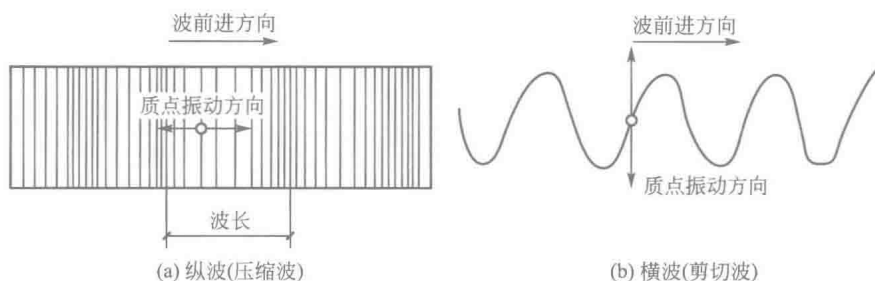


图 1.3 体波传播示意图

纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向与波的传播方向一致。纵波在固体、液体里都能传播，其特点是周期短、振幅小。纵波在震中区主要引起地面垂直方向的振动。

横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与波的前进方向垂直。横波只能在固体介质中传播，其特点是周期较长、振幅较大。横波在震中区主要引起地面水平方向的振动。

纵波波速 v_P 与横波波速 v_S 理论上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 $\mu = 0.25$ ，由上式可得：

$$v_P = \sqrt{3} v_S \quad (1-3)$$

因此,纵波的传播速度比横波的传播速度快。这就能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。

2. 面波

面波是指沿介质表面(或地球地面)及其附近所传播的波,一般可认为是体波经地层界面多次反射、折射所形成的次生波,它包含瑞雷波(R波)和洛夫波(L波)两种,如图1.4所示。

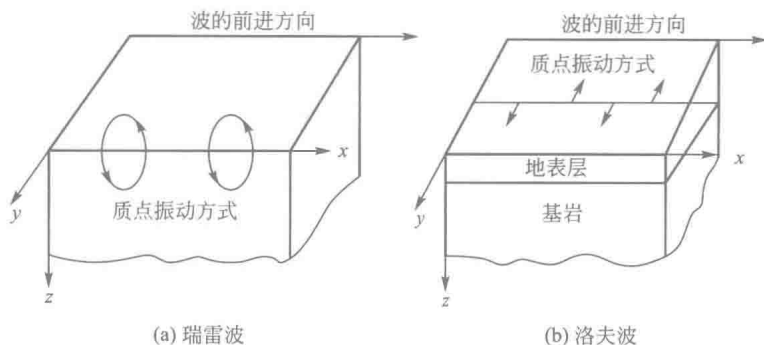


图 1.4 面波质点振动示意图

瑞雷波是纵波和横波在固体层中沿界面传播相互叠加的结果,瑞雷波传播时,质点在波的传播方向与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。瑞雷波具有随着距离地面深度增加其振幅急剧减小的特性,这可能是地震时地下建筑物比地上建筑物受害较轻的一个原因。

洛夫波的形成与波在自由表面的反射和波在两种不同介质界面上的反射、折射有关,传播时,质点在地表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。洛夫波也随着深度而衰减。

面波周期长,振幅大,比体波衰减慢,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。

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,面波却最大。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由水平振动引起,因此,由体波和面波共同造成的水平地震作用通常是最主要的地震作用。

1.2.2 地震震级

地震震级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年提出的,其采用标准地震仪(周期为0.8s、阻尼系数为0.8、放大倍数为2800的地震仪)在距离震中100km处记录以 μm ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)为单位的最大水平地面位移(振幅) A ,并以 A 的常用对数值来表示震级的大小,即

$$M = \lg A \quad (1-4)$$

式中 A ——地震记录图上得到的最大振幅。

对于震中距不是 100km 的地震台和采用非标准地震仪时，需按修正后的震级计算公式确定震级。

震级与地震释放的能量有下述关系：

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-5)$$

式中 E ——地震释放的能量。

根据上述关系，震级每增加一级，地面振幅增加约 10 倍，而能量增加约 32 倍。一次 6 级地震所释放出的能量，相当于一个 2 万吨级的原子弹所释放的能量。

一般来说， $M < 2$ 为微震， $M = 2 \sim 4$ 为有感地震， $M \geq 5$ 为破坏地震， $M \geq 7$ 为强烈地震， $M \geq 8$ 为特大地震。

1.2.3 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。一般来说，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。

为了评定地震烈度，就需要建立一个标准，这个标准就称为地震烈度表。它是以描述震害宏观现象为主的，即根据人的感觉、器物的反应、建筑物破损程度和地貌变化特征等宏观现象来综合判定划分。表 1-1 为 2008 年颁发的中国地震烈度表。

表 1-1 中国地震烈度表(GB/T 17742—2008)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		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	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	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，多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响，灰土掉落，个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝，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)

(续)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		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)
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	0.00~0.11	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				
		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	0.09~0.31	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	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好				
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好	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	0.29~0.51	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				
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			
IX	行动的人摔跤	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~0.71	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、坍方常见;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				
		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)

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		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,处于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	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

关于各种烈度划分说明如下:

(1) 表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括号内给出的是变动范围。

(2) 表中数量词中,“个别”为10%以下,“少数”为10%~50%，“多数”为50%~70%，“大多数”为60%~90%，“绝大多数”为80%以上。

(3) 评定地震烈度时, I~V度应以地面上以及底层房屋中的人的感觉和其他震害现象为主; VI~X度应以房屋震害为主,参照其他震害现象,当用房屋震害程度与平均震害指数评定结果不同时,应以震害程度评定结果为主,并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数; XI、XII度应综合房屋震害和地表震害现象。

(4) “基本完好”指承重和非承重构件完好,或个别非承重构件轻度损坏,不加修理可继续使用,震害指数0~0.10;“轻微破坏”指个别承重构件出现可见裂缝,非承重构件有明显裂缝,不需要修理或稍加修理即可继续使用,震害指数0.10~0.30;“中等破坏”指多数承重构件出现轻微裂缝,部分有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后可使用,震害指数0.30~0.55;“严重破坏”指多数承重构件破坏较严重,非承重构件局部倒塌,房屋修复困难,震害指数0.55~0.85;“毁坏”指多数承重构件严重破坏,房屋结构濒于崩溃或已倒毁,已无修复可能,震害指数0.85~1.00。

对于中浅源地震,震中烈度与震级的大致对照关系见表1-2所列。

表 1-2 地震震级与震中烈度大致关系

地震震级(M)	2	3	4	5	6	7	8	8以上
震中烈度(I ₀)	I~II	III	IV~V	VI~VII	VII~VIII	IX~X	XI	XII

1.2.4 基本烈度与设防烈度

基本烈度是指该地区在今后 50 年期限内,在一般场地条件下可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度。

设防烈度是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。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(以下简称《抗震规范》)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《抗震规范》中设计基本地震加速度对应的烈度值。抗震设防烈度与设计基本地震加速度之间的对应关系见表 1-3 所列。设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的建筑,除《抗震规范》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 1-3 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

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

注: g 为重力加速度。

我国部分主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组见《抗震规范》附录 A。

1.3 地震活动性及震害

1.3.1 地震活动性

1. 世界地震活动

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 1.5 给出了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,地球上主要有以下两个地震带。

1) 环太平洋地震带

该地震带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,再经中国台湾地区、菲律宾、印度尼西亚、新几内亚,直到新西兰。全球约有 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

该地震带西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部,再经中国西部和西南部,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,还存在沿北冰洋、大西洋和印度洋中主要山脉的狭窄浅震活动带、地震相对活跃的断裂谷(如东非洲和夏威夷群岛等)。