



世纪高等教育土木工程系列规划教材

建筑结构抗震

第2版

窦立军 主编
刘晶波 主审

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书以 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》为依据进行编写,详细阐述了建筑结构抗震设计的基本概念和抗震设计原理。本书共 8 章,主要内容包括抗震设计的基本要求,场地、地基和基础,地震作用与结构抗震验算,多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计,砌体结构房屋抗震设计,多层及高层钢结构房屋抗震设计,单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计,隔震与消能减震及非结构构件抗震设计等内容。为突出应用,本书有详细的设计步骤和相当数量的例题和思考题。

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/窦立军主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2012. 6

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-38054-2

I. ①建… II. ①窦… III. ①建筑结构 - 抗震结构 - 结构设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU352. 104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 070114 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马军平 责任编辑: 马军平 臧程程

版式设计: 霍永明 责任校对: 张 媛

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.75 印张 · 362 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-38054-2

定价: 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才 and 科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式、使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。

- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科的有关基础知识;“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通,特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

- 3) 抓住重点,合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点,

做好实践教材的同步建设,做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养,必将产生积极作用,为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江見鯨

第2版前言

地震是一种突发性的自然灾害，给人民生命和财产造成了巨大损失。我国是地震多发国家之一，大多数地区的抗震设防烈度都在6度以上，所以，结构抗震设计是建筑设计的重要内容。结构抗震是一门多学科性、综合性很强的学科，它涉及地球物理学、地质学、地震学、结构动力学及工程结构学等学科。随着学科研究的深入和震害经验的不断积累，结构抗震设计的新理论、新方法不断出现，建筑抗震设计规范是结构抗震设计新理论、新方法的集中体现。本书以GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》为依据进行编写，详细阐述了建筑结构抗震设计的基本概念和抗震设计原理。本书主要内容包括抗震设计的基本要求，场地、地基和基础，地震作用与结构抗震验算，多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计，砌体结构房屋抗震设计，多层及高层钢结构房屋抗震设计，单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计，隔震与消能减震及非结构构件抗震设计等内容。为突出应用，本书有详细的设计步骤和相当数量的例题和思考题。

本书由窦立军任主编，李玉胜任副主编。具体编写分工如下：窦立军编写第1~3章，李玉胜编写第4章，张自荣编写第5章和第8章，刘正保编写第6章，薛刚编写第7章。全书由窦立军统稿，长春工程学院卢纯恕教授为本书提出了很多宝贵意见，在这里表示衷心的感谢。清华大学刘晶波教授审阅了书稿，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编写过程中参考和引用了国内外近年来正式出版的有关建筑结构抗震的规范、教材等，在此向有关作者谨表感谢。由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

序

第2版前言

第1章 抗震设计的基本要求	1
1.1 地震基本知识	1
1.2 建筑抗震设防要求	6
1.3 建筑抗震概念设计	8
思考题	11
第2章 场地、地基和基础	12
2.1 建筑场地	12
2.2 天然地基和基础	15
2.3 液化地基判别和处理	16
思考题	20
第3章 地震作用与结构抗震验算	21
3.1 概述	21
3.2 单自由度弹性体系的地震反应	22
3.3 单自由度弹性体系地震作用计算的反应谱法	23
3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应	29
3.5 振型分解反应谱法	35
3.6 底部剪力法	39
3.7 结构基本周期的近似计算	42
3.8 平动扭转耦联振动时结构的抗震计算	45
3.9 竖向地震作用计算	47
3.10 结构抗震验算	49
思考题	53
第4章 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	55
4.1 概述	55
4.2 钢筋混凝土结构抗震设计特点及概念设计	55
4.3 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般规定	59
4.4 钢筋混凝土结构及其构件的抗震等级	60
4.5 钢筋混凝土框架的抗震设计	62
4.6 水平地震作用	71
4.7 框架-抗震墙结构和抗震墙结构的抗震设计	83
思考题	95
第5章 砌体结构房屋抗震设计	96
5.1 震害及其分析	96
5.2 砌体结构房屋抗震设计的一般规定	98

5.3 砌体结构房屋抗震验算	100
5.4 砌体房屋抗震构造措施	111
5.5 底部框架-抗震墙房屋的抗震设计	117
思考题	129
第6章 多层及高层钢结构房屋抗震设计	130
6.1 多层及高层钢结构房屋的特点	130
6.2 多层及高层钢结构房屋的抗震性能	131
6.3 多层及高层钢结构房屋的震害	134
6.4 多层及高层钢结构房屋抗震设计的一般规定	136
6.5 多层及高层钢结构房屋的抗震计算	140
6.6 钢框架结构抗震构造措施	151
6.7 钢框架-支撑结构抗震构造措施	156
6.8 多层钢结构厂房抗震设计要求	158
6.9 高层钢结构房屋抗震计算例题	163
思考题	171
第7章 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	172
7.1 震害及其分析	172
7.2 单层厂房结构抗震设计一般原则	173
7.3 单层厂房的横向抗震验算	175
7.4 单层厂房的纵向抗震验算	183
7.5 单层钢筋混凝土厂房柱抗震构造措施	205
思考题	210
第8章 隔震与消能减震及非结构构件抗震设计	211
8.1 概述	211
8.2 隔震结构房屋设计	212
8.3 消能减震结构设计	217
8.4 非结构构件抗震设计规定	222
思考题	226
参考文献	227

第 1 章

抗震设计的基本要求

地震是一种突发性的自然灾害，通常给人类带来巨大的生命和财产损失，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，但是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就是减轻地震灾害的一种积极有效的方法。

我国地处世界上两个最活跃的地震带中间，东部处于环太平洋地震带，西部和西南部处于欧亚地震带，是世界上多地震国家之一。据统计，全国 450 个城市中有 70% 以上处于地震区，而其中 80% 以上的大中城市均在地震区。由于城市人口及设施集中，地震灾害会带来严重的生命和财产损失。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。GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》^①（文中简称“规范”）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。

1.1 地震基本知识

1.1.1 地震的类型

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振动。诱发地震是由于水库蓄水或深井注水等引起的地面振动。

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%）。其他三类地震发生的概率很小，且灾害影响面也较小。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。

导致地震的起源区域叫做震源，震源通常是一定范围，但地震学中通常都把它简化成一个点来处理。震源正上方的地面位置，或震源在地表的投影叫做震中。震中附近地面运动

① 如未作特别说明，本书中均指 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》。

最剧烈,也是破坏最严重的地区,叫做震中区或极震区。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。

根据震源深度(以 d 表示),将构造地震分为浅源地震($d < 60\text{km}$)、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,在震中区附近造成危害最大,但相对而言,它所波及的范围较小。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 $5 \sim 20\text{km}$ 。

1.1.2 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。根据地壳中传播的路径不同,地震波可分为体波和面波,下面分别介绍这两种波的特点。

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。

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,介质质点间不断地被压缩与拉伸,所以纵波又称为压缩波,它可以在固体和液体里传播。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,由于横波的传播过程是介质不断受剪变形的过程,因此横波只能在固体介质中传播。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

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

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

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{1-2\mu}} \quad (1-3)$$

式中 E ——介质的弹性模量;

G ——介质的切变模量, $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$;

ρ ——介质的密度;

μ ——介质的泊松比。

从式(1-3)中可以看出,一般情况下,纵波的传播速度比横波的传播速度快。当泊松比 $\mu = 0.25$ 时, $v_p = 1.73v_s$ 。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,所以在地震时,人们先是感觉到上下颠簸,然后才左右摇摆。

2. 面波

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）和乐夫波（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。乐夫波传播时，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。面波的传播速度较慢，波周期长、振幅大、衰减慢，故能传播到很远的地方。面波使地面既产生垂直振动又产生水平振动。

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。

1.1.3 地震动特性

地震引起地面运动，称为地震动。地震动可以用地面上质点的加速度、速度和位移的时间函数来表示，这些函数关系成为地震动的时程曲线。地震动的位移、速度和加速度时程曲线可以用地震仪记录下来。地震动时程曲线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，需要用到强震地震动时程曲线，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震动时程曲线。人们一般通过记录地震动的加速度时程曲线来了解地震动的特征，对加速度时程曲线进行积分可进一步得到地面运动的速度时程曲线和位移时程曲线，下面就以加速度时程曲线来分析地震动特性。

1. 振幅

地震动的振幅是地震动的加速度时程曲线的峰值，是描述地震动强烈程度最直观的参数。在抗震设计中对结构进行时程反应分析时，往往要给出输入的最大加速度峰值，在设计用反应谱中，地震影响系数的最大值也与地震动最大加速度峰值有着直接的关系。

2. 频谱

地震动不是简单的谐和振动，而是振幅和频率都在变化的无规则振动。但是对于给定的地震动时程，总可以把它看做是由不同频率的简谐波组合而成的，这就说明地震动是由不同频谱组成的，在一次地震中不同的房屋破坏程度是不同的，如1957年、1962年和1985年三次墨西哥地震，距震中很远的墨西哥城的高层建筑破坏程度高于低层建筑。频谱是用地震动中振幅与频率关系的曲线来表示，在地震工程中常用傅里叶谱、反应谱和功率谱来表示地震动的频谱特性。

3. 持时

持时就是指地震动持续的时间。人们从震害经验总结中认识到强震持续的时间对结构破坏的重要性，有一些结构的破坏不是在一次大的地震脉冲下发生倒塌破坏，而从开裂到倒塌经过了几次、几十次甚至几百次的反复振动过程，在一次振动过程中结构不一定发生破坏，但在每一次的反复振动中结构都发生了一定损伤，当损伤积累到一定程度的时候结构就发生了破坏。很显然，在结构已发生开裂时，持续振动的时间越长，则结构倒塌的可能性就越大。由此可以看出地震动的持时是地震动的重要参数。

地震动的振幅、频谱特性和持续时间，通常被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。

1.1.4 地震震害

全世界每年发生地震几百万次,其中破坏性地震近千次,7级以上的大地震近十几次,但是地震造成的灾害是毁灭性的。1976年7月28日发生在我国河北唐山的大地震,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人民币,是20世纪一次死亡人数最多的地震。1995年1月17日发生在日本神户的地震,该次地震造成的死亡人数近5438人,经济损失超过1000亿美元,是20世纪一次造成经济损失最大的地震。

地震灾害主要表现在三个方面:地表破坏、建筑物破坏及由地震引起的各种次生灾害。

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。

地震引起的地裂缝主要有两种:构造地裂缝和重力地裂缝。构造地裂缝是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝。构造裂缝比较长,可达几千米到几十千米;也比较宽,可以达到几米甚至几十米。重力地裂缝是由于土质软硬不均及微地貌重力影响,在地震作用下形成的。重力地裂缝在地震区规模较构造地裂缝小,缝长比较短,一般从几米到几十米;宽度比较小;深度较浅,一般为1~2m。地裂缝穿过的地方可引起房屋开裂和道路、桥梁、水坝等工程设施的破坏。

由地震引起的地面振动,使土颗粒间的摩擦力大大降低或链状结构破坏,土层变密实,造成松软而压缩性高的土层(如大面积回填、孔隙比大的黏性土和非黏性土),在地面下沉作用下,地面往往发生震陷,使建筑物破坏。此外,地震时,在岩溶洞和采空(采掘的土下坑道)地区也可能发生地陷。

地震时,地面的喷水冒砂现象多发生在地下水位较高、砂层埋藏较浅的平原及沿海地区。由于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,从地裂缝或土质较松软的地方冒出,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。

强烈地震作用下还常引起河岸、边坡滑坡,山崖的山石崩裂、塌方等现象。滑坡、塌方会造成公路阻塞,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

强地震引起的建筑物破坏有两类,一类是建筑物的振动破坏。这类破坏是由于地震时,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;在强烈地震作用下产生的惯性力,还可能使结构构件连接不牢、节点破坏、支撑系统失效,而导致结构丧失整体性破坏或倒塌;也可能使结构产生过大振动变形,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。另一类是地基失效引起的破坏。这类破坏是由于强烈地震引起地裂缝、地陷、滑坡和地基土液化等而导致地基开裂、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、拉裂或倒塌而破坏。

3. 次生灾害

地震不仅引起建筑物的破坏等产生灾害,还会引起火灾、水灾、有毒物质的泄漏、海

啸、泥石流等灾害,这些灾害通常叫做次生灾害。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。如1906年美国旧金山地震后的火灾,烧毁建筑物近3万栋,地震损失与火灾损失之比为1:4。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2万多人。2004年12月26日印尼苏门答腊岛附近海域特大地震,地震震级达8.9级,而由地震引发的印度洋海啸给印度尼西亚等国造成巨大人员伤亡,死亡近30万人。

1.1.5 地震震级和地震烈度

1. 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。目前国际上比较通用的是里氏震级,最早由美国学者里克特(C. F. Richter)于1935年提出,用符号 M_L 表示,其给出的里氏震级计算公式为

$$M_L = \lg A - \lg A_0 \quad (1-4)$$

式中 A ——地震记录图上量得的最大水平位移(μm);

$\lg A_0$ ——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,如必须使用标准的地震仪(周期为0.8s,阻尼系数为0.8,放大倍率为2800倍)来记录。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。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

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

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

由式(1-5)可以得到,震级每增加一级,地震释放的能量约增大32倍。根据震级 M_L 的大小,可将地震分为:微震($M_L \leq 2$),人们感觉不到;有感地震($M_L = 2 \sim 4$),人们能够感觉到;破坏地震($M_L \geq 5$),会引起不同程度破坏;强烈地震($M_L \geq 7$),可能会造成很大破坏;特大地震($M_L \geq 8$),可能造成严重破坏。

2. 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。

3. 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。新区划图,即 GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》,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。附录Ⅱ中给出了《建筑抗震设计规范》提供的与新《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。附录Ⅱ中给出的设计基本地震加速度的取值与《中国地震动参数区划图》中所规定的“地震动峰值加速度”相当。

抗震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。《建筑抗震设计规范》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。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 1-1。设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的建筑,除《建筑抗震设计规范》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 1-1 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。

1.2 建筑抗震设防要求

1.2.1 抗震设防目标

工程抗震设防的目的是在一定的经济条件下,最大限度地限制和减轻建筑物由地震引起的破坏,保障人员的安全,减少经济损失。为了实现这一目的,《建筑抗震设计规范》提出了“小震不坏,中震可修,大震不倒”三个水准的抗震设防目标。

第一水准:当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时,建筑物一般不受损坏或不需修理仍可继续使用。对应于“小震不坏”,要求建筑结构满足多遇地震作用下的承载力极限状态验算要求及建筑的弹性变形不超过规定的弹性变形限值。

第二水准:当遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时,建筑物可能损坏,但经一般修理或不需修理仍可继续使用。对应于“中震可修”,要求建筑结构具有相当的延性能力(变形能力),不发生不可修复的脆性破坏。

第三水准:当遭受高于本地区设防烈度预估的罕遇地震影响时,建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。对应于“大震不倒”,要求建筑结构具有足够的变形能力,其弹塑性变形不超过规定的弹塑性变形限值。

根据对我国一些主要地震区的地震危险性分析结果,50 年内超越概率为 63.2% 的地震烈度称为多遇地震烈度(又称为小震烈度),所对应的地震水准为多遇地震(小震);50 年内的超越概率为 10% 的地震烈度为抗震设防烈度(又称为基本烈度),所对应的地震水准为设防烈度地震(中震);50 年内超越概率为 2% ~ 3% 的地震烈度称为罕遇地震烈度,所对应的地震水准为罕遇地震(大震)。根据统计分析,若以基本烈度为基准,则多遇烈度比基

本烈度约低 1.55 度，而罕遇烈度比基本烈度约高 1 度。

1.2.2 两阶段设计方法

建筑结构的抗震设计应满足上述三水准的抗震设防要求。为实现此目标，《建筑抗震设计规范》采用了简化的两阶段设计方法。

第一阶段设计是承载力验算，按第一水准多遇地震烈度对应的地震作用效应和其他荷载效应的组合验算结构构件的承载能力和结构的弹性变形。

第二阶段设计是弹塑性变形验算，按第三水准罕遇地震烈度对应的地震作用效应验算结构的弹塑性变形。

通过第一阶段设计，将保证第一水准下的“小震不坏”要求。通过第二阶段设计，使结构满足第三水准下的“大震不倒”要求。在设计中，通过良好的抗震构造措施使第二水准的要求得以实现，从而满足“中震可修”的要求。

在实际抗震设计中，只有对特殊要求的建筑、地震时易倒塌的结构及有明显薄弱层的不规则结构，除进行第一阶段设计外，还要进行结构薄弱部位的弹塑性层间变形验算并采取相应的抗震构造措施，实现第三水准的设防要求。

1.2.3 建筑抗震设防分类和设防标准

对于不同使用性质的建筑物，地震破坏造成的后果的严重性是不一样的。因此，建筑物的抗震设防应根据其使用功能的重要性和破坏后果而采用不同的设防标准。GB 50223—2008《建筑工程抗震设防分类标准》根据建筑使用功能的重要性，将建筑抗震设防分为甲、乙、丙、丁四个类别。

甲类建筑：重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑。如可能产生大爆炸、核泄露、放射性污染、剧毒气体扩散的建筑。

乙类建筑：地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑。如城市生命线工程（供水、供电、交通、消防、医疗、通信等系统）的核心建筑。

丙类建筑：除甲、乙和丁类以外的一般建筑。如一般的工业与民用建筑、公共建筑等。

丁类建筑：抗震次要建筑。如一般的仓库、人员较少的辅助建筑物等。

对于不同的抗震设防类别，在进行建筑抗震设计时，应采用不同的抗震设防标准。《建筑工程抗震设防分类标准》规定：

甲类建筑，地震作用应高于本地区抗震设防烈度的要求，其值应按批准的地震安全性评价结果确定；抗震措施，当抗震设防烈度为 6~8 度时，应符合本地区抗震设防烈度提高 1 度的要求，当为 9 度时，应符合比 9 度抗震设防更高的要求。

乙类建筑，地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求（6 度时可不进行计算）；抗震措施，一般情况下，当抗震设防烈度为 6~8 度时，应符合本地区抗震设防烈度提高 1 度的要求，当为 9 度时，应符合比 9 度抗震设防更高的要求；地基基础的抗震措施，应符合有关规定。

丙类建筑，地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求（6 度时可不进行计算）；抗震措施，应符合本地区抗震设防烈度的要求。

丁类建筑，一般情况下，地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求（6 度时可不进行

计算);抗震措施,允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低,但抗震设防烈度为6度时不应降低。

1.3 建筑抗震概念设计

建筑抗震设计一般包括三个方面:概念设计、抗震计算和构造措施。所谓概念设计是指根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想,进行建筑和结构的总体布置并确定细部构造的过程,概念设计在总体上把握抗震设计的基本原则;抗震计算为建筑抗震设计提供定量手段;构造措施则可以在保证结构整体性、加强局部薄弱环节等意义上保证抗震计算结果的有效性。抗震设计上述三个层次的内容是一个不可割裂的整体,忽略任何一部分,都可能造成抗震设计的失败。

建筑抗震概念设计一般主要包括以下几个内容:注意场地选择和地基基础设计,把握建筑结构的规则性,选择合理抗震结构体系,合理利用结构延性,重视非结构因素,确保材料和施工质量。

1.3.1 场地和地基

选择建筑场地时,应掌握地震活动情况和工程地质的有关资料,宜选择有利地段,避开不利场地,严禁在危险地段建造甲、乙类建筑,不应建造丙类建筑。建筑场地为Ⅰ类时,甲、乙类建筑应允许按本地区设防烈度要求采取抗震构造措施;丙类建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低1度的要求采取抗震构造措施,但抗震设防烈度为6度时应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

地基和基础设计应符合下列要求:

1) 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。

2) 同一结构单元不宜部分采用天然地基,部分采用桩基;当采用不同基础类型或基础埋深显著不同时,应根据地震时两部分地基基础的沉降差异,在基础、上部结构的相关部位采取相应措施。

3) 地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时,应根据地震时地基不均匀沉降或其他不利影响,采取相应的措施。

山区建筑的场地和地基基础应符合下列要求:

1) 山区建筑场地勘察应有边坡稳定性评价和防治方案建议;应根据地质、地形条件和使用要求,因地制宜设置符合抗震设防要求的边坡工程。

2) 边坡设计应符合 GB 50330—2002《建筑边坡工程技术规范》的要求;其稳定性验算时,有关的摩擦角应按设防烈度的高低相应修正。

3) 边坡附近的建筑基础应进行抗震稳定性设计。建筑基础与土质、强风化岩质边坡的边缘应留有足够的距离,其值应根据设防烈度的高低确定,并采取措施避免地震时地基基础破坏。

1.3.2 建筑结构的规则性

建筑结构不规则可能造成较大地震扭转效应,产生严重应力集中,或形成抗震薄弱层。

因此，在建筑抗震设计中，应重视建筑物的平面、立面和竖向剖面的规则性对抗震性能及经济合理性的影响，宜择优选用规则的形体，其抗侧力构件的平面布置宜规则对称，侧向刚度沿竖向宜均匀变化。竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小，避免抗侧力结构的侧向刚度和承载力突变而形成薄弱层。

建筑结构的不规则类型可分为平面不规则（见表 1-2）和竖向不规则（见表 1-3）。当采用不规则建筑结构时，应按《建筑抗震设计规范》的要求进行水平地震作用计算和内力调整，并应对薄弱部位采取有效的抗震构造措施。

对体型复杂、平立面特别不规则的建筑结构，可按实际需要在适当部位设置防震缝，形成多个较规则的结构单元，但应注意使设缝后形成的结构单元的自振周期避开场地的卓越周期。

表 1-2 平面不规则的类型

不规则类型	定 义
扭转不规则	在规定的水平力作用下，楼层的最大弹性水平位移（或层间位移）大于该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的 1.2 倍
凹凸不规则	平面凹进的尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 30%
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，如有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该层楼面面积的 30%，或较大的楼层错层

表 1-3 竖向不规则的类型

不规则类型	定 义
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%；除顶层或凸出屋面小建筑外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（桩、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等）向下传递
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%

1.3.3 抗震结构体系

大量地震还表明，采取合理的抗震结构体系，加强结构的整体性，增强结构各个构件是减轻地震破坏、提高建筑物抗震能力的关键。结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

(1) 建筑抗震结构体系的选择要求 在选择建筑抗震结构体系时，应注意符合下列各项要求：

- 1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。
- 2) 宜有多道抗震防线，应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。在建筑抗震设计中，可以利用多种手段实现设置多道防线的目的，如增加结构超静定数、有目的地设置人工塑性铰、利用框架的填充墙、设置消能元件或消能装置等。
- 3) 应具备必要的抗震承载力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力。结构抵抗强烈地震的能力主要取决于其吸能和消能能力，这种能力依靠结构或构件在预定部位产生塑性

铰,即结构可承受反复塑性变形而不倒塌,仍具有一定的承载能力。为实现上述目的,可利用结构各部位的联系构件形成消能元件,或将塑性铰控制在一系列有利部位,使这些并不危险的部位首先形成塑性铰或发生可以修复的破坏,从而保护主要承重体系。

4) 宜具有合理的刚度和承载力分布,避免因局部削弱或突变形成薄弱部位,产生过大的应力集中或塑性变形集中;对可能出现的薄弱部位,应采取措施提高抗震能力。

5) 结构在两个主轴方向的动力特性宜相近。

(2) 结构构件的设计要求 对结构构件的设计应符合下列要求:

1) 砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱,或采用约束砌体、配筋砌体等。

2) 混凝土结构构件应控制截面尺寸和受力钢筋、箍筋的设置,防止剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固粘结破坏先于钢筋破坏。

3) 预应力混凝土的构件,应配有足够的非预应力钢筋。

4) 钢结构构件的尺寸应合理控制,避免局部失稳或整个构件失稳。

5) 多、高层的混凝土楼、屋盖宜优先采用现浇混凝土板。当采用预制装配式混凝土楼、屋盖时,应从楼盖体系和构造上采取措施确保各预制板之间连接的整体性。

(3) 构件连接要求 结构各构件之间应可靠连接,保证结构的整体性,应符合下列要求:

1) 构件节点的破坏不应先于其连接的构件。

2) 预埋件的锚固破坏不应先于连接件。

3) 装配式结构构件的连接应能保证结构的整体性。

4) 预应力混凝土构件的预应力钢筋宜在节点核心区以外锚固。

5) 各种抗震支撑系统应能保证地震时结构的稳定。

1.3.4 非结构构件

非结构构件包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备。为了防止附加震害,减少损失,应处理好非承重结构构件与主体结构之间的关系:

1) 附着于楼、屋面结构上的非结构构件,以及楼梯间的非承重墙体,应与主体结构有可靠的连接或锚固,避免地震时倒塌伤人或砸坏重要设备。

2) 框架结构的围护墙和隔墙,应估计其设置对结构抗震的不利影响,避免不合理设置而导致主体结构的破坏。

3) 幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接,避免地震时脱落伤人。

4) 安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接,应符合地震时使用功能的要求,且不应导致相关部件的损坏。

1.3.5 结构材料与施工

建筑结构材料及施工质量的好坏直接影响建筑物的抗震性能。因此,《建筑抗震设计规范》对结构材料性能指标提出了最低要求,对施工中的钢筋代换也提出了具体要求。抗震结构对材料和施工质量的特殊要求应在设计文件上注明,并应保证切实执行。