



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑结构抗震设计

薛建阳 朱丽华 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑结构抗震设计

主 编	薛建阳	朱丽华
编 写	李 波	侯 健
	张俊峰	徐亚洲
主 审	童岳生	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。全书共分10章,主要内容为地震与建筑结构抗震概论,建筑场地、地基和基础,结构地震反应分析与抗震验算,建筑结构抗震概念设计,多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计,多层砌体结构房屋抗震设计,单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计,钢结构房屋抗震设计,隔震与消能减震,以及建筑抗震性能化设计概论。本书是根据我国最新的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)编写而成的。对于主要的建筑结构给出了比较完整的抗震设计实例,每章后都附有小结和思考题,便于初学者掌握基本概念和计算方法。

本书可作为普通高等院校土木工程专业教材,也可供教师和专业技术人员在科研、设计和施工时参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/薛建阳,朱丽华主编. —北京:中国电力出版社,2011.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2391-9

I. ①建… II. ①薛…②朱… III. ①建筑结构-抗震设计-高等学校-教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第239269号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年2月第一版 2012年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15印张 360千字

定价 26.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

地震是一种严重的自然灾害,类似中国汶川 8.0 级、日本东北部 9.0 级这样的特大地震能在瞬间给人类造成巨大的灾难,而且这些地震引发的次生灾害造成的影响也是深远的。为了有效防御地震灾害,减轻地震损失,对建筑结构进行抗震设防是非常有必要的。因此,结构抗震设计也是建筑结构设计的一项重要内容。

本书紧密结合当前国内外在结构抗震领域取得的研究成果,依据我国最新的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)编写而成。本书注重理论与实际相结合,力求对基本概念叙述清楚,使读者通过对相关内容的学习,掌握建筑结构抗震设计的方法。书中对主要的建筑结构给出了具体的设计实例,有利于初学者对基本概念的理解和设计方法的掌握。每章后还有小结和思考题,有利于学生自学、巩固和熟练应用相关知识。

本书是由西安建筑科技大学组织相关院校的教师编写的,具体分工为:西安建筑科技大学薛建阳编写第 1、10 章,朱丽华编写第 2、7 章,徐亚洲编写第 3 章;西安交通大学侯健编写第 4、6 章,长安大学李波编写第 5、9 章,郑州大学张俊峰编写第 8 章。附录由薛建阳整理。全书由薛建阳、朱丽华任主编。

西安建筑科技大学资深教授童岳生先生审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

本书在编写过程中参阅了大量的国内外文献,引用了一些专家学者的研究成果,在此特向有关作者表示感谢!

衷心希望本书能为广大读者的学习和工作提供帮助。限于编者水平,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 7 月

目 录

前言

第1章 地震与建筑结构抗震概论	1
1.1 地震基本知识	1
1.2 地震动特性	5
1.3 地震震害	6
1.4 建筑结构抗震设防	8
本章小结	10
思考题	11
第2章 建筑场地、地基和基础	12
2.1 建筑场地	12
2.2 天然地基与基础的抗震验算	15
2.3 场地土的液化与抗液化措施	17
本章小结	22
思考题	22
第3章 结构地震反应分析与抗震验算	24
3.1 概述	24
3.2 单自由度结构弹性水平地震反应	25
3.3 单自由度结构弹性水平地震作用的反应谱理论	28
3.4 多自由度结构动力特性分析	32
3.5 多自由度结构弹性水平地震作用	41
3.6 结构竖向地震作用计算与地震扭转效应	50
3.7 结构抗震验算	51
本章小结	54
思考题	55
第4章 建筑结构抗震概念设计	56
4.1 概述	56
4.2 建筑场地的选择	56
4.3 合理的抗震房屋体型和结构布置	57
4.4 结构体系的选择	61
4.5 提高结构抗震性能的措施	63
本章小结	64
思考题	65
第5章 多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计	66
5.1 震害及其分析	66

5.2	结构选型及结构布置	68
5.3	钢筋混凝土框架结构抗震设计	71
5.4	抗震墙结构的抗震设计	93
5.5	框架-抗震墙结构的抗震设计	100
	本章小结	107
	思考题	108
第6章	多层砌体结构房屋抗震设计	109
6.1	震害及其分析	109
6.2	抗震设计的一般规定	110
6.3	多层砌体结构房屋抗震计算	112
6.4	多层砌体结构房屋抗震构造措施	118
6.5	多层砌体结构房屋抗震设计实例	122
	本章小结	126
	思考题	126
第7章	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	127
7.1	震害及其分析	127
7.2	抗震设计的一般规定	129
7.3	横向抗震计算	130
7.4	纵向抗震计算	142
7.5	抗震构造措施	146
	本章小结	153
	思考题	153
第8章	钢结构房屋抗震设计	154
8.1	震害及其分析	154
8.2	多高层钢结构房屋抗震设计	156
8.3	单层钢结构厂房抗震设计	176
8.4	高层钢结构房屋抗震计算例题	183
	本章小结	190
	思考题	190
第9章	隔震与消能减震	192
9.1	结构抗震设计思想的演化与发展	192
9.2	隔震原理与方法	193
9.3	减震原理与方法	196
	本章小结	200
	思考题	201
第10章	建筑抗震性能化设计概论	202
10.1	概述	202
10.2	性能化设计的针对性和灵活性	202
10.3	可供选择的性能目标	203

10.4 性能化设计计算注意事项.....	205
10.5 结构构件承载力验算表达式.....	206
10.6 结构竖向构件弹塑性变形验算.....	206
本章小结.....	207
思考题.....	207
附录1 我国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	208
附录2 中国地震烈度表	222
附录3 框架柱反弯点高度比	224
参考文献.....	230



第1章 地震与建筑结构抗震概论

地震是一种突发的自然现象,会给人类的生命和财产安全带来巨大威胁,其产生的影响也是长久的。目前,科学技术还不能准确地预测和控制地震的发生,但是可以应用现代科学技术来减轻和防止地震灾害。了解地震动及其对结构的作用,对建筑结构进行抗震分析及抗震设计就是抵御和减轻房屋地震灾害的一种有效方法。

1.1 地震基本知识

1.1.1 地球的构造

地球是一个近似于球体的椭球体,平均半径约 6370km,由外到内可分为三大部分:地壳、地幔和地核,如图 1-1 所示。

1. 地壳

地壳很薄,平均厚度约 30~40km,由各种不均匀的岩层构成。除地壳表面的沉积层外,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。绝大多数地震均发生在这一层。

2. 地幔

地幔厚约 2900km,主要由质地坚硬的橄榄岩组成。从地下 20km 到地下 700km 深度,其温度由大约 600℃ 上升到 2000℃,在这一范围内的地幔中存在着一个软流层。由于温度分布不均匀及地球的自转作用,就发生了地幔中物质的对流,导致内部不平衡压力的产生。

3. 地核

地核是地球的核心部分,厚约 3500km,可分为外核和内核。其主要构成物质是镍和铁。据推测,外核可能是液态,而内核可能是固态。

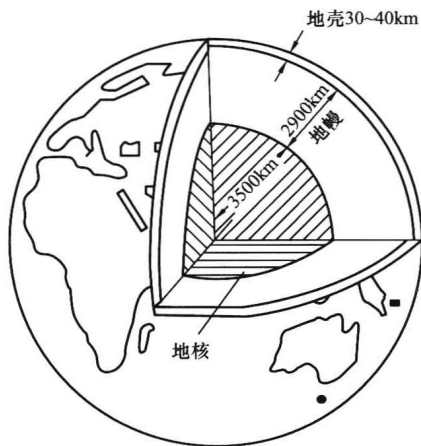


图 1-1 地球的组成

1.1.2 地震的类型及成因

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。

由于地球运动,推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震称为构造地震,如图 1-2 所示。由于火山爆发,岩浆猛烈冲出地面而引起的地震称为火山地震。由于地表或地下岩层突然发生大规模的陷落和崩塌所引起的小范围的地面振动称为陷落地震。由于水库蓄水或深井注水等引起的地面振动称为诱发地震。

上述 4 种类型的地震中,构造地震分布最广,危害最大,发生次数最多(约占发震总数的 90% 以上)。其他 3 种类型的地震发生概率小,且影响范围和破坏程度相对较小。因此,本书将重点讲述构造地震。

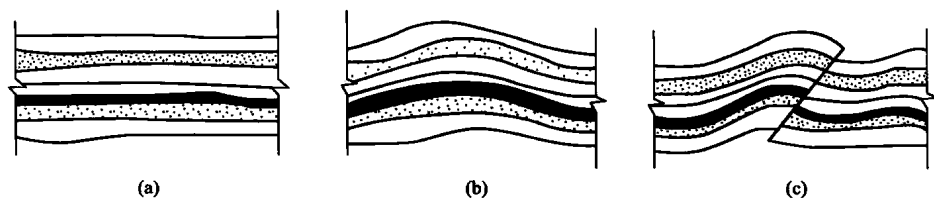


图 1-2 构造地震的形成

(a) 岩层原始状态；(b) 受力后发生褶皱变形；(c) 岩层断裂产生震动

关于构造地震的成因，较为公认的是板块构造学说。它认为，地球表面的岩石层不是一块整体，而是被一些活动的构造带，如海岭、岛弧、平移大断层等割裂成若干板块，主要有欧亚板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、澳洲板块和南极板块六大板块。它们又可分为若干小板块。各板块之间由于岩石层下面的地幔软流层的对流作用而产生相互运动，致使板块之间相互挤压和顶撞，使岩层产生断裂和错动，引发地震。

在宏观地震资料调查和地震台观测数据研究的基础上，可以得到世界上两条主要的地震活动带：

(1) 环太平洋地震带。它沿南、北美洲西海岸，阿留申群岛，转向西南到日本列岛，再经我国台湾省，达菲律宾、新几内亚和新西兰；全球约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震和几乎所有的深源地震都集中在这一地带。

(2) 欧亚地震带。它西起大西洋的亚速岛，经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区、过缅甸至印度尼西亚与太平洋地震带相衔接，总长 20 000 多千米，穿越欧亚两大洲。除太平洋地震带的几乎所有中源地震和一些大的浅源地震都发生在这一活动带。

此外，在北冰洋、大西洋和印度洋中也有呈条形分布的狭窄地震带。

我国东临环太平洋地震带，南接欧亚地震带，地震活动相当活跃。我国的地震带主要有两条：

(1) 南北地震带。它北起贺兰山，向南经六盘山，穿越秦岭沿四川西部至云南省东北，纵贯南北。

(2) 东西地震带。主要的东西构造带有两条，北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸，直至辽宁北部的千山一带；南面的一条自帕米尔高原起，经昆仑山、秦岭，直到大别山区。

据统计，全国除个别省份（如浙江、江西）外，绝大部分地区都发生过较强烈的地震。我国台湾省大地震最多，新疆、西藏次之，西南、西北、华北和东南沿海地区也是破坏性地震较多的地区。

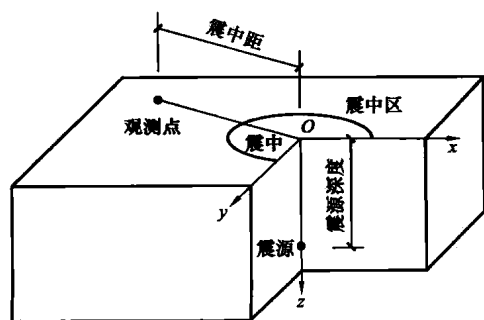


图 1-3 地震术语示意图

地层构造运动中，在断层形成的地方大量释放能量，产生剧烈振动，此处称为震源，它是地球内部发生地震的地方。震源正上方的地面位置，即震源在地面上的垂直投影称为震中。震中附近地面运动最剧烈，也是破坏最为严重的地区，称为震中区或极震区。地面某处到震中的水平距离称为震中距。震源到震中的垂直距离称为震源深度，如图 1-3 所示。

按震源的深浅，地震可分为浅源地震、中源

地震和深源地震。浅源地震的震源深度在 60km 以内, 所释放的地震能量占总地震释放能量的 85%。浅源地震波及范围较小, 但在震中区附近造成的危害较大。中源地震的震源深度在 60~300km 范围内, 它所释放的地震能量约占地震释放总能量的 12%。深源地震的震源深度在 300km 以上, 它所释放的地震能量约占地震释放总能量的 3%。深源地震波及的范围较大, 但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, 震源深度在 30km 以内的占多数。

1.1.3 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。地震波是一种弹性波。按其在地壳中传播路径的不同, 可分为体波和面波。

1. 体波

在地球内部传播的波称为体波。根据介质质点振动方向与波传播方向的不同又可分为纵波和横波, 或称 P 波和 S 波。

当介质质点的振动方向与波的前进方向一致时称为纵波, 又称压缩波或疏密波 [图 1-4 (a)], 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。

当介质质点的振动方向与波的前进方向垂直时称为横波, 又称剪切波 [图 1-4 (b)]。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。

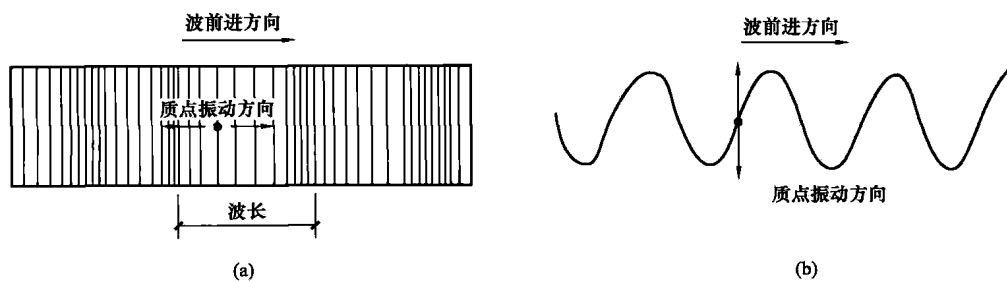


图 1-4 体波质点振动形式

(a) 纵波; (b) 横波

根据弹性理论, 纵波的传播速度 v_p 与横波的传播速度 v_s 可分别按式 (1-1) 和式 (1-2) 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 ——介质的剪变模量, $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$;

ρ ——介质的密度;

μ ——介质的泊松比。

在一般情况下,当 $\mu=0.22$ 时,由式(1-1)和式(1-2)可得

$$v_p = 1.67v_s \quad (1-3)$$

可见,纵波的传播速度比横波传播的速度要快,纵波先到达地面,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。因此在地震时,人们往往先是感觉到上下震颤,然后才左右摆动。

2. 面波

面波是体波经地层界面多次反射、折射所形成的次生波,它包括瑞雷波(R波)和洛夫波(L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(xz 平面)

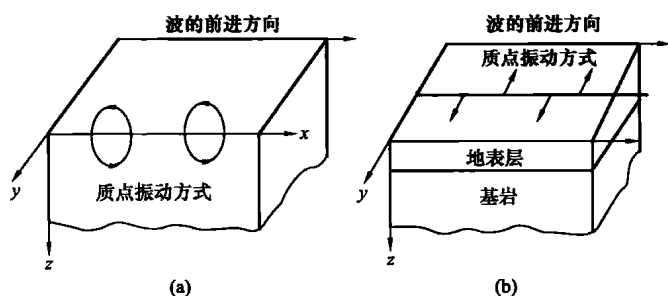


图 1-5 面波质点振动形式

(a) 瑞雷波; (b) 洛夫波

做与波前进方向相反的椭圆运动,而在与该平面垂直的水平方向(y 方向)没有振动,在地面上表现为滚动形式[图 1-5 (a)]。洛夫波传播时,质点在地平面内产生与波前进方向相垂直的水平方向(y 方向)运动,在地面上表现为蛇形运动[图 1-5 (b)]。面波振幅大、周期长,只在地表附近传播,比体波衰减慢,故能传播到很远的地方。

综上所述,地震波的传播速度以纵波最快,横波次之,面波最慢。而就振幅而言,面波的振幅最大,地面振动最猛烈。

1.1.4 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大小的一种尺度。目前,国际上比较通用的是里氏震级,最早是由美国学者 C. F. Richter 于 1935 年提出,即地震震级 M 为

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

式中, A 为标准地震仪(指摆的自振周期为 0.8s, 阻尼系数为 0.8, 放大倍数为 2800 倍的地震仪)在距震中 100km 处记录的以 μm 为单位的最大水平地动位移(单振幅)。

利用震级可以估计出一次地震所释放的能量,震级与地震释放的能量之间有如下关系

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

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

由式(1-5)可知,震级每增加一级,地震释放的能量约增大 32 倍。

根据震级 M 的大小,可将地震分为:微震($M \leq 2$),人们感觉不到;有感地震($M=2 \sim 4$),人们能够感觉到;破坏性地震($M \geq 5$),会引起不同程度的破坏;强烈地震或大震($M \geq 7$),会造成较大的破坏;特大地震($M \geq 8$),会造成严重破坏。

2. 地震烈度

地震烈度是指地震时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。地震烈度与震级、震中距、震源深度、土质条件等许多因素有关。对于一次地震,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,震级越高,震中烈度越大;离震中越远,地震烈度越小;震源深度越浅,地震烈度就越高。

3. 抗震设防烈度

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。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) (简称《抗震规范》) 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。一般情况下, 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 (或与规范中设计基本地震加速度对应的烈度值)。抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值之间的对应关系见表 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 1-1 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 度	7 度	8 度	9 度
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 地震动特性

地震引起的地面运动, 称为地震动。地震动可以用地面上质点运动的加速度、速度和位移来表示。地震动最明显的特征是其随机性和不规则性。从工程实用的角度出发, 可以采用主要的几个要素来反映不规则的地震波。即通过地震动的幅值 (振幅)、频谱和持时来描述地震动的主要特性。

1. 地震动幅值

地震动幅值可以是地面运动的加速度、速度或位移的某种最大值或某种意义下的有效值。目前采用最多的地震动幅值是地面运动的最大加速度幅值, 它不仅能够直观地描述地震动的强弱程度, 而且可以用于结构的地震反应分析中, 并可作为地震烈度的参考物理指标。

2. 频谱

地震动频谱特性是指地震动对具有不同自振周期的结构的反应特性, 常用傅立叶谱、功率谱和反应谱来表示。反应谱是工程中最常用的形式, 而功率谱和傅立叶谱在数学上具有更明确的意义, 工程上也具有一定的实用价值。

震级、震中距和场地条件对地震动的频谱特性有重要影响。震级越大、震中距越远, 地震动记录中长周期成分越显著。硬土地基土的地震动记录包含较丰富的频率成分, 而软土且土层较厚场地土的地震动记录中长周期成分较为显著。另外, 震源机制对地震动的频谱特性也有重要影响。

3. 持时

持时就是地震动持续的时间, 它对结构的破坏程度有着较大的影响。在相同的地面运动加速度幅值作用下, 强震的持续时间越长, 则结构物的破坏程度越重。

实际上, 结构物在地震反复作用下都会发生一定的损伤, 随时间的持续, 当损伤累积到一定的程度结构就会发生破坏。因此可以说, 地震动持时是地震动的重要参数。

地震动幅值、频谱特性和持时, 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。

1.3 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20多次，有的地震甚至是毁灭性的。1976年7月28日发生在中国河北的唐山大地震，震级7.8级，震中烈度达到11度。该次大地震中有24万人丧生，90%以上的房屋彻底倒塌，直接经济损失近百亿元人民币，是20世纪死亡人数最多的一次地震。1995年1月17日发生在日本的阪神大地震，震级7.3级，死亡人数5400余人，受伤约3.4万人，无家可归的灾民近30万人，毁坏和倒塌建筑物约19多万幢，造成的经济损失达1000亿美元，是日本战后50年来所遭遇的最大一场灾难。2008年5月12日在中国四川汶川发生的8.0级大地震，是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广的一次地震，有近7万人遇难，1.8万人失踪，37万余人受伤，损毁房屋3000万间，造成的直接经济损失达8450亿元人民币。地震造成的影响是巨大的。

地震震害主要表现在三个方面：地表破坏、建筑物破坏和由地震引发的各种次生灾害。

1. 地表破坏

地震所造成的地表破坏主要有地裂缝、地陷、地面喷水冒砂及滑坡、塌方等。

地裂缝是地震时最常见的地表破坏（图1-6）。地裂缝的数量、长短、深浅等与地震的强烈程度、地表情况和受力特征等因素有关。地裂缝主要有两种：一种是强烈地震时由于地下断层错动延伸到地表而形成的裂缝，称为构造地裂缝，这种裂缝比较长，可以达几千米到几十千米，形状也比较规则。另一种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，称为重力地裂缝。这种地裂缝规模较小，形状大小各不相同。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使其链状结构破坏，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）发生震陷，使建筑物破坏。此外，地震时，在岩溶洞和采空（采掘的地下坑道）地区，也可能发生地陷（图1-7）。



图1-6 地裂缝



图1-7 地陷

地震时，地面的喷水冒砂现象多发生在地下水位较高、砂层埋藏较浅的地区。地震的强烈振动会使含水粉细砂层液化，地下水夹着砂土颗粒从地裂缝或土质较松软地方冒出，形成

喷水冒砂现象(图1-8)。喷水冒砂严重的地方会造成房屋下沉、倾斜、开裂和倒塌。

强烈的地震作用还常引起边坡滑坡、山石崩裂和塌方等现象,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. 建筑物破坏

地震造成的结构破坏主要有以下几种:

(1) 承重结构因承载力不足或变形过大造成的破坏。地震引起建筑物振动,产生惯性力,不仅使结构构件的内力或变形增大很多,而且往往其受力形式发生改变,导致结构因承载力不足或变形过大而破坏(图1-9)。



图1-8 砂土液化

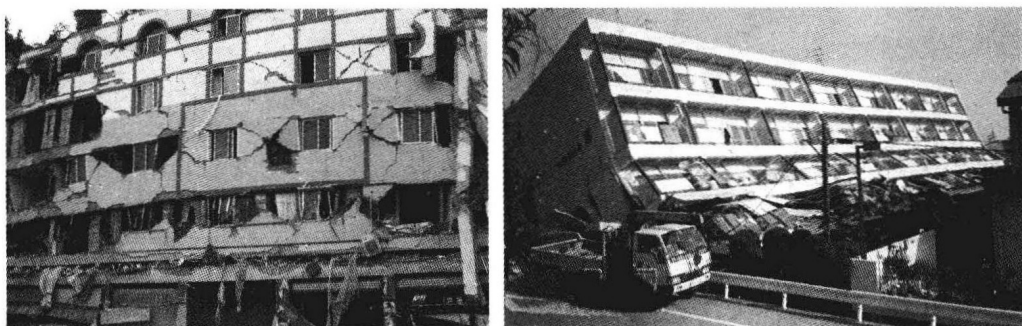


图1-9 结构因承载力不足或变形过大引起的破坏

(2) 结构丧失整体性造成的破坏。地震还可能使结构构件因连接不牢(图1-10)、锚固失效、节点破坏(图1-11)、支撑断裂而导致结构丧失整体性而破坏或倒塌。

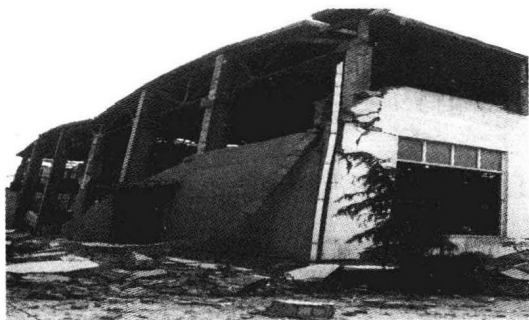


图1-10 圈梁与抗风柱连接失效

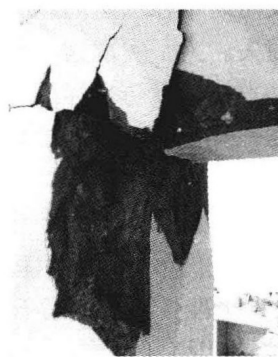


图1-11 节点破坏

(3) 地基失效引起的破坏。在强烈地震作用下,地基发生开裂、滑动或不均匀沉降,使地基土液化、地基失效或承载能力降低,最终导致建筑物倾斜、倒塌而破坏。

3. 次生灾害

强烈地震不仅会造成建筑物的破坏,还常常引起其他一些次生灾害,如火灾(图1-12)、水灾、有毒物质的泄漏、泥石流、滑坡和海啸等。这些次生灾害造成的损失有时比地震直接

带来的损失还要大,尤其是在大城市和大工业区。例如,1923年日本7.9级关东大地震引发火灾,大火连烧3天,烧毁房屋44.7万余幢,仅东京地区烧死的人数就达5.6万余人,占该地区地震中死亡人数的80%。1970年秘鲁最大的渔港钦博特市发生7.6级强烈地震,瓦斯卡兰山峰因地震发生岩崩,形成巨大的泥石流,其时速达250~400km,把容加依市约2.3万人吞没。2011年3月11日,日本东北部海域发生9.0级地震并引发海啸(图1-13),造成大量人员伤亡和财产损失。海啸最大浪高达38.9m,影响到太平洋沿岸的大部分地区。地震造成日本福岛第一核电站1~4号机组发生核泄漏事故,从而引发核泄漏危机。目前为止,地震及其引发的海啸造成30余万栋房屋损毁,已确认造成1.4万多人遇难,约1.2万人失踪。预计直接经济损失将高达25万亿日元。



图1-12 地震引发的火灾



图1-13 地震引发的海啸

1.4 建筑结构抗震设防

1.4.1 基本抗震设防目标

抗震设防是指在一定的经济条件下,最大限度地减轻建筑的地震破坏,避免人员伤亡,减少经济损失。为了实现这一目的,《抗震规范》提出了“小震不坏,中震可修,大震不倒”的三水准基本抗震设防目标。

(1) 第一水准:当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时,主体结构不受损坏或不需修理可继续使用;

(2) 第二水准:当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时,可能发生损坏,但经一般性修理仍可继续使用;

(3) 第三水准:当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时,不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

第一水准时,结构处于正常使用状态,从结构抗震分析角度可视为弹性体系;第二水准时,结构处于非线性工作阶段,但非线性变形或结构体系的损坏控制在可修复的范围;第三水准时,结构有较大的非线性变形,但应控制在规定的范围内,以免倒塌。

使用功能或其他方面有专门要求的建筑,当采用抗震性能化设计时,具有更具体或更高的抗震设防目标。

根据我国一些主要地震区对建筑工程有影响的地震发生概率的统计分析,50年内超越

概率为 63.2% 的地震烈度为对应于统计“众值”（出现概率最大）的烈度，取为第一水准烈度，称为多遇地震（小震），其重现期约 50 年；50 年超越概率为 10% 的地震烈度为地震基本烈度，取为第二水准烈度，称为设防地震（中震），其重现期约 475 年；50 年超越概率 2%~3% 的地震烈度取为第三水准烈度，称为罕遇地震（大震），其重现期约 2400~1600 年。地震烈度概率密度函数曲线如图 1-14 所示，由图可知，基本烈度与众值烈度相差 1.55 度，而罕遇烈度比基本烈度约高 1 度。

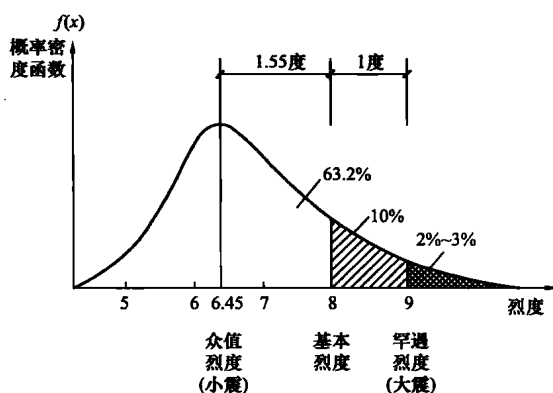


图 1-14 地震烈度概率密度函数曲线

1.4.2 两阶段设计方法

为了实现上述三水准的抗震设防目标，《抗震规范》采用了两阶段设计方法。

第一阶段设计是结构承载力及变形验算，按第一水准（多遇地震烈度）的地震动参数计算结构在弹性状态下地震作用效应，然后与其他荷载效应进行组合，验算结构构件的承载力和结构的弹性变形。

第二阶段设计是结构弹塑性变形验算，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，将满足第一水准“小震不坏”的抗震设防目标。通过第二阶段设计，将满足第三水准“大震不倒”的抗震设防目标。至于第二水准“中震可修”的抗震设防目标，是通过一定的抗震构造措施加以保证。对大多数结构，可只进行第一阶段设计，而通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的设计要求。对地震时易倒塌的结构、有明显薄弱层的不规则结构以及有专门要求的建筑，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。

1.4.3 建筑抗震设防分类和设防标准

对于不同的建筑物，地震破坏造成的后果不同。因此应当采用不同的设防标准。我国《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）按照遭受地震破坏后可能造成的人员伤亡、经济损失和社会影响的程度，以及建筑功能在抗震救灾中的作用，将建筑工程划分为 4 个抗震设防类别。

（1）特殊设防类：指使用上有特殊设施，涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果，需要进行特殊设防的建筑，简称甲类。如可能产生大爆炸、核泄漏、放射性污染、剧毒气体扩散的建筑。

（2）重点设防类：指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要提高设防标准的建筑，简称乙类。如供水、供电、交通、消防、医疗、通信等系统的核心建筑；教育建筑中，幼儿园、小学、中学的教学用房以及学生宿舍和食堂等。

（3）标准设防类：指大量的除（1）、（2）、（4）条以外按标准要求进行设防的建筑，简称丙类。如一般的工业与民用建筑、公共建筑等。

（4）适度设防类：指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害，允许在一定条件下适度

降低要求的建筑,简称丁类。如一般的仓库、人员较少的辅助建筑物等。

各抗震设防类别建筑的抗震设防标准,应符合下列要求:

(1) 标准设防类,应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用,达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。

(2) 重点设防类,应按高于本地区设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施;但抗震设防烈度为9度时应比9度更高的要求采取抗震措施。地基基础的抗震措施,应符合有关规定。同时,应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

对于划为重点设防类而规模很小的工业建筑,当改用抗震性能较好的材料且符合抗震设计规范对结构体系的要求时,允许按标准设防类设防。

(3) 特殊设防类,应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施;但抗震设防烈度为9度时按比9度更高的要求采取抗震措施。同时,应按批准的地震安全性评价的结果且高于本地区抗震设防烈度的要求确定其地震作用。

(4) 适度设防类,允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低其抗震措施,但抗震设防烈度为6度时不应降低。一般情况下,仍应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

抗震设防烈度为6度时,除《抗震规范》有具体规定外,对乙、丙、丁类建筑可不进行地震作用计算。



本章小结

1. 地震按其成因可划分为4种类型,即构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震。由于地球运动,推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震称为构造地震。这类地震分布最广,危害最大。此外,按震源深浅的不同,地震又可分为浅源地震、中源地震和深源地震。

2. 地震引起的振动以波的形式向四周传播并释放能量,形成地震波。地震波可分为体波和面波。体波又分为纵波(P波)和横波(S波)。体波周期短,振幅小,而横波周期长,振幅大。体波经地层界面多次反射、折射,投射到地面形成面波,它包括瑞雷波(R波)和洛夫波(L波)。面波振幅大,周期长,只在地表附近传播,能传播到很远的地方。

3. 地震震级是反映一次地震本身大小的一种尺度,通常用里氏震级来表示。而地震烈度是指地震时某一地区的地面和各建筑物遭受一次地震影响的强弱程度。地震烈度与震级、震中距、震源深度和土质条件等因素有关。一次地震,震级只有一个,但不同的地区则有不同的地震烈度。

4. 地震震害主要有地表破坏、建筑物破坏和次生灾害等。地震动的三要素,包括地震动幅值、频谱和持时。

5. 建筑物基本抗震设防目标为“小震不坏,中震可修,大震不倒”。为达到这一基本抗震设防目标,可以采用三个烈度水准来考虑,即多遇烈度、基本烈度和罕遇烈度。一般情况下,抗震设防烈度取基本烈度。使用功能或其他方面有专门要求的建筑,当采用抗震性能化设计时,具有更具体或更高的抗震设防目标。

6. 为了实现“三水准”抗震设防目标,采用“两阶段”设计。即第一阶段设计,按小震作用效应和其他荷载效应的基本组合验算构件的承载力,以及小震作用下验算结构的弹性