

Seismic Design of Buildings

Textbook Series of 21st Century

21 世纪高等学校规划教材

建筑抗震设计



祝英杰 主 编
刘伯权 主 审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

建筑抗震设计

主 编 祝英杰
副主编 隋杰英 高立堂
编 写 张扬扬
主 审 刘伯权



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材, 根据我国《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001) 编写。主要阐述建筑抗震设计的基本原理和方法。全书共八章, 主要内容包括建筑抗震导论; 建筑场地、地基与基础; 建筑抗震计算原理; 多层和高层钢筋混凝土结构建筑抗震设计; 多层砌体建筑抗震设计; 多层和高层钢结构建筑抗震设计; 单层工业厂房抗震设计; 建筑隔震及减震设计。

本书可作为高等院校土木工程专业教材, 也可供从事工程结构设计与施工的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震设计/祝英杰主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7 - 5083 - 4605 - X

I. 建... II. 祝... 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 (2006) 第 089487 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 345 千字

印数 0001—3000 册 定价 21.60 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

我国是地震多发国,破坏性地震造成建筑物的损坏、人员的伤亡及经济损失都是巨大的。因此,房屋建筑抗震是建筑结构设计的重要内容。本书以我国新的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)为依据进行编写,新规范吸收了国内外工程抗震方面的最新研究成果,更新了设计理念,改善了设计方法,增补了许多新内容。通过本书的学习将有助于学生及设计人员熟悉和掌握新规范内容,为工程抗震设计应用奠定良好的基础。

建筑抗震设计是高等学校土木工程专业的一门主要专业基础课,属于必修课程。本教材密切结合新《建筑抗震设计规范》内容,并结合作者多年的教学和科研实践,重点突出应用型本科教学的特点,整合建筑抗震设计的概念、原理、方法、内涵,将抗震概念设计、抗震计算及抗震构造措施三方面内容有机地统一起来,力争使本书内容精炼,浅显易懂,实用性强。本书分别介绍了地震特性及震害、建筑抗震设防要求、建筑抗震概念设计、建筑场地类别、地基与基础的抗震、地震反应分析、地震作用的计算;多高层钢筋混凝土结构、砌体结构、多高层钢结构及单层工业厂房抗震设计等内容。为使体系完整,拓宽读者知识面,本书还系统地介绍了非弹性地震反应时程分析方法及静力弹塑分析方法,还介绍了建筑隔震、减震设计的基本概念、原理及方法。为指导学生学习和掌握每章内容,书中各章开头给出了学习要求,章后附有题型多样的思考题及习题。

本教材在总结本人教学经验及成果的基础上,突出体现在以下几方面:

1. 具有突出建筑抗震概念设计、抗震计算及验算和抗震构造措施三大模块的统一性,并在各章内容编写上着重将抗震概念设计、抗震计算及验算、抗震构造措施三者的内涵依次编排,增强了教材内容的结构系统性,便于教学和学生学习和掌握。
2. 将同类教材中比较零散的单、多自由度体系的弹性地震反应分析、地震作用计算方法、建筑抗震验算等内容整合为“建筑抗震计算原理”的范畴,增强了教材内容的层次性和知识的条理性。
3. 以新的《建筑抗震设计规范》为主线,并纳入了新的内容如 push-over 法,配筋混凝土小型砌块结构体系的抗震设计等。
4. 为便于学生掌握每章的重点、难点,在各章复习思考题及习题的设计上,避开同类教材单一的“问答题”题型,而采用了问答题、判断题、选择题等丰富多样的题型,针对性和实践性强。
5. 以满足新形势下土木工程专业应用型人才的培养要求为基本出发点,充分考虑了与其他课程内容的统一协调,以基本概念、基本原理和方法为重点,以少而精为原则,叙述建筑抗震的基本知识。

本书共分八章,第一、二、三、四、五章由祝英杰编写,第六章由高立堂编写,第七章由张扬扬、隋杰英编写,第八章由隋杰英编写。全书由祝英杰任主编并统稿,长安大学刘伯权教授审阅全书,并提出宝贵意见,在此表示衷心地感谢!

由于作者水平有限,书中的不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2006年5月

目 录

前言

第一章 建筑抗震导论	1
本章学习要求	1
§ 1.1 地震特性	1
§ 1.2 地震震害综述	5
§ 1.3 建筑结构的抗震设防	7
§ 1.4 建筑抗震概念设计	9
思考题及习题	11
第二章 建筑场地、地基与基础	13
本章学习要求	13
§ 2.1 建筑场地	13
§ 2.2 地基与基础的抗震验算	15
§ 2.3 地基土的液化	17
思考题及习题	20
第三章 建筑抗震计算原理	22
本章学习要求	22
§ 3.1 概述	22
§ 3.2 单自由度弹性体系的水平地震反应分析	23
§ 3.3 单自由度体系水平地震作用的计算及反应谱法	25
§ 3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应分析	31
§ 3.5 多自由度弹性体系水平地震作用的计算	37
§ 3.6 结构基本周期的近似计算	43
§ 3.7 结构平动扭转耦合振动时地震作用的计算	45
§ 3.8 竖向地震作用的计算	48
§ 3.9 结构非弹性地震反应分析方法	50
§ 3.10 结构抗震验算	56
思考题及习题	60
第四章 多层和高层钢筋混凝土结构建筑抗震设计	62
本章学习要求	62
§ 4.1 震害特征	62
§ 4.2 抗震概念设计	64
§ 4.3 框架结构的抗震设计	69

§ 4.4 抗震墙结构的抗震设计	98
思考题及习题	105
第五章 多层砌体建筑抗震设计	107
本章学习要求	107
§ 5.1 震害特征	107
§ 5.2 抗震概念设计	108
§ 5.3 砌体建筑的抗震计算	110
§ 5.4 砌体建筑抗震构造措施	120
§ 5.5 配筋混凝土小砌块砌体抗震墙建筑抗震设计	124
思考题及习题	130
第六章 多层和高层钢结构建筑抗震设计	132
本章学习要求	132
§ 6.1 震害特征	132
§ 6.2 钢结构抗震概念设计	135
§ 6.3 钢结构抗震计算	138
§ 6.4 钢结构抗震构造措施	146
思考题及习题	151
第七章 单层工业厂房抗震设计	153
本章学习要求	153
§ 7.1 震害特征	153
§ 7.2 单层厂房抗震概念设计	155
§ 7.3 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	159
§ 7.4 单层钢结构厂房抗震计算	186
§ 7.5 单层工业厂房的抗震构造措施	188
思考题及习题	194
第八章 建筑隔震及减震设计	195
本章学习要求	195
§ 8.1 概述	195
§ 8.2 隔震原理及设计方法	196
§ 8.3 减震原理及设计方法	202
思考题及习题	208
附录 A 中国地震烈度表(1999)	209
附录 B 我国主要城市和地区的抗震设防烈度及设计地震分组	211
附录 C D值法计算用表	214
附录 D 习题参考答案	219
参考文献	220

第一章 建筑抗震导论

本章学习要求

- 熟悉地震特性及震害现象。
- 掌握地震震级、地震烈度、基本烈度、设防烈度的概念及区别。
- 深刻领会三水准设防目标及两阶段设计方法。
- 掌握建筑物抗震设防分类及其设防标准。
- 理解和掌握建筑抗震概念设计的内涵。

§ 1.1 地震特性

地震 (earthquake) 是来自地球内部构造运动的一种自然现象。地球每年平均发生 500 万次左右的地震, 其中, 强烈地震如果影响到人类, 则会造成地震灾害, 给人类带来严重的人身伤亡和经济损失。我国是多震国家, 地震发生的地域范围广, 且强度大。为了减轻建筑的地震破坏, 避免人员伤亡, 减少经济损失, 土木工程师等工程技术人员必须对建筑工程进行抗震分析和抗震设计。

1.1.1 地震类型

1. 按地震的成因分类

诱发地震: 由于人工爆破、矿山开采及兴建水库等工程活动所引发的地震。影响范围较小, 地震强度一般不大。

火山地震: 由于活动的火山喷发, 岩浆猛烈冲出地面引起的地震。主要发生在有火山的区域, 我国很少见。

构造地震: 地球内部由地壳、地幔及地核三圈层构成 (图 1-1), 其中地壳是地球外表面的一层很薄的外壳, 它由各种不均匀岩石及土组成; 地幔是地壳下深度约为 2900km 的部分, 由密度较大的超基岩组成; 地核是地幔下界面 (称为古登堡界面) 至地心的部分, 地核半径约为 3500km, 分内核和外核。从地下 2900~5000km 深处范围, 叫做外核, 5000km 以下的深部范围称内核。地球内部各部分的密度、温度及压力随深度的增加而增大。

根据板块构造学说, 地球表层主要由 6 个巨大板块组成: 美洲板块、非洲板块、亚欧板块、印度洋板块、太平洋板块、南极洲板块 (图 1-2)。板块表面岩石层厚度约为 70~100km, 板块之间的运动使板块边界地区的岩层发生变形而产生应力, 当应力积累一旦超过岩体抵抗它的承载极限时, 岩体即会发生突然断裂或错动 (图 1-3), 释放应变能, 从而引发的地震称为构造地震。构造地震发生次数多, 影响范围广, 是地震工程的主要研究对象。

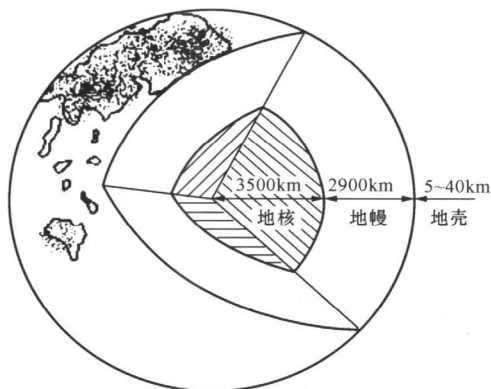


图 1-1 地球构造示意

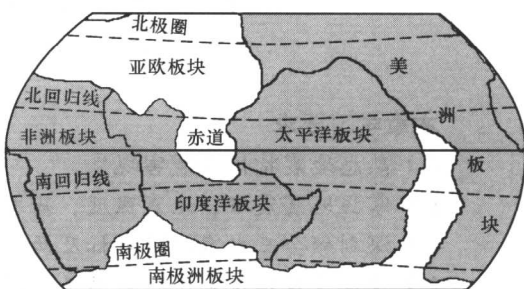


图 1-2 世界主要板块分布

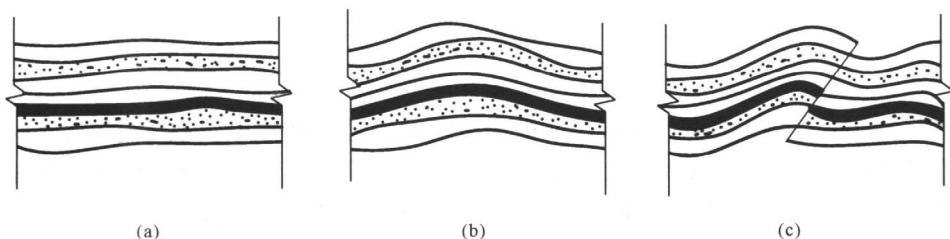


图 1-3 构造板块之间岩层的破坏过程

(a) 无地震时状态；(b) 地震前受力弯曲变形；(c) 地震时产生断裂及滑移

2. 按震源的深度分类

浅源地震：震源深度在 70km 以内的地震。

中源地震：震源深度在 70~300km 范围以内的地震。

深源地震：震源深度超过 300km 的地震。

3. 地震术语

(1) 震源：地球内岩体断裂错动并引起周围介质剧烈振动的部位称为震源。

(2) 震中：震源正上方的地面位置称为震中。

(3) 震中距：地面某处至震中的水平距离称为震中距。

(4) 震源深度：震源到震中的垂直距离。

震源和震中不是一个点，而是有一定范围的。

1.1.2 地震波

地震发生时，地球内岩体断裂、错动产生的振动，即地震动，以波的形式通过介质从震源向四周传播，这就是地震波。地震波是一种弹性波，它包括体波和面波。

体波：在地球内部传播的波称为体波。体波有纵波和横波两种形式。纵波是压缩波（P波），其介质质点运动方向与波的前进方向相同。纵波周期短、振幅较小，传播速度最快，引起地面上下颠簸；横波是剪切波（S波），其介质质点运动方向与波的前进方向垂直。横波周期长、振幅较大，传播速度次于纵波，引起地面左右摇晃（图 1-4）。

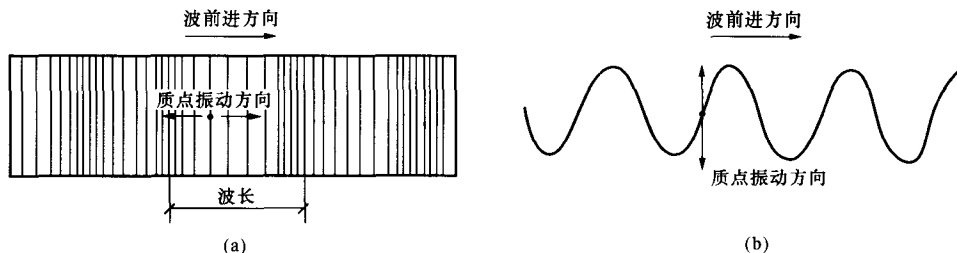


图 1-4 体波质点振动形式

(a) 纵波或压缩波; (b) 横波或剪切波

面波：沿地球表面传播的波叫做面波。面波有瑞雷波（R 波）和乐夫波（L 波）两种形式。瑞雷波传播时，质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内作逆向的椭圆运动（图 1-5）。会引起地面晃动；乐夫波传播时，质点在与波的前进方向垂直的水平方向作蛇形运动。面波速度最慢，周期长，振幅大，比体波衰减慢。

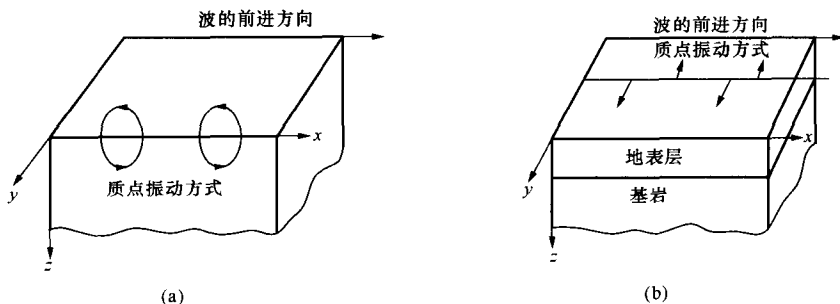


图 1-5 面波质点振动方式

(a) 瑞雷波; (b) 乐夫波

综上所述，地震时纵波最先到达，横波次之，面波最慢；就振幅而言，后者最大。当横波和面波都到达时振动最为强烈，面波的能量大，是引起地表和建筑物破坏的主要原因。由于地震波在传播的过程中逐渐衰减，随震中距的增加，地面振动逐渐减弱，地震的破坏作用也逐渐减轻。

1.1.3 地震动

地震发生时，由于地震波的传播而引起的地面运动，称为地震动。地震动的位移、速度和加速度可以用仪器记录下来。人们可以根据强震记录的加速度了解和研究地震动的特征，利用加速度记录，可以对建筑结构进行直接动力时程分析以及绘制地震反应谱曲线；对加速度记录进行积分，可以得到地面运动的速度和位移（图 1-6）。一般而言，一点处的地震动在空间具有 6 个方向的分量（3 个平动分量和 3 个转动分量），目前，一般只能获得平动分量的记录。

实际上，地震动是多种地震波综合作用的结果。因此，地震动的记录信号是不规则的。但通过分析，我们可以采用几个有限的要素来反映不规则的地震波。例如，通过最大振幅，可以定量反映地震动的强度特性；通过对地震记录的频谱分析，可以揭示地震动的周期分布特征；通过对强震持续时间的定义和测量，可以考察地震动循环作用程度的强弱。地震动的峰值（最大振幅）、频谱和持续时间，通常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。

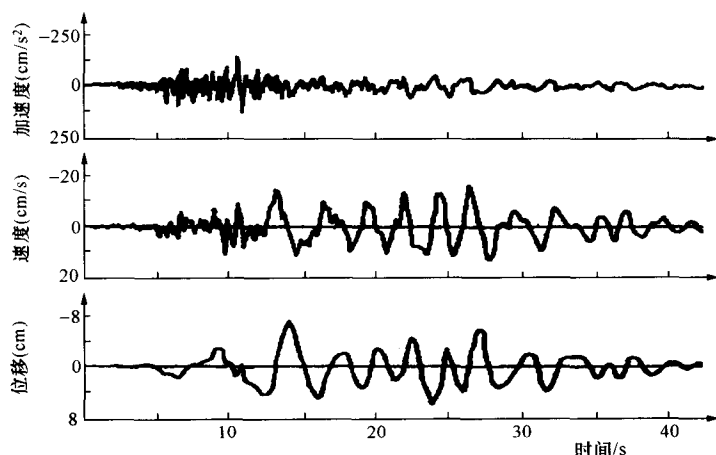


图 1-6 某强震记录 (加速度、速度、位移)

1.1.4 地震震级

地震震级 (magnitude) 是表示一次地震时所释放能量的多少, 也是表示地震强度大小的指标。一次地震只有一个震级。目前我国采用的是国际通用的里氏震级 M , 并考虑了震中距小于 100km 的影响, 即按下式计算:

$$M = \log A + R(\Delta) \quad (1-1)$$

式中 A ——地震记录图上量得的以 μm 为单位的最大水平位移 (振幅);

$R(\Delta)$ ——随震中距而变化的起算函数。

震级 M 与地震释放的能量 E (尔格 erg) 之间的关系为

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (1-2)$$

式 (1-2) 表明, 震级 M 每增加一级, 地震所释放的能量 E 约增加 30 倍。2~4 级的浅震, 人就可以感觉到, 称为有感地震; 5 级以上的地震会造成不同程度的破坏, 叫破坏性地震; 7 级以上的地震叫做强烈地震或大震。目前, 世界上已记录到的最大的地震震级为 8.9 级。

1.1.5 地震烈度

地震烈度 (intensity) 是指某一地区的地面和各类建筑物遭受一次地震影响的平均强弱程度。距离震中的距离不同, 地震的影响程度不同, 即烈度不同。一般而言, 震中附近地区, 烈度高; 距离震中越远的地区, 烈度越低。根据震级可以粗略地估计震中区烈度的大小, 即

$$I_0 = \frac{3}{2}(M-1) \quad (1-3)$$

式中 I_0 ——震中区烈度, M 为里氏震级。

为评定地震烈度, 需要建立一个标准, 这个标准称为地震烈度表。世界各国的地震烈度表不尽相同。如日本采用 8 度地震烈度表, 欧洲一些国家采用 10 度地震烈度表, 我国采用的是 12 度的地震烈度表, 也是绝大多数国家采用的标准。地震烈度表见附录 A。

按照地震烈度表中的标准可以对受一次地震影响的地区评定出相应的烈度。具有相同烈

度的地区的外包线,称为等烈度线(或等震线)。等烈度线的形状与地震时岩层断裂取向、地形、土质等条件有关,多数近似呈椭圆形。一般情况下,等烈度线的度数随震中距的增大而减小,但有时也会出现局部高一度或低一度的异常区。

1.1.6 基本烈度

基本烈度是指一个地区在一定时期(我国取 50 年)内在一般场地条件下,按一定的超越概率(我国取 10%)可能遭遇到的最大地震烈度,可以取为抗震设防的烈度。

目前,我国已将国土划分为不同基本烈度所覆盖的区域,这一工作称为地震区划。随着研究工作的不断深入,地震区划将给出相应地震动参数,如地震动的幅值等。

§ 1.2 地震震害综述

1.2.1 地震活动带

地震的发生与板块地质构造密切相关,板块之间的岩层中已有断裂存在的区域,致使岩石的强度较低,容易发生错动或产生新的断裂,这些容易发生地震的板块间区域称为地震活动带。对世界各国强烈地震的记录统计分析表明,全球地震分布主要发生在两大地震活动带上(图 1-7):

(1) 环太平洋地震活动带:包括南北美洲太平洋沿岸和阿留申群岛、俄罗斯堪察加半岛,经千岛群岛、日本列岛南下经我国台湾,再到菲律宾、新几内亚和新西兰的区域。全球地震的 75% 发生在这一地带。

(2) 喜马拉雅地中海地震活动带:从印度尼西亚西部经缅甸至我国横断山脉,喜马拉雅山脉,越过帕米尔高原,经中亚细亚到达地中海及其沿岸地区。全球大陆地震的 90% 发生在这一地域。

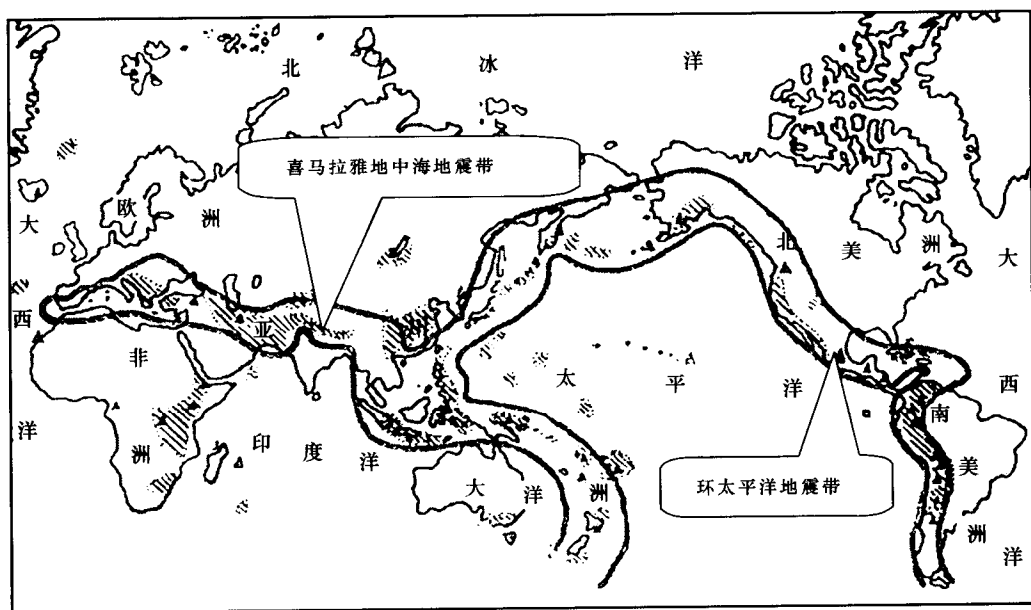


图 1-7 世界主要两大地震带分布

我国位于两大地震带的交汇区域,地震情况比较复杂,地震区域分布广泛。我国主要有两条地震带:

(1) 南北地震带。北起贺兰山,向南经六盘山、穿越秦岭沿川西至云南省东北,纵贯南北。宽度不一,构造复杂。

(2) 东西地震带。主要包含两条构造带,一条是沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直至辽宁北部的千山一带;另一条是起自帕米尔经昆仑山、秦岭,直到大别山区。

从历史上看,全国除个别省外,绝大部分地区都发生过较强烈的破坏性(震级大于5级)地震。据统计,1900~1980年间,我国发生6级以上地震606次,8级以上强震8次,死亡约146万人。地震不仅造成大量人员伤亡,而且还使许多建筑物遭到破坏,引发火灾、水灾等次生灾害,给人类带来了不可估量的损失。

1.2.2 地震引起的破坏形式

在地震带区域发生的破坏性地震,造成的破坏形式包括地表破坏、建筑物破坏及次生灾害。



图 1-8 地裂缝

1. 地表破坏

地表破坏包括地裂缝(图1-8)、地面下沉、喷水冒砂和滑坡等形式。

地裂缝分为构造裂缝和非构造裂缝。构造裂缝是地震断裂带在地表的反映,其走向与地下断裂带一致,特点是规模大,裂缝带长达几千米甚至几十千米,带宽可达数米;非构造裂缝(又称重力式裂缝)是受地形、地貌、土质等条件影响所致,其规模小,大多沿河岸边、陡坡边缘等。当地裂缝通过建筑物时,会造成建筑物开裂或倒塌。

地面下沉多发生在软弱土层分布地区和矿业采空区。地面的不均匀沉陷容易引起建筑物的开裂甚至倒塌。

地下水位较高的地区,地震波的作用使地下水压急剧增高,地下水经地裂缝或其他通道喷出地面。当地表土层含有砂层或粉土层时,会造成砂土液化甚至喷水冒砂现象,液化可以造成建筑物整体倾斜或倒塌、埋地管网的严重破坏。

在河岸、山崖、丘陵地区,地震时极易诱发滑坡或泥石流。大的滑坡可切断交通、冲垮房屋或桥梁。

2. 建筑物的破坏

据历史地震资料表明,建筑物的破坏(图1-9)一部分是由上述地表破坏引起,属于静力破坏;而大部分破坏是由于地震作用引起的动力破坏。因此,结构物动力破坏机理的分析,是结构抗震研究的重点和结构抗震设计的基础。建筑物的破坏主要有:

(1) 结构承载力不足或变形过大而造成的破坏。地震时,地震作用(地震惯性力)附加于建

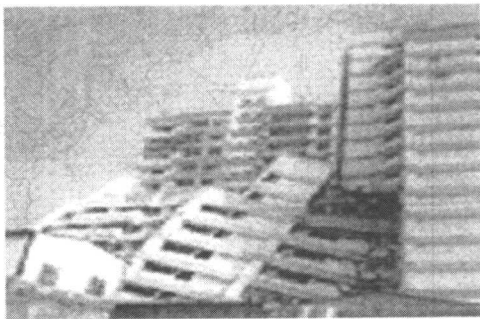


图 1-9 建筑物的倒塌破坏

筑物或构筑物上,使其内力和位移增大,往往改变受力形式,导致结构构件的抗剪、抗弯、抗压等强度不足或结构变形过大而破坏。如墙体开裂、混凝土压酥、房屋倒塌等。

(2) 结构丧失整体性而引起的破坏。结构构件的共同工作保证了结构的整体性。在地震时,结构物一般进入弹塑性变形阶段。若节点强度不足、延性不够、主要竖向承重构件失稳等就会使结构丧失整体性,造成局部或整体倒塌破坏。

(3) 地基失效引起的破坏。在可液化地基区域,当强烈地震作用时,由于地基产生液化而使其承载力下降或消失,引起整个建筑物倾斜、倒塌而破坏(图 1-10)。

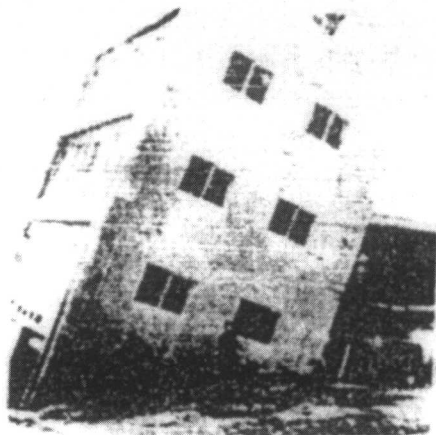


图 1-10 地基液化导致建筑物倾斜

3. 次生灾害

由于地震而引发的水坝、煤气和输油气管道、供电线路的破坏,以及易燃、易爆、有毒物质容器的破坏等,从而造成的水灾、火灾、环境污染等次生灾害。如 1995 年日本的阪神大地震,震后火灾多达 500 多处,使震中区的木结构房屋几乎全部烧毁。在海洋区域发生的强烈地震还可能引起海啸,也会对海边建筑物造成巨大破坏和人员伤亡。如 2005 年在印度尼西亚附近印度洋海域发生的强震所引发的海啸,造成了周边许多国家的二十多万人死亡和巨大的经济损失。

§ 1.3 建筑结构的抗震设防

1.3.1 抗震设防的目标

抗震设防是指对建筑物或构筑物进行抗震设计,以达到结构抗震的作用和目标。抗震设防的目标就是在一定的经济条件下,最大限度地减轻建筑物的地震破坏,保障人民生命财产的安全。目前,许多国家的抗震设计规范都趋向于以“小震不坏,中震可修,大震不倒”作为建筑抗震设计的基本准则。

根据大量数据分析,我国地震烈度的概率分布基本符合极值Ⅲ型分布。我国对小震、中震、大震的三个概率水准做了具体规定。根据分析,当设计基准期取为 50 年时,概率密度曲线的峰值烈度对应的超越概率(超过该烈度的概率)为 63.2%,将这一峰值烈度定义为小震烈度,又称众值烈度或多遇地震烈度,为第一水准烈度,对应的地震称为多遇地震;超越概率为 10%所对应的地震烈度,称为中震烈度,我国地震区划规定的各地基本烈度可取为中震烈度,即为抗震设防烈度(seismic fortification intensity),为第二水准烈度,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 1-1;超越概率为 2%所对应的地震烈度,称为大震烈度,又称罕遇地震烈度,为第三水准烈度,对应的地震称为罕遇地震。根据我国对地震危险性的统计分析得到:基本烈度比众值烈度高约 1.55 度,而罕遇地震比基本烈度高约 1 度。

表 1-1 抗震设防烈度与设计基本地震加速度值的对应关系

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。

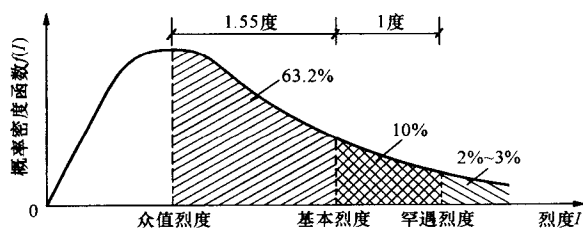


图 1-11 三种烈度的关系

例如,当基本烈度为 8 度时,其多遇烈度为 6.45 度,罕遇烈度为 9 度。地震烈度的概率密度函数曲线的基本形状及三种烈度的关系如图 1-11 所示,其具体形状参数由设定的分析年限和具体地区决定。

我国《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)规定,设防烈度为 6 度及 6 度以上地区必须进行抗震设计,并提出三水准抗震设防目标:

第一水准:当建筑物遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时,一般不受损坏或不需修理可继续使用(小震不坏);

第二水准:当建筑物遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时,可能损坏,但经一般修理或不需修理仍可继续使用(中震可修);

第三水准:当建筑物遭受高于本地区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(大震不倒)。

此外,我国《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)对主要城市和地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值给出了具体规定,同时指出了相应的设计地震分组(见附录 B),这样划分能更好地体现震级和震中距的影响,使对地震作用的计算更为细致。

1.3.2 建筑物抗震设防分类及设防标准

1. 抗震设防分类

由于建筑物功能特性不同,地震破坏所造成的社会和经济后果是不同的。对于不同用途的建筑物,应当采用不同的抗震设防标准。我国建筑抗震设计规范根据建筑物重要性及受地震破坏后果的严重性,将建筑物的抗震设防分为四类:

(1) 甲类建筑:指重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑。该类建筑的破坏后果严重。

(2) 乙类建筑:指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,一般包括供水、供电、交通、通讯、医疗救护、供气、供热等系统。

(3) 丙类建筑:指除甲、乙、丁类建筑之外的一般工业与民用建筑。

(4) 丁类建筑:指次要建筑,包括一般仓库、辅助建筑等。

2. 建筑物设防标准

建筑物抗震设防标准(seismic fortification criterion)按下列要求采用:

(1) 甲类建筑,在设防烈度为 6~8 度地区时,地震作用和抗震措施应按本区设防烈度

提高一度的标准确定;

(2) 当为 9 度时, 应满足比 9 度抗震设防更高的要求;

(3) 乙类建筑在设防烈度为 6~8 度地区时, 地震作用应按该地区设防烈度进行抗震计算, 抗震措施应符合本区设防烈度提高一度的要求;

(4) 丙类建筑的地震作用和抗震措施应满足本地区抗震设防烈度的要求;

(5) 丁类建筑按本区抗震设防烈度进行抗震计算, 抗震措施可适当降低要求, 但不低于设防烈度为 6 度时的要求。

1.3.3 抗震设计方法

为实现上述三水准的抗震设防目标, 我国建筑抗震设计规范采用两阶段设计方法。

第一阶段设计: 当遭遇第一水准烈度时, 结构处于弹性变形阶段。按与设防烈度对应的多遇地震烈度的地震作用效应和其他荷载效应组合, 进行验算结构构件的承载能力和结构的弹性变形, 从而满足第一水准和第二水准的要求, 并通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的要求。

第二阶段设计: 当遭遇第三水准烈度时, 结构处于非弹性变形阶段。还应按与设防烈度对应的罕遇烈度的地震作用效应进行弹塑性层间位移验算, 并采取相应的抗震构造措施满足第三水准的要求。

对于大多数比较规则的建筑物, 一般可只进行第一阶段的设计, 而对于一些有特殊要求的建筑或不规则的结构, 除进行第一阶段设计之外, 还应进行第二阶段设计。

§ 1.4 建筑抗震概念设计

由于地震动的随机性和建筑物自身特性的不确定性, 使地震造成的破坏程度很难准确预测。因此, 进行结构抗震设计时应多因素综合考虑。建筑抗震设计应包括三个层面的内容和要求, 即抗震概念设计, 抗震计算和验算, 抗震构造措施。

抗震概念设计 (seismic concept design of buildings) 是指根据地震灾害和工程经验等所形成的结构总体设计准则、设计思想, 进行结构的总体布置、确定细部构造的设计过程, 对从根本上消除建筑中的抗震薄弱环节、构造良好结构抗震性能具有重要的决定作用; 抗震计算和验算为抗震设计提供定量手段; 抗震构造措施 (details of seismic design) 可以保证结构的整体性、加强局部薄弱环节以及保证抗震计算结果的有效性。抗震设计上述三个层面的内容是一个不可分割的整体, 忽视任何一部分, 都可能导致抗震设计的失败。关于抗震计算和验算, 抗震构造措施将在后续章节中论述, 本节先讨论概念设计的有关问题。建筑抗震概念设计主要包括: 注意选择有利场地, 合理选用建筑体型, 采用合理抗震结构体系, 进行合理的结构布置, 保证非结构构件安全, 采用隔震、消能技术, 确保材料和施工质量等。

1.4.1 选择有利场地

大量震害表明, 建筑场地的地质状况、地形地貌对建筑物震害有很大影响。因此, 在地震区选择建筑场地时, 宜选择对建筑抗震有利的地段; 尽量避开对建筑抗震不利的地段; 甲类、乙类、丙类建筑不应选择地震危险地段。有利、不利和危险地段的划分见表 1-2。

表 1-2 有利、不利和危险地段的划分

类 别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩、坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
不利地段	软弱土，条状突出的山嘴，液化土，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡，河岸和边坡边缘，平面分布上的成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半填半挖地基）等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表位错的部位

1.4.2 合理选用建筑体型

在建筑设计和结构设计阶段，建筑物的平面、竖向布置宜规则、对称；质量、侧向刚度及承载力避免突变。结构对称，有利于减轻结构的地震扭转效应。形状规则的建筑物，地震时各部分的振动易协调一致，减小应力集中的可能性，有利于抗震。质量和刚度及承载力均匀，一方面是指在结构平面方向，应尽量使结构刚度中心（抗侧力中心）和质量中心（地震作用中心）重合，否则，平面、竖向不规则的结构（表 1-3 和表 1-4），扭转效应会使远离刚度中心的构件产生严重的震害；另一方面是指沿结构立面高度方向，结构质量、侧向刚度及承载力不宜突变，即竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐变化，避免变形集中的薄弱层出现，对结构抗震有利。对于因建筑或工艺要求所必需的体型复杂的结构，可通过设置防震缝使其规则化，但应注意使设缝后形成的每个单元的自振周期避开场地土的卓越周期。

表 1-3 平面不规则的类型

不规则类型	定 义
扭转不规则	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	结构平面凹进一侧的尺寸，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，例如，有效楼板宽度小于该楼板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该楼板面积的 30%，或较大的楼层错层

表 1-4 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（柱、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%

1.4.3 采用合理抗震结构体系

抗震结构体系一般要求如下：

- （1）计算简图明确，地震作用传递路径合理。
- （2）结构的整体性好，构件之间连接、锚固可靠。
- （3）结构应具有必要的承载能力和一定限度的延性。

所谓延性,就是结构具有的塑性变形的能力。在结构抗震设计中,宜采用塑性耗能机理,使结构可以利用一定限度的塑性变形来耗散地震时输入结构的能量,有利于抗御结构倒塌破坏,而不采用弹性耗能机理,因为这样不经济也不合理。不同的结构体系,可以通过不同的设计和抗震构造措施来增强结构与构件的延性。如钢筋混凝土框架结构体系可以设计成强剪弱弯、强节点弱构件等,地震时梁产生较大弯曲变形;对砌体结构可以采用配筋墙体、构造柱—圈梁体系;对混凝土小型砌块结构体系,则采用配筋砌体、芯柱—构造柱—圈梁体系等措施增加结构延性。

(4) 设计多道防线,避免因部分结构或构件失效而直接导致整个结构体系破坏。因此,可以采用超静定结构、设置人工塑性铰、利用框架的填充墙、设置耗能装置等。不同的方法对结构的自振特性(阻尼、周期等)影响不同,应注意避免共振。

(5) 避免产生过大的应力集中或塑性变形,对可能出现的薄弱部位,宜采取有效措施加以改善。

1.4.4 保证非结构构件安全

非结构构件一般包括女儿墙、填充维护墙、玻璃幕墙、吊顶、屋顶电讯塔、饰面装置等。非结构构件的存在,将影响结构的自振特性。同时,地震时他们一般会先期破坏。因此,应特别注意非结构构件与主体结构之间应有可靠的连接或锚固,避免地震时脱落伤人。

1.4.5 采用隔震、消能减震技术

对经济条件许可下的有特殊要求的建筑,可以采用在建筑上部结构与基础之间设置隔震层技术,以及在抗侧力结构中设置消能器减震技术。但应进行技术、经济可行性论证后方可采用,并根据现阶段规范进行专门设计、施工。

1.4.6 结构材料和施工质量

抗震结构的材料选用和施工质量应予以重视。抗震结构对材料和施工质量的具体要求应在设计文件上注明,如所用材料强度等级的最低限制,抗震构造措施的施工要求等,并在施工过程中保证按其执行。

思考题及习题

- 1.1 地震按其成因有几种类型?
- 1.2 地震烈度、基本烈度及设防烈度的区别是什么?
- 1.3 什么是地震震级?什么是地震烈度?二者有何联系和区别?
- 1.4 什么是小震、中震、大震?他们之间的关系如何?
- 1.5 抗震设计一般包括哪几个层面内容,他们之间的关系如何?
- 1.6 通过设计如何实现“三水准”目标?
- 1.7 建筑抗震设防烈度是根据下列哪一项确定:
A. 多遇地震烈度 B. 罕遇地震烈度 C. 基本烈度或中震烈度 D. 震级
- 1.8 什么是建筑概念设计?下列哪些为抗震概念设计的范畴? []
A. 房屋的高宽比限制 B. 抗震结构体系的确定
C. 保证女儿墙与主体结构的连接 D. 构件截面尺寸的确定
E. 选择有利场地
- 1.9 《建筑抗震设计规范》适用于抗震设防烈度多少度的地区? []