



21 世纪精品教材系列



建筑结构抗震设计



JIAN ZHU JIE GOU KANG ZHEN SHE JI

主编◎季宪军

 吉林大学出版社

21 世纪精品教材系列

建筑结构抗震设计

主 编 季宪军

副主编 张建文 李伟伟

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计 / 季宪军主编. — 长春: 吉林大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5677-2847-9

I. ①建… II. ①季… III. ①建筑结构—防震设计—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 304504 号

书 名: 建筑结构抗震设计
作 者: 季宪军 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 李凤翔
吉林大学出版社出版、发行
开本: 787×1092 毫米 1/16
印张: 17 字数: 340 千字
ISBN 978-7-5677-2847-9

封面设计: 可可工作室
北京楠海印刷厂印刷
2015 年 1 月 第 1 版
2015 年 1 月 第 1 次印刷
定价: 36.00 元

版权所有 翻印必究
社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021
发行部电话: 0431-89580028/29
网址: <http://www.jlup.com.cn>
E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

我国是地震灾害较严重的国家之一,近 100 年来,地震死亡人数超过全球地震死亡人数的一半,经济损失也十分巨大。地震中,建筑物的大量破坏与倒塌是造成震害的直接原因。2008 年汶川地震后,国家组织相关科技人员对震害现场进行调查分析,进一步研究和探索建筑结构的抗震性能和设计方法,在此基础上,对原有《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)进行修订,颁布了《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)。

为配合新规范的颁布执行和适应建筑抗震设计思想和方法的不断发展,结合多年在抗震方面的教学和科研实践,按照新规范编写本教材。

本教材编写力求文字简练、层次清楚、重点突出。以学科基本理论、知识为核心内容,并注重基本概念、原理的阐述和新规范的实践与应用。同时适当补充了最新科研成果。本教材可作为高等院校土木工程专业的建筑结构抗震设计教材,也可作为土木工程专业技术人员的参考资料。

本教材共分 8 章内容。第 1 章为地震与抗震设计基本概念;第 2 章为场地、地基和基础;第 3 章为地震作用与结构抗震验算;第 4 章为多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计;第 5 章为砌体结构房屋抗震设计;第 6 章为多层及高层钢结构房屋抗震设计;第 7 章为钢筋混凝土单层厂房抗震设计;第 8 章为隔震与耗能减震结构设计。

本教材编写组主要由一批具有多年从事结构抗震教学研究人员组成,季宪军担任主编,张建文、李伟伟担任副主编。具体编写分工是:第 1 章、第 2 章、第 3 章与第 8 章由季宪军编写;第 4 章、第 6 章由李伟伟编写;第 5 章、第 7 章由张建文编写。全书由河南南阳理工学院的季宪军总纂定稿,季宪军承担了统稿工作。

在编写过程中,我们参考了大量的中外书籍和兄弟院校的相关教材及有关论著,在此一并表示感谢!由于时间仓促,水平有限,书中难免存在一些不足之处,望读者批评指正,使本教材日臻完美!

编者
2014 年 12 月



目 录

第一章 地震与抗震设计基本概念	(1)
1.1 地震基本知识	(1)
1.2 建筑抗震设防要求	(10)
1.3 建筑抗震概念设计	(12)
第二章 场地、地基和基础	(19)
2.1 建筑场地	(19)
2.2 地基和基础	(23)
2.3 液化土地基判别和处理	(24)
第三章 地震作用与结构抗震验算	(31)
3.1 概 述	(31)
3.2 单自由度弹性体系的地震反应	(32)
3.3 单自由度弹性体系地震作用计算的反应谱法	(34)
3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应	(40)
3.5 振型分解反应谱法	(48)
3.7 结构基本周期的近似计算	(56)
3.8 平动扭转耦联振动时结构的抗震计算	(60)
3.9 竖向地震作用计算	(63)
3.10 结构抗震验算	(66)
第四章 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	(74)
4.1 概 述	(74)
4.2 钢筋混凝土结构抗震设计特点	(75)
4.3 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计一般规定	(78)
4.5 钢筋混凝土框架抗震设计	(81)
4.6 水平地震作用框架计算	(94)
4.7 框架—抗震墙结构和抗震墙结构的抗震设计	(108)
第五章 砌体结构房屋抗震设计	(122)
5.1 震害及其分析	(122)
5.2 砌体结构房屋抗震设计的一般规定	(124)



5.3	砌体结构房屋抗震验算	(126)
5.4	砌体房屋抗震构造措施	(141)
5.5	底部框架—抗震墙房屋的抗震设计	(147)
5.7	砌体结构隔震措施	(154)
第六章	多层及高层钢结构房屋抗震设计	(158)
6.1	多层及高层钢结构房屋的特点	(158)
6.2	多层及高层钢结构房屋的抗震性能	(160)
6.3	多层及高层钢结构房屋的震害	(163)
6.4	多层及高层钢结构房屋抗震设计的一般规定	(166)
6.5	多层及高层钢结构房屋的抗震计算	(170)
6.6	钢框架结构抗震构造措施	(181)
6.7	钢框架—支撑结构抗震构造措施	(189)
6.8	多层钢结构厂房抗震设计要求	(192)
6.9	高层钢结构房屋抗震计算例题	(198)
第七章	钢筋混凝土单层厂房抗震设计	(207)
7.1	震害及其分析	(207)
7.2	单层厂房结构抗震设计一般原则	(208)
7.3	单层厂房的横向抗震验算	(211)
7.3.3	横向基本周期计算	(213)
7.4	单层厂房的纵向抗震验算	(219)
7.5	单层钢筋混凝土厂房柱抗震构造措施	(244)
第八章	隔震与耗能减震结构设计	(251)
8.1	基本概念	(251)
8.2	隔震设计	(252)
8.3	耗能减震结构设计	(261)
参考文献		(266)



第一章 地震与抗震设计基本概念

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。目前,可以运用现代科学技术手段来防止和减轻地震灾害,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。根据统计,全国 70% 以上城市处于地震区。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。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。本课程通过讲述建筑结构抗震设计的原理、方法与要求,培养学生建筑结构抗震设计的能力与理论基础,使之能够从事一般建筑物的抗震设计。

1.1 地震基本知识

1.1.1 世界地震分布

据统计,全球有 85% 的地震发生在板块边界上(图 1.1),仅有 15% 的地震与板块边界的关系不那么明显。世界上主要有四大地震带:

环太平洋地震带:分布在太平洋周围,包括南北美洲太平洋沿岸和从阿留申群岛、堪察加半岛、日本列岛南下至中国台湾省,再经菲律宾群岛转向东南,直到新西兰。这里是全球分布最广、地震最多的地震带,所释放的能量约占全球的四分之三。

欧亚地震带:从地中海向东,一支经中亚至喜马拉雅山,然后向南经中国横断山脉,过缅甸,呈弧形转向东,至印度尼西亚。另一支从中亚向东北延伸,至堪察加,分布比较零散。

大洋中脊地震活动带:此地震活动带蜿蜒于各大洋中间,几乎彼此相连。总长约 65 000 km,宽约 1000~7000 km,其轴部宽 100 km 左右。大洋中脊地震活动带的地震活动性较之前两个带要弱得多,而且均为浅源地震,尚未发生过特大的破坏性地震。

大陆裂谷地震活动带:该带与上述三个带相比其规模最小,不连续分布于大陆内部。在地貌上常表现为深水湖,如东非裂谷、红海裂谷、贝加尔裂谷、亚丁湾裂谷等。

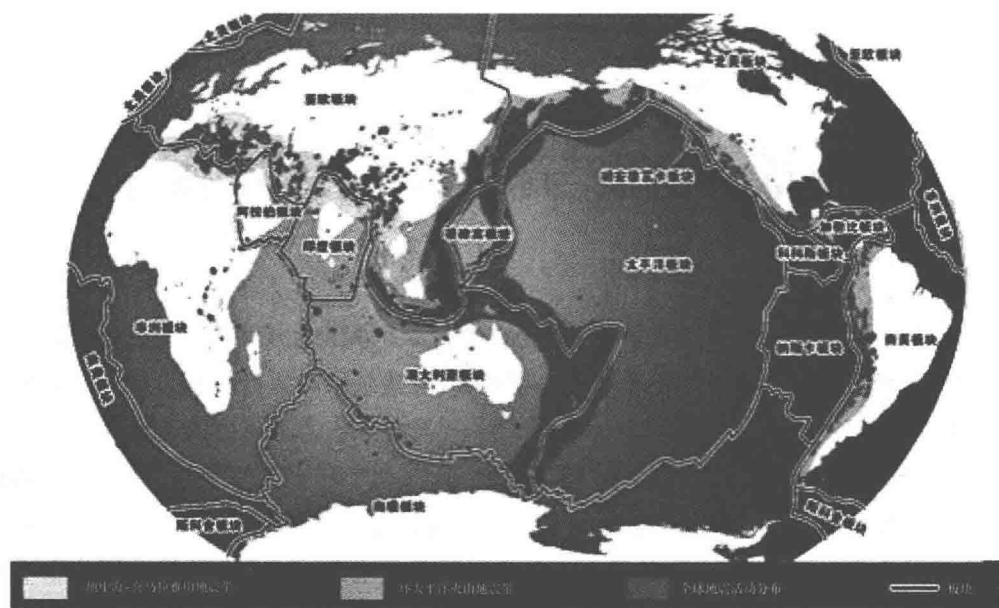


图 1.1 全球地震活动分布示意图

1.1.2 中国地震分布

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，2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震就发生在该带中段；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。我国的台湾省位于环太平洋地震带上，西藏、新疆、云南、四川、青海等省区位于喜马拉雅—地中海地震带上，其他省区处于相关的地震带上。中国地震带的分布是制定中国地震重点监视防御区的重要依据。

1.1.3 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类

构造地震、火山地震、陷落地震、诱发地震和人工地震。

构造地震：是由于岩层断裂，发生变位错动，在地质构造上发生巨大变化而产生的地震，所以叫做构造地震，也叫断裂地震。

火山地震：是由火山爆发时所引起的能量冲击而产生的地壳振动。火山地震有时也相当强烈，但这种地震所波及的地区通常只限于火山附近的几十公里的范围内，而且发生次数也较少，只占地震次数的 7% 左右，所造成的危害较轻。



陷落地震:由于地层陷落引起的地震。这种地震发生的次数更少,只占地震总次数的3%左右,震级很小,影响范围有限,破坏也较小。

诱发地震:在特定的地区因某种地壳外界因素诱发(如陨石坠落、水库蓄水、深井注水)而引起的地震。

人工地震:地下核爆炸、炸药爆破等人为引起的地面振动称为人工地震。人工地震是由人为活动引起的地震。如工业爆破、地下核爆炸造成的振动;在深井中进行高压注水以及大水库蓄水后增加了地壳的压力,有时也会诱发地震。

在上述5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%左右)。其他四类地震发生的几率很少,且震害影响面也较小。因此,在地震工程学中主要的研究对象是构造地震。

根据震源深度进行分类

浅源地震:震源深度小于70 km的地震。大多数破坏性地震是浅源地震。

中源地震:震源深度为70~300 km。

深源地震:震源深度在300 km以上的地震。到目前为止,世界上纪录到的最深地震的震源深度为786 km。

一年中,全球所有地震释放的能量约有85%来自浅源地震,12%来自中源地震,3%来自深源地震。

按地震的远近分类

地方震:震中距小于100 km的地震。

近震:震中距为100~1000 km。

远震:震中距大于1000 km的地震。

按震级大小分类

弱震:震级小于3级的地震;**有感地震:**震级等于或大于3级、小于或等于4.5级的地震;**中强震:**震级大于4.5级、小于6级的地震;**强震:**震级等于或大于6级的地震,其中震级大于或等于8级的叫巨大地震。

按破坏程度分类

一般破坏性地震:造成数人至数十人死亡,或直接经济损失在1亿元以下(含1亿元)的地震。

中等破坏性地震:造成数十人至数百人死亡,或直接经济损失在1亿元以上(不含1亿元)、5亿元以下的地震。

严重破坏性地震:人口稠密地区发生的7级以上地震、大中城市发生的6级以上地震,或者造成数百至数千人死亡,或直接经济损失在5亿元以上、30亿元以下的地震;

特大破坏性地震:大中城市发生的7级以上地震,或造成万人以上死亡,或直接经济损失在30亿元以上的地震。

将导致地震的起源区域叫震源,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震中。震中附近地面运动最剧烈,也是破坏最严重的地区,叫震中区或极震区。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震中距,由场地到震源的距离叫作震源距,震源到震中的垂直距离称为震源深度(图 1.2)。

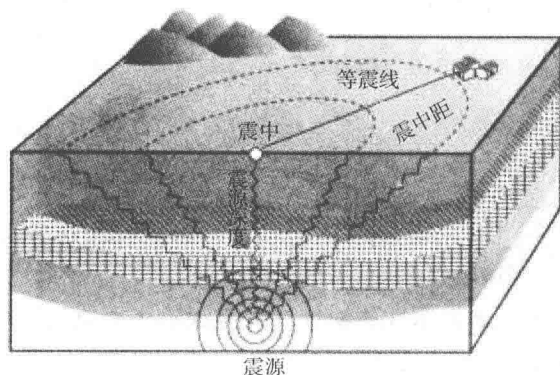


图 1.2 地震术语

1.1.4 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(图 1.3)。根据在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。

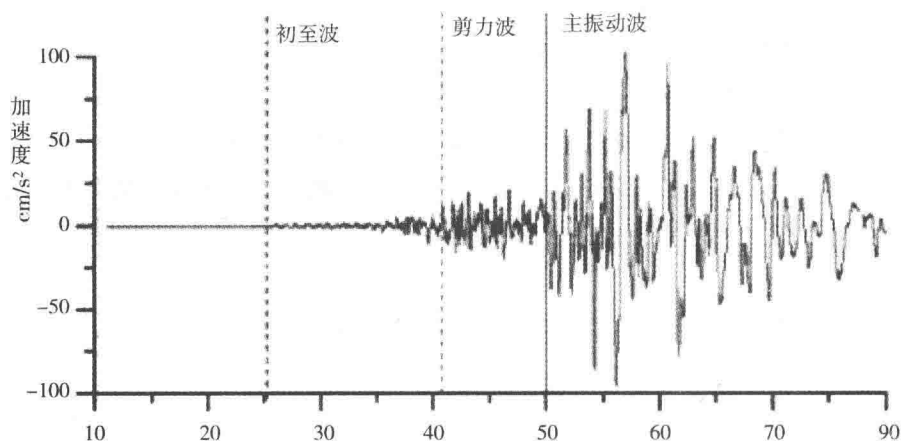


图 1.3 台湾集集地震台北地区地震时程图

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(图 1.4)。

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。

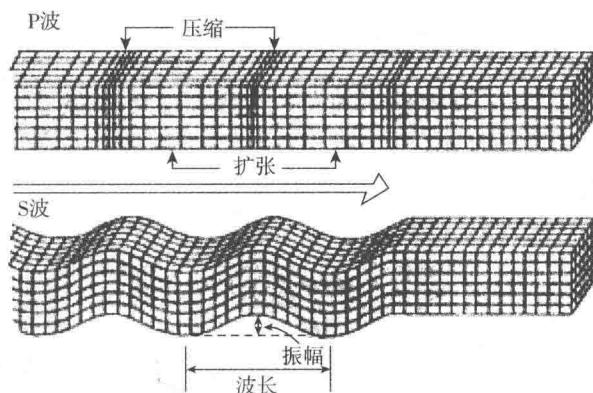


图 1.4 纵波与横波

横波是指质点的振动方向与波的前进方向垂直的波。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。

假定地球为各向同性弹性介质,根据弹性理论,纵波传播速度和横波传播速度可分别按下列公式计算:

$$v_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1.1)$$

$$v_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2)$$

式中, E ——介质的弹性模量;

G ——介质的剪切模量;

ρ ——介质的密度;

ν ——介质的泊松比。

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 $\nu = 0.25$ 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。一般认为,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)和勒夫波(L波)。瑞利波传播时,质点在波的传播方向和地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。



勒夫波传播时,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,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;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。

1.1.5 地震动主要特性

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。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。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的最直观的参数,与震害有密切关系,可作为地震烈度的参考物理指标。

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,总可以把它看作是由不同频率的简谐波组合而成,这就说明地震动是由不同频谱组成的。频谱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立叶谱、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。每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,而是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。在一次的振动过程中结构不一定发生破坏,但在一次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,连续震动的时间越长,则结构倒塌的可能性就越大。由此我们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。

1.1.6 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。地震造成的灾害是毁灭性的。1976年7月28日中国河北唐山大地震,1995年1月17日本神户地震,2008年5月12日汶川地震等,都造成大量的人员伤亡和重大经济损失。地震灾害主要表现在三个方面:地表破坏、建筑物破坏以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，长可达几公里到几十公里(图 1.5)；宽可以达到几米甚至几十米。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。

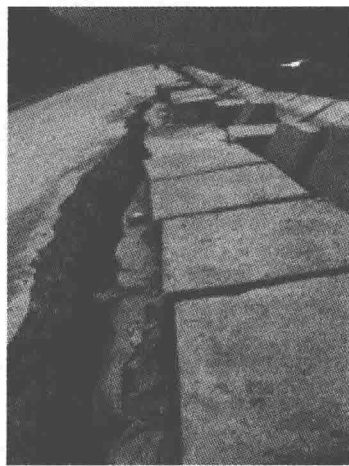


图 1.5 5.12 地震引起的地裂缝

对于松软而压缩性高的土层，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链状结构破坏，土层变密实，造成其地面下沉，地面发生震陷，使建筑物破坏。此外，地震时在岩溶洞和采空地区也可能发生地陷。

在地下水位较高、砂层埋藏较浅的砂土或粉土层，由于地震的强烈振动使地下水压力急剧增高，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，严重的区域会造成房屋下沉、倾斜、开裂和倒塌。

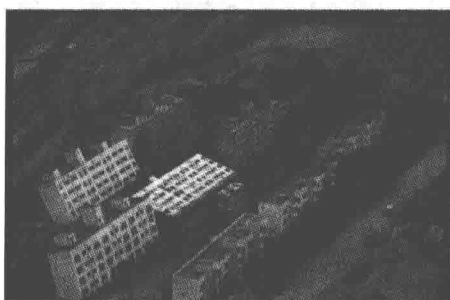


图 1.6 日本新潟地震液化



图 1.7 地震造成滑坡

强烈地震还常引起河岸、边坡滑坡，山崖的山石崩裂、塌方等现象。滑坡、塌方会导致公路阻塞使交通中断，冲毁房屋和桥梁，堵塞河流以致形成堰塞湖、淹没村庄等震害。



图 1.8 唐家山堰塞湖

2. 建筑物的破坏

强地震引起的建筑物破坏有建筑物的振动破坏和地基失效引起的破坏。

建筑物的振动破坏是由于地震时地面运动引起建筑物振动而产生惯性力,这种惯性力不仅使结构构件内力增大很多,而且往往使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。



图 1.9 漩口中学震害

地基失效引起的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而产生灾害,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。



图 1.10 汶川震后泥石流

1.1.7 地震震级和地震烈度

1. 地震震级

震级是地震大小的一种度量,根据地震释放能量的多少来划分,用“级”来表示。震级的标度最初是美国地震学家里克特(C. F. Richter)于1935年研究加利福尼亚地方性地震时提出的,规定以震中距100 km处“标准地震仪”(或称“安德生地震仪”,周期0.8 s,放大倍数2800,阻尼系数0.8)所记录的水平向最大振幅(单振幅以 μm 计)的常用对数为该地震的震级。

$$M = \lg A \quad (1.3)$$

利用震级可以估计出一次地震所释放出的能量,震级 M 与地震释放的能量 $E(10^{-7} \text{ J})$ 之间有如下关系:

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (1.4)$$

由式(1.4)可以得知:震级每增加一级,地震释放的能量约增大32倍。

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。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。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。不同国家所规定的烈度表不同,目前我国采用的是划分为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。我国在地震区地震动活动区划、震害区划和地震动区划图的基础上,提出了直接以地震动参数表示的新区划图《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)。

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。一般情况下,取 50 年内超越概率 10% 的地震烈度。我国现行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,或与建筑抗震设计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。抗震设防烈度与设计基本地震加速度取值的对应关系见表 1.2。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 1.2 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

为在一定的经济条件下,最大限度地限制和减轻建筑物因地震引起的破坏,保障人员的安全,减少经济损失,我国《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)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。

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% 左右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。

三个水准的抗震设防目标为:

第一水准: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。即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。

第二水准: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。即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。

第三水准:对应于“大震不倒”,要求建筑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。即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。

1.2.2 两阶段设计方法

建筑结构的抗震设计为满足上述三水准的抗震设防要求,我国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,保证“小震不坏”的要求。

第二阶段设计是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,使结构满足“大震不倒”的要求。

在设计中,通过良好的抗震构造措施以满足“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以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。我国《建筑抗震设防分类标准》(GB50223)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、通讯等系统)的核心建筑。

丙类建筑:除甲、乙类以外的一般建筑。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。《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)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