

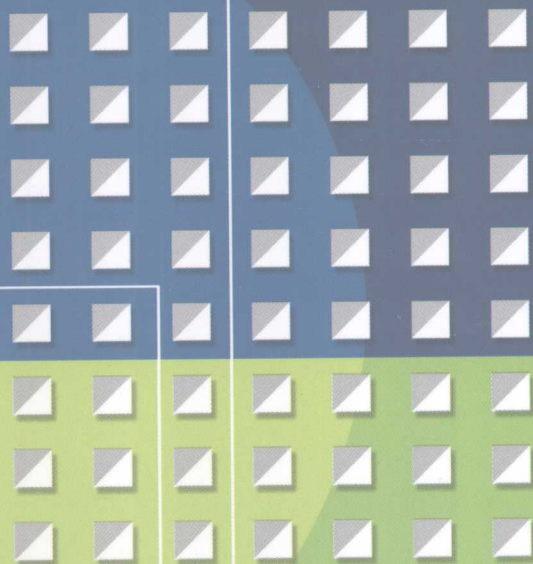


高等学校“十一五”精品规划教材

建筑结构抗震

主 编 左宏亮 戴纳新 王 涛

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

建筑结构抗震

主 编 左宏亮 戴纳新 王 涛

副主编 裴成霞 张耀军 林 淋 蒋正跃



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据教育部规定的土木工程专业培养要求,结合2008年版《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)以及汶川地震的震害分析而编写的。本书除了阐述基本概念和基本理论外,更加侧重对《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)的理解与应用;本书的最大特点是实用性较强。全书共分10章,包括绪论,建筑抗震的概念设计总则,建筑场地、地基和基础,结构地震反应分析和结构抗震验算,砌体结构和底部框架砌体结构房屋的抗震设计,钢筋混凝土结构房屋的抗震设计,钢结构房屋的抗震设计,单层工业厂房的抗震设计,构筑物的抗震设计,结构隔震、消能和减震控制等。主要章节附有计算实例,每章后有思考题与习题。

本书可作为普通高等学校建筑工程专业的专业课教材,可供从事建筑工程设计、施工和监理等工作的工程技术人员参考,也可供注册结构工程师继续教育参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震 / 左宏亮, 戴纳新, 王涛主编. —北京:

中国水利水电出版社, 2009

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-6490-9

I. 建… II. ①左…②戴…③王… 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(2009)第064724号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 建筑结构抗震
作 者	主编 左宏亮 戴纳新 王涛
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 409千字
版 次	2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	30.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

2008年版《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)于2008年7月30日颁布实施。此次抗震规范的修订,调查总结了汶川地震的经验教训,根据住房和城乡建设部关于落实国务院《汶川地震灾后恢复重建条例》的要求,依据国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)第1号修改单,相应调整了灾区的设防参数,并对其他部分条文进行了修订,合计修订31条,其中强制性条文18条(包括四川、陕西和甘肃三省的设防烈度调整3条)。为配合2008年版抗震规范的颁布和实施,我们结合多年的教学科研经验,吸收国内外建筑结构抗震的研究成果,借鉴汶川地震的震害分析,按2008年版的《建筑抗震设计规范》编写了本书。

建筑结构抗震是土木工程专业的一门重要专业课程。本书除了阐述基本概念和基本理论外,更加侧重对《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)的理解与应用,注重内容的系统性和先进性,注重理论和工程实践的结合,注重学生启发性和创新性思维的培养与训练。本书内容深入浅出,书中首先介绍了地震有关知识、建筑工程的抗震设防要求、建筑抗震的概念设计总则以及建筑场地、地基和基础,进而讨论了结构地震反应分析和结构抗震验算方法,接着给出了砌体结构和底部框架砌体结构房屋、钢筋混凝土结构房屋、钢结构房屋、单层工业厂房及构筑物的抗震设计方法,为反映结构防震的发展趋势及汶川地震后的防震加固措施,最后介绍了结构隔震、减震与控制技术。为便于读者学习,主要章节附有计算实例,每章后均附有思考题与习题。

本书由东北林业大学左宏亮、华南农业大学戴纳新和黑龙江科技学院王涛担任主编,内蒙古农业大学裴成霞、山东农业大学张耀军、黑龙江工程学院林淋和云南农业大学蒋正跃担任副主编,参加编写的还有宁夏大学唐少荣、哈尔滨理工大学卢书楠、东北林业大学武胜、云南农业大学黄剑峰以及东北林业大学王晓可。全书由东北林业大学左宏亮统稿,共分10章,具体编写分工如下:第一章由左宏亮编写,第二章由蒋正跃编写,第三章由张耀军编写,第四章由裴成霞编写,第五章由左宏亮和武胜编写,第六章由王涛和卢书楠编写,第七章由戴纳新编写,第八章由林淋编写,第九章由唐少荣编写,第十章由黄剑峰编写,附录由王晓可编写。

本书在编写过程中,学习和参考了大量已出版的教材和著作,在此谨向

原编著者致以诚挚的谢意。

编写过程中，王勍、李航、刘德科、孙赞峰、朱琳琳和高红影等协助做了部分工作，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 地球的构造及地震的成因.....	1
第二节 地震波、地震震级和地震烈度.....	3
第三节 地震的破坏作用.....	6
第四节 建筑工程的抗震设防	11
思考题与习题	14
第二章 建筑抗震的概念设计总则	15
第一节 选择建筑场地和地段	15
第二节 选择合适的建筑体型	16
第三节 加强结构的整体性	17
第四节 提高结构抗震性能的措施	18
第五节 合理处理非结构构件	19
思考题与习题	20
第三章 建筑场地、地基和基础	21
第一节 建筑场地的选择	21
第二节 建筑场地类别的划分	23
第三节 天然地基和基础的抗震验算	26
第四节 地基土的液化与抗液化措施	28
第五节 桩基础的抗震设计	36
思考题与习题	38
第四章 结构地震反应分析和结构抗震验算	40
第一节 单质点弹性体系的水平地震反应	40
第二节 单质点弹性体系的水平地震作用和加速度反应谱	45
第三节 多质点弹性体系的水平地震反应	53
第四节 多质点弹性体系的水平地震作用的计算方法	63
第五节 结构竖向地震作用	72
第六节 结构基本周期的近似计算方法	74
第七节 结构抗震验算	79
思考题与习题	87

第五章 砌体结构和底部框架砌体结构房屋的抗震设计	89
第一节 砌体结构和底部框架砌体结构房屋的震害及分析	89
第二节 砌体结构房屋抗震设计的一般规定	92
第三节 砌体结构房屋的抗震计算	95
第四节 砌体结构房屋的抗震构造措施	103
第五节 底部框架砌体结构房屋抗震设计的一般规定	109
第六节 底部框架砌体结构房屋的抗震计算	110
第七节 底部框架砌体结构房屋的抗震构造措施	113
思考题与习题	115
第六章 钢筋混凝土结构房屋的抗震设计	116
第一节 钢筋混凝土结构房屋的震害及其分析	116
第二节 钢筋混凝土结构房屋抗震设计的一般规定	122
第三节 钢筋混凝土框架结构的抗震计算与抗震构造措施	130
第四节 钢筋混凝土抗震墙结构的抗震计算与抗震构造措施	154
第五节 钢筋混凝土框架—抗震墙结构的抗震计算与抗震构造措施	174
思考题与习题	176
第七章 钢结构房屋的抗震设计	178
第一节 钢结构房屋的主要震害特征	180
第二节 钢结构房屋抗震设计的一般规定	182
第三节 钢结构房屋抗震计算要求和抗震构造措施	184
思考题与习题	199
第八章 单层工业厂房的抗震设计	200
第一节 单层工业厂房震害分析	200
第二节 单层工业厂房抗震设计的一般规定	201
第三节 单层工业厂房的抗震计算要求	204
第四节 单层工业厂房的抗震构造措施	214
思考题与习题	218
第九章 构筑物的抗震设计	219
第一节 构筑物的震害	219
第二节 烟囱的抗震设计	222
第三节 塔架的抗震设计	228
第四节 水池的抗震设计	230
第五节 贮仓的抗震设计	231
思考题与习题	236
第十章 结构隔震、消能和减震控制	237
第一节 结构隔震原理与方法	238

第二节 结构消能减震原理与方法.....	242
第三节 结构主动减震控制简介.....	248
思考题与习题.....	252
附录 A 中国地震烈度表	253
附录 B 我国主要城镇的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和 设计地震分组	255
参考文献	266

第一章 绪 论

地震是地球内部能量的突然释放，是地球的快速震颤。全世界每年约发生地震 500 万次，平均每天多达 13700 次，其中 7 级以上的地震全球平均每年 18~19 次，5~6 级地震每年数百次，仅中国平均每年发生的 5 级以上的地震就有 20~30 次，5 级以下的地震则数以千计，人类时刻在与地震相伴，受到震灾影响。地震给人类带来巨大的灾难，造成了人类生命财产的巨大损失。因此，为了与地震灾害作斗争，人类一直在探求防御和减轻地震灾害的有效途径，防灾减灾的技术和方法也在不断地完善和成熟。

第一节 地球的构造及地震的成因

一、地球的构造

地球是一个平均半径约 6400km 的椭圆球体。由外到内可分为三层：最表面的一层是很薄的地壳，平均厚度约为 30km；中间很厚的一层是地幔，厚度约为 2900km；最里面的为地核，其半径约为 3500km。

地壳由各种岩层组成。除地面的沉积层外，陆地下面的地壳通常由上部的花岗岩层和下部的玄武岩层构成；海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳各处厚薄不一，约为 5~40km。世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。

地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成。由于地球内部放射性物质不断释放热量，地球内部的温度也随深度的增加而升高。从地下 20km 到地下 700km，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厚约几百公里的软流层。由于温度分布不均匀，就发生了地幔内部物质的对流。另外，地球内部的压力也是不平衡的，在地幔上部约为 900MPa，地幔中间则达 37 万 MPa，地幔内部物质就是在这样的热状态下和不平衡压力作用下缓慢地运动着，这可能是地壳运动的根源。到目前为止，所观察到的最深的地震发生在地下 700km 左右处，可见地震仅发生在地球的地壳和地幔上部。

地核是地球的核心部分，可分为外核（厚 2100km）和内核，其主要构成物质是镍和铁。据推测，外核可能处于液态，而内核可能是固态。

二、地震的基本术语

- (1) 震源：地球内部发生地震的地方称为震源。
- (2) 震中：震源正上方的地面位置称为震中。
- (3) 震中距：建筑物到震中之间的距离称为震中距。
- (4) 震源深度：震中到震源的垂直距离，称为震源深度。
- (5) 震源距：建筑物到震源之间的距离称为震源距。

(6) 极震区：震中附近的地面震动最剧烈，也是破坏最严重的地区，叫震中区或极震区。

(7) 等震线：把地面上破坏程度相同或相近的点连成的曲线叫做等震线。

上述主要术语及地震波被形象地反映在图 1-1 中。

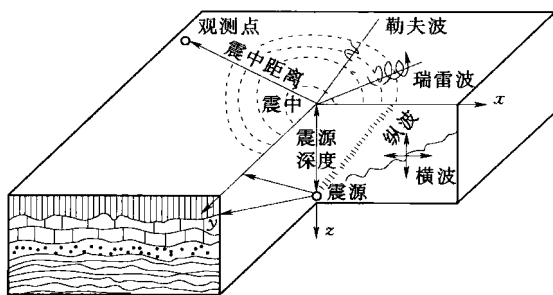


图 1-1 基本术语及地震波传播示意图

三、地震的类型与成因

地震的类型划分方式有很多种，可以按震源深度、人的感觉程度和地震的成因等方式划分。

(一) 按照震源深度划分

(1) 浅源地震：震源深度小于 70km。

(2) 中源地震：震源深度在 70~300km 范围内。

(3) 深源地震：震源深度大于 300km，但到目前为止，所观测到的地震震源深度最深为 720km，这可能与岩石圈板块的最深俯冲深度有关。

浅源、中源和深源地震所释放能量分别约占有所有地震释放能量的 85%、12%、3%。

(二) 按照正常人在安静状态下的感觉程度划分

一般认为，小于 2 级的地震，人们感觉不到，只有仪器才能记录下来，称为微震；2~4 级地震，人可以感觉到，称为有感地震；5 级以上地震能引起不同程度的破坏，称为破坏性地震；7 级以上的地震，则称为强烈地震或大震；8 级以上的地震，称为特大地震。20 世纪以来，由仪器记录到的最大震级是 8.9 级，共有两次，一次是 1906 年 1 月 31 日哥伦比亚与厄瓜多尔西海地震，另一次是 1933 年 3 月 2 日日本三陆近海地震。

(三) 按照地震成因划分

1. 构造地震

构造地震是由地球构造运动所引起的地震。地球内部在不停地运动着，在它的运动过程中，始终存在巨大的能量，而组成地壳的岩层在巨大的能量作用下，也不停地连续变动，不断地发生褶皱、断裂和错动（图 1-2），这种地壳构造状态的变动，使岩层处于复杂的地应力作用之下。地壳运动使地壳某些部位的地应力不断加强，当弹性应力的积聚超过岩石的强度极限时，岩层就会发生突然断裂和猛烈错动，从而引起振动。振动以波的形式传到地面，形成地震。由于岩层的破裂往往不是沿一个平面发展，而是形成由一系列裂

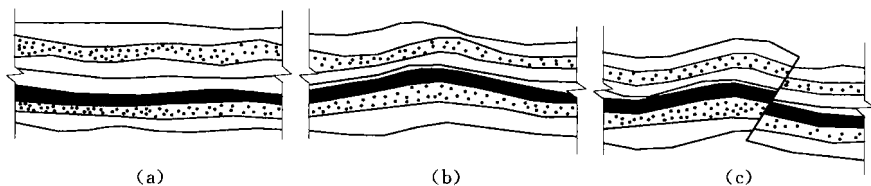


图 1-2 构造地震的形成

(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

缝组成的破碎地带，沿整个破碎地带的岩层不可能同时达到平衡，因此，在一次强烈地震（即主震）之后，岩层的变形还有不断的零星调整，从而形成一系列余震。

此类地震约占地震总数的 90%，其特点是震源较浅，活动频繁，延续时间长，影响范围广，给人类带来的损失最严重。世界上许多著名的大地震都属于此类，例如 1976 年唐山大地震，在几十秒内，将一座用了近百年时间才建设起来的工业城市几乎夷为平地。

构造地震按其地震序列可分为孤立型地震（前震、余震少而弱，地震能量几乎全部通过主震释放出来）、主震型地震（前震很少或无，但余震很多，90% 以上的地震能量是通过主震释放出来的）、震群型地震（没有突出的主震，地震能量通过若干次震级相近的地震分批释放出来）。

2. 火山地震

火山地震是由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面引起的地面振动而形成的地震。地球内部温度很高，往深处每增加 100m，温度上升 $2\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，在地下 100km 深处的地温已达到 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 。在高温下岩石呈熔融状态的岩浆，在强大压力作用下，岩浆向上喷出，在其冲力作用下激起地面的振动，产生火山地震。例如，1914 年日本樱岛火山喷发产生的地震相当于 6.7 级。火山地震约占发生地震的 7%。

3. 塌陷地震

塌陷地震是指天然的岩洞、溶洞以及矿区的采空区支撑不住上覆岩层，发生塌陷而形成的地震。此类地震的发生既有天然因素的一面，又有人为因素的一面。此类地震约占产生地震的 3% 左右。在国内外曾经发现过矿山塌陷地震震级最大可达到 5 级，在我国已发生过近 4 级的矿山塌落地震。如 1972 年在山西大同煤矿发生的采空区大面积顶板塌落，引起最大震级为 3.4 级的地震。

另外，还有水库地震、爆炸地震和油田注水诱发的地震。

第二节 地震波、地震震级和地震烈度

一、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。它包含在地球内部传播的体波和沿地球表面传播的面波，见图 1-1。

体波又包括两种形式的波，即纵波与横波。

在纵波的传播过程中，其介质质点的振动方向与波的前进方向一致，故又称为压缩波，纵波的特点是周期较短、振幅较小，通常在地面引起上下颠簸运动。在横波的传播过程中，其介质质点的振动方向与波的前进方向垂直，故又称为剪切波；横波的周期较长、振幅较大，通常引起地面水平方向的运动，见图 1-3。体波在地球内部的传播速度随深度的增加而增大。

由理论计算可知，纵波比横波传播速度快，故也可称纵波为“初波”（或称 P 波），称横波为“次波”（或称 S 波）。

面波是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包括两种形式的波，即瑞雷波（R

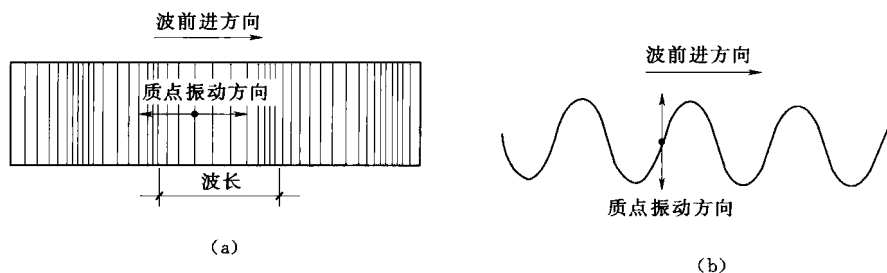


图 1-3 体波质点振动形式

(a) 压缩波；(b) 剪切波

波) 和勒夫波 (L 波)。瑞雷波传播时, 质点在波的传播方向和地面法线组成的平面内 (xz 平面) 做椭圆形运动, 而在与该平面垂直的水平方向 (y 方向) 没有振动, 质点在地面上呈滚动形式, 通常被认为是形成地面晃动的主要原因。勒夫波传播时, 质点只是在与传播方向相垂直的水平方向 (y 方向) 运动, 在地面上呈蛇形运动形式, 见图 1-4。

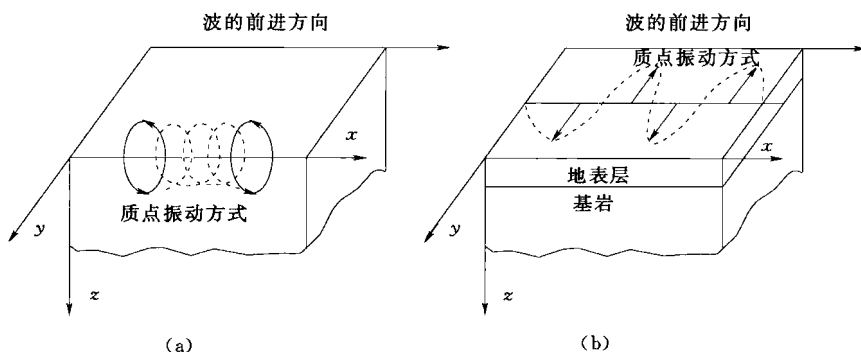


图 1-4 面波质点振动形式

(a) 瑞雷波质点振动；(b) 勒夫波质点振动

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。

对地震时所记录的地震波图的分析表明, 最先到达的是纵波 (P 波), 继而是横波 (S 波), 面波到达最晚。一般情况是, 当横波或面波到达时, 其振幅大, 地面振动最猛烈, 造成的危害也最大。

二、地震震级和地震烈度

震级是表示地震本身大小的一种尺度, 是按一次地震本身强弱程度而定的等级。目前, 国际上比较通用的是里氏震级, 其原始定义是在 1935 年由 C. F. Richter 给出的, 即

$$M = \lg A$$

式中 M ——地震震级;

A ——标准地震仪在距震中 100km 处记录的以微米 ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$) 为单位的最大水平地动位移 (即振幅)。

例如, 在距震中 100km 处地震仪记录的振幅是 100mm, 即 $100000\mu\text{m}$, 则 $M =$

$\lg 100000 = 5$ 。

震级表示一次地震释放能量的多少，所以一次地震只有一个震级。震级每增加一级，地震所释放的能量将增加 30 倍。

地震烈度是指某一区域的地表和各类建筑物遭受某一次地震影响的平均强弱程度。对于一次地震，表示地震大小的震级只有一个，但它对不同地点的影响是不一样的。一般来说，随距离震中的远近不同，烈度就有差异，距震中越远，地震影响越小，烈度就越低；反之，距震中越近，烈度就越高。

此外，地震烈度还与地震大小、震源深度、地震传播介质、表土性质，建筑物动力特性等许多因素有关。

一般来说，震中烈度是地震大小和震源深度两者的函数。对于大量的震源深度在 10~30km 的地震，其震中烈度 I_0 与震级 M 的对应关系见表 1-1。

表 1-1 震中烈度与震级的大致对应关系

震级 M	2	3	4	5	6	7	8	>8
震中烈度 I_0	1~2 度	3 度	4~5 度	6~7 度	7~8 度	9~10 度	11 度	12 度

为评定地震烈度，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，即根据建筑物的损坏程度、地貌变化特征、地震时人的感觉、家具动作反应等方面进行区分。由于对烈度影响轻重的分段不同，以及在宏观现象和定量指标确定方面有差异，加之各国建筑情况及地表条件的不同，各国所制定的地震烈度表也就不同。我国目前采用的是 1999 年颁布的《中国地震烈度表》（见附录 A）。

三、地震动特性

由地震波传播引发的地面振动，通常称为地震动。地震动是非常复杂的，具有很强的随机性，甚至同一地点，每一次地震都各不相同。但多年来，通过对地面运动的宏观现象和强震观测资料的分析可以得出，地震动的主要特性可以通过三个基本要素来描述，即地震动的幅值（最大振幅）、频谱和持时（即持续时间）。建筑结构的地震破坏，与地震动三要素密切相关。

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最大加速度幅值，它可描述地面震动的强弱程度，且与震害有着密切关系，可作为地震烈度的参考物理指标。

地震动幅值的大小受震级、震源机制、传播途径、震中距、局部场地条件等因素的影响。一般来说，在近场内，基岩上的加速度峰值大于软弱场地上的加速度峰值，而在远场则相反。

所谓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，通常可以用反应谱来表示。反应谱是工程中最常用的形式，现已成为工程结构抗震设计的基础。

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，地震动记录的长周期分量越显著。硬土地基上的地震动记录包含较丰富的频率成分，而软土且土层厚地基上的地震动记录卓越周期长周期成分显著。另外，震源机制也对地震动的

频谱特性有着重要影响。

地震动持时对结构的破坏程度有着较大的影响。在相同的地面运动最大加速度作用下,当强震的持续时间长,则该地点的地震烈度高,结构物的地震破坏重;反之,当强震的持续时间短,则该地点的地震烈度低,结构物的破坏轻。例如,EL-Centro地震的强震持续时间为30s,该地点的地震烈度为8度,结构物破坏较严重;而1966年的日本松代地震,其地面运动最大加速度略高于EL-Centro地震,但其强震持续时间仅为4s,则该地的地震烈度仅为5度,未发现明显的结构物破坏。

第三节 地震的破坏作用

一、地震的分布

(一) 全球的地震带

在对宏观地震资料调查和地震台观测数据研究基础上,可以得到世界范围内的两主要地震带:一是环太平洋地震带,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%浅源地震和90%的中、深源地震,以及几乎所有的深源地震都集中在这一地带。二是欧亚地震带,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上述环太平洋带相衔接。除分布在环太平洋地震活动带的中、深源地震外,几乎所有其他中、深源地震和一些大的浅源地震都发生在这一活动带。

此外,在大西洋、太平洋和印度洋中也有呈条状分布的地震带。

(二) 我国的地震带

我国东临环太平洋地震带,南接欧亚地震带,地震分布相当广泛。我国主要地震带有两条:一是南北地震带,它北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西至云南省东北,纵贯南北。二是东西地震带,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。

据此,我国大致可划分成六个地震活动区:①台湾及其附近海域;②喜马拉雅山脉活动区;③南北地震带;④天山地震活动区;⑤华北地震活动区;⑥东南沿海地震活动区。

据统计,我国除个别省份(例如浙江、江西)外,绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震,有不少地区现在地震活动还相当强烈,如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。

二、地震的破坏作用

地震灾害作为一种自然灾害,它对社会生活和地区经济发展有着广泛而深远的影响。随着经济的快速发展,城市化进程的加快,人口及物质财富向城市的进一步高度集中,地震所造成的灾害是巨大的。如1976年唐山7.8级地震,使24.2万余人丧生,6.4万余人重伤,直接经济损失达100亿元人民币;1995年日本阪神7.2级地震,死8420人,伤

4.5 万人，直接经济损失达 1213 亿美元；2004 年日本新潟里氏 6.8 级地震造成 35 人死亡，2000 多人受伤，经济损失预计达 3 万亿日元；2008 年汶川 8.0 级地震，死亡 6.9 万余人，受伤 3.7 万余人，直接经济损失 8451 亿元人民币。

据不完全统计，20 世纪全世界地震死亡人数达 170 万人，占各类自然灾害死亡人数的 54%，直接经济损失达 4100 亿美元，间接经济损失超过万亿美元。其中，城市地震造成的死亡人数约占 61%，经济损失约占 85%。同时，瞬间的巨大灾难给人们精神上带来强烈的恐惧。

半个多世纪以来，国内外发生的大地震见表 1-2。这些大地震不但造成了大量的人

表 1-2 近期世界大地震情况

时间 (年-月-日)	地 点	震级	死亡人数 (备注)	时间 (年-月-日)	地 点	震级	死亡人数 (备注)
1960-5-22	智利南部	8.9	1.2 万人	1997-2-28	伊朗西北部	6.1	1000 多人
1964-3-27	美国阿拉斯加	8.4	130 万人	1997-5-10	伊朗东北部	7.1	1560 多人
1964-6-27	日本新潟	7.5		1998-2-4	阿富汗塔哈尔省	6.1	4500 人
1968-5-16	日本十胜冲	7.5		1999-1-25	哥伦比亚	6.2	1200 多人
1970-1-5	中国通海	7.7	15621 人	1999-8-17	土耳其西部	7.4	1.3 万人
1970-5-31	秘鲁北部	7.6	66794 人	1999-9-21	中国台湾	7.6	2300 多人
1973-2-6	中国甘孜	7.9	2199 人	1999-9-30	墨西哥	7.5	
1975-2-4	中海海域	7.3	1300 多人	1999-11-12	土耳其博鲁省	7.2	约 1000 人
1976-2-4	危地马拉	7.5	22778 人	2000-6-4	印度明古鲁省	7.9	
1976-7-28	中国唐山	7.8	242769 人	2000-1-13	萨尔瓦多	7.6	约 1000 人
1980-10-10	阿尔及利亚	7.3	2500 多人	2001-1-26	印度西部	7.9	2 万多人
1980-11-13	那不勒斯市	7.2	2735 人	2001-6-24	秘鲁	7.9	
1981-6-11	伊朗克尔曼省	6.8	3000 多人	2001-10-31	巴布亚新几内亚	7.0	
1981-7-28	伊朗克尔曼省	7.3	1500 多人	2001-11-14	中国新疆青海交界	8.1	
1982-12-13	也门扎马尔省	6	3000 多人	2002-3-3	阿富汗	7.1	
1983-10-23	土耳其	6.0	1300 多人	2002-3-6	菲律宾	7.1	
1985-9-19	墨西哥城	8.1	6000 多人	2002-6-27	苏门答腊西南	7.4	
1986-10-10	萨尔瓦多	7.5	1500 多人	2002-6-29	中国吉林汪清	7.2	深源，无损坏
1987-3-5	厄瓜多尔	7.0	1000 多人	2003-2-24	中国新疆巴楚-伽师	6.8	死亡 268 人
1988-12-7	亚美尼亚	6.9	2.5 万人	2003-7-21	中国云南楚雄大姚	7.2	死亡 16 人
1990-6-21	伊朗里海地区	7.7	3.5 万人	2003-7-26	日本东京官成	6.2	
1990-7-16	菲律宾	7.7	3.5 万人	2003-7-26	土耳其代尼兹利	5.6	
1991-2-1	巴基斯坦	6.8	1200 多人	2003-9-26	日本北海道	8.0	1 人
1991-10-20	印度	6.1	1600 多人	2003-12-26	伊朗	6.3	约 4.5 万人
1992-12-12	印度尼西亚	6.8	2200 多人	2004-2-7	印度尼西亚	7.5	27 人
1993-9-30	印度	6.4	2.2 万人	2004-2-24	摩洛哥	6.5	564 人
1995-1-17	日本神户	7.2	6500 多人	2004-10-23	日本	7.0	35 人
1995-5-28	俄罗斯远东地区	7.5	2000 多人	2008-5-12	中国汶川	8.0	6.9 万多人
1996-2-3	中国	7.0	311 人				

员伤亡和巨大的经济损失，还给人类在精神上以重创，因此人类一直在探求防御和减轻地震灾害的有效途径。地震所导致的灾害可分为：直接灾害和次生灾害。

（一）直接灾害

地表破坏和地面上结构物的破坏等形式都属于直接灾害。

1. 地表破坏

地震时造成的地表破坏有山石崩裂、滑动、地面裂缝、地陷及喷砂冒水等。



图 1-5 中国四川省汶川地震时产生的地裂缝

地面裂缝是地震中最常见的现象，主要有两种类型：一种是强烈地震时由于地下断层错动延伸至地表而形成的裂缝，称为构造地裂缝。这类裂缝与地下断裂带的走向一致，其形成与断裂带的受力性质有关，一般规模较大，形状比较规则，通常呈带状出现，裂缝带长度最大可达到几十公里，宽度甚至几十米。另一种地裂缝是在故河道、湖河岸边、陡坡等土质松软地方产生的地表交错裂缝，其大小形状不一，规模也比较小。当穿过道路、结构物时通常会使其产生破坏。图 1-5 所示是中国

四川省汶川县在 2008 年 5 月 12 日发生地震时产生的地裂缝。

地陷大多发生在岩溶洞和采空（采掘的地下坑道）地区。地震造成地陷的事件是多种多样的，在石灰岩分布地区，地下溶洞十分发育，在矿区由于人类的生产活动会存在空洞，地震时就可能出现塌陷，地面则随之下沉。在喷水冒砂地段，也可能发生下陷。当地震时发生地陷对于城市的地下空间有严重的破坏作用，从而使上部结构物产生破坏。图 1-6 所示是中国江西省九江县发生地震时产生的地陷破坏。



图 1-6 中国江西省九江县发生地震时产生的地陷

喷砂、冒水是地震中非常多见的现象。砂和水有的从地震裂缝或孔隙中喷出，有的从水井或池塘喷出，分布很广，但喷砂主要出现在平原地区，特别是河流两岸最低平的地方。喷口有时会沿着一定方向成线状分布，喷出的砂子有时

可达 1~2m 的厚度，有时掩盖相当大的面积。冒水是因为地震时，岩层发生了构造变动，改变了地下水的储存、运动条件，使一些地方地下水急剧增加而产生的。喷砂是含水层砂土液化的一种表现，即在强烈地震作用下，地表附近的砂土层失去了原来的黏结性，呈现了液体的性质，从而喷出地面。地震喷砂、冒水有时会淹没农田、堵塞水渠、道路等而造成灾害。

在强烈地震中，陡坡、河岸等处土体往往失稳，从而形成山石崩裂、滑动，有时还会造成破坏道路、掩埋村庄、堵河成湖等严重灾害。图 1-7 所示是中国汶川发生地震时产生的山石崩裂滑动。

2. 建筑物破坏

地震时各类结构物的破坏是导致人民生命财产损失的主要原因，也是结构工程抗震工作的主要对象。据统计，由它所造成的人员伤亡占总数的 95%。过去建造的房屋，抗震性能普遍较低，地震造成的房屋损失破坏情况十分严重（图 1-8）。结构工程的破坏情况随结构类型及抗震措施的不同而有较大差别，下面介绍几种常见的破坏情况。

（1）结构丧失整体稳定性而引起的破坏。在地震作用下，由于结构构件连接不牢、支承长度不足、节点破坏及支撑失效等原因，导致结构物丧失整体稳定性，从而发生局部或整体倒塌。

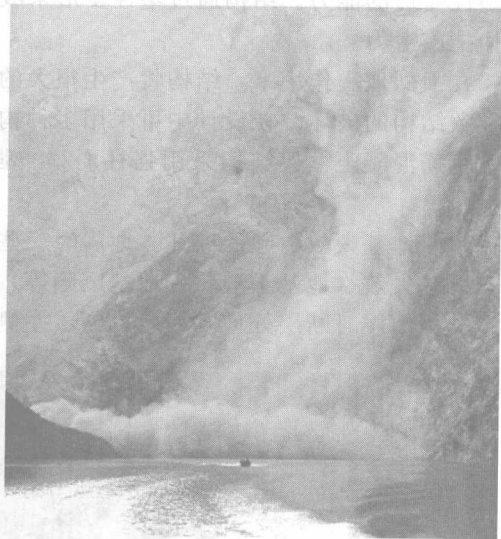


图 1-7 中国四川省汶川地震时产生的山体滑坡

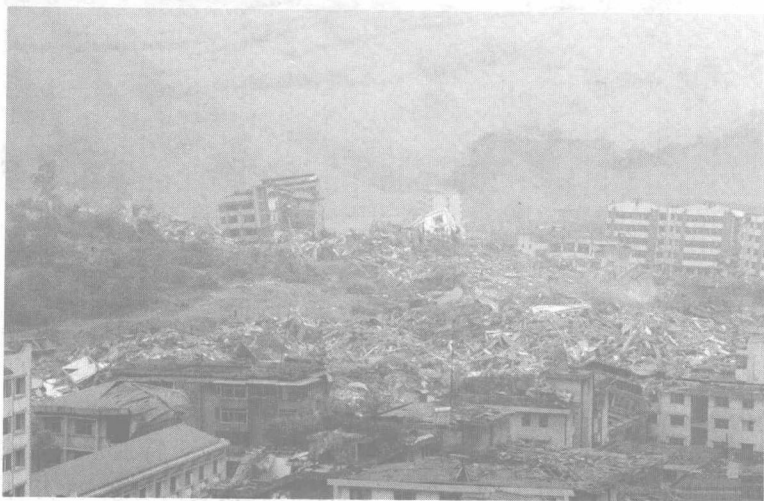


图 1-8 中国四川省汶川地震时房屋的破坏

（2）结构强度不足引起的破坏。结构在强烈地震作用下，将承受很大的惯性力，构件的内力将比静力荷载作用时有大幅度的增加，而且力的作用性质往往也会有较大的变化。如果一个建造在地震区的结构物没有考虑抗震设防或设防不足，其构件将会因抗剪、抗压、抗弯或抗扭强度不足而造成破坏。

（3）结构塑性变形能力不足引起的破坏。结构塑性变形能力又称为延性，它是结构抵