

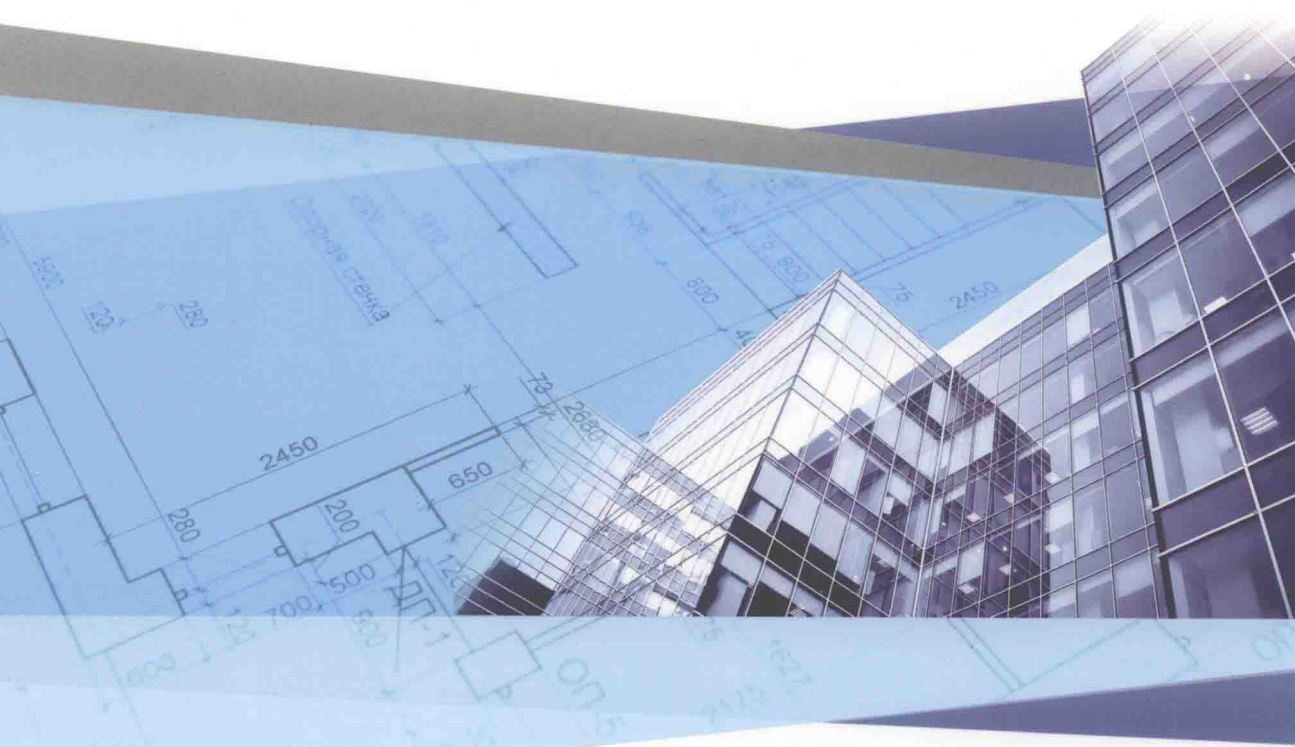


21世纪高等学校规划教材

房屋抗震设计

FANGWU KANGZHEN SHEJI

王 涛 孟丽岩 ◎ 主编



中国质检出版社
中国标准出版社



21 世纪高等学校规划教材

房屋抗震设计

FANGWU KANGZHEN SHEJI

王 涛 孟丽岩 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

房屋抗震设计/王涛,孟丽岩主编. —北京:中国
质检出版社,2018. 12

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-4608-0

I. ①房… II. ①王… ②孟… III. ①房屋结构—
防震设计—高等学校—教材 IV. ①TU234

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 124729 号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www. spc. net. cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 513 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

*

定价:49.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

编 委 会

主 编 王 涛(黑龙江科技大学)
孟丽岩(黑龙江科技大学)

副主编 张家广(太原理工大学)
张 明(西南交通大学)

编 委 曾 聪(东北电力大学)
邓利霞(西南石油大学)

前言 FOREWORD

为了配合 2016 年修订的 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》的发布和实施,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,编写了本书。

房屋抗震设计是土木工程专业的一门重要的专业课程。本书除了阐述结构抗震相关的基本概念和基本理论外,更加侧重对 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》的理解与应用。本书的编写注重内容的系统性和先进性,注重理论和工程实践的结合,注重对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,介绍了地震和结构抗震基本知识,场地、地基和基础,地震作用和结构抗震验算,多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计,多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计,多层和高层钢结构房屋抗震设计,单层工业厂房抗震设计,构筑物抗震设计,结构隔震和消能减震设计等。为便于读者学习,主要章节附有计算实例,每章后有习题和思考。

本书由王涛和孟丽岩担任主编,太原理工大学张家广和西南交通大学张明担任副主编。全书由王涛统稿,共分 9 章,具体分工如下:第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 9 章、附录 B 由王涛编写,第 2 章王涛和张家广编写,第 5 章、第 8 章、附录 A 由孟丽岩编写,第 6 章由张明编写,第 7 章由张家广编写。编写过程中,邓利霞、曾聪、钱悦、刘家秀、翟绪恒和韩木逸等协助了部分工作,东北林业大学左宏亮教授提供了帮助和校审,再此深表谢意。

本书在编写过程中,学习和参考了大量已出版的教材、著作和规范,在此谨向原编著者致以诚挚的谢意。

限于时间和水平,对书中的不妥和疏漏之处,敬请广大同行及读者批评指正。

编 者

2018 年 3 月

目 录 CONTENTS

第 1 章 地震和结构抗震基本知识	(1)
1.1 地球构造及地震成因	(1)
1.2 地震波、地震震级和地震烈度	(3)
1.3 地震的破坏作用	(6)
1.4 建筑工程的抗震设防	(13)
1.5 建筑抗震性能化设计	(16)
1.6 建筑抗震概念设计	(16)
习题与思考	(21)
第 2 章 场地、地基和基础	(22)
2.1 场地的选择	(22)
2.2 场地类别的划分	(24)
2.3 天然地基和基础的抗震验算	(29)
2.4 地基土的液化与抗液化措施	(30)
2.5 桩基础的抗震设计	(37)
习题与思考	(39)
第 3 章 结构地震反应分析和结构抗震验算	(40)
3.1 单质点弹性体系的水平地震反应	(40)
3.2 单质点弹性体系的水平地震作用和加速度反应谱	(46)
3.3 多质点弹性体系的水平地震反应	(54)
3.4 多质点弹性体系的水平地震作用的计算方法	(64)
3.5 结构竖向地震作用	(73)
3.6 结构基本周期的近似计算方法	(75)
3.7 结构抗震验算	(81)
习题与思考	(91)

第4章 多层和高层钢筋混凝土结构房屋抗震设计	(94)
4.1 钢筋混凝土结构房屋的震害及其分析	(94)
4.2 钢筋混凝土结构房屋抗震设计的一般规定	(101)
4.3 钢筋混凝土框架结构的抗震计算与抗震构造措施	(109)
4.4 钢筋混凝土抗震墙结构的抗震计算与抗震构造措施	(134)
4.5 钢筋混凝土框架-抗震墙结构的抗震计算与抗震构造措施	(155)
习题与思考	(157)
第5章 多层砌体房屋和底部框架砌体房屋抗震设计	(159)
5.1 砌体和底部框架砌体房屋的震害现象及分析	(159)
5.2 砌体结构房屋抗震设计的一般规定	(162)
5.3 砌体结构房屋的抗震计算	(165)
5.4 砌体结构房屋的抗震构造措施	(175)
5.5 底部框架砌体结构房屋抗震设计的一般规定	(180)
5.6 底部框架砌体结构房屋的抗震计算	(182)
5.7 底部框架砌体结构房屋的抗震构造措施	(185)
习题与思考	(188)
第6章 多层和高层钢结构房屋抗震设计	(189)
6.1 钢结构房屋震害特征	(189)
6.2 钢结构房屋抗震设计的一般规定	(191)
6.3 钢结构房屋抗震计算要求	(196)
6.4 钢结构房屋抗震构造措施	(204)
6.5 网壳结构抗震设计	(210)
习题与思考	(214)
第7章 单层工业厂房抗震设计	(215)
7.1 单层工业厂房的震害分析	(215)
7.2 单层工业厂房抗震设计的一般规定	(217)
7.3 单层工业厂房的抗震计算要求	(221)
7.4 单层工业厂房的抗震构造措施	(237)
习题与思考	(242)
第8章 构筑物的抗震设计	(243)
8.1 构筑物震害及其分析	(243)

8.2 烟囱的抗震设计	(248)
8.3 塔架的抗震设计	(256)
8.4 水池的抗震设计	(258)
8.5 贮仓的抗震设计	(260)
习题与思考	(265)
第9章 结构隔震和消能减震设计	(266)
9.1 结构隔震和消能减震概述	(266)
9.2 结构隔震和消能减震设计的一般规定	(275)
9.3 结构隔震和消能减震设计的设计要点	(279)
9.4 橡胶垫基础隔震算例	(285)
习题与思考	(289)
附录A 中国地震烈度表	(290)
附录B 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	(293)
参考文献	(324)

第1章 地震和结构抗震基本知识

地震是一种自然灾害,具有发生频度高、不可预测和震后危害巨大等特点。据统计,地球每年发生地震大约500万次,平均每天多达1.37万次,其中7级以上的地震全球平均每年18~19次,5~6级地震每年数百万次,仅中国平均每年发生的5级以上的地震就有20~30次。地震给人类带来了巨大的灾难,造成了巨大的人类生命财产的损失。其中,1920年海原8.5级地震,造成28.8万人死亡,1976年唐山7.8级地震中死亡了24.2万人,2008年汶川发生了8级特大地震,死亡近7万人。为此,进行工程结构抗震设计对减少地震灾害是极其重要的。

本章首先介绍地球的构造及地震的成因以及地震波、地震震级、地震烈度和地震的破坏作用等地震基本知识,然后讲述了建筑工程的抗震设防及建筑抗震性能优化设计,最后讨论了建筑抗震概念设计相关内容。

1.1 地球构造及地震成因

1.1.1 地球构造

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百千米的软流层。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,地幔中间则达到370000MPa,地幔内部的物质就是在这种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,其主要构造物质是镍和铁。据推测,外核可能处于液态,而内核可能是固态。

1.1.2 地震基本术语

(1) 震源:地震震动的发源处称为震源。

- (2) 震中:地面上与震源正对着的地方称为震中。
- (3) 震中距:地面上其他地点到震中的距离称为震中距。
- (4) 震源深度:从震中到震源的垂直距离称为震源深度。
- (5) 震源距:地面上其他地点到震源的距离称为震源距。
- (6) 极震区:震中附近震动最剧烈,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作等震线。上述主要术语及地震波被形象地反映在图 1-1 中。

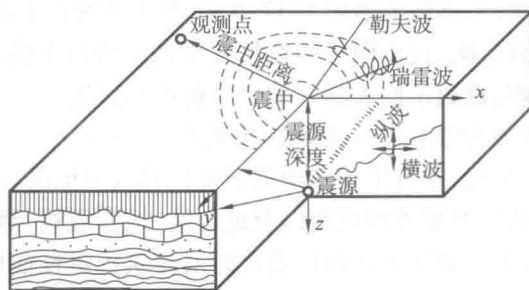


图 1-1 基本术语及地震波传播示意图

1.1.3 地震的类型与成因

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

1.1.3.1 按照震源深度划分

- (1) 浅源地震:震源深度小于 60km。
- (2) 中源地震:震源深度在 60 ~ 300km。
- (3) 深源地震:震源深度大于 300km,但到目前为止,所有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处俯冲深度有关。

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

1.1.3.2 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 1993 年 3 月 2 日日本三陆近海地震。

1.1.3.3 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,如图1-2所示,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,而是形成由一系列断缝组成的碎裂地段,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。



图1-2 构造地震的形成

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震动形成的地震。地球内部温度很高,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 $1200 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 。高温下岩石呈熔化状态的岩浆,在强大的压力作用下,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年日本樱花岛火山喷发产生的地面振动相当于6.7级地震。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,又有人为因素。此类地震约占产生地震的3%左右。在国外曾经发现过矿山塌陷产生的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。

1.2 地震波、地震震级和地震烈度

1.2.1 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。

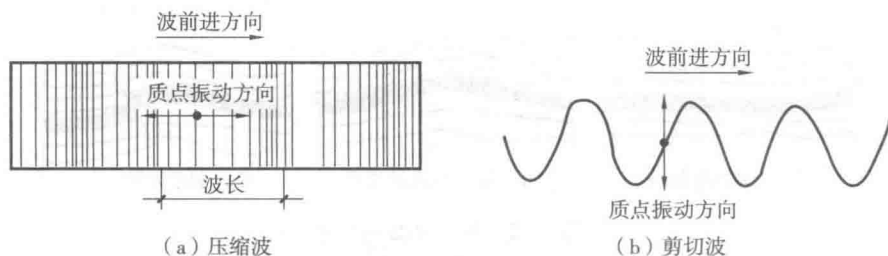


图 1-3 体波质点振动形式

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”(或称为 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 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,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。

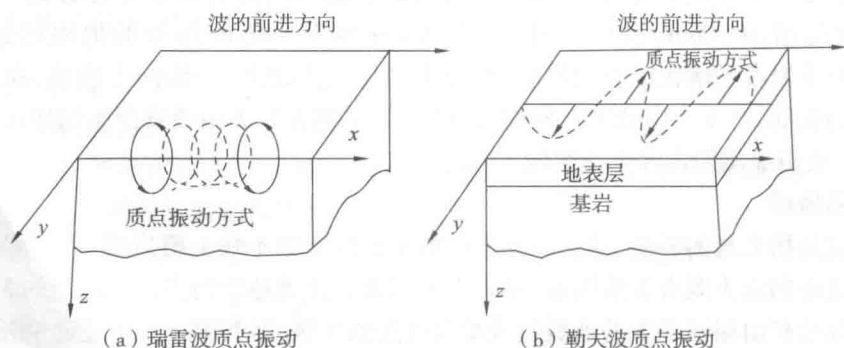


图 1-4 面波质点振动形式

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。通常,当横波或面波到达时,其振幅大,地面振动最猛烈,造成的危害最大。

1.2.2 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 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 μm ,则 $M = \lg 10^5 = 5$ 。

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,地震所释放出的能量将增加 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的程度。对于一次地震,地震震级只有一个,但地震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,地震影响就越小,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,震中强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 /级	2	3	4	5	6	7	8	>8
震中烈度 I_0 /度	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

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 2008 年颁布的《中国地震烈度表》(见附录 A)。

1.2.3 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振动三要素密切相关。

地震动幅值可以是地面运动的加速度、速度和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,它可描述地面振动的强弱程度,且与灾害有着密切关系,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,而软土且土层厚的地基上的地震动记录卓越周期成分显著。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,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是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。

1.3 地震的破坏作用

1.3.1 地震的分布

1.3.1.1 全球的地震带

在对宏观地震资料调查和观测数据研究基础上,可以得到世界范围内的两条主要地震带: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,再经我国台湾地区,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。

1.3.1.2 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。我国主要地震带主要有两条:北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直到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,我国大致可划分为六个地震活动区: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,有不少地区目前地震活动相当强烈,如我国台湾地区大地震最多,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。

1.3.2 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较深远的影响。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,导致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,死亡人数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,经济损失预计达到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。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:直接灾害和次生伤害。

表 1-2 近期世界大地震情况

时间 (年-月-日)	地点	震级/级	死亡人数 (备注)	时间 (年-月-日)	地点	震级/级	死亡人数 (备注)
1970-01-05	中国通海	7.7	15621 人	1999-09-30	墨西哥	7.5	
1970-05-31	秘鲁北部	7.6	66794 人	1999-11-12	土耳其博鲁省	7.2	约 1000 人
1973-02-06	中国甘孜	7.9	2199 人	2000-06-04	印度明古鲁省	7.9	
1975-02-04	中海海域	7.3	1300 多人	2000-01-13	萨尔瓦多	7.6	约 1000 人
1976-02-04	危地马拉	7.5	22778 人	2001-01-26	印度西部	7.9	2 万多人
1976-07-28	中国唐山	7.8	242769 人	2002-06-27	苏门答腊西南	7.4	
1980-10-10	阿尔及利亚	7.3	2500 多人	2002-06-29	中国吉林汪清	7.2	深源,无损坏
1980-11-13	那不勒斯市	7.2	2735 人	2003-07-21	中国云南 楚雄大姚	7.2	16 人
1985-09-19	墨西哥城	8.1	6000 多人	2003-09-26	日本北海道	8.0	1 人
1986-10-10	萨尔瓦多	7.5	1500 多人	2004-12-26	印度尼西亚	9.0	22.6 万人
1987-03-05	厄瓜多尔	7.0	1000 多人	2004-10-23	日本	7.0	35 人
1990-06-21	伊朗里海地区	7.7	3.5 万人	2008-05-12	中国汶川	8.0	6.9 万多人
1990-07-16	菲律宾	7.7	3.5 万人	2010-01-12	海地	7.3	22.25 万人
1995-01-17	日本神户	7.2	6500 多人	2010-02-27	智利	8.8	795 万人
1995-05-28	俄罗斯 远东地区	7.5	2000 多人	2010-04-14	中国玉树	7.1	2698 人
1997-05-10	伊朗东北部	7.1	1560 人	2011-03-11	日本	9.0	1.1 万人
1999-08-17	土耳其西部	7.4	1.3 万人	2013-04-20	中国雅安	7.0	196 人
1999-09-21	中国台湾	7.6	2300 多人	2014-02-12	中国于田	7.3	

1.3.2.1 直接伤害

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。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几十千米,宽度可达几十米。另一种地裂缝是在河道、湖河岸边、陡坡等土质松软地方的地表交错裂缝,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所示为2003年阿尔及利亚地震地裂缝并上、下错开。图1-6所示为汶川地震产生断裂带致使国道破坏。



图1-5 2003年阿尔及利亚地震地裂缝并上下错开



图1-6 汶川地震产生断裂带

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,存在地下溶洞,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。

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1~2cm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。图1-7和图1-8所示为地震后喷砂冒水现象。