

木工程专业“十三五”规划教材
木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震与防灾

李广慧 魏晓刚 主 编
刘晨宇 刘 森 副主编

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震与防灾

李广慧 魏晓刚 主 编
刘晨宇 刘 森 副主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构抗震与防灾/李广慧, 魏晓刚主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 10

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材 全国
高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

ISBN 978-7-112-22499-9

I. ①工… II. ①李… ②魏… III. ①工程结构-抗震设计-高等学校-教材②工程结构-防护结构-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU352.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 175933 号

本书按照我国现行土木工程类专业本科教学大纲要求, 结合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 (2016 年版) 等有关国家现行规范和规程编写。

本书着重介绍了建筑结构抗震基本知识, 场地、地基与基础, 建筑结构抗震计算, 结构抗震概念设计, 砌体结构抗震设计, 多高层钢筋混凝土结构抗震设计, 钢结构抗震设计, 隔震与消能减震设计, 建筑结构风灾及抗风设计和建筑结构抗火设计十章内容, 本书内容以工程结构抗震设计为主, 同时介绍了建筑结构抗风和抗火等设计原则和方法。

本书可作为土木工程专业本科生教材或教学参考书, 也可供研究生和相关技术人员参考使用。

* * *

责任编辑: 辛海丽

责任校对: 李美娜

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震与防灾

李广慧 魏晓刚 主 编

刘晨宇 刘 森 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 $\frac{3}{4}$ 字数: 452 千字

2018 年 11 月第一版 2018 年 11 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-22499-9

(32573)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书是在《建筑结构抗震设计》基础上，适应土木工程类专业本科教学要求，结合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（2016年版）等有关国家现行规范和规程而编写的针对性突出的教材。主要特点有：

（1）按照新的建筑抗震设计规范 GB 50011—2010（2016年版）等国家现行规范和规程编写。

（2）系统介绍了建筑结构抗震的基本知识，场地、地基与基础，建筑结构抗震计算方法、结构抗震概念设计原则及各类结构抗震设计。内容具有针对性。

（3）在原有《建筑结构抗震设计》基础上，增加了建筑结构抗风设计和建筑结构抗火设计等内容，拓展为《工程结构抗震与防灾》，加深学生对地震灾害、风灾和火灾的了解，使学生掌握建筑结构抗震、抗风和抗火设计与防灾的原则和方法。

（4）强调建筑结构抗震的概念设计，建筑结构抗震概念设计贯穿始终，将该内容单列一章进行讲解。

本书由郑州航空工业管理学院、郑州大学、中原工学院、河南工程学院和商丘学院五所学校共同编写，郑州航空工业管理学院李广慧教授、魏晓刚博士担任主编，郑州大学刘晨宇教授、郑州航空工业管理学院刘森担任副主编。全书共10章，第1章、第7章由郑州航空工业管理学院李广慧撰写，第5章、第6章、第10章由郑州航空工业管理学院魏晓刚撰写，第3章由郑州航空工业管理学院刘森撰写，第8章由郑州大学刘晨宇撰写，第2章由商丘学院白春撰写，第4章由中原工学院杜亚志撰写，第9章由河南工程学院李军文撰写；最后全书由郑州航空工业管理学院魏晓刚统稿。

在本书编写过程中，学习和参考了大量兄弟院校和科研院所出版的教材和论著，在此谨向编著者致以诚挚的谢意！

限于时间和作者水平，本书的编写难免有疏漏和错误之处，热切希望广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 建筑结构抗震基本知识	1	2.2 天然地基与基础的抗震验算	27
1.1 地震基本知识	1	2.2.1 地基基础抗震设计要求	27
1.1.1 地球的构造	1	2.2.2 天然地基震害特点和抗震措施	28
1.1.2 地震的类型与成因	2	2.2.3 地基土抗震承载力验算	29
1.1.3 地震的分布	4	2.2.4 可不进行抗震承载力验算的天然地基及基础	30
1.2 地震的灾害	5	2.3 地基土液化及其防治	30
1.2.1 直接灾害	6	2.3.1 场地土的液化现象与震害	30
1.2.2 次生灾害	9	2.3.2 影响场地土液化的因素	31
1.3 地震的基本概念	10	2.3.3 液化地基判别和等级划分	32
1.3.1 震源和震中	10	2.3.4 地基抗液化措施	36
1.3.2 地震波	10	2.4 桩基的抗震设计	37
1.3.3 震级	11	2.4.1 可不进行桩基抗震承载力验算的范围	37
1.3.4 地震烈度	12	2.4.2 低承台桩基的抗震验算	37
1.4 地震动特性	15	第 3 章 建筑结构抗震计算	40
1.4.1 地震动幅值特性	15	3.1 概述	40
1.4.2 地震动频谱特性	15	3.2 单质点弹性体系的水平地震反应	41
1.4.3 地震动持时特性	15	3.2.1 运动方程的建立	41
1.5 建筑结构的抗震设防	16	3.2.2 运动方程的解答	41
1.5.1 基本术语	16	3.3 单质点弹性体系水平地震作用计算的反应谱法	42
1.5.2 地震影响和抗震设防烈度	16	3.3.1 水平地震作用的基本公式	42
1.5.3 建筑分类	17	3.3.2 地震系数	43
1.5.4 多遇地震烈度和罕遇地震烈度	17	3.3.3 动力系数	44
1.5.5 三水准抗震设防目标	18	3.3.4 地震影响系数	44
1.5.6 两阶段抗震设计方法	18	3.3.5 建筑物的重力荷载代表值	46
1.5.7 基于性能的抗震设计	19	3.4 多质点弹性体系的水平地震反应	47
第 2 章 场地、地基与基础	20	3.4.1 多质点弹性体系的水平地震	
2.1 场地	20		
2.1.1 建筑场地选用	21		
2.1.2 场地土类别	22		
2.1.3 场地区划	26		

反应	47	4.7 控制结构变形, 确保结构	
3.4.2 多质点弹性体系的自由振动	48	整体性	82
3.4.3 多质点弹性体系地震反应分析的		4.7.1 控制结构变形	82
振型分解法	51	4.7.2 确保结构整体性	82
3.5 多质点体系水平地震作用计算的		4.8 减轻房屋自重	82
振型分解反应谱法	53	4.9 妥善处理非结构部件	83
3.6 多质点体系水平地震作用计算的		第5章 砌体结构抗震设计	85
底部剪力法	56	5.1 砌体结构的主要类型和震害	85
3.7 考虑水平地震作用扭转影响的		5.1.1 砌体结构房屋的主要类型	85
计算	60	5.1.2 砌体与砖混结构房屋震害	86
3.8 考虑地基与结构的相互作用的		5.1.3 砌体与砖混结构抗震设计	
楼层地震剪力调整	61	三要素	90
3.9 竖向地震作用的计算	62	5.2 砌体结构房屋抗震设计	91
3.9.1 结构竖向地震动力特性	62	5.2.1 建筑布置与结构选型	91
3.9.2 反应谱法	63	5.2.2 地震作用计算与抗震强度	
3.9.3 静力法	63	验算	92
3.10 结构自振周期和振型的近似		5.2.3 抗震构造措施	99
计算	64	5.2.4 砌体结构房屋抗震设计	
3.10.1 瑞利 (Rayleigh) 法	64	实例	104
3.10.2 折算质量法	65	5.3 底部框架—抗震墙砌体房屋	
3.10.3 顶点位移法	66	抗震设计	109
3.10.4 基本周期的修正	67	5.3.1 建筑布置与结构选型	109
3.11 地震作用计算的一般规定	68	5.3.2 地震作用计算与抗震强度	
3.12 结构的抗震验算	69	验算	110
3.12.1 截面抗震验算	69	5.3.3 抗震构造措施	112
3.12.2 抗震变形验算	70	5.3.4 底部框架—抗震墙砌体房屋抗震	
第4章 结构抗震概念设计	73	设计实例	113
4.1 选择有利于抗震的场地	73	5.4 内框架砌体房屋抗震设计	123
4.2 选择抗震有利建筑场地和		5.4.1 建筑布置与结构选型	123
地基	74	5.4.2 地震作用计算与抗震强度	
4.3 选择有利的房屋抗震体型	75	验算	124
4.4 进行合理的抗震结构布置	77	5.4.3 抗震构造措施	125
4.5 合理的结构材料	78	5.4.4 内框架砌体房屋抗震设计	
4.6 提高结构抗震性能的措施	79	实例	125
4.6.1 设置多道抗震防线	79	5.5 配筋混凝土小型空心砌块抗震	
4.6.2 提高结构延性	80	墙房屋抗震设计	129
4.6.3 采用减震方法	81	5.5.1 建筑布置与结构选型	129
4.6.4 优选耗能杆件	81	5.5.2 地震作用计算与抗震强度	
		验算	131

5.5.3	抗震构造措施	140	6.6	高强混凝土结构的抗震设计 要求	197
5.5.4	配筋混凝土小型空心砌块抗震墙 房屋抗震设计实例	143	第7章	钢结构抗震设计	199
第6章	多高层钢筋混凝土结构抗震 设计	150	7.1	钢结构震害特征及抗震 设计	199
6.1	多高层钢筋混凝土结构的 震害特点	150	7.1.1	钢结构震害特征	199
6.1.1	结构布置不合理而产生的 震害	150	7.1.2	钢结构抗震要求	201
6.1.2	框架结构的震害	153	7.1.3	钢结构常用的抗震结构类型及 支撑	203
6.1.3	具有抗震墙的结构震害(抗震 墙和框架—抗震墙结构)	154	7.2	多高层钢结构抗震设计	205
6.2	抗震设计的一般要求	154	7.2.1	多层钢结构抗震设计	205
6.2.1	抗震等级	155	7.2.2	高层钢结构抗震设计	207
6.2.2	结构选型及布置	156	7.3	高柔、大跨度钢结构抗震 设计	213
6.2.3	材料	160	7.3.1	高耸钢结构抗震设计要点	213
6.3	混凝土框架结构的抗震 设计	160	7.3.2	大跨度钢结构抗震设计 要点	214
6.3.1	框架结构的设计要点	160	7.4	高层钢结构建筑抗震设计 方法的发展	214
6.3.2	水平地震作用的计算	161	第8章	隔震与消能减震设计	216
6.3.3	框架内力和位移计算	161	8.1	概述	216
6.3.4	框架柱的截面设计与构造	167	8.1.1	建筑结构抗震设计思想的演化与 发展	216
6.3.5	框架梁的截面设计与构造	175	8.1.2	建筑结构隔震技术简介	217
6.3.6	框架节点的截面设计与 构造	183	8.1.3	建筑结构消能减震技术 简介	218
6.4	框架—抗震墙结构的抗震 设计	186	8.2	隔震设计	219
6.4.1	框架—抗震墙结构的设计 要点	186	8.2.1	建筑结构隔震的概念与 原理	219
6.4.2	地震作用的计算	186	8.2.2	隔震建筑结构的特点	221
6.4.3	内力与位移计算	187	8.2.3	隔震建筑结构的适用范围	221
6.4.4	截面设计与构造措施	188	8.2.4	隔震系统的组成与类型	222
6.5	抗震墙结构的抗震设计	188	8.2.5	建筑结构隔震装置	222
6.5.1	抗震墙结构的抗震要点	188	8.2.6	隔震建筑设计	225
6.5.2	抗震墙结构的抗震计算 原则	189	8.3	建筑结构消能减震设计	229
6.5.3	抗震墙的截面设计	189	8.3.1	建筑结构消能减震原理	229
6.5.4	构造要求	194	8.3.2	消能减震结构的特点和适用	

范围·····	230	10.2.3 火灾下结构的极限状态·····	266
8.3.3 消能减震装置·····	231	10.2.4 火灾下结构的最不利荷载、	
8.3.4 消能减震构件·····	234	荷载效应组合·····	267
8.3.5 消能减震结构设计·····	236	10.2.5 结构抗火设计方法与要求···	268
第9章 建筑结构风灾及抗风设计···	239	10.2.6 结构抗火设计的一般步骤···	270
9.1 建筑结构风灾及抗风基本		10.3 建筑材料的高温性能·····	270
知识·····	239	10.3.1 钢筋混凝土的高温性能·····	270
9.1.1 风及风灾·····	239	10.3.2 高温下结构钢的材料特性···	274
9.1.2 风作用及风致响应·····	240	10.4 结构构件的耐火性能·····	278
9.1.3 风荷载及其计算·····	241	10.4.1 建筑物耐火等级·····	278
9.2 高层结构抗风设计·····	253	10.4.2 建筑结构构件耐火极限·····	279
9.2.1 高层结构抗风设计要点·····	253	10.4.3 影响建筑结构构件耐火极限的	
9.2.2 计算实例·····	257	其他因素·····	283
9.3 高耸结构抗风设计·····	258	10.4.4 建筑结构的耐火极限·····	284
9.3.1 高耸结构受力特点·····	258	10.5 钢筋混凝土构件抗火计算与	设计·····
9.3.2 高耸结构抗风设计要点·····	259	10.5.1 钢筋混凝土构件截面温度场	
第10章 建筑结构抗火设计·····	262	计算·····	284
10.1 火灾及其成因·····	262	10.5.2 轴心受力钢筋混凝土构件抗火	
10.1.1 火灾的危害·····	262	计算·····	284
10.1.2 建筑火灾·····	263	10.5.3 受弯构件抗火计算·····	285
10.1.3 影响火灾严重性的主要		10.6 钢结构构件抗火计算与	设计·····
因素·····	264	10.6.1 钢结构构件升温计算·····	286
10.1.4 防火、耐火与抗火·····	264	10.6.2 轴心受压钢结构构件抗火	
10.2 结构抗火设计的一般原则和		计算和设计·····	287
方法·····	264	10.6.3 钢梁抗火计算和设计方法···	288
10.2.1 结构抗火设计的意义与		10.6.4 偏心受压钢柱抗火计算和	
发展·····	264	设计·····	288
10.2.2 基于概率可靠度的极限状态		参考文献·····	290
设计方法·····	266		

第 1 章 建筑结构抗震基本知识

学习的目的和要求：

掌握建筑震害的危害性，建筑结构抗震设计的重要性以及本课程所研究的内容及其发展方向。

学习内容：

1. 建筑结构抗震的内容；
2. 建筑结构抗震设计方法步骤；
3. 建筑结构的抗震措施。

重点与难点：

重点：本课程研究方法；本课程主要包括的内容、特点。

难点：建筑结构抗震设计方法步骤。

1.1 地震基本知识

地震 (earthquake) 是地球内部能量突然释放、危及人类生命财产的突发式自然灾害。全世界每年约发生地震 500 万次，平均每天多达 13700 次，其中 7 级以上灾害性的地震全球平均每年 18~19 次，5~6 级地震每年数以百次，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，受到震灾的威胁。因此，为了与地震灾害作斗争，人类自古以来一直对地震和建筑抗震进行着研究和探索，对地震的认识也随着人类文明的进步而深入，防震减灾的技术和方法也不断完善和成熟。

1.1.1 地球的构造

地球是一个近似椭圆的球体，平均半径约 6400km。由外到内可分为 3 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，如图 1-1 所示。

地壳由各种不均匀岩层构成。除地面的沉积层外，陆地下面的地壳通常由上部的花岗岩和下部的玄武岩构成；海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳各处薄厚不一，厚度为 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度几百千米的软流层。由于温度分布不

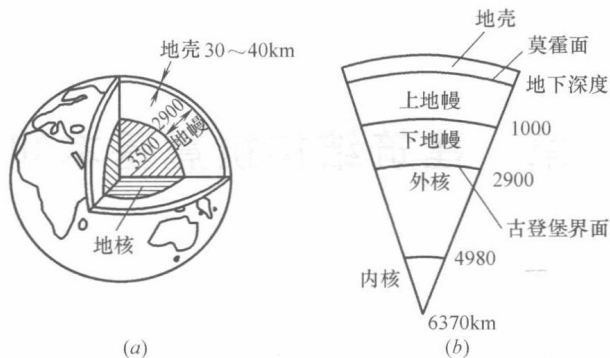


图 1-1 地球的构造
(a) 地球断面；(b) 分层结构

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均衡的，在地幔上部约为 900MPa，地幔中间则达 370000MPa。地幔内部物质就是在这样的热状态下和不均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，所观测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，而内核可能处于固态。

1.1.2 地震的类型与成因

1.1.2.1 地震的类型

地震的类型划分方式有很多种，可按地震的成因、震源深度和地震烈度等方式划分。

根据地震成因，地震类型可分为三类：构造地震，火山地震和塌陷地震。

按照震源深度，地震可分为以下三类：

- (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。

按照正常人在安静状态下的感觉程度，地震可分为以下两类：

- (1) 无感地震：正常人在安静状态下感觉不到，只能用地震仪器测量出来。其震级一般小于 3 级。其中震级小于 1 级的称为超微震；震级在 1~3 级的称为微震。
- (2) 有感地震：正常人在安静状态下能够感觉到，其震级大于 3 级。其中震级在 3~5 级的称为小震，一般不会造成破坏；震级在 5~7 级的称为中震，可以造成不同程度的破坏；震级大于 7 级的称为大地震，常造成严重的破坏。

下面从地震成因对三类地震分别介绍：

(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。世界上许多破坏性的大地震都属于此类，例如 1971 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）。

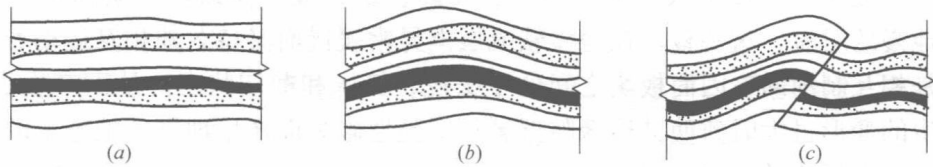


图 1-2 构造地震的形成示意图

(a) 岩层原始状态；(b) 受力后发生变形；(c) 岩层断裂产生振动

(2) 火山地震

火山地震是由于火山爆发、岩浆猛烈冲击地面时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 2~50℃，在地下 100km 深处的地温已达到 1200~1300℃。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%。火山地震可分为 A 型火山地震（发生在火山附近，震源深度为 1~10km，其发生与火山喷发活动没有直接或明确的关系，但与地下岩浆或气体状态变化所产生的地应力分布的变化有关）；B 型火山地震（集中发生在活火山口附近的狭长范围内，震源深度浅于 1km，影响范围很小）；潜火山地震（在地下岩浆冲至接近地面，但未喷出地表的情况下产生的地震）。

(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。

1.1.2.2 地震的成因

由于地壳运动，推挤地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起的地震叫作构造地震。由于火山爆发而引起的地震叫作火山地震；由于地表或地下岩层突然大规模陷落和崩塌而造成的地震叫作塌陷地震；火山地震和塌陷地震的影响范围和破坏程度相对较小，而构造地震的分布范围广、破坏作用大，因而对构造地震应予以重点关注。就构造地震的成

因，仅介绍断层说和板块构造说。

(1) 断层说

构造地震是由于地球内部在不断运动的过程中，始终存在着巨大的能量，造成地壳岩层连续变动，不断地发生变形，产生地应力。当地应力产生的应变超过某处岩层的极限应变时，岩层就会发生突然断裂和错动。而承受应变的岩层在其自身的弹性应力作用下发生回弹，迅速弹回到新的平衡位置。这样，岩层中原先构造变动过程中积累起来的应变能在回弹过程中释放，并以弹性波的形式传至地面，从而引起振动，形成地震。构造地震与地质构造密切相关，这种地震往往发生在地应力比较集中、构造比较脆弱的地段，即原有断层的端点或转折处、不同断层的交汇处。

(2) 板块构造说

板块构造学说认为，地球表面的岩石层不是一块整体，而是由六大板块和若干小板块组成，这六大板块即欧亚板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、澳洲板块和南极板块。由于地幔的对流，这些板块在地幔软流层上异常缓慢而又持久地相互运动着。由于它们的边界是相互制约的，因而板块之间处于张拉、挤压和剪切状态，从而产生了地应力。当应力产生的变形过大时致使其边缘附近岩石层脆性破裂而产生地震。地球上的主要地震带就位于这些大板块的交界地区。

“5·12 汶川地震”发生在我国青藏高原的东南边缘、川西龙门山的中心，位于汶川—茂汶大断裂带上。印度洋板块向北运动，挤压欧亚板块、造成青藏高原隆升。高原在隆升的同时，也在向东运动，挤压四川盆地。四川盆地是一个相对稳定的地块，虽然龙门山主体看上去构造活动性不强，但是可能是处在应力的蓄积过程中，蓄积到了一定程度，地壳就会破裂，从而发生地震。

1.1.3 地震的分布

据统计，地球上平均每年发生震级为 8 级以上、震中烈度 11 度以上的毁灭性地震 2 次；震级为 7 级以上、震中烈度在 9 度以上的灾害性大地震不到 20 次；震级在 2.5 级以上的有感地震在 15 万次以上。

在宏观地震资料调查和地震台观测数据研究的基础上，可以得到世界范围内的两主要地震带：环太平洋地震带和欧亚地震带。

1.1.3.1 全球地震带

世界上有两条主要的地震带 (earthquake belt)：环太平洋地震带与欧亚地震带。

(1) 环太平洋地震带基本上是太平洋沿岸大陆海岸线的连线，从南美洲的西海岸向北，到北美洲的西海岸的北端，再向西穿过阿留申群岛，到俄罗斯的堪察加半岛折向千岛群岛，沿日本列岛，地震带在此分为两支，一支沿琉球群岛南下，经过我国台湾省，到菲律宾、印度尼西亚；另一支转向马里亚纳群岛至新几内亚，两支汇合后，经所罗门到汤加，突然转向新西兰。全世界 75% 左右的地震发生于这一地震地带。

(2) 欧亚地震带是东西走向的地震带，西端从大西洋上的亚速尔岛起，向东途经意大利、希腊、土耳其、伊朗、印度，再进入我国西部与西南地区，向南经过缅甸与印度尼西亚，最后与环太平洋地震带的新几内亚相接。这一地震带是全球中深源地震 (deep-focus earthquake) 的多发地区，全世界 22% 左右的地震发生于这一地震地带。

另外在大西洋、印度洋等大洋的中部也有呈条状分布的地震带。

1.1.3.2 我国的地震带

我国是一个多地震国家，近四千年的地震文献记载表明，除浙江、江西两省外，我国绝大部分地区都发生过震级较大的破坏性地震。我国地处世界上两条大地震带之间，不少地区地震相当活跃，我国台湾省就处于环太平洋地震带，近年来大震不断，而且发震频率相当高。我国境内断裂带发育，除西藏、台湾位于世界的两大地震带以外，强烈地震主要分布在以下两个地震带上：

(1) 南北地震带：这条地震带的北端位于宁夏贺兰山，经过六盘山，经四川中西部直到云南，全长 2000 多千米。该地震带构造相当复杂，全国许多强震就发生在这条地震带上，例如 1976 年松潘 7.2 级地震。这条地震带的宽度比较大，少则几十千米，最宽处达到几百千米。

(2) 东西地震带：东西走向的地震带有两条，北面的一条从宁夏贺兰山向东延伸，沿陕北、晋北以及河北北部的狼山、阴山、燕山山脉，一直到辽宁的千山山脉。另一条东西方向的地震带横贯整个国土，西起帕米尔高原，沿昆仑山东进，顺沿秦岭，直至安徽的大别山。这两条地震带是由一系列地质年代久远的大断裂带构成的。

根据这些地震带可将全国分为五个地震区：东北地震区、华北地震区、华南地震区、西北地震区与西南地震区。亦可分为以下 10 个地震区：从华南地震区分出台湾地震区、南海地震区，而西北、西南地震区则统一分为青海高原南部地震区、青海高原中部地震区与青海高原北部地震区，还有新疆中部地震区与新疆北部地震区，再加原有的东北、华北、华南地震区，总共 10 个。

1.2 地震的灾害

地震是通过地震波释放巨大的灾害能量，因此发生地震时会对地面上的工程结构产生巨大的破坏，进而造成人员伤亡和社会物质财富的损失。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。认识地震灾害的特点对于做好防灾减灾工作是十分重要的。地震灾害的特点为：突发性、破坏面广、区域性强、继发性、多发性、灾难性、社会性和救灾艰巨性等。

随着社会经济的快速发展，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 45000 人，直接经济损失达 1213 亿美元；2004 年日本新泻里氏 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 5 月 12 日，我国汶川 8.0 级地震，造成 69197 人死亡，18222 人失踪，40 多万人受伤，造成经济损失高达 8700 亿人民币。

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和不安。

近年世界范围内发生了很多大地震，表 1-1 为近年世界发生的部分大地震。

近年世界地震情况

表 1-1

地点	时间	震级	灾害情况
菲律宾	1990. 7. 11	7. 7 级	2000 人死亡,近 150000 人失去家园
巴基斯坦和阿富汗	1991. 2. 1	6. 8 级	巴方死亡 200 人,阿方死亡 1000 人
印度新德里	1992. 12. 12	6. 8 级	2200 人死亡
印度	1993. 9. 30	6. 4 级	36 个村庄被毁,22000 人死亡
日本	1995. 1. 17	7. 2 级	6500 人死亡
俄罗斯	1995. 5. 28	7. 5 级	近 2000 人死亡
中国	1996. 2. 3	7. 0 级	311 人死亡,3706 人受伤
伊朗	1997. 5. 10	7. 1 级	至少 1560 人死亡
阿富汗	1998. 5. 30	6. 9 级	50 个村庄被毁,3000 多人死亡
土耳其	1999. 8. 17	7. 4 级	13000 多人死亡
日本北海道	2003. 9. 26	8. 0 级	1 人死亡,2 人失踪,受伤 479 人
伊朗	2003. 12. 26	6. 3 级	伤 1. 5 万人,死者总数约为 4. 5 万人
日本	2004. 10. 23	7. 0 级	35 人死亡,2000 人受伤
印度印度尼西亚	2004. 12. 26	8. 9 级	约 30 万人死亡
中国汶川	2008. 5. 12	8. 0 级	约 90000 人
海地	2010. 1. 12	7. 3 级	约 200000 人
智利	2010. 2. 27	8. 8 级	近 1000 人
中国玉树	2010. 4. 14	7. 1 级(多次)	死 2698 人
日本	2011. 03. 11	9. 0 级	死 27475 人

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：直接灾害和次生灾害。

1. 2. 1 直接灾害

地震的直接灾害是指在强烈地震发生时，地面受地震波的冲击而产生的强烈运动、断层运动及地壳形变等出现的各种破坏现象，也就是与地震有直接联系的灾害，如地表破坏和结构物的破坏等形式的灾害。

1. 2. 1. 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 (ground crack) 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十千米，宽度甚至达到几十米。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 1-3 所示是汶川地震地表破坏情况，

图 1-4 所示是日本新泻在 2004 年 10 月 23 日发生地震时产生的地裂缝。



图 1-3 汶川地震后地路上地裂缝



图 1-4 日本新泻地震后地路上地裂缝

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 1-5）。



图 1-5 日本神户地震产生的地陷

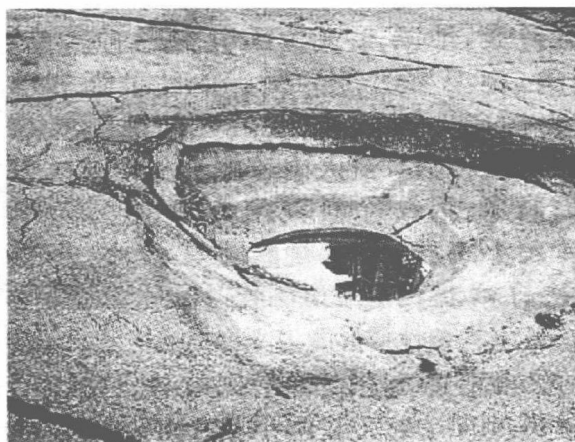


图 1-6 喷砂冒水

喷砂、冒水是地震中非常常见的现象（图 1-6）。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，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粘结性，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、堵河成湖等严重震害（图 1-7、图 1-8）。

1.2.1.2 工程结构破坏

地震时各类工程结构的倒塌破坏是造成人民生命财产损失的主要原因，也是工程结构



图 1-7 汶川地震山体滑坡



图 1-8 汶川地震河流堵塞

抗震工作的主要对象。据统计，由工程结构破坏所造成的人员伤亡占总数的 95%。以往建造的房屋，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。工程结构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 1-9 所示为钢筋混凝土大楼因底层毁坏而丧失整体稳定性引起倒塌。

(2) 结构强度不足引起的破坏

在强烈地震作用下，结构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。如图 1-10 所示。

(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，它是结构抵抗塑性变形的能力。结构通过塑性变形来吸收和消耗地震输入能量，防止倒塌破坏，提高结构抗震能力。

在强烈地震作用下，结构将产生很大的塑性变形，如果结构的塑性变形能力不足，则会导致结构的破坏。图 1-11 所示建筑就是由于结构的底层柱子的延性不够而产生的破坏。在设计中可采用多种构造措施和耗能手段来增强结构与构件的延性，如对于钢筋混凝土框



图 1-9 结构失稳引起的破坏



图 1-10 强度不足引起的破坏

架结构采用强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件等措施来提高结构的延性。

(4) 地基失效引起的破坏

地震时一些结构物的上部结构本身并没有发生破坏,但是由于地基失效(地基土液化或地基震陷等)而造成倾斜甚至倒塌。如图 1-12 所示为日本神户地震后由于土壤液化而引起的桥梁的破坏。



图 1-11 结构塑性变形引起的破坏



图 1-12 日本地震的桥梁的破坏

1.2.2 次生灾害

地震时间接引起的灾害称为次生灾害。如水坝、给水排水设施、煤气管网、供电线路等生命线工程以及易燃、易爆、有毒物质的容器等发生破坏,就会引起水灾、火灾和空气污染等灾害。

次生灾害造成的损失有时比地震直接造成的损失还要大,特别是在大城市和大工业区更为显著。例如,1923年9月1日日本关东大地震,直接震倒房屋13万栋,而火灾烧毁房屋达45万栋;1906年美国旧金山大地震,震后的3天火灾烧毁了520个街区的2.8万栋建筑物。2003年9月26日,日本北海道东南约80km海域发生里氏8级强烈地震时,日本北海道的一家炼油厂在地震中发生火灾,大火和浓烟冲天。

次生灾害的另一个表现是海啸。海底发生大地震能激起巨大的海浪,传到海岸积成几十米高的巨浪而形成海啸。例如,1960年5月22日智利大地震引起的海啸,除吞噬了智利中、南部沿海房屋外,海浪还从智利沿大海以每小时640km的速度横扫太平洋,22h后,高达4m的海浪又袭击了距智利1.7万km的日本,使日本的本州和北海道的海港和码头建筑遭到严重破坏,甚至连渔船也被抛上了陆地。2004年12月26日印度尼西亚苏门答腊岛发生的8.9级地震所引起的海啸造成约30多万人死亡和无数人无家可归,还波及东南亚多个国家。如图 1-13 所示,为海啸袭击印度尼西亚的海边城市。如何减轻地震产生的次生灾害已越来越引起人们的关注,并逐渐形成了抗震工程的一个分支学科。



图 1-13 印度尼西亚地震引起的海啸