

北京市教育委员会学科建设与研究生教育建设项目资助

工程结构 抗震分析



GONGCHENG JIEGOU
KANGZHEN FENXI

姚谦峰 常鹏 主编



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



内 容 简 介

本书系工程结构抗震学基础读物。书中结合国内外工程结构的特点和抗震经验,以及近年来我国土木工程界对抗震设计与应用的研究成果,系统介绍了地震学的理论基础与工程结构的抗震设计方法。主要包括:地震的基本概念、地震震害分析、地震动与反应谱理论、结构抗震分析方法概述、弹性地震反应分析、振型分解反应谱法、静力弹塑性分析、弹塑性动力分析、基于性能的抗震设计方法、结构随机地震反应分析及结构的地震反应控制。

本书可供结构工程、地震工程与防护工程、桥梁与隧道工程、岩土工程等专业研究生教学使用,亦可供从事工程结构抗震设计、科研、施工的技术人员及相关院校土木工程专业师生参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震分析 / 姚谦峰, 常鹏主编. — 北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5121-0749-6

I. ①工… II. ①姚… ②常… III. ①抗震结构-结构设计 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第185661号

责任编辑:解坤 特邀编辑:关正磊

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:22 字数:550千字

版 次:2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0749-6/TU·73

印 数:1~3000册 定价:33.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

1976年的唐山大地震使人民生命财产遭受巨大损失，此后，地震学及工程结构的抗震问题在我国受到普遍重视。高等学校开始为土建类专业本科生、研究生相继开设结构抗震设计课程，科学研究部门则大力开展地震工程与结构抗震的理论与试验研究，取得了一系列的丰硕成果。近年来，我国乃至全球范围内大震强震日趋频繁，结构抗震分析及抗震性能研究成为土木专业领域的一大热点，多次损失惨重的大地震向广大地震工作者提出了新的课题，从而促使地震工程理论及结构抗震设计技术不断深入发展。

与此同时，随着计算理论和分析工具的快速发展，结构工程抗震学领域的研究发展迅猛，新的抗震理念和计算方法不断涌现。为了反映国内外近年来在这些领域的研究成果以适应高等院校土建类专业师生的教学需要，特别是土木工程专业研究生的教学要求，编者结合多年为研究生讲授地震工程课的教学实践经验，并吸收了老一辈专家教授的教学成果及本领域的最新科研成就，将经多次修订的教学讲义整理成书，以供研究生教学及从事工程结构抗震设计、科研的技术人员参考使用。

结合地震工程和工程结构抗震分析的发展现状，本书主要分“地震动学”和“结构抗震分析”两大部分，共11章。“地震动学”是课程的必备基础，“结构抗震分析”是课程的最终目标。“地震动学”的内容包括地震的基本概念、地震震害分析、地震动与反应谱理论；“结构抗震分析”的内容包括结构抗震分析方法概述、弹性地震反应分析、振型分解反应谱法、静力弹塑性分析、弹塑性动力分析、基于性能的抗震设计方法、结构随机地震反应分析及结构的地震反应控制。

参加本书编写工作的有：[姚谦峰](#)（第1、5、6、7章）、常鹏（第2、8、9章）、黄炜（第3、4章）、袁泉（第10章）及贾英杰（第11章），全书由[姚谦峰](#)、常鹏主编。

本书在编写过程中，李丹煜、刘磊、夏春雨、贾穗子、庞乃勇等研究生做了大量文字、公式校对及绘图等工作。同时本书在编写中参考了许多专家和学者的研究成果，在“地震震害分析”一章从网络引用了一些震害图片，在此也向专家学者及图片作者表示深深的谢意。

由于水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

第1章 地震的基本概念	(1)
1.1 地震的成因	(3)
1.1.1 地球的构造	(3)
1.1.2 地震的发生过程	(4)
1.1.3 地震的成因	(4)
1.2 地震的活动性	(6)
1.2.1 世界的地震活动	(6)
1.2.2 我国的地震活动及主要特点	(8)
1.2.3 地震活动性分析	(10)
1.3 地震波特性	(11)
1.3.1 波动方程	(11)
1.3.2 体波	(12)
1.3.3 面波	(14)
1.3.4 地震波的反射与折射	(16)
1.3.5 地震波的衰减	(19)
1.4 地震震级与烈度	(20)
1.4.1 地震观测及震级的确定	(20)
1.4.2 地震烈度与地震烈度表	(22)
1.4.3 烈度的定量标准	(24)
1.4.4 地震烈度的分布	(26)
1.4.5 基本烈度与设防烈度	(28)
1.4.6 场地因素对烈度的影响	(31)
第2章 地震震害分析	(34)
2.1 引言	(34)
2.2 建筑结构房屋震害	(34)
2.2.1 砌体结构震害	(34)
2.2.2 钢筋混凝土结构房屋的震害	(38)
2.2.3 钢结构房屋的震害	(43)
2.2.4 木结构房屋的震害	(45)
2.2.5 地基基础震害	(46)
2.3 交通基础设施震害	(48)
2.3.1 道路震害	(48)
2.3.2 桥梁震害	(49)

2.3.3	隧道震害	(54)
2.3.4	道路与桥梁、隧道连接处震害	(55)
2.3.5	机场震害	(56)
2.3.6	港口震害	(57)
2.4	生命线工程震害	(58)
2.4.1	水利工程震害	(58)
2.4.2	供水—排水系统震害	(59)
2.4.3	煤气传输系统和供热系统震害	(61)
2.4.4	供电系统震害	(62)
2.4.5	邮电通信系统震害	(64)
2.5	地震引发的地质灾害	(65)
2.5.1	滑坡	(65)
2.5.2	泥石流	(65)
2.5.3	崩塌	(66)
2.5.4	堰塞湖	(66)
2.5.5	边坡失稳	(67)
2.5.6	地裂	(67)
2.5.7	地面隆起	(68)
第3章	地震动与反应谱理论	(69)
3.1	引言	(69)
3.2	地震动的量测	(69)
3.2.1	强震化	(69)
3.2.2	强震观测	(71)
3.2.3	强震观测记录在地震工程中的应用	(71)
3.2.4	强震观测的发展方向	(72)
3.3	强震动特性	(73)
3.3.1	振幅	(73)
3.3.2	频谱	(75)
3.3.3	持时	(79)
3.3.4	地震转动分量	(82)
3.4	地震动的空间相关性	(83)
3.4.1	三维地震动的相关性与主轴	(83)
3.4.2	空间不同质点地震动相关性	(84)
3.5	影响地震动特性的因素	(85)
3.5.1	影响振幅的主要因素	(85)
3.5.2	影响频谱的主要因素	(86)
3.5.3	影响持时的因素	(86)
3.6	地震动的估计	(87)

3.6.1	三种估计途径	(87)
3.6.2	地震动的衰减规律	(87)
3.6.3	无记录地区的地震动衰减关系的估计	(92)
3.7	人造地震动	(94)
3.7.1	比例法	(94)
3.7.2	数值法	(94)
第4章	结构抗震分析方法概述	(99)
4.1	结构地震反应分析的发展过程	(99)
4.1.1	静力阶段	(99)
4.1.2	反应谱阶段	(100)
4.1.3	随机振动	(101)
4.1.4	结构地震反应的数值分析	(101)
4.1.5	非线性振动反应	(101)
4.2	结构地震反应分析的力学模型	(102)
4.2.1	地面运动的简化与地基的模型化	(102)
4.2.2	结构振动形式及结构体系的模型化	(102)
4.3	结构地震反应分析的发展趋势	(104)
第5章	弹性地震反应分析	(106)
5.1	引言	(106)
5.2	结构运动方程的建立	(106)
5.2.1	结构的离散化方法	(106)
5.2.2	建立运动方程的基本方法	(108)
5.2.3	一维地震输入时的动力方程	(109)
5.2.4	多维地震输入时的动力方程	(110)
5.2.5	多点地震输入时的动力方程	(113)
5.3	时域分析方法	(115)
5.3.1	线性加速度方法	(115)
5.3.2	纽马克 β 法与威尔逊 θ 法	(117)
5.3.3	阻尼的处理	(118)
5.4	频域分析方法	(119)
5.4.1	频域传递函数	(119)
5.4.2	线性单自由度体系的地震反应	(120)
5.4.3	线性多自由度体系的地震反应	(121)
5.5	振型迭加法	(123)
5.5.1	振型与自振频率	(123)
5.5.2	振型的正交性	(124)
5.5.3	一般动力反应按振型的分解	(125)

5.5.4	运动方程的解耦	(126)
5.5.5	振型迭加法	(127)
5.5.6	多维地震输入	(128)
第6章	振型分解反应谱法	(129)
6.1	引言	(129)
6.1.1	概述	(129)
6.1.2	基本假定	(129)
6.2	反应谱分析法	(129)
6.2.1	地震弹性反应谱的确定	(129)
6.2.2	地震反应谱的特性	(130)
6.2.3	设计反应谱	(132)
6.3	单自由度体系的地震反应	(133)
6.3.1	纽马克 β 法	(133)
6.3.2	威尔逊 θ 法	(134)
6.4	多自由度体系的地震反应	(135)
6.4.1	运动方程	(135)
6.4.2	振型和自振频率	(136)
6.4.3	振型分解	(137)
6.4.4	多自由度体系振型组合	(139)
6.5	地震作用	(140)
第7章	静力弹塑性分析	(142)
7.1	引言	(142)
7.2	静力弹塑性分析方法的基本原理	(142)
7.2.1	基本假定	(142)
7.2.2	等效单自由度体系的建立	(143)
7.2.3	实施过程	(144)
7.2.4	水平加载模式	(145)
7.2.5	结构目标位移	(148)
7.3	几种静力弹塑性分析方法	(149)
7.3.1	能力谱方法	(149)
7.3.2	等效位移系数法	(152)
7.3.3	N2方法	(155)
7.4	结构构件单元介绍	(157)
7.5	本章小结	(159)
第8章	弹塑性动力分析	(160)
8.1	引言	(160)

8.2	结构的计算模型	(160)
8.2.1	串联多自由度体系的计算模型	(160)
8.2.2	平面框架杆系模型	(166)
8.3	恢复力特性曲线	(174)
8.3.1	恢复力特性曲线的形式及特性	(174)
8.3.2	恢复力特性曲线的模型化	(180)
8.3.3	几种重要的恢复力曲线模型	(183)
8.3.4	双向恢复力模型	(190)
8.4	输入地震波的选择	(200)
8.4.1	利用强震记录	(201)
8.4.2	采用人工模拟地震波	(202)
8.5	地震反应的数值分析	(202)
8.5.1	单自由度体系	(202)
8.5.2	多自由度体系	(210)
8.6	地震弹塑性反应谱与地震作用	(215)
第9章	基于性能的抗震设计方法	(217)
9.1	基于性能的抗震设计理论	(217)
9.1.1	基于性能抗震设计理论的研究内容	(217)
9.1.2	基于性能抗震设计理论与现行抗震设计理论的区别与联系	(219)
9.2	基于位移的设计方法	(220)
9.2.1	基于位移的抗震设计方法概述	(220)
9.2.2	按延性系数设计的方法	(221)
9.2.3	能力谱法	(221)
9.2.4	直接基于位移的抗震设计方法	(223)
9.2.5	基于位移的结构抗震设计有待进一步解决的问题	(224)
9.3	基于能量的结构抗震设计	(225)
9.3.1	基于能量的抗震设计方法概述	(225)
9.3.2	基于能量的抗震分析方法原理	(225)
9.3.3	基于能量的抗震设计方法的主要内容	(226)
9.3.4	能量反应方程	(227)
9.3.5	能量分析中的输入地震动	(231)
9.3.6	能量反应抗震设计中的破坏准则	(235)
9.3.7	基于能量的抗震设计方法的特点	(235)
9.3.8	存在的问题与今后的发展方向	(236)
9.4	基于投资—效益准则的结构抗震设计	(236)
9.4.1	投资—效益准则	(236)
9.4.2	结构全寿命总费用评估	(237)
9.4.3	基于投资—效益准则的结构目标性能	(248)

9.5	结构分灾抗震设计	(255)
第10章	结构随机地震反应分析	(263)
10.1	引言	(263)
10.2	随机过程的数字特征	(263)
10.2.1	时域数字特征	(263)
10.2.2	频域数字特征	(266)
10.2.3	数字特征的运算法则	(268)
10.3	线性单自由度体系	(270)
10.3.1	线性单自由度振动系统的动态特性	(270)
10.3.2	输入为平稳过程的体系反应	(272)
10.3.3	输入为非平稳过程的体系反应	(275)
10.4	线性多自由度体系	(278)
10.4.1	线性多自由度振动系统的动态特性	(279)
10.4.2	单输入体系的反应	(279)
10.4.3	多输入体系的反应	(283)
10.5	非线性体系	(286)
10.5.1	单自由度体系的分析	(287)
10.5.2	多自由度体系的分析	(289)
10.6	结构地震动力可靠性分析	(289)
10.6.1	结构动力可靠性分析基础	(289)
10.6.2	结构破坏准则	(295)
10.6.3	基于界限破坏模式的结构可靠度计算	(296)
10.6.4	基于指数破坏模式的结构可靠度计算	(298)
第11章	结构的地震反应控制	(303)
11.1	引言	(303)
11.2	结构地震反应主动控制	(304)
11.1.1	消震	(304)
11.1.2	控震	(304)
11.3	结构地震反应被动控制	(311)
11.3.1	减震	(311)
11.3.2	隔震	(320)
参考文献	(341)

第 1 章 地震的基本概念

地震是一种突发式的自然灾害，它与洪水、飓风和瘟疫一起被认为是人类所面临的四大天敌。强地震在瞬间就可以造成山崩地裂、河流改道、房屋倒塌、桥梁塌陷、堤坝溃决，给人民生命财产造成严重的危害。

我国是一个多地震的国家。有史以来，震级在 7 级以上的地震就有近百次之多。在 1556 年陕西关中大地震中，有名可查的死亡人数达 83 万。在 20 世纪内，震级大于 8 级的强地震有 9 次。其中，发生在人烟稠密地区者，损失惨重，如 1920 年宁夏海源大地震中死亡人数达到 20 万，伤者不计其数；1976 年唐山大地震死亡人数达 24 万，强震地区的房屋、工业厂房和设备、城市生命线工程、交通运输等都受到了极其严重的破坏；1999 年我国台湾省集集大地震，死伤近万人，直接经济损失高达 1 000 亿元新台币。

为了防御地震灾害，减轻地震带来的损失，从 21 世纪初开始，一些国家对地震预报、工程抗震、地震控制等方面进行了一系列的研究，使人们对地震这一自然现象有了一定的了解，并提出了一系列防御地震灾害、减轻地震损失的对策，从而形成了地震预报和工程抗震这两门科学分支，即地震学和工程抗震学。

地震学和工程抗震学统归于地震工程学范畴。其主要研究内容涉及地震危险性分析与地震区划和工程结构抗震两大部分。各部分关系如图 1-1 所示。

从学科上来看，地震学研究的问题是中、长期地震预报中的潜在震源区划分、潜在震源区地震活动性规律、地震动工程参数的选择，以及这些参数的估计等。由于地震活动性、地震动参数衰减规律都具有很大的随机性，所以对地震活动性规律和地震危险性估计都要求给出概率的含意。根据地震危险性估计的地震动工程参数值，对一个大地区进行划分，即为地震动区划；重点考虑场地条件影响的区划，称为小区划；以地震烈度为指标的区划称为烈度区划；以具有概率定义的地震或地震动作出的区划，称为危害性或危险性区划。工程抗震学研究以结构动力学和工程学为基础，研究内容包括地基的动力性能、构件与结构振动特性、结构动力反应、结构的弹塑性反应与破坏机制及结构可靠性理论和工程设计等领域。由于现代结构种类繁多，性能各异，常常出现一些特殊的研究内容，例如，混凝土坝的坝体、地基和水三者的相互作用，贮液器的液体作用与罐壁的局部屈曲，核电站的复杂体系与高度安全性的要求，桥梁、管道等大跨多支点结构地震动输入的规定，海洋平台桩基础的桩土共同作用及地下管道中地基变形等，都要涉及一些特殊的动力学内容。

从研究对象上来看，地震学的首要任务是研究地震的活动性；通过地震宏观调查，根据地震时结构物的破坏程度及其他宏观现象，研究地震的强度及其分布规律，总结地震活动性的历史经验；并结合地质构造环境及地震仪器记录得到的地震震源特性和大、小地震的关系，从而对未来的强地震作出预报。工程抗震学的主要目的是针对未来强震，从工程上着眼，力求在尽可能经济的条件下使结构物具有足够的抗震性能，以达到保障人民生命财产的目的。为此，必须了解未来地震可能发生的地点、时间、强度和频度，使抗震有明确目标而不致盲目加强结构。所以，地震学和工程抗震学这两个学科的最终目标都是保障人民生命财

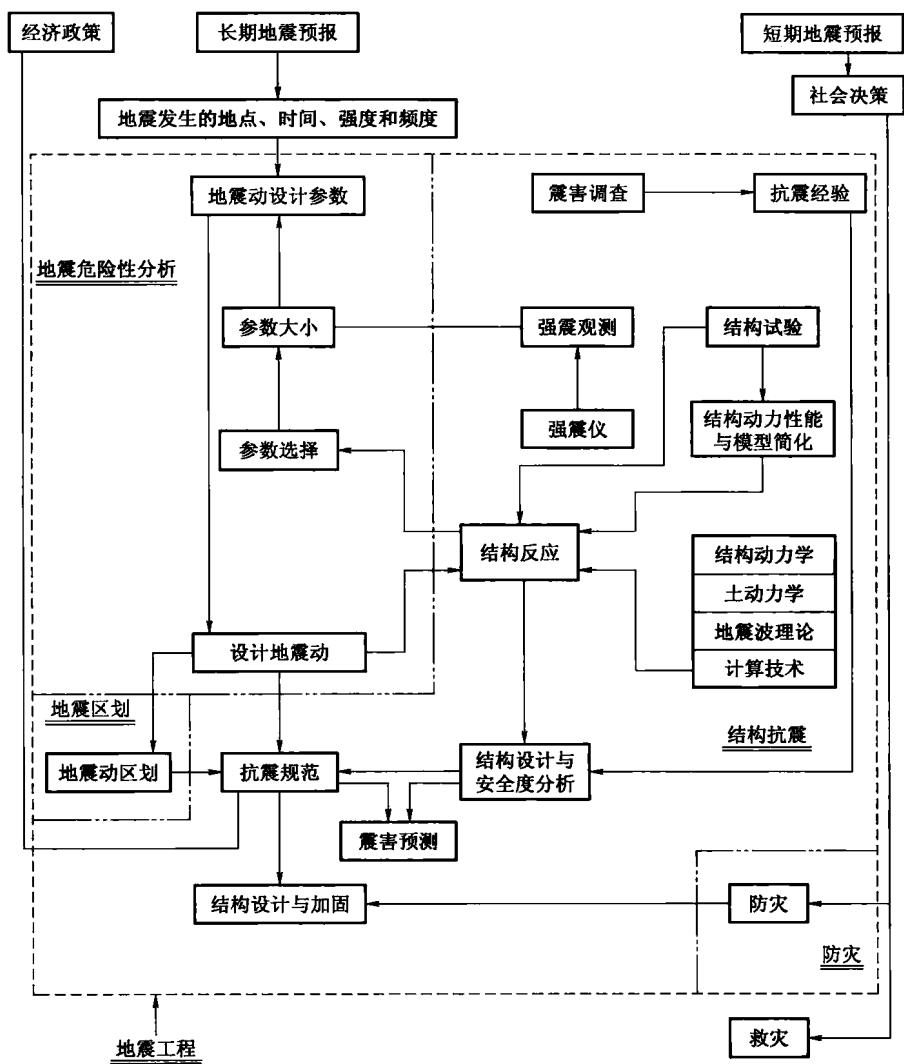


图 1-1 地震工程学各部分关系

产的安全。为此，一要有预报，二要采取具体措施，这两个环节有一个做得不好，都会影响最终目标的实现。

在地震动这一环节上，地震学和工程抗震学这两个学科是互相搭接的。地震学必须研究地震动，因为只有通过地震动的测量才能了解地震震源与地球介质的特性。工程抗震学也必须研究地震动，因为地震工程以防止强震时工程破坏为目的，而工程破坏主要是由地震动引起的，所以必须了解地震动的规律，才能进行结构地震反应分析和设计。

地震学的形成远早于工程抗震学。大约在 18 世纪，人们就已经开始从宏观现象来研究地震或地震动大小；而工程抗震的研究则在 20 世纪才真正开始。这两个学科对于地震烈度方面的研究都有所重视而又各不相同。地震学由于需要一个衡量地震和地震动强烈程度的宏观指标，从而提出了地震烈度这个概念，希望通过一次地震的烈度分布规律来研究这次地震

的特性,研究的主要目标在于地震本身而不是地震动。工程抗震学由于要了解工程结构在地震时的反应,所以了解地震动的动力特性,即研究的目标是地震动本身,是地震动与结构振动的关系,而不是或主要不是地震本身。

除了地震活动性之外,地震学还重视用地震地质、地球物理勘探等多种手段来研究地球内部构造;工程抗震学则重视工程结构物的动力性能、抗震设计和鉴定加固。这是两学科互不相关的专业领域。

本书在了解地震学基本概念的基础上,重点阐述了工程抗震学的有关内容,使读者对其有比较深入的了解。

1.1 地震的成因

1.1.1 地球的构造

地球是一个半径约为 6 400 km 的椭球体,由地表到核心可分为性质不同的三层,如图 1-2 所示。

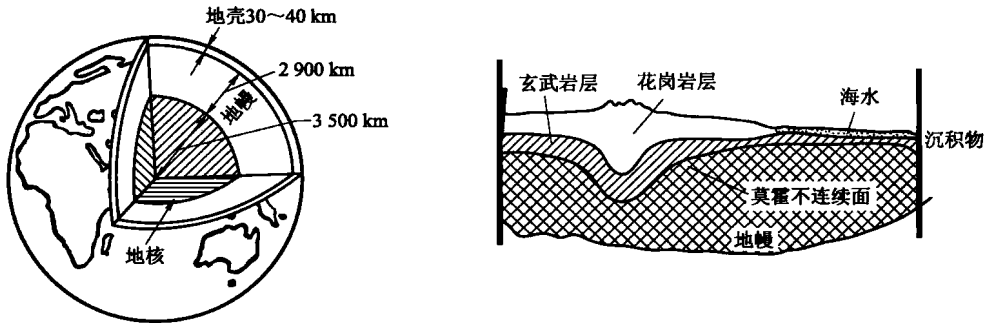


图 1-2 地球断面与地壳剖面图

1. 地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳,它由各种不均匀的岩石组成。地壳的下界称为莫霍界面,或称莫霍不连续面。地壳的厚度在全球变化很大,在大陆内一般厚 16 ~ 40 km;高山地区厚度更大,中国西藏高原及天山地区厚达 70 km;海洋下面厚度最小,一般为 10 ~ 15 km,最薄的约为 5 km。世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。地壳表面为沉积层,陆地部分主要为花岗岩层,海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。

2. 地幔

地壳以下到深度约为 2 895 km 的古登堡界面为止的部分称为地幔,约占地球体积的 5/6。地幔由密度较大的黑色橄榄岩等超基性岩石组成,其中上地幔物质结构不均匀,而中、下地幔部分物质结构是比较均匀的。由于地幔能传播横波(剪切波),所以根据推算,地幔应为固体。

3. 地核

古登堡界面以下直到地心的部分称为地核。地核半径约为 3 500 km,又可分为外核和内核。据推测,地核的物质成分主要为镍和铁。由于至今还没有发现有地震横波通过外核,

故推断外核处于液态，而内核可能是固态。

地球各部分的密度随温度增加而增大，地球内部的温度随深度的增加而升高，但增长率随深度增加而减小。经推算，从地下 20 km 到地下 700 km（多数地震发生在这个深度范围内），其温度大约从 600 °C 上升到 2 000 °C。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。地球内部长期保持高温主要是其所含放射性物质不断释放热量的缘故。另外，地球内部的压强也是不均衡的，在地幔上部约为 900 MPa，地核中心可达到 370 000 MPa。

1.1.2 地震的发生过程

地震就是由于地球内某处岩石突然破裂，或因局部岩层塌陷，火山爆发等发生了振动，并以波的形式传到地表引起地面的颠簸和摇晃，从而引起了地面的运动。发生地震的地方称为震源。震源是有一定范围的，但地震学里常常把它当做一个点来处理，这是因为地震学考虑的是大范围的问题，震源相对来说很小，可以当做一个点。震源在地表的投影称为震中。震源至地面的垂直距离称为震源深度。通常把震源深度在 60 km 以内的地震称为浅源地震，60 ~ 300 km 以内的称为中源地震，300 km 以上的称为深源地震。

世界上绝大部分地震是浅源地震，震源深度集中在 5 ~ 20 km，中源地震比较少，而深源地震为数更少。我国东北吉林省东部地区曾发生过深源地震。一般来讲，对于同样大小的地震，当震源较浅时，波及范围较小，而破坏程度较大；当震源深度较大时，波及范围则较大，而破坏程度相对较小，深度超过 100 km 的地震在地面上一般不致引起灾害。

1.1.3 地震的成因

关于地震的成因，目前仍然是一个在讨论中的问题。归结起来有两种不同的观点：一种是地质构造学说，认为绝大多数地震是由于地质构造作用产生的；另一种是板块构造运动学说，认为大多数地震是由于板块构造运动作用产生的。

主张地质构造学说的人们认为，地壳是由各种岩层构成的，在地球运动和发展过程中内部存在着大量的能量，地壳中的岩层在这些能量所产生的巨大的力的作用下发生变形，岩层中产生应力并日积月累。当岩层内应力积累超过某处岩层的强度极限时，岩层遭到破坏，产生断裂和错动（图 1-3），将所积累的应变能转化为波动能，以地震波的形式向外传播，当这种振动传到地面时就会引起地面的振动，从而形成了地震。



图 1-3 地壳构造变动与地震形成示意图

板块构造运动学说则认为地壳与上地幔顶部的岩石层可以分为若干个大小的板块，在地幔软流层之上异常缓慢而又持续不停地漂移。全球地壳可以分为六大板块，即欧亚、太平洋、美洲、非洲、澳洲与南极洲板块，如图 1-4 所示。各大板块之内还可以划分成较小

的板块。

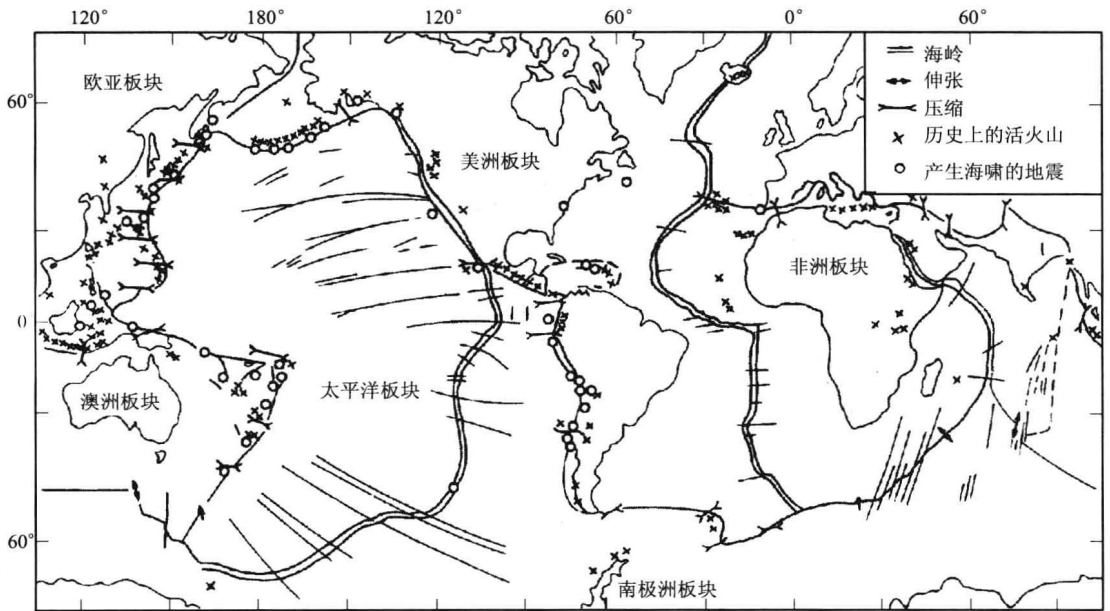


图 1-4 全球板块分布图

板块构造运动学说有以下几个观点。

(1) 地幔上部软流层的物质由海岭涌出，推着软流层上总厚约 100 km 的岩石圈在水平方向移动并形成新的海底，如图 1-5 所示；岩石圈在海沟处又插入另一部分岩石圈之下，返回软流层。

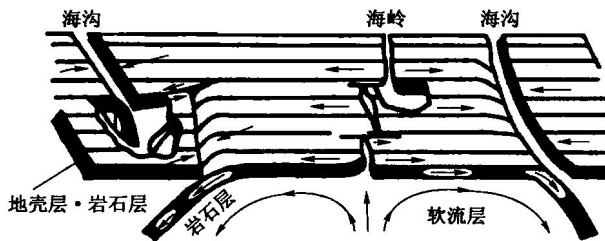


图 1-5 板块运动

(2) 岩石圈运动的动力来自地幔物质的对流，对流发生于软流层，作用于岩石层的底部。海岭形成于对流上升区，海沟形成于对流下降区。

(3) 对流循环的形态是由地球内部决定的，大陆仿佛是坐在传送带上一样，随着岩石层一起流动。当大陆漂移到下降区时，与海洋板块顶撞，大陆板块停留在上，而海洋板块插入其下返回地幔。海岭和海沟都是板块的边缘。

板块构造运动学说认为，占有地震 99% 的板块边缘地震是由板块运动引起的。如图 1-6 所示，由于地幔物质温度很高，从海岭处涌出后，温度迅速下降，物质逐渐凝固而

开始增加强度，海岭上部的物质，在板块运动下受拉力作用，由于强度较低，所以地震较小而且频繁。但当板块漂移到海沟附近时，经过上亿年的冷却而强度增加很大，所以地震较大；又由于板块向下插至地幔时的应力复杂，引起其本身与附近地壳的岩石层脆性破裂而发生地震。

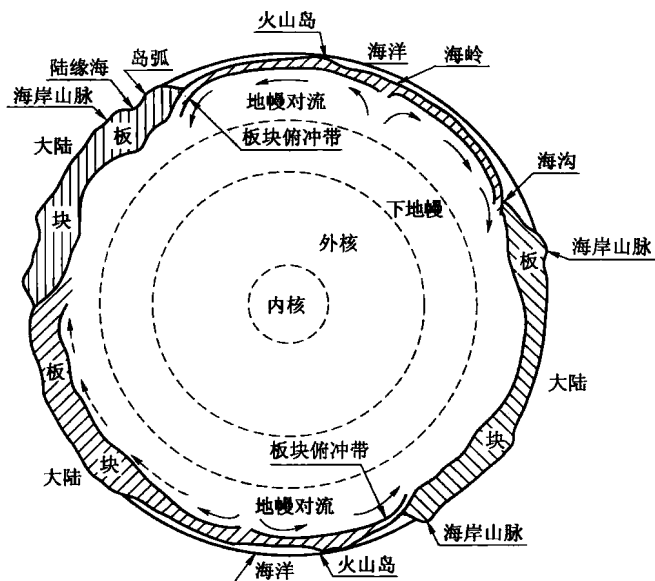


图 1-6 海底扩张示意图

有一些地震并不发生在板块边缘附近，这些地震称为板内地震。这种地震发生地点零散、频度较低，但因发生在人类居住区集中的大陆板块内，危害性较大，且震源机制较复杂。

日本、美国大多数学者赞成板块构造运动学说，而我国、印度和欧洲国家的大多数学者则赞成地质构造学说。也有的学者认为，在板块边缘及海洋处发生的地震大多数是由板块运动引起的，而发生在板块内的地震大多数是由地质构造运动引起的。

除构造地震之外，还有火山地震和陷落地震。火山地震由火山爆发引起。陷落地震由地壳中空穴顶板塌陷引起。两者数量较少，危害也不大。

1.2 地震的活动性

1.2.1 世界的地震活动

1. 世界地震的主要活动带

据统计，地球上平均每年发生震级为 8 级以上、震中烈度在 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，通常地震台上仪器能够记录到的地震至少在 100 万次以上，用高灵敏度地震仪才能记录下来的微弱振动更是数不胜数。小地震几乎到处都有，大地震则发生在某

些地区。这些以地震波形式释放出来的能量估计每年可达 9×10^{17} J，它主要是由少数大地震释放出来的，其中约 85% 的能量是由浅源地震释放出来的。

20 世纪初，科学家们在遍访各大洲进行宏观地震资料调查的基础上，编制了世界地震活动图，又根据地震台的观测数据编出了较精确的世界地震震中分布图（图 1-7），从这些图中可以清楚看到，地球上有以下四组主要地震带。

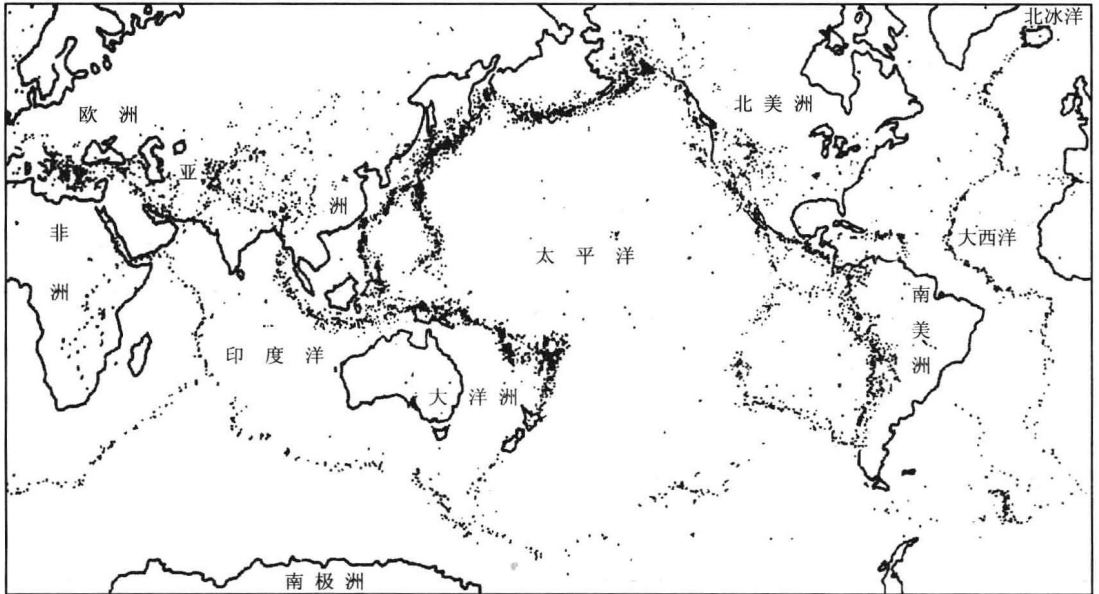


图 1-7 世界地震震中分布图

(1) 环太平洋地震带。全球约 80% 浅源地震和 90% 的中源地震，以及几乎所有的深源地震都集中在这一地带。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，到达菲律宾、新几内亚岛和新西兰。

(2) 欧亚地震带。除分布在环太平洋地震活动带的中、深源地震以外，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。这一活动带内的震中分布大致与山脉走向一致。它西起大西洋的亚速尔群岛，经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区，过缅甸到印度尼西亚与上述环太平洋地震带相衔接。

(3) 沿北冰洋、大西洋和印度洋中主要山脉的狭窄浅震活动带。北冰洋、大西洋带是从勒拿河口地震较稀少的地区开始，经过一系列海底山脉和冰岛，然后顺着大西洋底的隆起带延伸；印度洋地震带始于阿拉伯之南，沿海底隆起延伸，之后朝南走向南极。

(4) 地震相当活动的断裂谷。如东非洲和夏威夷群岛等。

前两者为世界地震的主要活动地带。

2. 近期世界地震活动

近年来国内外发生的著名大地震如表 1-1 所示。

这些大地震不但造成了大量的人员伤亡，还使大量结构物遭到破坏，交通、生产中断，水、火、疾病等次生灾害发生，给人类带来了不可估量的损失。

表 1-1 近期世界地震情况

时 间	地 点	震级/级	震中烈度/度
1960 年 5 月 22 日	智利南部	8.5	11
1964 年 3 月 27 日	美国阿拉斯加	8.4	10
1964 年 6 月 27 日	日本新潟	7.5	8
1968 年 5 月 16 日	日本十胜冲	7.5~8	
1970 年 1 月 5 日	中国海通	7.7	10
1970 年 5 月 31 日	秘鲁北部	7.6	
1973 年 2 月 6 日	中国甘孜	7.9	
1975 年 2 月 4 日	中国海城	7.3	9
1976 年 7 月 28 日	中国唐山	7.8	11
1985 年 9 月 19 日	墨西哥城	8.1	
1988 年 12 月 7 日	亚美尼亚	7.1	9
1995 年 1 月 17 日	日本兵库县南部	7.2	7 (日本震度划分最高级)
1999 年 9 月 21 日	中国台湾省集集	7.6	9

1.2.2 我国的地震活动及主要特点

1. 我国的地震活动

我国东临环太平洋地震带，南接欧亚地震带，地震区分布很广。图 1-8 给出了我国境内 6 级及 6 级以上的地震震中分布及主要的地震带。我国主要地震带有以下两条。

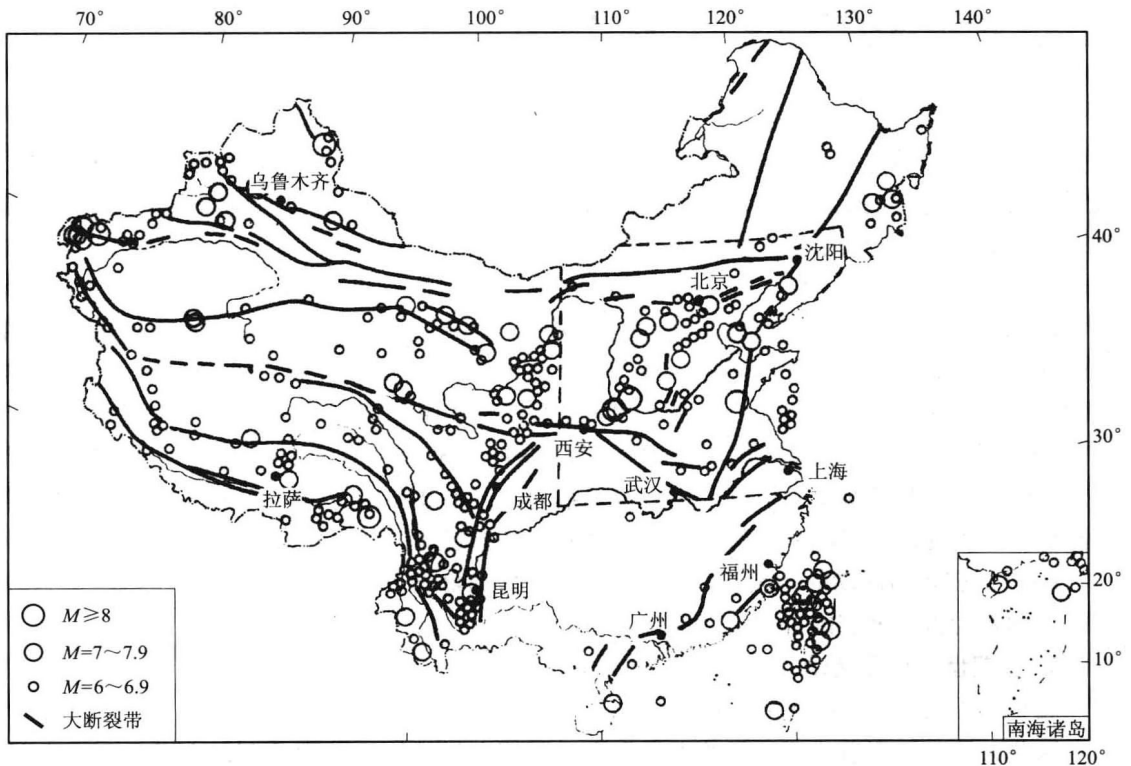


图 1-8 我国境内震级大于或等于 6 级的强震震中分布