

土木工程研究生系列教材

地震工程学

李宏男 主 编
陈国兴 副主编
林 皋 主 审



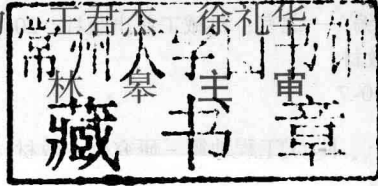
土木工程研究生系列教材

地震工程学

李宏男 主 编

陈国兴 副主编

李宏男 陈国兴 刘晶波 等编著
杜修力



机械工业出版社

我国是一个多地震的国家,海城地震、唐山地震、汶川地震等给人民的生命财产造成了巨大损失。减轻地震灾害一直是地震工程研究者和土木工程师为之奋斗的目标。本书涉及地震工程学的各个领域。第1篇介绍地震学的基础知识、地震动特性、场地地震效应与分析方法。第2篇介绍工程结构的抗震设计原理、地震反应分析方法与试验技术。第3篇介绍混凝土结构、钢结构、砌体结构房屋的抗震性能与抗震设计方法。第4篇介绍土石坝、混凝土坝的抗震分析方法。第5篇介绍桥梁抗震设计理论、分析方法与设计实例。第6篇介绍基础隔震、吸振减震、耗能减震与结构控制的理论、方法与技术。

本书的读者对象为土木工程、水利工程、交通工程、海洋工程等学科相关专业的高年级本科生、研究生、工程技术人员及科学研究者。

图书在版编目(CIP)数据

地震工程学/李宏男主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 6

土木工程研究生系列教材

ISBN 978-7-111-41680-7

I. ①地… II. ①李… III. ①工程地震—研究生—教材 IV. ①P315.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第038898号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛 臧程程

版式设计:霍永明 责任校对:姜婷

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·33.25印张·1插页·825千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41680-7

定价:65.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

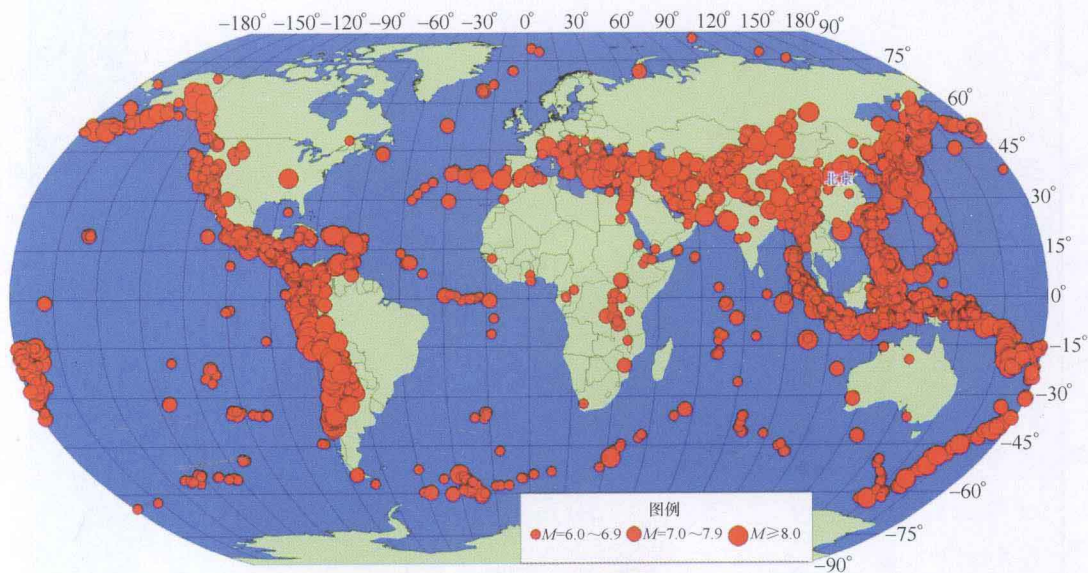


图 1-8 世界震中分布图 (公元前 2150 年 ~ 2005 年 12 月)

注: 本图由中国地震局地球物理研究所高孟潭研究员提供。

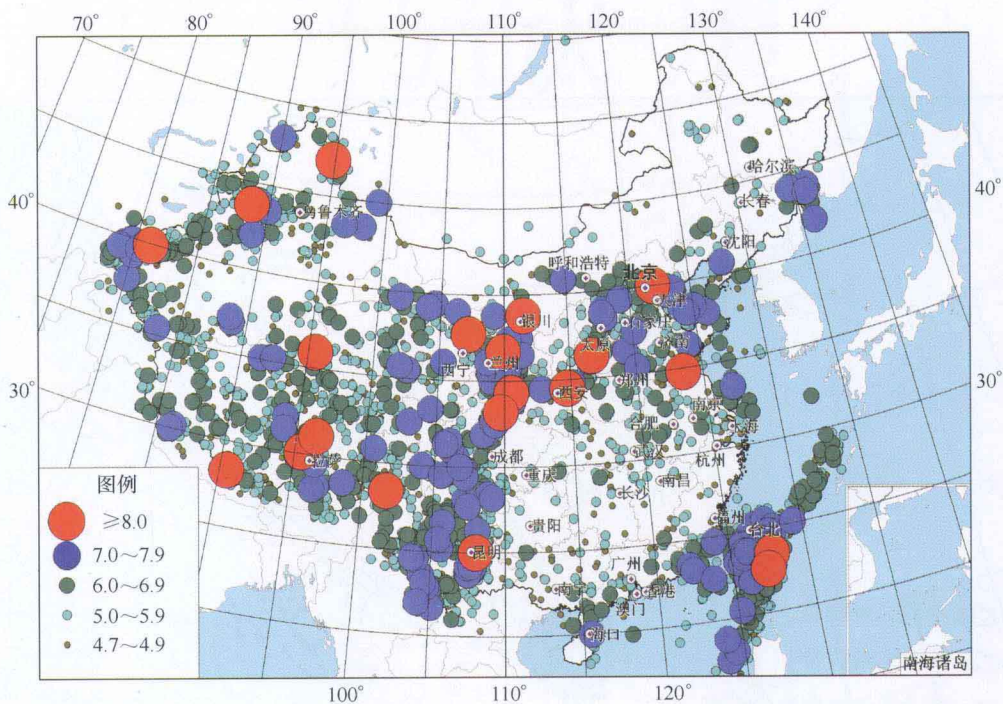


图 1-9 中国震中分布图 (公元前 780 年 ~ 2005 年 12 月)

注: 本图由中国地震局地球物理研究所高孟潭研究员提供。

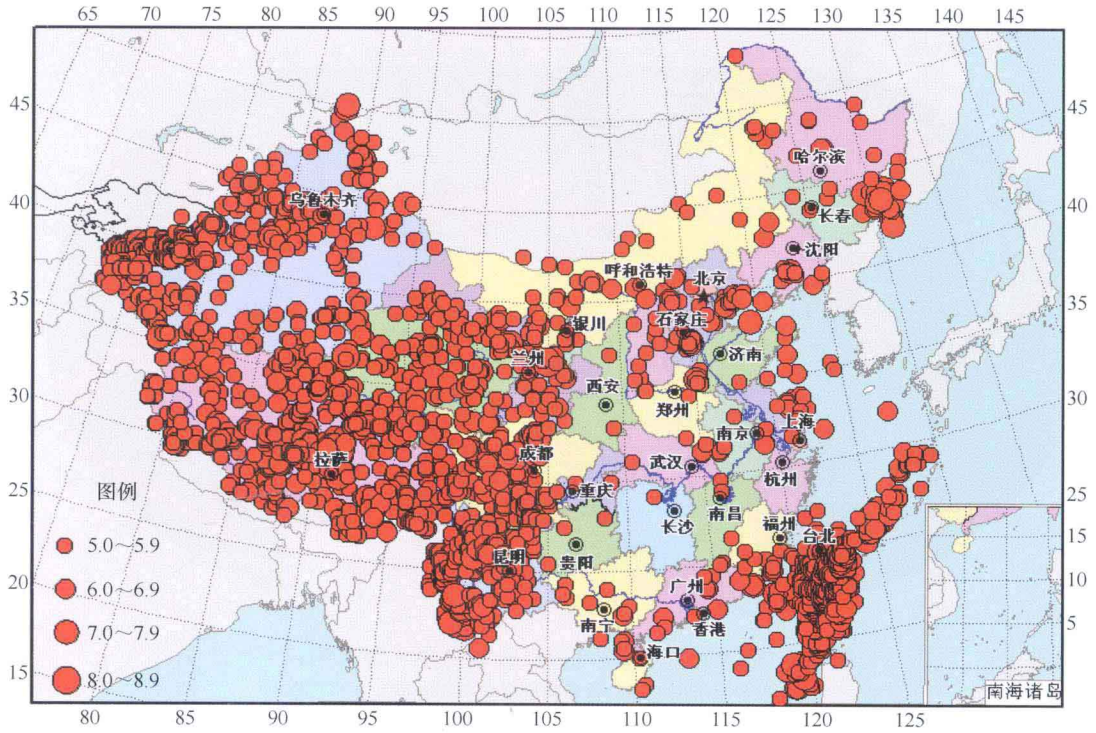


图 1-13 1900 年~2007 年 6 月 5 级以上震级的中国地震震中分布
注：本图由中国地震局兰州地震研究所王兰民研究员提供。

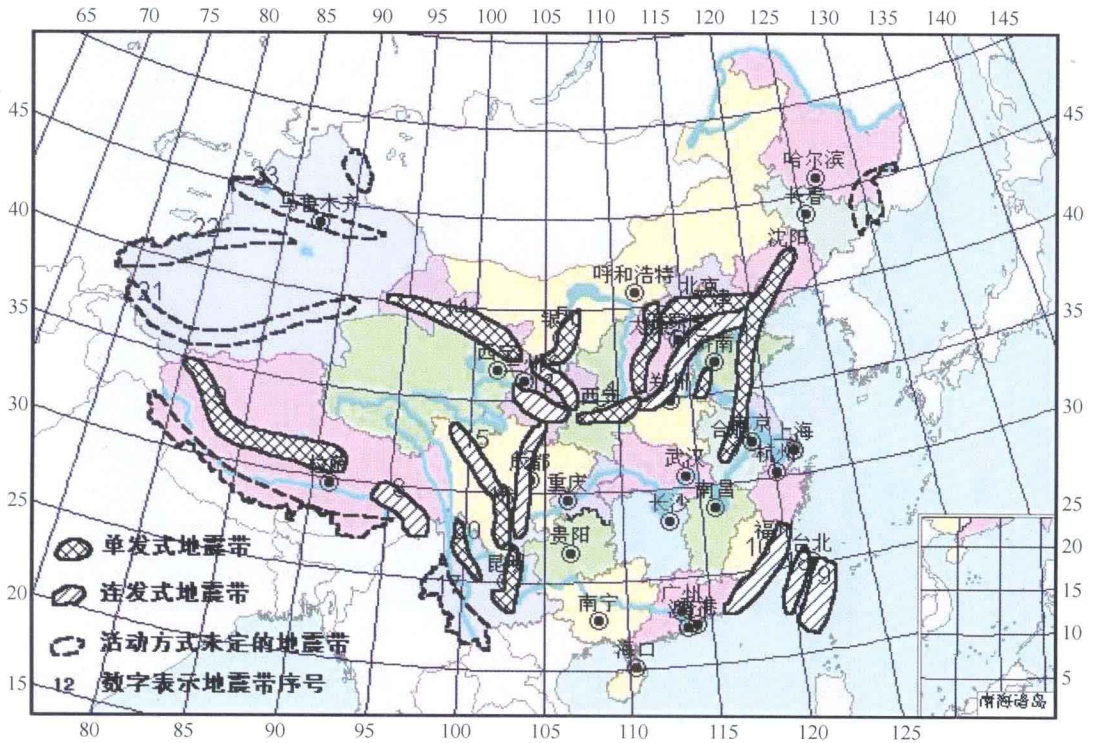


图 1-14 中国地震带示意图

本书各篇章的编著者

- 第1篇 工程地震 第1章至第4章：陈国兴教授撰写。
- 第2篇 结构抗震技术与试验技术 第5章至第9章：刘晶波教授撰写。
- 第3篇 房屋结构抗震 第10章至第12章：徐礼华教授撰写。
- 第4篇 水工结构抗震 第13章：陈国兴教授、赵剑明教授级高级工程师撰写；第14章：杜修力教授、王进廷副教授撰写。
- 第5篇 桥梁抗震 第15章至第17章：王君杰教授撰写。
- 第6篇 结构减震控制 第18章至第21章：李宏男教授和霍林生副教授撰写。

土木工程研究生系列教材编审委员会

顾问: (以姓氏笔画为序)

刘宝琛	刘祖德	刘怀恒	王正宏	林 皋
任爱珠	朱博鸿	沈世钊	沈祖炎	欧进萍
陈英俊	周 氏	周锡元	钟善桐	赵国藩
殷宗泽	顾晓鲁	蔡美峰		

主任委员: 江见鲸

副主任委员: (以姓氏笔画为序)

朱合华	李宏男	李 奇	李爱群	陈云敏
张永兴	杜修力	张素梅	尚守平	姜忻良
夏 禾	徐志胜	廖红建		

委员: (以姓氏笔画为序)

卫 军	王 钊	王清湘	卢廷浩	朱召泉
李正良	李英民	李洪泉	李鸿晶	刘晶波
吴知丰	陈国兴	杨果林	张家生	张毅刚
张耀春	郑 刚	易伟建	单 建	周朝阳
赵树德	徐礼华	袁迎曙	康清良	盛宏玉

前 言

PREFACE

地震工程学是土木工程、水利工程、交通工程、海洋工程等学科相关专业研究生必修的一门专业基础课，主要讲授工程地震和工程结构抗震理论的基本知识。地震工程学以本科阶段的工程结构抗震原理为起点，将以更宽广的视角、更深的层次，应用多学科交叉的理论和方法，对地震波特征和场地效应进行研究，解决复杂的工程抗震问题。许多高校都为研究生开设了地震工程学方面的课程，一般以某些专著为基础选择若干章节或自编讲义进行讲授，一直缺乏较为通用的基本教程，迫切需要一本能适合不同行业专业特点使用的地震工程学教程，为此，我们编写了这本《地震工程学》教材。

我国是一个多地震的国家，海城地震、唐山地震、汶川地震等给人民的生命财产造成了巨大损失。减轻地震灾害一直是地震工程研究者和土木工程师为之奋斗的目标。《中华人民共和国防震减灾法》明确指出：防震减灾工作，实行预防为主、防御与救助相结合的方针。最根本的预防措施为做好建设工程的抗震设防，采取有效的工程性和非工程性防御措施，提高工程结构的抗震能力，最大限度地降低地震灾害的风险，以满足人民生活、经济发展和社会进步的需要。因此，应大力提高土建类技术人员和研究生的工程地震、工程抗震的理论知识水平和应用能力，在其自身的职业生涯中，自觉地将建设工程抗震设防贯穿于工程的规划选址、设计、施工和竣工验收的全过程。

本书是一本研究生教材，注重理论的系统性和应用的可操作性，力图将工程地震、工程抗震的基本理论与工程应用方面的主要内容、研究成果、震害经验及工程实践有机地联系起来，使读者对地震工程学的学科体系、理论方法和主要内容有清晰和全面的了解，并在此基础上能从事与工程抗震有关的科学研究和工程实践。

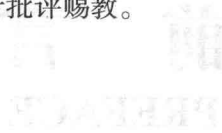
本书由大连理工大学林皋院士主审。南京工业大学陈国兴教授撰写第1篇“工程地震”的第1章至第4章，清华大学刘晶波教授撰写第2篇“结构抗震技术与试验技术”的第5章至第9章，武汉大学徐礼华教授撰写第3篇“房屋结构抗震”的第10章至第12章，南京工业大学陈国兴教授、中国水利水电研究院赵剑明教授级高级工程师撰写第4篇“水工结构抗震”的第13章，北京工业大学杜修力教授、清华大学王进廷副教授撰写第4篇“水工结构抗震”的第14章，同济大学王君杰教授撰写第5篇“桥梁抗震”的第15章至第17章，大连理工大学李宏男教授和霍林生副教授撰写第6篇“结构减震控制”的第18章至第21章。大连理工大学李宏男教授、南京工业大学陈国兴教授负责全书的修改和统稿工作；大连理工大学霍林生副教授和南京工业大学王志华副教授也参与了全书的部分统稿工作。

书中成果得到国家重点基础研究发展计划（973计划）（2011CB013605）、国家自然科学基金委创新研究群体基金（51121005）和国家自然科学基金重大研究计划集成项目资助，

在此表示衷心感谢。

作者虽然长期从事地震工程领域的科学研究与工程实践，但限于知识面的局限性，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评赐教。

作者



主要内容... 作者... 地震工程... 本书... 第一章... 第二章... 第三章... 第四章... 第五章... 第六章... 第七章... 第八章... 第九章... 第十章... 第十一章... 第十二章... 第十三章... 第十四章... 第十五章... 第十六章... 第十七章... 第十八章... 第十九章... 第二十章... 第二十一章... 第二十二章... 第二十三章... 第二十四章... 第二十五章... 第二十六章... 第二十七章... 第二十八章... 第二十九章... 第三十章... 第三十一章... 第三十二章... 第三十三章... 第三十四章... 第三十五章... 第三十六章... 第三十七章... 第三十八章... 第三十九章... 第四十章... 第四十一章... 第四十二章... 第四十三章... 第四十四章... 第四十五章... 第四十六章... 第四十七章... 第四十八章... 第四十九章... 第五十章... 第五十一章... 第五十二章... 第五十三章... 第五十四章... 第五十五章... 第五十六章... 第五十七章... 第五十八章... 第五十九章... 第六十章... 第六十一章... 第六十二章... 第六十三章... 第六十四章... 第六十五章... 第六十六章... 第六十七章... 第六十八章... 第六十九章... 第七十章... 第七十一章... 第七十二章... 第七十三章... 第七十四章... 第七十五章... 第七十六章... 第七十七章... 第七十八章... 第七十九章... 第八十章... 第八十一章... 第八十二章... 第八十三章... 第八十四章... 第八十五章... 第八十六章... 第八十七章... 第八十八章... 第八十九章... 第九十章... 第九十一章... 第九十二章... 第九十三章... 第九十四章... 第九十五章... 第九十六章... 第九十七章... 第九十八章... 第九十九章... 第一百章...

目 录

CONTENTS

前言

第 1 篇 工程地震

<p>第 1 章 地震学基础 2</p> <p> 1.1 地震发生的地质构造环境 2</p> <p> 1.1.1 地震学的主要研究内容 2</p> <p> 1.1.2 地球内部构造 2</p> <p> 1.1.3 板块运动 4</p> <p> 1.2 地震成因与地震类型 6</p> <p> 1.2.1 地震成因 6</p> <p> 1.2.2 地震类型 8</p> <p> 1.3 震源机制与地震活动性 9</p> <p> 1.3.1 震源机制 9</p> <p> 1.3.2 地震活动性 10</p> <p> 1.4 地震波传播 15</p> <p> 1.4.1 地球介质的基本假定 15</p> <p> 1.4.2 波动方程 15</p> <p> 1.4.3 弹性波的传播 17</p> <p>第 2 章 地震灾害与地震烈度 21</p> <p> 2.1 地震灾害 21</p> <p> 2.1.1 地震灾害概况 21</p> <p> 2.1.2 地表变形 23</p> <p> 2.1.3 工程结构的破坏 25</p> <p> 2.1.4 次生灾害 26</p> <p> 2.2 地震震级 28</p> <p> 2.3 地震烈度与地震烈度表 30</p> <p> 2.3.1 地震烈度及其用途 30</p> <p> 2.3.2 地震烈度表 32</p> <p> 2.3.3 关于地震烈度的不同观点 40</p> <p> 2.4 地震烈度的衰减规律 41</p> <p> 2.4.1 震中烈度与震级关系 41</p> <p> 2.4.2 地震烈度的衰减关系 42</p> <p> 2.5 地震烈度的影响因素 45</p> <p> 2.5.1 震源影响 45</p>	<p> 2.5.2 场地条件的影响 47</p> <p> 2.5.3 影响地震烈度的其他因素 50</p> <p>第 3 章 地震动特性 51</p> <p> 3.1 强地震动观测 51</p> <p> 3.1.1 强震观测仪器 51</p> <p> 3.1.2 强震观测系统 52</p> <p> 3.2 地震动的随机过程描述 56</p> <p> 3.2.1 随机过程的概率结构 56</p> <p> 3.2.2 随机过程的平稳性和平稳化随机过程 57</p> <p> 3.2.3 随机过程的自相关函数与功率谱密度函数 58</p> <p> 3.2.4 平稳随机过程的互相关函数与互功率谱密度函数 61</p> <p> 3.2.5 平稳随机过程的谱参数 62</p> <p> 3.2.6 平稳随机过程的交差问题 63</p> <p> 3.2.7 平稳随机过程峰值的分布或极大值的概率密度函数 65</p> <p> 3.2.8 地震动的随机过程模型 67</p> <p> 3.3 地震动的工程特性及其影响因素 68</p> <p> 3.3.1 地震动的幅值 68</p> <p> 3.3.2 地震动频谱特性 69</p> <p> 3.3.3 地震动持时 74</p> <p> 3.4 地震烈度与地震动的关系 75</p> <p> 3.4.1 地震烈度与地震动峰值的关系 76</p> <p> 3.4.2 地震烈度与地震动参数关系的多值性 78</p> <p> 3.4.3 地震动参数衰减关系 78</p> <p> 3.5 近场地震动特征 82</p> <p> 3.5.1 近断层速度和加速度大脉冲 83</p> <p> 3.5.2 近断层破裂的方向性效应 84</p>
--	---

3.5.3 上盘效应	87	液化判别方法	106
3.5.4 近断层强地震动的集中性	87	4.2.4 砂土液化概率判别法	107
3.6 远场强地震动特征	89	4.3 土的动力本构关系	108
第4章 土体地震反应	91	4.3.1 土的动应力-应变关系的基本特性	108
4.1 土的动力特性	91	4.3.2 土的粘弹塑性模型	109
4.1.1 饱和砂性土震动液化机理	91	4.3.3 土的等效非线性粘弹塑性模型	115
4.1.2 饱和砂土抗液化强度的影响因素	93	4.3.4 土的动剪切模量和阻尼比的经验估计	117
4.1.3 饱和砂土的抗液化强度	95	4.4 场地地震反应分析	123
4.1.4 粘性土的动强度	97	4.4.1 一维场地地震反应分析	123
4.1.5 饱和砂土振动孔隙水压力的增长规律	99	4.4.2 二维横向非均匀场地地震反应分析	127
4.2 饱和砂土地场地的地震液化判别	101	4.4.3 人工边界条件	128
4.2.1 砂土液化的初步判别	101	参考文献	130
4.2.2 砂土液化判别的 NCEER 法	102		
4.2.3 《建筑抗震设计规范》的砂土			

第2篇 结构抗震技术与试验技术

第5章 结构抗震设计原理	138	方法与抗震设计反应谱	163
5.1 结构抗震设计理论的发展	138	6.1 结构的运动方程	163
5.1.1 静力理论阶段	138	6.1.1 单自由度结构运动方程	163
5.1.2 反应谱理论阶段	138	6.1.2 多自由度结构运动方程	165
5.1.3 动力理论阶段	139	6.2 单自由度结构地震作用时程分析	166
5.1.4 基于结构性能的抗震设计理论	140	6.3 单自由度结构地震反应分析的反应谱法	169
5.2 结构抗震概念设计	141	6.4 多自由度结构的振型和自振频率	172
5.2.1 场地和地基	141	6.4.1 自振频率和振型	172
5.2.2 建筑结构的规则性	142	6.4.2 振型坐标变换	176
5.2.3 抗震结构体系	143	6.5 多自由度结构地震反应分析的振型分解法	178
5.2.4 非结构构件	144	6.6 结构地震反应的振型分解反应谱法	180
5.2.5 结构材料与施工	145	6.6.1 振型最大地震作用	180
5.3 基于性能的抗震设计	145	6.6.2 振型组合	180
5.3.1 基于性能的抗震设计思想	145	6.6.3 反应谱理论基本假设	182
5.3.2 地震风险水准	148	6.7 抗震设计反应谱	182
5.3.3 基于性能的抗震设计的性能水平和目标性能	148		
5.3.4 基于性能的抗震设计方法	149	第7章 结构弹塑性地震反应分析方法	189
5.4 结构抗震体系	155	7.1 结构的力学模型	189
5.4.1 典型震害的启示	155	7.2 构件刚度模型	192
5.4.2 结构抗震体系	156	7.3 恢复力模型	199
5.4.3 结构总体布置原则	160	7.4 恢复力特性计算	205
5.4.4 结构的延性	161	7.5 时域逐步积分法	207
5.4.5 设置多道抗震防线	162		
第6章 结构线弹性地震反应分析			

7.5.1 中心差分法	208	9.1.3 破坏模型试验	263
7.5.2 Newmark- β 法	209	9.1.4 结构抗震模型试验	264
7.6 结构静力弹塑性 (Push-over) 分析 方法	213	9.2 结构拟静力试验 (Pseudo- static test)	265
7.6.1 基本原理	214	9.2.1 试件类型	266
7.6.2 结构能力曲线	214	9.2.2 拟静力试验的加载制度	266
7.6.3 结构抗震能力的评估	216	9.2.3 加载设备和装置	267
第 8 章 地震作用和结构抗震验算	223	9.2.4 加载的反力装置	268
8.1 水平地震作用计算	223	9.2.5 试验数据的测量和采集	268
8.1.1 底部剪力法	223	9.2.6 二维拟静力结构加载试验方法	268
8.1.2 振型分解反应谱法	228	9.3 结构拟动力试验 (Pseudo dynamic test)	270
8.1.3 时程分析方法	232	9.3.1 拟动力试验的试验流程	271
8.2 竖向地震作用计算	232	9.3.2 拟动力试验理论问题	271
8.2.1 《抗震规范》给出的计算方法	232	9.3.3 拟动力方法的若干应用	273
8.2.2 反应谱法和时程分析方法	233	9.4 结构振动台试验	275
8.3 结构构件截面抗震验算	234	9.4.1 地震模拟振动台的分类	276
8.3.1 概述	234	9.4.2 地震模拟振动台动力加载试验 在抗震研究中的作用	276
8.3.2 基于可靠度的抗震分析	234	9.4.3 地震模拟振动台试验的加载 过程和试验方法	277
8.3.3 截面抗震验算	236	9.4.4 地震模拟振动台试验结构 反应的测量	278
8.4 结构抗震变形验算	238	9.5 结构动力特性的现场试验	278
8.4.1 弹性层间位移角限值	238	9.5.1 地震作用下结构的受力和变形 特点	278
8.4.2 弹塑性层间位移角限值	240	9.5.2 结构的动力特性及其量测	279
8.5 基于 Push-over 分析方法的结构 抗震验算	243	9.5.3 脉动方法测量结构的动力特性	281
8.5.1 能力谱方法	244	9.5.4 数据处理	286
8.5.2 位移延性系数方法	246	参考文献	288
8.5.3 位移影响系数法	246		
第 9 章 结构动力试验	256		
9.1 结构模型设计与相似理论	256		
9.1.1 结构模型设计的相似条件	257		
9.1.2 模型设计	260		

第 3 篇 房屋结构抗震

第 10 章 钢筋混凝土结构抗震性能与 抗震设计	290	10.2.1 钢筋混凝土框架结构抗震延性 设计	297
10.1 钢筋混凝土结构的抗震性能	290	10.2.2 剪力墙结构抗震延性设计	300
10.1.1 钢筋混凝土框架结构的抗震 性能	291	10.2.3 框架-剪力墙结构抗震延性 设计	302
10.1.2 钢筋混凝土剪力墙结构的抗震 性能	295	10.3 钢筋混凝土结构基于位移/性能的 抗震设计	303
10.1.3 框架-剪力墙结构抗震性能	296	10.3.1 基于位移/性能抗震设计理论的 提出	303
10.2 钢筋混凝土结构的抗震延性设计	297	10.3.2 基于位移的抗震设计方法	304

第 11 章 多高层房屋钢结构抗震性能与抗震设计	309	设计	319
11.1 多高层房屋钢结构抗震性能	309	12.1 砌体结构抗震性能	319
11.1.1 纯钢框架结构的抗震性能	309	12.1.1 砌体结构墙抗震性能	319
11.1.2 钢框架-支撑(抗震墙板)结构的抗震性能	310	12.1.2 多层砌体结构房屋的抗震性能	321
11.2 多高层房屋钢结构抗震设计	314	12.1.3 砌体结构墙抗震性能分析	322
11.2.1 地震作用计算	314	12.2 多层砌体结构抗震设计	325
11.2.2 构件抗震验算	315	12.2.1 地震作用计算	325
第 12 章 砌体结构抗震性能与抗震设计	319	12.2.2 墙体抗震验算	327
		参考文献	329

第 4 篇 水工结构抗震

第 13 章 土石坝抗震分析	332	13.5.2 动力时程安全系数法	348
13.1 概述	332	13.6 土石坝地震永久变形分析方法	349
13.1.1 我国土石坝工程建设概况	332	13.6.1 滑动体位移法	349
13.1.2 土石坝地震反应分析方法概述	333	13.6.2 等价结点力法	352
13.1.3 土石坝抗震稳定性分析方法概述	334	第 14 章 混凝土坝抗震分析	357
13.2 土石坝震害特点及其对抗震分析理论发展的作用	335	14.1 概述	357
13.2.1 土石坝震害特点	335	14.1.1 我国混凝土坝工程建设概况	357
13.2.2 震害对土石坝抗震理论发展的作用	337	14.1.2 混凝土坝震害实例	358
13.3 均质土坝地震反应分析的剪切梁法	338	14.1.3 混凝土坝抗震经验和教训	360
13.3.1 均质土坝的动力微分方程及其求解	338	14.2 重力坝地震反应分析	361
13.3.2 土坝地震反应最大值的简化计算	340	14.2.1 悬臂梁法	361
13.4 土石坝地震反应分析的有限元法	342	14.2.2 振型和频率计算	362
13.4.1 等效线性总应力法	343	14.2.3 地震作用计算方法	363
13.4.2 非线性有效应力法	343	14.2.4 坝体应力计算方法	364
13.5 土石坝抗震稳定性分析方法	345	14.3 拱坝地震反应分析	365
13.5.1 拟静力法	345	14.3.1 频域子结构模型	366
		14.3.2 时域子结构模型	368
		14.3.3 时域整体模型	369
		14.4 拱坝横缝非线性模拟	371
		14.4.1 接触单元法	371
		14.4.2 接触面法	372
		14.5 拱坝坝肩动力稳定性分析	373
		参考文献	375

第 5 篇 桥梁抗震

第 15 章 桥梁震害及其对桥梁抗震理论发展的推动作用	380	地震	381
15.1 大地震桥梁震害现象描述	380	15.1.3 1994 年美国北岭地震	383
15.1.1 1976 年唐山大地震	380	15.1.4 1995 年日本阪神地震	385
15.1.2 1989 年美国洛马·普里埃塔		15.1.5 2008 年汶川地震	386
		15.1.6 缆索承重桥梁和钢桥震害	389

设计 466

20.3 粘弹性阻尼器 468

20.3.1 粘弹性阻尼器的构造 468

20.3.2 粘弹性阻尼器的受力特性 469

20.3.3 剪力贮存模量和损耗模量的影响因素 470

20.3.4 粘弹性阻尼器的减震效果和设计 474

20.4 粘滞液体阻尼器 477

20.4.1 粘滞液体阻尼器的受力特性 479

20.4.2 粘滞液体阻尼器的减震效果和设计 482

20.5 软钢阻尼器 485

20.5.1 软钢阻尼器的构造 485

20.5.2 软钢阻尼器的受力特性 486

20.5.3 软钢阻尼器的减震效果和设计 491

第 21 章 结构主动、半主动及智能控制 493

21.1 概述 493

21.2 主动控制系统 493

21.2.1 主动控制系统的组成 493

21.2.2 主动控制的减震机理 494

21.2.3 主动控制的设计 496

21.3 半主动控制系统 499

21.3.1 半主动变刚度系统 499

21.3.2 半主动变阻尼控制系统 501

21.4 智能控制系统 503

21.4.1 磁流变阻尼器控制系统 503

21.4.2 压电摩擦阻尼器控制系统 507

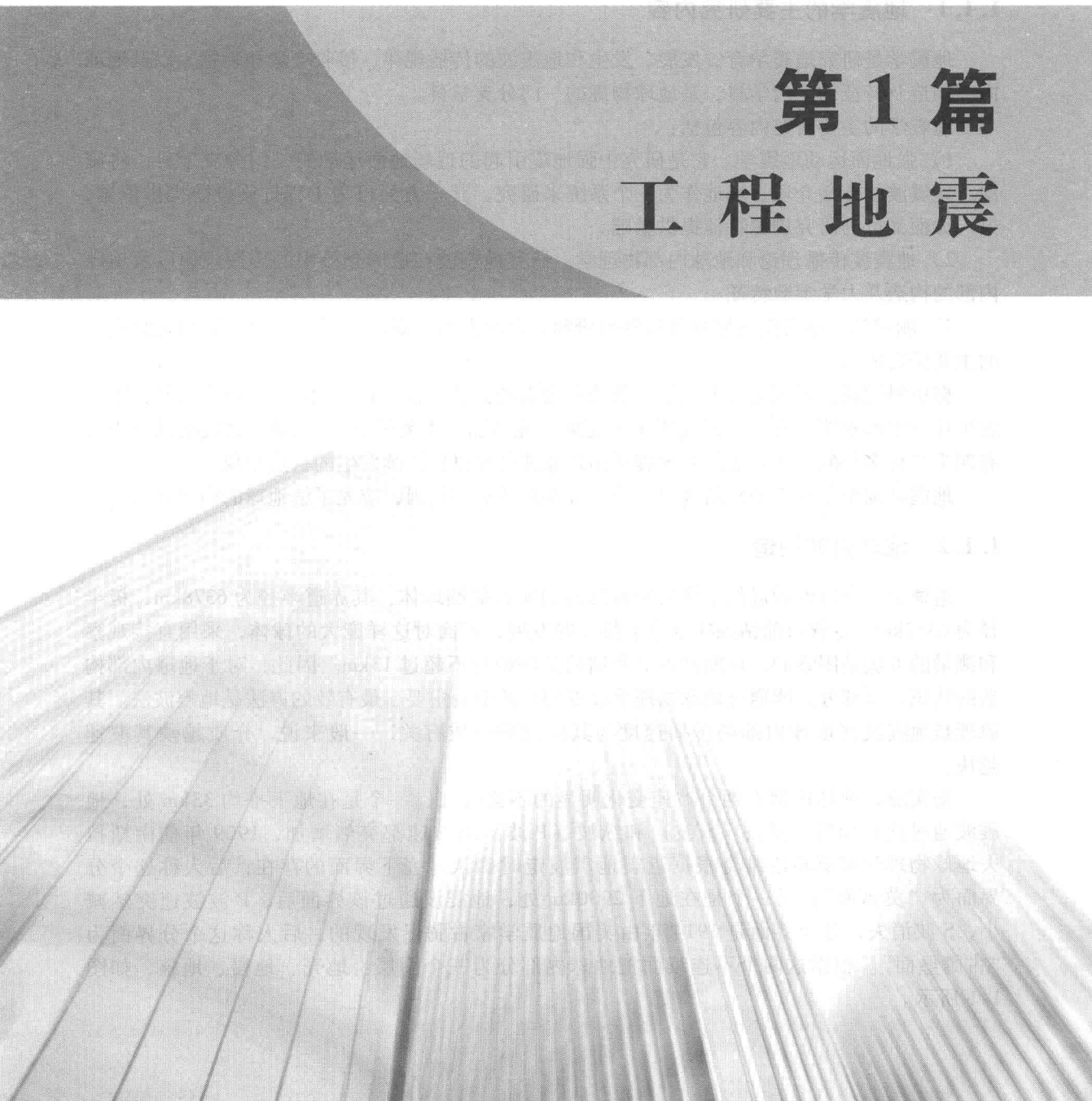
21.4.3 形状记忆合金阻尼器控制系统 511

参考文献 517

清华大学出版社

清华大学出版社

第1篇 工程地震



第 1 章 地震学基础

1.1 地震发生的地质构造环境

1.1.1 地震学的主要研究内容

地震学是研究地震孕育、发展、发生和地震波的传播规律、接收方法和装置，以及地球内部构造及特征的一门学科，是地球物理的一门分支学科。

地震学的主要研究内容包括：

1) 强地面运动地震学。它是研究中强地震引起的近场地面运动的一门分支学科，将震源、地震波的传播介质、场地作为一个系统来研究，其一方面可为工程抗震设防提供依据，另一方面又可为研究震源特征提供基础。

2) 地震波传播理论和地球内部物理学。研究地震波在地球介质中的传播规律以及地球内部的构造及力学参数特征。

3) 测震学。地震仪的原理及仪器的研制，台网布局，观测记录的分析、解释是测震学的主要研究内容。

据史料记载，我国历史上最早一条关于地震的记载在公元前 2222 年（帝舜三十五年），发生在今山西永济蒲州^[1]。据《墨子》记载“龙生庙，犬哭于市”。因此，地震活动至少已有四千二百多年的历史。实际上地震活动是地球形成以后持续发生的自然现象。

地震是发生在地下的自然现象，要了解地震活动的起因，应先了解地球的内部构造。

1.1.2 地球内部构造

地球是一个巨大的近似于绕其短轴旋转的实心椭圆球体，其赤道半径为 6378km，极半径为 6357km。尽管目前钻探技术有了很大的发展，可面对这样庞大的球体，采用直接观察和测量的方法是困难的。目前世界上所钻的最深的井不超过 13km。因此，对于地球内部构造的认识，大部分只能通过地球物理手段得到，其中最主要、最有效的方法是地震波法。其原理是地震波在地球内部的传播速度与其经过的介质有关，一般来说，介质越硬其波速越快。

据实测，地球内部有两个波速变化明显的不连续面，一个是在地下平均 33km 处，地震波通过此界面后，横波（S 波）和纵波（P 波）的波速都突然增加，1909 年前南斯拉夫地球物理学家莫霍洛维奇根据近震地震波走时确认地壳下界面的存在，后人称这个分界面为“莫霍面”；另一个是在地下 2900km 处，地震波通过该界面后，P 波波速突然减小，S 波消失，这个界面是 1914 年由美国地质学家古腾堡发现的，后人称这个分界面为“古腾堡面”。根据这两个不连续面把地球内部分为三个圈层：地壳、地幔、地核，如图 1-1 所示。