

建筑结构 抗震设计理论与方法

(下册)

■ 潘鹏 张耀庭 编著 ■ 叶列平 主审



科学出版社

建 筑 结 构 抗震设计理论与方法

(下册)

潘 鹏 张耀庭 编著

叶列平 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书详细讲解建筑结构抗震设计的基础理论, 全面介绍建筑结构抗震设计方法的发展与前沿。上册首先介绍地震学和结构振动分析的基础知识, 然后讲解单自由度体系的地震响应规律和反应谱, 接下来讲解多自由度体系的分析模型、分析方法和地震响应规律, 最后从能量的角度分析结构地震响应和地震损伤。下册则首先介绍建筑结构抗震设计方法和相关规范, 并介绍基于性能的抗震设计及其在规范中的体现, 然后讲解地基基础、砌体结构、钢筋混凝土结构和钢结构的抗震设计, 接下来讲解隔震和消能减震结构设计, 最后介绍震后功能可恢复结构的概念和实现方法。

本书可作为土木工程相关专业高年级本科生和研究生的教材, 也可供从事建筑结构抗震相关工作的科研人员和工程设计人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计理论与方法: 全 2 册 / 潘鹏, 张耀庭编著. —北京: 科学出版社, 2017

ISBN 978-7-03-054333-2

I. ①建… II. ①潘… ②张… III. ①建筑结构—防震设计 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 215820 号

责任编辑: 王 钰 / 责任校对: 陶丽荣

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华设计部

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京艺堂印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 35 3/4

字数: 802 000

定价: 78.00 元 (上、下册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈艺堂〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135319-2028

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

地震工程学发展至今已有 100 余年的历史,地震工程和结构工程界对地震作用和结构抗震设计方法进行了大量的研究,基本上掌握了结构抗震的一般原理与方法。大量的震害实例及工程实践经验表明,对工程结构进行科学的抗震设计,是消除或减轻地震灾害最积极有效的措施。与此同时,也发现很多结构在地震中的表现和所预期的结果并非一致,地震所导致的工程结构破坏,依然是地震灾害的主要问题。因此,结构工程师责任重大,有必要投入更多精力深入地研究和掌握地震作用的基本规律和结构抗震设计的原理和方法。

“建筑抗震设计”是我国高校土木工程专业核心专业课程之一。当前,市面上关于建筑抗震设计方面的教材,大多数以我国抗震规范的章节为蓝本、基于对抗震规范条文内容的介绍和解释而编写,较严重地受到规范章节及条文内容的束缚与限制;从学生学习的角度上看,现有教材的普遍特点是内容多而庞杂,未能形成相对系统、完整的地震工程学的理论框架,缺少经典教科书的特点,应该深入重点学习的知识没有介绍,应该粗略了解的知识又讲得过多且模棱两可,并且在新理论与新技术方面涉及较少。因此,合适的建筑结构抗震书籍,无论是土木工程专业本科高年级学生还是研究生用教材,还是结构工程技术人员的参考书,都十分缺乏。编写一本相对系统地介绍建筑抗震设计的基础理论、方法、应用及发展趋势,适应不同层次的教学与科研人员需求,且具有鲜明特点的建筑抗震设计教科书很有必要。在此背景下,应科学出版社邀请,历经 3 年时间完成了本书的编写。

本书分为上、下两册总计 17 章,上册侧重于建筑结构抗震的基本原理,下册侧重于建筑结构抗震设计方法和规范。上册包括 8 章,分别是:第一章 绪论;第二章 地震学基础知识;第三章 结构振动分析基础;第四章 单自由度结构的地震反应;第五章 多自由度结构弹塑性分析模型;第六章 多自由度结构弹塑性分析方法;第七章 多自由度结构的地震响应;第八章 地震能量和损伤分析方法。下册包括 9 章,分别是:第九章 结构抗震设计方法和规范;第十章 基于性能/位移结构抗震设计方法;第十一章 地基与基础抗震与设计;第十二章 砌体结构的抗震性能与设计;第十三章 钢筋混凝土结构的抗震性能与设计;第十四章 钢结构的抗震性能与设计;第十五章 消能减震结构设计;第十六章 隔震结构设计;第十七章 震后功能可恢复的新型抗震体系。本书第一章~第十章及第十五章~第十七章由潘鹏执笔,第十一章~第十四章由张耀庭执笔。全书由叶列平审核。

在本书的编制过程中,清华大学的邓开来、吴守君、张东彬和李伟等承担了大量的文字编辑工作。本书稿被用作清华大学研究生课程“结构抗震与减震原理”2016 年春季学期和 2017 年春季学期的教学参考文档,选修这门课的同学们对本书稿提出了宝贵的修改意见和建议。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免出现文字或内容方面的不当之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

上 册

第一章 绪论	1
1.1 建筑结构抗震的任务和内容	1
1.2 建筑结构抗震设计的特点	1
1.3 本书的主要内容	3
第二章 地震学基础知识	4
2.1 有关地震的一些基本概念	4
2.2 地震的成因和机制	5
2.3 地震波概述	8
2.3.1 地震波特性	8
2.3.2 传播机制	9
2.4 地震震级	13
2.4.1 里氏震级	13
2.4.2 面波震级	14
2.4.3 体波震级	14
2.4.4 持时震级	14
2.4.5 矩震级	14
2.4.6 震级和能量	15
2.4.7 震级和频率	16
2.4.8 震级和断层	16
2.5 地震震害	16
2.6 地震烈度	17
2.7 地震动	20
2.7.1 地震动观测	21
2.7.2 地震动类型	21
2.7.3 地震动频率特征	23
2.7.4 地震持时	26
2.7.5 地震三要素综合影响实例	27

2.7.6 地震动的衰减规律	32
思考题与习题	34
主要参考文献	34
第三章 结构振动分析基础	35
3.1 结构动力分析模型	35
3.2 结构振动方程	37
3.2.1 振动体系的自由度	37
3.2.2 单自由体系的动力方程	37
3.2.3 多自由度体系的振动方程	40
3.3 单自由度体系的振动分析	42
3.3.1 无阻尼自由振动	42
3.3.2 有阻尼自由振动	43
3.3.3 强迫振动	46
3.3.4 Duhamel 积分	50
3.4 多自由度体系	53
3.4.1 振型分析	53
3.4.2 无阻尼体系的自由振动	55
3.4.3 有阻尼体系自由振动	56
3.4.4 强迫振动	58
3.4.5 特征值和特征向量计算	59
3.5 动力分析的数值方法	61
3.5.1 线性加速度法	62
3.5.2 平均加速度法	64
3.5.3 Newmark- β 法	65
3.5.4 多自由度体系	67
3.6 频域分析方法	69
3.6.1 对周期性荷载的反应	69
3.6.2 频域分析	70
3.6.3 时域和频域转换函数之间的关系	72
思考题与习题	72
第四章 单自由度结构的地震反应	73
4.1 单自由度结构的地震反应	73
4.2 反应谱的概念	74
4.3 弹性反应谱	77
4.3.1 反应谱之间的关系	77
4.3.2 反应谱的特征	79

4.3.3 反应谱的标准化与设计反应谱	81
4.3.4 傅里叶谱与反应谱	85
4.3.5 弹性反应谱的不足	87
4.4 结构恢复力模型	87
4.5 单自由度结构的弹塑性地震反应	93
4.5.1 承载力和延性对地震响应的影响	93
4.5.2 滞回模型对弹塑性地震响应的影响	99
4.6 弹塑性反应谱	101
思考题与习题	105
主要参考文献	106
第五章 多自由度结构弹塑性分析模型	107
5.1 概述	107
5.2 层模型	108
5.2.1 剪切型层模型	108
5.2.2 弯曲型层模型	115
5.2.3 弯剪型层模型	116
5.3 杆单元模型	120
5.3.1 两端简支杆单元	120
5.3.2 两端自由杆单元	121
5.3.3 两端有刚域杆单元	122
5.3.4 杆端弹塑性弹簧杆模型	124
5.3.5 其他弹塑性杆模型	128
5.3.6 多弹簧杆模型	132
5.3.7 基于纤维模型的杆单元	133
5.4 剪力墙模型	137
5.4.1 柱模型	137
5.4.2 支撑桁架模型	138
5.4.3 边柱+中柱复合模型	138
5.4.4 分层壳模型	139
5.5 上部结构与基础共同工作	140
思考题与习题	141
第六章 多自由度结构弹塑性分析方法	142
6.1 动力弹塑性时程分析法	142
6.1.1 简述	142
6.1.2 动力弹塑性时程分析基本原理	142
6.1.3 动力弹塑性时程分析地震波选择	146

6.2 静力弹塑性分析方法	148
6.2.1 简述	148
6.2.2 加载模式	150
6.2.3 等效单自由度及其位移模式	155
6.2.4 目标位移	157
6.2.5 静力弹塑性分析的适用条件	164
6.2.6 不规则结构的适用性	165
6.2.7 MPA 方法	166
6.3 等价线性化方法	169
6.3.1 单自由度结构的等价线性化方法	169
6.3.2 多自由度结构的等价线性化方法	174
思考题与习题	177
主要参考文献	179
第七章 多自由度结构的地震响应	180
7.1 动力方程	180
7.2 线弹性多自由度体系的振动分析	181
7.3 振型分解组合法	185
7.4 结构弹塑性地震响应	187
7.4.1 剪切层模型结构	188
7.4.2 双重结构层模型	200
思考题与习题	207
主要参考文献	207
第八章 地震能量和损伤分析方法	208
8.1 单自由度地震能量分析	208
8.1.1 振动能量方程	208
8.1.2 地震输入能量谱	215
8.1.3 最大弹塑性位移	220
8.2 多自由度体系的能量分析	224
8.2.1 弹性多自由度体系	224
8.2.2 弹塑性多自由度体系	227
8.2.3 最大层间位移	228
8.3 结构地震损伤分析	232
8.3.1 损伤的概念和损伤指标	232
8.3.2 单参数损伤模型	233
8.3.3 双参数损伤模型	235
8.3.4 等效极限延性系数	236

8.3.5 损伤程度评价	238
思考题与习题	240
主要参考文献	240

下 册

第九章 结构抗震设计方法和规范	241
9.1 结构抗震设计方法的发展	241
9.1.1 基于承载力设计方法	241
9.1.2 基于承载力和构造保证延性设计方法	242
9.1.3 基于损伤和能量的设计方法	243
9.1.4 能力设计方法	243
9.1.5 基于性能/位移设计方法	244
9.2 结构抗震能力和性能指标	246
9.2.1 结构的性能指标	246
9.2.2 抗震设防水准与抗震性能需求	248
9.3 我国建筑结构抗震设计方法	250
9.3.1 我国结构抗震发展概况	250
9.3.2 三水准设防目标与二阶段设计	250
9.3.3 地震作用计算	252
9.3.4 结构抗震设计方法	262
9.4 美国抗震规范介绍	267
9.4.1 简述	267
9.4.2 抗震设防目标	269
9.4.3 反应谱	270
9.4.4 地震作用计算	271
9.4.5 抗震设计	272
9.4.6 结构体系	273
9.5 日本抗震规范介绍	274
9.5.1 简述	274
9.5.2 地震作用计算	275
9.5.3 第二阶段设计	277
思考题与习题	283
主要参考文献	283
第十章 基于性能/位移结构抗震设计方法	284
10.1 概述	284
10.2 结构抗震性能水准和目标	288

10.3 基于位移的设计方法	291
10.3.1 简述	291
10.3.2 结构抗震体系与结构性能控制	291
10.3.3 直接基于位移设计方法	293
10.4 基于性能的地震工程	298
10.4.1 简述	298
10.4.2 理论框架	298
主要参考文献	300
第十一章 地基与基础抗震与设计	302
11.1 概述	302
11.2 场地	303
11.2.1 建筑场地类别	303
11.2.2 建筑场地评价及有关规定	307
11.3 地震时的地面运动特性	307
11.3.1 场地土对地震波的作用与土的卓越周期	307
11.3.2 强震时的地面运动	314
11.4 天然地基与基础	315
11.4.1 可不进行天然地基与基础抗震承载力验算的范围	315
11.4.2 天然地基抗震承载力验算	316
11.5 地基土的液化与防治	317
11.5.1 液化的概念	317
11.5.2 影响地基土液化的主要因素	318
11.5.3 液化的判别	321
11.5.4 液化地基的评价	322
11.5.5 地基抗液化措施	324
11.6 桩基的抗震验算	325
11.6.1 桩基不需进行验算的范围	326
11.6.2 低承台桩基的抗震验算	327
11.7 软弱黏性土地基	328
思考题与习题	328
主要参考文献	330
第十二章 砌体结构的抗震性能与设计	331
12.1 砌体结构的震害	331
12.1.1 一般砌体结构震害特点	331
12.1.2 底部框架-抗震墙砌体房屋震害特点	334
12.1.3 砌体结构震害规律	335

12.2 多层砌体结构布置与选型	335
12.2.1 房屋层数和总高度的限制	336
12.2.2 房屋高宽比的限制	337
12.2.3 砌体抗震横墙的间距	337
12.2.4 房屋局部尺寸限值	337
12.2.5 多层砌体房屋的建筑布置和结构体系	338
12.2.6 防震缝设置	339
12.3 多层砌体结构的抗震设计	339
12.3.1 水平地震作用计算简图	339
12.3.2 楼层水平地震剪力的分配	341
12.3.3 墙体抗震承载力验算	344
12.4 多层砌体结构房屋的抗震构造措施	345
12.4.1 多层砖砌体房屋抗震构造措施	345
12.4.2 多层小砌块房屋的抗震构造措施	350
12.5 底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震构造措施	352
12.5.1 底部框架-抗震墙砌体房屋的结构布置	352
12.5.2 底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震计算	353
12.5.3 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震构造措施	355
思考题与习题	357
主要参考文献	358
第十三章 钢筋混凝土结构的抗震性能与设计	359
13.1 多层和高层钢筋混凝土结构的震害	359
13.1.1 场地引起的震害	359
13.1.2 结构布置引起的震害	359
13.1.3 钢筋混凝土框架结构的震害	361
13.1.4 剪力墙结构的震害	365
13.2 多高层钢筋混凝土结构选型、结构布置和设计原则	365
13.2.1 结构选型	365
13.2.2 结构布置	367
13.2.3 钢筋混凝土结构房屋的抗震等级	372
13.2.4 钢筋混凝土结构房屋的延性和屈服机制	374
13.2.5 材料及连接	375
13.2.6 楼梯间	376
13.2.7 基础结构	376
13.3 钢筋混凝土框架结构的抗震设计	377
13.3.1 水平地震作用计算	377
13.3.2 框架结构内力及水平位移计算	378

13.3.3	内力组合及最不利内力	390
13.3.4	框架结构截面设计	392
13.3.5	框架结构构造措施	398
13.3.6	预应力混凝土框架的抗震设计要求	403
13.4	抗震墙结构的抗震分析	405
13.4.1	抗震墙结构的设计要点	405
13.4.2	地震作用的计算	405
13.4.3	地震作用在各剪力墙之间的分配及内力计算	409
13.4.4	截面设计和构造	410
13.5	框架-抗震墙结构的抗震设计	413
13.5.1	框架-抗震墙结构设计要点	413
13.5.2	地震作用的计算方法	413
13.5.3	结构内力计算	413
13.5.4	截面设计和配筋构造	422
	思考题与习题	422
	主要参考文献	424
第十四章	钢结构的抗震性能与设计	425
14.1	多层和高层钢结构房屋的主要震害特征	425
14.1.1	梁柱节点连接的破坏	426
14.1.2	梁、柱、支撑等构件破坏	428
14.1.3	结构倒塌	429
14.2	多层和高层钢结构的选型与结构布置	430
14.2.1	多层和高层钢结构体系的选型	430
14.2.2	多层和高层结构房屋的平面布置原则	431
14.2.3	多层和高层钢结构房屋的竖向布置原则	432
14.2.4	多层和高层钢结构布置的其他要求	433
14.3	多层和高层钢结构房屋的抗震概念设计	434
14.3.1	优先选用延性相对较好的结构方案	434
14.3.2	多道防线的设置	434
14.3.3	强节点弱构件的设计	434
14.3.4	强柱弱梁的设计	437
14.3.5	偏心支撑框架的弱消能梁段要求	437
14.3.6	其他抗震设计要求	438
14.4	多层和高层钢结构房屋的抗震计算	440
14.4.1	结构计算模型	440
14.4.2	地震作用的计算	442
14.4.3	计算要求	442

14.5 多层和高层钢框架结构房屋的抗震构造措施	442
14.5.1 纯框架结构抗震构造措施	442
14.5.2 钢框架-中心支撑结构的抗震构造措施	447
14.5.3 钢框架-偏心支撑结构的抗震构造措施	449
思考题与习题	451
主要参考文献	451
第十五章 消能减震结构设计	452
15.1 概述	452
15.1.1 基本概念	452
15.1.2 消能减震结构的发展与应用	453
15.2 阻尼器	454
15.2.1 速度相关型阻尼器	455
15.2.2 位移相关型阻尼器	457
15.3 消能减震结构的设计要点	460
15.3.1 消能减震结构的设防水准	460
15.3.2 消能减震结构方案	460
15.3.3 消能减震结构的设计计算方法	461
15.4 消能减震结构设计实例	463
15.4.1 项目背景	463
15.4.2 结构概况	463
15.4.3 结构模型	465
15.4.4 输入地震动评价	466
15.4.5 分析流程概述	467
15.4.6 基于能量法的减震效果评价	468
15.4.7 基于时程分析法的减震效果评价	469
15.5 其他结构减振（震）控制方法	472
思考题与习题	473
第十六章 隔震结构设计	474
16.1 概述	474
16.1.1 基本概念	474
16.1.2 隔震结构的发展与应用	475
16.2 隔震支座	477
16.2.1 叠层橡胶支座	477
16.2.2 摩擦摆隔震支座	479
16.2.3 其他隔震支座	480
16.3 隔震的基本原理	481

16.4 隔震结构的设计要点	486
16.4.1 隔震结构基本要求	486
16.4.2 隔震结构方案设计	486
16.4.3 隔震结构的设计计算方法	488
16.5 新建隔震结构的设计实例	489
16.5.1 结构概况	489
16.5.2 结构模型	491
16.5.3 输入地震动评价	492
16.5.4 设计流程概述	494
16.6 隔震加固结构的设计实例	495
16.6.1 项目背景	495
16.6.2 结构概况	495
16.6.3 结构模型	497
16.6.4 输入地震动评价	497
16.6.5 设计流程概述	499
16.7 高层结构隔震设计	499
思考题与习题	500
第十七章 震后功能可恢复的新型抗震体系	501
17.1 功能可恢复概念	501
17.2 自复位框架结构	502
17.2.1 自复位钢框架梁柱节点	502
17.2.2 自复位钢支撑	506
17.3 自复位摇摆墙	508
17.3.1 结构体系概述	508
17.3.2 工程应用实例	510
17.3.3 摇摆墙刚度需求	515
17.3.4 框架-墙连接形式探究	518
17.3.5 填充墙作为摇摆墙	523
17.4 可更换连梁高层剪力墙结构	527
17.4.1 组装式自复位连梁	530
17.4.2 开槽式楼板	534
思考题与习题	540
主要参考文献	540

