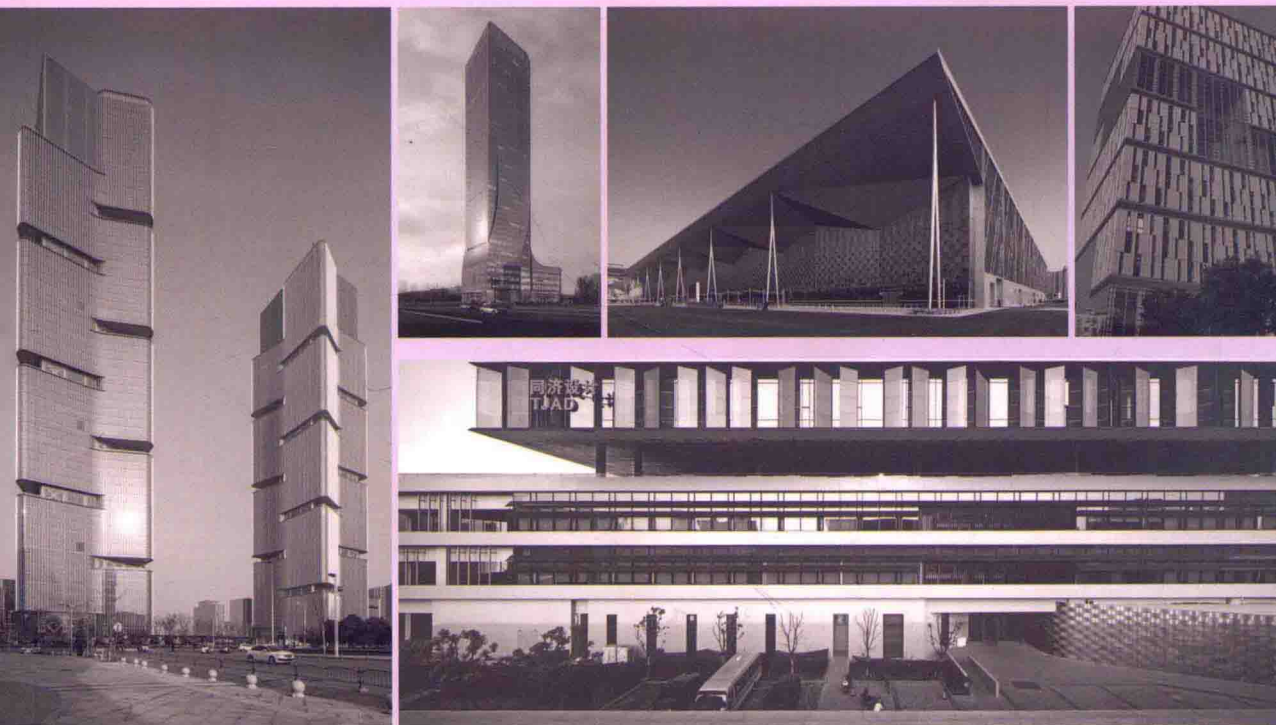


VISCOUS DAMPING TECHNOLOGY FOR ENGINEERING DESIGN AND APPLICATION

黏滞阻尼技术工程设计与应用

丁洁民 吴宏磊 编著



中国建筑工业出版社

VISCOUS DAMPING TECHNOLOGY FOR
ENGINEERING DESIGN AND APPLICATION

黏滯阻尼技術工程設計與應用

丁洁民 吴宏磊 编著

中国建筑工程工业出版社

审图号: GS (2012) 710号

图书在版编目 (CIP) 数据

黏滞阻尼技术工程设计与应用/丁洁民, 吴宏磊编

著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017.5

ISBN 978-7-112-20664-3

I. ①黏… II. ①丁…②吴… III. ①黏性阻尼 - 工程设计 - 教材 IV. ①0328

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第080089号

本书系统地阐述了黏滞阻尼技术在结构设计中的基本理论、分析方法和设计方法, 以及在建筑工程中的应用。内容包括消能减震技术发展的背景; 黏滞阻尼器的构造、性能、力学模型与软件模拟; 黏滞阻尼减震结构分析理论与方法; 黏滞阻尼伸臂结构设计; 黏滞阻尼墙结构设计; 黏滞阻尼器在建筑工程中的应用, 包括同济设计院 7 个案例和日建设计 3 个案例。

本书可供土木建筑工程设计人员和研究人员参考, 也可作为土木建筑类专业的研究生教材使用。

责任编辑: 刘瑞霞 辛海丽

责任校对: 焦 乐 李美娜

黏滞阻尼技术工程设计与应用

丁洁民 吴宏磊 编著

*

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

北京京点图文设计有限公司制版

北京缤索印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 字数: 407千字

2017年5月第一版 2017年5月第一次印刷

定价: 98.00元

ISBN 978-7-112-20664-3

(30330)

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)

序

PREFACE

建造“适用、经济、绿色、美观”的建筑是我国城市建设可持续发展的重要原则。在建筑设计过程中，如何有效地提高结构的抗震性能，降低建筑建造过程中的资源消耗，减小建筑震后损失与修缮工作，成为实现上述绿色建筑的关键环节之一。

传统的抗震方法主要是通过提高结构的强度和延性实现建筑“大震不倒”的性能目标，该方法使建筑结构自身需要承担较大的地震作用，造成结构材料用量较多，同时，存在震后建筑损伤严重，建筑结构修复量较大的缺点。消能减震技术是通过附加阻尼装置，耗散地震能量，降低地震响应，从而有效地保护建筑主体结构。近几年，消能减震技术已经在部分重大工程中得到成功应用，例如北京火车站加固工程、同济大学教学科研综合楼复杂高层建筑以及上海 2010 年世博会主题馆大跨度建筑等项目，取得了很好的经济与社会效益。

本书研究的重点是消能减震中的黏滞阻尼技术，包括黏滞阻尼伸臂桁架与黏滞阻尼墙两种新型阻尼装置。作者深入浅出地介绍了黏滞阻尼技术的工作原理、分析方法、关键参数选取以及结构设计主要流程，并结合工程案例给出了具体的示范应用，使读者可以快速地掌握和应用该新技术。

本书作者及其团队长期从事一线的工程设计实践工作，一直致力于集成创新以实现卓越的建筑结构设计。本书是作者近十年来在黏滞阻尼减震技术领域实践和探索的成果汇总，同时，本书也收录了部分日本优秀作品，这些成果在一定程度上反映了黏滞阻尼技术的最新发展状况。书中相关研究成果可以为工程设计提供有力的指导。

本书是消能减震领域的一本优秀著作。本书的出版将会进一步推动消能减震技术在工程设计中的应用，为减轻建筑地震灾害、实现绿色建筑做出突出的贡献。仅此为序，以为共勉。

吕西林

2017 年 3 月

前言

FOREWORD

黏滞阻尼技术是消能减震技术的一种，它是通过在工程设计中主动地引入黏滞类阻尼材料，耗散外部输入到结构中的能量，从而降低结构的震（振）动响应。随着我国城市化进程的快速发展，人们对建筑物高性能、高品质、低造价、绿色节能的要求随之提高，采用传统的以增加结构尺寸和材料用量的设计方法已逐渐不能满足社会的需求。而黏滞阻尼技术可以很好地适应新时代建筑的需求，因此，近几年在世界范围内被广泛地应用于高层、超高层建筑、大跨度建筑、加固改建等类型的工程中。

本书是作者及研究团队在工程设计过程中应用黏滞阻尼技术的相关研究成果的总结，力求达到以下特点：

1. 研究新颖性。一方面系统地介绍了黏滞阻尼技术在国内外的最新发展动态以及应用案例，另一方面针对新型的黏滞阻尼伸臂技术和黏滞阻尼墙技术进行详细的研究和阐述，使读者对黏滞阻尼技术有清晰、全面的认识。

2. 工程实用性。针对黏滞阻尼技术研究的出发点和落脚点都紧扣工程设计与应用，研究参数的选取、工作机理的描述、工程案例的解析都来自于真实的工程实践，所得结论以及研究方法可供读者结合自身设计与研究需要参考。

3. 国际视角性。书中包括了日本最新的黏滞阻尼技术研究现状，并由日建设计集团选取有代表性的工程案例进行了详细介绍，对读者进一步了解国际先进技术大有裨益。

本书共6章，内容安排如下：第1章绪论介绍黏滞阻尼技术发展现状和典型工程案例；第2章从基本概念出发，介绍黏滞阻尼器的工作性能与力学模型，以及在常用分析程序中的模拟方法；第3章探讨了黏滞阻尼技术在工程结构中的分析方法以及附加阻尼比的计算方法；第4章详细介绍了黏滞阻尼伸臂技术及其设计方法；第5章详细介绍了黏滞阻尼墙技术及其设计方法；第6章汇总了黏滞阻尼技术部分工程实例，这些实例内容丰富，其中，前7个案例为作者主持设计，后3个案例为日建设计主持设计。

本书由丁洁民、吴宏磊组织和编写，丁洁民定稿。日建设计集团对本书的出版给予了大力支持，亲自撰写了日本相关的工程案例部分。王世玉、董欣、陈长嘉协助完成了资料收集及插图绘制等大量工作。

本书的完成离不开相关领域专家学者的支持和鼓励，中国建筑科学研究院王亚勇设计大师、同济大学土木工程学院吕西林教授提供了关键技术咨询，在此表示衷心的感谢。

由于黏滞阻尼技术内容广泛、发展迅速，书中难免有片面或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

丁洁民 吴宏磊

2017年3月

目 录

CONTENTS

第1章 绪论

1.1 中国城市化发展面临的抗震减灾任务

1.1.1 地震区域分布广

1.1.2 地震震害严重

1.1.3 城市化进程与抗震防灾工作密切相关

1.2 消能减震技术概述

1.2.1 消能减震装置分类

1.2.2 消能减震技术标准

1.3 黏滞阻尼器发展

1.3.1 杆式黏滞阻尼器

1.3.2 黏滞阻尼墙

1.4 黏滞阻尼技术研究现状

1.4.1 黏滞阻尼结构试验研究

1.4.2 黏滞阻尼结构设计研究

1 Chapter 1 Introduction

3 1.1 Task of earthquake disaster reduction faced by the urbanization development in China

3 1.1.1 Wide distribution of earthquake region

3 1.1.2 Serious earthquake hazard

4 1.1.3 Close relationship between urbanization process and earthquake disaster reduction

5 1.2 Overview of seismic energy dissipation technology

6 1.2.1 Classification of seismic energy dissipation devices

8 1.2.2 Design criterion of seismic energy dissipation technology

10 1.3 Development of viscous damper

10 1.3.1 Viscous damper in bar-type

11 1.3.2 Viscous damping wall

12 1.4 Research status of viscous damping technology

12 1.4.1 Experimental research of viscous damping structure

13 1.4.2 Design research of viscous damping structure

1.5 工程案例	13	1.5 Engineering cases	
1.5.1 中国大陆地区和台湾地区	13	1.5.1 Mainland and Taiwan of China	
1.5.2 日本	19	1.5.2 Japan	
1.5.3 其他国家	24	1.5.3 Other countries	
1.5.4 小结	27	1.5.4 Summary	
第 2 章 黏滞阻尼器构造、性能与力学模型	29	Chapter 2 Configuration, performance and mechanical model of viscous damper	
2.1 黏滞阻尼器分类与构造	31	2.1 Classification and configuration of viscous damper	
2.1.1 黏滞阻尼器分类	31	2.1.1 Viscous damper classification	
2.1.2 黏滞阻尼器构造	32	2.1.2 Viscous damper configuration	
2.2 黏滞流体材料特性	36	2.2 Property of viscous fluid material	
2.2.1 弹性胶泥	37	2.2.1 Elastomer	
2.2.2 液压油	38	2.2.2 Hydraulic oil	
2.2.3 硅基胶	39	2.2.3 Silicone rubber	
2.2.4 有机硅油	40	2.2.4 Organic silicone oil	
2.3 黏滞阻尼器性能	43	2.3 Performance of viscous damper	
2.3.1 杆式黏滞阻尼器	43	2.3.1 Viscous damper in bar-type	
2.3.2 黏滞阻尼墙	51	2.3.2 Viscous damping wall	
2.4 黏滞阻尼器力学模型	56	2.4 Mechanical model of viscous damper	
2.4.1 杆式黏滞阻尼器	56	2.4.1 Viscous damper in bar-type	
2.4.2 黏滞阻尼墙	56	2.4.2 Viscous damping wall	
2.5 软件模拟	56	2.5 Software simulation	
2.5.1 杆式黏滞阻尼器	56	2.5.1 Viscous damper in bar-type	
2.5.2 黏滞阻尼墙	61	2.5.2 Viscous damping wall	
第 3 章 黏滞阻尼减震结构分析方法	65	Chapter 3 Analysis method of viscous damping dissipation energy structure	
3.1 分析方法	67	3.1 Analysis method	
3.1.1 动力时程分析法	67	3.1.1 Dynamic time-history analysis method	
3.1.2 能量分析法	68	3.1.2 Energy analysis method	
3.2 附加阻尼比计算方法	70	3.2 Calculation method of additional damping ratio	

3.2.1	规范提供的计算方法	70	3.2.1	Calculation method in specification
3.2.2	能量曲线对比法	71	3.2.2	Energy curve comparison method
3.2.3	结构响应对比法	72	3.2.3	Structural response comparison method
3.2.4	应用举例	72	3.2.4	Application examples
3.3	时程波选取原则	75	3.3	Selection principle of time-history wave
3.3.1	中国规范	75	3.3.1	Chinese code
3.3.2	日本规范	76	3.3.2	Japanese code
第 4 章	黏滞阻尼伸臂结构设计	77	Chapter 4	Design of viscous damping outrigger structure
4.1	引言	79	4.1	Introduction
4.2	黏滞阻尼伸臂减震机理	83	4.2	Seismic energy dissipation mechanism of viscous damping outrigger
4.2.1	工作原理	83	4.2.1	Working principle
4.2.2	变形分解	84	4.2.2	Deformation decomposition
4.2.3	减震机理	85	4.2.3	Seismic energy dissipation mechanism
4.3	黏滞阻尼伸臂参数研究	92	4.3	Parameter study of viscous damping outrigger
4.3.1	阻尼指数	92	4.3.1	Damping exponent
4.3.2	阻尼系数	94	4.3.2	Damping coefficient
4.3.3	伸臂桁架刚度	96	4.3.3	Outriggertruss stiffness
4.4	黏滞阻尼伸臂布置研究	99	4.4	Study on arrangement of viscous damping outrigger
4.4.1	布置位置	99	4.4.1	Arrangement position
4.4.2	布置数量	104	4.4.2	Arrangement quantity
4.5	结构高宽比影响研究	106	4.5	Study on influence of structural aspect ratio
4.5.1	结构整体高宽比	106	4.5.1	Aspect ratio of overall structure
4.5.2	核心筒高宽比	110	4.5.2	Aspect ratio of core tube
4.6	抗震设防烈度影响研究	112	4.6	Study on influence of seismic precautionary intensity
4.7	黏滞阻尼伸臂结构设计方法	115	4.7	Design method of viscous damping outrigger structure
第 5 章	黏滞阻尼墙结构设计	117	Chapter 5	Design of viscous damping wall structure

5.1 引言	119	5.1 Introduction	
5.2 黏滞阻尼墙减震机理	119	5.2 Seismic energy dissipation mechanism of viscous damping wall	
5.2.1 工作机理	119	5.2.1 Working principle	
5.2.2 黏滞阻尼墙变形分析	120	5.2.2 Deformation analysis of viscous damping wall	
5.2.3 减震机理	122	5.2.3 Seismic energy dissipation mechanism	
5.3 黏滞阻尼墙参数研究	128	5.3 Parameter study of viscous damping wall	
5.3.1 阻尼指数	128	5.3.1 Damping exponent	
5.3.2 阻尼系数	129	5.3.2 Damping coefficient	
5.4 黏滞阻尼墙布置研究	130	5.4 Study on arrangement of viscous damping wall	
5.4.1 平面布置	131	5.4.1 Plane arrangement	
5.4.2 竖向布置	136	5.4.2 Vertical arrangement	
5.5 黏滞阻尼墙连接梁段长度影响研究	142	5.5 Study on influence of connection beam length of viscous damping wall	
5.6 抗震设防烈度影响研究	144	5.6 Study on influence of seismic precautionary intensity	
5.7 黏滞阻尼墙结构设计方法	146	5.7 Design method of viscous damping wall structure	
第 6 章 黏滞阻尼器在建筑工程中的应用	149	Chapter 6 Application of viscous damper in construction engineering	
6.1 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司工程案例	151	6.1 Design Cases of Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd.	
6.1.1 晋中汇通大厦	152	6.1.1 Jingzhong Huitong building	
6.1.2 厦门某超高层住宅	165	6.1.2 A super high-rise residential building in Xiamen	
6.1.3 天水展贸大厦	179	6.1.3 Tianshui Zhanmao Building	
6.1.4 上海某银行办公楼	190	6.1.4 A bank office building in Shanghai	
6.1.5 同济教学科研综合楼	202	6.1.5 Teaching and Research Complex of Tongji University	
6.1.6 同济设计院办公楼	209	6.1.6 Tongji Design Institute Building	
6.1.7 上海2010年世博会主题馆	214	6.1.7 2010 Shanghai World Expo Theme Pavilion	

6.2 日建设工程案例	221	6.2 Design Cases of Nikken Sekkei Ltd.
6.2.1 读卖新闻报社东京总部大楼	222	6.2.1 Yomiuri Shinbun Tokyo Headquarters Building
6.2.2 名古屋丰田每日大厦	226	6.2.2 Toyota Mainichi building in Nagoya
6.2.3 名古屋MODE学院	232	6.2.3 MODE Gakuen Spiral Towers in Nagoya
附表 A 黏滞阻尼器建筑工程案例汇总	237	Appendix A Summary of application examples of viscous damper in building engineering
A.1 中国大陆地区	239	A.1 Mainland China
A.2 中国台湾地区	241	A.2 Taiwan region of China
A.3 日本	243	A.3 Japan
A.4 其他国家	245	A.4 Other countries
参考文献	247	References

| 第1章 | 绪论

Chapter 1 Introduction

1.1 中国城市化发展面临的抗震减灾任务

1.1 Task of earthquake disaster reduction faced by the urbanization development in China

1.2 消能减震技术概述

1.2 Overview of seismic energy dissipation technology

1.3 黏滞阻尼器发展

1.3 Development of viscous damper

1.4 黏滞阻尼技术研究现状

1.4 Research status of viscous damping technology

1.5 工程案例

1.5 Engineering cases

近年来，随着中国社会经济的发展，中国城市化进程加快，高层和超高层建筑的出现缓解了土地供应与人类需求之间的矛盾。同时，中国地处环太平洋火山地震带和欧亚地震带之间，是世界上地震灾害最严重的国家之一。几次破坏严重的大地震已经给我们带来惨痛的教训。因此，如何提高高层建筑和超高层建筑的抗震性能已成为工程设计中的关键问题。

传统的抗震技术通过增加结构延性来提高结构的抗震能力。虽然我国现阶段的抗震技术能够满足建筑大震不倒的安全性，但是存在地震造成巨额的财产损失和震后建筑主体结构的修复难度大等问题。

消能减震技术的快速发展，为提高建筑的抗震性能提供了一条新的途径。消能减震技术已经在部分重大工程中得到广泛应用，有部分建筑经受住汶川、芦山等地震的考验，保障了人民生命财产安全，产生了良好的社会效益。

本章以中国城市化发展中面临的抗震减灾任务为背景，首先简略介绍一下消能减震技术的分类与设计标准，然后主要针对黏滞阻尼器的发展、研究现状以及工程应用进行详细介绍。

1.1 中国城市化发展面临的抗震减灾任务

1.1.1 地震区域分布广

地震是由于地球内部板块破裂或错动，释放出大量能量而形成的一种自然现象。地震的震中集中分布且呈有带状规律的地区称为地震带。世界上主要有三大地震带：环太平洋地震带、欧亚地震带和海岭地震带，其中环太平洋地震带是全球分布最广、地震最多的地震带，所释放的能量约占全球的四分之三。

中国地处世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震断裂带十分发育。中国的地震活动主要分布在五个地区的23条地震带上(详见中国地震局官方网站):(1)台湾及其附近海域;(2)西南地区(包括西藏、四川中西部和云南中西部);(3)西北地区(主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓);(4)华北地区(主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕山一带、山东中部和渤海湾);(5)东南沿海地区(主要在广东、福建等地)。

20世纪以来，中国共发生6级以上地震800余次，遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自治区、直辖市。

1.1.2 地震震害严重

中国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广，是一个震灾严重的国家。根据历史地震资料，表1.1.1统计了近20年内中国震级达7.0级以上的地震事件。

表 1.1.1 近 20 年中国震级 7.0 级以上地震事件统计表

序号	发震日期	深度 (km)	震级 (M)	发震地点
1	1999/09/21	1.1	7.3	台湾南投县集集镇
2	2001/11/14	15	8.1	新疆青海交界(新疆境内若羌)
3	2002/03/31	0	7.5	台湾以东海中
4	2002/06/29	540	7.2	吉林汪清
5	2003/12/10	10	7.0	台湾台东东北近海
6	2006/12/26	15	7.2	南海
7	2008/05/12	14	8.0	四川省汶川县
8	2008/03/21	33	7.3	新疆维吾尔自治区于田县
9	2010/04/14	14	7.1	青海省玉树藏族自治州玉树县
10	2013/04/20	13	7.0	四川省雅安市芦山县
11	2014/02/12	12	7.3	新疆维吾尔自治区于田县

地震可直接造成建筑物破坏，诱发滑坡、火灾、瘟疫、海啸、堰塞湖、沙土液化等次生灾害，导致大量的人员伤亡和经济损失，严重威胁人民生活和生产安全。进入21世纪以来，中国共发生3次重大的破坏性地震。

北京时间2008年5月12日14时28分，四川省汶川县发生8.0级特大地震。这次地

震影响范围达 40 万 km^2 ，其中严重受灾区达到 10 万 km^2 。地震造成大面积基础设施、建筑工程的损坏与垮塌，并导致严重的次生地质灾害，造成巨大的人员伤亡和经济损失。据统计，地震造成 69227 人死亡，374643 人受伤，17933 人失踪，直接经济损失达 8451 亿元人民币。

北京时间 2010 年 4 月 14 日 7 时 49 分，青海省玉树县发生 7.1 级地震。地震波及青海省玉树藏族自治州玉树、称多、治多、杂多、囊谦、曲麻莱县和四川省甘孜藏族自治州石渠县 7 个县的 27 个乡镇，受灾面积达 35862 km^2 ，受灾人口达 246842 人，极重灾区约 900 km^2 ，直接经济损失达 610 亿元。

北京时间 2013 年 4 月 20 日 8 时 02 分，四川省雅安市芦山县发生 7.0 级地震。震区共发生余震 5402 次，最大余震达到 5.7 级。此次地震影响四川省共 69 个县，累计造成 231 万人受灾，196 人死亡，21 人失踪，13484 人受伤。地震造成经济损失达 1693.58 亿元。

1.1.3 城市化进程与抗震防灾工作密切相关

进入 21 世纪以来，土地供应量日趋紧张，高层和超高层建筑的出现缓解了土地供应与人类需求之间的矛盾，还可以美化城市环境，因而迎来建设的高潮。根据世界高层都市建筑学会（CTBUH）网站的高层建筑统计资料，截至 2016 年底，中国已建和在建的 200m 以上（含 200m）超高层建筑共 752 幢，其分布区域及分布比例如图 1.1.1 所示。珠三角地区和长三角地区的超高层建筑分布密集，分别占超高层建筑总数的 28% 和 22%，二者占到一半。西南地区、环渤海地区和中部地区也是超高层建筑的主要分布区域，分别占超高层建筑总数的 12%、17% 和 9%。西北地区的超高层建筑数量较少，仅占超高层建筑总数的 2%。除以上区域外，东南沿海、东北、台湾等地区也有超高层建筑的分布，约占 10%。可以看出，中国超高层建筑发展迅速，遍布全国各大城市。

将抗震设防烈度为 7 度（ $0.15g$ ）及其以上的地区称为高烈度地震区。图 1.1.2 所示为中国地震动峰值加速度区划图，可以看出，除黑龙江、浙江、江西、湖北、重庆和贵州外，全国各省和直辖市都包含有高烈度地震区。

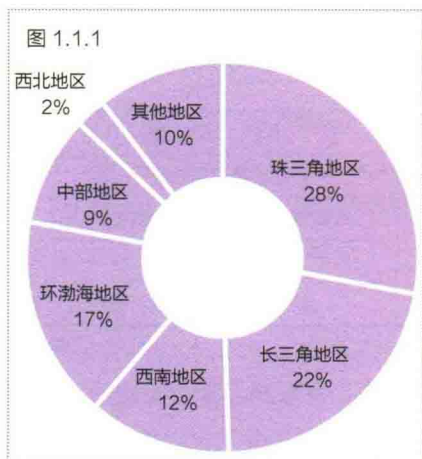


图 1.1.1 中国 200m 以上超高层建筑分布区域及分布比例

图 1.1.2 中国地震动峰值加速度区划图（审图号：GS（2012）710 号）

国内 200m 以上超高层建筑在不同地震烈度区的分布比例如图 1.1.3 所示, 位于 6 度区和 7 度区 ($0.1g$) 内的超高层建筑分别占超高层建筑总数的 31% 和 43%; 位于高烈度地震区的超高层建筑共占超高层建筑总数的 26%。国内主要城市在不同地震烈度区的分布比例如图 1.1.4 所示, 位于高烈度地震区的主要城市分布比例为 31%, 与超高层建筑在高烈度地震区的分布比例基本一致, 表明中国城市化发展面临严峻的抗震减灾任务。

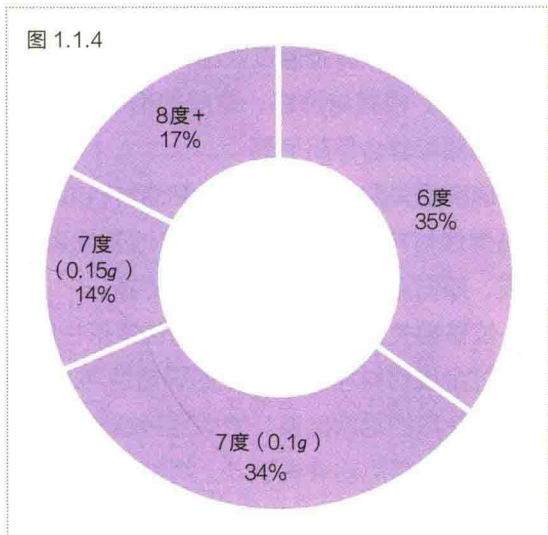
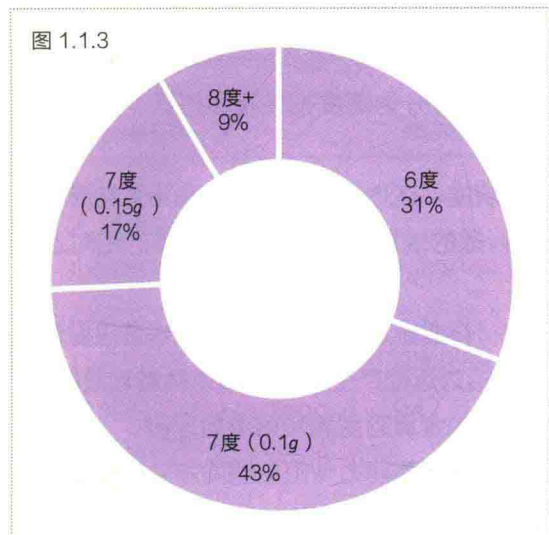


图 1.1.3 中国 200m 以上超高层建筑在不同地震烈度区的分布比例

图 1.1.4 中国主要城市在不同地震烈度区的分布比例

可以看出: 中国城市化发展迅速, 超高层建筑密集地分布在珠三角地区、长三角地区、环渤海地区及西南地区, 其中, 珠三角地区、西南地区和环渤海地区具有典型的高烈度地震区。同时受国家西部大开发战略的支持, 部分西北高烈度地震区的超高层建筑开始崛起。

虽然我国现阶段的抗震技术能够满足高层建筑和超高层建筑大震不倒的安全性, 但是存在地震造成巨额的财产损失 (生活用品、仪器设备、建筑装饰装修和非结构构件等)、震后建筑主体结构的修复难度大等问题。同时, 随着我国城市化的不断发展, 生活水平日益提高, 人民对建筑使用品质的追求日益强烈。

因此, 如何提高高层建筑和超高层建筑的抗震性能以及使用品质已成为工程设计中的关键问题。

1.2 消能减震技术概述

近年来, 消能减震技术日益成熟, 并有大量工程应用实例, 从工业与民用建筑、大跨度建筑, 再到国家重点工程都有广泛应用, 有部分建筑经受住汶川、芦山等地震的考验, 保障了人民生命财产安全, 产生了良好的社会效益。实践证明, 消能减震技术可以有效提升房屋建筑工程的抗震设防能力。

消能减震技术是指在结构物某些部位 (如支撑、剪力墙、节点、楼层空间、主附结构间) 设置消能 (阻尼) 装置或元件, 通过消能 (阻尼) 装置产生摩擦、弯曲 (或剪切、扭转) 弹

塑性滞回变形来耗散或吸收地震输入结构中的能量，以减小主体结构的地震响应，避免结构产生破坏或倒塌。

1.2.1 消能减震装置分类

消能减震技术是被动控制技术的一种，其显著特点是不需要外部能量输入提供控制力，也不会向结构输入能量，主要形式有：耗能减震与吸能减振^[1]。

1. 耗能减震

结构耗能减震是通过在结构内部某些部位设置附加耗能元件，使该元件被动地消耗结构的振动能量。根据与位移、速度的相关性，耗能减震装置可分为速度相关型阻尼器、位移相关型阻尼器和复合型阻尼器^[2]。

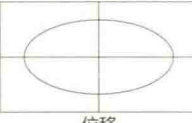
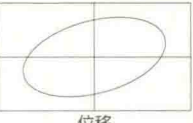
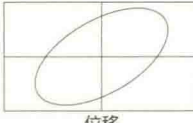
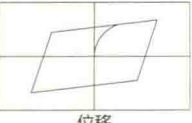
速度相关型阻尼器通常由黏滞材料或黏弹性材料制成，在地震往复作用下利用其黏滞材料和黏弹性材料的阻尼特性来耗散地震能量，阻尼器耗散的地震能量与阻尼器两端的相对速度有关，如黏滞阻尼器和黏弹性阻尼器。

位移相关型阻尼器通常由塑性变形性能好的金属材料或耐摩擦元件制成，在地震往复作用下通过金属材料屈服时产生的弹塑性滞回变形或构件相对运动产生摩擦做功来耗散地震能量，阻尼器耗散的地震能量与阻尼器两端的相对变形有关，如金属阻尼器和摩擦阻尼器。

复合型阻尼器兼具了以上两种类型阻尼器的特性，其耗能能力与阻尼器两端的相对速度和相对位移有关，通常由塑性变形性能好的金属材料 and 利用剪切滞回变形耗能的黏弹性材料组成，如铅黏弹性阻尼器。

通过工程实践的检验，常用的阻尼器主要有黏滞阻尼器、黏弹性阻尼器和金属阻尼器。表 1.2.1 对比了以上三种阻尼器的基本构造、滞回性能、工作机理、耗能能力及其对结构动力特性和动力响应的影响，综合来看，黏滞阻尼器具有更好的实用性。

表 1.2.1 常用阻尼器性能统计

对比项	黏滞阻尼器		黏弹性阻尼器	金属阻尼器
基本构造	 杆式黏滞阻尼器	 黏滞阻尼墙	 黏弹性阻尼器	 软钢阻尼器 屈曲约束支撑
理想滞回曲线	 力 位移	 力 位移	 力 位移	 力 位移
工作机理	流体通过孔隙产生阻尼力	流体发生剪切变形产生阻尼力	黏弹性材料的剪切变形或拉压变形耗散能量	钢材塑性变形吸收振动能量
多遇地震耗能能力	不提供附加静刚度，提供动刚度和附加阻尼，耗能效果好		可提供附加静刚度和附加阻尼，耗能效果较好	可提供附加静刚度，但不耗能