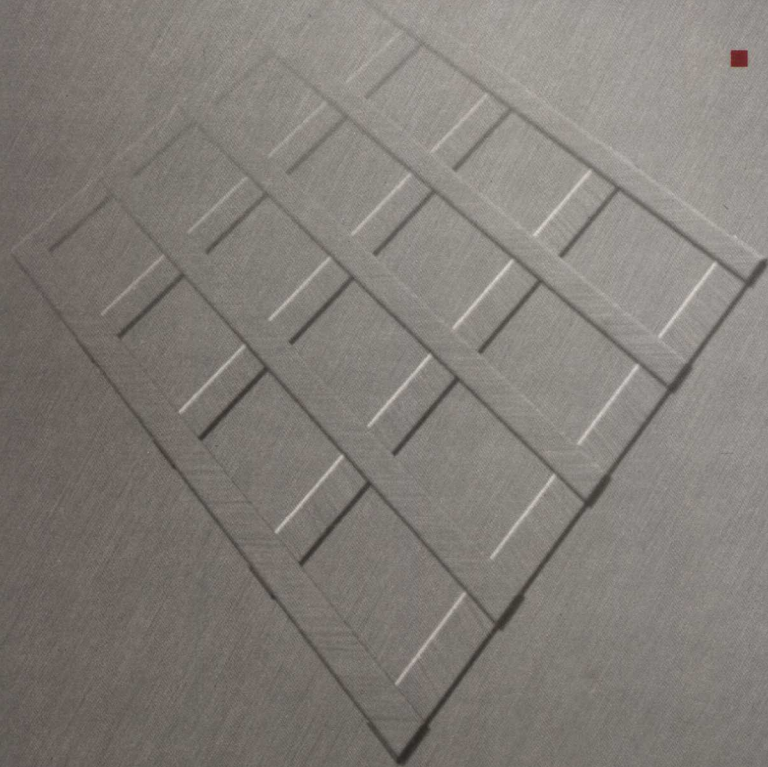


耗能减震

加固技术与设计方法

■ 周 云 著



科学出版社

www.sciencep.com

耗能减震加固技术 与设计方法

周 云 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

耗能减震加固技术和设计方法是传统抗震加固技术和设计方法的突破和发展,是耗能减震技术和设计方法在抗震加固中的应用。本书系统地论述了耗能减震加固的概念、原理、技术、设计方法及工程应用。全书共八章,内容包括耗能减震加固的概念与原理、耗能减震器的类型与性能、耗能减震器的恢复力模型、耗能减震加固结构的分析方法、耗能减震加固结构设计、基于性能的耗能减震加固结构设计、耗能减震加固结构的施工质量管理、方法与维护管理、耗能减震加固典型工程实例等。

本书可供土木工程等专业的研究、设计、施工、监理人员使用,也可作为高等院校土木工程学科博士、硕士研究生和高年级本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

耗能减震加固技术与设计方法/周云著. —北京:科学出版社,2006
ISBN 7-03-018157-3

I. 耗… II. ①周… III. 建筑结构:抗震结构—加固 IV. TU352.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122181 号

责任编辑:杨家福 / 责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年11月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年11月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1—3 000 字数:374 200

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新欣>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8305(BA03)

前 言

地震是一种对人类生命和财产危害巨大的自然灾害,地震中建筑物和构筑物的破坏和倒塌是造成灾害和损失的根本原因。为了保障人民生命和财产不再遭受或少遭受地震损失,迫切需要对既有工程结构进行抗震鉴定、评估与加固改造。

建筑物鉴定、评估与加固改造是建筑领域的一门古老而新兴的学科。随着结构减震控制的研究和应用的发展,国内外许多从事抗震加固研究的学者已把目标转向采用耗能减震控制技术作为结构抗震加固、震后修复和加层改造的新思路、新方法,并进行了一系列的研究与应用。实践证明,耗能减震加固方法比传统抗震加固方法更加有效、安全、适用、可靠,且节省造价。

本书系统地总结和阐述了耗能减震加固理论、技术、方法和工程应用的主要研究成果,全书共八章。第一章介绍了结构抗震加固的意义、主要措施,耗能减震加固的概念与原理、可行性、效果、优越性及应用范围。第二章介绍了不同耗能减震器的类型及性能特点。第三章介绍了各类耗能减震器的恢复力模型、适应于各类耗能器的统一解析模型及在地震作用下耗能减震器所耗散能量的计算方法。第四章介绍了耗能减震加固结构的分析模型、耗能减震器非线性恢复力的等价线性化、耗能减震加固结构分析方法与分析过程。第五章结合我国规范,介绍了耗能减震加固目标、加固的概念设计、耗能减震加固结构的抗震计算、耗能支撑的设计、连接与构造,给出了设计步骤和设计实例。第六章介绍了基于性能的耗能减震加固结构的设计理论、评估方法和实用设计方法以及用 SAP2000 软件进行 Push-over 分析的方法等。第七章介绍了耗能减震加固工程的质量管理、施工管理、施工计划、维护管理的内容和要点,给出了施工实例。第八章介绍了国内外耗能减震加固技术的应用情况,并详细介绍了 40 余个典型的耗能减震加固工程。

在本书完稿之际,作者要感谢中国工程院院士、广州大学周福霖教授,中国建筑科学研究院王亚勇研究员,云南大学叶燎原教授等长期以来对作者研究工作的指导、关心和支持。作者的研究生丁春花、汤统壁、吴从晓、聂一恒、张文华、汪大洋、褚洪民、乐登等协助收集了有关资料 and 进行文图处理工作,在此一并致谢。本书的出版得到广东省、广州市重点学科建设经费和广州大学学术著作出版基金的资助,亦在此表示衷心感谢。

限于时间及作者的水平,书中不当之处在所难免,衷心希望读者批评指正。

目 录

前言

第一章 耗能减震加固的概念与原理	1
1.1 抗震加固的意义与发展简况	1
1.1.1 地震的危害性	1
1.1.2 抗震加固的意义	2
1.1.3 抗震加固发展简况	3
1.2 抗震加固方法概述	4
1.3 耗能减震加固的概念与原理	8
1.4 耗能减震加固方法的特点	10
1.5 耗能减震加固方法的应用范围	12
1.6 耗能减震加固方法的应用前景	13
参考文献	14
第二章 耗能减震器的类型与性能	15
2.1 耗能减震器的类型	15
2.2 粘滞耗能器	16
2.2.1 缸式粘滞耗能器	17
2.2.2 粘滞阻尼墙	19
2.2.3 圆筒式粘滞耗能器	24
2.3 粘弹性耗能器	26
2.3.1 普通粘弹性耗能器	27
2.3.2 BRC 粘弹性耗能器	28
2.3.3 条板式粘弹性耗能器	29
2.3.4 壁式粘弹性耗能器	31
2.4 金属耗能器	33
2.4.1 加劲耗能装置	33
2.4.2 圆(方)钢环耗能器	36
2.4.3 双环钢耗能器	38
2.4.4 加劲圆环耗能器	39
2.4.5 低屈服点钢耗能器	40
2.4.6 无粘结支撑	44
2.4.7 铅阻尼器	51

2.5 摩擦耗能器	58
2.5.1 Pall 型摩擦装置	59
2.5.2 Sumitomo 型摩擦筒制震器	60
2.5.3 摩擦剪切铰耗能器	62
2.5.4 滑移型长孔螺栓节点耗能器	63
2.5.5 双向摩擦耗能装置	65
2.6 复合型耗能器	66
2.6.1 复合型铅粘弹性耗能器	67
2.6.2 圆环-摩擦耗能器	68
2.6.3 组合式铅橡胶耗能器	69
2.6.4 组合钢板耗能器	72
2.6.5 钢铅组合耗能器	73
参考文献	75
第三章 耗能减震器的恢复力模型	79
3.1 耗能减震器的恢复力模型	79
3.1.1 速度相关型耗能器的恢复力模型	79
3.1.2 滞变型耗能器的恢复力模型	87
3.1.3 复合型耗能器的恢复力模型	92
3.1.4 耗能器的统一恢复力模型	96
3.1.5 耗能部件的恢复力模型	96
3.2 耗能减震器的能量计算	97
3.2.1 速度相关型耗能器的能量计算	97
3.2.2 位移相关型耗能器的能量计算	98
参考文献	98
第四章 耗能减震加固结构的分析方法	100
4.1 概述	100
4.2 耗能减震加固结构的分析模型	101
4.2.1 原结构的分析模型	101
4.2.2 耗能减震加固结构的分析模型	104
4.3 振型分解反应谱法	105
4.3.1 振型分解反应谱法简介	105
4.3.2 耗能器的等价线性化	105
4.3.3 耗能减震加固结构的振型分解法	109
4.4 时程分析法	113
4.4.1 时程分析法简介	114
4.4.2 输入地震波的选择	115

4.4.3	耗能减震加固结构的恢复力模型	119
4.4.4	地震动方程的直接积分法	124
4.5	静力弹塑性分析法	125
4.5.1	静力弹塑性分析概述	126
4.5.2	基本原理	127
4.5.3	侧向荷载加载模式	128
4.5.4	等效单自由度体系的建立	132
4.5.5	地震需求谱的建立	137
4.5.6	结构抗震能力的评估	145
4.6	能量分析法	146
4.6.1	能量分析方法简介	147
4.6.2	能量反应方程的建立	148
4.6.3	能量反应分析的研究	152
4.6.4	能量反应谱	155
	参考文献	160
第五章	耗能减震加固结构设计	164
5.1	耗能减震加固结构的设防目标与性能要求	164
5.2	耗能减震加固结构的概念设计	165
5.2.1	耗能减震加固结构需求附加阻尼比的估计	166
5.2.2	耗能器的选择	167
5.2.3	耗能器数量的估计	169
5.2.4	耗能部件的形式及选用	170
5.2.5	耗能部件的布置原则	171
5.3	耗能减震加固结构的抗震计算	173
5.3.1	耗能减震加固结构的计算内容	173
5.3.2	耗能减震加固结构的设计步骤	175
5.4	耗能减震加固结构的连接与构造	178
5.4.1	耗能支撑的设计	178
5.4.2	耗能部件的连接与构造	179
5.5	耗能减震加固结构设计实例	181
5.5.1	摩擦耗能器的耗能减震加固设计实例	181
5.5.2	金属耗能器的耗能减震加固设计实例	185
5.5.3	粘弹耗能器的耗能减震加固设计实例	191
5.5.4	粘滞耗能器的耗能减震加固设计实例	193
	参考文献	196

第六章 基于性能的耗能减震加固结构设计	198
6.1 基于性能的抗震设计理论	198
6.1.1 基于性能的抗震设计的发展概述	198
6.1.2 基于性能的抗震设计的研究内容	199
6.1.3 基于性能的抗震设计的研究现状	201
6.2 基于性能的耗能减震加固结构设计理论	202
6.2.1 基于性能的耗能减震加固结构设计的理论框架	203
6.2.2 性能目标与性能水准	203
6.2.3 设防目标及其量化	206
6.2.4 性能评价	209
6.3 基于性能的耗能减震加固结构抗震设计的评估方法	211
6.3.1 能力谱法	211
6.3.2 目标位移法	214
6.3.3 延性系数法	217
6.4 运用 SAP2000 软件进行 Push-over 分析	218
6.4.1 结构模型和单元模型	218
6.4.2 SAP2000 建模的非线性模拟	219
6.4.3 加载模式和 Push-over 分析工况	220
6.4.4 结果分析与性能评价	221
6.4.5 SAP2000 中非线性静力分析——Pus-hover 分析的一般步骤	221
参考文献	222
第七章 耗能减震加固工程的施工质量管理、方法与维护管理	225
7.1 质量管理	225
7.1.1 阻尼器的设计与性能质量管理	225
7.1.2 阻尼器的施工质量管理	227
7.2 施工计划	230
7.2.1 施工注意事项	230
7.2.2 施工保管、养护	230
7.2.3 施工管理项目	231
7.2.4 施工流程	231
7.3 维护管理	232
7.3.1 维护管理中的检查	233
7.3.2 维护管理体制	235
7.4 耗能减震加固结构的施工实例	236
参考文献	240

第八章 耗能减震加固典型工程实例	241
8.1 摩擦耗能器在加固工程中的应用	241
8.1.1 MUCTC 大楼	243
8.1.2 联邦电子科研大楼	245
8.1.3 日本的某住宅楼	246
8.1.4 波音发展大楼、波音餐厅、礼堂和健身中心	248
8.1.5 蒙特利尔娱乐场	250
8.1.6 魁北克省警察局	251
8.1.7 Eaton 大楼	251
8.1.8 正义中心大楼	252
8.1.9 St. Vincent 医院	253
8.1.10 Highlands 水塔和 Rolling 高架水塔	254
8.1.11 Freeport 水塔	255
8.1.12 Magnin 大楼	256
8.1.13 加拿大某教学楼	257
8.1.14 洛杉矶某钢结构	258
8.1.15 其他加固实例	258
8.2 金属耗能器在加固工程中的应用	258
8.2.1 某公司机房大楼	260
8.2.2 台中国泰世华国际大楼	262
8.2.3 西华银行	263
8.2.4 墨西哥 Izazagea38-40 号楼	263
8.2.5 墨西哥某办公楼	264
8.2.6 日本竹中公司办公楼	265
8.2.7 日本某事务所	266
8.2.8 华莱士班尼特联合大楼	266
8.2.9 其他加固实例	267
8.3 粘滞阻尼器在加固工程中的应用	267
8.3.1 北京展览馆	268
8.3.2 北京京西宾馆	270
8.3.3 南京市五台山体育馆	272
8.3.4 希腊和平与友谊体育馆 (2004 年奥运会主赛馆)	274
8.3.5 日本鹿儿岛机场	275
8.3.6 旧金山 Richmond 大桥	277
8.3.7 旧金山海湾大桥	278
8.3.8 Cunn-su 桥	280

8.3.9 E-po 桥	280
8.3.10 美国金门大桥	281
8.4 粘弹性耗能器在加固工程中的应用	282
8.4.1 潮汕星河大厦	283
8.4.2 圣地亚哥海军设备供应局的 116 号建筑	287
8.4.3 Santa Clara 城某建筑	289
8.4.4 日本横浜某建筑	290
8.4.5 武汉市洪山区的某局机关办公楼	292
8.4.6 大阪市前门制造厂分店 5 层大楼	293
参考文献	294

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Development and Significance of Structure Seismic Retrofitting	1
1.1.1 Harmfulness of Earthquake	1
1.1.2 Significance of Seismic Retrofitting	2
1.1.3 Development of Seismic Retrofitting	3
1.2 Measures of Seismic Retrofitting	4
1.3 Concept and Principle of Energy Dissipation Retrofitting	8
1.4 Trait of Energy Dissipation Retrofitting Technology	10
1.5 Applied Scope of Energy Dissipation Retrofitting Technology	12
1.6 Applied Prospect of Energy Dissipation Retrofitting Technology	13
References	14
Chapter 2 Types and Performance of Energy Dissipaters	15
2.1 Types of Energy Dissipaters	15
2.2 Viscous Damper	16
2.2.1 Canister Liquid Damper	17
2.2.2 Viscous Damping Wall	19
2.2.3 Cylinder Viscous Damper	24
2.3 Viscoelastic Damper	26
2.3.1 Common Viscoelastic Damper	27
2.3.2 BRC Viscoelastic Damper	28
2.3.3 Board Viscoelastic Damper	29
2.3.4 Wall-type Viscoelastic Damper	31
2.4 Metallic Damper	33
2.4.1 Added Damping and Added Stiffness Steel Damper	33
2.4.2 Circular (Square) Ring Steel Damper	36
2.4.3 Double Ring Steel Damper	38
2.4.4 Added Stiffness Circular Ring Damper	39
2.4.5 Low-yield-point Steel Damper	40
2.4.6 Unbonded Brace	44

2.4.7	lead Damper	51
2.5	Friction Damper	58
2.5.1	Pall Friction Damper	59
2.5.2	Sumitomo Friction Damper	60
2.5.3	Frictional Hinge Damper	62
2.5.4	Slotled Bolted Connections	63
2.5.5	Double-Way Friction Damper	65
2.6	Composite Damper	66
2.6.1	Steel-Friction Composite Damper	67
2.6.2	Circular Ring-Friction Damper	68
2.6.3	Combined Lead-Rubber Damper	69
2.6.4	Combined Steel-Plate Damper	72
2.6.5	Combined Steel-Lead Damper	73
	References	75
Chapter 3	Restoring Force Model of Energy Dissipaters	79
3.1	Restoring Force Model of Energy Dissipater	79
3.1.1	Restoring Force Model of Velocity Dependent Energy Dissipater	79
3.1.2	Restoring Force Model of Displacement Dependent Energy Dissipater	87
3.1.3	Restoring Force Model of Composite Energy Dissipater	92
3.1.4	Uniform Restoring Force Model of Energy Dissipater	96
3.1.5	Restoring Force Model of Energy Dissipation Components	96
3.2	Energy Calculation of Energy Dissipater	97
3.2.1	Energy Calculation of Velocity Dependent Energy Dissipater	97
3.2.2	Energy Calculation of Displacement Dependent Energy Dissipater	98
	References	98
Chapter 4	Analytical Method of Retrofitting StructureWith Energy Dissipaters	100
4.1	Introduction	100
4.2	Analytical Model of Retrofitting System with Energy Dissipaters	101
4.2.1	Analytical Model of Original Structure	101
4.2.2	Analytical Model of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	104
4.3	Response Spectrum Analysis	105
4.3.1	Summarization of Response Spectrum Analysis	105

4.3.2	Equivalent Linearization of Energy Dissipater	105
4.3.3	Response Spectrum Analysis for Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	109
4.4	Time History Analysis	113
4.4.1	Summarization of Time History Analysis	114
4.4.2	Selection of Earthquake Motion Records	115
4.4.3	Restoring Force Model of Retrofitting Structure With Energy Dissipaters	119
4.4.4	Direct Integration of Equation of Motion	124
4.5	Static Pushover Analysis	125
4.5.1	Summarization of Static Pushover Analysis	126
4.5.2	Basic Principle	127
4.5.3	Loading Mode of Lateral Load	128
4.5.4	Establishment of Equivalent Single Degree of Freedom System	132
4.5.5	Establishment of Seismic Demand Spectra	137
4.5.6	Evaluation of Structure Seismic Capability	145
4.6	Energy Analysis	146
4.6.1	Summarization of Energy Analysis	147
4.6.2	Establishment of Energy Equation	148
4.6.3	State of the Art of Researches on Energy Reaction Analysis	152
4.6.4	Energy Response Spectrum	155
	References	160
Chapter 5	Design of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	164
5.1	Fortification Object and Performance Demand of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	164
5.2	Conceptual Design of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	165
5.2.1	Evaluation of Supplemental Damping Ratio	166
5.2.2	Selection of Energy Dissipater	167
5.2.3	Number Evaluation of Energy Dissipater	169
5.2.4	Style and Selection of Energy Dissipation Component	170
5.2.5	Configuration Principle of Energy Dissipation Component	171
5.3	Seismic Design of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	173
5.3.1	Design Aspects of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters ...	173
5.3.2	Design Steps of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	175

5.4	The Connection and Configuration of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	178
5.4.1	Design of Energy Dissipation Brace	178
5.4.2	Configuration of Energy Dissipation Component	179
5.5	Design Examples of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	181
5.5.1	Design Example of Retrofitting Structure with Frictional Damper	181
5.5.2	Design Example of Retrofitting Structure with Metallic Damper	185
5.5.3	Design Example of Retrofitting Structure with Viscoelastic Damper	191
5.5.4	Design Example of Retrofitting Structure with Viscous Damper	193
	References	196
Chapter 6 Performance-based seismic Design of Retrofitting structure with Energy Dissipaters		
6.1	Performance-based Seismic Design Theory	198
6.1.1	Generalization of Performance-based Seismic Design	198
6.1.2	Content of Performance-based Seismic Design	199
6.1.3	State of the Art of Performance-based Seismic Design	201
6.2	Performance-based Design Theory of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	202
6.2.1	Performance-based Design Theory Frame of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	203
6.2.2	Performance Objectives of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	203
6.2.3	Fortification Objects and Quantification of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	206
6.2.4	Evaluation on Performance of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	209
6.3	Evaluation Method of Performance-based Seismic Design of Retrofitting Structure with Energy Dissipaters	211
6.3.1	Capacity Spectra Method	211
6.3.2	Object Displacement Method	214
6.3.3	Ductility Coefficient Method	217
6.4	Push-over Analysis Using SAP2000	218
6.4.1	Structure Model and Element Model	218
6.4.2	Nonlinear Simulation of Model Building in SAP2000	219

6.4.3	Loading Mode and Operation Condition Analysis of Push-over	220
6.4.4	Result Analysis and Performance Evaluation	221
6.4.5	Nonlinear Static Analysis in SAP2000—General Steps of Push-over Analysis	221
	References	222
Chapter 7 Construction Quality Control, Method and Maintenance Manage of Energy Dissipation Retrofitting		
7.1	Quality Control	225
7.1.1	Quality Control of the Design and Performance of Dampers	225
7.1.2	Construction Quality Control of Dampers	227
7.2	Construction Program	230
7.2.1	Attentions in Construction	230
7.2.2	Maintenance in Construction	230
7.2.3	Construction Manage Items	231
7.2.4	Construction Flow	231
7.3	Maintenance Management	232
7.3.1	Examinations in Maintenance Management	233
7.3.2	Maintenance Management System	235
7.4	Energy Dissipating Retrofitting Construction Examples	236
	References	240
Chapter 8 Typical Project Examples of Retrofitting structure with Energy Dissipaters		
8.1	Application of Friction Dampers in Retrofitting Project	241
8.1.1	MUCTC-building	243
8.1.2	Federal Electronic Research Building	245
8.1.3	One Residence in Japan	246
8.1.4	Boeing Development Building, Boeing Dining-room, Auditoria and Gymnasium	248
8.1.5	Montreal Casino	250
8.1.6	Quebec Police Headquarter	251
8.1.7	Eaton's Building	251
8.1.8	Justice Headquarters	252
8.1.9	St. Vincent Hospital	253
8.1.10	Highlands Cistern and Rolling Hills Cistern	254
8.1.11	Freeport Water Reservoir	255
8.1.12	Magnin Building	256

8. 1. 13	One Teaching Building in Canada	257
8. 1. 14	One Steel Structure in Los Angeles	258
8. 1. 15	Other Retrofitting Project Examples	258
8. 2	Application of Metallic Dampers in Retrofitting Project	258
8. 2. 1	Machine Building in One Corporation	260
8. 2. 2	Guotai Shihua International Building in Taiwan	262
8. 2. 3	She-Hwa Bank Building	263
8. 2. 4	Izazagea Building in Mexico	263
8. 2. 5	One Office building in Mexico	264
8. 2. 6	Zhuzhong Corporation Office building in Japan	265
8. 2. 7	One Office building in Japan	266
8. 2. 8	Wallace F. Bennett Federation Building	266
8. 2. 9	Other Retrofitting Project Examples	267
8. 3	Application of Viscous Dampers in Retrofitting Project	267
8. 3. 1	Beijing Exhibition Building	268
8. 3. 2	Beijing Jingxi Hotel	270
8. 3. 3	Wu Taisan Gymnasium in Nanjing City	272
8. 3. 4	Greece Peace and Friendship Olympic Games Gymnasium	274
8. 3. 5	Kagoshima Airport Termind Building in Japan	275
8. 3. 6	San Francisco Richmond Bridge	277
8. 3. 7	San Francisco Bay Bridge	278
8. 3. 8	Chun-su Bridge	280
8. 3. 9	E-po Bridge	280
8. 3. 10	American Golden Gate Bridge	281
8. 4	Application of viscoelastic Dampers in Retrofitting Project	282
8. 4. 1	Chaoshan-xinghe Building	283
8. 4. 2	No. 116 Building of Navy Facility Providing Bureau of Santiago	287
8. 4. 3	One Building in SaintCara	289
8. 4. 4	One Building in Yokohama of Japan	290
8. 4. 5	One Department Office Building in Hongshan Borough of Wuhan ...	292
8. 4. 6	Five Story Building of Front Door Factory in Osaka	293
References		294

第一章 耗能减震加固的概念与原理

1.1 抗震加固的意义与发展简况

1.1.1 地震的危害性

地震是一种危及人民生命财产安全以及破坏性、危害性极大的突发性自然灾害,尤其在人口密集及政治、经济、工业和科学技术发达的城市和地区,造成的损失更为惨重。一次大地震可令一座繁荣、美丽的现代化大城市在数十秒钟内变成一片废墟,成片房屋破坏倒塌,交通、通信、供水、供电等生命线中断,并可能引发火灾、水灾、山崩、滑坡、海啸、疾病等次生灾害,造成人员大量伤亡,城市瘫痪,导致严重的经济损失。因此从某种意义上说,地震是群灾之首。

随着世界人口的不断增长和城市化速度的加快,地震灾害问题在社会中越发显得突出,譬如 1995 年 1 月 17 日日本阪神地区发生 7.2 级大地震,因为该地区人口密度大、产业密集经济发达,地震造成的损失十分惨重。据日本政府公布的灾情,死亡 6310 人,受伤 43188 人,30 多万人无家可归,439405 栋建筑物遭受破坏,直接经济损失 1000 亿美元,间接经济损失超过 1000 亿美元,灾害损失空前绝后,这反映出人类社会减灾能力的脆弱性。美国著名地震学家詹姆斯·M·格雷说:“杀死人的不是地震,而是建筑物。”他的话十分精辟地表述了这样一个无情的事实:地震造成的人员伤亡以及给人们带来的经济损失大部分是由于房屋破坏倒塌造成的。图 1.1.1 和图 1.1.2 分别为 1985 年墨西哥地震和 1976 年唐山地震中楼房倒塌的情况。表 1.1.1 列举了我国 1966~1997 年几次大地震造成的房屋破坏情况。

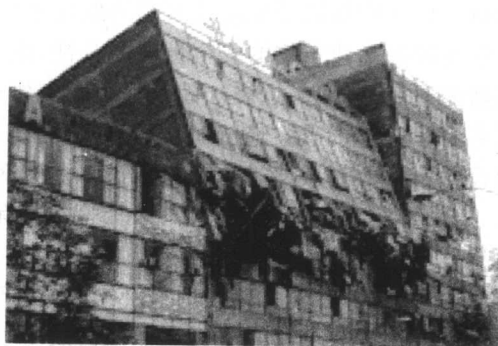


图 1.1.1 1985 年墨西哥地震造成的楼房倒塌