

建筑隔震减震 优秀设计案例详解

JIANZHU GEZHEN JIANZHEN YOUXIUSHEJI ANLIXIANGJIE

- 主 编 | 苏经宇 曾德民
- 副主编 | 马东辉 左 江 安晓文



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

建筑隔震减震 优秀设计案例详解

主 编 苏经宇 曾德民
副主编 马东辉 左 江 安晓文

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2017

内 容 提 要

本书通过将获奖的工程设计实例进行汇编,能够让工程师们从中有所借鉴,对减隔震工程的设计、施工有所帮助。工程实例涉及办公、学校、医院、住宅、商业综合体、机场等类型的建筑。书中每项工程均从工程概况、减隔震装置布置、结构计算结果及分析、减隔震部件检测、构造要求与施工维护等方面进行了详细介绍。

本书可供设计院结构设计人员、减隔震技术研究人员阅读,也可供建筑专业有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑隔震减震优秀设计案例详解/苏经宇,曾德民主编. —北京:冶金工业出版社,2017.7

ISBN 978-7-5024-7457-7

I. ①建… II. ①苏… ②曾… III. ①建筑结构—防震设计—案例 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第323518号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7457-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017年7月第1版,2017年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 30.75印张; 741千字; 461页

110.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

编辑委员会

主 编 苏经宇 曾德民

副主编 马东辉 左 江 安晓文

编 委	高晓明	杜志超	王志涛
	韩流涛	顾小平	张 耀
	苏幼坡	李 彪	徐 斌

序

建筑隔震减震技术，通过在建筑物下部设置隔震层或在上部结构中设置耗能元件，吸收地震能量，降低上部结构地震作用，是大幅提高建筑物抗震性能的最有效手段。国内外大量经受地震灾害的实例证实了这种技术的成熟性和可靠性。

国内建筑减隔震技术应用研究从20世纪80年代开始，30年来取得了包括产品研发、设计理论、工程实践等大量成果。近年来我国建筑减隔震技术逐渐成为工程抗震技术的应用热点，减隔震建筑总量已接近10000栋。尤其是2013年“4·20”芦山地震中，采用隔震技术的医院经受地震检验，抗震性能优异，医疗救助功能未中断，充分体现了隔震技术在建筑物的主体结构、围护结构和设备设施功能三个方面同时保护保障的特有优势。

目前，国家和各地建设行政主管部门相继出台了相关文件，鼓励大力推广建筑减隔震技术的应用。

为了推动减隔震技术的健康有序推广应用，激发工程设计人员在该领域的自主创新和技术进步，加快科技成果转化。中国勘察设计协会组织了“优秀抗震防灾专业奖”的评选工作。

本书汇总了“2015年度全国优秀工程勘察设计行业奖优秀抗震防灾专业奖”的获奖工程设计实例，涉及办公、学校、医院、住宅、商业综合体、机场等类型的建筑。这些获奖案例集中体现了我国近年来减隔震事业发展的丰硕成果和先进水平。本书的出版必将推动我国建筑减隔震技术的更好更快发展。

中国工程院院士 周福霖

2016年11月

前 言

根据中国勘察设计协会《关于评选 2015 年度全国优秀工程勘察设计行业奖的通知》(中设协字[2015] 24 号),中国勘察设计协会抗震防灾分会在中国勘察设计协会的领导下,组织了“2015 年度全国优秀工程勘察设计行业奖优秀抗震防灾专业奖”(以下简称“抗震防灾奖”)的评选工作。

鉴于当前我国建筑减隔震工程应用日趋广泛,为促进其更好更快地发展,特将首届“抗震防灾奖”评选范围集中在建筑隔震减震工程中。

按照中国勘察设计协会对评审专家条件的要求,组成了首届“优秀抗震防灾奖”评审专家组,专家组成员 9 名,其中有中国工程院院士 1 名,全国勘察设计大师 2 名。专家组认真评审,共评出了 24 项获奖项目,其中一等奖 4 项,二等奖 9 项,三等奖 11 项。

本次获奖工程项目代表了我国建筑减隔震技术发展的先进水平,在新装置应用、减隔震工程设计方法、抗震措施和施工工艺等方面多有技术创新,对减隔震建筑行业发展具有重要意义。获奖项目各具特点,或是针对建筑工程功能要求或特殊工程条件发挥了减隔震技术的优势,解决了抗震领域重大技术问题;或是对城乡建设特定防灾救灾功能保障及减轻人员伤亡和经济损失具有重大作用,包括要求灾时使用功能不能中断、承担灾后应急救灾功能的医院、指挥中心、重要生命线等工程项目;或是在经济水平不高但设防烈度较高的地区,应用规模大、抗震减灾效益突出。

本书根据申报材料,将获奖的减隔震工程进行一一整理,内容十分丰富,为真实反映各个工程自身特点,在体例上仅做大致统一。文中对每项工程从工程概况、减隔震装置选型和布置、结构分析、减隔震部件检测、构造要求与施工维护等方面进行了详细介绍,特别适合结构工程师们在设计减隔震工程时参考使用,对施工、监理人员或其他关注减隔震技术的人员也将有所帮助。

中国勘察设计协会抗震防灾分会会长 苏经宇

2016 年 11 月

目 录

案例 1 昆明长水国际机场航站楼	1
1 工程概况	1
2 工程设计	1
2.1 场地概况	1
2.2 设计依据	2
2.3 结构设计主要参数	2
3 隔震设计	3
3.1 隔震设计目标	3
3.2 隔震元件的布置	3
3.3 计算模型和方法	5
3.3.1 计算模型	5
3.3.2 计算方法	5
3.4 地震波选取及其输入方式	6
3.4.1 小震分析时的地震波	6
3.4.2 大震分析选用的地震波	6
3.4.3 输入方式	6
3.5 隔震分析结果	6
3.5.1 隔震结构周期	6
3.5.2 时程法与反应谱法计算的底部剪力比较	6
3.5.3 小震下的计算结果	7
3.5.4 大震下的位移计算结果	7
3.5.5 大震下阻尼器最大阻尼力	8
3.5.6 其他荷载下, 隔震层位移	8
3.5.7 阻尼比问题	8
4 振动台试验研究	9
4.1 研究内容	9
4.2 模型设计	9
4.3 模型制作	10
4.4 试验研究	10
4.5 试验总结	12
5 隔震支座力学性能及检验	12

5.1 隔震橡胶支座力学性能	12
5.2 隔震支座检测	14
5.2.1 隔震支座形式检验	14
5.2.2 产品性能检验	14
6 隔震支座施工安装	15
6.1 安装质量控制标准	15
6.2 隔震支座施工工法	15
7 技术审查意见	17
附录 昆明长水国际机场航站楼建设参与单位及人员信息	18
案例2 江苏宿迁苏豪银座	19
1 工程概况	19
2 工程设计	20
2.1 设计主要依据和资料	20
2.2 结构设计主要参数	20
3 隔震设计	21
3.1 隔震设计性能目标	21
3.2 隔震层设计	21
3.2.1 橡胶隔震支座	21
3.2.2 黏滞阻尼器	22
3.2.3 隔震支墩及阻尼器连接构造	23
3.2.4 隔震元件的布置	24
3.3 隔震计算模型	24
3.4 地震波选取	27
3.5 多遇地震作用下的计算结果	27
3.5.1 多遇地震作用下的最大层间剪力分析	27
3.5.2 多遇地震作用下的位移角响应分析	28
3.6 基本烈度地震作用下地震响应分析	28
3.6.1 隔震结构在8度基本烈度地震作用下地震力分析	28
3.6.2 隔震结构在8度基本烈度地震作用下位移响应分析	28
3.7 罕遇地震作用下的计算结果	29
3.7.1 罕遇地震作用下的最大层间剪力分析	29
3.7.2 罕遇地震作用下的最大层间位移角	29
3.7.3 与隔震支座连接构件的地震作用	34
3.7.4 隔震结构在罕遇地震作用下的层间位移比	34
3.7.5 隔震结构抗倾覆验算	34
3.7.6 小结	34
4 上部结构设计	35

4.1 主要材料及截面	35
4.2 计算结果及分析	35
4.2.1 塔楼 A 的主要计算结果	35
4.2.2 塔楼 B 的主要计算结果	38
4.2.3 裙房的主要计算结果	40
4.3 隔震设计超限情况	45
4.4 层间隔震设计方法及超限对策	45
5 下部结构及基础设计	47
5.1 基础设计	47
5.2 地下室设计	47
5.3 基础埋深验算	47
5.4 差异沉降处理	47
6 构造要求与施工维护	47
6.1 构造要求	47
6.1.1 基础构造要求	47
6.1.2 隔震层构造要求	48
6.1.3 上部结构构造要求	49
6.2 施工维护	49
6.2.1 施工安装	49
6.2.2 施工测量	49
6.2.3 工程验收	49
6.2.4 隔震层维护	50
7 结论	50
附录 江苏宿迁苏豪银座建设参与单位及人员信息	50
案例 3 北京银泰中心	51
1 工程概况	51
1.1 建筑结构概况	51
1.2 钢结构 A 塔楼概况	51
2 结构设计主要参数	52
3 A 塔楼减震设计	52
3.1 消能减震设计方案	52
3.2 消能减震元件的原理	52
3.2.1 黏滞阻尼器的原理	52
3.2.2 屈曲约束支撑 (UBB) 的原理和优点	53
3.3 消能减震元件的布置	54
3.3.1 黏滞阻尼器的布置	54
3.3.2 屈曲约束支撑的布置	55

3.4 黏滞阻尼器的计算分析	57
3.4.1 顺风向的时程计算结果	57
3.4.2 横风向的时程计算结果	58
3.4.3 风荷载时程分析小结	59
3.4.4 地震作用下的计算结果	59
3.5 屈曲约束支撑 (UBB) 的计算分析	60
3.5.1 屈曲约束支撑的支撑轴力	60
3.5.2 屈曲约束支撑的 Pushover 分析	60
4 屈曲约束支撑的试验分析	61
5 结论	63
附录 北京银泰中心建设参与单位及人员信息	64
案例 4 虹桥综合交通枢纽交通中心工程磁浮虹桥站	65
1 工程概况	65
2 工程设计	65
2.1 设计依据	65
2.2 结构设计主要参数	66
3 减震设计	66
3.1 方案的选择	66
3.1.1 刚度和层间位移角对比	66
3.1.2 经济性的对比	66
3.2 消能减震设计目标	67
3.3 消能元件的布置	67
3.4 地震波的选择	68
3.5 结构计算模型	69
3.6 消能减震分析结果	69
3.6.1 结构周期及振型	69
3.6.2 结构最大层间位移角、位移比	70
3.6.3 地震剪力和结构抗倾覆的验算	71
4 施工安装	71
5 TJII 型 650t 屈曲约束支撑足尺试验	73
5.1 试验内容	73
5.2 屈曲约束支撑原型构件设计要求	73
5.3 试验装置	74
5.4 量测内容	74
5.4.1 应变测量	74
5.4.2 位移测量	74
5.5 加载制度	77

5.6 试验现象与分析	77
5.6.1 试件一	77
5.6.2 试件二	77
5.6.3 设计要求校核	79
5.7 试验结论	79
6 结论	79
附录 磁浮虹桥站建设参与单位及人员信息	80
案例5 三里河三区12号地办公楼	81
1 工程概况	81
2 工程设计	82
2.1 设计主要依据	82
2.1.1 计算软件	82
2.1.2 参考规范、标准	82
2.2 结构设计主要参数	82
3 隔震设计	83
3.1 隔震设计目标	83
3.2 隔震层设计	84
3.2.1 叠层橡胶支座规格、数量、性能参数	84
3.2.2 叠层橡胶支座布置	84
3.3 地震波的选择	85
3.4 隔震分析结果	86
3.4.1 隔震结构周期	86
3.4.2 多遇地震下1号楼的层间剪力	86
3.4.3 罕遇地震作用下的计算结果	88
3.4.4 隔震支座弹性恢复力验算	89
3.4.5 等效侧力法	90
4 上部结构设计	90
4.1 上部结构的质量中心与隔震层的刚度中心	90
4.2 上部结构层间位移角验算	91
4.2.1 多遇地震作用下1号楼弹性层间位移角验算	91
4.2.2 罕遇地震作用下各号楼弹塑性层间位移角验算	91
5 隔震层构造要求、施工及验收	92
5.1 构造要求	92
5.1.1 结构专业的隔震措施	92
5.1.2 建筑专业的隔震措施	94
5.1.3 设备专业的隔震措施	95
5.1.4 电专业的隔震措施	95

5.2 隔震层橡胶隔震支座施工	96
5.3 工程验收	98
5.3.1 橡胶隔震垫施工质量要求	98
5.3.2 成品保护	99
5.3.3 资料要求	99
6 地震模拟振动台模型实验	100
7 结论	100
附录 三里河三区 12 号地办公楼建设参与单位及人员信息	101
案例 6 宿迁海关业务技术综合楼	102
1 工程概况	102
2 工程设计	102
2.1 场地概况	102
2.2 设计依据	103
2.3 结构设计主要参数	103
3 隔震设计	105
3.1 隔震设计性能目标	105
3.2 隔震层设计	105
3.2.1 橡胶隔震支座	105
3.2.2 滑移隔震支座	106
3.2.3 黏滞阻尼器	107
3.2.4 隔震支墩及阻尼器连接构造	107
3.2.5 隔震元件的布置	107
3.2.6 隔震层建筑构造	109
3.3 隔震计算模型	110
3.4 地震波选取	112
3.5 隔震分析结果	112
3.5.1 多遇地震作用下地震响应分析	112
3.5.2 罕遇地震作用下地震响应分析	114
3.5.3 隔震元件的滞回曲线及能量时程曲线	114
3.6 结构抗风设计	115
4 主体结构设计	116
4.1 主要材料及断面	116
4.2 计算程序	116
4.3 计算结果及分析	116
4.4 设计超限情况	117
4.5 设计加强措施	117
4.6 结构设计方案的比较	118

5 基础设计	119
6 专家组技术审查意见	119
附录 宿迁海关业务技术综合楼建设参与单位及人员信息	119
案例7 云南省设计院办公楼	120
1 工程概况	120
2 工程设计	120
2.1 设计依据	120
2.2 结构设计主要参数	121
3 隔震设计	121
3.1 隔震设计目标	121
3.2 隔震支座的布置	122
3.2.1 隔震支座力学性能参数	122
3.2.2 隔震支座布置	122
3.3 隔震计算及分析	123
3.3.1 ETABS 模型建立以及准确性验证	123
3.3.2 地震波选取	124
3.3.3 隔震分析计算结果	124
4 上部结构设计	127
4.1 楼（屋）面活荷载标准值	127
4.2 主要材料选用	127
4.3 抗震验算及分析	127
5 地基基础设计	128
5.1 设计原则	128
5.2 基础方案的确定	128
6 实体动力试验	128
6.1 试验目的	129
6.2 实验原理及过程	129
6.2.1 加载原理	129
6.2.2 模拟原理	130
6.2.3 实验过程	130
6.2.4 实验工况	130
6.3 实验装置和仪器	130
6.3.1 实验加载装置	130
6.3.2 记录仪器	130
6.4 试验成果	131
6.5 试验小结	133
7 结论	133

附录 云南省设计院办公楼建设参与单位及人员信息	133
案例 8 都江堰市校安工程（加固）	134
1 校安工程概况	134
2 工程加固主要依据和资料	134
3 房屋加固前概括	134
3.1 房屋加固前建筑概况	134
3.2 房屋加固前结构概况	135
4 房屋结构抗震鉴定情况	137
4.1 荷载取值	137
4.2 房屋抗震能力现状评估	137
4.3 房屋基本信息分析	142
5 消能减震加固设计的分析	143
5.1 方案的选择	143
5.2 加固的目标	143
5.3 消能减震支撑的规格数量选取	143
5.4 消能减震支撑的力学特性取值	144
5.5 地震反应的输入确定	149
5.6 结构增设消能减震支撑后的效果分析	150
5.6.1 XIN-1 波作用下 ST0 与 ST1 响应对比	150
5.6.2 四条波分别作用下 ST0 与 ST1 平均反应对比	153
5.6.3 阻尼器耗能情况	154
6 消能减震设计验算	156
6.1 黏滞阻尼器支撑强度设计要求	156
6.2 结构附加等效阻尼比后抗震能力验算	156
7 结语	158
附录 都江堰市校安工程第 1~3 区教学楼建设参与单位及人员信息	159
案例 9 山西省忻州市中小学校校安工程	160
1 工程概况	160
2 工程设计	160
2.1 设计主要依据和资料	160
2.2 结构设计主要参数	161
3 隔震设计	161
3.1 隔震设计的目标	161
3.2 橡胶隔震支座	161
3.2.1 隔震支座产品性能参数	161
3.2.2 隔震支座的布置	162

3.2.3 隔震支座施工安装说明及注意事项	162
3.2.4 隔震支座生产和检测	162
3.3 教学楼 A、B 隔震计算模型	165
3.4 教学楼 A、B 地震波选取	165
3.5 动力分析与计算	165
3.5.1 教学楼 A、B 结构动力特性分析	165
3.5.2 教学楼 A、B 隔震支座压应力	166
3.5.3 水平向减震系数	166
3.5.4 罕遇地震下隔震支座验算	167
4 隔震层上部结构设计	168
5 隔震层下部结构及地基基础设计	169
5.1 隔震层以下柱、墙的设计内力及配筋验算	169
5.2 基础及地基设计	170
6 隔震层构造要求及隔震加固施工要求	170
6.1 隔震层构造要求	170
6.2 教学楼 A 隔震加固的施工要求	170
7 结论	170
附录 忻州兴原实验小学教学楼隔震加固参与单位及人员信息	171
案例 10 宿迁市妇产医院及儿童医院	172
1 工程概况	172
2 工程设计	172
2.1 设计主要依据	172
2.2 结构设计主要参数	173
3 减震设计	173
3.1 消能减震设计原理	173
3.2 黏滞流体阻尼器的布置	173
3.3 模型建立	174
3.4 地震波的选取	174
3.5 多遇地震作用下结构的时程响应分析	176
3.5.1 A 区多遇地震作用下结构的时程响应分析	176
3.5.2 B 区减震前后各楼层数据汇总对比	178
3.5.3 最大阻尼力	180
3.6 8 度 (0.3g) 罕遇地震作用下结构的时程响应分析	180
3.6.1 层间位移角	180
3.6.2 基底总剪力时程图	182
3.6.3 最大阻尼力	182
3.6.4 阻尼器位移-力滞回关系	184

4 等效阻尼比的计算与验证	187
4.1 等效阻尼比的计算	187
4.2 等效阻尼比验证	188
5 与阻尼器相连构件的设计	191
5.1 连接方法与设计注意事项	191
5.2 节点构造	191
6 结论	193
附录 宿迁市妇产医院及儿童医院建设参与单位及人员信息	194
案例 11 新世基办公楼装修改造工程	195
1 工程概况	195
2 工程设计	195
2.1 设计主要依据和资料	195
2.2 结构设计主要参数	197
3 消能减震设计	198
3.1 采用屈曲约束支撑的目的	198
3.2 消能装置设计选型	198
3.2.1 所选支撑厂家、形式及其他参数	198
3.2.2 支撑布置原则	199
3.2.3 构造及连接要求	199
3.3 加固前计算结果	201
3.3.1 结构整体刚度验算结果	201
3.3.2 结构构件承载力验算结果	202
3.4 加固和支撑布置方案	202
3.4.1 加固方案	203
3.4.2 屈曲约束支撑布置方案	203
3.5 各构件塑性铰的设置	204
3.6 屈曲约束支撑的分析结果	206
3.6.1 罕遇地震作用下的性能点	206
3.6.2 罕遇地震作用下层间位移角验算	208
3.7 结构抗震性能的综合评价	209
4 施工维护情况说明	209
4.1 施工方案说明	209
4.2 连接节点检测	209
4.3 防火防腐涂装及使用维护	209
4.4 外包钢节点施工要点	210
5 结论	210
附录 新世基办公楼装修改造参与单位及人员信息	211

案例 12 古北财富中心	212
1 工程概况	212
2 工程设计	212
2.1 设计主要依据和资料	212
2.2 结构设计主要参数	214
3 消能减震设计	214
3.1 屈曲约束支撑介绍	214
3.1.1 屈曲约束支撑的构成	214
3.1.2 屈曲约束支撑的破坏模式	214
3.2 屈曲约束支撑性能指标及布置	215
3.2.1 屈曲约束支撑型号及性能指标	215
3.2.2 屈曲约束支撑的布置	215
3.3 结构分析与计算	218
3.3.1 普通支撑与屈曲约束支撑时程分析对比	218
3.3.2 中震、大震作用下屈曲约束支撑的非线性时程分析	219
4 屈曲约束支撑足尺结构试验	223
4.1 试验背景	223
4.2 试验背景	223
4.3 试验内容	223
4.4 试验装置	223
4.5 量测内容	224
4.5.1 应变测量	224
4.5.2 位移测量	224
4.6 加载制度	224
4.6.1 预加载阶段	225
4.6.2 试验结果	225
4.6.3 试验结果分析	225
4.7 结论	226
5 施工维护情况说明	227
5.1 屈曲约束支撑施工安装要求	227
5.2 屈曲约束支撑节点设计	227
5.3 屈曲约束支撑维护要求	228
6 经济性分析	228
7 结论	229
附录 古北财富中心建设参与单位及人员信息	229
案例 13 宿迁金柏年财富广场	230
1 工程概况	230