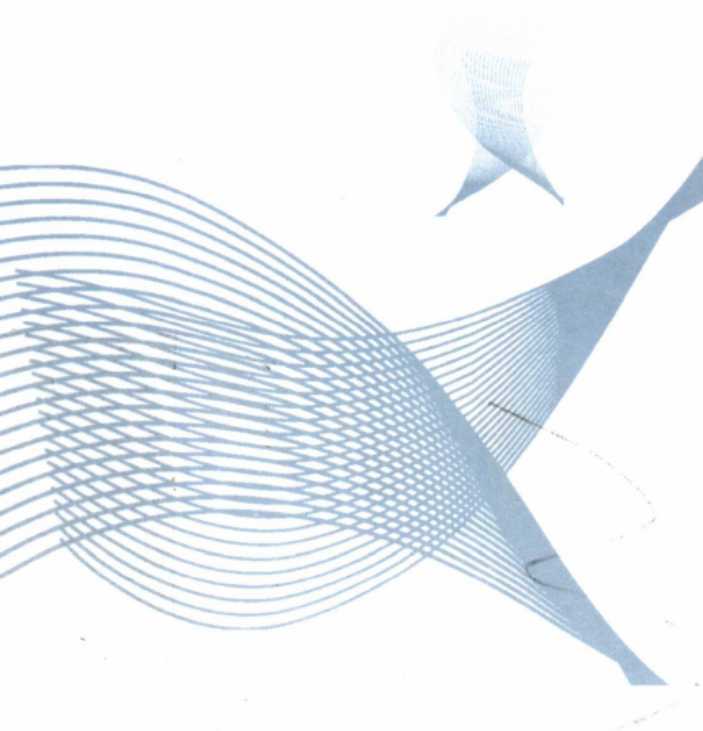




FANGQUQU HAONENG ZHICHENG
JIEGOU SHEJI YU YINGYONG

防屈曲耗能支撑 结构设计与应用

周云◎著

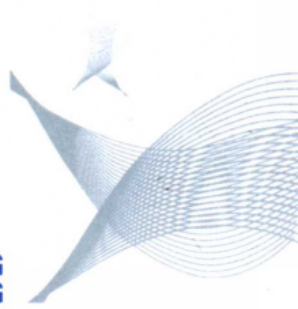


中国建筑工业出版社

责任编辑: 王 梅

封面设计: 楚 楚

FANGQUQU HAONENG ZHICHENG
JIEGOU SHEJI YU YINGYONG



防屈曲耗能支撑 结构设计与应用



经销单位: 各地新华书店、建筑书店

网络销售: 本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

网上书店 <http://www.china-building.com.cn>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类: 建筑结构与岩土 (S10)

ISBN 978-7-112-09328-1



9 787112 093281 >

(15992) 定价: 28.00元

2007

TU352.104/18

2007

防屈曲耗能支撑结构 设计与应用

周 云 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

防屈曲耗能支撑结构设计与应用/周云著. —北京: 中国建筑工程工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09328-1

I. 防… II. 周… III. 建筑结构—抗震设计 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 097985 号

防屈曲耗能支撑结构设计与应用

周 云 著

*

中国建筑工程工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工程印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 15 $\frac{1}{4}$ 字数: 368 千字

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-09328-1

(15992)

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)

前 言

框架结构和框架—支撑结构是高层建筑结构中应用十分普遍的结构。纯框架结构的抗侧刚度有限,在地震或风荷载作用下,侧向位移较大,限制了它的应用高度。框架—支撑结构在一定程度上解决了结构抗侧刚度的问题,但其在强震作用下受压时易产生屈曲现象,极易造成支撑本身或连接的破坏或失效,同时支撑屈曲后的滞回耗能能力变差,很难有效地消耗地震能量,使结构抗震能力降低。为了解决支撑受压屈曲的问题,日本、美国等国家以及我国台湾等地区的一些学者经多年研究,研发出一种能防止屈曲的支撑构件,称为防屈曲耗能支撑(Buckling-Restrained Brace),也常被称为无粘结支撑(Unbonded Brace)、屈曲约束支撑(Buckling-Restrained Brace)、挫屈束制支撑(Buckling-Restrained Brace)、降伏支撑(Yielding Brace)、挫屈防止支撑(Buckling-Inhibited Brace)或不挫屈支撑(Non-Buckling Brace)等。防屈曲耗能支撑性能稳定,减震效果显著,因此,在近三十年里,特别是日本神户地震、美国北岭地震后,日本、美国等国家和我国台湾等地区对其进行了较多的研究和应用。

本书系统地总结和阐述了防屈曲耗能支撑减震的方法、技术和工程应用的主要研究成果。全书共9章。第1章防屈曲耗能支撑的概论和原理、第2章防屈曲耗能支撑的类型与性能、第3章防屈曲耗能支撑的力学模型、第4章防屈曲耗能支撑体系的性能、第5章防屈曲耗能支撑体系的分析方法、第6章防屈曲耗能支撑体系的设计方法、第7章防屈曲耗能支撑减震工程的施工质量管理方法与维护管理、第8章防屈曲耗能支撑在工程中的应用、第9章防屈曲耗能支撑减震结构分析软件简介。

本书得到周福霖院士等前辈和同行的鼓励、指导和支持,作者特表由衷的感谢!

本书在编写过程中,参阅了国内外许多学者的著作、论文和研究报告,一些学者、工程技术人员主动提供了有关资料和工程照片,特在此表示衷心的感谢。作者的研究生钱洪涛、褚洪民、吴从晓等协助进行了资料收集和书稿录入等大量工作,作者对他们的贡献表示衷心的感谢。

本书部分研究成果得到了国家自然科学基金、广东省自然科学基金和建设部、广州市教委科技基金等的资助,在此表示衷心的感谢。

由于防屈曲耗能支撑减震内容十分丰富,且处于不断发展中,书中难免挂一漏万,我们将在今后的研究和教学中逐步完善,同时,由于作者水平有限,书中难免有疏漏及错误之处,衷心希望有关专家、学者和读者批评指正。

周 云

2007年3月于广州大学城

目 录

第 1 章 防屈曲耗能支撑的概论和原理	1
1.1 耗能减震的概念与原理	1
1.1.1 耗能减震的概念	1
1.1.2 耗能减震的原理	1
1.1.3 耗能减震装置的类型	2
1.1.4 耗能减震装置设计的新思想	4
1.1.5 耗能减震结构的优越性及应用范围	5
1.2 防屈曲耗能支撑的构成与原理	6
1.2.1 防屈曲耗能支撑的构造	7
1.2.2 防屈曲耗能支撑的基本原理	10
1.3 防屈曲耗能支撑体系的优缺点	11
1.4 防屈曲耗能支撑的发展及应用	12
1.4.1 防屈曲耗能支撑的起源与发展	12
1.4.2 防屈曲耗能支撑的应用	14
参考文献	15
第 2 章 防屈曲耗能支撑的类型与性能	18
2.1 墙板式防屈曲耗能支撑	18
2.2 传统防屈曲耗能支撑	19
2.3 钢砂浆板防屈曲耗能支撑	25
2.4 低屈服点钢防屈曲耗能支撑	28
2.5 双截面防屈曲耗能支撑	30
2.6 强化式防屈曲耗能支撑	34
2.7 三重钢管防屈曲耗能支撑	37
2.8 四钢管防屈曲耗能支撑	39
2.9 带套核心承载压杆	40
2.10 新型防屈曲耗能支撑	42
参考文献	43

第 3 章 防屈曲耗能支撑的力学模型	47
3.1 理想弹塑性模型	47
3.2 双线性模型	48
3.3 Ramberg-Osgood 模型	49
3.4 Bouc-Wen 模型	50
3.5 钢材考虑损伤积累效应滞回模型	52
3.6 防屈曲耗能支撑的非线性滞回模型	54
参考文献	55
第 4 章 防屈曲耗能支撑体系的性能	57
4.1 防屈曲耗能支撑体系子系统试验性能	57
4.1.1 缩尺一半的子系统试验	57
4.1.2 大比例子系统试验	60
4.1.3 其他子系统试验	63
4.2 防屈曲耗能支撑体系的整体性能	65
4.2.1 防屈曲耗能支撑框架与抗弯框架的抗震分析	65
4.2.2 防屈曲耗能支撑框架与传统支撑框架的抗震分析	66
4.2.3 安装防屈曲耗能支撑钢框架结构的拟动力试验	69
4.2.4 安装防屈曲耗能支撑钢框架的振动台试验	72
参考文献	75
第 5 章 防屈曲耗能支撑体系的分析方法	78
5.1 防屈曲耗能支撑结构的分析方法与分析模型	78
5.1.1 防屈曲耗能支撑结构的分析方法	78
5.1.2 防屈曲耗能支撑结构的分析模型	79
5.2 振型分解反应谱法	84
5.2.1 振型分解反应谱法概述	84
5.2.2 防屈曲耗能支撑的等价线性化	84
5.2.3 防屈曲耗能支撑结构的振型分解法	88
5.2.4 抗震设计反应谱	89
5.2.5 防屈曲耗能支撑结构地震作用与作用效应计算	91
5.3 时程分析法	93
5.3.1 时程分析法概述	93
5.3.2 防屈曲耗能支撑结构的恢复力模型	95
5.3.3 输入地震波的选用及调整	97

5.3.4 质量、刚度与阻尼矩阵	99
5.3.5 结构振动方程的数值积分法	100
5.4 静力弹塑性(Push-over)分析方法	102
5.4.1 静力弹塑性(Push-over)分析方法概述	102
5.4.2 静力弹塑性(Push-over)分析方法的原理	102
5.4.3 结构的能力谱	103
5.4.4 防屈曲耗能支撑结构的地震需求谱	114
5.4.5 目标位移与结构性能评估	123
5.5 能量分析法	130
5.5.1 能量分析方法概述	130
5.5.2 能量分析方法基本原理	131
5.5.3 地震输入能量及其分配的影响因素	136
5.5.4 能量反应谱	140
参考文献	145
第6章 防屈曲耗能支撑体系的设计方法	150
6.1 防屈曲耗能支撑结构的概念设计	150
6.1.1 防屈曲耗能支撑结构的适用范围和设防目标	150
6.1.2 防屈曲耗能支撑结构的性能标准和基本要求	152
6.1.3 防屈曲耗能支撑数量的预估和要求	153
6.1.4 防屈曲耗能支撑的布置原则	156
6.2 防屈曲耗能支撑体系的抗震计算	157
6.2.1 多遇地震作用下防屈曲耗能支撑框架结构的抗震强度与变形验算	157
6.2.2 罕遇地震作用下防屈曲耗能支撑框架结构的弹塑性位移验算	159
6.3 防屈曲耗能支撑的设计	159
6.3.1 防屈曲耗能支撑的稳定性理论分析	161
6.3.2 芯材断面积的选取	163
6.3.3 防屈曲外约束钢管的选取	163
6.3.4 防屈曲耗能支撑构件的设计细节	164
6.3.5 连接的设计	164
6.3.6 节点板的设计与强度校核	165
6.4 防屈曲耗能支撑的连接与构造	165
6.5 防屈曲耗能支撑体系的设计步骤与实例	166
6.5.1 防屈曲耗能支撑体系的设计	166
6.5.2 防屈曲耗能支撑体系的设计实例	168
6.5.3 防屈曲耗能支撑在巨型钢结构中的应用	177

参考文献	189
第7章 防屈曲耗能支撑减震工程的施工质量管理方法与维护管理	192
7.1 质量管理	192
7.1.1 防屈曲耗能支撑的设计与性能质量管理	192
7.1.2 防屈曲耗能支撑的施工质量管理	193
7.2 施工计划	194
7.2.1 施工注意事项	195
7.2.2 施工保管、养护	195
7.2.3 施工管理项目	195
7.2.4 施工流程	195
7.3 维护管理	196
7.3.1 维护管理中的检查	197
7.3.2 维护管理体制	197
7.4 防屈曲耗能支撑工程施工实例	198
参考文献	201
第8章 防屈曲耗能支撑在工程中的应用	202
8.1 防屈曲耗能支撑应用概况	202
8.2 防屈曲耗能支撑在新建工程中的应用	204
8.2.1 台北阳明山文化大学体育馆	204
8.2.2 台北关渡慈济大爱电视台	205
8.2.3 美国加利福尼亚大学植物与环境科学置换研究所实验室	205
8.2.4 北京银泰中心主塔楼	206
8.2.5 上海古北某办公楼	207
8.2.6 西部机电科技商务中心	208
8.2.7 日本东京六本木新城森大厦	208
8.3 防屈曲耗能支撑在加固工程中的应用	210
8.3.1 台中国泰世华国际大楼	210
8.3.2 西华银行	211
8.3.3 日本竹中公司办公楼	212
8.3.4 美国华莱士班尼特(Wallance F. Bennett)联邦大楼	212
8.3.5 美国洛杉矶某两办公楼加固	213
8.3.6 日本大阪港大桥	214
8.3.7 日本某通信铁塔	217
参考文献	218

第 9 章 防屈曲耗能支撑减震结构分析软件简介	219
9.1 防屈曲耗能支撑减震结构分析软件概述	219
9.2 SAP2000\ETABS	219
9.2.1 SAP2000\ETABS 概述	219
9.2.2 防屈曲耗能支撑单元在 SAP2000\ETABS 中的实现	220
9.3 MIDAS	224
9.3.1 MIDAS 概述	224
9.3.2 防屈曲耗能支撑单元在 MIDAS 中的实现	224
9.4 ANSYS	226
9.4.1 ANSYS 概述	226
9.4.2 防屈曲耗能支撑单元在 ANSYS 中的实现	226
参考文献	227
附录：美国《钢结构建筑抗震设计规定》关于防屈曲耗能支撑的试验要求	229

第 1 章 防屈曲耗能支撑的概论和原理

1.1 耗能减震的概念与原理

1.1.1 耗能减震的概念

结构耗能减震技术是指在结构物的某些部位(如支撑、剪力墙、节点、连接缝或连接件、楼层空间、相邻建筑间、主附结构间等)设置耗能(阻尼)装置(或元件),通过耗能(阻尼)装置产生摩擦、弯曲(或剪切、扭转)等弹塑(或黏弹)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反应,从而避免主体结构的破坏或倒塌。

耗能(阻尼)装置(元件)和支撑构件共同构成耗能部件,装有耗能部件的结构称为耗能减震结构^[1,2]。耗能减震结构在小震和设计风荷载作用下处于弹性状态,向主体结构提供足够的刚度,从而保证结构满足正常使用要求;在中震、大震及强震作用下,耗能(阻尼)装置(元件)率先进入耗能状态,产生较大的阻尼,耗散地震输入的大部分能量,并迅速衰减结构的动力反应(位移、速度、加速度等),而主体结构不出现明显弹塑性,从而确保其在强震或强风作用下的安全性和正常使用性。

1.1.2 耗能减震的原理

结构耗能减震的实质是在结构内设置耗能(阻尼)装置(或元件),它们能为结构提供较大的耗能机制,地震时大量消耗输入结构的振动能量,有效衰减结构的地震反应。

耗能减震的原理可以从能量的角度来描述,如图 1.1-1 所示。结构在地震中任意时刻的能量方程为^[3,4]:

$$\text{传统抗震结构} \quad E_{in} = E_v + E_c + E_k + E_h \quad (1.1-1)$$

$$\text{耗能减震结构} \quad E'_{in} = E'_v + E'_c + E'_k + E'_h + E_d \quad (1.1-2)$$

式中 E_{in} 、 E'_{in} ——地震过程中输入传统抗震结构、耗能减震结构体系的能量;

E_v 、 E'_v ——传统抗震结构、耗能减震结构体系的动能;

E_c 、 E'_c ——传统抗震结构、耗能减震结构体系的黏滞阻尼耗能;

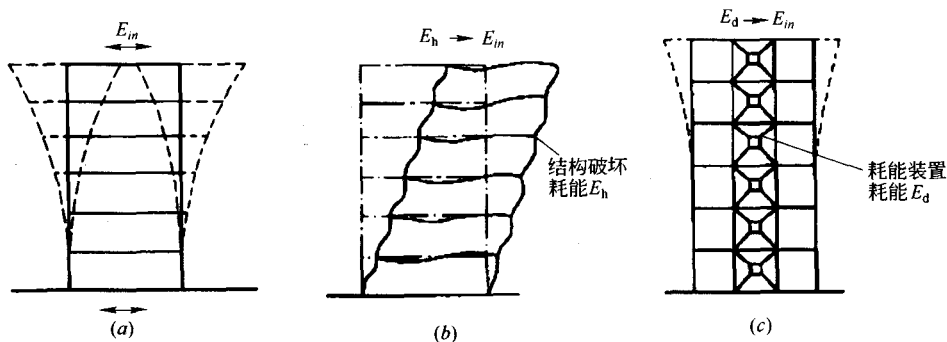


图 1.1-1 结构能量转换途径对比

(a)地震输入; (b)传统抗震结构; (c)耗能减震结构

 E_k 、 E'_k ——传统抗震结构、耗能减震结构体系的弹性应变能; E_h 、 E'_h ——传统抗震结构、耗能减震结构体系的滞回耗能; E_d ——耗能(阻尼)装置或耗能元件耗散或吸收的能量。

在上述能量方程(1.1-1)和方程(1.1-2)中,由于 E_v 和 E'_v 、 E_k 和 E'_k 仅使能量转换而不耗散能量, E_c 和 E'_c 仅占总能量的很小部分(只占 5% 左右),可忽略不计。故在传统的抗震结构中,主要依靠 E_h 耗散输入结构的地震能量,但因结构构件在利用其自身弹塑性变形耗散地震能量的同时,构件本身将遭到损伤甚至破坏,某一结构构件耗能越多,则其破坏程度越严重。而在耗能减震结构体系中,耗能(阻尼)装置(或元件)在主体结构进入非弹性状态前率先进入耗能工作状态,充分发挥耗能作用,而结构本身需消耗的能量却很少,这意味着结构在地震作用下的反应将大大减小,从而有效地保护主体结构的安全性,避免或延缓其遭受损伤或破坏。

一般来说,结构的损伤程度与结构的最大变形 $\Delta_{\max}$ 和滞回耗能(或累积塑性变形) E_h 成正比,可以表达为^[4~7]:

$$D = f(\Delta_{\max}, E_h) \quad (1.1-3)$$

在耗能减震结构中,由于最大变形 $\Delta'_{\max}$ 和构件的滞回耗能 E'_h 较之传统抗震结构的最大变形 $\Delta_{\max}$ 和滞回耗能 E_h 大大减少,因此结构的损伤也大大减少。

耗能减震结构具有减震机理明确、减震效果明显、安全可靠、经济合理、技术先进、适用范围广等特点,目前已成功应用于实际工程结构的减震控制中。

1.1.3 耗能减震装置的类型

耗能减震装置可依据不同的材料、不同的耗能机理和不同的构造来制造。目前,研究开发的耗能减震器种类很多。依耗能减震器与位移和速度的相关性可分为位移相关型耗能减震器、速度相关型耗能减震器和位移与速度相关型(混合型)耗能减震器,如图 1.1-2 所示;依耗能减震器制造所用的材料可分为:金属耗能器、

黏弹性阻尼器和黏滞阻尼器，如图 1.1-3 所示；依耗能减震器的耗能机理可分为：摩擦耗能器、弹塑性耗能器、黏弹性阻尼器、黏滞阻尼器和电(磁)感应式耗能器，如图 1.1-4 所示；依受力的形式可分为：弯曲型、剪切型、扭转型和挤压型耗能器，如图 1.1-5 所示。

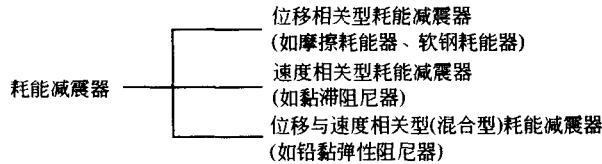


图 1.1-2 耗能减震器按速度与位移的相关性分类

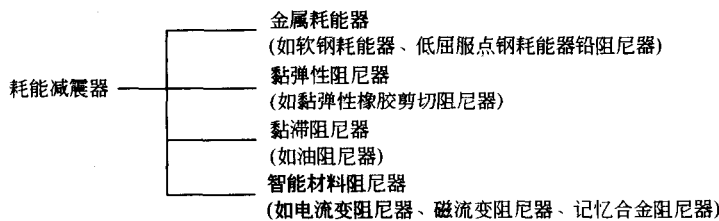


图 1.1-3 耗能减震器按耗能材料分类

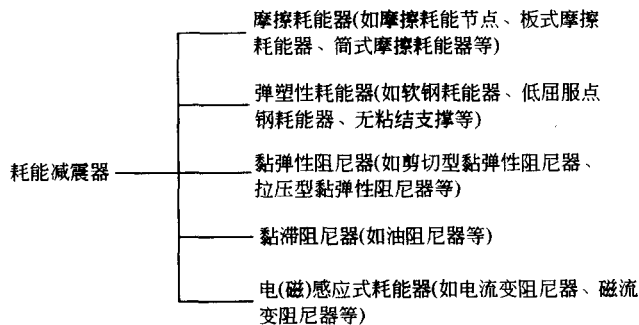


图 1.1-4 耗能减震器按耗能机理分类

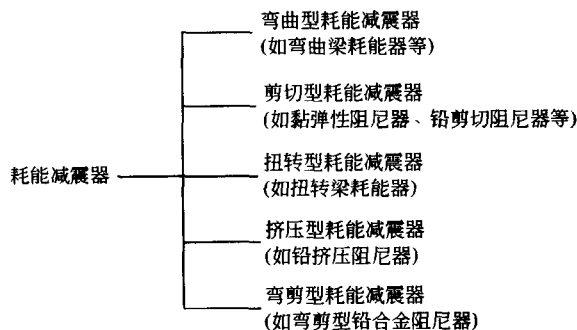


图 1.1-5 耗能减震器按受力形式分类

对于位移相关型的摩擦耗能(阻尼)装置(或元件)、钢耗能(阻尼)装置(或元件)和铅挤压耗能(阻尼)装置(或元件)等,主要是通过附加耗能装置,滑动摩擦滞回耗能和弹塑性或塑性滞回耗能来消耗地震输入能量,减轻地震作用。对于速度相关型的黏弹性耗能(阻尼)装置(或元件)和黏滞耗能(阻尼)装置(或元件),主要是通过黏弹性材料产生剪切滞回变形耗能和黏滞流体滞回流动产生阻尼,耗散能量,达到耗能减震的目的。同时耗能(阻尼)装置(或元件)在进入耗能状态前后的刚度改变,也使结构体系的动力特性改变(周期增大、频率减小),从而减小结构的地震反应。

对于混合式耗能(阻尼)装置(或元件),主要是综合上述的原理,同时利用刚度改变机制和阻尼耗能机制进行耗能减震。

耗能减震器可以增加结构阻尼和刚度,减少地震作用所引起的结构振动响应。图 1.1-6 为不同阻尼器的滞回曲线图^[8]。结构在地震时会产生一定的形变,如果将这栋变形的建筑比作一个驼背的人,阻尼器就好像是拐杖,可以增加“支撑”,使结构不至倒塌。

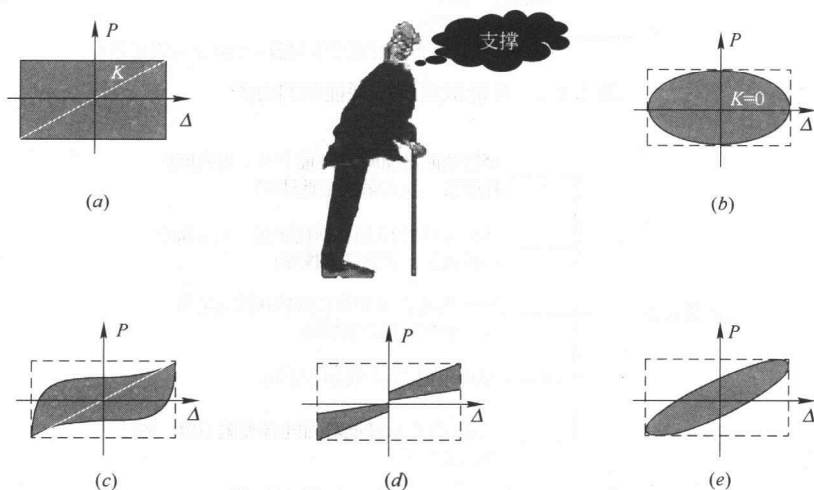


图 1.1-6 不同阻尼器的滞回环形状

(a)Pall 摩擦耗能器; (b)黏滞阻尼器; (c)钢阻尼器; (d)复位式摩擦阻尼器; (e)黏弹性阻尼器

1.1.4 耗能减震装置设计的新思想

针对以往耗能减震器的不足,本书作者提出以下设计耗能减震器的思想^[9~11]:

- (1) 在同一种耗能机理下,可利用多个耗能元件协同工作,共同耗能;
- (2) 在同一种耗能(阻尼)减震器中,综合利用不同的耗能机理共同耗能,即耗能(阻尼)减震器同时利用两种或两种以上的耗能方式耗能;
- (3) 耗能(阻尼)减震器应具有多道耗能减震防线(或多级耗能元件);

(4) 具有良好的变形跟踪性能, 其承载能力和耗能能力具有随变形增大而变化的自适应能力;

(5) 将耗能减震器设置成具有位移放大的功能, 可提高耗能减震器的耗能效果, 减小结构的地震反应。

依据这些思想, 本书作者研究开发了以下多种类型耗能(阻尼)减震器^[2,9~12], 具体见表 1.1-1 所列。

目前已开发的耗能(阻尼)减震器

表 1.1-1

类 型	名 称	耗 能 原 理	研 制 日 期
金属类耗能器	双环耗能器	软钢滞回耗能	1993
	加劲圆环耗能器		
	超塑性合金筒耗能器	合金弹塑性滞回耗能	1998
摩擦耗能器	双摩擦耗能器	摩擦耗能	1994
黏(弹)性阻尼器	新型黏(弹)性阻尼器	黏弹性材料剪切滞回耗能	1994
	高效流体阻尼器	阻尼	
复合类 耗能(阻尼)器	弹塑性滞回—摩擦复合耗能器	软钢圆环滞回耗能与摩擦耗能	1994
	铅—黏弹性复合耗能器	铅往复挤压耗能与黏弹性材料剪切滞回耗能	1996
	弹塑性滞回—黏弹性复合耗能器	软钢滞回耗能和黏弹性材料剪切滞回耗能	1996
	摩擦—黏弹性复合耗能器	摩擦耗能器和黏弹性材料剪切滞回耗能	1996
	黏性流体—黏弹性复合阻尼器	流体阻尼和黏弹性材料剪切滞回耗能	1996
	钢管铅芯耗能器	钢、铅弯剪弹塑性变形	1998
	铅黏弹性阻尼筒耗能器	铅黏弹性剪切与挤压滞回耗能	1998

1.1.5 耗能减震结构的优越性及应用范围

耗能减震结构体系与传统抗震结构体系相比, 具有如下优越性。

1 安全性

传统抗震结构体系实质上是把结构本身及主要承重构件(柱、梁、节点等)作为“耗能”构件。按照传统抗震设计方法, 容许结构本身及构件在地震中出现不同程度的损坏。由于地震动的随机性和结构实际抗震能力设计计算的误差性, 结构在地震中

的损坏程度难以控制,特别是出现超过设防烈度的强震时,结构就更加难以确保安全。

耗能减震结构体系由于设有非承重耗能构件(耗能支撑、耗能剪力墙等),它们具有较大的耗能能力,在强震中耗能器(元件)能率先进入耗能状态,消耗输入结构中的地震能量及衰减结构的地震反应,保护主体结构和构件免遭损坏,从而确保结构在强地震中的安全性。

国内外耗能减震结构的振动台试验表明,耗能减震结构与传统抗震结构相比,地震反应减少40%~60%。

此外,耗能构件(或装置)属“非结构构件”,即非承重构件,其功能仅是在结构变形过程中发挥消能作用,对结构的承载力和安全性不构成任何影响或威胁。所以,耗能减震结构体系是一种非常安全可靠的结构减震体系。

2 经济性

传统抗震结构体系采用“硬抗”地震的途径,通过加强结构、加大断面、加多配筋等途径提高结构抗震性能,使结构的造价明显提高。

耗能减震结构是通过“柔性耗能”来减少结构地震反应,可以减少结构中剪力墙的数量、减小构件断面、减少配筋,而其抗震性能反而提高。国外工程资料表明,耗能减震结构体系与传统抗震结构体系相比,可节约结构造价5%~10%。若用于已有建筑结构的改造加固,可节省造价会更加可观,有的改造加固工程节省造价达60%左右。

3 技术合理性

传统抗震结构体系是通过加强结构侧向刚度以满足抗震要求的,但结构越强、刚度越大,地震作用(荷载)也越大。这对于高强、轻质的高层建筑、超高层建筑、大跨度结构及桥梁结构等,会制约其发展和应用。而耗能减震结构则是通过设置耗能构件或装置,使结构在出现变形时迅速消耗地震能量,保护主体结构在强震中的安全。一般来说,结构越高、越柔、跨度越大,耗能减震效果就越显著。

由于耗能减震结构体系具有以上优越性,已被广泛、成功地应用于“柔性”工程结构物减震(或风振控制),如:①高层、超高层建筑;②高柔结构,高耸塔架;③大跨度桥梁;④柔性管道、管线(生命线工程);⑤已有建筑抗震(或抗风)加固。

1.2 防屈曲耗能支撑的构成与原理

框架结构和框架—支撑结构是高层建筑中应用十分广泛的结构。纯框架结构的抗侧刚度有限,在地震和强风荷载作用下,侧向位移较大,限制了它的应用高度。框架—支撑结构在一定程度上解决了结构抗侧刚度的问题,但其在强震作用下受压时易

产生屈曲现象,极易造成支撑本身或连接的破坏或失效,同时支撑屈曲后的滞回耗能能力变差,很难有效地耗能,使结构抗震能力降低。为了解决支撑受压屈曲的问题,日本、美国等国家以及我国台湾地区的一些学者,经多年研究,研发出一种能防止屈曲的支撑构件,称为防屈曲耗能支撑(Buckling-Restrained Brace),如图 1.2-1 所示。不同的文献定义的名称不同,如也常被称为无粘结支撑(Unbonded Brace)、屈曲约束支撑(Buckling-Restrained Brace)、挫屈束制支撑(Buckling-Restrained Brace)、降伏支撑(Yielding Brace)、挫屈防止支撑(Buckling-Inhibited Brace)^[13]或不挫屈支撑(Non-Buckling Brace)等。本书均以防屈曲耗能支撑作为统称。防屈曲耗能支撑性能稳定,减震效果显著,因此,在过去的几十年里,特别是日本神户地震、美国北岭地震后,其在日本、美国、加拿大等国家以及我国台湾地区都得到了较好的应用^[14~18]。

1.2.1 防屈曲耗能支撑的构造

防屈曲耗能支撑的构造组成主要从两方面来分析,即横向构成和纵向构成。

防屈曲耗能支撑的横向构成分为 3 部分,即核心单元、约束单元及滑动机制单元,如图 1.2-1 所示。核心单元,即芯材,又称为主受力单元,是此构件中主要的受力元件,由特定强度的钢板制成。常见的截面形式为十字形、T 形、双 T 形和一字形等,分别适用于不同的刚度要求和耗能需求,如图 1.2-2 所示。约束单元又称侧向支撑单元,负责提供约束机制,以防止核心单元受轴压时发生整体或局部屈曲。目前最常见的约束形式为矩形或圆形钢管填充混凝土所构成。滑动机制单元又称为脱层单元,是在核心单元与约束单元间提供滑动的界面,使支撑在受拉与受压时尽可能有相

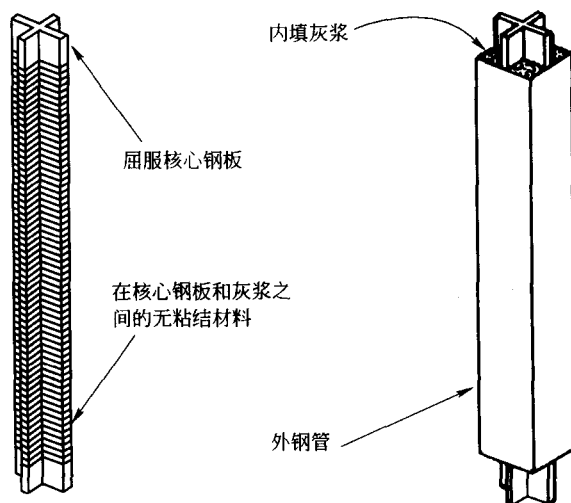


图 1.2-1 防屈曲耗能支撑的横向构成