云南省工程建设地方标准

屈曲约束支撑结构技术规程

Technical Specification for Buckling Restrained Brace Structures

DBJ 53/T—141—2023

主编单位：云南省设计院集团有限公司
中国建筑一局（集团）有限公司
北京堡瑞思减震科技有限公司
批准单位：云南省住房和城乡建设厅
施行日期：2023 年 10 月 1 日

云南出版集团
云南科技出版社

2023 昆明

云南省工程建设地方标准

屈曲约束支撑结构技术规程

Technical Specification for Buckling Restrained Brace Structures

DBJ 53/T—141—2023

*

云南出版集团

云南科技出版社出版发行

（昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼，邮编：650034）

云南见功印务有限公司印刷　全国新华书店经销

开本：850mm×1168mm　1/32　印张：2　字数：45 千字

2023 年 6 月第 1 版　2023 年 6 月第 1 次印刷

定价：28.00 元

统一书号：175587 · 107

云南省住房和城乡建设厅文件

云建科〔2023〕31号

云南省住房和城乡建设厅关于发布屈曲约束支撑结构技术规程的通知

各州、市住房和城乡建设局，滇中新区规划建设管理部，有关单位：

《屈曲约束支撑结构技术规程》已审查通过，现批准为云南省工程建设地方标准，编号为DBJ53/T—141—2023，自2023年10月1日起实施。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，云南省设计院集团有限公司负责解释。

云南省住房和城乡建设厅

2023年3月14日

前　言

根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发2021年工程建设地方编制计划的通知》要求，规程编制组开展了专题调查和研究，总结了我国、我省近年来建筑工程应用屈曲约束支撑结构的实践经验并借鉴现行的有关规范标准和相关技术资料，在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程共8章，主要内容有：总则，术语与符号，基本规定，屈曲约束支撑结构设计，屈曲约束支撑的设计，屈曲约束支撑与结构的连接和构造，屈曲约束支撑的性能检测，屈曲约束支撑的施工、验收和维护等。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由云南省设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送云南省设计院集团有限公司（地址：云南省昆明市西山区拥金路1号；邮编：650228；电子邮箱：ydi1951@163.com），以便今后修订时参考。

主编单位：云南省设计院集团有限公司
中国建筑一局（集团）有限公司
北京堡瑞思减震科技有限公司

参编单位：中国地震局工程力学研究所
同济大学
华中科技大学
昆明理工大学
华南理工大学
北京工业大学

华东建筑设计研究总院
中国建筑西南设计研究院有限公司
昆明恒基建设工程施工图设计文件审查有限公司
云南兴滇建筑设计咨询有限公司
云南稳磊减震科技有限公司
中国建筑第二工程局有限公司
中国建筑第七工程局有限公司
中国建筑第八工程局有限公司
中建一局集团第五建筑有限公司
台湾禾森工程顾问有限公司
昆明交通场站开发运营有限公司

主要起草人： 李　昆　周　煜　金晓飞　赵俊贤　梁　佶
曲　哲　蔡世泽　李照德　胡贺祥　贾俊峰
韩　伟　张　庆　张瑞甫　赵雪莲　彭志桢
姚　激　曾　建　王广宇　卢海陆　郭应军
向远鹏　张明亮　杨　洋　吕　珏　李森栩
李六连　张廷安　袁　涌　赵艳波　孙少秋
周　亮　周　愉　赵兴辉　张晓曦　李　博

主要审查人： 甘永辉　吴　京　郑　文　何　喜　谭海滨
周绍华　刘寒芳　许卫强　鲁　正

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 3
3　基本规定 …… 4
4　屈曲约束支撑结构设计 …… 5
4.1 一般规定 …… 5
4.2　结构设计分析 …… 6
4.3　减震评价 …… 7
5　屈曲约束支撑的设计 …… 9
5.1　一般规定 …… 9
5.2　材料和选型 …… 9
5.3　构件设计 …… 12
6　屈曲约束支撑与结构的连接和构造 …… 14
6.1　一般规定 …… 14
6.2　节点板计算 …… 14
6.3　与结构连接的构造要求 …… 16
7　屈曲约束支撑的性能检测 …… 18
7.1　一般规定 …… 18
7.2　试验方法 …… 19
8　屈曲约束支撑的施工、验收和维护 …… 21
8.1　一般规定 …… 21
8.2　进场验收 …… 21

8.3 施工安装 …… 22
8.4 施工安全 …… 24
8.5 维护 …… 25
附录 A 抗震性能化设计 …… 26
本标准用词说明 …… 29
引用标准名录 …… 30
条文说明 …… 33

Contents

1 General Provisions ····· 1

2 Terms and Symbols ····· 2

2.1 Terms ····· 2

2.2 Symbols ····· 3

3 Basic Requirements ····· 4

4 Design of Buckling-retrained Structures ····· 5

4.1 General rules ····· 5

4.2 Analysis and Design of Structures ····· 6

4.3 Evaluation of earthquake absorption ····· 7

5 Design of Buckling-restrained Brace ····· 9

5.1 General rules ····· 9

5.2 Materials and type selection ····· 9

5.3 Element design ····· 12

6 Design of Connections with Buckling-restrained Braces ····· 14

6.1 General rules ····· 14

6.2 Gusset plates calculation ····· 14

6.3 Structural requirements for connections to structures ····· 16

7 Performance Testing of Buckling Restraint Braces ····· 18

7.1 General rules ····· 18

7.2 Test method ····· 19

8 Construction Inspection and Maintenance of Buckling Restraint Braces ····· 21

8.1 General rules ····· 21

8.2 Site acceptance ····· 21

8.3 Construction and installation ····· 22
8.4 Construction safety ····· 24
8.5 Maintenance ····· 25
Appendix A Seismic performance design ····· 26
Explanation of Wording in This Specification ····· 29
List of Quoted Standards ····· 30
Explanation of Provisions ····· 33

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家和云南省的建筑工程防震减灾法规和技术政策，合理应用屈曲约束支撑技术，做到技术先进、安全适用、经济合理、保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于云南省抗震设防烈度为（6~9）度地区新建和既有建筑改扩建工程使用屈曲约束支撑的设计、施工、验收和维护。

1.0.3 采用屈曲约束支撑的结构，除应符合本规范要求外，尚应符合国家现行有关规范标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术　语

2.1.1 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

由核心单元、约束单元以及无粘结材料层组成的一种支撑构件。屈曲约束支撑包括耗能型屈曲约束支撑和承载型屈曲约束支撑两类。

2.1.2 屈曲约束支撑结构 buckling-restrained braced structures

泛指带有屈曲约束支撑的新建结构和加固结构。

2.1.3 耗能型屈曲约束支撑 energy-dissipating buckling-restrained brace

作为结构的主要耗能构件，先于主体结构构件屈服的屈曲约束支撑。

2.1.4 承载型屈曲约束支撑 load-bearing buckling-restrained brace

作为结构的主要受力构件，不考虑屈服后的耗能能力的屈曲约束支撑。

2.1.5 屈服承载力 yield strength

屈曲约束支撑首次达到屈服状态时的轴力。

2.1.6 屈服位移 yield displacement

屈曲约束支撑首次达到屈服时所对应的轴向相对变形。

2.1.7 设计位移 design displacement

罕遇地震作用下屈曲约束支撑的最大轴向变形。

2.1.8 设计承载力 design strength

屈曲约束支撑设计位移对应的轴力。

2.1.9 极限位移 ultimate displacement

屈曲约束支撑在出厂时允许达到的最大轴向变形。

2.1.10 极限承载力 ultimate strength

屈曲约束支撑极限位移对应的轴力。

2.1.11 材料超强系数 material over-strength factor

耗能单元材料的实测屈服强度平均值与屈服强度标准值之比。

2.1.12 附加阻尼比 additional damping ratio

地震作用下结构中屈曲约束支撑通过耗能减小结构响应的效果等效附加给结构的有效阻尼比。

2.1.13 附加刚度 additional stiffness

结构往复运动时屈曲约束支撑部件附加给结构的有效刚度。

2.1.14 子结构 substructure

与屈曲约束支撑直接相连的支撑跨主体结构。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能与抗力

E ——钢材弹性模量；

f ——钢材的强度设计值；

f_y ——钢材的屈服强度；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值；

f_c^b——销轴连接处连接板的承压强度设计值；

f_v^b——销轴的抗剪强度设计值；

k_0——结构计算模型中屈曲约束支撑的轴向线刚度；

k_e——屈曲约束支撑的轴向线刚度。

2.2.2 几何参数

a ——顺受力方向，销轴孔边距板边缘最小距离；

b ——连接板两侧边缘与销轴孔边缘的净距；

t ——连接板的厚度；

h ——屈曲约束支撑所在楼层的层高；

d_0——销轴的孔径；

Z ——连接板的端部抗剪截面宽度；

L_e——屈曲约束支撑的长度；

A_1——核心单元耗能段的截面积。

3 基本规定

3.0.1 按本规程进行减震设计的新建和既有建筑改扩建工程，其基本抗震设防目标应符合现行云南省地方标准《建筑消能减震应用技术规程》DBJ 53/T—125 有关规定。

3.0.2 屈曲约束支撑在结构中的应用，应符合下列规定：

1 屈曲约束支撑设计工作年限不应低于新建建筑的设计工作年限，以及既有建筑的后续工作年限，且应满足耐久性要求；

2 屈曲约束支撑的设置，应便于检查、维护和更换，当遭遇强烈地震、强风、火灾等灾害后，应对屈曲约束支撑进行检查和维护。

3.0.3 耗能型屈曲约束支撑的结构应按消能减震结构体系进行设计；承载型屈曲约束支撑的结构应按普通支撑结构体系进行设计。

3.0.4 耗能型屈曲约束支撑在温度、风荷载和多遇地震作用下应保持弹性，在设防地震或罕遇地震作用下应屈服耗能。

3.0.5 承载型屈曲约束支撑在多遇地震作用下应保持弹性，在设防地震作用下宜保持弹性。

3.0.6 在罕遇地震作用下，屈曲约束支撑不应出现整体屈曲、局部屈曲、连接段屈曲，以及节点板平面外屈曲、节点连接焊缝断裂、预埋件连接失效、螺栓、锚栓断裂等破坏。

3.0.7 抗震设防烈度为 7、8、9 度时，建筑高度分别超过 160m、120m、80m 或有特殊要求的屈曲约束支撑结构，应设置建筑结构的地震反应观测系统。

4 屈曲约束支撑结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 屈曲约束支撑结构地震作用与作用效应计算、消能减震结构设计应符合现行云南省地方标准《建筑消能减震应用技术规程》DBJ 53/T—125 有关规定。

4.1.2 屈曲约束支撑结构楼（屋）盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼（屋）盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼（屋）盖平面内的弹性变形，并建立符合实际情况的力学分析模型，抗震计算分析模型应同时包括主体结构与屈曲约束支撑。

4.1.3 当在垂直相交的两个平面内布置屈曲约束支撑时，应考虑相交处的子结构竖向构件在双向地震作用下的受力。

4.1.4 屈曲约束支撑结构构件设计应考虑屈曲约束支撑引起的柱、墙、梁的轴力、剪力、弯矩和扭矩等作用。

4.1.5 屈曲约束支撑外围围护构件不应阻碍支撑的变形及耗能作用的发挥，不应给支撑增加附加外力。

4.1.6 屈曲约束支撑的布置应符合下列规定：

1 屈曲约束支撑的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近，平面内的布置应避免导致扭转效应；

2 屈曲约束支撑的布置应根据结构特点，使主体结构沿竖向具有均匀的刚度和承载力分布，宜上下连续，避免结构产生刚度和承载力突变；

3 屈曲约束支撑的水平夹角宜控制在 35°~55°之间，可采取单斜杆、“人”字形和“V”字形布置形式（见图 4.1.6），当采用单斜杆支撑形式时，宜沿高度方向呈锯齿状布置，支撑轴线应与梁柱轴线交汇，不宜对梁柱产生偏心弯矩效应；

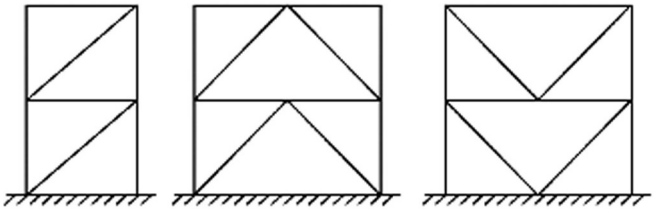


图 4.1.6　屈曲约束支撑布置形式

4　跨层布置屈曲约束支撑时应避免横梁的不利影响；

5　当屈曲约束支撑不能连续布置时，子结构范围应增加竖向一跨；

6　屈曲约束支撑平面布置间距不宜大于 15m；

7　屈曲约束支撑的设置位置及连接构造应便于检查、维护和更换。

4.2　结构设计分析

4.2.1　耗能型屈曲约束支撑结构的总阻尼比应为主体结构固有阻尼比和屈曲约束支撑附加给主体结构的等效阻尼比的总和，设防和罕遇地震作用下的附加等效阻尼比应分别计算。

4.2.2　屈曲约束支撑结构的总刚度应为主体结构刚度和屈曲约束支撑附加给主体结构的有效刚度之和。

4.2.3　大型复杂屈曲约束支撑结构在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，应采用不少于两个不同软件进行对比分析，计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

4.2.4　罕遇地震作用下屈曲约束支撑的设计位移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定。

4.2.5　对于布置屈曲约束支撑的楼层，屈曲约束支撑的最大阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的 60%，

且在罕遇地震下的弹塑性分析中不应出现楼层变形集中现象。

4.2.6 采用振型分解反应谱法时，屈曲约束支撑可按等效二力杆进行计算，且应考虑相连节点板与屈曲约束支撑的串联刚度。

4.2.7 屈曲约束支撑结构的分析方法应根据主体结构、屈曲约束支撑的工作状态选择，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法和弹塑性时程分析法。

4.2.8 屈曲约束支撑的滞回模型可采用简化双线性等模型。

4.2.9 设计中应考虑屈曲约束支撑性能偏差、连接安装方式等不利影响，主体结构设计采用的附加阻尼比宜留有安全储备。在进行多遇地震作用下的设计时，附加阻尼比不宜高于计算值的80%；在进行设防地震作用下的设计时，附加阻尼比不宜高于计算值的90%。

4.3 减震评价

4.3.1 屈曲约束支撑附加给结构的有效刚度应采用等效线性化方法确定。

4.3.2 耗能型屈曲约束支撑附加给结构的有效阻尼比可按下列方法确定：

1 能量比法：

$$\zeta_{\mathrm{d}}=\zeta_{\mathrm{d}}(t)_{\max}=\left[\zeta_0\times\frac{E_{\mathrm{d}}(t)}{E_{\mathrm{c}}(t)}\right]_{\max} \tag{4.3.2-1}$$

式中：ζ_0——主体结构的固有模态阻尼比；

$E_{\mathrm{d}}(t)$——屈曲约束支撑累计耗能稳定后时程；

$E_{\mathrm{c}}(t)$——主体结构固有模态阻尼累积耗能时程；

$\zeta_{\mathrm{d}}(t)$——屈曲约束支撑结构附加有效阻尼比时程。

2 应变能法：

$$\zeta_{\mathrm{d}}=\sum_{j=1}^{n}\frac{W_{cj}}{4\pi W_{\mathrm{s}}} \tag{4.3.2-2}$$

式中：ζ_{d}——屈曲约束支撑结构附加有效阻尼比；

W_{cj}——第j个屈曲约束支撑在结构预期层间位移下往复循

环一周所消耗的能量（kN·mm）；

W_s——屈曲约束支撑结构在水平地震作用下的总应变能（kN·mm）；

n ——屈曲约束支撑的总个数。

3 不计及扭转影响时，屈曲约束支撑结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式计算：

$$W_s = \sum F_i \, u_i / 2 \qquad (4.3.2\text{-}3)$$

式中：F_i——质点 i 的水平地震作用标准值（一般取相应于第一振型的水平地震作用即可，kN）；

u_i——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（mm）。

5 屈曲约束支撑的设计

5.1 一般规定

5.1.1 应根据不同刚度要求和耗能需求选用屈曲约束支撑，屈曲约束支撑核心单元的截面可采用一字型、十字型、T 型、H 型、双 T 型、箱型或圆型等形式。

5.1.2 屈曲约束支撑应采取有效措施减小核心单元截面变化处的应力集中。

5.1.3 屈曲约束支撑应保证约束单元的完整性。

5.1.4 屈曲约束支撑应具有良好的耐久性能及阻燃性，工作环境应满足设计要求，不满足时应采取相应措施。

5.2 材料和选型

5.2.1 屈曲约束支撑的核心单元的钢材材料选择应符合下列规定：

1 耗能型屈曲约束支撑的核心单元的钢材应符合下列规定：

1）屈强比不应高于 0.8，断后伸长率不应低于 30%，常温下的冲击韧性功不应低于 27J；

2）冲击韧性等级不应低于 B 级，且应有稳定的屈服强度以及明显的屈服平台。

2 承载型屈曲约束支撑的核心单元可采高延性的钢材，也可采用高强度的钢材，合金钢、碳素钢等。

5.2.2 耗能型屈曲约束支撑核心单元可采用三段式构造（见图 5.2.2），沿长度方向划分为工作段、过渡段和连接段，各段工作性能应符合下列要求：

1 在核心单元各段之间不应出现截面突变，应采用适当渐

变截面过渡减少应力集中；

2 连接段及过渡段的板件应保证弹性；

3 在屈曲约束支撑内部应设置限位措施，防止约束单元在重力下发生滑脱以及在轴向拉压过程中发生移位。

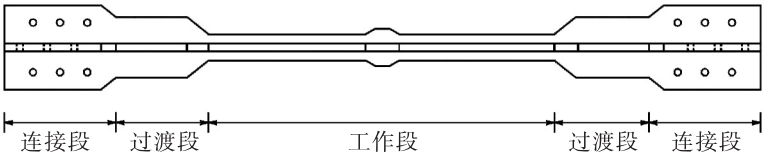


图 5.2.2 屈曲约束支撑核心单元（焊接十字形）三段式构造

5.2.3 承载型屈曲约束支撑核心单元可采用工作段和连接段的两段式构造（见图 5.2.3），各段工作性能应符合下列要求：

1 在多遇和设防地震作用下，工作段和连接段均应保持弹性；

2 在罕遇地震作用下，连接段宜保持弹性。

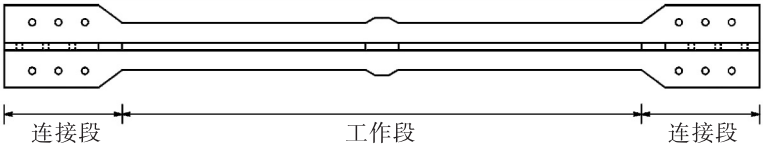
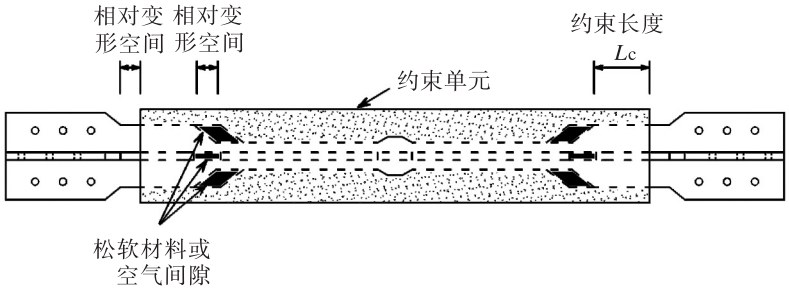
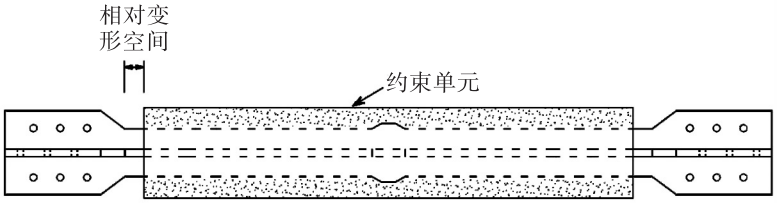


图 5.2.3 屈曲约束支撑核心单元（焊接十字形）两段式构造

5.2.4 核心单元与约束单元之间，应在约束单元内外均留置相对变形空间（见图 5.2.4），相对变形空间应大于 1.2 倍屈曲约束支撑的极限位移。



（a）三段式构造的核心单元相对变形空间



（b）两段式构造的核心单元相对变形空间

图 5.2.4　屈曲约束支撑的压缩空间及过渡段约束长度

5.2.5　耗能型屈曲约束支撑外套筒的抗弯刚度应符合下列要求：

$$I \geqslant \frac{1.2 N_{\mathrm{u}} l^2}{\pi^2 E} \tag{5.2.5}$$

式中：N_{u}——屈曲约束支撑构件极限承载力；

I ——屈曲约束支撑构件外套筒的弱轴惯性矩；

E ——外套筒钢材的弹性模量；

l ——屈曲约束支撑构件的长度。

5.2.6　承载型屈曲约束支撑外套筒的抗弯刚度应符合下列要求：

$$I \geqslant \frac{1.3 N_{\mathrm{y}} l^2}{\pi^2 E} \tag{5.2.6}$$

式中：N_{y}——屈曲约束支撑构件屈服承载力；

5.3 构件设计

5.3.1 屈曲约束支撑的屈服承载力 N_y 和极限承载力 N_u 可按下式确定：

$$N_y = \eta_y f_y A_y \tag{5.3.1-1}$$

耗能型：
$$N_u = \omega\beta N_y \tag{5.3.1-2}$$

承载型：
$$N_d > 0.7N_y \text{ 时，} N_u = 1.1N_y \tag{5.3.1-3}$$

$$N_d \leqslant 0.7N_y \text{ 时，} N_u = 1.1N_d \tag{5.3.1-4}$$

式中：N_y——屈曲约束支撑的屈服承载力（kN）；

N_u——屈曲约束支撑的极限承载力（kN）；

N_d——屈曲约束支撑的设计承载力（kN）；

A_y——核心单元工作段的截面面积（mm^2）；

f_y——核心单元工作段钢材的屈服强度标准值（N/mm^2）；

η_y——核心单元工作段钢材的材料超强系数，应根据有关试验，按实际情况取值；

ω——核心单元工作段钢材的应变强化系数，应根据有关试验，按实际情况取值；

β——屈曲约束支撑的拉压不平衡系数，对耗能型屈曲约束支撑不大于 1.1；对采用特殊构造的耗能型屈曲约束支撑，或支撑长度超过常用范围，当有充分依据时，应根据有关试验，按实际情况取值，但任何情况下均不应超过 1.3。

5.3.2 屈曲约束支撑构件的轴向刚度计算应符合下列要求：

1 弹性阶段轴向刚度应代表连接段、过渡段和工作段的弹性串联刚度；

2 弹塑性阶段轴向刚度应代表连接段、过渡段的弹性刚度与工作段的屈服后刚度的总串联刚度。

5.3.3 屈曲约束支撑的滞回耗能能力，可采用累积耗能指数 CPE（cumulative plastic energy index）评价，并按下式计算：

$$CPE=\frac{\Sigma E_{di}}{E_s} \tag{5.3.3-1}$$

$$E_s=N_y\,\delta_y \tag{5.3.3-2}$$

式中：E_{di}——屈曲约束支撑在第 i 次循环加载中的滞回环面积（kN·mm）；

E_s——屈曲约束支撑的弹性应变能（kN·mm）；

δ_y——屈曲约束支撑的轴向屈服位移（mm）。

屈曲约束支撑累积延性可采用累积塑性变形系数 CPD（Cumulative Plastic Deformation Index）评价，并按下式计算：

$$CPD=2\Sigma\left[\left(|\delta_{tmax}|_i+|\delta_{cmax}|_i\right)/\delta_y-2\right] \tag{5.3.3-3}$$

式中：$|\delta_{tmax}|_i$——第 i 次循环加载中滞回曲线的受拉侧位移最大值的绝对值（mm）；

$|\delta_{cmax}|_i$——第 i 次循环加载中滞回曲线的受压侧位移最大值的绝对值（mm）。

6 屈曲约束支撑连接和构造

6.1 一般规定

6.1.1 屈曲约束支撑与节点板、预埋件的轴向连接承载力设计值，不应小于1.2倍支撑的设计承载力，且应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

6.1.2 屈曲约束支撑和节点板、预埋件的连接应根据工程具体情况和屈曲约束支撑类型合理选择连接形式。可采用高强螺栓连接、焊接或销轴连接，高强螺栓、焊接及销轴的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

6.1.3 预埋件的锚筋和锚板设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010和现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的规定。

6.2 节点板计算

6.2.1 当屈曲约束支撑与节点板采用螺栓或焊缝连接时，应按下式验算节点板的强度：

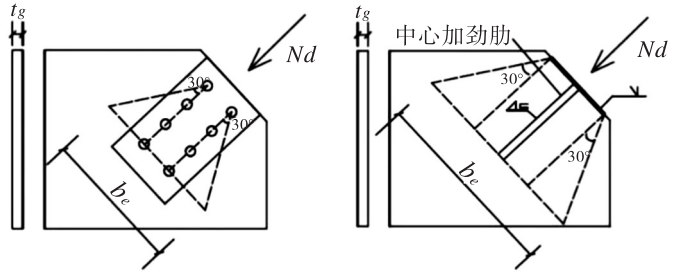
$$\sigma_c = \frac{1.2N_d}{b_e t_g} < f \tag{6.2.1-1}$$

式中：b_e ——节点板的有效宽度（mm），当用螺栓连接时，应减去孔径；

σ_c——节点板有效宽度内的应力值（N/mm^2）；

t_g ——节点板的厚度（mm）；

f ——节点板的强度设计值（N/mm^2）。



（a）螺栓连接　　（b）焊缝连接

图 6.2.1　螺栓和焊缝连接中的节点板有效宽度截面

6.2.2　应按以下公式验算节点板自身的平面外稳定性：

$$\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_g L_{max}}{r}\right)^2} b_e t_g > 1.2 N_d \qquad (6.2.1\text{-}2)$$

式中：L_{max}——如图 6.2.2，取 L_1、L_2、L_3 三条长度中的最大值（mm）；

r　——单位宽度节点板的平面外回转半径（mm）；

K_g ——节点板的平面内计算长度系数，设置边肋时取 1.0，无设置边肋情况取 2.0。

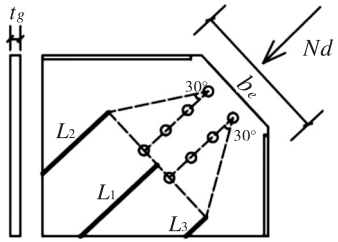


图 6.2.2　节点板平面外稳定计算模型

6.2.3　当采用焊缝连接时，屈曲约束支撑轴力在结构板连接边所分配的内力可根据以下方法确定，并取最不利情况验算连接承载力：

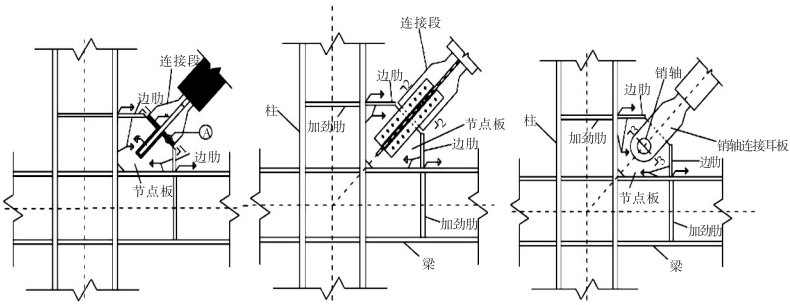
1 连接按抗剪设计，梁侧和柱侧连接分别单独承担屈曲约束支撑的水平和竖向分力；

2 连接按抗拉设计，梁侧和柱侧连接分别单独承担屈曲约束支撑的竖向和水平分力；

3 连接按拉剪设计，梁侧和柱侧连接同时承担屈曲约束支撑的竖向和水平分力。

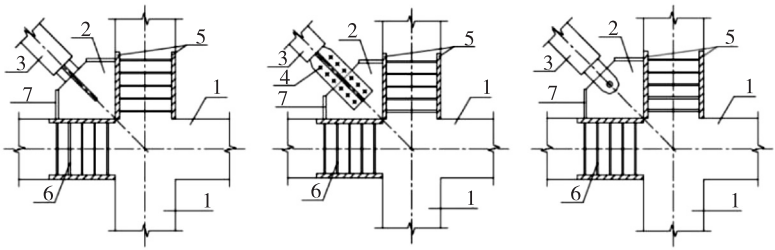
6.3 结构连接的构造要求

6.3.1 屈曲约束支撑与主体结构之间应通过节点板连接，可采用焊缝连接、高强螺栓连接或销轴连接等连接形式（见图6.3.1）。



（a）焊缝链接　　（b）螺栓链接　　（c）销轴链接

图6.3.1-1　节点板与钢结构连接



（a）焊接　　（b）螺栓连接　　（c）销轴连接

1—梁；2—节点板；3—屈曲约束支撑；4—螺栓；5—锚板；6—锚筋；7—边肋

图6.3.1-2　节点板与混凝土连接

6.3.2 应在节点板的自由边设置焊接边肋以增强节点板平面外稳定性，并应满足下列要求：

1 边肋厚度不应小于节点板厚度的 1/2，边肋宽度不应小于支撑连接段外轮廓尺寸的 2/3，边肋长度宜比节点板自由边长度小 10mm；

2 边肋应与梁柱表面外侧焊接，且不应与节点板的连接焊缝相交。

6.3.3 对于十字连接节点，应在节点板两侧沿着支撑轴线设置对称中心加劲肋，中心加劲肋宜伸进梁柱角部。

6.3.4 采用对接焊缝连接时，屈曲约束支撑与节点板之间每边应留置 3mm～5mm 的安装间隙，在对接焊缝背面应设置衬板，在焊缝相交处的相邻板件应留置过焊孔，沿支撑轴线方向的角焊缝不应与对接焊缝相交，现场连接可采用三级焊缝。

7　屈曲约束支撑的性能检测

7.1　一般规定

7.1.1　屈曲约束支撑的力学性能检测报告应描述消能器耗能力学特性；力-位移关系宜选用修正的 Ramberg-Osgood（R-O）模型，或等强硬化的双线性模型。

7.1.2　耗能型屈曲约束支撑最小延性比应大于 7，承载型屈曲约束支撑最小延性比应大于 3。

7.1.3　对屈曲约束支撑进行 60 次疲劳循环加载时，每次加载不少于 30 个循环，两次加载间隔不超过 15min。加载过程和加载间隔均不应采用人工降温或散热措施。

7.1.4　屈曲约束支撑检验项目应符合下列规定：

表 7.1.4　检验项目

产品名称	检验项目		见证检验
屈曲约束支撑	基本力学性能	屈服承载力	√
		屈服位移	√
		最大承载力	√
		极限位移	√
		滞回曲线	√
		拉压不平衡系数	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√
		滞回曲线	√
		滞回曲线面积	√
	耐腐蚀性能	中性盐雾试验	×

7.2 试验方法

7.2.1 屈曲约束支撑力学性能及疲劳性能试验方法应符合下列规定：

1 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤；

2 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

3 产品力学性能试验方法应符合表 7.2.1-1 的规定；

表 7.2.1-1 屈曲约束支撑力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服承载力 屈服位移 极限承载力 极限位移 滞回曲线面积 拉压不平衡系数	a）试验采用力-位移混合控制加载制度，试件屈服前采用力控制并分级加载。试件屈服后采用位移控制，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法。 b）试件屈服前，按照 0.5 倍屈服承载力进行加载，加载 3 个循环。 c）试件屈服后，按照位移加载，位移幅值 u_1 分别取 $0.5u_0$、$0.8u_0$、$1.0u_0$、$1.2u_0$ 共 4 个工况，各工况连续加载 3 个循环。 d）分析首次进入屈服的工况，取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值； e）取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并计算得到最大承载力。

注：u_0 为屈曲约束支撑设计位移。

4 屈曲约束支撑疲劳性能试验方法应符合表 7.2.1-2 的规定；

表 7.2.1-2　屈曲约束支撑疲劳性能试验方法

项目	试验方法
疲劳性能	采用三角波或正弦激励法进行加载，连续加载 60 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线。

5　屈曲约束支撑耐腐蚀性能试验方法应符合表 7.2.1-3 的规定。

表 7.2.1-3　屈曲约束支撑耐腐蚀性能试验方法

项目	试验方法
耐腐蚀性能	产品整体按《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 中性盐雾试验方法，进行不应少于 1000h 的连续试验。

8 屈曲约束支撑的施工、验收和维护

8.1 一般规定

8.1.1 屈曲约束支撑工程应作为主体结构分部工程的一个分项工程进行施工和质量验收。

8.1.2 屈曲约束支撑分项工程的施工，宜结合主体结构的材料、体系、屈曲约束支撑形式及施工条件，编制施工方案。

8.1.3 屈曲约束支撑分项工程的施工作业，宜划分为进场验收和安装防护两个阶段。屈曲约束支撑采用的原材料及质量合格证书应进行进场验收。

8.1.4 屈曲约束支撑的尺寸、变形、连接件位置及角度、螺栓孔位置及直径、高强度螺栓、焊接质量、表面防锈漆等应符合设计文件规定。

8.1.5 屈曲约束支撑验收计量器具，应按统一标准标定，并应具有相同的精度等级，经检验合格后方可使用。

8.1.6 屈曲约束支撑吊装设备、吊具、吊耳的选择应经过计算确定，吊装过程中宜保证屈曲约束支撑构件涂层不被破坏。

8.2 进场验收

8.2.1 屈曲约束支撑进场验收时，应提供下列文件：

1 原材料质量证明文件；

2 产品合格证、出厂检验报告；

3 型式检验报告；

4 其他必要证明文件。

8.2.2 屈曲约束支撑的类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应满足设计要求，并符合现云南省地方标准《建筑消能减震应用技

术规程》DBJ 53/T-125 的规定。

8.2.3 屈曲约束支撑产品应在明显部位印有清晰、永久的标志，标志内容应包括生产厂商、产品类型、基本参数、商标、出厂编号、出厂日期等信息。

8.2.4 屈曲约束支撑所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料，应具有质量合格证书，并应符合设计文件规定。

8.3 施工安装

8.3.1 屈曲约束支撑的安装顺序应符合下列规定：

1 划分结构的施工流水段；

2 确定屈曲约束支撑及主体结构构件的总体施工顺序；

3 确定同一部位各屈曲约束支撑及主体结构构件的局部安装顺序。

8.3.2 屈曲约束支撑和主体结构的总体施工安装顺序宜符合下列规定：

1 对于钢结构，屈曲约束支撑和主体结构的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下往上逐步进行；

2 对于现浇混凝土结构，屈曲约束支撑和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法进行；

3 既有建筑采用屈曲约束支撑加固时，其总体施工安装顺序应根据主体结构的加固方案确定相应屈曲约束支撑的施工安装方法。

8.3.3 同一部位屈曲约束支撑的局部安装，应按下列顺序进行：

1 确定同一部位屈曲约束支撑的现场安装单元、安装连接顺序；

2 编制同一部位屈曲约束支撑的局部安装连接顺序，包括屈曲约束支撑、支墩、节点、连接件的类型、规格和数量。

8.3.4 同一部位屈曲约束支撑的制作单元超过 1 个时，宜先将各制作单元及连接件在现场地面拼装为扩大安装单元后，再与主体

结构进行连接。

8.3.5 对于设计中不允许屈曲约束支撑分担结构竖向内力的情况，应采取合理的安装工艺，竖向荷载作用不应在屈曲约束支撑中产生次内力。

8.3.6 屈曲约束支撑的施工步骤包括：施工前检查、垂直运输、水平运输、误差消除、起吊、临时固定、校正、最终固定。

8.3.7 屈曲约束支撑的施工前检查工作应包括下列内容：

1 构件的定位轴线、标高点等应进行复查；

2 对构件的表观质量进行全面复查；

3 应按屈曲约束支撑生产单位提供的施工操作说明书的要求，核查安装方法和步骤。

8.3.8 屈曲约束支撑平面与竖向的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合国家现行标准《工程测量标准》GB 50026和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

8.3.9 屈曲约束支撑安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件和《钢结构工程施工规范》GB 50755 及《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

8.3.10 屈曲约束支撑连接件的安装应按照初步就位、精细调整、固定三个步骤进行，且在主体结构施工过程中不应移位。

8.3.11 屈曲约束支撑安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.3.12 屈曲约束支撑采用销轴连接时，屈曲约束支撑与销轴之间的间隙应符合设计文件的规定。

8.3.13 屈曲约束支撑安装连接完成后，应符合下列规定：

1 屈曲约束支撑没有形状异常及损害功能的外伤，未出现涂层脱落和生锈；

2 屈曲约束支撑的临时固定件应予撤除。

8.4 施工安全

8.4.1 屈曲约束支撑的施工应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 及《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，并应根据屈曲约束支撑的施工安装特点，在专项施工方案中制定施工安全措施。

8.4.2 屈曲约束支撑分项工程有关安全及功能的见证取样检测项目可按表 8.4.2 的规定执行。

表 8.4.2 屈曲约束支撑分项工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
1	见证取样送样检测项目： (1) 高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验； (2) 摩擦面抗滑移系数复验	《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的规定	《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的相关规定
2	焊缝质量： (1) 焊缝尺寸； (2) 内部缺陷； (3) 外观缺陷	焊缝按焊缝处数随机抽检 20%，且不应少于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及量规、观察	《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的规定
3	高强度螺栓施工质量： (1) 终拧扭矩； (2) 梅花头检查	全数检查；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定	《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的规定
4	屈曲约束支撑及其连接件平面外垂直度	随机抽查 3 个部位	设计要求及《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205)的规定

8.4.3 屈曲约束支撑分项工程观感质量检查项目可按表 8.4.3 规定执行。

表 8.4.3 屈曲约束支撑分项工程观感质量检查项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
1	普通涂层表面	随机抽查 3 个部位	均匀、无气泡、无皱纹
2	连接节点	随机抽查 10%	连接牢固，无明显外观缺陷
3	工作范围内的障碍物	随机抽查 10%	在工作范围内无障碍物

8.5 维 护

8.5.1 屈曲约束支撑目测检查内容包括支撑、连接部位变形、外观及其他问题等。目测检查内容及维护处理方法应符合表 8.5.1 的规定。

表 8.5.1 屈曲约束支撑的目测检查内容及维护处理方法

序号	检查内容	维护方法
1	屈曲约束支撑产生明显的累积损伤和变形	更换屈曲约束支撑
2	屈曲约束支撑连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	拧紧、补焊
3	屈曲约束支撑的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等	重新涂装
4	屈曲约束支撑产生弯曲、局部变形	更换屈曲约束支撑
5	屈曲约束支撑周围存在可能限制屈曲约束支撑正常工作的障碍物	清除

8.5.2 屈曲约束支撑应急检查抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型屈曲约束支撑，对其基本性能进行测试，测试内容应能反映屈曲约束支撑在使用期间可能发生的性能参数变化，并应能推定可否达到预定的使用年限。应急检查抽样检验的数量不应少于结构中屈曲约束支撑总量的 2%，且不应少于 2 根。

附录 A　抗震性能化设计

A. 0. 1　耗能型屈曲约束支撑结构进行性能化抗震设计时，应结合建筑实际需求选择合适的性能水准和性能目标。

A. 0. 2　耗能型屈曲约束支撑结构的性能水准可按表 A. 0. 2 划分。

表 A. 0. 2　**性能水准划分**

性能水准	损坏状况描述			继续使用的可能性
	一般构件	关键构件	耗能型屈曲约束支撑	
完好	无损坏	无损坏	无损伤	不需要修理可继续使用
轻微损坏	个别轻微裂缝	无损坏	无损伤	稍微修理即可继续使用
中等损坏	多数轻微裂缝 部分明显裂缝	轻微损坏	无损伤	需要一般修理，采取安全措施后可继续使用
严重损坏	多数严重损坏	明显裂缝	延性变形无断裂	应加固大修或局部拆除重建；屈曲约束支撑应更换

注：个别指 5%以下，部分指 30%以下，多数指 50%以上。

A. 0. 3　耗能型屈曲约束支撑结构的抗震性能目标可按表 A. 0. 3 选用。

表 A. 0. 3　性能目标划分

地震水平	性能目标 1	性能目标 2
多遇地震	完好	完好
设防地震	轻微损坏	中等损坏
罕遇地震	中等损坏	严重损坏

A. 0. 4　耗能型屈曲约束支撑结构对应于各抗震性能水准的最大层间位移角限值可按表 A. 0. 4 取用。

表 A. 0. 4　性能水准与层间位移角限值对于关系

结构类型	结构的性能水准			
	完好	轻微损坏	中等损坏	严重损坏
钢筋混凝土框架	1/550	1/250	1/120	1/80
钢筋混凝土框架-抗剪墙、板-柱-抗震墙、框架-核心筒	1/800	1/400	1/200	1/100
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/1000	1/500	1/250	1/120
多、高层钢结构	1/250	1/150	1/100	1/80

A. 0. 5　耗能型屈曲约束支撑结构设防地震下最大弹塑性、弹性层间位移角限值按表 A. 0. 5-1 采用，罕遇地震下最大弹塑性层间位移角限值按表 A. 0. 5-2 采用。

表 A. 0. 5-1　设防地震下层间位移角限值

耗能型屈曲约束支撑结构	$[\theta_p]$	
	性能目标 1	性能目标 2
钢筋混凝土框架	1/250	1/120

续表 A.0.5-1

耗能型屈曲约束支撑结构	$[\theta_P]$	
	性能目标 1	性能目标 2
钢筋混凝土框架-抗剪墙、板-柱-抗震墙、框架-核心筒	1/400	1/200
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/500	1/250
多、高层钢结构	1/150	1/100

表 A.0.5-2　罕遇到地震下层间位移角限值

耗能型屈曲约束支撑结构	$[\theta_P]$	
	性能目标 1	性能目标 2
钢筋混凝土框架	1/120	1/80
钢筋混凝土框架-抗剪墙、板-柱-抗震墙、框架-核心筒	1/200	1/100
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/250	1/120
多、高层钢结构	1/100	1/50

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《工程结构通用规范》GB 55001
《混凝土结构设计规范》GB 50010
《建筑抗震设计规范》GB 50011
《钢结构设计标准》GB 50017
《建筑抗震鉴定标准》GB 50023
《工程测量标准》GB 50026
《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
《钢结构工程施工质量验收标准》GB 5020 5
《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
《钢结构焊接规范》GB 50661
《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
《钢结构工程施工规范》GB 50755
《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
《钢结构加固设计标准》GB 51367
《包装储运图示标志》GB/ T 191
《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/ T 228. 1
《碳素结构钢》GB/ T 700
《低合金高强度结构钢》GB/ T 1591
《金属材料室温压缩试验方法》GB/ T 7314
《建筑用低屈服强度钢板》GB/ T 28905
《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 33
《建筑变形测量规范》JGJ 82
《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82

《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
《建筑消能减震应用技术规程》DBJ 53/T—125

云南省工程建设地方标准

屈曲约束支撑结构技术规程

DBJ 53/T—141—2023

条文说明

目　　次

1　总则 …… 35
2　术语和符号 …… 36
2.1　术语 …… 36
3　基本规定 …… 39
4　屈曲约束支撑结构设计 …… 40
4.1　一般规定 …… 40
4.2　结构设计分析 …… 40
5　屈曲约束支撑的设计 …… 42
5.1　一般规定 …… 42
5.2　材料和选型 …… 42
5.3　构件设计 …… 43
6　屈曲约束支撑与结构的连接和构造 …… 45
6.1　一般规定 …… 45
6.2　节点板计算 …… 45
6.3　与结构连接的构造要求 …… 45
7　屈曲约束支撑的性能检测 …… 46
7.1　一般规定 …… 46

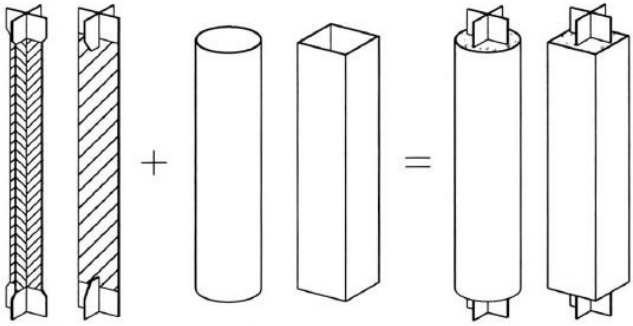
1 总 则

1.0.1 目前国内的屈曲约束支撑技术快速发展，科研成果不断积累，应用屈曲约束支撑技术的工程数量越来越多。制定本规程，是为了促进和规范云南省屈曲约束支撑技术的应用，确保工程质量，获得良好的综合经济效益和社会效应。

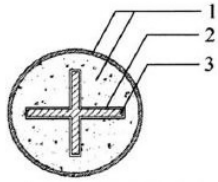
2　术语和符号

2.1　术　语

2.1.1　屈曲约束支撑一般可作为结构体系的承载力构件或消能减震构件使用，屈曲约束支撑的构成分为横向构成与纵向构成。屈曲约束支撑横向构成可分为 3 个部分：核心单元、无粘结材料层（或空气间隙层）、约束单元（见图 1）；纵向构成可分为 3 个部分：耗能段、过渡段、连接段（见图 2）。



（a）屈曲约束支撑构造示意图



（b）屈曲约束支撑横向构成

图 1　屈曲约束支撑的基本构成

1—约束单元；2—无粘结材料层或空气间隙层；3—核心单元

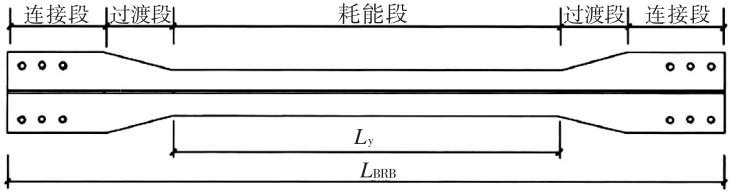
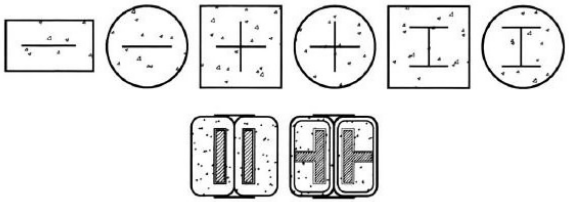


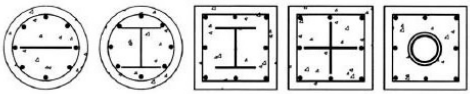
图 2　屈曲约束支撑纵向构成

L_y—耗能段长度；L_{BRB}—耗能段长度

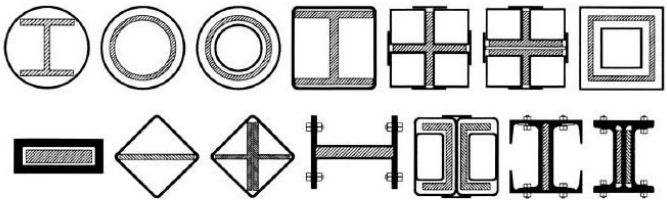
核心单元主要承受轴力，由特定强度的钢材制成，一般采用低屈服点钢材。常见的截面形式（见图 3）为一字形、十字形、H 形、双一字形、双 T 形和管形等，分别适用于不同的刚度要求和耗能需求。



（a）钢管混凝土型屈曲约束支撑截面



（b）钢筋混凝土型屈曲约束支撑截面



（c）全钢型屈曲约束支撑截面

图 3　屈曲约束支撑常用截面形式

无粘结材料层（或空气间隙层）的设置是为了释放核心单元在受压时因泊松效应引起的横向膨胀变形以及减少核心单元与约束单元间的摩擦力。无粘结材料可采用橡胶、聚乙烯、硅胶、乳胶等。

约束单元主要起约束作用，一般不承受轴力，可采用钢管、钢筋混凝土、钢管混凝土、钢板或型钢等。根据约束单元的不同可将屈曲约束支撑分为钢管混凝土型屈曲约束支撑、钢筋混凝土型屈曲约束支撑和全钢型屈曲约束支撑。

耗能段：该部分可采用不同的截面形式，由于要求支撑在反复荷载下屈服耗能，因此需使用延性较好、屈服点低的钢材。同时要求钢材的屈服强度值稳定，这对屈曲约束支撑框架能力设计的可靠性非常重要。

过渡段：该部分是耗能段的延伸。需确保屈曲约束支撑工作时过渡段保持弹性，因此需要增加构件截面面积。可以通过增加耗能段的截面宽度实现（截面的转换需要平缓过渡以避免应力集中），也可通过焊接加劲肋来增加截面面积。屈曲约束支撑的过渡段通常应包含于约束单元内。

连接段：该部分是过渡段的延伸。需确保屈曲约束支撑工作时连接段保持弹性。连接段通过节点板与主体结构连接。为便于现场安装，通常采用螺栓连接的形式，也可采用焊接连接或销轴连接。

本标准中采用的其他术语遵循现行国家标准《建筑结构设计术语和符号标准》的规定

2.1.2 耗能型屈曲约束支撑是结构主要的耗能构件，是金属阻尼器的一种，通过金属屈服耗散地震能力。

2.1.3 承载型屈曲约束支撑主要作为不屈曲的拉压二力杆使用，主要为结构提供承载力与刚度。

3 基本规定

3.0.2 屈曲约束支撑可分为耗能型屈曲约束支撑及承载型屈曲约束支撑。耗能型屈曲约束支撑是金属阻尼器的一种，采用耗能型屈曲约束支撑的结构应按消能减震结构体系进行分析计算。承载屈曲约束支撑是普通支撑的改良，作为结构主要构件使用，采用承载型屈曲约束支撑的结构应按普通支撑结构体系进行分析计算，不能视为消能减震结构。

3.0.3 耗能型屈曲约束支撑在结构中作为耗能构件使用，结构中采用耗能型屈曲约束支撑不改变原结构的结构体系，结构的适用高度、抗震等级、最大层间位移角限值等均按原结构进行设计。

3.0.4 承载型屈曲约束支撑在结构中作为结构主要构件使用，在框架结构中可以改变结构体系。采用承载型屈曲约束支撑的框架结构的适用高度、抗震等级、最大层间位移角限值等应按钢支撑—混凝土框架体系或钢支撑—钢框架结构体系进行设计 。由于承载型屈曲约束支撑在罕遇地震作用时不可退出工作，结构体系不会发生改变，因此可以不需要按框架结构进行包络设计。对于采用承载型屈曲约束支撑的框架剪力墙、框架核心筒等其他结构体系，结构的适用高度、抗震等级、最大层间位移角限值等应按原结构体系进行设计，结构设计时忽略承载型屈曲约束支撑的耗能作用。

4 屈曲约束支撑结构设计

4.1 一般规定

4.1.6 由于抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连续，合理的抗震结构能使结构抗震分析更加符合结构在地震时的实际表现，提高结构的抗震性能，是结构选型与布置结构抗侧力体系时首要考虑因素之一，因此，屈曲约束支撑的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。屈曲约束支撑的布置宜以结构平面两个主轴方向动力特性相近或竖向方向刚度均匀为原则；对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置，也可以只在较弱的一个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。屈曲约束支撑布置于结构变形较大的部位，可更好发挥消耗地震能量的作用。

4.2 结构设计分析

4.2.1 耗能型屈曲约束支撑结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比与屈曲约束支撑附加给主体结构的有效阻尼比之和。对于新建结构，耗能型屈曲约束支撑在多遇地震下附加给结构的有效阻尼比宜为1.5%～5%；耗能型屈曲约束支撑在多遇地震下附加给结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%计算。

4.2.3 大型复杂屈曲约束支撑指使用了屈曲约束支撑的大跨度、体型复杂、结构布置复杂、以及超限的建筑结构。

4.2.6 采用国内常用软件如PKPM，YJK进行屈曲约束支撑结构计算时，首先应利用层间斜杆模拟屈曲约束支撑，通过调整斜杆

截面积来调整支撑对结构的刚度贡献，并结合调整梁柱（墙）截面尺寸，使结构满足计算指标要求；然后，根据刚度控制原则反算屈曲约束支撑的屈服荷载，刚度；最后，将反算的屈曲支撑参数进行定义即可进行罕遇地震时程分析。

4. 2. 7 屈曲约束支撑工作时表现的强非线性特性使消能减震结构的分析复杂化。屈曲约束支撑结构分析必须考虑主体结构和屈曲约束支撑部件在不同工作状态下的性能特征。屈曲约束支撑结构的抗震 计算分析，一般情况下建议采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法，但当主体结构构件基本处于弹性工作阶段时，可采取弹性分析方法，如基于等价线性化的振型分解反应谱法作简化估算。

5 屈曲约束支撑的设计

5.1 一般规定

5.1.1 屈曲约束支撑构件的设计一般包括以下内容：选取核心单元的截面形式，确定核心单元耗能段、过渡段和连接段的长度和截面面积，确定约束单元的材料构成和组成方式，确定约束单元的尺寸，设计无粘结层（或空气间隙层），验算屈曲约束支撑的整体稳定性和局部稳定性。屈曲约束支撑的设计应体现并充分满足结构设计的需求。

屈曲约束支撑需要由专业厂家设计、制作，应采用精密加工以保证屈曲约束支撑的力学性能及耗能性能。

5.1.2 连接段与耗能段常采取斜坡或圆弧等截面渐变的过渡方式，以减小截面突变带来的应力集中。屈曲约束支撑在地震作用下产生的塑性变形集中在核心单元的耗能段，核心单元的过渡段和连接段应保持弹性。

5.2 材料和选型

5.2.1 耗能型屈曲约束支撑的核心单元工作段在设防和罕遇地震作用下可进入屈服，故规定核心单元钢材强度等级不宜高于Q235，且应具有优良的塑性和韧性以及稳定的屈服承载力。由于承载型屈曲约束支撑以提供刚度为其主要目的，其核心单元可根据需要选用较高强度等级的钢材。

5.2.4 耗能型屈曲约束支撑的塑性变形需求较大，宜采用三段式构造，避免工作段外露引起局部或变形集中引起的断裂问题。由于承载型屈曲约束支撑主要在弹性范围内工作，因此可采用两段式构造以简化支撑构造。

5.3 构件设计

5.3.1 屈曲约束支撑的屈服承载力应根据核心单元工作段的实测屈服强度平均值确定，并根据不同钢材等级给出相应于屈服强度标准值的材料超期系数，以此换算为实测屈服强度。研究表明，屈曲约束支撑屈服后存在明显的应变强化，因此根据核心单元工作段的不同钢材等级引入相应的应变强化系数。常用材料按表 5.3.1 确定，且根据材性试验所得实测平均值不应超过表中数值的 15%

表 5.3.1 屈曲约束支撑核心单元常用的材料强度和强化系数

材料牌号	钢材厚度（mm）	f_y	η_y	ω
LY100		80	1.10	2.0
LY160		140	1.10	2.0
LY225		205	1.10	1.5
Q235	$t \leqslant 16$	235	1.25	1.5
	$16 < t \leqslant 40$	225		
	$16 < t \leqslant 40$	215		
Q345	$t \leqslant 16$	345	1.10	1.5
	$16 < t \leqslant 40$	335		
	$40 < t \leqslant 63$	325		
	$63 < t \leqslant 80$	315		
	$80 < t \leqslant 100$	305		

研究表明，屈曲约束支撑核心单元工作段屈服后会产生高阶屈曲变形，对约束单元会产生局部挤压力和轴向摩擦力，导致同等位移水平下受压侧的承载力略高于受拉侧，故需要考虑拉压不平衡系数。此处规定拉压不平衡系数取 1.1 为国内外试验研究的

一般结果，但该系数与支撑长度相关，因此当屈曲约束支撑长度超过正常使用范围时，应进行专门论证。

此外，当拉压不平衡系数过大时，会造成“人”字形或“V”字形屈曲约束支撑中部对梁产生过大竖向不平衡分立，且对节点受力不利，因此规定此系数不能大于 1.3。由于承载型屈曲约束支撑主要为结构提供刚度，其轴力设计值可能远小于其屈服承载力，此时若以实配截面确定的屈服承载力作为极限承载力的计算依据，可能过于保守，导致节点轴力设计值需求过大。故本条规定，当承载型屈曲约束支撑在罕遇地震作用下的轴力设计值不高于屈服承载力的 70%时，可按轴力设计值的 1.1 倍作为其极限承载力；当轴力设计值高于屈服承载力的 70%时，可取为屈服承载力的 1.1 倍作为其极限承载力。

5.3.3 CPE 为循环加载过程中屈曲约束支撑所积累的塑性耗能与其弹性应变能之比，CPD 为循环加载过程中屈曲约束支撑所积累的塑性变形与其弹性变形之比。这两个指标可用于本标准第 7 章的性能指标计算。

6 屈曲约束支撑连接和构造

6.1 一般规定

6.1.1 此处只规定了屈曲约束支撑与节点板连接处的轴向承载力设计值，包括对接焊缝的承载力、高强螺栓摩擦型连接的承载力以及销轴连接的承载力。

6.2 节点板计算

6.2.1 国内外研究表明，节点板的有效宽度应从支撑与节点板连接处的第一排螺栓或焊缝开始计算，应力按 30°扩散，达到最后一排螺栓或焊缝时终止。

6.2.2 本条公式是将节点板有效宽度截面到梁柱表面区段看成单位宽度板条进行理论推导得到，其中计算长度系数反映了边肋对节点板平面外变形的侧向约束程度。理论研究表明，当存在边肋时该系数为 0.65，考虑到边肋对节点板平面外约束的不确定性，相关研究偏于安全地取 1.0 进行计算。

6.3 结构连接的构造要求

6.3.1 焊缝连接承载力和刚度较大，传力简单直接，有利于减小屈曲约束支撑连接段及节点板的外伸长度，提升节点的平面外稳定性，但施工安装较困难且震后较难拆卸。螺栓连接便于施工安装和震后拆除，但屈曲约束支撑连接段及节点板的外伸长度较长，平面外稳定性较差。销轴连接传力简洁直接、经济美观、节点平面外稳定性较好，但对施工安装造成一定难度。实际工程应根据工程特点及上述优缺点选择合理的屈曲约束支撑连接形式。

7　屈曲约束支撑的性能检测

7.1　一般规定

7.1.1　厂家所提供的屈曲约束支撑，须经过专家论证，判定其构造、性能是否能够满足设计要求。屈曲约束支撑的型式检验报告包括力学性能检验报告及疲劳性能检验报告。力学性能检验报告是为了确定该类型屈曲约束支撑的主要力学性能，疲劳性能检验报告是为了确定该类型的屈曲约束支撑的疲劳性能是否满足耗能要求。耗能型屈曲约束支撑作为结构的主要耗能构件，型式检验报告应同时提供力学性能检验报告及疲劳性能检验报告；承载型屈曲约束支撑作为结构的主要受力构件，对耗能能力要求不高，因此型式检验报告只要求提供力学性能检验报告。

由于地震的多向性及随机性，输入结构的水平地震动往往是双向的，双向地震作用会显著改变屈曲约束支撑子结构的力学本构关系（即刚度、屈服力、屈服位移等发生变化），双向地震作用下结构中的屈曲约束支撑也易发生平面外失稳。因此对屈曲约束支撑形式检验建议进行双向加载试验检测以确保屈曲约束支撑的稳定性。

修正的 Ramberg-Osgood（R-O）模型（见图 7.1.1a），等强硬化的双线性模型（见图 7.1.1b）。

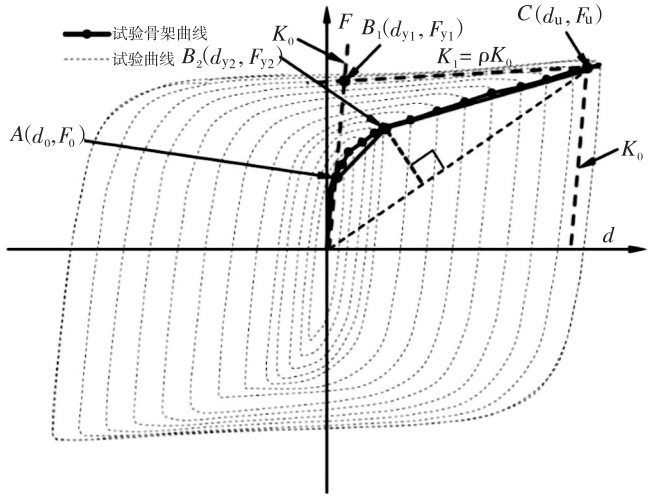


图 7.1.1a　修正的 R-O 模型骨架、滞回曲线

图中：d_0、F_0 ——初始屈服位移、初始屈服刚度；

d_{y1}、F_{y1}——计算屈服位移、计算屈服力；

d_u、F_u ——设计位移、设计屈服力；

d_{y2}、F_{y2}——二次屈服位移、二次屈服力；

K_0——初始刚度，其值宜取卸载刚度；

K_u——卸载刚度；

β_1、β_2 ——第一、第二刚度比；

ρ ——计算屈服后刚度比。

$$\mu = d_u / d_{y1}$$

式中：μ 为设计延性系数。消能器往复加载的位移 d 与屈服力 F 关系服从如下关系式：

$$d = \frac{F}{K_0} \qquad 0 \leqslant F < F_0$$

$$d = \frac{F - F_0}{\beta_1 K_0} + \frac{F}{K_0} \qquad F_0 \leqslant F < F_{y2}$$

$$d = \frac{F - F_{y2}}{\beta_2 K_0} + \frac{F_{y2} - F_0}{\beta_1 K_0} + \frac{F}{K_0} \qquad F \geqslant F_{y2}$$

$$d-d_i=\frac{F-F_i}{K_0}\ (1+b\mid F-F_i\mid^{\varphi-1})$$

式中（d_i，F_i）为上次卸载点的坐标，b 和 φ 分别为控制滞回曲线形状的常数，试验报告宜应给出每个试件的建议值。

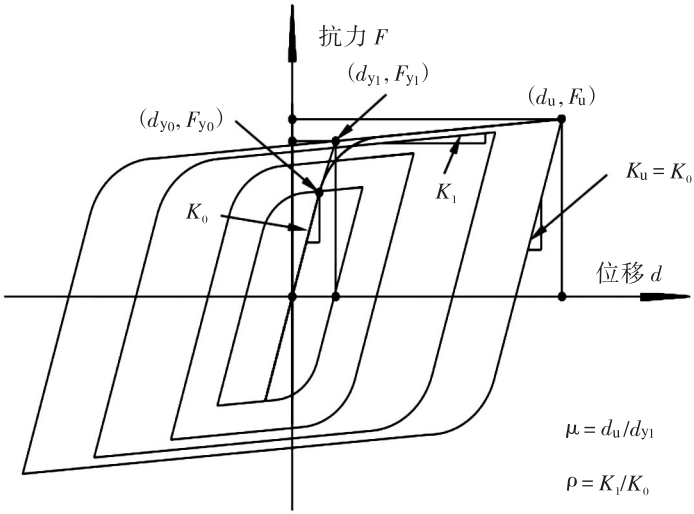


图 7. 1. 1b　双线性等强硬化模型滞回曲线