

建筑消能减震设计导则

Design Guidelines for Seismic Energy Dissipation of Buildings

2026-9-19 发布

2026-10-1 实施

吉林省住房和城乡建设厅 发布

建筑消能减震设计导则

Design Guidelines for Seismic Energy Dissipation of Buildings

主编部门：抗震防灾办公室

批准单位：吉林省住房和城乡建设厅

施行日期：2026 年 10 月 1 日

2026 长 春

前 言

为进一步提高建设工程抗震防灾能力，降低地震灾害风险，保障人民生命财产安全，更好地鼓励和支持建设工程抗震新技术的研究、开发和应用，对吉林省消能减震设计进行规范和指导，根据吉林省抗震防灾办公室的要求，由吉林省建苑设计集团有限公司、吉林省建筑科学研究设计院会同有关单位共同编制完成本导则。

本导则是在总结近些年国内外消能减震技术的工程应用和最新科研成果基础上，广泛征求业内人士意见，并结合现行国家标准编制而成。

本导则共分 7 章和 1 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、地震作用和作用效应计算、地震时正常使用建筑的性能目标及设计、消能减震结构设计、消能部件与结构的连接和构造。

本导则由吉林省住房和城乡建设厅抗震防灾办公室负责管理，由吉林省建苑设计集团有限公司负责具体技术内容的解释。本导则执行过程中如有意见或建议，请寄送：吉林省建苑设计集团有限公司（地址：吉林省长春市正阳街 4326 号；邮编：130011，邮箱：sqmh@sina.com）。

主 编 单 位： 吉林省建苑设计集团有限公司

吉林省建筑科学研究设计院

参 编 单 位： 吉林建筑大学

长春工程学院

中天设计集团有限公司

吉林建研工程项目管理有限公司

吉林建筑大学设计研究院有限责任公司

吉林市建筑设计院有限责任公司

吉林省开元工程质量检测鉴定有限公司

江苏工邦振控科技有限公司

主要起草人： 孙其锋 李志国 句庆吉 罗 昕 王 勃 袁志仁

郭庆彪 高祎波 班玉信 孙虎翼 沈红亮 郭有松

顾全伟 王岚兰 王贵亮 丛明宇 周 炎 霍越群

滕 飞 王德超 王 凯 安玉鹏 杨 乐 陈 云

主要审查人： 窦立军 马青龙 王伯昕 朱达明 王 彬

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	2
3	基本规定	4
3.1	一般规定	4
3.2	消能器要求	4
3.3	结构分析	5
3.4	连接与节点	5
3.5	耐久性	6
4	地震作用和作用效应计算	7
5	地震时正常使用建筑的性能目标及设计	8
5.1	一般规定	8
5.2	性能目标	8
5.3	结构构件承载力验算	9
5.4	层间变形	10
5.5	楼面水平加速度	10
6	消能减震结构设计	12
6.1	一般规定	12
6.2	消能部件布置原则	12
6.3	消能部件设计及附加阻尼比	13

6.4	主体结构设计	15
7	消能部件与结构的连接和构造	17
7.1	一般规定	17
7.2	预埋件	17
7.3	支撑和支墩计算	17
7.4	消能器与结构连接构造要求	18
7.5	屈曲约束支撑的构造要求	18
7.6	金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求	19
7.7	黏滞消能器构造要求	20
附录 A	消能减震结构设计流程	21
	本导则用词说明	22
	引用标准名录	23

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家有关建筑工程防灾减灾的法律法规，实行预防为主方针，使建筑采用减震技术后，提高建筑安全性和防灾韧性，制定本导则。

1.0.2 本导则适用于吉林省采用减震技术的新建建筑工程的设计。既有建筑的减震加固设计，可参考本导则。

1.0.3 消能减震结构设计除应符合本导则外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.2 消能器 energy dissipation device

消能器是通过内部材料或构件的摩擦，弹塑性滞回变形或黏（弹）性滞回变形来耗散或吸收能量的装置。包括位移相关型消能器、速度相关型消能器和复合型消能器。

2.1.3 消能部件 energy dissipation part

由消能器与连接消能器的支撑或连接件构成的组合体。

2.1.4 消能子结构 energy dissipation substructure

消能子结构是与消能部件直接相连的主体结构构件的集合。

2.1.5 地震时正常使用建筑 normally used buildings in earthquakes

在遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，保证结构构件和建筑非结构构件基本完好、建筑附属机电设备和功能性仪器设备正常工作的建筑。

2.2 符 号

S ——结构构件内力组合的设计值；

R ——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

γ_G ——重力荷载分项系数；

γ_{Eh} ——水平向地震作用分项系数；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Eh} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{Ev} ——竖向地震作用标准值的效应；

R_k ——普通竖向构件及重要水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算；

R_k^* ——普通水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算；
 Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；
 Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；
 t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度；
 Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器最大可能的位移；
 $[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变；
 K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度；
 C_D ——消能器的线性阻尼系数；
 T_1 ——消能减震结构的基本自振周期；
 ξ_d ——消能减震结构的附加有效阻尼比；
 W_{ej} ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量；
 W_s ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能；
 F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值；
 u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移；
 C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；
 θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角；
 Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移；
 λ_1 ——阻尼指数的函数；
 F_{djmax} ——第 j 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力；
 A_j ——第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 消能减震结构设计应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别。

3.1.2 消能减震结构的基本设防目标应满足下列要求：当遭遇低于本地区设防烈度的多遇地震时，主体结构不受损坏可继续使用；当遭遇相当于本地区设防烈度的地震时，主体结构可能发生损坏，但经一般性修理可继续使用；当遭遇高于本地区设防烈度的罕遇地震时，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

3.1.3 地震时正常使用建筑的基本设防目标应满足遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，无需修理可继续使用；当遭遇高于本地区设防烈度的罕遇地震时，简单修理或适度修理可继续使用。

3.1.4 消能减震设计文件应包含下列内容：

- 1 结构抗震性能化目标；
- 2 消能减震方案及相关计算分析；
- 3 消能减震装置的数量以及规格、型号、性能参数、工作年限等技术指标；
- 4 消能减震装置检验检测、施工安装和使用维护要求；
- 5 消能减震装置构造措施要求，包括支撑及支墩的构造、建筑做法、装置检查和更换的途径。

3.1.5 消能减震结构抗震性能化设计应根据功能、作用及重要性分别选定针对整体结构、关键构件、重要构件、普通构件、消能子结构的性能目标。

3.1.6 消能减震设计方案应符合下列规定：

- 1 应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、结构类型、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定；
- 2 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系；
- 3 消能部件宜根据类型设置在相对变形或相对速度较大的位置；
- 4 消能部件的设置位置及连接构造，应便于检查、维护和更换。

3.2 消能器要求

3.2.1 消能器应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 要求。消能器的设计工作年限不宜小于建筑物的设计工作年限，消能器的设计工作年限到期后应抽样检测其相关力学性能，

并按检测结果确定后续工作年限或更换。

3.2.2 消能器应符合下列规定：

- 1 消能器的性能参数应经试验确定；
- 2 消能器的极限位移不应小于消能器设计位移的 1.2 倍；
- 3 速度相关型消能器极限速度不应小于消能器设计速度的 1.2 倍；
- 4 在 10 年一遇标准风荷载作用下，摩擦消能器不应进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服；
- 5 消能型屈曲约束支撑和屈曲约束支撑型消能器应满足位移相关型消能器性能要求；
- 6 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

3.2.3 消能器的性能及检测方法应满足国家现行相关标准要求。

3.2.4 消能器应具有型式检验报告或产品合格证。

3.3 结构分析

3.3.1 消能减震结构分析模型应正确反映不同荷载工况的传力途径、在不同水准地震动下主体结构和消能器所处的工作状态。

3.3.2 消能减震结构的分析方法应根据主体结构、消能器的工作状态选择，可采用振型分解反应谱法、结构弹性（消能器线性或非线性）时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法。

3.3.3 消能减震结构总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加有效阻尼比的总和，结构阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态分别确定。

3.3.4 消能减震结构总刚度应为主体结构刚度和消能部件附加给主体结构的有效刚度之和。

3.3.5 消能器的恢复力模型应符合其受力特征并经试验验证。

3.3.6 高层建筑消能减震结构在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，宜采用不少于两个不同力学模型的软件进行对比分析，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。

3.3.7 罕遇地震作用下消能器的设计位移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定。

3.4 连接与节点

3.4.1 消能器与支撑、支撑构件的连接，应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。

3.4.2 消能器与支撑、连接件之间宜采用高强螺栓连接或销轴连接，也可采用焊接。

3.4.3 在消能器极限位移或极限速度对应的阻尼力作用下，与消能器连接的支撑、墙、支墩应处于弹性工作状态；消能部件与主体结构相连的预埋件、节点板等应处于弹性工作状态，且不应出现滑移或拔出等破坏。

3.5 耐久性

3.5.1 消能部件中钢构件的防护应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理。

3.5.2 消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验，以判定继续使用或更换。

3.5.3 消能减震建筑遭受不低于设防烈度地震后，应对消能器以及消能子结构进行检查，以判定继续使用、维护或更换。

4 地震作用和作用效应计算

4.0.1 地震作用，应符合下列规定：

- 1 至少在结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件和消能部件共同承担；
- 2 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用；
- 3 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；
- 4 抗震设防烈度不低于 7 度（ $0.5g$ ）的大跨度、长悬臂结构，应计算竖向地震作用；
- 5 对处于发震断裂两侧 10 km 以内的结构，地震动参数应计入近场效应影响，5km 以内宜乘 1.25 的增大系数，5 km 以外宜乘不小于 1.15 的增大系数。

4.0.2 根据主体结构的工作状态，消能减震结构的地震作用效应计算应采用下列方法：

- 1 计算模型宜采用空间结构有限元模型，消能减震装置的计算模型应与产品试验结果相符；
- 2 当主体结构处于弹性工作状态，消能减震装置处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、线性时程分析法；
- 3 当主体结构处于弹性工作状态，消能减震装置处于非线性工作状态时，可将消能减震装置进行等效线性化，采用等效阻尼比和等效刚度的振型分解反应谱法、线性时程分析法，也可采用非线性时程分析法；
- 4 当主体结构进入非线性状态时，应采用静力非线性分析方法或动力非线性时程分析方法。

4.0.3 消能减震结构地震作用和作用效应计算尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的规定。

5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

5.1.1 地震时正常使用建筑分为 I 类建筑和 II 类建筑，分类应按表 5.1.1 进行。

表 5.1.1 地震时正常使用建筑分类

I 类	应急指挥中心建筑、医院主要建筑、应急避难场所建筑、广播电视建筑
II 类	学校建筑、幼儿园建筑、医院附属建筑、养老机构建筑、儿童福利机构建筑

5.1.2 地震时正常使用建筑应基于设防地震进行承载力设计，并进行设防地震和罕遇地震作用下的结构变形和楼面水平加速度验算。

5.1.3 地震时正常使用建筑的抗震措施不应低于相应设防烈度的规定。

5.1.4 地震时正常使用建筑地基基础的设计和抗震验算，应满足本地区抗震设防烈度地震作用的要求；抗震构造措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

5.2 性能目标

5.2.1 地震时正常使用 I 类建筑的性能目标应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 I 类建筑的性能目标

构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	完好或基本完好	轻微或轻度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	轻度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	轻度损坏
仪器设备	正常工作	轻度损坏
总体性能目标	无需修理可继续使用	简单修理可继续使用

5.2.2 地震时正常使用 II 类建筑的性能目标应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 II 类建筑的性能目标

构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	基本完好或轻微损坏	轻度或中度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	中度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	中度损坏
仪器设备	正常工作	中度损坏
总体性能目标	无需修理可继续使用	适度修理可继续使用

5.3 结构构件承载力验算

5.3.1 地震时正常使用建筑的结构构件承载力应按照设防地震作用进行验算。

5.3.2 设防地震作用下，关键构件的抗震承载力，应符合下式规定：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Eh} + \gamma_{Ev} S_{Ev} \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.3.2)$$

式中： S ——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

R ——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，应按《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定采用；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况应采用 1.3，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定采用；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应，计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定采用；有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

S_{Eh} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{Ev} ——竖向地震作用标准值的效应。

5.3.3 设防地震作用下，普通竖向混凝土构件及重要水平混凝土构件的受剪承载力应符合式（5.3.2）的规定，正截面承载力应符合式（5.3.3-1）、式（5.3.3-2）的规定；普通竖向钢构件及重要水平钢构件的受剪承载力和正截面承载力应符合式（5.3.3-1）、式（5.3.3-2）的规定。

$$S_{GE} + S_{Eh} + 0.4S_{Ev} \leq R_k \quad (5.3.3-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Eh} + S_{Ev} \leq R_k \quad (5.3.3-2)$$

式中： R_k ——普通竖向构件及重要水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

5.3.4 设防地震作用下，普通水平混凝土构件的受剪承载力应符合式（5.3.3-1）、式（5.3.3-2）的规定，正截面承载力应符合式（5.3.4-1）、式（5.3.4-2）的规定；普通水平钢构件的受剪承载力和正截面承载力应符合式（5.3.4-1）、式（5.3.4-2）的规定。

$$S_{GE} + S_{Eh} + 0.4S_{Ev} \leq R_k^* \quad (5.3.4-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Eh} + S_{Ev} \leq R_k^* \quad (5.3.4-2)$$

式中： R_k^* ——普通水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算，对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑将钢筋的强度标准值提高 25%进行计算，对钢梁支座或节点边缘截面可考虑将钢材屈服强度标准值提高 25%进行计算。

5.4 层间变形

5.4.1 地震时正常使用 I 类建筑弹塑性层间位移角限值应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 I 类建筑弹塑性层间位移角限值

地震水平	设防地震	罕遇地震
钢筋混凝土框架	1/400	1/150
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/500	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、 钢筋混凝土框支层结构	1/600	1/250
多、高层钢结构	1/250	1/100

5.4.2 地震时正常使用 II 类建筑弹塑性层间位移角限值应符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 II 类建筑弹塑性层间位移角限值

地震水平	设防地震	罕遇地震
钢筋混凝土框架	1/300	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/400	1/150
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、 钢筋混凝土框支层结构	1/500	1/200
多、高层钢结构	1/200	1/80

5.5 楼面水平加速度

5.5.1 地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值宜符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 最大楼面水平加速度限值 (g)

地震水平	设防地震	罕遇地震
I 类建筑性能目标	0.25	0.45
II 类建筑性能目标	0.45	—

5.5.2 当楼板水平加速度不满足 5.5.1 条的规定时，应对建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备采取专门措施并进行专门研究和论证。

6 消能减震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 消能减震结构设计应保证建筑主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。计算模型应同时包含建筑主体结构与消能部件，楼、屋盖宜满足平面内无限刚的要求，当不满足平面内无限刚要求时，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。

6.1.2 消能减震结构构件设计时，应考虑消能部件引起的柱、墙、梁的附加轴力、剪力和弯矩作用。

6.1.3 消能减震结构在多遇、设防和罕遇地震作用下的总阻尼比应根据主体结构处于弹性和弹塑性工作状态分别计算。消能部件附加给主体结构的有效阻尼比超过 25% 时，宜按 25% 计算。

6.2 消能部件布置原则

6.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

- 1 消能部件应沿结构两个主轴方向分别设置，并宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近；
- 2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀；
- 3 消能部件宜布置在层间相对位移或相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率；
- 4 可通过抗震墙的连接梁位置设置位移相关型消能部件，把抗震墙设计成双肢或多肢消能抗震墙；
- 5 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层；
- 6 消能部件的设置位置及连接构造宜便于检查、维护和更换。

6.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构设计参数符合下列规定：

- 1 采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移乘积的比值宜接近；
- 2 采用黏滞消能器时，各楼层消能部件的最大水平阻尼力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移乘积的比值宜接近；
- 3 采用黏弹性消能器时，各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近，各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近；
- 4 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大水平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%。

6.3 消能部件设计及附加阻尼比

6.3.1 消能部件的设计参数应符合下列规定：

1 位移相关型消能器与斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型参数应符合下式规定：

$$\Delta u_{py}/\Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad (6.3.1-1)$$

式中： Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移（m）。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax}/[\gamma] \quad (6.3.1-2)$$

式中： t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（m）；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器最大可能的位移（m）；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

3 速度线性相关型消能器与斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件组成消能部件时，支承构件沿消能器消能方向的刚度应符合下式规定：

$$K_b \geq 6\pi C_D/T_1 \quad (6.3.1-3)$$

式中： K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

C_D ——消能器的线性阻尼系数[kN/(m·s)]；

T_1 ——消能减震结构的基本自振周期（s）。

6.3.2 消能部件附加给结构的实际有效刚度和有效阻尼比，可按下列方法确定：

1 位移相关型消能部件和非线性速度相关型消能部件附加给结构的有效刚度可用等价线性化方法确定。

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按式估算：

$$\xi_d \geq \sum_{j=1}^n W_{cj}/4\pi W_s \quad (6.3.2-1)$$

式中： ξ_d ——消能减震结构的附加有效阻尼比；

W_{cj} ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量（kN·m）；

W_s ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN·m）。

3 不计及扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (6.3.2-2)$$

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（m）。

4 速度线性相关型消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (6.3.2-3)$$

式中： T_1 ——消能减震结构的基本自振周期（s）；

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数[kN/(m·s)]；

θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移（m）。

当消能器的阻尼系数和有效刚度与结构振动周期有关时，可取相应于消能减震结构基本自振周期的值。

5 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{djmax} \Delta u_j \quad (6.3.2-4)$$

式中： λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表 6.3.2 取值；

F_{djmax} ——第 j 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力（kN）。

表 6.3.2 λ_1 值

阻尼指数 α	λ_1 值
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1	3.1

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性差值。

6 位移相关型和速度非线性相关型消能部件在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (6.3.2-5)$$

式中： A_j ——第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积（kN·m）。

6.3.3 采用振型分解反应谱法分析时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法计算。

6.3.4 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时，消能器两端的相对水平位移、质点的水平地震作用标准值、质点对应于水平地震作用标准值的位移，当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果应取包络值；当取 7 组及 7 组以上时程曲线输入时，计算结果可取平均值。

6.3.5 采用静力非线性分析方法时，计算模型中消能器宜采用相应的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器附加给结构的有效阻尼比，不能采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

6.4 主体结构设计

6.4.1 消能减震结构多遇地震作用效应可按振型分解反应谱法计算，位移相关型消能部件刚度贡献宜取多遇地震时的等效刚度。主体结构的附加阻尼比宜取多遇地震计算得到的附加阻尼比。地震时正常使用建筑采用消能减震技术时，按本导则第 5 章进行设计。消能减震结构设计流程可按本导则附录 A 执行。

6.4.2 消能子结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 消能子结构中的梁、柱和墙等结构构件宜按重要构件设计，并应采用罕遇地震下的标准效应组合进行极限承载力验算；

2 消能子结构和消能部件的节点和构件截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用；

3 消能部件采用高强螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值应考虑消能部件端部的附加弯矩；

4 当消能器的轴心与结构构件的轴线有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响。

6.4.3 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

1 消能减震结构的弹性层间位移角限值、弹塑性层间位移角限值应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 取值；

2 地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，弹塑性层间位移角限值应按本规程 5.4 节的规定取值。

6.4.4 主体结构的构造措施应符合下列规定：

1 主体结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 取值；

2 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角与本导则 5.4 节规定的弹塑性层间位移角限值之比确定，当计算值小于限值的 50%时，主体结构的构造措施可降低一度，最大降低程度应控制在 1 度以内。

7 消能部件与结构的连接和构造

7.1 一般规定

7.1.1 消能器与主体结构的连接一般分为支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等，设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式。

7.1.2 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、V 字形和人字形等布置，不宜采用 K 字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比或径厚比应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的要求。

7.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销轴，高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

7.1.4 预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

7.1.5 消能器与非结构构件之间应采用柔性连接，保证消能器的有效变形空间。

7.1.6 预埋件的锚固方式，抗风设计时可采用锚筋锚固；抗震设计时，宜采用对拉锚固，或采取更加有效的锚固措施。

7.1.7 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板应保持弹性。

7.1.8 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板的设计作用力取值应为消能器在设计位移或设计速度下对应阻尼力的 1.2 倍。

7.2 预埋件

7.2.1 应根据消能器受力特征进行预埋件截面设计。

7.2.2 预埋件的锚筋和锚板设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，并根据实际受力情况适当加强。

7.2.3 沿剪力方向锚筋排数不宜多于四排，并应充分考虑锚筋层数的折减或采取其他有效传递剪力的措施。

7.3 支撑和支墩计算

7.3.1 消能器相连的支墩应按本规程第 7.1.8 条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

7.3.2 支撑和支墩的计算长度应符合下列规定：

- 1 采用单斜消能部件时，应取支撑与消能器连接处到主体结构连接板中心处的距离；
- 2 采用人字形支撑时，应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构连接板中心处的距离；
- 3 采用支墩时，应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

7.3.3 与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩的刚度应满足本规程第 6.3.1 条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩的刚度不宜小于消能器有效刚度的 2 倍。

7.4 消能器与结构连接构造要求

7.4.1 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 有关中心支撑的规定。

7.4.2 消能部件中的支墩沿长度方向全截面箍筋应加密并配置网状钢筋。

7.4.3 连梁消能器深入梁端锚固段型钢构件与混凝土的连接应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 中型钢混凝土梁的规定。

7.5 屈曲约束支撑的构造要求

7.5.1 屈曲约束支撑的连接计算应取 1.2 倍设计屈曲约束支撑的极限承载力，核心单元连接段不应发生失稳，节点板和预埋件应处于弹性工作状态。

7.5.2 屈曲约束支撑的形心线与梁柱形心线三者宜相交于一点。

7.5.3 屈曲约束支撑连接示意如图 7.5.3-1、7.5.3-2：

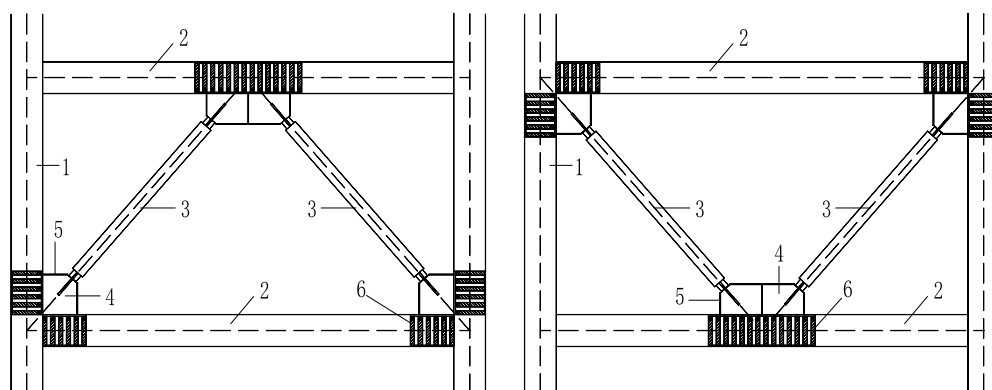


图 7.5.3-1 混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

1—柱；2—梁；3—BRB 支撑；4—节点板；5—边肋板；6—预埋件

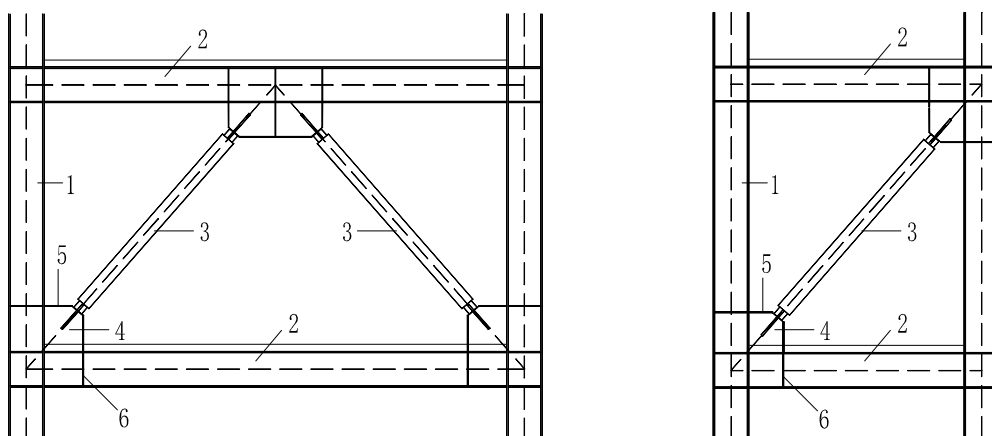


图 7.5.3-2 钢构件与屈曲约束支撑连接示意

1—柱；2—梁；3—BRB 支撑；4—节点板；5—边肋板；6—加劲肋

7.5.4 屈曲约束支撑采用人字形或 V 字形的布置形式时，应加强支撑节点设计。当与屈曲约束支撑相连的梁的侧向变形和扭转变形未受到有效限制时，应考虑梁的侧向刚度和扭转刚度对节点平面外稳定性的影响。

7.6 金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求

7.6.1 金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，宜结合建筑隔墙位置布置，通常采用支撑式和支墩式连接。支墩式可根据需要设置混凝土支墩连接，支撑式可根据需要采用 V 形或人字形支撑布置，如图 7.6.1 所示。

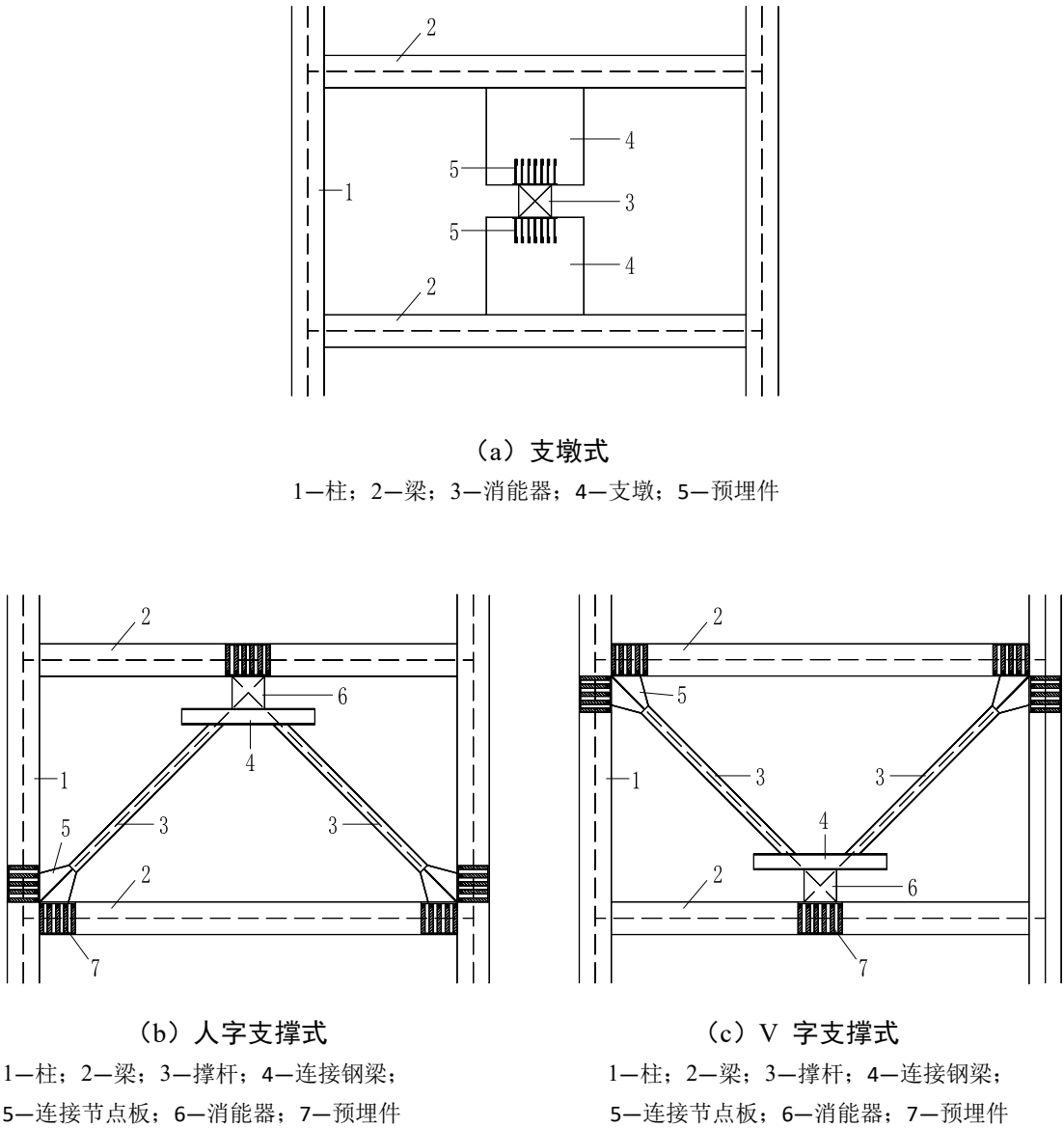


图 7.6.1 金属屈服型消能器、摩擦消能器布置型式示意

7.6.2 采用支墩式连接时，与消能器连接的锚板和锚筋预埋在悬臂墙中，消能器与预埋板之间

采用螺栓连接或焊接连接。

7.6.3 筒式形式消能器或轴向形式消能器与主体结构的连接方式,可参照屈曲约束支撑的连接方式。

7.7 黏滞消能器构造要求

7.7.1 黏滞消能器与主体的连接方式有支撑型,支墩型,剪切连接型等多种型式。可结合建筑隔墙位置放置,宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。采用中间柱型连接时,应设置暗梁暗柱,且锚筋应在暗柱的内侧。

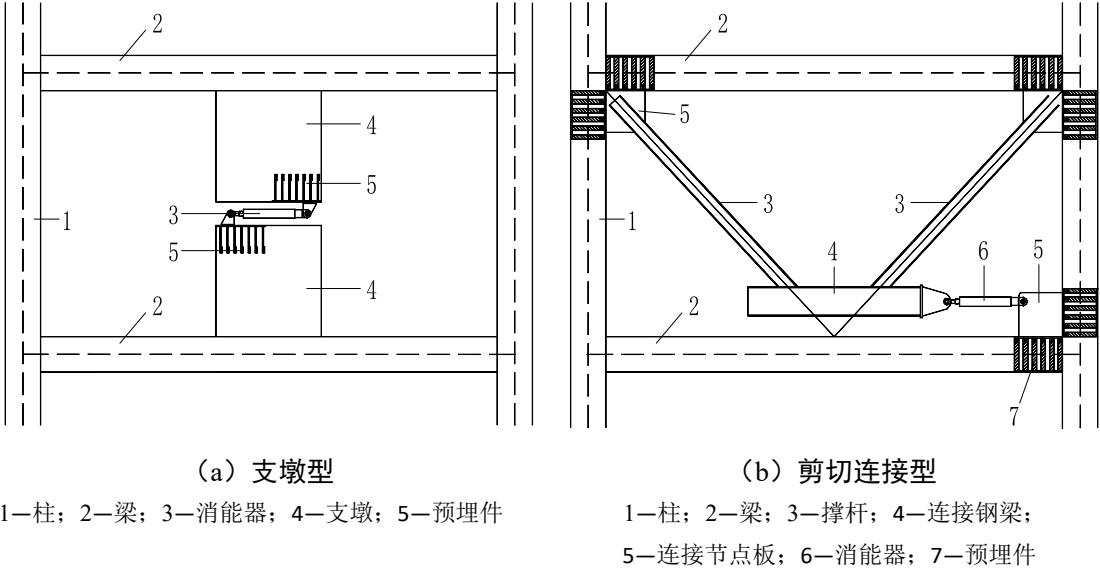
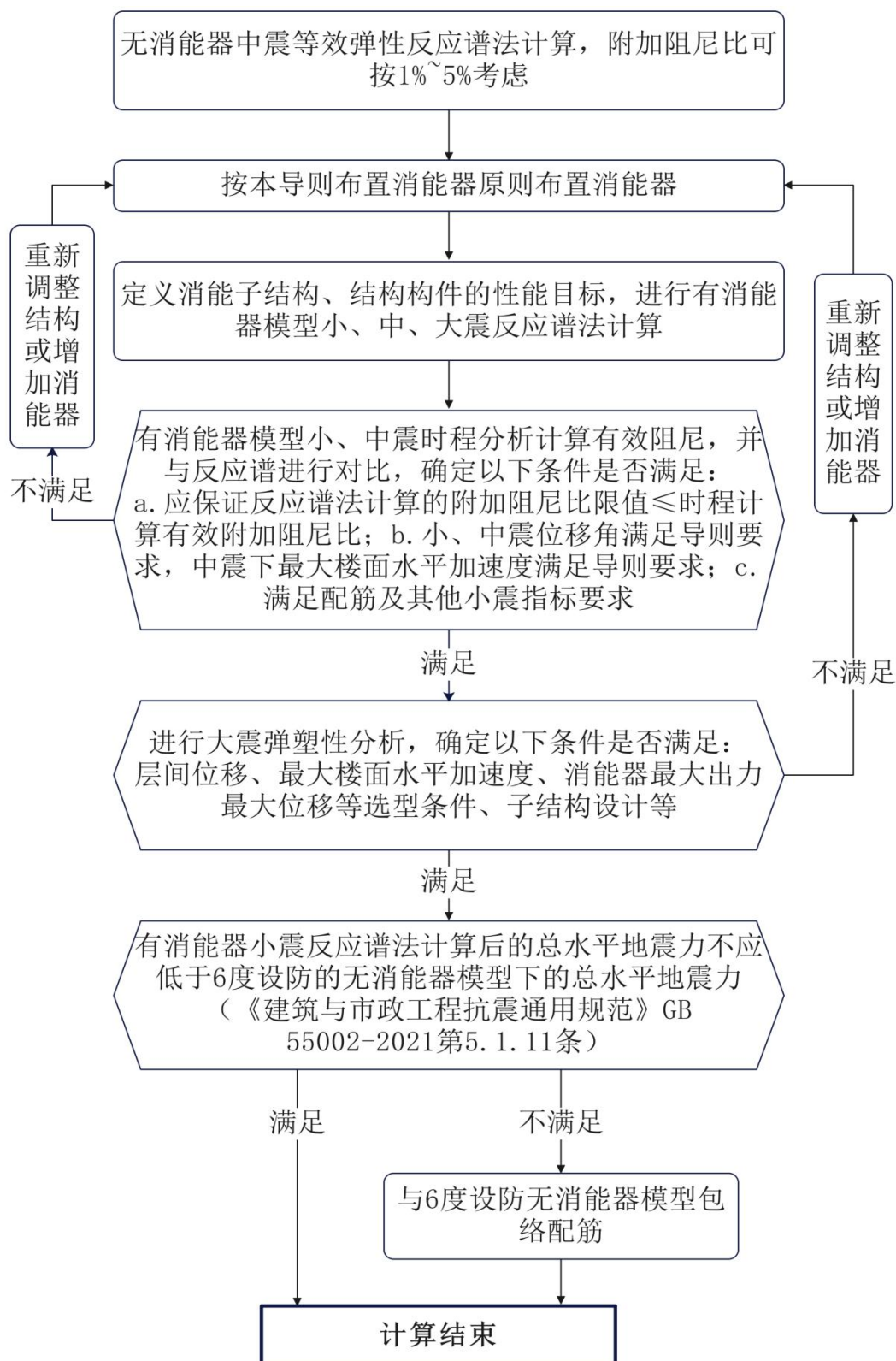


图 7.7.1 黏滞消能器布置型式示意

7.7.2 黏滞阻尼墙与主体的连接构造可按金属屈服型消能器的墙式连接构造要求执行。

附录 A 消能减震结构设计流程

A.0.1 中震正常使用建筑，采用速度型消能器，可按以下流程进行设计，其他消能减震结构可参考执行：



本导则用词说明

- 1 为便于在执行本导则条文时区别对待，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”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
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执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建设工程抗震管理条例》中华人民共和国国务院令（第 744 号）
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
- 3 《钢结构设计标准》GB 50017
- 4 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 5 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 6 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
- 7 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
- 8 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 9 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 10 《组合结构设计规范》JGJ 138
- 11 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
- 12 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
- 13 《建筑消能阻尼器》JG/T 209