

既有建筑消能减震加固技术规程

Technical specification for seismic energy dissipation of strengthening
existing buildings

2020 - 02 - 24 发布

2020 - 05 - 01 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	5
5 消能器的技术性能	8
6 消能减震结构加固设计进场	15
7 消能部件的连接与构造	33
8 施工、验收和维护	34

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由江苏省住房和城乡建设厅提出并归口。

本标准起草单位：东南大学、南京工程学院、江苏省建筑科学研究院有限公司、南京市建筑设计研究院有限责任公司、南京工业大学、江苏省建筑设计研究院有限公司、江苏建华建设建设有限公司、南京长江都市建筑设计股份有限公司、江苏省建设工程设计施工图审核中心、苏州科技大学、常州容大结构减振股份有限公司、江苏力汇振控科技股份有限公司、镇江中谊抗震科技股份有限公司。

本标准主要起草人：张志强、周慧、汪凯、章丛俊、李家青、刘涛、包红燕、杜东升、黄镇、李卫平、李延河、郭彤、沈伟、陈鑫、胡浩、高峰、张秀娟、张敏。

既有建筑消能减震加固技术规程

1 范围

本标准规定了基本规定、消能器的技术性能、效能减震加固设计、消能部件的连接与构造、施工、验收和维护等相关内容。

本标准适用于江苏省既有建筑消能减震加固技术规程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计规范
- GB 50023 建筑抗震鉴定标准
- GB 50026 工程测量规范
- GB 50144 工业建筑可靠性鉴定标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
- GB 50292 民用建筑可靠性鉴定标准
- GB/T 50344 建筑结构检测技术标准
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50550 建筑结构加固工程施工质量验收规范
- GB 50661 钢结构焊接规范
- JGJ 8 建筑变形测量规范
- JGJ 33 建筑机械施工安全技术规程
- JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
- JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程
- JGJ 99 高层民用建筑钢结构技术规程
- JGJ 116 建筑抗震加固技术规程
- JGJ 123 既有建筑地基基础加固技术规程
- JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
- JGJ 297 建筑消能减震技术规程
- JG/T 209 建筑消能阻尼器
- CECS 160 建筑工程抗震性态设计通则

3 术语和定义

GB/T 18207 界定的以及下列术语和定义适用于本文件

3.1

既有建筑 existing buildings

除古建筑、新建建筑、危险建筑以外，迄今仍在使用的建筑。

3.2

后续使用年限 continuous seismic working life, continuing seismic service life

对既有建筑经抗震鉴定后继续使用所约定的一个时期，在这个时期内，建筑不需要重新鉴定和相应加固就能按预期目的使用，并完成预定的功能。

3.3

抗震设防烈度 seismic fortification intensity

按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。

3.4

抗震加固 seismic strengthening of buildings

使既有建筑达到抗震鉴定的要求所进行的设计与施工。

3.5

消能减震加固 seismic strengthening of buildings by energy dissipation method

采用消能减震技术使既有建筑达到抗震鉴定的要求所进行的设计与施工。

3.6

综合抗震能力 compound seismic capability

整个建筑结构综合考虑其构造和承载力等因素所具有的抵抗地震作用的能力。

3.7

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。

3.8

消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构由主体结构和消能部件组成。

3.9

位移相关型消能器 displacement dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移相关的消能器，如金属消能器、摩擦消能器和屈曲约束支撑等。

3.10

速度相关型消能器 velocity dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对速度相关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

3.11

复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度相关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

3.12

金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料（软钢、铅等）元件或构件制成，利用金属元件或构件屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

3.13

摩擦消能器 friction energy dissipation device

由钢元件或构件、摩擦片和预压螺栓等组成，利用两个或两个以上元件或构件间相对位移时产生摩擦做功而耗散能量的减震装置。

3.14

屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

由核心单元、外约束单元等组成，利用核心单元产生弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

3.15

黏滞消能器 viscous energy dissipation device

由缸体、活塞、黏滞材料等部分组成，利用黏滞材料运动时产生黏滞阻尼耗散能量的减震装置。

3.16

黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device

由黏弹性材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒等组成，利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置。

3.17

消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

3.18

附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

3.19

附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

3.20

消能器计算位移 calculated displacement of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的位移标准值。

3.21

消能器设计位移 design displacement of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的位移组合值。

3.22

消能器极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

3.23

消能器计算速度 calculated velocity of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的速度标准值。

3.24

消能器设计速度 design velocity of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的速度组合值。

3.25

消能器极限速度 ultimate velocity of energy dissipation device

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

3.26

消能器计算阻尼力 calculated damping force of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的阻尼力标准值。

3.27

消能器设计阻尼力 design damping force of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器达到的阻尼力组合值。

3.28

消能器极限阻尼力 ultimate damping force of energy dissipation device

消能器在达到极限位移或极限速度时，所能达到的最大阻尼力值。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震加固方案宜进行安全、技术和经济综合分析，并与其它抗震加固方案进行比较后确定。

4.1.2 既有建筑加固完成后的后续使用年限，应由业主和设计单位根据需求和实施可行性商定，并应符合以下原则：

- a) 若现有建筑的剩余设计使用年限小于等于 30 年，其后续使用年限不应少于 30 年；在 90 年代（按当时施行的抗震设计规范系列设计）建造的现有建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的 B 类建筑进行抗震鉴定。
- b) 若现有建筑的剩余设计使用年限大于 30 年且小于等于 40 年，其后续使用年限不应少于 40 年；在 2001 年以后（按当时施行的抗震设计规范系列设计）建造的现有建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求进行抗震鉴定。
- c) 若现有建筑的剩余设计使用年限大于 40 年，其后续使用年限不应少于 50 年。

4.1.3 采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的方法进行抗震验算时，宜计入加固后仍存在的构造影响，并应符合下列要求：

- a) 对于后续使用年限 50 年的结构，材料性能设计指标、地震作用、地震作用效应调整、结构构件承载力抗震调整系数均应按国家现行标准的有关规定执行。
- b) 对于后续使用年限少于 50 年的结构，即现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的 A、B 类建筑结构，其设计特征周期、原结构构件的材料性能设计指标、地震作用效应调整等应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定采用，结构构件的“承载力抗震调整系数”应采用下列“抗震加固的承载力调整系数”替代：
 - 1) A 类建筑，加固后的构件仍应依据其原有构件按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的“抗震鉴定的承载力调整系数”值采用；新增钢筋混凝土构件、砌体墙体可仍按原有构件对待。
 - 2) B 类建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的“承载力抗震调整系数”值采用。

4.1.4 采用消能减震技术加固后的结构应达到现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的要求或满足本规程规定的性能化目标要求。

4.1.5 采用消能减震技术按性能化目标加固的既有结构，其最大适用高度可适当增加，当其高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定时，应进行专项研究。

4.1.6 按性能化目标进行消能减震加固时，按表 4.1.6.1 规定的性能目标确定不同水准地震作用下的层间位移参考指标，按表 4.1.6.2 确定不同水准地震作用下的承载力参考指标。

表 4.1.6.1 消能减震抗震加固性能要求层间位移参考指标

性能目标	多遇地震		设防地震		罕遇地震	
	宏观损坏程度	变形要求	宏观损坏程度	变形要求	宏观损坏程度	变形要求
性能 1	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻微损坏	(1.0~1.5) [Δu_e]
性能 2	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻微损坏	(1.0~1.5)	轻度损坏	(1.5~2.0)

				$[\Delta u_e]$		$[\Delta u_e]$
性能 3	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻度损坏	$(1.5\sim 2.0)$ $[\Delta u_e]$	中等破坏	$(2.0\sim 4.0)$ $[\Delta u_e]$
性能 4	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	中度损坏	$(2.0\sim 4.0)$ $[\Delta u_e]$	不严重破坏	$<0.9[\Delta u_p]$

注：区间符号“ $($ ”表示不包括下限数据，“ $]$ ”表示包括上限数据。

表 4.1.6.2 消能减震抗震加固性能要求承载力参考指标

性能目标	多遇地震		设防地震		罕遇地震	
	宏观损坏程度	承载力要求	宏观损坏程度	承载力要求	宏观损坏程度	承载力要求
性能 1	完好、无损坏	按常规设计	完好、无损坏	承载力按不计抗震等级调整地震效应的设计值复核	轻微损坏	承载力按标准值复核
性能 2	完好、无损坏	按常规设计	轻微损坏	承载力按标准值复核	轻度损坏	竖向构件承载力按标准值复核
性能 3	完好、无损坏	按常规设计	轻度损坏	竖向构件承载力按标准值复核	中等破坏	承载力按极限值复核
性能 4	完好、无损坏	按常规设计	中度损坏	承载力按极限值复核	不严重破坏	承载力达到极限值后能保持稳定,降低少于 10%

4.1.7 消能减震加固设计时，消能部件应符合下列要求：

- 消能部件的性能参数应经试验验证。
- 消能部件应设置在采取便于检查和替换的部位。
- 设计文件上应注明对消能部件的性能要求，安装前应按规定进行检测，确保性能符合要求。
- 设计文件中应注明消能器使用的环境、检查和维护要求。
- 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。
- 正常使用状态下不需要承载的消能器不需要做防火处理，承载型消能器应防火；经过火灾高温环境，应对消能器进行检查和试验。

4.1.8 消能减震加固工程的设计计算除本规程明确规定以外，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 和《建筑消能阻尼器》JG/T 209 等有关规定。

4.1.9 消能减震加固结构地基基础的设计应符合现行国家标准《既有建筑地基基础加固技术规程》JGJ 123 的相关规定。

4.1.10 中小学校校舍、医院及应急避难场所的钢筋混凝土框架结构抗震加固时宜采用消能减震技术，罕遇地震下弹塑性层间位移角不应大于 1/120。

4.1.11 单个消能部件承担地震力的水平分量不宜大于 1/4 楼层剪力。

4.2 消能减震结构分析

4.2.1 既有建筑结构的消能减震加固应进行多遇地震作用效应计算，此时结构构件可按弹性状态计算，消能器应考虑非线性或按等效线性状态，内力和变形分析可采用线性静力方法或非线性动力方法。

4.2.2 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、弹性时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法。

4.2.3 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加给主体结构的有效阻尼比的总和；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。

4.2.4 消能减震结构的自振周期应根据消能减震结构的总刚度确定，总刚度应为结构刚度和消能部件附加给结构的有效刚度之和。

4.2.5 在非线形分析中，消能减震结构的恢复力模型应包括结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型，消能器的恢复力模型应采用成熟的模型并经试验验证，主要性能参数应能正确反映消能器对主体结构刚度和阻尼的贡献。

4.2.6 消能器的恢复力模型宜按下列规定选取：

- a) 金属消能器可采用双线性模型、三线性模型或 Wen 模型。
- b) 摩擦消能器可采用理想弹塑性模型。
- c) 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型。
- d) 黏弹性消能器可采用开尔文模型。
- e) 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联具体确定。
- f) 消能器的恢复力模型参数应通过足尺试验确定。

4.2.7 利用计算机进行结构消能减震分析，应符合下列要求：

- a) 计算模型的建立、必要的简化计算与处理，应符合结构的实际情况，计算中应考虑楼梯构件的影响。
- b) 计算模型应正确反映消能部件的边界条件，消能器的计算模型应符合消能器滞回曲线的特点。
- c) 计算软件的技术条件应符合本规程及有关标准的规定，并应阐明其特殊处理的内容和依据。
- d) 弹塑性时程分析宜采用两个及两个以上计算软件，并对计算结果进行合理性分析比较。
- e) 所有计算机计算结果，应经分析判断确定其合理、有效后方可用于工程设计。

4.3 消能器的基本要求

4.3.1 消能器可采用速度相关型的消能器，包括黏滞消能器、黏弹性消能器等；或位移相关型的消能器，包括摩擦消能器、金属消能器（包含屈曲约束支撑、金属剪切型消能器和金属弯曲线型消能器等）等；或复合型消能器。消能器应符合下列规定：

- a) 消能器应具备良好的变形能力和耗能性能。
- b) 在 10 年一遇设计风荷载作用下，黏滞消能器、黏弹性消能器应进入工作状态；摩擦消能器可进入滑动状态，摩擦力应保持稳定；金属消能器不应发生屈服变形。
- c) 多遇地震作用下，黏滞消能器、黏弹性消能器应进入工作状态；摩擦消能器应进入滑动状态；金属剪切型消能器和金属弯曲线型消能器可适当进入屈服状态；屈曲约束耗能支撑不应进入屈服状态，仅提供刚度。
- d) 消能器性能参数应当符合设计要求。

4.3.2 消能器的计算位移、计算速度为罕遇地震作用下通过计算分析得到的消能器两端的相对位移值或两端相对运动速度值。消能器的计算阻尼力为罕遇地震下通过计算分析得到的消能器阻尼力。消能器的设计位移和设计速度应不小于计算位移、计算速度的 1.2 倍。消能器的设计阻尼力为消能器设计位移或设计速度下对应的阻尼力。

4.3.3 设计文件中应明确注明消能器的性能参数和数量：

- a) 黏滞消能器应明确的参数：设计阻尼力、阻尼系数、阻尼指数、设计位移。
- b) 黏弹性消能器应明确的参数：表观剪应变极限值、设计阻尼力、表观剪切模量和损耗因子。
- c) 金属消能器应明确的参数：屈服荷载、屈服位移、初始刚度、屈服后刚度、设计阻尼力和设计位移。
- d) 摩擦消能器应明确的参数：起滑阻尼力、起滑位移、初始刚度、设计阻尼力和设计位移。

4.3.4 消能器的检验除符合本规程第 7 章的规定，应符合下列规定：

- a) 消能器应具有型式检验报告
- b) 消能器的抽样应由监理单位根据设计文件和本规程的有关规定进行。
- c) 消能器的检测应由第三方进行

4.4 消能部件的材料和施工

4.4.1 支撑及连接件一般采用钢结构，也可采用钢管混凝土或钢筋混凝土构件。对支撑材料和施工有特殊规定时，应在设计文件中注明。

4.4.2 钢筋混凝土、钢-混凝土组合构件作为消能器的支撑构件时，其混凝土强度等级不应低于 C30。

4.4.3 消能部件的安装，宜在主体结构加固完成后进行安装；若在主体结构加固施工时进行，计算分析时应考虑消能部件安装次序的影响。消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形。

5 消能器的技术性能

5.1 一般要求

5.1.1 消能器的设计使用年限不宜小于建筑物加固后续使用年限。当消能器设计使用年限小于建筑物的后续使用年限时，消能器达到使用年限时应及时检测，重新确定消能器后续使用年限或更换。

5.1.2 消能器需要考虑防腐、除锈和防火时，应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，但不能影响消能器的正常工作。

5.1.3 消能器宜经过消能减震结构或子结构力学性能试验，验证消能器的性能和减震效果。

5.1.4 消能器极限位移、极限速度是指消能器产品实际能达到的最大变形量、速度值。消能器的极限位移、极限速度应不小于消能器设计位移、设计速度的 1.2 倍。对于黏滞消能器及计算位移小于 100mm 的消能器，极限位移和极限速度应不小于设计位移、设计速度的 1.5 倍。消能器的极限阻尼力为消能器极限位移或极限速度下的阻尼力。

5.1.5 消能器的性能应符合下列规定：

- a) 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器 1.5 倍设计阻尼力选取，应保证消能器中构件在罕遇地震作用下都能正常工作。
- b) 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、无异常。

5.1.6 消能器应具有良好的抗疲劳、抗老化性能，相关指标应同时满足《建筑消能阻尼器》JG/T 209 和《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 中相关规定要求。

5.2 速度相关型消能器

5.2.1 黏滞消能器

5.2.1.1 黏滞消能器的外观应符合下列规定：

- 黏滞消能器产品外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀。
- 黏滞消能器密封处制作精细、无渗漏。
- 黏滞消能器各构件尺寸允许偏差应符合表 5.2.1.1 规定。

表 5.2.1.1 黏滞消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏滞消能器长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
黏滞消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$

5.2.1.2 黏滞消能器的材料应符合下列规定：

- 黏滞消能器的黏滞阻尼材料要求黏温关系稳定、闪点高、不易燃烧、不易挥发、无毒和抗老化性能强。
- 用于制作黏滞消能器的钢材应根据设计需要进行选择，缸体和活塞杆一般宜采用优质碳素结构钢、合金结构钢或不锈钢。优质碳素结构钢应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定；合金结构钢应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077 的规定；结构用无缝钢管应符合现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的规定；不锈钢棒应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220 的规定，不锈钢管应符合现行国家标准《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14796 的规定。
- 黏滞消能阻尼器密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的密封材料。

5.2.1.3 黏滞消能器的力学性能要求，应符合表 5.2.1.3 的规定。

表 5.2.1.3 黏滞消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限位移	每个实测产品极限位移值应不小于极限位移设计值。
2	最大阻尼力	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
3	极限速度	1 每个实测产品极限速度值应不小于极限速度设计值。
4	阻尼指数	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。

5.2.1.4 黏滞消能器的耐久性能要求，应符合表 5.2.1.4 的规定，且要求消能器在试验后无渗漏、无裂纹。

表 5.2.1.4 黏滞消能器耐久性要求

项目	性能要求	
疲劳性能	阻尼指数	变化率不大于 $\pm 15\%$
	最大阻尼力	变化率不大于 $\pm 15\%$
	滞回曲线	变化率不大于 $\pm 15\%$
	滞回曲线面积	光滑，无异常，包络面积变化率不大于 $\pm 15\%$
密封性能	最大阻尼力	衰减不超过 5%，消能器不漏油

5.2.1.5 黏滞消能器的加载频率相关性能和温度相关性能要求，应符合表 5.2.1.5 的规定。

表 5.2.1.5 黏滞消能器加载频率相关性能和温度相关性能要求

项目		性能要求
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%
温度相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%

5.2.2 黏弹性消能器

5.2.2.1 黏弹性消能器的外观应符合下列规定：

- 要求黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺，涂刷防锈涂料两次，钢板坡口焊接，焊缝一级、平整。
- 黏弹性材料表面应密实、平整。
- 黏弹性材料与薄钢板之间应密实、无裂缝。
- 黏弹性消能器的尺寸偏差符合表 5.2.2.1 规定。

表 5.2.2.1 黏弹性消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏弹性消能器长度	不超过产品设计值的±3mm
黏弹性消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值的±2mm
黏弹性层厚度	±3%

5.2.2.2 黏弹性消能器的主要材料应符合下列规定：

- 橡胶类黏弹性材料质量指标应符合表 5.2.2.2 规定。
- 黏弹性消能器的钢材质量指标应符合 GB /T700 中碳素结构钢 Q235 或低合金钢的要求。
- 黏弹性材料在火灾发生过程中不应产生有毒气体。

表 5.2.2.2 黏弹性材料质量指标

项目		指标
拉伸强度, MPa		≥ 15
扯断伸长率, %		≥ 380
扯断永久变形, %		≤ 22
热空气老化 72℃ 72h	拉伸强度变化率, %	≤ (- 20~20)
	扯断伸长变化率, %	≤ (- 20~20)
(0~40)℃工作频率材料损耗因子 β		≥ 0.5
钢板和阻尼材料之间的黏合强度, MPa		≥ 4.3

5.2.2.3 黏弹性消能器的力学性能应符合表 5.2.2.3 的规定。

表 5.2.2.3 黏弹性消能器力学性能要求

项目	性能要求
表观剪应变极限值	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
极限阻尼力	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
表观剪切模量	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
损耗因子	实测值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内。
滞回曲线	实测滞回曲线应光滑，无异常，在同一测试条件下，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内

5.2.2.4 黏弹性消能器的耐久性（老化性能、疲劳性能和防腐性能）应符合表 5.2.2.4 的规定。

表 5.2.2.4 黏弹性消能器的耐久性要求

项目		性能要求
老化性能	变形	变化率不大于 $\pm 15\%$
	极限阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	变化率不大于 $\pm 15\%$
	外观	目测无变化
疲劳性能	变形	变化率不大于 $\pm 15\%$
	极限阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	变化率不大于 $\pm 15\%$
	外观	目测无变化
防腐性能	外观	目测无锈蚀

5.2.2.5 黏弹性消能器的变形相关性能、加载频率相关性能和温度相关性能应符合表 5.2.2.5 的规定。

表 5.2.2.5 黏弹性消能器变形性能、加载频率相关性能和温度相关性能要求

项目		性能要求
变形相关性能	最大阻尼力	变化率不大于 $\pm 15\%$
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化率不大于 $\pm 15\%$
温度相关性能	最大阻尼力	变化率不大于 $\pm 15\%$

5.3 位移相关型消能器

5.3.1 金属消能器

5.3.1.1 金属消能器的外观应符合下列规定：

- a) 金属消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。

- b) 消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- c) 金属消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 5.3.1.2 金属消能器的材料应符合下列规定：
- a) 金属消能器可采用钢材、铅等材料制作。
- b) 采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板的厚度不宜超过 80mm，钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑形变形能力和良好的焊接性能。
- c) 金属消能器中材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。
- 5.3.1.3 金属消能器的力学性能要求，应符合表 5.3.1.3 规定。

表 5.3.1.3 金属消能器力学性能要求

—	序号	项目	性能要求
常规性能	1	屈服荷载	每个产品的屈服荷载实测值允许偏差应为屈服荷载设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	2	屈服位移	每个实测产品屈服位移的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	3	屈服后刚度	每个实测产品屈服后刚度的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	4	极限荷载	每个实测产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于设计位移值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为产品设计值的 $\pm 15\%$ ；产品实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
疲劳性能	1	阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 2) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$
疲劳性能	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$

5.3.1.4 金属消能器整体稳定和局部稳定应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定，消能器在消能方向运动时，平面外应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

5.3.2 摩擦消能器

5.3.2.1 摩擦消能器的外观应符合下列规定：

- a) 摩擦消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。
- b) 摩擦消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

5.3.2.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

- a) 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等。
- b) 摩擦消能器的性能主要由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定，摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的 10%。
- c) 摩擦消能器预压螺栓宜采用高强度螺栓，高强度螺栓的数量 n 可由下式确定，且不应少于 2 个：

$$n \geq \frac{1.2F_{d\max}}{0.9n_f \mu P} \quad \dots\dots (5.3.2.2)$$

式中：

n_f ——传力摩擦面数；

μ ——摩擦面的抗滑移系数，可按表 5.3.6-1 采用；

P ——每个高强度螺栓的预压力（kN），可按表 5.3.6-2 采用；

$F_{d\max}$ ——摩擦消能器最大阻尼力（kN）。

表 5.3.2.2-1 摩擦面的抗滑移系数 μ 值

连接处构件表面处理方法	构件的钢号		
	Q235	Q324	Q390
喷砂（丸）	0.45	0.50	0.55
喷砂（丸）后涂无机富锌漆	0.35	0.40	0.40
喷砂（丸）后生赤锈	0.45	0.50	0.50
钢丝刷消除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	0.35	0.40

表 5.3.2.2-2 每个高强度螺栓预拉力 P 值

螺栓性能等级	螺栓规格					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

- d) 摩擦消能器中采用的摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，不应生锈，并应满足消能器预压力作用下的强度要求。
- e) 摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

5.3.2.3 摩擦消能器力学性能要求，应符合表 5.3.2.3 规定。

表 5.3.2.3 金属消能器力学性能要求

—	序号	项目	性能要求
常规性能	1	起滑阻尼力	每个产品起滑阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	2	起滑位移	每个产品起滑位移的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	3	初始刚度	每个产品初始刚度的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	4	极限荷载	每个产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于设计位移值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
疲劳性能	1	摩擦荷载	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 2) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$

5.3.2.4 摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、磨耗和锈蚀。

5.4 复合型消能器

5.4.1 复合型消能器的外观应符合下列规定：

- a) 消能器外观应平整、光滑、无锈蚀、无明显缺陷，标识清晰；
- b) 消能器的防腐、除锈和防火应满足本规程第 4.1.2 节规定；
- c) 消能器的尺寸偏差应根据复合消能器的具体特点，并参考本规程第 4.2.1、4.2.6、4.3.1、4.3.5 节的规定综合考虑确定。

5.4.2 复合型消能器的性能应满足本规程第 4.1 节规定，并应根据位移相关型消能器和速度相关型消能器的性能综合考虑确定。

5.5 消能器性能检验

5.5.1 消能器性能（第三方）检验的检验批划分，应符合下列规定：

- a) 对于黏滞消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 20%，且不应少于 2 个，检验合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检验合格后，消能器若无任何损伤、力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构。

- b) 对于黏弹性消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构。
 - c) 对于摩擦消能器、金属剪切型消能器、金属弯曲线型消能器和复合型消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构，检测后的消能器不应用于主体结构。
 - d) 对于屈曲约束耗能支撑，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的 3%，但不少于 2 个，检验支撑的工作性能和拉压反复荷载作用下的滞回性能，检验合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的屈曲约束支撑不应用于主体结构。
- 5.5.2 产品检测合格率未达到 100%时，应在同批次抽检产品数量加倍抽检；加倍抽检的检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构；加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%，该批次消能器不能在主体结构中使用。
- 5.5.3 全部产品均应进行外观质量检验，检验方法为目测及常规量具测量评定。

6 消能减震结构加固设计进场

6.1 一般规定

6.1.1 既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固应符合下列要求：

- a) 消能减震加固方案应根据抗震鉴定结果综合分析后确定，宜减少对原结构构件的加固量。既有建筑的结构较柔，不满足多遇地震下结构变形要求时，宜优先采用能提高附加刚度的消能器。
- b) 采用消能减震技术进行设计后仍需进行常规加固的混凝土构件，框架加固后应避免形成短柱、短梁或强梁弱柱；抗震墙避免形成强弯弱剪；仍需加固的钢结构，加固后应避免形成强梁弱柱或强构件弱节点。
- c) 刚度分布不均匀的建筑，可采用金属消能器，使加固后的结构刚度分布较均匀。
- d) 应加强楼、屋盖整体性。
- e) 宜减少地基基础的加固量，多采用提高上部结构抵抗不均匀沉降能力的措施，并应计入不利场地的影响。

6.1.2 在既有建筑加固前，应通过原结构的设计施工资料、岩土地质勘察报告、结构抗震鉴定报告以及结构检测报告等文件，掌握既有工程上部结构和地基基础的现状，结合实地勘察，了解需消能减震加固结构的周边环境条件。

6.1.3 消能减震结构的抗震性能化设计，应根据既有建筑结构的实际需求，分别选定针对整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。抗震设防目标不应低于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 规定。

6.1.4 消能减震结构加固设计的力学分析模型，应符合结构的实际工作情况，模型应同时包括主体结构与消能部件。

6.1.5 消能减震结构加固设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定：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。

6.1.6 在“L”形和“T”形、“十”形平面或类似平面布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，相交处的竖向构件受力计算应考虑双向地震作用。存在凹凸不规则、细腰型平面或楼

板不连续等不规则项的既有建筑，当几部分结构的连接薄弱时，应考虑连接部位各构件的实际构造及连接的可靠程度，必要时可取结构整体模型和分开模型计算不利情况，或要求某部分结构在设防烈度下保持弹性工作状态。

6.1.7 既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固时，其地震作用、结构抗震计算方法、重力代表值、地震影响系数、地震作用效应组合和抗震构造措施应依据加固后的结构形式，高度和规则程度以及后续使用年限等，按照《建筑抗震设计规范》GB 50011 相关规定执行，也可参照《建筑工程抗震性态设计通则》CECS160 的相关规定。

6.1.8 消能部件应对结构提供足够的附加阻尼，并应根据其结构类型符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应章节的设计要求。

6.1.9 既有建筑消能减震加固房屋上部结构与其他房屋或结构相邻时应设置竖向隔离缝，缝宽应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的防震缝宽度要求。

6.1.10 既有建筑消能减震加固房屋的地基基础设计和抗震措施，应符合所在地区抗震设防的要求。与消能减震装置相连的竖向构件的地基和基础应进行验算，与消能器不相连的部位按非消能减震房屋符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定时，其地基和基础可不进行验算。

6.2 地震作用与地震作用效应计算

6.2.1 既有建筑消能减震房屋加固设计结构的地震作用，应符合下列规定：

- a) 一般情况，应至少在结构两个主轴方向分别计算水平地震作用。
- b) 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。
- c) 质量与刚度分布明显不对称的结构，应计算双向水平地震作用下的扭转影响；其它情况，应计算单向水平地震作用下的扭转影响。
- d) 8 度的大跨度与长悬臂消能减震结构，应计算竖向地震作用。

6.2.2 既有建筑房屋加固设计时，消能减震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：

- a) 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法。
- b) 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于非线性工作状态时，可将消能器进行等效线性化，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法；也可采用弹塑性时程分析法。
- c) 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

6.2.3 采用振型分解反应谱法分析时，宜采用时程分析法进行多遇地震下的补充计算，当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程分析法包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取 7 组及 7 组以上的时程曲线时，计算结果可取时程分析法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。动力弹塑性分析时宜取三组加速度时程曲线计算结果的包络值或七组加速度时程曲线计算结果的平均值。

6.2.4 下列情况应采用弹性时程分析进行多遇地震下的补充验算：

- a) 特别不规则结构、甲类建筑及表 6.2.4 所列高度范围的高层建筑。
- b) 消能器沿竖向布置不均匀时。

表 6.2.4 采用时程分析的房屋高度范围

烈度、场地类别	房屋高度范围
7 度和 8 度 I、II 类场地	>90m
8 度 III、IV 类场地	>70m

6.2.5 采用时程法分析时，应按建筑场地类别和设计地震分组选实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际强震记录数量不应少于总数的 2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，且持时不应小于结构基本周期的 5 倍和 15 秒。对于后续使用年限不应少于 30 年的建筑，地震加速度时程的最大值可按表 6.2.5-1 采用。对于后续使用年限不应少于 40 年的建筑，地震加速度时程的最大值可按表 6.2.5-2 采用。对于后续使用年限不应少于 50 年的建筑，地震加速度时程的最大值可按表 6.2.5-3 采用。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算主体结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

表 6.2.5-1 后续使用年限不应少于 30 年的建筑

时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值 (cm/s^2)

地震影响	6 度	7 度		8 度	
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
多遇地震	14	26	41	53	83
设防地震	40	81	122	162	244
罕遇地震	94	165	233	300	383

表 6.2.5-2 后续使用年限不应少于 40 年的建筑

时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值 (cm/s^2)

地震影响	6 度	7 度		8 度	
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
多遇地震	16	31	48	62	97
设防地震	45	91	137	183	275
罕遇地震	110	194	273	352	449

表 6.2.5-3 后续使用年限不应少于 50 年的建筑

时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值 (cm/s^2)

地震影响	6 度	7 度		8 度	
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
多遇地震	18	35	55	70	110
设防地震	50	100	150	200	300
罕遇地震	125	220	310	400	510

6.2.6 结构进行弹塑性计算分析时，应符合下列规定：

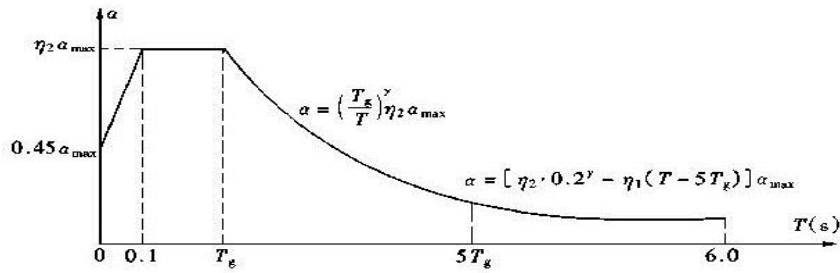
- 主体建筑的梁、柱、斜撑、剪力墙、楼板等结构构件，应根据实际情况和分析精度要求采用合适的计算模型；
- 计算模型中构件的几何尺寸、混凝土构件所配的钢筋和型钢、钢构件等应按实际情况考虑；

- c) 应合理取用钢筋、钢材、混凝土材料的力学性能指标以及本构关系。钢筋和混凝土材料的本构关系可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定采用；钢材的本构关系可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定采用；
- d) 应考虑几何非线性影响；
- e) 应考虑消能器的非线性特性，非线性模型应满足本规程 3.2.6 的规定。
- f) 应考虑加固措施对结构及构件内力重分布的影响。
- 6.2.7 采用静力弹塑性分析方法分析时应满足下列要求：
- a) 消能部件中消能器和支撑根据连接形式不同，可采用串联模型或并联模型，将消能器刚度和支撑的刚度进行等效，在计算中消能部件采用等刚度的连接杆代替。
- b) 结构目标位移的确定应根据结构的不同性能来选择，宜采用结构总高度的 1.5% 作为顶点位移的界限值。
- c) 消能减震结构的主体结构阻尼比应取结构弹塑性状态时的阻尼比。
- 6.2.8 消能减震结构采用弹塑性时程分析法计算时，根据主体结构构件弹塑性参数和消能部件的参数确定消能减震结构非线性分析模型，相对于弹性分析模型可有所简化，但二者在多遇地震下的线性分析结果应基本一致。
- 6.2.9 计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构配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，应按表 6.2.9 采用。

表 6.2.9 各可变荷载的组合值系数

可变荷载种类		组合值系数
雪荷载		0.5
屋面积灰荷载		0.5
屋面活荷载		不计入
按实际情况计算的楼面活荷载		1.0
按等效均布荷载计算的 楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
	其他民用建筑	0.5
吊车悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	软钩吊车	不计入

- 6.2.10 建筑结构多遇地震下地震影响系数曲线（图 6.2.10）的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：
- a) 当消能减震加固后结构的阻尼比为 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应取 1.0，形状参数应符合下列规定：
- 3) 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。
 - 4) 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值 α_{\max} 。
 - 5) 曲线下降段，特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.9。
 - 6) 直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，下降斜率调整系数应取 0.02。



α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值； η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数；
 γ —衰减指数； T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

图 6.2.10 多遇地震地震影响系数

b) 当消能减震结构的阻尼比不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

7) 曲线及直线下降段的衰减指数应按下列式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad \dots\dots(6.2.10-1)$$

式中：

γ ——曲线下降段的衰减指数；
 ζ ——消能减震结构总阻尼比。

8) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下列式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad \dots\dots(6.2.10-2)$$

式中：

η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

9) 阻尼调整系数应按下列式确定：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad \dots\dots(6.2.10-3)$$

式中：

η_2 ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

c) 水平地震影响系数最大值应根据后续使用年限按表 6.2.10-1 采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 6.2.10-2 采用。

表 6.2.10-1 多遇地震水平地震影响系数最大值

加固结构类别	设防烈度		
	6	7	8
A	0.03	0.06 (0.09)	0.12 (0.18)
B	0.035	0.07 (0.11)	0.14 (0.21)
C	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)

注：括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

表 6.2.10-2 多遇地震反应谱特征周期 (s)

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

6.2.11 采用振型分解反应谱法分析时，不考虑扭转耦联振动影响的结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

a) 结构 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m) \quad \dots\dots (6.2.11-1)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i} \quad \dots\dots (6.2.11-1)$$

式中：

F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值(kN)；

α_j —— 相应于 j 振型自振周期的地震影响系数，应按本规程第 5.1.11 条确定；

X_{ji} —— j 振型 i 质点的水平相对位移 (m)；

γ_j —— 振型的参与系数；

G_i —— 集中于 i 质点的重力荷载代表值 (kN)。

b) 水平地震作用效应 (弯矩、剪力、轴向力和变形)，应按下式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum S_j^2} \quad \dots\dots (6.2.11-3)$$

式中：

S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应；

S_j —— j 振型水平地震作用标准值的效应，可只取前 2~3 个振型，当基本自振周期大于 1.5s 或房屋高宽比大于 5 时，振型个数应适当增加。

6.2.12 消能减震结构计算水平地震作用扭转影响时，应按下列规定计算地震作用和作用效应：

- a) 规则结构不进行扭转耦联计算时，平行于地震作用方向的两个边榀各构件，其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况下，短边可按 1.15 采用，长边可按 1.05 采用；当扭转刚度较小时，角边各构件宜按不小于 1.30 采用，角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数。
- b) 按扭转耦联振型分解法计算时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。

1) j 振型 i 层的水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{xji} = \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} G_i \quad \dots\dots (6.2.12-1)$$

$$F_{yji} = \alpha_j \gamma_{ij} Y_{ji} G_i (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m) \quad \dots\dots (6.2.12-2)$$

$$F_{\phi ji} = \alpha_j \gamma_{ij} \gamma_i^2 \phi_{ji} G_i \quad \dots\dots (6.2.12-3)$$

式中：

F_{xji} F_{yji} $F_{\phi ji}$ ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向和转角方向地震作用标准值 (kN)；

X_{xji} 、 Y_{yji} ——分别为 j 振型 i 层质心在 x 、 y 方向的水平相对位 (m)；

ϕ_{ji} —— j 振型 i 层的相对扭转转角；

γ_i —— i 层的转动半径，可取 i 层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根；

γ_{ij} ——计入扭转的 j 振型的参与系数，可按下列公式确定。

当仅取 x 方向地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \gamma_i^2 \phi_{ji}^2) G_i} \quad \dots\dots (6.2.12-3)$$

当仅取 y 方向地震作用时

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \gamma_i^2 \phi_{ji}^2) G_i} \quad \dots\dots (6.2.12-5)$$

当取于 x 方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \gamma_{xj} \cos \theta + \gamma_{yj} \sin \theta \quad \cdots \cdots (6.2.12-6)$$

式中:

γ_{xj} 、 γ_{yj} ——分别由式(6.2.12-4)、式(6.2.12-5)求得的参与系数;

θ ——地震作用方向与 x 方向的夹角($^{\circ}$)。

2) 单向水平地震作用下的扭转耦联效应, 可按下列公式计算:

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad \cdots \cdots (6.2.12-7)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad \cdots \cdots (6.2.12-8)$$

式中:

S_{Ek} ——地震作用标准值的扭转效应;

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型地震作用标准值的效应, 可取前 9~15 个振型;

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比;

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦联系数;

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

3) 双向水平地震作用的扭转耦联效应, 可按下列公式中的较大值确定:

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad \cdots \cdots (6.2.12-9)$$

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_x)^2} \quad \cdots \cdots (6.2.12-10)$$

式中:

S_x 、 S_y ——分别为 x 向、 y 向单向水平地震作用按式(6.2.12-7)计算的扭转效应。

6.2.13 在条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段, 水平地震作用应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定乘以增大系数 1.1~1.6。

6.2.14 既有建筑消能减震加固结构的楼层水平地震剪力应按下列原则分配:

- a) 现浇和装配整体式混凝土楼(屋)盖等刚性楼(屋)盖建筑, 宜按抗侧力构件有效刚度的比例分配。
- b) 普通预制装配式混凝土楼(屋)盖等半刚性楼(屋)盖建筑, 可按抗侧力构件有效刚度的比例分配与按抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配结果的平均值。

- c) 结构计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形和扭转影响时，可按现行国家规范《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定对本条第 1、2 款的分配结果做适当调整。

6.2.15 抗震验算时，结构任一楼层的水平地震剪力应符合下式规定：

$$V_{Eki} > \lambda \sum_{j=i}^n G_j \quad \dots\dots (6.2.15-1)$$

式中：

V_{Eki} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力 (kN)；

λ ——剪力系数，不应小于表 6.2.13 规定的楼层最小地震剪力系数值；对竖向不规则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数；

G_j ——第 j 层的重力荷载代表值(kN)。

表 6.2.15 楼层最小地震剪力系数值

类别	6 度	7 度		8 度	
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
扭转效应明显或基本周期小于 3.5s 的结构	0.008	0.016	0.024	0.032	0.048
基本周期大于 5.0s 的结构	0.006	0.012	0.018	0.024	0.036

注：基本周期介于 3.5s 和 5s 之间的结构，可插入取值。

6.2.16 消能减震结构抗震计算，一般情况下可不计入地基与结构相互作用的影响；8 度时建造于 III、IV 类场地，采用箱基、刚性较好的筏基和桩箱、桩筏联合基础的钢筋混凝土高层消能减震结构，当结构基本自振周期处于特征周期的 1.2 倍~5 倍范围时，若计入地基与结构动力相互作用的影响，对刚性地基假定计算的水平地震剪力可按下列规定折减，其层间变形可按折减后的楼层剪力计算。

- a) 高宽比小于 3 的结构，各楼层水平地震剪力的折减系数，可按下列式计算：

$$\psi = \left(\frac{T_1}{T_1 + \Delta T} \right)^{0.9} \quad \dots\dots (6.2.16-1)$$

式中：

ψ ——计入地基与结构动力相互作用后的地震剪力折减系数；

T_1 ——按刚性地基假定确定的结构基本自振周期 (s)；

ΔT ——计入地基与结构动力相互作用的附加周期 (a)，可按表 6.2.16 采用。

表 6.2.16 附加周期 (s)

烈度	场地类别	
	III 类	IV 类
8	0.08	0.20

- b) 高宽比不小于 3 的结构，底部的地震剪力按第 1 款规定折减，顶部不折减，中间各层按线性插入值折减。
- c) 折减后各楼层的水平地震剪力，应符合本规程第 6.2.15 条的规定。
- 6.2.17 平板型网架屋盖和跨度大于 24m 屋架的消能减震结构竖向地震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按表 6.2.17 采用。

表 6.2.17 竖向地震作用系数

结构类型	烈度	场地类别		
		I	II	III、IV
平板型网架、钢屋架	8	可不计算 (0.10)	0.08 (0.12)	0.10 (0.15)
钢筋混凝土屋架	8	0.10 (0.15)	0.13 (0.19)	0.13 (0.19)

注：括号中数值用于设计基本地震加速度为 0.30g 的地区。

6.2.18 长悬臂和其他大跨度消能减震结构的竖向地震作用标准值。8 度可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10%；设计基本地震加速度为 0.30g 时，可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

6.2.19 在多遇地震作用下，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合的效应设计值应按下式计算：

$$S_d = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \quad \dots\dots (6.2.19-1)$$

式中：

S_d ——荷载和地震作用组合的效应设计值；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数、调整系数；

S_{wk} ——风荷载标准值的效应；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况下应采用 1.2，当重力荷载效应对构件承载力有利时，不应大于 1.0；

γ_w ——风荷载分项系数，应采用 1.4；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值；

ψ_w ——风荷载的组合值系数，一般结构取 0.0，风荷载起控制作用的建筑应取 0.2。

6.2.20 在罕遇地震作用下，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合的效应应按下列式计算：

$$S_d = S_{GE} + \psi_e S_{Ek} + \psi_w S_{wk} \quad \dots\dots (6.2.20-1)$$

式中：

S_{Ek} ——罕遇地震作用标准值的效应；

ψ_e ——地震作用的频率系数，一般结构取 1.0

6.2.21 结构构件截面按下式进行抗震验算：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad \dots\dots (6.2.21-1)$$

式中：

S ——结构构件内力（轴向力、剪力、弯矩等）的设计值；有关的作用分项系数、组合值系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定采用。

R ——结构构件承载力设计值，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的相关规定采用。

γ_{RE} ——抗震承载力调整系数，除本规程各章节另有规定外，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定采用。

6.2.22 当进行罕遇地震作用下的抗震验算时，结构构件承载力抗震调整系数均采用 1.0。采用消能减震技术加固后，消能减震结构的层间弹塑性位移角限值，应符合预期的变形控制要求，宜比非消能减震结构适当减小。结构的抗震变形验算应符合下列规定：

a) 结构多遇地震下的弹性层间位移角限值应按表 6.2.22-1 取值。

表 6.2.22-1 结构消能减震加固后弹性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架	1/550
钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑	1/550
钢筋混凝土框架-抗震墙、板柱-抗震墙、框架-核心筒	1/800
结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/1000
钢筋混凝土框支层	1/1000
多、高层钢结构	1/250

b) 罕遇地震下结构弹塑性层间位移角限值 A 类建筑不应大于表 6.2.22-2 限值要求，B 类和 C 类建筑不应大于表 6.2.22-3 限值要求。

表 6. 2. 22-2 A 类建筑消能减震加固后弹塑性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架	1/120
钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑	1/120
钢筋混凝土框架—抗震墙、板柱—抗震墙、框架—核心筒	1/200
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/250
多、高层钢结构	1/100

表 6. 2. 22-3 B 类和 C 类建筑结构消能减震加固后弹塑性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架	1/60
钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑	1/50
钢筋混凝土框架—抗震墙、板柱—抗震墙、框架—核心筒	1/120
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/150
多、高层钢结构	1/60

6. 2. 23 在预估的罕遇地震作用下，采用消能减震技术加固结构的薄弱层（部位）弹塑性变形计算应采用下列方法：

- a) 采用黏滞消能器和黏弹性消能器加固的建筑应采用动力弹塑性分析方法；
- b) 除 a) 款以外的建筑结构可采用静力弹塑性分析方法或动力弹塑性分析方法。弹塑性时程分析宜采用双向或三向地震输入。

6. 3 消能器的选型和布置原则

6. 3. 1 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等因素，根据结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。

6. 3. 2 消能部件的布置应满足下列各项要求：

- a) 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近，宜避免偏心扭转效应。
- b) 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。
- c) 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的相对变形或相对速度，提高消能器的减震效率。
- d) 消能部件的布置位置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。
- e) 消能器的数量和分布应通过综合分析确定，并有利于提高整体结构的消能减震能力形成均匀合理的受力体系。

6. 3. 3 消能减震结构设计时宜使各层以下设计参数接近：

- a) 位移相关型消能器：各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的层间剪力和层间位移的乘积之比的比值。
- b) 黏滞消能器：各楼层的消能部件的最大阻尼力与主体结构的层间剪力和层间位移的乘积之比的比值。
- c) 黏弹性消能器：各楼层的消能部件的刚度与结构的层间刚度比，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和层间位移的乘积之比的比值。
- d) 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大阻尼比在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的 60%。

6.4 消能减震设计

6.4.1 消能减震设计时，应根据多遇地震下的预期减震要求及罕遇地震下的预期结构位移控制要求，设置适当的消能部件。消能部件可由消能器及斜撑、墙体、梁等支撑构件组成。

6.4.2 消能部件的设计参数，除应满足本规程 5.1.4 条及《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 12.3.5 条的规定外，还应满足在极限速度下的承载力要求，应符合下列规定：

- a) 液体黏滞消能器与斜撑、墙体（支墩）或梁等支撑构件组成消能部件时，支撑构件沿消能器消能方向的刚度应满足下式：

$$K_b \geq \frac{6\pi C_D}{T_1} \quad \dots\dots (6.4.2-1)$$

式中：

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，非线性消能器可采用等效线性阻尼系数；

T_1 ——消能建筑结构的基本自振周期。

- b) 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应满足下式：

$$t \geq \Delta u / [\gamma] \quad \dots\dots (6.4.2-2)$$

式中：

t ——黏弹性消能器的黏弹性材料的总厚度；

Δu ——沿消能器方向的最大可能的位移；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

- c) 金属消能器和摩擦型消能器与斜撑、支墩等连接构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型参数宜符合下列要求：

$$K_b \geq 3K_D \quad \dots\dots (6.4.2-3)$$

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad \dots\dots (6.4.2-4)$$

式中：

K_b ——连接构件沿消能器消能方向的刚度；

K_D ——消能器的刚度；

Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} ——设置消能部件的结构层间屈服位移。

6.4.3 采用振型分解反应谱法计算时，金属消能器和摩擦型消能器可提供等效阻尼和有效刚度，液体黏滞消能器只提供等效阻尼。附加给主体结构的有效刚度和等效阻尼按下列规定计算：

- a) 金属消能器和摩擦型消能器有效刚度按消能器目标位移 Δu_j 时的割线刚度取值；
- b) 消能器等效阻尼按能量法确定时，方法如下：
 - 4) 等效阻尼比按下式计算：

$$\xi_e = \sum_j W_{cj} / (4\pi W_s) \quad \dots\dots (6.4.3-1)$$

式中：

ξ_e ——消能减震结构的附加等效阻尼比；

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；

W_s ——设置消能部件的结构在预期位移下的总应变能。

注：当消能部件在结构上分布较均匀，且附加给结构的有效阻尼比小于20%时，消能部件附加给结构的有效阻尼比也可采用强行解耦方法确定。

- 5) 不计扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式估算：

$$W_s = \frac{1}{2} \sum F_i U_i \quad \dots\dots (6.4.3-2)$$

式中：

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。

- 6) 线性液体黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

$$W_{cj} = \frac{2\pi^2}{T_1} C_j \cos^2 \theta_j \Delta u_j^2 \quad \dots\dots (6.4.3-3)$$

式中：

T_1 ——消能减震结构的基本自振周期，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；

C_j ——第 j 个消能器的线性阻尼系数；

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。

7) 非线性液体黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \quad \dots\dots (6.4.3-4)$$

式中：

λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表 6.4.3 取值；

$F_{dj\max}$ ——第 j 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力。

表 6.4.3 阻尼指数 λ_1 值（验算）

阻尼指数 α	λ_1 值
0.10	3.82
0.20	3.74
0.25	3.7
0.30	3.66
0.40	3.58
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性插值。

8) 金属消能器和摩擦型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按式估算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad \dots\dots (6.4.3-5)$$

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。

c) 采用自由振动衰减法确定消能器等效阻尼时，等效阻尼比可按式计算：

$$\xi = \frac{\delta_m}{2\pi \cdot m} \quad \dots\dots (6.4.3-6)$$

式中：

δ_m ——振幅对数衰减率， $\delta_m = \ln(S_n/S_{n+m})$ ， S_n 和 S_{n+m} 分别为第 n 和第 $n+m$ 周期振幅， m 为两振

幅间相隔的周期数。

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

6.4.5 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 Δu_{dj} 、质点 i 的水平地震作用标准值 F_i 、质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 u_i ，应采用符合本规程第6.2.3条规定的时程分析结果的包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合本规程的第6.2.3条的规定。

6.4.6 采用静力弹塑性分析方法时，计算模型中消能器宜采用第3章给出的恢复力模型，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。

6.4.7 多遇地震和罕遇地震下消能器附加给主体结构的有效阻尼比应分别计算；当消能部件附加给结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%取值。

6.4.8 采用消能减震技术进行结构加固设计时与消能器相连的结构构件设计，应考虑消能部件传递的附加内力。消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

a) 消能部件由梁单独承载时，梁的承载力应满足下式要求：

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* \leq R_k \quad \dots\dots (6.4.8-1)$$

式中：

S_{GE} ——重力荷载代表值作用的构件内力；

S_{Ehk}^* ——罕遇地震下水平作用标准值的构件内力，不考虑与抗震等级有关的增大系数；

R_k ——梁承载力极限值，混凝土强度可取立方强度0.88倍、钢筋强度可取屈服强度标准值的1.25倍、钢材强度可取屈服强度标准值的1.5倍。

b) 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值宜考虑消能部件端部的附加弯矩。

c) 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。

6.4.9 A、B（按照鉴定标准给）类结构的抗震构造措施不满足相关规定时，可采用楼层综合抗震能力指数法按下式进行验算：

$$\beta = \psi_1 \psi_2 \xi_y \quad \dots\dots (6.4.9-1)$$

$$\xi_y = V_y / V_e \quad \dots\dots (6.4.9-2)$$

式中：

β ——平面结构楼层综合抗震能力指数。大于等于1.0时，应认为符合要求；当小于1.0时，应采取加固或其他相应措施；

ψ_1 ——体系影响系数，A类结构可按本规程6.4.11条确定；B类结构可按本规程6.4.12条确定；

ψ_2 ——局部影响系数，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 取值；

ξ_y ——楼层屈服强度系数；

V_y ——楼层既有受剪承载力，可按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 附录 C 计算；

V_e ——楼层弹性地震剪力。

6.4.10 A类钢筋混凝土房屋的体系影响系数可根据结构体系、梁柱箍筋、轴压比等符合要求的程度和部位，按下列情况确定：

- a) 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定时，可取 1.0。
- b) 当各项构造均符合非抗震设计规定时，可取 0.8。
- c) 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，上述数值尚宜乘以 0.8~1.0。

6.4.11 B类钢筋混凝土房屋的体系影响系数可根据结构体系、梁柱箍筋、轴压比、墙体边缘构件等符合要求的程度和部位，按下列情况确定：

- a) 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 B类房屋鉴定规定时，可取 1.0。
- b) 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 A类房屋鉴定规定时，可取 0.8。
- c) 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，上述数值尚宜乘以 0.8~1.0。

6.5 主体结构加固设计

6.5.1 既有建筑消能减震结构构件加固设计时，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，采取相应的加固措施。且消能器与斜撑、混凝土墙体、梁或节点等支承构件的连接，应符合钢构件连接或钢与混凝土构件连接的构造要求。

6.5.2 既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固时，主体结构的加固分为如下两种情况：

- a) 采用消能减震技术后，经验算原主体结构中仍有部分构件（梁、柱、墙）及节点的承载能力和变形能力不满足地震作用要求时应对这部分构件及节点进行抗震加固或采用抗震构造加强措施。
- b) 对消能部件所作用的主体结构构件（梁、柱、墙）及节点进行承载力和变形能力验算，若不能满足要求时，应采取加固措施以满足消能部件局部作用的要求。

6.5.3 不满足地震作用要求的部分主体结构构件及节点，应按如下方法进行抗震加固设计

- a) 主体结构构件及节点的抗震加固设计应参照《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 的要求进行。
- b) 当采取消能减震技术后，结构的地震影响系数不到原结构地震影响系数的 50%时，主体结构的抗震构造措施可按降低一度考虑，经对比分析主体结构构件仍不满足降低一度后抗震构造措施要求的，应参照《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 的要求进行抗震构造措施加强。
- c) 钢筋混凝土结构采用消能减震技术进行加固设计后，可根据罕遇地震下的楼层弹塑性位移角确定相应的构造措施。

10) 罕遇地震下最大层间位移角不大于 $1.5\Delta_{ue}$ 时，C、B类钢筋混凝土房屋宜按不低于 6 度采用抗震构造措施，A类钢筋混凝土房屋可按非抗震钢筋混凝土结构的构造措施采用。

11) 罕遇地震下最大层间位移角 ($1.5\Delta_{ue} \sim 2.0\Delta_{ue}$) 时，C、B类钢筋混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低二度且不低于 6 度采用，A类钢筋混凝土房屋宜按不低于 A 类建筑的构造措施采用。

12) 罕遇地震下最大层间位移角 $(2.0\Delta u_e \sim 4.0\Delta u_e)$ 时, C、B类钢筋结构混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低一度且不低于6度采用, A类钢筋结构混凝土房屋应按A类房屋构造措施采用。

d) 钢筋混凝土柱箍筋加密区最小配箍特征值可根据罕遇地震下楼层弹塑性位移角, 按表6.5.3-1取值。

表 6.5.3-1 钢筋混凝土柱箍筋加密区最小配箍特征值

位移角	柱轴压比					
	≤ 0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1/50	0.110	0.130	0.150	0.170	0.200	0.230
1/75	0.043	0.057	0.072	0.086	0.101	0.115
1/100	0.024	0.035	0.046	0.057	0.068	0.079
1/150	0.010	0.015	0.020	0.025	0.032	0.040

e) 钢筋混凝土抗震墙约束边缘构件最小配箍特征值可根据罕遇地震下楼层弹塑性位移角, 按表6.5.3-2取值。

表 6.5.3-2 钢筋混凝土抗震墙约束边缘构件最小配箍特征值

位移角	λ_v			
	$\xi=0.10$	$\xi=0.15$	$\xi=0.20$	$\xi=0.25$
1/100	0.076	0.106	0.135	0.165
1/150	0.031	0.050	0.070	0.090

注: ξ 为抗震墙相对受压区高度

6.5.4 不满足消能部件局部作用要求的主体结构构件或节点的加固设计应符合如下要求:

a) 构件或节点的加固量按下式计算:

$$\Delta R = S_{GE} + S_{EhK} - R \quad \dots\dots (6.5.4)$$

式中:

ΔR ——构件或节点内力加固量;

S_{GE} ——重力荷载代表值作用的构件或节点内力;

S_{EhK} ——罕遇地震作用下构件或节点内力标准值, 其中包括了消能器极限位移和极限速度下的阻尼力的作用。当消能器的轴心与结构轴有偏差时, 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, 当消能部件采用高强度螺栓或焊接时, 节点部位组合弯矩值应考虑消能部件端部的附加弯矩。

R ——构件或节点原有的承载能力。

b) 构件或节点加固可参照《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 选择加固方法, 并进行加固计算和加固设计。加固方法选用原则如下:

- 1) 防止局部加固导致结构刚度适度增加。
- 2) 减少湿作业, 尽量方便加固施工。
- 3) 综合考虑与消能部件连接措施协调。

- c) 与消能部件连接的部件应进行构件措施加强,采用构造措施加强的范围要延长至连接板以外且加强区从连接板外侧算起,加强区长度按《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 抗震构造加密区长度计算。

6.5.5 当与垂直相交的两个平面均布置有消能器时应分别考虑相交处柱在双向地震作用下的受力。若能分出主次方向受力,在主方向按承载力(刚度)进行加固,次方向采取构造加强措施。

7 消能部件的连接与构造

7.1 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”字型和人字型等布置,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、法兰或销轴,高强螺栓及焊接的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 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 在消能器极限阻尼力作用下,消能部件中的支撑、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;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、剪力墙及节点板的作用力取值应为消能器极限阻尼力的1.2倍。

7.1.6 消能支撑的角度宜控制在30度~60度之间。

7.2 埋件设计

7.2.1 埋件设计所采用的设计使用年限应与被连接结构的设计使用年限一致,对锚栓或植筋应定期检查其工作状态,检查的时间间隔可由设计单位确定。

7.2.2 埋件的锚筋(栓)应按拉剪构件或纯剪构件计算总截面面积。

7.2.3 既有建筑消能减震加固中的埋件设计应符合以下原则:

- a) 与被连接的构件同时施工完成的预埋件,其设计应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计规范》GB 50017 等现行国家标准的相关规定。
- b) 在被连接的构件施工完成后新增的后锚固埋件,其设计应符合《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145、《钢结构设计规范》GB 50017 等现行国家标准的相关规定。考虑到消能器埋件后锚固埋件的锚筋较多,且其直接关系到消能器是否能充分发挥作用,因此建议采用外包钢板形式。

7.2.4 当埋件受到约束、变形、温度等间接作用产生的作用效应可能危及连接的安全和正常使用时,宜进行间接作用效应分析,并应采取可靠的构造措施和施工措施;承受疲劳荷载和冲击荷载的连接设计应进行试验验证。

7.2.5 处在室外条件的被连接钢结构,其锚板的锚固方式应使锚栓不出现过大大交变温度应力,应采取必要措施确保,在使用条件下,锚栓的温度应力变幅不应过大。

7.2.6 埋件的防火等级不应低于被连接结构的防火等级,埋件的防火设计应有可靠措施并应符合国家现行有关标准的规定。

7.2.7 埋件应有可靠的防腐措施。锚栓防腐标准应高于被连接构件的防腐要求。

7.2.8 未经技术鉴定或设计许可,不得改变埋件的用途和使用环境。

7.3 支撑（墩）、剪力墙计算

7.3.1 支墩、剪力墙应按消能器附加的水平剪力进行截面验算。

7.3.2 支撑和支墩、剪力墙的计算长度应符合下列规定：

- a) 采用单斜消能部件时，支撑计算长度应取支撑与消能器连接处到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。
- b) 采用人字形支撑时，支撑计算长度应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。
- c) 采用柱型支撑时，支撑计算长度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 消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足本规程第 6.4.2 条的要求。

7.4 消能器与主体结构的连接和构造

7.4.1 消能部件与原结构连接方法可采用直接连接、嵌套式连接或外贴式连接等。

7.4.2 消能器与支撑、支承构件的连接以及消能部件与主体结构的连接，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。

7.4.3 预埋件的锚筋应与钢板牢固连接，锚筋的锚固长度宜大于 20 倍锚筋直径，且不应小于 250mm。当无法满足锚固长度的要求时，应采取其他有效的锚固措施。

7.4.4 支撑、墙墩、柱墩的构造要求：

- a) 支撑或套索型支撑应采用钢支撑，钢材强度等级不应低于 Q235；支撑宜采用双轴对称截面，支撑长细比、宽厚比应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定。
- b) 墙墩、柱墩可采用钢筋混凝土支墩或钢支墩，混凝土支墩混凝土强度等级不应低于 C30，支墩沿消能器受力方向全截面箍筋应加密，并配置网状钢筋。

7.4.5 消能部件与混凝土梁柱节点的相连时，梁柱应采用钢板全围抱或 U 形围抱的方法加固。

7.4.6 当采用钢框嵌套式连接时，可按以下要求进行：

- a) 钢框与梁柱可采用锚栓连接，消能部件通过节点板与嵌入的钢框连接；
- b) 由锚栓承担全部钢框传至框架的内力，按锚栓抗震承载力验算；
- c) 钢框宜采用 H 型钢或槽形钢，混凝土过渡区配筋要求，锚筋按《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 要求设计。

8 施工、验收和维护

8.1 一般规定

8.1.1 消能部件工程应作为主体结构加固分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。消能减震结构的消能部件工程也可划分成若干个子分部工程。

8.1.2 消能部件子分部工程的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制施工组织设计，确定施工技术方案。

8.1.3 消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为二个阶段：消能部件进场验收和消能部件安装防护。消能器进场验收应提供下列资料：

- a) 消能器检验报告，包含消能器的型式检测报告、出厂检测报告和第三方机构抽检报告。
- b) 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单。

8.1.4 消能部件尺寸、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。

8.2 原材料成品制作和进场检验

8.2.1 消能部件的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件及消能部件的特点确定。

8.2.2 消能器进场验收时，应具有产品型式检验报告、抽检报告；消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

8.2.3 消能器所用的钢材、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。

8.2.4 支撑或连接件等附属支承构件的制作单位应提供原材料、产品的质量合格证书。

8.2.5 消能器性能检验的检验批次划分，应符合 5.5.1 及 5.5.2 条规定。

8.3 消能部件的安装

8.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器生产厂家共同商讨确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。与消能部件相关的结构构件加固应符合《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定。

8.3.2 消能减震结构的施工安装顺序制定，应符合下列规定：

- a) 划分结构的施工流水段。
- b) 确定结构的消能部件及主体结构加固构件的总体施工顺序，并编制总体施工安装顺序表。
- c) 确定同一部位各消能部件及主体结构加固构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。
- d) 当与消能部件相关的结构构件需要加固时，应首先按照设计文件要求进行加固，待达到设计强度后再安装消能部件。

8.3.3 对于钢结构加固，消能部件和主体结构构件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，竖向应从下向上逐渐进行。

8.3.4 对于现浇混凝土结构加固，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法进行。对于装配式混凝土结构加固，各类构件或部件的总体施工安装顺序，可按本规程相关内容执行。

8.3.5 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应符合下列规定：

- a) 确定同一部位各消能部件的现场安装单元、安装连接顺序。
- b) 编制同一部位各消能部件的局部安装连接顺序，包括消能器、支撑、支墩、连接件的类型、规格和数量。

8.3.6 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序，同一部位消能部件的制作单元超过一个时，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。消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

8.3.7 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的要求。

8.3.8 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

- a) 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查。
- b) 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定。
- c) 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，应核查安装方法和步骤。
- d) 对消能部件的制作质量应复查。

8.3.9 消能部件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件的要求。

8.3.10 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和现行国家标准《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 的规定。

8.3.11 消能部件采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应符合设计文件要求，当设计文件无要求时，间隙不应大于 0.1mm。

8.3.12 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：

- a) 消能器没有形状异常及损害功能的外伤。
- b) 消能器的黏滞材料、黏弹性材料未泄漏或剥落，未出现涂层脱落和生锈。
- c) 消能部件的临时固定件应予撤除。

8.4 施工安全和施工质量验收

8.4.1 消能部件的施工应符合现行国家标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 和《建筑机械施工安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，并根据消能部件的施工安装特点，在施工组织设计中制定是施工安全措施。

8.4.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按表 8.4.2 的规定执行。

表 8.4.2 消能部件子分部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	抽检数量和检验方法	合格质量标准
1	见证取样送样检测项目： (1) 消能部件钢材复验；(2) 高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验；(3) 摩擦面抗滑移系数复验	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 规定	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
2	焊缝质量：(1) 焊缝尺寸；(2) 内部缺陷；(3) 外观缺陷	一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检 3%，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规范》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	按节点数随机抽检 3%，且不应少于 3 个节点；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 规定	《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
4	消能部件平面外垂直度	随机抽查 3 个部位的消能部件	符合设计文件及《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
5	化学锚栓和植筋	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定
6	与效能部件相关的结构构件加固	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定

8.4.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目可按表 8.4.3 的规定执行。

表 8.4.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目

项次	项目	抽检方法、数量	合格质量标准
1	消能部件的普通涂层表面	随机抽检 3 个部位的消能部件	均匀、无气泡、无皱纹
2	连接节点	随机抽检 10%	连接牢固、无明显外观缺陷
3	工作范围内的障碍物	随机抽检 10%	在工作范围内无障碍物

8.5 维护要求

8.5.1 消能部件的检查根据检查时间或时机可分为定期检查和应急检查，根据检查方法可分为目测检查和抽样检验。

8.5.2 消能部件应根据消能器的类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。金属消能器、屈曲约束支撑可不进行定期检查；摩擦消能器在达到设计使用年或技术要求后应进行检查；黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下一般 10 年或二次装修时应进行目测检查，在达到设计使用年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

8.5.3 消能器目测检查时，应观察消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其他问题。目测检查内容及维护方法应符合表 8.5.3 的规定。

表 8.5.3 消能器检查内容及维护方法

序号	检查内容	维护方法
1	黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄漏	更换消能器
2	黏弹性材料层龟裂、老化	更换消能器
3	金属消能器产生明显的累积损伤和变形	更换消能器
4	摩擦消能器的摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置产生松弛	更换相关材料和压力装置
5	消能器连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	拧紧、补焊
6	黏滞消能器的导杆、摩擦消能器的外露摩擦界面处现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块	及时清除
7	消能器被涂装的金属表面外露、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
8	消能器产生弯曲、局部变形	更换效能器
9	消能器周围存在可能限制消能器正常工作的障碍物	及时清除

8.5.4 支撑目测检查时，应检查支撑、连接部位变形和外观及其他问题等，目测检查内容及维护处理方法应符合表 8.5.4 的规定。

表 8.5.4 支撑目测检查内容及维护处理方法

序号	目测检查内容	维护方法
1	出现弯曲、扭曲	更换支撑
2	焊缝有裂纹、螺栓、锚栓的螺母松动或出现间隙，连接件出现错位移位、松动等	拧紧、补焊
3	支撑和连接部位被涂装的金属表面、焊接或紧固件表面上、出现金属外露、锈蚀或损伤等	重新涂装

8.5.5 消能部件抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型消能器，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，测试内容应能反映消能器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。