江苏省地方标准 DB32

J XXXXX—2026 DB32/T XXXX—2026

# 建筑工程消能减震与隔震技术规程

Technical specification for energy dissipation and seismic isolation in building engineering

（报批稿）

202X-XX-XX 发布 202X-XX-XX 实施

江苏省住房和城乡建设厅

江苏省市场监督管理局 联合发布

# 前　言

为推动江苏省减隔震技术的高质量发展，根据《省住房城乡建设厅关于下达2023年度江苏省建设系统科技项目和工程建设地方标准编制修订项目的通知》（苏建科〔2023〕169号）的要求，编制组开展专题调查与研究，系统总结近年来我国及江苏省建筑工程应用减隔震技术的实践经验，参考有关国家和行业标准，在广泛征求各方意见的基础上，制定本规程。

本规程于XX年XX月XX日经主管部门批准发布，自XX年XX月XX日起实施。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 地震作用和结构抗震验算；5 地震时保持正常使用功能建筑的性能目标及设计；6 消能器的技术性能；7 消能减震结构设计；8 消能部件的连接与构造；9 消能部件的施工、验收与维护；10 隔震支座的技术性能；11 多高层隔震结构设计；12 建筑与机电隔震构造；13 隔震分部工程的施工、验收与维护；附录A～附录G。

本规程由江苏省住房和城乡建设厅负责管理，由南京长江都市建筑设计股份有限公司负责具体技术内容的解释（地址：南京市秦淮区卡子门大街19号，紫云智慧广场4号楼；邮政编码：210006）。各单位在执行过程中如有修改意见或建议，请反馈至江苏省住房和城乡建设厅科技发展中心（地址：南京市鼓楼区草场门大街88号江苏建设大厦8楼；邮政编码：210036）。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

**主 编 单 位：** 南京长江都市建筑设计股份有限公司

南京工业大学

**参 编 单 位：** 江苏泰了减震科技有限公司

盐城市建设工程施工图设计技术审查中心

道尔道科技股份有限公司

南京大德减震科技有限公司

**主要起草人：** 江　韩　杜东升　陈乐琦　宋世伟　刘金龙

王传杰　许伟志　张云龙　赵学斐　宋九祥

赵新权　刘汶津　许孝堂　李　袁

**主要审查人：** 郁银泉　薛彦涛　张志强　谈丽华　沈中标

# 目　次

1 总　则 ..... 1
2 术语和符号 ..... 2
2.1 术　语 ..... 2
2.2 符　号 ..... 6
3 基本规定 ..... 9
3.1 一般规定 ..... 9
3.2 场地、地基和基础 ..... 10
3.3 消能器和隔震支座要求 ..... 10
3.4 结构分析 ..... 11
3.5 连接与节点 ..... 13
3.6 耐久性与防火要求 ..... 13
3.7 试验与观测 ..... 14
4 地震作用和结构抗震验算 ..... 15
4.1 一般规定 ..... 15
4.2 地震作用计算 ..... 19
4.3 截面抗震验算 ..... 23
5 地震时保持正常使用功能建筑性能目标及设计 ..... 26
5.1 一般规定 ..... 26
5.2 地基和基础抗震承载力验算 ..... 27
5.3 结构构件抗震承载力验算 ..... 27
5.4 抗震变形验算和楼面水平加速度基本要求 ..... 28
5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求 ..... 29
6 消能器的技术性能 ..... 30
6.1 一般规定 ..... 30

6.2 消能器的技术性能.....30
6.3 消能器的性能检验.....36
7 消能减震结构设计.....38
7.1 一般规定.....38
7.2 消能部件布置原则.....38
7.3 消能部件设计与附加有效阻尼比.....39
7.4 消能减震主体结构设计.....43
8 消能部件的连接与构造.....46
8.1 一般规定.....46
8.2 预埋件计算.....48
8.3 节点板计算.....49
8.4 支撑和支墩（墙）计算.....52
8.5 消能器与主体结构连接的构造要求.....52
9 消能部件的施工、验收与维护.....54
9.1 一般规定.....54
9.2 消能部件进场验收.....54
9.3 消能部件施工的安装顺序.....54
9.4 施工测量和消能部件的安装、校正.....55
9.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接.....56
9.6 施工安全与施工质量验收.....56
9.7 消能部件维护.....57
10 隔震支座的技术性能.....60
10.1 一般规定.....60
10.2 隔震支座的技术性能.....60
10.3 隔震支座的性能检验.....63
11 多高层隔震结构设计.....66
11.1 一般规定.....66

11.2 抗震变形验算 ..... 68
11.3 隔震层设计 ..... 69
11.4 下部结构与上部结构设计 ..... 74
11.5 隔震支座与结构的连接和构造 ..... 78
12 建筑与机电隔震构造 ..... 81
12.1 一般规定 ..... 81
12.2 隔离缝 ..... 81
12.3 隔震层交通构造 ..... 82
12.4 穿越隔震层的机电设备与管线 ..... 83
13 隔震分部工程的施工、验收与维护 ..... 84
13.1 一般规定 ..... 84
13.2 隔震支座进场验收及施工 ..... 84
13.3 隔震分部工程施工质量验收 ..... 85
13.4 隔震支座的维护 ..... 86
13.5 隔震工程专用标识 ..... 87
附录 A 复振型影响系数计算公式 ..... 88
附录 B 位移敏感型和加速度敏感型建筑非结构构件 ..... 90
附录 C 建筑附属机电设备和功能性仪器设备 ..... 92
附录 D 消能器规格及力学性能参数 ..... 94
附录 E 隔震支座规格及力学性能参数 ..... 105
附录 F 隔震支座连接设计 ..... 119
附录 G 建筑隔震工程专用标识 ..... 124
本规程用词说明 ..... 131
引用标准名录 ..... 132
条 文 说 明 ..... 134

# Contents

1 General Provisions....1
2 Terms and Symbols....2
2.1 Terms....2
2.2 Symbols....6
3 Basic Requirements....9
3.1 General Requirements....9
3.2 Site, Base and Foundation....10
3.3 Requirements for Energy Dissipation Devices and Seismic Isolation Bearing....11
3.4 Structural Analysis....11
3.5 Connection and Joint....11
3.6 Durability and Fire Protection Requirements....13
3.7 Test and Observation....14
4 Earthquake Action and Seismic Checking for Structures....15
4.1 General Requirements....15
4.2 Earthquake Action....19
4.3 Checking for Strength....23
5 Performance Objectives and Design of Maintain Normal Functionality Building....26
5.1 General Requirements....26
5.2 Seismic Checking for Base and Foundation....27
5.3 Seismic Checking for Structure Members....27
5.4 Basic Requirements for Structural Deformation and Floor Horizontal Acceleration....28
5.5 Performance Requirements for non-structural Components of Buildings, Mechanical and Electrical Equipment Attached to

Buildings and Instrumentation..... 29
6 Technical performance of Energy Dissipation Devices.....30
6.1 General Requirements..... 30
6.2 Technical performance of Energy Dissipation Devices.....30
6.3 Performance Test of Energy Dissipation Devices..... 36
7 Design of Energy Dissipation Buildings.....38
7.1 General Requirements..... 38
7.2 Distribution Principle of Energy Dissipation Devices.....38
7.3 Design of Energy Dissipation Parts and Additional Damping Ratio.....39
7.4 Design of Main Structure..... 43
8 Connecting and Details of Energy Dissipation Parts.....46
8.1 General Requirements..... 46
8.2 Calculation of Embedded Parts.....48
8.3 Calculation of Gusset Plate..... 49
8.4 Calculation of Brace and Pier (wall).....52
8.5 Connecting Details between Energy Dissipation Devices and Main Structures..... 52
9 Construction, Quality Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Parts.....54
9.1 General Requirements..... 54
9.2 Site Acceptance of Energy Dissipation Parts.....54
9.3 Installation Sequence of Energy Dissipation Parts..... 54
9.4 Construction Survey, Installation and Correction of Energy Dissipation Parts.....55
9.5 Weld and Fasten Connection of Energy Dissipation Parts..... 56
9.6 Construction Safety and Acceptance of Construction Quality... 56

9.7 Maintenance of Energy Dissipation Parts.....57
10 Technical Performance of Seismic Isolation Bearings..... 59
10.1 General Requirements.....59
10.2 Technical performance of Seismic Isolation Bearing.....59
10.3 Performance Test of Seismic Isolation Bearing.....62
11 Design of Seismic Isolation Structure for Multi-story and Tall Buildings.....65
11.1 General Requirements..... 65
11.2 Checking for Deformation.....67
11.3 Design for Isolation Layer.....68
11.4 Design for Substructure and Superstructure of the Seismically Isolated Building..... 73
11.5 Connection of Seismic Isolation Bearing and Structure.....78
12 Building and Electromechanical Isolation Construction ..... 80
12.1 General Requirements..... 80
12.2 Isolation Seam..... 80
12.3 Passage Structure in Isolation Layer.....81
12.4 Mechanical, Electrical, and Plumbing Services Across the Seismic Isolation Interface.....82
13 Construction, Quality Maintenance of Isolation Layer Parts ..... 83
13.1 General Requirements..... 83
13.2 Site Acceptance and Construction of Seismic Isolation Bearing ..... 83
13.3 Acceptance of Construction Quality..... 84
13.4 Maintenance of Seismic Isolation Bearing..... 85
13.5 Special Identification of Seismic Isolation Project.....86
Appendix A Formula for the Influence Coefficient of Complex Mode

..... 87
Appendix B Displacement Sensitive and Acceleration Sensitive Non-structural Members of Buildings..... 89
Appendix C Building Auxiliary Electromechanical Equipment and Instruments..... 91
Appendix D Specification and Performance Parameters of Engergy Dissipation Devices.....93
Appendix E Specification and Performance Parameters of Seismic Isolation Bearing..... 104
Appendix F Connection Design of Seismic Isolation Bearing.....116
Appendix G Special Identification for Seismic Isolation Project.....121
Explanation of Wording in This Standard.....128
List of Quoted Standards.....129
Explanation of Provisions.....131

# 1 总 则

1.0.1 为贯彻国家和江苏省建筑工程防震减灾相关法律法规，落实“预防为主”的防震减灾工作方针，规范建筑工程中减隔震技术的应用，确保工程安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于江苏省内采用减隔震技术的新建多高层建筑工程的设计、施工、验收及维护。

1.0.3 按本规程设计与施工的消能减震和隔震建筑，除有特殊要求外，其基本抗震设防目标应符合下列规定：

1 按本规程设计与施工的消能减震建筑，当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

2 按本规程设计与施工的隔震建筑，当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，主体结构基本不受损坏或不需要修理即可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，主体结构可能发生损坏，但经修理后可继续使用。

1.0.4 消能减震与隔震建筑的设计、施工、验收及维护，除应符合本规程外，尚应符合国家及江苏省现行有关标准的规定。

# 2　术语和符号

## 2.1　术　语

**2.1.1**　消能器　energy dissipation device

通过内部材料或构件的摩擦、弹塑性滞回变形或黏（弹）性滞回变形来耗散能量的装置，又称阻尼器。常见类型包括位移相关型消能器、速度相关型消能器等。

**2.1.2**　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。

**2.1.3**　消能减震建筑　energy dissipation building

通过在主体结构中设置消能器，以耗散或吸收地震能量，从而降低结构地震响应的建筑。

**2.1.4**　消能子结构　energy dissipation substructure

与消能部件连接，并直接传递其阻尼力的主体结构构件，包括梁、柱、抗震墙及连接节点等。

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

其耗能能力与两端相对位移相关的消能器，常见类型包括屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器等。

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

其耗能能力与两端相对速度相关的消能器，常见类型包括黏滞消能器、黏弹性消能器等。

**2.1.7**　屈曲约束支撑　buckling-restrained brace

由核心单元、约束单元以及设置在核心单元与约束单元之间的无粘结材料层或空气间隙层组成的一种支撑构件，又称“防屈曲支撑”，其代号为 BRB。

**2.1.8**　金属屈服型消能器　metal yield damper

由不同金属材料（如软钢、铅等）元件或构件制成，利用金属元

件或构件在屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散能量的消能器，又称金属消能器，其代号为 MYD。

**2.1.9** 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在相对位移过程中产生的摩擦做功来耗散能量的消能器，其代号为 FD。

**2.1.10** 黏滞消能器 viscous fluid damper

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消能器，又称黏滞阻尼器，常见类型包括杆式黏滞消能器（VFD）和黏滞阻尼墙（VFW）。

**2.1.11** 黏弹性消能器 visco-elastic damper

由黏弹性材料和约束层组成，通过黏弹性材料的剪切滞回变形来耗散能量的消能器，又称黏弹性阻尼器。常见类型包括板（筒）式黏弹性消能器（VED）与黏弹性消能器阻尼墙（VEW）。

**2.1.12** 附加有效刚度 additional effective stiffness

消能减震结构往复运动过程中，消能部件附加给主体结构的有效刚度。

**2.1.13** 附加有效阻尼比 additional effective damping ratio

消能减震结构往复运动过程中，消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

**2.1.14** 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值。

**2.1.15** 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值。

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

消能器所能达到的最大变形量，超过该限值时将丧失耗能功能。

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

消能器所能达到的最大速度值，超过该限值时将丧失耗能功能。

**2.1.18** 隔震建筑 seismically isolated building

为降低地震作用下的响应，在结构中设置隔震层以实现隔震功能的建筑，包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

**2.1.19** 隔震层 seismic isolation interface

隔震建筑设置在基础、下部结构与上部结构之间的全部部件的总称，包括隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置、附属装置以及相关的支承或连接构件等。

**2.1.20** 隔震建筑上部结构 superstructure of the seismically isolated building

隔震建筑中位于隔震层以上的结构部分，本规程简称上部结构。

**2.1.21** 隔震建筑下部结构 substructure of the seismically isolated building

隔震建筑中位于隔震层以下的结构部分，不包括基础，本规程简称下部结构。

**2.1.22** 基底隔震 base isolation

将隔震层设置在建筑物底部的隔震体系。

**2.1.23** 层间隔震 inter-storey isolation

将隔震层设置在建筑物底部以上某层间位置的隔震体系。

**2.1.24** 隔震部件 isolation component

由隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置及相关的支承或连接构件组成的部分。

**2.1.25** 隔震支座 seismic isolation bearing

设置在隔震层中，用于承载上部结构并具有隔震变形能力的支座总称，包括隔震橡胶支座、弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座等。

**2.1.26** 隔震橡胶支座 rubber isolation bearing

由多层橡胶和多层钢板交替叠置结合而成的隔震支座，包括天然橡胶支座、铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座，又称叠层橡胶隔震支座。

**2.1.27** 天然橡胶支座 linear natural rubber bearing

内部无竖向铅芯，由多层天然橡胶和多层钢板交替叠置结合而成的隔震支座，其代号为 LNR。

**2.1.28** 铅芯橡胶支座 lead rubber bearing

内部含有竖向铅芯，由多层天然橡胶和多层钢板交替叠置结合而成的隔震支座，其代号为 LRB。

**2.1.29** 高阻尼橡胶支座 high damping rubber bearing

由多层橡胶和多层钢板交替叠置结合而成的具有较高阻尼性能的隔震支座，其代号为 HDR。

**2.1.30** 弹性滑板支座 elastic slide bearing

由橡胶支座部（内部橡胶与内部钢板叠合整体硫化而成的支座部分）、滑移材料、滑移面板及上下连接板组成的隔震支座，其代号为 ESB。

**2.1.31** 摩擦摆隔震支座 friction pendulum isolation bearing

一种通过球面摆动延长结构振动周期和滑动界面摩擦消耗地震能量实现隔震功能的隔震支座，其代号为 FPS。

**2.1.32** 隔震层阻尼装置 damping device of seismic isolation interface

设置在隔震层中，通过吸收并耗散地震输入能量而使隔震层地震响应衰减的装置，本规程简称阻尼装置。

**2.1.33** 隔震层抗风装置 anti-wind device of seismic isolation interface

设置在隔震层中，用于抵御上部结构风荷载的装置，可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置，本规程简称抗风装置。

**2.1.34** 隔震层抗拉装置 anti-tension device of seismic isolation interface

设置在隔震层中，用于抵御上部结构倾覆作用引起的竖向拉力的装置，本规程简称抗拉装置。

**2.1.35** 隔震层限位装置 stopper of seismic isolation interface

限制隔震层位移超过合理设计范围的装置，本规程简称限位装置。

**2.1.36** 底部剪力比 base shear ratio

设防地震作用下，建筑结构隔震后与隔震前上部结构底部剪力之比值。

**2.1.37** 隔震层水平等效刚度 equivalent stiffness of seismic isolation interface or seismic isolation bearing

隔震层对应于某特定水平位移的割线刚度。

**2.1.38** 隔震层等效阻尼比 equivalent damping ratio of seismic isolation interface or seismic isolation bearing

隔震层对应于某特定水平位移的阻尼比，本规程简称等效阻尼比。

**2.1.39** 隔离缝 isolation seam

隔震层相关部位设置的结构变形缝，用于将隔震层上部结构与下部结构及周围固定物相互分离，以保证上部结构在地震作用下能够满足设计规定的水平位移需求。

**2.1.40** 地震时保持正常使用功能建筑 maintain normal functionality building

当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，能够满足正常使用要求，保证结构和建筑非结构构件基本完好，以及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

**2.2.1** 作用和作用效应

$R$——构件承载力设计值；

$R_k$——构件承载力标准值；

$S$——构件内力组合设计值；

$S_{GE}$ ——重力荷载代表值的效应；

$\Delta u_p$ ——弹塑性层间位移；

$u_{hi}$ ——第 $i$ 个隔震支座考虑扭转的水平位移；

$[u_{hi}]$ ——第 $i$ 个隔震支座的水平位移限值；

$V_{Rw}$ ——隔震层抗风承载力设计值；

$V_{wk}$ ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；

$[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值；

**2.2.2** 材料性能

$f$——钢材的抗拉和抗剪强度设计值；

$f_a$ ——型钢的抗压强度设计值；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$K_{eq}$ ——隔震层水平等效刚度；

$\zeta_{eq}$ ——隔震层等效阻尼比；

$\zeta_j$ ——第 $j$ 个隔震支座的等效阻尼比。

**2.2.3** 计算系数

$\gamma_0$ ——结构重要性系数；

$\gamma_j$ ——$j$振型的参与系数；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数；

$\gamma_G$——重力荷载分项系数；

$\gamma_w$ ——风荷载分项系数；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数；

$\gamma_{Eh}$ ——水平地震作用分项系数；

$\gamma_{Ev}$ ——竖向地震作用分项系数；

$\psi_w$ ——风荷载组合值系数。

**2.2.4** 消能器参数

$K_b$ ——支承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；

$t_v$ ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

**2.2.5** 隔震支座参数

$S_1$ ——第一形状系数；

$S_2$ ——第二形状系数。

# 3　基本规定

## 3.1　一般规定

**3.1.1**　消能减震与隔震建筑的抗震设防烈度应按国家规定权限审批、颁发的文件（图件）确定。一般情况下，其抗震设防烈度应采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 确定的地震基本烈度。

**3.1.2**　消能减震与隔震建筑的抗震设防类别应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定，并应符合国家有关规定。

**3.1.3**　消能减震与隔震建筑适用的最大高度应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 以及现行江苏省地方标准《高层建筑工程抗震设防超限界定标准》DB32/T 4399 的规定。当房屋高度超过上述标准规定的适用范围时，应进行专项研究。

**3.1.4**　消能减震与隔震结构的抗震性能化设计，应根据其抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、结构类型、震后损失及修复难易程度等因素，针对整个结构、结构的局部部位或关键部位、关键构件、普通竖向构件、重要水平构件、普通水平构件以及消能部件和隔震部件，分别确定其性能目标。

**3.1.5**　地震时保持正常使用功能建筑应符合本规程第 5 章的有关规定。

**3.1.6**　消能器与隔震支座的设计工作年限应符合下列规定：

**1**　消能器的设计工作年限不宜低于主体结构的设计工作年限。其中，黏滞消能器的设计工作年限不应低于 30 年。

**2**　隔震支座的设计工作年限不应低于主体结构的设计工作年限。

**3.1.7**　当消能器或隔震层中其他装置的设计工作年限低于主体结构的设计工作年限时，应在设计文件中予以明确，并预留便于更换的措施。在达到设计工作年限前，应对其主要技术性能指标进行抽样检验，并根据检验结果确定后续工作年限或实施更换。

**3.1.8** 消能器与隔震支座的设置部位应便于检查、维护及更换。

**3.1.9** 对按规定需编制抗震设防专篇的消能减震与隔震建筑，应在初步设计阶段编制抗震设防专篇，并作为设计文件的组成部分。

**3.1.10** 消能减震与隔震建筑工程设计文件应包括下列内容：

**1** 消能减震与隔震设计方案及专项计算分析资料；

**2** 消能器与隔震支座的规格、型号、数量、力学性能参数、设计工作年限及使用环境要求等；

**3** 消能器与隔震支座的检验检测、施工安装、使用维护及更换要求；

**4** 消能减震与隔震构造措施，包括消能器与隔震支座的连接构造等。

**3.1.11** 当消能器或隔震支座采用新技术、新产品时，应进行专项论证，并应符合现行国家、行业及江苏省地方标准的规定。

## 3.2 场地、地基和基础

**3.2.1** 消能减震与隔震建筑的场地宜选择对抗震有利地段，应避开不利地段；当无法避开时，应采取有效的抗震措施。对危险地段，严禁建造特殊设防类、重点设防类和标准设防类建筑。

**3.2.2** 隔震建筑的地基应稳定可靠，其所在场地类别宜为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。当场地类别为Ⅳ类时，应通过设计措施，使隔震建筑在罕遇地震作用下的基本周期避开场地卓越周期范围，且隔震层在罕遇地震作用下的等效阻尼比不宜小于 10%。

**3.2.3** 饱和砂土和饱和粉土（不含黄土）的液化判别和地基处理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。重点设防类隔震建筑的抗液化措施应按提高一个液化等级确定。

**3.2.4** 隔震建筑地基基础的设计与抗震验算应符合本规程第 6.2 节的规定。

## 3.3 消能器和隔震支座要求

**3.3.1** 消能器的选用应符合下列规定：

**1** 在温度作用或 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，金属屈服型消能器与屈曲约束支撑不应发生屈服；

**2** 在多遇地震作用下，屈曲约束支撑不宜发生屈服；

**3** 采用黏弹性消能器时，当使用环境温度变化较大时，应考虑温度变化对其力学参数的影响。

**3.3.2** 隔震支座的选用应符合下列规定：

**1** 隔震支座应具有满足设计要求的竖向承载能力和极限水平变形能力。

**2** 在设计工作年限内，隔震支座的刚度和阻尼特性变化不应超过其初期值的±20%；对于隔震橡胶支座，其徐变量不应大于内部橡胶总厚度的 5%。

**3.3.3** 消能器与隔震支座产品应通过型式检验和出厂检验。其检验项目应符合国家现行有关标准的规定，且检验结果应满足工程设计要求。

## 3.4 结构分析

**3.4.1** 消能减震结构的分析模型宜包括主体结构与消能部件，并应符合结构的实际工作状态，能够正确反映不同荷载工况下力的传递路径，以及在不同地震作用水准下主体结构和消能器的工作状态。

**3.4.2** 消能减震结构的分析方法应根据主体结构与消能器的工作状态选择，并应符合下列规定：

1 当主体结构处于弹性状态且消能器处于线性状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法。

2 当主体结构处于弹性状态且消能器处于非线性状态时，可对消能器进行等效线性化处理，采用计入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。

3 当主体结构进入弹塑性状态时，应采用弹塑性时程分析法。

**3.4.3** 消能减震结构的总刚度与总阻尼比应符合下列规定：

1　消能减震结构的总刚度应为主体结构刚度与消能部件附加的有效刚度之和，并应考虑不同变形状态导致的刚度变化。

2　消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比与消能器附加的有效阻尼比之和。结构阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性状态分别确定。

**3.4.4**　消能器的恢复力模型应采用经试验验证的成熟模型，并宜符合下列规定：

**1**　除铅消能器外的金属屈服型消能器及屈曲约束支撑可采用双线性模型、三线性模型或 Wen 模型；

**2**　摩擦消能器与铅消能器可采用理想弹塑性模型；

**3**　黏滞消能器可采用麦克斯韦（Maxwell）模型；

**4**　黏弹性消能器可采用开尔文（Kelvin）模型；

**5**　其他类型消能器的恢复力模型应根据其组成元件的构造特点确定。

**3.4.5**　隔震结构的分析模型应符合下列规定：

**1**　分析模型应能准确反映构件的实际受力状态；

**2**　上部结构和下部结构可采用多质点体系、空间杆系、空间杆-墙板单元或壳单元、实体单元及其他组合有限元等计算模型；

**3**　隔震支座和阻尼装置应采用能准确反映其力学特性的计算模型。

**3.4.6**　隔震结构的自振周期、水平等效刚度及等效阻尼比，应根据隔震层中隔震支座及阻尼装置通过试验得到的滞回曲线对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移值计算。计算方法可采用振型分解反应谱法或时程分析法。

**3.4.7**　消能减震与隔震结构进行抗震分析时，宜采用楼（屋）盖平面内刚性假定。当不满足该假定时，应考虑楼（屋）盖平面内的弹性变形，并建立符合实际的力学分析模型。

**3.4.8** 房屋高度超过 60m 的重点设防类消能减震与隔震结构，宜采用两种不同力学模型的结构分析软件进行地震作用计算对比分析。

## 3.5 连接与节点

**3.5.1** 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，应符合国家现行有关标准的规定。

**3.5.2** 隔震支座与上、下部结构的连接应确保连接件在隔震支座达到极限破坏状态时不发生破坏。

## 3.6 耐久性与防火要求

**3.6.1** 消能部件的耐久性应符合下列规定：

**1** 消能部件混凝土部分的耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定；

**2** 消能部件钢结构部分的防护应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定；

**3** 消能器的耐久性应符合本规程第 6.2 节的规定。

**3.6.2** 隔震橡胶支座与弹性滑板支座的耐久性，应分别符合现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3 和《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 的规定。

**3.6.3** 承受竖向荷载或虽然不承受竖向荷载但显著提高主体结构抗侧刚度的消能部件，应依据建筑物的耐火等级采取相应的防火保护措施。不承受竖向荷载且未显著提高主体结构抗侧刚度的消能部件，可不采取防火保护措施。

**3.6.4** 当消能器需采取防腐和防火措施时，应采取防腐蚀涂装、防火保护等措施，且所采取的措施不应影响消能器的正常工作。

**3.6.5** 隔震支座应根据建筑的耐火等级采取防火保护措施，其耐火极限不应低于与其连接竖向构件的耐火极限。

**3.6.6** 消能部件或隔震支座遭受火灾影响后，应对过火区域内的相应

消能部件和隔震支座进行性能抽样检验，抽样数量不应少于过火区域内该类构件总数的 10%，且不少于 2 个；并应根据检验结果确定处置方案，必要时应予以更换。

**3.6.7** 预埋件、连接件等外露金属件应根据其所处环境类别采取封闭或防腐措施，并应采取防火保护措施，且应满足相应的耐久性要求。

## 3.7 试验与观测

**3.7.1** 抗震设防烈度为 7 度、8 度时，高度分别超过 160m、120m 的大型消能减震公共建筑，以及具有特殊要求的隔震建筑，宜设置建筑结构地震反应观测系统。建筑设计应预留观测仪器及线路的安装位置和空间。

**3.7.2** 体型复杂或具有特殊要求的隔震建筑，可采用模拟地震振动台试验对隔震方案进行补充验证。

# 4　地震作用和结构抗震验算

## 4.1　一般规定

**4.1.1**　消能减震与隔震结构的地震作用，应符合下列规定：

**1**　一般情况下，应至少在建筑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，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

**4**　下列情况之一时，应进行竖向地震作用计算：

**1**）抗震设防烈度不低于 7 度（0.15*g*）的大跨度结构、长悬臂构件；

**2**）高层建筑中的悬挑结构、转换结构、连体结构的连接体。

**5**　对平面投影尺度很大的空间结构和长线型结构，地震作用计算时应考虑地震地面运动的空间和时间变化。

**4.1.2**　消能减震与隔震结构的地震作用和作用效应计算，应采用振型分解反应谱法或时程分析法。

**4.1.3**　采用振型分解反应谱法分析时，宜结合时程分析法进行地震作用下的补充计算。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的包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取 7 组及以上时程曲线时，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。加速度时程曲线的选择应符合下列规定：

**1**　应根据建筑场地类别和设计地震分组选用实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际强震记录的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

所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，其加速度时程的最大值可按表 4.1.3 采用。

**2** 弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算所得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 4.1.3 时程分析所用地震加速度时程的最大值（cm/s²）

| 地震影响 | 6 度 | 7 度 | | 8 度 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.10*g* | 0.15*g* | 0.20*g* | 0.30*g* |
| 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 |

**3** 对于隔震结构，人工模拟加速度时程曲线应考虑阻尼比和相位信息的影响。

**4.1.4** 符合下列情况之一的隔震建筑，应采用时程分析法进行补充计算：

**1** 房屋高度超过 60m 的隔震建筑；

**2** 体型不规则的隔震建筑；

**3** 隔震层中设置隔震支座与阻尼装置组合、不同类型隔震支座组合或隔震支座与其他功能装置联合使用的隔震建筑。

**4.1.5** 计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构及构配件自重标准值与各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数应按表 4.1.5 采用。

表 4.1.5 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 |
| 起重机悬吊物重力 | 硬钩吊车 | 0.3 |

| 可变荷载种类 | | 组合值系数 |
|---|---|---|
| | 软钩吊车 | 不计入 |

注：硬钩吊车的吊重较大时，组合值系数应按实际情况采用。

**4.1.6** 建筑结构的水平地震影响系数与特征周期取值，应符合下列规定：

**1** 水平地震影响系数应根据抗震设防烈度、场地类别、设计地震分组、结构自振周期及阻尼比综合确定。水平地震影响系数最大值$\alpha_{max}$不应小于表 4.1.6-1 的规定。

**2** 特征周期$T_g$应根据场地类别和设计地震分组按表4.1.6-2采用。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度，且其值处于本规程表 4.1.6-2 所列场地类别的分界线±15%范围内时，特征周期 $T_g$ 应通过插值方法确定。计算罕遇地震地震作用时，特征周期 $T_g$ 应增加 0.05s。

注：周期大于 6.0s 的建筑结构所采用的水平地震影响系数应专门研究。

**表 4.1.6-1 水平地震影响系数最大值$\alpha_{max}$**

| 地震影响 | 6 度 | 7 度 | | 8 度 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.10*g* | 0.15*g* | 0.20*g* | 0.30*g* |
| 多遇地震 | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.24 |
| 设防地震 | 0.12 | 0.23 | 0.34 | 0.45 | 0.68 |
| 罕遇地震 | 0.28 | 0.50 | 0.72 | 0.90 | 1.20 |

**表 4.1.6-2 特征周期 $T_g$（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 |

**4.1.7** 消能减震结构的水平地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。隔震结构的水平地震影响系数曲线（图 4.1.7）的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

**1** 当阻尼比为 0.05 时，水平地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

**1**）直线上升段，周期小于 0.1s 的区段；

**2**）水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值$\alpha_{max}$；

**3**）曲线下降段，自特征周期至 6.0s 区段，衰减指数应取 0.9。

**2** 当阻尼比不等于 0.05 时，水平地震影响系数曲线的衰减指数和阻尼调整系数应符合下列规定：

**1**）曲线下降段的衰减指数应按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \qquad (4.1.7\text{-}1)$$

式中：$\gamma$——曲线下降段的衰减指数；

$\zeta$——阻尼比，取隔震结构振型阻尼比。

**2**）阻尼调整系数应按下式确定：

$$\eta = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \qquad (4.1.7\text{-}2)$$

式中：$\eta$——阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

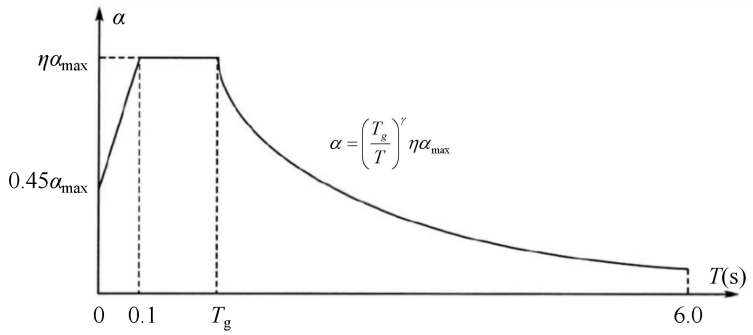



图 4.1.7 水平地震影响系数曲线

$\alpha$—水平地震影响系数；$\alpha_{max}$—水平地震影响系数最大值；$T$—隔震结构自振周期；$T_g$—特征周期；$\gamma$—曲线下降段的衰减指数；$\eta$—阻尼调整系数

**4.1.8** 处于发震断裂两侧 10km 范围以内的消能减震和隔震建筑，地震动参数应考虑近场影响，其地震动参数增大系数宜按表 4.1.8 取值。

**表 4.1.8 地震动参数增大系数**

| 与发震断裂带的距离 | 增大系数 | |
|---|---|---|
| | 消能减震建筑 | 隔震建筑 |
| ≤5km | 1.5 | 1.25 |
| >5km，≤10km | ≥1.25 | ≥1.15 |

## 4.2 地震作用计算

**4.2.1** 消能减震结构采用振型分解反应谱法计算地震作用和作用效应时，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。

**4.2.2** 隔震结构采用振型分解反应谱法时，应对下部结构、隔震层和上部结构进行整体分析，其中隔震层的非线性可按等效线性化的迭代方式考虑。隔震结构的地震作用和作用效应计算应符合下列规定：

1 未进行扭转耦联计算的隔震结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

**1）**结构 $j$ 振型 $i$ 质点的水平地震作用标准值应按下式确定：

$$F_{ji}=\alpha_j\gamma_j X_{ji}G_i \quad (i=1,2,\cdots,\ n;\ j=1,2,\cdots,\ m) \qquad (4.2.2\text{-}1)$$

式中：$F_{ji}$——$j$ 振型 $i$ 质点的水平地震作用标准值；

$\alpha_j$——$j$ 振型周期的地震影响系数，应按本规程第 4.1.6 条、第 4.1.7 条确定；

$\gamma_j$——$j$ 振型的参与系数，应按本规程附录 A 中式（A.0.1-2）计算；

$X_{ji}$——$j$ 振型 $i$ 质点的水平相对位移，应按本规程附录 A 中式（A.0.1-1）计算；

$G_i$——集中于质点 $i$ 的重力荷载代表值。

**2）**当相邻振型的周期比小于 0.85 时，水平地震作用标准值的效应可按下式确定：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{\sum(1+\iota_j^2)\ S_j^2} \qquad (4.2.2\text{-}2)$$

式中：$S_{\mathrm{Ek}}$——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；

$\iota_j$——$j$ 振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数，按本规程附录 A 中式（A.0.2-1）计算。

2 考虑扭转耦联影响时，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，并应按下列规定计算隔震结构的地震作用和作用效应：

**1**）结构 $j$ 振型 $i$ 质点的水平地震作用标准值应按下式确定：

$$F_{\mathrm{X}ji}=\alpha_j\gamma_{\mathrm{t}j}\mathrm{X}_{ji}G_i$$

$$F_{\mathrm{Y}ji}=\alpha_j\gamma_{\mathrm{t}j}Y_{ji}G_i \qquad (i=1,2,\cdots,\ n;\ j=1,2,\cdots,\ m)$$

$$F_{\mathrm{t}ji}=\alpha_j\gamma_{\mathrm{t}j}r_i^2\varphi_{ji}G_i$$

（4.2.2-3）

式中：$F_{\mathrm{X}ji}$、$F_{\mathrm{Y}ji}$、$F_{\mathrm{t}ji}$——分别为 $j$ 振型 $i$ 质点的 $x$ 方向、$y$ 方向和转角方向的水平地震作用标准值；

$X_{ji}$、$Y_{ji}$——分别为 $j$ 振型 $i$ 质点在 $x$、$y$ 方向的水平相对位移；

$\varphi_{ji}$——$j$ 振型 $i$ 质点的相对扭转转角；

$r_i$——$i$ 质点的转动半径，可取 $i$ 质点绕质心的转动惯量除以该质点质量的商的正二次方根；

$\gamma_{\mathrm{t}j}$——计入扭转的 $j$ 振型的参与系数。

**2**）单向水平地震作用下的扭转耦联效应，可按下列公式确定：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\rho_{jk}S_jS_k} \qquad (4.2.2\text{-}4)$$

$$\rho_{jk}=\frac{8\sqrt{\zeta_j\zeta_k}(\zeta_j+\lambda_{\mathrm{T}}\zeta_k)\ \lambda_{\mathrm{T}}^{1.5}}{(1-\lambda_{\mathrm{T}}^2)^2+4\zeta_j\zeta_k(1+\lambda_{\mathrm{T}}^2)\lambda_{\mathrm{T}}+4(\zeta_j^2+\zeta_k^2)\lambda_{\mathrm{T}}^2}\cdot\left(1+\frac{-1+\lambda_{\mathrm{T}}^2}{\zeta_j+\zeta_k\lambda_{\mathrm{T}}}\iota_j+\frac{\zeta_k+\zeta_j\lambda_{\mathrm{T}}}{\zeta_j+\zeta_k\lambda_{\mathrm{T}}}\iota_k\iota_j\right)$$

（4.2.2-5）

式中：$S_j$、$S_k$——分别为 $j$、$k$ 振型水平地震作用标准值的效应，可根据振型参与质量系数确定参与计算的振型数；

$\rho_{jk}$——$j$ 振型与 $k$ 振型的耦联系数；

$\zeta_j$、$\zeta_k$——分别为 $j$、$k$ 振型的阻尼比；

$\lambda_{\mathrm{T}}$——$k$ 振型与 $j$ 振型的自振周期比。

**3**）双向水平地震作用下的扭转耦联效应可按下列公式中的较

大值确定：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{S_{\mathrm{x}}^2+(0.85S_{\mathrm{y}})^2} \qquad (4.2.2\text{-}6)$$

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{S_{\mathrm{y}}^2+(0.85S_{\mathrm{x}})^2} \qquad (4.2.2\text{-}7)$$

式中：$S_{\mathrm{x}}$、$S_{\mathrm{y}}$——分别为 $x$ 向、$y$ 向单向水平地震作用按本规程式（4.2.2-4）计算的扭转效应。

3　隔震层阻尼比小于 10%，结构高度不超过 24m、质量和刚度沿高度分布比较均匀且隔震支座类型单一的隔震建筑，可按本规程附录 A 中第 A.0.3 条的规定执行。

**4.2.3**　隔震结构采用时程分析法时，计算模型的确定应符合下列规定：

1　隔震体系的计算模型宜考虑结构杆件的空间分布、弹性楼板假定、隔震支座的位置、隔震建筑的质量偏心、两个水平方向的平移和扭转，以及隔震层的非线性阻尼特性和非线性荷载-位移关系特性。

2　在设防地震作用下，隔震建筑上部和下部结构的荷载-位移关系特性可采用线弹性力学模型；在罕遇地震地震作用下，宜采用弹塑性分析模型。隔震层应采用隔震支座试验确定的滞回模型，按非线性阻尼以及非线性荷载-位移关系特性进行分析。

3　隔震支座单元应能合理模拟其非线性特性。计算分析时，应按实际荷载工况顺序进行加载。

**4.2.4**　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：

$$V_{\mathrm{Ek}i}\geqslant\lambda\sum_{j=i}^{n}G_j \qquad (4.2.4\text{-}1)$$

式中：$V_{\mathrm{Ek}i}$——第 $i$ 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力（N）；

$\lambda$——剪力系数，不应小于表 4.2.4 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（N）；

$n$——结构计算总层数。

表 4.2.4　楼层最小地震剪力系数值

| 抗震设防烈度 / 类别 | 6 度 | 7 度 | | 8 度 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.10*g* | 0.15*g* | 0.20*g* | 0.30*g* |
| 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：1　消能减震结构的楼层剪力按多遇地震作用计算，总水平地震作用不应低于6度设防的非消能减震结构的总水平地震作用；隔震结构的楼层剪力按设防地震作用计算；

2　基本周期介于3.5s和5s之间的结构，按线性插值取值。

**4.2.5**　消能减震与隔震结构的楼层水平地震剪力，应按下列原则分配：

1　现浇及装配整体式混凝土楼（屋）盖等刚性楼（屋）盖建筑，宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配；

2　预制装配式混凝土楼（屋）盖等半刚性楼（屋）盖建筑，可取按抗侧力构件等效刚度分配结果与按抗侧力构件从属面积所承担的重力荷载代表值分配结果的平均值；

3　计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形及扭转影响时，可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定对上述分配结果作适当调整。

**4.2.6**　消能减震与隔震结构的竖向地震作用可采用时程分析法或振型分解反应谱法计算。采用时程分析法时，输入的地震加速度最大值可按规定的水平输入最大值的 65%采用；采用振型分解反应谱法时，结构竖向地震影响系数最大值可按水平地震影响系数最大值的 65%采用，但设计地震分组可按第一组采用。

**4.2.7**　大跨度、长悬臂结构及构件，以及高层建筑中的悬挑结构、转换结构和连体结构的连接体，其竖向地震作用标准值不宜小于该结构或构件的重力荷载代表值与竖向地震作用系数的乘积。竖向地震作用系数可按表 4.2.7 采用。

表 4.2.7　竖向地震作用系数

| 地震影响 | | 7 度（0.15$g$） | | 8 度（0.20$g$） | | 8 度（0.30$g$） | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 多遇地震 | 设防地震 | 多遇地震 | 设防地震 | 多遇地震 | 设防地震 |
| 竖向地震作用系数 | 消能减震结构 | 0.08 | 0.15 | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.30 |
| | 隔震结构 | — | 0.15 | — | 0.20 | — | 0.30 |

## 4.3　截面抗震验算

**4.3.1**　消能减震结构在多遇地震作用下，结构构件的抗震承载力应符合下式规定：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \leqslant R / \gamma_{RE} \tag{4.3.1}$$

式中：$\gamma_G$ ——重力荷载分项系数，一般情况下应采用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；

$\gamma_{Eh}$、$\gamma_{Ev}$ ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表4.3.1-1采用；

$\gamma_w$ ——风荷载分项系数，应采用1.5；

$S_{GE}$ ——重力荷载代表值的效应，可按本规程第4.1.5条采用，有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

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

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

$S_{wk}$ ——风荷载标准值的效应；

$\psi_w$ ——风荷载组合值系数，一般结构取0.0，风荷载起控制作用的建筑应采用0.2；

$R$ ——结构构件承载力设计值；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表4.3.1-2采用。

表 4.3.1-1　地震作用分项系数

| 地震作用 | $\gamma_{Eh}$ | $\gamma_{Ev}$ |
|---|---|---|

| 地震作用 | $\gamma_{Eh}$ | $\gamma_{Ev}$ |
|---|---|---|
| 仅计算水平地震作用 | 1.4 | 0.0 |
| 仅计算竖向地震作用 | 0.0 | 1.4 |
| 同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主） | 1.4 | 0.5 |
| 同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主） | 0.5 | 1.4 |

**表 4.3.1-2　承载力抗震调整系数**

| 材料 | 结构构件 | 受力状态 | $\gamma_{RE}$ |
|---|---|---|---|
| 钢 | 柱，梁，支撑，节点板件，螺栓，焊缝<br>柱，支撑 | 强度<br>稳定 | 0.75<br>0.80 |
| 混凝土<br>钢-混凝土组合 | 梁<br>轴压比小于 0.15 的柱<br>轴压比不小于 0.15 的柱<br>抗震墙<br>各类构件 | 受弯<br>偏压<br>偏压<br>偏压<br>受剪、偏拉 | 0.75<br>0.75<br>0.80<br>0.85<br>0.85 |

注：当仅计算竖向地震作用时，各类结构构件承载力抗震调整系数均应采用 1.0。

**4.3.2**　消能减震结构构件的截面抗震验算，应分别对消能子结构和非消能子结构进行，并应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。消能子结构的截面抗震验算尚应符合本规程第 7.4.4 条的规定。

**4.3.3**　隔震结构构件根据性能要求可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。在设防地震作用下，隔震结构构件截面抗震验算应符合下列规定：

1　关键构件的抗震承载力应按下式确定：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \leqslant R / \gamma_{RE} \qquad (4.3.3\text{-}1)$$

2　普通竖向构件及重要水平构件的受剪承载力应符合式（4.3.3-1）的规定，正截面承载力应按下列公式确定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4 S_{Evk} \leqslant R_k \qquad (4.3.3\text{-}2)$$

$$S_{GE} + 0.4 S_{Ehk} + S_{Evk} \leqslant R_k \qquad (4.3.3\text{-}3)$$

式中：$R_k$ ——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

3　普通水平构件的抗剪承载力应符合式（4.3.3-2）的规定，正截面承载力应按下式确定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leqslant R_k^* \qquad (4.3.3\text{-}4)$$

式中：$R_k^*$ ——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钢筋的超强系数1.25。

# 5　地震时保持正常使用功能建筑性能目标及设计

## 5.1　一般规定

**5.1.1**　地震时保持正常使用功能建筑分为Ⅰ类建筑和Ⅱ类建筑，其分类应按表 5.1.1 确定。

表 5.1.1　地震时保持正常使用功能建筑分类

| 分类 | 建筑 |
|---|---|
| Ⅰ类 | 应急指挥中心建筑、医院主要建筑、应急避难场所建筑、广播电视建筑等 |
| Ⅱ类 | 学校建筑、幼儿园建筑、医院附属用房、独立建造的养老机构建筑、儿童福利机构建筑等 |

注：1　医院主要建筑是指承担震后关键医疗功能的建筑，包括医技楼、急诊中心、门诊楼，以及设有外科手术室或急诊科的乡镇卫生院的医疗用房。医院附属用房是指直接保障医院主要建筑正常运行的配套用房，包括病房楼、药剂科用房、血库、动力保障中心、食堂等。

2　学校建筑是指现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中规定的重点设防类建筑。

**5.1.2**　地震时保持正常使用功能建筑应按设防地震作用进行抗震承载力验算，并应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**　地震时保持正常使用功能建筑，其主体结构构件应按本规程第 5.3 节的规定进行抗震承载力验算。

**5.1.4**　地震时保持正常使用功能建筑，其结构最大层间位移和楼面水平加速度应符合本规程第 5.4 节的规定。

**5.1.5**　地震时保持正常使用功能建筑，其抗震措施不应低于现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 对应抗震设防类别和抗震设防烈度的规定。

**5.1.6**　地震时保持正常使用功能建筑，其设计文件应包括各楼层在设防地震作用下的层间位移和楼面水平加速度响应计算结果，并应明确建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的抗震设计要求。

## 5.2 地基和基础抗震承载力验算

**5.2.1** 地震时保持正常使用功能建筑的场地宜选择对抗震有利地段，应避开不利地段；当无法避开时，应采取有效措施。

**5.2.2** 地震时保持正常使用功能建筑，其地基基础的设计和抗震验算应满足本地区设防地震作用的要求。

**5.2.3** 地震时保持正常使用功能建筑地基基础的抗震构造措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。

## 5.3 结构构件抗震承载力验算

**5.3.1** 地震时保持正常使用功能的消能减震建筑，其结构构件的抗震承载力验算应符合下列规定：

**1** 设防地震作用下，竖向抗侧力构件的抗震承载力应按下式验算：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S^*_{Ehk} + \gamma_{Ev} S^*_{Evk} \leqslant R / \gamma_{RE} \qquad (5.3.1\text{-}1)$$

式中：$\gamma_G$——重力荷载分项系数，一般情况下应采用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；

$\gamma_{Eh}$、$\gamma_{Ev}$——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按本规程表4.3.1-1采用；

$S_{GE}$——重力荷载代表值的效应，可按本规程第4.1.5条采用，有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

$S^*_{Ehk}$——水平地震作用标准值的效应，不需考虑与抗震等级有关的增大系数；

$S^*_{Evk}$——竖向地震作用标准值的效应，不需考虑与抗震等级有关的增大系数；

$R$——构件承载力设计值；

$\gamma_{RE}$——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按本规程表4.3.1-2 采用。

**2** 设防地震作用下，水平构件的抗震承载力应按下列公式验算：

$$S_{GE}+S^{*}_{Ehk}+0.4S^{*}_{Evk}\le R_k \qquad (5.3.1\text{-}2)$$

$$S_{GE}+0.4S^{*}_{Ehk}+S^{*}_{Evk}\le R_k \qquad (5.3.1\text{-}3)$$

式中：$R_k$——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

**5.3.2** 地震时保持正常使用功能的隔震建筑，其结构构件的抗震承载力验算应符合本规程第 4.3.3 条的规定。

## 5.4 抗震变形验算和楼面水平加速度基本要求

**5.4.1** 地震时保持正常使用功能的消能减震建筑，其最大层间位移角限值应符合表 5.4.1 的规定；隔震建筑的最大层间位移应符合本规程第 11.2 节的规定。

表 5.4.1 设防地震时保持正常使用功能的消能减震建筑最大层间位移角限值

| 地震动水准 | | 设防地震 | 罕遇地震 |
|---|---|---|---|
| Ⅰ类建筑 | 钢筋混凝土框架 | 1/400 | 1/150 |
| | 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 |
| Ⅱ类建筑 | 钢筋混凝土框架 | 1/300 | 1/100 |
| | 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 |

**5.4.2** 地震时保持正常使用功能建筑，其最大楼面水平加速度限值宜符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面水平加速度限值（$g$）

| 地震动水准 | 设防地震 | 罕遇地震 |
|---|---|---|
| Ⅰ类建筑 | 0.25 | 0.45 |
| Ⅱ类建筑 | 0.45 | — |

**5.4.3** 当楼面水平加速度不满足本规程第 5.4.2 条的要求时，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，使其满足楼面水平加速度要求。

## 5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求

**5.5.1** 地震时保持正常使用功能建筑，应根据设防地震作用下的层间位移角和楼面水平加速度，选择适合的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备。当选用的构件或设备不能适应时，应重新选择或采取专门措施。

**5.5.2** 位移敏感型和加速度敏感型建筑非结构构件可按本规程附录B选用；建筑附属机电设备和功能性仪器设备可按本规程附录C选用。对于附录B和附录C中未涉及的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备，可经专门研究和论证后选用。

**5.5.3** 非承重墙体的材料、选型和布置，应根据抗震设防烈度、房屋高度、建筑体型、结构层间变形等因素确定，并应符合下列规定：

**1** 非承重墙体宜优先采用轻质材料。采用砌体墙时，应采取措施减少对主体结构的不利影响，并应设置拉结筋、水平系梁、圈梁、构造柱等，与主体结构可靠连接。

**2** 刚性连接的非承重墙体布置，应避免导致结构出现刚度和强度分布的突变。非对称布置时，应考虑地震扭转效应对结构的不利影响。

**3** 非承重墙体与主体结构应有可靠的连接，应能满足主体结构不同方向的层间变形要求。

**5.5.4** 建筑装饰构件的设计与构造应符合下列规定：

**1** 各类顶棚的构件及其与楼板的连接，应能承受顶棚、悬挂重物及有关机电设备的自重和地震作用效应；其锚固承载力不应小于连接件的承载力。

**2** 悬挑构件或一端由柱支承的构件，应与主体结构可靠连接。

**3** 玻璃幕墙、预制墙板、附设于楼屋面的悬臂构件和大型储物架的抗震构造措施，应符合国家现行有关标准的要求。

# 6　消能器的技术性能

## 6.1　一般规定

**6.1.1**　消能器应具备良好的抗疲劳性能和抗老化性能，其工作环境应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。当工作环境不满足该标准要求时，应采取保温、除湿、防紫外线、防腐等措施。

**6.1.2**　消能器外观应平整、光滑、无明显缺陷，并应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

**6.1.3**　消能器的性能应符合下列规定：

**1**　消能器中非消能构件的材料强度应满足设计要求。设计内力应按消能器最大承载力（阻尼力）的 1.5 倍确定，并应确保消能器及其附属构件在罕遇地震作用下能够正常工作。

**2**　在规定的性能检测试验工况下，消能器的滞回曲线应平滑且无异常。

**3**　消能器的屈服位移或起滑位移不宜小于 0.5mm。

**6.1.4**　消能器规格及力学性能参数可按本规程附录 D 选用。

## 6.2　消能器的技术性能

### （I）屈曲约束支撑

**6.2.1**　屈曲约束支撑各部件的尺寸偏差应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1　屈曲约束支撑各部件的尺寸偏差

| 项目 | 允许偏差 |
|---|---|
| 支撑长度 | −4mm~0mm |
| 支撑横截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 支撑侧弯矢量 | ≤$L$/1000，且≤10mm |
| 支撑扭曲度 | ≤$h$（$d$）/250，且≤5mm |

注：$L$—支撑长度；$h$—支撑套管截面较大边长；$d$—支撑外径。

**6.2.2**　屈曲约束支撑的核心单元应符合下列规定：

**1**　核心单元宜采用低屈服点钢材、碳素结构钢或合金结构钢，其

质量指标应符合国家现行有关标准的规定。

**2** 核心单元截面形式可采用一字形、十字形、H 形、双一字形和环形等，其宽厚比或径厚比限值应符合下列规定：

**1**）一字形截面的宽厚比宜取 10~20；

**2**）十字形截面的宽厚比宜取 5~10；

**3**）环形截面的径厚比不宜大于 22；

**4**）其他截面形式，应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中一级中心支撑的径厚比或宽厚比的限值要求。

**3** 采用一字形、十字形、H 形或环形截面时，核心单元的钢板厚度宜取 10mm~80mm。

**6.2.3** 屈曲约束支撑核心单元的耗能段长度不应小于其总长度的 60%；在设计位移下，耗能段的轴向应变不宜超过 3%。

**6.2.4** 屈曲约束支撑的约束单元钢材可采用碳素结构钢或合金结构钢，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 或《合金结构钢》GB/T 3077 的规定。当约束单元采用混凝土材料时，混凝土强度等级不应低于 C30。

**6.2.5** 屈曲约束支撑的约束单元应具备足够的刚度和强度，且当屈曲约束支撑的轴力达到最大承载力时，不应发生整体失稳或局部失稳。

**6.2.6** 屈曲约束支撑的力学性能和耐久性应符合表 6.2.6 的规定。

**表 6.2.6 屈曲约束支撑的力学性能和耐久性要求**

| 类型 | 项目 | 性能要求 |
|---|---|---|
| 力学性能 | 屈服承载力 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 最大承载力 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 屈服位移 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 极限位移 | 实测值不应小于产品指标设计值的 1.2 倍 |
| | 弹性刚度 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |

| 类型 | 项目 | | 性能要求 |
|---|---|---|---|
| | 第 2 刚度（屈服后刚度） | | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 滞回曲线 | | 试验得到的滞回曲线应光滑、稳定、饱满无异常，且每一级变形的最后一次循环所测得承载力不低于当级加载中最大承载力的85%。历经最大承载力不高于屈曲约束支撑最大承载力设计值的1.2 倍 |
| 耐久性 | 疲劳性能 | 承载力 | 变化率在±15%以内 |
| | | 滞回曲线 | 光滑，无异常 |
| | 耐腐蚀性能 | | 目测无锈蚀 |

## （II）金属屈服型消能器

**6.2.7** 金属屈服型消能器各部件的尺寸偏差应符合表 6.2.7 的规定。

**表 6.2.7 金属屈服型消能器各部件尺寸偏差**

| 项目 | 允许偏差 |
|---|---|
| 消能器各部位有效尺寸 | ±2mm |

**6.2.8** 金属屈服型消能器的材料应符合下列规定：

**1** 金属屈服型消能器可采用钢材、铅等材料。

**2** 消能部分采用钢材时，宜选用低屈服点且高伸长率的钢材；钢板厚度不宜大于 80mm，钢棒直径应按设计要求确定，且材料应具有良好的塑性变形能力和焊接性能。

**3** 材料性能应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

**6.2.9** 金属屈服型消能器的力学性能和耐久性应符合表 6.2.9 的规定。

**表 6.2.9 金属屈服型消能器力学性能和耐久性要求**

| 项目 | | 性能要求 |
|---|---|---|
| 力学性能 | 屈服承载力 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 最大承载力 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 屈服位移 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 极限位移 | 实测值不应小于产品指标设计值的 1.2 倍 |
| | 弹性刚度 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 第 2 刚度 | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的 |

| 项目 | | | 性能要求 |
|---|---|---|---|
| | （屈服后刚度） | | 平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 滞回曲线 | | 实测滞回曲线应光滑，无异常。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±15%；产品实测值偏差的平均值应为产品设计值的±10% |
| 耐久性 | 疲劳性能 | 承载力 | 变化率在±15%以内 |
| | | 滞回曲线 | 光滑，无异常 |
| | 耐腐蚀性能 | | 目测无锈蚀 |

**6.2.10** 金属屈服型消能器的整体稳定和局部稳定应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。在消能方向运动时，消能器在平面外应具有足够的刚度，不应发生翘曲或侧向失稳。

### （III）摩擦消能器

**6.2.11** 摩擦消能器各部位尺寸偏差应符合表 6.2.11 的规定。

**表 6.2.11 摩擦消能器各部件尺寸允许偏差**

| 项目 | 允许偏差 |
|---|---|
| 摩擦消能器长度 | ±3mm |
| 摩擦消能器截面有效尺寸 | ±2mm |
| 封闭外筒或外箱尺寸 | ±2mm |

**6.2.12** 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

**1** 摩擦材料可采用模压树脂基或橡胶基摩擦材料，其性能应符合现行国家标准《工农业机械用摩擦片》GB/T 11834 中同类摩擦材料的规定；也可采用烧结金属类摩擦材料，其性能应符合现行行业标准《烧结金属摩擦材料 技术条件》JB/T 3063 的规定。

**2** 钢材质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 或《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 的规定。

**3** 螺栓质量应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB/T 5782 或《六角头螺栓 全螺纹》GB/T 5783 的规定。

**4** 弹性垫片采用碟形弹簧时，其质量应符合现行国家标准《碟形弹簧 第 2 部分：技术条件》GB/T 1972.2 的规定。

**6.2.13** 摩擦消能器应符合下列规定：

**1** 摩擦消能器的性能由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定。正常使用时，预压力变化不宜超过初始预压力的 10%。

**2** 摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，且不应锈蚀，并应满足在预压力作用下的强度要求。

**3** 受力元件应具有足够刚度，不应发生翘曲或侧向失稳，并应采取防止应力松弛的构造措施。

**6.2.14** 摩擦消能器的力学性能和耐久性应符合表 6.2.14 的规定。

**表 6.2.14 摩擦消能器的力学性能和耐久性要求**

| 项目 | | | 性能要求 |
|---|---|---|---|
| 力学性能 | 起滑摩擦力 | | 起滑摩擦力的实测值不宜大于滑动摩擦力的 1.1 倍 |
| | 初始刚度 | | 初始刚度的实测值不应小于设计值的 85% |
| | 极限位移 | | 极限位移实测值不应小于位移设计值的 1.2 倍 |
| | 滑动摩擦力 | | 每次加载的滑动摩擦力实测值的绝对值的平均值与设计值偏差不应超过±10% |
| | 滞回曲线 | | 实测滞回曲线应光滑，无异常。每次加载的第 2 个循环及以后任一循环的滞回曲线包络面积实测值与产品指标设计值的偏差不应超过±15%；各个循环滞回曲线包络面积实测值的平均值与产品指标设计值偏差不应超过±10% |
| 耐久性 | 疲劳性能 | 滑动摩擦力 | 循环加载自第 2 个循环起，任一循环的滑动摩擦力实测值与设计值偏差不宜超过±20%，平均值与产品指标设计值偏差不应超过±15% |
| | | 滞回曲线 | 循环加载自第 2 个循环起，任一循环的滞回曲线面积实测值与所有循环的滞回曲线面积实测平均值偏差不应超过±15% |
| | 耐久性能 | 滑动摩擦力 | 滑动摩擦力平均值与初次检测滑动摩擦力平均值相比，偏差在±10%以内 |
| | | 滞回曲线 | 所有循环的滞回曲线形状不应明显异常 |

## （IV）黏滞消能器

**6.2.15** 黏滞消能器各部件尺寸允许偏差应符合表 6.2.15 的规定。

**表 6.2.15 黏滞消能器各部件尺寸偏差**

| 项目 | 允许偏差 |
|---|---|
| 黏滞消能器长度、黏滞阻尼墙宽度 | ±3mm |
| 黏滞消能器的截面有效尺寸 | ±2mm |

**6.2.16** 黏滞消能器的材料应符合下列规定：

1 黏滞阻尼材料应满足黏温关系稳定、闪点高、难燃、低挥发性、

无毒及抗老化性能强的要求。

2　黏滞消能器的钢材应根据设计要求选用，可采用优质碳素结构钢、合金结构钢或不锈钢，其质量应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077、《结构用无缝钢管》GB/T 8162、《不锈钢棒》GB/T 1220 或《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976 的规定。

3　密封材料应选用高强度、耐磨且耐老化的材料，其性能应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

### （V）黏弹性消能器

**6.2.17**　黏弹性消能器各部件尺寸偏差应符合表 6.2.18 的规定。

表 6.2.18　黏弹性消能器各部件尺寸允许偏差

| 项目 | 允许偏差 |
|---|---|
| 黏弹性消能器长度、黏弹性阻尼墙宽度 | ±3mm |
| 黏弹性消能器的截面有效尺寸 | ±3mm |

**6.2.18**　黏弹性消能器的主要材料应符合下列规定：

1　橡胶类黏弹性材料的质量指标应符合表 6.2.19 的规定。

2　钢材宜采用碳素结构钢或低合金高强度钢，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

表 6.2.19　橡胶类黏弹性材料质量指标

| 项目 | | 指标 |
|---|---|---|
| 拉伸强度（MPa） | | ≥13 |
| 扯断伸长率（%） | | ≥500 |
| 扯断永久变形（70℃，24h）（%） | | ≤35 |
| 热空气老化 70℃ 168h | 拉伸强度变化率（%） | ≤25 |
| | 扯断伸长变化率（%） | ≤40 |
| （0~40）℃工作频率材料损耗因子 $\beta$ | | ≥0.3 |
| 钢板与阻尼材料之间的黏合强度（90°剥离法）（kN/m） | | ≥6 |

**6.2.19**　黏弹性消能器的力学性能、耐久性及相关性应符合表 6.2.20 的规定。

表 6.2.20　黏弹性消能器力学性能、耐久性及相关性要求

| 项目 | | | 性能要求 |
|---|---|---|---|
| 力学性能 | 极限变形 | | 实测值不应小于产品指标设计值的 1.2 倍 |
| | 最大阻尼力 | | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 表观剪切模量 | | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 损耗因子 | | 实测值偏差应在产品指标设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品指标设计值的±10%以内 |
| | 滞回曲线 | | 实测滞回曲线应光滑，无异常。任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10% |
| 耐久性 | 老化性能 | 极限变形 | 老化后实测值偏差的平均值应在老化前数值的±15%以内 |
| | | 最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子 | 老化后实测值偏差的平均值应在老化前数值的±15%以内 |
| | | 外观 | 目测无变化 |
| | 疲劳性能 | 最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子 | 变化率在±15%以内 |
| | | 滞回曲线 | 实测滞回曲线应光滑饱满、无明显异常，且形状无明显变化 |
| | | 外观 | 目测无变化 |
| | 耐腐蚀性能 | 外观 | 目测无锈蚀 |
| 相关性 | 变形相关性能 | 最大阻尼力 | 变化率不大于±15% |
| | 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% |

## 6.3 消能器的性能检验

**6.3.1** 消能器施工安装前应进行见证检验。检验不合格，或检验后性能变化导致无法满足正常使用要求的产品，均不得在工程中使用。

**6.3.2** 消能器出厂检验由产品供应商完成，出厂检验内容对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器为外观检验，对黏滞消能器、黏弹性消能器除外观检验外尚应包括常规力学性能，产品出厂受检率为 100%。

**6.3.3** 消能器见证检验的样品应在监理单位见证下，从项目使用的产

品中随机抽取，并由具有相应检测资质的第三方检测机构进行检验。见证检验应符合下列规定：

**1** 消能器的见证检验抽样数量应符合下列规定：

**1**）屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器的抽检数量不应少于同一工程中同一类型、同一规格产品数量的 3%；当同一类型、同一规格的消能器数量较少时，抽检数量不应少于 2 件。检验合格率为 100%时，该批次产品方可用于工程。

**2**）黏滞消能器、黏弹性消能器的抽检数量不应少于同一工程中同一类型、同一规格产品数量的 20%，且不应少于 2 件。检验合格率为 100%时，该批次产品方可用于工程。

**2** 消能器的见证检验项目应符合下列规定：

**1**）屈曲约束支撑、金属屈服型消能器和摩擦消能器的见证检验项目应包括力学性能和疲劳性能。检测后的消能器不得用于工程。

**2**）黏滞消能器和黏弹性消能器的见证检验项目应包括力学性能和疲劳性能。力学性能检验后的消能器，若无损伤且力学性能仍满足设计要求，可用于工程；疲劳性能检验后的消能器不宜用于工程。

**6.3.4** 当消能器产品检验合格率未达到 100%时，应从同批次产品中加倍抽样复检。若复检合格率达到 100%，该批次产品应判定为合格，可用于工程；若复检合格率仍未达到 100%，该批次产品应判定为不合格，不得用于工程。

# 7　消能减震结构设计

## 7.1　一般规定

**7.1.1**　消能减震结构设计时，应结合结构体系特点及抗震控制需求，依据地震作用下的预期位移或承载力控制目标，进行消能器的选型与布置。

**7.1.2**　消能减震结构在罕遇地震作用下，消能器总耗能与地震总输入能量的比值不宜小于表 7.1.2 的限值。

**表 7.1.2　罕遇地震作用下消能器的耗能占比限值**

| 结构类型 | 房屋高度 H（m） | 耗能占比（%） | |
|---|---|---|---|
| | | 地震时保持正常使用功能建筑 | 常规建筑 |
| 框架结构 | / | 25.0 | 20.0 |
| 框架-剪力墙结构或剪力墙结构 | H≤60 | 10.0 | 8.0 |
| | 60<H≤80 | 8.0 | 6.0 |
| | H>80 | 应进行专门研究和论证 | |

**7.1.3**　当在两个正交平面内布置消能器，且分别按各水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑相交处的柱在双向地震作用下的受力。

**7.1.4**　消能减震结构构件设计时，应考虑消能部件对其所连接的构件及节点产生的附加轴力、剪力、弯矩和扭矩的影响。

## 7.2　消能部件布置原则

**7.2.1**　消能部件的布置宜遵循“均匀、分散、对称、周边”的原则，并应符合下列规定：

**1**　消能部件宜结合结构动力特性沿主轴方向布置，并宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近；

**2**　消能部件布置不应导致结构出现薄弱构件或薄弱层，并宜使结构刚度沿竖向分布均匀；

**3**　消能部件宜布置在层间相对位移或相对速度较大的部位，可采用辅助装置增大消能器两端的相对变形或相对速度；

**4** 可在抗震墙连梁位置设置连梁消能器，将抗震墙设计为双肢或多肢消能抗震墙；

**5** 设置消能部件的楼层，沿每个主轴方向设置的消能部件数量不宜少于 4 个，且不应少于 2 个。

**7.2.2** 消能部件的设置应符合下列规定：

**1** 采用支撑型、墙（柱）型、连梁型、门架型等连接形式的消能减震结构，设置消能部件的楼层数量应满足下列要求：

**1）**多层建筑中，设置消能部件的楼层数量不宜少于总层数的 1/2；

**2）**高层建筑中，设置消能部件的楼层数量不宜少于总层数的 1/3；

**2** 采用伸臂或悬臂式阻尼桁架的结构，宜结合结构加强层设置消能部件。

**3** 多遇地震作用下，在设置消能部件的楼层中，不少于 1/2 的楼层应满足消能器最大阻尼力之和不低于该楼层总剪力 15%的要求。

**7.2.3** 消能减震结构中，可根据工程具体情况同时采用位移相关型和速度相关型消能器。消能器的选用与布置应符合下列原则：

**1** 对于不规则结构，宜布置位移相关型消能器以调整结构的扭转位移比、周期比等指标，并可同时布置速度相关型消能器以提高结构的耗能能力。当仅布置速度相关型消能器不足以满足层间位移限值要求时，可增设位移相关型消能器进行位移控制。

**2** 位移相关型消能器宜布置在结构平面刚度较弱部位；速度相关型消能器宜布置在层间变形较大的部位。两类消能器均不宜集中布置，以避免与其连接的主体结构构件局部受力过大。

## 7.3 消能部件设计与附加有效阻尼比

**7.3.1** 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支撑、支墩（墙）等支承构件组成消能部

件时，消能部件的恢复力模型参数应符合下式规定：

$$\Delta u_{\mathrm{py}} / \Delta u_{\mathrm{sy}} \leqslant 2/3 \qquad (7.3.1\text{-}1)$$

式中：$\Delta u_{\mathrm{py}}$——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

$\Delta u_{\mathrm{sy}}$——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：

$$t_{\mathrm{v}} \geqslant \Delta u_{\mathrm{dmax}} /[\gamma] \qquad (7.3.1\text{-}2)$$

式中：$t_{\mathrm{v}}$——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（m）；

$\Delta u_{\mathrm{dmax}}$——沿消能方向消能器的最大可能的位移（m）；

$[\gamma]$——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

**3** 速度相关型消能器与支撑、支墩（墙）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列公式的规定；其他类型消能器与支撑、支墩（墙）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不宜小于消能器有效刚度的 3 倍。

$$K_{\mathrm{b}} \geqslant 6\pi C_{\mathrm{D}} / T_1 \qquad (7.3.1\text{-}3)$$

$$C_D = \frac{2^{\alpha+2}}{\pi} \frac{\Gamma^2(1+\alpha/2)}{(1+\alpha)\Gamma(1+\alpha)} \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^{\alpha-1} U_0^{\alpha-1} C \qquad (7.3.1\text{-}4)$$

式中：$K_{\mathrm{b}}$——支承构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

$C_{\mathrm{D}}$——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）；

$U_0$——阻尼器振幅（m）；

$\alpha$——速度相关型消能器的阻尼指数；

$C$——速度相关型消能器的阻尼系数［kN/（m/s）$^{\alpha}$］；

$\Gamma(\bullet)$——伽玛函数。

**7.3.2** 消能部件附加给主体结构的有效刚度，可按下列方法确定：

1 位移相关型消能部件附加给结构的有效刚度可采用等效线性化方法确定；

2 屈曲约束支撑附加给结构的有效刚度应考虑其与节点板的串联刚度。

**7.3.3** 消能部件附加给结构的有效阻尼比，可按下列两种方法确定。

**1** 方法 1——应变能法

**1**）消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式确定：

$$\zeta_{\mathrm{d}}=\eta_{1}\sum_{j=1}^{m}\frac{W_{\mathrm{c}j}}{4\pi W_{\mathrm{s}}} \qquad (7.3.3\text{-}1)$$

式中：$\zeta_{\mathrm{d}}$——消能减震结构的附加有效阻尼比；

$W_{\mathrm{c}j}$——第 $j$ 个消能器在结构预期层间位移下往复循环一周所消耗的能量（kN·m）；

$W_{\mathrm{s}}$——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN·m）；

$m$——消能器的总个数；

$\eta_{1}$——附加有效阻尼比折减系数，多遇地震时取 0.8，设防地震作用时取 0.9。

**2**）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，可按下式确定：

$$W_{\mathrm{s}}=\sum F_{i}u_{i}/2 \qquad (7.3.3\text{-}2)$$

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

$u_{i}$——质点 $i$ 对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

**3**）速度相关型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式确定：

$$W_{\mathrm{c}j}=\lambda_{1}F_{\mathrm{d}j\max}\Delta u_{j} \qquad (7.3.3\text{-}3)$$

式中：$\lambda_{1}$——阻尼指数的函数，可按本规程表 7.3.3 取值；

$F_{\mathrm{d}j\max}$——第 $j$ 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力（kN）；

$\Delta u_{j}$——第 $j$ 个消能器两端的相对水平位移（m）。

**表 7.3.3　$\lambda_{1}$ 值**

| 阻尼指数$\alpha$ | $\lambda_{1}$ 值 | 阻尼指数$\alpha$ | $\lambda_{1}$ 值 |
|---|---|---|---|
| 0.10 | 3.82 | 0.40 | 3.58 |
| 0.15 | 3.78 | 0.50 | 3.50 |

| 阻尼指数$\alpha$ | $\lambda_1$值 | 阻尼指数$\alpha$ | $\lambda_1$值 |
|---|---|---|---|
| 0.20 | 3.74 | 0.75 | 3.30 |
| 0.25 | 3.70 | 1 | 3.10 |
| 0.30 | 3.66 | | |

注：其他阻尼指数对应的$\lambda_1$值按线性插值取值。

**4**）位移相关型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式确定：

$$W_{cj} = A_j \tag{7.3.3-4}$$

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

**2** 方法2——能量时程对比法

消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式确定：

$$\zeta_d = \eta_2 \times \frac{W_d}{W_1} \times \zeta_1 \tag{7.3.3-5}$$

式中：$\zeta_1$——消能减震主体结构阻尼比；

$W_d$——消能减震结构消能器累积耗能；

$W_1$——消能减震主体结构固有模态阻尼累积耗能；

$\eta_2$——附加有效阻尼比折减系数，一般取0.9。

**3** 应用式（7.3.3-1）或式（7.3.3-5）估算消能部件附加给主体结构的有效阻尼比时，宜选用能考虑消能器非线性特性的逐步积分法，瑞利阻尼的质量和刚度比例系数选取涉及的频率区间，应包含对响应有贡献的大部分频率。

**7.3.4** 采用振型分解反应谱法分析时，结构附加有效阻尼比可通过迭代方法计算。

**7.3.5** 采用时程分析法计算消能器附加给主体结构的有效阻尼比时，消能器两端的相对水平位移$\Delta u_j$、质点$i$的水平地震作用标准值$F_i$、质点$i$对应水平地震作用标准值的位移$u_i$，应采用符合本规程第4.1.3条规定的时程分析结果。

**7.3.6** 消能器附加给主体结构的有效阻尼比，应分别按多遇地震、设

防地震和罕遇地震进行计算。当计算所得附加有效阻尼比超过 25%时，宜按 25%取值。

## 7.4 消能减震主体结构设计

**7.4.1** 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，应根据结构类型，按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定取值；

**2** 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值，不应大于现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 中相应结构类型规定的限值。

**7.4.2** 消能减震结构的抗震等级及抗震构造措施应符合下列规定：

**1** 主体结构的抗震等级应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定。

**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；其降低幅度可根据消能减震结构与相应的非消能减震结构的水平地震剪力比值确定，且不应超过 1 度。

**3** 消能减震结构亦可根据罕遇地震下的楼层弹塑性层间位移确定主体结构相应的抗震构造措施，并应符合下列规定：

**1**）当罕遇地震下最大层间位移角不大于 $1.5[\theta_e]$时，主体结构抗震构造措施可按常规设计的有关规定降低 2 度采用，但不得低于 6 度，且不发生脆性破坏；

**2**）当罕遇地震下最大层间位移角大于 $1.5[\theta_e]$且不大于 $2.0[\theta_e]$时，主体结构抗震构造措施可按常规设计的有关规定降低 1 度采用，当构件的承载力高于多遇地震提高 2 度的要求时，可按降低 2 度采用；均不得低于 6 度，且不发生脆性破坏；

**3**）当罕遇地震下最大层间位移角大于 $2.0[\theta_e]$且不大于 $4.0[\theta_e]$时，若构件承载力满足多遇地震提高 1 度设防要求时，主体结构抗震构造措施可按常规设计的有关规定降低 1 度采用，且不得低于 6 度。

**7.4.3** 消能子结构设计可按下列步骤进行：

**1** 通过多遇地震作用下的弹性分析确定消能子结构的配筋，并应满足强柱弱梁、强剪弱弯的设计要求；

**2** 在步骤 1 的配筋结果的基础上，结合消能子结构的非线性特性，进行罕遇地震作用下的弹塑性时程分析，确定消能子结构的内力；

**3** 根据步骤 2 弹塑性时程分析得到的内力结果，对消能子结构进行极限承载力验算。

**7.4.4** 消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

**1** 消能子结构中的梁、柱、抗震墙等构件，在罕遇地震作用效应与其他荷载效应的基本组合下（分项系数均取 1.0），其内力不应超过构件的极限承载力。验算构件极限承载力时，钢材强度可取其抗拉强度最小值；钢筋强度可取屈服强度标准值的 1.25 倍；混凝土强度可取立方体抗压强度标准值的 0.88 倍。

**2** 消能子结构中构件和节点的截面设计，应计入消能器在设计位移或者设计速度下产生的阻尼力作用。

**3** 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，应计入消能部件端部附加弯矩的影响。

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

**7.4.5** 消能子结构的抗震构造措施应符合下列规定：

**1** 当消能子结构为混凝土或型钢混凝土梁、柱构件时，应全长加密箍筋，且其箍筋的最大间距和最小直径应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定。

**2** 当消能子结构为抗震墙时，端部宜设置约束边缘构件，其箍筋的最大间距和最小直径应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中对框架柱的

相关要求。

**3** 当消能子结构为钢结构构件时，钢梁、钢柱节点的构造措施应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《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 中的规定。

# 8 消能部件的连接与构造

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 消能器与主体结构的连接形式包括支撑型、门架型、墙（柱）型、连梁型和腋撑型等，应根据工程实际情况及消能器类型合理确定。

**8.1.2** 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜撑、V 字形或人字形布置，不宜采用 K 字形布置。支撑杆件宜采用双轴对称截面，其长细比、宽厚比或径厚比应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《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 中对中心支撑的规定。

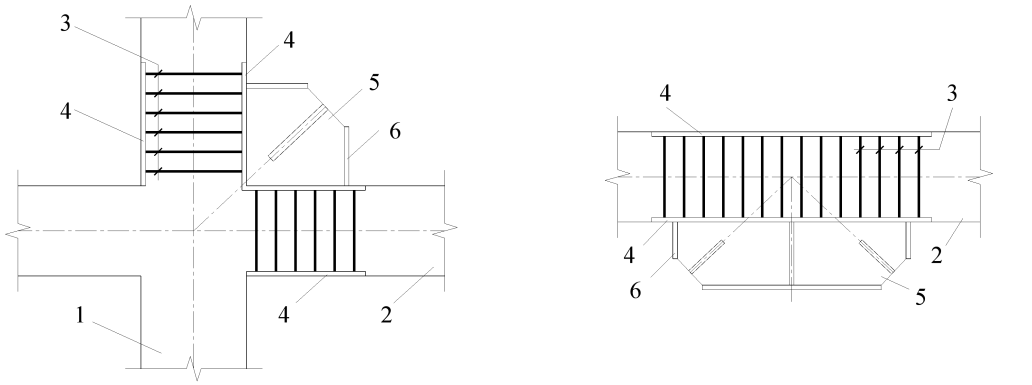
**8.1.3** 消能器与支撑、节点板之间的连接，以及支撑与节点板之间的连接，可采用高强度螺栓连接、焊接或销轴连接等方式。高强度螺栓连接、焊缝及销轴连接的计算与构造要求应符合国家现行有关标准的规定。

**8.1.4** 预埋件、支撑、支墩（墙）及节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

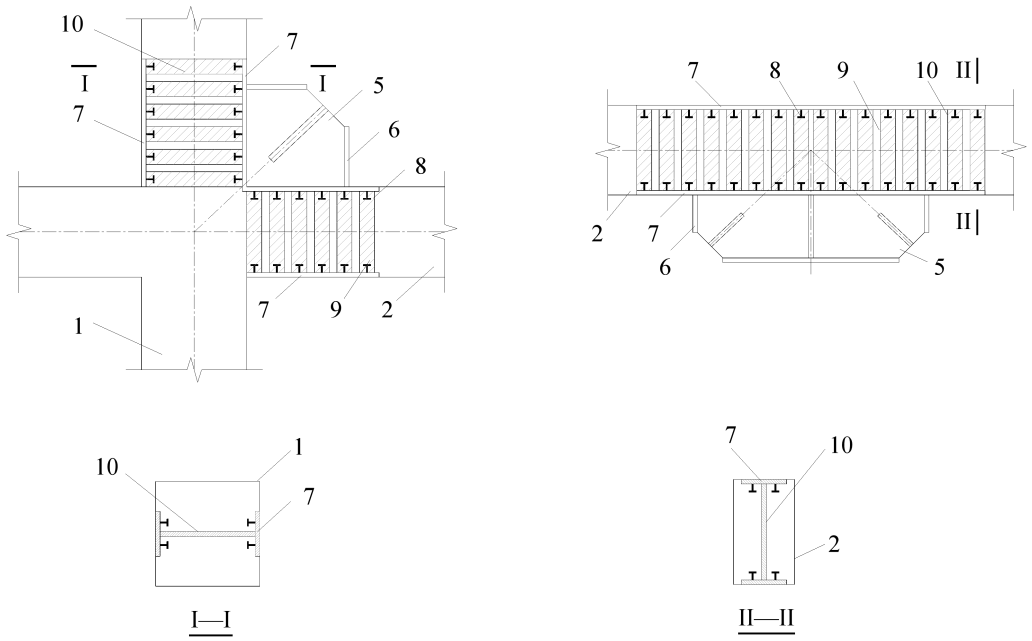
**8.1.5** 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑、支墩（墙）及节点板，其作用力取值不应小于消能器最大承载力（阻尼力）的 1.2 倍。

**8.1.6** 消能部件采用销轴连接时，销轴连接间隙不宜大于 0.1mm；当间隙超过 0.1mm 时，应在设计中考虑其对消能器性能的影响。

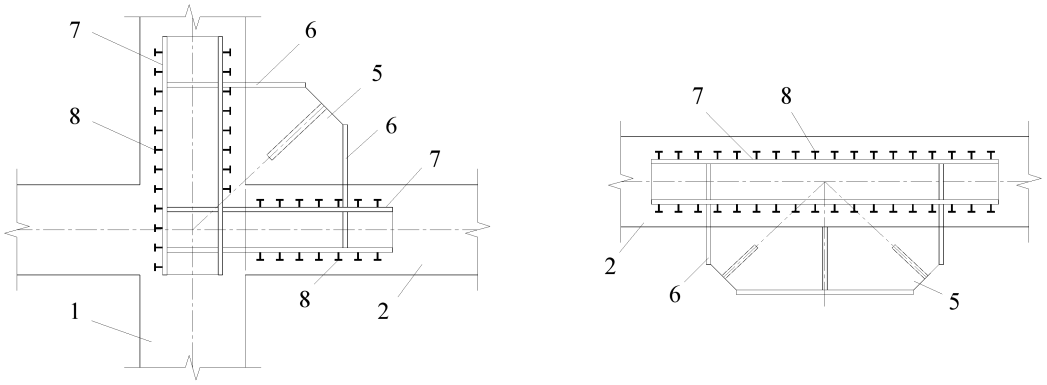
**8.1.7** 预埋件可采用锚板与锚筋组合、腹板开孔 H 型钢、实腹型钢等形式，具体构造如图 8.1.7 所示。




（a）锚板和锚筋




（b）腹板开孔 H 型钢




（c）实腹型钢

图 8.1.7 节点板与混凝土梁、柱构件的连接示意图

1—柱；2—梁；3—锚筋；4—锚板；5—节点板；6—加劲肋；7—型钢翼缘；
8—栓钉；9—型钢腹板；10—开孔腹板

**8.1.8** 屈曲约束支撑采用人字形或 V 字形布置时，应采取合理措施

限制与其相连梁的侧向变形和扭转变形。当该梁的侧向变形和扭转变形未能得到有效限制时，应计入其侧向刚度和扭转刚度对节点平面外稳定的影响。

**8.1.9** 外墙部位的消能部件宜设置在围护墙体内侧。消能部件与填充墙等非结构构件之间应采用柔性连接，确保消能部件变形不受阻碍。

## 8.2 预埋件计算

**8.2.1** 预埋件采用锚板与锚筋组合形式时，锚板及锚筋的计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定，并应满足下列要求：

**1** 锚筋总截面面积应根据消能器的受力特征确定。

**2** 采用直锚筋时，预埋件的承载力折减系数可取 0.8；采用角钢锚筋或直锚筋与抗剪钢板组合使用时，承载力折减系数可取 0.7。

**8.2.2** 梁柱节点部位的预埋件锚板进行承载力验算时，可将支撑的轴力分解到柱上锚板和梁上锚板的中心（图 8.2.2），按下列公式计算。

$$F = F_1 + F_2 \tag{8.2.2-1}$$

$$F_1 a\cos\theta = F_2 b\sin\theta \tag{8.2.2-2}$$

式中：$F$ ——支撑的轴力（kN）；

$F_1$ ——柱上锚板的拉（压）力（kN）；

$F_2$ ——梁上锚板的拉（压）力（kN）。

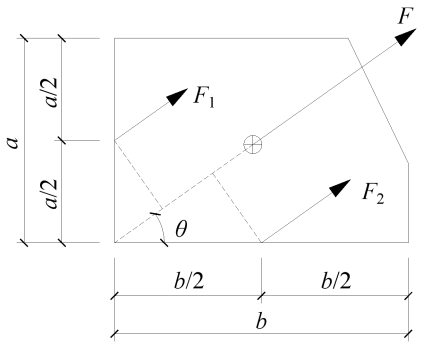



图 8.2.2 梁柱节点部位的连接板预埋件受力分解示意图

**8.2.3** 当预埋件因约束、变形、温度变化等间接作用产生的效应可能

危及连接安全或正常使用时，宜进行间接作用效应分析，并应采取可靠的构造与施工措施。

## 8.3 节点板计算

**8.3.1** 节点板设计时，应验算节点板的截面承载力、受压稳定性，以及节点板与预埋件之间高强度螺栓连接或焊缝的强度。

**8.3.2** 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式确定：

$$\sigma = \frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leqslant f \qquad (8.3.2\text{-}1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos^2\alpha_i}} \qquad (8.3.2\text{-}2)$$

式中：$N$ ——作用于节点板上消能器作用力（N），按本条第 8.1.5 条的规定取值；

$A_i$ ——第 $i$ 段破坏面的截面积（$mm^2$），$A_i = tl_i$，当为螺栓连接时，应取净截面面积；

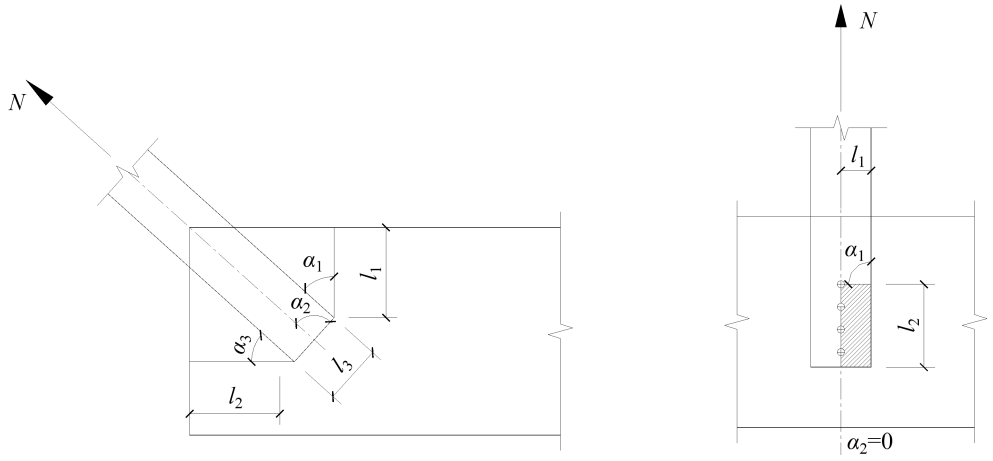
$\eta_i$ ——第 $i$ 段的拉剪折算系数；

$f$ ——钢材的抗拉和抗剪强度设计值（$N/mm^2$）；

$\alpha_i$ ——第 $i$ 段破坏线与拉力轴线的夹角；

$t$ ——板件厚度（mm）；

$l_i$ ——第 $i$ 段破坏段的长度（mm），应取板件中最危险的破坏线的长度（图 8.3.2）。




（a）焊接　　（b）螺栓连接

图 8.3.2　节点板的拉、剪撕裂

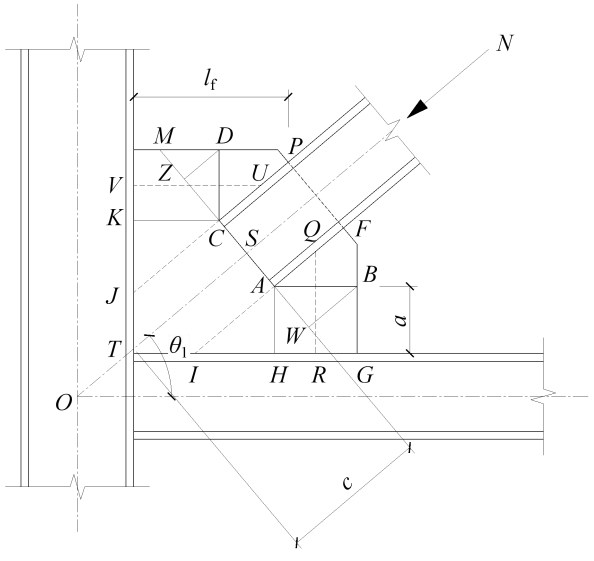
**8.3.3**　节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

**1**　对梁柱相交处有斜向支撑或消能器的节点，其节点板 $c/t$ 不应大于 $22\varepsilon_k$。当 $c/t$ 不大于 $15\varepsilon_k$ 时，可不进行稳定验算。否则，应按本条第 3 款进行计算。

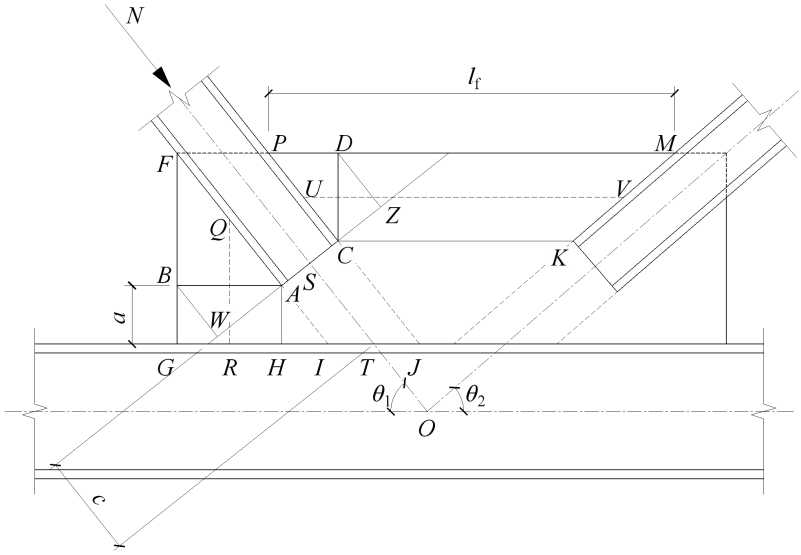
注：$\varepsilon_k$ 为钢号修正系数，其值为 235 与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

**2**　对框架梁上的节点，其节点板 $c/t$ 不应大于 $17.5\varepsilon_k$。当 $c/t$ 不大于 $10\varepsilon_k$ 时，节点板的稳定承载力可取为 $0.8b_e tf$；当 $c/t$ 大于 $10\varepsilon_k$ 时，应按本条第 3 款进行计算。

**3**　设有斜向支撑或消能器的节点板，在其轴向压力作用下，节点板 $\overline{BA}$、$\overline{AC}$ 和 $\overline{CD}$ 的稳定性应符合下列规定：




（a）　单斜撑节点板




（b） 双斜撑节点板

图 8.3.3 节点板稳定计算简图

$\overline{\text{BA}}$ 区：

$$\frac{b_1}{b_1+b_2+b_3}N\sin\theta_1 \leqslant l_1 t_s \varphi_1 f \qquad (8.3.3\text{-}1)$$

$\overline{\text{AC}}$ 区：

$$\frac{b_2}{b_1+b_2+b_3}N \leqslant l_2 t_s \varphi_2 f \qquad (8.3.3\text{-}2)$$

$\overline{\text{CD}}$ 区：

$$\frac{b_3}{b_1+b_2+b_3}N\cos\theta_1 \leqslant l_3 t_s \varphi_3 f \qquad (8.3.3\text{-}3)$$

式中： $N$——作用于节点板上的轴力（一般为消能器的最大阻尼力，N）；

$t_s$——节点板厚度（mm）；

$l_1$、$l_2$、$l_3$——分别为屈折线段$\overline{\text{BA}}$、$\overline{\text{AC}}$、$\overline{\text{CD}}$的长度（mm）；

$\varphi_1$、$\varphi_2$、$\varphi_3$——各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中 $b$ 类截面查取；其相应的长细比分别为：$\lambda_1 = 2.77\overline{QR}/t$，$\lambda_2 = 2.77\overline{ST}/t$，$\lambda_3 = 2.77\overline{UV}/t$；式中$\overline{QR}$、$\overline{ST}$、$\overline{UV}$

为$\overline{BA}$、$\overline{AC}$、$\overline{CD}$三区受压板件的中线长度；其中$\overline{ST}=c$；$b_1$、$b_2$、$b_3$为各屈折线段在有效宽度线上的投影长度，$b_1$、$b_2$、$b_3$分别为$\overline{WA}$、$\overline{AC}$、$\overline{CZ}$的长度。

## 8.4 支撑和支墩（墙）计算

**8.4.1** 支墩（墙）应按本规程第 8.1.5 条消能器附加的水平剪力进行截面验算。截面验算宜按《混凝土结构设计标准》GB/T 50010-2010（2024 年版）附录 G 深受弯构件的规定执行。

**8.4.2** 支撑或支墩（墙）的计算长度应符合下列规定：

1 采用支撑型连接时，支撑计算长度应取支撑与消能器连接处至主体结构预埋件连接中心处的距离；

2 采用门架型连接时，支撑计算长度应取连接消能器水平梁底部至主体结构预埋件连接中心处的距离；

3 采用墙（柱）型连接时，支墩（墙）计算长度应取其净高。

## 8.5 消能器与主体结构连接的构造要求

**8.5.1** 节点板与混凝土梁、柱构件连接时，预埋件的选用宜符合下列规定：

**1** 当消能器最大阻尼力不大于 1000kN 时，可采用锚板与锚筋组合形式；

**2** 当消能器最大阻尼力大于 1000kN 且不大于 5000kN 时，可采用腹板开孔 H 型钢形式；

**3** 当消能器最大阻尼力大于 5000kN 时，可采用实腹型钢形式。

**8.5.2** 预埋件采用锚板与锚筋组合形式时，锚板与锚筋的构造宜满足下列要求：

**1** 直锚筋与锚板应采用 T 形焊接。当锚筋直径不大于 20mm 时，宜采用压力埋弧焊；当锚筋直径大于 20mm 时，宜采用穿孔塞焊。

**2** 预埋件的受拉直锚筋及弯折锚筋的锚固长度不应小于现行国

家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的要求；受剪或受压直锚筋的锚固长度宜大于 20 倍锚筋直径，且不应小于 250mm。当无法满足时，应采取有效加强措施。

**3** 沿剪力方向的锚筋排数不宜多于四排。当多于四排时，应考虑锚筋层数的折减或采取其他有效传递剪力的措施。

**8.5.3** 预埋件采用腹板开孔 H 型钢时，腹板厚度不宜小于 8mm。

**8.5.4** 预埋件采用实腹型钢时，应符合下列规定：

**1** 型钢与节点板连接处应设置加劲肋；

**2** 型钢上下翼缘应设置栓钉；

**3** 节点板对应混凝土梁箍筋位置应预留穿筋孔，且在节点板强度验算时应计入开孔对截面的削弱影响。

**8.5.5** 节点板的构造要求应符合下列规定：

**1** 节点板钢材的强度等级不宜低于所连接支撑构件的钢材强度等级。

**2** 节点板自由边宜设置边肋。边肋厚度不应小于节点板厚度的 1/2，且不应小于 8mm；边肋宽度不应小于 150mm，并应与预埋件焊接。

**8.5.6** 支撑及支墩（墙）的构造应符合下列规定：

1 支撑钢材宜采用 Q235 碳素结构钢，或 Q355 低合金高强度结构钢。当有可靠依据时，可采用其他钢种或钢号。

2 支墩（墙）采用钢筋混凝土时，混凝土强度等级不应低于 C30；采用钢材时，钢材应符合本条第 1 款的规定。

**8.5.7** 连梁消能器伸入梁端锚固段的型钢与混凝土的连接，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。

**8.5.8** 消能器与主体结构的连接构造应采取措施，避免或减少消能器平面外受力的不利影响。

# 9　消能部件的施工、验收与维护

## 9.1　一般规定

**9.1.1**　消能部件工程应作为主体结构分部工程的子分部工程进行施工和质量验收，并应符合下列规定：

1　分项工程可按消能器产品类别或消能器施工工艺进行划分；

2　检验批可按工程量、楼层、结构缝或施工段进行划分。

**9.1.2**　消能部件子分部工程施工前，应结合主体结构材料、结构体系、消能器类型、消能器与主体结构的连接形式及施工条件等，编制专项施工组织设计或施工技术方案。

**9.1.3**　消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为消能部件进场验收和消能部件安装防护两个阶段。

## 9.2　消能部件进场验收

**9.2.1**　消能部件进场应进行验收，并经监理（建设）单位核准。

**9.2.2**　消能部件进场时，应具有型式检验报告、出厂检验报告及相关质量证明文件，并应按规定进行见证检验。见证检验的数量和项目应符合本规程第 6.3.2 条的规定。

**9.2.3**　消能器类型、规格、尺寸偏差和力学性能参数，应满足设计文件要求，并应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

## 9.3　消能部件施工的安装顺序

**9.3.1**　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协商确定，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

**9.3.2**　消能减震结构及消能部件的施工顺序，应符合下列规定：

**1**　应划分结构施工流水段和消能器安装流水段；

**2**　应根据结构特点及施工条件，确定消能部件在消能减震结构中

的安装顺序；

**3** 应确定同一部位各消能部件及主体结构构件的局部安装顺序。

**9.3.3** 消能部件和主体结构构件的总体安装顺序，宜符合下列规定：

1 对于钢结构，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。在平面上，宜从中部向四周开展；在竖向上，宜自下而上逐层进行。

2 对于现浇混凝土结构，消能部件与主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法。

**9.3.4** 同一部位各消能部件的局部安装顺序的编制，应符合下列规定：

**1** 确定同一部位各消能部件的现场安装单元和安装连接顺序；

**2** 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（墙）、连接件的类型、规格和数量。

**9.3.5** 当同一部位消能部件的制作单元超过 1 个时，宜先在现场地面将各制作单元与连接件拼装为扩大安装单元，再与主体结构连接。

## 9.4 施工测量和消能部件的安装、校正

**9.4.1** 消能部件的平面与标高测量定位、施工测量放样及安装测量定位，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 的规定。

**9.4.2** 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

**1** 应复查消能部件的定位轴线、标高点等；

**2** 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；

**3** 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，核查安装方法和步骤；

**4** 对消能部件的制作质量进行全面复查。

**9.4.3** 消能部件安装的吊装就位和测量校正应符合国家现行有关标准的规定。

## 9.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

**9.5.1** 消能部件接头节点的焊接与螺栓连接，应符合国家现行有关标准的规定，并应满足设计文件的要求。

**9.5.2** 消能部件安装完成后，应符合下列规定：

1 消能器应无变形及功能性损伤；

2 消能器的黏滞材料、黏弹性材料应无泄漏或剥落，涂层应无脱落，表面应无锈蚀；

3 消能部件的临时固定件应拆除。

## 9.6 施工安全与施工质量验收

**9.6.1** 消能部件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 和《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的规定，并应根据消能部件的施工特点，在施工组织设计中制定专项施工安全措施。

**9.6.2** 消能部件子分部工程施工质量验收应在施工单位自检合格的基础上，按检验批、分项工程进行验收，并应符合下列规定：

**1** 工程施工质量应符合国家现行有关标准的规定，并应满足设计文件的要求。

**2** 隐蔽工程在隐蔽前，施工单位应通知监理单位进行验收，并形成隐蔽工程验收文件。验收合格后，方可继续施工。

**3** 检验批施工质量应按主控项目和一般项目进行验收。主控项目应全部合格；一般项目的抽样检验合格率不应低于 80%，且最大偏差不得超过允许偏差的 1.2 倍，且不得存在严重质量缺陷。

**9.6.3** 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 9.6.3 的规定执行。

表 9.6.3 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 | 抽检数量及检验方法 | 合格质量标准 |
|---|---|---|---|
| 1 | 见证取样送样检测项目： | 现行国家标准《钢结构工 | 符合现行国家标准 |

| 项次 | 项目 | 抽检数量及检验方法 | 合格质量标准 |
| --- | --- | --- | --- |
| | （1）消能部件钢材复验；<br>（2）高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数复验、扭剪型高强度螺栓连接副预拉力复检；<br>（3）摩擦面抗滑移系数复验 | 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 规定 |
| 2 | 焊缝质量：<br>（1）焊缝尺寸；<br>（2）内部缺陷；<br>（3）外观缺陷 | 一、二级焊缝按焊缝处数分别随机抽检 100%、20%，且不应少于 3 处；内部缺陷采用超声波或射线探伤记录；外观缺陷采用观察或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查 | 符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定 |
| 3 | 高强度螺栓施工质量：<br>（1）终拧扭矩；<br>（2）梅花头检查 | 按节点数随机抽检 3%，且不应少于 3 个节点；检验方法应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的方法执行 | 符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 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 | 符合设计文件及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定 |

**9.6.4** 消能部件子分部工程观感质量检查项目可按表 9.6.4 的规定执行。

**表 9.6.4 消能部件子分部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 | 消能部件的普通涂层表面 | 随机抽查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 |

## 9.7 消能部件维护

**9.7.1** 消能部件的检查可根据检查时间或时机分为定期检查和应急检查，也可根据检查方法分为目测检查和抽样检验。

**9.7.2** 消能部件应根据消能器类型、使用环境、设计工作年限及设计文件要求等进行定期检查。黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用条件下，一般每 10 年或二次装修时应进行目测检查，达到设计工作年

限时应进行抽样检验。

**9.7.3** 当消能减震建筑遭遇不低于设防烈度的地震后，应对消能部件、消能子结构等进行检查，并对消能器进行抽样检验，以判定其能否继续使用或需更换。

**9.7.4** 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、变形和其他问题。目测检查内容及维护方法应符合表 9.7.4 的规定。

**表 9.7.4 目测检查内容及维护处理方法**

| 检查项目 | 检查内容 | | 检查方法 | 维护方法 |
|---|---|---|---|---|
| 消能器 | 屈曲约束支撑 | 芯材外露、产生明显的损失、变形 | 观察，拉线、尺量 | 更换消能器 |
| | 金属屈服型消能器 | 产生明显的损失、变形 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| | 摩擦消能器 | 摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置松弛，产生明显的损伤、变形 | 观察、尺量 | 更换相关材料、压力装置，更换消能器 |
| | 黏滞消能器 | 漏油、阻尼材料渗漏、产生明显的损失、变形 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| | 黏弹性消能器 | 黏弹材料老化、龟裂、产生明显的损失、变形 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| 消能器与消能子结构连接部位 | 螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形 | | 观察、小锤敲击，卡尺测量 | 拧紧螺栓、补焊，更换销轴 |
| 消能器外露金属面、摩擦面 | 黏滞消能器导杆、摩擦消能器外露摩擦面出现腐蚀、表面污垢、硬化、结斑、结块 | | 观察 | 及时清除 |
| 消能器、支撑、连接件表面涂装 | 被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装出现裂纹、起皮、剥落、老化等 | | 观察 | 及时清除；重新涂装 |
| 消能器周围构造 | 限制、阻碍消能器正常工作的障碍物 | | 观察 | 及时清除 |

**9.7.5** 消能部件抽样检验时，应从结构中抽取具有代表性的在役消能器，对其关键性能参数进行测试。测试内容应包括消能器服役期间可能发生变化的关键性能参数，并应据此综合评定其是否满足预设的设计工作年限要求。

# 10　隔震支座的技术性能

## 10.1　一般规定

**10.1.1**　隔震支座的技术性能除应满足本章要求外，尚应符合国家现行相关产品标准的规定。

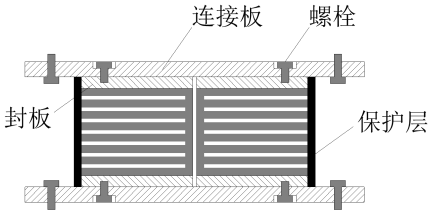
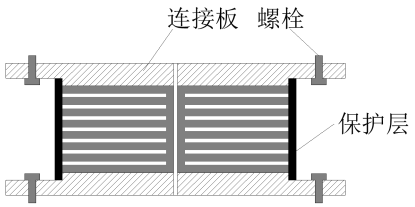
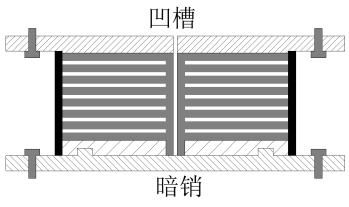
**10.1.2**　隔震支座规格及力学性能参数可按本规程附录 E 选用。

## 10.2　隔震支座的技术性能

### （I）隔震橡胶支座

**10.2.1**　隔震橡胶支座按构造可分为Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型（见表 10.2.1），其常用截面形状分为圆形或方形（见图 10.2.1）。

**表** 10.2.1　**隔震橡胶支座按构造分类**

| 分类 | 说明 | 图示 |
|---|---|---|
| Ⅰ型 | 连接板和封板用螺栓连接；<br>封板与内部橡胶黏合；<br>橡胶保护层在支座硫化前包裹 |  |
| Ⅱ型 | 连接板直接与内部橡胶黏合 |  |
| Ⅲ型 | 支座与连接板用凹槽或暗销连接 |  |




（a）圆形支座　　（b）方形支座

**图 10.2.1 隔震橡胶支座平面示意图**

**10.2.2** 隔震橡胶支座的第一形状系数 $S_1$ 不应小于 15，第二形状系数 $S_2$ 不宜小于 5，且不应小于 3。当第二形状系数不满足上述要求时，应按本规程第 11.3.3 条的规定降低隔震橡胶支座的平均压应力限值。

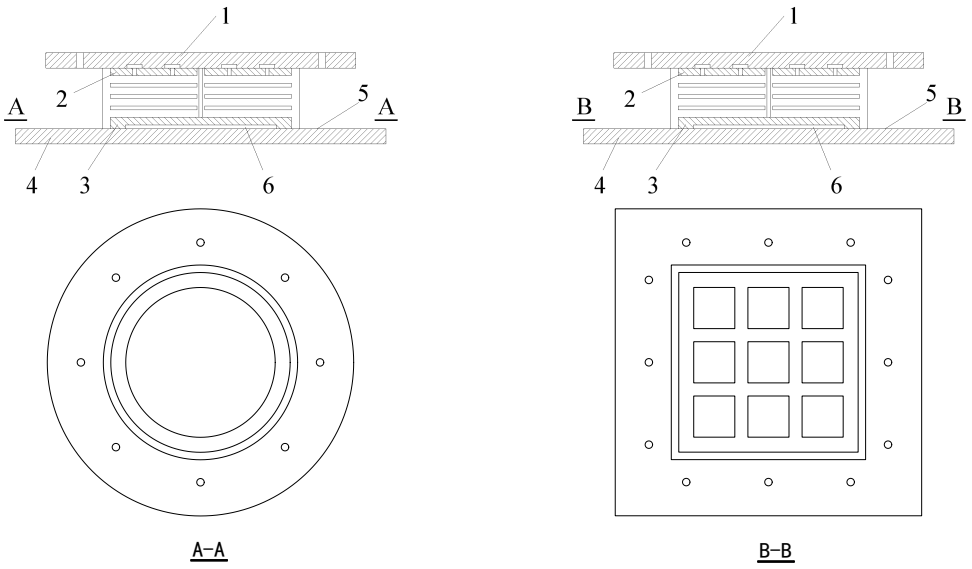
**10.2.3** 隔震橡胶支座的外观要求、允许偏差及检验规则应符合现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3 的规定。

**10.2.4** 橡胶材料的物理性能应包括拉伸性能、老化性能、硬度、黏合性能、压缩性能、剪切性能、脆性性能、抗臭氧性能及低温结晶性能等。其具体要求和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3 的规定。

**10.2.5** 隔震橡胶支座的力学性能应包括压缩性能、剪切性能、拉伸性能、剪切与压缩性能的相关性、极限剪切性能及耐久性能等。其具体要求和试验方法应符合国家现行标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。

### （II）弹性滑板支座

**10.2.6** 弹性滑板支座按橡胶支座部的截面形状可分为圆形（图 10.2.6a）和方形（图 10.2.6b）两类。




（a）圆形支座　　（b）方形支座

**图 10.2.6 弹性滑板支座示意图**

1—上连接板；2—上封板；3—下封板；4—下连接板；5—滑移面板；6—滑移材料

**10.2.7** 弹性滑板支座的第一形状系数 $S_1$ 不宜小于 30，第二形状系数 $S_2$ 不应小于 7。

**10.2.8** 弹性滑板支座的外观要求、允许偏差及检验规则应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 的规定。

**10.2.9** 橡胶材料的物理性能包括拉伸性能、老化性能、硬度、粘合性能、压缩性能、剪切性能、脆性性能、抗臭氧性能和低温结晶性能等。其具体要求和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 的规定。

**10.2.10** 弹性滑板支座的力学性能应包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性、压缩性能相关性、极限性能及耐久性能等。其具体要求和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 的规定。

### （III）摩擦摆隔震支座

**10.2.11** 摩擦摆隔震支座按滑动摩擦面结构形式可分为Ⅰ型和Ⅱ型两类。其中，Ⅰ型为单主滑动摩擦面型（图 10.2.11a、b），Ⅱ型为

双主滑动摩擦面型（图 10.2.11c）。

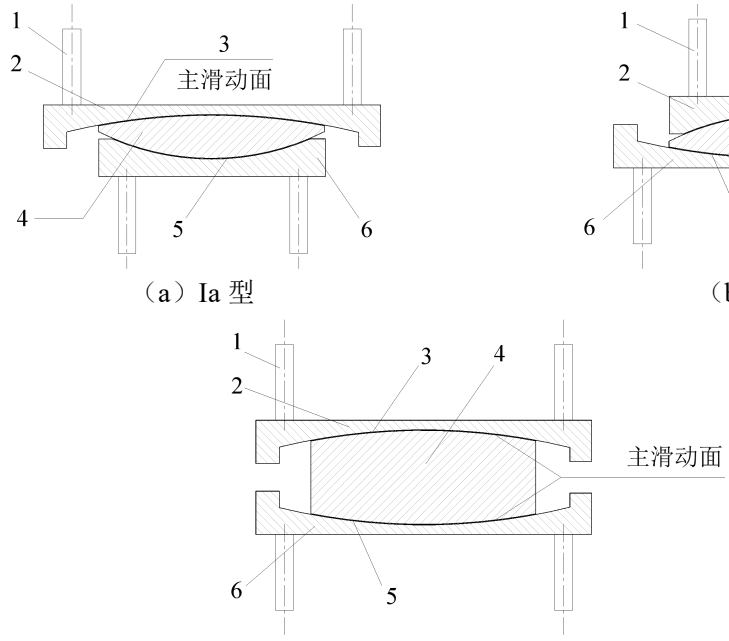



图 10.2.11　摩擦摆隔震支座分类

1—上下锚固装置；2—上座板；3—上滑动摩擦面；4—球冠体；5—下滑动摩擦面；6—下座板

**10.2.12**　摩擦摆隔震支座的竖向承载力分级、极限位移量分级及摆动周期分级应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

**10.2.13**　摩擦摆隔震支座的外观要求、允许偏差及检验规则应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

**10.2.14**　摩擦摆隔震支座的力学性能应包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性及水平极限变形能力等。其具体要求和试验方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

## 10.3　隔震支座的性能检验

**10.3.1**　隔震支座施工安装前应进行见证检验。检验不合格或检验后性能变化导致无法满足正常使用要求的产品，均不得在工程中使用。

**10.3.2**　隔震支座应进行见证检验，用于水平极限变形能力检测的支座不得在工程中使用。见证检验技术要求应符合下列规定，检验结果应符合设计要求：

**1** 压缩性能：隔震橡胶支座应按现行国家标准《橡胶支座 第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3的要求进行检验；弹性滑板支座应按现行国家标准《橡胶支座 第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5的要求进行检验；摩擦摆隔震支座应按现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的要求进行检验。

**2** 剪切性能：隔震橡胶支座应按现行国家标准《橡胶支座 第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3的要求进行检验；隔震弹性滑板支座应按现行国家标准《橡胶支座 第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5的要求进行检验；摩擦摆隔震支座应按现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的要求进行检验；同时，试验加载频率宜为设计频率，除设计特殊要求外，不得低于0.02Hz。

**3** 水平极限变形能力：隔震橡胶支座应按现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118的要求进行检验。对直径大于800mm的隔震橡胶支座，水平极限剪切变形可取支座在罕遇地震下的最大水平位移值进行检验；隔震弹性滑板支座应按现行国家标准《橡胶支座 第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5的要求进行检验；摩擦摆隔震支座应按现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的要求进行检验。

**4** 检查数量：同一生产厂家、同一类型、同一规格的产品，应抽取总数量的2%且不少于3个进行支座力学性能试验。其中，每3个试验支座中，应至少抽取1个进行水平极限变形能力试验。

**10.3.3** 隔震支座外观质量应符合现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，游标卡尺测量，钢尺测量。

**10.3.4** 隔震支座尺寸偏差应符合现行国家标准《橡胶支座 第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3中的规定。

检查数量：应抽取支座总数量的 10%且不少于 5 个。

检验方法：应按现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 中的规定执行。

**10.3.5** 隔震支座连接构件尺寸偏差应符合现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 的规定。

检查数量：应抽取支座总数量的 10%且不少于 5 个。

检验方法：应按现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ360 中的规定执行。

**10.3.6** 隔震支座连接板平整度偏差应小于 1/300。

检查数量：应抽取支座总数量的 10%且不少于 5 个。

检验方法：将连接板自由放在平台上，除连接板本身的重量外不施加任何压力，测量连接板下表面与平台间的最大距离。当受检测平台长度限制时，对长度大于 2000mm 的连接板，可任意截取 2000mm 进行不平度的测量来替代全长不平度的测量。

**10.3.7** 隔震支座连接板的机械性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《合金结构钢》GB/T 3077 的规定，并应具有出厂质量证明书；牌号不清或对材质有疑问时应予复检，符合标准后方可使用。

检查数量：支座总数量的 10%。

检验方法：检查检测报告。

# 11　多高层隔震结构设计

## 11.1　一般规定

**11.1.1**　本章适用于多高层钢筋混凝土结构、钢结构及钢-混凝土组合结构的隔震设计。

**11.1.2**　隔震结构设计应根据预期的竖向承载力、底部剪力比及位移控制要求，进行隔震支座的选型与布置。

**11.1.3**　隔震层位置宜根据建筑功能及布局、结构特点、隔震效果、构造可行性及经济性等因素综合确定，可采用基底隔震、层间隔震或跨层隔震形式，并应符合下列规定：

**1**　隔震层位置选择应使结构形成合理的隔震体系；

**2**　隔震层宜设置在结构底部或中下部。

**11.1.4**　竖向不规则的隔震结构应采用空间结构计算模型，侧向刚度较小的楼层的地震剪力应乘以不小于 1.15 的增大系数，其薄弱层应按本规程相关规定进行弹塑性变形分析，并应符合下列规定：

**1**　竖向抗侧力构件不连续时，该构件传递给水平转换构件的地震内力应根据烈度高低和水平转换构件的类型、受力情况、几何尺寸等，乘以 1.25~2.0 的增大系数；

**2**　楼层承载力突变时，薄弱层抗侧力结构的受剪承载力不应小于相邻上一楼层的 65%；

**3**　特别不规则的建筑，应经专门研究，采取更有效的加强措施或对薄弱部位采用相应的抗震性能化设计方法。

**11.1.5**　建筑结构采用隔震设计时，应符合下列规定：

**1**　在风荷载及其他非地震作用的水平荷载标准值作用下，总水平力不宜超过上部结构总重力荷载代表值的 10%。

**2**　隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度、水平恢复力和阻尼，确保隔震层在罕遇地震作用下具有弹性复位能力。

**3**　隔震结构在设防地震作用下，应进行结构及隔震层的承载力与

变形验算；在罕遇地震作用下，应进行结构及隔震层的变形验算，并应进行隔震层的承载力验算。

**11.1.6** 隔震建筑抗倾覆验算应符合下列规定：

**1** 隔震建筑应进行整体抗倾覆验算。

**2** 隔震建筑整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并按上部结构重力荷载代表值和抗倾覆装置计算抗倾覆力矩；抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值不应小于 1.1。

**11.1.7** 隔震结构抗震墙底部加强部位的范围，应符合下列规定：

**1** 底部加强部位的高度：对基底隔震结构，应从隔震层顶板算起；对层间隔震结构，有地下室时应从地下室顶板算起，无地下室时应从基础面算起。

**2** 抗震墙底部加强部位的高度取值应满足下列要求：

**1**）部分框支抗震墙结构的抗震墙，其底部加强部位的高度可取框支层及以上两层高度与落地抗震墙总高度的 1/10 二者的较大值。

**2**）其他结构的抗震墙，房屋高度大于 24m 时，底部加强部位的高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值；房屋高度不大于 24m 时，底部加强部位可取底部一层。

**3**）层间隔震结构的底部加强部位高度尚应取至隔震层以上两层。

**11.1.8** 高层及复杂隔震结构的隔震支座应进行施工过程验算。

**11.1.9** 超长隔震结构应考虑温度变化及混凝土收缩对隔震支座变形的影响。

**11.1.10** 当普通隔震技术无法满足设计要求时，可采用组合减隔震技术。其选用与布置原则宜符合下列规定：

**1** 当构件强度不满足要求时，可仅在上部结构或下部结构中布置速度相关型消能器；也可同时在上部结构和下部结构中布置速度相关

型消能器，以降低地震作用。

**2** 当结构刚度不满足要求时，可仅在上部结构或下部结构中布置位移相关型消能器；也可同时在上部结构和下部结构中布置位移相关型消能器，以提高结构抗侧刚度。

**3** 当隔震支座竖向拉应力不满足要求时，可在上部结构布置速度相关型消能器，以降低地震作用下隔震支座的拉应力。

## 11.2 抗震变形验算

**11.2.1** 在设防地震作用下，上部结构楼层内最大的弹性层间位移应符合下式规定：

$$\Delta u_{\mathrm{e}} \leqslant [\theta_{\mathrm{e}}]h \tag{11.2.1}$$

式中：$\Delta u_{\mathrm{e}}$——设防地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移（mm）；

$[\theta_{\mathrm{e}}]$——弹性层间位移角限值，应符合表11.2.1的规定；

$h$——计算楼层层高（mm）。

表 11.2.1 上部结构在设防地震作用下弹性层间位移角限值$[\theta_{\mathrm{e}}]$

| 上部结构类型 | $[\theta_{\mathrm{e}}]$ |
|---|---|
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/400 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构 | 1/500 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/600 |
| 钢结构 | 1/250 |

**11.2.2** 在罕遇地震作用下，上部结构楼层内最大的弹塑性层间位移应符合下式规定：

$$\Delta u_{\mathrm{p}} \leqslant [\theta_{\mathrm{p}}]h \tag{11.2.2}$$

式中：$\Delta u_{\mathrm{p}}$——弹塑性层间位移（mm），采用动力弹塑性时程分析方法确定；

$[\theta_{\mathrm{p}}]$——弹塑性层间位移角限值，应符合表11.2.2的规定。

表 11.2.2 上部结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值$[\theta_{\mathrm{p}}]$

| 上部结构类型 | $[\theta_{\mathrm{p}}]$ |
|---|---|
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/100 |

| 上部结构类型 | $[\theta_p]$ |
|---|---|
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构 | 1/200 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/250 |
| 钢结构 | 1/100 |

**11.2.3** 地面以上的下部结构，在设防地震作用下，其弹性层间位移角限值应符合表 11.2.4-1 的规定；在罕遇地震作用下，其弹塑性层间位移角限值应符合表 11.2.4-2 的规定。

**表 11.2.4-1 地面以上的下部结构在设防地震作用下弹性层间位移角限值$[\theta_e]$**

| 下部结构类型 | $[\theta_e]$ |
|---|---|
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/500 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构 | 1/600 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/700 |
| 钢结构 | 1/300 |

**表 11.2.4-2 地面以上的下部结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值$[\theta_p]$**

| 下部结构类型 | $[\theta_p]$ |
|---|---|
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/100 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构 | 1/200 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/250 |
| 钢结构 | 1/100 |

## 11.3 隔震层设计

**11.3.1** 隔震层的布置应符合下列规定：

**1** 隔震支座应布置在竖向荷载较大的位置，间距不宜过大。其规格、数量与分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼参数要求，经计算确定。

**2** 隔震支座底面宜位于同一标高。当存在标高差异时，应采取有效措施确保隔震支座协同工作，且在罕遇地震作用下，相邻隔震层的层间位移角不应大于 1/1000。

**3** 隔震支座的平面布置宜与上部结构及下部结构竖向受力构件的平面位置相对应。当无法对应时，应采取可靠的结构转换措施。

**4** 隔震层的刚度中心与质量中心宜重合，设防烈度地震作用下的偏心率不宜大于 3%。

**5** 同一支承处采用多个隔震支座时，支座之间的净距应满足安装、更换及检修所需的空间尺寸要求。

**11.3.2** 隔震层设计应符合下列规定：

**1** 阻尼装置、抗风装置和抗拉装置可与隔震支座集成设置，也可单独设置；必要时应设置限位装置。

**2** 同一隔震层采用多种类型或规格的隔震支座时，应保证每个隔震支座的承载力和水平变形能力均能充分发挥，且所有隔震支座的竖向变形基本一致。抗侧刚度较大的隔震支座宜布置在结构周边；布置于结构角部的隔震支座，宜具有适应地震变形的储备能力。

**3** 采用摩擦摆隔震支座时，宜计入支座水平滑动引起的竖向位移对隔震层及结构的影响。摩擦摆隔震支座不宜与其他类型隔震支座在同一隔震层混用。

**4** 当隔震层同时设置隔震支座和阻尼装置时，应使隔震层在地震后基本恢复原位，隔震层在罕遇地震作用下的水平最大位移所对应的恢复力，不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和的 1.2 倍。阻尼装置宜布置在隔震层水平位移较大部位，且应避免对隔震层产生偏心作用。阻尼装置两端应分别与上、下支墩铰接相连，并确保其作用力方向始终水平。

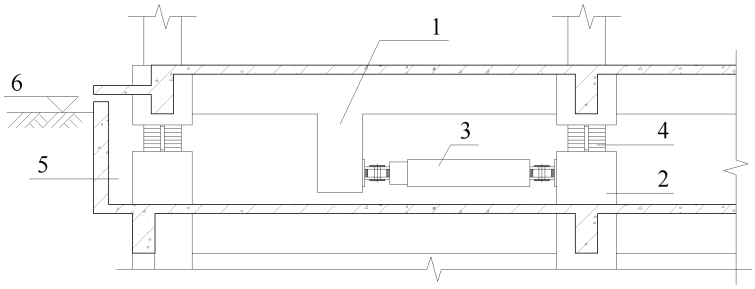
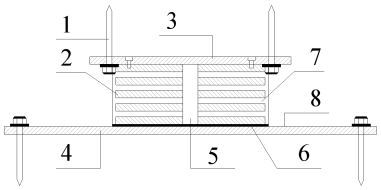


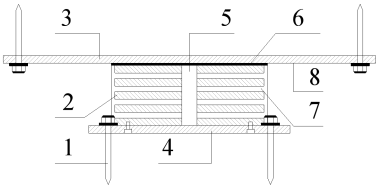

图 11.3.2-1 隔震层中黏滞消能器连接示意图

1—消能器上支墩；2—下支墩；3—黏滞消能器；4—隔震支座；5—隔震沟；6—室外地面

**5** 采用弹性滑板支座时，其数量不宜超过隔震支座总数量的 20%。滑移面板可根据工程需求布置于支座上端或下端；当滑移面板尺寸大于 1500mm 时，不宜布置于下端。




（a）弹性滑板支座一




（b）弹性滑板支座二

图 11.3.2-2　弹性滑板支座示意

1—连接螺栓；2—内部钢板；3—上连接板；4—下连接板；5—开孔；6—滑移材料；7—内部橡胶；8—滑移面板

**6**　抗风装置宜对称、分散地布置于结构周边。

**11.3.3**　隔震支座在重力荷载代表值的竖向压应力应满足表 11.3.3 规定的限值要求。

**表 11.3.3　隔震支座在重力荷载代表值作用下的竖向压应力限值（MPa）**

| 支座类型 | 重点设防类建筑 | 标准设防类建筑 |
|---|---|---|
| 隔震橡胶支座 | 12 | 15 |
| 弹性滑板支座 | 15 | 20 |
| 摩擦摆隔震支座 | 25 | 30 |

注：1　当隔震橡胶支座的第二形状系数（有效直径与橡胶层总厚度之比）小于 5 时，应降低平均压应力限值：小于 5 且不小于 4 时降低 20%；小于 4 且不小于 3 时降低 40%；

2　对于标准设防类隔震建筑，有效直径小于 300mm 的隔震橡胶支座，其压应力限值为 10MPa；

3　弹性滑板支座中，橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应符合本表规定，支座部外径不宜小于 300mm；

4　摩擦摆隔震支座中，摩擦材料的压应力限值也应符合本表规定。

**11.3.4**　隔震支座应进行罕遇地震作用下的竖向承载力验算，验算宜采用弹塑性时程分析方法确定；分析时地震动时程宜采用三向输入，其竖向承载力应符合下列规定：

**1**　隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力不应超过表 11.3.4-1 规定的限值；

**2**　隔震橡胶支座的竖向拉应力不应超过表 11.3.4-2 规定的限值，且在同一地震动加速度时程曲线作用下，出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的 30%；

**3**　弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座或其他不能承受竖向拉力的支

座应保持受压状态。

表 11.3.4-1　隔震支座在罕遇地震作用下的竖向压应力限值（MPa）

| 建筑类别 / 支座类别 | 重点设防类建筑 | 标准设防类建筑 |
|---|---|---|
| 隔震橡胶支座 | 25 | 30 |
| 弹性滑板支座 | 30 | 40 |
| 摩擦摆隔震支座 | 50 | 60 |

注：1　隔震橡胶支座的有效直径小于 300mm 时，其压应力限值应适当降低；

2　弹性滑板支座中的橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应符合本表的规定；

3　摩擦摆隔震支座中的摩擦材料的压应力限值也应符合本表的规定。

表 11.3.4-2　隔震橡胶支座在罕遇地震作用下的竖向拉应力限值（MPa）

| 建筑类别 / 支座类别 | 重点设防类建筑 | 标准设防类建筑 |
|---|---|---|
| 隔震橡胶支座 | 1.0 | 1.0 |

注：验算隔震橡胶支座的最大竖向压应力和拉应力时，应考虑三向地震作用产生的最不利轴力组合。其中，水平地震作用和竖向地震作用产生的轴力应取标准值。

**11.3.5**　隔震层水平等效刚度和等效阻尼应符合下列规定：

**1**　隔震层水平等效刚度和等效阻尼比，可按下列公式确定：

$$K_{\mathrm{eq}} = \sum k_j \qquad (11.3.5\text{-}1)$$

$$\zeta_{\mathrm{eq}} = \sum k_j \zeta_j / K_{\mathrm{eq}} \qquad (11.3.5\text{-}2)$$

式中：$K_{\mathrm{eq}}$——隔震层水平等效刚度（N/mm）；

$\zeta_{\mathrm{eq}}$——隔震层等效阻尼比；

$k_j$——第 $j$ 个隔震支座（含阻尼器）由试验确定的水平等效刚度（N/mm）；

$\zeta_j$——第 $j$ 个隔震支座的等效阻尼比。

**2**　当隔震层设置附加阻尼装置时，尚应计入阻尼装置的阻尼贡献。

**3**　隔震支座及阻尼装置的设计参数应与产品型式检验结果一致。检验隔震支座时，应按本规程表 11.3.3 规定的压应力限值确定竖向荷载；在不同地震烈度作用下，应根据隔震层的水平位移计算其水平等效刚度和等效阻尼比。

**11.3.6** 罕遇地震地震作用下，隔震支座应满足以下要求：

**1** 隔震支座的水平位移计算宜采用弹塑性时程分析方法；

**2** 隔震支座的水平位移应符合下式规定：

$$u_{\mathrm{h}i} \leqslant [u_{\mathrm{h}i}] \tag{11.3.6}$$

式中：$u_{\mathrm{h}i}$ ——第$i$个隔震支座考虑扭转的水平位移（mm）；

$[u_{\mathrm{h}i}]$ ——第$i$个隔震支座的水平位移限值（mm）。

**3** 除特殊规定外，罕遇地震作用下隔震橡胶支座的水平位移限值不应大于其有效直径的0.55倍和各层橡胶厚度之和的3.0倍二者的较小值；弹性滑板支座的水平位移限值不应大于其产品水平极限位移的0.75倍；摩擦摆隔震支座的水平位移限值不应大于其产品水平极限位移的0.85倍。

**11.3.7** 隔震支座产品的水平极限变形或水平极限位移应以产品型式检验报告为准，并应符合下列规定：

**1** 隔震橡胶支座的水平极限变形不应小于各层橡胶厚度之和的4.0倍；

**2** 弹性滑板支座的水平极限位移不应小于同一隔震层内隔震橡胶支座水平极限位移的最大值。

**11.3.8** 隔震层的抗风承载力应符合下式规定：

$$\gamma_{\mathrm{w}} V_{\mathrm{wk}} \leqslant V_{\mathrm{Rw}} \tag{11.3.8}$$

式中：$\gamma_{\mathrm{w}}$——风荷载分项系数，取1.5。

$V_{\mathrm{wk}}$——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值（N）。

$V_{\mathrm{Rw}}$——隔震层抗风承载力设计值（N）。当抗风装置是隔震支座的组成部分时，应取隔震支座的水平屈服荷载设计值；当抗风装置单独设置时，应取抗风装置的水平承载力，可按材料屈服强度设计值确定。

**11.3.9** 隔震层下支墩、下支柱及相连构件应采用在罕遇地震作用下

隔震支座底部的竖向力、水平剪力和弯矩进行承载力验算，并应满足抗剪弹性、抗弯不屈服的要求。下支墩及连接部位的附加弯矩宜按本规程附录 F 的式（F.0.1）进行验算。

**11.3.10** 在高烈度区或隔震建筑高宽比过大时，可在隔震橡胶支座或摩擦摆隔震支座上部设置提离装置。

## 11.4 下部结构与上部结构设计

**11.4.1** 隔震建筑下部结构应符合下列规定：

**1** 下部结构承载力验算应考虑上部结构传递的轴力、弯矩、水平剪力，以及隔震层水平变形产生的附加弯矩；

**2** 下部结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中，直接支承隔震层上部结构的竖向构件及相邻一跨的竖向构件，应满足设防烈度地震作用下的抗震承载力要求。

**11.4.2** 隔震建筑下部结构的抗震措施除应满足现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的要求外，尚应符合下列规定：

**1** 层间隔震结构位于地面以上的下部结构，其竖向投影相关范围内的所有竖向构件应为关键构件。抗震设防烈度 6 度、7 度时，其抗震等级应按钢筋混凝土框架二级、钢筋混凝土抗震墙一级确定；8 度、9 度时，应按钢筋混凝土框架一级、钢筋混凝土抗震墙一级确定；相关范围以外结构的抗震等级按抗震建筑的有关规定执行。

**2** 层间隔震结构的地下室，地下一层相关范围内的抗震等级应与地面上一层相同，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于三级。

**3** 基底隔震结构采用地下室顶隔震时，隔震层投影相关范围内的地下一层抗震等级应与隔震层上一层相同，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于三级。

**11.4.3** 隔震建筑上部结构的抗震措施可根据底部剪力比及相应的抗震设防烈度确定，除应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T

50011 相应抗震设防烈度的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 隔震结构底部剪力比大于 0.5 时，上部结构应按本地区抗震设防烈度规定采取相应抗震措施，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定；

**2** 隔震结构底部剪力比不大于 0.5 时，上部结构可按本地区抗震设防烈度降低 1 度确定抗震措施；

**3** 与竖向地震作用有关的抗震措施，应按本地区抗震设防烈度确定，不应降低。

**11.4.4** 与结构构件承载力相关的内力调整应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

**11.4.5** 隔震结构设计时，钢筋混凝土柱考虑设防烈度地震组合作用的轴压比应按式（11.4.5-1）计算，且不宜超过表 11.4.5-1 的规定；Ⅳ类场地上较高的高层建筑，柱轴压比限值应适当减小。

$$\mu_{\mathrm{N}} = \xi N /（f_{\mathrm{c}} A）\qquad（11.4.5\text{-}1）$$

$$\xi =（N_{\mathrm{GE}} + 0.36 N_{\mathrm{E}}）/（N_{\mathrm{GE}} + N_{\mathrm{E}}）\qquad（11.4.5\text{-}2）$$

式中：$\mu_{\mathrm{N}}$——钢筋混凝土柱考虑设防烈度地震组合作用的轴压比；

$\xi$——轴压比调整系数；

$N$——钢筋混凝土柱考虑设防地震作用组合的轴压力设计值（N）；

$N_{\mathrm{GE}}$——钢筋混凝土柱在重力荷载代表值作用下的轴压力设计值（N）；

$N_{\mathrm{E}}$——钢筋混凝土柱在设防地震作用下的轴压力设计值（N）

$f_{\mathrm{c}}$——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

$A$——钢筋混凝土柱全截面面积（mm²）。

表 11.4.5-1 钢筋混凝土柱轴压比限值

| 结构类型 | 抗震等级 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 一 | 二 | 三 | 四 |

| 结构类型 | 抗震等级 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 一 | 二 | 三 | 四 |
| 框架结构 | 0.65 | 0.75 | 0.85 | 0.90 |
| 框架-抗震墙、板柱-抗震墙、框架-核心筒及筒中筒 | 0.75 | 0.85 | 0.90 | 0.95 |
| 部分框支抗震墙 | 0.60 | 0.70 | — | |

注：1 表内限值适用于剪跨比大于 2、混凝土强度等级不高于 C60 的柱；剪跨比不小于 1.5 且不大于 2.0 的柱，轴压比限值应降低 0.05；剪跨比小于 1.5 的柱，轴压比限值应专门研究并采取特殊构造措施。

2 当混凝土强度等级为 C65～C70 时，轴压比限值应比表中数值降低 0.05；当混凝土强度等级为 C75～C80 时，轴压比限值应比表中数值降低 0.10。

3 沿柱全高采用井字复合箍且箍筋肢距不大于 200mm，间距不大于 100mm，直径不小于 12mm；或沿柱全高采用复合螺旋箍，螺旋间距不大于 100mm，箍筋肢距不大于 200mm、直径不小于 12mm；或沿柱全高采用连续复合矩形螺旋箍，螺旋净距不大于 80mm，箍筋肢距不大于 200mm、直径不小于 10mm，轴压比限值均可增加 0.10；上述三种箍筋的最小配箍特征值均应按增大的轴压比由相关规范确定。

4 在柱的截面中部附加芯柱，其中另加的纵向钢筋的总面积不小于柱截面面积的 0.8%，轴压比限值可增加 0.05，此项措施与注 3 的措施共同采用时，轴压比限值可增加 0.15，但箍筋的体积配箍率仍可按轴压比增加 0.10 的要求确定。

5 柱轴压比不应大于 1.05。

对于型钢混凝土柱，轴压比不宜大于表 11.4.5-2 的限值，轴压比可按下式计算：

$$\mu_N = \xi N /（f_c A_c + f_a A_a）\qquad（11.4.5\text{-}3）$$

式中：$\mu_N$ ——型钢混凝土柱考虑设防地震组合作用的轴压比；

$N$ ——型钢混凝土柱考虑设防地震作用组合的轴压力设计值（N）；

$A_c$——扣除型钢后的混凝土截面面积（mm²）；

$f_a$——型钢的抗压强度设计值（N/mm²）；

$A_a$——型钢的截面面积（mm²）。

**表 11.4.5-2 型钢混凝土柱轴压比限值**

| 抗震等级 | 一 | 二 | 三 |
|---|---|---|---|

| 抗震等级 | 一 | 二 | 三 |
|---|---|---|---|
| 轴压比限值 | 0.70 | 0.80 | 0.90 |

注：1　转换柱的轴压比限值应比表中数值降低 0.10。

2　剪跨比不大于 2 的柱，其轴压比限值应比表中数值降低 0.05。

3　当采用 C60 以上混凝土时，轴压比限值宜比表中数值降低 0.05。

**11.4.6**　钢筋混凝土抗震墙应符合下列规定：

**1**　抗震墙在重力荷载代表值作用下的轴压比，一级时，7 度、8 度不宜大于 0.5；二、三级时不宜大于 0.6。

**2**　一、二、三级抗震墙的竖向和横向分布钢筋最小配筋率均不应小于 0.25%，四级抗震墙分布钢筋最小配筋率不应小于 0.20%。

注：高度小于 24m 且剪压比很小的四级抗震墙，其竖向分布筋的最小配筋率应允许按 0.15%采用。

**3**　部分框支抗震墙结构的落地抗震墙底部加强部位，竖向和横向分布钢筋配筋率均不应小于 0.3%。

**4**　抗震墙和开洞抗震墙下应设置转换梁，转换梁应符合下列规定：

**1**）转换次数不宜大于 3。

**2**）转换梁上、下纵向钢筋的最小配筋率，一级和二级分别不应小于 0.6%和 0.5%。

**3**）离柱边 1.5 倍梁截面高度范围内，以及抗震墙洞口两侧 1.5 倍梁截面高度范围内的梁箍筋应加密，加密区箍筋直径不应小于 12mm，间距不应大于 100mm，且加密区箍筋的最小面积配筋率不应小于 $1.3f_t/f_{yv}$。

**4**）偏心受拉的转换梁支座上部纵向钢筋至少应有 50%沿梁全长贯通，下部纵向钢筋应全部直通到柱内；沿梁腹板高度应配置间距不大于 200mm、直径不小于 16mm 的腰筋。

**11.4.7**　钢结构柱应符合下列规定：

**1**　钢柱的长细比，应符合表 11.4.7 的规定。

**表 11.4.7　钢结构柱长细比限值**

| 抗震等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
|---|---|---|---|---|

| 抗震等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
|---|---|---|---|---|
| 长细比限值 | $50\varepsilon_k$ | $70\varepsilon_k$ | $90\varepsilon_k$ | $110\varepsilon_k$ |

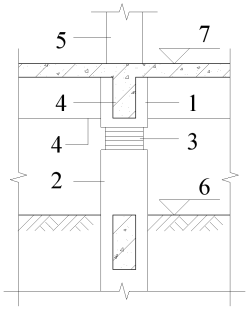
注：$\varepsilon_k$ 为钢号修正系数。

**2** 上部结构的底层不应采用偏心支撑，宜采用屈曲约束支撑或中心支撑。

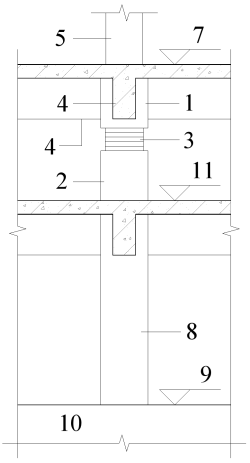
**11.4.8** 隔震建筑下部结构布置应符合下列规定：

**1** 下部结构布置应结合建筑使用功能及隔震支座布置方式确定。

**2** 每个隔震支座下均应设置竖向支承构件，其可采用独立支墩（图 11.4.8a）或支柱框架（图 11.4.8b）。当建筑功能要求局部调整下部结构柱网时，也可采用托梁转换形式。




（a）独立支墩




（b）支柱框架

图 11.4.8 下部结构竖向支承构件布置示意

1—上支墩；2—下支墩；3—隔震支座；4—框架梁；5—上部结构框架柱；6—隔震层检修地面；7—隔震层顶板面；8—下支柱；9—地下室底板面；10—基础或承台；11—隔震层底板面

**11.4.9** 隔震层顶部楼盖宜符合下列规定：

**1** 应设置现浇混凝土梁板结构，现浇板厚度不应小于 160mm，混凝土强度等级不宜低于 C30，应采用双层双向配筋，且每层每个方向的配筋率不应小于 0.25%；

**2** 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力宜大于一般楼盖梁板的刚度和承载力。

## 11.5 隔震支座与结构的连接和构造

**11.5.1** 隔震支座预埋件及连接螺栓的验算，应取支座轴向力、水平

剪力和弯矩共同作用的受力状态，宜按本规程附录 F 设计。

**11.5.2** 隔震支座连接螺栓、连接板及预埋件的设计，应符合现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3、《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

**11.5.3** 外露预埋件及隔震支座外露金属部件的表面，应按现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 进行防腐处理。

**11.5.4** 设置隔震支座的柱头应采取防止局部受压破坏的构造措施。

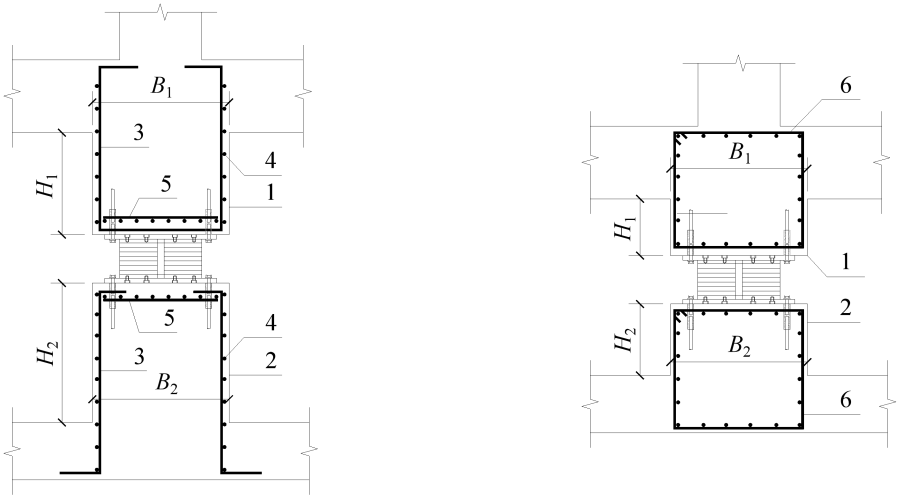
**11.5.5** 支墩、支柱的构造措施应符合下列规定：

**1** 支墩高度应满足隔震支座连接板埋件放置及相连梁、柱纵筋锚固连接要求，支墩截面每侧不应小于连接板以外 50mm。当考虑后期隔震支座更换时，应预留顶升设备位置。同一支墩处设置多个隔震支座时，连接板之间的净距宜大于 100mm。

**2** 支墩高度与宽度的比值满足 $H_1/B_1>1$（$H_2/B_2>1$）时（图 11.5.5a），支墩周边纵向钢筋配筋率不应小于 1.0%，箍筋直径不应小于 12mm，肢距不应大于 200mm，间距不应大于 100mm。

**3** 支墩高度与宽度的比值满足 $H_1/B_1\leqslant 1$（$H_2/B_2\leqslant 1$）时，支墩宜设置三向环箍（图 11.5.5b），钢筋直径不应小于 12mm，间距不应大于 200mm。

**4** 与支墩连接的框架柱纵筋和箍筋应延伸至支墩顶部（底部）。



（a）$H_1/B_1>1$；$H_2/B_2>1$　　（b）$H_1/B_1\leqslant 1$；$H_2/B_2\leqslant 1$

图 11.5.5　支墩配筋示意

1—上支墩；2—下支墩；3—支墩纵筋；4—支墩箍筋；5—钢筋网片（根据计算需要配置）；6—三向环箍

# 12　建筑与机电隔震构造

## 12.1　一般规定

**12.1.1**　隔震层层高不宜小于 2.0m；梁下净高不宜小于 1.0m，且不应小于 0.8m。

**12.1.2**　隔震层应设置人员检修出入口、隔震支座进出口或吊装口，并应设置防止人员误入或坠落的安全防护设施。

**12.1.3**　当隔震层位于地下室或半地下室时，其防水等级应根据使用功能确定，且不应低于二级。地下迎水面主体结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级要求采取相应防水措施。

**12.1.4**　隔震层内应预留集水坑，其数量不应少于两处，其间距不宜大于 200m。当隔震层位于不同标高时，较低层和楼层低点应设置集水坑。集水坑应根据地下水位、隔震层渗水和进水风险等因素，设置排水泵系统或自干型集水坑。

## 12.2　隔离缝

**12.2.1**　上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的竖向隔离缝，避免罕遇地震下发生阻挡与碰撞。竖向隔离缝设计应符合下列规定：

**1**　一般情况下，竖向隔离缝宽度不应小于罕遇地震下隔震支座最大水平位移的 1.2 倍，且不应小于 300mm；

**2**　相邻隔震结构间的竖向隔离缝宽度，应取各隔震支座最大水平位移值之和，且不应小于 600mm；

**3**　严禁留存阻碍上部结构水平运动的杂物。

**12.2.2**　上部结构与下部结构或室外地面之间应设置完全贯通的水平隔离缝，示意图见图 12.2.2，其高度不宜小于 30mm。水平隔离缝的封闭处理应符合下列规定：

**1**　封闭处理时，宜采用柔性材料或低强度脆性材料填充；

**2**　有防水要求的水平隔离缝，应采用柔性防水材料封闭，并预留

足够伸缩量；

**3** 有防火要求时，封堵材料应满足相应部位的耐火极限要求。

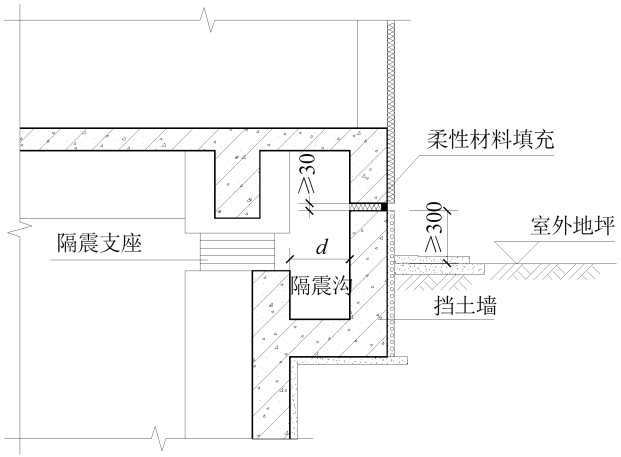



图 12.2.2 水平隔离缝示意图

**12.2.3** 竖向隔离缝盖板应具备满足正常使用要求的强度和刚度，并应符合下列规定：

1 一般情况下，竖向隔离缝顶部、悬吊式电梯井出入口与下部结构之间，应设置滑动盖板。滑动盖板应满足罕遇地震作用下的滑动要求。

2 室外竖向隔离缝盖板可采用上部结构悬挑板方式或活动盖板方式。采用上部结构悬挑板方式时，应采取构造措施避免其与相邻非隔震建筑物、构筑物及建筑地坪发生碰撞；采用活动盖板时，应预留足够搁置长度，防止地震时掉落。

3 位于隔震建筑人员及车辆主要出入口部位的竖向隔离缝滑动盖板，应采取防滑落及复位措施，确保通行功能不中断。

## 12.3 隔震层交通构造

**12.3.1** 当楼梯、坡道、电梯、自动扶梯、自动步道、台阶穿越隔震层时，应设置隔离缝，以满足隔震层变位要求。

**12.3.2** 楼梯、坡道穿越隔震层时，可采用断开、端部滑动支承、悬挂、底部支承等形式。

**12.3.3** 电梯井穿越隔震层时，可采用悬挂式或支承式。电梯井与下部结构之间的竖向隔离缝宽度不应小于所在结构与周围固定物的竖向隔离缝宽度。

1 当采用悬挂式时，电梯井底板与其下结构板或防水板的净高不宜小于 200mm；

2 当采用支承式时，电梯井底板与其下结构板或防水板的净高不宜小于 1000mm。

**12.3.4** 当自动扶梯或倾斜式自动步道跨越隔震层时，应在其穿越隔震层的部位设置符合本规程第 12.2.1 条要求的竖向隔离缝。

**12.3.5** 设置于竖向隔离缝或水平隔离缝处的栏杆、扶手及室外出入口台阶等，应采取柔性连接或分离构造措施，避免在罕遇地震下发生碰撞或拉扯导致破坏。

## 12.4 穿越隔震层的机电设备与管线

**12.4.1** 穿越隔震层的管线在隔震层处应采用柔性连接，其预留的水平变形量应符合下列规定：

**1** 常规管线的水平变形量预留值不应小于竖向隔离缝宽度；

**2** 重要管道及输送有害介质或可燃介质的管道，其水平变形量预留值不应小于竖向隔离缝宽度的 1.4 倍。

**12.4.2** 隔震层中固定于上部结构的设备管线及其支架边缘，与周边下部结构的墙、柱等固定物的间距不应小于隔离缝宽度。

**12.4.3** 设备管线靠近墙、柱等固定物时，应预留管道安装距离。

**12.4.4** 设备管线竖向穿越隔震层时，可采用楼板开洞方式。其四周应按竖向隔离缝宽度预留，并应采用柔性防火材料对洞口与管道间的缝隙进行封堵。

**12.4.5** 利用构件钢筋作为避雷线时，应采用柔性导线连接上部结构和下部结构的钢筋。其预留的水平变形量不应小于竖向隔离缝宽度的 1.4 倍。

# 13　隔震分部工程的施工、验收与维护

## 13.1　一般规定

**13.1.1**　建筑隔震工程施工前应进行专项施工技术交底，并应编制专项施工组织设计或专项施工技术方案。

**13.1.2**　建筑隔震工程可作为建筑工程主体结构分部工程的子分部工程，并应符合下列规定：

**1**　分项工程可按隔震支座安装、阻尼装置安装、柔性连接施工、隔离缝构造等进行划分；

**2**　检验批可按楼层、结构缝或施工段进行划分；

**3**　隔震支座和阻尼装置等构配件进场检验，可按规格、进场批次、生产厂家划分检验批。

**13.1.3**　建筑隔震工程施工的每道工序完成后，应按隐蔽工程要求进行验收，并应形成验收记录。对重要工序应留存图像资料，经相关单位确认合格后，方可进行下道工序施工。

**13.1.4**　建筑隔震工程的检验批、分项工程、子分部工程应进行质量验收，并形成质量验收记录。

## 13.2　隔震支座进场验收及施工

**13.2.1**　隔震支座和阻尼装置进场应提供下列质量证明文件：

**1**　原材料检测报告；

**2**　连接件检测报告；

**3**　产品合格证；

**4**　出厂检验报告；

**5**　型式检验报告；

**6**　其他必要的质量证明文件。

**13.2.2**　隔震支座和阻尼装置应采取防止雨淋、日晒、磕碰及锐器划伤等防护措施。其储存场所应干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线

直接照射并远离热源；码放应整齐牢固，不得混放、散放。严禁与酸碱、油类、有机溶剂或腐蚀性化学品等接触。

**13.2.3** 应对隔震支座、阻尼装置及其连接件等进行进场验收，检验记录可按《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 中的附录 B 执行。

**13.2.4** 隔震支座和阻尼装置的见证检验应分别符合本规程第 10.3 节、第 6.3 节的规定。

**13.2.5** 隔震支座和阻尼装置的施工应符合现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 的规定。

## 13.3 隔震分部工程施工质量验收

**13.3.1** 建筑隔震工程验收程序应符合下列规定：

**1** 建筑隔震工程的检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目技术负责人等进行验收；

**2** 建筑隔震工程完工后，应由总监理工程师组织建设单位、设计单位专业技术负责人、施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收，并提交子分部工程验收报告。

**13.3.2** 建筑隔震工程施工质量验收应在自检合格基础上，按检验批、分项工程、子分部工程依次进行验收，并应符合下列规定：

**1** 工程施工质量应符合本规程及设计文件要求；

**2** 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定资格；

**3** 隐蔽工程在隐蔽前，应由相关单位进行验收，确认合格后形成隐蔽工程验收记录；

**4** 检验批质量应按主控项目和一般项目验收；

**5** 工程外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

**13.3.3** 建筑隔震工程施工过程中，应监测隔震支座的变形。

**13.3.4** 隔震橡胶支座、弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座安装位置的允许偏差及检验方法应符合表 13.3.4 的规定。

表 13.3.4　隔震支座安装位置的允许偏差及检验方法

| 支座类别 | 项目 | | 允许偏差 | 检查数量 | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 橡胶支座 | 支座标高 | | ±5mm | 全数检查 | 用水准仪、钢尺测量 |
| | 支座水平位置偏差（mm） | | ±5mm | | 用全站仪、钢尺测量 |
| | 水平度 | 下支墩（柱）顶面 | 3‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| | | 支座顶面 | 8‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| 弹性滑板支座 | 橡胶支座部 | 中心标高 | ±5mm | 全数检查 | 用水准仪、钢尺测量 |
| | | 平面中心位置 | ±5mm | | 用全站仪、钢尺测量 |
| | | 顶面水平度 | 2‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| | 滑移面板 | 中心标高 | ±5mm | 全数检查 | 用水准仪、钢尺测量 |
| | | 平面中心位置 | ±5mm | | 用全站仪、钢尺测量 |
| | | 顶面水平度 | 2‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| | 橡胶支座部与滑移面板平面中心位置相对偏差 | | 5mm | 全数检查 | 用全站仪、钢尺测量 |
| 摩擦摆隔震支座 | 支座标高 | | ±3mm | 全数检查 | 用水准仪、钢尺测量 |
| | 支座水平位置偏差（mm） | | ±5mm | | 用全站仪、钢尺测量 |
| | 水平度 | 下支墩顶面 | 3‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| | | 支座顶面 | 5‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |

**13.3.5**　建筑隔震工程上部结构验收、竣工验收及维护检查时，应对隔离缝和柔性连接进行验收和检查。

## 13.4　隔震支座的维护

**13.4.1**　隔震建筑工程除对建筑一般维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑特有的项目进行检验和检查。检查项目应包括隔震支座、阻尼装置、隔离缝、柔性连接等。

**13.4.2**　隔震建筑的维护检查可分为常规检查、定期检查和应急检查，并应符合下列规定：

**1**　常规检查应每年进行一次，检查方式可采用观察和尺量；

**2**　定期检查应为竣工后的第 3 年和第 5 年进行，此后每 5 年进行一次。除隔震支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其他项目均可通过观察方式进行检查；

**3**　当发生可能对隔震层相关构件及装置造成损伤的地震或火灾

等灾害后，应及时进行应急检查。

## 13.5 隔震工程专用标识

**13.5.1** 隔震建筑应设置专用标识，且不应被遮挡或覆盖。工程设计文件中应对专用标识的设置要求作出明确规定。专用标识的安装应纳入隔震专项验收范围；竣工验收后，其维护管理应纳入建筑全生命周期物业维护体系。

**13.5.2** 隔震建筑的专用标识设置范围和内容应符合下列规定：

1 在门厅入口处应设置隔震建筑标识，标识内容应包括隔震技术原理简要说明、禁止堵塞隔离缝、不得擅自改变隔震层构造等使用注意事项，以及主要建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔离缝布置图和型号、性能参数等隔震产品基本信息；

2 在水平隔离缝处应设置标识，标明此处为上部结构与下部结构完全分开的水平缝；

3 在建筑物周围的竖向隔离缝处应设置标识，标明地震时此处为结构变形空间，并应在隔离缝范围内设置标线或警示线。

**13.5.3** 隔震支座标识应由生产厂家随产品提供。其他隔震专用标识应由建设单位委托制作，并由施工单位负责安装。更换隔震支座时，应同时更换相应的标识。

**13.5.4** 隔震建筑专用标识图详见附录 G。

# 附录 A　复振型影响系数计算公式

**A.0.1**　复振型分解反应谱法中 $j$ 振型和参与系数可按下列公式确定：

$$X_{ji} = \mathrm{Re}(c_{ji}\phi_{ji}) \tag{A.0.1-1}$$

$$\gamma_j = 2\mathrm{Re}(\eta_j\lambda_j) \tag{A.0.1-2}$$

$$c_{ji} = c_{ji}^0 \frac{\eta_j\lambda_j}{\mathrm{Re}(\eta_j\lambda_j)} \tag{A.0.1-3}$$

$$\eta_j = \frac{-\lambda_j^2\phi_j^{\mathrm{T}}\mathrm{M}\,r}{-\lambda_j^2\phi_j^{\mathrm{T}}\mathrm{M}\,\phi_j + \phi_j^{\mathrm{T}}K\phi_j} \tag{A.0.1-4}$$

$$c_{ji}^0 = \begin{cases} -(1+\mu_{\mathrm{b}})\omega_{\mathrm{b}}^2/(\mu_{\mathrm{b}}\lambda_j^2) + (-\lambda_j - a)/(\lambda_j + b\lambda_j^2)\sum_{i=1}^{n} G_i\phi_{ji}/G_{\mathrm{b}}\phi_{jb} & \text{隔震层} \\ (-\lambda_j - a)/(\lambda_j + b\lambda_j^2) & \text{非隔震层} \end{cases} \tag{A.0.1-5}$$

式中：$G_i$、$G_{\mathrm{b}}$——分别表示集中于质点 $i$、隔震层的重力荷载代表值（N）；

$c_{ji}$——$j$ 复振型 $i$ 质点的水平相对位移非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等 1；

$\phi_{ji}$——$j$ 复振型 $i$ 质点水平相对位移（mm）；

$\eta_j$——$j$ 复振型的参与系数；

$\lambda_j$——$j$ 复振型的特征值；

$c_{ji}^0$——$j$ 复振型 $i$ 质点的地震作用非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等于 1；

$r$——地震作用影响向量；

$\omega_{\mathrm{b}}$——隔震层圆频率（rad/s），等于隔震层刚度除以隔震结构总质量的平方根；

$a$——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

$b$——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

$\mu_{\mathrm{b}}$——隔震层质量与上部结构总质量比值；

$R_{\mathrm{e}}$——表示取复数实部。

**A.0.2** *j* 振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数可按下式确定：

$$\iota_j = S_j^{\mathrm{v}} / S_j \qquad \text{（A.0.2-1）}$$

式中：$S_j^{\mathrm{v}}$ ——*j*振型速度相关水平地震作用效应，由相应速度相关水平地震作用确定。

*j* 振型 *i* 质点速度相关水平地震作用可按下式确定：

$$F_{ji}^{\mathrm{v}} = \alpha_j \gamma_j \,\mathrm{Re}[(-\zeta_j + i\sqrt{1-\zeta_j^2})\, c_{ji}\phi_{ji}]G_i \quad (i=1,2,\cdots,\ n;\ j=1,2,\cdots,\ m) \qquad \text{（A.0.2-2）}$$

**A.0.3** 采用强迫解耦实振型分解反应谱法进行水平地震作用和作用效应计算时，*j* 振型 *i* 质点的水平地震作用应按本规程式（4.2.2-1）和式（4.2.2-3）计算，水平地震作用效应按本规程式（4.2.2-2）和式（4.2.2-4）计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式确定：

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^{n} X_{ji} G_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} X_{ji}^2 G_i \qquad \text{（A.0.3-1）}$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k}(\zeta_j + \lambda_{\mathrm{T}}\zeta_k)\,\lambda_{\mathrm{T}}^{1.5}}{(1-\lambda_{\mathrm{T}}^2)^2 + 4\zeta_j\zeta_k(1-\lambda_{\mathrm{T}}^2)\lambda_{\mathrm{T}} + 4(\zeta_j^2+\zeta_k^2)\lambda_{\mathrm{T}}^2} \qquad \text{（A.0.3-2）}$$

# 附录 B　位移敏感型和加速度敏感型建筑非结构构件

**B.0.1**　地震时保持正常使用功能建筑的位移敏感型建筑非结构构件可按表 B.0.1 选用

表 B.0.1　位移敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

| 构件类型 | 构造特征 | 适用的建筑类型 |
|---|---|---|
| 填充墙 | 轻钢龙骨石膏板，到顶，上、下端固定 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 轻钢龙骨石膏板，不到顶，下端固定、上端侧向支撑 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 轻钢龙骨石膏板，到顶，下端固定，上端滑槽 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC |
| | 木龙骨石膏板，到顶，上、下端固定 | IB、IC、IIC |
| | 砌体填充墙，柔性连接 | IA、IB、IC、IIB、IIC |
| | 蒸压加气混凝土条板隔墙 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| 楼梯 | 非滑动楼梯或滑动楼梯 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| 隔墙饰面 | 石膏板+墙纸（或瓷砖），不到顶，下端固定、上端侧向支撑；大理石或木饰面，不到顶，下端固定、上端侧向支撑 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC |
| 玻璃幕墙 | 普通框架式单片玻璃幕墙 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 普通框架式幕墙，双层隔热型玻璃幕墙 | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃，厚度 6mm+13mm 或 6mm+6mm | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃厚度 6mm | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃厚度 6mm | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| | 框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃，厚度 6mm+12mm | IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID |
| 门窗 | 塑钢平开门窗 | IA、IB、IC、IIB、IIC |

注：1　IA 为满足Ⅰ类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值。

2　IB 为满足Ⅰ类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限

值。

3 IC 为满足Ⅰ类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值。

4 ID 为满足Ⅰ类建筑中多、高层钢结构的层间位移角限值。

5 IIA 为满足Ⅱ类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值。

6 IIB 为满足Ⅱ类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限值。

7 IIC 为满足Ⅱ类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值。

8 IID 为满足Ⅱ类建筑中层间位移角限值的多、高层钢结构的层间位移角限值。

**B.0.2** 地震时保持正常使用功能建筑的加速度敏感型建筑非结构构件可按表 B.0.2 选用。

表 B.0.2 加速度敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

| 构件类型 | 构造特征 | 适用的建筑类型 |
|---|---|---|
| 吊顶 | 仅纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| | 纵向支撑与侧向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |

注：1 I 为满足Ⅰ类建筑楼面水平加速度限值。

2 II 为满足Ⅱ类建筑楼面水平加速度限值。

# 附录 C　建筑附属机电设备和功能性仪器设备

**C.0.1**　地震时保持正常使用功能建筑的建筑附属机电设备可按表 C.0.1 选用。

表 C.0.1　建筑附属机电设备适用的建筑类型

| 构件类型 | 构造特征 | 适用的建筑类型 |
|---|---|---|
| 电梯 | 常规曳引电梯 | Ⅰ |
| | 常规液压电梯 | Ⅰ |
| | 曳引电梯，轨道支撑点加密 | Ⅰ、Ⅱ |
| | 液压电梯，轨道支撑点加密 | Ⅰ、Ⅱ |
| 变压器 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 电机控制箱 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 配电盘 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 低压开关设备 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 悬挂式灯具 | 抗震设计 | Ⅰ、Ⅱ |
| 冷水管（吊挂式） | 管径＞80mm，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 热水管（吊挂式） | 管径＜80mm，仅纵向支撑 | Ⅰ |
| | 管径＜80mm，纵向与侧向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| | 管径≥80mm，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 污水管 | 铸铁管，柔性连接，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| | 铸铁管，插接，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 蒸汽管道 | 管径＜80mm | Ⅰ |
| | 管径≥80mm | Ⅰ、Ⅱ |
| 消防喷淋水管 | 水平支管 | Ⅰ、Ⅱ |
| 喷头立管 | 嵌入柔性可拆卸吊顶，长度不超过 2m | Ⅰ、Ⅱ |
| | 嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶，长度不超过 2m | Ⅰ |
| | 无吊顶、长度不超过 2m | Ⅰ、Ⅱ |
| 冷却水管 | 管径＜80mm | Ⅰ |
| | 管径≥80mm，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 冷水机组 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 空气压缩机 | 有锚固或隔振 | Ⅰ |
| 暖通空调管道风机 | 设置水平支撑 | Ⅰ、Ⅱ |

| 构件类型 | 构造特征 | 适用的建筑类型 |
| --- | --- | --- |
| 暖通空调风管 | 设置水平支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 支管及风口 | 位于吊顶内 | Ⅰ、Ⅱ |
| | 无吊顶，设置水平支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| VAV 箱带卷盘 | 水平或纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 空调系统风机 | 无隔振，无锚固 | Ⅰ |
| | 刚性锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 空气处理机组 | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| 柴油发电机 | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |
| 冷却塔 | 无锚固，无隔振 | Ⅰ |
| | 有锚固或隔振 | Ⅰ、Ⅱ |

注：1　I 为满足Ⅰ类建筑楼面水平加速度限值。

2　II 为满足Ⅱ类建筑楼面水平加速度限值。

**C.0.2**　地震时保持正常使用功能建筑的功能性仪器设备可按表 C.0.2 选用。

**表 C.0.2　功能性仪器设备适用的建筑类型**

| 构件类型 | 构造特征 | 适用的建筑类型 |
| --- | --- | --- |
| 核磁共振仪 | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| X 光机 | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| CT 机 | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| 医疗药柜 | 浮放无锚固 | Ⅰ |
| | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| 输液架 | 浮放无锚固 | Ⅰ |
| | 悬吊式，设置纵向支撑 | Ⅰ、Ⅱ |
| 抢救车 | 刹车放松 | Ⅰ |
| | 刹车锁死 | Ⅰ、Ⅱ |
| 医用病床 | 刹车放松 | Ⅰ |
| | 刹车锁死 | Ⅰ、Ⅱ |
| 立式无影灯 | 浮放无锚固 | Ⅰ |
| | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |
| 通信机柜 | 有锚固 | Ⅰ、Ⅱ |

注：1　I 为满足Ⅰ类建筑楼面水平加速度限值。

2　II 为满足Ⅱ类建筑楼面水平加速度限值。

# 附录 D　消能器规格及力学性能参数

**D.0.1**　屈曲约束支撑规格及性能参数可按 D.0.1 选取。

表 D.0.1　屈曲约束支撑产品规格型号及性能参数表

| 序号 | 屈服力 /kN | 规格型号 | 屈服前刚度/（kN/mm） | 屈服位移 /（mm） | 屈服后刚度比 | 轴线长度 /（mm） | 产品长度 /（mm） | 参考设计位移 /（mm） | 耗能芯材 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 500 | BRB-C×500×Dy | 88.6≤Ky≤119.8 | 4.1≤Dy≤5.5 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15.4≤U≤26.4 | Q235 |
| 2 | | BRB-C×500×Dy | 75.9≤Ky≤102.7 | 4.8≤Dy≤6.4 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.9≤U≤30.8 | |
| 3 | | BRB-C×500×Dy | 67.5≤Ky≤91.3 | 5.4≤Dy≤7.2 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 20.2≤U≤34.7 | |
| 4 | | BRB-C×500×Dy | 62.5≤Ky≤84.5 | 5.8≤Dy≤7.8 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.8≤U≤37.4 | |
| 5 | 750 | BRB-C×750×Dy | 135.7≤Ky≤183.5 | 4≤Dy≤5.4 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15≤U≤25.9 | Q235 |
| 6 | | BRB-C×750×Dy | 115.9≤Ky≤156.9 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 7 | | BRB-C×750×Dy | 102.9≤Ky≤139.2 | 5.3≤Dy≤7.1 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 19.8≤U≤34.1 | |
| 8 | | BRB-C×750×Dy | 92.4≤Ky≤125 | 5.9≤Dy≤7.9 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 22.1≤U≤38 | |
| 9 | 1000 | BRB-C×1000×Dy | 180.9≤Ky≤244.7 | 4≤Dy≤5.4 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15≤U≤25.9 | Q235 |
| 10 | | BRB-C×1000×Dy | 154.5≤Ky≤209.1 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 11 | | BRB-C×1000×Dy | 134.9≤Ky≤182.5 | 5.4≤Dy≤7.2 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 20.2≤U≤34.7 | |
| 12 | | BRB-C×1000×Dy | 126.9≤Ky≤171.7 | 5.7≤Dy≤7.7 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.4≤U≤36.9 | |
| 13 | 1500 | BRB-C×1500×Dy | 265.6≤Ky≤359.4 | 4.1≤Dy≤5.5 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15.4≤U≤26.4 | Q235 |
| 14 | | BRB-C×1500×Dy | 231.8≤Ky≤313.6 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 15 | | BRB-C×1500×Dy | 202.4≤Ky≤273.8 | 5.4≤Dy≤7.2 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 20.2≤U≤34.7 | |

| 序号 | 屈服力/kN | 规格型号 | 屈服前刚度/（kN/mm） | 屈服位移/（mm） | 屈服后刚度比 | 轴线长度/（mm） | 产品长度/（mm） | 参考设计位移/（mm） | 耗能芯材 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | | BRB-C×1500×Dy | 190.3≤Ky≤257.5 | 5.7≤Dy≤7.7 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.4≤U≤36.9 | |
| 17 | 2000 | BRB-C×2000×Dy | 354.2≤Ky≤479.2 | 4.1≤Dy≤5.5 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15.4≤U≤26.4 | Q235 |
| 18 | | BRB-C×2000×Dy | 309.1≤Ky≤418.1 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 19 | | BRB-C×2000×Dy | 274.2≤Ky≤371 | 5.3≤Dy≤7.1 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 19.8≤U≤34.1 | |
| 20 | | BRB-C×2000×Dy | 250≤Ky≤338.2 | 5.8≤Dy≤7.8 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.8≤U≤37.4 | |
| 21 | 2500 | BRB-C×2500×Dy | 442.7≤Ky≤598.9 | 4.1≤Dy≤5.5 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15.4≤U≤26.4 | Q235 |
| 22 | | BRB-C×2500×Dy | 386.3≤Ky≤522.7 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 23 | | BRB-C×2500×Dy | 342.7≤Ky≤463.7 | 5.3≤Dy≤7.1 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 19.8≤U≤34.1 | |
| 24 | | BRB-C×2500×Dy | 312.5≤Ky≤422.7 | 5.8≤Dy≤7.8 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.8≤U≤37.4 | |
| 25 | 3000 | BRB-C×3000×Dy | 531.3≤Ky≤718.8 | 4.1≤Dy≤5.5 | 0.035 | 5000≤L≤6000 | 3500 | 15.4≤U≤26.4 | Q235 |
| 26 | | BRB-C×3000×Dy | 463.7≤Ky≤627.3 | 4.7≤Dy≤6.3 | | 5500≤L≤6500 | 4000 | 17.6≤U≤30.3 | |
| 27 | | BRB-C×3000×Dy | 411.3≤Ky≤556.5 | 5.3≤Dy≤7.1 | | 6000≤L≤7000 | 4500 | 19.8≤U≤34.1 | |
| 28 | | BRB-C×3000×Dy | 375≤Ky≤507.4 | 5.8≤Dy≤7.8 | | 6500≤L≤7500 | 5000 | 21.8≤U≤37.4 | |

注：BRB-C×500×Dy，BRB 表示屈曲约束支撑，C 表示钢套筒与砂浆（或混凝土）组合约束型，500 表示屈服承载力，Dy 表示屈服位移。

**D.0.2** 金属屈服型消能器规格及性能参数可按表 D.0.2 选取。

表 D.0.2 金属屈服型消能器产品规格型号及性能参数表

| 序号 | 规格型号 | 屈服力 $F_y$ /（kN） | 屈服前刚度 $K_y$ /（kN/mm） | 屈服位移 $D_y$ /（mm） | 屈服后刚度比 | 参考设计位移 /（mm） | 建议耗能芯材 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | MYD-S×200×1.0 | 200 | 200.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤22 | LY225 |
| 2 | | | | | 0.035 | 22＜Di≤30 | LY160 |
| 3 | | | | | 0.050 | 30＜Di | LY100 |
| 4 | MYD-S×200×1.5 | | 133.3 | 1.5 | 0.025 | Di≤30 | LY225 |
| 5 | | | | | 0.035 | 30＜Di≤40 | LY160 |
| 6 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 7 | MYD-S×300×1.0 | 300 | 300.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤22 | LY225 |
| 8 | | | | | 0.035 | 22＜Di≤30 | LY160 |
| 9 | | | | | 0.050 | 30＜Di | LY100 |
| 10 | MYD-S×300×1.5 | | 200.0 | 1.5 | 0.025 | Di≤30 | LY225 |
| 11 | | | | | 0.035 | 30＜Di≤40 | LY160 |
| 12 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 13 | MYD-S×400×1.0 | 400 | 400.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤22 | LY225 |
| 14 | | | | | 0.035 | 22＜Di≤30 | LY160 |
| 15 | | | | | 0.050 | 30＜Di | LY100 |
| 16 | MYD-S×400×1.5 | | 266.7 | 1.5 | 0.025 | Di≤30 | LY225 |

| 序号 | 规格型号 | 屈服力 $F_y$ /（kN） | 屈服前刚度 $K_y$ /（kN/mm） | 屈服位移 $D_y$ /（mm） | 屈服后刚度比 | 参考设计位移 /（mm） | 建议耗能芯材 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | | | | | 0.035 | 30＜Di≤40 | LY160 |
| 18 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 19 | MYD-S×600×1.0 | 600 | 600.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤25 | LY225 |
| 20 | | | | | 0.035 | 25＜Di≤35 | LY160 |
| 21 | | | | | 0.050 | 35＜Di | LY100 |
| 22 | MYD-S×600×1.5 | | 400.0 | 1.5 | 0.025 | Di≤35 | LY225 |
| 23 | | | | | 0.035 | 35＜Di≤40 | LY160 |
| 24 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 25 | MYD-S×800×1.0 | 800 | 800.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤25 | LY225 |
| 26 | | | | | 0.035 | 25＜Di≤35 | LY160 |
| 27 | | | | | 0.050 | 35＜Di | LY100 |
| 28 | MYD-S×800×1.5 | | 533.3 | 1.5 | 0.025 | Di≤35 | LY225 |
| 29 | | | | | 0.035 | 35＜Di≤40 | LY160 |
| 30 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 31 | MYD-S×1000×1.0 | 1000 | 1000.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤25 | LY225 |
| 32 | | | | | 0.035 | 25＜Di≤35 | LY160 |
| 33 | | | | | 0.050 | 35＜Di | LY100 |
| 34 | MYD-S×1000×1.5 | | 666.7 | 1.5 | 0.025 | Di≤35 | LY225 |

| 序号 | 规格型号 | 屈服力 $F_y$ /（kN） | 屈服前刚度 $K_y$ /（kN/mm） | 屈服位移 $D_y$ /（mm） | 屈服后刚度比 | 参考设计位移 /（mm） | 建议耗能芯材 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | | | | | 0.035 | 35＜Di≤40 | LY160 |
| 36 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |
| 37 | MYD-S×1200×1.0 | 1200 | 1200.0 | 1.0 | 0.025 | Di≤25 | LY225 |
| 38 | | | | | 0.035 | 25＜Di≤35 | LY160 |
| 39 | | | | | 0.050 | 35＜Di | LY100 |
| 40 | MYD-S×1200×1.5 | | 800.0 | 1.5 | 0.025 | Di≤35 | LY225 |
| 41 | | | | | 0.035 | 35＜Di≤40 | LY160 |
| 42 | | | | | 0.050 | 40＜Di | LY100 |

注：MYD-S×200×1.5，MYD 表示金属屈服型消能器，S 表示由钢材加工而成，200 表示屈服承载力，1.0 表示屈服位移。LY160 表示耗能芯材为 LY160。

**D.0.3** 摩擦消能器规格及性能参数可按表 D.0.3 选取。

表 D.0.3 摩擦消能器产品规格型号及性能参数表

| 序号 | 规格类型 | 起滑位移<br>/（mm） | 起滑摩擦力<br>/（mm） | 初始刚度<br>/（kN/mm） |
|---|---|---|---|---|
| 1 | FD-P-100×0.5 | 0.5 | 100 | 200 |
| 2 | FD-P-200×0.5 | 0.5 | 200 | 400 |
| 3 | FD-P-300×0.5 | 0.5 | 300 | 600 |
| 4 | FD-P-400×0.6 | 0.6 | 400 | 667 |
| 5 | FD-P-600×0.8 | 0.8 | 600 | 750 |
| 6 | FD-P-800×1.0 | 1.0 | 800 | 800 |

注：FD-P-100×0.5，FD 表示摩擦消能器，P 表示板式摩擦消能器，100 表示起滑摩擦力，0.5 表示起滑位移。

**D.0.4** 黏滞消能器规格及性能参数可按表 D.0.4 选取。

表 D.0.4 黏滞消能器产品规格型号及性能参数表

| 序号 | 规格型号 | 阻尼系数/[kN/(mm/s)$^{\alpha}$] | 阻尼指数$\alpha$ | 参考速度/（mm/s） |
|---|---|---|---|---|
| 1 | VFD-NL×F×U | 40 | 0.20<br>0.25<br>0.30 | 150~400 |
| 2 | | 20 | | |
| 3 | VFD-NL×F×U | 60 | | |
| 4 | | 30 | | |
| 5 | VFD-NL×F×U | 90 | | |
| 6 | | 70 | | |
| 7 | | 50 | | |
| 8 | VFD-NL×F×U | 120 | | |
| 9 | | 100 | | |
| 10 | | 80 | | |
| 11 | | 60 | | |
| 12 | VFD-NL×F×U | 150 | | |
| 13 | | 130 | | |
| 14 | | 110 | | |
| 15 | | 90 | | |
| 16 | VFD-NL×F×U | 180 | | |
| 17 | | 160 | | |

| 序号 | 规格型号 | 阻尼系数/[kN/(mm/s)$^{\alpha}$] | 阻尼指数$\alpha$ | 参考速度/（mm/s） |
|---|---|---|---|---|
| 18 | | 140 | | |
| 19 | | 120 | | |
| 20 | | 100 | | |
| 21 | VFD-NL×F×U | 240 | | |
| 22 | | 220 | | |
| 23 | | 200 | | |
| 24 | | 180 | | |
| 25 | | 160 | | |
| 26 | | 140 | | |
| 27 | VFD-NL×F×U | 300 | | |
| 28 | | 280 | | |
| 29 | | 260 | | |
| 30 | | 240 | | |
| 31 | | 220 | | |
| 32 | | 200 | | |
| 33 | | 180 | | |
| 34 | | 160 | | |

注：VFD-NL×F×U，VFD 表示黏滞消能器，NL 表示非线性黏滞消能器，F 表示最大阻尼力，U 表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核罕遇地震作用下的出力和参考速度。

**D.0.5** 隔震层用黏滞消能器规格及性能参数可按表 D.0.5 选取。

表 D.0.5 隔震层用黏滞消能器产品规格型号及性能参数表

| 规格型号 | 最大阻尼力/（kN） | 阻尼系数 C/[kN/(mm/s)$^{\alpha}$] | 速度指数$\alpha$ | 设计容许位移/（mm） |
|---|---|---|---|---|
| VFD-NL×800×U | 800 | 230/215/200 | 0.20 | ≤±660 |
| VFD-NL×1000×U | 1000 | 290/270/250 | | |
| VFD-NL×1200×U | 1200 | 345/325/300 | | |
| VFD-NL×1400×U | 1400 | 405/380/350 | | |
| VFD-NL×1600×U | 1600 | 460/430/400 | | |
| VFD-NL×2000×U | 2000 | 575/540/500 | | |
| VFD-NL×800×U | 800 | 170/155/140 | 0.25 | ≤±660 |
| VFD-NL×1000×U | 1000 | 210/195/175 | | |
| VFD-NL×1200×U | 1200 | 255/235/215 | | |
| VFD-NL×1400×U | 1400 | 295/270/250 | | |
| VFD-NL×1600×U | 1600 | 340/310/285 | | |
| VFD-NL×2000×U | 2000 | 420/390/355 | | |
| VFD-NL×800×U | 800 | 125/110/100 | 0.30 | ≤±660 |
| VFD-NL×1000×U | 1000 | 155/140/125 | | |
| VFD-NL×1200×U | 1200 | 185/170/150 | | |
| VFD-NL×1400×U | 1400 | 215/195/175 | | |
| VFD-NL×1600×U | 1600 | 245/225/200 | | |
| VFD-NL×2000×U | 2000 | 310/280/250 | | |

注：本表未给出黏滞消能器的速度，速度根据实际减隔震设计计算得到，本表不作限定。

**D.0.6** 黏滞阻尼墙规格及性能参数可按表 D.0.6 选取。

表 D.0.6 黏滞阻尼墙产品规格型号及性能参数表

| 序号 | 规格型号 | 阻尼系数 C/[kN/(mm/s)$^{\alpha}$] | 阻尼指数$\alpha$ | 参考速度/（mm/s） |
|---|---|---|---|---|
| 1 | VFW-NL×F×U | 22 | 0.45 | 150 |
| 2 | VFW-NL×F×U | 44 | 0.45 | |
| 3 | VFW-NL×F×U | 66 | 0.45 | |
| 4 | VFW-NL×F×U | 88 | 0.45 | |
| 5 | VFW-NL×F×U | 110 | 0.45 | |
| 6 | VFW-NL×F×U | 132 | 0.45 | |
| 7 | VFW-NL×F×U | 154 | 0.45 | |
| 8 | VFW-NL×F×U | 176 | 0.45 | |
| 9 | VFW-NL×F×U | 198 | 0.45 | |
| 10 | VFW-NL×F×U | 220 | 0.45 | |
| 11 | VFW-NL×F×U | 242 | 0.45 | |
| 12 | VFW-NL×F×U | 264 | 0.45 | |

注：VFW-NL×F×U，VFW 表示黏滞阻尼墙，NL 表示非线性黏滞阻尼墙，F 表示最大阻尼力，U 表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核参考速度。

**D.0.7** 黏弹性消能器规格及性能参数可按表 D.0.7 选取。

**表 D.0.7 黏弹性消能器产品规格型号及性能参数表**

| 序号 | 规格型号 | 最大阻尼力/（kN） | 阻尼系数/[kN/(mm/s)$^{\alpha}$] | 阻尼指数α | 储能刚度/（kN/mm） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | VED-P×200×100 | 200 | 50 | 0.2 | 10 |
| 2 | VED-P×400×100 | 400 | 100 | 0.2 | 15 |
| 3 | VED-P×600×100 | 600 | 150 | 0.2 | 30 |
| 4 | VED-P×800×100 | 800 | 200 | 0.2 | 40 |

注：VED-P×200×100，VED 表示黏弹性消能器，P 表示板式黏弹性消能器，200 表示最大阻尼力，100 表示表观剪应变设计值为 100%。储能刚度的参考加载频率为 1Hz，设计时可近似取该值为等效刚度值。

# 附录 E　隔震支座规格及力学性能参数

**E.0.1**　天然橡胶支座规格及力学性能参数可按表 E.0.1-1~E.0.1-4 选取。

表 E.0.1-1 天然橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.392MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$/（mm） | 竖向刚度 $K_V$/（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 橡胶层总厚度/（mm） |
|---|---|---|---|---|
| LNR1500 | 1500 | 8000 | 2.50 | 276 |
| LNR1400 | 1400 | 6700 | 2.34 | 257 |
| LNR1300 | 1300 | 5400 | 2.17 | 239 |
| LNR1200 | 1200 | 4730 | 2.01 | 220 |
| LNR1100 | 1100 | 4510 | 1.83 | 202 |
| LNR1000 | 1000 | 4290 | 1.67 | 184 |
| LNR900 | 900 | 4125 | 1.51 | 165 |
| LNR800 | 800 | 3375 | 1.33 | 148 |
| LNR700 | 700 | 2875 | 1.17 | 129 |
| LNR600 | 600 | 2375 | 0.98 | 110 |
| LNR500 | 500 | 2000 | 0.81 | 92 |
| LNR400 | 400 | 1500 | 0.66 | 73 |
| LNR300 | 300 | 1125 | 0.49 | 56 |

表 E.0.1-2 天然橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.49MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$/（mm） | 竖向刚度 $K_V$/（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 橡胶层总厚度/（mm） |
|---|---|---|---|---|
| LNR1500 | 1500 | 8300 | 3.13 | 276 |
| LNR1400 | 1400 | 6900 | 2.92 | 257 |
| LNR1300 | 1300 | 5700 | 2.75 | 239 |
| LNR1200 | 1200 | 5170 | 2.51 | 220 |
| LNR1100 | 1100 | 4620 | 2.29 | 202 |
| LNR1000 | 1000 | 4400 | 2.09 | 184 |
| LNR900 | 900 | 4250 | 1.88 | 165 |
| LNR800 | 800 | 3500 | 1.66 | 148 |
| LNR700 | 700 | 3062.5 | 1.46 | 129 |
| LNR600 | 600 | 2500 | 1.22 | 110 |
| LNR500 | 500 | 2125 | 1.02 | 92 |
| LNR400 | 400 | 1625 | 0.82 | 73 |
| LNR300 | 300 | 1250 | 0.61 | 56 |

表 E.0.1-3 天然橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.60MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$/（mm） | 竖向刚度 $K_V$/（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 橡胶层总厚度/（mm） |
|---|---|---|---|---|
| LNR1500 | 1500 | 8600 | 3.83 | 276 |
| LNR1400 | 1400 | 7200 | 3.58 | 257 |
| LNR1300 | 1300 | 5900 | 3.32 | 239 |
| LNR1200 | 1200 | 5500 | 3.07 | 220 |
| LNR1100 | 1100 | 4950 | 2.81 | 202 |
| LNR1000 | 1000 | 4730 | 2.55 | 184 |
| LNR900 | 900 | 4500 | 2.31 | 165 |
| LNR800 | 800 | 3750 | 2.03 | 148 |
| LNR700 | 700 | 3375 | 1.78 | 129 |
| LNR600 | 600 | 2875 | 1.50 | 110 |
| LNR500 | 500 | 2500 | 1.25 | 92 |
| LNR400 | 400 | 2000 | 1.01 | 73 |
| LNR300 | 300 | 1625 | 0.75 | 56 |

表 E.0.1-4 天然橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.10，G=0.32MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$/（mm） | 竖向刚度 $K_V$/（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 橡胶层总厚度/（mm） |
|---|---|---|---|---|
| LNR1200 | 1200 | 4925 | 1.45 | 235 |
| LNR1100 | 1100 | 4519 | 1.34 | 216 |
| LNR1000 | 1000 | 4113 | 1.23 | 197 |
| LNR900 | 900 | 3630 | 1.11 | 176 |
| LNR800 | 800 | 3227 | 0.99 | 157 |
| LNR700 | 700 | 2823 | 0.86 | 137 |
| LNR600 | 600 | 2420 | 0.74 | 118 |
| LNR500 | 500 | 2017 | 0.62 | 98 |
| LNR400 | 400 | 1613 | 0.49 | 78 |
| LNR300 | 300 | 1210 | 0.37 | 59 |

**E.0.2** 铅芯橡胶支座规格及力学性能参数可按表 E.0.2-1~E.0.2-4 选取。

表 E.0.2-1 铅芯橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.392MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$ /（mm） | 竖向刚度 $K$v /（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 等效阻尼比$\zeta_{eq}$（100%） | 屈服前刚度 $K_1$ /（kN/mm） | 屈服后刚度 $K_d$ /（kN/mm） | 屈服力 $Q_d$ /（kN） | 橡胶层总厚度 /（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LRB1500 | 1500 | 8300 | 3.95 | 23 | 31.63 | 2.43 | 420 | 276 |
| LRB1400 | 1400 | 7000 | 3.9 | 24 | 29.46 | 2.27 | 420 | 257 |
| LRB1300 | 1300 | 5700 | 3.55 | 24 | 27.16 | 2.09 | 350 | 239 |
| LRB1200 | 1200 | 5060 | 3.09 | 23 | 25.46 | 1.96 | 250 | 220 |
| LRB1100 | 1100 | 4840 | 2.91 | 23 | 23.25 | 1.79 | 227 | 202 |
| LRB1000 | 1000 | 4620 | 2.77 | 23 | 21.67 | 1.67 | 203 | 184 |
| LRB900 | 900 | 4200 | 2.37 | 22 | 19.67 | 1.51 | 141 | 165 |
| LRB800 | 800 | 3480 | 2.05 | 23 | 17.35 | 1.33 | 106 | 148 |
| LRB700 | 700 | 3120 | 1.87 | 24 | 15.19 | 1.17 | 90 | 129 |
| LRB600 | 600 | 2640 | 1.58 | 23 | 13.11 | 1.01 | 63 | 110 |
| LRB500 | 500 | 2160 | 1.27 | 22 | 10.91 | 0.84 | 40 | 92 |
| LRB400 | 400 | 1680 | 1.04 | 22 | 8.79 | 0.68 | 27 | 73 |
| LRB300 | 300 | 1320 | 0.76 | 21 | 6.44 | 0.5 | 16 | 56 |

表 E.0.2-2 铅芯橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.49MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$ /（mm） | 竖向刚度 $K$v /（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 等效阻尼比$\zeta_{eq}$（100%） | 屈服前刚度 $K_1$ /（kN/mm） | 屈服后刚度 $K_d$ /（kN/mm） | 屈服力 $Q_d$ /（kN） | 橡胶层总厚度 /（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LRB1500 | 1500 | 8600 | 4.56 | 23 | 39.54 | 3.04 | 420 | 276 |
| LRB1400 | 1400 | 7200 | 4.47 | 24 | 36.82 | 2.83 | 420 | 257 |
| LRB1300 | 1300 | 6000 | 4.09 | 24 | 34.19 | 2.63 | 350 | 239 |
| LRB1200 | 1200 | 5500 | 3.58 | 23 | 31.82 | 2.45 | 250 | 220 |
| LRB1100 | 1100 | 4950 | 3.36 | 23 | 29.06 | 2.24 | 227 | 202 |
| LRB1000 | 1000 | 4730 | 3.19 | 23 | 27.08 | 2.08 | 203 | 184 |
| LRB900 | 900 | 4320 | 2.75 | 22 | 24.58 | 1.89 | 141 | 165 |
| LRB800 | 800 | 3600 | 2.39 | 23 | 21.68 | 1.67 | 106 | 148 |
| LRB700 | 700 | 3300 | 2.16 | 24 | 18.99 | 1.46 | 90 | 129 |
| LRB600 | 600 | 2760 | 1.83 | 23 | 16.39 | 1.26 | 63 | 110 |
| LRB500 | 500 | 2280 | 1.48 | 22 | 13.64 | 1.05 | 40 | 92 |
| LRB400 | 400 | 1800 | 1.21 | 22 | 10.66 | 0.82 | 27 | 73 |
| LRB300 | 300 | 1440 | 0.89 | 21 | 7.93 | 0.61 | 16 | 56 |

表 E.0.2-3 铅芯橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.45，G=0.60MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$ /（mm） | 竖向刚度 $K$v /（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 等效阻尼比$\zeta_{eq}$（100%） | 屈服前刚度 $K_1$ /（kN/mm） | 屈服后刚度 $K_d$ /（kN/mm） | 屈服力 $Q_d$ /（kN） | 橡胶层总厚度 /（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LRB1500 | 1500 | 8900 | 5.25 | 23 | 48.42 | 3.72 | 420 | 276 |
| LRB1400 | 1400 | 7500 | 5.1 | 24 | 45.09 | 3.47 | 420 | 257 |
| LRB1300 | 1300 | 6300 | 4.96 | 24 | 45.43 | 3.49 | 350 | 239 |
| LRB1200 | 1200 | 5830 | 4.13 | 23 | 38.96 | 3 | 250 | 220 |
| LRB1100 | 1100 | 5280 | 3.86 | 23 | 35.58 | 2.74 | 227 | 202 |
| LRB1000 | 1000 | 5060 | 3.58 | 23 | 32.2 | 2.48 | 203 | 184 |
| LRB900 | 900 | 4680 | 3.1 | 22 | 29.22 | 2.25 | 141 | 165 |
| LRB800 | 800 | 3960 | 2.7 | 23 | 25.78 | 1.98 | 106 | 148 |
| LRB700 | 700 | 3600 | 2.44 | 24 | 22.57 | 1.74 | 90 | 129 |
| LRB600 | 600 | 3120 | 2.07 | 23 | 19.48 | 1.5 | 63 | 110 |
| LRB500 | 500 | 2640 | 1.68 | 22 | 16.21 | 1.25 | 40 | 92 |
| LRB400 | 400 | 2040 | 1.37 | 22 | 13.07 | 1.01 | 27 | 73 |
| LRB300 | 300 | 1740 | 1.03 | 21 | 9.77 | 0.75 | 16 | 56 |

表 E.0.2-4 铅芯橡胶支座规格型号及力学性能参数表（$S_2$=5.1，G=0.32MPa）

| 规格型号 | 有效直径 $D$ /（mm） | 竖向刚度 $K$v /（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 等效阳尼比$\zeta_{eq}$（100%） | 屈服前刚度 $K_1$ /（kN/mm） | 屈服后刚度 $K_d$（100%）/（kN/mm） | 屈服力 $Q_d$ /kN | 水平等效刚度 $K_h$（250%）/（kN/mm） | 等效阻尼比 $\zeta_{eq}$（250%） | 屈服后刚度 $K_d$（250%）/（kN/mm） | 橡胶层总厚度/（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LRB1200 | 1200 | 5940 | 2.6 | 31 | 23.34 | 1.8 | 250 | 1.8 | 21 | 1.01 | 235 |
| LRB1100 | 1100 | 5550 | 2.45 | 31 | 21.35 | 1.64 | 227 | 1.7 | 21 | 0.92 | 216 |
| LRB1000 | 1000 | 4639 | 2.3 | 31 | 18.97 | 1.46 | 203 | 1.6 | 21 | 0.83 | 197 |
| LRB900 | 900 | 4168 | 2.07 | 31 | 17.12 | 1.32 | 141 | 1.5 | 21 | 0.75 | 176 |
| LRB800 | 800 | 3685 | 1.84 | 31 | 15.29 | 1.18 | 106 | 1.3 | 21 | 0.67 | 157 |
| LRB700 | 700 | 3230 | 1.61 | 31 | 13.3 | 1.02 | 90 | 1.13 | 21 | 0.58 | 137 |
| LRB600 | 600 | 2778 | 1.38 | 31 | 11.48 | 0.88 | 63 | 0.95 | 21 | 0.51 | 118 |
| LRB500 | 500 | 2326 | 1.15 | 31 | 9.55 | 0.73 | 40 | 0.8 | 21 | 0.42 | 98 |
| LRB400 | 400 | 1842 | 0.92 | 31 | 7.54 | 0.58 | 27 | 0.65 | 21 | 0.34 | 78 |
| LRB300 | 300 | 1335 | 0.7 | 31 | 5.72 | 0.44 | 16 | 0.5 | 21 | 0.25 | 59 |

**E.0.3** 高阻尼橡胶支座规格及力学性能参数可按表 E.0.3 选取。

表 E.0.3 高阻尼橡胶支座规格型号及力学性能参数表

| 规格型号 | 有效直径 $D$ /（mm） | 竖向刚度 $K$v /（kN/mm） | 水平等效刚度 $K_h$（100%）/（kN/mm） | 等效阻尼比$\zeta_{eq}$（100%） | 屈服前刚度 $K_1$ /（kN/mm） | 屈服后刚度 $K_d$ /（kN/mm） | 屈服力 $Q_d$ /（kN） | 橡胶层总厚度 /（mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HDR1500 | 1500 | 8700 | 3.85 | 18 | 15.9 | 2.65 | 330 | 276 |
| HDR1400 | 1400 | 8100 | 3.53 | 18 | 13.5 | 2.25 | 330 | 257 |
| HDR1300 | 1300 | 7500 | 2.96 | 18 | 12 | 2 | 230 | 239 |
| HDR1200 | 1200 | 6900 | 2.76 | 18 | 11.4 | 1.9 | 190 | 220 |
| HDR1100 | 1100 | 6300 | 2.67 | 18 | 10.8 | 1.8 | 177 | 202 |
| HDR1000 | 1000 | 5700 | 2.47 | 18 | 10 | 1.67 | 149 | 184 |
| HDR900 | 900 | 5100 | 2.23 | 18 | 9.07 | 1.51 | 120 | 165 |
| HDR800 | 800 | 4500 | 1.97 | 18 | 8 | 1.33 | 95 | 148 |
| HDR700 | 700 | 4000 | 1.73 | 18 | 7.01 | 1.17 | 73 | 129 |
| HDR600 | 600 | 3400 | 1.48 | 18 | 6.05 | 1.01 | 53 | 110 |
| HDR500 | 500 | 2900 | 1.22 | 18 | 5.03 | 0.84 | 36 | 92 |
| HDR400 | 400 | 2500 | 0.98 | 18 | 4.08 | 0.68 | 23 | 73 |

**E.0.4** 弹性滑板支座规格及力学性能参数可按表 E.0.4 选取。

表 E.0.4 弹性滑板支座规格型号及力学性能参数表（G=1.0MPa）

| 规格型号 | 有效直径 D/mm | 竖向刚度 $K_v$/（kN/mm） | 初始刚度 $K_1$/（kN/mm） | 动摩擦系数 μ | 橡胶层总厚度/mm |
|---|---|---|---|---|---|
| ESB1500 | 1500 | 30000 | 35 | 0.02~0.05 | 48 |
| ESB1400 | 1400 | 27000 | 32 | 0.02~0.05 | 48 |
| ESB1300 | 1300 | 23000 | 28 | 0.02~0.05 | 48 |
| ESB1200 | 1200 | 20000 | 26 | 0.02~0.05 | 44 |
| ESB1100 | 1100 | 17000 | 22 | 0.02~0.05 | 44 |
| ESB1000 | 1000 | 16000 | 20 | 0.02~0.05 | 40 |
| ESB900 | 900 | 14000 | 21 | 0.02~0.05 | 30 |
| ESB800 | 800 | 13000 | 20 | 0.02~0.05 | 25 |
| ESB700 | 700 | 12000 | 16.5 | 0.02~0.05 | 20 |
| ESB600 | 600 | 10000 | 15 | 0.02~0.05 | 19 |
| ESB500 | 500 | 8000 | 11.25 | 0.02~0.05 | 19 |
| ESB400 | 400 | 5500 | 8.8 | 0.02~0.05 | 12 |
| ESB300 | 300 | 3500 | 3.6 | 0.02~0.05 | 17 |

**E.0.5** 摩擦摆隔震支座规格及性能参数可按表 E.0.5-1~E.0.5-2 选取。

表 E.0.5-1 单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参表

| 设计竖向承载力 | 规格型号 | 竖向刚度/（kN/mm） | 动摩擦系数下限值（慢） | 动摩擦系数下限值（快） | 等效曲率半径/mm | 设计水平位移/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2000 | FPS-I-2000-100 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| | FPS-I-2000-200 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-2000-300 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 3000 | FPS-I-3000-100 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| | FPS-I-3000-200 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-3000-300 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 4000 | FPS-I-4000-100 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| | FPS-I-4000-200 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-4000-300 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 5000 | FPS-I-5000-100 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |

| 设计竖向承载力 | 规格型号 | 竖向刚度/（kN/mm） | 动摩擦系数下限值（慢） | 动摩擦系数下限值（快） | 等效曲率半径/mm | 设计水平位移/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | FPS-I-5000-200 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-5000-300 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2200/2500/3000 | ±300 |
| 6000 | FPS-I-6000-100 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| | FPS-I-6000-200 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-6000-300 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 7000 | FPS-I-7000-100 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| | FPS-I-7000-200 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| | FPS-I-7000-300 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 8000 | FPS-I-8000-100 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| | FPS-I-8000-200 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |
| | FPS-I-8000-300 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |
| 9000 | FPS-I-9000-100 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| | FPS-I-9000-200 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |
| | FPS-I-9000-300 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |
| 10000 | FPS-I-10000-100 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| | FPS-I-10000-200 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |
| | FPS-I-10000-300 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |

注：FPS-I-2000-100，FPS 表示建筑摩擦摆隔震支座；I 表示支座结构类型，可选用 Ia 或 Ib；2000 表示设计竖向承载力，100 表示极限位移。慢摩擦系数是指在 4mm/s 下测试的结果，快摩擦系数是指在 150mm/s 下测试的结果；摩擦系数建议以 0.01 为增量进行取值。

**表 E.0.5-2 双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参表**

| 设计竖向承载力 | 规格型号 | 竖向刚度/（kN/mm） | 动摩擦系数下限值（慢） | 动摩擦系数下限值（快） | 等效曲率半径/mm | 设计水平位移/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2000 | FPS-II-2000-100 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-2000-200 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-2000-300 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-2000-400 | 1100~1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 3000 | FPS-II-3000-100 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-3000-200 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-3000-300 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |

| 设计竖向承载力 | 规格型号 | 竖向刚度/（kN/mm） | 动摩擦系数下限值（慢） | 动摩擦系数下限值（快） | 等效曲率半径/mm | 设计水平位移/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | FPS-II-3000-400 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 4000 | FPS-II-4000-100 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-4000-200 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-4000-300 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-4000-400 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 5000 | FPS-II-5000-100 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-5000-200 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-5000-300 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-5000-400 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 6000 | FPS-II-6000-100 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-6000-200 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-6000-300 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-6000-400 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 7000 | FPS-II-7000-100 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-7000-200 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-7000-300 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-7000-400 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 8000 | FPS-II-8000-100 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-8000-200 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-8000-300 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-8000-400 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 9000 | FPS-II-9000-100 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-9000-200 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-9000-300 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-9000-400 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 10000 | FPS-II-10000-100 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| | FPS-II-10000-200 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| | FPS-II-10000-300 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| | FPS-II-10000-400 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |

注：FPS-II-2000-100，FPS 表示建筑摩擦摆隔震支座；II 表示支座结构类型；2000 表示设计竖向承载力，100 表示极限位移。慢摩擦系数是指在 4mm/s 下测试的结果，快摩擦系数是指在 150mm/s 下测试的结果；摩擦系数建议以 0.01 为增量进行取值。

# 附录 F　隔震支座连接设计

**F.0.1**　隔震橡胶支座水平变形后（图 F.0.1），隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下式确定：

$$M=\frac{P\delta+Vh}{2} \tag{F.0.1}$$

式中：$M$——隔震支墩及连接部位所受弯矩（N·mm）；

$P$——上部结构传递的竖向力（N）；

$\delta$——隔震支座的水平剪切变形（mm）；

$V$——隔震支座所受水平剪力（N）；

$h$——隔震支座的总高度（含连接板）（mm）。

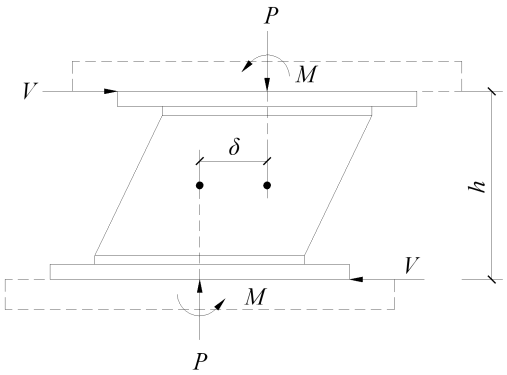



图 F.0.1　隔震支墩及连接部位变形示意图

**F.0.2**　隔震支墩混凝土局部受压最大压应力（图 F.0.2）应按下列公式确定：

$$\sigma_{\mathrm{c}}=P\frac{4(1-\cos\theta)}{\left[\frac{\sin\theta(2+\cos^2\theta)}{3}-\theta\cos\theta-n\mathrm{P_g}\pi\cos\theta\right]D_{\mathrm{e}}^2}\le 1.35\beta_{\mathrm{c}}\beta_1 f_{ck} \tag{F.0.2-1}$$

$$\theta=\arccos\left(\frac{r-X_{\mathrm{n}}}{r}\right) \tag{F.0.2-2}$$

$$P_{\mathrm{g}}=\frac{A_{\mathrm{s}}}{\pi D_{\mathrm{e}}^2/4} \tag{F.0.2-3}$$

$$D_{\mathrm{e}}=D_0+4t_{\mathrm{f}} \tag{F.0.2-4}$$

$$\mathrm{A_b}=\pi r^2 \tag{F.0.2-5}$$

$$X_n = \left[ 0.5 + \frac{1 + 2nP_g(\frac{r_s}{r})^2}{16(1+nP_g)\frac{\delta}{D_e}} \right] D_e \qquad \text{（F.0.2-6）}$$

$$r = D_e / 2 \qquad \text{（F.0.2-7）}$$

式中：$\sigma_c$——隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值（N/mm²）；

$\theta$——支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半（rad）；

$n$——螺栓与混凝土的弹性模量比；

$P_g$——螺栓配筋率，螺栓总面积与支墩有效混凝土柱截面直径的比值；

$D_e$——上下支墩有效混凝土柱截面直径（mm）；

$D_0$——隔震支座有效直径（mm）；

$t$——连接板厚度（mm）；

$\beta_c$——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时，取 0.8；其间按线性内插法确定；

$\beta_l$——混凝土局部受压时的强度提高系数，取 $\sqrt{A_b / A_l}$ 和 1.6 二者的较小值，其中 $A_l$ 表示支墩截面面积（mm²），$A_b$ 表示局部受压面积（mm²）；

$f_{ck}$——支墩混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm²）；

$X_n$——中性轴位置（mm）；

$r_s$——螺栓布置的半径（mm）；

$r$——上下支墩有效混凝土柱截面半径（mm）。

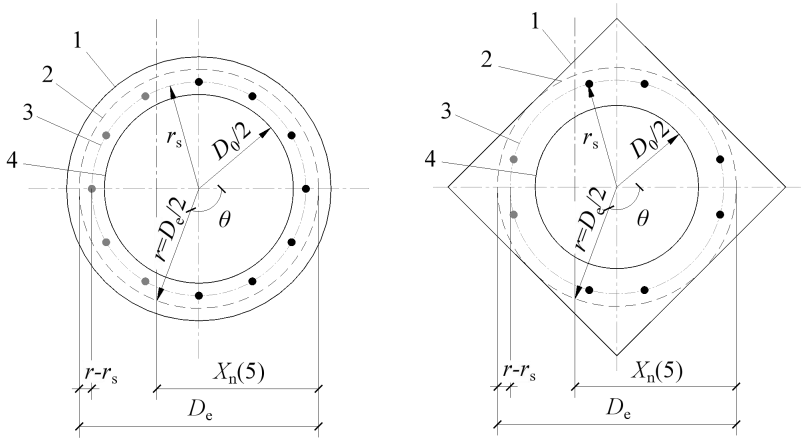



图 F.0.2　隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布

1—连接板；2—有效混凝土截面轮廓；3—螺栓中轴线；4—隔震支座；5—受压区

**F.0.3**　隔震支座连接螺栓强度验算（图 F.0.3）应按下列公式确定：

$$\left(\frac{F_{\mathrm{B}}}{\mathrm{A}_{\mathrm{b}} f_{\mathrm{yt}}^{\mathrm{b}}}\right)^2+\left(\frac{V}{n_{\mathrm{b}} A_{\mathrm{b}} f_{\mathrm{v}}^{\mathrm{b}}}\right)^2 \leqslant 1 \qquad \text{（F.0.3-1）}$$

$$F_{\mathrm{B}}=\frac{M_{\mathrm{r}} L_{\max}}{\sum L_i^2}+\frac{F_{\mathrm{u}}}{n_{\mathrm{b}}} \qquad \text{（F.0.3-2）}$$

$$M_{\mathrm{r}}=\frac{Vh}{2} \qquad \text{（F.0.3-3）}$$

式中：$F_{\mathrm{B}}$——螺栓拉力（N）；

$A_{\mathrm{b}}$——单个螺栓截面积（$\mathrm{mm}^2$）；

$f_{\mathrm{yt}}^{\mathrm{b}}$——螺栓抗拉设计强度（$\mathrm{N/mm}^2$）；

$n_{\mathrm{b}}$——螺栓数量；

$f_{\mathrm{v}}^{\mathrm{b}}$——螺栓抗剪设计强度（$\mathrm{N/mm}^2$）；

$M_{\mathrm{r}}$——隔震支座水平剪力产生的附加弯矩（N·mm）；

$L_{\max}$——螺栓到中性轴的最大距离（mm）；

$L_i$——螺栓到中性轴的距离（mm），其中性轴距离隔震支座中心为$\delta/2$；

$F_{\mathrm{u}}$——隔震支座提离力（N）。

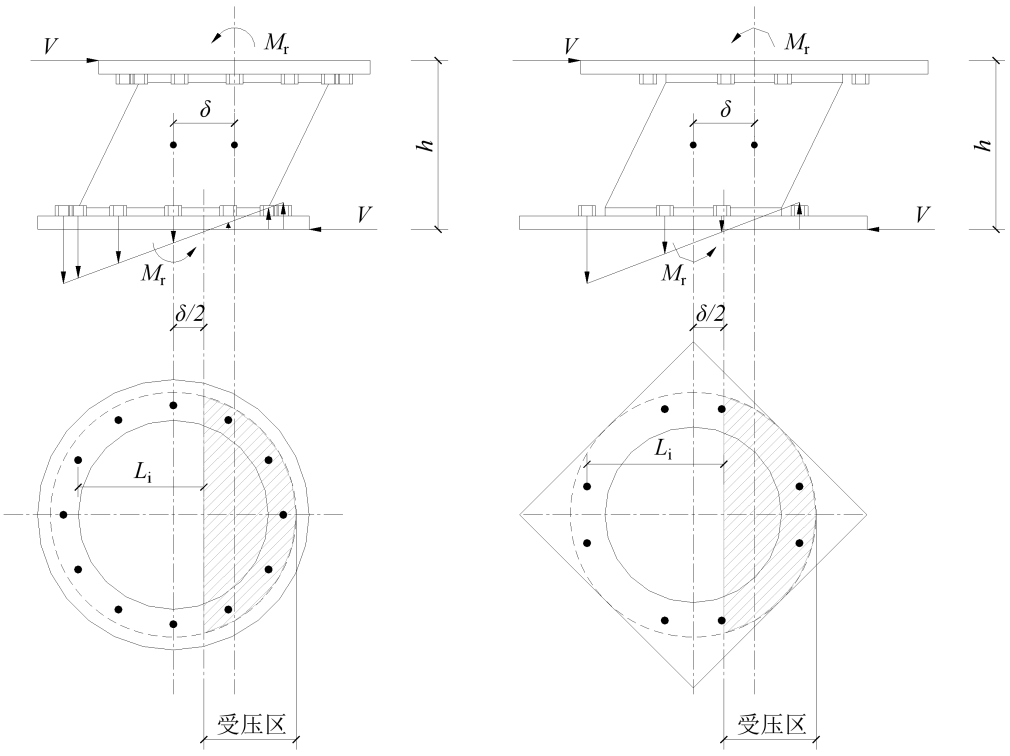



图 F.0.3　连接螺栓受力简图

**F.0.4**　隔震支座预埋件设计（图 F.0.4）应符合下列规定：

1　与连接螺栓相连锚筋强度应下式确定：

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_{ab}} \leqslant f_{yt}^{ab} \qquad \text{（F.0.4-1）}$$

式中：$\sigma_B$——与连接螺栓相连锚筋的受拉应力（N/mm²）；

$A_{ab}$——单个锚筋截面积（mm²）；

$f_{yt}^{ab}$——锚筋抗拉设计强度（N/mm²）。

2　与连接螺栓相连锚筋的锚固长度应按下式确定，且不小于250mm：

$$l_{al} \geqslant \alpha_c \frac{\sigma_B}{f_t} d_{ab} \qquad \text{（F.0.4-2）}$$

式中：$l_{ab}$——与螺栓相连锚筋的锚固长度（mm）；

$\alpha_c$——锚筋的外形系数，光圆表面取 0.16，带肋表面取 0.14；

$f_t$——混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm²）；

$d_{ab}$——锚筋直径（mm）。

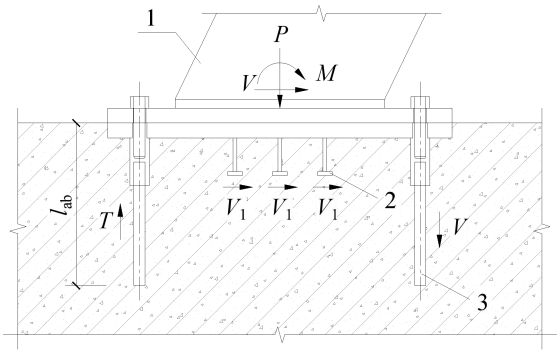



图 F.0.4 预埋件受力情况示意图

1—隔震橡胶支座；2—栓钉；3—锚杆

3 预埋板中部栓钉受剪承载力设计值应由下列公式确定：

$$V_1 = \frac{V}{n_{st}} \leqslant N_v^{st} = 0.43 A_{st} \sqrt{E_c f_c} \qquad \text{（F.0.4-3）}$$

$$V_1 \leqslant 0.7 A_{st} \gamma_c f_{st} \qquad \text{（F.0.4-4）}$$

式中：$V_1$——单根栓钉所承受的剪力（N）；

$n_{st}$——栓钉数量；

$N_v^{st}$——单根栓钉受剪承载力设计值（N/mm²）；

$A_{st}$——单根栓钉截面积（mm²）；

$E_c$——混凝土的弹性模量（N/mm²）；

$f_c$——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

$\gamma_c$——栓钉材料抗拉强度最小值与屈服强度之比；

$f_{st}$——栓钉抗拉强度设计值（N/mm²）；当栓钉材料性能等级为 4.6 级时，$f_{st}$ 取 215N/mm²，$\gamma$取 1.67。

# 附录 G　建筑隔震工程专用标识

**G.0.1**　建筑隔震工程专用标识应形式简洁、图文并茂，设置于隔震建筑的特定位置，为项目业主、施工方、使用者、物业管理者及维护人员提供必要的隔震工程技术信息，避免使用过程中的不当行为影响隔震性能，促进隔震建筑的正常使用与合理维护，指导人员在遭遇地震时安全疏散。

**G.0.2**　建筑隔震工程专用标识分为以下两类：

**1**　建筑隔震工程主标识；

**2**　其他专用标识：包括隔震支座标识、隔离缝（隔震沟）标识、隔震楼层标识、穿越隔震层可移动管线标识、隔震层检修口（吊装口）标识、疏散避让标识、地面隔震间距标识等。

**G.0.3**　建筑隔震工程专用标识形状应为正方形，可采用标牌或标签形式；图形和文字信息应便于识读，其中图形部分应为白底蓝图，文字信息部分应为蓝底白字。

**G.0.4**　地面隔震沟易被占压的隐蔽部位，可采用黄色警示标线进行标识，并设置禁止占压提示文字。

**G.0.5**　工程需要时，可在标识中增设其他语言文字。

**G.0.6**　标识图样宜符合下列规定：

**1**　隔震建筑工程主标识：

**1）**　尺寸：600mm×600mm（宽×高）；

**2）**　颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）**　中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 85 号；

**4）**　英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 55 号；

**5）** 中文说明文字：字体采用方正黑体简体，字号 35 号；

**6）** 中文正文表头：字体采用方正黑体简体，字号 35 号；

**7）** 中文表格正文：字体采用方正黑体简体，字号 45 号。

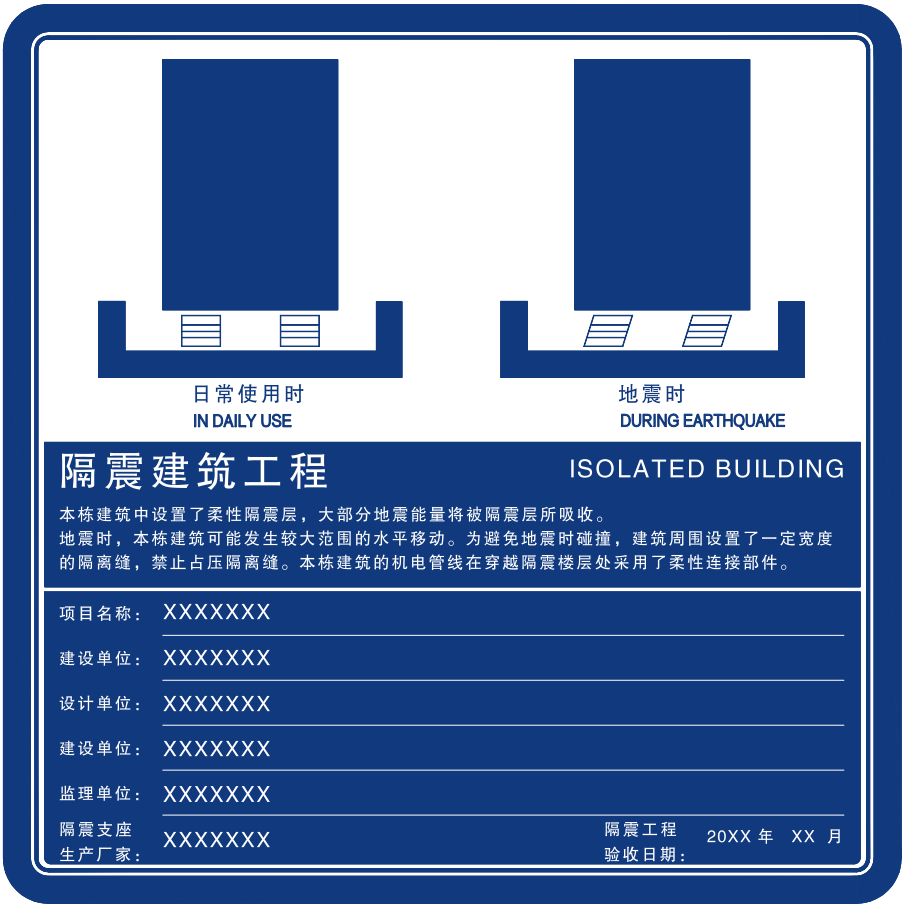



图 G.0.5-1 建筑隔震工程主标识

**2** 隔震支座标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**6）** 中文正文表格文字：字体采用方正黑体简体，字号 15 号。




图 G.0.5-2 隔震支座标识

**3** 隔离缝（隔震沟）标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。




图 G.0.5-3 隔离缝（隔震沟）标识

**4** 隔震层标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。

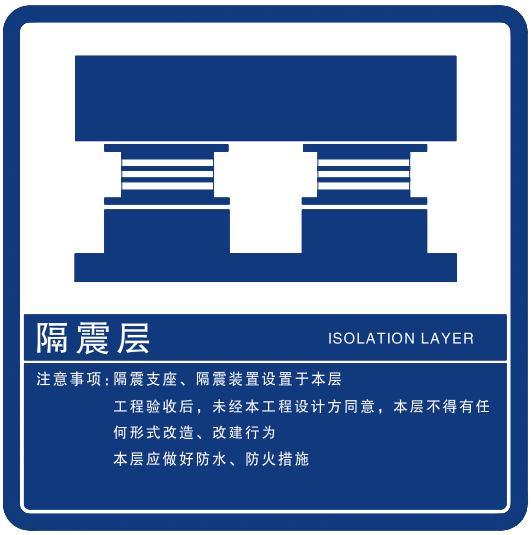



图 G.0.5-4 隔震层标识

**5** 隔震管线标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。

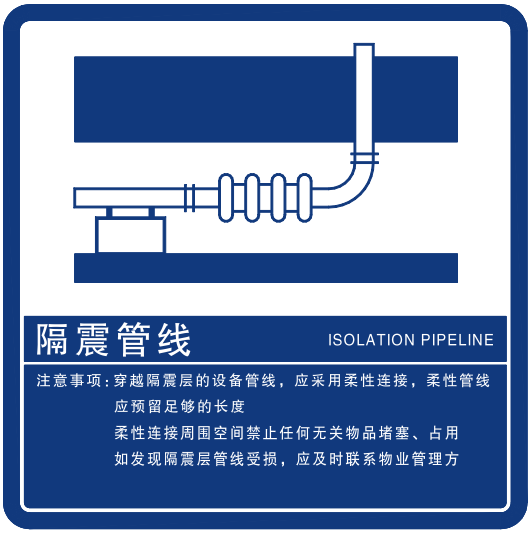



图 G.0.5-5 隔震管线标识

**6** 隔震层检修口标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。




图 G.0.5-6 隔震层检修口标识

**7** 隔震楼梯标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。




图 G.0.5-7 隔震楼梯标识

**8** 地面隔震间距标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。




图 G.0.5-8 地面隔震间距标识

**9** 疏散避让标识：

**1）** 尺寸：200mm×200mm（宽×高）；

**2）** 颜色：深蓝色，CMYK 值为 C90、M70、Y0、K35，RGB 值为 R17、G57、B125；

**3）** 中文标题：字体采用方正黑体简体，字号 45 号；

**4）** 英文标题：字体采用方正黑体简体，字号 20 号；

**5）** 中文注意事项：字体采用方正黑体简体，字号 20 号。




图 G.0.5-9 疏散避让标识

## 本规程用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待，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）表示允许有选择，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的，写法为“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

# 引用标准名录

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 《建筑与市政工程抗震通用规范》 | GB 55002 |
| 2 | 《钢结构通用规范》 | GB 55006 |
| 3 | 《混凝土结构设计标准》 | GB/T 50010 |
| 4 | 《建筑抗震设计标准》 | GB/T 50011 |
| 5 | 《钢结构设计标准》 | GB 50017 |
| 6 | 《岩土工程勘察规范》 | GB 50021 |
| 7 | 《工程测量标准》 | GB 50026 |
| 8 | 《钢结构工程施工质量验收标准》 | GB 50205 |
| 9 | 《建筑工程抗震设防分类标准》 | GB 50223 |
| 10 | 《钢结构焊接规范》 | GB 50661 |
| 11 | 《混凝土结构工程施工规范》 | GB 50666 |
| 12 | 《钢结构工程施工规范》 | GB 50755 |
| 13 | 《建筑隔震设计标准》 | GB/T 51408 |
| 14 | 《优质碳素结构钢》 | GB/T 699 |
| 15 | 《碳素结构钢》 | GB/T 700 |
| 16 | 《不锈钢棒》 | GB/T 1220 |
| 17 | 《低合金高强度结构钢》 | GB/T 1591 |
| 18 | 《碟形弹簧 第 2 部分：技术条件》 | GB/T 1972.2 |
| 19 | 《合金结构钢》 | GB/T 3077 |
| 20 | 《不锈钢冷轧钢板和钢带》 | GB/T 3280 |
| 21 | 《耐候结构钢》 | GB/T 4171 |
| 22 | 《不锈钢热轧钢板和钢带》 | GB/T 4237 |
| 23 | 《六角头螺栓》 | GB/T 5782 |
| 24 | 《六角头螺栓 全螺纹》 | GB/T 5783 |
| 25 | 《结构用无缝钢管》 | GB/T 8162 |

| | | |
|---|---|---|
| 26 | 《工农业机械用摩擦片》 | GB/T 11834 |
| 27 | 《流体输送用不锈钢无缝钢管》 | GB/T 14976 |
| 28 | 《中国地震动参数区划图》 | GB 18306 |
| 29 | 《建筑结构用钢板》 | GB/T 19879 |
| 30 | 《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》 | GB/T 20688.3 |
| 31 | 《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》 | GB/T 20688.5 |
| 32 | 《建筑用低屈服强度钢板》 | GB/T 28905 |
| 33 | 《建筑摩擦摆隔震支座》 | GB/T 37358 |
| 34 | 《高层建筑混凝土结构技术规程》 | JGJ 3 |
| 35 | 《建筑变形测量规范》 | JGJ 8 |
| 36 | 《建筑机械使用安全技术规程》 | JGJ 33 |
| 37 | 《建筑施工高处作业安全技术规范》 | JGJ 80 |
| 38 | 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 | JGJ 82 |
| 39 | 《高层民用建筑钢结构技术规程》 | JGJ 99 |
| 40 | 《组合结构设计规范》 | JGJ 138 |
| 41 | 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 | JGJ/T 251 |
| 42 | 《建筑隔震工程施工及验收规范》 | JGJ 360 |
| 43 | 《建筑隔震橡胶支座》 | JG/T 118 |
| 44 | 《建筑消能阻尼器》 | JG/T 209 |
| 45 | 《建筑隔震柔性管道》 | JG/T 541 |
| 46 | 《烧结金属摩擦材料 技术条件》 | JB/T 3063 |
| 47 | 《高层建筑工程抗震设防超限界定标准》 | DB32/T 4399 |

江苏省地方标准

# 建筑工程消能减震与隔震技术规程

DB32/T XXXX—2026

条 文 说 明

# 制定说明

本规程编制过程中，编制组依据国家现行法律、法规和技术标准，在深入调研、认真总结我省工程实践经验并借鉴国内部分省市先进做法的基础上，通过专题研究、技术论证和广泛征求意见，确定了主要技术内容；相关技术参数反映了我省建筑消能减震与隔震领域在设计、施工及验收方面当前的总体技术水平。

为便于设计、审查、施工等单位人员正确理解和执行本规程，编制组按章、节、条的顺序编写了条文说明，对各项条文的制定目的、依据及执行注意事项作出解释。

本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者理解规程时参考。

# 目　次

1 总　则 ..... 139
2 术语和符号 ..... 140
3 基本规定 ..... 143
3.1 一般规定 ..... 143
3.2 场地、地基和基础 ..... 148
3.3 消能器和隔震支座要求 ..... 149
3.4 结构分析 ..... 151
3.5 连接与节点 ..... 160
3.6 耐久性与防火要求 ..... 160
3.7 试验与观测 ..... 162
4 地震作用和结构抗震验算 ..... 163
4.1 一般规定 ..... 163
4.2 地震作用计算 ..... 164
4.3 截面抗震验算 ..... 166
5 地震时保持正常使用功能建筑性能目标及设计 ..... 168
5.1 一般规定 ..... 168
5.2 地基和基础抗震承载力验算 ..... 168
5.3 结构构件抗震承载力验算 ..... 168
5.4 抗震变形验算和楼面水平加速度基本要求 ..... 169
5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求 ..... 169
6 消能器的技术性能 ..... 171
6.1 一般规定 ..... 171
6.2 消能器的技术性能 ..... 172
6.3 消能器的性能检验 ..... 175
7 消能减震结构设计 ..... 178

7.1 一般规定 ..... 178
7.2 消能部件布置原则 ..... 178
7.3 消能部件设计与附加有效阻尼比 ..... 180
7.4 消能减震主体结构设计 ..... 183
8 消能部件的连接与构造 ..... 185
8.1 一般规定 ..... 185
8.2 预埋件计算 ..... 188
8.3 节点板计算 ..... 188
8.4 支撑和支墩计算 ..... 188
8.5 消能器与主体结构连接的构造要求 ..... 189
9 消能部件的施工、验收与维护 ..... 191
9.1 一般规定 ..... 191
9.3 消能部件施工的安装顺序 ..... 191
9.6 施工安全与施工质量验收 ..... 193
9.7 消能部件维护 ..... 193
10 隔震支座的技术性能 ..... 195
10.1 一般规定 ..... 195
10.2 隔震支座的技术性能 ..... 195
10.3 隔震支座的性能检验 ..... 196
11 多高层隔震结构设计 ..... 198
11.1 一般规定 ..... 198
11.2 抗震变形验算 ..... 200
11.3 隔震层设计 ..... 200
11.4 下部结构与上部结构设计 ..... 204
11.5 隔震支座与结构的连接和构造 ..... 205
12 建筑与机电隔震构造 ..... 206
12.1 一般规定 ..... 206

12.2 隔离缝 ..... 206
12.3 隔震层交通构造 ..... 210
12.4 穿越隔震层的机电设备与管线 ..... 213
13 隔震分部工程的施工、验收与维护 ..... 216
13.1 一般规定 ..... 216

# 1 总 则

1.0.3 本条明确了消能减震和隔震建筑的基本抗震设防目标。

**1** 按本规程设计与施工的消能减震建筑，其基本抗震设防目标与现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 保持一致。

**2** 按本规程设计与施工的隔震建筑，其基本抗震设防目标与现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 保持一致。与现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 相比，本规程将其抗震设防目标由“小震不坏、中震可修、大震不倒”提升为“中震不坏、大震可修”，显著提高了隔震建筑的抗震设防标准。关于隔震建筑验算内容的对比，详见表 1。

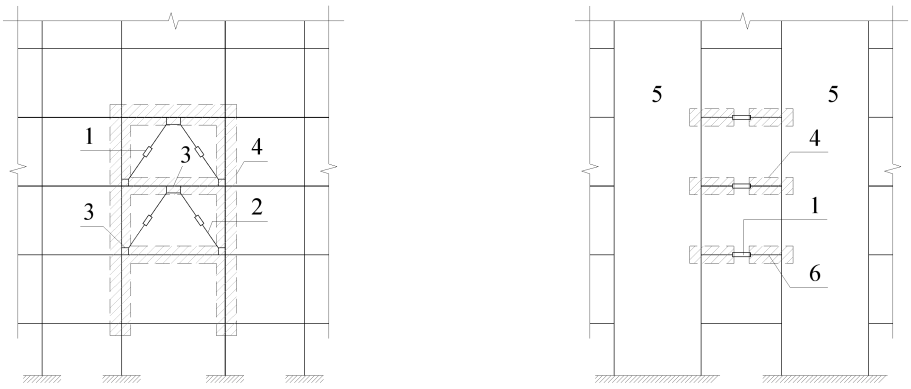
**表 1 不同标准对隔震建筑验算内容的差异对比**

| 地震水准 | 验算内容 | 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版） | | 本规程 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 上部结构 | 隔震层 | 上部结构 | 隔震层 |
| 多遇地震 | 承载力 | √ | √ | | |
| | 变形 | √ | √ | | |
| 设防地震 | 承载力 | | | √ | √ |
| | 变形 | | | √ | √ |
| 罕遇地震 | 承载力 | | √ | | √ |
| | 变形 | √ | √ | √ | √ |

规程未涉及特殊设防类建筑。对于特殊设防类建筑，应在满足本规程基本原则的基础上，根据相关规范要求进行专门研究和论证。

# 2　术语和符号

2.1.4　消能子结构的范围为图 1 中虚框内的构件，不包括与虚框相交的构件。当消能器位于嵌固端的上一层时，消能子结构可不向下延伸。当消能部件与设有边框柱的抗震墙相连时，可仅将边框柱视为消能子结构的竖向构件。

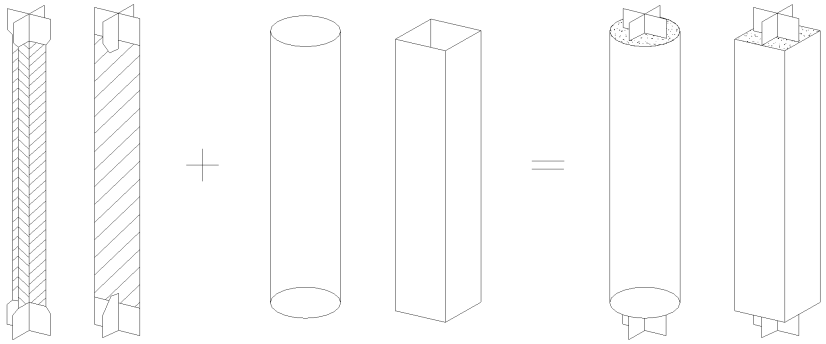



（a）采用支撑型的消能子结构范围划定示意图（含位移相关型和速度相关型消能器）　　（b）采用连梁型的消能子结构范围划定示意图

图 1　消能子结构范围划定示意图

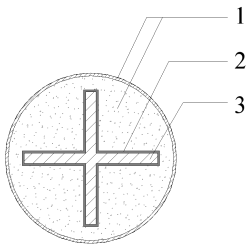
1—消能器；2—支撑；3—连接件（含节点板、预埋件等）；4—消能子结构范围；5—抗震墙；6—连梁

2.1.7　屈曲约束支撑（BRB）的基本构成分为横向构成与纵向构成（图 2）。横向构成包括核心单元、约束单元及无粘结材料层（或空气间隙层）；纵向构成包括耗能段、过渡段和连接段，其中耗能段又称工作段，是屈曲约束支撑的核心功能区。



核心单元　　约束单元　　支撑构件

（a）屈曲约束支撑构造示意图




（b）屈曲约束支撑横向构成




（c）屈曲约束支撑纵向构成

图 2　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

根据设计时是否考虑屈服后的耗能能力，屈曲约束支撑可分为耗能型屈曲约束支撑和承载型屈曲约束支撑。

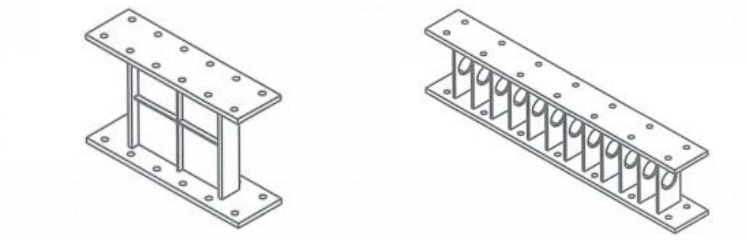
**1**　耗能型屈曲约束支撑：兼具承载与耗能双重功能，能够在地震作用下为结构提供附加刚度和阻尼。在多遇地震作用下通常保持弹性，仅提供附加刚度；在设防地震和罕遇地震作用下进入屈服，通过稳定、饱满的滞回性能耗散地震能量，并先于主体结构构件进入屈服。其耗能芯材通常采用低屈服点钢材，以保证良好的滞回性能和稳定的耗能效果。

**2**　承载型屈曲约束支撑：主要用于提高结构的侧向刚度和承载力，设计时不考虑其屈服后的耗能作用。在设防地震作用下应保持弹性，在罕遇地震作用下可进入屈服，但不考虑其屈服后的耗能作用。其芯材通常采用较高屈服强度的钢材，以满足结构承载力需求。

耗能型屈曲约束支撑与承载型屈曲约束支撑在力学性能及检验要求方面存在显著差异：前者对疲劳性能和滞回耗能能力有更严格的要求，而后者更注重承载能力和抗屈曲性能。采用耗能型屈曲约束支撑的结构应按照消能减震结构体系进行设计；采用承载型屈曲约束支撑的结构，则应按照普通支撑结构体系进行设计。

本规程关于屈曲约束支撑的规定，主要适用于耗能型屈曲约束支撑。

2.1.8　金属屈服型消能器（MYD）从材料类型上可分为软钢消能器、铅消能器等；从受力形式上可分为剪切型、弯曲型（图 3）等。



（a）剪切型金属消能器　　（b）弯曲型金属消能器

图 3　金属屈服型消能器构造示意图

2.1.16　一般情况下，消能器极限位移不应小于设计位移的 1.2 倍。对于黏滞消能器，其极限位移与设计位移的关系尚应符合本规程表 6.2.17 的规定。

2.1.17　一般情况下，消能器极限速度不应小于设计速度的 1.2 倍。

2.1.40　本规程中，“地震时保持正常使用功能建筑”特指设防地震下能够满足正常使用要求的消能减震建筑和隔震建筑。

# 3　基本规定

## 3.1　一般规定

3.1.1　作为抗震设防依据的文件和图件（如地震动参数区划图），其审批权限依法由国家相关主管部门确定。

3.1.2　建筑工程的抗震设防类别，是根据其在地震中可能造成的人员伤亡、经济损失和社会影响程度，以及其在地震应急救援和灾后恢复中的功能重要性等因素综合确定的。该分类方法是在现有技术经济条件下，实现减轻地震灾害风险与合理控制建设成本之间协调的重要技术对策。需要明确的是，采用减隔震技术虽能提升结构抗震性能，但并不改变建筑的抗震设防类别，其抗震设防类别和设防标准仍须依据现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定。

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223-2008 第 6.0.8 条规定：“教育建筑中，幼儿园、小学、中学的教学用房以及学生宿舍和食堂，抗震设防类别应不低于重点设防类”。该标准未对大学建筑的抗震设防类别作出明确规定。《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第 744 号）第十六条规定：“建筑工程根据使用功能以及在抗震救灾中的作用等因素，分为特殊设防类、重点设防类、标准设防类和适度设防类。学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑，应当按照不低于重点设防类的要求采取抗震设防措施”。作为行政法规，《建设工程抗震管理条例》相较于相关标准具有更高的法律效力，其规定应优先执行。2023 年 11 月，住房和城乡建设部在官方网站上明确，大学建筑属于《建设工程抗震管理条例》规定的“学校”范畴，应按不低于重点设防类要求采取抗震设防措施。因此，即使《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223-2008 未明确规定大学建筑的抗震设防类别，仍应依据《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第 744 号）落实重点设防类的设计要求。

大学建筑功能复杂、人员密集。考虑到学生宿舍、食堂以及大规模教学用房是校园内人员最集中的主要场所，为保障师生安全，建议对大学的学生宿舍、食堂以及经常使用人数不少于 1000 人的教学用房，均应按不低于重点设防类的要求确定抗震设防标准。

3.1.3　本条规定了消能减震与隔震建筑适用的最大高度要求。

**1**　消能减震结构通过设置消能器耗散地震能量，可有效降低结构地震响应。理论上，该技术可适度提高结构的最大适用高度，但基于现阶段研究成果和工程安全性要求，其适用的最大高度仍应遵循国家现行有关标准的规定。当结构高度超过标准限值时，应开展专门研究，并按照相关规定进行专项审查。

在钢筋混凝土框架结构中设置屈曲约束支撑时，其结构体系分类应根据以下两种情形判定：

**1**）当屈曲约束支撑的布置、间距及底层钢支撑框架承担的地震倾覆力矩等，符合《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）附录 G 关于钢支撑-混凝土框架结构的相关要求时，该结构体系应判定为钢支撑-混凝土框架结构，其最大适用高度应按该标准相关规定执行；

**2**）当屈曲约束支撑仅用于调整结构抗扭刚度或起到消能作用，且不满足《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）附录 G 中关于钢支撑设置的要求时，结构体系仍应判定为钢筋混凝土框架结构。

隔震建筑的房屋高度计算方法与传统抗震建筑相同，即自室外地面算至主要屋面的高度，不包括突出屋面的电梯机房、水箱、构架等附属构筑物高度。当采用基底隔震（不含地下室顶板隔震），且下支墩顶部低于室外地面时，房屋高度宜自下支墩顶部起算。

3.1.4　在消能减震结构的抗震性能化设计中，主要涉及两类构件：“关键构件”与“普通竖向构件”。“关键构件”指失效后可能引发结构

连续破坏或危及生命安全的构件，其具体范围应由结构工程师结合工程实际分析确定，主要包括：消能子结构、底部加强部位的重要竖向构件、水平转换构件及与其相连的竖向支承构件、大跨连体结构的连接体及与其相连的竖向支承构件、大悬挑结构的主要悬挑构件、加强层伸臂和周边环带结构的竖向支承构件、承托上部多个楼层框架柱的腰桁架、长短柱在同一楼层且数量相当时该层各个长短柱、扭转变形较大部位的竖向（斜向）构件、重要的斜撑构件等。“普通竖向构件”指除“关键构件”之外的其他竖向构件。

在隔震结构的抗震性能化设计中，主要涉及四类构件：“关键构件”、“普通竖向构件”、“重要水平构件”和“普通水平构件”。其具体含义及划分详见本规程第 4.3.3 条条文说明。

3.1.5　《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第 744 号）第十六条规定：“位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。国家鼓励在除前款规定以外的建设工程中采用隔震减震等技术，提高抗震性能。”

为贯彻落实上述要求，提升江苏省“两区八大类”建设工程的抗震防灾能力，降低地震灾害风险，保障人民生命财产安全，此类建筑的设计应按本规程第 5 章及国家相关标准执行，其性能目标应符合本规程第 5.1 节的规定，确保在设防地震作用下满足正常使用要求。

3.1.6　本规程中消能器与隔震支座的设计工作年限，指在正常使用及维护条件下，其各项性能指标能够满足设计要求的时间期限。

3.1.8　消能器与隔震支座在长期使用过程中需定期检查和维护，因此其安装位置应便于维护人员接近和操作。设计时应预留必要的操作空间；在局部空间受限区域，宜设置辅助牵引或提升装置，以方便后期

维护及更换。支承隔震支座的支墩或支柱的高度，应满足隔震支座更换的操作要求。

3.1.9 《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第744号）第十二条规定：“对位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的下列建设工程，设计单位应当在初步设计阶段按照国家有关规定编制建设工程抗震设防专篇，并作为设计文件组成部分：

（一）重大建设工程；

（二）地震时可能发生严重次生灾害的建设工程；

（三）地震时使用功能不能中断或者需要尽快恢复的建设工程。”

为贯彻落实上述要求，特制定本条。

建设工程的抗震设防专篇一般应包括以下基本内容：工程基本情况、抗震设防依据和标准、场地与地基基础的地震影响评价、建筑方案及抗震设防对策与措施、结构抗震设计概要、附属机电工程抗震设防对策与措施、施工与安装要求，以及使用与维护要求等。

3.1.10 《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第744号）第十一条明确提出：“……采用隔震减震技术的建设工程，设计文件中应当对隔震减震装置技术性能、检验检测、施工安装和使用维护等提出明确要求。”

为贯彻落实上述要求，本条对消能减震和隔震建筑工程设计文件的具体内容及深度作出规定，具体如下：

**1** 消能减震结构计算分析宜包含下列基本内容：

**1）**非消能减震结构与消能减震结构的对比分析，包括层间剪力、层间位移角、水平地震剪力和顶点位移的比较。

**2）**附加有效阻尼比和附加有效刚度计算及设计取值。

**3）**多遇地震下的最小剪重比验算。

**4）**多遇地震作用下主体结构弹性层间位移角、罕遇地震作用下主体结构弹塑性层间位移角验算。

**5**）速度相关型消能器在罕遇地震作用下的最大阻尼力和设计位移计算；位移相关型消能器在罕遇地震作用下的最大承载力和设计位移计算。

注：最大承载力是指消能器在设计位移下对应的承载力；最大阻尼力是指消能器在设计速度下对应的阻尼力。

**6**）消能子结构的抗震承载力验算，以及消能部件（含节点板、预埋件）的抗震验算。

**7**）对地震时保持正常使用功能建筑，尚应补充设防地震与罕遇地震下层间位移角及楼面水平加速度验算。

**2** 隔震结构计算分析宜包含下列基本内容：

**1**）设防地震作用下主体结构弹性层间位移角、罕遇地震作用下主体结构弹塑性层间位移角验算。

**2**）隔震层偏心率、恢复力及抗风承载力验算。

**3**）设防地震作用下的最小剪重比验算。

**4**）重力荷载代表值作用下的隔震支座竖向压应力验算，以及罕遇地震作用下的隔震支座最大竖向压应力和拉应力验算。

**5**）罕遇地震作用下的隔震支座水平位移控制及水平剪力验算。

**6**）罕遇地震作用下的结构整体抗倾覆验算。

**7**）对设置黏滞消能器的隔震结构，应进行黏滞消能器设计位移和最大阻尼力验算。

**8**）设置抗拉装置的隔震结构应进行抗拉装置设计验算。

**9**）转换梁、隔震支座支墩、支柱及相连构件的抗震承载力验算。

**3** 设计文件应明确给出消能器和隔震支座的力学性能指标，具体内容如下：

**1**）屈曲约束支撑与金属屈服型消能器：屈服承载力、最大承载力、屈服位移、极限位移、弹性刚度、第 2 刚度（屈服后刚度）等。

**2**）摩擦消能器：起滑摩擦力、初始刚度、极限位移、滑动摩擦力等。

**3**）黏滞消能器：极限位移、设计位移、最大阻尼力、阻尼系数、阻尼指数等。

**4**）黏弹性消能器：极限变形、设计位移、最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子等。

**5**）隔震橡胶支座：压缩性能、剪切性能、水平极限变形能力。

**6**）弹性滑板支座：压缩性能、剪切性能、水平极限变形能力。

**7**）摩擦摆隔震支座：压缩性能、剪切性能、水平极限变形能力。

**4** 由于消能器和隔震支座类型繁多，不同生产厂家在工艺、配方和加工方式上存在差异，会直接影响其力学性能。因此本条规定应通过产品抽样检验方式对其力学性能进行评估，以确保满足设计要求。同时，应建立结构设计工作年限内的检查与更换制度，并在结构设计文件中予以明确。

**5** 设计文件应提供消能部件与结构的连接构造，以及隔震结构的构造做法，主要包括：

**1**）预埋件构造大样图；

**2**）节点板构造大样图；

**3**）支撑、支墩等连接构造大样图；

**4**）竖向隔离缝平面布置图；

**5**）水平与竖向隔离缝构造大样图，设备管线穿越隔震层的构造大样图；

**6**）楼梯、电梯等交通设施穿越隔震层的构造大样图。

## 3.2 场地、地基和基础

3.2.1 除地震动是引起结构破坏的直接原因外，场地条件恶化也是导致结构破坏的重要次生原因。例如，地震引起地表错动与地裂、地基土不均匀沉陷、滑坡和粉、砂土液化等。因此，选择对抗震有利的建筑场地，是减轻场地相关地震灾害的首要措施。

3.2.2 为确保隔震层在地震作用下具备预期的力学性能，隔震建筑的

地基变形应保持整体协调，避免出现显著的局部变形（包括水平和竖向）。当建筑场地为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应针对地震时可能发生的不均匀沉降及其他不利影响，采取措施加强地基基础的整体性。

《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）第 12.1.3 条指出：“……建筑场地宜为I、II、III类，并应选用稳定性较好的基础类型”。该条款并未提及IV类场地土，其条文说明进一步指出：“……当在IV类场地建造隔震房屋时，应进行专门研究和专项审查。”

近年来，国内工程实践中已出现IV类场地隔震建筑案例（如天津地区部分医院项目）。为推动隔震技术应用，本规程允许在IV类场地采用隔震技术，但必须采取有效措施，例如通过优化隔震层阻尼器的设置（包括阻尼器的参数、数量及布置方式等），以减小在控制隔震层变形的过程中可能引起的上部结构地震作用增大效应。

3.2.4　根据《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）第 4.2.2 条的规定，地基基础抗震验算应采用地震作用效应的标准组合，且该组合对应多遇地震作用效应。本规程规定隔震建筑按中震进行设计，因此其地基基础抗震验算应采用与本地区抗震设防烈度相对应的设防地震作用效应组合。

## 3.3　消能器和隔震支座要求

3.3.1　本条对不同类型消能器在不同荷载作用下的工作状态提出了具体要求，详见表 2，旨在确保消能器能够正常发挥作用并保持性能可靠。

表 2　各类消能器在多遇地震、温度或 10 年一遇标准风荷载作用下的工作状态要求

| 消能器类型 | | 多遇地震作用 | 温度或 10 年一遇标准风荷载作用 |
|---|---|---|---|
| 位移相关型消能器 | 金属屈服型消能器 | 部分发挥消能作用 | 位移不应大于初始屈服位移 |
| | 摩擦消能器 | | 摩擦力不应大于起滑摩擦力 |
| | 屈曲约束支撑 | 位移不宜大于初始屈服位移 | 位移不应大于初始屈服位移 |
| 速度相关型消能器 | | 发挥消能作用 | |

**1** 温度作用或 10 年一遇标准风荷载作用：这两类荷载具有持续时间长、循环次数多的特点。为避免金属屈服型消能器和屈曲约束支撑因累积损伤而发生低周疲劳破坏，以及防止摩擦消能器产生不可恢复的永久滑移，条文规定了它们在该工况下不应进入屈服或滑动状态。设计时应确保其在此工况下保持弹性。

**2** 若屈曲约束支撑在多遇地震作用下屈服耗能，且在罕遇地震下仍需保持耗能能力，其最小延性系数不宜小于 8。根据市场调研，现有产品的延性系数多为 6～9，难以完全满足该要求。为确保罕遇地震下的耗能能力，条文规定屈曲约束支撑在多遇地震作用下不宜屈服。

金属屈服型消能器的延性系数一般不低于 8，可在多遇地震作用下屈服耗能。该类消能器的延性系数与芯材延性、屈服机制密切相关，通常剪切型显著高于弯曲型。

注：延性系数是指消能部件的设计位移与计算屈服位移的比值。

在温度变化较大的使用环境中，黏弹性消能器的力学参数会随温度显著变化，可能导致主体结构的附加有效阻尼比和有效刚度下降。设计时应依据建筑物可能达到的最高使用温度确定其性能指标。在罕遇地震作用下，主体结构进入弹塑性阶段时，温度变化对减震效率的规律性尚不明确。因此，采用该类消能器时，宜进行多温度工况下的罕遇地震弹塑性变形验算，以保证设计安全性。

3.3.2 隔震支座除应具有满足竖向承载与水平变形能力的基本力学性能外，还应具有适宜的水平刚度，以满足结构自振周期延长、隔震层极限位移控制以及风荷载作用下的稳定性要求。

3.3.3 型式检验是指依据产品标准，由市场监督管理部门认可的检验机构或具备相应资质的检验机构，对产品各项技术指标实施的全面检验。检验项目应涵盖产品标准规定的基本性能、力学性能、耐久性等全部技术指标。其目的是对产品进行综合定型鉴定，判定其性能是否全面符合相关标准及工程设计要求。生产企业应在通过型式检验并取得合格检验报告后，方可正式投产。

出厂检验是指产品出厂前，由生产企业检测部门或其委托的第三方检验机构依据产品标准实施的检验。其目的是验证该批次产品的性能参数是否符合相关标准及设计要求。产品应通过出厂检验并取得合格报告后方可出厂，且出厂检验报告仅对该批次产品有效，不得重复使用。

## 3.4 结构分析

3.4.1 消能减震结构的分析模型应准确反映结构实际工作状态。结构分析时，应考虑消能部件安装顺序对整体性能的影响。

3.4.2 消能减震结构分析应考虑主体结构与消能部件在不同工作状态下的力学特性，并据此合理选择分析方法（详见表 3）。

表 3 主体结构与消能器在不同工作状态下的分析方法

| 主体结构工作状态 | 消能器工作状态 | 分析方法 | |
|---|---|---|---|
| 弹性 | 线性 | 采用振型分解反应谱法计算构件内力、层间剪力、层间位移角等。 | 采用弹性时程分析法计算层间剪力、层间位移角及消能器耗能情况等。 |
| 弹性 | 非线性 | 采用振型分解反应谱法（考虑消能器非线性特性）计算构件内力、层间剪力、层间位移角等。 | 采用弹性时程分析法计算层间剪力、层间位移角及消能器耗能情况等；<br>也可采用弹塑性时程分析法。 |
| 弹塑性 | 非线性 | 采用弹塑性时程分析法计算层间剪力、层间位移角、消能器耗能情况等，并获得塑性铰分布情况。 | |

振型分解反应谱法仍是结构抗震分析的主要方法，时程分析法可作为补充方法。常见时程分析方法包括快速非线性分析法（FNA）和直接积分法，两者均适用于线性与非线性问题。

静力弹塑性分析作为简化的弹塑性方法，计算工作量小，但仅适用于以第一振型为主且基本周期不大于 2s 的结构，可用于评估整体及局部弹塑性变形，揭示弹性设计中潜在问题（如层间屈服机制、过大变形、强度或刚度突变等）。然而，对于长周期结构及超高层建筑，其计算结果与动力弹塑性时程分析可能存在显著差异。鉴于动力弹塑性时程分析在工程实践中的广泛应用，本规程不推荐采用静力弹塑性

分析法。

3.4.3　消能部件附加给主体结构的有效刚度与其工作状态直接相关。例如，金属屈服型消能器在屈服后，其刚度显著低于弹性阶段的刚度，因此附加有效刚度会随屈服程度的不同而变化。

消能部件的有效刚度可通过线性分析的迭代法确定，也可采用非线性分析方法计算。

3.4.4　消能器的恢复力模型宜通过足尺试验确定。当消能器的性能参数超出现有试验设备能力时，可采用缩尺模型试验确定，但需充分考虑尺寸效应对实际消能器性能参数的影响。

摩擦消能器和铅消能器可采用理想弹塑性模型（图 4）；屈曲约束支撑和金属屈服型消能器（铅消能器除外）可采用双线性模型（图 5），三线性模型（图 6），也可采用 Wen 模型（图 7）。

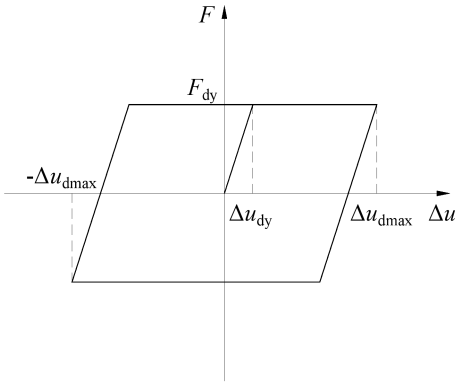



图 4　理想弹塑性模型

$\Delta u_{dmax}$—消能器极限位移；$\Delta u_{dy}$—消能器屈服位移；$F_{dy}$—消能器屈服承载力

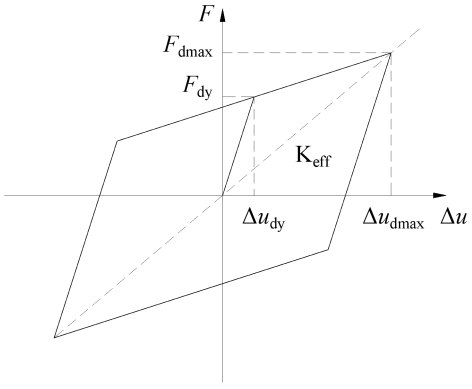



图 5　双线性模型

$\Delta u_{dmax}$—消能器极限位移；$\Delta u_{dy}$—消能器屈服位移；$F_{dmax}$—消能器最大承载力；$F_{dy}$—消能器屈服承载力；$K_{eff}$—有效刚度

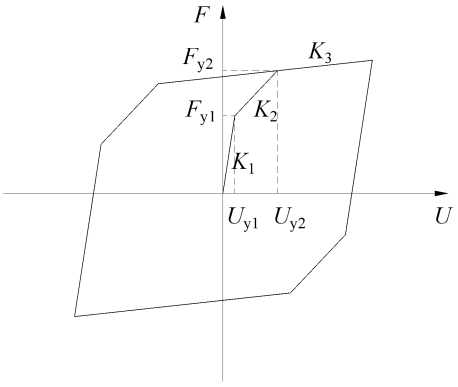



图 6　三线性模型

$K_1$—第一阶屈服前刚度，$K_2$—第二阶屈服前刚度，$K_3$—屈服后刚度，$F_{y1}$—第一阶屈力，$F_{y2}$—第二阶屈服力，$U_{y1}$—第一阶屈服位移，$U_{y2}$—第二阶屈服位移

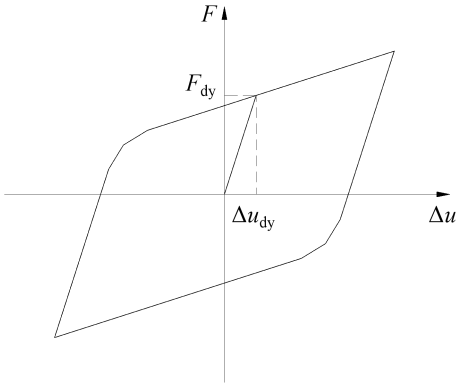



图 7　Wen 模型

$\Delta u_{dy}$—消能器屈服位移；$F_{dy}$—消能器屈服承载力

理想弹塑性模型的关系式为：

$$F_{\mathrm{d}}=\begin{cases}K_1\Delta u & (\Delta u\leqslant\Delta u_{\mathrm{dy}})\\ F_{\mathrm{dy}} & (\Delta u>\Delta u_{\mathrm{dy}})\end{cases} \tag{1}$$

双线性模型的关系式为：

$$F_{\mathrm{d}}=\begin{cases}K_1\Delta u & (\Delta u\leqslant\Delta u_{\mathrm{dy}})\\ F_{\mathrm{dy}}+K_2(\Delta u-\Delta u_{\mathrm{dy}}) & (\Delta u>\Delta u_{\mathrm{dy}})\end{cases} \tag{2}$$

式中：$F_{\mathrm{d}}$——消能器在相应位移下的阻尼力（kN）；

$K_1$——消能器屈服前刚度（kN/m）；

$\Delta u$——消能器位移（m）；

$F_{\mathrm{dy}}$——消能器屈服承载力（kN）；

$K_2$——消能器屈服后刚度（kN/m）；

$\Delta u_{\mathrm{dy}}$——消能器屈服位移（m）。

三线性模型的关系式为：

$$F_{\mathrm{d}}=\begin{cases}K_1U & (0\leq U\leqslant U_{\mathrm{y1}})\\ F_{\mathrm{y1}}+K_2(U-U_{\mathrm{y1}}) & (U_{\mathrm{y1}}<U\leqslant U_{\mathrm{y2}})\\ F_{\mathrm{y2}}+K_3(U-U_{\mathrm{y2}}) & (U>U_{\mathrm{y2}})\end{cases} \tag{3}$$

式中：$F_{\mathrm{d}}$——消能器在相应位移下的阻尼力（kN）；

$K_1$——消能器第一阶屈服前刚度（kN/m）；

$K_2$——消能器第二阶屈服前刚度（kN/m）；

$K_3$——消能器屈服后刚度（kN/m）；

$U$——消能器位移（m）；

$U_{\mathrm{y1}}$——消能器第一阶屈服位移（m）；

$U_{\mathrm{y2}}$——消能器第二阶屈服位移（m）；

$F_{\mathrm{y1}}$——消能器第一阶屈服力（kN）；

$F_{\mathrm{y2}}$——消能器第二阶屈服力（kN）。

Wen 模型的关系式为：

$$F_{\mathrm{d}}=K_2\Delta u+(1-\frac{K_2}{K_1})F_{\mathrm{dy}}\mathrm{z} \tag{4}$$

式中：z——wen 模型内部迟滞变量。

黏滞消能器可采用麦克斯韦（Maxwell）模型（图 8），黏弹性消能器可采用开尔文（Kelvin）模型（图 9）。

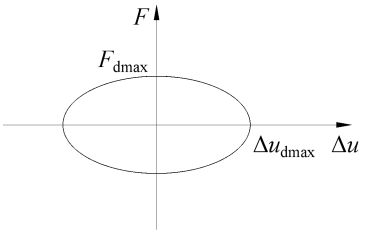



图 8　麦克斯韦（Maxwell）模型

$F_{dmax}$—消能器最大阻尼力；$\Delta u_{dmax}$—消能器极限位移

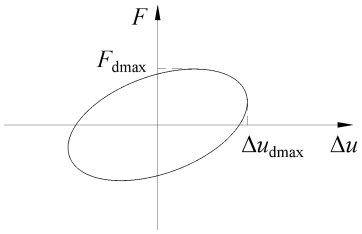



图 9　开尔文（Kelvin）模型

$F_{dmax}$—消能器最大阻尼力；$\Delta u_{dmax}$—消能器极限位移

麦克斯韦（Maxwell）模型的关系式为：

$$F_d = C\Delta\dot{u}^{\alpha} \tag{5}$$

式中：$C$——消能器阻尼系数[kN/（m/s）$^{\alpha}$]；

$\alpha$——阻尼指数；

$\Delta\dot{u}$——消能器速度（m/s）。

开尔文（Kelvin）模型的关系式为：

$$F_d = \frac{F_1}{\Delta u_{d\max}}\Delta u + \frac{\eta_1 F_1}{\omega \Delta u_{d\max}}\Delta\dot{u} \tag{6}$$

式中：$F_1$——最大位移处的阻尼力（kN）；

$\eta_1$——损耗因子；

$\omega$——消能器运动圆频率；

$\Delta u_{dmax}$——消能器极限位移（m）。

3.4.5　天然橡胶支座的滞回模型如图 10 所示，环境温度为 23℃下的水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \tag{7}$$

式中：$K_r$——天然橡胶支座水平刚度设计值（N/mm）；

$G_r$——橡胶剪切模量（N/mm$^2$）；

$A_r$——叠层橡胶横截面面积（mm$^2$），不含橡胶层中间开孔面积；

$t_r$——橡胶层总厚度（mm）。

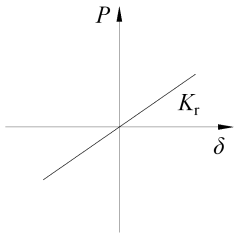



图 10　天然橡胶支座滞回模型示意图

考虑温度修正的天然橡胶支座水平刚度设计值可按下式进行调整：

$$K_r(t)=K_r(t_0)e^{\alpha_{tk}(t-t_0)} \tag{8}$$

式中：$t_0$——修正前温度（℃）；

$t$——修正后温度（℃）；

$\alpha_{tk}$——温度修正系数，由支座相关性试验确定。

铅芯橡胶支座的滞回模型如图 11 所示，其主要力学性能参数设计值计算要求如下：

**1**　环境温度为 23℃时的屈服后水平刚度设计值可按下列公式确定：

$$K_y=C_{Ky}(K_r+K_p) \tag{9}$$

$$K_p=G_p\frac{A_p}{t_r} \tag{10}$$

式中：$K_y$——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值（N/mm）；

$K_p$——由铅芯部分提供的水平刚度（N/mm）；

$A_p$——铅芯横截面积（mm²）；

$G_p$——铅芯剪切模量（N/mm²）；

$C_{Ky}$——屈服后水平刚度调整系数，可由支座试验确定。考虑温度修正的铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值可按式（7）进行调整。

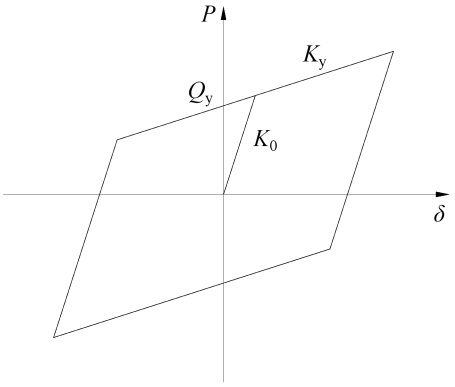



图 11　铅芯橡胶支座滞回模型示意图

$K_0$—屈服前水平刚度设计值；$K_y$—屈服后水平刚度设计值；$Q_y$—水平屈服剪力设计值

**2**　环境温度为 23℃时的水平屈服剪力设计值可按下式确定：

$$Q_y = C_{Qy}\sigma_p A_p \tag{11}$$

式中：$Q_y$——铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值（N）；

$\sigma_p$——铅芯剪切屈服应力（MPa）；

$C_{Qy}$——水平屈服剪力调整系数，可由支座试验确定。

考虑温度修正的铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值可按下式进行调整：

$$Q_y(t) = Q_y(t_0)e^{\alpha_{tQ}(t-t_0)} \tag{12}$$

式中：$\alpha_{tQ}$——温度修正系数，由支座相关性试验确定。

**3**　屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_0 = \alpha K_y \tag{13}$$

式中：$K_0$——铅芯橡胶支座屈服前水平刚度设计值（N/mm）；

$\alpha$——屈服前水平刚度设计值与屈服后水平刚度设计值之比值。

**4**　铅芯橡胶支座等效水平刚度和等效阻尼比可按下列公式确定：

$$K_{eq} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} + K_y \tag{14}$$

$$\zeta_{eq} = \frac{2}{\pi}\frac{Q_y\left[\gamma_h t_r - \dfrac{Q_y}{(\beta-1)K_y}\right]}{K_{eq}(\gamma_h t_r)^2} \tag{15}$$

式中：$K_{eq}$——铅芯橡胶支座等效水平刚度（N/mm）；

$\zeta_{eq}$——铅芯橡胶支座等效阻尼比；

$\gamma_h$——叠层橡胶隔震支座水平剪切应变，其数值为叠层橡胶隔震支座水平位移与橡胶层总厚度之比值。

弹性滑板支座滞回模型如图 12 所示，其主要力学性能参数设计值计算要求如下：

**1** 环境温度为 23℃时的屈服前水平刚度设计值可按下列公式确定：

$$K_0 = G_r \frac{A_r}{t_r} \tag{16}$$

式中：$K_0$——弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值（N/mm）。

考虑温度修正的弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值可按公式（11）进行调整。

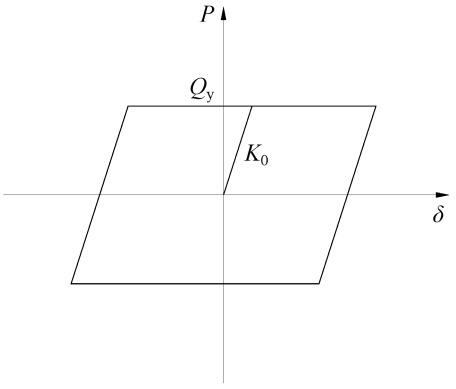



图 12 弹性滑板支座滞回模型示意图

$K_0$—屈服前水平刚度设计值；$Q_y$—水平屈服力设计值

**2** 水平屈服力设计值可按下式确定：

$$Q_y = \mu_s W \tag{17}$$

式中：$Q_y$——弹性滑板支座水平屈服力设计值（N）；

$\mu_s$——滑移面摩擦系数，可由支座试验确定；

$W$——支座承受的竖向荷载（N）。

**3** 弹性滑板支座等效水平刚度可按下式确定：

$$K_{eq}=\frac{Q_y}{\gamma_h t_r} \tag{18}$$

式中：$K_{eq}$——弹性滑板支座等效水平刚度（N/mm）。

根据摩擦摆隔震支座的作用原理，摩擦摆隔震支座的力学特性按图 13 所示的荷载-位移滞回曲线模型确定。摩擦摆隔震支座的计算简图如图 14 所示，等效曲率半径按下式确定：

$$R=R_1+R_2-d \tag{19}$$

式中：$R$——支座等效曲率半径（mm）；

$R_1$——支座下滑动摩擦面曲率半径（mm）；

$R_2$——支座上滑动摩擦面曲率半径（mm）；

$d$——支座球冠体中间高度（mm）。

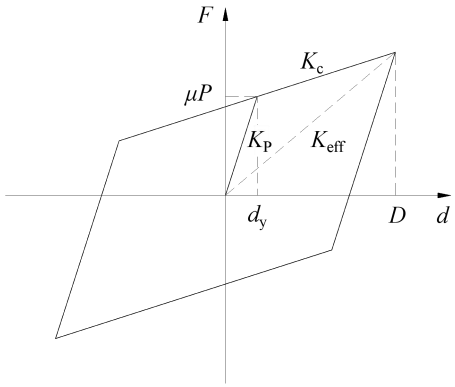



图 13　荷载-位移滞回曲线

$K_p$—初始刚度；$K_c$—屈服后刚度；$K_{eff}$—等效刚度

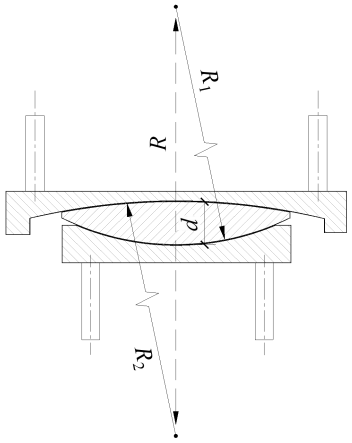



图 14　摩擦摆隔震支座等效曲率半径计算简图

$R_1$—支座下滑动摩擦面曲率半径；$R_2$—支座上滑动摩擦面曲率半径；$R$—支座等效曲率半径；$d$—支座球冠体中间高度

摩擦摆隔震支座的初始刚度按下式确定：

$$K_p=\frac{\mu P}{d_y} \tag{20}$$

式中：$K_p$——支座初始刚度（N/mm）；

$\mu$——动摩擦系数；

$P$——支座所受竖向荷载（N）；

$d_y$——屈服位移（mm），取 2.5mm。

摩擦摆隔震支座等效刚度按下式确定：

$$K_{\text{eff}}=\left(\frac{1}{R}-\frac{\mu}{\mathrm{D}}\right)\cdot P \tag{21}$$

式中：$K_{\text{eff}}$——等效刚度（N/mm）；

$R$——等效曲率半径（mm）；

$D$——支座水平位移（mm）。

摩擦摆隔震支座等效周期按下式确定：

$$T_{\text{e}}=2\,\pi\sqrt{\frac{P}{K_{\text{eff}}g}} \tag{22}$$

式中：$T_{\text{e}}$——支座等效周期（s）；

$g$——重力加速度。

摩擦摆隔震支座摆动周期按下式确定：

$$T=2\,\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \tag{23}$$

式中：$T$——摆动周期（s）。

摩擦摆隔震支座屈服后刚度按下式确定：

$$K_{\text{e}}=\frac{P}{R} \tag{24}$$

式中：$K_{\text{e}}$——屈服后刚度（N/mm）。

摩擦摆隔震支座回复力按下式确定：

$$F=\frac{P}{R}D+\mu P\text{sng}(D) \tag{25}$$

式中：$F$——回复力（N）。

3.4.7　当结构平面规则且楼板无大面积开洞时，可采用刚性楼板假定进行分析。但对于复杂结构或楼板开洞较大的情况，刚性楼板假定可能高估消能器的耗能作用，此时宜采用时程分析法进行补充验算。

3.4.8　建筑结构设计可选用 PKPM、YJK、ETABS、SAP2000、Midas Building、SAUSAGE 等主流分析软件。由于不同软件在单元模型、

非线性本构关系及数值算法等方面存在差异，对于复杂或重要工程宜采用不少于两种不同力学模型的软件进行对比分析。这种多软件对比分析有助于发现潜在设计问题，并对结构结果进行校核，从而提高结构分析的可靠性与安全性。

采用不同软件进行计算时，分析结果应保持基本一致。在弹性模型条件下，结构总质量和主要周期（一般取前 3 阶）的相对误差应控制在 5%以内；采用振型分解反应谱法计算时，除顶部个别楼层外，各楼层剪力相对误差应控制在 10%以内。

## 3.5 连接与节点

3.5.1 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，应符合国家现行标准对钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与型钢混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接的规定。

3.5.2 设计时应遵循“强连接、弱构件”原则，以充分发挥隔震支座的性能，保障建筑结构的安全。

## 3.6 耐久性与防火要求

3.6.3 一般情况下，布置于建筑中的消能器不承受竖向荷载。此类消能器即使在火灾后失效，也不会导致结构丧失竖向承载能力。同时，从概率角度分析，在火灾后至消能器更换完成的期间，结构再次遭遇地震的可能性极低，因此该类消能器可不采取防火保护措施。但对于屈曲约束支撑（BRB）等显著提高主体结构抗侧刚度、并已成为结构抗侧力体系重要组成部分的消能器，应按主体结构竖向承重构件的防火要求采取相应的防火保护措施。

3.6.4 随着钢结构腐蚀机理研究的深化，其防护措施已从单一防锈设计拓展为综合性防腐蚀体系，涵盖材料选用、涂层防护、环境适应性设计等关键环节。防锈措施仅是防腐蚀体系的重要组成部分之一。

3.6.5 当隔震层有防火要求时，隔震支座应采取相应防火措施，并应

确保防火措施不影响隔震支座的变形性能。

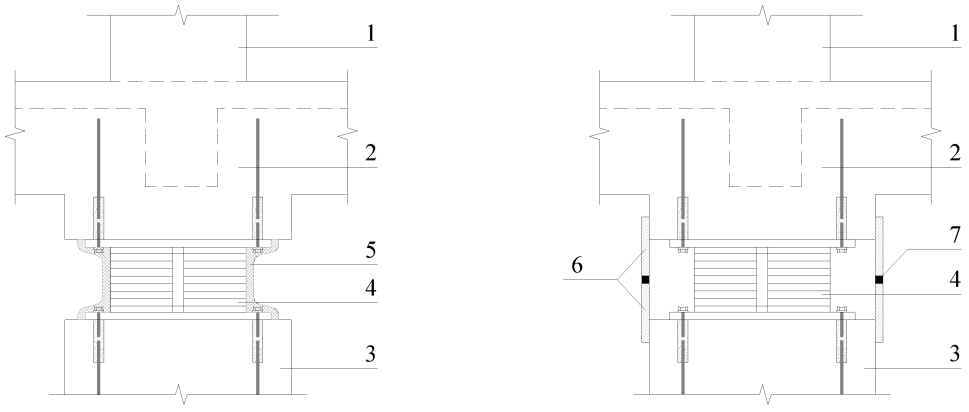
目前，各类隔震支座的耐火极限尚无统一的评定方法，需通过试验研究确定。例如，试验及数值模拟结果表明，有效直径 500mm 的隔震橡胶支座在无防火保护时，其耐火极限为 1.0~1.5h；采用厚型防火涂料防护后，耐火极限可提高至 3.0h。

隔震支座常用的防火措施包括：

**1** 外部涂刷防火涂料（图 15a）；

**2** 设置防火板（图 15b）进行防护。

选择防火涂料时，应优先采用柔性防火涂料，确保隔震支座在变形过程中防火涂层仍能保持有效附着、不易脱落。防火涂料及防火板的厚度应根据主体结构的耐火等级确定。




（a）防火涂料　　（b）防火板

图 15　隔震支座防火构造措施

1—框架柱；2—上支墩；3—下支墩；4—隔震支座；5—柔性防火涂层；6—防火板；7—岩棉填缝

3.6.6　消能减震和隔震建筑在遭遇火灾后，应进行应急检查，并对消能部件和隔震支座开展必要的性能检测。当消能器的性能指标或隔震支座的竖向压缩性能、水平剪切性能指标下降幅度超过 15%时，应及时更换。

火灾高温对消能器及隔震橡胶支座的影响主要体现在以下方面：

**1** 消能器：金属屈服型消能器与屈曲约束支撑在高温作用下，钢材力学性能显著下降，可能无法满足设计要求，影响结构安全；黏滞消能器的内部黏滞材料对温度变化敏感，可能导致消能性能降低。

**2** 隔震橡胶支座：高温会导致橡胶力学性能下降，并加速老化进程。即使在火灾中未发生失效，其使用寿命也可能大幅缩短。

因此，火灾后应对消能器及隔震支座进行检查，重新评估其是否可继续使用或需更换。

## 3.7 试验与观测

3.7.1 对于高度较大的消能减震公共建筑，以及具有特殊要求的隔震建筑，结合工程重要性及抗震性能目标，宜设置地震反应观测系统，以验证其在地震作用下的减震或隔震效果。

# 4　地震作用和结构抗震验算

## 4.1　一般规定

4.1.1　大跨度结构一般指跨度大于 24m 的楼盖结构、跨度大于 8m 的转换结构；长悬臂构件一般指悬挑长度大于 2m 的悬挑板或悬挑梁；平面投影尺度很大的空间结构是指跨度大于 120m、或长度大于 300m、或悬挑长度大于 40m 的结构。

悬挑结构是指悬挑部分布置有竖向抗侧力构件的结构，不包括仅有楼层水平构件悬挑的情况，如悬挑板、悬挑梁等。

4.1.2　本规程中，隔震结构采用的振型分解反应谱法默认为考虑非比例阻尼矩阵的复振型分解反应谱法。当隔震层的阻尼比较小时，也可采用实振型分解反应谱法。

4.1.3　地震加速度时程曲线应满足地震动三要素的要求，即频谱特性、加速度有效峰值和有效持续时间均应符合规定。其中，频谱特性采用地震影响系数曲线表征，依据场地类别和设计地震分组确定；加速度有效峰值应按本规程表 4.1.3 规定的数值采用；有效持续时间通常从首次达到该时程曲线最大峰值的 10%处开始，至最后一次达到最大峰值的 10%处结束。无论是实际强震记录还是人工模拟波形，有效持续时间通常为结构基本周期的 5～10 倍，即结构顶点的位移可按基本周期往复 5～10 次。

“在统计意义上相符”指的是，多组时程波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型的周期点上相差不大于 20%。计算结果在结构主方向的平均底部剪力一般不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%，且每条地震波输入的计算结果不应小于 65%。从工程角度考虑，这可以保证时程分析结果满足最低安全要求。同时计算结果也不宜太大，每条地震波输入计算不应大于 135%，平均值不应大于 120%。

4.1.4　时程分析法作为补充计算方法，主要用于校核隔震层剪力与位

移、上部楼层剪力及层间位移等计算结果。当时程分析法计算结果大于振型分解反应谱法结果时，应调整相关部位的构件内力及配筋。

常见的装置组合复杂主要包括：隔震橡胶支座与黏滞消能器的组合、摩擦摆隔震支座与黏滞消能器的组合，以及隔震橡胶支座与弹性滑板支座的组合。

4.1.7　本规程中隔震结构采用的设计反应谱，与现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 相比，删除了周期大于 5 倍特征周期（$5T_g$）的直线下降段，改为由设计反应谱第 3 段曲线下降段直接延伸至 6s 区段。此项调整更符合长周期结构的地震动动力响应规律，能更准确地反映长周期结构在地震作用下的动力反应特征。

4.1.8　工程设计中，地震动参数通常依据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 确定。但该区划图提供的参数基于一般场地条件，未考虑近场效应影响。为保障工程地震安全，设计时应考虑近场效应对地震动参数的调整。

发震断裂指全新世活动断裂中，近 500 年来发生过 M≥5 级地震的断裂或今后 100 年内可能发生 M≥5 级地震的断裂。根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，发震断裂的判定属于活动断裂勘察内容，由勘察部门负责完成。

地震作用计算时，6 度及 7 度地区可不考虑近场效应调整，8 度及以上地区应考虑近场效应影响。对于 8 度及以上地区的消能减震结构，基于规范延续性及工程经济合理性，可仅在罕遇地震作用下计入近场影响，其输入地震波应乘以相应增大系数；对于隔震结构，在设防地震及罕遇地震作用下均应计入近场影响。

## 4.2　地震作用计算

4.2.2　结构动力特征理论上需综合考虑质量矩阵 M、阻尼矩阵 C 和刚度矩阵 K 的影响。传统抗震结构中，因阻尼影响较小，通常采用仅考虑质量矩阵 M 和刚度矩阵 K 的振型分解反应谱法，即所谓的实

振型分解反应谱法。但在隔震结构中，隔震层等效阻尼比常超过 15%，达到上部结构三倍以上，此时实振型分解反应谱法不再适用。

复振型分解反应谱法同时考虑质量矩阵 M、阻尼矩阵 C 和刚度矩阵 K，可准确求解振型周期与振型阻尼比，对非比例阻尼问题的理论处理更为精确。实振型分解反应谱法是其特例，仅在阻尼矩阵 C 满足比例阻尼假定时适用。研究表明，随着隔震层等效阻尼比增大及上部结构层数的增加，二者计算结果差异在部分算例中可达 35%以上；且实振型分解反应谱法的计算结果通常小于复振型分解反应谱法，存在安全隐患。当前主流计算程序均已实现复振型分解反应谱法的功能。

基于考虑阻尼矩阵 C 的复振型分解反应谱法，其基本公式的形式与不考虑阻尼矩阵 C 的振型分解反应谱法一致，差异主要体现在振型参与系数和振型耦联系数的计算。

当隔震层阻尼比较小时，可采用实振型分解反应谱法进行简化计算，其基本公式同本规程式（4.2.2-1）~式（4.2.2-7），振型参与系数和振型耦合系数参见本规程附录 A。

本条中第 1 款第 2 项给出的是复振型分解反应谱法的平方和开平方组合形式（SRSS）。当不满足相邻振型周期比小于 0.85 的条件时，应采用完全平方组合形式（CQC），即本规程式（4.2.2-4）。此外，复振型分解反应谱法组合公式都是针对地震作用效应的标量形式；当为向量形式时，公式中的乘积、平方对应于各个元素的乘积和平方。

4.2.4　本条规定了水平地震作用的下限控制要求。地震作用取值直接决定工程结构的抗震承载能力，是抗震设计的核心内容之一。鉴于现阶段技术手段难以准确预测地震地面运动的强度、频谱和持续时间等特性，且结构计算存在模型简化和参数不确定性，为保障工程结构具备必要的抗震承载能力，需对用于设计的地震作用作出下限要求。通过规定结构楼层的最小地震剪力系数，对任一楼层的水平地震剪力提出最低限值要求，确保结构安全。

## 4.3 截面抗震验算

4.3.3 隔震建筑的结构构件可根据作用、位置及重要性分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。本条所称结构构件仅指主体结构构件，不包括隔震支座、阻尼装置等，具体分类如下：

**1** 关键构件：指其失效可能导致结构连续破坏或对生命安全造成严重危害的构件。其具体范围需结合工程实际由结构工程师判定，常见类型包括：

**1**）隔震层支墩、支柱及其相连构件；

**2**）底部加强部位的重要竖向构件；

**3**）水平转换构件及与其相连竖向支承构件；

**4**）层间隔震结构位于地面以上的下部结构，其竖向投影向外延伸一跨范围内的所有竖向构件；

**5**）隔震层上部结构采用抗震墙结构体系时，与隔震支座相连的转换梁等。

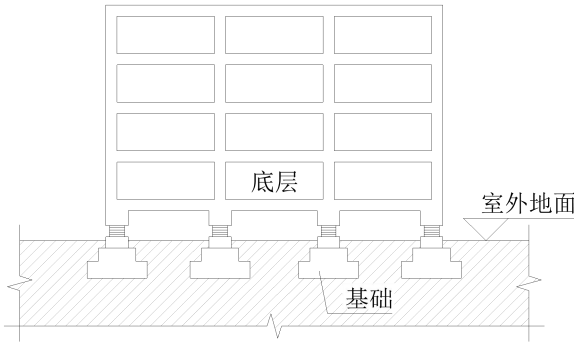
**2** 普通竖向构件：指除关键构件之外的其他竖向构件。

**3** 重要水平构件：指关键构件之外不宜提早屈服的水平构件，包括对结构整体性有较大影响的水平构件、承受较大集中荷载的楼面梁（框架梁、抗震墙连梁等），以及按本规程相关要求需要考虑竖向地震的长悬臂梁等。

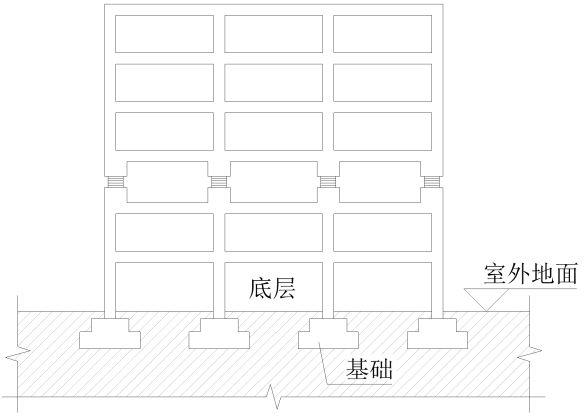
**4** 普通水平构件：指除关键构件、重要水平构件之外的水平构件，包括一般的框架梁、抗震墙连梁等。

钢筋混凝土框架结构采用隔震技术时，底层柱是否属于关键构件需根据隔震层位置判定（图 16）。当采用基底隔震时，隔震层梁板对上部结构形成“嵌固端”。由于隔震技术显著降低了上部结构地震作用效应，为使上部结构的变形破坏模式与传统抗震框架结构一致，此时底层柱可不视为关键构件；当采用层间隔震时，隔震层以下竖向构件直接支承隔震层及上部结构，其失效可能导致隔震层及上部结构

的连续倒塌，因此应按关键构件设计。




（a）基底隔震




（b）层间隔震

图 16　不同隔震层位置时底层柱范围示意

在设防地震作用下，关键构件的抗震承载力需满足弹性设计要求；普通竖向构件及重要水平构件，其受剪承载力应满足弹性设计要求，正截面承载力应满足屈服承载力设计。所谓“屈服承载力设计”，是指构件按材料强度标准值计算的承载力，应不小于重力荷载代表值与地震作用标准值组合的构件内力设计值。

对于普通水平构件（如一般框架梁、抗震墙连梁），为落实“强柱弱梁”“强剪弱弯”设计原则并充分发挥纵向钢筋强度，允许构件支座正截面局部进入轻微非线性状态，但应控制其发展程度，使结构满足“不需修理可继续使用”的性能目标。计算分析时，可不考虑楼板作为翼缘对梁刚度的影响；进行正截面屈服承载力设计时，钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑钢筋的超强系数 1.25。

# 5　地震时保持正常使用功能建筑性能目标及设计

## 5.1　一般规定

5.1.1　根据《养老机构管理办法》（民政部令第 49 号），养老机构是指依照《养老机构设立许可办法》设立并依法登记的，为老年人提供集中居住和照料服务的机构。本条所称养老机构，特指独立建造的，专门为老年人提供居住、生活照料、医疗保健和文化娱乐等服务的建筑物，包括养老院、老年养护院、老年人日间照料中心等。对于与其他建筑合建或附设在其他建筑内部的用房，不属于本条适用范围。

根据建筑功能特点，地震时保持正常使用功能的建筑可细分为两类：I类建筑为承担救灾功能的建筑，其建筑功能在地震后应保持不中断；II类建筑是以人员安全保护为主的建筑，其基本建筑功能在地震后不应中断。

本规程明确，I类建筑的抗震性能目标应高于II类建筑，以体现不同功能重要性对结构安全的差异化要求。当同一栋医院建筑中，低层为门诊、医技、手术用房，中高层为病房时，其低层部分应按I类建筑的抗震设计要求执行，中高层部分应满足II类建筑的抗震设计要求。

## 5.2　地基和基础抗震承载力验算

5.2.2　地震时保持正常使用功能建筑地基基础的设计和抗震验算，应按照设防地震作用进行验算。地基的抗震验算应采用设防地震作用效应的标准组合和地基承载力极限值。采用桩基时，地基承载力特征值可采用 2 倍单桩承载力特征值；采用天然地基时，地基承载力极限值可采用 2 倍未修正地基承载力标准值（$f_{ak}$）并考虑深度与宽度修正。

## 5.3　结构构件抗震承载力验算

5.3.1　依据《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）第 3.10.3 条第 2 款规定：“预期地震动水准下需保持正常使用的建筑，其设计应综合考虑结构及其构件、建筑非结构构件、建筑附属机电设

备以及专门仪器设备对其使用功能的影响。其结构竖向抗侧力构件和非结构部分的设计要求，可分别按不低于本标准附录 M.1 中有关性能 2 的规定和附录 M.2 中有关性能 2 的规定采用；也可根据有关规定确定建筑性能目标以及相应的控制要求”。其条文说明进一步补充：“此次局部修订，补充了预期地震（设防地震）下需保持正常使用的建筑的抗震性能化设计要求。借鉴我国超限高层建筑工程抗震性能化设计的实践与经验，综合考虑管理部门、研究机构、高等院校以及勘察设计等单位的意见和建议，对这类建筑中的竖向抗侧力构件，提出应按不低于性能 2 的有关规定进行设计的要求。至于抗侧力体系中水平构件的抗震性能要求，应与竖向抗侧力构件匹配、协调，一般不宜低于性能 3 的规定，同时，尚需满足‘强柱弱梁、强竖弱平’等抗震概念设计的原则要求。”

因此，设防地震下保持正常使用功能的消能减震建筑，其竖向抗侧力构件抗震承载力应满足设防地震弹性设计要求，水平构件抗震承载力应满足设防地震不屈服设计要求。

### 5.4　抗震变形验算和楼面水平加速度基本要求

5.4.2　本条表 5.4.2 所列楼面水平加速度限值，依据中国地震局工程力学研究所针对医疗建筑及其设备的试验结果确定，该限值能够有效保障内部设备、药品柜及药品的安全。

地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面水平加速度，可取结构各层质心处楼面绝对水平加速度响应时程的最大值。

5.4.3　对建筑非结构构件、建筑附属机电设备及功能性仪器设备采取的专门措施包括但不限于增设抗震支撑、设置隔震支座、加强锚固连接。在开展专门研究与论证时，应考虑各类建筑非结构构件、建筑附属机电设备及功能性仪器设备对建筑正常使用功能的影响。对于缺乏数据支持的上述构件与设备，应通过专门试验研究确定其抗震性能。

### 5.5　建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求

5.5.2　位移敏感型建筑非结构构件是指地震破坏模式主要受所在楼层相对位移（层间位移角）控制的构件，如填充墙、楼梯、隔墙、玻璃幕墙、门窗等。

加速度敏感型建筑非结构构件是指地震破坏模式主要受所在楼层水平加速度控制的构件，如吊顶等。

# 6　消能器的技术性能

## 6.1　一般规定

6.1.1　消能器的耗能性能受工作环境影响显著。例如，黏弹性消能器和黏滞消能器主要受温度、频率影响；位移相关型消能器（如金属消能器、摩擦消能器等）主要受腐蚀、磨耗，以及钢材高温软化、低温脆性断裂等因素影响；摩擦消能器的金属摩擦材料虽强度高、抗断裂性能好，但经多次反复滑动后，摩擦系数易显著下降，胶合趋势增大。

因此，消能器耗能性能受温度、湿度、腐蚀、紫外线照射等环境因素影响较大，设计及使用时应充分考虑其工作环境条件，必要时采取专项措施以减轻不利影响。

6.1.3　消能器通常由消能元件（或构件）与非消能构件组成。以不同类型的消能器为例：金属屈服型消能器由消能板、连接板等组成；黏滞消能器由黏滞材料及缸体、活塞、密封圈、耳环等非消能构件组成；黏弹性消能器由黏弹性材料与约束钢板等非消能构件组成；摩擦消能器由摩擦片及钢板、预压螺栓、弹簧等非消能构件组成。

为避免材料缺陷、安装偏差或超强地震作用导致非消能构件失效，影响消能器正常工作，非消能构件设计应具有足够安全储备。因此，消能器设计时，非消能构件承载力应按消能器最大承载力（阻尼力）的 1.5 倍进行设计。

消能部件的连接节点中普遍存在连接间隙和安装公差等初始间隙。数值分析难以精确模拟此类间隙效应。当消能器的屈服位移小于 0.5mm 时，初始间隙可能显著影响消能器实际耗能效果。因此，本条提出相应要求。

本章技术性能和检验要求适用于工程中装置的选用、设计参数确定、进场验收和见证检验，属于工程应用要求；产品技术要求、试验方法和检验规则以国家现行相关产品标准为准。

## 6.2 消能器的技术性能

6.2.3 屈曲约束支撑的耗能段长度宜适当增加，以提升耗能能力并避免应力集中。研究表明，耗能段过短不仅会限制其耗能性能，还可能导致过渡段产生应力集中并引发破坏。当核心单元耗能段的轴向应变大于3%时，受压侧的摩擦力幅值显著增大，滞回曲线受压侧容易出现不稳定现象，且可能引发屈曲破坏。在材料性能及约束条件不变时，核心单元耗能段长度越短，屈曲约束支撑轴向应变越大。因此，本条对核心单元耗能段最小长度作出规定。耗能段进入屈服后，采用单斜撑布置的屈曲约束支撑轴向应变（图17）可按下式近似计算：

$$\varepsilon = \frac{\theta h \cos\alpha}{L_{\mathrm{y}}} \tag{26}$$

式中：$\varepsilon$——罕遇地震作用下屈曲约束支撑耗能段的最大轴向应变值；

$\theta$——屈曲约束支撑所在结构层在罕遇地震作用下的层间位移角最大值；

$h$——屈曲约束支撑所在楼层的层高（mm）；

$\alpha$——屈曲约束支撑安装的水平夹角；

$L_{\mathrm{y}}$——核心单元耗能段的长度（mm）。

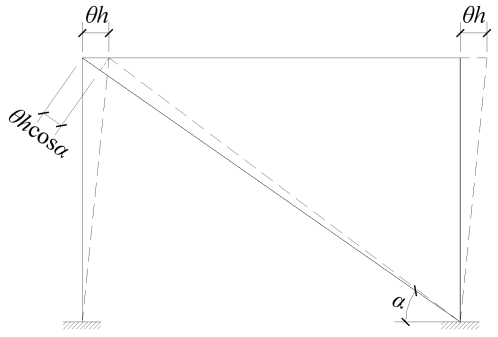



图17 罕遇地震作用下屈曲约束支撑轴向变形与楼层位移的关系

$\theta$—屈曲约束支撑所在结构层在罕遇地震作用下的层间位移角最大值；$h$—屈曲约束支撑所在楼层的层高；$\alpha$—屈曲约束支撑安装的水平夹角

6.2.4 屈曲约束支撑可根据工程需求采用外包钢管混凝土型、外包钢筋混凝土型或全钢型等。其中，全钢型屈曲约束支撑具有力学性能良

好、自重轻、加工安装便捷等特点，在实际工程中应用较为广泛。

6.2.5　为保证屈曲约束支撑在地震作用下不发生整体失稳，其约束单元的抗弯刚度应符合下列公式的规定：

$$I \geqslant \frac{1.2N_{\mathrm{u}}L_{\mathrm{e}}^2}{\pi^2 E} \tag{27}$$

$$N_{\mathrm{u}} = \omega N_{\mathrm{y}} \tag{28}$$

$$N_{\mathrm{y}} = \eta_{\mathrm{y}} f_{\mathrm{y}} A_1 \tag{29}$$

式中：$I$——屈曲约束支撑约束单元的弱轴惯性矩（$\mathrm{mm}^4$）；

$N_{\mathrm{u}}$——屈曲约束支撑的最大承载力（N）；

$N_{\mathrm{y}}$——屈曲约束支撑的受拉（或受压）屈服承载力（N）；

$L_{\mathrm{e}}$——屈曲约束支撑的长度（mm），包括耗能段、过渡段和连接段；

$E$——约束单元钢材的弹性模量（$\mathrm{N/mm}^2$）；

$A_1$——核心单元耗能段的截面面积（$\mathrm{mm}^2$）；

$f_{\mathrm{y}}$——核心单元钢材的屈服强度（$\mathrm{N/mm}^2$）；

$\eta_{\mathrm{y}}$——核心单元钢材的超强系数，按表 4 取值，材性试验实测值不应超出表中数值 15%；

$\omega$——应变强化调整系数，按表 4 取值。

表 4　核心单元钢材的屈服强度 $f_{\mathrm{y}}$、超强系数 $\eta_{\mathrm{y}}$ 和应变强化调整系数 $\omega$

| 材料牌号 | 钢材厚度（mm） | $f_{\mathrm{y}}$（MPa） | $\eta_{\mathrm{y}}$ | $\omega$ |
|---|---|---|---|---|
| LY100 | / | 80 | 1.10 | 2.0 |
| LY160 | / | 140 | 1.10 | 2.0 |
| LY225 | / | 205 | 1.10 | 1.5 |
| Q195 | / | 195 | 1.15 | 1.5 |
| Q235 | $t$≤16 | 235 | 1.25 | 1.5 |
| | 16＜$t$≤40 | 225 | | |
| | 40＜$t$≤100 | 215 | | |
| Q355 | $t$≤16 | 345 | 1.10 | 1.5 |
| | 16＜$t$≤40 | 335 | | |
| | 40＜$t$≤63 | 325 | | |
| | 63＜$t$≤80 | 315 | | |

| 材料牌号 | 钢材厚度（mm） | $f_y$（MPa） | $\eta_y$ | $\omega$ |
|---|---|---|---|---|
| | 80＜$t$≤100 | 305 | | |

6.2.13　摩擦消能器初始起滑位移小，可在小位移下实现耗能；滑动后刚度趋于零，在设防地震和罕遇地震作用下，滑动摩擦力保持恒定，耗能性能稳定，对节点及消能子结构影响较小。预压螺栓的预压力在长期作用下可能产生松弛，施加的预压力应大于设计值，但不应超过设计值的 10%。此外，长期预压力作用下，钢元件（或构件）之间、钢元件（或构件）与摩擦片之间可能发生冷粘结或冷凝固，为保证消能器性能稳定，应采取措施防止此类现象。

摩擦材料的摩擦系数由材质决定，其中模压树脂基或橡胶基类摩擦材料的摩擦系数不应低于 0.25；烧结金属类摩擦材料的摩擦系数应符合表 5 的规定。

**表 5　烧结金属类摩擦材料的摩擦系数**

| 牌号 | 平均动摩擦系数 | 静摩擦系数 | 磨损率（$cm^3/J$） |
|---|---|---|---|
| F1001G | ＞0.25 | ＞0.45 | ＜$5.0\times10^{-7}$ |
| F1002G | | | |
| F1003G | | | |
| F1004G | | | |
| F1005G | ＞0.35 | | |
| F1106G | ＞0.15 | ＞0.45 | ＜$3.0\times10^{-7}$ |
| F1107G | ＞0.20 | | |
| F1108G | | | |
| F1109G | | | |
| F1110G | ＞0.25 | ＞0.40 | |

注：F1001G~F1005G 为铁基干式摩擦材料，F1106G~F1110G 为铜基干式摩擦材料。

6.2.14　摩擦阻尼器的各项力学性能和耐久性试验应按表 6 的规定进行。

**表 6　摩擦阻尼器力学性能和耐久性试验方法**

| 项目 | | 试验方法 |
|---|---|---|
| 力学性能 | 起滑摩擦力 | 试验应通过力控制方式逐级加载，绘制力-位移曲线。初次加载时的力最高点为起滑摩擦力，取力-位移曲线中零点至起滑摩擦力值点的斜率为初始刚度 |
| | 初始刚度 | |

| 项目 | | 试验方法 |
|---|---|---|
| | 滑动摩擦力 | 滑动试验分别以 0.2$u_0$、0.4$u_0$、0.6$u_0$、0.8$u_0$、1.0$u_0$ 为幅值、以不高于 0.25Hz 的加载频率的正弦波或三角波对阻尼器分 5 次按相应的波形曲线对试件进行 5 个循环的加载，并绘制力-位移曲线，即为回曲线；<br>每次加载中的第 3 个循环的滞回曲线在零位移处的力值作为滑动摩擦力值 |
| | 滞回曲线 | |
| | 极限位移 | 以力控制方式对试件缓慢加载至极限位移：当加载过程中试件发生破坏、连接失效、遇到限位装置和力值急剧增加等情况时终止试验，以终止试验时的位移为极限位移 |
| 耐久性 | 疲劳性能 | 加载 30 个循环时，加载幅值为 $u_0$；加载 60 个循环时,加载幅值为 0.85$u_0$。绘制阻尼力-位移滞回曲线，并计算每个循环的滑动摩擦力值，比对每个循环滞回曲线形状的变化 |
| | 耐久性能 | 按上述疲劳性能试验方法对试件进行疲劳试验 180 天后，再次重复该疲劳试验，比对两次滑动摩擦力值的变化 |

## 6.3 消能器的性能检验

6.3.3 本条明确了见证检验的数量及项目要求。

对于位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑，消能器疲劳试验应进行两次连续往复加载，每次加载 30 个循环，两次加载间隔不超过 24h。除上述情况外，消能器疲劳试验应进行一次连续往复加载，加载循环次数为 30 个。

屈曲约束支撑不同检验类型对应的具体检验项目详见表 7。

**表 7 不同检验类型下屈曲约束支撑的检验项目**

| 项目 | 参数 | 型式检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|
| 力学性能 | 屈服承载力 | √ | √ |
| | 最大承载力 | √ | √ |
| | 屈服位移 | √ | √ |
| | 极限位移 | √ | √ |
| | 弹性刚度 | √ | √ |
| | 第 2 刚度<br>（屈服后刚度） | √ | √ |
| | 滞回曲线 | √ | √ |
| 耐久性 | 疲劳性能 | √ | √ |
| | 耐腐蚀性能 | √ | △ |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目；“△”为可选检验项目。

金属屈服型消能器在不同检验类型中所需进行的具体检验项目详见表 8。

表 8　不同检验类型下金属屈服型消能器的检验项目

| 项目 | 参数 | 型式检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|
| 力学性能 | 起滑摩擦力 | √ | √ |
| | 初始刚度 | √ | √ |
| | 极限位移 | √ | √ |
| | 滑动摩擦力 | √ | √ |
| | 滞回曲线 | √ | √ |
| 疲劳性能 | 滑动摩擦力 | √ | √ |
| | 滞回曲线面积 | √ | √ |
| 耐久性能 | 滑动摩擦力 | √ | × |
| | 滞回曲线面积 | √ | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

摩擦消能器在不同检验类型中所需进行的具体检验项目详见表 9。

表 9　不同检验类型下摩擦消能器的检验项目

| 项目 | 参数 | 型式检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|
| 力学性能 | 起滑摩擦力 | √ | √ |
| | 初始刚度 | √ | √ |
| | 极限位移 | √ | √ |
| | 滑动摩擦力 | √ | √ |
| | 滞回曲线 | √ | √ |
| 疲劳性能 | 滑动摩擦力 | √ | √ |
| | 滞回曲线面积 | √ | √ |
| 耐久性能 | 滑动摩擦力 | √ | × |
| | 滞回曲线面积 | √ | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

黏滞消能器（黏滞阻尼墙）在不同检验类型中所需进行的具体检验项目详见表 10。

表 10　不同检验类型下黏滞消能器（黏滞阻尼墙）的检验项目

| 项目 | 参数 | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|
| 力学性能 | 极限位移 | √ | √ | √ |

| 项目 | 参数 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 摩擦力 | | √ | √ | √ |
| | 最大阻尼力 | | √ | √ | √ |
| | 阻尼系数 | | √ | √ | √ |
| | 阻尼指数 | | √ | √ | √ |
| | 滞回曲线 | | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | × | √ |
| | | 滞回曲线 | √ | × | √ |
| | 密封性能 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| | 耐腐蚀性能 | 外观 | √ | × | × |
| 相关性 | 加载频率相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| | 温度相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

黏弹性消能器（黏弹性阻尼墙）在不同检验类型中所需进行的具体检验项目，详见表 11。

**表 11　不同检验类型下黏弹性消能器的检验项目**

| 项目 | 参数 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|---|
| 力学性能 | 极限变形 | | √ | √ | √ |
| | 最大阻尼力 | | √ | √ | √ |
| | 表观剪切模量 | | √ | √ | √ |
| | 损耗因子 | | √ | √ | √ |
| | 滞回曲线 | | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| | | 表观剪切模量 | √ | × | × |
| | | 损耗因子 | √ | × | × |
| | | 极限变形 | √ | × | × |
| | 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | √ | √ |
| | | 表观剪切模量 | √ | × | × |
| | | 损耗因子 | √ | × | × |
| | 耐腐蚀性能 | 外观 | √ | × | × |
| 相关性 | 最大阻尼力 | | √ | × | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

# 7　消能减震结构设计

## 7.1　一般规定

7.1.1　消能减震设计应根据结构位移控制目标（如设防地震或罕遇地震作用下的层间位移角限值）或承载力控制目标，合理选择所需的附加有效阻尼比或附加有效刚度，并进行结构非线性动力响应验算。位移相关型消能器（如金属屈服型消能器、摩擦消能器）可同时为主体结构提供附加有效刚度和附加有效阻尼比；速度相关型消能器（除黏弹性消能器外）主要提供附加有效阻尼比。因此，当结构设计以刚度控制为主（如需满足层间位移角限值）时，宜选用位移相关型消能器，通过其附加有效刚度满足位移限值要求；当结构设计以构件承载力控制为主（如需控制地震作用下的构件内力）时，宜选用速度相关型消能器，通过其附加有效阻尼比降低地震作用效应。

7.1.2　本条规定的“罕遇地震作用下消能器总耗能与地震总输入能量的比值要求”，主要适用于平面规则、竖向刚度分布相对均匀的多高层建筑。对于明显不规则的建筑，应进行专门研究。

7.1.3　双向地震作用下，分别布置在两个正交平面内的消能器及其支撑构件，会同时对交点处的柱产生作用，使其处于双向复杂受力状态。这种共同作用可能显著增大柱的轴力、剪力和弯矩，对其承载力产生不利影响。因此，本条强调应对该柱进行双向地震作用下的受力分析和承载力验算。

7.1.4　消能减震结构可有效降低结构地震反应，但其内部消能部件产生的较大阻尼力，会对所连接的构件及节点产生不利作用。设计时应考虑因消能部件附加内力效应对主体结构构件（尤其是消能子结构构件）可能造成的不利影响。

## 7.2　消能部件布置原则

7.2.1　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。对

于规则结构，可沿两个主轴方向对称布置消能部件，并保持竖向刚度分布均匀。当结构在两个主轴方向的动力特性差异较大时，可根据需要在其中一个主轴方向或两个主轴方向分别布置消能器；当仅在一个主轴方向布置时，设计仅需考虑该方向的消能作用。

对于存在薄弱层的结构，应优先在薄弱层布置消能部件，再考虑其他楼层的布置方案。

消能器的阻尼力和刚度应与结构的楼层屈服剪力及层间刚度相适应。单个消能器的阻尼力不应过大，避免消能器破坏对结构安全性产生不利影响。

为了提高消能器的减震效率，消能部件的设置宜避开长墙肢。

7.2.2　局部出屋面的部分不计入总楼层数。

超高层框架-核心筒结构中，核心筒常因建筑功能布局或高宽比超限等因素导致侧向刚度不足。工程中通常在设备层或避难层设置伸臂桁架或腰桁架：伸臂桁架连接核心筒与外框架，以增强结构整体抗侧刚度及抗倾覆能力；腰桁架连接外框架形成整体，进一步提升结构侧向刚度。然而，刚性加强层的设置会增大结构整体刚度，导致自振周期缩短、地震作用增大，同时引发加强层所在楼层的刚度比与抗剪承载力比突变，可能形成软弱层或薄弱层。罕遇地震下，伸臂桁架所在楼层易出现应力集中，且伸臂桁架自身耗能能力有限，核心筒连梁及墙肢需承担主要耗能任务，导致其破坏程度加重、后期修复难度进一步增加。为改善结构抗震性能，可在传统刚性伸臂中布置黏滞阻尼器形成阻尼桁架。

7.2.3　工程实践中，可根据结构抗震需求采用组合减震技术，即同时布置速度相关型与位移相关型消能器。对于高烈度设防地区、抗震不利地段以及具有特殊功能要求的建筑，组合减震技术可进一步提升结构的抗震性能。

位移相关型消能器在多遇地震作用下可提高结构抗侧刚度，有效

控制层间位移。但其刚度贡献会减小结构自振周期，可能导致地震作用增大，此时可增设速度相关型消能器以降低地震响应。反之，当采用速度相关型消能器而位移控制效果仍不能满足要求时，可增设位移相关型消能器以提高刚度并进一步减小层间位移。这两种策略共同体现了组合设计的优势。

## 7.3 消能部件设计与附加有效阻尼比

7.3.1 消能器与主体结构的连接构件应具有足够的刚度，确保消能器承担楼层的主要变形。

7.3.2 本条规定了位移相关型消能器有效刚度的计算原则。对于屈曲约束支撑，应在整体分析中同时考虑其自身刚度与节点板刚度的串联效应，以保证计算结果合理，避免高估其对主体结构的附加刚度。

7.3.3 本规程提供了两种计算结构附加有效阻尼比的方法，分别如下：

方法 1——应变能法（又称规范法）：该方法基于单自由度体系稳态简谐振动理论，用于估算结构的附加有效阻尼比。然而，实际工程结构在地震作用下通常表现为多自由度体系的非简谐振动，这与该方法的理论基础存在明显差异。因此，采用应变能法计算得到的附加有效阻尼比可能会高估消能器的实际耗能能力，尤其是在第一振型参与质量系数低于 90%时。该现象与消能器的类别无关，建议对计算结果进行适当折减。

在多遇地震作用下，消能器的位移通常较小，计算附加有效阻尼比时应考虑消能器的初始刚度及连接间隙的实际影响，因此，多遇地震作用下附加有效阻尼比的折减幅度宜大于设防地震作用下的折减幅度。一般情况下，多遇地震作用下，附加有效阻尼比宜取计算值的 80%；设防地震作用下，附加有效阻尼比宜取计算值的 90%。

对于安装一定倾角的黏滞消能器在一个周期内消耗的能量可按下列公式计算。

黏滞消能器的位移 $u$ 和速度 $\dot{u}$ 分别为：

$$u = u_0 \cos\theta \sin \omega_1 t \tag{30}$$

$$\dot{u} = \omega_1 u_0 \cos\theta \cos\omega_1 t \tag{31}$$

式中：$u_0$——楼层相对水平位移；

$u$——消能器的位移；

$\dot{u}$——消能器的速度；

$\theta$——消能器安装角度；

$\omega_1$——结构的第一周期。

消能器一个周期内的耗能 $E_s$ 为：

$$E_s = \int_0^T F du = \int_0^T F\dot{u} dt \tag{32}$$

$$F = c\dot{u}^{\alpha} \tag{33}$$

式中：$E_s$——消能器一个周期内的耗能；

$F$——消能器在相应位移下的阻尼力。

将式（31）和（33）代入式（32）可得

$$\begin{aligned} E_s &= 4\int_0^{\pi/2\omega_1} c(\omega_1 u_0 \cos\theta \cos\omega_1 t)^{\alpha} \omega_1 u_0 \cos\theta \cos\omega_1 t dt \\ &= 4\int_0^{\pi/2\omega_1} c(\omega_1 u_0 \cos\theta \cos\omega_1 t)^{\alpha} u_0 \cos\theta \cos\omega_1 t d\omega_1 t \\ &= 4c\omega_1^{\alpha} u_0^{\alpha+1} \cos^{\alpha+1}\theta \int_0^{\pi/2} \cos^{\alpha+1} t dt \end{aligned} \tag{34}$$

令

$$F_{d\max} = c\omega_1^{\alpha} u_0^{\alpha} \cos^{\alpha}\theta \tag{35}$$

$$\lambda_1 = 4\int_0^{\pi/2} \cos^{\alpha+1} t dt \tag{36}$$

假定楼层相对水平位移为 $\Delta u_j$，则结构中第 $j$ 个消能器消耗能为：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \cos\theta \Delta u_j \tag{37}$$

当$\alpha$=1 时（线性速度相关），$\lambda_1 = 4\int_0^{\pi/2} \cos^{\alpha+1} t dt = 4\int_0^{\pi/2} \cos^2 t dt = \pi$

则速度线性相关型消能器在水平地震作用下所往复一周所消耗的能量为：

$$W_{cj} = \pi c_j \omega_1 \Delta u_j^2 \cos^2\theta = \pi c_j \frac{2\pi}{T_1} \Delta u_j^2 \cos^2\theta = \frac{2\pi^2}{T_1} c_j \cos^2\theta \Delta u_j^2 \qquad (38)$$

方法 2——能量时程对比法：该方法基于结构各部分的耗能与其阻尼呈线性关系的假定。根据结构固有阻尼比、结构固有阻尼比对应的耗能以及消能器总耗能，推算消能器对结构附加的有效阻尼比。该方法能够较为精确地反映消能器的非线性特性，从而使计算得到的附加有效阻尼比相对准确。

以上两种计算方法的特点及存在问题详见表 12。

**表 12　不同附加有效阻尼比计算方法的对比**

| 计算方法 | 特点及存在问题 |
|---|---|
| 应变能法（规范法） | 不同部位的消能器滞回耗能达到峰值具有不同步性；<br>各楼层剪力和层间位移的最大值具有不同步性；<br>消能器的滞回曲线可能具有不对称性；<br>计算相对繁琐，需要计算软件支持或自编程序处理。 |
| 能量时程对比法 | 不同地震动计算结果存在离散性；<br>减震结构应重点关注最大地震作用时刻或结构响应最大时刻的消能器附加耗能状态，采用时程累积能量进行评价存在局限性；<br>计算简便，可用于快速评估及方案对比。 |

7.3.4　对于消能减震结构设计，由于主体结构的最终变形无法预先确定，需先假定初始阻尼比，据此计算结构位移；再基于消能器的恢复力模型及相关公式求解附加有效阻尼比；通过迭代计算直至两者差值满足精度要求，从而完成阻尼比修正。

附加有效阻尼比的迭代计算步骤如下：

1　假定各个消能器的设计参数及消能减震结构的总阻尼比 $\zeta$。

2　将消能减震结构的总阻尼比和各个消能器的设计参数代入分析模型中，按照现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定，采用振型分解反应谱法进行结构分析。

3　通过结构分析，得到第 $i$ 楼层的水平剪力 $F_i$、水平地震作用标准值下的位移 $u_i$，以及第 $j$ 个消能器的阻尼力 $F_{dj}$ 和相对位移 $\Delta u_{dj}$。

4　根据式（7.3.3-1）、式（7.3.3-2）、式（7.3.3-3）和式（7.3.3-4）计算消能器附加给结构的有效阻尼比 $\zeta_a$。

5　重新修正各个消能器的设计参数，并利用下式计算消能减震结构的总阻尼比ζ：

$$\zeta = \zeta_s + \zeta_d \qquad (39)$$

式中：$\zeta_s$——主体结构阻尼比；

$\zeta_d$——消能器附加给结构的有效阻尼比。

6　将步骤 5 计算得到的消能减震结构总阻尼比和各个消能器的参数作为新的初始假设值，重复步骤 2～步骤 5。反复迭代，直至步骤 2 中采用的总阻尼比与步骤 5 计算得到的总阻尼比接近为止。

7.3.6　在消能减震结构中，消能器在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用下提供的附加有效阻尼比存在差异。通常情况下，随地震强度增加，消能器耗能贡献比例下降，导致附加有效阻尼比减小。因此，罕遇地震作用下的附加有效阻尼比一般小于多遇地震或设防地震作用下的取值。其原因在于，当主体结构进入弹塑性阶段时，结构总应变能不仅包含弹性应变能，还包括非弹性应变能，使总应变能显著高于多遇地震作用下的弹性应变能。但在主体结构刚度较大，且多遇地震作用下间接连接（如墙/柱型连接）的位移损失占比较高时，可能出现设防地震作用下的附加阻尼比大于多遇地震作用下的情况。

## 7.4　消能减震主体结构设计

7.4.2　根据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定，当消能减震结构与未设置消能减震装置结构的地震影响系数之比小于 0.5 时，可适当降低主体结构的抗震构造措施，但最大降低幅度不应超过 1 度。工程实践表明，消能减震结构达到上述要求难度较大。因此，建议采用时程分析进行验证。具体而言，当采用不少于 7 条地震波进行计算时，若消能减震结构水平地震剪力平均值与未设置消能减震部件结构水平地震剪力的比值不大于 0.5，主体结构的抗震构造措施可降低 1 度。

7.4.4　不同材料强度极限值详见表 13。

表 13　不同材料强度极限值

| 材料 | 强度等级 | 极限值（N/mm²） |
|---|---|---|
| 钢筋 | HRB400 | 500 |
| | HRB500 | 625 |
| 混凝土 | C30 | 26.4 |
| | C35 | 30.8 |
| | C40 | 35.2 |
| | C45 | 39.6 |
| | C50 | 44.0 |
| | C55 | 48.4 |
| | C60 | 52.8 |
| 钢材 | Q235 | 370 |
| | Q355 | 470 |
| | Q390 | 490 |
| | Q420 | 520 |
| | Q345GJ | 490 |

注：对于混凝土材料，表中的极限值为抗压强度的极限值。

7.4.5　消能部件在发挥减震作用时会向主体结构构件传递较大的阻尼力。为确保主体结构的安全性，应对与消能部件连接的构件采取加强措施。具体措施包括：梁、柱构件应在全长范围内加密箍筋；抗震墙端部宜设置约束边缘构件等。

# 8　消能部件的连接与构造

## 8.1　一般规定

8.1.1　消能器与主体结构的连接设计应满足传力可靠、构造简单和维护便利的要求。连接形式的选择直接影响消能器的工作性能及减震目标的实现。设计时应根据工程抗震设防目标、消能器类型（如位移型、速度型）及建筑功能需求，合理确定连接形式（图 18）。不同类型消能器的典型连接形式如下：

**1**　屈曲约束支撑：通常作为支撑构件，直接与主体结构连接；

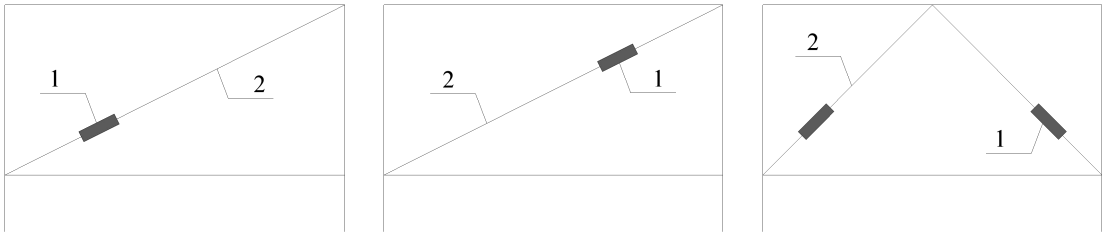
**2**　金属屈服型消能器：一般采用支撑型、门架型、连梁型或墙（柱）型连接；

**3**　摩擦消能器：通常采用支撑型或墙（柱）型连接；

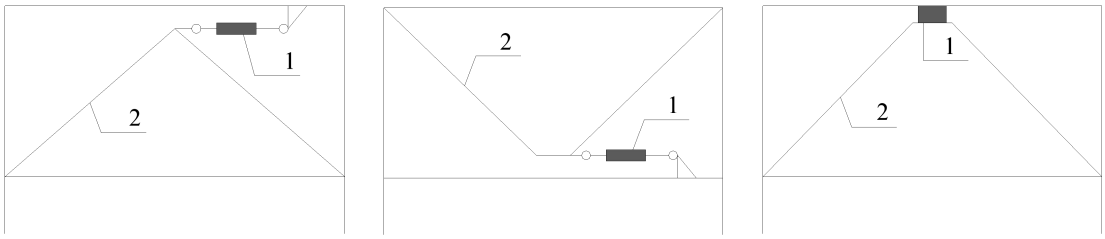
**4**　黏滞消能器和黏弹性消能器：可采用支撑型、门架型、墙（柱）型或腋撑型等多种连接形式；

**5**　黏滞阻尼墙和黏弹性阻尼墙：一般采用墙（柱）型连接。

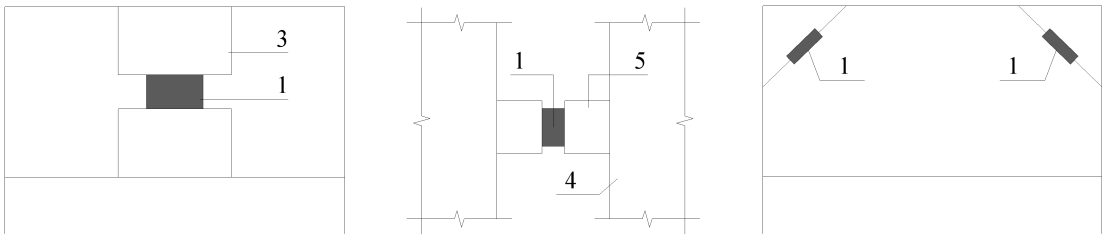
支撑型连接由于消能器两端变形差较大，可更有效地发挥消能器的耗能能力，故其耗能效率通常高于墙（柱）型连接。墙（柱）型连接则具有布置灵活、对建筑平面功能影响小、施工成本较低等优势。




（a）支撑型




（b）门架型

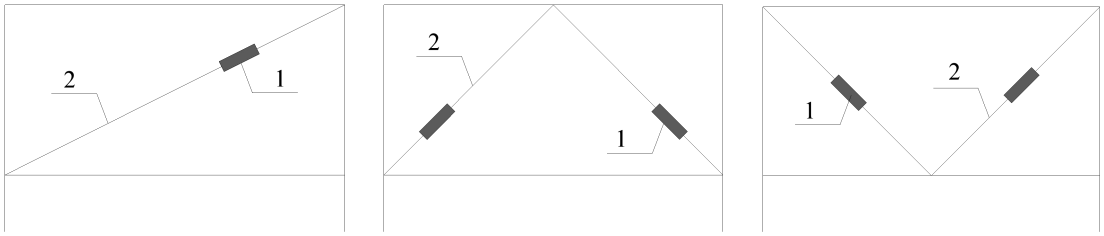



（c）墙（柱）型　　（d）连梁型　　（e）腋撑型

图 18　消能器与主体结构的连接形式

1—消能器；2—支撑；3—支墩（墙）；4—抗震墙；5—连梁

8.1.2　消能器与主体结构的连接应避免对主体结构的抗震性能产生不利影响。支撑型连接的几种布置形式见图 19。




（a）单斜撑　　（b）人字形　　（c）V 字形

图 19　支撑型连接的布置形式

1—消能器；2—支撑

不合理的连接设计可能导致消能器失效或对主体结构的抗震性能产生不利影响。例如，当采用 K 字形支撑布置时，框架柱中部节点易承受集中侧向力，在地震作用下可能引发受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，进而导致框架柱出现过大侧向变形甚至失稳倒塌，因此不应采用 K 字形支撑布置。

支撑斜杆截面选型应满足抗震受力要求：宜采用双轴对称截面（如 H 形、十字形）；当采用单轴对称截面（如双角钢组合 T 形截面）时，应设置绕对称轴的侧向支撑或采取构造加强措施，避免杆件绕弱轴屈曲。同时，为防止板件局部失稳降低承载力，支撑斜杆的板件宽厚比应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 对受压构件的限值规定。

消能器的耗能效率与安装倾角密切相关，倾角宜控制在 30°~60°范围内。当倾角过大时，消能器两端的相对变形分量减小，导致耗能能力下降。

8.1.3　消能器与支撑、节点板的连接，以及支撑与节点板的连接，应兼顾施工便利性和后期更换需求。通常情况下，可采用螺栓连接或销轴连接；当采用焊接连接时，应采取温度控制措施，避免焊接高温对混凝土构件强度产生不利影响。

8.1.4　震后调研结果表明，部分消能部件存在侧向失稳问题。其主要原因在于复杂或不规则结构的空间受力特性与平面分析模型存在差异，导致消能部件设计受力与实际响应不一致。消能部件的侧向稳定性直接影响消能器的减震效果，因此设计中应确保消能部件及其连接节点在地震作用下不发生侧向失稳或破坏，以保证消能器正常发挥作用。

8.1.5　与消能器相连的预埋件、支撑、支墩（墙）及节点板，应具备足够的刚度、强度和稳定性，以确保消能部件的变形主要集中于消能器。

节点板承受阻尼力（含附加弯矩）时，除应具备足够的承载力和刚度外，尚应避免发生面外失稳或破坏。在工程实践中，可通过增加节点板厚度或设置加劲肋等措施，提高其面外稳定性。

8.1.7　常规预埋件一般由锚板与锚筋焊接组成，按锚筋材料及形式可分为以下几类：

1）钢筋锚筋预埋件；

2）角钢锚筋预埋件；

3）直锚筋加抗剪钢板预埋件。

为确保预埋件的承载能力不低于连接件，对于混凝土结构，当采用支撑型、门架型等连接形式时，节点板与混凝土梁、柱构件的连接不宜仅依靠锚固钢筋承力，而应采用锚筋穿透构件截面后固定于背面锚板的夹板式双面锚固构造。当预埋件承受荷载较大，常规锚板与锚筋形式无法满足设计要求时，可采用腹板开孔 H 型钢预埋件或直接预埋实腹型钢。

8.1.8　当屈曲约束支撑采用人字形或 V 字形布置时，梁的侧向刚度和扭转刚度对节点的平面外稳定性影响较大。为防止与支撑相连的梁出现侧向位移或扭转变形，应采取合理措施。具体措施包括：

**1**　宜采用栓钉连接形成组合梁，利用楼板对梁上翼缘的约束作用提高梁的侧向刚度；

**2**　可在梁两侧布置对称的次梁或侧向支撑，以限制梁的侧向变形；在与支撑相连的梁的腹板位置设置横向加劲肋，以提高梁的抗扭能力。

8.1.9　设计与施工不当可能导致消能器无法发挥预期性能。为保证消能器正常发挥耗能作用，在设计与施工中应避免非结构构件对其变形产生约束或阻碍。

## 8.2　预埋件计算

8.2.1　预埋件的构造形式应根据受力性能及施工条件确定，构造应简单且传力直接。预埋件由埋设于混凝土中的锚筋和外露于混凝土表面的锚板组成。锚筋截面面积应根据预埋件的受力组合确定：当预埋件承受剪力与弯矩时，应按弯剪公式计算；当预埋件同时承受拉力（或压力）、剪力及弯矩时，应按拉（压）弯剪公式计算。

## 8.3　节点板计算

8.3.3　$b_e$ 为板件的有效宽度，应按《钢结构设计标准》GB 50017-2017 第 12.2.2 条的规定取值。

当节点板稳定计算不满足要求时，可采取保证其稳定的构造措施，如加设加劲板等。

## 8.4　支撑和支墩计算

8.4.1　支墩（墙）的受力以弯矩与剪力为主，受力特性与连梁相似。在截面尺寸方面，支墩（墙）的高宽比通常大于 6，类似于剪力墙的特性；而在跨高比方面，支墩（墙）的跨高比一般不大于 2.5，更接近于现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中的深受弯

构件。因此，支墩（墙）截面验算宜按深受弯构件的相关规定执行。

按深受弯构件进行截面验算时，应包括：正截面受弯承载力计算、斜截面受剪承载力计算，以及局部受压承载力计算等。

8.4.2　支撑的计算长度取值遵循如下原则：计算支撑的轴向刚度时，计算长度应取其净长；计算支撑平面内、外失稳时，计算长度应取支撑与消能器的长度总和。

## 8.5　消能器与主体结构连接的构造要求

8.5.2　当预埋件采用锚板与锚筋组合形式时，宜采用夹板式双面锚固。

消能器最大阻尼力不大于 1000kN 时，可采用钢筋锚板预埋件形式。钢筋应同时穿过两块锚板并塞焊连成整体，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定。当预埋件在高度方向的梁、柱尺寸超过 500mm 时，可不采用对穿形式。锚筋预埋件的锚固长度应按照现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定执行。

8.5.5　本条对节点板的材料选用和构造细节提出了要求，以保证其安全可靠：

**1**　节点板钢材强度等级不低于支撑构件，是基于“强连接、弱构件”的设计原则，旨在避免连接区域先于主体构件发生破坏，确保消能减震体系能够发挥预期的耗能能力。

**2**　大型节点板在受压或受剪作用下，其自由边（即未与其他构件连接的边）容易发生平面外屈曲，降低节点板的整体承载力。设置边肋能显著提高自由边刚度，有效增强节点板的平面外稳定性。对边肋的最小厚度、最小宽度以及与预埋件的连接做出规定，旨在保证其能够有效发挥加强作用。

8.5.8　消能器平面外受力可能降低其减震效率，进而影响主体结构的抗震性能。因此，应采取合理的构造措施，使消能器的受力状态尽可

能接近计算模型假定的工作状态，并避免因平面外受力引发的潜在安全隐患。

# 9　消能部件的施工、验收与维护

## 9.1　一般规定

9.1.3　根据施工方法和主要工序，可将消能部件子分部工程的施工作业内容划分为两个阶段。

消能部件子分部工程宜按不同施工阶段划分相应的分项工程。其中，消能部件原材料和成品的进场验收是指进入消能部件各分项工程实施现场的主要原材料、标准件、成品件或其他特殊定制成品（如消能器等）的进场及验收。

消能部件中附加钢构件的制作可划分为以下六个分项工程：钢零件及钢组件的加工、钢构件组装、组装的焊接连接、紧固件连接、钢构件预拼装、钢构件防腐涂料涂装。

消能部件的安装和维护可划分为以下四个分项工程：消能部件安装、安装和焊接连接、紧固件连接、消能部件防腐防火涂装。其中，安装分项工程的内容包括制定安装次序、吊装就位、测量校正定位及临时固定等工序；涂装分项工程的内容包括安装连接后普通防腐涂料局部补充涂装、防火涂料涂装等工序。

各阶段的施工作业应根据具体工程设计情况确定其所含的分项工程或工序。

检验批次是分项工程施工质量管理和验收的基本单元，可根据与施工方式相一致且便于质量控制的原则划分。消能部件分项工程的检验批可按主体结构检验批的划分方法确定，例如可按楼层或预制柱节高度范围、施工流水段或变形缝等划分。

## 9.3　消能部件施工的安装顺序

9.3.3　本条对消能部件和主体结构构件的总体安装顺序作出规定。

**1**　消能减震钢结构的安装顺序宜根据一般钢结构的安装顺序，并结合消能部件的特点，按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规

程》JGJ 99 的规定综合制定。消能减震钢结构的安装可按以下步骤进行：

1）在每层柱所在的高度范围内，宜先安装平面内的中部柱，再沿本层柱高自下而上依次进行消能部件、楼层梁的吊装与连接；然后从中部向四周按上述次序逐步安装其余柱、消能部件、梁及其他构件；最后安装本层柱高范围内的各层楼梯，并铺设各层楼面板。

2）一个施工流水段的柱高度范围内的全部消能部件和结构构件安装连接完毕，并验收合格后，方可进行该流水段的上一层或下一流水段的安装。

3）完成钢构件的涂装和内外墙板施工。

**2** 消能减震现浇混凝土结构施工顺序宜根据结构特点及施工条件等确定。常用方法包括消能部件平行安装法和后装法。

消能部件平行安装法便于消能器的吊装就位和测量校正，各层消能部件和混凝土构件一次施工安装齐备，可避免后期补装，但其缺点是每层施工工种多，存在交叉作业干扰。

消能部件后装法的优点是混凝土构件施工效率高，不受消能部件安装影响；但在混凝土构件浇筑完成后，重量较重或尺寸较长的消能部件吊装会受到楼板、水暖管网、外脚手架及施工安全网等的限制，增加安装难度；此外，后装法对部件制作与安装精度要求较高，也可能增加施工难度；同时，各层消能部件在混凝土构件施工完成后再安装，可能会延长施工工期。

消能减震混凝土结构的后装法，可先施工一个或多个结构层的混凝土墙、柱、梁、板等构件（包括与消能部件相连的节点预埋件），然后安装消能部件，并与预埋件连接。当设计中不考虑消能部件的抗风作用时，可在各层混凝土柱、墙、梁、板以及节点预埋件全部施工完毕后，再安装消能部件。

9.3.5 同一部位的消能部件，当仅有消能器时，可直接作为安装单元；

当还设有附加支撑，或与结构采用销轴连接、球面铰接连接时，各制作单元及铰接件宜先在现场地面拼装成扩大安装单元后，再与主体结构进行安装连接。

## 9.6 施工安全与施工质量验收

9.6.2 本条规定了消能部件工程施工质量验收的基本要求。

工程质量验收的前提条件为施工单位自检合格，且验收时施工单位对自检中发现的问题已完成整改。主控项目和一般项目的划分应符合各专业验收规范的规定。

检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目结构专业技术负责人等进行验收；消能部件子分部工程完工后，应由总监理工程师组织设计单位结构专业技术负责人、施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收，并提交子分部工程验收报告。

考虑到隐蔽工程在隐蔽后难以检验，因此隐蔽工程在隐蔽前应进行验收，验收合格后方可继续施工。例如，混凝土结构的预埋件或预埋锚栓应在混凝土浇筑前进行隐蔽验收。隐蔽验收应形成隐蔽验收记录，并留存必要的图像资料。

## 9.7 消能部件维护

9.7.1 定期检查是由建设单位对消能部件本身及其与建筑物连接状况进行的常规检查，其目的是尽早发现可能的异常，避免消能部件不能正常使用。

应急检查是指在发生强震、火灾等灾害后立即实施的检查，目的是确认上述灾害是否对消能部件性能造成影响。

9.7.2 消能部件正常维护中的定期目测检查周期，主要依据消能器的设计工作年限，并参考现有一般结构构件的维护实践经验确定。一般结构构件实际检查周期大致为 10~15 年，约为结构设计工作年限的 1/5~1/3。在正常使用与正常维护下，不同类型消能器的设计工作年限

虽有所差异，但定期检查的周期通常取其设计工作年限的 1/5~1/3，即约为 10 年，应视为合理的时间间隔。

# 10　隔震支座的技术性能

## 10.1　一般规定

10.1.1　本章技术性能和检验要求适用于工程中装置的选用、设计参数确定、进场验收和见证检验，属于工程应用要求;产品技术要求、试验方法和检验规则以国家现行相关产品标准为准。

## 10.2　隔震支座的技术性能

10.2.2　隔震橡胶支座的形状分为圆形和方形，宜优先选用圆形。

第一形状系数 $S_1$ 是指隔震橡胶支座中单层内部橡胶的平面面积与其自由侧面表面积之比。每层橡胶层厚度越小，$S_1$ 越大，隔震橡胶支座的竖向刚度也越大。这表明 $S_1$ 反映的是隔震橡胶支座中钢板对橡胶层变形的约束程度。此外，$S_1$ 还与隔震橡胶支座的有效直径有关。$S_1$ 越大，隔震橡胶支座越粗矮，其弯曲刚度也越大。也就是说，$S_1$ 与隔震橡胶支座的竖向刚度和转动刚度密切相关。

无开孔支座的第一形状系数 $S_1$ 按下式确定：

圆形支座：
$$S_1=\frac{d_0}{4t_r} \tag{40}$$

方形支座：
$$S_1=\frac{a}{4t_r} \tag{41}$$

式中：$d_0$——圆形支座内部橡胶的有效直径（mm）；

$t_r$——单层橡胶层的厚度（mm）；

$a$——方形支座内部橡胶的有效宽度（mm）。

开孔支座的第一形状系数 $S_1$ 按下式确定：

圆形支座：
$$S_1=\frac{d_0-d_i}{4t_r} \tag{42}$$

方形支座：
$$S_1=\frac{4a^2-\pi d_i^2}{4t_r(4a+\pi d_i)} \tag{43}$$

式中：$d_i$——内部钢板的开孔直径（mm）。

注：若孔洞灌满橡胶或铅，则按无开孔支座考虑。

第二形状系数 $S_2$ 用于反映隔震橡胶支座的形状与水平刚度的关

系，其物理意义是支座内部橡胶层的有效直径与内部橡胶层总厚度之比。隔震橡胶支座的高宽比越小，形状越细长，则其水平刚度越小。隔震橡胶支座越细长，在竖向荷载作用下就越容易发生压屈。因此，$S_2$ 的大小还会反过来影响隔震橡胶支座在水平变形下的竖向承载力。当 $S_2$ 较小时，需降低隔震橡胶支座的压应力限值。

第二形状系数 $S_2$ 按下式确定：

圆形支座：
$$S_2 = \frac{d_0}{T_r} \tag{44}$$

方形支座：
$$S_2 = \frac{a}{T_r} \tag{45}$$

式中：$T_r$——内部橡胶总厚度（mm）。

## 10.3 隔震支座的性能检验

10.3.2 隔震橡胶支座在不同检验类型中所需进行的具体检验项目，详见表 14。

表 14 不同检验类型下隔震橡胶支座的检验项目

| 性能 | 试验项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|
| 压缩性能 | 竖向压缩刚度 | √ | √ | √ |
| | 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 水平等效刚度 | √ | √ | √ |
| | 等效阻尼比 | √ | √ | √ |
| | 屈服后刚度 | √ | √ | √ |
| | 屈服力 | √ | √ | √ |
| 拉伸性能 | 破坏拉力 | △ | × | × |
| | 屈服拉力 | △ | × | × |
| | 拉伸破坏或屈服时对应的剪应变 | △ | × | × |
| 剪切性能相关性 | 剪应变相关性 | √ | × | × |
| | 压应力相关性 | △ | × | × |
| | 加载频率相关性 | √ | × | × |
| | 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| | 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 剪应变相关性 | △ | × | × |
| | 压应力相关性 | △ | × | × |
| 极限剪切性能 | 水平极限变形能力 | √ | × | √ |
| 耐久性能 | 老化性能 | √ | × | × |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 徐变性能 | √ | × | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目；“△”为可选检验项目。

弹性滑板支座在不同检验类型中所需进行的具体检验项目，详见表 15。

**表 15　不同检验类型下弹性滑板支座力学性能的检验项目**

| 性能 | 试验项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|
| 压缩性能 | 竖向压缩刚度 | √ | √ | √ |
| | 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| | 初始刚度 $K_1$ | √ | √ | √ |
| 剪切性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| | 加载速度相关性 | √ | × | × |
| | 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| | 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限性能 | √ | × | √ |
| | 竖向极限抗压性能 | √ | × | × |
| 耐久性能 | 老化性能 | √ | × | × |
| | 徐变性能 | √ | × | × |

注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

摩擦摆隔震支座在不同检验类型中所需进行的具体检验项目，详见表 16。

**表 16　不同检验类型下摩擦摆隔震支座的检验项目**

| 性能 | 试验项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
|---|---|---|---|---|
| 压缩性能 | 竖向压缩变形 | √ | √ | √ |
| | 竖向承载力 | √ | × | × |
| 剪切性能 | 剪切性能试验 | √ | √ | √ |
| | 剪切性能相关性试验 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限变形试验 | √ | × | √ |

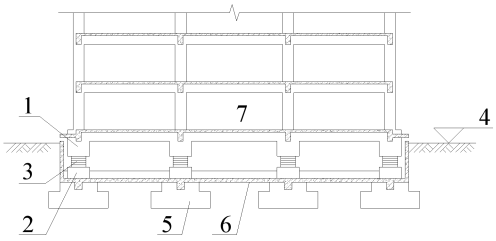
注：“√”为检验项目；“×”为非检验项目。

# 11　多高层隔震结构设计

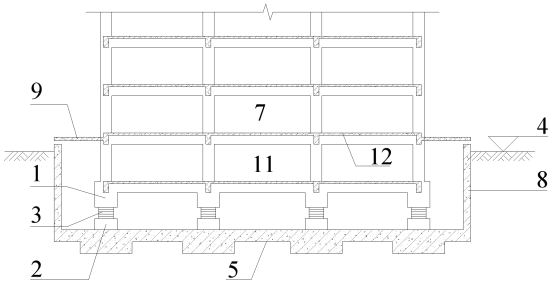
## 11.1　一般规定

11.1.3　基底隔震通过隔震层将主体结构与地基基础进行分离，使输入建筑物的地震能量主要由隔震层耗散，从而显著降低主体结构的地震作用。合理设计的基底隔震，可使建筑在设防地震作用下保持正常使用功能，是一种有效的抗震措施。

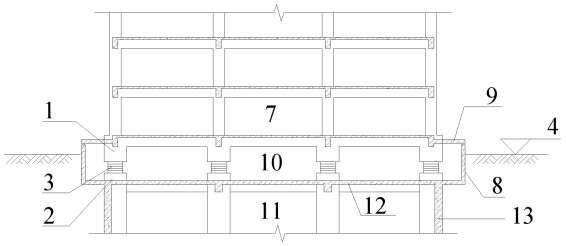
基底隔震可分为无地下室基底隔震（图 20a）、带地下室基底隔震（图 20b）和地下室顶板隔震（图 20c）。无地下室基底隔震和带地下室基底隔震的隔震层均设置在基础顶部；地下室顶板隔震的隔震层设置在地下室顶板和上部结构之间，其层高应根据隔震层是否具有使用功能、结构受力特点以及维修使用要求等因素综合确定。




（a）无地下室基底隔震示意图




（b）地下室基底隔震示意图

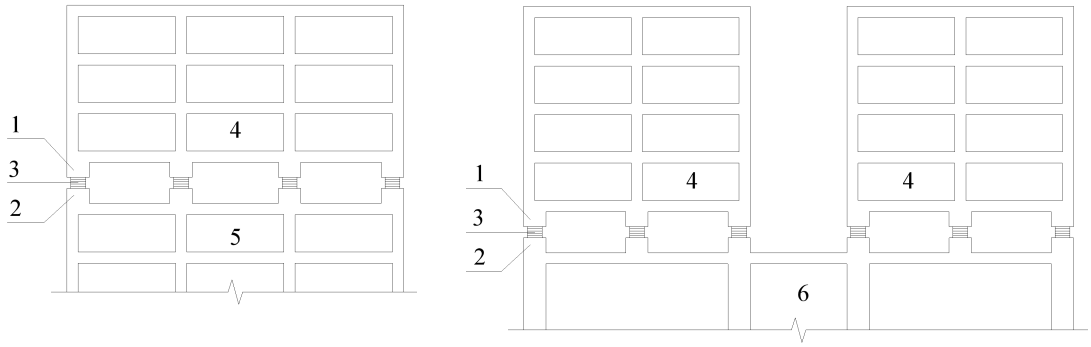



（c）地下室顶板隔震示意图

图 20　基底隔震示意

1—上支墩；2—下支墩；3—隔震支座；4—室外地面；5—基础/筏板；6—防水板；7—上部结构；8—隔震沟挡土墙；9—盖板；10—隔震层；11—地下室；12—地下室顶板；13—地下室外墙

层间隔震包括楼层中部隔震（图 21a）和裙房顶隔震（图 21b）。楼层中部隔震适用于存在层间刚度突变的建筑或地理位置特殊的建筑，如依山而建的建筑；裙房顶隔震适用于大底盘或多塔楼建筑。




（a）楼层中部隔震示意图　　（b）裙房顶隔震示意图

图 21　层间隔震示意

1—上支墩；2—下支墩；3—隔震支座；4—上部结构；5—下部结构；6—裙房

当确有必要且满足相关条件时，隔震支座可布置于不同楼层，形成跨层隔震（图 22）。

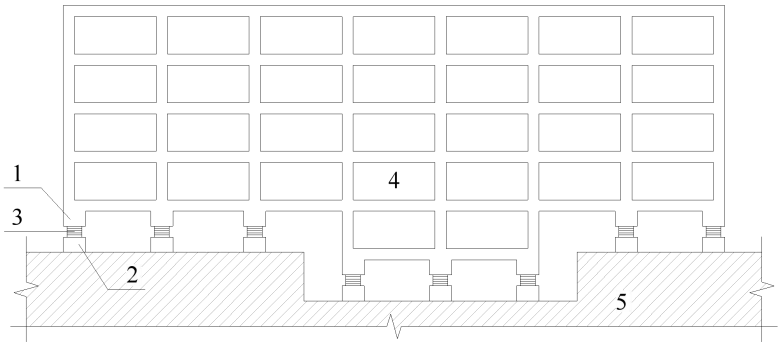



图 22　跨层隔震示意

1—上支墩；2—下支墩；3—隔震支座；4—上部结构；5—基础或下部结构

11.1.5　本条规定用于确保隔震建筑在风荷载、微振动及可能的冲击作用下结构的安全性。

隔震结构设计采用中震设防标准。在设防地震作用下，结构应采用线弹性模型进行截面设计及配筋验算；在罕遇地震作用下，结构可进入轻微至中度的弹塑性状态，此时宜采用弹塑性时程分析方法进行分析，并应验算结构及支座的变形和支座的承载力。

11.1.6　抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

11.1.10　组合减隔震技术是指在隔震层外布置消能部件，并与隔震支座配合使用的减隔震设计方法。具体包括：在隔震建筑下部结构中布置消能部件、在隔震建筑上部结构中布置消能部件以及在全楼范围内布置消能部件。

高烈度区、抗震不利地段以及具有特殊功能的建筑，宜优先采用

组合减隔震技术，以进一步提升结构抗震性能。

组合减隔震建筑的分析模型应同时包括主体结构及减隔震装置，并准确反映结构构件和减隔震装置的力学特性与实际受力情况。分析方法可采用振型分解反应谱法和时程分析法。

应用组合减隔震技术时，隔震设计和减震设计应分别符合本规程有关隔震和减震设计的相关规定。

## 11.2　抗震变形验算

11.2.3　在罕遇地震作用下，隔震层以下地面以上的下部结构的弹塑性层间位移角限值宜与上部结构相当。当设计条件允许时，下部结构可采用更严格的弹塑性层间位移角限值，从而进一步提高隔震结构体系的整体稳定性和安全性。

## 11.3　隔震层设计

11.3.1　隔震层的布置需要注意以下几点：

**1**　隔震支座的直径不宜相差过大，规格不宜过多。

**2**　当隔震支座不在同一标高时，应对形成的较大错层区域采取局部加强措施，例如加大柱截面、设置加腋梁、增强错层处楼板刚度等。在地震作用下，隔震层上部结构作为一个整体运动，应充分考虑隔震层水平隔离缝的连通构造措施，以确保不同标高处的隔震支座在地震作用下能正常发挥性能并协同工作。同时，错层标高处的低位隔震支座应有足够的水平位移空间，以保证其耗能变形时无阻碍地运动，该空间应不小于隔震支座在罕遇地震下的水平位移限值。

相邻隔震层的层间位移角可按以下规定计算：

$\theta$=（隔震层 1 的上支墩梁板层位移 $U_1$—隔震层 2 的上支墩梁板层位移 $U_2$）/两层相对高差 $h$，如图 23 所示。

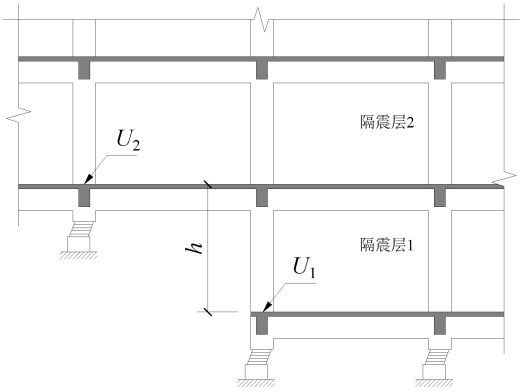



图 23　相邻隔震层的层间位移角示意

**3**　隔震层刚度中心与上部结构质量中心的偏差比值即为隔震层的偏心率，可按《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015 附录 A 的规定计算。

11.3.2　隔震层设计需要注意以下几点：

**1**　隔震支座组合使用的原则：

1）铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座具有一定的初始刚度，通常布置在隔震层的周边，可提高隔震层的自复位能力和抗扭刚度。

2）弹性滑板支座承载力大、位移能力强，但自复位能力较差。为解决隔震层恢复力不足的问题，可与隔震橡胶支座组合使用，通常布置在结构中间位置。

3）阻尼装置可增强隔震层的耗能能力，限制最大位移，通常布置在隔震层周边，可有效控制扭转。

**2**　隔震层支座的布置：隔震层支座的布置应综合考虑竖向承载能力、变形能力、刚度、耗能能力等因素，确保隔震层在承受上部结构竖向荷载的同时，保持较低的水平刚度，并具备适当的自复位能力，以有效保证结构的隔震效果。

**3**　摩擦摆隔震支座的使用注意事项：摩擦摆隔震支座在变形过程中会产生竖向位移，对支承结构产生顶升作用。若与其他类型隔震支座混合使用，可能导致其他支座受拉。由于隔震层对不同支座的变形协调一致性要求较高，不建议将摩擦摆支座与其他类型隔震支座混合使用。

**4** 隔震层的摩阻力定义：隔震层的摩阻力是指隔震层中各摩擦摆隔震支座、弹性滑板支座或阻尼装置等滑动时受到的水平动摩擦力的总和。

**5** 弹性滑板支座的布置要求：弹性滑板支座数量过多可能导致隔震层位移过大且复位困难，其数量不宜超过隔震支座总数量的 20%。当滑动面尺寸大于 1500mm 时，不宜将滑动面设置在下端，以避免埋板下部灌浆料填充不密实的问题。

11.3.3 重力荷载代表值的竖向压力应取结构和构配件自重标准值与各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按本规程第 4.1.5 的规定采用。

在重力荷载代表值下，不同抗震设防类别的隔震橡胶支座、弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座的竖向压应力限值应有所不同。当隔震橡胶支座的第二形状系数小于 5 时，其竖向承载力将降低，此时其压应力限值应相应调整。弹性滑板支座由于采用的材料和内部构造与隔震橡胶支座不同，通常不存在水平大变形下的橡胶受压失稳问题，因此其压应力限值较隔震橡胶支座有所提高。对于多层与高层建筑，隔震设计所采用的隔震支座外径不宜小于 300mm，以保证上部结构的稳定性并提供足够的安全储备。

本条中，“有效直径”和“外径”均为隔震橡胶支座的专用术语。对于圆形隔震橡胶支座，有效直径是指内部钢板的直径，用于标识支座的规格；外径则是有效直径与橡胶保护层厚度之和。例如，规格型号 LNR500 表示有效直径为 500mm 的天然橡胶支座。

11.3.4 在罕遇地震作用下，隔震支座在重力荷载代表值产生的竖向压应力基础上，将叠加较大的竖向拉应力和压应力。为防止隔震支座因受压屈曲或受拉破坏，应根据建筑的抗震设防类别，分别规定不同类型隔震支座的竖向压应力和拉应力限值。

隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压力和最小竖向压力可

按下式计算：

最大竖向压力=1.0×恒载+0.5×活载+1.0×罕遇水平地震作用产生的最大轴力+0.4×罕遇竖向地震作用产生的最大轴力　　（46）

最小竖向压力=1.0×恒载-1.0×罕遇水平地震作用产生的最大轴力-0.5×罕遇竖向地震作用产生的最大轴力　　（47）

在多层及高层建筑的隔震设计中，应重点关注隔震支座的受拉问题。弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座均不具备竖向受拉能力，因此在设计中应严格避免其出现拉应力。对于隔震橡胶支座，当竖向拉应力不满足限值要求时，可采取以下措施：

**1**　支座类型调整：将铅芯橡胶支座更换为天然橡胶支座，但仅适用于个别凸角或凹角处的隔震支座（需结合具体情况评估）；

**2**　增加支座尺寸或数量：通过增大隔震支座的直径或在同一点增设隔震支座；

**3**　调整支座间距：适当加大隔震支座的间距，例如增大剪力墙下隔震支座的间距；

**4**　优化上部结构设计：必要时调整上部结构的布置或刚度，以减小隔震支座的竖向拉应力；

**5**　增设阻尼装置：增设阻尼装置，通过降低地震反应来减小隔震支座竖向拉应力；

**6**　设置抗拉装置或采用可提离支座。

11.3.8　未设置抗风装置时，隔震支座的水平屈服荷载设计值应按以下规定取值：

**1**　铅芯橡胶支座取屈服力；

**2**　弹性滑板支座及摩擦摆隔震支座按起滑后的摩阻力。

设置抗风装置时，应附加抗风装置的水平承载力，其设计值可按材料屈服强度设计值确定。

11.3.10　隔震层上支墩、上支柱及相连构件通常可定义为关键构件，

应进行中震设计，无需按大震抗剪弹性、抗弯不屈服设计。

## 11.4　下部结构与上部结构设计

11.4.1　隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层上部结构的竖向构件及相邻一跨的竖向构件应为关键构件，其他竖向构件可为普通竖向构件。

11.4.2　“相关范围”一般指隔震塔楼周边外延一跨的范围。

11.4.3　底部剪力比是指在设防地震作用下建筑结构隔震后与隔震前上部结构底部剪力的比值。

由于目前常用隔震支座仅能隔离水平地震作用，不能隔离竖向地震作用，且隔震后地震发生时，可能出现隔震结构的竖向地震作用大于其水平地震作用的情况。因此，隔震结构的竖向地震影响不可忽略，须加以重视。尤其要注意，与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不得降低。

11.4.4　隔震结构构件的内力调整应与同类型的传统抗震结构的要求一致，应符合下列规范条文的规定：

**1**　《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 年版）中第 6.2.2 条、6.2.3 条、6.2.4 条、6.2.5 条、6.2.6 条、6.2.7 第 1 款、第 3 款、6.2.8 条、6.2.13 第 1 款、8.2.3 第 3 款；

**2**　《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010 第 7.2.2 第 3 款、第 8.1.4 条、第 10.2.17 条。

11.4.5　本条中“较高的高层建筑”是指高于 40m 的框架结构或高于 60m 的其他结构体系的混凝土房屋建筑。

框架柱轴压比公式中引入轴压比调整系数，使得计算结果与多遇地震下的结果保持一致，实现与其他标准的衔接。

11.4.6　当上部结构采用抗震墙结构体系时，上部抗震墙与隔震支座之间通常需要通过转换梁来传递内力。因此，提高转换梁上下纵向钢筋的最小配筋率，保证其在设防地震作用下的承载力和延性。转换梁

的转换次数不宜超过 3 次，以有效传递竖向和水平荷载。转换梁按关键构件设计，无需遵循框支剪力墙结构的相关设计要求，抗震等级无需提高。

11.4.7　在设防地震和罕遇地震作用下，隔震层上部结构的底层应具有足够的强度和刚度，以有效传递隔震层上下结构间的内力和变形。为此，对于采用框架-支撑结构的隔震建筑，上部结构的底层不应采用偏心支撑，建议采用屈曲约束支撑或中心支撑。

11.4.8　独立支墩通常用于隔震层没有使用功能且层高较小的场合。支柱框架则适用于隔震层具有使用功能且层高较大的场合。

11.4.9　隔震层顶部的楼盖应具备足够的刚度和承载力，以传递隔震层上、下结构的竖向和水平荷载，并有效协调隔震层的整体位移，以满足结构的隔震性能要求。对于层间隔震，隔震层下部楼盖的厚度也不应小于 160mm。

## 11.5　隔震支座与结构的连接和构造

11.5.1　根据本规程附录 F 进行隔震支墩混凝土局部受压最大压应力验算、连接螺栓强度验算、预埋件设计时，可根据隔震结构的重要性选择荷载模式。一种是基于隔震支座在罕遇地震下的荷载组合；另一种是考虑在极限破坏状态下隔震支座所承受的荷载（参见本规程第 3.5.2 条）。

11.5.4　隔震支座附近的梁、柱应计算冲切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

# 12　建筑与机电隔震构造

## 12.1　一般规定

12.1.1　隔震层应具备适宜的高度，以满足施工过程中隔震支座的运输、支座安装所需的操作空间，同时也便于后期使用中对隔震层进行检查、维护及部件更换。

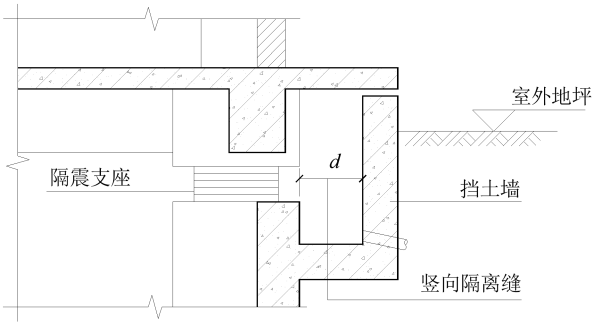
12.1.2　隔震层检修出入口可采用楼梯间、直通式出入口或检修孔，其尺寸应满足人员进出及隔震支座、施工设备运输的要求。隔震层检修出入口通常不宜少于两处。

12.1.3　隔震层内应保持干燥环境，防止隔震支座受潮锈蚀。隔震层宜设置防水底板，并应配置相应的排水措施。

## 12.2　隔离缝

12.2.1　地震作用下，竖向隔离缝（图 24）不应阻碍隔震建筑上部结构的水平自由运动。竖向隔离缝的宽度是否足够是隔震层发挥其功能的关键。其宽度应不小于上部结构在罕遇地震作用下的最大水平位移计算值，并应满足定期清理及检修所需的最小操作空间要求。

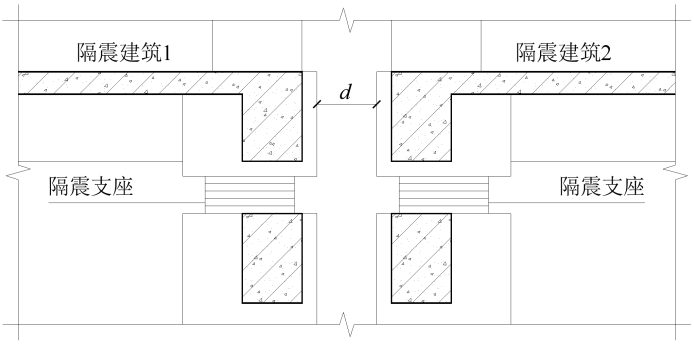
在工程实践中，常见竖向隔离缝宽度不足或缝内空间被填充堵塞的情况。在设计阶段，应严格确保竖向隔离缝的宽度，并明确相应的构造措施；在使用阶段，应重点检查缝内空间是否被堵塞或占用。当因条件限制无法满足最小缝宽时，可在相邻隔震建筑内设置阻尼器等消能装置，通过控制结构的相对位移，防止相邻结构碰撞。




竖向隔离缝宽度 $d \geqslant \max(1.2D, 300)$

$D$——罕遇地震作用下隔震支座最大水平位移

（a）室外地坪处竖向隔离缝示意图




隔离缝宽度 $d \geqslant \max(D_1+D_2, 600)$

$D_1$、$D_2$——分别为隔震建筑 1、2 罕遇地震作用下隔震支座最大水平位移

（b）隔震建筑之间竖向隔离缝示意图

图 24　竖向隔离缝宽度要求

隔震建筑周边与土体之间的竖向隔震沟可采用以下形式：散水做法、隔震沟兼作雨水沟做法、隔震沟与雨水沟分开设置做法、悬挑梁式隔震沟做法等。各类做法均应采取有效措施防止雨水渗入隔震层，雨水沟内侧宜设置防水层。

散水部位的隔震沟盖板宜采用图 25 所示的抬高做法。当确需采用平接方式时，可采用图 26 所示的构造方案，但应确保预制盖板在水平位移时能够自由升降。严禁采用室外地坪现浇混凝土面层整体覆盖隔震沟。

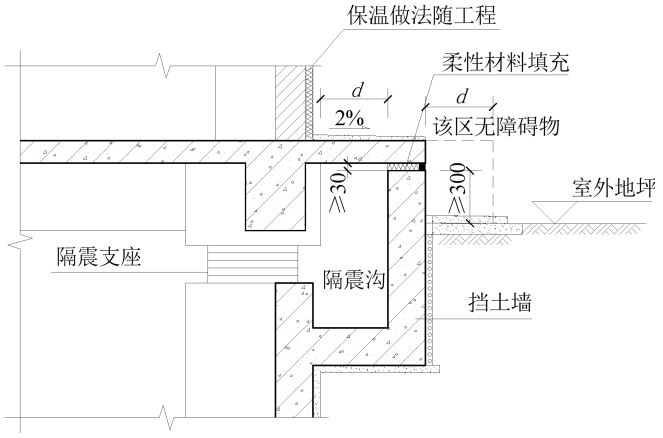
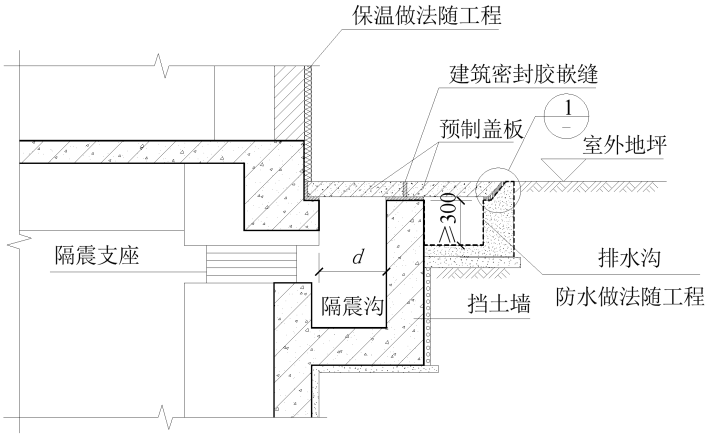
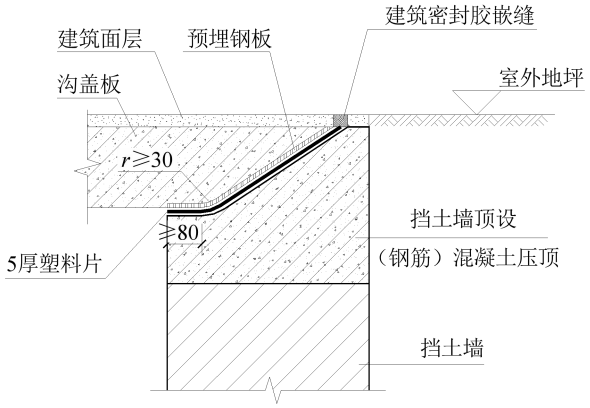



图 25　抬高做法




（a）隔震沟散水平接做法




（b）1 号大样详图

图 26　隔震沟散水平接做法

12.2.2　隔震层上、下部结构之间应设置完全贯通的水平隔离缝，确保地震作用下下部结构不会阻碍隔震建筑上部结构的相对水平自由运动，保障隔震建筑正常使用功能。

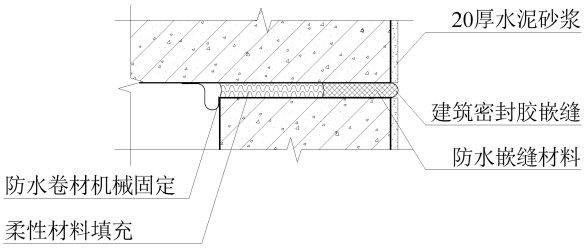
在工程实践中，常存在忽视水平隔离缝贯通性处理的情况，例如未保证其连续贯通或采用刚性材料填堵等问题。因此，本条明确要求水平隔离缝必须连续贯通，严禁任何刚性连接或堵塞措施。

隔震层水平隔离缝的高度设计，除应考虑竖向荷载引起的隔震支座竖向变形外，尚需计入隔震支座水平变形伴随的竖向变位、徐变及温度变化等影响因素。当水平隔离缝设置存在困难时，应采用可靠的水平滑移垫层进行替代。隔离缝应采取防水、防潮及防止异物进入的构造措施。

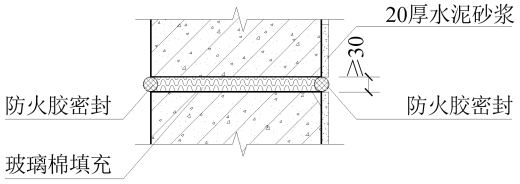
对于有防水要求的水平隔离缝（如位于地下或屋面处），其防水

材料应采用柔性材料，例如橡胶止水带、柔性防水卷材、金属防水薄板等，并应预留足够的伸缩量以适应结构变形。

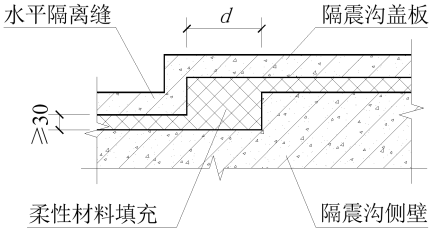
水平隔离缝构造示例见图 27。




（a）水平隔离缝防水做法




（b）水平隔离缝防火做法

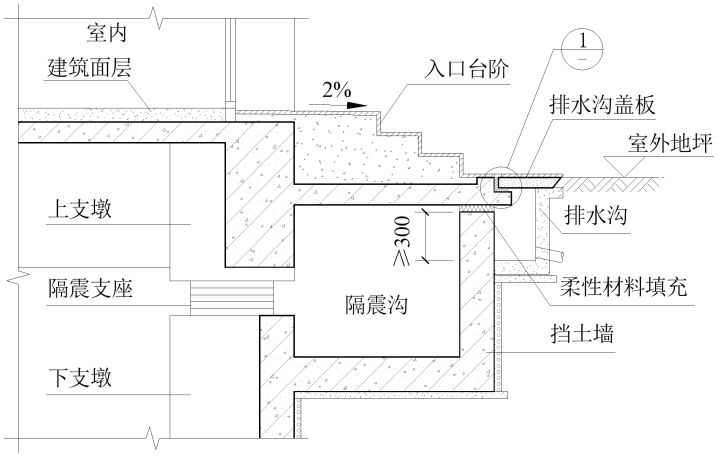



（c）水平隔离缝变标高处做法

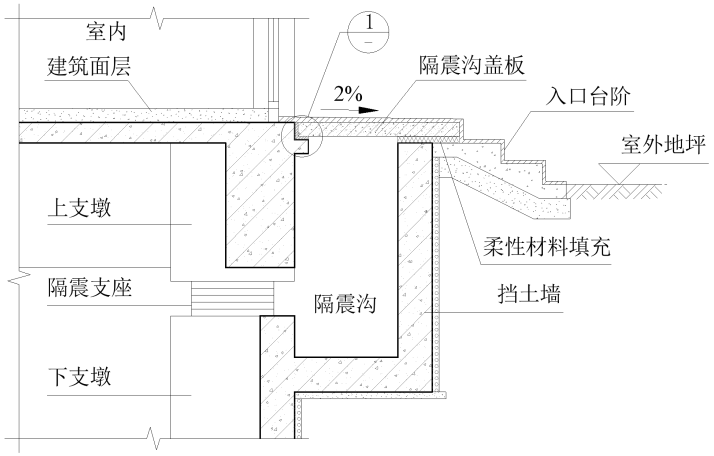
图 27　水平隔离缝做法

12.2.3　室外出入口通道（包括台阶、无障碍坡道等）对于人员疏散至关重要。为保障震后主要出入口的通行功能，应确保可移动竖向隔离缝盖板在主体结构复位后同步复位。

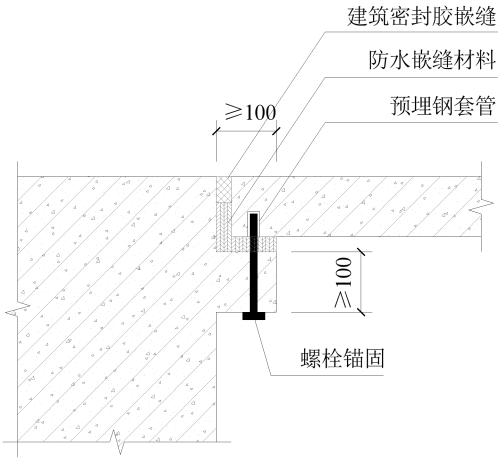
室外竖向隔离缝盖板构造示例见图 28。




（a）悬挑板方式




（b）滑动盖板方式




（c）1 号大样——盖板防滑落装置

图 28　室外竖向隔离缝盖板做法

## 12.3　隔震层交通构造

12.3.2　当隔震建筑采用地下室顶隔震或层间隔震时，楼梯穿越隔震层处应设置抗震缝断开，确保隔震层水平与竖向隔离缝贯通。构造示例见图 29。

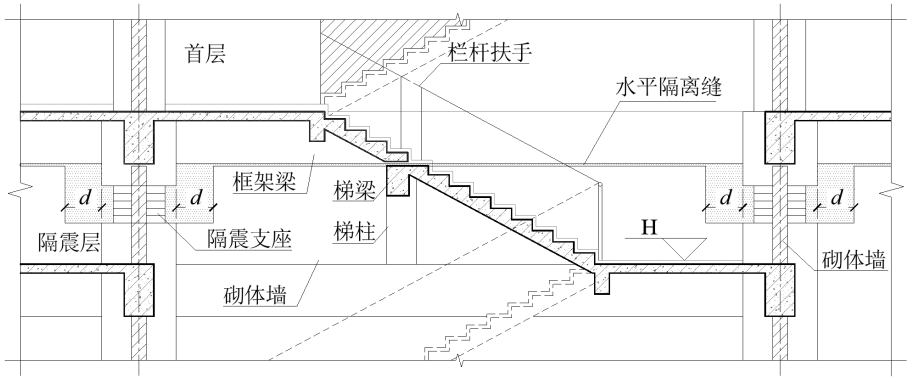



图 29　穿越隔震层的楼梯构造示意

12.3.3　电梯井道因竖向轨道连续性的要求，当穿越隔震层时，应采取相应措施，确保电梯正常运行、适应上部结构水平位移，并满足检修及清理需求。

当设置竖向隔离缝时，钢筋混凝土刚性电梯井筒的周边缝宽应符合本规程第 12.2.1 条规定；对于钢结构井筒，其周边竖向隔离缝的缝宽宜通过计算确定，以确保井筒与电梯导轨的弹性变形与隔震层变形相适应。在保证井筒与主体结构不发生碰撞的前提下，可适当缩小竖向隔离缝宽度。

穿越隔震层的电梯井构造可采用悬挂式或支承式等形式，具体构造示意如图 30、图 31 所示。

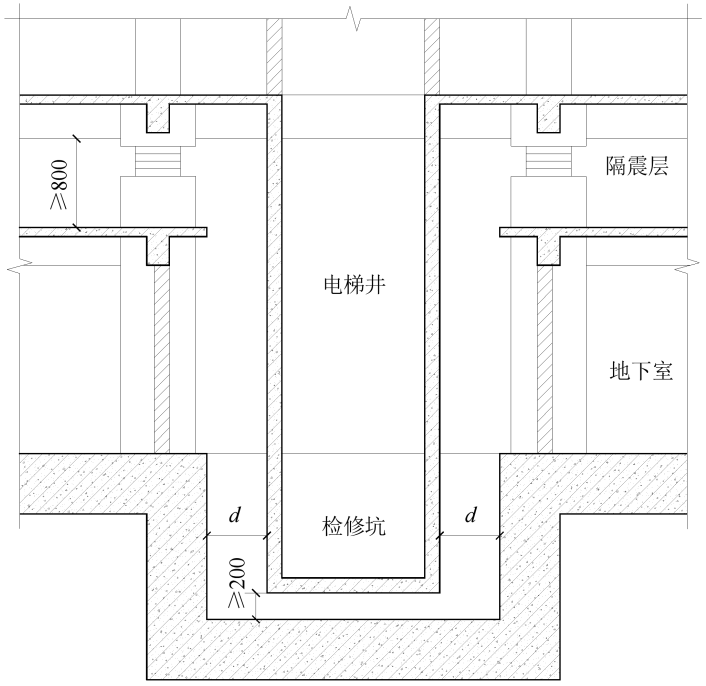



图 30　悬挂式电梯井构造示意

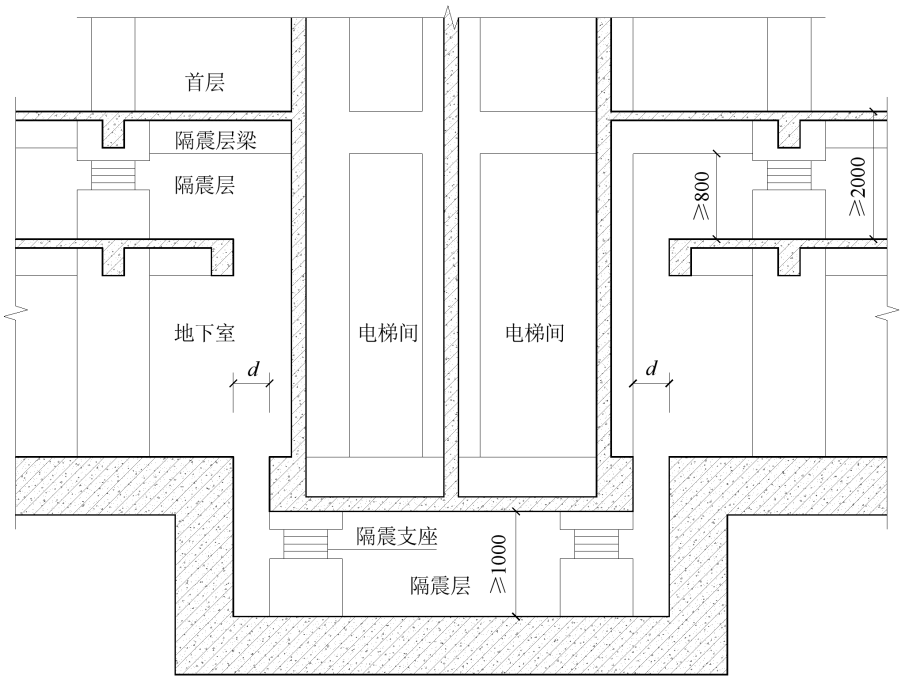



图 31　支承式电梯井构造示意

12.3.4　当自动扶梯（或倾斜式自动步道）需竖向跨越隔震层时，其两端宜支撑于下部结构，且上端与上部结构楼板脱开。隔离缝处的可移动盖板不应阻碍上部结构地震时的水平位移，其材料应坚固耐用、防滑并满足通行要求。

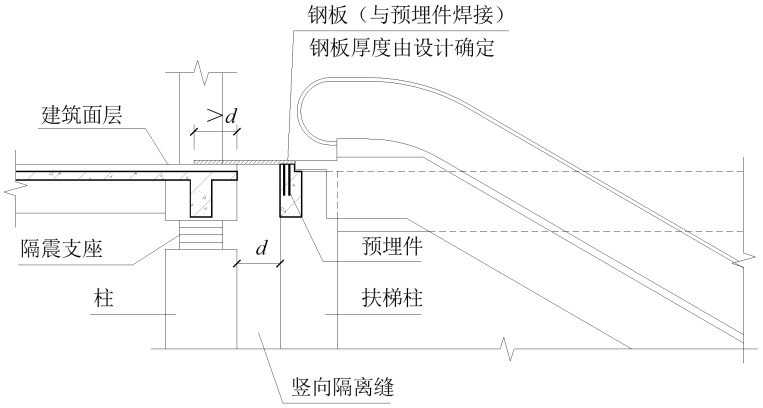



图 32　分离式自动扶梯构造示意

12.3.5　工程实践中，栏杆、扶手、室外出入口台阶、无障碍坡道等细部措施容易忽略，地震时会导致破坏，影响人员疏散。

栏杆扶手在竖向隔离缝和水平隔离缝处应断开（图 33），以避免在设防地震作用下发生碰撞。可设置柔性段，预留足够变形长度，避免在设防地震作用下发生拉扯而破坏。

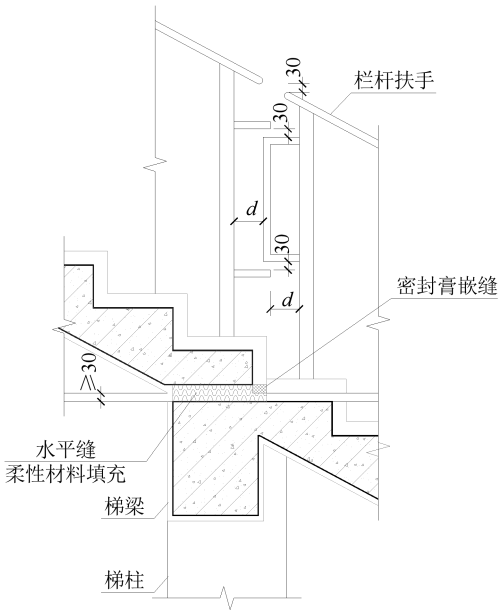



图 33　栏杆扶手做法

与上部结构相连的室外出入口台阶、无障碍坡道，在穿越隔震层与室外地面衔接处时，应采取设缝断开等合理脱离措施，见图 34。

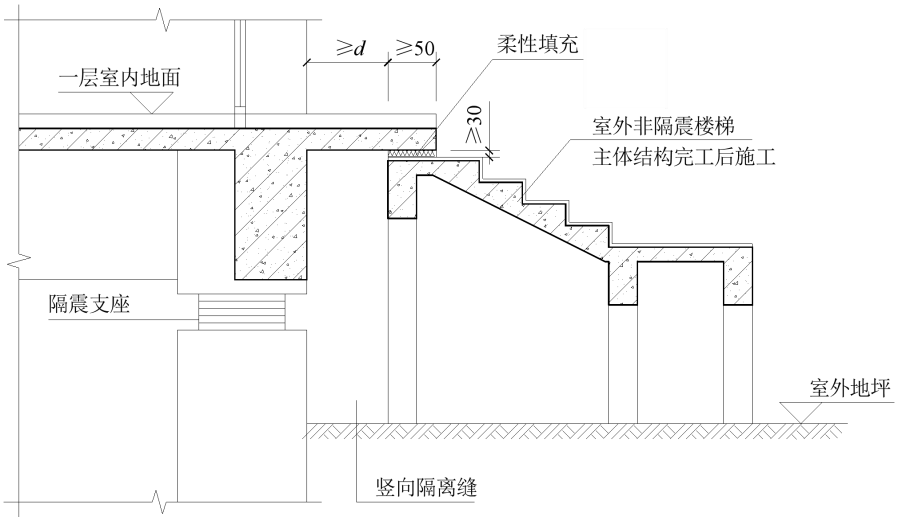



图 34　室外踏步构造示意

## 12.4　穿越隔震层的机电设备与管线

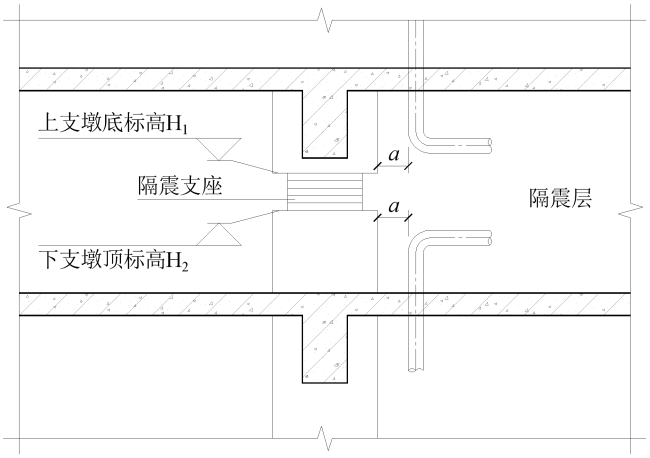
12.4.1　管道隔震柔性连接装置应能适应地震波引起的振动冲击，避免谐振，具体要求可参照现行行业标准《建筑隔震柔性管道》JG/T 541。

在隔震建筑中，穿越隔震层的燃气管道、有害介质管道等，若柔性连接措施不到位，地震时可能发生破坏，导致介质泄漏，进而引发火灾、爆炸等严重的次生灾害，后果极为严重。因此，对于该类管道，

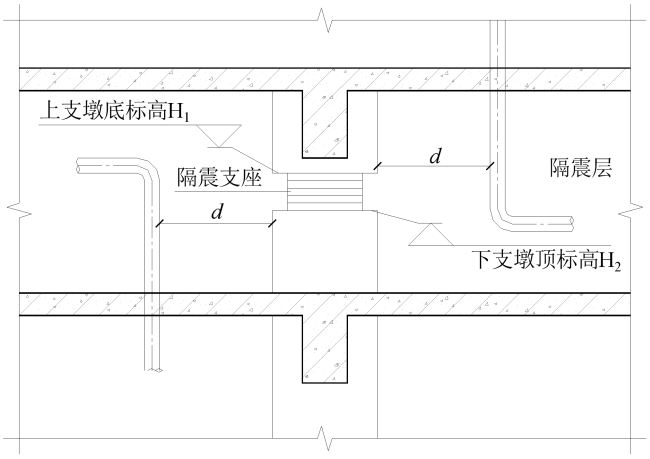
必须采用柔性接头或柔性连接段等可靠性高的处理措施，以确保地震时隔震建筑的管道能够正常使用。

除了根据管径来设置柔性连接外，还应在通过隔震层的燃气管道前后设置固定支架。此外，需在室外设置阀门和切断阀，并配备地震感应器，以确保在地震发生时，能够安全、迅速地切断燃气供应，从而保障整体安全性。

12.4.3　柔性管道靠近墙或柱时，管道与支墩距离需满足如下标准：当上部管道不超过上支墩底标高或下部管道不超过下支墩顶标高时，管道与支墩间的间距 a 不受限制，满足最低安装要求，如图 35a 所示。当接至上部的管道超过上支墩底标高或接至下部的管道超过下支墩顶标高时，管道与支墩之间的间距 *d* 应大于隔震层在罕遇地震下的最大水平位移值，如图 35b 所示。




（a）管道不超过支墩




（b）管道超过支墩

图 35　管道与支墩安装示意

12.4.5　利用构件钢筋作避雷线时，需采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋。

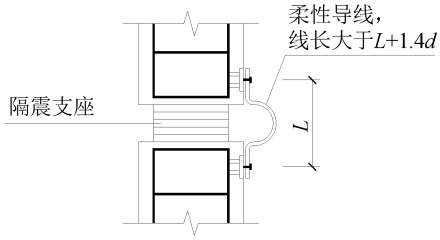



图 36　避雷连接示意图

*d*—竖向隔离缝宽度

# 13　隔震分部工程的施工、验收与维护

## 13.1　一般规定

13.1.1　隔震建筑施工前，施工单位应根据设计文件和施工组织设计的要求，编制建筑隔震工程专项施工方案，方案中应涵盖隔震支座、阻尼装置、抗风装置及抗拉装置等构造的连接安装，同时制定与吊装工程施工方案相配套的内容。