北 京 市 地 方 标 准

建筑工程减隔震技术规程

Technical Specification for Energy Dissipation and Seismic Isolation in Buildings Engineering

DB11/ 2075–2022

主编单位：北京市建筑设计研究院有限公司
北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司
北京建筑大学
批准部门：北京市规划和自然资源委员会
北京市市场监督管理局
实施日期：2023 年 07 月 01 日

2022　北京

北京市规划和自然资源委员会
北 京 市 地 震 局
关于实施北京市地方标准《建筑工程减隔震技术规程》的通知

京规自发〔2023〕128号

各有关单位：

为提高首都建设工程抗震防灾能力，使建筑物采用减隔震技术后，提高建筑安全性和防灾韧性，我委组织制订了北京市地方标准《建筑工程减隔震技术规程》（DB11/ 2075-2022），并已与北京市市场监督管理局联合发布，现将有关事宜通知如下：

《建筑工程减隔震技术规程》（DB11/ 2075-2022）自2023年7月1日起实施，自实施之日起，请各单位在开展北京地区采用减隔震技术的建筑工程，包括新建、改建及扩建建筑工程的设计、施工、验收和维护工作中按照本规程认真执行。

本规程由北京市规划和自然资源委员会、北京市地震局组织实施，北京市建筑设计研究院有限公司负责具体解释工作。

特此通知。

北京市规划和自然资源委员会　　北京市地震局

2023年4月28日

北京市地方标准公告

2022 年标字第 23 号（总第 315 号）

按照《北京市标准化办法》，以下 4 项北京市地方标准经北京市市场监督管理局批准，由北京市市场监督管理局、北京市规划和自然资源委员会共同发布，现予以公布（见附件）。

附件：批准发布的北京市地方标准目录 2022 年标字第 23 号（总第 315 号）

北京市市场监督管理局　　北京市规划和自然资源委员会

2022 年 12 月 29 日

附件

批准发布的北京市地方标准目录

2022 年标字第 23 号（总第 315 号）

序号	标准号	标准名称	被修订标准号	批准日期	实施日期
1.	DB11/T 1024–2022	消防安全疏散标志设置标准	DB11/ 1024–2013	2022–12–23	2023–7–1
2.	DB11/T 2074–2022	城镇排水防涝系统数学模型构建与应用技术规程		2022–12–23	2023–7–1
3.	DB11/ 2075–2022	建筑工程减隔震技术规程		2022–12–23	2023–7–1
4	DB11/ 2076–2022	民用建筑节水设计标准		2022–12–23	2023–7–1

注：以上地方标准文本可登录北京市市场监督管理局网站(scjgj.beijing.gov.cn)查阅。

前　言

为贯彻落实党的十九大精神，推动《北京城市总体规划（2016年–2035年）》实施，根据北京市规划和自然资源委员会《北京市“十四五”时期规划和自然资源标准化工作规划》和北京市市场监督管理局《2021年北京市地方标准制修订项目计划（第一批）》（京市监发〔2021〕19号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，吸取科研成果，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

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. 地震作用和作用效应计算；5. 地震时正常使用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. 消能部件与结构的连接构造；9. 消能部件的施工、验收和维护；10. 隔震支座的技术性能；11. 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、验收和维护；14. 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统。

本规程中第3.1.8条及13.3.5条为强制性条文，必须严格执行。

本规程由北京市规划和自然资源委员会归口管理，北京市规划和自然资源委员会、北京市地震局组织实施，北京市规划和自然资源标准化中心负责日常管理，北京市建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。（地址：北京市西城区南礼士路62号；联系电话:010–88043359）

本规程执行过程中如有意见和建议，请寄送至北京市规划和自然资源标准化中心，以供今后修订时参考。（地址：北京市通州区承安路1号院；电话：010–55595000；邮箱：bjbb@ghzrzyw.beijing.gov.cn）

本规程主编单位：北京市建筑设计研究院有限公司
北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司

本规程参编单位：北京建筑大学
清华大学
中国地震局工程力学研究所
北京市地震局
震安科技股份有限公司
北京工业大学
北京城建设计发展集团股份有限公司
中国建筑设计研究院有限公司
北京维拓时代建筑设计股份有限公司
北京城建亚泰建设集团有限公司
泛华建设集团有限公司
北京工程建设标准化协会
北京交通大学
北京市建设工程质量第二检测所有限公司

本规程主要起草人员：苗启松　姜　峰　曾德民　潘　鹏　王　涛
黄　源　安晓文　霍文营　卜龙瑰　阎东东
杜志超　解琳琳　管庆松　彭凌云　李洪求
陈　曦　潘　文　王海深　尚庆学　谷现良
杨明轲　刘谦敏　苏宇坤　苏经宇　甄　伟
张剑玺　赵　帆　刘　华　王啸霆　雷远德
史炎升　李玉龙　李吉超　卢　筱　苏仕琪
李齐录　王　飞　马振霄　韩珠杰　刘　勇
武　京　贾自立　刘长东　周　冰　奚　琦
王鑫鑫　冯镜文　陈子毅　康现栋　万龙翔
曹国章　李　萌　杨维国

本规程主要审查人员：李爱群　郁银泉　王立军　陈彬磊　肖从真
王昌兴　薛彦涛　康　凯　周　超

本规程参与编审人员：张亚芹　马哲军　祝京川　王颖娟　王庆民
白同宇　陈一唱

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
　2.1　术语 …… 2
　2.2　符号 …… 4
3　基本规定 …… 9
　3.1　一般规定 …… 9
　3.2　减隔震装置要求 …… 10
　3.3　结构分析 …… 11
　3.4　连接与节点设计 …… 13
　3.5　减隔震部件材料与施工 …… 13
　3.6　耐久性规定 …… 14
　3.7　场地与地基 …… 15
　3.8　试验与观测 …… 15
4　地震作用和作用效应计算 …… 16
　4.1　一般规定 …… 16
　4.2　水平地震作用计算 …… 21
　4.3　竖向地震作用计算 …… 24
　4.4　截面抗震验算 …… 25
　4.5　抗震变形验算 …… 27
5　地震时正常使用建筑的性能目标及设计 …… 29
　5.1　一般规定 …… 29
　5.2　地震时正常使用建筑的性能目标 …… 30
　5.3　结构构件承载力验算 …… 31

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求 …… 32
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性能要求 …… 33
6 消能器的技术性能 …… 34
6.1 一般规定 …… 34
6.2 金属屈服型消能器 …… 35
6.3 屈曲约束支撑 …… 37
6.4 摩擦消能器 …… 39
6.5 黏滞消能器 …… 41
6.6 黏弹性消能器 …… 44
6.7 消能器性能检验与性能参数确定 …… 47
7 消能减震结构设计 …… 49
7.1 一般规定 …… 49
7.2 消能部件布置原则 …… 49
7.3 消能部件设计及附加阻尼比 …… 50
7.4 主体结构设计 …… 53
8 消能部件与结构的连接构造 …… 55
8.1 一般规定 …… 55
8.2 预埋件 …… 55
8.3 支撑和支墩、剪力墙计算 …… 56
8.4 消能器与结构连接构造要求 …… 56
8.5 屈曲约束支撑的构造要求 …… 57
8.6 金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求 …… 58
8.7 黏滞消能器构造要求 …… 59
9 消能部件的施工、验收和维护 …… 60
9.1 一般规定 …… 60
9.2 进场验收及施工 …… 60
9.3 质量验收 …… 63

9.4 维护 …… 67
10 隔震支座的技术性能…… 69
10.1 一般规定 …… 69
10.2 隔震橡胶支座 …… 70
10.3 弹性滑板支座 …… 71
10.4 摩擦摆隔震支座 …… 71
10.5 三维隔震（振）支座 …… 72
10.6 隔震支座产品检验与性能参数确定 …… 73
11 隔震结构设计…… 74
11.1 一般规定 …… 74
11.2 隔震层设计 …… 74
11.3 隔震结构计算分析 …… 80
11.4 隔震层上部结构 …… 81
11.5 隔震层下部结构 …… 83
11.6 隔震层构造 …… 83
12 建筑与机电隔震构造…… 85
12.1 一般规定 …… 85
12.2 隔离缝构造 …… 85
12.3 楼梯、电梯等隔震构造 …… 86
12.4 外墙与屋面隔震构造 …… 87
12.5 内墙与装修隔震构造 …… 88
12.6 隔震层机电设备与管线 …… 89
13 隔震分部工程的施工、验收和维护…… 92
13.1 一般规定 …… 92
13.2 进场验收及施工 …… 92
13.3 隔震工程质量验收及维护 …… 93
13.4 隔震部件的维护 …… 94
13.5 隔震工程专用标识 …… 95

14 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统 …… 97
14.1 建筑物地震反应观测系统 …… 97
14.2 隔震建筑监测系统 …… 97
附录 A 隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求 …… 99
附录 B 复振型影响系数计算公式 …… 103
附录 C 隔震支座连接设计 …… 105
附录 D 消能器检验项目要求 …… 110
附录 E 校核地震动 …… 112
附录 F 消能器规格及性能参数 …… 118
附录 G 隔震支座规格及性能参数 …… 125
附录 H 摩擦摆隔震支座规格及性能参数 …… 133
附录 J 位移敏感型建筑非结构构件 …… 136
附录 K 加速度敏感型建筑非结构构件 …… 138
附录 L 功能性仪器设备 …… 139
附录 M 建筑附属机电设备 …… 140
附录 N 隔震工程专用标识 …… 142
本规程用词说明 …… 148
引用标准名录 …… 149
条文说明 …… 151

Contents

1 General Provisions ····· 1
2 Terms and Symbols ····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbols ····· 4
3 Basic Requirements ····· 9
3.1 General Requirements ····· 9
3.2 Requirements for Energy Dissipation and Seismic Isolation Devices 10
3.3 Structural Analysis ····· 11
3.4 Connection and Joint Design ····· 13
3.5 Materials and Construction of Energy Dissipation and Seismic Isolation Components ····· 13
3.6 Durability Requirements ····· 14
3.7 Site and Foundation ····· 15
3.8 Test and Observation ····· 15
4 Earthquake Action and Seismic Effect for Structures ····· 16
4.1 General Requirements ····· 16
4.2 Calculation of Horizontal Seismic Action ····· 21
4.3 Calculation of Vertical Seismic Action ····· 24
4.4 Checking for Strength ····· 25
4.5 Checking for Deformation ····· 27
5 Performance Targets and Design of Buildings to Maintain Functionality in Earthquake ····· 29
5.1 General Requirements ····· 29
5.2 Performance Targets for Buildings with Continued Functionality in Earthquake ····· 30

5.3 Checking for Strength of Structural Members ····· 31
5.4 Basic Requirements for Structural Inter–story Drift and Floor Horizontal Acceleration ····· 32
5.5 Performance Requirements for Non–structural Components of Buildings, Mechanical and Electrical Equipment Attached to Buildings and Instrumentation ····· 33
6 Technical Performance of Energy Dissipation Devices ····· 34
6.1 General Requirements ····· 34
6.2 Metal Yielding Energy Dissipation Devices ····· 35
6.3 Buckling Restrained Brace ····· 37
6.4 Friction Energy Dissipation Devices ····· 39
6.5 Viscous Energy Dissipation Devices ····· 41
6.6 Viscoelastic Energy Dissipation Devices ····· 44
6.7 Performance Test and Performance Parameter Determination of Energy Dissipation Devices ····· 47
7 Design of Energy Dissipation Structure ····· 49
7.1 General Requirements ····· 49
7.2 Layout Principle of Energy Dissipation Components ····· 49
7.3 Design of Energy Dissipation Components and Additional Damping Ratio ····· 50
7.4 Main Structure Design ····· 53
8 Connections Between Energy Dissipation Connections and Structures ····· 55
8.1 General Requirements ····· 55
8.2 Embedded Parts ····· 55
8.3 Calculation of Support, Buttress and Shear Wall ····· 56
8.4 Structural Requirements for Connection Between Energy Dissipation Devices and Structure ····· 56
8.5 Structural Requirements for Buckling Restrained Braces ····· 57
8.6 Structural Requirements for Metal Yieding and Friction Energy Dissipation Devices ····· 58

8.7 Structural Requirements for Viscous Energy Dissipation Devices 59
9 Construction, Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Components ····· 60
9.1 General Requirements ····· 60
9.2 Site Acceptance and Construction ····· 60
9.3 Quality Acceptance ····· 63
9.4 Maintenance ····· 67
10 Technical Performance of Seismic Isolation Bearings ····· 69
10.1 General Requirements ····· 69
10.2 Rubber Isolation Bearing ····· 70
10.3 Elastic Sliding Plate Bearing ····· 71
10.4 Friction Pendulum Bearing ····· 71
10.5 Three Dimensional Isolation Bearing ····· 72
10.6 Test and Performance Parameter Determination of Isolation Bearings ····· 73
11 Design of Seismic Isolation Structure ····· 74
11.1 General Requirements ····· 74
11.2 Seismic Isolation Story Design ····· 74
11.3 Calculation and Analysis of Seismic Isolated Structure ····· 80
11.4 Upper Structure of Isolation Story ····· 81
11.5 Substructure of Isolation Story ····· 83
11.6 Isolation Story Construction ····· 83
12 Building and Electromechanical Isolation Construction ····· 85
12.1 General Requirements ····· 85
12.2 Construction of Isolation Separation Joint ····· 85
12.3 Isolation Construction : Stairs and Elevators. ····· 86
12.4 Isolation Construction : Exterior Wall and Roof ····· 87
12.5 Isolation Construction : Interior Wall and Decoration ····· 88
12.6 Electromechanical Equipment and Pipelines In Isolation Story 89
13 Construction, Quality Acceptance and Maintenance of Isolation Story Parts ····· 92

13.1 General Requirements ····· 92
13.2 Site Acceptance and Construction of Isolation Story Parts ····· 92
13.3 Acceptance of Construction Quality ····· 93
13.4 Maintenance of Isolation Story Parts ····· 94
13.5 Special Identification of Isolation Projects ····· 95
14 Seismic Motion Observation System of Buildings and Monitoring System of Isolation Buildings ····· 97
14.1 Seismic Motion Observation System of Buildings ····· 97
14.2 Monitoring System of Isolation Buildings ····· 97
Appendix A Mechanical Analysis Model of Isolation Bearing and Basic Mechanical Performance Requirements ····· 99
Appendix B Formula for the Influence Coefficient of Complex Mode ····· 103
Appendix C Connection Design of Isolation Bearing ····· 105
Appendix D Requirements for Inspection Items of Energy Dissipation Devices ····· 110
Appendix E Check Ground Motion ····· 112
Appendix F Specification and Performance Parameters of Energy Dissipation Devices ····· 118
Appendix G Specification and Performance Parameters of Isolation Bearing ··· 125
Appendix H Specification and Performance Parameters of Friction Pendulum Isolation Bearing ····· 133
Appendix J Non–Structural Components of Displacement Sensitive Building 136
Appendix K Non–structural Components of Acceleration Sensitive Buildings ··· 138
Appendix L Instruments and Equipment ····· 139
Appendix M Building Auxiliary Electromechanical Equipment ····· 140
Appendix N Special Identification for Seismic Isolation Project ····· 142
Explanation of Wording in This Standard ····· 148
List of Quoted Standards ····· 149
Explanation of Provisions ····· 151

1 总　　则

1.0.1　为贯彻执行国家有关建筑工程防震减灾的法律法规，提高首都建设工程抗震防灾能力，使建筑物采用减隔震技术后，提高建筑安全性和防灾韧性，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于北京地区采用减隔震技术的建筑工程，包括新建、改建及扩建建筑工程的设计、施工、验收和维护。

1.0.3　减隔震建筑设计、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家及北京市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弹塑性或黏性滞回变形等方式来耗散或吸收能量的装置。

2.1.2　消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3　消能部件 energy dissipation component

由消能器与连接消能器的支撑或连接件组成的消能单元。

2.1.4　附加有效阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2.1.5　消能器附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

2.1.6　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两端达到的最大相对位移值。

2.1.7　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速度型消能器两端达到的最大相对速度值。

2.1.8　屈服后刚度比 post-yield stiffness ratio

金属消能器、屈曲约束支撑承载力与消能器两端相对位移滞回曲线中，屈服后刚度与初始刚度的比值。

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

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.11　消能子结构 energy dissipation substructure

消能子结构是与消能部件直接相连的主体结构构件的集合。

2.1.12　隔震建筑 isolated building

为降低地震响应，在结构中设置隔震层而实现隔震功能的建筑。

2.1.13　隔震结构 isolated structure

隔震建筑中的主体结构和隔震装置，包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

2.1.14　隔震层 isolation story

隔震建筑设置在基础、底部或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、附属装置及相关的支承或连接构件等。

2.1.15　上部结构 superstructure

隔震结构中位于隔震层以上的结构部分。

2.1.16　下部结构 sub-structure

隔震结构中位于隔震层以下的结构部分，不包括基础。

2.1.17　隔震层阻尼装置 damping device of the isolation story

设置在隔震层的吸收并耗散地震输入能量的装置。

2.1.18　抗风装置 wind-resistant device

隔震结构中抵抗风荷载的装置，可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.19　抗拉装置 tension-resistant device

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。

2.1.20　限位装置 stopper

限制隔震层产生超过水平容许位移的装置。

2.1.21　橡胶隔震支座 rubber isolation bearing

用于隔震结构的橡胶支座，包括天然橡胶支座（LNR）、铅芯橡胶支座（LRB）、高阻尼橡胶支座（HDR）。

2.1.22　弹性滑板支座（ESB）elastic slide bearing

由弹性材料与摩擦滑板组成的隔震支座。

2.1.23　摩擦摆隔震支座（FPS）friction pendulum system

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支座。

2.1.24　三维隔震（振）支座 three-dimensional isolation bearing

设置在结构中用于减小地震引起的水平震动和环境激振引起的竖向振动的三维隔震（振）装置。

2.1.25　层间隔震 inter-story isolation

隔震层设置在建筑物底部以上某层间位置的隔震体系。

2.1.26　基底隔震 base isolation

隔震层设置在建筑物底部的隔震体系。

2.1.27　隔离缝 isolation separation joint

隔震层相关部位预留的结构变形缝，将隔震层上部结构与下部结构分离，保证上部结构在地震时能够自由水平运动。

2.1.28　柔性连接 flexible joint

对穿越隔震层的设备管线、管道采取的柔性措施，保证地震时管线、管道能够适应隔震层的水平位移。

2.1.29　隔震工程专用标识 special identification for isolation building

对隔震建筑、隔震装置、相关构件和构造进行说明的专用标识，用以指导隔震建筑工程的使用、维护和宣传。

2.1.30　地震时正常使用建筑 buildings with continued functionality

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

2.2　符　　号

2.2.1　作用和作用效应

G_{eq}、G_i——结构等效总重力荷载、集中于 i 质点的重力荷载代

表值；

S ——地震作用效应与其它荷载效应的基本组合；

S_E ——地震作用效应（弯矩、轴向力、剪力、应力和变形）；

S_k ——作用、荷载标准值的效应；

S_{Ek} ——地震作用标准值的组合效应；

S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应；

S_{Qk} ——楼面活荷载标准值的效应；

S_{Wk} ——风荷载标准值的效应；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_i、S_j ——第 i、j 振型水平地震作用效应；

S_x、S_y ——分别为 x 向、y 向单向水平地震作用效应；

S^*_{Ehk}、S^*_{Evk} ——分别为水平、竖向地震作用标准值的效应；

V_{Eki} ——结构第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力；

V_{Rw} ——抗风装置的水平承载力设计值；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值；

V_c ——隔震层在罕遇地震作用下的水平剪力；

V_{GE} ——重力荷载代表值作用下的构件剪力；

V^*_{Ek} ——地震作用标准值的构件剪力；

F ——水平地震作用标准值；

F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值；

F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值；

F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值；

F_{ik} ——质点 i（或第 i 层）的水平地震作用标准值；

F_{ji} ——j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

2.2.2 结构参数

ζ ——消能减震结构总阻尼比；

ζ_1——主体结构阻尼比；

ζ_d——消能减震建筑的附加有效阻尼比；

ζ_{eq}——隔震层等效黏滞阻尼比；

ω——结构自振频率；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；

Δu_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；

Δu_p ——罕遇地震作用下弹塑性层间位移；

W_s ——结构在水平地震作用下的总应变能；

R ——结构构件承载力；

R_k ——结构构件承载力标准值；

$[\theta]$ ——楼层位移角限值。

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；

$[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值；

2.2.3 隔震支座参数

S_1 ——橡胶隔震支座第一形状系数；

S_2 ——橡胶隔震支座第二形状系数；

K_v ——隔震支座竖向压缩刚度；

K_h ——隔震支座水平等效刚度；

K_j ——第 j 隔震支座（含阻尼器）由试验确定的水平等效刚度；

t_r ——隔震支座内部单层橡胶厚度；

σ_0 ——隔震支座设计压应力；

u_i ——罕遇地震作用下，第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；

$[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；

ξ_j ——第 j 隔震支座由试验确定的等效阻尼比；

σ ——压应力；

2.2.4 消能器参数

C_j——第 j 个消能器由试验确定的阻尼系数；

C_D——消能器的线性阻尼系数；

K_{d0}——消能器初始刚度；

F_d——消能器在相应位移下的抗力（阻尼力）；

K_d——沿消能方向消能器刚度；

K_b——支撑构件沿消能方向的刚度；

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

ζ_d——消能部件附加给结构的有效阻尼比；

u——沿消能方向消能器两端相对位移；

Δu_{py}——位移型消能部件在水平方向的屈服位移；

μ_d——延性系数，即位移型消能器屈服位移与计算屈服位移之比。

2.2.5 计算系数

α——水平地震影响系数；

α_{max}——非隔震的水平地震影响系数最大值；

α_{max1}——隔震后的水平地震影响系数最大值；

α_{vmax}——竖向地震影响系数最大值；

γ_{RE}——承载力抗震调整系数；

ψ——组合值系数；

γ——曲线下降段的衰减指数；

η——阻尼调整系数；

ζ——阻尼比；

α_1——相应于隔震结构基本周期的设防地震时水平地震影响系数；

α_j——j 振型周期的地震影响系数；

γ_j——j 振型的参与系数；

γ_{tj}——计入扭转的 j 振型的参与系数；

ρ_{ji}——j 振型与 i 振型的耦联系数；

γ_0—— 结构重要性系数；

γ_G—— 永久荷载分项系数；

γ_Q—— 楼面活荷载分项系数；

γ_W—— 风荷载的分项系数；

γ_L—— 考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；

ψ_Q、ψ_w—— 分别为楼面活荷载组合值系数和风荷载组合值系数；

γ_{Eh}—— 为水平地震作用分项系数；

γ_{Ev}—— 为竖向地震作用分项系数；

λ—— 水平地震剪力系数；

η_i—— 第 i 个隔震支座的扭转影响系数；

C—— 既有建筑水平地震作用调整系数；

β—— 水平向减震系数；

α—— 隔震支座屈服前与屈服后水平刚度设计值之比值；

μ_s—— 滑移面摩擦系数；

2.2.6 几何参数

r_i——i 层的转动半径；

h——计算楼层层高；

e——偏心距；

y_i——第 i 个隔震支座与隔震层刚心之间在计算主轴法线方向的投影；

A——钢筋混凝土柱全截面面积；

A_r——叠层橡胶横截面积（不含橡胶层中间开孔面积）；

t_r——橡胶层总厚度；

A_p——铅芯横截面积；

R_s——摩擦摆隔震支座滑移面球半径；

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 减隔震建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 和《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 确定其抗震设防类别。

3.1.2 建筑结构的减隔震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、工程空间尺度、场地条件、地基条件、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

3.1.3 减隔震建筑的基本设防目标应满足下列要求：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震时，主体结构不受损坏可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭遇高于本地区设防烈度的罕遇地震时，建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

3.1.4 地震时正常使用建筑的基本设防目标：当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，无需修理可继续使用。

3.1.5 减隔震建筑应符合下列规定：

1 减隔震装置的性能参数应经试验确定；

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，保证隔震层在罕遇地震作用下的弹性复位能力；

3 隔震装置及消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明装置使用的环境；

4 隔震建筑应具有足够的抗倾覆能力，高层建筑尚应进行罕遇地震下整体抗倾覆承载力验算；

5 设计文件上应注明对减隔震装置的性能要求，安装前应按规定进行抽样检测，确保性能满足要求。

3.1.6 减隔震建筑的设计工作年限按主体结构确定，减隔震装置的设

计使用年限到期后应抽样检测其相关力学性能，并应按检测结果确定后续使用年限或更换。

3.1.7　对地震时有正常使用要求的建筑或楼层，尚应满足本规程第 5 章的相关要求。

3.1.8　减隔震工程设计文件应包括下列内容：

1　结构的抗震性能化目标；

2　减隔震方案及相关计算分析；

3　减隔震装置的规格、型号、性能、使用年限等技术指标；

4　减隔震装置检验检测、施工安装和使用维护要求；

5　减隔震构造措施要求，包括建筑做法、幕墙、机电及其他非结构构件连接构造、减隔震装置检查、更换的可靠途径等。

3.1.9　减隔震结构设计应合理选择和布置减隔震装置，分别选定针对整体结构、关键构件、重要构件、一般构件和减隔震装置的性能目标。

3.1.10　建筑结构采用消能减震设计时应符合下列规定：

1　消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系；

2　消能部件宜根据类型设置在相对变形或相对速度较大的位置；

3　消能部件的设置位置及连接构造，应便于检查、维护和更换。

3.1.11　建筑结构采用隔震设计时应符合下列规定：

1　建筑最大高度宜满足国家现行相关标准对非隔震结构的要求，当不满足时，应进行专项论证；

2　风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力不宜超过上部结构总重力的 10%，当不满足时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施。

3.2　减隔震装置要求

3.2.1　消能器的选择应符合下列规定：

1　消能器的极限位移不应小于消能器设计位移的 1.2 倍。速度相关型消能器极限速度不应小于消能器设计速度的 1.2 倍；

2　在 10 年一遇标准风荷载作用下，摩擦消能器不应进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服；

3　消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

3.2.2　减隔震装置的性能及检测方法应满足国家现行相关标准及本规程的要求。

3.2.3　减隔震装置应具有型式检验报告或产品合格证。

3.2.4　减隔震装置应在设计文件中注明本规程要求的全部力学性能参数和数量。

3.2.5　隔震支座应符合下列规定：

1　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，并应具有良好的耐久性；

2　支座应具有一定的耗能能力，若支座提供的耗能能力不足，可设置附加耗能装置；

3　支座应具有合理的水平刚度和承载力，满足延长结构周期、控制极限位移和结构抵御风荷载等要求，并为隔震层提供自动复位能力；

4　支座的水平刚度、竖向刚度、阻尼、荷载 – 位移关系等特性应满足国家现行相关标准的要求。

3.3　结构分析

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

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

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

3.3.4　消能减震结构的总刚度应为主体结构刚度和消能部件附加给主体结构的有效刚度之和，且应考虑不同变形状态导致的刚度差异。

3.3.5　消能器的恢复力模型应符合其受力特征并经试验验证。

3.3.6　大型复杂消能减震结构在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，宜采用不少于两个合适的不同力学模型进行对比分析，计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

3.3.7　罕遇地震作用下消能器的设计位移应通过结构整体弹塑性分析确定。

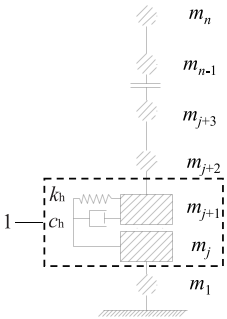
3.3.8　结构隔震设计的计算分析，应符合下列规定：

1　隔震体系的计算力学模型，由隔震支座及其顶部梁板组成的隔震层应作为独立质点；对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型（图 3.3.8）。隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心的偏心率不宜大于 3%，当偏心率大于 3% 时，应计入扭转效应的影响。隔震层顶部的梁板结构，应作为其上部结构的一部分进行计算；

2　除砌体隔震结构外，隔震结构应采用振型分解反应谱法；

3　对于房屋高度大于 60m 的隔震建筑、不规则的隔震建筑或隔震层包含隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合隔震建筑，尚应采用时程分析法进行补充计算；

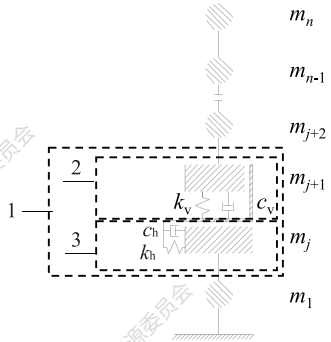
4　砌体结构及基本周期与其相当的结构，水平地震作用可采用底部剪力法计算，并按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对砌体结构的要求采取抗震构造措施。



1—隔震层

图 3.3.8　隔震结构计算简图

3.3.9　建筑三维隔震（振）体系的计算力学模型（图 3.3.9）应包含三维隔震（振）层的竖向弹簧和消能器，且计算分析应符合本规程第 3.3.8 条的规定。



1—三维隔震（振）层；2—等效竖向隔震（振）单元；3—等效水平隔震单元

图 3.3.9　三维隔震（振）结构计算简图

3.4　连接与节点设计

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

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

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

3.4.4　消能器所用支撑及支墩的详细构造和力学性能应在设计说明中注明。

3.5　减隔震部件材料与施工

3.5.1　支撑及连接件可采用钢构件，也可采用钢管混凝土或钢筋混凝

土构件。对支撑材料和施工有特殊规定时，应在设计文件中注明。

3.5.2　钢筋混凝土构件作为消能器的支承构件时，其混凝土强度等级不应低于 C30。

3.5.3　消能部件的安装可在主体结构完成后进行或在主体结构施工时进行，消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形，且计算分析应考虑消能部件安装次序的影响。

3.5.4　隔震部件应符合下列规定：

1　隔震支座和消能器的技术性能应符合国家现行相关标准和设计文件的要求，隔震支座和消能器产品性能的型式检验和出厂检验不能相互替代；

2　设计文件上应注明对隔震支座和消能器的性能要求。安装前应对工程中采用的各种类型和规格的隔震支座和消能器进行见证检验，消能器见证检验的合格率应为 100%。

3.5.5　隔震建筑的上部结构施工过程中，宜采取措施避免在水平方向产生位移。

3.5.6　隔震支座的安装及验收和隔震支墩（柱）的施工及验收应符合现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 的相关规定。

3.6　耐久性规定

3.6.1　消能部件的混凝土部分的耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，钢构件的防护应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理，不承受竖向荷载的消能器可不进行防火处理。

3.6.2　消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验，以判定继续使用或更换，检查数量不应低于过火范围内消能器总数的 10%。

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

文件应注明使用期间对产品供应商的回访检验和业主的定期检验要求。

3.6.4　设计文件中应明确隔震装置的耐久性性能要求，其设计使用年限不应低于上部结构的设计工作年限。

3.7　场地与地基

3.7.1　减隔震建筑的场地宜选择对抗震有利地段。对不利地段，应尽量避开；当无法避开时应采取有效的抗震措施。对危险地段，严禁建造甲、乙、丙类建筑。

3.7.2　隔震建筑的地基应稳定可靠，所在的场地类别宜为 I、II、III 类，当场地为 IV 类时，应专门研究。

3.7.3　隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理应按本地区抗震设防烈度进行。甲、乙类建筑的抗液化措施应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

3.8　试验与观测

3.8.1　对特殊设防类或有特殊要求的隔震建筑，宜采用结构模型的模拟地震振动台试验对隔震方案进行补充验证。

3.8.2　对较重要或有特殊要求的减隔震建筑，应设置地震反应观测系统。

4 地震作用和作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 减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；其它情况，可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；

4 大跨度和长悬臂结构应计算竖向地震作用；

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 计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构配件（结构构造做法）自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按表 4.1.2 采用。

表 4.1.2 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
	其它民用建筑	0.5
起重机悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	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。

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

1　计算模型宜采用空间结构有限元模型，应包括隔震支座、消能部件的力学参数，力学模型应与产品试验结果相符；

2　当主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、线性时程分析法；

3　当主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、消能器处于非线性工作状态时，可将隔震支座、消能器进行等效线性化，采用等效阻尼比和等效刚度的振型分解反应谱法、线性时程分析法，也可采用非线性时程分析法；

4　当主体结构进入非线性状态时，应采用静力非线性分析方法或动力非线性时程分析方法。

4.1.4　采用振型分解反应谱法分析时，宜采用时程分析法进行地震作用下的补充计算。当取三组加速度时程输入时，计算结果宜取时程分析法包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取七组及以上的时程输入时，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。

4.1.5　采用时程分析法分析时，应按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，加速度时程的最大值可按表 4.1.5 采用，基底剪力要求应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行：

1　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；

2　同时应采用附录 E 列出的校核地震动时程曲线进行罕遇地震下承载力及变形能力复核。

表 4.1.5　时程分析所用地震加速度时程的最大值（cm/s²）

地震影响	8 度（0.2g）	8 度（0.3g）
多遇地震	70	110
设防地震	200	300
罕遇地震	400	510

4.1.6　地震作用计算的地震影响系数曲线应按图 4.1.6 采用，并应符合下列规定：

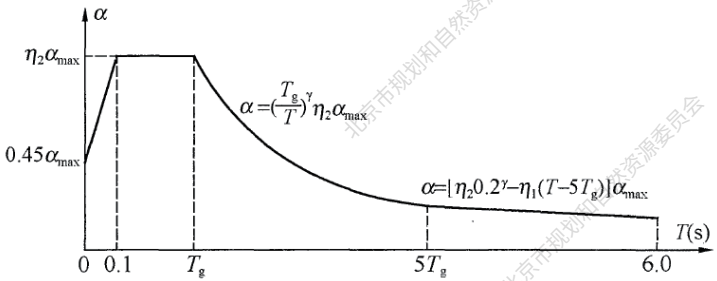
1　除有专门规定外，建筑结构的阻尼比应取 0.05，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

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（α_{max}）；

3）曲线下降段，自特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.9；

4）直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，下降斜率调整系数应取 0.02。



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

图 4.1.6　地震影响系数曲线

2　当建筑结构阻尼比按有关规定不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

1）曲线下降段的衰减指数应按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05\text{-}\zeta}{0.3 + 6\zeta} \qquad (4.1.6\text{–}1)$$

式中：

γ——曲线下降段的衰减指数；

ζ——阻尼比。

2）直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05\text{-}\zeta}{4 + 32\zeta} \qquad (4.1.6\text{–}2)$$

式中：

η_1——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

3）阻尼调整系数应按下式确定：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05\text{-}\zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \qquad (4.1.6\text{–}3)$$

式中：

η_2——阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

4.1.7　地震影响系数应根据烈度、场地类别、结构自振周期以及阻尼比确定。阻尼比 5% 的水平地震影响系数最大值应按表 4.1.7 采用。

表 4.1.7　水平地震影响系数最大值

地震影响	8 度（0.2g）	8 度（0.3g）
多遇地震	0.16	0.24
设防地震	0.45	0.68
罕遇地震	0.90	1.20

4.1.8　减隔震结构应进行多遇地震作用下的截面抗震承载力验算，并进行多遇地震和罕遇地震作用下的变形验算：

1　计算罕遇地震作用下结构的变形，应采用弹塑性时程分析法、简化的弹塑性分析方法或静力弹塑性分析方法；

2　平面投影尺度很大的空间结构，应根据结构形式和支承条件，分别按单点一致、多点、多向单点或多向多点输入进行抗震计算。按多点输入计算时，应考虑地震行波效应和局部场地效应。

4.1.9　消能减震结构采用静力弹塑性分析方法分析时应满足下列

要求：

1　消能部件中消能器和支撑根据连接形式不同，将消能器刚度和支撑的刚度进行串联等效，在计算中消能部件可采用等刚度的连接杆代替；

2　结构目标位移的确定应根据结构的不同性能来选择，可采用结构总高度的 1.5% 作为顶点位移的界限值，相当于罕遇地震下的变形水平；

3　结构的阻尼比由主体结构阻尼比和消能部件附加有效阻尼比组成，两种阻尼比应按结构弹塑性相应变形状态计算得到。

4.1.10　建筑结构进行隔震设计时，隔震层以上结构的地震作用计算，应符合下列规定：

1　宜采用包含上部结构、隔震层及下部结构的隔震一体化模型进行多遇地震作用计算；分析时应采用振型分解反应谱法或时程分析法，当隔震层阻尼比较大时，也可按照附录 B 采用复振型分解反应谱法。橡胶隔震支座性能参数取水平剪切应变为 100% 时的性能参数，其他隔震装置的性能参数可采用等效线性化方法迭代确定；

2　隔震一体化模型的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{max1} = \alpha_{max} / \psi \qquad (4.1.10)$$

式中：

α_{max1} ——隔震一体化模型的水平地震影响系数最大值；

α_{max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值，按本规程 4.1.7 条取值；

ψ ——考虑隔震支座剪切性能偏差的调整系数。一般橡胶隔震支座取 0.80；当橡胶隔震支座剪切性能偏差为 S–A 类时，取 0.85；橡胶隔震支座带有阻尼器时，相应减少 0.05。摩擦摆隔震支座取 1.0。

4.1.11　当处于发震断层 10km 以内时，结构地震作用计算应考虑近场影响，乘以增大系数，5km 及以内宜取 1.5，5km 以外可取不小于 1.25。

4.2 水平地震作用计算

4.2.1 采用振型分解反应谱法时，不进行扭转耦联计算的结构，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，应按下列公式确定：

$$F_{ji}=\alpha_j\gamma_j X_{ji}G_i \quad (i=1,2,...,n,\ j=1,2,...,m) \tag{4.2.1-1}$$

$$\gamma_j=\sum_{i=1}^{n}X_jG_i/\sum_{i=1}^{n}X_j^2G_i \tag{4.2.1-2}$$

式中：

F_{ji} ——j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

α_j ——相应于 j 振型自振周期的地震影响系数；

X_{ji} ——j 振型 i 质点的水平相对位移；

γ_j ——j 振型的参与系数；

G_i ——集中于质点 i 的重力荷载代表值，应按本规程第 4.1.2 条确定。

2 水平地震作用效应（弯矩、剪力、轴向力和变形），当相邻周期之比小于 0.85 时，可按下式确定：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{\sum S_j^2} \tag{4.2.1-3}$$

式中：

S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应；

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

4.2.2 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震效应应符合下列规定：

1 规则结构不进行扭转耦联计算时，平行于地震作用方向的两个边榀各构件，其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况下，短边可按 1.15、长边可按 1.05 采用；当扭转刚度较小时，周边各构件宜按不

小于 1.3 采用。角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数；

2　按扭转耦联振型分解法计算时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并应按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。确有依据时，尚可采用简化计算方法确定地震作用效应。

1）j 振型 i 层的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{xji}=\alpha_j\gamma_{tj}X_{ji}G_i\quad(i=1,2,...,n,j=1,2,...,m)\tag{4.2.2–1}$$

$$F_{yji}=\alpha_j\gamma_{tj}Y_{ji}G_i\quad(i=1,2,...,n,j=1,2,...,m)\tag{4.2.2–2}$$

$$F_{tji}=\alpha_j\gamma_{tj}r_i^2\phi_{ji}G_i\quad(i=1,2,...,n,j=1,2,...,m)\tag{4.2.2–3}$$

式中：

F_{xji}、F_{yji}、F_{tji}——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、y 方向和转角方向的地震作用标准值；

X_{ji}、Y_{ji}——分别为 j 振型 i 层质心在 x 方向、y 方向的水平相对位移；

φ_{ji}——j 振型 i 层的相对扭转角；

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

r_{tj}——计入扭转的 j 振型的参与系数，可按下列公式确定：

当仅取 x 方向地震作用时：

$$\gamma_{tj}=\sum_{i=1}^{n}X_{ji}G_i/\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ji}^2+Y_{ji}^2+\phi_{ji}^2r_i^2\right)G_i\tag{4.2.2–4}$$

当仅取 y 方向地震作用时：

$$\gamma_{tj}=\sum_{i=1}^{n}Y_{ji}G_i/\sum_{i=1}^{n}\left(X_{ji}^2+Y_{ji}^2+\phi_{ji}^2r_i^2\right)G_i\tag{4.2.2–5}$$

当取与 x 方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{tj}=\gamma_{xj}\cos\theta+\gamma_{yj}\sin\theta\tag{4.2.2–6}$$

式中：

γ_{xj}、γ_{yj}——分别由式（4.2.2–4）、（4.2.2–5）求得的参与系数；

θ——地震作用方向与 x 方向的夹角。

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：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\rho_{jk}S_jS_k} \tag{4.2.2–7}$$

$$\rho_{jk}=\frac{8\sqrt{\zeta_j\zeta_k}\left(\zeta_j+\lambda_{\mathrm{T}}\zeta_k\right)\lambda_{\mathrm{T}}^{1.5}}{\left(1-\lambda_{\mathrm{T}}^2\right)^2+4\zeta_j\zeta_k\left(1+\lambda_{\mathrm{T}}^2\right)\lambda_{\mathrm{T}}+4\left(\zeta_j^2+\zeta_k^2\right)\lambda_{\mathrm{T}}^2} \tag{4.2.2–8}$$

式中：

S_{Ek}——地震作用标准值的扭转效应；

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

ζ_j、ζ_k——分别为 j、k 振型的阻尼比；

ρ_{jk}——j 振型与 k 振型的耦联系数；

λ_{T}——k 振型与 j 振型的自振周期比。

3）双向水平地震作用的扭转耦联效应，可按下列公式中的较大值确定：

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{S_{\mathrm{x}}^2+\left(0.85S_{\mathrm{y}}\right)^2} \tag{4.2.2–9}$$

$$S_{\mathrm{Ek}}=\sqrt{S_{\mathrm{y}}^2+\left(0.85S_{\mathrm{x}}\right)^2} \tag{4.2.2–10}$$

式中：

S_{x}、S_{y}——分别为 x 向、y 向单向水平地震作用按式（4.2.2–7）计算的扭转效应。

4.2.3 抗震验算时，当遭受不低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时结构任一楼层的水平剪力应满足下式要求：

$$V_{\mathrm{Ek}i}>\lambda\sum_{j=1}^{n}G_j \tag{4.2.3}$$

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；

λ——剪力系数，不应小于表 4.2.3 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。

表 4.2.3　楼层最小地震剪力系数值

类别	8 度（0.2g）	8 度（0.3g）
扭转不规则或基本周期小于 3.5s 的结构	0.032	0.048
基本周期大于 5.0s 的结构	0.024	0.036

注：基本周期介于 3.5s 和 5s 之间的结构，按插入法取值。

4.2.4　结构的楼层水平地震剪力，应按下列原则分配：

1　现浇和装配整体式楼（屋）盖建筑，宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配；

2　普通的预制装配式楼（屋）盖等半刚性建筑，可取按抗侧力构件等效刚度的比例分配与抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配结果的平均值；

3　结构计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形和扭转的影响时，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定对上述分配结果作适当调整。

4.3　竖向地震作用计算

4.3.1　平板型网架屋盖和跨度大于 24m 屋架结构的竖向多遇地震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按表 4.3.1 采用。

表 4.3.1　竖向多遇地震作用系数

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

注：1. 括号中数值用于设计基本地震加速度为 0.3g 的地区。

2. 特殊类型的大跨度结构竖向地震作用取值应专门研究。

4.3.2　长悬臂和不属于本规程第 4.3.1 条的大跨度结构的竖向地震作用

标准值，8 度（0.2g）及 8 度（0.3g）时可分别取该结构重力荷载代表值的 10% 及 15%。

4.3.3　隔震结构隔震层以上结构的竖向地震作用标准值，8 度（0.2g）及 8 度（0.3g）时分别不应小于隔震层以上结构总重力代表值的 20% 和 30%。

4.3.4　大跨度空间结构的竖向地震作用，尚可按竖向振型分解反应谱方法计算。

4.3.5　三维隔震（振）结构的竖向地震作用计算，应考虑三维隔震（振）层对竖向地震作用的影响。

4.4　截面抗震验算

4.4.1　结构构件的多遇地震作用效应和其它荷载效应的基本组合，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} \le R/\gamma_{RE} \qquad (4.4.1)$$

式中：

S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

R——构件承载力设计值；

γ_{RE}——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表 4.4.1–1 采用；

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

γ_{Eh}、γ_{Ev}——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表 4.4.1–2 采用；

γ_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，可按本章 4.1.2 条采用，但有吊车时，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；

ψ_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结构应采用 0.2。

表 4.4.1–1　主体结构承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	柱、梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80
砌体	两端均有构造柱、芯柱的抗震	受剪	0.90
	其它承重墙	受剪	1.00
	组合砖砌体抗震墙	偏压、大偏拉和受剪	0.90
	配筋砌块砌体抗震墙	偏压、大偏拉和受剪	0.85
	自承重墙	受剪	0.75
混凝土 钢－混凝土组合	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	抗震墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

表 4.4.1–2　地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{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

4.4.2　竖向地震为主的地震组合内力起控制作用时，各类结构构件承载力抗震调整系数均应采用 1.0。

4.5 抗震变形验算

4.5.1 减隔震结构抗震变形验算应满足以下要求：

1 减隔震结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，其楼层内最大的弹性层间位移应满足下式要求：

$$\Delta u_e \le [\theta_e]h \tag{4.5.1}$$

式中：

Δu_e——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；计算时，除以弯曲变形为主的高层建筑外，可不扣除结构整体弯曲变形；应计入扭转变形，各作用分项系数均应采用 1.0；钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；

$[\theta_e]$——弹性层间位移角限值；

h——计算楼层层高。

2 减隔震结构在多遇地震作用下的弹性层间位移角限值，宜符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 消能减震结构和隔震上部结构弹性层间位移角限值

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

4.5.2 减隔震结构在罕遇地震下，结构楼层内最大弹塑性层间位移，应满足（4.5.2）式要求，其弹塑性位移角限值宜按表 4.5.2 采用。

$$\Delta u_p \le [\theta_p]h \tag{4.5.2}$$

式中：

θ_p——弹塑性层间位移角限值，可按表 4.5.2 采用；

h——计算楼层层高。

表 4.5.2　消能减震及隔震上部结构罕遇地震下弹塑性层间位移角限值 θ_p

结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架	1/50
钢筋混凝土框架－抗震墙、板－柱－抗震墙、框架－核心筒	1/100
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/120
多、高层钢结构	1/50

4.5.3　隔震结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值，除应符合本规程第 4.5.2 条的规定外，对于隔震层下部结构尚应符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3　罕遇地震下隔震层下部结构弹塑性层间位移角限值 θ_p

结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架	1/100
底部框架砌体房屋中的框架－抗震墙、钢筋混凝土框架－抗震墙、框架－核心筒	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板柱－抗震墙	1/250
多、高层钢结构	1/100

5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

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

表 5.1.1 地震时正常使用建筑分类

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

5.1.2 地震时正常使用建筑除应满足多遇地震下设计要求外，尚应基于设防地震进行承载力验算，并进行设防地震和罕遇地震作用下的结构变形和楼面水平加速度验算。

5.1.3 地震时正常使用建筑的主体结构应按本规程第 5.3 节进行抗震承载力验算。

5.1.4 地震时正常使用建筑应计算设防地震作用和罕遇地震作用下的结构层间位移，并应符合本规程第 5.4.1 条的规定。

5.1.5 地震时正常使用建筑应计算设防地震作用和罕遇地震作用下的楼面水平加速度，并应符合本规程第 5.4.2 和 5.4.3 条的规定。

5.1.6 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的选型应满足本规程第 5.5 节的要求。

5.1.7 地震时正常使用建筑的设计文件应包含相关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，并明确建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的要求。

5.1.8 地震时正常使用建筑的抗震措施不应低于现行国家标准相应设防烈度的规定。

5.1.9 地震时正常使用建筑地基基础的抗震验算应按本地区抗震设防烈度进行。地基抗震验算应采用地震作用效应的标准组合和地基承载

力极限值。基础抗剪、抗冲切验算应采用地震作用效应的基本组合和承载力设计值，基础抗弯承载力验算可采用地震作用效应的标准组合和承载力标准值。

5.1.10 地震时正常使用建筑地基基础的抗震构造措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

5.2 地震时正常使用建筑的性能目标

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

表 5.2.1 I 类建筑正常使用的性能目标

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

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

表 5.2.2 II 类建筑正常使用的性能目标

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

5.3 结构构件承载力验算

5.3.1 地震时正常使用建筑的结构构件应进行设防地震组合下的承载力验算，设防地震作用下阻尼比取值可在多遇地震作用基础上增加0.005~0.01。

5.3.2 设防地震下地震时正常使用建筑的关键构件的抗震承载力，应符合下式规定：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S^*_{Ehk} + \gamma_{Ev} S^*_{Evk} \le R / \gamma_{RE} \quad (5.3.2)$$

式中：

S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

R——构件承载力设计值；

γ_{RE}——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表4.4.1–1采用；

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

γ_{Eh}、γ_{Ev}——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表4.4.1–2采用；

S_{GE}——重力荷载代表值的效应，计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按表4.1.2采用；但有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

S^*_{Ehk}——设防水平地震作用标准值的效应；

S^*_{Evk}——设防竖向地震作用标准值的效应。

5.3.3 设防地震下地震时正常使用建筑的普通竖向混凝土构件及重要水平混凝土构件的抗剪承载力应符合式（5.3.2）的规定，正截面承载力应符合式（5.3.3–1）、（5.3.3–2）的规定，普通竖向钢构件及重要水平钢构件的抗剪承载力和正截面承载力应符合式（5.3.3–1）、（5.3.3–2）

的规定：

$$S_{GE}+S^{*}_{Ehk}+0.4S^{*}_{Evk}\le R_{k} \qquad (5.3.3\text{–}1)$$

$$S_{GE}+0.4S^{*}_{Ehk}+S^{*}_{Evk}\le R_{k} \qquad (5.3.3\text{–}2)$$

式中：

R_k ——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

5.3.4 设防地震下地震时正常使用建筑的普通水平混凝土构件的抗剪承载力应符合式（5.3.3–1）、（5.3.3–2）的规定，构件正截面承载力应符合式（5.3.4–1）、（5.3.4–2）的规定，普通水平钢构件的抗剪承载力和正截面承载力应符合式（5.3.4–1）、（5.3.4–2）的规定：

$$S_{GE}+S^{*}_{Ehk}+0.4S^{*}_{Evk}\le R^{*}_{k} \qquad (5.3.4\text{–}1)$$

$$S_{GE}+0.4S^{*}_{Ehk}+S^{*}_{Evk}\le R^{*}_{k} \qquad (5.3.4\text{–}2)$$

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将钢筋强度标准值提高 25% 进行计算，对钢梁支座或节点边缘截面可考虑将钢材屈服强度标准值提高 25% 进行计算。

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求

5.4.1 地震时正常使用建筑的最大层间位移角限值应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 设防地震下弹性层间位移角和罕遇地震下的弹塑性层间位移角限值

地震水平		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

（续表）

地震水平		设防地震	罕遇地震
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　地震时正常使用建筑的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　地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值（g）

地震水平	设防地震	罕遇地震
I 类建筑	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 5.4.2 的要求时，可根据现行国家标准《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591 进行抗震韧性评价，I 类建筑应达到抗震韧性三星，II 类建筑应达到抗震韧性二星及以上；也可对建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备采取专门措施，经专项研究论证后确定相应的加速度限值。

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性能要求

5.5.1　地震时正常使用建筑应根据其在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。当所选用的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备不能适应建筑的层间位移角和楼面水平加速度时，应采取专门措施。

5.5.2　位移敏感型建筑非结构构件可按附录 J 选用，加速度敏感型建筑非结构构件可按附录 K 选用，功能性仪器设备可按附录 L 选用，建筑附属机电设备可按附录 M 选用，对于附录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。

6 消能器的技术性能

6.1 一般规定

6.1.1 消能器的设计使用年限不宜小于建筑物的设计工作年限，消能器达到其使用年限应符合本规程第 3.1.6 条的规定。

6.1.2 消能器应具有良好的抗疲劳和抗老化性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的要求，不满足时应作保温、除湿、防紫外线、定期防锈等相应处理。黏弹性消能器不得用于低于 0℃或高于 40℃温度的工作环境。

6.1.3 消能器的外观应符合下列规定：

1 消能器外表应光滑，无明显缺陷；

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

3 消能器的外观及尺寸偏差应符合本规程有关规定。

6.1.4 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应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器 1.5 倍极限阻尼力选取，应保证消能器及附属构件在罕遇地震作用下都能正常工作；

2 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、稳定。

6.1.5 本规程未包含的消能器类型和连接做法均应经过消能减震结构或子结构试验，验证消能器的性能和减震效果。

6.1.6 消能器力学性能参数可参照本规程附录 F 确定。

6.1.7 消能器若采用销轴连接，其连接缝隙不宜大于 0.1mm，超过时应考虑缝隙对消能器性能的影响。

6.1.8 除特殊规定外，消能器的型式检验、出厂检验及见证检验，应符合国家现行相关标准的规定，检验确定的产品性能应满足设计要求。

6.1.9　检验不合格的消能器不得在工程中使用。

6.2　金属屈服型消能器

6.2.1　金属屈服型消能器外观应符合下列规定：

1　金属屈服型消能器应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤。外表采用防锈措施，涂层均匀；

2　消能段和非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷；

3　金属屈服型消能器尺寸偏差应在 ±2mm 范围内。

6.2.2　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、合金等材料制作；

2　采用钢材制作的金属屈服型消能器的消能部分钢板厚度不宜超过 80mm，不应出现层状撕裂。钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能；

3　金属屈服型消能器中所用各种材料性能应符合国家现行相关标准的规定。金属屈服型消能器采用其他钢材，质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077 或《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 等现行国家标准的规定。核心单元原材料除提供材料合格证明外，还需提供材性复检报告。

6.2.3　金属屈服型消能器基本力学性能，疲劳性能及测试方法应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3　金属屈服型消能器基本力学性能、疲劳性能要求及测试方法

序号		项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	1	屈服承载力	每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 $0.1u_0$、$0.3u_0$、$0.5u_0$、$0.8u_0$、$1.0u_0$、$1.2u_0$，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法。绘制阻尼力 – 位移滞回曲线

（续表）

序号		项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	2	屈服位移	每个产品的屈服位移实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 $0.1u_0$、$0.3u_0$、$0.5u_0$、$0.8u_0$、$1.0u_0$、$1.2u_0$，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法。绘制阻尼力 – 位移滞回曲线
	3	弹性刚度	每个产品的弹性刚度实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
	4	最大承载力	设计位移下对应的承载力，每个产品的最大承载力实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
	5	极限位移	实测值不应小于设计位移的 1.2 倍	
	6	屈服后刚度	每个产品的屈服后刚度实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
	7	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 ±15% 以内	
疲劳性能	1	最大阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力，与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 ±15%	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于 30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h，绘制阻尼力 – 位移滞回曲线
	2	滞回曲线	1）任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 ±15%； 2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 ±15%	
	3	滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面积偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 ±15% 以内	
注：u_0 为消能器设计位移				

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

6.2.5　金属屈服型消能器的力学行为可采用双线性本构模型或 Wen 模型描述。

6.3　屈曲约束支撑

6.3.1　屈曲约束支撑根据需求可采用外包钢管混凝土型屈曲约束支撑、外包钢筋混凝土型屈曲约束支撑或全钢型屈曲约束支撑等。

6.3.2　屈曲约束支撑外观应符合下列规定：

1　屈曲约束支撑外观应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀；

2　耗能段和非耗能段应光滑过渡，不应出现缺陷；

3　屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2　屈曲约束支撑各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
支撑长度	± 3mm
支撑横截面有效尺寸	± 2mm

6.3.3　屈曲约束支撑核心单元应符合下列规定：

1　核心单元的材料宜采用低屈服点和高延伸率的钢材；

2　核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等，宽厚比或径厚比限值宜符合下列规定：

1）一字形板截面宽厚比取 10 ~ 20；

2）十字形截面宽厚比取 5 ~ 10；

3）环形截面径厚比不宜超过 22；

4）其他截面形式，取现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中心支撑的径厚比或宽厚比的限值。

3　核心单元截面采用“一”字形、“十”字形、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为 10mm ~ 80mm。

6.3.4　屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

6.3.5　屈曲约束支撑连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

6.3.6　屈曲约束支撑的材料应符合下列规定：

1　核心单元宜采用高延性钢材。核心单元采用其他钢材时，质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077 或《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 的要求。芯材应符合现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314 的规定；

2　约束单元一般采用碳素结构钢或合金结构钢，钢材质量指标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 的要求。填充材料抗压强度不宜低于 20MPa。

6.3.7　屈曲约束支撑基本力学性能、疲劳性能和测试方法应符合表 6.3.7 的相关规定。

表 6.3.7　基本力学性能、疲劳性能和测试方法要求

<table>
<tr><th colspan="2">序号</th><th>项目</th><th>性能要求</th><th>测试方法</th></tr>
<tr><td rowspan="4">基本力学性能</td><td>1</td><td>屈服承载力</td><td>每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内</td><td rowspan="4">试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 $0.1u_0$，$0.3u_0$，$0.5u_0$，$0.8u_0$，$1.0u_0$，$1.2u_0$，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法</td></tr>
<tr><td>2</td><td>屈服位移</td><td>每个产品的屈服位移实测值允许偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内</td></tr>
<tr><td>3</td><td>弹性刚度</td><td>每个产品的弹性刚度实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内</td></tr>
<tr><td>4</td><td>最大承载力</td><td>设计位移对应的荷载，每个产品的实测值允许偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内</td></tr>
</table>

（续表）

序号		项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	5	极限位移	实测值不应小于设计位移的 1.2 倍	试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 $0.1u_0$，$0.3u_0$，$0.5u_0$，$0.8u_0$，$1.0u_0$，$1.2u_0$，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法
	6	屈服后刚度	每个产品的屈服后刚度实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
	7	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 ±15% 以内	
	8	拉压不平衡系数	设计位移下滞回曲线的拉压不平衡系数应小于 1.2	
疲劳性能	1	最大阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力，与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 ±15%	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于 30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h，绘制阻尼力 – 位移滞回曲线
	2	滞回曲线	1）任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 ±15%； 2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 ±15%	
	3	滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面积偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 ±15% 以内	
注：u_0 为消能器设计位移				

6.3.8　屈曲约束支撑的力学行为可采用双线性本构模型或 Wen 模型描述。

6.4　摩擦消能器

6.4.1　摩擦消能器产品外观应符合下列规定：

1　摩擦消能器外观应标记清晰，表面平整，无机械损伤，外表采

用防锈措施，涂层均匀；

2　摩擦消能器尺寸偏差应满足表 6.4.1 的要求。

表 6.4.1　摩擦消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
消能器总高度	± 2mm
消能器总宽度	± 2mm
消能器总厚度	± 2mm

6.4.2　摩擦消能器的材料应符合下列规定：

1　摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等，且应满足消能器预压力作用下的强度要求；

2　用于制作摩擦消能器的钢材质量指标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 的要求，且应选用不低于 Q235B 的钢材。

6.4.3　摩擦消能器基本力学性能和测试方法应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3　摩擦消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	起滑阻尼力	每个产品的起滑阻尼力的实测值偏差应在设计值的 ± 15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ± 10% 以内	采用三角波或正弦激励法进行加载，设计位移 u_0 下连续加载 3 个循环，绘制阻尼力 – 位移滞回曲线
2	起滑位移	每个产品起滑位移的实测值偏差应在设计值的 ± 15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ± 10% 以内	
3	摩擦荷载	每个产品摩擦荷载的实测值偏差应在设计值的 ± 15% 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ± 10% 以内	
4	极限位移	每个产品极限位移的实测值不应小于设计值的 1.2 倍	
5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 ± 15% 以内	
6	起滑阻尼力与摩擦荷载偏差	起滑阻尼力与摩擦荷载的偏差应在摩擦荷载的 ± 15% 以内	
注：u_0 为消能器设计位移			

6.4.4　摩擦消能器的耐久性包括老化性能和疲劳性能，耐久性要求及测试方法应符合表 6.4.4 的规定：

表 6.4.4　摩擦消能器耐久性要求

序号		项目	性能要求	测试方法
老化性能	1	摩擦荷载	老化前后摩擦荷载的变化率应在 ±15% 以内	试件放入恒温干燥箱中，保持温度 80 ℃，保持 192h 后取出完成测试
	2	外观	目视无变化	
疲劳性能	1	摩擦荷载	任一个循环的最大、最小阻尼力应在所有循环最大、最小阻尼力平均值的 ±15% 以内	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于 30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h，绘制阻尼力 – 位移滞回曲线
	2	滞回曲线	1）任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 ±15% 以内 2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 ±15% 以内。	
	3	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 ±15% 以内	

6.4.5　摩擦消能器中的受力单元应具有足够的刚度，不应产生翘曲和侧向失稳，并应具备防止应力松弛的构造。

6.4.6　摩擦消能器的力学行为可采用理想弹塑性模型描述。

6.5　黏滞消能器

6.5.1　黏滞消能器是黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙的统称，其外观应符合表 6.5.1 的规定：

表 6.5.1　黏滞消能器外观要求

序号	黏滞阻尼器	黏滞阻尼墙
1	外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀	
2	密封处制作应精细、无渗漏	
3	尺寸允许偏差应为 ±2mm	长度允许偏差应为 ±3mm；截面有效尺寸允许偏差应为 ±2mm

6.5.2　黏滞消能器的材料应符合下列规定：

1　黏滞阻尼材料的黏温关系稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强；

2　用于黏滞消能器的钢材应根据设计需要选用，应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定；

3　密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的泛塞封密封或金属密封材料，主密封不宜使用 O 型密封圈。

6.5.3　黏滞消能器的基本力学性能和测试方法应符合表 6.5.3 的规定：

表 6.5.3　黏滞消能器基本力学性能及测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	极限位移	每个产品的极限位移实测值不应小于消能器极限位移设计值	采用静力加载试验，控制试验机的加载系统使消能器匀速缓慢运动，记录其运动的极限位移值
2	最大阻尼力	每个产品的最大阻尼力实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 ±10% 以内	采用正弦激励法，输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$，加载频率为 f_1，连续进行 5 个循环，记录第 3 个循环所对应的最大阻尼力作为实测值
3	极限速度	每个产品的极限速度实测值不应小于极限速度设计值	a）采用正弦激励法，输入位移 $u=u_1\sin(2\pi f_1 t)$ 来控制试验机的加载系统； b）阻尼器的加载频率为 f_1，位移幅值 u_1 分别取 $0.1u_0$、$0.2u_0$、$0.5u_0$、$0.7u_0$、$1.0u_0$、$1.2u_0$，连续加载 5 个循环，取每个工况的第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力、极限速度，通过滞回曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；取每个工况第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值
4	阻尼系数	每个产品的阻尼系数实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 ±10% 以内	
5	阻尼指数	每个产品的阻尼指数实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 ±10% 以内	
6	初始刚度	每个产品的初始刚度实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 ±10% 以内	
7	滞回曲线	产品在设计位移下连续加载 5 圈，第 3 圈滞回曲线面积实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内	
注：u_0 为消能器设计位移，f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。采用无间隙连接黏滞消能器，实验时应采用无间隙连接装置和黏滞消能器整体试验			

6.5.4　黏滞消能器的耐久性主要考虑疲劳性能、风荷载测试、密封性能，且要求消能器在试验后无渗漏，无裂纹，其相关性能和测试方法应符合表 6.5.4 的规定。

表 6.5.4　黏滞消能器耐久性和测试方法要求

序号		项目	性能要求	测试方法
疲劳性能	1	阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内	用正弦激励法，当主要用于地震响应控制时，输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$，加载不少于 30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h
	2	最大阻尼力	任一个循环的最大阻尼力实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
	3	滞回曲线	1）任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力实测值偏差应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 ±15% 以内 2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移实测值偏差应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 ±15% 以内	
	4	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积偏差应在设计值的 ±15% 以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	
风荷载测试	1	最大阻尼力	所有循环中的最大、最小阻尼力变化率应为 ±15%	输入位移 $u=u_w\sin(2\pi f_1 t)$，连续加载 60000 个循环。绘制阻尼力 – 位移滞回曲线。密封良好，无漏油
	2	滞回曲线面积	任一循环实测的滞回曲线稳定饱满、光滑无异常，所有循环中的滞回曲线面积实测值偏差应在设计值的 ±15% 以内	
性能			实测产品在极限位移及过载作用下不应出现渗漏、屈服或破损等现象	慢速试验和 1.5 倍最大阻尼力的静力过载试验
注：u_0 为消能器设计位移，f_1 为消能减震结构第一阶自振频率，u_w 为风荷载下黏滞消能器可能达到的最大位移的 1.2 倍。风荷载测试仅适用于控制风荷载的黏滞消能器测试				

6.5.5　黏滞消能器的其他相关性能及测试方法应符合表 6.5.5 的规定：

表 6.5.5　黏滞消能器其他相关性能及测试方法要求

项目	指标	性能要求	测试方法
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化不大于±15%	输入位移 $u=u_1\sin(2\pi ft)$，测定产品为常温条件下，测试频率为 $0.85f_1$，$1.0f_1$，$1.1f_1$，$1.2f_1$，输入位移幅值按公式 $u_1=u_0f_1/f$ 计算
温度相关性能	最大阻尼力	变化不大于±15%	测定产品在输入位移 $u=u_0sin(2\pi f_1t)$，试验温度为 -20℃~+40℃，每隔 10℃ 记录其最大阻尼力作为实测值
注：f_1 为消能减震结构的第一阶自振频率，f 为加载频率，u_0 为黏滞消能器设计位移			

6.5.6　黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦（Maxwell）模型描述。

6.5.7　黏滞消能器火灾时应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行力学性能检测，其指标下降超过 15% 时应进行更换。

6.6　黏弹性消能器

6.6.1　黏弹性消能器的外观及内部应符合下列规定：

1　黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺，涂刷防锈涂料两次，钢板坡口焊接，焊缝一级、平整；

2　黏弹性材料表面应密实、无裂缝，剖切后内部应连续、均匀、密实、无孔洞；

3　黏弹性材料与约束钢构件（一般为钢板或钢管）之间应密实、无裂缝；

4　黏弹性消能器的尺寸偏差应满足表 6.6.1 的要求：

表 6.6.1　黏弹性消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏弹性消能器长度	± 3mm
黏弹性消能器截面有效尺寸	± 2mm

6.6.2　黏弹性材料应满足表 6.6.2 的要求：

表 6.6.2　黏弹性材料性能指标

项目		指标
拉伸强度 /MPa		≥ 5
扯断伸长率 /%		≥ 500
扯断永久变形 /%		≤ 80
热空气老化 70℃ ×72h	拉伸强度变化率 /%	≥ –20 且≤ 20
	扯断伸长变化率 /%	≥ –20 且≤ 20
(0~40)℃工作频率材料损耗因子 β		≥ 0.5
钢板与阻尼材料之间的黏合强度 /MPa		≥ 2.5

6.6.3　黏弹性消能器的力学性能应符合表 6.6.3 的规定：

表 6.6.3　黏弹性消能器基本力学性能及测试方法要求

序号	项 目	性能要求	测试方法
1	阻尼系数	实测值偏差在产品设计值的 ±15% 以内，实测值的偏差平均值应在产品设计值的 ±10% 以内	采用正弦激励法，输入位移 $u=u_1\sin(2\pi f_1 t)$ 来控制试验机的加载系统； 消能器的加载频率为 f_1，位移幅值 u_1 分别取 $0.1u_0$、$0.2u_0$、$0.5u_0$、$0.7u_0$、$1.0u_0$、$1.2u_0$，每个工况连续加载 5 个循环，取第 3 次循环时滞回曲线，根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力； 输入位移 $u=u_0\sin(2\pi ft)$，检测频率 f 为 f_1、$2.0f_1$、$3.0f_1$，每个工况连续加载 5 个循环；取第三个循环时的滞回曲线，根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力； 取每个工况第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值
2	阻尼指数		
3	有效刚度		
4	最大阻尼力		
5	滞回曲线	产品在各要求工况下分别连续加载 5 圈，任一工况第 3 圈滞回曲线面积的实测值偏差应在对应工况理论计算值的 ±15% 以内	
6	极限应变	每个产品极限应变实测值不应小于极限应变设计值，且不应小于 1.2 倍设计位移对应的应变	控制位移 $u=u_1\sin(2\pi f_1 t)$；u_1 依次取 $1.1u_0$，$1.2u_0$，$1.3u_0$，$1.4u_0$，$1.5u_0$，工作频率 f_1，连续加载 3 个循环；加载过程中黏弹性材料和约束钢板或钢管件不应出现剥离现象，如果出现剥离现象，应停止实验，并取此时加载位移 u_1 作为计算极限应变的依据
注：u_0 为消能器设计位移，f_1 为消能减震结构第一阶自振频率			

6.6.4　黏弹性消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能，耐久性及测试方法应符合表 6.6.4 的规定：

表 6.6.4　黏弹性消能器耐久性和测试方法要求

序号		项目	性能要求	测试方法
老化性能	1	最大阻尼力	变化率在 ±15% 以内	把试件放入鼓风电热恒温干燥箱中，保持温度 80 ℃，经 192h 后取出，按表 6.6.3 的规定进行力学性能试验
	2	阻尼系数、阻尼指数	变化率在 ±15% 以内	
	3	外观	目视无变化	
疲劳性能	1	变形	变化率在 ±15% 以内	输入位移采用 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$，采用位移控制进行连续往复加载，加载不少于 30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h，绘制阻尼力 - 位移滞回曲线
	2	外观	目视无变化	
	3	最大阻尼力	每次连续加载，第30 圈相比第3 圈，性能下降不超过 15%	
	4	滞回曲线	1）任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力实测值偏差应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 ±15% 以内； 2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移实测值偏差应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 ±15% 以内	
	5	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积实测偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 ±15% 以内	
注：u_0 为消能器设计位移，f_1 为消能减震结构第一阶自振频率				

6.6.5　黏弹性消能器的相关性应符合表 6.6.5 的规定：

表 6.6.5　黏弹性消能器相关性及测试方法要求

项 目	性能要求		测试方法
温度相关性	等效刚度、阻尼系数、阻尼指数	变化率不超过 ± 15%	输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$，试验温度为 0℃ ~40℃，每隔 10℃作为一个测试工况；每个工况连续加载 5 个循环，取第三圈的滞回曲线，根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数和阻尼指数。每个温度下放入恒温箱 24h 后 30min 内完成检测
频率相关性	零位移对应阻尼力	变化率不超过 ± 15%	输入位移 $u=u_1\sin(2\pi ft)$，测定产品为常温条件下，测试频率为 $0.85f_1$，$1.0f_1$，$1.1f_1$，$1.2f_1$，输入位移幅值按公式 $u_1=u_0 f_1/f$ 计算
注：u_0 为消能器设计位移，f_1 为消能减震结构第一阶自振频率，基准温度 23℃			

6.6.6　黏弹性消能器力学行为可采用开尔文（Kelvin）模型描述。

6.6.7　黏弹性消能器在火灾时应具有阻燃性，火灾后应对黏弹性消能器进行基本力学性能和耐久性能检测，其指标与设计值偏差超过 15% 时应进行更换。

6.7　消能器性能检验与性能参数确定

6.7.1　消能器产品检验分为型式检验、出厂检验和见证检验。

6.7.2　型式检验应由具有检测资质的第三方进行检验，型式检验抽样试件数目不得少于 3 件，型式检验项目应为本规程要求的所有项目，各项指标应全部符合本规程和国家现行标准的相关规定，否则为不合格。当有以下情况之一时应当进行型式检验：

1　新产品的试制定型鉴定；

2　当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；

3　正常生产时，每五年检验一次；

4　停产一年以上恢复生产时；

5　因特殊需要而必须进行型式检验时；

6　出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

6.7.3　消能器出厂检验由产品供应商自行完成；出厂检验内容对金属消能器为外观检验；对黏滞消能器除外观检验外尚应包括常规力学性能和密闭性能检验；产品出厂受检率为 100%。

6.7.4　见证检验的样品应当在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，并做永久性标识，并应由具有检测资质的第三方进行检验，尚应符合下列规定：

1　对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器和黏弹性消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 件，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构；

2　对黏滞消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 20%，且不应少于 2 个。检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测合格后，消能器若无任何损伤、基本力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构，否则不得用于主体结构；

3　若产品检测合格率未达到 100%，应对同批产品按原抽样数量加倍抽检，并重新进行所有项目的检测；如加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%，则该批次消能器不得在主体结构中使用。

6.7.5　不同类型的消能器检验项目应按附录 D 执行。

6.7.6　消能器的性能参数应在选取适宜本构模型后，通过拟合试验数据进行确定。

7 消能减震结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 消能减震结构设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；楼（屋）盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼（屋）盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼（屋）盖平面内的弹性变形，并建立符合实际情况的力学分析模型。抗震计算分析模型应同时包括主体结构与消能部件。

7.1.2 当在垂直相交的两个平面内布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑相交处的柱在双向地震作用下的受力。

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

7.1.4 消能减震结构应合理设置消能器，形成以消能器为主的消能机制。

7.1.5 消能子结构应具备足够的变形能力，应满足罕遇地震作用变形下承载力不下降的要求。

7.2 消能部件布置原则

7.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

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；

2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀；

3 消能部件宜布置在层间位移和速度较大的楼层，同时可采用合理构造增加消能器两端的相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率；

4 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

7.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构设计参数符合下列规定：

1　采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近；

2　采用黏滞消能器时，各楼层的消能部件的最大水平阻尼力与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积之比的比值宜接近；

3　采用黏弹性消能器时，各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近，各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近。

7.3　消能部件设计及附加阻尼比

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斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型参数应符合下式规定：

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2/3 \qquad (7.3.1\text{–}1)$$

式中：

Δu_{py}——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（mm）；

Δu_{sy}——设置消能部件的主体结构层间屈服位移（mm）。

2　黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \qquad (7.3.1\text{–}2)$$

式中：

t_v——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（mm）；

Δu_{dmax}——沿消能方向消能器的最大位移（mm）；

$[\gamma]$——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

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

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \qquad (7.3.1\text{–}3)$$

式中：

K_b——支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

C_D——消能器的线性阻尼系数 [kN/(m・s)]；

T_1——消能减震结构的基本自振周期（s）。

7.3.2 消能部件附加给结构的有效刚度和有效阻尼比，可按下列方法确定：

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

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式估算：

$$\zeta_d = \left(\sum_{j=1}^{n} W_{cj}\right) / \left(4\pi W_s\right) \qquad (7.3.2\text{–}1)$$

式中：

ζ_d——消能减震结构的附加有效阻尼比；

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

W_s——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN・m）。

n——消能部件的总个数。

3 不计及扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \qquad (7.3.2\text{–}2)$$

式中：

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

u_i——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

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

$$W_{cj} = \left(2\pi^2 / T_1\right) C_j \cos^2\left(\theta_j\right) \Delta u_j^{\,2} \qquad (7.3.2\text{–}3)$$

式中：

T_1——消能减震结构的基本自振周期（s）；

C_j——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数 [kN/(m・s)]，当

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

θ_j——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j——第 j 个消能器两端的相对水平位移（m）。

5 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \tag{7.3.2–4}$$

式中：

λ_1——阻尼指数的函数，可按表 7.3.2 取值；

$F_{dj\max}$——第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力（kN）。

表 7.3.2 λ_1 取值

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

注： 其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性插值。

6 位移相关型消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = A_j \tag{7.3.2–5}$$

式中：

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

7.3.3 采用振型分解反应谱法分析时，结构有效阻尼比可采用迭代方法计算。

7.3.4 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时，消能器两端的相对水平位移、质点的水平地震作用标准值、质点对应于水平地震作用标准值的位移，应采用符合本规程第 4.1.4 条规定的时程分

析结果的包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合本规程第 4.1.4 条的规定。

7.3.5　采用静力非线性分析方法时，计算模型中消能器宜采用本规程第 6 章给出的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器附加给结构的有效阻尼比，不能采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

7.3.6　消能减震结构在多遇、设防和罕遇地震作用下的总阻尼比应分别计算，消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 25％时，宜按 25％计算。

7.4　主体结构设计

7.4.1　消能减震结构多遇地震作用效应可按振型分解反应谱法计算，位移相关型消能部件刚度贡献宜取多遇地震时的等效刚度，主体结构的附加有效阻尼比宜选取多遇地震计算得到的附加有效阻尼比。非消能子结构构件的截面验算，应按本规程第 4 章的相关内力组合公式计算。地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，参考本规程第 5 章进行设计。

7.4.2　消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

1　消能子结构中非消能部件的梁、柱和墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力。构件作用效应计算时，应考虑构件的弹塑性；

2　消能子结构中非消能部件的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用；

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

4　消能部件的节点和构件应进行消能器极限位移和极限速度时消能器引起的阻尼力作用下的截面验算；

5　当消能器的轴心与消能子结构非消能部件构件的轴线有偏差

时，非消能部件构件应考虑消能器抗力引起附加弯矩或因偏心作用而引起的平面外弯曲的影响。

7.4.3　消能减震子结构设计应保证罕遇地震下消能器能够正常工作，可按如下流程进行：

1　进行小震振型分解反应谱法分析，取材料设计值进行结构设计，得到消能子框架配筋。消能子结构应满足强柱弱梁要求；

2　根据上述配筋，对消能子结构进行罕遇地震作用下结构弹塑性分析，得到罕遇地震下消能子结构的内力；

3　根据弹塑性计算得到的内力，对子结构进行校核，框架柱和梁应满足抗剪弹性，节点连接部位对应节点区域应满足抗剪弹性，当采用支墩连接时，支墩根部对应梁截面应满足抗弯和抗剪弹性；

4　应按主体结构对应的抗震等级提高一级采取抗震构造措施，当主结构为特一级时不再提高。

7.4.4　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按本规程表 4.5.1 规定取值；

2　消能减震结构的弹塑性层间位移角限值应按本规程表 4.5.2 规定取值；

3　地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，弹塑性层间位移角限值应按本规程表 5.4.1 的规定取值。

7.4.5　主体结构的抗震措施应符合下列规定：

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

2　当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造措施要求可适当降低，当构件的承载力高于多遇地震提高一度的要求时，可按常规设计的有关规定降低一度采用。

8 消能部件与结构的连接构造

8.1 一般规定

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

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

8.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销轴连接，高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

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

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

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

8.1.7 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板应保持弹性。

8.1.8 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板的设计作用力取值应为消能器极限力的 1.2 倍。

8.2 预埋件

8.2.1 应根据消能器受力特征进行预埋件截面设计，确定预埋件总截

面面积。

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

8.2.3　配置直锚筋的预埋件其承载力调整系数为 0.8，当锚固长度不足或采用角钢锚筋及直锚筋和抗剪钢板组合使用时为 0.7。

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

8.3　支撑和支墩、剪力墙计算

8.3.1　消能器相连的支墩、剪力墙应按本规程第 8.1.8 条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

8.3.2　支撑和支墩、剪力墙的计算长度应符合下列规定：

1　采用单斜消能部件时，应取支撑与消能器连接处到主体结构连接板中心处的距离；

2　采用人字形支撑时，应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构连接板中心处的距离；

3　采用柱型支撑时，应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

8.3.3　与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足本规程第 7.3.1 条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的 2 倍。

8.4　消能器与结构连接构造要求

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

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

规定。

8.4.3　消能部件中的剪力墙、支墩沿长度方向全截面箍筋应加密，并配置网状钢筋。

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

8.5　屈曲约束支撑的构造要求

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

8.5.2　屈曲约束支撑的形心线与梁柱形心线三者宜相交于一点。

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

8.5.4　屈曲约束支撑连接示意如图 8.5.4–1、8.5.4–2：

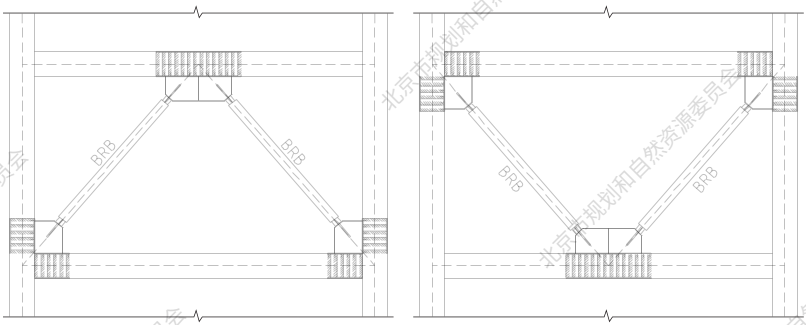


图 8.5.4–1　混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

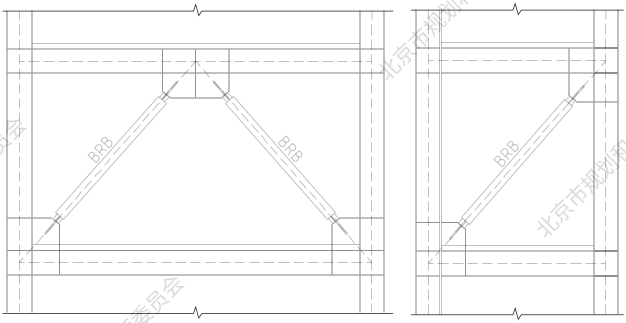
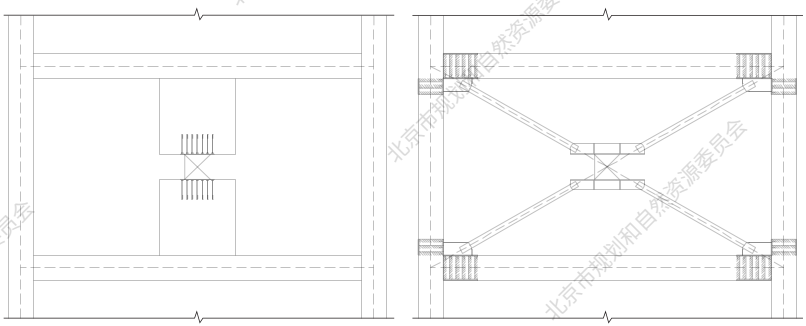


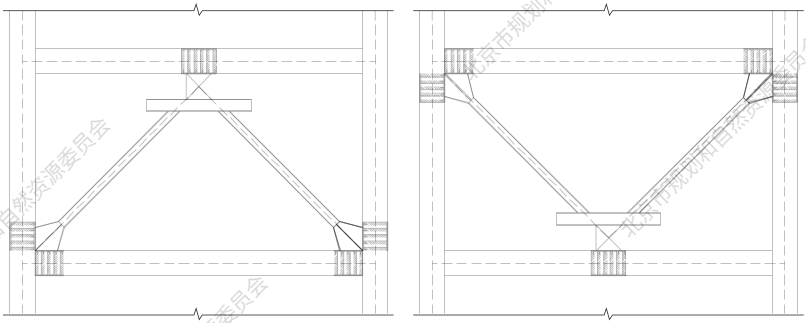
图 8.5.4–2　钢构件与屈曲约束支撑连接示意

8.6　金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求

8.6.1　金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，宜结合建筑隔墙位置布置，通常采用支撑式和墙式连接。支撑式可根据需要采用 V 形或人字形布置，墙式可根据需要设置混凝土墙式和钢桁架墙式连接，墙式连接可根据建筑平面的特点调整位置，如图 8.6.1 所示。



（a）墙式（混凝土、钢桁架）　　（b）X 字支撑式



（c）人字支撑式　　（d）V 字支撑式

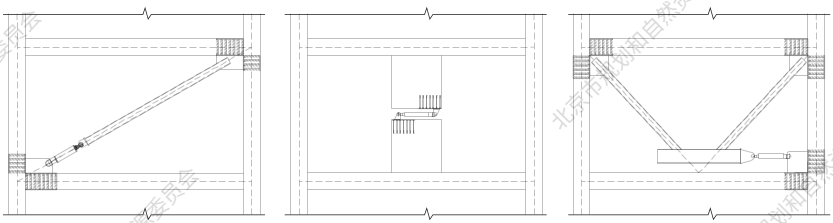
图 8.6.1　消能器布置型式

8.6.2　采用墙式连接时，与消能器连接的锚板和锚筋预埋在悬臂墙中，消能器与预埋板之间采用焊接连接或螺栓连接。

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

8.7　黏滞消能器构造要求

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



（a）支撑型　　（b）支墩型　　（c）剪切连接型

图 8.7.1　消能器布置型式

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

9 消能部件的施工、验收和维护

9.1 一般规定

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

9.1.2 消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收，并应符合以下规定：

1 分项工程可按消能器产品类别、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。

9.1.3 消能部件子分部工程项目的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制专项施工方案。

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

9.1.5 消能部件尺寸、变形、连接件位置与角度、螺栓孔位置与直径、高强度螺栓、焊接质量、表面防锈漆等应符合设计文件的规定。

9.2 进场验收及施工

9.2.1 消能部件进场时，应进行进场验收，并经监理（建设）单位核准。

9.2.2 消能部件进场应有型式检验、出厂检验及相关质量证明文件，并应按规定进行见证检验。见证检验的样品应当在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，应由第三方进行检验，见证检验的数量和项目应符合本规程第 6.7 节的有关规定。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

9.2.3 消能部件进场应提供下列质量证明文件：

1 消能器、支撑和连接件所用钢材、紧固件、黏滞材料、摩擦材料、黏弹性材料等原材料的质量证明文件；

2　消能器和连接件进场时，应提供产品合格证、外观质量及尺寸偏差、出厂检测报告；

3　项目所使用全部规格消能器型式检验报告；

4　其他必要证明文件。

9.2.4　消能部件应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。消能部件进场后，应按种类、规格、批次分开贮存。存储环境应选在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，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。

9.2.5　消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器产品供应商共同确定，并符合现行国家标准《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。

9.2.6　当消能部件主要承受水平剪力、不承担竖向压力时，宜待竖向变形稳定后最终固定；当消能部件既承受水平剪力、又承担竖向压力时，安装后即可最终固定。

9.2.7　同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序，同一部位消能部件的组成单元超过一个时，宜先将各组成单元及连接件在现场地面拼装为扩大安装单元后，再与主体结构进行连接。消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

9.2.8　消能部件观感质量要求应符合表 9.2.8–1 规定，检查数量应为全数；检查方法可为观察。消能器尺寸偏差应符合表 9.2.8–2 规定，检查数量应为全数的 20%，且不少于 2 件；检查方法可为观察、拉线、钢尺测量。

表 9.2.8–1　消能部件观感质量要求

消能器类型	质量要求
屈曲约束支撑	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。

（续表）

消能器类型	质量要求
金属屈服型消能器	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。
摩擦消能器	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。
黏滞消能器（黏滞阻尼墙）	应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。
黏弹性消能器	应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。黏弹性材料表面应密实、无裂缝。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。

表 9.2.8–2　消能器尺寸允许偏差（mm）

消能器类型	质量指标	
黏滞消能器（黏滞阻尼墙）	长度	±3
	截面有效尺寸	±2
金属屈服型消能器	消能器长度、宽度、高度	±2
摩擦消能器	消能器总宽度、总高度、总厚度	±2
屈曲约束支撑	支撑长度	±3
	支撑横截面有效尺寸	±2
	支撑侧弯矢量	≤ L/1000，且≤ 10
	支撑扭曲	≤ h（d）/250 且≤ 5
黏弹性消能器	长度	±3
	截面有效尺寸	±2
注：L—支撑长度；h—支撑高度；d—支撑外径		

9.2.9　消能部件安装完成后应对消能器及其连接件在运输、存放和安装过程中损坏的涂层以及安装连接部位的涂层进行现场补漆，并应满足原涂装工艺和设计要求。

9.2.10　消能器预埋件安装完成后应进行隐蔽验收，合格后方能进入下

道工序施工，隐蔽验收应形成隐蔽验收记录和必要的图像资料。

9.3 质量验收

9.3.1 消能部件子分部工程验收程序应符合下列规定：

1 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；

2 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。

9.3.2 消能部件子分部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、子分部工程验收，并符合下列规定：

1 工程施工质量应符合本规程有关规定和设计要求；

2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应资格；

3 隐蔽工程在隐蔽前，应进行隐蔽工程验收，形成隐蔽验收文件；

4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收，主控项目合格率 100%，一般项目的合格率不应小于 80%；

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

9.3.3 墙型连接的消能部件验收应符合下列规定：

1 主控项目

1 消能器的类型、型号、数量应满足设计要求；

检查数量：全数。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 消能部件现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；

检查数量：全数。

检验方法：外观检查采用观察或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查；内部缺陷检查超声波或射线探伤记录。

3　消能部件现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

检查数量：全数。

检验方法：观察、检查施工记录。

Ⅱ　一般项目

1　墙型连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 9.3.3 的规定：

表 9.3.3　墙型连接安装位置允许偏差和检验方法

项目		允许偏差		检查数量	检查方法
		混凝土结构	钢结构		
悬臂墙	轴线	± 5 mm	± 2 mm	全数	尺量
	高度	± 5 mm	± 2 mm	全数	水准仪、全站仪或拉线、尺量
	垂直度	H/1000	H/1000	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量
上、下悬臂墙（柱）轴线相对偏差		± 5 mm	± 2 mm	全数	吊线、尺量
上、下预埋件间净高		+5 mm +2 mm	+5 mm +2 mm	全数	尺量四角（混凝土结构量预埋板四角）及中心，取最大值
预埋板	轴线	± 5 mm	± 2 mm	全数	尺量
	标高	± 5 mm	± 2 mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	水平度	3‰	3‰	全数	水准仪或水平尺、塞尺量测
消能器	轴线	± 5 mm	± 2 mm	全数	尺量
	垂直度	H_1/1000	H_1/1000	全数	经纬仪或吊线、尺量

注：H—悬臂墙高度；H_1—消能器本体净高。

2　连接采用销轴或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于 0.1mm；

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检查方法：观察，采用千分塞尺测量，检查施工记录。

3　连接部位漆面应完整均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡；消能器标志、标记和编号应清晰完整。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9.3.4　支撑式连接的消能部件验收应符合下列规定：

Ⅰ　主控项目

1　消能器的类型、型号、数量应满足设计要求；

检查数量：全数。

检验方法：观察，检查施工记录。

2　消能器或支撑现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；

检查数量：全数。

检验方法：外观检查采用观察或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查；内部缺陷检查超声波或射线探伤记录。

3　消能器或支撑现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

检查数量：全数。

检验方法：观察、检查施工记录。

Ⅱ　一般项目

1　支撑式连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 9.3.4 的规定：

表 9.3.4　支撑式连接安装位置允许偏差和检验方法

项目			允许偏差		检查数量	检查方法
			混凝土结构	钢结构		
预埋板	轴线		± 5 mm	± 2 mm	全数	尺量
	标高		± 5 mm	± 2 mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	垂直度	≤ 2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量
		＞ 2 m	5 mm	5 mm		
	水平度		± 3‰	± 3‰	全数	水准仪、全站仪或水平尺、塞尺量测
节点板	轴线		± 5 mm	± 2 mm	全数	尺量
	垂直度	≤ 2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪或吊线、尺量
		＞ 2 m	5 mm	5 mm		
	上、下节点板平面相对偏移		± 2 mm	± 2 mm	全数	吊线、尺量
消能器或支撑	安装净空		+8 mm +3 mm	+8 mm +3 mm	全数	尺量
	弯曲矢高		≤ L/1000，且≤ 10 mm	≤ L/1000，且≤ 10 mm	全数	拉线、尺量

注：L– 消能器或支撑本体长度。

2　连接采用销轴或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于 0.1mm；

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检查方法：观察，千分塞尺测量，检查施工记录。

3　连接部位漆面应完整均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡；消能器标志、标记和编号应清晰完整。

检查数量：全数。

检验方法：观察。

9.3.5　其他连接形式的消能部件验收可参考墙型连接和支撑式连接的相关验收内容执行。

9.3.6　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方法应按现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 和本规程的有关规定执行。

9.4　维　　护

9.4.1　消能部件子分部工程竣工验收前，应提交由设计、消能器厂家、施工等单位共同编写的使用维护手册；消能器的维护检查可分为常规检查、定期检查和应急检查，并满足下列要求：

1　常规检查应至少每一年进行一次，检查单位为减震建筑使用或管理单位，或委托专业人员检查；

2　定期检查应根据消能器类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行，设计无要求时为竣工验收后的第 3 年、第 5 年、第 10 年，第 10 年以后每 10 年进行一次，定期检查由专业人员进行，并提供相关报告；

3　当发生地震、强风、火灾等可能会损伤消能器及其相关部件的灾害后，应及时进行应急检查，应急检查由专业人员进行，并提供相关报告。

9.4.2　减震建筑除对建筑一般维护项目进行检验、检查外，还应对减震建筑特有的项目进行检验、检查，检查项目包括消能器、连接件及相关构造措施。检查及维护方法应符合表 9.4.2 的规定。

表 9.4.2　消能器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	黏滞消能器、黏滞阻尼墙	漏油、阻尼材料泄露、产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
	金属屈服型消能器	产生明显的损伤、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

（续表）

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
	屈曲约束支撑	芯材外露，产生明显的损伤、变形	观察，拉线、尺量	更换消能器
	黏弹性消能器	黏弹材料老化、龟裂、产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
消能器与主体结构或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；消能器、连接件表面涂装	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；被涂装金属表面外露、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

10 隔震支座的技术性能

10.1 一般规定

10.1.1 隔震结构宜采用成熟的隔震支座类型，主要包括：天然橡胶支座（LNR），铅芯橡胶支座（LRB），高阻尼橡胶支座（HDR），弹性滑板支座（ESB），摩擦摆隔震支座（FPS）和三维隔震（振）支座。隔震支座标准化产品规格和参数可参照附录 G 和附录 H 采用。

10.1.2 隔震支座的技术性能和试验应符合本章的相关规定，并应符合国家现行相关标准的规定。

10.1.3 橡胶隔震支座的产品性能应符合设计规定，并提供下列性能指标：

1 在压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250% 时的水平等效刚度和等效阻尼比；

2 在剪应变为零时，10% 拉应变对应的拉伸刚度；

3 水平位移为 0.55 倍有效直径时的极限压应力，并应满足以下要求，当 $S_2 > 5$ 时，不应小于 30MPa；当 $4 < S_2 \leqslant 5$ 时，不应小于 25MPa；当 $3 < S_2 \leqslant 4$ 时，不应小于 20MPa。

10.1.4 对铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座，除应满足本规程第 10.1.2 和 10.1.3 条的要求外，尚应提供在压应力设计值作用下的水平剪切屈服力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。

10.1.5 橡胶支座的屈服拉应力极限值不应小于 1.5MPa，极限轴拉应力不应小于 4.0MPa。

10.1.6 检验不合格的隔震支座不得在工程中使用。

10.1.7 除特殊规定外，隔震支座及隔震层阻尼装置产品的型式检验、出厂检验及见证检验，应符合国家现行相关标准的规定，检验确定的产品性能应满足设计要求。

10.2 隔震橡胶支座

10.2.1 第一形状系数 S_1 分为无开孔支座和开孔支座两种情况，分别按下列公式计算：

1 无开孔支座的 S_1 按式（10.2.1–1）和（10.2.1–2）计算：

圆形支座：
$$S_1 = \frac{d_0}{4t_r} \tag{10.2.1–1}$$

方形支座：
$$S_1 = \frac{a}{4t_r} \tag{10.2.1–2}$$

式中：

d_0——内部钢板的外部直径（mm）；

t_r——单层橡胶层的厚度（mm）；

a——方形支座内部橡胶的边长（mm）。

2 开孔支座的 S_1 按式（10.2.1–3）和（10.2.1–4）计算：

圆形支座：
$$S_1 = \frac{d_0 - d_i}{4t_r} \tag{10.2.1–3}$$

方形支座：
$$S_1 = \frac{4a^2 - \pi d_i^2}{4t_r\left(4a + \pi d_i\right)} \tag{10.2.1–4}$$

式中：

d_i——内部钢板的开孔直径（mm）。

10.2.2 第二形状系数 S_2 按式（10.2.2–1）和（10.2.2–2）计算：

圆形支座：
$$S_2 = \frac{d_0}{T_r} \tag{10.2.2–1}$$

方形支座：
$$S_2 = \frac{a}{T_r} \tag{10.2.2–2}$$

式中：

T_r——内部橡胶总厚度（mm）。

10.2.3 隔震橡胶支座的力学性能包括压缩性能、压缩性能相关性、剪切性能、剪切性能相关性、极限性能和耐久性能等。上述性能的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 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。

10.2.4 隔震橡胶支座的外观要求、允许偏差和检验规则等应符合国家

现行标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。

10.3 弹性滑板支座

10.3.1 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。上述性能的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 20688.5 的规定。

10.3.2 弹性滑板支座的力学性能包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性、压缩性能相关性、极限性能和耐久性能等。上述性能的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 20688.5 的规定。

10.3.3 弹性滑板支座滑移时橡胶支座部设计水平剪应变不宜大于 50%。

10.3.4 弹性滑板支座的橡胶支座部的最小直径（或边长）尺寸不宜小于 300mm，第 1 形状系数 S_1 不宜小于 30，第 2 形状系数 S_2 不应小于 7。

10.3.5 弹性滑板支座的外观要求，允许偏差和检验规则等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 20688.5 的规定。

10.4 摩擦摆隔震支座

10.4.1 摩擦摆隔震支座按滑动摩擦面结构形式，可分为单主滑动摩擦面型、双主滑动摩擦面型两类。

10.4.2 摩擦摆隔震支座由上下锚固装置、上座板、上滑动摩擦面、球冠体、下滑动摩擦面和下座板等组成。

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

10.4.4 摩擦摆隔震支座的水平等效刚度、等效阻尼比、摆动周期、屈

服后刚度、回复力、等效曲率半径和摩擦系数等参数的计算方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 附录 A 的规定。

10.4.5　摩擦摆隔震支座用摩擦材料、钢材、不锈钢板、黏结剂和防尘橡胶等材料的物理机械性能应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

10.4.6　摩擦摆隔震支座的力学性能包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性、水平极限变形能力等。上述性能的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。

10.4.7　摩擦摆隔震支座的外观要求，允许偏差和检验规则等应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

10.5　三维隔震（振）支座

10.5.1　三维隔震（振）支座内的各组成单元的外观要求，允许偏差和检测规则应满足本规程及国家现行相关标准的要求。

10.5.2　三维隔震（振）支座的产品除应提供 10.1.2 要求的性能指标外，尚应提供下列性能指标：

1　水平剪切应变为 0，在三维隔震（振）支座正常使用状态下设计压应力 σ_0 的 90% 至 110% 范围内竖向正弦循环加载得到的竖向循环等效刚度；

2　将竖向压力按 $0–1.3\sigma_0–0.7\sigma_0$（第 1 次加载），$0.7\sigma_0–1.3\sigma_0–0.7\sigma_0$（第 2 次加载），$0.7\sigma_0–1.3\sigma_0$（第 3 次加载）依次连续匀速加载，取第 3 次加载过程对应于 $0.7\sigma_0$ 和 $1.3\sigma_0$ 的位移与荷载，计算得到的竖向单调刚度。

10.5.3　三维隔震（振）支座的压应力、疲劳性能应符合下列规定：

1　三维隔震（振）支座的设计轴压力不应超过其极限承载力的 35%；

2　三维隔震（振）支座的疲劳性能应满足在设计轴压力的 99% 至 101% 间循环 1000 万次而不发生破坏。

10.6 隔震支座产品检验与性能参数确定

10.6.1 隔震支座应进行型式检验、出厂检验和见证检验。

10.6.2 隔震支座应按照国家现行标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118、《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 和《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的要求进行出厂检验。

10.6.3 隔震支座在安装前应进行见证检验，并符合下列规定：

1 同一产品供应商、同一类型、同一规格的产品，取总数量的 2% 且不少于 3 个进行隔震支座压缩性能和剪切性能检验，其中检查总数量的每 3 个支座中，取 1 个进行水平极限剪切性能检验；当该类型规格支座数量少于 3 个时，应全部进行隔震支座压缩性能和剪切性能检验，并取 1 个进行水平极限剪切性能检验；

2 对于特殊设防类和重点设防类，不同型号的橡胶隔震支座水平极限剪应变不应小于 450%；

3 对于标准设防类建筑，不同型号的橡胶隔震支座水平极限剪应变不应小于 400%。

10.6.4 橡胶隔震支座的产品性能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 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 规定。

10.6.5 弹性滑板支座的产品性能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 20688.5 规定。

10.6.6 摩擦摆隔震支座的产品性能应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的规定。

11 隔震结构设计

11.1 一般规定

11.1.1 体型复杂的建筑应选用符合实际的结构计算模型进行计算分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取相应的加强措施。

11.1.2 隔震结构仅在隔震层顶板以上设置伸缩缝时，伸缩缝的宽度应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对不同结构防震缝宽度的要求。

11.1.3 三维隔震（振）结构的设计应符合下列规定：

1 三维隔震（振）结构的设计应首先按照一般隔震结构的设计方法进行上部结构设计，确定三维隔震（振）装置的水平性能；然后进行正常使用状态下的结构竖向隔振设计，确定三维隔震（振）装置的竖向性能；最后尚应考虑三维隔震（振）装置对结构水平和竖向性能的影响，检验竖向地震与水平地震共同作用下结构的安全性；

2 三维隔震（振）结构计算自重荷载下的位移、不均匀沉降以及地震作用下结构响应时，三维隔震（振）支座的竖向刚度应取竖向单调刚度；计算正常使用情况下环境激励引起的结构振动时，三维隔震（振）支座的竖向刚度应取竖向循环等效刚度；

3 三维隔震（振）支座宜在竖向荷载分布均匀的多层结构中采用。在竖向荷载分布不均匀的结构中使用时，要对施工及正常使用中各竖向隔震（振）支座的压缩量进行准确分析，确保隔震层上部结构竖向变形均匀，受力合理。

11.1.4 隔震建筑的地基变形允许值应满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关要求。

11.2 隔震层设计

11.2.1 隔震层的布置、竖向承载力、侧向刚度和阻尼应符合下列

规定：

1 隔震层宜设置在结构的底部或下部，其隔震支座应设置在受力较大的位置，间距不宜过大，其规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定；

2 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不宜出现不可恢复的变形；其中，橡胶隔震支座在罕遇地震的水平和竖向地震作用下，拉应力不应大于 1MPa，且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%。特殊设防类建筑不应出现拉应力。弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座或其它不能承受竖向拉力的支座，宜保持受压状态；

3 隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比可分别按式（11.2.1–1）和式（11.2.1–2）计算：

$$K_{\mathrm{h}} = \sum K_j \tag{11.2.1–1}$$

$$\zeta_{\mathrm{eq}} = \sum K_j \zeta_j / K_{\mathrm{h}} \tag{11.2.1–2}$$

式中：

ζ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

K_{h} ——隔震层水平等效刚度；

ζ_j ——第 j 个隔震支座由试验确定的等效黏滞阻尼比，设置阻尼装置时，应包括相应阻尼比；

K_j ——第 j 个隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

4 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应保持本规程表 11.2.4–1 和 11.2.4–2 的压应力限值；对水平向减震系数计算，应取剪切变形 100%的等效刚度和等效黏滞阻尼比；对罕遇地震验算，宜采用剪切变形 250%时的等效刚度和等效黏滞阻尼比，当隔震支座直径较大时可采用剪切变形 100%时的等效刚度和等效黏滞阻尼比。当采用弹塑性时程分析时，应以试验所得滞回曲线作为计算依据；

5 三维隔震（振）层的竖向等效性能可参照公式（11.2.1–1）和（11.2.1–2）进行计算，式中参数替换为三维隔震（振）支座与配套的

竖向消能器的对应参数。

11.2.2　隔震层的布置应符合下列规定：

1　隔震层可由隔震支座、阻尼装置和抗风装置组成，阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体或者单独设置，必要时可设置限位装置；

2　隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合；

3　隔震支座的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应；隔震支座底面宜布置在相同标高位置上，必要时也可布置在不同的标高位置上，但应采取有效措施保证隔震支座共同工作，且罕遇地震作用下，相邻隔震层的层间位移角不应大于 1/1000；

4　同一结构选用多种规格的隔震支座时，应充分发挥每个隔震支座的承载力和水平变形能力，所有隔震装置的竖向变形应基本一致；橡胶类支座不宜与摩擦摆等钢支座在同一隔震层中混合使用；

5　同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距应大于安装和更换时所需的空间尺寸；

6　设置在隔震层的抗风装置宜对称、分散地布置在建筑物的周边；

7　隔震层采用摩擦摆隔震支座时，应考虑支座水平滑动时产生的竖向位移，及其对隔震层和结构的影响；

8　当隔震层采用隔震支座和消能器时，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。

11.2.3　隔震层的受压承载力验算应符合下列规定：

1　隔震层总受压承载力设计值应大于上部结构总重力荷载代表值的 1.1 倍；

2　每个隔震支座的受压承载力设计值应大于上部结构传递到隔震支座的重力荷载代表值。

11.2.4　隔震支座的压应力和徐变性能应符合下列规定：

1　橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下，竖向压应力限值应满足表 11.2.4–1 的要求；

2　对于弹性滑板支座，橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足表 11.2.4–2 的要求，支座部外径不宜小于 300mm；

3　对于摩擦摆隔震支座，摩擦材料的压应力限值也应满足表 11.2.4–2 的要求；

4　在建筑设计工作年限内，隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的 ±20%；天然橡胶支座和铅芯橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的 5%，高阻尼橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的 10%；

5　橡胶隔震支座、弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座的最大竖向压应力不应超过表 11.2.4–3 所规定的限值：

表 11.2.4–1　橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下不同 S_1 值的压应力限值（MPa）

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
$S_1 \geqslant 30$	10	12	15
$30 > S_1 \geqslant 25$	8	10	12.5
$25 > S_1 \geqslant 20$	6	8	10

注：1. 对于橡胶隔震支座，当第二形状系数大于 5 且第一形状系数大于 30 时，在重力荷载代表值作用下，竖向压应力设计值不应超过表 11.2.4–1 的规定。当第一形状系数小于 30 时，应降低平均压应力限值。

2. 对于隔震橡胶支座，当第二形状系数（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 不小于 4 时降低 20%，小于 4 不小于 3 时降低 40%；标准设防类建筑外径小于 300mm 的支座，其压应力限值为 10MPa。

表 11.2.4–2　隔震支座在重力荷载代表值作用下的压应力限值（MPa）

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
弹性滑板支座	12	15	20
摩擦摆隔震支座	20	25	30

表 11.2.4–3　隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值（MPa）

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
橡胶隔震支座	20	25	30
弹性滑板支座	25	30	40
摩擦摆隔震支座	40	50	60

11.2.5　罕遇地震作用下隔震支座的水平位移，宜采用振型分解反应谱法结合迭代的方法或时程分析法，对隔震体系进行整体分析，确定不同设防地震作用下隔震层位移幅值。

11.2.6　隔震支座在地震作用下的水平位移，应符合下式规定：

$$u_i \le [u_i] \tag{11.2.6}$$

式中：

u_i——第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移（mm）；

$[u_i]$——第 i 个隔震支座的水平位移限值（mm），除特殊规定外，在罕遇地震作用下，隔震橡胶支座的 $[u_i]$ 取值不应大于支座有效直径的 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 $[u_i]$ 取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 $[u_i]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.85 倍。

11.2.7　抗风装置应按下式进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \le V_{Rw} \tag{11.2.7}$$

式中：

V_{Rw}——抗风装置的水平承载力设计值。当抗风装置是隔震支座的组成部分时，取隔震支座的水平屈服荷载设计值（铅芯橡胶支座取屈服力，弹性滑板支座及摩擦摆隔震支座按起滑后的摩阻力）；当抗风装置单独设置时，取抗风装置的水平承载力，可按材料屈服强度设计值确定；

γ_w——风荷载分项系数，采用 1.5；

V_{wk}——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

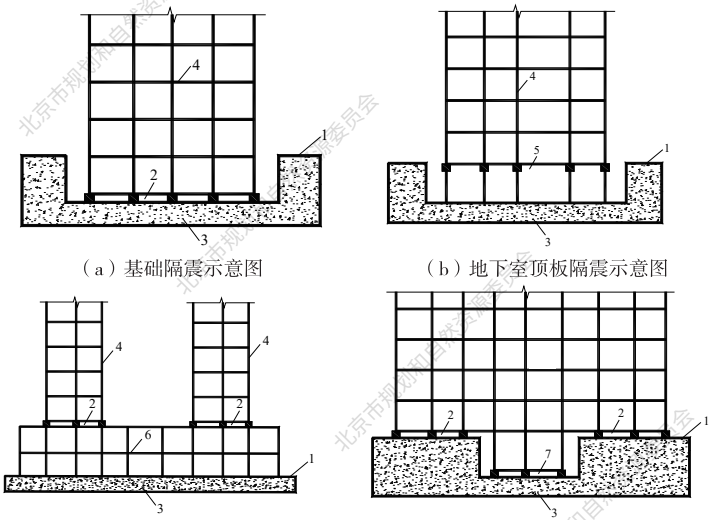
11.2.8　隔震结构抗倾覆验算应满足下列要求：

1　隔震结构抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座抗压承载力验算；

2　进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并应按上部结构重力荷载代表值计算抗倾覆力矩。抗倾覆安全系数应大于 1.2；

3　隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，最大拉、压应力应符合本规程第 11.2.1 和 11.2.4 条的规定。

11.2.9　隔震层位置需根据结构安全、造价、功能布局等因素确定。隔震层可设置于基础底板、地下室顶板、大底盘裙房顶等位置。对于一些地下室层数少、功能简单的建筑，可取消隔震层下底板，形成柱顶隔震，可有效减小因设置隔震层而增加的地下室埋深。当确有必要时，且满足一定条件时隔震支座可布置于不同楼层，形成跨层隔震（图 11.2.9）。



（a）基础隔震示意图　（b）地下室顶板隔震示意图

（c）层间隔震示意图　（d）跨层隔震示意图

1—室外地坪；2—隔震层；3—基础；4—上部结构；5—地下室兼隔震层；6—隔震层下部结构；7—局部下沉隔震层

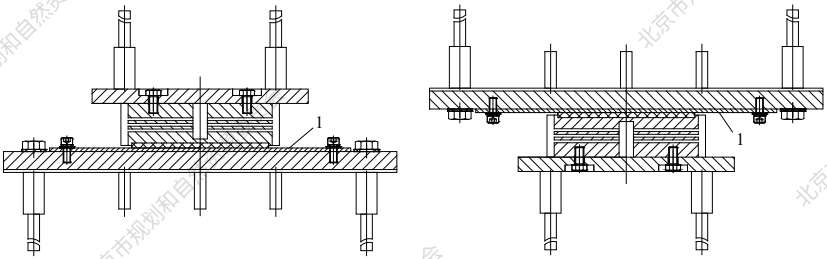
图 11.2.9　隔震层位置示意

11.2.10　隔震结构可通过设置消能器来减小隔震层的最大变形，在隔震层设置速度型消能器时宜沿正交方向双向设置，且宜采用速度指数较大的消能器。

11.2.11　当高烈度区及隔震建筑的高宽比过大时，为避免隔震支座因竖向变形而发生损伤破坏，可在橡胶隔震支座或摩擦摆隔震支座上部

设置提离装置。

11.2.12　弹性滑板支座通常可根据需要采用滑动面上置式或滑动面下置式（图 11.2.12）。当滑动面尺寸大于 1500mm 时，滑动面下置式方法存在埋板下部的灌浆料填充难以密实的问题，不宜采用。



（a）滑动面上置式　　（b）滑动面下置式

1—滑动面

图 11.2.12　弹性滑板支座滑动面示意

11.2.13　隔震支座设置宜与上部竖向构件对中布置。当不可避免需要采取偏心布置时，需沿偏心方向设置平衡梁。

11.2.14　建筑三维隔震（振）竖向隔振设计所用的环境激励，应取建筑场地的实测代表性场地振动，应在设计过程中考虑结构与周边土体共同作用、振源位置、激励类型（点激励、线激励、面激励）等因素的影响。

11.3　隔震结构计算分析

11.3.1　罕遇地震下支座拉应力计算时，时程分析的初始条件需考虑支座在结构重力荷载代表值下的初始内力和变形。当拉应力很难控制在规范允许范围内时，可采取设置抗拉装置、可提离装置等措施，应采用可准确反映抗拉装置和可提离装置力学模型的方式进行模拟，并参与整体分析。

11.3.2　大底盘顶隔震时，应采用带底盘模型进行整体隔震分析和构件设计。

11.3.3　隔震结构计算分析时，上部结构的阻尼比宜比常规抗震结构降低 0.005~0.01。

11.3.4　隔震层应进行罕遇地震下水平位移验算，并应采用三向地震动输入。

11.3.5　橡胶隔震支座受拉刚度宜取其受压刚度的 1/10~1/15。

11.4　隔震层上部结构

11.4.1　上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1　上部结构为框架、框架–抗震墙和抗震墙结构时，隔震层的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算。上部结构为砌体结构时，隔震层顶部各纵、横梁可按受均布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算；当连续梁计算的正弯矩小于按单跨简支梁计算的跨中弯矩的 0.8 倍时，应按 0.8 倍单跨简支梁跨中弯矩取值。当计算出现负弯矩时，应进行双向配筋。对托墙梁顶砌体应进行局部承压验算，并在构造上采取适当加强措施；

2　对于三维隔震（振）建筑，隔震（振）层以上的结构应进行竖向地震作用的计算，并考虑三维隔震（振）层对上部结构竖向运动的影响。

11.4.2　上部结构的抗震措施，可按水平向减震系数及相应的抗震设防烈度确定；除应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应设防烈度的规定外，尚应符合下列规定：

1　隔震结构水平向减震系数大于 0.4 时，隔震结构应按本地区设防烈度规定采取相应的抗震措施，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；

2　隔震结构水平向减震系数不大于 0.4 时，上部结构可按本地区设防烈度降低一度确定抗震措施；

3　与竖向地震作用有关的抗震措施，应符合本地区设防烈度的规定，不得降低。

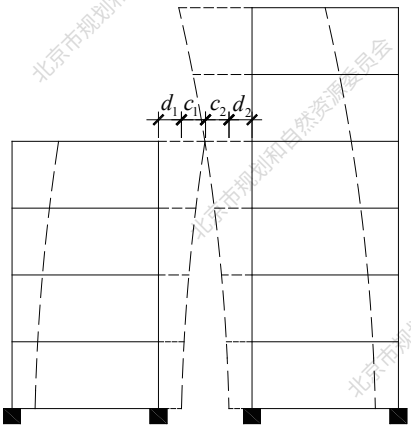
注：　对于多层结构，水平向减震系数为设防地震作用下计算所得的隔震与非隔震各层层

剪力的最大比值。对高层结构，尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并与层剪力的最大比值相比较，取二者的较大值。

11.4.3　隔震结构各楼层的水平地震剪力应满足本规程 4.2 节的相关要求。当隔震后地震剪力不满足原设防烈度的最小剪力系数要求时，可通过放大楼层地震剪力以满足最小剪力系数的要求。

11.4.4　隔震结构自振周期、水平等效刚度和等效阻尼比，应根据隔震层中隔震装置及阻尼装置经试验所得滞回曲线，对应不同烈度地震作用时的隔震层水平位移值计算，可按对应不同烈度地震作用时的振型分解反应谱法进行迭代计算确定，也可采用时程分析法计算确定。

11.4.5　对高度大于 24m 的相邻隔震结构，上部结构之间竖向隔离缝宽度需考虑罕遇地震下隔震层变形和上部结构变形的叠加效应（图 11.4.5）。当结构外侧沿竖向平齐时，上部结构缝宽度不小于 $d_1+d_2+c_1+c_2$。



d_1（d_2）—相邻两结构隔震层最大水平位移，
c_1（c_2）—相邻两结构上部对应标高的最大水平位移

图 11.4.5　相邻隔震结构缝宽示意

11.4.6　三维隔震（振）建筑在正常使用情况下环境激励引起的楼盖竖向振动应符合国家现行相关标准的规定。

11.5 隔震层下部结构

11.5.1 隔震层下部结构的承载力验算，应考虑上部结构传递的轴力、弯矩、水平剪力，以及由隔震层水平变形产生的附加弯矩的影响。

11.5.2 隔震层支墩、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、水平力和弯矩进行承载力验算，并应按抗剪弹性、抗弯不屈服进行计算，宜按本规程附录 C 进行验算。

11.5.3 隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层以上结构的相关构件，应满足隔震后设防地震的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。隔震层以下地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值应满足本规程第 4.5.3 条的要求。

11.6 隔震层构造

11.6.1 隔震层与上部结构的连接，包括隔震层顶部设置梁板楼盖及隔震支座与阻尼装置连接构造要求等，应满足本章的相关要求。

11.6.2 隔震层的顶部应设置梁板式楼盖，且符合下列规定：

1 应采用现浇或装配整体式混凝土板，现浇板的厚度不应小于 160mm；整体装配式混凝土板，总厚度不应小于 180mm，配筋现浇面层不应小于 100mm；隔震支座上方的纵、横梁应采用现浇钢筋混凝土结构；楼板上、下部钢筋应双层双向布置，配筋率不应小于 0.25%；

2 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力，宜大于一般楼面梁板的刚度和承载力；

3 隔震支座附近的梁、柱应验算剪切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

11.6.3 外露的预埋件应有可靠的防锈措施，预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接，并符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中钢筋锚固的相关规定。

11.6.4 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接，宜按本规程附录 C 进行设计；连接结构不得早于隔震支座达到极限破坏状态。

11.6.5　连接螺栓和预埋件的详细计算应符合本规程附录 C.0.3 和 C.0.4 的规定。

11.6.6　利用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋。

12 建筑与机电隔震构造

12.1 一般规定

12.1.1 隔震建筑与非隔震建筑及周边固定物之间应留出水平隔震间距，隔震建筑的隔震沟及隔震缝不应被无关物品或构筑物占压填堵，保证不阻碍地震作用时隔震建筑的变形。应留出隔震沟的日常巡检通道，满足维护修缮要求。

12.1.2 隔震层梁底面到下部结构顶面之间应留有不小于 800mm 的净空，满足检修、更换隔震装置的需要。

12.1.3 隔震层主要结构构件耐火等级应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的相关规定。

12.1.4 隔震层应设置人员检修出入口、隔震装置进出口或吊装口，并应设置防止人员误入或坠落的措施。

12.1.5 隔震层位于地下室或半地下时，其防水等级应根据使用功能确定，并且不应低于二级。其地下迎水面主体结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级的要求采取其他防水措施。

12.1.6 隔震楼层内装修应采用防火防潮材料，并应满足防腐、抗震、环保要求，其内部装修应符合现行国家标准有关建筑内部装修设计防火的规定。

12.1.7 本规程未涉及的特殊隔震构造措施，应根据具体功能需求和隔震设计要求进行设计。

12.2 隔离缝构造

12.2.1 隔震建筑中，上部结构与下部结构之间应设置连续贯通的水平隔离缝，缝高不应小于 30mm。

12.2.2 对水平隔离缝封闭处理，宜采用柔性材料或者低强度脆性材料填充，有防水要求的水平隔离缝，防水材料应采用柔性材料，并预留

伸缩量。有防火要求时，封堵材料应满足相应部位的耐火极限要求。

12.2.3　隔震建筑周圈应设置隔震沟（竖向隔离缝）与周围固定物脱开，隔震沟（竖向隔离缝）缝宽不应小于罕遇地震下隔震层最大水平位移值的 1.2 倍且不应小于 300mm。对于相邻的两个隔震建筑，该缝宽不应小于最大水平位移之和，且不应小于 600mm。

12.2.4　隔震建筑周圈的隔震沟应采取可靠措施防止雨水侵入隔震层。

12.2.5　隔震沟不应存在任何阻碍上部结构自由运动的杂物，对隔震沟进行遮挡和覆盖时，隔震沟盖板不应阻碍隔震建筑在地震时发生水平位移。隔震沟盖板应采用坚固耐用、防滑材料制作，满足相关通行要求。

12.2.6　隔震沟盖板构造细部应满足以下要求：

1　地震工况移动变形要求。特殊部位（如转角、隔震沟侧壁变标高部位）还应注意满足地震工况多方向移动变形要求；

2　上部结构日常工况下的承载力和温度变形量要求。

12.2.7　隔震建筑的人员和车辆主要出入口部位，如设置可移动隔震沟盖板，应采取防滑落和复位措施，保证通行功能不中断。

12.3　楼梯、电梯等隔震构造

12.3.1　隔震建筑中，当楼梯、电梯、自动扶梯、自动步道、台阶、坡道穿越隔震层时，应设置隔震缝，满足隔震脱离要求。隔震缝应满足该部位相应耐火极限要求，防火构造不应阻碍隔震建筑在地震时的位移和变形。

12.3.2　楼梯穿越隔震层时，可采用断开、端部滑动支承、悬挂、底部支承等形式。楼梯、附属结构及竖向隔离缝盖板不应阻碍隔震建筑在地震时发生位移。

12.3.3　电梯井穿越建筑主体结构隔震层时，可采取悬挂式或支承式电梯井等方式。电梯井周圈及底部应留出水平和竖向隔离缝。悬挂式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于 800mm。支承式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于 1000mm。

12.3.4　隔震建筑中，自动扶梯（或倾斜式自动步道）需要在竖直方向上跨越隔震层时，应设置满足本规程第 12.2.3 条要求的隔离缝。隔离缝盖板不应阻碍上部结构在地震时发生水平位移。

12.3.5　隔震建筑与非隔震建筑贴邻时，水平自动步道不应在水平方向上穿过竖向隔离缝或隔震沟。

12.3.6　与隔震建筑上部结构相连的室外出入口台阶、无障碍坡道及附属栏杆扶手设施，在穿越隔震层位置与室外地面衔接时，应采取隔震脱离措施，如断开设缝、端部滑动支承梯段（坡道）等方式。台阶、坡道的隔震部分应保持与周圈固定物的水平隔震距离，不能阻碍上部结构在地震时发生水平位移。

12.3.7　与隔震建筑上部结构相连的地下车库出入口坡道，在穿越隔震层位置与室外地面衔接时，应采取隔震脱离措施。地库出入口隔震沟在安装可移动盖板时，应满足本规程第 12.2.5、12.2.6 和 12.2.7 条的要求。

12.4　外墙与屋面隔震构造

12.4.1　隔震建筑与非隔震建筑贴邻时，贴邻墙体或幕墙之间应采取隔震脱离措施，其各类构件水平脱开净距（即外墙竖向隔离缝宽度）不应小于表 12.4.1 的规定：

表 12.4.1　隔震建筑外墙竖向隔离缝宽度

		非隔震建筑		
		钢筋混凝土外墙、砌体外墙（含承托外墙的混凝土楼板）	幕墙金属主龙骨	幕墙金属次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土外墙、砌体外墙（含承托外墙的混凝土楼板）	D	D_1	D_2
	幕墙金属主龙骨	D_1	D_1	D_2
	幕墙金属次龙骨	D_2	D_2	D_2

注：1. D 取值为隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。

2. D_1 取值为隔震层在设防地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。

3. D_2 取值为隔震层在多遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。对于地震时正常使用建筑，该数值要求为隔震层在设防地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。

12.4.2　如因功能需要将上述外墙竖向隔离缝进行覆盖，应采用可移动盖板构造或可变形柔性材料；还应满足外墙防水、防火的相关要求。

12.4.3　隔震建筑与非隔震建筑贴邻时，贴邻屋面之间应采取隔震脱离措施，其各类构件水平脱开净距（即屋面竖向隔离缝宽度）不应小于表 12.4.3 的规定：

表 12.4.3　隔震建筑屋面竖向隔离缝宽度

		非隔震建筑		
		钢筋混凝土屋面	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土屋面	D	D_1	D_2
	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	D_1	D_1	D_2
	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨	D_2	D_2	D_2

注：D、D_1 和 D_2 的取值同表 12.4.1。

12.4.4　如因功能需要将上述屋面竖向隔离缝进行覆盖，可采用可移动盖板构造、可变形柔性材料、一侧与上部结构固定的盖板等方式，还应满足屋面防水、保温和防火的相关要求。当采用一侧与上部结构固定的盖板时，应通过水平隔离缝将彼此贴邻的屋面脱开，水平隔离缝应符合本规程第 12.2.1 和 12.2.2 条的规定。

12.5　内墙与装修隔震构造

12.5.1　隔震层内确需设置内墙时，与下部结构相连的内墙和上部结构构件之间应采取隔震脱离措施，其水平隔离缝宽度和竖向隔离缝宽度应分别符合本规程第 12.2.1 和 12.2.3 条的规定。

12.5.2　隔震层内墙及外墙上的门窗，不应跨越水平隔离缝，该门窗应

仅与上部结构或下部结构进行单侧固定，与另一侧采取隔震脱离措施。

12.5.3　如因功能需要将内墙竖向隔离缝进行覆盖，应采用可移动盖板（夹层活动墙）构造或可变形柔性材料；还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙竖向隔离缝可移动盖板（或夹层活动墙）的整体耐火极限应满足相应要求。

12.5.4　如因功能需要将内墙水平隔离缝进行覆盖或填充时，应采用可移动构造或可变形柔性材料；还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙水平隔离缝可移动构造或填充物的整体耐火极限应满足相应要求。

12.5.5　与常规功能楼层共用的隔震层，该楼层的吊顶与临近的非隔震结构构件（或非隔震墙体、吊顶）之间应采取隔震脱离措施，一般情况下，吊顶水平脱开净距不宜小于 200mm；考虑地震时该楼层功能正常使用时，其水平脱开净距不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。

12.5.6　隔震建筑与非隔震建筑贴邻，且内部空间连通时，各层楼板室内连通位置应设置竖向隔离缝，缝宽要求同 12.2.3 条。竖向隔离缝盖板应满足本规程第 12.2.5、12.2.6 和 12.2.7 条要求，以及该部位的耐火极限要求。

12.5.7　对隔震层的隔震装置进行防火保护时，防火保护构造不应阻碍隔震装置在地震时的位移；防火保护构造耐火极限不应低于该建筑竖向承重构件的耐火极限，其材质应防腐、防潮，正常使用耐久性年限不宜低于 15 年。

12.6　隔震层机电设备与管线

12.6.1　隔震建筑的机电工程柔性连接应满足下列要求：

1　对地震时要求正常使用的建筑，机电工程柔性连接的设计应满足建筑的罕遇地震标准；

2　对其他建筑中在震时可能使用的防排烟、消防给水、消防供配电、消防应急照明和疏散指示、火灾自动报警等系统柔性连接的设计应满足建筑的罕遇地震标准；其余机电系统柔性连接的设计应满足建

筑的设防地震标准。

12.6.2　穿越隔震层的各类管道应采用柔性连接部件或其他有效措施，其水平位移补偿量应按满足本规程第 12.6.1 条规定的地震标准进行计算确定，且不宜小于计算最大位移量的 1.2 倍。柔性连接部件应采用成熟产品，且应满足正常使用要求，设置位置应考虑方便检修与更换。

12.6.3　隔震层中，固定于上部结构的机电管线边缘与周围固定物、非隔震结构（或墙体）的间距不应小于建筑结构主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍。

12.6.4　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。

12.6.5　可能泄露有害介质或可燃介质的管道布置应符合下列规定：

1　应避免穿越隔震楼层，当必须穿越时，应在室外设置阀门和快速切断阀，并设置与切断阀连锁的地震感应器；管道在隔震层部位的水平位移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.4 倍；

2　不应穿越隔震沟、隔离缝及临近的可移动构件。

12.6.6　隔震专用楼层内管道及支吊架应加强防腐性能，地下隔震专用楼层内的机电设备宜选用防潮性能好的产品。

12.6.7　密闭的隔震专用层宜设置机械通风设施，通风换气量不小于 2 次 /h。

12.6.8　隔震专用层内应预留集水坑，其数量不应少于两处，其间距不宜大于 200m；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、进水风险等因素，设置排水泵系统或自干型集水坑。

12.6.9　隔震专用层内应设置照明设施。出入口、吊装口地面照度不宜低于 100 lx，隔震专用层内地面最低水平照度不应低于 1.0 lx。

12.6.10　隔震专用层的人员检修出入口外部宜安装无关人员禁止进入标志灯，内部应安装出口标志灯。

12.6.11　机电管线穿越隔震楼层时，应采用柔性防火材料对洞口与管道间的缝隙进行封堵。

12.6.12　隔震专用层内部与外部的用电设备应分回路配电，分支配电线路不宜由隔震专用层内部配电装置向外部配出。

12.6.13　隔震楼层内的各类电缆缆线穿越隔震层时，应留有缆线长度余量，余量不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小 300mm。缆线穿管敷设时宜采用弹性和延性较好的管材。

12.6.14　防雷接地引线跨越隔震楼层时，应采取可靠柔性跨接措施，水平位移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍。

13　隔震分部工程的施工、验收和维护

13.1　一般规定

13.1.1　建筑隔震工程施工现场管理，应有健全的质量管理体系、施工质量控制与检验制度。

13.1.2　建筑隔震工程施工前，由建设单位组织设计、施工、监理及其他相关单位对设计文件进行技术交底和图纸会审。

13.1.3　建筑隔震工程施工前，施工单位应根据设计文件编制专项施工组织设计和施工技术方案，并经建设和监理单位审核。

13.1.4　建筑隔震工程施工的每道工序完成后应按隐蔽工程要求检查验收，并应形成记录，同时宜留有图像资料。对重要工序需经设计人员确认合格后，方可进行下道工序的施工。

13.2　进场验收及施工

13.2.1　隔震支座、消能器及连接件等隔震部件产品进场时，应按相关规定进行进场验收。

13.2.2　隔震支座和消能器应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。隔震支座和消能器应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，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。开封验货后，应进行包装防护。

13.2.3　隔震支座、消能器应按照相关规定进行见证检验，对检验判定为不合格的产品不得使用。

13.2.4　隔震支座和消能器的施工应按现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 的规定执行。

13.2.5　隔震建筑施工过程中，应对隔震支座的变形进行监测。

13.2.6　消能器的安装应在支座安装及上部梁板体系施工验收合格后进

行，或在隔震层上部结构施工验收合格后进行。

13.2.7　隔震支座和消能器安装宜由经过专门培训的人员实施，且安装时应有监理进行旁站。

13.2.8　对采用新工艺、超长结构、大跨度结构或设计有特殊要求的施工方案，应组织专家进行论证。

13.3　隔震工程质量验收及维护

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；

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的基础上，按检验批、分项工程、子分部工程逐级检查验收，应符合下列规定：

1　工程施工质量应满足本规程和设计要求；

2　参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；

3　隐蔽工程在隐蔽前，应由相关单位进行隐蔽工程验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件；

4　检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；

5　工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

13.3.3　橡胶隔震支座、弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 13.3.3 的规定。

表 13.3.3　隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法

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		± 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	3‰		用水准仪、千分塞尺测量

（续表）

支座类别	项目		允许偏差	检查数量	检验方法
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

13.3.4　建筑隔震工程质量验收不合格时，应按下列规定处理：

1　经更换构（配）件的检验批，应重新进行验收；

2　经有资质的检测机构鉴定并出具相关鉴定报告，且经设计单位复核，能够满足结构安全和使用功能要求，可予以验收。

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　隔震部件的维护

13.4.1　建设单位应组织设计单位和隔震支座产品供应商编制隔震工程使用说明书及维护管理要求，说明书中应阐述隔震原理、房屋使用者注意的问题，同时给出主要建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔离缝布置图以及隔震产品描述等。

13.4.2　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、检查。检查项目可包括支座、消能器、隔震沟（隔离缝）、柔性连接；检查方法应按本规程的 13.3 节相关规定执行。

13.4.3　隔震建筑的维护检查分为常规检查、定期检查和应急检查。

1　常规检查应每年进行一次，检查方式可采用观察方式和尺量；

2　定期检查应为竣工后的第 3 年和第 5 年，第 5 年以后每 5 年进行一次。除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，检查内容同定期检查。

13.4.4　隔震层部件的改装、更换和加固，宜优先采用原厂家隔震部件。施工前应编制专项施工方案，并由有资质的设计单位确认，或由原设计单位确认。

13.5　隔震工程专用标识

13.5.1　新建、改建、扩建建筑隔震工程均应设置隔震工程专用标识。专用标识不应被遮挡、覆盖。工程设计文件中应对专用标识的设置提出明确要求。隔震工程专用标识的安装应纳入隔震专项验收范围。竣工验收后，建筑隔震工程专用标识应纳入隔震建筑全生命周期内的物业维护和管理工作范围。

13.5.2　隔震装置（如隔震支座、阻尼器等）标识应由供应商随产品提供，其他隔震专用标识应由建设单位委托制作，施工单位负责安装。更换隔震装置时，应同时更换相应标识。

13.5.3　隔震工程专用标识中，主标识应反映工程基本信息，包括隔震工程标志、项目名称、建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、主要隔震装置的产品供应商、隔震专项工程验收日期。其他专用标识可分为隔震支座标识、隔震沟（隔离缝）标识、隔震楼层标识、穿越隔震层部位的可移动管线标识、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。

13.5.4　隔震工程专用主标识应设置于建筑主要入口显著位置。其他隔震专用标识应设置于相关隔震装置或隔震构造的邻近位置。所有隔震工程专用标识应便于识读及维护。

13.5.5　由于隔震建筑上部结构和下部结构在地震时会有相对错动，应在错动构造部位的临近墙面或地面设置疏散避让标识，提示疏散人员进行避让，提示无关物品不得侵占水平隔震间距。下列部位应设置明显疏散避让标识：

1　跨越建筑首层周圈隔震沟的人行出入口、隔震台阶和无障碍坡道部位；

2　跨越隔震沟的地下车库连通口、地下车库地面出入口部位；

3　建筑内部各楼层楼板上设置了竖向隔离缝盖板的部位（隔震与非隔震建筑贴邻建设时）；

4　隔震工程中的断开式楼梯、端部滑动支撑式楼梯的可移动部位；

5　隔震工程中的悬挂式（支承式）楼梯间、悬挂式（支承式）电梯井、悬挂式（支承式）核心筒在楼板处的竖向隔离缝盖板部位；

6　其他因隔震而可能产生相对位移的部位。

13.5.6　在隔震建筑周圈竖向隔震沟位置，如有人员和车辆出入口，宜在出入口部位设置地面隔震间距标识或标线，标明地震时此处为建筑物的移动空间。

13.5.7　隔震工程专用标识应采用耐久性好、易于清洁、不易腐蚀生锈变质的不燃或难燃材料制作，如铜、铝、不锈钢等。同一项目宜采用统一标识材料，隔震管线标识可采用难燃的软质标签。

13.5.8　隔震工程专用标识在安装前应由设计方确认内容正确，安装后应形成标识数量和样式清单，纳入隔震专项工程验收资料，并提供给后续物业管理单位。

13.5.9　隔震工程专用标识在竣工验收后，一般情况应每半年进行一次定期检查，保证标识安装牢固、标志和字迹清楚、未受污损。发生地震、火灾等特殊情况，应结合隔震工程应急检查一并进行巡检。在建筑使用期内，如隔震工程专用标识出现污损、缺失，应由物业管理方及时进行更换和安装。

13.5.10　隔震工程专用标识图样见附录 N。

14 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统

14.1 建筑物地震反应观测系统

14.1.1 对于高度超过 80m 或高宽比大于 4 的隔震建筑、高度超过 120m 的大型公共建筑减震建筑，应设置地震反应观测系统。其余减隔震建筑工程宜设置地震反应观测系统。建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。

14.1.2 建筑结构地震反应观测系统的观测点布置应满足以下要求：

1 对隔震建筑，应在建筑物基础顶、隔震支座上部、隔震支座下部及顶层位置处布置；

2 对减震建筑，应在建筑物基础顶、顶层位置处布置，且观测点位置不少于三处；

3 观测点竖向间距不应大于 40m。

14.1.3 地震反应观测系统的观测点应采取一定的保护措施并做定期检查，并满足相关规范要求，保证系统正常运行。

14.1.4 特殊设防类建筑安装地震反应观测系统时应满足相关规范的要求。

14.2 隔震建筑监测系统

14.2.1 特殊设防类隔震建筑应设置监测系统，其他隔震建筑宜设置监测系统。

14.2.2 建筑监测内容应根据建筑物复杂程度、建筑规模、功能特点及建筑物破坏后的影响程度确定，设计时根据建筑具体情况按表 14.2.2 选用，其它监测内容可由设计人员根据项目情况确定。

表 14.2.2　建筑物监测表

建筑类型	应监测内容	最少监测点数	宜检测内容	最少监测点数
特殊设防类建筑	建筑位移、楼层加速度、隔震部件变形，支墩变形	3%，3 个	隔震层转换梁变形、非隔震层重要结构构件变形	3 个
防灾减灾类重点设防类建筑、重要的基础设施类及工业类建筑中的重点设防类建筑	楼层加速度，隔震部件变形	2%，2 个	建筑位移、隔震层转换梁变形，支墩变形	–

注：　若同类构件在隔震层或非隔震层中的总数少于表中的最少监测点数时，应按该类构件的实际数量设置监测点。

14.2.3　监测系统施工前，应进行深化设计。建筑监测系统宜与建筑地震观测系统和机电智能化系统统筹设置。宜选用带有监测功能的隔震装置组建监测系统。

14.2.4　隔震建筑监测系统至少包括以下内容：

1　传感器系统；

2　数据采集和处理系统；

3　数据管理系统；

4　建筑健康评价系统。

14.2.5　监测数据应保存在相对独立的物理存储空间中，对于特殊设防类建筑，其监测系统宜设置监测数据备份系统，监测数据存留时间不应小于 5 年，对于其它建筑物，其监测数据存留时间不应小于 3 年。

14.2.6　监测系统应能够及时将监测过程中分析和判断的监测结果进行反馈，监测系统应内置报警系统，监测数据正常值和预警值应由相关单位提供。监测系统发出预警时，建筑管理或使用单位应及时进行检查，必要时由专业人员进行检查，根据实际情况采取处理措施并形成书面报告。

14.2.7　监测设备应布置在不易碰撞和损坏的位置。隔震结构监测系统应采取一定的保护措施并做定期检查，检查周期同隔震支座维护要求，由隔震建筑使用或管理单位进行。

附录 A　隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求

A.0.1　天然橡胶支座滞回模型（图 A.0.1），水平刚度设计值可按下式进行计算（环境温度为 23°　C）：

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \qquad (A.0.1\text{–}1)$$

式中：

K_r——天然橡胶支座水平刚度设计值；

G_r——橡胶剪切模量；

A_r——叠层橡胶横截面面积（不含橡胶层中间开孔面积）；

t_r——橡胶层总厚度。

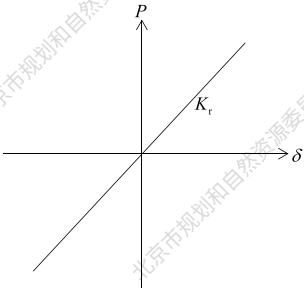


图 A.0.1　天然橡胶支座滞回模型

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：

$$K_r(t) = K_r(t_0)\exp\left(\alpha_{tk}(t - t_0)\right) \qquad (A.0.1\text{–}2)$$

式中：

t_0——修正前温度；

t——修正后温度；

α_{tk}——温度修正系数，由支座相关性试验确定。

A.0.2　铅芯橡胶支座滞回模型（图 A.0.2），其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

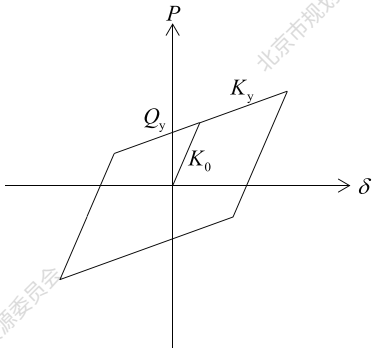


图 A.0.2　铅芯橡胶支座滞回模型

1　环境温度为 23°　C 时的屈服后水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_y = C_{Ky}\left(K_r + K_p\right) \tag{A.0.2–1}$$

$$K_p = G_p \frac{A_p}{t_r} \tag{A.0.2–2}$$

式中：

K_y——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值；

K_p——由铅芯部分提供的水平刚度；

A_P——铅芯横截面积；

G_P——铅芯剪切模量；

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公式（A.0.1–2）进行调整。

2　环境温度为 23℃时的水平屈服剪力设计值可按下式确定：

$$Q_y = C_{Qy}\sigma_p A_p \tag{A.0.2–3}$$

式中：

Q_y——铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值；

σ_p——铅芯剪切屈服应力；

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：

$$Q_y(t)=Q_y(t_0)\exp\left(\alpha_{tQ}(t-t_0)\right) \quad (A.0.2\text{–}4)$$

式中：

α_{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：

$$K_0=\alpha K_y \quad (A.0.2\text{–}5)$$

式中：

K_0——铅芯橡胶支座屈服前水平刚度设计值；

α——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式确定：

$$K_{eq}=\frac{Q_y}{\gamma_h t_r}+K_y \quad (A.0.2\text{–}6)$$

$$\zeta_{eq}=\frac{2}{\pi}\frac{Q_y\left[\gamma_h t_r-\dfrac{Q_y}{(\beta-1)K_y}\right]}{K_{eq}(\gamma_h t_r)^2} \quad (A.0.2\text{–}7)$$

式中：

K_{eq}——铅芯橡胶支座等效水平刚度；

ζ_{eq}——铅芯橡胶支座等效阻尼比。

γ_h——叠层橡胶支座水平剪切应变，其数值为叠层橡胶支座水平位移与橡胶层总厚度之比。

A.0.3 弹性滑板支座其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

1 环境温度为 23℃时的屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_0=G_r\frac{A_r}{t_r} \quad (A.0.3.1\text{–}1)$$

式中：

K_0——弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值。

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（A.0.1–2）进行调整。

2 水平屈服力设计值可按下式确定：

$$Q_y = \mu_s W \quad (A.0.3-2)$$

式中：

Q_y——弹性滑板支座水平屈服力设计值；

μ_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。

3　弹性滑板支座等效水平刚度可按下式确定：

$$K_{eq} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} \quad (A.0.3-3)$$

式中：

K_{eq}——弹性滑板支座等效水平刚度。

A.0.4　摩擦摆隔震支座其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

1　屈服后水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_y = \frac{W}{R_s} \quad (A.0.4-1)$$

式中：

K_y——摩擦摆隔震支座屈服后水平刚度设计值；

R_s——摩擦摆隔震支座等效曲率半径。

2　水平屈服力设计值可按下式确定：

$$Q_y = \mu W \quad (A.0.4-2)$$

式中：

Q_y——摩擦摆隔震支座水平屈服力设计值；

μ——摩擦面摩擦系数，可由支座试验确定。

附录 B　复振型影响系数计算公式

B.0.1　复振型分解反应谱法中 j 振型和参与系数可按下式计算：

$$X_{ji} = \mathrm{Re}\left(c_{ji}\phi_{ji}\right) \tag{B.0.1–1}$$

$$\gamma_j = 2\mathrm{Re}\left(\eta_j\lambda_j\right) \tag{B.0.1–2}$$

$$c_{ji} = -c_{ji}^0 \frac{\eta_j\overline{\lambda}_j}{\mathrm{Re}\left(\eta_j\lambda_j\right)} \tag{B.0.1–3}$$

$$\eta_j = \frac{-\lambda_j\phi_j^T Mr}{-\lambda_j^2\phi_j^T M\phi_j + \phi_j^T K\phi_j} \tag{B.0.1–4}$$

$$c_{ji}^0 = \begin{cases} \dfrac{(1+\mu)\omega_b^2}{\mu\omega_j^2} + \dfrac{\left(\lambda_j^2+\alpha\lambda_j\right)}{\left(1+\beta\lambda_j\right)\omega_j^2}\cdot\dfrac{\sum\limits_{i=b+1}^{n} G_i\phi_{ji}}{G_b\phi_{jb}} & \text{隔震层} \\ -\dfrac{\left(\lambda_j^2+\alpha\lambda_j\right)}{\left(1+\beta\lambda_j\right)\omega_j^2} & \text{非隔震楼层} \end{cases} \tag{B.0.1–5}$$

式中：

G_i、G_b——分别表示集中于质点 i、隔震层的重力荷载代表值；

c_{ji}——j 复振型 i 质点的水平相对位移阻尼影响系数，忽略阻尼时等于 1；

ϕ_{ji}——j 复振型 i 质点水平相对位移；

η_j——j 复振型的参与系数；

λ_j——j 复振型的特征值；

$\overline{\lambda}_j$——j 复振型的特征值的共轭；

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

r——地震作用影响向量；

ω_b——隔震层频率，等于隔震层刚度除以隔震结构总质量的

平方根；

ω_j——隔震结构第 j 振型圆频率；

α——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

β——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

μ——隔震层质量与上部结构总质量比值；

Re——表示取复数实部。

B.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计算：

$$\iota_j = S_j^v / S_j \tag{B.0.2–1}$$

式中：

S_j^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计算：

$$F_{ji}^v = c_{ji}^v F_{ji}^u \tag{B.0.2–2}$$

$$c_{ji}^v = \zeta_j + \sqrt{1-\zeta_j^2}\,\mathrm{Im}\left(c_{ji}\phi_{ji}\right) / \mathrm{Re}\left(c_{ji}\phi_{ji}\right) \tag{B.0.2–3}$$

式中：

ζ_j——隔震结构第 j 振型阻尼比；

Im——表示取复数虚部；

B.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（4.2.1–1）和（4.2.2–1）~（4.2.2–3）计算，水平地震作用效应按现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的规定计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式计算：

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^{n} X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^{n} X_{ji}^2 G_i \tag{B.0.3–1}$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k}\left(\zeta_j + \lambda_T \zeta_k\right)\lambda_T^{1.5}}{\left(1-\lambda_T^2\right)^2 + 4\zeta_j \zeta_k\left(1-\lambda_T^2\right)\lambda_T + 4\left(\zeta_j^{\,2} + \zeta_k^{\,2}\right)\lambda_T^2} \tag{B.0.3–2}$$

附录 C　隔震支座连接设计

C.0.1　隔震橡胶支座水平变形后，隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下列公式计算：

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

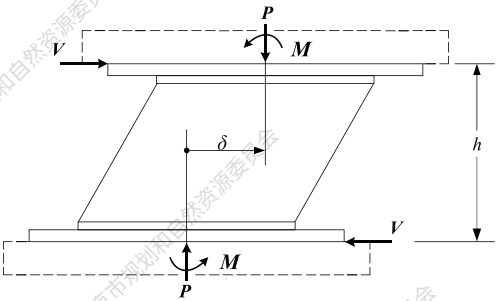


图 C.0.1　隔震支墩及连接部位变形

式中：

M ——隔震支墩及连接部位所受弯矩；

P ——上部结构传递的竖向力；

δ ——支座的水平剪切变形；

V ——支座所受水平剪力；

h ——支座的总高度（含连接板）。

C.0.2　隔震支墩混凝土局部受压最大压应力应满足下列要求：

$$\sigma_c = P\frac{4(1-\cos\theta)}{\left[\frac{\sin\theta\left(2+\cos^2\theta\right)}{3} - \theta\cos\theta - nP_g\pi\cos\theta\right]D_e^2} \le 1.35\beta_c\beta_l f_{ck} \tag{C.0.2}$$

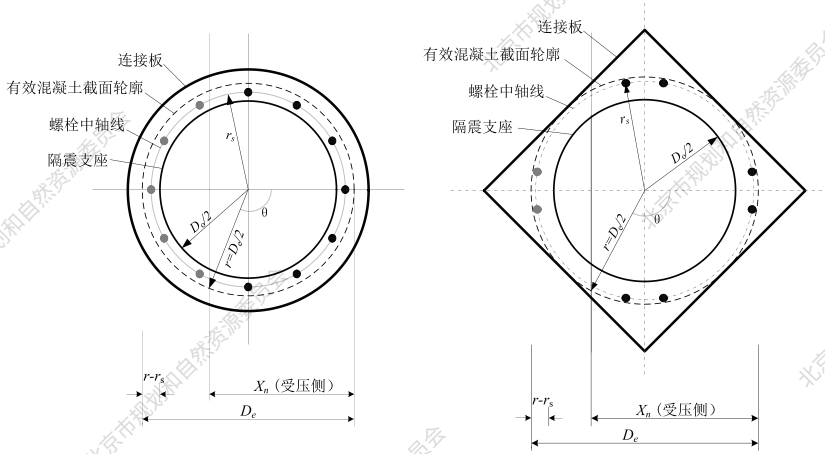


图 C.0.2　隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布

式中：

σ_c ——隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值；

θ ——支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半，$\theta=\arccos(\frac{r-X_n}{r})$；

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，$P_g=\frac{A_s}{\pi D_e^2/4}$；

D_e——上下支墩有效混凝土柱截面直径，$D_e=D_o+4t_f$，D_o 为隔震支座有效直径，t_f 为连接板厚度；

β_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；

β_1——混凝土局部受压时的强度提高系数，取 $\sqrt{\frac{A_b}{A_1}}$ 和 1.6 二者的较小值，其中 A_1 表示支墩截面面积，A_b 表示局部受压面积 $A_b=\pi r^2$；

f_{ck} ——支墩混凝土轴心抗压强度标准值；

X_n ——中性轴位置，此处 $X_n = \left(0.5 + \dfrac{1 + 2nP_g\left(\dfrac{r_s}{r}\right)^2}{16\left(1 + nP_g\right)\dfrac{\delta}{D_e}}\right)D_e$ ；

r_s——螺栓布置的半径；

r ——上下支墩有效混凝土柱截面半径，$r=D_e/2$。

C.0.3　隔震支座连接螺栓强度验算应符合下列规定：

$$\left(\frac{F_B}{A_b f_{yt}^b}\right)^2 + \left(\frac{V}{n_b A_b f_v^b}\right)^2 \le 1 \qquad \text{（C.0.3–1）}$$

$$F_B = \frac{M_r L_{max}}{\sum L_i^2} + \frac{F_u}{n_b} \qquad \text{（C.0.3–2）}$$

式中：

F_B ——螺栓拉力；

A_b ——单个螺栓截面积；

f_{yt}^b——螺栓抗拉设计强度；

n_b——螺栓数量；

f_v^b——螺栓抗剪设计强度；

M_r——支座水平剪力产生的附加弯矩，$M_r = \dfrac{Vh}{2}$ ；

L_{max}——螺栓到中性轴的最大距离；

L_i——螺栓到中性轴的距离，其中中性轴距离隔震支座中心为$\dfrac{\delta}{2}$ ；

F_u——支座提离力。

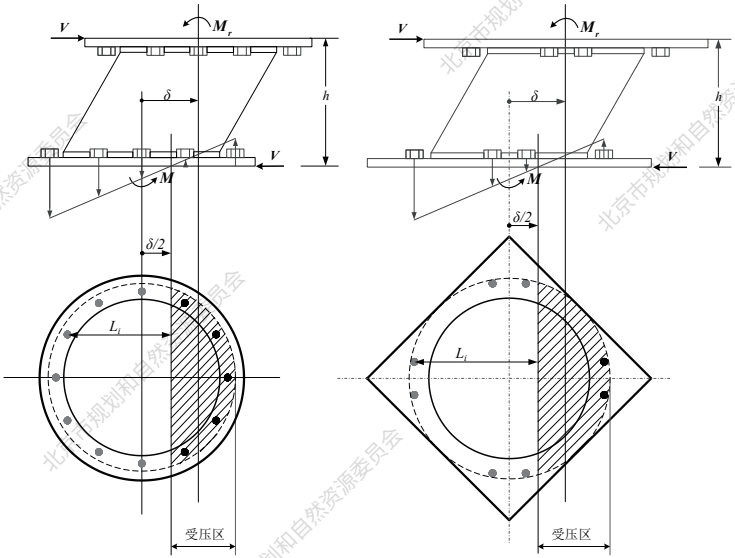


图 C.0.3　连接螺栓受力简图

C.0.4　隔震支座预埋件设计应满足下列要求：

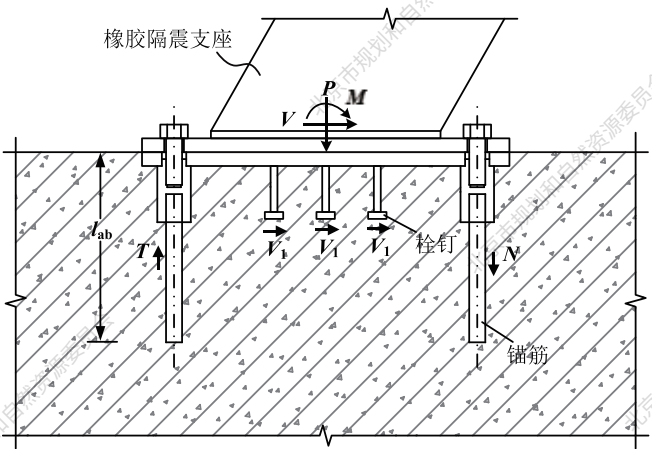


图 C.0.4　预埋件受力情况

1　与连接螺栓相连锚筋强度验算

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_{ab}} \le f_{yt}^{ab} \qquad (C.0.4\text{–}1)$$

式中：

σ_B——与连接螺栓相连锚筋的受拉应力；

A_{ab}——单个锚筋截面积；

f_{yt}^{ab}——锚筋抗拉设计强度。

2　与连接螺栓相连锚筋的锚固长度要求：

$$l_{ab} \ge \alpha \frac{\sigma_B}{f_t} d_{ab}，且不小于 250mm \qquad (C.0.4\text{–}1)$$

式中：

l_{ab}——与螺栓相连锚筋的锚固长度；

α——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；

d_{ab}——锚筋直径。

3　预埋板中部栓钉抗剪承载力设计值由下式确定：

$$V_1 = \frac{V}{n_{st}} \le N_v^{st} = 0.43 A_{st} 且 V_1 \le 0.7 A_{st} \gamma f_{st} \qquad (C.0.4\text{–}2)$$

式中：

V_1——单根栓钉所承受的剪力；

n_{st}——栓钉数量；

N_v^{st}——单根栓钉抗剪承载力设计值；

A_{st}——单根栓钉截面积；

γ——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；当栓钉材料性能等级为 4.6 级时，f_{st}=215N/mm²，γ=1.67。

附录 D　消能器检验项目要求

D.0.1　消能器检验项目要求应按表 D.0.1 进行：

表 D.0.1　消能器检验项目

产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
屈曲约束支撑	基本力学性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
		拉压不平衡系数	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
金属屈服型消能器	基本力学性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
摩擦消能器	基本力学性能	起滑阻尼力	√	√	√
		起滑位移	√	√	√
		摩擦荷载	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
		起滑阻尼力与摩擦荷载偏差	√	√	√
	老化性能	摩擦荷载	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	摩擦荷载	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√

（续表）

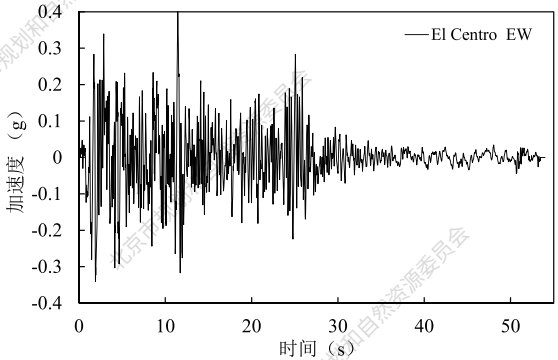
产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
黏滞消能器（黏滞阻尼墙）	基本力学性能	极限位移	√	√	√
		最大阻尼力	√	√	√
		极限速度	√	×	√
		阻尼系数	√	√	√
		速度指数	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	风振测试（针对减少风振的黏滞阻尼器）	最大阻尼力	√	×	×
		滞回曲线	√	×	×
	频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×
黏弹性消能器	基本力学性能	最大阻尼力	√	√	√
		阻尼系数	√	√	√
		速度指数	√	√	√
		刚度	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	极限性能	极限应变	√	×	×
	老化性能	变形	√	×	×
		阻尼系数、速度指数、最大阻尼力	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	阻尼系数、速度指数、最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×
	变形相关性	最大阻尼力	√	×	×

附录 E　校核地震动

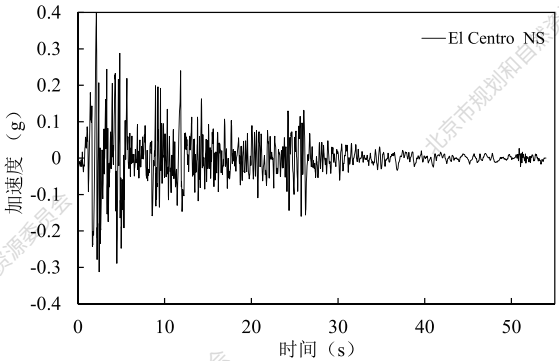
E.1.1　建筑工程结构设计应采用校核地震动进行罕遇地震作用下的校核计算。

E.1.2　校核地震动分为如下两类：

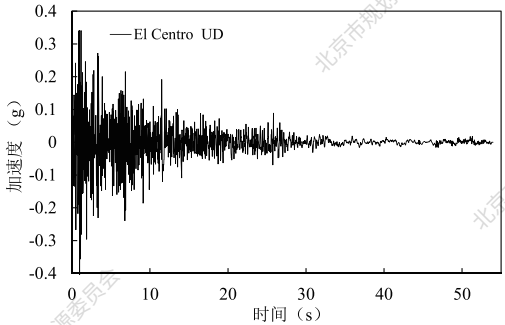
1　第一类为 El Centro 波、唐山地震北京饭店记录经过反演得到的自由场地震动时程；



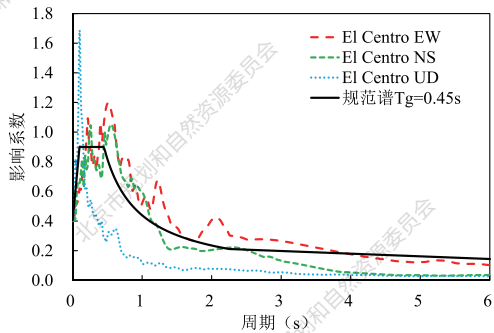
（a）EW 分量



（b）NS 分量

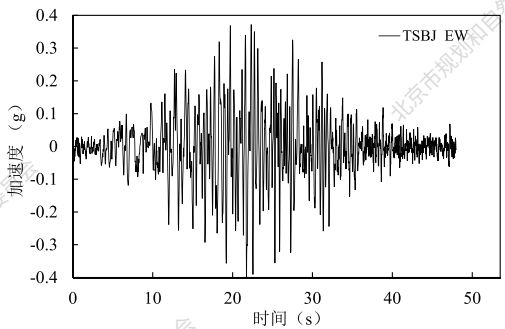


（c）UD 分量

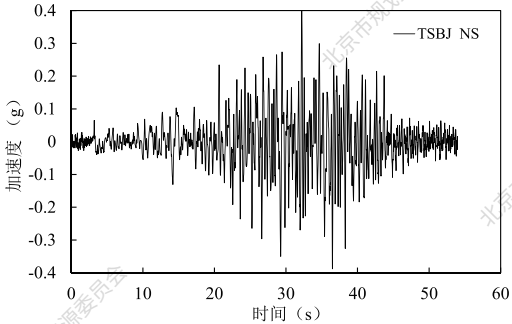


（d）反应谱

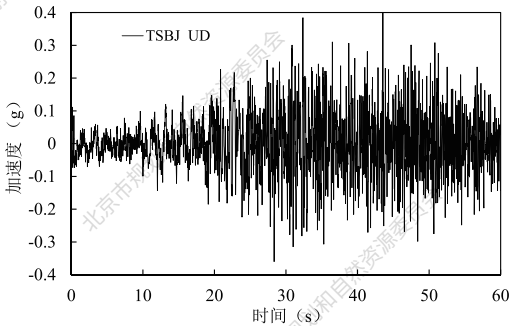
图 E.0.1　El Centro 地震波



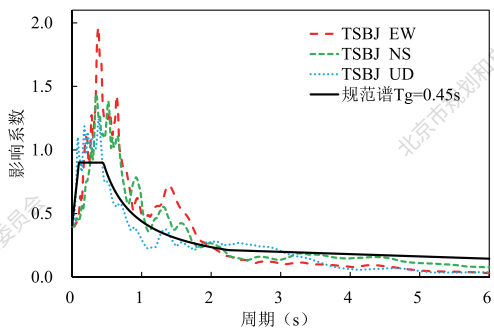
（a）EW 分量



（b）NS 分量



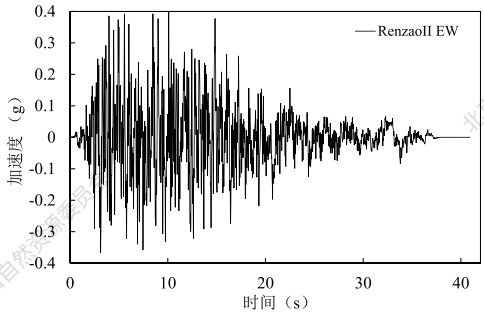
（c）UD 分量



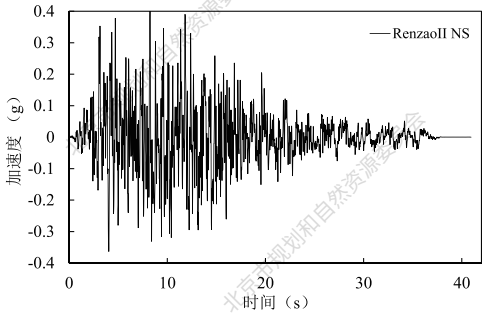
（d）反应谱

图 E.0.2　唐山地震北京饭店反演地震波

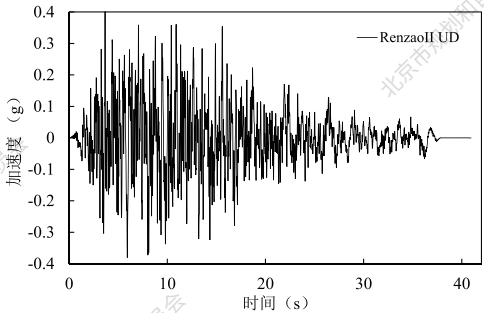
2 第二类为根据北京典型 II 类和 III 类场地地震安全性评价结果得到的人工地震动时程。



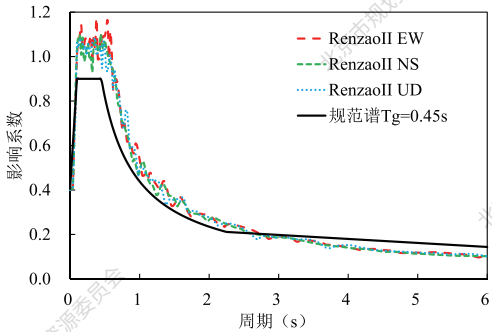
（a）EW 分量



（b）NS 分量

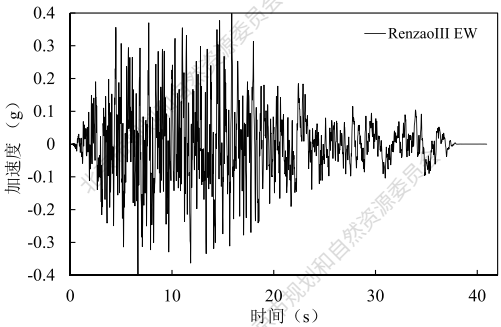


（c）UD 分量

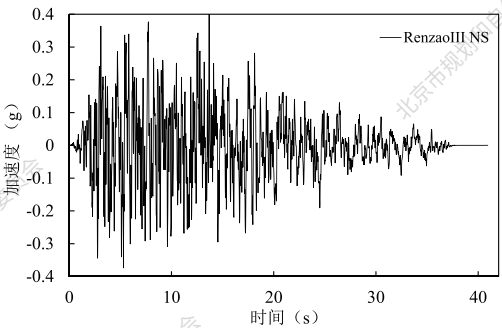


（d）反应谱

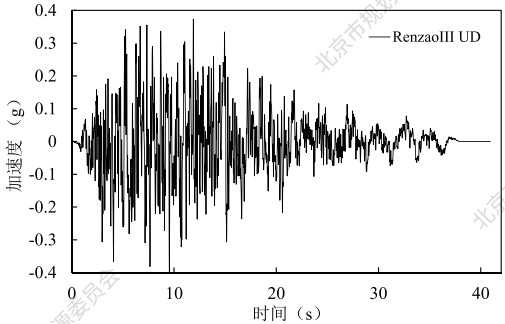
图 E.0.3　II 类场地地震波



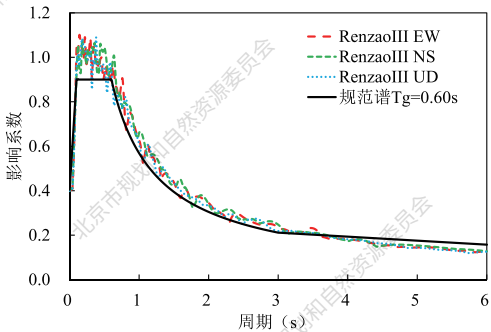
（a）EW 分量



（b）NS 分量



（c）UD 分量



（d）反应谱

图 E.0.4　III 类场地地震波

E.1.3　校核计算应采用第一类 2 组天然地震动时程，并根据场地类型采用第二类 1 组人工地震动时程，进行罕遇地震弹塑性时程分析。

E.1.4　每组地震动均应为三向输入，宜按照 1:0.85:0.65 的比例设置两个水平方向和竖向地震动峰值加速度的比例，计算时应取最不利方向分别计算，取包络值。

E.1.5　校核计算结果应取各组地震动计算结果的包络值。

附录 F　消能器规格及性能参数

F.0.1　屈曲约束支撑规格及性能参数可参照表 F.0.1 选取。

表 F.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	
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。

F.0.2　金属屈服型消能器规格及性能参数可参照表 F.0.2 选取。

表 F.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 Fy/kN	屈服前刚度 Ky/(kN/mm)	屈服位移 Dy/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
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

（续表）

序号	规格型号	屈服力 Fy/kN	屈服前刚度 Ky/(kN/mm)	屈服位移 Dy/mm	屈服后刚度比	参考设计位移 /mm	建议耗能芯材
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
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。

F.0.3 摩擦消能器规格及性能参数可参照表 F.0.3 选取。

表 F.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 /mm	起滑摩擦力 /mm	初始刚度 /(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。

F.0.4 黏滞消能器规格及性能参数可参照表 F.0.4 选取。

表 F.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 α	参考速度 /(mm/s)
1	VFD–NL × F × U	40	0.20 0.25 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		
18		140		
19		120		
20		100		
21	VFD–NL × F × U	240		
22		220		
23		200		
24		180		
25		160		
26		140		

序号	规格型号	阻尼系数 /(kN/(mm/s)$^{\alpha}$)	阻尼指数 α	参考速度 /(mm/s)
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。

F.0.5 黏滞阻尼墙规格及性能参数可参照表 F.0.5 选取。

表 F.0.5 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 /(kN /(mm/s)$^{\alpha}$)	阻尼指数 α	参考速度 /(mm/s)
1	VDW–NL × F × U	22	0.45	150
2	VDW–NL × F × U	44	0.45	
3	VDW–NL × F × U	66	0.45	
4	VDW–NL × F × U	88	0.45	
5	VDW–NL × F × U	110	0.45	
6	VDW–NL × F × U	132	0.45	
7	VDW–NL × F × U	154	0.45	
8	VDW–NL × F × U	176	0.45	
9	VDW–NL × F × U	198	0.45	
10	VDW–NL × F × U	220	0.45	
11	VDW–NL × F × U	242	0.45	
12	VDW–NL × F × U	264	0.45	

注： VDW–NL × F × U，VDW 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罕遇地震作用下的出力和参考速度。

F.0.6　黏弹性消能器规格及性能参数可参照表 F.0.6 选取。

表 F.0.6　黏弹性消能器产品规格型号及性能参数表

序号	规格型号	设计阻尼力 /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 表示设计阻尼力，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 G　隔震支座规格及性能参数

G.0.1　天然橡胶支座规格及性能参数可参照表 G.0.1–1~G.0.1–4 选取。

表 G.0.1–1　天然橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.392MPa）

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

表 G.0.1–2　天然橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.49MPa）

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

表 G.0.1–3　天然橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.60MPa）

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

表 G.0.1–4　天然橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.1,G=0.32MPa）

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

G.0.2　铅芯橡胶支座规格及性能参数可参照表 G.0.2–1~G.0.2–6 选取。

表 G.0.2–1　铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.392MPa）

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /（kN/mm）	8300	7000	5700	5060	4840	4620	4200	3480	3120	2640	2160	1680	1320
水平等效刚度 K_h（100%）/（kN/mm）	3.95	3.90	3.55	3.09	2.91	2.77	2.37	2.05	1.87	1.58	1.27	1.04	0.76
等效阻尼比 ζ_{eq}（100%）	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 /（kN/mm）	31.63	29.46	27.16	25.46	23.25	21.67	19.67	17.35	15.19	13.11	10.91	8.79	6.44
屈服后刚度 K_d /（kN/mm）	2.43	2.27	2.09	1.96	1.79	1.67	1.51	1.33	1.17	1.01	0.84	0.68	0.50
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表 G.0.2–2　铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.49MPa）

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

表 G.0.2–3　铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.45,G=0.60MPa）

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D / mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /（kN/mm）	8900	7500	6300	5830	5280	5060	4680	3960	3600	3120	2640	2040	1740
水平等效刚度 K_h（100%）/（kN/mm）	5.25	5.10	4.96	4.13	3.86	3.58	3.10	2.70	2.44	2.07	1.68	1.37	1.03
等效阻尼比 ζ_{eq}（100%）	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 /（kN/mm）	48.42	45.09	45.43	38.96	35.58	32.20	29.22	25.78	22.57	19.48	16.21	13.07	9.77
屈服后刚度 K_d /（kN/mm）	3.72	3.47	3.49	3.00	2.74	2.48	2.25	1.98	1.74	1.50	1.25	1.01	0.75
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表 G.0.2–4　铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（S_2=5.1，G=0.32MPa）

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

表 G.0.2–5　高阻尼橡胶支座规格型号及性能参数表

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

表 G.0.2–6　弹性滑板支座规格型号及性能参数表（G=1.0MPa）

规格型号	ESB1500	ESB1400	ESB1300	ESB1200	ESB1100	ESB1000	ESB900	ESB800	ESB700	ESB600	ESB500	ESB400	ESB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /（kN/mm）	30000	27000	23000	20000	17000	16000	14000	13000	12000	10000	8000	5500	3500
初始刚度 K_l/（kN/mm）	35.00	32.00	28.00	26.00	22.00	20.00	21.00	20.00	16.50	15.00	11.25	8.80	3.60
动摩擦系数 μ	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05	0.02 ~ 0.05
橡胶层总厚度 /mm	48	48	48	44	44	40	30	25	20	19	19	12	17

附录 H　摩擦摆隔震支座规格及性能参数

H.0.1　建议的单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格及性能参数可参照表 H.0.1 选取。

表 H.0.1　单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参数表

设计竖向承载力 /kN	规格型号	竖向刚度（kN/mm）	动摩擦系数下限值（慢）	动摩擦系数上限值（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
	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

（续表）

设计竖向承载力 /kN	规格型号	竖向刚度（kN/mm）	动摩擦系数下限值（慢）	动摩擦系数上限值（快）	等效曲率半径 /mm	设计水平位移 /mm
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。

H.0.2　建议的双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格及性能参数可参照表 H.0.2 选取。

表 H.0.2　双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参数表

竖向承载力 /kN	规格型号	竖向刚度（kN/mm）	动摩擦系数下限值（慢）	动摩擦系数上限值（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
	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

（续表）

竖向承载力 /kN	规格型号	竖向刚度（kN/mm）	动摩擦系数下限值（慢）	动摩擦系数上限值（快）	等效曲率半径 /mm	设计水平位移 / mm
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 J　位移敏感型建筑非结构构件

J.0.1　地震时正常使用建筑的位移敏感型建筑非结构构件可按表 J.0.1 选用。

表 J.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：IA——满足 I 类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；

IB——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；

IC——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；

ID——满足 I 类建筑中多、高层钢结构的层间位移角限值；

IIA——满足 II 类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；

IIB——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；

IIC——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；

IID——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。

附录 K　加速度敏感型建筑非结构构件

K.0.1　地震时正常使用建筑的加速度敏感型建筑非结构构件可按表 K.0.1 选用。

表 K.0.1　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
	纵向支撑与侧向支撑	I、II

注：I——满足 I 类建筑楼面水平加速度限值；

II——满足 II 类建筑楼面水平加速度限值。

附录 L　功能性仪器设备

L.0.1　地震时正常使用建筑的功能性仪器设备可按表 L.0.1 选用。

表 L.0.1　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
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

注：I——满足 I 类建筑楼面水平加速度限值；

II——满足 II 类建筑楼面水平加速度限值。

附录 M　建筑附属机电设备

M.0.1　地震时正常使用建筑的建筑附属机电设备可按表 M.0.1 选用。

表 M.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	曳引电梯	I
	液压电梯	I
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

（续表）

构件类型	构造特征	适用的建筑类型
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
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：I——满足 I 类建筑楼面水平加速度限值；

II——满足 II 类建筑楼面水平加速度限值。

附录 N　隔震工程专用标识

N.0.1　隔震工程专用标识形式简明、图文并茂，设置于隔震建筑特定位置，为项目业主、施工方、使用者、物业管理及维护人员提供必要的隔震工程技术信息，避免使用中的不当行为影响隔震功能，促进隔震建筑的正常使用、合理维护，指导人员遇震时正确疏散。

N.0.2　隔震工程专用标识分为如下两类：

1　隔震建筑工程主标识；

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、穿越隔震层部位的可移动管线标识、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。

N.0.3　建筑隔震工程专用标识为正方形，采用标牌或标签形式，图形和文字信息应便于识读，图形部分为白底蓝图，文字信息部分为蓝底白字。

N.0.4　地面隔震沟在某些隐蔽部位可能被占压，可采用黄色警示标线予以标示，并设置禁止占压提示文字。

N.0.5　当确有必要时，可根据工程实际需要在标识中增设其他语言文字。

N.0.6　标识图样宜符合下列规定：

1　隔震建筑工程主标识：

1）尺寸可采用 600mm × 600mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 85 号大黑简体，英文标题可采用 55 号黑体简体；

4）中文说明文字可采用 35 号黑体简体；

5）中文正文表头可采用 35 号黑体简体，中文表格正文可采用 45 号黑体简体。

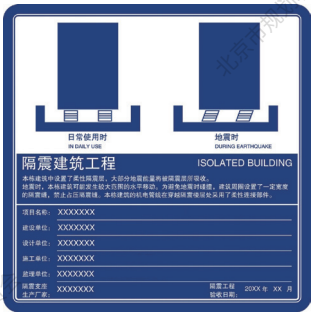


图 N.0.6–1　隔震建筑工程主标识

2　隔震支座标识：

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体，中文正文表格文字可采用 15 号黑体简体。

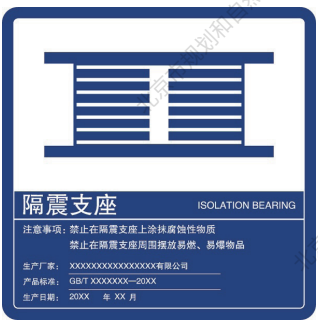


图 N.0.6–2　隔震支座标识

3　隔震缝（隔震沟）标识

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用45号大黑简体，英文标题可采用20号黑体简体；

4）中文注意事项可采用20号黑体简体。

图 N.0.6–3　隔震缝（隔震沟）标识

4　隔震层标识

1）尺寸可采用200mm×200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用45号大黑简体，英文标题可采用20号黑体简体；

4）中文注意事项可采用20号黑体简体。

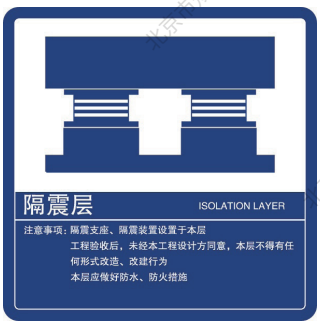


图 N.0.6–4　隔震层标识

5　隔震管线标识

1）尺寸可采用200mm×200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体。

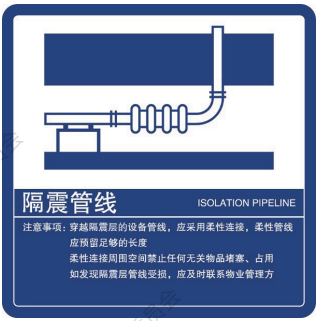


图 N.0.6–5　隔震管线标识

6　隔震层检修口标识

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体。

图 N.0.6–6　隔震层检修口标识

7　隔震楼梯标识

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体。

图 N.0.6–7　隔震楼梯标识

8　地面隔震间距标识

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体。

图 N.0.6–8　地面隔震间距标识

9 疏散避让标识

1）尺寸可采用 200mm × 200mm（宽 × 高）；

2）颜色可采用深蓝色 C90 M70 Y0 K35 / R17 G57 B125；

3）中文标题可采用 45 号大黑简体，英文标题可采用 20 号黑体简体；

4）中文注意事项可采用 20 号黑体简体。

图 N.0.6–9　疏散避让标识

本规程用词说明

1　为便于在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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2　本规程中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
4 《钢结构设计标准》GB 50017
5 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
6 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
7 《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355
8 《钢结构焊接规范》GB 50661
9 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
10 《钢结构工程施工规范》GB 50755
11 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
12 《建筑设计防火规范》GB 50016
13 《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1
14 《碳素结构钢》GB/T 700
15 《合金结构钢》GB/T 3077
16 《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314
17 《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3
18 《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5
19 《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905
20 《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358
21 《建筑隔震设计标准》GB/T 51408
22 《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591
23 《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118
24 《建筑消能阻尼器》JG/T 209
25 《建筑隔震柔性管道》JG/T 541
26 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82

27 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
28 《组合结构设计规范》JGJ 138
29 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145
30 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
31 《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360

北 京 市 地 方 标 准

建筑工程减隔震技术规程

DB11/ 2075–2022

条文说明

目　　次

3　基本规定 …… 155
3.1　一般规定 …… 155
3.2　减隔震装置要求 …… 158
3.3　结构分析 …… 158
3.4　连接与节点 …… 161
3.5　减隔震部件材料与施工 …… 161
3.6　耐久性规定 …… 161
3.7　场地与地基 …… 162
4　地震作用和作用效应计算 …… 163
4.1　一般规定 …… 163
4.2　水平地震作用计算 …… 163
4.3　竖向地震作用计算 …… 164
4.4　截面抗震验算 …… 164
4.5　抗震变形验算 …… 164
5　地震时正常使用建筑的性能目标及设计 …… 165
5.1　一般规定 …… 165
5.2　地震时正常使用建筑的性能目标 …… 165
5.3　结构构件承载力验算 …… 166
5.4　结构层间变形和楼面水平加速度基本要求 …… 166
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性能要求 …… 167
6　消能器的技术性能 …… 169
6.1　一般规定 …… 169
6.2　金属屈服型消能器 …… 170

6.4 摩擦消能器 …… 172
6.5 黏滞消能器 …… 173
6.6 黏弹性消能器 …… 174
6.7 消能器性能检验与性能参数确定 …… 175
7 消能减震结构设计 …… 176
7.1 一般规定 …… 176
7.2 消能部件布置原则 …… 176
7.3 消能部件设计及附加阻尼比 …… 177
7.4 主体结构设计 …… 179
8 消能部件与结构的连接构造 …… 181
8.1 一般规定 …… 181
8.2 预埋件 …… 184
8.3 支撑和支墩、剪力墙计算 …… 184
8.4 消能器与结构连接构造要求 …… 184
8.5 屈曲约束支撑的构造要求 …… 185
10 隔震支座的技术性能 …… 186
10.1 一般规定 …… 186
10.2 隔震橡胶支座 …… 186
10.3 弹性滑板支座 …… 186
10.4 摩擦摆隔震支座 …… 186
10.5 三维隔震（振）支座 …… 187
10.6 隔震支座产品检验与性能参数确定 …… 188
11 隔震结构设计 …… 189
11.1 一般规定 …… 189
11.2 隔震层设计 …… 189
11.3 隔震结构计算分析 …… 191
11.4 隔震层上部结构 …… 192
11.5 隔震层下部结构 …… 192
11.6 隔震层构造 …… 192

12　建筑与机电隔震构造 …… 194
12.1　一般规定 …… 194
12.2　隔离缝构造 …… 194
12.3　楼梯、电梯等隔震构造 …… 196
12.4　外墙与屋面隔震构造 …… 196
12.5　内墙与装修隔震构造 …… 197
12.6　隔震层机电设备与管线 …… 198
13　隔震分部工程的施工、验收和维护 …… 200
13.1　一般规定 …… 200
13.2　进场验收及施工 …… 200
13.3　隔震工程质量验收及维护 …… 201
13.4　隔震部件的维护 …… 203
13.5　隔震工程专用标识 …… 203
14　建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统 …… 204
14.1　建筑物地震反应观测系统 …… 204
14.2　隔震建筑监测系统 …… 204
附录 E　校核地震动 …… 205

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.2 减隔震方案设计要通过综合分析，采用合理而经济的方案，这是一个综合的技术经济问题，应周密加以考虑。该条与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 2.4.1 条相协调。

3.1.3 该条与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 2.1.1 条相协调。

3.1.4 随着我国国民经济和城市化水平的发展，我国对建筑的防震减灾能力提出了更高的要求，《建设工程抗震管理条例》于 2021 年 5 月 12 日国务院第 135 次常务会议通过，自 2021 年 9 月 1 日起施行。

《建设工程抗震管理条例》第十六条明确提出“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《建设工程抗震管理条例》第十六条相关要求，提高首都建设工程抗震防灾能力，降低地震灾害风险，保障人民生命财产安全，本条明确规定当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，地震时正常使用建筑应满足无需修理可继续使用的设防目标。地震时正常使用建筑设计应按本规程第 5 章及其他国家现行相关标准的规定执行，地震时正常使用建筑的性能目标应符合本规程 5.2 的相关规定，以保证满足地震时正常使用要求。

3.1.5 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中 1.0.1 条、12.1.5 条类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程

抗震通用规范》GB 55002 中 2.1.1 条、5.1.5 条及 5.1.6 条相协调。

3.1.6　本规程对建筑采用设计工作年限，对隔震减震装置则采用设计使用年限以示区别。现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 中对设计工作年限的定义为“设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的年限”，即在这个时间范围内，建筑的各项功能可以保持正常运行（或运转）。设计使用年限的含义即在正常使用和维护情况下所具有的不丧失有效使用功能的期限，在这个时间范围内，隔震减震装置可按预定功能被正常使用。

3.1.8 《建设工程抗震管理条例》第十一条明确提出“建设工程勘察文件中应当说明抗震场地类别，对场地地震效应进行分析，并提出工程选址、不良地质处置等建议。建设工程设计文件中应当说明抗震设防烈度、抗震设防类别以及拟采用的抗震设防措施。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。”

《建设工程抗震管理条例》第十二条明确提出“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《建设工程抗震管理条例》第十一条、第十二条相关要求，本条设为强制性条文，对减隔震工程设计文件做了强制要求，为政府管控减隔震工程设计质量提供法规基础。

减隔震建筑抗震性能应分析减隔震方案的特殊性，针对消能子结构和隔震层结构构件，选用适宜的结构抗震性能目标，并采取满足预期的抗震性能目标的措施，保证减隔震装置消能能力的发挥。完整的减隔震方案应包括详细的装置力学性能、装置布置、计算分析、施工安装和使用维护等内容，以上各个环节是实现减隔震目标的重要保证。

隔震方案及相关计算分析包括以下内容：长期面压控制、隔震层

偏心率控制、恢复力验算、最小剪重比验算；中震作用下的水平向减震系数计算；罕遇地震作用下的隔震支座水平位移控制、短期拉应力和压应力验算、水平剪力验算等；对于设置黏滞消能器的隔震结构需要进行消能器行程和最大输出力验算，对于设置抗拉装置的结构需要进行抗拉装置设计验算；风荷载作用下的抗风承载力验算。转换梁、隔震支座支墩、支柱及相连构件承载力验算。隔震上部结构需要进行罕遇地震作用下的整体结构抗倾覆验算、弹塑性层间位移验算；隔震层以下的结构（含地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层以上结构的相关构件，需要进行设防地震承载力验算、罕遇地震抗剪承载力验算、弹塑性层间位移验算。

减震方案及相关计算分析包括以下内容：消能器给主体结构的附加有效阻尼比计算；非消能减震结构与消能减震结构对比分析；罕遇地震作用下主体结构的弹塑性层间位移验算；位移型消能器极限变形和承载力验算、速度型消能器极限速度和承载力验算；消能子结构的截面抗震验算、消能部件验算等。

产品检验为减隔震装置力学性能检测的重要保障，产品检验分为型式检验、出厂检验、见证检验。型式检验应由具有检测资质的第三方进行检验，减隔震装置的出厂检验由产品供应商自身完成，见证检验的样品应当在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，由具备资质的第三方承担减隔震装置的力学性能检测。

考虑到减隔震装置类型多样，不同厂家采用工艺、配方、加工方式存在差异，以至于产品的力学特性也会存在明显差异，因此，需要通过型式检验、出厂检验和见证检验检测支座的力学性能是否满足设计需求，并提出标准化产品规格供选用；部分产品的耐久年限暂时无法与建筑本身一致以及产品在地震后可能会出现一些不可逆的损伤和破坏，应增加检查和替换的措施，方便后续工作的开展。

减震结构应提交由设计、消能器产品供应商、施工等单位共同编写的使用维护手册；消能器的维护检查可分为常规检查、定期检查、应急检查。隔震建筑的维护管理，需要建设方、使用方和产品供应商

共同建立完善的机制，确保隔震层定期检查与维护工作的顺利进行。总承包人应要求减隔震产品厂家提供维护计划。

3.1.9　关键构件、重要构件和一般构件可参考本规程第 5.3.2~5.3.4 条。

3.2　减隔震装置要求

3.2.4　国内一些厂家经过多年的工程实践，积累了多年的减隔震装置生产、安装经验。为了保证减隔震装置性能的可靠性和稳定性，减隔震装置供应商宜把减隔震装置按力学性能指标不同需求进行标准化、规格化，设计单位在减隔震装置配置过程中宜选用标准化产品，以减少加工制作成本和保证产品质量。

3.2.5　同一个工程中，各类橡胶隔震支座的极限水平变形能力的要求应该是一致的。

合理的隔震层耗能能力有助于减小上部结构响应、取得良好的隔震效果，同时有效限制隔震层产生过大位移。附加阻尼装置建议采用黏滞消能器。

3.3　结构分析

3.3.2　不同类型消能器对消能减震结构的动力特性和动力反应会产生比较大的影响，消能器工作时表现的强非线性特性使消能减震结构的分析复杂化：在多遇地震作用下，主体结构保持弹性状态，消能器进入工作状态，此时一般位移相关型消能部件主要为主体结构提供刚度，而黏滞消能器主要为结构提供附加阻尼；在设防地震作用下，消能器在主体结构进入弹塑性变形之前进入耗能阶段，消能器将表现出较强的非线性特征；在罕遇地震作用下，主体结构将产生较大的弹塑性变形，消能器也进入强烈的非线性工作状态。因此，消能减震结构分析必须考虑主体结构和消能部件在不同工作状态下的性能特征。多遇地震和设防地震作用下，当根据结构层间变形情况可假定主体结构构件基本处于弹性工作阶段时，可建立用非线性连接单元模拟消能器力学行为且包含连接构件的空间有限元模型，采用时程分析法估计消能器

的减震效果。罕遇地震下宜根据主体结构层间变形情况，采用静力弹塑性分析、弹塑性时程分析方法或用等效线性结构（用主体结构刚度折减考虑弹塑性影响）而消能器非线性的时程分析法估算消能减震结构的变形情况。

3.3.3　结构由于消能器的存在，增加了结构的总阻尼比 ζ。因此，消能部件附加给结构的有效阻尼比的计算是消能减震结构体系设计中的一个关键问题。当 ζ 计算过高，会高估消能器的耗能能力，使结构设计偏于不安全；当 ζ 计算过小时，消能器作用未能有效计入其减震效果，将增加建造成本。因此，需合理地计算消能器附加给结构的阻尼比，使结构设计既安全又经济。

消能减震结构的阻尼比由主体结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比组成，当结构处于弹性状态时，主体结构阻尼比为一定值（混凝土结构可取为 0.05、钢结构可取为 0.02~0.04）；当主体结构进入塑性状态后，部分结构构件发生塑性变形，总阻尼比相对于弹性状态有所提高，主体结构阻尼比应重新计算，并考虑结构构件塑性变形的影响。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求，当消能减震结构总阻尼比超过 30% 时，应取 30%。消能减震结构中的消能器会给结构提供附加（动力）刚度，对于位移相关型消能器附加刚度大小与消能器的相对位移有关，而速度相关型消能器的附加刚度与消能器的相对速度有关。因此，在计算结构地震反应和振动周期时应考虑附加刚度的影响，消能器为结构提高的附加刚度一般采用有效刚度。

3.3.5　金属屈服型消能器和屈曲约束支撑可采用双线性本构模型和文（Wen）模型；摩擦消能器可采用理想弹塑性模型；黏滞消能器可采用麦克斯韦（Maxwell）模型；黏弹性消能器可采用开尔文（Kelvin）模型。

3.3.6　消能减震结构应采用成熟和广泛使用的软件建立三维空间模型，且把消能部件的支撑、连接件刚度用合适单元模拟，对于一般多层结构则不硬性规定使用两个不同的软件分析消能部件的减震效果。

3.3.7　对消能器设计位移计算方法提出要求。罕遇地震下消能减震结构分析，一般应该考虑结构弹塑性变形对消能器实际可能遇到的最大行程的影响，且应预留余量，从而保证消能部件正常工作。

3.3.8　分析模型要能够反映隔震结构的特性，要根据不同的目标来设置合理的分析模型。一般需考虑上部结构的模型化、隔震支座的模型化、消能器模型化及下部结构的模型化等。

隔震结构设计时应对隔震层的偏心率进行合理控制。本规程参照日本标准和我国现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408，规定隔震结构在设防烈度地震作用下两个主轴方向的偏心率不大于 3%。当偏心率大于 3% 时，应计入扭转效应的影响。隔震结构通过设置隔震层，使强震作用下的结构变形集中发生在隔震层，从而减小了上部结构的层间变形，避免或减轻了上部结构由于变形能力不足而产生的破坏。合理的隔震设计总是能在实现结构隔震目标的同时将隔震层的变形也控制在建筑设计可接受的范围内。因而，隔震层变形是隔震结构的一个重要控制参数。

不同的结构采用不同的分析方法在各国抗震规范中均有体现，振型分解反应谱法仍是基本方法，时程分析法作为补充计算方法。所谓“补充”，主要指对计算结果的隔震层剪力、位移、上部楼层剪力和层间位移进行比较，当时程分析法大于振型分解反应谱法时，相关部位的部件与构件的内力和配筋作相应的调整。体型不规则，高度超过 60m，或者隔震层装置组合比较复杂，都是可能造成结构地震响应行为更为复杂的因素，因此，只要符合上述条件之一，即要求采用时程分析法进行补充计算。

当隔震层的等效阻尼比较大，或隔震结构体系动力响应受非比例阻尼影响较大时，可采用复振型分解反应谱方法。

3.3.9　建筑三维隔震（振）体系中的三维隔震（振）层在竖向荷载作用下的竖向变形不可忽略，且三维隔震（振）层的竖向刚度与竖向运动阻尼是计算其所在三维隔震（振）结构竖向隔震（振）性能的必要参数。因此在 3.3.8 条所示的隔震结构计算力学模型的基础上，将仅具

有水平刚度和水平阻尼的隔震层变为同时具有水平刚度、水平阻尼、竖向刚度和竖向阻尼的三维隔震（振）层。三维隔震（振）层的力学性能参数与其中三维隔震（振）装置的力学性能、三维隔震（振）装置的布置和三维隔震（振）层的构造有关。

3.4 连接与节点

3.4.2 消能器与支撑构件和主体结构的连接，考虑到施工制作方便和易于更换，一般采用螺栓连接或销轴连接。实践中黏滞消能器大多是销轴连接，而位移相关型消能器大多采用焊接连接。焊接连接件的现场施工应注意避免焊接高温对混凝土构件的损伤。

3.4.3 通过对经历过实际地震考验的消能减震结构调研分析，发现消能部件存在一定的侧向失稳现象，其原因在于建筑结构的复杂性及不规则性，使得按照平面框架理论分析设计的消能部件与实际情况可能存在较大偏差，而侧向失稳与否直接关系到消能器的减震效果。因此，在消能减震设计中，需保证在地震作用下，消能部件及其与结构构件相连的节点不发生侧向失稳或破坏，以保证消能器正常工作。

3.5 减隔震部件材料与施工

3.5.3 消能器施工安装要求应在设计文件中予以注明，计算分析时可采用施工过程模拟考虑施工次序的影响。

3.6 耐久性规定

3.6.1 消能器的防火要求。钢结构在高温条件下材料强度会明显降低，并发生蠕变，从而使其失去承载能力，对于消能减震结构，为了避免消能器在建筑自重下出现明显的变形，一般情况下布置于建筑中的消能器不承受建筑的竖向荷载，为此，消能器在发生火灾后即使出现失效，也不会导致结构失去竖向承载能力，从而不需要进行防火处理。对于承受竖向荷载的屈曲约束支撑需要按主体结构要求进行防火处理。

3.6.2 消能器在遭受火灾后的检查要求。对于金属消能器和屈曲约束

支撑，其消能材料或消能元件可能都是钢材，由于钢材在高温情况下力学性能会发生明显的改变，可能会使消能器的力学性能发生变化，达不到原设计要求，导致结构偏于不安全。黏滞消能器中的黏滞材料的消能性能对温度剧烈变化较为敏感。为此，消能器在过火或高温之后应进行检查和性能检测，重新判定消能器是否能继续使用或更换。

3.6.3　消能器在使用过程中如遇变形缝被外物堵塞或消能器本身出现性能问题将会影响消能器对结构地震反应的控制效果，为避免该现象发生，设计文件中应注明可由产品供应商在消能器正常使用期间和地震发生后对消能器进行回访检查，以确保消能器的正常使用；或设计文件中注明由业主在建筑正常使用期间定期检查消能器外部情况，如发现黏滞消能器漏油、位移型消能器锈蚀，应通知专业人员维护；地震发生后应委托专业技术人员对消能子结构受损情况进行检查。

3.7　场地与地基

3.7.1　该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 3.3.1 条类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 3.1.2 条相协调。

3.7.3　该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 12.2.9 条第 3 款类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 5.1.10 条相协调。

4 地震作用和作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 5.1.1 条类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 4.1.2 条相对应。

4.1.2 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中第 5.1.3 条类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中第 4.1.3 条相对应。

4.1.10 本规程在隔震结构的设计方法及设计准则上与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 保持一致，抗震承载力采用小震弹性设计，减震系数按设防地震水准下结构响应确定。

现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中采用水平向减震系数评估隔震效果，并计算隔震后的水平地震影响系数，间接得到隔震层上部结构的设计参数，然后利用隔震层上部非隔震结构进行设计。非隔震结构的动力特性和变形模式与隔震后的上部结构有本质区别，本规程在分析模型及分析方法上吸收了现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的先进成果，采用能更合理反映隔震支座和阻尼器特性的隔震一体化模型，该模型能更准确的考虑隔震结构动力特性、上部结构变形模式和隔震效果，并规定在隔震层阻尼比较大时宜采用复振型分解反应谱法，提高隔震分析结果的准确性。

4.2 水平地震作用计算

4.2.3 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 5.2.5 条类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中 4.2.3 条相协调。

4.3 竖向地震作用计算

4.3.4 竖向地震作用计算与结构或构件的质量分布和竖向加速度密切相关，对大跨度和长悬臂结构而言，应特别注意加强对最大变形部位质点质量分布和单元划分的检查，保证计算结果的可靠性。

4.4 截面抗震验算

4.4.1 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 5.4.1 条类似，但部分分项系数与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中 4.3.2 条相协调。

4.5 抗震变形验算

4.5.3 该条内容与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 12.2.9 条第二款类似，并与现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中 5.1.8 条相协调。

5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

5.1.1 根据《建设工程抗震管理条例》第十六条规定：位于高烈度设防地区和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。I 类建筑选定原则为在地震发生时和发生后建筑功能中断将严重影响抗震救灾的建筑，II 类建筑选定原则为用于保护弱势群体的建筑及某些人员密集建筑，综合考虑震后影响规定 I 类建筑的抗震性能目标高于 II 类建筑。

其中，医院主要建筑包括医技楼、急诊中心、门诊楼等严重影响震后医疗功能的建筑；医院附属用房包括病房楼、食堂等建筑；学校建筑包括教学楼、图书馆、食堂、宿舍及体育馆等人员密集建筑。

5.1.8 地震时正常使用建筑的抗震措施应取现行国家相关标准规定的较严格措施，但不重复叠加。

5.1.9 单桩承载力极限值可采用 2 倍单桩承载力标准值；天然地基承载力极限值（f_u）可由 2 倍未修正地基承载力标准值（f_{ka}）并考虑深度与宽度修正得到。

5.2 地震时正常使用建筑的性能目标

5.2.1~5.2.2 消能部件是指由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。隔震部件是指由隔震支座、阻尼装置、限位装置、抗拉装置及相关的支承或连接构件组成的部分。

完好，即构件保持弹性状态；基本完好，即构件基本保持弹性状态；轻微损坏，即构件可能出现轻微的塑性变形，但不影响正常使用；轻度损坏，即构件达到屈服状态，但不出现明显的塑性变形；中度损

坏，即构件出现明显的塑性变形，但控制在适度修理可继续使用的范围；正常工作，即减震部件、隔震部件、附属机电设备和功能性仪器设备正常运行，发挥设计预期的作用或功能。

简单修理，即建筑修复费用与建造成本的比值小于 5% 且修复时间小于 7 天；适度修理，即建筑修复费用与建造成本的比值小于 10% 且修复时间小于 30 天。

5.3 结构构件承载力验算

5.3.1 地震时正常使用建筑应保证当遭受相当于本地区抗震设防烈度地震作用时，无需修理可继续使用，因此其结构构件承载力应按照设防地震作用进行验算。由于正常使用建筑在设防地震下的层间变形限值大于多遇地震下的层间变形限值，设防地震下的主体结构和维护结构耗散地震能量能力更大，为考虑次要构件进入塑性和非结构构件的影响，阻尼比可适当提高。

5.3.2~5.3.4 结构构件根据功能、作用、位置及重要性等可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。

关键构件是指构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏，可由结构工程师根据工程实际情况分析确定。

普通竖向构件是指关键构件之外的竖向构件。

重要水平构件是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，承受较大集中荷载框架梁、抗震墙连梁，承受竖向地震的悬臂梁，以及消能减震结构中消能子结构的框架梁等。

普通水平构件包括一般的框架梁、抗震墙连梁等。

由于已经按照设防地震进行承载力设计，不重复考虑因重点设防类引起的抗震等级提高。

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求

5.4.1 地震时正常使用建筑采用表 5.4.1 以外的结构类型时，应进行专

门研究和论证，确定其在设防地震和罕遇地震下的弹塑性层间位移角限值。

5.4.2　对于每组时程结果，地震时正常使用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。

地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值为客观值，基于国内多次地震的地震烈度划分标准，0.1g：地震烈度 VII 度标准，人皆惊惶从室内逃出，驾驶汽车的人也有感觉，轻家具移动，书物用具掉落；0.2g：地震烈度 VIII 度标准，人感到走路困难，家具移动，部分翻倒。

按照地震时正常使用要求，建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备指标限值取值参考现行国家标准《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591 表 F.1 中损伤状态的中位值及标准差确定。表 F.1 中存在 1 级损伤状态的，指标限值按照 1 级损伤状态的中位值确定；不存在 1 级损伤状态的，指标限值按照最严格标准取 84% 保证率确定。按该准则确定的指标限值在楼面水平加速度为 0.25g 时，基本能保证常用建筑附属机电设备的正常使用；楼面水平加速度为 0.45g 时，基本能保证抗震性能良好的常用建筑附属机电设备正常使用。进一步结合中国地震局工程力学研究所对医疗建筑及设备的试验结果，楼面水平加速度为 0.25g 时，基本能保证建筑内设备和药品柜，以及内部药品的正常使用。

综合考虑地震烈度划分标准、建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备正常使用限值要求，规定 I 类建筑设防地震、罕遇地震时最大楼面水平加速度限值分别为 0.25g、0.45g；II 类建筑设防地震时最大楼面水平加速度限值为 0.45g。

5.4.3　根据现行国家标准《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591 进行抗震韧性评价时，宜考虑所有建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备。对于缺乏数据支撑的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备，宜进行专门研究和论证。

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性能要求

5.5.1 建筑非结构构件指建筑中除承重骨架体系以外的固定构件或部件，主要包括非承重墙体，附着于楼屋面结构的构件、装饰构件和部件、固定于楼面的大型储物柜等。建筑附属机电设备指为建筑通用使用功能服务的附属机械、电气设备和系统，主要包括电梯、照明和应急电源、通信设备、管道系统、采暖和空气调节系统、烟火监测和消防系统、公用天线等。功能性仪器设备指除建筑附属机电设备外，为建筑特定使用功能直接服务的专门功能性仪器设备及其系统，主要包括医疗设备、教学设备、信息系统等。

6 消能器的技术性能

6.1 一般规定

6.1.1 建筑物设计工作年限是设计规定在既定的时间内，建筑只需进行正常的维护而不需进行大修就能按预期目的使用，完成预定的功能，即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的工作年限。消能减震结构设计中，消能器的设计至关重要，消能器一旦失效，不仅原有减震设计目标很难达到，而且在地震作用下还可能产生负面效果，如导致结构动力特性改变、地震作用增大等不利效应。

目前，还无法对地震的发生做出合理的预测，无法判断其发生的时间、地点和强度。消能器作为结构中消耗地震能量的主要构件之一，设计使用年限内应时刻处于有效工作状态，从而保证地震时起到减震作用。至今消能减震技术在实际结构中应用的时间还没有超过现有规范规定的建筑物设计工作年限，无法对每类消能器实际使用年限范围内的可靠性作出明确限定，只能通过消能器某些元件的耐久性特性推算消能器的使用年限。为此，各种消能器产品上应标注出厂时间和使用年限。为了保证消能减震结构在设计工作年限内的安全性，消能器应和使用消能器的建筑具有相同的使用年限，不满足要求时，消能器从生产日期算起的寿命达到其使用年限时应按一定比例数量拆下到具有检测资质的试验室抽检性能，确定消能器新的使用年限；不满足使用要求时应更换新的消能器，或置换消能器部分元件，使其满足设计要求。一般认为金属消能器在使用期内防腐有保证时，其使用寿命应该与其材质使用寿命一致。对于黏滞消能器的性能保证使用寿命通常认为是 30 年，产品供应商另有质量保证说明的除外。

6.1.2 研究表明，影响黏滞类消能器耐久性能的主要因素是温度变化、应变幅值和频率、紫外线等；金属类消能器耐久性影响主要包括锈蚀和钢材在高温下的软化和低温下的脆性断裂等。为此，消能器的耗能

性能和使用寿命很大程度上受温度、腐蚀等环境因素的影响，在设计和使用消能器期间要考虑到这些因素，应有抗老化、防腐蚀的可靠措施。

6.2 金属屈服型消能器

6.2.2 低屈服点钢由于具有良好的消能性能，宜应用于金属屈服型消能器的消能部件。

6.2.3 根据等效耗能原则，可采用如下方法确定金属屈服型消能器和屈曲约束支撑的力学性能参数，简称能量法：

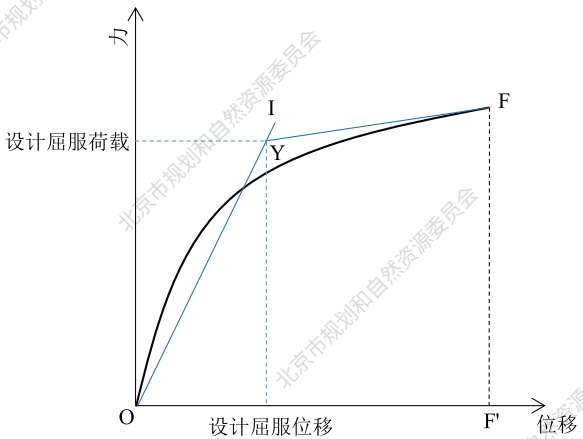


图 6.2.3 骨架线示意

1 由金属屈服型消能器或屈曲约束支撑的滞回曲线获取其骨架线，如图 6.2.3 曲线 O–F 所示，F 点纵坐标数值为最大承载力，F 点横坐标数值为设计位移。

2 将消能器的弹性卸载刚度作为该消能器弹性刚度，如图 6.2.3 直线 O–I 所示。

3 通过调整 Y–F 直线斜率，使得骨架线包络面积 $S_{OFF'O}$ 与折线包络面积 $S_{OYFF'O}$ 面积保持一致，从而确定 Y 点坐标，Y 点即为设计屈服点，

Y 点纵轴数值即为设计屈服强度，Y 点横轴数值即为设计屈服位移。

6.2.5　金属屈服型消能器和屈曲约束支撑可采用双线性模型描述，如图 6.2.5 所示。

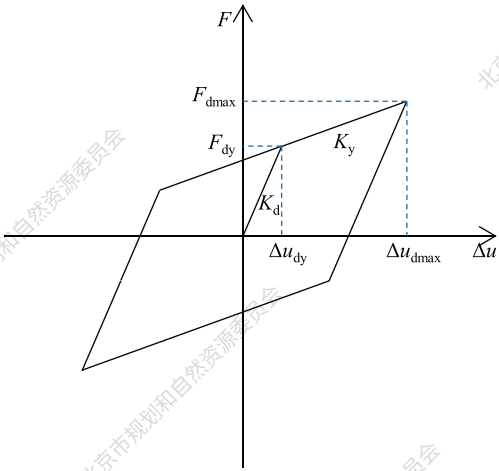


图 6.2.5　双线性滞回模型示意

消能器的弹性刚度：

$$K_d = F_{dy} / \Delta u_{dy}$$

消能器屈服后刚度：

$$K_y = (F_{dmax} - F_{dy}) / (\Delta u_{dmax} - \Delta u_{dy})$$

式中：

F_{dy}——消能器的设计屈服承载力（kN）；

Δu_{dy}——消能器的设计屈服位移（mm）；

Δu_{dmax}——消能器的设计位移（mm）；

F_{dmax}——消能器的最大承载力（kN）。

金属屈服型消能器和屈曲约束支撑也可采用 Wen 模型描述，其关系式为：

$$F(\Delta u, z) = \lambda_2 K_d \Delta u_d + (1 - \lambda_2) K_d z$$

$$\dot{z} = A\Delta\dot{u}_{\mathrm{d}} - \chi\left|\dot{\Delta}_{\mathrm{d}}\right| z\left|z\right|^{n-1} - \beta\Delta\dot{u}_{\mathrm{d}}\left|z\right|^{n}$$

式中：

λ_2——屈服后刚度比；

χ、ψ、A 和 n——分别为滞回曲线形状控制参数。

Wen 模型中消能器的弹性刚度、屈服后刚度与双线性模型计算公式相同。

6.4 摩擦消能器

6.4.3 可采用如下方法确定摩擦消能器的力学性能参数：

1 将开始加载到消能器刚度出现下降时对应的阻尼力确定为起滑阻尼力，所对应的位移为起滑位移；

2 摩擦荷载取为第二圈零点对应的荷载；

3 消能器初始刚度取为加载起滑前刚度或第一圈的卸载刚度。

6.4.6 摩擦消能器可采用理想弹塑性模型模拟，如图 6.4.6 所示。

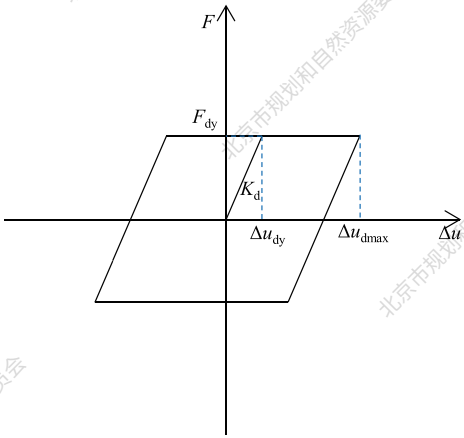


图 6.4.6 理想弹塑性滞回曲线示意

图中：

F_{dy}——摩擦消能器的起滑力（kN）；

Δu_{dy}——摩擦消能器的起滑位移（mm）；

Δu_{dmax}——摩擦消能器的设计位移（mm）；

K_d——消能器的弹性刚度等于 $F_{dy}/\Delta u_{dy}$（kN/mm）。

6.5 黏滞消能器

6.5.1 应用较为广泛的黏滞消能器主要包含两种类型：一种为带有内压的密封圆筒式；另一种为无内压的开口墙式。前者通常称为黏滞阻尼器，一般是由钢材制作的缸体和活塞、黏滞流体等部分组成，两端通常采用销轴与连接件连接。后者通常称为黏滞阻尼墙，一般由钢板制作而成的箱体、滑移钢板、黏滞材料等组成，两端采用焊接或螺栓锚固方式与连接件连接。二者均是利用黏滞材料剪切运动时产生黏滞阻尼力来耗散能量的减震装置，其力学性能受黏滞材料和加载频率的影响大，需要对材料和不同频率的加载情况进行限定。

6.5.6 黏滞消能器可采用 Maxwell 模型描述。Maxwell 模型中阻尼单元与弹簧单元串联，当模拟黏滞消能器时应该考虑消能器的活塞杆柔度和黏滞流体的可压缩性，根据产品提供的滞回曲线适当选取滞回曲线的初始刚度，当建立空间杆系有限元模型时应该把支承刚度按等效刚度或实际支承杆件建入模型中。一般情况下黏滞阻尼器至少有一端是铰接，当消能器的计算相对位移较小时应该考虑连接间隙导致消能器计算耗能能力与实际耗能能力的差异。黏滞阻尼力的表达式宜采用下列公式计算：

$$F_d(t) = C_d \operatorname{sgn}\left(V_d(t)\right)\left|V_d(t)\right|^{\alpha} \tag{6.5.6}$$

式中：

$F_d(t)$——黏滞阻尼力（kN）；

C_d——黏滞阻尼系数（kN/(mm/s)$^{\alpha}$）；

$V_d(t)$——黏滞消能器两端相对速度（mm/s）；

α——阻尼指数；

t——时间（s）。

6.6 黏弹性消能器

6.6.6 黏弹性消能器的典型力学行为可采用开尔文（Kelvin）模型描述，见图 6.6.7：

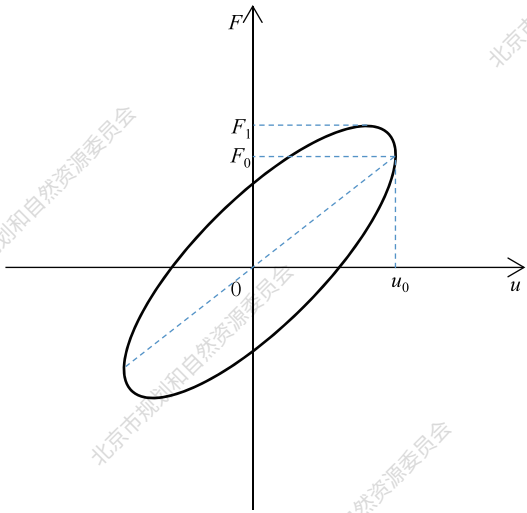


图 6.6.6 开尔文模型滞回曲线示意

图中：

u_0——黏弹性消能器的最大位移；

F_1——黏弹性消能器的最大阻尼力；

F_0——黏弹性消能器对应最大位移 u_0 的阻尼力；

则开尔文模型可表示为：

$$F_d(t) = K_1 u(t) + C_d \operatorname{sgn}(\dot{u}(t)) \left|\dot{u}(t)\right|^{\alpha}$$

式中：

$F_d(t)$——黏弹性阻尼器阻尼力（kN）；

$u(t)$——黏弹性阻尼器位移（mm）；

K_1——黏弹性消能器有效刚度等于 F_0/u_0（kN/mm）；

C_d——黏滞阻尼系数（kN/(mm/s)$^{\alpha}$）；

$\dot{u}(t)$——黏弹性消能器的运动元件相对速度 (mm/s)；

α——阻尼指数；

t——时间（s）。

6.7 消能器性能检验与性能参数确定

6.7.4 对于采用减震技术的重点设防类和特殊设防类工程，特别是地震时正常使用建筑，消能器试件抽样比例可适当提高。

7 消能减震结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 对于平面规则并且无大开洞的楼板，可采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定的刚性隔板假定。但对于复杂的结构，采用刚性隔板假定时，可能会使消能器消能能力超过实际能力，从而高估了消能器的作用，为此，需考虑采用弹性楼板模型对消能减震结构进行分析。

7.1.3 已有的研究成果表明，消能减震结构中，与消能部件相连的柱（墙）和梁所承受的作用不仅包括地震作用部分，还包括与该柱（墙）和梁相连的消能部件传至连接节点的作用。这样，在地震作用下，虽然消能减震结构能减小结构地震作用下反应，但是消能子结构由于消能部件产生附加作用可能比较大，从而增加与消能部件相连的柱（墙）和梁的作用，设计时应考虑与消能部件相连的主体结构构件（主要是消能子结构构件）由于消能部件附加作用的影响。

7.1.4 消能减震设计应在未采用消能减震技术也可满足基本抗震要求的结构的基础上进行，因此消能减震设计结果应有效保护主体结构性能，降低地震响应。

7.2 消能部件布置原则

7.2.2 消能器一般是和支撑（支承构件）一起布置在结构中，支撑（支承构件）和消能器构成消能部件。常见的布置形式有单斜撑、“V”字形撑、“人”字形撑等，概念设计阶段应根据消能器的类型、构造及原结构空间使用、建筑设计、施工和检修要求选择消能部件的类型。抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连续，消能部件的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特

性相近或沿竖向刚度均匀为原则；对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。对于结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置，也可以只在较弱的一个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。对于结构沿竖向存在薄弱层可优先在薄弱层布置，然后再考虑沿竖向布置。层间布置的消能器一般通过水平向层间位移消能，当结构变形中弯曲变形所占比重很大时，用层间变形量大小来控制层间消能器抗力大小，往往计算的减震效果不理想，这时应该通过比较各层有害位移量大小来控制层间消能器抗力分布。对于存在抗震墙的结构，在连梁位置布置金属剪切板类型消能器，往往能取得较好减震效果。

7.3 消能部件设计及附加阻尼比

7.3.1 公式（7.3.1–3）适用于速度线性相关型消能器，不适用于速度非线性相关型消能器，计算时应充分考虑斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件的刚度对消能器耗能效果的影响。

7.3.4 振型分解反应谱法是目前国内结构减震设计时采用较多的分析方法，但是为了较精确模拟消能器非线性特征，对于消能减震结构还是时程分析方法较为可靠和准确。鉴于不同地震波输入进行时程分析的结果存在一定的差异，现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定一般可以根据小样本容量下（不少于 2 组实际记录和 1 组人工模拟的加速度时程曲线作为输入）的计算结果来估计结构地震作用效应值，也可以采用较大样本容量（不少于 5 组实际记录和 2 组人工模拟时程曲线作为输入）的计算结果来估计。选用 3 组地震记录时程曲线输入计算时，附加有效阻尼比取各工况最小值。选用 7 组及以上的地震记录时程作输入时，附加有效阻尼比取各工况平均值。

可根据时程工况下得到的结果，利用消能器累积耗能、主体结构模态阻尼累积耗能估计出附加有效阻尼比 ζ_d。

$$\zeta_{\mathrm{d}}(t)=\zeta_0\times\frac{E_{\mathrm{d}}(t)}{E_{\mathrm{c}}(t)}$$

式中：

$\zeta_{\mathrm{d}}(t)$——附加有效阻尼比时程；

ζ_0——主体结构阻尼比，一般为常数；

$E_{\mathrm{d}}(t)$——结构中消能器累积耗能时程；

$E_{\mathrm{c}}(t)$——结构固有模态阻尼累积耗能时程。

7.3.5 静力弹塑性分析方法是一种静力的分析方法，是在结构计算模型上施加按某种规则分布的水平侧向力，单调加载并逐级加大；一旦有构件开裂（或屈服）即修改其刚度（或使其退出工作），进而修改结构总刚度矩阵，进行下一步计算，依次循环直到结构达到预定的状态（成为机构、位移超限或达到目标位移），从而判断是否满足相应的抗震能力要求。

消能器产生减震效果主要体现在消能器的滞回耗能上，消能器需要产生往复位移或速度起作用，然而，静力弹塑性分析过程中对于黏滞消能器无法直接体现出消能器的作用，以直接得出消能器附加结构的阻尼比，为了使静力弹塑性分析方法能够体现出黏滞消能器的作用，对于黏滞消能器的阻尼需要进行多次迭代。位移相关型消能器的模拟，可以直接设置相应的杆端具有屈服铰的等效杆件代替消能器的非线性特征。

消能减震结构中，消能器提供的附加阻尼比是反应消能器减震效果的主要因素。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时提供的阻尼比皆不会相同。为此，消能器附加给结构的阻尼比应由各阶段抗震分析实际计算得到，而不能采用预估值。

其主要步骤为：

1 分别确定消能减震结构的主体结构截面、消能部件的非线性恢复模型及消能部件等代单元的塑性铰特性等；

2 对消能减震结构进行非线性全过程静力分析，得到结构参考点

水平侧移与结构底部总水平剪力的关系曲线；

3　根据计算出消能减震结构的位移，计算消能减震结构的有效阻尼比，包括主体结构弹塑性变形耗能附加的有效阻尼比和消能器给主体结构附加的阻尼比；

4　将多自由度消能减震结构等效为一个等价的单自由度体系，分别计算等价单自由度体系的能力曲线和反应曲线；

5　图解等价单自由度体系的目标位移；

6　将此位移转化成多自由度消能减震结构各层的层间位移。

7.4　主体结构设计

7.4.1　主体结构中的非消能子结构构件的强度和截面验算，应依据第4章求得的内力按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中对不同类型建筑结构规定的公式计算。由于消能减震结构中附加刚度和附加阻尼相比于主体结构存在一定的变化，为此，计算地震作用效应时应考虑消能器附加刚度和附加阻尼的影响。

7.4.2　对于消能器连接板与框架梁连接的情况，当消能器采用平行法安装时，支撑可能会限制框架梁的竖向变形，但其作用很小不能起到明显的约束作用，为此，在确定布置消能部件跨的横梁截面时，不应考虑消能部件在跨中的支承作用；消能器在地震作用下往复作用时，消能器产生的水平阻尼力会通过连接板传递到与其相连的框架梁上，导致框架梁除承受竖向荷载作用外，还要承受消能器在地震作用时消能器附加的水平阻尼力作用。

为了确保消能减震结构在罕遇地震作用下不发生倒塌，消能减震结构需要保证在主体结构达到极限承载力前，消能部件不能产生失稳或节点板破坏；为了保证消能部件的安全，其连接节点和构件都应进行罕遇地震作用下消能器引起的附加荷载作用下的截面验算。

本条参考了现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。该条的第一款进一步明确了计算构件作用效应时，应考虑构件的弹塑性，消能子结构中非消能部件的梁、柱、墙构件宜按重要构件进行设计，

设计时应考虑罕遇地震作用效应和重力荷载代表值效应的标准组合，具体可按下式进行验算：

$$S_{GE} + S_{Ek} < R_u \tag{7.4.2}$$

式中：

S_{GE}——重力荷载代表值效应；

S_{Ek}——罕遇地震作用效应，应考虑构件的弹塑性；

R_u——按照材料最小强度极限计算的承载力；钢材强度可取最小极限值，钢筋强度可取屈服强度的 1.25 倍，混凝土强度可取立方体强度的 0.88 倍。

7.4.3　为保证罕遇地震下消能器发挥消能作用，允许消能子结构进入塑性但保持承载力不下降并具备足够的延性，基于此对消能子结构进行设计。

本条给出了消能减震子结构的一般设计流程。消能减震子框架的梁和柱在罕遇地震下的抗剪承载力应满足弹性的要求，而抗弯承载力满足 7.2.4 第 1 款的要求即可。

7.4.4　消能减震结构的层间位移角限值应与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 保持一致，但又要体现出消能减震技术提高结构抗震能力的优势，消能减震结构的层间位移角限值宜比不设置消能减震的结构适当减小，从而更容易实现基于性能抗震设计要求。

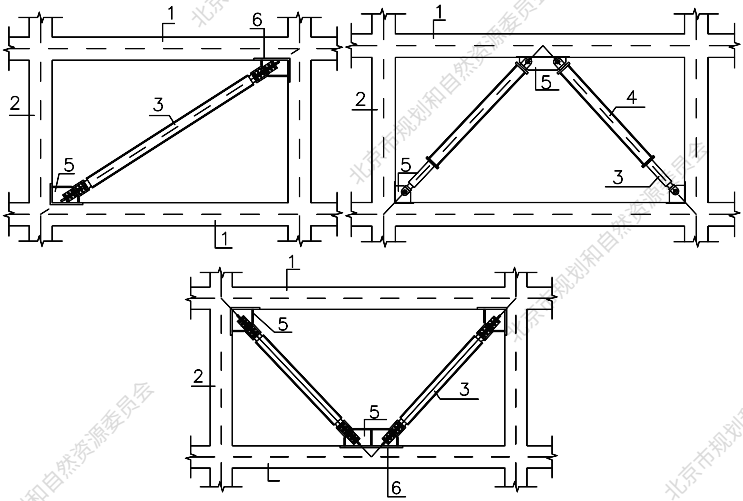
7.4.5　对于消能减震混凝土建筑中的主体结构，由于消能部件附加的阻尼比使得结构的地震反应降低，构件的截面尺寸可能会有所减小，主体结构的抗震等级根据设防烈度、结构类型、房屋高度进行区分，主体结构应采用对应结构体系的计算和构造措施，抗震等级的高低，体现了对结构抗震性能要求的严格程度。为此，对于消能减震混凝土结构的主体结构抗震等级应根据其自身的特点，按国家现行相关标准取值，当消能减震结构的减震效果比较明显时，主体结构的构造措施可适当降低。

8　消能部件与结构的连接构造

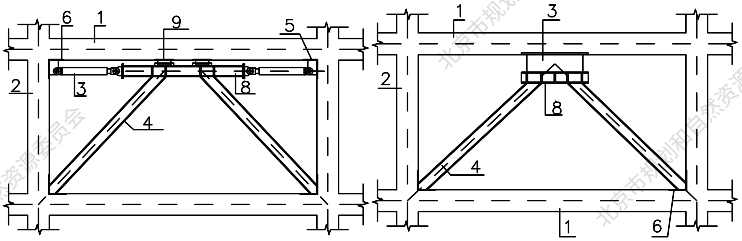
8.1　一般规定

8.1.2　消能器与主体结构的连接，根据消能器的不同，可采用不同的连接形式（图 8.1.2）。K 形支撑布置时会在框架柱中部交点处给柱带来侧向集中力的不利作用，在地震作用下，可能因受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌，故不宜采用“K”字形布置。

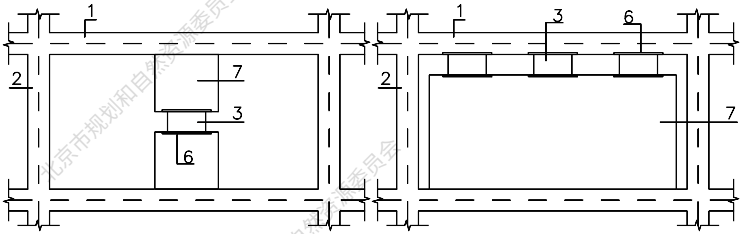
支撑斜杆宜采用双轴对称截面。当采用单轴对称截面时（双角钢组合 T 形截面），应采取防止绕对称轴屈曲的构造措施。板件局部失稳影响支撑斜杆的承载力和消能能力，其宽厚比需要加以限制。



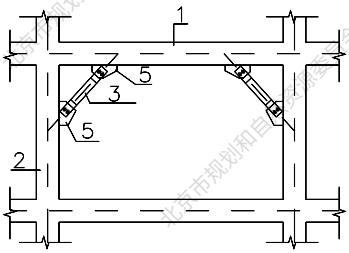
（a）斜撑型



（b）门架型



（c）墙柱型



（d）腋撑型

图 8.1.2　消能器布置形式

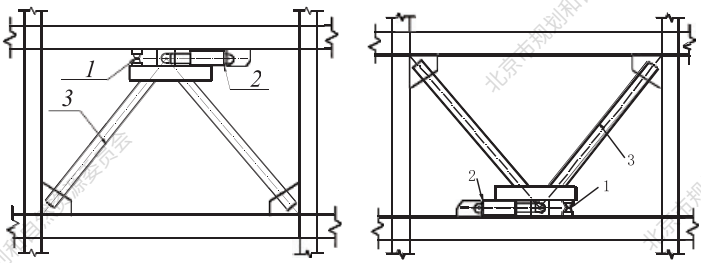
1– 梁；2– 柱；3– 消能器；4– 支撑；5– 节点板；6– 预埋板；7– 支墩或剪力墙；
8– 水平平台；9– 平面外限位装置

8.1.3　连接板（或连接件）和结构构件间的连接可采用高强螺栓连接或焊接，当采用螺栓连接时，应保证相连节点在罕遇地震下不发生滑移；当消能器的阻尼力较大时，宜采用刚接；与消能器相连的支撑应保证在消能器最大输出阻尼力作用下处于弹性状态，不发生平面内、外整体失稳，同时与主体相连的预埋件、节点板等也应处于弹性状态，不得发生滑移、拔出和局部失稳等破坏。与支撑相连接的节点承载力

应大于支撑的极限承载力，以保证节点足以承受罕遇地震下可能产生的最大内力。消能器与连接支撑、主体结构之间的连接节点，应满足钢构件连接、或钢与混凝土构件连接、或钢与钢－混凝土组合构件连接的构造要求。

8.1.4　消能部件一般情况下属非承重构件，其功能仅在结构变形过程中发挥耗能作用，而不承担结构的竖向承载作用，即增设消能器不改变主体结构的竖向受力体系，为此，无论是新建消能减震结构还是既有建筑的抗震加固主体结构都必须满足竖向承载力的要求。与消能器相连的支撑应具有足够刚度，以保证消能部件中的变形绝大部分发生在消能器上，消能器支撑的刚度应根据计算确定。

节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生面外失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋的措施。由于附加支撑在消能器的阻尼力作用下，常产生轴压变形，在设计附加支撑时经常只考虑到附加支撑平面内的刚度而忽略了附加支撑的平面外刚度，导致附加支撑在地震作用时平面外屈曲破坏，使消能器不能发挥其应有的耗能效果。为此，需要保证附加支撑在轴力作用下的平面外刚度。当使用无刚度黏滞消能器，且采用人字型支撑时，可同时考虑与橡胶支座的合理组合，通过橡胶支座或其他提供平面刚度装置给支撑提供一定的平面外刚度，以保持支撑平面外的稳定，如图 8.1.4 所示。



1— 平面外限位装置；2—消能器；3—支撑

图 8.1.4　消能器安装立面图

8.1.8　本条在现行国家标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 中为强制性条文。使用结构计算软件进行消能减震设计过程中，连接失效无法在设计软件中得以体现，但消能器与结构的有效连接是实现消能器功能的必要条件，因此在本条中对与消能器直接相连的预埋件、支撑、支墩、剪力墙及节点板的设计作用力强制要求为消能器在极限位移或极限速度下对应阻尼力的 1.2 倍，确保连接构件在消能器最大出力作用下保持基本弹性，从而确保消能器的正常工作，为结构附加有效阻尼，降低结构损伤。

8.2　预埋件

8.2.1　预埋件的构造形式应根据受力性能和施工条件确定，力求构造简单，传力直接。预埋件可分为受力预埋件与构造预埋件两种。均由两部分组成：埋设在混凝土中的锚筋和外露在混凝土表面部分的锚板。锚筋和锚板都应采用可焊性良好的结构钢。锚筋常用钢筋，对于受力较大的预埋件常采用角钢。对于 L 型预埋板相互垂直方向的预埋板承担的内力宜按支撑角度分解轴向力获取。

8.3　支撑和支墩、剪力墙计算

8.3.2　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，计算长度取其净长。计算平面内、外失稳时，计算长度应取支撑与消能器的长度总和。用刚性剪力墙做连接支撑，连接剪力墙的梁与柱之间梁段变成了类似连梁受力特征，应充分考虑其强度和刚度要求对保证剪力墙功能的重要性。

8.4　消能器与结构连接构造要求

8.4.1　连接阻尼器与结构构件的预埋件是保证可靠传力的重要部件，故提出较高的要求。新建消能减震结构预埋件部位的箍筋必须加密，加密范围一般不小于埋件长度加两侧外延各不小于 500mm 的范围，加密范围内的箍筋间距不宜小于 100mm；当预埋件位于梁柱节点区域时，

梁、柱端加密区的长度应外延至自预埋件外侧算起的规定长度处。黏滞阻尼墙作为一种墙式阻尼器，连接节点一般是在上下层的结构梁之间，结构梁可分为：钢筋混凝土梁，组合结构梁和钢结构梁。钢筋混凝土梁的预埋件为锚筋与预埋钢板牢固连接，预埋件的预埋强度、紧固强度应符合国家现行相关标准的规定。

8.5 屈曲约束支撑的构造要求

8.5.1 与屈曲约束支撑相连的主体结构的节点板和预埋件应考虑屈曲约束支撑的极限承载力，从而保证屈曲约束支撑在罕遇地震作用下不丧失功能。

10　隔震支座的技术性能

10.1　一般规定

10.1.1　根据国家现行标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的执行经验和工程实践来看，天然橡胶支座（LNR）、铅芯橡胶支座（LRB）和高阻尼橡胶支座（HDR）已成为成熟的建筑隔震橡胶支座类型。随着隔震技术的不断普及，弹性滑板支座（ESB）和摩擦摆隔震支座（FPS）也逐渐在建筑工程中得到使用，可分别参考现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 和《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358。

10.1.3　橡胶支座水平位移为 0.55 倍有效直径时的极限压应力，试验方法可参照现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118。

10.2　隔震橡胶支座

10.2.1~10.2.2　第一形状系数 S_1 主要体现薄钢板对橡胶层的约束能力，第二形状系数 S_2 主要反映橡胶支座在受压时的稳定性。

10.3　弹性滑板支座

10.3.1　弹性滑板支座使用的滑移材料可采用聚四氟乙烯板、改性超高分子乙烯板，其物理性能及相应的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 20688.5 的规定。

10.4　摩擦摆隔震支座

10.4.1　摩擦摆隔震装置（Friction Pendulum System，简称 FPS）隔震消能的主要原理是利用滑动面将结构与地面隔离，延长结构振动周期，过滤地震能量向上部结构传递，同时利用滑块与滑动面之间的摩擦来

消耗地震能量，减小地震力的输入。单主滑动摩擦面型和双主滑动摩擦面型 FPS 分别包括一个和两个球形铸钢滑动曲面，在竖向荷载作用下，曲面压应力均匀，支座可以在水平方向任意滑动。摩擦摆隔震支座有两个主要的设计参数：滑动面曲率半径 R 和滑动摩擦系数 μ，其尺寸主要由最大设计位移控制。FPS 具有良好的稳定性、复位能力和抗扭能力。

10.5 三维隔震（振）支座

10.5.1 三维隔震（振）支座通常为常规隔震支座的变种，如厚肉型橡胶隔震（振）支座，或常规隔震支座与竖向隔振单元的组合，如具有水平隔震效果的摩擦摆与具有竖向隔振效果的弹簧组合。组成单元的差异导致不同类型的三维隔震（振）支座应采用不同的检测要求，例如弹簧的外观要求和允许偏差显然并不适用于厚肉型橡胶隔震（振）支座，应根据各组成单元的构造形式并结合相关规定进行三维隔震（振）支座产品的检验。

10.5.2 三维隔震（振）支座在竖向隔离正常使用情况下环境激励引起的竖向振动，此振动幅值较小。为了体现支座在正常使用微振动下和施工、地震等大幅值振动工况下表现出的竖向刚度可能存在的区别，通过两组竖向性能试验分别确定竖向循环等效刚度和竖向单调刚度。竖向循环等效刚度的测量以 5% 重力荷载代表值下的支座应力设计值为振动幅值，反映支座小幅振动下的刚度特性，用于进行正常使用情况下的微振动分析。而建设过程中上部荷载逐渐增加，三维隔震（振）支座的变形过程接近于单调压缩加载，同时罕遇地震下竖向加速度幅值远大于正常使用状态下环境激励引起的加速度，因而施工过程和抗震设计使用的三维隔震（振）支座竖向刚度应按照大幅值的单调加载过程确定。竖向单调刚度的测量方法参考了现行国家标准《橡胶支座第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》GB 20688.1 中的试验方法，也可适用于以弹簧等其他构件为竖向隔振部件的三维隔震（振）支座。

10.5.3 此处设计轴压力为重力荷载代表值对应的压力。

10.6 隔震支座产品检验与性能参数确定

10.6.1 隔震层采用的隔震支座产品和阻尼装置应通过型式检验和出厂检验。型式检验除应满足相关的产品要求外，检验报告有效期不得超过 6 年。出厂检验报告只对采用该产品的项目有效，不得重复使用。

10.6.3 见证检验应在工程监理单位或建设单位的见证下，按照有关规定从施工现场随机抽取试样，并做永久性标识，送至具备相应资质的第三方检测机构进行检验。第三方检测机构应对抽样样品先进行竖向压缩性能和水平剪切性能检验，合格后进行水平极限性能检测。经水平极限性能检测后的产品，不得应用于工程项目。

此外，当建筑结构设计对支座有抗拉要求时，则应进行拉伸性能的试验。

11　隔震结构设计

11.1　一般规定

11.1.3　三维隔震（振）支座的竖向单调刚度和竖向循环等效刚度的区别参见 10.5.2 的条文说明。

11.2　隔震层设计

11.2.1　摩擦摆支座和弹性滑板支座不宜出现拉应力。罕遇地震下，按照三向地震动输入，计算隔震支座的最大压应力和最小压应力。

多层尤其是高层建筑隔震设计过程中，应重点关注隔震支座受拉问题。罕遇地震作用下，隔震橡胶支座的最大拉应力应满足限值要求，且出现拉应力的支座数量不宜过多，限制在不超过支座总数的 30% 以下。弹性滑板支座及摩擦摆没有竖向受拉能力，罕遇地震作用下，为防止其提离，必须保持处于受压状态。

11.2.2　相邻隔震层，即局部隔震支座标高下沉，导致隔震层标高不一致，进而形成两个隔震层。见图 11.2.9 所示。

一般情况下，摩擦摆等钢支座的竖向刚度特性不同于橡胶类支座，考虑变形协调性，这两类支座在同一隔震层中不宜混用。此外，一般摩擦摆隔震支座水平滑动时会产生竖向位移，形成对所支承结构的顶升作用，因此，考虑结构变形协调性，同一隔震层中不应将这类摩擦摆隔震支座与橡胶类隔震支座等混用，应考虑支座滑动时隔震层和结构的整体协调性。隔震层的摩阻力，指隔震层中摩擦摆隔震支座，或弹性滑板支座，或摩擦型阻尼装置等滑动时受到的水平动摩擦力的总和。

11.2.4　在长期荷载（重力荷载代表值）作用下，隔震橡胶支座和弹性滑板支座按照建筑抗震设防类别的不同，分别设定不同的竖向压应力限值。隔震橡胶支座第二形状系数小于 5 时，其竖向承载力将降低，

此时其压应力限值随之调整。弹性滑板支座采用材料和内部构造不同于隔震橡胶支座，一般不存在水平大变形作用下的橡胶受压失稳问题，其压应力限值比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。

在罕遇地震作用下，隔震支座将会在重力荷载代表值产生的竖向压应力基础上叠加较大的竖向拉、压应力，因此，需要分别设定不同的橡胶隔震支座和弹性滑板支座的竖向压应力限值。

在进行 400% 和 450% 的水平极限变形试验时，应保证支座的稳定性，橡胶隔震支座的第一形状系数 S_1 主要体现薄钢板对橡胶层的约束能力，因此，对于 S_1<30 时，本规程对于支座的压应力限值给出具体规定。

11.2.6　在罕遇地震作用下，弹性滑板支座的水平位移限值为上、下滑动面的短边平面长度。对特殊设防类建筑，在极罕遇地震作用下隔震橡胶支座的 $[u_i]$ 值可取各层橡胶厚度之和的 4.0 倍；弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座的 $[u_i]$ 值可取产品水平极限位移；隔震层宜设置超过极罕遇地震下位移的限位装置。

11.2.7　摩擦摆隔震支座的摩阻力，指其滑动时受到的水平动摩擦力。

11.2.8　抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

11.2.11　本规程提供一种隔震支座的可提离装置示意图，供设计人员参考。

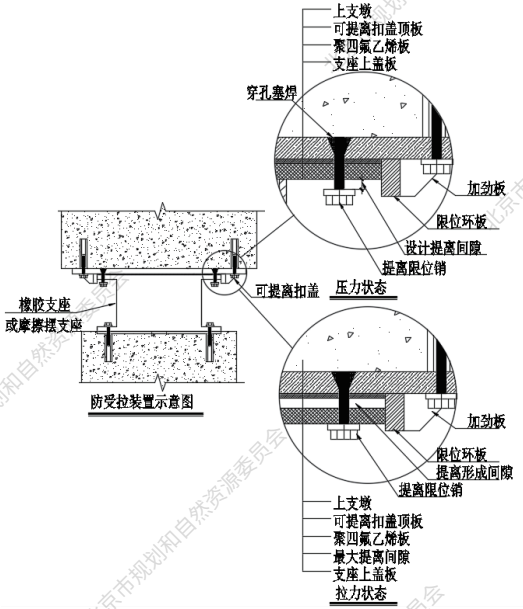


图 11.2.11　一种可提离装置立面示意

11.2.14　环境激励受振源类型、振源与结构的相对位置、传递路径和土体性质等多种因素影响，难以给出统一的规律，主要依靠实测结果。对于已有建筑，可以通过地下室底板和地下室外墙确定周边土体对结构的激励，分析过程中直接施加于结构相应位置。新建建筑在开挖基坑前，可实测周边振源的激励，通过结构－土体的模型分析结构在环境激励下的响应。无法直接测量振源振动时，可测量振源周边的振动并通过对振源周边局部区域的模拟反推振源激励。

11.3　隔震结构计算分析

11.3.1　对于拉应力限值超过规定的橡胶支座或者没有抗拉能力的滑板支座和摩擦摆支座，可以考虑附加抗拉装置。抗拉装置的设计应考虑到其能提供有效的竖向抗拉能力，不显著影响结构竖向动力特性，同时不应影响支座的水平方向运动。

11.4 隔震层上部结构

11.4.2 隔震后上部结构的抗震措施可以适当降低，一般以水平减震系数 0.4 为界划分，并明确降低的要求不得超过一度，对于不同的设防烈度如表 11.4.2 所示：

表 11.4.2 水平减震系数与隔震后上部结构抗震措施所对应烈度的分档

本地区设防烈度（设计基本地震加速度）	水平向减震系数	
	$\beta > 0.40$	$\beta \leqslant 0.40$
8（0.30g）	8（0.20g）	7（0.15g）
8（0.20g）	7（0.15g）	7（0.10g）

11.4.6 现行强制性国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 第 4.2.3 条规定房屋建筑的混凝土楼盖应满足楼盖竖向振动舒适度要求。与竖向振动相关的国家现行标准主要有：《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 和《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其振动方法标准》JGJ/T 170 等，规定了不同类型建筑的振动评价标准和限值要求。

11.5 隔震层下部结构

11.5.1~11.5.3 对隔震层以下的结构部分，主要设计要求是：保证隔震设计能在罕遇地震下发挥隔震效果。因此，需进行与设防地震、罕遇地震有关的验算，并适当提高抗液化措施。

11.6 隔震层构造

11.6.2 为了保证隔震层能够整体协调工作，隔震层顶部应设置平面内刚度足够大的梁板体系。当采用装配整体式钢筋混凝土楼盖时，为使纵横梁体系能传递竖向荷载并协调横向剪力在每个隔震支座的分配，支座上方的纵横梁体系应为现浇。为增大隔震层顶部梁板的平面内刚度，需加大梁的截面尺寸和配筋。

隔震支座附近的梁、柱受力状态复杂，地震时还会受到剪切，应

加密箍筋，必要时配置网状钢筋。

11.6.4　遵循隔震支座的连接强于隔震支座的设计原则，以充分发挥隔震支座的变形能力，达到最优的安全储备。

11.6.5　隔震支座连接螺栓、连接板的设计可参考现行国家标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 的规定。隔震支座预埋件的设计要求是，保证隔震设计在罕遇地震作用下发挥隔震效果，因此，其荷载取值应取隔震结构在罕遇地震作用下最不利荷载效应的标准值，具体强度设计可参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求。上部结构的底部剪力通过隔震支座传给下部结构，因此，隔震支座的连接螺栓、连接板和相关预埋件在传递罕遇地震作用时应保持在不屈服状态，以实现罕遇地震设防目标。

12　建筑与机电隔震构造

12.1　一般规定

12.1.2　隔震层如果仅用于安装各类隔震装置，而不做其他用途，应基于经济合理的原则设定结构层高，并满足检修、更换隔震装置的需要。

12.1.3　隔震层主要结构构件指的是混凝土梁、楼板、柱、上下支墩，不包含隔震支座、阻尼器等隔震装置。

12.1.4　隔震层人员检修出入口可采用楼梯间、直通式出入口或检修孔，尺寸应满足人员进出及运输隔震装置、施工器械的要求。一般情况下，隔震专用层人员检修出入口不宜少于两处。

12.1.5　隔震层是重要的结构功能层，漏水、潮湿的环境会引起隔震装置的腐蚀，不利于其耐久性，进而影响隔震装置正常发挥功能。故规定隔震装置所在的地下、半地下隔震层防水等级不低于二级，即不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。如该楼层还容纳其他建筑功能，防水等级需根据建筑使用功能确定。当隔震沟采用一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板覆盖时，该盖板如同时作为防水地下室顶板的一部分，则应采用防水混凝土，其板厚不应小于 250mm。

12.2　隔离缝构造

12.2.1　隔震层的上、下部结构之间应按照设计要求设置完全贯通的水平隔离缝，确保地震时，下部结构不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动，才能保证隔震建筑的正常使用功能。在施工过程中，往往忽视水平隔离缝的处理，不能保证连续贯通或出现采用刚性材料封死隔离缝等情况。因此，本条文明确强调水平隔离缝连续贯通。

考虑施工方便、悬挑结构变形、支座沉降等因素，水平隔离缝的缝高不小于 30mm，确保隔震层的上、下部结构不会相互接触；如果该缝隙有防水要求，缝高也不宜过大，便于防水节点设计。

隔震建筑与临近的竖直方向固定物（非隔震建 / 构筑物）也应有脱开距离，参照本条执行。

12.2.2　有防水要求的水平隔离缝（如缝隙位于地下或屋面处），其防水材料应采用柔性材料（如橡胶止水带、柔性防水卷材、金属防水薄板等），并预留伸缩量。考虑到覆盖水平隔离缝的防水材料预留伸缩量如按照上部结构罕遇地震位移预留，可能造成防水节点过于复杂，难以施工，故伸缩量至少应满足上部结构日常工况的温度变形量与多遇地震水平位移值中的较大值的要求。该部位的防水材料在罕遇地震后可再行修复。

12.2.3　为确保地震时，周边固定物不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动，设置一定宽度的竖向隔震沟（竖向隔离缝），对于隔震作用发挥至关重要。施工及使用过程中，常常发生隔震沟（竖向隔离缝）宽度预留不足或空间被填充封死的情况，因此必须保证缝宽度和空间清空，并进行重点检查。隔震建筑高度大于 24m 时，建筑顶部与固定物（或贴邻建筑）脱开距离应符合本规程第 11.4.5 条的有关规定，在本条规定基础上考虑叠加效应，适当增加隔震沟（竖向隔离缝）宽度。

12.2.4　隔震建筑周圈的竖向隔震沟可采用散水做法、隔震沟兼雨水沟做法、隔震沟与雨水沟分开做法、悬挑梁隔震沟做法等多种形式。各种做法均应采取可靠措施防止雨水侵入隔震层，雨水沟内宜设防水层。

12.2.6　隔震沟盖板可根据设计要求采取可移动钢筋混凝土盖板、可移动钢盖板和一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板等形式。隔震沟盖板在地震工况大位移情况下，转角、隔震沟侧壁变标高等部位的变形能力需要在设计中加以注意。盖板与固定结构边缘之间应预留小缝隙填充柔性材料，避免上部结构日常工况下产生温度变形致使盖板凸起影响通行，这一问题在大型隔震建筑中尤应加以注意。

12.2.7　隔震沟盖板在地震时可能发生较大的位移，为了保证震后主要出入口部位的通行功能，故要求建筑主体结构复位后，隔震沟盖板主要构件能随之复位。

12.3 楼梯、电梯等隔震构造

12.3.1 隔震建筑内部楼梯、电梯等穿越隔震层时，需通过设置水平隔震缝或竖向隔震缝的方式脱开，满足隔震建筑在地震时的位移需求。

如设水平隔震缝，缝高度应满足符合本规程第 12.2.1 条的规定。

如设竖向隔离缝，对于钢筋混凝土刚性楼电梯井筒，周边缝宽应符合本规程第 12.2.3 条的规定；对于钢结构井筒，周边竖向隔离缝缝宽宜计算确定，保证井筒与电梯导轨的弹性变形与隔震层变形相适应，在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。

如隔离缝的两侧为不同的防火分区或有防火要求时，应采取措施进行柔性防火封堵。

12.3.3 考虑施工及清理杂物的空间需要，悬挂式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于 800mm。考虑狭小空间中隔震装置施工和更换，支承式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于 1000mm。

12.3.4 隔震建筑中，自动扶梯（或倾斜式自动步道）需要在竖直方向上跨越隔震层时，宜将自动扶梯（或倾斜式自动步道）两端都支撑于下部结构，在上端楼板位置与上部结构脱开。有条件时，周边竖向隔离缝缝宽不宜小于罕遇地震下隔震层最大水平位移值的 1.2 倍且不应小于 300mm；确有困难时，竖向隔离缝缝宽不应小于设防地震下隔震层最大水平位移值的 1.2 倍且不应小于 200mm。竖向隔离缝可移动隔离缝盖板不应阻碍上部结构在地震时发生水平位移。盖板材料应坚固耐用、防滑，满足通行要求。

12.3.5 大型交通建筑中，出现隔震部分与非隔震部分贴邻时，水平自动步道不应在水平方向上穿过竖向隔离缝或隔震沟，避免自动步道在地震时受到楼层的剪切破坏。

12.4 外墙与屋面隔震构造

12.4.1 本条规定了隔震建筑与非隔震建筑贴邻时，不同层级的外墙或幕墙构件在隔离缝位置的水平脱开净距，主要结构构件不应该在地震

时发生碰撞，较小的次要构件允许在罕遇地震时碰撞，再行修复。贴邻的两侧墙体总高度大于 24m 时，脱开距离应满足本规程第 11.4.5 条的要求，在规定基础上考虑叠加效应，适当增加隔离缝宽度。

如两栋隔震建筑彼此贴邻时，D 取值为两侧隔震层在罕遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 600mm。D1 取值为两侧隔震层在设防地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。D2 取值为两侧隔震层在多遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm；对于地震时要求正常使用的建筑，该数值要求为两侧隔震层在设防地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。贴邻的两侧墙体总高度大于 24m 时，脱开距离应满足本规程第 11.4.5 条的要求，在规定基础上考虑叠加效应，适当增加隔离缝宽度。

12.4.3　本条规定了隔震建筑与非隔震建筑贴邻时，不同层级的屋面构件在隔离缝位置的水平脱开净距，主要结构构件不应该在地震时发生碰撞，较小的次要构件允许在罕遇地震时碰撞，再行修复。贴邻的两侧屋面总高度大于 24m 时，脱开距离应满足本规程第 11.4.5 条的要求，在规定基础上考虑叠加效应，适当增加隔离缝宽度。

12.5　内墙与装修隔震构造

12.5.5　本条规定了层间隔震时，室内吊顶在隔震部位的水平脱开净距。一般情况下，吊顶龙骨、面板等较小的次要构件允许在罕遇地震时碰撞，再行修复，其水平脱开净距不宜小于 200mm。如该吊顶或相连设施设备对于建筑物的功能不中断而言是重要的，其水平脱开净距不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。

两栋隔震建筑贴邻时，如两者的室内连通，连通部位的吊顶之间应采取隔震脱离措施，一般情况下，吊顶水平脱开净距不宜小于 400mm；考虑地震时该楼层功能正常使用不中断时，其水平脱开净距不应小于两侧隔震层在罕遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 600mm。

12.5.6　隔震建筑与非隔震建筑楼层之间的竖向隔离缝盖板可根据设计要求采取可移动钢筋混凝土盖板、可移动钢盖板和一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板等形式。

隔震建筑与非隔震建筑之间的楼面隔离缝盖板，在罕遇地震时应能保持主要构件的完整性，应设置防止盖板滑落的措施，地震后楼层结构复位，盖板主要构件宜能随之复位，保证通行功能不中断。当隔震盖板的上、下楼层为不同的防火分区时，还应增加防火构造措施，满足该部位的耐火极限。

12.5.7　可通过设置隔震支座防火屏障、局部防火吊顶等方式对隔震装置进行防火保护。如部分隔震装置不需要防火保护，设计文件中应予以说明，则相应的防护保护措施可取消。

12.6　隔震层机电设备与管线

12.6.1　隔震建筑中，对地震时要求正常使用建筑的所有机电系统，以及其他建筑中的消防系统，由于其重要性和功能不中断的要求，机电工程管线的柔性连接设施，其变形量应按罕遇地震标准进行设计。

考虑到机电设备及管线隔震措施占用空间较大，在地震时不要求正常使用的建筑中，非消防功能的机电工程设施可适当降低标准，其柔性连接设施变形量按设防地震标准进行设计。

12.6.2　柔性连接部件位移补偿量不宜小于计算最大位移量的 1.2 倍。柔性连接部件应采取成熟产品，水管柔性连接部件可采用隔震软管、低反力补偿器或其他成熟的管道柔性连接件，材质可采用不锈钢、橡胶等材质；风管柔性部件可采用非金属软接头；烟道柔性部件可采用低反力补偿器或其他成熟的管道柔性连接件。柔性连接部件应满足正常使用要求，如重力排水管道等采用柔性连接时管线变形应避免出现局部低点，造成排水不畅，影响日常排水。

12.6.3　机电管线不能影响结构位移，固定于隔震建筑上部结构的机电管线边缘与周围非隔震结构（或墙体）的间距不应小于建筑结构主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍；同理，固定于下部结构的机电管

线边缘与上部结构构件的间距不应小于建筑结构主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍。

12.6.12　隔震专用层是容纳隔震装置的专用夹层，一般情况不设置其他功能，内部与外部分回路配电可以减少线路发生损坏时产生互相干扰。隔震专用层（尤其基底隔震时）日常环境相对较差，从安全性考虑，对于照明、插座等分支配电线路不再向外部配出。

13　隔震分部工程的施工、验收和维护

13.1　一般规定

13.1.2~13.1.3　隔震支座供应商的服务范围包括设计图纸中的隔震支座及配套相关产品的深化设计、制造、检验、涂漆、包装、运输及现场技术支持等。隔震支座供应商应复核图纸上隔震支座以及周边结构构件标明的尺寸及标高，是否有任何纰漏及与设计要求不符之处，并于施工前完成所有修改。预埋条件由隔震支座供应商提供，双方应对连接方案及尺寸进行确认。预埋件的制作与安装由承包人负责，隔震支座与预埋件的连接由隔震支座供应商负责。

13.2　进场验收及施工

13.2.4　支座安装应在上道工序交接检验合格后进行施工；支座安装工程施工经质量验收合格后，方可进行后续工程施工。相关施工要求应符合下列规定：

1　支座的支墩（柱）与承台或底板宜分开施工，承台或底板混凝土应振捣平整；

2　承台、底板混凝土初凝前，应进行测量定位，绑扎支墩（柱）的钢筋及周边钢筋，应预留预埋钢筋或锚杆、套筒的位置；

3　下支墩（柱）上的连接板在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位，并应用连接螺栓对螺栓孔进行临时旋拧封闭；

4　安装下支墩（柱）侧模，应用水准仪测定模板高度，并应在模板上弹出水平线；

5　浇筑下支墩（柱）混凝土时，应减少对预埋件的影响；混凝土浇筑完毕后，应对支座中心的平面位置和标高进行复测并记录，若有移动，应立即校正；

6　模板拆除后，应采用同强度的水泥砂浆进行找平，找平后应对砂浆面进行标高复核。

7　安装支座时，应用全站仪或水准仪复测支座标高及平面位置，并应拧紧螺栓；

8　上支墩（柱）连接件在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位。在隔震支座安装阶段，应对支墩（或柱）顶面、隔震支座顶面的水平度、隔震支座中心的平面位置和标高进行观测并记录；

9　隔震支座连接板和外露连接螺栓应采取防锈保护措施，在工程施工阶段，对隔震支座宜有临时覆盖保护措施。

13.3　隔震工程质量验收及维护

13.3.5 《建设工程抗震管理条例》第十一条明确提出“建设工程勘察文件中应当说明抗震场地类别，对场地地震效应进行分析，并提出工程选址、不良地质处置等建议。建设工程设计文件中应当说明抗震设防烈度、抗震设防类别以及拟采用的抗震设防措施。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。”

《建设工程抗震管理条例》第二十三条明确提出：“建设工程所有权人应当按照规定对建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识进行检查、修缮和维护，及时排除安全隐患。任何单位和个人不得擅自变动、损坏或者拆除建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识。任何单位和个人发现擅自变动、损坏或者拆除建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识的行为，有权予以制止，并向住房和城乡建设主管部门或者其他有关监督管理部门报告。”

为贯彻落实《建设工程抗震管理条例》第十一条、第二十三条相关要求，本条设为强制性条文，对隔震工程施工验收和维护做了强制要求，以保证隔震工程的安全。

隔离缝和柔性连接对隔震工程的安全至关重要，在施工验收和后期使用维护阶段，都应保证满足设计要求。隔震层施工后，尚有上部结构施工、设备安装等后续工程。工程实施过程中，后续工程处理不当，常常造成水平隔离缝、竖向隔震沟和柔性连接措施不能正常发挥作用。因此，在建筑隔震工程主体结构验收和工程竣工验收中，各方应对水平隔离缝、竖向隔震沟和柔性连接等进行联合验收。

隔震层的上、下部结构之间应按照设计要求设置完全贯通的水平隔离缝，确保地震时，下部结构不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动，才能保证隔震建筑的正常使用功能。在施工过程中，往往忽视水平隔离缝的处理，不能保证连续贯通或出现采用刚性材料封死隔离缝等情况。为了避免上部结构（建筑主体结构）与周围毗邻的固定物相撞引起损坏，故要求隔震建筑上部结构与周围固定物（包括建筑物、构筑物和大型树木等）之间必须有一定的脱开空间，称之为竖向隔震沟（隔离缝）。施工及使用过程中，由于对隔震建筑特点不熟悉不理解，常常发生隔震沟（隔离缝）宽度预留不足或空间被填充封死的情况，因此必须保证竖向隔离缝宽度和空间清空，并进行重点检查。

当前隔震建筑施工验收通常分解为多个阶段。有时隔震工程验收阶段，水平隔震缝、竖向隔震沟和柔性连接的设置没有问题，但由于后期上部结构、设备安装、室外工程等施工的原因，往往出现对以上隔离措施的变动，形成阻碍隔震层运动的状况。因为涉及到结构安全，必须在这两个阶段进行验收检查。

工程参建各方进行联合验收，并填写质量验收记录，对隔震工程的各分项工程进行严格检查，在验收记录的验收意见中填写“合格”或“不合格”。对于验收意见不合格的分项工程，应按验收意见及时进行整改，再重新组织验收。

隔震建筑的维护管理，要建立完善的机制，确保隔震层定期检查与维护工作的顺利进行。建设单位组织进行隔震建筑后期经常性检查或监督使用方进行经常性检查，组织进行隔震建筑定期检查及应急检

查。维护检查内容可参考本规程第 13.4.2 条。

13.4 隔震部件的维护

13.4.1 隔震支座的维护质量关系到建筑物隔震性能，要重视并做好隔震支座的维护工作。维护工作需要建设单位、设计单位、施工单位、隔震支座产品供应商和使用方各方协调建立完善的机制，确保隔震层定期检查与维护工作的顺利进行。

13.5 隔震工程专用标识

13.5.1 为了完善隔震配套技术，保障隔震建筑在使用年限内正常发挥隔震功能，建筑隔震工程应设置专用的标识。

14 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统

14.1 建筑物地震反应观测系统

14.1.1 地震反应观测可以获得建筑在地震中各方面性能最直接的数据，应加强对减隔震建筑、特别是高宽比大于 4 的隔震建筑的反应观测。

14.1.2 通过对基础、刚度突变处、屋顶的观测可以分析出建筑对地震波的响应规律。

14.2 隔震建筑监测系统

14.2.1 对隔震建筑的监测可以获得建筑在不同工况下的受力状态、位移、加速度等参数，特别是隔震支座的水平位移、压应力、压缩变形、时程反应等参数为评价隔震层的综合性能提供基础资料。

附录 E　校核地震动

E.1.2　给出了符合北京地区特点的地震动，规范了地震时程分析时地震动输入。北京区域范围小，建设场地特征变化不大，统一地震输入具备客观条件；借鉴日本统一地震波输入的经验，结合北京地区的特点，根据北京市地震局和中国地震局工程力学研究所的研究结果，在实测的北京饭店地震波基础上，生成了符合北京地区场地特性的地震波。

1976 年唐山 7.8 级地震中，位于北京市中心的北京饭店东楼获取到了良好的地震动记录，为了将该记录推算到自由场以便于其他建筑结构使用，进一步扣除土结构相互作用影响而得到本记录，在使用时，不区分 II 类、III 类场地，而直接按照罕遇地震 PGA 进行调幅。主要原理在于，根据地震波在结构内多次反射的概念，利用弹性结构 – 有质量刚性基础 – 半无限弹性地基的力学模型，通过实测地震动记录识别模型关键参数，在扣除土结构相互作用影响后获取自由场地面运动频谱，最终得到自由场时程。具体步骤可参考“王阜，廖振鹏 . 多层剪切型结构水平地震反应的行波分析 . 1986. 地震学报，8(4), 421–430。”。

人造地震动时程是通过对北京地区收集到的部分地震安全性评价成果综合分析，分别拟合 II 类场地和 III 类场地 50 年超越概率 2% 阻尼比为 5% 条件下的地震动时程。

地震动数据源文件联系邮箱：miaoqisong@biad.com.cn。