 **T/CECS XXX-2022**

**中国工程建设协会标准**

**模数化分层装配钢框架消能支撑结构**

**技术规程**

**Technical specification for modular floor-by-floor assembled steel frames with energy-dissipation braces**

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会公告

第 号

关于发布《模数化分层装配钢框架消能支撑结构技术规程》的公告

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第二批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]23号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为9章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、结构计算分析、构件设计、消能支撑设计、连接和节点设计、施工、验收等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本规程主编单位协商处理，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑产业化分会归口管理，由汉尔姆建筑科技有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：杭州市临平区新纺路5号，邮编：311100）。

主编单位：  汉尔姆建筑科技有限公司

北京市建筑设计研究院有限公司

参编单位： 清华大学

 中冶建筑研究总院有限公司

福州大学

云南建投安装股份有限公司

汉尔姆建设有限公司

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[Contents 1](#_Toc103777731)

[1 总 则 3](#_Toc103777732)

[2 术语和符号 4](#_Toc103777733)

[**2. 1** 术 语 4](#_Toc103777734)

[**2. 2** 符 号 4](#_Toc103777735)

[3 基本规定 8](#_Toc103777736)

[**3. 1** 一般规定 8](#_Toc103777737)

[**3. 2** 材料 9](#_Toc103777738)

[**3. 3** 平面与立面设计 10](#_Toc103777739)

[**3. 4** 模数化设计 11](#_Toc103777740)

[**3. 5** 防火与防腐 12](#_Toc103777741)

[4 结构计算分析 14](#_Toc103777742)

[**4. 1** 一般规定 14](#_Toc103777743)

[**4. 2** 荷载与作用 15](#_Toc103777744)

[**4. 3** 计算简图和计算参数 15](#_Toc103777745)

[**4. 4** 地震作用分析 16](#_Toc103777746)

[5 构件设计 18](#_Toc103777747)

[**5. 1** 连续开孔梁 18](#_Toc103777748)

[**5. 2** 分层柱 20](#_Toc103777749)

[**5. 3** 普通支撑 22](#_Toc103777750)

[**5. 4** 楼盖结构 24](#_Toc103777751)

[6 消能支撑设计 26](#_Toc103777752)

[**6. 1** 一般规定 26](#_Toc103777753)

[**6. 2** 剪切阻尼器支撑 27](#_Toc103777754)

[**6. 3** 屈曲约束支撑 28](#_Toc103777755)

[7 连接和节点设计 30](#_Toc103777756)

[**7. 1** 框架节点 30](#_Toc103777757)

[**7. 2** 楼板与梁连接节点 34](#_Toc103777758)

[**7. 3** 柱脚节点 35](#_Toc103777759)

[**7. 4** 围护结构节点 36](#_Toc103777760)

[8 施工（制作、运输） 37](#_Toc103777761)

[8.1 一般规定 37](#_Toc103777762)

[8.2 制作 37](#_Toc103777763)

[8.3 防腐 38](#_Toc103777764)

[8.4 防火 39](#_Toc103777765)

[8.5 安装 39](#_Toc103777766)

[9 验收 41](#_Toc103777767)

[9.1 一般规定 41](#_Toc103777768)

[9.2 验收 42](#_Toc103777769)

[**本规程用词说明** 43](#_Toc103777770)

[**引用标准名录** 44](#_Toc103777771)

# Contents

 [1 General 3](#_Toc3645)

 [2 Terms and symbols 4](#_Toc11929)

[2.1 Terms 4](#_Toc8112)

[2.2 Symbols 4](#_Toc24219)

 [3 Basic Requirements 8](#_Toc32755)

[3.1 General 8](#_Toc31101)

[3.2 Materials](#_Toc5588) 9

[3.3 Design of plan and facade 10](#_Toc251)

[3.4 Modular design 11](#_Toc251)

[3.5 Fire protection and anticorrosion 12](#_Toc251)

 [4 Structural Analysis 1](#_Toc32755)4

[4.1 General 1](#_Toc32499)4

[4.2 Load and action 1](#_Toc5804)5

[4.3 Calcution diagram and parameters 1](#_Toc14338)5

[4.4 Seimic action analysis 1](#_Toc26218)6

 [5 Component design](#_Toc27313) 18

[5.1 Continuous open beam](#_Toc1255) 18

[5.2 Layered column](#_Toc23231) 20

[5.3 General support](#_Toc28797) 22

[5.4 Floor structure](#_Toc7015) 24

[6 Energy-dissipated brace 2](#_Toc2394)6

[6.1 General 2](#_Toc32080)6

[6.2 Shearing damper 2](#_Toc14449)7

[6.3 Buckling-restrained brace 2](#_Toc14449)8

[7 Design of Connection and Joint](#_Toc4314) 30

[7.1 Frame joint](#_Toc7231) 30

[7.2 Joint of floor and beam](#_Toc8849) 34

[7.3 Joint of column base](#_Toc11662) 35

[7.4 Joint of envelop](#_Toc11662) 36

 [8 Construction(fabrication and transportation) 3](#_Toc11373)7

[8.1 General](#_Toc9017) 37

[8.2 Fabrication 3](#_Toc11213)7

[8.3 Anticorrosion 3](#_Toc13720)8

[8.4 Fire protection 3](#_Toc11855)9

[8.4 Intallation 3](#_Toc11855)9

 [9 Quality acceptance](#_Toc16343) 41

[9.1 General](#_Toc7787) 41

[9.2Acceptance](#_Toc30362) 42

[Explanation of Wording in This Code](#_Toc11693) 43

[List of Quoted standards](#_Toc11693) 44

#  总 则

### 为在模数化分层装配钢框架消能支撑结构的设计、生产、储运、施工安装及质量验收中，贯彻执行国家有关国家法规和规范，做到安全使用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

### 本规程适用于抗震设防烈度为6度至8度（0.2g）地区、层数不超过4层、采用模数化分层装配钢框架消能支撑结构的设计、制作、储运、施工安装及质量验收。

条文说明：本条为本标准的适用范围。模数化分层装配钢框架消能支撑结构主要适用于设防烈度8（0.2g）及以下、不超过4层的民用建筑，适用于住宅、农居、宿舍、办公等居住类建筑和公共建筑，也可用于循环拆装的临时建筑。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的设计、制作、安装与验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

#  术语和符号

## 术 语

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构 Modular floor-by-floor assembled steel frame structure

采用模数化设计，以支撑及附加消能器的支撑作为主要抗侧力构件，梁贯通、柱分层，采用全螺栓连接，分层装配建造的钢结构体系。

### 连续开孔梁 Continuous opening beam

采用工厂预制加工，按照模数间距，在梁腹板和翼缘预留梁梁节点和梁柱节点的螺栓连接孔，以及腹板设备管线洞口的梁构件。分为框架梁和次梁。

### 消能支撑 Energy dissipation brace

组合了消能器和框架斜撑，形成同时具有抗侧刚度和耗能能力的支撑系统。

### 剪切型消能器 Shearing energy dissipation device

以金属剪切屈服耗能为特征的消能器。

### 屈曲约束支撑 Buckling-restrained brace

由核心单元、外约束单元等组成，以金属核心单元轴向屈服变形耗散能量的消能器。

### 分层柱 Layered truncated column

按楼层截断，每层柱身采用方钢管截面，柱端连接件采用十字形截面，按照模数与连续开孔梁或者基础连接的柱构件。

## 符 号

### 作用与作用效应设计值

*N*——轴心力；

*M*——弯矩；

*V*——剪力。

### 计算指标

*E*——钢材的弹性模量；

*G*——钢材的剪切模量；

*f*——钢材抗拉、抗压、抗弯强度设计值；

*f*y——钢材屈服强度；

*f*ps——梁柱节点域的抗剪强度设计值；

*k* —— 支撑构件轴向刚度；

*k*bH—— 一个开间内布置的支撑的抗侧刚度；

*K*f——不考虑支撑时框架的整体抗侧刚度。

*i*c、*i*b ——柱、梁的线刚度；

*I*c、*I*b ——柱、梁截面惯性矩；

*L*c、*L*b ——柱高度、梁跨度，取构件轴线交点间距；

*V*u ——基于极限强度最小值的节点连接最大受剪承载力，仅由腹板的连接承担；

*M*p ——梁的塑性受弯承载力；

*V*Gb ——梁在重力荷载代表值作用下，按简支梁分析的梁端截面剪力设计值；

$\left[\frac{∆}{H}\right]\_{e}$—— 弹性设计时结构的层间位移角允许值；

$\left[\frac{∆}{H}\right]\_{p}$—— 罕遇地震下的最大层间位移角允许值

*FE* —— 按设防烈度确定的层地震剪力；

*S* —— 基本组合的效应设计值；

*S*Eh —— 水平地震作用组合的效应设计值；

*S*Ev —— 竖向地震作用组合的效应设计值；

*S*Ehk —— 水平地震作用标准值的效应；

*S*Evk —— 竖向地震作用标准值的效应；

*S*Gk —— 永久荷载标准值的效应；

*S*wk —— 风荷载标准值的效应。

### 几何参数

*Mo*——标准模数长度；

*H*——柱截面长边长度；

*B*——柱截面短边长度；

*b*bf——梁翼缘的宽度；

*t*bf——梁翼缘的厚度；

*t*bw——梁腹板的厚度；

*h*bw——梁腹板的高度；

*t*cw——柱壁厚度；

*h*b——梁翼缘中心线之间的高度；

*h*c1——柱翼缘中心线之间的宽度；

*L*bd、*L*br—— 支撑变形集中段的长度和支撑总长度；

*h*b——梁的截面高度；

*h*c——柱的截面高度；

*d*——螺栓直径；

Lc——柱高度（轴线间距）；

Lb——梁跨度（轴线间距）；

*θ*——支撑与水平面夹角；

*h*——结构层高；

*A*b、*A*c——支撑和柱的横截面面积；

*B* —— 支撑所在开间的宽度；

*H* —— 支撑所在开间的高度；

### 计算系数及其他

*γ*x——对x轴的塑性发展系数，S1级、S2级和S3级时取1.05；

*γ*0——结构的重要性系数：对安全等级为一级的结构构件不应小于1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于0.9；

*γ*RE——承载力抗震调整系数；

*nc* —— 柱轴压比；

*α*max —— 水平地震影响系数最大值；

*β*E —— 动力放大系数；

*γ*G —— 永久荷载分项系数；

*γ*w —— 风荷载分项系数；

*γ*Eh —— 水平地震作用分项系数；

*γ*Ev —— 竖向地震作用分项系数；

*ψ*w —— 风荷载组合系数；

*ε*k ——钢号修正系数，其值为235与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

#  基本规定

## 一般规定

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构建筑应满足安全、适用、耐久、经济和环保等综合性能要求。可将结构系统、外围护系统、设备与管线系统、内装系统采用集成的方法进行一体化设计。

条文说明：模数化分层装配钢框架消能支撑结构具有工厂制造、现场装配的基本特点。强调将结构系统、外围护系统、设备与管线系统、内装系统采用集成的一体化设计方法，目的是实现工业化建筑部品部（构）件的集成，设计安装相互协调。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系的设计应符合下列原则：

1 竖向和水平荷载（作用）的传递途径应合理、明确；

2 结构体系应具有必要的承载能力、刚度、变形能力和耗能能力；

3 楼盖、屋盖结构应有足够的面内刚度向下传递支撑内力；

4柱间支撑应有足够延性，消能器应先于普通刚性支撑屈服耗能；

5 对可能出现的薄弱部位，应采取有效的加强措施。

条文说明：竖向荷载主要由柱子承担，水平荷载主要由支撑子结构承担，须有足够的面内刚度将水平力分配给各个支撑子结构。支撑子结构需要求足够的承载力和耗能能力。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计应标准化、部品部（构）件生产应工厂化、部品部（构）件安装应装配化、施工管理应信息化。模数化分层装配钢框架消能支撑结构建筑可实现全装修或装配式装修方式。

条文说明：模数化分层装配钢框架消能支撑结构作为一种标准集成化程度很高的一种生产建造方式，设计标准化是其实现的前提和基础，部品部（构）件生产工厂化和装配化是基本要求，信息化管理是其实现的保障手段。采用全装修或装配式装修方式，进一步提升标准化和集成化程度，减少二次装修对结构构件的损坏。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的设计与建造应符合通用化、模数化、标准化的规定，应以少规格、多组合为原则实现建筑部品部（构）件的系列化和建筑功能的多样化。

条文说明：模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计和建造方法要立足于建筑工业化，进行标准化设计，少规格多组合实现建筑功能多样化，采用集成技术，便于工厂批量生产。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构应满足防火、防腐、防水和隔声等建筑整体性能和品质的要求。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的外围护系统应根据当地气候条件选用质量可靠、经济适用的材料和部品，并应选用技术成熟的施工工艺进行安装。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计宜遵循建筑全寿命期中使用与维护的便利性原则，设备管线与主体结构应分离，管线更换或装修时不应影响结构性能。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计与建造应采用绿色建材和性能优良的部品部（构）件，并应建立部品部（构）件工厂化生产的质量管理体系。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计宜考虑部品部（构）件的可更换性。对于用于临时使用功能的建筑，应考虑结构构件的快装快拆方式，实现结构构件的循环使用和绿色节约。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构房屋的非承重墙体宜采用轻质墙。

## 材料

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构宜采用Q235B钢或Q355B钢，钢材的质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定。当采用更高牌号的钢材时，应符合相应的规定和要求。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构采用的钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率和硫、磷含量的合格保证。对焊接承重结构的钢材尚应具有碳当量的合格保证和冷弯试验的合格保证。对需充分发展塑性的支撑变形集中段及有相同塑性变形能力要求的构件，所用钢材应符合下列规定：

**1** 屈强比不应大于0.85。

**2** 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于20%。

条文说明：屈强比和伸长率为了保证耗能构件有良好的延性和耗能能力，具有适应更大应变与塑性变形的延性和韧性性能，从而实现地震作用能量与结构变形能量的转换，有效地减小地震作用，达到结构大震不倒的设防目标。

### 钢材的强度设计值和物理性能指标应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定。

### 钢结构用焊接材料和紧固件材料应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中的耗能构件宜采用Q235钢、LY225钢、LY160钢和LY100钢，其质量与设计指标应分别符合《碳素结构钢》GB/T 700、《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905和《高性能钢结构应用技术规程》T/CECS 599的规定。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中的耐候钢，宜采用Q235NH、Q355NH和Q415NH，其质量等级不低于C级，且宜按现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171要求附加保证晶粒度不小于7级并且耐腐蚀指数不小于6.0。

## 平面与立面设计

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构由钢梁、钢柱、普通支撑、消能支撑、消能器和楼盖组成稳定的结构体系（图3.3.1）。楼盖结构可由钢梁和与之可靠连接的刚性楼板组成；当铺设非刚性楼板时，应由钢梁和水平支撑形成可靠的楼板面内刚度。



图3.3.1 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系立面示意图

1—梁；2—柱；3—普通支撑；4—消能支撑；5—消能器；

6—基础；7—二层；8—三层；

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系应采用柱按层分段、梁贯通的构成方式。梁的上层柱与下层柱可不对齐。梁与梁宜采用铰接连接。当梁跨度超过运输长度限制时，梁拼接位置应与梁柱节点错开且应设在梁受力较小位置。现场连接节点应采用全螺栓连接。

### 钢柱柱网布置应均匀，钢梁跨度不应过大。

### 同一层中所有与柱连接的钢梁宜采用同一高度。不与钢柱连接的次梁可采用不同高度的截面。

### 纵横两个方向均应布置柱间支撑。柱间支撑在两个主轴方向应分散、均匀布置。柱间支撑宜上下层连续布置。

条文说明：普通支撑（耗能支撑）在结构两个主轴方向均匀、对称、周边、分散的原则布置，保证两个主轴方向刚度均匀，并有足够的抗扭刚度。支撑宜上下层连续布置，传力直接。

### 模数化分层装配消能支撑钢框架房屋的建筑形体宜避免平面凹凸不规则和楼板局部不连续。不同层支撑应避免错跨布置，无法避免时，支撑间断处梁应计入支撑轴力的影响，并应避免侧向刚度突变。

### 结构布置应与建筑设计和内装系统相协调，实现大空间、灵活分隔、多组合的功能要求，同时主体构件不宜凸出隔墙，不可避免时主体构件宜凸出在次要房间角部等非关键位置或可通过内装隐藏的位置。

## 模数化设计

### 模数化分层装配消能支撑钢框架房屋应采用标准化设计，模数数列应根据建筑功能、围护系统、内装系统和经济性等统筹确定，应符合现行国家标准《建筑模数协调标准》GB/T 50002 的有关规定，并应符合下列规定：

**1** 基本模数的数值应为100mm（1M等于100mm），整个建筑物和建筑的一部分以及建筑部件的模数化尺寸，应是基本模数的倍数；

**2** 开间或柱距、进深或跨度、门窗洞口宽度等宜采用水平基本模数数列和水平扩大模数数列，且水平扩大模数数列宜采用2nM、3nM（n为自然数）；

**3** 梁、柱、墙、板等构件的截面尺寸宜采用竖向扩大模数数列nM；

**4** 构造节点和部品部件的接口尺寸宜采用分模数数列nM/2、nM/5、nM/10；

**5** 层高和门窗洞口高度宜采用竖向基本模数和竖向扩大模数数列，且竖向扩大模数数列宜采用nM。

### 模数化分层装配消能支撑钢框架房屋应进行功能空间、结构系统、外围护系统、内装系统及设备与管线系统之间的尺寸模数协调设计。

### 模数化分层装配消能支撑钢框架房屋应优先采用工厂化生产、装配化施工的构件和部品，应采取减少现场焊接、湿作业的技术措施。

## 防火与防腐

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构防火设计应符合以下规定：

**1** 钢构件的耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016中的有关规定；当钢构件的耐火时间不能达到规范规定的耐火极限时，应进行防火保护设计，建筑钢结构应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB51249进行抗火性能验算，钢结构节点的防火保护应与被连接构件中防火保护要求最高者相同；

条文说明：

根据《住宅建筑规范》和《建筑防火设计规范》相关规定，三层以下的住宅建筑采用四级耐火等级，柱、梁的耐火极限时间为1.0小时，可采取涂刷薄型防火涂料等方式，满足耐火极限和内装隔墙包覆的相应需求。多层公共建筑和大于3层的住宅建筑耐火极限可采用三级，应进行相应的防火设计，满足耐火极限时间要求。

**2** 钢结构的防火设计文件应注明建筑的耐火等级、构件的设计耐火极限、构件的防火保护措施、防火材料的性能要求及设计指标。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构防腐设计应符合以下规定：

**1** 钢结构防腐蚀设计应根据住宅室内环境条件、施工和维修条件等要求合理确定防腐蚀设计年限和涂装方案，对卫生间等环境条件较差部位的钢构件应加强防护，钢结构节点与相应构件的防腐要求一致。钢结构防腐蚀设计应符合现行标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251的规定；

**2** 处于外露环境，且对耐腐蚀有特殊要求或处于侵蚀性介质环境中的承重结构，宜采用耐候结构钢；

**3** 围护结构的设计构造应防止结露，室内湿度较大的部位（如厨房、卫生间等）不应有外露钢结构；当不可避免时，宜外包混凝土隔护；

4 住宅钢结构不得采用带锈涂料（即允许钢材表面带锈涂刷的化学除锈涂料）作防锈涂装；

条文说明：

本条参照《钢结构住宅设计规范》CECS 261。涂装前钢材表面除锈质量是确保涂膜防腐蚀和保护寿命的关键因素。考虑到住宅钢结构一般均会装修覆盖，检修和重新涂刷不便，所以本条规定住宅钢结构不得使用带锈涂料代替除锈。

**5** 不同种类金属材料的构件、部件连接时（如铝合金与钢材）应采取防止接触腐蚀的阻隔措施。

#  结构计算分析

## 一般规定

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构设计除符合本标准有关规定外，尚应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002、《钢结构通用规范》GB55006、《建筑抗震设计规范》GB50011、《钢结构设计标准》GB50017的规定。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计时，荷载效应组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的有关规定。抗震设防烈度为6度及以上地区的结构，地震作用及作用效应组合还应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011与行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的有关规定。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系应符合下列规定：

1 竖向和水平荷载（作用）的传递途径应合理、明确；

2 结构体系应具有必要的承载能力、刚度、变形能力和耗能能力；

3 楼盖、屋盖结构应有足够的面内刚度向下传递支撑内力；

4 刚性支撑应有足够延性，与消能器相连的支撑构件不应先于消能器屈服；

5 对可能出现的薄弱部位，应采取有效的加强措施。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构房屋的最大层数和总高度应符合表4.1.4的规定，最大层高不宜超过3.6m。

表4.14 模数化分层装配消能支撑钢框架房屋的最大层数和总高度

|  |  |
| --- | --- |
| **建筑设计控制参数** | **抗震设防烈度** |
| 6度、7度 | 7度（0.15g） | 8度（0.2g） |
| 最大层数 | 4 | 4 | 3 |
| 总高度（m） | 14 | 12 | 10 |

## 荷载与作用

### 结构的荷载标准值、分项系数效应组合应满足现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001的规定。

### 地震作用应根据现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002、《建筑抗震设计规范》GB50011的要求确定。

### 竖向荷载和风荷载应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001、《建筑结构荷载规范》GB50009中有关规定进行计算。计算风振系数时的结构阻尼比可采用0.02。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构采用两阶段设计。第一阶段应按多遇地震计算地震作用；第二阶段应按罕遇地震计算地震作用。

### 罕遇地震作用下进行弹塑性变形计算时，可不计入风荷载的效应。

### 当结构的质量和刚度分布基本对称时，可沿结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用，各方向水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。

### 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计算双向水平地震作用并计入扭转的影响。

## 计算简图和计算参数

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系结构计算时可假定柱两端与梁的连接、支撑两端与柱的连接均为铰接。

条文说明：

模数化分层装配钢框架消能支撑结构采用的重要设计理念是抗侧力、竖向力系统独立，即钢柱仅用于承担竖向荷载，不承受水平力，从而提高钢柱的承载效率并减小截面；侧向荷载均由支撑承担。

模数化分层装配钢框架消能支撑结构中采用梁贯通十字件端板连接的节点形式，转动刚度较小，因此本条文规定节点可假定为理想铰接。实际上节点具有一定的抗弯刚度和承载力，可作为结构承载力储备并一定程度上在往复地震下起第二道防线的作用。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构承受竖向荷载作用时，梁的计算模型根据节点性质可设定为简支梁或连续梁。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构分析模型应正确反映不同荷载工况的传递途径、在不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构弹性计算模型宜选择空间杆系，弹性计算时消能支撑应按线性单元考虑，单元刚度应与消能支撑刚度等效；当进行罕遇地震弹塑性变形验算时，应按消能支撑的弹塑性本构考虑消能器的影响。

### 计算模数化分层装配钢框架消能支撑结构内力和变时，可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性，设计时应采取相应措施保证楼盖平面内整体刚度。当可能产生较明显的面内变形时，计算时应采用楼盖平面内的实际刚度考虑楼盖面内变形的影响。

### 在结构内力与位移计算中，当采用现浇楼盖和装配整体式楼盖时，钢梁的刚度可考虑翼缘的作用予以增大。近似考虑时，中梁可取1.5，边梁可取1.25。当无现浇面层的装配式楼盖，不宜考虑楼面钢梁的刚度增大。

### 计算地震作用所采用的结构自振周期应考虑非承重墙体的刚度影响予以折减。当采用干挂轻质墙板时，自振周期折减系数可取0.85~0.95，对于其他非承重墙体，可根据工程情况确定周期折减系数。

## 地震作用分析

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的分析方法应根据主体结构、消能器的工作状态选择，可采用底部剪力法、振型分解反应谱法、弹性时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法等进行计算。结构在地震作用下的内力和变形验算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011与行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的有关规定。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的阻尼比宜符合下列规定：

**1** 多遇地震下的计算，可取0.04；

**2** 罕遇地震下的弹塑性分析，可取0.05；

**3** 结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加给主体结构的阻尼比的总和，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。

条文说明：当多遇地震作用下消能器已进入屈服状态，需要按《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定计算消能器附加阻尼比。在多遇地震作用下，结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加阻尼比的总和。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构在风荷载和多遇地震作用下的层间弹性位移角不宜大于表4.4.3的规定。

表4.4.3 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的弹性位移角限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **荷载作用** | **风荷载** | **多遇地震作用** |
| 弹性位移角限值 | 1/350 | 1/350 |

条文说明：

分层装配消能支撑体系梁柱铰接连接，结构抗侧刚度主要由支撑提供，结构进入大震时消能支撑会提供一定的塑性耗能，但由于数量占比相对较少，地震能量的耗散也较少，楼层的弹塑性变形与多遇地震弹性变形比值基本与罕遇地震力与多遇地震力比值相当。为保证结构弹塑性变形满足大震不倒的性能要求，本条将结构弹性位移角限值适当提高。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角不应大于1/50。

# 构件设计

##  连续开孔梁

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，连续开孔梁宜采用高频焊接截面、普通焊接截面、热轧型钢截面，强度、稳定验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

条文说明：

连续开孔梁的开孔一般可分为三种，如图1所示：（1）为实现梁-梁连接节点、梁加劲肋构造，在梁腹板设置的螺栓连接孔；（2）为实现梁-柱连接节点，在梁翼缘设置的螺栓连接孔；（3）为布设设备管线，在梁腹板开洞。



1—框架梁；2—用于主次梁连接、梁加劲肋的螺栓孔；3—用于主梁与柱顶十字转接件连接的螺栓孔；4—设备管线开孔；5—用于梁柱连接节点的螺栓孔

图1 连续开孔梁示意图

### 连续开孔梁的板件宽厚比，应依据房屋抗震等级确定，并应符合表5. 1. 2的规定。

表**5. 1. 2** 连续开孔梁的板件宽厚比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 工字形截面和箱形截面翼缘悬伸部分 | 9 | 9 | 10 | 11 |
| 箱形截面翼缘在两腹板之间的部分 | 30 | 30 | 32 | 36 |
| 工字形截面和箱形截面腹板 |  |  |  |  |

注：1 表中*N*为梁的轴向力；*A*为梁的截面面积，按实腹部分计算；*f*为梁的钢材强度设计值；

2 表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以*ε*k。

条文说明：

本条参考了现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关规定，其中具体数值规定，待讨论或相关研究确定。

### 在连续开孔梁中，对于开孔梁截面应进行受弯承载力验算，对开孔处顶部及底部T形截面应进行受弯剪承载力验算。

条文说明：

本条参考了现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定。

### 当梁腹板设有设备管线开孔时，孔型宜为圆形或矩形，并应符合下列规定：

**1** 圆孔孔口直径不宜大于梁高的0.70倍，矩形孔口高度不宜大于梁高的0.50倍，矩形孔口长度不宜大于梁高及3倍孔高；

**2** 相邻圆形孔口边缘间的距离不宜小于梁高的0.25倍，矩形孔口与相邻孔口的距离不宜小于梁高及矩形孔口长度；

**3** 开孔处梁上下T形截面高度均不宜小于梁高的0.15倍，矩形孔口上下边缘至梁翼缘外皮的距离不宜小于梁高的0.25倍；

**4** 开孔长度（或直径）与T形截面高度的比值不宜大于12；

**5** 不应在距梁端相当于梁高范围内设孔，不应在隅撑与梁柱连接区域范围内设孔；

**6** 开孔处需补强时，具体构造和计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定。

条文说明：

本条参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017中对梁腹板开孔的有关规定。

### 连续开孔梁截面需要设置加劲肋时，可采用焊接加劲肋或全螺栓连接的分离式加劲肋。采用分离式加劲肋时，应采用精细化的加工工艺和精度控制措施，并且加劲肋厚度不应小于采用焊接形式时的加劲肋厚度。

### 连续开孔梁的抗弯刚度宜根据开孔大小和数量，在梁实腹截面抗弯刚度的基础上进行折减，也可直接采用截面面积最小的开孔梁截面对应的抗弯刚度进行计算。

条文说明：

在进行结构分析时，结构梁因开孔而产生结构抗弯刚度削弱，抗弯刚度折减系数建议取0.95。

## 分层柱

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，分层柱构件验算时，可假定柱两端与梁的连接为铰接。柱构件宜采用高频焊接截面、普通焊接截面、热轧型钢截面，强度、稳定验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。柱构件也可采用冷弯型钢截面，强度、稳定验算应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018的规定。

### 当柱不与支撑相连时，柱构件验算可仅计入竖向荷载的组合作用；当柱与支撑相连时，柱构件验算应计入支撑轴向力对柱产生的附加作用。

### 在进行小震作用下的构件设计时，柱构件的最大轴压比不宜超过0.4，同层柱平均轴压比不宜超过0.3。轴压比应按下式计算：

  （5.2.3）

式中：*n*——轴压比；

 *N*——作用于柱的轴压力；

*A*c、*f*yc ——柱截面面积、柱钢材屈服强度标准值；

条文说明：

现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中规定柱轴压比不超过0.4时可不进行强柱弱梁验算。在模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，梁贯通、柱分层的构造形式提高了建造效率和设计灵活性，但与传统柱贯通体系相比客观上难以满足“强柱弱梁”要求，为避免与现行相关标准的冲突，本条文对柱构件的轴压比进行了限制。

### 分层柱的板件宽厚比，应依据房屋抗震等级确定，并应符合表5. 2. 4的规定。

表**5. 2. 4** 分层柱的板件宽厚比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 工字形柱翼缘悬伸部分 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 工字形柱腹板 | 43 | 45 | 48 | 52 |
| 箱形柱壁板 | 33 | 36 | 39 | 40 |

注：表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以*ε*k。

条文说明：

本条文参考了现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关规定。

### 框架柱的长细比，抗震等级为一级时不应大于60*ε*k，二级不应大于80*ε*k，三级不应大于100*ε*k，四级不应大于120*ε*k，其中*ε*k为钢号修正系数，其值为235与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

条文说明：

本条文参考了现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的相关规定，具体数值待讨论或相关研究结果确定。

### 分层柱构件的计算长度可取楼层净高。

条文说明：

对于结构首层，楼层净高可取首层顶梁底面至柱脚底面距离，对于其他层，可取上下楼层梁净距。

### 分层柱构件宜包括柱主体部分和连接件，连接件的最小截面面积不应小于柱主体部分的截面面积。

条文说明：

在模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，梁柱系统主要承担竖向荷载。因此对于分层柱，为实现梁柱铰接、提高竖向力传递效率，柱主体部分宜采用方钢管截面，连接件宜采用十字形截面，且螺栓孔应在满足施工空间的条件下尽可能靠近中和轴。连接件可通过上端板与柱主体部分进行工厂焊接连接，而在现场施工时，连接件下端板可通过高强度螺栓连接与框架梁相连，分层柱示意图见图2。



1—柱主体部分；2—连接件

图2 分层柱示意图

### 框架柱和框架梁的线刚度比不宜大于1/3，柱、梁的线刚度可按下列公式计算：

  （5.2.7-1）

  （5.2.7-2）

式中：*i*c、*i*b ——柱、梁的线刚度；

 *E*——钢材弹性模量；

*I*c、*I*b ——柱、梁截面惯性矩；

*L*c、*L*b ——柱高度、梁跨度，取构件轴线交点间距。

##  普通支撑

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，普通支撑宜采用高频焊接截面、普通焊接截面、热轧型钢截面，强度、稳定验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

### 支撑杆件的长细比，按压杆设计时，不应大于120*ε*k；抗震等级一、二、三级时不得采用拉杆设计，四级采用拉杆设计时，其长细比不应大于180*ε*k。

条文说明：

本条参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。

### 在多遇地震效应组合作用下，支撑斜杆的受压承载力，应满足下列公式要求：

 $\frac{N}{φA\_{br}}\leq ψf/γ\_{RE}$ （5.3.3-1）

  （5.3.3-2）

  （5.3.3-3）

式中：*N*——支撑斜杆的轴向力设计值；

*A*br ——支撑斜杆的截面面积；

 *φ*——按支撑长细比*λ*确定的轴心受压构件的稳定系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017确定；

 *ψ*——受循环荷载时的强度降低系数；

*λ*、*λ*n ——支撑斜杆的长细比和正则化长细比；

 *E*——支撑斜杆钢材的弹性模量；

*f*、*f*y ——分别为钢材强度设计值和屈服强度；

*γ*RE——支撑稳定破坏承载力抗震调整系数，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011确定。

### 支撑杆件在框架平面内的计算长度应取梁柱节点中心到支撑交叉点的距离；在框架平面外的计算长度按下式计算：

  （5.3.4）

式中：*l*0——计算长度；

*l* ——支撑两端梁柱节点中心间距离；

*N、N*0——所计算支撑杆件的内力及相交另一杆的内力绝对值。

条文说明：

本条参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定，在计算支撑在框架平面外的计算长度时，支撑交叉点不作为节点考虑。

### 支撑杆件的板件宽厚比，不应大于表5. 3. 5规定的限值：

表**5. 3. 5** 支撑杆件的板件宽厚比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 翼缘外伸部分 | 8 | 9 | 10 | 13 |
| 工字形截面腹板 | 25 | 26 | 27 | 33 |
| 箱形截面壁板 | 18 | 20 | 25 | 30 |
| 圆管外径与壁厚比 | 38 | 40 | 40 | 42 |

注：表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以*ε*k。

条文说明：

本条参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。

##  楼盖结构

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，楼盖可采用现浇混凝土楼板、预制混凝土楼板、预制预应力混凝土空心楼板、蒸压加气混凝土楼板、预制带肋底板混凝土叠合楼板、预制钢筋桁架混凝土叠合楼板。楼盖设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

### 抗震设防烈度为6度、7度时，可采用预制楼板或其它轻型楼盖，并应采取设置楼板水平支撑或其它有效措施保证预制板之间的可靠连接，从而保证楼板整体性。抗震设防烈度为8度及以上时，宜采用现浇楼板或叠合楼板。

条文说明：

本条参考现行国家标准《装配式钢结构建筑技术标准》GB 51232、《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。

### 预制楼板、预应力混凝土楼板的混凝土强度等级不应低于C30；现浇混凝土强度等级不应低于C25。

### 预制混凝土叠合楼板的设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1和《预制带肋底板混凝土叠合楼板技术规程》JGJ/T 258的有关规定。

### 预制楼板的设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232、《预应力混凝土空心板》GB/T 14040和《蒸压加气混凝土板》GB 15762的有关规定。

### 采用蒸压加气混凝土楼板时，可根据设计要求采用蒸压加气混凝土楼板或蒸压加气混凝土楼板加整浇层，并应符合下列规定：

**1** 楼板配筋应符合现行行业标准《蒸压加气混凝土建筑应用技术规程》JGJ/T 17的有关规定；

**2** 楼板总厚度不应小于120mm。当采用蒸压加气混凝土楼板加整浇层时，整浇层厚度不应小于40mm；

**3** 当设计荷载大于5kN/m2时，楼板跨度不宜大于2.4m；

**4** 楼板的面内刚度应满足刚性楼板的要求。当无整浇层时，楼板下接近钢梁上翼缘处应设置楼面水平支撑；

**5** 蒸压加气混凝土楼板宜用于4 层及以下且抗震设防烈度为7 度（包括0.15g）及以下的建筑，不宜用于直接承受较大集中荷载和冲击荷载的楼面。

条文说明：

本条参考现行协会标准《分层装配支撑钢框架房屋技术规程》T/CECS 598-2019的有关规定。

# 消能支撑设计

## 一般规定

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系中，支撑部分可全部采用消能支撑，也可与普通支撑混合使用，消能器应能提供足够的抗侧刚度。消能支撑的布置应符合下列规定：

1 消能支撑宜根据需要沿结构两个主轴方向设置，形成刚度均匀合理的结构体系；

2 与普通支撑混合使用时，消能支撑宜分散、均匀布置；

3 消能部件的设置，应便于检查、维护和更换，设计文件中应注明消能器使用的环境、检查和维护要求。

### 消能支撑及消能器的构造连接应满足模数化、装配化要求，消能器与支撑的连接应考虑更换便利性。

### 消能器宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材。消能器材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的规定。

### 消能器的力学性能要求，应符合表6.1.4规定。

表6.1.4 消能器力学性能要求

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

### 消能器应具备良好的变形能力和消耗地震能量的能力，消能器极限位移应大于消能器设计位移的1.2倍。

### 在10年一遇标准风荷载作用下，消能器不应产生屈服。

### 当结构遭遇设防地震和罕遇地震后，应对消能器进行检查和维护。

### 消能器应符合下列规定：

1 消能器应具有型式检验报告或产品合格证；

2 消能器的性能参数和数量应在设计文件中注明。

### 消能器的检测应由具备资质的第三方进行。

### 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、无异常。

### 消能器需要考虑防腐、防锈、防火时，应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，相关处理不应影响消能器的正常工作。

### 消能器的外观、施工、验收和维护要求除应符合本标准规定外，尚应符合现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的相关规定。

### 消能器性能检验时，抽检数量不少于同一工程同一类型数量的3%，且不少于2个。产品合格率未达到100%，应在同批次抽检产品数量加倍抽检；加倍抽检的检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构；加倍抽检的合格率仍未达到100%，该批次阻尼器不能用于主体结构。

## 剪切阻尼器支撑

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系中，可优先结合支撑布置设置金属剪切型阻尼器。

条文说明：

在模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系中，可在普通支撑中部设置金属剪切型阻尼器，在设防地震和罕遇地震下，结构层间变形在阻尼器两端产生竖向位移差，阻尼器剪切屈服耗能，如图3所示。金属阻尼器与支撑采用高强螺栓连接，方便震后进行更换。



图3 金属剪切阻尼器-支撑连接示意

### 金属剪切型阻尼器的外观应符合下列规定：

1 金属剪切型阻尼器应表面平整、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 金属剪切型阻尼器尺寸允许偏差应为产品设计值的±2%。

### 金属剪切型阻尼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，阻尼器平面外应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

### 金属剪切型阻尼器宜采用机加工工艺，避免采用焊接等热加工工艺。

### 金属剪切型阻尼器与支撑宜采用高强螺栓连接，螺栓连接承载力不应小于阻尼器在设计位移下对应阻尼力的1.2倍。

## 屈曲约束支撑

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构体系中，可在合适位置布置屈曲约束支撑。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和全钢型屈曲约束支撑等。

### 屈曲约束支撑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，且应符合下列规定：

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；

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

### 屈曲约束支撑的外观应符合下列规定：

1 屈曲约束支撑应表面平整，无机械操作，无锈蚀，无毛刺，标记清晰；

2 有焊接连接部位，焊缝等级应为一级；

3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差不超过产品设计值±2mm。

### 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度，连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

### 屈曲约束支撑与主体结构宜采用高强螺栓连接或销轴连接，螺栓、销轴及节点板连接承载力不应小于屈曲约束支撑在设计位移下对应阻尼力的1.2倍。

# 连接和节点设计

##  框架节点

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，方钢管柱与H形钢梁应采用梁贯通式全螺栓连接（图7. 1. 1）。连接件与柱、连接件板件间应采用全熔透对接焊缝。螺栓连接可采用高强度螺栓摩擦型连接或承压型连接。



1—柱主体部分；2—十字型连接件；3—框架梁；4—分离式加劲肋

图7. 1. 1 梁柱节点构造示意图

条文说明：

模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，梁柱连接节点采用梁贯通，柱断开的节点形式，设置十字连接件可以使螺栓布置更加紧凑，更符合本体系梁柱系统铰接的设计理念和计算假定。节点性能依据清华大学开展的试验研究结果确定，实际上节点具有一定的抗弯刚度和承载力，可作为结构承载力储备并一定程度上在往复地震下起第二道防线的作用。

### 梁柱节点中，框架梁应设置横向加劲肋，可采用全螺栓连接的分离式加劲肋或焊接加劲肋，当采用分离式加劲肋时，应保证加工和装配精度。

条文说明：

全螺栓连接的分离式加劲肋具有布置灵活、无需现场焊接的优势，但对加工和装配精度要求高，精度要求依据清华大学开展的试验研究结果确定，在满足精度要求的条件下，分离式加劲肋与梁翼缘内边缘的间隙影响较小，此时可忽略由焊接加劲肋变更为分离式加劲肋产生的性能损失。

### 梁柱节点螺栓连接，应符合下列规定：

**1** 采用高强度螺栓摩擦型连接时，梁柱节点螺栓连接承载力应符合下式的要求：

  （7.1.3-1）

**2** 采用高强度螺栓承压型连接时，梁柱节点螺栓连接承载力应符合下列公式的要求：

  （7.1.3-2）

  （7.1.3-3）

式中：*N*v、*N*t——连接中某个高强度螺栓承担的剪力、拉力，对于与支撑相连的梁柱节点螺栓连接，应计入支撑轴向力对连接的附加弯矩、剪力、拉力等作用；

Nvb、Ntb、Ncb ——一个高强度螺栓的受剪、受拉和承压承载力设计值，应依据国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的相关规定计算。

条文说明：

本条参考国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的相关要求确定。模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，支撑连接在柱端的十字件上，支撑轴力会对柱端十字件螺栓连接产生附加的剪力、拉力（压力时可不考虑），如支撑轴线不通过柱端十字件螺栓连接的形心，则支撑轴力会在连接位置产生弯矩作用，因此上述附加作用均应在设计计算时纳入连接的内力需求。

### 对于与支撑相连的梁柱节点螺栓连接，极限承载力验算应满足下列公式的要求：

  （7.1.4-1）

  （7.1.4-2）

式中：*N*vu、*N*tu——连接中某个高强度螺栓承担的剪力、拉力，应取相连柱构件、支撑构件全截面屈服、屈曲的状态，并引入连接系数放大进行内力计算；

*N*vub、*N*tub、*N*cub ——一个承压型高强度螺栓的受剪、受拉和承压承载力极限值。

条文说明：

本条参考国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的相关要求确定，对于梁柱节点中的承压型螺栓连接，极限状态仍考虑其能同时承担剪力和拉力，并对相连构件的内力作用进行放大，连接系数的取值由清华大学开展的试验研究结果确定。承压型高强度螺栓的受剪、受拉和承压承载力极限值可参考国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82，由下列公式计算：

  （1）

  （2）

  （3）

式中：*N*vub ——一个承压型高强度螺栓的受剪承载力极限值；

*N*cub ——一个承压型高强度螺栓的承压承载力极限值；

*N*tub——一个承压型高强度螺栓的受拉承载力极限值；

*n*f —— 螺栓连接的剪切面数量；

*A*eb——螺纹处的有效截面面积；

*f*ub——螺纹钢材的抗拉强度最小值；

*f*cub——螺栓连接板件的极限承压强度，取为1.5*f*u；

*d* ——螺栓杆直径；

∑*t*——同一受力方向钢板厚度之和。

### 结构中螺栓连接宜采用紧凑布置，螺栓的间距、边距和端距容许值应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的相关要求。

### 支撑与柱的连接节点，应符合下列要求：

**1** 支撑与柱宜采用高强度螺栓连接或销轴连接。当采用高强度螺栓承压型连接时，在正常使用极限状态下应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017中摩擦型连接的设计要求；

**2** 连接的承载力设计值，应大于相连构件的承载力设计值；

**3** 连接的极限承载力，应大于相连构件的屈服承载力；

**4** 支撑与框架柱的连接极限承载力，应按下式验算：

 $N\_{ubr}^{j}\geq η\_{j}A\_{br}f\_{y}$ （7.1.6）

式中：*N*ubrj ——支撑与框架柱的连接极限承载力，对于高强度螺栓连接，可按孔壁承压受力状态计算；

*η*j ——连接系数，可按表7. 1. 6采用；

表**7. 1. 6** 钢构件连接系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 母材牌号 | 梁柱连接 | 构件拼接 |
| 母材破坏 | 高强螺栓破坏 | 母材破坏 | 高强螺栓破坏 |
| Q235 | 1.40 | 1.45 | 1.25 | 1.30 |
| Q355 | 1.30 | 1.35 | 1.20 | 1.25 |
| Q345GJ | 1.25 | 1.30 | 1.15 | 1.20 |

注：屈服强度高于Q355的钢材，按Q355的规定采用；屈服强度高于Q345GJ的GJ钢材，按Q345GJ的规定采用。

条文说明：

本条参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，为实现快速装配，支撑和框架柱的连接节点宜采用高强度螺栓连接、销轴连接等形式。当采用高强度螺栓连接时，本条文要求其在小震下不出现滑移，小震后可按孔壁承压受力状态进行设计。连接系数*η*j的取值由清华大学开展的试验研究结果确定。

### 主次梁连接节点宜采用双夹板的全螺栓连接节点（图7. 1. 5）。螺栓连接可采用高强度螺栓摩擦型连接或承压型连接。主梁在次梁对应位置应设置横向加劲肋，可采用全螺栓连接的分离式加劲肋或焊接加劲肋。



1—主梁；2—次梁；3—连接夹板；4—分离式加劲肋

图7. 1. 5 主次梁连接节点构造示意图

## 楼板与梁连接节点

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，采用预制混凝土楼板、预应力混凝土空心楼板、蒸压加气混凝土楼板时，楼板与钢梁应有可靠连接。预制楼板与钢梁之间应设置抗剪连接件，抗剪连接件的构造和数量应根据设计要求计算确定，并应设置防坠落措施。相邻两块预制楼板的侧边板缝和端头板缝间宜采用钢连接件进行连接。预制楼板搁置在钢梁上的支承长度不应小于60mm。

### 采用混凝土叠合楼板时，叠合楼板与钢梁应有可靠连接。叠合楼板与钢梁之间应设置抗剪连接件，抗剪连接件的构造和数量应根据设计要求计算确定，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232 的有关规定。叠合楼板搁置在钢梁上翼缘的支承长度不应小于40mm。钢梁上翼缘应浇筑不少于50mm 宽的混凝土。叠合楼板中钢筋的混凝土保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

条文说明：

本条参考现行协会标准《分层装配支撑钢框架房屋技术规程》T/CECS 598-2019的有关规定。

##  柱脚节点

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，柱脚节点宜采用预埋锚栓与柱端板连接（图7. 3. 1）。



（a） 不与支撑相连的柱脚节点 （b） 与支撑相连的柱脚节点

1—柱主体部分；2—连接件；3—锚栓；4—柱端板；5—基础；6—剪力键

图7. 3. 1 柱脚节点构造示意图

### 柱脚节点的构造和设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定。

条文说明：

模数化分层装配钢框架消能支撑结构中，柱脚节点依据《钢结构设计标准》GB 50017进行小震作用下的承载力计算，还依据《建筑抗震设计规范》GB 50011进行大震作用下的强连接验算。

### 柱底端板的厚度不应小于柱壁板厚度的2倍，且不应小于12mm。预埋锚栓直径不应小于16mm，预埋锚栓的埋入深度不应小于锚栓直径的20倍。

### 与支撑相连的柱脚节点应设置抗剪键，不与支撑相连的柱脚节点可不设置抗剪键。

条文说明：

本体系结构设计中认为侧向荷载主要由支撑承担，因此与支撑相连的柱脚应该设置抗剪键，不与支撑相连的柱脚节点分担的侧向力较小，故可不设置抗剪键。本条内容待讨论或相关研究结果确定。

### 基础的构造和设计应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

##  围护结构节点

### 围护结构节点设计应包括：屋面结构支承构造节点；外墙板连接；接缝及外门窗洞口等构造节点；阳台、空调板、装饰件等连接构造节点。

### 外墙板与主体结构的连接应符合下列规定：

**1** 连接节点在保证主体结构整体受力的前提下，应牢固可靠、受力明确、传力简捷、构造合理。

**2** 连接节点应进行承载力验算；当单个连接节点失效时，外墙板不应掉落。

**3** 连接部位应采用柔性连接方式，连接节点应具有适应主体结构变形的能力。

4 连接件的耐久性应满足设计使用年限的要求。

### 外墙板接缝应符合下列规定：

**1** 接缝处应根据当地气候条件合理选用构造防水、材料防水相结合的防排水措施。

**2** 接缝宽度及接缝材料应根据外墙板材料、立面分格、结构层间位移、温度变形等综合因素确定；所选用的接缝材料及构造应满足防水、防渗、抗裂、耐久等要求；接缝材料应与外墙板具有相容性；外墙板在正常使用状况下，接缝处的弹性密封材料不应破坏。

3 与主体结构的连接处应设置防止形成热桥的构造措施。

条文说明：

本条参考现行国家标准《装配式钢结构建筑技术标准》GB 51232的有关规定。

# 施工（制作、运输）

## 一般规定

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的制作应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定执行。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的构建制作、制作过程及施工管理宜应用信息管理技术，应有固定的制作车间和自动化制作线设备，并结合建筑信息模型 （BIM）技术将设计数据转换为制作设备能够直接读取的数据文件，制作工序宜形成流水线作业。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的构建制作单位应根据已批准的设计文件编制钢结构制作详图，对于因安装场地及运输需要分段的构件，应合理分段。分段点应避免受力加大或者应力集中位置。当需要修改时，应经原设计单位审核确认和签署文件后方可生效。

### 防腐和防火涂装的技术方案应依据施工设计图纸进行编制。技术方案至少应包括：满足设计要求材料配套和施工工艺、现场修补的配套和施工工艺、后期维护维修的配套和施工工艺等，并应附上对采用的防腐和防火材料性能和注意事项的说明。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的构建及配套材料应进行进场检验，合格后方可使用。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构工程施工现场应有经审批的施工组织设计、施工方案等技术文件。

###  制作单位宜建立构建质量可追溯的信息化管理系统和编码标识系统。（企业构建编码系统应结合GB/T51269-2017《建筑信息模型分类和编码标准》）

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构宜采用信息化技术，对安全、质量、技术、施工进度等进行全过程的信息化协同管理。宜采用建筑信息模型（BIM技术）对结构构建信息虚拟建造、技术交底等。

## 制作

###  钢构件加工制作工艺和质量应按照现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755。

### 钢材应按照自动化制作线、种类、材质、规格等分类堆放，并结合制造企业制作过程执行管理系统（MES） 、技术管理团队、产业工人，建立技术标准体系及安全、质量、环境管理体系。

###  构件的放样、号料应按照制定的预留焊缝收缩及切割、加工等预留工艺余量。

### 钢构件号料和切割应符合下列要求：

1. 主要受力构件和需要弯曲的构件，在号料时应按工艺规定的方向取料，弯曲件的外侧不应有冲样点和伤痕缺陷；
2. 号料应有利于切割和保证零件质量；
3. 型钢等的下料，宜采用锯切。

### 厚度不大于6mm钢板宜采用激光切割，厚度不大于12mm的钢板可采用气割、锯切、等离子切割和激光切割等方法，并优先采用数控切割，切割允许变差±1mm。

### 钢构件焊接宜采用自动焊接，焊缝质量应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205和《钢结构焊接规范》GB50661的规定执行。

### 高强度螺栓孔宜采用数控钻床制孔，对数量较多的相同孔组宜采用钻模，以保证制孔过程中的质量要求，制孔质量应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定执行。

### 构件采用热轧型材，梁跨中和距梁端跨度1/3处不得进行拼接。每根柱的拼接接头不得超过1个。支撑型材部分必须采用整根。

### 钢构件出厂前宜采用建筑信息模型（BIM）技术虚拟建造，定制非标构件在出厂前进行实体构件预拼装。

## 防腐

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构除临时建筑外，构建防护层设计使用年限不应低于5年，使用中难以维护的构建，防护层设计使用年限不应低于10年，设计文件中应注明结构体系定期检查和围护要求。

### 当柱脚底面位于地面以下时，所埋入部分表面应做除锈处理，并应以低标号细石混凝土包覆（厚度不小于50mm），包裹的混凝土高出室外地面不应小于150mm，室内地面不宜小于50mm。当柱脚底面在地面以上且基础采用条形基础，基础内有密闭垫层时，柱脚底面高出室外地面不应小于100mm，室内高度不做要求。

### 采用热侵镀锌等防护措施的构件及连接件，其防腐蚀要求应不低于主体结构，安装后宜采用与主体结构相同的防腐蚀措施，连接处的缝隙，处于不低于弱侵蚀环境时，应采取封闭措施。

### 不同金属材料接触的部位，应采取避免接触腐蚀的隔离措施。

## 防火

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016及其它国家现行标准的规定，合理确定建筑物的防火类别与防火等级。构件的耐火极限应满足设计要求。

### 对于室外环境的钢结构，可不考虑防火防护。当现行国家标准有特殊规定需采取防火防护时，应对露天用防火涂料提出耐候性能等要求。

### 应根据构建的耐火极限等要求，确定防火涂层的形式、性能及厚度要求。

### 受震动作用的梁等构建，应对防火厚型涂层或外包构造采取必要的构造补强措施。

## 安装

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构施工应按照现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定执行。

### 结构施工前，应符合下列要求：

1. 构件到场后应检查质量证明文件，对于重要构件应提供焊缝探伤报告。构件进场后安装应及时报建设单位、监理单位验收，验收相关内容应满足现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205；
2. 现场施工前施工单位应编制单位工程施工组织设计及专项施工方案，明确质量保证措施、安全保证措施及特殊施工条件下的质量、安全保证措施，并报请企业技术负责人审批、监理单位审核收实施；
3. 安装前应按照设计文件建立现场控制点，并制定过程监控测量方案，方案报企业技术负责人审批；
4. 施工人员应熟悉施工详图、加工工艺、组装安装顺序、现场场地条件、吊装机械设备性能等以及有关技术文件的要求；
5. 材料进场安装前应检查构件的外形尺寸、螺栓孔位及直径、连接件位置、焊缝、焊钉、防腐涂层等详细检查。
6. 采用高强螺栓连接，应按照《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205对高强螺栓进行连接面抗滑移系数实验，并应归档待查。

### 结构安装应遵循结构安全原则，结合分层结构特点即下层结构主体安装校正完成、楼板安装完成并每日安装构件或者单元应形成可靠稳定结构后方可进行上层结构安装。

### 结构每层主体安装应按柱—梁—支撑顺序安装。结构单元处于稳定状态。当结构在安装过程中存在失稳隐患，因增加临时支撑。为保证结构施工精度，安装时可采用临时可调撑杆。

### 钢柱脚预埋锚栓应精确定位，误差不超过±2mm。柱底板与基础之间间隙，应采用微膨胀细石混凝土进行填实，并应采用灌浆料或细石混凝土填实间隙。钢结构安装前应对基础及预埋锚栓进行复测。如不符合钢结构误差调节要求，需对基础进行整改。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的刚性支撑及消能支撑安装应符合下列要求：

1. 柱间支撑安装前应调整已安装构件的垂直度及安装精度，保证支撑构件安装精度；
2. 上层构件安装前，应完成下层柱间支撑的安装；
3. 上层构件安装前，若设计要求楼层采用水平拉杆，应完成下层楼层水平拉杆的安装。

### 钢梁安装应从有支撑的柱群开始，且应对称安装，并尽快形成闭合结构，每日安装构件或者单元应形成可靠稳定结构。结构安装应以有支撑单元为安装基准单元，基准单元应校正并保证稳定性及刚性。

### 楼板的安装应能保证与钢梁形成可靠连接，且不应影响上层结构柱和上层墙板连接件的安装。

# 验收

##  一般规定

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300及相关标准的有关规定。当现行国家标准对工程中的验收项目未作具体规定时，应由建设单位组织设计、施工、监理等相关单位制定验收要求。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构宜根据施工组织设计合理规划和细化分部工程、分项工程、检验批和交叉工序间的质量验收。

1. 钢结构材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求，并附有质量合格证明文件。投入使用前应由有资质的检测单位完成材料的抽样复验工作并提供合格报告。抽样复验应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定。

### 构件进场时应有专人验收，制作企业应提供产品合格证和质量检验报告。材料进场后，应按不同种类、不同安装次序堆放，并做好防潮、防雨、防晒措施。

###  同一厂家制作的同批构件、部品，用于同期施工且属于同一工程项目的多个单位工程，可合并进行进场验收。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构工程验收时应提交下列资料：

1. 设计单位审核确认的构建深化设计加工图、设计变更文件；
2. 各种构件的产品合格证书、产品检测报告、进场验收记录和复试报告；
3. 分项分部工程验收记录、隐蔽工程验收记录。

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的工程项目中每一栋建筑为一单位工程。其分部工程、子分部工程和分项工程的划分，除本标准另有规定外，其他均应符合《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的规定。（需要再沟通）

### 模数化分层装配钢框架消能支撑结构的工程中，在《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的基础上增加的部分子分部工程、分项工程的划分见表9.1.8。

表9.1.8 分层装配钢框架消能支撑结构工程部分分部工程、分项工程划分

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分部工程 | 子分部工程 | 分项工程 |
| 地基与基础 | 基础 | 现浇基础、预埋锚栓 |
| 主体结构 | 结构框架 | 梁、柱安装 |
| 抗侧力构件 | 刚性支撑、消能支撑 |
| 轻钢屋面 | 轻钢坡屋面 |
| 楼板 | 首层地面与楼板 | 楼板安装 |

### 各施工工序应按施工技术要求进行质量控制，每道施工工序完成后，经施工单位自检符合规定后，才能进行下道工序施工。各专业工种之间的相关工序应进行交接检验，并应记录。

##  验收

### 装配式钢结构建筑结构系统的施工质量要求和验收标准应符合现行国家标准《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232的有关规定。

###  安装工程可按施工段划分为若干个检验批。钢结构安装检验批应在进场验收和焊接连接、紧固件连接、制作等分项工程验收合格的基础上进行验收。

###  钢结构分部工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

1 施工现场质量管理检查记录；

2 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；

3 有关观感质量检验项目检查记录；

4 分部工程所含各分项工程质量验收记录；

5 分项工程所含各检验批质量验收记录；

6 强制性条文检验项目检查记录及证明文件；

7 隐蔽工程检验项目检查验收记录；

8 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测报告；

9 不合格项的处理记录及验收记录；

10 重大质量、技术问题实施方案及验收记录；

11 其他有关文件和记录。

**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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

**引用标准名录**

1. 《建筑模数协调标准》GB/T 50002
2. 《建筑地基基础设计规范》GB/T 50007
3. 《建筑荷载设计规范》GB/T 50009
4. 《混凝土结构设计规范》GB/T 50010
5. 《建筑抗震设计规范》GB/T 50011
6. 《钢结构设计标准》GB/T 50017
7. 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018
8. 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
9. 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
10. 《钢结构焊接规范》GB 50661
11. 《钢结构工程施工规范》GB 50755
12. 《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232
13. 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
14. 《工程结构通用规范》GB 55001
15. 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
16. 《钢结构通用规范》GB 55006
17. 《碳素结构钢》GB/T 700
18. 《低合金结构钢》GB/T 1591
19. 《耐候结构钢》GB/T 4171
20. 《预应力混凝土空心板》GB/T 14040
21. 《蒸压加气混凝土板》GB 15762
22. 《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905
23. 《建筑信息模型分类和编码标准》GB/T 51269
24. 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
25. 《蒸压加气混凝土建筑应用技术规程》JGJ/T 17
26. 《建筑消能阻尼器》JG/T 209
27. 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251
28. 《预制带肋底板混凝土叠合楼板技术规程》JGJ/T 258
29. 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
30. 《高性能钢结构应用技术规程》T/CECS 599