

# CECS

T/CECS xxx-202x

---

中国工程建设标准化协会标准

装配整体式混合梁-柱框架结构

技术规程

(征求意见稿)

Technical specification for monolithic precast hybrid beam -  
column frame structures

2022 北 京

中国工程建设标准化协会标准

装配整体式混合梁-柱框架结构

技术规程

Technical specification for monolithic precast hybrid beam -  
column frame structures

**T/CECS xxx-202x**

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

山东盛工绿筑科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202x 年 x 月 x 日

中国 xx 出版社

2022 北 京

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2021]20号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共8章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、结构布置与分析、构件设计、连接节点设计、制作与施工、质量验收。

本规程的某些内容涉及专利，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专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释，执行过程中如有意见或建议，请寄送至解释单位（地址：北京市北三环东路30号C座19层，邮政编码：100013）。

**主编单位：**中国建筑科学研究院有限公司

山东盛工绿筑科技有限公司

**参编单位：**

**主要起草人：**

**主要审查人：**

# 目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	5
3 基本规定.....	8
4 结构布置与分析.....	12
4.1 结构体系和布置.....	12
4.2 结构分析.....	14
5 构件设计.....	17
5.1 一般规定.....	17
5.2 预制柱.....	19
5.3 混合梁.....	24
6 连接节点设计.....	32
6.1 一般规定.....	32
6.2 柱-柱连接节点.....	32
6.3 梁-柱连接节点.....	43
6.4 柱脚节点.....	46
6.5 楼盖节点.....	48
7 制作与施工.....	52
7.1 一般规定.....	52
7.2 制作与检验.....	52
7.3 安装与连接.....	57
8 质量验收.....	59
8.1 一般规定.....	59
8.2 构件进场质量验收.....	60
8.3 安装与连接质量验收.....	61
本规程用词说明.....	64
引用标准名录.....	65

# Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms and Symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	5
3 Basic Requirements.....	8
4 Structural Layout and Analysis.....	12
4.1 Structural System and Layout.....	12
4.2 Structural Analysis.....	14
5 Members Design.....	17
5.1 General Requirements.....	17
5.2 Precast Columns.....	19
5.3 Hybrid Beams.....	24
6 Connecting Joints Design.....	32
6.1 General Requirements.....	32
6.2 Column - Column Joints.....	32
6.3 Beam - Column Joints.....	43
6.4 Column Base Joints.....	46
6.5 Floor Joints.....	48
7 Fabrication and Construction.....	52
7.1 General Requirements.....	52
7.2 Fabrication and Inspection.....	52
7.3 Erection and Connection.....	57
8 Quality Acceptance.....	59
8.1 General Requirements.....	59
8.2 Site Quality Acceptance of Members.....	60
8.3 Erection and Connection Quality Acceptance.....	61
Explanation of Wording in This Specification.....	64
List of Quoted Standards.....	65

# 1 总则

**1.0.1** 为规范和促进装配整体式混合梁-柱框架结构的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于抗震设防烈度为 6 度至 8 度地区工业与民用建筑的装配整体式混合梁-柱框架结构的设计、制作、施工及验收。

**1.0.3** 装配整体式混合梁-柱框架结构的设计、制作、施工及验收，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。

## 【条文说明】1.0.1~1.0.3

国家推进建筑工业化发展和建筑行业转型升级的重要措施之一是推动建筑结构体系、建筑设计、部品构配件等方面的关键技术研究与应用。

装配整体式混合梁-柱框架结构是在传统 PC 框架结构基础上，将梁-柱节点区后浇做法改为采用钢结构节点连接，形成的一套适用范围较广的新型框架结构体系。与传统 PC 框架结构体系相比，该体系在施工现场可实现免支撑、节点干式连接，预制构件安装方便、快捷，有效缩短施工周期；与钢框架结构体系相比，只需解决局部连接节点处的防火、防腐问题，结构耐久性好，具有明显的成本优势。总体而言，该体系将预制混凝土构件与钢结构连接方式有机结合，扬长避短，充分发挥了装配式结构在施工高效、节能减排等方面的优势。

本规程编制的目的是为了规范和促进装配整体式混合梁-柱框架结构的应用。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 钢连接件 steel connector

预埋在预制混凝土梁、柱构件上，并将不同预制构件连接形成整体结构的钢结构组件。根据所在部位，分为梁端钢连接件、柱顶钢连接件、柱底钢连接件和柱中钢连接件；根据预埋形式，分为埋入式钢连接件和端板式钢连接件。

【条文说明】钢连接件是将不同预制构件连接形成整体结构的关键要素。对于预埋形式，梁端钢连接件一般采用埋入式；柱顶钢连接件、柱底钢连接件和柱中钢连接件可采用埋入式，也可采用端板式。

#### 2.1.2 梁端钢连接件 steel connector at the end of beam

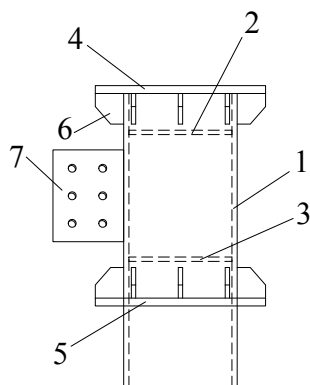
位于混合梁的端部，起连接作用且属于混合梁组成部分的钢连接件，通常采用 H 型钢。

【条文说明】梁端钢连接件具有连接件和构件的双重属性。

#### 2.1.3 柱顶钢连接件 steel connector at the top of column

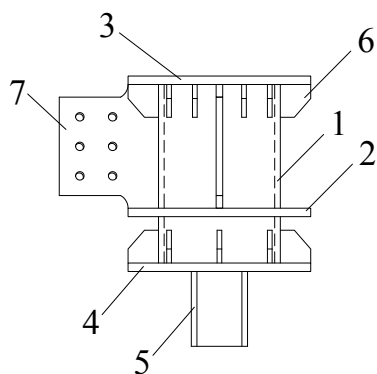
位于预制柱的顶部，起连接作用且包含梁柱节点域的钢连接件，通常采用矩形钢管。

【条文说明】柱顶钢连接件包含梁柱节点域，梁柱节点域可采用内隔板式构造或贯通隔板式构造。柱顶钢连接件与混凝土柱身可采用埋入式连接或端板式连接。典型柱顶钢连接件的构造如图 1 和图 2 所示。



1—矩形钢管；2—上内隔板；3—下内隔板；4—法兰板；  
5—外环板；6—加劲肋；7—连接板

图 1 柱顶钢连接件（内隔板式、埋入式）构造示意



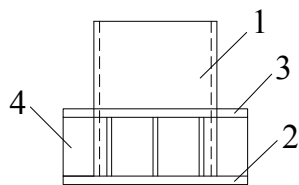
1—矩形钢管；2—下贯通隔板；3—上贯通隔板（兼法兰板）；4—端板；  
5—抗剪键；6—加劲肋；7—连接板

图2 柱顶钢连接件（贯通隔板式、端板式）构造示意

#### 2.1.4 柱底钢连接件 steel connector at the bottom of column

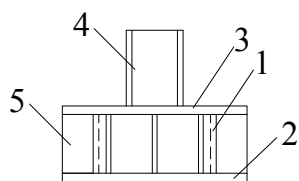
位于预制柱的底部，仅起连接作用的钢连接件，通常采用矩形钢管。

【条文说明】通过将上节柱的柱底钢连接件与下节柱的柱顶钢连接件进行连接，实现上、下节柱的连接，其中柱底钢连接件仅起连接作用。柱底钢连接件与混凝土柱身可采用埋入式连接或端板式连接。典型柱底钢连接件的构造如图3和图3所示。



1—矩形钢管；2—法兰板；3—外环板；4—加劲肋

图3 柱底钢连接件（埋入式）构造示意



1—矩形钢管；2—法兰板；3—端板；4—抗剪键；5—加劲肋

图4 柱底钢连接件（端板式）构造示意

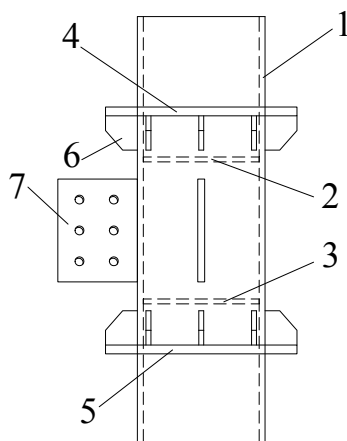
#### 2.1.5 柱中钢连接件 steel connector at the of middle of column

位于预制柱中，用于预制柱与混合梁连接，且包含梁柱节点域的钢连接件。通常采用矩形钢管，适用于预制柱跨层预制的情况。

【条文说明】柱中钢连接件位于预制柱中的梁柱节点域位置，其与上、下混凝土

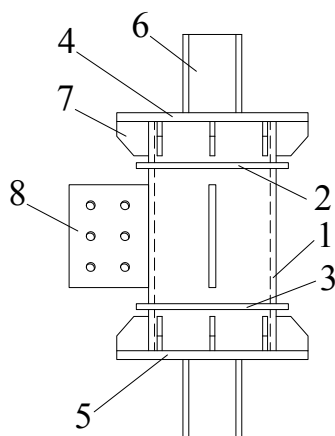


柱身在工厂整体制作，适用于跨层预制柱。柱中钢连接件的梁柱节点域可采用内隔板式构造或贯通隔板式构造，与混凝土柱身可采用埋入式连接或端板式连接。典型柱中钢连接件的构造如图 5 和图 6 所示。



1—矩形钢管；2—上内隔板；3—下内隔板；4—上外环板；5—下外环板；  
6—加劲肋；7—连接板

图 5 柱中钢连接件（内隔板式、埋入式）构造示意



1—矩形钢管；2—上贯通隔板；3—下贯通隔板；4—上端板；  
5—下端板；6—抗剪键；7—加劲肋；8—连接板

图 6 柱中钢连接件（贯通隔板式、端板式）构造示意

### 2.1.6 混合梁 hybrid beam

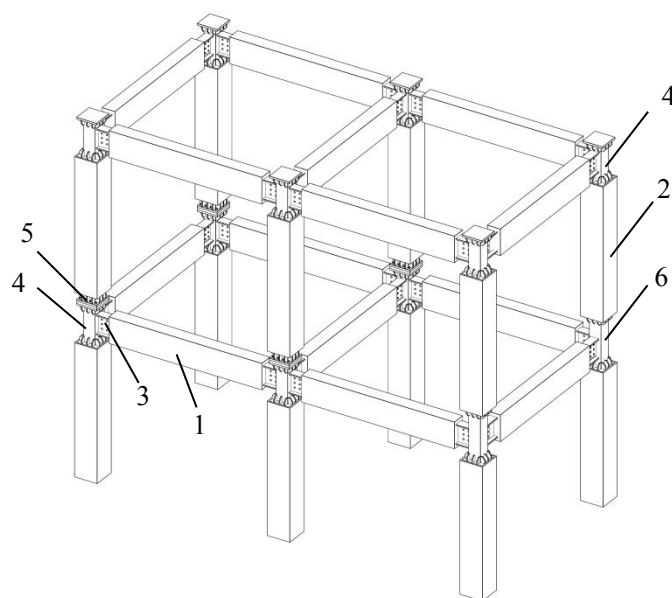
由混凝土梁身及其两端钢连接件组成的共同受力的梁，分为全预制混合梁和叠合混合梁。

【条文说明】混合梁由中间的混凝土梁身和两端的钢连接件混合而成，结构设计时梁端钢连接件按钢梁设计。

### 2.1.7 装配整体式混合梁-柱框架结构 monolithic precast hybrid beam – column frame structure

由混合梁、预制混凝土柱通过预埋在构件上的钢连接件装配连接形成整体的框架结构，简称混合框架结构。

【条文说明】混合框架结构本质上是由钢连接件与钢筋混凝土构件混合组成，框架梁的属性为混合梁，框架柱本质上属于钢筋混凝土柱，梁柱节点域采用钢结构做法。典型混合框架结构的构造如图 7 所示。



1—混合梁；2—预制柱；3—梁端钢连接件；4—柱顶钢连接件；  
5—柱底钢连接件；6—柱中钢连接件

图 7 混合框架结构示意图

### 2.1.8 法兰灌浆连接 flange connection with grouting

上、下节柱连接处，设置法兰板，上、下法兰板之间采用螺栓连接并设置灌浆层的连接形式。

【条文说明】法兰灌浆连接是在法兰连接的基础上，增设了灌浆层，以便于实现上节柱的调平。为保证法兰灌浆连接安全可靠，一般需在连接处专门设置抗剪键，以抵抗接缝剪力，螺栓主要承受连接处弯矩引起的拉力。

## 2.2 符号

### 2.2.1 材料性能

$E_a$	——	钢板的弹性模量；
$E_c$	——	混凝土的弹性模量；
$E_s$	——	钢筋的弹性模量；
$f_c$ 、 $f_{ck}$	——	混凝土轴心抗压强度设计值、标准值；
$f_t$ 、 $f_{tk}$	——	混凝土轴心抗拉强度设计值、标准值；
$f_t^b$	——	螺栓抗拉强度设计值；
$f_a$	——	钢板抗拉、抗压强度设计值；
$f_g$	——	灌浆料抗压强度设计值；
$f_y$	——	钢筋的屈服抗拉、抗压强度；
$f_v$	——	钢材的抗剪强度设计值；
$f_{yv}$	——	钢材的屈服抗剪强度，取钢材屈服强度的 0.58 倍；
$f_v^w$	——	对接焊缝抗剪强度设计值；
$f_t^w$	——	对接焊缝抗拉强度设计值。

### 2.2.2 作用和作用效应

$M$	——	弯矩设计值；
$M_u$	——	构件的正截面受弯承载力设计值；
$M_{uj}$	——	节点的极限受弯承载力设计值；
$M_{uk}$	——	构件的正截面受弯承载力，材料强度取标准值；
$M_p$	——	构件的全塑性受弯承载力设计值；
$N$	——	轴向力设计值；
$N'$	——	重力荷载代表值下的轴力设计值；
$V$	——	剪力设计值；
$V_{uj}$	——	节点核心区的极限受剪承载力设计值；
$S_d$	——	作用组合的效应设计值
$R_d$	——	构件承载力设计值。
$\sigma_t^b$	——	受拉螺栓应力；
$\sigma_{ct}$ 、 $\sigma_{cc}$	——	混凝土的法向拉应力、压应力；

- $\sigma_f$  —— 垂直于对接焊缝长度方向的拉应力；  
 $\tau_f$  —— 平行于对接焊缝长度方向的剪应力。

### 2.2.3 几何参数

- $A_{sw}$  —— 抗剪键腹板截面积；  
 $e$  —— 偏心率；  
 $x$  —— 受压区高度  
 $h$  —— 截面高度；  
 $h_0$  —— 截面有效高度；  
 $b$  —— 矩形截面宽度；  
 $l$  —— 矩形截面长度；  
 $t$  —— 板件的厚度；  
 $d$  —— 钢筋的公称直径（简称直径）或圆形截面的直径；  
 $y$  —— 螺栓至板件中性轴的距离；  
 $H_n$  —— 柱的净高度；  
 $S$  —— 切角尺寸；  
 $V_p$  —— 节点域体积。

### 2.2.4 计算系数及其他

- $\alpha_1$  —— 受压区混凝土等效矩形应力图压应力系数；  
 $\beta_1$  —— 受压区混凝土等效矩形应力图受压区高度系数；  
 $\lambda$  —— 计算截面的剪跨比，即  $M/Vh_0$ ；  
 $\gamma_0$  —— 结构重要系数；  
 $\gamma_{RE}$  —— 抗震承载力调整系数；  
 $\eta$  —— 连接系数；  
 $\psi$  —— 折减系数。

**【条文说明】** 本节参考现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》GB/T 50132和有关设计标准，并结合本规程具体情况规定了涉及的符号及其含义。

### 3 基本规定

**3.0.1** 在混合框架结构的建筑设计中，应进行结构系统、外围护系统、设备与管线系统、内装系统的集成设计，并应加强设计、构件生产、施工安装等各方之间的协同。

【条文说明】系统性和集成性是装配式建筑的基本特征，装配式建筑通过系统集成的方法，实现设计、生产运输、施工安装和使用维护全过程的一体化。

本条强调了混合框架结构的建筑设计应考虑各系统的集成，并且各单位需要协同配合。此项工作对建筑功能和结构布置的合理性，以及对工程造价都会产生较大的影响，是十分重要的。

**3.0.2** 混合框架结构的建筑设计应按照通用化、模数化、标准化的要求，以少规格、多组合的原则，实现建筑及部品部件的系列化和多样化。

【条文说明】装配式建筑的建筑设计应进行模数协调，以满足建造装配化与部品部件标准化、通用化的要求。少规格、多组合是装配式建筑设计的重要原则，减少部品部件的规格种类及提高部品部件模板的重复使用率，有利于部品部件的生产制造与施工，有利于提高生产速度和工人的劳动效率，从而降低造价。

**3.0.3** 混合框架结构的抗震设防分类及设防标准应按照现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 进行确定。

【条文说明】混合框架结构的抗震设防类别及相应的抗震设防标准，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的有关规定。

**3.0.4** 混合框架结构的设计应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《钢结构通用规范》GB 55006 的基本要求，并应符合下列规定：

- 1 应采取有效措施加强结构的整体性；
- 2 结构构件及其连接节点应受力明确、构造可靠，并应满足安全性、适用性和耐久性要求。

【条文说明】混合框架结构的设计首先应满足现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《钢结构通用规范》GB 55006 的基本规定，在此基础上应重视概念设计和预制构件的连接设计。应采用合理的结构方案和可靠的连接构造措施，加强结构的整体性和冗余度。

**3.0.5** 外围护系统应根据建筑物所在地区的气候条件、使用功能等，综合确定其抗风性能、抗震性能、耐撞击性能、防火性能、水密性能、气密性能、隔声性能、热工性能和耐久性能要求。屋面系统尚应满足结构性能要求。

**【条文说明】**外围护系统的材料种类多种多样，施工工艺和节点构造也不尽相同。在装配式建筑集成设计时，外围护系统应根据不同材料特性、施工工艺和节点构造特点明确具体的性能要求。性能要求主要包括安全性、功能性和耐久性等，同时屋面系统还应增加结构性能要求。

**3.0.6** 设备与管线系统的设计应符合下列规定：

1 设备和管线应方便维修更换，宜与主体结构相分离，且不应影响主体结构安全；

2 设备和管线的预留预埋应满足结构专业相关要求，不得在安装完成后的预制构件上剔凿沟槽、打孔开洞等。

**【条文说明】**传统现浇建筑一般是将设备管线预埋在主体结构中，由于设备管线的使用寿命明显短于主体结构，后续在设备改造时往往更新困难，影响主体结构的安全。因此装配式建筑提倡采用设备管线与主体结构分离，以达到方便维修更换的目的。

预制构件上为管线、设备及其吊挂配件预留的孔洞、沟槽宜选择对构件受力影响最小的部位，并确保受力钢筋不受破坏。设计过程中设备专业应与建筑和结构专业密切沟通，防止遗漏，以避免后期对预制构件凿剔。

**3.0.7** 内装系统的设计应符合下列规定：

1 内装系统宜采用工业化生产的集成化部品，实施装配式装修；

2 内装设计应与建筑、结构以及设备专业的设计同步进行。

**【条文说明】**装配式装修是将工厂生产的标准化、模块化和集成化的部品部件在现场组合安装的装修方式，是装配式建筑倡导的发展方向。其主要内容包括：楼（地）面、墙体、吊顶、收纳等采用干式工法施工，应用集成厨房、集成卫生间、管线分离等设计-生产-安装一体化的工程做法或集成部品。装配式装修能有效提升建筑质量、缩短施工工期、减少维修频次、提高人工效率等。

传统现浇建筑设计的工作模式一般是先建筑、结构以及设备专业的设计之后再行内装设计，这种模式使得后期的内装设计经常要对其它专业的图纸进行修改和调整，造成施工时的拆改和浪费。因此本条强调装配式建筑的内装设计应与

建筑各专业进行协同设计，以符合装配式建筑设计的基本要求。

**3.0.8** 混合框架结构中混凝土、钢筋的力学性能指标和耐久性要求应按现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 确定，并应符合下列规定：

1 预制构件的混凝土强度等级不宜低于 C30，节点和接缝处的后浇混凝土强度等级不应低于预制构件的混凝土强度等级；

2 预制构件的受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 钢筋，拉筋、分布筋等宜采用 HRB400、HPB300 钢筋，其强度设计值、弹性模量等材性指标应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行。

**【条文说明】**混合框架结构所采用的混凝土、钢筋的各项指标应严格控制，具体要求应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定。

预制构件混凝土的最低强度等级、节点和接缝处的后浇混凝土强度等级均参照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定来确定。预制构件中配置的受力钢筋宜采用强度高、延性和可焊性较好的 HRB400、HRB500 热轧带肋钢筋，拉筋、分布筋等构造钢筋的牌号可适当降低。

**3.0.9** 混合框架结构中钢材的力学性能指标和耐久性要求应按现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 确定，并应符合下列规定：

1 钢连接件的钢材宜采用 Q235、Q355、Q345GJ 等牌号，质量等级不宜低于 B 级，且应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。当采用其他牌号的钢材时，尚应符合国家现行有关标准的规定；

2 钢连接件连接用焊接材料，螺栓、锚栓等紧固件的材料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、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 等的规定；

3 钢连接件用防腐涂料的品种、规格、性能等应符合国家现行标准《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T 24 的有关规定，钢连接件用防火涂料的品种和技术性能应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的有关规定。

**【条文说明】**混合框架结构所采用的钢材的各项指标应严格控制，具体要求应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 的规定。

钢连接件应选用按国家现行标准所规定的性能、技术与质量要求生产的钢材。本条增列了近年来使用日益广泛的 GJ 系列钢材，《建筑结构用钢板》GB/T

19879-2015 中的 Q345GJ 钢与《低合金高强度结构钢》GB/T 1591-2018 中的 Q355 钢的力学性能指标接近，二者在各厚度组别的强度设计值十分接近。但 Q345GJ 钢中微合金元素含量得到了控制，塑性性能较好，屈服强度变化范围小，有冷加工成型要求（如方钢管）或抗震要求时宜优先采用。

在混合框架结构的实际设计、制作及施工中，设计、生产、施工单位针对钢连接件可根据具体情况采用其他防腐、防火涂料，防腐、防火涂料的性能指标应符合国家及行业相关标准的规定。

**3.0.10** 混合框架结构中连接用灌浆料应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 对二次灌浆的有关规定，且 1d、3d、28d 抗压强度分别不应小于 20MPa、40MPa、60MPa。

**【条文说明】**混合框架结构中上、下节柱法兰灌浆连接和柱脚二次灌浆等均用到了水泥基灌浆料，其应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 对二次灌浆的有关规定。本条根据相关研究和工程经验，给出了灌浆料抗压强度的最低要求。



## 4 结构布置与分析

### 4.1 结构体系和布置

**4.1.1** 混合框架结构房屋的最大适用高度应符合表 4.1.1 的规定：

表 4.1.1 混合框架结构房屋的最大适用高度

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度	
			0.20g	0.30g
最大适用高度 (m)	65	55	40	30

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度，不包括局部突出屋顶部分；  
2 平面和竖向均不规则的结构，最大适用高度宜适当减低；  
3 对甲类建筑，6 度、7 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合表中要求，8 度时应专门研究。

**【条文说明】**混合框架结构中框架柱本质上为钢筋混凝土柱，框架梁的受力性能更接近于钢梁，梁柱节点域本质上属于钢框架节点域，因此混合框架结构的适用高度应大于钢筋混凝土框架结构，而小于钢框架结构。本规程在研究的基础上，为充分保证混合框架结构的安全性，其最大适用高度在现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 对装配整体式框架结构房屋规定的基础上，结合工程应用需求，略有增大。

**4.1.2** 高层混合框架结构的高宽比不宜超过表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 高层混合框架结构适用的最大高宽比

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
最大高宽比	4	4	3

**【条文说明】**高层混合框架结构的高宽比限值与高层混凝土结构相同，本条参考了现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对钢筋混凝土框架结构的规定。

**4.1.3** 混合框架结构的抗震等级和抗震措施应符合下列规定：

1 丙类建筑：应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施，抗震等级应按表 4.1.3 确定；当建筑场地为 I 类时，除 6 度外，应允许按本地区抗震设防烈度降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施。

2 甲、乙类建筑：应按本地区抗震设防烈度提高一度后按表 4.1.3 确定抗震

等级；抗震设防烈度为 8 度时，抗震等级应提高一级，表中已为一级的，应采取比一级更高的抗震措施；当建筑场地为 I 类时，应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

3 当建筑场地为 III、IV 类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 的地区，宜按表 4.1.3 中 8 度对应的抗震等级采取抗震构造措施；对设计基本地震加速度为 0.30g 的地区，宜按比表 4.1.3 中 8 度对应的抗震等级提高一级采取抗震构造措施，表中已为一级的，应采取比一级更有效的抗震构造措施。

4 甲、乙类建筑按提高一度确定抗震措施时，或 III、IV 类场地且设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的丙类建筑按提高一度确定抗震构造措施时，如果房屋高度超过提高一度后对应的房屋最大适用高度，则应采取比对应抗震等级更有效的抗震构造措施。

表 4.1.3 混合框架结构的抗震等级

抗震设防烈度		6 度		7 度		8 度	
抗震等级	高度 (m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24
	跨度小于 18m	四	三	三	二	二	一
	跨度不小于 18m	三		二		一	

注：接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

【条文说明】混合框架结构的抗震等级与混凝土框架结构相同，本条参考了国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对钢筋混凝土框架结构的规定。

4.1.4 混合框架结构的建筑形体及结构布置的规则性应符合现行国家标准《建筑与市政抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，高层混合框架结构尚应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

4.1.5 混合框架结构建筑宜通过调整平面形状和结构布置，避免设置防震缝。体型复杂、平立面不规则的建筑，应根据不规则程度、地基基础条件和技术经济等因素的比较分析，确定是否设置防震缝，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。当在适当部位设置防震缝时，防震缝宽度应符合下列规定：

1 当高度不超过 15m 时不应小于 110mm；

2 当高度超过 15m 时，6 度、7 度、8 度分别每增加高度 5m、4m、3m，宜加宽 22mm。

【条文说明】混合框架结构的防震缝宽度取值参考了钢筋混凝土框架结构，并根据混合框架结构与钢筋混凝土框架结构的弹性层间位移角限值之比，适当放大。

4.1.6 甲、乙类建筑以及高度大于 24m 的丙类建筑，不应采用单跨混合框架结构；高度不大于 24m 的丙类建筑不宜采用单跨混合框架结构。

4.1.7 混合框架结构的楼盖应具有良好的水平刚度和整体性，可采用钢筋桁架混凝土叠合板、预应力混凝土叠合板、钢筋桁架楼承板组合楼板或现浇混凝土板；对转换层、加强层以及有大开洞楼层，可采取设置钢水平支撑等措施确保水平力的可靠传递。

【条文说明】为实现免支撑或少支撑施工，混合框架结构的楼板和屋面板应优先采用免支撑跨度较大的楼板技术，如预应力混凝土叠合板、钢筋桁架楼承板组合楼板等。

## 4.2 结构分析

4.2.1 混合框架结构的作用及作用组合应根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 等确定。

4.2.2 混合框架结构应进行竖向荷载、风荷载及多遇地震作用下的内力和变形分析，分析时可采用弹性分析方法。

4.2.3 进行混合框架结构整体分析时，可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性；当楼盖开有较大洞口或其局部会产生明显平面内变形时，在结构分析中应考虑楼板面内变形的影响。

4.2.4 进行整体结构弹性内力和变形计算时，可计入混凝土楼板对混合梁刚度的增大作用，并应符合下列规定：

1 对于梁端钢连接件和全预制混合梁的混凝土梁身，两侧有楼板时刚度放大系数可取 1.5，仅一侧有楼板时刚度放大系数可取 1.2；

2 对于叠合混合梁的混凝土梁身，梁刚度放大系数应按现行国家标准《混凝

土结构设计规范》GB 50010 对钢筋混凝土梁的规定取值；

3 弹塑性计算时，不应考虑楼板对混合梁刚度的增大作用。

【条文说明】现浇混凝土楼板或叠合楼板均对混合梁的刚度有不可忽略的增大作用，应合理考虑。对于全预制混合梁的混凝土梁身，其与混凝土楼板的连接类似于钢梁，因此参考现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定给出了梁刚度放大系数。对于叠合混合梁的混凝土梁身，梁刚度放大系数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。

4.2.5 当非承重墙体为砌块填充墙时，混合框架结构的周期折减系数可取 0.6~0.7；当采用轻质填充墙板或外挂墙板时，混合框架结构的周期折减系数可取 0.7~0.9；结构计算中不应计入非承重墙体对结构承载力和刚度的有利作用。

4.2.6 混合框架结构的阻尼比宜符合下列规定：

- 1 多遇地震作用下的弹性计算，可取 0.045；
- 2 罕遇地震作用下的弹塑性计算，可取 0.05；
- 3 风荷载作用下的楼层位移验算和构件设计，可取 0.02~0.04。

【条文说明】现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定多遇地震作用下的计算，高度不大于 50m 的钢结构的阻尼比可取 0.04，混凝土结构一般取 0.05。混合框架结构的阻尼比应介于钢结构和混凝土结构之间，且其高度一般不超过 50m，因此本规程将其阻尼比取为 0.045。

对于罕遇地震作用下的弹塑性计算，无论是钢结构还是混凝土结构，阻尼比一般均取 0.05，因此混合框架结构的阻尼比也取 0.05。

风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时，结构阻尼比取值一般比抗震计算时小，可取为 0.02~0.04。

4.2.7 混合框架结构在风荷载或多遇地震作用标准值下，按弹性方法计算的层间位移角不宜大于 1/500。

【条文说明】现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定钢筋混凝土框架和钢结构的弹性层间位移角限值分别为 1/550 和 1/250，混合框架结构的弹性层间位移角限值应介于二者之间。考虑框架柱相比框架梁对层间位移角限值的影响更大，因此混合框架结构的弹性层间位移角限值可在钢筋混凝土框架结构的基础上略有放松，取 1/500。本条给出的限值相当于钢结构限值的 50%，这与现行国家标准《组合结构通用规范》GB 55004 中规定的柱为型钢混凝土柱，梁为钢

梁、组合梁或型钢混凝土梁的框架结构的弹性层间位移角限值一致。

**4.2.8** 混合框架结构在罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性层间位移角不应大于 1/50。

【条文说明】现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定钢筋混凝土框架和钢结构的弹塑性层间位移角限值均为 1/50，因此混合框架结构也取 1/50。

**4.2.9** 楼盖结构应具有适宜的舒适度。楼盖结构的自振频率及振动峰值加速度应按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441 的有关规定进行计算并符合限值要求。以行走激励为主的楼盖结构，第一阶竖向自振频率不宜低于 3Hz，竖向振动峰值加速度不应大于表 4.2.9 规定的限值。

表 4.2.9 楼盖竖向振动峰值加速度限值

人员活动环境	峰值加速度限值 (m/s <sup>2</sup> )	
	竖向自振频率不大于 2Hz	竖向自振频率不小于 4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注：楼盖结构竖向自振频率为 2Hz~3Hz 时，峰值加速度限值可按线性插值选取。

【条文说明】楼盖结构的自振频率、振动峰值加速度，以及除本条规定外的其他情况的舒适度验算要求，应根据具体工程情况选择执行现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 或《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441 的有关规定。

## 5 构件设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 构件应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，并应符合下列规定：

- 1 各构件应进行持久设计状况、短暂设计状况和地震设计状况下的承载力（包括失稳）计算；
- 2 混合梁尚应进行挠度验算和裂缝控制验算。

【条文说明】混合框架结构构件的两个极限状态的设计规定，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017 一致。

5.1.2 构件的承载力应按下列公式验算：

持久设计状况、短暂设计状况

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.1.2-1)$$

地震设计状况

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (5.1.2-2)$$

式中：  $\gamma_0$ ——结构重要性系数，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；

$S_d$ ——作用组合的效应设计值，应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政抗震通用规范》GB 55002、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 及本规程的有关规定计算；

$R_d$ ——构件承载力设计值；

$\gamma_{RE}$ ——构件承载力抗震调整系数，应按表 5.1.2 采用，当仅考虑竖向地震作用组合时应取 1.0。

表 5.1.2 承载力抗震调整系数

构件类别	混合梁			混凝土结构构件			连接钢板、螺栓、焊缝
	混凝土梁身	梁端钢连接件		柱		各类构件	
受力状态	受弯	强度	稳定	偏压（轴压比小于0.15）	偏压（轴压比不小于0.15）	受剪、偏拉	强度
$\gamma_{RE}$	0.75	0.75	0.8	0.75	0.8	0.85	0.75

【条文说明】构件及节点承载力抗震调整系数参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定确定。

5.1.3 当预制构件中纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，宜在混凝土保护层内采取有效的构造措施。

【条文说明】预制柱、混合梁由于设置钢连接件，纵向受力钢筋的保护层厚度往往较大，当保护层厚度大于 50mm 时，宜在保护层内采取增设钢筋网片等措施，防止保护层开裂及在受力过程中的剥离、脱落。

5.1.4 预制构件在脱模、翻转、吊运、运输、安装等环节的施工验算，采用的等效静力荷载标准值应符合下列规定：

1 脱模验算时应取构件自重标准值乘以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍；其中动力系数不宜小于 1.2，脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用且不宜小于 1.5kN/m<sup>2</sup>；

2 翻转、吊运、运输、安装验算时应取构件自重标准值乘以动力系数，构件吊运、运输时动力系数宜取 1.5，构件翻转及安装过程中就位、临时固定时动力系数可取 1.2。当有可靠经验时，动力系数可根据实际受力情况和安全要求适当增减。

【条文说明】本条规定与现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 相同。

5.1.5 混合梁安装阶段的施工验算，应符合下列规定：

1 在永久荷载标准值作用下的最大挠度不应超过挠度限值，挠度限值宜取为计算跨度的 1/400。

2 混凝土梁身正截面边缘的混凝土法向拉应力，应满足下式要求：

$$\sigma_{ct} \leq 1.0f_{tk} \quad (5.1.5)$$

式中： $\sigma_{ct}$ ——荷载标准组合作用下产生的构件正截面边缘混凝土法向拉应力，可按毛截面计算；

$f_{tk}$ ——混凝土立方体抗压强度相应的轴心抗拉强度标准值，按现行国家标准《混凝土设计规范》GB 50010 的相关规定确定。

【条文说明】施工阶段，混合梁两端为铰接且不设临时支撑，其除了承受自重外，当采用无支撑叠合板时，还需承受新浇筑混凝土自重以及相应区域内的施工人员、设备产生的活荷载。因此，本条参照现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 对模板构件和预制混凝土构件的规定，对混合梁施工阶段的变形和抗裂验算进行了规定。

## 5.2 预制柱

5.2.1 预制柱的截面应符合下列规定：

- 1 柱截面采用矩形截面，截面的高度和宽度不应小于 350mm，不宜小于 400mm；
- 2 剪跨比宜大于 2；
- 3 截面长边与短边的边长比不宜大于 3。

【条文说明】矩形截面是钢筋混凝土框架结构最常用的截面，由于预制柱需要设置钢连接件，考虑钢连接件尺寸不能太小，规定了柱截面的最小尺寸不应小于 350mm；对于构筑物，柱截面尺寸可适当放松，但不应小于 300mm。其他要求按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定确定。

5.2.2 预制柱的正截面、斜截面承载力计算应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定进行。

【条文说明】预制柱为钢筋混凝土柱，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行设计。

5.2.3 预制柱的轴压比不宜超过表 5.2.3 的规定；建造于 IV 类场地且较高的高层建筑，柱轴压比限值应适当减小。

表 5.2.3 柱轴压比限值

抗震等级	一	二	三	四
轴压比	0.65	0.75	0.85	0.90

注：1 轴压比指柱组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值



乘积之比值；

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

3 当沿柱采用井字复合箍，箍筋间距不大于 100mm、肢距不大于 200mm、直径不小于 12mm，轴压比限值可增加 0.10；

4 调整后的柱轴压比限值不应大于 1.05。

**【条文说明】** 预制柱轴压比按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定确定。

**5.2.4** 考虑地震作用组合的预制柱的柱端弯矩设计值应符合下列规定：

1 节点上、下柱端弯矩设计值

1) 一级抗震等级

$$\sum M_{cc} = 1.2 \sum M_{pbs} \quad (5.2.4-1)$$

2) 二级抗震等级

$$\sum M_{cc} = 1.5 \sum M_{bs} \quad (5.2.4-2)$$

3) 三级抗震等级

$$\sum M_{cc} = 1.3 \sum M_{bs} \quad (5.2.4-3)$$

4) 四级抗震等级

$$\sum M_{cc} = 1.2 \sum M_{bs} \quad (5.2.4-4)$$

式中：  $\sum M_{cc}$  ——考虑地震作用组合的节点上、下柱端的弯矩设计值之和；柱端弯矩设计值可按弹性分析分配；

$\sum M_{pbs}$  ——节点左、右梁端按顺时针和逆时针方向采用材料强度标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算的钢连接件全塑性受弯承载力。

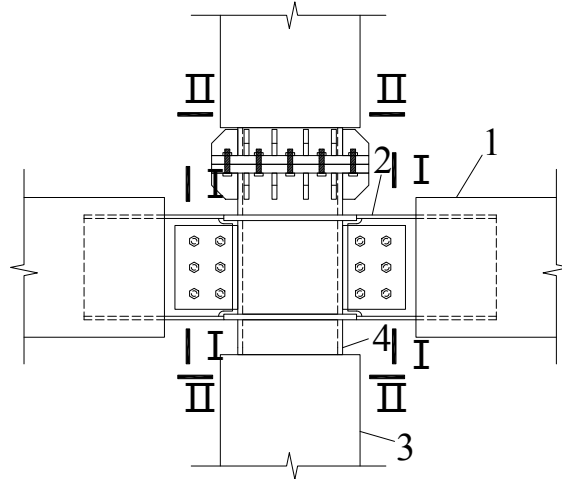
$\sum M_{bs}$  ——节点左、右梁端，按顺时针和逆时针方向计算的两端考虑地震作用组合的弯矩设计值之和的较大值。

2 对底层框架柱下端截面考虑地震作用组合的弯矩设计值，二、三、四级抗震等级应分别乘以弯矩增大系数 1.5、1.3 和 1.2，底层柱纵向钢筋应按上下段的不利情况配置。

3 顶层柱、轴压比小于 0.15 的柱，其柱端弯矩设计值可取地震作用组合下

的弯矩设计值。

【条文说明】按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 给出预制柱弯矩设计值的计算规定，以保证“强柱弱梁”。“强柱弱梁”的计算截面如图 8 所示，柱截面选取预制柱端 II-II 截面，梁截面选取混合梁梁端钢连接件 I-I 截面。



1—混合梁；2—梁端钢连接件；3—预制柱；4—柱顶钢连接件

图 8 “强柱弱梁”计算截面示意

5.2.5 预制柱考虑地震作用组合的剪力设计值的应按下列规定计算：

一级抗震等级：

$$V_{cc} = 1.2 \frac{(M_{cua}^t + M_{cua}^b)}{H_n} \quad (5.2.5-1)$$

二级抗震等级：

$$V_{cc} = 1.3 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (5.2.5-2)$$

三级抗震等级

$$V_{cc} = 1.2 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (5.2.5-3)$$

四级抗震等级

$$V_{cc} = 1.1 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (5.2.5-4)$$

式中：  $V_{cc}$  ——柱剪力设计值；

$M_{cua}^t$ 、 $M_{cua}^b$  ——柱上、下端顺时针和逆时针方向按材料强度标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算的正截面受弯承载力所对

应的弯矩值，计算时轴力设计值可取重力荷载代表值作用下的结果；二者之和应分别按顺时针和逆时针方向计算，并取其较大值；

$M_{cc}^t$ 、 $M_{cc}^b$ ——考虑地震作用组合，且经调整后的框架柱上、下端弯矩设计值；二者之和应分别按顺时针和逆时针方向计算，并取其较大值；

$H_n$ ——柱的净高。

【条文说明】按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 给出预制柱剪力设计值的计算规定，以保证框架柱的“强剪弱弯”。其中“柱的净高”指的是预制混凝土柱身的高度，不包含钢连接件的高度。

**5.2.6** 一、二、三、四级抗震等级的框架角柱，经本规程第 5.2.3、5.2.4 条调整后的组合弯矩设计值、剪力设计值尚应乘以不小于 1.10 的增大系数。

【条文说明】按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对框架角柱给出设计规定，提高角柱抗震能力。

**5.2.7** 预制柱可采用单一楼层分别预制的单层预制形式，也可采用多个楼层连续整体预制的跨层预制形式。

【条文说明】采用跨层预制柱能提高项目施工效率，可根据项目的运输能力和吊装能力确定柱的预制形式。

**5.2.8** 预制柱的钢连接件设置应符合下列规定：

1 钢连接件应居中布置在预制柱截面内，矩形钢管截面尺寸与预制柱截面相比，高度与宽度方向每侧缩进尺寸不宜大于 100mm，矩形钢管壁厚不宜小于 12mm；

2 柱钢连接件与梁端钢连接件可采用内隔板式连接或贯通隔板式连接。当采用内隔板式连接时，内隔板与加劲肋的净距不宜小于 35mm（图 5.2.8a、c）；

3 钢连接件外边缘至混凝土边缘的距离不宜小于 20mm（图 5.2.8）；

4 当采用埋入式钢连接件时，钢连接件的埋入深度不应小于矩形钢管截面高度的 1/2，矩形钢管埋入部分宜设置抗剪栓钉，间距不应大于 200mm 且不宜小于 7.5 倍栓钉直径。柱纵向受力钢筋应与矩形钢管采用双面焊连接，搭接长度不应小于  $5d$ ，焊缝高度不应小于  $0.35d$ ，焊缝宽度不应小于  $0.6d$ ， $d$  为柱纵向受力钢筋直径（图 5.2.8a、c）；

5 当采用端板式钢连接件时，柱纵向受力钢筋与端板宜采用穿孔塞焊连接，端板与混凝土的接触面上应设置抗剪键，抗剪键的设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；

6 钢连接件的承载力计算和隔板、加劲肋的构造要求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 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定，钢连接件的承载力计算尚应符合本规程第 6.2.2 条的有关规定。

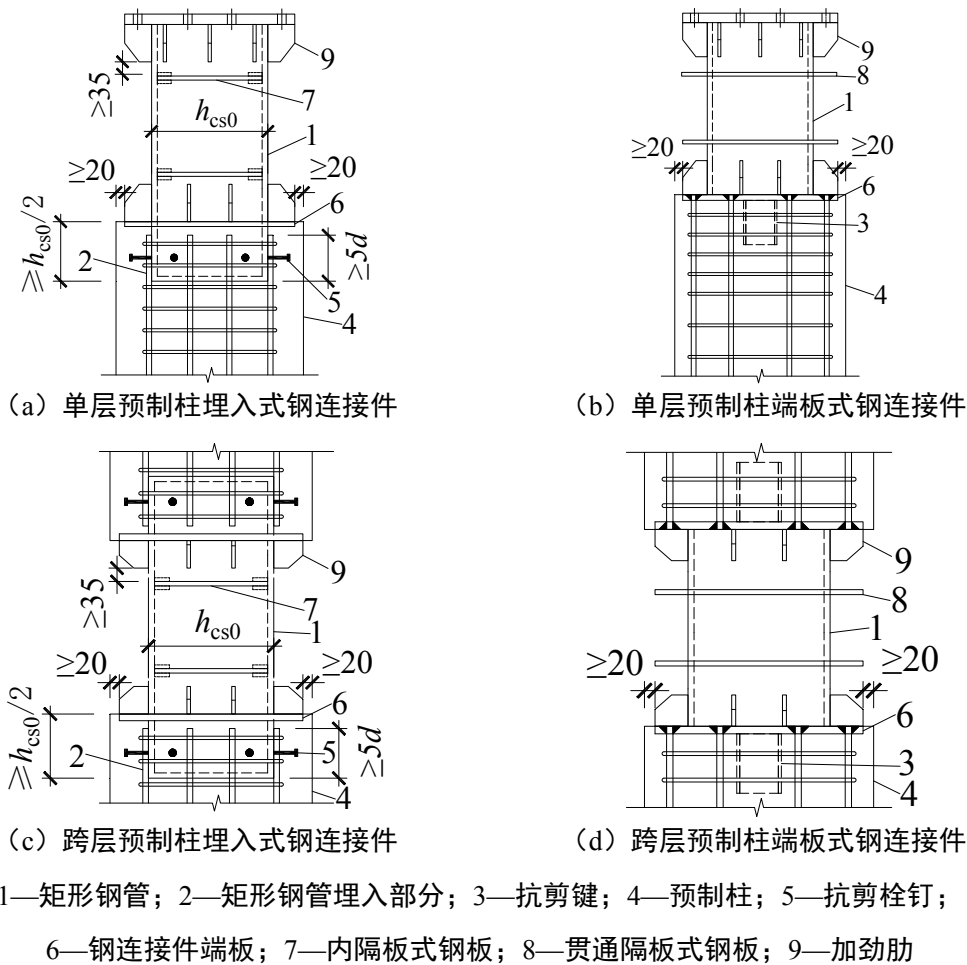


图 5.2.8 预制柱钢连接件构造示意

**【条文说明】**预制柱钢连接件截面尺寸需要与预制柱截面匹配，不宜过小，预制柱钢连接件构件高度应根据施工需要、结合混合梁钢连接件截面高度、梁柱钢连接件连接形式综合确定。

根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016，考虑钢连接件防火要求提出钢连接件与预制柱边缘最小距离规定。

根据编制组完成的柱柱节点抗震性能试验与多种截面尺寸柱柱节点有限元

模拟结果规定了埋入式钢连接件的钢管埋入深度，根据现行行业标准《钢筋焊接与验收规程》JGJ 18 给出了柱纵向受力钢筋与钢管搭接焊的相关规定。

5.2.9 预制柱的纵向受力钢筋和箍筋配置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，其箍筋加密区尚应符合下列规定（图 5.2.9）：

1 当采用埋入式钢连接件时，箍筋加密区应从钢连接件埋入混凝土柱身内的端部起算；

2 当采用端板式钢连接件时，箍筋加密区应从混凝土柱身端部起算。

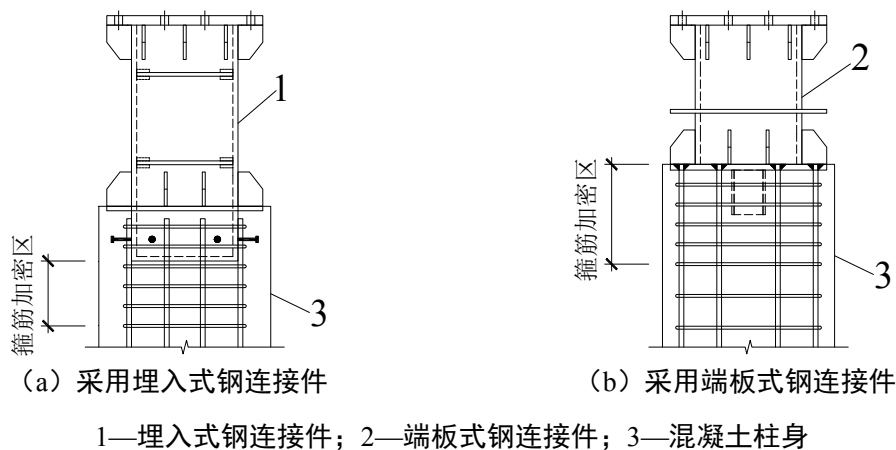


图 5.2.9 预制柱箍筋加密区示意

【条文说明】预制柱箍筋加密区箍筋相关规定按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。埋入式钢连接件在预制柱内区域刚度、受弯承载力、受剪承载力均大于钢筋混凝土柱截面，当柱端发生破坏时，破坏截面位于钢连接件端部外侧，为保证该区域柱具有良好的变形能力，对于埋入式钢连接件，箍筋加密区范围从钢连接件在预制柱内的端部起算。

## 5.3 混合梁

### I 一般规定

5.3.1 混合梁可采用全预制形式或叠合形式（图 5.3.1），梁的截面尺寸应符合下列要求：

- 1 截面宽度不宜小于 200mm；
- 2 截面高宽比不宜大于 4；
- 3 净跨与截面高度之比不宜小于 4；
- 4 对于叠合混合梁，框架梁的叠合层厚度不宜小于 150mm（图 5.3.1），次梁

的叠合层厚度不宜小于 120mm。

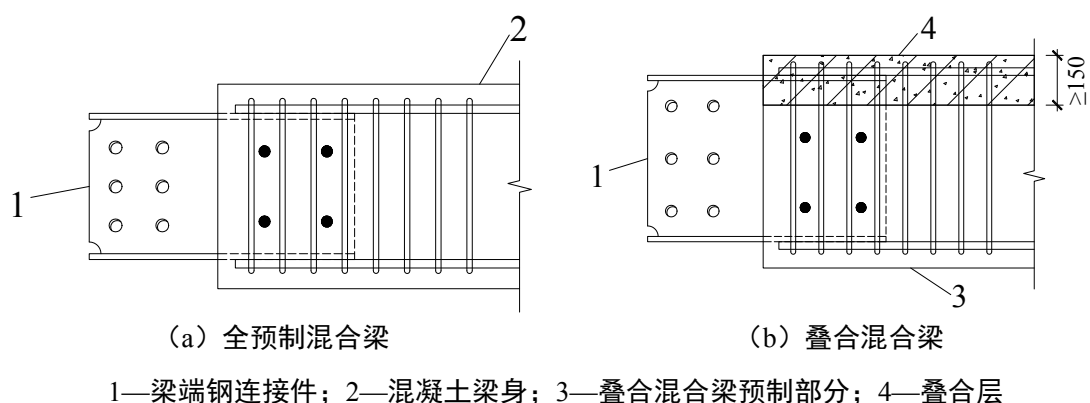


图 5.3.1 混合梁形式示意

**【条文说明】**由于混合梁端部需预埋梁端钢连接件，截面尺寸不宜过小，同时考虑构件加工便利性，混凝土梁身的最小截面尺寸以及高宽比限值比现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的相关要求要严；对于叠合混合梁，尚需参照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 进行设计。当叠合框架梁后浇混凝土叠合层厚度小于 150mm 时，宜采用凹口截面预制梁，凹口深度不宜小于 50mm，凹口边厚度不宜小于 60mm（图 9）。

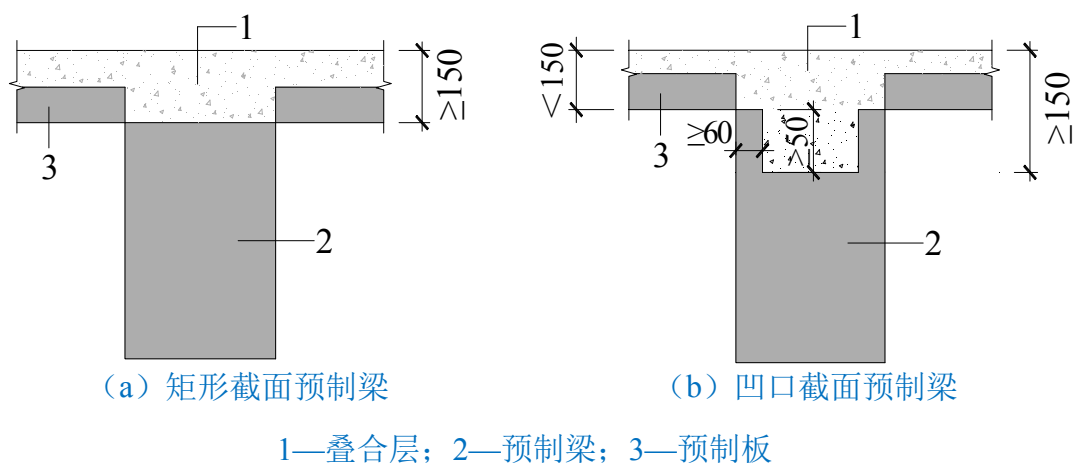


图 9 作为框架梁的叠合混合梁截面示意

**5.3.2** 混凝土梁身的钢筋配置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；纵向受力钢筋层数不应超过两层，梁端箍筋加密区长度  $L_d$  应从混凝土梁端开始起算，钢连接件埋入混凝土梁身长度  $L_s$  范围内箍筋间距不应大于 50mm（图 5.3.2）。

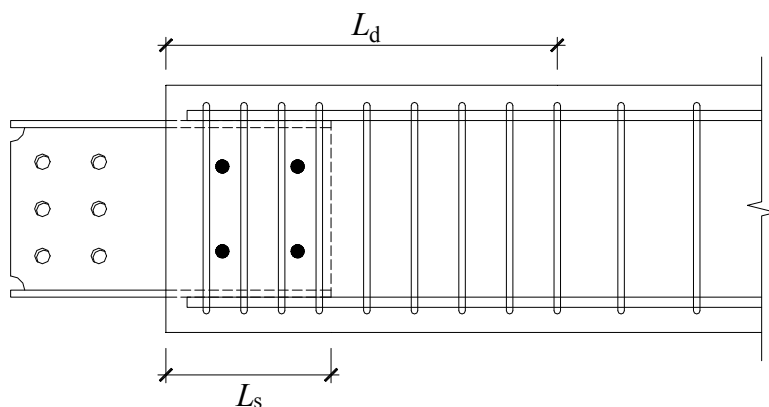


图 5.3.2 混合梁箍筋加密区示意

【条文说明】梁端破坏发生在钢连接件伸出混凝土梁端位置，箍筋加密区位置从混凝土梁端开始起算，可保证足够长度的混凝土梁斜截面受剪承载力强于钢连接件；梁端钢连接件与混凝土梁身的连接区域是混合梁的关键部位，此范围设置加强箍筋，有利于保证纵向受力钢筋和钢连接件之间可靠传力。

5.3.3 梁端钢连接件的外伸长度与埋入长度应符合下列规定：

1 从混凝土梁身端部起算，外伸长度不应小于钢连接件的截面高度  $h_{b0}$ （图 5.3.3）；

2 埋入混凝土梁身的长度  $L_s$  应满足下式要求：

$$L_s \geq \max(10d + 30, h_{b0}/2) \quad (5.3.3)$$

式中： $d$ ——梁纵向受力钢筋直径（mm）。

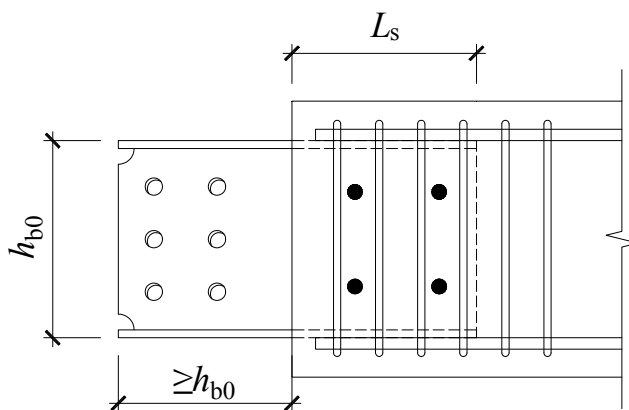
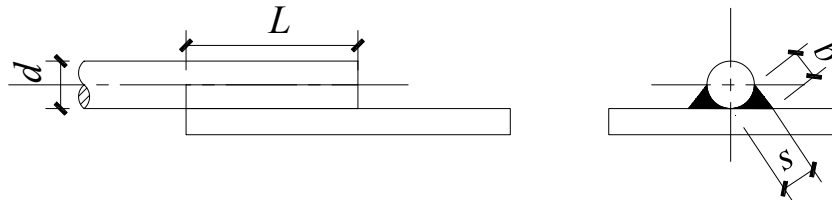


图 5.3.3 梁端钢连接件外伸长度与埋入长度示意

【条文说明】本条给出了梁端钢连接件外伸长度与埋入长度的规定。混合框架结构设计时，控制框架梁端的破坏发生在梁端钢连接件外伸区域，为了保证该区域在地震作用下具有足够的变形能力，钢连接件外伸长度不能过短。根据编制组完成的梁柱节点抗震性能试验和大量有限元模拟结果，并结合施工要求，给出了钢

连接件外伸长度的要求。

**5.3.4** 混合梁纵向受力钢筋与钢连接件翼缘宜采用双面焊连接（图 5.3.4），搭接长度  $L$  不应小于  $10d$ ，焊缝高度不应小于  $0.35d$ ，焊缝宽度不应小于  $0.6d$ ， $d$  为纵向受力钢筋直径。当混合梁直接承受动力荷载时，纵向受力钢筋与钢连接件应采用双面焊连接。



$d$ —钢筋直径； $L$ —搭接长度； $b$ —焊缝宽度； $S$ —焊缝高度

图 5.3.4 混合梁纵向受力钢筋与钢连接件钢板搭接接头

**【条文说明】**由于梁端纵向受力钢筋需要与钢连接件翼缘焊接连接，纵向受力钢筋层数不超过两层。当钢筋混凝土梁配筋面积较大时，可优先采用 HRB500 级和 HRB600 级钢筋，并采用较大直径钢筋。为保证混合梁纵向受力钢筋与钢连接件翼缘的连接，应优先采用双面焊连接，当由于构件尺寸原因无法进行双面焊连接时，也可采用单面焊连接。

**5.3.5** 当混凝土梁身侧面设有纵向受力钢筋时，钢连接件上应设置横向加劲板，加劲板长度应与钢连接件的埋入长度相同，厚度应与钢连接件翼缘厚度相同，纵向受力钢筋应与加劲板焊接连接，连接长度和构造应符合本规程第 5.3.4 条的有关规定。

**【条文说明】**当混合梁的混凝土柱身侧面仅设纵向构造钢筋时，可以不设横向加劲板，直接在混凝土梁身端部截断。

**5.3.6** 当混合梁两端为铰接连接且其下部纵向受力钢筋配置两层及以上时，除底层钢筋应与钢连接件下翼缘焊接连接外，其余钢筋可根据弯矩包络图按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行截断。

**5.3.7** 梁端钢连接件的截面及构造应符合下列规定：

1 钢连接件应居中布置在混凝土梁身截面内，上、下表面至混凝土表面的距离不应小于 50mm，侧面至混凝土表面的距离应满足最外侧箍筋的保护层厚度要求；

2 钢连接件翼缘的厚度不应小于 12mm，腹板的厚度不应小于 8mm；

3 钢连接件埋入混凝土梁身内的腹板上宜设置抗剪栓钉，间距不应大于



200mm，且不宜小于 7.5 倍栓钉直径。

【条文说明】根据构件制作需要和相关研究，钢连接件上、下表面至混凝土梁身表面的距离不应小于 50mm，侧面至混凝土表面的距离可按照满足外侧箍筋保护层厚度要求确定。由于梁端破坏发生于钢连接件位置，为保证钢连接件截面有一定的塑性发展能力，钢连接件翼缘与腹板厚度不宜过薄。

**5.3.8** 当钢连接件外伸区域采用混凝土填充时，混凝土梁身端部宜设置粗糙面。

【条文说明】混合梁钢连接件外伸区域采用混凝土填充，可以对钢连接件起到防火和防腐作用，混凝土并不参与混合梁的受力，因此混合梁混凝土梁身端部无需设置键槽，仅建议设置粗糙面，以满足结合面抗裂要求。

## II 承载力计算

**5.3.9** 混合梁的正截面受弯承载力应按下列规定计算：

1 混凝土梁身的正截面受弯承载力计算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，混凝土梁身端部截面受弯承载力计算时不考虑钢连接件的作用；

2 梁端钢连接件的正截面受弯承载力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，应按钢连接件的实际截面计算，不应考虑后浇混凝土和楼板的作用，同时可不进行整体稳定性验算。

【条文说明】本条给出混合梁的正截面受弯承载力计算相关规定：

混凝土梁身的受力和普通钢筋混凝土梁并无不同，所以此部分的正截面受弯承载力计算按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行即可。

梁端钢连接件的正截面受弯承载力计算应按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定进行。由于钢连接件外伸区域的后浇混凝土主要是起防火和防腐作用，在验算钢连接件的正截面受弯承载力时，不应考虑后浇混凝土和楼板的作用。钢连接件外伸长度相对较短，埋入混凝土的部分在纵向受力钢筋、加密箍筋和混凝土的包裹下形成可靠的约束，后浇混凝土也能对外伸部分形成一定约束，因此计算时可不进行整体稳定性验算。

**5.3.10** 混合梁端部的正截面受弯承载力应符合下式要求：

$$\frac{M_{bcuk}}{l_{b2}} \geq \eta_b \frac{M_{bsuk}}{l_{b1}} \quad (5.3.10)$$

式中：  $M_{bcuk}$  —— 按实配钢筋计算的混凝土梁身端部截面(图 5.3.10 中 II-II 截面)的极限受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值；

$M_{bsuk}$  —— 钢连接件端部截面(图 5.3.10 中 I-I 截面)的全塑性受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值；

$l_{b2}$  —— 混合梁反弯点至混凝土梁身端部截面(图 5.3.10 中 II-II 截面)的距离；

$l_{b1}$  —— 混合梁反弯点至钢连接件端部截面(图 5.3.10 中 I-I 截面)的距离；

$\eta_b$  —— 梁端钢连接件连接系数，一、二、三、四级可分别取 1.3、1.2、1.1 和 1.1。

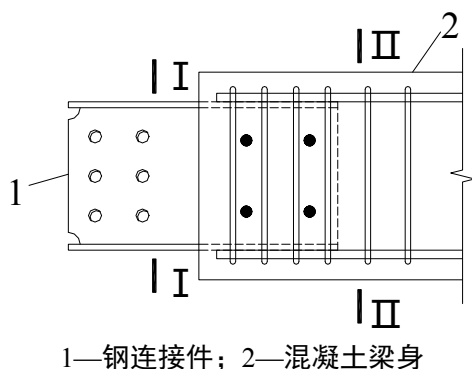


图 5.3.10 混合梁端部正截面受弯承载力验算截面示意

**【条文说明】**为了实现梁端塑性铰在梁端钢连接件外伸区域发展，需保证混凝土梁身的截面承载力与实际弯矩比值要高于钢连接件的截面承载力与实际弯矩比值，通过对混凝土梁端部内力进行调整放大，保证梁端塑性铰发生在钢连接件伸出混凝土梁端位置。

### 5.3.11 混合梁的受剪承载力应按下列规定计算：

1 混凝土梁身的斜截面受剪承载力计算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。混凝土梁身端部截面受剪承载力计算时不考虑钢连接件作用；

2 梁端钢连接件的受剪承载力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。

**5.3.12** 对于施工阶段无支撑的叠合混合梁，混凝土梁身的承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对无支撑叠合梁的有关规定进行二阶段受力计算。

### III 正常使用极限状态验算

**5.3.13** 混合梁的挠度可按照结构力学方法计算，其计算值不应超过表 5.3.12 规定的挠度限值，并符合下列规定：

- 1 应按荷载的准永久组合并考虑长期作用的影响进行计算；
- 2 计算时可假定各同号弯矩区段内的刚度相等，混凝土梁身应取用该区段内最大弯矩处的刚度；
- 3 混凝土梁身的短期刚度和考虑长期作用影响的长期刚度应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行计算。

表 5.3.13 受弯构件的挠度限值

构件跨度	挠度限值
当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0 / 200$ ( $l_0 / 250$ )
当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0 / 250$ ( $l_0 / 300$ )
当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0 / 300$ ( $l_0 / 400$ )

注：1 表中  $l_0$  为构件的计算跨度；计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度  $l_0$  按实际悬臂长度的 2 倍取用；

2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

**【条文说明】**混合梁混凝土梁身需要按照钢筋混凝土构件考虑长期作用的影响计算挠度，挠度限值按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定确定。

**5.3.14** 混合梁混凝土梁身应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定，按荷载准永久组合并考虑长期作用影响计算最大裂缝宽度，负弯矩区裂缝宽度计算时可不考虑钢连接件的影响。裂缝控制等级为三级，其计算值不应超过表 5.3.13 规定的最大裂缝宽度限值。

表 5.3.14 混合梁钢筋混凝土梁最大裂缝宽度的限值 (mm)

环境类别	$w_{\text{lim}}$
------	------------------

一	0.30 (0.40)
二 a	0.2
二 b	
三 a、三 b	

注：1 对处于年平均相对湿度小于 60%地区一类环境下的受弯构件，其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值；

2 表中的最大裂缝宽度限值为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

**【条文说明】**由于梁端钢连接件埋入深度有限，因此在计算负弯矩区裂缝宽度时，可不考虑钢连接件的影响，混凝土梁身裂缝控制等级为三级，裂缝限值按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定确定。

**5.3.15** 对于施工阶段无支撑的叠合混合梁，混凝土梁身应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对无支撑叠合梁的有关规定，按二阶段受力进行纵向受拉钢筋应力验算、裂缝宽度验算和挠度验算。

## 6 连接节点设计

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 混合框架结构的连接节点构造应受力明确、传力可靠、施工方便、质量可控，满足结构的承载力、延性和耐久性要求。

【条文说明】连接节点设计是混合框架结构设计重点，保证连接节点的性能是保证混合框架结构性能的关键。采用的连接节点形式应便于施工操作，以保证施工质量。质量可控指必须有可靠的检测手段及有效的质量控制措施。

**6.1.2** 连接节点不应先于被连接构件发生破坏。

【条文说明】对于混合框架结构，应通过设计保证预制柱的混凝土柱身先于柱端钢连接件和上、下节柱连接节点发生破坏，保证梁、柱构件先于梁柱连接节点位置发生破坏，以满足“强节点弱构件”的抗震性能要求。

**6.1.3** 当钢连接件的矩形钢管与法兰板、端板、贯通隔板焊接连接时，应采用全熔透焊缝，焊缝质量等级一级。

【条文说明】柱端钢连接件是将上、下节柱连接形成整体框架柱的关键要素，需要保证钢连接件矩形钢管与法兰板、端板、贯通隔板间实现等强连接。

**6.1.4** 节点构造应符合结构计算假定，当构件在节点偏心相交时，尚应考虑局部弯矩的影响。

【条文说明】通过合理的节点构造设计，使结构受力与计算简图中的刚接、铰接等假定相一致，节点传力应顺畅，尽量做到相邻构件的轴线交汇于一点。

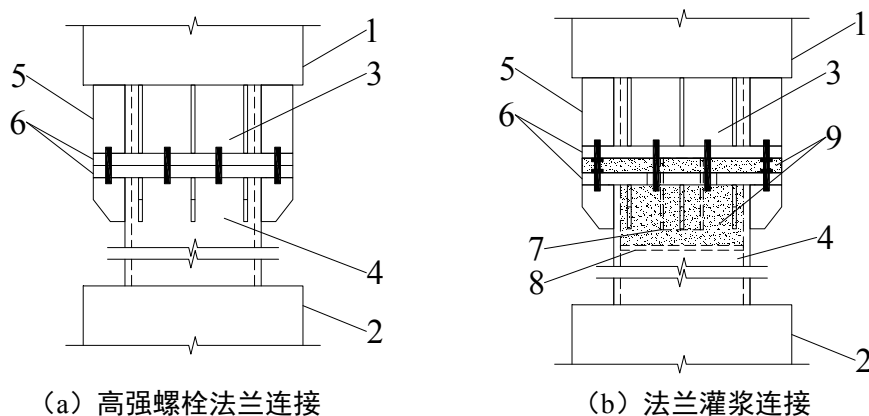
**6.1.5** 高强螺栓连接处的钢连接件接触面应进行喷砂或抛丸处理，钢连接件还应采取有效的防腐、防火措施。

【条文说明】对高强螺栓连接处的钢连接件接触面进行喷砂或抛丸处理主要是为了增加摩擦面的抗滑移系数 $\mu$ 值；钢连接件的防腐和防火措施分别参考现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 和国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的相关规定。

### 6.2 柱-柱连接节点

## I 一般规定

6.2.1 上、下节柱的连接可采用高强螺栓法兰连接和法兰灌浆连接两种形式（图 6.2.1）。



(a) 高强螺栓法兰连接

(b) 法兰灌浆连接

1—上节柱；2—下节柱；3—柱底钢连接件；4—柱顶钢连接件；  
5—加劲肋；6—法兰板；7—抗剪键；8—水平隔板；9—灌浆料

图 6.2.1 上、下节柱的连接

【条文说明】上、下节预制柱在柱顶和柱底的钢连接件处可以通过法兰板和摩擦型高强螺栓连接，也可以在上、下法兰板间现场灌浆，然后通过螺栓进行连接。

6.2.2 钢连接件与混凝土柱身的连接除应符合本规程第 5.2.8 条的有关规定外，尚应符合本节相关计算规定。

6.2.3 钢连接件与混凝土柱身连接处，钢连接件除应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 进行截面强度计算外，尚应按下式验算截面受弯承载力：

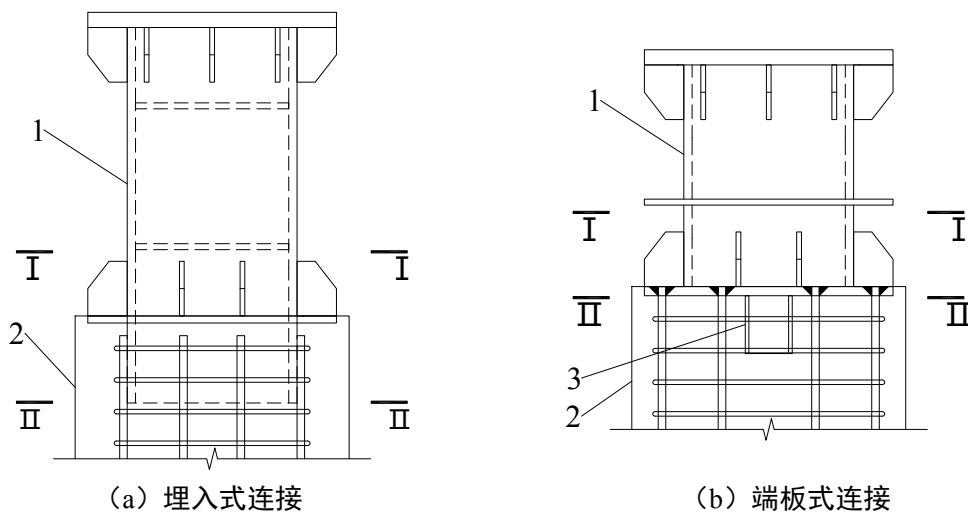
$$\frac{M_{\text{csuk}}}{l_1} \geq \eta_c \frac{M_{\text{ccuk}}}{l_2} \quad (6.2.3)$$

式中： $M_{\text{csuk}}$  —— 钢连接件验算截面（图 6.2.3 中 I-I 截面）的极限受弯承载力，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中压弯构件截面强度计算方法计算，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值，轴力取地震组合最大轴压力设计值；

$M_{\text{ccuk}}$  —— 按实配钢筋计算的混凝土柱身验算截面（图 6.2.3 中 II-II 截面）的极限受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值，轴力取与计算  $M_{\text{csuk}}$  相同的值；

$l_1$ 、 $l_2$  —— 分别为柱反弯点至钢连接件验算截面（图 6.2.3 中 I - I 截面）和混凝土柱身验算截面（图 6.2.3 中 II - II 截面）的距离；

$\eta_c$  —— 柱端钢连接件连接系数，一、二、三、四级可分别取 1.3、1.2、1.1、1.1。



1—钢连接件；2—混凝土柱身；3—抗剪键

图 6.2.3 钢连接件与柱身连接正截面受弯承载力验算截面示意

**【条文说明】**本规程第 5.2.7 条给出了预制柱的构造要求，钢连接件包括埋入式和端板式两种形式。预制柱应保证混凝土柱身先于钢连接件和上、下节柱连接节点位置发生破坏，即应在混凝土柱身截面发生破坏。根据试验及有限元结果，当  $\eta_c$  取 1.2 时，在层间位移角达到 1/50 前，框架柱在 I - I 截面发生受弯破坏，而 II - II 截面矩形钢管并未发生屈服。

**6.2.4** 当采用端板式钢连接件时，应验算端板与柱身混凝土结合面的受剪承载力，验算时剪力应考虑全部由抗剪键承担。

**【条文说明】**当采用埋入式钢连接件时，混凝土柱身根部截面的剪力由矩形钢管承担。

**6.2.5** 当变截面柱进行拼接时，应符合下列规定：

1 上节柱的柱底钢连接件法兰板与下节柱的柱顶钢连接件法兰板应保持边缘平齐（图 6.2.5-1）；

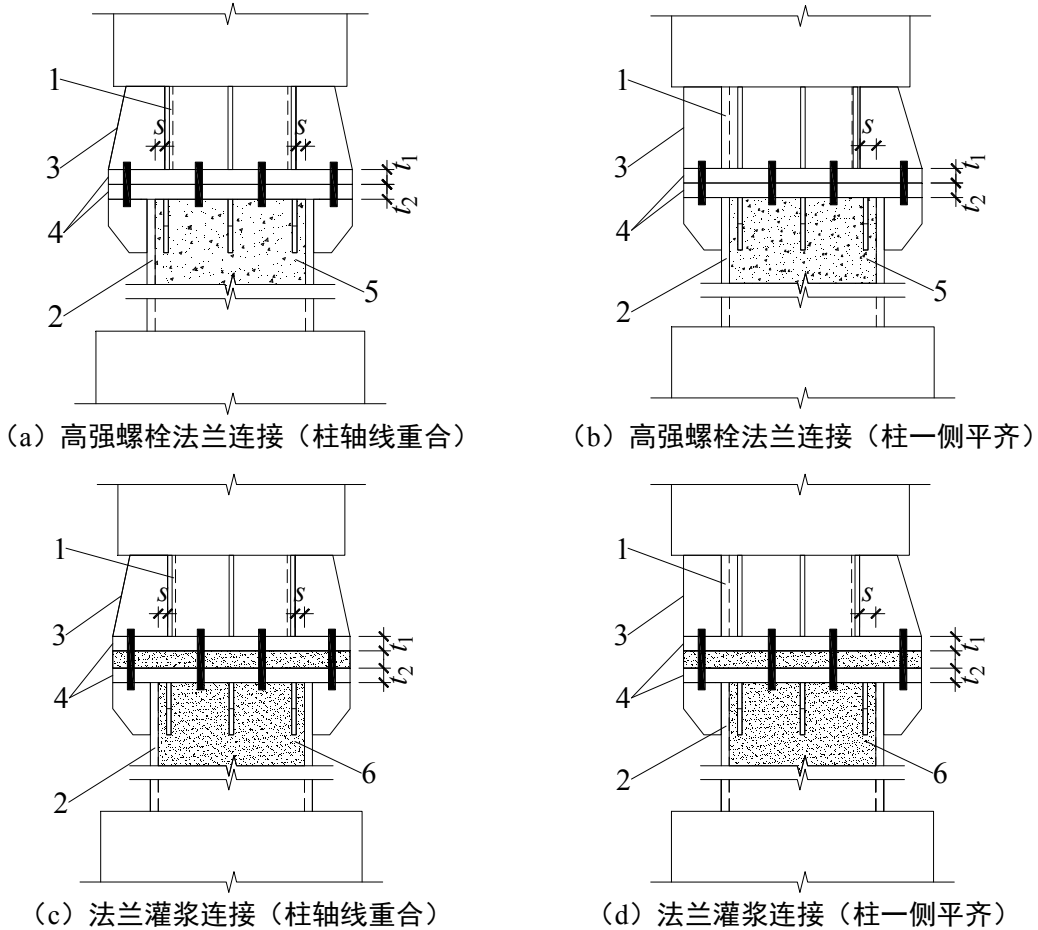
2 上节柱矩形钢管外壁与下节柱矩形钢管外壁之间的距离  $s$  不宜大于 50mm（图 6.2.5-1）；

3 采用高强螺栓法兰连接时，下节柱的柱顶钢连接件矩形钢管内应灌注混凝

土或灌浆料(图 6.2.5-1a、b), 法兰板的厚度除应符合本规程第 6.2.9 条的规定外, 尚应符合下式要求:

$$t_1 + t_2 \geq 50\text{mm} \quad (6.2.5)$$

式中:  $t_1$ 、 $t_2$  —— 分别为上柱柱底钢连接件法兰板和下柱柱顶钢连接件法兰板的厚度 (mm)。



1—上节柱矩形钢管; 2—下节柱矩形钢管; 3—加劲肋;

4—法兰板; 5-混凝土或灌浆料; 6-灌浆料

图 6.2.5-1 变截面柱的拼接

4 当上节柱矩形钢管外壁与下节柱矩形钢管外壁间的差距  $s$  大于 50mm 时, 宜采用跨层预制柱形式, 跨中钢连接件宜采用台锥形拼接方式, 台锥形拼接钢管的壁厚不应小于所连接的钢管壁厚, 台锥坡度不宜大于 1:6, 变径段宜设置在楼盖结构高度范围内 (图 6.2.5-2)。



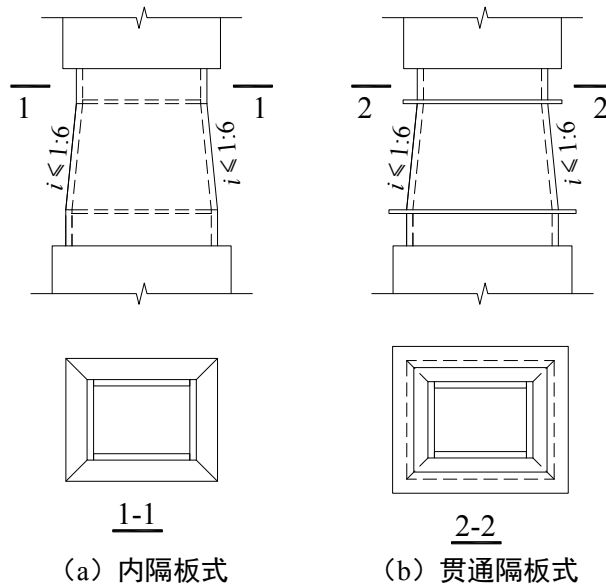


图 6.2.5-2 台锥形拼接方式

【条文说明】现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于  $25\text{mm} \leq s \leq 50\text{mm}$  时，可采用上节柱外壁加劲拼接方式，但本规程中的混合框架结构上节柱底矩形钢管外壁设有竖向加劲肋，且对上、下法兰板厚度的做出了相应规定，因此当  $25\text{mm} \leq s \leq 50\text{mm}$  时可采用上节柱与下节柱直接拼接的方式。

## II 高强螺栓法兰连接

6.2.6 上、下节柱采用高强螺栓法兰连接时，应按高强螺栓摩擦型连接验算弹性设计阶段连接节点的承载力，应按高强螺栓承压型连接验算连接节点的极限承载力。

6.2.7 弹性设计阶段，高强螺栓法兰连接节点的承载力应按下列公式进行验算：

$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leq 1.0 \quad (6.2.7-1)$$

$$N_v = \frac{V_{cj} - \mu N}{n_0} \quad (6.2.7-2)$$

$$N_t = \frac{M_{cj} y_n}{\sum m_i y_i^2} - \frac{N}{n_0} \quad (6.2.7-3)$$

式中：  $N_v$  —— 弹性设计阶段某个高强螺栓所受的剪力，当轴力为拉力时， $\mu N = 0$ ；当轴力为压力且  $\mu N$  大于  $V_{cj}$  时， $N_v = 0$ ；

$N_t$  —— 弹性设计阶段某个高强螺栓所受的拉力（图 6.2.7）；

$N_v^b$ 、 $N_t^b$  —— 一个高强螺栓的受剪、受拉承载力设计值；

- $V_{cj}$  —— 法兰连接节点的剪力设计值；  
 $M_{cj}$  —— 法兰连接节点的弯矩设计值；  
 $\mu$  —— 摩擦面的抗滑移系数；  
 $N$  —— 法兰连接节点的轴力设计值，当为拉力时取负值；当为压力时取正值；  
 $y_i$  —— 第  $i$  排螺栓至法兰板中性轴的距离；  
 $y_n$  —— 离法兰板中性轴最远的螺栓至法兰板中性轴的距离；  
 $m_i$  —— 第  $i$  排螺栓的个数；  
 $n_0$  —— 螺栓总个数。

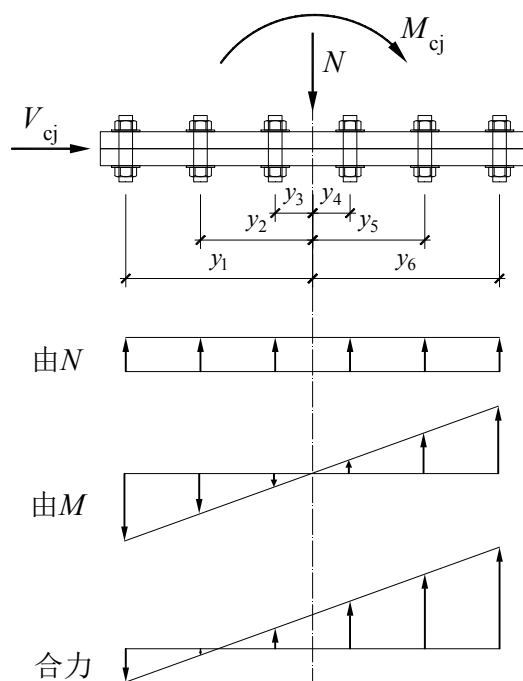


图 6.2.7 高强螺栓法兰连接螺栓拉力计算简图

6.2.8 高强螺栓法兰连接节点的极限承载力应按下列公式进行验算：

$$\sqrt{\left(\frac{N'_v}{N_{vu}^b}\right)^2 + \left(\frac{N'_t}{N_{tu}^b}\right)^2} \leq 1.0 \quad (6.2.8-1)$$

$$N'_v \leq N_{cu}^b / 1.2 \quad (6.2.8-2)$$

$$N'_v = \frac{V'_{cj}}{n_0} \quad (6.2.8-3)$$

$$V'_{cj} = \eta_j (M_{ccuk}^b + M_{ccuk}^t) / H_n \quad (6.2.8-4)$$

$$N'_t = \frac{\eta_j M_{\text{ccuk}}^b y'_n}{m \sum y_i'^2} - \frac{N'}{n_0} \quad (6.2.8-5)$$

- 式中：  $N_{\text{vu}}^b$ 、 $N_{\text{tu}}^b$ 、 $N_{\text{cu}}^b$  —— 一个高强螺栓按普通螺栓计算的极限受剪、受拉和承压承载力；
- $N'_v$  —— 极限承载力验算时某个高强螺栓所受的剪力；
- $N'_t$  —— 极限承载力验算时某个高强螺栓所受的拉力；
- $V'_{\text{cj}}$  —— 极限承载力验算时法兰连接节点的计算剪力，按柱底、柱顶截面极限受弯承载力反推得到的剪力；
- $M_{\text{ccuk}}^b$ 、 $M_{\text{ccuk}}^t$  —— 分别为混凝土柱身底截面、顶截面按实配钢筋计算的极限受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值，轴力取  $N'$ ；
- $H_n$  —— 柱的净高；
- $y'_i$  —— 第  $i$  排螺栓至受压侧最外排螺栓的距离；
- $y'_n$  ——  $y'_i$  的最大值；
- $m_i$  —— 第  $i$  排螺栓的个数；
- $N'$  —— 重力荷载代表值下法兰连接节点的轴力设计值，当为拉力时取负值；当为压力时取正值；
- $\eta_j$  —— 连接系数，一、二、三、四级可分别取 1.3、1.2、1.1、1.1。

#### 【条文说明】6.2.7~6.2.8

上、下节柱采用高强螺栓法兰连接时，上、下法兰板接触面应进行抛丸或喷砂处理，在弹性阶段摩擦面不应发生滑移，连接节点处的承载力按高强螺栓摩擦型连接验算；极限承载力验算时，考虑罕遇地震作用下摩擦面已滑移，摩擦型连接成为承压型连接。

#### 6.2.9 法兰板厚度 $t$ 的计算应符合下列规定：

1 受拉侧法兰板厚度  $t$  应满足下式要求：

$$t \geq \sqrt{5M_{\text{max,t}} / f_a} \quad (6.2.9-1)$$

式中：  $M_{\max,t}$  —— 按单个螺栓的受拉承载力设计值均布到法兰板对应区域计算的法兰板单位板宽最大弯矩；无加劲肋时，按悬臂板计算；有加劲肋时，可按沿加劲肋固结和沿矩形钢管壁铰接的弹性板近似计算。

2 受压侧法兰板厚底  $t$  应满足下式要求：

$$t \geq \sqrt{6M_{\max,c} / f_a} \quad (6.2.9-2)$$

式中：  $M_{\max,c}$  —— 受压侧各区格根据法兰板底反力计算的法兰板单位板宽最大弯矩；无加劲肋时，按悬臂板计算；有加劲肋时，可按沿加劲肋固结和沿矩形钢管壁铰接的弹性板近似计算；计算法兰板底反力时，法兰连接节点承受的弯矩可取混凝土柱身底截面的受弯承载力设计值。

【条文说明】本条参考现行国家标准《高耸结构设计标准》GB 50135 给出了受拉侧刚接法兰板厚度的计算方法，参考钢柱外露式柱脚给出了受压侧法兰板厚度的计算方法。

6.2.10 加劲肋的计算应符合下列规定：

1 加劲肋板件的强度应按平面内拉（压）、弯计算，同时应对加劲肋与法兰板的焊缝、加劲肋与矩形钢管壁的焊缝（图 6.2.10）进行如下计算。

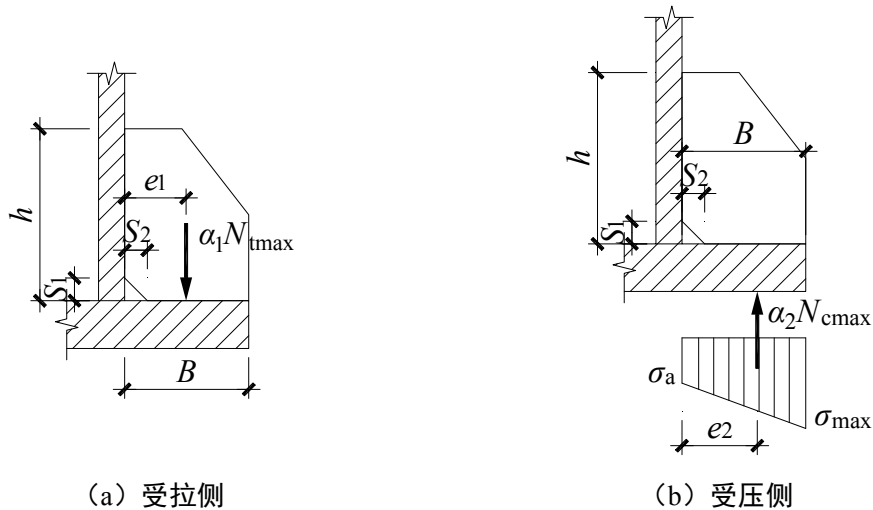


图 6.2.10 法兰加劲肋焊缝计算示意

受拉侧竖向对接焊缝：

$$\tau_{fl} = \frac{\alpha_1 N_{tmax}}{t(h - S_1 - 2t)} \leq f_v^w \quad (6.2.10-1)$$

$$\sigma_{f1} = \frac{6\alpha_1 N_{tmax} e_1}{t(h-S_1-2t)^2} \leq f_t^w \quad (6.2.10-2)$$

$$\sqrt{\sigma_{f1} + 3\tau_{f1}^2} \leq 1.1f_t^w \quad (6.2.10-3)$$

受拉侧水平对接焊缝:

$$\sigma_{f3} = \frac{\alpha_1 N_{tmax}}{t(B-S_2-2t)} \leq f_t^w \quad (6.2.10-4)$$

受压侧竖向对接焊缝:

$$\tau_{f2} = \frac{\alpha_2 N_{cmax}}{t(h-S_1-2t)} \leq f_v^w \quad (6.2.10-5)$$

$$\sigma_{f2} = \frac{6\alpha_2 N_{cmax} e_2}{t(h-S_1-2t)^2} \leq f_t^w \quad (6.2.10-6)$$

$$\sqrt{\sigma_{f2} + 3\tau_{f2}^2} \leq 1.1f_t^w \quad (6.2.10-7)$$

- 式中:  $\sigma_{f1}$ 、 $\sigma_{f2}$ 、 $\sigma_{f3}$  —— 分别为垂直于受拉侧竖向对接焊缝、受压侧竖向对接焊缝、受拉侧水平对接焊缝长度方向的拉应力;
- $\tau_{f1}$ 、 $\tau_{f2}$  —— 分别为平行于受拉侧、受压侧竖向对接焊缝长度方向的剪应力;
- $B$  —— 加劲肋的宽度;
- $t$  —— 加劲肋的厚度;
- $h$  —— 加劲肋的高度;
- $S_1$  —— 加劲肋切角高度;
- $S_2$  —— 加劲肋切角宽度;
- $N_{tmax}$  —— 受拉侧单个螺栓的最大拉力, 应取单个螺栓的受拉承载力设计值;
- $N_{cmax}$  —— 受压侧区格内法兰板底反力的合力, 计算法兰板底反力时, 法兰连接节点承受的弯矩可取混凝土柱身底截面的受弯承载力设计值;
- $\alpha_1$  —— 受拉侧加劲肋承担反力的比例, 可按沿加劲肋固结和沿矩形钢管壁铰接的弹性板近似计算;

- $\alpha_2$  —— 受压侧加劲板承担反力的比例，可按沿加劲肋固结和沿矩形钢管壁铰接的弹性板近似计算；
- $\sigma_{\max}$  —— 受压侧法兰板底的最大压应力；
- $\sigma_a$  —— 受压侧矩形钢管壁处法兰板底的压应力；
- $e_1$  ——  $N_{t\max}$  偏心距，取螺栓中心至矩形钢管外壁的距离；
- $e_2$  —— 受压侧区格内法兰板底反力的合力点至矩形钢管外壁的距离；
- $f_v^w$  —— 对接焊缝抗剪强度设计值；
- $f_t^w$  —— 对接焊缝抗拉强度设计值。

2 加劲肋的厚度不宜小于 6mm；且当加劲肋仅底部与法兰板焊接时，加劲肋的厚度尚不应小于加劲肋高度的 1/15，当加劲肋底部和顶部均与钢板（法兰板或端板等）焊接时，其厚度尚不应小于加劲肋高度的 1/30。

【条文说明】加劲肋与法兰板、矩形钢管壁的焊缝均为对接焊缝，可视为等强连接，当加劲肋对接焊缝满足计算要求时，加劲肋板件即满足计算要求。

### III 法兰灌浆连接

6.2.11 上、下节柱采用法兰灌浆连接时，连接节点承载力应符合下列规定：

1 连接节点的螺栓配置应按下列公式进行验算（图 6.2.11）：

$$N(e-l/2+x/3) \leq A_b n_i (l-c-x/3) f_t^b \quad (6.2.11-1)$$

$$x = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + |\sigma_{\min}|} l \quad (6.2.11-2)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{bl} + \frac{6\eta_j M_{cj}}{bl^2} \leq f_g \quad (6.2.11-3)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{bl} - \frac{6\eta_j M_{cj}}{bl^2} \quad (6.2.11-4)$$

式中：  $N$  —— 轴力设计值，应取最大值和最小值分别计算，当为拉力时取负值；当为压力时取正值；

$M_{cj}$  —— 连接节点的弯矩设计值，应取考虑承载力抗震调整系数且按实配钢筋计算的柱底截面受弯承载力设计值，材料强度取设计值；

- $e$  —— 偏心距，取为  $M_{cj}/N$ ，当  $e$  小于等于  $l/6+x/3$  时，连接节点位置全截面受压，可不进行验算；
- $x$  —— 法兰板一侧压应力分布长度；
- $n_i$  —— 受拉侧螺栓数目；
- $A_b$  —— 单根受拉螺栓截面积；
- $f_t^b$  —— 螺栓抗拉强度设计值；
- $\sigma_{\max}$  —— 法兰板底的最大压应力；
- $\sigma_{\min}$  —— 法兰板底的假想最大拉应力，当全截面受压时为法兰板底的最小压应力；
- $\sigma_t^b$  —— 最外侧受拉螺栓的应力；
- $f_g$  —— 灌浆料轴心抗压强度设计值；
- $l$  —— 法兰板在弯矩作用平面内的长度；
- $b$  —— 法兰板的宽度；
- $\eta_j$  —— 连接系数，一、二、三、四级可分别取 1.3、1.2、1.1、1.1。

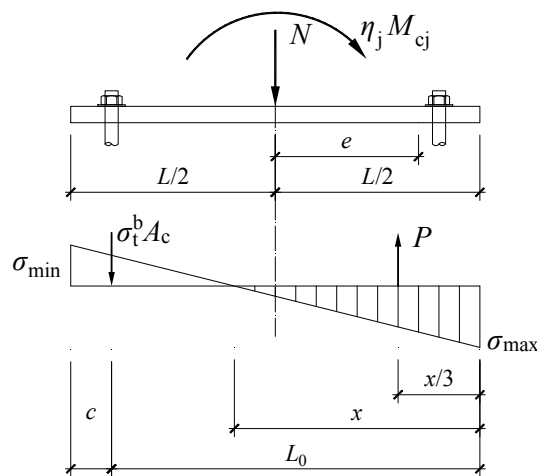


图 6.2.11 法兰灌浆连接螺栓计算简图

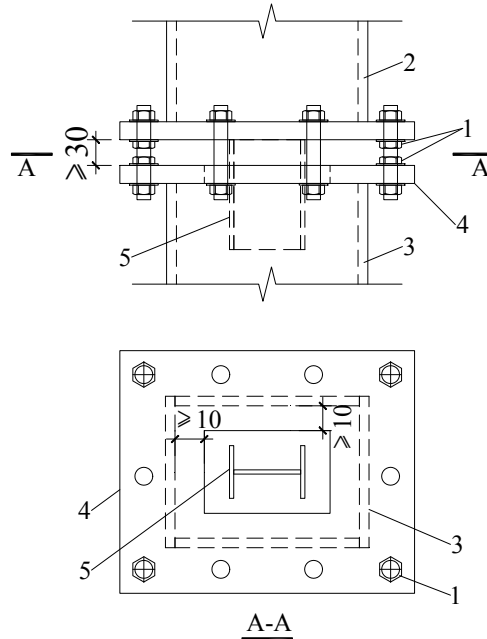
2 应在上法兰板下部设置抗剪键，上、下法兰板之间的剪力应全部由抗剪键承担。

【条文说明】上、下节柱采用法兰灌浆连接时，连接节点的承载力计算方法参考了外露式刚接柱脚。连接节点处的螺栓连接和灌浆层主要承担弯矩，不承担剪力，剪力全部由抗剪键承担。

6.2.12 法兰灌浆连接的法兰板厚度和加劲肋的相关计算及构造应符合本规程第 6.2.9 条和第 6.2.10 条的规定。

**6.2.13** 上、下节柱采用法兰灌浆连接时，法兰板间的构造和开孔构造应符合下列规定（图 6.2.13）：

- 1 法兰板间的调平螺母设置应根据预制柱的施工验算进行确定；
- 2 法兰板间的灌浆层厚度应根据螺栓规格进行调整，且不应小于 30mm；
- 3 开孔法兰板孔洞边缘至下节柱矩形钢管内壁的距离不应小于 10mm。



1—调平螺母；2—上节柱矩形钢管；3—下节柱矩形钢管；  
4—开孔法兰板；5—抗剪键

图 6.2.13 法兰灌浆连接局部构造示意

**【条文说明】**上节柱与下节柱采用法兰灌浆连接时，调平螺母除保证框架柱的垂直度外，在灌浆前或灌浆料硬化前，还起到临时支撑作用，需要承担预制柱的重力荷载以及风荷载的作用，调平螺母设置应根据预制柱的施工验算进行确定。

根据试验结果，在往复荷载作用下，当预制柱达到最大承载力时，30mm 的灌浆层并未发生明显破坏；现行国家标准《六角薄螺母》GB/T 6172.1 中螺栓规格在 M12~M30 间的薄螺母的厚度大约在 8~15mm，两调平螺母之间还需留出 5mm 以上的操作空间；综上考虑灌浆层厚度不应小于 30mm。

## 6.3 梁-柱连接节点

**6.3.1** 混合梁与预制柱应通过梁端钢连接件和柱顶或柱中钢连接件连接，梁端钢连接件与柱顶或柱中钢连接件宜采用翼缘焊接、腹板栓接的连接形式。

**【条文说明】**混合框架结构梁柱构件通过梁端钢连接件与柱钢连接件进行连接，



连接形式及构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

### 6.3.2 梁柱节点构造应符合下列规定：

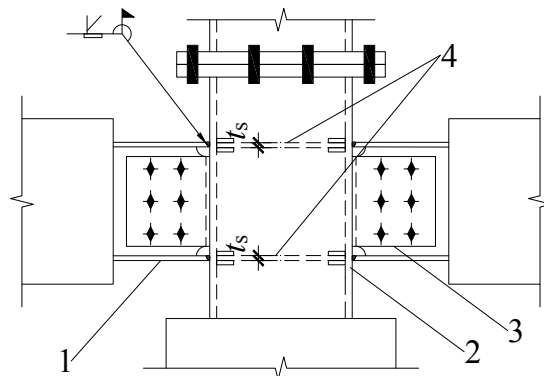
1 梁端钢连接件翼缘与柱顶或柱中钢连接件应采用一级全熔透坡口焊缝连接；

2 在柱顶或柱中钢连接件的矩形钢管对应于梁端钢连接件翼缘的位置设置水平隔板，隔板厚度  $t_s$  不应小于梁翼缘厚度加 2mm；

3 采用内隔板式节点时，水平隔板与矩形钢管壁的连接宜采用焊透的 T 型对接焊缝，对无法进行电弧焊的焊缝且钢管壁厚度不小于 16mm 的可采用熔嘴电渣焊；

4 采用贯通隔板式节点时，下节柱柱顶钢连接件的法兰板可兼做上贯通隔板，下贯通隔板外伸长度宜与法兰板外伸长度相同；矩形钢管与贯通隔板应采用全熔透坡口焊缝连接。

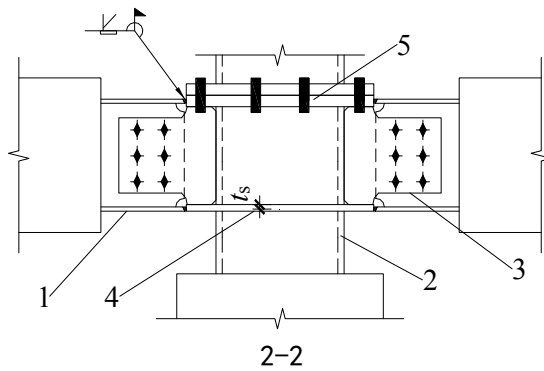
【条文说明】内隔板式连接如图 10 所示：



1—梁端钢连接件；2—矩形钢管；3—腹板连接板；4—内隔板

图 10 内隔板式连接

贯通隔板式连接如图 11 所示：



1—梁端钢连接件；2—矩形钢管；3—腹板连接板；

4—贯通隔板；5—下法兰板（兼做上贯通隔板）

图 11 贯通隔板式连接

6.3.3 梁柱节点域的承载力和稳定性应按下列公式进行验算：

$$\psi(M_{pb1} + M_{pb2}) / V_p \leq (4/3)f_{yv} \quad (6.3.3-1)$$

$$(M_{b1} + M_{b2}) / V_p \leq (4/3)f_v / \gamma_{RE} \quad (6.3.3-2)$$

$$V_p = 1.8h_{b1}h_{c1}t_w \quad (6.3.3-3)$$

$$t_w \geq (h_{b1} + h_{c1}) / 90 \quad (6.3.3-4)$$

式中：  $M_{pb1}$ 、 $M_{pb2}$  —— 分别为节点左、右梁端钢连接件的全塑性受弯承载力；

$M_{bs1}$ 、 $M_{bs2}$  —— 分别为节点左、右梁端的弯矩设计值；

$V_p$  —— 节点域体积；

$f_{yv}$  —— 钢材的屈服抗剪强度，取钢材屈服强度的 0.58 倍；

$f_v$  —— 钢材的抗剪强度设计值；

$\psi$  —— 折减系数，三、四级取 0.6，一、二级取 0.7；

$h_{b1}$ 、 $h_{c1}$  —— 分别为梁翼缘厚度中点间的距离和柱翼缘厚度中点间的距离；

$t_w$  —— 柱在节点域的腹板厚度；

$\gamma_{RE}$  —— 节点域承载力抗震调整系数，取 0.75。

【条文说明】本条参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。根据本规程 5.2.4 条的相关规定，对节点左、右梁端的全塑性受弯承载力和弯矩设计值进行计算时应选取混合梁梁端钢连接件端部截面。

6.3.4 梁柱连接的承载力应按下列公式验算：

$$M_u^j \geq \eta_{bj} M_{pb} \quad (6.3.4-1)$$

$$V_u^j \geq 1.2(\sum M_{pb} / l_n) + V_{Gb} \quad (6.3.4-2)$$

式中：  $M_u^j$  —— 梁与柱连接的极限受弯承载力；

$M_{pb}$  —— 梁端钢连接件的全塑性受弯承载力；

$V_u^j$  —— 梁与柱连接的极限受剪承载力；

- $l_n$  —— 梁的净跨；
- $V_{Gb}$  —— 梁在重力荷载代表值作用下，按简支梁分析的梁端钢连接件的截面剪力设计值；
- $\eta_{bj}$  —— 梁柱连接系数节点系数，当母材牌号为 Q235 时，取 1.45；当母材牌号为 Q355 时，取 1.35；当母材牌号为 Q355GJ 或采用屈服强度高于 Q355GJ 的 GJ 钢材时，取 1.30。

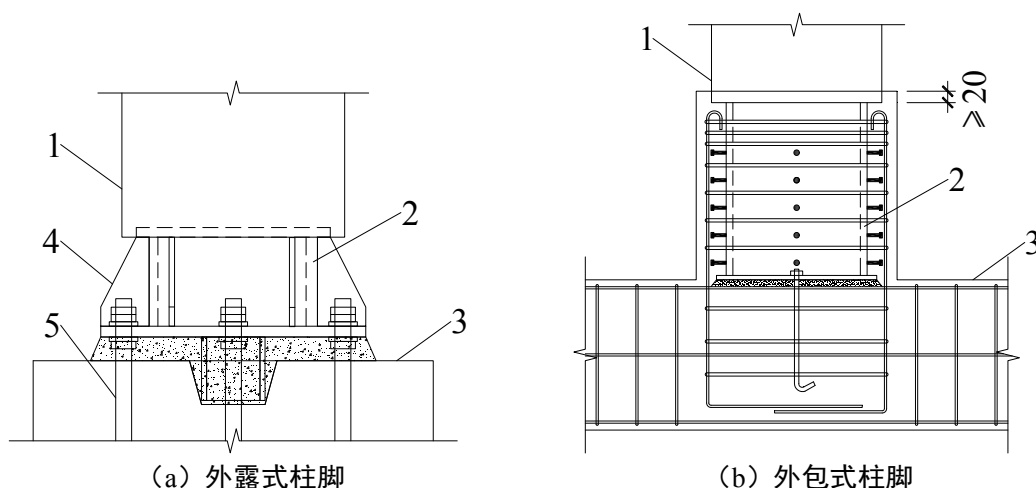
【条文说明】本条参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

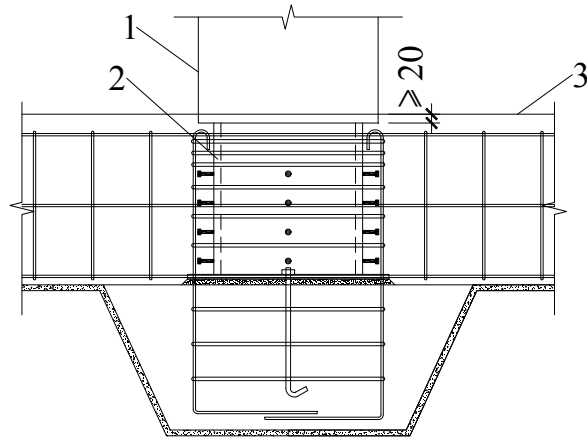
## 6.4 柱脚节点

6.4.1 当柱与基础通过柱底钢连接件连接时，可采用外露式柱脚、外包式柱脚或埋入式柱脚。柱底钢连接件与混凝土柱身的连接构造应符合本规程第 5.2.8 条的规定。各类柱脚的计算及构造要求除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 的有关规定外，尚应符合下列规定（图 6.4.1）：

1 当采用外包式柱脚（图 6.4.1b）或埋入式柱脚（图 6.4.1c）时，混凝土柱身埋入外包混凝土或基础的深度不应小于 20mm；

2 当采用埋入式柱脚时，矩形钢管内应浇筑混凝土。





(c) 埋入式柱脚

1—混凝土柱身；2—矩形钢管；3—基础顶面；4—加劲板；5—锚栓

图 6.4.1 柱脚构造

**【条文说明】**矩形钢管与混凝土柱身的连接可采用埋入式连接和端板式连接，其与混凝土柱身的连接构造与其它层相同。采用埋入式柱脚矩形钢管内需要浇筑混凝土，其构造可参考《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 埋入式柱脚的相关做法；埋入式柱脚和外包式柱脚的埋置深度不小于矩形钢管长边尺寸的 2.5 倍。

**6.4.2** 当柱底不设钢连接件时，可采用杯口式柱脚。预制柱与杯口基础的连接计算及构造要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

**6.4.3** 当无地下室时，对多层结构，可采用外露式柱脚、杯口式柱脚、外包式柱脚或埋入式柱脚；对高层结构，应优先采用埋入式柱脚。

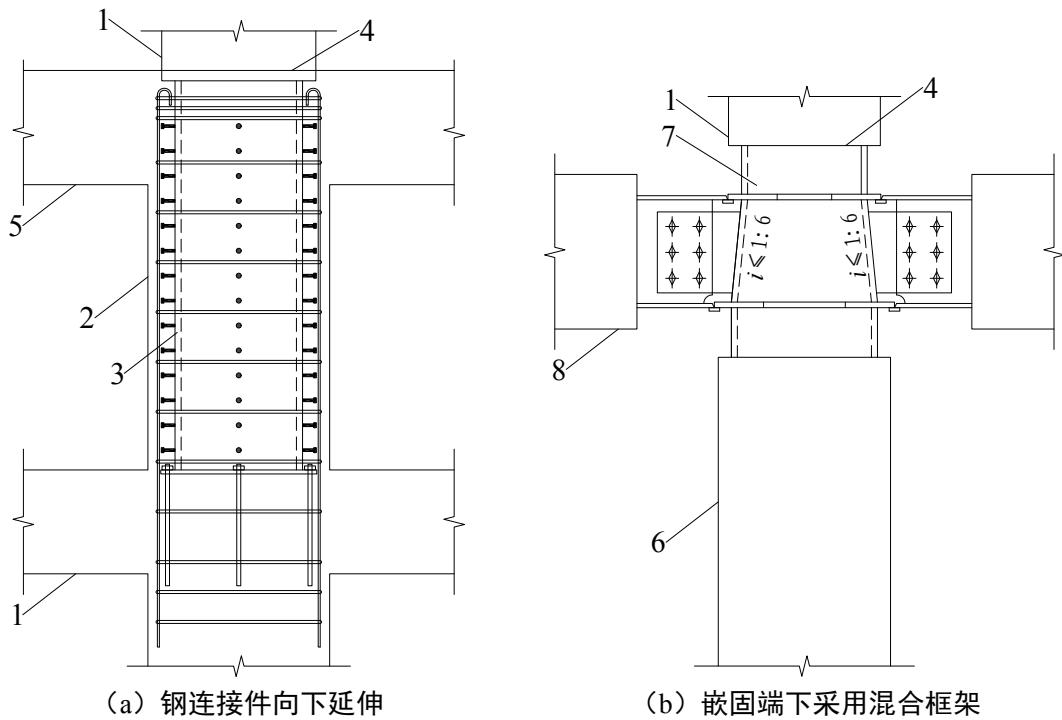
**6.4.4** 当仅有一层地下室且嵌固端位于基础顶部时，宜采用埋入式柱脚，也可采用外包式柱脚。

**6.4.5** 当嵌固端以下有一层或一层以上地下室时，可采用以下三种柱脚构造：

1 预制柱底可预埋矩形钢管，矩形钢管内应填充混凝土，且应自嵌固端至少向下延伸一层（图 6.4.5a）；

2 嵌固端以下采用预制柱时，嵌固端处的上、下层柱可整体预制，预制柱与基础的连接构造应符合本规程第 6.4.1 条的规定（图 6.4.5b）；

3 嵌固端以下采用现浇混凝土结构时，嵌固端处的上柱底部可不设置钢连接件，其与嵌固端处的下柱顶部可采用钢筋套筒灌浆连接等连接方式。



(a) 钢连接件向下延伸  
 (b) 嵌固端下采用混合框架  
 1—嵌固端以上混凝土柱身；2—外包钢筋混凝土；3—矩形钢管；4—嵌固端；  
 5—梁；6—嵌固端以下混凝土柱身；7—外包钢管混凝土；8—混合梁

图 6.4.5 嵌固端以下柱脚构造

6.4.6 采用柱下独立基础时，基础可采用预制形式，柱脚应优先采用外露式或杯口式。

## 6.5 楼盖节点

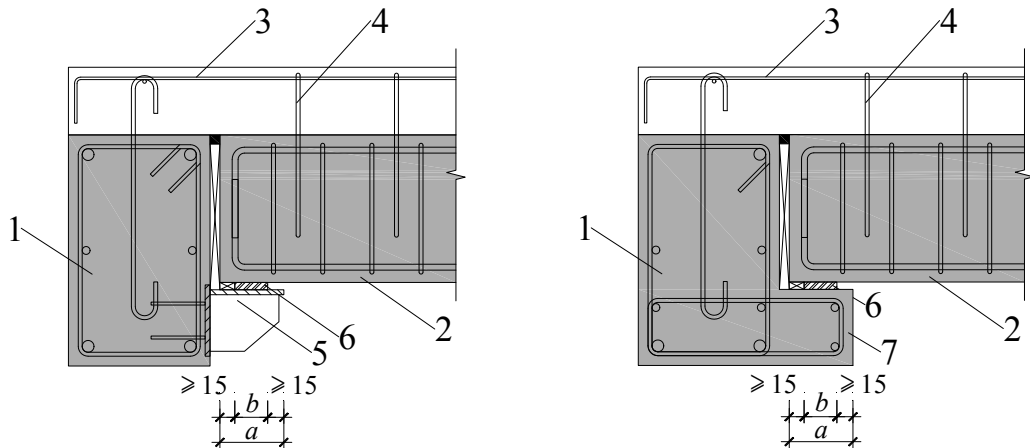
6.5.1 主次梁节点宜采用铰接连接，可采用钢牛腿式连接、混凝土挑耳式连接、牛担板式连接或钢连接件式连接等。当采用叠合混合梁时，主次梁铰接连接构造应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定；当采用全预制混合梁时，钢牛腿、混凝土挑耳、牛担板及钢连接件的承载力验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，其构造还应符合下列规定（图 6.5.1）：

1 当采用钢牛腿式连接或混凝土挑耳式连接时，支垫的宽度  $b$  应满足施工及使用阶段次梁搁置处局部受压承载力的要求，且不应小于 100mm；支垫至次梁、钢牛腿或挑耳边缘的距离均不应小于 15mm，次梁端部至主梁边缘的距离可取为 15mm。

2 当采用牛担板式连接时，应在主梁侧面设置支承牛担板的挑耳，次梁底宜

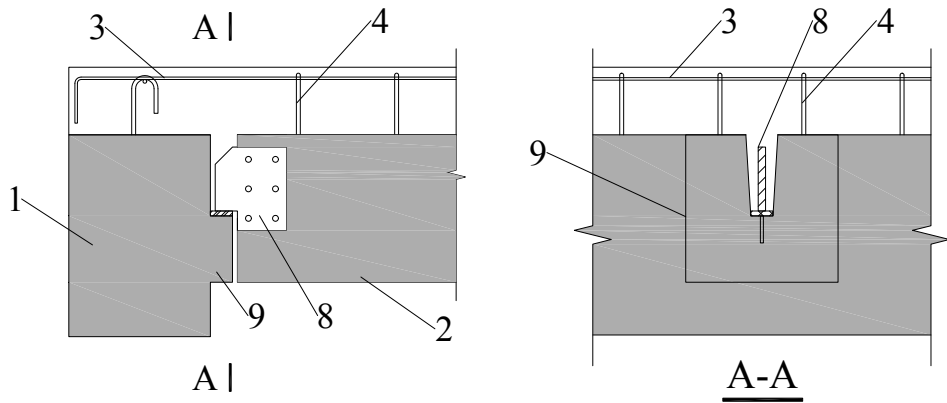
与挑耳底齐平；牛担板端部至主梁边缘的距离可取为 15mm；牛担板钢接头两侧应对称布置抗剪栓钉，钢接头板件厚度不应小于抗剪栓钉直径的 0.6 倍。

3 当采用钢连接件式连接时，主梁沿次梁轴线方向埋置的钢连接件伸出长度宜与次梁钢连接件的伸出长度相等，主梁与次梁连接处钢连接件翼缘间距不宜小于 10mm，且不宜大于 12mm；当主梁仅一侧与次梁连接时，钢连接件埋入主梁部分应伸过支座中心线，且其腹板上宜打孔穿加强筋，加强筋的长度不宜小于 1500mm。

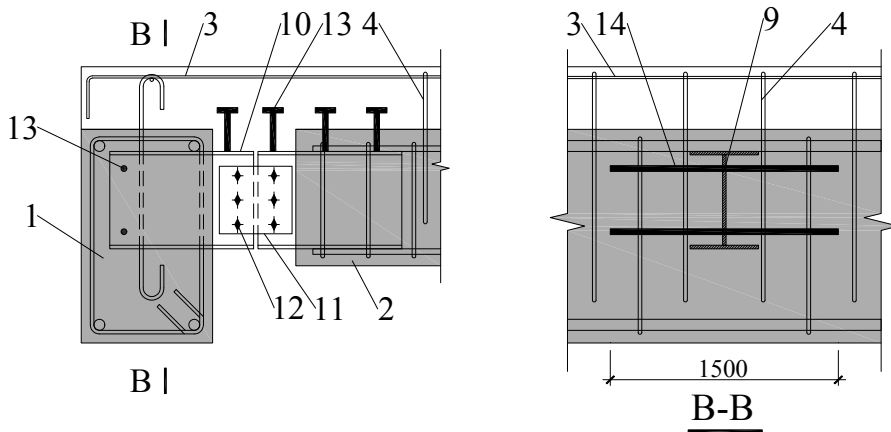


(a) 钢牛腿式连接

(b) 挑耳式连接



(c) 牛担板式连接



B-B

(d) 连接件式连接

- 1—全预制主梁；2—全预制次梁；3—构造纵筋；4—连接钢筋；5—钢牛腿；  
6—支垫；7—混凝土挑耳；8—牛担板；9—支承牛担板挑耳；10—钢连接件；  
11—连接板；12—螺栓；13—栓钉；14—加强筋

图 6.5.1 主次梁节点构造

【条文说明】主次梁铰接连接，需对支座或支承构件进行承载力验算，牛担板连接还需对牛担板钢接头各截面的承载力进行验算。

当采用钢牛腿式连接或混凝土挑耳式连接时，为保证梁端的充分变形，次梁端部与主梁边缘之间拼缝为空心拼缝，后浇混凝土时需将主次梁顶拼缝进行封堵，防止漏浆。支垫可采用橡胶垫片或水泥砂浆坐浆。

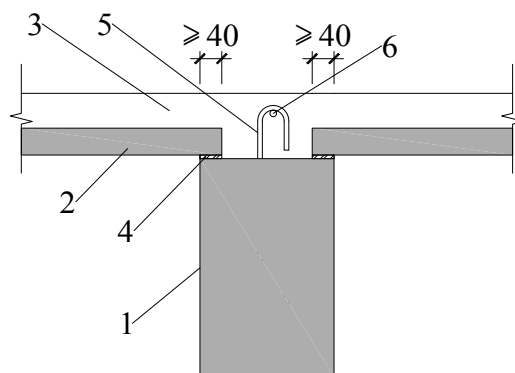
6.5.2 当采用全预制混合梁时，叠合板与混合梁支座的连接构造（图 6.5.2）应符合下列规定：

1 预制板搁置在梁上的长度不宜小于 40mm；

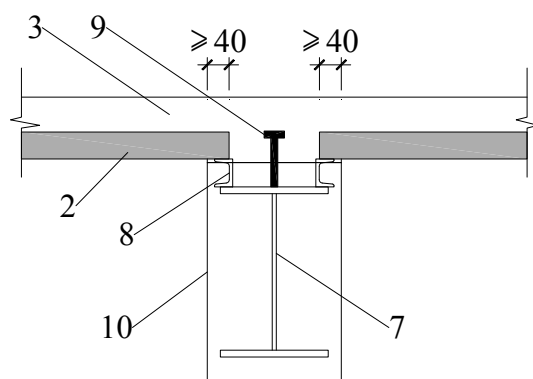
2 梁端钢连接件上翼缘处宜焊接槽钢，预制板可搁置于槽钢上，预制板搁置于混凝土梁身需在板底设置垫板；

3 板端连接构造除应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定外，还应在混合梁顶部设置连接钢筋，连接钢筋末端应做成 135° 或 180° 弯钩，钢筋直径不应小于 8mm，间距不应小于 300mm；钢连接件上翼缘应沿混合梁轴线方向设置栓钉，栓钉直径不应小于 16mm，间距不宜大于 200mm。

4 应在后浇区连接钢筋弯钩下方设置直径不小于 12mm 的构造纵筋。



(a) 预制板与混凝土梁身支座连接示意



(b) 预制板与梁端钢连接件支座连接示意

1—全预制混合梁；2—预制板；3—后浇部分；4—垫板；5—连接钢筋；6—构造钢筋；  
7—梁端钢连接件；8—槽钢；9—栓钉；10—混凝土梁身边线

图 6.5.2 预制板与全预制混合梁支座的连接构造示意

**【条文说明】**采用全预制混合梁主要是为了达到板端不设支撑，叠合板需要一定的支承长度。由于混凝土梁顶不平，为防止后浇混凝土时出现漏浆情况，需在板底设置垫板，槽钢顶面一般比较平整，可直接将预制板搁置于槽钢上。全预制混合梁顶连接钢筋和栓钉仅起连接作用，无需进行承载力验算，满足构造要求即可。当采用全预制混合梁时，由于梁上部纵筋在预制梁内，需在后浇区内设置纵向构造钢筋。

**6.5.3** 当采用叠合混合梁时，梁支座板端连接构造应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。



## 7 制作与施工

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 预制构件制作单位应具备保证质量要求的生产工艺设施，并应有完善的质量管理体系和必要的试验检测手段。

**7.1.2** 预制构件制作前，应编制生产方案，生产方案宜包括生产工艺、模具方案、生产计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

**7.1.3** 混合框架结构施工前应按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程第 5 章的有关规定进行施工阶段结构分析和验算。

**【条文说明】**施工验算是装配式结构设计的重要内容，验算的内容包括临时性结构、预制构件、预埋吊件、临时支撑等。对于混合框架结构，由于预制柱和混合梁均采用免支撑施工方式，因此需重点对施工安装状态下的预制柱和混合梁构件按短暂设计状况进行受力计算，以确保施工安全和使用要求。混合框架结构的具体施工验算内容和方法应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程第 5 章的有关规定。

**7.1.4** 混合框架结构施工前应编制专项施工方案，专项施工方案宜包括施工场地布置、预制构件运输与存放、安装与连接施工、绿色施工、安全管理、质量管理、应急预案等内容。

**7.1.5** 施工过程中应采取防止预制构件中钢连接件损伤或污染的保护措施。

**【条文说明】**钢连接件是混合框架结构中最关键的组成部分，施工过程中应采取有效措施对其进行保护，防止其发生变形或受污染。

**7.1.6** 施工过程中应采取安全措施，并应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33、《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 等的有关规定。高处作业人员应正确使用安全防护用品，宜采用工具式操作架进行安装作业。

### 7.2 制作与检验

**7.2.1** 预制构件的制作与检验，除应符合本规程外，尚应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

**【条文说明】**预制构件的制作与检验涉及的内容包括原材料及配件、模具、钢筋及预埋件、成型及脱模、预制构件检验、堆放及运输等。本节主要规定了预制构件制作与检验的关键内容和混合框架结构与传统装配式结构有所区别的内容，对于没有规定的内容，应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

**7.2.2** 预制构件用混凝土原材料和钢筋应符合下列规定：

1 进厂检验应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定；

2 混凝土原材料及配合比设计应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定；

3 钢筋的加工、连接与安装应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

**7.2.3** 预制构件中钢连接件的制作及质量检验应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定，并应符合下列规定：

1 制作采用的钢材、连接材料等应符合设计要求及本规程第 3 章的有关规定，且应按国家现行有关标准的规定进行进厂质量验收；

2 需进行边缘加工的零件，宜采用精密切割；焊接坡口宜采用自动切割、半自动切割、坡口机、刨边机等加工，并应采用样板控制坡口角度和尺寸；

3 组装前应检查零件的材质、规格、外观、尺寸偏差、数量等，检验合格后方可进行组装；

4 焊接应严格按照工艺文件规定的焊接方法、工艺参数、施焊顺序进行，焊缝质量等级应符合设计要求及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定，且熔透焊缝的质量等级不应低于二级，角焊缝外观质量等级不应低于三级；

5 除锈和涂装应在制作质量检验合格后进行；应根据设计文件要求选择除锈、防腐涂装工艺，且应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面

的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的有关规定。

【条文说明】本条参考现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205，对混合框架结构中钢连接件的制作及质量检验要求进行了规定，包括原材料、零件加工要求、组装要求、防锈和涂装要求等。

7.2.4 对于预制柱、混合梁的模具，应采取措施保证钢连接件与模具的相对位置准确、固定方式可靠。

【条文说明】为保证预制柱、混合梁的制作精度满足现场安装要求，需采取有效措施保证钢连接件与模具可靠固定。

7.2.5 预制柱、混合梁的模具尺寸允许偏差及检验方法应符合表 7.2.5 的规定。

表 7.2.5 预制柱、混合梁的模具尺寸允许偏差及检验方法

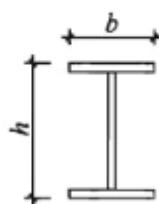


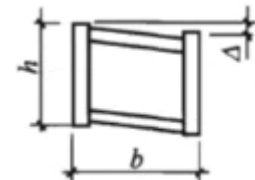
项次	检验项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	长度	<12m	1, -2	丈量平行构件高度方向，取其中偏差绝对值较大处
		≥12m	2, -4	
2	截面宽度、高度		2, -4	丈量两端或中部，取其中偏差绝对值较大值
3	底模表面平整度		2	2m 靠尺和塞尺量
4	对角线差		3	丈量
5	侧向弯曲		$L/1500$ 且 $\leq 5$	拉线，丈量侧向弯曲最大处
6	翘曲		$L/1500$	对角拉线，丈量交点间距离值的 2 倍
7	组装缝隙		1	塞片或塞尺量，取最大处
8	端模与侧模高低差		1	丈量

注：L 为模具与混凝土接触面中最长边的尺寸。

【条文说明】预制柱、混合梁的模具尺寸偏差参考了现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 对预制构件模具的有关规定，但考虑钢连接件的定位精度，对模具长度的允许偏差适当提高要求。

7.2.6 钢连接件加工的尺寸允许偏差除应符合国家现行有关标准的规定外，尚应符合表 7.2.6 的规定，检验方法为用钢尺、角尺、塞尺等量测。

表 7.2.6 钢连接件的尺寸允许偏差 (mm)

项次	检验项目		允许偏差	图例
1	高度 $h$	$h < 500$	$\pm 2$	
		$500 \leq h \leq 1000$	$\pm 3$	
		$h > 1000$	$\pm 4$	
2	宽度 $b$		$\pm 3$	
3	焊接工 字形截 面	腹板中心偏移 $e$	2	
4		翼缘板垂直度 $\Delta$	$b/100$ 且 $\leq 3$	
5	焊接箱 形截面	高度 $h$	$\pm 2$	
6		宽度 $b$	$\pm 2$	
7		垂直度 $\Delta$	$b/200$ 且 $\leq 3$	

7.2.7 高强螺栓连接、高强螺栓法兰连接用螺栓孔的孔径及位置尺寸允许偏差应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定；法兰灌浆连接用螺栓孔的孔径及位置尺寸允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

【条文说明】梁柱节点处腹板高强螺栓连接和上、下节柱高强螺栓法兰连接均采用高强度螺栓，其螺栓孔的孔径及位置偏差要求较严格，应符合现行标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。对于法兰灌浆连接，可采用普通螺栓，螺栓孔的孔径及位置尺寸偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

7.2.8 固定在模具上的钢连接件的安装尺寸允许偏差及检验方法应符合表 7.2.8 的规定。

表 7.2.8 模具上钢连接件安装尺寸允许偏差及检验方法

项次	检验项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	边距		±0.5	尺量最大处
2	轴线倾斜		0.5	尺量外露端部
3	含钢连接件 构件总长度	高强螺栓连接、高 强螺栓法兰连接	±1.0	尺量
4		法兰灌浆连接	±2.0	

【条文说明】钢连接件的安装尺寸偏差必须满足现场安装的精度要求，本条根据构件制作经验，并参考钢结构的制作和安装经验，规定了模具上钢连接件的安装尺寸允许偏差及检验方法。

**7.2.9** 预制柱、混合梁在混凝土浇筑前，应进行隐蔽工程检查，检查项目应包括下列内容：

- 1 钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距、弯折角度及平直段长度等；
- 2 钢连接件的规格、数量、位置等；
- 3 钢筋的连接方式、接头位置、接头质量、接头面积百分率、搭接长度等；
- 4 钢筋与钢连接件的连接方式、连接质量等；
- 5 钢筋的混凝土保护层厚度；
- 6 预埋件、吊环、插筋的规格、数量、位置等。

【条文说明】预制柱、混合梁与传统预制混凝土构件的差别主要在于设置了钢连接件，因此隐蔽工程检查中需重点检查钢连接件相关的内容。

**7.2.10** 预制柱、混合梁的质量检验应包括模具、钢筋、钢连接件、混凝土、预制构件成品等检验项目，预制构件经检验合格后，应设置表面标识。

【条文说明】预制柱、混合梁的质量检验内容在传统预制混凝土构件的基础上，增加了钢连接件专项。

**7.2.11** 预制构件的外观质量不应有严重缺陷，且不宜有一般缺陷。对已出现的一般缺陷，应按技术方案进行处理，并应重新检验。

【条文说明】混合框架结构预制构件的外观质量缺陷分类与传统预制混凝土构件相同，可参考现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

**7.2.12** 预制柱、混合梁的尺寸允许偏差及检验方法应符合表 7.2.12 的规定。

表 7.2.12 预制柱、混合梁的尺寸允许偏差及检验方法

项次	项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	不含钢连接件的长度	<12m	±3	丈量
		≥12m	±5	
2	含钢连接件长度	高强度螺栓连接 法兰连接	±2	丈量
3		法兰灌浆连接	±4	
4	钢连接件	轴线倾斜	1	丈量外露端部
5		边距	±1	丈量钢连接件边缘至混凝土边缘的距离
6	混凝土部分截面宽度、高度		±5	丈量
7	混凝土部分表面平整度		4	靠尺、塞尺量测
8	混凝土部分侧向弯曲		长度的 1/750 且≤20	拉线，丈量最大弯曲处

【条文说明】预制柱、混合梁的构件尺寸允许偏差参考了现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 对梁柱类预制构件的规定，并在此基础上增加了对钢连接件相关尺寸的规定。

**7.2.13** 当有条件时，预制柱可采用上、下节柱同时制作的工艺，以有效保证二者的尺寸偏差满足安装和连接施工要求。

【条文说明】当工厂模具等制作条件具备时，可优先采用上、下节柱同时制作的工艺，以便于更好地保证预制柱的尺寸偏差满足安装和连接施工要求。

### 7.3 安装与连接

**7.3.1** 预制构件的安装与连接，除应符合本规程外，尚应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《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 的有关规定。

【条文说明】混合框架结构的预制柱、混合梁的安装与连接既要满足装配式混凝土结构施工的相关要求，也要满足钢结构施工的相关要求。预制构件安装与连接相关的标准主要包括现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《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。

**7.3.2** 预制构件、预制构件安装与连接用材料及配件等应按本规程第 8 章和国家现行有关标准的规定进行进场验收。

**7.3.3** 对于高强螺栓连接和高强螺栓法兰连接，应进行摩擦面抗滑移系数试验，其结果应符合设计要求。

**7.3.4** 预制构件在全面吊装前宜先进行试吊；应按现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定，检查复核吊装设备及吊具处于安全操作状态，并核实现场环境、天气、道路状态等满足吊装施工要求。

**7.3.5** 预制柱的安装与连接应符合下列规定：

1 首节柱安装后应及时进行垂直度、标高和轴线位置校正；校正合格后应可靠固定；

2 首节以上的柱定位轴线应从地面控制线直接引上，不得从下层柱的轴线引上；校正柱垂直度时，应确定柱与梁端钢连接件的焊接收缩量，并应预留焊缝收缩变形值；

3 上、下节柱采用高强螺栓法兰连接时，应采取措施保证上、下法兰板的间隙小于 1mm，应以对称施拧的方式对连接螺栓进行紧固；

4 上、下节柱采用法兰灌浆连接时，应在上、下法兰板之间设置调平螺栓，以控制柱安装标高，调整柱垂直度；

5 应采取措施保证灌浆密实。

【条文说明】混合框架结构预制柱的安装要求参考了钢结构钢柱的做法，连接施工要求是根据上、下节柱的连接方式，结合工程经验确定的。

**7.3.6** 混合梁的安装与连接应符合下列规定：

1 宜采用两点起吊；当单根梁较长且采用两点起吊不能满足构件强度和变形要求时，宜设置 3~4 个吊点或采用平衡梁吊装，吊点位置应通过计算确定；

2 就位后应立即进行临时固定；应对梁顶标高、安装位置、两端高差等进行测量检查，校正完成后应进行永久性连接；

3 混合梁与预制柱采用的焊接和螺栓连接工艺应符合国家现行标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

【条文说明】混合梁的吊装要求与传统预制混凝土构件相同，连接施工要求则应符合国家现行有关标准对钢结构的相关规定。

**7.3.7** 钢筋工程及混凝土的输送、浇筑、养护应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

## 8 质量验收

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 混合框架结构工程应在施工单位自行检验评定合格的基础上，按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定进行子分部工程验收。

**【条文说明】**混合框架结构可作为一个子分部工程进行验收。

**8.1.2** 混合框架结构子分部工程可划分为预制构件进场、预制柱柱脚、预制构件安装与连接、楼板等 4 个分项工程。

**8.1.3** 预制柱柱脚分项工程应按现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定进行施工质量验收；楼板分项工程应按现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定进行施工质量验收；其余分项工程应按本规程和现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定进行施工质量验收。

**8.1.4** 混合框架结构子分部工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 各分项工程施工质量验收合格；
- 2 质量控制资料应完整；
- 3 有关安全及功能的结构检验和抽样检测结果应符合本规程及国家现行有关标准的规定；
- 4 观感质量验收合格。

**【条文说明】**本条根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定，给出了混合框架结构子分部工程质量合格标准。

**8.1.5** 混合框架结构子部分工程质量验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 工程设计文件、深化设计文件；
- 2 预制构件的质量证明文件、结构性能检验报告及进场验收记录；
- 3 主要材料的质量证明文件和抽样检验报告；
- 4 预制构件安装验收记录；
- 5 隐蔽工程验收记录；
- 6 混凝土、灌浆料试件的性能检测报告；



- 7 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；
- 8 所含各分项工程质量验收记录；
- 9 有关观感质量检验项目检查记录；
- 10 重大质量问题的处理方案和验收记录；
- 11 其他必要的文件和记录。

【条文说明】本条对混合框架结构施工质量验收时应提供的文件和记录进行了规定。

8.1.6 混合框架结构子分部工程施工质量验收合格后，应将所有验收文件存档备案。

## 8.2 构件进场质量验收

### I 主控项目

8.2.1 混合框架结构的预制构件进场时，应检查质量证明文件。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明文件。

【条文说明】本条对混合框架结构预制构件的进场验收提出了基本要求，预制构件进场时应检查质量证明文件。

8.2.2 钢连接件的焊缝质量应符合设计要求和现行国家《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及焊缝检测报告。

8.2.3 混合梁和预制柱纵向受力钢筋与钢连接件的焊接应进行焊接工艺评定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及焊接工艺评定报告。

【条文说明】8.2.2~8.2.3 梁、柱钢连接件以及梁、柱纵向受力钢筋与钢连接件的焊接质量对构件的受力性能及节点连接性能有直接影响，因此需对焊缝进行检测以及对实际采用的钢筋和钢材匹配进行焊接工艺评定试验，以保证焊接质量。

8.2.4 当柱钢连接件的矩形钢管内需浇筑混凝土时，钢管内混凝土应浇筑密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查钢管内混凝土浇筑工艺试验报告和混凝土浇筑施工记录。

**8.2.5** 预制构件的混凝土外观质量不应有严重缺陷，且不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、尺量；检查处理记录。

## II 一般项目

**8.2.6** 预制构件应在表面设置标识，标识应包括项目名称、编号、生产日期、生产厂商、出厂检验等基本信息。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**【条文说明】**预制构件进场时进行标识验收已经成为工程普遍做法，通过其标识可准确了解预制构件的基本情况，有利于指导施工。

**8.2.7** 预制构件的混凝土外观质量不应有一般缺陷，对出现的一般缺陷应要求构件制作单位按技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术处理方案和处理记录。

**8.2.8** 预制柱、混合梁的尺寸偏差及检验方法应符合表 7.2.12 的规定。

检查数量：同一类型的构件，不超过 100 个为一批，每批应抽查构件数量的 5%，且不应少于 3 个。

## 8.3 安装与连接质量验收

### I 主控项目

**8.3.1** 预制构件临时固定措施应符合施工方案的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**【条文说明】**虽然混合框架结构大量减少了施工现场的临时支撑，但必要的固定措施依然是混合框架结构安装过程中承受施工荷载、保证构件定位、确保施工安全的有效保障，因此应严格按施工方案的要求进行设置和安装。

**8.3.2** 混合梁与预制柱连接节点、主次梁连接节点处，连接方式应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工记录和隐蔽工程验收记录。

**8.3.3** 混合梁与预制柱连接节点处，一、二级焊缝质量应符合设计要求和现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及焊缝检测报告。

**【条文说明】**梁柱连接节点的焊接质量，对框架结构的受力性能有直接影响，应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定并按《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203的要求进行无损检测。

**8.3.4** 对于高强螺栓连接和高强螺栓法兰连接，螺栓的材质、规格、拧紧力矩，摩擦面抗滑移系数试验、复验和终拧质量等应符合设计要求及现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

检查数量和方法：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的要求进行。

**【条文说明】**高强螺栓连接和高强螺栓法兰连接均属于钢结构连接方式，质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

**8.3.5** 法兰灌浆连接用灌浆料的强度应符合设计要求。

检查数量：按批检验，以每层为一检验批；每工作班应制作1组且每层不应少于3组40mm×40mm×160mm的长方体试件，标准养护28d后进行抗压强度试验。

检验方法：检查灌浆料强度试验报告及评定记录。

**【条文说明】**法兰灌浆连接用灌浆料的抗压强度应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671的有关规定进行检验，本条对其检查数量进行了规定。

**8.3.6** 法兰灌浆连接应保证灌浆部位灌注密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查灌浆工艺试验报告和灌浆施工记录。

## II 一般项目

**8.3.7** 预制柱安装的尺寸允许偏差及检验方法应符合表 8.3.7 的规定。

检查数量：按楼层或施工段划分检验批。同一检验批内，应抽查构件数量的 10%，且不少于 3 件。

表 8.3.7 预制柱安装的尺寸允许偏差及检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
柱脚底座中心线偏移		5	吊线和钢尺量测
基准点标高		±5	水准仪
垂直度	单节柱	高度的 1/1000, 且不大于 10	经纬仪或全站仪量测
	柱全高	35	
同层柱顶标高差		5	

【条文说明】预制柱安装的尺寸允许偏差参考了现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对钢柱的有关规定。

**8.3.8** 混合梁安装的尺寸允许偏差及检验方法应符合表 8.3.8 的规定。

检查数量：按楼层或施工段划分检验批。同一检验批内，应抽查构件数量的 10%，且不少于 3 件。

表 8.3.8 混合梁安装的尺寸允许偏差及检验方法

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
顶面标高	±5	水准仪
两端顶面高差	长度的 1/1000, 且不大于 10	水准仪
主次梁顶面高差	2	尺量
倾斜度	5	经纬仪或吊线、尺量

【条文说明】混合梁安装的尺寸允许偏差综合参考了现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对钢梁的有关规定和《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 对预制混凝土梁的有关规定。

## 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,在条件允许时首先这样做的:

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 《工程结构通用规范》 GB 55001
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 3 《钢结构通用规范》 GB 55006
- 4 《建筑地基基础设计规范》 GB50007
- 5 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
- 6 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 7 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 8 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 9 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 10 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 12 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 13 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 14 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
- 15 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》 GB 50628
- 16 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 17 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 18 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 19 《钢管混凝土结构技术规范》 GB 50936
- 20 《钢结构防火涂料》 GB 14907
- 21 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 22 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 23 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》 GB/T 8923.1
- 24 《建筑结构用钢板》 GB/T 19879
- 25 《装配式混凝土建筑技术标准》 GB/T 51231

- 26 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1
- 27 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 28 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33
- 29 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46
- 30 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 31 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80
- 32 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
- 33 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》 JGJ 276
- 34 《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》 JGJ/T 441
- 35 《建筑用钢结构防腐涂料》 JG/T 24