



T/CECS XXX-XXXX

---

中国工程建设协会标准

**后张局部有粘结预应力装配混凝土框架  
结构技术规程**

(编制组讨论将名称改为“后张预应力压接装  
配式混凝土框架技术规程”)

**Technical specification for post-tensioned prestressed precast concrete  
frame**

(征求意见稿)

# 中国工程建设标准化协会公告

第 号

关于发布《后张预应力压接装配式混凝土框架结构技术规程》  
的公告

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 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[2019]22 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 章和 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、结构设计基本规定、结构计算分析、构件设计、连接节点设计、构件制作、存放与运输、施工与验收等。

本规程某些内容涉及 XXX ZL、ZL、 ZL、ZL 和 XXXX ZL 等相关专利及核心技术。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，由中建科技集团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：北京市丰台区航丰路 13 号崇新大厦 A 座，邮编：100070）。

主编单位： 中建科技集团有限公司  
中国建筑科学研究院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

# 目 次

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 1 总 则.....                   | 5   |
| 2 术语和符号.....                 | 8   |
| 2.1 术 语.....                 | 8   |
| 2.2 符 号.....                 | 9   |
| 3 材 料.....                   | 10  |
| 4 设计基本规定.....                | 13  |
| 4.1 一般规定.....                | 13  |
| 4.2 结构布置.....                | 18  |
| 4.3 地震作用及结构抗震验算.....         | 21  |
| 5 结构计算分析.....                | 23  |
| 5.1 一般规定.....                | 23  |
| 5.2 结构弹性分析.....              | 23  |
| 5.3 结构弹塑性分析.....             | 24  |
| 6 构件设计.....                  | 26  |
| 6.1 一般规定.....                | 26  |
| 6.2 梁设计.....                 | 26  |
| 6.3 柱设计.....                 | 39  |
| 6.4 楼板设计.....                | 47  |
| 7 连接节点设计.....                | 49  |
| 7.1 一般规定.....                | 49  |
| 7.2 梁柱节点.....                | 49  |
| 7.3 其他节点.....                | 55  |
| 8 构件制作、存放与运输.....            | 58  |
| 8.1 一般规定.....                | 58  |
| 8.2 深化设计.....                | 59  |
| 8.3 构件制作.....                | 64  |
| 8.4 构件存放与运输.....             | 77  |
| 9 施工与验收.....                 | 79  |
| 9.1 一般规定.....                | 79  |
| 9.2 施工准备.....                | 81  |
| 9.3 构件安装.....                | 85  |
| 9.4 施工质量验收.....              | 89  |
| 附录 A 压接装配框架节点弹塑性分析模型.....    | 97  |
| 附录 B 压接装配梁柱节点极限位移状态计算方法..... | 100 |
| 附录 C 压接装配框架结构抗震性能化设计.....    | 104 |
| 附录 D 压接装配框架施工流程.....         | 106 |
| 附录 E 预制构件出厂检查表.....          | 108 |
| 本规程用词说明.....                 | 110 |
| 引用标准名录.....                  | 111 |

# 1 总 则

1.1.1 为在后张预应力压接装配式混凝土框架的设计、生产、储运、施工安装及质量验收中，贯彻执行国家法规和标准，做到安全、适用、经济、绿色、确保质量，制定本规程。

【条文说明】：利用后张预应力压接实现框架梁柱节点“干式装配”的“非等同现浇”装配式框架体系在地震作用下具有良好的自复位和低损伤的特性，是具有良好的发展潜力的结构体系。自上世纪七、八十年代开始，国内外众多学者和工程技术人员历经了三、四十年的研究与实践，相关规程规范已经完善，工程也有一些应用，但并未呈现逐步增加的趋势，国内也未见应用。之前已有的体系在结构双向抗侧体系布置、施工安装便利性和工程造价等方面均存在某些不足，并未完全被业主和工程界接受，制约了其应用。

针对原有后张预应力压接装配式体系的不足，郭海山博士创造性地提出了新型预应力高效装配框架体系（Precast Prestressed Efficiently Fabricated Frame，简称 PPEFF 体系），简化了节点连接，提高了建造效率。在国家十三五重点研发项目“装配式混凝土工业化建筑高效施工关键技术与示范”（项目编号 2016YFC0701700）的支持下，研究团队对 PPEFF 体系的抗震性能、抗连续倒塌性能进行了系统理论研究和充分试验验证，相继完成了全国最大的装配式框架结构抗震试验和世界最大的抗连续倒塌试验，提出了 PPEFF 体系仿真分析方法和符合我国现行规范的实用设计方法，建立了 PPEFF 体系的高效制作和高效安装工艺。在此研究基础上，先后在湖北、江苏、浙江、贵州、广东等地建成了多项工程，实现了两天半一层的建造速度，取得了施工现场用工量和非实体材料消耗大幅减少，钢材消耗和整体建造成本进一步降低、结构抗震性能和抗连续倒塌性能进一步提升的良好效果，获得了国内外同行的广泛关注和认可。相关研究和应用可参阅中国建筑工业出版社出版的《新型预应力装配式框架体系（PPEFF 体系）-理论试验研究、建造指南与工程案例》。

本规程以 PPEFF 体系的研究和应用为基础制定，对压接装配框架结构的设计、生产运输、施工安装及质量验收全过程进行规定，以贯彻执行国家有关国家法规和标准，做到安全、经济、绿色、确保质量。承载机理相似的其他装配式结构体系可参考本规程。

**1.1.2** 本规程适用于抗震设防烈度为 6 度至 8 度地区后张预应力压接装配式混凝土框架的设计、生产、储运、施工安装及质量验收。

**【条文说明】**：郭海山等进行的 PPEFF 体系研究表明后张预应力压接装配式混凝土框架梁柱节点，柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点经试验验证具有比现浇节点更好的抗震性能和低损伤特点，其抗震性能也略优于在美国和新西兰高烈度区应用的 Hybrid 体系。Hybrid 体系在美国和新西兰作为抗震性能好的体系优先在高地震烈度区（相当于我国的 9 度区）使用，并经过实际地震考验。已建成的美国旧金山市的 39 层 Paramount Building 是在高烈度地震区（Zone4 地震设防峰值加速度为 400gal,与中国 9 度设防烈度相当）采用 Hybrid 装配框架抗震墙体系的最高预制结构，建筑外周边采用了 Hybrid 框架，中部为现浇混凝土核心筒，未采用其他耗能减震措施。

**1.1.3** 采用后张预应力压接装配式混凝土框架的建筑，在建造全过程应加强建筑、结构、设备和装修等各专业之间的统筹与配合，并应协调好建设、设计、制作和施工各方之间的工作责任与流程。

**1.1.4** 后张预应力压接装配式混凝土框架的设计、生产、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。

**【条文说明】**：后张预应力压接装配混凝土结构的设计、制作、安装与验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合《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、《组合结构通用规范》GB 55004、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1、《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369、《预

应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ /T 140 和《高层建筑混凝土结构技术规程》  
JGJ 3 等国家或行业现行标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 后张预应力压接装配式混凝土梁柱节点 post-tensioned prestressed precast concrete beam-column connection

由预制混凝土叠合梁和预制混凝土柱或钢管混凝土柱通过后张无粘结预应力钢绞线、梁叠合层内的耗能钢筋及后浇混凝土叠合层连接在一起的具有较强抗弯能力、耗能能力和自复位能力的装配式梁柱刚接节点。简称“压接装配梁柱节点”。

【条文说明】：郭海山等进行的压接装配梁柱节点试验研究表明，由于预应力的作用，其节点抗弯刚度在弹性阶段比现浇梁柱更高，符合刚接节点假定。

#### 2.1.2 后张预应力压接装配式混凝土框架 post-tensioned prestressed precast concrete frame

框架结构的梁柱节点全部或主要由后张预应力压接装配式混凝土梁柱节点组成，并在相邻节点间预应力梁跨中部设置部分有粘结段，形成兼具竖向承载能力、抗侧能力和抗连续倒塌能力的装配式混凝土框架。简称“压接装配框架”。

#### 2.1.3 后张预应力压接装配式结构 post-tensioned prestressed prefabricated structure

后张预应力压接装配式混凝土框架与其他类型框架、剪力墙、核心筒及抗侧支撑体系组成的兼具竖向承载能力、抗侧能力和抗连续倒塌能力的装配式结构。简称“压接装配结构”。

#### 2.1.4 梁端耗能钢筋 energy-dissipating reinforcement in beam

两端分别锚固于预制柱与叠合梁端叠合层上部，穿过预制柱与叠合梁接缝，主要用于承担梁端负弯矩和剪力的柱与梁连接钢筋。

#### 2.1.5 柱端耗能钢筋 energy-dissipating reinforcement in column

两端分别锚固于预制柱与基础内，穿过预制柱与基础连接接缝的，具有一定长度无粘结削弱段，主要用于承担柱端弯矩和剪力的柱与基础纵向连接钢筋。

### 2.1.6 附加抗剪钢筋 additional shear reinforcement

两端分别锚固于预制柱与叠合梁端叠合层底部，穿过预制柱与叠合梁接缝，主要用于承担梁端剪力的柱与梁连接钢筋。

### 2.1.7 柱端钢筋耗能型节点 column base connection with energy-dissipating bar

通过在预制柱或基础内柱纵筋中设置局部削弱无粘接段，降低钢筋的应力集中，保护钢筋接头，提高柱脚延性，降低重大灾害作用下的损伤程度的预制柱端连接节点。

### 2.1.8 柱端外包钢板低损伤节点 column base low-damage connection encased by steel plates

柱端部设置一定高度外包钢板，内部纵筋中设置局部削弱无粘接段，用于加强对混凝土约束，降低钢筋的应力集中，保护钢筋接头，提高柱端连接节点延性，降低重大灾害作用下的损伤程度的预制柱端连接节点。

## 2.2 符 号

（本节内容待全文定稿后统一补充）

### 2.2.1 材料性能

### 2.2.2 作用、作用效应及承载力

### 2.2.3 几何参数

### 2.2.4 计算系数及其他

## 3 材 料

**3.1.1** 压接装配框架的预制混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。预制柱宜采用 C50 及以上混凝土，预制梁宜采用 C40 混凝土。预制梁和板上的后浇叠合层宜与预制梁（板）混凝土标号一致。

【条文说明】：预制叠合梁和预制叠合板后浇层混凝土强度等级可低于预制梁 1-2 等级。在进行梁板正常使用状态和承载力极限状态下设计计算应考虑不同混凝土强度等级的影响。

**3.1.2** 压接装配框架的非预应力钢筋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，并应符合下列要求：

1 梁端耗能钢筋、柱端耗能钢筋和附加抗剪钢筋，宜采用 HRB400、HRB500 钢筋。

2 抗震等级为一、二、三级的压接装配框架，梁端耗能钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；钢筋的屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.3；且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%。

3 预制柱的纵筋、预制梁内的主要受力钢筋宜采用 HRB400 或 HRB500 钢筋。

4 预制构件吊环应采用未经冷加工的 HPB300 钢筋或 Q235B 钢棒。

【条文说明】：压接装配梁柱节点的梁端耗能钢筋和附加抗剪钢筋宜选用 500MPa 级或以上的高强钢筋，以节约材料，提高经济性。

**3.1.3** 压接装配框架的预应力钢绞线宜选用强度级别为 1860 级，1×7（七股），公称直径为 12.7mm、15.2mm 或更大直径的低松弛预应力钢绞线，且应符合国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 或《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的有关规定。钢绞线弹性模量计算时可取为  $1.95 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

【条文说明】：压接装配框架采用柔性的预应力钢绞线便于施工穿线。

**3.1.4** 钢管混凝土柱用钢管宜采用 Q355、Q390、Q420 和 Q460 低合金高强度结构钢，质量等级不宜低于 B 级，且应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T1591 规定。当在高层建筑中采用钢板的厚度大于 30mm 时，宜符合现行国家标准《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。当采用其他牌号的钢材时，尚应符合国家现行标准的规定。

**3.1.5** 压接装配框架梁柱节点中梁柱接缝处的灌缝材料应采用添加镀铜钢纤维的无收缩水泥基灌浆材料。水泥基灌浆材料应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448 规定，其 1d 抗压强度不应小于 20MPa，28d 抗压强度不应小于 60MPa，且不小于所连接梁的混凝土强度。添加镀铜钢纤维后，灌浆料拌合物浆体截锥流动度初始值不宜小于 280mm，30 分钟后不宜小于 260mm。镀铜钢纤维在拌合物中的体积掺量不宜小于 0.5%，也不应大于 1.5%。

**【条文说明】：**以上要求根据相关研究结果确定，其要求略高于美国 hybrid system 规范要求。镀铜钢纤维防腐性好，除可以提高强度外，在罕遇地震作用下，梁柱接缝处反复开合情况下，可以防止局部压碎灌浆料的脱落。宜选用直径 0.2mm，长度 6-14mm 的镀铜钢纤维。镀铜钢纤维在拌合物中的体积掺量一般为 0.5%-1.5%。

**3.1.6** 预应力孔道注浆材料应符合《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448 的规定。

**3.1.7** 钢筋套筒灌浆连接用灌浆料应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 和《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 规定。

**3.1.8** 预应力混凝土用金属波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225 的规定。同一工程，金属波纹管规格不宜多于 4 种，且各规格最小内径差应大于 10mm，以避免错用。金属波纹管规格可按表 3.1.8 选用。

表 3.1.8 金属波纹圆管内径最小值 (单位:mm)

| 钢绞线规格<br>钢绞线<br>根数             | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14~<br>16 | 17~<br>18 | 19  |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|-----|
| $\Phi^s12.7$                   | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80  | 80  | 80  | 85  | 85  | 90  | 96        | 102       | 114 |
| $\Phi^s15.2$<br>或 $\Phi^s15.7$ | 55 | 65 | 70 | 70 | 80 | 90  | 90  | 90  | 96  | 108 | 108 | 108       | 114       | 126 |
| $\Phi^s17.8$                   | 65 | 70 | 80 | 85 | 90 | 102 | 108 | 108 | 114 | 120 | 120 | 126       | 126       | 132 |

- 注 1. 表中金属波纹管最小内径按带护套的无粘结钢绞线规格计算得出, 能够保证顺利穿筋。  
 2. 上述管内径与预应力束规格的对应关系可根据工程实际情况进行必要调整。  
 3. 表中未列出的预应力束规格与管内径对应关系可根据工程经验和市场供应条件确定。

**3.1.9** 金属波纹管接长时, 应采用与被连接管相同波形, 且尺寸大一个规格的连接管连接, 连接管的长度可取为圆管公称内径的 4 倍, 且不应小于 200mm, 并用密封胶带或热塑性塑料管封口。

**【条文说明】:** 金属波纹管连接管一般采用比被连接管之间大 5mm 的同波形连接管连接, 被连接管端部应切割平整, 避免阻碍预应力钢绞线施工穿筋。

**3.1.10** 预应力钢筋用锚具、夹具和连接器应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定。当钢绞线长度小于 13 米或张拉力小于  $50\%f_{pk}$  时, 锚具损失值占比较大, 应使用低回缩锚具。

**【条文说明】:** 钢绞线 13 米以下或张拉力小时, 预应力钢绞线总伸长值不大, 锚具预应力损失占比大, 因此应采用低回缩锚具。

## 4 设计基本规定

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 抗震等级为特一级与一级的压接装配框架框架应采用相同内力调整与抗震构造。除非本规程另有规定，各抗震等级压接装配框架框架内力调整与抗震构造应符合国家现行相关标准的要求。

**4.1.2** 抗震等级为一级和二级的压接装配框架梁柱节点转动变形能力应不小于 0.03rad；抗震等级为三级和四级的压接装配框架梁柱节点转动变形能力应不小于 0.025rad。

**【条文说明】**：节点转动变形能力评估模型取至所连接梁柱的反弯点部位，按《建筑抗震试验规程》JGJ/T101 中梁柱节点拟静力试验要求进行试验，加载至极限荷载后继续加载至试验曲线下降段至极限荷载的 85%时对应的节点转角确定，也可按附录 A 压接装配梁柱节点弹塑性分析模型对以上试验模型进行有限元仿真验证。

为体现压接装配框架梁柱节点良好的抗震性能，对其节点转动变形能力做出了量化规定。抗震等级为一级和二级框架其数值参考了《高性能建筑钢结构应用技术规程》（T/CECS 599-2019）中对高性能延性框架结构节点转动变形能力不应小于 0.03rad 的规定，使框架具有较大变形能力。PPEFF 体系节点试验表明后张预应力压接装配框架梁柱节点具有满足如上要求的良好抗震能力。美国混凝土协会 ACI 374.1-05 规定 hybrid system 梁柱节点拟静力实验下，其性能应满足在 0.035rad 位移角下，结构的承载力不低于峰值的 0.75 倍。考虑到我国规范以峰值的 0.85 倍作为极限位移，因此与美国标准相当。当压接装配框架梁柱节点与其他节点或转动能力较低的抗震墙结构共同工作时，应注意发挥压接装配框架梁柱节点良好的转动变形能力，提高结构整体抗灾性能。

**4.1.3** 抗震等级为一级和二级的压接装配梁柱节点在  $0.03\text{rad}$  的位移极限状态下，抗震等级为三级和四级的压接装配梁柱节点在  $0.025\text{rad}$  的位移极限状态下，梁端耗能钢筋的应变应小于  $0.065$ ，且预应力钢绞线应力应小于  $0.95f_{\text{ptk}}$ 。位移极限状态下，梁端耗能钢筋应变和预应力钢绞线的应力可按附录 B 计算，也可按附录 A 计算。

**【条文说明】**：本条对不同抗震等级的梁柱节点提出性能要求。工程设计时可在压接装配框架中选择关键节点，按附录 B 的公式计算，也可以采用附录 A 采用有限元方法进行拟静力加载分析，计算关键节点在位移极限状态下是否满足本条要求。当验算结果不满足本条要求时，应调整预应力钢绞线和耗能钢筋的无粘结段的长度重新复核。

**4.1.4** 压接装配框架及其构件采用抗震性能化设计方法时，应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求，性能化设计目标和计算方法可按本规范附录 C 规定采用。

**4.1.5** 抗震等级为一级的压接装配框架，宜配套采用本规程 6.3.13 条规定的柱端钢筋耗能型节点、柱端外包钢板低损伤节点或其他减隔震措施配，并按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定进行罕遇地震作用下的验算。

**4.1.6** 与压接装配框架节点连接的框架梁应采用后张局部有粘结预应力混凝土叠合梁，梁后浇叠合层混凝土厚度应不小于  $150\text{mm}$ 。压接装配框架的楼板宜采用带后浇叠合层的预制板，后浇混凝土叠合层厚度宜不小于  $50\text{mm}$ ，并应与预制板可靠连接。预制叠合梁与预制叠合板楼板应通过后浇叠合层及连接钢筋进行可靠连接。

**【条文说明】**：压接装配框架是统筹考虑结构整体性、安全性、建筑效率和成本的一体化装配式结构体系，其柱子可以采用现浇混凝土柱、预制混凝土柱或钢管混凝土柱；与压接装配框架节点连接的框架梁应采用叠合梁以方便顶部梁端耗能钢筋安装；叠合楼板具有提高结构整体性，提高楼板防水性能，防火和隔声性能，调整预制板之间施工误差和方便设备管线预埋等众多优点。如需要也可以采用钢筋桁架钢楼承板。宜少用次梁，减少连接节点和预制构件数量，提高安装

效率，因此规定楼板厚度不应小于 150mm。

**4.1.7** 压接装配框架可与现浇混凝土框架、装配整体式框架、装配式铰接框排架、抗震墙和钢混凝土组合结构等其他承重或抗侧力结构体系混合布置在同一结构中共同承载。当与其他结构体系共同承载时，除满足本规程要求外，尚应满足国家现行标准规定。

**【条文说明】**：压接装配框架可以和现浇混凝土结构、钢结构或组合结构混合使用，当地上部分带有裙房，建筑平面变化多，标准化构件少时，裙房及以下部分可根据需要采用现浇混凝土结构，裙房以上的标准楼层使用压接装配框架，以提高预制构件标准化程度（图 1）。

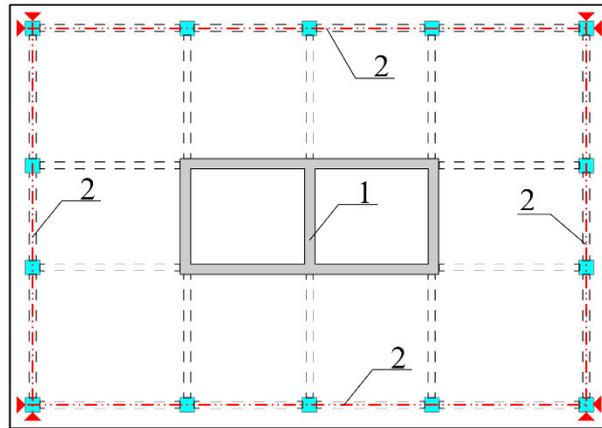
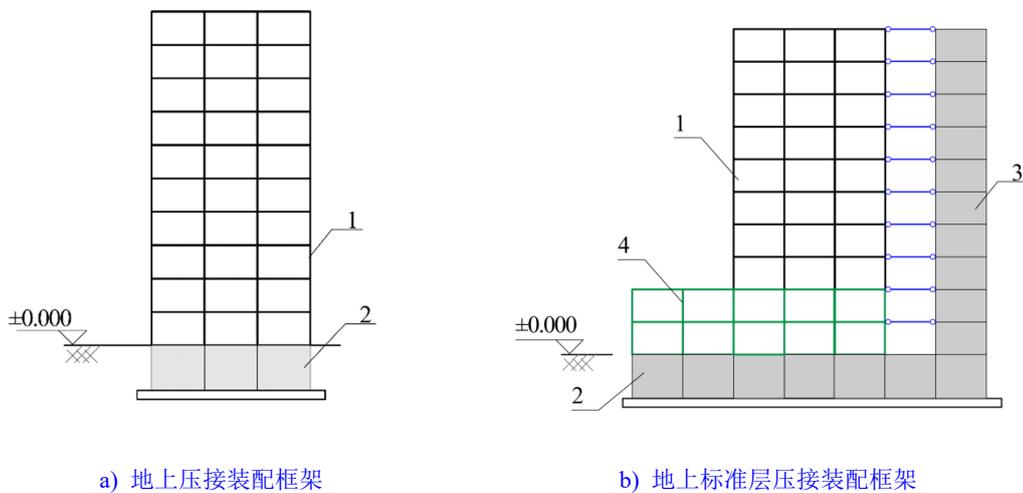


图 1-a 压接装配框架与现浇核心筒组合使用

1—现浇核心筒；2—压接装配框架



a) 地上压接装配框架

b) 地上标准层压接装配框架

图 1-b 竖向布置示意

1—压接装配框架（标准层）；2—现浇地下室；3—现浇抗震墙；4—现浇裙房

**4.1.8** 压接装配框架的最大适用高度不宜超过表 4.1.8 的规定，对于平面或竖向均不规则的高层建筑，其最大适用高度宜适当降低。

表 4.1.8 最大适用高度 (m)

| 结构类型          | 抗震设防烈度 |     |     |
|---------------|--------|-----|-----|
|               | 6 度    | 7 度 | 8 度 |
| 框架结构          | 60     | 50  | 40  |
| 框架-抗震墙结构      | 130    | 120 | 100 |
| 混凝土框架-核心筒结构   | 150    | 130 | 100 |
| 钢管混凝土框架-核心筒结构 | 220    | 190 | 170 |

**【条文说明】**：压接装配结构最大适用高度参照《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《组合结构设计规范》JGJ 138 确定。研究表明 PPEFF 体系的抗震性能略优于美国的 Hybrid 体系，Hybrid 体系已在美国和新西兰的高地震烈度区（相当于我国的 9 度区）使用，并经过实际地震考验。已建成的美国旧金山市（当地地震设防峰值加速度为 400gal，与中国 9 度设防烈度相当）的 39 层的 Paramount Building，在结构外周 7 层以上采用 Hybrid 装配抗震框架，结构中部电梯井筒采用现浇混凝土剪力墙体，未采用其他耗能减震措施。该楼高达 128m，曾是旧金山最高的建筑（2002~2008 年间）。考虑到我国规范对混凝土框架结构小震弹性刚度的限制，从经济角度考虑，没有进一步提高压接装配结构的适用高度，按附录 C 进行抗震性能化设计的压接装配结构最大适用高度可提高。

**4.1.9** 压接装配框架应根据设防类别、设防烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的内力调整和抗震构造要求。

1 丙类建筑的抗震等级应按表 4.1.9 确定。

2 甲、乙类建筑的抗震措施应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定。当房屋高度超过本规程表 4.1.9 相应规定的上限时，应采取更有效的抗震措施。

3 当房屋高度接近或等于表 4.1.9 的高度分界时，应结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定合适的抗震等级。

4 抗震墙、非预应力梁、支撑和仅承受重力荷载柱的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定执行。

表 4.1.9 丙类压接装配框架构件的抗震等级

| 结构类型          |               | 抗震设防烈度 |         |      |         |        |      |         |        |
|---------------|---------------|--------|---------|------|---------|--------|------|---------|--------|
|               |               | 6 度    |         | 7 度  |         |        | 8 度  |         |        |
| 框架结构          | 高度 (m)        | ≤24    | 25~60   | ≤24  | 25~50   |        | ≤24  | 25~40   |        |
|               | 框架            | 四      | 三       | 三    | 二       |        | 二    | 一       |        |
|               | 跨度不小于 18 米的框架 | 三      |         | 二    |         |        | 一    |         |        |
| 框架-抗震墙结构      | 高度 (m)        | ≤60    | 61~130  | ≤24  | 25~60   | 61~120 | ≤24  | 25~60   | 61~100 |
|               | 框架            | 四      | 三       | 四    | 三       | 二      | 三    | 二       | 一      |
|               | 抗震墙           | 三      |         | 三    | 二       |        | 二    | 一       |        |
| 钢管混凝土框架-核心筒结构 | 高度 (m)        | ≤150   | 151~220 | ≤130 | 131~190 |        | ≤100 | 101~170 |        |
|               | 框架            | 三      | 二       | 二    | 一       |        | 一    | 一       |        |
|               | 核心筒           | 二      | 二       | 二    | 一       |        | 一    | 特一      |        |
| 混凝土框架-核心筒结构   | 高度 (m)        | ≤150   |         | ≤130 |         |        | ≤100 |         |        |
|               | 框架            | 三      |         | 二    |         |        | 一    |         |        |
|               | 核心筒           | 二      |         | 二    |         |        | 一    |         |        |

注：大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架

**【条文说明】：**抗震等级按照现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。当与钢结构，组合结构，混合结构、耗能减震结构或隔震结构混合使用时，可参照相关标准调整结构抗震等级。

**4.1.10** 压接装配框架在风荷载或多遇地震标准值作用下，以弹性方法计算的楼层层间最大水平位移与层高的比值，以及罕遇地震作用下结构的薄弱层层间弹塑性位移，应符合国家现行标准规定。

**【条文说明】：**虽然压接装配框架较现浇框架具有更好的延性，但考虑到压接装配框架与现浇（或装配整体式）结构一起使用的情况，为便于实际运用，本规程与现浇结构的层间位移角限值一致，与钢结构，组合结构，混合结构、耗能减震结构或隔震结构混合使用时，应参照相关标准确定结构的层间位移角限值。

试验研究表明,压接装配框架结构具有比现浇结构更好的延性,结构整体位移角达到 1/25 的情况下结构的损伤很少且主要集中于梁柱结合面处。国外为充分发挥压接装配框架良好的抗震性能,一般将其作为主要抗侧力体系,而将框架结构的其余部分采用仅承担竖向荷载作用的铰接框架。

**4.1.11** 压接装配框架耐久性设计和疲劳验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

## 4.2 结构布置

**4.2.1** 压接装配框架的布置应符合下列规定:

1 应具有清晰、完整及可靠的传力途径,分别承受重力产生的竖向荷载及地震和风产生的水平荷载。

2 压接装配式混凝土框架宜作为主要抗侧力体系,当与其他抗侧力体系共同工作时,应确保结构整体具有满足要求的延性。

3 结构平面布置宜规则对称,质量、刚度和承载力分布宜均匀;抗侧刚度沿竖向宜均匀变化,竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小,避免侧向刚度和承载力突变。建筑形体及其构件布置的规则性判定及要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

4 跨度小于 13 米的单跨框架或长度小于 13 米的双跨框架不宜采用压接装配框架。

**【条文说明】:**压接装配框架结构承载性能不受长度和跨度影响,对压接装配框架的适用长度做出推荐规定主要是从经济性和简化施工角度考虑。钢绞线 13 米以下或张拉力小时,需要采用低回缩锚具,张拉控制要求高,锚具费用占预应力工程比例较高。

4.2.2 应根据结构受力特点及建筑尺度、形状、使用功能要求，确定结构缝的位置和构造；伸缩缝、沉降缝、防震缝应结合考虑，伸缩缝与沉降缝的宽度应满足防震缝的要求。

4.2.3 结构伸缩缝的最大间距可按表 4.2.3 确定。当结构长度超过表中数值时应对结构进行混凝土收缩、徐变和温度作用下的计算分析，并在制作与施工过程中采取低收缩混凝土材料、设置施工后浇带、跳仓法施工、加强混凝土养护或施加额外预应力等抗裂措施。

表 4.2.3 压接装配框架伸缩缝最大间距 (m)

| 结构类型            | 室内或土中 | 露天 |
|-----------------|-------|----|
| 装配框架结构          | 75    | 50 |
| 装配框架-抗震墙（核心筒）结构 | 70    | 45 |

【条文说明】：根据我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 8.1 节的规定，装配式框架结构室内伸缩缝最大间距可达 75m，现浇框架结构室内伸缩缝最大间距为 55m。压接装配框架结构也属于叠合构件加后浇层形成的结构，其预制混凝土构件基本已经完成收缩，故伸缩缝间距可取高于现浇框架结构、低于全装配式框架的中间值；另一方面，考虑到压接装配式混凝土框架体系结构在浇筑叠合层时一般框架内已经建立了 3~6MPa 的预压力，且楼板叠合层内一般通长配置了构造钢筋，有利于约束混凝土的收缩开裂，综合考虑，压接装配框架结构伸缩缝的最大间距取《混凝土结构设计规范》GB 50010 装配式框架的规定。表中压接装配式混凝土框架-现浇剪力墙结构的伸缩缝最大间距是按《混凝土结构设计规范》GB 50010 中装配式剪力墙结构和装配式框架结构的中间值选取的，只是为了方便使用者查询，实际工程中应根据剪力墙的布置距离进行适当调整。超长结构的预应力设计参见《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369 中第 7 章的规定。

4.2.4 结构平面布置应预留预应力端部锚固空间和预应力张拉施工空间，避免外围护墙板与预应力锚头碰撞。结构缝一侧或两侧均采用压接装配框架时，可在结构缝位置设置双柱（图 4.2.4）。

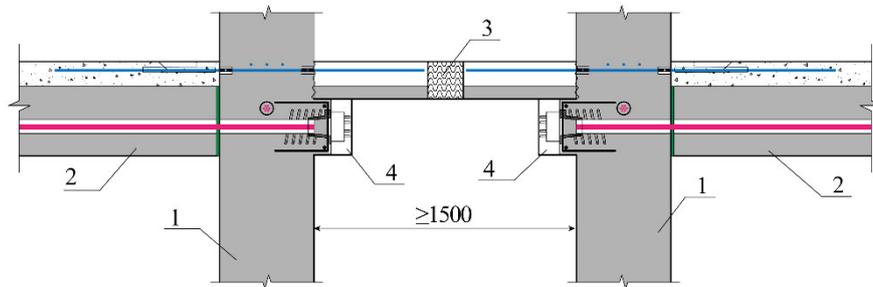


图 4.2.4-1 张拉端设在结构缝内

1—预制柱；2—预制梁；3—结构缝；4—锚头封锚

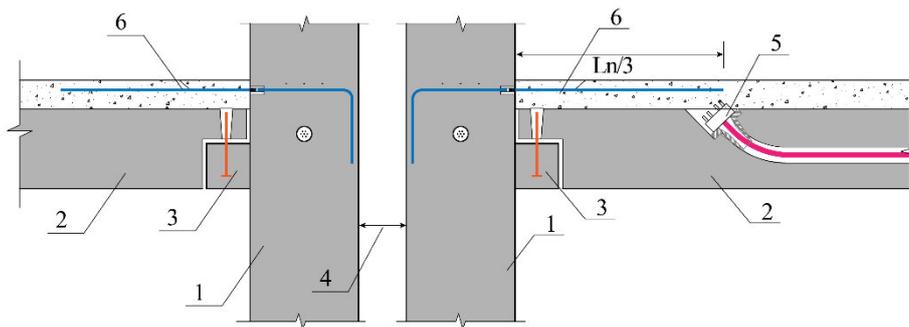


图 4.2.4-2 结构缝两侧采用铰节点

1—预制柱；2—预制梁；3—预制牛腿；4—结构缝；5—预应力张拉端；6—构造钢筋

**【条文说明】**：当结构缝两侧均为压接装配框架，且需要在结构缝处进行预应力张拉时，为了保证预应力张拉具有足够的操作空间，双柱外皮净间距不宜少于 1500mm（图 4.2.4-1）。也可将预应力张拉端在预制梁顶面弯锚，结构缝处梁柱节点采用预制牛腿铰接节点构造，结构缝宽度按正常建筑要求设置（图 4.2.4-1）。

### 4.3 地震作用及结构抗震验算

4.3.1 压接装配框架地震作用及结构抗震验算除本节另有规定外，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定执行。

4.3.2 压接装配框架部分的阻尼比可采用 0.03；等效阻尼比可按压接装配框架部分在整个结构总变形能所占比例折算。对于框架结构，等效阻尼比也可按压接装配框架所承担竖向荷载的结构面积占总结构面积比 $\xi$ 查表 4.3.2 近似取值，如两个方向面积比不同应取较大值；对于框架-抗震墙结构和框架-核心筒结构，等效阻尼比可近似取 0.05。

表 4.3.2 框架结构等效阻尼比近似取值

| $\xi$                  | 结构等效阻尼比 |
|------------------------|---------|
| $\xi \geq 0.70$        | 0.03    |
| $0.25 \leq \xi < 0.70$ | 0.04    |
| $\xi < 0.25$           | 0.05    |

【条文说明】：本条参考现行行业标准《预应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ/T 140，预应力结构部分阻尼比偏于保守采用 0.03。为便于操作，给出了等效阻尼比的近似取值方法。对于少墙框架由于仍属于框架范畴，可按框架结构近似查表；本条所述框架-抗震墙结构，其框架部分承受的地震倾覆力矩应不超过总倾覆力矩的 50%。

4.3.3 压接装配框架构件的承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}$ 应按表 4.3.3 取用。当仅计算竖向地震作用时， $\gamma_{RE}$ 均应取为 1.0。

表 4.3.3 承载力抗震调整系数表

| 结构构件           | 受力状态  | $\gamma_{RE}$ |
|----------------|-------|---------------|
| 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          |
| 框架节点           | 受剪    | 0.85          |
| 各类构件           | 受剪、偏拉 | 0.85          |
| 局部受压部位         | 局部受压  | 1.00          |

注：圆形钢管混凝土偏心受压柱 $\gamma_{RE}$ 取 0.8；

【条文说明】：引自《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《预应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ/T 140 和《组合结构设计规范》JGJ 138。



## 5 结构计算分析

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 压接装配框架应按最不利作用的组合进行内力分析。作用的组合应考虑各种不利荷载作用工况。除本节另有规定外，压接装配框架的荷载与作用应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 5000 规定。

【条文说明】：应根据情况考虑预应力作用、温度作用、收缩徐变作用、约束作用和地基不均匀沉陷作用、施工路径以及由于荷载偏心所产生的扭转和横向均匀分布荷载等因素。

**5.1.2** 由抗震等级为一级的压接装配框架组成的压接装配框架，应按本规程 5.3 节和附录 A 节规定的弹塑性计算模型以及现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中规定进行罕遇地震作用下的验算。

【条文说明】：对包含抗震等级为一级的压接装配框架罕遇地震作用下的验算提出要求。压接装配框架的抗震等级根据本规程 4.1.9 条确定。

### 5.2 结构弹性分析

**5.2.1** 压接装配框架在预应力、竖向荷载、风荷载及多遇地震作用下，结构承载能力极限状态和正常使用极限状态的作用效应分析宜采用弹性分析方法，并应考虑次内力的影响。

【条文说明】：预应力张拉时，预制柱的约束作用会在梁内产生次内力（主要为次轴力）效应，应在内力计算时予以考虑。

**5.2.2** 在预应力、持久竖向荷载、风荷载及多遇地震作用下，压接装配框架可采用与现浇预应力混凝土结构相同的方法进行结构整体内力分析、位移计算。计算模型中压接装配框架梁柱节点可假定为刚性节点。

【条文说明】：节点对比试验研究表明，PPEFF 框架较现浇框架结构具有更好的刚度、承载能力和抗震性能，在“弹性状态”下符合节点“刚接”假定。因此，为方便设计，并与现有设计规程相衔接，在弹性阶段（恒、活、风荷载、温度等

持久设计状况或多遇地震作用下)的结构整体分析可以采用我国现有现浇预应力混凝土结构常用的设计分析软件进行设计计算。

**5.2.3** 结构整体弹性分析时,压接装配框架楼板可根据实际情况采用刚性楼板假定、弹性楼板假定。当采用刚性楼板假定时,梁刚度增大系数可根据翼缘情况近似取 1.3~2.0;当采用弹性楼板假定时,应考虑梁与弹性板变形协调。

**【条文说明】:**计算结构的弹性周期、位移、扭转位移指标时,可采用强制刚性楼板假定模型,刚性楼板假定模型应考虑翼缘作用对梁刚度进行放大,梁刚度放大系数可按《混凝土结构设计规范》GB 50010 中规定的受弯构件有效翼缘计算宽度折算。

**5.2.4** 竖向荷载作用下,可对梁端负弯矩进行调幅,调幅系数取 0.75,且框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 65%。

**【条文说明】:**竖向荷载作用下,宜考虑梁端转动刚度降低造成框架梁跨中弯矩的增大,同时可减少梁端配筋有利于实现强柱弱梁和强剪弱弯的抗震性能目标。现行行业标准《高层混凝土结构技术规程》JGJ 3 中对装配整体式结构的弯矩调幅系数取 0.7~0.8,现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中对预应力结构的弯矩调幅系数取值为 0.8。此处综合考虑,规定 PPEFF 体系的梁端弯矩调幅系数取值为 0.75,并要求截面设计时,框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 65%,比《高层混凝土结构技术规程》JGJ 3 中规定的不小于按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 50%的要求适当提高。

### 5.3 结构弹塑性分析

**5.3.1** 抗震设计时,不规则或具有明显薄弱部位可能导致重大地震破坏的压接装配结构宜采用弹塑性静力或弹塑性动力分析方法补充计算,并应符合下列规定:

- 1 结构的规则性应依据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。
- 2 地震作用应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

3 压接装配梁柱节点弹塑性计算模型应能够模拟梁在较大变形下的接触开合行为，可按附录 A 进行弹塑性建模。

4 构件的材性、几何尺寸、配筋等应按实际情况取值；

5 应根据情况考虑 P- $\Delta$ 效应或几何非线性影响。

6 结构阻尼比可近似取 0.05。

7 宜按照国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 或本规程附录 C 的相关规定采用结构抗震性能设计方法。

【条文说明】：已有的工程经验表明，对规则结构按本标准进行第一阶段多遇地震弹性设计配筋并采取必要的构造措施后，基本可实现第二阶段罕遇地震结构不倒塌的基本性能目标。因此，规则结构可同传统现浇混凝土结构一样进行第一阶段设计即可，而对于高层结构和体型复杂的多层结构需要补充弹塑性分析。

结构弹塑性模型需要能够准确反映结构承载机制和受力状态。压接装配梁柱节点进入塑性阶段后，在反复荷载作用下梁柱结合面张开与闭合，以梁端耗能钢筋拉压耗能为主，预应力钢绞线始终处于弹性工作状态。梁柱接触面的张开和闭合，提高了节点变形能力，也使得预制梁柱本身混凝土损伤减小，损伤主要集中在接缝周边部位。附录 A 中提供的压接装配梁柱节点弹塑性分析模型已经试验验证能够很好的模拟梁柱交接面的开合行为且适合工程计算。

5.3.2 弹塑性整体分析模型和结果可用于以下方面：

1 施工过程分析，用来确定结构在预应力作用下的内力与变形；

2 地震作用下结构性能评估；

4 罕遇地震或极罕遇地震作用下，验证结构变形不超过国家现行规定限值，且结构整体塑性发展机制符合设计预期；

5 结构中包括消能减震或隔震单元情况的计算分析；

6 结构抗连续倒塌分析与设计；

## 6 构件设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 压接装配框架构件的承载力应采用下列设计表达式进行验算：

$$\text{持久、短暂设计状况： } \gamma_0 S \leq R / \gamma_{Rd} \quad (6.1.1-1)$$

$$\text{地震设计状况： } \gamma_0 S \leq R / \gamma_{RE} \quad (6.1.1-2)$$

式中： $\gamma_0$ ——结构重要性系数。在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级、二级的结构构件。应分别取不小于 1.1、1.0；对地震设计状况下应取 1.0。对参与组合的预应力作用效应项，当预应力作用效应对承载力有利时，结构重要性系数 $\gamma_0$ 应取 1.0；

$S$  ——作用组合的效应设计值，对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；

$R$  ——结构构件承载力设计值；

$\gamma_{Rd}$ ——结构构件的抗力模型不定性系数，静力设计应取为 1.0；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数，应按本标准第 4.3.3 条的规定取用。

6.1.2 压接装配框架构件在地震作用效应和其他荷载效应的基本组合下，进行截面抗震验算时，应加入预应力作用效应项。当预应力作用效应对结构不利时，预应力分项系数应取 1.3；有利时应取 1.0。

6.1.3 预制梁、预制柱、预制楼板等构件，应进行脱模、翻转、运输、吊装和安装阶段施工阶段验算。构件施工阶段验算时，应考虑构件自重、施工荷载和预应力的影响。当不满足要求时应加强构件或设置施工临时支撑。

### 6.2 梁设计

6.2.1 压接装配式框架梁应采用预制混凝土梁。预制混凝土梁宜为矩形截面，宽度不宜小于 300mm，高宽比不宜大于 4；梁高宜取计算跨度的 1/12~1/20，净跨与截面高度之比不应小于 4。

【条文说明】：压接装配框架的预应力钢绞线通常为直线配筋，梁跨中截面

处预应力钢绞线位置较高,因此梁的高跨比取值介于非预应力梁和普通预应力梁之间。框架梁常用截面规格可取 300mm×500mm、300mm × 600mm、400mm×600mm、400mm×700mm、400mm× 800mm、500mm × 800mm、500mm×900mm、600mm×900mm 和 600mm×1000mm 等,以提高预制构件标准化程度。

**6.2.2** 梁端耗能钢筋宜单排布置,数量不应少于 2 根,也不宜多于 6 根,直径不应小于 16mm,且宜布置于箍筋约束范围内。当梁宽较小时,宜优先采用单排并筋配筋形式。梁端耗能钢筋长度不应小于 40 倍的耗能钢筋直径,并宜伸过距梁端 1/3 梁净跨位置;梁跨中上部设构造钢筋应与耗能钢筋充分搭接(图 6.2.2),搭接长度宜按较小直径钢筋计算。

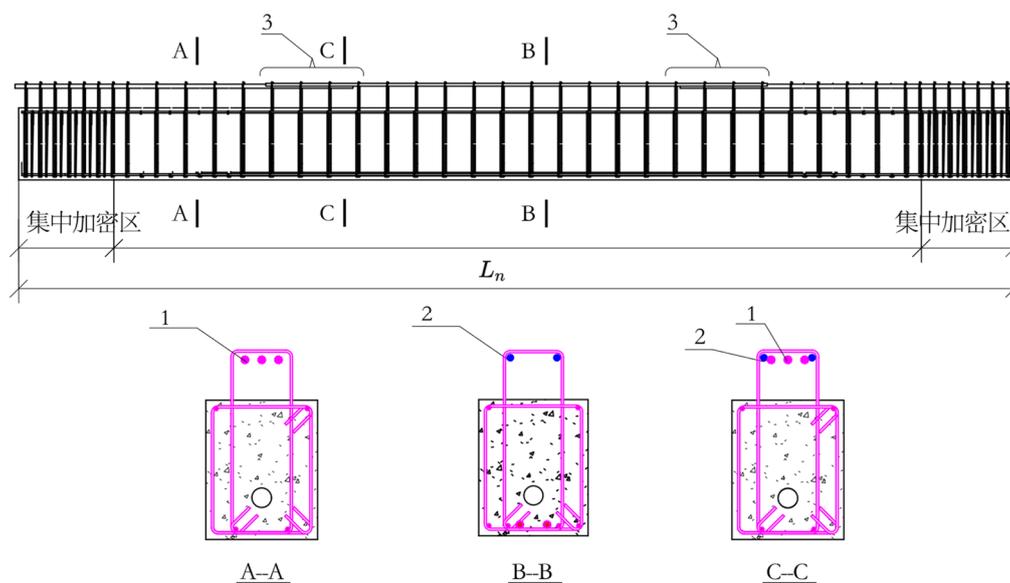


图 6.2.2 压接装配框架预制梁配筋

1—梁端耗能钢筋; 2—跨中架立筋; 3—梁上部钢筋搭接区

**【条文说明】**: 梁端耗能钢筋宜采用高强度大直径钢筋,以提高施工效率,节约钢材。采用并筋方式时应按其等效直径进行承载力计算。

6.2.3 抗震等级为一级和二级的框架梁端耗能钢筋应布置于梁端箍筋约束范围内。

6.2.4 压接装配框架的预制叠合梁跨中截面上部叠合层内的纵向普通钢筋根数不宜少于 2 根，直径不宜小于 12mm。抗震等级为一级和二级时，面积不应小于梁端耗能钢筋面积的 1/5。

【条文说明】：框架梁跨中截面上部钢筋对结构整体抗连续倒塌的水平拉结作用有利，本条给出了跨中上部钢筋的最小配筋量，且应保证其与梁端耗能钢筋有效搭接。

6.2.5 压接装配框架的预制叠合梁下部纵向普通钢筋可按通长普通钢筋与附加普通钢筋相结合的方式设置（图 6.2.5）。通长普通钢筋伸至预制梁端，附加普通钢筋可在距预制梁端  $1/5$  梁长位置处截断或弯起。通长普通钢筋数量应依据箍筋肢数构造设置，应不少于 2 根，直径应不小于 12mm。抗震等级为一级和二级时，通长普通钢筋面积不应小于预制梁跨中下部实配普通钢筋面积的 1/5。梁各截面的抗弯设计承载力验算应根据钢筋实际截断位置和发挥钢筋承载能力所需要粘结锚固长度进行计算。

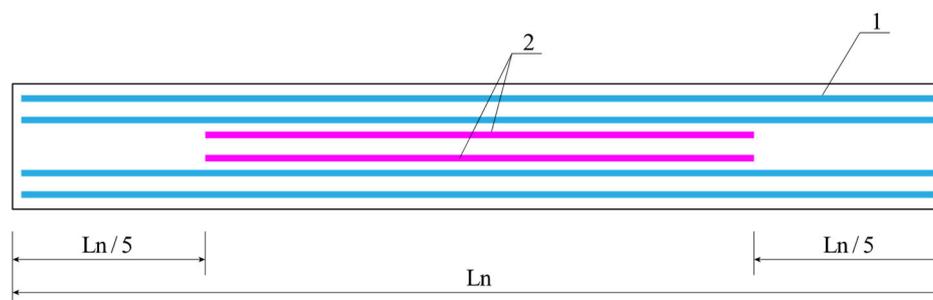


图 6.2.5 预制梁下部纵向普通钢筋构造要求

1—预制梁下部通长普通钢筋；2—预制梁下部附加普通钢筋

【条文说明】：为使设计经济合理，压接装配框架的框架梁跨中可根据实际抗弯需求配置附加普通钢筋。

**6.2.6** 压接装配框架梁端箍筋应设置加密区。加密区的长度、箍筋最大间距和最小直径应按表 6.2.6 采用，当梁端耗能钢筋配筋率大于 2%时，表中箍筋最小直径数值应增大 2mm。

表 6.2.6 压接装配框架梁端箍筋加密区的长度、箍筋最大间距和最小直径

| 抗震等级 | 加密区长度<br>(采用最小值)<br>(mm) | 箍筋最大间距<br>(采用最小值)<br>(mm) | 箍筋最小直径<br>(mm) |
|------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| 一    | $1.5h_b$                 | $h_b/4, 6d, 100$          | 10             |
| 二    | $1.0h_b$                 | $h_b/4, 8d, 100$          | 8              |
| 三    | $1.0h_b$                 | $h_b/4, 8d, 150$          | 8              |
| 四    | $1.0h_b$                 | $h_b/4, 8d, 150$          | 6              |

注：1 d 为纵向钢筋直径， $h_b$  为梁截面高度；

2 箍筋直径大于 12mm、数量不少于 4 肢其肢距不大于 150mm 时，抗震等级为一、二级时箍筋最大间距允许适当放宽，但不得大于 150mm。

**【条文说明】**：梁柱节点抗震试验表明，与现浇混凝土梁柱节点不同，压接装配梁柱节点的震后损伤主要集中在梁柱接合面周边区域，因此其箍筋加密区长度较现浇混凝土梁柱节点短。

**6.2.7** 抗震等级为一级和二级压接装配框架梁端应在箍筋加密区内靠近预制梁端附近的预制梁内增设箍筋集中加密区。集中加密区箍筋间距不宜小于 50mm，集中加密区长度不宜小于 400mm 和梁预制部分高度二者较大值(图 6.2.2)。

**【条文说明】**：压接装配梁柱节点抗震试验表明，梁柱节点的震后损伤主要集中在梁柱接合面周边区域，因此梁端箍筋的局部加密对提高节点延性有一定作用。

**6.2.8** 梁端加密区的箍筋肢距，抗震等级为一级时不宜大于 200mm 和 20 倍箍筋直径的较大值，抗震等级为二级和三级时不宜大于 250mm 和 20 倍箍筋直径的较大值，抗震等级为四级时不宜大于 300mm。

**6.2.9** 压接装配框架梁全长范围内的箍筋可采用封闭箍筋，梁端 1/3 范围内的封闭箍筋的弯钩宜位于预制梁下部(图 6.2.2)。梁上部纵筋宜与预制梁箍筋临时绑扎后整体出厂。

**【条文说明】**：压接装配框架的预制梁均可统一制成与现浇梁同样的封闭箍

筋，提高制作和施工效率。同时，为了方便框架梁端上部纵筋的现场施工，宜在预制生产时，将封闭箍筋弯钩设于预制梁内。

**6.2.10** 预制梁端面应设置键槽并设置花纹钢板成型的粗糙面，梁端键槽深度不宜小于 40mm，键槽端部斜面倾角不宜大于 30°。预制梁内预埋的金属波纹管宜伸出梁端面 10mm。预制梁底通长纵筋应伸至梁端部，并向上弯锚或焊接角钢锚固件，向上弯锚长度不应小于 12d(图 6.2.10)。

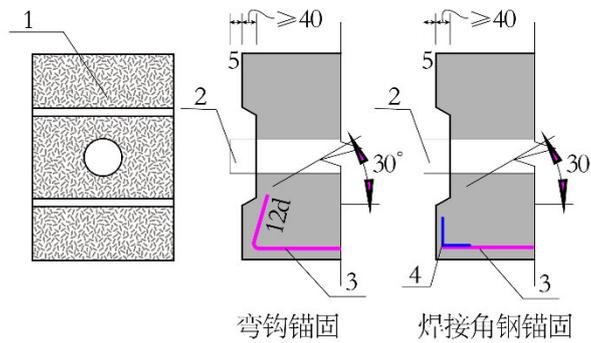


图 6.2.100 预制梁端面键槽

1—梁端面；2—金属波纹管；3—梁底通长纵筋；4—焊接角钢锚固件

**【条文说明】**：梁端与预制柱的接触面是预应力摩擦抗剪的保证，为了避免粗糙面工厂生产时水洗工艺对环境和成本的影响，建议梁端面宜优先设置键槽，并结合花纹钢板成型的粗糙面，该工艺经过工程实践验证，安全可靠。梁端面金属波纹管伸出 10mm，以便于安装过程中预应力孔道密封。

**6.2.11** 预制梁端部预应力钢绞线孔道下缘距离梁底部的距离不宜小于 100mm。预制梁端部预应力钢绞线孔道中心不宜高于梁预制部分截面高度一半。梁跨度小于等于 10m 时，梁内预应力钢绞线宜采用直线布置，以方便制作与施工；梁跨度大于 10m 时，梁内预应力钢绞线可采用曲线布置，以提高梁跨中部分的承载能力（图 6.2.11）。

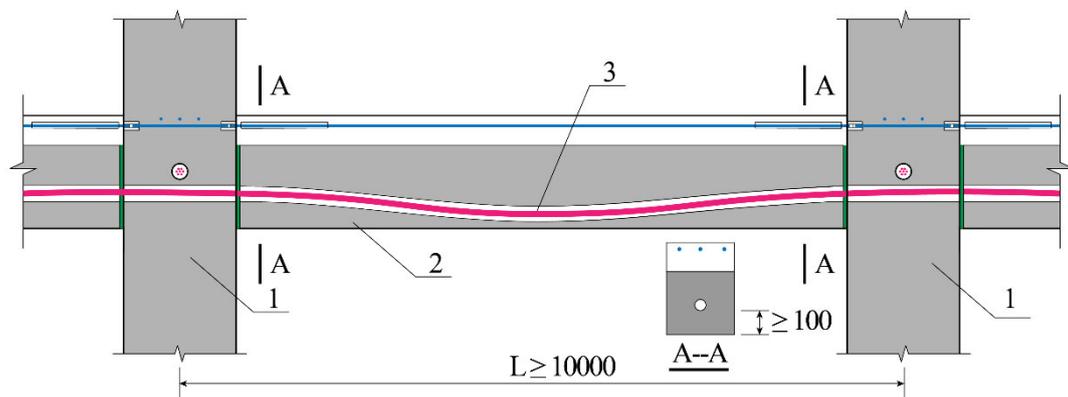


图 6.2.111 曲线布置预应力钢绞线

1—预制柱；2—大跨预制梁；3—梁内曲线预应力钢绞线

**【条文说明】**：梁端部预应力筋位置不宜过低，以免梁端极限负弯矩作用下，预应力钢绞线的预应力损失过多，梁端正弯矩作用下预应力钢绞线应力也不会过高。此外，梁端部预应力筋位置不宜过低，以适当降低梁端底部混凝土的局部预压力，控制施工过程中叠合梁的反拱值。梁跨度大于 10m 时，曲线布置的预应力钢绞线弧度较为平缓，施工仍然便利，且能够提高梁跨中承载力，节约钢材。

**6.2.12** 单一区间预应力钢绞线无粘结段的长度不应小于 3m，边跨锚固端区间预应力钢绞线无粘结段的长度不应小于 1.5m，

**【条文说明】**：加长预应力钢绞线无粘结段长度有助于降低预应力钢绞线在结构极限位移下的应变，本条规定其最小长度。

**6.2.13** 当框架梁的净跨度大于 4m 时，跨中预应力钢绞线宜设有粘结段。梁跨中预应力钢绞线有粘结段的长度应大于预应力钢绞线的锚固长度。预应力钢绞线的锚固长度可按公式（6.2.1313）计算。

$$l_{ab} = \alpha d_p f_{py} / f_t \quad (6.2.1313)$$

式中： $l_{ab}$ —— 预应力钢绞线锚固长度（mm）；  
 $d_p$ —— 单根预应力钢绞线直径（mm）；  
 $f_{py}$ —— 预应力钢绞线抗拉强度设计值（MPa）；  
 $f_t$ —— 预制梁混凝土轴心抗拉强度设计值（MPa）；  
 $\alpha$ —— 钢绞线外形系数，7股钢绞线为0.17。

【条文说明】：有粘结段能够提高结构的抗连续倒塌能力。郭海山等进行的PPEFF体系足尺试验表明，梁跨中的有粘结段将预应力钢绞线意外破断的影响范围限制于局部梁段内，其他梁段区间的预应力不受影响。预应力钢绞线的锚固长度采用现行国家标准《预应力混凝土结构设计规范》GB 369规定。锚固长度偏于安全根据梁混凝土强度等级计算单根预应力钢绞线锚固长度即可。多根钢绞线锚固在金属波纹管内其锚固失效模式为孔道灌浆料与金属波纹管之间或金属波纹管与预制混凝土梁之间，一般其锚固承载力更高，需要的锚固长度更短。

6.2.14 预制预应力梁跨中部位应至少设置1个灌浆孔或排气孔。当预应力梁跨度大于15米时，应增设灌浆孔或排气孔。灌浆孔或排气孔应与预埋金属波纹管紧密连接，防止预制梁浇筑混凝土过程中堵塞孔道。

6.2.15 压接装配框架梁端叠合层内梁端耗能钢筋和附加抗剪钢筋总面积应满足下式要求：

$$0.425(A_s f_{yk} + A_{sv} f_{vyk}) \geq V_{Gk} + V_{Qk} \quad (6.2.155-1)$$

$$A_s f_{yk} \geq 2A_{sv} f_{vyk} \quad (6.2.155-2)$$

式中： $A_s$ —— 梁端耗能钢筋毛截面积；  
 $A_{sv}$ —— 抗剪钢筋面积；  
 $f_{yk}$ —— 梁端耗能钢筋屈服强度标准值；  
 $f_{vyk}$ —— 附加抗剪钢筋屈服强度标准值；  
 $V_{Gk}$ —— 永久荷载标准值在结合面产生的剪力；  
 $V_{Qk}$ —— 可变荷载标准值在结合面产生的剪力；

【条文说明】：当框架中个别梁端剪力比较大时，可在梁端附加抗剪钢筋。此构造规定出于提高结构抗连续倒塌能力考虑，预应力钢绞线恰好在梁柱接缝处

意外断裂情况下,单纯依靠梁端耗能钢筋和抗剪钢筋保证梁不会脱落。抗剪折减系数为 0.85,钢材抗剪强度与抗拉强度的比值约为 0.5,两者乘积为 0.425。

**6.2.16** 压接装配框架预应力钢绞线的设计有效预应力宜取  $0.50\sim 0.65f_{ptk}$ 。预应力钢绞线的最小面积应满足公式(6.2.1615)。

$$A_p\sigma_{pe} \geq \gamma A_s f_{yk} \quad (6.2.1616)$$

式中:  $A_p$ ——预应力钢绞线面积;

$\sigma_{pe}$ ——考虑损失后预应力钢绞线的有效应力;

$A_s$ ——梁端耗能钢筋毛截面积;

$f_{yk}$ ——梁端耗能钢筋屈服强度标准值;

$\gamma$ ——抗震等级系数,抗震等级为一、二、三、四级时分别为 1.2、1.15、1.1 和 1.05;

**【条文说明】:**规定  $A_p\sigma_{pe}$  不小于  $A_s f_{yk}$  可保证预制梁与预制柱面不会出现脱离情况,与 6.2.15 联合考虑,可保证在设计有效预应力作用下的梁柱间压接摩擦作用即可满足持久荷载作用下的梁端抗剪需求,实现梁柱接触面的抗剪承载力双重保障;另一方面保证结构具有较好的自复位特性。经验上,混凝土梁平均有效压应力可控制在 3~5MPa,不宜超过混凝土抗压强度设计值的 0.5 倍,预应力钢绞线配筋率约为 0.25%~0.4%。

**6.2.17** 压接装配框架梁端叠合层内附加抗剪钢筋应置于梁端耗能钢筋之下，宜单排布置且远离梁端耗能钢筋。附加抗剪钢筋边缘与预制梁顶部间距不应小于20mm，以方便施工安装。附加抗剪钢筋在柱内和梁叠合层内的锚固长度宜为10-15倍钢筋直径（图6.2.17），且宜采用高强钢筋或钢棒。

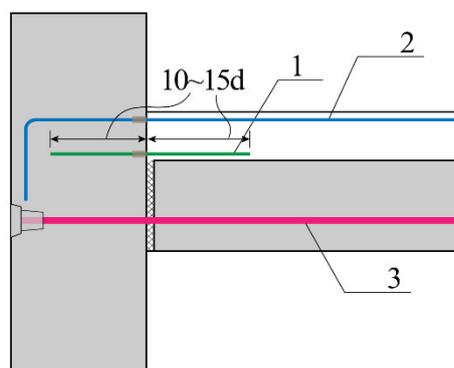


图 6.2.177 抗剪钢筋位置

1—附加抗剪钢筋；2—梁端耗能钢筋；3—预应力钢绞线

**【条文说明】**：附加抗剪钢筋的作用主要为提高梁柱接缝处的抗剪承载力。其位置宜尽量靠近梁截面中部，以减少其承担弯矩作用。采用高强度钢筋可有效减少钢筋用量，为现场安装带来便利。

**6.2.18** 压接装配框架梁在梁柱接合面处受弯承载力可按下列规定计算：

1 梁端负弯矩作用下的受弯承载力计算可根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中正截面受弯承载力计算的规定，按矩形截面计算，可不考虑楼板混凝土和钢筋作用。当预应力钢筋处于截面受拉区时，可近似取预应力钢绞线的应力为设计有效初始预应力。当预应力钢筋处于截面受压区时，可不考虑其作用。

2 梁端正弯矩作用下的受弯承载力计算可按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 或《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 中正截面受弯承载力计算规定，应考虑楼板混凝土作用按 T 形截面计算。

**【条文说明】**：郭海山等进行的节点试验结果与规范公式结果（见下表）对

比可知，规范公式对中节点的计算与试验值比较接近，对边节点有较大的低估。  
负弯矩作用下偏于保守考虑不考虑楼板钢筋作用。

表 1 节点试验结果与规范公式结果对比表

| 编号              | 方向  | 规范公式计算结果 $M_y/kN^*m$ |            |            | 试验结果/ $kN^*m$ |            | D/A  | E/B  | E/C  |
|-----------------|-----|----------------------|------------|------------|---------------|------------|------|------|------|
|                 |     | 设计值<br>(A)           | 标准值<br>(B) | 实测值<br>(C) | 屈服点<br>(D)    | 峰值点<br>(E) |      |      |      |
| 现浇<br>中节点 A1    | 负弯矩 | 148.7                | 165.3      | 191.4      | 247           | 250.5      | 1.66 | 1.52 | 1.31 |
|                 | 正弯矩 | 66.1                 | 73.4       | 80.4       | 137.1         | 139.9      | 2.07 | 1.91 | 1.74 |
| 现浇<br>边节点 B1    | 负弯矩 | 148.7                | 165.3      | 191.4      | 226.5         | 326.6      | 1.52 | 1.18 | 1.71 |
|                 | 正弯矩 | 66.1                 | 73.4       | 80.4       | 157.0         | 183.0      | 2.14 | 1.98 | 2.28 |
| PPEFF<br>边节点 B3 | 负弯矩 | 138.0                | 165.0      | 195.0      | 263.3         | 284.4      | 2.38 | 1.72 | 1.46 |
|                 | 正弯矩 | 199.6                | 239.1      | -          | 275.0         | 319.6      | 1.38 | 1.34 | -    |
| PPEFF<br>中节点 A3 | 负弯矩 | 177.0                | 215.9      | 258.8      | 300.0         | 323.0      | 1.69 | 1.50 | 1.25 |
|                 | 正弯矩 | 199.6                | 239.1      | -          | 234.7         | 262.4      | 1.18 | 1.10 | -    |

注：现浇节点为非预应力节点；“实测值”为按试验材料强度实测值代入规范公式计算所得结果；表中数据均考虑了楼板及楼板中钢筋的作用，详见中国建筑工业出版社出版的《新型预应力装配式框架体系（PPEFF 体系）-理论试验研究、建造指南与工程案例》。

### 6.2.19 压接装配框架梁端结合面竖向受剪承载力应按下列公式计算：

#### 1 非地震组合作用状况：

$$V_u = \mu\psi A_p \sigma_{pe} + 0.07 f_c A_{c1} + 1.65 A_{sv} \sqrt{f_c f_y} + 1.65 A_{sv} \sqrt{f_c f_{vy}} \quad (6.2.199-1)$$

#### 2 多遇地震组合作用状况：

$$V_{uE} = \mu\psi A_p \sigma_{pe} + 0.04 f_c A_{c1} + 1.65 A_{sv} \sqrt{f_c f_y} + 1.65 A_{sv} \sqrt{f_c f_{vy}} \quad (6.2.199-2)$$

#### 3 罕遇地震作用状况：

梁端负弯矩作用下：

$$V_{uE} = \mu\psi F_c + 1.65 A_{sv} \sqrt{f_c f_{vyk}} \quad (6.2.1919-3)$$

其中：

$$F_c = A_p \sigma_p + A_s f_{yk} \quad (6.2.199-4)$$

梁端正弯矩作用下：

$$V_{uE} = \mu\psi F_c + 1.65A_s\sqrt{f_c f_{yk}} + 1.65A_{sv}\sqrt{f_c f_{vyk}} \quad (6.2.199-5)$$

其中：

$$F_c = A_p \sigma_p - A_s f_{yk} \quad (6.2.199-6)$$

式中： $A_{cl}$ ——叠合梁端截面后浇混凝土叠合层截面面积；

$f_c$ ——预制构件或后浇混凝土轴心抗压强度设计值较低值（N/mm<sup>2</sup>）；

$f_y$ ——垂直穿过结合面耗能钢筋的强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$f_{vy}$ ——垂直穿过结合面抗剪钢筋的强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$f_{yk}$ ——垂直穿过结合面耗能钢筋的强度标准值（N/mm<sup>2</sup>）；

$f_{vyk}$ ——垂直穿过结合面抗剪钢筋的强度标准值（N/mm<sup>2</sup>）；

$A_s$ ——垂直穿过结合面的耗能钢筋的毛截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$A_{sv}$ ——垂直穿过结合面的抗剪钢筋的截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$F_c$ ——梁柱结合面混凝土界面的净压力；

$\sigma_p$ ——节点处预应力钢绞线的应力（N/mm）；

$\mu$ ——摩擦系数，取 0.6；

$\psi$ ——抗剪折减系数，取 0.75。

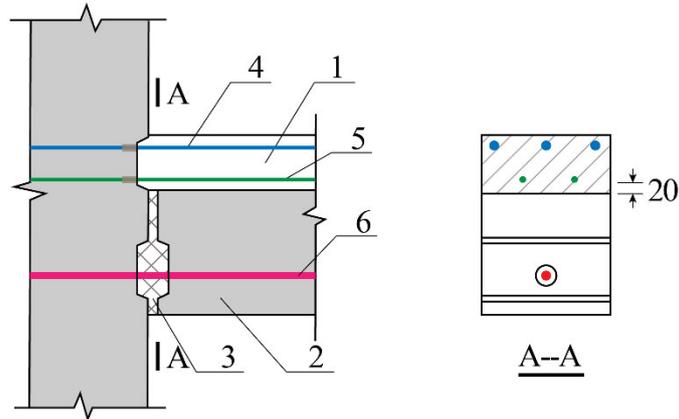


图 6.2.192 梁端受剪承载力计算参数示意

1—后浇混凝土叠合层；2—预制梁；3—纤维高强灌浆料；4—耗能钢筋；5—附加抗剪钢筋；6—预应力钢绞线

**【条文说明】：**预应力荷载、持久竖向荷载、风荷载及多遇地震作用状况，梁端竖向结合面抗剪承载力取预制梁混凝土压接摩擦抗剪承载力，后浇叠合层混

混凝土抗剪承载力和耗能钢筋与抗剪附加钢筋的抗剪承载力之和。

罕遇地震作用下，梁叠合层部分混凝土一般破坏较为严重，不考虑该部分混凝土对抗剪承载力贡献。梁柱结合面混凝土界面的净压力  $F_c$  按实际混凝土接触面的净压力计算。梁端负弯矩作用下，不考虑受拉耗能钢筋抗剪作用。正弯矩作用下，耗能钢筋受压，考虑其抗剪作用。罕遇地震设计作用下梁端抗剪承载力计算公式用于验算罕遇地震弹塑性时程分析中得到的梁端剪力是否超过了其承载能力，因此其承载能力计算公式中的  $\sigma_p$  可取梁端剪力对应的钢绞线应力。根据 6.3.14-3~6.3.14-6 可知，罕遇地震设计作用下梁端抗剪承载力与钢绞线应力呈线性比例关系。

**6.2.20** 压接装配框架梁端部区域的斜截面受剪承载力验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。

**【条文说明】**：郭海山等进行的 PPEFF 体系梁端受剪承载力试验表明，预应力压接节点梁端抗剪一般由斜截面受剪承载力控制，按现浇预应力混凝土梁进行斜截面抗剪承载力验算即可。

**6.2.21** 压接装配框架梁跨中部截面受弯承载力和受剪承载力验算应符合现行行业标准《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369 中对有粘接预应力梁承载力的相关规定。跨中部截面受弯承载力设计值的计算应考虑有粘接预应力钢绞线和楼板有效翼缘宽度的作用。

**【条文说明】**：对于带叠合层的预应力空心楼板，当翼缘有效宽度范围内空心板采取灌实措施时，梁翼缘厚度可取楼板总厚度；对于现浇楼板或普通钢筋桁架叠合板，翼缘厚度取实际板厚。

**6.2.22** 抗震等级为一、二、三级的压接装配框架梁跨中下部纵向普通钢筋面积最小值，应符合下式：

$$A_s \geq \frac{1}{6} \left( \frac{f_{py} h_p}{f_y h_s} \right) A_p \quad (6.2.222-1)$$

式中： $A_p$ ——预应力钢绞线面积；

$h_p$ —— 预应力钢绞线合力点至截面受压边缘的距离；

$h_s$ —— 下部纵向普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离。

【条文说明】：考虑到本体系梁跨中预应力筋距梁底位置较远，使用阶段条件下，适当比例的普通钢筋可有效阻止梁底混凝土裂缝开展。

**6.2.23** 设计罕遇地震作用下，抗震等级为一、二、三级的压接装配框架的预应力钢绞线不应屈服，最大拉应变不应大于 0.011。

【条文说明】：框架梁柱节点附近的预应力钢绞线应为无粘结，以避免在梁柱交接处的预应力钢绞线中产生过于集中的应变，加长预应力钢绞线无粘结段长度有助于降低预应力钢绞线在结构极限位移下的应变。美国 ACI 550.3 - 13 建议应保证在设防地震作用下，预应力钢绞线最大应变应小于 0.011；国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定了预应力钢绞线的 0.2%屈服力 $F_{p0.2}$ 值为整根钢绞线最大力 $F_{max}$ 的 88%~95%，其对应的应变约为 0.011，与美国 ACI 规范基本一致。

**6.2.24** 压接装配框架的框架梁应进行正截面、斜截面和梁柱连接部位的承载力计算和正常使用状态下的挠度与裂缝控制计算，除需满足本节规定外，尚应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1、《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 和《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369 的规定。

【条文说明】：现行行业标准《预应力混凝土结构设计标准》JGJ 369 中 6.2 节规定了预应力混凝土受弯构件的挠度验算，后张局部有粘结预应力装配混凝土框架梁应按以上规定执行。

## 6.3 柱设计

6.3.1 压接装配框架的框架柱可采用预制混凝土实心柱、芯部后浇预制混凝土空心柱，也可采用钢管混凝土柱。其截面可采用正方形、矩形或圆形。

【条文说明】：为了避免柱构件过重吊装成本高的问题，压接装配框架的框架柱也可采用预制混凝土空心柱后浇叠合混凝土或钢管混凝土柱。其与框架梁的连接构造可参考图 2。

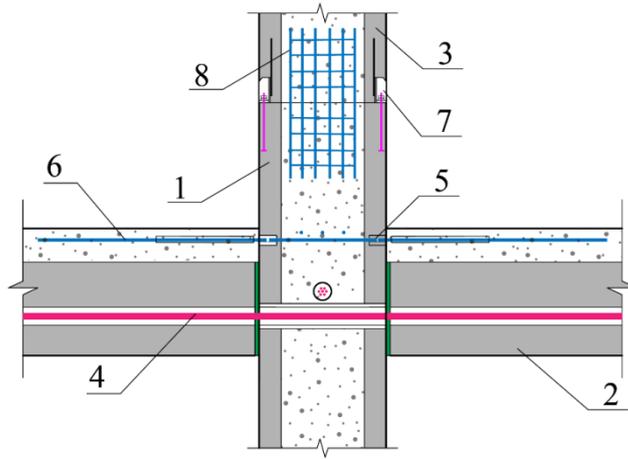


图 6.3.1a 芯部后浇预制空心柱与框架梁连接

1—预制空心柱（下段）；2—预制梁；3—预制空心柱（上段）；4—预应力钢绞线；5—钢筋连接器；6—梁端耗能钢筋；7—预埋柱靴；8—柱搭接钢筋网

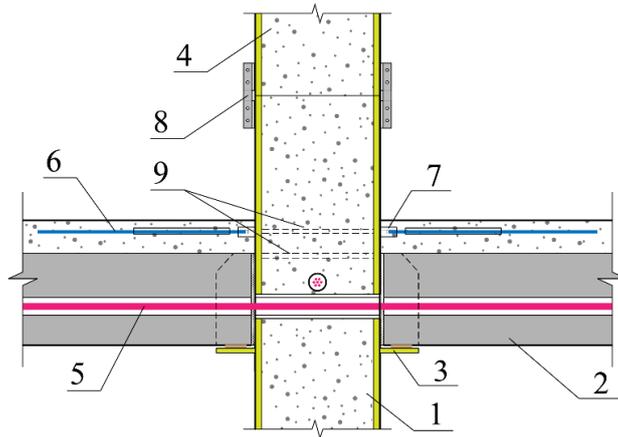


图 2-b 钢管混凝土柱与框架梁连接

1—钢管混凝土柱（下段）；2—预制梁；3—永久钢牛腿；4—钢管混凝土柱（上段）；5—预应力钢绞线；6—梁端耗能钢筋；7—钢筋连接器；8—安装用连接耳板；9—内环加劲肋

**6.3.2** 预制空心柱或钢管柱与所连接的预制梁安装完成后，应按设计要求在柱空心部位浇自密实混凝土或普通混凝土并振捣密实。

**6.3.3** 钢管混凝土柱与预制梁端交接处应设置永久钢牛腿(图 6.3.3)。永久钢牛腿应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 进行设计验算，并应能够承担各种不利荷载作用下梁端的全部剪力。钢管柱和永久钢牛腿的防火与防腐应符合国家现行标准规定。

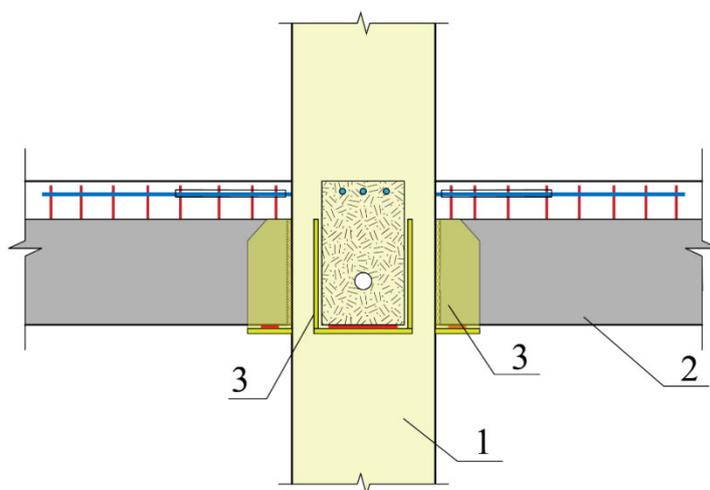


图 6.3.3 钢管混凝土柱钢牛腿

1—钢管混凝土柱；2—预制梁；3—永久钢牛腿

6.3.4 预制梁底与永久钢牛腿之间应设置支承垫板条，以减少钢牛腿对梁端的嵌固作用，使梁端转动过程中不受钢牛腿的约束。

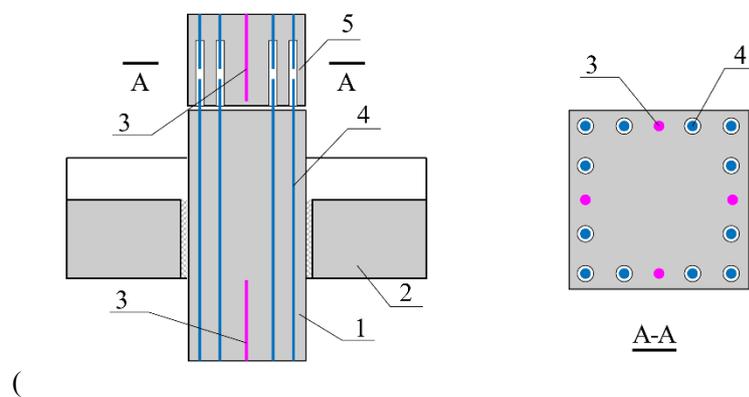
6.3.5 预制混凝土柱的截面尺寸，轴压比和配筋应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的规定。

6.3.6 抗震等级为一、二、三级的框架柱，当梁端耗能钢筋在预制混凝土柱中预埋部分的长度小于其直径的 20 倍时，应在预埋于预制混凝土柱的耗能钢筋中部增设附加锚板或焊接短钢筋，以提高其在柱中的锚固能力。

6.3.7 预制混凝土柱应考虑预制构件生产和安装阶段吊重的限制，宜为 2~3 层一节。上下柱段间接缝处纵向受力钢筋当采用套筒灌浆连接时，接缝位置宜设置楼面标高以上 0~1000mm 高度范围内，接缝间隙可取 20mm，并应采用强度不低于预制柱的非收缩高强灌浆料填实。

【条文说明】：PPEFF 体系已有工程实践经验表明，上下柱段间接缝高出楼面标高便于叠合层混凝土浇筑找平，同时给接缝四周封仓和套筒灌浆作业带来操作空间。下柱超出楼面过高不利于预制柱施工安装过程中的临时固定，安装风险高。

混凝土框架柱纵向受力钢筋直径不宜小于 20mm，纵向受力钢筋的间距不宜大于 200mm 且不应大于 400mm。柱的纵向受力钢筋宜集中于四角配置且宜对称布置。柱中可设置纵向辅助钢筋，其直径不宜小于 12mm 和箍筋直径的较大值；当正截面承载力计算不计入纵向辅助钢筋时，纵向辅助钢筋可不伸入框架节点



6.3.8 图 6.3.8)。

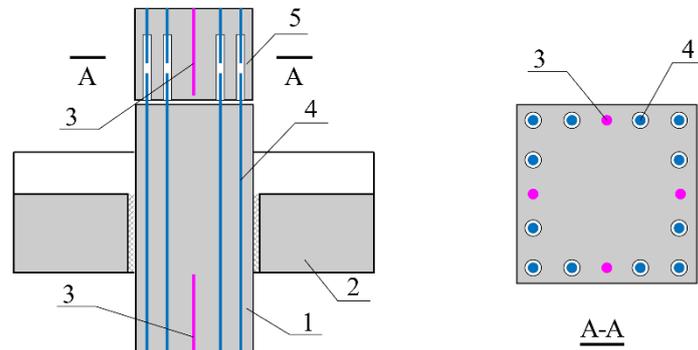


图 6.3.8 框架柱纵筋构造示意

1—预制柱；2—预制梁；3—纵向辅助钢筋；4—纵向受力钢筋；5—钢筋灌浆连接套筒

6.3.9 混凝土预制柱与预制梁端交接面应设置内凹键槽，键槽表面宜采用花纹钢板粗糙面成型，柱内金属波纹管应与柱外表面平齐，宜伸出柱凹槽端面 10mm(图 6.3.9)。

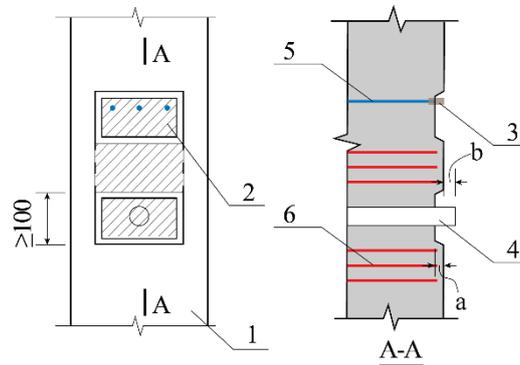


图 6.3.9 预制柱端面键槽

1—预制柱；2—键槽；3—钢筋连接器；4—金属波纹管；5—预埋耗能钢筋；6—集中加密配箍；a—10mm；b—0mm

【条文说明】：梁端与预制柱的接触面是预应力摩擦抗剪的保证，为了避免粗糙面工厂生产时水洗工艺对环境和成本的影响，建议梁端面宜优先设置键槽，该工艺经过工程实践验证，安全可靠。梁端面金属波纹管伸出 10mm，以便于安装过程中预应力孔道密封。

**6.3.10** 抗震设防地区高层建筑底部加强层区域，梁、柱的塑性铰区域当采用钢筋套筒灌浆连接时，宜采用全灌浆钢筋套筒连接。

【条文说明】：与螺纹连接的半灌浆套筒相比，全灌浆套筒的施工质量更容易保证。

**6.3.11** 预制混凝土框架柱的底部应设置抗剪凹槽，不应设置粗糙面。预制柱顶宜设置粗糙面，粗糙面的面积不宜小于结合面的 80%，粗糙面凹凸深度不应小于 6mm。底部设置抗剪凹槽的预制柱和截面较大的预制柱，应设置排气孔，孔直径不宜小于 40mm（图 6.3.111）。

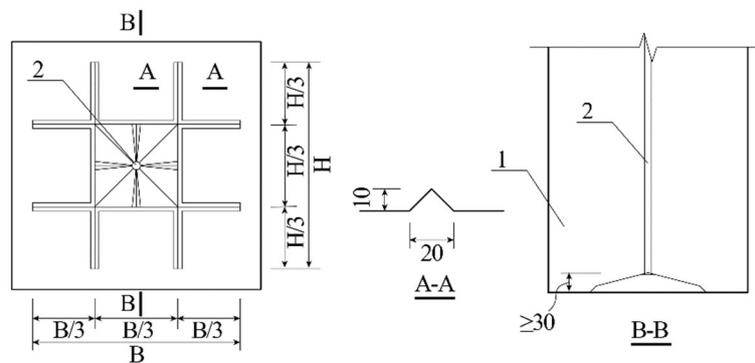


图 6.3.111 柱底键槽、排气孔构造

1—预制柱；2—排气孔；B、H—预制柱底抗剪凹槽长度和宽度

【条文说明】：柱底施工灌浆时，气体将沿着柱底斜面通过排气管排出，因此预制柱底斜面不应设置粗糙面，以免粗糙面内空气泡驻留，降低柱底承载力。

**6.3.12** 预制混凝土框架柱连接处箍筋应加密，加密长度不应小于纵向受力钢筋连接区域长度与 500mm 之和，连接套筒上端第一道箍筋距离套筒顶部不应大于 50mm（图 6.3.122）。

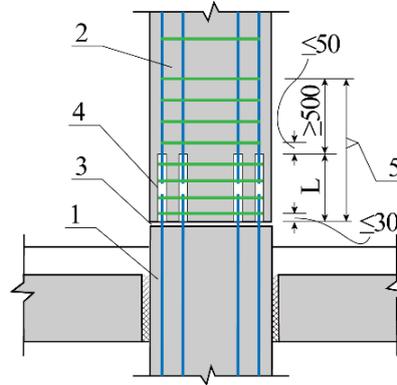


图 6.3.122 柱底箍筋加密区域构造

1—下层柱；2—上层柱；3—预制柱间接缝；4—钢筋套筒灌浆连接；5—柱底箍筋加密区；  
L—灌浆套筒长度

**6.3.13** 地上首层预制混凝土框架柱脚、与基础嵌固端连接的预制混凝土框架柱脚或结构竖向刚度突变处的框架柱的端部，当抗震等级为一级、二级时，宜采用柱端钢筋耗能型节点（图 6.3.133-6.3.13-1）；当抗震等级为一级时，宜采用柱端外包钢板低损伤节点（图 6.3.133-6.3.13-2）。柱端耗能钢筋削弱无粘结段要求见 0 条。

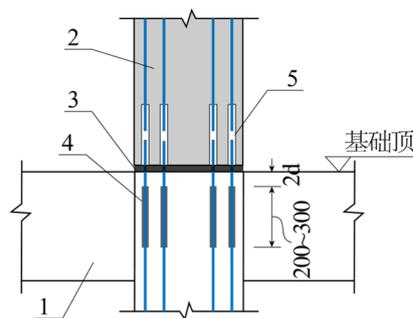


图 6.3.133-6.3.13-1 柱脚钢筋耗能型节点

1—基础梁或地下室梁；2—预制柱；3—柱脚接缝；4—耗能钢筋削弱无粘结段；5—钢筋套筒灌浆连接

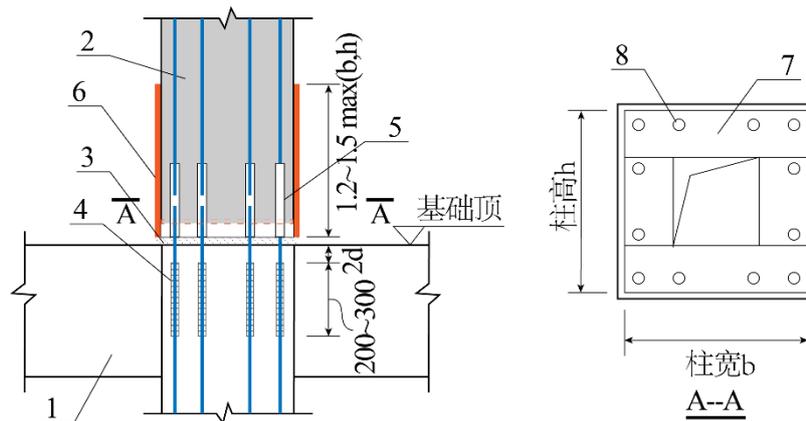


图 6.3.133-6.3.13-2 柱脚外包钢板节点示意图

1—基础梁或地下室梁；2—预制柱；3—柱底接缝；4—耗能钢筋削弱无粘接段；5—钢筋套筒灌浆连接；6—外包钢板；7—肋板；8—套筒固定孔

【条文说明】：郭海山等进行的高轴压低周往复加载对比试验表明上述两种新型柱脚节点比现浇柱脚节点及等同现浇装配式柱脚节点具有更好的延性和低损伤特性。柱底钢筋耗能型节点适用于中高烈度区建造的高层框架结构，其基础插筋可按以下要求进行无粘结局部削弱处理：无粘结段长度一般为 200~300mm，无粘结段起始端应距基础顶面  $2\sim 4d$  ( $d$  为钢筋直径)。无粘段进行机械车削加工，使其截面积削弱 15~20%，耗能钢筋削弱可以沿钢筋圆周均匀切削，也可以沿截面对称切削成其他截面形状；切削段与未切削段应设置不小于 1:4 的平滑过渡，以避免应力集中。切削后的截面应尽快用塑料胶带密封，防止锈蚀并兼顾隔离与混凝土的粘结。

外包钢板低损伤节点延性最好，适用于高轴压比且有低损伤性能要求的高层框架结构，其构造要求如下：外包钢板的高度宜为柱截面最大边长的 1.2~1.5 倍；钢板厚度可按现行国家标准《钢管混凝土技术规范》GB 50936 规定取套箍系数为 0.5~2.0 计算选取；钢板下端部应距离基础顶面 20~30mm，不宜与基础直接接触承担竖向荷载；外包钢板内宜设置加劲肋以增强对柱脚混凝土的约束效果；耗能钢筋削弱无粘结段要求见 0 条。

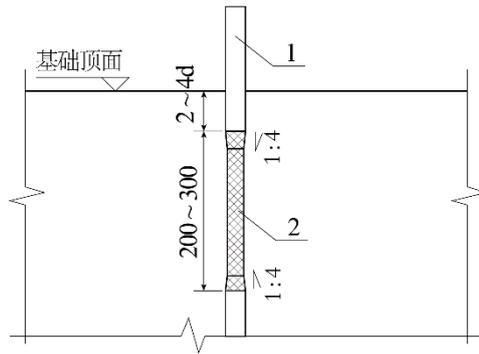


图 6.3.13-3 柱底插筋局部处理示意图

1—基础预留插筋；2—钢筋削弱无粘段

**6.3.14** 抗震等级为一、二级的压接装配结构，地上首层预制混凝土框架柱脚、与基础嵌固端连接的预制混凝土框架柱脚或结构竖向刚度突变处的框架柱的端部，采用柱端钢筋耗能型节点时，柱脚截面组合弯矩设计值，应分别乘以弯矩增大系数 1.4 和 1.2。

**6.3.15** 抗震等级为一级的压接装配结构，地上首层预制混凝土框架柱脚、与基础嵌固端连接的预制混凝土框架柱脚或结构竖向刚度突变处的框架柱的端部，采用柱端外包钢板低损伤节点时，柱脚截面组合弯矩设计值，应乘以弯矩增大系数 1.3。

【6.2.14 和 6.2.15 条文说明】：柱脚连接节点在罕遇地震作用下一般较梁柱节点更早进入塑性，增大柱脚截面的抗弯钢筋数量对提升其延性的效果并不显著。郭海山等进行的对比研究试验表明，配置同样纵筋的情况下，柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点较通常等同现浇节点延性更好，损伤更小，极限承载力基本一致。但是按照规范承载力计算公式计算，由于柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点对纵筋进行了局部削弱约 20%，其名义计算承载力更低，与实验结果不符。因此，本规程通过降低柱脚地震弯矩增大系数的方法进行调整，使采用柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点的纵筋不至于较等同现浇节点增大过多。考虑到柱端外包钢板低损伤节点其抗震性能较柱端钢筋耗能型节点更优一些，钢材消耗量也更多，因此弯矩增大系数上进行区分。

**6.3.16** 预制框架柱脚节点可采用杯口插入式节点，预制柱插入基础深度应不少于 1.5 倍柱长边截面高度（图 6.3.16）。

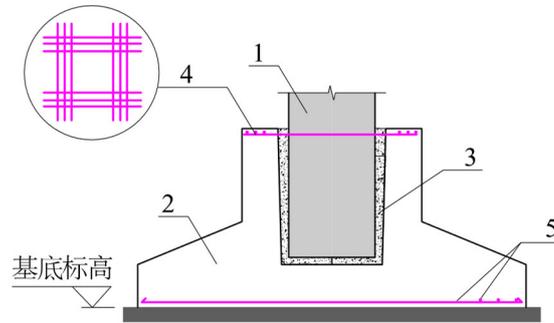


图 6.3.16 杯口插入式节点示意图

1—预制柱；2—杯口基础；3—无收缩灌浆料；4—焊接钢筋网；5—基础钢筋

**【条文说明】**：杯口插入式节点适用于中低烈度区建造的低多层框架结构，缺点是材料消耗大，造价高。

**6.3.17** 压接装配框架的框架柱应进行正截面、斜截面和接缝部位的承载力计算，且应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的规定。对于钢管混凝土柱尚应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的规定。

## 6.4 楼板设计

**6.4.1** 预制叠合板宜采用带后浇叠合层的预应力混凝土空心板、预应力双 T 混凝土叠合板、预应力带肋混凝土叠合板、钢管桁架预应力混凝土叠合板、钢筋桁架混凝土叠合板，也可采用钢筋桁架钢楼承板，并应符合国家现行标准相关规定。

**【条文说明】**：预应力空心板应符合现行国家标准图集《SP 预应力空心板》（05SG408）和《大跨度预应力空心板》（13G440）规定；预应力双 T 板应符合现行国家标准图集《预应力混凝土双 T 板》（18G432-1）规定；钢筋桁架混凝土叠合板应符合中国工程建设标准化协会《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》

T/CECS 715 规定。钢管桁架预应力混凝土叠合板应符合中国工程建设标准化协会《钢管桁架预应力混凝土叠合板技术规程》T/CECS 722 规定。钢筋桁架楼承板应符合现行行业标准《钢筋桁架楼承板》JG/T 368 规定。

**6.4.2** 楼板采用带后浇叠合层的预应力空心板和预应力双 T 板时，应按单向简支板进行设计，跨中截面应考虑后浇叠合层组合承载作用。计算楼板向梁传递荷载值，应按变形协调原则分配部分楼板荷载至与板平行的框架梁。

**【条文说明】**：预应力空心板和预应力双 T 板可实现少次梁、少施工支撑设计，施工速度快，成本经济。两者一般按单向板设计，设计时可考虑现浇叠合层的作用。

**6.4.3** 叠合预应力空心板应根据施工阶段的下部支撑条件、空心板自重、叠合层混凝土自重和施工荷载进行施工阶段的抗弯承载力、抗剪承载力和变形验算。

**【条文说明】**：预应力空心板施工阶段支撑少，甚至无支撑，此处强调在空心板配筋设计时应进行施工阶段验算，以确保安全。

**6.4.4** 楼板应进行正截面、斜截面和连接部位的承载力计算和正常使用状态下的挠度与裂缝验算，且应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369 的规定。

## 7 连接节点设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 压接装配框架应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中“强柱弱梁”和“强剪弱弯”规定，并按国家现行相关标准规定进行验算。

【条文说明】：除本规程另有规定外，框架柱、框架梁应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定调整框架柱端组合的弯矩设计值、柱剪力设计值和梁端截面组合的剪力设计值后进行承载力设计。

7.1.2 除四级框架外，压接装配框架应进行梁柱节点核心区抗震受剪承载力验算，节点构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定。核心区截面抗震验算时，可不计入正交梁的约束影响系数和预应力钢绞线总有效预压力的影响。

【条文说明】：由于正交梁约束作用的预压应力的存在，压接装配框架梁柱节点核心区的抗剪承载力较现浇结构有所提高。本条仍按《建筑抗震设计规范》GB 50011-2016 附录 D 的“框架梁柱节点核心区截面抗震验算”规定执行，便于设计应用且更加安全。

7.1.3 压接装配结构连接节点应进行正截面、斜截面和接头部位的承载力计算，且应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369 的规定。

### 7.2 梁柱节点

7.2.1 压接装配框架梁柱节点构造应符合下列规定：

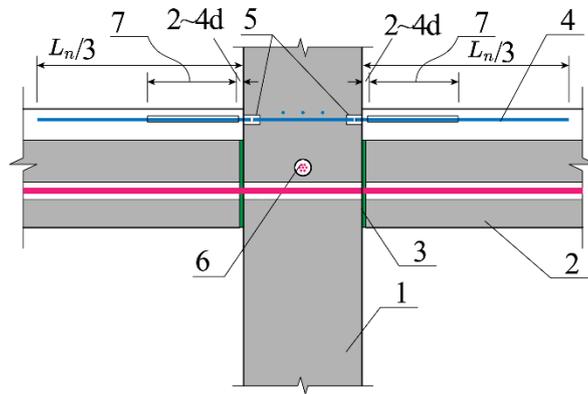
1 梁端耗能钢筋梁中部分与柱内预埋部分应通过等强直螺纹连接套筒连接，连接接头应达到I级接头要求；

2 抗震等级为一级和二级的压接装配框架梁端耗能钢筋在柱外侧应设置削弱无粘结段，削弱无粘结段长度为 200~300mm，起始端应距梁端部 2~4 倍钢筋

直径（图 7.2.1-1）。耗能钢筋削弱段的削弱面积宜为 10~20%，钢筋削弱段与非削弱段应设置不小于 1:4 的平滑过渡，防止应力集中（图 7.2.1-2）；

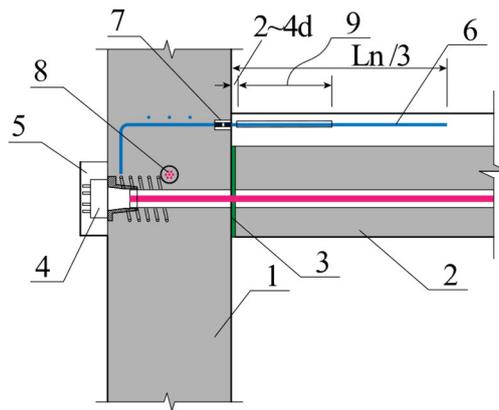
4 抗震等级为三级和四级的压接装配框架梁端耗能钢筋可不设置削弱段，但应设置 200~300mm 的无粘结段。

5 预应力钢绞线宜直线穿过预制梁柱结合面，预应力钢绞线宜为单束且沿梁宽方向居中设置。当梁端承担较大扭矩时也可设置双束预应力钢绞线，双束预应力钢绞线孔道宜沿梁中心线对称布置，水平方向净间距不宜小于 1.5 倍孔道外径，与梁侧净间距不宜小于 50mm（图 7.2.1-3）。



a) 梁柱中节点

1—预制柱；2—预制梁；3—纤维高强灌浆料灌缝；4—耗能钢筋；5—钢筋连接器；6—垂直方向预应力钢绞线；7—削弱无粘段



b) 梁柱边节点

1—预制柱；2—预制梁；3—纤维高强灌浆料灌缝；4—预应力锚环；5—锚头防护；6—耗能钢筋；7—钢筋连接器；8—垂直方向预应力钢绞线；9—削弱无粘段

图 7.2.1-1 框架梁柱节点标准构造

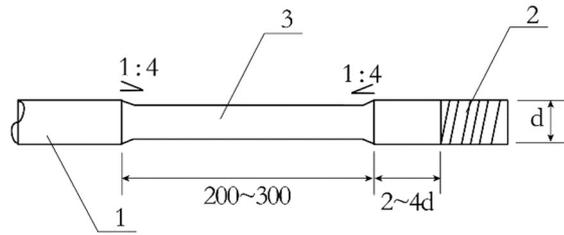


图 7.2.1-2 梁端上部钢筋削弱示意图

1—耗能钢筋；2—螺纹；3—无粘接削弱段

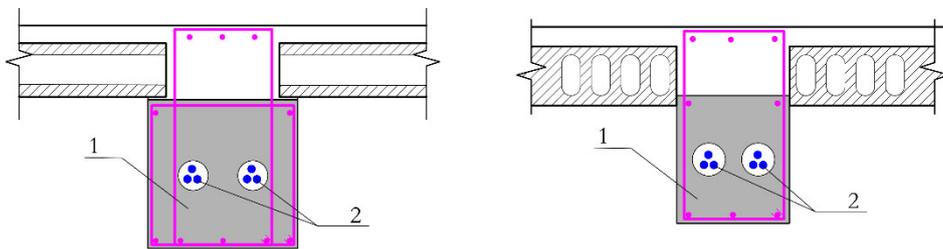


图 7.2.1-3 双束预应力钢绞线布设

1—预制梁；2—预应力钢绞线

**7.2.2** 采用芯部后浇的预制混凝土空心柱的预应力压接梁柱节点，除符合本规程 7.2.1 条的构造规定外尚应符合下列规定（图 7.2.2）：

- 1 预制空心柱预制层最小厚度宜不少于 80mm；
- 2 预制空心柱内的预应力预埋孔道宜采用壁厚不小于 3mm 的圆钢管作为刚性预埋孔道，孔道内径宜与相连梁的金属波纹管内径一致。

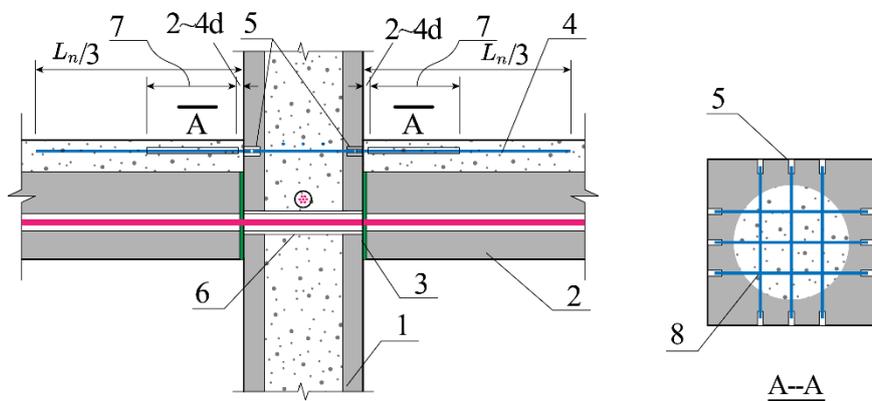


图 7.2.2 梁柱节点采用预制混凝土空心柱

1—预制空心柱；2—预制梁；3—纤维高强灌浆料灌缝；4—耗能钢筋；5—钢筋连接器；

6—钢管；7—削弱无粘段；8—柱内钢筋预埋

【条文说明】：本条给出了采用预制混凝土空心柱时的构造规定。预制混凝土空心柱可采用离心法生产，截面形状可为方形或圆形。当柱截面较大、层高较高时，采用预制空心柱可有效降低预制柱重量，便于现场吊装。预制空心柱与所连接的预制梁安装完成后，应在空心部位浇自密实灌混凝土或浇筑普通混凝土并振捣密实。

7.2.3 采用钢管混凝土柱的梁柱节点，除符合本规程 7.2.1 条的构造规定外尚应符合下列规定：

1 梁端耗能钢筋在柱内部分可以采用预埋钢筋通过穿过钢管壁的钢筋连接器与梁端耗能钢筋相连；也可以采用在钢管壁外侧焊接钢筋连接器，在钢管壁内侧对应位置焊接加劲肋方式（图 7.2.3）。

2 当采用钢管壁内侧对应位置焊接加劲肋方式时，钢管壁外侧钢筋连接器应与钢管等强焊接，钢筋连接器与钢筋连接接头应达到I级接头要求；

3 钢管柱外侧应设置永久钢支托，在施工阶段和使用阶段承担梁端剪力。

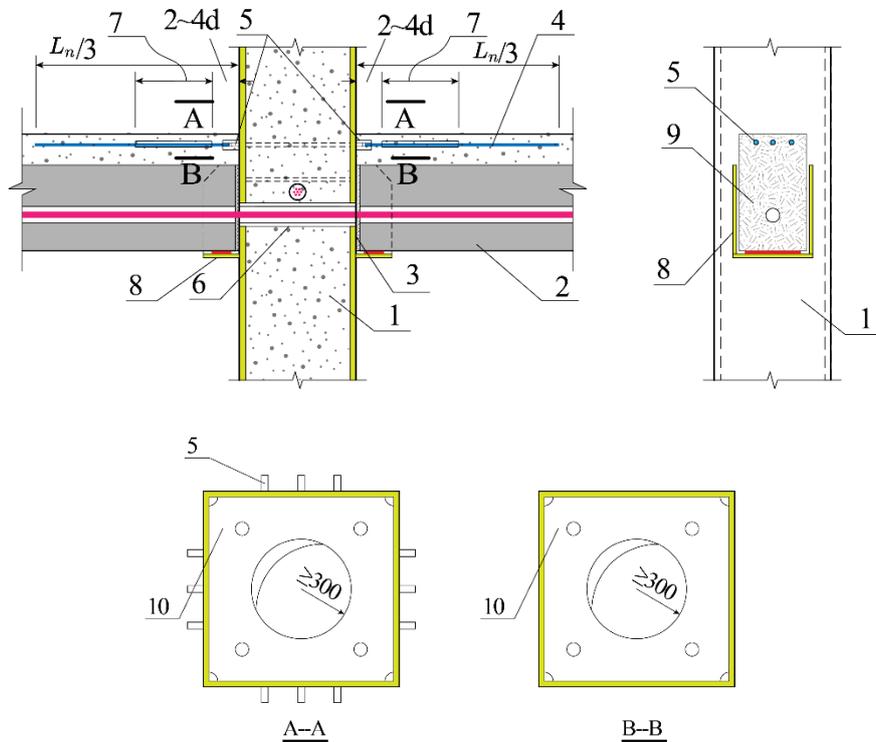


图 7.2.3 梁柱节点采用钢管混凝土柱

1—钢管柱；2—预制梁；3—纤维高强灌浆料灌缝；4—耗能钢筋；5—钢筋连接器；6—钢

管；7—削弱无粘段；8—钢牛腿；9—柱外贴花纹钢板；10—横向加劲肋

【条文说明】：本条给出了采用钢管混凝土柱时的构造规定。当柱截面较大、层高较高时，采用钢管混凝土柱可有效降低预制柱重量，便于现场吊装。钢管混凝土柱可2~3层一段，现场浇筑柱内混凝土，柱间拼接安装也较为方便。

7.2.4 梁柱节点可根据需要设计为不含预应力筋的铰接连接构造（图 7.2.4）。预制梁与预制柱之间应预留 25mm 的间隙，梁端顶部应设置不小于 2 根直径 16mm 的纵向构造钢筋。

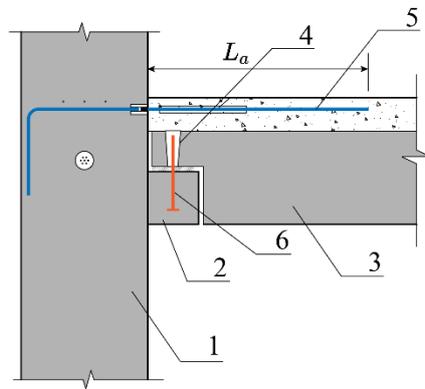
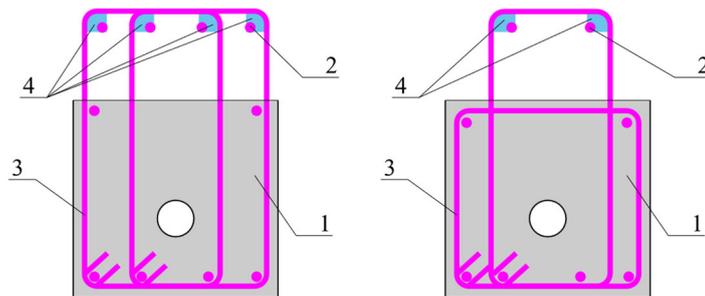


图 7.2.4 梁柱节点铰接构造

1—预制柱；2—柱侧牛腿；3—预制梁；4—梁端预留孔道；5—梁内构造钢筋；6—预埋锚栓

【条文说明】：本条给出了梁柱节点铰接的连接构造。局部设置带牛腿的铰接连接节点，可使压接装配框架的结构布置更加灵活，降低预应力钢绞线的用量。

7.2.5 预埋于框架柱内与梁端耗能钢筋连接的直螺纹套筒应准确定位，梁端耗能钢筋外皮应与相邻箍筋内侧预留有 10~15mm 间隙（图 7.2.5）。



1—预制梁；2—梁耗能钢筋；3—梁箍筋；4—梁端耗能钢筋与相邻箍筋间隙

图 7.2.5 梁端耗能钢筋与箍筋间隙

【条文说明】：为便于在施工现场安装耗能钢筋，耗能钢筋可设置在比箍筋略低 10~15mm 的空间范围，不影响箍筋对混凝土和纵筋的约束作用。对于预制梁，箍筋外露部分不再起纵筋绑扎定位作用。

7.2.6 梁柱接缝宽度宜为 25~30mm，接缝处金属波纹管宜伸出梁端面 10mm，金属波纹管对接后采用胶带缠绕密封（图 7.2.6）。

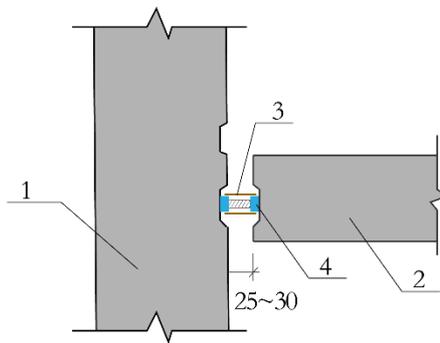
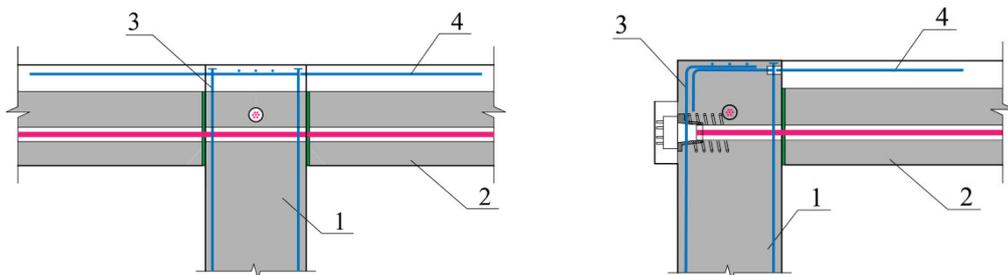


图 7.2.6 梁柱接缝波纹管对接示意

1—预制柱；2—预制梁；3—胶带缠绕；4—金属波纹管

【条文说明】：梁柱接缝处金属波纹管伸出构件端面有利于接缝灌浆时波纹管孔道的封堵。但伸出过长构件无法吊装对位，建议构件生产时预留一定长度外伸波纹管，在吊装前统一切割至 10mm。

7.2.7 结构顶层梁柱节点可采用刚接构造或铰接构造。当采用刚接构造时，伸至柱顶的纵向钢筋采用锚固板形式锚固，锚固长度不小于 $0.6l_{aE}$ （图 7.2.7）。



a) 顶层中节点 (刚接)

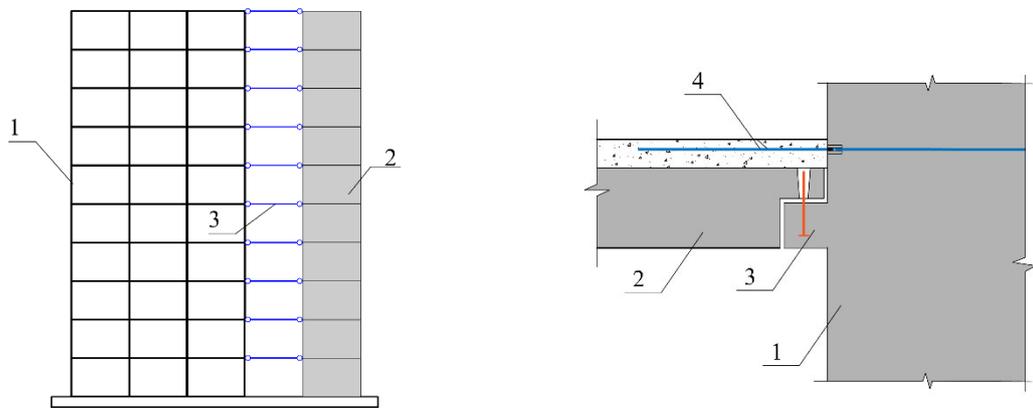
b) 顶层边节点 (刚接)

图 7.2.7 顶层梁柱节点构造示意

7.2.8 抗震等级为一级的框架，后张预应力钢绞线的锚头不宜设置在梁柱节点核心区域，也不宜设置在梁端箍筋加密区。当锚头设置在节点核心区时，应考虑锚具对受剪截面产生的不利影响。

### 7.3 其他节点

7.3.1 压接装配框架宜采用两端铰接的预制叠合梁与混凝土剪力墙连接 (图 7.3.1)。



a) 整体连接示意

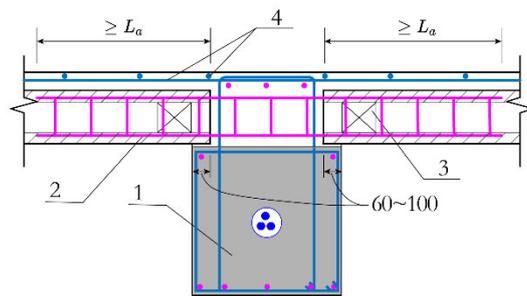
b) 梁与剪力墙铰接连接

1—压接装配框架；2—铰接叠合梁；3—混凝土剪力墙

1—混凝土剪力墙；2—预制梁；3—混凝土牛腿；  
4—构造钢筋

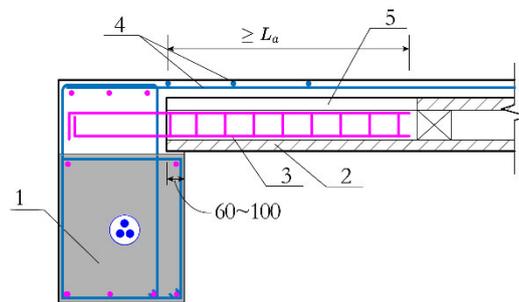
图 7.3.1 压接装配框架与混凝土剪力墙连接

7.3.2 预应力空心板相邻板缝内均应布置与叠合梁连接的拉结钢筋，以增加楼板的整体性。拉结钢筋伸出梁边长度不小于  $l_a$ ，钢筋直径不宜小于 8mm，板缝应用砂浆密实灌缝（图 7.3.2）。抗震等级为一级或二级时，每块预应力空心板端每隔两个空腔内应布置两根与叠合梁连接的附加拉结钢筋，拉结钢筋伸出叠合梁边长度应不小于  $l_a$ ，钢筋直径不宜小于 10mm，附加拉结钢筋范围内的板空腔部分应用混凝土灌实。



a) 预应力空心板板缝拉结筋构造

1—预制梁；2—板缝内拉结钢筋；3—板孔堵头；4—叠合层板面钢筋



b) 预应力空心板板孔内设拉结筋

1—预制梁；2—预应力空心板；3—板孔内拉结钢筋；4—叠合层板面钢筋；5—板局部开槽

图 7.3.2 预应力空心板与梁拉结构造

**【条文说明】：**预应力空心板与框架梁、空心板之间的可靠拉结是保证楼板整体横隔板作用的关键，应按国家现行标准在叠合层内、板缝内或板孔内设置拉结钢筋。带叠合层的预应力空心板之间的连接以及板开洞的构造措施应符合国家现行标准图集《大跨度预应力空心板》（13G440）的规定。

**7.3.3** 带叠合层的大跨度预应力空心板板端方向与框架梁连接应根据板跨度合抗震等级不同设置 60~100mm 的搁置长度；当抗震等级为一级或二级时，空心板板端在梁上的搁置长度不应小于 100mm（**错误!未找到引用源。**）。空心板板端与梁接触部位应铺设水泥砂浆垫层或塑料垫片。大跨度预应空心板板侧可与梁侧边平齐。

【条文说明】：预应力空心板端设置一定的搁置长度可在施工时免去设置端部支撑，框架梁叠合层箍筋内收构造既保证了空心板的搁置长度，又不会在梁侧出现影响建筑使用的花篮挑耳，具有较好的适用性；预应力空心板端在梁上的搁置长度和板侧与梁的连接构造应符合国家现行规程或图集要求。

**7.3.4** 预制空心板端部应有堵头，堵头深度不应小于 1.5 倍板在梁上的搁置长度，并应采用强度等级不低于 C20 的混凝土浇灌密实。

**7.3.5** 钢筋桁架混凝土叠合板的纵向受力钢筋宜采用间接搭接方式与叠合梁连接，板端和板侧宜伸入叠合梁宽范围内 10mm。连接构造应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《钢筋桁架混凝土叠合板应用技术规程》T/CECS 715 的相关规定。

## 8 构件制作、存放与运输

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 压接装配框架开工前应进行建造实施整体策划，除装配式体系和预制构件选择，常规的场地平面布置、工期计划安排、主要吊装设备及施工机具安排、劳动力组织、安全文明施工等内容外，尚应重点关注如下内容：

1 多层预制柱重量较大，应系统考虑策划生产工厂、运输和安装现场的吊装及储运能力。当局部条件不满足时，可拆分为每层一节的预制柱。预应力空心板、预应力混凝土钢管桁架叠合板、钢筋桁架叠合板或钢楼承板应结合设计和使用要求，根据施工现场附近的生产和供货能力进行安排或调整。

2 应调查施工现场 100 公里范围内，预制梁、板和柱的供货能力。当施工现场附近没有规模化的预制构件工厂时，可考虑在施工现场内或附近搭建或租赁临时工厂来满足生产制作要求。

3 预应力专项工程施工单位应参与共同制定整体建造实施策划，以确定预应力锚头、锚具规格型号及施工条件，方便深化设计工作实施。

4 建造实施整体策划应包含镀铜钢纤维、波纹管、钢筋连接器、钢筋连接套筒及灌浆料、定制钢绞线、耗能钢筋和 HRB500 级钢筋等常用原材料的采购及进厂检验等工作。

5 专项施工方案应包括：梁、板、柱吊装安装专项方案、预应力专项施工方案、钢筋套筒灌浆连接专项施工方案。

**8.1.2** 预制构件生产应符合现行国家标准《装配混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定。

【条文说明】：预制构件生产应符合国家现行标准《装配混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 规定。

**8.1.3** 预制构件制作单位应具备相应的生产设施和技术能力，应有完善的质量管理体系和必要的试验检测手段，并宜采用信息化手段管理构件生产制作与储运全过程。

【条文说明】：通过信息化管理系统，可以实现预制构件从生产、存放、运

输甚至到装配的生产过程，工艺和质量监控、溯源，从而使构件质量得到有效控制。

**8.1.4** 预制构件制作和检验应符合本规程要求外，尚应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

## 8.2 深化设计

**8.2.1** 预制构件生产前，应根据工程全专业施工图、生产工艺方案、运输方案和现场安装施工方案进行深化设计，深化设计应符合一下要求：

1 应依据工厂起吊运输能力、模台尺寸、生产设备条件，现场吊装与安装能力等因素，合理确定预制构件重量，制定详细的构件拆分方案；

2 应采用三维深化设计软件进行深化设计，并进行预拼检查，避免错误发生。

3 深化设计文件应符合施工图阶段设计文件的要求，且应经施工图设计工程师认可后方可实施。

4 深化设计文件应包括图纸目录、设计说明、预制构件布置图、预制构件加工详图、通用详图、与预制构件现场安装相关的施工验算资料等内容。

**【条文说明】**：典型深化设计文件目录如下图所示。

XX工程预制构件深化图目录

| 图号     | 图名              | 图幅     | 图号     | 图名            | 图幅 |
|--------|-----------------|--------|--------|---------------|----|
| PC1-01 | 装配整体式混凝土设计专项说明  | A1     | PC3-01 | YKL1-1加工详图    | A3 |
| PC1-02 | 地下一层柱、外墙挂板平面布置图 | A1+1/4 | PC3-02 | YKL1-1-Y1加工详图 | A3 |
| PC1-03 | 一层柱、外墙挂板平面布置图   | A1+1/4 | PC3-03 | YKL1-1-Y2加工详图 | A3 |
| PC1-04 | 二层柱、外墙挂板平面布置图   | A1+1/4 | PC3-04 | YKL2-1加工详图    | A3 |
| PC1-05 | 三层柱、外墙挂板平面布置图   | A1+1/4 | PC3-05 | YKL2-2加工详图    | A3 |
| PC1-06 | 四层柱、外墙挂板平面布置图   | A1+1/4 | PC3-06 | YKL2-3加工详图    | A3 |
| PC1-07 | 五层柱、外墙挂板平面布置图   | A1+1/4 | PC3-07 | YKL2-3-Y加工详图  | A3 |
| PC1-08 | 顶层外女儿墙平面布置图     | A1+1/4 | PC3-08 | YKL2-4加工详图    | A3 |
| PC1-09 | 一层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | PC3-09 | YKL2-5加工详图    | A3 |
| PC1-10 | 二层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | ...    | ...           |    |
| PC1-11 | 三层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | PC4-01 | YB1加工详图       | A3 |
| PC1-12 | 四层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | PC4-02 | YB2加工详图       | A3 |
| PC1-13 | 五层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | PC4-03 | YB3加工详图       | A3 |
| PC1-14 | 顶层叠合梁、板平面布置图    | A1+1/4 | PC4-04 | YB4加工详图       | A3 |
| PC1-15 | 节点详图            | A1     | PC4-05 | YB5加工详图       | A3 |
| PC1-16 | 配件详图(一)         | A2     | PC4-06 | YB6加工详图       | A3 |
| PC1-17 | 配件详图(二)         | A2     | PC4-07 | YB7加工详图       | A3 |
|        |                 |        | ...    | ...           |    |
| PC2-01 | YZ1a加工详图        | A3     | PC5-01 | YWQ61加工详图     | A3 |
| PC2-02 | YZ1a-Y加工详图      | A3     | PC5-02 | YWQ62加工详图     | A3 |
| PC2-03 | YZ1aR加工详图       | A3     | PC5-03 | YWQ63加工详图     | A3 |
| PC2-04 | YZ1b加工详图        | A3     | PC5-04 | YWQ64加工详图     | A3 |
| PC2-05 | YZ1b-Y加工详图      | A3     | PC5-05 | YWQ65加工详图     | A3 |
| PC2-06 | YZ1c加工详图        | A3     | ...    | ...           |    |
| PC2-07 | YZ1d加工详图        | A3     |        |               |    |
| PC2-08 | YZ1e加工详图        | A3     |        |               |    |
| ...    | ...             |        |        |               |    |

图4 图典型深化设计文件目录

### 8.2.2 多层预制柱深化设计时，应符合以下要求：

1 多层预制柱一般2~3层一节，常规条件下每节长度不宜超过12m，每节重量不宜超过10吨，预制柱分节位置可取楼层标高以上100~500mm范围内。

2 对于多层预制柱应进行专门的脱模、吊装、翻身和运输阶段验算，必要时在深化设计文件中限定预制柱翻身和吊装的方式。

3 应根据构件重量合理预设脱模、吊装和支撑用埋件；预制柱应预埋施工阶段用于支撑及矫正柱身垂直度的撑杆预埋件；预制柱应预埋施工阶段用于支承预制梁的临时钢牛腿埋件。

4 多层柱间连接宜选用全灌浆套筒；宜采用集中注浆工艺，设置集中注浆的高位注浆管道；预制柱的底部应设置抗剪凹槽，柱顶应设置粗糙面。

5 深化设计文件中应注明预应力波纹管应与柱子表面平齐，伸出柱凹槽面10mm；预制柱表面与预制梁相接部位应设置粗糙面。

6 预应力孔道至构件边缘的净距离不应小于60mm，且不应小于孔道直径的50%。锚具下承压钢板边缘至构件边缘距离不应小于40mm。孔道的内径应比预应力束外径及需穿过孔道的连接器外径大10~20mm，且孔道的截面积宜为穿入预应力束截面积的3~4倍。预制柱预应力孔道直径应与相连的预应力梁一致。

7 柱内预埋耗能钢筋及连接器宜单排居中布置，并尽可能统一规格，进行归并以减少柱子种类。

【条文说明】：典型预制柱深化设计样图如下：

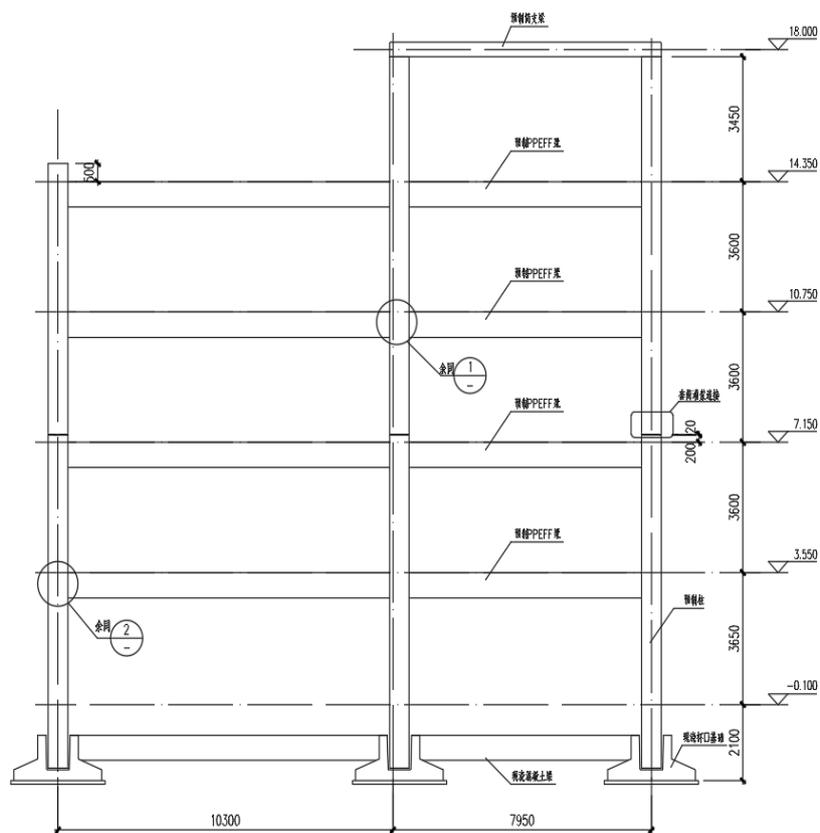


图 5 多层预制柱拆分示意

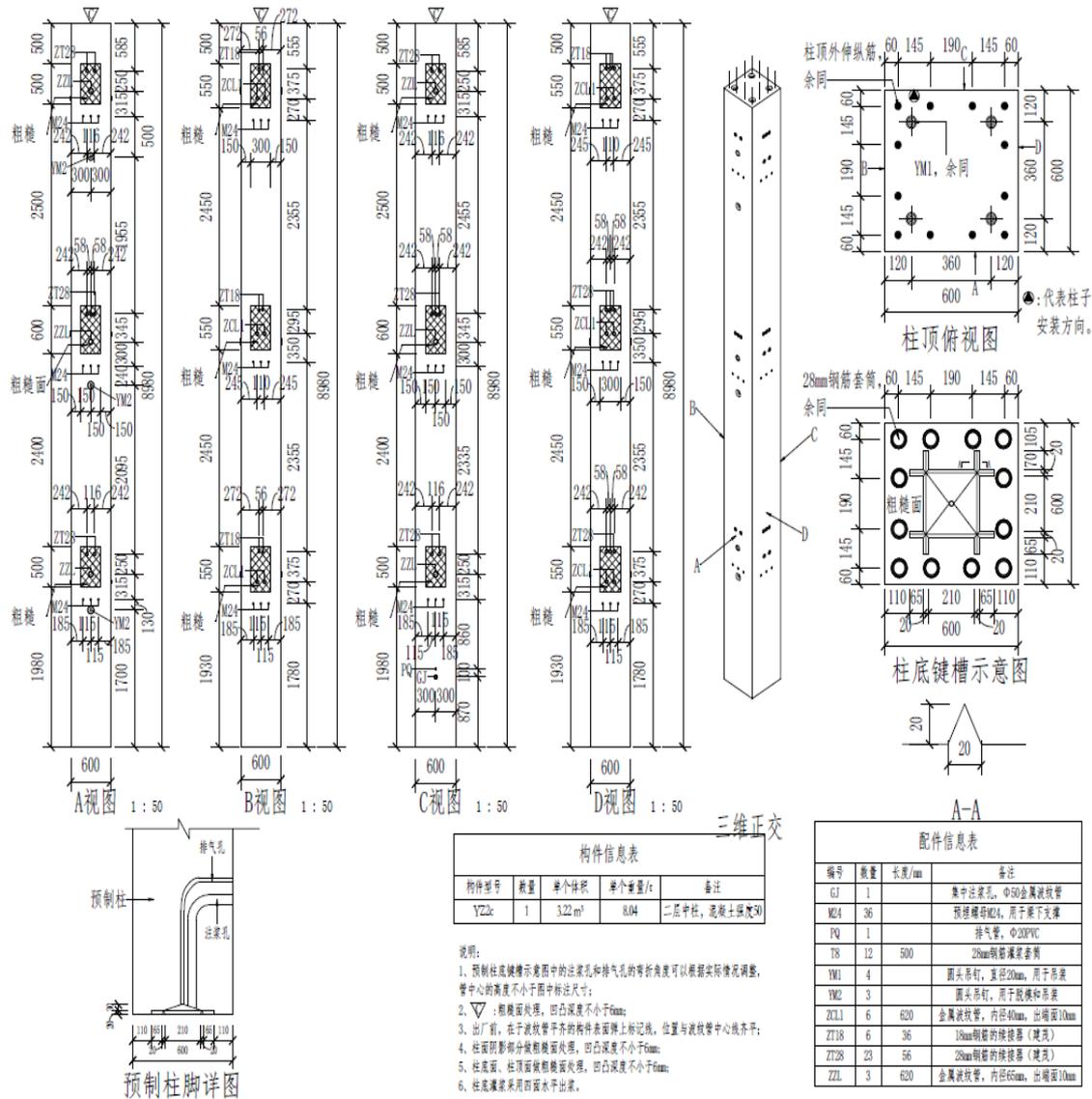


图6 多层预制柱加工详图

### 8.2.3 预制叠合梁深化设计时，应符合以下要求：

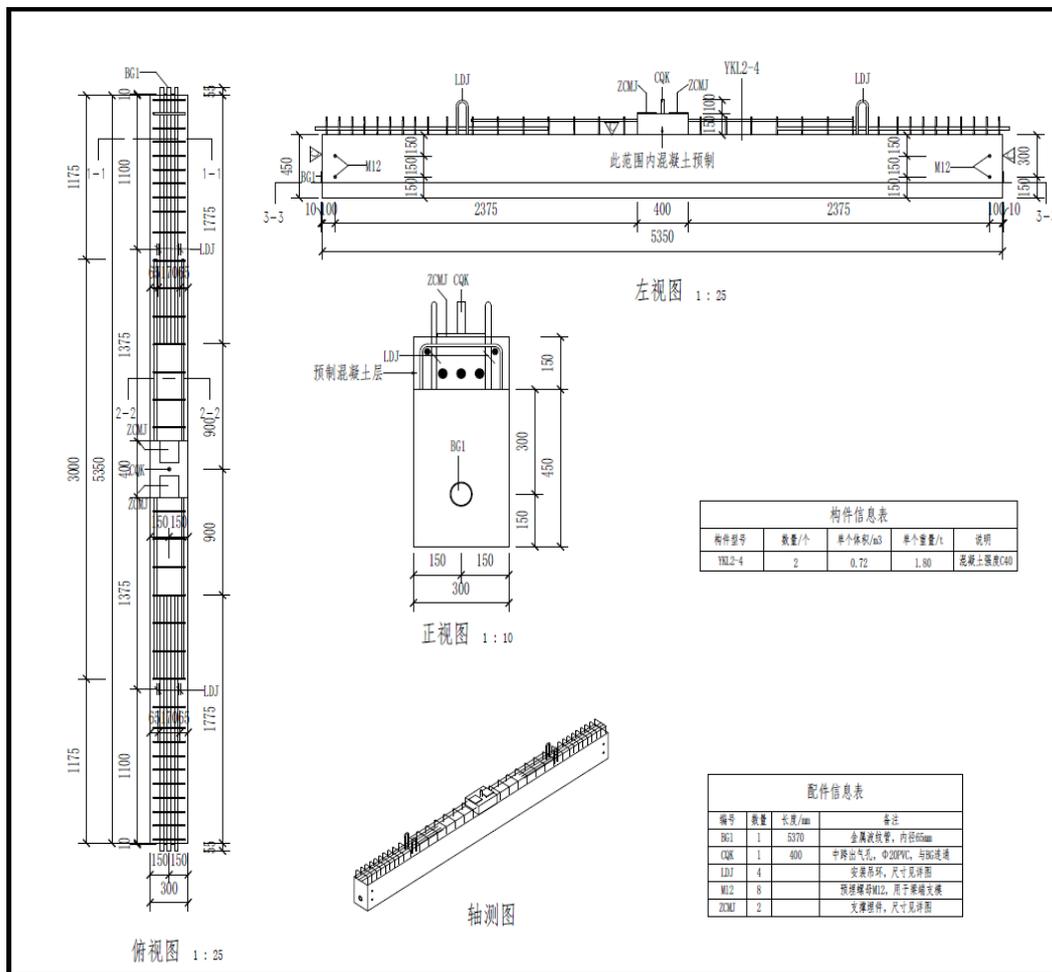
- 1 应根据构件重量合理预设脱模、吊装和支撑用埋件。
- 2 深化设计文件中应注明预应力波纹管应露出梁端面 10mm，下料时露出长度不少于 100mm，出厂时按图纸进行切割；预制梁端应设按设计要求置粗糙面或键槽。
- 3 预应力孔道外壁至梁底、梁侧分别不宜小于 100mm 和 50mm，且不宜小于孔道直径的 50%。孔道的内径应比预应力束外径及需穿过孔道的连接器外径大 10~20mm,且孔道的截面积宜为穿入预应力束截面积的 3~4 倍。预制梁预应力孔道直径应与相连的预应力柱一致。梁预应力管道灌浆孔的间距：对预埋金属螺

旋管不宜大于 30m；孔道两端应设排气孔。

4 预制叠合梁上部钢筋宜与构件一同出厂，梁端耗能钢筋外皮应与上侧、左右侧相邻箍筋外皮预留不少于 10mm 的间隙。预制叠合梁外部现浇部分的钢筋，包括耗能钢筋应在预制工厂内加工并绑扎于预制梁上。

5 施工阶段当需要支撑回顶上一层预制梁，预制梁中部宜设置局部与板顶平齐的凸台。

【条文说明】：典型预制叠合梁深化设计样图如下：



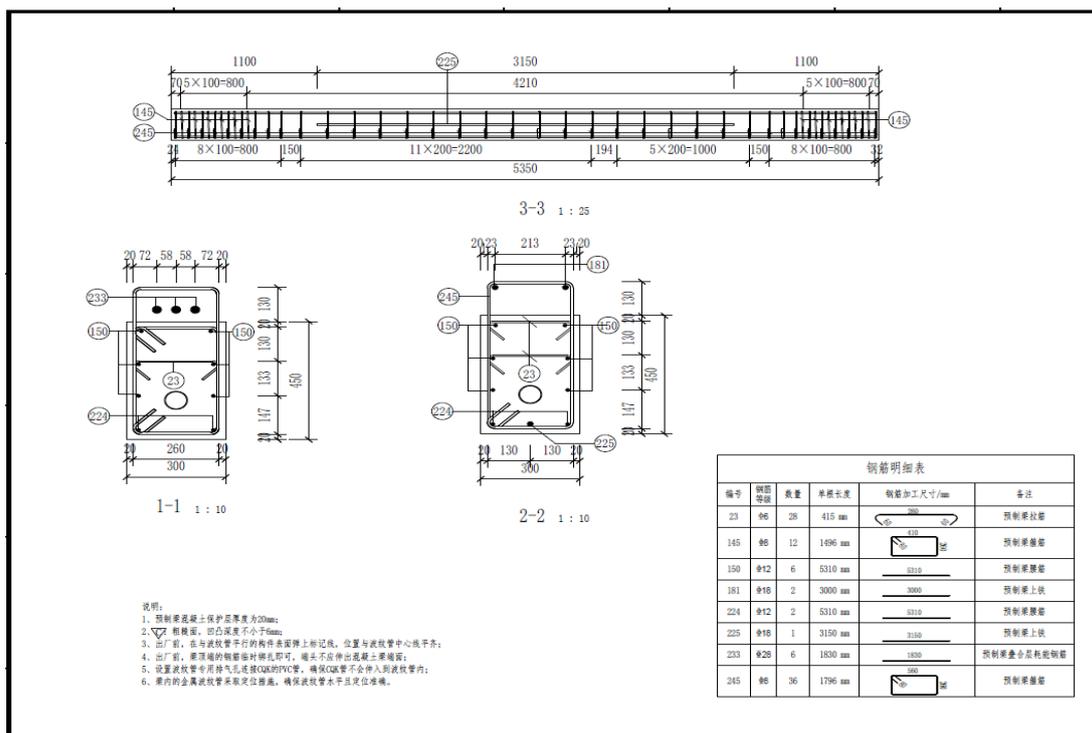


图 7 预制叠合梁深化图示意

### 8.3 构件制作

#### 8.3.1 预制构件的原材料质量及配件进厂检验应符合下列规定:

1 钢筋、预应力钢绞线、预应力混凝土用金属波纹管、预应力用锚具、夹具和连接器, 钢筋连接用灌浆套筒、钢筋锚固板、预埋件、螺栓等原材料应进行进厂验收, 其质量应符合国家现行标准、设计文件和合同约定要求。

2 钢筋进厂应按照批次分类码放并注明产地、规格、品种和质量检验状态等, 质量证明文件齐全, 进厂钢筋按规定进行见证取样, 其力学性能和重量偏差应符合设计要求及相关标准的规定, 检测合格后方可使用。

3 预应力混凝土用金属波纹管其尺寸和性能应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225 的规定。金属波纹管应有产品合格证和出厂检验报告。

4 钢筋连接用的灌浆套筒宜采用优质碳素结构钢、低合金钢高强度结构钢、合金结构钢或球墨铸铁制造, 且应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的规定。钢筋连接用的直螺纹、锥螺纹套筒及挤压套筒接头应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的相关规定。

5 钢筋锚固板材料应符合现行行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的相关规定。

6 预应力用的锚具、夹具和连接器，预埋件、螺栓等材料外观应无污染、锈蚀、机械损伤和裂纹，应按国家现行有关标准的规定进行进厂检验，且应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计规范》GB 50017、《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81、《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 等相关规定。

7 原材料及配件进厂检验批划分应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 规定。

### 8.3.2 预制梁柱构件模具设计应满足下列要求：

- 1 模具设计应依照确认后的加工详图和工艺方案进行。
- 2 模具设计应遵循用通用化、轻量化、操作简便化、应用模块化的设计原则。
- 3 重复使用次数较多的模具的制作材料宜优先选用钢材。

**【条文说明】：**模具设计要考虑确保构件质量、作业的便利性、经济性，合理选用模具材料，以标准化设计、组合式拼装、通用化使用为目标，尽可能减轻模具重量，方便人工组装、清扫。

单个预制叠合梁模具：一侧边模筋板底部留缝，利用面板的弹性变形，通过螺栓拉紧的动作实现脱模；梁上部钢筋应有钢筋定位工装，根据钢筋的不同分布，设计不同的定位工装；梁端模具应根据梁端波纹管位置和梁端粗糙面或键槽情况，进行相应配置处理。

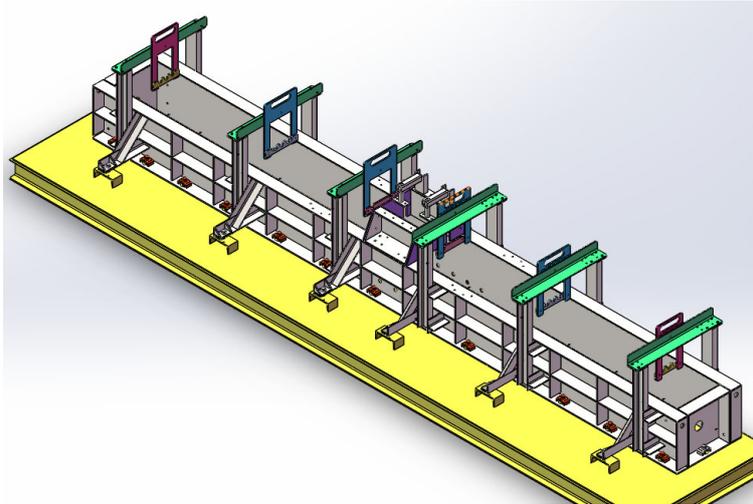


图 8.3.2 单个预制梁模具

单个预制柱模具：两侧边模筋板均在底部留缝，利用面板的弹性变形，通过螺栓拉紧的动作实现脱模；预制柱模具涉及牛腿成型模及替换模，设计之初考虑通用性，为了便于单独拆模，宜设计斜连接板；设计了边模拉紧装置，防止胀模。

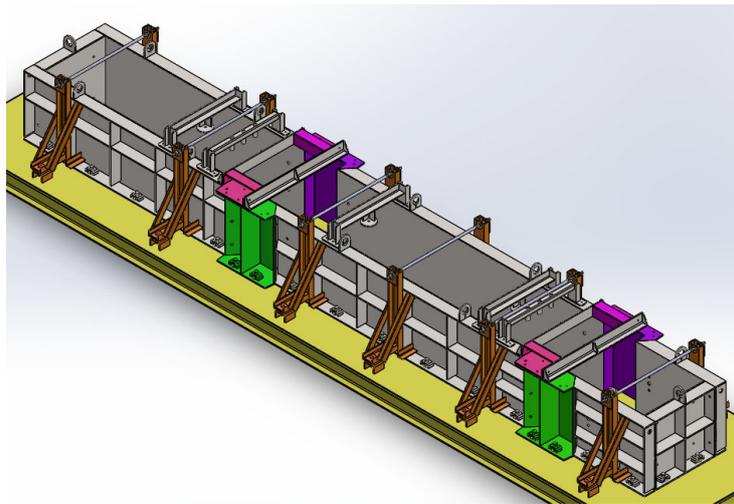


图 8.3.2 单个预制柱模具

成组预制梁、柱模具：一组模具可同时生产两个构件，共用中间模（固定不动），节省一个边模；通过液压系统中液压缸的拉力作用对两侧边模实施拆模；成组模具中成组的数量可根据实际状况进行设计。

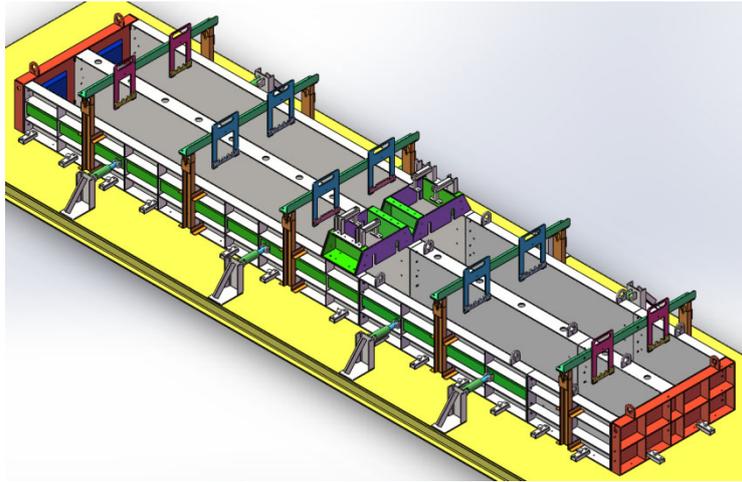


图 10 成组预制梁、柱模具

预制梁、柱模具边模的模块化设计：

1) 边模长度模数化。基本长度 5 米、4 米、2 米、1 米，另设计 0.5 米、0.2 米长度的边模，可自由组合成不同长度的梁。各边模采用螺栓连接；（每个模块的具体尺寸根据常见项目构件的几何尺寸可以再次进行优化）。

2) 边模高度模块化。基本高度 450mm，另设计 10mm、20mm、50mm、100mm 高度的边模，可自由组合成不同高度的梁。采用螺栓连接。

3) 侧模设计时，应考虑预埋件与加劲板的位置，同时对模具设计图纸进行复核，避免后期面具使用过程中，加劲板与埋件的位置的冲突，同时应考虑侧模与低模的连接方式，方便预制构件的拆模。

4) 模具设计时应考虑模具兼用过程中长短边连接的处理，以方便在生产不同几何尺寸的构件时，方便模具的安装及拆卸。

5) 模具配置应结合生产工期、构件类型、构件外形尺寸、生产产能进行归并，制定配模方案。

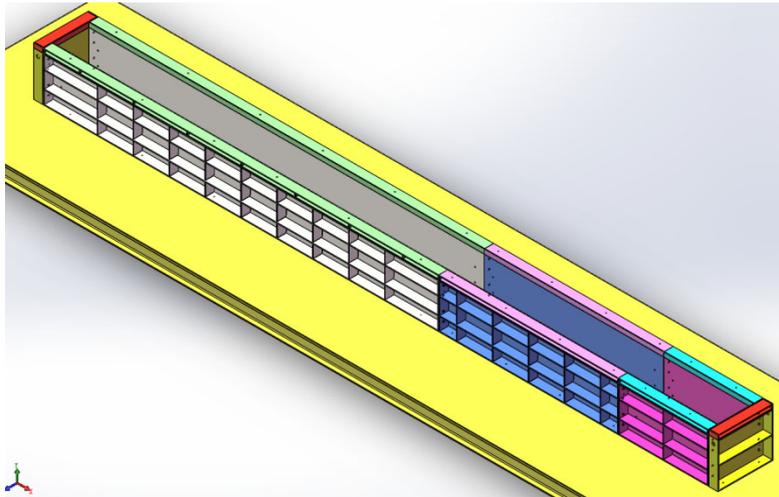


图 11 预制梁、柱模具侧模组拼

### 8.3.3 预制梁柱构件模具的质量要求应符合下列规定：

1 模具应具有足够的强度、刚度、稳定性和平整度，形状和尺寸精确，重复安装精度高，保证在构件生产时能可靠承受浇筑混凝土的重量、侧压力及工作荷载，在运输、存放过程中应采取措施防止变形、受损。

2 模具应装拆方便，定位可靠，且应便于钢筋安装和混凝土浇筑、养护，满足工厂化大批量生产及蒸养环境。

3 模具部件与部件之间应连接牢固；预制构件上预埋件均应有可靠固定措施。

4 柱模具，端模设计时应根据出筋的方式，确保出筋位置和长度，可以通过附加出筋固定工作装置来实现，组模时，采用平推式。

5 所有材料下料或开孔宜选用激光切割，避免火焰或等离子切割方式，确保加工质量。模具焊接时，要采取消除应力措施，防止在使用中变形，影响使用寿命。

6 模具进厂后，应对模具进行扭曲、尺寸、翘曲以及平整度的检查，确保各模具加工质量符合国家现行标准要求。

8.3.4 除设计有特殊要求外，预制梁柱构件模具外观质量要求应符合表 8.3.4-1 的规定，模具尺寸偏差、预埋件和预留孔洞安装允许偏差应符合表 8.3.4-2 的规定。

表 8.3.4-1 预制梁柱构件模具外观质量要求

| 项次 | 项目                 | 质量要求   |
|----|--------------------|--------|
| 1  | 与混凝土接触的清水面拼接焊缝不严密  | 不允许    |
| 2  | 与混凝土接触的清水面拼接焊缝打磨粗糙 | 不允许    |
| 3  | 棱角线条不直             | ≤2mm   |
| 4  | 与混凝土接触的清水面局部凸凹不平   | ≤0.5mm |
| 5  | 与混凝土接触的清水面麻面       | 不允许    |
| 6  | 与混凝土接触的清水面有锈迹      | 不允许    |
| 7  | 与混凝土接触的部件拼装缝不严密    | 缝隙≤1mm |
| 8  | 焊缝长度及高度不足，焊缝开裂     | 不允许    |

表 8.3.4-2 预制梁柱模具检验允许偏差

| 项次 | 项目          |        | 允许偏差<br>(mm) | 检查方法                                       |
|----|-------------|--------|--------------|--|
| 1  | 模内尺寸        | 长度     | ±0.5         | 每一长度方向测一点；用钢尺量。                            |
|    |             | 宽度     | ±0.5         | 两端及中部各测一点；用钢尺量。                            |
|    |             | 厚度     | ±0.5         | 厚度方向随机抽测两点；用钢尺量。                           |
|    |             | 肋宽     | ±2           | 每肋测一点；用钢尺量。                                |
| 2  | 表面平整度       | 清水面    | 1            | 每一面测一点；用 2M 靠尺、塞尺量。                        |
|    |             | 非清水面   | 2            | 大面测一点；用 2M 靠尺、塞尺量。                         |
| 3  | (清水) 相邻平面高差 |        | 0.5          | 每一拼接缝处测一点；用钢板尺、塞尺量。                        |
| 4  | 对角线差        | 对角线长度差 | 1.5          | 长边(短边)不等长时，对角线实测长度与该对角线的计算长度差值；用钢尺量。       |
|    |             | 对角线差   | 1.5          | 长边(短边)等长时，构件清水外露面测一点；用钢尺量。                 |
| 5  | 侧向弯曲        |        | 0.5‰         | 每一侧模测一点；用小线、钢板尺量。                          |
| 6  | 扭翘          |        | 1            | 每一构件外露大面的模具测一点；用小线、钢板尺量。                   |
| 7  | 角度差         | 侧模垂直度  | 倾斜 1.5       | 每一侧中部测一点；用钢角尺、钢板尺量。                        |
|    |             | 面与面    | ±0.005       | 对角边实测长度除以直角边长度的值与该对角边计算长度除以直角边长度的差值；用直角尺量。 |
| 8  | 螺栓、销栓预埋件    | 中心位移   | 0.5          | 每处纵、横双向测量；用钢尺量。                            |
|    |             | 外露长度   | ±2           | 每处测量一点；用钢尺量。                               |
| 9  | 螺母、销孔预埋件    | 中心位移   | 0.5          | 每处纵、横双向测量；用钢尺量。                            |
|    |             | 平面高差   | -1、0         | 每处测量一点；用钢板尺量。                              |
| 10 | 其它预埋        | 中心位移   | 2            | 每处纵、横双向测量；用钢尺量。                            |

|    |    |      |      |                 |
|----|----|------|------|-----------------|
|    | 件  | 平面高差 | ±1   | 每处测量一点；用钢板尺量。   |
| 11 | 内模 | 长度   | ±2   | 每一长度边测一点；用钢尺量。  |
|    |    | 宽度   | ±2   | 两端及中部各测一点；用钢尺量。 |
|    |    | 对角线差 | ±2   | 每一内模测一点；用钢尺量。   |
| 12 | 孔洞 | 中心位移 | 2    | 每处纵、横双向测量；用钢尺量。 |
|    |    | 尺寸   | +3、0 | 长、宽各测一点；用钢尺量。   |

**8.3.5** 钢筋加工除应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 柱端耗能钢筋和梁端耗能钢筋削弱段应采用机械切削加工成形，宜沿钢筋圆周均匀切削或沿截面对称切削成其他截面形状，不应采用火焰切割。加工完后及时用隔离材料包裹封闭，隔绝外部水分，防止锈蚀同时起到隔离混凝土握裹的作用。

2 预制柱内与梁纵筋相连的带直螺纹接头的预埋钢筋，应符合行业现行标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中 I 级接头规定。直螺纹接头应采用标准型滚轧直螺纹套筒，钢筋规格和套筒的规格必须一致，钢筋和套筒的丝扣应干净、完好无损。

3 滚轧直螺纹丝头的加工、连接的操作人员，应经过严格的专业技术培训。

4 钢筋螺纹接头机械加工，宜采用剥肋滚丝机进行钢筋接头螺纹加工。下料时钢筋切口的端面应与轴线垂直，不得有马蹄形或挠曲。应采用砂轮切割机或专用钢筋剪切设备按配料长度逐根进行切割，不得采用刀片式切断机和氧气吹割。

5 检查合格的丝头应加以保护，在其端头加带保护帽或用套筒拧紧，按规格分类堆放整齐。

**【条文说明】：**钢筋在加工前应确保表面无油渍、漆污、锈皮、鳞锈等；钢筋调直应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定，钢筋调直宜采用无延伸功能的机械设备进行调直方法，调直过程中对带肋钢筋横肋不能有损伤，调直后的钢筋应平直，不能有弯折。

钢筋剥肋滚轧直螺纹接头机械加工工艺流程：下料、平头→剥肋滚轧螺纹→丝头检验→利用套筒连接→接头检验→完成。滚轧直螺纹接头应使用管钳和扭力

扳手进行施工，单边外露丝扣长度不应超过 2P，经拧紧后的滚轧直螺纹接头应用扭力扳手校核拧紧扭矩，接头拧紧最小力矩应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 规范要求，校核后应随手刷上红漆以作标识。直螺纹钢筋接头的质量检验及验收应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

**8.3.6** 钢筋骨架应进行质量检查，检查合格后方可安装，除应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定外，尚应符合表 8.3.6 和下列规定：

- 1 骨架吊装时应采用多吊点的专用吊架，防止骨架产生变形。
- 2 保护层垫块可采用轮式或墩式，宜按梅花状布置，间距满足钢筋限位及控制变形要求（以主筋不下垂为准）与钢筋骨架或网片绑扎牢固，保护层厚度应符合国家现行规范标准和设计要求。
- 3 钢筋骨架入模时应平直、无损伤，表面不得有油污或者锈蚀。在随后的作业中不能踩踏钢筋笼，或再其上面行走、放置杂物。
- 4 预制构件端部外露主筋、弯起筋、拉结筋等必须采用绑扎或专用卡具固定，防止偏斜、位移。
- 5 入模后的钢筋笼如果发生变形、歪斜、绑丝松动等要及时修正处理。
- 6 对灌浆套筒进行定位固定，并对套筒内部进行保护，确保其内部清洁。
- 7 骨架装入模具后，应按设计图纸要求对钢筋位置、规格间距、保护层厚度等进行检查，允许偏差应符合表 8.3.6 规定。

表 8.3.6 钢筋骨架尺寸和安装位置偏差（mm）

| 项目             |       | 偏差  | 检验方法              |
|----------------|-------|-----|-------------------|
| 绑扎<br>钢筋<br>骨架 | 长     | ±10 | 钢尺检查              |
|                | 宽、高   | ±5  | 钢尺检查              |
|                | 钢筋间距  | ±10 | 钢尺量测两端、中间各一点，取最大值 |
| 受力<br>钢筋       | 位置    | ±5  | 钢尺量测两端、中间各一点，取最大值 |
|                | 排距    | ±5  |                   |
|                | 保护层厚度 | 柱、梁 | ±5                |
| 绑扎钢筋、竖向钢筋间距    |       | ±10 | 钢尺量连续三档，取最大值      |

|         |     |              |
|---------|-----|--------------|
| 箍筋间距    | ±10 | 钢尺量连续三档，取最大值 |
| 钢筋弯起点位置 | 20  | 钢尺检查         |

**8.3.7 预埋件的安装与检验应符合表 8.3.7 和下列规定：**

1 预埋柱内的预埋灌浆套筒、耗能钢筋及钢筋连接器应与钢模板通过螺栓刚性固定，钢筋连接器内螺纹应仔细封堵，避免浇筑时漏浆。不可采用磁性定位装置固定，避免浇筑混凝土过程中预埋件移位。

2 柱内预埋的金属波纹管不应拼接。梁内预埋的金属波纹管拼接接头不应多于一个，预埋前应认真检查预应力波纹管的拼接接头质量，并在拼接接头处设置附加固定架立筋。

3 预埋前金属波纹管应进行牢固定位并严格封封堵，防止混凝土浇筑时或振捣过程中移位或混凝土侵入。对于预制叠合梁中的直线型金属波纹管，可利用直径略小的通长圆钢管穿入其中，作为临时固定装置，确保混凝土浇筑过程中金属波纹管不变形下挠。

4 预埋吊点、支撑点、模板安装支撑点、防护架安装点、电器盒等预埋件应采用专用工装保证位置准确。

5 安装埋件过程中，不得弯曲、切断或更改已经绑扎好的钢筋笼。

6 混凝土浇筑前，应逐项对模具、垫块、支架、钢筋、连接套管、连接件、预埋件、吊具、预留孔洞等进行检查验收，做好隐蔽工程记录。位置偏差应符合下表的规定。

表 8.3.7 钢筋连接器、预埋件、连接件、预留孔洞等的允许偏差（mm）

| 项目                                |                                 | 偏差   | 检验方法                    |
|-----------------------------------|---------------------------------|------|-------------------------|
| 钢筋直螺<br>纹连接<br>器、钢筋<br>灌浆套筒<br>连接 | 中心位置                            | ±3   | 钢尺检查                    |
|                                   | 安装垂直度                           | 1/40 | 拉水平线、竖直线测量两端差值其满足误差要求   |
|                                   | 连接器与钢筋连接螺纹外露长度；钢筋连接器、钢筋灌浆套筒端口封闭 |      | 目视                      |
| 预埋件<br>（插筋、<br>螺栓、吊<br>具等）        | 中心线位置                           | ±5   | 钢尺检查                    |
|                                   | 外漏长度                            | +5~0 | 钢尺检查且满足连接套管施工误差要求       |
|                                   | 安装垂直度                           | 1/40 | 拉水平线、竖直线测量两端差值且满足施工误差要求 |
| 预留孔洞                              | 中心线位置                           | ±5   | 钢尺检查                    |
|                                   | 尺寸                              | +8,0 | 钢尺检查                    |

|                    |                        |             |
|--------------------|------------------------|-------------|
| 其他需要<br>先安装的<br>部件 | 安装状况：种类、数量、<br>位置、固定状况 | 与构件制作图对照及目视 |
|--------------------|------------------------|-------------|

注：钢筋连接套管除应满足上述指标外，尚应符合套管厂家提供的允许误差值施工允许误差值。

【条文说明】：编制单元工程经验表明，预制梁直线型预应力孔道内穿入钢管，可有效避免梁体混凝土浇筑过程中金属波纹管产生过大变形，影响现场预应力钢绞线穿孔。钢管应在混凝土初凝后及时抽出，穿钢管的预制梁生产见下图。



图 12 预制梁预应力孔道内穿钢管

**8.3.8** 浇筑混凝土前应严格执行钢筋的隐蔽工程检查，并应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定。

【条文说明】：混凝土浇筑前，逐项对模具、垫块、钢筋、连接套筒、连接件、预埋件、吊具等进行检查验收，规格、位置和数量必须满足设计要求，并做好隐蔽工程验收记录。钢筋连接套筒、预埋螺栓孔应采取封堵措施，防止浇筑混凝土时将其堵塞。

**8.3.9** 预制构件混凝土浇筑、振捣、养护、脱模及表面粗糙化处理应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的相关规定。

**8.3.10** 预制构件的成品检验除应符合国家现行标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1、《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 预制柱成品检验应重点检查预埋金属波纹管位置，预埋钢筋连接器的位

置、预埋套筒位置。应重点检查预埋金属波纹管、灌浆套筒和钢筋连接器内部是否有异物或堵塞现象。

2 预制梁应重点检查预埋金属波纹管位置及露出长度、梁端箍筋露出高度和梁长度。梁端部  $L/3$  范围内的箍筋露出高度不应偏差过大，向上允许偏差为  $+10\text{mm}$ ，向下允许偏差为  $-5\text{mm}$ 。应重点检查预埋金属波纹管是否平直，内部是否有异物或堵塞现象（图 8.3.10）。

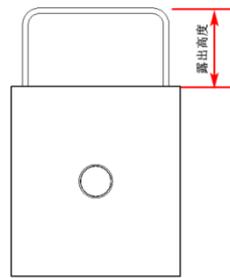


图 8.3.10 预制梁端中箍筋露出高度

3 梁端面预应力孔道中心的允许偏差为  $5\text{mm}$ ，孔内径的允许偏差为  $+10\text{mm}$  至  $-5\text{mm}$ 。应检查预应力孔道的弯曲度，检查方法宜用外径不小于孔内径一半的钢管贯通梁的两端。

4 预制构件不应有影响结构性能和安装、使用的功能尺寸偏差，对超过尺寸偏差且影响结构性能和安装使用功能的部位应按技术处理方案进行处理，并重新检测验收。预制构件尺寸允许偏差应符合表 8.3.10 的规定。

表 8.3.10 预制构件尺寸允许偏差（单位：mm）

| 检查项目   |               | 允许偏差                              | 检查方法          |
|--------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| 长度     | 梁、板、柱         | $<12\text{m}$                     | $\pm 5$       |
|        |               | $\geq 12\text{m}$ 且 $<18\text{m}$ | $\pm 10$      |
|        |               | $\geq 18\text{m}$                 | $-20, 10$     |
| 孔中心距   | 多节柱预埋金属波纹管孔间距 | $\pm 3$                           | 钢尺检查          |
| 宽高（厚）度 | 梁、柱           | $\pm 5$                           |               |
| 表面平整度  | 板、梁、柱、墙板内表面   | 5                                 | 2m 靠尺和塞尺检查    |
| 侧向弯曲   | 板、梁、柱         | $L/750$ 且 $\leq 20$               | 拉线、钢尺量最大侧向弯曲处 |
|        | 墙板、门窗口        | 5                                 |               |
| 挠度变形   | 梁、板设计起拱       | $\pm 10$                          | 拉线、钢尺量最大弯曲处   |

|                  |                       |         |            |
|------------------|-----------------------|---------|------------|
|                  | 梁、板下垂                 | 0       |            |
| 预埋件              | 预埋板、吊环、吊钉中心线位置        | 5       | 钢尺检查       |
|                  | 预埋套筒、钢筋连接器、螺栓、螺母中心线位置 | 2       |            |
|                  | 预埋板、套筒、螺母与混凝土面平面高差    | -5, 0   |            |
|                  | 螺栓外露长度                | -5, +10 |            |
| 预留孔、预埋管中心位置      |                       | 5       | 钢尺检查       |
| 预留插筋             | 中心线位置                 | 3       | 钢尺检查       |
|                  | 外露长度                  | ±5      |            |
| 格构钢筋             | 高度                    | 0,5     | 钢尺检查       |
| 键槽               | 中心线位置                 | 5       | 钢尺检查       |
|                  | 长、宽、深                 | ±5      |            |
| 一般预留洞            | 中心线位置                 | 10      |            |
|                  | 尺寸                    | ±10     |            |
| 与现浇部位模板接茬范围表面平整度 |                       | 2       | 2m 靠尺和塞尺检查 |

注：上述表中 L 为预制构件长度（mm）。

**8.3.11** 预制柱和预制梁预埋波管中心位置应设制安装定位线，并引出至构件边缘。预制梁预埋波管中心位置安装定位线应分别引出至梁两侧和梁底，长度距梁端不少于 500mm。预制柱预埋波管中心位置安装定位线应分别引出至柱侧边和距离金属波纹管中心下方不少于 1000mm 处。梁底，柱身与模板接触面侧的安装定位线可通过在模板上贴线条方式预制成型。

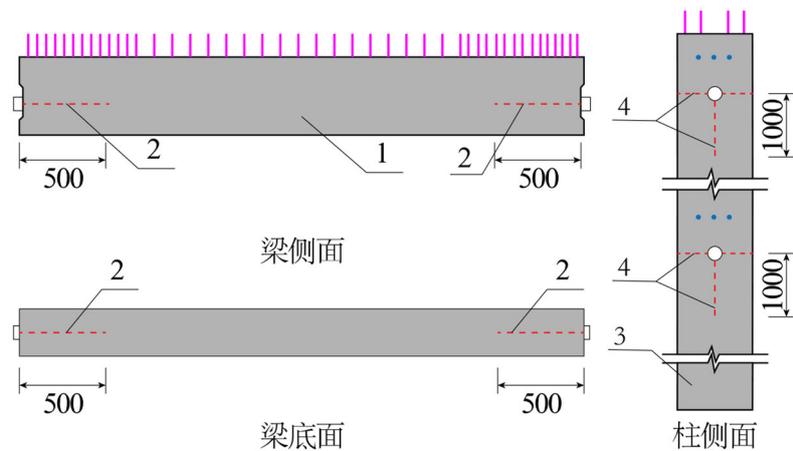


图 8.3.11 预制梁柱金属波纹管安装定位线示意

1—预制梁；2—梁体安装定位线；3—预制柱；4—柱体安装定位线

**8.3.12** 构件生产企业应建立构件标识系统，标识系统应满足唯一性要求。

【条文说明】：预制构件检验合格后，应在构件上设置明显、清晰的标识，构件标识系统应包括项目编号、生产单位、构件型号、生产日期、质量验收标志等内容。不合格的构件也应用明显的标志在构件显著位置标识。

**8.3.13** 构件生产企业应按照有关标准规定或合同要求，对供应的产品签发产品质量证明书，明确重要技术参数，有特殊要求的产品还应提供安装说明书。

【条文说明】：构件生产企业的产品质量证明文件包括但不限于以下内容：产品合格证；构件编码；原材料、预埋件合格证及复检报告；连接套筒及连接件合格证及性能检测试验记录；过程检验记录及隐蔽工程验收记录；构件蒸养记录；构件修补技术处理方案；成品检测资料；生产企业名称、生产日期、出厂日期；检验员签字或盖章（可用检验员代号表示）。

## 8.4 构件存放与运输

**8.4.1** 预制构件的存放场地宜为混凝土硬化地面或经人工处理的自然地坪，应满足平整度和地基承载力要求，并应有排水措施。

**8.4.2** 构件存放场地应进行相应的规划，划分构件立放区及构件叠放区；划分不同项目不同种类构件的存放区。在构件堆场布局规划时应充分考虑车辆运输通道、人员作业空间的规划，确保构件运输效率及作业安全；构件存放场地应规划有排水措施

**8.4.3** 构件存放时，应与地面进行隔离，构件支承的位置和方法，应根据其受力情况确定，但不得超过预制构件承载力或引起预制构件损伤；预制构件与刚性搁置点之间应设置柔性垫片，且垫片表面应有防止污染构件的措施。

**8.4.4** 预制梁柱等宜平放，吊环向上，标识向外。堆垛高度应根据预制构件与垫板木的承载能力、堆垛的稳定性及地基承载力等验算确定；板类构件一般不超过 6 层，梁或柱类构件一般不超过 2 层或总体最大高度不超过 1.5 米，各层垫木的位置应在一条垂直线上。

**8.4.5** 预制构件存储时，应进行必要的防护以防止构件被污染及损坏。预制构件露天堆放时，预制构件的预埋铁件应有防止锈蚀的措施，易积水的预留、预埋孔洞等应采取封堵措施。

**8.4.6** 预制柱运输应根据施工现场的吊装计划，提前将所需预制构件的规格、数量等信息发至预制构件厂，提前做好运输准备。在运输前按清单仔细核对预制构件的型号、规格、数量是否配套。

**8.4.7** 预制构件出厂后应先存放与施工现场设置的预制构件指定堆场，施工现场使用的预制构件应在预制构件堆场完成验收并弹线后，方可运往与堆场对应的施工区。

**8.4.8** 预制构件装车前应在车仓底部铺设整根枕木支垫，装车构件之间采用包裹木方衬垫，构件装车完成后用钢丝绳加紧固器绑牢，以防运输受损。在预制构件的边角部位加防护角垫，以防磨损预制构件的表面和边角。

**8.4.9** 预制构件运输前，根据运输应选定合适、平整坚实路线，车辆启动应慢、车速行驶均匀，严禁超速、猛拐和急刹车。

## 9 施工与验收

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 压接装配框架施工前，应制定装配式结构专项施工方案；施工方案的内容应包括构件安装及节点施工方案、构件安装的质量管理及安全措施等；施工方案应经监理单位和设计单位确认后方可实施。

【条文说明】施工方案应结合结构深化设计、构件制作、运输和安装全过程各工况的验算，以及施工吊装与支撑体系的验算等进行策划与制定，并考虑构件吊装顺序、技术间歇控制、工序穿插安排、吊装工艺和施工人材机配置，充分反映装配式结构施工的特点和工艺流程的特殊要求。

**9.1.2** 压接装配框架施工流程宜符合附录 D 的要求。

【条文说明】预应力钢绞线张拉应在梁柱接缝灌浆料强度超过 20MPa 以后，楼板叠合层混凝土浇筑前完成。

**9.1.3** 当结构长度超过 60m 且层数超过 6 层时，应进行施工过程分析，验算预应力张拉、安装阶段的构件承载力和变形。

【条文说明】：超长张拉单元会引起张拉时边跨竖向构件偏位过大，同时层数过高时，2~3 层预制柱的竖向偏位累积效应会使上部楼层柱子定位与设计定位偏差过大，影响工程验收和结构安装后的初始内力。另一方面，当结构中布有抗震墙等刚度较大的抗侧力构件时，预应力传递比较复杂，也应进行施工过程分析。为保证本体系使用阶段结构安全，制定本条规定。

**9.1.4** 预制构件、安装用材料及配件等应满足设计要求并符合国家现行标准规定。

**9.1.5** 施工用吊具应按国家现行有关标准的规定进行设计、验算或试验检验。

【条文说明】施工吊具选用应按起重吊装工程的技术和安全要求执行，宜采用多功能专用吊具。多功能专用工具可提高施工效率，适应不同类型的构件吊装。施工验算可依据本规程及相关技术标准，特殊情况无参考依据时，需进行专项设计计算分析或必要试验研究。

**9.1.6** 预应力工程施工前应编制专项施工方案。必要时，施工单位应根据设计文件进行深化设计。

【条文说明】预应力专项施工方案内容一般包括：施工顺序和工艺流程；预应力施工工艺，包括预应力钢绞线制作、孔道预留、预应力钢绞线安装、预应力钢绞线张拉、孔道灌浆和封锚等；材料采购和检验、机具配备和张拉设备标定；施工进度和劳动力安排、材料供应计划；有关分项工程的配合要求；施工质量要求和质量保证措施；施工安全要求和安全保证措施；施工现场管理机构等。

预应力混凝土工程的施工图深化设计内容一般包括：材料、张拉锚固体系、预应力钢绞线束形定位坐标图、张拉端及固定端构造、张拉控制应力、张拉或放张顺序及工艺、锚具封闭构造、孔道摩擦系数取值等。预应力专业施工单位完成的深化设计文件应经原设计单位确认。

**9.1.7** 预应力工程施工应根据环境温度采取必要的质量保证措施，并应符合下列规定：

- 1 当工程所处环境温度低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 时，不宜进行预应力钢绞线张拉；
- 2 当工程所处环境温度高于 $35^{\circ}\text{C}$ 或日环境平均环境温度连续5日低于 $5^{\circ}\text{C}$ 时，不宜进行灌浆施工；必须进行灌浆施工时，应采取专门的质量保证措施。

【条文说明】工程经验表明，当工程所处环境温度低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 时，易造成预应力钢绞线张拉阶段的脆性断裂，不宜进行预应力钢绞线张拉；灌浆施工会受环境温度影响，高温下因水分蒸发水泥浆的稠度将迅速提高，而冬期的水泥浆易受冻结冰，从而造成灌浆操作困难，且难以保证质量，因此应尽量避免高温环境下灌浆和冬期灌浆。如果不得已在冬期环境下灌浆施工，应通过采用抗冻水泥浆或对构件采取保温措施等来保证灌浆质量。

**9.1.8** 压接装配框架结构施工前，应对相关技术人员和作业人员进行技术交底和培训。关键工序作业工人应专业培训合格后方可上岗。

【条文说明】施工前应做好施工交底、制定操作手册并进行安全施工培训，相关技术人员和作业人员应熟悉施工组织设计及工艺。预制构件吊装、梁柱节点

接缝封仓、灌浆及预应力施工等关键工序的施工质量是保证预制构件连接性能的关键控制点，施工人员应专业培训合格后方可上岗。

## 9.2 施工准备

9.2.1 预制构件安装前的准备工作应符合下列规定：

1 应合理规划构件运输通道和临时堆放场地，并应采取成品保护措施、制定修复方案；

2 应做好预制构件进场验收工作，核对构件和配件的标识和深化设计一致，并核对预制构件的混凝土强度及预制构件和配件的型号、规格、外观质量、数量、预留预埋件等符合设计文件和施工要求，尺寸偏差等符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程的有关规定；

3 应在已施工完成结构及预制构件上进行测量放线，并应设置安装定位标志；

4 应复核构件装配位置、节点连接构造。

5 应根据预制梁、板、柱的吊装及施工支撑条件进行构件施工状态的承载力和裂缝验算。

【条文说明】：预制混凝土构件进场应做充分技术准备工作，制定专项措施包含：现场转运方案，堆放方案等。

9.2.2 安装施工前作业面及作业环境应符合下列规定：

1 应核实现场环境、天气、道路状况等满足吊装施工要求。

2 应核对已施工完成结构的混凝土强度、外观质量、尺寸偏差等符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程的有关规定；

3 应核对已经施工完成结构的钢筋规格，长度，定位偏差等符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程的有关规定；

4 应核对预制构件安装施工前的作业平台、围护结构、施工措施及相关预留预埋件等的安全状态，符合相关规范及设计、施工要求。

【条文说明】本条对安装前现场作业面及作业环境做出相关要求。

### 9.2.3 安装工具应符合下列规定：

1 应检查复核吊装设备及吊具处于安全操作状态，型号数量及性能符合设计及施工要求；

2 应检查复核临时支撑、构件安装定型工具处于安全状态，型号数量及性能符合设计及施工要求；

3 应检查复核处于完成结构面工作的安装辅助机械设备处于安全状态，符合设计及施工要求。

【条文说明】本条对安装工具设备做出相关要求。

9.2.4 混凝土预制柱与预制梁端交接处宜设置施工阶段支承预制梁的临时安装钢牛腿（图 9.2.4）。

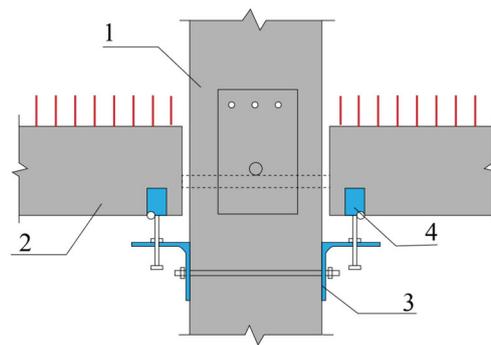


图 9.2.4 临时钢牛腿

1—预制柱；2—预制梁；3—临时钢牛腿；4—支托

【条文说明】：梁下钢牛腿可减少施工阶段预制梁的支撑，提高安装速度，但也应考虑其对建筑使用功能的影响。本标准建议采用混凝土预制柱时，设置临时钢牛腿，施工完成后拆除。

9.2.5 装配式结构施工前，宜选择有代表性的单元进行预制构件试安装，并根据试安装结果及时调整完善施工方案和施工工艺。

【条文说明】为避免由于设计或施工缺乏经验造成工程实施障碍或损失，保证压接装配框架结构建筑施工质量，并不断摸索积累经验，提出通过试安装进行验证性试验。通过试安装来验证设计和施工方案存在的缺陷，同时可以培训人员，调试设备，完善方案。经过定型的产品体系，在工厂已完成试安装，现场可不另

进行试安装。

**9.2.6** 预应力施工前的准备工作应符合下列规定：

- 1 应复核预应力钢绞线长度、规格、数量、性能等满足设计与施工要求，并按设计要求对预应力钢绞线的有粘结段进行处理；
- 2 应检查预应力钢绞线孔道成型、定位满足设计施工要求，并保证孔道、排气兼泌水管及灌浆孔畅通；
- 3 应复核锚固板垂直于预应力孔道中心，并清理锚垫板和张拉端预应力钢绞线，检查锚垫板后混凝土的密实性；
- 4 张拉机具应与锚具应配套使用，并应在进场时进行检查和标定。
- 5 应计算张拉力和张拉伸长值，根据张拉设备标定结果确定油泵压力表读数；
- 6 应复核张拉设备、张拉作业平台应处于安全状态，并满足设计及施工要求。
- 7 进行预应力锚固区局部承压验算，验算时混凝土强度应按张拉时强度确定。

【条文说明】预应力钢绞线张拉前，根据张拉控制应力和预应力钢绞线面积确定张拉力，然后根据千斤顶标定结果确定油泵压力表读数，同时根据预应力钢绞线曲线线形及摩擦系数计算张拉伸长值；现场检查确认混凝土施工质量，确保张拉阶段不致出现局部承压区破坏等异常情况。

**9.2.7** 同一根钢绞线有粘结段与无粘结段处理方式应符合以下规定：

- 1 按现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 规定，定制采购带护套但不含防腐润滑涂层的无粘结预应力钢绞线，在施工现场清除有粘结段部位护套；
- 2 按现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 规定，采购无粘结预应力钢绞线，对有粘结段在施工现场彻底清除护套和防腐润滑涂层；
- 3 不应采购无附加防腐措施的普通预应力钢绞线，在施工现场缠绕胶带进行无粘结处理的方式。

**【条文说明】** 常规无粘结预应力钢绞线生产方式为挤塑机将防腐润滑涂层及护套制作一次完成，因此可以向供货厂家订购不含防腐润滑涂层的无粘结预应力钢绞线。此种方式为最佳，施工方便且钢绞线不易腐蚀。对于有粘结预应力钢绞线防腐润滑涂层的处理宜采用碱性除油液进行彻底浸泡除油，擦干后使用，并注意钢绞线的防腐。普通预应力钢绞线储运及施工过程中易腐蚀，施工现场对普通预应力钢绞线缠绕胶带质量不稳定，在穿筋过程中容易脱落堵塞孔道，因此不应采用。

**9.2.8** 钢筋进场时，应对其规格、型号、外观和质量证明文件进行检查，并按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定进行检验。

**9.2.9** 钢筋加工及连接，应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定，并应符合下列规定：

1 钢筋连接用的灌浆套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 及《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的有关规定；

2 钢筋连接用的直螺纹套筒、锥螺纹套筒及挤压套筒接头应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定；

3 钢筋连接采用焊接连接的，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

**9.2.10** 预制构件连接用灌浆料应符合下列规定：

1 灌浆套筒灌浆料性能应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 和《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的有关规定；

2 梁柱节点接缝封仓灌浆料应采用镀铜钢纤维灌浆料，其 24h 的抗压强度不应小于 25MPa，28d 抗压强度不应小于 60MPa，且不应小于梁混凝土强度。灌浆料宜选用直径 0.2mm、长度 6mm 的镀铜钢纤维，在拌合物中的体积掺量不宜小于 0.5%~1.5%。镀铜钢纤维灌浆料拌合物浆体流动度初始值不宜小于 280mm，30min 后不小于 260mm。灌浆料其余性能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 的有关规定。

**9.2.11** 预应力孔道灌浆材料性能与施工要求应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448 规定，且 28d 抗压强度不应小于预制梁混凝土强度。

【条文说明】镀铜钢纤维灌浆料属于试验研究表明，钢纤维的掺入可有效提高试件的抗折强度，随着钢纤维掺量的增加，抗折强度随之提高，抗折试验过程中，水泥基体首先断裂，随之通过钢纤维的粘结应力承受荷载。当钢纤维掺量为 1.5% 时，试件的韧性明显增加，水泥基体开裂并不能导致整体的脱落。

**9.2.12** 预应力钢绞线、锚具、夹具、连接器和张拉设备应符合下列规定：

1 预应力钢绞线进场时，应对其规格、型号、外观和质量证明文件进行检查，并按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定进行检验；

2 当预应力钢绞线需要代换时，应进行专门计算，并经原设计单位确认；

3 锚具应采用 I 类锚具，锚具、夹具和连接器应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的有关规定及设计要求；

4 张拉设备宜采用配套使用，张拉之前需对油泵、千斤顶进行标定。

### 9.3 构件安装

**9.3.1** 装配式结构安装现场应根据工期要求以及工程量、机械设备等现场条件，组织立体交叉、均衡有效的安装施工流水作业。预制构件应按设计文件、专项施工方案要求的顺序进行安装与连接。

**9.3.2** 梁、板、柱吊装前应检查构件上安装定位标志线是否完备，检查核对构件安装方向。

**9.3.3** 采用钢筋套筒灌浆连接、钢筋浆锚搭接连接的预制构件就位前，应检查下列内容：

1 套筒、预留孔的规格、位置、数量和深度；

2 被连接钢筋的规格、数量、位置和长度。

3 当套筒、预留孔内有杂物时，应清理干净；当连接钢筋倾斜时，应进行

校直。连接钢筋偏离套筒或孔洞中心线不宜超过 5mm。

**【条文说明】：**钢筋套筒灌浆连接接头和浆锚搭接连接接头的施工质量是保证预制构件连接性能的关键控制点，施工人员应经专业培训合格后上岗操作。

#### 9.3.4 预制柱的安装应符合下列规定：

- 1 构件安装前，应清洁结合面；
- 2 构件底部应设置可调整接缝厚度和底部标高的垫块，标高过高的地方应进行凿毛清理；
- 3 预制柱就位后，应采用斜支撑进行临时固定，支撑高度应根据构件特点及项目特点确定，并应进行抗倾覆、承载力等力学性能验算，确保其安全及稳定；预制柱底部应采取紧固支撑加强预制柱底的稳定性。

#### 9.3.5 受弯叠合构件的装配施工应符合下列规定：

- 1 应根据设计要求或施工方案设置临时支撑；
- 2 施工荷载宜均匀布置，且不应超过设计规定；
- 3 混凝土浇筑前，应按设计要求检查结合面的粗糙度及预制构件的外露钢筋。

#### 9.3.6 预制框架梁的安装应符合下列规定：

- 1 预制框架梁吊装前，应对梁端预留伸出金属波纹管进行测量；若金属波纹管伸出梁过长应截断；若金属波纹管伸出梁过短，可在金属波纹管周围粘贴窄边胶环垫；
- 2 预制框架梁的吊装宜以预应力孔道的中心线为准，向下量测梁底标高，以此控制梁标高；预制梁、柱预应力孔道中心线应对准；
- 3 预制框架梁、柱间隙应调整至 10mm~20mm，并应对间隙进行清理；
- 4 预制框架梁宜搁置于柱侧临时钢牛腿等支撑件上，搁置长度应满足设计要求；预制框架梁就位后应设置临时支撑，支撑数量应通过计算确定；
- 5 预应力钢绞线穿束完成后，应及时对梁端间隙进行清理、将间隙中的金属波纹管缠密封胶带，然后进行封仓、灌浆；灌浆应保证密封性，制定防漏浆措施；
- 6 应对梁端接缝侧面及底部进行封边，防漏处理。

### 9.3.7 预应力施工应符合下列规定：

1 施加预应力时，同条件养护的混凝土立方体抗压强度应符合设计要求，并应满足不低于设计强度等级的 75%，且不低于锚具供应商提供的技术产品手册要求的混凝土最低强度要求；梁柱接缝处的灌浆料强度应达到 25MPa 以上；

2 施加预应力时，应保证千斤顶、工作锚、锚垫板三者同心，且与锚垫板垂直；最大张拉控制应力不应大于  $0.7f_{pk}$ ；

3 预应力钢绞线的张拉顺序应符合设计和专项施工方案要求，并根据结构受力特点、施工方便及操作安全等因素确定；预应力钢绞线张拉宜符合均匀、对称的原则；

4 预应力钢绞线的张拉宜采用应力控制方法，并应校核张拉下预应力钢绞线伸长值；实测伸长值与计算伸长值的偏差不应超过 $\pm 6\%$ ，否则应查明原因并采取措​​施后再张拉；

5 预应力钢绞线张拉或放张时，应采取有效的安全防护措施，预应力钢绞线两端正前方不得站人或穿越；同时，应对张拉力、压力表读数、张拉伸长值及异常情况做出详细记录；

6 预应力钢绞线张拉后，应尽早进行孔道灌浆，一般不宜大于 48 小时，以免预应力钢绞线锈蚀或松弛；灌浆施工前，应采用水泥浆、水泥砂浆等材料封堵锚具夹片缝隙和其他可能漏浆处，也可采用封锚罩封闭端部锚具；预应力孔道灌浆应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和本规程的有关规定；

7 预应力孔道灌浆后，应切除锚具外多余预应力钢绞线，切除后预应力钢绞线露出长度不应小于 30mm；切除后，应采用不低于梁混凝土强度等级的细石微膨胀混凝土进行封锚。

### 9.3.8 预制柱柱脚节点封仓和灌浆应符合国家现行标准的有关规定，并符合下列规定：

1 在预制柱吊装就位后，应对接缝周围进行封堵，封堵措施应符合结合面承载力设计要求；

2 钢筋套筒灌浆前，应进行灌浆料拌合物流动性检测、灌注质量以及接头

抗拉强度的检验；经检验合格后，方可进行灌浆作业；

3 柱脚灌浆料和水的用量、搅拌时间、搅拌方式均应按照产品要求进行；灌浆料拌合后至灌浆完毕的时间不宜超过 30min。

【条文说明】：预制柱接缝、钢筋套筒灌浆连接接头的施工质量是保证预制构件连接性能的关键控制点，作业前应对材料质量和工艺进行验证，并根据结果调整施工工艺。

9.3.9 梁柱节点接缝封仓和灌浆应符合国家现行标准的有关规定，并符合下列规定：

1 灌浆料应符合本规程的相关规定；

2 梁柱节点接缝灌浆应在梁封边料达到强度后进行；

3 梁柱节点接缝封仓材料应进行进场检验和试配；灌浆料每个检验批应留置不少于 3 组标准养护试件，用以检测浆体强度。

9.3.10 密拼预制叠合板板缝在浇筑后浇叠合层混凝土前，应用 1：3 水泥砂浆灌缝密实。

9.3.11 后浇混凝土的施工应符合下列规定：

1 后浇混凝土浇筑施工前，应复核模板搭设质量，保证后浇混凝土部分形状、尺寸和位置准确，并应防止漏浆；

2 后浇混凝土浇筑施工前，应复核后浇层预留预埋件规格、数量、定位满足设计及施工要求，并应对隐蔽工程验收和技术复核；

3 后浇混凝土浇筑施工前，应进行混凝土进场验收，复核混凝土规格、方量、性能满足设计与施工要求。

4 后浇混凝土浇筑施工前，应将预制构件结合面疏松部分的混凝土剔除并清理干净；

5 在浇筑混凝土前应清扫干净结合面，并充分润湿，但不能有积水；

6 同一配比的混凝土，每工作班且建筑面积不超过 1000m<sup>2</sup> 应制作一组标准养护试件，同一楼层应制作不少于 3 组标准养护试件。

**9.3.12** 构件连接部位后浇混凝土及灌浆料的强度达到设计要求后，方可拆除临时固定措施。

## **9.4 施工质量验收**

**9.4.1** 压接装配框架验收应符合国家现行标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《装配式混凝土建筑技术标准》GB 51213 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的有关规定。

**9.4.2** 预制构件的进场质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 规定。

**9.4.3** 预应力分项工程验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 经审查批准的施工组织设计和施工方案；
- 2 设计变更文件；
- 3 无粘结预应力钢绞线的出厂质量合格证、出厂检验报告和进场复验报告；
- 4 锚具、连接器的出厂质量合格证、出厂检验报告和进场复验报告；
- 9 张拉设备配套标定报告；
- 5 加工、组装无粘结预应力钢绞线张拉端和固定端质量验收记录；
- 6 预应力钢绞线安装质量验收记录；
- 7 隐蔽工程验收记录；
- 8 张拉时混凝土立方体抗压强度同条件养护试件试验报告；
- 10 无粘结预应力钢绞线张拉记录；
- 11 封锚记录；
- 12 灌浆记录；
- 13 其他必要的文件与记录。

**9.4.4** 压接装配框架结构工程验收，除应按国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的要求提供文件和记录外，还应提供下列文件和记录：

- 1 预制柱柱身预偏记录及预应力张拉后柱身偏移记录；
- 2 上下预制柱接头处混凝土或砂浆试块的试验报告及质量评定记录；
- 3 预应力施工中各预制构件及连接部位的裂缝、破损记录和修复记录；

- 4 预应力施工后柱身垂直度记录及跃层柱梁柱节点处缝宽度记录。

## I 主控项目

### 9.4.5 预制构件进场的主控项目验收应符合下列规定：

- 1 预制构件的质量应符合国家现行有关标准的规定和设计的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明文件或质量验收记录。

- 2 企业生产的预制构件进场时，预制构件结构性能检验应符合国家现行有关标准的规定。

检验数量：同一类型预制构件不超过 1000 个为一批，每批随机抽取 1 个构件进行结构性能检验。

检验方法：检查结构性能检验报告或实体检验报告。

- 3 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。

- 4 预制构件上的预埋件、预留插筋、预埋管线等的规格和数量以及预留孔、预留洞的数量应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

- 5 预制构件表面预贴饰面砖、石材等饰面与混凝土的粘结性能应符合设计和国家现行有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，尺量；检查处理记录。

### 9.4.6 预制构件安装与连接的主控项目验收应符合下列规定：

- 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。

检查方法：观察。

- 2 钢筋采用套筒灌浆连接时，灌浆应饱满、密实，其材料及连接质量应符

合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的规定。

检查数量：按现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的规定确定。

检查方法：检查质量证明文件、灌浆记录及相关检验报告。

**3** 钢筋采用焊接连接时，其接头质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定。

检查数量：按现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定确定。

检验方法：检查质量证明文件及平行加工试件的检验报告。

**4** 钢筋采用机械连接时，其接头质量应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

检查数量：按现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定确定。

检验方法：检查质量证明文件、施工记录及平行加工试件的检验报告。

**5** 承受内力的接头和拼缝，当其混凝土强度未达到设计要求时，不得吊装上一层结构构件。已安装完毕的装配式结构，应在混凝土强度达到设计要求后，方可承受全部设计荷载。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及试件强度试验报告。

**6** 结构施工后，其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，量测；检查处理记录。

**9.4.7** 预应力钢绞线施工的主控项目验收应符合下列规定：

**1** 预应力钢绞线张拉或放张前，应对构件混凝土强度进行检验。同条件养护的混凝土立方体试件抗压强度应符合设计要求；当设计无要求时，应达到配套锚固产品技术要求的混凝土最低强度且不应低于设计混凝土强度等级值的 75%。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查同条件养护试件抗压强度试验报告。

2 后张法预应力结构构件，钢绞线出现断裂或滑脱的数量不应超过同一截面钢绞线总根数的 3%，且每根断裂的钢绞线断丝不得超过一丝。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查张拉记录。

3 预留预应力孔道灌浆后，孔道内水泥浆应饱满、密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查灌浆记录。

4 预应力孔道灌浆材料性能与施工要求应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448 规定。

检查数量：同一配合比检查一次。

检验方法：检查材料试验报告和施工记录。

5 现场留置的灌浆用水泥浆试件的试件抗压强度检验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

检查数量：每工作班留置一组。

检验方法：检查试件强度试验报告。

6 锚具的封闭保护措施应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

检查数量：在同一检验批内，抽查预应力钢绞线总数的 5%，且不应少于 5 处。

检验方法：观察，尺量。

## II 一般项目

9.4.8 预制构件进场的一般项目验收应符合表 9.4.8 和下列规定：

1 预制构件应有标识。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

2 预制构件外观质量不应有一般缺陷，对出现的一般缺陷应要求构件生产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，检查处理记录。

3 预制构件外形尺寸偏差和检验方法除应符合国家现行有关标准的规定及设计专门规定，还应符合表 9.4.8 的规定。

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

表 9.4.8 预制构件尺寸的允许偏差及检验方法

| 项目       |              | 允许偏差<br>(mm)         | 检验方法                |
|----------|--------------|----------------------|---------------------|
| 长度       | 楼板、          | <12m                 | 尺寸                  |
|          | 梁、柱、         | ≥12m 且 <18m          |                     |
|          | 桁架           | ≥18m                 |                     |
| 宽度、高度、厚度 | 楼板、梁、柱、桁架    | ±5                   | 尺寸一端及中部，取其中偏差绝对值较大处 |
| 表面平整度    | 楼板、梁、柱内表面    | 4                    | 2m 靠尺和塞尺测量          |
| 侧向弯曲     | 楼板、梁、柱       | $L/750$ 且 $\leq 20$  | 拉线、直尺量测最大侧向弯曲处      |
|          | 桁架           | $L/1000$ 且 $\leq 20$ |                     |
| 翘曲       | 楼板           | $L/750$              | 调平尺在梁端测量            |
| 对角线      | 楼板           | 6                    | 尺寸两个对角线             |
| 预留孔      | 中心线位置        | 5                    | 尺寸                  |
|          | 孔尺寸          | ±5                   |                     |
| 预留洞      | 中心线位置        | 5                    | 尺寸                  |
|          | 洞口尺寸、洞口深度    | ±5                   |                     |
| 预埋件      | 预埋板中心线位置     | 5                    | 尺寸                  |
|          | 预埋板与混凝土面平面高差 | 0, -5                |                     |
|          | 预埋螺栓         | 2                    |                     |
|          | 预埋螺栓外露长度     | +10, -5              |                     |
|          | 预埋套筒、螺母中心线位置 | 2                    |                     |

|           |                  |        |    |
|-----------|------------------|--------|----|
|           | 预埋套筒、螺母与混凝土面平面高差 | ±5     |    |
| 预留插筋      | 中心线位置            | 3      | 尺量 |
|           | 外露长度             | ±5     |    |
| 吊环、木砖     | 中心线位置            | 10     | 尺量 |
|           | 留出高度             | 0, -10 |    |
| 灌浆套筒及连接钢筋 | 灌浆套筒中心线位置        | 2      | 尺量 |
|           | 连接钢筋中心线位置        | 2      |    |
|           | 连接钢筋外露长度         | +10, 0 |    |
| 键槽        | 中心线位置            | 5      | 尺量 |
|           | 长度、宽度            | ±5     |    |
|           | 深度               | ±5     |    |

注：1L为构件长度，单位为mm；

2 检查中心线、螺栓和孔道位置偏差时，沿纵、横两个方向测量，并取其中偏差较大值。

**4** 预制构件粗糙面的外观质量、键槽的外观质量和数量应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查处理记录。

**5** 预制构件表面预贴饰面砖、石材等饰面及装饰混凝土饰面的外观质量应符合设计要求或国家现行有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查处理记录。

**9.4.9** 预制构件安装与连接的一般项目验收应符合下列规定：

**1** 装配式结构施工后，其外观质量不应有一般缺陷。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查处理记录。

**2** 装配式结构施工后，预制构件位置、尺寸偏差及检验方法应符合设计要求；当设计无具体要求时，应符合表 9.4.9 的规定。预制构件与现浇结构连接部位的表面平整度应符合表 9.4.9 的规定。

检查数量：按楼层、结构缝或施工段划分检验批。在同一检验批内，对

梁、柱和独立基础，应抽查构件数量的 10%，且不应少于 3 件；对墙和板，应按有代表性的自然间抽查 10%，且不应少于 3 间；对大空间结构，墙可按相邻轴线间高度 5m 左右划分检查面，板可按纵、横轴线划分检查面，抽查 10%，且均不应少于 3 面。

表 9.4.9 构件位置和尺寸允许偏差及检验方法

| 项目        |                   | 允许偏差 (mm) | 检验方法      |            |
|-----------|-------------------|-----------|-----------|------------|
| 构件轴线位置    | 竖向构件 (柱、墙板、桁架)    | 8         | 经纬仪及尺量    |            |
|           | 水平构件 (梁、楼板)       | 5         |           |            |
| 标高        | 梁、柱、墙板<br>楼板底面或顶面 | ±5        | 水准仪或拉线、尺量 |            |
| 构件垂直度     | 柱、墙板安装后高度         | ≤6m       | 5         | 经纬仪或吊线、尺量  |
|           |                   | >6m       | 10        |            |
| 构件倾斜度     | 梁、桁架              | 5         | 经纬仪或吊线、尺量 |            |
| 相邻构件平整度   | 板端面               |           | 5         | 2m 靠尺和塞尺量测 |
|           | 梁、楼板底面            | 外露        | 3         |            |
|           |                   | 不外露       | 5         |            |
|           | 柱、墙板              | 外露        | 5         |            |
| 不外露       |                   | 8         |           |            |
| 构件搁置长度    | 梁、板               | ±10       | 尺量        |            |
| 支座、支垫中心位置 | 板、梁、柱、墙板、桁架       | 10        | 尺量        |            |
| 墙板接缝宽度    |                   | ±5        | 尺量        |            |

#### 9.4.10 预应力钢绞线施工的一般项目验收应符合下列规定：

##### 1 预应力钢绞线张拉质量应符合下列规定：

1) 采用应力控制方法张拉时，张拉力下预应力钢绞线的实测伸长值与计算伸长值的相对允许偏差为±6%；

2) 最大张拉应力应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查张拉记录。

##### 2 锚固阶段张拉端预应力钢绞线的内缩量应符合设计要求；当设计无具体

要求时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定。

检查数量：每工作班抽查预应力钢绞线总数的 3%，且不应少于 3 束。

检验方法：尺量。

**3** 后张法预应力钢绞线锚固后，锚具外预应力钢绞线的外露长度应满足设计要求。设计无明确要求时，不应小于其直径的 1.5 倍，且不应小于 30mm。

检查数量：在同一检验批内，抽查预应力钢绞线总数的 3%，且不应少于 5 束。

检验方法：观察，尺量。

## 附录 A 压接装配框架节点弹塑性分析模型

**A.1.1** 压接装配梁柱节点的弹塑性分析，应正确模拟节点几何尺寸、连接关系、边界条件、材料性能和外界作用等。

**A.1.2** 压接装配梁柱节点弹塑性分析模型，应符合下列规定：

1. 宜采用杆系单元进行节点弹塑性模拟分析，梁柱节点区域宜设置为刚臂；刚臂外梁柱单元宜采用纤维截面单元模拟；梁端部与柱结合面处可假定无竖向剪切滑移；梁端耗能钢筋无粘段部分和预应力钢绞线应采用单独的杆或索单元模拟（图 A.1.2）。

2. 纤维截面模型应沿截面进行单元细分，以准确模拟梁柱接触面开合行为。

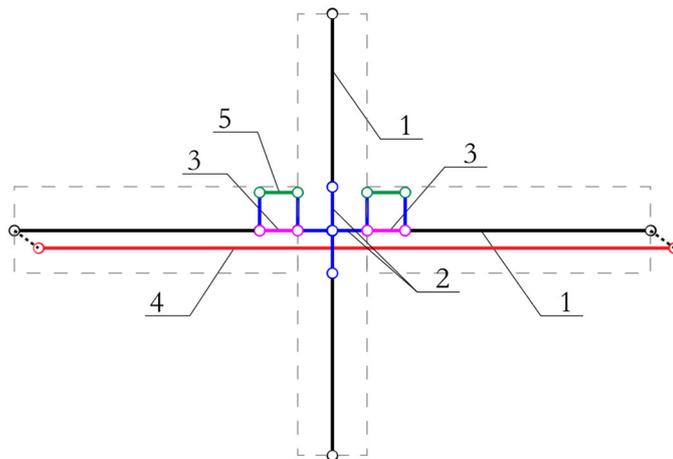
3. 梁端耗能钢筋宜考虑无粘段长度和应变渗透的影响；梁端耗能钢筋应变渗透长度，对 HRB400 和 HRB500 级钢筋，分别取  $4.0d$  和  $5.0d$ 。

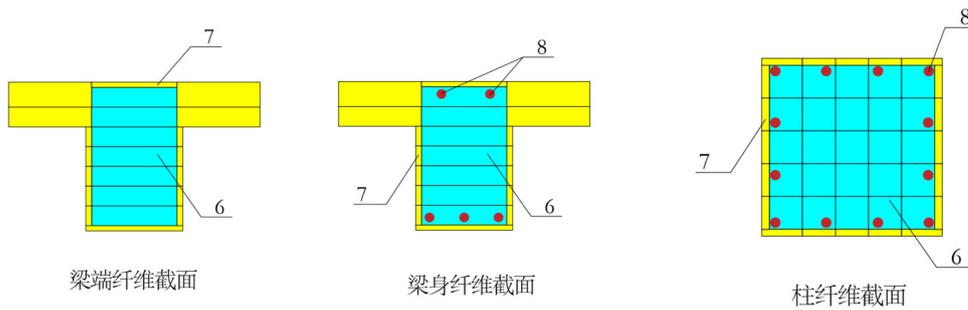
4. 预应力钢绞线宜考虑锚固应变渗透的影响，应变渗透长度可取  $25d$ 。

5. 混凝土材料的本构模型应包含下降段。混凝土单轴本构模型、箍筋约束混凝土本构模型、圆钢管约束混凝土本构模型、方钢管约束混凝土本构模型和混凝土塑性损伤本构模型可按现行协会标准《建筑结构非线性分析技术标准》CECS 规定采用。

6. 钢管混凝土构件、叠合柱中的混凝土部分，宜采用约束混凝土本构模型。

7. 钢筋和钢板的应力应变关系模型可按现行协会标准《建筑结构非线性分析技术标准》CECS 规定采用。





图A.1.3 压接装配框架梁柱节点弹塑性模型简图

1—纤维梁单元；2—刚臂；3—梁端纤维单元；4—预应力筋单元；5—耗能钢筋单元；6—约束混凝土纤维；7—普通混凝土纤维；8—钢筋纤维

【条文说明】：压接装配框架结构梁端竖向结合面为塑性发展集中的区域，梁体其他区域基本处于弹性状态，为提高计算效率，可在梁端以外区域采用弹性计算模型。另一方面，拟静力试验研究中未发现梁端竖向结合面存在剪切滑移现象，因此结构整体分析时可将顶梁柱结合面无竖向剪切滑移。

**A.1.3** 柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点弹塑性分析模型，应符合下列规定：

1 宜采用杆系单元进行节点弹塑性模拟分析，柱身宜采用纤维截面单元模拟；柱端部与基础结合面处可假定无水平剪切滑移；柱端耗能钢筋无粘结段部分应采用单独的杆单元模拟（图 A.1.3）。

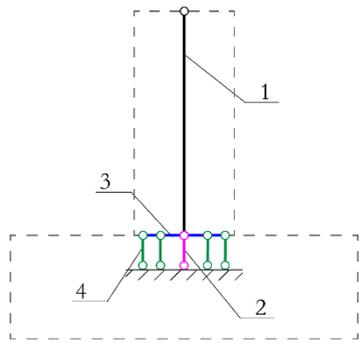
2 纤维截面模型应根据实际情况沿截面进行纤维细分。

3 柱端耗能钢筋宜考虑无粘段长度和应变渗透的影响，耗能钢筋应变渗透长度，对 HRB400 和 HRB500 级钢筋可分别取 4.0d 和 5.0d。

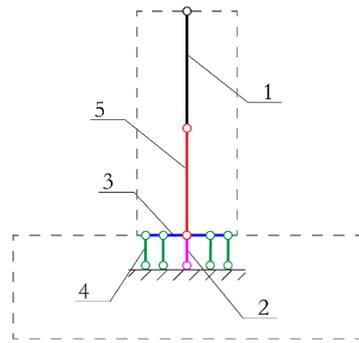
4 混凝土材料的本构模型应包含下降段。混凝土单轴本构模型、箍筋约束混凝土本构模型、圆钢管约束混凝土本构模型、方钢管约束混凝土本构模型和混凝土塑性损伤本构模型可按《建筑结构非线性分析技术标准》CECS 规定采用。

5 钢管混凝土构件、叠合柱中的混凝土部分，宜采用约束混凝土本构模型。

6 钢筋和钢板的应力应变关系模型可按《建筑结构非线性分析技术标准》CECS 规定采用。



a) 柱端钢筋耗能型节点



b) 柱端外包钢板低损伤节点

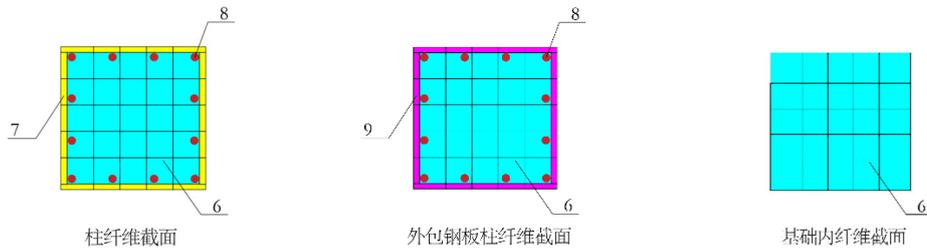
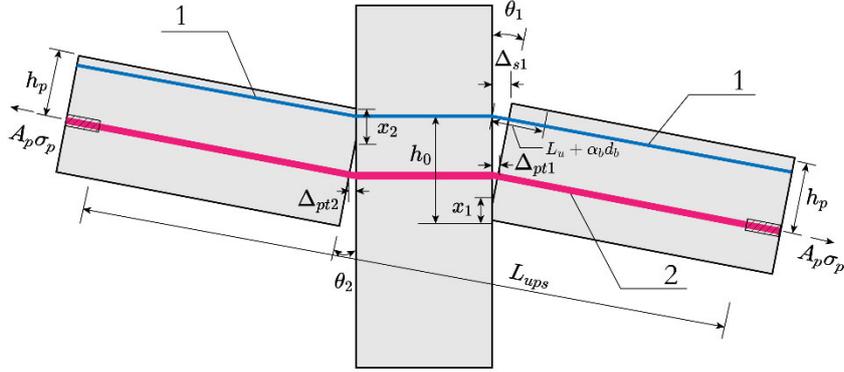


图 A.1.3 柱端钢筋耗能型节点和柱端外包钢板低损伤节点弹塑性模型

1—柱纤维单元；2—基础内纤维单元；3—刚臂；4—耗能钢筋单元；5—外包钢板柱纤维单元；6—约束混凝土纤维；7—普通混凝土纤维；8—钢筋纤维；9—钢板纤维

## 附录 B 压接装配梁柱节点极限位移状态计算方法

**B.1.1** 位移极限状态下,压接装配梁柱节点梁端耗能钢筋最大拉应变 $\varepsilon_s$ 和预应力钢绞线在梁柱结合面缝隙张开时的最大附加应变 $\varepsilon_{pt}$ 可按下列公式计算(图 0):



1—耗能钢筋; 2—预应力钢绞线

图 0 位移极限状态下梁柱中节点变形

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta_{s1}}{L_u + \alpha_b d_b} \quad (\text{B0-1})$$

$$\varepsilon_{pt} = \frac{\Delta_{pt1} + \Delta_{pt2}}{L_{ups}} \quad (\text{B0-2})$$

$$\Delta_{s1} = \theta_1 (h_0 - x_1) \quad (\text{B0-3})$$

$$\Delta_{pt1} = \theta_1 [(h - h_p) - x_1] \quad (\text{B0-4})$$

$$\Delta_{pt2} = \theta [h_p - x_2] \quad (\text{B0-5})$$

$$x_1 = \left[ \frac{A_p \sigma_p + A_s \sigma_s}{\alpha_1 \beta_1 b f_c} \right] \quad (\text{B0-6})$$

$$\Delta_{s2} = \theta_2 (h_0 - x_2) \quad (\text{B0-7})$$

$$\Delta_{pt2} = \theta_2 [h_p - x_2] \quad (\text{B0-8})$$

$$x_2 = \left[ \frac{A_p \sigma_p - 1.25 A_s f_y}{\alpha_1 \beta_1 b f_c} \right] \quad (\text{B0-9})$$

式中:  $\theta_1, \theta_2$  ——梁柱结合面转动角度 (rad);

$L_u$  ——梁端耗能钢筋无粘接长度 (mm);

$\Delta_{s1}, \Delta_{s2}$  ——柱两端耗能钢筋伸长值 (mm);

$\Delta_{pt1}, \Delta_{pt2}$  ——柱两端预应力钢绞线伸长量 (mm), 边柱一侧取 0; 当

$\Delta_{pt1}$  小于 0 时, 取 0;

$\alpha_b$ ——梁端耗能钢筋应变渗透系数, 对 HRB400 和 HRB500 级钢筋, 分别取 4.0 和 5.0;

$L_{ups}$ ——预应力钢绞线的无粘接长度 (mm); 当一侧为有粘结端时应附加应变渗透长度 25d, 两侧均为有粘结端时取 50d;

$\alpha_1, \beta_1$ ——受压区混凝土等效矩形应力图调整系数。混凝土强度等级不超过 C50 时,  $\beta_1$  取为 0.80; 混凝土强度等级为 C80 时,  $\beta_1$  取为 0.74; 其间接线性内插法确定; 混凝土强度等级不超过 C50 时,  $\alpha_1$  取为 1.0; 混凝土强度等级为 C80 时,  $\alpha_1$  取为 0.94; 其间接线性内插法确定;

$x_1, x_2$ ——柱两端梁截面受压区高度 (mm);

$d_b$ ——梁端耗能钢筋直径 (mm);

$h_0$ ——梁端耗能钢筋到梁截面底边缘的距离 (mm);

$h_p$ ——预应力钢绞线到梁截面顶边缘的距离 (mm);

$\sigma_s$ ——耗能钢筋的应力 (N/mm<sup>2</sup>), 应按 B.1.2 条计算;

$\sigma_p$ ——预应力钢绞线的应力 (N/mm<sup>2</sup>), 应按本标准 B.1.3 计算;

**【条文说明】:** 根据结构所需的压接装配梁柱节点最大转动能力需求  $\theta_1$  和  $\theta_2$ , 通过本条公式来验算耗能钢筋和钢绞线是否满足本规程 B1.4 条的应变性能需求。

**B.1.2** 压接装配框架梁端耗能钢筋的应力应变关系可按下列规定计算:

当  $0 \leq \varepsilon_s \leq f_{yk}/E_s$  时:

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad (\text{B0-1})$$

当  $f_{yk}/E_s < \varepsilon_s < 0.075$  时:

$$\sigma_s = f_{yk} + \left( \frac{f_{stk} - f_{yk}}{0.075 - f_{yk}/E_s} \right) \cdot \left( \varepsilon_s - \frac{f_{yk}}{E_s} \right) \quad (\text{B0-2})$$

式中:  $\sigma_s$ ——梁端耗能钢筋应变  $\varepsilon_s$  为时的拉应力 (N/mm<sup>2</sup>);

$E_s$ ——梁端耗能钢筋的弹性模量 (N/mm<sup>2</sup>);

$f_{yk}$ ——梁端耗能钢筋的屈服强度标准值 (N/mm<sup>2</sup>);

$f_{stk}$ ——梁端耗能钢筋的极限强度标准值 (N/mm<sup>2</sup>)。

【条文说明】：梁端耗能钢筋的应力-应变关系采用双线性假定。梁端耗能钢筋的最大拉应变依据国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，取 0.075。

**B.1.3** 压接装配框架梁无粘接预应力钢绞线的应力应变关系可按下列规定计算：

当  $0 \leq \varepsilon_p \leq 0.9f_{ptk}/E_p$  时：

$$\sigma_p = E_p \varepsilon_p \quad (\text{B0-1})$$

当  $0.9f_{ptk}/E_p < \varepsilon_p < 0.02$  时：

$$\sigma_p = 0.9f_{ptk} + \left( \frac{0.05f_{ptk}}{0.02 - 0.9f_{ptk}/E_p} \right) \cdot \left( \varepsilon_p - \frac{0.9f_{ptk}}{E_p} \right) \quad (\text{B0-2})$$

式中： $\sigma_p$ ——无粘接预应力钢绞线应变  $\varepsilon_p$  为时的拉应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$E_p$ ——无粘接预应力钢绞线的弹性模量 (N/mm<sup>2</sup>)；

$f_{ptk}$ ——无粘接预应力钢绞线的极限强度标准值 (N/mm<sup>2</sup>)。

【条文说明】：无粘结预应力钢绞线的应力-应变关系采用双线性假定。国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 规定，无粘结预应力钢绞线用锚具效率系数应大于 0.95，组装件预应力受力长度的总伸长率应大于 2%，因此，规定无粘结预应力钢绞线的极限应变取为 0.02，极限强度取为  $0.95f_{ptk}$ 。国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定了预应力钢绞线的 0.2% 屈服力  $F_{p0.2}$  值应为整根钢绞线最大力  $F_{max}$  的 88%~95%，本标准取为  $0.9f_{ptk}$ 。

**B.1.4** 耗能钢筋应变  $\varepsilon_s$  和预应力钢绞线无粘接段的总应变  $\varepsilon_p$  应符合下列规定：

$$\varepsilon_s \leq 0.065 \quad (\text{B0-1})$$

$$\varepsilon_p \leq \varepsilon_{pu} \quad (\text{B0-2})$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{pe} + \varepsilon_{pt} \quad (\text{B0-3})$$

式中： $\varepsilon_s$ ——耗能钢筋的应变，按 B1.1 和 B1.2 计算；抗震等级为一级和二级

时计算时结合面转动角度 $\theta$ 取为 0.03rad; 抗震等级为二级和三级时计算时结合面转动角度 $\theta$ 取为 0.025rad;

$\varepsilon_{pu}$ ——无粘接预应力钢绞线应力达到  $0.95f_{ptk}$  时的应变;

$\varepsilon_{pt}$ ——无粘接预应力钢绞线在结合面缝隙张开时的附加应变,按本条第 1 款和第 2 款计算; 抗震等级为一级和二级时计算时结合面转动角度 $\theta$ 取为 0.03rad; 抗震等级为二级和三级时计算时结合面转动角度 $\theta$ 取为 0.025rad; 。

$\varepsilon_{pe}$ ——考虑损失后预应力筋的有效应力对应的应变;

**【条文说明】**: 本条控制在位移极限状态下(转角达到 0.03rad), 压接装配框架中耗能钢筋和预应力钢绞线不断裂。参考了美国混凝土学会标准 ACI 550.3-13 相关规定。应在结构中选择最不利节点进行验算。

由于连接处结合面缝隙张开, 耗能钢筋受拉时的伸长 $\Delta_s$ 可由梁柱结合面转动的几何关系求得。该伸长值由无粘接长度与端部无粘接的渗透长度的总和产生。美国混凝土学会标准 ACI 550.3-13 规定: 附加无粘接长度系数 $\alpha_b$ 应由试验确定, 其值应在 2.0~5.5。本标准参照 JGJ/T 140, 同时考虑渗透长度与钢筋应力水准相关,  $\alpha_b$ 取为  $0.01f_{yk}$ ,  $f_{yk}$ 为钢筋的屈服强度标准值。

压接装配框架预应力钢绞线一般位于梁截面中心偏心位置, 其在负弯矩和正弯矩作用下产生的应变不同, 计算时预应力钢绞线附加伸长值时取负弯矩和正弯矩的最大值。

正弯矩方向变形时耗能钢筋受压应力可根据受压混凝土的变形协调和耗能钢筋应力应变关系计算, 在位移极限状态下, 由于耗能钢筋处于无粘结状态, 钢筋应变发挥不受混凝土应变制约, 可取  $1.25f_y^{\square}$ 。此处规定与《预应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ/T 140 相同。

## 附录 C 压接装配框架结构抗震性能化设计

**C.1.1** 压接装配框架结构抗震性能化设计，应按照抗震性能水准要求进行设防地震、罕遇地震作用下的非线性分析，满足承载力、变形和其他性能设计要求。性能化设计目标及方法可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。

**C.1.2** 按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定，进行压接装配框架结构抗震性能化设计时，所采用的非线性分析模型应经试验验证或符合本规程第 3 章和附录 A 要求。

**C.1.3** 抗震类别为丙类的压接装配框架结构，在多遇地震作用下，关键结构构件、普通结构构件和耗能构件应基本处于无损伤受力状态；设防地震作用下，关键结构构件应基本处于无损伤状态，普通结构构件、耗能构件的塑性发展应满足预设性能目标，且结构整体塑性发展机制应符合设计预期；罕遇地震或极罕遇地震作用下，结构变形应不超过本规程规定限值，且结构整体塑性发展机制应符合设计预期。各阶段和构件性能应不低于表 C.1.3 的规定。

表 C.1.3 丙类压接装配框架抗震性能最低目标表

| 性能项     |            | 多遇地震              | 设防地震   | 罕遇地震   |
|---------|------------|-------------------|--------|--------|
| 性能状态    |            | 完好                | 轻~中等损坏 | 不严重损坏  |
| 层间位移角限值 |            | $h/400$           | 1/130  | $h/56$ |
| 框架柱     | 混凝土应变限值    | 0.002             | 0.005  | 0.03   |
|         | 钢筋应变限值     | $f_y/E_s$         | 0.03   | 0.065  |
| 框架梁     | 预应力钢绞线应变限值 | $0.75f_{pk}$ 相应应变 | 0.011  | 0.011  |
|         | 受压区混凝土应变限值 | 0.002             | 0.01   | 0.05   |
|         | 梁端耗能钢筋应变限值 | $f_y/E_s$         | 0.03   | 0.065  |

**【条文说明】：**与常规框架设计多遇震设计采用的弹性模型不同，压接装配框架多遇地震下抗震性能化设计采用了纤维单元模型，考虑了混凝土的开裂导致刚度降低等因素，因此层间位移角最低限值适当做了调整。

**C.1.4** 进采用抗震性能化设计时，压接装配框架结构构造措施不应低于本规程

抗震等级三级时的对应要求。

## 附录 D 压接装配框架施工流程

D.1.1 采用带后浇叠合层的双 T 板，预应力空心板等不需要提前搭设板底支撑架的压接装配框架，宜按图 D.1.1 流程组织施工。

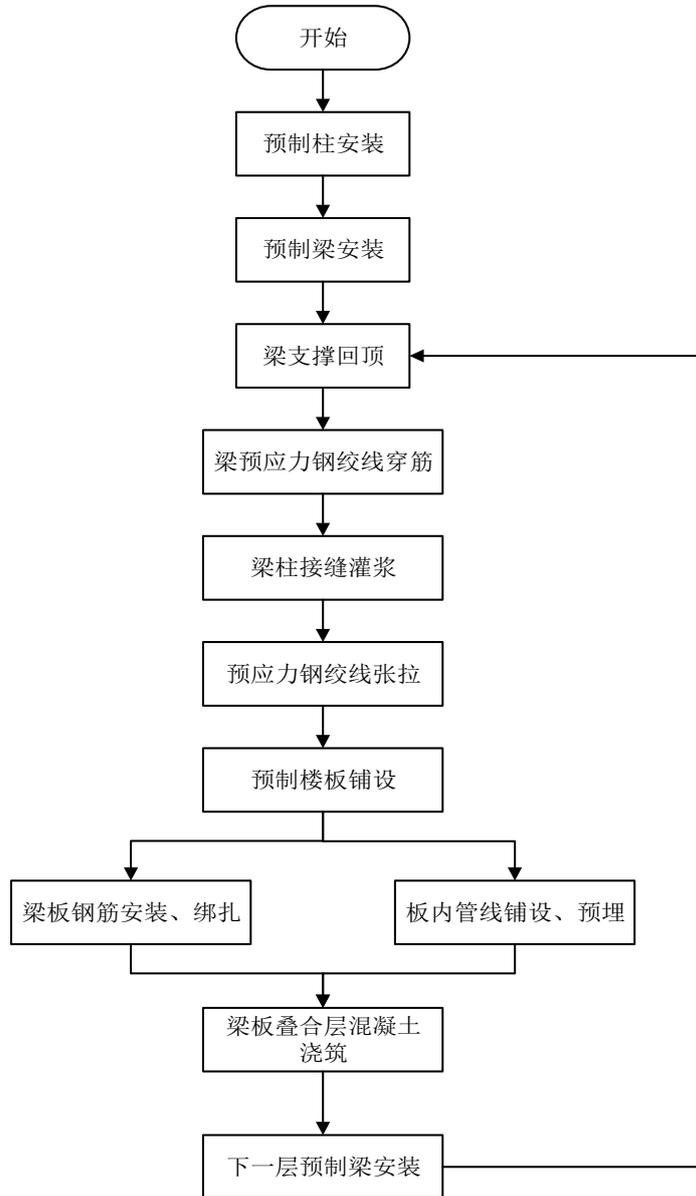


图 D.1.1 压接装配框架施工流程一

D.1.2 采用带后浇叠合层钢筋桁架叠合板，钢管桁架叠合板等需要提前搭设板底支撑架的压接装配框架，宜按图 D.1.2 流程组织施工。

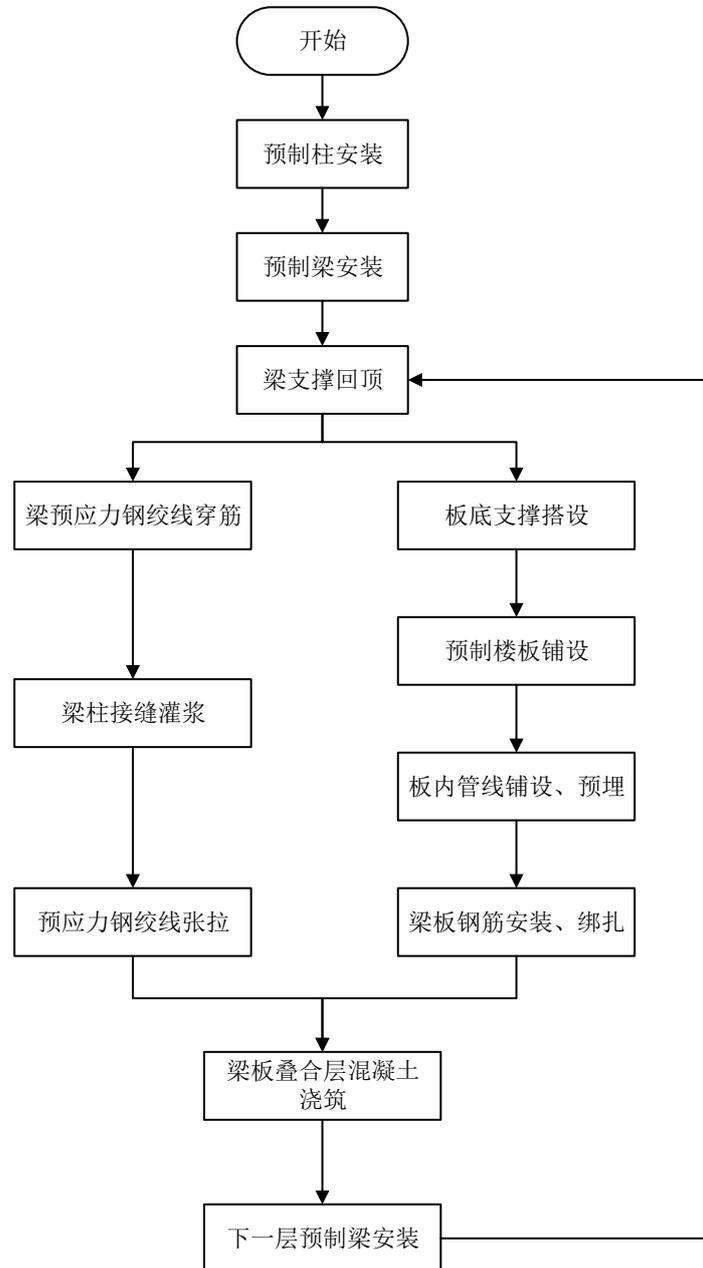


图 D.1.2 压接装配框架施工流程二

## 附录 E 预制构件出厂检查表

表 E1 预制梁质量检验记录表

|          |                       |             |             |          |   |   |  |
|----------|-----------------------|-------------|-------------|----------|---|---|--|
| 工程名称     |                       |             |             | 构件编号     |   |   |  |
| 生产班组     |                       |             |             | 检验员      |   |   |  |
| 检查项目     | 质量检验标准的规定             |             |             | 生产单位检验记录 |   |   |  |
| 主控项目     | 构件脱模强度                |             |             |          |   |   |  |
|          | 预埋件、预留孔等预留预埋的规格、位置和数量 |             |             |          |   |   |  |
|          | 梁端键槽成型质量              |             |             |          |   |   |  |
|          | 构件外观质量严重缺陷            |             |             |          |   |   |  |
|          | 构件结构性能                |             |             |          |   |   |  |
| 一般项目     | 梁长                    | <12m        | ±5          |          |   |   |  |
|          |                       | ≥12m 且 <18m | ±10         |          |   |   |  |
|          |                       | ≥18m        | -20, 10     |          |   |   |  |
|          | 截面宽和高                 |             | ±5          |          |   |   |  |
|          | 表面平整                  |             | 5           |          |   |   |  |
|          | 侧向弯曲                  |             | L/750 且 ≤20 |          |   |   |  |
|          | 挠度变形                  | 梁起拱         | ±10         |          |   |   |  |
|          |                       | 梁下垂         | 0           |          |   |   |  |
|          | 预埋板、吊环、吊钉中心线位置        |             | 5           |          |   |   |  |
|          | 预埋板混凝土面平面高差           |             | -5, 0       |          |   |   |  |
|          | 预留孔、预应力钢绞线孔道中心位置      |             | 5           |          |   |   |  |
|          | 金属波纹管外露长度             |             | +20, 0      |          |   |   |  |
| 梁端箍筋外露尺寸 |                       | +10, -5     |             |          |   |   |  |
| 生产单位检验结果 | 不合格品复查返修记录            |             |             |          |   |   |  |
|          | 检验结果：                 |             |             | 年        | 月 | 日 |  |

表 E2 预制柱质量检验记录表

|          |                       |             |             |  |  |  |  |
|----------|-----------------------|-------------|-------------|--|--|--|--|
| 工程名称     |                       |             | 构件编号        |  |  |  |  |
| 生产班组     |                       |             | 检验员         |  |  |  |  |
| 检查项目     | 质量检验标准的规定             |             | 生产单位检验记录    |  |  |  |  |
| 主控项目     | 构件脱模强度                |             |             |  |  |  |  |
|          | 预埋件、预留孔等预留预埋的规格、位置和数量 |             |             |  |  |  |  |
|          | 柱端键槽成型质量              |             |             |  |  |  |  |
|          | 构件外观质量严重缺陷            |             |             |  |  |  |  |
|          | 构件结构性能                |             |             |  |  |  |  |
| 一般项目     | 柱长                    | <12m        | ±5          |  |  |  |  |
|          |                       | ≥12m 且 <18m | ±10         |  |  |  |  |
|          |                       | ≥18m        | -20, 10     |  |  |  |  |
|          | 截面宽和高                 |             | ±5          |  |  |  |  |
|          | 表面平整                  |             | 5           |  |  |  |  |
|          | 侧向弯曲                  |             | L/750 且 ≤20 |  |  |  |  |
|          | 预埋套筒、钢筋连接器、螺母中心线位置    |             | 2           |  |  |  |  |
|          | 预埋板、吊环、吊钉中心线位置        |             | 5           |  |  |  |  |
|          | 预埋板混凝土面平面高差           |             | -5, 0       |  |  |  |  |
|          | 预留孔、预应力钢绞线孔道中心位置      |             | 5           |  |  |  |  |
|          | 金属波纹管外留长度             |             | +20, 0      |  |  |  |  |
|          | 预留插筋                  | 中心线位置       | 3           |  |  |  |  |
| 外露长度     |                       | ±5          |             |  |  |  |  |
| 生产单位检验结果 | 不合格品复查返修记录            |             |             |  |  |  |  |
|          | 检验结果：                 |             | 年 月 日       |  |  |  |  |

## 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 《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 《组合结构通用规范》 GB 55004
- 4 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 5 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 6 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 7 《混凝土结构施工质量验收规范》 GB 50204
- 8 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 9 《装配式混凝土建筑技术标准》 GB/T 51231
- 10 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1
- 11 《预应力混凝土结构设计规范》 JGJ 36
- 12 《预应力混凝土结构抗震设计规程》 JGJ/T 140
- 13 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》 JGJ 92
- 14 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 15 《钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋》 GB 1499.2
- 16 《钢筋混凝土用余热处理钢筋》 GB 13014
- 17 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 18 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 19 《装配式混凝土建筑技术标准》 GB/T 51231
- 20 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
- 21 《钢筋机械连接用套筒》 JG/T 163
- 22 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》 JGJ 355
- 23 《钢筋连接用灌浆套筒》 JG/T 398
- 24 《钢筋连接用套筒灌浆料》 JG/T 408
- 25 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 26 《无粘结预应力钢绞线》 JG/T 161
- 27 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 28 《建筑结构用钢板》 GB/T 19879
- 29 《水泥基灌浆材料应用技术规程》 GB/T 50448
- 30 《预应力混凝土用金属波纹管》 JG/T 225
- 31 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》 GB/T 14370
- 32 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》 JGJ 85

**33 《高性能建筑钢结构应用技术规程》（T/CECS 599）**