

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号 : DBJ/T 13-474-2024

住房和城乡建设部备案号 : J 1 7 9 6 0 - 2 0 2 5

装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构 技术标准

Technical standard for prefabricated concrete encased
concrete-filled steel tube column structures

2024-12-31 发布

2025-04-01 实施

福建省住房和城乡建设厅

发布

福建省工程建设地方标准

装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构 技术标准

Technical standard for prefabricated concrete encased concrete-filled
steel tube column structures

工程建设地方标准编号 : DBJ/T 13-474-2024

住房和城乡建设部备案号 : J 1 7 9 6 0 - 2 0 2 5

主编单位: 福建建工集团有限责任公司

福建农林大学

批准部门: 福建省住房和城乡建设厅

实施日期: 2 0 2 5 年 4 月 1 日

2025 年 福州

前 言

根据《福建省住房和城乡建设厅关于公布全省住房和城乡建设行业 2022 年第五批科学技术计划项目的通知》(闽建科〔2022〕33 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准主要技术内容是:1. 总则;2. 术语和符号;3. 基本规定;4. 材料;5. 结构设计;6. 节点与连接;7. 生产与运输;8. 施工;9. 验收;附录。

本标准由福建省住房和城乡建设厅负责管理,由福建建工集团有限责任公司和福建建工集团有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送福建省住房和城乡建设厅科技与设计处(地址:福州市北大路 242 号,邮编:350001)和福建建工集团有限责任公司(福建省福州市鼓楼区五四路 89 号置地广场 36 层,邮编 350001),以供今后修订时参考。

本标准主编单位: 福建建工集团有限责任公司
福建农林大学

本标准参编单位: 合肥工业大学
福建省建筑设计研究院有限公司
诚誉建设集团有限公司
华汇工程设计集团股份有限公司
中建远南集团有限公司
福建七建集团有限公司
福建省工业设备安装有限公司

厦门合立道工程设计集团股份有限公司

本标准主要起草人：	陈宇峰	廖飞宇	王静峰	林斌光
	王献攀	杨昱幸	肖景平	汪志勇
	叶其钦	吴永顺	陆国兵	林超
	曾志攀	赵凯	郑星辰	洪哲
	郭磊	赖大德	赖光洪	李翀
本标准主要审查人：	蔡雪峰	翁锦华	黄跃森	夏昌
	庄金平	陈学秉	丘华生	

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	基本规定	7
4	材 料	9
4.1	钢材与钢筋	9
4.2	混凝土	10
4.3	连接材料	10
5	结构设计	12
5.1	一般规定	12
5.2	作用与作用组合	13
5.3	结构计算	13
5.4	叠合柱设计	15
5.5	梁设计	21
6	节点与连接	22
6.1	一般规定	22
6.2	叠合柱上下对接节点	22
6.3	梁柱连接节点设计	23
6.4	柱脚节点设计	27
7	生产与运输	29
7.1	一般规定	29
7.2	制作准备	30

7.3 构件制作	33
7.4 构件检验	35
7.5 运 输	37
8 施 工	39
8.1 一般规定	39
8.2 施工准备	40
8.3 施 工	41
9 验 收	44
9.1 一般规定	44
9.2 主控项目	45
9.3 一般项目	46
附录 A 栓焊和全螺栓连接节点设计	48
附录 B 单边螺栓端板连接节点设计	50
本标准用词说明	63
引用标准名录	64
附：条 文 说 明	66

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Basic Requirement	7
4 Material	9
4.1 Steel and Steel Reinforcement	9
4.2 Concrete	10
4.3 Connection Material	10
5 Structural Design	12
5.1 General Requirement	12
5.2 Load and Load Combinations	13
5.3 Structural Calculation	13
5.4 Design of Concrete Encased CFST Column	15
5.5 Design of Beam	21
6 Joints and Connections	22
6.1 General Requirement	22
6.2 Design of Column Splices	22
6.3 Design of Beam to Column Connections	23
6.4 Design of Column Base Joints	27
7 Manufacturue and Transportation	29
7.1 General Requirement	29
7.2 Production Preparation	30

7.3 Manufacture of Member	33
7.4 Inspection	35
7.5 Transportation	37
8 Erection	39
8.1 General Requirement	39
8.2 Erection Preparation	40
8.3 Erection	41
9 Quality Acceptance	44
9.1 General Requirement	44
9.2 Dominant Items	45
9.3 General Items	46
Appendix A: Bolt-welding and Bolt Joints Design	48
Appendix B: Blind Bolt End Plate Connection Design	50
Explanation of Wording in This Standard	63
List of Quoted Standards	64
Addition: Explanation of Provisions	66

1 总 则

1.0.1 为确保装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构在设计、施工和验收过程中遵循国家的技术经济政策，实现技术先进性、安全性、经济性和质量保障，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于福建省非抗震及抗震设防烈度为 6 度至 8 度的工业与民用建筑中的装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构的设计、施工及验收。

1.0.3 装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构的设计、施工及验收，除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和福建省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 装配式钢管加劲混凝土叠合柱框架结构 prefabricated concrete encased concrete-filled steel tube structure

由预制的钢管加劲混凝土叠合柱和预制框架梁（可以是预制钢筋混凝土梁、钢梁或部分包覆钢-混凝土组合梁）组成的预制装配式结构，简称“装配式叠合柱结构”。

2.1.2 钢管加劲混凝土叠合柱 concrete encased concrete-filled steel tube column

由中部圆形钢管混凝土和钢管外钢筋混凝土叠合而成的柱，简称“叠合柱”。叠合柱的截面可以是方形、矩形或圆形。

2.1.3 超高性能混凝土 ultra-high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有超高力学性能、超高抗渗性能的高韧性水泥基复合材料，简称“UHPC”。

2.1.4 部分包覆钢-混凝土组合梁 partially-encased steel-concrete composite beam

在开口截面钢梁外周轮廓间包覆混凝土，通过抗剪连接件或其它可靠措施保证钢与混凝土共同工作，并在工厂预制化生产的组合梁，简称“PEC 组合梁”。

2.1.5 含钢管率 steel tube ratio

叠合柱的钢管截面面积与柱全截面面积的比值。

2.1.6 含钢管混凝土率 CFST ratio

叠合柱的钢管混凝土截面面积与柱全截面面积的比值。

2.1.7 约束效应系数 confinement coefficient

构件截面中钢管面积、钢材抗拉（抗压）强度设计值乘积与钢管内核心混凝土面积、核心混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比。

2.2 符 号

2.2.1 作用效应和抗力

- $F_{bo,m}$ ——下部第 m 排螺栓的抗拉/压承载力设计值；
- F_{con} ——混凝土楼板与柱翼缘接触面的局部抗压承载力设计值；
- F_{cp} ——连接的抗压承载力设计值；
- F_{cbf} ——钢梁上翼缘所承受的承载力设计值；
- F_{stp} ——钢筋抗拉承载力设计值；
- F_{tpi} ——第 i 排螺栓的抗拉承载力设计值；
- M ——正弯矩设计值；
- M_{bua} ——钢梁或部分包覆钢-混凝土组合梁受弯承载力设计值；
- ΣM_c ——节点上下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和；
- M_f ——翼缘承担的弯矩设计值；
- M_s ——全螺栓拼接节点的承载力设计值；
- M_u ——截面受弯承载力设计值；
- M_w ——腹板承担的弯矩设计值；
- M_y ——梁端弯矩设计值；
- N ——叠合柱的轴力设计值；
- N_o ——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值；
- N_v^b ——单个摩擦型高强螺栓承载力设计值；
- N_y ——全螺栓拼接处梁上翼缘平行于梁轴线的轴力设计值；
- P ——高强螺栓预拉力设计值；

- P_y ——梁端剪力设计值；
 S ——地震作用效应与其他荷载效应的基本组合；
 S_{EK} ——罕遇地震作用标准值的效应；
 S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；
 S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应；
 S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
 S_{wk} ——风荷载标准值的效应；
 V ——剪力设计值；
 V_1 ——单个腹板螺栓的剪力设计值；
 V_{bw} ——作用在连接上的剪力设计值；
 Δ_{ue} ——风荷载或多遇地震标准值产生的楼层内最大弹性层间水平位移；
 Δ_{up} ——弹塑性层间位移；
 θ ——节点的转角；
 $[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值；
 τ_{xy} ——钢梁腹板内的剪应力；
- 2.2.2 材料力学性能**
- E ——弹性模量；
 E_a ——钢材的弹性模量；
 E_{co} ——钢管外混凝土弹性模量；
 E_{ci} ——钢管内混凝土弹性模量；
 E_s ——钢筋弹性模量；
 f_a ——钢梁抗拉、抗压强度标准值；
 f_{bwy} ——钢梁腹板的屈服强度标准值；
 f_{bfy} ——钢梁翼缘的屈服强度标准值；
 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；
 f_{co} ——管外混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{csy} ——钢管壁的屈服强度设计值；

- f_{cw} —— 钢梁腹部混凝土抗压强度设计值；
 f_c^b —— 螺栓承压强度设计值；
 f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值；
 f_v^b —— 螺栓抗剪强度设计值；
 f_y 、 f'_y —— 钢筋抗拉、抗压强度设计值；
 f_{yv} —— 箍筋或拉筋抗拉强度设计值；
 G —— 剪切变形模量；
 G_a —— 钢管的剪切变形模量；
 G_{co} —— 钢管外混凝土剪切变形模量；
 G_{ci} —— 钢管内混凝土剪切变形模量；
 β_c —— 混凝土强度影响系数；

2.2.3 几何参数

- A —— 钢管全截面积；
 B —— 全螺栓拼接连接梁反弯点到柱表面距离；
 b —— 矩形截面叠合柱宽度；
 b_{bf} —— 钢梁翼缘的宽度；
 b_e —— 组合梁混凝土楼板的有效宽度；
 d_c —— 受压区中心至钢梁下翼缘中心的距离；
 d_{cc} —— 钢管内径；
 d_{cs} —— 钢管外径；
 h_a —— 截面高度；
 h_b —— 钢梁的高度；
 h_{bf} —— 钢梁腹板的高度；
 h_{bw} —— 钢梁腹板的高度；
 I —— 截面惯性矩；
 I_a —— 钢管截面惯性矩；
 l_0 —— 叠合柱长度；

2.2.4 计算系数及其他

- α_1 —— 受压区混凝土压应力影响系数；

- μ ——抗滑移系数；
 ξ ——钢管混凝土约束效应系数

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

3 基本规定

3.0.1 装配式叠合柱结构设计应考虑工程情况、材料供应、构件运输、安装和施工的具体条件及结构的抗腐蚀性能和耐火性能，合理选用。

3.0.2 装配式叠合柱结构的安全等级和设计工作年限按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 中的结构类别确定。

3.0.3 采用装配式叠合柱结构的多层和高层建筑的荷载及荷载组合，静力荷载、风荷载和地震作用下的内力和位移等计算，应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《组合结构通用规范》GB 55004、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。其结构类型和最大高度应符合表 3.0.3 的要求。

表 3.0.3 装配式叠合柱结构适用的最大高度（m）

结构类型	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度	7 度	8 度
框架	80	70	60	50
部分框支剪力墙	150	140	120	80
框架-剪力墙	170	160	140	120

3.0.4 装配式叠合柱结构的抗震等级应根据其抗震设防类别、设防烈度、结构类型和房屋高度确定，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB 50011、《构筑物抗震设计规范》GB 50191、

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中框架及框剪结构的有关规定。

3.0.5 预制构件的设计应满足标准化的要求，宜采用建筑信息化模型(BIM)技术进行一体化设计，预制构件的钢筋应与预留孔洞、预埋件等相协调；预制构件的形状、尺寸、重量等应满足制作、运输、安装各环节的要求；预制构件的配筋设计应便于工厂化生产和现场连接。

3.0.6 装配式叠合柱结构中，预制构件的连接部位宜设置在结构受力较小的部位，其尺寸和形状应符合下列规定：

- 1 应满足建筑使用功能、模数、标准化要求；
- 2 应根据预制构件的功能和安装部位、加工制作及施工精度等要求，确定合理的公差；
- 3 应满足制作、运输、堆放、安装及质量控制要求。

3.0.7 装配式叠合柱结构的质量验收，应在结构分项工程验收合格的基础上，进行质量控制资料检查及观感质量验收。

3.0.8 装配式叠合柱结构分部工程可分为现浇混凝土结构子分部工程、装配式混凝土结构子分部工程和钢管混凝土结构子分部工程；对各子分部工程质量验收，应在相关分项工程验收合格的基础上，进行质量控制资料检查、观感质量验收及结构实体检验等。

4 材 料

4.1 钢材与钢筋

4.1.1 钢材的选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

4.1.2 装配式叠合柱结构的钢材应符合下列规定：

- 1 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；
- 2 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；
- 3 钢材应有良好的焊接性能和合格的冲击韧性。

4.1.3 纵向受力钢筋、箍筋的选用，以及钢筋的屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉强度设计值、抗压强度设计值及弹性模量取值，应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定。

4.1.4 装配式叠合柱结构的受力钢筋应符合下列规定：

- 1 宜采用延性、韧性和可焊性较好的钢筋；
- 2 纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB400 级的热轧钢筋；箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB335 级的热轧钢筋，也可选用 HPB300 级热轧钢筋；
- 3 纵向受力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%。

4.2 混凝土

4.2.1 叠合柱钢管内的混凝土强度等级不宜低于 C40，钢管外的混凝土强度等级不宜低于 C30。

4.2.2 超高性能混凝土 UHPC 的原材料、配合比设计、制备、运输、养护和检验规则应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的有关规定。

4.2.3 自密实混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关规定。

4.2.4 灌浆料的制备、抗压强度、竖向膨胀率、拌合物的工作性能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 的有关规定。

4.3 连接材料

4.3.1 焊接材料应符合下列要求：

1 手工焊接采用的焊条，应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 或《热强钢焊条》GB/T 5118 的有关规定，选择的焊条型号应与被焊钢材等级相适应；

2 自动或半自动焊接采用的焊丝和焊剂应与被焊钢材等级相适应。焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957 的规定。

4.3.2 焊缝应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。焊缝的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用。

4.3.3 连接紧固件应符合下列规定：

1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB/T 5782 和《六角头螺栓-C 级》GB/T 5780 的规定；

2 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。高强度螺栓的预拉力和摩擦面的抗滑移系数应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 选用；

3 高强单边螺栓的选用及其力学性能应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的相关规定；

4 锚栓钢材可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定的 Q235 钢，《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q355 钢、Q390 钢或强度更高的钢材；

5 栓钉应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 叠合柱钢管外混凝土可采用 UHPC。钢管内混凝土宜采用自密实混凝土。采用装配式叠合柱结构的建筑形体及其结构布置的规则性，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中框架及框剪结构的规定。

5.1.2 叠合柱的布置应符合下列规定：

1 对采用叠合柱的楼层，其框架柱宜全部采用叠合柱；

2 叠合柱的钢管至少应伸至地下一层的基础内或地下二层钢筋混凝土柱内。

5.1.3 装配式叠合柱结构的楼板，可采用混凝土叠合楼板和钢-混组合楼板。

5.1.4 叠合柱钢管内、外混凝土不同期浇筑的，其叠合比不宜大于 0.6，叠合比可按下式计算：

$$u=N_i/N \quad (5.1.4)$$

式中： u ——叠合比；

N_i ——浇筑钢管外混凝土前钢管混凝土柱组合的轴压力设计值(N)，该组合的轴压力设计值由施工期的结构自重和施工荷载产生，施工荷载的大小可根据实际情况确定。宜按照《组合结构通用规范》GB 55004 的规定计算；

N ——叠合柱组合的轴压力设计值。

5.2 作用与作用组合

5.2.1 装配式叠合柱结构的作用及作用效应组合应符合本标准第 3.0.3 及第 3.0.4 条的规定。

5.2.2 预制构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.2。

5.2.3 预制构件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

- 1 动力系数不宜小于 1.5；
- 2 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于 1.5kN/m^2 。

5.3 结构计算

5.3.1 装配式叠合柱结构弹性计算时，应考虑楼板对梁刚度的增大作用。

5.3.2 计算装配式叠合柱结构的弹性内力和位移时，叠合柱的截面刚度可按下列规定进行计算：

$$\text{轴向刚度 } EA = E_{co}A_{co} + E_{ci}A_{ci} + E_aA_a \quad (5.3.2-1)$$

$$\text{弯曲刚度 } EI = E_{co}I_{co} + E_{ci}I_{ci} + E_aI_a \quad (5.3.2-2)$$

$$\text{剪切刚度 } GA = G_{co}A_{co} + G_{ci}A_{ci} + G_aA_a \quad (5.3.2-3)$$

式中： E_{co} 、 E_{ci} 、 E_a ——分别为钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管钢材的弹性模量；

G_{co} 、 G_{ci} 、 G_a ——分别为钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管钢材的剪变模量；

A_{co} 、 A_{ci} 、 A_a ——分别为钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管的截面面积；

I_{co} 、 I_{ci} 、 I_a ——分别为钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管截面在所计算方向对其形心轴的惯性矩。

5.3.3 装配式叠合柱结构的阻尼比，多遇地震作用下，采用预制钢筋混凝土梁时可取 0.05，采用钢梁或 PEC 组合梁时可取 0.04；设防地震作用下，弹塑性时程分析时可采用与多遇地震作用下相同的阻尼比；罕遇地震作用下弹塑性分析或等效弹性分析时，可分别取 0.05~0.06 和 0.06~0.07，也可根据结构构件屈服情况确定。

5.3.4 装配式叠合柱结构的构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应按表 5.3.4 的规定取值。

表 5.3.4 装配式叠合柱结构构件的承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	梁、螺栓、T 形构件、 外伸端板	强度	0.75
		稳定	0.80
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的叠合柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的叠合柱	偏压	0.80
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

5.3.5 在风荷载或多遇地震标准值作用下，装配式叠合柱结构按弹性设计方法计算的楼层内最大层间水平位移应满足表 5.3.5 的规定。对于其他结构形式，其限值与体系宜参考现行国家标准《组合结构通用规范》GB55004。

表 5.3.5 装配式叠合柱结构的弹性层间位移角限值

框架类型		$[\theta_e]$
叠合柱框架	预制钢筋混凝土梁	1/500
	PEC 组合梁	1/400
	钢梁	1/350

5.3.6 在罕遇地震作用下，装配式叠合柱结构薄弱层（部位）弹性层间位移角应不大于 1/50。

5.4 叠合柱设计

5.4.1 叠合柱底层柱的下端，其组合的弯矩设计值应乘以增大系数，一、二、三、四级抗震等级增大系数分别不应小于 1.7、1.5、1.3 和 1.2；底层柱纵向钢筋应按上下端的不利情况配置。

5.4.2 叠合柱组合的轴压承载力设计值、弯矩承载力设计值及抗剪承载力设计值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的规定。

5.4.3 叠合柱轴心受压承载力设计值可按下式计算：

1 叠合柱外层采用普通混凝土时：

$$N \leq 0.9\varphi [(f_{co}A_{co} + f'_y A_{ss}) + N_0] \quad (5.4.3-1)$$

式中：N ——叠合柱的轴力设计值；

N_0 ——钢管混凝土轴心受压承载力设计值；

f_{co} ——钢管外混凝土的轴心抗压强度设计值；

A_{co} ——钢管外混凝土的横截面面积；

A_{ss} ——全部纵向钢筋截面面积；

φ ——稳定系数。

表 5.4.3 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数

l_0/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
l_0/d	≤ 7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24	26
φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

注：表中， l_0 为构件的计算长度， b 为矩形截面的短边尺寸； d 为圆形截面的直径

2 叠合柱外层采用 UHPC 时：

$$N = N_{UHPC} + N_{CFST} \quad (5.4.3-2)$$

$$N_{\text{UHPC}} = k_1 f_{\text{ck},o} + f'_y A_{\text{ss}} \quad (5.4.3-3)$$

$$N_{\text{CFST}} = k_2 (1.14 + 1.02\xi) f_{\text{ck},c} A_{\text{cc}} \quad (5.4.3-4)$$

$$k_1 = 0.953 + 0.275 V_f - 0.24 \alpha_{\text{CFST}} \quad (5.4.3-5)$$

$$k_2 = 1.136 + 0.191 \alpha_s \quad (5.4.3-6)$$

$$\xi = \frac{A_{ao} f_{\text{csy}}}{A_{cc} f_c} \quad (5.4.3-7)$$

式中： N_{UHPC} —— 外层超高性能混凝土（UHPC）的轴压承载力设计值；

N_{CFST} —— 内部钢管混凝土的轴压承载力设计值；

k_1 —— 外包 UHPC 强度修正系数；

k_2 —— 核心钢管混凝土强度修正系数；

$f_{\text{ck},o}$ —— 核心混凝土 UHPC 轴心抗压强度标准值；

$f_{\text{ck},c}$ —— 核心混凝土轴心抗压强度标准值；

A_{co} —— UHPC 部分横截面面积；

f'_y —— 钢筋抗压强度设计值；

A_{ss} —— 钢筋部分横截面面积；

ξ —— 约束效应系数；

A_{cc} —— 核心混凝土截面面积；

f_c —— 管内核心混凝土轴心抗压强度设计值；

V_f —— UHPC 内部钢纤维参量，即钢纤维总体积占 UHPC 总体积的比值；

α_{CFST} —— 含钢管混凝土率，即核心混凝土面积占构件总截面面积的比值；

α_s —— 钢管混凝土的含钢率，即钢管截面面积与核心混凝土截面面积的比值。

5.4.4 叠合柱偏心受压承载力可采用管外钢筋混凝土分担的轴力设计值和弯矩设计值。管外混凝土强度等级按现行国家标准《混

混凝土结构设计标准》GB 50010 钢筋混凝土柱正截面受压承载力公式进行计算。

5.4.5 叠合柱弯矩承载力宜满足以下规定：

1 叠合柱外层采用普通混凝土时可按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010 及《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定计算；

2 叠合柱外层采用 UHPC 时弯矩承载力可按下式计算：

$$M_u = M_{u, \text{re}} + M_{u, \text{CFST}} \quad (5.4.5)$$

式中： M_u ——叠合柱的弯矩承载力设计值；

$M_{u, \text{re}}$ ——外层 UHPC 的弯矩承载力设计值，宜根据《混凝土结构设计标准》GB50010 有关规定计算；

$M_{u, \text{CFST}}$ ——核心钢管混凝土的弯矩承载力设计值，宜根据《钢管混凝土结构技术规程》BDJ/T13-51 有关规定计算。

5.4.6 叠合柱的轴压比限值不宜超过表 5.4.4 的规定。叠合柱的轴压比可按下式计算：

$$\eta_c = \frac{N}{f_{co} A_{co} + 0.9 N_0} \quad (5.4.6)$$

式中： η_c ——叠合柱的轴压比。

表 5.4.6 叠合柱轴压比限值

抗震等级	一	二	三	四
轴压比限值	0.65	0.75	0.85	0.90

5.4.7 叠合柱的截面尺寸，宜符合下列各项要求：

1 矩形截面的宽度和高度，不宜小于 350mm；圆柱截面的直径，抗震等级四级或不超过 2 层时不宜小于 350mm，一、二、三级且超过 2 层时不宜小于 400mm；

2 剪跨比宜大于 2；

3 矩形截面长边与短边的边长比不宜大于 3。

5.4.8 叠合柱钢管外的混凝土厚度及钢管宜符合下列要求：

1 截面边长（直径）不大于 1000mm 时，钢管外的混凝土厚度不宜小于 150mm，采用自密实混凝土时钢管外的混凝土厚度不宜小于 120mm；截面边长大于 1000mm 时，钢管外的混凝土厚度不宜小于 200mm；

2 钢管直径不宜小于 100mm，钢管壁厚不宜小于 4.5mm；

3 钢管混凝土约束效应系数不宜小于 0.4、不宜大于 3，约束效应系数大于 3 时，不应考虑其超过部分对钢管内混凝土的约束作用，可考虑其作为型钢对叠合柱刚度和承载力的提高作用；约束效应系数可按式计算：

$$\theta = f_a A_{ao} / (f_{ci} A_{ci}) \quad (5.4.8)$$

式中： f_a ——钢管钢材抗拉、抗压强度设计值；

f_{ci} ——钢管内混凝土轴心抗压强度设计值；

A_{ao} ——钢管截面面积；

A_{ci} ——钢管内混凝土截面面积。

4 钢管混凝土（包括钢管）截面积与叠合柱截面积的比值不宜大于 0.45；

5 含钢管率不应小于 4%、不宜大于 15%；

5.4.9 叠合柱的纵向钢筋配置，应符合下列要求：

1 纵向钢筋的最小总配筋率，中柱及边柱不应小于 1%，角柱不应小于 1.1%；建造于 IV 类场地且较高的高层建筑，最小总配筋率应增加 0.1%；

2 钢管外混凝土强度等级高于 C60 时，最小总配筋率应增加 0.1%；

3 每一侧配筋率不应小于 0.2%；

4 纵向钢筋总配筋率不应大于 5%；

5 宜对称配筋，且大直径钢筋宜集中配置在角部；

6 纵向受力钢筋净间距应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的规定；

7 纵向钢筋与钢管的最小净距不宜小于 30mm。

5.4.10 叠合柱应设置箍筋加密区，并应符合下列规定：

1 箍筋加密区的范围应按下列规定采用：

- 1) 柱端，取截面高度（圆柱直径）、柱净高的 1/6 和 500mm 三者的最大值；
- 2) 底层柱的下端不小于柱净高的 1/3；
- 3) 刚性地面上下各 500mm；
- 4) 剪跨比不大于 2 的柱、柱净高与柱截面高度之比不大于 4 的柱、一级和二级框架的角柱，取全高。

2 一般情况下，加密区箍筋的最大间距和最小直径应按表 5.4.10-1 采用；

表 5.4.10-1 叠合柱箍筋加密区中箍筋的最大间距和最小直径（mm）

箍筋最大间距（采用较小值）	箍筋最小直径
$6d, 100$	10

注：d 为柱纵向钢筋最小直径。

3 叠合柱的箍筋直径大于 12mm 时，除底层柱下端外，最大间距应允许采用 150mm；

4 叠合柱箍筋加密区的体积配箍率，应按下列规定采用：

$$\rho_v = \lambda_v f_{co} / f_{yv} \quad (5.4.10-1)$$

式中： ρ_v —— 叠合柱箍筋加密区的体积配箍率，剪跨比不大于 2 的叠合柱不应小于 1.2%，计算箍筋体积配箍率时，可取外围箍筋中心线所围混凝土扣除钢管混凝土的体积，扣除的体积不应大于外围箍筋中心线所围体积的 30%；

f_{co} —— 管外混凝土轴心抗压强度设计值，强度等级低于 C35 时，应按 C35 计算；

f_{yv} ——箍筋或拉筋抗拉强度设计值；

λ_v ——最小配箍特征值，宜按表 5.4.10-2 采用。

表 5.4.10-2 叠合柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值

箍筋形式	叠合柱轴压比						
	≤0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
普通箍、复合箍	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23

注：普通箍指单个矩形箍和单个圆形箍，复合箍指由矩形、多边形、圆形箍或拉筋组成的箍筋。

5.4.11 叠合柱非加密区的箍筋，应符合下列要求：

- 1 体积配箍率不宜小于加密区的 50%；
- 2 箍筋间距，叠合柱不应大于 200mm，且不应大于 10 倍纵向钢筋直径。

5.4.12 叠合柱的箍筋配置方式宜符合下列规定：

- 1 宜采用复合箍。复合箍可由外围矩（方）形封闭箍与拉筋组成（图 5.4.12 a），或由外围矩（方）形封闭箍和八角形封闭箍与拉筋组成（图 5.4.12 b）。拉筋可紧靠箍筋并钩住纵筋；
- 2 绕过钢管的拉筋与钢管相交部分的圆弧宜与钢管同心，不相交部分宜为直段；
- 3 箍筋加密区的箍筋及拉筋的肢距，绕过钢管的拉筋肢距不宜大于 400mm，其他箍筋及拉筋的肢距不宜大于 250mm；
- 4 截面周边纵向钢筋应至少每隔一根位于箍筋的角部或拉筋的弯钩内；
- 5 梁柱节点核心区的箍筋，当复合箍配置有困难时，可采用等量大直径箍筋或等量钢板箍。

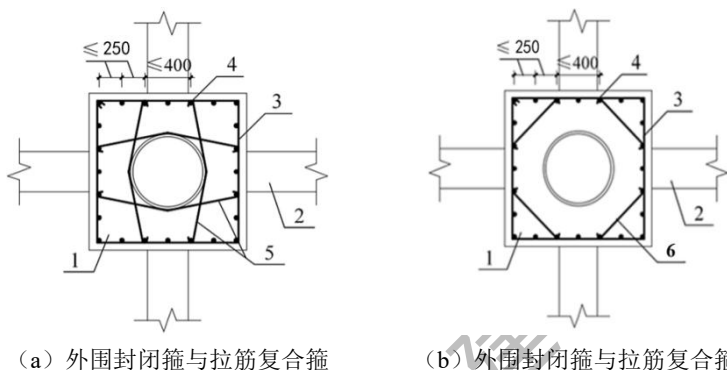


图 5.4.12 叠合柱箍筋配置方式示意图

1-叠合柱； 2-梁； 3-封闭箍； 4-纵向钢筋； 5-拉筋； 6-八角形封闭箍

5.5 梁设计

5.5.1 装配式叠合柱结构的梁，可采用预制钢筋混凝土梁、钢梁和 PEC 组合梁。

5.5.2 采用预制混凝土梁时，应按照现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010 中的有关规定进行设计。

5.5.3 采用钢梁时，应按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中的有关规定进行设计。

6 节点与连接

6.1 一般规定

6.1.1 装配式叠合柱结构的节点连接应满足强度、刚度、稳定性及抗震要求。

6.1.2 构造复杂的重要节点应通过有限元分析方法等确定其承载力，并宜通过试验进行验证。

6.1.3 节点构造应便于制作、运输、安装、维护，防止积水、积尘，应进行防腐和防火设计。

6.2 叠合柱上下对接节点

6.2.1 当叠合柱横截面外围尺寸有变化时，变化过渡段内不宜设置柱连接节点。

6.2.2 预制叠合柱与柱连接节点处，内钢管采用对接，钢管内混凝土可采用顶升注浆方式后浇。节点处纵向钢筋可采用套筒灌浆、机械连接或直螺纹套筒连接等方式，且拼接处应采用相同等级或更高强度混凝土现场浇筑。采用套筒灌浆连接时，对接接头处宜设置排气孔等构造措施（图 6.2.2）。

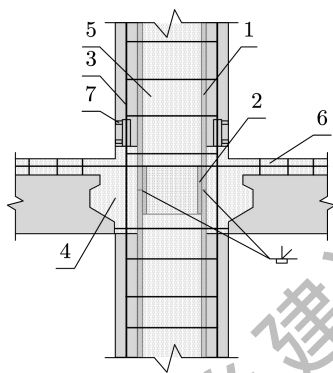


图 6.2.2 叠合柱上下柱连接节点

1-叠合柱内钢管；2-内衬钢管；3-叠合柱内纵筋；4-后浇节点处混凝土；

5-后浇钢管内混凝土；6-楼板；7-排气孔

6.2.3 叠合柱内钢管对接时，当钢管直径相同时，接缝处应设置内衬钢管，并应符合下列规定：

1 钢管对接应采用全熔透焊缝，直焊缝钢管对接时，应错开上、下段钢管焊缝；

2 内衬钢管高度宜为 300mm，外径宜比钢管内径小 4mm；

3 内衬钢管壁厚不宜小于 4mm。

6.3 梁柱连接节点设计

6.3.1 预制钢筋混凝土梁与叠合柱的连接应符合下列规定：

1 梁的纵筋宜采用直径较大的钢筋，但直径不应大于叠合柱在该方向截面尺寸的 1/20；

2 梁的纵向钢筋可采用并筋方式布置；

3 钢筋弯折绕过钢管时，在柱截面以内的弯折角度不宜大于 1:6，在柱截面以外的弯折角度不宜大于 1:12；

4 在节点核心区内，有连接接头的梁纵筋不应超过总面积的 50%。

6.3.2 叠合柱与预制钢筋混凝土梁连接应符合下列规定：

1 当采用现浇叠合柱与预制混凝土梁连接时，节点两侧的预制梁下部纵向受力钢筋宜锚固在现浇节点区内，预制梁的上部纵向受力钢筋应贯穿现浇节点区（图 6.3.2a）；

2 当采用预制叠合柱与预制混凝土梁连接时，节点两侧的预制梁下部纵向受力钢筋宜锚固在后浇节点区内，预制梁的上部纵向受力钢筋应贯穿后浇节点区（图 6.3.2b）。叠合柱、预制钢筋混凝土梁与后浇混凝土、灌浆料的结合面应设置粗糙面、键槽，并满足现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关要求。

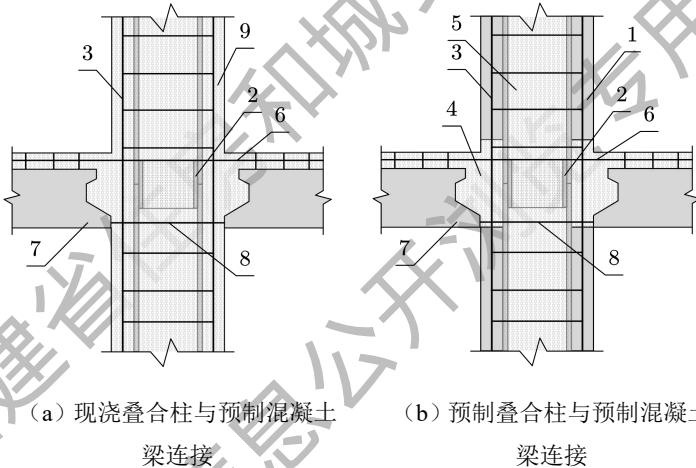


图 6.3.2 叠合柱与预制钢筋混凝土梁短钢槽螺栓连接

1-预制叠合柱；2-内衬钢管；3-叠合柱内纵筋；4-后浇节点处混凝土；5-后浇管内混凝土；

6-预制混凝土梁上部纵筋；7-预制混凝土梁；8 预制混凝土梁下部纵筋；9-现浇叠合柱

6.3.3 预制钢筋混凝土梁的纵筋穿过叠合柱内钢管进行连接时，应符合下列规定：

1 梁的纵筋单筋穿过钢管时，钢管壁上可开圆形穿筋孔，其直径不宜小于 $d + (5 \sim 8) \text{ mm}$ ， d 为钢梁纵向钢筋实测直径；

2 梁的纵筋并筋穿过钢管时，钢管壁上可开椭圆形穿筋孔，孔的大小应考虑施工时纵筋能顺利穿过；

3 穿筋孔的环向净距不应小于孔的长径，钢管壁开孔的截面损失率不宜大于 30%，超过时应采用内衬段或外套管段与钢管壁紧贴焊接，管段壁厚不应小于钢管的壁厚，管段端面至孔边的净距不应小于孔长直径的 2.5 倍；计算损失率时，钢管可取未开孔截面的面积；

4 钢管壁上开孔的位置，应考虑节点不同方向梁纵筋标高的差异。

6.3.4 叠合柱与钢梁的连接应符合下列规定：

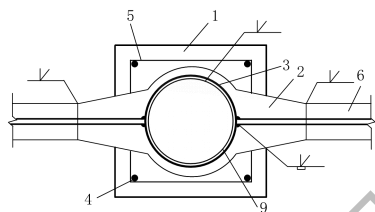
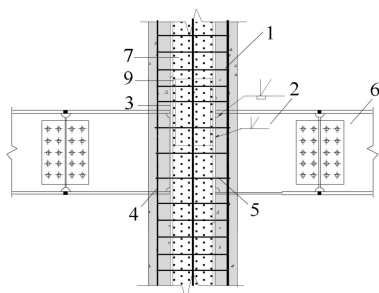
1 连接节点可采用栓焊连接、全螺栓连接、单边螺栓端板连接或梁翼缘开孔连接（图 6.3.4）。

2 采用栓焊连接或全螺栓连接时，宜在工厂将短梁焊接于叠合柱内钢管壁上，同轴梁段现场拼接时，采用翼缘焊接连接、腹板螺栓连接（图 6.3.4 a）或翼缘、腹板均为螺栓连接（图 6.3.4 b），节点设计详见附录 A。

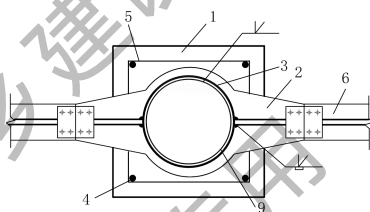
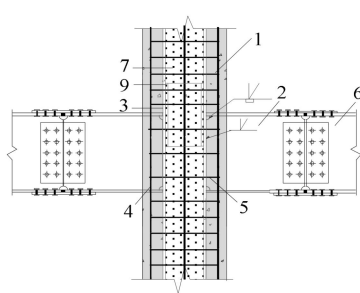
3 采用单边螺栓连接时，单边螺栓应沿柱中心线对称布置（图 6.3.4 c）。节点承受弯矩时，由螺栓强度和柱壁强度控制的节点抗弯承载力应大于由端板控制的节点抗弯承载力。节点设计详见附录 B。

4 当钢梁翼缘宽度大于叠合柱钢管直径时，可在短梁翼缘开孔，柱钢管穿孔并和梁腹板焊接（图 6.3.4 d）。

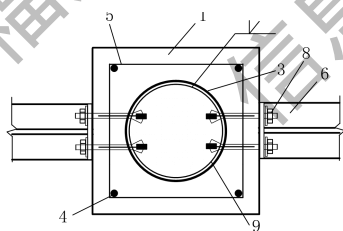
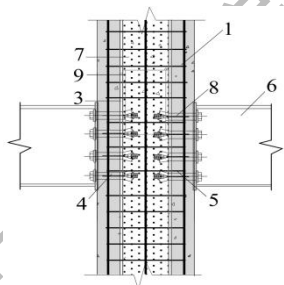
5 采用翼缘开孔，钢管穿孔的组合节点连接时，宜在工厂将钢梁翼缘开孔并将翼缘和腹板与叠合柱钢管焊接，同时在上翼缘上部和下翼缘下部焊接 T 型加劲肋，以补强节点区被削弱的梁截面。



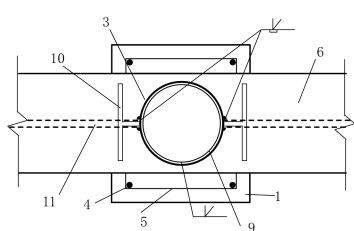
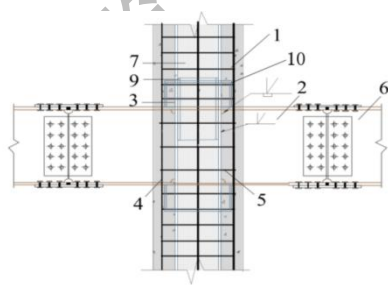
(a) 栓焊连接



(b) 全螺栓连接



(c) 单边螺栓连接



(d) 钢管穿孔节点连接

图 6.3.4 叠合柱与钢梁连接

1-叠合柱；2-短梁；3-叠合柱内钢管；4-叠合柱上下柱内纵筋；5-叠合柱内箍筋；6-钢梁；
7-后浇混凝土；8-单边高强度螺栓；9-衬管；10-T 型加劲肋；11-钢梁腹板

6.3.5 叠合柱与 PEC 组合梁的连接应符合下列规定，连接方式参照图 6.3.4：

1 连接节点可采用栓焊连接、全螺栓连接、单边螺栓端板连接或梁翼缘开孔连接。现场拼接的区域可采用相同强度等级或提高一级的混凝土后浇包覆。

2 采用栓焊连接或全螺栓连接时，宜在工厂将短梁焊接于叠合柱内钢管壁上，同轴梁段现场拼接时，采用翼缘焊接连接、腹板螺栓连接或翼缘、腹板均为螺栓连接，设计时 PEC 组合梁可按照钢梁设计，节点设计详见附录 A。

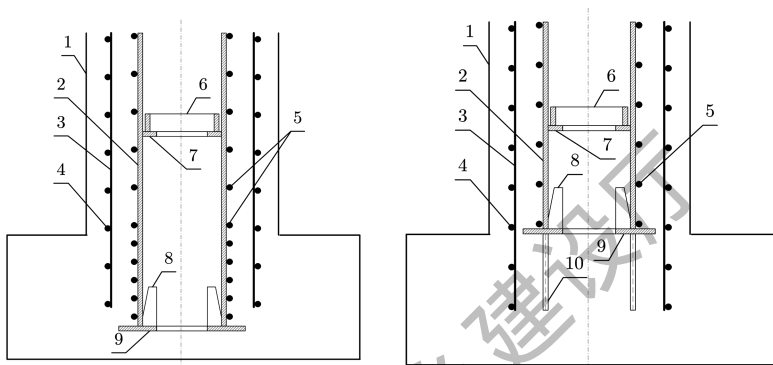
3 采用单边螺栓连接时，单边螺栓应沿柱中心线对称布置。节点承受弯矩时，由螺栓强度和柱壁强度控制的节点抗弯承载力应大于由端板控制的节点抗弯承载力。节点设计详见附录 B。

4 当钢梁翼缘宽度大于叠合柱钢管直径时，可在短梁翼缘开孔，柱钢管穿孔并和梁腹板焊接。

5 采用翼缘开孔，钢管穿孔的组合节点连接时，宜在工厂将短梁翼缘开孔并将翼缘和腹板与叠合柱钢管焊接，同时在上翼缘上部和下翼缘下部焊接 T 型加劲肋，以补强节点区被削弱的梁截面。

6.4 柱脚节点设计

6.4.1 装配式叠合柱框架结构可采用埋入式柱脚或端承式柱脚（图 6.4.1），其核心钢管混凝土柱脚构造应满足现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的有关规定。



(a) 埋入式柱脚

(b) 端承式柱脚

图 6.4.1 装配式叠合柱柱脚示意图

1-叠合柱；2-钢管；3-竖向钢筋；4-箍筋或水平钢筋；5-环箍；6-内衬钢管；7-环形隔板；

8-限位钢板；9-柱脚板；10-锚筋

6.4.2 埋入式柱脚的柱脚板可为环形钢板，端承式柱脚的柱脚板可为环形钢板或中部开圆洞的方形钢板，钢板厚度不应小于柱内钢管壁厚的 1.5 倍，且不宜小于 20mm。

6.4.3 叠合柱的竖向钢筋应锚固在基础混凝土内，锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010 有关受拉钢筋抗震锚固长度的规定，且应分别设置箍筋及水平分布钢筋。

6.4.4 叠合柱脚板下的基础混凝土内宜配置方格网筋或螺旋箍，应验算柱脚板下基础混凝土的局部受压承载力及受冲切承载力，局部受压承载力及受冲切承载力应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010 的有关规定。

7 生产与运输

7.1 一般规定

7.1.1 装配式叠合柱结构的构件生产单位应具备相应的生产工艺设施，应有完善的质量管理体系，并宜建立质量可追溯的信息化管理系统。

7.1.2 装配式叠合柱结构的构件制作前，应组织设计、生产、施工单位进行技术交底和会审，并制定生产方案；生产方案应包括生产工艺、模具方案、生产计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

7.1.3 装配式叠合柱结构构件的混凝土工作性能应根据产品类别和生产工艺要求确定，构件的混凝土原材料及配合比设计应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054、《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281等的有关规定。

7.1.4 装配式叠合柱结构构件采用钢筋套筒灌浆连接时，应在构件生产前进行钢筋套筒灌浆连接接头的抗拉强度试验，每种规格的连接接头试件数量不应少于3个。

7.1.5 装配式叠合柱结构构件的钢筋加工、连接与安装应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204等的有关规定。装配式叠合柱结构构件的钢管加工、连接与安装应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205等的有关规定。

7.1.6 装配式叠合柱结构构件制作应建立首件验收制度。

7.1.7 装配式叠合柱结构构件和部品出厂时，应出具质量证明文件。

7.1.8 装配式叠合柱结构构件的生产应在工厂或符合生产条件的现场进行，生产场地及设施应符合下列规定：

1 制作装配式叠合柱结构构件的场地应平整坚实，并有排水措施；

2 行车、锅炉、叉车等装配式叠合柱结构生产设备应符合国家及行业现行相关标准的规定。

7.1.9 装配式叠合柱结构构件的运输应根据道路、桥梁及车辆情况依据的实际条件编制运输方案，并应符合国家现行标准《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 的有关规定。

7.1.10 钢管的加工制作必须根据设计文件绘制施工详图，并应按照设计文件和施工详图的要求编制制作工艺文件，根据制造厂的生产条件及现场施工条件的具体情况，考虑运输要求、吊装能力和安装条件。

7.1.11 钢管的开孔、开槽，宜在专业钢结构工厂内进行，经质量检验合格后方可使用。

7.2 制作准备

7.2.1 装配式叠合柱结构构件的模具除应具有足够的强度、刚度、精度和整体稳定性的要求外尚应符合下列规定：

1 装配式叠合柱结构构件生产的模具应易于装拆，并能可靠抵抗浇筑混凝土时的冲击力、侧压力、振动力以及蒸汽养护所产生的膨胀、收缩而不变形；

2 在条件允许时宜采用定型钢模；对于形状复杂或数量少的构件也可采用木模或其它材质模具；

3 模具应保持清洁，涂刷脱模剂或表面缓凝剂时应均匀、无漏刷、无堆积，且不得沾污钢筋，不得影响装配式叠合柱结构构件的外观效果。但在预嵌式外饰材（如磁砖、石材）及预埋件等与混凝土的接触面上不得涂刷脱模剂；

4 模具各部件之间应连接牢固，接缝应紧密，附带的埋件或工装应定位准确，安装牢固；

7.2.2 装配式叠合柱结构构件模具尺寸的允许偏差和检验方法应符合表7.2.2中的相关规定。当设计有要求时，模具尺寸的允许偏差应按设计要求确定。

表 7.2.2 装配式叠合柱结构构件模具尺寸允许偏差和检验方法

项次	检验项目及内容		允许偏差(mm)	检验方法
1	长度	≤6m	1, -2	用钢尺量平行构件高度方向，取其中偏差绝对值较大处
		>6m且≤12m	2, -4	
		>12m	3, -5	用钢尺量平行构件高度方向，取其中偏差绝对值较大处
2	截面尺寸	墙板	1, -2	
3		其他构件	2, -4	
4	对角线差	3		用钢尺量纵、横两个方向对角线
5	侧向弯曲	$l/1500$ 且≤5		拉线，用钢尺量测侧向弯曲最大处
6	翘曲	$l/1500$		对角线测量交点间距的两倍
7	底模表面平整度	2		用2m靠尺和塞尺量
8	组装缝隙	1		用塞片或塞尺量，取最大值
9	端模与侧模高低差	1		用钢尺量

注：l为模具与混凝土接触面中最长边的尺寸。

7.2.3 预埋件加工的允许偏差和固定在模具上的预埋件、预留孔洞中心位置的允许偏差应符合表7.2.3-1及表7.2.3-2中的相关规定。

表 7.2.3-1 预埋件加工允许偏差

项次	检验项目及内容		允许偏差 (mm)	检验方法
1	预埋件锚板的边长		0, -5	用钢尺量
2	预埋件锚板的平整度		1	用直尺和塞尺量
3	锚筋	长度	10, -5	用钢尺量
		间距偏差	±10	用钢尺量

表 7.2.3-2 模具预留孔洞中心位置的允许偏差

项次	检验项目及内容	允许偏差 (mm)	检验方法
1	预埋件、插筋、吊环、预留孔洞中心线位置	3	用钢尺量
2	预埋螺栓、螺母中心线位置、螺栓孔位置	2	用钢尺量
3	灌浆套筒中心线位置	1	用钢尺量

注：检查中心线位置时，应沿纵、横两个方向量测，并取其中的较大值。

7.2.4 空心钢管段制作的容许偏差应符合表7.2.4的规定。

表 7.2.4 空心钢管段制作的容许偏差

项目	容许偏差 (mm)	项目	容许偏差 (mm)
端头直径D的偏差	±1.5D/1000且±5	端面倾斜	≤2 (D<φ600)
			≤3 (D≥φ600)
弯曲矢高 (l为构件长度)	l/1500且≤5	钢管扭曲	3°
长度偏差	-5, 2	椭圆度	3D/1000

注：对接焊接连接时，D为管端头的直径；法兰连接时，D为连接孔中心的圆周直径。

7.2.5 应选用不影响构件结构性能和装饰工程施工的脱模剂。

7.2.6 对钢筋半成品、钢筋网片、钢管和预埋件应进行质量检查，合格后方可使用。

7.3 构件制作

7.3.1 装配式叠合柱结构的混凝土浇筑前应进行隐蔽工程检查，检查项目应包括下列内容：

- 1 钢筋、钢管的牌号、规格、数量、位置、间距等；
- 2 纵向受力钢筋的连接方式、接头位置、接头质量、接头面积百分率、搭接长度等；
- 3 箍筋、横向钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距，箍筋弯钩的弯折角度及平直段长度；
- 4 钢构件的规格、尺寸、长度、位置等；
- 5 预埋件、吊环、插筋的规格、数量、位置等；
- 6 预留孔洞的规格、数量、位置等；
- 7 钢筋的混凝土保护层厚度。

7.3.2 装配式叠合柱结构的混凝土浇筑时应连续均匀浇筑，并采取措施保证模具、钢筋、钢构件、预埋件、连接件不发生变形或移位，如有变形或移位应及时纠正。

7.3.3 装配式叠合柱结构构件采用洒水、覆盖等方式进行常温养护时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的要求。装配式叠合柱结构构件采用加热养护时，应制定养护制度对静停、升温、恒温和降温时间进行控制，宜在常温下静停2h~6h，升温、降温速度不应超 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，最高养护温度不宜超过装配式叠合柱结构构件材料的温度耐受性且不宜超过 70°C ，装配式叠合柱结构构件脱模的表面温度与环境温度的差值不宜超过 25°C 。

7.3.4 脱模时，装配式叠合柱结构构件的混凝土立方体抗压强度应满足设计要求，且不应小于 15MPa 。

7.3.5 采用后浇混凝土或砂浆、灌浆料连接的装配式叠合柱结构构件结合面，制作时应按设计要求进行粗糙面处理。设计无具体要求时，可采用化学处理、拉毛等方法制作粗糙面。

7.3.6 模具的拆装应遵循先装后拆、后装先拆的原则，按顺序拆装；模具需预留安装缝隙，浇注前采取封闭措施，防止漏浆；模具拆除严禁重锤敲打，损伤构件。

7.3.7 钢梁构件应在室内进行防腐涂装，防腐涂装应按设计文件的规定执行，当设计文件未规定时，应依据建筑不同部位对应环境要求进行防腐涂装系统设计。

7.3.8 PEC组合梁构件中的混凝土应符合下列规定：

1 对一次浇筑双面或多面成型的混凝土，宜采用振动模台与振动棒相结合的方式，确保浇筑的混凝土达到密实要求；在混凝土初凝完成后及时进行一次抹面；在采用翻面二次浇筑时，要保证第一次浇筑的混凝土有足够的强度；

2 对分次浇筑双面或多面成型的混凝土，若混凝土不属于同一批次，应分别预留每一批次的混凝土试块并测试试块强度，强度差值应在5MPa以内；

3 混凝土自由下落高度不宜大于600mm，并应均匀摊铺；

4 设计文件未规定时，构件起吊、翻转时的混凝土强度应达到设计标准值的50%；构件出厂时的混凝土强度等级不应低于设计强度等级的75%。

7.3.9 钢管的加工制作必须根据设计文件绘制施工详图，并应按照设计文件和施工详图的要求编制制作工艺文件，根据制造厂的生产条件及现场施工条件的具体情况，考虑运输要求、吊装能力和安装条件。

7.3.10 钢管的开孔、开槽，宜在专业钢结构工厂或工地的钢结构车间内进行，经质量检验合格后方可使用。

7.4 构件检验

7.4.1 装配式叠合柱结构构件出模后应及时对其外观质量进行全数目测检查。装配式叠合柱结构构件的外观质量不应有严重缺陷，且不宜有一般缺陷。对出现的一般缺陷应进行修整并达到合格，对已出现的严重缺陷，应按技术方案进行处理并应重新检验。

7.4.2 装配式叠合柱结构构件不应有影响结构性能、安装和使用功能的尺寸偏差。对超过尺寸允许偏差且影响结构性能和安装、使用功能的部位应经原设计单位认可，制定技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

7.4.3 装配式叠合柱结构构件的允许偏差及检验方法应符合表 7.4.3 的规定。装配式叠合柱结构构件有粗糙面时，与粗糙面相关的尺寸偏差可适当放松。

表 7.4.3 装配式叠合柱结构构件尺寸允许偏差及检验方法

项目			允许偏差 (mm)	检验方法
长度	板、梁、柱、桁架	<12m	±5	丈量检查
		≥12m 且 <18m	±10	
		≥18m	±20	
	墙板		±4	
宽度、高 (厚)度	板、梁、柱、桁架截面尺寸		±5	用尺量两端及中部，取其中偏差绝对值较大值
	墙板的高度、厚度		±3	
表面平整度	板、梁、柱、墙板内表面		4	2m 靠尺和塞尺检查
	墙板外表面		3	
侧向弯曲	板、梁、柱		l/750 且 ≤20mm	拉线、钢尺量最大侧向弯曲处
	墙板、桁架		l/1000 且 ≤20mm	

续表7.4.3

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
翘曲	板	$l/750$	调平尺在两端 量测
	墙板	$l/1000$	
对角线差	板	10	钢尺量两个对 角线
	墙板、门窗口	5	
挠度变形	梁、板、桁架设计起拱	± 10	拉线、钢尺量最 大弯曲处
	梁、板、桁架下垂	0	
预留孔	中心线位置	5	尺量检查
	孔尺寸	± 5	
预留洞	中心线位置	10	尺量检查
	洞口尺寸、深度	± 10	
门窗口	中心线位置	5	尺量检查
	宽度、高度	± 3	
预埋件	预埋件锚板中心线位置	5	尺量检查
	预埋件锚板与混凝土面平面高 差	0, -5	
	预埋螺栓中心线位置	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	0, -5	
	线管、电盒、木砖、吊环在构件 平面的中心线位置偏差	20	
	线管、电盒、木砖、吊环与构件 表面混凝土高差	0, -10	

续表7.4.3

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
预留插筋	中心线位置	3	尺量检查
	外露长度	+5, -5	
键槽	中心线位置	5	尺量检查
	长度、宽度、深度	±5	

注: 1 l 为构件最长边的长度 (mm) ;

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

7.4.4 装配式叠合柱结构构件的预埋件、插筋、预留孔的规格、数量应满足设计要求。

7.4.5 装配式叠合柱结构构件的混凝土强度应符合设计文件及国家现行有关标准规定。

7.4.6 装配式叠合柱结构构件应按设计要求和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的有关规定进行结构性能检验。

7.4.7 装配式叠合柱结构构件检查合格后, 应在构件上设置表面标识, 标识内容宜包括构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等信息。

7.5 运 输

7.5.1 应制定装配式叠合柱结构构件的运输和堆放方案, 其内容应包括运输时间、次序、堆放场地、运输路线、固定要求、堆放支垫及成品保护措施等。对于特殊构件以及超高、超宽、形状特殊的大型构件, 应按工程或产品特点制定运输堆放方案, 策划重点控制环节, 并制定专门质量安全保证措施。

7.5.2 运输前根据装配式叠合柱结构构件的构造，优先采用平置的方式运输，应根据车辆运输条件计算放置装配式叠合柱结构构件的数量。需采取绑扎固定措施防止构件移动，必要时设置支架。

7.5.3 运输应采用低平板车，并采用专用托架，构件与托架绑扎牢固，防止移动或倾倒。搬运托架、车厢板和构件间应放入柔性材料，构件应用钢丝绳或夹具与托架绑扎，构件边角或锁链接触部位的混凝土应采用柔性垫衬材料保护。

7.5.4 装配式叠合柱结构构件应采取有效的防雨措施，避免雨水淋湿引起钢材腐蚀，可覆膜并加盖防水雨布。

7.5.5 装配式叠合柱结构构件在装车和卸车时，等间距布置起吊点并在起吊点放置垫层，防止装配式叠合柱结构构件倾覆和碰撞受损。构件在吊装过程中，宜先抬高再移动，防止构件底部与底板发生摩擦。

7.5.6 应减少装配式叠合柱结构构件在现场的堆放和搬运次数。存放构件的场地应平整坚实并保持排水良好。堆放构件时应使构件与地面之间留有空隙，堆垛之间宜设置通道，必要时应设置防止构件倾覆的支撑架。

7.5.7 运输过程中未经设计单位允许，不得对装配式叠合柱结构构件进行切割、开孔、焊接等。

7.5.8 在运输过程中应对装配式叠合柱结构构件及其上的建筑附件、预埋件等采取施工保护措施，避免出现破损等污染现象。

7.5.9 装配式叠合柱结构构件堆放时应保证最下层构件垫实，预埋吊环向上，标志向外。

7.5.10 装配式叠合柱结构构件下的垫木或垫块位置应与脱模、吊装时的起吊位置一致。重叠堆放构件时，每层构件间的垫木或垫块应在同一条垂直线上。

7.5.11 堆垛层数应根据堆放场地的地基承载力和构件、垫木或垫块的强度及堆垛的稳定性确定，装配式叠合柱结构构件的堆置层数不宜超过3层，且高度不宜超过2.0m。

8 施 工

8.1 一般规定

8.1.1 装配式叠合柱结构施工前应编制专项施工方案,并经监理单位审批后方可实施;其内容应符合现行国家标准《建筑工程施工组织设计规范》GB/T 50502的规定;对于超过一定规模的危险性较大的工程,其专项施工方案应按规定组织专家论证。

8.1.2 装配式叠合柱结构的后浇混凝土部位在浇筑前应进行隐蔽工程验收。验收项目应包括下列内容:

1 钢筋、钢管的牌号、规格、数量、位置、间距,箍筋弯钩的弯折角度及平直段长度等;

2 纵向受力钢筋的连接方式、接头位置、接头数量、接头面积百分率、搭接长度、锚固方式及长度等;

3 预埋件的规格、数量、位置;

4 混凝土粗糙面的质量,键槽的规格、数量、位置;

5 钢管焊接接头的焊缝外观质量;

6 预留管线、线盒等的规格、数量、位置及固定措施。

8.1.3 吊装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。吊具应根据装配式叠合柱结构构件形状、尺寸及重量等参数进行配置。对尺寸较大或形状复杂的装配式叠合柱结构构件,宜采用有分配梁或分配桁架的吊具。

8.1.4 钢筋套筒灌浆施工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的相关规定,每种规格钢筋应制作不少于

3个套筒灌浆连接接头试件,进行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。

8.1.5 在装配式叠合柱结构的施工全过程中,应采取防止装配式叠合柱结构构件及装配式叠合柱结构构件上的建筑附件、预埋件、预埋吊件等损伤或污染的保护措施。

8.1.6 未经设计允许不得对装配式叠合柱结构构件进行切割、开洞。

8.1.7 安全措施应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46等的有关规定。

8.2 施工准备

8.2.1 施工前,应核对已施工完成构件的混凝土强度、外观质量、尺寸偏差等是否符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666和本标准的有关规定,并核对装配式叠合柱结构构件的混凝土强度及装配式叠合柱结构构件和配件的型号、规格、数量等是否符合设计要求。

8.2.2 施工前,需先复核测量控制点,测量控制点闭合差要求如下:

- 1 标高闭合差应小于 2 mm;
- 2 距离闭合差应小于 3 mm与 $1/15000$ 的较小值;
- 3 角度闭合差应小于20秒与 $10\sqrt{n}$ 的较小值。(n为测量控制点数)

8.2.3 安装施工前检查应符合下列规定:

- 1 应进行测量放线、设置构件安装定位标识;
- 2 应复核构件装配位置、节点连接构造及临时支撑方案等;
- 3 应复核吊装设备及吊具处于安全操作状态;
- 4 应核实现场环境、天气、道路状况等满足吊装施工要求。

8.3 施 工

8.3.1 预制叠合柱的总体施工顺序一般包括吊装叠合柱、钢管焊接连接、纵向钢筋连接、浇筑核心混凝土和浇筑节点混凝土等。现浇叠合柱的总体施工顺序一般包括安装内钢管、绑扎外围钢筋、浇筑核心混凝土和浇筑外包混凝土等。

8.3.2 钢管混凝土的施工要求参照现行福建省工程建设地方标准《钢管混凝土结构技术规程》DBJ/T 13-51 和《钢管混凝土结构施工技术标准》DBJ/T 13-430；柱梁连接接头钢筋的安装要求参照国家行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1；外包钢筋混凝土的施工要求参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666。

8.3.3 装配式叠合柱结构构件吊装就位后,应及时校准并采取临时固定措施。

8.3.4 采用钢筋套筒灌浆连接、钢筋浆锚搭接连接的装配式叠合柱结构构件就位前,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 5 mm。

8.3.5 装配式叠合柱构件的安装应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的有关规定,并应符合下列规定:

- 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;
- 3 钢筋套筒灌浆连接接头、钢筋浆锚搭接连接接头灌浆前,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。

8.3.6 钢筋套筒灌浆连接接头应按检验批划分要求及时灌浆,灌浆

作业应符合国家现行有关标准及施工方案的要求，并应符合下列规定：

1 灌浆施工时，环境温度不应低于5℃；当连接部位养护温度低于10℃时，应采取加热保温措施，使连接处温度维持在10℃以上，不少于7天；

2 灌浆操作全过程应有专职检验人员负责旁站监督并及时形成施工质量检查记录；

3 应按产品使用说明书的要求计量灌浆料和水的用量，并搅拌均匀；每次拌制的灌浆料拌合物应进行流动度的检测，且其流动度应满足现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355的规定；

4 灌浆作业应采用压浆法从下口灌注，当浆料从上口流出后应及时封堵，必要时可设分仓进行灌浆；

5 灌浆料拌合物应在制备后 30 min 内用完。

8.3.7 内衬钢管与叠合柱钢管焊接施工应符合国家现行标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

8.3.8 钢筋机械连接的施工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。

8.3.9 后浇混凝土的施工应符合下列规定：

1 装配式叠合柱结构构件结合面疏松部分的混凝土应剔除并清理干净；

2 模板应保证后浇混凝土部分形状、尺寸和位置准确，并应防止漏浆；

3 在浇筑混凝土前应洒水润湿结合面，混凝土应振捣密实；

4 混凝土试件的取样和留置应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 和《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定的有关规定。

8.3.10 拆模时的混凝土强度应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定和设计要求。

8.3.11 装配式叠合柱结构梁柱连接节点采用单边螺栓端板连接时，叠合柱钢管外混凝土应预留螺栓孔，并且在单边螺栓安装完成后，进行注浆；采用单边螺栓连接时，钢管内混凝土应在叠合柱安装后进行浇筑，应采用自密实细石混凝土浇筑。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

9 验 收

9.1 一般规定

9.1.1 装配式叠合柱结构应按混凝土结构子分部工程进行验收：

1 装配式叠合柱结构按子分部工程验收时，可划分为材料和结构等分项工程；各分项工程可根据与生产和施工方式相一致且便于控制质量的原则，按进场批次、工作班、楼层、结构缝或施工段划分为若干检验批；

2 装配式叠合柱结构验收除应符合本标准规定外，尚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 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；当现行标准对工程中的验收项目未作具体规定时，可由建设单位组织设计、施工、监理等相关单位制定验收要求，并按规定组织专家论证。

9.1.2 装配式叠合柱结构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 的有关规定。

9.1.3 装配式叠合柱结构的焊接、螺栓等连接用材料的进场验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

9.1.4 装配式叠合柱结构的外观质量除应满足设计专门的规定外，尚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 中关于现浇混凝土结构的有关规定。

9.1.5 装配式叠合柱结构验收时，除应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验

收标准》GB 50205 的要求提供文件和记录外，尚应提供下列文件和记录：

1 工程设计文件、装配式叠合柱结构构件制作和安装的深化设计图；

2 装配式叠合柱结构主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录、抽样复验报告；

3 装配式叠合柱结构构件安装施工记录；

4 钢筋套筒灌浆施工检验记录；

5 后浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件；

6 后浇混凝土、灌浆料、坐浆材料强度检测报告；

7 装配式结构分项工程质量验收文件；

8 装配式工程的重大质量问题的处理方案和验收记录；

9 装配式工程的其他必要文件和记录。

9.1.6 当混凝土结构子分部工程施工质量不符合要求时，应按下列规定进行处理：

1 经返工、返修或更换构件、部件的检验批，应重新进行验收；

2 经有资质的检测单位检测鉴定达到设计要求的检验批，应予以验收；

3 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求，但经原设计单位核算并确认仍可满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；

4 经返修或加固处理能够满足结构安全使用要求的分项工程，可根据技术处理方案和协商文件进行验收。

9.2 主控项目

9.2.1 后浇混凝土和钢管内浇筑混凝土强度应符合设计要求。

检查数量：按批检验，检验批应符合相关标准的要求。

检验方法：按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的要求进行。

9.2.2 钢筋套筒灌浆连接及钢筋浆锚搭接连接的灌浆应密实饱满，灌浆料强度除应满足设计要求外，还应满足现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的有关规定。

检查数量：按批检验，以每层为一检验批；每工作班应制作一组且每层不应少于3组40 mm×40 mm×160 mm的长方体试件，标准养护28 d后进行抗压强度试验。

检验方法：检查灌浆料强度试验报告及评定记录。

9.2.3 钢材焊接的焊缝尺寸应满足设计要求，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的要求进行。

9.2.4 装配式叠合柱结构构件采用螺栓连接时，螺栓的材质、规格、拧紧力矩应符合设计要求及现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的要求进行。

9.3 一般项目

9.3.1 装配式叠合柱结构的构件安装偏差应符合设计要求，并符合表 9.3.1 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，对叠合柱、预制梁，应抽查构件数量的 10%，且不少于 3 件；对墙和板，应按有代表性的自然间抽查 10%，且不少于 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%，且均不少于 3 面。

表 9.3.1 装配式叠合柱结构构件尺寸允许偏差及检验方法

项目			允许偏差 (mm)	检验方法
构件中心线对轴线位置	基础		15	尺量检查
	柱		10	
	梁、楼板		5	
构件标高	梁、柱、墙、楼板底面或顶面		±5	水准仪或尺量检查
构件垂直度	柱、墙	<5m	5	经纬仪或全站仪测量
		≥5m 且 <10m	10	
		≥10m	20	
构件倾斜度	梁、桁架		5	垂线、钢尺测量
相邻构件平整度	板端面		5	钢尺、塞尺测量
	梁、板底面	抹灰	5	
		不抹灰	3	
相邻构件平整度	柱侧面	外露	5	钢尺、塞尺测量
	柱侧面	不外露	10	
构件搁置长度	梁、板		±10	尺量检查
支座、支垫中心位置	板、梁、柱、墙、桁架		10	尺量检查
墙板接缝	宽度		±5	尺量检查
	中心线位置			

附录 A 栓焊和全螺栓连接节点设计

A.0.1 采用栓焊连接时，连接连接承载力设计值应不小于相连梁的承载力设计值，其承载力设计值应按照下列公式验算：

$$M_{ub,sp}^j \geq \eta_j M_{bua} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： M_{bua} ——PEC 组合梁受弯承载力设计值，应按实配钢结构截面和实配配筋面积（或钢梁截面），并取钢结构（或钢梁）材料的屈服强度以及混凝土和钢筋材料强度的标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算；

η_j ——连接系数。

A.0.2 采用全螺栓连接时，应按下列要求进行节点设计：

1 梁拼接连接承载力设计值不应小于相连梁的承载力设计值，且其承载力设计值应按照下列公式计算：

$$M_j = 0.9 \times \frac{1}{1.2} \times M_y \left(\frac{B-S}{B} \right) \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$P_j = 0.9 \times \frac{1}{1.2} \times P_y \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： M_y ——梁端弯矩设计值；

P_y ——梁端剪力设计值；

B ——梁反弯点到柱表面距离；

S ——拼接中心到柱表面距离。

2 拼接处梁上翼缘平行于梁轴线的轴力设计值 N_y :

$$N_y = \frac{M_j}{h_0} \quad (\text{A.0.2-3})$$

式中: h_0 ——梁翼缘形心之间的距离。

3 腹板和翼缘应承担的弯矩 M_w 和 M_f , 单个腹板螺栓的剪力设计值 V_1 和剪力设计值 T_1 :

$$M'_w = M_j - M_f \quad (\text{A.0.2-4})$$

$$M_f = \eta_p N_v^b h_0 \quad (\text{A.0.2-5})$$

$$V_1 = \frac{P_j}{n} \quad (\text{A.0.2-6})$$

$$T_1 = \sqrt{(N_v^b)^2 - V_1^2} \quad (\text{A.0.2-7})$$

4 全螺栓拼接节点的承载力设计值 M_s :

$$M_s = M_f + M_w \quad (\text{A.0.2-8})$$

附录 B 单边螺栓端板连接节点设计

B.0.1 梁柱采用单边螺栓端板连接组合节点的极限负弯矩承载力可按下列公式计算：

1 当中和轴位于混凝土楼板内：

$$M_{cp,c} = \sigma_m \left[\frac{F_{cp} l_r + h_{bw} t_{bw} f'_{bw} (l_r - h_b / 2 + t_{bf} / 2) + F_{cp} (l_r - h_b + t_{bf})}{+ b_e f_{ck} x_{csl} (l_r - h_b + t_{bf} / 2 - x_{csl} / 2)} \right] \quad (B.0.1-1)$$

$$x_{csl} = (F_{stp} - 2F_{cp} - h_{bw} t_{bw} f'_{bw}) / b_e f_{ck} \quad (B.0.1-2)$$

$$f'_{y, bw} = \sqrt{f_{y, bw}^2 - 3\tau_{xy}^2} \quad (B.0.1-3)$$

$$\tau_{xy} = V_{bw} / (h_{bw} \cdot t_{bw}) \quad (B.0.1-4)$$

式中： F_{cp} ——连接的抗压承载力设计值；

b_e ——组合梁混凝土楼板的有效宽度，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 计算；

h_{bw} ——钢梁腹板的高度；

t_{bw} ——钢梁腹板的厚度；

V_{bw} ——作用在连接上的剪力设计值；

f_{bw} ——钢梁腹板的屈服强度设计值；

F'_{bw} ——考虑剪力影响的钢梁腹板屈服强度设计值；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；

h_b ——钢梁的高度；

l_r ——钢筋中心至钢梁下翼缘中心的距离；

x_{cs} ——混凝土楼板的受压区高度；

τ_{xy} ——钢梁腹板内的剪应力标准值；

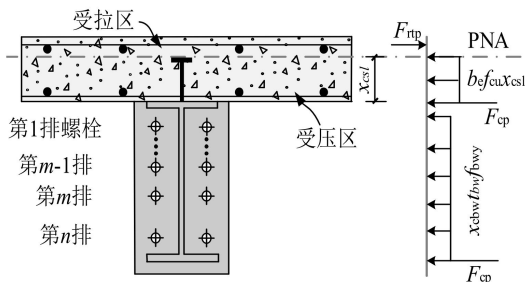


图 B.0.1-1 中和轴位于混凝土楼板内

2 当中和轴位于钢梁上翼缘内:

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[F_{cp} l_r + h_{bw} t_{bw} f'_{bwy} (l_r - h_b / 2 + t_{bf} / 2) \right] + F_{cbf} (l_r - h_b + t_{bf}) \quad (B.0.1-5)$$

$$x_{cbf} = (F_{stp} - F_{cp} - h_{bw} t_{bw} f'_{bwy}) / b_{bf} f_{bfy} \quad (B.0.1-6)$$

$$F_{cbf} = \min \{ F_{cp}, F_{stp} - F_{cp} - h_{bw} t_{bw} f'_{bwy} \} \quad (B.0.1-7)$$

式中: b_{bf} —— 钢梁翼缘的高度;

f_{bfy} —— 钢梁腹板的屈服强度标准值;

F_{cbf} —— 钢梁上翼缘所承受的压力设计值;

F_{stp} —— 钢筋抗拉承载力设计值, 按现行行业标《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 计算。

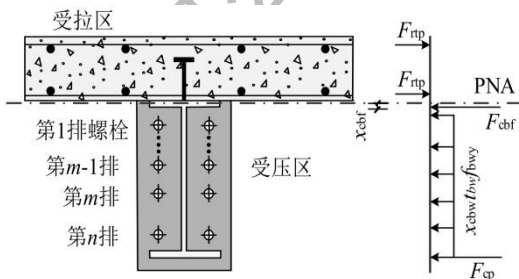


图 B.0.1-2 中和轴位于钢梁上翼缘内

3 当中和轴位于钢梁腹板内，且所有螺栓均受压时，钢梁腹板受压区高度应满足下列条件：

$$l_{bo,1} - t_{bf} / 2 < x_{cbw} = (F_{stp} - F_{cp}) / (t_{bw} f'_{bwy}) < h_{bw} \quad (\text{B.0.1-8})$$

连接的极限负弯矩承载力按下式计算：

$$M_{cp,c} = \varpi_m [F_{stp} (l_r - d_c)] \quad (\text{B.0.1-9})$$

$$d_c = 0.5 x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} (x_{cbw} + t_{bf}) / (x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} + F_{cp}) \quad (\text{B.0.1-10})$$

$$x_{cbw} = \min \left\{ (F_{stp} - F_{cp}) / (t_{bw} f'_{bwy}), 38 t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}} \right\} \quad (\text{B.0.1-11})$$

式中： x_{cbw} ——钢梁腹板实际受压区高度；

d_c ——受压区中心至钢梁下翼缘中心的距离；

$l_{bo,1}$ ——上部第一排螺栓至钢梁下翼缘中心的距离。

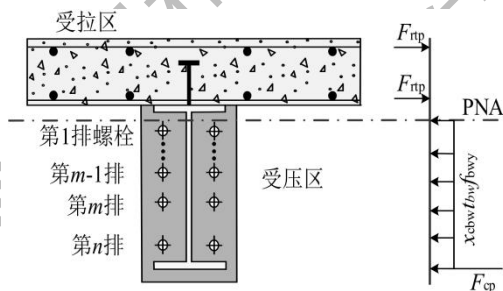


图 B.0.1-3 中和轴位于钢梁腹板内，且所有螺栓均受压

4 当中和轴位于钢梁腹板内，且前 $m-1$ 排螺栓受拉，第 m 排螺栓部分受拉，其余受压时，钢梁腹板的受压区高度应符合下列公式的要求：

连接的极限负弯矩承载力按下式计算：

$$\begin{cases} x_{cbw,m} = \left(F_{stp} + \sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{cp} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}) > l_{bo,m} - t_{bf} / 2 \\ x_{cbw,m-1} = \left(F_{stp} + \sum_{i=1}^{m-1} F_{tp,i} - F_{cp} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}) < l_{bo,m} - t_{bf} / 2 \end{cases} \quad (\text{B.0.1-12})$$

连接的极限负弯矩承载力按下式计算：

$$M_{cp,c} = \sigma_m \left[F_{stp} (l_r - d_c) + \sum_{i=1}^{m-1} F_{tp,i} (l_{bo,i} - d_c) + F_{bo,m} (l_{bo,m} - d_c) \right] \quad (\text{B.0.1-13})$$

$$x_{cbw} = \min \left\{ l_{bo,m} - t_{bf} / 2, 38 t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}} \right\} \quad (\text{B.0.1-14})$$

$$F_{bo,m} = F_{cp} + x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} - F_{stp} - \sum_{i=1}^{m-1} F_{tp,i} \quad (\text{B.0.1-15})$$

$$d_c = 0.5 x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} (x_{cbw} + t_{bf}) / (x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} + F_{cp}) \quad (\text{B.0.1-16})$$

式中： $l_{bo,m}$ ——上部第 m 排螺栓中心至受压中心的距离；

$F_{tp,i}$ ——第 i 排螺栓的抗拉承载力设计值，参考相关规程计算；

$F_{bo,m}$ ——下部 m 排螺栓处实际受到的承载力设计值。

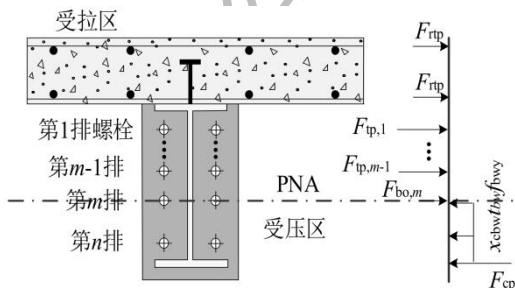


图 B.0.1-4 中和轴位于钢梁腹板内，且前 $m-1$ 排螺栓受拉，第 m 排螺栓部分受拉，其余受压时

5 当中和轴位于钢梁腹板内，且上部第 1 至 m 排螺栓完全受拉时，钢梁腹板的受压区高度应符合下式的要求：

$$l_{bo,m+1} - t_{bf} / 2 < x_{cbw,m} = (F_{stp} + \sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{cp}) / (t_{bw} f'_{bwy}) < l_{bo,m} - t_{bf} / 2 \quad (\text{B.0.1-17})$$

连接的极限负弯矩承载力按下式计算：

$$M_{cp,c} = \sigma_m \left[F_{stp} (l_r - d_c) + \sum_{i=1}^m F_{tp,i} (l_{bo,i} - d_c) \right] \quad (\text{B.0.1-18})$$

$$x_{cbw} = \min \left\{ (F_{stp} + \sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{cp}) / (t_{bw} f'_{bwy}), 38 t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}} \right\} \quad (\text{B.0.1-19})$$

$$d_c = 0.5 x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} (x_{cbw} + t_{bf}) / (x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} + F_{cp}) \quad (\text{B.0.1-20})$$

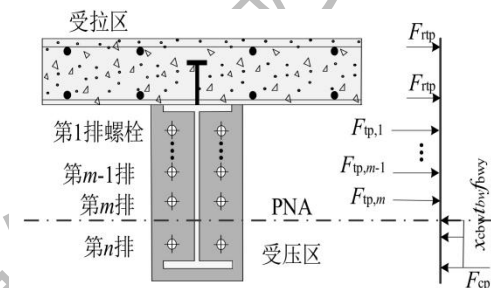


图 B.0.1-5 中和轴位于钢梁腹板内，前 m 排螺栓完全受拉，其余螺栓受压

6 当中和轴位于钢梁下翼缘，只有钢梁下翼缘受压，所有螺栓均受拉，应符合下式规定：

$$F_{cp} \geq F_{stp} + \sum_{i=1}^n F_{botp,i} \quad (\text{B.0.1-21})$$

连接的极限负弯矩承载力按下式计算：

$$M_{cp,c} = \sigma_m \left[F_{stp} l_r + \sum_{i=1}^n F_{botp,i} l_{bo,i} \right] \quad (\text{B.0.1-22})$$

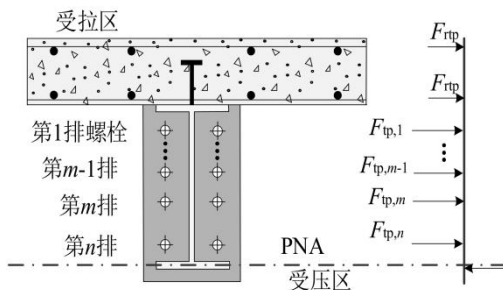


图 B.0.1-6 中和轴位于钢梁下翼缘内，只有钢梁下翼缘受压，所有螺栓均受拉

B.0.2 梁柱采用单边螺栓端板连接组合节点的极限正弯矩承载力可按下列公式计算：

1 当中和轴位于钢梁腹板内，且下部第 1 排至第 $m-1$ 排螺栓全部受拉，下部第 m 排部分受拉时，受压区高度应满足下式的要求：

$$\begin{cases} x_{cbw,m} = \left(\sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{cp} - F_{con} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}) > l_{bo,m} + h_{sl,cf} / 2 - h_{sl} - t_{bf} \\ x_{cbw,m-1} = \left(\sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{cp} - F_{con} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}) < l_{bo,m} + h_{sl,cf} / 2 - h_{sl} - t_{bf} \end{cases} \quad (B.0.2-1)$$

连接的极限正弯矩承载力按下式计算：

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[\sum_{i=1}^m F_{tp,i} l_{bo,i} + F_{bo,m} l_{bo,m} - F_{cp} \left(\frac{t_{bf}}{2} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) - t_{bw} x_{cbw} f'_{bwy} \left(\frac{x_{cbw}}{2} + t_{bf} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) \right] \quad (B.0.2-2)$$

$$x_{cbw} = \min \left\{ h_b - 2t_{bf} - p_1 - \sum_{i=1}^{m-1} p_i, 38t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}} \right\} \quad (B.0.2-3)$$

$$F_{bo,m} = F_{con} + F_{cp} + x_{cbw} t_{bw} f'_{bwy} - \sum_{i=1}^{m-1} F_{tp,i} \quad (B.0.2-4)$$

- 式中: $l_{bo,m}$ ——第 m 排螺栓的中心至混凝土楼板和钢管柱翼缘接触处厚度中心的距离;
- $h_{sl,cf}$ ——混凝土楼板和钢管柱翼缘接触处的厚度;
- h_{sl} ——混凝土楼板的厚度;
- F_{con} ——混凝土楼板与柱翼缘接触面的局部抗压承载力设计值, 按国家现行标准《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 计算;
- $F_{bo,m}$ ——下部第 m 排螺栓的承载力设计值;
- p_1 ——第 1 排螺栓中心至钢梁下翼缘内表面的距离;
- p_i ——第 i 排螺栓与 $i+1$ 排螺栓间的距离。

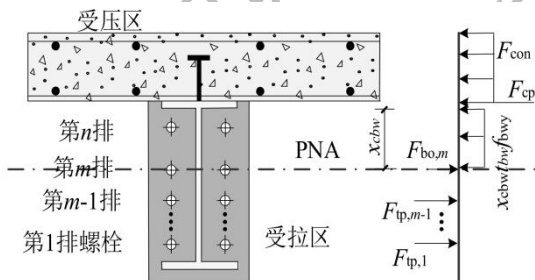


图 B.0.2-1 中和轴位于钢梁腹板内, 且下部第 1 排至第 $m-1$ 排螺栓全部受拉, 下部第 m 排部分受拉

2 当中和轴位于钢梁腹板内, 且下部第 1 排至第 m 排螺栓全部受拉, 且满足时, 连接的极限正弯矩承载力按下式计算:

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[\sum_{i=1}^m F_{tp,i} l_{bo,i} - F_{cp} \left(\frac{t_{bf}}{2} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) - t_{bw} x_{cbw} f'_{bwy} \left(\frac{x_{cbw}}{2} + t_{bf} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) \right] \quad (B.0.2-5)$$

$$x_{cbw} = \min \left\{ \left(\sum_{i=1}^m F_{tp,i} - F_{con} - F_{cp} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}), 38t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}} \right\} \quad (B.0.2-6)$$

若钢梁腹板受压区高度 x_{cbw} 是由上式中的第二个公式确定，则第 m 排螺栓的内力需按下式重新计算：

$$F_{bo,m} = F_{con} + F_{cp} + x_{cbw} t_{bw} f'_{bw} - \sum_{i=1}^{m-1} F_{tp,i} \quad (B.0.2-7)$$

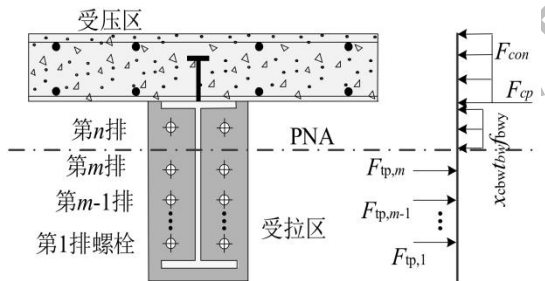


图 B.0.2-2 中和轴位于钢梁腹板内，且下部第 1 排至第 m 排螺栓全部受拉

3 中和轴位于钢梁上翼缘下方，螺栓全部受拉，且满足公式 (B.0.2-8) 时，连接的极限正弯矩承载力按公式 (B.0.2-9) 至公式 (B.0.2-11) 计算：

$$F_{con} + t_{bf} x_{cbf} f_{bfy} = \sum_{i=1}^n F_{tp,i} \quad (B.0.2-8)$$

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[\sum_{i=1}^n F_{tp,i} l_{bo,i} - F_{cbf} \left(h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} + \frac{x_{cbf}}{2} \right) \right] \quad (B.0.2-9)$$

$$x_{cbf} = \left(\sum_{i=1}^n F_{tp,i} - F_{con} \right) / (t_{bf} f_{bfy}) \leq t_{bf} \quad (B.0.2-10)$$

$$F_{cbf} = \min \left\{ F_{cp}, \sum_{i=1}^n F_{tp,i} - F_{con} \right\} \quad (B.0.2-11)$$

式中： x_{cbf} ——钢梁上翼缘受压区高度；

F_{cbf} ——钢梁上翼缘所承受的压力设计值。

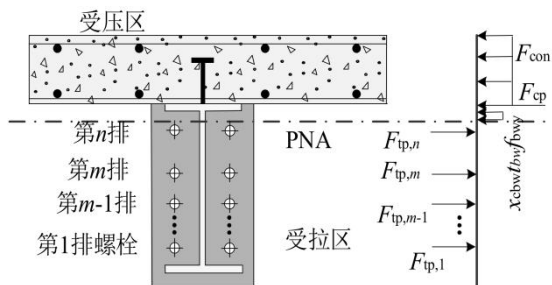


图 B.0.2-3 中和轴位于钢梁上翼缘下方，螺栓全部受拉

4 中和轴位于钢梁上翼缘内，且满足公式 (B.0.2-12) 时，连接的极限正弯矩承载力按公式 (B.0.2-13) 及 (B.0.2-14) 计算：

$$F_{con} + F_{cp} + t_{bw} x_{cbw} f'_{bwy} = \sum F_{tp,i} \quad (B.0.2-12)$$

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[\sum_{i=1}^n F_{tp,i} l_{bo,i} - F_{cp} \left(\frac{t_{bf}}{2} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) - t_{bw} x_{cbw} f'_{bwy} \left(\frac{x_{cbw}}{2} + t_{bf} + h_{sl} - \frac{h_{sl,cf}}{2} \right) \right] \quad (B.0.2-13)$$

$$x_{cbw} = \left(\sum_{i=1}^n F_{tp,i} - F_{con} - F_{cp} \right) / (t_{bw} f'_{bwy}) < \min(l_n, 38t_{bw} \sqrt{235 / f'_{bwy}}) \quad (B.0.2-14)$$

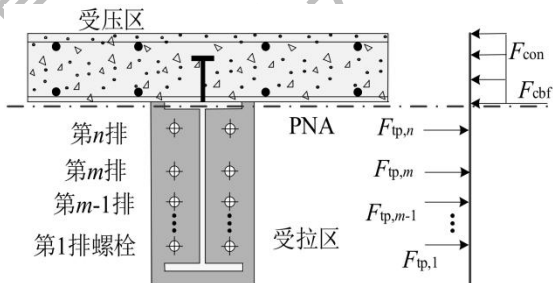


图 B.0.2-4 中和轴位于钢梁上翼缘内

5 中和轴位于混凝土楼板内，且满足公式 (B.0.2-15) 时，连接的极限正弯矩承载力按公式 (B.0.2-16) 及 (B.0.2-17) 计算：

$$0.67\beta_{sl}b_{cf}x_{csl}f_{ck} = \sum_{i=1}^n F_{tp,i} \leq F_{con} \quad (B.0.2-15)$$

$$M_{cp,c} = \varpi_m \left[\sum_{i=1}^n F_{tp,i} \left(l_{bo,i} + \frac{h_{sl,cf}}{2} - \frac{x_{csl}}{2} \right) \right] \quad (B.0.2-16)$$

$$x_{csl} = \sum_{i=1}^n F_{tp,i} / (0.67\beta_{sl}b_{cf}f_{ck}) \leq h_{sl,cf} \quad (B.0.2-17)$$

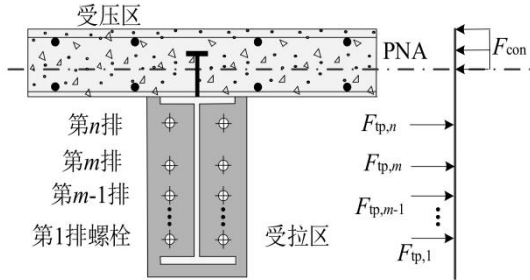


图 B.0.2-5 中和轴位于混凝土楼板内

B.0.3 连接的抗压承载力 F_{cp} 梁翼缘受压承载力确定：

$$F_{cp} = \begin{cases} t_{bf} b_{bf} f_{bfy} & b_{bf} / t_{bf} < 22\sqrt{235 / f_{bfy}} \\ 22t_{bf}^2 f_{bfy} \sqrt{235 / f_{bfy}} & b_{bf} / t_{bf} \geq 22\sqrt{235 / f_{bfy}} \end{cases} \quad (B.0.3)$$

B.0.4 螺栓的抗拉承载力 $F_{tp,i}$ 由柱翼缘 F_{cstpi} 、端板 F_{cptpi} 和螺栓 F_{botpi} 自身的承载力三者共同控制，取三者的最小值。

1 端板 F_{cptpi} 和螺栓 F_{botpi} 自身的承载力按现行国家标准《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 第 7.1.13 条计算；

2 钢管柱翼缘抗拉承载力按下式计算：

$$F_{cstpi} = \begin{cases} \frac{2f_{csy}t_{cs}^2}{1-\beta_M} \left[(\eta_M - \gamma_M) + 2\sqrt{(1-\gamma_M)(1-\beta_M)} \right] \\ f_{csy}t_{cs}^2 \left[\pi \left(1 - \frac{\gamma_M}{2(1-\beta_M)} \right) + 2 \frac{\beta_M + \eta_M - \gamma_M}{1-\beta_M} \right] \end{cases} \quad (B.0.4-1)$$

$$\beta_M = X_b / (d_{cs} - t_{cs}) \quad (B.0.4-2)$$

$$\gamma_M = d_{\text{boh}} / (d_{\text{cs}} - t_{\text{cs}}) \quad (\text{B.0.4-3})$$

式中: f_{csy} ——钢管壁的屈服强度设计值;

t_{cs} ——钢管壁的厚度;

d_{cs} ——钢管外径, 对于圆截面钢管, d_{cs} 为其外径, 对于方截面钢管, d_{cs} 为其外边长;

X_b ——柱壁两列单边螺栓孔中心水平向间距, 对于圆截面钢管, X_b 表示柱壁两列单边螺栓孔中心之间的水平向弧长;

Y_b ——柱壁单边螺栓孔中心的竖向距离。

B.0.5 负弯矩作用下, 组合节点的初始转动刚度可按下式进行计算:

$$k_{\text{effi}} = \left(\frac{1}{k_{\text{cwi}}} + \frac{1}{k_{\text{cfi}}} + \frac{1}{k_{\text{epi}}} \right)^{-1} \quad (\text{B.0.5-1})$$

$$k_{\text{eq}} z_{\text{eq}} \theta = k_r z_r \theta + \sum_i k_{\text{effi}} z_i \theta \quad (\text{B.0.5-2})$$

$$k_{\text{eq}} z_{\text{eq}}^2 \theta = k_r z_r^2 \theta + \sum_i k_{\text{effi}} z_i^2 \theta \quad (\text{B.0.5-3})$$

$$z_{\text{eq}} = \frac{k_r z_r^2 + \sum_i k_{\text{effi}} z_i^2}{k_r z_r + \sum_i k_{\text{effi}} z_i} \quad (\text{B.0.5-4})$$

$$k_{\text{eq}} = \frac{k_r z_r + \sum_i k_{\text{effi}} z_i}{z_{\text{eq}}} \quad (\text{B.0.5-5})$$

$$S_{\text{in,c}} = M / \theta = \varpi_k E_s z_{\text{eq}}^2 k_{\text{eq}} \quad (\text{B.0.5-6})$$

式中: k_{cwi} ——第 i 排螺栓处柱侧壁抗拉刚度系数;

k_{cfi} ——第 i 排螺栓处柱翼缘壁抗拉刚度系数;

- $k_{\text{ep}i}$ ——第 i 排螺栓处端板抗拉刚度系数；
- k_r 和 $k_{\text{eff}i}$ ——分别表示混凝土楼板中有效纵向受力钢筋的抗拉刚度系数和第 i 排螺栓处的等效抗拉刚度系数（以上翼缘第 1 排螺栓起向下至第 i 排）；
- z_r 和 z_i ——分别表示混凝土楼板中有效纵向受力钢筋和第 i 排螺栓至钢梁下翼缘中心的距离；
- θ ——节点的转角；
- k_{eq} 和 z_{eq} ——分别表示组合节点的等效抗拉刚度系数和等效作用点至钢梁下翼缘中心的距离。
- ϖ_k ——截面形状系数，对于采用矩形端板的方钢管混凝土节点， ϖ_k 取 1.0；对于采用弧形端板的圆钢管混凝土节点， ϖ_k 取 1.1。

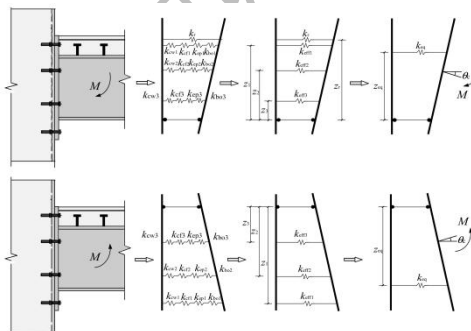


图 B.0.5 正负弯矩作用下组合节点初始刚度的计算模型示意图

B.0.6 正弯矩作用下，计组合节点的初始转动刚度的计算公式可采用上述关于负弯矩作用下的公式，此时假定节点的初始转动中心位于混凝土楼板上表面，不考虑钢筋作用，不考虑混凝土楼板局部抗压刚度的贡献。式中的 $k_{\text{eff}i}$ 和 z_i 分别表示组合节点第 i 排螺栓处的等效抗拉刚度系数和第 i 排螺栓至混凝土上表面的距离（以下翼缘第 1 排螺栓起向上至第 i 排）； k_{eq} 和 z_{eq} 分别表示组合节点的等效抗拉刚度系数和等效作用点至混凝土上表面的距离。

B.0.7 钢管柱侧壁抗拉刚度系数可按下式计算：

$$k_{cw} = 2\zeta_{fa} t_{cs} \left[2.9 \overline{t_{cs}}^{0.4} + 1.1 \overline{d_{boh}} \right] \quad (\text{B.0.7})$$

$$\overline{t_{cs}} = t_{cs} / d_{cs} \quad (\text{B.0.8})$$

$$\overline{d_{boh}} = d_{boh} / d_{cs} \quad (\text{B.0.9})$$

式中: k_{cfi} ——第 i 排螺栓处柱翼缘壁抗拉刚度系数;

ζ_{fa} ——节点位置系数, 对于边节点 ζ_{fa} 取 1.0, 对于内节点 ζ_{fa} 取 0.5;

d_{cs} 和 t_{cs} ——分别表示钢管的外径和壁厚;

d_{boh} ——螺栓孔直径。

B.0.8 钢管柱翼缘抗拉刚度系数可按下列下式计算:

$$k_{cf} = \frac{t_{cs}^3}{d_{cc}^2 \cos \left[x_b \pi / (2d_{cc}) \right]} \left(\frac{11.5}{2.024 s_k - 1} \right) \quad (\text{B.0.8-1})$$

$$s_k = 0.143(X_b / d_{cc}) - 0.306(X_b / d_{cc}) + 1.076 \quad (\text{B.0.8-2})$$

$$0.2 < X_b / d_{cc} < 0.8 \quad (\text{B.0.8-3})$$

式中: d_{cc} ——钢管内径;

X_b ——柱壁两列单边螺栓孔中心水平向间距, 对于圆截面钢管, X_b 表示柱壁两列单边螺栓孔中心之间的水平向弧长。

B.0.9 钢筋的抗拉刚度系数按现行国家标准《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 第 7.2.7 条计算。

B.0.10 端板的抗弯刚度系数按现行国家标准《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 第 7.2.8 条计算。

B.0.11 组合节点在正、负弯矩作用下的的弹塑性转角变形能力按现行国家标准《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260 第 7.3 条计算。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,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时的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 2 《混凝土结构设计标准》 GB 50010
- 3 《建筑抗震设计标准》 GB 50011
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 6 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 8 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 9 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》 GB 50628
- 10 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 11 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 12 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 13 《建筑工程施工组织设计规范》 GB/T 50502
- 14 《钢管混凝土结构技术规范》 GB 50936
- 15 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 16 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
- 17 《钢结构用高强度大六角螺母》 GB/T 1229
- 18 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
- 19 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》 GB/T 1231
- 20 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 21 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632

- 22 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 23 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 24 《六角头螺栓—C 级》GB/T 5780
- 25 《六角头螺栓》GB/T 5782
- 26 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 27 《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
- 28 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 29 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 30 《组合结构通用规范》GB 55004
- 31 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 32 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 33 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- 34 《钢结构通用规范》GB 55006
- 35 《工程结构通用规范》GB 55001
- 36 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 37 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 38 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 39 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 40 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
- 41 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
- 42 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355
- 43 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

福建省工程建设地方标准

装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构
技术标准

DBJ/T13-474-2024

条文说明

编制说明

《装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构技术标准》DBJ/T 13-474-2024，经福建省住房和城乡建设厅 2024 年 12 月 31 日以闽建科〔2024〕63 号文批准发布，并经住房和城乡建设部备案，备案号为 J 17960-2025。

本标准制订过程中，编制组进行了国内外装配式钢管加筋混凝土叠合柱结构的相关技术标准和规范的调查研究，总结了我国钢管加筋混凝土叠合柱工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，结合我省装配式钢管加筋混凝土叠合柱结构发展特点，经广泛征求意见，反复修改后编制而成。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《装配式钢管加劲混凝土叠合柱结构技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	70
2	术语和符号	71
2.1	术 语	71
4	材 料	73
4.1	钢材与钢筋	73
4.2	混凝土	73
4.3	连接材料	74
5	结构设计	75
5.1	一般规定	75
5.2	作用与作用组合	75
5.3	结构计算	76
5.4	叠合柱设计	76
5.5	梁设计	82
6	节点与连接	83
6.2	柱与柱连接节点设计	83
6.3	梁柱连接节点设计	83
7	生产与运输	85
7.1	一般规定	85
7.2	制作准备	85
7.3	构件制作	86
7.4	构件检验	86
7.5	运 输	87
8	施 工	88

8.1 一般规定	88
8.3 施 工	88
9 验 收	90
9.1 一般规定	90
9.2 主控项目	90

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

1 总 则

1.0.1 自《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》CECS 188-2005 正式颁布并实施以来，这一技术规程已在全国范围内得到了广泛应用，为钢管混凝土叠合柱结构的设计、施工积累了宝贵的经验。然而，目前在实际施工过程中，多采用现浇的施工方法进行钢管混凝土叠合柱结构的施工，缺乏针对装配式钢管混凝土叠合柱结构设计和施工的相关规范。为了填补这一空白，本标准在大量试验和理论分析的基础上，结合国内外工程经验，对装配式钢管加劲混凝土结构的设计和施工提出了具体的相关规定。

1.0.3 除了应符合本标准所引用的国家现行有关标准之外，还应对其他未在本标准中引用的国家现行有关标准予以遵守。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 钢管混凝土叠合柱具有其承载力高、延性大、刚度强、抗震性优良、抗火防腐性好、经济实用、施工便捷等优势，常用的截面形式如图 1 所示。

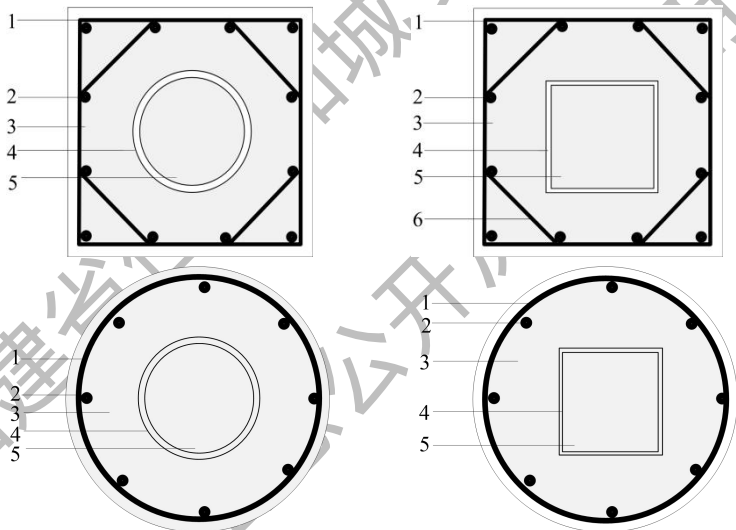
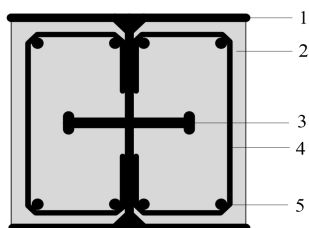


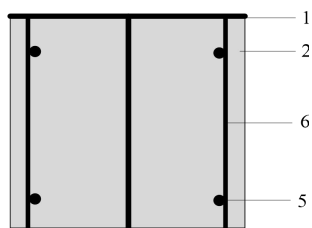
图 1 叠合柱常见截面形式

1-箍筋；2-纵筋；3-钢管外混凝土；4-钢管；5-钢管内混凝土；6-拉筋

2.1.2 根据翼缘宽厚比的不同，将部分 PEC 组合梁分为厚实型和薄柔型，如图 2 所示。当采用厚实型截面时，组合截面的高宽比宜为 0.2~5；采用薄柔型截面时，组合截面高宽比宜为 0.9~11，且应设置防止板件局部屈曲的连杆，连杆与翼缘焊接。



(a) 厚实型截面



(b) 薄柔型截面

图 2 PEC 组合梁常见截面形式

1-钢梁；2-混凝土；3-抗剪键；4-箍筋；5-纵筋；6-连杆

4 材 料

4.1 钢材与钢筋

4.1.2 抗震设计时，对钢材的要求是根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 制定的，本标准宜采用或应采用 Q460 及以下的钢材，不适用于高强钢。

抗拉强度是实际上决定结构安全储备的关键，伸长率反映钢材能承受残余变形量的程度及塑性变形能力，钢材的屈服强度不宜过高，同时要求有明显的屈服台阶，伸长率应大于 20%，以保证构件具有足够的塑性变形能力，冲击韧性是抗震结构的要求。

4.2 混凝土

4.2.1 钢管内采用强度等级高的混凝土时，钢管宜采用强度等级高的钢材。

4.2.2 制备超高性能混凝土宜掺入圆形截面的钢纤维，钢纤维性能指标应满足《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的要求。超高性能混凝土可掺入有机合成纤维或者玻璃纤维，有机合成纤维应满足《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定，玻璃纤维应满足《耐碱玻璃纤维无捻粗纱》JC/T 572 的规定。超高性能混凝土弹性极限抗拉强度 (f_{tk}) 和弹性极限拉应变 (ϵ_0) 与基体材料接近，因此可将弹性极限看做基体的开裂，不同纤维掺量下超高性能混凝土拉伸性能对比如表 1 所示。

表 1 不同纤维掺量超高性能混凝土拉伸性能

纤维掺/%	f_{tk}/MPa	$\epsilon_{cl}/\times 10^{-6}$	E_t/GPa	f_{tu}/MPa	$\epsilon_{tu}/\times 10^{-6}$
0	7.6	155	49.1	7.6	-
2.5	8.0	160	49.3	11.2	12780

4.3 连接材料

4.3.3 条文 3 中单边螺栓的规定除了符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的相关规定外，还应符合现行协会标准《钢结构用自锁式单向螺栓连接副技术条件》T/CSCS TC01-01 的相关规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.2 本条规定了装配式叠合柱结构中叠合柱的布置要求。在一幢建筑内，可以从上到下全部采用叠合柱，也可以底部采用不同期施工的叠合柱、中部采用同期施工的叠合柱、上部采用钢筋混凝土柱。叠合柱的优点显著，应尽可能多的楼层采用叠合柱。

5.1.3 装配式叠合柱结构可以采用钢筋混凝土楼盖，也可以采用钢-混凝土组合楼盖。钢-混凝土组合楼盖是指由钢梁、压型钢板、钢筋桁架楼承板、现浇混凝土楼板组成的楼盖，钢梁与现浇混凝土楼板之间采用栓钉或其他剪力连接件连接。实际工程中，可以是整幢建筑采用钢-混凝土组合楼盖，也可以局部(如梁跨度大的部位)采用钢-混凝土组合楼盖。

5.2 作用与作用组合

5.2.3 在《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的框架下，预制构件的施工验算需严格遵循等效荷载标准值的计算方法。此标准值的确定基于构件自重，并通过乘以脱模吸附系数或动力系数来调整。脱模吸附系数的引入是为了量化构件与模具之间在脱模过程中产生的吸附力，这一系数直接关联于构件和模具的表面特性。根据国内丰富的施工实践，规范推荐脱模吸附系数的标准值为 1.5。然而，为适应不同构件和模具的具体情况，规范允许根据实际表面状况对系数进行适当调整。在面对复杂或非标准化的施工条件时，建议通过试验方法确定更为精确的脱模吸附系数。此外，动

力系数的取值依据施工状态的不同而有所变化，规范中已提供一般情形下的动力系数取值指南。在施工验算过程中，脱模吸附系数与动力系数应分别独立考虑，避免进行连乘计算，以确保验算结果的准确性和可靠性。

5.3 结构计算

5.3.1 计算叠合柱结构的弹性内力和位移时，楼面梁的截面弯曲刚度可考虑楼板的作用予以增大，增大系数可根据楼板翼缘的情况确定。对预制钢筋混凝土梁，在一般情况下，边梁的增大系数可取 1.3~1.5，中梁的增大系数可取 1.5~2.0；对钢梁或 PEC 组合梁，当钢梁与混凝土楼板有可靠连接时，梁的刚度可取钢梁刚度的 1.5~2.0 倍。

5.3.2 为了简化计算，叠合柱截面刚度均按照钢管内混凝土、钢管外混凝土和钢管三部分刚度叠加的方法确定。纵筋对刚度的贡献相比钢管和混凝土的过小，考虑简化计算及保守设计，在结构的安全性和功能性不受影响时，不将纵筋的刚度纳入计算。

5.3.3 参考钢管混凝土结构的阻尼比，确定多遇地震作用下采用叠合柱结构的阻尼比。设防地震作用下弹塑性时程分析，构件屈服后滞回耗能，采用弹性结构的阻尼比；罕遇地震作用下推覆分析或等效弹性分析，采用增大结构阻尼比的方法考虑构件屈服后滞回耗能。

5.3.5 装配式叠合柱结构的弹性层间位移角限值，小于相应钢管混凝土结构的弹性层间位移角限值。

5.4 叠合柱设计

5.4.3 根据研究“Behavior of ultra-high-performance concrete (UHPC) encased concrete-filled steel tubular (CFST) stub columns under axial compression”，钢纤维掺量和含钢管混凝土率是影响

UHPC 外包钢管混凝土叠合柱轴向承载力计算的两个关键参数。钢纤维掺量会影响外包 UHPC 的抗压强度计算标准值，需要对不同钢纤维掺量情况下的强度标准值进行修正；含钢管混凝土率会影响内、外混凝土在承受轴向荷载时的负载分配，随着含钢管混凝土率的增加，钢管混凝土的承载力显著提高，在不同内、外混凝土强度组合情况下，这种提高的幅度有所不同。因此，计算时需要在单个圆钢管混凝土轴向承载力基础上考虑这两个参数的影响，拟合得到修正系数。

5.4.4 采用叠加法计算偏心受压承载力，即叠合柱正截面受压承载力为钢管混凝土柱正截面受压承载力和管外钢筋混凝土柱正截面受压承载力之和。钢管混凝土柱的正截面受压承载力按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 有关公式确定。采用普通混凝土的叠合柱承载力宜可按照现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB 50010 的有关规定进行计算。

5.4.5 叠合柱外层混凝土采用超高性能混凝土(UHPC)时，弯矩承载力设计值宜可采用极限平衡法计算：

若 $x \leq D/2$ ：

$$F_{at} + F_{st} = F_{cc} + kF_{oc} + F_{ac} + F_{sc} \quad (1)$$

$$M_u = M_{cc} + M_{ac} + M_{at} + kM_{oc} + M_{sc} + M_{st} \quad (2)$$

若 $x > D/2$ ：

$$F_{at} + F_{st} = kF_{oc} + F_{sc} \quad (3)$$

$$M_u = kM_{oc} + M_{sc} + M_{st} \quad (4)$$

式中： F_{cc} 、 M_{cc} ——核心混凝土产生的合力、弯矩设计值；

- F_{ac} 、 M_{ac} ——受压区钢管产生的合力、弯矩设计值；
 F_{at} 、 M_{at} ——受拉区钢管产生的合力、弯矩设计值；
 F_{oc} 、 M_{oc} ——外包 UHPC 受压区产生的合力、弯矩设计值；
 F_{sc} 、 M_{sc} ——钢筋受压区产生的合力、弯矩设计值；
 F_{st} 、 M_{st} ——钢筋受拉区产生的合力、弯矩设计值；
 k ——UHPC 强度修正系数，宜按表 2 采用。

表 2 UHPC 强度修正系数取值

钢纤维体积掺量 V_f (%)	0	1	2	3
k	1.00	1.26	1.31	1.34

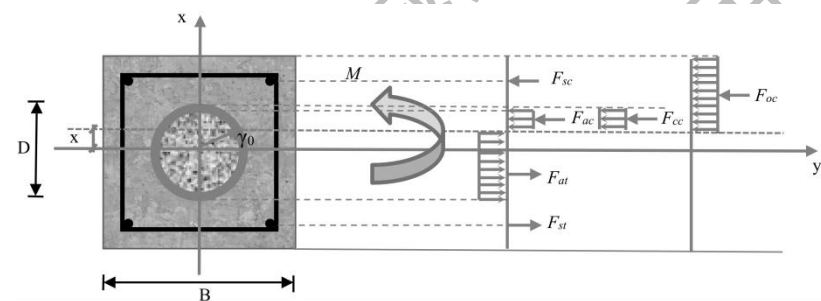


图 3 叠合柱跨中截面内力平衡示意图 ($x \leq D/2$)

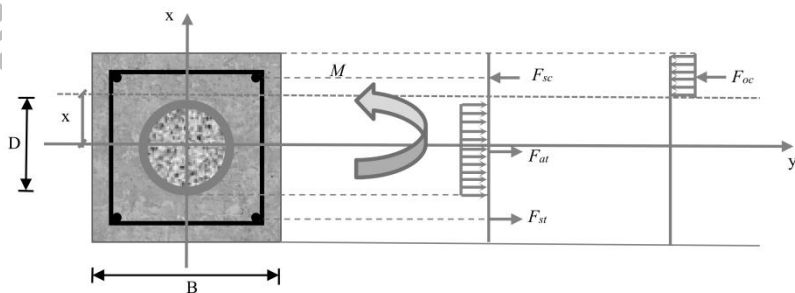


图 4 叠合柱跨中截面内力平衡示意图 ($x > D/2$)

当 $x \leq D/2$ ，由图 3 跨中截面内力平衡示意图，根据跨中截面力的平衡可以建立下列计算公式：

$$\gamma_0 = \arcsin\left(\frac{x}{r_i}\right) \quad (5)$$

$$F_{oc} = f_{oc} \left[\left(\frac{H}{2} - x \right) \times B - r_i^2 \left(\frac{\pi}{2} - \gamma_0 - 0.5 \sin 2\gamma_0 \right) \right] - tr_m (\pi - 2\gamma_0) \quad (6)$$

$$F_{cc} = f_{cc} r_i^2 \left(\frac{\pi}{2} - \gamma_0 - 0.5 \sin 2\gamma_0 \right) \quad (7)$$

$$F_{ac} = f_{ay} tr_m (\pi - 2\gamma_0) \quad (8)$$

$$F_{at} = f_{ay} tr_m (\pi + 2\gamma_0) \quad (9)$$

$$F_{sc} = f_y' A_s \quad (10)$$

$$F_{st} = f_y A_s \quad (11)$$

$$M_{cc} = \frac{2}{3} f_c r_i^3 \cos^3 \gamma_0 \quad (12)$$

$$M_{ac} = M_{at} = 2 f_{ay} r_m^2 t \cos \gamma_0 \quad (13)$$

$$M_{oc} = f_{oc} \left\{ \left(\frac{H}{2} - x \right) \times B \times \left[\left(\frac{H}{2} - x \right) / 2 + x \right] - \frac{2}{3} r_i^3 \cos^3 \gamma_0 \right\} \quad (14)$$

$$M_{sc} = f_y' A_s' \left(\frac{H}{2} - a_0 \right) \quad (15)$$

$$M_{st} = f_y A_s \left(\frac{H}{2} - a_0 \right) \quad (16)$$

当 $x > D/2$ ，由图 4 跨中截面内力平衡示意图，根据跨中截面力的平衡可以建立下列计算公式：

$$F_{oc} = f_{oc} \times \left(\frac{H}{2} - x \right) \times B \quad (17)$$

$$F_{at} = f_{ay} \times 2\pi \times t \times r_m \quad (18)$$

$$F_{sc} = f'_y A'_s \quad (19)$$

$$F_{st} = f_y A_s \quad (20)$$

$$M_{oc} = f_{oc} \times \left(\frac{H}{2} - x \right) \times B \times \left(\frac{H+x}{2} \right) \quad (21)$$

$$M_{sc} = f'_y A'_s \left(\frac{H}{2} - a_0 \right) \quad (22)$$

$$M_{st} = f_y A_s \left(\frac{H}{2} - a_0 \right) \quad (23)$$

式中： x ——形心到中和轴的距离；

a_0 ——钢筋合力点至截面受压区（或受拉区）边缘的距离；

r_i ——核心混凝土的半径；

r_0 ——钢管混凝土的外径；

r_m ——核心混凝土的径和钢管混凝土外径的平均值

t ——钢管壁厚；

B ——钢管混凝土叠合构件截面宽度；

H ——钢管混凝土叠合构件截面高度；

A_s 、 A'_s ——受拉、受压纵筋截面积；

f_y 、 f'_y ——受拉、受压纵筋屈服强度设计值；

f_{cc} ——核心混凝土抗压强度标准值；

f_c ——受压区钢管屈服强度标准值；

f_{ay} ——受拉区钢管屈服强度标准值；

f_{oc} ——外包混凝土抗压强度标准值。

依据“外包 UHPC 钢管混凝土叠合构件纯弯力学性能研究”和“Flexural behavior of ultra-high-performance concrete (UHPC) encased concrete-filled steel tubular (CFST) beams”，此类叠合柱在受弯时基本满足平截面假定。因此钢管加劲混凝土叠合柱抗弯承载力计算可用叠加法或极限平衡法进行。另外，AISC、Eurocode 4 均有类似规定。本标准中针对装配式钢管加劲混凝土叠合柱使用极限平衡法计算抗弯承载力基于以下五个基本假定：1) 试件达到极限抗弯承载力时，钢材均屈服，混凝土达到轴心抗压强度；2) 采用矩形来描述混凝土受压区的应力图；3) 忽略钢筋和钢管屈服后的材料强化；4) 假设钢管与混凝土之间处于完全粘结状态，无相对滑移；5) 不考虑受拉区混凝土的贡献。

5.4.6 轴心受压的叠合柱达到其设计承载力时，钢管混凝土尚未达到其短柱轴心受压承载力。因此，计算叠合柱的轴压比时，考虑钢管对管内混凝土的约束作用，但予以折减。钢管混凝土轴心受压承载力设计值可按照《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定计算。

5.4.7 对于层数不多的叠合柱结构，矩形截面叠合柱一个方向的最小尺寸可为 300mm，此时，另一方向的尺寸不应小于 400mm。考虑到钢管混凝土对柱刚度和承载力的提高作用，一、二、三级且超过 2 层时，矩形截面叠合柱的最小边长（直径）比钢筋混凝土柱的最小边长小 50mm。

5.4.8 约束效应系数超过 3.0 的钢管混凝土柱，钢管对混凝土的约束作用按约束效应系数 3.0 计，超过部分可按型钢作用计。

5.4.9 美国混凝土规范 ACI 318-11 认为,规定纵向钢筋最小总配筋率是为了避免混凝土开裂前纵向钢筋屈服。为简化设计,不同抗震等级叠合柱纵向钢筋的最小总配筋率相同。叠合柱纵向钢筋的总配筋率为纵向钢筋的截面面积与柱截面面积的比值。

5.4.10 地震作用下,叠合柱有可能在其两端出现塑性铰。为提高叠合柱两端的弹塑性变形能力,两端应设置箍筋加密区,形成箍筋约束混凝土,提高混凝土的极限压应变。

5.5 梁设计

5.5.1 采用 PEC 组合梁时,应按照现行国家标准《组合结构通用规范》GB 55004 及现行行业标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中的有关规定进行设计。

6 节点与连接

6.2 柱与柱连接节点设计

6.2.2 预制叠合柱在预制工厂内预制完成钢管外的钢筋混凝土。现场施工柱与柱连接节点时，先将钢管对接，并焊接内衬钢管。节点处纵向钢筋可采用套筒灌浆、机械连接或直螺纹套筒连接等方式，节点区和钢管内混凝土采用现场后浇方式浇筑。为保证管内混凝土浇筑密实度，可采用顶升注浆的后浇方法。

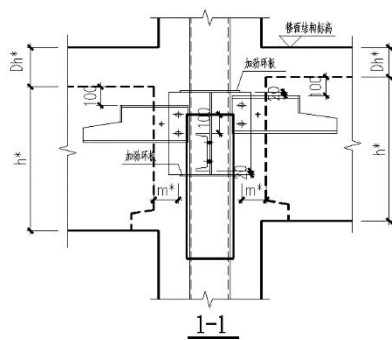
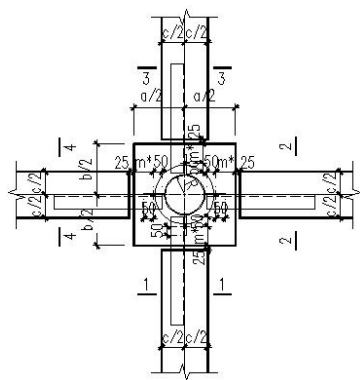
6.3 梁柱连接节点设计

6.3.2 现浇叠合柱与预制混凝土梁还可采用梁端预埋短槽钢与叠合柱钢管螺栓连接，如下图 5 所示。节点区中梁的下部钢筋左右均分后布置与钢管两侧，锚入柱内整体现浇，上部负弯矩钢筋在通长钢管时，每排钢筋应保证中间两根钢筋穿钢管过节点区，其余钢筋均分至钢管两侧布置在节点区。

6.3.4 叠合柱与钢梁的连接：

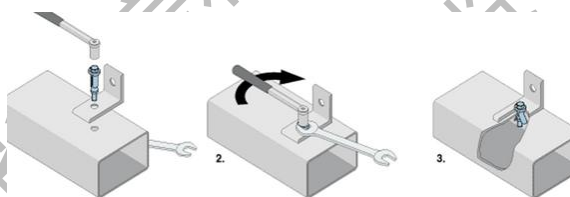
1 单边螺栓可以实现单边拧紧，免除现场焊接，提高施工效率和施工质量，实现快速和高效的装配化施工。单边螺栓安装过程如下图 6 所示。

4 根据研究成果“Behaviour of composite joints with concrete encased CFST columns under cyclic loading: Experiments. Engineering Structures, 2014, 59: 745-764”当叠合柱钢管直径小于钢梁宽度时，采用翼缘开孔，钢管穿孔的组合节点连接，并在上下翼缘设置 T 型加劲肋，能够保障节点具有可靠的传力机制。



(a) 俯视图 (b) 剖面图

图 5 叠合柱与预制钢筋混凝土梁短钢槽螺栓连接



7 生产与运输

7.1 一般规定

7.1.2 预制构件制作前，建设单位应组织设计、生产、施工单位进行技术交底，并制定生产方案；预制构件制作前应进行深化设计和施工验算，避免在构件加工和施工过程中，出现错、漏、碰、缺等问题。对应预留的孔洞及预埋部件，应在构件加工前进行认真核对，以免现场剔凿，造成损失。

7.1.3 在预制构件制作前，生产单位应根据预制构件的混凝土强度等级、生产工艺等选择制备混凝土的原材料，并进行混凝土配合比设计。

7.2 制作准备

7.2.2 模具精度是保证构件制作质量的关键，对于新制、改制或生产数量超过一定数量的模具，生产前应按要求进行尺寸偏差检验，合格后方可投入使用。制作构件用钢筋骨架或钢筋网片的尺寸偏差应按要求进行抽样检验。

7.2.3 生产时应按要求对预制构件中的预埋件、预留孔洞的形状尺寸和定位进行抽样检验。

7.2.5 预制构件选用的隔离剂应避免降低混凝土表面强度，并满足后期装修要求；对于清水混凝土及表面需要涂装的混凝土构件应采用专用隔离剂。

7.3 构件制作

7.3.1 在混凝土浇筑前，应按要求对预制构件的钢筋以及各种预埋部件进行隐蔽工程检查，这是保证预制构件满足结构性能的关键质量控制环节。

7.3.3 预制构件的蒸汽养护主要是为了加速混凝土凝结硬化，缩短脱模时间，加快模板的周转，提高生产效率。养护时应按照养护制度的规定进行控制，这对于有效避免构件的温差收缩裂缝，保证产品质量非常关键。如果条件许可，构件也可以采用常温养护。

7.3.4 预制构件脱模强度要根据构件的类型和设计要求决定，为防止过早脱模造成构件出现过大变形或开裂，本规定提出构件脱模的最低要求。

7.3.5 预制构件与后浇混凝土实现可靠连接可以采用连接钢筋、键槽及粗糙面等方法。粗糙面可采用拉毛或凿毛处理方法，也可采用化学处理方法。采用化学方法处理时可在模板上或需要露骨料的部位涂刷缓凝剂，脱模后用清水冲洗干净，避免残留物对混凝土及其结合面造成影响。为避免常用的缓凝剂中含有影响人体健康的成分，应严格控制缓凝剂，使其不含有氯离子和硫酸根离子、磷酸根离子，pH值应控制为6~8；产品应附有使用说明书，注明药剂的类型、适用的露骨料深度、使用方法、储存条件、推荐用量、注意事项等内容。

7.4 构件检验

7.4.1 预制构件外观质量缺陷可分为一般缺陷和严重缺陷两类，预制构件的严重缺陷主要是指影响构件的结构性能或安装使用功能的缺陷，构件制作时应制定技术质量保证措施予以避免。预制构件外观质量缺陷分类划分宜按现行国家标准《装配式混凝土建筑技术规范》GB/T 51231的有关规定执行。

7.4.3 本条规定预制构件的尺寸偏差和检验方法，尺寸偏差可根据工程设计需要适当从严控制。

7.5 运 输

7.5.1 预制构件的运输和堆放涉及质量和安全要求，应按工程或产品特点制定运输堆放方案，策划重点控制环节，对于特殊构件还要制定专门质量保证措施。构件临时码放场地可合理布置在吊装机械可覆盖范围内，避免二次搬运。

8 施 工

8.1 一般规定

8.1.1 应制定叠合柱结构施工专项施工方案。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，充分反映装配式结构施工的特点和工艺流程的特殊要求；施工组织设计的内容应符合现行国家标准《建筑工程施工组织设计规范》GB/T 50502的规定。计算书应包含以下内容：

- 1 装配式叠合柱脚板下方混凝土的局部受压承载能力验算；
- 2 预制构件的支撑体系的设计计算；
- 3 预制构件的安装吊点、吊具的设计计算。

8.1.3 吊具选用按起重吊装工程的技术和安全要求执行。为提高施工效率，可以采用多功能专用吊具，以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。

8.1.7 应注意构件安装的施工安全要求。为防止预制构件在安装过程中因不合理受力造成损伤、破坏或高空滑落，应严格遵守有关施工安全规定。

8.3 施 工

8.3.3 预制构件安装顺序、校准定位及临时固定措施是装配式结构施工的关键，应在施工方案中明确规定并付诸实施。

8.3.6 钢筋套筒灌浆连接接头灌浆作业是装配整体式结构工程施工质量控制的关键环节之一。实际工程中这两种连接的质量很大程度上取决于施工过程控制，对作业人员应进行培训考核，并持证上岗，同时要求有专职检验人员在灌浆操作全过程监督。套筒灌浆连接接头的质量保证措施：

- 1 采用经验证的钢筋套筒和灌浆料配套产品；
- 2 施工人员是经培训合格的专业人员，严格按技术操作要求执行；
- 3 质量检验人员进行全程施工质量检查，能提供可追溯的全过程灌浆质量检查记录；
- 4 检验批验收时，如对套筒灌浆连接接头质量有疑问，可委托第三方独立检测机构进行非破损检测。

8.3.9 叠合柱结构的后浇混凝土节点施工质量是保证节点承载力的关键，施工时应采取具体质量保证措施满足设计要求。节点处钢筋连接和锚固应按设计要求规定进行检查，连接节点处后浇混凝土同条件养护试块应达到设计规定的强度方可拆除支撑或进行上部结构安装。

9 验 收

9.1 一般规定

9.1.5 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 施工质量验收时提出应增加提交的主要文件和记录，是保证工程质量实现可追溯性的基本要求。

9.2 主控项目

9.2.2 装配整体式结构的灌浆连接接头是质量验收的重点，施工时应做好检查记录，提前制定有关试验和质量控制方案。钢筋套筒灌浆连接和钢筋浆锚搭接连接灌浆质量应饱满密实。两者的受力性能不仅与钢筋、套筒、孔道构造及灌浆料有关，还与其连接影响范围内的混凝土有关，因此不能像钢筋机械连接那样进行现场随机截取连接接头，检验批验收时要求在保证灌浆质量的前提下，可通过模拟现场制作平行试件进行验收。