

中国工程建设标准化协会标准

钢与超高性能混凝土组合构件应用技术规程

Technical specification for application of composite structural components consisted of steel and ultra high performance concrete

(征求意见稿)

(提交反馈意见时,请将有关专利连同支持性文件一并附上)

XXX 出版社

钢与超高性能混凝土组合构件应用技术规程

Technical specification for application of composite structural components consisted of steel and ultra high performance concrete

T/CECS xxx-202x

主编单位: 中国化学工程第十一建设有限公司

河南工业大学

批准单位:中国工程建设标准化协会

施行日期: 202X 年 XX 月 XX 日

中国XX出版社

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 < 2023 年第一批协会标准制订、修订计划 > 的通知》(建标协字(2023)10号)的要求,编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分9章,主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、材料、型钢UHPC 空心组合梁、钢管 UHPC 组合柱、连接设计、制作与施工、质量与验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理,由中国化学工程第十一建设有限公司和河南工业大学负责具体技术内容的解释。 在执行过程中如有意见或建议,请寄送河南工业大学土木工程学院(地址:河南省郑州市高新区莲花街 100 号,邮政编码: 450001)。

主 编 单 位: 中国化学工程第十一建设有限公司 河南工业大学

主要起草人: ××× ××× ××× ××× ××× ×××

主要审查人: XXX XXX XXX XXX XXX XXX

目次

| 1 | 总则. | | 1 |
|---|-----|--------------|----|
| 2 | 术语和 | 和符号 | 2 |
| | 2.1 | 术语 | 2 |
| | 2.2 | 符号 | 3 |
| 3 | 基本規 | 见定 | 9 |
| 4 | 材料. | | 14 |
| | 4.1 | 钢材 | 14 |
| | 4.2 | 钢筋 | 15 |
| | 4.3 | 超高性能混凝土 | 15 |
| | 4.4 | 其他材料 | 21 |
| 5 | 型钢(| UHPC 空心组合梁设计 | 23 |
| | 5.1 | 一般规定 | 23 |
| | 5.2 | 承载力计算 | 24 |
| | 5.3 | 裂缝宽度验算 | 31 |
| | 5.4 | 挠度验算 | 33 |
| | 5.5 | 构造措施 | 35 |
| 6 | 钢管(| UHPC 组合柱设计 | 38 |
| | 6.1 | 一般规定 | 38 |
| | 6.2 | 承载力计算 | 42 |
| | 6.3 | 构造措施 | 48 |
| 7 | 连接说 | 设计 | 55 |
| | 7.1 | 一般规定 | 55 |
| | 7.2 | 组合柱与组合梁连接 | 55 |
| | 7.3 | 组合梁与组合梁连接 | 60 |
| | 7.4 | 梁板连接 | 63 |

| | 7.5 | 柱脚连接 | 63 |
|----|------|------------|----|
| 8 | 制作与 | ヺ施工 | 67 |
| | 8.1 | 一般规定 | 67 |
| | 8.2 | 生产运输 | 67 |
| | 8.3 | 施工安装 | 72 |
| 9 | 质量与 | | 76 |
| | 9.1 | 一般规定 | 76 |
| | 9.2 | 预制构件 | 79 |
| | 9.3 | 安装施工 | 83 |
| 用i | 词说明 | | 85 |
| 引力 | 用标准: | 名录 | 86 |
| 附: | :条文 | 文说明 | 88 |

Contents

| 1 | Gene | ral provisions | 1 |
|---|-------|--|----|
| 2 | Term | as and Symbols | 2 |
| | 2.1 | Terms | 2 |
| | 2.2 | Symbols | 3 |
| 3 | Basic | requirements | 9 |
| 4 | Mate | rials | 14 |
| | 4.1 | Steel | 14 |
| | 4.2 | Steel reinforcement | 15 |
| | 4.3 | UHPC | 15 |
| | 4.4 | Other materials | 21 |
| 5 | Desig | gn of steel reinforced UHPC hollow composite beams | 23 |
| | 5.1 | General requiements | 23 |
| | 5.2 | Strength analysis | 24 |
| | 5.3 | Crack width checking | 31 |
| | 5.4 | Deflection checking | 33 |
| | 5.5 | Detailing requirements | 35 |
| 6 | Desig | gn of steel reinforced UHPC composite columns | 38 |
| | 6.1 | General requirements | 38 |
| | 6.2 | Strength analysis | 42 |
| | 6.3 | Detailing requirements | 48 |
| 7 | Desig | gn of connections | 55 |
| | 7.1 | General requirements | 55 |
| | 7.2 | Composite column-composite beam connections | 55 |
| | 7.3 | Composite beam-composite beam connections | 60 |
| | 7.4 | Beam-slab connections | 63 |
| | 7.5 | Column-footing connections | 63 |
| 8 | Fabr | ication and construction | 67 |
| | 8.1 | General requirements | 67 |

| 8.2 | 2 Production and transportation | 67 |
|-----------|---------------------------------|----|
| 8 | 3 Construction and erection | 72 |
| 9 Qu | ality and acceptance | 76 |
| 9. | 1 General requirements | 76 |
| 9.2 | 2 Precast components | 79 |
| 9 | 3 Erection and construction | 83 |
| Explana | ation of wording | 85 |
| List of c | quoted standards | 86 |
| Addition | n: Explanation of provisions | 88 |

1 总则

1.0.1 为在建筑中合理的使用型钢 UHPC 组合梁及钢管 UHPC 组合柱,做到安全适用,技术规范,提高质量,经济合理,制定本规程。

条文说明:

超高性能混凝土以其优良的物理力学性能在土木工程结构中具有广阔的应用前景。目前,国内外已取得了系统的型钢超高性能混凝土组合结构研究成果,并已有相关结构的应用案例。制定本规程,是为了规范型钢超高性能混凝土组合结构的设计与施工,使其更具有科学性、先进性及合理性,以获得更好的经济效益和社会效益。

- **1.0.2** 本规程适用于非地震区和抗震设防烈度为 6 度至 9 度地震区的高层建筑、 多层建筑和一般构筑物中型钢 UHPC 组合梁及钢管 UHPC 组合柱的设计、制作 安装与验收。
- **1.0.3** 型钢 UHPC 组合梁及钢管 UHPC 组合柱的设计、制作安装与验收,除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

<u> 条文说明:</u>

在执行本规程的同时,尚应配合使用现行国家、行业和中国工程建设标准化协会有关标准。

2 术语和符号

2.1 术语

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

超高性能混凝土是指具有超高抗拉、抗压、抗渗性能且开裂后有表观应变硬化或应变软化行为特征的水泥基复合材料。其中弹性极限抗拉强度不小于 5MPa、抗压强度不小于 120MPa。

- 2.1.2 组合结构构件 composite structure members 由型钢、钢管或钢板与钢筋混凝土组合能整体受力的结构构件。
- 2.1.3 屈服强度 yield strength

屈服强度是金属材料发生屈服现象时的屈服极限,也就是抵抗微量塑性变形的应力。

2.1.4 抗压强度 compressive strength 单轴受压理想弹塑性模型最大压应力。

2.1.5 弹性模量 elastic modulus

单轴受压和单轴受拉理想弹塑性模型的初始模量。

2.1.6 超高性能混凝土结构 ultra-high performance concrete structure 以 UHPC 为主制成的结构,包括无筋 UHPC 结构、钢筋 UHPC 结构及预应力 UHPC 结构,简称 UHPC 结构。

- **2.1.7** 型钢 UHPC 组合梁 steel UHPC composite beam 将钢梁与 UHPC 通过剪力连接件连接而成的一种新型组合梁。
- **2.1.8** 弹性极限压应变 elastic limit compressive strain 单轴受压理想弹塑性模型的弹性极限压应变。
- **2.1.9** UHPC 最大压应变 ultimate compressive strain of UHPC UHPC 单轴受压理想弹塑性模型的最大压应变。
- **2.1.10** 弹性极限拉应变 peak tensile strain 单轴受拉理想弹塑性模型的弹性极限拉应变。
- 2.1.11 UHPC 最大拉应变 ultimate tensile strain of UHPC

UHPC 单轴受拉理想弹塑性模型的最大拉应变。

2.1.12 含管率 steel tube area ratio

组合柱中钢管截面面积与柱全截面面积的比值。

<u> 条文说明:</u>

术语是依据现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083 并结合 本规程具体情况给出。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

- Ea ——钢材弹性模量;
- Ec ——UHPC 弹性模量;
- E_{co} ——钢管外 UHPC 的弹性模量;
- E_{ci} ——钢管内混凝土的弹性模量;
- E_a ——钢管钢材的弹性模量:
- f_{c} ——UHPC 轴心抗压强度设计值;
- ε_{c0} ——UHPC 弹性极限压应变;
- ε_{cu} ——UHPC 最大压应变;
- f_{t} ——UHPC 轴心抗拉强度设计值;
- *ε*_{τ0} ——UHPC 弹性极限拉应变;
- ε_{tu} ——UHPC 最大拉应变;
- f_{rv} ——普通钢筋抗拉强度设计值;
- f_{sy} ——型钢抗拉强度设计值;
- Es ——钢筋弹性模量;
- $\varepsilon_{\rm u}$ ——UHPC 极限压应变;
- fa ——圆柱头焊钉极限抗拉强度设计值;
- N_0 ——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值;
- f_{cc} ——箍筋约束 UHPC 的抗压强度;
- fci ——核心混凝土的轴心抗压强度;

- f_a ——钢管钢材抗拉、抗压强度设计值;
- f_{yy} ——箍筋抗拉强度设计值;
- fik ——超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值;
- ft0.k ——超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度标准值;
- fck ——超高性能混凝土轴心抗压强度标准值;
- fo ——超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度设计值;
- $\sigma_{\rm c}$ ——压应变为 $\varepsilon_{\rm c}$ 时的压应力;
- $\sigma_{\rm t}$ ——拉应变为 $\varepsilon_{\rm t}$ 时拉应力。

2.2.2 作用效应和承载力

- S ——构件内力组合设计值;
- R ——构件承载力设计值;
- M、N ——偏心受压钢管 UHPC 组合柱承担的弯矩设计值和轴力设计值;
 - ω_{max} ——最大裂缝宽度:
 - M_{q} ——按荷载效应准永久组合计算的弯矩;
 - Mcr ——梁截面抗裂荷载;
 - lcr ——平均裂缝间距;
 - Wo ——换算截面抗裂边缘的弹性抵抗矩;
 - σ_{sa} ——考虑型钢受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的钢筋应力值;
 - fie ——箍筋有效侧向约束应力;
- M_{co} 、 N_{co} ——钢管外围钢筋 UHPC 承担的弯矩设计值和轴力设计值;
- M_{ci} 、 N_{ci} ——钢管内混凝土承担的弯矩设计值和轴力设计值;
- Ms、Ns ——钢管承担的弯矩设计值和轴力设计值;
 - $\sigma_{\rm s}$ ——受拉纵筋的抗拉设计强度;
 - σ_{ci} ——钢管内等效点 A 处的应力混凝土纤维的应力;
 - V ——组合柱剪力设计值;
 - M_i ——主次梁连接的弯矩设计值;
 - V_{b} ——次梁端部剪力设计值;
 - V_{iw} ——验算叠合柱节点核心区最小受剪截面采用的剪力设计值;
 - Vi ——梁柱节点核心区的剪力设计值;

- W ——梁的塑性截面模量;
- $W_{\rm pbl}$ ——梁塑性铰所在截面的梁塑性截面模量;
- fyb ——梁的钢材屈服强度;
- $M_{\rm v}$ ——梁塑性铰剪力对梁端产生的附加弯矩;
- $V_{\rm pb}$ ——梁的塑性铰剪力设计值;
- N: ——浇筑钢管外 UHPC 前钢管混凝土柱组合的轴压力设计值。

2.2.3 几何参数

- b、h ——梁截面宽度和高度;
 - $h_{\rm c}$ ——后浇 UHPC 叠合层厚度;
 - ht ——预制 U 型 UHPC 外壳底板厚度;
 - bu ——预制 U 型 UHPC 外壳腹板厚度;
 - h_0 ——截面有效高度;
 - A_s ——受拉纵筋的截面积;
 - A'_s ——受压纵筋的截面积;
 - a's ——受压纵筋合力点至混凝土受压区边缘的距离;
 - a。——受拉纵筋合力点至混凝土受拉区边缘的距离;
 - a_a ——型钢受拉(受压)翼缘边缘至受拉 UHPC 边缘的距离;
 - $h_{\rm s}$ ——型钢总高度;
 - tf ——型钢下翼缘厚度;
 - $t_{\rm w}$ ——型钢腹板厚度;
 - $h_{\rm w}$ ——型钢腹板高度;
 - $A_{\rm ft}$ ——受拉区型钢翼缘截面面积;
 - A_{fc} ——受压区型钢翼缘截面面积;
 - $A_{\rm wt}$ ——受拉区型钢腹板截面面积;
 - A_{wc} ——受压区型钢腹板截面面积;
- Dwc、lwc ——栓钉焊缝的直径和高度;
 - $A_{\rm st}$ ——圆柱头焊钉钉杆截面面积;
 - lf ——钢纤维长度;
 - d_f ——钢纤维直径或等效直径;

- I_0 ——UHPC 截面等效换算后全截面惯性矩;
- I_a ——倒 T 型钢的截面惯性矩;
- c_s ——纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度;
- S₀ ——全截面换算截面重心轴以上(或以下)部分的面积对重心轴的面积矩;
- n ——纵向受拉钢筋数量:
- bf、tf ——型钢受拉翼缘宽度及厚度;
- $h_{\rm w}$ 、 $t_{\rm w}$ ——型钢腹板高度及厚度;
 - Aaw ——梁型钢腹板截面面积;
 - a。——型钢保护层厚度;
 - U ——纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘与部分腹板周长之和;
 - A_{ss} ——柱全部纵向钢筋的截面面积;
 - A_{co} ——箍筋外围保护层 UHPC 的截面面积;
 - A_{cc} ——箍筋约束 UHPC 部分截面面积;
 - wi ——相邻纵筋净距;
 - s ——相邻箍筋净距;
 - b_{cor} ——箍筋中心线间的核心 UHPC 宽度;
 - ρ_{cc} ——核心区配筋率;
 - Aci ——核心混凝土的截面面积;
 - $A_{\rm a}$ ——钢管的截面面积;
 - e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距;
 - H ——柱截面高度;
 - a ——受拉区全部纵筋受力钢筋合力作用点至截面中点的距离;
 - a' ——受压区全部纵筋受力钢筋合力作用点至截面中点的距离;
 - De ——钢管直径等效长度:
 - Aci,c ——钢管内混凝土受压区面积;
 - *B* ——柱截面宽度;
 - $D_{\rm i}$ ——钢管内混凝土直径;
 - Asv ——同一截面内各肢箍筋(包括拉筋)的全部截面面积。

2.2.4 计算系数及其他

- γ₀ ——构件的重要性系数: γE ——承载力抗震调整系数; α_1 、 β_1 ——UHPC 受压区等效矩形应力图系数; η ——焊缝尺寸的修正系数: $B_{\rm s}$ ——梁的短期刚度; B ——梁的长期刚度; λ_f ——钢纤维含量特征值: $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率; β_{B} ——构件截面短期抗弯刚度的钢纤维影响系数; ——纵向受拉钢筋配筋率; ρsa ——梁截面受拉区配置的纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘面积之和 的截面配筋率; ρ'_{sa} ——梁截面受压区配置的纵向受压钢筋的截面配筋率: ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数; θ α_{cr} ——钢纤维裂缝间距影响系数: $\beta_{\rm W}$ ——钢纤维对构件裂缝宽度的影响系数; —考虑梁型钢翼缘作用的钢筋应变不均匀系数: —箍筋有效约束系数; $k_{\rm e}$ —受拉区混凝土塑性影响系数; γ ——抗裂影响系数: β
 - λ_f ——钢纤维含量特征值:
 - $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率:
 - ——型钢腹板影响系数;
 - ——钢管混凝土的组合系数; γ
 - θ_a ——钢管混凝土套箍指标;
 - λ_v ——箍筋加密区最小配箍特征值;
 - α_2 ——管外 UHPC 抗拉强度修正系数;
 - YRE ——节点受剪承载力抗震调整系数;

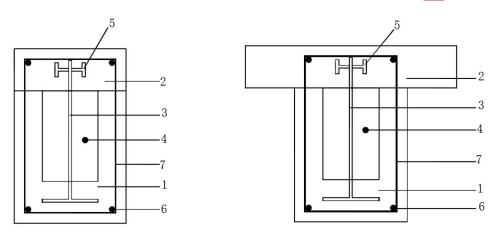
- η_s ——强柱系数;
- % ——超高性能混凝土材料强度分项系数;
- β_{v} ——钢纤维对超高性能混凝土抗剪能力影响系数。

条文说明:

本规程基本沿用了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《活性粉末混凝土》GB/T 31387、现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138、和现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》TCECS 188 的符号并结合本规程具体需求予以适当增加。

3 基本规定

- **3.0.1** UHPC 结构的耐久性设计的内容应按现行国家标准《活性粉末混凝土》 GB/T 31387 的相关规定执行, UHPC 材料抗渗性能分级应按现行团体标准《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的相关规定。
- **3.0.2** 型钢 UHPC 组合梁和钢管 UHPC 组合柱构件可用于框架结构、框架-剪力墙结构、部分框支剪力墙结构、框架-核心筒结构、筒中筒结构等结构体系。
- **3.0.3** 对于各类结构体系,可整个结构体系采用组合结构构件,也可同时采用组合结构构件与钢结构、钢筋混凝土结构构件。
- **3.0.4** 型钢 UHPC 组合梁构件可由倒 T 形截面主钢件、预制 UHPC 外壳及后浇 UHPC 叠合板组成, UHPC 内可设纵筋、箍筋、抗剪连接件等钢配件(图 3.0.4)。



- (a) 矩形型钢 UHPC 组合梁
- (b) T形型钢 UHPC 组合梁

图 3.0.4 型钢 UHPC 组合梁截面示意图

- 1——预制U型UHPC外壳; 2——现浇UHPC; 3——倒T型钢;
- 4——聚苯乙烯泡沫塑料; 5——抗剪栓钉; 6——纵筋; 7——箍筋
- **3.0.5** 主钢件的截面分类与宽厚比限值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》 GB 50017 的有关规定。
- **3.0.6** 钢管 UHPC 组合柱构件可由钢管、钢管内普通混凝土及钢管外 UHPC 组成,钢管外 UHPC 内可设纵筋、箍筋等(图 3.0.6)。

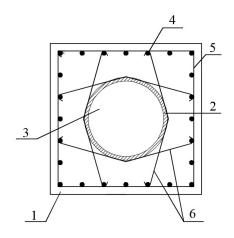


图 3.0.6 钢管 UHPC 组合柱示意图

1——钢管外围UHPC; 2——钢管; 3——钢管内普通混凝土;

4---纵筋; 5----封闭箍; 6----拉筋

- 3.0.7 钢管 UHPC 组合柱的圆形钢管, 宜采用直焊缝钢管或无缝钢管, 也可采用螺旋焊缝钢管, 但不宜选用输送流体用的螺旋焊管, 钢管 UHPC 组合柱的矩形钢管, 可采用热轧钢板焊接成型的钢管, 也可采用热轧成型钢管或冷成型的直缝焊接钢管, 应符合《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 中的相关规定。
- 3.0.8 承重结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。
- **3.0.9** 钢与 UHPC 组合构件的安全等级和设计使用年限应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 和《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的有关规定。
- 3.0.10 多高层建筑组合结构, 其结构地震作用或风荷载作用组合下的内力和位移计算、水平位移限值、舒适度要求、结构整体稳定验算,以及结构抗震性能化设计、抗连续倒塌设计等,应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构设计规范》GB 50010 等相关规定。
- 3.0.11 组合结构构件的承载力设计应符合下列公式的规定:
 - 1 持久、短暂设计状况

 $\gamma_0 S \leqslant R$

2 地震设计状况

 $S \leqslant R / \gamma_{RE}$

式中: S ——构件内力组合设计值,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》

GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定进行计算;

γ₀ ——构件的重要性系数,对安全等级为一级的结构构件不应小于1.1, 对安全等级为二级的结构构件不应小于1.0,对安全等级为三级 的结构构件不应小于0.9;

R ——构件承载力设计值;

γΕ ——承载力抗震调整系数,其值应按表 3.0.11 的规定 γΕ 采用。

组合结构构件 钢构件 构件 梁、柱 柱、 类型 柱、支撑 剪力墙 梁 各类构件 节点 及支撑 支撑 偏压 受力 受弯、 偏拉、 偏压、 受剪、 稳定 轴压比 轴压比 轴压 局压 受剪 强度 特征 受剪 轴拉 偏拉 偏拉 性 < 0.15≥0.15 0.75 0.75 0.8 0.8 0.85 0.85 1.0 0.85 0.85 0.75 0.80 $\gamma_{\rm E}$

表 3.0.11 承载力抗震调整系数

条文说明:

钢与 UHPC 组合构件中的抗震调整系数,与现行国家标准相应结构类型中的一致。

- **3.0.12** 在进行结构内力和变形计算时,钢管 UHPC 组合柱和型钢 UHPC 组合梁的截面刚度取值应符合下列规定:
 - 1 型钢 UHPC 组合梁构件的截面刚度可按下列公式计算:

$$EI = E_{c}I_{c} + E_{a}I_{a}$$

$$EA = E_{c}A_{c} + E_{a}A_{a}$$

$$GA = G_{c}A_{c} + G_{a}A_{a}$$

式中: Ea、Ec ——钢材弹性模量、UHPC 弹性模量;

EI、EA、GA ——组合梁构件的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度;

 $E_{c}I_{c}$ 、 $E_{c}A_{c}$ 、 $G_{c}A_{c}$ ——钢筋 UHPC 部分的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度;

 $E_{a}I_{a}$ 、 $E_{a}A_{c}$ 、 $G_{a}A_{a}$ ——型钢的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度。

2 钢管 UHPC 组合柱构件的截面刚度可按下列规定计算:

$$EI = E_{co}I_{co} + E_{ci}I_{ci} + E_{a}I_{a}$$

$$EA = E_{co}A_{co} + E_{ci}A_{ci} + E_{a}A_{a}$$

$$GA = G_{co}A_{co} + G_{ci}A_{ci} + G_{a}A_{a}$$

式中: EI、EA、GA——组合柱构件的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度;

 E_{co} 、 E_{ci} 、 E_a ——钢管外 UHPC、钢管内混凝土和钢管钢材的弹性模量;

 A_{co} 、 A_{ci} 、 A_a ——钢管外 UHPC、钢管内混凝土和钢管钢材的截面面积;

 G_{co} 、 G_{ci} 、 G_a ——钢管外 UHPC、钢管内混凝土和钢管钢材的剪切模量;

 I_{c0} 、 I_{ci} 、 I_a ——钢管外 UHPC、钢管内混凝土和钢管截面在所计算方向 对柱截面形心轴的惯性矩 (mm^4) 。

- 3.0.13 多高层组合结构在正常使用条件下,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,以及结构的薄弱层层间 弹塑性位移,应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。
- **3.0.14** 型钢 UHPC 组合梁的最大挠度,应按荷载效应的准永久组合并考虑荷载 长期作用的影响进行计算,其计算值不应超过表 3.0.14 规定的挠度限值;构件有 起拱时,可将计算得到的挠度值减去起拱值。

表 3.0.14 型钢 UHPC 组合梁的最大挠度限值(mm)

- 注: 1 悬臂构件的计算跨度 6 按实际悬臂长度的 2 倍取用;
 - 2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。
- **3.0.15** 型钢 UHPC 组合梁按荷载效应的准永久值并考虑荷载长期作用影响的最大裂缝宽度,不应大于表 3.0.15 规定的最大裂缝宽度限值。

表 3.0.15 型钢 UHPC 组合梁最大裂缝宽度限值 (mm)

| 耐久性环境等级 | 裂缝控制等级 | 最大裂缝宽度限值 $\omega_{	ext{max}}$ |
|--|---------------|-------------------------------|
| _ | — <i>L</i> TL | 0.3 (0.4) |
| \exists (a), \exists (b), \equiv | 三级 | 0.2 |

| $(a) \equiv (b)$ | |
|-------------------|--|
| $(a) \cdot = (b)$ | |

注:对于年平均相对湿度小于 60%地区,一级环境下的型钢 UHPC 组合梁,UHPC 裂缝最大宽度限值可采用括号内的数值。

- **3.0.16** 钢与 UHPC 组合构件中的超高性能混凝土最小保护层厚度应同时满足以下要求:
 - 1 不小于纵向受力钢筋公称直径的 1/2;
 - 2 最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 3.0.16 中的数值。

 环境类别
 板、墙、壳
 梁、柱、杆

 I
 10
 15

 II
 15
 20

 III
 20
 25

 IV
 25
 30

表 3.0.16 UHPC 保护层的最小厚度

注: 1 表中数据为设计使用年限为 50 年的超高性能混凝土结构,对于设计使用年限为 100 的超高性能混凝土结构,最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 3.0.16 中数值的 1.4 倍。

2 I、II类环境下,超高性能混凝土预制构件的保护层厚度最小可取值为 10mm。 *条文说明*:

参考日本《Recommendations for design and construction of high performance fiber reinforced cement composites with multiple fine cracks》中的试验结果及建议,最小保护层厚度可取为不小于钢筋公称直径的1/2;对超高性能混凝土预制构件,有较好的质量保证,参照法国《Ultra high performance fiber-reinforced concretes Recommendations》中的相关规定,对一、二类环境下预制构件的最小保护层厚度可取值10mm。

4 材料

4.1 钢材

- **4.1.1** 钢材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** 承重结构所用的钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构尚应具有碳当量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材应具有冷弯试验的合格保证。
- 4.1.3 钢材宜采用镇静钢。
- **4.1.4** 钢材的屈服强度、抗拉强度、强度设计值、弹性模量和剪切模量应按现行 国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定采用。
- **4.1.5** 采用塑性设计的结构及进行弯矩调幅的构件、抗震设计中具有产生塑性要求的构件,所用的钢材应符合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 且钢材应有明显的屈服台阶,且伸长率不应小于 20%。
- **4.1.6** 考虑地震作用的组合结构构件采用的钢材应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 392 条的有关规定。
- **4.1.7** 钢板厚度大于或等于 40mm,且承受沿板厚方向拉力的焊接连接板件,钢板厚度方向截面收缩率不应小于现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 规定的容许值。
- 4.1.8 钢管 UHPC 组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和合格的冲击韧性。

4.2 钢筋

- **4.2.1** 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《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。
- **4.2.2** 一级、二级、三级抗震等级的框架和斜撑构件的纵向受力钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的混凝土结构构件抗震设计有关材料性能的规定。

4.3 超高性能混凝土

- **4.3.1** 超高性能混凝土除应符合现行团体标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216-外,尚应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387的规定。
- **4.3.2** 超高性能混凝土的原材料要求、试件制备及性能测试方法应符合现行标准《超高性能混凝土(UHPC)技术要求》T/CECS 10107 和《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的有关规定。
- **4.3.3** 超高性能混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按标准方法制作、养护的边长为 100mm 立方体试件,在 28*d* 或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度标准值。

条文说明:

立方体抗压强度标准值f是本规程超高性能混凝各项力学性能指标的基本代表值。国内外研究结果表明:活性粉末混凝立方体抗压强度的尺寸效应不明显。因此,本规程沿用《活性粉末混凝》GB/T31387 第9条规定:立方体抗压强度标准值的测定采用边长100mm的立方体试件作为标准试件。活性粉末混凝土强度等级的保证率取为95%。

由于超高性能混凝土中添加较多掺合料,且有常温保湿养护、标准养护和湿 热养护等多种不同的养护方法,不同种类和用量掺合料和不同养护方法下超高性 能混凝土强度的发展规律会有所不同,因此本规程规定确定其立方体抗压强度的 试验龄期不仅限于28d,还可根据工程实际情况予以适当调整,具体取值规定可 由设计文件确认。

4.3.4 超高性能混凝土轴心抗压强度标准值应按表 4.3.4 采用。

强度等级 强度 UC120 UC130 UC140 UC150 UC160 UC170 UC180 f_{ck} 93 101 108 116 124 132 139

表 4.3.4 超高性能混凝土轴心抗压强度标准值(MPa)

条文说明:

超高性能混凝土轴心抗压强度标准值 fck 由立方体压强度标准值 fcu,k 经计算确定。考虑到工程实际结构中超高性能混凝的实体强度与立方体试件强度之间的差异,参照现行国家标准《混凝结构设计规范》GB 50010 中混凝轴心抗压强度的计算方法,超高性能混凝轴心抗压强度 fck 按式(4.3.3) 计算确定。

$$f_{\rm ck} = 0.88 \alpha_{\rm c} f_{\rm cu,k} \tag{4.3.4}$$

式中:系数 0.88 为考虑实际工程构件与立方体试件超高性能混凝强度之间的差异而取用的折减系数; a。为 100mm×100 mm×300mm 棱柱体强度与边长 100mm 立方体强度之比值,根据 107 组不同纤维含量截面边长为 100mm 的立方体与棱柱体试件换算系数实验实测平均值为 0.88。

4.3.5 超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度标准值 $f_{to,k}$ 宜由试验确定,当无试验数据时,可按表 4.3.5 采用。

| 强度 | 强度等级 | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 5虫/支 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 | UC200 | | |
| f _{t0,k} | 5.6 | 6.6 | 7.5 | 8.5 | 9.4 | | |

表 4.3.5 超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度标准值(MPa)

4.3.6 超高性能混凝轴心抗拉强度标准值宜由试验确定,当无试验数据时可按式 (4.3.6)计算。

$$f_{tk} = f_{t0,k} \left(1 + \alpha_{\rm f} \lambda_{\rm f} \right)$$
 (4.3.6-1)

$$\lambda_{\rm f} = \rho_{\rm f} l_{\rm f} / d_{\rm f} \tag{4.3.6-2}$$

式中: ftk ——超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值;

fio,k ——超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度标准值,即基体抗拉强度标准值按表 4.3.5 取值;

 $\alpha_{\rm f}$ ——钢纤维对抗拉强度的影响系数,可取 0.15;

λ_f ——钢纤维含量特征参数;

 $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率;

lf ——钢纤维长度;

df ——钢纤维直径。

按式4.3.6 计算的典型参数下超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值 ftk 见4.3.6。

表 4.3.6 典型参数下超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值 ftk (MPa, 钢纤维长径比 65)

| 强度等级钢纤维掺量 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 | UC200 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.5 | 6.5 | 7.5 | 8.6 | 9.7 | 10.8 |
| 2.0 | 6.7 | 7.9 | 9.0 | 10.1 | 11.2 |
| 3.0 | 7.3 | 8.5 | 9.7 | 10.9 | 12.1 |
| 4.0 | 7.8 | 9.1 | 10.5 | 11.8 | 13.1 |

条文说明:

由于实际工程中所采用钢纤维的品种较多,难以标准化,因此这里规定超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值 fik 宜由试验确定,当无试验数据时,可近似按式(4.3.6-1)计算。根据湖南大学及国内外其它研究机构 121 组超高性能混凝土抗拉试验数据,经统计并偏安全取α 为0.15。

4.3.7 超高性能混凝的轴心抗压强度设计值 f_c 应按采用表 4.3.7。

表 4.3.7 超高性能混凝土轴心抗压强度设计值(MPa)

| 强度 | | | 3 | 虽度等级 | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|) | UC120 | UC130 | UC140 | UC150 | UC160 | UC170 | UC180 |
| $f_{ m c}$ | 56 | 61 | 66 | 71 | 75 | 80 | 85 |

4.3.8 超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度的设计值 fo 应按表 4.3.8 采用。

表 4.3.8 超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度设计值(MPa)

| 强度 | 强度等级 | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 5虫/支 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 | UC200 | | |
| $f_{ m t0}$ | 3.9 | 4.5 | 5.2 | 5.8 | 6.5 | | |

4.3.9 典型参数下超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值 ft 按表 4.3.9 采用。

表 4.3.9 典型参数下超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值(MPa,钢纤维长径比 65)

| 强度等级钢纤维掺量 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 | UC200 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.5 | 4.5 | 5.2 | 5.9 | 6.7 | 7.4 |
| 2.0 | 4.6 | 5.4 | 6.2 | 7.0 | 7.7 |
| 3.0 | 5.0 | 5.9 | 6.7 | 7.5 | 8.4 |
| 4.0 | 5.4 | 6.3 | 7.2 | 8.1 | 9.0 |

条文说明:

超高性能混凝土的强度设计值由强度标准值除以材料强度分项系数y。确定, 按式(4.3.9)计算:

$$f_{\rm c} = f_{\rm ck} / \gamma_{\rm c} \tag{4.3.9-1}$$

$$f_{\rm t0} = f_{\rm t0,k} / \gamma_{\rm c} \tag{4.3.9-2}$$

$$f_{\rm t} = f_{\rm tk} / \gamma_{\rm c} \tag{4.3.9-3}$$

式中: fc ——超高性能混凝土轴心抗压强度设计值;

 f_{ck} ——超高性能混凝土轴心抗压强度标准值;

fio ——超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度设计值;

 $f_{t0,k}$ ——超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度标准值;

 f_t ——超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值;

 f_{tk} ——超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值;

γ。——超高性能混凝土材料强度分项系数,这里取值 1.45。

4.3.10 超高性能混凝土受压和受拉的弹性模量 E_c 应按表 4.3.10 采用或按式 (4.3.10)计算。超高性能混凝土剪切变形模量 G_c 可按相应弹性模量值的 0.40 倍。超高性能混凝土泊松比 v_c 可按 0.20 采用。

表 4.3.10 超高性能混凝土的弹性模量(×10⁴MPa)

| 强度等级 | UC120 | UC130 | UC140 | UC150 | UC160 | UC170 | UC180 | UC200 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ m c}$ | 4.29 | 4.38 | 4.46 | 4.53 | 4.60 | 4.66 | 4.71 | 5.00 |

$$E_{\rm c} = \frac{10^5}{1.5 + \frac{100}{f_{\rm cu,k}}} \tag{4.3.10}$$

<u> 条文说明:</u>

超高性能混凝土受压和受拉的弹性模量 Ec 系基于国内外相关研究成果,根据强度等级值 fcuk 按公式(4.3.10)进行计算,取值见表 4.3.10。

湖南大学及国内外其它研究机构的 88 组试验数据(抗压强度分布区间为 91.8~234.9MPa、弹性模量分布区间为 38~57GPa, 养护条件为湿热养护, 水胶比 为 0.16~0.24, 钢纤维掺量 1.5~4%)表明: 超高性能混凝土的弹性模量 E。受钢纤维掺量影响很小, 故本规程不考虑钢纤维掺量对弹性模量的影响, 仅根据强度等 级值 fcu,k 按式(4.3.10)进行计算。

国内外研究机构 36 组试验数据(抗压强度分布区间为 87.1~179.6MPa, 养护条件为湿热养护,钢纤维掺量 1.5~4%)表明:超高性能混凝土的泊松比v。不随轴心抗压强度变化而变化,其值分布在 0.18~0.22,均值为 0.205,故本规程超高性能混凝土的泊松比v。取为 0.2。

根据弹性材料力学,剪切模量 G。=E。/(1+ve),约为相应弹性模量的 0.42 倍,参照《混凝土结构设计规范》 GB 50010 的相关规定,这里也近似取为弹性模量的 0.4 倍。

4.3.11 UHPC 单轴受压的应力应变关系(图 4.3.11)可按式(4.3.11)确定:

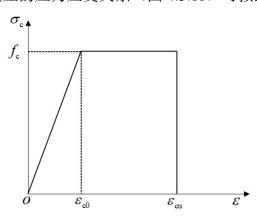


图 4.3.11 超高性能混凝土单轴受压的应力-应变关系

$$\sigma_{c} = \begin{cases} E_{c}\varepsilon_{c} & 0 \leq \varepsilon_{c} < \varepsilon_{c0} \\ f_{c} & \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_{c} < \varepsilon_{cu} \end{cases}$$

$$(4.3.11)$$

式中: σ_c ——压应变为 ε_c 时的压应力;

E_c ——UHPC 弹性模量,按本规程表 4.3.10 取值;

 f_c ——轴心抗压强度设计值,按本规程表 4.3.7 取值;

 ε_{c0} ——弹性极限压应变,按本规程表 4.3.11 取值;

 ε_{cu} ——最大压应变,按本规程表 4.3.11。

表 4.3.11 受压应力-应变曲线的参数取值(×10-6)

| 强度 | UC120 | UC130 | UC140 | UC150 | UC160 | UC170 | UC180 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 弹性极限压应变 εω | 1306 | 1393 | 1479 | 1566 | 1630 | 1717 | 1803 |
| 最大压应变 $arepsilon_{ m cu}$ | 3500 | 3660 | 3830 | 4000 | 4060 | 4130 | 4200 |

4.3.12 UHPC 单轴受拉应变关系可按式(4.3.12)确定:

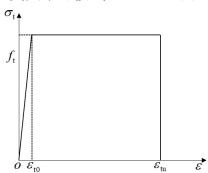


图 4.3.12 超高性能混凝土单轴受拉的应力-应变关系 s

$$\sigma_{c} = \begin{cases} E_{c} \varepsilon_{t} & 0 \leq \varepsilon_{t} < \varepsilon_{t0} \\ f_{t} & \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_{t} < \varepsilon_{tu} \end{cases}$$

$$(4.3.12)$$

式中: σ_t ——拉应变为 ε_t 时拉应力;

 f_t ——单轴抗拉强度设计值,按本规程表 4.3.9 取值;

 ε_{t0} ——弹性极限拉应变,其值由抗拉强度设计值与弹性模量比值确定;

*ε*tu ——UHPC 最大拉应变。

4.3.13 超高性能混凝土的收缩应变计算应符合下列规定:

1 采用常温保湿养护时,超高性能混凝土的收缩应变可按式(4.3.13-1)计算。

$$\varepsilon_{cs} = 7 \times 10^{-4} e^{-(\frac{2.5}{\sqrt{t - 0.5}})}$$
(4.3.13-1)

2 采用湿热养护时,超高性能混凝土的收缩应变可按式(4.3.13-2)、(4.3.13-3) 计算。

$$\varepsilon_{cs} = 2.5 \times 10^{-4} t$$
 $t \le 2d$ (4.3.13-2)

$$\varepsilon_{cs} = 5 \times 10^{-4}$$
 $t > 2d$ (4.3.13-3)

3 含有粗骨料的超高性能混凝土的收缩应变按上式计算的数值乘以 0.8。

对收缩有要求时,超高性能混凝土的干燥收缩、早龄期自收缩宜符合表 4.3.13 的规定。

 项目
 自然养护类
 热养护类

 干燥收缩/×10-6
 ≤300
 ≤100

 早龄期自收缩/×10-6
 ≤1000

表 4.3.13 超高性能混凝土收缩要求

4.4 其他材料

4.4.1 钢材的焊接材料应符合下列规定:

1 手工焊接用焊条应与主体金属力学性能相适应,且应符合现行国家标准 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 和《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定;

- 2 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和焊剂,应与主体金属力学性能相适应,且应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋狐焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 和《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定。
- **4.4.2** 焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。
- 4.4.3 钢构件连接使用的螺栓、锚栓材料应符合下列规定:
- 1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB/T5782 和《六角头螺栓-C级》GB/T 5780 的规定; A、B级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度, C级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度,均应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 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头螺母》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 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定;
- **3** 圆柱头焊(栓)钉连接件的质量应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定:
- 4 锚栓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,质量等级不宜低于 B 级。

5 型钢 UHPC 空心组合梁设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 型钢 UHPC 组合梁正截面承载力应按下列基本假定进行计算:
 - 1 截面应变保持平面,即截面纤维应变与到中性轴的距离呈线性关系;
 - 2 考虑 UHPC 的抗拉强度;
 - 3 型钢腹板的应力图为拉压梯形应力图形,计算时简化为等效矩形应力图形;
- 4 纵向受力钢筋、型钢的应力取钢筋、型钢应变与其弹性模量的乘积,纵向 受拉钢筋和型钢受拉翼缘的极限拉应变取为 0.01。
- **5.1.2** 受弯构件、偏心受力构件正截面承载力计算时,受压区超高性能混凝土的压应力分布可简化为等效的矩形应力图。最大压应力取 UHPC 轴心抗压强度设计值 f_c 乘以受压区 UHPC 压应力影响系数 α_1 ; 受压区应力图简化为等效的矩形应力图,其高度取按平截面假定所确定的中和轴高度与受压区 UHPC 应力图形影响系数 β_1 的乘积; α_1 , β_1 具体取值见表 5.1.2。

强度等级 UC140 UC160 UC180 UC200 UC120 系数 0.93 0.92 0.90 0.87 0.83 α_1 β_1 0.76 0.73 0.71 0.70 0.69

表 5.1.2 受压区等效矩形应力图块系数

条文说明:

超高性能混凝土受弯构件的破坏特征与普通混凝土构件基本相同,构件截面的界限破坏亦为受拉钢筋屈服与受压区混凝土压脆同时发生的破坏状态。根据平截面假定,可得出截面相对受压区 & 的计算公式。

5.2 承载力计算

5.2.1 型钢 UHPC 组合梁正截面受弯承载力应符合下列公式的规定:

$$\mathbf{1} \stackrel{\underline{\square}}{=} x = \frac{f_{\rm ry}(A_{\rm s} - A_{\rm s}^{'}) + 0.9(bh_{\rm t} + 2b_{\rm u}(h - h_{\rm c} - h_{\rm t})f_{\rm t} + f_{\rm sy}(A_{\rm ft} + A_{\rm wt} - A_{\rm wc})}{\alpha_{\rm l}bf_{\rm c} + 0.9bf_{\rm t}} \leq h_{\rm c} , \quad \Box$$

塑性中和轴处于后浇 UHPC 叠合层中(图 5.2.1-1):

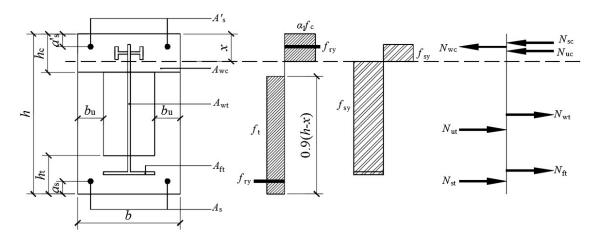


图 5.2.1-1 中和轴位于后浇 UHPC 叠合层中组合梁极限受弯承载力参数示意

$$M \leq M_{\rm u}$$
 (5.2.1-1)

$$N_{\rm ut} + N_{\rm st} + N_{\rm ft} + N_{\rm wt} - N_{\rm uc} - N_{\rm sc} - N_{\rm wc} = 0$$
 (5.2.1-2)

$$\begin{split} M_{\rm u} &= \frac{1}{2} \alpha_{\rm l} b f_{\rm uc} x^2 + f_{\rm ry} A_{\rm s}'(x - a_{\rm s}') + 0.9 (b h_{\rm t} + 2 b_{\rm u} (h - h_{\rm c} - h_{\rm t})) \\ &+ b (h_{\rm c} - x)) f_{\rm t} (h - x - 0.45 (h - x)) + f_{\rm ry} A_{\rm s} (h - x - a_{\rm s}) \\ &+ f_{\rm sy} A_{\rm wc} \frac{(x - (h - h_{\rm s} - a_{\rm a}))}{2} + f_{\rm sy} A_{\rm wt} \frac{(h - a_{\rm a} - x - t_{\rm f})}{2} \\ &+ f_{\rm sy} A_{\rm ft} (h - a_{\rm a} - x - \frac{t_{\rm f}}{2}) \end{split} \tag{5.2.1-3}$$

$$x = \frac{f_{\text{ry}}(A_{\text{s}} - A_{\text{s}}') + 0.9(bh_{\text{t}} + 2b_{\text{u}}(h - h_{\text{c}} - h_{\text{t}}) + bh_{\text{c}})f_{\text{t}} + f_{\text{sy}}(A_{\text{ft}} + A_{\text{wt}} - A_{\text{wc}})}{\alpha_{\text{l}}bf_{\text{c}} + 0.9bf_{\text{t}}}$$
(5.2.1-4)

2 当
$$x = \frac{f_{\text{ry}}(A_{\text{s}} - A_{\text{s}}') + 0.9(bh_{\text{t}} + 2b_{\text{u}}(h - h_{\text{c}} - h_{\text{t}})f_{\text{t}} + f_{\text{sy}}(A_{\text{ft}} + A_{\text{wt}} - A_{\text{wc}})}{\alpha_{\text{l}}bf_{\text{c}} + 0.9bf_{\text{t}}} > h_{\text{c}}$$
,即塑性

中和轴处于预制 U型 UHPC 外壳中(图 5.2.1-2):

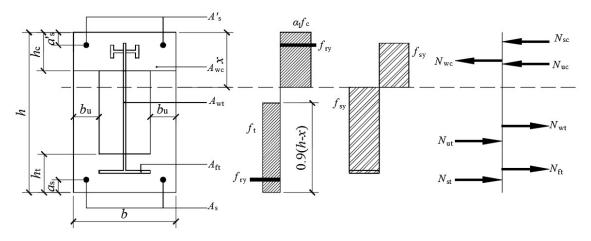


图 5.2.1-1 中和轴位于预制 U 型 UHPC 外壳中组合梁极限受弯承载力参数示意

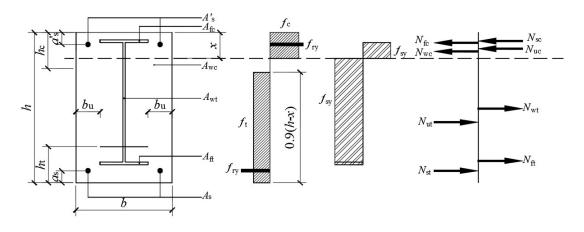
$$M \leq M_{\rm u}$$
 (5.2.1-5)

$$N_{\rm ut} + N_{\rm st} + N_{\rm ft} + N_{\rm wt} - N_{\rm uc} - N_{\rm sc} - N_{\rm wc} = 0$$
 (5.2.1-6)

$$\begin{split} M_{u} &= \alpha_{1} f_{c} (b h_{c} + 2 b_{u} (x - h_{c})) \frac{x}{2} + f_{ry} A_{s}^{'} (x - a_{s}^{'}) \\ &+ 0.9 (b h_{t} + 2 b_{u} (h - h_{t} - x)) f_{t} (h - x - 0.45 (h - x)) \\ &+ f_{ry} A_{s} (h - x - a_{s}) + f_{sy} A_{wc} \frac{(x - (h - h_{s} - a_{a}))}{2} \\ &+ f_{sy} A_{wt} \frac{(h - a_{a} - x - t_{f})}{2} + f_{sy} A_{ft} (h - a_{a} - x - \frac{t_{f}}{2}) \end{split} \tag{5.2.1-7}$$

$$x = \frac{f_{\rm ry}(A_{\rm s} - A_{\rm s}') + 0.9(bh_{\rm t} + 2b_{\rm u}(h - h_{\rm t}))f_{\rm t} + f_{\rm sy}(A_{\rm ft} + A_{\rm wt} - A_{\rm wc}) - \alpha_{\rm l}bh_{\rm c}f_{\rm c}}{2\alpha_{\rm l}b_{\rm u}f_{\rm c} + 1.8b_{\rm u}f_{\rm t}}$$
(5.2.1-8)

3 端部负弯矩区可采用 H 型钢实心 UHPC 截面(图 5.2.1-9):



$$M \le M_{\rm u}$$
 (5.2.1-9)

$$N_{\text{ut}} + N_{\text{st}} + N_{\text{ft}} + N_{\text{wt}} - N_{\text{uc}} - N_{\text{sc}} - N_{\text{wc}} - N_{\text{fc}} = 0$$
 (5.2.1-10)

$$x = \frac{f_{\text{ry}}(A_{\text{s}} - A_{\text{s}}') + 0.9bh_{\text{t}}f_{\text{t}} + f_{\text{sy}}(A_{\text{ft}} + A_{\text{wt}} - A_{\text{wc}} - A_{\text{fc}})}{\alpha_{\text{l}}bf_{\text{c}}}$$
(5.2.1-11)

$$\begin{split} M_{u} &= \alpha_{\mathrm{l}} f_{\mathrm{c}} b h_{\mathrm{c}} \frac{x}{2} + f_{\mathrm{ry}} A_{\mathrm{s}}^{'} (x - a_{\mathrm{s}}^{'}) + 0.9 b h_{\mathrm{t}} f_{\mathrm{t}} (h - x - 0.45 (h - x)) \\ &+ f_{\mathrm{ry}} A_{\mathrm{s}} (h - x - a_{\mathrm{s}}) + f_{\mathrm{sy}} A_{\mathrm{wc}} \frac{(x - (h - h_{\mathrm{s}} - a_{\mathrm{a}}))}{2} + f_{\mathrm{sy}} A_{\mathrm{fc}} \frac{(x - a_{\mathrm{a}})}{2} & (5.2.1 \text{-} 12) \\ &+ f_{\mathrm{sy}} A_{\mathrm{wt}} \frac{(h - a_{\mathrm{a}} - x - t_{\mathrm{f}})}{2} + f_{\mathrm{sy}} A_{\mathrm{ft}} (h - a_{\mathrm{a}} - x - \frac{t_{\mathrm{f}}}{2}) \end{split}$$

5.2.2 UHPC 等效受压区高度应符合下列公式的规定:

$$2a'_{s} \le x \le \xi_{b}h_{0} \tag{5.2.2-1}$$

$$\xi_{\rm b} = \frac{\beta_{\rm l}}{1 + \frac{f_{\rm ry} + f_{\rm sy}}{2E_{\rm s}\varepsilon_{\rm cu}}}$$
(5.2.2-2)

式中: M ——弯矩设计值;

b、h ——梁截面宽度和高度;

 $h_{\rm c}$ ——后浇 UHPC 叠合层厚度;

h₊ ——预制 U 型 UHPC 外壳底板厚度;

*b*_u ——预制 U 型 UHPC 外壳腹板厚度;

 α_1 、 β_1 ——UHPC 受压区等效矩形应力图系数,按表 5.1.2 所示:

ふ ——相对界限受压区高度;

x ——受压区超高性能混凝土等效矩形应力图的高度;

 h_0 ——截面有效高度;

 f_c ——UHPC 轴心抗压强度设计值;

f: ——UHPC 轴心抗拉强度设计值;

fry ——普通钢筋抗拉强度设计值;

 f_{sv} ——型钢抗拉强度设计值;

A。——受拉纵筋的截面积;

 A'_{s} ——受压纵筋的截面积;

a'。——受压纵筋合力点至混凝土受压区边缘的距离;

as ——受拉纵筋合力点至混凝土受拉区边缘的距离;

 a_a ——型钢受拉(受压)翼缘边缘至受拉 UHPC 边缘的距离;

 $h_{\rm s}$ ——型钢总高度;

tf ——型钢翼缘厚度;

tw ——型钢腹板厚度;

 $h_{\rm w}$ ——型钢腹板高度;

 $A_{\rm ft}$ ——受拉区型钢翼缘截面面积;

 A_{fc} ——受压区型钢翼缘截面面积;

 $A_{\rm wt}$ ——受拉区型钢腹板截面面积;

 A_{wc} ——受压区型钢腹板截面面积;

 $E_{\rm s}$ ——钢筋弹性模量;

*ε*_u ——UHPC 极限压应变。

条文说明:

由于钢纤维的作用,超高性能混凝土构件初裂后其抗拉强度仍会继续增大,直至裂缝处钢纤维拉断或拔出。本规程偏安全地将受拉区的超高性能混凝土抗拉强度取为 0.5 ft。受拉区高度为(h-xo),其中 xo=x/βι 为中和轴到受压边缘的距离。为简化计算,受拉区高度取为 0.9 (h-x)。系统收集了国内外已有的 74 根 UHPC 受弯构件的试验数据,根据本规程计算方法得到的试验值与计算值之比的均值为 1.15,方差为 0.12。

5.2.3 型钢腹板与 UHPC 之间的抗剪连接件宜采用圆柱头焊钉。单个抗剪连接件的纵向抗剪承载力设计值应符合下列规定:

$$P_{\rm u} = A_{\rm st} f_{\rm u} + \eta f_{\rm c} d_{\rm wc} l_{\rm wc}$$
 (5.2.3)

式中: E_c ——UHPC 的弹性模量;

 f_{c} ——UHPC 抗压强度设计值;

dwc、lwc ——栓钉焊缝的直径和高度;

 η ——焊缝尺寸的修正系数,取 1.5;

 A_{st} ——圆柱头焊钉钉杆截面面积;

fu ——圆柱头焊钉极限抗拉强度设计值,需满足现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的要求。

5.2.4 型钢 UHPC 组合梁的剪力设计值应按下列规定计算:

一级抗震等级

$$V_{b} = 1.3 \frac{(M_{b}^{1} + M_{b}^{r})}{l_{n}} + V_{Gb}$$
 (5.2.4-1)

二级抗震等级

$$V_{\rm b} = 1.2 \frac{(M_{\rm b}^{1} + M_{\rm b}^{\rm r})}{l_{\rm n}} + V_{\rm Gb}$$
 (5.2.4-2)

三级抗震等级

$$V_{\rm b} = 1.1 \frac{(M_{\rm b}^{1} + M_{\rm b}^{\rm r})}{l_{\rm m}} + V_{\rm Gb}$$
 (5.2.4-3)

四级抗震等级,取地震作用组合下的剪力设计值。

3 公式(5.2.2-1)中的 M_{bua} 与 M_{bua} 之和,应分别按顺时针和逆时针方向进行计算,并取其较大值。公式(5.2.2-2)~(5.2.2-4)中的 M_{b} 与 M_{b} 之和,应分别按顺时针和逆时针方向进行计算的两端考虑地震组合的弯矩设计值之和的较大值,对一级抗震等级框架,两端弯矩均为负弯矩时,绝对值较小的弯矩应取零。

式中: M'bua、M'bua ——梁左、右端顺时针或逆时针方向按实配钢筋和型钢截面积(计入受压钢筋及梁有效翼缘宽度范围内的楼板钢筋)、材料强度标准值,且考虑承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力所对应的弯矩值;梁有效翼缘宽度取梁两侧跨度的 1/6 和翼板厚度 6 倍中的最小值;

 M_b 、 M_b ——考虑地震作用组合的梁左、右端顺时针或逆时针方向弯矩设计值;

V_b ——型钢 UHPC 组合梁剪力设计值;

V_{Gb} ——考虑地震作用组合时的重力荷载代表值产生的剪力设计值,可按简支梁计算确定;

ln ——梁的净距。

- 5.2.5 型钢 UHPC 组合梁的受剪截面应符合下列公式的规定:
 - 1 持久、短暂设计状况

$$V \le 0.45 f_{c} (1 + 0.15 \lambda_{f}) (bh_{0} - b_{l}h_{l})$$
(5.2.5-1)

$$\frac{f_{\rm sy}t_{\rm w}h_{\rm w}}{f_{\rm c}(bh_0 - b_1h_1)} \ge 0.1 \tag{5.2.5-2}$$

2 地震设计状况

$$V \le \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.36 f_c (1 + 0.15 \lambda_f) (bh_0 - b_1 h_1))$$
 (5.2.5-3)

$$\frac{f_{\rm sy}t_{\rm w}h_{\rm w}}{f_{\rm c}(bh_0 - b_1h_1)} \ge 0.1 \tag{5.2.5-4}$$

条文说明:

本条规定了型钢 UHPC 组合梁受剪承载力截面限制条件。用超高性能混凝土的轴心抗压强度设计值fc 代替普通混凝土的轴心抗压强度设计值,并根据现行工程建设标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 引入(1+0.15\lambdas)。

5.2.6 型钢 UHPC 组合梁受剪截面承载力应符合下列公式的规定:

$$V = V_c + V_r + V_s (5.2.6-1)$$

$$V = \alpha_{\rm cv} (1 + \beta_{\rm v} \lambda_{\rm f}) f_{\rm t} (bh_0 - b_1 h_1) + f_{\rm yv} \frac{A_{\rm sv}}{s} h_0 + h_{\rm w} t_{\rm w} f_{\rm sy}$$
(5.2.6-2)

式中: V_c ——UHPC 所提供的抗剪承载力;

V_r ——箍筋所提供的抗剪承载力;

V。——型钢腹板所提供的抗剪承载力;

b ——梁截面宽度;

 h_0 ——梁截面有效高度:

 b_1 ——梁空心部分宽度;

 h_1 ——梁空心部分高度;

 $h_{\rm w}$ ——型钢腹板高度;

tw ——型钢腹板厚度:

 a_{cv} ——斜截面超高性能混凝土抗剪承载力系数,对于一般受弯构件取 0.6,对于集中荷载作用下的的独立梁取 $a_{cv} = 2/(\lambda + 1)$;

 λ ——计算截面剪跨比, λ 可取 $\lambda=a/h$,a 为计算截面至支座截面或节点 边缘的距离,计算截面取集中荷载作用点处的截面;当 $\lambda<1.5$ 时,取 $\lambda=1.5$; 当 $\lambda>3$ 时,取 $\lambda=3$;

- fi ——UHPC 抗拉强度设计值;
- f_{vv} ——箍筋的抗拉强度设计值;
- f_{sy} ——型钢的腹板抗拉强度设计值;
- λ_f ——钢纤维含量特征值;
- $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率;
- lf ——钢纤维长度;
- $d_{\rm f}$ ——钢纤维直径或等效直径;
- $\beta_{\rm v}$ ——钢纤维对超高性能混凝土抗剪能力影响系数,可取 $\beta_{\rm v}$ =0.6。

条文说明:

型钢 UHPC 受弯构件斜截面受剪承载能力计算沿用现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和现行工程建设标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 的计算模式。型钢 UHPC 受弯构件斜截面受剪试验结果表明:钢纤维的掺入能提高混凝土结构的抗剪能力。参照现行工程建设标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38,钢纤维对受剪承载力的影响系数β、通过试验结果进行统计回归。国内研究结果表明β、的取值变化对梁抗剪承载能力的影响并不敏感。当β、取值为 0.6 时,对抗剪承载能力计算而言,安全储备尚较合理。

由于混凝土的剪压强度与剪压比有关,确定较复杂,若在公式中体现,则公式应用不便。此外,型钢UHPC梁的受剪破坏机理复杂,迄今尚无公认统一的计算模式,国内外规范相应的抗剪承载能力计算公式均为经验公式。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中也是简单地借助混凝土的抗拉强度来表达,考虑到其已为广大设计人员所熟悉,故本规程也采用相同的处理方式。

型钢 UHPC 受弯构件斜截面剪压破坏试验的结果表明: 斜裂缝倾角受配箍率影响较小、受剪跨比影响较大。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 偏安全地取临界斜裂缝倾角为 45°, 本规程箍筋提供的抗剪承载能力 V。亦偏安全地按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行计算。

5.3 裂缝宽度验算

- **5.3.1** 型钢 UHPC 组合梁应验算裂缝宽度,最大裂缝宽度应按荷载的准永久值并考虑长期作用的影响进行计算。
- 5.3.2 型钢 UHPC 组合梁的最大裂缝宽度可按下列公式计算(图 5.3.2):

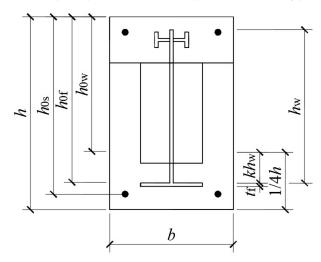


图 5.3.2 型钢 UHPC 组合梁最大裂缝宽度计算参数示意

$$\omega_{\text{max}} = 1.9 \psi \frac{\sigma_{\text{sa}}}{E_{\text{s}}} l_{\text{cr}} (1 - \beta_{\text{W}} \lambda_{\text{f}})$$
(5.3.2-1)

$$l_{\rm cr} = \alpha_{\rm cr} \left(1.9c_{\rm s} + 0.08 \frac{d_{\rm e}}{\rho_{\rm te}} \right)$$
 (5.3.2-2)

$$\psi = 1.1(1 - M_{\rm cr} / M_{\rm q})$$
 (5.3.2-3)

$$M_{\rm cr} = \gamma f_{\rm tk} W_0 \tag{5.3.2-4}$$

$$\gamma = \left(1 + \beta \lambda_{\rm f}\right) \frac{2S_0}{W_0} \tag{5.3.2-5}$$

$$\lambda_{\rm f} = \rho_{\rm f} l_{\rm f} / d_{\rm f} \tag{5.3.2-6}$$

$$\sigma_{\rm sa} = \frac{M_{\rm q}}{0.87 \left(A_{\rm s} h_{\rm 0s} + A_{\rm ff} h_{\rm 0f} + k A_{\rm aw} h_{\rm 0w} \right)}$$
(5.3.2-7)

$$k = \frac{0.25h - 0.5t_{\rm f} - a_{\rm a}}{h_{\rm w}}$$
 (5.3.2-8)

$$d_{e} = \frac{4(A_{s} + A_{ft} + kA_{aw})}{u}$$
 (5.3.2-9)

$$u = n\pi d_{s} + (2b_{f} + 2t_{f} + 2kh_{w}) \times 0.7$$
 (5.3.2-10)

$$\rho_{\text{te}} = \frac{A_{\text{s}} + A_{\text{ft}} + kA_{\text{aw}}}{0.5bh}$$
 (5.3.2-11)

式中: ω_{max} ——最大裂缝宽度;

 M_{o} ——按荷载效应准永久组合计算的弯矩;

Mcr ——梁截面抗裂荷载;

lcr ——平均裂缝间距;

α_{cr} ——钢纤维裂缝间距影响系数,平直钢纤维取 0.85,端钩钢纤维 取 0.70:

 $\beta_{\rm W}$ ——钢纤维影响系数,宜通过试验确定,当无试验数据时 $\beta_{\rm W}$ =0.4;

 $c_{\rm s}$ ——纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度;

 ψ ——考虑梁型钢翼缘作用的钢筋应变不均匀系数; 当 $\psi \le 0.2$ 时,取 $\psi = 0.2$,当 $\psi \ge 1$ 时,取 $\psi = 1.0$;

 W_0 ——换算截面抗裂边缘的弹性抵抗矩;

 S_0 ——全截面换算截面重心轴以上(或以下)面积对重心轴的面积矩;

γ ——受拉区混凝土塑性影响系数;

β ——抗裂影响系数,取 0.35;

λ_f ——钢纤维含量特征值;

 $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率:

lf ——钢纤维长度:

 d_f ——钢纤维直径或等效直径:

 σ_{a} ——考虑型钢受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的钢筋应力值;

k ——型钢腹板影响系数,其值取梁受拉侧 1/4 梁高 h 范围中腹板高度 与整个腹板高度的比值;

n ——纵向受拉钢筋数量;

 $b_{\rm f}$ 、 $t_{\rm f}$ ——型钢受拉翼缘宽度及厚度;

 $h_{\rm w}$ 、 $t_{\rm w}$ ——型钢腹板高度及厚度;

aa ——型钢保护层厚度;

 A_s ——纵向受拉钢筋截面面积;

 $d_{\rm e}$ 、 $\rho_{\rm te}$ ——考虑型钢受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的有效直径、有效配

筋率:

 $A_{\rm ft}$ 、 $A_{\rm aw}$ ——梁型钢受拉翼缘截面面积、梁型钢腹板截面面积;

 h_{0s} 、 h_{0f} ——纵向受拉钢筋、型钢受拉翼缘至 UHPC 截面受压边缘的距离;

 h_{0w} —— kA_{aw} 截面重心至 UHPC 截面受压边缘的距离;

u ——纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘与部分腹板周长之和。

<u> 条文说明:</u>

与普通混凝土或普通钢纤维混凝土相比,由于 UHPC 的抗压强度较高,钢纤维与 UHPC 基体的粘结强度大大提高,UHPC 开裂后,钢纤维在裂缝处的桥接作用分担部分拉力而减小裂缝处钢筋应力,同时,裂缝处 UHPC 的残余抗拉强度可减小所需的传递长度而缩短了裂缝间距。直接将普通混凝土活普通纤维混凝土的裂缝宽度计算公式用于型钢 UHPC 结构会过于保守。为此,规程编制组开展了型钢 UHPC 受弯构件裂缝宽度试验研究,基于综合分析理论,在《部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》T/CECS 719、《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的基础上,对裂缝间距、裂缝不均匀系数、构件受力特征系数等公式进行修正,给出型钢 UHPC 受弯构件的裂缝宽度计算公式。

5.4 挠度验算

- **5.4.1** 型钢 UHPC 组合梁在正常使用极限状态下的挠度不应超过本规范中表 3.3.7规定的限值。对于等截面构件计算中可假定各同号弯矩区段内的刚度相等,并取用该区段内最大弯矩处的刚度。
- **5.4.2** 型钢 UHPC 组合梁的纵向受拉钢筋配筋率为 0.3%~1.5%时,按荷载的准 永久值计算的短期刚度和考虑长期作用影响的长期刚度,可按下列公式计算:

$$B_{\rm s} = (1 + \beta_{\rm B} \lambda_{\rm f})(0.22 + 3.75 \frac{E_{\rm s}}{E_{\rm c}} \rho_{\rm s}) E_{\rm c} I_0 + E_a I_a$$
(5.4.2-1)

$$\frac{E_{c1}}{E_{c2}} = \frac{1}{\alpha_c} \tag{5.4.2-2}$$

$$E_c = \frac{A_{c1}}{A_{c1} + A_{c2}} E_{c1} + \frac{A_{c2}}{A_{c1} + A_{c2}} E_{c2}$$
(5.4.2-3)

$$A_{c2} = \frac{A_{c1}}{\alpha_c}$$
 (5.4.2-4)

$$y = \frac{A_{c1}y_{c1} + A_{c2}y_{c2}}{A_{c1} + A_{c2}}$$
(5.4.2-5)

$$I_0 = I_{c2} + A_{c2}(y_{c2} - y)^2 + \frac{I_{c1}}{\alpha_c} + \frac{A_{c1}}{\alpha_c}(y_{c1} - y)^2$$
(5.4.2-6)

$$\lambda_{\rm f} = \rho_{\rm f} l_{\rm f} / d_{\rm f} \tag{5.4.2-7}$$

$$B = \frac{B_{\rm s} - E_{\rm a} I_{\rm a}}{\theta} + E_{\rm a} I_{\rm a}$$
 (5.4.2-8)

$$\theta = 2.0 - 0.4 \frac{\rho_{\text{sa}}^{'}}{\rho_{\text{sa}}}$$
 (5.4.2-9)

式中: B_s ——梁的短期刚度;

B ——梁的长期刚度;

λ_f ——钢纤维含量特征值;

 $\rho_{\rm f}$ ——钢纤维体积率;

lf ——钢纤维长度;

df ——钢纤维直径或等效直径;

 $\beta_{\rm B}$ ——构件截面短期抗弯刚度的钢纤维影响系数,可取 $\beta_{\rm B}$ =0.35;

 A_{c1} ——预制部分 UHPC 截面面积;

 I_{c1} ——预制部分 UHPC 截面惯性矩;

 E_{c1} ——预制部分 UHPC 的弹性模量;

 v_{c1} ——预制 UHPC 截面的弹性中和轴到顶部受压混凝土边缘的距离;

 A_{c2} ——现浇部分 UHPC 截面面积;

 E_{c2} ——现浇 UHPC 的弹性模量;

 y_{c2} ——现浇 UHPC 截面的弹性中和轴到顶部受压混凝土边缘的距离;

y ——全截面中和轴到顶部受压混凝土边缘的距离;

 I_{c2} ——现浇部分 UHPC 截面惯性矩;

 I_0 ——UHPC 全截面等效换算后的截面惯性矩;

 E_{c} ——等效换算后 UHPC 弹性模量;

- Es ——纵向受拉钢筋弹性模量;
- $E_{\rm a}$ ——钢材弹性模量;
- I_a ——倒 T 型钢的截面惯性矩;
- $\rho_{\rm s}$ ——纵向受拉钢筋配筋率;
- ho_{sa} ——梁截面受拉区配置的纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘面积之和的 截面配筋率:
- ρ'_{sa} ——梁截面受压区配置的纵向受压钢筋的截面配筋率;
- θ ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数。

条文说明:

参照现行工程建设标准《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 的方式,引入 钢纤维影响系数β。和钢纤维含量特征值λα 来考虑钢纤维对超高性能混凝土构件 刚度的影响。已有试验结果表明,计算值与试验值吻合较好且略偏于安全。

5.5 构造措施

- **5.5.1** 型钢 UHPC 组合梁的 UHPC 中纵向受力钢筋不宜超过两排,净距不宜小于 30mm 和 1.5*d* 的较大值(*d* 为纵筋的最大直径)。纵筋直径宜取 16mm~25mm,单侧纵向钢筋配筋率不宜小于 0.2%。
- 5.5.2 梁的受拉钢筋可焊接在端部的节点连接钢板上。
- **5.5.3** 型钢 UHPC 组合梁截面宽度不宜小于 300mm,不应小于其所托柱在梁宽度方向截面宽度。
- **5.5.4** 型钢 UHPC 组合梁的腹板高度大于或等于 450mm 时,在梁的两侧沿高度 方向每隔 200mm 应设置一根纵向腰筋,且每侧腰筋截面面积不宜小于梁腹板截 面面积的 0.1%。
- **5.5.5** 考虑地震作用组合的型钢 UHPC 组合梁应采用封闭箍筋,其末端应有 135° 弯钩, 弯钩端头平直段长度不应小于 10 倍箍筋直径。

5.5.6 考虑地震作用组合的型钢 UHPC 组合梁,梁端应设置箍筋加密区,其加密区长度、加密区箍筋最大间距和箍筋最小直径应符合表 *5.5.6* 的要求。非加密区的箍筋间距不宜大于加密区箍筋间距的 2 倍。

表 5.5.6 抗震设计型钢混凝土梁箍筋加密区的构造要求

| 抗震等级 | 箍筋加密区长度 | 加密区箍筋最大间距 | 箍筋最小直径 | | |
|------|---------|-----------|--------|--|--|
| 一级 | 2h | 100 | 12 | | |
| 二级 | 1.5h | 100 | 10 | | |
| 三级 | 1.5h | 150 | 10 | | |
| 四级 | 1.5h | 150 | 8 | | |

注: 1 h 为梁高;

- 2 当梁跨度小于梁截面高度 4 倍时,梁全跨应按筋加密区配置;
- 3 一级抗震等级框架梁箍筋直径大于 12mm 二级抗震等级架梁筋直径大于 10mm,箍筋数量不少于 4 肢且肢距不大于 150mm 时,筋加密区最大间距应允许适当放宽,但不得大于 150mm。
- **5.5.7** 非抗震设计时,型钢 UHPC 组合梁应采用封闭箍筋,其箍筋直径不应小于 8mm,筋间距不应大于 250mm。
- **5.5.8** 梁端设置的第一个箍筋距节点边缘不应大于 50mm。沿梁全长箍筋的面积 配筋率应符合下列规定:
 - 1 持久、短暂设计状况:

$$\rho_{\rm sv} \ge 0.24 f_{\rm t} / f_{\rm w} \tag{5.5.8-1}$$

2 地震设计状况:

一级抗震等级
$$\rho_{sv} \ge 0.30 f_{t} / f_{w}$$
 (5.5.8-2)

二级抗震等级
$$\rho_{\text{sv}} \ge 0.28 f_{\text{t}} / f_{\text{w}} \tag{5.5.8-3}$$

三、四级抗震等级
$$\rho_{\rm sv} \geq 0.26 f_{\rm t}/f_{\rm yv}$$
 (5.5.8-4)

3 箍筋的面积配筋率应按下式计算:

$$\rho_{\rm sv} = \frac{A_{\rm sv}}{bs} \tag{5.5.8-5}$$

5.5.9 在型钢混凝土梁上开孔时,其孔位宜设置在剪力较小截面附近,且宜采用

圆形孔。当孔洞位于离支座 1/4 跨度以外时,圆形孔的直径不宜大于 0.4 倍梁高,且不宜大于型钢截面高度的 0.7 倍; 当孔洞位于离支座 1/4 跨度以内时,圆孔的直径不宜大于 0.3 倍梁高,且不宜大于型钢截面高度的 0.5 倍。孔洞周边宜设置钢套管,管壁厚度不宜小于梁型钢腹板厚度,套管与梁型钢腹板连接的角焊缝高度宜取 0.7 倍腹板厚度; 腹板孔周围两侧宜各焊上厚度稍小于腹板厚度的环形补强板,其环板宽度可取 75mm~125mm; 且孔边 0.5 倍梁高范围内应加设构造箍筋和水平筋。

- **5.5.10** 型钢 UHPC 梁的叠合层混凝土的厚度不宜小于 100mm, 箍筋应全部伸入叠合层, 预制构件与后浇结构的结合面, 应按照设计要求进行处理; 当设计无要求时, 宜进行拉毛或刻槽处理。不用凿毛处理。
- **5.5.11** 型钢 UHPC 中焊接主钢件的焊缝的坡口形式和尺寸,应符合现行国家标准《气焊焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 9851 和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2 的规定。
- **5.5.12** 抗剪栓钉的直径规格宜选用 19mm 和 22mm, 其长度不宜小于 4 倍栓钉直径, 水平和竖向间距不宜小于 6 倍栓钉直径且不宜大于 200mm。栓钉中心至型钢腹板上边缘距离不应小于 50mm。
- **5.5.13** 钢筋连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接,纵向受拉钢筋的接头面积百分率不宜大于 50%。当纵向受力钢筋与钢构件连接时,可采用可焊接机械连接套筒或连接板。可焊接机械连接套筒的抗拉强度不应小于连接钢筋抗拉强度标准值的 1.1 倍。可焊接机械连接套筒与钢构件应采用等强焊接并在工厂完成,连接板与钢构件、钢筋连接时应保证焊接质量。
- **5.5.14** 型钢 UHPC 组合梁中的型钢钢板厚度不宜小于 6mm,型钢 UHPC 组合梁的翼缘宽厚比和空心截面部分型钢腹板宽厚比应符合《钢结构设计标准》GB 50017 中第 3.5.1 条的规定。
- **5.5.15** 型钢 UHPC 组合梁最外层钢筋的 UHPC 保护层最小厚度应符合现行团体标准《超高性能混凝土结构设计规程》 T/CCPA 35 规定。预制 U型 UHPC 外壳的腹板和底板厚度应满足设计和施工的需要。
- 5.5.16 型钢 UHPC 组合梁的空心率宜控制在全截面的 0.3~0.5 范围内。

6 钢管 UHPC 组合柱设计

6.1 一般规定

- **6.1.1** 钢管 UHPC 组合柱可采用为方形、矩形或圆形截面;组合柱钢管外采用 UHPC,钢管内混凝土可采用普通混凝土,普通混凝土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;浇筑顺序可同期浇筑,也可不同期 浇筑。
- **6.1.2** 钢管 UHPC 组合柱节点处,除框架顶层、柱轴压比小于 0.15 者外,钢管 UHPC 组合柱柱端组合的弯矩设计值应符合下式要求:

$$\sum M_{\rm c} \le \eta_{\rm c} \sum M_{\rm bua} \tag{6.1.2}$$

- 式中: $\sum M_c$ ——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,上、下柱端的弯矩设计值,可按弹性分析的上、下柱端弯矩之比分配;
 - ΣM_{bua}——节点左、右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受 弯承载力所对应的弯矩值之和,根据实配钢筋面积(计入梁受压 筋和相关楼 板钢筋)和材料强度标准值确定;
 - η。 ——强柱系数,框架结构及框支层框架不应小于 1.2,其他结构不 应小于 1.1。

条文说明:

采用实配梁端弯矩确定柱端弯矩设计值。

- **6.1.3** 型钢 UHPC 组合梁钢管 UHPC 组合柱节点处,除框架顶层、柱轴压比小于 0.15 者及与支撑斜杆相连的节点外,组合柱端组合的弯矩设计值应符合式 (6.1.3)的要求:
 - 1 等截面梁与柱连接时

$$\sum M_{c} \le \eta_{s} \sum f_{yb} W_{pb} \tag{6.1.3-1}$$

2 梁端加强型连接或骨式连接的端部变截面梁与柱连接时

$$\sum M_{c} \le \eta_{s} \sum (f_{vb} W_{pb1} + M_{v}) \tag{6.1.3-2}$$

式中: W ——梁的塑性截面模量;

 $W_{\rm pbl}$ ——梁塑性铰所在截面的梁塑性截面模量;

 f_{yb} ——梁的钢材屈服强度;

 η_s ——强柱系数,框架结构不应小于 1.2,其他结构不应小于 1.1;

 $M_{\rm v}$ ——梁塑性铰剪力对梁端产生的附加弯矩, $M_{\rm v}=V_{\rm pb}\cdot x_{\rm z}$;

 $V_{\rm pb}$ ——梁塑性铰剪力;

x_z ——塑性铰至柱面的距离,塑性铰可取梁端部变截面翼缘的最小处。 梁端加强型连接可取加强板的长度加四分之一梁高,骨形连接 取(0.5~0.75)*b*_f+(0.3~0.45)*h*_b, *b*_f 和 *h*_b 分别为梁翼缘宽度和梁截面 高度,有试验依据时,也可按试验取值。

条文说明:

按钢梁-钢柱节点确定柱端弯矩设计值的方法确定组合柱的弯矩设计值。钢柱轴压比小于 0.4 调整为组合柱轴压比小于 0.15 时,可不按强柱弱梁确定柱的弯矩设计值,强柱系数与钢筋混凝土梁-钢管 UHPC 组合柱节点的强柱系数相同。

6.1.4 钢管 UHPC 组合柱框架结构底层柱的下端,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。

条文说明:

与钢筋混凝土框架结构柱底弯矩增大系数相同。

6.1.5 钢管 UHPC 组合柱组合的剪力设计值应符合下式要求:

$$V = 1.2(M_{\text{cua}}^{\text{b}} + M_{\text{cua}}^{\text{t}}) / H_{\text{n}}$$
 (6.1.5)

式中: V ——柱端截面组合的剪力设计值;

 $H_{\rm n}$ ——柱的净高;

M^bcua、M^ccua ——分别为柱的上、下端顺时针或反时针方向实配的正截面抗震受 弯承载力所对应的弯矩值,根据实配钢筋面积、材料强度标准 值和轴力设计值等确定。

条文说明:

为实现强剪弱弯,采用实配受弯承载力确定柱剪力设计值。

- **6.1.6** 对于角部组合柱,经本规程第 6.1.2、6.1.3、6.1.4 和 6.1.5 调整后的组合弯矩设计值和剪力设计值尚应乘以不小于 1.10 的增大系数。
- 6.1.7 钢管 UHPC 组合柱受剪截面应符合下列要求:
 - 1 持久、短暂设计状况

$$V_c \le 0.25 \beta_{co} f_{co} b h_0 \tag{6.1.7-1}$$

2 地震设计状况

剪跨比大于2的柱

$$V_{c} \le \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 \beta_{co} f_{co} b h_{0})$$
 (6.1.7-2)

剪跨比不大于2的柱

$$V_{c} \le \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 \beta_{co} f_{co} b h_{0})$$
 (6.1.7-3)

式中: V_c ——用于验算组合柱受剪截面的剪力设计值,可按下式计算:

$$V_{\rm c} = V - \frac{1 + a^2}{8\lambda} f_{\rm a} A_{\rm a} \tag{6.1.7-4}$$

V ——组合柱剪力设计值;

a ——钢管内、外直径的比值;

 λ ——验算截面的剪跨比, $\lambda \leq 0.5$ 时取 $\lambda = 0.5$, $\lambda \geq 2$ 时取 $\lambda = 2$;

 β_{co} ——钢管外 UHPC 强度影响系数,取值按表 5.1.2,其间按线性内插法确定;

fc。——钢管外混凝土轴心抗压强度设计值;

fa ——钢管钢材抗拉、抗压强度设计值;

b ——矩形截面柱宽度;

 h_0 ——柱截面有效高度;

Aa ——钢管截面面积。

条文说明:

钢管 UHPC 组合柱的最小受剪截面要求与钢筋混凝土柱的相同。验算钢管 UHPC 组合柱受剪截面及受剪承载力时,考虑钢管混凝土的抗剪作用。进行了钢 管混凝土柱、组合柱在跨中横向集中荷载作用下的试验,结果表明:钢管混凝土 柱试件的破坏形态与剪跨比、轴压力有关,剪跨比小于 0.5、施加轴压力的试件为剪切破坏,剪跨比为 0.5~1、施加轴压力的试件为剪弯破坏; 钢管混凝土柱的 受剪承载力由混凝土、轴压力和钢管三部分贡献组成,剪跨比不小于 0.5 时,混凝土、轴压力和钢管的贡献分别为 0.2f,Ac、 0.1N 和(1+a²/8λ)f_aAa; 剪跨比不大于 1 的组合柱的破坏形态为剪切破坏,采用(1+a²/8λ)f_aAa 计算钢管对组合柱受剪承载力的贡献,采用现行国家标准规定的钢筋混凝土柱的相关方法计算混凝土、轴压力和箍筋对受剪承载力的贡献,组合柱试件的受剪承载力试验 值大于计算值。一般情况下,组合柱的剪跨比大于 0.5。因此,钢管对组合柱受剪承载力的贡献采用(1+a²/8λ)f_aAa 进行计算。采用剪力设计值扣除(1+a²/8)f_aAa 后的剪力值验算组合柱的受剪截面。

- **6.1.8** 当现浇钢筋混凝土楼(屋)盖的框架梁中出现部分上部纵向钢筋布置在楼板内时,应符合下列规定:
 - 1 钢筋布置范围不宜超过梁侧面 2 倍板厚;
 - 2 布置在楼板内的钢筋面积不宜超过梁端上部钢筋总面积的 20%;
 - 3 钢筋直径不宜小于 16mm;
- 4 钢筋应与垂直布置的板面钢筋绑扎牢固,且应在梁端箍筋加密区范围内设置直径不小于 8mm、间距不大于 200mm 封闭箍筋。

条文说明:

框架梁端部负弯矩钢筋比较多、影响混凝土浇注时,可以将少量钢筋配置在 楼板内。本条对梁纵筋布置在楼板内的构造要求作了规定。

6.1.9 当组合柱的钢管内、外混凝土不同期浇筑时,其叠合比不宜大于 0.6,其中叠合比可按下式计算:

$$\mu = \frac{N_{\rm i}}{N} \tag{6.1.9}$$

式中: *u* ——叠合比;

N ——组合柱的轴压力设计值;

Ni ——浇筑钢管外 UHPC 前钢管混凝土柱组合的轴压力设计值,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。

6.2 承载力计算

6.2.1 钢管 UHPC 组合柱的轴心受压承载力应符合下列规定:

$$N \le N_{\rm u}$$
 (6.2.1-1)

$$N_{\rm u} = f_{\rm co} A_{\rm co} + f_{\rm cc} A_{\rm cc} + f_{\rm rv} A_{\rm ss} + \gamma N_{\rm 0}$$
 (6.2.1-2)

$$f_{cc} = f_{le} + f_{c0}(1.656\sqrt{1 + 7.418 \frac{f_{le}}{f_{c0}}} - 0.656)$$
 (6.2.1-3)

$$f_{lc} = \frac{1}{2} k_{c} f_{y} \rho_{v} \tag{6.2.1-4}$$

$$k_{\rm e} = \frac{(1 - \sum_{i=1}^{m} \frac{w_i^2}{6b_{\rm cor}^2}) (1 - \frac{s}{2b_{\rm cor}})^2}{1 - \rho_{\rm cc}}$$
(6.2.1-5)

式中: N ——钢管 UHPC 组合柱轴心受压设计值;

 f_{ry} ——纵向钢筋的抗压强度设计值;

 A_{ss} ——全部纵向钢筋的截面面积;

 A_{co} ——箍筋外围保护层 UHPC 的截面面积;

 A_{cc} ——箍筋约束 UHPC 部分截面面积;

γ ——钢管混凝土的组合系数,取 0.8;

No ——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值;

 f_{cc} ——箍筋约束 UHPC 的抗压强度;

 f_{le} ——箍筋有效侧向约束应力;

ke ——箍筋有效约束系数;

 A_{cc} ——箍筋约束 UHPC 部分截面面积;

 ρ_{v} ——体积配箍率;

wi ——相邻纵筋净距;

s ——相邻箍筋净距;

 b_{cor} ——箍筋中心线间的核心 UHPC 宽度;

 $ho_{\!\scriptscriptstyle
m cc}$ ——核心区配筋率。

- 6.2.2 钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值 No 可按下列公式计算:
 - 1 当 $\theta_a \le 1/(\alpha-1)^2$ 时

$$N_0 = 0.9 f_{ci} A_{ci} (1 + \alpha \theta_a)$$
 (6.2.2-1)

2 当 $\theta_a > 1/(\alpha-1)^2$ 时

$$N_0 = 0.9 f_{ci} A_{ci} (1 + \sqrt{\theta_a} + \theta_a)$$
 (6.2.2-2)

式中: fci ——核心混凝土的轴心抗压强度;

 A_{ci} ——核心混凝土的截面面积;

 $A_{\rm a}$ ——钢管的截面面积;

 θ_a ——钢管混凝土套箍指标, $\theta_a = f_a A_a / f_{ci} A_{ci}$, f_a 为钢管的屈服强度;

α ——混凝土强度等级有关的系数;混凝土强度小于 C50 时,取 2.0; 混凝土强度大于 C50 时,取 1.8。

条文说明:

采用现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的相关公式计算钢管混凝土短柱的轴心受压承载力。

- 6.2.3 偏心受压钢管 UHPC 组合柱正截面受压承载力计算应符合下列规定:
 - 1 应符合平截面假定:
- 2 不考虑钢管、钢筋、混凝土和超高性能混凝土(以下简称 UHPC)之间的 黏结滑移,钢材应力应变曲线简化为理想弹塑性曲线;
 - 3 UHPC 最大压应变值随 UHPC 立方体强度等级而变化,取值可按表 4.3.10:
- 4 钢管 UHPC 组合柱正截面压弯承载力可视为由管外钢筋 UHPC 部分和钢管混凝土部分共同承担,可按下列规定确定:

$$N = N_{co} + N_{ci} ag{6.2.3-1}$$

$$M = M_{co} + M_{ci}$$
 (6.2.3-2)

式中: $M \times N$ ——偏心受压钢管 UHPC 叠合柱承担的弯矩设计值和轴力设计值;

 M_{co} 、 N_{co} ——钢管外围钢筋 UHPC 承担的弯矩设计值和轴力设计值;

 M_{ci} 、 N_{ci} ——钢管混凝土柱承担的弯矩设计值和轴力设计值:

5 为简化计算,钢管外钢筋 UHPC 截面可近似简化成等效工字型截面钢筋 UHPC 柱进行正截面承载力计算,如(图 6.2.3-1)所示,其中 $D_0 = D\sqrt{\pi}/2$,D为

钢管外径:

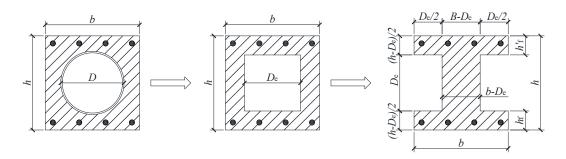


图 6.2.3-1 叠合柱管外钢筋 UHPC 等效工字型截面

则钢管外围钢筋 UHPC 承担的轴力设计值 N_{co} 和弯矩设计值 M_{co} 可按下列规定确定:

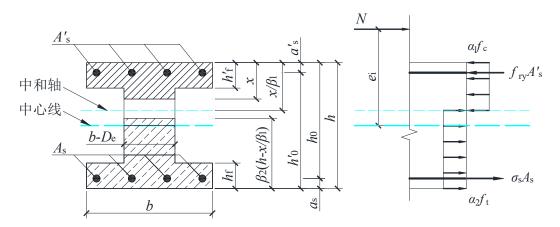


图 6.2.3-2 偏心受压叠合柱管外钢筋 UHPC 正截面受压承载力计算

1 当 $0 < x \le h'_{\rm f}$ 时

$$N_{co} \le \alpha_1 f_c b x + f_{rv} A'_s - \sigma_s A_s - \alpha_2 f_t (b(h - h'_s) - D_c^2)$$
 (6.2.3-3)

$$M_{co} \le \alpha_1 f_c b x (h_0 - 0.5x) + f_{ry} A'_s (h_0 - a_s')$$

$$-\alpha_2 f_s (b(h - h'_s)(0.5(h - h'_s) - a_s) - D_s^2 (0.5h - a_s))$$
(6.2.3-4)

2 当 $h'_{f} < x \le \beta_{1}(h - h_{f})$ 时

$$N_{co} \le \alpha_1 f_c(bx - D_c(x - h'_f)) + f_{ry}A'_s - \sigma_s A_s -\alpha_2 f_1(b(h - x/\beta_1) - D_c(h - x/\beta_1 - h_f))$$
(6.2.3-5)

$$M_{co} \leq \alpha_{1} f_{c}(bx(h_{0} - 0.5x) - D_{e}(x - h'_{f})(h - 0.5x - 0.5h'_{f} - a_{s}))$$

$$+ f_{ry} A'_{s}(h_{0} - a_{s}') - \alpha_{2} f_{t}(b(h - x / \beta_{1})(0.5(h - x / \beta_{1}) - a_{s})$$

$$- D_{e}(h - x / \beta_{1} - h_{f})(0.5(h_{f} + h - x / \beta_{1}) - a_{s})$$

$$(6.2.3-6)$$

3 当 $\beta_1(h-h_f) < x \le h-h_f$ 时

$$N_{co} \le \alpha_1 f_c(bx - D_e(x - h'_f)) + f_{ry}A'_s - \sigma_s A_s$$
(6.2.3-7)

$$M_{co} \le \alpha_1 f_c(bx(h_0 - 0.5x) - D_e(x - h'_f)(h - 0.5x - 0.5h'_f - a_s)) + f_{ry}A'_s(h_0 - a_s')$$
(6.2.3-8)

4 当 $h - h_{\rm f} < x$ 时

$$N_{co} \le \alpha_1 f_c (bx - D_e^2) + f_{ry} A'_s - \sigma_s A_s$$
 (6.2.3-9)

$$M_{co} \le \alpha_1 f_c(bx(h_0 - 0.5x) - D_e^2(0.5h - a_s)) + f_{ry}A'_s(h_0 - a_s')$$
 (6.2.3-10)

式中: h ——柱截面高度;

hf ——工字形截面受拉区的翼缘高度;

h'_f ——工字形截面受压区的翼缘高度;

b ——矩形截面的宽度;

ei ——初始偏心距,且 ei=e0+ea,其中 ea 为附加偏心距,按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定确定;

x ——UHPC 换算后的相对受压区高度;

 α_1 ——UHPC 抗压强度修正系数,按表 5.1.2 取值;

α₂ ——UHPC 弯拉区矩形应力图的应力值与 UHPC 轴心抗拉强度设计 值的比值,取 0.80;

 β_1 ——等效矩形应力图块的受压区高度折减系数,按表 5.1.2 取值;

 β_2 ——等效矩形应力图块的受拉区高度折减系数,取 0.9;

fc ——UHPC 的轴心抗压强度设计值;

 f_t ——UHPC 的轴心抗拉强度设计值;

 h_0 ——截面有效高度;

 $D_{\rm e}$ ——钢管直径等效长度;

 f_{rv} ——纵向钢筋的抗压强度设计值;

 A_s 、 A_s' ——受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积;

 σ_s — 受拉纵筋的抗拉设计强度,根据 GB 50010 有: 1)当 ξ 不大 于 ξ 时为大偏心受压构件,取 σ_s 为 f_{ry} ,此处, ξ 为相对受压区 高度,取 x/h_0 , ξ 为界限受压区高度; 2)当 ξ 大于 ξ 5 时为小偏 心受压构件,按该式子计算 $\sigma_s = f_{rv}(x/h_0 - \beta_1)/(\xi_b - \beta_1)$,且 $-f_{rv} \le \sigma_s \le f_{rv}$;

a。——受拉纵筋受力钢筋合力作用点至 UHPC 受拉边缘的距离。

6 矩形截面偏心受压叠合柱正截面受压承载力计算应符合下列规定:

1)可采用管外钢筋 UHPC 的轴力设计值和弯矩设计值、管外 UHPC 强度等

级,按《超高性能混凝土结构技术规程》矩形截面偏心受压构件正截面承载力公式进行计算。

- 2) 钢筋 UHPC 钢管混凝土叠合柱的轴力设计值 N 和弯矩设计值 M 可采用下列 2 种组合,叠合柱纵向钢筋面积的计算值可取 2 种组合所得纵向钢筋面积的较小值:
 - 1 组合 1:

$$N = N_{co} (6.2.3-11)$$

$$M = M_{co}$$
 (6.2.3-12)

2 组合 2:

$$N = \frac{f_{co}A_{co} + N_0}{f_{co}A_{co}} N_{co}$$
 (6.2.3-13)

$$M = M_{co} + \left(\frac{1.3N_{ci} + N_0}{N_0}\right)M_0$$
(6.2.3-14)

2) 当 *N*_{ci} > 0.255*N*₀ 时

$$M = M_{co} + 1.79 \left(\frac{N_0 - N_{ci}}{N_0}\right) M_0$$
(6.2.3-15)

$$N_{ci} = N - N_{co} ag{6.2.3-16}$$

$$M_0 = 0.3 N_0 r_{\rm c} \tag{6.2.3-17}$$

式中:

M、N —偏心受压叠合柱组合的弯矩设计值 ($N \cdot mm$) 和轴力设计值 (N);

 M_{co} 、 N_{co} 一管外钢筋混凝土组合的弯矩设计值(N •mm)和轴力设计值(N);

 N_{ci} 一钢管混凝土柱组合的轴力设计值(N);

 M_0 一钢管混凝土柱受弯承载力($N \cdot mm$);

N₀ 一钢管混凝土短柱轴心受压承载力(N),可按本规程第 6.2.2 条的规

定计算;

 $r_{\rm c}$ 一钢管内混凝土半径(mm);

fci 一钢管内混凝土轴心抗压强度设计值;

 A_{ci} 一钢管内混凝土截面面积 (mm^2) ;

(1) 计算叠合柱的正截面受压承载力时,采用的弯矩设计值和轴力设计值有2种组合情况。组合1,相当于大偏心受压,不考虑中部钢管混凝土柱的增强作用,取全截面轴力设计值和弯矩设计值,按全截面为钢筋混凝土柱进行正截面承载力计算;组合2,相当于小偏心受压,采用叠加法计算叠合柱正截面受压承载力,即叠合柱正截面受压承载力为钢管混凝土短柱正截面受压承载力与管外钢筋混凝土正截面受压承载力之和,轴力设计值在两者之间分配,管外钢筋混凝土的弯矩设计值为全部弯矩设计值扣除分配到的轴力设计值作用下钢管混凝土短柱正截面受压承载力对应的弯矩值,轴力作用下钢管混凝土短柱正截面受压承载力根据国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936-2014第6.1.3条说明给出的钢管混凝土短柱M-N相关曲线及有关公式确定。

为大偏心受压和小偏心受压钢管混凝土短柱在轴力设计值 N 作用下正截面受压 承载力对应的弯矩。

- (3)公式中N、M 均是按不小于零表示的,当M 为负数时,公式(6.2.3-14)、 式(6.2.3-15)中M 后的 "-"号应为 "+"号。
- 6.2.4 偏心受压钢管 UHPC 组合柱的斜截面受剪承载力应符合下列规定:
 - 1 持久、短暂设计状况

$$V \le \frac{1.75}{\lambda_{1} + 1} f_{t} b h_{0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0} + \frac{1 + a}{8\lambda_{2}} f_{a} A_{a} + 0.07N$$
(6.2.4-1)

2 地震设计状况

$$V \le \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.75}{\lambda_1 + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + \frac{1 + a}{8\lambda_2} f_a A_a + 0.056N \right)$$
 (6.2.4-2)

式中: V——组合柱剪力设计值;

N——组合柱轴压力设计值,当 N>0.3fcoA 时,取 0.3fcA;

ft ——管外 UHPC 抗拉强度设计值;

 f_{vv} ——箍筋抗拉强度设计值;

Asv——同一截面内各肢箍筋(包括拉筋)的全部截面面积;

 λ_1 、 λ_2 ——组合柱剪跨比, $\lambda_1=\lambda_2=M/(Vh_0)$,M 为柱端截面未经本规程第 6.1.2、

6.1.3、6.1.4 和 6.1.6 条调整的组合弯矩计算值,可取柱上下端的较大值,V为与 M 对应的组合剪力计算值; $\lambda_1<1$ 时取 $\lambda_1=1$, $\lambda_1>3$ 时取 $\lambda_1=3$; $\lambda_2<0.5$ 时取 $\lambda_2=0.5$, $\lambda_2>2$ 时取 $\lambda_2=2$ 。

- 6.2.5 偏心受拉钢管 UHPC 组合柱的斜截面受剪承载力应符合下列规定:
 - 1 持久、短暂设计状况

$$V \le \frac{1.75}{\lambda_{1} + 1} f_{t} b h_{0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0} + \frac{1 + a}{8\lambda_{2}} f_{a} A_{a} - 0.2N$$

$$(6.2.5-1)$$

2 地震设计状况

$$V \le \frac{1}{\gamma_{\text{RF}}} \left(\frac{1.75}{\lambda_{1} + 1} f_{\text{t}} b h_{0} + f_{\text{yv}} \frac{A_{\text{sv}}}{s} h_{0} + \frac{1 + a}{8\lambda_{2}} f_{\text{a}} A_{\text{a}} - 0.2N \right)$$
(6.2.5-2)

当式右端计算值小于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + \frac{1+a}{8\lambda_2} f_a A_a$ 时,应取 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + \frac{1+a}{8\lambda_2} f_a A_a$,且

 $f_{yy} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 值不应小于 $0.36 f_t b h_0$ 。

式中: N——组合柱轴向拉力设计值,取正值;

λι、λ2 ——组合柱剪跨比,按本规程第6.2.5条确定。

6.3 构造措施

- 6.3.1 钢管 UHPC 组合柱截面尺寸官符合下列规定:
- 1 矩形截面的宽度和高度,不宜小于 350mm; 圆柱的直径,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。

条文说明:

对于层数不多的钢管 UHPC 组合柱结构,矩形截面组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,矩形截面组合柱的最小边长(直径)比钢筋混凝土柱的最小边长小 50mm。

- **6.3.2** 钢管 UHPC 组合柱钢管外的 UHPC 厚度及其他构造应符合下列规定:
 - 1钢管外的 UHPC 厚度不宜小于 80mm。
 - 2 钢管直径不宜小于 108mm,钢管壁厚不宜小于 4.5mm;
- **3** 钢管混凝土套箍指标不宜小于 0.4 且不宜大于 3.0, 套箍指标大于 3.0 时, 其超过部分不应计入对钢管内混凝土的约束作用,可考虑其作为型钢对组合柱刚 度和承载力的提高作用;
 - 4 钢管混凝土(包括钢管)截面积与组合柱截面积的比值不宜大于 0.45;
- **5** 钢管含管率不应小于 3%且不宜大于 15%;对于低、多层建筑组合柱结构,当钢管 UHPC 短柱的轴心受压承载力设计值 N_0 大于组合柱轴力设计值时,含管率不应小于 1.5%。含管率可按下式计算:

$$\rho_{a} = A_{a} / A \tag{6.3.2}$$

式中: ρ_a ——组合柱钢管含管率;

Aa——钢管的截面面积;

A——组合柱全截面面积。

条文说明:

套箍指标超过3.0 的钢管混凝土柱,钢管对混凝土的约束作用按套箍指标3.0 计,但超过部分可按型钢的作用计。根据研究,为避免组合柱达到轴心受压承载 力前钢管外钢筋 UHPC 严重破坏,需限制钢管混凝土截面面积与组合柱截面面 积的比值。限制了面积比,仍需用箍筋约束管外 UHPC。

6.3.3 钢管 UHPC 组合柱的轴压比限值可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》 GB 50011 钢筋混凝土柱轴压比限值的规定采用。组合柱的轴压比可按下式计算:

$$n_c = N / (f_c (A_{cc} + A_{co}) + 0.9N_0)$$
 (6.3.3)

式中: n_c ——组合柱的轴压比;

N——组合柱轴力设计值;

N₀——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值,可按本规程第 6.2.2 条的规定计算:

Aco——箍筋外围保护层 UHPC 的截面面积。

条文说明:

轴心受压的组合柱达到其承载力时,钢管混凝土尚未达到其短柱轴心受压承载力。因此,计算组合柱的轴压比时,考虑钢管对管内混凝土的约束作用,但予以折减。

6.3.4 钢管 UHPC 组合柱的纵向钢筋的最小总配筋率应按表 6.3.4 的规定采用,且每一侧纵向受力钢筋配筋率不应小于 0.2%。建造与IV类场地且较高的高层建筑,表 6.3.4 中的数值应增加 0.1,组合柱纵向钢筋总配筋率及每一侧纵向钢筋配筋率可按下式计算:

$$\rho_{\rm s} = A_{\rm s} / (A_{\rm cc} + A_{\rm co}) \tag{6.3.4}$$

式中: ρ_s ——组合柱纵向钢筋总配筋率或每一侧纵向钢筋配筋率;

 A_s ——组合柱全部纵向钢筋截面面积或每一侧纵向钢筋截面面积;

 A_{cc} ——箍筋约束 UHPC 部分截面面积;

 A_{co} ——箍筋外围保护层 UHPC 的截面面积。

抗震等级 类别 特一 三 四 中柱、边柱 1.4 0.9 (1.0) 0.7(0.8)0.6(0.7)0.5(0.6)角柱、框支柱 0.9 0.8 1.6 1.1 0.7

表 6.3.4 组合柱纵向钢筋的最小总配筋率 (%)

- 注:1 括号内数值用于框架结构叠合柱;
 - 2 钢筋强度屈服标准值为 400N/mm²时,除特一级外,表中数值应增加 0.05;
 - 3 混凝土强度等级高于 C60 时,除特一级外,表中数值应增加 0.15。

条文说明:

ACI 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,不同抗震等级组合柱纵向钢筋的最小总配筋率相同。组合柱纵向钢筋的总配筋率为纵向钢筋的截面面积与组合柱截面面积的比值。

- 6.3.5 钢管 UHPC 组合柱的纵向钢筋配置应符合下列规定:
 - 1 宜对称配筋,且宜采用大直径钢筋,不宜小于12mm,配置在角部;
 - **2** 纵向受力钢筋总配筋率不应大于 5%, 剪跨比不大于 2 的特一级和一级组合柱, 每侧纵向受力钢筋配筋率不宜大于 1.2%, 计算配筋率时, 式(6.3.4)

的分母可取组合柱全截面面积:

- **3** 小偏心受拉的边柱、角柱及剪力墙的端柱,纵向受力钢筋的截面面积应比计算值增加 25%:
 - 4 纵向受力钢筋净间距的范围官为 50mm~200mm:
 - 5 纵向钢筋与钢管的最小净距不宜小于 30mm。
- 6.3.6 钢管 UHPC 组合柱应设置筛筋加密区,并应符合下列规定:
- 1 箍筋加密区的范围应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于钢筋混凝土柱箍筋加密区范围的规定;
- 2 一般情况下,截面边长小于 1000mm 的组合柱,其加密区箍筋的最大间距和最小直径应按表 6.3.6-1 采用;框架结构组合柱及框支框架组合柱的箍筋直径大于 12mm 且箍筋肢距不大于 150mm、其他结构框架组合柱的箍筋直径大于 10mm 且箍筋肢距不大于 200mm 时,除底层柱下端外,箍筋最大间距应允许采用 150mm:

表 6.3.6-1 组合柱箍筋加密区的箍筋最大间距和最小直径

注: d 为柱纵向钢筋最小直径 (mm)

- **3** 截面边长不小于 1000mm 的组合柱, 其箍筋加密区的外围箍筋直径不宜小于 14mm, 箍筋最大间距应按表 6.3.6-1 采用:
 - 4 组合柱箍筋加密区的体积配箍率,应按下列规定采用:
 - 1)组合柱箍筋加密区的体积配箍率应满足下列要求:

$$\rho_{\rm v} \ge \lambda_{\rm v} f_{\rm c} / f_{\rm vv} \tag{6.3.6}$$

式中: ρ_v ——组合柱箍筋加密区的体积配箍率,特一级框支柱不应小于 1.6%,

- 一、二级框支柱不应小于 1.5%, 特一、一级框架柱不应小于 0.8%,
- 二、三、四级框架柱不应小于 0.6%;

 f_c ——管外 UHPC 轴心抗压强度设计值;

 f_{vv} ——箍筋或拉筋抗拉强度设计值;

λ_v——箍筋加密区最小配箍特征值,宜按表 6.3.6-2 采用,特一级框架柱的最小配箍率特征值应比表内其他结构框架的数值增加 0.02,特一级框支柱和一、二级框支柱的最小配箍率特征值应比表内框架结构的数值分别增加 0.03 和 0.02。

表 6.3.6-2 组合柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值

| 结构类型 | 箍筋形式 | 钢管 UHPC 组合柱轴压比 | | | | | | | |
|-------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | ≤0.03 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.95 |
| 框架结构、 | 普通箍、 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | |
| 框支框架 | 复合箍 | | | | | | | | |
| 其他结构框 | 普通箍、 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.21 |
| 架 | 复合箍 | | | | | | | | |

- 注: 普通箍指单个矩形箍或圆形箍, 复合箍指由矩形、多边形、圆形箍或拉筋组成的箍筋。
 - 2) 剪跨比不大于 2 的钢管 UHPC 组合柱体积配箍率不应小于 1.2%, 9 度一级时不应小于 1.5%;
 - 3) 计算箍筋配箍率时,可取外围箍筋中心线所围 UHPC 体积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成体积的 30%;
 - 4) 计算复合箍的体积配箍率时,可不扣除重叠部分的箍筋体积。

条文说明:

地震作用下,组合柱有可能在其两端出现塑性较。为提高组合柱两端的弹 塑性变形能力,两端应设置箍筋加密区,配置足够多的箍筋,形成箍筋约束UHPC,提高UHPC的极限压应变。对于组合柱框架结构,组合柱是其唯一的竖向结构构件,对于框架结构以外的其他组合柱结构,剪力墙是其主要竖向结构构件,组合柱是相对次要的竖向结构构件。基于此,轴压比相同的情况下,框架结构组合柱箍筋加密区的最小配箍特征值。高于其他结构组合柱箍筋加密区的最小配箍特征值。为使相同结构类型、相同轴压比的组合柱具有理论上相同的弹塑性变形能力,组合柱箍筋加密区的最小配箍特征值只与结构类型和轴压比有关,与设防烈度、结构高度无关。由于钢管已对管内混凝土形成约束,计算组合柱箍筋体积配箍率时,可扣除钢管混凝土部分的体积。由于至今已完成试验的组合柱试件的钢管混凝土部分的体积都不大于试件体积的28%,因此,规定了扣除的体积不应大

干外围籍筋中心线所周体积的25%。

- 6.3.7 钢管 UHPC 组合柱非箍筋加密区的箍筋配置,并应符合下列规定:
 - 1 体积配筛率不宜小于加密区的 50%:
- **2** 箍筋间距,框架结构组合柱不应大于 10 倍纵向钢筋直径,其他结构组合柱不应大于 15 倍纵向钢筋直径。
- 6.3.8 钢管 UHPC 组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 6.3.8 (a)),或由外围矩(方)形封闭箍和八角形封闭箍与拉筋组成(图 6.3.8 (b))。 拉筋可紧靠箍筋并钩住纵筋;

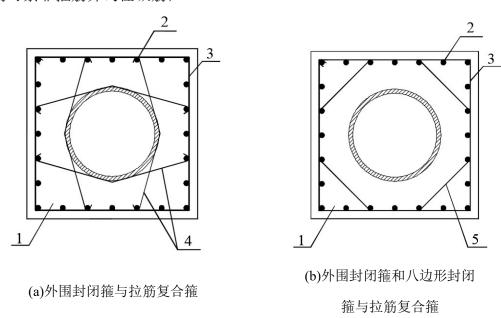


图 6.3.8 组合柱箍筋配置方式示意

1—钢管UHPC组合柱; 2—纵筋;

3—封闭箍筋; 4—拉筋; 5—八边形封闭箍筋

- 2 绕过钢管的拉筋与钢管相交部分的圆弧宜与钢管同心,而不相交的部分宜为直段;
- **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 200mm;
- 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。 *条文说明*:

钢筋混凝土柱轴心受压试验研究表明,拉筋紧靠箍筋并钩住纵筋的试件,其

承载能力及弹塑性变形能力与拉筋紧靠纵筋并钩住箍筋的试件没有差别。但前者施工比后者方便,且拉筋端部弯钩的混凝土保护层厚度与箍筋的混凝土保护层厚度相同,满足耐久性设计的要求。纵筋位于箍筋的角部或拉筋的弯钩内,可避免纵筋过早压曲。

- 6.3.9 组合柱宜在钢管壁外表面贴焊闭合环筋,应符合下列规定:
- 1 首层组合柱及最上层组合柱宜沿全高贴焊环筋,两端箍筋加密区范围内环 筋间距不宜大于 400mm:
- **2** 除本条款 1 以外的钢管 UHPC 组合柱, 宜在钢管壁外表面各贴焊不少于两道闭合的环筋:
- **3** 钢管直径不大于 250mm 时,环筋直径不宜小于 6mm;钢管直径大于 250mm 且不大于 400mm 时,环筋直径不宜小于 8mm;钢管直径大于 400mm,环筋直径不宜小于 10mm;
- 4 环筋与钢管之间可采用间断的单面角焊缝焊接,焊接可在环筋上侧或环筋上下侧交错布置,每侧焊缝总长不宜小于环筋长度的1/2,焊缝高度不宜小于5mm和0.5d的较大值,其中d为环筋直径。

条文说明:

钢管壁外表面贴焊环筋,目的是加强钢管与混凝土之间的粘结。

- 6.3.10 组合柱框架节点核心区的抗震验算应符合下列规定:
 - 1 特一、一、二、三级框架的节点核心区应进行抗震验算;
- 2 四级框架的节点核心区可不进行抗震验算,但应符合对抗震构造措施的基本要求;
 - 3 节点核心区截面的抗震验算方法应符合附录 A 的规定。
- 6.3.11 组合柱框架节点核心区的筛筋应符合下列规定:
 - 1 箍筋的最大间距和最小直径宜符合本规程表 6.3.6-1 的规定;
- 2 组合柱框架结构级框支结构节点核心区体积配箍率不宜小于 0.6%, 配箍特征值不宜小于 0.12, 其他结构框架节点体积配箍率不宜小于 0.5%, 配箍特征值不宜小于 0.10:
- **3** 组合柱剪跨比不大于 2 的框架节点核心区, 其体积配箍率不宜小于核心区上、下柱端的较大体积配箍率。

7 连接设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 钢管 UHPC 组合柱可用于框架结构、框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、框架-支撑结构、筒中筒结构、部分框支-剪力墙结构和杆塔结构。
- 7.1.2 钢管 UHPC 组合结构的节点和连接的设计应满足强度刚度、稳定性和抗震的要求;节点和连接的设计应保证力的传递,钢管外 UHPC、钢管与管内混凝土共同工作,组合结构的节点和连接构造官简单,应便于制作、安装和施工。
- **7.1.3** 节点设计应根据结构的重要性与受力特点、荷载情况和工作环境等因素, 选用适当的形式、材料与加工工艺。安装时构件主钢件之间宜采用部分螺栓连接 或全螺栓连接。
- **7.1.4** 节点设计应满足承载能力极限状态要求,防止节点因强度破坏、板件局部 失稳、焊缝及其周边开裂等引起的失效。
- 7.1.5 梁柱节点区柱段部位和柱拼接区的纵向受力钢筋应连续并应后浇混凝土。 梁柱节点的梁端区、梁拼接区和主次梁连接区的纵向受力钢筋宜连续,并宜后浇 混凝土。
- 7.1.6 梁柱节点的梁端区、梁拼接区和主次梁连接区无混凝土后浇时,主钢件的强度、局部稳定、刚度、抗震性能和构造措施应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。
- 7.1.7 节点设计应满足承载力极限状态要求,传力可靠,减少应力集中。
- **7.1.8** 节点构造应符合结构计算假定,当构件在节点偏心相交时,尚应考虑局部 弯矩的影响。
- 7.1.9 拼接节点应保证被连接构件的连续性。

7.2 组合柱与组合梁连接

7.2.1 钢管 UHPC 组合柱与型钢 UHPC 组合梁连接节点可采用外加强环节点、内加强环节点、钢梁穿心式节点、牛腿式节点和承重销式节点。

- 7.2.2 钢管 UHPC 柱与组合梁用带变截面牛腿内隔板的连接是常用的刚接节点。在正对钢梁的上下翼缘,在管柱上用坡口对接熔透焊缝焊接带短梁(牛腿)的贯通式加强环。牛腿的尺寸和所连接的钢梁相同。其翼缘的连接可用高强度螺栓,也可用对接焊缝,对接焊缝必须与母材等强;腹板的连接常采用高强度螺栓。
- **7.2.3** 当钢管混凝土柱与型钢 UHPC 组合梁的连接采用带变截面牛腿内隔板式 刚性连接(图 7.2.3)时,应符合下列规定:
 - 1 梁纵筋可焊在钢牛腿上;
- **2** 钢管内设贯通钢管壁的横隔板,钢管与隔板焊接,型钢钢翼缘应与外伸内隔板焊接,钢梁腹板与牛腿腹板宜采用摩擦型高强螺栓连接;
 - 3 钢牛腿翼缘和腹板的厚度分别不应小于型钢翼缘和腹板的厚度;
 - 4 牛腿长度不宜小于 1.0 倍梁高;
- 5 钢筋并筋弯折绕过钢管时,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:
- 6 梁端应设置箍筋加密区,箍筋加密区范围除钢牛腿长度以外,尚应从钢牛腿外端点处为起点并符合箍筋加密区长度的规定;加密区箍筋构造应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

条文说明:

该节点连接方式主要通过箍筋的加密加强节点的刚度。

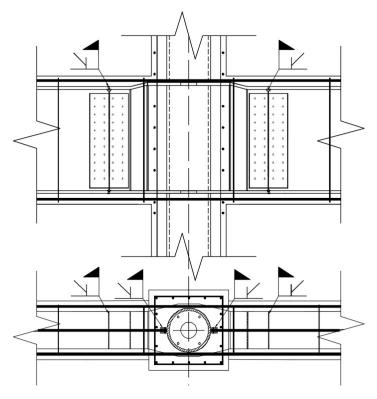


图 7.2.3 型钢 UHPC 组合梁与钢管 UHPC 组合柱连接节点示意

- 7.2.4 型钢 UHPC 组合梁的纵向钢筋单筋穿过钢管或并筋穿过钢管与组合柱连接时,应符合下列规定:
- 1 梁的纵向钢筋宜采用直径较大的钢筋,但直径不应大于组合柱截面高度的1/20;
- **2** 在梁箍筋加密区及节点核心区内,有连接接头的梁纵向钢筋面积不应超过钢筋总面积的 50%:
- **3** 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*+ (5~8) mm, *d* 为梁纵筋直径;
- 4 梁的纵向钢筋并筋穿过钢管混凝土柱时,钢管壁上可开长圆形穿筋孔,孔 的大小应考虑施工时梁的纵向钢筋能顺利穿过;
- 5 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%,超过时应采用内衬管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径的2.5倍;
 - 6 钢管管壁上开孔的位置,应考虑节点不同方向梁纵向钢筋标高的差异;
 - 7 计算时,钢管可取未开孔截面的面积。

- 7.2.5 钢筋混凝梁上部及底部纵向钢筋分别整体穿过钢管与组合柱进行连接时,可在核心区钢管壁对应梁上部及底部纵向钢筋位置开较大洞口(图 7.2.5(a))、(图 7.2.5(b)),并应符合下列规定:
 - 1 开洞部位钢管截面面积不应大于钢管原截面面积的 40%;
- 2 应采取措施对钢管进行补强,可采用加厚节点核心区钢管壁的方法进行补强(图 7.2.5(c)),或采用在钢管内洞口上下加设内环板、洞口两侧加设竖向加劲肋的方法进行补强(图 7.2.5(d)),或采用在钢管外洞口上下加设外环板、洞口两侧加设竖向加劲肋的方法进行补强:
- **3** 加厚节点核心区钢管壁补强时,加厚段钢管应伸出核心区,伸出长度不宜小于 300mm,加厚后核心区钢管的等效截面面积 A_e 不应小于钢管原截面面积 A_e 钢管等效截面面积 A_e 可按下式计算:

$$A_{\text{a,ef}} = \left[\left(h_{\text{op,t}} A_{\text{a,t}} + h_{\text{op,b}} A_{\text{a,b}} + \left(h_{\text{b}} - h_{\text{op,t}} - h_{\text{op,b}} \right) A_{\text{a,m}} \right] / h_{\text{b}}$$
 (7.2.5-1)

式中: Aa.ef ——核心区钢管等效截面面积;

 $A_{a,t}$ 、 $A_{a,b}$ ——核心区上部及底部钢管壁开洞部位钢管加厚后截面面积;

 $A_{a,m}$ ——核心区钢管壁未开洞部位钢管加厚后截面面积;

 $h_{\text{op,t}}$ 、 $h_{\text{op,b}}$ ——核心区上部和底部钢管壁洞口高度;

h ——梁截面高度, 节点两侧梁截面高度不等时可采用较大值。

4 采用加设环板及竖向加劲肋补强时,环板和加劲肋的宽度不宜小于 80mm,厚度不宜小于 10mm,环板和加劲肋与钢管壁之间可采用单面角焊缝焊接连接,目环板及竖向加劲肋的等效截面面积应满足下式要求:

$$A_{j, ef} \ge (f_a A_a - f_a A_{a, ef}) / f_s$$
 (7.2.5-2)

式中: $A_{i,ef}$ ——核心区全部环板和竖向加肋的等效截面面积,可按下式计算;

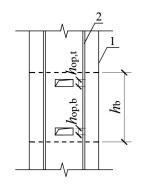
$$A_{\rm j,ef} = A_{\rm r} + nA_{\rm p} \left(h_{\rm op,t} + h_{\rm op,b} \right) / h_{\rm b}$$
 (7.2.5-3)

 $A_{\rm r}$ ——洞口上下内环板的横截面面积之和:

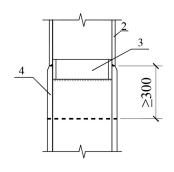
n ——竖向加劲肋的数量;

 A_n ——单个竖向加劲肋的横截面面积;

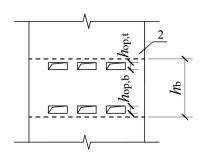
fs ——内环板和竖向加劲肋钢材的抗拉强度设计值。



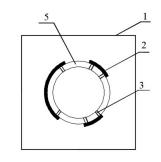
(a) 立面示意图



(c) 钢管壁加厚示意图



(b) 展开示意图



(d) 内环板及竖向加劲肋示意图

图 7.2.5 钢管壁开较大洞口补强构造示意

1——组合柱; 2——钢管; 3——内衬管;

4——管壁加厚; 5——内环板; 6——竖向加劲肋

条文说明:

试验研究表明,管壁开较大洞口、梁上部和底部纵筋分别整体穿过钢管混凝土、按本条规定加强核心区钢管的连接节点的抗震性能满足要求。计算节点核心区钢管壁加厚的等效截面面积时,采用加厚的钢管壁计算开洞部位及未开洞部位钢管截面积。

7.2.6 组合梁-组合柱节点核心区截面的剪力设计值应符合下列要求:

$$V_{\rm jw} \leqslant \frac{1}{\gamma_{\rm RE}} \left(0.30 \eta_{\rm j} \beta_{\rm co} f_{\rm c} b_{\rm j} h_{\rm j} \right) \tag{7.2.6-1}$$

$$V_{\rm jw} = V_{\rm j} - 0.33 f_{\rm a} A_{\rm a} \tag{7.2.6-2}$$

式中: V_{iw} ——验算组合柱节点核心区最小受剪截面采用的剪力设计值;

V₁——梁柱节点核心区的剪力设计值,可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定计算;

 η_i ——正交梁的约束影响系数,可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》

GB 50011 的规定采用:

b_j——节点核心区的截面有效验算宽度,可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定计算;

 h_i ——节点核心区的截面高度,可采用验算方向的柱截面高度;

fa ——钢管钢材抗拉强度设计值;

A_a——钢管截面面积;

fc ——钢管外混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm);

 A_a ——钢管截面面积(mm);

 β_{co} ——钢管外 UHPC 强度影响系数,按表 5.1.2 取值,其间按线性内插法确定:

 γ_{RE} ——节点受剪承载力抗震调整系数,可取为 0.85。

7.2.7 当柱两侧的梁高不等时,每个梁翼缘对应位置均应按本条的要求设置柱的水平加劲肋。加劲肋的间距不应小于 150mm 且不应小于水平加劲肋的宽度(图7.2.7(a))。当不能满足此要求时,应调整梁的端部高度,可将截面高度较小的梁腹板高度局部加大,腋部翼缘的坡度不得大于 1:3(图7.2.7(b))。当与柱相连的梁在柱的两个相互垂直的方向高度不等时,应分别设置柱的水平加劲肋(图7.2.7(c))。

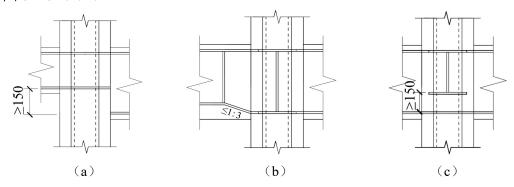


图 7.2.7 柱两侧梁高不等时的水平加劲肋

7.2.8 柱内隔板上应设置混凝土浇筑孔和透气孔,混凝土浇筑孔孔径不应小于 200mm,透气孔孔径不宜小于 50mm。

7.3 组合梁与组合梁连接

7.3.1 型钢混凝土次梁或钢次梁与型钢 UHPC 组合梁主梁的连接方式如图 7.3.1

所示,主次梁通过高强螺栓进行连接,连接完成后浇筑槽口位置 UHPC。当主次梁均是型钢混凝土梁时,则梁内型钢的连接,应符合钢结构规定。型钢混凝土次梁的纵向钢筋应穿过或绕过型钢 UHPC 组合梁主梁的型钢腹板;主梁的腰筋应穿过钢梁外伸钢板;主梁和次梁的型钢可采用刚接或铰接。

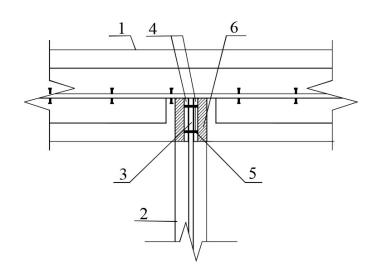


图 7.3.1 (a) 型钢 UHPC 组合梁与钢次梁连接

1一型钢 UHPC 组合梁主梁; 2一钢次梁; 3一次梁外伸型钢; 4一主梁钢肋板;

5一高强螺栓; 6一主梁预留后浇 UHPC 槽口

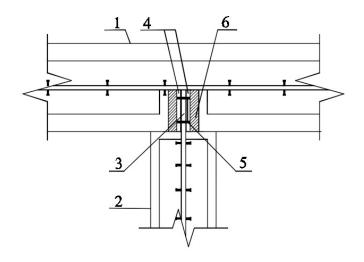


图 7.3.1 (b) 型钢 UHPC 组合梁主次梁连接

1一型钢 UHPC 组合梁主梁; 2一型钢混凝土组合梁次梁; 3一次梁外伸型钢;

4—主梁钢肋板;5—高强螺栓;6—主梁预留后浇UHPC槽口

- **7.3.2** 钢筋混凝土次梁与型钢混凝土主梁连接,次梁纵向钢筋应穿过或绕过型钢混凝土梁的型钢。
- 7.3.3 同轴梁段拼接位置应避开受弯承载力较大的截面。连接承载力设计值不应

小于拼接处梁的内力设计值,且不得小于梁截面承载力设计值的50%。

7.3.4 主次梁连接节点采用铰接连接时(图 7.3),连接强度计算应符合下列规定:

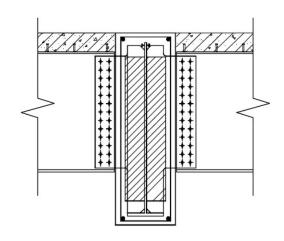


图 7.3.4 主次梁铰接示意图

1 除应计入次梁传递的剪力设计值外,宜加入次梁端部弯曲约束产生的弯矩,弯矩设计值可按下式计算:

$$M_{\rm j} = V_{\rm b} l_{\rm b} \tag{7.3.4}$$

式中: M_j ——主次梁连接的弯矩设计值;

V₆ ——次梁端部剪力设计值;

lb ——次梁连接板的合力中心到主梁翼缘侧边的水平距离。

- 2 当采用现浇混凝土楼板将主次梁连成整体时,可不计算端部弯曲约束产生的弯矩的影响;
- 3 连接强度应包括螺栓群强度、连接板与主梁的焊缝强度以及连接板拉剪强度;连接强度设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

7.4 梁板连接

- 7.4.1 钢筋混凝土楼板通过预埋的锚筋与型钢 UHPC 梁锚固连接。这种连接方式需要预先在型钢 UHPC 梁的后浇叠合层中设置锚固件,先浇筑叠合层 UHPC,然后将钢筋混凝土楼板与锚固件进行锚固连接。
- 7.4.2 为了保证现浇楼板与支承结构的整体性,楼板与钢梁之间应设有抗剪连接件,本规程主要推荐采用栓钉作为抗剪连接件,有关抗剪连接件的构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 和《钢与混凝土组合楼(屋)盖结构构造》GJBT 840 的相关规定。
- **7.4.3** 当楼板与钢梁之间设置抗剪连接件时,其栓钉抗剪连接件应根据实际情况计算确定,并应符合国家标准《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901 的规定。

7.5 柱脚连接

7.5.1 钢管 UHPC 组合柱可采用埋入式柱脚或端承式柱脚。

<u> 条文说明:</u>

钢管直径比较小、或独立柱基础、或无地下室的情况,可采用埋入式柱脚, 其他情况可采用端承式柱脚。对于单层厂房,埋入式柱脚的埋人深度不应小于 1.5D; 无地下室或仅有一层地下室的房屋建筑,埋入式柱脚埋入深度不应小于 2.0D(D为钢管混凝土柱直径)。

- 7.5.2 钢管 UHPC 组合柱采用埋入式柱脚时,钢管与底板的连接焊缝宜采用坡口全熔透焊缝,焊缝等级为二级;当采用非埋入式柱脚时,钢管与柱脚底板的连接应采用坡口全熔透焊缝,焊缝等级为一级。
- 7.5.3 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中部开圆洞的方形钢板或环形钢板,钢板厚度不应小于钢管壁厚的 1.5 倍,且不应小于 20mm。 *条文说明*:

端承式柱脚的柱脚板采用中部开圆洞的方形钢板,锚筋布置在柱脚板四周,便于基础水平钢筋通过。

7.5.4 组合柱的竖向钢筋应伸入基础混凝土,伸入长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 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。

- 7.5.5 组合柱柱脚板下的基础混凝内宜配置方格钢筋网或螺旋箍,应验算正常使用阶段柱脚板下基础混凝土的局部受压承载力及受冲切承载力,可采用最不利组合的组合柱轴压力设计值进行验算,局部受压承载力及受冲切承载力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。计算局部受压承载力时,混凝土局部受压面积 A_b 可取钢管混凝柱的截面面积,局部受压的计算底面积 A_b 可取 A_b =3 A_1 ,且 A_b 不应大于基础或者桩承台的顶面面积。
- **7.5.6** 埋入式柱脚(图 7.5.6)的构造应符合下列规定:
 - 1 钢管埋人基础混凝土的深度不应小于 2D, D 为钢管直径;
- 2 埋人基础混凝土的范围内,钢管外壁应贴焊环筋,组合柱钢管外壁贴焊环筋应符合本规程第 6.3.9 条的有关规定;环筋间距不宜大于 300mm,且不宜少于 3 道;
- **3** 可采用先安装带钢管的脚、然后拼接上部钢管的埋入式柱脚,也可采用钢管直接焊在柱脚板上的埋入式柱脚。

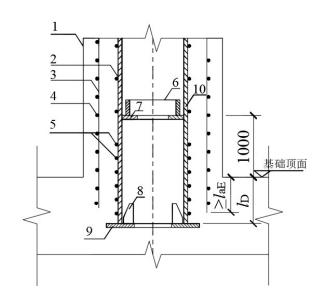


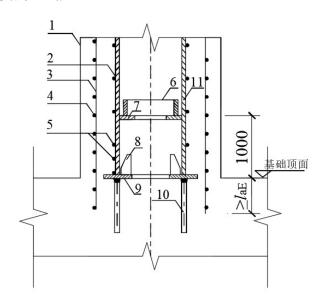
图 7.5.6 钢管 UHPC 组合柱埋人式柱脚

1—组合柱; 2—钢管; 3—竖向钢筋; 4—箍筋或水平分布钢筋; 5—贴焊环筋; 6—内衬钢管; 7—环形隔板; 8—限位钢板; 9—柱脚板; 10—钢管对接熔透焊缝

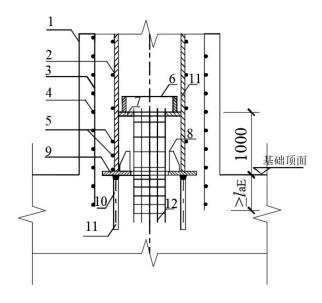
条文说明:

当钢管直径较小、就位无困难时, 可取消限位钢板。

- 7.5.7 端承式柱脚(图 7.5.7)的构造应符合下列规定:
- 1 锚筋直径和数量由计算确定。当按构造配置时,锚筋直径不宜小于 18mm,间距不宜大于 200mm,锚筋长度不应小于 40*d*m (*d*m 为锚筋直径)及 800mm 的较大者;锚筋与柱脚板的连接宜采用开孔塞焊;
 - 2 采用方形柱脚板时, 锚筋可按方形布置;
- **3** 钢管内配置钢筋笼时,钢筋笼的竖向钢筋伸入钢管的长度不应小于 40*d*_g (*d*_g 为钢筋笼竖向钢筋直径)和 1000mm 的较大者,钢管与柱脚板的焊缝高度不应小于钢管壁厚。伸入基础混凝土的长度不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 受拉钢筋抗震锚固长度的规定;
- 4 采用环形柱脚板的宽度不宜小于钢管壁厚的 6 倍,且不应小于 100mm;加劲肋的厚度不宜小于钢管壁厚,肋高不宜小于柱脚板外伸宽度的 2 倍,肋距不应大于柱脚板厚度的 10 倍。



(a) 端承式柱脚 1



(b) 端承式柱脚 2

图 7.5.7 钢管 UHPC 组合柱端承式柱脚

1——组合柱; 2——钢管; 3——竖向钢筋; 4——箍筋或水平分布钢筋;

5——贴焊环筋; 6——内衬钢管; 7——环形隔板; 8——限位钢板;

9——柱脚板; 10——钢管对接熔透焊缝; 11——钢管对接熔透焊缝;

12——管内插筋

条文说明:

最不利荷载效应组合情况下,组合柱为小偏心受压,钢管不受拉时,锚筋长度可适当减小,但不应小于15dm。

- **7.5.8** 钢管外纵向钢筋即可满足正截面承载力要求的组合柱以及小偏心受压组合柱的钢管混凝土可采用端承式柱脚 1(图 7.5.7(a))。
- **7.5.9** 偏心受拉组合柱的钢管混凝土宜采用端承式柱脚 2(图 7.5.7(b)),其拉力设计值应符合下式要求:

$$N < 0.9(f_{\rm v}A_{\rm ss} + f_{\rm ym}A_{\rm m} + f_{\rm vg}A_{\rm g})$$
 (7.5.9)

式中: N ——偏心受拉组合柱的拉力设计值;

 f_y 、 f_{ym} 、 f_{yg} ——钢管外竖向钢筋、锚筋、钢管内钢筋笼纵筋的抗拉强度设计值;

 A_{ss} 、 A_{m} 、 A_{g} ——钢管外竖向钢筋、锚筋、钢管内钢筋笼竖向钢筋的截面面积。

8 制作与施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 超高性能混凝土的施工应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 等的有关规定,应根据结构所属工程类别分别符合相应的现行规范及规程 要求。
- 8.1.2 在施工之前,应制订超高性能混凝土专项施工技术方案。
- **8.1.3** 超高性能混凝土可在工厂将各种干燥的固体原料预拌为固态混合物,运输到施工现场或预拌混凝土生产场所,加水与液体组分拌制成拌合物。预拌与运输应保证混合物不离析。
- **8.1.4** 超高性能混凝土的搅拌、运输、浇筑及浇筑后的构件静停应在 10℃以上的环境中完成。

条文说明:

在低温环境中,胶凝材料的水化反应速率降低,影响其性能发展速率。所以 超高性能混凝土的搅拌、浇筑及构件静停都应10℃以上的环境中完成。

8.1.5 应根据设计图纸和施工条件,确定施工方案,编制施工组织设计;宜采用平行流水、立体交叉作业;支承施工机具的结构或地基,应进行承载力、变形和稳定验算,并应经设计单位复核,必要时应对支承施工机具的结构、地基采取加固措施。

8.2 生产运输

8.2.1 钢与超高性能混凝土组合构件的钢结构部分的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的有关规定,混凝土部分的制作应符合现行国家标准《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的有关规定。

- **8.2.2** 构件中预制部分的原材料质量、钢筋加工和连接的力学性能,超高性能混凝土强度、构件结构性能等均应根据国家现行有关标准进行检查和检验,并应具有生产操作规程和质量检验记录。
- **8.2.3** 超高性能混凝土的配合比应按照设计和生产要求进行设计。水胶比宜小于0.20。

条文说明:

超高性能混凝土的水胶比低,其性能受用水量的变化极其敏感。因此,在运输及浇筑过程中往超高性能混凝土拌合物中加水会明显影响其强度,同时会对其耐久性和其他力学性能产生影响,对工程质量具有很大危害。

- 8.2.4 超高性能混凝土下料顺序及搅拌时间宜为: 预混料(或水泥、矿物掺合料、骨料)干拌 0.5~2min,再加入减水剂和水湿拌 2~5min,最后加入纤维搅拌 2~4min(含纤维投入时间 1~2min)。总搅拌时间不宜小于 5min。出机拌合物中不得有纤维结团和下沉现象。对于已掺纤维的预混料,应按照厂家产品说明书要求进行搅拌。彩色超高性能混凝土的颜料应均匀投放。在超高性能混凝土拌合物的运输及浇筑过程中,应严禁往拌合物中加水。
- **8.2.5** 运输设备在盛装普通混凝土后盛装超高性能混凝土,需要用水清洗干净; 一次装载量小于搅拌运输车额定容量的 50%时,需增加 5~10%的胶凝材料和水。
- **8.2.6** 在高温、大风时室外运输超高性能混凝土时应采取防止水分散失措施,下雨时室外运输超高性能混凝土时应采取遮雨措施。
- 8.2.7 构件的预制部分生产应根据生产工艺、产品类型等制定模具方案,应建立健全模具验收、使用制度,除设计有特殊要求外,预制构件模具尺寸偏差和检验方法应符合《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《预制混凝土构件尺寸允许偏差标准》T/CCES 30 中的相关规定。新制或大修模板使用前应进行外观和尺寸偏差检验,符合要求方可使用;使用中的模板应定期检查。
- **8.2.8** 模板存放应有防止变形和锈蚀措施,重新启用的模板生产前应进行外观和尺寸偏差检验,合格后方可使用。
- 8.2.9 模板部件之间应连接牢固,接缝应紧密,并有防漏浆措施。
- 8.2.10 钢与超高性能混凝土组合构件中预制 UHPC 应符合下列规定:
 - 1 对分次浇筑的超高性能混凝土,若超高性能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:

- 2 设计文件未规定时,构件脱模、起吊、翻转时的混凝土强度等级不应小于 15N/m 时,且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%;
 - 3 采用蒸汽加热养护时,应有防止未被混凝土包裹型钢表面腐蚀的保障措施。
- **8.2.11** UHPC 预制构件工厂生产时,通常采用袋装预混料。UHPC 的搅拌应采用强制式搅拌机,正式生产前应进行试拌确定合适的搅拌时间。浇筑超高性能混凝土应连续,浇筑暂停和分层间隔时间不宜超过 30min。超高性能混凝土拌合物从搅拌机中卸出到浇筑完毕的延续时间不宜超过 60min。
- **8.2.12** 钢与超高性能混凝土组合结构的构件制作应执行首件验收合格后方可批量生产。
- **8.2.13** 钢与超高性能混凝土组合构件在混凝土浇筑前应进行构件的隐蔽工程验 收,验收项目应包括但不限于下列内容:
 - 1 内置连接板、钢筋和型钢钢材的牌号、规格、数量、位置、间距等;
 - 2 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 钢筋和的混凝土保护层厚度。
- **8.2.14** 在条件允许时,成型方式宜选用免振方式。采用其他成型方式时,应满足混凝土密实及均匀性要求;采用机械振捣时,振捣时间应以不引起纤维下沉为原则确定;当超高性能混凝土流动度较大时,应注意不能过振,以防出现纤维离析。
- 8.2.15 构件的预制部分出模后应及时对其外观质量进行全数目测检查,外观质量不应有缺陷,对已经出现的严重缺陷应制定技术处理方案进行处理并重新检验,对出现的一般缺陷应进行修整并达到合格;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。
- **8.2.16** 超高性能混凝土预制构件养护方式应依据超高性能混凝土性能设计要求确定。
- 8.2.17 超高性能混凝土的养护应符合下列规定:
 - 1 混凝土浇筑成型后,外露表面应及时采用养护薄膜覆盖。薄膜上加铺土工

- 布,洒水保湿。在气温 5° C 以上时,可采用自然养护。养护不少于 7 天。当环境平均气温低于 10° C 或最低气温低于 5° C 时,应按冬期施工处理,采取保温措施。
- 2 当采用蒸汽养护工艺时,应采用养护薄膜覆盖成型,蒸汽养护前对缺水部位应及时补水养护。蒸汽养护应在混凝土浇筑不少于 6h 后进行,并符合下列规定:
- 1) 蒸汽养护过程中的温度和湿度宜通过传感器调整蒸汽量的大小实现。养护温度恒定在80°C时,养护时间不应少于72h;养护温度恒定在养护时间90°C时,养护时间不应少于48h。
- 2) 蒸养升温阶段,升温速度不应大于 12° C/h; 蒸养结束后,以不超过 15° C/h 的降温速度将温度逐渐降至与环境温度之差不大于 20° C 的温度范围内。
- 3)蒸汽养护结束后应进行自然养护,自然养护时的环境平均气温宜高于10°C,梁段表面应保持湿润不少于7d,当环境平均气温低于10°C或最低气温低于5°C时,应按冬期施工处理,采取保温措施。
- 4)升温养护结束后可拆模,拆模时预制试件表面温度与环境温度之差不应 大于 20°C。
- 3 当需要加快模具周转,提高生产效率时,可设置温度控制系统进行养护,制作预制构件在设定时间内进行静置等强;静置等强过程中,布设带模初步养护设施,并设置温度传感器;通过梁体内外温差判断,满足条件时对梁体外部进行蒸汽供应,同时对梁体内部进行散热;进行模板拆除并在梁体的待养生节段外侧布设喷淋养护设施,进行常温水喷淋养生,且在梁体进行匹配梁段制作的过程中保持喷淋养生;将制作好的匹配梁段已运至蒸养房,进行高温蒸汽养护。当超高性能混凝土的强度达到设计强度的 40%时,可进行脱模。
- **8.2.18** 卷制钢管所采用的板材应平直,表面未受冲击、未锈蚀,当表面有轻微锈蚀、麻点、划痕等缺陷时,其深度不应大于钢板厚度负偏差值的 1/2,钢管壁厚的负偏差不应超过设计壁厚的 3%。
- 8.2.19 钢管制作长度可根据运输和吊装条件确定。
- **8.2.20** 对高层建筑框架柱,钢管制作应预留弹性压缩量,其值可由制作单位和设计单位根据实际情况共同确定。

- **8.2.21** 钢管的制作偏差和安装偏差值应符合《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》 T/CECS 188 中的相关规定。
- **8.2.22** 钢管的拼接、开孔、开槽和节点组装,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。
- 8.2.23 钢管运输及现场安装时应避免钢管的附加变形。
- 8.2.24 钢管现场拼接加长时,宜分段反向施焊,并保持对称,管肢对接间隙宜为 0.5mm~2.0mm,具体取值可经试焊确定。应采取有效措施避免或减少焊接残余变形,焊后管肢应保持平直。水平对接焊缝应满足二级焊缝的质量要求。当管壁厚不小于 30mm 时,施焊前宜均匀加热焊缝附近部位,以减少焊接残余应力。
- 8.2.25 预制 UHPC 构件吊运应符合下列规定:
- 1 应根据预制 UHPC 构件的形状、尺寸、重量和作业半径等要求选择吊具和起重设备,所采用的吊具和起重设备及其操作,应符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的规定:
- 2 吊点数量、位置应经计算确定,应保证吊具连接可靠应采取保证起重设备的主钩位置、吊具及构件重心在竖直方向上重合的措施:
 - 3 吊索水平夹角不宜小于 60°, 不应小于 45°;
- 4 应采用慢起、稳升、缓放的操作方式,吊运过程,应保持稳定,不得偏斜、摇摆和扭转,严禁吊装构件长时间悬停在空中:
- 5 吊装大型构件、薄壁构件或形状复杂的构件时,应使用分配梁或分配桁架 类吊具,并应采取避免构件变形和损伤的临时加固措施。
- 8.2.26 预制 UHPC 构件存放应符合下列规定:
 - 1 存放场地应平整、坚实,并应有排水措施;
 - 2 存放库区宜实行分区管理和信息化台账管理;
- 3 应按照产品品种、规格型号、检验状态分类存放,产品标识应明确、耐久, 预埋吊件应朝上,标识应向外;
- 4 应合理设置垫块支点位置,确保预制构件存放稳定,支点宜与起吊点位置 一致;
 - 5 与清水混凝土面接触的垫块应采取防污染措施:
 - 6 预制 UHPC 构件多层叠放时,每层构件间的垫块应上下对齐;

- 7 预制 UHPC 构件宜平放,叠放层数不宜超过 6 层;长期存放时,应采取措施控制预应力构件起拱值和叠合板翘曲变形;
 - 8 预制柱、梁等细长构件宜平放且用两条垫木支撑;
- **9** 预制 UHPC 构件应按其安装的先后顺序编号存放。预制梁、板的存放时间 宜不超过 3 个月,特殊情况下应不超过 5 个月,存放时间超过 3 个月时,应对 梁、板的上拱度值进行检测,当上拱度值过大使梁、板混凝土产生严重开裂时不得使用。
- **8.2.27** 预制 UHPC 构件成品外露钢筋应采取防弯折措施,外露预埋件和连结件等外露金属件应按不同环境类别进行防护或防腐、防锈。
- **8.2.28** 应制定 UHPC 预制构件的成品保护、堆放和运输专项方案,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。对于超高、超宽、形状特殊的部品的运输和堆放应有专门的质量安全保护措施。

8.3 施工安装

- **8.3.1** 装配式混凝土结构施工应制定专项方案。专项施工方案宜包括工程概况、编制依据、进度计划、施工场地布置、预制构件运输与存放、安装与连接施工、绿色施工、安全管理、质量管理、信息化管理、应急预案等内容。
- **8.3.2** 安装施工前,应进行测量放线、设置构件安装定位标识。测量放线应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的有关规定。
- **8.3.3** 钢与超高性能混凝土组合构件安装前应进行施工验算,施工验算应包括但不限于下列内容:
 - 1 构件吊装过程中的变形验算和预制混凝土开裂验算:
 - 2 吊装及安装耳板的承载力验算;
 - 3 吊装用吊具的相关验算;
 - 4 构件临时固定措施的安全验算。
- **8.3.4** 预制构件吊装就位后,应及时校准并采取临时固定措施。预制构件就位校核与调整应符合下列规定:
 - 1 预制钢管竖向构件安装后,应对安装位置、安装标高、垂直度进行校核与

调整:

- 2 预制梁构件等水平构件安装后应对安装位置、安装标高进行校核与调整;
- **3** 水平构件安装后,应对相邻预制构件平整度、高低差、拼缝尺寸进行校核 与调整:
- 4 临时固定措施、临时支撑系统应具有足够的强度、刚度和整体稳固性,应 按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定进行验算。
- **8.3.5** 超高性能混凝土预制构件场地的布置应便于预制超高性能混凝土构件移动、堆放、养护及转场,场地应平整、坚实,设有排水和养护系统。预制台座及场内道路应有足够的承载能力。
- **8.3.6** 超高性能混凝土预制构件在存放场地上宜采用垫木、橡胶板等弹性支撑物 支承应符合设计要求。
- 8.3.7 预制梁安装应符合下列规定:
 - 1 安装顺序官遵循先主梁后次梁、先低后高的原则:
- 2 安装前,应测量并修正临时支撑标高,确保与梁底标高一致,并在柱上弹 出梁边控制线,安装后根据控制线进行精密调整:
- **3** 安装前,应复核柱钢筋与梁钢筋位置、尺寸,节点板与梁中型钢的位置尺寸,对节点位置钢筋和型钢对接位置有冲突的,应按经设计单位确认的技术方案调整:
- 4 安装时梁钢筋焊接至牛腿板上的焊缝尺寸和质量应符合设计要求;梁和柱端牛腿腹板高强螺栓连接与翼缘焊接要符合设计要求;
 - 5 安装就位后应对水平度、安装位置、标高进行检查;
 - 6 预制梁的临时支撑,应在后浇 UHPC 强度达到设计要求后方可拆除。
- **8.3.8** 采用钢筋套筒灌浆连接、钢筋浆锚搭接连接和先栓后焊连接的预制构件施工,应符合下列规定:
- 1 预制型钢 UHPC 梁中伸出的钢筋、型钢应采用专用模具进行定位,并应采用可靠的固定措施控制连接钢筋、型钢的中心位置及外露长度满足设计要求;
- 2 构件安装前应检查预制构件上套筒、预留孔的规格、位置、数量和深度; 当套筒、预留孔内有杂物时,应清理干净;
 - 3 应检查被连接钢筋、高强螺栓的规格、数量、位置和长度。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3mm。连接钢筋和穿插高强螺栓的型钢连接板的中心位置存在严重偏差影响预制构件安装时,应会同设计单位制定专项处理方案,严禁随意切割、强行调整定位钢筋和型钢上的螺栓孔径;

- 4 梁柱刚性连接时,梁腹板用高强度螺栓连接,梁翼缘用焊接。这种接头的施工顺序为,先拧紧腹板上的螺栓,再焊接梁翼缘板的焊缝("先栓后焊")。当钢梁与柱铰连接时,钢梁翼缘与柱翼缘或外隔板无须焊接。
- **8.3.9** 焊接或螺栓连接的施工应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢筋焊接及验收规程》JGJ18 的有关规定。 采用焊接连接时,应采取避免损伤已施工完成的结构、预制构件及配件的措施。
- **8.3.10** 钢与 UHPC 结构后浇 UHPC 和普通混凝土部分的模板与支架应符合下列规定:
 - 1 钢与 UHPC 组合结构官采用工具式支架和定型模板:
 - 2 模板应保证后浇 UHPC 和普通混凝土部分形状、尺寸和位置准确:
 - 3 模板与预制构件接缝处应采取防止漏浆的措施,可粘贴密封条。
- **8.3.11** 钢与 UHPC 组合结构的后浇 UHPC 和普通混凝土部位在浇筑前应按本标准第 9.1.3 条进行隐蔽工程验收。
- 8.3.12 后浇 UHPC 及普通混凝土的施工应符合下列规定:
 - 1 预制构件结合面疏松部分的超高性能混凝土应剔除并清理干净;
- 2 超高性能混凝土分层浇筑高度应符合国家现行有关标准的规定,应在底层超高性能混凝土初凝前将上一层超高性能混凝土浇筑完毕;
 - 3 浇筑时应采取保证超高性能混凝土浇筑密实的措施;
- 4 预制梁、柱混凝土强度等级不同时,预制梁柱节点区混凝土强度等级应符合设计要求;
- 5 混凝土浇筑应布料均衡,浇筑时应对模板及支架进行观察和维护,发生异常情况应及时处理;
- **6** 构件接缝混凝土浇筑应采取措施防止模板、相连接构件、钢筋、预埋件及 其定位件移位。

- **8.3.13** 构件连接部位后浇 UHPC 的强度达到设计要求后,方可拆除临时支撑系统。超高性能混凝土预制构件当测得同期试件抗压强度达到超高性能混凝土设计强度的 40%以上方可脱模。
- **8.3.14** 超高性能混凝土的原材料、配合比设计、超高性能混凝土的拌制、运输、浇筑,应符合现行行业标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216 的相关规定。
- **8.3.15** 钢与超高性能混凝土组合构件的安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定;现场后浇部位的施工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。
- **8.3.16** 钢管超高性能混凝土组合柱的竖向拼接区域和梁的两端区域的后浇UHPC,应先浇筑竖向拼接区域,再浇筑梁的两端区域。竖向拼接区域后浇时间应依据主体结构的施工验算而确定。
- **8.3.17** 钢与超高性能混凝土组合构件后浇 UHPC 经检测存在质量缺陷的部位应立即修复。
- **8.3.18** 项目施工全过程中,应采取防止构件上附件、预埋件、吊件等损伤的保护措施。
- **8.3.19** 钢管内混凝土浇筑施工可参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中的相关规定。
- **8.3.20** 在冬期浇筑钢管内混凝土时,入管混凝土的温度应高于 15℃。当室外气温低于 5℃、高于-10℃时,浇筑混凝土前应加热钢管并包裹覆盖;当室外气温低于-10℃时,钢管外应包裹电热毯保温或在混凝土浇筑时掺入无氯盐防冻剂。
- **8.3.21** 梁柱节点核心区与梁交界面处不应留施工缝。宜采用钢丝网或其它方法做好不同强度等级混凝土交界面的隔挡措施。
- **8.3.22** 对不同期施工的组合柱,应根据设计采用的叠合比确定浇筑钢管外混凝 土楼层的间隔层数。
- **8.3.23** 对不同期施工的组合柱,不宜过早架设钢管外的钢筋笼。架设钢筋笼前应对钢管外壁进行除锈处理。

9 质量与验收

9.1 一般规定

- 9.1.1 钢与超高性能混凝土组合结构施工应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的有关规定进行单位工程、分部工程、分项工程和检验批的划分和质量验收。
- 9.1.2 钢与超高性能混凝土组合结构的型钢(钢管)焊接、螺栓连接、型钢(钢管)制作、型钢(钢管)安装等 4 个分项工程应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 的相关规定进行施工质量验收;混凝土分项工程应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定进行施工质量验收;型钢(钢管)与钢筋连接分项工程应按本规范进行施工质量验收。
- **9.1.3** 钢与超高性能混凝土组合构件连接节点及叠合构件浇筑混凝土前,应进行 隐蔽工程验收。隐蔽工程验收应包括下列主要内容:
 - 1 混凝土粗糙面的质量,键槽的尺寸、数量、位置;
- 2 钢与超高性能混凝土组合构件的焊缝外观质量、超声波探伤检查、焊钉的位置及焊接质量,应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定;
- 3 高强度螺栓连接应符合设计图纸及现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定:
 - 4 钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距,筋弯钩的弯折角度及平直段长度;
- **5** 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、锚固方式及锚固长度;
 - 6 预埋件、预留管线的规格、数量、位置:
 - 7 预制混凝土构件接缝处防水、防火等构造做法;
 - 8 保温及其节点施工;
 - 9 其他隐蔽项目。

- 9.1.4 钢与超高性能混凝土组合结构验收时,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、预制构件制作和安装的深化设计图;
- 2 钢与超高性能混凝土组合构件、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 钢与超高性能混凝土组合构件安装施工记录;
 - 4 后浇 UHPC 部位的隐蔽工程检查验收文件;
 - 5 后浇 UHPC 强度等级检测报告:
 - 6 钢与超高性能混凝土组合结构分项工程质量验收文件;
 - 7 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测;
 - 8 不合格项的处理记录及验收记录;
 - 9 重大质量、技术问题实施方案及验收记录:
 - 10 其他有关文件和记录。
- **9.1.5** 当钢与超高性能混凝土组合结构工程施工质量不符合本规范要求时,应按下列规定进行处理:
 - 1 经返工重做或更换构配件的检验批,应重新进行验收;
 - 2 经有资质的检测单位检测鉴定能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的,但经原设计单位核算认可能够满足结构安全和使用功能的检验批,可予以验收;
- 4 经返修或加固处理的分项、分部工程,虽然改变外形尺寸,尚能满足安全使用要求,可按处理的技术方案和协商文件进行验收。
- 9.1.6 钢与超高性能混凝土组合结构检验批合格质量标准应符合下列规定:
- 1 主控项目应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中合格质量标准的规定;
- 2 一般项目检验结果应有 80%及以上的检验点符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204中合格质量标准的规定,且允许偏差项目中最大偏差值不应超过允许偏差限值的 1.2 倍;

- 3 质量检查记录、质量证明文件等资料应完整。
- 9.1.7 构件制作单位应分别提交产品质量证明及下列技术文件:
 - 1 钢与超高性能混凝土组合结构加工图纸:
 - 2 制作中对问题处理的协议文件:
 - 3 所用钢材、焊接材料、混凝土材料的质量证明书及必要的实验报告;
 - 4 高强度螺栓抗滑移系数的实测报告;
 - 5 焊缝的无损检验记录;
 - 6 发运构件的清单。
- 9.1.8 钢与超高性能混凝土组合结构的外观质量除设计有专门的规定外,尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中钢构件外形尺寸允许偏差的有关规定和现行国家标准《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。
- 9.1.9 钢与超高性能混凝土组合构件的主钢件防腐蚀涂装工程应按国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212、《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB/T 50224 的有关规定进行验收。

9.1.10 钢管及连接材料所用钢材及焊条均应有产品质量证明书,并应满足相关设计要求。

9.2 预制构件

- **9.2.1** 超高性能混凝土原材料进场前,供方应按规定批次向需求方提供质量证明文件,质量证明文件应包括型式检验报告、出厂检验报告和合格证等,纤维及外加剂还应提供使用说明书;超高性能混凝土原材料进场后,应进行现场检验;在施工过程中还应对超高性能混凝土原材料进行抽查。
- 9.2.2 超高性能混凝土的长期性能和耐久性能的试验应符合现行《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的规定。超高性能混凝土的弹性模量、电通量、抗渗性、抗冻性、抗硫酸盐侵蚀性等,在确定施工配合比时,应使用实际生产所用原材料,在实验室内拌制混凝土,制作试样,并按设计要求的性能项目检验一组,在原材料或配合比发生重大变化时应再次检验上述项目。
- 9.2.3 专业企业生产的预制构件,进场时应检查质量证明文件。
 - 1 检查数量: 全数检查;
 - 2 检验方法: 检查质量证明文件或质量验收记录。
- **9.2.4** 型钢与钢筋套筒或连接板连接接头的检验按同一施工条件下采用同一批 材料的同等级、同形式、同规格接头进行。
- 1 检查数量:每一类须在构件加工厂选取 3 个有代表性的试件进行抗拉强度试验:
 - 2 检验方法: 检查产品合格证、试件力学性能进场复验报告。
- 9.2.5 钢筋连接件与钢构件焊接应进行焊接工艺评定。
 - 1 检查数量: 全数检查;
 - 2 检验方法: 检查焊接工艺报告。
- 9.2.6 专业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下列规定:
- 1 梁板类简支受弯预制构件进场时应进行结构性能检验,结构性能检验应符合国家现行有关标准的有关规定及设计的要求,检验要求和试验方法应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的有关规定;
 - 2 预制构件应进行承载力、挠度和裂缝宽度检验:

- 3 对使用数量较少的构件, 当能提供可靠依据时, 可不进行结构性能检验:
- 4 对多个工程共同使用的同类型预制构件,结构性能检验可共同委托,其结果对多个工程共同有效。
- **9.2.7** 预制构件的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;主钢件外形和几何尺寸的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。
 - 1 检查数量: 全数检查:
 - 2 检验方法:观察、尺量:检查处理记录。
- 9.2.8 超高性能混凝土原材料进场检验和工程中的抽检项目应符合下列规定:
 - 1 钢纤维抽检项目应包括抗拉强度、弯折性能、尺寸偏差和杂质含量;
- 2 其他原材料抽检项目应符合现行国家标准《混凝土质量验收标准》GB 50164 相关规定。

条文说明:

本条规定了超高性能混凝土原材料的抽检项目,对于钢纤维抽检项目中抗拉 强度、弯折性能、尺寸偏差和杂质含量的检测方法可依据现行国家标准《活性粉 末混凝土》GB/T31387确定。本条规定了超高性能混凝土原材料的检验批量,由 于超高性能混凝土的骨料为石英砂和石英粉,粒径较小,本规程按矿物拌合物的 同样要求规定骨料的检验批量。本条规定了超高性能混凝土原材料的质量评定依 据。

- 9.2.9 超高性能混凝土原材料的检验规则应符合下列要求:
 - 1 用于同一工程的同品种和同规格的钢纤维,应按 20t 为一个检验批;
- 2 散装水泥应按每500t为一个检验批,袋装水泥应按每200t为一个检验批; 其他胶凝材料、矿物拌合物及骨料应按200t为一个检验批;
 - 3 外加剂应按 50t 为一个检验批;
- 4 不同批次或非连续供应的超高性能混凝土原材料,在不足一个检验批量的情况下,应按同品种和同规格(或等级)材料每批次检验一次。

- **9.2.10** 钢筋连接套筒与钢板的焊缝尺寸、栓钉与钢板的焊缝尺寸应满足设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的要求焊脚尺寸的允许偏差应为 0mm~2mm。
- 9.2.11 钢筋与连接板的搭接电弧焊接头,应符合下列规定:
 - 1 焊缝表面应平整,不得有凹陷或焊瘤;
 - 2 焊接接头区域不得有肉眼可见的裂纹;
- **3** 钢筋与连接板搭接焊接接头尺寸偏差及缺陷允许值,应符合表 9.2.11 的规定;
 - 4 检查数量: 全数检查;
 - 5 检验方法:观察,钢尺检查。

表 9.2.11 钢板孔径及垂直度的允许偏差 (mm)

| 项目 | | 允许偏差 | |
|-------------------|----|-----------------|---------------|
| 接头处弯折角 | | | 3.0 |
| 接头处钢筋轴线的位移 | | | 0.1 <i>d</i> |
| 焊缝厚度 | | | +0.05d |
| 焊缝宽度 | | | +0.1 <i>d</i> |
| 焊缝长度 | | | -0.3 <i>d</i> |
| 横向咬边深度 | | | 0.5 |
| 在长 2d 焊缝表面上的气孔及夹渣 | 数量 | 个 | 2 |
| 任长 2d 拜维衣面上的【九及天但 | 面积 | mm ² | 6 |

9.2.12 钢板制孔后,宜清除孔周边的毛刺、切屑等杂物,孔壁应光滑,应无裂纹和大于 1.0mm 的缺棱。其孔径及垂直度的允许偏差应符合表 9.2.12 中的规定。

表 9.2.12 钢板孔径及垂直度的允许偏差 (mm)

| 项目 | 允许偏差 |
|-----|-----------------|
| 直径 | +2.0 |
| 垂直度 | 0.03t 且不应大于 2.0 |

注: t 为钢板厚度。

- **9.2.13** 钢筋孔孔距、钢筋连接套筒间距、连接钢板中心位置的允许偏差应符合表 9.2.13 的规定。
 - 1 检查数量: 按钢构件数量抽查 10%, 且不应少于 3件;
 - 2 检验方法: 用钢尺检查。

表 9.2.13 钢筋孔孔距、钢筋连接套筒间距、连接钢板中心位置的允许偏差(mm)

| 项目 | 允许偏差 |
|----------|------|
| 钢筋孔孔距 | ±2.0 |
| 钢筋连接套筒间距 | ±2.0 |
| 连接钢板中心位置 | ±2.0 |

9.2.14 钢管的制作偏差不应大于表 9.2.14 规定的允许偏差值。钢管的制作长度不应有负偏差。

表 9.2.14 钢管制作允许偏差

| 偏差名称 | 示意图 | 允许偏差值 |
|-------|-------|----------------------------|
| 纵向弯曲 | | f=1/1000 和 f=10mm 取较小 值 |
| 椭圆度 | d f | f/d=3/1000 |
| 管端不平度 | d | f/d=l/500 和 f=3mm 取较小 值 |

9.3 安装施工

- **9.3.1** 预制构件临时固定措施应符合设计、专项施工方案要求及国家现行有关标准的规定。
 - 1 检查数量: 全数检查;
 - 2 检验方法: 观察检查, 检查施工方案、施工记录或设计文件。
- **9.3.2** 对设计文件或合同中要求的其它检验项目,其试验方法应符合国家现行有 关标准的规定,没有标准的应按设计文件或合同规定执行。

条文说明:

超高性能混凝土可用于建筑、公路桥梁及其他建筑行业,工程验收应执行相关国家和行业标准。超高性能混凝土工程质量应满足现行国家及行业标准和施工项目设计文件提出的各项要求。混凝土结构施工的验收综合性强、牵涉面广,不仅有原材料方面的内容(如水泥、钢筋等),尚有半成品、成品方面的内容。也与其他施工技术和质量评定方面的标准密切相关,因此,凡本规程有规定者,应遵照执行,凡本规程无规定者,尚应按照有关现行标准的规定执行。当有不合格的项目出现时,应组织专家进行专项评审并提出处理意见,专家意见作为验收文件的一部分备案。

- **9.3.3** 钢与超高性能混凝土装配式组合结构采用后浇 UHPC 连接时,构件连接处后浇 UHPC 的强度应符合设计要求。
 - 1 检查数量: 按批检验;
- 2 检验方法: 应符合现行国家标准《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的有关规定。
- 9.3.4 钢与超高性能混凝土组合构件中的混凝土结构性能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 的有关规定。需要做结构性能检验的应提供检验报告;不需要做结构性能检验的可提供监理监造时的有关质量验收记录。
- 9.3.5 钢与超高性能混凝土组合结构节点区的钢筋采用焊接连接时,钢筋焊接接头质量应满足设计文件的要求,并应符合现行行业标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

- **9.3.6** 钢与超高性能混凝土组合构件采用焊接连接时,钢材焊接的焊缝尺寸应满足设计文件的要求,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。
- 9.3.7 钢与超高性能混凝土组合构件采用螺栓连接时,螺栓的材质、规格、拧紧力矩应符合现行国家标准《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。施工时应逐个检查螺栓的拧紧力矩,并做好施工记录。
- **9.3.8** 钢与超高性能混凝土组合结构中,节点区后浇混凝土的选用及强度、收缩性指标应符合设计文件的规定。
- 9.3.9 钢管的安装偏差不应大于表 9.3.9 规定的允许偏差。

序号 检查项目 允许偏差 1 立柱中心线和基础中心线 ±5mm 立柱顶面标高和设计标高 ±10mm, 中间层±20mm 2 3 立柱顶面不平度 ±5mm 长度的 1/1000, 且不大于 15mm 立柱不垂直度 4 立柱之间的距离 间距的 1/1000 5 长度的 1/1000, 且不大于 20mm 6 立柱上下两平面相应对角线差

表 9.3.9 钢管安装允许偏差

9.3.10 钢管内混凝土的浇筑质量,一般构件或部位可采用敲击钢管法进行检查, 重要构件或部位宜采用超声波法进行检测。对于混凝土不密实的部位,应采用局 部钻孔压浆法进行补强,并应将钻孔补焊封闭。

用词说明

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"。
- 5 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为"应按……执行"或"应符合……的规定(要求)"。非必须按所指定标准执行时,写法为"可参照……执行"。

引用标准名录

- 《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
- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《工程测量规范》GB 50026
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212
- 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901
- 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB/T 50224
- 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
- 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 《厚度方向性能钢板》GB/T 5313
- 《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231
- 《部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》T/CECS 719
- 《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188
- 《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216
- 《超高性能混凝土(UHPC)技术要求》T/CECS 10107
- 《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864《活性粉末混凝》GB/T 31387

《纤维混凝土结构技术规程》CECS 38 《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216

《预制混凝土构件尺寸允许偏差标准》T/CCES 30

中国工程建设标准化协会标准

钢与超高性能混凝土组合构件应用技术规程

T/CECS xxx-2019

条文说明

制定说明

本规程《钢与超高性能混凝土组合构件应用技术规程》制定过程中,编制组进行了钢与超高性能混凝土组合结构的相关研究,总结了我国钢与超高性能混凝土组合构件的实践经验,通过型钢 UHPC 组合梁及钢管 UHPC 组合柱等试验取得了钢与超高性能混凝土组合梁、柱构件的相关技术成果。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《钢与超高性能混凝土组合构件应用技术规程》时能正确理解和执行条款规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目次

| 1 | 总则 | | X |
|---|------|----------------------|-----|
| 2 | 术语和 | 口符号 | X |
| | 2.1 | 术语 | X |
| | 2.2 | 符号 | X |
| 3 | 基本規 | 观定 | X |
| 4 | 材料 | | X |
| | 4.1 | 钢材 | X |
| | 4.2 | 钢筋 | |
| | 4.3 | 超高性能混凝土 | X |
| | 4.4 | 其他材料 | X |
| 5 | 型钢! | U HPC 空心组合梁设计 | X |
| | 5.1 | 一般规定 | X |
| | 5.2 | 承载力计算 | X |
| | 5.3 | 裂缝宽度验算 | X |
| | 5.4 | 挠度验算 | X |
| | 5.5 | 构造措施 | X |
| 6 | 钢管 1 | U HPC 组合柱设计 | X |
| | 6.1 | 一般规定 | X |
| | 6.2 | 承载力计算 | X |
| | 6.3 | 构造措施 | X |
| 7 | 连接设 | 设 计 | X |
| | 7.1 | 一般规定 | X |
| | 7.2 | 组合柱与组合梁连接 | X |
| | 7.3 | 组合梁与组合梁连接 | X |
| | 7.4 | 梁板连接 | X |
| | 7.5 | 柱脚连接 | X |
| 8 | 制作与 | ヺ施工 | X |
| | 8.1 | 一般规定 | X |
| | J. I | (3/1/U/C | 2 1 |

| | 8.2 | 生产运输 | X |
|---|-----|------------|---|
| | 8.3 | 施工安装 | X |
| 9 | 质量与 | ラ验收 | X |
| | 9.1 | 一般规定 | X |
| | 9.2 | 预制构件 | X |
| | 93 | 安装施丁 | X |