

ICS 91.100.40  
CCS Q 14

JC

# 中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXXX—202X

## 超高性能混凝土（UHPC）非承重构件 应用技术规范

Technical Code for application of non-structural components with ultra-high  
performance concrete

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2024 年 3 月)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 前 言

根据工业和信息化部办公厅《工业和信息化部办公厅关于印发 2022 年第二批行业标准制修订和英文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2022〕158 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规范。

本规范主要技术内容是 1.总则；2.术语和符号；3.材料；4.建筑设计；5.结构设计的基本规定；6.UHPC 构件结构设计；7.制作加工；8.安装施工；9.验收；10.维护与保养。

本规范由中国建筑材料联合会负责管理，由中国建筑材料科学研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国建筑材料科学研究总院有限公司（地址：北京市朝阳区管庄东里 1 号，邮政编码：100024）。

本规范主编单位：xxx

本规范参编单位：xxx

本规范主要起草人：xxx

本规范主要审查人：xxx

# 目 次

1 总则 .....	3
2 术语和符号.....	4
2.1 术语 .....	4
2.2 符号 .....	5
3 材料 .....	11
3.1 一般规定.....	11
3.2 UHPC 构件 .....	11
3.3 金属材料.....	13
3.4 建筑密封材料.....	14
3.5 其他材料.....	14
4 建筑设计.....	15
4.1 一般规定.....	15
4.2 性能与检测要求.....	15
4.3 建筑构造设计.....	17
4.4 UHPC 构件的构造与连接设计 .....	18
4.5 防火与防雷设计.....	25
5 结构设计的基本规定.....	27
5.1 一般规定.....	27
5.2 材料力学性能.....	29
5.3 荷载与作用.....	35
5.4 作用效应组合.....	39
5.5 连接设计.....	42
5.6 承载力极限状态设计.....	44
5.7 抗裂验算.....	47
5.8 锚固承载力计算.....	48
6 UHPC 构件结构设计 .....	54
6.1 UHPC 平板结构设计 .....	54
6.2 UHPC 带肋板结构设计 .....	56
6.3 UHPC 背附钢架板结构设计 .....	60
7 制作加工.....	65
7.1 一般规定.....	65
7.2 原材料储存.....	65
7.3 材料拌和.....	65
7.4 UHPC 构件制作 .....	66
7.5 养护与脱模.....	67
7.6 金属构件加工.....	68
7.7 检验 .....	68

7.8 搬运和堆放.....	69
8 安装施工.....	71
8.1 一般规定.....	71
8.2 运输和现场堆放.....	71
8.3 施工准备.....	72
8.4 安装施工.....	73
8.5 安装质量要求.....	74
9 验收 .....	76
9.1 一般规定.....	76
9.2 进场验收.....	76
9.3 隐蔽工程验收.....	76
9.4 竣工验收.....	77
10 维修与保养.....	79
10.1 一般规定.....	79
10.2 检查与维修.....	79
10.3 清洗和保养.....	79
附录 A 耐候钢强度设计值.....	81
附录 B 钢结构连接强度设计值.....	82
附录 C 预埋件设计 .....	84
附录 D UHPC 构件结构设计 .....	87
附录 E UHPC 外墙分项工程验收表.....	93
本规范用词说明.....	95
引用标准名录.....	96
附：条文说明.....	98

# 1 总则

**1.0.1** 为提高超高性能混凝土非承重构件（以下简称 UHPC 构件）工程应用技术水平，促进 UHPC 构件在工程中应用的科学化、规范化，做到技术先进、安全可靠、适用美观和经济合理，保证工程质量，制定本规范。

**条文说明：1.0.1** 超高性能混凝土（UHPC）具有优异力学性能及耐久性，自上世纪 90 年代以来成为国际研发热点，发达国家已在建筑、桥梁、隧道、铁路、核反应堆等领域应用；90 年代末，我国相继开展 UHPC 研究，其制备技术和基本性能研究持续加速并取得明显成效。目前 UHPC 主要应用于两大领域：（1）承重结构，如建筑结构和桥梁结构中作为承载结构的柱及梁等；（2）非承重构件，如建筑物或构筑物外立面等非承重部位或园艺景观装饰等构件，尤以大量应用于工业建筑与公共建筑中的 UHPC 外墙板、UHPC 装饰制品为主。本规范主要针对 UHPC 非承重构件在工业与民用建筑或建设工程中的共性通用应用技术进行规范。

**1.0.2** 本规范适用于建筑物与构筑物用 UHPC 构件的材料选用、建筑与结构设计、制作加工、安装施工、验收及维修与保养。

**条文说明：1.0.2** 本条文规定了本规范的适用范围。UHPC 外墙板或装饰制品虽然不承担主体建筑物的荷载，但其自身要承受风荷载、地震作用和温湿度变化等，设计时要考虑风荷载、地震作用、温度和湿度变化对它产生的影响。

为使 UHPC 外墙板或装饰制品在建筑工程中应用具有足够的安全性，应对其材料选用、建筑与结构设计、制作加工、安装施工、验收，以及维修与保养进行规定。

**1.0.3** UHPC 构件在工程中的应用除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**条文说明：1.0.3** 凡国家现行标准中已有明确规定的，本规范原则上不再重复。在材料选用、设计、制作、安装施工及质量验收中除应符合本规范的要求外，尚应满足国家现行有关标准的规定。在采用国内外相关的配套专用技术时，应符合标准化管理的有关规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

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

以水泥和矿物掺合料等活性粉末材料、细骨料、外加剂、高强度微细钢纤维和（或）有机/无机纤维、颜料、水等原料生产的超高强增韧混凝土。简称 UHPC。

#### 2.1.2 UHPC 非承重构件 UHPC non-structural component

以 UHPC 材料采用浇注、挤出、压制或喷射等工艺工厂化预制而成的用于建筑物或构筑物非承重部位、或用于园艺景观装饰等的超高强增韧混凝土构件。简称 UHPC 构件。按成型工艺和主要增强纤维种类的不同，UHPC 构件分为：以浇注工艺、钢纤维为主要增强纤维制成的构件，简称钢纤维 UHPC 构件；以浇注、挤出或压制工艺、有机/无机纤维为主要增强纤维制成的构件，简称有/无机纤维 UHPC 构件；以喷射工艺、耐碱玻璃纤维为主要增强纤维制成的构件，简称耐碱玻纤 UHPC 构件。

**条文说明：2.1.2** 本术语在定义 UHPC 构件的同时增加了按不同成型工艺和不同主要增强纤维制成的目前市场上常用的三种 UHPC 构件（钢纤维 UHPC 构件、有/无机纤维 UHPC 构件、耐碱玻纤 UHPC 构件），目的是便于后续各章节中对以上三种 UHPC 构件进行规定时统一术语。

#### 2.1.3 UHPC 外墙板 UHPC panel for exterior wall

以 UHPC 材料采用浇注或喷射等工艺工厂化预制而成的非承重超高强增韧混凝土外墙板。

#### 2.1.4 UHPC 装饰制品 UHPC decorative products

以 UHPC 材料采用浇注、挤出、压制或喷射等工艺工厂化预制而成的非承重超高强增韧混凝土装饰制品，如装饰板、镂空装饰构件、装饰柱、镂空窗、花盆、水池、园艺品、艺术小品等。

#### 2.1.5 UHPC 外墙 UHPC exterior wall

由 UHPC 构件和支承结构体系组成的，可相对主体结构有一定位移能力，不分担主体结构所受作用的建筑外围护结构或装饰性结构。

#### 2.1.6 UHPC 带肋板 UHPC ribbed panel

在 UHPC 板背面四周或需要加强的部位制作有 UHPC 加强肋的 UHPC 板。包括 UHPC 单层肋板、UHPC 夹芯肋板和各种 UHPC 装饰构件等。

#### 2.1.7 UHPC 背附钢架板 UHPC stud frame panel

将 UHPC 面板、预埋螺栓锚杆（或其他形式的柔性锚固件）和钢框架等在工厂按设计要求一次预制完成的 UHPC 板。

#### 2.1.8 柔性锚杆 flex anchor

用来连接 UHPC 面板和背附钢架的锚固件。通常做成 90 拐弯的钢筋件，UHPC 面板制作时将柔性锚杆脚趾端预埋其中，面板材料硬化后，柔性锚杆另一端与背附钢架柔性连接。用来传递横向的风荷载和地震荷载，允许在和面板垂直的方向上有一定的转动自由度。

#### 2.1.9 预埋螺栓锚杆 embedded anchor

用来连接 UHPC 面板和背附钢架的锚固件。UHPC 面板制作时将螺栓套筒预埋其中，面板材料硬化后，通过配套螺栓一端与预埋螺栓套筒连接，另一端与背附钢架相连接。常用来传递横向的风荷载和地震荷载，允许在和面板垂直的方向上有一定的活动自由度。

#### 2.1.10 重力锚杆 gravity anchor

连接 UHPC 面板和背附钢架的金属件，位置通常靠近 UHPC 面板底部，用来承担整个面板的重量。

#### 2.1.11 粘结盘 bonding pad

为了固定锚固件而在 UHPC 构件结构层上额外堆起的一块 UHPC 材料，一般用在背附钢架 UHPC 构件上。

#### 2.1.12 背附钢架 stud frame

具有结构功能的金属框架，通过锚杆（或其他形式的锚固件）支承 UHPC 构件，并与主体结构相连接。

#### 2.1.13 表面防护材料 surface protection coating

用于改善 UHPC 构件表面耐污、防水、耐久性能的材料。

#### 2.1.14 试验板/块 test board/ block

为了评价 UHPC 材料或者 UHPC 构件的性能而成型的平板/试块。试验板/块应与构件同环境条件、相同配合比、相同成型工艺、相同养护方式的条件下制作而成。

## 2.2 符号

### 2.2.1 材料力学性能

$D$ ——UHPC 外墙板刚度；

$E$ ——弹性模量；

$f_{AUK}$ ——UHPC 材料老化后的抗拉强度标准值；

$f_c$ ——轴心抗压强度设计值；

$f_{ce}$ ——耐候钢承压强度；

$f_{ck}$ ——混凝土轴心抗压强度标准值；

$f_{cuk}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；

$f_{Mk}$ ——UHPC 材料抗弯强度标准值；

$f_s$ ——钢材抗拉强度；

$f_{stk}$ ——钢材的抗拉强度标准值；

$f_t$ ——轴心抗拉强度设计值；

$f_{tek}$ ——UHPC 抗拉弹性极限强度标准值；

$f_{tk}$ ——UHPC 抗拉强度标准值；

$f_v$ ——耐候钢抗剪强度；

$f_y$ ——钢筋抗拉强度设计值；

$f_{yk}$   $f_{s0.2k}$ ——钢材的屈服强度标准值；

$f_a$ ——铝合金型材的强度设计值；

$f_{LK}$ ——UHPC 材料比例极限强度标准值；

$\gamma_{gr}$ ——材料的重力密度；

$\nu$ ——材料的泊松比；

$\sigma_s$ ——耐候钢屈服强度；

$\sigma_t$ ——轴拉应力；

$\sigma_{ts}$ ——UHPC 构件的温度应力值；

### 2.2.2 作用与作用效应及承载力

$F_{cd}$ ——UHPC 锥体破坏受拉承载力设计值；

$F_{ck}$ ——UHPC 锥体破坏受拉承载力标准值；

$F_t$ ——单个试件的锚固受拉承载力；

$F_k$ ——锚固受拉承载力标准值；

$F_{sd}$ ——锚栓钢材破坏受拉承载力设计值；

$F_{sk}$ ——锚栓（或锚杆）钢材破坏受拉承载力标准值；

$F_{spk}$ ——UHPC 劈裂破坏受拉承载力标准值；

$\bar{F}$ ——试件锚固受拉承载力平均值；

$G_k$ ——UHPC 构件（包括 UHPC 构件和钢架）的重力荷载标准值；

$M$ ——弯矩设计值；

$M_{c1}$ 、 $M_{c2}$ 、 $M_{T1}$ 、 $M_{T2}$ 、 $M_{T3}$ ——I 形截面受弯构件截面各区域应力合力对中性轴的力矩；

$M_{Mk}$ ——按材料抗弯强度标准值  $f_{Mk}$  计算的弯矩标准值；

$M_{Lk}$ ——无筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值；

$M_s$ ——配筋 UHPC 构件截面弯矩承载力设计值；

$M_{sk}$ ——配筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值；



$M_k$ ——加强肋按重力荷载或风荷载或地震作用计算的弯矩标准值；  
 $N$ ——法向拉力或法向压力设计值；  
 $N_E$ ——有地震作用效应的基本组合拉力设计值；  
 $N_d$ ——荷载按基本组合计算的锚固拉力设计值；  
 $P_{ek}$ ——平行于 UHPC 构件面板平面的集中水平地震作用标准值；  
 $Q_{cd}$ ——UHPC 边缘破坏受剪承载力设计值；  
 $Q_{ck}$ ——UHPC 边缘破坏受剪承载力标准值；  
 $Q_{cpk}$ ——UHPC 剪撬破坏受剪承载力标准值；  
 $Q_i$ ——单个试件的锚固受剪承载力；  
 $Q_k$ ——锚固受剪承载力标准值；  
 $Q_{sd}$ ——锚栓钢材破坏受剪承载力设计值；  
 $Q_{sk}$ ——锚栓钢材破坏受剪承载力标准值；  
 $\bar{Q}$ ——该批试件锚固受剪承载力平均值；  
 $q_k$ ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值；  
 $q_{Gk}$ ——UHPC 平板重力荷载标准值沿垂直于板面方向的分量；  
 $R$ ——抗力设计值；  
 $R_y$ ——UHPC 构件抗裂承载力设计值；  
 $S$ ——荷载和作用效应设计值；  
 $S_E$ ——地震作用效应和其他荷载效应组合设计值；  
 $S_{EK}$ ——地震作用效应标准值；  
 $S_{GK}$ ——永久荷载效应标准值；  
 $S_{TMK}$ ——温湿度作用效应标准值；  
 $S_{WK}$ ——风荷载作用效应标准值；  
 $S_y$ ——荷载效应设计值；  
 $V$ ——剪力设计值；  
 $V_d$ ——荷载锚固剪力设计值；  
 $V_E$ ——有地震作用效应的基本组合剪力设计值；  
 $w_0$ ——基本风压；  
 $W_{min}$ ——加强肋截面受拉区边缘弹性抵抗矩；  
 $\delta$ ——构件在荷载标准值作用下产生的挠度值；

$\delta_{\text{lim}}$  —— 挠度限值；  
 $\varepsilon_c$  —— UHPC 压应力为  $\sigma_c$  时对应的压应变；  
 $\varepsilon_{co}$  —— 承载力极限状态下，UHPC 受压弹性极限应变；  
 $\varepsilon_{cu}$  —— 承载力极限状态下，UHPC 受压极限压应变；  
 $\varepsilon_t$  —— 轴拉应变；  
 $\varepsilon_{t0}$  —— 承载力极限状态下的轴拉弹性极限应变；  
 $\varepsilon_{tu}$  —— 承载力极限状态下的截面拉区边缘极限拉应变；  
 $\sigma$  —— 构件截面应力设计值；  
 $\sigma_c$  —— UHPC 压应力；  
 $\sigma_k$  —— UHPC 平板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值；  
 $\sigma_r$  —— UHPC 构件截面开裂应力设计值；  
 $\omega_k$  —— 风荷载标准值。

### 2.2.3 几何参数

$A$  —— UHPC 构件平面面积；  
 $A_s$  —— 受拉区纵向钢筋截面面积；  
 $a_s$  —— 纵向受拉钢筋合力点到截面受拉区边缘的距离；  
 $b$  —— 构件截面宽度或截面腹板宽度；  
 $b_f$  —— 翼缘宽度；  
 $b'_f$  —— 受压区翼缘宽度；  
 $d$  —— 钢筋（锚筋）直径；  
 $h$  —— 构件面板厚度或截面高度；  
 $h_0$  —— 截面有效高度；  
 $h_f$  —— 受拉区翼缘高度；  
 $h'_f$  —— 受压区翼缘高度；  
 $l_a$  —— 受拉钢筋锚固长度；  
 $l_m$  —— 区格内面板短边净跨；  
 $l_n$  —— 板区格长边净跨；  
 $l_x$  —— UHPC 平板支承点间短边边长；

$l_y$ ——UHPC 平板支承点间长边边长；

$t$ ——钢材厚度；

$x$ ——截面受压区高度；

$\xi_b$ ——相对界限受压区高度。

#### 2.2.4 系数及其他

$K$ ——UHPC 强度衰减系数；

$k$ ——地震作用下锚固承载力降低系数；

$m$ ——弯矩系数；

$n$ ——样本容量；

$S_N$ ——试件锚固受拉承载力样本方差；

$S_V$ ——试件锚固受剪承载力样本方差；

$t_\alpha$ ——学生氏函数；

$\alpha_l$ ——材料的线膨胀系数；

$\alpha$ ——I 形截面拉区弹性区域高度系数；

$\alpha_1$ ——等效矩形应力图形应力系数；

$\alpha_b$ ——锚板弯曲变形折减系数；

$\alpha_E$ ——钢筋与 UHPC 材料弹性模量比；

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值；

$\alpha_r$ ——锚筋层数影响系数；

$\alpha_s$ ——锚筋的外形系数；

$\alpha_v$ ——锚筋受剪承载力系数；

$\beta$ ——I 形截面拉区塑性区域高度系数；

$\beta_E$ ——动力放大系数；

$\beta_{gz}$ ——阵风系数；

$\gamma$ ——截面抵抗矩塑性影响系数；

$\gamma_A$ ——锚固连接的重要性系数；

$\gamma_{cN}$ ——UHPC 锥体破坏受拉承载力分项系数；

$\gamma_{cV}$ ——UHPC 边缘破坏受剪承载力分项系数；

$\gamma_{cpV}$ ——UHPC 剪撬破坏受剪承载力分项系数；

$\gamma_E$  ——地震作用分项系数；  
 $\gamma_G$  ——永久荷载分项系数；  
 $\gamma_g$  ——UHPC 材料抗裂分项系数；  
 $\gamma_m$  ——UHPC 材料分项系数；  
 $\gamma_0$  ——UHPC 构件及其他结构构件重要性系数；  
 $\gamma_R$  ——UHPC 构件锚固承载力分项系数；  
 $\gamma_{RE}$  ——承载力抗震调整系数；  
 $\gamma_{sN}$  ——锚栓钢材破坏受拉承载力分项系数；  
 $\gamma_{spN}$  ——UHPC 劈裂破坏受拉承载力分项系数；  
 $\gamma_{sV}$  ——锚栓钢材破坏受剪承载力分项系数；  
 $\gamma_{TM}$  ——温湿度作用分项系数；  
 $\gamma_U$  ——分项系数；  
 $\gamma_w$  ——风荷载分项系数；  
 $\eta_k$  ——与构件尺寸和制造工艺相关的系数；  
 $\eta_{hU}$  ——纤维分布方向上构件厚度的影响系数；  
 $\mu$  ——挠度系数；  
 $\mu_{sl}$  ——风荷载局部体型系数；  
 $\mu_z$  ——风压高度变化系数；  
 $\rho$  ——带肋板加强肋钢筋配筋率；  
 $\varphi_w$  ——风荷载作用组合值系数；  
 $\varphi_E$  ——地震作用组合值系数；  
 $\varphi_{TM}$  ——温湿度作用组合值系数。

## 3 材料

### 3.1 一般规定

**3.1.1** UHPC 外墙材料应满足结构安全性、耐久性和环境保护等要求。

**3.1.2** UHPC 外墙应采用燃烧性能满足设计要求的材料，并应符合消防规定。

**3.1.3** UHPC 外墙用材料，均应具有产品合格证、质量保证书及相关性能检测报告。

### 3.2 UHPC 构件

**3.2.1** UHPC 构件的外观质量应符合下列规定：

**1** UHPC 构件边缘应整齐；外观面不应有缺棱掉角。UHPC 外墙板沿边长度 3m 内缺棱掉角不应多于 1 处，每处不应大于 20mm；UHPC 装饰制品外观面 1m 处目测不应有裂纹、蜂窝麻面和飞边毛刺，3m 处目测应无明显色差；

**2** UHPC 构件侧面接缝部位不应有孔洞；表面孔洞的长度不应大于 3mm、深度不应大于 2mm，且孔洞不应多于 1 处/m<sup>2</sup>；

**3** UHPC 构件表面有特殊装饰效果要求时可由供需双方确定。

**3.2.2** UHPC 构件的尺寸允许偏差应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 尺寸允许偏差

项目	允许偏差	检验方法
长度	长度 $\leq 2\text{m}$ 时，允许偏差： $\pm 2\text{mm/m}$ ； 长度 $> 2\text{m}$ 时，总的允许偏差： $\leq 4\text{mm}$	尺量检验
宽度/高度	宽度/高度 $\leq 2\text{m}$ 时，允许偏差： $\pm 2\text{mm/m}$ ； 宽度/高度 $> 2\text{m}$ 时，总的允许偏差： $\leq 4\text{mm}$	尺量检验
厚度	$0\text{mm} \sim + 2\text{mm}$	尺量检验
直径（仅适用于圆形构件）	$\pm 2\text{mm/m}$	尺量检验
平整度（仅适用于平面构件）	$\leq 3\text{mm}$ ，异形构件或有特殊表面装饰效果要求时除外	尺量检验
对角线差（仅适用于矩形构件）	面积 $< 2\text{m}^2$ 时，对角线差： $\leq 3\text{mm}$ ； 面积 $\geq 2\text{m}^2$ 时，对角线差： $\leq 5\text{mm}$	尺量检验
侧向弯曲（仅适用于平面构件）	允许偏差： $1\text{mm/m}$ ，且 $\leq 8\text{mm}$	拉线尺量检验

扭翘（仅适用于平面构件）	允许偏差：1mm/m，且 $\leq 10\text{mm}$	拉线尺量检验
注：其他异形构件尺寸允许偏差可由供需双方确定。		

3.2.3 UHPC 构件的物理力学性能应符合下列规定：

- 1 UHPC 抗压强度不应小于 120 MPa；
- 2 UHPC 构件物理力学性能应符合表 3.2.3 的规定。

表 3.2.3 物理力学性能指标

性能	指标要求		
	钢纤维 UHPC 构件	有/无机纤维 UHPC 构件	耐碱玻纤 UHPC 构件
抗弯比例极限强度/MPa $\geq$	13.0	12.0	11.0
抗弯极限强度/MPa $\geq$	20.0	12.0	22.0
抗冲击强度/ (kJ/m <sup>2</sup> ) $\geq$	24.0	9.0	15.0
体积密度（干燥状态）/ (g/cm <sup>3</sup> ) $\geq$	2.4	2.2	2.2
吸水率/% $\leq$	2.0	2.5	2.5
抗冻性	冻融循环 200 次后，无起层、剥落等破坏现象		
收缩率/% $\leq$	0.06		
锚杆拉拔力/kN $\geq$	10.0		
预埋螺栓套筒拉拔力/kN $\geq$	10.0		
注：构件构造不含锚杆或预埋螺栓套筒时，锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力不作要求。其他连接方式由供需双方确定。			

3.2.4 UHPC 构件的物理力学性能检测方法应符合下列规定：

- 1 检测试件若采用自然养护，龄期不应小于 28d；若采用蒸汽养护，龄期不应小于 7d。
- 2 抗压强度检测方法应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定进行。其中加载速率应为 1.2MPa/s~1.4MPa/s；尺寸换算系数应取 1.0；试件应为与产品同环境条件、相同配合比（不含纤维）、相同成型工艺、相同养护方式制作的尺寸 100mm×100mm×100mm 的立方体试件，数量应为 3 块。
- 3 抗弯比例极限强度、抗弯极限强度、抗冲击强度、收缩率、锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力检测试件制备及检测方法应按现行国家标准《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》GB/T 15231 的规定进行。其中抗弯加载速率应为 0.5mm/min。
- 4 体积密度、吸水率、抗冻性检测方法应按现行国家标准《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》GB/T 15231 规定进行。其中试件应从产品上切割，试件切割部位距离产品边缘不

应小于 100mm；测量试件干燥状态的质量时，试件干燥时长应为 48h；测量试件饱水状态的质量时，试件浸水时长应为 48h；抗冻性检测宜采用自动冻融试验方法。

**条文说明：3.2.1~3.2.4** 主要内容参考了现行标准《超高性能混凝土（UHPC）外墙板》T/CBMF 171 和《超高性能混凝土（UHPC）装饰制品》T/CBMF 172。

UHPC 构件表面有特殊装饰效果要求时，如剔凿、重度喷砂或水洗、岩石起伏面效果等，外观质量由供需双方确定。

为了考查 UHPC 构件产品的真实性能，体积密度、吸水率、抗冻性的检测用试件直接由产品上切割，不再从试验板上切割。此三项性能指标对试件的形状没有特别的要求，异形试件同样可行。

在体积密度和吸水率检测时，因 UHPC 构件结构致密，测量试件干燥状态质量时，干燥时间 24h 难以达到平衡，试验测试至干燥 96h 仍有质量缓慢下降，为统一试验方法本规范规定试件干燥时长为 48h。同理，测量试件饱水状态的质量时，试件浸水时长规定为 48h。

UHPC 构件抗冻性要求冻融循环为 200 次，以人工方法进行抗冻性试验，因试验周期长，人为因素易造成试验误差。本规程推荐使用自动冻融方法进行抗冻性试验。

### 3.3 金属材料

**3.3.1** UHPC 外墙选用的金属支承结构材料应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T699、《碳素结构钢》GB/T700 或《铝合金建筑型材》GB/T5237 的规定。

**3.3.2** UHPC 背附钢架用轻型钢、结构型钢或铝合金型材预制，其材质应符合国家现行相关标准的规定或设计要求。

**3.3.3** 紧固件规格应根据计算确定，应具有足够的承载力和可靠性，螺栓、锚栓、铆钉等紧固件应分别符合国家现行有关标准的规定。

**3.3.4** UHPC 构件中的预埋件应采取防腐处理或采用不锈钢材质，严禁采用预埋钢筋代替预埋件。

**条文说明：3.3.4** UHPC 构件常用的预埋件包括预埋套筒、螺栓或扁钢，钢筋代替预埋件存在较严重的后期安全隐患。

**3.3.5** 焊接材料应符合国家现行相关标准的规定，所选用的焊条型号应与金属结构材料相匹配。

**3.3.6** UHPC 外墙用钢材（UHPC 带肋板中的纵向受拉钢筋除外）必须采取防腐蚀措施，背附钢架及连接件宜采用整体热浸镀锌，镀锌层厚度应符合设计要求，镀锌质量应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T13912 的规定，镀锌层破坏后应涂刷富锌涂料。

**条文说明：3.3.6** UHPC 外墙用钢材指 UHPC 构件用背附钢架及各类连接件、与主体结构连接的支承结构。UHPC 带肋板中的纵向受拉钢筋按现行国家标准《混凝土结构设计规范》

GB/T 50010 规定设计时具有足够的混凝土保护层，材料性能符合该规范要求即可，见本规范第 4.4.3 条。

### 3.4 建筑密封材料

**3.4.1** UHPC 外墙用建筑密封材料应符合国家现行相关标准的规定及设计要求。

**3.4.2** 结构密封胶应符合现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776 的规定；建筑密封胶应符合国家现行标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T14683、《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T881、《石材用建筑密封胶》GB/T23261 或《聚氨酯建筑密封胶》JC/T482 的规定。密封胶条应符合国家现行相关标准的规定。

**3.4.3** 在使用密封胶时，应符合材料制造商关于产品使用及接缝尺寸限制书面说明的要求。

**3.4.4** UHPC 外墙中采用密封胶时，应符合下列规定：

- 1 密封胶应与 UHPC 面板材料具有良好的相容性，并不应产生影响饰面效果的污染；
- 2 建筑密封胶的位移能力不应低于 25 级。

### 3.5 其他材料

**3.5.1** UHPC 外墙用表面防护材料应符合国家现行有关产品标准的规定及设计要求。宜选用混凝土专用防护剂，防水性应大于 50%，耐污染等级应达到 1 级。

**条文说明：3.5.1** 防水性及耐污染性能指标及测试方法参考标准《建筑装饰用天然石材防护剂》JC/T 973-2005 附录 A 和附录 B。

**3.5.2** UHPC 外墙用保温材料应符合国家现行有关标准的规定及设计要求。在设计及制作 UHPC 构件时，可将聚苯板、硬泡聚氨酯、岩棉、泡沫玻璃等保温材料复合在 UHPC 面板中，形成复合保温一体化产品；加入其他隔声、隔热或加强作用的各种填充材料应符合国家相关标准和设计要求。

**3.5.3** UHPC 外墙用锚固胶性能应符合现行行业标准《混凝土结构工程用锚固胶》JG/T340 的规定。



## 4 建筑设计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** UHPC 外墙建筑设计应根据建筑物的使用功能、周围环境、建筑设计要求、技术经济分析，合理选择确定。

**4.1.2** UHPC 外墙的空间形状、表面造型、质感及色彩应符合建筑立面设计要求，还应与当前的制造工艺水平相适应。

**4.1.3** UHPC 外墙的分格尺寸、建筑构造、接缝与连接等应满足建筑设计要求。

**条文说明：4.1.1~4.1.3** 通常 UHPC 外墙建筑设计是由建筑设计单位和 UHPC 生产施工单位共同完成的。设计单位主要完成 UHPC 外墙的立面设计和建筑构造设计；UHPC 生产施工单位主要完成 UHPC 外墙的具体深化设计工作。UHPC 外墙的空间形状、表面造型、质感、色彩、分格尺寸、建筑构造及接缝等是 UHPC 外墙建筑设计的主要内容。上述各要素的设计确定不仅要考虑满足建筑物的使用功能，与周围环境相协调，以及经济适用等基本要求，并与当前的制造工艺水平相适应。

**4.1.4** UHPC 外墙设计应对 UHPC 构件表面提出防护处理要求，应便于维护、清洁和更换。

**条文说明：4.1.4** UHPC 外墙在长期使用过程中会出现表面被污染及各种因素造成的破坏等，因此设计时需考虑使用过程中的维护、清洁和必要时进行更换等。

### 4.2 性能与检测要求

**4.2.1** UHPC 外墙的性能设计应根据建筑物的类别、高度、体型和建筑物所在地的地理、气候、环境等条件综合分析确定。

**条文说明：4.2.1** UHPC 外墙的性能要求与建筑物的类别、高度及体形有关。如建筑物的性质及重要性不同，对 UHPC 外墙的性能要求也不同；还有建筑物高度及体形的不同，对 UHPC 外墙的抗风压变形性能要求也会不同。另一方面，UHPC 外墙性能要求还与建筑物所在地的地理、气候、环境等条件相关。如沿海或台风多发地区，UHPC 外墙的抗风压变形性能和抗雨水渗漏性能要求会比较高；又如寒冷地区和炎热地区则要求 UHPC 外墙的保温隔热性能会更高一些。

**4.2.2** UHPC 外墙的抗压性能应满足在风荷载标值作用下，其变形不超过本规范规定值，且不发生任何破坏。

**条文说明：4.2.2** UHPC 外墙的抗风压性能是指在其风荷载作用下，保持正常使用功能、不发生任何损坏的能力。UHPC 外墙的抗风压性能根据现行国家标准《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227 所规定的方法确定。

**4.2.3** UHPC 外墙及其围护结构的气密性能指标不应大于  $1.2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，并应符合相关建筑节能设计标准的要求。

**条文说明：4.2.3** UHPC 外墙及其围护结构的气密性能是根据现行国家标准《建筑幕墙空气渗透性能检测方法》GB/T15226 的规定确定的。UHPC 外墙及其围护结构的气密性能是指在风压作用下，阻止空气透过 UHPC 外墙及其围护结构的性能。对于由 UHPC 构件、空气层、防水隔汽层、保温层及剪力墙（或填充墙）等组成的 UHPC 外墙及其围护结构，其 UHPC 外墙的气密性一般不作要求。

**4.2.4** UHPC 外墙的水密性能应符合设计要求。

**条文说明：4.2.4** 对于具有水密性能设计要求的 UHPC 外墙，其接缝构造、密封材料及施工工艺等需满足相应水密性能指标的设计要求。开放式 UHPC 外墙的水密性能一般不作规定。

**4.2.5** UHPC 外墙的平面内变形性能设计应符合下列规定：

- 1 当进行非抗震设计时，应按主体结构弹性层间位移角限值确定；
- 2 当进行抗震设计时，应按主体结构弹性层间位移角限值的 3 倍确定。

**条文说明：4.2.5** UHPC 外墙平面内变形，是由于建筑物受风荷载或地震作用后，建筑物各层间发生相对位移时产生的随动变形。这种平面内变形对 UHPC 外墙造成的损害不容忽视。UHPC 外墙平面内变形性能，应根据是否需要进行抗震设计提出不同要求。

根据国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的规定，在风荷载或多遇地震作用下，主体结构楼层最大弹性层间位移角限值如表 1。层间位移角即楼层层间位移与层高的比值。

**表 1 楼层弹性层间位移角限值**

结构类型	弹性层间位移角限值
钢筋混凝土框架	1/500
钢筋混凝土框架-剪力墙、框架-核心筒、板柱-剪力墙	1/800
钢筋混凝土筒中筒、剪力墙	1/1000
钢筋混凝土框支层	1/1000
多、高层钢结构	1/300

**4.2.6** UHPC 外墙及其围护结构的传热系数应按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB50176 的规定确定，并满足国家现行标准《公共建筑节能设计标准》GB50189、《居住建筑节能检验标准》JGJ132、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ134、《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ26 或《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ75 的要求。

**4.2.7** UHPC 外墙耐撞击性能应满足设计要求。人员流动密度大或青少年、幼儿活动的公共建筑的 UHPC 外墙板，耐撞击性能指标不应低于《建筑幕墙》GB/T21086 的相应规定。

**4.2.8** UHPC 构件应能承受自重和设计时规定的各种附件的重量，并应能可靠地传递到主体

结构。在自重标准值作用下，水平受力构件在单块面板两端跨距内的最大挠度不应超过该面板两端跨距的 $l/500$ 。

**4.2.9 UHPC 外墙及其围护结构的隔声性能设计应根据建筑物的使用功能和环境条件设计确定。**

**条文说明：4.2.9** 不同功能的建筑所允许的噪声等级根据现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB50118的规定确定。外墙的隔声性能为室外噪声级和室内允许噪声级之差。

**4.2.10 UHPC 外墙的性能检测项目，应包括抗风压性能，必要时可增加平面内变形和其他性能检测。**

**条文说明：4.2.10** 由于抗风压性能是所有 UHPC 外墙应具备的基本性能（不含开放式 UHPC 外墙），因此是必要检测项目。有抗震要求时，增加平面内变形性能检测。有保温、隔声等要求时，增加相应的检测项目。

**4.2.11 UHPC 外墙的性能检测，试件的材质、构造、安装施工方法应与实际工程相同。**

**4.2.12 UHPC 外墙性能检测中，当安装缺陷使某项性能未达到规定要求时，允许在改进安装工艺，修补缺陷后重新检测。检测报告中应叙述改进的内容，施工时应按改进后的安装工艺实施；当设计或材料缺陷导致外墙性能检测未达到规定值域时，应停止检测，修改设计或更换材料后，方可重新制作试件，另行检测。**

**条文说明：4.2.12** UHPC 外墙性能检测中，由于安装施工的缺陷，使某项性能未达到规定要求的情况时有发生，这种缺陷有可能弥补，故允许对安装施工工艺进行改进，修补缺陷后重新检测，以节省人力、物力，但要求检测报告中说明改进的内容。

## 4.3 建筑构造设计

**4.3.1 UHPC 外墙的建筑构造设计，应满足安全、适用、绿色、美观的原则，还应便于制作、安装、维修保养和局部更换。**

**4.3.2 UHPC 外墙工程应选用具有防潮性能或采取隔汽、防潮构造措施的保温材料。保温材料应符合国家现行的防火相关标准的规定。**

**条文说明：4.3.2** 保温材料受潮后，其保温性能会显著下降，所以保温材料应具有防潮性能或采取有效的防潮措施。保温材料的保温性能和防火性能是保温材料的基本性能指标，按国家现行相关标准的规定设计选用。

**4.3.3 UHPC 外墙工程设计，应有防止雨水渗入保温层内的构造措施；对于檐口、阳台及其他凸出部位，应有雨水导排措施。**

**条文说明：4.3.3** 接缝通常采用材料防水或材料防水加构造防水的形式。檐口等凸出部位推荐加装集中排水装置，防止屋面雨水渗入保温层。

**4.3.4 UHPC 外墙构件连接部位应有防止构件间摩擦产生噪声的措施。**

**条文说明：4.3.4** 通常在连接部位的摩擦面设置柔性垫片是为了避免 UHPC 构件在连接

处产生摩擦噪声；对于销槽连接形式，通常在销槽内采用弹性胶灌注处理。

**4.3.5** 不同金属材料相接触部位，应设置绝缘衬垫或采取其他有效的防腐措施。

**条文说明：4.3.5** 不同金属相互接触处，易产生双金属腐蚀，所以要求设置绝缘垫片或采取其他防腐措施。在通常情况下，不锈钢材料不易产生双金属腐蚀，一般不要求设置绝缘垫片。

**4.3.6** UHPC 外墙的立面分格尺寸应根据建筑物的设计风格，UHPC 构件的自身特点以及构件的制造成本，运输安装条件等因素综合考虑确定。

**条文说明：4.3.6** UHPC 外墙的立面分格缝优先考虑设置在建筑阴角、装饰造型阴角和滴水线及便于安装并不影响美观的部位。对于较小的窗洞尺寸，一般采用整板内预留窗洞的方法解决。对于较大尺寸的窗洞，往往按结构位移最小原则分缝。

**4.3.7** UHPC 构件的接缝宽度应能满足自身的变形和移位要求。

**条文说明：4.3.7** UHPC 构件的接缝有一定宽度，以满足 UHPC 构件的正常变形和位移要求。通常情况下，UHPC 构件的接缝宽度参照下列公式计算：

对于拼接胶缝：

$$W_b = \frac{A}{\delta} + B + C \quad (1)$$

对于开放式接缝：

$$W_b = B + C \quad (2)$$

式中： $W_b$ ——接缝宽度（mm）；

$A$ ——UHPC 构件在一年内因温湿度变化可能产生的位移量（mm）；

$\delta$ ——密封胶的位移能力（%）；

$B$ ——UHPC 构件的制造误差，可取 3mm；

$C$ ——考虑地震作用等其他因素影响的预留量（mm），取不小于 2mm。

## 4.4 UHPC 构件的构造与连接设计

**4.4.1** UHPC 平板构造应符合下列要求：

1 UHPC 平板厚度不应小于 25mm，高层建筑、重要建筑及临街建筑的 UHPC 平板厚度不宜小于 30mm；

2 采用四点支承的单块 UHPC 平板的面积不宜大于 1.5m<sup>2</sup>；

3 UHPC 平板的锚固构造可采用预埋方式或后锚固方式，且其有效锚固深度应不小于板厚的 1/2；当采用后锚固方式时，应采用背栓或短槽后置挂件等锚固形式，且锚固件与 UHPC 板在锚固处应采用锚固胶胶接处理。

4 UHPC 平板边缘与支承点间的距离应小于支承点间距的 1/2；

5 采用短槽后置挂件锚固连接的 UHPC 平板，其平板外墙高度不宜大于 24m。

**条文说明：4.4.1** 为了确保 UHPC 平板结构及锚固的安全可靠，同时还考虑到 UHPC 平板没有加强肋，易产生变形。为此，本规范参考石材的厚度要求，对 UHPC 平板的最小厚度做出了规定。

当前，UHPC 平板的安装施工通常是在已完成的结构墙（或填充墙）外侧采用插装的工艺进行 UHPC 平板的安装。在这种工况和工艺条件下，UHPC 平板采用四点支承并限制板面积为  $1\text{m}^2$  范围是合理的；对于其他安装工况，安装工艺或 UHPC 平板的变形很小的情况下，UHPC 平板的支承点数及板面面积不受上述限制。

**4.4.2 UHPC 带肋板的结构构造应符合下列规定：**

1 UHPC 带肋板的面板厚度不应小于 10mm；

2 UHPC 带肋板肋的截面尺寸应按结构计算确定。当采用单层肋截面时，肋高不应小于 30mm，肋宽不应小于 20mm；当采用夹芯肋时，肋高不应小于 70mm，肋截面厚度不应小于 10mm。

**条文说明：4.4.2** 板的四周通常优先考虑作为加强肋的设置部位，预埋连接件或安装开槽位置优先考虑加强肋部位。

**4.4.3 配筋 UHPC 带肋板的构造设计宜以构件截面中性轴为界，沿外边缘距中性轴最远的一侧配置纵向受拉钢筋，钢筋的保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定。**

**条文说明：4.4.3** 按现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定混凝土结构中的普通钢筋设置的混凝土保护层厚度应符合：（1）满足普通钢筋与混凝土共同工作性能要求；（2）满足混凝土构件的耐久性能及防火性能要求；（3）不应小于普通钢筋的公称直径，且不应小于 15mm。

**4.4.4 UHPC 背附钢架板的构造要求应符合下列规定：**

1 UHPC 面板厚度应按结构计算确定，且厚度不应小于 10mm；UHPC 面板的支承间距应按结构计算确定；面板边缘与相邻支承点间的间距应小于支承间距的 1/2；面板边缘应制作具有足够抵抗板边变形的加强肋。

2 背附钢架的龙骨间距应与面板支承间距一致，龙骨截面尺寸应按结构计算确定。

3 UHPC 面板与背附钢架应采用预埋螺栓锚杆或柔性锚杆连接，其连接构造应能保证面板受到的垂直于板面的荷载可靠地传递到背附钢架上，且使面板与背附钢架沿平行于板面方向具有满足设计要求的相对位移能力。

4 UHPC 面板与背附钢架间应设置重力锚杆。重力锚杆的连接构造应能使 UHPC 面板自重可靠地传递到背附钢架上；重力锚杆的数量应由结构计算确定，但不应少于柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的列数。

**条文说明：4.4.4** 为了保证 UHPC 构件边缘具有足够抵抗变形的能力，UHPC 构件边缘通

常制作加强肋，加强肋截面尺寸推荐按图 1 设计制作。

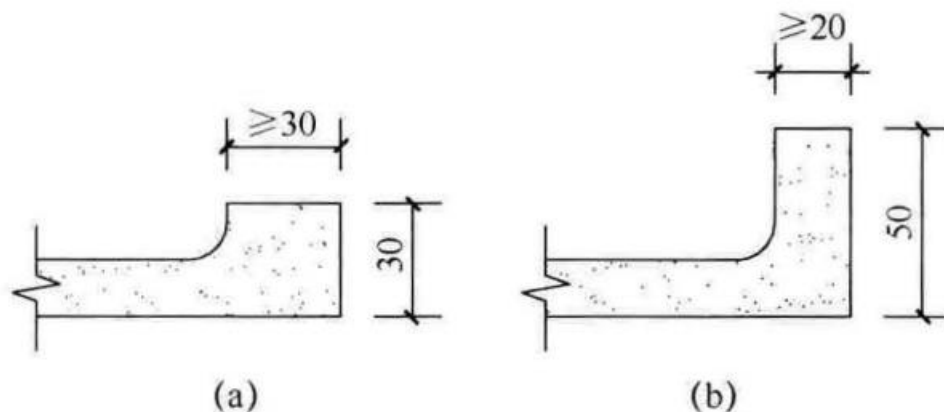


图 1 面板边缘加强肋截面尺寸示意

UHPC 材料相对于混凝土而言，具有较显著的湿度效应。因此 UHPC 面板与背附钢架间的连接避免采用刚性连接形式，而应采用柔性连接形式。柔性连接推荐按如下构造要求设计：

- 1 预埋螺栓锚杆或 L 形柔性锚杆采用热镀锌钢筋或不锈钢材料制作；
- 2 柔性锚杆相互平行且水平排列，脚趾方向指向面板几何中线，锚杆脚部上端紧贴钢架竖龙骨靠近面板中线一侧连接（图 2）；

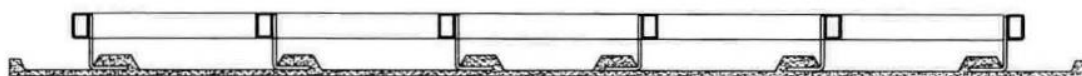


图 2 柔性锚杆排列方向示意

3 预埋螺栓锚杆或 L 形柔性锚杆与面板采用预埋方式锚固。制作时，覆盖在预埋螺栓套筒或 L 形锚杆脚部的粘结盘与 UHPC 面板均处于初凝前的塑性状态，工艺上保证两者紧密结合。

4 锚杆与钢架竖龙骨的连接一般采用铰接或其他铆接形式。铰接或铆接中心位于锚杆腿部轴线上(图 3)。

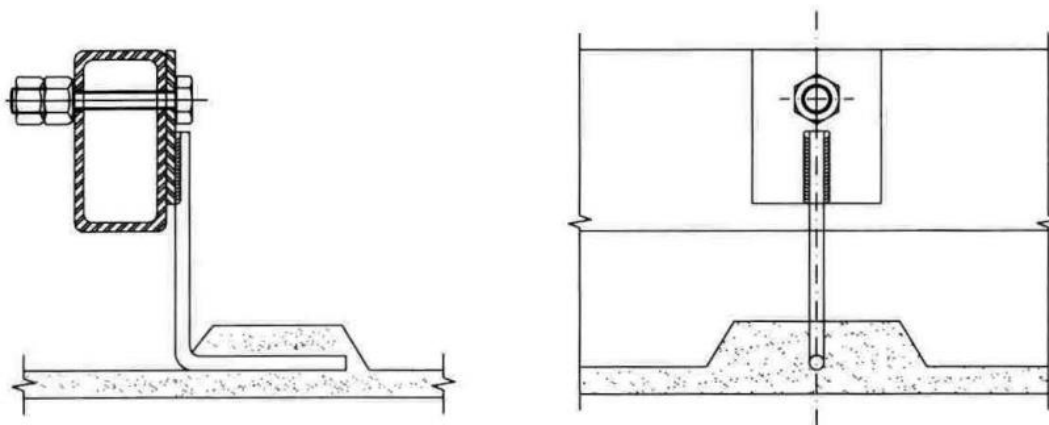
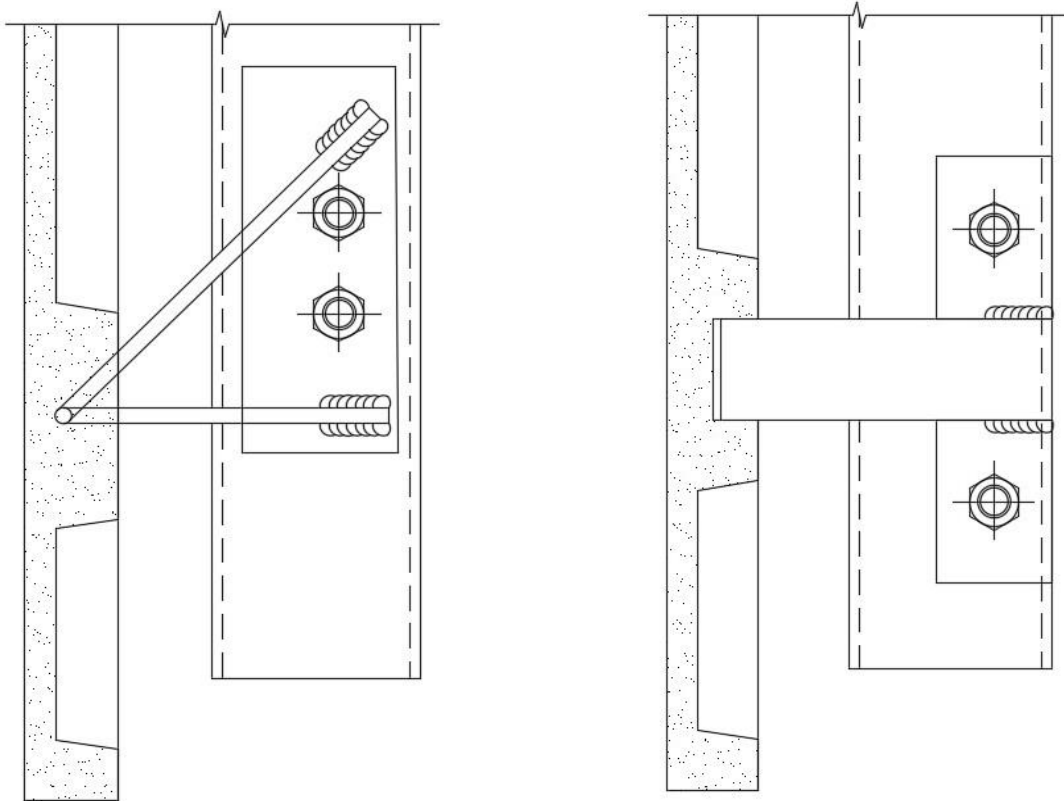


图 3 L 形锚杆与钢架的铰接构造示意

5 UHPC 面板的重力通过重力锚固件传递到钢架上。重力锚固通常由一对与钢架呈三角形排列的锚杆组成，其结构形式如图 4(a)所示。当锚杆重力锚固件受结构尺寸限制时，其重力锚固构造形式也可采用预埋柔性钢板的构造形式，如图 4(b)。重力锚固件的数量由结构计算确定，但不少于柔性锚杆的列数；重力锚固件设置于面板底部，且位于同一水平位置。



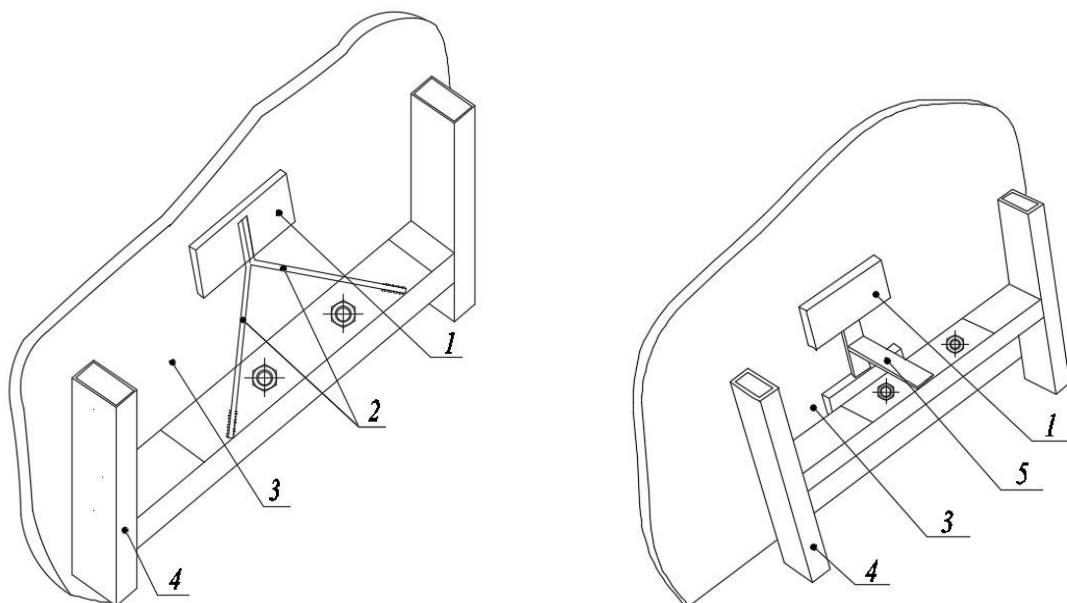
(a) 预埋成对柔性锚杆组成的重力锚固构造 (b) 预埋柔性扁钢的重力锚固构造

图 4 UHPC 面板重力锚固构造形式示意

**4.4.5** 对于地震设防地区，当对 UHPC 背附钢架板有抗震锚固构造设计要求时，抗震锚固构造设计应符合下列规定：

- 1 抗震锚固件应设置于面板的重心位置；
- 2 抗震锚固件沿水平方向应能承受面内水平地震作用；沿垂直方向应具有足够的相对于主体结构的位移能力；
- 3 抗震锚固的构造尺寸应按锚固抗剪试验实测确定。

**条文说明：4.4.5** 抗震锚固构造一般采用呈等腰三角形布置的锚杆结构或采用水平设置的柔性钢板结构形式(图 5)。



(a) 预埋锚杆抗震构造

(b) 预埋柔性钢板抗震构造

图 5 抗震锚固的构造形式示意

1—UHPC 粘结盘；2—抗震锚杆；3—UHPC 面板；4—背附钢架；5—抗震柔性钢板

#### 4.4.6 UHPC 构件与主体结构或支承结构应采用柔性连接，且应符合如下规定：

1 对主体结构允许误差、UHPC 构件制作误差及施工安装误差等具有三维可调适应能力；对于双曲面异形板，还应具有多自由度可调适应能力；

2 对 UHPC 构件与主体结构间因温湿度作用产生的相对变形或位移具有适应能力；且应将这种温湿度作用在 UHPC 构件内产生的应力控制在设计允许的范围內；

3 应满足 UHPC 构件平面内变形性能的需求。

**条文说明：**4.4.6 柔性连接一方面保证 UHPC 构件能将其受到的各种荷载可靠地传递到主体结构上，同时还能使 UHPC 构件自身相对于主体结构具有足够相对位移能力，以避免因主体结构变形而承受过大的变形或因 UHPC 构件自身变形而产生过大的应力。为满足上述基本要求，UHPC 构件与主体结构(或支承结构)可参考采用如图 6~图 11 所示的连接构造形式。



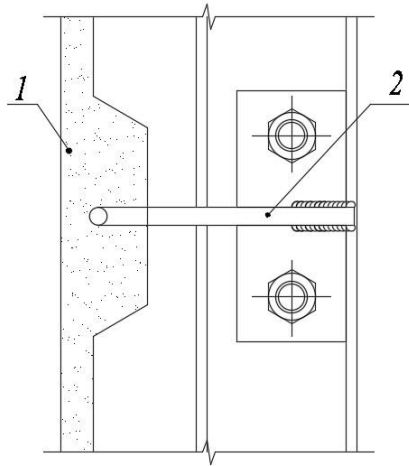


图6 柔性锚杆连接构造形式示意

1—UHPC 构件；2—柔性锚杆

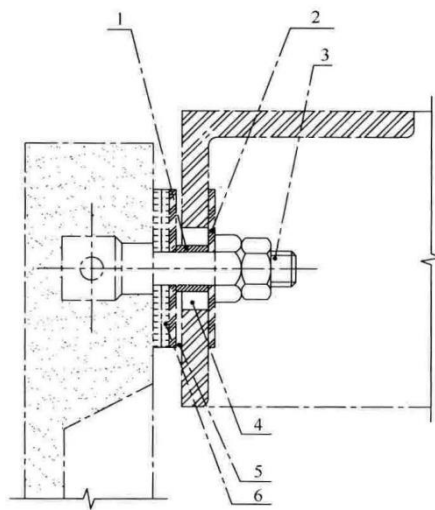


图7 控制间隙的摩擦连接构造形式示意

1—衬管；2—大垫片；3—连接螺杆；4—过大孔(预留位移)；5—间隙；6—马蹄形垫片

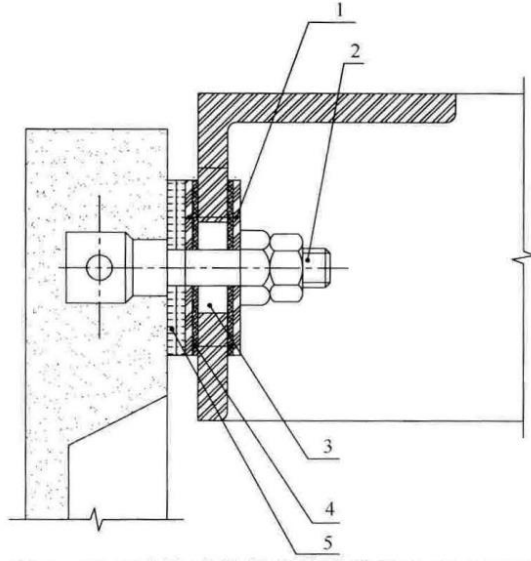


图8 降低摩擦系数的摩擦连接构造形式示意

1—大垫片；2—连接螺杆；3—过大孔(预留位移)；4—滑移片；5—马蹄形垫片

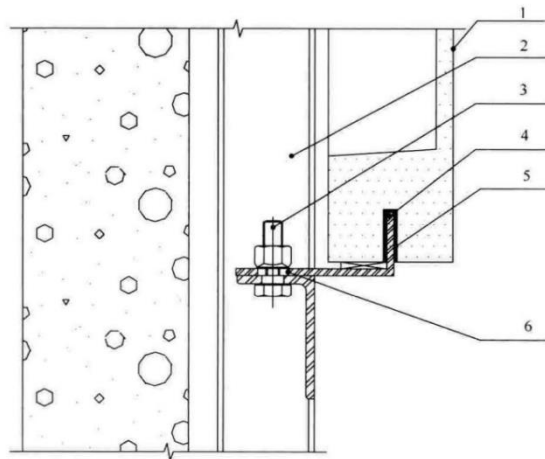


图9 短槽挂件支承连接构造形式示意

1—UHPC 构件；2—立柱；3—螺杆、垫片；4—托件；5—胶粘剂；6—过大孔(预留位移)

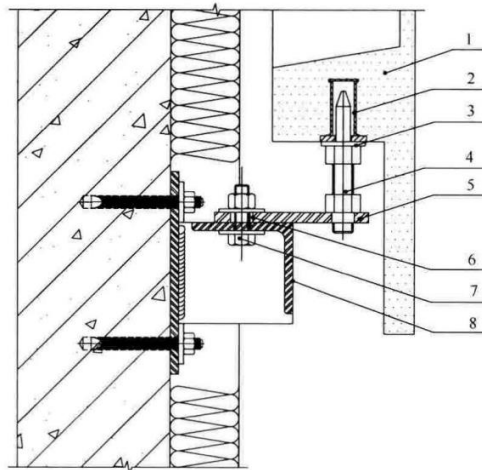


图 10 预埋短槽升降销支承连接构造形式示意

1—UHPC 构件；2—短槽预埋件；3—大垫圈；4—升降销；5—托板；6—长孔(预留位移)；  
7—热镀锌螺母、螺杆、大垫圈；8—牛腿

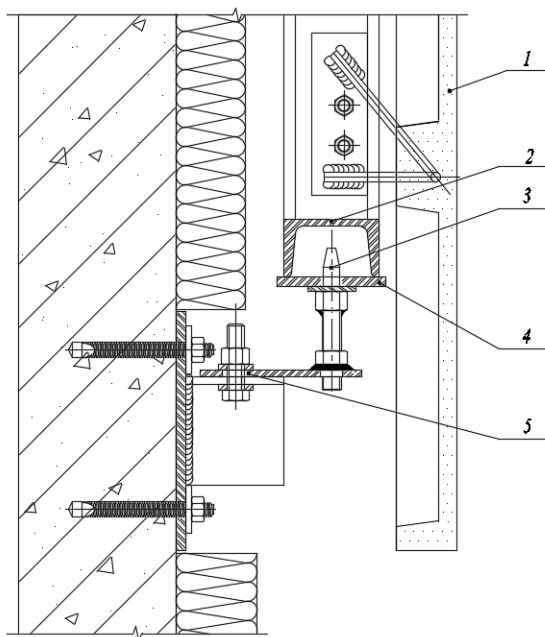


图 11 钢制槽孔升降销支承连接构造形式示意

1—UHPC 背附钢架板；2—背附钢架；3—升降销；4—短槽连接板；5—长孔(预留位移)

## 4.5 防火与防雷设计

**4.5.1** UHPC 外墙工程的防火设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定；

**4.5.2** UHPC 构件与周边防火分隔构件间的缝隙和与实体墙面洞口边缘间的缝隙，应进行防火封堵设计。

**条文说明：4.5.2** 防火封堵是目前建筑设计中应用比较广泛的防火隔烟方法。通过对上述各部位的缝隙填塞不燃材料或由此形成的系统，可达到防止火焰和高温烟气在建筑内部扩散的目的。

**4.5.3** UHPC 外墙工程的防火封堵构造系统，在正常使用条件下，应具有伸缩变形能力、密封性和耐久性；在遇火状态下，应在规定的耐火极限内，不发生开裂或脱落。

**条文说明：4.5.3** 耐久性、变形能力、稳定性是防火封堵材料或系统的基本要求，根据缝隙的宽度、缝隙的性质(如是否发生伸缩变形等)、相邻构件材质、周边其他环境因素以及设计要求综合考虑合理选用。一般而言，缝隙大、伸缩率大、防火等级高，则对防火封堵材料或系统的要求越高。

**4.5.4** UHPC 外墙工程防火封堵构造系统的填充料及其保护性面层材料，应采用不燃烧材料。

**4.5.5** UHPC 构件与各层楼板、隔墙外沿间的缝隙应进行防火封堵设计。当采用岩棉或矿棉

封堵时，其厚度不应小于 100mm，并应填充密实；楼层间水平防烟带的岩棉宜采用厚度不小于 1.5mm 的镀锌钢板或者不锈钢板承托；承托板与主体结构、外墙结构及承托板之间的缝隙宜填充防火密封材料。

**4.5.6** 同一件 UHPC 构件，不宜跨越建筑物的两个防火分区。

**条文说明:4.5.6** 为了避免两个防火分区因 UHPC 构件破裂而相通,造成火势迅速蔓延,规定同一 UHPC 构件不宜跨越两个防火分区。

**4.5.7** UHPC 外墙工程的防雷设计应符合国家现行标准《建筑防雷设计规范》GB 50057 和《民用建筑电气设计规范》JGJ/T 16 的有关规定。外墙的金属框架应与主体结构的防雷体系可靠连接，连接部位应清除非导电保护层。

## 5 结构设计的基本规定

### 5.1 一般规定

**5.1.1** UHPC 外墙应按围护结构设计,设计时主要计算重力荷载、风荷载、设防裂度地震作用和温湿度作用。

**5.1.2** UHPC 外墙应具有足够的承载力、抗裂性、刚度、稳定性和相对于主体结构的位移能力。

**条文说明: 5.1.1~5.1.2** UHPC 外墙是建筑物的围护结构,只承受自身重力荷载和作用其上的风荷载、地震作用以及温湿度作用等,不分担主体结构承受的荷载和地震作用。为此,UHPC 构件与主体结构间应具有一定的相对位移能力,以免当主体结构因外荷载作用产生变形时,使 UHPC 构件产生不能承受的内力和变形。UHPC 构件通常为薄壁结构,一旦出现开裂,极易产生贯穿性裂缝而影响结构的安全度和装饰效果,因此,UHPC 构件在正常使用条件下还应有优良的抗裂性。对于抗震设计的 UHPC 外墙,在多遇地震作用下,UHPC 外墙不允许破坏,应保持完好;在设防裂度地震作用下,UHPC 外墙不会发生严重破坏,一般允许局部破碎,经修理后可继续使用;在罕遇地震作用下,UHPC 外墙发生破坏严重,面板破碎,但骨架不会发生脱落,倒塌现象。

**5.1.3** UHPC 外墙结构应按弹性方法计算作用效应,并按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定计算作用效应组合。

**条文说明: 5.1.3** 在通常情况下,UHPC 构件在弹性范围内工作,因此,其内力与变形按弹性方法分析计算。但对于短期使用的 UHPC 构件,当进行承载力设计时,其应力可能在比例极限强度以上的塑性区段,此种情况下,UHPC 构件的内力和变形根据具体受力情况,按其他非线性方法分析计算。

UHPC 外墙结构设计应区分是否有抗震要求。对于非抗震设防地区,只需考虑风荷载、重力荷载以及温湿度作用;对于抗震设防地区,除考虑上述荷载和作用外,还需考虑地震作用。

**5.1.4** UHPC 外墙结构构件的承载力极限状态设计应符合下列规定:

1 无地震作用效应组合时,承载力应符合下式要求:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.1.4-1)$$

2 有地震作用效应组合时,承载力应符合下式要求:

$$S_E \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.1.4-2)$$

式中  $S$  ——荷载效应按基本组合的设计值;

$S_E$  ——地震作用效应和其它荷载效应按基本组合的设计值;

$R$ ——UHPC 板及其它结构构件的承载力设计值；

$\gamma_0$ ——UHPC 板及其它结构构件重要性系数，应取不小于 1.0；

$\gamma_{RE}$ ——UHPC 板及其它结构构件承载力抗震调整系数，取 1.0。

**5.1.5** 对于正常使用极限状态，荷载应按标准组合，UHPC 构件应验算抗裂承载力和挠度，其他结构构件应验算挠度，并应符合下列规定：

1 UHPC 构件抗裂承载力应符合下式要求：

$$S_r \leq R_r \quad (5.1.5-1)$$

式中  $S_r$ ——荷载效应标准组合的设计值；

$R_r$ ——UHPC 构件抗裂承载力设计值；

2 UHPC 构件及其他结构构件的挠度应符合下式的要求：

$$\delta \leq \delta_{\text{lim}} \quad (5.1.5-2)$$

式中  $\delta$ ——UHPC 构件及其他结构构件在风荷载标准值作用下，或在风荷载标准值和永久荷载标准值共同作用下产生的挠度值；

$\delta_{\text{lim}}$ ——挠度限值；

3 双向受弯的构件，两个方向的挠度应分别符合公式(5.1.7-2) 的规定。

**条文说明：5.1.4~5.1.5** UHPC 外墙根据实际受力情况分别计算自重荷载、风荷载、地震作用以及温湿度作用。承载力极限状态设计时，考虑作用效应的基本组合。正常使用极限状态设计时，考虑作用效应的标准组合，UHPC 构件除与其他结构构件一样需进行挠度验算外，还需进行抗裂承载力验算。本规范公式(5.1.4-1)、公式(5.1.4-2)和公式(5.1.5-1)分别为承载力设计表达式和抗裂设计表达式的通用形式，作用效应设计值  $S$ 、 $S_e$ 和  $S_r$ ，可以是内力，也可以是应力；抗力设计值  $R$ 和  $R_r$ ，可以是承载力设计值，也可以是材料强度设计值。

**5.1.6** 根据锚固连接破坏后果的严重程度，UHPC 构件的预埋锚固设计或后锚固设计应按表 5.1.6 的规定确定相应的安全等级，且不应低于 UHPC 构件自身的安全等级。

**表 5.1.6 预埋锚固连接与后锚固连接的安全等级**

安全等级	破坏后果	锚固类型
一级	很严重	重要的锚固
二级	严重	一般的锚固

**5.1.7** UHPC 构件预埋锚固连接或后锚固连接的承载力应按下列规定验算：

1 无地震作用效应组合，预埋锚固连接或后锚固连接的承载力应符合下式要求：

$$\gamma_A S \leq R \quad (5.1.7-1)$$

2 有地震作用效应组合，预埋锚固连接和后锚固连接的承载力应分别符合下列公式要求：

预埋锚固连接：

$$\gamma_A S \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.1.7-2)$$

后锚固连接：

$$\gamma_A S \leq kR / \gamma_{RE} \quad (5.1.7-3)$$

式中： $\gamma_A$ ——预埋锚固连接或后锚固连接重要性系数，对一级、二级的锚固安全等级，分别取 1.2、1.1，且  $\gamma_A \geq \gamma_0$ ；对有地震作用效应组合取 1.0；

$S$ ——无地震作用效应或有地震作用效应的基本组合设计值，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 和《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定进行计算；

$R$ ——锚固承载力设计值；

$k$ ——地震作用下锚固承载力降低系数，按表 5.1.7 确定；

$\gamma_{RE}$ ——锚固承载力抗震调整系数，取 1.0。

表 5.1.7 地震作用下锚固承载力降低系数  $k$

破坏形态及锚栓类型		受拉	受剪	
受力性质				
锚栓或植筋钢材破坏		1.0	1.0	
混凝土破坏	机械锚栓	扩底型锚栓	0.8	0.7
		膨胀型锚栓	0.7	0.6
	化学锚栓	特殊倒锥形锚栓	0.8	0.7
		普通化学锚栓	0.7	0.6
混合破坏	普通化学锚栓	0.7	-	

条文说明：5.1.6~5.1.7 UHPC 构件的预埋锚固连接或后锚固连接的安全等级及本规范公式(5.1.7-1)、公式(5.1.7-3)的规定依照国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011 和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145 的有关规定确定。

## 5.2 材料力学性能

5.2.1 不同纤维增强的 UHPC 立方体抗压强度标准值  $f_{cu,k}$  应按表 5.2.1 采用。

**表 5.2.1 不同纤维增强的 UHPC 立方体抗压强度标准值**

增强纤维品种	耐碱玻璃纤维	有/无机纤维	钢纤维
抗压强度标准值 ( $f_{cuk}$ )	100	100	130

**条文说明：5.2.1** UHPC 抗压强度等级按照立方体抗压强度标准值划分。立方体抗压强度标准值  $f_{cuk}$  以边长为 100mm 的立方体试块，按标准方法制作养护后并按标准实验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。

**5.2.2** 不同纤维增强的 UHPC 轴心抗压强度标准值应按表 5.2.2 采用。

**表 5.2.2 不同纤维增强的 UHPC 轴心抗压强度标准值**

增强纤维品种	耐碱玻璃纤维	有/无机纤维	钢纤维
轴心抗压强度标准值 ( $f_{ck}$ )	70	70	90

**条文说明：5.2.2** 不同纤维增强的超高性能混凝土轴心抗压强度标准值  $f_{ck}$  为 100mm×100mm×300mm 的棱柱体试块，按标准方法制作养护后并按标准实验方法测得的具有 95%强度保证率的抗压强度值。参考现行标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216，取  $f_{ck} / f_{cuk} = 0.7$ ，《活性粉末混凝土结构技术规程》DBJ43/T 325 取  $f_{ck} / f_{cuk} = 0.7$ ，《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401  $f_{ck} / f_{cuk} = 0.7$ 。

**5.2.3** 不同纤维增强的 UHPC 轴心抗压强度设计值应按表 5.2.3 采用。

**表 5.2.3 不同纤维增强的超高性能混凝土轴心抗压强度设计值**

增强纤维品种	耐碱玻璃纤维	有/无机纤维	钢纤维
轴心抗压强度设计值 ( $f_c$ )	50	50	65

**条文说明：5.2.3** 参考现行标准《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401 中 UHPC 材料强度分项系数取值为 1.45，《活性粉末混凝土结构技术规程》DBJ43/T 325 中活性粉末混凝土材料强度分项系数取值为 1.45，《超高性能混凝土结构设计规程》T/CBMF 185 中 UHPC 材料强度分项系数取值为 1.65。本规范偏于安全，强度分项系数取值为 1.65。

**5.2.4** 不同纤维增强的 UHPC 抗拉弹性极限强度标准值、抗拉强度标准值应按表 5.2.4 采用。

**表 5.2.4 不同纤维增强的超高性能混凝土抗拉弹性极限强度标准值和抗拉强度标准值**

增强纤维品种	耐碱玻璃纤维	有/无机纤维	钢纤维
抗拉弹性极限强度 $f_{tek}$	6	6	6.5



抗拉强度标准值 $f_{tk}$	4.2	4.2	6.5
------------------	-----	-----	-----

**条文说明：5.2.4** 不同纤维增强的超高性能混凝土抗拉弹性极限强度标准值  $f_{tek}$  和轴心抗拉强度标准值  $f_{tk}$  为按标准方法制作的规定几何尺寸的试件经标准养护后按标准试验方法测出的试验数据经计算得出的具有 95% 强度保留率的抗拉弹性极限强度值和抗拉强度值。可按下列两种方法进行计算：

(1) 参考法国规范 AFGC-2013，取边长为  $a$ ，长度为  $4a$  的棱柱体进行标准四点弯曲试验，UHPC 的抗拉弹性极限强度标准值按下列公式计算：

$$f_{tek} = f_{Mk} \frac{\alpha \cdot a^{0.7}}{1 + \alpha \cdot a^{0.7}} \quad (3)$$

式中： $f_{Mk}$ ——按标准四点弯曲试验方法测得的材料抗弯强度标准值；

$\alpha$ ——修正系数， $\alpha=0.08$ ；

$a$ ——棱柱体边长。

当 UHPC 纤维长度  $l_f \leq 15\text{mm}$ ，取  $a=70\text{mm}$ ，则  $f_{tek} = f_{Mk}/1.64$ ； $15\text{mm} < l_f \leq 20\text{mm}$ ，取  $a=100\text{mm}$ ，则  $f_{tek} = f_{Mk}/1.50$ ； $20\text{mm} < l_f \leq 25\text{mm}$ ，取  $a=140\text{mm}$ ，则  $f_{tek} = f_{Mk}/1.39$ 。

(2) 参考现行标准《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401 附录 A 拉伸试验的规定，由单轴拉伸试验得到不同纤维增强的超高性能混凝土抗拉弹性极限强度标准值和抗拉强度标准值。

参考现行标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216 第 4.0.6 条的规定，对于应变软化型超高性能混凝土，取  $f_{tk} / f_{tek} = 0.7$ ；对于应变硬化型超高性能混凝土，取  $f_{tk} / f_{tek} = 1.0$ 。

**5.2.5** UHPC 的弹性抗拉强度设计值及抗拉强度设计值应按下列公式进行计算：

$$f_t = \frac{\eta_{hU} \cdot \eta_k \cdot f_{tk}}{\gamma_U} \quad (5.2.5)$$

式中： $f_t$ ——UHPC 弹性抗拉强度设计值 (MPa)；

$f_{tk}$ ——UHPC 弹性抗拉强度标准值 (MPa)；

$\eta_k$ ——与构件尺寸和制造工艺相关的系数，采用 UHPC 进行整体计算分析时， $\eta_k = 1.0$ ；采用 UHPC 进行局部计算分析时， $\eta_k = 0.85$ 。

$\gamma_U$ ——分项系数。对于不配筋结构， $\gamma_U = 1.4$ ；对于配筋 UHPC 结构， $\gamma_U = 1.3$ 。

$\eta_{hU}$ ——纤维分布方向上构件厚度的影响系数，按图 5.2.5 取值。

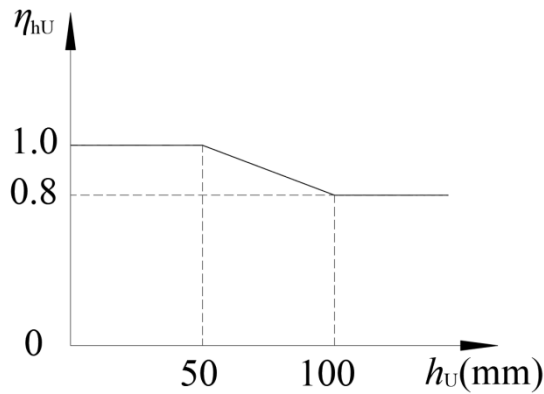


图 5.2.5 构件厚度的系数

**条文说明：5.2.5** UHPC 弹性抗拉强度设计值计算方法参考现行标准《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401 第 3.2.7 条规定。参考现行标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216，取  $f_{tk} / f_{tek} = 0.7$ 。

**5.2.6** 钢材的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定采用，也可按表 5.2.6-1 采用；锚栓的性能等级应按所用钢材的抗拉强度标准值  $f_{stk}$  及屈强比  $f_{yk} / f_{stk}$  确定，相应性能指标应按表 5.2.6-2 采用；普通钢筋的屈服强度值  $f_{yk}$ 、极限强度标准值  $f_{stk}$  应按表 5.2.6-3 采用。

表 5.2.6-1 钢材的强度设计值  $f_s$  (N/mm<sup>2</sup>)

钢材牌号	厚度或直径 d(mm)	抗拉、抗压、抗弯	抗剪	端面承压
Q235	$d \leq 16$	215	125	325
	$16 < d \leq 40$	205	120	
	$40 < d \leq 60$	200	115	
Q345	$d \leq 16$	310	180	400
	$16 < d \leq 35$	295	170	
	$35 < d \leq 50$	265	155	

注：表中厚度是指计算点的钢材厚度；对轴心受力构件是指截面中较厚板件的厚度。

表 5.2.6-2 碳素钢及合金钢锚栓的性能指标

性能等级		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
抗拉强度标准值	$f_{stk}$ (MPa)	300	400		500		600	800
屈服强度标准值	$f_{yk}$ 或 $f_{s0.2k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	180	240	320	300	400	480	640

伸长率	$\delta_5$ (%)	25	22	14	20	10	8	12
-----	----------------	----	----	----	----	----	---	----

注：1 性能等级 3.6 表示： $f_{stk}=300\text{N/mm}^2$ ， $f_{yk}/f_{stk}=0.6$ ；

2 伸长率  $\delta_5$  表示：试样的标距等于 10 倍直径时的伸长率。

表 5.2.6-3 普通钢筋强度标准值(N/mm<sup>2</sup>)

牌号	公称直径 d(mm)	屈服强度标准值 $f_{yk}$	极限强度标准值 $f_{stk}$
HRB300	6-22	300	420
HRB335/HRBF335 HKBE335	6-50	335	455
HRB400/HRBF400 RRB400	6-50	400	540
HRB500/HRBF500	6-50	500	630

条文说明：5.2.6 钢材主要用于连接件、预埋件和支承钢结构，其计算和设计要求按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定进行；锚栓材料性能等级及机械性能指标，根据现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T3098.1 确定。

5.2.7 不锈钢材料的抗拉、抗压强度设计值应按其屈服强度标准值  $\sigma_{0.2}$  除以系数 1.15 采用，其抗剪强度设计值可按其抗拉强度设计值的 0.58 倍采用；不锈钢锚栓的性能等级应按所用钢材的抗拉强度标准值  $f_{stk}$  及屈服强度标准值  $f_{yk}$  确定，相应性能指标应按表 5.2.7 采用。

表 5.2.7 不锈钢（奥氏体 A1、A2、A4）锚栓的性能指标

性能等级	螺纹直径 d (mm)	抗拉强度标准值 $f_{stk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	屈服强度标准值 $f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长值 $\delta$
50	≤39	500	210	0.6d
70	≤24	700	450	0.4d
80	≤24	800	600	0.3d

注：d 为锚栓公称直径。

条文说明：5.2.7 不锈钢材料(管材、棒材、型材)主要用于 UHPC 外墙的连接件和支承结构，其强度设计值比照钢结构的安全度略有增大，总安全系数约为 1.6。

5.2.8 铝合金型材的强度设计值应按表 5.2.8 采用。

表 5.2.8 铝合金型材的强度设计值  $f_a$  (N/mm<sup>2</sup>)

铝合金材料	用于构件计算	用于焊接连接计算
-------	--------	----------

牌号	状态	厚度 (mm)	抗拉、抗压 和抗弯	抗剪	焊件热影响区抗 拉、抗压和抗弯	焊件热影响 区抗剪
6061	T4	所有	90	55	140	80
	T6	所有	200	115	100	60
6063	T5	所有	90	55	60	35
	T6	所有	150	85	80	45
6063A	T5	≤10	135	75	75	45
		>10	125	70	70	40
	T6	≤10	160	90	90	50
		>10	150	85	85	50
5083	O/F	所有	90	55	210	120
	H112	所有	90	55	170	95
3003	H24	≤4	100	60	20	10
3004	H34	≤4	145	85	35	20
	H36	≤3	160	95	40	20

**条文说明：5.2.8** 铝合金型材的强度设计值根据现行标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102 的规定按下式计算：

$$f_a = \frac{f_{ak}}{K_2} = \frac{f_{ak}}{1.286} \quad (4)$$

铝型材的强度标准值  $f_{ak}$ ，一般取为  $\sigma_{p0.2}$ 。 $\sigma_{p0.2}$  指铝材有 0.2% 残余变形时所对应的应力值，即铝型材的条件屈服强度。 $\sigma_{p0.2}$  参考现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T5237 的规定取用。

**5.2.9** 耐候钢强度设计值应按本规范附录 A 取值。

**5.2.10** 钢结构连接强度设计值应按本规范附录 B 取值。

**5.2.11** UHPC 及其他材料的弹性模量可按表 5.2.11 的规定采用。

**表 5.2.11 材料的弹性模量 E (N/mm<sup>2</sup>)**

材料	E
耐碱玻纤 UHPC 和有/无机纤维 UHPC	$4.0 \times 10^4$
钢纤维 UHPC	$4.3 \times 10^4$
铝合金	$0.7 \times 10^5$
钢、不锈钢（不含锚栓、螺杆）	$2.06 \times 10^5$

锚栓、螺杆	$2.0 \times 10^5$
-------	-------------------

5.2.12 UHPC 及其他材料的泊松比可按表 5.2.12 的规定采用。

表 5.2.12 材料的泊松比 $\nu$

材料	$\nu$
UHPC	0.2
铝合金	0.30
钢、不锈钢	0.30

5.2.13 UHPC 及其他材料的线膨胀系数可按表 5.2.13 的规定采用。

表 5.2.13 材料的线膨胀系数 $\alpha_l$  ( $1/^\circ\text{C}$ )

材料	$\alpha_l$
UHPC	$1.1 \times 10^{-5}$
铝合金	$2.4 \times 10^{-5}$
钢材	$1.2 \times 10^{-5}$
砖砌体	$0.5 \times 10^{-5}$
不锈钢板	$1.6 \times 10^{-5}$
混凝土	$1.0 \times 10^{-5}$

### 5.3 荷载与作用

5.3.1 UHPC 及其他材料的重力密度标准值可按表 5.3.1 的规定采用。

表 5.3.1 材料的重力密度 $\gamma_{gr}$  ( $\text{kN/m}^3$ )

材料	$\gamma_{gr}$
耐碱玻纤 UHPC	23
钢纤维 UHPC	24
有/无机纤维 UHPC	22.5
钢材	78.5
铝合金	28.0
玻璃棉	0.5~1.0
岩棉	0.5~2.5

5.3.2 UHPC 板的风荷载标准值应按式计算，并且不应小于  $1.0\text{kN/m}^2$ 。

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0 \quad (5.3.2)$$

式中： $w_k$ ——风荷载标准值(kN/m<sup>2</sup>)；

$\beta_{gz}$ ——阵风系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《工程结构通用规范》GB 55001的规定确定；

$\mu_{sl}$ ——风荷载局部体型系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《工程结构通用规范》GB 55001的规定确定；

$\mu_z$ ——风压高度变化系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《工程结构通用规范》GB 55001的规定确定；

$w_0$ ——基本风压(kN/m<sup>2</sup>)，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《工程结构通用规范》GB 55001的规定确定。

**条文说明：5.3.2** UHPC构件用于建筑物的围护结构，作用其上的风荷载按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009关于围护结构风荷载计算公式的规定进行计算。

基本风压 $w_0$ 是根据全国各气象台站历年的最大风速记录，将不同风速仪高度和时次时距的年最大风速统一换算为离地10m高，10min平均年最大风速数据，根据该风速数据统计分析确定重现期为50年的最大风速，作为当地的基本风速，再按以下贝努利公式计算得到：

$$w_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (5)$$

风荷载高度的变化由风压高度变化系数描述，其值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009确定。

局部风压体型系数是考虑建筑物表面风压分布不均匀而导致局部部位的风压超过全表面平均风压的实际情况做出的调整，局部风压体型系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009确定。

计算围护结构风荷载时的阵风系数应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009确定。

**5.3.3** 当UHPC构件安装高度大于200m或体型、风荷载环境复杂时，宜进行风洞试验确定风荷载。

**条文说明：5.3.3** UHPC外墙多用于造型独特，立面多变的个性化建筑，风荷载在这些复杂多变的墙面上的分布与一般墙面相比有较大差异，这种墙面的风荷载体型系数不能统一给定。因此，当主体结构通过风洞试验决定体型系数时，UHPC外墙风荷载计算通常采用该体型系数。

对于高度大于200m的UHPC外墙工程，当没有可靠参照依据时，采用风洞试验确定其风

荷载取值。

5.3.4 垂直于 UHPC 构件面板平面的分布水平地震作用标准值可按下式计算：

$$q_{EK} = \beta_E \alpha_{max} G_k / A \quad (5.3.4)$$

式中  $q_{EK}$  ——垂直于 UHPC 构件面板平面的分布水平地震作用标准值 (kN/m<sup>2</sup>)；

$\beta_E$  ——动力放大系数，可取 5.0；

$\alpha_{max}$  ——水平地震影响系数最大值，应按表 5.3.4 确定；

$G_k$  ——UHPC 构件（包括 UHPC 构件和钢架）的重力荷载标准值(kN)；

$A$  ——UHPC 构件平面面积(m<sup>2</sup>)。

表 5.3.4 水平地震影响系数最大值  $\alpha_{max}$

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度
$\alpha_{max}$	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)

注：7、8 度时括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

5.3.5 平行于 UHPC 构件面板平面的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

$$p_{Ek} = \beta_E \alpha_{max} G_k \quad (5.3.5)$$

式中  $p_{Ek}$  ——平行于 UHPC 构件面板平面的集中水平地震作用标准值(kN)。

**条文说明：5.3.4-5.3.5** 常遇地震(大约 50 年一遇)作用下，UHPC 外墙的地震作用采用简化的等效静力方法计算，地震影响系数最大值按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定确定，考虑到 UHPC 构件的长期使用性能，为使设防烈度下不产生破损伤人，考虑动力放大系数  $\beta_E$ 。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关非结构构件的地震作用计算规定，UHPC 外墙结构的地震作用动力放大系数可表示为：

$$\beta_E = \gamma \eta \xi_1 \xi_2 \quad (6)$$

式中： $\gamma$  ——非结构构件功能系数，可取 1.4；

$\eta$  ——非结构构件类别系数，可取 0.9；

$\xi_1$  ——体系或构件的状态系数，可取 2.0；

$\xi_2$  ——位置系数，可取 2.0。

按照公式(6)计算，UHPC 外墙结构地震作用动力放大系数  $\beta_E$  约为 5.0。

5.3.6 UHPC 构件的支承结构以及连接件、锚固件所承受的地震作用标准值，应包括 UHPC 构件传来的地震作用标准值和其自身重力荷载标准值产生的地震作用标准值。

**条文说明：5.3.6** UHPC 外墙的支承结构，如横梁、立柱、架等，其自身重力荷载产生的地震作用标准值，参照本规范第 5.3.4 条和第 5.3.5 条的原则进行计算。

**5.3.7** UHPC 构件的温度应力宜根据支承约束情况按表 5.3.7 确定。

**表 5.3.7 UHPC 构件的温度应力值 $\sigma_{ts}$  (N/mm<sup>2</sup>)**

环境条件	抗拉面	温度梯度 (°C)	$\sigma_{ts}$
冬季	潮湿	5	0.4~0.8
		10	0.9~1.7
		15	1.4~2.5
夏季	干燥	5	0.2~0.5
		10	0.4~0.9
		15	0.6~1.3
		20	0.8~1.8

**5.3.8** UHPC 构件的湿度应力宜根据支承结构的约束情况按表 5.3.8 确定。

**表 5.3.8 UHPC 板的收缩（膨胀）应力参考值 (N/mm<sup>2</sup>)**

完全限制	短期	全部使用期
室内	1.3~1.8	0.7~0.9
室外	1.0~1.5	0.5~0.8

**条文说明：5.3.7~5.3.8** UHPC 构件与石材相比，尽管两者的线膨胀系数相近，但由于 UHPC 构件的干湿变形明显大于石材，且其幅面尺寸可能是石材的几倍甚至十几倍；再加上 UHPC 构件自身的构造也远较石材复杂，因而，仅仅像石材那样采用构造措施解决 UHPC 构件的温湿度效应是不够的。为此，本规范采用了国外相应设计方法，即将 UHPC 构件可能产生的温湿度效应进行估算，并纳入基本组合或标准组合。

表 5.3.7 中温度梯度系指 UHPC 板与主体结构或支承结构间的温度梯度， $\sigma_{ts}$  系指表示一定温度梯度条件下 UHPC 构件内产生的温度应力范围。当板的几何尺寸小，且连接节点位移阻力小时，一般取较小值；当板的几何尺寸大，且连接节点位移阻力大时，一般取较大值。

表 5.3.8 中，当设计使用年限为短期时，UHPC 构件的干湿应力较大，其干湿应力取该表第二列中的相应数值范围；而在长期使用条件下，UHPC 板经长期干湿交替作用后，其干湿应力已大幅度降低，因而，其干湿应力取该表第三列相应数值范围。对于干湿应力的取值，当板的几何尺寸小，连接节点位移阻力小时，取较小值；当板的几何尺寸大，连接节点位移阻力大时，取较大值。



## 5.4 作用效应组合

5.4.1 UHPC 构件、预埋件、连接件按承载力极限状态设计时，沿垂直于面板方向的荷载与作用效应按下列规定进行组合：

1 无地震作用效应组合时，应按下式进行：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \varphi_w \gamma_w S_{WK} + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (5.4.1-1)$$

2 有地震作用效应组合时，应按下式进行：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \varphi_w \gamma_w S_{WK} + \varphi_E \gamma_E S_{EK} + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (5.4.1-2)$$

式中  $S$ ——荷载和作用效应按基本组合的设计值；

$S_{GK}$ ——永久荷载效应标准值；

$S_{WK}$ 、 $S_{EK}$ 、 $S_{TMK}$ ——分别为风荷载、地震作用和湿湿度作用效应标准值（按不同的组合情况，三者分别作为第一个、第二个和第三个可变荷载和作用效应）；

$\gamma_G$ 、 $\gamma_w$ 、 $\gamma_E$ 、 $\gamma_{TM}$ ——各荷载和作用的分项系数，按本规范第 5.4.3 条的规定取值；

$\varphi_w$ 、 $\varphi_E$ 、 $\varphi_{TM}$ ——分别为风荷载、地震作用和温湿度作用的组合值系数，按本规范第 5.4.4 条的规定取值。

5.4.2 UHPC 构件应按荷载和作用效应的最不利组合进行设计。

5.4.3 荷载和作用的分项系数应按下列规定采用：

1 永久荷载分项  $\gamma_G$ ：当其效应对结构不利时，应取 1.3；当其效应对结构有利时，应取 1.0；

2 风荷载分项系数  $\gamma_w$  应取 1.5；

3 地震作用分项系数  $\gamma_E$  应取 1.4；

4 温度湿度作用分项系数  $\gamma_{TM}$  应取 1.5。

5.4.4 当有两个及两个以上可变荷载或作用（风荷载、地震作用和温湿度作用）效应参与组合时，第一个可变荷载或作用效应的组合值系数可取 1.0；第二个可变荷载或作用效应的组合值系数可取 0.6；第三个可变荷载或作用效应的组合值系数可取 0.2。

5.4.5 对于水平安装或水平倒挂的 UHPC 构件，可不考虑地震作用效应的组合。

**条文说明：5.4.1~5.4.5** 在对 UHPC 构件进行承载力极限状态设计计算时，作用在 UHPC 构件上的自重荷载、风荷载、地震作用以及温湿度作用的组合值计算，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定进行计算。

UHPC 构件广泛用于个性化的建筑，其安装倾角（即 UHPC 构件外表面与水平面间的夹角）可能是任意角度。为了满足不同安装倾角 UHPC 构件的作用效应计算，本规范公式 (5.4.1-1)

和公式(5.4.1-2)中的重力荷载和地震作用可分别采用垂直于 UHPC 构件板面方向的相应分量来代替。则公式(5.4.1-1)和公式(5.4.1-2)合并为如下公式：

$$S = \gamma_G S_{GK} \cos \theta + \varphi_w \gamma_w S_{wK} + \varphi_E \gamma_E S_{EK} \sin \theta + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (7)$$

式中： $\theta$ ——UHPC 构件的安装倾角

对于竖直安装的 UHPC 构件， $\theta = 90^\circ$ ，公式(6)可简化为：

$$S = \varphi_w \gamma_w S_{wK} + \varphi_E \gamma_E S_{EK} + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (8)$$

对于水平倒挂的 UHPC 构件， $\theta = 0^\circ$ ，公式(6)可简化为：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \varphi_w \gamma_w S_{wK} + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (9)$$

对于水平安装的 UHPC 构件， $\theta = 180^\circ$ ，公式(6)可简化为：

$$S = -\gamma_G S_{GK} + \varphi_w \gamma_w S_{wK} + \varphi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (10)$$

公式(10)仅仅是作用效应组合值计算的一般内力表达式，式中第一项中的负号仅表示重力荷载的方向与风荷载作用方向相反，此种情形下，自重荷载对结构是有利的。为安全起见，现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 规定，其自重荷载分项系数取 1.0，不考虑负号的影响。

作用于 UHPC 构件上的风荷载、地震作用、温湿度作用，同时到达最大值的可能性极小。因此，在进行作用效应组合时，第一项可变作用效应按 100%考虑(组合值系数取 1.0)，第二项和第三项可变作用效应适当折减。为此，本规范根据我国现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ133 的规定，对本规范公式(5.4.1-1)和公式(5.4.1-2)中的第一、第二、第三可变荷载组合值系数分别规定为 1.0、0.6 和 0.2。

UHPC 构件的自重是经常作用的永久荷载，所有的基本组合情况中都包括此项。但在计算永久荷载作用效应时，其参与组合的可变荷载仅限于竖向荷载；UHPC 构件的自重一般小于  $1.0\text{kN/m}^2$ ，明显低于风荷载，因此通常情况下是风荷载作用效应起控制作用。在此种情况下，《建筑结构荷载规范》GB50009 规定：永久荷载分项系数  $\gamma_G$ ，当对结构有利时取 1.0(该情形适用于水平安装的情况)；当对结构不利时取 1.2(该情形适用于水平倒挂的情况)。极少出现永久荷载效应起控制作用的情形。当然：当此情形出现时，永久荷载分项系数  $\gamma_G$  取 1.35。

对于水平安装的 UHPC 构件，通常情况下，UHPC 构件自重荷载与风荷载的效应组合值应大于 UHPC 构件自重荷载与雪荷载效应的组合值，因此，本节没有考虑雪荷载(或施工荷载)参与组合的情况。但在极个别地区和特定条件下出现上述相反的情形时，则应考虑雪荷载效应参加基本组合。

#### 5.4.6 UHPC 构件进行抗裂验算时，其荷载与作用效应的组合应按下列规定计算：

1 对于 UHPC 竖直外墙，沿垂直于板面方向的荷载与作用效应组合，并按下式计算：

$$S = \gamma_w S_{wk} + \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (5.4.6-1)$$

2 对于倾斜安装的 UHPC 外墙，沿垂直于板面方向的荷载与作用效应组合应按下列公式计算：

当重力荷载对结构有利时：

$$S = \gamma_w S_{wk} + \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (5.4.6-2)$$

当重力荷载对结构不利时：

$$S = \gamma_G S_{GK} \gamma_w S_{wk} + \gamma_{TM} S_{TMK} \quad (5.4.6-3)$$

式中：  $S$  ——荷载与作用按标准组合设计值；

$S_{GK}$ 、 $S_{wk}$ 、 $S_{TMK}$  ——分别为重力荷载、风荷载、温湿度作用效应标准值；

$\gamma_G$ 、 $\gamma_w$ 、 $\gamma_{TM}$  ——分别为重力荷载、风荷载和温湿度作用效应的分项系数，取 1.0。

**条文说明：5.4.6** UHPC 构件按正常使用极限状态进行抗裂验算。在正常使用情况下，UHPC 构件主要承受重力荷载、风荷载和温湿度作用，根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定，上述荷载与作用效应组合值应按标准组合计算。

对于 UHPC 竖直外墙，由于风荷载与重力荷载相互垂直，因此，在验算 UHPC 构件的抗裂性时，仅需按风荷载和温湿度作用考虑对其抗裂性的影响。

对于倾斜安装的 UHPC 外墙，当风荷载方向向上时，因 UHPC 构件重力荷载沿垂直于板面方向分量的方向向下对结构是有利的；另一方面，我国现行建筑幕墙规范规定风荷载设计值不低于  $1.0\text{kN/m}^2$ ，而 UHPC 构件的自重一般均小于  $1.0\text{kN/m}^2$ ，因此在此种情形下，为计算偏于安全起见，在计算 UHPC 构件的抗裂性时，不考虑重力荷载对结构的有利影响，其荷载设计值采用风荷载与温湿度作用的标准组合。反之，当风荷载方向向下时，则风荷载与 UHPC 构件重力荷载沿垂直于板面方向分量的方向相同，此种情形下，在计算 UHPC 构件的抗裂性时，其荷载设计值应采用自重荷载、风荷载以及温湿度作用的标准组合。

**5.4.7** UHPC 构件及其他结构构件进行挠度验算时，其荷载与作用效应的组合，且应符合下列规定：

1 对于 UHPC 竖直外墙，UHPC 构件及其支承结构沿垂直于板面方向的荷载与作用效应组合值应按下列公式计算：

$$S = \gamma_w S_{wk} \quad (5.4.7-1)$$

2 对于倾斜安装的 UHPC 外墙，UHPC 构件及其支承结构沿垂直于板面方向的荷载与作用效应组合值应按下列公式计算：

当重力荷载对结构有利时：

$$S = \gamma_w S_{wk} \quad (5.4.7-2)$$

当重力荷载对结构不利时：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_W S_{WK} \quad (5.4.7-3)$$

式中  $S$  ——荷载与作用按标准组合设计值；

$S_{GK}$ 、 $S_{WK}$  ——分别为重力荷载、风荷载标准值；

$\gamma_G$ 、 $\gamma_W$  ——分别为重力荷载、风荷载的分项系数，取 1.0。

**条文说明：5.4.7** 考虑到 UHPC 构件的温湿度作用效应对其挠度无明显影响，故对于 UHPC 构件及其支承结构的挠度计算，仅需考虑自重荷载和风荷载的影响即可。自重荷载与风荷载的作用效应按标准组合，其组合值计算与抗裂荷载组合值计算相同(但不考虑温湿度作用效应参与组合)。

## 5.5 连接设计

**5.5.1** 主体结构或结构构件应能够承受 UHPC 构件传递的荷载和作用。连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。

**条文说明：5.5.1** UHPC 外墙的连接及与主体结构的锚固可靠，其承载力通过计算或实物试验予以确认，并要留有余地，防止偶然因素产生突然破坏。连接件与主体结构的锚固承载力大于连接件本身的承载力，任何情况不允许发生锚固破坏。但对于 UHPC 构件与预埋件的锚固而言，由于 UHPC 构件的截面尺寸小，其锚固承载力远小于主体结构的锚固承载力，因此，不要求其锚固承载力也大于预埋件或连接件自身的承载力。

安装 UHPC 构件的主体结构要具备承受 UHPC 外墙传递的各种作用的能力，主体结构设计时充分加以考虑。

主体结构为混凝土结构时，其混凝土强度等级直接关系到锚固件工作的可靠性，除加强混凝土施工的工程质量管理外，对混凝土的最低强度等级要有相应的要求。为了保证与主体结构的连接可靠性，连接部位主体结构混凝土强度等级通常不低于 C30。

**5.5.2** UHPC 构件与主体结构的连接应进行承载力设计，其支承结构连接处的连接件、焊缝、螺栓等设计，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 和《铝合金结构设计规范》GB50429 的有关规定。连接处的受力螺栓不应少于 2 个。

**条文说明：5.5.2** UHPC 外墙横梁与立柱的连接，立柱与锚固件或主体结构钢梁、钢材的连接，通常通过螺栓、焊缝或铆钉实现，现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 对上述连接均作了规定。同时受拉、受剪的螺栓进行螺栓的抗拉、抗剪设计；螺纹连接的公差配合及构造符合有关标准的规定。

为防止偶然因素的影响而使连接破坏，每个连接部位的受力螺栓、铆钉等，至少需要布置 2 个。

**5.5.3 UHPC 构件与支承结构连接时，其自重应支承在其下部连接节点上，否则应进行抗拉承载力和开裂验算。**

**条文说明：5.5.3** UHPC 材料的抗压强度高，而抗拉强度较低，特别是 UHPC 材料老化后，其极限抗拉强度仅为抗压强度的 1/10 左右，因此，将 UHPC 构件支承于其下部连接节点上可充分利用 UHPC 构件抗压强度高的特点，对确保 UHPC 的安全度是有利的。从这一点来讲，UHPC 构件与钢筋混凝土预制构件的安装要求是一致的。当然，如果 UHPC 构件受安装条件的限制，其自重需支承于 UHPC 构件的上部连接节点上时，为确保 UHPC 构件的安全度，对 UHPC 构件进行受拉承载力验算和抗裂验算是必要的。

**5.5.4 UHPC 外墙采用立柱、横梁等组成的支承结构时，其立柱宜悬挂在主体结构上。**

**条文说明：5.5.4** UHPC 外墙立柱截面较小，处于受压工作状态时受力不利，因此通常将其设计成轴心受拉或偏心受拉构件。立柱通常采用圆孔铰接接点在上端悬挂，采用长圆孔或椭圆孔与下端连接，形成吊挂受力状态。

**5.5.5 UHPC 构件与主体混凝土结构应通过预埋件连接，预埋件应在主体结构混凝土施工时埋入，预埋件的位置应准确；当没有条件采用预埋件连接时，应采用其他可靠的连接措施，并通过试验确定其承载力。**

**条文说明：5.5.5** UHPC 外墙构件与混凝土结构的连接，通常通过预埋件实现，预埋件的锚固钢筋是锚固作用的主要来源，混凝土对锚固钢筋的粘结力是决定性的。因此预埋件在混凝土浇筑前埋入，施工时混凝土振捣密实。

**5.5.6 由锚板和对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件，可按本规范附录 C 确定。**

**条文说明：5.5.6** 附录 C 对混凝土主体结构预埋件设计作了一般规定。对于预埋件的要求，主要依据有关研究成果和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010。

1 承受剪力的预埋件，其受剪承载力与混凝土强度等级、锚固面积、直径等有关。在保证锚固长度和锚筋到埋件边缘距离的前提下，根据试验提出了半理论、半经验的公式，并考虑锚筋排数、锚筋直径对受剪承载力的影响；

2 承受法向拉力的预埋件，钢板弯曲变形时，锚筋不仅单独承受拉力，还承受钢板弯曲变形引起的内剪力，使锚筋处于复合应力状态，在计算公式中引入锚板弯曲变形的折减系数；

3 承受弯矩的预埋件，试验表明其受压区合力点往往超过受压区边排筋以外，为方便和安全考虑，受弯力臂取外排锚筋中心线之间的距离，并在计算公式中引入锚筋排数对力臂的折减系数；

4 承受拉力和剪力或拉力和弯矩的预埋件，根据试验结果，其承载力均取线性相关关系；

5 承受剪力和弯矩的预埋件，根据试验结果，当  $V/V_{u0} > 0.7$  时，取剪弯承载力线性相关；当  $V/V_{u0} \leq 0.7$  时，取受剪承载力与受弯承载力不相关。这里， $V_{u0}$  为预埋件单独承受

受剪力作用时的受剪承载力；

6 当轴力  $N < 0.5f_c A$  时，近似取  $M - 0.4NZ = 0$  作为受压剪承载力与受压弯剪承载力计算的界限条件。本规范公式(C.0.1-3)中系数 0.3 是与压力有关的系数，与试验结果比较，其取值是偏于安全的。

承受法向拉力和弯矩的预埋件，其锚筋截面面积计算公式中拉力项的抗力均乘以系数 0.8，是考虑到预埋件的重要性、受力复杂性而采取提高其安全储备的折减系数。

直锚筋和弯折锚筋同时作用时，取总剪力中扣除直锚筋所能承担的剪力，作为弯折锚筋所承受的剪力，据此计算其截面面积：

$$A_{sb} \geq 1.4 \frac{V}{f_y} - 1.25\alpha_s \gamma A_s \quad (11)$$

根据国外有关规范和国内对钢与混凝土组合结构中弯折锚筋的试验研究表明，弯折锚筋的弯折角度对受剪承载力影响不大，同时，考虑构造等原因，控制弯折角度在  $15^\circ \sim 45^\circ$  之间。当不设置直锚筋或直锚筋仅按构造设置时，在计算中不予以考虑，取  $A_s = 0$ 。

这里规定的预埋件基本构造要求，是把满足常用的预埋件作为目标，计算公式也是根据这些基本构造要求建立的。

在进行锚筋面积  $A_s$  计算时，假定锚筋充分发挥了作用，应力达到其强度设计值  $f_y$ 。要使锚筋应力达到  $f_y$  而不滑移、拔出，就要有足够的锚固长度，锚固长度  $l_a$  与钢筋形式、混凝土强度、钢材品种有关，按本规范公式(C.0.5)计算。有时由于  $l_a$  的数值过大，在预埋件中采用有困难，此时可采用低应力设计方法，即增加锚筋面积、降低锚筋实际应力，从而减小锚固长度，但通常不小于 15 倍钢筋直径。

**5.5.7** 槽式预埋件的预埋钢板及其他连接措施，应按照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定确定，并宜通过试验确认其承载力。

**5.5.8** UHPC 构件支承结构与主体结构的后锚固锚栓连接设计，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定确定，并应进行承载力现场试验。

**5.5.9** UHPC 构件与砌体结构连接时，宜在连接部位的主体结构上增设钢筋混凝土或钢结构梁、柱等支承结构。轻质填充墙不应作为 UHPC 构件的支承结构。

**条文说明：5.5.9** 砌体结构平面外承载能力低，难以直接进行连接，所以考虑增设混凝土结构或钢结构连接构件。轻质隔墙承载力和变形能力低，避免作为外墙的支承结构。

## 5.6 承载力极限状态设计

**5.6.1** 对于承载力极限状态，UHPC 构件应按本规范第 5.1.4 条规定验算承载力。

**5.6.2** UHPC 构件进行承载力设计时，其荷载与作用效应的组合应符合本规范第 5.4.1 条规定。

**5.6.3** UHPC 构件进行承载力设计时，荷载及作用分项系数应按本规范第 5.4.3 条规定取值。

**5.6.4** UHPC 构件的风荷载标准值和地震作用标准值的计算应符合本规范 5.3 节的相关规定。

5.6.5 无筋 UHPC 构件截面应力设计值计算应符合下列规定：

1 对于风荷载控制的基本组合：

$$\gamma_0 M \leq \frac{KM_{Mk}}{\gamma_m} \quad (5.6.5-1)$$

当缺乏 UHPC 老化试验数据时，UHPC 构件的截面应力设计值验算应符合下式要求：

$$\gamma_0 M \leq \frac{M_{Lk}}{\gamma_m} \quad (5.6.5-2)$$

2 对于温湿度效应控制的基本组合：

$$\gamma_0 \sigma \leq \frac{Kf_{AUk}}{\gamma_m} \quad (5.6.5-3)$$

当缺乏 UHPC 老化试验数据时，UHPC 构件截面应力设计值验算应符合下式要求：

$$\gamma_0 \sigma \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \quad (5.6.5-4)$$

式中： $\gamma_0$ ——构件重要性系数， $\gamma_0 \geq 1$ ；对于抗震设计，不考虑构件的重要性系数；

$M$ ——按基本组合，无筋 UHPC 构件截面弯矩承载力设计值（MPa）；

$M_{Mk}$ ——无筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值（MPa），按附录 D 第 D.0.2 条的规定计算；

$M_{Lk}$ ——无筋 UHPC 构件截面受拉边缘应力达到比例极限强度标准值时的弯矩承载力标准值（MPa）；

$K$ ——UHPC 强度衰减系数；

$\sigma$ ——按基本组合，UHPC 构件截面应力设计值（MPa）；

$f_{AUk}$ ——UHPC 材料老化后的抗拉强度标准值（MPa）；

$f_{tk}$ ——UHPC 材料抗拉强度标准值（MPa）；

$\gamma_m$ ——UHPC 材料分项系数，取 1.4。

**条文说明：5.6.5** 根据现行国家标准《建筑结构设计可靠度设计统一标准》GB50068 及本规范第 5.1.4 条的要求，UHPC 构件承载力极限状态设计计算的应力表达式用式（5.6.5-1）~式（5.6.5-4）描述。

考虑到 UHPC 材料的强度具有随时间变化而变化的特点，具体来说，UHPC 材料的比例极限强度随时间变化略有增长，但抗弯强度随时间变化明显下降并逐渐接近比例极限强度（图 12）。

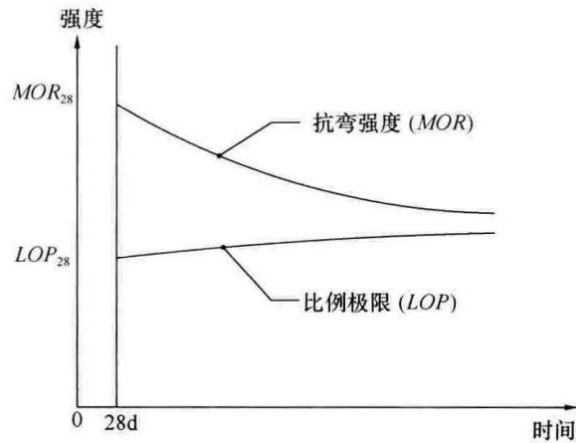


图 12 UHPC 抗弯强度随时间的变化规律

根据图 12 的变化规律，引入 UHPC 强度衰减系数  $K$  的概念如本规范公式 (5.6.5-1) 和式 (5.6.5-3)。

由于 UHPC 受温湿度作用产生的应力属于轴力，因此，UHPC 构件的强度设计值采用抗拉强度  $f_{\text{AUk}}$  作为 UHPC 材料强度的代表值。考虑到 UHPC 材料老化后，其抗拉强度下降并接近抗拉初裂强度  $f_{\text{tk}}$ ，当缺乏老化试验数据时，出于偏于安全的考虑采用  $f_{\text{tk}}$  代替  $f_{\text{AUk}}$ 。

无筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值  $M_{\text{Mk}}$ ，按附录 D 第 D.0.2 条的规定计算；构件截面受拉边缘应力达到比例极限强度标准值时的弯矩承载力标准值  $M_{\text{Lk}}$ ，按平截面假定，截面应力线性分布的弹性方法计算。

#### 5.6.6 配筋 UHPC 构件截面应力设计值计算应符合下列规定：

1 对于风荷载控制的基本组合：

$$\gamma_0 M_s \leq \frac{KM_{sk}}{\gamma_m} \quad (5.6.6-1)$$

2 对于温湿度效应控制的基本组合：

$$\gamma_0 \sigma \leq \frac{(1 + \alpha_E \rho) f_{\text{tk}}}{\gamma_m} \quad (5.6.6-2)$$

式中： $M_s$ ——按基本组合，配筋 UHPC 构件截面弯矩承载力设计值（MPa）；

$M_{sk}$ ——配筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值（MPa）；

$\alpha_E$ ——钢筋与 UHPC 材料弹性模量比；

$\rho$ ——带肋板加强肋钢筋配筋率。

**条文说明：5.6.6** 对于钢纤维 UHPC 构件，其抗弯性能不随时间变化而下降，即不存在老化现象，不用像耐碱玻纤、有/无机纤维 UHPC 构件那样引入强度衰减系数，取  $K=1$ ；对于耐碱玻纤、有/无机纤维 UHPC， $K$  值按照试验确定，具体试验方法参照现行行业标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ T 423 相关规定进行。超高性能混凝土外墙



板为了发挥其轻质薄壁作用，通常为薄板，超高性能混凝土标准试件和超高性能混凝土外墙板的抗弯性能差异系数较小，在 1.00~1.08 范围内，因此在承载力极限状态设计时忽略抗弯性能尺寸系数。

参照现行行业标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ T/423，标准试件通常采用标准厚度(10mm)的矩形板（即标准试件）所测得的抗弯性能（抗弯极限强度或比例极限强度）标准值作为构件的抗弯性基本值。

配筋 UHPC 构件截面设计中，耐碱玻纤、有/无机纤维不考虑构件截面受拉区 UHPC 的抗拉作用，而钢纤维强度衰减系数  $K=1$ ，因此配筋 UHPC 构件不考虑材料老化对构件截面承载力的影响。

## 5.7 抗裂验算

**5.7.1** 对于正常使用极限状态，耐碱玻纤、有/无机纤维、钢纤维 UHPC 构件的抗裂承载力应满足下式要求：

$$S_{\gamma} = R_{\gamma} \quad (5.7.1)$$

式中： $S_{\gamma}$ ——荷载效应按标准组合的设计值（MPa）；

$R_{\gamma}$ ——UHPC 构件抗裂承载力设计值（MPa）。

**5.7.2** 当 UHPC 构件进行抗裂验算时，其荷载与作用效应组合应按标准组合，并按本规范第 5.4.6 条规定计算。

**5.7.3** UHPC 构件开裂应力设计值验算应符合下列规定：

1 对于风荷载控制的基本组合：

$$\sigma_{\gamma} \leq \frac{(1 + \alpha_E \rho) f_{Lk}}{\gamma_g} \quad (5.7.3-1)$$

2 对于温度效应控制的基本组合：

$$\sigma_{\gamma} \leq \frac{(1 + \alpha_E \rho) f_{tk}}{\gamma_g} \quad (5.7.3-2)$$

式中： $\sigma_{\gamma}$ ——按标准组合，UHPC 构件截面开裂应力设计值（MPa）；

$f_{Lk}$ ——UHPC 材料比例极限抗弯强度标准值（MPa）；

$f_{tk}$ ——UHPC 材料抗拉强度标准值（MPa）；

$\alpha_E$ ——钢筋与 UHPC 材料弹性模量比；

$\rho$ ——带肋板加强肋钢筋配筋率；

$\gamma_g$ ——UHPC 材料抗裂分项系数，取 1.8。

**条文说明：5.7.3** UHPC 构件的抗裂验算是正常使用极限状态设计的基本内容，重要性

远大于挠度验算。其主要原因是 UHPC 构件的抗拉初裂强度较低，而另一方面，UHPC 构件大多限制在弹性范围工作，其变形较小，一般不会超过本规范规定的挠度限值。

根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定对于正常使用极限状态设计，UHPC 构件受重力荷载，风荷载和温湿度作用按标准组合计算其应力设计值。参考现行行业标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423，UHPC 材料抗裂分项系数取 1.8。

进行风荷载控制的截面应力设计值验算时，对于矩形截面，假定受拉钢筋合力作用点至截面受拉边缘的距离为  $a_s$ ，截面宽度为  $b$ ，高度为  $h$ ，当截面应力按线性分布时，则钢筋贡献的截面受拉边缘应力为  $12\left(\frac{1}{2}-\frac{a_s}{h}\right)^2\alpha_E\rho f_{Lk}$ 。当 UHPC 板厚度为 100mm、 $a_s$  取 20mm 时，钢筋贡献的截面受拉边缘应力为  $1.08\alpha_E\rho f_{Lk}$ ，偏于保守考虑取为  $\alpha_E\rho f_{Lk}$ 。

进行温度效应控制的截面应力设计值验算时，认为温度产生的应力沿截面均匀分布，此时钢筋贡献的截面应力为  $\alpha_E\rho f_{Lk}$ 。

## 5.8 锚固承载力计算

5.8.1 荷载按基本组合，锚固受拉承载力设计值应符合表 5.8.1 的规定

表 5.8.1 锚固受拉承载力设计规定

破坏类型	设计规定
锚栓钢材破坏	$\gamma_A N_d \leq F_{sk} \gamma_{sN}$
UHPC 锥体受拉破坏	$\gamma_A N_d \leq F_{ck} / \gamma_{cN}$
UHPC 劈裂破坏	$\gamma_A N_d \leq F_{spk} / \gamma_{spN}$

注：  $N_d$  ——荷载按基本组合计算的锚固拉力设计值（N）；

$F_{sk}$  ——锚栓（或锚杆）钢材破坏受拉承载力标准值（N）；

$F_{ck}$  ——UHPC 锥体破坏受拉承载力标准值（N）；

$F_{spk}$  ——UHPC 劈裂破坏受拉承载力标准值（N）；

$\gamma_A$  ——锚固连接的重要性系数，按本规范第 5.1.6 条和 5.1.7 条采用；

$\gamma_{sN}$  ——锚栓钢材受拉破坏承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用；

$\gamma_{cN}$  ——UHPC 锥体破坏受拉承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用；

$\gamma_{spN}$  ——UHPC 劈裂破坏受拉承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用。

**5.8.2** 荷载按基本组合，锚固受剪承载力应符合表 5.8.2 的规定

**表 5.8.2 锚固受剪承载力设计规定**

破坏类型	设计规定
锚栓钢材破坏	$\gamma_A V_d \leq Q_{sk} / \gamma_{sV}$
UHPC 楔形体破坏	$\gamma_A V_d \leq Q_{ck} / \gamma_{cV}$
UHPC 剪撬破坏	$\gamma_A V_d \leq Q_{cpk} / \gamma_{cpV}$

注：  $V_d$  ——荷载按基本组合计算的锚固剪力设计值（N）；

$Q_{sk}$  ——锚栓钢材破坏时的受剪承载力标准值（N）；

$Q_{ck}$  ——UHPC 边缘破坏受剪承载力标准值（N）；

$Q_{cpk}$  ——UHPC 剪撬破坏受剪承载力标准值（N）；

$\gamma_A$  ——锚固连接的重要性系数，按本规范第 5.1.6 条和第 5.1.7 条采用；

$\gamma_{sV}$  ——锚栓钢材破坏受剪承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用；

$\gamma_{cV}$  ——UHPC 边缘破坏受剪承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用；

$\gamma_{cpV}$  ——UHPC 剪撬破坏受剪承载力分项系数，按本规范表 5.8.5 采用。

**5.8.3** 拉剪复合受力下锚栓或连接螺栓钢材破坏时的承载力，应符合下列公式要求：

$$\left(\frac{N_d}{F_{sd}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{Q_{sd}}\right)^2 \leq 1 \quad (5.8.3-1)$$

$$F_{sd} = F_{sk} / \gamma_{sN} \quad (5.8.3-2)$$

$$Q_{sd} = Q_{sk} / \gamma_{sV} \quad (5.8.3-3)$$

式中：  $F_{sd}$  ——锚栓钢材破坏受拉承载力设计值（N）；

$Q_{sd}$  ——锚栓钢材破坏受剪承载力设计值（N）。

**5.8.4** 拉剪复合受力下 UHPC 基材破坏时的承载力应符合下列公式要求：

$$\left(\frac{N_d}{F_{cd}}\right)^{1.5} + \left(\frac{V_d}{Q_{cd}}\right)^{1.5} \leq 1 \quad (5.8.4-1)$$

$$F_{cd} = F_{ck} / \gamma_{cN} \quad (5.8.4-2)$$

$$Q_{cd} = Q_{ck} / \gamma_{cV} \quad (5.8.4-3)$$

式中：  $F_{cd}$  ——UHPC 锥体破坏受拉承载力设计值（N）；

$Q_{cd}$  ——UHPC 边缘破坏受剪承载力设计值 (N)。

**5.8.5** UHPC 构件锚固承载力分项系数 $\gamma_R$ ，宜根据锚固连接破坏类型及 UHPC 构件的类型不同，按表 5.8.5 确定。

**表 5.8.5 锚固承载力分项系数**

项次	符号	锚固破坏类型	UHPC 背附钢架板、单块面积小于 3m <sup>2</sup> 的 UHPC 带肋板或用于 24m 以下建筑高度的 UHPC 平板	单块面积大于 3m <sup>2</sup> 的 UHPC 带肋板或用于高层建筑的 UHPC 平板和单块面积小于 3m <sup>2</sup> 的 UHPC 带肋板
1	$\gamma_{cN}$	UHPC 锥体受拉破坏	1.8	3.0
2	$\gamma_{cV}$	UHPC 边缘受剪破坏	1.5	2.5
3	$\gamma_{spN}$	UHPC 劈裂破坏	1.8	3.0
4	$\gamma_{cpV}$	UHPC 剪撬破坏	1.5	2.5
5	$\gamma_{sN}$	锚栓钢材受拉破坏	1.2	1.3
6	$\gamma_{sV}$	锚栓钢材受剪破坏	1.2	1.3

**条文说明：5.8.1~5.8.5** UHPC 构件承受的各种荷载通过自身与预埋件间的锚固连接传递到主体结构上，可见，UHPC 构件与预埋件间的锚固承载力对 UHPC 结构的安全性来说是非常重要的。因此，UHPC 构件的锚固承载力设计是 UHPC 结构设计的重要组成部分。

通常，UHPC 构件在锚固处的主要内力形式为：锚固受拉、锚固受剪和锚固拉剪复合受力等几种形式。锚固承载力的设计计算也主要是围绕这几种内力形式进行。

UHPC 构件的锚固破坏形式也是多种多样的，且锚固破坏形式的改变，可显著改变 UHPC 构件的锚固承载力。在通常情况下，一般通过一定的制作工艺、技术手段和构造设计来避免出现锚固承载力较低或不易计算、不易控制的锚固破坏形式出现。而对于可控的或锚固承载力较大的破坏形式，则是设计希望出现的锚固破坏形式。为了说明这个问题，以下仅以形柔性锚杆的锚固受拉和预埋螺栓套筒受拉、受剪出现的破坏形式加以说明。

**1 L 形柔性锚杆的破坏形式(图 13)**

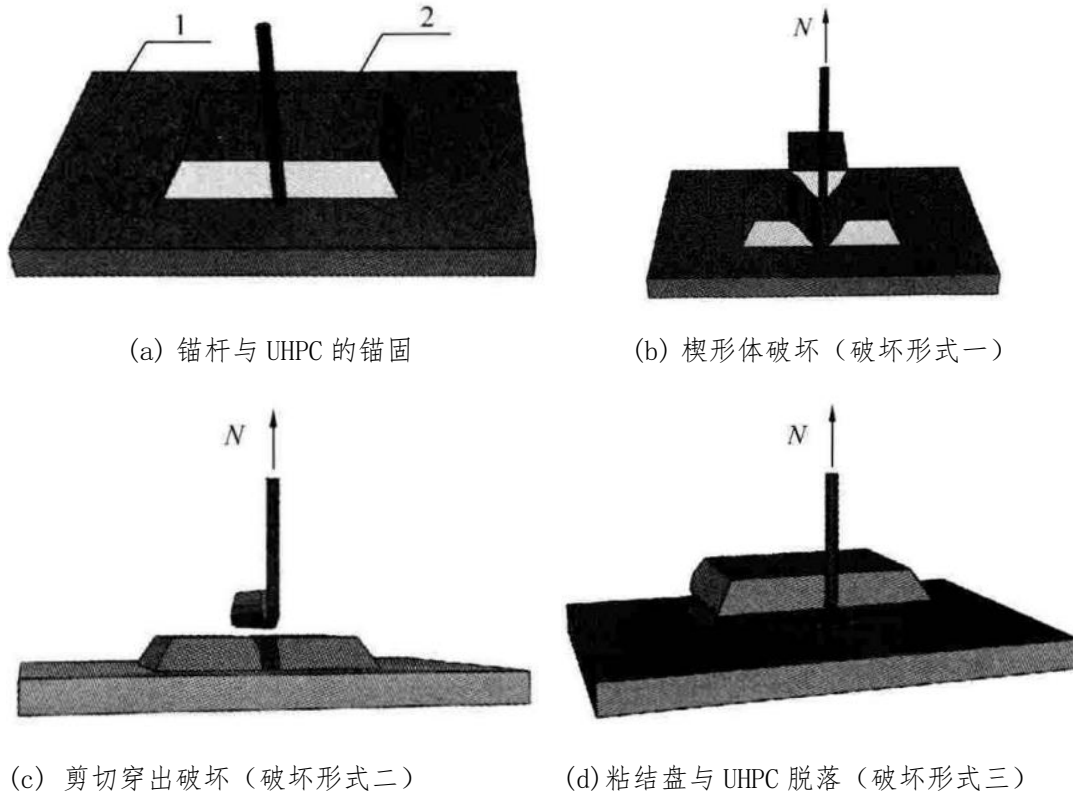


图 13 L 形柔性锚杆锚固破坏形式示意

1—UHPC 板；2—粘结盘

L 形柔性锚杆的锚固受拉破坏形式主要表现为楔形体破坏(图 13b)，剪切穿出破坏(图 13c)和粘结盘脱落破坏(图 13d)等三种形式。在这三种破坏形式中，剪切穿出破坏与粘结盘脱落破坏的锚固受拉承载力很低，因此，锚固设计时要避免出现上述两种破坏形式发生。对于剪切穿出破坏，通过控制粘结盘的厚度等构造措施来消除剪切穿出破坏形式的发生；对于粘结盘脱落破坏，没有相应的构造措施，只能对制造工艺提出必要的工艺要求来解决。对于楔形体破坏，锚固承载力较高，是希望的破坏形式。

## 2 预埋螺栓套筒(或后锚锚栓)的锚固破坏形式

预埋螺栓套筒(或后锚锚栓)受拉时主要出现锥体受拉破坏(图 13a)和劈裂破坏(图 14b)两种形式。其中，锥体受拉破坏承载力高，是希望的破坏形式；而劈裂破坏一般发生在后锚固锚栓预紧力较大或预埋螺栓套筒(或后锚锚栓)离构件边缘距离过小所致，其受拉承载力较低，在设计时应通过构造设计或结构计算避免发生这种破坏。

预埋螺栓套筒(或后锚锚栓)锚固受剪时会发生边缘楔形体受剪破坏(图 14c)和剪撬破坏(图 14d)。其中，边缘楔形体受剪破坏，承载力大，是正常的受剪破坏形式；而剪撬破坏一般发生在粗短锚栓埋设深度较浅的情形，其承载力较低，锚固受剪设计应避免这种破坏形式发生。通常，剪撬破坏形式可通过结构计算避免发生。

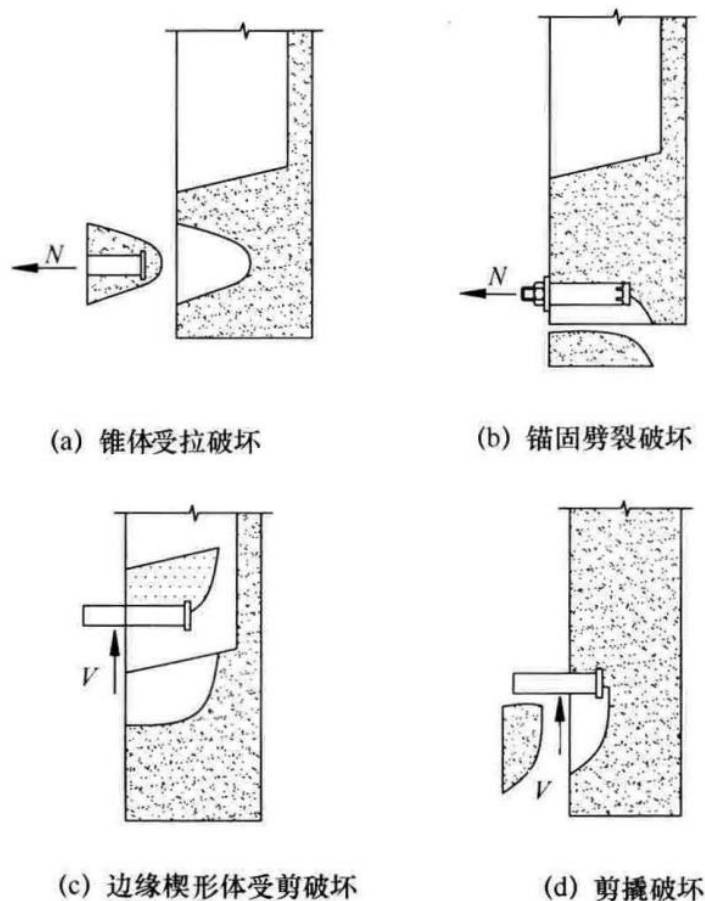


图 14 预埋螺栓套筒(或后锚锚栓)破坏形式示意

UHPC 构件锚固承载力设计计算公式及锚固承载力分项系数，系根据 UHPC 构件可能发生的锚固破坏形式及构件的类型、所使用的条件等按现行标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145 的规定确定。

**5.8.6** 对于 UHPC 构件的后锚固抗震设计，其锚固拉力设计值和锚固剪力设计值应按本规范第 5.4.1 条第 2 款的规定进行计算，后锚固受拉、受剪承载力应根据现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的相关公式进行计算，其计算结果应符合本规范第 5.1.7 条第 2 款的规定。

**5.8.7** UHPC 平板和 UHPC 背附钢架板的锚固承载力标准值可按下列要求确定：

1 应根据设计要求，按工厂制作工艺技术规程制作不少于 20 个锚固受拉试件（尺寸：300mm×300mm），经标准养护后测试锚固受拉承载力，并按下列公式计算预埋锚固受拉承载力标准值：

$$F_k = \bar{F} [1 - t_\alpha (n-1) \frac{S_N}{\bar{F}}] \quad (5.8.7-1)$$

$$S_N = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} \quad (5.8.7-2)$$

式中： $F_k$ ——锚固受拉承载力标准值（kN）；

$\bar{F}$ ——该批试件锚固受拉承载力平均值（kN）；

$S_N$ ——该批试件锚固受拉承载力样本方差；

$F_i$ ——单个试件的锚固受拉承载力（kN）；

$n$ ——样本容量；

$t_\alpha$ ——学生氏函数，按置信度 $1-\alpha$ 和样本容量 $n$ 确定。

2 应根据设计要求，按工厂制作工艺技术规程制作不少于 20 个锚固受剪试件（尺寸：300mm×300mm），经标准养护后测试锚固受剪承载力，并按下列公式计算预埋锚固受剪承载力标准值：

$$Q_k = \bar{Q} [1 - t_\alpha(n-1) \frac{S_V}{\bar{Q}}] \quad (5.8.7-3)$$

$$S_V = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5.8.7-4)$$

式中： $Q_k$ ——锚固受剪承载力标准值（kN）；

$\bar{Q}$ ——该批试件锚固受剪承载力平均值（kN）；

$S_V$ ——该批试件锚固受剪承载力样本方差；

$Q_i$ ——单个试件的锚固受剪承载力（kN）。

**条文说明：5.8.7** UHPC 背附钢架板的面板与柔性锚杆、及 UHPC 平板与预埋件（或后锚锚件）的锚固承载力推荐通过实验方法确定，其锚固承载力标准值根据样品试验实测得到的承载力数据，按美国 PCI 编制的《GFRC 板推荐性规范》规定的数理统计方法计算确定，但其概率分布的分位值为 0.05。 $t_\alpha(n-1)$  为根据置信度 $1-\alpha$ 和样本容量  $n$  按学生氏函数确定的统计值。

**5.8.8** 对于 UHPC 带肋板或缺乏锚固承载力实验数据的 UHPC 平板，锚固受拉承载力标准值和锚固受剪承载力标准值宜按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145 的相关公式计算确定。

**条文说明：5.8.8** UHPC 带肋板的锚固承载力采用实验实测方法确定比较困难，通常采用现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145 规定的相关公式计算确定。

## 6 UHPC 构件结构设计

### 6.1 UHPC 平板结构设计

6.1.1 UHPC 平板采用四点支承时，在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的面板弯曲应力标准值应按下列式计算：

$$\sigma_k \leq \frac{6mq_k l_y^2}{h^2} \quad (6.1.1)$$

式中： $\sigma_k$ ——UHPC 平板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值 (MPa)，即  $\sigma_k$  分别代表  $\sigma_{Gk}$  或  $\sigma_{wk}$  或  $\sigma_{Ek}$ ；

$q_k$ ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值 (MPa)；

$l_y$ ——UHPC 平板支承点间长边边长 (mm)；

$h$ ——UHPC 平板厚度 (mm)；

$m$ ——四点支承 UHPC 平板弯矩系数，根据 UHPC 平板支承点间的短边与长边边长之比  $l_x/l_y$  按表 6.1.1 确定。

表 6.1.1 四点支承 UHPC 平板弯矩系数  $m$

$l_x/l_y$	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
$m$	0.125	0.126	0.127	0.129	0.130	0.132	0.134	0.136
$l_x/l_y$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	—
$m$	0.138	0.140	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	—

注： $l_x$  为支承点之间的短边边长。

**条文说明：6.1.1** UHPC 构件在弹性范围工作，其挠度值一般小于板厚，因此本规范公式 (6.1.1-1) 完全满足四点支承 UHPC 矩形平板的应力计算。

6.1.2 UHPC 平板受温湿度作用产生的截面应力标准值宜按本规范第 5.3.7 条和第 5.3.8 条的要求确定。

6.1.3 UHPC 平板应进行承载力验算和抗裂验算。

6.1.4 UHPC 平板进行挠度验算时，其挠度应符合本规范第 5.1.5 条第 2 款的规定；其荷载与作用效应按标准组合，应符合本规范第 5.4.7 条规定。

6.1.5 UHPC 平板采用四点支承时，其挠度验算应符合下列规定：

1 UHPC 平板的刚度  $D$  可按下列式计算：

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.1.5-1)$$

2 UHPC 平板的挠度应按下列规定计算：



1) 对于竖直外墙或当自重对结构有利时的倾斜外墙，其挠度值应按下式计算：

$$\delta = \frac{\mu \omega_k l_y^4}{D} \quad (6.1.5-2)$$

2) 对于当自重对结构不利时的倾斜外墙，其挠度值应按下式计算：

$$\delta = \frac{\mu (q_{Gk} + \omega_k) l_y^4}{D} \quad (6.1.5-3)$$

式中：D——UHPC 外墙板刚度 (N/mm)；

$\nu$ ——UHPC 材料泊松比；

$q_{Gk}$ ——UHPC 平板重力荷载标准值沿垂直于板面方向的分量 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\mu$ ——挠度系数，根据 UHPC 平板支承点间短边与长边边长之比  $l_x/l_y$  按表 6.1.5 采用；

$\omega_k$ ——风荷载标准值 (N/mm<sup>2</sup>)；

$l_y$ ——UHPC 平板支承点间长边边长 (mm)；

$E$ ——UHPC 材料弹性模量 (MPa)；

$h$ ——UHPC 平板厚度 (mm)；

$\delta$ ——UHPC 平板挠度 (mm)。

表 6.1.5 四点支承 UHPC 平板的挠度系数  $\mu$

$l_x/l_y$	0.00	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65
$\mu$	0.01302	0.01317	0.01335	0.01367	0.01417	0.01451	0.01496	0.01555
$l_x/l_y$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	—
$\mu$	0.01630	0.01725	0.01842	0.01984	0.02157	0.02363	0.02603	—

3 四边支承 UHPC 平板的挠度限值  $\delta_{lim}$  宜按其支承点间长边边长的  $l/240$  确定。

**条文说明：6.1.3~6.1.5** 为了保证 UHPC 平板的结构安全及其正常使用，须对其进行承载力验算、抗裂验算和挠度验算。由于 UHPC 平板的安装倾角可能会大于或小于 90°。因此，在进行荷载组合时，重力荷载标准值采用其沿垂直于板面方向的分量代替。

为了便于设计操作，UHPC 平板的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行：

1 承载力验算：

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第 5.4.1 条~第 5.4.5 条的规定进行组合，并计算其应力设计值；

2) 对于风荷载控制的基本组合，其应力设计值按本规范第 5.6.5 条和第 5.6.6 条验算；

3) 对于温湿度效应控制的基本组合，其应力设计值按本规范第 5.6.5 条和第 5.6.6 条验算。

## 2 抗裂验算:

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第 5.4.6 条的规定进行组合, 并计算其应力设计值;

2) 对于风荷载控制的标准组合, 其应力设计值按本规范第 5.7.3 条验算;

3) 对于温湿度效应控制的标准组合, 其应力设计值按本规范第 5.7.3 条验算。

**6.1.6** 当进行锚固受拉承载力设计时, UHPC 锥体破坏受拉承载力标准值宜按本规范第 5.8.7 条的规定计算, 在缺乏锚固承载力实验数据时亦可按本规范第 5.8.8 条的规定计算。计算所得的锚固受拉承载力标准值应符合本规范第 5.8.1 条的规定; 对于后锚固抗震设计, 应符合本规范第 5.8.6 条的规定。

**6.1.7** UHPC 平板结构设计中横梁和立柱设计应符合现行行业标准《玻璃纤维增强水泥(GRC)建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 第 6.2 节和第 6.3 节的相关规定。

## 6.2 UHPC 带肋板结构设计

**6.2.1** 对于由竖向和横向加强肋所围成的板区格, 当面板的短边边长  $l_x$  与长边边长  $l_y$  之比小于 0.5 时, 其面板应力按单向板计算; 当面板短边边长与长边边长之比大于或等于 0.5 时, 其面板应力按双向板计算。

**6.2.2** 当按单向板设计时, 面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值应分别按下列公式计算:

1 两端简支或一端简支一端固定:

$$\sigma_k = 0.75 \frac{q_k l_m^2}{h^2} \quad (6.2.2-1)$$

2 两端固定:

$$\sigma_k = 0.5 \frac{q_k l_m^2}{h^2} \quad (6.2.2-2)$$

式中:  $\sigma_k$  ——面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值(N/mm<sup>2</sup>), 即  $\sigma_k$  分别代表  $\sigma_{Gk}$  或  $\sigma_{Wk}$  或  $\sigma_{Ek}$  ;

$q_k$  ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值(N/mm<sup>2</sup>), 即  $q_k$  分别代表  $q_{Gk}$  或  $\omega_k$  或  $q_{Ek}$  ;

$l_m$  ——区格内面板短边净跨 (mm) ;

$h$  ——面板板厚 (mm) 。

**6.2.3** 按双向板设计时, 面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值应按下列公式计算:

$$\sigma_k \leq \frac{6mq_k l_x^2}{h^2} \quad (6.2.3)$$

式中:  $l_x$  ——板区格面板短边边长 (mm) ;

$m$ ——沿短边方向弯矩系数，由面板长宽比 $l_x/l_y$ 按现行行业标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 附录 D 确定。

**条文说明：6.2.1~6.2.3** UHPC 带肋板由面板和加强肋组成。结构计算时为方便起见，一般将面板与加强肋拆分后分别进行计算。

对于 UHPC 面板的设计计算，首先根据面板与加强肋间的约束关系确定计算简图。一般情况下，UHPC 面板在边肋处可发生转动，因而面板在边肋处受到的约束可视为简支；而 UHPC 面板在中肋处不能发生转动，故面板在中肋处受到的约束视为固定。

对于单向板设计，本规范公式(6.2.2-1)和(6.2.2-2)系根据上述约束情况，按弹性方法确定。但在实际设计计算中，有可能出现其他的计算简图，在此情形下，面板的应力计算需根据实际的计算简图按弹性方法确定。

对于双向板设计，本规范公式(6.2.3)系按弹性方法分析确定，其中，弯矩系数根据约束状态查现行行业标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 附录 D 确定。

**6.2.4** 面板受温湿度作用产生的截面应力标准值可按本规范第 5.3.7 条和 5.3.8 条要求确定。

**6.2.5** 作用于 UHPC 面板的荷载应按三角形或梯形分布传递到加强肋上（图 6.2.5a 和图 6.2.5b），作用于加强肋的计算荷载应按等弯矩原则转化为等效均布荷载。

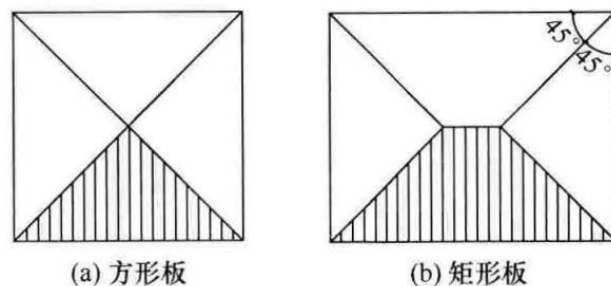


图 6.2.5 板面荷载向肋传递示意

**6.2.6** 各种加强肋计算截面的翼缘计算宽度 $b_f$ （图 6.2.6）应按下列规定确定：

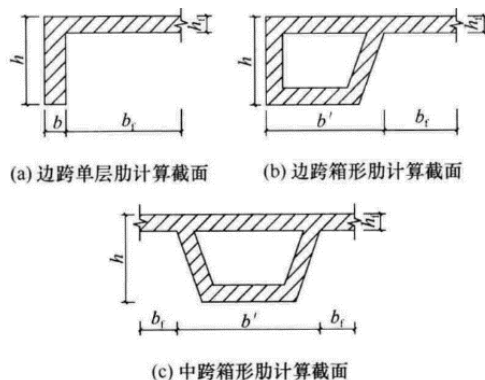


图 6.2.6 各种类型加强肋计算截面

1 当翼缘所在区格内的净跨尺寸小于或等于  $48h_f$  时， $b_f$  应取  $1/2$  净跨尺寸；

2 当翼缘所在区格内的净跨尺寸大于  $48h_f$  时,  $b_f$  应取  $24h_f$ 。

**条文说明: 6.2.6** 在计算加强肋的截面应力时, 考虑到面板与加强肋是共同受力的, 因此, 加强肋的计算截面为带翼缘的截面(见本规范图 6.2.6), 其有效翼缘宽度  $b_f$  按美国 PCI 编制的《GFRC 推荐性规范》确定为  $24h$  ( $h$  为板厚)。

**6.2.7** 加强肋在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值应按下式计算:

$$\sigma_k = \frac{M_k}{W_{\min}} \quad (6.2.7-1)$$

式中:  $\sigma_k$  ——加强肋在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 即  $\sigma_k$  分别代表  $\sigma_{Gk}$  或  $\sigma_{Wk}$  或  $\sigma_{Ek}$ ;

$M_k$  ——加强肋按重力荷载或风荷载或地震作用计算的弯矩标准值 ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ ), 即  $M_k$  分别代表  $M_{Gk}$  或  $M_{Wk}$  或  $M_{Ek}$ ;

$W_{\min}$  ——加强肋截面受拉区边缘弹性抵抗矩 ( $\text{mm}^3$ ), 取较小值。

**6.2.8** 加强肋受温湿度作用产生的截面应力标准值可按本规范第 5.3.7 条和 5.3.8 条要求确定。

**6.2.9** 无筋带肋板极限状态设计应符合下列规定:

1 UHPC 面板和加强肋应分别进行承载力验算和抗裂验算。

2 耐碱玻纤、有/无机纤维、钢纤维 UHPC 带肋板, 其面板和加强肋应分别进行挠度验算, 面板和加强肋的挠度值之和不应大于  $l/300$ 。

3 当进行 UHPC 构件锚固受拉和受剪承载力设计时, UHPC 锥体破坏受拉、劈裂破坏受拉承载力标准值或 UHPC 边缘形体破坏受剪、剪撬破坏受剪承载力标准值应符合下列规定:

1) UHPC 锥体破坏受拉、劈裂破坏受拉承载力标准值或 UHPC 边缘楔形体破坏受剪、剪撬破坏受剪承载力标准值应按本规范第 5.8.8 条的规定进行计算;

2) 计算所得的 UHPC 锥体破坏受拉、劈裂破坏受拉承载力标准值应符合本规范第 5.8.1 条的规定; 计算所得的 UHPC 边缘楔形体破坏受剪、剪撬破坏受剪承载力标准值应符合本规范第 5.8.2 条的规定; 对于后锚固抗震设计, UHPC 锥体破坏受拉劈裂破坏受拉承载力标准值和 UHPC 边缘楔形体破坏受剪、剪撬破坏受剪承载力标准值应符合本规范第 5.8.6 条的规定。

4 对于 UHPC 锚固拉剪复合受力承载力的设计, 其锚固拉剪复合受力承载力标准值应符合本规范第 5.8.4 条的规定; 对于后锚固抗震设计, 应符合本规范第 5.8.6 条的规定。

**条文说明: 6.2.9** 为保证 UHPC 带肋板的结构安全, 分别对 UHPC 面板和加强肋进行承载力验算, 即作用于 UHPC 面板或加强肋上自重荷载、风荷载、地震作用及温湿度作用等按基本组合分别计算的截面应力设计值不大于 UHPC 面板或 UHPC 加强肋的抗弯强度设计值或抗拉强度设计值。

UHPC 带肋板是一种非对称的结构且板截面尺寸大，具有较大的温湿度作用效应；而过大的温湿度作用效应也必然降低 UHPC 构件的承载能力。因此，对 UHPC 带肋板的设计，需适当控制 UHPC 带肋板的板幅尺寸，使之不产生过大的温湿度效应。其温湿度作用效应值参考本规范第 5.3.7 条和 5.3.8 条要求确定。

UHPC 带肋板的温湿度效应较大，其板面容易产生裂缝现象。因而，其抗裂性验算非常重要。抗裂验算时，分别对 UHPC 面板和加强肋所受到的各种荷载按标准组合计算其截面应力，并使其截面应力设计值不大于 UHPC 面板和加强肋的比例极限强度设计值或抗拉初裂强度设计值。

为了便于设计操作，UHPC 面板和加强肋的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行：

#### 1 承载力验算：

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第 5.4.1 条~第 5.4.5 条的规定进行组合，并分别计算面板和加强肋的应力设计值；

2) 对于风荷载控制的基本组合，面板和加强肋的应力设计值按本规范第 5.6.5 条和第 5.6.6 条验算；

3) 对于温湿度效应控制的基本组合，面板和加强肋的应力设计值按本规范第 5.6.5 条和第 5.6.6 条验算。

#### 2 抗裂验算：

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第 5.4.6 条的规定进行组合，并分别计算面板和加强肋的应力设计值；

2) 对于风荷载控制的标准组合，面板和加强肋的应力设计值按本规范第 5.7.3 条验算；

3) 对于温湿度效应控制的标准组合，面板和加强肋的应力设计值按本规范第 5.7.3 条验算。

UHPC 带肋板截面尺寸大，而工作应力较 UHPC 平板和 UHPC 背附钢架板更低，因此其挠度值很小。面板与加强肋分别按本规范第 5.4.7 条的规定验算挠度。

**6.2.10** 配筋耐碱玻纤、有/无机纤维 UHPC 的 T 形截面受弯构件应分别按上翼缘（面板）受压进行正截面受弯承载力计算。应根据本规范附录 D 的 UHPC 材料基本假定，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定进行计算。

**6.2.11** 配筋钢纤维 UHPC 的 T 形截面受弯构件按上翼缘（面板）受压的受弯承载力计算可按本规范附录 D.0.3 条计算方法确定。本规范附录 D.0.1 条规定的应力模型中各参数应依据相应的标准试验方法经试验确定。

**6.2.12** 荷载标准组合下，配筋耐碱玻纤、有/无机纤维和钢纤维 UHPC 的 T 形截面受弯构件应按本规范 5.7.3 条进行截面抗裂验算，且应按截面上翼缘受压验算挠度和裂缝宽度，其挠度和裂缝宽度计算应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。其挠度限值为  $l/250$ 、裂缝宽度限值为 0.3mm。

6.2.13 荷载标准组合下，配筋 UHPC 的 T 形截面受弯构件应按截面上翼缘面板受压进行抗裂验算，其抗裂承载力应符合本规范第 5.7.3 条的规定。

6.2.14 配筋 UHPC 构件的加强肋不宜配置弯起钢筋和箍筋；配筋 UHPC 受弯构件，其配筋肋斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq 0.7 \beta_h f_t b h_0 \quad (6.2.14-1)$$

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{0.25} \quad (6.2.14-2)$$

式中：V——加强肋斜截面上最大剪力设计值（N）；

$\beta_h$ ——截面高度影响系数；

$f_t$ ——UHPC 轴心抗拉强度设计值（MPa）；

$b$ ——加强肋截面腹板宽度（mm）；

$h_0$ ——加强肋截面有效高度，当  $h_0 < 800\text{mm}$  时，取  $h_0 = 800\text{mm}$ 。

条文说明：6.2.14 偏于保守考虑，耐碱玻纤、有/无机纤维、钢纤维 UHPC 板类受弯构件的受剪承载力统一按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 第 6.3.3 条不配置箍筋和弯起钢筋的板类受弯构件受剪承载力计算方法执行。

### 6.3 UHPC 背附钢架板结构设计

6.3.1 UHPC 面板采用纵横相互平行排列的柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的支承形式可简化为点支承结构（图 6.3.1）。

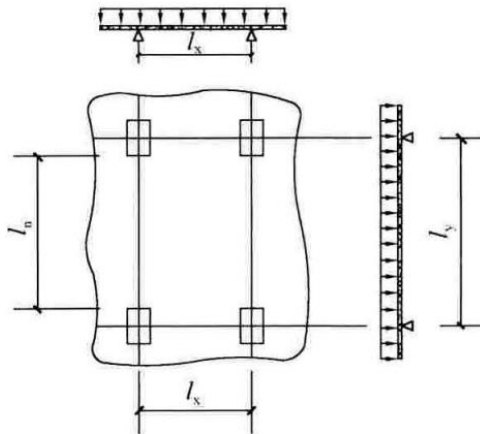


图 6.3.1 任一板区格内的计算简图

6.3.2 UHPC 面板在重力荷载或风荷载或地震作用下，板区格截面产生的最大应力标准值应按下式计算：

$$\sigma_k = 0.7312 \frac{q_k l_n^2}{h^2} \quad (6.3.2)$$

式中： $\sigma_k$ ——面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值（N/mm<sup>2</sup>），

即  $\sigma_k$  分别代表  $\sigma_{Gk}$  或  $\sigma_{wk}$  或  $\sigma_{Ek}$  ；

$q_k$  ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值(N/mm<sup>2</sup>)，即  $q_k$  分别代表  $q_{Gk}$  或  $\omega_k$  或  $q_{Ek}$  ；

$l_n$  ——板区格长边净跨 (mm) ；

$h$  ——板区格面板厚度 (mm) 。

**条文说明：6.3.1~6.3.2** UHPC 面板采用纵横相互平行排列的柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的支承约束可简化为点支承形式。这种点支承 UHPC 板的结构计算，目前国际上广泛采用美国 PCI 编制的《GFRC 推荐性规范》所推荐的直接设计法。其计算原理如下：

点支承 UHPC 面板内任一板区格的计算简图如本规范图 6.3.1 所示，板区格内的总弯矩  $M_0$  按简支条件下长跨计算，如下式：

$$M_0 = \frac{q_k l_x l_n^2}{8} \quad (12)$$

板区格沿长跨方向假想为支承板带和跨中板带，支承板带和跨中板带各占板区格短跨长度的 1/2(图 15)。板区格的内力分布如图 16，其内力分配如下：

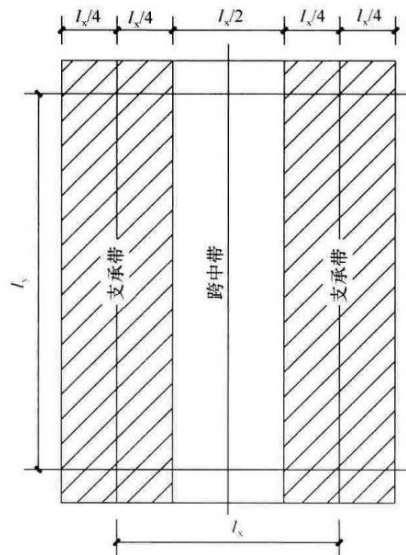


图 15 支承带与跨中带在板区格内的分布示意

负弯矩  $M_s = 0.65M_0$ ；正弯矩  $M_f = 0.35M_0$ ；

支承带负弯矩  $M_{As} = 0.75M_s = 0.4875M_0$ ；支承带正弯矩  $M_{Af} = 0.6M_f = 0.21M_0$ ；

跨中带负弯矩  $M_{Bs} = 0.25M_s = 0.1625M_0$ ；跨中带正弯矩  $M_{Bf} = 0.4M_f = 0.14M_0$

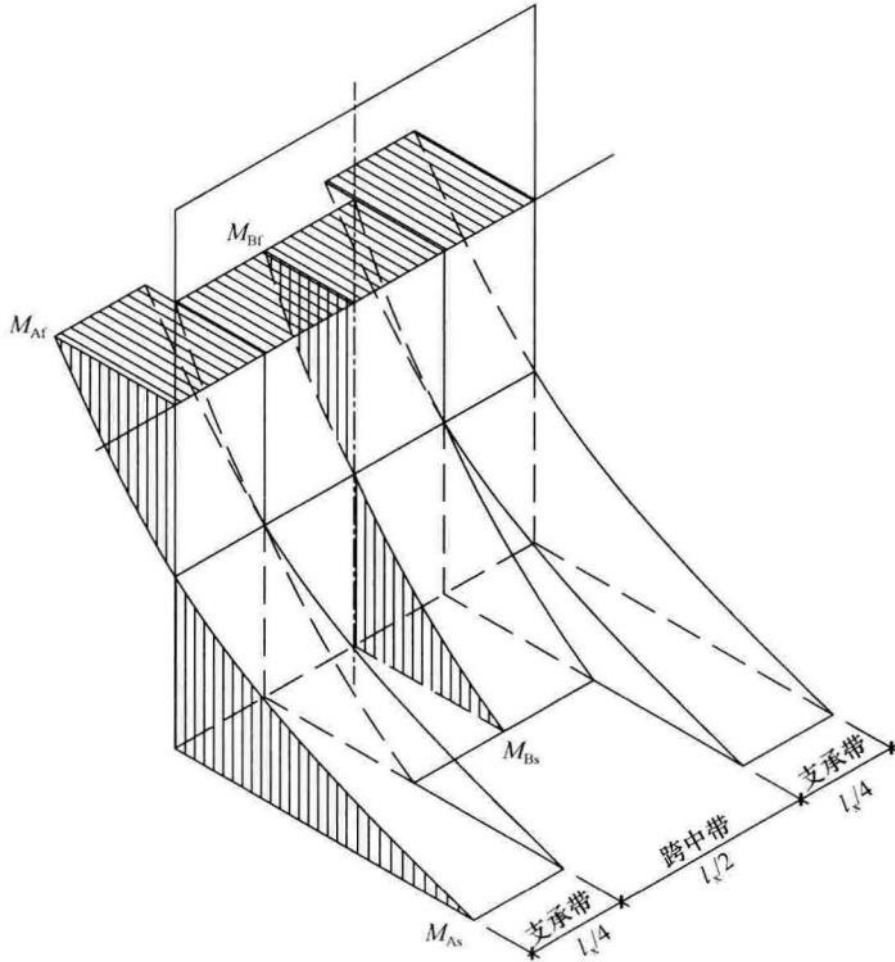


图 16 板区格内的内力分布示意

在垂直于板面方向的重力荷载或风荷载或地震作用下板区格截面产生的最大应力标准值按下式计算：

$$\sigma_k = \frac{M_{As}}{W} = \frac{0.4875M_0}{\frac{1}{6}\left(\frac{1}{2}l_x\right)h^2} = 0.7312 \frac{q_k l_n^2}{h^2} \quad (13)$$

式中： $\sigma_k$ ——面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值(N/mm<sup>2</sup>)，  
即 $\sigma_k$ 分别代表 $\sigma_{Gk}$ 或 $\sigma_{wk}$ 或 $\sigma_{Ek}$ ；

$q_k$ ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值(N/mm<sup>2</sup>)，即 $q_k$ 分别代表 $q_{Gk}$ 或 $w_k$ 或 $q_{Ek}$ ；

$l_n$ ——板区格长边净跨(mm)；

$h$ ——板区格面板厚度(mm)；

**6.3.3** 面板受温湿度作用产生的截面应力标准值可按本规范第 5.3.7 条和 5.3.8 条要求确定。

**条文说明：6.3.3** 对于板幅尺寸不大于 6m 的 UHPC 背附钢架板，当柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的构造尺寸符合本规范推荐的构造尺寸条件下，其 UHPC 面板的温湿度应力一般小于



0.3N/mm<sup>2</sup>，可忽略不计。但对于板幅尺寸大于6m的UHPC背附钢架板，其UHPC面板所产生的温湿度应力根据其面板所受柔性锚杆约束的实际工况或按本规范第5.3.7条和第5.3.8条的规定确定。

#### 6.3.4 UHPC面板应分别进行承载力验算和抗裂验算。

**条文说明：6.3.4** UHPC面板通过柔性锚杆或预埋螺栓锚杆支承在背附钢架上，其挠度由背附钢架控制。因此，UHPC面板仅需要进行承载力和抗裂验算。

对于板幅尺寸不大于6m且柔性锚杆或预埋螺栓锚杆构造尺寸基本合理的UHPC背附钢架板，因温湿度效应可忽略不计，其荷载与作用仅需考虑重力荷载、风荷载和地震作用。

对于板幅尺寸大于6m的UHPC背附钢架板除应考虑自重荷载、风荷载和地震作用外，还需按本规范第6.3.3条的规定合理估算UHPC面板的温湿度作用效应。在一般情况下，上述荷载的基本组合或标准组合，均由风荷载控制。但当板幅尺寸过大时，可能会出现由温湿度作用控制的基本组合或标准组合。由于这种工况会明显降低UHPC面板承受外荷载的能力，因此，尽量避免出现这种由温湿度作用控制的荷载组合工况。

为了便于设计操作，UHPC面板的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行：

##### 1 承载力验算：

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第5.4.1条~第5.4.5条的规定进行组合，并分别计算UHPC面板的应力设计值；

2) 对于风荷载控制的基本组合，UHPC面板的应力设计值按本规范第5.6.5条和第5.6.6条验算；

3) 对于温湿度效应控制的基本组合，UHPC面板的应力设计值按本规范第5.6.5条和第5.6.6条验算。

##### 2 抗裂验算：

1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本规范第5.4.6条的规定进行组合，并分别计算UHPC面板的应力设计值；

2) 对于风荷载控制的标准组合，UHPC面板的应力设计值按本规范第5.7.3条验算；

3) 对于温湿度效应控制的标准组合，UHPC面板的应力设计值按本规范第5.7.3条验算。

#### 6.3.5 UHPC面板与柔性锚杆或预埋螺栓锚杆采用预埋锚固，其锚固承载力应符合下列规定：

**1** UHPC面板与柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的锚固承载力应采用试验方法确定，其中，柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的锚固受拉承载力标准值和重力锚杆的锚固受剪承载力标准值应按本规范第5.8.7条的规定计算；

**2** 所计算的锚固受拉承载力应符合本规范第5.8.1条的规定。其中，UHPC构件的锚固拉力设计值应依据UHPC构件传递到锚固处的各种荷载按基本组合计算；

**3** 所计算的锚固受剪承载力标准值应符合本规范第5.8.2条的规定。其中，UHPC构件的锚固剪力设计值应依据UHPC构件传递到锚固处的各种剪力按基本组合计算。

**条文说明:6.3.5** UHPC 面板与柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的锚固连接进行承载力验算时,面板与柔性锚杆或预埋螺栓锚杆的锚固进行锚固受拉承载力验算,面板与重力锚杆的锚固进行锚固受剪承载力验算。

**6.3.6** 背附钢架设计应符合现行行业标准《玻璃纤维增强水泥 (GRC) 建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 第 8.2 节的相关规定。

## 7 制作加工

### 7.1 一般规定

**7.1.1** UHPC 构件生产单位应具备相应的生产工艺设施和必要的试验检测手段，并应建立完善的质量管理体系。

**7.1.2** UHPC 构件制作前，应根据设计要求、工艺要求和质量标准进行技术交底，应制定相应的生产方案，并通过试验性制作确认生产方案的可行性、适用性。

**条文说明：7.1.2** 生产方案包括生产工艺、制模工艺、生产计划、技术质量控制计划、成品保护、堆放及运输方案等内容。

**7.1.3** UHPC 构件生产用原料宜采用预混料进行拌和制备；在原材料稳定、具备完善原材料储存、计量、投料和搅拌设备系统，且经检验所生产的 UHPC 构件性能满足本规范第 3.2 节要求的条件下，亦可采用直接拌和的 UHPC 混合料。

**条文说明：7.1.3** UHPC 构件大多是在工厂预制生产，生产企业在原材料、工艺控制满足要求的前提下，直接拌和工艺制备 UHPC 混合料，相对采用预混料可以节约成本。

**7.1.4** 操作人员应做好个人安全和健康防护。

### 7.2 原材料储存

**7.2.1** 原材料的仓储设施应符合现行环保和安全要求。

**7.2.2** 预混料或直接拌和用原材料应按品类、规格和生产厂家分别标识，并应采取防尘、防风、防潮、防雨措施。

**7.2.3** 独立包装的原材料包装应完好无污染。外加剂的储存应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的有关规定；钢纤维的储存应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T39147 的有关规定

### 7.3 材料拌和

**7.3.1** 应根据 UHPC 的工作性能、力学性能、耐久性及其它必要性能要求设计初始配合比。初始配合比经试配、调整得出满足要求的基准配合比和搅拌工序，并经物理力学性能指标复核后确认。

**条文说明：7.3.1** UHPC 的原材料的选用、原材料性能、配制技术和质量控制对产品性能有很大影响，因而在生产之前根据工程和产品实际要求设计和复核配合比和搅拌工序，并在后期生产过程严格执行。

**7.3.2** 原材料的计量应采用具有有效校准证书的计量设备，并应定期自检。生产单位每月应

至少自检一次，每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

**7.3.3** 原材料应按照质量计量，计量偏差不应超出±1%。

**条文说明：7.3.3** UHPC 生产对原材料的计量准确性要求较高，本规范要求水泥、细骨料、矿物掺合料、水、外加剂和纤维等原材料的计量偏差不应超出±1%，采用电子计量设备有利于保证计量精度，保证 UHPC 的生产质量。

**7.3.4** UHPC 宜采用强制式搅拌机拌和，一次搅拌量不宜超过搅拌机公称容量的 70%。

**条文说明：7.3.4** 预拌混凝土使用的强制式搅拌机通常具有较好的搅拌分散效率，适用于生产 UHPC。不同类型、构造和功率的生产型搅拌机的搅拌效率有一定差异，适宜的搅拌时间也会不同。当纤维掺量较高、拌合物稠度较大时，搅拌机需要较大功率。为避免超载，规定一次搅拌量不宜超过搅拌机公称容量的 70%。

**7.3.5** 应按照试配确定的搅拌工艺、工序和时间进行搅拌。

**7.3.6** 搅拌应保证拌合物的匀质性，出机拌合物中不应含有肉眼可见的纤维结团。

**条文说明：7.3.6** 对于使用高长径比纤维的 UHPC，若纤维没有散开就投入搅拌机，依靠搅拌散开纤维团或者耗费时间，或者无法完全散开，可能会存在纤维结团的现象，因此，通常在投料前设置散开纤维团的下料装置。

**7.3.7** 应采取有效措施防止计量、投料和搅拌过程中扬尘。

## 7.4 UHPC 构件制作

**7.4.1** UHPC 构件制作前应进行产品图的设计，产品图应与安装图相一致。

**7.4.2** UHPC 构件产品图应标识构件尺寸、预埋件或背附钢架对应位置、构件剖面、细部详图、材料名称及规格等信息。

**7.4.3** 制作 UHPC 构件的模具应有足够刚度和尺寸精度且不吸水，模具制作应考虑 UHPC 的早期收缩。应检查模具安装的紧固性和接缝的闭合密封情况，应保证模具在构件生产过程中不变形、不漏浆。投入生产前应对模具进行验收。应选用对 UHPC 构件表面无污染的隔离剂并均匀涂覆。

**条文说明：7.4.3** 模具可以是木模、玻璃钢模、钢模、硅胶模、水泥模、石膏模或复合模等，刚度和尺寸精度要求是为了确保 UHPC 构件产品不出现变形和尺寸偏差。UHPC 构件在完成喷射或浇注作业至构件硬化过程中会出现明显的收缩变形，对于尺寸较大构件，应结合理论和实验得出构件的收缩值，在制作模具时通常将尺寸相应放大以补偿收缩。UHPC 拌合物中骨料粒径小、浆体多且常常稠度较低，浇注过程对模具净水压力大，容易漏浆和胀模，因而模具组装固定是 UHPC 构件生产的关键环节之一，应仔细检查模具密封性、牢固性和可靠性。

**7.4.4** 浇注成型宜选用自流平或自密实浆料或采取内外辅助振动工艺进行密实。应从模具一侧开始浇注，同一构件应一次性浇注完成，如由于特殊原因需 2 次或多次浇注，应确保前次

浆料未初凝，并采用有效方式搅动接触面。

**条文说明：7.4.4** UHPC 水胶比低，表面失水会在短时间使表面出现结皮情况，故浇注、振捣尽可能快速连续完成。表面出现结皮，通常均匀喷水雾补偿损失水分，同时避免出现积水现象。下料点从模具一侧开始，使拌和物慢慢向前推进，避免形成不同下料点材料汇合。多次浇注间隔时间过长，层间会出现冷缝。汇合面和层间可能无纤维穿过，成为抗拉薄弱面，通常对该部位采用插捣或刮耙等措施消除结合面对纤维分布的不利影响。

**7.4.5** 拌合物的振捣不应导致纤维分布不均匀，浇注振捣和抹面应避免纤维外露。

**条文说明：7.4.5** 根据 UHPC 的实际配比情况选用合适的密实方法，重点要考虑对纤维分布的影响，特别是关键部位、关键受拉方向纤维分布和趋向性的影响。对于含钢纤维的 UHPC 拌合物，慎用高频强力振捣，以减小和避免钢纤维的离析或沉降。采取可靠措施避免模板边缘、构件棱角和尖角处纤维的集中和外露。

**7.4.6** 带有背附钢架的 UHPC 构件在喷射或浇注作业时宜预埋设套筒等连接件，UHPC 硬化后再与钢架装配连接；若采用喷射或浇注过程中直接装配背附钢架，应采取可靠措施使连接件与背附钢架间有相对移动能力，并应在 UHPC 完全硬化后紧固。预埋套筒等连接件宜采取必要的承托和定位措施。

**条文说明：7.4.6** UHPC 构件在完成喷射或浇注作业至构件硬化过程中会产生明显的收缩变形，过早地与背附钢架进行装配固定会产生较大的开裂风险。辅助承托和定位装置是为了避免背附钢架的重量通过连接锚固点直接施加到未凝结的 UHPC 材料上，造成产品变形、局部裂纹及表面花斑等质量问题。

## 7.5 养护与脱模

**7.5.1** UHPC 构件制作完成后应立即覆盖薄膜或喷洒养护剂或加湿等措施进行保湿养护。

**条文说明：7.5.1** 在塑性阶段（凝结硬化前）UHPC 失水量过大会易产生塑性收缩裂缝，避免的有效方法是构件制作完成马上将暴露表面覆盖，防止或减少水分损失。

**7.5.2** 采用自然养护方式时，养护的环境平均气温宜高于 10℃，当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 5℃时，应按冬期施工处理，采取保温措施。

**7.5.3** 采用蒸汽养护时，应采用标准蒸汽养护制度，蒸汽养护温度控制宜采用自动控制系统。蒸汽养护应控制升、降温速率及最高温度，养护过程应符合下列规定：

- 1 常温下静停时间宜为 1d~2d，相对湿度不应低于 60%；
- 2 升温速率不宜大于 15℃ / h，降温速率不宜大于 15℃ / h；
- 3 最高蒸汽养护温度应为 90℃，恒温养护时间不应小于 48h。

**条文说明：7.5.3** 控制蒸汽养护过程中的升温速率和降温速率以及 UHPC 表面与环境温差，减少温度应力对构件的不利影响。

**7.5.4** 其它蒸汽养护或热处理制度应通过试验确定。

**7.5.5** UHPC 构件应达到设计强度的 50%以上方可脱模，脱模时不应采用易造成局部应力过于集中的方法，当构件特殊或尺寸太大无法采用人工脱模时，应在构件中埋入专用脱模套管或套环，借助起吊设备以及脱模辅助装置操作。

**条文说明：7.5.5** UHPC 材料脱模强度一般为产品设计强度值的 50%以上，局部应力过于集中会导致 UHPC 局部出现破损或开裂。对长宽比较大、薄壁或镂空等构件拆模前通常采取临时加固措施，避免吊运过程出现损坏或事故。

**7.5.6** UHPC 构件自然养护试件的龄期不应小于 28d；蒸汽养护试件的龄期不应小于 7d。低于标准温度时养护时间应适当延长。

**7.5.7** 以耐碱玻璃纤维为主要增强纤维的 UHPC 构件不应采用高温蒸汽养护。

**条文说明：7.5.7** 耐碱玻璃纤维在高温高湿的碱性环境里会加速老化，逐渐失去增韧增强效果，因而以耐碱玻璃纤维为主要增强纤维的 UHPC 构件不应采用高温蒸汽养护。

## 7.6 金属构件加工

**7.6.1** 钢构件的加工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定；钢构件焊接、螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 及《钢结构焊接规范》GB50661 的有关规定。

**7.6.2** 铝合金型材构件加工应符合现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB50429 的有关规定。

**7.6.3** UHPC 构件生产企业应配置金属构件加工需要的场地和设施，加工好的金属构件不应产生变形。

**条文说明：7.6.3** 金属件制作加工过程避免或最大程度降低机械外力、焊缝应力造成的金属构件变形。

**7.6.4** 金属构件加工制作应符合设计要求，与 UHPC 构件装配前应检验尺寸偏差、安置点位置、焊接质量、防锈涂层质量等。

## 7.7 检验

**7.7.1** UHPC 构件不应有严重缺陷，对于一般缺陷应在工厂内修复后方可出厂。

**条文说明：7.7.1** 严重缺陷是指影响产品结构性能或安装使用功能的缺陷。

**7.7.2** UHPC 构件的尺寸偏差及检验方法应符合第 3.2 节及表 7.7.2 规定。

**表 7.7.2 UHPC 构件尺寸允许偏差及检验方法**

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
钢架位置偏差	±5	尺量检查
预埋件、孔、槽位置偏差	±5	尺量检查

7.7.3 金属构件的尺寸偏差及检验方法应符合表 7.7.3 的规定。

表 7.7.3 金属构件尺寸允许偏差及检验方法

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
边长	±10	尺量检查
对角线差	≤10	尺量检查
连接件、支承件加工尺寸	±5	尺量检查
孔、槽位置	±10	尺量检查
翘曲	≤5	拉线尺量检查

7.7.4 UHPC 构件性能检验应符合下列规定：

1 UHPC 构件每班生产的同时应按本规范第 3.2 节要求制作试件并进行相关性能测试。测试结果应符合本规范及设计要求；

2 生产企业应建立满足日常检测要求的实验室，生产期间每天应对测试样板进行测试，检测的结果在工程竣工后一年内应进行保存。

7.7.5 UHPC 构件的色差应符合建筑外观效果要求。

**条文说明：7.7.5** 色差无法用量化的标准进行控制，一般而言 UHPC 产品的属性决定了色差很难避免，色差是可以通过规范材料与工艺得到有效控制，轻微色差能反映出 UHPC 材料的自然艺术表现力，但过大色差难以被建筑师或业主接受，这种带有主观性的评判标准有时容易产生分歧，通常本着协商的原则进行妥善处理。在工程实践中，色差过大不被接受时，通常在各方协商一致的前提下，通过必要的表面处理来改善色差。

7.7.6 UHPC 构件验收合格后，应在产品非外观面的显著位置设置标识，标识的内容应包括产品编号、制作日期、合格状态、生产企业名称等信息。

**条文说明：7.7.6** 为了不影响产品外观面的效果，通常标识设置在产品背面显著位置。

## 7.8 搬运和堆放

7.8.1 UHPC 构件搬运应符合下列规定：

1 UHPC 构件的搬运应次数最少化，应根据产品的形状、尺寸和重心，采取合理的搬运措施；

2 搬运期间，构件应避免受到因振动、碰撞或挤压导致的局部应力集中；

3 搬运过程中应采取人身安全和对产品的必要保护措施，对于特殊产品应制定专门的质量安全保证措施。

**条文说明：7.8.1** UHPC 非承重构件大多比较细长或轻薄，因而搬运不当会引起变形或破坏，采取可靠措施加以控制。

### 7.8.2 UHPC 构件堆放应符合下列规定：

- 1 应根据 UHPC 构件造型特点按位置顺序进行堆放，应避免构件产生变形、破损或开裂；
- 2 支承性、填充性以及防护性材料不应对构件产生损坏、污染；
- 3 应设置专门的堆放场地，场地应平整、坚实，并应留有足够的中转空间和运输通道；
- 4 堆放在成品区的 UHPC 构件应采取必要的包装保护措施，防止表面污染；
- 5 对使用衬垫或支架等支承构件，支承点应为安装预埋件位置；
- 6 叠放构件数量不应超过两个，当两个构件需叠放时，接触位置应放置缓冲材料；
- 7 雨期和寒冷天气应采取防雨淋、防雪措施。



## 8 安装施工

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 安装 UHPC 构件应在主体工程验收后进行，现场满足安装条件后方可施工。

**8.1.2** 进场的 UHPC 构件的品种、规格、性能应符合设计要求，应复查质保资料并进行性能复试。安装前应对现场施工人员进行技术交底。

**8.1.3** 安装施工单位应编制专项施工方案，并应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 编制依据；
- 3 施工进度计划；
- 4 材料与设备计划；
- 5 安装方法；
- 6 安装顺序；
- 7 检验方法；
- 8 安全与文明施工措施。

**8.1.4** UHPC 构件施工作业环境应符合下列规定：

- 1 温度应在 0℃ 以上；
- 2 雨雪天气和 6 级以上大风天气不得作业；
- 3 安装作业上下方不应同时有其他作业。

**条文说明：8.1.4** 低温天气构件、预埋件和连接件上有可能出现结露和霜雾，而且对于需要嵌缝的工程，温度越低，固化时间越长，胶的收缩性越大，容易出现胶与构件边缘出现裂纹。低温对嵌缝前构件接缝处的清理工作也会造成不便，综合上述考虑，施工温度控制在正温。

**8.1.5** UHPC 构件的安装应与屋面、墙体保温施工和门窗安装等工种协调配合。

**条文说明：8.1.5** 为避免出现天沟部位、与门窗的交接部位渗水，UHPC 施工需要与屋面防水施工方、门窗安装方积极协调。

**8.1.6** UHPC 构件安装施工安全措施应符合国家现行有关标准的规定。

### 8.2 运输和现场堆放

**8.2.1** UHPC 构件装卸应符合下列规定：

- 1 UHPC 构件的装卸顺序应与安装顺序相符；
- 2 装卸 UHPC 构件时应有保护措施，UHPC 构件与包装紧固材料之间应有保护材料；
- 3 装卸设施应根据产品造型或包装特点确定，除较小产品可用人工装卸外，应采用专用托盘和支架并应采用叉车或吊机进行装卸。当采用吊机进行装卸时，宜将吊点设置在包装支

架上；

4 叠放时应确定竖向力的传递方向，必要时应使用专用支架。当长条形板竖向放置时，两端应有侧向水平支承；

5 装卸过程应轻缓平稳。

**8.2.2 UHPC 构件运输应符合下列规定：**

1 运输方案应根据项目特点制定，对于超宽、超高或造型特殊的构件应采取安全措施；

2 在运输车辆上应放置适当的垫块，同时应确定构件码放位置，在运输途中包装箱、托盘、支架应平稳；

3 运输车辆应满足产品装载和造型尺寸限制的要求，应采取防止产品移动、倾倒、变形的固定措施，应进行合理的固定和捆扎；

4 运输时应采取防止构件损坏的措施，对产品边角部位及捆扎固定的接触部位应采取必要的保护措施。

**8.2.3 施工现场 UHPC 构件堆放措施应符合本规范第 7.8.2 条规定，并应符合下列规定：**

1 现场应规划堆放区域，不宜与其他建筑材料或设备混放。构件应按安装顺序编号依次堆放；

2 现场应采取防尘、防污、防水保护措施，施工车辆、机械或其他作业应避免对构件造成意外破坏。

## 8.3 施工准备

**8.3.1 施工现场 UHPC 构件、安装辅件及主体结构上的锚固件应进行检查验收，并应包括下列内容：**

1 构件外观检查；

2 构件尺寸误差、角度误差、平整度误差和端部垂直度等对构件安装质量有影响的尺寸；

3 龙骨和预埋件构造及其防锈蚀处理；

4 安装辅件和材料质量，包括连接件、螺栓、垫片、膨胀螺栓或化学锚螺、止水垫片、密封胶条、密封胶、表面防护剂等；

5 主体结构上的锚固件的构造、安全性及防腐处理。

**8.3.2 UHPC 构件安装前应对主体结构进行现场测量和对安装部位结构和墙体进行检查，对影响安装的结构误差及其他问题应向相关部门报告并及时处理。检查应包括下列内容：**

1 对结构和墙体的尺寸、墙面平整度和标高等进行测量及尺寸复核；

2 检查结构与墙体是否存在蜂窝、孔洞、裂缝、夹层、凹凸、抹灰空鼓等问题；

3 检查门窗部位、保温层和防水构造等与构件安装有关部位的状况；

4 检查水电通信进户管线、落水管、空调预留孔洞、沉降缝、伸缩缝等情况。

## 8.4 安装施工

**8.4.1** UHPC 构件应通过支承结构与主体结构连接。UHPC 构件与支承结构应采用插槽连接或螺栓连接，严禁现场焊接。

**条文说明：8.4.1** 支承结构起到将荷载从 UHPC 构件传递到主体结构的作用，安装时定位调节、误差调节及后期由于板块在温度和湿度作用下产生的尺寸变化的消化也需通过支承结构来完成。另外焊接质量和防腐处理也难以保障。

**8.4.2** 支承结构与主体结构的连接方式应符合下列规定：

- 1 混凝土结构应采用预埋锚固或后锚固；
- 2 钢结构宜采用螺栓连接，在焊缝防腐措施能保证的情况下也可采用焊接；
- 3 除小型构件或墙体经过事先设计和处理的情况下，不宜将 UHPC 构件直接安装在砌体结构上。

**8.4.3** 支承结构与主体结构焊接部位的防腐应符合设计要求。

**条文说明：8.4.3** 支承结构与钢结构主体采用焊接连接方式时，通常将焊缝去渣、清理干净，熔瘤和毛刺做打磨处理，表面达到平滑/圆滑，再进行表面防锈处理，涂刷环氧富锌漆两道，厚度一般不小于 60  $\mu\text{m}$ 。

**8.4.4** 竖向连续分布构件宜自下而上安装，竖向不连续分布的构件可同时在不同层次作业。横向连续构件的安装顺序应根据误差进行分配，宜从边角开始安装。环窗构件的安装顺序宜为窗台—窗边—窗顶。

**8.4.5** 柱式 UHPC 构件可一点吊装，横向尺度大的 UHPC 构件应采用两点或多点吊装。吊点设置应平衡。

**8.4.6** 有背附钢架的 UHPC 构件，吊点数量和位置应根据背附钢架刚度和构件的形状确定。吊装点应布置在钢架上，吊装荷载不应作用到构件、预埋件或锚杆上。

**8.4.7** 无背附钢架的 UHPC 构件吊装点不宜采用安装预埋件替代，应设置专门吊点，或内置吊装螺母或埋入吊装钢索等。

**8.4.8** UHPC 构件就位后经测量确定三维方向的位置和角度都应在允许误差范围内，方可固定。

**8.4.9** 每个 UHPC 构件均应独立与主体结构或支承结构连接，不得承受上部或邻近 UHPC 构件的荷载。

**8.4.10** 檐线、腰线、窗台线等横向 UHPC 构件，应有不小于 3%的排水坡度。

**8.4.11** 支承结构与主体结构连接应在围护墙体和屋面的保温层和防水层施工前完成。如遇特殊情况需要倒序施工，对破坏的保温层和防水层应填充封堵。安装 UHPC 构件时，严禁踩踏、碰撞和破坏保温层和防水层。

**8.4.12** UHPC 构件接缝允许偏差内，可将部分安装偏差在构件接缝中调整。

**8.4.13** 构件与构件之间、构件与墙体或其他围护材料的接缝处理措施，应符合设计要求。

**8.4.14** 对于 UHPC 复合板外墙,宜采用双重止水构造,在密封胶嵌缝之前应粘结止水胶条。止水胶条宜为空心胶条,两侧应粘结到 UHPC 构件上,其外径尺寸应大于缝宽。

**8.4.15** UHPC 构件嵌缝处理应先修整接缝、清除浮灰。嵌缝时构件应干燥,不宜在雨雪天气作业。

**8.4.16** 嵌缝应填充饱满、深度一致。

**8.4.17** UHPC 构件安装过程中出现的局部缺棱掉角、表面污染问题,应进行修补或去污处理。

**条文说明: 8.4.17** UHPC 构件安装过程中出现的局部缺棱掉角指不影响结构安全性能的局部损坏,如局部损坏未影响到受力连接件固定处等。

**8.4.18** UHPC 构件与主体结构的连接节点应按隐蔽工程验收。

## 8.5 安装质量要求

**8.5.1** UHPC 构件与主体结构的净距应符合下列规定:

1 UHPC 构件背面与预制混凝土结构净距不应小于 40mm,与现浇混凝土结构净距不应小于 50mm;

2 UHPC 构件背面与钢结构净距不应小于 40mm;

3 对于高层或不规则结构,净距不应小于 50mm;

4 柱套与柱子之间净距不应小于 75mm;

5 UHPC 构件与主体结构的连接点在上下、左右、前后三个方向内的调节空间净距不应小于 25mm。

**条文说明: 8.5.1** 安装施工测量与主体结构的测量配合,及时调整误差,确保 UHPC 外墙构件安装所需要的精度,以及连接所要求的极限调整空间。

**8.5.2** 安装效果应符合下列规定:

1 安装后的 UHPC 外立面应线条清晰、层次分明、表面平整、曲面过渡光滑,横向构件应保证平直度,竖向构件应保证垂直度,整体效果应达到建筑设计要求;

2 UHPC 构件表面应洁净,表面颜色和质感应符合样板要求;

3 UHPC 构件间接缝应平直、均匀,不得有歪斜、错台及边角损坏。

**条文说明: 8.5.2** 构件或构件之间出现色差,通常以 6m 距离观察是否影响整体效果作为评判依据。

**8.5.3** 安装偏差应符合下列规定:

1 建筑平面内,UHPC 构件与建筑轴线的距离偏差不应大于 12mm;

2 立面 3m 高度 UHPC 构件立面垂直度偏差不应大于 5mm;立面 15m 高度 UHPC 构件立面垂直度偏差不应大于 10mm;立面 30m 高度 UHPC 构件立面垂直度偏差不应大于 20mm;

3 单个 UHPC 构件顶部标高与设计标高偏差不应大于 10mm,相邻构件顶部标高偏差不应大于 5mm;

4 UHPC 构件长度小于或等于 6m 时，接缝宽度与设计宽度偏差不应大于 5mm；UHPC 构件长度大于 6m 时，接缝宽度与设计宽度偏差不应大于 10mm；

5 相邻 UHPC 构件面内错台偏差不应大于 5mm；

6 与主体结构相连的连接件定位偏差不应大于 5mm。

**条文说明：8.5.3** UHPC 构件立面垂直度的偏差，指整个构件立面高度范围内任取 3m 高度立面偏差不大于 5mm，任取 15m 高度立面偏差不大于 10mm，对于高层建筑任取 30m 高度立面偏差不大于 20mm。

## 9 验收

### 9.1 一般规定

**9.1.1** UHPC 外墙工程验收按工程进度应包括进场验收、隐蔽工程验收和竣工验收，验收方式应包括技术资料复核、现场检查和抽样检验。

**9.1.2** 以构件形式进入工地现场的 UHPC 产品应提供 UHPC 构件的产品质量检验报告及合格证，不得以生产 UHPC 构件所用原材料的质量检验报告及合格证代替 UHPC 构件的产品质量检验报告及合格证。

**9.1.3** 相同设计、材料、工艺和施工条件的 UHPC 外墙应以 1000m<sup>2</sup> 为一个检验批，不足 1000m<sup>2</sup> 应划分为 1 个检验批，超过 10000m<sup>2</sup> 的以 3000m<sup>2</sup> 为一个检验批。每个检验批抽样不应少于 5 处，每处不应少于 10m<sup>2</sup>。

### 9.2 进场验收

**9.2.1** 施工单位应提供符合设计要求的相关证明文件，包括经审批的设计图纸、生产厂家的型式检验报告。

**9.2.2** 进场验收应检查 UHPC 构件产品合格证，钢构件、连接件材质证明及合格证，安装密封胶合格证等文件资料。

**9.2.3** UHPC 构件进场后应按本规范第 3.2 节规定进行复验和见证检验。复验应按检验批抽样进行，复验项目应包含且不限于外观质量、尺寸偏差、抗弯极限强度、体积密度和吸水率。见证检验每项工程不少于 1 次，检验项目应包含且不限于本规范第 3.2.3 条规定内容。特殊要求应在合同中明确。

**条文说明：9.2.3** 供应商提交的型式检验报告以及企业内部实验室进行的性能测试不能代替性能复试。见证检验需在监理单位或建设单位的见证下，按照有关规定从施工现场随机抽取试样，送到具备相应资质的检测机构进行检验。

**9.2.4** 设计或合同有要求时应提供密封胶与 UHPC 材料的相容性测试报告。

**9.2.5** UHPC 外墙工程涉及的各类材料进场应按设计要求及相关质量标准验收，并应进行验收记录。进场验收记录表可按本规范附录 E 填写。

### 9.3 隐蔽工程验收

**9.3.1** UHPC 外墙工程应进行阶段性施工质量的隐蔽工程验收，并应填写验收记录。隐蔽工程验收记录表可按本规范附录 E 填写。

**9.3.2** 隐蔽工程验收应符合下列规定：

- 1 UHPC 构件的造型、尺寸、表面效果应符合设计或样板要求；
- 2 UHPC 构件的预埋件、锚固件、连接件、安装孔、槽应符合设计要求；

- 3 UHPC 构件与主体结构连接应符合设计要求，安装必须牢固；
- 4 UHPC 外墙工程的保温、防水、防污、防火、防雷的处理应符合设计要求；
- 5 UHPC 外墙密封施工和接缝处理应符合设计要求；
- 6 UHPC 构件安装质量要求应符合本规范第 8.5 节的规定。

## 9.4 竣工验收

9.4.1 UHPC 外墙工程竣工验收前应将其表面全面清洗干净。

9.4.2 UHPC 外墙工程竣工验收时应提交下列资料：

- 1 通过审查并经建筑设计单位确认的有关 UHPC 外墙设计图纸、结构计算书、设计变更文件等；
- 2 进场验收及隐蔽工程验收阶段相关联的合格证、检测报告、验收记录；
- 3 设计单位提出检测要求的涉及 UHPC 构件中预埋件、锚固件、连接件拉拔及剪切性能检测报告；
- 4 隐蔽工程隐蔽工程验收记录；
- 5 设计单位提出检测要求的涉及外墙系统性能的检测报告；
- 6 现场安装的施工记录；
- 7 UHPC 外墙工程竣工验收表；
- 8 其他合同有要求的质量保证资料。

**条文说明：**9.4.2 涉及本条第 3 款和第 5 款检测要求时，检测样板通常由生产商按照与生产产品同样的工艺进行单独制备，施工单位组织实施。

### I 主控项目

9.4.3 UHPC 外墙总体造型、表面效果应符合设计或样板要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

9.4.4 UHPC 外墙及主体结构的预埋件、锚固件、连接件应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：检查材料进场记录；检查隐蔽工程验收记录。

9.4.5 UHPC 构件与主体结构连接应符合设计要求，安装必须牢固。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

9.4.6 UHPC 外墙工程的保温、防水、防污、防火、防雷的处理应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

**9.4.7 UHPC 外墙密封施工和接缝处理应符合设计要求。**

检验数量：按批检验。

检验方法：观察；淋水试验；检查隐蔽工程验收记录。

**9.4.8 UHPC 外墙安装偏差应符合本规范第 8.5.3 条的规定。**

检验数量：按批检验。

检验方法：观察；测量；检查隐蔽工程验收记录。

## II 一般项目

**9.4.9 UHPC 外墙嵌缝（含开放式外墙板的明缝及滴水线）应横平竖直，表面应光滑、平整、无污染。**

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

**9.4.10 UHPC 外墙整体颜色应统一，局部色差和修补痕迹应在 6m 距离观察不明显。**

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

**9.4.11 面板表面应无凹坑、缺边掉角、开裂、破损、斑痕、污染等 3m 距离可见明显缺陷。**

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

**条文说明：9.4.10~9.4.11 UHPC 外墙局部色差、修补痕迹及面板表面凹坑、缺边掉角、开裂、破损、斑痕、污染等按目测方法检测，会因个人主观因素有所差异，必要时需协商一致。距离指在光线明亮的条件下与被观察物之间正视距离，不包括斜视等特殊情况。**



## 10 维修与保养

### 10.1 一般规定

**10.1.1** UHPC外墙工程竣工验收时，施工单位应向业主提供UHPC使用维护说明书，说明书应包括下列内容：

- 1 施工方的保修责任及后期服务项目；
- 2 定期检查、维护、保养要求；
- 3 使用注意事项。

**条文说明：10.1.1** UHPC使用维护说明书系结合具体UHPC工程及产品设计、使用特点编制的具有针对性的指导性文件。因UHPC工程与传统建筑工程有较大的差异，为避免业主使用过程中对其造成损坏，利于提高建筑物的使用寿命，提供使用维护说明书是十分必要的。

**10.1.2** UHPC外墙工程的保修期不应少于2年。

**条文说明：10.1.2** UHPC外墙工程的保修期一般自UHPC分项工程质量验收之日起计算。

**10.1.3** UHPC外墙表面检查、清洗、维护和保养应根据UHPC使用维护说明书进行，高空作业应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规程》JGJ80的有关规定。

### 10.2 检查与维修

**10.2.1** UHPC外墙工程竣工验收后一年，应对UHPC外墙进行一次检查，此后每5年检查一次，使用10年后应每3年全面检查一次，检查项目应符合下列规定：

- 1 当UHPC构件出现变形、错位、松动时，应进一步检查该构件对应的隐蔽构造；
- 2 UHPC外墙安装结构、连接件、连接螺栓、预埋件、锚固件、锚固块连接应可靠，应无锈蚀并不应危害结构安全等；
- 3 UHPC外墙嵌缝应无脱胶、开裂和老化，应无渗漏情况；
- 4 UHPC构件应无结构性裂纹；
- 5 UHPC外墙表面应无污染情况及防水效果良好。

**10.2.2** 对检查中发现的结构安全隐患应根据UHPC使用维护说明书进行维修或更换。

**10.2.3** 对检查中发现的局部破损、螺丝松动、连接件锈蚀、密封胶损坏等应及时维修。

**10.2.4** 在地震、台风、火灾等重大自然灾害发生后，应进行全面检查。

### 10.3 清洗和保养

**10.3.1** UHPC板面应避免受到人为污染和破坏，板面应清洁。

**10.3.2** 应在防护剂防护效果有效年限期满或实际防护效果已经不能满足使用要求时进行防护剂的再次施工。

**条文说明：10.3.2**防护剂的防污、防水性能会逐年衰减，如实际防护效果不能满足使用需要，会影响到UHPC材料的表面效果。

**10.3.3** UHPC外墙的清洗周期应根据地域及产品表面污染的实际情况确定，不应少于每年1次，宜采用中性清洗材料，不宜使用具有腐蚀性的清洗材料。

**条文说明：11.3.3** UHPC材料属于水泥基碱性材料，酸性清洗材料会对UHPC外墙表面造成侵蚀。同时避免清洗废水对周边土壤环境、绿化都会造成危害。

**10.3.4** 工程投入使用后应避免对产品的二次破坏。当需对UHPC外墙进行钻孔、切割、调整产品与结构连接方式等处理时，应制定施工方案。

**条文说明：10.3.4** 二次破坏主要指对使用中的UHPC外墙进行如钻孔、切割、调整产品与结构连接方式、破坏接缝和负载等不当行为。

## 附录 A 耐候钢强度设计值

A.0.1 耐候钢强度设计值可按表 A.0.1 确定。

**表 A.0.1 耐候钢强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)**

钢号	厚度 $t$ (mm)	屈服强度 $\sigma_s$	抗拉强度 $f_s$	抗剪强度 $f_v$	承压强度 $f_{ce}$
Q235NH	$t \leq 16$	235	216	125	295
	$16 < t \leq 40$	225	207	120	295
	$40 < t \leq 60$	215	198	115	295
	$t > 60$	215	198	115	295
Q295NH	$t \leq 16$	295	271	157	344
	$16 < t \leq 40$	285	262	152	344
	$40 < t \leq 60$	275	253	147	344
	$60 < t \leq 100$	255	235	136	344
Q355NH	$t \leq 16$	355	327	189	402
	$16 < t \leq 40$	345	317	184	402
	$40 < t \leq 60$	335	308	179	402
	$60 < t \leq 100$	325	299	173	402
Q460NH	$t \leq 16$	460	414	240	451
	$16 < t \leq 40$	450	405	235	451
	$40 < t \leq 60$	440	396	230	451
	$60 < t \leq 100$	430	387	224	451
Q295GNH (热轧)	$t \leq 6$	295	271	157	320
	$t > 6$	295	271	157	320
Q295GNHL (热轧)	$t \leq 6$	295	271	157	353
	$t > 6$	295	271	157	353
Q345GNH (热轧)	$t \leq 6$	345	317	184	361
	$t > 6$	345	317	184	361
Q345GNHL (热轧)	$t \leq 6$	345	317	184	394
	$t > 6$	345	317	184	394
Q390GNH (热轧)	$t \leq 6$	390	359	208	402
	$t > 6$	390	359	208	402
Q295GNH (冷轧)	$t \leq 2.5$	260	239	139	320
Q295GNHL (冷轧)	$t \leq 2.5$	260	239	139	320
Q345GNHL (冷轧)	$t \leq 2.5$	320	294	171	369

## 附录 B 钢结构连接强度设计值

**B.0.1** 钢结构连接的强度设计值应符合下列规定：

1 钢结构连接的强度设计值应分别按表 B.0.1-1、B.0.1-2 确定。

**表 B.0.1-1 螺栓连接的强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)**

螺栓的性能等级和构件钢材的牌号		普通螺栓						承压型连接高强度螺栓		
		C 级螺栓			A 级、B 级螺栓			抗拉 $f_t^b$	抗剪 $f_v^b$	承压 $f_c^b$
		抗拉 $f_t^b$	抗剪 $f_v^b$	承压 $f_c^b$	抗拉 $f_t^b$	抗剪 $f_v^b$	承压 $f_c^b$			
普通螺栓	4.6 级	170	140	—	—	—	—	—	—	—
	4.8 级			—	—	—	—	—	—	—
	5.6 级	—	—	—	210	190	—	—	—	—
	8.8 级	—	—	—	400	320	—	—	—	—
承压型连接高强度螺栓	8.8 级	—	—	—	—	—	—	400	250	—
	10.9 级	—	—	—	—	—	—	500	310	—
构件	Q235 钢	—	—	305	—	—	405	—	—	470
	Q345 钢	—	—	385	—	—	510	—	—	590
	Q390 钢	—	—	400	—	—	530	—	—	615

注：1 A 级螺栓用于公称直径  $d$  不大于 24mm、螺杆公称长度不大于  $10d$  且不大于 150mm 的螺栓；

2 B 级螺栓用于公称直径  $d$  大于 24mm、螺杆公称长度大于  $10d$  或大于 150mm 的螺栓；

3 A、B 级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度，C 级螺栓孔允许偏差和孔壁表面的表面粗糙度，均应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的要求。

**表 B.0.1-2 焊缝的强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)**

焊接方法和焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌号	厚度或直径 $d$ (mm)	抗压 $f_c^w$	抗拉和抗弯受拉 $f_t^w$		抗剪 $f_v^w$	抗拉、抗压和抗剪 $f_t^w$
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和 E43 型焊条的手工焊	Q235 钢	$d \leq 16$	215	215	185	125	160
		$16 < d \leq 40$	205	205	175	120	160
		$40 < d \leq 60$	200	200	170	115	160
自动焊、半自	Q345 钢	$d \leq 16$	310	310	265	180	200

动焊和 E50 型 焊条的手工焊		$16 < d \leq 35$	295	295	250	170	200
		$35 < d \leq 50$	265	265	225	155	200
自动焊、半自 动焊和 E55 型 焊条的手工焊	Q390 钢	$d \leq 16$	350	350	300	205	220
		$16 < d \leq 35$	335	335	285	190	220
		$35 < d \leq 50$	315	315	270	180	220
自动焊、半自 动焊和 E55 型 焊条的手工焊	Q420 钢	$d \leq 16$	380	380	320	220	220
		$16 < d \leq 35$	360	360	305	210	220
		$35 < d \leq 50$	340	340	290	195	220

注：1 表中的一级、二级、三级是指焊缝质量等级，应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。厚度小于 8mm 钢材的对接焊缝，不应采用超声探伤确定焊缝质量等级；

2 自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属力学性能不低于现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T5293 和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T12470 的有关规定；

3 表中厚度是指计算点的钢材厚度，对轴心受力构件是指截面中较厚板件的厚度。

2 当单面连接的单角钢按轴心受力计算强度和连接时，强度设计值应乘以折减系数 0.85；当施工条件较差的高空安装焊接时，强度设计值应乘以折减系数 0.90。当以上两种情况同时存在时，强度设计值折减系数应连乘。

## 附录 C 预埋件设计

**C.0.1** 由锚板和对称配置的直锚筋所组成的受力预埋件（图 C.0.1），其锚筋的总截面面积  $A_s$  应符合下列规定：

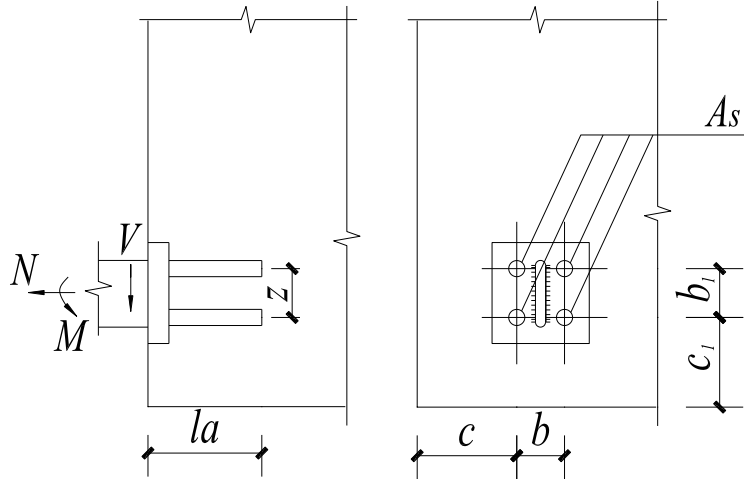


图 C.0.1 锚板和直锚筋组成的预埋件示意图

**1** 当有剪力、法向拉力和弯矩共同作用时，应分别按下列公式计算，并应取二者的较大值：

$$A_s \geq \frac{V}{\alpha_r \alpha_v f_v} + \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$A_s \geq \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{C.0.1-2})$$

**2** 当有剪力、法向压力和弯矩共同作用时，应分别按下列公式计算，并应取二者的较大值：

$$A_s \geq \frac{V - 0.3N}{\alpha_r \alpha_v f_y} + \frac{M - 0.4Nz}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$A_s \geq \frac{M - 0.4Nz}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_y z} \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$\alpha_v = (4.0 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} \quad (\text{C.0.1-6})$$

式中： $V$ ——剪力设计值（N）；

$N$ ——法向拉力或法向压力设计值（N），法向压力设计值不应大于  $0.5 f_c A$ ，此处  $A$  为

锚板的面积 (mm<sup>2</sup>) ;

$M$ ——弯矩设计值 (Nmm) 。当  $M$  小于  $0.4Nz$  时, 取  $M$  等于  $0.4Nz$ ;

$\alpha_r$  ——锚筋层数影响系数。当锚筋等间距配置时, 二层取 1.0, 三层取 0.9, 四层取 0.85;

$\alpha_v$  ——锚筋受剪承载力系数。当  $\alpha_v$  大于 0.7 时, 取  $\alpha_v$  等于 0.7;

$d$ ——钢筋直径 (mm) ;

$t$ ——锚板厚度 (mm) ;

$\alpha_b$  ——锚板弯曲变形折减系数。当采取防止锚板弯曲变形的措施时, 取  $\alpha_b$  等于 1.0;

$z$ ——沿剪力作用方向最外层锚筋中心线之间的距离 (mm) ;

$f_c$  ——混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>) , 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》

GB50010 的规定采用;

$f_y$  ——钢筋抗拉强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>) , 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定确定, 但不应大于 300N/mm<sup>2</sup>。

**C.0.2** 预埋件的锚板宜采用 Q235 或 Q345 级钢。锚筋应采用 HRB400 级热轧钢筋, 严禁采用冷加工钢筋。

**C.0.3** 预埋件的受力直锚筋不宜少于 4 根, 且不宜多于 4 层; 其直径不宜小于 8mm, 且不宜大于 25mm。受剪预埋件的直锚筋可采用 2 根。预埋件的锚筋应放置在构件的外排主筋的内侧。

**C.0.4** 直锚筋与锚板应采用 T 型焊。当锚筋直径不大于 20mm 时, 宜采用压力埋弧焊; 当锚筋直径大于 20mm 时, 宜采用穿孔塞焊。当采用手工焊时, 焊缝高度不宜小于 6mm 及  $0.5d$  (HPB300 级钢筋) 或  $0.6d$  (HRB400 级钢筋),  $d$  为锚筋直径。

**C.0.5** 受拉直锚筋和弯折锚筋的锚固长度应符合下列规定:

1 当计算中充分利用锚筋的抗拉强度时, 其锚固长度应按下式计算:

$$l_a = \alpha_s \frac{f_y}{f_t} d \quad (\text{C.0.5})$$

式中:  $l_a$  ——受拉钢筋锚固长度 (mm) ;

$f_t$  ——混凝土轴心抗拉强度设计值, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取用; 当混凝土强度等级高于 C40 时, 按 C40 取值;

$d$ ——锚筋公称直径 (mm) ;

$\alpha_s$  ——锚筋的外形系数, 光圆钢筋取 0.16, 带肋钢筋取 0.14。

2 抗震设计的外墙, 钢筋锚固长度应按本规范公式 (C.0.5) 计算值的 1.1 倍确定;

3 当锚筋的拉应力设计值小于钢筋抗拉强度设计值  $f_y$  时, 其锚固长度可适当减小, 但不

应小于 15 倍锚固钢筋直径。

**C.0.6** 受剪和受压直锚筋的锚固长度不应小于 15 倍锚固钢筋直径。除受压直锚筋外，当采用 HPB300 级钢筋时，钢筋末端应作 180° 弯钩，弯钩平直段长度不应小于 3 倍的锚筋直径。

**C.0.7** 锚板厚度应根据其受力情况按计算确定，且宜大于锚筋直径的 0.6 倍。锚筋中心至锚板边缘的距离  $c$  不应小于锚筋直径的 2 倍和 20mm 的较大值。

对受拉和受弯预埋件，其钢筋的间距  $b$ 、 $b_l$  和锚筋至构件边缘的距离  $c$ 、 $c_l$  均不应小于锚筋直径的 3 倍和 45mm 的较大值。

对受剪预埋件，其锚筋的间距  $b$ 、 $b_l$  均不应大于 300mm，且  $b_l$  不应小于锚筋直径的 6 倍及 70mm 的较大值；锚筋至构件边缘的距离  $c_l$  不应小于锚筋直径的 6 倍及 70mm 的较大值，锚筋的间距  $b$ 、锚筋至构件边缘的距离  $c$  均不应小于锚筋直径的 3 倍和 45mm 的较大值。



## 附录 D UHPC 构件结构设计

**D.0.1** 耐碱玻纤、有/无机纤维和钢纤维 UHPC 受弯构件正截面抗弯承载力应按下列基本假定进行计算：

- 1 截面应变保持平面；
- 2 UHPC 单轴受压应力-应变关系（图 D.0.1-1）采用式（D.0.1-1）至式（D.0.1-4）

确定：

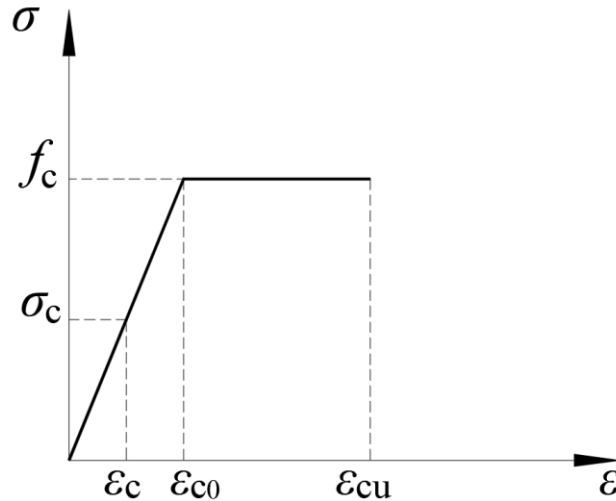


图 D.0.1-1 UHPC 单轴受压应力-应变曲线

$$\sigma_c = E\varepsilon_c \quad (\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0}) \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$\sigma_c = f_c \quad (\varepsilon_{c0} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}) \quad (\text{D.0.1-2})$$

$$\varepsilon_0 = 0.0025 + 0.5 \times (f_{cuk} - 100) \times 10^{-5} \quad (\text{D.0.1-3})$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0042 - 0.3 \times (f_{cuk} - 100) \times 10^{-5} \quad (\text{E.0.1-4})$$

式中： $\sigma_c$ ——UHPC 压应力；

$\varepsilon_c$ ——UHPC 压应力为  $\sigma_c$  时对应的压应变；

$E$ ——UHPC 弹性模量；

$f_c$ ——UHPC 轴心抗压强度设计值；

$f_{cuk}$ ——UHPC 立方体抗压强度标准值；

$\varepsilon_{c0}$ ——承载力极限状态下，UHPC 受压弹性极限应变；

$\varepsilon_{cu}$ ——承载力极限状态下，UHPC 受压极限压应变。

- 3 UHPC 单轴受拉应力-应变关系（图 D.0.1-2）采用式 D.0.1-5）和式（D.0.1-6）确定；

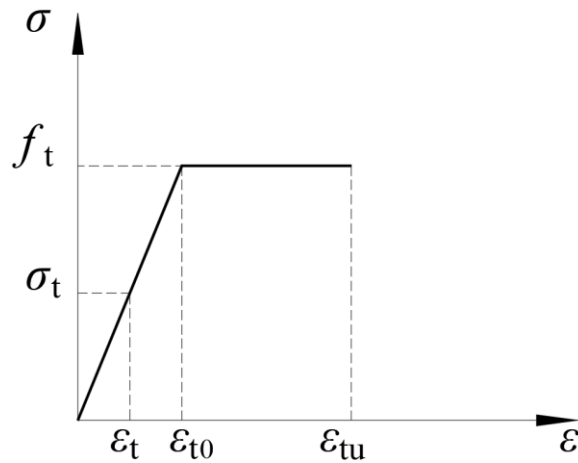


图 D.0.1-2 UHPC 单轴受拉应力-应变曲线

$$\sigma_t = E\varepsilon_t \quad (0 < \varepsilon_t \leq \varepsilon_{t0}) \quad (\text{D.0.1-5})$$

$$\sigma_t = f_t \quad (\varepsilon_{t0} < \varepsilon_t \leq \varepsilon_{tu}) \quad (\text{D.0.1-6})$$

式中： $\sigma_t$ ——轴拉应力；

$\varepsilon_t$ ——轴拉应变；

$E$ ——弹性模量；

$f_t$ ——UHPC 轴心抗拉强度设计值；

$\varepsilon_{t0}$ ——承载力极限状态下的轴拉弹性极限应变，取值为  $f_t / E$ ；

$\varepsilon_{tu}$ ——承载力极限状态下的截面拉区边缘极限拉应变，宜通过试验确定；当无试验数据时，可取 0.001；

4 耐碱玻纤、有/无机纤维不考虑构件截面受拉区 UHPC 的抗拉作用；

5 纵向受力钢筋的应力取钢筋应变与其弹性模量的乘积，且钢筋应力不应超过钢筋抗压、抗拉强度设计值，纵向受力钢筋的极限应变取为 0.01。

**条文说明：** D.0.1 承载力极限状态下的截面拉区边缘极限拉应变  $\varepsilon_{tu}$  试验方法采用无缺口 UHPC 试件单轴拉伸作用下进行，参考《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》DG/TJ 08-2401-2022 附录 A 规定试验方法。

对于矩形截面，若按照第 D.0.1 条受拉本构设计，当弹性极限拉应变取 0.02%、极限拉应变取 0.1% 时，截面拉区塑性区域高度约为 0.5h，截面受拉区高度约为 0.6h。考虑到实际工程中无筋构件截面通常按对称截面设计，因此截面塑性区高度按出翼缘情况设计，中和轴高度取 0.5h，受拉区边缘极限拉伸应变偏于保守取 0.1%；

**D.0.2** I 形、[形、T 形及倒 L 形截面受弯构件，其正截面受弯承载力应符合下列规定（按 I 形截面如图 D.0.2）：

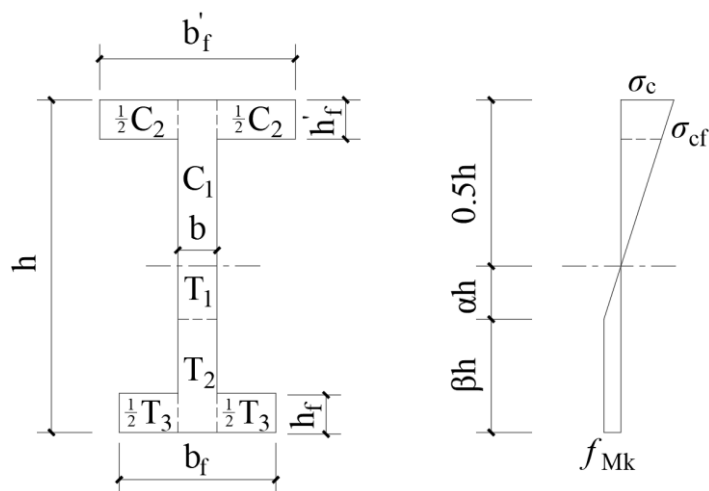


图 D.0.2 I形截面受弯应力-应变分布

$$M_{Mk} \leq M_{c1} + M_{c2} + M_{T1} + M_{T2} + M_{T3} \quad (D.0.2-1)$$

$$M_{c1} = \frac{1}{24} b h^2 \frac{f_{Mk}}{\alpha} \quad (D.0.2-2)$$

$$M_{c2} = \frac{1}{2} (b'_f - b) h'_f \left(1 - \frac{h'_f}{h}\right) \frac{f_{Mk}}{2\alpha} (h - h'_f) \quad (D.0.2-3)$$

$$M_{T1} = \frac{1}{3} b (\alpha h)^2 f_{Mk} \quad (D.0.2-4)$$

$$M_{T2} = \frac{1}{2} b \beta (1 - \beta) h^2 f_{Mk} \quad (D.0.2-5)$$

$$M_{T3} = \frac{1}{2} (b'_f - b) h_f (h - h_f) f_{Mk} \quad (D.0.2-6)$$

$$\beta = \frac{\gamma - 1}{2} \quad (D.0.2-7)$$

式中： $M_{c1}$ 、 $M_{c2}$ 、 $M_{T1}$ 、 $M_{T2}$ 、 $M_{T3}$ ——分别为 I 形截面受弯构件截面各区域（图 D.0.2）拉（压）应力合力对中性轴的力矩；

$M_{Mk}$ ——按材料抗弯强度标准值  $f_{Mk}$  计算的弯矩标准值；

$f_{Mk}$ ——UHPC 材料抗弯强度标准值；

$\alpha$ ——I 形截面拉区弹性区域高度系数；

$\beta$ ——I 形截面拉区塑性区域高度系数；

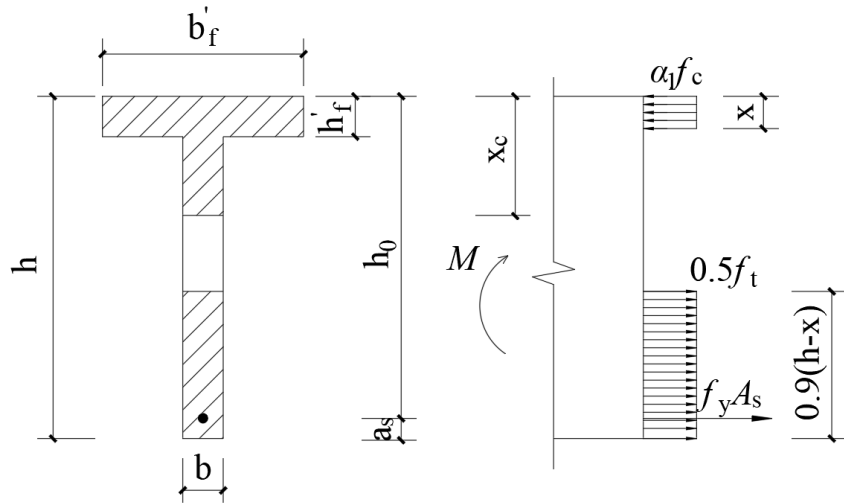
$\gamma$ ——截面抵抗矩塑性影响系数，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算；

$b$ ——截面宽度；

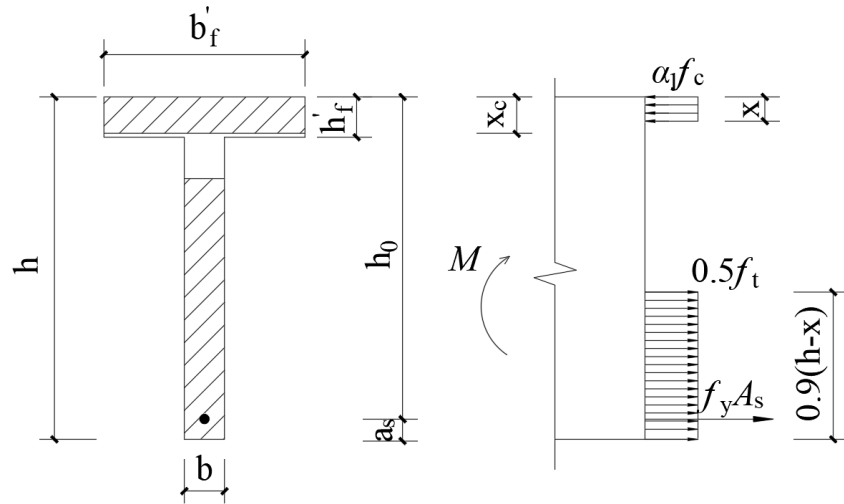
$h$  —— 截面高度。

条文说明：D.0.2 截面抵抗矩塑性影响系数  $\gamma$  参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 第 7.2.4 条的规定计算。

D.0.3 配筋钢纤维 UHPC 的 T 形截面受弯构件按上翼缘（面板）受压的受弯承载力计算应符合下列规定（图 D.0.3）：



(a) ( $x_c > h'_f$ )



(b) ( $x_c < h'_f$ )

图 D.0.2 配筋钢纤维 UHPC 配筋肋截面尺寸与应力--应变分布

1、当满足式 (D.0.2-1) 的条件时，应按下列公式计算：

$$f_y A_s + 0.45 f_t b (h - x) + 0.5 f_t (b_f - b) h_f \leq \alpha_1 f_c b'_f h'_f \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$M \leq \alpha_1 f_c b_f' x (h_0 - \frac{x}{2}) - 0.45 f_t b (h - x) [0.45 (h - x) - a_s] - 0.5 f_t (b_f - b) h_f (\frac{h_f}{2} - a_s) \quad (\text{D.0.3-2})$$

钢纤维 UHPC 受压区高度由下列公式确定：

$$f_y A_s + 0.45 f_t b (h - x) + 0.5 f_t (b_f - b) h_f = \alpha_1 f_c b_f' x \quad (\text{D.0.3-3})$$

2、当不满足式 (D.0.2-1) 的条件时，应按下列公式计算：

$$M \leq \alpha_1 f_c [bx (h_0 - \frac{x}{2}) + (b_f' - b) h_f' (h_0 - \frac{h_f'}{2})] \quad (\text{D.0.3-4})$$

钢纤维 UHPC 受压区高度由下列公式确定：

$$\alpha_1 f_c [bx + (b_f' - b) h_f'] = f_y A_s + 0.45 f_t b (h - x) + 0.5 f_t (b_f - b) h_f \quad (\text{D.0.3-5})$$

3、截面受压区高度  $x$  还应符合下式要求：

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (\text{D.0.3-6})$$

式中： $M$ ——弯矩设计值 (N.mm)；

$f_c$ ——钢纤维 UHPC 轴心抗压强度设计值 (MPa)；

$f_t$ ——钢纤维 UHPC 轴心抗拉强度设计值 (MPa)，当钢纤维 UHPC 中钢纤维体积分量少于 1.5% 时不考虑钢纤维 UHPC 的抗拉强度贡献，此时取  $f_t = 0$ ；

$f_y$ ——普通钢筋抗拉强度设计值 (MPa)；

$A_s$ ——受拉区纵向钢筋截面面积；

$b$ ——截面腹板宽度 (mm)；

$b_f$ ——受拉区翼缘的宽度 (mm)；对于翼缘位于受压区的 T 形  $b_f = b$ 。

$b_f'$ ——受压区翼缘宽度 (mm)，按《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定确定；

$h$ ——截面高度 (mm)；

$h_0$ ——截面有效高度 (mm)；

$h_f$ 、 $h_f'$ ——受拉区、受压区翼缘高度 (mm)；

$\alpha_1$ ——等效矩形应力图形应力系数；

$\xi_b$ ——相对界限受压区高度；

$a_s$ ——纵向受拉钢筋合力点到截面受拉区边缘的距离 (mm)。

4、截面最小配筋率按现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 规定确定。

**条文说明：**参考现行标准《超高性能混凝土结构技术规程》CECS 2020，本规范偏安全地将受拉区 UHPC 抗拉强度取为  $0.5f_t$ ，受拉区高度取为  $0.9(h-x)$ 。

## 附录 E UHPC 外墙分项工程验收表

**E.0.1** 进场验收记录应符合表E.0.1的规定。

**表E.0.1 UHPC外墙分项工程材料进场验收记录**

材料名称		检验日期	
生产厂家		检验批次	
验收数量	件/m <sup>2</sup>	抽检比例	%
抽检 产品编号	检验项目	检验结果	
检验结论			
签字栏	施工单位质检员	建设（监理）单位	
	年 月 日	年 月 日	

E.0.2 隐蔽工程验收记录应符合表 E.0.2 的规定。

表E.0.2 UHPC外墙分项安装工程隐蔽工程验收记录

工程名称			
施工单位			
检验批次部位		批次数量	
检验项目	检验结果		
施工单位 验收结论		施工单位 检验员	年 月 日
监理单位 验收结论		监理 工程师	年 月 日



## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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. 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
3. 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
4. 《建筑设计防火规范》 GB 50016
5. 《钢结构设计标准》 GB 50017
6. 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
7. 《建筑防雷设计规范》 GB 50057
8. 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
9. 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
10. 《民用建筑热工设计规范》 GB 50176
11. 《公共建筑节能设计标准》 GB 50189
12. 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
13. 《铝合金结构设计规范》 GB 50429
14. 《钢结构焊接规范》 GB 50661
15. 《工程结构通用规范》 GB 55001
16. 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
17. 《优质碳素结构钢》 GB/T 699
18. 《碳素结构钢》 GB/T 700
19. 《铝合金建筑型材》 GB/T 5237
20. 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》 GB/T 5293
21. 《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》 GB/T 12470
22. 《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》 GB/T 13912
23. 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》 GB/T 14683
24. 《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》 GB/T 15231
25. 《建筑用硅酮结构密封胶》 GB 16776
26. 《建筑幕墙》 GB/T 21086
27. 《石材用建筑密封胶》 GB/T 23261
28. 《混凝土用钢纤维》 GB/T 39147
29. 《聚氨酯建筑密封胶》 JC/T 482
30. 《混凝土建筑接缝用密封胶》 JC/ T881
31. 《民用建筑电气设计规范》 JGJ/T 16
32. 《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》 JGJ 26

33. 《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》 JGJ 75
34. 《建筑施工高处作业安全技术规程》 JGJ 80
35. 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
36. 《居住建筑节能检验标准》 JGJ 132
37. 《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》 JGJ 134
38. 《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
39. 《混凝土结构工程用锚固胶》 JG/T 340
40. 《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》 JGJ/T 423-2018

中华人民共和国建材行业标准

超高性能混凝土（UHPC）非承重构件  
应用技术规范

JC/T ×××× - 202×

条文说明

## 编制说明

《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》JC/T××××-202×，经工业和信息化部202×年××月××日以第××号公告批准、发布。

本规范制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设中超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术的实践经验，同时也调查和参考了国外相关技术、标准等，并通过调查和测试取得了相关重要技术参数。

为便于广大建设、设计、施工、咨询、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》编制组按照章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。