

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

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；

γ_{gr} ——材料的重力密度；

ν ——材料的泊松比；

σ_s ——耐候钢屈服强度；

σ_t ——轴拉应力；

σ_{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；

δ ——构件在荷载标准值作用下产生的挠度值；

δ_{lim} ——挠度限值；

ε_c ——UHPC 压应力为 σ_c 时对应的压应变；

ε_{co} ——承载力极限状态下，UHPC 受压弹性极限应变；

ε_{cu} ——承载力极限状态下，UHPC 受压极限压应变；

ε_t ——轴拉应变；

ε_{t0} ——承载力极限状态下的轴拉弹性极限应变；

ε_{tu} ——承载力极限状态下的截面拉区边缘极限拉应变；

σ ——构件截面应力设计值；

σ_c ——UHPC 压应力；

σ_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；

σ_r ——UHPC 构件截面开裂应力设计值；

ω_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；

ξ_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_α ——学生氏函数；

α_l ——材料的线膨胀系数；

α ——I 形截面拉区弹性区域高度系数；

α_1 ——等效矩形应力图形应力系数；

α_b ——锚板弯曲变形折减系数；

α_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；

α_r ——锚筋层数影响系数；

α_s ——锚筋的外形系数；

α_v ——锚筋受剪承载力系数；

β ——I 形截面拉区塑性区域高度系数；

β_E ——动力放大系数；

β_{gz} ——阵风系数；

γ ——截面抵抗矩塑性影响系数；

γ_A ——锚固连接的重要性系数；

γ_{cN} ——UHPC 锥体破坏受拉承载力分项系数；

γ_{cV} ——UHPC 边缘破坏受剪承载力分项系数；

γ_{cpV} ——UHPC 剪撬破坏受剪承载力分项系数；

γ_E ——地震作用分项系数；
 γ_G ——永久荷载分项系数；
 γ_g ——UHPC 材料抗裂分项系数；
 γ_m ——UHPC 材料分项系数；
 γ_0 ——UHPC 构件及其他结构构件重要性系数；
 γ_R ——UHPC 构件锚固承载力分项系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 γ_{sN} ——锚栓钢材破坏受拉承载力分项系数；
 γ_{spN} ——UHPC 劈裂破坏受拉承载力分项系数；
 γ_{sV} ——锚栓钢材破坏受剪承载力分项系数；
 γ_{TM} ——温湿度作用分项系数；
 γ_U ——分项系数；
 γ_w ——风荷载分项系数；
 η_k ——与构件尺寸和制造工艺相关的系数；
 η_{hU} ——纤维分布方向上构件厚度的影响系数；
 μ ——挠度系数；
 μ_{sl} ——风荷载局部体型系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 ρ ——带肋板加强肋钢筋配筋率；
 φ_w ——风荷载作用组合值系数；
 φ_E ——地震作用组合值系数；
 φ_{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/m²；

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≤2m 时，允许偏差：±2mm/m； 长度>2m 时，总的允许偏差：≤4mm	尺量检验
宽度/高度	宽度/高度≤2m 时，允许偏差：±2mm/m； 宽度/高度>2m 时，总的允许偏差：≤4mm	尺量检验
厚度	0mm ~ + 2mm	尺量检验
直径（仅适用于圆形构件）	±2mm/m	尺量检验
平整度（仅适用于平面构件）	≤3mm，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<2m ² 时，对角线差：≤3mm； 面积≥2m ² 时，对角线差：≤5mm	尺量检验
侧向弯曲（仅适用于平面构件）	允许偏差：1mm/m，且≤8mm	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 ≥	13.0	12.0	11.0
抗弯极限强度/MPa ≥	20.0	12.0	22.0
抗冲击强度/（kJ/m ² ） ≥	24.0	9.0	15.0
体积密度（干燥状态）/（g/cm ³ ） ≥	2.4	2.2	2.2
吸水率/% ≤	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/% ≤	0.06		
锚杆拉拔力/kN ≥	10.0		
预埋螺栓套筒拉拔力/kN ≥	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、质感及色彩等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）；

δ ——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 1.5m²；

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 1m^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。

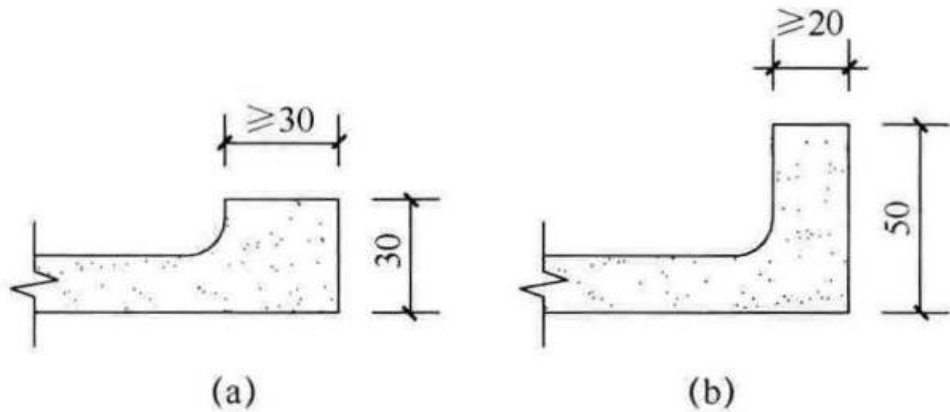


图 1 面板边缘加强肋截面尺寸示意

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）；

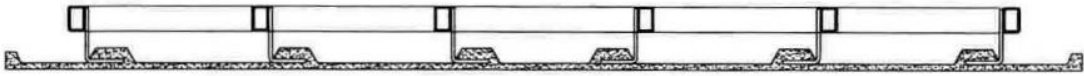


图 2 柔性锚杆排列方向示意

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)。

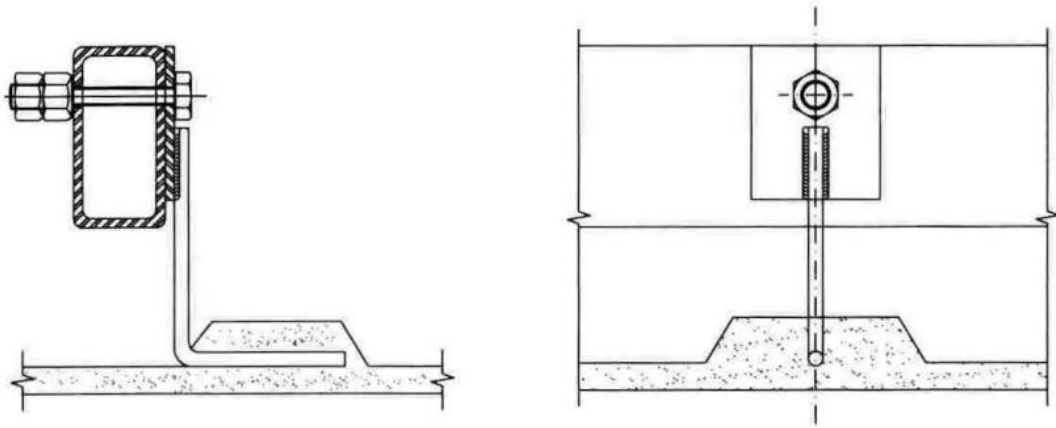
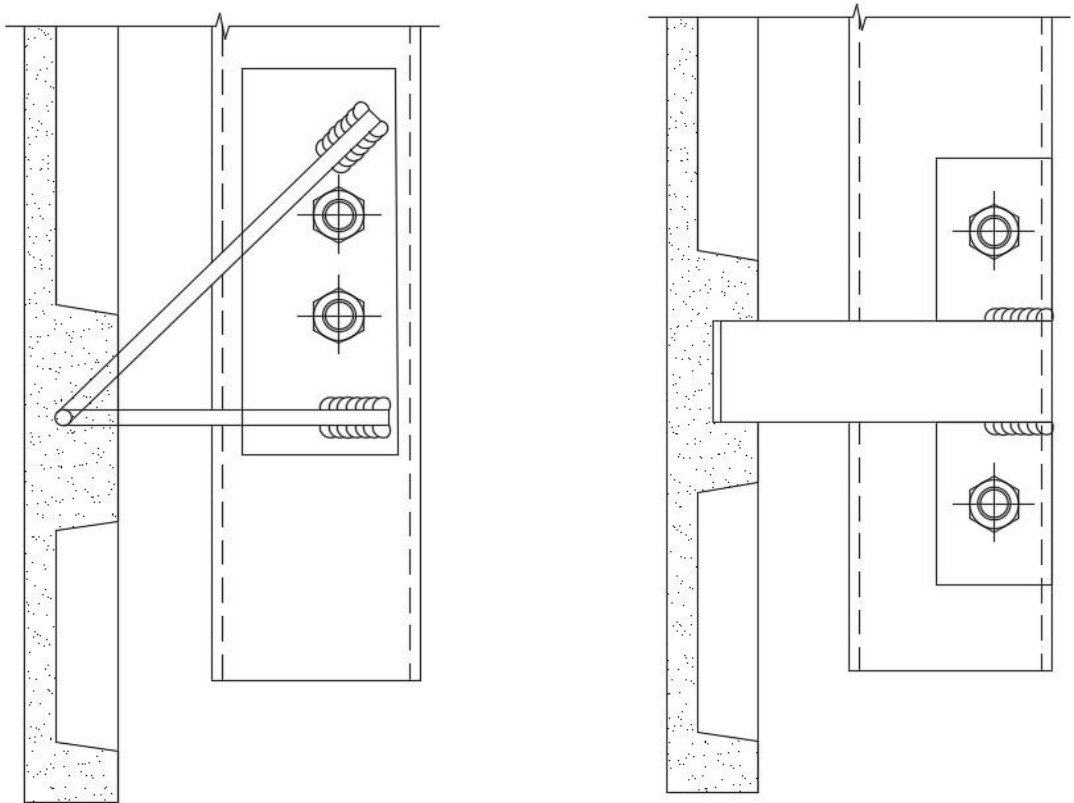


图 3 L 形锚杆与钢架的铰接构造示意

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。



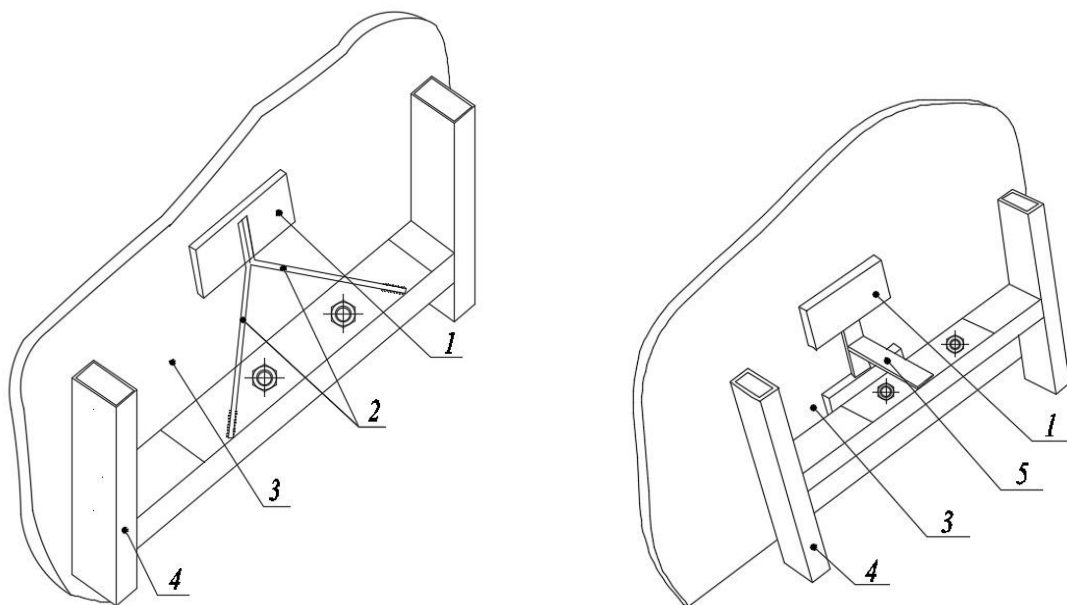
(a) 预埋成对柔性锚杆组成的重力锚固构造 (b) 预埋柔性扁钢的重力锚固构造

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内；

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。

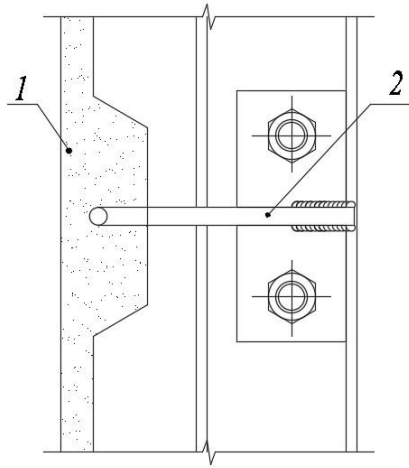


图 6 柔性锚杆连接构造形式示意

1—UHPC 构件；2—柔性锚杆

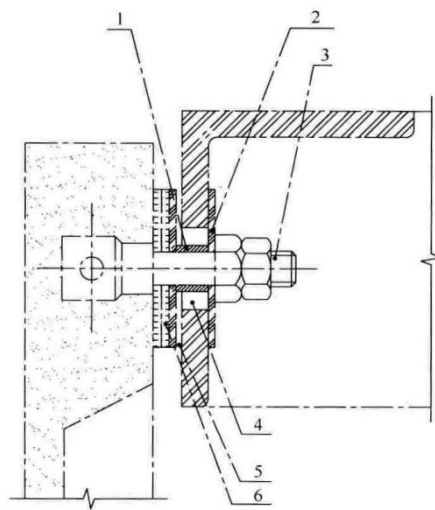


图 7 控制间隙的摩擦连接构造形式示意

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

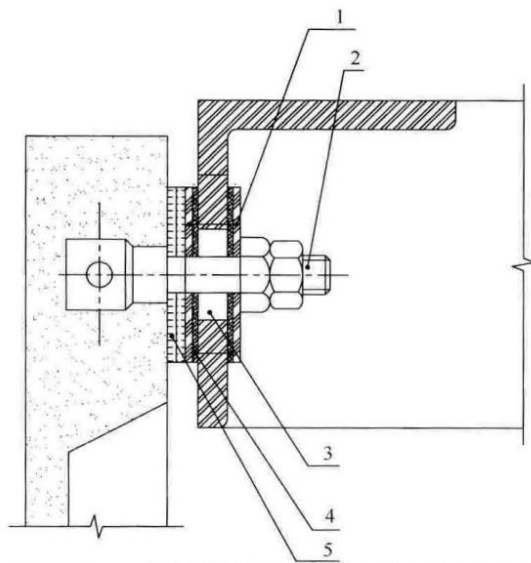


图 8 降低摩擦系数的摩擦连接构造形式示意

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

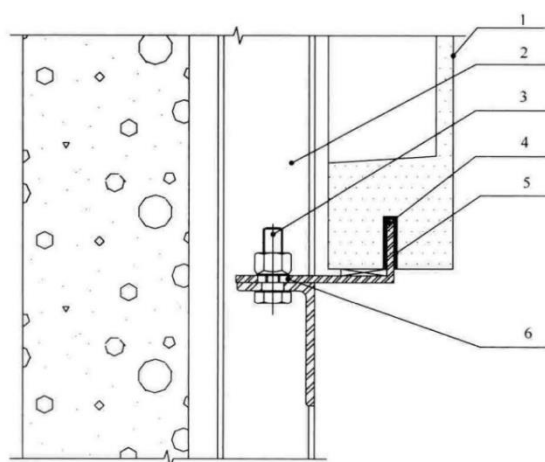


图 9 短槽挂件支承连接构造形式示意

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)

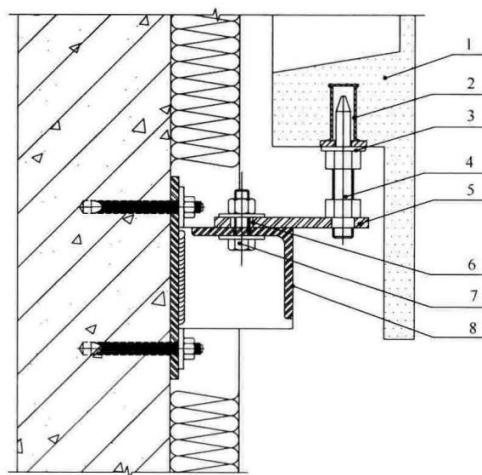


图 10 预埋短槽升降销支承连接构造形式示意

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

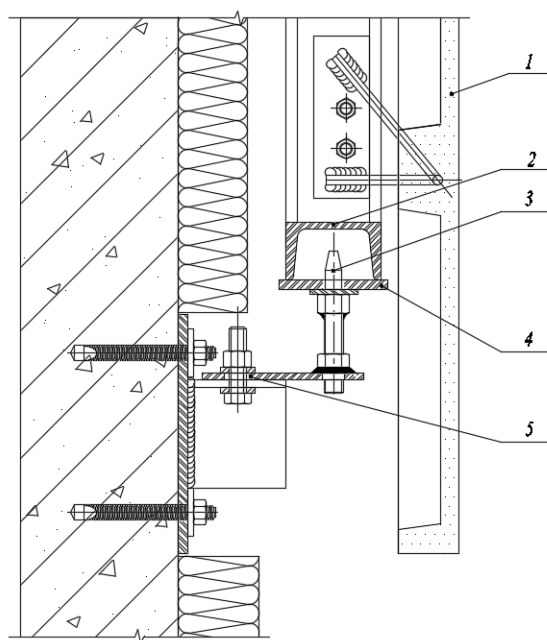


图 11 钢制槽孔升降销支承连接构造形式示意

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；

γ_0 ——UHPC 板及其它结构构件重要性系数，应取不小于 1.0；

γ_{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：

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

式中 δ ——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；

$\delta_{\lim}$ ——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_k 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： γ_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；

γ_{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 受力性质			受拉	受剪
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；

α ——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)；

η_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， $\eta_k = 0.85$ 。

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

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

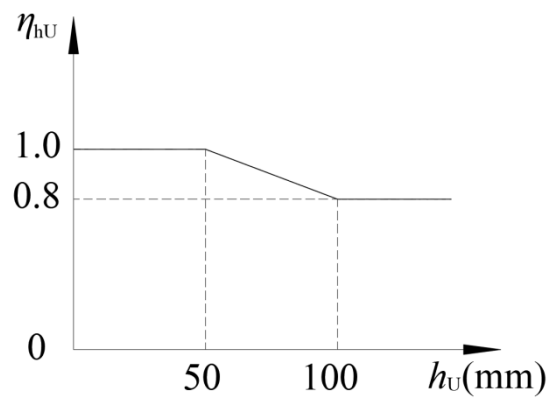


图 5.2.5 构件厚度的系数

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/mm²)

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≤16	215	125	325
	16<d≤40	205	120	
	40<d≤60	200	115	
Q345	d≤16	310	180	400
	16<d≤35	295	170	
	35<d≤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 ²)	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 δ_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/mm²)

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 HKB335	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 ²)	屈服强度标准值 f_{yk} (N/mm ²)	伸长值 δ
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/mm²)

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/mm²)

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

锚栓、螺杆	2.0×10^5
-------	-------------------

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 ν

材料	ν
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 α_l ($1/^\circ\text{C}$)

材料	α_l
UHPC	1.1×10^{-5}
铝合金	2.4×10^{-5}
钢材	1.2×10^{-5}
砖砌体	0.5×10^{-5}
不锈钢板	1.6×10^{-5}
混凝土	1.0×10^{-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 γ_{gr} (kN/m^3)

材料	γ_{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 1.0kN/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/m²);

β_{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;

μ_{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;

μ_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/m²),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/m²)；

β_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(m²)。

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 β_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：

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

式中： η ——非结构构件功能系数，可取 1.4；

η ——非结构构件类别系数，可取 0.9；

ξ_1 ——体系或构件的状态系数，可取 2.0；

ξ_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 β_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 σ_{ts} (N/mm²)

环境条件	抗拉面	温度梯度 (°C)	σ_{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/mm²)

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， σ_{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、地震作用和温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）；

γ_G 、 γ_w 、 γ_E 、 γ_{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；

φ_w 、 φ_E 、 φ_{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 γ_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 γ_w 应取 1.5；

3 地震作用分项系数 γ_E 应取 1.4；

4 温湿度作用分项系数 γ_{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： θ ——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 1.0kN/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 γ_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 γ_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；

γ_G 、 γ_w 、 γ_{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 1.0kN/m^2 ，而 UHPC 构件的自重一般均小于 1.0kN/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;

γ_G 、 γ_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：

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

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： γ_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；

σ ——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）；

γ_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）。

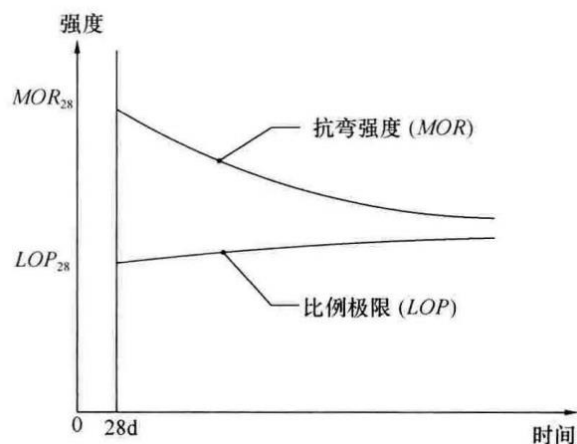


图 12 UHPC 抗弯强度随时间的变化规律

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_{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_{tk} ，当缺乏老化试验数据时，出于偏于安全的考虑采用 f_{tk} 代替 f_{AUk} 。

无筋 UHPC 构件截面弯矩承载力标准值 M_{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_{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：

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

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）；

α_E ——钢筋与 UHPC 材料弹性模量比；

ρ ——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_{γ} ——荷载效应按标准组合的设计值（MPa）；

R_{γ} ——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： σ_{γ} ——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）；

α_E ——钢筋与 UHPC 材料弹性模量比；

ρ ——带肋板加强肋钢筋配筋率；

γ_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 $12(\frac{1}{2} - \frac{a_s}{h})^2 \alpha_E \rho f_{Lk}$ 。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）；

γ_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；

γ_{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；

γ_{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；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/985044310140011133>