

ICS 91.100.30

CCS Q 13

CBMF

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XX-202X
T/CCPA XX-202X

超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程

Technical Specification for strengthening normal reinforced concrete structures with Ultra-high
Performance Concrete
(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

中国建筑材料联合会
中国混凝土与水泥制品协会

发布

前 言

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2022 年第三批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发〔2022〕10 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2022 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第一批）的通知》（中制协字〔2022〕8 号）的要求（计划号 2022-21-xbjh），编制组在总结已有国内外超高性能混凝土加固钢筋混凝土结构设计指南或规程、近年来在超高性能混凝土加固应用技术方面的成果基础上，通过比较分析，按照“安全可靠、技术先进、经济合理、保证质量”的原则，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5 结构与计算；6 构造要求；7 施工；8 质量检验与验收。

本规程由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同负责管理，由江西省建材科研设计院有限公司（原江西省建筑材料工业科学研究设计院）、哈尔滨工业大学、福州大学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 XXXX。

本规程现已完成对标准的修改与完善，形成本标准征求意见稿。现向业内征求意见，联系人：杜任远、张悦聪、杨秋良，邮箱：2720107150@qq.com，2954842281@qq.com。征求意见截止时间：2024 年 6 月 30 日。

主编单位：

参编单位：

主要起草人员：

主要审查人员：

目 录

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	5
4	材料	6
5	结构与计算	7
5.1	一般规定	7
5.2	受弯构件正截面承载力加固计算	8
5.3	受弯构件斜截面承载力加固计算	16
5.4	受压构件正截面承载力加固计算	18
5.5	框架节点抗震加固计算	25
6	构造要求	27
7	施工	31
8	质量检验与验收	34
8.1	质量检验	34
8.2	质量验收	34
附录 A	UHPC-既有混凝土推荐界面黏结模型	36
附录 B	UHPC 浇筑申请报告单	37
附录 C	UHPC 浇筑记录单	38
附录 D	UHPC 施工记录单	39
	用词说明	40
	引用标准名录	41
附：	条文说明	42

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
	2.1 Terms	2
	2.2 symbols.....	2
3	Basic requirements.....	5
4	Materials.....	6
5	Structural design and calculation.....	7
	5.1 General provisions.....	7
	5.2 Strengthening calculation of bending members in the straight sections	8
	5.3 Strengthening calculation of bending members in the oblique sections	16
	5.4 Strengthening calculation of compression members in the straight sections.....	18
	5.5 Seismic strengthening calculation of frame joints.....	25
6	Detailing requirements.....	27
7	Construction.....	31
8	Quality inspection and acceptance.....	34
	8.1 Quality inspection.....	34
	8.2 Quality acceptance.....	34
	Appendix A Recommended interface bonding model for existing concrete UHPC..	36
	Appendix B UHPC casting application report form.....	37
	Appendix C UHPC casting record form.....	38
	Appendix D UHPC construction record form.....	39
	Explanation of wording.....	40
	List of the standards.....	41
	Addition: Explanation of provisions.....	42

1 总则

1.0.1 为规范既有房屋建筑钢筋混凝土结构采用超高性能混凝土（UHPC）加固结构技术，保证其满足安全可靠、经济合理，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于以修复和提高房屋建筑结构安全性、适用性和耐久性为目的，采用 UHPC 进行的钢筋混凝土结构加固。

1.0.3 本规程规定了钢筋混凝土结构采用 UHPC 加固设计的总则、术语和符号、基本规定、材料、结构分析、结构计算、构造措施、施工要求，以及质量验收。

1.0.4 既有钢筋混凝土结构采用 UHPC 加固除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行相关标准要求。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 UHPC Ultra high-performance concrete

超高性能混凝土是指兼具超高抗渗性能和力学性能的纤维增强水泥基复合材料，简称UHPC。

2.1.2 结构加固 strengthening of structure

对可靠性不足或业主要求提高可靠度的承重结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其具有现行设计规范及业主所要求的安全性、耐久性和适用性。

2.1.3 既有构件 existing structure

实施加固前的原有构件。

2.1.4 增大截面加固法 structure member strengthening with increasing section

增大原构件截面面积或增配钢筋，以提高其承载力和刚度的一种直接加固法。

2.1.5 UHPC 加固既有钢筋混凝土结构 existing reinforced concrete structures strengthen by ultra high-performance concrete

以UHPC为主要加固材料加固后的钢筋混凝土结构，简称UHPC加固既有钢筋混凝土结构。

2.1.6 植筋 embedded rebars

以专用的结构胶粘剂或 UHPC 砂浆将带肋钢筋种植于基材混凝土中的后锚固连接法。

2.1.7 加固设计使用年限 design working life for strengthening of existing structure or its member

加固设计规定的结构、构件加固后无需重新进行检测、鉴定即可按其预定目的使用的时间。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

E_{s0} —— 原构件钢筋弹性模量；
 E_s —— 新增钢筋弹性模量；
 E_c —— 原构件混凝土弹性模量；

- E_{Uc} —— 新增UHPC弹性模量；
 f_c —— 原构件混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_t —— 原构件混凝土轴心抗拉强度设计值；
 f_{Uc} —— 新增UHPC轴心抗压强度设计值；
 f_{Ut} —— 新增UHPC抗拉强度设计值；
 f_{y0} 、 f'_{y0} —— 原构件钢筋抗拉、抗压强度设计值；
 f_y 、 f'_y —— 新增钢筋抗拉、抗压强度设计值。

2.2.2 作用效应及承载力

- M —— 构件加固后弯矩设计值；
 N —— 构件加固后轴向力设计值；
 V —— 构件加固后剪力设计值；
 N_i —— 构件加固前未卸载的轴向荷载效应；
 M_i —— 构件加固前未卸载的弯矩效应；
 n —— 构件加固前轴压比；
 σ_s —— 新增纵向钢筋受拉应力；
 σ_{s0} —— 原构件纵向受拉钢筋或受压较小边钢筋拉力；
 σ'_s —— 新增纵向钢筋受压应力；
 σ'_{s0} —— 原构件纵向钢筋受压应力。

2.2.3 几何参数

- A_{s0} 、 A'_{s0} —— 原构件受拉区、受压区钢筋截面面积；
 A_s 、 A'_s —— 新增UHPC受拉区、受压区钢筋截面面积；
 A_c 、 A_u —— 原构件混凝土与新增UHPC截面面积；
 b_c 、 h_c —— 原构件截面宽度和高度；
 b_u 、 h_u —— 新增UHPC宽度和高度；
 b_t —— 受弯构件UHPC腹板加固厚度；
 b'_f —— T形、I形截面受压区的翼缘高度；
 h'_f —— T形、I形截面受压区的翼缘计算高度；
 h_{uc} —— 受压构件加固后截面高度或受弯构件受压区UHPC加固厚度；
 h_{ut} —— 受弯构件受拉区UHPC加固厚度；
 h —— 受弯构件加固后截面高度；
 h_{c0} —— 构件加固前截面有效高度；
 h_{u0} —— 构件加固后的截面有效高度。

2.2.4 计算系数

- α_1 —— 受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；
- α_{Uc} —— 新增UHPC抗压强度利用系数；
- k —— UHPC抗拉强度利用系数；
- α_U —— 新增UHPC抗剪强度利用系数；
- α_s —— 新增纵筋强度利用系数；
- α_{sv} —— 新增箍筋强度利用系数；
- β_1 —— 矩形应力图受压区高度与中和轴高度的比值；
- β_c —— 混凝土强度影响系数；
- β_{Uc} —— UHPC强度影响系数；
- λ —— 计算截面剪跨比；
- ψ —— 修正系数或加固厚度与加固后截面有效高度比值。

3 基本规定

3.0.1 加固结构延长使用年限、改变用途、改建、扩建或加固修复均应对其进行评定、验算或重新设计。

3.0.2 采用 UHPC 对钢筋混凝土结构的加固设计，应与实际施工方法紧密结合采取界面凿毛、植筋等有效措施，保证新增截面部分与原结构连接可靠，新增截面与原截面粘结牢固，形成整体共同工作。

3.0.3 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的混凝土结构，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施，并明确要求施工单位应严格执行。

3.0.4 结构的耐久性设计要求应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）的相关规定执行，UHPC 抗渗性能分级应按现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（T/CBMF 37/T/CCPA 7）的相关规定执行。

3.0.5 既有钢筋混凝土结构采用 UHPC 加固的一般规定除符合上述要求外尚应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367—2013）的相关规定。

4 材料

- 4.0.1** 混凝土结构加固用 UHPC 宜采用工厂预拌成品干粉料，在现场拌合制备。
- 4.0.2** UHPC 应按产品说明书要求的用水量和纤维用量要求在施工现场进行配制。
- 4.0.3** UHPC 原材料性能应符合现行团体标准《超高性能混凝土预混料》（T/CBMF 96—2020/TCCPA 20—2020）的规定。
- 4.0.4** UHPC 强度等级划分应按现行团体标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF 185—2022/T/CCPA 35—2022）的规定执行。
- 4.0.5** UHPC 拌合物不应离析、泌水，纤维应分散均匀、无结团。
- 4.0.6** 采用人工压抹施工时 UHPC 拌合物稠度宜为 25mm~50mm，拌合物稠度的测试方法应符合现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》（JGJ/T 70—2009）的有关规定。
- 4.0.7** 设计应根据加固构件部位及其所处环境确定超高性能混凝土的耐久性能要求，相应的耐久性能应满足现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（T/CBMF 37—2018/T/CCPA 7—2018）的规定。
- 4.0.8** 混凝土、普通钢筋以及预应力筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）的规定。
- 4.0.9** 在狭窄空间中进行现浇 UHPC 加固时，UHPC 流动性以及自然养护条件下收缩性能应满足相关规定。

5 结构与计算

5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于钢筋混凝土受弯、受压构件及框架梁柱节点采用UHPC的加固。

5.1.2 采用本方法时，当原构件现场实测混凝土强度推定值低于13.0MPa时，时，不应考虑原构件钢筋和混凝土抗力贡献。

5.1.3 对处于二b环境的钢筋混凝土结构加固，当仅在受拉区采用超高性能混凝土进行承载能力单面加固时，超高性能混凝土抗拉强度等级不宜低于UHT6.4，并宜采用配筋超高性能混凝土进行加固。

5.1.4 正截面承载力应按下列基本假定进行计算。

(1) 当被加固构件界面处理及其粘结质量符合本规程规定时，增大后截面符合平截面假定。

(2) 不考虑普通混凝土的抗拉强度。

(3) 普通混凝土受压应力与应变关系、纵向钢筋应力与应变关系、受拉钢筋的极限拉应变等，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）的规定。

(3) UHPC的受压应力与应变关系应采用理想弹塑性表达式，特征参数取值按现行团体标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF 185-2022/T/CCPA 35-2022）的规定采用。

(4) UHPC的受拉应力与应变关系应采用理想弹塑性表达式，特征参数取值按现行团体标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF 185-2022/T/CCPA 35-2022）的规定采用。

5.1.5 配筋UHPC加固混凝土受弯构件和大偏心受压构件正截面承载力计算，可考虑受拉区UHPC抗力作用贡献。

5.1.6 采用增大截面法对混凝土结构进行加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

5.1.7 结构上的作用，应经调查或检测核实，并按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）规定和要求确定其标准值或代表值。被加固结构作用组合的效应设计值和组合值系数以及作用的分项系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》（GB

50009-2012) 确定, 并应考虑由于实际荷载偏心、结构变形、温度作用等造成的附加内力。

5.2 受弯构件正截面承载力加固计算

5.2.1 采用增大截面法加固受弯构件时, 应根据原结构构造和受力的实际情况, 选用在受压区或受拉区, 或同时在受拉与受压区增设现浇 UHPC 外加层的加固方式。

5.2.2 当仅在受压区加固矩形截面受弯构件时 (图 5.2.2-1)

(1) 当 $\alpha_{uc} f_{uc} b h_{uc} + \alpha'_s f'_y A'_s \leq f_{y0} A_{s0}$ 时, 其正截面受弯承载力应按下列公式确定:

$$M \leq \frac{1}{2} \alpha_{uc} f_{uc} b x + f_{y0} A_{s0} \left[h_{c0} - \frac{1}{2} (x - h_{uc}) \right] + f'_{y0} A'_{s0} \left[\frac{1}{2} (x - h_{uc}) - a'_{s0} \right] + \alpha'_s f'_y A'_s (h_{uc0} - a'_s) \quad (5.2.2-1)$$

$$\alpha_{uc} f_{uc} b h_{uc} + \alpha_1 f_c b (x - h_{uc}) + f'_{y0} A'_{s0} + \alpha'_s f'_y A'_s = f_{y0} A_{s0} \quad (5.2.2-2)$$

$$2a'_s \leq x \leq \xi_b h_{uc0} \quad (5.2.2-3)$$

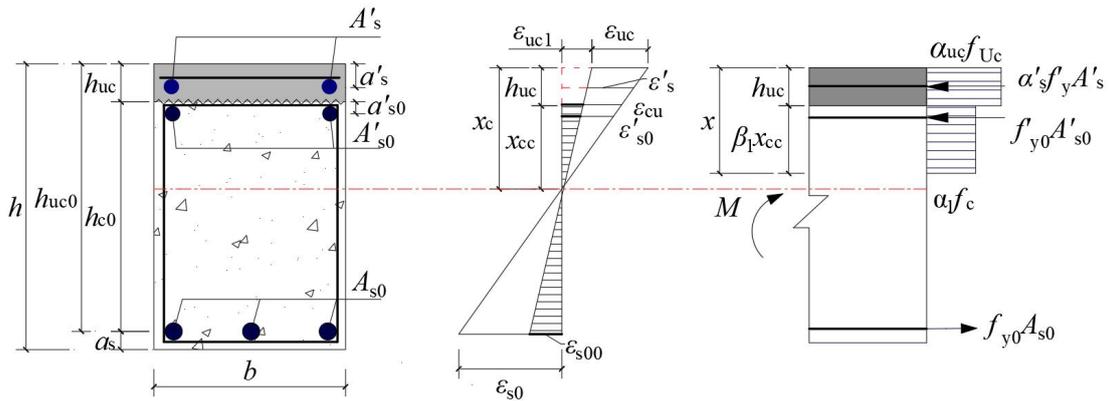


图 5.2.2-1 受压区加固矩形截面受弯构件正截面计算简图

式中: M ——构件加固后弯矩设计值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$);

f_{uc} 、 f_c ——分别为 UHPC 与混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);

f_{y0} ——原纵向受拉钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2);

f'_y 、 f'_{y0} ——分别为新增受压钢筋与原纵向受压钢筋抗压强度设计值 (N/mm^2);

x 、 x_c ——分别为加固后截面等效矩形受压区高度与截面中和轴高度 (mm);

x_{cc} ——加固后原构件截面中和轴高度 (mm);

h_{c0} 、 h_c ——分别为加固前构件截面有效高度、截面高度 (mm);

b ——构件截面宽度 (mm);

a_{s0} ——原纵向受拉合力点至混凝土受拉区边缘距离 (mm);

a'_s ——原纵向受压钢筋合力点至混凝土受压区边缘距离 (mm);

a'_s ——新增纵向受压钢筋合力点至 UHPC 受压区边缘距离 (mm)；

h_{uc} 、 h_{uc0} ——分别为受压区 UHPC 面层加固厚度和加固后构件截面有效高度 (mm)；

A_{s0} 、 A'_{s0} ——分别为原构件纵向受拉钢筋与受压钢筋截面面积 (mm²)；

A'_s ——新增纵向受压钢筋截面面积 (mm²)；

α_{uc} ——UHPC 抗压强度利用系数，取值为 0.4；

α'_s ——新增受压钢筋强度利用系数，取值为 0.9；

ε'_s 、 ε'_{s0} ——分别为新增受压钢筋与原受压钢筋应变；

ε_{s0} ——原受拉钢筋应变；

α_1 ——受压区既有混凝土矩形应力图应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；

当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时，取 0.94。中间按线性内插法确定；

β_1 ——计算系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 值取为 0.80；当混凝土强度等级为 C80 时，值取为 0.74，其间接线性内插法确定；

ζ_b ——UHPC 受压区加固受弯构件相对界限受压区高度，按本规程 5.2.3 条的规定进行计算。

(2) 当 $\alpha_{uc} f_{uc} b h_{uc} + \alpha'_s f'_y A'_s \geq f_{y0} A_{s0}$ (图 5.2.2.-2)，正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$\alpha_{uc} f_{uc} b x + \alpha'_s f'_y A'_s = f_{y0} A_{s0} \quad (5.2.2-4)$$

$$M \leq f_{y0} A_{s0} \left(h_{uc0} - \frac{x}{2} \right) + \alpha'_s f'_y A'_s \left(\frac{x}{2} - a'_s \right) \quad (5.2.2-5)$$

$$2a'_s \leq x \leq h_{uc} \quad (5.2.2-6)$$

(3) 当 $x \leq 2a'_s$ ，取 $x = 2a'_s$ ，正截面承载力应按下列公式计算：

$$M \leq f_{y0} A_{s0} (h_{uc0} - a'_s) \quad (5.2.2-7)$$

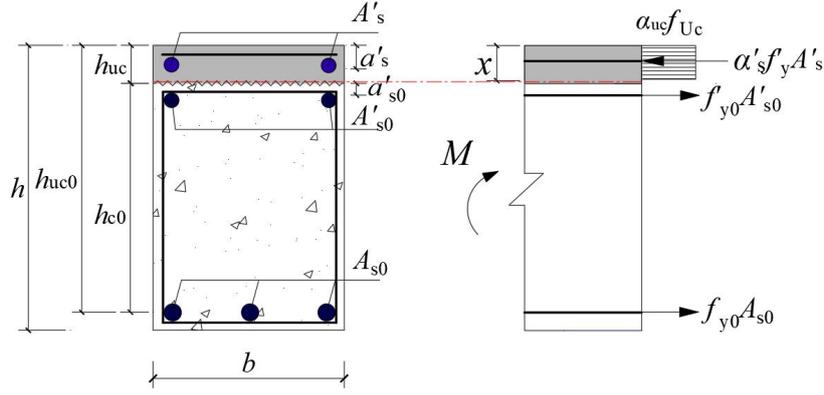


图 5.2.2-2 受压区加固矩形截面受弯构件正截面计算简图

5.2.3 受弯构件受压区 UHPC 加固后相对界限受压区高度应按下列公式进行确定：

$$\xi_b = \beta_1 \frac{h_{c0}}{\left(1 + \frac{f_{y0}}{\varepsilon_{cu} E_{s0}}\right) h_{uc0}} + \frac{h_{uc}}{h_{uc0}} \quad (5.2.3-1)$$

式中： β_1 ——计算系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 值取为 0.80；当混凝土强度等级为 C80 时，值取为 0.74，其间按线性内插法确定；

ε_{uc} ——UHPC 压应变，根据平截面假定进行取值确定；

ε_{uc1} ——UHPC 受压区边缘位置处，按平截面假设确定的初始应变值；

ε_{cu} ——普通混凝土极限压应变，取 $\varepsilon_{cu}=0.0033$ ；

x_{c0} ——加固前在初始弯矩 M_{0k} 作用下，UHPC 受压区边缘到中和轴的距离（mm）；

E_{s0} ——原受拉钢筋弹性模量（N/mm²）；

ψ ——受压区加固厚度 h_{uc} 与加固后截面有效高度 h_{uc0} 比值；

M_{0k} ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值；

ε_{s00} ——加固前，在初始弯矩 M_{0k} 作用下原受拉钢筋的应变值。

5.2.4 当仅在受拉区加固矩形截面受弯构件时（正弯矩区）（图 5.2.4-1），其正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq f_{y0} A_{s0} \left(h_{c0} - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} \left(\frac{x}{2} - a'_{s0} \right) + \alpha_s f_y A_s \left(h_{uc0} - \frac{x}{2} \right) + k f_{Ut} b h_{ut} \left(h - \frac{x + h_{ut}}{2} \right) \quad (5.2.4-1)$$

$$\alpha_1 f_c b x + f'_{y0} A'_{s0} = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + k f_{Ut} b h_{ut} \quad (5.2.4-2)$$

$$2a'_{s0} \leq x \leq \xi_b h_{uc0} \quad (5.2.4-3)$$

式中： k ——UHPC 抗拉强度利用系数，根据《超高性能混凝土结构设计规程》

(T/CBMF185-2022、T/CCPA35-2022)，取值为 0.4；

α_s ——新增纵向受拉钢筋强度利用系数， α_s 取值为 1；

f_{Ut} ——UHPC 的抗拉强度设计值 (N/mm²)；

f_y ——新增钢筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；

ζ_b ——受拉区采用 UHPC 加固受弯构件相对界限受压区高度，应按本规程 5.2.6 条规定计算。

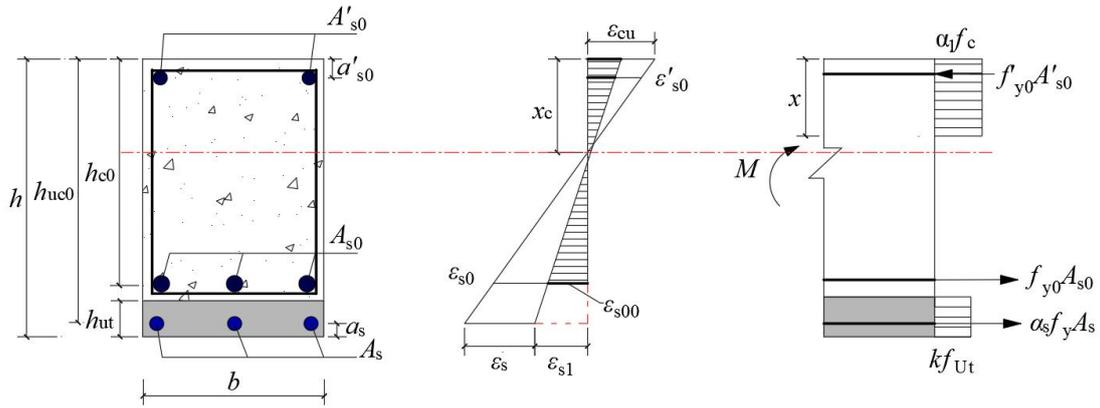


图 5.2.4-1 受拉区加固矩形截面受弯构件正截面计算简图

5.2.5 当按公式算得的加固后混凝土受压区高度 x 与加固前原截面有效高度 h_{c0} 之比 x/h_{c0} 大于原截面相对界限受压区高度 ζ_b 时，应考虑原纵向钢筋应力尚达不到屈服的情况。此时，应将上述公式中的 f_{y0} 改为 σ_{s0} ，并重新进行验算。验算时 σ_{s0} 取值可按下列式确定：

$$\sigma_{s0} \leq \left(\frac{0.8h_{c0}}{x} - 1 \right) \varepsilon_{cu} E_{s0} \leq f_{y0} \quad (5.2.5-1)$$

5.2.6 受弯构件受拉区 UHPC 加固后相对界限受压区高度应按下列式进行确定：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\varepsilon_{cu} E_s} + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{cu}}} \quad (5.2.6-1)$$

$$\varepsilon_{s1} = \left(1.6 \frac{h_{uc0}}{h_{c0}} - 0.6 \right) \varepsilon_{s00} \quad (5.2.6-2)$$

式中： ε_{s1} ——新增受拉钢筋位置处，按平截面假设确定的初始应变值；当新增主筋与原主筋的连接采用短钢筋焊接时，可近似取 $h_{uc0}=h_{c0}$ ， $\varepsilon_{s1}=\varepsilon_{s00}$ ；

E_s ——新增受拉钢筋弹性模量 (N/mm²)。

5.2.7 当在受拉区与受压区同时采用 UHPC 加固矩形截面受弯构件时（图 5.2.7-1）

(1) 当 $\alpha_{uc} f_{Uc} b h_{uc} + \alpha'_s f'_y A'_s \leq f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + k f_{Ut} b h_{ut}$ ，其正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq kf_{Ut}bh_{ut} \left(h - \frac{x+h_{ut}+h_{uc}}{2} \right) + \frac{1}{2} \alpha_{uc} f_{Uc} bh_{uc} x + \alpha_s f_y A_s \left(h_{uc0} - \frac{x+h_{uc}}{2} \right) \quad (5.2.7-1)$$

$$+ f_{y0} A_{s0} \left(h_{c0} - \frac{x-h_{uc}}{2} \right) + f_{y0}' A_{s0}' \left(\frac{x-h_{uc}}{2} - a_{s0}' \right) + \alpha_s' f_y' A_s' \left(\frac{x+h_{uc}}{2} - a_s' \right)$$

$$f_{y0}' A_{s0}' + \alpha_s' f_y' A_s' + \alpha_1 f_c b (x - h_{uc}) + \alpha_{uc} f_{Uc} bh_{uc} = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} bh_{ut} \quad (5.2.7-2)$$

$$2a_s' \leq x \leq \xi_b h_{uc0} \quad (5.2.7-3)$$

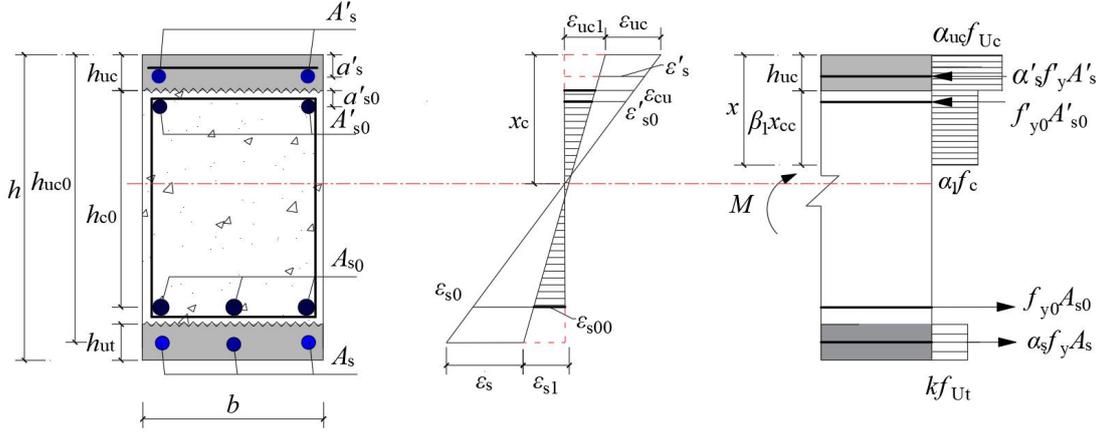


图 5.2.7-1 受拉区与受压区同时加固矩形截面受弯构件正截面计算简图

(2) 当 $\alpha_{uc} f_{Uc} bh_{uc} + \alpha_s' f_y' A_s' \geq f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} bh_{ut}$ (图 5.2.7-2), 其正截面受弯承载力应按下列公式确定:

$$\alpha_{uc} f_{Uc} bx + \alpha_s' f_y' A_s' = f_{y0} A_{s0} + kf_{Ut} bh_{ut} + \alpha_s f_y A_s \quad (5.2.7-4)$$

$$M \leq f_{y0} A_{s0} \left(h_{c0} + h_{uc} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_s f_y A_s \left(h_{uc0} - \frac{x}{2} \right) + kf_{Ut} bh_{ut} \left(h - \frac{x+h_{ut}}{2} \right) + \alpha_s' f_y' A_s' \left(\frac{x}{2} - a_s' \right) \quad (5.2.7-5)$$

$$2a_s' \leq x \leq h_{uc} \quad (5.2.7-6)$$

当 $x \leq 2a_s'$ 时, 取 $x = 2a_s'$, 其正截面受弯承载力应按下列公式确定:

$$M \leq kf_{Ut} bh_{ut} \left(h - \frac{1}{2} h_{ut} - a_s' \right) + \alpha_s f_y A_s (h_{uc0} - a_s') + f_{y0} A_{s0} (h_{c0} + h_{uc} - a_s') \quad (5.2.7-7)$$

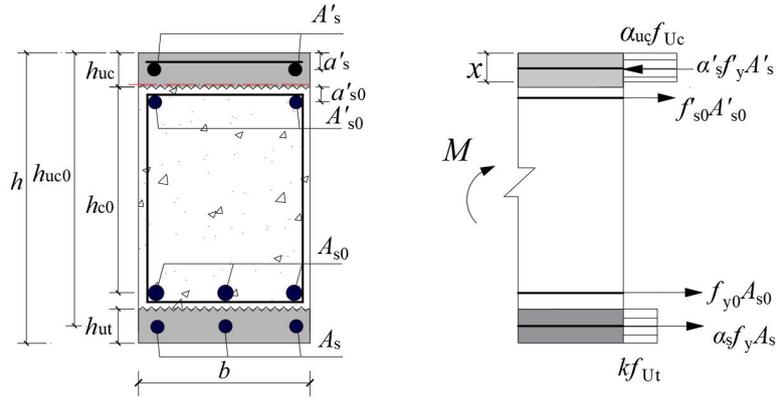


图 5.2.7-2 受拉区与受压区同时加固矩形截面受弯梁计算简图

5.2.8 当在受拉区与受压区同时采用 UHPC 加固受弯构件时，相对界限受压区高度 ξ_b ，应按下列公式进行计算：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\varepsilon_{cu} E_s} + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{cu}}} \left(1 - \frac{h_{uc}}{h_{uc0}} \right) + \frac{h_{uc}}{h_{uc0}} \quad (5.2.8-1)$$

5.2.9 对翼缘位于受压区的 T 形截面钢筋混凝土受弯构件，仅在受拉区增设 UHPC 层的正截面受弯承载力确定，应符合下列规定：

1. 当混凝土受压区高度 $x_c < h'_f$ 时（ $\alpha_1 f_c b'_f h'_f \geq f_y A_s + f_{y0} A_{s0} + kf_{Ut} b h_{ut}$ ），应按截面宽度为 b'_f 的矩形截面，计算截面抗弯承载力。

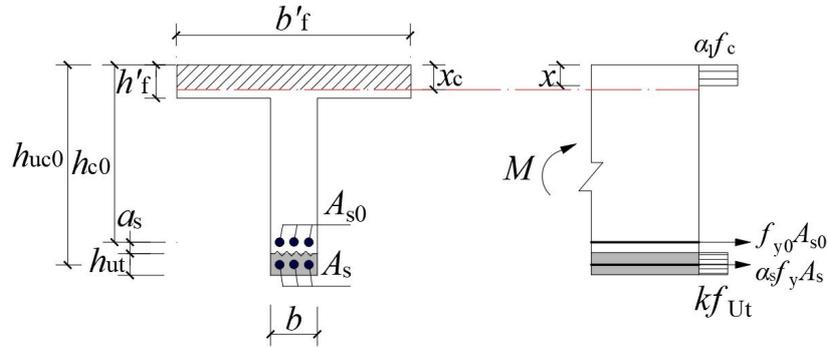


图 5.2.9-1 受拉区增设 UHPC 加固层的 T 形截面受弯构件（I 类截面）

$$\alpha_1 f_c b'_f x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} b h_{ut} \quad (5.2.9-1)$$

$$M = f_{y0} A_{s0} \left(h_{c0} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_s f_y A_s \left(h_{uc0} - \frac{x}{2} \right) + kf_{Ut} b h_{ut} \left[h - \frac{1}{2} (h_{ut} + x) \right] \quad (5.2.9-2)$$

式中： b ——T 形截面腹板厚度（mm）；

b'_f ——T 形截面受压翼缘有效宽度（mm）；

h'_f ——T 形截面受压翼缘厚度（mm）。

式确定：

$$\alpha_1 f_c [b(x - h_{uc}) + (b'_f - b)h'_f] + \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} = f_{y0} A_{s0} \quad (5.2.10-3)$$

$$M \leq \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} \left(h_{c0} + \frac{1}{2} h_{uc} \right) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f \left(h_{c0} - \frac{1}{2} h'_f \right) + \alpha_1 f_c b (x - h_{uc}) \left[h_{c0} - \frac{1}{2} (x - h_{uc}) \right] \quad (5.2.10-4)$$

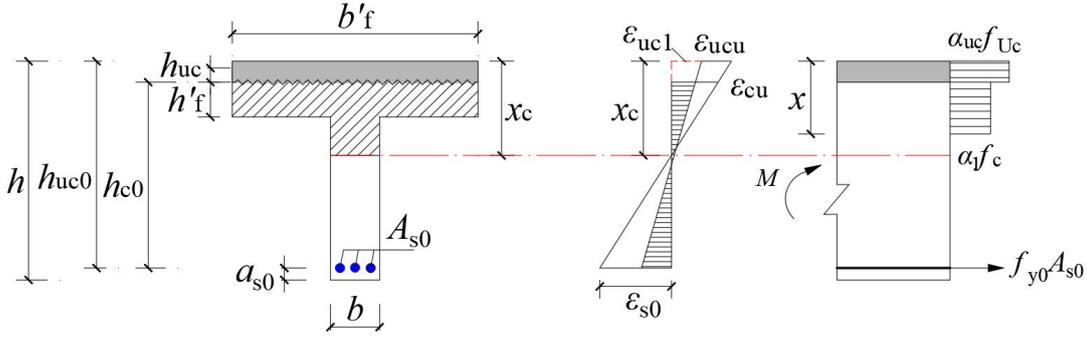


图 5.2.10-2 受压区加固 T 形截面受弯构件正截面计算 (II 类截面)

5.2.11 对翼缘位于受压区的 T 形或 I 形截面钢筋混凝土受弯构件，当在受拉区和受压区同时增设 UHPC 层的正截面受弯承载力确定，应符合下列规定：

1. 当 $\alpha_1 f_c b'_f h'_f + \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} \geq f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} bh_{ut}$ 时 (图 5.2.11-1)，应按截面宽度为 b'_f 的矩形截面，计算截面抗弯承载力。

$$\alpha_1 f_c b'_f (x - h_{uc}) + \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} bh_{ut} \quad (5.2.11-1)$$

$$M \leq \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} \left(h_{c0} + \frac{1}{2} h_{uc} \right) + \alpha_1 f_c b'_f (x - h_{uc}) \left[h_{c0} - \frac{1}{2} (x - h_{uc}) \right] + \alpha_s f_y A_s (h_{uc0} - h_{c0}) + kf_{Ut} bh_{ut} \left(h - h_{uc} - \frac{1}{2} h_{ut} - h_{c0} \right) \quad (5.2.11-2)$$

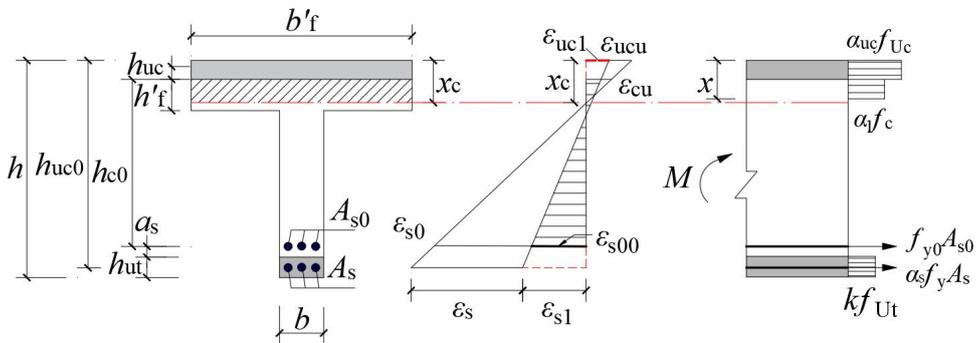


图 5.2.11-1 受压区和受拉区同时加固 T 形截面受弯构件正截面计算 (I 类截面)

2. 当 $\alpha_1 f_c b'_f h'_f + \alpha_{uc} f_{uc} b'_f h_{uc} \leq f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + kf_{Ut} bh_{ut}$ 时 (图 5.2.11-2)，其正截面受弯

承载力应按下列公式确定：

$$\alpha_1 f_c \left[b(x - h_{uc}) + (b'_f - b)h'_f \right] + \alpha_{uc} f_{Uc} b'_f h_{uc} = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s + k f_{Ut} b h_{ut} \quad (5.2.11-3)$$

$$M = \alpha_{uc} f_{Uc} b'_f h_{uc} \left(h_{uc0} - \frac{1}{2} h_{uc} \right) + \alpha_s f_y A_s (h_{uc0} - h_{c0}) + k f_{Ut} b h_{ut} \left(h - h_{uc} - \frac{1}{2} h_{ut} - h_{c0} \right) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f \left(h_{c0} - \frac{1}{2} h'_f \right) + \alpha_1 f_c b (x - h_{uc}) \left[h_{c0} - \frac{1}{2} (x - h_{uc}) \right] \quad (5.2.11-4)$$

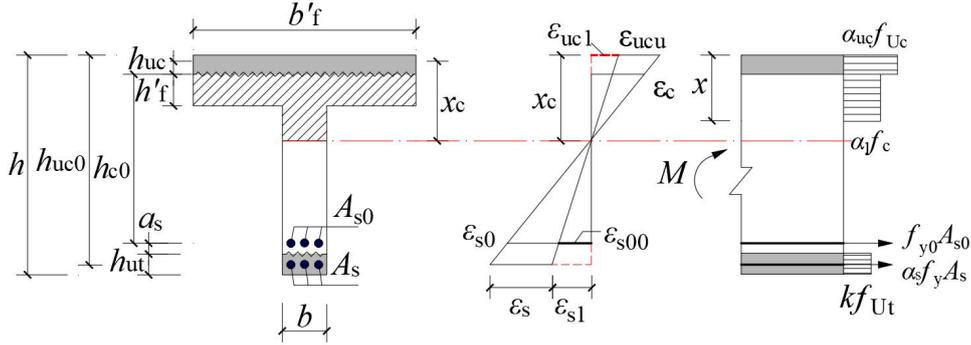


图 5.2.11-2 受压区和受拉区同时加固 T 形截面受弯构件正截面计算（Ⅱ类截面）

5.3 受弯构件斜截面承载力加固计算

5.3.1 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件：

当 $h_w/b \leq 4$ 时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_c b h_{c0} + 0.25 \beta_{uc} f_{Uc} A_u \quad (5.3.1-1)$$

当 $h_w/b \geq 6$ 时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_c b h_{c0} + 0.20 \beta_{uc} f_{Uc} A_u \quad (5.3.1-2)$$

当 $4 < h_w/b < 6$ 时，按线性内插法确定

式中： V ——构件加固后剪力设计值（kN）；

β_c 、 β_{uc} ——分别为混凝土与 UHPC 强度影响系数；按现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）与协会标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF185-2022、T/CCPA35-2022）规定取值；

b ——矩形截面的宽度或 T 形、I 形截面的腹板宽度（mm）；

h_w ——截面的腹板高度（mm）；对矩形截面，取有效高度；对 T 形截面，取有效高度减去翼缘高度；对 I 形截面，取腹板净高。

h_{c0} ——矩形截面或 T 形、I 形截面有效高度（mm）；

A_u ——UHPC 截面面积（mm²）。

5.3.2 采用增大截面法加固受弯梁时，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 当在受拉区增配配筋 UHPC 层时，并采用 U 形箍与原箍筋逐个焊接或其他的可靠连接时：

$$V \leq \alpha_{cv} f_t b h_{c0} + \alpha_{Uv} \alpha_U f_{Ut} b h_{ut} + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{S_0} h_{c0} \quad (5.3.2-1)$$

2 当增配配筋 UHPC 层三面围套加固时，并在 UHPC 加固层新增箍筋采用可靠措施与原构件混凝土连接时：

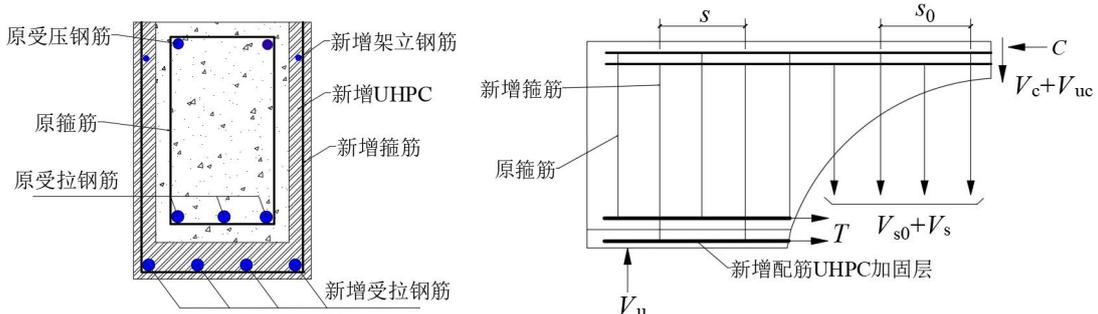


图 5.3.2 斜截面受剪承载力计算简图

$$V \leq \alpha_{cv} f_t b h_{c0} + \alpha_U \alpha_{Uv} f_{Ut} A_U + \alpha_{sv} f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_{uc0} + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{S_0} h_{c0} \quad (5.3.2-2)$$

式中： α_{cv} 、 α_{Uv} ——分别为斜截面混凝土、UHPC 受剪承载力计算系数，对一般受弯构件分别取 0.7 和 0.8；对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的 75% 以上的情况）的独立梁，取 α_{cv} 、 α_{Uv} 分别为 $1.75/(1+\lambda)$ 和 $2/(1+\lambda)$ ，其中 λ 为计算截面的剪跨比，等于 a/h_0 ，当 λ 小于 1.5 时，取 1.5；当 λ 大于 3 时，取 3； a 为集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离；

α_U ——抗剪加固新增 UHPC 强度利用系数，取 $\alpha_U=0.4$ ；

f_t 、 f_{Ut} ——分别为既有混凝土、UHPC 轴心抗拉强度设计值（N/mm²）；

α_{sv} ——新增箍筋强度利用系数， $\alpha_{sv}=1$ ；

f_{yv} 、 f_{yv0} ——新箍筋和原箍筋的抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_U ——三面围套新增 UHPC 截面面积（mm²）；

A_{sv} 、 A_{sv0} ——同截面内新箍筋各肢截面面积之和及原箍筋各肢截面面积之和（mm²）；

h_{c0} 、 h_{uc0} ——分别为原截面与加固后截面有效高度距（mm）；

s 、 s_0 ——新增箍筋与原箍筋沿构件长度方向的间距（mm）。

5.4 受压构件正截面承载力加固计算

5.4.1 采用 UHPC 增大截面加固钢筋混凝土轴心受压构件，其正截面受压承载力应符合下列规定：

1. 当不考虑柱端初始荷载作用效应时，其正截面受压承载力应按下式确定：

$$N \leq 0.9\varphi(f_c A_c + f'_{y0} A'_{s0} + \alpha_{Uc} f_{Uc} A_u + \alpha_s f'_y A'_s) \quad (5.4.1-1)$$

式中： N ——构件加固后的轴向压力设计值（kN）；

φ ——构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）的规定值采用；

f_c ——既有混凝土抗压强度设计值（N/mm²）；

f_{Uc} ——UHPC 的抗压强度设计值（N/mm²）；

A_c 、 A_U ——既有混凝土截面面积和 UHPC 截面面积（mm²）；

f'_{y0} 、 f'_y ——原纵向钢筋和新增纵向钢筋的抗压强度设计值（N/mm²）；

A'_{s0} 、 A'_s ——原纵向受压和新增纵向受压钢筋的截面面积（mm²）；

α_{Uc} ——UHPC 强度利用系数，取 0.6；

α_s ——新增纵向受压钢筋强度利用系数，取 1。

2. 当考虑柱端初始荷载作用效应时，其正截面受压承载力应符合下列规定：

当 $A_u < A_{u,t}$ 时，其正截面受压承载力应按下式确定：

$$N \leq 0.9\varphi[f_c A_c + f'_{y0} A'_{s0} + \alpha_{Uc} E_{Uc} (\varepsilon_{c0} - \varepsilon_{ci}) A_u + \alpha_s E_s (\varepsilon_{c0} - \varepsilon_{ci}) A'_s] \quad (5.4.1-2)$$

当 $A_u \geq A_{u,t}$ 时，其正截面受压承载力应按下式确定：

$$N \leq 0.9\varphi(\alpha_{Uc} f_{Uc} A_u + \alpha_s f'_y A'_s) \quad (5.4.1-3)$$

式中： ε_{ci} ——构件加固前既有混凝土初始压应变，可按 $\varepsilon_{ci} = nN_0/E_c A_c$ 计算， n 为构件加固前轴压比， N_0 为未加固柱承载力；

ε_{c0} 、 ε_{Uc0} ——分别为既有混凝土和 UHPC 的峰值压应变；

E_c 、 E_{Uc} ——分别为既有混凝土和 UHPC 的弹性模量；

E_s ——新增纵筋弹性模量；

$A_{u,t}$ ——轴心受压构件加固 UHPC 换算面积，按下式计算。

$$A_{u,t} = \frac{f_c A_c + f_{y0}' A_{s0}' + E_s (\varepsilon_{c0} - \varepsilon_{ci}) A_s' - f_y' A_s'}{f_{Uc} - E_{Uc} (\varepsilon_{c0} - \varepsilon_{ci})} \quad (5.4.1-4)$$

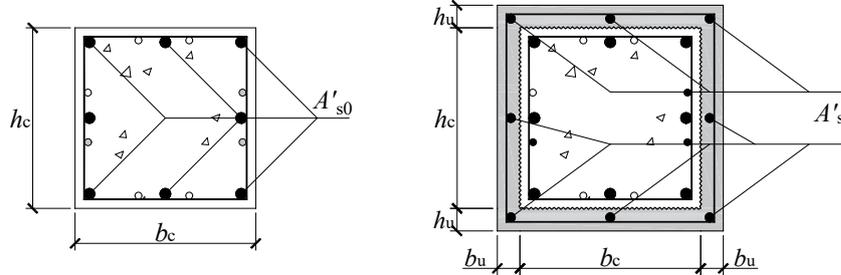


图 5.4.1 轴心受压构件 UHPC 四面围套加固

5.4.2 采用 UHPC 四面围套增大截面加固钢筋混凝土偏心受压构件，其正截面受压承载力应符合下列规定：

1. 当不考虑柱端初始荷载作用效应时，其正截面受压承载力应符合下列规定：

1) 当 $e_0/h_{u0} \geq 0.3$ 时，可按大偏心受压构件计算，其正截面承载力应按下列公式确定：

$$N \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x - k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u (h_{uc} - \frac{x}{\beta_1}) + \sigma'_{s0} A'_{s0} - f_{y0}' A_{s0} + 0.9 f_y' A_s' - 0.9 f_y A_s \quad (5.4.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} \right) + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x \left(h_{u0} - \frac{x}{2} \right) + k f_{Ut} b_c h_u \left(a_s - \frac{h_u}{2} \right) - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x_u}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x_u / \beta_1}{2} - a_s \right) + \sigma'_{s0} A'_{s0} (h_{u0} - h_u - a_s') + 0.9 f_y' A_s' (h_{u0} - a_{su}') \quad (5.4.2-2)$$

$$\sigma'_{s0} = \left(\frac{x / \beta_1 - h_u - a'_{s0}}{x / \beta_1} \right) E_{s0} \varepsilon_{Ucu} \leq f_{y0}' \quad (5.4.2-3)$$

式中：

f_c 、 f_{Uc} —— 既有混凝土和 UHPC 轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)；

f_{Ut} —— UHPC 的抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

σ'_{s0} —— 原构件受压较大边纵向钢筋应力 (N/mm^2)；

f_{y0} —— 原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋强度设计值 (N/mm^2)；

f_y —— 受压较大边新增纵向钢筋强度设计值 (N/mm^2)；

- f_y —— 受拉边或受压较小边新增纵向钢筋强度设计值 (N/mm²) ;
 A'_{s0} —— 原构件受压较大边纵向钢筋截面面积 (mm²) ;
 A_{s0} —— 原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋截面面积 (mm²) ;
 A'_s —— 受压较大边新增纵向钢筋截面面积 (mm²) ;
 A_s —— 受拉边或受压较小边新增纵向钢筋截面面积 (mm²) ;
 b_c 、 h_c —— 分别为原构件截面宽度和高度 (mm) ;
 b_u 、 h_u —— 分别为 UHPC 在宽度和高度方向的加固厚度 (mm) ;
 α_{Uc} —— 受压区 UHPC 强度利用系数, 取 0.43;
 k —— UHPC 弯拉区矩形应力图的应力值与 UHPC 的抗拉强度设计值的比值, 取 0.4;
 h_{uc} —— 加固后构件高度 (mm) ;
 h_{c0} —— 原构件截面有效高度 (mm) ;
 h_{u0} —— 加固后构件截面有效高度 (mm) ;
 a_{su} —— 受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点到加固截面近边的距离 (mm) ;
 a'_{su} —— 受压较大边新增纵向钢筋合力点到加固截面近边的距离 (mm) ;
 a_s —— 受压较大边新增纵向钢筋与原纵向钢筋合力点到加固截面近边的距离 (mm) ;
 e —— 偏心距, 为轴向压力设计值 N 的作用点至新增纵向钢筋与原纵向钢筋合力点的距离 (mm), 按本节第 5.4.3 条确定。

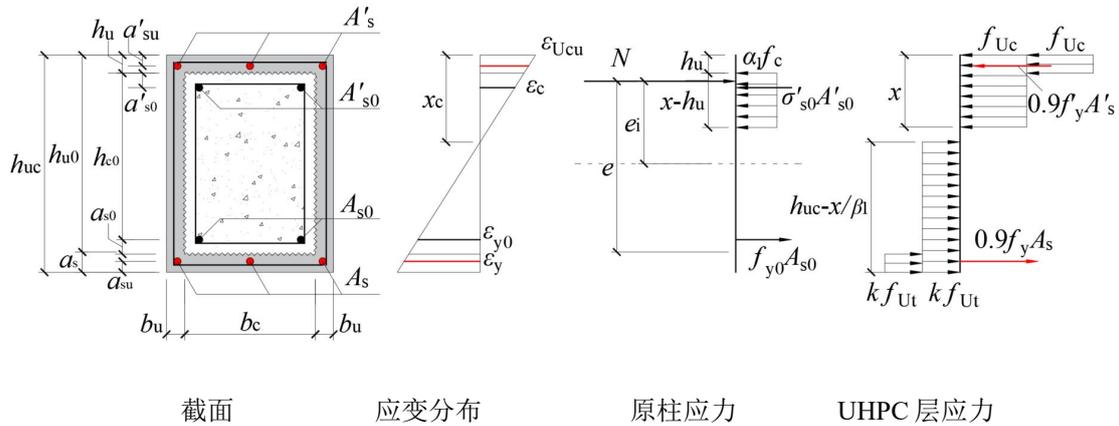


图 5.4.2-1 大偏心受压构件四面围套加固承载力计算 (不考虑柱端初始荷载作用效应)

2) 当 $e_0/h_{u0} < 0.3$ 时, 可按小偏心受压构件计算, 其正截面承载力应按下列公式确定:

$$\begin{aligned}
 N \leq & \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x \\
 & - k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u (h_{uc} - \frac{x}{\beta_1}) + \sigma'_{s0} A'_{s0} - \sigma_{s0} A_{s0} + 0.9 f'_y A'_s - \sigma_s A_s
 \end{aligned} \tag{5.4.2-4}$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} \right) + 2 \alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x \left(h_{u0} - \frac{x}{2} \right) + k f_{Ut} b_c h_u \left(a_s - \frac{h_u}{2} \right) - 2 k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x/\beta_1}{2} - a_s \right) + \sigma'_{s0} A'_{s0} (h_{u0} - h_u - a'_{s0}) + 0.9 f'_y A'_s (h_{u0} - a'_{su}) \quad (5.4.2-5)$$

$$\sigma'_{s0} = \left(\frac{x/\beta_1 - h_u - a'_{s0}}{x/\beta_1} \right) E_{s0} \varepsilon_{Ucu} \leq f'_{y0} \quad (5.4.2-6)$$

$$\sigma_{s0} = \left[\frac{0.8(h_{c0} + h_u)}{x} - 1 \right] E_{s0} \varepsilon_{Ucu} \leq f_{y0} \quad (5.4.2-7)$$

$$\sigma_s = \left[\frac{0.8(h_{uc} - a_{su})}{x} - 1 \right] E_s \varepsilon_{Ucu} \leq f_y \quad (5.4.2-8)$$

式中:

σ_{s0} —— 原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋应力 (N/mm²)，当为小偏心受压构件时，图中 σ_{s0} 可能变向；当算得 $\sigma_{s0} > f_{y0}$ 时，取 $\sigma_{s0} = f_{y0}$ ；

σ_s —— 受拉边或受压较小边新增纵向钢筋应力 (N/mm²)；当算得 $\sigma_s > f_y$ 时，取 $\sigma_s = f_y$ 。

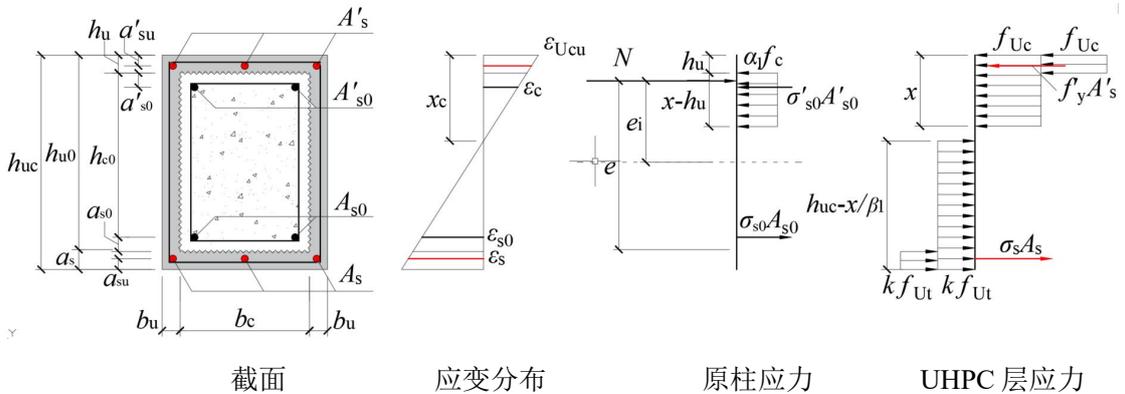


图 5.4.2-2 小偏心受压构件四面围套加固承载力计算 (不考虑柱端初始荷载作用效应)

2. 当考虑柱端初始荷载作用效应时，其正截面受压承载力应符合下列规定：

(1) 当 $e_0/h_{c0} > 0.3$ 时，可按大偏心受压构件计算，其正截面承载力可分别按两种失效模式对应的承载力极限状态计算，并按计算结果较大值进行截面设计：

1) 极限状态 I (既有混凝土达到受压极限)：

$$N \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} \cdot \frac{\varepsilon_{Uc}}{\varepsilon_{Ucu}} \cdot f_{Uc} b_u x \quad (5.4.2-9)$$

$$- k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) + f'_{y0} A'_{s0} - f_{y0} A_{s0} + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s$$

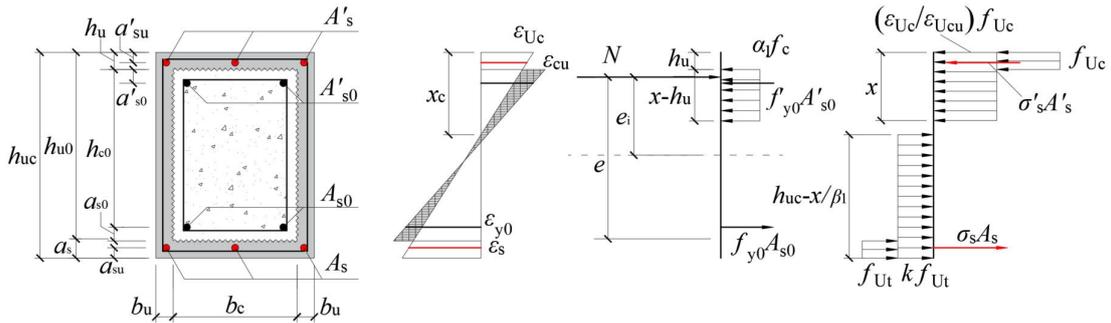
$$Ne \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} \right) + 2\alpha_{Uc} \cdot \frac{\varepsilon_{Uc}}{\varepsilon_{Ucu}} \cdot f_{Uc} b_u x \left(h_{u0} - \frac{x}{2} \right) \quad (5.4.2-10)$$

$$+ k f_{Ut} b_c h_u \left(a_s - \frac{h_u}{2} \right) - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x/\beta_1}{2} - a_s \right)$$

$$+ f'_{y0} A'_{s0} (h_{u0} - h_u - a'_{s0}) + \sigma'_s A'_s (h_{u0} - a'_{su})$$

$$\sigma'_s = \left[\frac{x - a'_{su}}{x - h_u} (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{ci}) \right] E_s \leq f'_y \quad (5.4.2-11)$$

$$\sigma_s = \left[\frac{h_{uc} - x/\beta_1 - a_{su}}{x/\beta_1 - h_u} (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{ci}) \right] E_s \leq f_y \quad (5.4.2-12)$$



截面 应变分布 原柱应力 UHPC层应力

图 5.4.2-3 既有混凝土达到受压极限计算（考虑柱端初始荷载作用效应）

2) 极限状态 II（当既有混凝土失效后，UHPC 继续承载并达到极限）：

$$N \leq \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x - k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) + 0.9 f'_y A'_s - 0.9 f_y A_s \quad (5.4.2-13)$$

$$Ne \leq \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{uc} - a_{su} - \frac{h_u}{2} \right) + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x \left(h_{uc} - 2a_{su} - \frac{x}{2} \right) \quad (5.4.2-14)$$

$$- 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x/\beta_1}{2} - a_s \right) + 0.9 f'_y A'_s (h_{u0} - 2a'_{su})$$

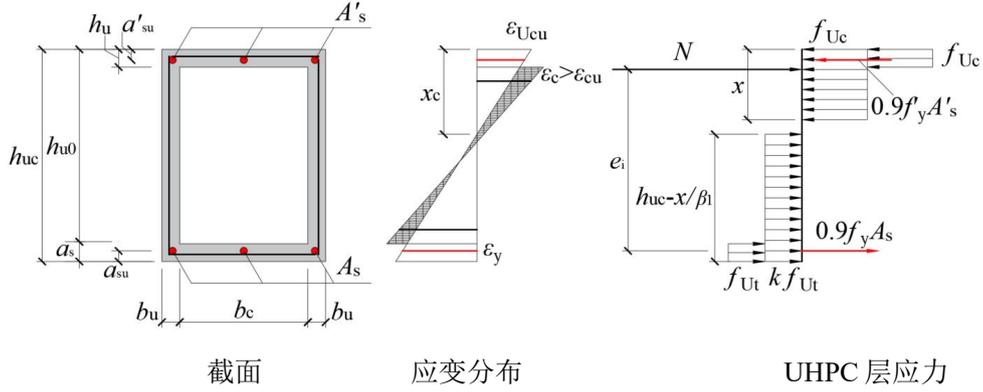


图 5.4.2-4 UHPC 达到受压极限计算（考虑柱端初始荷载作用效应）

式中：

ϵ_{ci} —— 原构件混凝土受压最边缘在初始荷载作用下的初始应变；

ϵ_{Uc} —— UHPC 受压最边缘应变，按 $\epsilon_{Uc} = \frac{x}{x-h_u}(\epsilon_{cu} - \epsilon_{ci})$ 计算；

ϵ_{cu} 、 ϵ_{Ucu} —— 分别为混凝土和 UHPC 的极限压应变；

(2) 当 $e_0/h_{c0} < 0.3$ 时，可按小偏心受压构件计算，其正截面承载力可分别按两种失效模式对应的承载力极限状态计算，并按计算结果较大值进行截面设计：

1) 极限状态 I（既有混凝土达到受压极限）：

$$N \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} \cdot \frac{\epsilon_{Uc}}{\epsilon_{Ucu}} \cdot f_{Uc} b_u x - k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) + f'_{y0} A'_{s0} - \sigma_{s0} A_{s0} + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s \quad (5.4.2-15)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b_c (x - h_u) \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} - \frac{x}{2} \right) + \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{u0} - \frac{h_u}{2} \right) + 2\alpha_{Uc} \cdot \frac{\epsilon_{Uc}}{\epsilon_{Ucu}} \cdot f_{Uc} b_u x \left(h_{u0} - \frac{x}{2} \right) + k f_{Ut} b_c h_u \left(a_s - \frac{h_u}{2} \right) - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x/\beta_1}{2} - a_s \right) + f'_{y0} A'_{s0} (h_{u0} - h_u - a'_{s0}) + 0.9 \sigma'_s A'_s (h_{u0} - a'_{su}) \quad (5.4.2-16)$$

$$\sigma_{s0} = \left[\epsilon_{si} + \frac{h_{c0} - (x/\beta_1 - h_u)}{x/\beta_1 - h_u} \cdot (\epsilon_{cu} - \epsilon_{ci}) \right] E_{s0} \leq f_{y0} \quad (5.4.2-17)$$

$$\sigma_s = \left[\frac{h_{uc} - x/\beta_1 - a_{su}}{x/\beta_1 - h_u} (\epsilon_{cu} - \epsilon_{ci}) \right] E_s \leq f_y \quad (5.4.2-18)$$

$$\sigma'_s = \left[\frac{x - a'_{su}}{x - h_u} (\epsilon_{cu} - \epsilon_{ci}) \right] E_s \leq f'_y \quad (5.4.2-19)$$

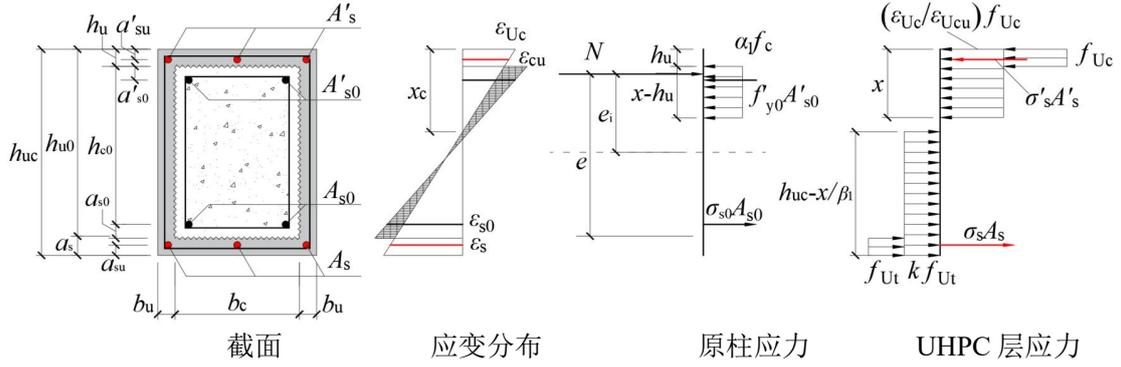


图 5.4.2-5 既有混凝土达到受压极限计算（考虑柱端初始荷载作用效应）

2) 极限状态 II（当既有混凝土失效后，UHPC 继续承载并达到极限）：

$$N \leq \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x - k f_{Ut} b_c h_u - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) + 0.9 f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (5.4.2-20)$$

$$Ne \leq \alpha_{Uc} f_{Uc} b_c h_u \left(h_{uc} - a_{su} - \frac{h_u}{2} \right) + 2\alpha_{Uc} f_{Uc} b_u x \left(h_{uc} - 2a_{su} - \frac{x}{2} \right) - 2k f_{Ut} b_u \left(h_{uc} - \frac{x}{\beta_1} \right) \left(\frac{h_{uc} - x/\beta_1}{2} - a_s \right) + 0.9 f'_y A'_s \left(h_{u0} - 2d_{su} \right) \quad (5.4.2-21)$$

$$\sigma_s = \left[\frac{0.8(h_{uc} - a_{su})}{x} - 1 \right] E_s \varepsilon_{Ucu} \leq f'_y \quad (5.4.2-22)$$

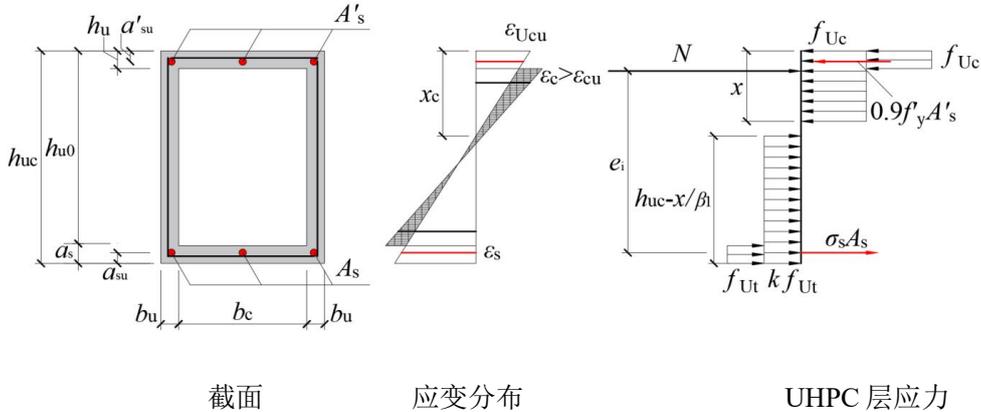


图 5.4.2-6 UHPC 达到受压极限计算（考虑柱端初始荷载作用效应）

5.4.3 轴向压力作用点至原纵向受拉钢筋合力作用点的距离（偏心距） e ，应按下列规定确定：

$$e = e_i + \frac{h_{uc}}{2} - a_s \quad (5.4.3-1)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (5.4.3-2)$$

式中： e_i ——初始偏心距；

h_{uc} ——加固后截面高度；

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距，取 M/N ；

ψ ——修正系数，取 ψ 为 1.2；

e_a ——附加偏心距，按偏心方向截面最大尺寸 h_{uc} 确定；当 $h_{uc} < 600\text{mm}$ 时，取 e_a 为 20mm；当 $h_{uc} > 600\text{mm}$ 时，取为 $e_a = h_{uc}/30$ 。

5.5 框架节点抗震加固计算

5.5.1 框架梁柱节点采用 UHPC 加固后，节点核心区截面抗震受剪承载力应符合下列条件：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (V_{j0} + V_{ju}) \quad (5.5.1-1)$$

式中：

V_j —— 考虑地震组合后的梁柱节点核心区剪力设计值；

V_{j0} —— 节点原混凝土受剪承载力，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）计算确定；

V_{ju} —— 采用 UHPC 加固后提高的受剪承载力，按本规程第 5.5.3 条确定。

5.5.2 当节点核心区验算方向的梁截面宽度不小于该侧柱截面宽度的 1/2 时，节点核心区截面有效验算宽度取值可采用该侧柱截面宽度，当小于柱截面宽度的 1/2 时可采用下列二者的较小值。

$$b_j = b_b + 0.5h_c \quad (5.5.2-1)$$

$$b_j = b_c \quad (5.5.2-2)$$

式中： b_j ——节点核心区的截面有效验算宽度（mm）；

b_b ——验算方向梁截面宽度（mm）；

h_c ——验算方向的柱截面高度（mm）；

b_c ——验算方向的柱截面宽度（mm）。

5.5.3 采用 UHPC 加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应按下列式子确定：

1 中柱节点加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应满足下列规定（图 5.5.3-（a））：

$$V_{ju} = 2\alpha_U f_{Ut} b_u (h_c + 2 \cdot h_u - b_1) \quad (5.5.3-1)$$

2 边柱节点加固提高的受剪承载力 V_{ju} ，应符合下列规定：

当验算方向如图 5.5.3- (b) 所示时，其加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应满足下列规定：

$$V_{ju} = 2\alpha_U f_{Ut} b_u (h_c + 2 \cdot h_u - b_1) \quad (5.5.3-2)$$

当验算方向如图 5.5.3- (c) 所示时，其加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应满足下列规定：

$$V_{ju} = \alpha_U f_{Ut} h_u (2b_c + 4 \cdot b_u - b_2) \quad (5.5.3-3)$$

3 角柱节点加固

当验算方向如图 5.5.3- (d) 所示时，其加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应满足下列规定：

$$V_{ju} = \alpha_U f_{Ut} b_u (2h_c + 4 \cdot h_u - b_1) \quad (5.5.3-4)$$

当验算方向如图 5.5.3- (e) 所示时，其加固后提高的受剪承载力 V_{ju} 应满足下列规定：

$$V_{ju} = \alpha_U f_{Ut} h_u (2b_c + 2 \cdot b_u - b_2) \quad (5.5.3-5)$$

式中： α_U ——抗剪加固新增 UHPC 强度利用系数，取 $\alpha_U=0.4$ ；

b_1 、 b_2 ——原柱截面宽度和高度方向的梁的宽度（mm）；

b_u 、 h_u ——原柱截面宽度和高度方向的 UHPC 加固厚度（mm）。

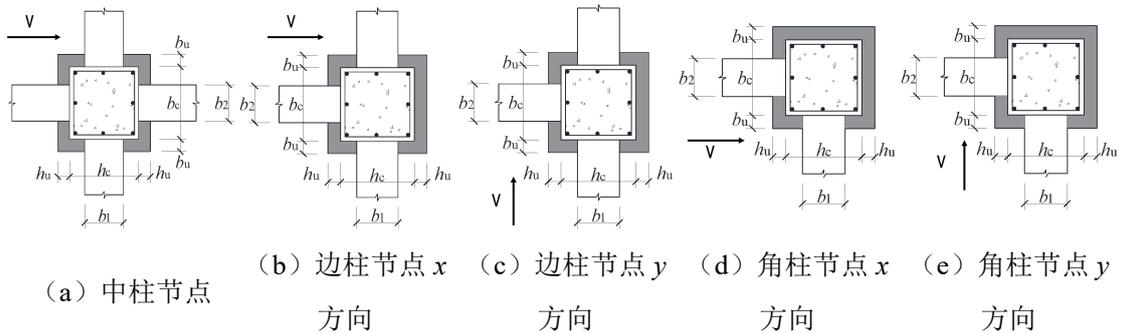


图 5.5.3 梁柱节点加固

5.5.4 梁柱节点加固前，应对原节点表面进行凿毛，并种植剪切销钉；UHPC 加固层厚度不宜小于 30mm。

5.5.5 对于结构或荷载比较复杂的节点，可采用数值方法进行受力分析。

6 构造要求

6.0.1 增设无筋 UHPC 加固层加固受弯构件，新增 UHPC 加固层的最小厚度不宜小于 15mm。当采用配筋 UHPC 加固时，不应小于 30mm。

6.0.2 在四面围套增设无筋 UHPC 层加固受压构件，新增 UHPC 层的最小厚度不宜小于 20mm；在四面围套增设配筋 UHPC 层加固受压构件，新增 UHPC 层的最小厚度不宜小于 30mm。

6.0.3 增设配筋 UHPC 加固层加固时，新增受力钢筋保护层厚度、锚固长度、钢筋连接等应符合现行协会标准《超高性能混凝土结构设计规范》（T/CBMTF 185-2022、T/CCPA 35-2022）的规定。

6.0.4 加固用的钢筋，应采用热轧带肋钢筋。板的受力钢筋直径不应小于 8mm；梁的受力钢筋直径不应小于 12mm；柱的受力钢筋直径不应小于 14mm；加锚式箍筋直径不应小于 8mm；U 形箍直径应与原箍筋直径相同；分布筋直径不应小于 6mm。

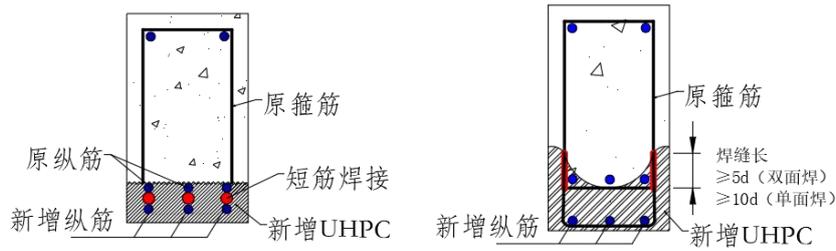
6.0.5 当采用增大截面法加固受弯和受压构件时，被加固构件的界面处理及其粘结质量应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）的规定。一般情况下，混凝土界面可进行凿毛或植筋处理，以保证新旧混凝土协同工作，满足按整体截面计算的要求。

6.0.6 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距不应小于原受力钢筋与新增受力钢筋的较大直径，并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接；其构造应符合下列规定：

1 当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋（图 6.0.6-1a）焊接时，短筋的直径不应小于原受力钢筋与新增受力钢筋的较大值，长度不应小于其直径的 5 倍，各短筋的中距不宜大于 500mm。

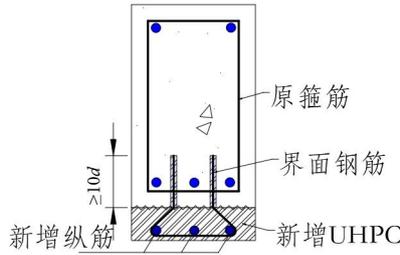
2. 当仅在截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形箍筋（图 6.0.6-1b），并应焊在原箍筋上，单面（双面）焊的焊缝长度应为箍筋直径的 10 倍（5 倍）。

3 当受构造条件限制而采用植筋方式埋设 U 形箍（图 6.0.6-1c）时，可采用 UHPC 或无机植筋胶种植，也可采用锚固型结构胶种植，植筋应符合现行标准《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）的规定。



(a) 短筋焊接连接构造

(b) 设置 U 型箍构造



(c) 植筋埋设 U 型箍构造

图 6.0.6-1 受拉区加固界面连接构造

4. 当受压区加固无新增纵筋时，界面可植 L 型界面钢筋（图 6.0.6-2），植筋应符合现行标准《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）的规定。

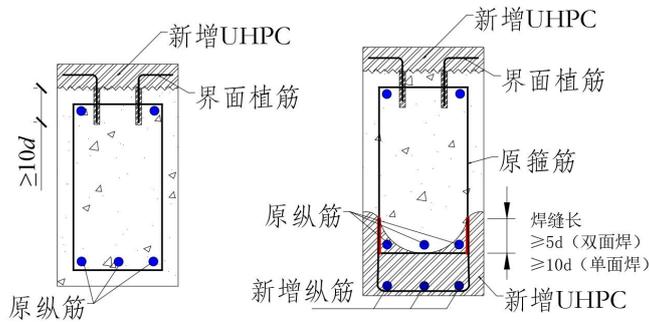
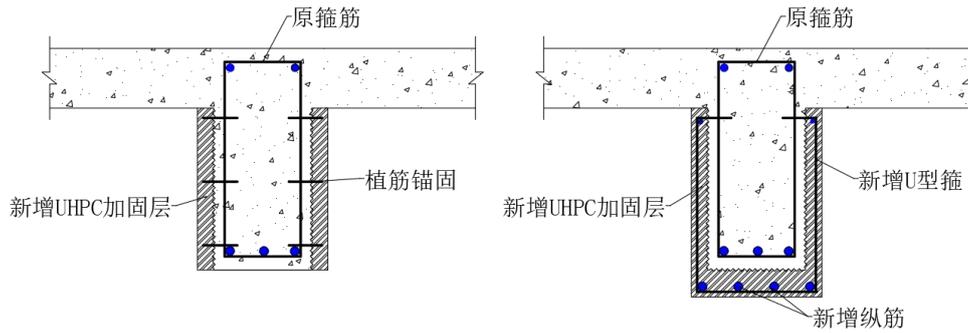


图 6.0.6-2 受压区加固与受拉区和受压区同时加固界面连接构造

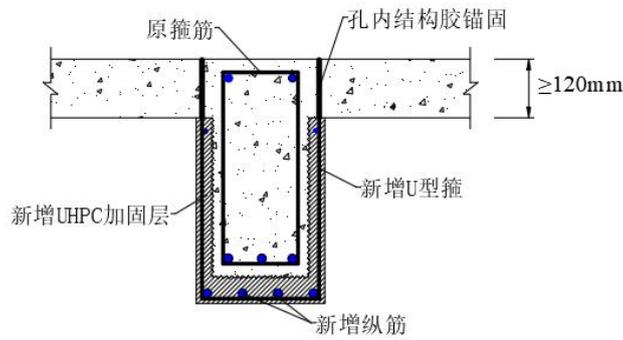
5. 采用两侧（腹板）UHPC 加固时（图 6.0.6-3a），新增抗剪钢筋网片及加固层应通过原构件上植锚筋牢固连接。

6. 采用三面围套 UHPC 加固时，新增抗剪 U 型箍筋应通过原构件上植锚筋牢固连接（图 6.0.6-4a）；



(a) 两侧加固植筋构造

(b) 三面围套加锚式箍筋构造



(c) 加锚式箍筋构造

图 6.0.6-3 增大截面配置新增箍筋连接构造

7. 当用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋，若环形箍筋不易布置，可采用两根 U 型箍筋进行焊接，单面焊的焊缝长度不应小于箍筋直径的 10 倍，双面为 5 倍，焊接位置应根据每层箍筋错开布置（图 6.0.6-4）；新增钢筋尚应通过植入原构件的弯钩钢筋进行锚固，弯钩钢筋应钩住新增纵筋或新增纵筋与箍筋搭接点，弯钩钢筋埋入点应交错布置，且间距不应大于 1 倍的箍筋间距（图 6.0.6-5）。

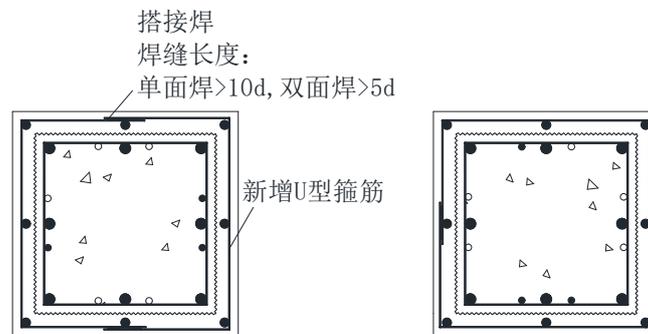


图 6.0.6-4 U 形箍筋搭接

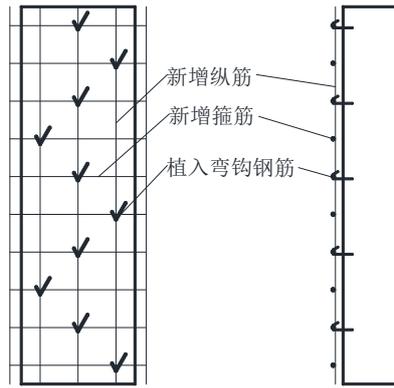


图 6.0.6-5 弯钩钢筋布置

8. 柱的新增纵向受力钢筋的下端应伸入基础并应满足锚固要求；上端应穿过楼板与上层柱脚连接或在屋面板处封顶错固。

6.0.7 在受压区或受拉区增设 UHPC 加固层的受弯构件，当满足本规程第 6.0.5 条、第 6.0.6 条构造要求时，原构件与新增 UHPC 现浇层之间结合面的受剪承载力应符合下式要求：

$$V \leq 1.2 f_t b h_{uc0} + 0.85 f_{yv1} \frac{A_{sv1}}{s_1} h_{uc0} \quad (6.0.7)$$

即同时考虑混凝土与 UHPC 界面粘结力与界面植筋抗剪承载力。UHPC 加固，界面粘结抗力依然取决于既有混凝土构件混凝土抗拉强度。

式中：V——叠合界面剪力设计值（N）；

f_{yv1} ——结合面植筋抗拉强度设计值（MPa）；

A_{sv1} ——结合面上同一竖向截面植筋总截面面积（mm²）；

s_1 ——箍筋或植筋的间距（mm）。

6.0.8 对于不配界面抗剪钢筋的加固受弯构件，当原构件表面粗糙度满足规范规定时，其界面受剪强度应符合下列公式的要求：

$$\frac{V}{b h_{uc0}} \leq 0.4 \quad (6.0.8)$$

6.0.9 构造要求除应符合本规程规定，尚应符合《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）的相关要求。

7 施工

7.0.1 UHPC 加固施工应严格控制对原结构的损伤，不应损伤原结构主筋，不应削弱原结构截面尺寸，如需植筋时，应进行主筋位置探测和定位。

7.0.2 施工期间在原结构上临时钻孔设置吊环、支撑等时，应合理选择位置，避免对原有构件造成较大的损伤；施工完成后，应及时拆除临时构件，封闭孔眼等。

7.0.3 采用吊架作为施工平台时，应对吊架及附着吊架的构件强度、刚度和稳定性进行验算，应满足受力要求。

7.0.4 加固施工在不良天气或夜间施工时，应有相应的施工保障措施。

7.0.5 加固前应对原结构构件的截面尺寸、轴线位置、裂缝状况、外观特征等进行检查和复核。当与原设计或现有加固设计要求不符时，应及时通知设计单位处理。

7.0.6 UHPC 增大截面加固施工，应按下列步骤进行加固原构件：

- 1 对需要加固的混凝土表面进行清理、凿毛等界面处理；
- 2 植筋或锚栓施工；
- 3 安装固定新增加固层钢筋；
- 4 安装模板，浇筑 UHPC 加固层；
- 5 养护及拆模。

7.0.7 新增截面施工前应对原构件已有的裂缝、孔洞、混凝土剥落等缺陷进行分析、评估和修补，缺陷及裂缝修补应符合下列规定：

1. 应根据裂缝出现原因、位置、宽度、长度、深度、稳定性等特征选择合适的裂缝修补方法；
2. 表面裂缝宜采用封闭修补法，其他裂缝宜采用压力灌浆法；
3. 对外露钢筋的锈蚀层及其周边粘结失效的混凝土应清除并应打磨钢筋至其表面露出金属光泽后，方可进行下道工序。

7.0.8 UHPC 与既有混凝土结合面的处理应符合下列规定：

1. 结合面处理应按清理、凿毛或高压射流拉毛界面处理等步骤依次进行，首先应清除原构件表面尘土、浮浆、污垢、油渍、原有饰面层、杂物、已风化、剥落、腐蚀、严重裂损的老混凝土及集料，完成打毛或凿槽后，应采用钢丝刷等工具清除原构件混凝土表面松动的骨料、砂砾、浮渣和粉尘，并应采用清洁的压力水冲洗干净，UHPC层浇筑前，应提前对构件表面反复浇水湿润，并待构件表面湿润无明水后再进行UHPC层浇筑。

2. 当采用三面或四面新浇UHPC层外包梁、柱时，应在打毛同时凿除截面的棱角。

7.0.9 加固构件界面处理应严格控制对原结构的损伤，不应损伤原结构主筋。

1. 当加固构件需要界面植筋时，应进行主筋位置探测和定位或凿去保护层暴露出钢筋，避免钻孔损伤主筋。

2. 钻孔应进行定位，保证一次钻孔完整性，尽量避免同一位置二次钻孔造成周围混凝土松动，影响植筋粘结锚固效果。

3. 当由于不可控因素等，植筋钻孔遇到钢筋或预埋件时应立即停止钻孔，并适当移动孔位，若移动距离太大，应及时通知设计单位进行处理。

4. 钻孔后应进行清空，可用吹风机向孔底部吹入清洁压缩空气，清除孔内灰尘，并用硬毛刷扫孔。

5. 在正式植筋前，用丙酮或工业酒精擦拭孔壁、孔底。

6. 植筋胶应采用专用灌注器或注射器进行灌注，灌注量一般为孔深的2/3，并应保证在植入钢筋后有少许胶黏剂溢出。

7. 注入胶黏剂后应立即单向旋转插入钢筋，直至达到设计的深度，并保证植入钢筋与孔壁间的间隙基本均匀，校正钢筋的位置和垂直度。

8. 植筋胶完全固化前，不得触碰或震动已植钢筋，以免影响粘结性能。

7.0.10 新增截面混凝土的模板、支架和拱架应结构简单、装拆方便，应有足够的强度、刚度、稳定性和密封性，其设计和施工应符合现行行业标准《建筑施工模板安全技术规范》（JGJ162-2008）的规定。

7.0.11 浇筑UHPC前，应对下列项目按隐蔽工程要求进行验收：

1. 界面处理施工质量；

2. 新增钢筋的品种、规格、数量和位置；
3. 新增钢筋与原构件的连接构造及焊接质量；
4. 植筋、锚栓施工质量；
5. 预埋件的规格、位置。

7.0.12 在 UHPC 加固面层浇筑施工时，可采用适当的纤维定向施工方案，具体方案应经试验验证。

7.0.13 对于三面围套加固梁在受弯剪过程中，应进行界面植筋。

7.0.14 按照施工环境以及操作类别，可将超高性能混凝土加固施工分为灌注施工、浇筑施工、喷射施工等。

7.0.15 UHPC 养护应符合下列规定：

- 1 在浇筑 UHPC 完毕后应及时对 UHPC 采取保湿、覆盖涂刷养护剂等方法养护。

- 2 现浇 UHPC 可采用自然养护，保湿养护时间不宜小于 7d。如环境气温低于 5℃，需按照《建筑工程冬期施工规程》（JGJ/T 104-2011）相关要求进行了养护。

7.0.16 其他施工要求尚应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666-2011）和现行团体标准《超高性能混凝土现场浇筑施工技术规程》（T/CCPA 23-2021/T/CBMF 128-2021）的相关规定。

8 质量检验与验收

8.1 质量检验

8.1.1 UHPC 质量检验可分为原材料进场检验、施工前的配合比检验及施工过程中的现场抽检。

8.1.2 采用 UHPC 预混料，现场拌合施工时，质量检验应符合下列规定：

1. 预混料的进场检验项目：是否受潮、是否漏料、保质期、合格证、包装规格，同一批次预混料每 20t 检测频率不少于 1 次。

2. 钢纤维的质量检验应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387-2015）的规定，每 100t 钢纤维检验不应少于 1 次。

3. 超高性能混凝土预混料的性能应符合现行标准《超高性能混凝土预混料》（T/CBMF 96-2020/T/CCPA 20-2020）的规定。

4. UHPC 的力学性能应符合现行标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF 185-2022/T/CCPA 35-2022）的规定。

5. 对于配合比检验，全部检验项目符合规定则判定该产品合格；如检验项目不完全符合要求，则重新取样，取样数量加倍。如取样结果全部合格，则判定合格；如重新取样检验项目不符合要求。

6. 同一配合比施工前进行一次配合比检验。如施工过程中配合比有调整，应对调整后的 UHPC 重新检测。

8.1.3 当采用预拌 UHPC 时，其工作性能和力学性能应符合现行标准《超高性能混凝土预混料》（T/CBMF 96-2020/T/CCPA 20-2020）中对应等级的 UHPC 拌合物的性能要求。

8.2 质量验收

8.2.1 采用 UHPC 加固混凝土构件，应按下列要求进行施工质量验收：

1. 施工质量验收应按检验批进行。UHPC 加固混凝土构件的施工质量验收应按检验批进行，同一个单体工程的同一类构件每 100 个划分为一个检验批，不足 100 个构件时也划分为一个检验批。

2. UHPC 与混凝土结构的结合面粘结质量应良好，雷达检测判定为结合不良（空鼓）的面积不应超过总测试面积的 10%，且不应集中出现在主要受力部位。检测数量：每一检验批抽检构件数不少于总构件数的 5%，且不少于 5 个。检验方法：雷达检测空鼓。

3. UHPC 的厚度应符合设计要求，抽样合格率不应小于 90%。抽样数量：每一检验批抽检构件数不少于总构件数的 5%，且不少于 5 个。对梁、柱构件，每个构件不应少于 3 处。检验方法：用钻芯取样、卷尺测量或超声波检测等方法测定，具体检测方法按照现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》（JGJ/T 384-2016）的相关规定执行。

8.2.2 UHPC 浇筑完成和保湿养护后，硬化后的 UHPC 表面应均匀完好，且不应有龟裂和收缩裂缝现象；其边角处、接缝处等位置应衔接良好，无脱空、台阶现象。

附录 A

(规范性) UHPC-既有混凝土推荐界面黏结模型

UHPC-既有混凝土界面黏结应力-滑移本构关系应符合下列要求 (图 A-1) :

$$\tau = \begin{cases} K \cdot s & 0 \leq s < s_u \\ 0 & s_u \leq s \end{cases} \quad (\text{A-1})$$

式中: τ ——界面粘结应力 (N/mm²) ;
 s ——界面滑移量 (mm) ;
 s_u ——界面最大滑移量 (mm) ;
 K ——界面黏结刚度 (N/mm²) 。

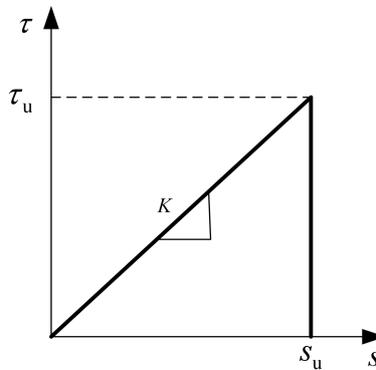


图 A-1 界面黏结-滑移模型

特征参数 τ_u 、 K 、 s_u 取值可按表 A-1 取值。

表 A-1 界面黏结特征参数取值

试件类型	界面处理	界面参数	τ_u (MPa)	s_u (mm)	K (MPa)
直剪	凿毛深度	1.0mm	1.65	1.21	1.36
		1.5mm	2.06	1.14	1.81
		2.0mm	2.23	1.14	1.96
	植筋率	0.1%	2.37	1.26	1.88
		0.2%	3.10	1.03	3.02
	凹槽率	8.5%	1.34	0.78	1.71
		17.0%	3.34	1.12	2.99
界面剂			1.20	0	—
斜剪/15°	凿毛深度	1.5mm	8.05	1.96	4.11
	植筋率	0.2%	5.64	1.14	4.93
	凹槽率	8.5%	6.45	1.86	3.46
	界面剂		2.28	0.84	2.73

注: 植筋率为所有植入钢筋截面面积与结合面面积的比值, 凹槽率为所有凹槽界面面积与结合面面积的比值。

附录 B

(资料性) UHPC 浇筑申请报告单

工程名称		工程单位		图纸号			
申请日期		UHPC 强度等级		工程量			
		预计浇筑时间					
材料名称		存放点或料场号		批准文号		备注	
机具设备及数量							
机具设备备用量							
主要技工							
UHPC 配合比	每立方米 UHPC 中各项材料用量 (kg)				拓展度	抗压强度	
	预混料	钢纤维	水	减水剂		龄期 (d)	强度 (MPa)
理论配合比							
施工配合比							
<p>结论</p> <p style="text-align: right; margin-top: 50px;">监理工程师： 年 月 日</p>							

附录 C

(资料性) UHPC 浇筑记录单

工程名称		浇筑部位					
申请日期		天气情况					
室外气温		设计强度					
UHPC 来源	配合比通知单号						
	UHPC 配合比	材料名称	规格产地	每立方米用量	每盘用量	材料含水量	实际每盘用量
量测拓展度			出盘温度			入模温度	
开始时间		结束时间					
UHPC 方量		试件留置种类、数量、编号					
UHPC 浇筑中出现问题及处理情况							
技术负责人		现场监理					
备注	本记录每浇筑 次 UHPC 记录 张						

附录 D

(资料性) UHPC 施工记录单

施工日期:

项目名称					
施工部位		UHPC 理论 方量		UHPC 实际 方量	
施工环境记录					
施工天气		现场温度		现场湿度	
UHPC 预制记录					
粉料到场时间		是否调整粉料配合比			
拌制配合比 (水灰比)		减水剂掺量			
拌制时间	第 1 盘		第 13 盘		第 25 盘
	第 2 盘		第 14 盘		第 26 盘
	第 3 盘		第 15 盘		第 27 盘
	第 4 盘		第 16 盘		第 28 盘
	第 5 盘		第 17 盘		第 29 盘
	第 6 盘		第 18 盘		第 30 盘
	第 7 盘		第 19 盘		第 31 盘
	第 8 盘		第 20 盘		第 32 盘
	第 9 盘		第 21 盘		第 33 盘
	第 10 盘		第 22 盘		第 34 盘
	第 11 盘		第 23 盘		第 35 盘
	第 12 盘		第 24 盘		第 36 盘
UHPC 灌注记录					
灌注开始时间		灌注结束时间			
灌注方量					
初始坍落拓展度		1h 坍落拓展度			
操作人 (UHPC 施工)		复查人 (总包)		复查人 (监理)	

用词说明

为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版本适用于本规程。

- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《建筑抗震结构设计规范》 GB 50011
- 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 《混凝土结构加固设计规范》 GB 50367
- 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 《砌体结构加固设计规范》 GB 50702
- 《既有建筑鉴定与加固通用规范》 GB 55021
- 《活性粉末混凝土》 GB/T 31387
- 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T 104
- 《建筑施工模板安全技术规范》 JGJ 162
- 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》 JGJ/T 384
- 《城市桥梁结构加固技术规程》 CJJ/T 239
- 《高延性混凝土加固技术规程》 DB64/T 1746
- 《超高性能混凝土基本性能与试验方法》 T/CBMF 37/T/CCPA 7
- 《超高性能混凝土预混料》 T/CBMF 96/T/CCPA 20
- 《超高性能混凝土现场浇筑施工技术规程》 T/CBMF 128/T/CCPA 23
- 《超高性能混凝土结构设计规程》 T/CBMF 185/T/CCPA 35
- 《桥梁工程超高性能混凝土施工技术标准》 T/SSCE 0007

超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程

T/CBMF XX-202X

T/CCPA XX-202X

条文说明

制定说明

《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》（T/CBMF XX—202X/T/CCPA XX—202X），经中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会202X年X月X日以第X号（总第XX号）公告批准发布。

为了便于广大工程建设、设计单位及工程技术人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，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标准正文同等的法律效力，仅供读者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.1 其它混凝土结构中的受弯构件和受压构件可以参照使用。

3 基本规定

3.0.2 采用 UHPC 薄壁面层加固，应按本规程规定采取有效措施，保证新增 UHPC 截面与原截面粘结牢固，形成整体共同工作。

4 材 料

4.0.1 加固用 UHPC 也可采用搅拌站配送的预拌 UHPC，当采用预拌 UHPC 时，需要进行质量检验。

4.0.4 UHPC 强度等级划分、轴心抗压强度标准值和设计值取值、抗拉强度等级划分及弹性极限抗拉强度标准值和设计值取值、弹性模量、剪切变形模量和泊松比取值，以及受拉与受压应力应变关系及其特征参数取值，应按现行协会标准《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF185-2022/T/CCPA35-2022）的规定执行。

5 结构设计与计算

5.1.1 采用 UHPC 加固层与既有钢筋混凝土构件界面应有可靠连接，具体连接要求见本规程第 6.0.6 条。

5.1.2 若原构件混凝土强度等级低于 13.0MPa 时，则加固后不应考虑原受构件的抗力贡献，完全由新增 UHPC 和新增受力钢筋承担，按增大截面法计算规定计算。

5.1.3 由于在《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）规定的二 b 环境下，混凝土结构处于潮湿或冻融等恶劣环境下，在受拉区采用超高性能混凝土进行承载能力加固时，推荐采用配筋的超高性能混凝土，可充分利用超高性能混凝土在拉伸变形达到 1000 $\mu\epsilon$ 之前密不透水的特点，充分发挥钢筋的抗拉强度，同时可满足结构的正常使用极限状态的最大裂缝宽度验算的要求。

5.1.5 仅在受拉区采用 UHPC 加固受弯构件试验研究表明，当新增配筋率为 0 时，极限承载力提高系数 M_u/M_0 为 1-1.4，开裂弯矩提高系数 M_{cr}/M_{cr0} 为 1.3-4，因此在承载力极限状态下，受拉区采用无筋 UHPC 单面加固受弯构件承载力提高幅度有限，此时不考虑 UHPC 抗力贡献。因此本条文仅适用于配筋 UHPC 加固。当目的仅为耐久性修复和抗裂性能提升时，仅在受拉区采用 UHPC 单面加固，UHPC 层可不配置钢筋。

5.1.6 条文说明：采用增大截面法加固既有钢筋混凝土结构，新增加固层会受到原构件初始应力、应变的影响，应尽量减少这种影响对新增加固层强度利用的不利影响。工程中采取的措施是卸载。采用增大截面法加固既有钢筋混凝土受压构件，即使采取卸载措施，一般宜考虑初始应力对承载力计算的影响。

5.2.1 当既有混凝土结构发生碳化造成混凝土抗压强度不足，可通过在受压区增设 UHPC 加固层，增大截面有效高度，提高构件正截面抗弯承载力和刚度。当既有混凝土结构初始裂缝、纵筋锈蚀等原因导致的配筋率检测值不足，可在受拉区采用配筋 UHPC 加固以提高受弯构件承载力；当仅用于提高构件开裂弯矩和耐久性时，也可在受拉区采用无筋 UHPC 加固。

5.2.2 若 $2a'_s \leq x \leq 2a'_{s0} + h_{uc}$ ，取 $x = 2a'_{s0} + h_{uc}$ ，其正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq \frac{1}{2} \alpha_{uc} f_{uc} b h_{uc} x + f_{y0} A_{s0} (h_{c0} - a'_{s0}) + \alpha'_s f'_y A'_s (h_{uc} - a'_s + a'_{s0}) \quad (5.2.2-4)$$

5.2.2

1.《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）规定即使加固后承载力满足要求，也应在受压区加固层内布置受压钢筋与分布钢筋，主要考虑加固层温度、收缩应力较大容易造成加固面层开裂，从而影响界面粘结与加固效果。但本次加固材料 UHPC 具有超高密度和极低水胶比，外加钢纤维掺入约束其收缩，温度与收缩影响大大减小，因此当钢纤维体积率不低于 2% 时，若受压区采用无筋 UHPC 层加固正截面承载力计算结果能满足计算需求时，对受压区加固层内构造受压钢筋和分布钢筋可不作要求。

2. UHPC 抗压强度利用系数 α_{uc} 是根据国内外 UHPC 加固受压区或组合混凝土结构 UHPC 分布在受压区受弯试验反算而来。试验研究表明：UHPC 抗压强度利用系数随受拉钢筋配筋率增大而增大，但考虑实际加固工程中既有受弯构件配筋率不同且为方便理论计算，因此 UHPC 抗压强度利用系数取为具体值 $\alpha_{uc}=0.4$ ，在统计试验中具有 95% 保证率。

3. 当 $x \geq 2a'_s$ 时，能保证新增受压钢筋达到屈服应变，但考虑受压区 UHPC 加固层厚度较小，新增受压钢筋强度发挥受到 UHPC 约束作用与加固界面粘结性能的影响，因此新增受压钢筋强度按照《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）新增钢筋强度利用系数取值 $\alpha'_s=0.9$ 进行折减。

5.2.2 当既有 RC 梁受拉钢筋配筋率较小时，随着加固厚度增大，中和轴高度可能上移至加固层以内，这种情况下，由于受压区高度很小，加固梁一般不会发生超筋破坏。因此 $x \leq h_{uc} \leq \xi_b h_{uc0}$ 的条件可自动满足。为避免受压区加固后出现少筋破坏，应保证

$A_{s0} \geq \rho_{min} bh$ ，其中 ρ_{min} 应按下列式计算：

$$\rho_{min} = 1.23 \left[\frac{1}{3} \alpha_{EU} \cdot \frac{m^2}{1-m} \psi h + \frac{3}{2} ((8\psi - 5) mh + 3h - 4\psi h) \right] \frac{f_t}{f_{y0}} \quad (5.2.2-8)$$

式中：

$$m = \frac{1 + (\alpha_{EU} - 1) \psi^2}{2((\alpha_{EU} - 1) \psi + 1)}, \quad \alpha_{EU} = \frac{E_{Uc}}{E_c}, \quad \psi = \frac{h_{uc}}{h}。$$

5.2.3 当既有 RC 梁受拉钢筋配筋率较大且 UHPC 加固厚度较小时，中和轴高度可能在既有混凝土截面内，加固梁在极限状态下，UHPC 由于加固厚度较小且存在应变后，最终破坏可能取决于既有混凝土，即以既有混凝土受压区边缘先达到极限压应变为最终破坏状态界限，UHPC 受压区边缘应变由平截面假定确定。

5.2.4 UHPC 抗拉强度利用系数 k 是根据国内外配筋 UHPC 受拉区加固 RC 梁（板）受弯试验反算得出，由于所统计的加固试验均为适筋梁，即原受拉钢筋与新增受拉钢筋均达到屈

服强度，新增钢筋强度得到充分利用，即新增钢筋强度利用系数 α_s 取值为 1，再根据试验反算 UHPC 抗拉强度利用系数 k。试验统计结果表明：UHPC 抗拉强度利用系数 k 随受拉钢筋配筋率增大而增大，大概满足函数关系为： $k=44.2\rho_s+0.12$ ，但考虑实际工程中既有受弯构件可能已损伤开裂，且由于施工、养护条件等外界因素不确定性，UHPC 抗拉强度可能得不到充分发挥，且为方便理论计算，因此 UHPC 抗拉强度利用系数依然按照现行协会标准《UHPC 结构设计规程》取值为 0.4。

5.2.5 若 $h_{uc} \leq x \leq 2a'_{s0} + h_{uc}$ ，取 $x = 2a'_{s0} + h_{uc}$ ，正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq k f_{Ut} b h_{ut} \left(h - h_{uc} - \frac{h_{ut}}{2} - a'_{s0} \right) + \frac{1}{2} \alpha_{uc} f_{Uc} b h_{uc} x + f_{y0} A_{s0} (h_{c0} - a'_{s0}) \quad (5.2.7-4)$$

$$+ \alpha_s f_y A_s (h_{uc0} - h_{uc} - a'_{s0}) + f'_y A'_s (h_{uc} - a'_s + a'_{s0})$$

5.2.9 T 形截面中和轴位于受压翼缘内，受压区高度 x 较小，一般不会出现超筋破坏，即 $x \leq \xi_b h_{uc0}$ 的条件自动满足。当在受拉区与受压区同时采用 UHPC 加固受弯构件时，截面界限相对受压区高度 ξ_b 公式前文式（5.2.6-1）。

5.3.2

1.当钢筋混凝土受弯构件受剪承载力不足时，可在受拉区、两侧或三面增设 UHPC 加固层来提高既有 RC 构件抗剪承载力。

2. α_U 为抗剪加固中新增 UHPC 强度利用系数，根据加固试验结果反算而来。在抗剪加固梁试验中，两侧 UHPC 斜裂缝呈上窄下宽形状，由于加固梁底部配置较多受拉纵筋，UHPC 腹板斜裂缝钢纤维大部分并未被拔出，仍维持较高拉应力水平，充分发挥了材料的抗拉强度，而底部受拉区 UHPC 加固层裂缝宽度较宽，钢纤维大部分被拔出，裂缝间剪力传递效率相比侧面大大降低，因此极限状态下，两侧腹板与底面受拉区 UHPC 实际抗剪贡献并不一致，为方便理论计算，综合考虑 UHPC 三面围套抗剪贡献，统一不同加固位置 UHPC 强度利用系数取值，故本公式建议取值 $\alpha_U=0.4$ 。

3. α_{sv} 为新增箍筋强度利用系数，而上述抗剪承载力计算依据于加固受弯构件斜截面发生剪压破坏的情况得出，在剪压区混凝土被压碎前，与斜裂缝相交箍筋均发生屈服，因此新增箍筋强度得到充分利用， α_{sv} 取值为 1。

4.本条的计算规定依然按照现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》将新增 UHPC 加固部分与既有 RC 梁斜截面抗剪承载力分开计算，并按试验和分析结果确定了

UHPC 和新增箍筋的强度利用系数。试算的情况表明：按本规程计算斜截面抗剪承载力，其安全储备较高。

5.4.1

1. 式 5.4.1 中 α_{Uc} 和 α_s 是考虑 UHPC 与混凝土材料的差异导致的 UHPC 与新增钢筋的强度利用系数。 α_{Uc} 的取值采用了规程编制组开展的超高性能混凝土加固轴压构件的实验数据以及文献实验数据，根据式（5.4.1-1）反演推算，按 95%保证率的取值。 α_{Uc} 的取值为 0.6。采用实验数据反算的 α_s 取值均大于 1，基于安全考虑，该值取 1。

2. 当既有受压构件混凝土强度等级推测值低于 13.0MPa 时，考虑采用 UHPC 加固后其抗力贡献影响，规定不予考虑原受压构件的抗力贡献，截面轴向压力仅由新增 UHPC 和新增受压钢筋承担：

$$N \leq 0.9\varphi \left[\alpha_{Uc} f_{Uc} A_u + \alpha_s f'_y A'_s \right] \quad (5.4.1-1)$$

3 竖向构件在加固前应最大限度卸除可变荷载，部分无法卸除的恒荷载，应进行充分计算，确定传递至柱端的未卸除荷载。

假设柱端不存在初始荷载作用，加固后柱的极限状态对应既有混凝土达到峰值压应变，由于混凝土和 UHPC 的峰值压应变相差不多，既有混凝土达到峰值压应变时 UHPC 已接近峰值应力。但实际上，柱端存在初始荷载，由于 UHPC 的应变滞后，当既有混凝土达到峰值压应变后，UHPC 距峰值应力尚远，故当既有混凝土退出工作后，UHPC 可提供的抗力仍然较大，故需对考虑二次受力的极限状态进行判定。

5.4.2

1. 当柱端不存在初始荷载时，对于不配筋超高性能混凝土四面围套加固，认为原构件受拉钢筋屈服的同时，受压区 UHPC 被压碎为界限破坏；对于配筋超高性能混凝土四面围套加固，内外两排受拉钢筋，同样认为原构件受拉钢筋屈服的同时，受压区 UHPC 被压碎为界限破坏。

2. 试验表明，当采用超高性能混凝土四面围套加固偏心受压构件时，中和轴的位置均大于 h_u ，即中和轴均在既有混凝土截面内，且在编制组试验统计最大 $e_0/h_{u0}=0.681$ 时，中和轴位置距受压较大混凝土面为 $0.134h_c$ ，且实际应用中，荷载偏心一般不会很大，故认为当采用超高性能混凝土四面围套加固偏心受压柱时，中和轴的位置均在既有混凝土之内。

3. 受压区 UHPC 强度利用系数 α_{Uc} 的取值方法为采用已有试验结果反推得到此系数，但此系

数并无明显有关因素，故取值方法为满足 95%保证率， α_{Uc} 的取值为 0.43。

4. 当采用超高性能混凝土四面围套加固偏心受压柱时，其界限相对受压区 ξ_b 的取值可按下列式确定：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_{y0}}{E_{s0}\epsilon_{ucu}} - \frac{\sigma_{si}}{E_{s0}\epsilon_{ucu}}} \cdot \frac{h_{c0} + h_u}{h_{u0}} \quad (5.4.2-1)$$

式中， σ_{si} 为原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋初始应力。

5. 当采用超高性能混凝土四面围套加固偏心受压柱时，采用 e_0/h_{u0} 与 0.3 的大小作为构件破坏模式的判断。

6. 就新增受拉钢筋而言，在大偏心受压工作条件下，其理论分析虽能确定钢筋的应力将会达到其抗拉强度设计值，而不必在乘以强度利用系数，因为考虑到受拉钢筋的重要性，以及其工作条件总不如原钢筋，因此参照《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013，对新增纵筋的强度利用系数取 0.9。

7. 竖向构件在加固前应最大限度卸除可变荷载，部分无法卸除的恒荷载，应进行充分计算，确定传递至柱端的未卸除轴向荷载 N_i 以及弯矩 M_i 。

由于柱端存在未卸除的荷载，混凝土存在初始受压应变，加固后混凝土和 UHPC 协同受力时，UHPC 应变存在应变滞后，当混凝土受压区最边缘达到极限压应变时，UHPC 尚未达到极限压应变，此为混凝土受压极限状态。混凝土达到极限应变后，原柱失效，仅有 UHPC 提供抗力，UHPC 发生应力重分布，当 UHPC 受压区边缘达到极限压应变时，构件失效，此为 UHPC 受压极限状态。分别求出以上两种极限状态承载力，两者最大值即为加固柱极限承载力。

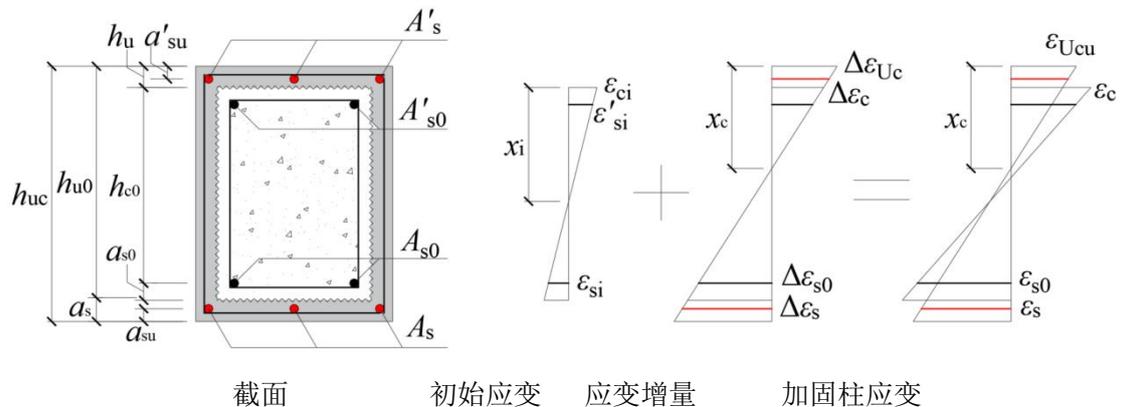


图 5.4.2-1 二次受力加固柱截面应变分布

原构件在初始荷载作用效应下的计算如下：

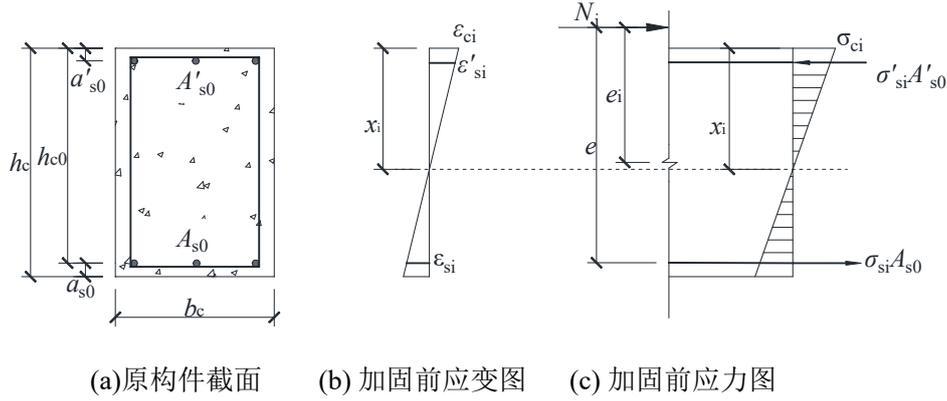


图 5.4.2-2 初始荷载作用效应计算

$$\epsilon'_{si} = \frac{x_i - a'_{s0}}{x_i} \epsilon_{ci} \quad \epsilon_{si} = \frac{h_{c0} - x_i}{x_i} \epsilon_{ci} \quad (5.4.2-2)$$

$$\sigma_{ci} = E_c \epsilon_{ci} \quad \sigma_{si} = E_{s0} \epsilon_{si} \quad \sigma'_{si} = E_{s0} \epsilon'_{si} \quad (5.4.2-3)$$

$$N_i = \frac{1}{2} \sigma_{ci} b_c x_i + \sigma'_{si} A'_{s0} - \sigma_{si} A_{s0} \quad (5.4.2-4)$$

$$M_i = \frac{1}{2} \sigma_{ci} b_c x_i \left(\frac{h_c}{2} - \frac{x_i}{3} \right) + \sigma'_{si} A'_{s0} \left(\frac{h_c}{2} - a'_{s0} \right) + \sigma_{si} A_{s0} \left(\frac{h_c}{2} - a_{s0} \right) \quad (5.4.2-5)$$

式中： N_i ——加固前柱端未卸载轴力值（kN）；

M_i ——加固前柱端未卸载弯矩（kN·m）；

ϵ_{ci} ——受压边最外边缘混凝土的初始应变；

ϵ'_{si} ——原构件受压较大边纵向钢筋的初始应变；

ϵ_{si} ——受拉或受压较小边纵向钢筋的初始应变；

σ_{ci} ——受压边最外边缘混凝土的初始应力（N/mm²）；

σ'_{si} ——原构件受压较大边纵向钢筋的初始应力（N/mm²）；

σ_{si} ——原构件受拉或受压较小边纵向钢筋的初始应力（N/mm²）；

x_i ——初始荷载作用下原构件受压区高度。

5.4.3

当需要考虑二阶效应时， M 应按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）第 6.2.4 条规定确定的 $C_m \eta_{ns} M_2$ ，乘以修正系数 ψ 确定，即 M 为 $\psi C_m \eta_{ns} M_2$ 。其中， ψ 的取值参照现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013），考虑二阶弯矩影响的 M 值计算时还应乘以修正系数 ψ ，当采用对称加固时， ψ 取 1.2，当采用非对称加固时， ψ 取 1.3。采用 UHPC 加固，考虑到混凝土与 UHPC 材料性质的差异，若非对称加固，会导致截面刚度偏心，且 UHPC 加固一般加固层不会太厚，采用对称加固几乎不会提高加

固成本，建议加固时采用对称加固，故此处修正系数 ψ 取 1.2。

5.5.1 本条根据现行国家标准《砌体结构加固设计规范》（GB50702-2011）第 6.4.2 条中对考虑地震组合的墙体剪力设计值的计算，采用了以下假定，即 UHPC 加固后的节点核心区受剪承载力，可以近似地用原节点的受剪承载力加上 UHPC 面层贡献的受剪承载力来描述。据此，给出了具体计算公式。

5.5.2 此条引自现行国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）第 D.1.2 条。

5.5.3 UHPC 面层贡献的受剪承载力，由平行于验算方向的两侧面 UHPC 面层提供，提供剪切抗力的 UHPC 长度不包括对应验算方向梁的宽度。由于各个验算方向的受剪承载力受柱尺寸以及梁尺寸的影响，各个方向节点核心区的受剪承载力不一致，在同等节点抗震设计需求值下，应分别计算各个方向受剪承载力所需 UHPC 的加固厚度，应取各个方向验算所需 UHPC 厚度的最大值作为最终加固厚度。

5.5.4 剪切销钉埋入原柱混凝土深度不宜小于 50mm 且不小于 5d（销钉直径），外露长度不宜小于 1/2UHPC 厚度（销钉处可采用局部切割扩孔增大销钉锚固长度），且不宜小于 20mm，剪切销钉种植间距不宜小于 150mm；UHPC 层厚度不宜小于 30mm。

6 构造要求

6.0.3 《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMTF 185-2022、T/CCPA 35-2022）规定 UHPC 构件中普通受力钢筋最小保护层厚度，取 UHPC 保护层厚度 c 、普通受力钢筋直径 d 、不同环境下 UHPC 最小保护层厚度 $c_{\min, \text{dur}}$ 三者中最大值。

6.0.5

浇筑 UHPC 前，被加固混凝土构件的界面应严格按设计要求做凿毛、清洗润湿和植筋等界面处理，凿毛深度不应小于 3mm，植筋率不应低于 0.2%：

（1）界面凿毛的目的是为了去除混凝土表面浮浆、细骨料与杂质等，暴露出粗骨料，增大界面粗糙度，从而增大 UHPC 与混凝土的界面粘结力。界面不宜涂刷界面剂。

（2）界面植筋主要增加界面材料机械咬合力，对植筋界面粘结强度的影响主要包含植筋长度、植筋直径、植筋率、植筋胶与植筋表面粘结强度、植筋胶与混凝土粘结强度等。植筋率适中，界面钢筋达到极限抗拉强度才会发生界面剥离破坏，界面延性大大提高。

（3）界面凿毛或植筋处理后，界面不宜涂刷界面剂。

6.0.6-5 条文说明：对受弯构件植筋的目的是提高混凝土与 UHPC 加固面层界面的抗剪能力，并对绑扎钢筋网起部分固定作用。为了保证混凝土梁的粘结破坏锥体的完整性，应避免应力锥重叠，从而降低锚固作用，根据国内外文献试验数据，植筋间距不小于植筋植入深度的 2 倍，同时不小于 100mm。

7 施 工

7.0.5 基于 UHPC 加固材料的应用以及可追溯性，在施工过程中，应进行完整的检查和记录，并留存。

7.0.6 当采用围套加固受压柱时，应尽量保证浇筑的连续性，可在不同高度位置对模板进行开洞以浇筑 UHPC，待浇筑至某开洞高度时，封闭此洞口，从下一高度洞口处浇筑 UHPC。

7.0.11 浇筑混凝土前，应按《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204-2015）对本条款规定的项目进行隐蔽工程验收。

7.0.12 当 UHPC 加固层较薄时，为更好发挥 UHPC 抗拉强度，在浇筑 UHPC 加固层时应进行纤维定向，可采用导流板浇筑 UHPC。

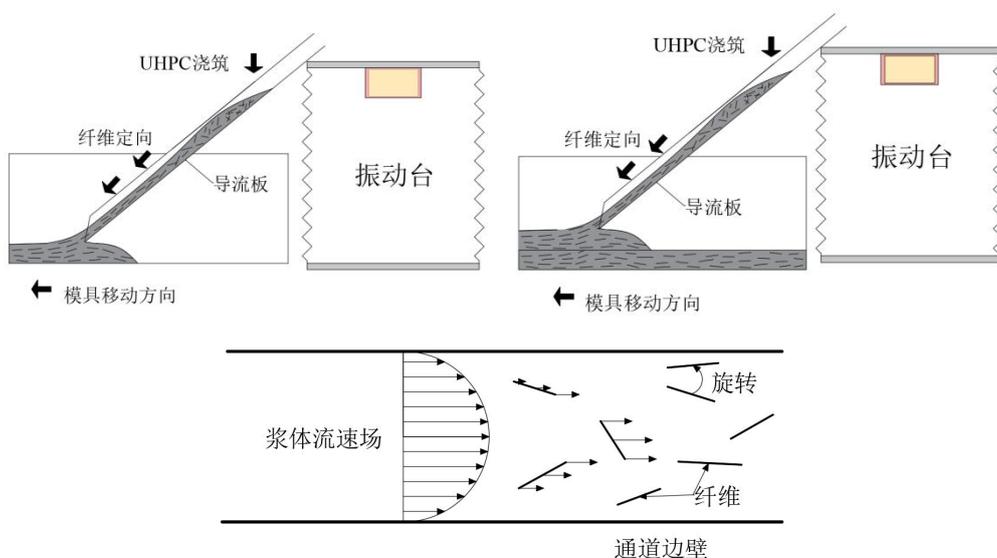


图 7.0.12 UHPC 纤维定向方式示意图

7.0.13 对于三面围套加固梁在受弯剪过程中，跨中截面 UHPC 腹板存在“鼓膜效应”，跨中截面顶部加固 UHPC 与既有混凝土由于存在较大拉应力易发生界面剥离，当加固面层厚度较大时，腹板抗裂性能越好，UHPC 与核心混凝土损伤刚度退化不一致，界面粘结性能大大降低，此时应进行界面植筋，以保证加固整体工作性能。

7.0.14 UHPC 可采用浇筑、灌注、喷射等方法进行施。

1. 灌注施工适用于不规则构件以及构筑物薄层面加固，例如对既有 RC 梁底部受拉区

加固、三面围套加固等加固方式。

2. 浇筑施工适用于面积较大、较平坦构筑物加固，例如对 T 型截面梁受压区加固或负弯矩区加固等。

3. 喷射施工适用于在狭窄或难以接近的构件加固施工，例如 RC 柱四面围套等加固方式。