

超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程

(征求意见稿)

编制说明

标准编制组

2024年7月

目 录

一、工作概况	1
二、标准编制原则、主要内容和条文说明	3
三、主要试验（或验证）情况分析	12
四、标准中所涉及的专利	12
五、产业化、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况	13
六、采用国际标准和国外同类先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比 情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况	14
七、本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准（包括强制性标准）是否 具有一致性	14
八、重大分歧意见的处理经过和依据	14
九、标准性质的建议说明	14
十、贯彻标准的要求和措施建议	14
十一、废止现行相关标准的建议	14
十二、其他予以说明的事项	15

一、工作概况

（一）任务来源

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，《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》（计划号为2022-21-xbjh）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、中国混凝土与水泥制品协会超高性能水泥基材料与工程技术分会等单位负责起草，并组织国内多家单位共同制定。

（二）制定本标准的背景和意义

随着我国城镇化建设进入下半场，新建建筑的体量增速将逐步变缓，大量建筑由于出现各种病害而进入修缮加固期。我国自建国以来，特别是自上世纪70年代末实行改革开放以后，各种房屋、桥梁、隧道和公路以及城市基础设施数量急剧增加。据不完全统计，我国现存各种建（构）筑物总面积至少在100亿平方米。其中在建国初期建造的大量工业与民用建筑服役期大都超过50年，存在各种安全隐患。此外，随着城市的不断扩建，原有城市郊区和部分农村已规划为市区，而这些地区建筑物在建设时期，往往没有进行规范的勘察、设计，在施工过程更是存在各种问题，需要定期进行安全鉴定和加固。2008年以后，中国建筑的维护、加固和改造需求量年增长近50%。在碳达峰和碳中和政策的大背景下，城市更新过程中建筑物的大拆大建已然不合时宜，对已损坏建筑物进行适当的加固与改造可以减少社会资源的浪费、大幅度降低建筑上下游企业的碳排放，也可以对具有历史意义的保护性建筑的历史价值进行保留，加固产业已成为当今建筑行业发展的方向和潮流。

钢筋混凝土结构在复杂多变的环境条件下，其结构性能和耐久性慢慢变差。因此，从可持续性的角度来看，混凝土结构劣化后的修复是一个重大问题，所以开发新的、经济有效的修复方法对于延长钢筋混凝土结构的使用寿命是至关重要的。超高性能混凝土（Ultra-High Performance Concrete，简称UHPC）因其具有超高抗压强度、超高韧性和优异的耐久性能，广泛应用于各类结构形式之中。UHPC除了具有超高强度和超高耐久性等特点，同时还具有优良的耐磨、抗爆、耐热、耐腐蚀、快硬早强和自流平等性能，这些优异的性能为UHPC应用于加固于改造中提供了巨大的优势。自2011年国内首次将UHPC材料用于肇庆马房大桥加固工程，中国的UHPC加固应用工程快速增长。然而，由于缺乏相应标准规范，现在UHPC加固设计多参考国外的规范或借用其他材料如灌浆料、聚合物水泥或高韧性水泥的标准规范；实际应用方面，在UHPC加固设计方面趋于保守，且未能真正发挥UHPC的优异性能，部分项目因设计或生产工艺问题而出现问题。因此，编制UHPC加固技术规程以指导相应加固工程

的设计、施工和验收是非常必要的。

基于UHPC材料性能特性、UHPC结构设计方法和UHPC施工工艺要求等，编制UHPC加固既有混凝土结构技术规程可填补国内UHPC加固的标准规范空白，促进UHPC加固既有混凝土结构技术设计、施工与质量验收等的科学化、合理化与规范化，有助于提升和规范UHPC在建筑加固领域的整体技术水平。

（三）主要工作过程

为完成标准制订，中国混凝土与水泥制品协会超高性能水泥基材料与工程技术分会（以下简称“UHPC分会”）牵头成立了《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》标准编制组。编制组由多家单位构成，涵盖了国内主要的UHPC科研、产品生产和工程应用单位，具有代表性。

本标准从2022年4月开始起草，2022年8月形成《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》标准草案（初稿1）；2022年8月16日在江西南昌召开第一次全体编制组会议，就“初稿1”进行讨论，根据提出的意见建议，修改形成“初稿2”；2024年4月17日在湖北武汉召开第二次全体编制组会议，进行讨论和修改完善，形成“初稿3”，并在编制组内部征求意见，经修改形成征求意见稿。

编制组成员单位

序号	参编单位	分工
1	江西省建材科研设计院有限公司	主编，起草、试验和验算
2	哈尔滨工业大学	主编，起草、试验和验算
3	福州大学	主编，起草、试验和验算
4	中国混凝土与水泥制品协会 UHPC 分会	组织标准编写工作
5	湖南大学	条文修改、验算
6	中交第二航务工程局有限公司	条文修改
7	苏州三佳交通工程有限公司	条文修改
8	西安五和土木工程新材料有限公司	条文修改
9	中交天津港湾工程研究院有限公司	条文修改
10	同济大学	条文修改
11	南昌理工学院	条文修改
12	福太旺材（无锡）高科技房屋营造有限公司	条文修改
13	中德新亚建筑材料有限公司	条文修改
14	华研卓筑建设集团有限公司	条文修改
15	贵州长通集团智造有限公司	条文修改
16	桂林理工大学	条文修改
17	深圳市海塞姆科技有限公司	条文修改
18	中铁桥研科技有限公司	条文修改
19	重庆筑龙特种建筑工程有限公司	条文修改

20	北京市高强混凝土有限责任公司	条文修改
21	广州朋悦建材科技发展有限公司	条文修改
22	湖南固力工程新材料有限责任公司	条文修改
23	山东好运新材料有限公司	条文修改
24	福建三凯建筑材料有限公司	条文修改
25	中阳建设集团有限公司	条文修改
26	上海市地江建筑科技有限公司	条文修改
27	洛阳理工学院	试验验证
28	西安建筑科技大学	条文修改
29	北京驻地新材料科技有限公司	条文修改
30	重庆云天化天聚新材料有限公司	条文修改
31	迈郝特（武汉）实业有限公司	条文修改
32	东北大学	条文修改
33	广东中路防护工程有限公司	条文修改
34	辽宁希伦电力科技有限公司	条文修改

二、标准编制原则、主要内容和条文说明

（一）制定标准的原则

本标准以修复和提高房屋建筑结构安全性、适用性和耐久性为原则。

（二）标准主要内容与需要给出的条文说明

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；附录 A～附录 D。

第一部分 总则

1.0.1 条文说明：其他混凝土结构中的受弯构件和受压构件可以参照使用。

第三部分 基本规定

3.0.2 条文说明：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。

第四部分 材料

4.0.1 条文说明：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 条文说明：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。

第五部分 结构与计算

5.1.1 条文说明：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 条文说明：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 条文说明：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 条文说明：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 条文说明：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 条文说明：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 条文说明:

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 具有超高密实度和极低水胶比,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 条文说明:当既有 RC 梁受拉钢筋配筋率较小时,随着加固厚度增大,中和轴高度可能会上移至加固层以内,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, $x \leq h_{uc} \leq \xi_b h_{uc0}$ 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 条文说明: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 条文说明: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 条文说明：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：

$$M \leq k f_{Ut} b h_{ut} \left(h - h_{uc} - \frac{h_{ut}}{2} - a'_{s0} \right) + \frac{1}{2} \alpha_{uc} f_{Uc} b h_{uc} x + f_{y0} A_{s0} (h_{c0} - a'_{s0}) + \alpha_s f_y A_s (h_{uc0} - h_{uc} - a'_{s0}) + f'_y A'_s (h_{uc} - a'_s + a'_{s0}) \quad (5.2.7-4)$$

5.2.9 条文说明：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 公式前文公式（5.2.6-1）。

5.3.2 条文说明：

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 条文说明:

1. 公式 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 条文说明:

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：

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

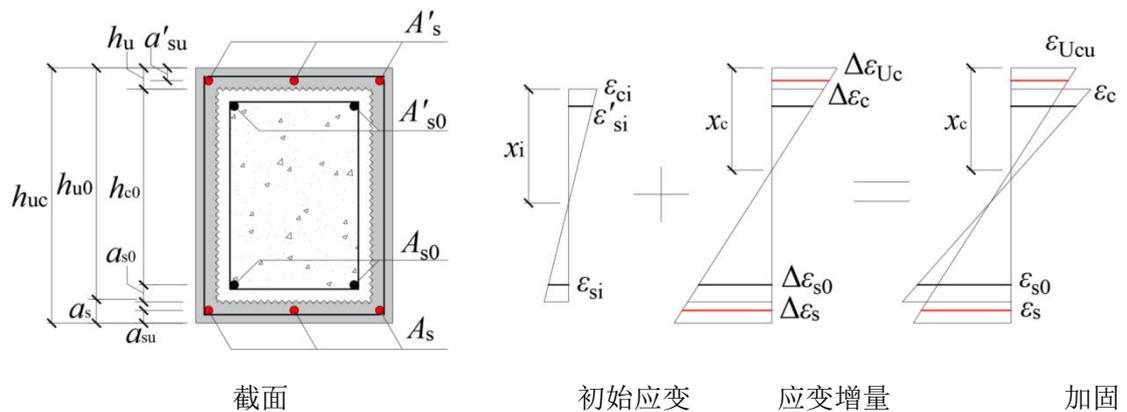
式中， σ_{si} 为原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋初始应力。

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，而不必再乘以强度利用系数，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。



柱应变

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：

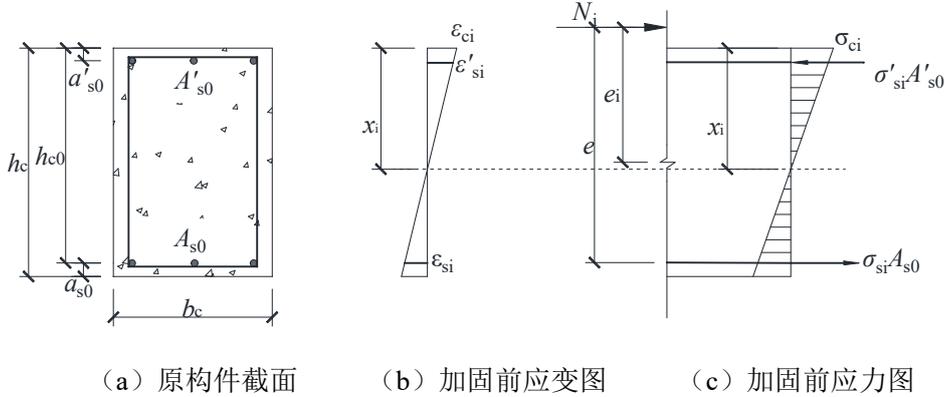


图 5.4.2-2 初始荷载作用效应计算

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

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

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

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

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。

第六部分 构造要求

6.0.3 条文说明：《超高性能混凝土结构设计规程》（T/CBMF 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 $c_{\min,dur}$ 三者中最大值。

6.0.5 条文说明：

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。

第七部分 施工

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

7.0.6 条文说明：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 条文说明：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 条文说明：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。

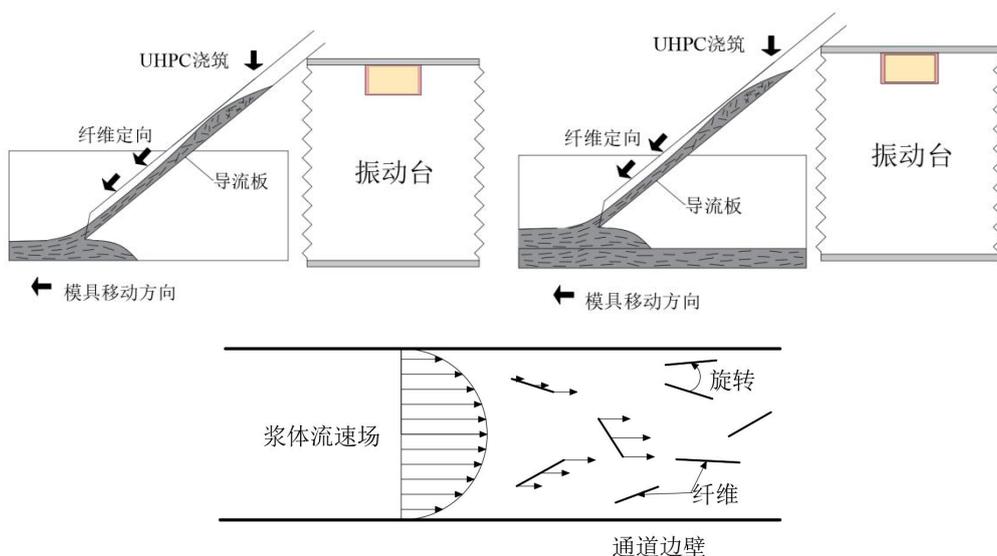


图 7.0.12 UHPC 纤维定向方式示意图

7.0.13 条文说明：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 条文说明：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。

三、主要试验（或验证）情况分析

在编制本规程的过程中，通过系列试验和验证工作以确保规程的科学性、实用性和安全性。以下是对这些试验和验证情况的综合分析。

（一）试验目的与设计

本规程的试验旨在评估超高性能混凝土(UHPC)在加固既有混凝土结构中的应用效果，包括其力学性能、耐久性以及与既有混凝土的粘结性能。

（二）试验材料与配比

试验所用的 UHPC 材料包括细骨料、硅酸盐水泥、矿物掺合料、高效减水剂等。配比设计考虑了材料的流动性、强度发展和耐久性，通过多次试验优化得到了最佳配比方案。在配比设计中，也参考了相关领域的配合比设计原则，以实现材料性能的最优化。

（三）力学性能试验

力学性能试验主要包括抗压强度、抗折强度和粘结强度的测试。试验结果表明，UHPC 具有优异的力学性能，其抗压强度远高于传统混凝土，抗折性能也得到了显著提升。尤为重要的是，UHPC 与既有混凝土的粘结强度满足加固要求，确保了加固结构的整体性和安全性。

（四）耐久性试验

耐久性试验主要考察 UHPC 在不同环境条件下的性能表现，包括抗渗性、抗冻融性和耐化学侵蚀性。试验结果证实了 UHPC 具有卓越的耐久性，能够适应各种恶劣环境，延长结构的使用寿命。在耐久性试验中，借鉴了混凝土的耐久性评价方法，进一步验证了 UHPC 的耐久性能。

（五）现场验证

除了实验室内的试验外，我们还对 UHPC 加固技术进行了现场验证。通过在多个既有混凝土结构上应用 UHPC 加固，收集加固前后的结构性能数据，验证了规程的可行性和有效性。

（六）试验结论

综合分析试验结果，我们可以得出以下结论：UHPC 作为一种新型高性能材料，在加固既有混凝土结构方面具有明显优势。其优异的力学性能和耐久性能，以及与既有混凝土的良好粘结性，为 UHPC 应用于加固与改造中提供了巨大的优势。本规程的制定将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、经济合理提供科学依据和操作指南。

通过上述试验和验证，本规程编制组将确保《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》的科学性和实用性，为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领域的应用及推广提供坚实的技术支撑。

四、标准中所涉及的专利

本规程中未涉及专利与相关的知识产权。

五、产业化、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

我国已进入新建与维修加固并重的重要时期。不论是由于设计不当而造成的建筑承载力不足，或者是施工时由于监管问题造成的建筑物质量低下，又或者由自然灾害引起的建筑物损坏，均需要采取合理的措施来解决。拆除重建不仅会造成大量的资源浪费，而且还会影响周围的环境，与我国正在追求绿色环保的目标不相符，因此对一些已损建筑进行加固和改造是较合理的选择。自混凝土问世以来，人们没有停止对更高更强的水泥基材料的研究。UHPC 的研制成功是对土木工程材料领域一次重大突破，如何充分发挥 UHPC 优异的性能尚需要进一步研究。将超高性能混凝土应用于加固领域，可以为 UHPC 今后的实际应用提供一个方向，同时可以为加固混凝土结构提供更多选择。

UHPC 从发明至今，经过四十多年的研究与发展已进入到实用化阶段，它也使得水泥基复合材料结构及其构件向着高强、高韧、高耐久方向不断发展。在过去二十多年，我国一些高校、科研机构、生产和施工单位在 UHPC 材料制备、性能表征与结构性能及工程应用方面做了大量工作。UHPC 如今是中国水泥基材料研究、应用、创新、发展最具活力的领域，伴随工程应用的增长，UHPC 业已成为工业化生产和商业化供应的工程材料，UHPC 工程结构类型和应用领域在不断扩展，是一个初具规模的新型结构形式，促进一些水泥制品、工程结构升级换代，向更高质量发展。本规程的参编单位都在致力于该产业的发展、进步与壮大。

相比目前传统加固方法（增大截面法、贴碳纤维布法、外包钢板法等），虽然 UHPC

材料成本大约在 4000 元/m³水平（含 2.2 吨干混料和 2%体积钢纤维），但综合考虑工期、人工、模板、材料等，工程总造价节约 10%以上，且免后期维护（UHPC 具有多重功效，包括提高结构强度刚度、抗渗防水、耐磨、为混凝土结构提供耐久保护等），生命周期使用成本最低。

六、采用国际标准和国外同类先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

无。

七、本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准（包括强制性标准）是否具有一致性

经广泛调研和多方面征求意见，本规程符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准的要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

建议《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》作为推荐性工程建设标准发布实施。

十、贯彻标准的要求和措施建议

尽快做好本标准的发布实施工作，标准颁布实施后，相关部门亦应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本规程得以认真执行，在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现浇混凝土方面起到重要的指导作用。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他予以说明的事项

无。