

《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》

行业标准编制说明

（征求意见稿）

中国建筑材料科学研究总院有限公司

2024年3月

目 录

一、工作简况.....	2
(一) 任务来源.....	2
(二) 工作过程简介.....	2
(三) 参加单位及成员.....	4
二、标准编制原则和主要内容.....	5
(一) 标准制定的基本原则.....	5
(二) 标准制定的主要内容及依据.....	6
三、主要试验验证的情况及分析.....	17
(一) UHPC 构件物理力学性能验证试验.....	18
(二) 不同龄期 UHPC 收缩性能验证试验.....	22
(三) 蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维侵蚀性验证试验.....	26
四、标准中涉及的知识产权情况说明.....	31
五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果情况.....	31
六、采用国际标准和国外先进标准的情况.....	32
七、与国内现行法律、法规、规章及相关标准的协调性情况.....	32
八、重大分歧意见的处理经过和依据.....	33
九、标准性质的建议说明.....	33
十、贯彻标准的要求和措施建议.....	33
十一、废止现行相关标准的建议.....	33
十二、其它应予说明的事项.....	33

《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》行业标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

2022年7月1日，根据“工业和信息化部办公厅关于印发2022年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知”（工信厅科函〔2022〕158号）文件，《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》（计划号：2022-1030T-JC）标准制定已被正式列入2022年工程建设类行业标准项目，由中国建筑材料科学研究总院有限公司负责组织该标准的制定工作。该标准制定工作将在24个月内完成。

（二）工作过程简介

中国建筑材料科学研究总院有限公司作为主要起草单位，于2022年开始标准制定工作，主要工作过程如下：

2022年7月，开始进行标准编制的前期调研和征询意见，收集国内外相关标准资料。

2022年7~9月，确定工作进度计划，形成标准编制大纲；同时，向社会发出标准编制邀请函，筹建标准编制工作组，并制定研究方案，完成标准初稿。

2022年9月30日，标准主编单位中国建筑材料科学研究总院有限公司以网络视频会议的方式组织召开《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》行业标准制定工作启动会，来自中国建筑材料联合会、全国各地参编单位代表及GRC协会会员单位代表等75人参加了会议。会上中国建材总院水泥新材院崔琪教授代表主编单位致辞，并介绍了本标准的重要性和对行业发展的重要意义。中国建筑材料联合会副秘书长、标准质量部主任周丽玮教授代表标准归口管理部门致辞，对标准化改革、标准管理办法和要求等内容进行了讲解；重要介绍了协会标准在引领性、先进性及标准制定过程管理方面的要求；并对编制组的前期工作给予了充分的肯定。中国建材总院李清海教授代表编制组详细汇报了此次标准制定的背景情况、标准编制的工作大纲和标准初稿内容。与会代表就标准制定方案的内容进行了充分讨论，并广泛征求意见，在综合各方建议的基础上总结

整理形成最终的标准制定方案，内容包括标准主要内容、制定原则、需要调查研究的主要问题、测试验证项目、制定工作进度计划和编制组成员组成等。

2022年10月~2023年1月，征集全国各地具有代表性的UHPC试验样品，按照标准制定方案进行验证试验。

2023年2~4月，征集第二批UHPC试验样品进行补充验证试验。整理验证试验数据，撰写标准讨论稿和标准制定编制说明（初稿）。

2023年4月26~27日，标准主编单位中国建筑材料科学研究总院有限公司在北京组织召开了行业标准编制第二次工作会议。来自标准参编单位及UHPC从业单位代表共计60余人出席了会议。会上中国建筑材料科学研究总院李清海教授对标准编写进展情况进行了汇报，同时对标准总则、术语、材料、验收和维护章节条文内容进行了解读；北京雷诺轻板有限责任公司雷新忠董事长解读了建筑设计与设计章节的条文内容；中国散协UHPC委员会副秘书长车延飞博士解读了标准中制作加工与安装施工章节的条文内容。编制组全体人员为标准讨论稿各章节内容进行了逐条讨论，并提出进一步完善及修改意见：重点补充蒸汽养护UHPC对耐碱玻璃纤维侵蚀性试验和不同龄期UHPC早期收缩性能试验。并对标准各章节之间的衔接关系进行了梳理。

2023年5~10月，补充蒸汽养护UHPC对耐碱玻璃纤维侵蚀性试验和不同龄期UHPC早期收缩性能试验，整理验证试验数据，并对标准讨论稿和标准制定编制说明中对应内容进行修改。

2023年11月23-24日，标准主编单位中国建筑材料科学研究总院有限公司在安徽安庆组织召开了标准编制第三次工作会议。来自标准参编单位及UHPC从业单位代表共计43人出席了会议。会上中国建筑材料科学研究总院李清海教授对标准编写进展情况及标准讨论稿主要修改内容进行了汇报和解读，重点对标准验证试验内容进行了详细介绍，并得出验证试验结论：（1）不同龄期UHPC早期收缩性能验证试验：UHPC材料早期硬化会产生剧烈的体积收缩，因此生产背附钢架UHPC构件时，不应过早地将UHPC构件与背附钢架进行刚性装配固定，避免因连接件刚性约束对UHPC构件造成开裂风险；（2）蒸汽养护UHPC对耐碱玻璃纤维侵蚀性验证试验：以耐碱玻璃纤维为主要增强纤维的UHPC构件不应采用蒸汽养护。与会全体人员为标准讨论稿各章节内容进行了认真讨论，提出

进一步完善及修改意见（重点调整结构设计章节内容，规范性引用现有标准，增强可操作性）。会议统一了编制组对标准条款内容的认识。为形成征求意见稿奠定了基础。

2023年12月~2024年2月，编制组对标准内容及标准制定编制说明进行修改、补充完善，完成了标准征求意见稿和标准征求意见稿编制说明。

2024年3月，标准征求意见稿和标准征求意见稿编制说明正式向社会公开征求意见。一方面通过中国建筑材料联合会标准质量部向专家委员发放标准征求意见稿和征求意见函，另一方面，通过网络或定向向行业专家及企业发放标准征求意见稿和征求意见函，涉及专业包括：材料、建筑设计、结构设计、施工及管理，单位性质包括：科研及设计院所、检测机构、大专院校、生产及施工企业、行业管理部门等。

（三）参加单位及成员

目前已有60家单位共同参加标准制定工作，其中包括科研单位及高校7家，设计单位4家，检测单位5家，生产、施工、应用、原材料供应及技术咨询单位44家。

表 1-1 标准起草单位统计表

起草单位		分工
负责起草	中国建筑材料科学研究总院有限公司、北京雷诺轻板有限责任公司、同济大学、国检测试控股集团北京有限公司	全面负责标准征询意见、国内外情况调研汇总、标准初稿、讨论稿、征求意见稿及相关文件的起草及标准中涉及的验证试验方案制定工作。
参加起草	浙江交工新材料有限公司、中铁建物产科技有限公司、湖南天泽建材有限公司、珠海山泰创新材料科技有限公司、广州市双瑜建筑艺术工程有限公司、安徽汇辽新型装饰材料有限公司、常德天宇建筑材料有限公司、砼创(上海)幕墙工程有限公司、中德新亚建筑材料有限公司、博创达(上海)新材料科技有限公司、常州市建筑科学研究院集团股份有限公司、成都建工预筑科技有限公司、中建科工集团有限公司、北京京铁瑞达建设有限公司、甘肃交设智远实业有限公司、福建省闽西交通工程有限公司、中交一公局第四工程有限公司、贵州亚泰远通电业有限公司、铁正检测科技有限公司、中	主要负责提供试验样品、承担部分验证试验、参加标准相关讨论、收集相关技术资料、并结合生产及工程实际应用提出技术指标要求与建议等。

	<p>路创能(广州)设备材料有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、中铁二十二局集团第三工程有限公司、武汉来道建材科技有限公司、北京中震建筑科学研究院有限公司、四川尚博特科技有限公司、中铁上海工程局集团华海工程有限公司、中铁四局集团钢结构建筑有限公司、西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所、中铁十一局集团桥梁有限公司、中铁二十三局集团第四工程有限公司、上海市建筑装饰工程集团有限公司、福建省交发高科有限公司、瀚阳国际工程咨询有限公司、成都市建科院工程质量检测有限公司、西北民族大学、中建新疆建工集团第三建设工程有限公司、中铁建设集团南方工程有限公司、山东高速铁建装备有限公司、中交一公局第二工程有限公司、中建海龙科技有限公司、河南省公路工程局集团有限公司、宁夏水发集团有限公司、银川市正禹水利水电工程质量检测有限公司、云飞建设(甘肃)有限公司、四川蜀道建筑科技有限公司、福建省交通规划设计院有限公司、广州市恒盛建设工程有限公司、中交绿建(厦门)科技有限公司、山东高速工程检测有限公司、中铁四局集团有限公司市政工程分公司、山东省高速养护集团有限公司、中电建池州长智建工有限公司、上海勘测设计研究院有限公司、淮南东辰固废利用有限公司。</p>	
--	---	--

二、标准编制原则和主要内容

(一) 标准制定的基本原则

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 主要应用于非承重构件领域，主要有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。每年我国在建工程中 UHPC 非承重构件的应用量达百万平米，且呈快速增长趋势。UHPC 材料及构件的研发与应用成为目前国内外新材料研发重点方向之一，与目前我国正在鼓励实施的“双碳”政策方向相符合，并符合《“十四五”推动高质量发展的国家标准体系建设规划》中鼓

励发展的绿色建造，建材标准升级换代与科技创新、产业发展协同机制的要求。

本标准为 UHPC 材料制成的非承重构件在工程中应用技术标准，重点解决 UHPC 非承重构件在工程应用中对构件性能、建筑设计、结构设计、制作加工、施工安装、工程验收及维护等相关技术要求问题，为规范 UHPC 非承重构件产品及工程应用质量提供技术支撑，引导 UHPC 非承重构件工程应用的技术进步，提升工程质量，满足 UHPC 工程建设的需要为基本原则。

同时贯彻制定标准中应遵循的原则：“简化、统一、协调、承继性与最大自由度原则”。重点与现有标准《活性粉末混凝土》GB/T31387—2015、《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 在用词统一性、技术内容的协调性基础上，坚持标准的简化和最大自由度原则。

标准编写要求按照《工程建设标准编写规定》（建标[2008]182号）要求进行编写。试验及测试方法等尽量采用现行的国家标准与行业标准，以使试验数据具有准确性、科学性与可比性。

（二）标准制定的主要内容及依据

标准主要共分 11 章。分别为 1.总则；2.术语和符号；3.材料；4.建筑设计；5.结构设计的基本规定；6.UHPC 构件结构设计；7.制作加工；8.安装施工；9.验收；10.维护与保养。以下依照标准的每一章节内容及依据、解决的主要问题分别叙述。

1 总则

首先提出了制定本规范的目的：为提高 UHPC 非承重构件（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。

其次规定了本规范的适用范围：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。

再者明确了本规范与国家现行有关标准的协调性：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。

总则部分明确了本规范是针对 UHPC 非承重构件在建筑物与构筑物中的工程应用技术规范，属工程建设标准范畴。其内容与编写应符合《工程建设标准编写规定》的要求。

2 术语和符号

2.1 术语

根据调研和 UHPC 构件及工程实际应用情况，提出了与本标准密切相关的术语共 14 条，便于专业使用者易于理解或者在本规范中有不同解释的术语进行了定义。

同时为了便于规范中其他章节方便引用，对个别术语提出了简称，如超高性能混凝土简称“UHPC”；UHPC 非承重构件简称“UHPC 构件”；浇注工艺、钢纤维为主要增强纤维制成的 UHPC 构件简称“钢纤维 UHPC 构件”；浇注/挤出/压制工艺、有机/无机纤维为主要增强纤维制成的 UHPC 构件简称“有/无机纤维 UHPC 构件”；喷射工艺、耐碱玻璃纤维为主要增强纤维制成的 UHPC 构件简称“耐碱玻纤 UHPC 构件”。

2.2 符号

符号内容为本规范正文中所使用的符号与涵义，按《工程建设标准编写规定》的要求格式列出。

3 材料

3.1 一般规定

对涉及结构安全性、耐久性和环境保护和消防方面对材料提出了原则性要求，并对材料应具有的产品合格证、质量保证书及相关性能检测报告提出基本要求。

3.2 UHPC 构件

首先根据 UHPC 构件在工程中应用的实际情况调研，提出构件的外观质量和尺寸允许偏差技术要求。UHPC 构件以装饰功能为其主要特点，外观和装配质量对工程装饰效果影响尤为重要，因此提出较高的定量化技术指标要求。同时考虑到 UHPC 构件装饰效果的多样化，对有特殊装饰效果要求时，如剔凿、重度喷砂或水洗、岩石起伏面效果及异形构造等，外观质量和尺寸允许偏差由供需双方确定。

其次对 UHPC 构件的物理力学性能和检测方法提出技术要求，这是 UHPC 构件重要的性能指标，关系到 UHPC 材料/构件作为一种新型超高性能混凝土产品的力学性能、耐久性、体积稳定性及与构件连接的安全性，包括：抗压强度、抗弯比例极限强度、抗弯极限强度、抗冲击强度、体积密度（干燥状态）、吸水

率、抗冻性、收缩率、锚杆拉拔力和预埋螺栓套筒拉拔力。各项性能的检测方法主要参考了现行国家标准《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》GB/T 15231 和《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081，并根据 UHPC 材料/构件的特点作了部分修正。各项性能的技术指标限值由验证试验确定，详见“三、主要试验验证的情况及分析（一）UHPC 构件物理力学性能验证试验”。

3.3 金属材料

分别对金属支承结构材料、背附钢架用轻型钢/结构型钢或铝合金型材、紧固件、预埋件、焊接材料按相应的现行国家标准和设计要求进行了规定。重点提出以上材料中钢材的防腐要求，这对结构安全至关重要。特别指出严禁采用预埋钢筋代替预埋件，防止钢筋代替预埋件因锈蚀存在严重的后期安全隐患。

3.4 建筑密封材料

分别对 UHPC 外墙用建筑密封材料（如结构密封胶、建筑密封胶）按相应的国家现行标准和设计要求进行了规定。特别指出建筑密封材料与 UHPC 面板材料具有良好的相容性和不低于 25 级的位移能力，避免出现影响饰面效果的污染和 UHPC 构件间拼缝密封开裂问题。

3.5 其他材料

分别对 UHPC 外墙用配套材料（如表面防护材料、墙体保温材料、锚固胶）按相应的国家现行标准和设计要求进行了规定。

4 建筑设计

4.1 一般规定

分别对 UHPC 外墙建筑设计中所涉及的建筑物的使用功能、周围环境、建筑设计要求、技术经济分析；外墙的空间形状、表面造型、质感及色彩；外墙分格尺寸、建筑构造、接缝与连接、构件表面防护处理提出原则性要求。

4.2 性能与检测要求

重点规定了 UHPC 外墙的抗风压性能、气密性能、水密性能、平面内变形性能设计要求；对于有保温性能要求的 UHPC 外墙及其围护结构按不同气候区域提出传热系数执行标准要求；UHPC 外墙耐撞击性能、承受重量、隔声性能要求。另外对各性能的检测要求进行了规定。

4.3 建筑构造设计

对 UHPC 外墙的建筑构造设计原则、保温材料的选用、雨水导排措施、防止连接部位构件间摩擦产生噪声措施、不同金属材料相接触部位防腐措施、立面分格尺寸、构件的接缝宽度提出设计要求。

4.4 UHPC 构件的构造与连接设计

首先对 UHPC 平板构造、UHPC 带肋板构造、UHPC 背附钢架板构造从板面尺寸、厚度、锚固构造、支承方式、连接方式进行了详细规定。其中特别提出 UHPC 带肋板配筋构造设计和钢筋保护层要求，这对保证 UHPC 带肋板的使用耐久性能及防火性能要求至关重要。另外对 UHPC 背附钢架板抗震锚固构造设计、UHPC 构件与主体结构或支承结构的连接方式进行了规定。

4.5 防火与防雷设计

UHPC 外墙工程的防火设计、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防火封堵设计、防火封堵构造系统和填充料及其保护性面层材料、UHPC 构件与各层楼板及隔墙外沿间的缝隙的防火封堵设计分别提出要求。同时对 UHPC 外墙工程的防雷设计提出标准依据，并提出特别要求：外墙的金属框架应与主体结构的防雷体系应可靠连接，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

首先根据 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，不承担主体结构承受的荷载和地震作用的特点，明确了 UHPC 外墙应按维护结构设计，并分别对设计主要内容（荷载和作用、承载力、抗裂性、刚度、稳定性和相对于主体结构的位移）和计算方法（按弹性方法计算作用效应）进行原则性规定。其次对 UHPC 外墙结构构件的承载力极限状态设计、正常使用极限状态抗裂承载力和挠度验算提出要求。再者对 UHPC 构件的预埋锚固设计或后锚固设计安全等级、锚固连接的承载力验算进行了规定。

5.2 材料力学性能

分别对不同纤维（耐碱玻璃纤维、有/无机纤维、钢纤维）增强的 UHPC 立方体抗压强度标准值、轴心抗压强度标准值、轴心抗压强度设计值、抗拉弹性极限强度标准值、抗拉强度标准值取值进行了规定。另外对 UHPC 的弹性抗拉强

度设计值及抗拉强度设计值计算方法进行了规定。再者对结构设计中各类材料的力学性能取值进行了规定,包括钢材的强度设计值、锚栓的性能等级及相应性能、普通钢筋的屈服强度值和极限强度标准值、不锈钢材料的抗拉及抗压强度设计值和抗剪强度设计值、不锈钢锚栓的性能等级及相应性能指标、铝合金型材的强度设计值、耐候钢强度设计值、钢结构连接强度设计值以及 UHPC 及其他材料的弹性模量、泊松比、线膨胀系数。

5.3 荷载与作用

首先对结构设计时涉及的 UHPC 及其他材料的重力密度标准值取值进行规定;并规定了 UHPC 板的风荷载标准值计算方法;对于 UHPC 构件安装高度大于 200m 或体型、风荷载环境复杂时,提出进行风洞试验确定风荷载的要求。另外规定了垂直于 UHPC 构件面板平面的分布水平地震作用标准值和平行于 UHPC 构件面板平面的集中水平地震作用标准值计算方法,并明确 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。再者对 UHPC 构件的温度应力和湿度应力取值进行规定。

5.4 作用效应组合

首先对 UHPC 构件、预埋件、连接件按承载力极限状态设计沿垂直于面板方向的荷载与作用效应组合进行规定,明确 UHPC 构件应按荷载和作用效应的最不利组合进行设计。其次规定了荷载和作用的分项系数采用方法,及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)效应参与组合时不同可变荷载或作用效应的组合值系数的取值,并明确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。再者对 UHPC 构件进行抗裂验算和挠度验算时,其荷载与作用效应的组合计算分别进行了规定。

5.5 连接设计

在满足主体结构或结构构件应承受 UHPC 构件传递的荷载和作用的前提下,分别对连接件与主体结构的锚固承载力设计值,UHPC 构件与主体结构连接处的连接件、焊缝、螺栓设计进行规定。同时对 UHPC 构件自重支承点位置要求(UHPC 构件与支承结构连接情况下)、立柱悬挂要求(采用立柱、横梁等组成的支承结构情况下)、预埋件连接要求(构件与主体混凝土结构预埋件连接情况下)、锚板

和对称配置的锚固钢筋所组成的受力预埋件要求、槽式预埋件的预埋钢板及其他连接要求、UHPC 构件支承结构与主体结构的后锚固锚栓连接设计、UHPC 构件与砌体结构连接要求进行规定。

5.6 承载力极限状态设计

对承载力极限状态 UHPC 构件承载验算提出要求。UHPC 构件进行承载力设计时，分别对荷载与作用效应的组合、荷载及作用分项系数取值、构件的风荷载标准值和地震作用标准值计算进行规定。同时对无筋 UHPC 构件截面应力设计值计算和配筋 UHPC 构件截面应力设计值计算分别按照风荷载控制的基本组合和温湿度效应控制的基本组合进行规定。

5.7 抗裂验算

正常使用极限状态，对耐碱玻纤、有/无机纤维、钢纤维 UHPC 构件的抗裂承载力提出要求；当 UHPC 构件进行抗裂验算时，对荷载与作用效应组合提出要求；UHPC 构件开裂应力设计值验算分别按照风荷载控制的基本组合和温度效应控制的基本组合进行规定。

5.8 锚固承载力计算

首先根据锚固连接破坏后果的严重程度，规定 UHPC 构件的预埋锚固设计或后锚固设计确定相应的安全等级；荷载按基本组合，规定了锚固受拉承载力设计值、锚固受剪承载力计算方法。其次对拉剪复合受力下锚栓或连接螺栓钢材破坏时的承载力、UHPC 基材破坏时的承载力提出计算要求；并根据锚固连接破坏类型及 UHPC 构件的类型不同规定了 UHPC 构件锚固承载力分项系数取值。再者对 UHPC 构件的后锚固抗震设计，规定了锚固拉力设计值和锚固剪力设计值、后锚固受拉和受剪承载力计算方法；对于抗震设防的 UHPC 外墙，提出预埋锚固和后锚固承载力的要求。

另外，根据 UHPC 板的构造不同，对 UHPC 平板和 UHPC 背附钢架板的锚固承载力标准值的确定提出要求；并对 UHPC 带肋板或缺乏锚固承载力实验数据的 UHPC 平板，提出锚固受拉承载力标准值和锚固受剪承载力标准值计算方法。

6 UHPC 构件结构设计

6.1 UHPC 平板结构设计

分别规定了 UHPC 平板采用四点支承时，在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的面板弯曲应力标准值计算方法和挠度验算方法；UHPC 平板受温湿度作用产生的截面应力标准值取值要求；UHPC 平板进行承载力验算和抗裂验算要求；UHPC 平板进行挠度验算时，挠度和荷载与作用效应要求；锚固受拉承载力设计时，对 UHPC 锥体破坏受拉承载力标准值计算方法和后锚固抗震设计要求；UHPC 平板结构设计中横梁和立柱设计要求。

6.2 UHPC 带肋板结构设计

首先提出单向板和双向板划分原则；并分别规定单向板和双向板设计时，面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值计算方法。

其次分别规定面板受温湿度作用产生的截面应力标准值确定方法；作用于 UHPC 面板的荷载传递方式和加强肋的计算荷载要求；各种加强肋计算截面的翼缘计算宽度确定方法；加强肋在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值和受温湿度作用产生的截面应力标准值计算方法。同时对无筋带肋板极限状态设计进行规定。

再者分别规定配筋耐碱玻纤、有/无机纤维 UHPC 和配筋钢纤维 UHPC 的 T 形截面受弯构件承载力计算方法；荷载标准组合下，配筋 UHPC 的 T 形截面受弯构件抗裂验算方法及挠度、裂缝宽度计算方法。同时对配筋 UHPC 受弯构件配筋肋斜截面受剪承载力计算进行规定。

6.3 UHPC 背附钢架板结构设计

首先将 UHPC 面板采用纵横相互平行排列的锚固支承形式简化为点支承结构；并分别对 UHPC 面板在重力荷载或风荷载或地震作用下板区格截面产生的最大应力标准值计算方法、受温湿度作用产生的截面应力标准值进行规定。其次提出 UHPC 面板应分别进行承载力验算和抗裂验算要求。再者对 UHPC 面板与 L 形锚杆采用预埋锚固时锚固承载力进行规定；同时对背附钢架的设计提出要求。

7 制作加工

7.1 一般规定

分别对 UHPC 构件生产单位应具备相应的生产工艺设施、必要的试验检测手段、建立完善的质量管理体系、个人安全和健康防护提出基本要求。同时要求 UHPC 构件制作前进行技术交底，制定生产方案。再者根据目前 UHPC 构件生产

企业采用市售 UHPC 预混料和直接拌和 UHPC 混合料两种方式，进行了分别规定：推荐采用 UHPC 预混料；对直接拌和 UHPC 混合料的原材料、储存、计量、投料和搅拌设备、产品性能提出要求。

7.2 原材料储存

分别对原材料的仓储设施、UHPC 预混料或直接拌和用原材料的标识及储存措施、包装提出要求；同时对外加剂和钢纤维的储存按照相应的现行国家标准进行了规定。

7.3 材料拌合

分别对配合比和搅拌工序、计量设备、计量偏差、搅拌机类型、搅拌时间、拌合物的匀质性、拌和过程中的环保（扬尘）作出规定。UHPC 混合料的拌和是影响到产品性能和纤维分散均匀性的重要因素，因此对以上各环节提出要求。

7.4 UHPC 构件制作

UHPC 构件制作前首先进行产品图设计和模具的制作。对产品图的设计内容进行详细规定，以保证与安装图相一致；对模具的刚度、尺寸精度、紧固性和接缝的闭合密封情况、隔离剂涂覆进行规定是保证模具在构件生产过程中不变形、不漏浆、易脱模的前提条件，以保证产品的外观质量与造型要求。特别提出了模具制作应考虑 UHPC 在早期硬化会出现剧烈的体积收缩，通常对于尺寸较大构件将模具尺寸相应放大以补偿收缩。UHPC 的早期收缩率由验证试验确定，详见“三、主要试验验证的情况及分析（二）不同龄期 UHPC 收缩性能验证试验”。

同时对拌合浆料的浇注/喷射和振捣工艺及与背附钢架的连接方式进行了规定。重点强调了带有背附钢架的 UHPC 构件制作时宜预埋设套筒等连接件，UHPC 硬化后再与钢架装配连接；若采用喷射或浇筑过程中直接装配背附钢架，应采取可靠措施使连接件与背附钢架间有相对移动能力，并应在 UHPC 完全硬化后紧固。这是因为 UHPC 构件在完成喷射或浇注作业至构件硬化过程中会产生明显的收缩变形，过早地与背附钢架进行装配固定会产生较大的开裂风险。UHPC 的早期收缩率由验证试验确定，详见“三、主要试验验证的情况及分析（二）不同龄期 UHPC 收缩性能验证试验”。

7.5 养护与脱模

本节首先对 UHPC 构件常用的两种养护方式（自然养护、蒸汽养护）分别进

行了规定，包括温度、湿度及时间控制；另外对 UHPC 构件脱模强度和脱模工艺进行了规定。养护与脱模是保证产品的外观质量和物理力学性能的基本条件，避免脱模过程出现损坏或事故。

尤其重要的是对以耐碱玻璃纤维为主要增强纤维的 UHPC 构件不应采用高温蒸汽养护进行了严格的规定，这是因为耐碱玻璃纤维在高温高湿的 UHPC 构件碱性环境里会加速老化，逐渐失去增韧增强效果。详见“三、主要试验验证的情况及分析（三）蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维侵蚀性验证试验”。

7.6 金属构件加工

分别对钢构件的加工、铝合金型材构件加工按照设计要求及相应的现行国家标准进行了规定。同时对生产企业金属构件加工需要的场地和设施提出要求。

7.7 检验

本节主要对 UHPC 构件出厂质量进行检验，包括缺陷、尺寸偏差、色差等性能及检验方法要求；同时提出生产企业日常生产自检内容及要求。检验合格后设置标识，并规定了标识的内容：产品编号、制作日期、合格状态、生产企业名称等信息。

7.8 搬运和堆放

分别对 UHPC 构件的搬运和堆放进行了较为详细的规定，主要因为 UHPC 构件大多是或细长或轻薄或异形的构件，因而搬运和堆放不当会引起变形、破坏或污染，采取可靠的搬运和堆放措施加以控制十分必要。

8 安装施工

8.1 一般规定

分别对建筑物/构筑物主体工程验收、进场 UHPC 构件性能复试、现场施工人员进行技术交底、编制专项施工方案、施工作业环境、与其他工种协调配合提出要求。重点强调了专项施工方案的主要内容，保证方案的完整性和可操作性。同时对 UHPC 构件安装施工安全措施提出原则性规定。

8.2 运输和现场堆放

分别对施工进场 UHPC 构件的装卸、运输、堆放进行规定。特别是超宽、超高或造型特殊的构件应采取必要的安全措施。施工现场 UHPC 构件堆放措施除应满足生产企业内堆放的要求外，还提出了施工现场应按安装顺序编号依次堆放

的要求，以方便施工。

8.3 施工准备

分别规定了施工现场 UHPC 构件、安装辅件及主体结构上的锚固件进行检查验收的内容和 UHPC 构件安装前对主体结构进行现场测量和对安装部位结构和墙体进行检查内容。并提出对影响安装的结构误差及其他问题应向相关部门报告并及时处理的要求。

8.4 安装施工

首先明确了 UHPC 构件与主体结构的连接方式：通过支承结构与主体结构连接，构件与支承结构应采用插槽连接或螺栓连接，严禁现场焊接。这是为满足安装时定位调节、误差调节及后期由于板块在温度和湿度作用下产生的尺寸变化的消化需要；另外现场焊接无法保证焊接质量和防腐要求。同时规定了支承结构与常用主体结构（混凝土结构、钢结构、砌体结构）的连接方式。

其次对连续分布 UHPC 构件安装顺序、不同类型 UHPC 构件（柱式构件、横向大尺度构件、背附钢架构件、无背附钢架构件）的吊点、吊装方式及安装误差提出要求。特别提出每个 UHPC 构件均应独立与主体结构或支承结构连接，不得承受上部或邻近 UHPC 构件的荷载，即非承重构件。

再者对 UHPC 构件与其他工序（如保温层、防水层）施工顺序、构件间或其他围护材料间的接缝/嵌缝处理提出要求。特别强调对于 UHPC 复合板外墙，接缝宜采用双重止水构造，以满足更高防水的要求。

最后明确对 UHPC 构件安装过程中出现的不影响结构性能的局部缺棱掉角、表面污染，应进行修补或去污处理。且 UHPC 构件与主体结构的连接节点应按隐蔽工程验收。

8.5 安装质量要求

首先对 UHPC 构件与主体结构的净距（包括构件背面与预制混凝土结构/现浇混凝土结构/钢结构净距、高层或不规则结构净距、柱套与柱子之间净距、构件与主体结构的连接点在上下/左右/前后三个方向内的调节空间净距）提出要求，主要为确保 UHPC 外墙构件安装所需要的精度及连接所要求的调整空间。

其次对安装效果（UHPC 外立面外观造型、表面颜色和质感、构件间接缝等）提出要求，满足 UHPC 作为装饰构件的基本功能需求。

再者对安装偏差（包括 UHPC 构件与建筑轴线的距离偏差、UHPC 构件立面垂直度偏差、UHPC 构件顶部标高与设计标高偏差、接缝宽度与设计宽度偏差、相邻 UHPC 构件面内错台偏差、与主体结构相连的连接件定位偏差）提出要求，满足建筑整体设计要求。

本节对 UHPC 构件安装质量要求亦为工程验收提供依据。

9 验收

9.1 一般规定

明确了 UHPC 外墙工程验收分为进场验收、隐蔽工程验收和竣工验收，并规定了验收方式（技术资料复核、现场检查 and 抽样检验），提出了检验批划分和抽样原则。

特别规定了以构件形式进入工地现场的 UHPC 产品应提供 UHPC 构件的产品质量检验报告及合格证，不得以生产 UHPC 构件所用原材料的质量检验报告及合格证代替 UHPC 构件的产品质量检验报告及合格证。防止工程中出现以原料代构件偷梁换柱的不当行为。

9.2 进场验收

分别规定了进场产品应提供的文件（符合设计要求的相关证明文件，包括经审批的设计图纸、生产厂家的型式检验报告）、进场验收应检查的项目（UHPC 构件产品合格证，钢构件、连接件材质证明及合格证，安装密封胶合格证等文件资料）。以及 UHPC 构件进场后进行复验和见证检验，其他配套材料进场应按设计要求及相关质量标准验收。

9.3 隐蔽工程验收

重点规定了隐蔽工程验收内容：UHPC 构件的造型、尺寸、表面效果；预埋件、锚固件、连接件、安装孔、槽；与主体结构连接；保温、防水、防污、防火、防雷的处理；外墙密封施工和接缝处理；安装质量要求的规定。同时提供了隐蔽工程验收记录表。

9.4 竣工验收

首先规定工程竣工验收时应提交的详细资料。然后按照主控项目和一般项目对工程进行验收。其中主控项目涉及工程安全、节能、环保和主要使用功能项目，包括 UHPC 外墙总体造型、表面效果；UHPC 外墙与主体结构及预埋件、锚固

件、连接件的连接处理；外墙工程的保温、防水、防污、防火、防雷处理；外墙密封施工和接缝处理和外墙安装偏差。一般项目包括 UHPC 外墙嵌缝平直、外观表面光滑平整情况；外墙整体颜色、局部色差和修补痕迹；面板表面是否存在凹坑、缺边掉角、开裂、破损、斑痕、污染等明显缺陷。同时对每一项验收项目提出了检验数量与检验方法要求。

10 维修与保养

10.1 一般规定

首先提出施工单位应向业主提供 UHPC 使用维护说明书的要求，并规定了说明书应包括内容，因 UHPC 工程与传统建筑工程有较大的差异，为避免业主使用过程中对其造成损坏，利于提高建筑物的使用寿命，提供使用维护说明书是十分必要的。业主方使用过程中对 UHPC 外墙表面进行检查、清洗、维护和保养应根据 UHPC 使用维护说明书进行，另外涉及高空作业安全应符合现行标准的有关规定。

其次明确了 UHPC 外墙工程的保修期不应少于 2 年。避免关于工程保修期不清造成的争议。

10.2 检查与维修

对 UHPC 外墙工程竣工验收后定期检查维护做了规定，并对定期检查维护内容进行了明确规定。检查中发现的问题提出了维修或更换要求。特殊情况下，如地震、台风、火灾等重大自然灾害发生后，应进行全面检查。

10.3 清洗和保养

首先对表面防护剂外墙的二次防护施工提出要求，避免因防护剂性能衰减，影响到 UHPC 材料的表面效果。

其次对 UHPC 外墙的清洗周期和宜采用的清洗材料性能提出要求，不宜使用具有腐蚀性的清洗材料，避免对 UHPC 外墙表面造成侵蚀。

再者已竣工工程投入使用后出现对 UHPC 外墙进行钻孔、切割、调整产品与结构连接方式等影响安全的行为时，应制定施工方案。杜绝因不当施工造成对建筑外墙的严重损坏。

三、主要试验验证的情况及分析

本标准试验验证工作主要针对 UHPC 构件的物理力学性能、不同龄期

UHPC 收缩性能、蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维侵蚀性分别进行验证。

（一）UHPC 构件物理力学性能验证试验

验证试验共征集了来自行业内规模以上、不同企业制作的 34 组 UHPC 构件试验样品。按照验证试验要求，所有试验样品均为各企业目前正在施工的 UHPC 构件实际工程产品取样或同原材料、同工艺制作的验证试验样品（符合异形产品验证试验要求）。

根据成型工艺和主要增强纤维将产品分成三类：钢纤维浇注工艺类—“钢纤维 UHPC 构件”（9 组）、有机/无机纤维浇注/挤出/压制工艺类—“有/无机纤维 UHPC 构件”（17 组）和耐碱玻璃纤维喷射工艺类—“耐碱玻纤 UHPC 构件”（8 组）。验证试验委托国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心完成。

1 试验方法

1.1 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；

1.2 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；

1.3 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；

1.4 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。

2 试验结果及分析

验证试验结果如下表 3-1、表 3-2 和表 3-3：

表 3-1 钢纤维 UHPC 构件物理力学性能验证试验结果

性能	浇注工艺-钢纤维											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	标准取值	单项合格率	整体合格率
基材抗压强度/MPa	145.8	144.0	125.0	150.0	117.0	145.0	131.0	110.0	134.5	120	78.0%	55.6%
抗弯比例极限强度/MPa	16.1	16.4	13.5	18.5	13.5	14.0	12.7	12.5	14.5	13.0	78.0%	
抗弯极限强度/MPa	26.6	25.0	21.0	25.0	13.5	20.4	19.5	13.9	27.0	20.0	66.7%	
抗冲击强度/(kJ/m ²)	27.5	24.5	19.4	30.0	12.5	31.2	25	15.1	26.4	24.0	66.7%	
体积密度 /(g/cm ³)	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.3	2.5	2.4	78.0%	
吸水率/%	1.6	1.5	2.2	1.0	0.8	1.5	2.1	1.5	0.8	2.0	78.0%	
抗冻性	200 次合格	200 次合格	200 次不合格	200 次合格	200 次合格	200 次合格	200 次不合格	200 次合格	200 次合格	200 次合格	78.0%	
收缩率/%	0.04	0.06	0.09	0.05	0.04	0.05	0.08	0.06	0.05	0.06	78.0%	
锚杆拉拔力/预埋螺栓套筒拉拔力/kN	15.5	14.3	9.7	14.7	10.0	12.6	11.0	7.9	13.0	10.0	78.0%	

表 3-2 有/无机纤维 UHPC 构件物理力学性能验证试验结果

性能	浇注/挤出/压制工艺-有/无机纤维																	标准 取值	单项 合格 率	整体合 格率
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
基材抗压 强度/MPa	125.0	129.4	136.8	130.6	136.5	123.0	136.0	115.0	138.5	105.5	113.3	127.8	135.0	138.0	138.0	132.5	130.4	120	82.4%	64.7%
抗弯比例 极限强度 /MPa	12.1	7.7	12.7	12.5	12.9	12.4	12.0	9.9	12.8	8.0	7.9	13.6	13.8	13.6	12.9	10.9	14.6	12.0	70.6%	
抗弯极限 强度/MPa	12.2	7.7	12.7	13.1	13.5	12.4	12.0	9.9	12.8	8.2	7.9	13.6	13.8	13.6	12.9	10.9	14.6	12.0	70.6%	
抗冲击强 度/(kJ/m ²)	21.0	7.9	9.9	9.2	18.1	13.8	8.7	13.6	9.8	9.2	10.0	9.0	12.0	9.5	10.6	8.3	10.2	9.0	82.4%	
体积密度 /(g/cm ³)	2.2	2.1	2.3	2.4	2.3	2.3	2.1	2.2	2.4	2.2	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	82.4%	
吸水率/%	1.2	1.3	1.6	2.2	1.8	1.8	2.6	1.5	2.2	2.6	3.0	2.4	1.4	2.1	1.8	2.3	2.0	2.5	82.4%	
抗冻性	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次不 合格	200 次不 合格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次合 格	200 次不 合格	200 次合 格	200 次合 格	82.4%	
收缩率/%	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.08	0.06	0.04	0.10	0.07	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06	82.4%	
锚杆拉拔 力/预埋螺 栓套筒拉 拔力/kN	13.3	8.7	13.0	14.7	15.2	10.4	8.9	10.8	13.0	9.2	11.3	11.0	12.6	15.8	15.1	9.8	10.2	10.0	76.5%	

表 3-3 耐碱玻纤 UHPC 构件物理力学性能验证试验结果

性能	喷射工艺-耐碱玻璃纤维										
样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	标准取值	单项合格率	整体合格率
基材抗压强度/MPa	122.0	138.5	120.6	135.0	129.1	110.4	120.6	120.8	120	87.5%	62.5%
抗弯比例极限强度/MPa	11.7	16.6	10.6	14.5	12.5	12.5	11.8	9.5	11.0	75.0%	
抗弯极限强度/MPa	24.7	25.0	22.0	26.7	22.5	21.0	22.5	16.7	22.0	75.0%	
抗冲击强度/(kJ/m ²)	25.8	15.3	14.7	22.3	16.6	15.0	15.5	13.9	15.0	75.0%	
体积密度/(g/cm ³)	2.2	2.4	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.1	2.2	75.0%	
吸水率/%	1.5	2.2	1.9	2.3	2.5	2.7	2.5	2.5	2.5	87.5%	
抗冻性	200次合格	200次合格	200次合格	200次合格	200次合格	200次不合格	200次合格	200次不合格	200次合格	75.0%	
收缩率/%	0.06	0.04	0.07	0.05	0.06	0.08	0.04	0.05	0.06	75.0%	
锚杆拉拔力/预埋螺栓套筒拉拔力/kN	10.4	13.2	9.6	14.0	12.9	11.9	10.5	8.6	10	75.0%	

根据以上三类 UHPC 构件验证试验结果及标准取值、合格率分析可得：

(1) 目前 UHPC 构件产品性能指标测试数值较分散，一方面说明不同厂家产品性能差异较大，急待出台产品标准进行规范；另一方面说明目前 UHPC 构件产品技术水平有较大的提升空间。

(2) UHPC 构件不同类别（钢纤维 UHPC 构件、有/无机纤维 UHPC 构件和耐碱玻纤 UHPC 构件）之间相比较，产品性能指标差异较大，说明成型工艺和增强纤维种类对产品性能影响显著。因此本标准根据成型工艺和增强纤维种类分别对其物理力学性能进行规定（标准取值见表 3-1、表 3-2、表 3-3）。

(3) 根据目前该行业的实际发展水平，各类别 UHPC 构件物理力学性能指标标准取值保持单项合格率不低于 65%（单项性能验证试验结果与标准取值相比较）。该标准取值对于所有样品整体合格率（所有 9 项性能指标均能满足标准要求）介于 55%~65%之间（钢纤维 UHPC 构件为 55.6%、有/无机纤维 UHPC 构件为 64.7%、耐碱玻纤 UHPC 构件为 62.5%）。这对行业技术提升有积极促进作用。

（二）不同龄期 UHPC 收缩性能验证试验

1 试验目的

成型 2 种典型 UHPC 试件，采用自然养护方式，测试其不同龄期（1d、2d、3d、5d、7d、14d、28d）的收缩性能，确定不同龄期对 UHPC 收缩性能的影响规律。

2 试验原材料

选取目前市场上常用的两种 UHPC 预混料：白色 UHPC 预混料、灰色 UHPC 预混料。

3 试验步骤

3.1 模具：边框内侧尺寸 260×260×10mm，共成型 2 组（白色 UHPC 预混料、灰色 UHPC 预混料各 1 组），每组 2 块。

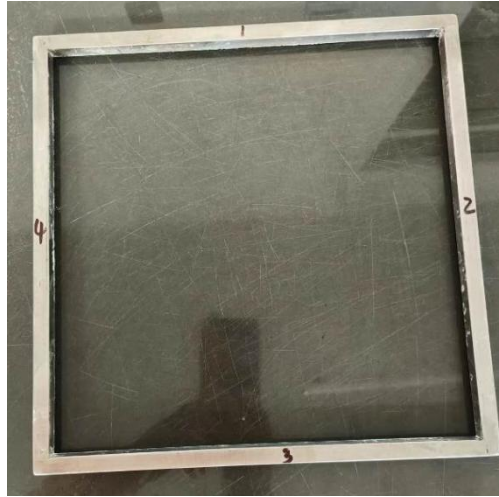


图 3.1 模具

3.2 搅拌：预混料按说明书要求加入搅拌机预混 1min，然后加入水慢速搅拌 6min，快速搅拌 4min。

3.3 成型：拌和浆料倒入模具中，手动轻振试模以排除气泡。试件成型后，立即在试模表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失。

3.4 养护：在自然环境下（室温度 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $60 \pm 15\%$ ），静置 1d 后脱模（采用轻轻敲打试模，脱模后试件见下图）；

3.5 测量：分别测量钢框内侧和试件的长度，然后将试件置于自然环境下继续养护，并按规定龄期测量试件长度。



图 3.2 白色 UHPC 试件

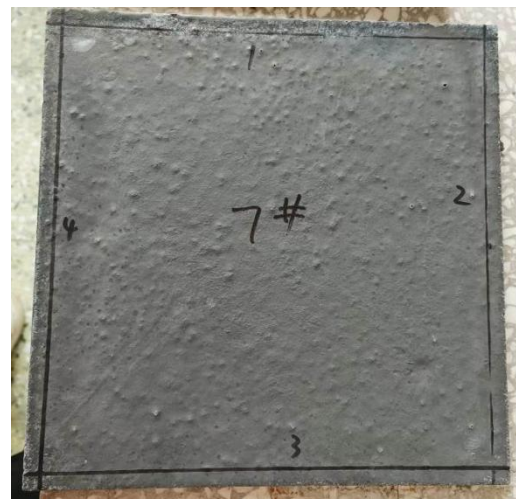


图 3.3 灰色 UHPC 试件

4 试验结果及分析

不同龄期 UHPC 试件长度测试如下表：

表 3-4 白色 UHPC 试件不同龄期长度变化

龄期 d	温 度	湿 度	2 个白色 UHPC 试件的 8 个边长 (mm)							
			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
初始 (钢 框)	21	65	261.20	261.37	261.48	261.64	261.21	261.36	261.62	261.79
1	21	60	261.20	261.25	261.44	261.46	261.12	261.19	261.68	261.67
2	20	74	260.99	261.10	261.26	261.34	260.92	261.05	261.52	261.47
3	20	60	260.92	261.02	261.24	261.27	260.90	261.00	261.54	261.44
5	19	45	260.90	260.96	261.19	261.24	260.86	260.97	261.48	261.41
7	19	65	260.91	261.00	261.19	261.22	260.86	260.98	261.46	261.42
14	19	78	260.86	260.97	261.21	261.23	260.85	260.91	261.43	261.38
28	19	45	260.85	260.96	261.18	261.19	260.83	260.91	261.40	261.35

表 3-5 灰色 UHPC 试件不同龄期长度变化

龄期 d	温 度	湿 度	2 个灰色 UHPC 试件的 8 个边长 (mm)							
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
初始 (钢 框)	21	65	260.30	260.12	260.39	259.97	260.32	260.41	260.31	260.24
1	21	60	260.23	259.84	260.19	259.84	260.23	260.44	260.18	260.20
2	20	74	260.13	259.80	260.07	259.73	260.16	260.14	260.11	260.03
3	20	60	260.07	259.73	260.02	259.66	260.10	260.11	260.06	260.01
5	19	45	260.01	259.72	260.01	259.65	260.06	260.05	260.03	259.96
7	19	65	260.02	259.69	259.96	259.66	260.04	260.06	260.03	259.96
14	19	78	260.04	259.68	259.99	259.63	260.03	260.03	259.98	259.96
28	19	45	260.01	259.68	259.96	259.61	260.02	260.01	259.97	259.91

按下式计算 UHPC 试件不同龄期收缩率，见下表 3-6、3-7 和图 3.4。

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_d}{l_0}$$

式中：

ε —收缩率；

l_0 —初始长度（钢框内侧长度），mm；

l_d —各龄期试件长度，mm。

表 3-6 白色 UHPC 试件不同龄期收缩率

龄期 d	收缩率								平均值
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
1	0.000%	0.046%	0.015%	0.069%	0.034%	0.065%	- 0.023%	0.046%	0.032%
2	0.080%	0.103%	0.084%	0.115%	0.111%	0.119%	0.038%	0.122%	0.097%
3	0.107%	0.134%	0.092%	0.141%	0.119%	0.138%	0.031%	0.134%	0.112%
5	0.115%	0.157%	0.111%	0.153%	0.134%	0.149%	0.054%	0.145%	0.127%
7	0.111%	0.142%	0.111%	0.161%	0.134%	0.145%	0.061%	0.141%	0.126%
14	0.130%	0.153%	0.103%	0.157%	0.138%	0.172%	0.073%	0.157%	0.135%
28	0.134%	0.157%	0.115%	0.172%	0.145%	0.172%	0.084%	0.168%	0.143%

表 3-7 灰色 UHPC 试件不同龄期收缩率

龄期 d	收缩率								平均值
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	
1	0.027%	0.108%	0.077%	0.050%	0.035%	- 0.012%	0.050%	0.015%	0.044%
2	0.065%	0.123%	0.123%	0.092%	0.061%	0.104%	0.077%	0.081%	0.091%
3	0.088%	0.150%	0.142%	0.119%	0.085%	0.115%	0.096%	0.088%	0.110%
5	0.111%	0.154%	0.146%	0.123%	0.100%	0.138%	0.108%	0.108%	0.123%
7	0.108%	0.165%	0.165%	0.119%	0.108%	0.134%	0.108%	0.108%	0.127%

14	0.100%	0.169%	0.154%	0.131%	0.111%	0.146%	0.127%	0.108%	0.131%
28	0.111%	0.169%	0.165%	0.138%	0.115%	0.154%	0.131%	0.127%	0.139%

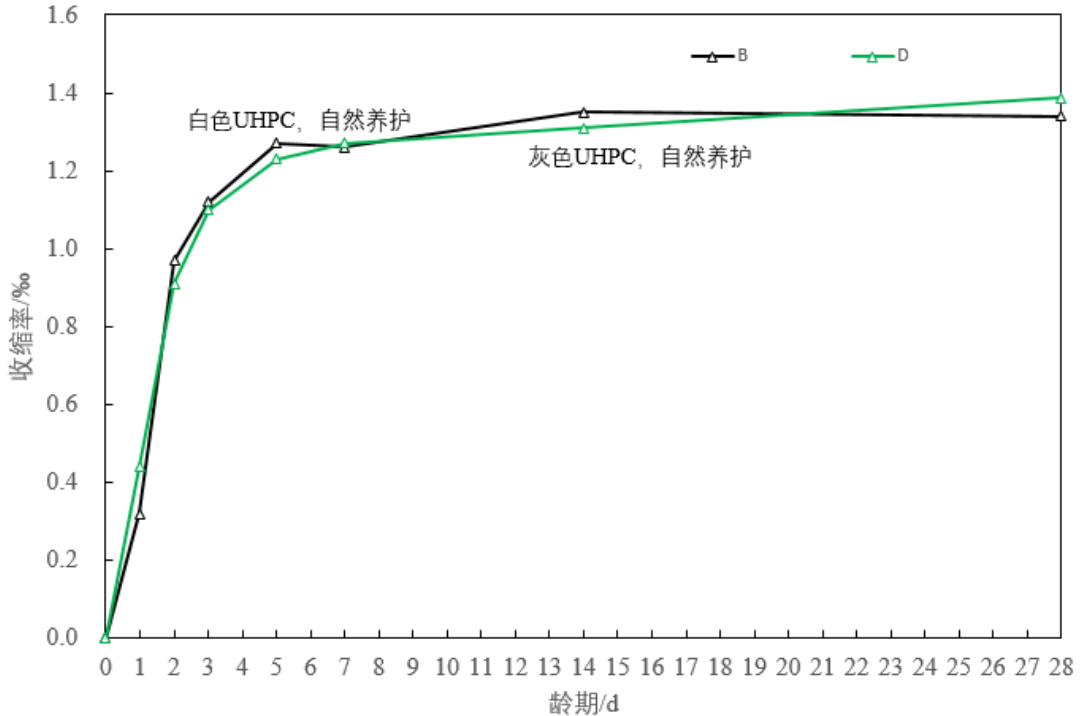


图 3.4 UHPC 试件收缩率随龄期变化曲线

结果分析：从上表及图中可以看出，随着养护龄期的延长，白色 UHPC 试件和灰色 UHPC 试件在自然养护条件下收缩率均呈逐渐增大的趋势，但增加幅度逐渐减缓：2d 内收缩最为明显（收缩率分别达到 0.097%、0.091%）；2d 至 5d 收缩稍有减缓，但仍表现为明显收缩（收缩率分别达到 0.127%、0.123%）；5d 之后随着养护龄期延长收缩虽仍有增加，但表现较为平缓。

结论：（1）UHPC 材料早期硬化会产生剧烈的体积收缩，因此生产背附钢架 UHPC 构件时，不应过早地将 UHPC 构件与背附钢架进行刚性装配固定，避免因连接件刚性约束对 UHPC 构件造成开裂风险；（2）UHPC 构件模具制作应考虑 UHPC 在早期硬化会出现剧烈的体积收缩，在制作模具时通常将尺寸相应放大以补偿收缩。

（三）蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维侵蚀性验证试验

1 试验目的

测试标准蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维侵蚀性。采用与标准常温养护状态

对比方式作为判定指标。

2 试验原材料

2.1 选取目前市场上规模化销售的两种代表性耐碱玻璃纤维产品：耐碱玻璃纤维束（H）、耐碱玻璃纤维束（T）；

2.2 UHPC 预混料选取目前市场上常用的两种产品：白色 UHPC 预混料（W）、灰色 UHPC 预混料（G）；

2.3 其他材料：水、陶泥、环氧树脂及固化剂。

3 主要仪器设备

SIC 标准模具：符合 EN 14649 要求；

蒸养箱：最高工作温度 100℃；

电子式拉伸试验机：最大容量 50N，准确度 1 级。

4 养护制度

标准常温养护（SN）：环境温湿度控制—温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度大于 95%。试件成型后置于标准常温养护条件下静停 24h 脱模，将脱模后的试件再标准常温养护至 28d。

标准蒸汽养护（SV）：试件成型后首先置于标准常温养护条件下静停 24h 脱模；将脱模后的试件放入蒸养箱，以不超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率升温至 $90\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，恒温 48h，然后以不大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率降温至 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；再将试件标准常温养护至 7d。

5 试验方法

5.1 取长度 150mm 耐碱玻璃纤维束，至距离中心位置左右各 10mm 处作标记，用配制好的树脂（环氧树脂：固化剂=5:1）从耐碱玻璃纤维束两端涂覆至标记处（左右标识内 20mm 长度的耐碱玻璃纤维束不涂覆）；

5.2 树脂固化 24h 后，陶泥以索环的形式固定在耐碱玻璃纤维束树脂浸渍的端部（至标记处）。将带陶泥的耐碱玻璃纤维束置于模具中，调整陶泥位置使陶泥位于模具两端（目的是防止耐碱玻璃纤维束的树脂涂层部分和水泥砂浆块之间出现粘附），如下图。

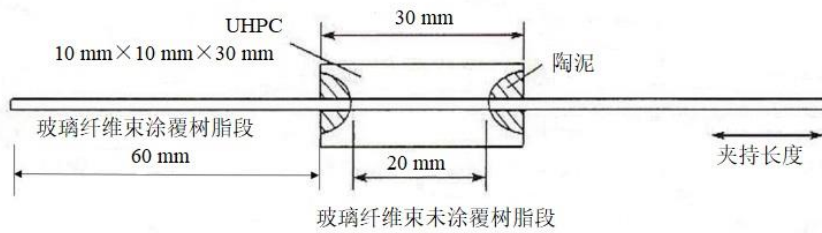
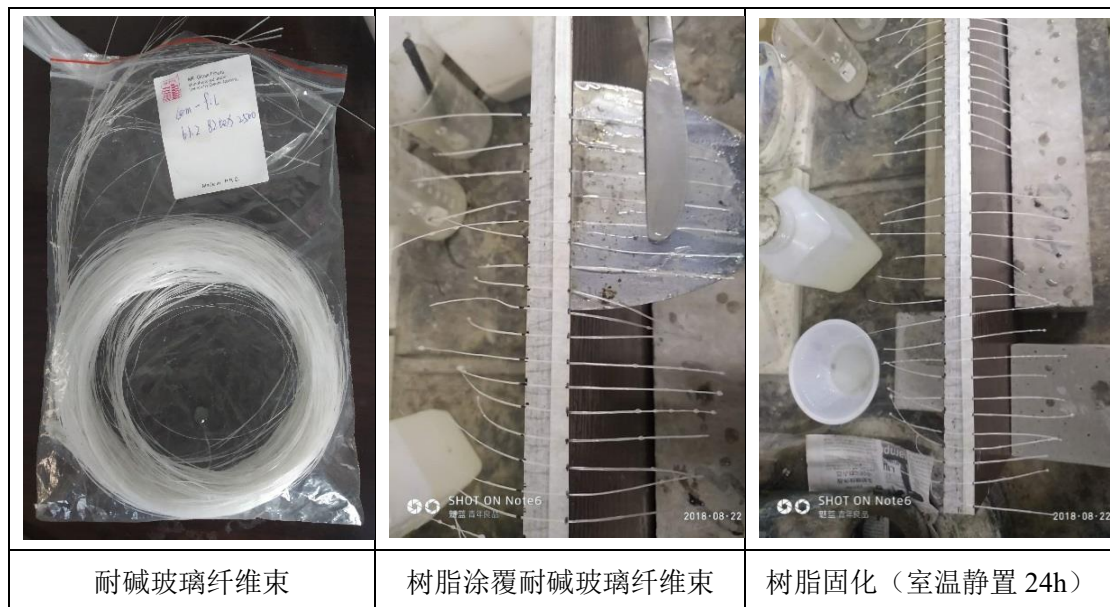


图 3.5 SIC (strand in cement) 试验试件 (标准 EN 14649)

5.3 将 UHPC 预混料和水按说明书比例配置成浆体从模具一侧倒入模具，手工轻轻振动模具使料浆流平排出空气，刮平表面，覆塑料膜置于标准常温养护室。同时成型两组，每组 10 个试件。

5.4 其中一组试件按标准常温养护制度养护至 28d；另一组试件按标准蒸汽养护制度养护至 7d。

5.5 养护至确定龄期的试件测试前置于温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、湿度 40%~60% 的环境下不少于 30 分钟，然后将试件树脂涂覆耐碱玻璃纤维束的两端固定在拉伸试验机上，按 ISO 3341 加载至破坏（加载速度 1mm/min，标距 80mm），记录每个试件的最大荷载作为破坏荷载，精确至 0.01N。耐碱玻璃纤维束在 UHPC 试件外破坏，该数据无效。



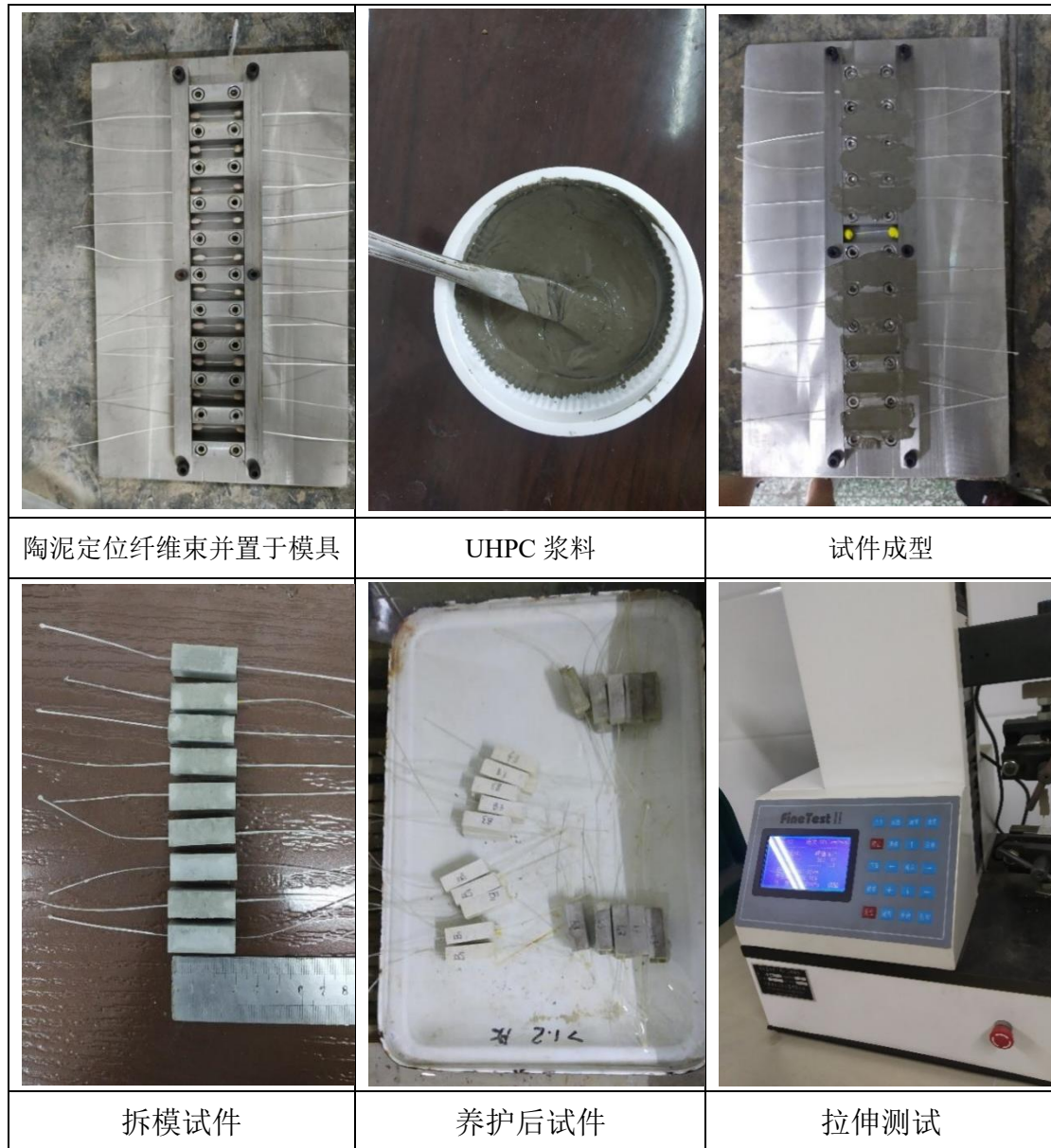


图 3.6 试验过程

6 试验结果及分析

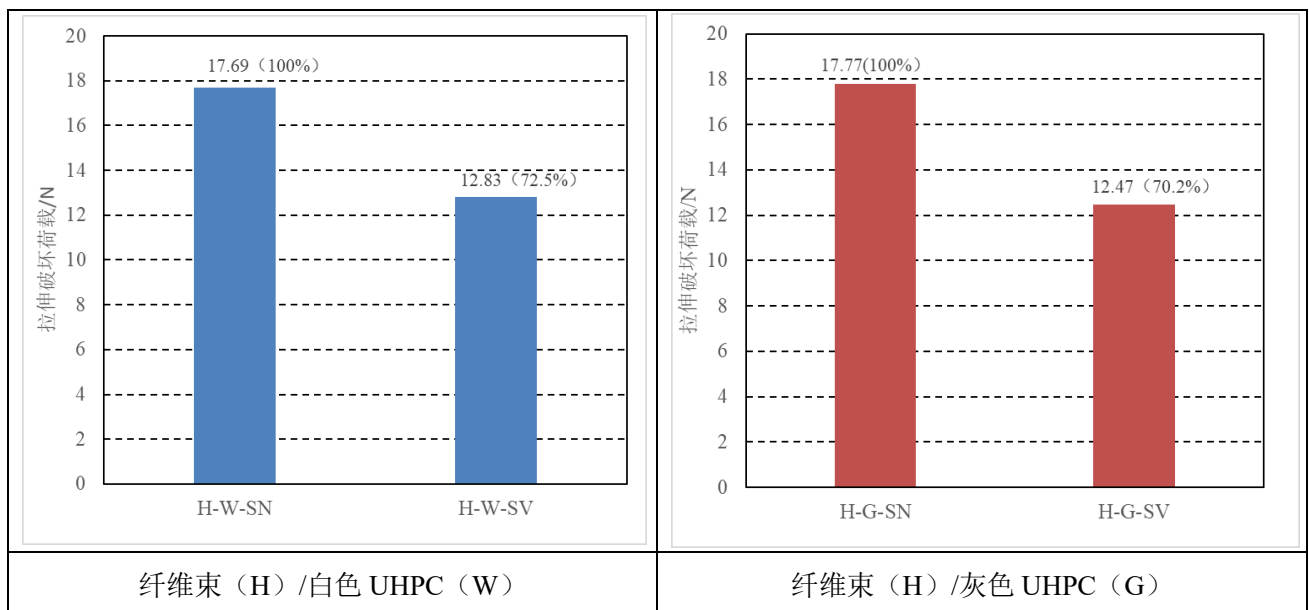
各组试件拉伸破坏荷载的试验结果如下表所示：

表 3-8 拉伸破坏荷载试验结果（单位：N）

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
H-W-SN	16.65	18.20	—	19.55	20.52	16.77	17.52	16.17	16.15	—	17.69
H-W-	10.75	13.80	13.35	—	—	12.60	12.20	13.50	13.95	12.52	12.83

SV											
H-G-SN	20.30	15.52	18.80	19.60	17.07	16.40	16.92	18.5	18.45	16.15	17.77
H-G-SV	14.25	12.07	—	10.42	14.57	10.32	13.48	11.46	—	13.20	12.47
T-W-SN	24.10	—	20.27	22.57	24.32	21.85	22.30	23.77	25.85	24.65	23.30
T-W-SV	—	12.25	16.70	13.55	14.20	12.62	16.12	13.35	—	12.87	13.96
T-G-SN	23.37	23.67	21.92	26.20	22.12	20.60	18.75	23.72	19.45	—	22.20
T-G-SV	13.20	13.62	13.30	14.82	14.32	—	—	12.88	13.95	14.86	13.87

根据上表试验结果，将同种耐碱玻璃纤维、同种 UHPC 基材试件经过不同养护制度[标准常温养护（SN）、标准蒸汽养护（SV）]的测得的平均拉伸破坏荷载进行对比，如下图。



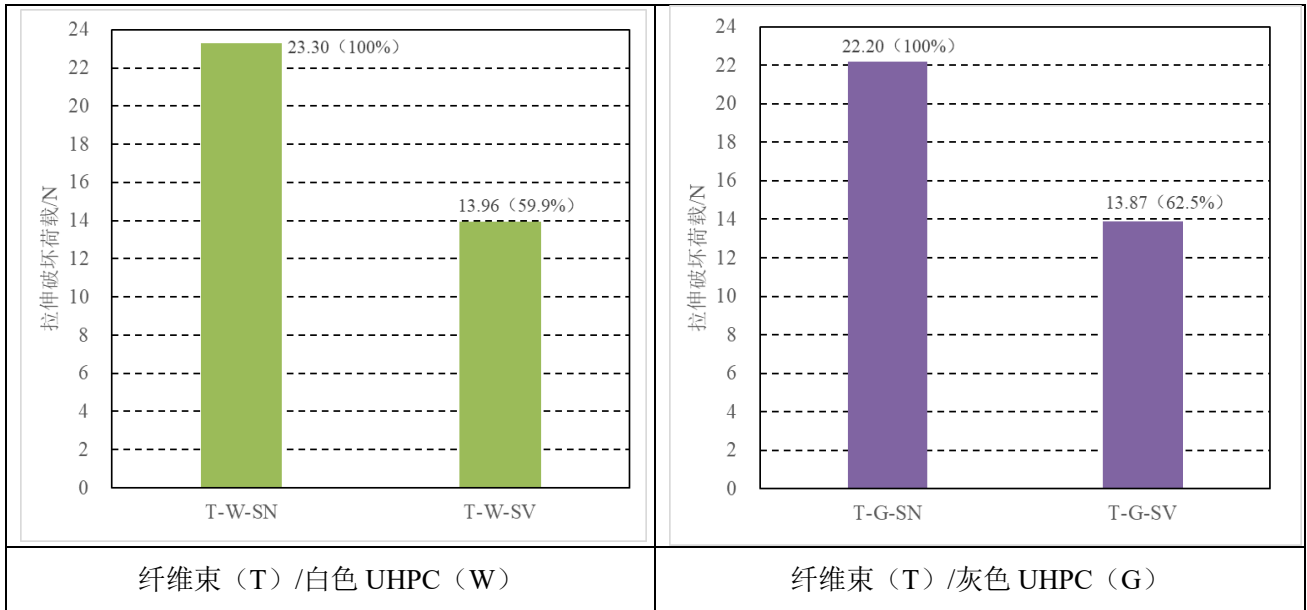


图 3.7 不同养护制度对耐碱玻璃纤维拉伸破坏荷载的影响对比

由图中可知：同种耐碱玻璃纤维、同种 UHPC 基材试件经过标准蒸汽养护 7d 测得的拉伸破坏荷载较标准常温养护 28d 有明显的降低，降低幅度约为 27.5%~40.1%(H-W-SV 较 H-W-SN 降低 27.5%; H-G-SV 较 H-G-SN 降低 29.8%; T-W-SV 较 T-W-SN 降低 40.1%; T-G-SV 较 T-G-SN 降低 37.5%)。说明蒸汽养护 UHPC 对耐碱玻璃纤维有较强的侵蚀性。

结论：以耐碱玻璃纤维为主要增强纤维的 UHPC 产品/构件不应采用蒸汽养护。

四、标准中涉及的知识产权情况说明

本标准未涉及专利等知识产权的问题。

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果情况

制定《超高性能混凝土 (UHPC) 非承重构件应用技术规范》行业标准主要目的是解决 UHPC 非承重构件在工程应用中对建筑设计、结构设计、制作加工、施工安装、工程验收及维护提出技术要求，为规范 UHPC 非承重构件产品及工程应用质量提供技术支撑。

UHPC 非承重构件作为一种轻质、超高强、可造型的新型材料，目前我国已发展到规模化应用，每年在建工程中应用量达百万平方米，且逐年增长，整体技术水平达到国际先进水平行列。该标准对标国际先进水平，标准的发布将有利于产品的技术提升和提高工程应用技术水平，促进 UHPC 非承重构件在工程中应用

的科学化、规范化，以保证工程质量。

UHPC 非承重构件在建筑工程中的规范化推广应用，一方面可显著提升工程混凝土制品质量、延长工程寿命的同时，减轻建筑自重，实现建筑向轻型、高层方向发展，符合建材产品发展“尚品”理念和要求。另一方面减少维修维护成本、减少结构自重、节约材料，降低生产能耗和污染排放，生态效益显著，符合建材产品发展“宜业”的要求。再者，工厂预制生产 UHPC 非承重构件，现场干作业法施工安装，符合我国正在大力推广的装配式建筑发展方向，实现装饰与围护结构一体化，同时可以降低工人劳动强度，提高劳动效率，加快施工速度，缩短工期，减少施工管理费用——即在为社会提供高质量建材产品的同时解放了劳动力，以造福人类为目标。

因此，《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》行业标准的制定将推动行业技术进步，经济及社会效益巨大，同时提升绿色建筑质量、促进建筑产业转型不断升级，会有十分广阔的发展前景。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准未等效采标。

七、与国内现行法律、法规、规章及相关标准的协调性情况

本标准在制定过程中特别注意了相关法律、法规、规章及相关标准的引用情况说明，与现行相关法律、法规、规章及相关标准之间不存在矛盾。并与现有标准《活性粉末混凝土》GB/T31387—2015、《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018 相协调。

另外，国际上尚无与《超高性能混凝土（UHPC）非承重构件应用技术规范》对应的标准。而与 UHPC 相关的标准在发达国家均有制定和颁布，如 1）法国：《UHPC 暂行设计指南》、《UHPC 设计规范》（NF P 18-710）、《UHPC 的材料技术标准》（NF P 18-470）、《混凝土-混凝土结构施工-针对 UHPFRC 的特定规则》（NF P18-451）； 2）日本：《超高强纤维增强混凝土（UFC）结构设计施工指南（草案）》； 3）美国：《UHPC 设计指南》、《UHPC 试样的制造和测试标准实施规程》（C1856/C1856M-17）； 4）瑞士：《UHPFRC 指南—材料、设计及应用》（SIA 2052）； 5）德国：《情况报告 - UHPC》； 6）加拿大：《混凝土材料和混凝土施工

方法-附录 U UHPC》(CSA A23.1:19)等。与本标准相比,以上国外标准主要内容涉及 UHPC 材料、性能及试验方法、结构设计、施工(制作)等,重点集中在 UHPC 作为结构承重材料/构件的应用进行规定;而本标准主要针对对象为以装饰功能为主 UHPC 非承重构件,且内容上除规定 UHPC 材料、性能、试验方法、结构设计、施工(制作)外,并对工厂预制加工、工程安装施工、工程验收、维修与保养进行了全面的规定。在内容上更全面,在 UHPC 非承重构件应用方面较国外标准更有针对性,规定更加具体、细致,可操作性更强。

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

本标准建议为推荐性行业标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准经过审议直至完成报批后,由标准主要起草单位和各有关部门共同组织相关设计、生产、施工、科研、检验等单位,开展标准宣贯工作。

预计本标准 2024 年 7 月前完成标准报批,建议实施日期为 2025 年 1 月 1 日。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其它应予说明的事项

无。