 **T/CECS XXX—202X**

中国工程建设标准化协会标准

**超高性能混凝土（UHPC）预制建筑外墙应用技术规程**

**Technical specification for application of ultra high performance concrete precast building envelope**

（征求意见稿）

XXXXX

中国工程建设标准化协会标准

超高性能混凝土（UHPC）预制建筑外墙应用技术规程

Technical specification for application of ultra high performance concrete precast building envelope

（征求意见稿）

**T/CECS XXX—202X**

主编单位：华东建筑设计研究院有限公司

 同济大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

执行日期：202X年XX月1日

XXXX

202X 北 京

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]14号）的要求，规程编制组经过深入调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语与符号；3 材料；4 建筑设计；5 结构设计基本规定；6 预制外墙结构设计；7 制作加工；8 安装施工；9 验收；10 维修保养。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑工业化专业委员会归口管理，由华东建筑设计研究院有限公司和同济大学负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：上海市黄埔区中山南路1799号，邮政编码：200011），以供修订时参考。

主编单位：华东建筑设计研究院有限公司

同济大学

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc169021401)

[2 术语与符号 2](#_Toc169021402)

[2.1 术语 2](#_Toc169021403)

[2.2 符号 2](#_Toc169021404)

[3 材料 5](#_Toc169021405)

[3.1 超高性能混凝土原材料 5](#_Toc169021406)

[3.2 金属材料 6](#_Toc169021407)

[3.3 密封材料 7](#_Toc169021408)

[3.4 其他材料 7](#_Toc169021409)

[4 建筑设计 8](#_Toc169021410)

[4.1 一般规定 8](#_Toc169021411)

[4.2 性能与检测要求 8](#_Toc169021412)

[4.3 面板接缝设计 9](#_Toc169021413)

[4.4 构造与连接设计 10](#_Toc169021414)

[4.5 防火与防雷设计 11](#_Toc169021415)

[5 结构设计基本规定 13](#_Toc169021416)

[5.1 一般规定 13](#_Toc169021417)

[5.2 超高性能混凝土材料力学性能 14](#_Toc169021418)

[5.3 荷载作用 18](#_Toc169021419)

[5.4 作用组合效应 20](#_Toc169021420)

[5.5 构件设计 22](#_Toc169021421)

[5.6 连接设计 26](#_Toc169021422)

[6 预制外墙结构设计 29](#_Toc169021423)

[6.1 一般规定 29](#_Toc169021424)

[6.2 UHPC平板和UHPC带肋板设计 29](#_Toc169021425)

[6.3 UHPC龙骨复合板设计 30](#_Toc169021426)

[7 制作加工 31](#_Toc169021427)

[7.1 一般规定 31](#_Toc169021428)

[7.2 UHPC构件制作 31](#_Toc169021429)

[7.3 堆放和运输 32](#_Toc169021430)

[7.4 修复 33](#_Toc169021431)

[8 安装施工 35](#_Toc169021432)

[8.1 一般规定 35](#_Toc169021433)

[8.2 安装施工 35](#_Toc169021434)

[8.3 安装质量要求 36](#_Toc169021435)

[9 验 收 37](#_Toc169021436)

[9.1 一般规定 37](#_Toc169021437)

[9.2 进场验收 37](#_Toc169021438)

[9.3 中间验收 41](#_Toc169021439)

[9.4 竣工验收 41](#_Toc169021440)

[10 维修保养 44](#_Toc169021441)

[10.1 一般规定 44](#_Toc169021442)

[10.2 检查与维修 44](#_Toc169021443)

[10.3 产品保护和保养 44](#_Toc169021444)

[附录A 超高性能混凝土拉伸试验 46](#_Toc169021445)

[附录B 超高性能混凝土拉弯试验 48](#_Toc169021446)

[用 词 说 明 51](#_Toc169021447)

[引用标准名录 52](#_Toc169021448)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc169021401)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc169021402)

[2.1 Terms 2](#_Toc169021403)

[2.2 Symbols 2](#_Toc169021404)

[3 Materials 5](#_Toc169021405)

[3.1 Ultra high performance concrete raw material 5](#_Toc169021406)

[3.2 Metal 6](#_Toc169021407)

[3.3 Sealnts 7](#_Toc169021408)

[3.4 Other materials 7](#_Toc169021409)

[4 Architectural design 8](#_Toc169021410)

[4.1 General requirements 8](#_Toc169021411)

[4.2 Performance nad Testing requirements 8](#_Toc169021412)

[4.3 Panel joint design 9](#_Toc169021413)

[4.4 Construction and connection design 10](#_Toc169021414)

[4.5 Fire and lightning protection design 11](#_Toc169021415)

[5 Basic regulations for structural design 13](#_Toc169021416)

[5.1 General requirements 13](#_Toc169021417)

[5.2 Ultra high performance concrete machanial properties 14](#_Toc169021418)

[5.3 Load 18](#_Toc169021419)

[5.4 Load combination 20](#_Toc169021420)

[5.5 Component design 22](#_Toc169021421)

[5.6 Connection design 26](#_Toc169021422)

[6 Structural design of precast façade panel 29](#_Toc169021423)

[6.1 General requirements 29](#_Toc169021424)

[6.2 UHPC flat panel and UHPC ribbed panel 29](#_Toc169021425)

[6.3 UHPC and metal keel composite panel 30](#_Toc169021426)

[7 Manufacturing 31](#_Toc169021427)

[7.1 General requirements 31](#_Toc169021428)

[7.2 UHPC component manufacturing 31](#_Toc169021429)

[7.3 Stacking and transportation 32](#_Toc169021430)

[7.4 Repair 33](#_Toc169021431)

[8 Installation 35](#_Toc169021432)

[8.1 General requirements 35](#_Toc169021433)

[8.2 Installation 35](#_Toc169021434)

[8.3 Quality requirements 36](#_Toc169021435)

[9 Acceptance 37](#_Toc169021436)

[9.1 General requirements 37](#_Toc169021437)

[9.2 Site acceptance 37](#_Toc169021438)

[9.3 Intermediate acceptance 41](#_Toc169021439)

[9.4 Final acceptance 41](#_Toc169021440)

[10 Servicing and maintenance 44](#_Toc169021441)

[10.1 General requirements 44](#_Toc169021442)

[10.2 Inspection and repair 44](#_Toc169021443)

[10.3 Protection and maintenance 44](#_Toc169021444)

[Appendix A Tensile test for ultra high perfomance concrete 46](#_Toc169021445)

[Appendix B Tensil bending test for ultra high performance concrete 48](#_Toc169021446)

[Explantion of wording in this standard 51](#_Toc169021447)

[List of quoted standards 52](#_Toc169021448)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范超高性能混凝土（以下简称UHPC）预制建筑外墙的技术要求，做到技术先进、安全可靠、适用美观和经济合理，确保工程质量，制订本规程。

【条文说明】超高性能混凝土（UHPC）外挂墙板是一种轻质、高强、可镂空、可造型的新型材料。近年来，超高性能混凝土预制外墙板在国内工程中逐渐推广应用，如上海音乐学院歌剧院外墙、深圳悦彩城外墙、宁波未来城等项目。但是，做为新的外墙体系或外墙装饰板，国内尚缺乏超高性能混凝土预制外墙板设计标准。因此，超高性能混凝土预制外墙的设计、施工、验收均缺乏标准依据，既影响超高性能混凝土预制外墙产品的质量和安全性，又影响超高性能混凝土预制外墙的推广应用。

为了规范超高性能混凝土预制外墙产品的安全合理应用，推动超高性能混凝土预制外墙在建筑工程中的应用，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于非承重超高性能混凝土预制建筑外墙的材料选用、建筑与结构设计、制作加工、安装施工、验收及维修与保养。

【条文说明】本条文规定了本规程的适用范围。本规程适用于超高性能混凝土在建筑非承重外墙板的应用。

**1.0.3** 超高性能混凝土预制外墙构件在建筑中的应用除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】超高性能混凝土预制外墙构件在材料选用、设计、制作、安装施工及质量验收中除应符合本标准的要求外，尚应满足国家现行有关标准的规定：有关的建筑设计规范、结构设计规范、建筑防火设计规范、建筑抗震设计规范、建筑荷载规范、建筑防雷设计规范、建筑节能设计标准以及其他建筑幕墙工程技术规范、施工质量验收规范以及幕墙物理性能检测等现行国家标准和行业标准、地方标准等。

# 2 术语与符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 超高性能混凝土 Ultra-High performance Concrete(UHPC)

以水泥、矿物掺合料等活性粉末材料、细骨料、外加剂、高强度微细钢纤维、有机合成纤维、玻璃纤维、水等原料生产的，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，英文简称 UHPC。

**2.1.2** 钢纤维 steel fiber

由钢材加工制造的短细纤维，钢纤维包括不锈钢纤维和镀铜钢纤维。

**2.1.3** 合成纤维 synthetic fibre

以合成高分子化合物为原料制成的化学纤维。

**2.1.4** 应变硬化 strain hardening

当拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而不下降的现象。

**2.1.5** 应变软化 strain softening

当拉应力超高弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而下降的现象。

**2.1.6** 超高性能混凝土预制外墙板 UHPC precast facade panel

由超高性能混凝土外墙板与支承结构体系组成，不承担主体结构所受作用力的建筑外围护墙。

**2.1.7**  UHPC平板 UHPC flat panel

由超高性能混凝土预制的不加肋或金属龙骨的平面板或曲面板。

**2.1.7**  UHPC带肋板 UHPC ribbed panel

在超高性能混凝土预制板背面四周或需要加强的部位制作超高性能混凝土加强肋的UHPC板。包括UHPC单层加劲板、UHPC夹芯肋板等。

**2.1.8** UHPC龙骨复合板 UHPC and metal keel composite panel

由超高性能混凝土预制板与金属龙骨连接组成的共同抵抗外部荷载的外墙板。

**2.1.9** UHPC镂空板 UHPC hollow out panel

根据建筑需求在超高性能混凝土预制板上镂空开洞的UHPC板。

**2.1.10** 金属龙骨 metal keel

具有结构功能的金属框架，通过柔性锚杆、重力锚杆或螺栓支承UHPC面板，用来承担整个面板的重量。

**2.1.11** 表面防护材料 surface protection coating

用于改善UHPC构件表面耐污、防水、耐久性能的材料。

## 2.2 符号

**2.2.1** 材料力学性能

——超高性能混凝土材料弹性模量；

——UHPC弹性抗拉强度标准值；

——UHPC抗拉强度标准值；

——UHPC弹性抗拉强度设计值；

——UHPC抗拉强度设计值；

——UHPC的抗压强度设计值；

 ——UHPC的极限拉应力对应的拉应变；

 ——UHPC的弹性极限抗拉强度对应的拉应变。

**2.2.2**  作用和作用效应

——重力荷载代表值效应；

——水平地震作用标准值的效应；

——竖向地震作用标准值的效应；

——第1个可变作用（主导可变作用）的标准值，对于预制外墙构件，为风荷载标准值或温度荷载作用的标准值；

——第j个可变作用的标准值，对于预制外墙构件，为风荷载标准值或温度荷载作用标准值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的抗力设计值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的抗力标准值；

C——超高性能混凝土预制外墙构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度等限值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的重力荷载标准值；

——垂直于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的分布水平地震作用标准值；

——平行于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的集中水平地震作用标准值；

——基本风压；

——风荷载标准值；

*V*——构件斜截面上的最大剪力设计值；

——实测所得预埋套筒连接受拉破坏力最小值；

——实测所得预埋套筒连接受剪破坏力最小值；

——预埋套筒抗拉设计值；

——预埋套筒抗剪设计值；

——构件抗弯设计值；

——截面达到抗弯承载力极限时，构件截面受压区边缘UHPC的应变；

——截面达到抗弯承载力极限时，构件截面受压边缘UHPC的应力。

**2.2.3** 几何参数

A——超高性能混凝土预制外墙构件平面面积；

*h*——超高性能混凝土预制外墙构件抗弯构件厚度或截面高度；

b——抗弯构件宽度；

——截面有效高度；

*l*——横梁或立柱的跨度；

，——构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积；

——截面受压区高度；

——UHPC受弯构件边缘拉应变小于2时截面受拉区高度；

，——构件受拉区、受压区纵向普通钢筋中心到截面受拉边缘的距离。

**2.2.4** 系数及其他

——超高性能混凝土预制外墙构件重要性系数；

——重力荷载分项系数；

——第1个可变作用（主导可变作用）的分项系数；

——第j个可变作用的分项系数；

、——分别为水平、竖向地震作用分项系数；

——组合值系数；

——风荷载的分项组合系数；

——准永久值系数；

——超高性能混凝土预制外墙构件承载力抗震调整系数；

——与构件尺寸和制作工艺相关的系数；

——分项系数；

——纤维分布方向上构件厚度的影响系数；

——考虑荷载作用持续性的系数；

——预埋套筒锚固承载力分项系数；

——阵风系数；

——动力放大系数；

——风荷载局部体型系数；

——风压高度变化系数；

——水平地震影响系数最大值。

# 3 材料

## 3.1 超高性能混凝土原材料

**3.1.1** 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥或白色硅酸盐水泥。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定，中热硅酸盐水泥应符合现行国家标准《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 的规定、白色硅酸盐水泥应符合现行国家标准《白色硅酸盐水泥》GB/T 2015 的规定，当采用其他种类的水泥时，应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

【条文说明】因国内外在使用非硅酸盐水泥配制超高性能混凝土方面的工程案例较少，超高性能混凝土当采用非硅酸盐类水泥时，应对其强度发展规律及耐久性进行充分的试验验证后方可使用。

**3.1.2** 矿物掺合料的选用应符合下列规定：

**1** 硅灰应符合GB/T 27690 的规定，SiO2 含量应大于90%，同一项目宜采用同一厂家同一冶炼炉的灰源；

**2** 粉煤灰应符合GB/T 1596的规定，粒化高炉矿渣粉应符合GB/T18046的规定，石灰石粉应符合GB/T35164的规定，偏高岭土应符合GB/T18736的规定。

**3** 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合料性能应符合现行国家有关标准的规定，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

【条文说明】超高性能混凝土外墙对材料的色差稳定性要求较高，不同来源及不同冶炼炉的硅灰可能存在明显的色差变化，在条件允许的情况下，同一项目宜选择同一厂家同一冶炼炉的灰源。超高性能混凝土外墙对材料的颜色及色差稳定性要求较高，如需使用粒化高炉矿渣粉作为矿物掺合料，应进行充分的试验验证，对颜色的均匀性和变化进行充分评估后再行采用。

**3.1.3** 骨料宜选用最大粒径不超过1.25mm 的石英砂，石英砂按粒径可分为粗粒径砂（1.25mm-0.63mm）、中粒径砂（0.63mm-0.315mm）和细粒径砂（0.315mm-0.16mm）三个粒级。石英粉中公称粒径小于0.16mm的颗粒的比例应大于95%。石英砂及石英粉中的含泥量不应大于0.5%，泥块含量应为0%。亚甲蓝试验结果（MB值）不应大于1.4。氯离子含量不应大于0.02%，硫化物及硫酸盐含量不应大于0.5%，云母含量不应大于0.5%，二氧化硅含量应大于97%。筛分试验、氯离子含量、硫化物及硫酸盐含量、云母含量检验应按照JGJ 52 的规定，二氧化硅含量检验应按照JC/T 874 的规定。

【条文说明】超高性能混凝土外墙对材料的颜色及稳定性要求较高，在实际应用中宜选用来源稳定，白色或浅色的石英砂。如果需要采用天然砂或者其他人工砂，应在满足以上性能指标的前提下，经过试验验证，满足各项使用要求时方可采用。超高性能混凝土建筑外墙一般情况下为薄板，采用粗骨料对墙板的各项性能将产生较大不利影响，不应在受力层采用粗骨料。对于装饰效果面采用粗骨料的，应充分考虑及评估对墙板整体性能的影响后再行采用。超高性能混凝土建筑外墙对表面肌理和细节要求较高，较大颗粒的细骨料会对肌理和细节的呈现产生不利影响，不宜采用较粗的细骨料。对于装饰效果面需采用较粗的细骨料的，应充分考虑及评估对墙板整体性能的影响后再行采用。

**3.1.4** 减水剂应符合《混凝土外加剂》 GB8076和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119的规定，宜选用减水率不小于30%的高性能减水剂。其他外加剂应符合国家现行标注的有关规定，与水泥和矿物掺合料有良好的适应性，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。
**3.1.5** 纤维

**1** 超高性能混凝土中掺加的钢纤维可根据使用要求和场景，选择不锈钢纤维（不锈钢牌号304及以上）和镀铜钢纤维，宜采用长度为6mm-18mm、直径为0.1mm-0.25mm、抗拉强度不低于2000MPa 的微细钢纤维。钢纤维其他性能指标应符合现行行业标准《混凝土用钢纤维》YB/T 151的规定。

**2** 超高性能混凝土中掺加的合成纤维应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120的规定，且应通过试验验证，超高性能混凝土满足设计性能要求时方可使用。

**3** 超高性能混凝土中掺加的玻璃纤维应符合JC/T 572《耐碱玻璃纤维无捻粗纱》的规定，且应通过试验验证，超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

【条文说明】超高性能混凝土外墙对外观的颜色和效果要求较高，应对掺用镀铜钢纤维的超高性能混凝土外墙板在使用服役过程中可能对外墙板带来的点蚀问题进行充分的试验验证和评估。

**3.1.6**  拌合用水应符合现行行业标准《混凝土拌合用水》JGJ 63的规定。

**3.1.7** 超高性能混凝土预制墙板宜采用超高性能混凝土预混料生产。预混料在生产、贮存和运输过程中不应受潮和混入杂物，应贮存在干燥遮荫的室内环境中，不可暴晒，并应有防雨、防潮措施，贮存过程中包装袋不应破损。预混料贮存期不宜超过3 个月，超过3 个月的使用前时应进行复检，复检合格方可继续使用。

【条文说明】超高性能混凝土外墙板对材料性能及颜色的稳定性均匀性要求较高，不稳定和不均匀的材料可能造成色差，不稳定的收缩变形以及不稳定的力学性能等问题。预混料对保证材料的稳定性和均匀性更加有利。预混料成品包装在空气中放置时间较长可能导致性能下降，尤其是在湿度较高的环境中，如果使用日期超出生产日期3个月应进行验证实验方可使用。

**3.1.8** 预混料厂家应在供应预混料时向预制构件厂提供相应的型式检验报告及出厂检测报告。

## 3.2 金属材料

**3.2.1** 超高性能混凝土预制墙板使用的金属支承结构材料应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《碳素结构钢》GB/T 700 及《铝合金建筑型材》GB/T 5237 的有关规定。

**3.2.2** 超高性能混凝土预制墙板如采用背负金属龙骨形式的，金属龙骨宜用轻型钢、结构型钢或铝合金型材制作，其材质应符合现行国家、行业标准的相关规定。

**3.2.3** 超高性能混凝土预制墙板采用的安装紧固件规格应根据计算确定，应具有足够的承载力和可靠性，预埋套筒、螺栓、锚栓、铆钉等紧固件应分别符合现行国家有关标准的规定。

**3.2.4** 超高性能混凝土预制墙板采用的安装转接件和挂装件规格应根据计算确定，应具有足够的承载力和可靠性，并具有三维位置可调能力。

**3.2.5** 超高性能混凝土预制墙板中的预埋件应采用不锈钢材质，并应对预埋件进行拉拔力和剪切力试验，并提供检测报告。

**3.2.6** 超高性能混凝土预制墙板用钢材必须采取防腐蚀措施，背附钢架及连接件宜采用整体热浸镀锌，镀锌层厚度应符合设计要求，镀锌质量应符合现行国家标准《金属覆盖层钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定，镀锌层破坏后应涂刷富锌材料。开放式超高性能混凝土预制墙板用钢材应做好防腐防锈处理，闭口截面型材端部应封闭，防腐底漆规格以及涂装要求应符合相关规范要求；焊缝位置宜采用环氧富锌底漆涂刷两遍并喷涂防水涂料处理，避免焊缝与空气及雨水的接触。

## 3.3 密封材料

**3.3.1** 超高性能混凝土预制墙板用建筑密封材料应符合国家现行相关标准的规定及设计要求。

**3.3.2** 结构密封胶应符合现行国家标准《建筑用硅酮结构密封胶》GB16776的规定；建筑密封胶应符合现行国家现行标准《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T14683，《混凝土接缝用建筑密封胶》JC/T881的规定。

**3.3.3** 密封胶对超高性能混凝土预制墙板应具有良好的相融性，并不应产生影响饰面效果的污染。

## 3.4 其他材料

**3.4.1** 颜料

超高性能混凝土预制墙板在生产过程中需要添加颜料调整颜色的，宜采用无机颜料或矿物颜料，所使用的颜料应符合现行行业标准《混凝土和砂浆用颜料及其试验方法》JC/T 539的规定。

【条文说明】超高性能混凝土外墙板对表面效果和颜色要求较高，无机颜料或矿物颜料具有较好的耐久性和稳定性。如需使用有机颜料或者其他颜料，除应符合上述标准的要求外，应对其颜色的稳定性和耐久性以及对超高性能混凝土性能的影响进行试验验证和充分评估后方可采用。

**3.4.2** 超高性能混凝土预制墙板表面防护剂

**1** 超高性能混凝土预制墙板用表面防护材料应符合JCT902《建筑表用用有机硅防水剂标准》或者JCT2586-2021《装饰混凝土防护材料》的规定及要求。

**2** 超高性能混凝土预制墙板表面防护材料宜选用渗透型表面防护材料，且防护时效性不应少于五年。

# 4 建筑设计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 超高性能混凝土预制外墙的建筑设计应根据建筑物的建筑美学和使用功能，并综合考虑工艺工法的合理性，进行立面分格与构造设计。

【条文说明】当立面设计进行材料选择时，容易忽视材料的不同工艺对最终表达效果的影响。立面划分与构造措施进行设计时，应关注到材料的工艺制造，从而开展针对性的细部设计。

**4.1.2** 超高性能混凝土预制外墙的热工设计应符合现行《公共建筑节能设计标准》GB50189、《民用建筑节能设计标准》JGJ 26及各地方的居住建筑节能设计标准的规定。

【条文说明】当建筑设计被要求需要满足超低能耗或近零能耗时，还应遵循相关国家、地区的规范、标准等的技术要求。

**4.1.3**  超高性能混凝土预制外墙的性能设计应根据建筑物所在地的地理、气候、环境，建筑物的类别、体型、高度，使用功能以及使用年限等条件进行设计。

【条文说明】超高性能混凝土（UHPC）属于性能相对较好，适用范围较广的新型建筑材料。但仍不能忽视特殊环境对建筑材料的影响，对材料工艺的影响、对材料耐久性与外墙构造的影响。

**4.1.4**  超高性能混凝土预制外墙中的门窗大小、数量、位置及外观应满足立面效果和使用功能要求。

【条文说明】考虑到超高性能混凝土（UHPC）的材料与工艺，对于集成设计的合理性应进行评估。在确保满足使用需求的前提下，还应确定其系统的安全性等。

## 4.2 性能与检测要求

**4.2.1** 超高性能混凝土预制外墙风荷载标准值按本规程5.3.1条规定进行计算。在风荷载标准值作用下，预制外墙变形不应大于规定值，并且不应发生破坏。

【条文说明】非抗震设计的高层建筑，在风荷载作用下也会产生层间位移，其幕墙的平面内变形性能应按照主体结构楼层风荷载作用下的最大弹性层间位移角限值确定。

**4.2.2** 预制外墙抗震变形能力设计应满足本规程6.1.4条的要求。预制外墙在平面内变形不小于主体结构弹性层间位移角限值下的性能检测时，应保持性能完好;在平面内变形性能指标值(不小于主体结构弹性层间位移角限值的3倍)下检测时幕墙不应发生严重破损。

【条文说明】根据“中震可修”的抗震设防目标，在平面内变形性能指标值（不小于主体结构弹性层间位移角限值的3倍）下检测，允许幕墙发生非严重破损，可在一般修理后继续进行试验。

**4.2.3**  封闭式超高性能混凝土预制外墙的水密性能设计应符合下列规定：

**1** 易受热带风暴和台风袭击的地区，水密性能设计取值应按下式计算，且固定部分的取值不应低于1000Pa:

 (4.2.3)

式中：——水密性能设计取值（风压力插值）（Pa）；

——基本风压（kN/m2），应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的规定采用；

——风压高度变化系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的规定采用；

——局部风压体型系数，可取1.2。

**2** 其他地区水密性能可按第1款计算值的75%进行设计，且固定部分的取值不宜低于700Pa。

**3** 可开启部分的水密性能等级宜与固定部分对应。

**4.2.4** 封闭式超高性能混凝土预制外墙的气密性能设计应符合建筑物所在地区建筑节能设计要求，有采暖、空气调节要求的建筑物，预制外墙整体的气密性能不应低于现行国家标准《建筑幕墙》GB/T21086所规定的2级，其分级指标值不应大于2.0m3/(m2.h)

**4.2.5** 超高性能混凝土预制墙板的传热系数应符合建筑物建筑节能设计对外墙的传热系数要求。

**4.2.6** 超高性能混凝土预制墙板的空气声隔声性能应满足建筑物室内声环境设计要求。

**4.2.7** 超高性能混凝土预制外墙性能检测试件的肌理、构造、安装施工方法应与实际工程一致。

**4.2.8** 超高性能混凝土预制墙板必须经过检测，且性能指标达到规范规定和设计要求后予以实施。

## 4.3 面板接缝设计

**4.3.1** 超高性能混凝土预制外墙的面板接缝应能够适应由于风荷载、地震作用和温度变化以及自重作用而产生的面板相对位移。

**4.3.2** 超高性能混凝土预制外墙面板接缝设计应根据建筑装饰效果和面板材料特性确定。预制外墙板宜优先采用构造式接缝，可以采用材料密封接缝设计。

**4.3.3** 封闭式墙板缝设计应根据超高性能混凝土特性、板缝变化影响因素和密封材料特性，确定板缝宽度尺寸和密封胶及密封胶条的规格尺寸。

**4.3.4** 注胶封闭式预制外墙板缝的密封胶，应根据超高性能混凝土的材质和接缝的设计要求选用，胶缝的宽度不宜小于6mm，密封胶与面板的粘结厚度不宜小于6mm。板缝底部宜采用衬垫材料填充，防止密封胶三面粘结。

**4.3.5** 胶条封闭式超高性能混凝土预制外墙，面板之间”十字”接头部位的纵、横密封胶条交叉处应采取防水密封措施。

**4.3.6** 开缝式板缝设计应对面板后补空间采取有效排水措施防止积水。

**4.3.7** 构造式预制板缝设计应符合下列规定：

**1** 预制外墙的构配件在对板缝进行搭接密封处理时，最小搭接宽度应满足防渗要求，防止雨水大量渗入幕墙内部，背部空间按应防止积水，并采取有效的排水措施。

**2** 预制外墙板间进行插入式连接板缝时，最小插入深度满足结构性能要求，同时防止雨水倒灌，应采取有效措施设置疏水系统。

**4.3.8** 嵌条式的板缝设计应符合下列规定：

**1** 嵌条遮挡式的面板与嵌条之间应预留一定的间隙；

**2** 竖向板缝采用嵌条遮挡式的预制外墙，其水平方向板缝宜采用开缝式或搭接式；

**3** 竖向和水平方向板缝均采用嵌条遮挡式的预制外墙，应在该幅预制墙体的底部和顶部设置一定通风面积的进风口和出风口，以形成有效的背部通风空间；

**4** 面板背面有保温材料时，应有防水、防潮和保持通风的措施。

## 4.4 构造与连接设计

**4.4.1** 超高性能混凝土预制外墙板构造应满足维护要求，墙板宜便于更换。

【条文说明】在安全、实用、美观的前提下，便于制作、安装、维修保养和局部更换，是幕墙的构造设计必须遵循的原则。在人造板材面板中，多数是脆性材料，使用过程中难免会产生破坏，需要进行更换，应考虑便于更换的措施。

**4.4.2** 采用封闭式板缝设计的幕墙，板缝密封采用注胶封闭时宜设水蒸汽透气孔，采用胶条封闭时应有渗漏雨水的排水措施，采用开放式板缝设计的外墙板，面板后部应设计防水层。

【条文说明】采用密封胶条镶嵌密封的封闭式幕墙板缝通过弹性胶条受压后产生密封效果。单元式幕墙板块接缝通常采用2-3道胶条形成1-2个等压舱，防止雨水渗入，但不可避免会有微量雨水进入幕墙系统之内，尤其是采用两道胶条（内外各一道胶条）进行密封时，更加不可避免。因此，应设置导排水系统将渗入的雨水排出。

**4.4.3** 开放式预制外墙宜在面板的后部空间设置防水构造，或者在幕墙后部的其他墙体上设置防水层，并宜设置可靠的导排水系统和采取通风除湿构造措施。面板与其背部墙体外表面的最小间距不宜小于20mm，防水构造及内部支撑金属结构应采用耐候性好的材料制作，并采取防腐措施。寒冷及严寒地区的开放式超高性能混凝土预制外墙，应采取防止积水、积冰和防止预制墙体结构及面板冻胀损坏的措施。

【条文说明】开放式幕墙没有水密性能要求，其中开缝式幕墙板缝不做防水密封，允许雨水流入面板背部空间；遮挡式幕墙板缝，潮湿气流和少量被风带入或渗入的雨水，都会造成幕墙面板后部的潮湿空间。为了保证幕墙的耐久性，防止雨水侵蚀幕墙构件、主体结构和保温层，应设置可靠的导排水系统，并加强面板后部空间的防风除湿能力。面板后面的保温层，可采用铝板、镀锌钢板或其他耐候防水材料进行隔离，防止雨水浸泡，降低保温性能；内部支承金属结构，应加强防腐措施，保证其耐久性。

**4.4.4** 超高性能混凝土预制外墙的保温构造设计应符合下列规定：

**1** 当墙体设置保温层时，保温材料的厚度应符合设计要求，保温材料应采取可靠措施固定；

**2** 在严寒和寒冷地区，保温层靠近室内的一侧应设置隔汽层，隔汽层应完整、密封，穿透保温层、隔汽层处的支撑连接部位应采取密封措施；

**3** 预制墙板与周边墙体、门窗的接缝以及变形缝等应进行保温设计，在严寒、寒冷地区，保温构造应进行防结露验算。

**4.4.5** 有雨蓬、压顶以及其他凸出结构时，应完善其结合部位的防水构造设计。

【条文说明】幕墙立面与雨棚、压顶以及其他凸出或凹下（如排水沟）结构的结合部位，是最容易发生雨水渗漏的位置，一旦发生渗漏，也难于寻找渗漏源头，所以应注意完善其结合部位的防水构造设计。

**4.4.6** 超高性能混凝土预制外墙与主体结构变形缝相对应的构造缝，应能够适应主体结构的变形要求，构造缝可采用柔性连接装置或设计易修复的构造。预制外墙不宜跨越主体结构的变形缝。

【条文说明】主体变形缝两侧会发生较大的相对位移，跨越变形缝的幕墙板块很容易破坏。因此幕墙板块不宜直接跨越变形缝，而应当采用与主体结构变形相适应的构造措施。实在不能避免时，可采用柔性连接装置或设计易修复的构造。

**4.4.7** 超高性能混凝土预制外墙构件之间的连接构造应采取措施，适应构件之间产生的相对位移和防止产生摩擦噪声。

**4.4.8** 超高性能混凝土预制外墙中不同种类金属材料的直接接触处，应设置绝缘垫片或采取其他有效地防止双金属腐蚀措施。

【条文说明】不同金属相互接触处容易产生双金属腐蚀，降低幕墙的耐久性或污染幕墙表面。因此，要求设置绝缘垫片或采取其他措施防止两种不同金属直接接触。在正常使用条件下，不锈钢材料不易发生双金属腐蚀，可不要求设置绝缘垫片。

## 4.5 防火与防雷设计

**4.5.1** 超高性能混凝土预制外墙的防火设计应符合现行国家标准《建筑防火通用规范》GB55037和《建筑设计防火规范》GB50016的规定。

【条文说明】现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016对建筑幕墙的防火设计均作出了明确规定，并且是强制性条文。预制外墙板的防火设计、防火封堵材料的选用、防火封堵构造及其耐火极限，应符合相关规定。

**4.5.2** 超高性能混凝土预制外墙的耐火极限应符合下列规定：

**1**  背后有其他围护墙体时，该围护墙体应为不燃烧体，耐火极限不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016关于外墙耐火极限的有关规定。

**2** 背后无其他围护墙体时，预制外墙的耐火极限不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016关于外墙耐火极限的有关规定。

**4.5.3** 超高性能混凝土预制外墙板与楼板、隔墙处的建筑缝隙应采用防火材料封堵，其耐火性能不应低于现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016对相邻楼板、 隔墙的耐火极限要求。

**4.5.4** 超高性能混凝土预制外墙板的防火封堵构造系统应具有伸缩能力、密封性和耐久性；遇火时，在规定的耐火极限内应保持完整性、隔热性和稳定性。防火封堵系统所使用的材料应满足现行国家标准《防火封堵材料》GB23864有关缝隙封堵材料的要求。

【条文说明】受到温度和温差的影响时，防火封堵容易出现变形、开裂甚至脱落等问题。因此，幕墙的防火封堵系统应具备相应的耐久性、稳定性和适应变形的能力。幕墙的防火封堵构造系统应根据缝隙的宽度、位置、缝隙性质（如是否发生伸缩变形等）、相邻构件的材质、周边其他环境因素以及建筑功能要求，综合考虑，合理设计。防火封堵系统的所用的防火封堵材料，应符合现行国家标准《防火封堵材料》GB23864的规定并具备设计规定的防火极限。

**4.5.5** 超高性能混凝土预制外墙板与楼板、防火分区个墙间的缝隙采用岩棉或矿渣棉封堵时，其填充厚度不应小于100mm；其支撑材料应采用厚度不低于1.5mm的镀锌钢板或其他符合现行国家标准《不燃无机复合板》GB25970中规定的、且名义密度不小于1.5g/cm3、厚度不小于10mm的不燃无极复合板；承托板与预制外墙结构和结构以及承托板之间的缝隙，应采用符合现行标准《防火封堵材料》GB23864规定的缝隙封堵材料、防火密封胶或现行国家标准《建筑用阻燃密封胶》GB/T24267规定的建筑用阻燃密封胶进行有效密封。

【条文说明】由于岩棉或矿棉比较松散，因此，采用岩棉或矿棉进行防火、防烟封堵时，应加以承托或封修。承托板或封修板应采用耐火极限符合要求的板材，并应具有一定的强度和刚度，防止在火焰或高温作用下变形、脱落。一般情况下，工程中可采用经防腐处理、厚度不小于1.5mm的钢板制作，不得采用单层铝板、铝复合板等作为承托板或封修板。

**4.5.6** 超高性能混凝土预制外墙板的防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB50057的规定。当预制外墙板有金属框架外露时，应与主体结构的防雷装置可靠连接，并保持导电通畅。

【条文说明】现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB50057中，规定了“建筑物外墙上的栏杆、金属门窗等较大的金属物直接或通过预埋件与防雷装置相连”的防侧击措施。预制外墙板防雷设计应符合这一要求。

# 5 结构设计基本规定

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 超高性能混凝土预制外墙应按围护结构设计，其承载力计算、变形和裂缝验算除应符合本规程的规定外，尚应符合现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458。

【条文说明】超高性能混凝土预制外墙是建筑物的围护结构，除承受自身重力荷载外，还承受作用其上的风荷载、地震作用以及温度作用等，不分担主体结构承受的荷载和地震作用，超高性能混凝土预制外墙应具有足够的承载力、抗裂性、刚度和稳定性。

**5.1.2** 超高性能混凝土预制外墙与主体结构的连接采用点支承连接时，竖向承重节点不宜少于2个，验算时计算承重节点不宜多于2个。超高性能混凝土预制外墙非承重节点可采用耗能节点连接。

【条文说明】实际工程中，墙板的竖向荷载很难均匀分布在2个以上的支点上，不准确的荷载预测可能导致连接节点过载。超高性能混凝土预制外墙板与主体结构之间应具有一定的相对位移能力。超高性能混凝土预制外墙板的非承重节点可以采用耗能节点连接，在地震作用下，耗能节点耗能降低主体结构的地震响应。

**5.1.3** 超高性能混凝土预制外墙板应分别计算生产、运输、施工阶段和使用阶段的作用效应，并应按本标准第5.4节的规定进行作用效应组合，按各效应组合中的最不利组合进行设计。

**5.1.4** 对于承载力极限状态，超高性能混凝土预制外墙板及连接节点应按下列规定验算承载力：

**1** 无地震作用效应组合时，承载力应符合下式要求：

 （5.1.4-1）

**2** 有地震作用效应组合时，构件承载力应符合下式要求：

多遇地震时，预制外墙板和连接节点进行弹性设计；设防地震时，连接节点进行弹性设计：

 （5.1.4-2）

罕遇地震时，连接节点进行不屈服设计：

 （5.1.4-3）

**3** 防坠落设计时，单个承重连接节点的承载力应符合下列要求：

 （5.1.4-4）

式中：——承载能力极限状态下荷载作用基本组合效应值；

——重力荷载代表值；

——地震作用效应标准值，如果不考虑竖向地震作用效应，，如果需要考虑竖向地震租用，或，为水平地震荷载效应标准值，为竖向地震荷载效应标准值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的抗力设计值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的抗力标准值；

——超高性能混凝土预制外墙构件重要性系数，取不小于1.0；

——超高性能混凝土预制外墙构件承载力抗震调整系数，取1.0。

【条文说明】构件按不屈服设计按设防地震反应谱或罕遇地震反应谱计算地震作用，荷载组合时地震作用工况荷载组合分项系数取为1.0，并按材料强度的标准值进行外墙板构件设计。

**5.1.5** 对于正常使用极限状态，超高性能混凝土外墙构件采用下列极限状态设计表达式进行验算

 （5.1.5）

式中：—正常使用极限状态下荷载标准组合或准永久组合的效应值；

C—外围护构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度等限值。

**5.1.6** 对于正常使用极限状态，超高性能混凝土预制外墙构件应验算裂缝和挠度，裂缝并应符合下列规定：

**1** 在标准组合荷载下，无配筋的超高性能混凝土预制外墙板宜不开裂。

 **2** 在标准组合荷载下，有配筋的超高性能混凝土预制外墙面板室外侧不应开裂，室内侧裂缝控制等级为三级，裂缝宽度满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

【条文说明】超高性能混凝土预制外墙通常不配置钢筋，且考虑外墙美观的需求，外围护构件宜不开裂。行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458-2018第6.5.1条规定：外挂墙板建筑外表面在温度和10年一遇风荷载作用下裂缝控制等级为二级，当外挂墙板采用抗裂和防水性能强的饰面材料时，风荷载和温度作用下的裂缝控制等级可适当放宽当不应低于三级。UHPC构件表面一般涂防护剂，不会采用抗裂的饰面材料，因此超高性能混凝土预制外墙板在标准荷载组合下面板室外侧表面不开裂，对于室内侧允许开裂，裂缝宽度满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

**5.1.7** 根据锚固连接破坏后果的严重程度，超高性能混凝土预制外墙构件的锚固设计应按本标准表5.1.7的规定确定相应的安全等级。

表5.1.7 锚固连接安全等级

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

## 5.2 超高性能混凝土材料力学性能

**5.2.1** 超高性能混凝土的性能应符合表5.2.1的规定。

表5.2.1 超高性能混凝土性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 性能 | 要求 | 试验方法 |
| 抗压强度标准值（MPa） | ≥120 | T/CECS10107-2020 |
| 受压弹性模量（MPa） | >40 | T/CECS10107-2020 |
| 扩展度(mm) | >650 | T/CECS10107-2020 |
| 扩展时间(s) | <10 | T/CECS10107-2020 |
| 氯离子扩散系数(\*10-12m2/s) | <0.6 | T/CECS10107-2020 |
| 干燥收缩(\*10-6) | <300 | T/CECS10107-2020 |
| 早龄期自收缩(\*10-6) | <1000 | T/CECS10107-2020 |
| 预埋套筒抗拉拔强度（KN） | >5 | GB/T9966.7-2001 |

**5.2.2** 超高性能混凝土轴心抗拉性能分级为 UT1、UT2、UT3、UT4 四个等级，其中UT1 为应变软化型，UT2、UT3、UT4 为不同程度应变硬化型。不同抗拉性能等级超高性能混凝土弹性极限抗拉强度的标准值，抗拉强度的标准值以及抗拉强度对应的应变应按表 5.2.2 取值。

表5.2.2 超高性能混凝土

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 |  |  |  |  |
|  | 5.0 | 5.0 | 7.0 | 10.0 |
|  | 3.5 | 5.0 | 7.7 | 12.0 |
|  | 0.7 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
|  | - | 0.10% | 0.15% | 0.20% |

注：弹性极限抗拉强度的标准值，抗拉强度的标准值应按本规程附录A或B的试验方法进行测试。

 

（a）UT1应变软化型 （b）UT2~UT4应变硬化型

图5.2.2 超高性能混凝土单轴受拉应力-应变关系模型

【条文说明】本条参照《超高性能混凝土(UHPC) 技术要求》T/CECS 10107 - 2020第4.2.3 条的规定。目前不同的标准给出不同的受拉应力应变设计曲线，澳大利亚规范、日本技术规范和美国设计指南的受拉应力应变曲线为三折线模型，分别为弹性段、硬化段及下降段。考虑超高性能混凝土预制外墙板受荷较小，且外墙板不宜开裂，本条规定的超高性能混凝土单轴受拉应力-应变关系模型取三折线模型的弹性段和硬化段。

（1）中国工程建设标准化协会标准《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》规定超高性能混凝土轴心受拉性能如图 1所示。



图 1 超高性能混凝土轴心抗拉性能

（2）澳大利亚规范《degign Guddelines for PRC Prestressed Concrete Beams》规定受拉的应力应变曲线如图 2，规定了纤维掺入量及抗拉设计强度5.0Mpa。



图 2 澳大利亚规范抗拉应力应变关系

（3）日本UHPC技术规程 2004年日本土木工程学会（JSCE）颁布的《超高強度繊維補強コンクリートの設計施工指針(案)》规定超高强度混凝土的钢纤维体积掺量不小于2%，受拉应力应变曲线如图 3 所示。



图 3 日本技术规程的抗拉应力应变关系

（4）美国《Design Guide for precast UHPC Waffle Deck Panel System,including Connections》规定UHPC材料的钢纤维重量百分比为6.2%，其推荐的UHPC材料受拉应力应变关系如图 4所示。



图 4 美国设计指南的抗拉应力应变关系

**5.2.3** UHPC材料弹性抗拉强度设计值及抗拉强度设计值由下列公式进行计算：

**1** 应变软化型超高性能混凝土

 （5.2.3-1）

 （5.2.3-2）

 （5.2.3-3）

**2** 应变硬化型超高性能混凝土

 （5.2.3-4）

 （5.2.3-5）

式中：——UHPC弹性抗拉强度设计值（MPa）

——UHPC弹性抗拉强度标准值（MPa）；

——UHPC抗拉强度设计值（MPa）；

——UHPC抗拉强度标准值（MPa）；

——与构件尺寸和制作工艺相关的系数。采用UHPC进行整体计算分析时，；采用UHPC进行局部计算分析时，；

——分项系数。对于不配筋结构，=1.4；对于配筋UHPC结构，=1.3；

——纤维分布方向上构件厚度的影响系数，按图5.2.3取值；

——考虑荷载作用持续性的系数，。极端作用下，如撞击或爆炸，系数 ηt >1.0， 具体数值可通过试验进行确定。



图5.2.3 构件厚度的系数

【条文说明】应变软化型超高性能混凝土材料（UT1）开裂后强度快速下降，规程规定应变软化型超高性能混凝土材料的抗拉强度设计值为弹性极限抗拉强度设计值的0.7倍，以确保设计安全。

**5.2.4** 超高性能混凝土受压或受拉时的弹性模量宜按表5.2.4采用。当有可靠试验依据时，应按实测数据确定，试验方法应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387规定。超高性能混凝土的剪切变形模量可按相应弹性模量的40%采用。超高性能混凝土的泊松比可按0.2采用。

表5.2.4 超高性能混凝土弹性模量

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | UC 120 | UC 140 |
| （） | 4.2 | 4.5 |

## 5.3 荷载作用

**5.3.1** 超高性能混凝土预制外墙的风荷载标准值应按下式计算，并且不应小于1.0kN/m2：

 (5.3.1)

式中：——风荷载标准值(kN/m2)；

——阵风系数，按现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001和《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定确定；

——风荷载局部体型系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定确定；

——风压高度变化系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定确定；

——基本风压(kN/m2)，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定确定。

**5.3.2** 当超高性能混凝土预制外墙构件安装高度大于200m或体型复杂、风荷载环境复杂时，宜进行风洞试验确定风荷载。

【条文说明】高度大于200m的建筑是风敏感建筑，对于体型复杂、风荷载环境复杂的建筑，风荷载体型系数较难依据《建筑结构荷载规范》GB 50009取值，所以宜进行风洞试验确定风荷载。

**5.3.3** 垂直于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的分布水平地震作用标准值可按下式计算：

 (5.3.3)

式中：——垂直于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的分布水平地震作用标准值(kN/m2)；

——动力放大系数，可取5.0；

——水平地震影响系数最大值，按国家现行标准《建筑抗震设计规范》 GB50011取值；

——超高性能混凝土预制外墙构件的重力荷载标准值(kN)；

——超高性能混凝土预制外墙构件平面面积(m2)。

**5.3.4** 平行于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的集中水平地震作用标准值可按下式计算：

 (5.3.4)

式中：——平行于超高性能混凝土预制外墙构件面板平面的集中水平地震作用标准值(kN)。

**5.3.5** 超高性能混凝土预制外墙构件的竖向地震作用标准可取水平地震作用标准值的65%。

**5.3.6** 超高性能混凝土预制外墙板外表面温度宜根据基本气温、外表面朝向、表面材料及其色调，并宜结合试验确定；内表面温度可按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176的有关规定确定；基本气温宜安现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的有关规定确定。

【条文说明】夏季太阳辐射对外表面最高温度的影响，与当地气温情况、外表面所处方位、表面材料色调等因素有关，不宜简单近似。计算当地气温时可参考现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009。外表面的材料及其色调对表面温度的影响明显，表 1是欧洲标准EN1991-1-5对外挂墙板考虑太阳辐射的围护结构外表面温度的规定。

表 1 欧洲标准EN1991-1-5对外挂墙板考虑太阳辐射的围护结构外表面温度的规定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 季节 | 太阳辐射吸收系数（表面明暗色调） | 外表面温度（。C） |
| 东北向墙面 | 西南向墙面 |
| 夏季 | 0.5（光亮表面） |  |  |
| 0.7（浅色表面） |  |  |
| 0.9（暗淡表面） |  |  |
| 冬季 |  |  |

注：和分别为最热和最冷月平均温度

美国ASTMC1472标准中规定，考虑到墙板绝缘程度和太阳辐射不足，冬季外墙面温度可以按最低基本气温确定。而夏季外墙外表面最高温度T按下式计算:

 （ 1 ）

式中：——当地最高基本气温；

——太阳辐射吸收系数，根据试验确定，无可靠资料时，参考表8确定；

——热容常数，混凝土墙板可取42；当周边有反射材料将光线反射到混凝土墙板上时取56。

表 2 美国ASTM C1472标准规定的太阳辐射吸收系数

|  |  |
| --- | --- |
| 材料 | 太阳辐射吸收系数 |
| 未涂漆混凝土 | 0.65 |
| 白色大理石 | 0.58 |
| 油漆 | 深红色、棕色或绿色 | 0.65~0.85 |
| 黑色 | 0.85~0.98 |
| 白色 | 0.23~0.49 |
| 白色石膏 | 0.30~0.50 |
| 钢铁 | 0.65~0.85 |
| 其他材料 | 表面颜色黑色 | 0.95 |
| 表面颜色深灰 | 0.80 |
| 表面颜色淡灰 | 0.65 |
| 表面颜色白色 | 0.45 |

## 5.4 作用组合效应

**5.4.1** 超高性能混凝土预制外墙结构构件、预埋件、连接件按承载力极限状态设计时，荷载作用效应组合采用基本组合，应按荷载作用效应的最不利组合进行设计：

**1** 无地震作用效应组合时，应按下式进行：

 （5.4.1-1）

**2** 有地震作用效应组合时，应按下式进行：

多遇或设防地震时，应按下式进行：

 （5.4.1-2）

式中：——荷载作用基本组合效应；

——永久荷载效应标准值；

——第1个可变作用（主导可变作用）的标准值，对于预制外墙构件，指风荷载标准值或温度作用标准值；

——第j个可变作用的标准值，对于预制外墙构件，指风荷载标准值或温度作用标准值；

——重力荷载代表值效应；

——水平地震作用标准值的效应；

——竖向地震作用标准值的效应；

——重力荷载分项系数，对承载力不利时，，对承载力有利时，；

——第1个可变作用（主导可变作用）的分项系数，对于风荷载和温度作用，=1.5；

——第j个可变作用的分项系数，对于风荷载和温度作用，=1.5；

——组合值系数，风荷载和温度作用的组合值系数为0.6；

、——分别为水平、竖向地震作用分项系数，其取值不应低于表5.4.1的规定；

——风荷载的分项组合系数。对于风荷载起控制作用的建筑结构，应取0.2。

表5.4.1 地震作用分项系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地震作用 |  |  |
| 仅计算水平地震作用 | 1.4 | 0.0 |
| 仅计算竖向地震作用 | 0.0 | 1.4 |
| 同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主） | 1.4 | 0.5 |
| 同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主） | 0.5 | 1.4 |

【条文说明】荷载作用分项系数应满足现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002和《建筑结构荷载规范》GB50009的要求。

**5.4.2** 超高性能混凝土预制外墙荷载作用效应标准组合可按公式（5.4.2-1）计算，准永久组合按公式（5.4.2-2）计算：

**1** 标准组合

 （5.4.2-1）

**2** 准永久组合

 （5.4.2-2）

式中： ——荷载作用标准组合效应或准永久组合效应；

——第1个可变作用（主导可变作用）的标准值，风荷载标准值或温度荷载作用的标准值；

——第j个可变作用的标准值，风荷载标准值或温度荷载作用标准值；

——重力荷载分项系数，当重力荷载对结构有利时，，当重力荷载对结构不利时，；

——准永久值系数，风荷载的准永久值系数为0，温度作用的准永久值系数为0.4。

**5.4.3** 超高性能混凝土预制外墙构件进行挠度验算时，其荷载作用效应采用标准组合，且应符合5.4.2条规定。

【条文说明】《混凝土结构设计规范》GB50010规定钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载的准永久组合，由于风荷载的准永久值系数为0，而竖直安装的预制外墙构件，面外变形主要由风荷载或面外地震荷载引起，倾斜安装的预制外墙构件的面外变形主要由自重、风荷载或面外地震荷载引起，因此本条规定超高性能混凝土预制外墙构件的挠度变形采用标准组合进行计算。该条规定与《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423对GRC外围护构件变形的规定一致。

**5.4.4** UHPC预制外墙板构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取1.2。

**5.4.5** 预制构件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的1.5倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

**1** 动力系数不宜小于1.2；

**2** 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于1.5kN/m2。

【条文说明】 对于造型复杂的超高性能混凝土预制外墙板，脱模吸附力需根据试验确定。

**5.4.6** UHPC预制外围护结构防坠落设计时，荷载组合的效应设计值可按下式确定：

（1）竖挂墙板

 （5.4.6-1）

（2）倾斜挂墙板

 （5.4.6-2）

式中：——风荷载组合值系数，应取0.2。

【条文说明】挂墙板的承重节点一般为2个，本条主要规定1个承重节点破坏时，荷载由未发生破坏的承重节点承担，为防止墙板发生坠落，需要对单独承重的节点进行防坠落验算。承重节点失效的瞬间，墙板瞬间发生移位，需考虑动力放大系数，本条规定动力放系数取值2.0。

## 5.5 构件设计

**5.5.1** 超高性能混凝土预制外墙构件正截面抗弯承载力计算基本假定应符合以下要求：

**1** 截面保持平面；

**2** 超高性能混凝土受压应力与应变关系采用线性表达式；

**3** 超高性能混凝土受拉应力与应变关系采用线性表达式或非线性表达式。

【条文说明】超高性能混凝土抗压强度高，外墙板的压应力一般不会达到抗压强度设计值，因此受压应力应变关系采用线性表达式，受拉应力应变关系根据预制外墙板的超高性能混凝土材料为应变软化型或应变硬化型分别采用线性表达式或非线性表达式。

**5.5.2**对于应变软化型超高性能混凝土，无配筋超高性能混凝土预制外墙构件矩形截面抗弯承载力应符合下列规定



图5.5.2 配置纵向普通钢筋的矩形截面UHPC受弯构件正截面承载力计算

（5.5.2-1）

 （5.5.2-2）

式中：——UHPC材料的抗拉强度设计值；

——截面宽度；

——截面高度；

——弯矩设计值；

——UHPC材料抗拉强度设计值对应的拉应变。

【条文说明】超高性能混凝土受拉应力应变曲线为软化型曲线时，抗拉设计强度值为0.7倍的弹性极限抗拉强度标准值，超高性能混凝土预制外墙构件达到抗弯设计极限承载力时，处于线弹性状态，按平截面假定进行计算。目前针对掺入有机纤维和无机纤维的超高性能混凝土研究资料较少，宜偏安全的按本条计算公式进行极限抗弯承载力计算，且抗拉强度设计值不大于弹性极限抗拉强度标准值。

**5.5.3** 对于应变硬化型钢纤维超高性能混凝土，无配筋超高性能混凝土预制外墙构件矩形截面抗弯承载力应符合下列规定：

 （5.5.3）



图5.5.3 硬化型钢纤维超高性能混凝土无筋矩形截面受弯构件应力应变分布

【条文说明】澳大利亚、日本、美国标准推荐的UHPC受拉应力应变关系为三折线模型，且第二段硬化段为水平直线。借鉴国外标准推荐的本构曲线关系，本规程规定应变硬化型UHPC材料的本构曲线（UT2~4）采用双折线模型，在抗弯承载力计算时偏安全的将硬化段简化为水平直线段，即抗拉强度设计值和弹性抗拉强度设计值相同，应力分布如图5.5.3，简化了截面抗弯承载力计算。本条规定应变硬化型的超高性能混凝土构件，当受拉边缘应变达到应力应变曲线硬化段端点时，受弯构件达到极限承载力。当受拉边缘应变达到极限应变时，受压边缘应变不一定达到极限压应变。

湖南大学方志等人在《无筋超高性能混凝土板的受弯性能及承载力计算》一文中提出受拉区的应力等效为矩形分布，应力值为，其中，，基于极限状态时截面的平衡条件和变形协调条件计算截面的极限抗弯承载能力。

国外规范对于无筋UHPC截面一般给出截面应力应变分布图，未给出具体计算公式。如澳大利亚《degign Guddelines for PRC Prestressed Concrete Beams》5.1条规定了无配筋受弯构件截面的应力应变图（图 5），当受拉边缘应变达到抗拉应力应变曲线硬化段结束端的应变时，认为达到无筋构件极限弯矩值，为构件边缘压应变，设计弯矩值为计算极限弯矩值的0.7倍。



图 5 无筋截面UHPC受弯构件应力应变分布图

法国规范《National addition to Eurocode 2—Design of concrete structures :specific rules for Ultra-High Perfomance Fibre-Reinforced Concrete (UHPFRC)》规定无筋截面的纯弯或压弯承载力能力计算方法：采用平截面假定；对于给定的变形，受拉应力或受压应力通过本构关系计算获得。规范给出应变分布如图6所示，并指出受拉应力应变曲线没有下降段时，构件边缘拉应变限值可以达到极限拉应变，其他情况下，构件边缘拉应变限值通常小于极限拉应变。

 

B—压应变限值

C—纯压应变限值

F—拉应变限值

 图 6 无筋截面UHPC受弯构件极限承载力状态应变图

本规程5.5.2~5.5.3条和《建筑工程超高性能混凝土应用技术规程》T/CECS 1216-2022第5.5.6~5.5.7条关于截面抗弯承载力的对比如下：（1）对于温度效应控制的基本组合，边缘拉应力小于抗拉设计强度值，本规程的规定和T/CECS 1216-2022规定一致；（2）对于风荷载控制的基本组合，本规程规定边缘拉应力小于抗拉设计强度值，T/CECS 1216-2022规定边缘拉应力小于抗弯强度设计值。

**5.5.4** 不配箍筋和弯起钢筋的超高性能混凝土一般板类构件，其斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

 （5.5.4-1）

 （5.5.4-2）

式中：——截面高度影响系数：当小于800mm时，取800；当大于2000时，取2000；

——截面有效高度，无配筋构件，。

【条文说明】国家行业标准《钢纤维混凝土结构设计标准》沿用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010计算不配箍筋和弯起钢筋的板类构件抗剪承载力，增加系数考虑钢纤维的影响，板类构件抗剪承载力为

 （ 2 ）

本标准除了涉及钢纤维，还涉及有机纤维、无机纤维等纤维材料，偏保守的不考虑纤维对抗剪承载力的增强作用，采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010不配筋板类构件的斜截面受剪承载力计算方法。

**5.5.6** 正常使用极限状态下，无配筋超高性能混凝土预制外墙板宜不开裂。荷载标准组合下，构件正截面边缘法向拉应力宜符合下列规定：

 （5.5.6）

式中：——荷载标准组合下，构件正截面边缘法向拉应力。

【条文说明】 本规程规定无筋超高性能混凝土预制外墙板不宜开裂，因此标准组合下，墙板受拉边缘的最大拉应力宜小于弹性极限拉应力。

澳大利亚规定《degign Guddelines for PRC Prestressed Concrete Beams》规定了无配筋受弯构件截面的裂缝宽度按下式计算：

 （ 3 ）

式中，——UHPC构件高度

——UHPC构件受拉边缘应变

对于应变硬化型超高性能混凝土薄板受弯构件，采用式（3），分别计算板厚30、50和100mm情况下，在达到极限拉应力时的裂缝宽度，裂缝宽度计算结果如表 3 裂缝宽度所示。对于100mm以内的构件，在达到峰值应力的应变时，裂缝宽度小于0.3mm。

表 3 裂缝宽度

|  |  |
| --- | --- |
| (mm) | 裂缝宽度（mm） |
| UT2() | UT3() | UT4() |
| 30 | 0.0378 | 0.0603 | 0.0828 |
| 50 | 0.063 | 0.1005 | 0.138 |
| 100 | 0.126 | 0.201 | 0.276 |

**5.5.7** 各施工环节，超高性能混凝土预制外墙板应不开裂，应满足下式要求：

 （5.5.7）

式中：——各施工环节的荷载标准组合下，超高性能混凝土预制外墙板正截面边缘法向拉应力。

## 5.6 连接设计

**5.6.1** 超高性能混凝土预制外墙构件与金属龙骨或主体结构连接处的连接件、焊缝、螺栓等设计，应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99和《铝合金结构设计规范》GB 50429的有关规定。连接处的受力螺栓不应少于2个。

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

**5.6.3** 超高性能混凝土预制外墙连接用的预埋螺纹套筒或钢筋应预埋，宜采用不锈钢材质。

【条文说明】 超高性能混凝土预制外墙必须采用后锚固连接时，需经试验论证后方可使用。

**5.6.4** 超高性能混凝土预制外墙构件与砌体结构连接时，宜在连接部位的主体结构上增设钢筋混凝土圈梁或钢结构梁、柱等支承结构。轻质填充墙不应作为UHPC构件的支承结构。

**5.6.5**  超高性能混凝土预制外墙构件与主体结构的连接应进行承载力设计，符合本规程5.1.4条的规定。

**5.6.6** 埋入UHPC墙板的预埋套筒的抗拉承载力和抗剪承载力应经试验确定，并符合下列规定：

1 预埋套筒连接的受拉承载力设计值应符合下式规定：

 （5.6.6-1）

2 预埋套筒连接的受剪承载力设计值应符合下式规定：

 （5.6.6-2）

式中：——实测所得预埋套筒连接受拉破坏力最小值；

——实测所得预埋套筒连接受剪破坏力最小值；

——预埋套筒抗拉设计值；

——预埋套筒抗剪设计值；

——预埋套筒锚固承载力分项系数，混凝土破坏时，钢材破坏时。

【条文说明】ACI-2019给出锚固承载力的折减系数，对于钢材破坏的情况，锚固强度折减系数如表 4 所示，对于混凝土材料破坏的情况，锚固强度折减系数如表 5 和表 6所示。

表 4 钢材破坏控制工况的锚固强度折减系数

|  |  |
| --- | --- |
| 钢材类型 | 强度折减系数 |
| 钢材受拉 | 钢材受剪 |
| 延性 | 0.75 | 0.65 |
| 脆性 | 0.65 | 0.60 |

表 5 混凝土破裂、粘结失效、边缘破坏等控制工况的锚固强度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 是否有附加钢筋 | 锚固件安装类型 | ACI355.2或ACI355.4的后锚固类别 | 强度折减系数 |
| 受拉（混凝土破裂、粘结失效、边缘破坏） | 受剪（混凝土破裂） |
| 有附加钢筋 | 预埋 | —— | 0.75 | 0.75 |
| 后锚固 | 1 | 0.75 |
| 2 | 0.65 |
| 3 | 0.55 |
| 无附加钢筋 | 预埋 | —— | 0.70 | 0.70 |
| 后锚固 | 1 | 0.65 |
| 2 | 0.55 |
| 3 | 0.45 |

表 6 混凝土锥体受拉破坏控制工况的锚固强度折减系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 锚固件安装类型 | ACI355.2或ACI355.4的后锚固类别 | 强度折减系数 |
| 受拉（锥体受拉破坏） | 受剪（剪翘破坏） |
| 预埋 | —— | 0.70 | 0.70 |
| 后锚固 | 1 | 0.65 |
| 2 | 0.55 |
| 3 | 0.45 |

综上，ACI-2019中受拉预埋锚固件混凝土破坏折减系数为0.70（相当于分项系数为1.43），受剪锚固件混凝土破坏强度折减系数为0.70（相当于分项系数为1.43），钢材延性破坏强度折减系数为0.75（相当于分项系数为1.33），钢材脆性破坏强度折减系数为0.60~0.65（相当于分项系数为1.53~1.66）。

《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》锚固承载力分项系数依据《混凝土结构后锚固技术规程》进行取值。《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145第4.3.10条，混凝土非结构构件后锚固连接承载力分项系数取值如表 7 所示。

表 7 非结构构件后锚固连接件的承载力分项系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项次 | 锚固破坏类型 | 非结构构件 |
| 1 | 混凝土锥体受拉破坏 | 1.8 |
| 2 | 混凝土边缘受剪破坏 | 1.5 |
| 3 | 混凝土劈裂破坏 | 1.8 |
| 4 | 混凝土剪撬破坏 | 1.5 |
| 5 | 混合破坏 | 1.8 |
| 6 | 锚栓钢材受拉破坏 | 1.2 |
| 7 | 锚栓钢材受剪破坏 | 1.2 |

本规程对锚固件承载力分项系数取值进行简化，当发生混凝土破坏时，参照《混凝土结构后锚固技术规程》，分项系数取1.8，当发生钢材破坏时，分项系数取1.5。

缺乏试验数据时，预埋套筒锚固抗拉和抗剪承载力可按下列方法计算：

（1）预埋套筒锚固抗拔承载力（参照文献《Pull-out strength of post-installed connectors in thin UHPC members》）：

 （ 4 ）

（2）预埋套筒锚固抗剪承载力（参照文献《Shear strength of post-installed connectors in thin UHPC precast walls》）：

 （ 5 ）

式中：——混凝土立方体抗压强度标准值；

d——预埋套筒直径；

——预埋套筒埋入深度；

——纤维含量；

——UHPC板厚度；

——预埋套筒到板边的距离。

**5.6.7** 拉剪复合受力下预埋套筒材料破坏时承载力应符合下列公式要求：

 (5.6.7)

**5.6.8** 拉剪复合受力下超高性能混凝土预制外墙板破坏时承载力应符合下列公式要求：

 (5.6.8)

# 6 预制外墙结构设计

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 超高性能混凝土预制外墙板包括三种类型：UHPC平板、UHPC带肋板和UHPC龙骨复合板。

**1**  UHPC平板。UHPC平板是指UHPC平面板或曲面板，其荷载通过支承节点传递给主体结构。

**2** UHPC带肋板。UHPC带肋板是指UHPC平面或曲面板局部设置加劲肋，面板的荷载传递给加劲肋，再通过加劲肋上的支承节点传递给主体结构。

**3** UHPC龙骨复合板。UHPC龙骨复合板是指UHPC平面板或曲面板的荷载通过面板和龙骨的连接节点传递给龙骨，再通过龙骨上的支承节点传递给主体结构。

**6.1.2** 超高性能混凝土预制外墙结构宜采用有限元方法计算。应变软化型超高性能混凝土板，UHPC材料应力应变关系为线性关系。应变硬化型超高性能混凝土板，UHPC材料应力应变关系为非线性关系。

【条文说明】由于应变软化型超高性能混凝土的抗拉强度标准值小于弹性极限抗拉强度标准值，在承载能力范围内，UHPC材料不会进入非线性阶段，因此应力应变关系为线性关系。应变硬化型超高性能混凝土板，应变允许进入硬化段，UHPC材料采用双折线应力应变关系。

**6.1.3** 超高性能混凝土预制外墙构件可按建筑立面需求进行镂空，镂空的超高性能混凝土预制外墙构件宜按有限元方法进行计算。

【条文说明】UHPC板、UHPC带肋板和UHPC龙骨复合板均可根据建筑美观的需求进行镂空，镂空后的板经有限元计算，强度和变形需满足本规程要求。

**6.1.4** 超高性能混凝土预制外墙的抗震性能设计应符合下列规定：

**1** 预制外墙应能承担直接作用于外墙的地震作用力。预制外墙水平地震作用标准值应按本规程5.3.3条和5.3.4条规定计算。

**2** 预制外墙应具有适应地震荷载下主体结构层间变形的能力。平面内变形性能指标值应按不低于设防地震下主体结构弹性层间位移角限值的3倍确定。

**6.1.5** 超高性能混凝土预制外墙应具有适应风荷载下主体结构层间变形的能力。

【条文说明】预制外墙平面内变形，是由于建筑物所受风荷载或地震作用后，建筑物各层间发生相对位移时产生的随动变形。这种平面内变形对预制外墙造成风险不容忽视。平面内变形应根据是否需要抗震设计提出不同要求。

## 6.2 UHPC平板和UHPC带肋板设计

**6.2.1** 四点支承UHPC平板或UHPC带肋板的挠度限值宜按其支承点间长边边长的l/250确定。

**6.2.2** UHPC平板或UHPC带肋板外墙构件与支承结构或主体结构连接时，承重连接节点宜选用墙板下端的连接节点。

【条文说明】当超高性能混凝土预制外墙构件没有背负龙骨时，下端的连接节点作为承重节点时，在自重荷载下，墙板构件受压，有利于墙板防开裂。

**6.2.3** 当进行锚固承载力设计时，应按本规程5.6章节进行设计。

**6.2.4** UHPC带肋板的连接节点预埋件宜预埋在肋位置。

【条文说明】预埋件的承载力和预埋件的埋深及边距相关，预埋件埋于肋的位置有利于提高其抗拉和抗剪承载力。

## 6.3 UHPC龙骨复合板设计

**6.3.1**  UHPC龙骨复合板内力和变形宜采用有限单元法进行计算，UHPC板与主体结构之间的支座连接应根据实际构造假定为三向约束、两向约束或单向约束铰接支座。

**6.3.2** UHPC面板的设计应按本规程第5章的规定进行承载力能力极限状态设计和正常使用极限状态设计。

**6.3.3** 龙骨应采用钢龙骨或铝合金龙骨。龙骨的承载能力极限状态应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018和《铝合金结构设计规范》GB50429等进行设计和验算。

**6.3.4** UHPC面板应采用不锈钢预埋套筒、螺栓或不锈钢锚筋等连接件与龙骨连接，并应符合以下规定：

**1** 连接件应能可靠的将UHPC面板荷载传递到龙骨上；

**2** UHPC面板支承节点间距应按结构计算确定，连接件的数量应由结构计算确定；

**3** 预埋套筒的承载力应符合第5.6节的规定

**6.3.5** UHPC龙骨复合墙板体系的立柱和横梁组成墙板的支承结构，其立柱宜悬挂在主体结构上。

【条文说明】立柱悬挂在主体结构上，在重力荷载下，立柱受拉，不容易发生失稳破坏。

**6.3.6**  横梁的挠度值u，应符合下列要求：

铝合金型材： （6.3.6-1）

钢型材： （6.3.6-2）

式中：*l*——横梁的跨度(mm)，悬臂构件取挑出长度的2倍。

**6.3.7**  风荷载或水平地震作用下，立柱的挠度值u，应符合下列要求：

铝合金型材： （6.3.7-1）

钢型材： （6.3.7-2）

式中：*l*——立柱的跨度(mm)，悬臂构件取挑出长度的2倍。

【条文说明】本条参考《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102规定了金属龙骨的挠度限值，适用于不考虑UHPC板刚度的情况。当考虑UHPC板和龙骨共同作用时，横梁和立柱的挠度值宜不大于。

#

# 7 制作加工

## 7.1 一般规定

**7.1.1** UHPC预制建筑外墙构件制作单位应具备相应的生产工艺设施，并应有完善的质量管理体系和必要的试验检测手段。

**7.1.2** UHPC预制建筑外墙构件制作前，应对其技术要求和质量标准进行技术交底，并应制定生产方案；生产方案应包括生产工艺、模具方案、生产计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

**7.1.3**  UHPC预制建筑外墙构件用钢筋的加工、连接与安装应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 等的有关规定。

**7.1.4**  UHPC预制建筑外墙构件制作与运输应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和行业现行标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014 的相关规定。

## 7.2 UHPC构件制作

**7.2.1** 超高性能混凝土预制板制作所用的模具可以是木模、玻璃钢模、钢模、硅胶模、水泥模、石膏模或复合模等。模具应具有足够的刚度和尺寸精度且不吸水，模具投入生产前应清理并进行验收。

【条文说明】由于超高性能混凝土板表面质量要求严格，因此施工时对模具刚度、尺寸精度、内表面光滑度、平整度等要求必须严格控制，确保超高性能混凝土预制建筑构件产品不出现变形和尺寸偏差。模具在投入生产前应进行清理，模具清理应符合下列要求：

（1）必须认真清理模具，把模具上的混凝土残积物全部清除，清洁后的模具内表面不得有混凝土残积物。

（2）模具内表面使用海绵块及胶片配合清理，严禁用铁器清刮。

（3）清理模具外表面时，特别要注意清除测量精度范围内所有位置的残积物。

（4）混凝土残积物全部被剥落后，应由专人把全部杂物从模具内表面清走，不得有任何

残留杂物。

**7.2.2** 模具表面宜喷涂脱模剂。

【条文说明】实践证明，当混凝土达到一定强度后，超高性能混凝土板脱模后成品表面质量能否达到光滑平整，与施工时喷涂脱模剂的质量及喷涂工艺有相当大关系，因此必须重视喷涂工艺，喷涂流程应符合下列规定：

（1）喷涂脱模剂由专人负责。

（2）喷涂脱模剂前先检查模具内表面是否仍留有混凝土残积物，如有应通知清模人员返

工清洁。

（3）务必使模具内表面全部均布薄层脱模剂，模具夹角处不得漏涂、不得积聚，如两端

底部有淌流的脱模剂积聚，应用海绵清理干净。

**7.2.3** 在UHPC浇筑前应进行预埋件预埋。

**7.2.4** 构件生产用UHPC宜采用预混料进行拌合制备。UHPC拌合规定如下：

**1** UHPC应采用强制式搅拌机搅拌。搅拌前应检查搅拌设备状态，确保搅拌设备清洁、无积水。搅拌时宜将UHPC预混料先干拌1~2min，然后加入水和其他液体原材料湿拌，湿拌时间不宜低于5min，至拌合物接近目标流动性，然后缓慢加入纤维，待纤维全部加完后继续搅拌不小于2min，至纤维在拌合物中分散均匀。

**2**  应按试验性制作确定搅拌工艺。

**3** 搅拌应保证拌合物的均匀性，出机拌合物中不应有肉眼可见的纤维接团。

**4** 拌合物出机后不得加水。

**5** 应采取措施防止下料和搅拌过程中扬尘。

【条文说明】由于超高性能混凝土用水量少，粘度大，还要保证纤维均匀分布，因此一般采用强制式搅拌机生产。

**7.2.5** 浇筑时，UHPC拌合物下料点和流动方向应考虑对纤维分布和取向性的影响，宜使拌合物沿结构承受主拉应力的方向流动，并通过试验性制作确定。

**7.2.6** 生产UHPC预制建筑外墙构件的混凝土拌合物应具有自密实和自流平特性，且应通过配方改进减少气泡引入或加速气泡排出。

【条文说明】 超高性能混凝土粘度较大，如果不是自流平，靠手动成型很难振实，也很容易引入缺陷。超高性能混凝土应通过配方改进减少气泡引入或加速气泡排出，从而提高外墙板的浇筑质量。

**7.2.7** 拌合物浇筑过程应避免出现层间冷缝。

**7.2.8** UHPC预制外墙构件成型过程应采用振动密实，浇筑振捣应避免表面纤维外露。

【条文说明】 UHPC预制外墙构件成型过程不应进行插捣，以防出现纤维的不均匀分布和引入缺陷。

**7.2.9** UHPC预制建筑外墙构件浇筑完成后应及时覆盖塑料薄膜进行保湿养护。

【条文说明】超高性能混凝土拌合物失水后很容易起皮，影响结构的致密性，还容易引起收缩裂缝。

**7.2.10** 产品自然养护初期，应不移动模具及产品。

**7.2.11** 采用自然养护时，保湿养护试件不应少于14d，且保持构件表面温度不低于5。C。构件芯部与表面温差不宜大于25。C，当温差大于25。C时，宜采取保温措施。

**7.2.12** UHPC预制建筑外墙构件脱模强度一般为产品设计强度值的 40%。

## 7.3 堆放和运输

**7.3.1** 构件应在脱模起吊时进行标识，内容应包括工程名称、产品名称、型号、编号、生产日期、制作单位和检验结果。标识应标注于堆放与安装时容易辨识且不易遮挡的位置。基于建筑信息模型进行设计、生产、施工和维护管理的预制构件，宜采用适合电子识别的标识方法。

**7.3.2** 堆放场地应坚实、平整、干燥、通风。

**7.3.3** 超高性能混凝土预制板脱模并养护后，运至堆放场存放，堆放应符合下列规定：

**1** 超高性能混凝土预制板按流水编号和型号分别堆码，堆垛间应留运输通道距离要求；

**2** 超高性能混凝土预制板堆垛整齐划一，无倾斜感；

**3** 超高性能混凝土预制板层间用垫木相隔，垫木摆放位置均匀，厚度一致，上下层垫木应在一条垂线上；

**4**  按规格型号分类堆放，堆放高度不应超过 2m，堆放层数不应超过四层；

**5**  在与板裸露表面接触的位置应采取保护措施，所有的垫块、包装和保护材料不应对板引起污染或损坏。

**7.3.4** 超高性能混凝土外墙构件的存储和成品防护应符合下列规定：

**1** 构件的存储应稳固、安全；

**2** 叠放构件应采取防变形的存储方式，防止构件发生损坏和变形；

**3** 外露保温板应进行防破损防护，外露金属件应进行防锈蚀防护；

**4** 构件的清水饰面应采取防止表面被污染的措施。

【条文说明】产品表面不可以直接与地面接触,应使用无色衬垫。转运时产品接触转运工具部位要有软性衬垫保护，防止破损。

**7.3.5** 运输装卸及搬运制品时，应轻装轻放，严禁抛掷。在运输过程中应使用对板有缓冲作用和保护作用的材料进行捆扎固定牢靠，避免结构伤害引起开裂或不可恢复形变。

**7.3.6**  超高性能混凝土预制板的垫点和吊点，应进行设计并按设计的位置进行操作

**7.3.7** 用两根以上绳扣吊装超高性能混凝土预制板时，绳扣间的夹角如大于 100°，应加设卡环以防止绳扣滑行。

**7.3.8** 根据超高性能混凝土预制板重量、尺寸及工地具体情况选择合理的运输车辆和装卸机械。运输前，确认运输道路平整坚实，有足够的路面宽度与转弯半径。

## 7.4 修复

**7.4.1** UHPC预制建筑外墙构件不应有严重缺陷，对于一般缺陷应在工厂内修复后方能出厂。

**7.4.2** 修复前检查流程如下：

**1**  UHPC预制建筑外墙构件脱模后判定有问题的，如剪口、蜂窝、水眼或崩角等问题,应按照相应的方法修补。

**2** 检查需修补处表面是否干净，确认使用修补材料是否正确。

**3** 检查修补方法判定标准:

①剪口:凸出或凹入超高混凝土预制构件表面超过2mm。

②蜂窝: 超高混凝土预制构件上不密实处的范围或深度超过4mm。

③水眼: 超高混凝土预制构件上不密实处或孔洞的范围不超过4mm。

④崩角: 超高混凝土预制构件之边角混凝土崩裂，脱落。

⑤轻微裂缝:裂缝宽度不超过0.3mm。

⑥大裂缝:超过0.3mm则为大裂缝。

⑦贯通裂缝:当超高混凝土预制构件两个表面均见到形状大至相同的裂缝为贯通裂缝而目裂缝不分支。修补后，修补处表面要与其周边表面平齐一致，满足有关要求，且修补后不能出现新裂缝。

**7.4.3** 在确认修复方案用正确的材料及方法修补预制件前后，修复单位需对该方案及材料、方法等作好记录。修复方法如下:

**1** 剪口:将UHPC预制建筑外墙构件接缝处之凸出部分用磨机磨平,凹陷用修补UHPC预混浆补平。

**2** 蜂窝:除去构件上蜂窝处不密实的部分后，磨去表面的水泥浆,用水将蜂窝洗干净，不可存有杂物。用UHPC修补砂浆填补蜂窝,填实蜂窝后将表面扫平修补完整。

**3** 水眼:将水眼表层的水泥浆除去,露出整个水眼。用水将水眼洗干净。用修补UHPC预混浆将水眼寒满，表面扫平即可。

**4**崩角:将崩角处已松动的部分除去。可以通过喷砂和高压水枪用水将崩角处清洁干净,保证崩角处无其他杂质。如直立面的修补区域深度大于10mm至100mm，可立模板进行修补,水平面修补深度5至100mm都可进行手工修补，崩角处填补好后抹平面层至满足要求。根据实际情况考虑是否需要覆膜，做好修复处的后期养护工作。

**5** 轻微裂缝:将与该构件生产制作配方同比例预混的超高性能混凝土浆料均匀填充后，将裂缝遮盖即可。

**6** 大裂缝:将裂缝处凿成三角形凹口，在提前处理好的湿润基面上，用硬毛刷大力刷上一层较厚的粘结砂浆，在其未干前,操作面层砂浆，用已确认使用的超高性能混凝土浆料进行修补，修补后要覆盖深色薄膜，防止失水和阳光暴晒。

**7** 贯通裂缝:用树脂打针修补，操作人员从每道工序本着认真负责的态度按施工标准进行施工，尽量避免不良操作，各级主管严把质量关,就必定能防患于未然，尽可能地降低混凝士缺陷和裂缝的出现,保证成品的质量。

【条文说明】宜避免在室外进行修补,避免产品脱模早期遭遇暴晒或雨淋。修补时用细磨石或者磨光机对产品的边缘及背面进行修饰,去除飞边毛刺，将需要修补的部位及周围清理干净,再进行修补。对于大的修补区域，修补完成之后,需要用湿毛巾将其覆盖,防止失水过快而产生裂纹。待修补料有了初步固化之后,将修补区域清理干净,并用抹布或细砂纸将修补部分擦拭干净或者轻微打磨一下使之与周围颜色效果基本一致。修补不可接受色差可采用专用拉色防护剂进行校正处理。

# 8 安装施工

## 8.1 一般规定

**8.1.1**  安装面板前，应复查质保资料并进行性能复试。

【条文说明】安装前应对构件进行检验、性能复试，不合格的构件不得安装使用；材料质保资料应齐全。

**8.1.2** 面板表面防护符合设计要求。

【条文说明】UHPC构件在安装之前，应按设计要求进行表面防护处理。

**8.1.3**  超高性能混凝土预制板的施工应根据审查合格的施工图设计文件和审查批准的施工方案，在主体结构施工质量验收合格后进行。

【条文说明】主体结构必须与建筑设计相符，满足相应规范要求且满足幕墙安装的基本要求，经验收合格后方可进行超高性能混凝土预制板的施工。

## 8.2 安装施工

**8.2.1** 超高性能混凝土预制板应通过支承结构与主体结构连接。超高性能混凝土预制板与支承结构应采用插槽连接或螺栓连接，严禁现场焊接。

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

**8.2.3**  横向尺度大的超高性能混凝土预制板应采用两点或多点吊装。吊点设置应平衡。

**8.2.4** 有金属龙骨的超高性能混凝土预制板，吊点数量和位置应根据背附钢架刚度和构件的形状确定。吊装点应布置在钢架上，吊装荷载不应作用到构件或锚杆上。

**8.2.5** 超高性能混凝土预制板就位后经测量确定三维方向的位置和角度都应在允许误差范围内，方可固定。

**8.2.6** 每个超高性能混凝土预制板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超高性能混凝土预制板的荷载。

**8.2.7**  檐线、腰线、窗台线等横向超高性能混凝土预制板，应有不小于3%的排水坡度。

**8.2.8** 支承结构与主体结构连接应在围护墙体和屋面的保温层和防水层施工前完成。如遇特殊情况需要倒序施工，对破坏的保温层和防水层应填充封堵。安装超高性能混凝土预制板时，严禁踩踏、碰撞和破坏保温层和防水层。

**8.2.9**  超高性能混凝土预制板接缝允许偏差内，可将部分安装偏差在构件接缝中调整。

**8.2.10** 超高性能混凝土预制板与墙体接缝及其与其他围护材料的接缝处理措施，应符合设计要求。

**8.2.11**  超高性能混凝土预制板与主体结构的连接节点应按隐蔽工程验收。

**8.2.12** 金属龙骨与超高性能混凝土预制板可以工厂安装或施工现场安装，安装完成后的面板挂点四周不应出现开裂现象。

## 8.3 安装质量要求

**8.3.1** 超高性能混凝土预制板与主体结构的净距应符合下列规定：

**1** 超高性能混凝土预制板背面与预制混凝土结构净距不应小于40mm，与现浇混凝土结构净距不应小于50mm；

**2** 超高性能混凝土预制板背面与钢结构净距不应小于40mm；

**3** 超高性能混凝土预制板与主体结构的连接点在上下、左右、前后三个方向内的调节空间净距不应小于25mm。

【条文说明】通过对主体结构的测量和施工放线，及时调整误差，确保超高性能混凝土预制板的安装空间和精度满足设计要求。

**8.3.2**  安装效果应符合下列规定：

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

**2** 超高性能混凝土预制板表面应洁净，表面颜色和质感应符合样板要求；

**3** 超高性能混凝土预制板间接缝应平直、均匀，不得有歪斜、错台及边角损坏。

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

**8.3.3** 安装偏差应符合下列规定：

**1**  建筑平面内，超高性能混凝土预制板与建筑轴线的距离偏差不应大于12mm；

**2** 立面3m高度超高性能混凝土预制板立面垂直度偏差不应大于5mm；立面15m高度超高性能混凝土预制板立面垂直度偏差不应大于10mm；立面30m高度超高性能混凝土预制板立面垂直度偏差不应大于20mm；

**3**  单个超高性能混凝土预制板顶部标高与设计标高偏差不应大于10mm，相邻构件顶部标高偏差不应大于5mm；

**4**  超高性能混凝土预制板长度小于或等于6m时，接缝宽度与设计宽度偏差不应大于5mm；超高性能混凝土预制板长度大于6m时，接缝宽度与设计宽度偏差不应大于10mm；

**5**  相邻超高性能混凝土预制板面内错台偏差不应大于5mm；

**6** 与主体结构相连的连接件定位偏差不应大于5mm。

【条文说明】超高性能混凝土预制板立面垂直度的偏差，指整个UHPC立面高度范围内任取3m高度立面偏差不大于5mm，任取15m高度立面偏差不大于10mm，对于高层建筑任取30m高度立面偏差不大于 20mm。

# 9 验 收

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 超高性能混凝土板的验收包括技术资料复核、现场检查和抽样检查。

**9.1.2**  超高性能混凝土板的验收检验批的划分应符合下列规定:

**1** 设计、材料、工艺和施工条件相同的超高性能混凝土板工程,每1000 m2为一个检验批,不足1000 m2应划分为一个独立检验批;每个检验批每100 m2应至少查一处,每处不得少于10m2；

**2** 同一个单位工程中不连续的超高性能混凝土板工程应单独划分检验批；

**3** 对于异形或有特殊要求的超高性能混凝土板,检验批的划分应根据超高性能混凝土板的结构、工艺特点及超高性能混凝土板工程的规模,宜由监理单位、建设单位和施工单位协商确定。

## 9.2 进场验收

**9.2.1** 进场验收应检查超高性能混凝土板产品合格证、金属构件、连接件材质证明及合格证，安装密封胶合格证及有效期内的型式检验报告等文件资料。

【条文说明】当难以出具针对本项目的超高性能混凝土预制板型式检验报告的情况下，制造商应提供不针对任何项目的产品型式检验报告。

**9.2.2**  超高性能混凝土预制外墙工程涉及的各类材料进场应按设计要求及相关质量标准验收，并应进行验收记录。

**9.2.3** 超高性能混凝土预制板进场时应进行外观、包装、尺寸抽查，抽查比例不应小于件数或面积的1%。

**9.2.4** 项目进行前应按本标准表9.2.4-1~9.2.4-3中提供性能指标要求的全部项目提供第三方检测报告，并符合业主和设计方的要求。

表9.2.4-1 超高性能混凝土力学性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能指标 |
| 抗压强度（MPa） | 设计图纸要求 |
| 抗拉强度（MPa） | 设计图纸要求 |
| 受压弹性模量（GPa） | 设计图纸要求 |
| 抗弯强度（MPa） | 设计图纸要求 |
| 抗弯比例极限强度（MPa） | 设计图纸要求 |
| 抗冲击试验 | 板面无贯通裂缝 |
| 抗冲击强度（MPa） | ≥8 |
| 饱水状态抗折强度（MPa） | ≥13 |

表9.2.4-2 超高性能混凝土长期性能和耐久性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能指标 |
| 干燥收缩（μm/m） | ＜1000 |
| 氯离子扩散系数 (10-12m2/s) | ＜1.2 |
| 抗冻性 | 板面无破裂分层，冻融循环后与对比试件饱水抗折强度的比值应≥0.80 |
| 冻融循环100次极限弯曲强度（MPa） | 10~25 |
| 二氧化碳碳化深度 | ＜0.5mm |
| 湿度变形（%） | ≤0.07 |
| 耐热水 | 60℃水中浸泡56d后的试件与对比试件饱水状态抗折强度的比值≥0.80 |
| 耐干湿 | 浸泡－干燥循环50次后的试件与对比试件饱水状态抗折强度的比值≥0.75 |

表9.2.4-3 超高性能混凝土其他性能

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 性能指标 |
| 体积密度 | 2.2g/cm3~2.4g/cm3 |
| 吸水率 | ＜3% |
| 泊松比 | 0.19~0.24 |
| 线膨胀系数（1/℃） | (1.0~1.5)×10-5 |
| 导热系数 | 生产企业应给出 |
| 燃烧性能 | 不低于《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624中平板状建筑材料A2级要求 |
| 不透水性 | 24h后平板反面允许出现湿痕，但不应出现水滴 |
| 放射性 | 内照射指数≤1.0，外照射指数≤1.0 |

**9.2.5** 超高性能混凝土预制板应进行材料性能复试，复试试件应由超高性能混凝土预制板供应商提供，并与施工项目配方及生产工艺一致。复试应在超高性能混凝土预制板正式投产后进行，每项工程宜复试1次，特殊要求应在合同中明确。

【条文说明】供应商提交的型式检验报告以及企业内部实验室进行的性能测试不能代替性能复试。

**9.2.6** 性能复试项目应包括抗压强度、体积密度、抗弯强度、抗弯比例极限强度、吸水率、抗冲击强度。另外，严寒地区应增加抗冻性试验并检测冻融循环100次极限弯曲强度。

**9.2.7** 超高性能混凝土预制板性能检测项目应按下列方法进行检测：

**1** 外观质量和尺寸偏差按本标准表9.2.7-1~ 9.2.7-4的要求进行检测；

**2** 抗压强度、抗拉强度、体积密度、抗弯强度、抗弯比例极限强度和冻融循环100次极限弯曲强度按照GB/T 15231规定的方法进行检测；

**3** 弹性模量按照GB/T 50081规定的方法进行检测；

**4** 氯离子扩散系数、二氧化碳碳化深度按照GB/T 50082规定的方法进行检测；

**5** 吸水率、干燥收缩、抗冲击强度、不透水性、饱水状态抗折强度按照GB/T 7019规定的方法进行检测；

**6** 导热系数按照GB 10294规定的方法进行检测；

**7** 燃烧性能按照GB8624规定发方法进行检测；

**8** 放射性按照GB6566规定的方法进行检测；

**9** 湿度变形、耐热水、耐干湿性能按照JG/T 396规定的方法进行检测；

**10** 泊松比按照JG/T 324规定的方法进行检测；

**11** 线膨胀系数按照DL/T 5150-2017规定的方法进行检测；

**12** 抗拉拔试验按照JG/T 328-2011规定的方法进行检测。

**13** 抗冻性试验按照JG/T 396-2012规定的方法进行检测；

**14** 按照GB/T 15231-2008规定的方法进行冻融循环100次极限弯曲强度检测。

表9.2.7-1 超高性能混凝土预制板尺寸允许偏差及检查方法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差 | 检查方法 |
| 长度a（mm） | a≤1000 | ±1.3 | 按 GB/T 7019的规定进行 |
| a>1000 | ±2.5 | 按 GB/T 7019的规定进行 |
| 宽度b（mm） | b≤1000 | ±1.3 | 按 GB/T 7019的规定进行 |
| b>1000 | ±2.5 | 按 JC/T 564.2 的规定进行 |
| 厚度t（mm） | ±1.0 | 用长度 2m 靠尺，按 GB/T 7019的规定进行 |
| 边直度（mm/m） | ≤1.0 | 按 JC/T 564.2 的规定进行 |
| 板面平整度（mm） | ≤3.0 | 金属尺量 |
| 对角线差（mm） | ≤6.0 | 检查方法 |
| 孔中心距（mm） | ±1.5 | 按 GB/T 7019的规定进行 |

表9.2.7-2 背附钢架尺寸允许偏差及检查方法

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

表9.2.7-3 UHPC背附钢架板允许偏差（mm）及检查方法

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

表9.2.7-4 超高性能混凝土预制板的外观质量及检查方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 质量要求 | 检查方法 |
| 1 | 缺棱：长度×宽度不大于10mm×3mm（长度小于5mm不计）周边允许（处） | 2 | 金属直尺 |
| 2 | 缺角：边长6mm×3mm（边长2mm×2mm不计）允许（处） | 2 | 金属直尺 |
| 3 | 裂纹 | 3m外不可见 | 目测观察 |
| 4 | 明显擦伤、划伤 | 不允许 | 目测观察 |
| 5 | 长度≤100mm划伤 | 每平方米≤2条 | 金属直尺 |
| 6 | 擦伤总面积 | 每平方米≤300mm2 | 金属直尺 |
| 7 | 窝坑（背面除外） | 光面板 | 不明显 | 3m距离目测观察 |
| 有表面质感等特殊装饰效果板 | 符合设计要求 | 3m距离目测观察 |
| 8 | 穿透性裂缝 | 宽度≤0.1mm | 塞尺 |

**9.2.8** 超高性能混凝土预制板进场验收，并按表9.2.8记录验收情况。

表9.2.8 UHPC材料进场验收记录

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 |  | 检验日期 |  |
| 生产厂家 |  | 检验批次 |  |
| 验收数量 | 件，㎡ | 检验比例 | % |
| 抽检产品编号 | 检验项目 | 检验结果 |
| 外观 | 尺寸 | 包装 | 其他 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 检验结论 |  |
| 签字栏 | 施工单位质检员 | 建设（监理）单位 |
| 年 月 日 | 年 月 日 |

**9.2.9** 超高性能混凝土预制板验收合格后，应在产品的显著位置设置标识标牌，标识标牌的内容应包括产品编号、制作日期、合格状态、生产企业名称等信息。

## 9.3 中间验收

**9.3.1** 超高性能混凝土预制外墙工程应进行阶段性施工质量的中间验收，并应填写验收记录。验收记录可按表9.2.8记录。

**9.3.2** 中间验收应符合下列规定：

**1** 超高性能混凝土预制板的造型、尺寸、表面效果应符合设计或样板要求；

2 超高性能混凝土预制板的预埋件、锚固件、连接件、安装孔应符合设计要求;

3 超高性能混凝土预制板与主体结构连接应符合设计要求，安装必须牢固;

4 超高性能混凝土预制外墙工程的保温、防水、防污、防火、防雷的处理应符合设计要求;

5 超高性能混凝土预制外墙密封施工和接缝处理应符合设计要求;

6 超高性能混凝土预制板安装质量要求应符合本标准第8.3节的规定。

## 9.4 竣工验收

**9.4.1**  超高性能混凝土预制板工程验收前应将其表面全面清洗干净。

**9.4.2** 超高性能混凝土预制板工程验收时应提交下列资料：

**1**  通过审查并经建筑设计单位确认的有关超高性能混凝土预制板设计图纸、结构计算书、设计变更文件等；

**2** 进场验收及第三方检测的合格证、检测报告、验收记录；

**3** 设计单位提出检测要求的涉及超高性能混凝土预制板中预埋件、锚固件、连接件拉拔及剪切性能检测报告；

**4**  隐蔽工程中间验收记录；

**5**  设计单位提出检测要求的涉及外墙系统性能的检测报告；

**6** 现场安装的施工记录；

**7** 超高性能混凝土预制板工程竣工验收表；

**8** 其他合同有要求的质量保证资料。

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

Ⅰ主控项目

**9.4.3** 超高性能混凝土预制板所使用的材料、构件和组件的质量，应符合设计要求及国家现行产品标准的规定。

检验方法：检查材料、构件、组件的产品合格证书、进场验收记录和本标准第9.2.4、9.2.6条中所规定的材料力学性能复验报告。

**9.4.4** 超高性能混凝土预制板的造型、立面分格、颜色、光泽、花纹和图案应符合设计要求。

检验方法：观察；尺量检查。

**9.4.5** 主体结构的预埋件和后置埋件的位置、数量、规格尺寸及后置埋件、槽式预埋件的拉拔力应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录、隐蔽工程验收记录;槽式预埋件、后置埋件的拉拔试验检测报告。

**9.4.6** 检查面板用胶粘剂的相容性和密封胶的污染性，面板用的胶粘剂应符合规范要求。

检验方法：相容性试验和剥离粘接性试验。

**9.4.7**  超高性能混凝土预制板构架与主体结构预埋件或后置埋件以及超高性能混凝土预制板之间连接应牢固可靠，金属框架和连接件的防腐处理应符合设计要求。

检验方法：手扳检查；检查隐敞工程验收记录。

**9.4.8** 超高性能混凝土预制板的挂件的位置、数量、规格和尺寸允许偏差应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录或施工记录。

**9.4.9** 超高性能混凝土预制板连接用预埋套筒、预置螺母、抽芯锄钉、连接螺钉的位置、数量、规格尺寸和拉拔力应符合设计要求。

检验方法：检查进场验收记录，施工记录以及连接点的拉拔力检测报告。

**9.4.10**  超高性能混凝土预制板的金属构架应与主体防雷装置可靠接通，并符合设计要求。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

**9.4.11** 超高性能混凝土预制板的防火、保温、防潮材料的设置应符合设计要求，填充应密实、均匀、厚度一致。

检验方法：观察；检查隐蔽工程验收记录。

**9.4.12** 有水密性能要求的超高性能混凝土预制板应无渗漏。

检验方法：检查现场淋水记录。

II 一般项目

**9.4.13**  超高性能混凝土预制板表面应平整、边缘整齐、洁净、无污染、颜色基本一致。不得有缺角、裂纹、裂缝、斑痕、分层、脱皮、起鼓、泛碱等3m距离可见的缺陷。

检验方法：观察；尺量检查。

**9.4.14** 板缝应平直、均匀，注胶封闭式板缝注胶应饱满、密实、连续、均匀、无气泡，深浅基本一致、缝宽基本均匀、光滑顺直，胶缝的宽度和厚度应符合设计要求；胶条封闭式板缝的胶条应连续，均匀、安装牢固、无脱落，板缝宽度应符合设计要求。

检验方法；观察；尺量检查。

**9.4.15** 滴水线宽窄均匀、光滑顺直，流水坡向符合设计要求。

检验方法：观察。

**9.4.16**  超高性能混凝土预制板的外观质量和检验方法应符合本标准表9.2.7-4的规定。

**9.4.17** 超高性能混凝土预制板的安装质量检验应在风力小于4级时进行，安装质量应符合本标准第8.3条的规定。

检验方法：观察；尺量检查。

# 10 维修保养

## 10.1 一般规定

**10.1.1**  超高性能混凝土预制外墙工程竣工验收时，施工单位应向业主提供超高性能混凝土预制板使用维护说明书，说明书应包括下列内容：

**1**  施工方的保修责任及后期服务项目；

**2**  定期检查、维护、保养要求；

**3**  使用注意事项。

**10.1.2**  超高性能混凝土预制外墙工程的保修期应符合现行国家有关标准的规定。

**10.1.3**  超高性能混凝土板表面检查、清洗、维护和保养应根据使用维护说明书进行，高空作业应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规程》JGJ 80的规定。

## 10.2 检查与维修

**10.2.1**  超高性能混凝土预制外墙工程竣工验收后1年，应对超高性能混凝土预制板进行1次检查，此后每5年检查1次，使用10年后应每3年全面检查1次，检查项目应符合下列规定：

**1** 当超高性能混凝土预制板出现变形、错位、松动时，应进一步检查该构件对应的隐蔽构造；

**2**  超高性能混凝土预制板安装结构、连接件、连接螺栓、预埋件、锚固件、锚固块连接仍然可靠，无锈蚀且不危害结构安全等；

**3** 超高性能混凝土预制板嵌缝无脱胶、无开裂、无老化和无渗漏情况；

**4**  超高性能混凝土预制板应无结构性裂纹；

**5** 超高性能混凝土预制板表面应无污染情况及防水效果良好。

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

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

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

## 10.3 产品保护和保养

**10.3.1** 超高性能混凝土预制板生产运输安装过程应采取产品保护措施，避免产品污染和破坏。

**10.3.2**  表面防护材料宜采用渗透性耐老化的防护材料。在防护效果有效年限期满或失效时进行防护剂的再次施工。

**10.3.3**  超高性能混凝土预制板的清洗周期应根据使用环境及产品表面污染的实际情况确定，不宜少于每年1次，宜采用中性清洗材料。

**10.3.4** 构件投入使用后应避免对产品的二次加工。当需对超高性能混凝土预制板进行钻孔、切割、调整产品与结构连接方式等处理时，应制定施工方案并经过设计复算。

# 附录A 超高性能混凝土拉伸试验

**A.1** 范围

本试验方法适用于测定超高性能混凝土试件在单轴拉伸试验条件下的弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、抗拉强度、抗拉应变。

**A.2** 说明

**A.2.1** 荷载-位移响应详细记录当残余力达到20%的最大荷载时或测量区域的平均拉伸长度比最大纤维长度的一半大20%时的荷载-位移曲线。

**A.2.2** 平均位移定义为通过两个附着在构件两边的位移传感器测量的伸长量的平均值。

**A.2.3** 应力定义为测量的力与实践中心位置截面面积的比值。

**A.2.4** 弹性阶段和强化阶段的应变分别定义为：传感器测得的平均位移和测量基准长度之比(C点和E点之间的传感器，L点和J点之间的传感器)和（O点和P点之间的传感器，Q点和R点之间的传感器）

**A.3** 试件尺寸和数量

**A.3.1** 抗拉性能试验尺寸如图所示，每个点的坐标见表A.1



图A.1 抗拉性能试件尺寸示意图

表A.1 B-C段的坐标位置（E-F、I-J、L-M段堆成即可获得）



**A.3.2** 每组试件数量为6个。试件厚度为35mm，允许误差为，试验前，所有试件厚度调整至30mm(允许误差)

**A.3.3** 每个试件的尺寸应当进行测量（包括中心线的长度和宽度）。试件厚度数值取自试件不同位置的6个测量数值的平均值，要求每边取3个位置且沿纵向等间隔。

**A.6** 试验步骤

**A.6.1** 6个试件中的其中三个试件，每个试件承受单调荷载，在弹性和应变强化阶段采用位移传感器位移监测的加载速度0.5mm/分钟（对应的十字头加载速度为0.2mm/分钟），在应变软化阶段，应变速率可以增加至0.5mm/分钟（对应的十字头加载速率为0.4mm/分钟）。数据读取速率应为5Hz。

**A6.2** 6个试件中的其余三个试件，每个试件承受三次加载-卸载循环，加载位移速率同前三个试件，循环加载的最大值为前三个试件最大荷载的1/3。循环加载结束后执行A6.1的过程。

**A.7** 强度和变形的确定

**A7.1** 弹性模量由A6.2的三个试件试验得到。在达到最大荷载前的最后一次荷载循环，由式A.1确定割线模量

 （A-1）

**A7.2** 对于每个变形值，平均值由10个之前的割线模量值取平均值，绘制-曲线，线性范围是为常数，当不可逆的割线模量降低量超过1%时，认为线性阶段结束，此时的力大小标记为，对应的割线模量为弹性模量。

**A7.3** 弹性极限性抗拉强度由下式确定

 （A-2）

**A7.4** 抗拉强度由下式确定

 （A-3）

如果UHPC呈现应变强化阶段，是指试验中所能达到的最大力。强化应变为对应的应变。

如果UHPC没有呈现应变强化段，对应的力是指在软化阶段，当裂缝开口达到0.4mm时对应的力的平均值。力的平均值的计算采用式（A.4）

 （A-4）

其中，—荷载-位移曲线中，位移达到0.4mm时对应的面积（测量基准长度为）

# 附录B 超高性能混凝土拉弯试验

**B.1** 范围

本试验方法适用于测定超高性能混凝土试件四点受弯试验的力-挠度响应的方法。

**B.2** 说明

**B.2.1** UHPC试件的荷载-挠度相应是当残余力达到最大力的20%或者跨中的平均挠度达到25mm时对应的完成的荷载-挠度曲线。

**B2.2**  跨中的平均挠度是指附着在跨中两边的电子位移传感器测得挠度的平均值。

**B.3** 试件制作和准备

**B.3.1** 试件的尺寸为。

**B.3.2** 每组试件数量为6个，厚度为35mm，允许误差为。在试验前，采用研磨保证所有试件厚度为30mm（允许误差）

**B.3.3** 每个试件的尺寸应当进行测量（包括中心线的长度和宽度）。试件厚度数值取自试件不同位置的6个测量数值的平均值，要求每边取3个位置且沿纵向等间隔。

**B.4** 试验设备

试验设备包括一个能够测量抗压及抗拉强度的试验仪器，其测量力的误差范围在，位移传感器误差在20mm~30mm，线性最大偏移量为。测量长度和厚度的工具的允许误差要求不得超过0.05mm。图B.1给出了位移施加点的具体位置。



图B.1 试件尺寸为500mm100mm30mm的4点加载弯曲试验

**B.5** 试验步骤

**B.5.1** 6个试件中的其中三个试件按照以下过程进行试验：每个试件承受单调荷载，按照位移速度0.5mm/分钟施加直到达到最大力，然后采用速率为5mm/分钟加载直到跨中的平均挠度达到25mm。数据读取速率为5Hz。

**B.5.2** 另外三个试件按照以下过程进行试验：每个试件承受三次加载-卸载循环，其循环荷载的取值大小为前三个试件最大荷载的1/3，加载速率同前三个试件。循环荷载结束后按B5.1的方法继续加载。



图B.2

**B.6** 试验结果

**B.6.1** 点A是构件线弹性的终点。采用线弹性模型，则弹性阶段的极限拉应力按如下计算：

弹性模量采用B.5.2中三个构件的测试结果，割线模量是由第三次循环加载的每一对和按下式计算：

 （B-1）

其中，——试件跨度，支承点之间的距离

——加载荷载

——试件中点的挠度

——试件的宽度和高度

对于每个位移值，平均值由10个之前的割线模量值取平均值，绘制-曲线，线性范围是为常数，当不可逆的割线模量降低量超过1%时，认为线性阶段结束，此时的力大小标记为，对应的割线模量为弹性模量。

弹性极限抗拉强度按如下公式计算：

 （B-2）

**B.6.2** B点是测试过程中荷载达到的最大值，在B点时，假设截面的应力分布如图B.2(b)所示，对应的极限拉应力强度按照如下公式计算：

 （B-3）

**B.6.3 在**最大荷载值以下的A点和B点之间的区段，表现为应变硬化的逐步激活和应变软化的开始。

如果小于，UHPC没有体现应变硬化。

如果大于，点A和点B之间的范围需进行逆分析。

对于任何一对加载力和位移，弯矩为常数段的试件截面最低点纤维的拉应力由下式计算

 （B-4）

其中，

 （B-5）

 （B-6）

根据表8取值。

对应的应变

 （B-7）

使用介于点A和点B之间的十组和数据。第一个点的力和位移对应值为0.5（>0.5,表示50%的横截面已经进入塑性变形）。剩下的9组力和位移值在第一个点和点B之间，并沿着位移轴均匀分布。

表B.1 和的数值关系

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.00 | 0.988 | 0.25 | 0.674 | 0.50 | 0.500 | 0.75 | 0.326 |
| 0.01 | 0.941 | 0.26 | 0.666 | 0.51 | 0.493 | 0.76 | 0.319 |
| 0.02 | 0.915 | 0.27 | 0.658 | 0.52 | 0.487 | 0.77 | 0.311 |
| 0.03 | 0.896 | 0.28 | 0.651 | 0.53 | 0.480 | 0.78 | 0.303 |
| 0.04 | 0.879 | 0.29 | 0.644 | 0.54 | 0.473 | 0.79 | 0.295 |
| 0.05 | 0.863 | 0.30 | 0.636 | 0.55 | 0.467 | 0.80 | 0.287 |
| 0.06 | 0.850 | 0.31 | 0.629 | 0.56 | 0.460 | 0.81 | 0.279 |
| 0.07 | 0.838 | 0.32 | 0.622 | 0.57 | 0.453 | 0.82 | 0.270 |
| 0.08 | 0.826 | 0.33 | 0.615 | 0.58 | 0.446 | 0.83 | 0.261 |
| 0.09 | 0.815 | 0.34 | 0.608 | 0.59 | 0.440 | 0.84 | 0.253 |
| 0.10 | 0.804 | 0.35 | 0.601 | 0.60 | 0.433 | 0.85 | 0.244 |
| 0.11 | 0.794 | 0.36 | 0.594 | 0.61 | 0.426 | 0.86 | 0.235 |
| 0.12 | 0.784 | 0.37 | 0.587 | 0.62 | 0.419 | 0.87 | 0.226 |
| 0.13 | 0.774 | 0.38 | 0.580 | 0.63 | 0.412 | 0.88 | 0.216 |
| 0.14 | 0.764 | 0.39 | 0.574 | 0.64 | 0.406 | 0.89 | 0.206 |
| 0.15 | 0.755 | 0.40 | 0.567 | 0.65 | 0.399 | 0.90 | 0.196 |
| 0.16 | 0.746 | 0.41 | 0.560 | 0.66 | 0.392 | 0.91 | 0.185 |
| 0.17 | 0.738 | 0.42 | 0.553 | 0.67 | 0.385 | 0.92 | 0.174 |
| 0.18 | 0.729 | 0.43 | 0.547 | 0.68 | 0.378 | 0.93 | 0.161 |
| 0.19 | 0.721 | 0.44 | 0.540 | 0.69 | 0.370 | 0.94 | 0.149 |
| 0.20 | 0.712 | 0.45 | 0.533 | 0.70 | 0.363 | 0.95 | 0.135 |
| 0.21 | 0.705 | 0.46 | 0.527 | 0.71 | 0.355 | 0.96 | 0.120 |
| 0.22 | 0.697 | 0.47 | 0.520 | 0.72 | 0.348 | 0.97 | 0.104 |
| 0.23 | 0.689 | 0.48 | 0.513 | 0.73 | 0.341 | 0.98 | 0.082 |
| 0.24 | 0.681 | 0.49 | 0.507 | 0.74 | 0.334 | 0.99 | 0.060 |
|  |  |  |  |  |  | 1.00 | 0.000 |

# 用 词 说 明

**1** 为了便于在执行本规程条文是区别对待,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，在正常情况下均应按这样做的:

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”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1《建筑模数协调标准》GB/T 50002

2《建筑结构荷载规范》GB50009

3《建筑抗震设计规范》GB50011

4《建筑设计防火规范》GB50016

5《钢结构设计标准》GB50017

6《铝合金结构设计规范》GB50429

7《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

8《民用建筑热工设计规范》GB50176

9《公共建筑节能设计标准》GB50189

10 《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205

11《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB50210

12 《钢结构焊接规范》GB50661

13 《钢结构工程施工规范》GB50755

14 《耐候结构钢》GB/T 4171

15 《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB8624

《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1

《紧固件机械性能 螺母》 GB/T 3098.2

《紧固件机械性能 自攻螺钉》GB/T 3098.5

《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6《

《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11

《紧固件机械性能 不锈钢螺母》 GB/T 3098.15

《紧固件机械性能 抽芯铆钉》GB/T 3098.19

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274

《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280

《不锈钢冷加工棒》GB/T 4226

《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237

《不锈钢丝》GB/T 4240

《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117

《热强钢焊条》GB/T 5118

《铝合金建筑型材 第1部分：基材》GB5237.1

《铝合金建筑型材 第2部分：阳极氧化型材》GB5237.2

《铝合金建筑型材 第3部分：电泳涂漆型材》GB5237.3

《铝合金建筑型材 第4部分：粉末喷涂型材》GB5237.4

《铝合金建筑型材 第5部分：氟碳漆喷涂型材》GB5237.5

《铝合金建筑型材 第6部分：隔热型材》GB5237.6

《六角头螺栓 C级》GB/T5780

《六角头螺栓 全螺纹 C级》GB/T 5781

《建筑材料放射性核素限量》GB6566

《工程结构用中、高强度不锈钢铸件》GB/T 6967

《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352

《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912

《自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1~GB/T 15856.5

《雷电电磁脉冲的防护 第1部分：通则》GB/T 19271.1

《建筑幕墙》GB/T 21086

《石材用建筑密封胶》 GB/T 23261

《防火封堵材料》GB 23864

《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267

《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498

《不燃无机复合板》 GB 25970

《民用建筑电气设计规范》JGJ 16

《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145

《建筑外墙清洗维护技术规程》JG J168

《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160

《建筑用隔热铝合金型材》JG 175