

陕西省土木建筑学会团体标准

TB

T/SXCEAS 011—2025

工程用超高性能无机复合材料

Ultra-high performance inorganic composite materials
for engineering applications

2025 - 09 - 06 发布

2025 - 10 - 15 实施

陕西省土木建筑学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 分类、性能等级及标记 2

5 材料 5

6 配合比设计 6

7 制备 7

8 养护 9

9 试验方法 10

10 检验规则 11

11 订货与交货 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由陕西省土木建筑学会提出并归口。

本文件起草单位：陕西建工集团股份有限公司、陕西陕建瑞高科技园有限公司、陕西瑞高材料科技有限公司、渭南市产业投资开发集团有限公司、铜川市新区高远开发建设有限责任公司、长安大学、武汉理工大学、湖北大学、西安航空学院、陕西建工第一建设集团有限公司、陕西建工第四建设集团有限公司、陕西建工第六建设集团有限公司、陕西建工机械施工集团有限公司、陕西华山路桥集团有限公司、陕西建筑产业投资集团有限公司、陕西省建筑科学研究院有限公司、广东省建筑科学研究院集团股份有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、渭南国控建设集团有限公司、渭南国控精工绿建科技有限公司、广州容柏生建筑工程设计咨询有限公司

本文件主要起草人：梁保真、黄海龙、刘小光、高 雄、冯五一、张华龙、张 珂、韩瑞斌、霍文斌、孙向东、李晓光、朱武卫、田月强、王晓明、丁庆军、黄绍龙、李盛勇、徐 麟、李 杰、张风亮、徐东进、向 前、方军发、王孟欣、马万涛、黄 利、何 坤、欧保华、刘 哲、娄 涛、缙 鹏

本文件首次发布。

本文件由陕西建工集团股份有限公司负责解释。

联系信息如下：

单位：陕西建工集团股份有限公司

电话：15802939857

地址：陕西省西安市莲湖区北大街199号

邮编：710000

工程用超高性能无机复合材料

1 范围

本文件规定了超高性能无机复合材料的术语和定义，分类、性能等级及标记，材料，配合比设计，制备，养护，试验方法，检验规则，订货与交货。

本文件适用于现场浇筑或工厂化预制的超高性能无机复合材料的生产、检查和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175	通用硅酸盐水泥
GB 5099	钢质无缝气瓶
GB 8076	混凝土外加剂
GB 50119	混凝土外加剂应用技术规范
GB 50164	混凝土质量控制标准
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB/T 200	中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 2015	白色硅酸盐水泥
GB/T 10171	建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）
GB/T 14684	建设用砂
GB/T 14685	建设用碎石、卵石
GB/T 14902	预拌混凝土
GB/T 17431.1	轻集料及其试验方法 第1部分 轻集料
GB/T 18046	水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 18736	高强高性能混凝土用矿物外加剂
GB/T 21120	水泥混凝土和砂浆用合成纤维
GB/T 23265	水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维
GB/T 27690	砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 38143	水泥混凝土和砂浆用耐碱玻璃纤维
GB/T 39147	混凝土用钢纤维
GB/T 50080	普通混凝土拌合物性能试验方法标准
GB/T 50081	普通混凝土力学性能试验方法标准
GB/T 50082	普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法
JGJ 63	混凝土用水标准
JGJ/T 221	纤维混凝土应用技术规程
JGJ/T 328	预拌混凝土绿色生产及管理技术规程
T/CECS 864	超高性能混凝土试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超高性能无机复合材料 ultra-high performance inorganic composite material

由骨料、水泥、矿物掺合料、外加剂和其它材料等加水拌和凝结硬化制成，具有高力学性能、高抗渗性能和低收缩性能的无机复合材料（简称“ICM”）。

3.2

自然养护 natural curing

在自然环境下进行的养护。

3.3

热养护 heat curing

在40℃–95℃的人工环境下进行的养护。

3.4

最密实堆积方法 maximum density packing method

在给定的空间内，通过对级配颗粒体系实施排布和堆放策略，同时考虑颗粒堆积体系的运动能力，使得颗粒堆积体系的堆积密度最大而孔隙率最小的颗粒堆积方法。

3.5

预混料 premix

用于制备超高性能无机复合材料的预先混合料。

3.6

早龄期自收缩 early age autogenous shrinkage

在与外界无水分交换的条件下，超高性能无机复合材料从初凝开始至初凝后72h，由于胶凝材料水化引起内部相对湿度降低和毛细孔负压而导致的宏观体积的减小。

3.7

干燥收缩 drying shrinkage

硬化超高性能无机复合材料在无约束和规定温湿度条件下的收缩变形，其中包括超高性能无机复合材料在不饱和空气中失水引起的收缩和胶凝材料水化引起的自收缩。

4 分类、性能等级及标记

4.1 分类

4.1.1 按是否含纤维分为含纤维（代号为F）和不含纤维（代号为G）。

4.1.2 按是否含粗骨料分为粗骨料类（代号为C）和不含粗骨料类（代号为X）。

4.1.3 按养护方式分为自然养护类（代号为N）和热养护类（代号为H）。

4.2 性能等级

4.2.1 超高性能无机复合材料拌合物的工作性能用水泥胶砂流动度、扩展度或维勃稠度表示，分级应符合表1、表2或表3的规定。

表1 水泥胶砂流动度分级

等级	TZ01	TZ02	TZ03
流动度 (mm)	150-200	200-250	250-300

表2 扩展度分级

等级	K01	K02	K03
要求 (mm)	<550	≥550, ≤650	>650

表3 维勃稠度分级

等级	V0	V1	V2	V3
维勃稠度 (s)	>31	30~21	20~11	10~5

4.2.2 超高性能无机复合材料的容重分级,应符合表4的规定。

容重分级

等级	γ_0	γ_1
容重 (kN/m ³)	<22	≥22

4.2.3 超高性能无机复合材料的性能分级应符合表5的规定。抗压强度标准值 f_{cuk} 、轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗压强度设计值 f_{cd} 按表5采用。

表4 抗压性能分级

强度种类 (MPa)	强度等级							
	M 60	M 80	M 100	M 120	M 130	M 140	M 150	M 160
f_{cuk}	60	80	100	120	130	140	150	160
f_{ck}	42.0	56.0	70.0	84.0	91.0	98.0	105.0	112.0
f_{cd}	29.0	38.5	48.0	58.0	62.5	67.5	72.5	77.2

表5 续表

强度种类 (MPa)	强度等级							
	M 170	M 180	M 200	M 220	M 240	M 260	M 280	M 300
f_{cuk}	170	180	200	220	240	260	280	300
f_{ck}	118.0	125.0	139.0	153.0	167.0	181.0	195.0	209.0
f_{cd}	81.0	86.0	96.0	105.0	115.0	125.0	134.0	143.5

4.2.4 超高性能无机复合材料抗拉性能分级应符合表6的规定。轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 和轴心抗拉强度设计值按表6采用。

表5 抗拉性能分级

强度等级 (MPa)	T01	T02	T03	T04	T05	T06
f_{tk}	≥3.2	≥5.2	≥7.2	≥9.2	≥12.0	≥15.0
f_{td}	≥2.2	≥3.5	≥4.9	≥6.3	≥8.2	≥10.2

4.2.5 超高性能无机复合材料抗折性能分级应符合表7的规定。

表6 抗折性能分级

强度等级 (MPa)	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09
抗折强度	5	10	15	20	25	30	35	40	45

4.2.6 超高性能无机复合材料弹性模量分级应符合表 8 的规定。受压或受拉时的弹性模量 E_c 按表 7 采用。

表7 弹性模量分级

强度等级	E01	E02	E03	E04	E05
E_c ($\times 10^4$ MPa)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

4.2.7 超高性能无机复合材料的收缩性能分级,按照波纹管法和接触法两类进行分级,分级和指标应分别符合表 9 和表 10 的规定。

表8 早龄期自收缩性能分级

等级	B01	B02	B03
收缩率 ($\mu\epsilon$)	<300	300~500	>500
注:测试区间为成型后至此3d,推荐采用波纹管法用千分表测量。			

表9 干燥收缩性能分级

等级	F01	F02	F03
收缩率 ($\mu\epsilon$)	<150	150~350	>350
注:测试区间为成型后3d至此56d。			

4.2.8 超高性能无机复合材料的耐久性能可采用抗氯离子渗透性能、抗渗等级、抗硫酸盐等级或抗冻等级之一或多项进行评价,分级和指标应分别符合表 11、表 12、表 13 或表 14 的规定。

表10 抗氯离子渗透性能的等级划分

等级	D1	D2
氯离子扩散系数 $D_{RCM}(RCM$ 法) $(\times 10^{-13}m^2/s)$	$1.5 < D_{RCM} \leq 3.0$	$D_{RCM} \leq 1.5$
注:当超高性能无机复合材料中的钢纤维(或其他导电纤维)体积含量超过2.0%时,不宜使用该方法。		

表11 抗渗等级的划分

等级	P01	P02	P03	P04
抗渗性能	$<P15$	P15~P20	P21~P30	$>P30$

表12 抗硫酸盐等级的划分

等级	K01	K02	K03
抗硫酸盐性能	KS120	KS150	$>KS150$

表13 抗冻的等级划分

等级	S01	S02	S03
抗冻等级(快冻法)	F300	$>F300, <F500$	$\geq F500$

4.2.9 有抗冲磨性能要求的超高性能无机复合材料,其抗冲磨性能分级和指标应符合表 15 的规定。

表14 抗冲磨性能的等级划分

等级	A1	A2	A3
抗冲磨指数I	$1.0 < I \leq 1.5$	$0.7 < I \leq 1.0$	$I \leq 0.7$

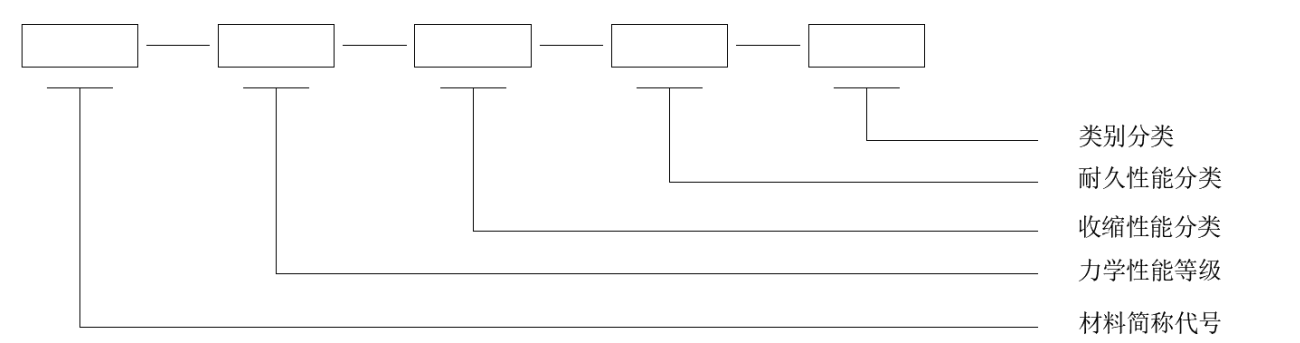
4.3 标记

4.3.1 超高性能无机复合材料标记按主要用途分为:抗拉强度为主控指标类和其他类两种形式,其中:抗拉强度为主控指标类以抗拉性能等级为主标记;其他类以抗压性能等级为主标记;在选用材料时,根

据结构或产品需求，选择必要的参数按 4.3.2 原则进行标记；标记参数在生产或施工时必须进行检测，未标记的性能参数可不予检测。

4.3.2 超高性能无机复合材料应按如下顺序进行标记：材料简称-力学性能-收缩性能分类-耐久性能分类-类别分类。

4.3.3 标记示例：



示例 1：用于其他类产品的超高性能无机复合材料，抗压强度等级为M80，收缩性能等级为B01，抗渗等级为P02，粗骨料类，标记为：ICM-M80-B01-P02-C。

示例 2：用于抗拉强度为主控指标类产品的超高性能无机复合材料，抗拉强度等级为T03，强收缩性能等级为F02，抗冲磨性能为A1，采用热养护，标记为：ICM-T03-F02-A1-H。

5 材料

5.1 水泥

5.1.1 宜选用强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥和白色硅酸盐水泥。所用水泥应符合下列规定：

- a) 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥应符合 GB 175 的规定；
- b) 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥应符合 GB/T 200 的规定；
- c) 白色硅酸盐水泥应符合 GB/T 2015 的规定；

5.1.2 当采用其它种类水泥时，应通过试验，确认满足超高性能无机复合材料的性能要求方可使用。

5.2 掺合料

5.2.1 硅灰应符合 GB/T 27690 的规定，采用 SF90 类硅灰。

5.2.2 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定，采用 I 级粉煤灰。

5.2.3 粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定，采用 S95 及以上等级的粒化高炉矿渣粉。

5.2.4 偏高岭土应符合 GB/T 18736 的规定。

5.3 骨料

5.3.1 超高性能无机复合材料用骨料宜采用 16mm~25mm、9.50mm~16.0mm、4.75mm~9.50mm 的碎石，2.36mm~4.75mm、1.18mm~2.36mm、0.60mm~1.18mm、0.30mm~0.60mm、0.15mm~0.30mm、0.15mm 以下粒径粒径的天然砂或机制砂进行配制。每个粒级的超径和逊径颗粒含量相对于 GB/T 14684 和 GB/T14685 中 I 类骨料的累计筛余要求不宜大于 5%。轻骨料应符合 GB/T 17431.1 的规定。

5.3.2 超高性能无机复合材料用天然砂或机制砂，除级配外的品质应符合 GB/T 14684 中 I 类砂的规定，其氯离子、硫化物及硫酸盐、云母含量应符合表 16 的规定，天然砂含泥量和泥块含量应符合表 17 的规定，机制砂石粉含量应符合表 18 的规定，同时，机制砂的亚甲蓝值不应大于 1.0。

表15 砂的技术指标

项目	技术指标
氯离子含量d (%)	≤0.02
硫化物及硫酸盐含量e (%)	≤0.50
云母含量 (%)	≤0.50
注：当砂中含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时，应进行专门检验，确认超高性能无机复合材料的耐久性符合要求后方可采用。当砂中含有黄铁矿时，硫化物及硫酸盐含量（以SO ₃ 质量计）不得超过0.25%。	

表16 天然砂的含泥量和泥块含量

项目	含泥量 (%)	泥块含量 (%)
指标	≤0.5	0

表17 机制砂的石粉含量

亚甲蓝值	石粉含量 (%)
MB<0.5	≤5.0
0.5≤MB≤1.0	≤2.0

5.3.3 超高性能无机复合材料中掺入碎石时，M60～M100 强度等级应符合 GB/T 14685 中 II 类碎石的规定，M120 及以上强度等级应符合 GB/T 14685 中 I 类碎石的规定。

5.4 外加剂

5.4.1 减水剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定，减水剂的减水率宜不小于 30%。

5.4.2 当使用其他外加剂时，其性能应符合国家现行相关标准的规定，且应通过试验确定所配制的超高性能无机复合材料的性能满足要求。

5.5 纤维

5.5.1 代号为 F 的超高性能无机复合材料，一般采用钢纤维、合成纤维、玄武岩纤维和耐碱玻璃纤维。

5.5.2 钢纤维应为 GB/T 39147 规定的 I 类钢纤维，公称抗拉强度应不低于 GB/T 39147 规定的 1300 级，尺寸和抗拉强度公差应符合 GB/T 39147 中 A 级的规定。

5.5.3 非金属纤维中，合成纤维应符合 GB/T 21120 的规定，耐碱玻璃纤维应符合 GB/T 38143 的规定，玄武岩纤维应符合 GB/T 23265 的规定。应通过试验确定使用非金属纤维所配制的超高性能无机复合材料的性能达到本文件的要求，并满足工程应用要求后方可使用。

5.6 拌合用水

拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 超高性能无机复合材料的配合比设计应考虑结构形式、施工工艺以及环境作用等因素，应根据工作性能、强度、耐久性以及其他性能要求计算初始配合比，初始配合比应经试配与工作性能调整，并经强度等性能复核后获得基准配合比。

6.1.2 超高性能无机复合材料配合比设计应采用绝对体积法，并基于最密实堆积方法进行设计。

6.2 配合比的配制强度

6.2.1 超高性能无机复合材料的配制抗压强度宜按式 (1) 计算:

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (1)$$

式中:

$f_{cu,0}$ ——超高性能无机复合材料的配制抗压强度, 单位为兆帕 (MPa);

$f_{cu,k}$ ——超高性能无机复合材料的抗压强度标准值, 单位为兆帕 (MPa);

σ ——同一生产单位, 同一强度等级的超高性能无机复合材料抗压强度标准差, 单位为兆帕 (MPa)。

当抗压强度标准差未知时, 超高性能无机复合材料的配制抗压强度宜按式 (2) 计算:

$$f_{cu,0} \geq 1.10f_{cu,k} \quad (2)$$

6.2.2 超高性能无机复合材料的配制抗拉强度宜按式 (3) 计算:

$$f_{t,0} = f_{t,k} + 1.645\sigma_t \quad (3)$$

式中:

$f_{t,0}$ ——超高性能无机复合材料的配制抗拉强度, 单位为兆帕 (MPa);

$f_{t,k}$ ——超高性能无机复合材料的抗拉强度标准值, 单位为兆帕 (MPa);

σ_t ——同一生产单位, 同一强度等级的超高性能无机复合材料抗拉强度标准差, 单位为兆帕 (MPa)。

当抗拉强度标准差未知时, 超高性能无机复合材料的配制抗拉强度宜按式 (4) 计算:

$$f_{t,0} \geq 1.20f_{t,k} \quad (4)$$

6.2.3 超高性能无机复合材料的水胶比不宜大于 0.25, 抗拉强度为主控指标类超高性能无机复合材料中钢纤维的体积含量应不小于 1.0%。

7 制备

7.1 一般规定

7.1.1 超高性能无机复合材料所使用的原材料, 均应符合相应技术标准要求。

7.1.2 超高性能无机复合材料可采用工程现场预混料搅拌或工厂集中搅拌的方式生产。搅拌站 (楼) 应符合 GB/T 10171 的规定。

7.1.3 原材料应按品种、规格和生产厂家分别标识, 并应贮存于干燥、通风、防尘、防潮和防雨的场所。

7.1.4 生产厂址选择、厂区要求、设备设施、控制要求、监测控制应符合 JGJ/T 328 的规定, 并应达到 JGJ/T 328 规定的一星级及以上标准。

7.1.5 超高性能无机复合材料采用以下方式制备:

- F 类超高性能无机复合材料, 将各种固体原材料预拌成预混料, 纤维与固体原材料预混或搅拌时投放, 经包装后运输至预制工厂或施工现场, 加水和纤维拌和成为浇筑用超高性能无机复合材料。减水剂可与原材料预混, 或在施工现场加入;
- G 类超高性能无机复合材料, 将各种原材料预拌成预混料, 经包装后运输至预制工厂或施工现场, 加水拌和成为浇筑用超高性能无机复合材料。减水剂可与原材料预混, 或在施工现场加入。
- 直接投放各种原材料的搅拌方式, 即在搅拌设备内一次完成超高性能无机复合材料的拌和;

7.1.6 预混料的供应应提供产品说明书和产品检验报告, 并满足下列要求:

- 产品说明书应标明产品名称、产品批次、出厂日期、保质期、用水量、搅拌方式、振捣和养护注意事项等, 注明贮存、运输时的相关注意事项;
- 产品检验报告应列出产品名称、委托检验单位及人员、受委托检验单位及人员、主要检验性能指标、检验依据标准、测试人员及审查人员、送检日期、检验日期和审核日期等内容。

7.2 原材料进场和检验

7.2.1 超高性能无机复合材料的原材料，均应在进场前查验出厂检验报告等质量证明文件，并进行检验。

7.2.2 原材料检验项目及检验批量按表 19 执行。

表18 原材料检验项目及检验批量

原材料种类	检验项目执行标准	检验批量执行标准
水泥	GB 50164	
掺合料	GB/T 27690/ GB/T 1596/ GB/T 18046/ GB/T 18736	
骨料	GB/T 14684/GB/T14685/ GB/T 17431.1	
外加剂	GB 50119	
钢纤维	GB/T 39147	JGJ/T 221
合成纤维	JGJ/T 221	
耐碱玻璃纤维	GB/T 38143	
玄武岩纤维	GB/T 23265	
水	JGJ 63	GB 50204

7.3 原材料存储

7.3.1 水泥应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存。超高性能无机复合材料生产时所用水泥的温度不宜高于 60℃。不应使用受潮、结块或污染的水泥。不宜使用贮存期超过 3 个月的水泥。

7.3.2 粒状骨料堆场应为能排水的硬质地面，并应有防尘和遮雨设施。不同品种、规格的骨料应分别贮存，避免混杂或污染。

7.3.3 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和贮存。粉状外加剂应防止受潮结块，如有结块，应进行检验，合格者应经粉碎至全部通过 300 μ m 筛孔后方可使用。液体外加剂应贮存在密闭容器内，并应防晒和防冻。有沉淀、异味、漂浮等现象时，应检验合格后方可使用。当制备预混料时，骨料的含水率不应大于 1%。

7.3.4 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别标识和贮存，并应防潮、防雨。

7.3.5 纤维应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存，并应避光、防潮、防锈。

7.3.6 预混料应按照生产日期、品种、工程目标进行分别标识和贮存，不同批次不应混放，其贮存期不宜超过 2 个月。

7.4 计量

原材料的计量应符合下列要求：

- 全部原材料按质量计量；
- 原材料计量应采用电子计量设备。计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期检验。生产单位每月应至少自检一次。每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准；
- 原材料计量允许偏差应符合表 20 规定的范围，并应每班检查 1 次。

表19 原材料计量允许偏差

偏差种类	原材料品种						
	水泥	掺合料	纤维	外加剂	骨料	水	干混料
每立方计量允许偏差 (%)	±2	±2	±1	±1	±2	±0.5	±2
累计计量允许偏差 (%)	±1	±1	±1	±1	±2	±0.5	±1

注：累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差。

7.5 搅拌

7.5.1 超高性能无机复合材料应使用强制式搅拌机进行搅拌。

7.5.2 超高性能无机复合材料的搅拌按不同的制备方式，宜符合下列规定：

- a) 采用 7.1.5 中 a) 类制备方式的超高性能无机复合材料，应先加入预混料，然后加入水或水与液态外加剂形成的溶液并搅拌形成匀质的浆体，通过搅拌将纤维在浆体中分散均匀。对不含纤维的预混料，在预混料搅拌形成匀质浆体后，通过筛网或人工撒布的方法加入纤维，并搅拌均匀；
- b) 采用 7.1.5 中 b) 类制备方式的超高性能无机复合材料，应先加入预混料，然后加入水或水与液态外加剂形成的溶液并搅拌形成匀质的浆体。
- c) 采用 7.1.5 中 c) 类制备方式的超高性能无机复合材料，应先将水、液态外加剂和纤维之外的干燥物质干拌均匀，然后加入水或水与液态外加剂形成的溶液并搅拌形成匀质的浆体，再通过筛网或人工撒布的方法加入纤维，并通过搅拌将纤维在浆体中分散均匀；

7.5.3 超高性能无机复合材料的搅拌工艺和搅拌时间应通过试验确定，干拌时间不宜少于 120s，湿拌时间不宜少于 150s。

7.5.4 搅拌完成的超高性能无机复合材料拌合物应具有良好的匀质性，不应有纤维结团或离析现象。

7.6 运输与浇筑

7.6.1 超高性能无机复合材料拌合物可采用搅拌运输车、料斗或泵送的方式进行运输。运输过程中应防止超高性能无机复合材料拌合物失水，严禁向超高性能无机复合材料拌合物中加水。

7.6.2 超高性能无机复合材料拌合物在运输过程中应采取搅拌或避震措施，避免超高性能无机复合材料拌合物出现分层、离析或沉降现象。

7.6.3 搅拌运输车应符合 GB/ T 26408 的规定。对于寒冷或严寒的气候环境，搅拌运输车或泵送管道应有保温措施。对于炎热的气候环境，搅拌运输车或泵送管道应有隔热措施。

7.6.4 超高性能无机复合材料拌合物从搅拌机卸料至浇筑的时间不宜长于 1.5h。如需延长运送时间，应采取有效技术措施，并通过试验确定卸料时拌合物的工作性能是否满足浇筑要求。

7.6.5 超高性能无机复合材料拌合物浇筑应符合下列要求：

- a) 超高性能无机复合材料的浇筑宜一次性浇筑成型；
- b) 超高性能无机复合材料浇筑总时间宜控制在 1h 以内，避免表面结壳和出现冷缝；
- c) 模板温度应采取措施控制，夏季模板温度不高于 30℃，冬季模板温度应高于 0℃；
- d) 宜采用模外振捣器振捣。

7.6.6 超高性能无机复合材料宜连续浇筑，避免出现冷缝。需要间歇施工的工作面，应进行覆盖以避免失水；间歇浇筑时间不得大于超高性能无机复合材料的初凝时间；应对间歇浇筑的工作面用插入式低频振捣棒进行振动，实现间歇浇筑前后拌合物的混合。

7.6.7 超高性能无机复合材料可采用平板振捣器或附着式振捣器进行振捣成型。振捣过程中应控制振动频率和振动时间，避免拌合物出现分层、离析或沉降现象。

7.6.8 超高性能无机复合材料的搅拌、运输、浇筑及浇筑后的静停均宜在平均气温不低于 10℃且最低气温不低于 0℃的环境中进行。当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 0℃时，应按冬期施工过程处理，采取保温措施。

7.6.9 环境温度超过 35℃时，宜对超高性能无机复合材料的原材料采取降温措施，降低原材料温度，在浇筑前，应采取淋水或遮阳等措施降低模板温度。

8 养护

8.1 一般规定

8.1.1 超高性能无机复合材料在浇筑成型后，可采取自然养护或热养护两种方式。

8.1.2 采用热养护方式时,先对浇筑成型后的超高性能无机复合材料进行自然养护,再进行高温养护。

8.2 自然养护

8.2.1 超高性能无机复合材料浇筑完成后,应及时进行保湿养护,并应符合下列要求:

- a) 采用覆盖节水保湿薄膜或喷洒养护剂进行保湿养护;
- b) 终凝前,严禁松动模板或在周边进行震动较大的施工作业;
- c) 保湿养护时间不宜少于 24h,且同条件养护试件的抗压强度达到 40MPa 后方可拆模;
- d) 应注意拆模时构件表面与环境温度的温差,当温差大于 20℃时,不宜拆模。

8.2.2 当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 0℃时,应按冬期施工的保温措施处理。

8.3 热养护

8.3.1 超高性能无机复合材料在浇筑成型后,先进行自然养护,当同条件养护的试件的抗压强度不小于 40MPa 时,方可转入热养护阶段。

8.3.2 超高性能无机复合材料的热养护,可在常压或高压环境下实施。

8.3.3 超高性能无机复合材料采用高温蒸汽养护,应符合下列要求:

- a) 高温蒸汽养护应在保湿养护完成后实施,保湿养护与高温蒸汽养护时间间隔不应长于 7 天;
- b) 蒸汽养护棚应具有足够的强度、刚度、稳定性和密封性,养护棚不得与构件表面接触;
- c) 应采用温度自动控制系统对升温、恒温 and 降温过程进行控制;
- d) 超高性能无机复合材料热养护阶段的升温速度应不大于 10℃/h,升温至设定的养护温度后恒温至规定时间或直至同条件养护试件的抗压强度达到预定值。热养护阶段,养护室内的相对湿度应保持在 95%以上。热养护结束后的降温速度应不大于 15℃/h,当降温至超高性能无机复合材料试件或构件的表面温度与环境温度之差不大于 20℃时,方可进行拆模或移动超高性能无机复合材料构件;
- e) 当养护温度恒定在 90℃以上时,累计时间不应少于 48h,当养护温度恒定在 80℃~90℃时,累计时间不应少于 72h。

8.3.4 热养护结束后,运输至存放区域放置,无需额外养护。

9 试验方法

9.1 物理性能

超高性能无机复合材料扩展度试验应符合 GB/T 50080 的规定。

9.2 力学性能

9.2.1 超高性能无机复合材料试件的抗压强度、抗折强度和弹性模量试验应符合 GB/T 50081 的规定。抗压强度试验应采用 100mm×100mm×100mm 立方体试件,加载速率应为 1.2~1.4MPa/s;抗折强度试验应采用 100mm×100mm×400mm 棱柱体试件,加载速率应为 0.08~0.1MPa/s;弹性模量试验应采用 100mm×100mm×300mm 棱柱体试件,加载速率应为 1.2~1.4MPa/s。超高性能无机复合材料抗压强度、抗折强度、弹性模量测试,每组均包括三个试样;抗压强度值、抗折强度值、弹性模量值的确定均按照 GB/T 50081 中的相关规定执行。

9.2.2 抗压强度和抗折强度试验值均不乘以尺寸换算系数。

9.2.3 超高性能无机复合材料抗拉强度的确定方法按照 T / CECS 864 规定执行。

9.3 长期性能和耐久性能

9.3.1 超高性能无机复合材料收缩性能应根据设计要求按照早龄期自收缩和干燥收缩的一项或两项进行检测,早期收缩检测采用波纹管法检测,干燥收缩采用接触法进行检测,检测方法按照 GB/T 50082 规定执行。

9.3.2 抗氯离子渗透性能和抗冲磨性能的确定方法按照 T/CECS 864 规定执行。

9.3.3 抗渗性能、抗硫酸盐性能和抗冻性能的确定方法按照 GB/T 50082 规定执行。

10 检验规则

10.1 一般规定

10.1.1 超高性能无机复合材料的性能检验，应根据设计要求进行超高性能无机复合材料性能指标检验。设计无要求时，应按抗拉强度为主控指标类和其他类的主标记指标检验超高性能无机复合材料的立方体抗压强度或轴心抗拉强度。

10.1.2 配合比的检验，可以采用按原材料质量比表示的配合比或预混料进行检验。

10.1.3 超高性能无机复合材料的性能检验应分批进行检验评定。一个检验批应由力学性能等级相同、试验龄期相同、生产工艺条件和配合比基本相同的超高性能无机复合材料组成。

10.1.4 性能检验每 50m^3 检验一次，批量不到 50m^3 ，按 50m^3 计算。每班次应至少检验一次，每次检验应至少留置两组试件。试件应在浇筑地点随机取样制作。

10.1.5 纤维体积率按照每班次或 50m^3 检验一次，纤维体积率偏差应小于 5%，检测方法按 T / CECS 864 的规定。

10.2 拌合物取样

10.2.1 超高性能无机复合材料拌合物的工作性能、力学性能和抗渗透性能应分批进行取样和测试。

10.2.2 超高性能无机复合材料拌合物取样应从同一次搅拌或同一车运送的超高性能无机复合材料中取出，取样量应不少于试验需要量的 1.5 倍，且宜不少于 20L。

10.2.3 同配合比的超高性能无机复合材料，连续浇筑不大于 300m^3 时，每 50m^3 取样并测试一次工作性能。批量不足 50m^3 时，按 50m^3 计算。连续浇筑超出 300m^3 时，每增加 100m^3 ，增加一次取样并测试工作性能，批量不足 100m^3 时，按 100m^3 计算。

10.2.4 超高性能无机复合材料的长期性能和耐久性能测试，按设计要求或相关规范执行。

10.3 试件制作与养护

10.3.1 超高性能无机复合材料试件制作时，宜从试模的一侧开始浇筑，将拌合物一次性装入试模。

10.3.2 当超高性能无机复合材料的坍落扩展度小于 650mm 时，采用振动台上振动以排除气泡，振动时间宜为 10~15s。坍落扩展度不小于 650mm 时，可用橡皮锤轻敲试模侧壁以排除气泡。

10.3.3 超高性能无机复合材料试件在浇筑成型过程中不宜插捣。

10.3.4 工程现场或工厂中制作的超高性能无机复合材料构件性能测试用试件的养护，可采取标准养护或热养护两种方式。当构件采用自然养护时，其性能测试用试件应采用标准条件进行养护，在成型后 28d 进行测试。当构件采用热养护时，其性能测试用试件应先随构件进行同条件养护，然后置于标准条件下继续养护至 28d 进行测试。

10.4 出厂检验与交货检验

10.4.1 不同等级的超高性能无机复合材料应在配合比设计阶段或生产工艺发生重大变化后进行型式检验，型式检验由供方委托的有检验资质的第三方单位承担，型式检验内容包括工作性能、抗压强度、弹性模量、抗拉强度。

10.4.2 超高性能无机复合材料的质量检验分为出厂检验和交货检验。出厂检验的取样和试验工作应由供方承担；交货检验的取样和试验工作应由需方承担，当需方不具备试验与人员的技术资质时，供需双方协商确定或委托有检验资质的单位承担，并应在供货合同中予以明确。

10.4.3 其他类超高性能无机复合材料的出厂检验项目包括工作性能、抗压强度、抗折强度，交货检验

项目包括工作性能、抗压强度、抗折强度以及设计要求的其他性能。

10.4.4 抗拉强度为主控指标类超高性能无机复合材料的出厂检验项目包括工作性能、抗压强度、抗拉强度，交货检验项目包括工作性能、抗压强度、抗拉强度以及设计要求的其他性能。

10.4.5 超高性能无机复合材料型式检验、出厂检验和交货检验项目应符合表 21 的规定。

表20 超高性能无机复合材料型式检验、出厂检验和交货检验项目

项目	型式检验	出厂检验	交货检验
工作性能	√	√	√
抗拉强度	√	○	○
抗折强度	√	○	○
抗压强度	√	√	√
弹性模量	√	×	○
早龄期自收缩	√	×	○
干燥收缩	√	×	○
耐久性指标	√	×	○
注：“√”为必检项目，“○”为可选检验，“×”为无需检验项目。			

10.4.6 交货检验结果应在检验后 5 个工作日内或供货合同约定的时间内书面通知供方。

10.4.7 超高性能无机复合材料质量验收应以交货检验结果作为依据。

11 订货与交货

超高性能混凝土的订货与交货应符合 GB/T 14902 的规定。