T/CECSxxx-202x

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**超高性能混凝土用掺合料应用技术规程**

Technical specifications for application of mineral admixtures in ultra-high performance concrete

（**征求意见稿**）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

XXX出版社

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**超高性能混凝土用掺合料应用技术规程**

Technical specifications for application of mineral admixtures in ultra-high performance concrete

**T/CECS xxx－202x**

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

中 国 X X出 版 社

202X年 北 京

前 言

本标准根据中国工程建设标准化协会《关于印发2023年第一批协会标准制定、修订技术》的通知》（建标协字﹝2023﹞10号）文件的要求，编制组在深入调研、认真总结实践经验、参考国内外先进标准和广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准共分6章。主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、矿物掺合料技术要求、配合比设计、生产施工及质量检验。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由上海市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有意见或建议，请寄送至上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市闵行区申富路568号，邮编：201108，邮箱：fanjunjiang@sribs.com）。

**本标准主编单位：** 上海市建筑科学研究院有限公司

**本标准参编单位：**

**本标准主要起草人员：**

**本标准主要审查人员：**

目 次

[**1 总 则** 1](#_Toc202971051)

[**2 术语和符号** 2](#_Toc202971052)

[2.1 术 语 2](#_Toc202971053)

[2.2 符 号 2](#_Toc202971054)

[**3 基本规定** 4](#_Toc202971055)

[**4 矿物掺合料技术要求** 5](#_Toc202971056)

[**5 配合比设计** 8](#_Toc202971057)

[5.1 一般规定 8](#_Toc202971058)

[5.2 配合比参数确定 8](#_Toc202971059)

[5.3 配合比设计与调整 8](#_Toc202971060)

[**6 生产、施工及质量检验** 11](#_Toc202971061)

[6.1 搅拌与运输 11](#_Toc202971062)

[6.2 浇筑 11](#_Toc202971063)

[6.3 养护 12](#_Toc202971064)

[6.4 质量检验评定 12](#_Toc202971065)

[**用词说明** 13](#_Toc202971066)

[**引用标准名录** 14](#_Toc202971067)

**附:**[**条文说明** **15**](#_Toc202971068)

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc202790864)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc202790865)

[2.1 Terms 2](#_Toc202790866)

[2.2 Symbols 2](#_Toc202790867)

[3 Basic requirements 4](#_Toc202790868)

[4 Technical requirements for mineral admixtures 5](#_Toc202790869)

[5 Mix proportion design 8](#_Toc202790874)

[5.1 General Requirements 8](#_Toc202790875)

[5.2 Determination of mix proportion parameters 8](#_Toc202790876)

[5.3 Mix proportion design and adjustment 8](#_Toc202790877)

[6 Production,construction, and quality inspection 11](#_Toc202790878)

[6.1 Mixing and transportation 11](#_Toc202790879)

[6.2 Pouring 11](#_Toc202790880)

[6.3 Curing 12](#_Toc202790881)

[6.4 Quality inspection and evaluation 12](#_Toc202790882)

[Explanation of wording 13](#_Toc202790883)

[List of reference standards 14](#_Toc202790884)

[Addtion：Explanation of Provisions 15](#_Toc202790885)

**1 总 则**

**1.0.1** 为规范矿物掺合料在超高性能混凝土中的应用，降低超高性能混凝土的选材与制备门槛、促进超高性能混凝土在实际工程应用中的科学化、规范化，做到技术先进、安全可靠、经济合理，保证工程质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于硅灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、石灰石粉、偏高岭土在超高性能混凝土工程中的应用。

**1.0.3** 在超高性能混凝土中掺用矿物掺合料时，除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术语和符号**

## 2.1 术 语

**2.1.1** 超高性能混凝土 ultra high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有超高力学性能、超高抗渗性能的高韧性水泥基复合材料。

**2.1.2** 矿物掺合料 mineral admixture

以硅、铝、钙等一种或多种氧化物为主要成分，具有规定细度，掺入超高性能混凝土中能改善超高性能混凝土性能的粉体材料。

**2.1.3**  硅灰 silica fume

在冶炼硅铁合金、工业硅时或者在电熔法生产氧化锆时排出的粉尘，经收集得到的以无定形二氧化硅为主要成分的粉体材料。

**2.1.4** 粉煤灰 fly ash

电厂煤粉炉烟道气体中收集的粉末。

注:粉煤灰不包括以下情形：(1)和煤一起煅烧城市垃圾或其他废弃物时；(2)在焚烧炉中煅烧工业或城市垃圾时；(3)循环流化床锅炉燃烧收集的粉末。

**2.1.5**  粒化高炉矿渣粉 ground granulated blast furnace slag

从炼铁高炉中排出的，以硅酸盐和铝硅酸盐为主要成分的熔融物，经淬冷成粒后粉磨所得的粉体材料。

**2.1.6** 钢渣粉 steel slag powder

从炼钢炉中排出的，以硅酸盐为主要成分的熔融物，经消解稳定化处理后粉磨所得的粉体材料。

**2.1.7** 石灰石粉 ground limestone

以一定纯度的石灰石为原料，经粉磨至规定细度的粉状材料。

**2.1.8** 偏高岭土 metakaolin

 以高岭土类矿物为原料，在适当温度下煅烧后经粉磨形成的以无定形铝硅酸盐为主要成分的产品。

## 2.2 符 号

*m*b —— 每立方米超高性能混凝土中的胶凝材料用量；

*m*c——每立方米超高性能混凝土中的水泥用量；

*m*f—— 每立方米超高性能混凝土中的矿物掺合料用量；

*V*a——每立方米超高性能混凝土的含气量；

*V*f——纤维体积率；

*V*s——砂的体积分数；

*ρ*b——胶凝材料的表观密度；

*ρ*c——水泥的表观密度；

*ρ*f——纤维的表观密度；

*ρ*m——矿物掺合料的表观密度；

*ρ*s——砂的表观密度；

*ρ*w——拌合水的表观密度；

*α*——超高性能混凝土的减水剂掺量；

*β*——矿物掺合料占胶凝材料的质量分数。

**3 基本规定**

**3.0.1** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土，水泥、骨料、纤维、外加剂等原材料的技术要求应符合现行团体标准《超高性能混凝土（UHPC）技术要求》T/CECS 10107的有关规定。

**3.0.2** 矿物掺合料在超高性能混凝土中的应用应综合考虑超高性能混凝土材性要求和经济性。

**3.0.3**  用于超高性能混凝土的掺合料宜采用激光粒度仪进行粒径分析后确定合理掺量，掺矿物掺合料的胶凝材料体系粒径分布宜符合最紧密堆积设计。

**3.0.4** 用于配制超高性能混凝土的矿物掺合料应与外加剂具有良好的相容性，矿物掺合料及外加剂的品种和掺量应通过试验确定。

**3.0.5** 用于建筑外墙和装饰制品的超高性能混凝土使用矿物掺合料时，应充分验证矿物掺合料对颜色的影响。

**3.0.6** 矿物掺合料的放射性核素限量应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566的有关规定。

**3.0.7** 掺用本规程以外的矿物掺合料时，应经过系统、充分试验验证之后再行使用。

**4 矿物掺合料技术要求**

**4.0.1** 超高性能混凝土用硅灰的技术要求应符合表4.0.1的规定。

表4.0.1 超高性能混凝土用硅灰的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 堆积密度/(kg/m3) | ≥300, ≤400 | 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 |
| 二氧化硅含量/% | ≥90.0 |
| 含水率/% | ≤2.0 |
| 烧失量/% | ≤3.0 |
| 细度 | 45μm方孔筛筛余/% | ≤5.0 |
| 比表面积/(m2/kg) | ≥18000 |
| 需水量比/% | ≤125 |
| 活性指数/% | ≥105 |
| 抗氯离子渗透性(28d电通量之比)/% | ≤40 |
| 白度 | ≥80 | 《建筑材料与非金属矿产品白度测量方法》GB/T 5950 |
| 注1：当采用硅锆合金冶炼副产物锆硅灰时，可不对细度指标进行要求。注2：白度指标仅在硅灰用于装饰用途的超高性能混凝土制品时做要求。注3：抗氯离子渗透性（28d电通量之比）为选择性试验项目，由供需双方协商确定。 |

**4.0.2** 超高性能混凝土用粉煤灰的技术要求应符合表4.0.2的规定。

表4.0.2 超高性能混凝土用粉煤灰的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 品种 | 级别 |
| Ⅰ | Ⅱ |
| 45μm方孔筛筛余/% | F类、C类 | ≤12.0 | ≤30.0 | 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 |
| 需水量比/% | F类、C类 | ≤95 | ≤105 |
| 烧失量/% | F类、C类 | ≤5.0 | ≤8.0 |
| 含水量/% | F类、C类 | ≤1.0 |
| 三氧化硫/% | F类、C类 | ≤3.0 |
| 游离氧化钙/% | F类 | ≤1.0 |
| C类 | ≤4.0 |
| 二氧化硅（SiO2）、三氧化二铝（Al2O3）、 和三氧化二铁（Fe2O3）总质量分数/% | F类 | ≥70.0 |
| C类 | ≥50.0 |
| 密度(g/cm3) | F类、C类 | ≤2.6 |
| 安定性（雷氏法）(mm) | C类 | ≤5.0 |
| 强度活性指数/% | F类、C类 | ≥70.0 |
| 铵离子含量 (mg/kg) | F类、C类 | ≤210 | 《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》GB/T 39701 |

**4.0.3** 超高性能混凝土用粒化高炉矿渣粉的技术要求应符合表4.0.3的规定。

表4.0.3 超高性能混凝土用粒化高炉矿渣粉的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 级别 |
| S105 | S95 |
| 密度(g/cm³) | ≥2.8 | 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 |
| 比表面积(m2/kg) | ≥500 | ≥400 |
| 活性指数(%) | 7d | ≥95 | ≥70 |
| 28d | ≥105 | ≥95 |
| 流动度比/% | ≥95 |
| 初凝时间比/% | ≤200 |
| 含水量/% | ≤1.0 |
| 三氧化硫/% | ≤4.0 |
| 氯离子/% | ≤0.06 |
| 烧失量/% | ≤1.0 |
| 不溶物/% | ≤3.0 |
| 玻璃体含量/% | ≥85 |

**4.0.4**  超高性能混凝土用钢渣粉的技术要求应符合表4.0.4的规定。

表4.0.4 超高性能混凝土用钢渣粉的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 比表面积(m2/kg) | ≥400 | 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491 |
| 密度(g/cm³) | ≥3.2 |
| 含水量/% | ≤1.0 |
| 游离氧化钙/% | ≤3.0 |
| 三氧化硫/% | ≤4.0 |
| 氯离子含量/% | ≤0.06 |
| 活性指数/% | 7d | ≥65 |
| 28d | ≥80 |
| 流动度比/% | ≥95 |
| 安定性 | 沸煮法 | 合格 |
| 压蒸法 | 6h压蒸膨胀率≤0.50%a |
| 注：a如果钢渣粉中MgO含量不大于5%时，可不检验压蒸安定性。 |

**4.0.5** 超高性能混凝土用石灰石粉的技术要求应符合表4.0.5的规定。

表4.0.5 超高性能混凝土用石灰石粉的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 碳酸钙含量/(m2/kg) | ≥75 | 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164 |
| 亚甲蓝值（MB 值）/（g/kg） | ≤1.0 |
| 45μm 方孔筛筛余/% | ≤45 |
| 抗压强度比/% | 7d | ≥60 |
| 28d | ≥60 |
| 流动度比/% | ≥95 |
| 含水量/% | ≤1.0 |
| 总有机碳含量/% | ≤0.5 |
| 注：当掺加助磨剂时，应在检验报告中注明其主要成分和用量。 |

**4.0.6** 超高性能混凝土用偏高岭土的技术要求应符合表4.0.6的规定。

表4.0.6 超高性能混凝土用偏高岭土的技术要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术指标 | 试验方法 |
| 45μm方孔筛筛余(质量分数)/% | ≤5 | 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 |
| 需水量比(%) | ≤120 |
| 活性指数(%) | 7d | ≥90 |
| 28d | ≥105 |
| 氧化镁含量/% | ≤4.0 |
| 二氧化硅含量/% | ≥50 |
| 三氧化二铝含量/% | ≥35 |
| 游离氧化钙含量/% | ≤1.0 |
| 三氧化硫含量/% | ≤1.0 |
| 烧失量/% | ≤4.0 |
| 含水率/% | ≤1.0 |
| 白度 | ≥80 | 《建筑材料与非金属矿产品白度测量方法》GB/T 5950 |
| 注：白度指标仅在用于装饰用途的超高性能混凝土制品时做要求。 |

**5 配合比设计**

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的配合比设计宜采用绝对体积法。

**5.1.2** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的初始配合比设计应确定水胶比*m*w/*m*b、砂的体积分数*V*s、纤维体积率*V*f、胶凝材料用量*m*b、矿物掺合料占胶凝材料的质量分数*β*等参数。

**5.1.3** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土配合比参数的确定宜符合最紧密堆积理论。

## 5.2 配合比参数确定

**5.2.1** 超高性能混凝土的水胶比根据抗压性能等级的不同，宜符合表5.2.1的规定，水胶比的确定应兼顾强度与流动度要求。

表5.2.1 掺矿物掺合料超高性能混凝土的水胶比范围

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗压性能等级 | UC1 | UC2 | UC3 | UC4 |
| 抗压强度标准值/MPa | 100~120 | 120~150 | 150~180 | ＞180 |
| 水胶比 | 0.18~0.22 | 0.16~0.20 | 0.14~0.18 | <0.14 |

**5.2.2** 超高性能混凝土中砂的体积分数不应小于33%且不应大于47%，宜控制在35%~42%范围内。高流动性超高性能混凝土中砂的体积分数宜往推荐范围的下限方向取值，低收缩超高性能混凝土中砂的体积分数宜往推荐范围的上限方向取值。

**5.2.3** 超高性能混凝土的纤维体积率宜综合抗压强度、抗弯强度、抗拉性能要求确定，宜控制在1.5%~4%范围内。

**5.2.4** 超高性能混凝土中矿物掺合料的掺量应符合下列规定：

 **1** 超高性能混凝土中硅灰占胶凝材料的比例不宜小于5%，且不宜大于25%；

 **2** 超高性能混凝土中其他矿物掺合料的最大掺量宜符合表5.2.4的规定。

表5.2.4 矿物掺合料在超高性能混凝土中的最大掺量

|  |  |
| --- | --- |
| 矿物掺合料种类 | 最大掺量（%） |
| 粉煤灰 | 20 |
| 粒化高炉矿渣粉 | 40 |
| 钢渣粉 | 20 |
| 石灰石粉 | 20 |
| 偏高岭土 | 10 |

## 5.3 配合比设计与调整

**5.3.1** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的初始配合比设计宜按下列步骤进行：

 **1** 确定超高性能混凝土中砂的体积分数*V*s，每立方米超高性能混凝土中砂的质量*m*s可按下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{s}=V\_{s}∙ρ\_{s}$$ | （5.3.1-1） |

式中：*ρ*s——砂的表观密度（kg/m3）；

**2** 确定超高性能混凝土中纤维体积率*V*f，每立方米超高性能混凝土中纤维的质量*m*f可按下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{f}=V\_{s}∙ρ\_{f}$$ | （5.3.1-2） |

式中：*ρ*f——纤维的表观密度（kg/m3）；

**3** 确定超高性能混凝土的水胶比*m*w/*m*b；

**4** 确定超高性能混凝土中用到的掺合料的种类和每种掺合料占胶凝材料的百分比*β*，按下列公式计算胶凝材料的表观密度*ρ*b：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$ρ\_{b}=\frac{1}{\frac{β}{ρ\_{m}}+\frac{1-β}{ρ\_{c}}}$$ | （5.3.1-3） |

式中：*ρ*m——矿物掺合料的表观密度（kg/m3）；

*ρ*c——水泥的表观密度（kg/m3）；

*β*——每立方米超高性能混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数（%）；当存在两种或两种以上矿物掺合料时，可以*β*1、*β*2、*β*3表示，并进行相应计算。

**5** 采用体积法，按下式计算超高性能混凝土的胶凝材料用量*m*b：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{b}=\frac{1-V\_{s}-V\_{f}-V\_{a}}{\frac{1}{ρ\_{b}}+\frac{{m\_{w}}/{m\_{b}}}{ρ\_{w}}}$$ | （5.3.1-4） |

式中：*V*a——每立方米超高性能混凝土的含气量（%），在配合比初步设计时取0.5%~1%；

*ρ*w——拌合水的表观密度（kg/m3），取1000kg/m3；

**6** 每立方米超高性能混凝土用水的质量*m*w可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{w}=m\_{b}∙(m\_{w}/m\_{b})$$ | （5.3.1-5） |

 **7** 每立方米超高性能混凝土中水泥的质量*m*c和矿物掺合料的质量*m*m应根据每立方米超高性能混凝土中胶凝材料的质量*m*b和胶凝材料中矿物掺合料的质量分数*β*确定，并可按下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{m}=m\_{b}∙β$$ | （5.3.1-6） |
|  | $$m\_{c}=m\_{b}-m\_{m}$$ | （5.3.1-7） |

 **8** 确定超高性能混凝土的减水剂掺量α，每立方米超高性能混凝土中减水剂的用量*m*a可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$m\_{a}=m\_{b}∙α$$ | （5.3.1-8） |

式中：*α*——超高性能混凝土的减水剂掺量，占胶凝材料的百分比。

**5.3.2** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的配合比调整宜符合下列规定：

 **1** 采用超高性能混凝土初始配合比进行试配，测试并判断超高性能混凝土的拌合物性能、力学性能是否满足设计要求；

**2** 当拌合物性能不符合设计要求时，宜优先调整减水剂掺量，也可视情况调整水胶比、砂的体积分数，但应保证超高性能混凝土的力学性能符合设计要求；

 **3** 当力学性能不符合设计要求时，宜优先调整水胶比、纤维的体积率，也可视情况调整掺合料种类和掺合料掺量、砂的体积分数，但应保证超高性能混凝土的拌合物性能符合设计要求；

 **4** 当按步骤2和3的方法均无法使超高性能混凝土的拌合物性能和力学性能同时满足要求时，宜通过优选水泥、掺合料、砂、减水剂等原材料重新进行配合比设计；

 **5** 根据试配结果对初始配合比进行调整，确定设计配合比；

 **6** 测试超高性能混凝土设计配合比的表观密度，对配合比进行校准，确定超高性能混凝土施工配合比。

**6 生产、施工及质量检验**

## 6.1 搅拌与运输

**6.1.1** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时宜将水泥、矿物掺合料、骨料、粉剂外加剂等干料预先干拌1min~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少于2min，至纤维在拌合物中分散均匀。

**6.1.2** 超高性能混凝土宜根据掺加矿物掺合料种类和掺量，在本规程第6.1.1条规定的基础上，按表6.1.2的规定对湿拌时间进行调整。

表6.1.2 掺矿物掺合料超高性能混凝土搅拌时间要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 矿物掺合料种类 | 矿物掺合料掺量/% | 延长湿拌时间/min |
| 硅灰 | ≤10 | 5 |
| 10~30 | 0 |
| 粉煤灰 | 0~10 | 0 |
| 10~20 | 3 |
| 20~30 | 5 |
| 粒化高炉矿渣粉 | 0~20 | 0 |
| 20~30 | 5 |
| 30~40 | 10 |
| 钢渣粉 | 0~10 | 0 |
| 10~20 | 0 |
| 石灰石粉 | 0~10 | 0 |
| 10~20 | 0 |
| 20~30 | 0 |
| 偏高岭土 | 0~10 | 0 |
| 10~20 | 2 |

**6.1.3** 掺矿物掺合料超高性能混凝土宜在工程现场附近进行搅拌，搅拌后的超高性能混凝土拌合物宜采用泵车运送到浇筑点。

**6.1.4** 掺矿物掺合料超高性能混凝土在运送到浇筑点时，扩展度不应低于设计值，且不应出现纤维离析。

## 6.2 浇筑

**6.2.1** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土浇筑时宜在目标区域多点放料，并采用钉耙等辅助工具保证超高性能混凝土浇筑平整，且能够有效填充边角部位。

**6.2.2** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土在浇筑过程中严禁加水。当到达现场的超高性能混凝土工作性不能满足施工要求时，可在现场重新进行搅拌或添加少量外加剂后搅拌，达到要求的施工性能后再浇筑。

**6.2.3** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的局部区域浇筑完成的浇筑时间不宜超过30min。

## 6.3 养护

**6.3.1** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土浇筑完成后应立即覆盖表面，并进行保湿养护。初凝后应对超高性能混凝土表面进行持续的加湿、保湿养护，保湿养护时间不宜小于14d。

**6.3.2** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土的保湿养护宜采用覆盖塑料薄膜的方式，超高性能混凝土全部表面应覆盖严密，并应保持膜内有凝结水。保湿养护也可采用喷涂养护剂的方式，但应通过试验检验养护剂的保湿效果。

**6.3.3** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土尚未凝结时如发现表面有裂缝，可采用磨光机对表面裂缝进行抹平修复处理，然后继续保湿养护。

**6.3.4** 掺矿物掺合料的超高性能混凝土采用蒸汽养护时应符合下列要求：

 **1** 浇筑成型后先进行自然养护，至同条件养护的试件抗压强度不小于40MPa时，方可进行蒸汽养护；

 **2** 蒸汽养护时，升温速度和降温速度不宜大于15℃/h，最高温度和恒温温度不宜大于90℃；

 **3** 当降温至超高性能混凝土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混凝土构件。

## 6.4 质量检验评定

**6.4.1** 掺矿物掺合料超高性能混凝土的拌合物性能、力学性能、耐久性能、收缩等性能指标的质量检验评定应符合《超高性能混凝土（UHPC）技术要求》T/CECS 10107的规定。

**6.4.2** 大掺量矿物掺合料超高性能混凝土的验收龄期可采用60d、90d或其他龄期验收。

# 用词说明

 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用：“必须”，反面词采用“严禁”

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用：“应”，反面词采用：“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**引用标准名录**

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

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《建筑材料与非金属矿产品白度测量方法》 GB/T 5950

《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566

《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491

《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690

《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164

《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》GB/T 39701

《超高性能混凝土（UHPC）技术要求》 T/CECS 10107

中国工程建设标准化协会标准

超高性能混凝土用掺合料应用技术规程

T/CECS xxx－2025

条文说明

**制定说明**

本规程制定过程中，编制组进行了超高性能混凝土用掺合料应用现状的充分调查研究，总结了我国掺合料用于超高性能混凝土配制的实践经验，同时参考了国外先进技术法规，从矿物掺合料的技术要求、掺矿物掺合料超高性能混凝土的配合比设计以及掺矿物掺合料超高性能混凝土生产施工质量检验等方面的要求进行了规定，并对部分矿物掺合料的应用进行了验证试验。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《超高性能混凝土用掺合料应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

[**1 总 则** 18](#_Toc202790624)

[**2 术语和符号** 19](#_Toc202790625)

[**3 基本规定** 20](#_Toc202790628)

[**4 矿物掺合料技术要求** 21](#_Toc202790629)

[**5 配合比设计** 22](#_Toc202790634)

[5.1 一般规定 22](#_Toc202790635)

[5.2 配合比参数确定 22](#_Toc202790636)

[5.3 配合比设计与调整 22](#_Toc202790637)

[**6 生产、施工及质量检验** 24](#_Toc202790638)

[6.1 搅拌与运输 24](#_Toc202790639)

[6.2 浇筑 24](#_Toc202790640)

[6.3 养护 24](#_Toc202790641)

[6.4 质量检验评定 25](#_Toc202790642)

# 1 总 则

**1.0.1** 超高性能混凝土是上世纪90年代开发的具有超高力学性能、超高韧性和超高耐久性能的新型水泥基材料。超高性能混凝土最初在配制时，胶凝材料体系中仅采用水泥、硅灰两元组分，或者采用一些石英粉作为惰性填料，以最大程度的提高超高性能混凝土的抗压强度。然而随着对超高性能混凝土认知的不断提升以及在工程推广应用中的需求，大量学者和应用单位尝试在矿物掺合料取代部分水泥来制备超高性能混凝土，矿物掺合料的加入可能会对超高性能混凝土的流动性、力学性能产生不确定的影响，需要一定的经验和技术门槛。 编制本规范的目的是为了规范超高性能混凝土矿物掺合料的应用技术，引导技术发展，降低生产企业采用矿物掺合料制备超高性能混凝土的难度，从而推动矿物掺合料在超高性能混凝土的使用。

**1.0.2** 本条规定了本规程的适用范围。超高性能混凝土中硅灰几乎是必不可少的组分，粉煤灰、粒化高炉矿渣粉是混凝土最为常用的矿物掺合料，品质相对较为稳定可控，粉煤灰的减水作用突出、粒化高炉矿渣粉的活性较高，在超高性能混凝土中应用具有各自的作用。石灰石粉和偏高岭土也被许多研究认为适用于超高性能混凝土。钢渣粉虽然活性不高，但其颗粒硬度较大，由于超高性能混凝土强度很重要的一部分贡献来源于颗粒的物理堆积，钢渣粉在超高性能混凝土中也具有适用性。因此本标准的适用范围为硅灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉、石灰石粉在超高性能混凝土工程中的应用。

**1.0.3** 本条规定了本规程与其他相关标准规范的关系，与本规程有关的、难以详尽列出的技术要求，应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

**2.1.1** 本条给出了超高性能混凝土的定义。

**2.1.2** 本条给出了矿物掺合料的定义。定义中给出了矿物掺合料主要化学成分，可改善超高性能混凝土性能等关键性描述，涵盖本规程所包括的六种矿物掺合料。本规程所指矿物掺合料是配制超高性能混凝土用硅灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣、石灰石粉、偏高岭土等材料的统称。

**2.1.3** 本条给出了硅灰的定义。普通混凝土和高强混凝土中使用的硅灰通常为冶炼硅铁合金或工业硅时收集到的粉尘，这些硅灰在超高性能混凝土中得到了广泛的应用。在电熔法生产氧化锆的过程中，同样会产生硅灰，这些硅灰的白度较高，在超高性能混凝土也有一定的应用，故定义中对硅灰的来源进行了调整。

**2.1.4** 本条给出了粉煤灰的定义。同《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596中对粉煤灰的定义，按煤种分为F 类和C 类。C 类粉煤灰通常又称之为高钙灰。粉煤灰特指从电厂煤粉炉烟道气体中收集的粉末。粉煤灰不包括以下情形：（1）和煤一起煅烧城市垃圾或其他废弃物时；（2）在焚烧炉中煅烧工业或城市垃圾时；（3）循环流化床锅炉燃烧收集的粉末。垃圾煅烧后产生的飞灰、底灰或渣中残留的重金属、二噁英等有毒有害物质较高不宜应用于混凝土工程；循环流化床锅炉燃烧产生的飞灰及底渣中硫含量不可控，影响超高性能混凝土质量。

**2.1.5** 本条给出了粒化高炉矿渣粉的定义。

**2.1.6** 本条给出了钢渣粉的定义。

**2.1.7** 本条给出了石灰石粉的定义。

**2.1.8** 本条给出了偏高岭土的定义。 偏高岭土是一种以高岭土（主要成分为Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O）为原料，经过低温煅烧（通常在600℃～900℃）脱水形成的无水硅酸铝（Al₂O₃·2SiO₂，简称AS₂），是一种高活性的人工火山灰材料，在适当激发下具有胶凝性。

# 3 基本规定

**3.0.1** 超高性能混凝土对拌合物性能、抗压性能、抗拉性能和收缩等综合性能要求较高，掺加矿物掺合料很多时候不一定能对超高性能混凝土的性能有很大的提升作用，掺量较大时很可能导致超高性能混凝土部分性能的下降。掺加矿物掺合料更多的出发点是减少水泥用量，起到降低超高性能混凝土成本的作用。因此超高性能混凝土中的时可用掺合料时应兼顾经济性和设计性能要求。

**3.0.2** 超高性能混凝土制备的理念之一是最紧密堆积设计，通过不同胶凝材料颗粒之间的紧密堆积可以提高超高性能混凝土的强度。实际配比合计时，通常可以采用激光粒度仪测试矿物掺合料的粒径分布，进而通过调整不同胶凝材料的比例接近最紧密堆积曲线。

**3.0.3** 超高性能混凝土的水胶比极低，为了保证流动性，通常要掺加高减水率的减水剂，对于减水剂的减水效果要求较高。因此当掺加矿物掺合料时，尽量选用与减水剂相容性较好的掺合料，以减小对超高性能混凝土流动性的影响。

**3.0.4** 超高性能混凝土用于外墙和建筑装饰制品时，对产品颜色的要求较高，尤其是白色的超高性能混凝土装饰板。因此使用矿物掺合料时应注意其对颜色的影响，如粒化高炉矿渣粉含有硫化物，这些硫化物在混凝土硬化过程中会与水泥中的其他化合物发生复杂的化学反应，生成微量的FeS和MnS等含水化合物，使白色超高性能混凝土表面产生蓝绿斑点状。

**3.0.5** 超高性能混凝土用矿物掺合料应关注其放射性核素限量与国家标准的符合性，尤其是对于电熔法生产氧化锆时收集到的硅灰，当内照射指数和外照射指数超过限值要求时，不得用于超高性能混凝土。

**3.0.6** 本条规定了掺矿物掺合料超高性能混凝土的原材料技术要求。

**3.0.7**  混凝土用矿物掺合料的种类较多，除本规程所列的掺合料外，还有磷渣粉、沸石粉以及复合掺合料等，未在本规程中规定的掺合料通过充分的试验验证后也可使用于超高性能混凝土。

# 4 矿物掺合料的技术要求

**4.0.1** 本条规定了超高性能混凝土用硅灰的技术指标要求。硅灰的技术要求参考了现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690-2023中SF90级别的硅灰，即要求硅灰具有90%以上的二氧化硅含量，以保证硅灰具有足够的有效成分。由于超高性能混凝土通常不存在碱骨料反应危害，删除了抑制碱骨料反应性。对于用于装饰用的白色超高性能混凝土非承重构件，可能存在白度要求，通常使用白色锆质硅灰或其他种类的白硅灰，根据行业现状调研情况，需要控制硅灰的白度在80%以上。

**4.0.2** 本条规定了超高性能混凝土用粉煤灰的技术指标要求。粉煤灰的要求参考了现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596中的Ⅱ级或I级灰，Ⅲ级灰的需水量较大，对超高性能混凝土的拌合物性能存在不利影响，因此本标准不推荐Ⅲ级粉煤灰在超高性能混凝土中的使用。

脱硝工艺会造成粉煤灰内残留铵离子，在混凝土的碱性环境和较高温度条件下，发生化学反应释放氨气，释放速度有快有慢，初期释放速度非常缓慢，在高温下会加速释放，从而造成混凝土持续冒泡，造成质量问题或质量事故。因此，增加了粉煤灰铵离子含量不超过210mg/kg的技术要求。

**4.0.3** 本条规定了超高性能混凝土用粒化高炉矿渣粉的技术指标要求。粒化高炉矿渣粉的要求参考了现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046的中的S95级和S105级矿粉，对于S75矿粉由于活性较低，对强度的提升作用较小，因此本标准不推荐S75矿粉在超高性能混凝土中的使用。

**4.0.4** 本条规定了超高性能混凝土用钢渣粉的技术指标要求。钢渣粉的要求参考了现行国家标准《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491的中的一级钢渣粉的规定。钢渣粉的活性本身偏低，在超高性能混凝土中使用时尽量选用高活性的钢渣粉，因此本标准不推荐二级钢渣粉在超高性能混凝土中的使用。

**4.0.5** 本条规定了超高性能混凝土用石灰石粉的技术指标要求。石灰石粉的要求参考了现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164的规定。石灰石粉作为超高性能混凝土的掺合料在国内外开展了大量的研究，可以起到改善超高性能混凝土流动性，调节胶凝材料体积颗粒堆积密实度的作用。由于天然砂资源的减少和机制砂的供应增加，石灰石粉的产量也逐步增加，超高性能混凝土使用石灰石粉也有利于消纳固废。

**4.0.6** 本条规定了超高性能混凝土用偏高岭土的技术指标要求。偏高岭土的要求参考了现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736的规定。对于白色装饰用超高性能混凝土制品，同样增加了白度不低于80的要求。

**5 配合比设计**

## 5.1 一般规定

**5.1.1~5.1.3** 超高性能混凝土的配合比设计与常规混凝土配合比设计相比较为复杂，本条根据调研和实践总结的超高性能混凝土配制经验，提出了水胶比*m*w/*m*b、砂的体积分数*V*s、纤维体积率*V*f、胶凝材料用量*m*b、矿物掺合料占胶凝材料的质量分数*β*几个关键的配合比参数，在确定上述关键配合比参数后，可以采用常用的绝对体积法对超高性能混凝土配合比进行设计。超高性能混凝土配合比设计过程中，胶凝材料体系和骨料体系的颗粒堆积都宜符合最紧密堆积设计理论，砂的体积分数*V*s、胶凝材料用量*m*b、矿物掺合料占胶凝材料的质量分数*β*等配合比参数的确定也宜根据原材料的粒径分布，通过最紧密堆积计算确定。

## 5.2 配合比参数确定

**5.2.1** 本条根据过往配制经验，给出了不同抗压性能等级超高性能混凝土推荐的水胶比范围。在流动度满足要求时，宜往推荐范围的下限取值，保证超高性能混凝土的强度；在强度满足要求时，宜往推荐范围的上限取值，保证超高性能混凝土具有足够的工作性能。

**5.2.2** 本条根据超高性能混凝土研发和生产企业配制经验，给出了超高性能混凝土砂的体积分数的推荐范围。对于流动性要求较高的超高性能混凝土，宜适当减小砂的比例，砂的含量过高会增加需水量。对于需要控制收缩的超高性能混凝土，宜适当增加砂的体积分数，来减小胶凝材料用量过大带来的高收缩问题。

**5.2.3** 超高性能混凝土中纤维体积率宜控制在合适的范围，根据超高性能混凝土研发经验，适当增加纤维体积率可以提高抗压强度、抗弯强度和抗拉性能，但纤维体积率的增加会增加成本，且纤维体积率高于4%时，发生纤维结团和分散不均的概率非常高；而纤维体积率低于1.5%时，纤维的增韧效果降低，对力学性能有较大影响。因此，本规程建议超高性能混凝土中纤维体积率宜控制在1.5%~4%。

**5.2.4** 超高性能混凝土中矿物掺合料掺量的确定应综合考虑矿物掺合料对流动性和强度的影响，这里通过试验给出了不同种类矿物掺合料在超高性能混凝土中的推荐掺量范围。

## 5.3 配合比设计与调整

**5.3.1** 本条给出了基于绝对体积法的掺矿物掺合料超高性能混凝土的配合比设计步骤。

**5.3.2**  本条根据过往超高性能混凝土配合比研发经验，给出了超高性能混凝土初步配合比在遇到拌合物性能不符合设计要求或力学性能不符合设计要求，配合比参数的调整方法。当然超高性能混凝土的配制与原材料材性密切相关，当无论如何调整也无法配制出满足要求的超高性能混凝土时，建议优选原材料重新开展配合比设计。

**6 生产、施工及质量检验**

## 6.1 搅拌与运输

**6.1.1** 本条根据超高性能混凝土研发与生产经验，给出了超高性能混凝土的搅拌工艺要求，大部分超高性能混凝土建议先将水泥、矿物掺合料、骨料、粉剂外加剂等干料与液体外加剂湿拌后再加纤维的方式以提高搅拌效率和纤维分散效果。

**6.1.2** 不同种类矿物掺合料在不同掺量下对搅拌过程中超高性能混凝土的自由水释放和拌合物的流变学特征有较大的影响，从而影响超高性能混凝土的搅拌时间。本条根据试验结果，给出了各种矿物掺合料在特定掺量范围内，建议的延长搅拌时间要求。

**6.1.3** 超高性能混凝土流动性损失较快，可操作时间相对较短，实际生产时，宜在浇筑地点生产浇筑。

**6.1.4** 超高性能混凝土浇筑施工时，应该具有足够扩展度，以保证超高性能混凝土顺利摊铺，但流动性也不能过大，浆体流动度过大浆体与纤维分离，出现纤维团聚离析现象。

## 6.2 浇筑

**6.2.1** 超高性能混凝土由于粘度大、流动速度较慢，如果在集中在一个地方放料，拌合物很难流到距放料地点较远的区域，导致施工效率大幅降低。根据工程经验，宜采用多点放料的方式，浇筑过程中使用钉耙可以辅助超高性能混凝土流动，保证边角区域有效填充，同时也能提高施工效率。

**6.2.2** 超高性能混凝土的低水胶比是其具有优越综合性能的主要原因，施工过程中随意加水会使水胶比提升，力学性能降低，甚至出现不符合超高性能混凝土设计要求的情况，因此浇筑过程中严禁加水。现场施工的超高性能混凝土流动性下降后，很多情况下可以通过重新搅拌使其恢复流动性，也可通过加适量外加剂调整，外加剂的量应事先通过试验验证。

**6.2.3** 根据工程经验，大部分超高性能混凝土拌合物表面容易出现结皮现象，可操作时间较短，在浇筑时应提高施工效率，通常建议在30min内完成浇筑。

## 6.3 养护

**6.3.1**  超高性能混凝土收缩较大，且表面容易失水结皮，应加强保湿养护，应在超高性能混凝土浇筑完成后立即进行覆盖保湿，保湿养护的时间持续不少于14d。

**6.3.2** 覆盖塑料薄膜养护是保湿养护中成本较低，保湿效果较好的方法。保湿养护过程中应注意保湿效果，当出现塑料薄膜破损时应及时采取措施，防止裂缝的产生。在验证养护剂可以起到同样的保湿效果时，也可以采用养护剂养护。

**6.3.3**  在超高性能混凝土尚未初凝的塑性阶段，因表面结皮和失水收缩产生的细微裂缝通常深度较小，可以通过抹平修复处理将裂缝消除，以避免硬化后裂缝无法修复的问题。

**6.3.4** 本条根据实验室和生产经验，给出了超高性能混凝土采用蒸汽养护时的养护要求。

## 6.4 质量检验评定

**6.4.1** 本条给出了掺矿物掺合料超高性能混凝土的质量检验评定要求。

**6.4.2** 当超高性能混凝土中矿物掺合料的掺量较大时，掺合料的火山灰反应可以使超高性能混凝土的强度在28d以后保持增长，验收龄期可以采用60d或90d进行验收。