

## 超高性能混凝土应用技术规范

Technical specification for application of ultra-high performance concrete

2025 - 07 - 29 发布

2025 - 08 - 29 实施

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语、定义和符号 ..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 符号 ..... 2

4 基本性能与分级 ..... 3

    4.1 通用要求 ..... 3

    4.2 抗拉性能 ..... 3

    4.3 抗压性能 ..... 3

    4.4 抗渗性能 ..... 3

    4.5 扩展度 ..... 4

    4.6 分级标记 ..... 4

5 原材料 ..... 4

    5.1 胶凝材料 ..... 4

    5.2 骨料 ..... 4

    5.3 外加剂 ..... 5

    5.4 纤维 ..... 5

    5.5 水 ..... 5

6 制备 ..... 5

    6.1 通则 ..... 5

    6.2 材料贮存 ..... 5

    6.3 原材料计量 ..... 6

    6.4 配合比设计 ..... 6

7 施工 ..... 6

    7.1 通则 ..... 6

    7.2 搅拌 ..... 6

    7.3 运输 ..... 7

    7.4 浇筑及振捣 ..... 7

    7.5 养护 ..... 7

8 质量检验 ..... 7

    8.1 通用要求 ..... 7

    8.2 拌合物及硬化后性能检验 ..... 7

附录 A（规范性） 超高性能混凝土单轴抗拉强度试验方法 ..... 9

    A.1 概述 ..... 9

    A.2 试件要求 ..... 9

    A.3 试验设备 ..... 9

    A.4 试件制备 ..... 10

A.5 试件加载 ..... 10

A.6 试验结果计算 ..... 10

附录 B（规范性） 超高性能混凝土抗渗性能试验方法 ..... 12

B.1 概述 ..... 12

B.2 试验原理 ..... 12

B.3 试件尺寸和数量 ..... 12

B.4 试件制作 ..... 12

B.5 试验仪器及装置 ..... 12

B.6 设备校准 ..... 13

B.7 试验步骤 ..... 13

B.8 结果计算 ..... 14

参考文献 ..... 15

## 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。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

# 超高性能混凝土应用技术规范

## 1 范围

本文件规定了超高性能混凝土的基本性能与分级、原材料、制备、施工及质量检验的技术要求。  
本文件适用于建设工程用超高性能混凝土的制备及应用。

## 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/T 228.1—2021 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法  
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰  
GB/T 2611 试验机 通用技术要求  
GB/T 3159 液压式万能试验机  
GB 8076 混凝土外加剂  
GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）  
GB/T 14684—2022 建设用砂  
GB/T 14685—2022 建设用卵石、碎石  
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉  
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 26408 混凝土搅拌运输车  
GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰  
GB/T 31387—2015 活性粉末混凝土  
GB/T 38143 水泥混凝土和砂浆用耐碱玻璃纤维  
GB/T 39147—2020 混凝土用钢纤维  
GB/T 50080—2016 普通混凝土拌合物性能试验方法标准  
GB/T 50081—2019 混凝土物理力学性能试验方法标准  
GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范  
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范  
JGJ/T 10 混凝土泵送施工技术规范  
JGJ 63 混凝土用水标准  
JGJ/T 283 自密实混凝土应用技术规范

## 3 术语、定义和符号

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1.1

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

由胶凝材料、骨料、外加剂、纤维、水等原料制备的，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。

[来源：GB/T 31387—2015，3.1，有修改]

### 3.1.2

**超高性能混凝土预混料** premix for ultra-high performance concrete

除拌合水外，用于制备超高性能混凝土的预先混合料。

注：分为不含纤维预混料和含纤维预混料。

### 3.1.3

**弹性极限抗拉强度** elastic limit tensile strength

单轴拉伸时试件达到弹性极限时对应的拉应力。

注：即由线弹性转变为非线性时的转折点所对应的拉应力。

### 3.1.4

**应变软化** strain softening

当拉伸应力超过弹性极限抗拉强度后，拉伸应力随拉伸应变增加而持续下降的现象。

### 3.1.5

**应变硬化** strain hardening

当拉伸应力超过弹性极限抗拉强度后，拉伸应力随拉伸应变增加而持续上升的现象。

### 3.1.6

**热养护** heat curing

借助于外部热源，经介质的传导、对流或光波辐射，将热量传递于超高性能混凝土，并对周围相对湿度加以控制的养护方法。

### 3.1.7

**标准蒸汽养护** standard steam curing

在温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于50%的试验环境下，静停24 h后将超高性能混凝土试件或构件放入蒸汽养护设备中，以不大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率升温至 $90\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，恒温48 h，然后以不大于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率降温至 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，置于标准养护条件下养护至7 d以上。

### 3.1.8

**抗渗性能** impermeability

混凝土抵抗流体或离子在其中传输的能力。

## 3.2 符号

下列符号适用于本文件。

$A$ ：超高性能混凝土抗拉试件中部截面积，单位为平方毫米（ $\text{mm}^2$ ）。

$D_{\text{Cl}}$ ：超高性能混凝土试件氯离子扩散系数，单位为平方米每秒（ $\text{m}^2/\text{s}$ ）。

$F$ ：超高性能混凝土扩展度，单位为毫米（mm）。

$f_{\text{Uc}}$ ：超高性能混凝土试件抗压强度，单位为兆帕（MPa）。

$f_{\text{Uc},0}$ ：超高性能混凝土的配制抗压强度，单位为兆帕（MPa）。

$f_{\text{Ute}}$ ：超高性能混凝土抗拉试件弹性极限抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。

$f_{\text{Ute},0}$ ：超高性能混凝土的配制抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。

$f_{\text{Utr}}$ ：超高性能混凝土抗拉试件变形达到0.15%时对应的拉伸强度，单位为兆帕（MPa）。

- $f_{\text{Utu}}$ ：超高性能混凝土试件抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。
- $P_{\text{max}}$ ：超高性能混凝土抗拉试件试验加载过程中的最大荷载，单位为牛（N）。
- $P_{\text{Ute}}$ ：超高性能混凝土抗拉试件弹性极限荷载，单位为牛（N）。
- $S_{\text{Uc}}$ ：同一生产单位，同一强度等级的超高性能混凝土抗压强度标准差，单位为兆帕（MPa）。
- $S_{\text{Ute}}$ ：同一生产单位，同一强度等级的超高性能混凝土抗拉强度标准差，单位为兆帕（MPa）。

4 基本性能与分级

4.1 通用要求

- 4.1.1 超高性能混凝土应同时满足 4.2~4.4 规定的要求。
- 4.1.2 用于性能等级划分的测试试件应在标准蒸汽养护条件下制得。

4.2 抗拉性能

- 4.2.1 超高性能混凝土抗拉性能等级划分应符合表 1 的规定。UT07 和 UT10 等级所列出的指标应同时满足。
- 4.2.2 表 1 中 UT05 等级的超高性能混凝土允许应变软化,且当变形达到 0.15%时,对应的拉伸强度  $f_{\text{Utr}}$  不宜小于 3.5 MPa。

表1 超高性能混凝土抗拉性能等级

参数	等级要求			试验方法
	UT05	UT07	UT10	
$f_{\text{Ute}}$ MPa	$\geq 5.0$	$\geq 7.0$	$\geq 10.0$	附录 A
$f_{\text{Utu}} / f_{\text{Ute}}$	—	$\geq 1.1$	$\geq 1.2$	
注：“UT”表示超高性能混凝土的抗拉性能，分UT05、UT07和UT10三个等级。				

4.3 抗压性能

- 4.3.1 超高性能混凝土抗压性能等级划分应符合表 2 的规定。
- 4.3.2 超高性能混凝土的抗压强度试验按照 GB/T 31387 的规定执行，并符合下列规定：
- a) 抗压强度试验采用 100 mm×100 mm×100 mm 的标准立方体试件，每组 6 个试件。取与平均值偏差小于 15%的试件平均值作为测定值。与平均值偏差小于 15%的试件数量不应少于 4 个；否则，重新进行试验；
- b) 试验加载速率为 1.2 MPa/s~1.4 MPa/s。

表2 超高性能混凝土抗压性能等级

参数	等级要求			试验方法
	UC120	UC150	UC180	
$f_{\text{Uc}}$ MPa	$120 \leq f_{\text{Uc}} < 150$	$150 \leq f_{\text{Uc}} < 180$	$f_{\text{Uc}} \geq 180$	GB/T 31387—2015 中 9.3
注：“UC”表示超高性能混凝土的抗压性能，分UC120、UC150和UC180三个等级。				

4.4 抗渗性能

超高性能混凝土的抗渗性能应符合表3的规定。

表3 超高性能混凝土抗渗性等级

参数	等级要求		试验方法
	UD02	UD20	
$D_{Cl}$ $\times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{Cl} \leq 2.0$	$2.0 < D_{Cl} \leq 20.0$	附录B
注：“UD”表示超高性能混凝土的耐久性能，分UD02和UD20两个等级。			

4.5 扩展度

超高性能混凝土的扩展度应符合表4的规定。

表4 超高性能混凝土扩展度等级

参数	等级要求					试验方法
	UF400	UF500	UF600	UF700	UF800	
$F$ mm	$350 \leq F < 450$	$450 \leq F < 550$	$550 \leq F < 650$	$650 \leq F < 750$	$F \geq 750$	GB/T 50080—2016 中 5.1
注：“UF”表示超高性能混凝土的扩展度，分UF400、UF500、UF600、UF700和UF800五个等级。						

4.6 分级标记

按超高性能混凝土的抗拉性能等级、抗压性能等级、抗渗性等级和扩展度等级对超高性能混凝土的性能进行分级标记。各类分级中重复的“U”型字符，只保留首个；各类分级之间空一字符位置。

示例：

“UT05 C120 D02 F500”表示同时满足抗拉性能UT05、抗压性能UC120、抗渗性UD02和扩展度UF500等级的超高性能混凝土。

5 原材料

5.1 胶凝材料

- 5.1.1 水泥宜为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或白水泥，其技术要求应符合 GB 175 的规定。
- 5.1.2 硅灰的技术要求应符合 GB/T 27690 的规定。
- 5.1.3 粉煤灰宜为 F 类 I 级粉煤灰，其技术要求应符合 GB/T 1596 的规定。
- 5.1.4 矿渣粉应为 S95 及以上等级的粒化高炉矿渣粉，其技术要求应符合 GB/T 18046 的规定。
- 5.1.5 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合料的技术要求应符合 GB/T 51003 的规定。

5.2 骨料

- 5.2.1 超高性能混凝土用骨料宜采用 4.75 mm~9.5 mm、2.36 mm~4.75 mm、1.18 mm~2.36 mm、0.6 mm~1.18 mm、0.3 mm~0.6 mm、0.15 mm~0.3 mm、0.15 mm 以下的单粒级碎石和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不宜大于 5%。
- 5.2.2 天然砂或机制砂的技术要求符合 GB/T 14684—2022 中 I 类砂的规定，宜采用细度模数为 2.3~3.0 的中砂或 1.6~2.2 的细砂。天然砂的泥块含量和含泥量应符合表 5 的规定。



表5 天然砂的技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	泥块含量	0	GB/T 14684—2022中7.6
2	含泥量	≤0.5%	GB/T 14684—2022中7.4

5.2.3 碎石应符合 GB/T 14685—2022 中 I 类碎石的规定。

5.3 外加剂

外加剂应符合GB 8076和GB 50119的规定。减水剂宜选用高性能减水剂，减水率宜大于30%。

5.4 纤维

5.4.1 超高性能混凝土用钢纤维的技术要求应符合表 6 的规定。

表6 钢纤维的技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	长度 mm	6~25	GB/T 39147—2020中8.2.1
2	直径 mm	0.10~0.25	GB/T 39147—2020中8.2.2
3	抗拉强度 MPa	≥2000	GB/T 228.1—2021

5.4.2 有机合成纤维应符合 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。

5.5 水

拌合与养护用水应符合JGJ 63的规定。

6 制备

6.1 通则

6.1.1 超高性能混凝土配合比设计宜考虑结构受力特点、施工工艺、养护条件等因素，经试配、调整，得到满足工作性能、力学性能、耐久性能要求的基准配合比。

6.1.2 超高性能混凝土的水胶比不宜大于 0.20，硅灰掺量宜为胶凝材料用量的 5%~15%。

6.1.3 骨料与胶凝材料各组分的相对比例宜按照颗粒最紧密堆积理论进行选择。

6.2 材料贮存

6.2.1 超高性能混凝土原材料和预混料的仓储设施应符合现行环保和安全要求。

6.2.2 原材料应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存，避免混杂或受污染。

6.2.3 粉体材料不应受潮、结块、受污染，水泥和预混料贮存期不应超过 3 个月。

6.2.4 骨料堆场应具有防晒、防雨及排水设施。

6.2.5 粉体外加剂不应受潮结块，液体外加剂的贮存应防晒、防雨和保温。

- 6.2.6 不同等级的超高性能混凝土预混料应分别贮存，应做好防雨、防潮措施。
- 6.2.7 纤维应保持包装完好、无污染、无受潮；钢纤维的贮存符合 GB/T 39147 的有关规定。

### 6.3 原材料计量

- 6.3.1 粉料、骨料、纤维应按干燥状态下的质量进行计量，水和液体外加剂可按质量或体积进行计量。
- 6.3.2 原材料计量应采用电子计量设备，其精度应满足 GB/T 10171 的相关规定。

### 6.4 配合比设计

- 6.4.1 超高性能混凝土的配制抗压强度按公式(1)计算：

$$f_{Uc,0} = f_{Uc} + 1.645S_{Uc} \dots\dots\dots (1)$$

当抗压强度的标准差未知时，超高性能混凝土的配制抗压强度按公式(2)计算：

$$f_{Uc,0} \geq 1.10f_{Uc} \dots\dots\dots (2)$$

- 6.4.2 超高性能混凝土的配制抗拉强度按公式(3)计算：

$$f_{Ute,0} = f_{Ute} + 1.645S_{Ute} \dots\dots\dots (3)$$

当强度的标准差未知时，超高性能混凝土的配制抗拉强度按公式(4)计算：

$$f_{Ute,0} \geq 1.10f_{Ute} \dots\dots\dots (4)$$

- 6.4.3 应采用工程实际使用的原材料进行试配，每盘混凝土的最小搅拌量不宜少于搅拌机公称容量的 1/4，且不宜大于搅拌机公称容量的 3/4。
- 6.4.4 当拌合物的扩展度不能满足要求时，应保持水胶比不变，调整胶凝材料、外加剂用量或不同粒级骨料的体积比例，获得基准配合比。
- 6.4.5 以基准配合比为基础，水胶比宜分别增加和减少 0.01，并调整骨料用量，以获得满足符合要求的拌合物。
- 6.4.6 试验时，每种配合比对应的单一性能测试应至少制作一组试件。当采用标准蒸汽养护时，在 7 d 龄期开展超高性能混凝土相关性能测试；当采用 GB/T 50081 规定的标准养护时，在 28 d 龄期开展相关性能测试。
- 6.4.7 经过试配，应以超高性能混凝土各项性能指标满足设计要求的配合比作为设计配合比。

## 7 施工

### 7.1 通则

- 7.1.1 超高性能混凝土施工前应制定专项施工方案，并通过试验性浇筑确认专项施工方案的可行性和适用性。
- 7.1.2 超高性能混凝土可采用集中搅拌或现场搅拌方式生产。
- 7.1.3 搅拌运输车应符合 GB/T 26408 的规定。
- 7.1.4 模板工程应符合 JGJ/T 283 的有关规定。

### 7.2 搅拌

- 7.2.1 根据施工工艺和进度需求合理配备配料与搅拌生产系统，应选用强制式搅拌机，并配备防止纤维结团的投料装置；单次搅拌量不宜大于搅拌机公称容量的 70%。
- 7.2.2 搅拌前，搅拌机应处于良好状态，搅拌机内清洁、无积水。
- 7.2.3 出机拌合物中不应有肉眼可见的纤维或粉料结团。
- 7.2.4 应采取措施防止下料和搅拌过程中扬尘。

### 7.3 运输

- 7.3.1 运输车在装料前应保持湿润无积水，运输过程中不应加水，卸料后及时清洗干净。
- 7.3.2 运输能力应保证浇筑的连续性，并减少运输车的滞留时间。
- 7.3.3 对于寒冷或炎热的气候条件，运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。在运输及卸料时，应保持以  $1\text{ r/min} \sim 3\text{ r/min}$  的速率旋转。

### 7.4 浇筑及振捣

- 7.4.1 模板内不应有积水，模板在浇筑过程中应不失稳、不跑模和不漏浆。
- 7.4.2 浇筑过程中合理布料、适度振捣，超高性能混凝土应密实、匀质。
- 7.4.3 根据结构物的工程类型及超高性能混凝土性质，通过试验选定合理的振捣方式及振捣制度。
- 7.4.4 浇筑应符合下列规定：
  - a) 当采用吊斗时，吊斗阀门密封良好；
  - b) 当采用泵送时，符合 JGJ/T 10 规定；
  - c) 当采用溜槽时，合理选择下料速率和溜槽倾斜角度。
- 7.4.5 浇筑过程中应保持层间湿润，避免出现冷缝。

### 7.5 养护

- 7.5.1 超高性能混凝土浇筑抹面完成后应立即覆盖薄膜进行保湿养护，薄膜搭接宽度不小于  $20\text{ cm}$ 。
- 7.5.2 当采用标准蒸汽养护时，宜在超高性能混凝土终凝后开始热养护，同时撤除薄膜，并符合下列规定：
  - a) 高温蒸汽不应直接喷射到超高性能混凝土表面；
  - b) 恒温养护温度在  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上时，恒温时间不宜小于  $48\text{ h}$ ，养护的相对湿度不应小于  $95\%$ ，升、降温速率均不宜大于  $15\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ；
  - c) 热养护结束时，超高性能混凝土表层温度与环境温度差不宜超过  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 7.5.3 当采用自然养护时，保湿养护时间不宜少于  $7\text{ d}$ ，并符合下列规定：
  - a) 养护水温度与超高性能混凝土表层温度差不应大于  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
  - b) 超高性能混凝土表面温度不应小于  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
  - c) 超高性能混凝土内部与表面温差不宜大于  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，当温差大于  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  时，应采取保温措施。
- 7.5.4 冬期施工时，应制定专项施工方案，做好相应的保温保湿养护措施。
- 7.5.5 当采用其他蒸汽养护或热养护方式时，应通过试验验证。

## 8 质量检验

### 8.1 通用要求

超高性能混凝土的性能应分批进行检验。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混凝土组成。

### 8.2 拌合物及硬化后性能检验

- 8.2.1 浇筑成型的超高性能混凝土的取样应从同一次搅拌或同一车运送的拌合物中取出，取样量不应小于试样量的  $1.5$  倍，且不宜小于  $20\text{ L}$ 。
- 8.2.2 超高性能混凝土的抗压强度、抗拉强度、抗渗性能与扩展度的检验，每  $100\text{ m}^3$  检验一次；批量不到  $100\text{ m}^3$  时，按  $100\text{ m}^3$  计算。每批次应至少留置两组试件。试件应在浇筑地点随机抽样制作，并与构

件同条件养护。

8.2.3 采用标准蒸汽养护时，宜在 7 d 进行材料性能试验；采用 GB/T 50081 规定的标准养护时，宜在 28 d 进行材料性能试验。

8.2.4 当采用同条件养护时，应与 8.2.3 养护条件的相关指标进行对比，合理确定验收指标。

附录 A  
(规范性)  
超高性能混凝土单轴抗拉强度试验方法

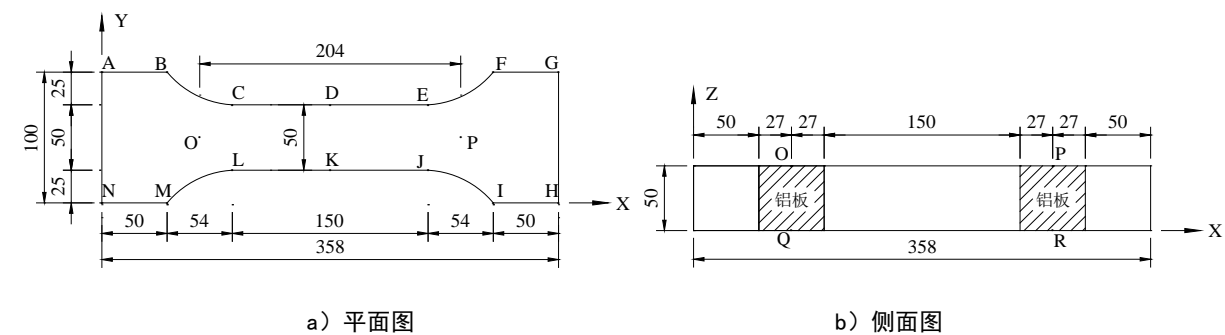
A.1 概述

本方法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、抗拉强度和抗拉应变。

A.2 试件要求

超高性能混凝土抗拉性能试验的试件尺寸见图A.1，图中BC弧线段的坐标如表A.1所示，EF段，IJ段，以及LM段的坐标可通过几何对称获得。每组试件数量应为6个。

单位为毫米



标引序号说明：  
A~R——测量标距点。

图A.1 单轴拉伸试件几何尺寸与位移传感器安装位置  
表A.1 B-C 弧线段的坐标

单位为毫米

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X	50.0	51.2	52.1	53.0	54.0	55.0	56.1	57.1	58.3	59.5	60.7	62.0	63.4
Y	100.0	99.0	98.0	97.0	96.0	95.0	94.0	93.0	92.0	91.0	90.0	89.0	88.0
测点	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
X	64.8	66.3	67.9	69.7	71.5	73.5	75.6	78.0	80.7	83.7	87.4	92.2	104.0
Y	87.0	86.0	85.0	84.0	83.0	82.0	81.0	80.0	79.0	78.0	77.0	76.0	75.0

A.3 试验设备

A.3.1 拉力试验机符合下列规定：

- a) 拉力试验机的加载和测试精度应为±0.2 kN；
- b) 宜具有位移加载控制装置，并能均匀、连续地施加荷载；
- c) 拉伸间距不应小于 500 mm；
- d) 其他要求应符合 GB/T 3159 和 GB/T 2611 的有关规定。

A.3.2 用于微变形测量的仪器装置符合下列规定：

- a) 用于微变形测量的仪器宜采用位移传感器，并备有数据自动采集系统，其测量精度应为 $\pm 0.001\text{ mm}$ ；
- b) 宜采用四个位移传感器同时进行测量，两个位移传感器应对称安装于试件两侧面，宜在图 A.1 中试件点 C 和点 E 之间，以及点 L 和点 J 之间，另外两个位移传感器应对称安装于试件两平面，宜在图 A.1 中试件点 O 和点 P 之间，以及点 Q 和点 R 之间。

#### A.4 试件制备

A.4.1 试件测试时的厚度应控制在 $50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。

A.4.2 在测量试件中间测试区的截面长度和宽度时，应沿每一纵向边各取3个等间距分布的不同位置，共测量6个位置的厚度，取其厚度的平均值。

#### A.5 试件加载

A.5.1 将表面水分干燥后的试件放置于专用夹具中，在试件弧形段与夹具接触部位粘贴 $1.5\text{ mm}$ 厚铝片。将试件上端与试验机上夹头固定，升降拉力试验机至合适高度，调整试件方向，将试件下端固定。

A.5.2 采用502或其他快干胶在试件中间测试区域四个面粘贴应变片。

A.5.3 当采用位移传感器测量变形时，应将位移传感器固定在变形测量架，并由标距定位杆进行定位。

A.5.4 进行试件预拉，预拉荷载相当于破坏荷载的 $15\% \sim 20\%$ 。预拉时，应测读应变值，计算偏心率，计算方法应符合GB/T 50081—2019中11.0.4的规定。当试件偏心率大于 $15\%$ 时，应对试件重新进行对中调整。

A.5.5 预拉结束后，应重新调整测量仪器，进行正式测试。在弹性和应变硬化阶段，以位移传感器 $0.05\text{ mm/min}$ 的加载速率进行加载；在应变软化阶段，按照 $0.5\text{ mm/min}$ 的速率进行加载，直至试验结束。

A.5.6 采用电脑同步记录试件拉伸过程中的荷载、应变与位移。试件开裂前，数据采集频率不宜小于 $2\text{ Hz}$ ；试件开裂后，数据采集频率不宜小于 $5\text{ Hz}$ 。

A.5.7 当满足下列条件之一时，终止加载，停止试验：

- a) 试件进入拉伸应变软化阶段后拉应力低于抗拉强度的 $30\%$ 时；
- b) 试件的拉应变达到 $10\,000 \times 10^{-6}$ 时；
- c) 试件被拉断。

#### A.6 试验结果计算

A.6.1 试验结束后观测试件裂纹，若裂纹落在CE或LJ之间的试件为有效拉伸试件。当有效拉伸试件数量不少于4个时，该组试验结果有效，取有效试件测定结果的平均值作为该组超高性能混凝土的测定值；否则，应重新进行试验。

A.6.2 确定抗拉弹性极限点。在位移传感器和数据采集系统绘制的荷载-变形曲线中，由线性段转为非线性段的点作为弹性极限点。当弹性极限点不明显时，宜取拉应变为 $200 \times 10^{-6}$ 对应的曲线上的点作为弹性极限点。

A.6.3 弹性极限抗拉强度按公式（A.1）计算：

$$f_{Ute} = \frac{P_{Ute}}{A} \dots\dots\dots (A.1)$$

A.6.4 抗拉强度按公式（A.2）计算：

$$f_{Utu} = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots (A. 2)$$

附录 B  
(规范性)  
超高性能混凝土抗渗性能试验方法

B.1 概述

本方法适于不含导电物质的超高性能混凝土，对于含钢纤维、碳纤维或其他导电物质的超高性能混凝土，采用去除导电物质的试件进行试验。

B.2 试验原理

将待测混凝土试件按B.7.2进行真空饱盐，测定其导电率；利用Nernst-Einstein方程，由饱盐试件电导率计算其中的氯离子扩散系数。

B.3 试件尺寸和数量

B.3.1 试件尺寸：厚度为50 mm±1.0 mm；截面为100 mm×100 mm或 $\phi 100$  mm。

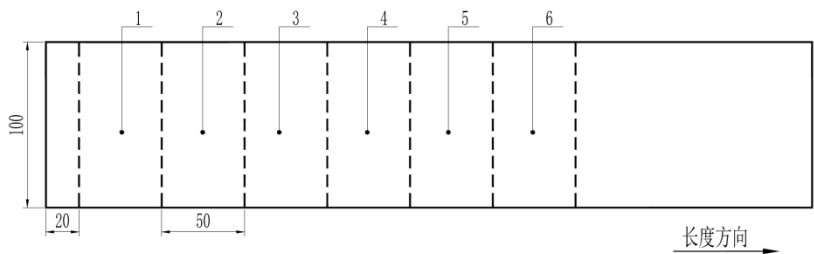
B.3.2 试件数量：每组3块。

B.4 试件制作

B.4.1 试件按照第6章进行制备。

B.4.2 制作抗渗试件时，将满足B.3.1截面尺寸的混凝土长方体或圆柱体，沿其长度方向，去除其端部的20 mm；然后依次切取满足B.3.1规定厚度的待测试件。待测试件的两截面应平行、平整，且在B.5.2的所有电极测试区域内不应含有尺寸超过1 mm的气泡。待测试件如图B.1所示。

单位为毫米



标引序号说明：  
1, 2, 3, 4, 5, 6——试件编号。

图B.1 试件制作示意图

B.5 试验仪器及装置

B.5.1 真空饱盐设备由干式真空泵、真空室、气路和水路、手动或自动控制装置组成，可在-0.08 MPa真空度下稳定工作。所有气路、水路及控制管路均应耐离子腐蚀。

B.5.2 试件夹具用绝缘材料制备，其上应设有上下对中的 $\phi 50$  mm两紫铜电极，两紫铜电极间的上下间距应可调，以便于取放待测试件。

B.5.3 试验设备宜选取直流电导量程为0.5  $\mu$ S~10 mS的全自动试验设备。可选用以下测量范围的半自动设备：

- a) 直流电压输出范围：50 mV~5.0 V；



- b) 直流电流测量范围：1.0 μA~50 mA；
- c) 测量精度：在-20℃~85℃内，≤1.0%。

B.6 设备校准

B.6.1 校准方法

将0.1%精度的1 kΩ、10 kΩ、100 kΩ精密电阻，以及1.0%精度的500 kΩ、1 MΩ、2 MΩ电阻依次接入试验设备的两测量端，且满足：

- a) 全自动设备：在设备校准模式下，测定的电阻值应与被测校准电阻的数值和精度一致；
- b) 半自动设备：在2.0 V及4.0 V下，测定的电阻值应与被测校准电阻的数值和精度一致。

B.6.2 校准频次

同批试件测量前应校准一次，设备工作状态或者测定结果出现异常时，应进行校准。

B.7 试验步骤

B.7.1 溶液配制

用纯NaCl和蒸馏水，配制浓度为4.0 mol/L的NaCl溶液，静置24 h后备用。

B.7.2 真空饱盐

将待测试件垂直放于真空室中，在试样表面垂直放置一液位传感器（若为透明容器，则无需设置），然后开启真空泵和气路开关，干抽真空；在小于-0.08 MPa的真空度下，干抽6 h；之后，断开气路，打开水路开关，将4.0 mol/L的NaCl溶液注入真空室，至液位指示灯熄灭（若为透明容器，观察至溶液没过试样顶面不小于3 cm）时停止；关闭水路开关，中心打开气路开关，湿抽真空，维持真空度在-0.08 MPa以下。以开始干抽真空至-0.08 MPa时作为计时起点，总的抽真空时间为24 h。

B.7.3 氯离子扩散系数测定

B.7.3.1 试件安放

将饱盐后的待测试件从真空室中取出，用干净毛巾将试件所有表面擦干，然后放入上下对中的两紫铜电极间，确保两紫铜电极与待测试件的上下表面良好电接触。

注：用滴管在与试件底面接触的电极表面中心以及试件顶面中心各滴1滴饱盐溶液，以消除接触电阻，使电极与试件的良好电接触。

B.7.3.2 全自动设备测定

由仪器直接提供待测试件的电导率和氯离子扩散系数，仪器宜具备显示、存储和打印功能。

B.7.3.3 半自动设备测定

可从1.0 V开始，按0.5 V或1.0 V的间隔，对待测试件由小到大施加直流电压，至5.0 V；记录流过两电极间的稳定直流电流，按公式（B.1）、公式（B.2）计算各施加电压下试件饱盐电导率和氯离子扩散系数：

$$\sigma_i = \frac{I_i}{V_i} \cdot \frac{L}{\pi r^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$D_i = \frac{RtC_1}{z^2F^2C} \times \sigma_i \times T \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- $\sigma_i$  ——  $V_i$ 电压下测得的试件电导率，保留两位有效数字，单位为西门子每米（S/m）；
- $I_i$  ——对应于施加 $V_i$ 的直流电流，单位为安培（A）；
- $V_i$  ——施加在试样上的直流电压，单位为伏特（V）；
- $L$  ——试样厚度，取 $5.0 \times 10^{-2}$  m；
- $r$  ——紫铜电极半径，取 $2.5 \times 10^{-2}$  m；
- $D_i$  —— $V_i$ 电压下的氯离子扩散系数，保留两位有效数字，单位为平方米每秒（m<sup>2</sup>/s）；
- $R$  ——气体常数，为8.314 J/(mol·K)；
- $t_{Cl}$  ——氯离子迁移数，取1.0；
- $Z$  ——氯离子化合价，为-1；
- $F$  ——法拉第常数，为96 500 C/mol；
- $C$  ——氯离子浓度，取饱和盐溶液浓度 $4.0 \times 10^3$  mol/m<sup>3</sup>；
- $T$  ——试验环境温度，单位为开尔文（K）。

## B.8 结果计算

### B.8.1 全自动设备

计算3个试件测量结果的平均值，若其中2个或以上测量结果与平均值之差在15%以内，则取偏差在15%以内的测量结果的平均值作为被测超高性能混凝土的氯离子扩散系数 $D_{Cl}$ ，保留两位有效数字；若其中2个或以上测量结果与平均值之差超过15%，应重新制样进行试验，或取其中最大值作为被测混凝土的测定值 $D_{Cl}$ 。

### B.8.2 半自动设备

对于每个试件，宜在不少于5个电压值下进行测定，取测量结果与平均值相差在10%以内的 $D_i$ 进行平均，作为该试件的测定值，记为 $D_j$ 。

计算3个试件测定值 $D_j$ 的平均值，若其中2个或以上测定值 $D_j$ 与平均值之差在15%以内，则取偏差在15%以内的平均值作为被测混凝土中的氯离子扩散系数 $D_{Cl}$ ，保留两位有效数字；若其中2个或以上测定值与平均值之差超过15%，应重新制样进行试验，或取其中最大的 $D_j$ 值作为被测混凝土的测定值 $D_{Cl}$ 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 31387—2015 活性粉末混凝土
  - [2] GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
-