

ICS 91.100.30

CCS Q 13



中华人民共和国国家标准

GB/T 31387—2025

超高性能混凝土

Ultra High Performance Concrete

(修订征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言.....	错误! 未定义书签。
1 范围.....	错误! 未定义书签。
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.....	4
5 原材料.....	错误! 未定义书签。
6 配合比设计.....	6
7 质量要求.....	8
8 制备.....	8
9 养护.....	9
10 试验方法.....	11
11 检验规则.....	12
12 订货.....	14
附 录 A 超高性能混凝土的轴拉性能试验方法.....	15
附 录 B 超高性能混凝土的氯离子扩散系数试验方法.....	错误! 未定义书签。
附 录 C 超高性能混凝土抗气体渗透性能试验方法.....	23
附 录 D 超高性能混凝土毛细吸水系数试验方法.....	26
附 录 E 超高性能混凝土抗冲磨性能试验方法.....	28

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。

本文件替代GB/T 31387-2015《活性粉末混凝土》。与GB/T 31387-2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要的技术变化如下：

标准名称改为“超高性能混凝土”。

增加“超高性能混凝土”等定义（见3.1）。

修改了超高性能混凝土的分类（见4.1）。

修改了超高性能混凝土的性能等级和相应的性能指标（见4.2）。

修改了超高性能混凝土的标记（见4.3）。

修改了超高性能混凝土的材料要求（见第5章）。

修改了超高性能混凝土的配合比设计方法（见第6章）。

修改了超高性能混凝土的配制强度的计算公式（见6.2.1）。

增加了超高性能混凝土的质量要求（见第7章）。

修改了超高性能混凝土的制备方法（见第8章）。

修改了超高性能混凝土的养护方法（见第9章）。

修改了超高性能混凝土的试验方法（见第10章）。

修改了超高性能混凝土的检验规则（见第11章）。

增加了超高性能混凝土的订货与交货要求（见第12章）。

删除了原标准中的附录A。

增加了规范性附录A、B、C、D、E。

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。

本文件由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本文件由全国混凝土标准化技术委员会(SAC/TC 458) 归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

超高性能混凝土

1 范围

本文件规定了超高性能混凝土的术语和定义，分类、性能等级及标记，原材料，配合比设计，质量要求，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混凝土。

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 200 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥
- GB/T 2015 白色硅酸盐水泥
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 5099 钢质无缝气瓶
- 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 建设用砂
- GB/T 14684 建设用碎石、卵石
- GB/T 14902 预拌混凝土
- GB/T 18046 用于水泥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 38143 水泥混凝土和砂浆用耐碱玻璃纤维
- 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 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
- JG/T 262 混凝土氯离子扩散系数测定仪
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超高性能混凝土 Ultra High Performance Concrete (简称: UHPC)

以水泥和矿物掺合料等为胶凝材料,配合骨料、外加剂、高强度微细钢纤维和/或非金属纤维、水等原料生产的超高强纤维增韧混凝土。

3.2

混杂纤维 Hybrid fiber

以钢纤维为主要组成,同时混合少量非金属纤维。

3.3

非金属纤维 Non-metallic fiber

包括有机合成纤维、耐碱玻璃纤维和玄武岩纤维。

3.4

热处理 Heat treatment

将超高性能混凝土构件在 70℃~95℃温度区间蒸汽养护规定时间。

4 分类、性能等级及标记

4.1 分类

4.1.1 超高性能混凝土按增韧纤维材料分为钢纤维超高性能混凝土(代号为 S),非金属纤维超高性能混凝土(代号为 N)和混杂纤维超高性能混凝土(代号为 H)。

4.2 性能等级

4.2.1 当超高性能混凝土力学性能等级按抗压强度标准值划分时,代号为 UC,其抗压强度等级划分应符合表 1 的规定。

表 1 超高性能混凝土的抗压强度等级

等级	抗压强度标准值 (MPa)		抗折强度标准值 (MPa)		弹性模量 (GPa)
	钢纤维混凝土 混杂纤维混凝土	非金属纤维 混凝土	钢纤维混凝土 混杂纤维混凝土	非金属纤维 混凝土	
UC100	—	100	—	12	≥40
UC120	120	120	17	15	≥40
UC140	140	140	20	18	≥40
UC160	160	160	24	20	≥40

UC180	180	—	27	—	≥ 40
UC200	200	—	30	—	≥ 40

4.2.2 当超高性能混凝土力学性能等级按单轴抗拉强度标准值划分时，代号为 UT，其抗拉性能等级划分应符合表 2 的规定。

表 2 超高性能混凝土的抗拉性能等级

等级	弹性抗拉强度标准值 $f_{te,k}$ (MPa)	抗拉强度标准值 $f_{tu,k}$ (MPa)	抗拉强度对应的拉应变 $\varepsilon_{tu,k}$ (%)
UT5	5.0	3.5 ⁽²⁾	0.15 ⁽²⁾
UT7L ⁽¹⁾	7.0	7.0	0.15
UT7H ⁽¹⁾	7.0	7.7	0.15
UT9L	9.0	9.0	0.15
UT9H	9.0	10.8	0.20
UT11H	11.0	13.2	0.20

注：⁽¹⁾ L 表示普通应变硬化等级 ($f_{tu,k}/f_{te,k} \geq 1.0$)，H 表示高应变硬化等级 ($f_{tu,k}/f_{te,k} \geq 1.1$ 或 1.2)；⁽²⁾ 指拉伸应变达到 0.15% 时，对应的拉应力不低于 3.5MPa。

4.2.3 超高性能混凝土的抗渗性能可采用抗氯离子渗透性能、抗气体渗透性能或吸水性能之一评价，分级和指标应分别应符合表 3、表 4、表 5 的规定。抗氯离子渗透性能仅适合评价钢纤维（或其他导电纤维）体积含量不超过 2.0% 的超高性能混凝土的抗渗性能。

4.2.4 对超高性能混凝土有抗冲磨性能要求时，分级和指标应符合表 6 的规定。

表 3 超高性能混凝土的抗氯离子渗透性能（90d）的等级划分

等级	D1	D2
氯离子扩散系数 D_{RCM} (RCM 法) / ($\times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$)	$2.0 < D_{RCM} \leq 5.0$	$D_{RCM} \leq 2.0$

表 4 超高性能混凝土的抗气体渗透性能（90d）的等级划分

等级	G1	G2
表观气体渗透系数 k_a / ($\times 10^{-19} \text{m}^2$)	$1.0 < k_a \leq 9.0$	$k_a \leq 1.0$

表 5 超高性能混凝土的吸水性能（90d）的等级划分

等级	W1	W2
毛细吸水系数 R_a / ($\times 10^{-4} \text{mm}/\text{s}^{0.5}$)	$1.0 < R_a \leq 3.0$	$R_a \leq 1.0$

表 6 超高性能混凝土的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 超高性能混凝土应按下列顺序标记：增韧纤维材料分类代号-力学性能等级代号-抗渗透性能等级代号-抗冲磨性能等级代号-本标准号。

4.3.2 标记示例如下：

示例 1：采用钢纤维生产的超高性能混凝土，力学性能等级为 UC160，抗氯离子渗透等级为 D1，抗冲磨性能为 A2，标记为：S-UC160-D1-A2-GB/T 31387-2025

示例 2：采用聚乙烯醇（PVA）纤维生产的超高性能混凝土，力学性能等级为 UC120，抗氯离子渗透等级为 D1，标记为：N-UC120-D1-GB/T 31387-2025

示例 3：采用混杂纤维生产的超高性能混凝土，力学性能等级为 UT5，吸水性等级为 W1，抗冲磨性能为 A1，标记为：H-UT5-W1-A1-GB/T 31387-2025

示例 4：采用钢纤维生产的超高性能混凝土，力学性能等级为 UC160、UT9H，抗氯离子渗透等级为 D1，抗冲磨性能为 A2，标记为：S-UC160-UT9H-D1-A2-GB/T 31387-2025

5 原材料

5.1 胶凝材料

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，水泥熟料中的铝酸三钙含量宜小于 6%。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，确认满足超高性能混凝土的性能要求后方可使用。

5.1.3 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定，粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定，硅灰应符合 GB/T 27690 的规定，偏高岭土应符合 GB/T 18736 的规定。宜采用 I 级粉煤灰、S95 及以上等级的粒化高炉矿渣粉、二氧化硅含量不低于 90% 的硅灰。当采用其它矿物掺合料时，应通过试验，确定所配制的超高性能混凝土的性能满足要求后方可使用。

5.1.4 所有胶凝材料进场应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。检验项目及检验批量应符合 GB 50164 的规定。

5.2 骨料

5.2.1 超高性能混凝土用骨料宜采用 8~16mm、5~8mm、2.5~5mm、1.25~2.5mm、0.63~1.25mm、0.315~0.16mm、0.16mm 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宜不大于 5%。

5.2.2 超高性能混凝土用天然砂或机制砂的品质应符合 GB 14684 中 I 类砂的规定，其氯离子、硫化物及硫酸盐、云母的含量应符合表 7 的规定，天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 8 的规定，机制砂的石粉含量应符合表 9 的规定。

表 7 砂的技术指标

项目	技术指标
氯离子含量 ⁽³⁾ (%)	≤0.02
硫化物及硫酸盐含量 ⁽⁴⁾ (%)	≤0.50
云母含量 (%)	≤0.50

注：⁽³⁾UC140 及以上等级的超高性能混凝土可不限制砂的氯离子含量；⁽⁴⁾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，确认超高性能混凝土的耐久性符合要求后才能采用。当砂中含有黄铁矿时，硫化物及硫酸盐含量（以 SO₃ 质量计）不得超过 0.25%。

表 8 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 9 机制砂的石粉含量

亚甲基蓝值	石粉含量 (%)
MB < 1.0	≤5.0
1.0 ≤ MB ≤ 1.4	≤2.0

5.2.3 超高性能混凝土用碎石应符合 GB 14685 中 I 类碎石的规定。

5.2.4 骨料进场时应进行检验。检验项目及检验批量应符合 GB 50164 的规定。

5.3 外加剂

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

5.3.2 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混凝土的性能满足要求。

5.3.3 外加剂进场应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。检验项目及检验批量应符合

GB 50164 的规定。

5.4 纤维

5.4.1 钢纤维应采用符合 GB/T 39147 规定的 I 类 1700 级高强度微细纤维，等效直径 $\leq 0.3\text{mm}$ ，尺寸和抗拉强度公差为 A 级。

5.4.2 非金属纤维应符合各自类型所属国家现行相关标准，其中，有机合成纤维应符合 GB/T 21120 的规定，玄武岩纤维应符合 GB/T 23265 的规定，耐碱玻璃纤维应符合 GB/T 38143 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混凝土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。

5.4.3 钢纤维和非金属纤维进场应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。钢纤维的检验项目应符合 GB/T 39147 的规定，检验批量应符合 JGJ/T 221 的规定。非金属纤维中，合成纤维的检验项目及检验批量应符合 JGJ/T 221 的规定；玄武岩纤维的检验项目及检验批量应符合 GB/T 23265 的规定；耐碱玻璃纤维的检验项目及检验批量应符合 GB/T 38143 的规定。

5.5 拌合用水

5.4.1 拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

5.4.2 混凝土拌合用水检验项目应符合 JGJ 63 规定，但不可使用再生水。检验频率应符合 GB 50204 的规定。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 超高性能混凝土的配合比设计应考虑结构形式特点、施工工艺以及环境作用等因素。应根据混凝土的工作性能、强度、耐久性以及其他必要性能要求计算初始配合比，设计配合比应经试配与调整，得到满足工作性要求的基准配合比，并经强度等性能复核后确定。

6.1.2 超高性能混凝土配合比宜采用绝对体积法，并基于最紧密堆积方法进行设计。

6.2 配合比设计

6.2.1 UC 系列超高性能混凝土的配制抗压强度宜按式 (1) 计算：

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

式中：

$f_{cu,0}$ ——超高性能混凝土的配制抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

$f_{cu,k}$ ——超高性能混凝土的抗压强度标准值，单位为兆帕（MPa）；

S ——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）。

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宜按式 (2) 计算：

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

6.2.2 UT 系列超高性能混凝土的配制抗拉强度宜按式 (3) 计算:

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

式中:

$f_{t,0}$ ——超高性能混凝土的配制抗拉强度, 单位为兆帕 (MPa);

$f_{t,k}$ ——超高性能混凝土的抗拉强度标准值, 单位为兆帕 (MPa);

S_t ——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)。

当强度的标准差未知时, 超高性能混凝土的配制抗拉强度宜按式 (4) 计算:

$$f_{t,0} \geq 1.10f_{t,k} \quad (4)$$

6.2.3 超高性能混凝土的水胶比应小于 0.25, S 类和 H 类超高性能混凝土中的钢纤维最小体积含量应大于 1.0%。

6.2.4 骨料体积应为混凝土总体积减去水、胶凝材料、纤维的体积, 以及含气量得到。骨料的总用量应由骨料的体积乘以骨料的密度得到。

6.2.5 超高性能混凝土的试配、配合比调整与确定应符合下列规定:

a) 应采用工程实际使用的原材料, 每盘混凝土的最小搅拌量不宜小于 15L;

b) 试配时, 首先应进行试拌, 检查拌合物的工作性。当试拌所得拌合物的工作性不能满足设计要求时, 应在水胶比不变、胶凝材料用量和外加剂用量合理的原则下, 调整胶凝材料用量、外加剂用量或不同粒级骨料的体积分数等, 直到符合设计要求为止, 并以该结果作为相应配合比的超高性能混凝土拌合物性能指标。根据该试拌结果, 提出超高性能混凝土强度试验用的基准配合比;

c) 超高性能混凝土强度试验时应至少采用 3 个不同的配合比, 其中一个应为 6.2.5 第 2 款确定的基准配合比, 另外两个配合比的水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.01; 用水量与基准配合比相同, 骨料的体积分数可分别增加和减少 1%;

d) UC 系列超高性能混凝土强度试验时每种配合比应至少制作一组立方体试件和一组棱柱体试件, 按规定的条件养护到要求的龄期进行抗压强度和抗折强度试验。对于蒸汽养护的混凝土, 还应增加制作一组立方体试件, 进行标准养护, 并测定规定龄期的抗压强度。如有其它性能要求时, 还应制作相应的试件并检测相应的指标;

e) UT 系列超高性能混凝土强度试验时每种配合比应至少制作一组立方体试件和一组抗拉强度试验用试件, 按规定的条件养护到要求的龄期进行抗压强度和抗拉强度试验。对于蒸汽养护的混凝土, 还应增加制作一组立方体试件, 进行标准养护, 并测定规定龄期的抗压强度。如有其它性能要求时, 还应制作相应的试件并检测相应的指标;

f) 根据试配结果对基准配合比进行调整, 确定设计配合比;

g) 对于应用条件特殊的工程, 宜对确定的设计配合比进行足尺模拟试验。

7 质量要求

7.1 超高性能混凝土的力学性能应按抗压强度等级或抗拉性能等级确定, 并应满足设计要求。检验评定应符合本文件的规定。

7.2 超高性能混凝土的抗渗性能应选择抗氯离子渗透性能、抗气体渗透性能或吸水性能之一确定, 并应满足设计要求。检验评定应符合本文件的规定。

7.3 有抗冲磨性能要求时, 应用超高性能混凝土的抗冲磨性能表示, 并应满足设计要求。检验评定应符合本文件的规定。

7.4 超高性能混凝土拌合物的出机工作性(坍落度和扩展度)和工作性保持性能应根据设计要求而定。超高性能混凝土拌合物的进场工作性(坍落度和扩展度)和工作性保持性能应根据施工方式而定。

7.5 当需方提出其它超高性能混凝土的性能要求时, 应按国家现行有关标准规定进行试验, 无相应标准时应按合同规定进行试验; 试验结果应满足标准或合同的要求。

8 制备

8.1 一般规定

8.1.1 超高性能混凝土可采用集中搅拌或现场搅拌方式生产。搅拌站(楼)应符合 GB/T 10171 的规定。

8.1.2 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, 并应达到一星级及以上的标准。

8.1.3 可将各种干燥的固体原料预拌为固态混合物, 运输到施工现场, 加水与液体组分拌制成拌合物。纤维可在预拌时加入, 也可在现场搅拌时加入。预拌与运输过程中固态混合物不应离析。

8.1.4 超高性能混凝土的搅拌、运输、浇筑及构件静停应在 5℃ 以上的环境中完成。

8.2 原材料存储

8.2.1 水泥应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存。超高性能混凝土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。不应使用贮存期超过 3 个月的水泥。

8.2.2 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。粉状骨料应分别标识和贮存, 并应防潮、防雨。不同品种、规格的骨料应分别贮存, 避免混杂或污染。

8.2.3 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 600μm 筛孔后方可使用。液态外加剂应贮存在密闭容器内, 并应防晒和防冻。如有沉淀等异常现象, 应经检验合格后方可使用。

8.2.4 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别标识和贮存, 不应与水泥等其他粉状料混杂, 并

应防潮、防雨。

8.2.5 纤维应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存，并应防潮、防锈。

8.3 计量

8.3.1 水、骨料和胶凝材料的计量应符合 GB/T 14902 的规定。纤维的计量偏差应小于±1%。

8.3.2 外加剂的计量宜单独采用精度更高的计量设备或其他有效措施来提高外加剂计量精度。

8.4 搅拌

8.4.1 超高性能混凝土应使用强制式搅拌机搅拌。

8.4.2 超高性能混凝土的搅拌流程和搅拌时间应通过试验确定，搅拌时应有防止纤维结团的措施。

8.4.3 搅拌完成的拌合物应均匀，不应有纤维结团；同一盘拌合物的匀质性应符合 GB 50164 的规定。

8.5 运输与浇注

8.5.1 超高性能混凝土可采用搅拌运输车、翻斗车或料斗运输。运输过程中应防止混凝土表面失水，并不得向超高性能混凝土拌合物中加水。

8.5.2 在运输过程中超高性能混凝土拌合物不应产生分层、离析与纤维沉降。

8.5.3 混凝土搅拌运输车应符合 GB/T 26408 的规定，对于寒冷、严寒或炎热的气候环境，混凝土搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。混凝土搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽。

8.5.4 超高性能混凝土拌合物从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料的时间不宜长于 90 min，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的拌合物的工作性满足浇筑要求。

8.5.5 超高性能混凝土应连续浇筑，不应出现冷缝。

8.5.6 超高性能混凝土宜采用平板振捣器或模外振捣器振捣成型。浇筑和成型过程中应避免拌合物分层与离析，以及纤维外露出构件表面；应保证浇筑的超高性能混凝土密实、纤维分布均匀以及构件的整体性。

9 养护

9.1 一般规定

9.1.1 超高性能混凝土可以采用自然养护、常规蒸汽养护或热处理。

9.1.2 采用自然养护时，混凝土浇筑完成后，应尽早覆盖，保湿养护 7d 以上。在同条件养护试件的抗压强度达到 30MPa 后拆模。养护时环境平均气温宜高于 10℃，当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 5℃时，应按冬季施工过程处理，采取保温措施。

9.1.3 采用常规蒸汽养护的超高性能混凝土，28d 抗压强度应不低于同一混凝土标准养护的 28d 抗压强度的 90%。

9.1.4 采用高温热处理的超高性能混凝土，7d 抗压强度应不低于同一混凝土标准养护的 28d 抗压

强度。

9.2 常规蒸汽养护

9.2.1 宜采用自动控制系统控制蒸汽养护温度。养护过程包括静停、蒸汽养护及自然养护。

9.2.2 静停

超高性能混凝土成型后应进行静停。静停时的环境温度应在 10℃ 以上、相对湿度 60% 以上，静停时间应根据本标准 9.1.2 对养护环境的要求确定，宜不少于 6 h，静停期间超高性能混凝土构件外露表面应有保湿措施。

9.2.3 蒸汽养护

静停完毕的超高性能混凝土构件应进行蒸汽养护，升温速度应不大于 12℃/h，升温至养护制度确定的养护温度后，保持恒温 24h 或直至同条件养护试件的抗压强度达到预定值。蒸汽养护时的环境相对湿度应保持在 95% 以上。之后应以不超过 15℃/h 的降温速度使构件表面温度降至与环境温度之差不大于 20℃。蒸汽养护结束后拆模。

9.2.4 自然养护

超高性能混凝土构件拆模后应进行自然养护，自然养护时的环境平均气温宜高于 10℃，构件表面应保持湿润不少于 7 d。当环境平均气温低于 10℃ 或最低气温低于 5℃ 时，应按冬期施工过程处理，采取保温措施。

9.3 热处理

9.3.1 宜采用自动控制系统控制蒸汽养护温度。成型后 7d 之内应进行高温热处理，热养护过程分为两种形式：

- a) 养护方式 1：初养、高温热处理及自然养护；
- b) 养护方式 2：静停、高温热处理及自然养护。

9.3.2 养护方式 1

9.3.2.1 初养

初养采用自然养护时，应按 8.1.2 条养护至超高性能混凝土的抗压强度大于 40MPa。采用蒸汽养护时，超高性能混凝土构件应按 9.2.2 条的规定静停，静停完毕后进行蒸汽养护，升温速度应不大于 12℃/h，升温至 40℃ 后，保持恒温（40℃±3℃）24 h 或直至同条件养护试件的抗压强度大于 40 MPa。初养过程的环境相对湿度应保持在 70% 以上。再以不超过 15℃/h 的降温速度使构件表面温度降至与环境温度之差不大于 20℃。初养结束后拆模。

9.3.2.2 高温热处理

拆模后的超高性能混凝土构件应进行高温蒸汽养护，升温速度应不大于 12℃/h。升温至规定的养护温度后，保持恒温 48 h 以上或规定的养护时间。高温热处理过程的环境相对湿度应保持在 95% 以上。再以不超过 15℃/h 的降温速度使构件表面温度降至与环境温度之差不大于 20℃。

9.3.2.3 自然养护

超高性能混凝土构件高温热处理结束后应进行自然养护，自然养护时的环境平均气温宜高于 10℃，构件表面应保持湿润不少于 7 d。当环境平均气温低于 10℃ 或最低气温低于 5℃ 时，应按冬期施工过程处理，采取保温措施。

9.3.3 养护方式 2

9.3.3.1 静停

按 9.2.2 条执行。

9.3.3.2 高温热处理

静停完毕的超高性能混凝土构件应进行高温蒸汽养护，升温速度应不大于 12℃/h，升温至规定的养护温度后，保持恒温 72h 或规定的养护时间。高温热养护过程的环境相对湿度应保持在 95% 以上。再以不超过 15℃/h 的降温速度使构件表面温度降至与环境温度之差不大于 20℃。高温热养护结束后拆模。

9.3.3.3 自然养护

按 9.3.2.3 条执行。

10 试验方法

10.1 超高性能混凝土拌合物的取样应符合下列规定：

- a) 超高性能混凝土在施工现场的取样应符合 GB 50204 的有关规定；
- b) 超高性能混凝土拌合物取样应从同一次搅拌或同一车运送的超高性能混凝土中取出，取样量应不少于试验需要量的 1.5 倍，且宜不少于 20 L。

10.2 超高性能混凝土试件制作

10.2.1 超高性能混凝土试件制作时，宜从试模的一侧开始浇筑，将拌合物一次性装入试模，并略高出试模上口。对于扩展度大于 650mm 的超高性能混凝土拌合物，浇筑后可用橡皮锤轻敲试模侧壁排除气泡。对于扩展度小于 650mm 的超高性能混凝土拌合物，可根据需要将试模置于振动台上振动以排除气泡，振动时间宜为 10s~15s。成型过程中不得进行插捣。成型密实后刮去试模表面多余的拌合物并用抹刀抹平。棱柱体及小梁试件应采用卧式成型。用以检验或控制工程质量的试件，其成型方法宜与实际施工采用的方法相同。

10.3 超高性能混凝土的抗压强度、抗折强度和弹性模量的试验应符合 GB/T 50081 的规定

10.3.1 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 MPa/s~1.4 MPa/s；

10.3.2 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 MPa/s~0.1 MPa/s；

10.3.3 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 MPa/s~1.4 MPa/s；

10.3.4 抗压强度与抗折强度试验值均不乘以尺寸换算系数。

10.4 超高性能混凝土的抗拉强度试验应符合本文件附录 A 的规定

10.5 超高性能混凝土拌合物的坍落度和扩展度的试验应符合 GB/T 50080 的规定

10.6 超高性能混凝土的抗氯离子渗透性能试验应符合本文件附录 B 的规定，抗气体渗透性能试验应符合本文件附录 C 的规定，吸水性能试验应符合本文件附录 D 的规定，抗冲磨性能试验应符合本文件附录 E 的规定

10.7 其他检验项目的试验方法应符合国家现行有关标准的规定

11 检验规则

11.1 一般规定

11.1.1 超高性能混凝土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，供需双方可协商确定和委托有检验资质的单位承担，并应在供货合同中予以明确。

11.1.2 出厂检验检测 UC 系列超高性能混凝土的抗压强度和抗折强度，UT 系列超高性能混凝土的抗压强度和抗拉性能。交货检验检测 UC 系列超高性能混凝土拌合物的坍落度、扩展度和抗压强度；UT 系列超高性能混凝土拌合物的坍落度、扩展度和抗拉强度。交货检验结果应在检验龄期后 5 个工作日内或供货合同约定的时间内书面通知供方。

11.1.3 超高性能混凝土质量验收应以交货检验结果作为依据。

11.2 检验

11.2.1 超高性能混凝土的性能应分批进行检验评定。一个检验批的混凝土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。

11.2.2 当一次连续浇筑不大于 300 m^3 同配合比的 UC 系列超高性能混凝土时，每 50 m^3 检验一次抗压强度。批量不到 50 m^3 ，按 50 m^3 计算。当一次连续浇筑大于 300 m^3 同配合比的 UC 系列超高性能混凝土时，超出 300 m^3 的混凝土，每增加 100 m^3 检验一次抗压强度，增加不足 100 m^3 ，按 100 m^3 计算。

11.2.3 当一次连续浇筑不大于 600 m^3 同配合比的 UT 系列超高性能混凝土时，每 200 m^3 检验一次抗拉强度。批量不到 200 m^3 ，按 200 m^3 计算。当一次连续浇筑大于 600 m^3 同配合比的 UT 系列超高性能混凝土时，超出 600 m^3 的混凝土，每增加 400 m^3 检验一次抗拉强度，增加不足 400 m^3 ，按 400 m^3 计算。

11.2.4 超高性能混凝土的弹性模量、抗渗性（采用抗氯离子渗透性能、抗气体渗透性能或吸水性能之一表征），以及设计要求的抗冲磨性能，在确定施工配合比时，应使用实际生产所用原材料，在实验室内拌制混凝土，制作试样，按设计要求的性能项目检验一次。在混凝土原材料或配合比发生重大变化时应再次检验设计要求的性能项目。

11.2.5 常温自然养护的超高性能混凝土构件应采用标准条件(环境温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度大于 95%) 养护的试件, 在成型后 28 d 时进行试验。常规蒸汽养护的超高性能混凝土构件, 试件先随构件同条件养护, 然后置于标准条件下继续养护至 28 d 时进行试验。高温热处理的超高性能混凝土试件应采用 9.3 条规定的条件养护, 在成型后 7 d 时进行试验。

11.3 评定

11.3.1 UC 系列超高性能混凝土的抗压强度检验结果的合格判定应符合下列规定:

a) 同批试样的组数大于或等于 10 组时, 应以数理统计方法评定, 并满足下述条件:

$$m_{fu} \geq f_{cu,k} + 1.1S_n \quad (5)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad (6)$$

式中:

m_{fu} ——同批试样的抗压强度平均值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

S_n ——同批试样的抗压强度的标准差 (MPa), 精确到 0.01MPa, 当 $S_n < 6.0\text{MPa}$ 时, 取 $S_n = 6.0\text{MPa}$;

$f_{cu,k}$ ——超高性能混凝土的抗压强度标准值 (MPa);

$f_{cu,min}$ ——同批试样的最低抗压强度值 (MPa), 精确到 0.1MPa。

b) 同批试样的组数小于 10 时, 可用非数理统计方法评定, 并满足下述条件:

$$m_{fu} \geq 1.05f_{cu,k} \quad (7)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad (8)$$

式中:

m_{fu} ——同批试样的强度平均值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

$f_{cu,k}$ ——超高性能混凝土的抗压强度标准值 (MPa);

$f_{cu,min}$ ——同批试样的最低抗压强度值 (MPa), 精确到 0.1MPa。

11.3.2 UT 系列超高性能混凝土的抗拉强度检验结果的合格判定应符合下列规定:

a) 同批试样的组数大于或等于 10 组时, 应以数理统计方法评定, 并满足下述条件:

$$m_{tu} \geq f_{tu,k} + 1.1S_n \quad (9)$$

$$f_{tu,min} \geq 0.95f_{tu,k} \quad (10)$$

式中:

m_{tu} ——同批试样的抗拉强度平均值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

S_n ——同批试样的抗拉强度的标准差 (MPa), 精确到 0.01MPa, 当 $S_n < 0.7\text{MPa}$ 时, 取 $S_n = 0.7\text{MPa}$;

$f_{tu,k}$ ——超高性能混凝土的抗拉强度标准值 (MPa);

$f_{tu,min}$ ——同批试样的最低抗拉强度值 (MPa), 精确到 0.1MPa。

b) 同批试件组数小于 10 时, 可用非数理统计方法评定, 并满足下述条件:

$$m_{tu} \geq 1.05f_{tu,k} \quad (11)$$

$$f_{tu,min} \geq 0.95f_{tu,k} \quad (12)$$

式中:

m_{tu} ——同批试样的抗拉强度平均值 (MPa), 精确到 0.1MPa;

$f_{tu,k}$ ——超高性能混凝土的抗拉强度标准值 (MPa);

$f_{tu,min}$ ——同批试样的最低抗拉强度值 (MPa), 精确到 0.1MPa

11.3.3 对超高性能混凝土有抗渗性和抗磨性要求时, 其检验结果符合表 3、表 4、表 5、表 6 的规定者为合格。

12 订货

12.1 超高性能混凝土的订货与交货应符合 GB/T 14902 的规定

附录 A

(规范性)

超高性能混凝土的轴拉性能试验方法

A.1 一般规定

本方法适用于测定超高性能混凝土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、极限抗拉强度、极限拉应变。

A.2 试件尺寸和数量

A.2.1 轴拉试件的平面尺寸如图A.1所示，厚度可采用50mm或100mm。设计单位或供需双方可根据需要选择轴拉试件的厚度。当超高性能混凝土中钢纤维长度不大于16mm时，宜采用厚度为50mm的试件；当超高性能混凝土中钢纤维长度大于16mm时，宜采用厚度为100mm的试件。不同厚度试件的测试结果在进行合格评定时可不考虑尺寸效应。

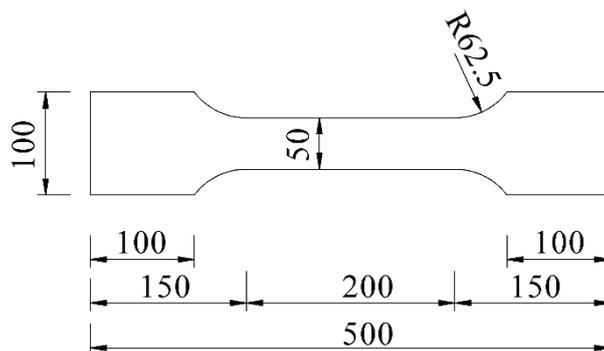


图 A.1 单轴拉伸试验的试件尺寸 (单位: mm)

A.2.2 每组试件数量为 6 个。

A.3 试件制作

A.3.1 试件的成型和养护应符合本文件第9章有关规定。

A.3.2 宜在试件变截面段侧面粘贴碳纤维布或铝片，亦可采取其它可靠措施强化变截面段受力行为。粘贴的碳纤维布或铝片宜伸入等截面段15mm。

A.4 试验仪器设备

A.4.1 拉力试验机的性能应符合GB/T 50081的有关规定，应可按位移控制模式进行加载。

A.4.2 用于试件变形测量的仪器装置应符合下列规定：

a) 宜采用位移传感器测量试件的变形量，也可采用千分表、激光测长仪、引伸仪等测量。采用位移传感器或千分表时应备有微变形测量固定架，试件的变形通过微变形测量固定架传递到位移传感器或

千分表。采用位移传感器或千分表测量试件变形时，应具备有数据自动采集系统；条件许可时，可采用荷载和位移数据同步采集系统。

b) 当采用位移传感器或千分表时，其测量精度应为 $\pm 0.001\text{mm}$ ；当采用激光测长仪或引伸仪时，其测量精度应为 $\pm 0.001\%$ 。

c) 变形测量仪的标距宜为 150mm 。

A.5 试验步骤

A.5.1 到达试验龄期前，将试件在规定的试验环境中自然干燥1天后，量测试件等截面区的截面尺寸。应沿试件的长轴方向每边等间距选取3个不同位置量测试件的厚度，取其平均值。当实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm 时，可按公称尺寸进行计算。试件承压面的不平整度不应超过边长的 0.05% ，承压面与相邻面的不垂直度不应超过 $\pm 5^\circ$ 。

A.5.2 将试件放置于试验机上下夹具中，上下夹具连接件应与混凝土试件的中轴线一致并对中。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.5.3 当采用位移传感器或千分表测量试件变形时，应将位移传感器或千分表固定在变形测量架，并由标距定位杆进行定位，然后将变形测量架通过紧固螺钉固定在试件中部。

A.5.4 开动试验机进行预拉，预拉荷载为弹性极限荷载的 $15\% \sim 20\%$ 。预拉时，应测量应变值，计算偏心率，计算方法应符合GB/T 50081的规定。当试件偏心率大于 15% 时，应对试件重新对中调整。

A.5.5 预拉完毕后，应重新调整测量仪器，进行正式测试。拉伸试验时，对试件连续、均匀加荷，宜采用位移控制加荷，加荷速率宜为 0.2mm/min 。当采用位移传感器测量变形时，试件测量标距内的变形应由数据采集系统自动记录。试件初裂前，数据采样频率不宜小于 2Hz ；试件初裂后，数据采样频率不宜小于 5Hz 。

A.5.6 当满足下列条件之一时，应终止加载，停止试验：

- a) 试件进入拉伸应变软化阶段后拉应力低于峰值荷载的 30% ；
- b) 试件的拉应变达到 10000×10^{-6} ；
- c) 试件拉断。

A.5.7 轴拉试件的开裂位置位于标距内的试验结果为有效结果。当已获得三个有效结果，仍有未进行试验的试件，剩余试件可不再进行试验。

A.5.8 当仅测量试件的极限抗拉强度时，可不测量试件的变形，加荷速率宜不大于 0.7mm/min ，记录峰值荷载。

A.6 结果计算和确定

A.6.1 弹性极限点的选取应符合下列规定：

a) 由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荷载宜作为弹性极限点；

b) 当荷载-变形曲线中线性段转为非线性段的点不明显时,可取拉应变为 200×10^{-6} 时对应的荷载作为弹性极限点。

A.6.2 如果未出现峰值荷载,极限抗拉点应为试件拉伸变形达到 0.30mm 时的荷载。

A.6.3 弹性极限抗拉强度应按式 (A-1) 进行计算,弹性极限拉应变应按式 (A-2) 进行计算:

$$f_{te} = \frac{F_A}{b_m h_m} \quad (\text{A-1})$$

$$\varepsilon_{te} = \frac{l_{te}}{L} \quad (\text{A-2})$$

式中:

f_{te} ——弹性极限抗拉强度 (MPa), 计算结果精确至 0.01MPa;

F_A ——弹性极限荷载 (N), 弹性极限点处的荷载;

b_m 、 h_m ——轴拉试件中部截面的宽度、厚度 (mm);

ε_{te} ——弹性极限拉应变, 计算结果精确至 10×10^{-6} ;

l_{te} ——弹性极限点处的拉伸变形 (mm);

L ——测试标距 (mm)。

A.6.4 极限抗拉强度应按式 (A-3) 进行计算,极限拉应变应按式 (A-4) 进行计算:

$$f_{tu} = \frac{F_B}{b_m h_m} \quad (\text{A-3})$$

$$\varepsilon_{tu} = \frac{l_{tu}}{L} \quad (\text{A-4})$$

式中:

f_{tu} ——极限抗拉强度 (MPa), 计算结果精确至 0.01MPa;

F_B ——极限抗拉荷载 (N), 极限抗拉点处的荷载, 或未出现峰值荷载, 而拉伸变形达到 0.30mm 时的荷载;

ε_{tu} ——极限拉应变, 计算结果精确至 10×10^{-6} ;

l_{tu} ——极限抗拉点处的拉伸变形, 若未出现峰值荷载, 拉伸变形取 0.30 (mm);

L ——测试标距 (mm)。

A.6.5 试验结果的处理:

以三个有效结果的平均值为弹性极限抗拉强度或极限抗拉强度。如果其中一个有效结果与平均值的偏差大于 15%, 则舍弃该结果, 以剩余两个有效结果的平均值为弹性极限抗拉强度或极限抗拉强度。如果仍有有效结果与平均值的偏差大于 15%, 该组试验结果无效, 应重新进行试验。当有效结果数小于 3 时, 该组试验结果无效, 应重新进行试验。

附录 B

(规范性)

超高性能混凝土的氯离子扩散系数试验方法

B.1 适用范围

B.1.1 本方法适用于以快速氯离子迁移系数法（或称RCM法）测定氯离子在超高性能混凝土中非稳态迁移的迁移系数，从而确定超高性能混凝土的抗渗性能。

B.2 试剂种类和品质

B.2.1 溶剂应采用蒸馏水或去离子水。

B.2.2 氢氧化钠、氯化钠、硝酸银、氢氧化钙均应为化学纯。

B.3 仪器设备

B.3.1 切割试件的设备应采用水冷式金刚石锯或碳化硅锯。

B.3.2 试样饱水用真空容器应至少能够容纳3个试件。

B.3.3 RCM试验装置（图B.1）采用的有机硅橡胶套的内径和外径应分别为100mm和115mm，长度应为150mm。夹具应采用不锈钢环箍，其直径范围应为（105~115）mm、跨度应为20mm。阴极试验槽可采用尺寸为370mm×370mm×280mm的塑料箱。阴极板应采用厚度为（0.5±0.1）mm、直径不小于100mm的不锈钢板。阳极板应采用厚度为0.5mm、直径为（98±1）mm的不锈钢网或带孔的不锈钢板。支架应由硬塑料板制成。处于试件和阴极板之间的支架头高度应为（15~20）mm。RCM试验装置还应符合JC/T 262的有关规定。

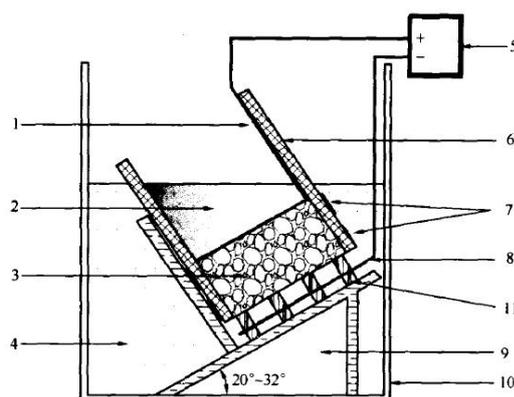


图 B.1 RCM 试验装置示意图

1—阳极板；2—阳极溶液；3—试件；4—阴极溶液；5—可调直流电源；

6—有机硅橡胶套；7—环箍；8—阴极板；9—支架；10—阴极试验槽；11—支撑头

B.3.4 电源应能稳定提供(0~90)V的可调直流电，精度应为±0.1V，电流应为（0~10）A。

B.3.5 电表的精度应为±0.1mA。

- B. 3.6 温度计或热电偶的精度应为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- B. 3.7 喷雾器应适合喷洒硝酸银溶液。
- B. 3.8 游标卡尺的精度应为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- B. 3.9 尺子的最小刻度应为 1mm 。
- B. 3.10 水砂纸的规格应为(200~600)号。
- B. 3.11 细锉刀可为备用工具。
- B. 3.12 扭矩扳手的扭矩范围应为(20~100) $\text{N}\cdot\text{m}$ ，测量允许误差为 $\pm 5\%$ 。
- B. 3.13 电吹风的功率应为(1000~2000) W 。
- B. 3.14 黄铜刷可为备用工具。
- B. 3.15 真空表或压力计的精度应为 $\pm 665\text{Pa}$ (5mmHg柱)，量程应为0~13300Pa (0~100mmHg柱)。
- B. 3.16 抽真空设备可由体积在1000mL以上的烧杯、真空干燥器、分液装置、真空表等组合而成。

B. 4 溶液和指示剂

- B. 4.1 阴极溶液应为10%质量浓度的NaCl溶液，阳极溶液应为0.3mol/L摩尔浓度的NaOH溶液。溶液应至少提前24h配制，并应密封保存在温度为(20~25) $^{\circ}\text{C}$ 的环境中。
- B. 4.2 显色指示剂应为0.1mol/L浓度的AgNO₃溶液。

B. 5 试件制作

- B. 5.1 应采用直径为(100 \pm 1) mm，高度为(30 \pm 2) mm的圆柱体试件，每组试件数量为3块。
- B. 5.2 在试验室制作试件时，宜采用 $\Phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ 试模。
- B. 5.3 试件应在终凝后1d内拆模，然后在20 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 的水池中养护28d，也可根据设计要求养护56d或90d；采用常规蒸汽养护时，试件蒸汽养护后，在20 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 的水池养护，总养护龄期为28d，采用改善性能的高温热养护时，高温热养护后，在20 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 的水池中养护7d。
- B. 5.4 应在抗氯离子渗透试验前7d加工成标准尺寸的试件。应先将试件从正中间切成相同尺寸的两部分($\Phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$)，然后从两部分中各切取一个高度为(30 \pm 2) mm的试件，并应将第一次的切口面作为暴露于氯离子溶液中的测试面。
- B. 5.5 试件加工后应采用水砂纸和细锉刀打磨光滑，加工好的试件应继续在20 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 的水池中养护至试验龄期。

B. 6 试件安装

- B. 6.1 首先将试件从养护池中取出来，并将试件表面的碎屑刷洗干净，擦干试件表面多余的水分。采用游标卡尺测量试件的直径和高度，精确到0.1mm。将试件在饱和面干状态下置于容器中进行真空处理。应在5min内将容器中的气压减少至(1~5) kPa，并保持该真空度3h，然后在真空泵仍然运转的情况下，将用蒸馏水配制的饱和氢氧化钙溶液注入容器，溶液高度应保证将试件浸没。在试件浸没1h后恢复常压，并继续浸泡(96 \pm 2) h。
- B. 6.2 在将试件安装于RCM试验装置前应采用电吹风冷风档吹干表面。试件表面应干净，无油污、灰砂和水珠。
- B. 6.3 RCM试验装置的试验槽在试验前应用室温蒸馏水或去离子水冲洗干净。

B. 6.4 试件和RCM试验装置准备好以后，将试件装入橡胶套内的底部，在与试件齐高的橡胶套外侧安装两个不锈钢环箍（图B.2），每个箍高度应为20 mm，并应拧紧环箍上的螺栓至扭矩 (30 ± 2) N·m，使试件的圆柱侧面处于密封状态。

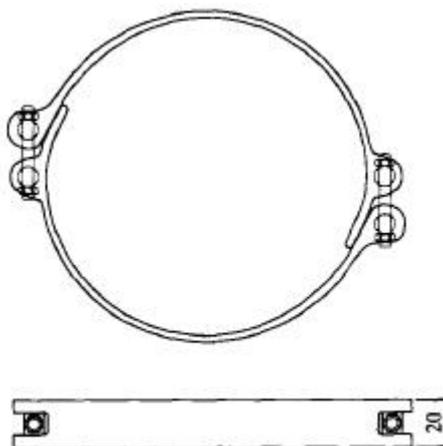


图 B.2 不锈钢环箍

B. 6.5 将装有试件的橡胶套安装到试验槽中，并安装好阳极板。然后应在橡胶套中注入约300mL浓度为0.3mol/L的NaOH溶液，并应使阳极板和试件表面均浸没于溶液中。在阴极试验槽中注入12L质量浓度为10%的NaCl溶液，并应使其液面与橡胶套中的NaOH溶液的液面齐平。

B. 6.6 试件安装完成后，应将电源的阳极用导线连至橡胶筒中阳极板，并将阴极用导线连至试验槽中的阴极板。

B.7 电迁移试验测试

B. 7.1 首先打开电源，将电压调整到 (30 ± 2) V，并应记录通过每个试件的初始电流。

B. 7.2 后续试验应施加的电压（表B.1第二列）应根据施加30V电压时测量得到的初始电流值所处的范围（表B.1第一列）决定。根据实际施加的电压，记录新的初始电流。应按照新的初始电流值所处的范围（表B.1第三列），确定试验应持续的时间（表B.1第四列）。

表 B.1 初始电流、电压与试验时间的关系

初始电流 I_{30V} (用 30V 电压) (mA)	施加的电压 U (调整后) (V)	可能的新初始电 流 I_n (mA)	试验最少持续时间 t (h)
$I_0 < 2.5$	90	$5 \leq I_0 < 10$	168
$2.5 \leq I_0 < 5$	60	$5 \leq I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$I_0 \geq 10$	60	$I_0 \geq 20$	24

B. 7.3 按照温度计或者电热偶的显示读数记录每一个试件的阳极溶液的初始温度。

B. 7.4 试验结束时，测定阳极溶液的最终温度和最终电流。

B.7.5 试验结束后及时排除试验溶液。用黄铜刷清除试验槽的结垢或沉淀物，并用蒸馏水或去离子水和洗涤剂将试验槽和橡胶套冲洗干净，然后用电吹风的冷风档吹干。

B.8 氯离子渗透深度测定

B.8.1 试验结束后，及时断开电源。

B.8.2 断开电源后，将试件从橡胶套中取出，并立即用蒸馏水或去离子水将试件表面冲洗干净，然后擦去试件表面多余水分。

B.8.3 试件表面冲洗干净后，在压力试验机上沿轴向劈成两个半圆柱体，并在劈开的试件断面立即喷涂浓度为0.1mol/L的AgNO₃溶液显色指示剂。

B.8.4 指示剂喷洒约15min后，沿试件直径断面将其分成10等份，并用直径0.1mm的针管笔描出渗透轮廓线。

B.8.5 根据观察到的明显颜色变化，测量显色分界线（图B.8）离试件底面的距离，精确至0.1mm。

B.8.6 当某一测点被集料阻挡，可将此测点位置移动到最近未被集料阻挡的位置进行测量，当某测点数据不能得到，只要总测点数多于5个，可忽略此测点。

B.8.7 当某测点位置有一个明显的缺陷，使该点测量值远大于各测点的平均值，可忽略此测点数据，但应将这种情况在试验记录和报告中注明。

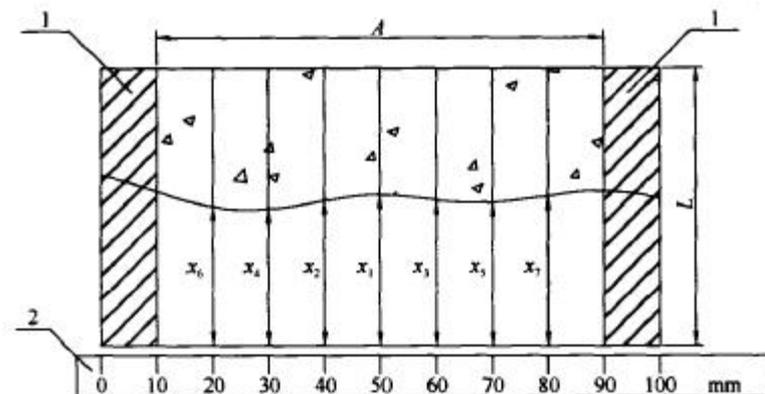


图 B.8 显色分界线位置编号

1—试件边缘部分；2—尺子；A—测量范围；L—试件高度

B.9 试验结果处理

B.9.1 超高性能混凝土的非稳态氯离子迁移系数按式（B-1）进行计算：

$$D_{RCM} = \frac{0.0239 \times (273 + T)L}{(U - 2)t} (X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}}) \quad (\text{B-1})$$

式中：

D_{RCM} ——超高性能混凝土的非稳态氯离子迁移系数，精确到 $0.01 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ；

U ——所用电压的绝对值（V）；

T ——阳极溶液的初始温度和结束温度的平均值（℃）；

L ——试件厚度（mm），精确到 0.1mm；

X_d ——氯离子渗透深度的平均值（mm），精确到 0.1mm；

t ——试验持续时间（h）。

B.9.2 超高性能混凝土的非稳态氯离子迁移系数应按下式进行计算：

- a) 计算3个试样的氯离子扩散系数的算术平均值；
- b) 当氯离子扩散系数的算术平均值小于 $10 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 时，直接取3个试样氯离子扩散系数的中间值作为该组试件的氯离子扩散系数测定值。
- c) 当氯离子扩散系数的算术平均值在 $10 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s} \sim 30 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 之间时，若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的20%，应取中间值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的20%，取其中最大值作为测定值。
- d) 当氯离子扩散系数的算术平均值大于 $30 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 时，若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的20%，应取中间值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的20%，应重新制样进行试验。

附录 C

(规范性附录)

超高性能混凝土抗气体渗透性能试验方法

C.1 适用范围

C.1.1 本方法适用于测定超高性能混凝土的气体渗透率，从而表征其抗气体渗透性能。

C.2 试件尺寸和数量

C.2.1 采用尺寸为直径100mm、高度50mm的圆柱体试件。

C.2.2 每组试件为3块。

C.3 试验装置

C.3.1 气体渗透装置（图C.1）由气路系统和气体渗透单元组成。

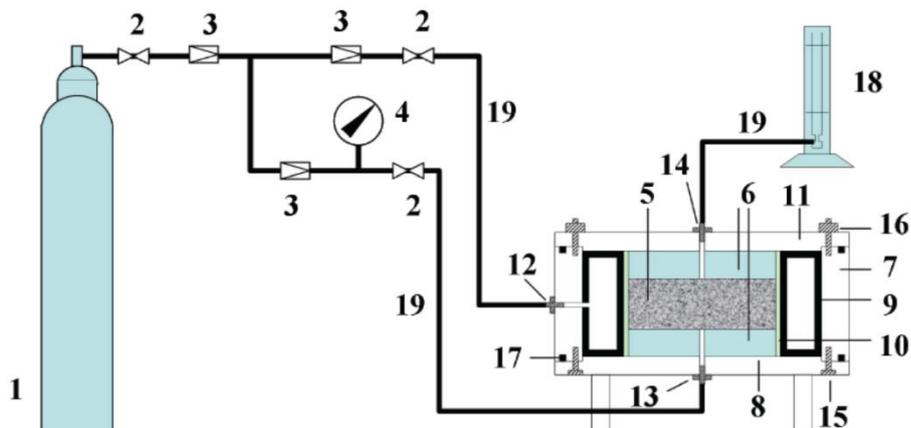


图 C.1 气体渗透装置图

1-高压氮气瓶；2-气路开关；3-减压阀；4-高精度压力表；5-超高性能混凝土试件；6-PVC 圆垫板；
7-圆钢套；8-底板；9-充气橡胶囊；10-橡胶密封套；11-顶板；12-橡胶套进气嘴；13-渗透单元进气嘴；
14-渗透单元出气嘴；15-底板螺栓；16-顶板螺栓；17-O 型密封圈；18-皂膜流量计；19-气路压力管

C.3.2 高压氮气瓶应符合GB 5099的规定，最低工作压力3MPa。

C.3.3 高精度压力表的量程不小于2MPa，精度不低于1kPa。

C.3.4 渗透单元顶板和底板宜采用钢质材料。

C.3.5 流量计的量程宜为 0.1 mL/min~100 mL/min。

C.4 试件预处理

C.4.1 将超高性能混凝土拌合物一次性浇筑在内径为100mm、高度为200mm的钢模中。标准养护的试件在标准条件养护28d。常规蒸汽养护的试件在蒸汽养护后在标准条件下继续养护至28d。改善性能的高温热养护的试件在高温热养护结束后在标准条件下继续养护至7d。

C.4.2 在达到规定试验龄期后，使用岩石切割机从超高性能混凝土柱体中部切出厚度为 50 ± 2 mm的圆饼试件，每个圆柱切割出3个试件。

C.4.3 将试件放入真空干燥箱中，在 60°C 下真空干燥，直到试样间隔24h的质量变化小于0.1%，干燥完成后，再将试件置于温度为 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度为 $60\% \pm 5\%$ 的干燥环境中。试件质量称取应精确至0.1g。

C.5 测试步骤

C.5.1 将试件侧面涂环氧树脂，并在室温干燥。

C.5.2 组装气体渗透单元，并分别置入充气橡胶囊、橡胶密封套、PVC圆垫板和处理好的试件，盖上渗透单元顶板并紧固螺栓。

C.5.3 组装气路，连接高压气瓶、气体渗透单元和皂膜流量计。

C.5.4 利用减压阀将高压氮气调压至2.5MPa左右，再打开连接充气橡胶囊的调压阀并调整压力至2MPa，打开其后的气路开关给充气橡胶囊充气。

C.5.5 打开连接渗透单元底板进气嘴的调压阀，将压力稳定在0.50MPa，然后打开其后的气路开关；每隔30min 使用皂膜流量计测量一次渗透单元出气嘴的气体流量，待前后两次测量的流量差小于1%时，记录此时的气体流量。

C.5.6 调整渗透单元进气口的气体压力，按步骤5的方法分别测试进气口气体压力在0.60MPa、0.70MPa、0.80MPa、0.90MPa和1.00MPa下的出气嘴流量。

C.5.7 关闭高压气瓶开关，给充气橡胶囊放气；打开渗透单元顶板，取出试件，按步骤2~6进行下一个试件的测量，直至所有试件测试完毕。

C.6 试验结果计算与确定

C.6.1 根据每个进气压力水平下的稳定气体流量，按照式（C-1）计算表观气体渗透率：

$$k_a = \frac{\mu L Q P_{\text{atm}}}{A(P - P_{\text{atm}})P_m} \quad (\text{C-1})$$

式中：

k_a ——超高性能混凝土的表观气体渗透率 (m^2)；

P_{atm} ——测试条件下的大气压力 (Pa)；

P ——渗透单元进气嘴的绝对压力 (Pa)，500,000~1000,000 (Pa)；

P_m ——渗透单元进气嘴和出气嘴的平均压力 (Pa)，等于 $(P + P_{\text{atm}}) / 2$ ；

Q ——渗透单元出气嘴的稳定气体流量 (m^3/s)；

L ——试件厚度 (m)；

μ ——气体的动粘度系数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)，氮气取 $1.76 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

A ——试件横截面积 (m^2)。

C.6.2 计算试件在5个进气压力水平下的表观气体渗透率，然后对不同压力下的 $1/P_m$ 与对应的表观气体渗透率 k_a 按照式（C-2）进行线性回归，计算固有气体渗透率：

$$k_a = b \times \frac{1}{P_m} + k_V \quad (\text{C-2})$$

所得回归参数 k_V 即为超高性能混凝土的固有气体渗透率，精确到 $0.1 \times 10^{-19} \text{m}^2$ 。

C. 6.3 以3个试件的固有气体渗透率的平均值作为超高性能混凝土的抗气体渗透性能的试验结果。若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的30%，应取中间值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的30%，该组试件的试验结果无效。

附录 D

(规范性)

超高性能混凝土毛细吸水系数试验方法

D.1 适用范围

D.1.1 本方法适用于测定超高性能混凝土的毛细吸水系数，从而表征其抗水渗透性能。

D.2 试件尺寸和数量

D.2.1 尺寸为直径 $100\text{mm} \pm 6\text{ mm}$ 圆柱体试件；使用具备水冷功能的金刚石切割机进行切割，切割后试样厚度 $50 \pm 3\text{mm}$ ，以一个切割面作为测试面。

D.2.2 记录并标记超高性能混凝土试样的吸水高度，精确到 1mm 。

D.2.3 每组试件为3块。

D.3 试件预处理

D.3.1 对切割后的超高性能混凝土试样进行吸水饱和7d，然后用拧干的湿毛巾擦除试样外表面的明水并称量，精确至 0.01g ；在温度 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $80 \pm 0.5\%$ 的干燥装置中，对试样进行72h的干燥处理，干燥装置中使用饱和溴化钾溶液（ 80.2g 溴化钾/ 100g 水， 50°C ）维持 $80 \pm 0.5\%$ 的相对湿度。干燥完成后，将试样封存到密闭的容器中，在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的环境中静置15天。

D.3.2 将试样从密封容器中取出，称重，精确至 0.01g ；测试试样待吸水面的直径（沿圆形试样的周界，进行四等分测量），精确至 0.1mm ；使用胶带或环氧树脂密封圆形试样的侧面，使用塑料薄膜覆盖试样的顶面（吸水面的相对面）并用塑料胶带固定塑料薄膜的侧边。

D.4 测试步骤

D.4.1 使用 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的自来水，并在相同的温度环境中，进行超高性能混凝土试样的吸水率测试。

D.4.2 测试时盛放超高性能混凝土试件的容器内长度不小于 500mm ，宽度不小于 200mm ，高度不小于 120mm 。容器底部安置高 $5 \pm 0.1\text{mm}$ 的耐碱液腐蚀的金属或非金属支架，向容器中注水，并使得液面高度高于支架上表面 $1\text{-}3\text{mm}$ ，并在整个测试期间维持该液面高度不变。

D.4.3 称量封装后的试件质量。

D.4.4 将超高性能混凝土试样浸泡至水中，立即开始计时。同时，按照表D.1设定的时间间隔将超高性能混凝土试样从支架上提起，用拧干的湿毛巾擦除试样外表面的明水。将试样的吸水面向上，放在电子秤上进行称量，精确至 0.01g ；然后将试样放回容器内的支架上，继续吸水。试样自从支架上提起，至完成称量后再次放回容器，应控制在 20s 之内完成。

表 D.4 吸水时间与吸水量

测 试 时	0	60s	5min	10 min	20 min	30 min	60 min	2h ±	3h ±	4h ±	5h ±	6h ±
	s	±2s	±10s	±	±	±	±	5min	5min	5min	5min	5min
				2min	2min	2min	2min					

间												
试样质量												

D.5 吸水量、吸水系数计算及试验结果确定

D.5.1 按式 (D-1), 计算试样在不同时间点的吸水量计算:

$$I = \frac{m_t}{S \cdot \rho} \quad (\text{D-1})$$

式中:

I ——吸水量, 单位为 mm;

m_t ——不同时间点相对于初始时刻的吸水质量, 单位为 g;

S ——试样的吸水面积, 单位为 mm²;

ρ ——水的密度, 取 0.001g/mm³

D.5.2 将不同时间点的吸水量针对不同的时间点 (单位为: s^{0.5}) 作图, 并对试验结果进行线性拟合。所得直线的斜率即为该超高性能混凝土试样的吸水系数, mm/s^{0.5}。

D.5.3 以3个试件的吸水系数的平均值作为超高性能混凝土的抗水渗透性能的试验结果。若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的10%, 应取中间值作为测定值; 若最大值和最小值均超过中间值的10%, 该组试件的试验结果无效。

附录 E

(规范性)

超高性能混凝土抗冲磨性能试验方法

E.1 适用范围

E.1.1 本方法适用于水下砂冲磨法测定超高性能混凝土的抗冲磨性能。用超高性能混凝土抗冲磨性能与努氏硬度 500 的玻璃抗冲磨性能相对比的抗冲磨指数表示。

E.2 试件尺寸、数量和技术要求

E.2.1 超高性能混凝土采用边长 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 、高度 $35\pm 1\text{mm}$ 的板形试件，试件制作时的脱模面作为试件的冲磨试验面，可为立方体试件成型的侧面或底面。每组试件的数量为3块。

E.2.2 玻璃板宜采用边长 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 、厚度 $25\pm 0.5\text{mm}$ 的板形试件，应采用密度在 $2400\text{kg/m}^3\sim 2600\text{kg/m}^3$ 之间、努氏硬度为500的玻璃。每组试件的数量为2块。

E.3 试验装置

E.3.1 超高性能混凝土抗冲磨性能测试用试验装置如图E.1所示：

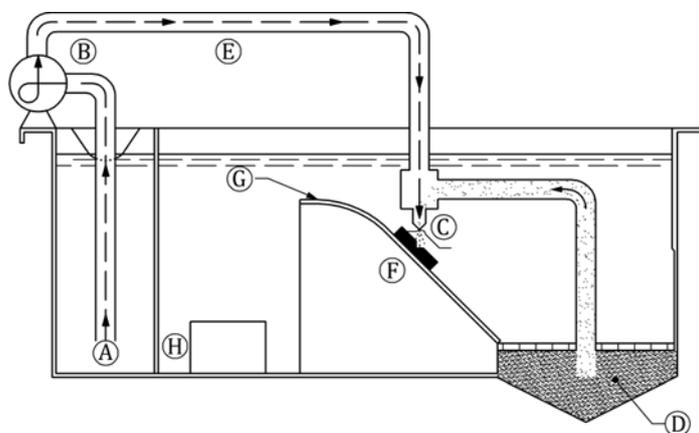


图 E.1 抗冲磨性能试验设备示意图

A—水箱；B—水泵；C—喷嘴；D—砂池；

E—水管；F—试件；G—试件固定平台和导轨；H—滤网

E.3.2 水泵：能为喷嘴出口提供 0.3MPa 压力水的射流；

E.3.3 喷嘴：直径 $20\text{mm}\pm 2\text{mm}$ 的中心喷嘴；

E.3.4 试件固定平台和导轨：能将试件冲磨面固定在与喷嘴成 $45^\circ\pm 0.5^\circ$ 、距离 $62\text{mm}\pm 2\text{mm}$ 的位置；

E.3.5 冲磨用砂采用石英砂，石英砂的 SiO_2 含量不小于97%，莫氏硬度为7， $1\text{mm}\sim 4\text{mm}$ 的颗粒含量不低于95%。当玻璃试件的磨耗体积减少到新砂初次使用时的磨耗体积的 $(60\pm 5)\%$ 时，应更换石英砂；

E.3.6 砂池应设置在能保证 4mm 石英砂颗粒能吸入射流水砂混合物中参与冲磨的位置。

E.4 试件制作和准备

E.4.1 混凝土抗冲磨试件在100mm立方体试模中浇筑成100mm×100mm×35mm的试件，也可一次性浇筑成100mm立方体，混凝土硬化后，用金刚石锯切割成100mm×100mm×35mm的试件。

E.4.2 标准养护的试件在标准条件下养护28d。常规蒸汽养护的试件在蒸汽养护后在标准条件下继续养护至28d。改善性能的高温热养护试件在高温热养护结束后在标准条件下继续养护至7d。

E.5 试验步骤

E.5.1 将抗冲磨试件从标准养护室取出，擦除表面水分，对试样的质量和尺寸进行测量，其中前者的精度要求为±0.01g，后者的精度要求为±0.1mm，并计算得到试样的体积密度；

E.5.2 将抗冲磨试件安置固定试验平台，通过导轨调整试验平台，使试件的冲磨面与喷嘴成45°±0.5°角，喷嘴与冲磨试件表面的喷嘴投影中心的距离为62mm±2mm；

E.5.3 往水箱中注水淹没试件，至水位达到指定高度，开动抗冲磨试验机，冲磨75min±1min后，停机；

E.5.4 从试验平台上取下试样，擦除表面的水分，然后用电子秤对试样进行称量，并通过试样的体积密度数据，获得试样被冲磨后磨耗的体积；

E.5.5 当一组3个超高性能混凝土试件和2个对比玻璃试件单个测试时，应对比的2个玻璃试件安排在首次和末次试验。

E.6 试验结果计算与处理

E.6.1 超高性能混凝土的磨耗体积应按式（E-1）计算：

$$V_U = \frac{\sum_{i=1}^3 V_{U_i}}{3} \quad (\text{E-1})$$

式中：

V_U ——超高性能混凝土的磨耗体积平均值（mm³），精确至1mm³；

V_{U_i} ——超高性能混凝土单个试件的磨耗体积（mm³），精确至1mm³；若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的10%，应取中间值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的10%，应重新制样进行试验。

E.6.2 对比玻璃的磨耗体积应按式（E-2）计算：

$$V_G = \frac{\sum_{i=1}^2 V_{G_i}}{2} \quad (\text{E-2})$$

式中：

V_G ——对比玻璃的磨耗体积平均值（mm³），精确至1mm³；

V_{G_i} ——对比玻璃单个试件的磨耗体积（mm³），精确至1mm³；最大值和最小值与平均值之差超过平均

值的 20%时，应重新制样进行试验。

E. 6.3 超高性能混凝土的抗冲磨指数应按式（E-3）计算：

$$I = \frac{V_U}{V_G} \quad (\text{E-3})$$

式中：

I ——超高性能混凝土的抗冲磨指数，精确至 0.1

V_U ——超高性能混凝土的磨耗体积平均值（ mm^3 ），精确至 1mm^3 ；

V_G ——对比玻璃的磨耗体积平均值（ mm^3 ），精确至 1mm^3 ；