

超高性能混凝土预混料

（征求意见稿）

编制说明

标准编制组

2020年5月

一、工作概况

1、任务来源

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2019 年第六批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发[2019]121 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2019 年中国混凝土与水泥制品协会标准制定计划（第二批）的通知》（中制协字[2019]51 号）的要求，《超高性能混凝土预混料》项目编号为 2019-76-xbjh，由中国混凝土与水泥制品协会（超高性能水泥基材料与工程技术分会）负责制定。

2、制定本标准的背景和意义

超高性能混凝土（以下简称 UHPC）作为现在和未来的重要水泥基工程材料，在国内外得到了广泛关注，它也使得水泥基复合材料向着高强、高韧、高耐久方向不断发展。经过四十多年的研究与发展，UHPC 制备理论已趋于成熟，应用技术在快速发展，产品生产供应进入产业化、商业化阶段。当前，欧洲的 UHPC 技术整体上相对成熟，北美、日、韩、马来西亚和中国等紧随其后。过去二十年，我国一些高校、科研机构、生产和施工单位在 UHPC 的制备、性能表征与工程应用技术方面做了大量工作，如今相关工作仍在蓬勃展开，UHPC 日益成长为一个新兴产业，正在促使一些水泥制品、混凝土结构升级换代。随着近年国内 UHPC 产品的不断推出，在结构设计、施工、质检、验收等环节，因缺乏相应标准而产生的困扰日益突显，一定程度上阻碍了 UHPC 工程应用的进程，建立相应的系列标准势在必行。从市场角度看，中国潜力最大。然而，我们在 UHPC 的标准化方面还未跟上时代步伐，应在较短时间内补上这一“短板”，为 UHPC 的应用和发展搭桥铺路。

CCPA 在国内率先组织编写了 UHPC 系列标准规范，其中 T/CBMTF 37-2018《超高性能混凝土基本性能与试验方法》标准已经发布，在编的《超高性能混凝土预制构件生产操作规程》、《超高性能混凝土现浇施工操作规程》和《超高性能混凝土结构设计规程》已经完成征求意见稿，进入征求意见和修改完善阶段。

商业化的 UHPC 产品，大多以预混料方式供应，即将粉体材料和骨料在工厂的高效率混和机中拌和均匀，然后包装。在使用现场，只需在搅拌机中，按要求比例加入水（和另外包装的液体外加剂）、纤维（以及增加使用的骨料）搅拌均匀，即可制备 UHPC 并进行浇筑。这样有两个好处，其一：可在工厂完成 UHPC 颗粒堆积体的质量控制，能够较好保障 UHPC 性能和质量，并且使用方便。其二，UHPC 材料的制备与生产质量控制包含了企业的努力、技术诀窍或专有技术，以预混料方式供应产品可有效保护企业的知识产权和技术秘密。

然而，如何确定 UHPC 产品性能、试验方法和供应技术条件？设计中如何定义需要的 UHPC 产品类别、性能要求？等等。没有相应的产品技术标准，已经困扰了 UHPC 产品商业化生产供应和应用。制定本标准就是为了填补 UHPC 产品标准的空白，为生产、设计和应用提供细化的、规范的 UHPC 产品分类、分级和各方面性能试验方法，指导企业进行产品质量控制、产品性能检验和提供产品部分的或全面的性能指标，补充标准 T/CBMTF 37 中

“基本性能”以外的、设计施工需要的其它性能指标。本标准可作为供需双方合同约定的标准条款、产品技术要求或参考技术文件，有助于我国 UHPC 产品商业化生产、供应与工程应用。

3、主要工作过程

为完成标准制订，中国混凝土与水泥制品协会（CCPA）超高性能水泥基材料与工程技术分会（以下简称“UHPC 分会”）牵头成立了《超高性能混凝土预混料》标准编制组。编制组由 44 个单位构成（详见下表），其中包括 8 所高校、4 家科研单位、31 个材料与工程企业（其中 7 个大型施工企业）和 1 个主管协会。涵盖了国内主要的 UHPC 科研、产品生产和工程应用单位，具有有代表性。

本标准的准备工作从 2016 年开始，与编制《超高性能混凝土基本性能与试验方法》标准同步开展。准备工作包括收集国内外相关标准规范、分析 UHPC 性能特征、开展多试验室平行性能试验，以及调研国内外 UHPC 产业和产品。主要工作内容汇总在 2019 年 6 月出版的图书《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（赵筠、师海霞、路新瀛主编，中国建材工业出版社出版）。

2019 年 4 月开始起草，2019 年 12 月形成《超高性能混凝土预混料》标准草案（初稿 1），2020 年 3 月 19 日召开第一次全体编制组视频会议，就“初稿 1”进行讨论，根据提出的意见建议，修改形成初“初稿 2”。2020 年 4 月 28 日再次召开全体编制组视频会议，进行讨论和修改完善，形成“初稿 3”。再在编制组内部征求意见，经修改形成征求意见稿。

后续工作包括：《超高性能混凝土预混料》（征求意见稿）公示征求意见后，将根据所征集到的好的、建设性意见再次修改完善，完成送审稿；经专家组审查后，根据专家意见建议修改，完成报批稿，报批。

编制组成员单位

序号	参编单位	分工
1	南京倍立达新材料系统工程股份有限公司	起草工作
2	江西银杉白水泥股份有限公司	
3	上海城建物资有限公司	
4	山东省交通科学研究院	承担部分试验
5	广东广泽实业有限公司	提供相关行业参考数据
6	广东汇海材料有限公司	
7	中铁大桥科学研究院有限公司	
8	埃肯国际贸易（上海）有限公司	
9	保利长大工程有限公司	
10	北京利豪珈源建材有限公司	
11	建华建材（中国）有限公司	
12	江西省建筑材料工业科学研究设计院	

13	辽宁希伦电力科技有限公司	
14	青岛田弘嘉业装饰景观工程有限公司	
15	上海山鹰环保科技有限公司	
16	中交第二航务工程局有限公司	承担部分试验
17	中路杜拉国际工程股份有限公司	提供相关行业参考数据
18	上海瑞史坦环保科技有限公司	
19	北京市高强混凝土有限责任公司	
20	广东盖特奇新材料科技有限公司	
21	华新水泥股份有限公司	
22	江西贝融循环材料股份有限公司	承担平行试验
23	北京市燕通建筑构件有限公司	提供相关行业参考数据
24	山东省公路桥梁建设有限公司	
25	浙江吉川工程技术有限公司	
26	呼和浩特市巨日特种化工建材有限公司	
27	广州市玖珂塘材料科技有限公司	
28	武汉三源特种建材有限责任公司	承担部分试验
29	北京市市政工程研究院	
30	北京城建集团有限责任公司	提供相关行业参考数据
31	中建材料技术研究成都有限公司	
32	中山市尚美佳装饰材料有限公司	
33	上海市建筑科学研究院有限公司	
34	上海宝生新型建材有限公司	
35	上海复培新材料技术有限公司	
36	长安大学	
37	北京交通大学	
38	南京理工大学	
39	湖南大学	
40	纽约大学	
41	武汉大学	承担部分试验
42	哈尔滨工业大学	承担平行试验
43	清华大学	起草工作，承担平行试验
44	中国混凝土与水泥制品协会	负责组织工作，起草工作

二、标准编制原则和主要内容

1、本标准与国内相关标准间的关系

本标准是 T/CBMF 37《超高性能混凝土基本性能与试验方法》标准的补充和完善，即补充标准 T/CBMF 37 中“基本性能”以外的、设计施工需要的其它性能指标；为生产、设计、施工应用提供细化的、规范的 UHPC 产品分类、分级和各方面性能试验方法，以及产品性能检验验收方法，可作为供需双方合同约定的标准条款或产品技术要求；在 T/CBMF 37 标准与在编 UHPC 设计、预制与现浇施工系列标准之间，起到“承前启后”的作用，使 CCPA 组织编写的 UHPC 标准规范形成完整系列，基本满足 UHPC 产品生产供应、结构设计、构件预制或现浇施工的需要。

2、制定标准的方法、原则和依据

本标准按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定编写。

编制的基本原则为简洁实用、国际先进和不限创新。

参考和对标的标准包括法国标准 NF P18-470《超高性能混凝土技术要求、性能、生产和检验》和瑞士标准 SIA 2052《超高性能水泥基复合材料--材料、设计和应用》，并参考日本土木工程学会《超高强纤维增强混凝土结构设计施工指南（案）》、德国钢筋混凝土学会《超高性能混凝土指南(未发布)》、美国 ASTM C1856/C1856M – 17 Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete（UHPC 试件制备和试验的标准方法）、美国联邦公路管理局指南 Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections（现浇 UHPC 结构连接设计与施工）、技术文件 Properties and Behavior of UHPC-Class Materials（UHPC 级材料性能与行为，2018）、韩国技术文件，以及国内外相关研究成果。

国外标准规范的核心内容与分析，详见《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（赵筠、师海霞、路新瀛主编，中国建材工业出版社出版）第二章。

试验工作、试验方法及我国制备 UHPC 性能水平，详见《超高性能混凝土基本性能与试验方法》第四章。

3、标准主要内容与条文说明

本标准共分 12 部分：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语和符号；4 一般规定；5 原材料基本质量要求；6 产品类别、性能分级和标识方法；7 技术要求；8 试验方法；9 检验规则；10 预混料产品的出厂检验报告、使用说明书和保质期；11 标识、包装、运输和贮存；2 个规范性附录和 3 个资料性附录。

下面将标准内容中无法展开说明的，有关编制理念、目的和依据等内容，进一步解释与说明（按标准的条文编号和附录顺序）。

1、范围

制定本标准的目的是，在常用 UHPC 性能范围规定超高性能混凝土预混料和超高性能混凝土基体预混料产品的技术要求，作为产品供需双方合同约定的、设计选用的标准技术条款或参考技术条件，用于定义产品性能要求和确定检验验收条件。为此，本标准规定了超高性能混凝土预混料与超高性能混凝土基体预混料的术语、原材料基本要求、性能分级

与标识、技术要求、试验方法、检验规则、出厂检验报告与说明书、标识、包装、运输和贮存等内容。

在较好的质量保证条件下，可不采用预混料，使用各种独立原材料直接配制生产 UHPC。例如，工厂预制生产 UHPC 制品，原材料来源和质量稳定，可直接配制 UHPC，降低生产成本。本标准中规定的原材料基本要求、性能分级与要求、试验方法等内容，可作为参考技术要求或技术条件用于非预混料方式制备 UHPC。

2、规范性引用文件

在试验方法方面，本标准尽可能采用国家标准、行业标准和团体标准中成熟的标准试验方法。

在原材料质量和技术要求方面，符合国家标准或团体标准对相关原材料要求，是制备 UHPC 原材料需要满足的基本条件。

3、术语和符号

“超高性能混凝土”定义与 T/CBMT 37 (T/CCPA 7)标准相同，对本标准用到的其它术语进行了定义，包括：超高性能混凝土预混料、超高性能混凝土基体预混料、增强纤维、工作性、工作性维持时间、拌合物性能和基本硬化性能。

超高性能混凝土的制备可分为直接制备和预混料制备两种方式。制备方式与原材料之间的关系，以及超高性能混凝土预混料（PF-UHPC）与超高性能混凝土基体预混料（PM-UHPC）和增强纤维之间的关系见图 1。

国际国内商业化供应的超高性能混凝土基体预混料产品，可分为“单组分”产品和“双组分”产品。使用外加剂全部为粉体并预混入颗粒料，使用时只需按水料比加水搅拌即可，是“单组分”超高性能混凝土基体预混料。使用液体外加剂，超高性能混凝土基体预混料与外加剂分别包装同时提供，则为“双组分”超高性能混凝土基体预混料。单组分产品的优点是包装简单、使用方便，双组分产品的优点则主要是能够获得更好 UHPC 性能，因为液体外加剂或液体高效减水剂往往有更好的使用效果，独立包装虽麻烦但在使用时还可根据需要调整掺量。对于 UHPC，预计单组分和双组分超高性能混凝土基体预混料产品会因各自优点长期共存。

本标准定义“拌合物性能”和“基本硬化性能”是为使标准内容中的文字更简洁。

符号包括产品代号，坍落度和扩展度简写符和等级符，超高性能混凝土基体预混料抗压强度简写符和等级符，所用到的其它符号与 T/CBMT 37 (T/CCPA 7)标准相同。

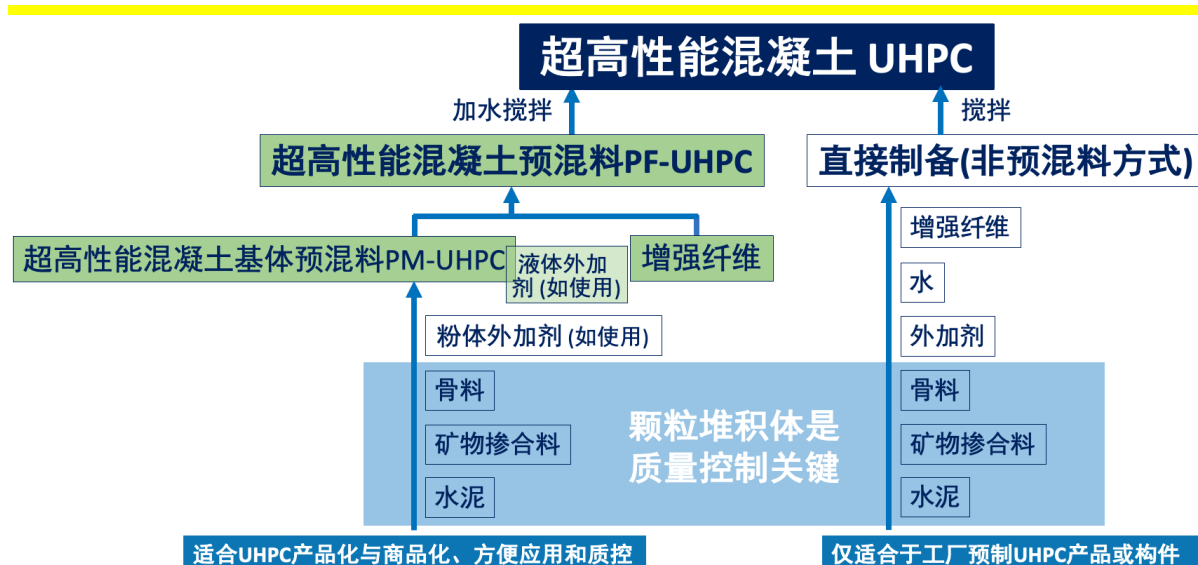


图 1: UHPC 制备方式与原材料之间关系，PF-UHPC 与 PM-UHPC、增强纤维之间关系

4、一般规定

本章说明本标准适用于超高性能混凝土基体预混料产品和超高性能混凝土预混料产品，即超高性能混凝土基体预混料产品可以是超高性能混凝土预混料产品的组成部分，也可以是独立的产品进行生产、性能检验和供应。

规定了产品性能分级与检验的方式方法，及产品生产与应用安全性的基本要求。

5、原材料基本质量要求

原材料大体分为颗粒材料、化学外加剂和增强纤维材料。制备 UHPC 需要“精挑细选”原材料，但 UHPC 所使用的原材料种类至今还没有超出传统混凝土、砂浆以及纤维增强水泥基材料的原材料范围。相关标准对各种原材料包括水泥、骨料、矿物掺和料、矿物与化学外加剂、增强纤维等的技术要求，同样适用于 UHPC 的原材料，在本标准中作为对相应原材料的基本技术要求，即最低要求，以保证原材料中有害物质、放射性等在限定范围内，保证非金属纤维的耐碱性达到规定水平，等等。

企业制备 UHPC，应该对原材料选用、组合和要求进一步细化，这来源于企业的研发和技术积累，包括找到和使用性能好、质量稳定的水泥（通常低 C_3A 的高抗硫酸盐水泥、白水泥性能较好）；选用易获得、粒径分布合适且稳定的矿物掺合料、骨料等颗粒材料，并与水泥组合可实现较高的颗粒堆积密实度；选用与颗粒材料（特别是水泥、硅灰）最佳组合的粉体或液体高效减水剂及其它外加剂，获得期望的拌合物性能；选用适宜的纤维品种规格、性能和掺量，实现需要的新拌与硬化性能等。各种原材料同时应满足其相应标准的要求，没有标准的则应保证放射性符合标准 GB 6566 的规定。

本标准只规定了骨料按砂、石标准“坚固性和强度应达到 I 类的要求”，没有规定超高性能混凝土基体预混料的最大粒径和级配，减少不必要的限制，实际的产品最大粒径通常选择砂标准 GB/T 14684 中的粒级，如 2.36mm、1.18mm 或 0.6mm。超高性能混凝土基体预混料的最大粒径可以较小，再在使用地选配适合粒级的骨料（包括细、粗骨料），降

低运输对成本和对环境的不利影响。这属于超高性能混凝土基体预混料的半成品，产品使用与性能检验需要供需双方确定更多技术细节和条件，不在本标准范围内。

本标准提出表 1 “短切等直径圆截面钢纤维和不锈钢纤维质量要求”和采用附录 A 的方法检验，主要目的是检验 UHPC 性能试验验证用的钢纤维产品与实际使用中供货的产品在规格、尺寸、质量方面的一致性，避免钢纤维出现变化进而导致 UHPC 性能变化。其中，钢纤维规格尺寸的一致性用直径和单纤维重量作为指标检验，具有较好的检测可操作性。对于非等直径短钢纤维、非圆形短钢纤维或混杂规格尺寸的短钢纤维，本标准要求与检验方法可作为参考，制定适宜的检验方法和质量要求。

非金属纤维，在质量、性能方面的要求应符合现有标准的规定；在纤维规格尺寸方面，UHPC 应用需求可能会有所不同，故可不受现有标准限制。

6、产品类别、性能分级和标识方法

产品类别分为超高性能混凝土基体预混料和超高性能混凝土预混料两类。超高性能混凝土基体预混料作为独立的产品生产供应，标识为 PM-UHPC；超高性能混凝土基体预混料与纤维组合成为超高性能混凝土预混料，则标识为 PF-UHPC。

PM-UHPC 和 PF-UHPC 产品的核心性能为新拌拌合物工作性和基本硬化性能，进行性能分级以适应不同成型施工场合和工程结构的需求。

新拌工作性分级

本标准对 PM-UHPC 和 PF-UHPC 的新拌工作性进行了统一分级，工作性为拌合物稠度——坍落度或扩展度。高工作性宜使用扩展度表征，对应于 UF600、UF700 和 UF800 等级；低工作性宜使用坍落度表征，对应于 US125 和以下等级；中等工作性可选用扩展度（UF500 和 UF400 等级）或坍落度（US175 和 US225 等级）表征。PF-UHPC 与 PM-UHPC 的新拌工作性相互独立，即受有和没有纤维的影响，之间的工作性等级没有确定的对应关系，只能通过试验确定。

本标准的扩展度采用混凝土扩展度试验方法，UF600、UF700 和 UF800 等级分别近似于法国标准的 Ct、Cv 和 Ca 等级（参见说明表 1 中 NF EN12350-8 扩展度）。

说明表 1：法国标准 NF P18-470 的 UHPC 扩展度分级（该标准的表 4）

等级	振动板上扩展度/mm (NF EN12350-5)	无振动扩展度/mm (ASTM C230/C230M)	扩展度/mm (NF EN 12350-8)
Ca	无振动：≥ 560	≥ 270	≥ 760 (SF3)
Cv	无振动：420 至 560 15 个振动后：≥ 560	230 至 270	660 至 760 (SF2)
Ct	无振动：< 420 15 个振动后：> 560	< 230	< 660 (SF1)

在砂浆稠度试验方法中，国标 GB/T 2419《水泥胶砂流动度测定方法》与 ASTM C230/C230M 的试模尺寸和方法相同，国际上也常用于高工作性、无粗骨料 UHPC 拌合物的流动度或扩展度试验。这种方法需要拌合物的量较少是该试验方法的优点，但辨识度不及混凝土扩展度（GB/T 50080、NF EN 12350-8 方法）高，故本标准没有采用。

法国标准中振动板上扩展度（NF EN 12350-5 方法），测试振动前和提板落下 15 个振动后的扩展度，适合评价成型密实过程施加少量振动的拌合物工作性，但我国还没有与之对应的试验方法，也没有相关试验数据，故本标准没有采用。

与普通混凝土相比，UHPC 由于水灰比和水胶比非常低以及使用短纤维，其拌合物粘度通常偏高。高工作性拌合物（UF700 和 UF800）需要评估粘度，适宜的方法是测量 T_{500} 时间（扩展直径达 500mm 的时间）。如今，市场上 PF-UHPC 产品的数量还有限，不足以将拌合物粘度（ T_{500} 时间或 V 漏斗时间）进行性能分级。如有需要，供需双方可协商确定粘度要求（ T_{500} 时间的上限）。例如，对于 UF700 和 UF800 等级， T_{500} 时间分别小于 10 秒和 7 秒，可视为低粘度 UHPC 拌合物。

总体上，本标准采用坍落度和扩展度两个指标划分稠度等级，可以覆盖绝大多数预制成型和现浇施工的应用需求，如挤压、喷射、表面振动、低频振动、自密实等对 UHPC 拌合物工作性的需求。对于自密实浇筑，通常不需要检验拌合物的其它填充或间隙通过性能（例如 L 型箱、J 环等），但对含有长纤维（如长度超过 20mm）或含粗骨料 UHPC，且所浇筑构件钢筋间距较小，可能需要进行 L 型箱或 J 环试验并提出要求。

基本硬化性能分级

PF-UHPC 的基本硬化性能，包括抗渗、抗拉和抗压性能，按引用标准 T/CBMF 37 (T/CCPA 7) 进行分级与标识。

PM-UHPC 的基本硬化性能，包括抗渗性能和抗压强度。PM-UHPC 的抗渗性能按标准 T/CBMF 37 (T/CCPA 7) 进行分级与标识，并且作为基体代表了所制备 UHPC 的抗渗性与耐久性。PM-UHPC 的抗压强度在本标准中作了简要分级，即 UM120 和 UM150。总体趋势上，PM-UHPC 的抗压强度越高，抗渗性能相应越高，越适合制备相应高等级的 UHPC，但 PM-UHPC 抗压强度等级与 PF-UHPC 的抗压性能等级之间没有确定对应关系，只能通过试验确定特定产品之间的关系。PM-UHPC 抗压强度等级达到 UM150 及以上等级，抗渗性能可免检定级为 UD02。

增强纤维

在国际国内，为 UHPC 增强增韧已经使用成熟的纤维为钢纤维，包括钢纤维和不锈钢纤维，以及 PVA（聚乙烯醇）纤维和耐碱玻璃纤维。此外，使用 PP（聚丙烯）纤维提高 UHPC 耐高温性能。

作为超高性能水泥基“复合材料”，增强增韧的短纤维材料是制备 UHPC 的关键材料，纤维的材料和性能还有较大的技术发展与创新空间。本标准没有限制纤维材料的品种、规格，可根据所制备 UHPC 拌合物性能、硬化性能，以及对纤维耐久性、防止表面锈蚀污染等需求，选用适宜的纤维品种与规格。

目前，国产 PVA 短纤维在规格尺寸、抗拉强度和弹性模量方面，还不能很好满足 UHPC 需要，但预计未来随着技术进步、性能改善和成本降低，PVA 纤维会获得更多的应用。高强高模的高性能有机纤维，如高密度或超高分子量聚乙烯（HDPE 或 UHMWPE）纤维、芳纶（Aramid）纤维、PBO（Poly-p-phenylenebenzobisthiazole 聚对苯撑苯并双噻唑）纤维等，也有望未来用于提升 UHPC 的性能。由于研究与工程应用的历史还比较短，至今对有

机纤维（合成纤维或聚合物纤维）在水泥基材料中的长期性能与状态，如是否会老化、影响老化因素、老化和强度衰减速率或长期耐久性等，还不够了解。

高强高模的耐碱玻璃短纤维和玄武岩短纤维，就力学性能而言是较好的 UHPC 增强增韧纤维材料。这两类纤维的耐碱性、与氧化钙含量以及其它矿物组成密切相关，但对其在水泥基材料中发生碱腐蚀条件、腐蚀速率或力学性能衰减等，目前还缺乏足够的了解。

高强高模的碳纤维也是较好的 UHPC 增强增韧纤维材料，但短碳纤维用于水泥基材料中还只有少量研究，没有实际应用，是否存在耐久性破坏因素或发生力学性能衰减等问题，目前还缺乏研究和了解。

UHPC 用于承重结构且需要长服役寿命工程，目前增强增韧主要依靠和使用钢纤维（钢纤维或不锈钢纤维）。非金属类纤维，包括有机纤维和无机非金属纤维，具备良好的增强增韧作用，但由于对其耐久性或有有效年限缺乏足够了解，不宜作为主要纤维用于 UHPC 承重结构，特别是需要长工作寿命（超过 50 年）的受拉、受弯结构或构件。

超高性能混凝土基体预混料（PM-UHPC）的颜色

UHPC 在自承重装饰性构件、承重装饰一体化构件、清水表面等方面的应用，常常会对颜色有个性化要求，以及对颜色一致性有要求。

本标准只对颜色系列进行概括分类，没有分级。对颜色的个性化需求，由供需双方协商确定颜色要求及相应标识。

7、技术要求

外观

结块是产品受损或质量显著降低的标志，贮存运输过程受潮或贮存时间过长可能发生。不结块是对 PM-UHPC 的最基本要求。

对于水泥基材料来说，颜色、色差定义与测试的复杂程度较高，难以在本标准中提出具体或规范化要求。因此，个性化要求的颜色及色差控制，本标准建议按标准 GB/T 2015 确定白度要求、按标准 JC/T 870 确定彩色和色差要求，或其它适宜方法定义颜色要求。

拌合物性能

拌合物性能要求需要结合 UHPC 构件或结构的预制、现浇施工方法及使用环境温度来确定。需要注意的问题是，标准规定的拌合物性能要求是指在标准试验室环境（ $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）中测试的性能。如果实际搅拌制备和浇筑施工的环境温度与 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 有差异，拌合物性能特别是拌合物工作性维持时间和凝结时间也会变化，甚至很大变化。

UHPC 不需要引气来提高抗冻性，但由于 UHPC 拌合物的粘度较高，在搅拌过程混入拌合物的空气易形成气泡，部分气泡不可避免地滞留在粘性拌合物内。此外，气泡还有一个可能来源，是外加剂化学反应生成了气泡，必须关注和避免发生。过量混入的气泡不仅会降低强度，还可能影响构件表面的美观。在德国较大范围试验中，同一预混料（最大骨料粒级 0.5mm）制备 UHPC 的含气量变化范围为 0.9% ~ 6.2%（体积）。在德国优化的搅拌工艺中，搅拌最后阶段密闭搅拌机抽真空进行负压搅拌，可除去拌合物中较大尺寸气泡，使含气量降低到 2% 以下，能够大幅度提高抗压强度。日本指南指出，UHPC 拌合物正常滞留气

泡的含气量为 3~5%。定型 PF-UHPC 产品，稳定获得特定新拌与硬化性能对应的拌合物含气量水平，宜作为 UHPC 质量与性能监控指标，并进行测试和控制。

硬化性能 —— 耐久性

耐久性是 UHPC 最有价值的性能之一。至今，对 UHPC 的耐久性已经开展的大量研究表明，普通混凝土需要应对的冻融循环、碱—骨料反应（AAR）、延迟钙矾石生成（DEF）等耐久性破坏因素，UHPC 有良好的免疫能力；其它破坏因素，包括碳化、氯离子侵入、硫酸盐侵蚀、化学腐蚀等，UHPC 有很高的抵抗能力（详见《超高性能混凝土基本性能与试验方法》书中第二章的介绍与分析）。传统针对普通混凝土的耐久性试验方法，均为测试无裂缝试块，这类试验无一例外证明 UHPC 具备超高耐久性，故已经没有必要再用传统方法测试评价 UHPC 耐久性。UHPC 的高耐久性归因于其基体“超高”的密实度和抗渗性，体现在水、气渗透性以及腐蚀性介质扩散速率的大幅度降低。因此，把 UHPC 的耐久性聚焦于其基体抗渗性能，用氯离子扩散系数 D_{Cl} 表征。T/CBMF 37 (T/CCPA 7)附录提供了现在已有的、最适合测试评价 UHPC 基体抗渗性的试验方法。

本标准，UHPC 整体的耐久性用其基体（PM-UHPC 不含纤维的硬化状态）抗渗性能体现，按标准 T/CBMF 37 (T/CCPA 7)中的表 1 分为 UD20 和 UD02 两个抗渗等级，应根据使用环境确定应达到的抗渗性等级。UD20 抗渗等级适用于 GB/T 50476《混凝土结构耐久性设计规范》中规定的 A、B 环境等级；UD02 抗渗等级则适用于 GB/T 50476 中规定的其它所有环境等级（C、D、E 和 F）。

如使用在重化学腐蚀环境（不在 GB/T 50476 定义环境类别、等级中），需要评估 UHPC 的适用性或需要进行表面防护。需要超高性能混凝土具备优良耐磨性能、耐高温（防火性能）、抗冲击或抗爆性能，宜结合应用需求，专门配制 PF-UHPC 和进行性能测试评估。

另外，UHPC 的抗渗性能等级是在没有裂缝状态达到的。实际应用中，如有裂缝出现，则其抗渗性会降低，并可能对耐久性产生影响。这是在 UHPC 结构设计、施工中需要考虑的问题。

硬化性能 —— 基本硬化性能和其它物理力学性能

基本硬化性能（抗拉、抗压性能等级）和其它物理力学性能的要求，应根据相应工程的结构设计标准规范，由设计单位或结构设计师确定。

8、试验方法

外观

在 GB/T 2015 标准附录及其引用标准中，有白度表示与测试方法。在 JC/T 870 标准及其引用标准中，有颜色对比样（定义颜色）、色差对比或测定方法，以及颜色耐久性试验方法。本标准建议采用其中相关方法进行试验和评定，或由供需双方协商确定适宜的试验方法。

拌合物性能

PM-UHPC 和 PF-UHPC 的拌合物粘度较大，提起坍落度筒后拌合物坍落和扩展需要相对长的时间达到稳定状态，故本标准修改了测量等待时间，规定“应在坍落度筒提起后等待 120±5 秒时间，测量坍落度和扩展度。”

由于水灰比和水胶比非常低，测量工作性维持时间和凝结时间的试验过程，UHPC 拌合物表面失水会对测试结果产生显著影响，故应尽可能在高湿度环境进行试验或采取措施防止试样表面暴露时水分蒸发损失。

硬化性能

PM-UHPC 和 PF-UHPC 基本硬化性能按 T/CBMTF 37 (T/CCPA 7)标准规定进行试验和评定。

对于水泥基材料，过去主要为科研开展轴向抗拉性能试验（直拉试验，direct tension test，简称 DTT），企业试验室和检测机构大多刚开始进行直拉试验，尚未积累足够的试件制作和测试经验，直拉测试结果离散性较大、成功率不高，这是目前我国 UHPC 性能测试的难点。UHPC 核心价值体现在抗渗性能和抗拉性能，产品研发、生产和应用技术发展，性能测试是非常重要的一个环节。需要尽快提升全行业的 UHPC 性能测试能力和水平，包括试验人员的能力和仪器设备的性能水平。

T/CBMTF 37 (T/CCPA 7)标准基本性能未涉及的其它物理力学性能试验方法，本标准在表 4 中规定或建议了试验方法。需要但表 4 中没有包含的物理力学性能，由供需双方、设计等相关各方协商确定适宜的试验与评定方法。

9、检验规则

检验分为出厂检验和型式检验两类，本标准用表 5 规定了 PM-UHPC 和 PF-UHPC 产品两类检验所包含的检验项目，组批形成方法，抽样方法，以及检验判定规则。

对比日本指南（草案）规定的 UHPC 检验项目（见说明表 2），本标准基本涵盖了其相应质量和性能检验项目。

说明表 2：日本 JSCE 指南的 UHPC 检验规则（该指南中表 12.10.1）

项目	检验方法	时间和频率	接受标准
配合比	计量每个材料	所有搅拌批次	在允许误差范围内
新拌混凝土状态	监理或同等职责工程师视觉检验	如需要，浇筑时	工作性好、匀质和稳定
稠度	JIS R 5201 流动度 (砂浆法、无振动)	- 为强度试验制作试件时 - 浇筑时质量发生了变化	符合浇筑方法的需要
含气量	JIS A 1116 中的方法 JIS A 1128 中的方法		符合规定要求
混凝土初始温度	测量温度		符合规定要求
抗压强度	JIS A 1108 中的方法	每天或每 20 ~ 150m ³ 一次，取决于结构重要性和尺寸	能够认定生产者的风险即未达到设计强度的概率小于 5%
初裂强度	3.2.3 节的方法 (直拉或劈裂)		
抗拉强度	3.2.4 节的方法 (直拉或弯拉反演计算)		

在德国开展的多单位参加 UHPC 试验研究项目中和我们为编制《超高性能混凝土基本性能与试验方法》开展的多试验室平行试验中，均将统一生产的超高性能混凝土预混料（P-UHP、含外配液体减水剂）发到各个试验室进行性能平行试验，都出现部分试验室拌制 UHPC 拌合物性能和硬化性能明显降低的现象。这种情况发生，与不同试验室人员的操作、使用的搅拌设备和搅拌程序、试验室环境条件等的差异有关，需加以重视。

在产品试验检验中，按基准水料比（和基准外配液体外加剂掺量、基准纤维及用量）制备的新拌拌合物，如果不能获得预期的、规定的工作性（坍落度或扩展度）等级，应检查搅拌设备和程序是否正常正确。本标准允许调整水料比和外配液体外加剂用量（使用粉体外加剂且预混入超高性能混凝土基体预混料则无法减少），使新拌拌合物工作性满足要求，然后制备试件检验硬化性能。应优先调整外加剂（减水剂）用量，使工作性满足要求。如果只有增大水料比才能获得需要的新拌工作性，则可能会降低 PM-UHPC 产品抗压强度或 PF-UHPC 产品的抗拉、抗压性能。

抗拉试验通常会有一定失败率，有部分试件拉伸开裂破坏不是发生在变形测试区段，试件数据无效。试件中纤维分布不均匀、试件偏心受拉（有弯、扭作用）等，均会降低测试得到的抗拉性能。因此，抗拉性能允许复验。建议一次制备双倍数量（12 个）试件，6 个测试，6 个复验备用。

10、预混料产品的出厂检验报告、使用说明书和保质期

规定了产品出厂检验报告、使用说明书应包含的内容，以及保质期要求。

11、标识、包装、运输和贮存

规定了包装标识内容，包装袋质量要求和计量要求，以及运输和贮存的基本要求

附录 A：短切等直径圆截面钢纤维质量检验方法（规范性附录）

适用于单一直径、圆截面短钢纤维的质量检验，也适用于多种规格尺寸圆截面钢纤维混杂前的质量检验。非圆截面短钢纤维，可参考该检验方法的原则，更改截面的检验方法进行检验。

附录 B：早期变形与自收缩试验方法-波纹管法（规范性附录）

适合测试绝湿状态 UHPC 初期、早期体积线变形的试验方法。根据测试曲线拐点可确定初凝、终凝时间点，终凝后的变形为自收缩。

附录 C：硬化超高性能混凝土常用性能指标参考值（资料性附录）

在没有确定实际将使用的 UHPC 产品、缺乏具体的 UHPC 性能数据时，可使用该附录中参考值进行 UHPC 结构初步设计与分析。

附录 D：产品生产质量控制与性能检验（资料性附录）

为 UHPC 预混料生产质量保证，建议了基本的质量控制和检验项目以及生产设备要求。企业应根据原材料采购量和产品产量，进一步细化原材料检验项目、频次和要求，以及产品检验制度。

每一款定型的产品，应有较全面物理力学性能数据。

附录 E：超高性能混凝土预混料使用说明书模版（资料性附录）

PM-UHPC 和 PF-UHPC 产品使用说明书的参考文本及说明。

三、主要试验（或验证）情况分析

本标准中，试验测试 UHPC 性能分为拌合物性能和硬化性能。

所有拌合物性能试验，包括新拌拌合物工作性（坍落度和扩展度）、工作性经时损失、凝结时间和含气量试验，均采用成熟的国标 GB/T 50080 试验方法，故不需要对试验方法进行检验验证。

本标准仅对新拌拌合物工作性进行分级，该分级参考了国外标准和国内相关实际工程实践的数据，根据 UHPC 预制成型和现浇施工所需要低、中、高工作性需求，合理划分每个等级的坍落度和扩展度范围。例如，低工作性等级（如坍落度 US125）适用于维修加固喷射施工；中等工作性等级（扩展度 UF400 或 UF500）适合浇筑有坡度的桥面面层结构；高工作性等级（扩展度 UF700）则适合用于构件的湿接缝连接、预制构件生产等。前期开展的平行试验和本标准进行的调研显示，国内部分 UHPC 产品的新拌拌合物工作性能够达到最高等级（扩展度 UF800），获得低、中新拌拌合物工作性的技术难度相对低。因此，本标准新拌拌合物工作性等级划分，可以满足绝大多数 UHPC 预混料产品以及预制成型、现浇施工应用的需求。

在编制《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（T/CBMF 37、T/CCPA 7-2018）过程，开展了多试验室平行试验，检验了多种试验方法对于测试 UHPC 基体抗渗性能和 UHPC 抗拉性能试验的适用性。根据试验结果，确定最适宜的试验方法分别为：该标准附录 A “抗渗性能试验方法”和附录 B “抗拉性能试验方法”。这两个试验方法是针对 UHPC 性能特点，经过改进完善的新试验方法，具有国际先进性。抗渗性能试验方法采用我国自主研发的 NEL 法（基于能斯特—爱因斯坦方程的氯离子扩散系数室内实验方法），是目前唯一适用于 UHPC 基体抗渗透性测试的试验方法，理论可靠，试验操作相对方便快捷。抗拉性能试验的试件形状与尺寸是在国内外大量研究基础上，兼顾了试验的可操作性和可靠性，经过反复分析优化和试验验证确定的。该方法可直接测试提供轴向抗拉性能参数，是目前最佳的 UHPC 抗拉性能试验方法。

本标准 UHPC 的基本硬化性能分级（包括抗渗性能、抗拉性能和抗压性能分级）和试验方法，采用 T/CBMF 37、T/CCPA 7 标准的分级和试验方法。本标准补充了 UHPC 基体预混料抗压强度等级与分级，补充了常用到的其它物理力学性能试验方法。传统成熟的试验方法没有开展试验验证，附录 B “早期变形与自收缩试验方法—波纹管法”为新试验方法，在前期开展的平行试验中通过试验检验了该试验方法的适用性。详见《超高性能混凝土基本性能与试验方法》第四章“超高性能混凝土平行试验与结果分析”。

四、标准中所涉及的专利

本标准中未涉及专利与相关的知识产权。

五、产业化、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

UHPC 是先进水泥基材料，是现在和未来重要的高性能工程材料。经过近 20 年研究发展，中国的 UHPC 材料生产和工程应用形成的新兴产业已初具规模，本标准的参编企业都在致力于该产业发展、进步与壮大。UHPC 是军民两用工程材料，根据 CCPA-UHPC 分会会员提供的部分项目与用量信息，保守估计 2019 年中国 UHPC 民用工程的用量超过 3 万立方米，使用了逾 6.5 万吨 UHPC 预混料（不包含军事工程应用）。UHPC 是现在最好抗爆、抗侵蚀安全防护工程材料，在我国军事或国防工程中可能已有应用，用量不详，但可以肯定 UHPC 在未来军事工程领域有巨大的应用潜力。

在民用工程领域，中国 UHPC 已经成熟的应用包括：

- **钢-UHPC 复合桥面：** 2011 年首次在广东肇庆马房大桥应用，截至 2018 年 11 月已在中国用于 60 余座钢桥，如今应用的桥面面积估计超过了百万平方米。湖南大学团队发展的钢-UHPC 复合桥面结构，很好地解决了困扰钢桥的技术难题，增强了钢桥的市场竞争力。钢-UHPC 复合桥面已进入规模化、可持续应用阶段，是中国现在 UHPC 用量最大的工程应用。
- **装配式桥梁预制构件的结构连接：** 在美国和加拿大，UHPC 现在最主要的应用为快速桥梁施工（ABC），即用于装配式桥梁预制构件的湿接缝连接。采用 UHPC 湿接缝进行构件之间“结构连接”，大幅度减小接缝宽度、简化接缝配筋、不需要钢筋焊接，显著减少了现场施工量和难度，能够提高装配化率、施工效率和经济性，更重要的是：大幅度提升了装配结构的性能，包括抗疲劳、抗震、抗裂性能以及耐久性，克服了传统方式连接构件“连接节点弱”的难题。该应用在中国呈快速增长趋势，将成为中国 UHPC 应用的重要领域。
- **钢-UHPC 组合梁的 UHPC 桥面板：** 近几年，钢-UHPC 组合梁在中国桥梁结构创新与应用取得了重大进展。2018 年建造的南通中央森林公园钢管拱桥（宽 6m、跨径 32m），采用了预制和现浇 80mm 厚 UHPC 桥面板；正在施工建设的两座大型桥梁工程——南京长江五桥和湖南益阳青龙洲大桥，均采用了预制 UHPC 桥面板，然后与钢箱梁组成钢-UHPC 组合梁。这两座大桥都将在 2020 年建成，是中国创新的 UHPC 应用。
- **混凝土桥面铺装：** 在混凝土桥梁上采用 UHPC 铺装，具有广泛应用价值。瑞士洛桑理工 Brühwiler 教授倡导，并在世界范围获得认可和应用的桥梁维修加固方法，是在混凝土桥面铺设钢筋 UHPC 层——一个多重功能层：提高桥梁强度、刚度，抗裂、防水和保护普通混凝土，从而提高桥梁服役寿命。新桥使用 UHPC 铺装，UHPC 层的多重功能从新桥就发挥作用，有助于提升了桥梁性能、质量和工作寿命。中国已经开始了这方面应用，是 UHPC 具备技术和经济优势的应用之一，在世界各国市场发展空间都非常大。
- **建筑幕墙或外立面：** 在中国，至今已经完成多个 UHPC 建筑幕墙项目，如深圳悦彩城展示、余杭文化艺术中心、上海音乐学院歌剧院、宁波市奉化区未来城科普中心等。UHPC 为建筑师设计创意和表现提供了新的、自由度更大的材料，以后应用会越来越多。等等。

预计中国未来 UHPC 有较大市场发展空间的的应用，例如：

- **预制装配式建筑的构件连接：**中国正在大力推进建筑产业化、装配化，但中国目前 UHPC 应用研究热点在桥梁上，应扩展到装配式建筑上，如用 UHPC 连接预制混凝土构件，可以形成“强节点、弱构件”，提高装配式建筑结构的整体性和抗震性能。上海建工二建集团装配创新研究所已经开展了相关试验研究和工程实践，证明 UHPC 湿接缝能够提高节点连接的质量、性能和可靠性，实现“强节点、弱构件”的装配结构，并降低现场施工难度和成本，具备技术、经济两方面优势。
- **装配式建筑：**UHPC 除用于湿接缝结构连接具有技术和经济优势外，使用 UHPC 生产部分构件如楼梯、阳台、轻质“三明治”保温墙板，设计应用合理，也可以从减小构件重量、减小建筑整体自重、降低运输吊装安装施工成本等方面获得经济性，并提升装配式建筑质量。这类构件与装配式钢结构建筑结合应用，可形成相互补充的装配建筑体系。在这方面，丹麦取得非常好的应用效果，我们也应该在装配式建筑领域发展相应设计、预制生产、结构连接、安装以及相应标准规范等构成的技术体系。
- **结构维修加固：**中国已经开展了 UHPC 维修加固研究和应用，也有了相关地方标准（如陕西省地方标准 SDBXM39-2019），公路学会标准正在编制，但还集中在混凝土桥梁方面。还有大量老化的码头、隧道、水利水电、建筑等混凝土结构，同样面临老化、存在结构缺陷以及不能满足现在对结构承载能力或抗震性要求等各种各样的问题。UHPC 维修加固技术与方法具有技术和经济优势，还会在更多工程领域和更大范围获得应用，有很大市场发展空间。
- **水工结构 UHPC 抗冲磨层：**在中国至少已有两个工程应用，将成为工程应用 UHPC 抗冲磨长期性能观察的很好样板。如果采用全寿命周期成本进行评估，UHPC 作为水利水电工程抗冲磨材料具有一定的经济优势。随着的材料技术的发展，UHPC 的制备成本会进一步降低，性能进一步提升，有望发展成为最优异的水工抗冲磨材料之一。
- **创新建筑与结构：**法国在建筑和结构创新方面走在世界前列，重要的原因是建筑师、结构工程师较早参与到 UHPC 创新和应用的行列中。我国拥有数量众多的建筑师和结构设计师，如果他们中更多人了解 UHPC、参与到 UHPC 建筑设计和结构设计中来，会打开一个很大创新发展空间。等等。

以上所列举中国已经成熟和正在发展的 UHPC 工程应用，以及 UHPC 极具技术和经济优势的潜在应用，表明 UHPC 和其预混料产品拥有巨大的市场发展空间。

UHPC 是高效率使用水泥的先进材料，按所建造的工程结构整体分析，UHPC 属于低碳、低排放、低资源消耗的工程材料。将 UHPC 用于适当场合且有效发挥其性能，可以降低或持平工程结构的初始造价。UHPC 是现在耐久性最好的结构工程材料，用寿命周期成本评价并与钢筋混凝土、钢材、铝材、工程塑料等传统结构工程材料比较，UHPC 结构因其超长免维护维修服役寿命而具有最低的寿命周期成本，其应用可产生良好的社会、经济和环境效益。

本标准发布实施后，必将对我国 UHPC 产品的质量和性能提升、产业有序规范发展以及 UHPC 推广应用起到积极的推动作用。

六、采用国际标准和国外同类先进标准情况

本标准充分学习、参考和借鉴的标准规范或技术指南包括：法国标准 NF P18-470《超高性能混凝土技术要求、性能、生产和检验》，瑞士标准 SIA 2052《超高性能水泥基复合材料--材料、设计和应用》，日本土木工程学会《超高强纤维增强混凝土结构设计与施工指南（案）》，美国 ASTM C1856/C1856M – 17 Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete（UHPC 试件制备和试验的标准方法），美国联邦公路管理署指南 Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections（现浇 UHPC 结构连接设计与施工），等。

与这些标准、规范或指南对比，在 UHPC 拌合物性能分级和要求方面，本标准的规定具备更宽的材料性能和工程施工适用范围，具有先进性。在 UHPC 材料性能要求方面，本标准对力学性能降低了入门等级的要求，但高等级为同等要求；本标准提高了对耐久性（抗渗性）的要求且更科学合理。在质量检验和控制方面，本标准的规定要求向先进水平看齐。

七、本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准（包括强制性标准）是否具有一致性

经广泛调研和多方面征求意见，本标准符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准的要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编制制定过程中，没有产生任何重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议本标准为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

尽快做好标准发布实施工作，标准颁布实施后，相关部门应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本标准得以认真执行，在企业生产和产品应用中真正起到指导生产、保证质量、促进工艺技术水平提高的作用。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其它予以说明的事项

无。