

装配式桥梁现浇部分超高性能混凝土施工技术规范

地方标准信息服务平台

2024 - 02 - 01 发布

2024 - 05 - 01 实施

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 原材料	2
5 配合比设计	3
6 施工	6
7 施工质量管理	9
附录 A（规范性） UHPC 抗拉性能试验方法	12
附录 B（规范性） 纤维长度和直径合格率检验方法	16
附录 C（规范性） UHPC 拌和料中纤维体积率检验方法	17

地方标准信息服务平台

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。

本文件由河南省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：河南省交通规划设计研究院股份有限公司、郑州大学、河南省尧栾西高速公路建设有限公司、河南省叶鲁高速公路有限公司、山东省路桥集团有限公司、中交二公局第四工程有限公司、上海复培新材料科技有限公司、经纬建材有限公司、中德新亚建筑材料有限公司。

本文件主要起草人：刘东旭、王一光、杜战军、王勇、解路、甘露、张哲、孙鹏、杜帅虎、张龙、王伟、元成方、郭攀、庞育阳、张景伟、赵新征、杨朝旭、张智慧、解顺、苏萌、董增强、胡光胜、肖亚冲、曹家丕、陈瞳、徐品、蔡凡杰、曹怀伟、李伟、张道令。

地方标准信息服务平台

装配式桥梁现浇部分超高性能混凝土施工技术规范

1 范围

本文件规定了装配式桥梁现浇部分超高性能混凝土的原材料、配合比设计、施工、施工质量管理。本文件适用于各等级公路装配式桥梁现浇部分超高性能混凝土的施工，其他型式桥梁现浇部分施工可参照执行。

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 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 9774 水泥包装袋
- GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站(楼)
- GB/T 10454 集装袋
- GB/T 14684 建设用砂
- GB/T 14685 建设用卵石、碎石
- 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 31387 活性粉末混凝土
- 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 混凝土物理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/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
- GB 55008 混凝土结构通用规范
- JGJ/T 10 混凝土泵送施工技术规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

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 (UHPC)

以水泥、骨料、矿物掺合料和其它粉体材料、纤维、外加剂等原材料或预混料拌制成的具有超高力学性能、优异耐久性能和施工性能的高韧性水泥基复合材料 (Ultra-High Performance Concrete, 以下简称UHPC)。

3.2

装配式桥梁现浇部分

装配式桥梁施工中采用混凝土现场浇筑施工的桥面铺装、湿接缝、伸缩缝等部位。

3.3

纤维体积率

纤维所占UHPC的体积百分比。

3.5

蒸汽养护

浇筑的UHPC在高温、蒸汽环境中持续养护规定时间的过程。

3.6

工作性

新拌UHPC拌合物在拌和、浇筑、振捣、成型、抹平等过程中的可操作性。

3.7

预混料

出场时, 由水泥、砂、矿物掺合料、外加剂等按一定比例预先混合而成的材料。

3.8

匀质性

UHPC拌合物的均匀性, 以同一盘UHPC拌合物两个部位的砂浆密度测值相对误差和稠度差值来反映。
[来源: GB 50164—2011, 6.4, 有修改]

4 原材料

4.1 水泥

4.1.1 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥或白色硅酸盐水泥。硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥应符合 GB 175 的有关规定, 宜采用 52.5 级及以上等级; 中热硅酸盐水泥应符合 GB/T 200 的有关规定; 白色硅酸盐水泥应符合 GB/T 2015 的规定。

4.1.2 当采用其他种类的水泥时, 应通过试验验证, 满足 UHPC 设计性能要求时方可使用。

4.2 骨料

4.2.1 宜采用高强高硬度骨料, 相关技术要求应符合 GB 55008 和 GB/T 31387 的有关规定。

4.2.2 粗骨料最大粒径不宜大于 9.5 mm, 岩石抗压强度应大于 100 MPa, 粗骨料压碎指标为 I 类, 其它性能应符合 GB/T 14685 的有关规定。

4.2.3 细集料宜采用细度模数为 1.6~2.2 的机制砂或天然砂, 技术指标应符合 GB/T 14684 的规定,

其中含泥量、石粉含量、泥块含量、有害物质含量、坚固性应达到 I 类要求。

4.3 矿物掺合料和其他粉体材料

4.3.1 宜选用品质稳定、来源固定的硅灰、粉煤灰、磨细矿渣粉、细天然沸石、偏高岭土、石灰石粉、钢渣粉、磷渣粉、复合矿物掺合料等矿物掺合料。

4.3.2 硅灰、粉煤灰、磨细矿渣粉、细天然沸石、偏高岭土应符合 GB/T 18736 的有关规定。硅灰中二氧化硅含量宜大于 90%；粉煤灰宜采用 I 级 F 类粉煤灰；磨细矿渣粉宜为 S95 级及以上级别的粒化高炉矿渣粉。

4.3.3 石灰石粉、钢渣粉、磷渣粉、复合矿物掺合料应符合 GB/T 51003 的有关规定。石灰石粉 MB 值宜小于 0.5 g/kg；钢渣粉宜采用 G85 及以上等级的钢渣粉。

4.3.4 矿物颜料等其它粉体材料应通过试验进行验证，满足超高性能混凝土性能要求后方可使用。

4.4 纤维

4.4.1 使用短切等直径圆截面普通钢纤维和不锈钢纤维时，指标要求应符合 GB/T 39147 的有关规定；对于非圆形截面短钢纤维和不锈钢纤维，由供需双方协商确定质量要求和检验方法。

4.4.2 使用合成纤维、矿物纤维等时，技术指标应符合 GB/T 21120 和 GB/T 23265 的有关规定。

4.4.3 可选用有机合成纤维、矿物纤维等单掺或与钢纤维复掺，但应经试验验证。所用纤维的技术指标应满足相关规范或设计文件要求。

4.5 外加剂

4.5.1 外加剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的有关规定。

4.5.2 使用减水剂时，应根据季节、施工工艺选用相应的产品，减水率宜不小于 30%。

4.5.3 当 UHPC 含有钢纤维或用于有配筋的部位时，不应使用含有氯盐的早强剂、防冻剂等外加剂。

4.6 水

混凝土拌和及养护宜采用饮用水。采用其它水源时，应符合 JTG/T 3650 的有关规定。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 UHPC 配合比设计宜采用绝对体积法。

5.1.2 UHPC 的水胶比不宜大于 0.22，纤维体积率不应小于 1.5%。

5.1.3 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设计。

5.1.4 UHPC 配合比设计应考虑结构受力特点、施工工艺、养护条件以及应用环境等因素。根据混凝土工作性、强度、耐久性等性能要求计算初始配合比。配合比应经试配、验证，得出满足工作性要求的基准配合比，并经强度、耐久性指标复核确定。

5.2 UHPC 试配、配合比调整与确定

5.2.1 应采用工程实际使用的原材料进行试配，每盘混凝土搅拌量不宜小于 20 L。

5.2.2 试配时，应先进行试拌，检验拌合物的工作性指标。当试拌拌合物的扩展度不满足要求时，应

在水胶比不变、胶凝材料 and 外加剂用量合理的原则下，调整胶凝材料、外加剂用量或不同粒级骨料的体积比例等，直到符合要求为止。根据试配试验结果提出基准配合比。

5.2.3 试验以基准配合比为基础，确定另外两个试配配合比，其水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.02，并相应减少或增加骨料的体积；或者用水量与基准配合比相同，骨料的体积比例可分别增加或减少 2%，相应减少或增加胶凝材料的总体积。

5.2.4 制作试件时，应验证拌合物工作性是否达到设计要求。

5.2.5 试验时，每种配合比应至少制作一组（三块）试件。

5.2.6 根据试配试验结果对基准配合比进行调整，得到设计配合比。

5.2.7 对于应用条件特殊的工程，应验证设计配合比在特殊条件下的性能指标。

5.3 试件制备

5.3.1 拌和

5.3.1.1 宜采用强制式搅拌机进行拌和，并满足下列要求：

- a) 采用变速式强制搅拌机时，先以中速将水泥、矿物掺合料、骨料、粉体外加剂等干料预拌 1 min~2 min；然后加入 2/3 的水和全部液体外加剂，搅拌至拌合物呈团状；再加入剩余的水快速搅拌 1 min~2 min，直至胶凝材料和外加剂混合均匀；最后，均匀加入纤维并慢速搅拌不少于 3 min，至纤维均匀分散，总拌和时间宜控制在 5 min~15 min 以内。
- b) 采用定速强制式搅拌机进行拌和时，加料顺序与采用变速式强制搅拌机一致，各阶段拌和时间可根据拌合物的流动状态适当调整。总拌和时间宜控制在 20 min 内。

5.3.2 成型

5.3.2.1 UHPC 拌合物宜从试模的一侧一次性装入，并略高出试模上口，在振动台上振动 30 s 或持续到 UHPC 拌合物出浆为止，刮去多余的拌合物并抹平。

5.3.2.2 棱柱体试件应采用卧式成型。

5.3.3 养护

5.3.3.1 试件成型后，应立即在试模表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失。

5.3.3.2 可采取标准养护或热养护，宜优先采用热养护。

5.3.3.3 无特殊情况下，标准养护试件龄期应为 28 d，热养护试件龄期应为 7 d。

5.3.3.4 标准养护按 GB/T 50081 的规定进行。

5.3.3.5 热养护包括浇筑后的静停养护和终凝后的蒸汽养护。

5.3.3.6 UHPC 试件浇筑完成后，应及时进行静停养护，并符合下列规定：

- a) 覆盖薄膜保湿，并加强巡查，发现有缺水部位时，及时补水。
- b) 养护时间不宜少于 24 h，且同条件养护试件的抗压强度达到 40 MPa 后方可拆模。

5.3.3.7 UHPC 试件拆模后及时进行蒸汽养护，并符合下列规定：

- a) 蒸汽养护过程分为升温、恒温、降温三个过程，宜采用温度自动控制系统对升温、恒温、降温过程进行控制。
- b) 蒸汽养护恒温阶段，养护温度在 80 °C~90 °C 时，养护时间不宜少于 72 h；养护温度在 90 °C 以上时，养护时间不宜少于 48 h。养护相对湿度不宜低于 95%。
- c) 蒸汽养护升温阶段，升温速度不应大于 12 °C/h；降温阶段，降温速度不应超过 15 °C/h。
- d) 试件蒸汽养护结束后，应放置在 GB/T 50081 规定的试验环境中养护至试验龄期

5.4 性能指标

5.4.1 拌合物工作性

5.4.1.1 UHPC 拌合物的坍落度、扩展度、含气量和表观密度的试验按 GB/T 50080 的规定执行。

5.4.1.2 UHPC 的工作性能要求应由设计单位或供需双方根据工程实际需求确定,无特殊要求的情况下,UHPC 拌合物的性能技术指标应符合表 1 的规定。

表1 UHPC 拌合物性能技术指标

项目	技术指标	试验方法
初始坍落扩展度/mm	700~800	GB/T 50080
1 h 坍落扩展度/mm	≥650	
扩展时间/s	3~10	
含气量/%	根据工程实际确定	
表观密度/(g/cm ³)	根据工程实际确定	

5.4.2 力学性能

5.4.2.1 UHPC 的力学性能指标应符合表 2 的规定,相关试验试件尺寸及加载速率符合下列规定:

- 抗压强度试验应采用 100 mm×100 mm×100 mm 立方体试件,加载速率应为 1.2 MPa/s~1.4 MPa/s;
- 抗拉强度试件尺寸和试验方法见附录 C;
- 弹性模量试验应采用 100 mm×100 mm×300 mm 棱柱体试件,加载速率应为 1.2 MPa/s~1.4 MPa/s;
- 抗弯强度试验应采用 100 mm×100 mm×400 mm 棱柱体试件,加载速率应为 0.08 MPa/s~0.1 MPa/s。

表2 UHPC 力学性能指标

项目	性能指标	试验方法
抗压强度/MPa	≥120	GB/T 50081
3 d 抗压强度/MPa	≥80	GB/T 50081
抗拉强度/MPa	≥5.0	按附录 A 执行
弹性极限拉应变/%	≥0.2	按附录 A 执行
弹性模量/GPa	≥40	GB/T 50081
抗弯强度/MPa	≥14	GB/T 50081
注:除3 d抗压强度外,其余指标均为28 d龄期标准养护指标。		

5.4.3 耐久性

5.4.3.1 对耐久性有要求时,UHPC 的氯离子扩散系数应不大于 $0.4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

5.4.3.2 UHPC 的长期性能和耐久性试验应符合 GB/T 50082 的规定。

5.4.4 收缩性

5.4.4.1 UHPC 的干燥收缩率和早龄期自收缩率指标应符合表 3 的规定。

表3 UHPC 的干燥收缩率、早龄期自收缩率指标

分类	标准养护试件	热养护试件	试验方法
干燥收缩率	$\leq 200 \times 10^{-6}$	$\leq 100 \times 10^{-6}$	GB/T 50082
早龄期自收缩率	$\leq 1000 \times 10^{-6}$	—	

5.4.4.2 采用标准养护的 UHPC 试件干燥收缩测试开始时间为 3 d 龄期，测试时长为 28 d；采用热养护的 UHPC 试件干燥收缩测试的开始时间为标准蒸汽养护结束，测试时长为 28 d。

5.4.4.3 采用标准养护的 UHPC 试件早龄期自收缩按 GB/T 50082 的有关规定测试浇筑完成后 3 h~72 h 的收缩值；采用热养护的 UHPC 试件可不进行早龄期自收缩测试。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 施工前，应制定详细的施工组织设计，并做好各项准备工作，建立质量控制体系，明确各工序的质量检查项目和要求，并应留有完整的检查记录。

6.1.2 UHPC 应连续、快速施工，施工结束后立即覆膜养护，避免表面快速失水结皮。

6.1.3 施工作业人员应做好个人防护措施，佩戴口罩、护目镜、手套、安全鞋、安全帽、工作服等。

6.1.4 UHPC 施工的环境温度不应低于 10 °C，否则应采取保温措施。

6.1.5 在高温、雨期、大风、冬期等特殊气候条件下，不宜进行 UHPC 施工。必须施工时，应制定相关施工技术方案，保证施工质量。

6.2 原料准备

6.2.1 UHPC 的原料供应方式可分为预混料供应和原材料供应两大类。

6.2.2 采用预混料供应方式时，应量化包装，先存先用，不得混用，并符合下列规定：

- 预混料产品应采用防潮包装袋包装，小包装袋(包装重量不超过 50 kg)应符合 GB/T 9774 的规定；集装袋(包装重量介于 500 kg~3000 kg)应符合 GB/T 10454 的要求；每袋净含量不应少于其标识质量的 99%。随机抽取 20 袋，总质量(含包装袋)应不少于标识质量的总和。
- 预混料应配出场合格证，标明产品名称、商标、加水量范围、净含量、使用说明、储存条件及保质期、生产日期或批号、生产单位、地址和电话等必要信息。
- 不同品种、规格型号和批号的预混料应分开储存。
- 预混料应储存在干燥环境中，有防雨、防潮、防扬尘措施。
- 预混料应与纤维分开存储。

6.2.3 采用原材料供应方式时，原材料除满足第 4 章要求外，还需符合以下要求：

- 水泥按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存；不应使用受潮、结块、受污染及贮存期超过 3 个月的水泥。
- 骨料堆场应为排水效果较好的硬质地面，并有防尘和防雨设施；不同品种、规格的骨料应分别贮存，避免混杂或受污染。
- 外加剂按品种和生产厂家分别标识和贮存。固态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 25 μm 筛孔后方可使用。液态外加剂应贮存在密闭容器内，并防晒和防冻，如有沉淀等异常现象，经检验合格后方可使用。

- d) 矿物掺合料按品种、质量等级和产地分别标识和贮存，采取防潮和防雨设施，并不应与水泥等其他粉状料混杂。
 - e) 纤维按品种、规格、批次和生产厂家分别标识和贮存，并防潮和防锈。
- 6.2.4 UHPC 的原料进场前应进行质量检验，检验合格后方可入场；当存放时间过长或受潮时，应重新进行取样检测，复验合格后方可使用。
- 6.2.5 UHPC 的结构钢筋应满足设计要求

6.3 施工准备

- 6.3.1 施工前应编制施工组织设计，完成原材料质量检验、施工设备调试、测量放样、模板支立、轨道铺设等准备工作。
- 6.3.2 UHPC 施工前，按 JTG/T 3650 的规定完成模板、钢筋、支架等项目施工。模板按新拌 UHPC 的静水压进行设计或验算，确定模板材料和结构，避免模板对 UHPC 早期收缩（脱模前）的约束作用，并降低早期收缩对硬化结构尺寸的影响。
- 6.3.3 施工前应完成 UHPC 施工配合比设计。
- 6.3.4 施工前应对已浇筑的混凝土界面进行凿毛和清扫，凿毛深度宜为 3 mm~5 mm。施工界面表面应清理干净，且保持清洁湿润，不应有积水。
- 6.3.5 施工前，对暴露于空气中的钢筋应及时清除锈迹。
- 6.3.6 正式施工前应铺试验段，确定施工机械参数、施工工艺、生产配合比等。

6.4 拌制

- 6.4.1 宜采用具有计量系统的强制式搅拌设备拌和。
- 6.4.2 采用预混料制备 UHPC 时，按说明书进行拌制。
- 6.4.3 采用原材料制备 UHPC 时，拌制过程需符合下列规定：
- a) 先将水泥、矿物掺合料、骨料等干料干拌 1 min~2 min；然后加入水和外加剂溶液湿拌，时间不宜低于 4 min；当拌合物接近目标流动性后，分 3 次平均加入纤维，待全部加入后继续搅拌不少于 3 min，至纤维在拌合物中分散均匀，搅拌时间不宜少于 8 min。
 - b) 纤维用量较大时宜采用自动投放装置，用量较小时可人工投放。
 - c) 外加剂宜以稀释溶液的方式加入，实际拌和用水量应为配合比设计用水量扣除稀释溶液的水量。外加剂溶液应充分溶解，并搅拌均匀。
 - d) 掺合料应采用与水泥相同的输送、计量方式加入。
- 6.4.4 UHPC 拌制时，原材料计量应满足以下要求：
- a) 固体原材料按干燥状态下的质量进行计量，水和液态外加剂可按体积或质量进行计量。
 - b) 宜采用自动计量装置，其精度应满足 GB/T 10171 的要求。
 - c) 计量允许偏差应满足表 4 规定。

表4 HPC 拌制材料计量允许偏差

原料种类	预混料	水泥	骨料	水	外加剂	掺合料	纤维
每盘计量允许偏差/%	±1	±2	±3	±1	±1	±2	±1
累计计量允许偏差/%	±1	±1	±2	±1	±1	±1	±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的和的偏差。

- 6.4.5 应保证 UHPC 拌合物质量均匀，同一盘混凝土的匀质性应符合 GB 50164 的规定。
- 6.4.6 正式拌制前应先进行试拌，检验各项工艺参数及性能指标，如存在纤维结团、起球等现象，应查明原因予以消除。
- 6.4.7 搅拌完成后，应及时清洗搅拌设备。

6.5 运输

- 6.5.1 UHPC 远距离运输应采用搅拌运输车，现场近距离运输宜采用斗车等；在条件允许时也可采用泵送方式，泵送前应进行试验。
- 6.5.2 采用混凝土搅拌车运输时，需符合下列要求：
 - a) 混凝土搅拌车的性能良好，其运输能力大于现场浇筑能力。
 - b) 装料前确保搅拌罐清洗干净，排净罐内积水，装料后严禁向搅拌罐内加水。
 - c) 运输途中罐体以 1 r/min~2 r/min 的速度慢速转动。
 - d) 拌合物从搅拌机装入搅拌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，并通过试验验证。
 - e) 寒冷或高温的气候条件下，搅拌运输车应有保温或隔热措施。
- 6.5.3 当采用斗车运输时，斗车的运输能力和速度应与拌制、浇筑能力相适应，从出料到浇筑完成，时间不应超过 30 min。
- 6.5.4 卸料后，罐体、斗车和料斗、混凝土泵等应及时清洗干净。

6.6 浇筑

- 6.6.1 浇筑前，应检查模板支撑的稳定性和接缝的密合情况，保证模板在浇筑过程中不失稳、不跑模、不漏浆。吸水性模板应对模板表面进行洒水润湿，但不得有明水。
- 6.6.2 UHPC 浇筑需符合下列规定：
 - a) 应有专人指挥车辆卸料。卸料前水泥混凝土罐车加速搅拌不少于 20 s，使纤维均匀分散。
 - b) 拌合物浇筑倾落的自由高度不应超过 1.5 m，当倾落高度大于 1.5 m 时，应加串筒、斜槽、溜管等辅助工具，避免纤维从水泥浆中离析或结团。
 - c) 泵送施工应符合 JGJ/T 10 的规定。
- 6.6.3 浇筑应连续，宜一次性浇筑完成；若分层浇筑，宜采取水平分层、斜向推进的方式，每层的厚度不应大于 300 mm，各层混凝土的浇筑间隔时间不应超过 10 min，层间不应出现冷缝。
- 6.6.4 UHPC 拌合物最大水平流动距离应根据拌合物扩展度、浇筑部位等具体情况确定。
- 6.6.5 UHPC 应采用平板振捣器或模外振捣器振捣成型，所用振捣机械和方法应保证混凝土密实、纤维分布均匀以及构件的整体性，避免拌合物出现离析、分层以及纤维裸露出构件表面。
- 6.6.6 UHPC 浇筑应在初凝时间内完成，当浇筑时间超过初凝时间，应予以废弃本，同时做好记录。
- 6.6.7 浇筑完成后应立即对 UHPC 采用塑料膜覆盖。

6.7 养护

- 6.7.1 UHPC 施工应按设计要求进行养护。条件允许时，优先采用热养护方式。
- 6.7.2 当采用自然养护时，湿养护时间不应少于 7 d。UHPC 构件内外温差不宜大于 20 ℃，当内外温差大于 20 ℃时，宜采取措施降低内外温差。
- 6.7.3 热养护包括浇筑后的静停养护和终凝后的蒸汽养护。
 - a) 静停养护应符合下列规定：

- 1) 覆膜保湿养护。养护过程中，加强巡查力度，发现有缺水部位，及时补水；
 - 2) 养护过程中 UHPC 试件保持稳定，不发生扰动；
 - 3) 养护时间夏季不宜少于 3 d，冬季不少于 7 d，且同条件养护 UHPC 试件的抗压强度达到 40 MPa 后方可拆模。
- b) UHPC 拆模后应及时进行蒸汽养护，并符合下列规定：
- 1) 蒸汽养护棚不应与混凝土表面接触，并具有足够的强度、刚度、稳定性和密封性；
 - 2) 养护棚内蒸汽不宜直接喷在混凝土表面；混凝土上表面应覆盖塑料膜，防止养护棚内冷凝水直接滴在混凝土表面；
 - 3) 宜采用温度自动控制系统对养护棚内的温度进行控制；
 - 4) 蒸汽养护过程分为升温、恒温、降温三个过程。升温时，速率不应大于 12 °C/h；降温时，应以不超过 15 °C/h 的速率将温度降至现场气温；恒温阶段，温度恒定在 80 °C 以上时，养护时间不应少于 72 h，温度恒定在 90 °C 以上时，养护时间不应少于 48 h。养护棚内的相对湿度不低于 95%；
 - 5) UHPC 构件表面温度与环境温度差小于 20 °C 时，蒸汽养护结束，撤除养护设备并将超高性能混凝土面层表面清扫干净。
- c) 热养护结束后，宜用塑料膜覆盖，保持表面潮湿，进行保湿养护至规定龄期。

6.8 拆模

6.8.1 现浇 UHPC 构件宜根据 UHPC 的强度发展确定拆模时间。同条件养护试件的抗压强度达到 40 MPa 后方可拆除模板。

6.8.2 拆模时 UHPC 构件表面温度与环境温度之差不宜超过 15 °C。

7 施工质量管理

7.1 一般规定

7.1.1 UHPC 构件外观无明显缺陷，且质量检验资料真实、齐全。

7.1.2 本文件未明确规定的检验与评定事项按 JTG F80/1 的相关规定执行。

7.1.3 UHPC 施工质量检测指标均应满足设计文件要求，设计文件中无明确规定时，应满足本文件规定。

7.2 原材料进场自检

7.2.1 UHPC 采用原材料供应方式时，原材料进场前，应提供合格证，检查其种类、级别、出场日期等信息，原材料检测项目应符合表 5 的规定。

表5 原材料检测项目

检测项目	规定值或允许偏差	频率
水泥	符合设计要求	每 200 t 检验一次，不足 200 t 按一次
矿物掺合料	符合设计要求	每批 1 次
骨料	符合设计要求	每 200 t 检验一次，不足 200 t 按一次
纤维	符合设计要求	每批 1 次
外加剂	符合设计要求	每批 1 次

7.2.2 UHPC 采用预混料供应时，应检查预混料的产品使用说明和质量证明文件。同厂家、同批次、同规格、同强度等级、同出厂日期且连续进场的预混料作为一个批次进行检测，预混料检测项目应符合表 6 的规定。

表6 预混料检测项目

检测项目		规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
坍落扩展度/mm		符合设计要求	每 100 t 检验一次，不足 100 t 按一次	GB/T 50080
力学性能	抗压强度/MPa	符合设计要求	每 200 t 检验一次，不足 200 t 按一次	GB/T 50081
	抗弯强度/MPa	符合设计要求		
	弹性模量/MPa	符合设计要求	每 200 t 检验一次，不足 200 t 按一次	GB/T 50081
	抗拉强度/MPa	符合设计要求	每 200 t 检验一次，不足 200 t 按一次	按附录 A 执行
纤维	长度合格率/%	符合设计要求	每 50 t 检验一次，不足 50 t 按一次	按附录 B 执行
	直径合格率/%	符合设计要求		
注：力学性能检测项目均采用 28 d 标准养护的试件进行试验				

7.3 配合比检验

7.3.1 采用原材料供应方式时，UHPC 配合比设计应由具有相关资质的第三方检测单位出具正式配合比设计报告；采用预混料供应方式时，预混料供应商应提供推荐配合比，并经第三方检测单位验证后，出具施工配合比确认书。

7.3.2 施工前，应现场抽取原材料或预混料，对 UHPC 设计配合比或预混料推荐配合比进行验证，各指标满足设计要求后方可施工。

7.3.3 配合比检验可由施工单位完成，但应在试验检测单位和监理单位的见证下进行。

7.3.4 配合比检验时，全部检验项目符合设计和本文件要求，则判定合格；如部分检验项目不符合设计和本文件要求，应重新取样验证，样品数量加倍，如试验结果全部合格，则判定合格；如重新取样检验结果仍不符合设计和本文件要求，则判定不合格。

7.3.5 同一标段、同一配合比施工前应进行一次配合比检验，如施工过程中配合比有调整，应对调整后的 UHPC 重新检测。

7.4 施工过程质量自检

7.4.1 UHPC 施工过程中，应分批对 UHPC 拌合物性能进行检验。一个检验批应由力学性能等级相同、生产工艺和配合比基本相同的混凝土随机抽样，并在施工现场同条件浇筑成型及养护。UHPC 拌合物检测项目应符合表 7 的规定。

表7 UHPC 拌合物检测项目

检测项目	规定值	检验频率	检验方法
初始坍落扩展度/mm	符合设计要求	每盘一次	GB/T 50080
1 h 坍落扩展度/mm	符合设计要求		
抗压强度/MPa	符合设计要求	每批一次	GB/T 31387

表7 UHPC拌合物质量检测项目（续）

检测项目	规定值	检验频率	检验方法
抗拉强度/MPa	符合设计要求	每批一次	按附录 A 执行
弹性极限拉应变/%	符合设计要求		
纤维体积率/%	符合设计要求		按附录 C 执行
注：抗压强度、抗拉强度、弹性极限拉应变均采用28 d标准养护的试件进行试验。			

7.4.2 UHPC 的抗压强度、抗拉强度与弹性极限拉应变等指标检验应在浇筑地点随机取样，取样量不应小于试样需要量的 1.5 倍，且不宜小于 20 L，每批次应至少留置两组试件。

7.4.3 各指标自检应由施工方在监理见证下现场取样进行，自检结果应满足设计和本文件要求。

7.4.4 UHPC 拌制时，搅拌机旁边要挂每盘配比，由专人通过计量设备重点检查用水量和纤维掺量，不应出现用水量过大或纤维用量不足现象，否则应废弃该盘拌合物。

7.5 结构实体检验

7.5.1 成型后的 UHPC 应均匀完好，不应有龟裂和收缩裂纹现象，并应衔接密实，无脱空、台阶现象。

7.5.2 UHPC 结构实体强度检验宜采用同条件养护试件方法；当未取得同条件养护试件强度或同条件养护试件强度不符合要求时，可采用取芯法进行检验。

7.5.3 本文件未规定的其他事项应符合 JTG F80/1 的有关规定。

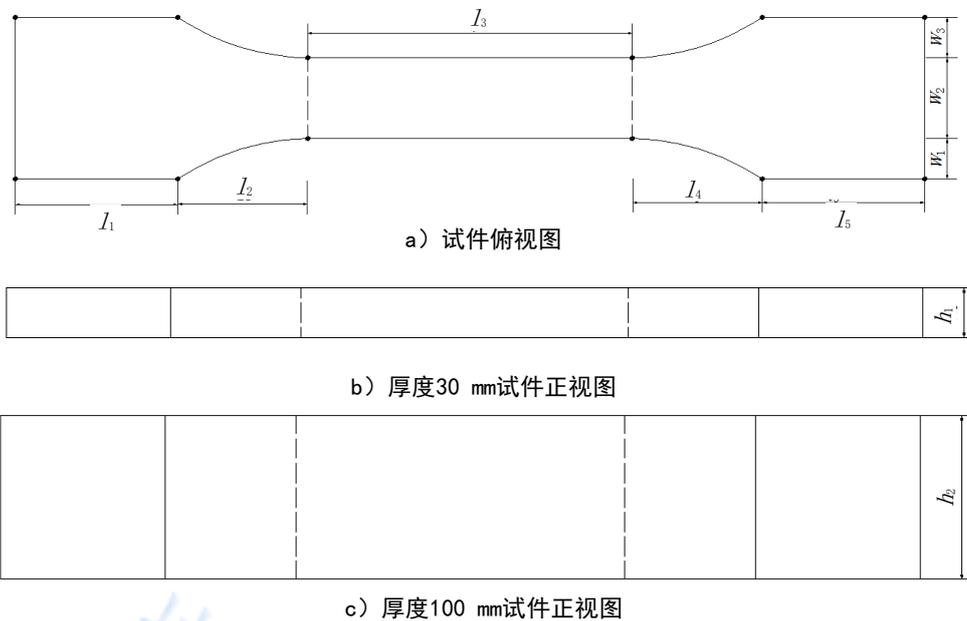
地方标准信息服务平台

附录 A
(规范性)
UHPC 抗拉性能试验方法

A.1 试件尺寸和数量

A.1.1 抗拉性能试件尺寸如图A.1所示。

单位为毫米



L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	W_1	W_2	W_3	h_1	h_2
100	80	200	80	100	25	50	25	30	100

图A.1 抗拉性能试件尺寸示意图

A.1.2 抗拉性能试件厚度分为30 mm和100 mm两种，设计单位或供需双方可根据需要选择抗拉性能试验试件的厚度。当UHPC中纤维长度不大于13 mm且不含粗骨料时，宜采用厚度为30 mm的试件；当UHPC中纤维长度大于13 mm或含有粗骨料时，宜采用厚度为100 mm的试件。不同厚度试件的测试结果在进行合格评定时不考虑尺寸效应。

A.1.3 每组试件数量为6个。

A.2 试验仪器

A.2.1 拉力试验机需符合下列规定：

- 试件破坏荷载宜大于拉力试验机全程的 20% 且宜小于拉力试验机全程的 80%；
- 示值相对误差应为±1%；
- 应具有加载速度指示装置或加载速度控制装置，并能均匀、连续地加荷；
- 拉伸间距不应小于 800 mm~1000 mm；

e) 应符合 GB/T 3159 和 GB/T 2611 的有关规定。

A. 2.2 用于微变形测量的仪器装置应符合下列规定：

- a) 用于微变形测量的仪器宜采用位移传感器，也可采用激光测长仪、引伸仪等。采用位移传感器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。采用位移传感器测量试件变形时，应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) 当采用位移传感器时，其测量精度为 ± 0.001 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) 微变形测量仪的标距宜为 200 mm。

A. 3 试验步骤

A. 3.1 按 5.3 的有关规定制作试件，每个试件在进行抗拉性能试验时，应同时确定弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、拉伸弹性模量、抗拉强度、抗拉应变 5 个参数，对于抗拉应变小于 1000×10^{-6} 的试件尚应确定残余抗拉强度。

A. 3.2 达到试验龄期前，将试件从养护室取出，待表面干燥后，将试件放置于试验机上下夹具中，保证上下夹具连接件与混凝土试件的中轴线一致并对中。在试件弧线段与夹具接触部位放进 0.5 mm~1 mm 厚的橡胶垫片。将试件上端与试验机上夹头固定，到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. 3.3 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，然后将变形测量架固定在试件中部，从试件取出至试验完毕，不宜超过 4 h。应提前做好变形测量的准备工作。

A. 3.4 开动试验机进行预拉，预拉荷载相当于破坏荷载的 15%~20%。预拉时，测读应变值，按 GB/T 50081 计算偏心率。当试块偏心率大于 15% 时，应对试块重新进行对中调整。

A. 3.5 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，对试件进行连续、均匀加荷，宜采用位移控制加荷，加荷速率宜控制在 0.2 mm/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，绘制荷载-变形曲线。

A. 3.6 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%；
- b) 试件的拉应变达到 10000×10^{-6} ；
- c) 拉断。

A. 4 结果计算及确定

A. 4.1 弹性极限点

在结果计算前，首先应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，取拉应变为 200×10^{-6} 对应的曲线上的点作为弹性极限点。

A. 4.2 弹性极限抗拉强度

弹性极限抗拉强度按公式 (A.1) 进行计算。

$$f_{te} = \frac{F_{te}}{A_z} \dots \dots \dots (A.1)$$

式中:

f_{te} —— 弹性极限抗拉强度, 单位为兆帕 (MPa), 计算结果精确至 0.01 MPa;

F_{te} —— 弹性极限荷载, 取弹性极限点处的荷载, 单位为牛 (N);

A_z —— 抗拉试件中部截面积, 单位为平方毫米 (mm^2)。

A.4.3 弹性极限拉应变

弹性极限拉应变按公式 (A.2) 进行计算。

$$\mu_{te} = \frac{l_{te}}{L} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

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

l_{te} —— 弹性极限点处变形, 单位为毫米 (mm);

L —— 测试标距, 单位为毫米 (mm)。

A.4.4 拉伸弹性模量

拉伸弹性模量按公式 (A.3) 进行计算:

$$E_{te} = \frac{f_{te}}{\mu_{te}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

E_{te} —— 拉伸弹性模量, 单位为吉帕 (GPa), 计算结果精确至 0.1 GPa。

A.4.5 抗拉强度

抗拉强度按公式 (A.4) 进行计算。

$$f_{tu} = \frac{F_{max}}{A_z} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

f_{tu} —— 抗拉强度, 单位为兆帕 (MPa), 计算结果精确至 0.01 MPa;

F_{max} —— 抗拉试验加荷过程中的最大荷载, 单位为牛 (N)。

A.4.6 抗拉应变

抗拉应变按公式 (A.5) 进行计算。

$$\mu_{tu} = \frac{l_{tu}}{L} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

μ_{tu} —— 抗拉应变, 计算结果精确至 10×10^{-6} ;

l_{tu} —— 最大拉应力处变形, 取荷载-变形曲线中最大拉应力处的试件变形, 单位为毫米 (mm)。

A.4.7 残余抗拉强度

残余抗拉强度按公式 (A.6) 计算。

$$f_{tr} = \frac{F_{tr}}{A_z} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

f_{tr} ——残余抗拉强度,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至0.01 MPa;

F_{tr} ——抗拉应变小于 1000×10^{-6} 的试件拉伸试验过程中拉应变为 1500×10^{-6} 时的荷载,单位为牛(N)。

A.5 试验结果处理

开裂位置位于标距内的试件为有效拉伸试件,有效拉伸试件数量不应小于4个。当有效拉伸试件数量小于4个时,该组试件无效。以所有有效拉伸试件测值的平均值确定弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、拉伸弹性模量、抗拉强度、抗拉应变的最终试验结果。

地方标准信息服务平台

附录 B

(规范性)

纤维长度和直径合格率检验方法

B.1 每批次纤维中随机抽取 1000 g, 从中随机取 50 根, 用游标卡尺(分辨率 0.01 mm)逐根测量其长度, 用千分尺(分辨率 0.001 mm)测量其直径。

B.2 记录长度不在指定范围(对于平直纤维和 I 类端钩纤维, 长度范围为 12 mm~14 mm; 对于 II 类端钩纤维, 长度范围为 20 mm~30 mm)内的纤维根数, 以及直径不在指定范围(对于平直纤维和 I 类端钩纤维, 直径范围为 0.18 mm~0.22 mm; 对于 II 类端钩纤维, 直径范围为 0.30 mm~0.40 mm)内的纤维根数。

B.3 按公式 (B.1) 和公式 (B.2) 计算纤维长度合格率和直径合格率, 计算结果精确至 0.1%。

$$P_l = \frac{50 - N_l}{50} \times 100 \dots\dots\dots (B.1)$$

$$P_d = \frac{50 - N_d}{50} \times 100 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

P_l ——长度合格率, %;

N_l ——长度不在指定范围内的钢纤维根数, 单位为根;

P_d ——直径合格率, %;

N_d ——直径不在指定范围内的钢纤维根数, 单位为根。

地方标准信息服务平台

附录 C

(规范性)

UHPC 拌和料中纤维体积率检验方法

C.1 试验设备

纤维体积率测定所用设备应符合下列规定：

- a) 电子天平:最大称量 1 kg, 分度值 1 g(用于称量钢纤维); 最大称量 100 g, 分度值 0.02 g(用于称量合成纤维);
- b) 容量筒:容积 5 L;
- c) 振动台:频率 50 Hz 士 3 Hz, 空载时振幅 0.5 mm 士 0.1 mm;
- d) 振槌:重量为 1 kg 的木槌;
- e) 不锈钢丝筛网:网孔尺寸 2.5 mm×2.5 mm;
- f) 其他:铁铲、容器、磁铁等。

C.2 试验步骤

C.2.1 把容量筒内外擦净。

C.2.2 对坍落度不大于 50 mm 的拌合物, 可用振动台振实。应一次将拌合物灌到高出容量筒口, 装料时用振槌稍加敲振。振动过程中如拌合物沉落低于筒口, 应随时添加, 直至表面出浆。

C.2.3 对坍落度大于 50 mm 的拌合物, 可用振槌振实。容量筒按 1/2 高度分层装入拌合物, 大于 1 L 容量筒按 100 mm 分层。振槌沿容量筒侧壁均匀敲振, 每层 30 次。敲振完毕后, 将直径 16 mm 的钢棒垫在筒底, 左右交替将容量筒颠击地面各 15 次。

C.2.4 刮去多余的拌合物, 并填平表面凹陷部分。

C.2.5 将拌合物倒入不小于 10 倍拌合物体积的大容器中, 加水搅拌, 将稀浆慢慢倒出, 在所余的砂石及纤维残渣中用人工搜集纤维, 并仔细洗净粘附在纤维上的异物。

C.2.6 必要时将收集的纤维倒入另外容器中二次加水搅拌, 重新收集。

C.2.7 搜集的纤维应在 105℃±5℃ 的温度下烘干至恒重, 烘干时间不应少于 4 h, 每隔 1 h 称量一次, 直到连续两次称量之差小于较小值的 0.5% 时为止。冷却至室温后应称其重量, 精确至 1 g。

C.2.8 纤维体积率应进行两次平行试验。

C.3 计算

纤维体积率按公式 (C.1) 计算, 纤维含量按公式 (C.2) 计算。

$$\rho_f = \frac{W_f}{\gamma_f} \times 100 \dots\dots\dots (C.1)$$

$$W_f = \frac{m_f}{V} \times 100 \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

ρ_f ——纤维混凝土的纤维体积率, %;

W_f ——纤维混凝土中的纤维含量, 单位为千克每立方米 (kg/m³);

γ_f ——纤维的质量密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);

m_f ——容量筒中纤维质量，单位为克（g）；
 V ——容量筒体积，单位为升（L）。

C.4 纤维含量测定

纤维含量的测定值应为纤维含量两次测定值的平均值。测定值应符合公式（C.3）要求。

$$|W_{f1} - W_{f2}| \leq 0.15W_{fm} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

W_{f1} ——第一次测得的纤维含量，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）；

W_{f2} ——第二次测得的纤维含量，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）

W_{fm} ——两次测定纤维含量的平均值，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）。

地方标准信息服务平台