

ICS 91.100.30

CCS Q13

CBMF

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XX-202X
T/CCPA XX-202X

超高性能混凝土喷射施工技术规范

Technical specification for ultra-high performance concrete shotcrete construction

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国建筑材料联合会
中国混凝土与水泥制品协会

发布

前 言

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2023 年第三批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发〔2023〕44 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2023 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第三批）的通知》（中制协字〔2023〕19 号）的要求（计划号 2023-42-xbjh），标准编制组经广泛调查研究，认真总结了国内外 UHPC 喷射施工实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分 8 章和 3 个附录，主要技术内容包括：1 总则；2 术语与符号；3 基本规定；4 材料；5 试配和试喷；6 施工；7 安全环保措施；8 质量检验等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程中国混凝土与水泥制品协会负责管理，由中交第二航务工程局有限公司负责日常管理，由中交第二航务工程局有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈给中交第二航务工程局有限公司（地址：武汉市东西湖区金银湖路 11 号，邮编：430040，邮箱：834178732@qq.com）。

主 编 单 位：中交第二航务工程局有限公司

参 编 单 位：中国混凝土与水泥制品协会

主要起草人员：

主要审查人员：

目 录

1 总则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	2
3 基本规定	3
4 材料	4
4.1 原材料.....	4
4.2 拌合物性能.....	4
4.3 力学性能.....	4
4.4 长期性能和耐久性能.....	5
5 试配和试喷	6
5.1 一般规定.....	6
5.2 试验室试配.....	6
5.3 试验性喷射.....	6
6 施工	8
6.1 一般规定.....	8
6.2 施工机具.....	8
6.3 施工准备.....	8
6.4 拌制与运输.....	9
6.5 喷射作业.....	10
6.6 养护.....	11
7 安全与环保	12
7.1 安全技术.....	12

7.2 环保要求	12
8 质量检验	13
附录 A 喷射超高性能混凝土试件的制作方法	15
附录 B 喷射超高性能混凝土毛细吸水系数检测方法	16
附录 C 喷射超高性能混凝土回弹率测试方法（模拟测试法）	18
用词说明	20
引用标准名录	21
附：条文说明	21

Contents

Foreword	错误! 未定义书签。
1 General principles	错误! 未定义书签。
2 Terms and symbols	错误! 未定义书签。
2.1 Terms.....	错误! 未定义书签。
2.2 Symbols.....	错误! 未定义书签。
3 Basic requirements	错误! 未定义书签。
4 Materials	错误! 未定义书签。
4.1 Raw materials.....	错误! 未定义书签。
4.2 Properties of mixtures.....	错误! 未定义书签。
4.3 Mechanical properties.....	错误! 未定义书签。
4.4 Long-term properties and durability.....	错误! 未定义书签。
5 Mix proportioning and trial spraying	错误! 未定义书签。
5.1 General requirements.....	错误! 未定义书签。
5.2 Laboratory mix proportioning.....	错误! 未定义书签。
5.3 Experimental spraying.....	错误! 未定义书签。
6 Construction	错误! 未定义书签。
6.1 General requirements.....	错误! 未定义书签。
6.2 Construction machinery and tools.....	错误! 未定义书签。
6.3 Construction preparation.....	错误! 未定义书签。
6.4 Mixing and transportation.....	错误! 未定义书签。
6.5 Spraying operations.....	错误! 未定义书签。
6.6 Curing.....	错误! 未定义书签。
7 Safety and environmental protection	错误! 未定义书签。
7.1 Safety techniques.....	错误! 未定义书签。

7.2 Environmental protection requirements 错误！未定义书签。

8 Quality inspection 错误！未定义书签。

Appendix A Method for fabricating test specimens of sprayed ultra-high performance concrete错误！未定义书签。

Appendix B Method for detecting capillary water absorption coefficient of sprayed ultra-high performance concrete 错误！未定义书签。

Appendix C Method for testing rebound rate of sprayed ultra-high performance concrete (simulated test method) 错误！未定义书签。

Explanation of terminology 错误！未定义书签。

List of referenced standards 错误！未定义书签。

Addition: Explanation of provisions 错误！未定义书签。

1 总 则

1.0.1 为指导超高性能混凝土在工程建设中的应用，规范超高性能混凝土喷射施工和质量检验，做到安全适用、技术先进，保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改扩建、维修养护等工程中结构加固、支护和防护体系以及构件预制所用超高性能混凝土的喷射施工。

1.0.3 超高性能混凝土的喷射施工，除执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国建筑材料联合会、中国混凝土与水泥制品协会有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.0.1 喷射超高性能混凝土 sprayed ultra-high performance concrete (SUHPC)

喷射超高性能混凝土是使用喷射设备借助压缩空气或其他动力将其送到喷头，高速喷至受喷面所形成的一种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。简称SUHPC。

2.0.2 触变剂 thixotropic agents

一种由二氧化硅、石棉、高岭土、凹凸棒土、聚酰胺蜡、纤维素醚、聚丙烯酰胺等物质组成，通过提高超高性能混凝土静态屈服应力，使其在（无剪切力）重力作用下不流淌的外加剂。

2.0.3 促凝剂 coagulant agents

一种由硫酸盐、硝酸盐、硅酸盐、铝盐、醇胺等物质组成，通过调控水泥水化反应进程，能显著缩短超高性能混凝土凝结时间的外加剂。

2.0.4 支护工程 support engineering

支护工程是为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全，对侧壁及周边环境采用的保护措施工程，主要包含边坡支护、基坑支护以及隧道与地下工程支护等。

2.0.5 结构作用型 structural functional type

对结构物稳定性、承载能力以及整体安全性产生直接影响的一种作用形式。

2.0.6 非结构作用型 non-structural functional type

对结构物表面进行覆盖或包裹，产生防护作用，不直接影响结构物稳定性、承载能力以及整体安全性的一种作用形式。

2.0.7 抗弯强度残余率 residual flexural strength ratio

残余抗弯强度与极限抗弯强度的比值。

2.2 符号

f_{ub} ——抗弯强度，单位为兆帕（MPa）；

R_a ——毛细吸水系数，单位为 $10^{-4}\text{mm/s}^{0.5}$ 。

3 基本规定

3.0.1 喷射施工用超高性能混凝土宜采用预混料进行拌合制备。在原材料稳定，具备完善原材料储存、计量、投料和搅拌设备系统，且经检验所生产出的超高性能混凝土匀质性、稳定性和力学性能满足设计及施工要求时，可采用直接拌合的超高性能混凝土进行喷射施工。

3.0.2 首次喷射施工前，或材料、施工工艺发生改变时，应进行试喷。

3.0.3 施工管理应符合现行行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372 的规定。

3.0.4 超高性能混凝土喷射施工前，应进行人员培训、技术复核及交底，检查并确认现场施工准备情况。

4 材料

4.1 原材料

4.1.1 预混料应符合现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96/T/CCPA 20 的规定，并提供产品使用说明书。

4.1.2 直接拌合的超高性能混凝土的原材料应符合现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96T/CCPA 20 的规定，每种原材料应单独进行质量检验和验收。

4.1.3 结构作用型宜使用钢纤维，非结构作用型宜使用非金属纤维，纤维体积掺量不宜超过 2.5%，钢纤维性能应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T 39147 的规定，非金属纤维性能应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定。

4.1.4 拌合用水应符合现行国家标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

4.1.5 触变剂掺量应通过试验确定，触变剂掺量不宜超过 10%。

4.1.6 促凝剂掺量应通过试验确定，促凝剂掺量不宜超过 6%。

4.2 拌合物性能

4.2.1 喷射超高性能混凝土施工前应具有良好的工作性及和易性，并应满足工程设计、生产和施工要求。拌合物性能的试验方法应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 执行，且坍落度、扩展度、坍落度经时损失和凝结时间等拌合物性能应满足施工要求。

4.2.2 喷射超高性能混凝土拌合物性能可根据工程实际需求确定，无特殊要求的情况下，使用触变剂的喷射超高性能混凝土拌合物坍落度宜大于 80mm，使用促凝剂的喷射超高性能混凝土拌合物坍落扩展度宜小于 650mm。

4.2.3 喷射超高性能混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

4.3 力学性能

4.3.1 喷射超高性能混凝土力学性能试件的制作应进行大板喷射取样，喷射混凝土试件的制作方法应按本规程附录 A 执行。

4.3.2 喷射超高性能混凝土工程应进行 28d 龄期强度试验，有早期强度要求时，应根据设计龄期要求进行早期强度试验。喷射超高性能混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，抗压强度试验方法及等级评定应按照现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37/T/CCPA 7 执行，当设计的早期强度龄期小于 8h 或强度低于 10MPa 时，宜采用贯入法检测，试验方法应按照现行团体标准《喷射混凝土抗压强度测定方法 贯入法》T/CBMF 273-2024/T/CCPA 50-2024。

4.3.3 喷射超高性能混凝土抗压强度等级按抗压强度标准值划分，代号为 UC，抗压强度等级应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 喷射超高性能混凝土的抗压强度等级

强度等级	UC100	UC120	UC140	UC160	UC180
f_{cu}	100	120	140	160	180

4.3.4 当对喷射超高性能混凝土的韧性或延性有特殊要求时，强度等级可按轴心抗拉强度标准值决定，代号为 UT，抗压强度等级应符合表 4.3.4 的规定，各等级的混凝土的抗拉强度标准值由供需双方协商确定。

表 4.3.4 喷射超高性能混凝土的抗拉强度等级

强度等级	UT04	UT06	UT08
f_{tc}	4.0	6.0	8.0

4.3.5 喷射超高性能混凝土的粘结强度应按现行《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372 执行，且喷射超高性能混凝土与岩石及混凝土（C30）基底的最小粘结强度应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 喷射超高性能混凝土与岩石及混凝土基底的最小粘结强度（MPa）

粘结类型	与混凝土的最小粘结强度	与岩石的最小粘结强度
非结构作用型	0.8	0.5
结构作用型	2.0	1.0

4.3.6 喷射超高性能混凝土应进行抗弯强度试验，并根据设计要求进行混凝土弯曲韧性试验，强度等级可按极限抗弯强度标准值决定，代号为 UB，喷射超高性能混凝土的最小抗弯强度应符合表 4.3.6-1 的规定，喷射超高性能混凝土的弯曲韧性可采用残余抗弯强度等级表示，不同变形等级和不同残余抗弯强度等级下混凝土的抗弯强度残余率不应小于表 4.3.6-2 的规定。喷射超高性能混凝土抗弯强度试验应按现行行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372 执行。

表 4.3.6-1 超高性能混凝土的最小极限抗弯强度（MPa）

强度等级	UB15	UB18	UB21
f_{ub}	15	18	21

表 4.3.6-2 不同变形等级和不同残余抗弯等级下的抗弯强度残余率（%）

梁的挠度（mm）	抗弯强度残余率		
	UB16	UB18	UB21
0.5	70	75	80
1.0	45	50	60
2.0	30	30	40
4.0	15	15	20

4.4 长期性能和耐久性能

4.4.1 喷射超高性能混凝土长期性能和耐久性能试件的制作应进行大板喷射取样，喷射混凝土试件的制作方法应按附录 A 执行。

4.4.2 喷射超高性能混凝土的收缩性能应符合设计要求，1d 总收缩宜小于 $300 \mu \epsilon$ ，28d 总收缩范围宜小于 $600 \mu \epsilon$ ，测试时采用同配比喷射超高性能混凝土浇筑完成，收缩试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行。

4.4.3 喷射超高性能混凝土的抗冲磨性能应符合设计要求，试验方法应按现行行业标准《水工混凝土试验规程》SL/T 352 执行。

4.4.4 喷射超高性能混凝土的毛细吸水系数应符合表 4.4.3 的规定，毛细吸水系数试验方法按照附录 B 执行。

表 4.4.3 喷射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 $R_a/ (10^{-4} \text{mm/s}^{0.5})$	$1.0 < R_a \leq 3.0$	$R_a \leq 1.0$

4.4.5 喷射超高性能混凝土的抗氯离子渗透性能应符合现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37/T/CCPA 7 的规定。

4.4.6 喷射超高性能混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能应符合设计要求，试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行。

5 试配和试喷

5.1 一般规定

5.1.1 喷射超高性能混凝土的配制应满足设计和施工的要求，且应进行试配和试喷。

5.2 试验室试配

5.2.1 应采用现场施工实际使用材料，每盘超高性能混凝土的搅拌量不宜小于 30 L。

5.2.2 应验证喷射超高性能混凝土拌合物性能，包括纤维是否结团及体积含量、坍落扩展度或坍落度及其经时损失和施工要求的其他性能。

5.3 试验性喷射

5.3.1 试验性喷射应在与施工环境和设备相同条件下进行，检验所使用超高性能混凝土拌合物的施工性能、混凝土硬化后的性能、施工装备和施工工艺的适用性以及检验喷射结构的质量。

5.3.2 试验性喷射宜检验验证表 5.3.2 中所列项目，并满足相应要求。

表 5.3.2 试验性喷射检验验证项目及要

项目	要求	
超高性能混凝土生产制备	设备系统	材料计量系统精度偏差符合规定，生产搅拌能力满足施工需求
	搅拌工艺	优化确定投料顺序和各阶段搅拌时间，能确保拌合物匀质性
	拌合物匀质性	观察出机拌合物，应无肉眼可见纤维结团现象；按现行团体标准《超高性能混凝土现场浇筑施工技术规程》T/CCPA 23/T/CBMF 128 中附录 A 的方法测定的拌合物中的钢纤维体积率应满足合同规定要求
	施工性能	取样试验测试坍落扩展度或坍落度及其经时损失（加触变剂的混凝土搅拌宜一直搅拌），应满足施工需求
	硬化后性能	喷射成型大板，经规定养护后，切割制备抗压、抗拉、抗弯试件及

		其他合同规定性能试件，测试的性能指标应满足设计或合同中规定要求
现场喷射 试验	拌合物运输	确定拌合物从搅拌机卸料、运输至喷射完成的时间范围，以保证拌合物运输及喷射施工的连续性
	喷射和修面	检验专项施工方案实施的效果，施工人员和机具配备、人员技能、施工组织等，应能确保喷射和修面各工序及时有序地完成，喷射方法对纤维分布应无不利影响（结合结构上取样试验检验），修面能高效率完成，后续养护及时跟上
养护试验	同条件养护	同施工环境条件检验保湿、保温养护方法的及时性和可靠性
	其他养护工艺	检验评估养护方法和制度的可操作性及实际应用效果 （宜结合同养护条件试件抗压强度发展与收缩完成程度，以及结构上取样试验检验，进行评估）
实体模拟	结构性能	结构加载及变形试验结果应满足设计要求

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 喷射超高性能混凝土施工应按设计要求进行，并应编制喷射专项施工方案，配置相应的专业人员和仪器设备。
- 6.1.2 超高性能混凝土的喷射施工应保证纤维分布均匀和供料连续，宜选择熟悉喷射设备性能的喷射工或在其指导下进行，且喷射超高性能混凝土施工前，喷射工应进行试喷，混凝土性能合格后方可进行喷射操作。
- 6.1.3 喷射超高性能混凝土在运输及喷射过程中严禁加水。
- 6.1.4 喷射超高性能混凝土应在受喷面、配筋等质量验收符合要求后方可施工。
- 6.1.5 超高性能混凝土喷射作业时，应定期检查设备和电源线路是否正常；现场操作人员应做好个人安全和健康防护。
- 6.1.6 喷射超高性能混凝土的施工现场，应符合现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146的规定。

6.2 施工机具

- 6.2.1 喷射设备应参考工程特点、基底条件、混凝土配合比以及喷射方量等施工条件进行选择。
- 6.2.2 超高性能混凝土的喷射设备性能应符合下列规定：
- 1 应具有良好的密封性和连续均匀输料能力；
 - 2 生产能力宜大于 $2\text{m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于 15mm ；
 - 3 水平输料距离不宜小于 10m ，竖向输料距离不宜小于 5m 。
- 6.2.3 空气压缩机的选择应满足喷射设备工作风压和耗风量的要求，应能提供稳定的风压。
- 6.2.4 输料管工作时的承压能力应大于 1.0MPa ，管径应满足输送设计最大粒径骨料的要求（骨料最大直径的 3.75 倍），并应具有良好的耐磨性能。
- 6.2.5 搅拌机应选用与混凝土喷射机生产能力相匹配、密封性能好、粉尘小的强制式搅拌机。

6.3 施工准备

- 6.3.1 加固工程，施工前准备工作应符合下列规定：
- 1 应清除待喷面表面的装饰层。对于混凝土结构，尚应对原结构层进行凿毛处理（纹理深度 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ），用钢丝刷等工具清除原构件混凝土表松动的骨料、砂砾、浮渣和粉尘，并用压缩空气和水交替清洗净；对于砌体结构，尚应对受侵蚀砌体或疏松灰缝进行处理，灰缝处理深度宜为 10mm ；
 - 2 钢筋搭接、安装及焊接应符合现行团体标准《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》的有关规定，钢筋出现锈蚀现象时，应按设计要求处理；
 - 3 结构表面有渗水、漏水时，应事先做好止水防水工作；
 - 4 基底应进行预湿处理至饱和面干。
- 6.3.2 支护工程，施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 拆除作业面的障碍物、清除开挖面的浮石和岩渣堆积物；
- 2 泥、砂质岩面应挂设钢筋网并用错钉或钢架等加固措施进行固定；
- 3 基底出现渗水时，应事先做好止水防水工作；
- 4 用高压风水冲洗受喷面，对遇水易潮解、泥化的岩层则用风压扫清岩面；
- 5 采用人工喷射时，当水平喷射的高度超过 1.5m，或竖向喷射的高度超过 3m 时，应搭设操作平台，操作平台临边应设有安全防护措施；
- 6 喷射作业区应有良好的通风和足够的光线，确保喷射机司机与喷射手能直接联系，沟通顺畅；
- 7 喷射作业前，应对机械设备、风、水管管路和施工现场临时用电等进行全面检查及试运转。

6.3.3 构建工程喷射施工的模板及其支架应符合下列规定：

- 1 应检验模板形状、尺寸和预埋件位置的准确性；
- 2 支架和模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，能可靠地承受喷射超高性能混凝土的重量及施工过程中所产生的荷载；
- 3 模板接缝应严密，不得漏浆。

6.4 拌制与运输

6.4.1 原材料储存应符合下列规定：

- 1 预混料及直接拌合用原材料应按品种、规格和生产厂家分别标识，并采取防尘、防潮、防雨的措施。
- 2 独立包装的外加剂和纤维，包装应完好、无污染，钢纤维无锈蚀。外加剂的贮存应符合《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定；纤维的贮存应符合《混凝土用钢纤维》GB/T 39147 的规定。

6.4.2 计量应符合下列规定：

- 1 原材料的计量应采用具有有效检定证书的计量设备，并应定期自检。生产单位每月应至少自检一次，每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准；
- 2 原材料应按质量单独计量。预混料、水泥、矿物掺合料、水、外加剂和纤维的计量偏差应不大于 $\pm 1\%$ ，骨料的计量偏差应不大于 $\pm 2\%$ ，每工作班检查应不少于一次。

6.4.3 搅拌应符合下列规定：

- 1 应根据工程规模（喷射方量）、施工工艺和进度要求合理配备配料与搅拌生产系统，应采用强制式搅拌机，一次搅拌量不宜不小于搅拌机公称容量的 70%，应设置防止纤维结团的投料装置；
- 2 搅拌前，应检查搅拌设备状态，确保搅拌设备清洁、无积水；
- 3 应按试验性浇筑确定的搅拌工艺、下料顺序和各阶段时间进行搅拌；
- 4 搅拌应保证拌合物的均匀性，出机拌合物中不应有肉眼可见纤维结团；
- 5 拌合物出机后不得加水；
- 6 搅拌设备应及时进行清洗；
- 7 应采取措施防止下料和搅拌过程中扬尘。

6.4.4 运输应符合下列规定：

- 1 运输过程中应保证拌合物均匀，不产生分层、离析。寒冷或炎热的环境下，拌合物运输设备应采取

保温或隔热措施；

2 运输设备在装料前应清洁、湿润、无积水；

3 拌合物运输能力应保证喷射作业的连续性，拌合物从搅拌机卸料、运输、入泵至喷射作业完成，适宜的时间范围应满足施工需求，并通过试验性喷射确认；

4 混凝土搅拌运输车在运输途中及等候卸料时，应保持混凝土搅拌车罐体 1r/min~3r/min 速率旋转，不宜停转。

5 运输和输送设备卸料后应及时清洗干净。

6.5 喷射作业

6.5.1 超高性能混凝土喷射施工作业应符合下列规定：

1 喷射前应先用压缩空气和水清洗喷层表面；

2 喷射作业应分段分片分区依次进行，喷射顺序应自下而上，呈螺旋状上升，先填平凹陷处；

3 混凝土喷射厚度大于 100mm 时，宜采用分层喷射，一次喷射厚度不宜超过 40mm~60mm，分层喷射时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后再进行喷射；

4 喷射作业时，喷嘴指向应与受喷面保持 80°~90° 夹角；

5 采用人工喷射作业时，喷嘴与受喷面的距离宜为 0.6m~1.0m；采用机械式喷射作业时，喷嘴与受喷面的距离宜为 1.0m~1.5m；

6 喷射超高性能混凝土的喷射作业区环境温度宜为 5℃~35℃，混凝土拌合物温度宜为 10℃~30℃，当水分蒸发速率过快时宜在施工工作面采取挡风、遮阳、降温等措施。

6.5.2 加固工程喷射超高性能混凝土施工应符合下列规定：

1 梁、柱结构可用（钢筋）露出结构面的宽度作为控制混凝土厚度的标志；

2 宜采用涂刷界面剂或栽插锚固筋的方法增加新旧混凝土界面的粘结；

3 喷射作业中可用针探法随时检测厚度，厚度不够应及时补喷。

6.5.3 支护工程施工应符合下列规定：

1 喷射超高性能混凝土施工顺序应与开挖顺序相适应；

2 采用钻爆法施工的支护工程，喷射超高性能混凝土紧跟开挖工作面施工时混凝土终凝到下一循环爆破的间隔时间不应小于 3h；

3 喷射超高性能混凝土设计厚度变化处，厚度较大部位应向厚度较小部位延伸 2m~3m。

6.5.4 异形结构工程超高性能混凝土喷射施工应符合下列规定：

1 筒形薄壳，喷射作业应沿长度方向自拱脚向拱顶对称进行；

2 球形薄壳，喷射作业应自壳体底部向壳顶呈螺旋状绕壳体进行；

3 扁壳结构，喷射作业应从四角开始对称地向壳顶进行；

4 多跨连续薄壳，可自中央跨开始或自两边跨向中央对称逐跨喷射，每跨按单跨程序施工；

5 喷射作业中可用针探法随时进行检测，厚度不够应及时补喷。

6.5.5 超高性能混凝土喷射施工过程中，水平喷射回弹率不宜大于 5%，竖直喷射回弹率不宜大于 10%。

喷射时产生的回弹物料，严禁重新掺入喷射拌合物中。喷射混凝土的喷射回弹率的试验方法应按本规程附录 C 执行。

6.5.6 加固工程、异形构件工程及对表面有要求的工程，喷射超高性能混凝土的表面修整宜符合下列规定：

- 1 喷射后的表面宜使用同配合比的 UHPC 基体喷涂找平层；
- 2 喷射超高性能混凝土表面的修整应在混凝土初凝以后进行，且不得影响混凝土的内部结构及其与结构面的粘结；
- 3 可采用人工或者机械进行表面修整，将模板或基线以外多余的材料清除。

6.6 养护

6.5.1 超高性能混凝土喷射施工后的养护应符合下列规定：

- 1 混凝土喷射后应喷雾覆膜保湿养护，直至规定的养护时间。操作时，不得使混凝土受到污染和损伤；
- 2 喷射超高性能混凝土地下工程处于相对湿度在 95% 以上的环境中时，可不进行喷雾养护；
- 3 采用自然养护时，保湿养护时间应不少于 14d，且最低温度不宜低于 5℃。

6.5.2 对于冬期施工的喷射超高性能混凝土，养护宜符合下列规定：

- 1 冬期施工时应有保温措施，且不得在结冰的待喷面上直接进行喷射；
- 2 当温度低于 5℃ 时，应停止喷射作业，不对已喷射混凝土进行喷水养护，应采取保湿养护；
- 3 喷射超高性能混凝土受冻前强度不得低于设计强度 30%；
- 4 混凝土强度达到设计强度等级标准值 50% 时，方可拆除养护措施；
- 5 与喷射机械相关的水箱、水管等水路，应做保温或加热处理；
- 6 完成喷射作业后应及时排空各设备、水管内的残留水。

7 安全与环保

7.1 安全技术

7.1.1 超高性能混凝土喷射施工前，应根据工程场地条件、周边环境、与工程相关的资源供应情况、施工技术、施工工艺、材料、设备等编制超高性能混凝土喷射施工安全专项方案，并组织安全技术交底，操作人员需持证或培训上岗。

7.1.2 超高性能混凝土喷射施工前，应检查和处理喷射混凝土作区的危石和其他危险物件。施工机具应布置于安全地带，严禁放置在危石地段、不坚实的地面或可能坍塌的边坡上。

7.1.3 喷射设备、水箱、风管等设备应进行密封性能和耐压计验，合格后方可使用。

7.1.4 超高性能混凝土喷射施工作业中，应检查出料弯头，输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象。喷射作业面转移时，输料软管不得随地拖拉和折弯，供风、供水系统应随之移动。

7.1.5 非施工作业人员不得进入正进行超高性能混凝土喷射施工的作业区。施工作业时，喷头前方严禁站人。

7.1.6 超高性能混凝土喷射施工作业时，工作人员必须佩戴个体防尘用具等劳保用品。

7.1.7 在施工期间，瓦斯隧道应实施连续通风，防止瓦斯积聚高瓦斯区和瓦斯突出区必须使用防爆型电气设备和作业机械。

7.2 环保要求

7.2.1 超高性能混凝土喷射施工中应设法减少回弹，宜将回弹物料回收后降级再利用。

7.2.2 超高性能混凝土喷射施工作业区的粉尘度不应大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，施工时宜采用下列措施减小粉尘浓度：

- 1 在粉尘浓度较高地段设置除尘水幕；
- 2 加强作业区的局部通风；
- 3 在喷射设备或混合料搅拌处设置集尘器或除尘器。

7.2.3 施工区域位于居民区时，现场搅拌机、空压机等均应采取降噪措施，以降低机器噪声对周围环境的影响。

8 质量检验

8.0.1 喷射超高性能混凝土原材料进场时，应按规定批次查验型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件，外加剂产品和纤维应提供使用说明书。

8.0.2 原材料进场后，应进行复验，合格后方可使用，检验项目与批次应符合本规程第4章及现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF96T/CCPA 20的规定。

8.0.3 不同工程类别中喷射超高性能混凝土性能和尺寸的质量检验项目应符合表8.0.3的规定，并应满足设计要求。喷射大板进行标准养护和同条件养护。

表 8.0.3 喷射超高性能混凝土性能的质量检验项目

用途	拌合物性能	厚度	抗压强度	早期强度	粘结强度	抗拉强度	抗弯强度	弯曲韧性	收缩性能	抗渗性
加固工程	○	○	○	△	○	△	△	△	△	△
支护工程	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△
异型结构	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△

注：○必检；△可选。

8.0.4 喷射超高性能混凝土性能检验数量应符合下列规定：

- 1 喷射超高性能混凝土的坍落度、扩展度的取样检验频率与强度检验相同；
- 2 喷层厚度检验数量应符合下列规定：
 - 1) 对于加固工程，喷层的检查点应根据不同构件的喷射确定，检查点间距不得大于2m，单个构件每一面的检查点不少于3个；
 - 2) 对于支护工程，结构性喷层为50m²检验1个，防护性喷层为每200m²检验1个。
- 3 混凝土抗压强度取样检验数量应符合现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF96T/CCPA 20中的有关规定。

8.0.5 喷射超高性能混凝土厚度检验应符合下列规定：

- 1 喷射超高性能混凝土厚度宜采用钻孔法检验；对于有抗渗要求的，宜采用无损检测法。
- 2 喷层厚度应符合下列规定：
 - 1) 检验孔处喷层厚度的平均值不应小于设计厚度；
 - 2) 对于加固工程，喷层的厚度的允许偏差值应为设计厚度的-5%~+8%；
 - 3) 对于支护工程，90%喷层的检验孔处喷层厚度不应小于设计厚度，最小值不应小于设计厚度的80%。

8.0.6 喷射超高性能混凝土性能检验评定应符合下列规定：

- 1 混凝土抗压强度的检验评定应符合下列规定：

- 1) 抗压强度的评定应符合现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF37T/CCPA 7 的规定；
- 2) 当试件的抗压强度存在争议时，可在工程实体上钻取混凝土芯样进行强度评定。
- 2 对设计有其他力学性能检验评定应符合国家现行相关标准规定和工程要求；
- 3 喷射超高性能混凝土力学性能、长期性能和耐久性能应满足设计要求及符合本规程第 4.3 节和 4.4 节的规定。

附录 A 喷射超高性能混凝土试件的制作方法

A.0.1 试件制作应使用下列仪器：

- a) 搅拌机；
- b) 喷射设备；
- c) 模具；
- d) 机械秤或电子秤；
- e) 铲子、抹刀、橡胶手套等其他辅助工具。

A.0.2 喷射超高性能混凝土性能试验的试件均应从施工现场喷射的喷射混凝土大板上切割或钻芯法制取，模具的最小尺寸不应小于 $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 120\text{mm}$ ，模具侧边为敞开状，侧边与底边夹角为 135° ，如图 A.1 所示。钢模具的厚度不宜小于 4mm ，胶合板模具的厚度不宜小于 18mm 。

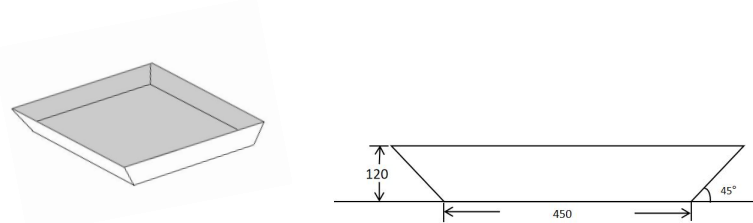


图 A.1 T 型大板（单位：mm）

A.0.3 喷射超高性能混凝土试件的制作应符合下列步骤：

- a) 将模具以与水平约 80° 夹角置于墙角或固定于墙面，模具侧边朝下；
- b) 喷嘴与模具面的距离宜按本规程 6.5.1 进行选择。先在模具外的边墙上喷射，待喷射稳定后，将喷头移至模具位置，由下至上逐层将模具喷满混凝土。模具上方或周边有模具需要进行喷射时，应进行遮盖，防止回弹物溅落在喷射混凝土大板上；
- c) 喷射后，喷射超高性能混凝土试件 18h 内不得移动，并应进行洒水养护或覆盖养护。采用贯入法进行早期强度测试时，应在喷射超高性能混凝土终凝前用抹刀刮平混凝土表面；进行 1d 早期强度测试时，试件宜在龄期前 2h 加工；
- d) 养护 1d 后脱模。将混凝土大板移至实验室，标准养护 7d 后，根据需要的试件尺寸进行切割或钻芯，切割中应标注喷射面。喷射超高性能混凝土大板周边 120mm 范围内的混凝土不得制作试件。

A.0.4 应将加工后的试件在标准条件下养护至所需龄期进行混凝土力学性能、长期性能和耐久性能试验。

附录 B 喷射超高性能混凝土毛细吸水系数检测方法

B.0.1 适用范围

本方法适用于测定喷射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。

B.0.2 试件尺寸和数量

在喷射大板上钻芯取样，取出直径为 $100\text{mm} \pm 6\text{mm}$ 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。记录并标记超高性能混凝土试样的吸水高度，精确到 1mm ，每组试件为 3 块。

B.0.3 试件预处理

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重，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 15d。

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。

B.0.4 测试步骤

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。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 $1\text{mm} \sim 3\text{mm}$ ，并在整个测试期间维持该液面高度不变。

称量封装后的试件质量，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 B.0.4 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 B.0.4 吸水时间与吸水量

测试时间	0s	60s $\pm 2\text{s}$	5min $\pm 10\text{s}$	10 min \pm 2min	20 min \pm 2min	30 min \pm 2min	60 min \pm 2min	2h \pm 5min	3h \pm 5min	4h \pm 5min	5h \pm 5min	6h \pm 5min
试样质量												

B.0.5 吸水量、吸水系数计算及试验结果确定

按式 (B.0.5), 计算试样在不同时间点的吸水量计算:

$$I = \frac{m_t}{S * P} \quad (\text{B.0.5})$$

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 mm^2 ;

P——水的密度, 取 $0.001\text{g}/\text{mm}^3$

将不同时间点的吸水量针对不同的时间点 (单位为: $\text{s}^{0.5}$) 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, $\text{mm}/\text{s}^{0.5}$ 。

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 C 喷射超高性能混凝土回弹率测试方法（模拟测试法）

C.0.1 试验仪器和设备

回弹率试验使用下列仪器：

- a) 搅拌机：符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG/T 244 的要求；
- b) 标准试验板：尺寸为 $400\text{mm} \times 400\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的硅钙板，精确至 $\pm 1\text{mm}$ （见图 C.0.1-1）；

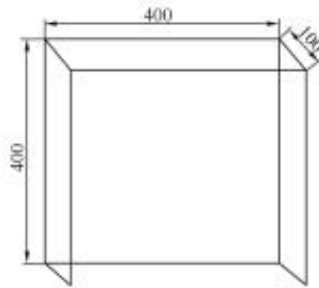
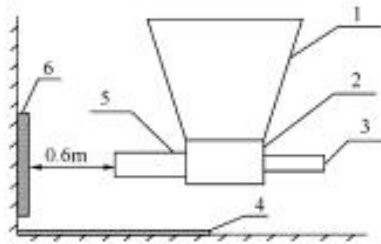


图 C.0.1-1 标准试验板示意图（mm）

- c) 喷射设备（见图 C.0.1-2）；



1—料仓；2—泵管；3—进气管（内径 25mm）；4—塑料膜；5—喷射管（内径 40mm）；6——标准试验板。

图 C.0.1-2 回弹率试验示意图

- d) 气泵：压力 0.8MPa，流量 $4.0\text{m}^3/\text{min}$ ；
- e) 塑料膜：面积为 3m^2 ，长为 2m，宽为 1.5m；
- f) 电子秤：量程为 100g~50000g，精度 1g。

C.0.2 试验按下列步骤进行：

- a) 将标准试验板固定在垂直立面的墙上，标准试验板质量 m_1 ；
- b) 用 3m^2 的塑料膜铺在标准试验板下方；
- c) 在料仓里倒入一定量（不小于 60kg）拌制均匀的喷射超高性能混凝土，送入喷射设备，喷射管应与标准试验板保持 90° 夹角，喷射管与标准试验板的距离为 0.6m。喷射过程需保证连续不中断，将全部拌合物均匀地喷射至标准试验板的各个位置，料仓里的混凝土在测试开始和结束时需保持均匀一致。
- e) 喷射结束后，试验板和附着混凝土的质量 m_2 ，塑料膜上收集回弹料的质量 m_3 。

C.0.3 回弹率

回弹率应按式（C-1）计算：

$$R = \frac{m_3}{m_2 - m_1 + m_3} \times 100\% \quad (\text{C.0.3})$$

式中：R——回弹率，%；

m_1 ——标准试验板质量，单位为千克（kg）；

m_2 ——试验板与附着混凝土质量，单位为千克（kg）；

m_3 ——塑料膜上的回弹料质量，单位为千克（kg）。

R 精确到 0.1%， m_1 ， m_2 ， m_3 精确到 0.001kg。

用词说明

为了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，在条件许可时首先这样做的：

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，注明日期的，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。

- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法》GB/T 50082
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120
- 《混凝土用钢纤维》GB/T 39147
- 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146
- 《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372
- 《水工混凝土试验规程》SL/T 352
- 《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37—2018/T/CCPA 7—2018
- 《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96—2020/T/CCPA 20—2020
- 《超高性能混凝土现场浇筑施工技术规程》T/CBMF 128/T/CCPA 23—2021
- 《超高性能混凝土结构设计规程》T/CBMF185—2022/T/CCPA 35—2022
- 《喷射混凝土抗压强度测定方法 贯入法》T/CBMF 273—2024/T/CCPA 50—2024
- 《超高性能混凝土加固既有混凝土结构技术规程》T/CBMF XX—202X/T/CCPA XX—202X

超高性能混凝土喷射施工技术规范

T/CBMF XX—202X

T/CCPA XX—202X

条文说明

制定说明

《超高性能混凝土喷射施工技术规程》（T/CBMF XX—202X/T/CCPA XX—202X），经中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会202X年X月XX日以第X号（总第XX号）公告批准发布。

本规程制定过程中，编制组进行了广泛的调研、分析和论证，认真总结青岛第六海水浴场钟表楼加固修复、杭州湾公路桥湿接头修复等工程中的实际应用成果和经验，参考有关国家标准及相关科研成果，并在广泛征求意见的基础上编制而成。

为了便于广大工程建设与设计单位、施工单位及工程技术人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《超高性能混凝土喷射施工技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供读者作为理解和把握标准规定的参考。

目 录

- 1 总则 25
- 2 术语与符号 26
- 3 基本规定 27
- 4 材料 28
- 5 试配和试喷 31
- 6 施工 32
- 7 安全与环保 37
- 8 质量检验 39

1 总 则

1.0.1 喷射超高性能混凝土技术在我国混凝土结构加固、支护和防护体系以及构件预制等方面得到了广泛应用，在技术上有许多新的发展，也取得了良好的技术经济效果。

但目前喷射混凝土相关标准中，少有涉及强度超过 100MPa 的超高性能混凝土，且没有专门的喷射超高性能混凝土施工技术的行业标准或国家标准指导其生产与应用，限制了超高性能混凝土在喷射施工中的应用。本规程为喷射超高性能混凝土技术的应用在材料、施工与验收规定等方面提供成套技术成果，为规范、引导喷射超高性能混凝土技术在建筑应用的良性发展奠定基础，对推动我国新材料、新工艺、新技术、新设备的发展，具有广阔的工程应用前景及重要的工程意义。

1.0.2 喷射超高性能混凝土适用面很广，适用于新建、改扩建与加固的房屋建筑、市政、公路、桥梁隧道、水利水电、港口航道、井巷、采矿、地下工程、防爆工程、边坡基坑以及预制构件等工程，但不限于此。喷射超高性能混凝土具有加快施工进度、强度增长快、施工不受场地条件限制等特点，在结构加固、支护和防护体系以及构件预制等方面具有广泛的应用前景。支护体系主要包含了边坡、基坑以及隧道与地下工程支护，防护体系主要包含了混凝土防水、防腐以及防锈蚀处理，构件预制主要包含了薄壳构件和异型构件的预制。

1.0.3 本条规定了本规程与其他标准、规程的关系。喷射超高性能混凝土的应用涉及不同的工程类别以及相关的国家标准或行业标准。在工程应用中，本规程作出规定的，按本规程执行；未作出规定的，按国家现行相关标准执行。

2 术语

2.0.1 本条主要根据 EFNARC 标准《European Specification for Sprayed Concrete》、行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372-2016、团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96/T/CCPA 20 和超高性能混凝土以及喷射混凝土工艺特点对喷射超高性能混凝土进行定义。超高性能不只局限于强度性能指标，但本规程只包括强度 100MPa 以上的喷射超高性能混凝土。

2.0.2 根据触变剂的功能和使用特点对触变剂进行定义。

2.06~2.07 根据喷射超高性能混凝土的功能形式定义了结构作用型和非结构作用型两种作用方式。

2.0.8 根据行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ / T 372-2016 抗弯强度测试中的残余抗弯强度与极限抗弯强度的比值定义了抗弯强度残余率，用来表征喷射超高性能混凝土破坏后的残余抗弯性能。

3 基本规定

3.0.1 超高性能混凝土的原材料种类虽与传统水泥基材料大体相同，但在原材料选用、配制技术、原材料性能和质量控制方面都有很高要求，在此基础上才可能稳定地获得预期的“超高性能”。生产中，需要严格控制原材料质量、性能的稳定性和颗粒原材料粒径分布稳定性以及组成稳定性或配料准确性，保证颗粒堆积体密实度的稳定性。这是实现超高性能混凝土质量和性能稳定的关键。因此，工程喷射施工宜使用预混料产品生产制备超高性能混凝土，可大幅度降低现场质量控制难度。对于用量较大的工程，在现场建立完备的生产与质量控制系统经济性可行，且原材料供应和质量稳定，可不采用预混料，现场直接使用原材料配制生产喷射超高性能混凝土。

3.0.2 喷射超高性能混凝土工程施工前需要做充足的准备工作和预演工作，特别是在没有超高性能混凝土喷射施工经验时，进行试拌和试喷是必不可少的施工准备工作，检验所使用喷射超高性能混凝土拌合物的施工性能、施工装备和施工工艺的适用性以及检验现场喷射结构的质量。

3.0.3~3.0.4 施工管理的基本要求与现行行业标准《喷射混凝土施工技术规程》JGJ/T 372 相同。需注意的是，与普通喷射混凝土相比，喷射超高性能混凝土粘度大、泵压和风压高，操作难度更大，施工前应做好人员培训、技术复核和安全交底工作，现场的安全防护措施需更加完善。

4 材料

4.1 原材料

4.1.1 使用超高性能混凝土预混料，按现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96/T/CCPA 20 规定执行。

4.1.2 按照现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96/T/CCPA 20 对原材料的要求进行检验验收。

4.1.3 钢纤维具有较好的抗拉和抗弯能力，适合用于对弯拉强度和结构受力有要求的结构作用型，掺量过高易造成纤维结团堵管；非金属纤维具有较好的防腐蚀性能，适合用于对防腐有要求的非结构作用型，掺量过高易造成纤维结团堵管。

4.1.5~4.1.6 由于喷射超高性能混凝土自身黏聚性好，粘度大，可依靠混凝土自身的屈服应力实现挂壁，在工艺上有加触变剂和促凝剂两种方式可进行喷射施工。触变剂是在超高性能混凝土拌合时加入，通过增大超高性能混凝土喷射后挂壁的屈服应力实现不掉落，在使用时，触变剂掺量一般不超过 10%，超掺会引起孔隙率增大，抗压强度降低；促凝剂是在喷枪口加入，通过使超高性能混凝土快速凝结硬化实现不掉落，在超高性能混凝土的低水胶比中掺量不超过 6%，超掺会造成混凝土粉化。

4.2 拌合物性能

4.2.1 掺触变剂和掺促凝剂的喷射超高性能混凝土在拌合物性能上要求不一样，掺触变剂的喷射超高性能混凝土拌合物要求小坍落度来防止喷射完成后浆体流淌，但坍落度过小影响泵送性能，建议不小于 80mm；掺促凝剂的喷射超高性能混凝土拌合物要求大坍落扩展度便于泵送施工，但坍落扩展度过大易导致枪口淌浆，建议不大于 650mm。

4.3 力学性能

4.3.2 为保证喷射超高性能混凝土试件的性能与实际工程中喷射超高性能混凝土性能接近，制备混凝土力学性能的试件需在施工现场进行大板喷射，并在喷射大板上切割或钻芯获得，严禁直接装模。由于喷射超高性能混凝土中含有大量纤维，原喷射大板为一面开口的长方体结构，在喷射过程中靠近四个侧面的位置宜形成空腔，降低成型质量，外开的倒 T 型设计可以有效避免空腔形成。

4.3.3 喷射超高性能混凝土抗压强度除应进行 28d 强度测试，有早期强度要求时，喷射

超高性能混凝土应进行早期强度测试。1d 早期强度试件可直接通过切割或钻芯取得，但特殊及重大工程对早期强度的要求更为严格，欧美和日本等国规定喷射混凝土的早期强度除 1d 强度外，尚应测试 3h 和 8h 强度，此时喷射混凝土无法进行切割或钻芯，需采用贯入法检测，试验方法应按照现行团体标准《喷射混凝土抗压强度测定方法 贯入法》T/CBMF 273-2024/T/CCPA 50-2024 执行。

4.3.4 抗压强度等级，按照立方体抗压强度标准值，每 20MPa 为一个等级。沿用现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37-2018/T/CCPA 7-2018 的相关规定，采用边长为 100 mm 的立方体试块作为 SUHPC 立方体抗压强度的标准试件。强度等级的保证率与普通混凝土一致，取为 95%。当立方体抗压强度标准值处于两个强度等级之间时，抗压强度等级取低于其立方体抗压强度标准值对应的等级，且按该强度等级对应的立方体抗压强度标准值进行其他抗压特征值的计算。

4.3.5 参考现行团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37—2018/T/CCPA 7—2018 的相关规定，结合 SUHPC 的抗拉强度试验数据，三个抗拉强度等级分别命名为 UT4.0、UT6.0、UT8.0，对应的抗拉强度标准值为 4.0 MPa、6.0MPa 和 8.0MPa。

4.3.6 粘结强度是保证喷射超高性能混凝土与受喷面共同承担和传递受力的基础。本条主要依据《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086-2015 来进行粘结强度的设置。

德国规定用于隧道、洞室等地下工程喷射混凝土粘结强度 6 个试件的平均值在 1.5MPa 以上，日本要求最小值不得低于 1.0MPa。本规程根据现行行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372-2016 的相关规定，对喷射超高性能混凝土与岩石和混凝土基底的粘结强度进行了规定。

4.3.7 抗弯强度对于喷射超高性能混凝土而言十分重要，同时也是检测是否为喷射超高性能混凝土的一个重要依据。抗弯强度决定了喷射超高性能混凝土横截面的首次发生断裂的负荷，韧性决定负荷重新分布的特性。在较大的含黏土的剪切带、松动岩石区和易产生高应力的岩石区等特殊情况下，喷射超高性能混凝土的韧性和抗弯强度极为重要。

目前，欧美国家对喷射混凝土的弯曲韧性测试方法可分为梁试件弯折试验和板试件弯曲试验。梁试件弯折试验常用来测定混凝土的极限强度、极限应变以及残余抗弯强度

等级等。本规程根据现行行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372-2016 的相关规定，在此基础上对抗弯强度残余率进行了定义，用来表征喷射超高性能混凝土首次破坏后的残余抗弯性能。

4.4 长期性能和耐久性能

4.4.2 喷射成型试件，无法按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中规定的方法进行测试头预埋，采用同配比喷射超高性能混凝土浇筑完成。

4.4.3 毛细吸水速率不单可以用来测试分析实验室标养试件及钻芯试件，也可以用来评价决定钢筋混凝土构件保护层的真实保护性能，进而可以广泛用来评价混凝土材料、钢筋混凝土构件抵抗环境作用的能力。以 ISO 标准 ISO 15148:2002/Amd2016、美国材料与试验协会标准 ASTM C1585-20 为典型代表的多个国际标准，均已建立了毛细吸水速率的标准测试方法。本规程参考国内外标准的规定，制定了喷射超高性能混凝土毛细吸水速率的试验方法以及等级划分方式。

5 试配和试喷

5.1 一般规定

5.1.1 根据项目设计要求、参考现行团体标准《超高性能混凝土预混料》T/CBMF 96-2020/T/CCPA 20-2020 中表 5 和本规程 4 中的规定，确定性能检验项目和试验方法。其中，喷射超高性能混凝土拌合物适宜的工作性等级应由施工方确定。需要结合现场喷射施工的结构、施工方法与装备、施工经验以及喷射超高性能混凝土所含纤维种类与规格等因素，选择确定适宜的工作性等级，既要易于泵送，同时又要易于喷射施工。

5.2 试验室试配

5.2.1 常见普通混凝土试验室单卧轴搅拌机，转速低、搅拌桨叶直径较小，故搅拌桨叶的剪切线速率较低，用于搅拌超高性能混凝土可能需要较长的搅拌时间。搅拌不均匀或不能使微细颗粒组分充分分散，是试验室搅拌超高性能混凝土常出现的问题，需要避免。为保证超高性能混凝土拌合物的匀质性，每盘的搅拌量不宜小于 30L。

5.2.2 环境温度变化会导致工作性经时损失和凝结时间变化，故需要在相应条件下进行测试，从而确定是否满足施工需求。

5.3 试验性喷射

5.3.1~5.3.2 与普通喷射混凝土拌合物相比，超高性能混凝土喷射拌合物黏聚性好、黏度较大且因含有纤维更为黏滞，并且喷射施工要考虑对纤维留存率和取向性的影响，所以控制施工质量的难度有所增加。试验性喷射是正式施工前的准备和演练，既检验所配制的喷射超高性能混凝土拌合物工作性是否适合泵送和喷射要求，也需要通过喷射成型大板来检验混凝土喷射成型硬化后的性能，同时也可检验各施工工序方法、装备、工具和施工节奏是否合理，预先发现问题，完善和优化施工方案。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 喷射超高性能混凝土施工操作应该按工程要求编制专项施工方案，并且由专业人士与仪器设备进行施工。施工前编制喷射超高性能混凝土专项施工方案，包括：施工前的准备工作、设备进场和安置、混凝土制备和运输、配置相应的专业人员、现场的喷射作业安排和混凝土养护等。

6.1.2 喷射超高性能混凝土的质量受喷射手的影响很大，喷射施工操作应选择具有丰富经验的喷射手。在喷射超高性能混凝土施工前，应对施工人员进行培训，且喷射手进行试喷混凝土性能合格后方可进行喷射超高性能混凝土施工。

6.1.3 在运输及喷射过程中加水会直接影响喷射超高性能混凝土的水胶比，将无法控制喷射超高性能混凝土的施工及后期性能。

6.1.4 为保证喷射超高性能混凝土的质量，应保证其前一道工序已完成及验收合格后，方可进行喷射超高性能混凝土施工。

6.2 施工机具

6.2.1 为了保证喷射超高性能混凝土质量，减少施工中的回弹率和粉尘浓度，提高作业效率，喷射设备的选择应参考工程尺寸和结构、基底条件、混凝土配合比和喷射数量等施工条件，选择可获得良好施工性和经济性的喷射设备。

6.2.2 本条文对喷射设备的性能进行了规定。为保证喷射超高性能混凝土的质量，减少施工中的回弹率和粉尘，提高作业效率，对喷射设备的生产能力、水平输料距离和竖向输料距离进行规定。

6.2.3 喷射超高性能混凝土施工应当配置专用的空气压缩机，压缩机的排风量决定了喷射设备的输送能力，因而稳定的风压和足够的风量，是喷射作业顺利进行和混凝土密实的保证。

6.2.4 喷射超高性能混凝土施工中，输送混合料的塑料管管壁经受骨料的反复磨损和压力，为了保证施工的安全并满足正常的施工要求，需要对输料管的承压能力进行规定，其管径应满足输送设计纤维最大长度和最大粒径骨料的要求。

6.3 施工准备

6.3.1 清除加固工程表面污物和其他装饰层，指的是对已有旧建筑物表面的处理，这些建筑物，在长期使用中，表面会粘有灰尘等污物，如不加清除，会严重影响新旧混凝土的粘结，降低新旧混凝土的整体受力性能；当建筑物表面有抹灰层时，在加固之前也必须彻底铲除，对混凝土表面尚应进行凿毛处理，增加喷射混凝土与原结构面的粘结强度；

参照标准 EFNARC 《European Specification for Sprayed Concrete》，混凝土发生碳化、氯离子超标和钢筋发生松脱情况下，对混凝土表面进行清除，减少已受侵蚀和污染的混凝土对新喷射混凝土以及两者之间黏结性的影响；被加固的结构物表面有渗漏水，会影响喷射质量。渗漏严重时，混凝土会被冲刷掉。因此，凡有渗漏水的结构，在喷射混凝土施工之前均要做好防水处理。严重渗漏部位可埋设导水管或截水槽等将水引出。渗漏轻微的用掺有促凝剂的混凝土喷射可取得较好的效果。

6.3.2 将喷射超高性能混凝土施工作业区的障碍物进行清除，无法清除时应采取措施对障碍物进行遮挡，以保证正常的施工。作业面若有浮石等杂物，在喷射混凝土时会造成局部缺陷，影响整体强度，墙角的杂石可能导致喷层失脚的情况，产生严重不良后果；对易潮解的岩层，不应用水清洗。

采用人工喷射时，当喷射面与喷射手具有一定的距离时，为保证喷嘴与喷射面的距离在 0.5m~1.5m 之间，应搭设工作台架。工作台架应搭设牢固，并配有安全栏杆，其宽度宜为 2.0m 左右，距作业面的距离宜为 0.5m~1.5m，以保证喷射作业方便灵活和安全。喷层厚度是评价喷射超高性能混凝土工程质量的主要项目之一。实际工程中，经常发生因喷层过薄而引起混凝土开裂，离鼓和剥落现象或是过喷造成材料浪费。因此，施工中必须控制好喷层厚度。一般可利用外露于喷射面的锚杆尾端，或埋设标桩等方法来控制喷射超高性能混凝土厚度，也可在施工中随时检查喷层厚度，以防止距离参照物太远而出现区域厚度差距，造成平整度起伏。

当喷射司机和喷射手不能直接联系，为保证两人之间正常的沟通操作，需配备联络设备；喷射作业前检查，可防止作业中途发生意外。

6.3.3 对于异型结构工程，喷射超高性能混凝土需直接喷射至模板上，模板需具有足够的强度和刚度，能可靠地承受喷射超高性能混凝土的重量及施工过程中所产生的荷载，且模板的形状和尺寸需与异型结构相同。

6.4 拌制与运输

6.4.1 超高性能混凝土可以由不同的材料组成达到相同的强度指标，各种原材料混掺会影响各自的材料组成配合比，造成质量隐患；超高性能混凝土中的预混料或直接拌制用的粉体原材料等都会与水发生反应，若被雨水淋湿或者受潮，可能发生预水化，影响混凝土的速凝效果与后期强度；外加剂应单独存放，防潮、防晒、防冻，使用前应搅拌均匀。

6.4.2 喷射超高性能混凝土比普通混凝土的材料组成更为多样，材料之间互相影响的配比更为细致，故在普通混凝土的计量偏差上减半。

6.4.3 预拌混凝土使用的强制式生产型搅拌机通常具备较好的搅拌分散效率，适合用于超高性能混凝土生产。不同类型、构造和功率的生产型搅拌机的搅拌效率有一定差异，适宜的搅拌时间也会不同。当纤维掺量较高、拌合物稠度较大时，搅拌机需较大的功率。为避免超载，条文规定一次搅拌量不宜大于搅拌机额定搅拌量（对普通混凝土）的70%。

对于使用高长径比纤维的喷射超高性能混凝土，若纤维没有散开投入搅拌机，依靠搅拌散开纤维团或者耗费时间，或者无法完全解散，可能会存在纤维结团的现象。因此，在投料前宜设置散开纤维团的下料装置。

日本《超高性能混凝土结构与施工指南》中提到，在搅拌超高性能混凝土时，搅拌机有时承受高负荷，因此应减少每次的搅拌量。根据以往的试验数据表明，每次搅拌体积常为搅拌机公称容量的50%~70%范围内。每次搅拌的最大体积应根据现场实际使用搅拌机的搅拌容量来确定。瑞士《超高性能混凝土材料、设计和应用》中提到，超高性能混凝土干组分的总体积大约是新拌超高性能混凝土的2倍。总的来说，拌合量宜为搅拌机容量的一半，最大应不超过其标称容量的2/3。残留附着在搅拌机、料斗上的超高性能混凝土，粘结较牢固，须在凝结前及时清理干净，硬化后清除难度很大。

6.4.4 混凝土搅拌运输车罐内积水或者积浆会导致超高性能混凝土的配合比失真。充足的生产运输能力保证喷射的连续性，有利于避免超高性能混凝土因长时间静止而堵管和因喷射间断结构产生薄弱区。

6.5 喷射作业

6.5.1 按区域喷射利于控制喷层厚度，由下至上喷射可以使下部混凝土对新喷混凝土进行支撑，且上部混凝土的小幅度回流能填充喷射盲区，先平凹陷处是为了防止此处喷浆厚度过大造成离层。终凝后进行喷射是为了获得具有一定强度的受喷面，喷射间隔时间

过长，在混凝土表面可能粘有回弹料等污染物影响两层混凝土之间的粘结力，所以宜用风水清洗为减少第二层喷射混凝土对第一层喷射混凝土产生影响，第二次喷射应在第一次终凝后再进行。且为增加两层混凝土之间的粘聚性，间隔时间超过 1h 后，应对表面进行湿润或用压缩空气清扫待喷面。

过大的一次喷射厚度由于重力与粘结力的关系会造成密实度不足的情况。当喷射混凝土厚度过大，为保证混凝土的稳定性，防止混凝土掉落，应采用分层喷射。一次喷射的厚度受到喷射工艺、喷射方向、流变剂或促凝剂掺量等因素的影响，应根据实际情况确定一次喷射厚度。

喷射距离以混凝土最小回弹率和最高强度确定，一般以能看清楚喷射情况，束料集中回弹最小为宜，0.5m~2m 之间，喷射冲击力适宜，表现为一次喷射厚度大，回弹率低和粉尘浓度小。

喷射超高性能混凝土工作时温度低于 5℃，夜间混凝土内水易结冰，高于 35℃ 会造成水分蒸发速率过快，失水严重，影响后期强度。

6.5.2 建筑物用喷射超高性能混凝土加固的厚度通常较薄，一般在 30mm~100mm 范围内，为了能较准确地控制喷射超高性能混凝土的厚度，一般可采用外露于构件表面的模板宽度作为控制混凝土厚度的标志；加固结构新旧界面的粘结强度是新旧混凝土共同受力的基础，从提高加固构件新旧部分共同工作的角度，对新旧材料结合面上采取的措施作出了规定，以保证修复加固的效果；第 4 款要求模板支设应牢固可靠，以避免在喷射超高性能混凝土施工中，由于模板支设不牢，在喷射混凝土的冲击下晃动，影响喷射作业的顺利进行和加固质量。

6.5.3 施工顺序与开挖顺序相适应，利于施工效率，并且可以减少围岩暴露时间，保持稳定；喷射超高性能混凝土支护能承受岩石爆破荷载而不破坏的时间，经多次现场试验为终凝后 3h；厚度较大部位的支护向厚度较小部位延伸一段长度，以保证不同稳定的围岩交接处压力的传递。

6.5.4 根据薄壳结构的不同形状，规定其不同的施工作业顺序是为了保证施工荷载的均匀性，不使模板发生异常变形。但无论哪种形状的壳体，均应自下而上，即从壳体底部向顶部推进，采用这种喷射作业顺序可以避免由于施工作业人员对已绑扎好的钢筋网的损坏。同时在施工中应特别注意做好回弹物的清理工作。

薄壳结构的厚度一般都是变化的，在喷射作业中控制好壳体不同部位的厚度十分重要，本条款规定控制喷射超高性能混凝土厚度的方法，为能较准确地控制好喷射超高性能混凝土的厚度，用针探法随时检查喷射超高性能混凝土的厚度更方便。

6.5.6 本条文对加固工程等对表面有要求的喷射超高性能混凝土修整进行了规定。因为表面存在纤维，无法直接修面，采取同配合比的 UHPC 基体喷涂找平；基体找平后还需要修面的，修面应在喷射超高性能混凝土初凝后进行，若在喷射后马上进行修整会破坏混凝土的内部结构及其与原结构的粘结，而当时间过长，混凝土达到终凝后再进行修整，则会给修整工作造成困难，又会破坏混凝土的强度。

6.6 养护

6.6.1 喷射超高性能混凝土中由于胶凝材料用量较大以及掺有触变剂和促凝剂，其收缩变形要比现浇混凝土大。因此，喷射超高性能混凝土施工后，应对其保持较长时间的喷水养护。养护的目的是保证喷射超高性能混凝土强度的正常增长和减小收缩开裂。因为喷射超高性能混凝土厚度较小，水分更易丧失，当所需水化水不能得到及时补充时，将使混凝土强度不能正常增长，收缩变形大为增加。因此，喷射超高性能混凝土施工后必须加强养护。一般情况下湿养护的时间不能少于 7d，重要工程不能少于 14d。

6.6.2 喷射超高性能混凝土喷射上去释放能量以及水化热等放热会让冰化水渗入混凝土中，影响强度；气温低于 5 度时，混凝土水化反应缓慢，强度上升很慢，若继续喷水养护，混凝土温度更低，不利于强度发展，且冬季气温低于五度，那么夜间气温可能低至零下；防止结冰，影响泵送堵管。

7 安全与环保

7.1 安全技术

7.1.1 喷射超高性能混凝土施工前应根据具体工程情况，进行设计安排，能有效减少工程事故发生。

7.1.2 经验表明，由于危石清除不彻底而发生工伤事故的情况时有发生，因此，在施工前认真检查和处理作业区内的危石特别重要。施工前认真检查和处理作业区（顶板、两边和工作面）的危石特别重要。由于危石未能全面清除，设备工具被砸坏，工伤事故屡见不鲜，故本条文作了明确规定。

7.1.3 喷射设备、水箱、风管和注浆罐等都属于承受压力的设备，使用前需做承压试验，防止发生崩裂事故。此条文保证喷射超高性能混凝土具有稳定足够的压力喷射，且防止设备压力异常发生爆炸。

7.1.4 因喷射超高性能混凝土输料管长度较长，在施工过程中应及时注意输料管状态，以防止局部堵塞，造成压力过大软管断裂，喷料四处乱泄危害周边人员安全的情况。出料弯头和输料管磨穿及管路连接处的松脱现象也时有发生，如不及时检查更换，十分危险。在喷射过程中，输料软管拖拉或折弯易出现堵管或是脉冲；为保证不影响喷射质量，喷射作业面转移时，供风和供水系统需要同步的转移。

7.1.5~7.1.6 喷射超高性能混凝土在喷射时具有一定的压力，且原料中的砂石及纤维在压力喷射下若不慎，对人会造成伤害。超高性能混凝土喷射施工中所用的钢纤维是直径为 0.3mm~0.8mm 的金属丝，其两端为针状较锋利，容易扎伤人。因此，在搅拌操作、上料喷射及处理回弹物时，应采取措施防止钢纤维伤害操作人员。

7.2 环保要求

7.2.1 对未污染的喷射超高性能混凝土的回弹料应回收利用，但其对喷射超高性能混凝土的施工性能有较大影响，因而严禁将回弹物掺入喷射超高性能混凝土拌合料中。

7.2.2~7.2.3 作业区粉尘会对施工视野产生影响，且吸入粉尘会危害作业人员健康，喷射作业区应具有良好的通风和有效地降低粉尘量的措施。依据国内外容许的最高粉尘浓度限制，此条文对作业区粉尘浓度做出一定规定，并提出了相关降尘措施。施工区域位于居民区时，需采取降噪措施，如：使用低噪声的施工工具，搅拌站、空压机、焊接棚

等噪声较大处设置隔声屏，并加大施工现场管理制度，合理安排施工时间，严格控制夜间施工等，使得施工噪声不超过所在地区的环境噪声标准，降低施工噪声对周围环境的影响。

8 质量检验

8.1.3 本条文对不同工程中喷射超高性能混凝土的质量检验项目要求进行规定。不同工程对喷射混凝土的性能要求不同，目前国内大多标准对喷射混凝土的性能要求仅为强度，为保证喷射混凝土的质量，本规程参考日本土木学会编制的《喷射试验方法标准》JSCE-F565-2005 的基础上制定表 7.1.3 的性能要求，其中必检项目为相应工程用喷射混凝土必须检验项目，可检项目根据不同工程的设计要求进行选择。

8.1.4~8.1.6 对喷射超高性能混凝土拌合物检验项目和检验地点、超高性能喷射混凝土厚度及强度检验频次、不同工程喷射超高性能混凝土厚度的检测方法和质量评定要求、混凝土抗压强度质量评定方法进行了规定。