

ICS 91.100.30

CCS Q 13

CBMF

中国建筑材料协会标准

T/CBMF XX—20XX
T/CCPA XX—20XX

3D 打印混凝土预混料

Specification for 3D printable concrete premix

(征求意见稿)

20XX - XX - XX 发布

20XX - 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

版权保护文件

本文件适用于基于轮廓成型工艺开展增材制造混凝土结构施工的 3D 打印混凝土材料。请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别这些专利的责任。本文件版权所有归属于该文件的发布机构。除非有其他规定，否则未得许可，此发行物及其中章节不得以任何形式或任何手段进行生产和使用，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	5
4 分类和标记	7
4.1 分类	7
4.2 性能等级	7
4.3 标记、标识	8
5 原材料和配合比	8
5.1 一般规定	8
5.2 胶凝材料	8
5.3 辅助胶凝材料	9
5.4 骨料	9
5.5 外加剂	9
5.6 纤维	9
5.7 拌合水	9
5.8 配合比	10
6 质量要求	10
6.1 强度	10
6.2 流动性	10
6.3 含气量	11
6.4 凝结时间	11
6.5 可挤出性	11
6.6 可建造性	11
6.7 耐久性能	11
6.8 其他性能	12
7 制备	12
7.1 一般规定	12
7.2 预拌 3D 打印混凝土干混料	12
7.3 预拌 3D 打印混凝土湿混料	13
8 试验方法	15
8.1 一般规定	15
8.2 湿拌性能	16
8.3 硬化性能	17
8.4 耐久性能	18
9 检验规则	18
9.1 一般规定	18
9.2 取样与检验	19
9.3 评定	21
10 包装和贮运	21
10.1 标志	21
10.2 包装	22
10.3 贮存和运输	22
附录 A (规范性) 含气量、表观密度试验方法	23
附录 B (规范性) 流动性试验方法	24
附录 C (规范性) 可挤出性试验方法	25
附录 D (规范性) 可建造性试验方法	26

附录 E (规范性)	湿坯强度和变形模量试验	27
附录 F (规范性)	凝结时间试验	28
附录 G (规范性)	硬化性能试验方法	29
附录 H (规范性)	耐久性能试验方法	32

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同提出并归口。

本文件负责起草单位：中国混凝土与水泥制品协会、浙江大学、内蒙古科技大学。

本文件参加起草单位：东南大学、中国矿业大学（北京）、太原理工大学、清华大学、灵砫科技（杭州）有限公司、中建八局、杭州冠力智能科技有限公司、武汉源锦建材科技有限公司、广州市玖珂塘材料科技有限公司、北京空间智筑技术有限公司、铁科首钢轨道技术股份有限公司、包头市安顺新型建材有限责任公司、国家能源集团低碳研究院、佛山科学技术学院、南京绿色增材智造研究院、天津大学。

本文件主要起草人：孙晓燕、杭美艳、柯雄、师海霞、王海龙、辜振睿、杨富民、王栋民、蔺喜强、张亚梅、田冠飞、周港明、曲树强、阎蕊珍、董香军、郑肖威、张大旺、武逸群、刘泽、贾鲁涛、纪宪坤、王桂玲、桂强、徐卫国、董阳、赖俊英、张永虹、李犇、高远、徐杰。

本文件主要审查人：

3D 打印混凝土预混料

1 范围

本文件基于轮廓成型工艺和智能建造结构施工流程规定了3D打印混凝土预混料的分类、性能等级及标记，原材料和配合比基本方法，质量要求，制备工艺和试验方法，检测规则，订货与交货。

本文件适用于智能建造的3D打印混凝土干拌料和用于搅拌站量化生产的预拌3D打印混凝土湿拌料。不包括交货后的混凝土养护。

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 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 201 铝酸盐水泥
- GB/T 2419 水泥胶砂流动度测定方法
- GB/T 9142 混凝土搅拌机
- GB/T 9774 水泥包装袋
- GB/T 10454 集装袋
- GB/T 20472 硫铝酸盐水泥
- GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维
- GB/T 25176 混凝土和砂浆用再生细骨料
- GB/T 25177 混凝土用再生粗骨料
- GB/T 26408 混凝土搅拌运输车
- GB/T 38111 玄武岩纤维分类分级及代号
- GB/T 38143 水泥混凝土和砂浆用耐碱玻璃纤维
- 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 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
- JC/T 2182 建材工业用干混砂浆混合机
- 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 12 轻骨料混凝土应用技术标准
- JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法
- JGJ/T 193 混凝土耐久性检验评定标准
- JGJ/T 221 纤维混凝土应用技术规程
- T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 3D打印混凝土基本力学性能试验方法
- T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 3D打印混凝土拌合物性能试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

混凝土可打印性能 Printability of concrete

混凝土的可打印性能是指 3D 打印混凝土拌合后用于打印建造的性能，包括可挤出性，可建造性和开放时间。采用泵送工艺时，需同时满足可泵送性。

3.2

3D 打印混凝土可挤出性 Extrudability of 3D printing concrete

3D 打印混凝土按照既定打印路径的平面成型能力，以连续挤出条带长度和连续挤出条带宽度变异性表征，以混凝土流动性作为衡量参数，区分骨料粒径以坍落度，扩展度和流动度作为测试指标。

3.3

3D 打印混凝土可建造性 Buildability of 3D printing concrete

3D 打印混凝土按照既定打印路径的空间成型能力，以打印堆叠层数/高度衡量。

3.4

3D 打印混凝土开放时间 Open time of 3D printing concrete

3D 打印混凝土在原材料加水混合后保持适合打印建造工作性能的时间，以凝结时间和打印工艺流程时间确定。

3.5

3D 打印混凝土强度 Strength of 3D printing concrete

3D 打印混凝土养护 28 天后按照混凝土强度测试方法得到各方向最低强度或者使用方向的材料强度。

3.6

3D 打印混凝土 3D printing concrete

由胶凝材料、骨料、水、纤维和外加剂等原材料配制的可按照预定程序通过 3D 打印装备轮廓成型的混凝土材料。

3.7

3D 打印预拌混凝土 Concrete premix for 3D printing

由胶凝材料、骨料、纤维和外加剂等原材料按 3D 打印混凝土性能要求配制的混合料，包括 3D 打印混凝土干混料和 3D 打印混凝土湿混料。

3.8

3D 打印混凝土干混料 Dry concrete premix for 3D printing

由胶凝材料、骨料、纤维和外加剂等原材料按 3D 打印混凝土性能要求配制并干混均匀的颗粒混合物。

3.9

3D 打印混凝土湿混料 Wet concrete premix for 3D printing

由胶凝材料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料按 3D 打印混凝土性能要求配制并混合均匀的新拌混合物。

3.10

3D 打印普通混凝土 3D printing ordinary concrete

干表观密度为 1950 -2600 kg/m³ 的 3D 打印混凝土。

3.11

3D 打印轻质混凝土 3D printing light weight concrete

干表观密度不大于 1950 kg/m³ 的 3D 打印混凝土。

3.12

3D 打印重混凝土 3D printing heavy weight concrete

干表观密度大于 2600kg/m³ 的 3D 打印混凝土。

3.13

3D 打印高强混凝土 3D printing high strength concrete

各向抗压强度均不低于 C60 的 3D 打印混凝土。

4 分类和标记

4.1 分类

3D 打印混凝土预混料分为干拌和湿拌。其中干拌 3D 打印混凝土预混料(D)为除拌合水之外的原材料按配合比例和制作工艺充分混合。湿拌 3D 打印混凝土预混料(W)为原材料按配合比例混合，可按运输建造要求添加缓凝剂。

4.2 性能等级

4.2.1 强度等级

3D 打印混凝土按强度等级划分为 C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95 和 C100 等。

4.2.2 3D 打印混凝土拌合物流动性

3D 打印混凝土拌合物流动性试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法测试，同时满足 3D 打印所需的流动性要求。

4.2.3 3D 打印混凝土耐久性能的等级划分应符合 JGJ/T 193 的规定，按实际使用要求确定

与试配。

4.3 标记、标识

4.3.1 3D 打印混凝土标记应按下列顺序:

- a) 干拌/湿拌方式 (3DP-D/3DP-W)
- b) 胶凝材料类型
- c) 强度等级;
- d) 坍落度, 扩展度和流动度等级;
- e) 耐久性等级代号, 对于抗氯离子渗透性能和抗碳化性能, 后附设计值在括号中;
- f) 本标准号。

4.3.2 标记示例

示例: 采用通用硅酸盐水泥、河砂、石、矿物掺合料、纤维、水和外加剂配制的 3D 打印混凝土干拌预混料, 强度等级为 C50, 坍落度为 180mm, 抗冻等级为 F250, 抗氯离子渗透性能电通量 QS 为 1000C, 其标记为:

3DP-D-P.O C50-180(S4)-F250Q-III(1000)-T/CBMF XX—202X/ T/CCPA XX—202X。

5 原材料和配合比

5.1 一般规定

5.1.1 用于结构 3D 打印预混料的混凝土强度等级不宜低于 C30, 用于预应力预制构件的 3D 打印预混料的混凝土强度等级不应低于 C40。

5.1.2 用于景观构件部品的 3D 打印预混料的混凝土强度等级应满足设计相关要求。

5.2 胶凝材料

5.2.1 配制 3D 打印混凝土宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 并应符合 GB 175 的规定。

5.2.2 选用硫铝酸盐水泥为胶凝材料时, 应符合 GB/T 20472 的规定。

5.2.3 选用铝酸盐水泥为胶凝材料时, 应符合 GB/T 201 的规定。

5.2.4 选用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉以及其他硅铝酸盐为前驱体，使用化学激发剂制备碱激发胶凝材料时，应通过试验验证，确定混凝土性能满足要求后使用。

5.2.5 当采用其他品种胶凝材料时，其性能指标应符合国家现行相关标准的规定。

5.3 辅助胶凝材料

5.3.1 配制 3D 打印水泥基混凝土可采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、钢渣粉、石灰石粉、磷渣粉、复合矿物掺合料等矿物掺合料，且应符合 GB/T 51003 的规定。

5.3.2 当采用其他矿物掺合料时，应通过试验验证，确定混凝土性能满足要求后使用。

5.4 骨料

5.4.1 3D 打印混凝土使用骨料时，所用细骨料的质量、性能及试验方法应符合 JGJ52 的规定。

5.4.2 粗骨料宜选用级配合理、粒形良好，质地坚固的碎石或卵石，最大公称粒径不宜超过 16mm，且应根据打印头出口直径，通过试验确定。

5.4.3 所用粗骨料的其他质量、性能及试验方法应符合 JGJ 52 的规定。

5.4.4 3D 打印混凝土使用轻骨料时，性能应符合 JGJ/T 12 的规定。

5.4.5 3D 打印混凝土使用再生骨料时，性能应符合 GB/T 25177、GB/T 25176 的规定。

5.5 外加剂

5.5.1 减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂、防冻剂、膨胀剂、速凝剂等外加剂应符合 GB 50119 的规定。

5.5.2 当采用触变剂、减缩剂、增稠剂等其他外加剂时，应通过试验验证，确定混凝土性能满足要求后使用。

5.6 纤维

5.6.1 3D 打印混凝土使用合成纤维时，性能应符合 GB/T 21120 的规定。

5.6.2 3D 打印混凝土使用钢纤维时，性能应符合 GB/T 39147 的规定。

5.6.3 3D 打印混凝土使用玄武岩纤维时，性能应符合 GB/T 38111 的规定。

5.6.4 3D 打印混凝土使用玻璃纤维时，性能应符合 GB/T 38143 的规定。

5.6.5 3D 打印混凝土使用其它种类的纤维时，在施工过程中应符合 JGJ/T 221 的规定。

5.7 拌合水

5.7.1 拌合用水和养护用水应符合 JGJ 63 的规定。

5.8 配合比

5.8.1 本标准涉及水料比，水胶比等配合比参数，如未做特殊说明为质量比。

5.8.2 当 3D 打印混凝土采用干混砂浆的预混料形式时，3D 打印材料配合比应参照厂家提供的水料比的规定。

5.8.3 3D 打印混凝土中骨料参数需要根据结构设计和 3D 打印机硬件参数确定。

5.8.4 当确定掺加骨料时，砂率宜 0.4~0.6 范围，并由试配和打印试验调整和确定。

5.8.5 3D 打印混凝土的水胶比、胶凝材料与骨料体积比及掺合料掺量可参考表 1 的建议范围取值，并通过试验验证确定。

表 1 常用 3D 打印混凝土配合比主要参数建议范围

强度等级	C20	C30	C40	C50	C60
水胶比	0.40~0.46	0.36~0.42	0.34~0.40	0.30~0.36	0.28~0.34
胶/骨（体积比）	0.52~0.65	0.57~0.70	0.65~0.74	0.70~0.81	0.74~0.87
辅助胶凝材料 掺量（%）	≤50	≤40	≤30	≤20	≤10
注：此配合比参数主要针对水泥基混凝土材料，其他胶凝材料混凝土配合比参数建议根据试验确定。					

5.8.6 根据 3D 打印混凝土的工作性能、力学性能以及耐久性能要求，选用矿物掺合料、外加剂、纤维的品种和掺量，并通过试验确定。

6 质量要求

6.1 强度

3D 打印混凝土应根据打印工艺通过 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关方法进行强度测试，其空间各向强度均应满足结构设计要求。

6.2 流动性

流动性试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试，考虑打印建造工艺均应满足设计要求。

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $\leq 5\text{mm}$ 时，流动性按 GB/T 2419 规定的方法进行测试；

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $> 5\text{mm}$ 时，流动性按 GB/T 50080 规定的坍落度与扩展度法进行测试。

常规泵送 3D 打印混凝土坍落度控制目标值不宜大于 180mm，并应满足打印建造要求。建议坍落度经时损失不宜大于 30mm/h。

混凝土流动度实测值与控制目标值的允许偏差宜符合表 2 的规定并满足打印建造需求。

表 2 混凝土拌合物流动性参数允许偏差

项目	偏差 (%)
坍落度	$\pm (25\sim 35)$
扩展度	± 9
流动度	± 7

6.3 含气量

混凝土含气量实测值不宜大于 7%，与工程规定值允许偏差不宜超过 $\pm 1.0\%$ 。

6.4 凝结时间

3D 打印混凝土干拌混凝土现场拌合，凝结时间按打印工艺设定，包括初凝与终凝，与目标值允许偏差不宜超过 20min。3D 打印混凝土湿拌混凝土预先拌合，凝结时间与运输流程与打印工艺有关，与目标值允许偏差不宜超过 10min。

6.5 可挤出性

3D 打印混凝土需具备流畅连续的条带可挤出性，连续打印条带长度大于条带宽度的 100 倍，沿打印方向条带宽度尺寸偏差不超过 5%。

6.6 可建造性

3D 打印混凝土需具备层叠施工，免模建造工艺所需的可建造性，与设计尺寸偏差不超过 5%。

6.7 耐久性能

3D 打印混凝土的耐久性能应满足设计要求，检验评定应符合 JGJ/T 193 的规定。

6.8 其他性能

当需方提出其他混凝土性能要求时，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。

7 制备

7.1 一般规定

7.1.1 3D 打印混凝土预混料的制备应包括原材料贮存、计量、搅拌和运输。

7.1.2 3D 打印混凝土预混料的制备应符合环境保护的规定。粉料输送及称量应在密封状态下进行，并应有收尘装置；拌合设备宜采用封闭系统；湿混料运输车出厂前应将车外壁和料斗壁上的湿混料残浆清洗干净；3D 打印材料生产单位应对生产过程中产生的工业废水和固体废物进行回收处理和再生利用。

7.1.3 3D 打印混凝土预混料生产之前，应制订完整的技术方案，并应做好各项准备工作。

7.2 预拌 3D 打印混凝土干混料

7.2.1 原材料贮存

7.2.1.1 各种原材料应分仓贮存，设置明显标识，并应符合有关环境保护的规定。

7.2.1.2 水泥及其他胶凝材料应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存，并应防止受潮及污染。

7.2.1.3 骨料应按品种和规格分别标识和堆放，并应进行干燥处理；必要时，宜进行分级处理。

7.2.1.4 矿物掺合料应按品种和生产厂家分别标识和贮存，不得与水泥等其他粉状物料混杂，并应防止受潮。

7.2.1.5 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和贮存，并设有防潮措施。

7.2.1.6 干混料中如需加入纤维，纤维应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存。

7.2.2 计量

7.2.2.1 原材料计量应采用电子计量设备。

7.2.2.2 计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期校验。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。

7.2.2.3 计量设备应满足计量精度要求。计量设备应能连续计量不同配合比混凝土的各种原材料，并应具有实际计量结果逐盘记录和存储功能。

7.2.2.4 原材料的计量允许偏差应符合表 3 的规定

表 3 3D 打印混凝土干混料原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥及其他胶凝材料	骨料	矿物掺合料	外加剂
计量允许偏差（%）	±1	±2	±1	±1

7.2.3 搅拌

7.2.3.1 3D 打印混凝土干混料应采用计算机控制的干混砂浆混合机进行混合，混合机应符合 JC/T 2182 的规定。

7.2.3.2 混合时间应以保证物料的混合均匀为前提，如含有纤维则不应有肉眼可见的纤维结团；最佳混合时间宜与计量配料系统的配料时间相匹配。

7.2.3.3 干混料各种原材料进入混合机时以及在混合过程中物料温度不应超过 50℃。

7.2.3.4 干混料品种更换时，混合及输送设备等应清理干净。

7.2.3.5 干混料在生产过程中的粉尘排放和噪音等应符合环境保护要求，不得对周围环境造成污染，所有原材料的输送及计量工序均应在封闭状态下进行，并应有收尘装置。

7.2.4 运输

7.2.4.1 3D 打印混凝土干混料可采用散装或袋装，应根据具体工程特点选择合适的包装和运输方式，运输和物流设备应保证 3D 打印混凝土干混料的干燥和均质。

7.2.4.2 散装 3D 打印混凝土干混料的运输设施应采用干混砂浆罐装专用车，运到目的地后的干混料应保持均匀。

7.2.4.3 袋装 3D 打印混凝土干混料在装卸及运输过程中，应采取防雨、防潮措施，并避免高温和破包。

7.3 预拌 3D 打印混凝土湿混料

7.3.1 原材料贮存

7.3.1.1 各种原材料应分仓贮存，设置明显标识，并应符合有关环境保护的规定。

7.3.1.2 水泥及其他胶凝材料应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存，并应防止受潮及污染。

7.3.1.3 骨料应按品种和规格分别标识和堆放，堆场应有避雨设施。

7.3.1.4 矿物掺合料应按品种和生产厂家分别标识和贮存，不得与水泥等其他粉状物料混杂，并应防止受潮。

7.3.1.5 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和贮存，并应有防潮措施。如使用液态外加剂，应储存在密闭容器内，并应防晒和防冻，如有沉淀等异常现象，经检验合格后方可使用。

7.3.1.6 湿混料中如需加入纤维，纤维应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存。

7.3.2 计量

7.3.2.1 原材料计量应采用电子计量设备。

7.3.2.2 计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期校验。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。

7.3.2.3 计量设备应满足计量精度要求。计量设备应能连续计量不同配合比砂浆的各种原材料，并应具有实际计量结果逐盘记录和存储功能。

7.3.2.4 粉状和颗粒状原材料的计量应按质量计，水和液体外加剂的计量可按体积计，也可按质量计。

7.3.2.5 原材料的计量允许偏差应符合表 4 的规定。

表 4 3D 打印混凝土湿混料原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥及其他胶凝材料	骨料	矿物掺合料	外加剂	水
计量允许偏差(%)	±1	±2	±1	±1	±1

7.3.2.6 对于 3D 打印混凝土湿混料的原材料计量，应根据骨料含水率的变化，及时调整骨料和拌合用水的用量。

7.3.3 搅拌

7.3.3.1 3D 打印混凝土湿混料宜采用符合 GB/T 9142 要求的强制式搅拌机进行搅拌，宜采用独立的生产线。

7.3.3.2 搅拌时间应保证湿混料搅拌均匀，宜与计量配料系统的配料时间相匹配。从全部材料投完算起，湿混料搅拌时间不应少于 30s，并应根据拌合物状态及时调整搅拌时间。

7.3.3.3 出机拌合物中不应有干粉团，如使用纤维则不应有肉眼可见的纤维结团。

7.3.3.4 宜根据湿混料可打印时间和项目现场打印进度，合理配置生产运输方案，分批制备3D打印混凝土湿混料，保证供应连续。

7.3.3.5 湿混料品种更换时，搅拌机及输送设备等应清理干净。

7.3.3.6 湿混料在生产过程中产生的废水、废料、粉尘和噪音等应符合环境保护要求，不得对周围环境造成污染，所有原材料的输送及计量工序均应在封闭状态下进行，并应有收尘装置。**骨料堆场应有防扬尘措施。**

7.3.4 运输及开放时间控制

7.3.4.1 3D打印混凝土湿混料应采用符合GB/T 26408要求的搅拌运输车运送。

7.3.4.2 搅拌运输车在装料、运送过程中应能保证湿混料的均匀性，不应产生分层、离析现象。对于寒冷、严寒或炎热的天气情况，搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。

7.3.4.3 搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，装料后严禁向搅拌罐内加水。

7.3.4.4 搅拌运输车在运送过程中应避免遗洒，卸料后应及时清洗干净。

7.3.4.5 湿混料从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料打印时的运输时间不宜大于90min，应合理配置运输能力保证打印进程的连续性。

7.3.4.6 湿混料的开放时间应匹配打印进程，结合凝结时间、可挤出性能和可打印性能进行调整，并经试验验证。

8 试验方法

8.1 一般规定

8.1.1 3D打印混凝土预混料湿拌性能包括表观密度、含气量、工作性能、湿坯强度和变形模量。

8.1.2 3D打印混凝土硬化性能测试包括立方体抗压强度、轴心抗压强度、静力受压弹性模量、抗折强度、劈裂抗拉强度（界面粘结强度）以及抗剪强度。

8.1.3 3D打印混凝土耐久性测试包括抗冻试验、抗水渗透试验、抗氯离子渗透试验、碳化试验、抗硫酸盐侵蚀试验。

8.1.4 试验环境相对湿度不宜小于50%，温度应保持在 (20 ± 5) ℃。硬化性能及耐久性性能测试试件应分别采用标准养护和同条件养护，采用标准养护时，试件应放入温度为 (20 ± 2) ℃、

相对湿度为 95%以上的标准养护室中养护，或在温度为（20±2）℃的不流动氢氧化钙饱和溶液中养护。

8.1.5 区别于传统浇筑成型混凝土，3D 打印混凝土力学性能呈现一定的各向异性，测试其力学性能时，应根据构件实际受力情况选取加载方向 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022，并在试验报告中注明加载方向和界面情况。

8.1.6 3D 打印混凝土力学性能测试所用试件尺寸、试件的取样和加工、试件尺寸测量和允许偏差应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 的规定。

8.2 湿拌性能

8.2.1 表观密度试验

表观密度试验参照 GB/T 50080 中规定的方法进行测试。

8.2.2 含气量试验

含气量试验参照 GB/T 50080 中规定的方法进行测试。

8.2.3 流动性试验

流动性试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径≤5mm 时，流动性按 GB/T 2419 规定的方法进行测试；

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径>5mm 时，流动性按 GB/T 50080 规定的坍落度与坍落扩展度法进行测试。

8.2.4 开放时间试验

开放时间适用于评价 3D 打印混凝土拌合物保持顺利挤出并稳定建造的时间。开放时间试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

8.2.5 可挤出性试验

挤出性试验适用于评价 3D 打印混凝土拌合物从挤出头出料口挤出时的连续性和均匀性。挤出性试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

8.2.6 可建造性试验

可建造性试验包括圆筒坍落度试验和打印体稳定性试验，分别测试 3D 打印混凝土拌合物的形状保持能力和 3D 打印拌合物在逐层堆叠过程中的稳定性。建造性试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

8.2.7 湿坯强度和变形模量试验

湿坯强度和变形模量试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

8.2.8 凝结时间试验

凝结时间试验参照 T/CBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 中规定的方法进行测试。

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $\leq 5\text{ mm}$ 时，凝结时间按 JGJ/T 70 规定方法进行测试。

当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $> 5\text{ mm}$ 时，凝结时间按 GB/T 50080 规定方法进行测试。

8.3 硬化性能

3D 打印混凝土硬化后试件取样应满足 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 的有关要求，根据结构承载与打印工艺确定打印样品、测试性能及加载方向。

8.3.1 立方体抗压强度试验

3D 打印混凝土立方体抗压强度试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。

8.3.2 轴心抗压强度试验

3D 打印混凝土轴心抗压强度试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。

8.3.3 静力受压弹性模量试验

3D 打印混凝土静力受压弹性模量试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。

8.3.4 抗折强度试验

3D 打印混凝土抗折强度试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。

8.3.5 劈裂抗拉强度试验

3D 打印混凝土劈裂抗拉强度包括基体劈裂抗拉强度和层条界面劈裂抗拉强度，参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。

8.3.6 抗剪强度试验

3D 打印混凝土抗剪强度包括基体抗剪强度和界面抗剪强度，参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的双面剪切法进行测试。

8.4 耐久性能

3D 打印混凝土硬化后取样试件应满足 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 和 GB/T 50082 的有关要求，根据结构服役环境与打印工艺确定打印样品、测试性能及测试方向。

8.4.1 抗冻试验

3D 打印混凝土抗冻试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

8.4.2 抗水渗透试验

3D 打印混凝土抗水渗透试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

8.4.3 抗氯离子渗透试验

3D 打印混凝土抗氯离子渗透试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

8.4.4 碳化试验

3D 打印混凝土碳化试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

8.4.5 抗硫酸盐侵蚀试验

3D 打印混凝土抗硫酸盐侵蚀试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

9 检验规则

9.1 一般规定

9.1.1 型式检验：型式检验的项目见表 5。

表 5 3D 打印混凝土预混料检验项目

预混料种类	拌合物性能	硬化性能
3D 打印混凝土 干混料	坍落度和坍落度经时损失、扩展度、 流动度、含气量、凝结时间、 可挤出 性、可建造性	抗压强度 、弹性模量、氯离子渗 透性能
3D 打印混凝土 湿混料	表观密度、坍落度和坍落度经时损失、 扩展度、流动度、含气量、凝结时间、 可挤出性、可建造性	抗压强度 、弹性模量、氯离子渗 透性能

在下列情况下进行型式检验：

- a) 正常生产条件下，每六个月进行一次；
- b) 新产品投产或产品定型鉴定时；
- c) 原材料、配方等发生变化，影响产品质量时；
- d) 生产工艺进行调整、设备进行维修、连续停产超过一个月以上恢复生产或成品存放期超过三个月时。

9.1.2 开盘检验：预混料生产厂在同一品种、同一规格、同一配比预混料连续生产的第一盘必须进行取样检验，开盘检验仅对拌合物性能进行检验（见表 5 拌合物性能部分）根据其检验结果对生产工艺参数进行调整。

9.1.3 批检：每一批预混料产品抽样进行批验。检验项目见表 5 **预混料产品合格证应以批检结果为依据**。

9.1.4 检验批次

同一配料工艺条件、同一类型、同一性能等级产品 100t 为一批。同一工程应用，不足上述数量时亦可以作为一批。

注：同一配料工艺条件指相同原料、相同生产工艺及稳定连续生产；同一类型和性能等级，对于预混料打印产品指相同颜色、相同新拌工作性能和相同抗压强度等级。

9.2 取样与检验

9.2.1 取样

a) 预混料出厂检验的取样试验工作应由供方承担，用于出厂检验的预混料试样应在生产地点抽取。

b) 取样方法如下：

I 取样应用不小于 1 升容量的取样金属铲斗将预混料样本盛装至清洁、干燥且可密封的取样容器。

II 每验收批的取样方法见表 6,每一试验项目所需最少取样数量见表 7。

表 6 3D 打印混凝土预混料取样方法

预混料储存方式	取样方法
袋装预混料	随机抽取 8 袋，每袋分别取 1 个小样本，均匀混成所需试验用样本
散装罐车、贮存仓或卸料罐	用铲斗从卸下流动中的预混料横向取出小样本，在不同时间间隔按上述方法取不少于 8 个小样本，均匀混成所需试验用样本
贮存仓或贮存罐	用铲斗在面层以下合理深度，按一定间距取不少于 8 个小样本，均匀混成所需试验用样本
现场预混料搅拌机	用铲斗在预混料出料口处横向取样，以保证样本的代表性。整盘预混料取不少于 8 个小样本，均匀混成所需试验用样本
注：对每一项试验，应不小于表 7 所规定的最小取样数量，须做多项试验时，如确能保证样品以一项试验后不影响其他项试验结果，可用同组样品进行几项不同试验。	

表 7 3D 打印混凝土预混料试验项目所需最少取样数量

单位为升

试验项目	预混料拌合物最少取样数量
坍落度和坍落度经时损失	10
扩展度	10
流动度	10
含气量	10
凝结时间	6
可挤出性	6
可建造性	10

表 7（续） 3D 打印混凝土预混料试验项目所需最少取样数量

单位为升

试验项目	预混料拌合物最少取样数量
抗压强度	10
弹性模量	10
氯离子渗透性能	10

9.2.2 出厂批次

预混料出厂批次应符合表 8 的规定

表 8 3D 打印混凝土预混料出厂批次

单位为吨

年生产能力	产品批量
≥1000	≤800
400~1000	≤600
≤400	≤400 或 4 日产量
注：年生产能力为 1000t 以上，不超过 800t 为一个编号，其余类推。	

9.3 评定

9.3.1 按第 8 章试验方法和第 6 章质量要求按表 5 中所列项目进行评定，如所有项目符合相应等级要求，则判定该批产品合格。

9.3.2 如拌合物性能超出要求，允许调整水料比和外加剂用量至符合要求，然后制备试件检验硬化性能，抗压强度、抗渗性能符合相应要求，可判定该批产品合格，预混料产品应按调整后水料比和外加剂用量使用。调整后的检验项目有一项超出标准要求，则判该批预混料不合格。

10 包装和贮运

10.1 标志

10.1.1 3D 打印预混料产品外包装上的标志或散装交货卡片上应包含：

- a) 生产企业名称、地址；
- b) 产品名称、标记和商标；

- c) 产品净重;
- d) 特别约定的颜色标记;
- e) 生产日期和出厂编号;
- f) 贮存与运输注意事项, 包括“严禁受潮”字样;
- g) 贮存期。

10.1.2 3D 打印预混料产品包装上的标志应包含: 产品名称、产品规格、产品净重、生产日期与批号、贮存与运输注意事项。

10.1.3 3D 打印预混料生产者应提供产品出厂检验报告(合格证)和使用说明。如有要求, 生产者提供半年或一年的产品检验评定结果。

10.2 包装

10.2.1 3D 打印预混料产品可袋装或散装。袋装时应用防潮包装袋。小包装袋(包装质量不超过 50kg)应符合 GB/T 9774 的规定; 集装袋(包装质量为 500kg~3000kg)应符合 GB/T 10454 的规定。

10.2.2 每袋净含量不应少于其标志质量的 99%。随机抽取 20 袋, 总质量(含包装袋)应不少于标志质量的总和。

10.3 贮存和运输

10.3.1 不同类型、不同等级的产品应分别贮存, 不应混杂。避免日晒雨淋, 不应接近火源, 设置隔挡防止碰撞、撕刮, 注意通风。

10.3.2 产品应干燥保存。应有防雨、防潮、防尘措施。

10.3.3 3D 打印干混料产品的贮存期从生产之日起为 90 d。贮存超过 90 d, 应检验外观和按出厂检验项目重新检验。

附录 A

(规范性)

含气量、表观密度试验方法

A.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土含气量、表观密度试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土含气量、表观密度试验。

A.2 主要仪器设备

A.2.1 3D 打印混凝土拌合物含气量所用设备应符合 GB/T 50080 中的规定，包括含气量测定仪，捣棒，振动台，台秤，橡皮锤。含气量测定仪应按标准要求进行率定。

A.2.2 3D 打印混凝土拌合物表观密度试验所用的仪器设备包括容量筒，台秤，振动台和捣棒，应符合 GB/T 50080 中的规定。

A.3 试验条件及方法

A.3.1 3D 打印混凝土拌合物含气量测定之前，应先按 GB/T 50080 中的规定拌合物所用骨料的含气量。

A.3.2 3D 打印混凝土拌合物含气量试验应按 GB/T 50080 中的规定进行。

A.3.3 3D 打印混凝土拌合物含气量应按 GB/T 50080 中的规定计算。

A.3.4 3D 打印混凝土拌合物含气量试验报告内容应符合 GB /T 50080 中的规定。

A.3.5 3D 打印混凝土表观密度试验参照 GB/T 50080 中规定的方法进行测试。

A.3.6 3D 打印混凝土拌合物表观密度的计算按 GB/T 50080 中的计算公式进行计算。

A.3.7 3D 打印混凝土拌合物表观密度试验报告应满足 GB/T 50080 的要求。

附录 B

(规范性)

流动性试验方法

B.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土流动性试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土流动性试验。

B.2 试验条件及方法

B.2.1 当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 ≤ 5 mm 时，流动性按 GB/T 2419 规定的水泥胶砂流动度测定方法进行测试。

B.2.2 当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 > 5 mm 时，流动性按 GB/T 50080 规定的坍落度与坍落扩展度法进行测试。

附录 C

(规范性)

可挤出性试验方法

C.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土可挤出性试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土可挤出性试验。

C.2 试验条件及方法

C.2.1 3D 打印混凝土拌合物挤出性试验条件应符合 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定。

C.2.2 3D 打印混凝土拌合物挤出性试验应按照 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定进行。

C.2.3 3D 打印混凝土打印条带宽度和厚度的偏差按照 TCB MF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定计算。

附录 D

(规范性)

可建造性试验方法

D.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土可建造性试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土可建造性试验。

D.2 主要仪器设备

D.2.1 3D 打印混凝土拌合物的圆柱筒坍落度试验采用圆柱筒和钢尺应符合 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定。

D.3 试验条件及方法

D.3.1 3D 打印混凝土拌合物的形状保持能力按照 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定采用圆柱筒坍落度试验测试。

D.3.2 3D 打印混凝土拌合物的圆柱筒坍落度试验的步骤和程序应符合 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定。

D.3.3 3D 打印混凝土拌合物在逐层堆叠过程中的稳定性试验条件应符合 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定。

D.3.4 3D 打印混凝土拌合物在逐层堆叠过程中的稳定性试验按照 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 规定的步骤开展。

附录 E

(规范性)

湿坯强度和变形模量试验

E.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土湿坯强度和变形模量试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土湿坯强度和变形模量试验。

E.2 主要仪器设备

E.2.1 3D 打印混凝土拌合物的湿坯强度和变形模量所用设备及器具为圆柱筒试模，压力试验机，位移计和塑料尺，应符合 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定。

E.3 试验条件及方法

E.3.1 3D 打印混凝土拌合物的湿坯强度和变形模量按 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定通过连续加载的方法测定。

E.3.2 3D 打印混凝土拌合物的湿坯强度和变形模量试验按照 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定进行。

E.3.3 3D 打印混凝土拌合物的湿坯强度和变形模量计算按照 TCBMF 184—2022/T/CCPA 34—2022 的规定进行。

附录 F

(规范性)

凝结时间试验

F.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土凝结时间试验。适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土凝结时间试验。

F.2 试验条件及方法

F.1.1 当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $\leq 5\text{ mm}$ 时，凝结时间按照 JGJ/T 70 规定的方法进行测试。

F.1.2 当 3D 打印混凝土拌合物所含骨料粒径 $> 5\text{ mm}$ 时，凝结时间按照 GB/T 50080 规定的方法进行测试。

附录 G

(规范性)

硬化性能试验方法

G.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土硬化性能试验方法。适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土成型后硬化性能试验。

G.2 主要仪器设备

G.2.1 3D 打印混凝土立方体抗压强度试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定

G.2.2 3D 打印混凝土轴心抗压强度试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定

G.2.3 3D 打印混凝土静力受压弹性模量试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定。

G.2.4 3D 打印混凝土抗折强度试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定。

G.2.5 3D 打印混凝土劈裂抗拉强度试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定。

G.2.6 3D 打印混凝土抗剪强度采用双面剪切法测定，试验仪器设备应符合 GB/T 50081 的规定。

G.3 试验条件及方法

G.3.1 3D 打印混凝土硬化后性能试验试件取样应满足 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 的规定。

G.3.2 3D 打印混凝土硬化后性能试验试件尺寸测量和允许偏差应满足 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 的规定。

G.3.3 3D 打印混凝土立方体抗压强度试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。3D 打印混凝土立方体抗压强度试验按 GB/T 50081 中规定进行，根据实际情况选择加载方向进行试验。3D 打印混凝土立方体抗压强度按照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关公式进行计算，其立方体抗压强度值应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关规定。

G.3.4 3D 打印混凝土轴心抗压强度试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。3D 打印混凝土轴心抗压强度试验按 GB/T 50081 中规定进行，根据实

际情况选择加载方向进行试验。3D 打印混凝土轴心抗压强度按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中计算公式计算,其轴心抗压强度值应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关规定。

G.3.5 3D 打印混凝土静力受压弹性模量试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。静力受压弹性模量试验按 GB/T 50081 中的规定进行,加载方向参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 有关规定。3D 打印混凝土静力受压弹性模量应按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关公式进行计算,其静力受压弹性模量值的确定应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关规定。

G.3.6 3D 打印混凝土抗折强度试验参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法进行测试。试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。3D 打印混凝土抗折强度试验按 GB/T 50081 中的规定进行,按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中抗折强度试验所示方向进行加载。有特殊要求时,可根据实际情况确定加载方向。3D 打印混凝土抗折强度应按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关公式进行计算,其抗折强度值的确定应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关规定。

G.3.7 3D 打印混凝土劈裂抗拉强度试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。3D 打印混凝土劈裂抗拉强度试验按 GB/T 50081 中的规定进行,包括基体劈裂抗拉强度和层条界面劈裂抗拉强度,参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法,根据实际情况选择加载方向进行试验。3D 打印混凝土劈裂抗拉强度应按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关公式进行计算,其劈裂抗拉强度值的确定应符合 T/CBMF 183 中相关规定。

G.3.8 3D 打印混凝土抗剪强度采用双面剪切法测定,试件尺寸和数量应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中的规定。3D 打印混凝土抗剪强度试验按 GB/T 50081 中的规定进行,包括基体抗剪强度和界面抗剪强度,参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中规定的方法,根据实际情况选择加载方向进行试验。3D 打印混凝土抗剪强度应按 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关公式进行计算,其抗剪强度值的确定应符合 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中相关规定。

G.3.9 区别于传统浇筑成型混凝土,3D 打印混凝土力学性能呈现一定的各向异性,测试其力学性能时,应根据构件实际受力情况选取加载方向,并在试验报告中注明加载方向和界面情况。3D 打印混凝土硬化后性能试验记录可参照 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 中

相关规定。

附录 H

(规范性)

耐久性能试验方法

H.1 范围

本附录规定了 3D 打印混凝土耐久性能试验方法，适用于建设工程中采用轮廓成型工艺的 3D 打印混凝土成型后耐久性能试验。

H.2 试验条件及方法

H.2.1 3D 打印混凝土耐久性能试验取样试件应满足 T/CBMF 183—2022/T/CCPA 33—2022 和 GB/T 50082 的有关要求，根据结构服役环境与打印工艺确定打印样品、测试性能及测试方向。

H.2.2 3D 打印混凝土耐久性测试包括抗冻试验、抗水渗透试验、抗氯离子渗透试验、碳化试验、抗硫酸盐侵蚀试验。

H.2.3 3D 打印混凝土抗冻试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

H.2.4 3D 打印混凝土抗水渗透试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

H.2.5 3D 打印混凝土抗氯离子渗透试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

H.2.6 3D 打印混凝土碳化试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

H.2.7 3D 打印混凝土抗硫酸盐侵蚀试验参照 GB/T 50082 中规定的方法进行测试。

H.2.8 区别于传统浇筑成型混凝土，3D 打印混凝土耐久性能呈现一定的各向异性。测试其耐久性能时，应根据实际作用情况确定测试方向，并在试验报告中注明测试方向和界面情况。