



T/CECS ***:20**

中国工程建设标准化协会标准

高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术标准

Standard for polymer composites large scale 3D-printing

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术标准

Standard for polymer composites large scale 3D-printing

T/CECS ***:20**

主编单位：上海建工集团股份有限公司

上海市机械施工集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：xxxx 年 xxxx 月 xxxx 日

xxxx 出版社

xxxx 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字【2020】14号）的要求，标准编制组经过深入调查研究，结合工程实践，认真总结经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

在本标准编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了国内外超大零部件3D打印的发展和相关案例，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本标准共分9章和2个附录，主要技术内容是：1 总则；2 术语与符号；3 基本规定；4 高分子复合材料；5 打印设备；6 打印工艺；7 打印产品检验；8 包装、运输、贮存及现场安装；9 应用。

请注意本文件的某些内容可能涉及知识产权。本文件的发布机构不承担识别这些知识产权的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑施工专业委员会负责归口管理，由上海建工集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，如有意见或建议，请寄送上海建工集团股份有限公司（地址：上海市虹口区东大名路666号；邮政编码：200080；E-mail:scgbzgs@163.com）以供修订时参考。

主编单位：上海建工集团股份有限公司
上海市机械施工集团有限公司

参编单位：上海酷鹰机器人科技有限公司
（排名不分先后）苏州聚复高分子材料有限公司
上海园林（集团）有限公司
上海园林绿化建设有限公司
华东理工大学
同济大学
河北工业大学
北玻院（滕州）复合材料有限公司
广州优塑三维科技有限公司
北京石油化工学院

主要起草人员：
(排名不分先后)

主要审查人员：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语与符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	8
3	基本规定.....	10
4	高分子复合材料.....	11
4.1	一般规定.....	11
4.2	基材.....	11
4.3	辅材.....	16
5	打印设备.....	20
5.1	一般规定.....	20
5.2	打印运动平台.....	20
5.3	挤出装置.....	22
5.4	物料系统.....	23
5.5	工作平台.....	24
5.6	控制系统.....	25
5.7	操作系统.....	26
6	打印工艺.....	28
6.1	一般规定.....	28
6.2	打印工艺评定.....	29
6.3	打印过程工艺.....	32
7	打印产品检验.....	34

7.1	一般规定.....	34
7.2	检测方法.....	36
7.3	检测验收.....	37
8	包装、运输、贮存及现场安装.....	38
8.1	包装、运输与贮存.....	38
8.2	现场安装.....	38
9	应用.....	40
9.1	大型景观建筑.....	40
9.2	景观小品.....	40
9.3	异形模板.....	40
9.4	模具.....	41
9.5	文创产品.....	42
附录 A	高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告.....	43
附录 B	高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告.....	46
	本标准用词说明.....	51
	引用标准名录.....	52
	条文说明.....	54

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	8
3	Basic requirement.....	10
4	Polymer composites.....	11
4.1	Basic requirement.....	11
4.2	Base material.....	11
4.3	Complementary material.....	16
5	3D Printing equipment.....	20
5.1	Basic requirement.....	20
5.2	3D Printing motion platform.....	20
5.3	Extrusion device.....	22
5.4	Feeding system.....	253
5.5	Platform.....	264
5.6	Numerical control system.....	25
5.7	Operating system.....	26
6	3D printing procedure.....	28
6.1	Basic requirement.....	28
6.2	3D printing procedure.....	29
6.3	3D printing process procedure.....	32
7	3D printing inspection.....	34
7.1	Basic requirement.....	34
7.2	Inspection methods.....	36
7.3	Acceptance test.....	37
8	Packing, transportation, storage and on-site installation.....	38
8.1	Packing, transportation, storage.....	38
8.2	On-site installation.....	38
9	Application.....	40
9.1	large landscape architectural.....	40
9.2	landscape sketch.....	40
9.3	irregular shaped template.....	40
9.4	Mould.....	41

9.5 Cultural and creative product.....	42
Appendix A Polymer composites 3D printing mechanical properties test report....	43
Appendix B Mega-Component polymer composites 3D-Printing procedure qualification record.....	46
Explanation of Wwording in this standard.....	51
List of quoted standards.....	52
Explanation of provisions.....	54

1 总 则

1.0.1 为保证高分子复合材料大尺寸 3D 打印产品质量，规范产品出厂检验与交付，特制定本标准。

【条文说明】1.0.1 本标准对高分子复合材料大尺寸 3D 打印给出的具体规定，是为了保证高分子复合材料大尺寸 3D 打印生产制造及现场施工的安全，为打印工艺提供技术指导，使打印零部件质量满足设计文件和相关行业应用的要求。本标准的编制主要根据我国大尺寸 3D 打印技术发展现状，充分考虑现行的各行业相关标准，同时借鉴欧、美等先进国家的相关标准规定，适当采用我国高分子复合材料大尺寸 3D 打印的最新科研成果、施工实践编制而成。

1.0.2 高分子复合材料大尺寸 3D 打印应贯彻节材，节能，环保等技术经济政策。

1.0.3 本标准适用于基于高分子复合材料 3D 打印工艺制造的大尺寸零部件。

【条文说明】1.0.3 本标准不适用于采用高分子复合材料线材作为耗材的小尺寸熔融沉积成型打印方式，采用非高分子复合材料的熔融沉积成型打印方式以及采用非熔融沉积成型工艺的打印方式。大尺寸零部件目前应用方向（建筑景观、异形模板等）

1.0.4 高分子复合材料大尺寸 3D 打印制造的零部件除应符合本标准外，尚应符合现行国家、行业相关标准的规定。

【条文说明】1.0.4 采用高分子复合材料大尺寸 3D 打印制造的零部件应根据客户需求进行专门定制，作为企业组织生产和质量监督检验的依据，同时应满足不同行业中现行的国家、行业相关标准规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 3D 打印 3D Printing

利用打印头、喷嘴或其他打印技术，通过材料堆积的方式来制造零件或实物的工艺。

【条文说明】2.1.1 3D 打印又称三维打印，增材制造，是将三维模型数据结合材料制作物体的工艺过程，通常为一层层叠加，而不是减材制造。

2.1.2 熔融沉积成型 fused deposition modeling (FDM)

使热塑性材料熔融并且沉积实现堆积成形的加工方法。

2.1.3 高分子复合材料 polymer composites

以高分子材料为基体，添加不同结构、不同形态、不同性质的填充材料，通过复合工艺加工而成的多相材料。

2.1.4 大尺寸 3D 打印 large scale 3D printing

特指 3D 打印加工制作零部件大于 1 立方米的工艺过程。

2.1.5 屈服强度 yield strength

材料初次出现应力不增加而应变增加时的应力。

2.1.6 拉伸弹性模量 elastic modulus

轴向拉应力与轴向应变成线性比例关系范围内的轴向拉应力与轴向应变的比值。

2.1.7 熵弹性 entropic elasticity

为由于分子热运动，即体系熵增大所引起的弹性。其特征是当温度升高时，热运动增加，因而弹性增大。

2.1.8 熔融指数 melt float rate

聚合物材料熔体在一定时间、一定温度及压力下通过一定尺寸的圆管口模所流出的质量，是一种衡量聚合物材料熔体流动性的方法指标。

2.1.9 熔融温度 fusion temperature

热塑性非晶聚合物材料在温度升高时，链段及大分子链逐步“解冻”发生运动，材料由固态逐步向粘流态转变（即相转变），具备流动性时的相转变温度；对于结晶性材料，一般指聚合物的结晶结构随温度升高而破坏，进而分子链发生运动的温度，即结晶熔点。

2.1.10 玻璃化温度 Glass transition temperature

无定形聚合物或半结晶聚合物中的无定形区域从粘流态或橡胶态转变为硬的、相对脆的玻璃态的温度范围中近似中点的温度。

2.1.11 线膨胀系数 coefficient of linear expansion

固体材料温度每变化 1 摄氏度，试样长度变化值与其原始长度值之比，单位 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

2.1.12 密度 density

一定温度下，单位体积物质的质量。

2.1.13 ABS 树脂 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 Acrylonitrile Butadiene Styrene

为丙烯腈、丁二烯和苯乙烯三元共聚高分子材料。

2.1.14 ASA 树脂 丙烯酸酯类橡胶体-丙烯腈-苯乙烯的共聚物 Acrylonitrile Styrene acrylate copolymer

为丙烯腈、丙烯酸酯和苯乙烯三元共聚物。

2.1.15 PC 树脂 聚碳酸酯 Polycarbonate

为分子链中含有碳酸酯基的高分子聚合物。

2.1.16 尼龙 聚酰胺 Polyamide

分子主链上含有重复酰胺基团-[NHCO]-的热塑性树脂。

2.1.17 PETG 树脂 聚对苯二甲酸乙二酯-1,4-环己烷二甲酯 Poly (ethylene terephthalate-co -1, 4- cyclohexylenedimethylene terephthalate)

是对苯二甲酸、乙二醇和 1,4-环己烷二甲醇三种单体共聚物。

2.1.18 PLA 聚乳酸 Polylactic acid

聚丙交酯，是乳酸单体生成环状二聚体丙交酯，再开环聚合而成的一种生物基热塑性高分子材料。

2.1.19 玻璃纤维 Glass fiber (GF)

由玻璃拉丝而成的纤维材料，是一种无机非金属纤维材料，其主要成分为二氧化硅、氧化铝、氧化钙、氧化硼、氧化镁、氧化钠等。

2.1.20 碳纤维 Carbon fiber (CF)

以腈纶和粘胶纤维为原料，经高温氧化碳化而成的，含碳量在 90%以上的高强度高模量特种纤维。

2.1.21 芳纶纤维 Aramid fiber (AF)

是以芳香族单体化合物为原料，经缩聚纺丝得到的高性能全芳香族聚酰胺纤维。

2.1.22 运动平台 motion platform

一种实现直线运动或旋转运动的机构。

2.1.23 绝对定位精度 absolute positioning accuracy

运动平台运动到指定位置时，实际运动距离与理想运动距离的误差。

2.1.24 重复定位精度 repeated positioning accuracy

-运动平台多次运动到同一位置时，多次实际运动距离之间的误差。

2.1.25 挤出装置 extruder

一种适用于高分子复合材料稳定熔融挤出的装置。

2.1.26 密实装置 compact device

一种高分子复合材料高温熔融挤出后及时拍打密实的装置,可以增强层间粘结力以及整形。

2.1.27 物料输送系统 feeding system

一套可以满足大挤出量 3D 打印设备的物料预处理供料全自动输送系统。

2.1.28 打印工作台 3d printing plate (条文注明冷热床)

3D 打印熔融挤出物沉积堆积的底面平台。

2.1.29 工作空间温度 working space temperature

打印净空间内打印件所处环境温度。

2.1.30 散热量 heat dissipating capacity

单层打印时间内单位体积下熔融挤出材料的热损失量。

2.1.31 切片 slicing

将三维模型按照熔融沉积方向离散成一组二维平面图像的过程。

【条文说明】2.1.31 3D 打印技术的本质是将三维模型通过离散成一组二维平面图像,再将这组二维平面图像在空间上进行堆积排列来重新表述空间三维模型。切片的分辨率是由设定的参数单层层高成反比关系,单层层高越小,切片分辨率越高。

2.1.32 层 layer

沿熔融沉积堆积方向形成具有一定厚度的曲面体。

【条文说明】2.1.32 图 1 中所示单个数量单位即为层。

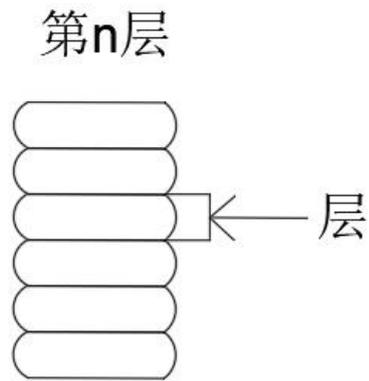


图1 层示意图

2.1.33 道 way

沿熔融沉积厚度方向排列的曲面体。

【条文说明】 2.1.33 图2中所示单个数量单位即为道。

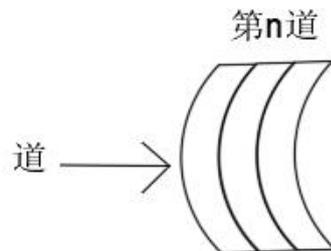


图2 道示意图

2.1.34 单道线宽 width of every single layer

单次循环形成的沿熔融沉积厚度方向排列的曲面体完成面内侧到外侧之间的距离。

【条文说明】 2.1.34 图3中所示单道的计量单位即为单道线宽。

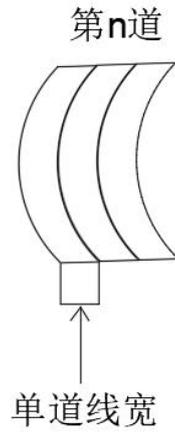


图3 单道线宽示意图

2.1.35 单层层高 thickness of every single layer

单次循环形成的沿熔融沉积堆积方向形成具有一定厚度的曲面体完成顶面到前一层完成顶面之间的距离。

【条文说明】 2.1.35 图4中所示单层的计量单位即为单层层高。

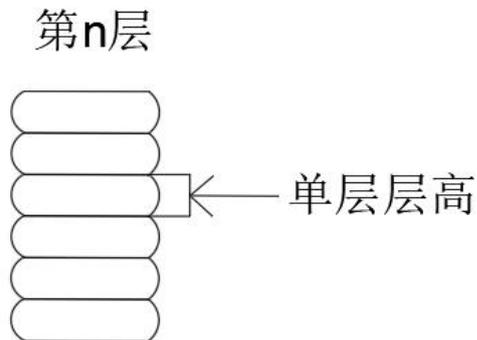


图4 单层层高示意图

2.1.36 层间粘结强度 layer adhesion

大尺寸打印零部件逐层打印，相邻的打印层与层之间的结合力。

2.1.37 单层打印时间 layer-time

大尺寸3D打印设备打印单独一层所用时间。

2.1.38 三维打印支撑 support

针对熔融沉积三维模型打印的支撑结构,在打印过程中辅助制品悬空结构或者中空结构的部位成型,打印完成后需要去除的材料。

2.1.39 回抽 retraction

将熔融状态的打印物料拉回打印喷嘴内的动作过程。

【条文说明】2.1.39 回抽为3D打印设备宜具备的功能,既能防止打印熔体溢出,也能实现特定轨迹功能。

2.1.40 STL standard triangulation language

增材制造文件通用格式的一种,通过将实物表面的几何信息用三角面片的形式表达,并传递给设备,用以制造实体零件或实物。

2.1.41 STEP standard for the exchange of product model data

产品模型数据交换标准。

2.1.41 G代码 g-code

是最为广泛使用的数控编程语言。

2.2 符号

2.2.1 材料参数

ρ ——颗粒料的密度;

σ ——屈服强度;

E ——弹性模量;

ν ——泊松比;

k ——刚度;

α ——线膨胀系数;

T_{melt} ——材料的熔融(加工)温度;

T_g ——材料的玻璃化温度。

2.2.2 运动学参数

x ——运动平台水平面横向运动方向；
 y ——运动平台水平面纵向运动方向；
 z ——运动平台空间竖直方向运动方向；
 A_{ab} ——运动平台绝对定位精度；
 A_{re} ——运动平台重复定位精度；
 A_{comp} ——整体设备定位精度；
 v_{motion} ——运动平台常规运动速度。

2.2.3 3D 打印设备参数

$g_{extruder}$ ——立式挤出机每小时挤出量；
 F_{all} ——供料系统总储料；
 $t_{preheat}$ ——打印材料预加热时长；
 $g_{extruder}$ ——挤出装置每小时产量；
 t_{feed} ——自动供料系统单次循环给挤出装置输送料时长；
 $t_{extruder}$ ——挤出装置的料斗从满状态到空状态的单词循环时长。

2.2.4 打印工艺参数

T_{room} ——加工制作时现场的温度；
 t_{layer} ——打印当前层时所花费的时间；
 $t_{toplayer}$ ——打印相对当前层的前一层所花费的时间；
 w ——单道线宽；
 W ——模型壁厚；
 h ——单层层高；
 H ——模型高度；
 s ——单层单道横截面积；
 V ——填充率；
 C_{path} ——模型打印竖直方向外部曲线与水平方向的夹角。

3 基本规定

3.0.1 实施高分子复合材料大尺寸 3D 打印的单位应具备相应的打印设备，配套的打印材料，打印工艺及相关专业人员。

【条文说明】 3.0.1 本标准适用的打印设备，配套打印材料，打印工艺类型比较广泛，基本上涵盖了目前大尺寸 3D 打印施工的实际需要。针对不同情况，施工企业在承担打印任务时应具备与打印难度相适应的技术条件，如打印设备能力，打印工艺处理能力和人员水平能力、检验与试验手段和技术文件等。其中相关专业人员根据打印过程中不同职能需求分为模型优化人员、模型切片人员、机床操作人员、配套设备维保人员、打印工艺实施人员等。

3.0.2 3D 打印材料宜使用绿色环保的材料。

【条文说明】 3.0.2 大尺寸 3D 打印零部件所使用的材料材料宜使用常规 1mm-4mm 颗粒料，且为绿色环保的树脂材料，同时应考虑材料的回收工作。

3.0.3 大尺寸 3D 打印应根据打印产品应用场景的不同制定专项验收标准。

3.0.4 大尺寸 3D 打印宜与传统工艺相结合，达到提高功效、降低制造成本的目的。

【条文说明】 3.0.3~3.0.4 应根据不同的应用场景以及使用需求制定不同的专项验收方案，同时宜与传统工艺相结合，最终达到提高功效，减低成本以及研发周期的目的。

4 高分子复合材料

4.1 一般规定

4.1.1 大尺寸 3D 打印使用的基材及辅材应符合下列规定：

- 1 基材宜采用热塑性高分子材料；
- 2 复合材料宜采用颗粒料；
- 3 基材及辅材宜采用绿色环保的材料。

【条文说明】4.1.1 热塑性高分子材料是指能反复加热熔化，在软化或流动状态下成型，冷却后能保持一定形状和力学性能的一类聚合物材料。其在特征温度（熔点 T_{melt} 或玻璃化温度 T_g ）以下处于玻璃态或者结晶态，具备固体材料特性，具有良好的机械性能、尺寸稳定性，可作为结构材料使用；在特征温度以上时，处于熔融状态，又具有良好的流动性，具备优异的成形加工性能。颗粒料主要指的是常规粒径为 1mm-4mm 的圆柱形颗粒料以及饼形颗粒料，具体的颗粒料要求应符合现行行业标准。

4.1.2 打印基材及辅材应根据不同的应用场景进行选取。

4.2 基材

4.2.1 大尺寸 3D 打印时所使用的基材宜为热塑聚合物材料，包括非晶性热塑聚合物材料和结晶性热塑聚合物材料。

4.2.2 高分子复合材料基材的品种、规格、性能、检测等应符合现行国家标准有关高分子复合材料颗粒料的规定，常用高分子材料产品及试验检测标准宜按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 常用高分子材料产品及试验检测标准

标准编号	标准名称
GB/T 1040	《塑料拉伸性能的测定》
GB/T 9341	《塑料弯曲性能实验方法》
GB/T 1043	《硬质塑料简支梁冲击试验方法》
GB/T 19466.3	《塑料差式扫描量热法（DSC）第 3 部分：熔融和结晶温度及热焓的测定》

GB/T 1033.1	《非泡沫塑料密度的测定 第1部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》
GB/T 3682.1	《热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定第1部分:标准方法》
GB 1036	《塑料线膨胀系数测定方法》
GB/T 1633	《热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定》
GB/T 1634.1	《塑料负荷变形温度的测定》

【条文说明】 4.2.2 表 4.2.2 所列标准为国家或行业现行有关高分子复合材料样件检测的内容及方法,根据表中所设计的相关测试内容生成的测试报告与需求就行比对,指导对基材的选型及采购。

4.2.3 常用基材及性能数据应符合下列规定:

1 ABS 树脂基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于表 4.2.3-1a 及 4.2.3-1b 的规定。

表 4.2.3-1a ABS 物理性能表

密度(g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	拉伸弹性模量 (Mpa)	泊松比	线膨胀系数 (°C ⁻¹)
1.02	40	2000	0.3	6×10 ⁻⁵ (20°C-60°C)

表 4.2.3-1b ABS 化学性能表

熔融温度(°C)	玻璃化温度(°C)	熔融指数 220°C,10kg(g/10min)	抗紫外老化 材料力学性能保留率	回收性
200	80	5	80%	可回收

2 ASA 树脂基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于表 4.2.3-2a 及 4.2.3-2b 的规定。

表 4.2.3-2a ASA 物理性能表

密度(g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	拉伸弹性模量 (Mpa)	泊松比	线膨胀系数
1.05	40	2000	0.3	6×10 ⁻⁵ (20-60℃)

表 4.2.3-2b ASA 化学性能表

熔融温度 (℃)	玻璃化温度 (℃)	熔融指数 220℃,10kg(g/10min)	抗紫外老化材料 力学性能保留率	回收性
200	80	5	80%	可回收

3 尼龙 6 基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于表 4.2.3-3a 及 4.2.3-3b 内的规定。

表 4.2.3-3a 尼龙 6 物理性能表

密度(g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	弯曲弹性模量 (Mpa)	泊松比	线膨胀系数
1.1	70 (23℃绝干)	2500 (23℃绝干)	0.25	7×10 ⁻⁵ (23-55℃)

表 4.2.3-3b 尼龙 6 化学性能表

熔融温度 (℃)	玻璃化温度 (℃)	熔融指数 260℃, 2.16 kg (g/10min)	抗紫外老化 材料力学性 能保留率	回收性
220	40	4	80%	可回收

4 PC 基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于表 4.2.3-4a 及 4.2.3-4b 内的规定。

表 4.2.3-4a PC 物理性能表

密度(g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	拉伸弹性模 量(Mpa)	泊松比	线膨胀系数
1.15	55	2200	0.3	6×10 ⁻⁵ (23-55℃)

表 4.2.3-4b PC 化学性能表

熔融温度 (℃)	玻璃化温度 (℃)	熔融指数 300℃, 1.2 kg (g/10min)	抗紫外老化材料 力学性能保留率	回收性
240	100	3	80%	可回收

5 PETG 基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于下表 4.2.3-5a 及 4.2.3-5b 内的相关数据。

表 4.2.3-5a PETG 物理性能表

密度(g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	拉伸弹性模 量(Mpa)	泊松比	线膨胀系数
1.2	45	1800	0.25	6×10 ⁻⁵ (20-50℃)

表 4.2.3-5b PETG 化学性能表

熔融温度(℃)	玻璃化温度 (℃)	熔融指数 230℃, 2.16 kg (g/10min)	抗紫外老化材 料力学性能保 留率	回收性
180	60	2	80%	可回收

6 聚乳酸 PLA 基材颗粒材料的机械性能及化学性能不应低于表 4.2.3-6a 及 4.2.3-6b 内的规定。材料的机械性能应由 3D 打印样条测试而得。

表 4.2.3-6a PLA 物理性能表

密度 (g/cm ³)	拉伸/屈服强度 (Mpa)	拉伸弹性模量 (Mpa)	泊松比	线膨胀系数
1.23	45	2000	0.25	6×10 ⁻⁵ (20-50℃)

表 4.2.3-6b PLA 化学性能表

熔融温度(℃)	玻璃化温度 (℃)	熔融指数 210℃, 2.16 kg (g/10min)	抗紫外老化 材料力学性 能保留率	回收性
150	60	3	80%	可回收

【条文说明】 4.2.3 ABS 塑料是丙烯腈(A)-丁二烯(B)-苯乙烯(S)的三元共聚物。它综合了三种组分的性能，其中丙烯腈具有高的硬度和强度、耐热性和耐腐蚀性；丁二烯具有抗冲击性和韧性；苯乙烯具有表面高光泽性、易着色性和易加工性。通过调节三种共聚单体的相对含量，可以获得一系列性能不同的 ABS 热塑性树脂材料。

ASA 树脂是一种非结晶热塑性共聚物，由丙烯腈(A)，苯乙烯(S)和丙烯酸酯橡胶(A)共混而成的三元共聚物，其性能与 ABS 相类似，但耐候性显著优于 ABS，是一种适用于户外的聚合物材料。

聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)，是一类在分子链中含有碳酸酯结构的高分子聚合物总称。工业上应用的聚碳酸酯主要是由双酚 A 和光气来合成，其主链含有苯环和四取代的季碳原子，具有较好的刚性、耐冲击性、耐热性和尺寸稳定性，是一种综合性能优异的热塑性工程塑料。

聚酰胺 (Polyamide, PA)，俗称尼龙 (Nylon)，是一类分子链上含有酰胺基团重复结构的高聚物的总称。聚酰胺 PA 是一种典型的结晶性热塑聚合物材料，可以分为脂肪族和芳香族两大类。聚酰胺分子链中强极性的酰胺基团，在分子链间形成氢键，可以实现较高的结晶度和结晶速度，使其具备较高的材料性能，是一种典型的工程塑料。

热塑性聚酯材料是由饱和二元酸和二元醇通过缩聚反应制得的线形聚合物，其中 PET 聚酯材料是指聚对苯二甲酸乙二醇酯，一种大规模工业化生产的聚酯工程塑料品种。PET 作为一种典型的结晶性刚性链聚酯材料，具备耐热潜力高、机械性能优异、成本低廉等优点；PET 分子结构中具有苯环结构和极性酯基，分子链表现出较大的刚性，一般情况下分子链为伸直链构型，化学规整性和几何规整性很高，具有较好的结晶性能。PETG 共聚酯是一种在 PET 聚酯的基础上引入 1,4-

环己烷二甲醇共聚单体，为非晶性共聚酯材料，具有十分优异的力学性能和透明性。

聚乳酸 PLA 是一种新型的生物降解塑料，可由乳酸单体聚合得到，是一种绿色环保的生物基材料，为结晶性热塑性塑料，其具备较好地刚性、结晶耐热性及生物降解性。

4.2.4 基材颗粒料外观标准应符合下列规定：

- 1 颗粒料外径应符合实际使用要求，外径允许偏差应为 $\pm 0.1\text{mm}$ ；
- 2 颗粒料应圆整光洁，切口应光滑，不应有肉眼可见的粉屑；
- 3 颗粒料颜色应符合需求，色泽均匀，无变色现象。

4.3 辅材

4.3.1 复合材料中辅材根据性质和应用可分为填充材料、加工助剂等。

4.3.2 填充材料和加工助剂类辅材品种、规格、性能、检测等均应符合国家现行标准有关改性材料的规定，常用改性材料产品标准宜按表 4.3.2 采用。

表 4.3.2 常用改性材料产品及试验检测标准

标准编号	标准名称
GB/T 1040.2-2006	《塑料拉伸性能的测定 第 2 部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》
GB/T 31290-2014	《碳纤维单丝拉伸强度的测定》
ISO 11566-1996	《纤维单丝拉伸强度测试》

4.3.3 增强纤维类宜选用玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维等纤维类，并应符合下列规定：

- 1 掺入基材中的玻璃纤维的规格和性能不应低于表 4.3.3-1 的规定。

表 4.3.3-1 玻璃纤维性能表

规格尺寸 (牌号, 长度)	拉伸/屈服强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	密度(g/cm^3)	熔融温度 ($^{\circ}\text{C}$)
E 级玻纤	2000	60	2.4	600

2 掺入基材中的碳纤维的规格和性能不应低于表 4.3.3-2 的规定。

表 4.3.3-2 碳纤维性能表

规格尺寸 (牌号, 长度)	拉伸/屈服强度(MPa)	弹性模量(GPa)	密度(g/cm ³)
T300 级	3400	230	1.7

3 掺入基材中的芳纶纤维的规格和性能不应低于表 4.3.3-3 的规定。

表 4.3.3-3 芳纶纤维性能表

规格尺寸 (牌号, 长度)	拉伸/屈服强度(MPa)	弹性模量(GPa)	密度(g/cm ³)
标准级	2000	100	1.4

4.3.4 增强纤维类材料的掺入种类和比例应根据打印工艺以及应用场景并经打印工艺评定进行确定。

4.3.5 加工助剂类宜选用抗氧剂、光稳定剂、增塑剂、改色剂等。

【条文说明】4.3.1~4.3.5 复合增强技术,是提高热塑性聚合物材料使用性能和打印性的重要手段,填充材料主要分为增强纤维类、加工助剂类等,包括但不限于以下几种:

1 玻璃纤维

玻璃纤维是一种高强度、高模量的无机非金属纤维,其化学组成主要是二氧化硅、三氧化硼及钠、钾、钙、铝等氧化物。玻璃纤维具有优良的拉伸了强度、耐热性、绝缘性、化学稳定性、尺寸稳定性、高性价比等优点,十分适用于热塑性塑料的增强材料,在交通运输、建筑、环保、石油化工、电子电器、航空航天等领域有着广泛的应用。

2 碳纤维

碳纤维是由碳元素组成的一种特种纤维,由有机纤维经固相反应转化为碳纤维,如 PAN 纤维或者沥青纤维在保护气氛下热处理生成的含碳量在 90%~99%范围

的纤维。碳纤维具有十分优异的强度和刚性，低密度、高刚性的力学性能特点，同时具有优异的耐温性、导热性、耐腐蚀性、自润滑性和尺寸稳定性，以及低线形膨胀系数。

3 芳纶纤维

芳纶纤维是一种新型合成纤维，具有超高强度、高模量和耐高温、耐酸耐碱、重量轻等优良性能，其强度是钢丝的 5~6 倍，模量为钢丝或玻璃纤维的 2~3 倍，韧性是钢丝的 2 倍，而重量仅为钢丝的 1/5 左右，在 560 度的温度下，不分解，不融化。它具有良好的绝缘性和抗老化性能，具有很长的生命周期。

4 抗氧化剂

热塑性聚合物材料是一种有机材料，其在成形加工和使用的过程中，暴露在空气中会发生氧化反应，氧化作用有常被称为老化现象，而氧化作用对聚合物化学结构的影响统称为降解。聚合物材料的降解与老化会导致材料性能的降低，通过添加抗氧化剂可以抑制聚合物材料的氧化作用，从而保持聚合物材料性能的稳定。

5 光稳定剂

聚合物材料暴露在日光下，光线中的紫外光会引起聚合物材料分子链的断裂，引起材料黄变和性能的衰减，光稳定剂可以抑制光降解反应的发生，提高材料耐候性。

6 增塑剂

增塑剂是一种提高聚合物熔体流动性的小分子添加剂，其可以有效提高聚合物材料熔融加工过程中的塑化效果，提高热塑性聚合物材料的可加工性。

7 阻燃剂

赋予易燃聚合物难燃性的功能性助剂，主要是针对高分子材料的阻燃设计的；阻燃剂有多种类型，按使用方法分为添加型阻燃剂和反应型阻燃剂。

4.3.6 复合材料测试应包括下列内容：

- 1 热塑性复合材料力学性能测试；
- 2 熔融指数；
- 3 维卡耐热性测试；
- 4 阻燃性能测试；
- 5 耐候性测试。

【条文说明】4.3.6 复合材料性能测试

1 热塑性复合材料力学性能测试参考现行国家标准《塑料 拉伸性能的测定》GB/T 1040.1；《塑料 弯曲性能的测定》GB/T 934；《塑料 悬臂梁冲击强度的测定》GB/T 1843；

2 热塑性复合材料熔融指数的测定参考《热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定》GB/T 3682.1。

3 热塑性复合材料维卡耐热性测试的测定参考《热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定》GB/T 1633。

4 热塑性复合材料阻燃性能测试参考《塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法》GB/T 2408。

5 热塑性复合材料耐候性测试参考《塑料实验室光源暴露试验方法第3部分：荧光紫外灯》GB/T16422.3。

5 打印设备

5.1 一般规定

5.1.1 打印设备应包括打印运动平台、挤出装置、物料系统、工作平台、控制系统、操作系统等。

【条文说明】 5.1.1 打印设备系统组成复杂，应根据具体应用场景以进行系统优化组合。这里只列出了必须具备的相关系统，包括：打印运动平台、挤出装置、控制系统、物料系统、操作系统、工作平台等。其它可以对打印工艺及打印零部件质量达到优化效果的系统还包括：辅助加热系统，保温系统等。

5.1.2 打印设备宜具备大于 168h 的连续稳定工作性能。

【条文说明】 5.1.2 不稳定的打印设备会影响打印零部件质量以及打印零部件的效率，增大原材料的损耗率，对于大尺寸零部件打印由于打印时间周期较长因此需对设备的稳定工作时长做相应的规定。

5.1.3 打印设备精度应满足零部件使用场景的精度需求。

【条文说明】 5.1.3 不同应用场景及特定需求时会对整套打印设备的精度提出不同的要求，需选择配套适应需求的打印设备系统。

5.1.4 打印设备应满足现行国家、行业设备安全运行标准。

【条文说明】 5.1.4 现行国家相关的设备安全运行标准符合《国家电气设备安全技术规范》GB 19517 和《机械电气安全 机械电气设备》GB 5226.1 等。

5.1.5 打印设备应具备防尘、防风、恒温和安全维护等功能。

5.2 打印运动平台

5.2.1 打印运动平台主要分为龙门式运动平台和机械臂式运动平台。

【条文说明】 5.2.1 目前运用于 3D 打印运动平台形式主要有龙门式、串联机械臂以及并联式的运动结构，每种设备都各自由优缺点，，为此本条只列出了适用于大尺寸 3D 打印设备的各种平台形式，实际打印时需要结合具体情况进行设备的选择。

5.2.2 龙门式打印运动平台应符合下列规定：

- 1 顶梁式龙门运动结构应采用顶梁固定工作台移动结构形式；
- 2 动梁式龙门运动结构应采用横梁上下移动，工作台前后移动结构形式；
- 3 动柱式龙门运动结构应采用工作台固定，龙门架移动形式；
- 4 高架式龙门运动结构应采用横梁在高架床身上移动形式；
- 5 工作台升降式运动结构应采用十字滑台固定，工作台上下移动结构形式；
- 6 十字滑台升降式运动结构应采用工作台固定，十字滑台上下移动结构形式。

5.2.3 龙门式打印平台系统宜符合以下形式：

- 1 传动机构宜选用齿轮齿条的传动形式；
- 2 电机宜选用伺服电机的形式。

【条文说明】 5.2.3 本条规定了大尺寸 3D 打印设备宜采用的传动形式：传动形式主要分为齿轮齿条，同步带，丝杆三种传动方式，齿轮齿条传动形式的优点为：承载力大，传动精度高，可达 0.01mm，可无限长度对接延续，传动速度可以很高 >2m/s，针对大尺寸 3D 打印方案来说，齿轮齿条传动的形式更能在大荷载的情况下保障高精度及高速度。同步带传动方式的优点为短距离传动速度可以很高，传动精度较高，噪音低。但当荷载较大或传动距离较长时容易产生较大的弹性变形和震动，不适合精确定位及连续性运动控制。丝杆的传动方式传动效率高，精度高，噪音低，适合高速往返传动，但直线水平传动时跨距过大会产生极限转速和自重下垂变形，即传动长度不能太长，同时工作时间久了后，传动间隙变大，精度变差。同时本条规定了大尺寸 3D 打印设备宜采用的电机驱动形式：电机驱动的形式主要分为三项异步电机，步进电机以及伺服电机驱动的方式。异步电机优点为结构简单，制造方便，运行性能好，并可节省各种材料，价格便宜，但功率因数滞后，轻载功率因数低，调速性能较差，无法完成高精度的控制。步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构，由于是数字量输入，电机精度得到了极大的提高，速度与加速度控制很容易实现，且控制效果较好。但步进电机在高速运动时性能差，控制器驱动器电路复杂体积大，价格也高于传统电机。伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。由于伺服电机自带电机编码器形成内闭环所以控制精度很高，能在高

速下正常运行，同时驱动器可与上位机直接进行通信。针对大尺寸 3D 打印采用伺服电机驱动传动机构的形式能够在高速的状态下保障设备的精度和稳定性。

5.2.4 龙门式打印运动平台基础架设及现场安装过程中及完成后的精度检测应按表 5.2.4 中所列的标准实施。

表 5.2.4 龙门式运动平台精度检测标准

标准编号	标准名称
GB/T 25661.1	《高架横梁移动龙门加工中心 第 1 部分:精度检验》
GB/T 17421.1	《机床检验通则 第 1 部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度》
GB/T 17421.2	《机床检验通则 第 2 部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定》
GB/T 19660	《工业自动化系统与集成 机床数值控制 坐标系和运动命名》

5.2.5 机械臂式打印运动平台应符合下列规定：

1 并联机械臂式运动平台应由固定平台、浮动平台以及连接固定平台与浮动平台的三条完全一致的支链构成，三条支链在固定平台与浮动平台之间呈 120° 均匀分布。每一条支链由主动杆与被动杆组成；

2 串联机械臂式运动平台应由一系列连杆通过转动关节或移动关节串联形成的。

5.2.6 机械臂式打印运动平台基础架设及现场安装过程中及完成后的精度检测应按表 5.2.6 中所列的标准实施。

表 5.2.6 机械臂式运动平台精度检测标准

标准编号	标准名称
GB 11291.1	《工业环境用机器人 安全要求 第 1 部分：机器人》
GB 11291.2	《机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第 2 部分：机器人系统与集成》

5.3 挤出装置

5.3.1 挤出装置可分为立式挤出机和卧式挤出机。

5.3.2 挤出装置按照内部结构形式可分为单螺杆挤出机和双螺杆挤出机。

【条文说明】 5.3.1~5.3.2 本条规定了大尺寸高分子复合材料 3D 打印挤出装置的种类，所有类别的挤出装置应满足现行国家、行业相关标准。

5.3.3 挤出装置宜按照产量指标进行划分,并应根据打印零部件大小进行设备匹配。

【条文说明】5.3.3 本条规定了挤出装置宜根据每小时产量进行划分,常用的有1kg级,5kg级,10kg级,20kg级,50kg级等。

5.3.4 挤出装置应符合下列规定:

- 1 应具备适应标准塑料颗粒大小及形状的能力;
- 2 非工作状态下最低加热能力应达到原料熔点以上 50℃;
- 3 针对不同辅材添加应具备稳定的挤出性能;
- 4 每分钟产能波动小于标称±15%;
- 5 连续稳定工作时长应大于 168h。

【条文说明】5.3.4 本条具体规定了打印挤出装置的具体技术要求,其中应具备适应标准塑料颗粒料大小包括但不限于常规1mm-4mm圆柱形工业颗粒料,饼状形工业颗粒料等。同时挤出设备的各部件包括螺杆、轴承、料斗、加热段等均应能够稳定挤出根据不同需求复合增强纤维或添加助剂后的高分子复合材料。为了满足大尺寸3D打印的连续长时间打印的基本需求,本条规定了挤出装置应至少能够连续稳定工作的时长。

5.3.5 当对层间粘结力有特殊要求或对外表面层纹效果有特殊要求时,应具有密实装置。

【条文说明】5.3.5 本条规定了大尺寸3D打印设备针对层间粘接力或外部纹理有特殊要求时应具备的装置。该密实装置宜采用上下往复拍打的形式或滚动压平的形式,对熔融的熔体进行流态成型控制,使得刚挤出的熔体能更紧密地与前一层粘接在一起。

5.4 物料系统

5.4.1 物料系统应包括供料设备系统和物料监控系统。

【条文说明】5.4.1 本条规定了物料系统应具备的基本组成。

5.4.2 物料系统应具备 168h 连续稳定工作的能力。

5.4.3 供料设备系统应具有以下功能:

- 1 物料干燥功能及实时检测物料储藏容器内部空间温度的功能;

- 2 原料无障碍输送功能，输送方式宜选用气力输送；
- 3 粉尘收集功能。
- 4 供料系统总储存料的重量应大于该打印材料所需的预加热时间与打印设备的每小时产量之乘积，即：

$$F_{\text{all}} \geq t_{\text{preheat}} * g_{\text{extruder}} \quad (5.4.3-1)$$

- 5 供料系统的单次输送时间应小于打印设备单次消耗完挤出设备上料筒内料的时间，即：

$$t_{\text{feed}} \ll t_{\text{extruder}} \quad (5.4.3-2)$$

【条文说明】5.4.3 本条规定了为大尺寸 3D 打印设备的供料设备系统所应具有的功能，其中，预加热功能应根据不同的原材料设置不同预加热工艺的时长；供料系统的总储料应根据挤出设备和材料属性进行设计。

5.4.4 物料监控系统应具备以下功能：

- 1 实时检测反馈物料储藏容器内物料储藏量的功能；
- 2 对物料系统硬件故障及储料状态的判别、监视和报警功能。

5.5 工作平台

5.5.1 大尺寸 3D 打印所使用的工作平台可分为：木制工作平台、真空吸附常温工作平台、真空吸附加热工作平台三种。

【条文说明】5.5.1 本条规定了常用的大尺寸高分子复合材料 3D 打印的工作平台形式。其中不具备加热功能的工作平台，也称作打印冷床；带加热功能的工作平台也称作打印热床。

5.5.2 木制工作平台的偏差度应小于±1mm。

5.5.3 真空吸附平台的偏差度应小于±0.1mm。

【条文说明】5.5.2~5.5.3 木制工作平台由于其制作的工艺决定了自身精度无法太高，而金属或真空吸附工作台通常采用机加工等方式制作，精度较高，因此本条根据不同工作平台形式规定了对应的平台精度要求，以满足最终的 3D 打印精度需求。

5.5.4 具有加热功能的工作平台加热温度的控制范围宜设置为 0℃~120℃。

【条文说明】5.5.4 本条规定了带加热功能的底板的温升功能基础需求。

5.5.5 大尺寸 3D 打印工作区间宜进行封闭。

【条文说明】 5.5.5 本条从设备方面规定了基本功能要素。减少打印工作区空气流动，提高打印质量

5.5.6 工作平台应设置人员专用通道。

【条文说明】 5.5.6 由于打印过程中需要保证打印区内无与外界空间的空气对流，故需要提供专用的人员通道在保证进出人员同时，最小程度影响打印工作区的空气对流。

5.5.7 工作平台应设置打印零部件进出专用通道。

5.6 控制系统

5.6.1 打印设备的控制系统应具备下列功能：

- 1 轴控制功能应具有多轴联动控制功能；
- 2 坐标系统应具有设定使用机械坐标系（G53），工件坐标系（G54-G54）的功能；
- 3 应具有实现如直线、圆弧、螺旋线、抛物线、正弦曲线等运动方式的插补功能；
- 4 应具有快速移动、连续打印、进给量调整、自动加减速功能等性能；
- 5 应具有自动补偿机械传动部件因间隙产生误差的功能；
- 6 应具有单程序段运行、连续运行、软键操作、暂停和急停等功能；
- 7 应具有打印程序的检索、编制、修改、插入、删除、更名、锁定、在线编辑，在执行自动运行的同时进行编辑以及程序的存储通信等；
- 8 应具有对软件、硬件故障的自我诊断报警功能。

【条文说明】 5.6.1 本条规定了大尺寸 3D 打印设备控制系统硬件及软件的具体技术要求。其中自诊断报警功能具体指的是可以监视整个机床和整个生产过程是否正常，并在发生异常时及时报警。此外，控制系统硬件及软件结构还应复合相应的国家及行业电气安全规范等。

5.6.2 打印设备的控制系统应能识别运行 G-code 形式的 3D 打印加工文件。

【条文说明】 5.6.2 本条规定了大尺寸 3D 打印设备控制系统识别 3D 打印加工文件的格式要求。G-code 为通用性数控编程语言，广泛使用在日系，德系大型

运动机构控制系统中。

5.6.3 整套高分子复合材料大尺寸 3D 打印设备重复定位精度偏差应为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

【条文说明】 5.6.3 目前用于高分子复合材料大尺寸 3D 打印的设备形式种类繁多，配套的控制系統种类也很多，很难对设备提出一个统一的要求，为此，本条从设备精度方面对设备提出要求，实际打印时要结合具体情况进行设备的选择。

5.6.4 整套高分子复合材料大尺寸 3D 打印设备应能保证稳定可靠工作运行大于 168h。

【条文说明】 5.6.4 由于大尺寸高分子复合材料 3D 打印的特殊性，对系统连续稳定打印的工作时长提出了要求，因此本条从整套设备的角度规定了打印设备应至少能够连续稳定工作的时长。

5.7 操作系统

5.7.1 操作系统宜根据用户要求及设备供应商或用户要求的软硬件功能进行开发。

【条文说明】 5.7.1 本条规定了操作系统应满足设备供应商以及用户的共同需求。

5.7.2 操作系统硬件设施应符合下列规定：

1 控制开关的有效区域内宜用形象符号表示出控制效果的变化，控制方向应与实际效果一致；

2 按键的颜色应符合现行国家标准《机械电气安全 机械电气设备 第一部分：通用技术条件》GB/T 5226.1 中的相关规定；

3 急停按键宜放在易于触到的位置，但禁止放在操作者正常操作时手经常移动的方向上，防止误触；

4 同一控制对象的按键或同一类别的控制按键宜设置在一组，并标出控制对象的形象符号。

【条文说明】 5.7.2 本条规定了操作系统硬件设施应满足的技术要求：其中按键颜色参照国家标准的具体要求例如：白色按键用于启动，黑色按键用于点动，正反转控制，红色按键用于紧急停止等。同一控制对象一般主要指的是主轴正反

转、启停控制；同一类型控制主要指的是 3D 打印类等。

5.7.3 操作系统软件部分界面包括但不限于以下五种界面：开机界面、主界面、程序界面、设置界面及诊断界面，应符合下列规定：

- 1 开机界面宜包含系统标识并显示开机状态；
- 2 主界面宜显示设备运行的绝对位置、综合位置以及当前位置；
- 3 程序界面宜包含程序选择、操作、编辑等功能；
- 4 设置界面宜包含设置坐标系、打印参数控制等功能；
- 5 诊断界面宜包含 PLC 数据、报警历史、输入输出及版本信息等功能；
- 6 图标宜使用符合国家或行业标准的样式。

【条文说明】 5.7.3 本条规定了操作系统软件部分的应满足的技术要求，用户可根据需要设置操作按键的功能及与之对应的显示方式和设定显示画面的结构和内容。界面内的图标应符合现行国家标准《金属切削机床 操作知识形象化符号》GB/T3167、《数字控制机床 操作指示形象化符号》GB/T3168、《设备用图形符号》GB/T16273.2 的规定。

6 打印工艺

6.1 一般规定

6.1.1 进行大尺寸高分子复合材料 3D 打印时应根据材料性能、打印设备制定打印工艺，并形成工艺文件，见附录 B 《高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告》。

6.1.2 在打印前宜按照打印工艺文件要求进行材料测试及工艺测试并制定打印工艺评定。

【条文说明】 6.1.1~6.1.2 由于大尺寸高分子复合材料 3D 打印与常规施工方式有很大区别，为了能更好的完成施工，应根据工程结构特点、零部件打印要求等因素编制切实可行的打印工艺方案，同时就打印工艺方案内容进行材料、设备选型以及作业人员技术交底。

6.1.3 打印前宜利用计算机仿真技术进行 1:1 模拟打印。

【条文说明】 6.1.3 本条规定了采用模拟仿真打印的形式进行测试的方式，正式打印前采用模拟仿真打印可以发现由于模型设计上，设备配置上，打印工艺参数上等因素引发的问题。进行模拟测试时，大尺寸 3D 打印宜采用的数据流主要包括以下内容：

- 1 设计原始模型；
- 2 深化原始模型并转换为打印模型；
- 3 使用切片软件对打印模型进行轨迹规划；
- 4 对于轨迹进行模拟打印；
- 5 导出轨迹生成 G 代码并上机打印。

大尺寸 3D 打印在深化原始模型时应注意模型的悬垂角度，防止悬垂角度过大导致实际打印时上下层错位较大发生材料塌陷。大尺寸 3D 打印在使用切片软件规划轨迹时，应保持最小回抽路径原则，保证路径中较少的回抽点能减轻挤出头拉丝或者积料现象。

6.1.4 打印承力部件应进行结构设计。

【条文说明】 6.1.4 本条规定了 3D 打印零部件作为承力部件时的要求，其中结构设计、优化应包括下列内容：

1 结构方案设计，包括结构选型、传力路径规划、筋格布置、堆积方向选择等；

2 材料选用，壁厚及单道线宽选择；

3 作用及作用效应分析；

4 结构的极限状态验算；

5 结构、部件及连接的构造；

6 运输、安装等要求；

7 满足特殊要求的专门性能设计。

6.1.5 打印零部件转角部位应进行倒圆处理。

【条文说明】 6.1.6 由于打印设备的运动特性，需要借助倒圆，钝化等后处理方式使得零部件的打印轨迹无尖角出现，使打印轨迹由光顺的曲线组成。

6.2 打印工艺评定

6.2.1 打印零部件数字模型应符合下列规定：

1 模型精度

打印用三维模型应无破面，无穿面等异常缺陷，为封闭实体，模型精度宜达到打印精度的一倍及以上；

2 模型格式

模型格式宜采用 STL 格式；

3 模型最大悬垂角度

打印模型最大悬垂角度应大于 45° ；

4 模型转角最小半径

打印模型转角最小半径应大于打印线宽的一半；

5 模型坐标转换

模型宜将平整的面作为打印底面；

6 模型拆分

模型超出设备打印尺寸时，宜进行模型拆分，并预留拼接面。

【条文说明】 6.2.1 本条规定了大尺寸 3D 打印使用的数字模型的基本参数及格式要求，数字模型除需满足本条的基本要求外，还应当根据选用的材料、设备

以及采取的打印工艺进行相应的模型打印性优化，主要包括：模型实体化，线框封闭化。同时为了满足成品打印零部件的质量要求，应根据实际情况进行模型参数修改，例如：控制网格边缘至曲面的最大距离不大于实际层高的 1/10，网格长宽比不大于 1: 5 等。

打印数据的格式常规推荐 STL 格式，也可以采用 step 或其它规定格式，但可能会由于模型转换造成精度上的损失（主要为空间曲面三角面片的缺损等）。模型悬垂角度如图 5 所示：

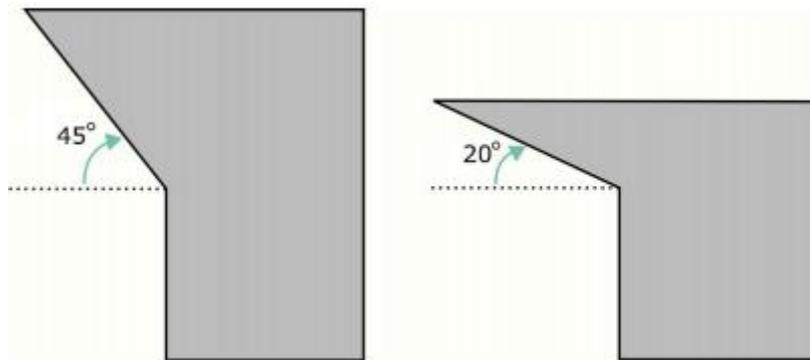


图 5 模型悬垂角度示意图

当打印模型悬垂角大于 45° 时材料自身线宽能够支撑上一层的重量，不会发生材料坍塌以及错位的问题，当悬垂角小于 45° 时，打印材料悬空，导致发生错位及坍塌。

调节模型坐标方向时，应最小化支撑材料，增大悬垂角度，降低模型发生塌料的可能性，同时降低模型去除支撑后破坏表面的可能性，提高模型的打印质量。

模型拆分时应顺着打印方向，进行模型拆分，并预留后处理面层以及连接位置，方便后续拼接工作。

6.2.2 大尺寸 3D 打印的工艺参数宜进行打印工艺评定，工艺评定应包括下列内容：

- 1 材料的熔融程度；
- 2 单层打印时间与单层固定位置的温度变化；
- 3 挤出速度匹配设备运行速度；
- 4 挤出速度与设备运行速度匹配打印线宽层高；
- 5 打印零部件温度场与打印零部件参数匹配；
- 6 打印模型进行切片逻辑，应保持回抽路径最小化的原则。

【条文说明】6.2.2 本条规定了打印前应进行打印工艺评定的打印工艺参数及重要内容，其中最小化回抽路径目的是为了降低回抽路径过多带来的挤出头拉丝或者积料现象，并拓扑优化填充结构，使之满足最小的重量同时满足模型使用面的力学性能强度要求。

测试前宜进行大尺寸 3D 打印温度场的模拟分析，根据切片程序文件在进行打印过程的模拟仿真，分析打印过程的温度场变化趋势，并与经验值进行比对，分析材料在打印过程中的热应力释放结果。根据与经验值比对的结果，对打印模型数据进行相应修正。如：逐层打印时间远远大于经验值，应重新对于模型进行轻量化处理，减少逐层打印时间，降低打印过程中的翘曲现象的出现。

6.2.3 打印测试流程应符合下列规定：

- 1 测试前原料应按指定干燥温度干燥不少于 4h；
- 2 测试前应用螺杆清洗材料对机器内部进行清洗；
- 3 测试时应使用对应材料的配套熔融温度，匀速挤出测试物料，且保证挤出无浮纤，膨胀，破裂等问题；
- 4 测试时应按照固定线宽层高参数进行样件打印；
- 5 测试后宜用冷切割的方式将样件分割成相应尺寸和形状的样条，并上专业仪器进行性能测试。

【条文说明】6.2.3 本条规定了打印测试的具体步骤及重要的技术点：其中推荐采用冷切割的方式如水刀切割对打印零部件取样测试，主要是因为如采用常规切割方式，容易在材料切口部位由于局部摩擦受热导致缺口熔融，影响最终测试结果。

6.2.4 打印测试时，大尺寸 3D 打印零部件性能不应低于表 6.2.4 所示：

表 6.2.4 大尺寸 3D 打印零部件性能要求

材料类型	挤出温度	XY 轴弯曲强度	Z 轴弯曲强度	X 轴弯曲模量	Z 轴弯曲模量
	(°C)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
ASA+20GF%	230	67	27	3300	1600
ABS+20CF%	230	82	23	4600	1500
PC+30%GF	280	103	42	4900	3400
PC+40%GF	280	113	44	6500	3500
Nylon+20CF%	300	230	107	8800	2600
PETG	240	77	75	1600	1500

【条文说明】6.2.4 本条规定了常规各大类打印材料样条的基础性能表，用来对比用户的测试数据，防止过低的次品出现。

6.2.5 打印测试后应编制专项打印工艺评定文件。

【条文说明】 6.2.5 打印测试后规定的打印工艺评定文件，应对打印材料的基材及辅材、设备的类型、精度、运动速度、挤出速度、打印的层高、线宽、熔融温度、单层打印时间等打印工艺参数进行明确规定，并配套优化后的数字模型，具体见附录 B《高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告》。

6.3 打印过程工艺

6.3.1 打印前应按照打印工艺评定表对材料及设备进行参数配置。

【条文说明】 6.3.1 本条规定了正式打印应按照打印工艺评定文件的内容进行材料及设备的参数配置，可以有效减少正式打印时材料的损耗，大大降低打印零部件由于温度或打印工艺参数不匹配造成的打印零部件报废。

6.3.2 打印操作人员应持证上岗。

【条文说明】 6.3.2 本条规定了设备操作人员职业规范，大尺寸 3D 打印设备通常为特殊设备，应专人上岗操作，否则容易产生安全事故。

6.3.3 打印前应检查工作平台是否符合工艺要求。

【条文说明】 6.3.3 工作平台的打印前检查主要包括：

- 1 检查工作平台尺寸是否满足打印零部件需求。
- 2 检查工作平台是否牢靠的固定在指定位置。
- 3 检查工作平台工作面是否完好。如为木制工作平台，需要确认工作面的附着物是否已经牢固的附着在底板表面。
- 4 检查打印底板工作面干净，整洁，无凸起及异物。

6.3.4 打印前应检查打印设备与其辅助设备。

【条文说明】 6.3.4 工作平台的打印前检查主要包括：

- 1 检查打印设备加热，挤出部件，传感器是否可以正常工作，提供正确的反馈数据；
- 2 检查辅助设备加热，传感器是否可以正常工作，提供正确的反馈数据；
- 3 检查辅助设备相关工作时长，保证足以支持下一次零部件打印。

6.3.5 打印前宜在挤出装置不加热的状态下进行空车测试。

【条文说明】 6.3.5 由于超大零部件高分子复合材料 3D 打印单次打印量大，打

印零部件尺寸巨大。单使用电脑仿真无法完全确认程序轨迹的正确性，应实际上机空跑测试前几层，验证打印空间是否满足打印需求及打印程序 G 代码是否正确。

6.3.6 打印前处理应进行以下操作：

- 1 应将挤出装置口模及各加热段升温到指定温度并保持至少 1h；
- 2 应开启附属加热设备，保证打印区域内的环境温度大于 20℃。
- 3 应将挤出装置中残留物料挤出清空，并熔融挤出新材料直至稳定。

【条文说明】 6.3.6 本条规定了打印预加热过程中应注意的事项，如未将挤出装置口模及加热段升温保持 1h 以上，可能导致材料在挤出机中发生凝固阻塞打印头，造成设备的损坏；如未将环境温度升到推荐温度，可能导致打印零部件由于急速温降产生的过大翘曲及开裂现象，造成打印件报废。由于挤出的物料为高分子材料，多次熔融或长时间高温剪切状态会使其性质发生改变，故应排空挤出装置内部剩料，废料，宜使用专用螺杆清洁料进行挤出装置的内部清洗。

6.3.7 打印过程应对不同区域采用不同的打印工艺参数。

- 1 底层宜采用宽线宽打印；
- 2 余量层宜逐层减少线宽至零部件实际打印线宽；
- 3 零部件成型区应采用恒定线宽及层高进行打印。

【条文说明】 6.3.7 由于打印零部件不同区域在打印过程中与零部件使用过程中作用不同，需要采用不同的工艺来保证其性能特点。底层宜采用较宽的打印线宽，使得打印零部件能更好的粘接于工作平台以及修正打印底面的平整度。余量层宜通过调整设备运动速度控制线宽均匀减少至零部件实际的单道线宽，一般控制余量层宜为 3-5 层。

6.3.8 打印零部件与工作平台应进行专项连接。

【条文说明】 6.3.8 打印到一定高度后可以采取胶接零部件尖角于打印底板上或者机械固定的方式，增强零部件和底板的粘接力，减少零部件由于热应力释放过程造成的翘曲高度，降低打印零部件的报废率。

- 1 宜采用高分子材料颗粒与粘接剂进行加工；
- 2 需在打印一定高度后进行加固，且加固后不影响后续的打印工作；
- 3 加固工程中禁止对玻璃化温度以下 30℃的区域进行加固。

打印到一定高度后可以采取胶接零部件尖角于打印底板上的方式或者机械固定的方式，增强零部件和底板的粘接力，减少零部件由于热应力释放过程造成的翘曲高度，降低打印零部件的报废率。

6.3.9 打印结束后应等待零部件整体温度降至室温后进行取件。

【条文说明】 6.3.9 打印结束后等待零部件整体温度降至室温再取件可以有效防止因取件受力造成的内应力释放不均匀，排除取件的误差产生。

6.3.10 大尺寸 3D 打印过程中产生的加工残留物应回收，符合环保要求。

【条文说明】 6.3.10 打印结束后等待零部件整体温度降至室温再取件可以有效防止因取件受力造成的内应力释放不均匀，排除取件的误差产生。

7 打印产品检验

7.1 一般规定

7.1.1 打印产品检验应符合下列规定：

1 自检，是在打印制造过程中，由本单位具有相应资质的检测人员或委托具有相应检验资质的检测机构进行的检验；

2 监检，是业主或其代表委托具有相应检验资质的独立第三方检测机构进行的检验。

【条文说明】 7.1.1 本条规定对打印产品检验的进行了分类和解释，包括打印前检验、打印中检验、打印后检验。自检人员的资质除应满足本标准的相关规定外，检测人员数量要求应满足每个项目不少于 2 名人员的规定。监检同样是产品质量保证体系重要的一环，但需由具有机制的独立第三方来完成，同时必须对整个生产过程中的任意一环进行检验，包括材料，设备精度，打印工艺等。

7.1.2 打印产品检验一般包括打印前检验、打印中检验和打印后检验，并应符合下列规定：

1 打印前检验应包括下列内容：

- 1) 按设计文件和相关标准的要求对工程中所用的高分子复合材料的规格、型号（牌号）、颗粒直径、颗粒切口及质量证明文件进行确认；
- 2) 打印工艺文件及操作规程审查；

- 3) 打印模型格式、倾斜角度、模型尺寸等工艺数据检查;
- 4) 打印环境、打印设备等打印条件确认;
- 5) 打印材料的预烘干、保存等情况检查。

2 打印中检验应包括下列内容:

- 1) 实际打印零部件的单道线宽、单层层高、前层打印温度、打印挤出温度、打印速率、挤出产量、逐层打印时间等打印工艺参数与打印工艺文件的符合性检查;
- 2) 打印零部件外观层纹检查;
- 3) 打印材料定时补充检查。

3 打印后检验应包括下列内容:

- 1) 打印零部件的外观质量与外形尺寸检查;
- 2) 打印零部件过程中的温度场数据、温度场有限元模拟数据, 以及温度场经验数据比对;
- 3) 打印设备的无损检查;
- 4) 打印工艺的过程记录以及检验报告审查。

【条文说明】 7.1.2 本条规定了打印检验的三个阶段: 打印前检验、打印中检验和打印后检验的具体内容。其中打印前检验主要是为了审核使用的材料, 设备以及打印评定的工艺的正确性; 打印中检验是为了确保打印零部件的整体打印质量; 打印后检验是为了检验检测打印零部件的最终质量。

7.1.3 打印检验前应根据结构所承受的荷载特性、打印数据模型、及规定的打印工艺参数要求编制检验和试验计划, 由技术负责人批准, 核验并备案。检测方法因包括外观检测、外形检测、内部探伤检测、荷载检测等。

【条文说明】 7.1.3 本条规定了检验检测方案应于打印零部件完成后根据实际情况制定。

7.1.4 成品出厂检测应进行实物测量。

【条文说明】 7.1.4 在 3D 打印零部件经过相应的后处理工艺后, 高分子复合材料大尺寸 3D 打印成品检验应根据不同需求、不同打印零部件尺寸选择不同的测量方法及工具, 如手持激光扫描仪以及激光点云扫描站, 扫描模型尺寸与原始模型精度进行比对, 并出具相关文件说明, 打印及后处理之后出场的零部件精度

及强度问题。

7.2 检测方法

7.2.1 检测方法应包括外观目测、设备检测和打印过程热历史数据比对。

【条文说明】 7.2.1 本条规定了针对大尺寸 3D 打印零部件常规的几种检测方法。

7.2.2 外观目测时应观察打印零部件整体有无开裂翘曲现象、打印外观、层纹是否一致。

【条文说明】 7.2.2 外观目测时应着重观察打印零部件整体有无开裂现象、外观颜色与正常挤出外观颜色不一致，即视为打印质量差、零部件打印不合格，如没有可进行后续的更高精度检测。

7.2.3 采用设备对打印零部件检测时应根据打印零部件尺寸大小选择合适的设备进行检测。

【条文说明】 7.2.3 打印零部件尺寸任意一方向单边大于 1.5 米宜采用手持激光扫描仪检测；打印零部件尺寸任意一方向单边大于 1.5 米宜采用激光点云扫描检测。手持扫描成型的分辨率参数宜设置为 0.1~0.5mm，扫描生成的模型与设计的模型进行合模耦合比对，生成误差的色阶图，误差在±3mm 以内视为打印产品啊质量精良，在±5mm 以内视为打印产品质量合格。

7.2.4 打印零部件宜在打印过程中采用热成像摄像头动态监控温度场。

【条文说明】 7.2.4 打印零部件熔融粘接时的当前层温度为熔融沉积工艺的核心工艺参数，应对打印温度场数据进行记录，并校对过往的热历史数据，与材料的玻璃化温度以及整体零部件(不同尺寸参数不同)翘曲温度经验参数进行比对，根据与温度经验参数差距的多少来判定打印产品质量合格与否。

7.2.5 打印零部件应根据使用需求进行相应的荷载测试。

【条文说明】 7.2.5 荷载检测具体步骤为打印零部件设计时经过结构有限元分析，生成荷载预测数据后，在打印完成后取专用检测零部件参照 ASDN 或 ISO 标准，进行载荷等材料性能测试，并出具测试性能报告，与之前的材料性能参数进行比对，根据数据判定打印产品质量合格与否。

7.3 检测验收

7.3.1 检测验收应根据打印零部件实际应用需求制定。

7.3.2 零部件需求精度较低时，检测精度宜设定为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

7.3.3 零部件需求精度较高时，检测精度宜设定为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

【条文说明】 7.3.1-7.3.3 本条规定了检测精度的实际需求以及分类，当检测精度需求为 $\pm 0.5\text{mm}$ 时，宜使用手持三维扫描设备进行外尺寸扫描；当检测精度需求为 $\pm 0.05\text{mm}$ 时，宜使用激光点云扫描设备配合专业软件进行外尺寸扫描逆向比对。

7.3.4 根据应用场景不同，按照产品所在行业的要求进行评定，应增加其它检测内容。

【条文说明】 7.3.4 这里增加的内容包括：如将3D打印零部件作为特殊模具使用时，需增加对应的气密性或水密性测试，以及热压罐测试工艺。检测验收除应符合本规程的规定外，还应满足应用行业中的现行国家及行业标准。

8 包装、运输、贮存及现场安装

8.1 包装、运输与贮存

8.1.1 为保证打印零部件在运输过程中无损，应进行相应的外包装。

8.1.2 打印零部件的外包装应注明公司标识、全称、电话、地址、产品出场日期等。

【条文说明】 8.1.1~8.1.2 本条规定了大尺寸 3D 打印零部件在包装时的基本技术要求，同时外包装应满足现行国家标准。

8.1.3 大尺寸 3D 打印零部件运输时应符合下列规定：

- 1 相关出场合格证打包与打印零部件一起运输；
- 2 将包装好的打印零部件固定在运输车辆上，保证不会侧翻、倾倒；
- 3 空隙处用泡沫塑料填充塞紧。

【条文说明】 8.1.3 本条规定了大尺寸打印零部件运输时应注意的事项。装车卸车时宜采用满足荷载要求的叉车或吊车设备进行装卸，吊带或插齿的位置应尽量挑选在零部件自身强结构的位置，并垫上防滑泡沫材料，防止零部件在装卸车时受损受污。运输时车辆限速 80km/h 以下，杜绝因刹车过急造成的打印零部件滑动受损。

8.1.4 打印零部件包装后贮存的空间应尽量为干燥的室内，减少阳光、雨水、尘埃对打印零部件造成的影响。

【条文说明】 8.1.4 本条规定了大尺寸 3D 打印零部件在贮存时对现场及环境的基本技术要求。

8.2 现场安装

8.2.1 现场安装应根据现场实际条件制定相应的安装方案。

【条文说明】 8.2.1 现场验收的方案应保证超大零部件安装过程中的无损以及安装完毕后的结构安全，此外还应符合相应的国家、行业以及环保的规范。

8.2.2 现场安装前应进行相关人员的方案交底及安全交底。

【条文说明】 8.2.2 与现场相关安装技术人员进行方案及安全交底时，图纸应满足相应的国家、行业规范，安装技术人员团队应至少包括 1 人以上具有吊装经

验。

8.2.3 现场安装完后应参照相关验收标准进行产品验收及移交工作。

【条文说明】 8.2.3 安装结束后进行产品移交及验收工作时，除应满足本规程内的要求外，还应符合现行国家标准 GB 50300 《建筑工程施工质量验收统一标准》等其它国家行业相关标准。

9 应用

9.1 大型景观建筑

9.1.1 大型景观建筑应进行数字化设计。

【条文说明】 9.1.1 本条规定了大型景观建筑设计的方式，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.1.2 大型景观建筑打印工艺宜采用一次成型整体 3D 打印工艺或分段打印、现场组拼工艺方式进行生产、制造及现场安装。

【条文说明】 9.1.2 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时应采取的工艺技术路线。

9.1.3 大型景观建筑打印材料宜选用耐候性强的基材复合成本低强度高的增强纤维以及阻燃添加剂。

【条文说明】 9.1.3 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时选用的材料技术要求。由于景观建筑对零部件自身抗老化性、耐候性以及阻燃性有一定的要求，同时自身成本也不能太高，推荐选用耐候性强的工程树脂复合相对较低成本的纤维材料以及阻燃、抗氧化剂等添加助剂，达到实际工程需求。

9.2 景观小品

9.2.1 景观小品应采用无色无味、无毒无害的材料进行打印。

【条文说明】 9.2.1 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时选用的材料技术要求。

9.2.2 景观小品色彩有特殊要求时，宜进行着色处理。

9.2.3 景观小品表面粗糙度有要求时，宜进行机加工处理或采用界面剂刮涂。

【条文说明】 9.2.2~9.2.3 本条规定了景观小品有特殊需求时，宜采用的后处理方式。外观颜色上可以采用直接喷漆或界面剂刮涂结合喷漆进行着色；表面的特殊需求宜采用机加工处理或界面剂刮涂的工艺去除或覆盖掉打印零部件表面的层纹。

9.3 异形模板

9.3.1 异形模板应满足使用场景所规定的模板相关标准。

【条文说明】 9.3.1 本条规定了异形模板设计技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.3.2 异形模板拼缝有特殊要求时，宜在设计上预留拼接余量，并进行机加工处理。

9.3.3 异形模板表面有特殊要求时，宜进行机加工处理。

【条文说明】 9.3.2~9.3.3 本条规定了异形模板有特殊需求时，宜采用的后处理方式。通过在设计上预留拼接缝或拼接阴阳面，可以有效解决分段打印模板拼装的问题。表面有特殊需求时，可以采用机加工打磨、抛光、研磨等工艺去除打印的层纹，满足实际使用需求。

9.3.4 为节约打印材料，异形模板宜采用支架进行支撑。

【条文说明】 9.3.4 打印材料方面，异形模板应根据实际使用工况，选用适配的高分子复合材料；模板的3D打印深化设计应参照本标准6.1章打印数据处理进行构建；打印工艺应根据实际需求，选择分段打印，预制拼装或整体打印，一次成型的工艺。

9.4 模具

9.4.1 模具应满足使用场景所规定的模具相关标准。

【条文说明】 9.4.1 本条规定了模具的技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.4.2 模具拼缝有特殊要求时，宜进行后处理工作。

9.4.3 模具表面有特殊要求时，宜进行后处理工作。

【条文说明】 9.4.2~9.4.3 本条规定了模具有特殊需求时，宜采用的后处理方式。通过在设计上预留拼接缝或拼接阴阳面，可以有效解决分段打印模板拼装的问题。表面有特殊需求时，可以采用机加工打磨、抛光、研磨等工艺去除打印的层纹，满足实际使用需求。

9.4.4 为节约打印材料与打印时间周期，宜采用与传统工艺相结合的形式进行组合模具的制作。

【条文说明】 9.4.4 3D打印在模具应用中宜通过与传统工艺相结合的形式，具体表现为可以将试验模具模腔以及抽芯等部件直接打印出来，再结合传统的模

具组立方式，可大幅降低模具的生产周期以及成本。与正式模相比，试验模对材料自身强度需求较低、而且结构精简，只需为正式模提供实际出产数据以供验证即可。

9.5 文创产品

9.5.1 文创产品应满足使用场景所规定的相关标准。

【条文说明】 9.5.1 本条规定了文创打印产品的技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.5.2 文创产品宜采用绿色环保材料进行打印。

【条文说明】 9.5.2 本条规定了文创类打印产品所使用的打印材料应无毒无害，并且对环境友善。

9.5.3 文创产品应根据需求，对产品表面进行后处理。

【条文说明】 9.5.3 本条规定了文创类打印产品应根据实际需求，宜采用的后处理方式。通常为表面打磨、喷漆以及组合拼接等方式。

附录 A 高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告

A.0.1 高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告封面见图 A.0.1。

A.0.2 高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告格式应符合表 A.0.2 的规定。

高分子复合材料 3D 打印 力学性能测试报告

报告编号： _____

编制： _____

审核： _____

批准： _____

单位： _____

日期： _____年_____月_____日

图 A.0.1 高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告封面

表 A.0.2 高分子复合材料 3D 打印力学性能测试报告

产品名称		评定报告编号	
产品牌号		测试日期	
复合纤维成分		复合添加剂成分	
属性	测试参照标准		测试数据
密度 (21.5℃下 g/cm ³)	ASTM D792 (ISO 1183, GB/T 1033)		
熔融指数 (g/10 min)	220 °C, 10 kg		
玻璃化温度 (°C)	DSC, 10 °C/min		
杨式模量 (MPa)	ASTM D638 (ISO 527, GB/T 1040)		
拉伸强度(MPa)	ASTM D638 (ISO527, GB/T 1040)		
抗弯模量 (MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
抗弯强度 (MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
简支梁冲击强度 (kJ/m ²)	ASTM D256 (ISO 179, GB/T 1043)		
XY 方向抗弯模量 (MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
XY 方向抗弯强度 (MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
XY 方向简支梁冲击强 度(kJ/m ²)	ASTM D256 (ISO 179, GB/T 1043)		
Z 方向抗弯模量(MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
Z 方向抗弯强度 (MPa)	ASTM D790 (ISO 178, GB/T 9341)		
Z 方向简支梁冲击强 度 (kJ/m ²)	ASTM D256 (ISO 179, GB/T 1043)		

附录 B 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告

- B.0.1** 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告封面见图 B.0.1。
- B.0.2** 高分子复合材料大尺寸印工艺评定报告目录应符合表 B.0.2 的规定。
- B.0.3** 高分子复合材料大尺寸印工艺评定报告格式应符合表 B.0.3 的规定。

高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告

报告编号： _____

编制： _____

审核： _____

批准： _____

单位： _____

日期： _____年_____月_____日

图 B.0.1 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告封面

表 B.0.2 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告目录

序号	报告名称	报告编号	页数
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

表 B.0.3 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告第一页

工程（产品）名称		评定报告编号	
委托单位		工艺指导编号	
项目负责人		打印日期	
打印材料化学成分和力学性能			
基材		牌号	
复合纤维种类		复合纤维百分比	
复合添加剂		复合添加剂比重	
XY 方向拉伸强度		Z 方向拉伸强度	
XY 方向杨式模量		Z 方向杨式模量	
XY 方向抗剪切		Z 方向抗剪切	
玻璃化温度		熔融温度	
设备选型			
设备类型		设备绝对定位精度	
设备工作区域		设备重复定位精度	
挤出机类型		口模大小	
烘料桶温度			

表 B.0.3 高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告第二页

打印零部件尺寸			
线宽		层高	
单层打印时间		打印道数	
最小弯角		线条重叠量	
挤出机转速		设备运动速度	
三段熔融温度		室内温度	
模型记录（附件上传）：			
打印注意事项：			
打印工艺评定结论：			
评定		年 月 日	评定单位：（签章） 年 月 日
审核		年 月 日	
技术负责人		年 月 日	

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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,在条件允许时首先应这样做的:

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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《非泡沫塑料密度的测定 第1部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》 GB/T 1033.1
- 2 《塑料线膨胀系数测定方法》 GB 1036
- 3 《塑料拉伸性能的测定 第2部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》 GB/T 1040.2
- 4 《塑料拉伸性能的测定 第4部分:各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件》 GB/T 1040.4
- 5 《塑料拉伸性能的测定 第5部分:单向纤维增强复合材料的试验》 GB/T 1040.4
- 6 《硬质塑料简支梁冲击试验方法》 GB/T 1043
- 7 《热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定》 GB/T 1633
- 8 《塑料负荷变形温度的测定》 GB/T 1634.1
- 9 《数字控制机床 操作指示形象化符号》 GB/T 3168
- 10 《热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定第1部分:标准方法》 GB/T 3682.1
- 11 《机械电气安全 机械电气设备》 GB 5226.1
- 12 《塑料弯曲性能实验方法》 GB/T 9341
- 13 《机床检验通则 第1部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度》 GB/T 17421.1
- 14 《机床检验通则 第2部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定》 GB/T 17421.2
- 15 《塑料差式扫描量热法(DSC)第3部分:熔融和结晶温度及热焓的测定》 GB/T 19466.3
- 16 《国家电气设备安全技术规范》 GB 19517
- 17 《工业自动化系统与集成 机床数值控制 坐标系和运动命名》 GB/T 19660
- 18 《高架横梁移动龙门加工中心 第1部分:精度检验》 GB/T 25661.1
- 19 《碳纤维单丝拉伸强度的测定》 GB/T 31290
- 20 《纤维单丝拉伸强度测试》 ISO 11566

21 《增材制造术语》 GB/T 35351

22 《特种加工机床 术语 第 7 部分：快速成型机床》 GB/T14896.7

高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术标准

Standard for Polymer Composites Large-scale 3D-Printing

条文说明

制定说明

本标准过程中，编制组进行了大量的调查研究，总结了我国高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术应用的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过大量试验与实际应用验证，取得了高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术应用及质量验收等方面的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用标准时能正确理解和执行条文规定，《高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明。但是本条文说明不具备与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则.....	60
2 术语和符号.....	61
2.1 术 语.....	61
2.2 符 号.....	63
3 基本规定.....	64
4 高分子复合材料.....	65
4.1 一般规定.....	65
4.2 基材.....	65
4.3 改性材料.....	66
5 打印设备.....	69
5.1 一般规定.....	69
5.2 3D 打印运动平台.....	69
5.3 挤出装置.....	70
5.4 控制系统.....	71
5.5 工作平台.....	71
5.6 控制系统.....	71
5.7 操作系统.....	72
6 打印工艺评定.....	73
6.1 一般规定.....	73
6.2 打印工艺评定.....	74
6.3 打印过程工艺.....	75
7 打印检验.....	78
7.1 一般规定.....	78
7.2 检测方法.....	78
7.3 检测验收.....	79
8 包装、运输、贮存及现场安装.....	80
8.1 包装、运输与贮存.....	80
8.2 现场安装.....	80
9 应用.....	81

9.1	大型景观建筑.....	81
9.2	景观小品.....	81
9.3	异形模板.....	81
9.4	模具.....	82
9.5	文创产品.....	82

Content

1	General provisions.....	60
2	Terms and symbols.....	61
2.1	Terms.....	61
2.2	Symbols.....	63
3	Basic requirement.....	64
4	Polymer composites.....	65
4.1	Basic requirement.....	65
4.2	Base material.....	65
4.3	Complementary material.....	66
5	3D Printing equipment.....	69
5.1	Basic requirement.....	69
5.2	3D Printing motion platform.....	69
5.3	Extrusion device.....	70
5.4	Feeding system.....	71
5.5	Platform.....	71
5.6	Numerical control system.....	71
5.7	Operating system.....	72
6	3D printing procedure.....	73
6.1	Basic requirement.....	73
6.2	3D printing procedure.....	74
6.3	3D printing process procedure.....	75
7	3D printing inspection.....	78
7.1	Basic requirement.....	78
7.2	Inspection methods.....	78
7.3	Acceptance test.....	79
8	Packing, transportation, storage and on-site installation.....	80
8.1	Packing, transportation, storage.....	80
8.2	On-site installation.....	80
9	Application.....	81
9.1	large landscape architectural.....	81
9.2	landscape sketch.....	81
9.3	irregular shaped template.....	81
9.4	Mould.....	82

9.5 Cultural and creative product..... 82

1 总 则

1.0.1 本标准对高分子复合材料大尺寸 3D 打印给出的具体规定,是为了保证高分子复合材料大尺寸 3D 打印生产制造及现场施工的安全,为打印工艺提供技术指导,使打印零部件质量满足设计文件和相关行业应用的要求。本标准的编制主要根据我国大尺寸 3D 打印技术发展现状,充分考虑现行的各行业相关标准,同时借鉴欧、美等先进国家的相关标准规定,适当采用我国高分子复合材料大尺寸 3D 打印的最新科研成果、施工实践编制而成。

1.0.3 本标准不适用于采用高分子复合材料线材作为耗材的小尺寸熔融沉积成型打印方式,采用非高分子复合材料的熔融沉积成形打印方式以及采用非熔融沉积成型工艺的打印方式。大尺寸零部件目前应用方向(建筑景观、异形模板等)

1.0.4 采用高分子复合材料大尺寸 3D 打印制造的零部件应根据客户需求进行专门定制,作为企业组织生产和质量监督检验的依据,同时应满足不同行业中现行的国家、行业相关标准规定。

2 术语和符号

2.1 术语

高分子复合材料大尺寸 3D 打印技术规程中所确立的相应术语适用于本标准，此外，本标准规定了特定术语，这些术语是从高分子复合材料大尺寸 3D 打印的角度赋予其涵义的。

2.1.1 3D 打印又称三维打印，增材制造，是将三维模型数据结合材料制作物体的工艺过程，通常为一层层叠加，而不是减材制造。

2.1.31 3D 打印技术的本质是将三维模型通过离散成一组二维平面图像，再将这组二维平面图像在空间上进行堆积排列来重新表述空间三维模型。切片的分辨率是由设定的参数单层层高成反比关系，单层层高越小，切片分辨率越高。

2.1.32 图 1 中所示单个数量单位即为层。

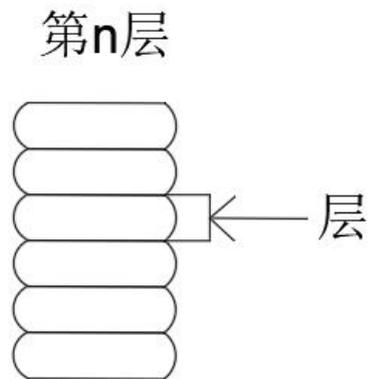


图 1 层示意图

2.1.33 图 2 中所示单个数量单位即为道。

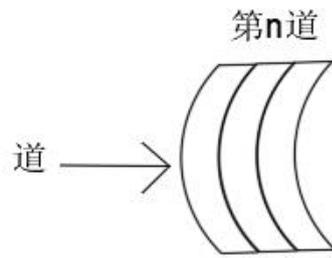


图2 道示意图

2.1.34 图3中所示单道的计量单位即为单道线宽。

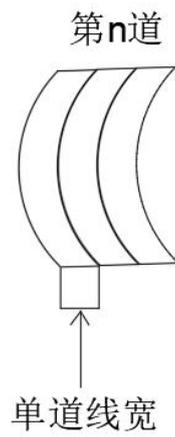


图3 单道线宽示意图

2.1.35 图4中所示单层的计量单位即为单层层高。

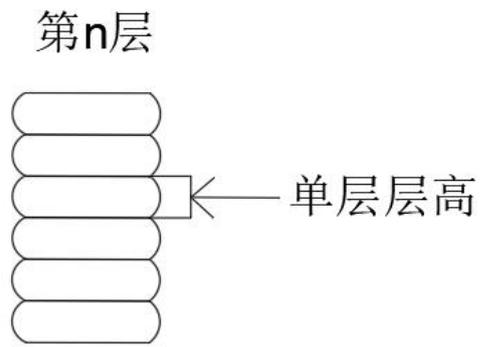


图4 单层层高示意图

2.1.39 回抽为 3D 打印设备宜具备的功能，既能防止打印熔体溢出，也能实现特定轨迹功能。

2.2 符 号

本标准给出了相应的符号，并对每一个符号给出了相应的定义，本标准各章节中均有引用。

3 基本规定

3.0.1 本标准适用的打印设备，配套打印材料，打印工艺类型比较广泛，基本上涵盖了目前大尺寸 3D 打印施工的实际需要。。针对不同情况，施工企业在承担打印任务时应具备与打印难度相适应的技术条件，如打印设备能力，打印工艺处理能力和人员水平能力、检验与试验手段和技术文件等。其中相关专业人员根据打印过程中不同职能需求分为模型优化人员、模型切片人员、机床操作人员、配套设备维保人员、打印工艺实施人员等。

3.0.2 大尺寸 3D 打印零部件所使用的材料材料宜使用常规 1mm-4mm 颗粒料，且为绿色环保的树脂材料，同时应考虑材料的回收工作。

3.0.3~3.0.4 应根据不同的应用场景以及使用需求制定不同的专项验收方案，同时宜与传统工艺相结合，最终达到提高功效，减低成本以及研发周期的目的。

4 高分子复合材料

4.1 一般规定

4.1.1 热塑性高分子材料是指能反复加热熔化，在软化或流动状态下成型，冷却后能保持一定形状和力学性能的一类聚合物材料。其在特征温度（熔点 T_m 或玻璃化温度 T_g ）以下处于玻璃态或者结晶态，具备固体材料特性，具有良好的机械性能、尺寸稳定性，可作为结构材料使用；在特征温度以上时，处于熔融状态，又具有良好的流动性，具备优异的成形加工性能。颗粒料主要指的是常规粒径为 1mm-4mm 的圆柱形颗粒料以及饼形颗粒料，具体的颗粒料要求应符合现行行业标准。

4.2 基材

4.2.2 表 4.2.2 所列标准为国家或行业现行有关高分子复合材料样件检测的内容及方法，根据表中所设计的相关测试内容生成的测试报告与需求就行比对，指导对基材的选型及采购。

4.2.3 ABS 塑料是丙烯腈(A)-丁二烯(B)-苯乙烯(S)的三元共聚物。它综合了三种组分的性能，其中丙烯腈具有高的硬度和强度、耐热性和耐腐蚀性；丁二烯具有抗冲击性和韧性；苯乙烯具有表面高光泽性、易着色性和易加工性。通过调节三种共聚单体的相对含量，可以获得一系列性能不同的 ABS 热塑性树脂材料。

ASA 树脂是一种非结晶热塑性共聚物，由丙烯腈(A)，苯乙烯(S)和丙烯酸酯橡胶(A)共混而成的三元共聚物，其性能与 ABS 相类似，但耐候性显著优于 ABS，是一种适用于户外的聚合物材料。

聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)，是一类在分子链中含有碳酸酯结构的高分子聚合物总称。工业上应用的聚碳酸酯主要是由双酚 A 和光气来合成，其主链含有苯环和四取代的季碳原子，具有较好的刚性、耐冲击性、耐热性和尺寸稳定性，是一种综合性能优异的热塑性工程塑料。

聚酰胺 (Polyamide, PA)，俗称尼龙 (Nylon)，是一类分子链上含有酰胺基团重复结构的高聚物的总称。聚酰胺 PA 是一种典型的结晶性热塑聚合物材料，可以分为脂肪族和芳香族两大类。聚酰胺分子链中强极性的酰胺基团，在分子链

间形成氢键，可以实现较高的结晶度和结晶速度，使其具备较高的材料性能，是一种典型的工程塑料。

热塑性聚酯材料是由饱和二元酸和二元醇通过缩聚反应制得的线形聚合物，其中 PET 聚酯材料是指聚对苯二甲酸乙二醇酯，一种大规模工业化生产的聚酯工程塑料品种。PET 作为一种典型的结晶性刚性链聚酯材料，具备耐热潜力高、机械性能优异、成本低廉等优点；PET 分子结构中具有苯环结构和极性酯基，分子链表现出较大的刚性，一般情况下分子链为伸直链构型，化学规整性和几何规整性很高，具有较好的结晶性能。PETG 共聚酯是一种在 PET 聚酯的基础上引入 1,4-环己烷二甲醇共聚单体，为非晶性共聚酯材料，具有十分优异的力学性能和透明性。

聚乳酸 PLA 是一种新型的生物降解塑料，可由乳酸单体聚合得到，是一种绿色环保的生物基材料，为结晶性热塑性塑料，其具备较好地刚性、结晶耐热性及生物降解性。

4.3 改性材料

4.3.1~4.3.3 复合增强技术，是提高热塑性聚合物材料使用性能和打印性的重要手段，改性材料主要分为增强纤维类、加工助剂类等，包含但不限于以下几种：

1 玻璃纤维

玻璃纤维是一种高强度、高模量的无机非金属纤维，其化学组成主要是二氧化硅、三氧化硼及钠、钾、钙、铝等氧化物。玻璃纤维具有优良的拉伸强度、耐热性、绝缘性、化学稳定性、尺寸稳定性、高性价比等优点，十分适用于热塑性塑料的增强材料，在交通运输、建筑、环保、石油化工、电子电器、航空航天等领域有着广泛的应用。

2 碳纤维

碳纤维是由碳元素组成的一种特种纤维，由有机纤维经固相反应转化为碳纤维，如 PAN 纤维或者沥青纤维在保护气氛下热处理生成的含碳量在 90%~99% 范围的纤维。碳纤维具有十分优异的强度和刚性，低密度、高刚性的力学性能特点，同时具有优异的耐温性、导热性、耐腐蚀性、自润滑性和尺寸稳定性，以及低线形膨胀系数。

3 芳纶纤维

芳纶纤维是一种新型高科技合成纤维，具有超高强度、高模量和耐高温、耐酸耐碱、重量轻等优良性能,其强度是钢丝的 5~6 倍，模量为钢丝或玻璃纤维的 2~3 倍，韧性是钢丝的 2 倍，而重量仅为钢丝的 1/5 左右，在 560 度的温度下，不分解，不融化。它具有良好的绝缘性和抗老化性能，具有很长的生命周期。

4 抗氧化剂

热塑性聚合物材料是一种有机材料，其在成形加工和使用的过程中，暴露在空气中会发生氧化反应，氧化作用有常被称为老化现象，而氧化作用对聚合物化学结构的影响统称为降解。聚合物材料的降解与老化会导致材料性能的降低，通过添加抗氧化剂可以抑制聚合物材料的氧化作用，从而保持聚合物材料性能的稳定。

5 光稳定剂

聚合物材料暴露在日光下，光线中的紫外光会引起聚合物材料分子链的断裂，引起材料黄变和性能的衰减，光稳定剂可以抑制光降解反应的发生，提高材料耐候性。

6 增塑剂

增塑剂是一种提高聚合物熔体流动性的小分子添加剂，其可以有效提高聚合物材料熔融加工过程中的塑化效果，提高热塑性聚合物材料的可加工性。

7 阻燃剂

赋予易燃聚合物难燃性的功能性助剂，主要是针对高分子材料的阻燃设计的；阻燃剂有多种类型，按使用方法分为添加型阻燃剂和反应型阻燃剂。

4.3.6 复合材料性能测试

1 热塑性复合材料力学性能测试

参考国标 GB/T 1040.1-2018 塑料 拉伸性能的测定；GB/T 9341-2008 塑料 弯曲性能的测定；GB/T 1843-2008 塑料 悬臂梁冲击强度的测定；

2 熔融指数测定

热塑性复合材料熔融指数的测定参考 GB/T 3682.1-2018 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定。

3 维卡耐热性测试

热塑性复合材料维卡耐热性测试的测定参考 GB/T 1633-2000 热塑性塑料维卡软化温度（VST）的测定。

4 阻燃性能测试

热塑性复合材料阻燃性能测试参考 GB/T 2408-2008 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法。

5 耐候性测试

热塑性复合材料耐候性测试参考 GB/T16422.3-1997 塑料实验室光源暴露试验方法第 3 部分：荧光紫外灯。

5 打印设备

5.1 一般规定

5.1.1 打印设备系统组成复杂，应根据具体应用场景以进行系统优化组合。这里只列出了必须具备的相关系统，包括：打印运动平台、挤出装置、控制系统、物料系统、操作系统、工作平台等。其它可以对打印工艺及打印零部件质量达到优化效果的系统还包括：辅助加热系统，保温系统等。

5.1.2 不稳定的打印设备会影响打印零部件质量以及打印零部件的效率，增大原材料的损耗率，对于大尺寸零部件打印由于打印时间周期较长因此需对设备的稳定工作时长做相应的规定。

5.1.3 不同应用场景及特定需求时会对整套打印设备的精度提出不同的要求，需选择配套适应需求的打印设备系统。

5.1.4 国家相关的设备安全运行标准符合《国家电气设备安全技术规范》GB 19517-2009 和《机械电气安全 机械电气设备》GB 5226.1-2008 等。

5.2 3D 打印运动平台

5.2.1 目前运用于 3D 打印运动平台形式主要有龙门式、串联机械臂以及并联式的运动结构，每种设备都各自由优缺点，为此本条只列出了适用于大尺寸 3D 打印设备的各种平台形式，实际打印时需要结合具体情况进行设备的选择。

5.2.3 本条规定了大尺寸 3D 打印设备宜采用的传动形式：传动形式主要分为齿轮齿条，同步带，丝杆三种传动方式，齿轮齿条传动形式的优点为：承载力大，传动精度高，可达 0.01mm，可无限长度对接延续，传动速度可以很高 $>2\text{m/s}$ ，针对大尺寸 3D 打印方案来说，齿轮齿条传动的形式更能在大荷载的情况下保障高精度及高速度。同步带传动方式的优点为短距离传动速度可以很高，传动精度较高，噪音低。但当荷载较大或传动距离较长时容易产生较大的弹性变形和震动，不适合精确定位及连续性运动控制。丝杆的传动方式传动效率高，精度高，噪音低，适合高速往返传动，但直线水平传动时跨距过大会产生极限转速和自重下垂变形，即传动长度不能太长，同时工作时间久了后，传动间隙变大，精度变差。同时本条规定了大尺寸 3D 打印设备宜采用的电机驱动形式：电机驱动的形式主要

分为三项异步电机，步进电机以及伺服电机驱动的方式。异步电机优点为结构简单，制造方便，运行性能好，并可节省各种材料，价格便宜，但功率因数滞后，轻载功率因数低，调速性能较差，无法完成高精度的控制。步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构，由于是数字量输入，电机精度得到了极大的提高，速度与加速度控制很容易实现，且控制效果较好。但步进电机在高速运动时性能差，控制器驱动器电路复杂体积大，价格也高于传统电机。伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。由于伺服电机自带电机编码器形成内闭环所以控制精度很高，能在高速下正常运行，同时驱动器可与上位机直接进行通信。针对大尺寸 3D 打印采用伺服电机驱动传动机构的形式能够在高速的状态下保障设备的精度和稳定性。

5.3 挤出装置

5.3.1~5.3.2 本条规定了超大零部件高分子复合材料 3D 打印挤出装置的种类，所有类别的挤出装置应满足国家或行业相关标准。

5.3.3 本条规定了挤出装置宜根据每小时产量进行划分，常用的有 1kg 级，5kg 级，10kg 级，20kg 级，50kg 级等。

5.3.4 本条具体规定了打印挤出装置的具体技术要求，其中应具备适应标准塑料颗粒料大小包括但不限于常规 1mm-4mm 圆柱形工业颗粒料，饼状形工业颗粒料等。同时挤出设备的各部件包括螺杆、轴承、料斗、加热段等均应能够稳定挤出根据不同需求复合增强纤维或添加助剂后的高分子复合材料。为了满足大尺寸 3D 打印的连续长时间打印的基本需求，本条规定了挤出装置应至少能够连续稳定工作的时长。

5.3.5 本条规定了大尺寸 3D 打印设备针对层间粘接力或外部纹理有特殊要求时应具备的装置。该密实装置宜采用上下往复拍打的形式或滚动压平的形式，对熔融的熔体进行流态成型控制，使得刚挤出的熔体能更紧密地与前一层粘接在一起。

5.4 控制系统

5.4.1 本条规定了物料系统应具备的基本组成。

5.4.3 本条规定了为大尺寸 3D 打印设备的供料设备系统所应具有的功能,其中,预加热功能应根据不同的原材料设置不同预加热工艺的时长;供料系统的总储料应根据挤出设备和材料属性进行设计。

5.5 工作平台

5.5.1 本条规定了常用的大尺寸高分子复合材料 3D 打印的工作平台形式。其中不具备加热功能的工作平台,也称作打印冷床;带加热功能的工作平台也称作打印热床。

5.5.2~5.5.3 木制工作平台由于其制作的工艺决定了自身精度无法太高,而金属或真空吸附工作台通常采用机加工等方式制作,精度较高,因此本条根据不同工作平台形式规定了对应的平台精度要求,以满足最终的 3D 打印精度需求。

5.5.4 本条规定了带加热功能的底板的温升功能基础需求。

5.5.5 本条从设备方面规定了基本功能要素。减少打印工作区空气流动,提高打印质量。

5.5.6 由于打印过程中需要保证打印区内无与外界空间的空气对流,故需要提供专用的人员通道在保证进出人员同时,最小程度影响打印工作区的空气对流。

5.6 控制系统

5.6.1 本条规定了大尺寸 3D 打印设备控制系统硬件及软件的具体技术要求。其中自诊断报警功能具体指的是可以监视整个机床和整个生产过程是否正常,并在发生异常时及时报警。此外,控制系统硬件及软件结构还应复合相应的国家及行业电气安全规范等。

5.6.2 本条规定了大尺寸 3D 打印设备控制系统识别 3D 打印加工文件的格式要求。G-code 为通用性数控编程语言,广泛使用在日系,德系大型运动机构控制系统中。

5.6.3 目前用于高分子复合材料大尺寸 3D 打印的设备形式种类繁多,配套的控制系統种类也很多,很难对设备提出一个统一的要求,为此,本条从设备精度方

面对设备提出要求，实际打印时要结合具体情况进行设备的选择。

5.6.4 由于大尺寸高分子复合材料 3D 打印的特殊性，对系统连续稳定打印的工作时长提出了要求，因此本条从整套设备的角度规定了打印设备应至少能够连续稳定工作的时长。

5.7 操作系统

5.7.1 本条规定了操作系统应满足设备供应商以及用户的共同需求。

5.7.2 本条规定了操作系统硬件设施应满足的技术要求：其中按键颜色参照国家标准的具体要求例如：白色按键用于启动，黑色按键用于点动，正反转控制，红色按键用于紧急停止等。同一控制对象一般主要指的是主轴正反转、启停控制；同一类型控制主要指的是 3D 打印类等。

5.7.3 本条规定了操作系统软件部分的应满足的技术要求，用户可根据需要设置操作按键的功能及与之对应的显示方式和设定显示画面的结构和内容。界面内的图标应符合现行国家标准《金属切削机床 操作知识形象化符号》GB/T3167、《数字控制机床 操作指示形象化符号》GB/T3168、《设备用图形符号》GB/T16273.2 的规定。

6 打印工艺评定

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.2 由于大尺寸高分子复合材料 3D 打印与常规施工方式有很大区别，为了能更好的完成施工，应根据工程结构特点、零部件打印要求等因素编制切实可行的打印工艺方案，同时就打印工艺方案内容进行材料、设备选型以及作业人员技术交底。

6.1.3 本条规定了采用模拟仿真打印的形式进行测试的方式，正式打印前采用模拟仿真打印可以发现由于模型设计上，设备配置上，打印工艺参数上等因素引发的问题。进行模拟测试时，大尺寸 3D 打印宜采用的数据流主要包括以下内容：

- 1 设计原始模型
- 2 深化原始模型并转换为打印模型
- 3 使用切片软件对打印模型进行轨迹规划
- 4 对于轨迹进行模拟打印
- 5 导出轨迹生成 G 代码并上机打印

大尺寸 3D 打印在深化原始模型时应注意模型的悬垂角度，防止悬垂角度过大导致实际打印时上下层错位较大发生材料塌陷。大尺寸 3D 打印在使用切片软件规划轨迹时，应保持最小回抽路径原则，保证路径中较少的回抽点能减轻挤出头拉丝或者积料现象。

6.1.4 本条规定了 3D 打印零部件作为承力部件时的要求，其中结构设计、优化应包括下列内容：

- 1 结构方案设计，包括结构选型、传力路径规划、筋格布置、堆积方向选择等；
- 2 材料选用，壁厚及单道宽度选择；
- 3 作用及作用效应分析；
- 4 结构的极限状态验算；
- 5 结构、部件及连接的构造；
- 6 运输、安装等要求；
- 7 满足特殊要求的专门性能设计。

6.1.5 由于打印设备的运动特性，需要借助倒圆，钝化等后处理方式使得零部件的打印轨迹无尖角出现，使打印轨迹由光顺的曲线组成。

6.2 打印工艺评定

6.2.1 本条规定了大尺寸 3D 打印使用的数字模型的基本参数及格式要求，数字模型除需满足本条的基本要求外，还应当根据选用的材料、设备以及采取的打印工艺进行相应的模型打印性优化，主要包括：模型实体化，线框封闭化。同时为了满足成品打印零部件的质量要求，应根据实际情况进行模型参数修改，例如：控制网格边缘至曲面的最大距离不大于实际层高的 1/10，网格长宽比不大于 1:5 等。

打印数据的格式常规推荐 STL 格式，也可以采用 step 或其它规定格式，但可能会由于模型转换造成精度上的损失（主要为空间曲面三角面片的缺损等）。

模型悬垂角度如图所示：

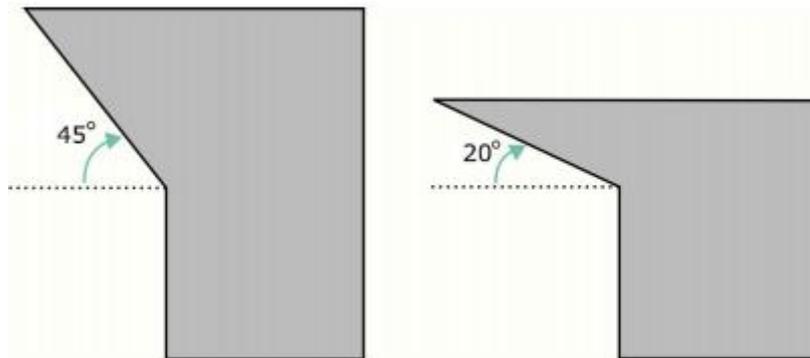


图 5 模型悬垂角度示意图

当打印模型悬垂角大于 45° 时材料自身线宽能够支撑上一层的重量，不会发生材料坍塌以及错位的问题，当悬垂角小于 45° 时，打印材料悬空，导致发生错位及坍塌。

调节模型坐标方向时，应最小化支撑材料，增大悬垂角度，降低模型发生塌料的可能性，同时降低模型去除支撑后破坏表面的可能性，提高模型的打印质量。模型拆分时应顺着打印方向，进行模型拆分，并预留后处理面层以及连接位置，方便后续拼接工作。

6.2.2 本条规定了打印前应进行打印工艺评定的打印工艺参数及重要内容，其中最小化回抽路径目的是为了降低回抽路径过多带来的挤出头拉丝或者积料现象，

并拓扑优化填充结构,使之满足最小的重量同时满足模型使用面的力学性能强度要求。

测试前宜进行大尺寸 3D 打印温度场的模拟分析,根据切片程序文件在进行打印过程的模拟仿真,分析打印过程的温度场变化趋势,并与经验值进行比对,分析材料在打印过程中的热应力释放结果。根据与经验值比对的结果,对打印模型数据进行相应修正。如:逐层打印时间远远大于经验值,应重新对于模型进行轻量化处理,减少逐层打印时间,降低打印过程中的翘曲现象的出现。

6.2.3 本条规定了打印测试的具体步骤及重要的技术点:其中推荐采用冷切割的方式如水刀切割对打印零部件取样测试,主要是因为如采用常规切割方式,容易在材料切口部位由于局部摩擦受热导致缺口熔融,影响最终测试结果。

6.2.4 本条规定了常规各大类打印材料样条的基础性能表,用来对比用户的测试数据,防止过低的次品出现。

6.2.5 打印测试后规定的打印工艺评定文件,应对打印材料的基材及辅材、设备的类型、精度、运动速度、挤出速度、打印的层高、线宽、熔融温度、单层打印时间等打印工艺参数进行明确规定,并配套优化后的数字模型,具体见附录 B《高分子复合材料大尺寸 3D 打印工艺评定报告》。

6.3 打印过程工艺

6.3.1 本条规定了正式打印应按照打印工艺评定文件的内容进行材料及设备的参数配置,可以有效减少正式打印时材料的损耗,大大降低打印零部件由于温度或打印工艺参数不匹配造成的打印零部件报废。

6.3.2 本条规定了设备操作人员职业规范,大尺寸 3D 打印设备通常为特殊设备,应专人上岗操作,否则容易产生安全事故。

6.3.3 工作平台的打印前检查主要包括:

- 1 检查工作平台尺寸是否满足打印零部件需求;
- 2 检查工作平台是否牢靠的固定在指定位置;
- 3 检查工作平台工作面是否完好。如为木制工作平台,需要确认工作面的附着物是否已经牢固的附着在底板表面。
- 4 检查打印底板工作面干净,整洁,无凸起及异物。

6.3.4 工作平台的打印前检查主要包括：

1 检查打印设备加热，挤出部件，传感器是否可以正常工作，提供正确的反馈数据；

2 检查辅助设备加热，传感器是否可以正常工作，提供正确的反馈数据；

3 检查辅助设备相关工作时长，保证足以支持下一次零部件打印。

6.3.5 由于大尺寸高分子复合材料 3D 打印单次打印量大，打印零部件尺寸巨大。单使用电脑仿真无法完全确认程序轨迹的正确性，应实际上机空跑测试前几层，验证打印空间是否满足打印需求及打印程序 G 代码是否正确。

6.3.6 本条规定了打印预加热过程中应注意的事项，如未将挤出装置口模及加热段升温保持 1h 以上，可能导致材料在挤出机中发生凝固阻塞打印头，造成设备的损坏；如未将环境温度升到推荐温度，可能导致打印零部件由于急速温降产生的过大翘曲及开裂现象，造成打印件报废。由于挤出的物料为高分子材料，多次熔融或长时间高温剪切状态会使其性质发生改变，故应排空挤出装置内部剩料，废料，宜使用专用螺杆清洁料进行挤出装置的内部清洗。

6.3.7 由于打印零部件不同区域在打印过程中与零部件使用过程中作用不同，需要采用不同的工艺来保证其性能特点。底层宜采用较宽的打印线宽，使得打印零部件能更好的粘接于工作平台以及修正打印底面的平整度。余量层宜通过调整设备运动速度控制线宽均匀减少至零部件实际的单道线宽，一般控制余量层宜为 3-5 层。

6.3.8 打印到一定高度后可以采取胶接零部件尖角于打印底板上的方式或者机械固定的方式，增强零部件和底板的粘接力，减少零部件由于热应力释放过程造成的翘曲高度，降低打印零部件的报废率。

1 宜采用高分子材料颗粒与粘接剂进行加工；

2 需在打印一定高度后进行加固，且加固后不影响后续的打印工作；

3 加固工程中禁止对玻璃化温度以下 30℃ 的区域进行加固。

打印到一定高度后可以采取胶接零部件尖角于打印底板上的方式或者机械固定的方式，增强零部件和底板的粘接力，减少零部件由于热应力释放过程造成的翘曲高度，降低打印零部件的报废率。

6.3.9 打印结束后等待零部件整体温度降至室温再取件可以有效防止因取件受

力造成的内应力释放不均匀，排除取件的误差产生。

6.3.10 打印结束后等待零部件整体温度降至室温再取件可以有效防止因取件受力造成的内应力释放不均匀，排除取件的误差产生。

7 打印检验

7.1 一般规定

7.1.1 本条规定对打印产品检验的进行了分类和解释，包括打印前检验、打印中检验、打印后检验。自检人员的资质除应满足本标准的相关规定外，检测人员数量要求应满足每个项目不少于 2 名人员的规定。监检同样是产品质量保证体系重要的一环，但需由具有机制的独立第三方来完成，同时必须对整个生产过程中的任意一环进行检验，包括材料，设备精度，打印工艺等。

7.1.2 本条规定了打印检验的三个阶段：打印前检验、打印中检验和打印后检验的具体内容。其中打印前检验主要是为了审核使用的材料，设备以及打印评定的工艺的正确性；打印中检验是为了确保打印零部件的整体打印质量；打印后检验是为了检验检测打印零部件的最终质量。

7.1.3 本条规定了检验检测方案应于打印零部件完成后根据实际应用情况制定。

7.1.4 在 3D 打印零部件经过相应的后处理工艺后，高分子复合材料大尺寸 3D 打印成品检验应根据不同需求、不同打印零部件尺寸选择不同的测量方法及工具，如手持激光扫描仪以及激光点云扫描站，扫描模型尺寸与原始模型精度进行比对，并出具相关文件说明，打印及后处理之后出场的零部件精度及强度问题。

7.2 检测方法

7.2.1 本条规定了针对大尺寸 3D 打印零部件常规的几种检测方法。

7.2.2 外观目测时应着重观察打印零部件整体有无开裂现象、外观颜色与正常挤出外观颜色不一致，即视为打印质量差、零部件打印不合格，如没有可进行后续的更高精度检测。

7.2.3 打印零部件尺寸任意一方向单边大于 1.5 米宜采用手持激光扫描仪检测；打印零部件尺寸任意一方向单边大于 1.5 米宜采用激光点云扫描检测。手持扫描成型的分辨率参数宜设置为 0.1~0.5mm，扫描生成的模型与设计的模型进行合模耦合比对，生成误差的色阶图，误差在±3mm 以内视为打印产品质量精良，在±5mm 以内视为打印产品质量合格。

7.2.4 打印零部件熔融粘接时的当前层温度为熔融沉积工艺的核心工艺参数，应对打印温度场数据进行记录，并校对过往的热历史数据，与材料的玻璃化温度以及整体零部件（不同尺寸参数不同）翘曲温度经验参数进行比对，根据与温度经验参数差距的多少来判定打印产品质量合格与否。

7.2.5 荷载检测具体步骤为打印零部件设计时经过结构有限元分析，生成荷载预测数据后，在打印完成后取专用检测零部件参照 ASDN 或 ISO 标准，进行载荷等材料性能测试，并出具测试性能报告，与之前的材料性能参数进行比对，根据数据判定打印产品质量合格与否。

7.3 检测验收

7.3.1-7.3.3 本条规定了检测精度的实际需求以及分类，当检测精度需求为±0.5mm 时，宜使用手持三维扫描设备进行外尺寸扫描；当检测精度需求为±0.05mm 时，宜使用激光点云扫描设备配合专业软件进行外尺寸扫描逆向比对。

7.3.4 这里增加的内容包括：如将 3D 打印零部件作为特殊模具使用时，需增加对应的气密性或水密性测试，以及热压罐测试工艺。检测验收除应符合本规程的规定外，还应满足应用行业中的现行国家及行业标准。

8 包装、运输、贮存及现场安装

8.1 包装、运输与贮存

8.1.1~8.1.2 本条规定了大尺寸 3D 打印零部件在包装时的基本技术要求，同时外包装应满足现行国家标准。

8.1.3 本条规定了大尺寸打印零部件运输时应注意的事项。装车卸车时宜采用满足荷载要求的叉车或吊车设备进行装卸，吊带或插齿的位置应尽量挑选在零部件自身强结构的位置，并垫上防滑泡沫材料，防止零部件在装卸车时受损受污。运输时车辆限速 80km/h 以下，杜绝因刹车过急造成的打印零部件滑动受损。

8.1.4 本条规定了大尺寸 3D 打印零部件在贮存时对现场及环境的基本技术要求。

8.2 现场安装

8.2.1 现场验收的方案应保证超大零部件安装过程中的无损以及安装完毕后的结构安全，此外还应符合相应的国家、行业以及环保的规范。

8.2.2 与现场相关安装技术人员进行方案及安全交底时，图纸应满足相应的国家、行业规范，安装技术人员团队应至少包括 1 人以上具有吊装经验。

8.2.3 安装结束后进行产品移交及验收工作时，除应满足本规程内的要求外，还应符合现行国家标准 GB 50300《建筑工程施工质量验收统一标准》等其它国家行业相关标准。

9 应用

9.1 大型景观建筑

9.1.1 本条规定了大型景观建筑设计的方式，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.1.2 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时应采取的工艺技术路线。

9.1.3 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时选用的材料技术要求。由于景观建筑对零部件自身抗老化性、耐候性以及阻燃性有一定的要求，同时自身成本也不能太高，推荐选用耐候性强的工程树脂复合相对较低成本的纤维材料以及阻燃、抗氧化剂等添加助剂，达到实际工程需求。

9.2 景观小品

9.2.1 本条规定了 3D 打印大型景观建筑时选用的材料技术要求。

9.2.2~9.2.3 本条规定了景观小品有特殊需求时，宜采用的后处理方式。外观颜色上可以采用直接喷漆或界面剂刮涂结合喷漆进行着色；表面的特殊需求宜采用机加工处理或界面剂刮涂的工艺去除或覆盖掉打印零部件表面的层纹。

9.3 异形模板

9.3.1 本条规定了异形模板设计技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.3.2~9.3.3 本条规定了异形模板有特殊需求时，宜采用的后处理方式。通过在设计上预留拼接缝或拼接阴阳面，可以有效解决分段打印模板拼装的问题。表面有特殊需求时，可以采用机加工打磨、抛光、研磨等工艺去除打印的层纹，满足实际使用需求。

9.3.4 打印材料方面，异形模板应根据实际使用工况，选用适配的的高分子复合材料；模板的 3D 打印深化设计应参照本标准 6.1 章打印数据处理进行构建；打印工艺应根据实际需求，选择分段打印，预制拼装或整体打印，一次成型的工艺。

9.4 模具

9.4.1 本条规定了模具的技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.4.2~9.4.3 本条规定了模具有特殊需求时，宜采用的后处理方式。通过在设计上预留拼接缝或拼接阴阳面，可以有效解决分段打印模板拼装的问题。表面有特殊需求时，可以采用机加工打磨、抛光、研磨等工艺去除打印的层纹，满足实际使用需求。

9.4.4 3D 打印在模具应用中宜通过与传统工艺相结合的形式，具体表现为可以将试验模具模腔以及抽芯等部件直接打印出来，再结合传统的模具组立方式，可大幅降低模具的生产周期以及成本。与正式模相比，试验模对材料自身强度需求较低、而且结构精简，只需为正式模提供实际出产数据以供验证即可。

9.5 文创产品

9.5.1 本条规定了文创打印产品的技术要求，除需遵循本标准中的规定，还应满足现行的国家标准设计要求。

9.5.2 本条规定了文创类打印产品所使用的打印材料应无毒无害，并且对环境友善。

9.5.3 本条规定了文创类打印产品应根据实际需求，宜采用的后处理方式。通常为表面打磨、喷漆以及组合拼接等方式。