

T/CCLJS

江苏省冷链学会团体标准

T/CCLJS XXX—2026

气调 3D 打印装置

Atmosphere-Controlled 3D Printing Equipment

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

江苏省冷链学会 发布

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。

本文件由江苏大学提出。

本文件由江苏省冷链学会归口并组织实施。

本文件起草单位：江苏大学、无锡海核装备科技有限公司。

本文件主要起草人：徐保国、王其兵、过志梅、林琳、潘怡丹、韩诚。

气调 3D 打印装置

1 范围

本标准规定了气调3D打印装置的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输、贮存和操作维护等要求。

本标准适用于为熔融沉积成型（FDM）、选择性激光烧结（SLS）、光固化（SLA）等增材制造工艺提供可控气氛环境的封闭式仓体设备的设计、生产、检验和使用。

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 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 13306-2011 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 9969-2008 工业产品使用说明书 总则
- GB 16754-2008 机械安全 急停功能 设计原则
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 15036-2008 商品条码 条码符号印制质量的检验
- GB/T 19001-2016 质量管理体系 要求
- GB/T 24001-2016 环境管理体系 要求及使用指南
- JJF 1101—2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范
- SBJ16-2009 气调冷藏库设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 气调 3D 打印仓 Atmosphere-Controlled 3D Printing Enclosure

一种可为内部3D打印过程提供并维持特定气体成分（如惰性气体、反应气体）、温度、湿度等环境参数的封闭式设备。其核心功能在于隔绝或调控外部环境，以满足敏感材料加工、提升3D打印质量或实现特殊化学反应的需求。

3.2 环境控制 Controlled Environment

3.2.1 氧含量 O_2 Content

气调3D打印装置工作腔内氧气体积占总体积百分比，由氧传感器监测得到，是评估气调环境的关键指标之一。

3.2.2 二氧化碳含量 CO_2 Content

气调3D打印装置工作腔内二氧化碳体积占总体积百分比，由二氧化碳传感器监测得到，是评估气调环境的关键指标之一。

3.2.3 氮气含量 N_2 Content

气调3D打印装置工作腔内氮气体积占总体积百分比，通过提高氮气含量降低氧气含量，起置换作用，可由传感器监测得到或由总体积去掉氧含量及二氧化碳含量得到，是评估气调环境的关键指标之一。

3.2.4 气氛置换时间 Atmosphere Replacement Time

从打印仓门关闭开始，至目标气体浓度比例达到设定工艺要求值所需的时间。

3.2.5 气氛均匀性 Atmosphere Uniformity

在打印仓有效工作空间内，不同位置测量点的气体成分浓度、温度、湿度的最大偏差值。

3.2.6 水汽透过率 Water Vapor Transmission Rate

在单位时间内，单位面积的材料在特定温湿度条件下透过的水蒸气质量，用于评估仓体材料的防潮阻隔性能。

3.3 3D 打印控制 3D Printing Control

3.3.1 3D 打印产品精度 3D Printing Product Accuracy

3D打印精度是衡量打印件实际尺寸与设计尺寸一致性的核心指标，通常以公差范围（ $\pm 0.1\text{ mm}$ ）表示，是3D打印产品关键指标之一。

3.3.2 3D 打印产品质量 3D Printing Product Quality

在气调环境调控下，3D打印产品质量的提升主要体现在材料固有性能的优化、制造工艺过程稳定性的增强和最终产品可靠性的提高三个方面，是3D打印产品关键指标之一。

4 技术要求

4.1 结构组成与基本要求

气调3D打印装置应由仓体结构、3D打印系统、气调系统、环境监控系统、安全系统和电气控制系统等基本模块构成。

4.1.1 仓体结构

应采用刚性框架与密封面板结构，确保整体结构稳固。

应设置密封良好的观察窗及仓门，仓门关闭后应能有效保证舱体的封闭性。

内部空间布局应合理，可集成或兼容主流工业级3D打印机，并考虑线缆、管路的通道。

内部表面应光滑、耐腐蚀、易于清洁，避免积尘。

4.1.2 气路系统

应具备至少一个气体接口，并可根据需求配置多个气氛罐接口，用于储存和切换不同气体。

进气与排气管道应设置高精度控制阀，用于调节气体流量。

排气口应设置防倒吸装置，防止外部空气倒灌。

4.1.3 3D 打印系统

应提供稳固的打印平台及兼容主流工业3D打印机的接口与安装空间。

预留的运动轴或控制系统接口应能保证打印过程的稳定性与精度。

内部空间应便于打印耗材的存放与走线。

4.1.4 电气系统

应符合GB 5226.1的安全规定，所有线缆应规范布置，并有明确的标识。

4.2 气调系统性能

4.2.1 外观要求

机组及单元内外的外表质量表面应平坦、光滑，涂漆无色差，附着力强，表面应清洁干净，不应有水迹、油迹、锈迹等残留，检查紧固件的牢固性，设备中的接管应横平竖直，整齐划一。

4.2.2 气密性

在气调3D打印装置空仓条件下，满足SBJ16-2009《气调普通冷藏库设计规范》中的要求，充气加压至196Pa，20分钟后压力 $\geq 78\text{Pa}$ 。

4.2.3 氧含量控制范围与精度

应能实现 $\leq 1\%$ 低氧环境控制，以满足特殊3D打印场景的严苛工艺要求。

在稳态工作期间，氧气浓度控制范围：0.5%-21%，精度 $\pm 0.5\%$ 。

应配备至少一个高精度氧传感器，并实时显示和记录数据。

4.2.4 氮气含量控制范围与精度

在稳态工作期间，氮气浓度控制范围：1%-97%，精度 $\pm 0.5\%$ 。

整个设备系统的制氮量应达到设计要求的制氮量。

4.2.5 气氛置换效率

对于容积为1立方米的打印仓，从空气环境（约20.9% O_2 ）置换至1%的时间应小于30分钟。

4.2.6 气氛均匀性

在有效工作区域内，任意两点测量，气体成分偏差 $\leq 1\%$ 。

4.2.7 温度控制

控制范围：室温-10 $^{\circ}\text{C}$ -70 $^{\circ}\text{C}$ （可根据材料需求拓展）。

控制精度：在设定点，有效工作区内温度波动不应超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，空间温差不应超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

加热系统应均匀布置，避免局部过热。

4.2.8 湿度控制

控制范围：相对湿度（RH）30%-95%。

控制精度：在设定点，湿度波动不应超过 $\pm 3\%$ RH。

应具备高效的除湿功能，当仓门开启关闭后，能快速将内部湿度恢复至设定低值。

4.2.9 电气绝缘性能

冷态绝缘电阻值不小于10 $\text{M}\Omega$ ，热态绝缘电阻不小于2 $\text{M}\Omega$ 。

4.2.10 控制功能

(a) 电源指示功能：送合电控箱内断路器，对照电气原理图，相应电源指示灯亮。

(b) 材料选择功能：通过在触摸屏选择材料类型，实现材料打印过程中的气调条件匹配。

(c) 传感器标校功能：通过触摸屏可对氧、二氧化碳传感器进行手动标校，判断氧气和二氧化碳传感器是否合格。

(d) 自动控制功能：气调仓具有自动控制功能，可自动将保鲜库内的湿度、氧气浓度、二氧化碳浓度等参数自动调节至目标值。

(e) 参数设置功能：设定的参数具有断电记忆功能，也具有恢复默认功能。

(f) 安全保护功能：气调仓具有完善的安全保护功能，安全保护功能试验方法及合格判据见试验方法。

4.3 3D打印系统性能

4.3.1 设备兼容与集成性能

(a) 机械兼容性：打印仓应提供标准化的机械安装平台和稳固的安装点，确保能适配多种主流工业级3D打印机（FDM、SLS、SLA）的安装尺寸与固定方式，安装后设备无明显晃动。

(b) 电气与通信集成：打印仓控制系统应提供标准的电源接口和通信接口，能够与集成打印机的控制系统交换必要信号，如打印作业启动/完成、紧急停止触发等，以实现设备的联动控制和安全互锁。

(c) 环境适应性：集成打印机的核心部件（如主板、电机、激光器、光学镜片等）的材料和设计应能适应打印仓内部可能维持的高湿、特定气氛或温度波动环境，不应因此发生性能劣化或故障。

(d) 操作空间与维护便利性：打印仓的结构设计应为打印机的日常操作（如装卸打印平台、更换耗材、清理残料）和维护工作（如清洁、校准）提供足够的物理空间和检修通道。

4.3.2 打印过程与输出质量性能

(a) 精度保持性：在打印仓设定的、有利于特定材料成型的气调环境（如低氧、恒温恒湿）下持续运行，打印系统的综合成型精度应保持恒定或优于其在普通大气环境下的水平。

(b) 过程稳定性：打印过程应保持恒定，不应因气调仓内气流的扰动、温湿度循环控制导致的微小热胀冷缩等因素，出现打印层错位、材料挤出/铺粉不均、激光光路偏移等异常。

(c) 质量性能：对于目标打印材料，在优化的气调环境下打印的试样，其打印产品质量（如质构、粗糙度、致密度）应达到或超过该材料在标准环境下打印的基准水平，并具有良好的批次一致性。

4.3.3 材料与工艺适应性

打印系统应能兼容并充分利用打印仓所创造的特殊环境，处理对氧敏感、对湿气敏感或在特定气氛下有特殊反应的打印材料，确保材料在打印过程中的性能得到保障或优化。

4.4 安全与防护性能

4.4.1 气体安全

(a) 必须设置氧和氮气含量超高报警与联锁。当氧和氮气含量超过预设安全阈值时，应声光报警并自动启动紧急惰性气体 purge。

(b) 使用可燃或反应气体时，应配备相应的气体浓度探测器及防爆泄压装置。

(c) 所有气路连接必须牢固，无泄漏。设备应有明确标识，警示相关气体可能造成的窒息风险。

4.4.2 操作安全

(a) 仓门应设置安全联锁，在打印或高浓度某气体保护期间，未经授权操作无法轻易开启。

(b) 设备外壳应有可靠的接地措施，并设置静电释放点。

(c) 对于内部集成激光或高温组件的系统，舱门必须配备安全联锁，防止设备运行时仓门被打开。

4.5 材料兼容性

打印仓的内壁材料、密封件、传感器及管路，应与常用打印材料在加工温度下释放的挥发物，以及所使用的气体或特定反应气体相容，不发生腐蚀、降解或性能劣化。

5 试验方法

5.1 3D 打印试验方法

5.1.1 设备兼容性安装验证试验

试验方法：选取至少两种不同型号的主流工业级3D打印机（分别代表FDM/SLS/SLA中至少两种工艺）。按照制造商提供的安装指导，将其逐一安装至打印仓内的标定位置。目视并手动检查安装牢固度、线缆/管路连接是否正确、有无运动干涉。

合格判据：所有被测试打印机均能顺利、稳固地安装到位，所有必要接口（电源、气源、通信线）连接正确无误，且打印机各轴运动范围未受仓体结构阻碍。

5.1.2 打印精度对比试验（核心性能试验）

试验方法：选用一个包含多种几何特征（如垂直壁、悬垂面、水平跨度、精确通孔、圆柱体、斜面等）的标准化3D打印精度测试模型；

将试验用3D打印机置于常规实验室环境，在常规参数下连续打印5个测试样件，作为精度对照组；

将同一台打印机按规范安装于气调3D打印仓内，根据试验用材料的特性，在打印仓控制器上设定推荐优化的气调环境参数，待环境参数稳定后，启动打印机进行打印，使用相同的打印参数和同一批次材料，连续打印出5个测试样件，作为气调组。

合格判据：使用三坐标测量机或高精度数显卡尺，分别测量对照组和气调组中各测试样件上相同的、能反映X/Y/Z轴精度、圆度、垂直度等特征的关键尺寸，对比对照组和气调组的精度数据，气调组的性能不低于甚至优于对照组。

5.1.3 环境适应性运行试验

试验方法：将打印机安装于气调仓内，在打印仓设定温湿度循环变化（例如在30%~70%RH之间以1小时为周期交替变化）或长时间维持高湿/低氧的条件下，让打印机待机运行8小时以上，或执行一次长时间的打印任务。

合格判据：试验结束后，打印机应能正常启动、自检并无报警。打印机的控制系统、传感器及运动机构功能正常，无因冷凝水、气体腐蚀或材料膨胀收缩导致的卡滞、失灵或电气故障。

5.2 外观试验方法

外观采用目测法，检测管路、电缆线的布排、零部件的标识等。

5.3 气密性试验

确保保鲜库所有对外出口都已进行封堵。往库内充气，充气充至196Pa以上，待压力降至约196Pa时开始记录，每隔1分钟记录一次，记录直到20分钟后为止。

5.4 气氛成分及均匀性试验

- (a) 在打印仓有效工作区内，至少选取5个具有代表性的点（如四角及中心）。
- (b) 将经过校准的便携式高精度氧分析仪探头依次置于各点。
- (c) 启动打印仓气调系统，待系统稳定运行1小时后，同时记录各点氧含量数据。
- (d) 计算各点数据的平均值、最大值、最小值及极差。结果应符合4.2.2和4.2.3的要求。

5.5 温湿度控制精度与稳定性试验

参照JJF 1101的布点原则，在打印仓工作区内布置温湿度传感器，将温湿度分别设定为典型工作值，系统稳定运行30分钟后，每隔10分钟记录一次各点数据，持续1小时。分析数据的波动范围和空间均匀性，结果应符合4.3的要求。

5.6 氧含量监控响应试验

在低氧稳定状态下，向仓内微量注入定量空气，模拟泄漏。记录从氧含量开始上升至触发报警系统的时间和响应动作（如紧急 purge 启动）。报警响应延迟时间应小于5秒。

5.7 结构安全性检查

目视和手动检查仓门密封条、观察窗、安全联锁装置、接地端子、气路接口、电气标识等，确保其完整、有效、符合设计要求。

5.8 电气绝缘性能试验

断开装置电源，用500兆欧表检测装置带电部分（空气压缩机、冷干机、循环风机、加热器等设备电源端子）对非带电部分的冷态绝缘电阻。

5.9 耐压性能试验

试验电源的容量不小于1 kV，试验电压应是正弦波形，频率45 Hz~62 Hz之间。试验前将不能承受试验电压冲击的器件（如半导体器件、电容器等）拆除；测量总电源进线端子带电部件与地之间和相互绝缘的各带电部件之间的电压，电压值为2000 V。试验时电压升高到50%试验电压值时保持约5 s；然后升到规定的试验电压值，在该电压下维持1 min，然后把电压降到零，切断电源。已经过耐压试验的舰电装置再次试验时，其试验电压应按2000 V的85%考核。

5.10 库体绝热效能试验

在气调仓内制冷，达到设计要求的温度后，制冷机组停止工作。对保鲜库进行保冷试验。试验开始时测量环境温度和库内温度，以后每隔1h测量一次各库内温度。

表 1 回升值对照表

库内外初温差值℃	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
标准回升值℃	14.4a	13.2a	12a	10.8a	9.6a	8.4a	7.2a	6a	4.8a	3.6a
注：a 为冷库温度回升修正系数										
冷库容积与内表面积比		0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5		
修正系数 a		2.2	2	1.8	1.6	1.4	1.2	0.98		
注：冷库容积与内表面积分别以 m ³ 和 m ² 为单位计算										

5.11 控制功能试验

5.11.1 电源指示功能试验

接入AC380V 3PH 50Hz交流电源至总电源输入口，送合总供电电源；
对照电气原理图，依次送合电控箱内各断路器，查看相应电源指示灯是否亮起。

5.11.2 材料选择功能试验

在触摸屏果蔬选择页面里，按下选择窗口，在弹出窗口中可以选择空仓、冷藏及各打印材料类别下的系列，可选择具体温度控制区间，在各无聊打印材料下，可选择具体的材料类别。
选中相应的存放材料类别后，观察主页面显示存放的材料类别是否与选择的类别相一致。

5.11.3 传感器标校功能试验

在触摸屏传感器标校页面里，对氧传感器、二氧化碳传感器的设置值进行修改模拟；
按下“标校”按钮，可对氧传感器、二氧化碳进行校准，时长不低于3分钟（可在触摸屏设置）。

5.11.4 自动控制功能试验

送合电控箱内各断路器；在触摸屏自动运行页面里，按下[启动]按钮，装置自动运行；
[加湿]自动控制：当气调仓湿度低于设定湿度下限时，自动开启加湿器，当湿度恢复至高于设定湿度上限时，加湿器停止运行；
[降氧气、二氧化碳]自动控制：当氧浓度高于设定氧浓度上限时或二氧化碳浓度高于设定二氧化碳浓度上限时，自动开启降氧设备运行，当氧浓度和二氧化碳浓度降到低于目标值下限时，降氧设备，停止运行；
[除异味]自动控制：在触摸屏操作异味去除功能，设置起始时间和结束时间，降氧设备优先级高于除异味功能，当降氧设备不在运行状态时，可自动进行异味去除；
按下“停止”按键，各运行设备依次停止运行。

5.11.5 参数设置功能

装置未运行时，在触摸屏[参数设置]页面里，抽取部分设置参数进行修改，断开PLC、触摸屏控制电源，重新上电，观察修改后的参数值是否和断电前参数保持一致，保持一致则判断为合格；
在[参数设置]页面里，修改部分参数，按下该页面的[参数复位]按键，观察设置参数是否能恢复出厂设置。

5.11.6 保护功能试验

安全保护功能试验方法及合格判据见下表。

表 2 安全保护功能试验表格

序号	试验项目	试验模拟方法合格判据
1	电源故障	断开电源监视器故障输入触点一根线，触摸屏显示“电源故障”，系统发出声光报警为合格。
2	机组紧急停止	按下紧急停止按钮，在所有设备停机，系统发出声光报警为合格。
3	气调仓库门打开	对应库的降氧功能停止运行，风机接触器动作为合格。
4	气调仓通风	点击通风机启动按键，风机接触器动作为合格。
5	气调仓氧浓度低	系统声光报警，风机接触器动作判断为合格
6	空压机过载报警	断开空压机断路器，触摸屏显示空压机过载，系统声光报警为合格。
7	空压机油超温报警	断开空压机油温开关，系统声光报警，制氮模块停机为合格。
8	冷干机电机过载报警	断开冷干机断路器，触摸屏显示冷干机过载，系统声光报警，制氮模块停机为合格。
9	冷干机排气温度高报警	可通过修改程序中排气温度的比较值，模拟冷干机排气温度高，系统声光报警，制氮模块停机为合格。
10	空压机冷却水压力低报警	关小冷却水截止阀，直至触摸屏现时冷却水压力低，系统声光报警为合格。
11	加热器超温	在触摸屏上更改加热器超温保护的设定值，系统声光报警，加热器停为合格。
12	加热器出口压力低故障报警	在触摸屏修改加热器出口压力报警值，待空压机运行 3 分钟后，加热器没有运行，系统发出声光报警，自动停止制氮功能为合格。
13	循环风机过载	断开循环风机断路器，触摸屏显示循环风机过载，系统声光报警为合格。
14	加湿器水位高故障	模拟加湿器水位高报警，触摸屏显示“加湿器水位高”，关闭进水电磁阀，加湿器停止运行，系统声光报警为合格。
15	加湿器水位低故障	模拟加湿器水位低报警，触摸屏显示“加湿器水位低”，打开进水电磁阀，加湿器停止运行，系统声光报警为合格。
16	氧传感器失效	在触摸屏[传感器标校]页面中，调整[氧传感器失效报警值]，按下传感器标校按钮，当氧气浓度低于[氧传感器失效报警值]，触摸屏显示“氧传感器失效”，系统声光报警，恢复 [氧传感器失效报警值]默认值，再次标校，氧传感器失效报警复位,判断合格。
17	二氧化碳传感器失效	在触摸屏[传感器标校]页面中，调整[二氧化碳传感器失效报警值]，按下传感器标校按钮，当二氧化碳浓度高于[二氧化碳传感器失效报警值]，触摸屏显示“二氧化碳传感器失效”，系统声光报警，恢复 [二氧化碳传感器失效报警值]默认值，再次标校，二氧化碳传感器失效报警复位,判断合格。
18	气调过滤器更换提示（3800 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整过滤器[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。
19	乙烯吸附剂更换提示（3000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整乙烯吸附剂[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行更换提示，系统声光报警，判断为合格。
20	空压机油更换提示（2000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整空压机油[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。
21	空压机空滤更换提示（2000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整空压机空滤[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。
22	空压机油滤更换提示（2000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整空压机油滤[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。
23	空压机油分芯更换提示（6000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整空压机油分芯[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。
24	加湿器雾化片更换提示（3000 小时）	在触摸屏维护参数设置页面中调整加湿器雾化片[保养周期设置]，使当前运行时间大于保养周期设置值，则触摸屏进行保养提示，系统声光报警，判断为合格。

6 检验规则

6.1 出厂检验

每台打印仓出厂前必须进行出厂检验，检验项目包括：外观与结构检查、气密性试验、电气安全检验、基本功能（温湿度、氧含量显示与控制）调试、安全连锁功能测试。全部项目合格方可出厂。

6.2 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- (a) 新产品试制定型鉴定；
- (b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有重大改变，可能影响产品性能；
- (c) 产品停产一年以上，恢复生产；
- (d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- (e) 国家质量监督机构提出要求。

型式检验项目应包括本标准第4章规定的全部技术要求。抽样及判定规则由制造商质量部门制定。

7 标志、包装、运输和贮存

(a) 每台打印仓应在明显位置设置永久性铭牌，内容包括：产品名称、型号、执行标准编号、制造商名称、出厂编号、生产日期、主要技术参数（最大容积、温湿度范围、极限氧含量等）。

(b) 包装应符合GB/T 13384的要求，具有防潮、防震措施。随箱文件应包括：产品合格证、使用说明书、装箱单。

(c) 运输过程中应防止剧烈碰撞、雨淋和倒置。

(d) 贮存环境应干燥、通风、无腐蚀性气体，环境温度-10℃~40℃。

8 操作与维护指南

制造商必须提供详尽的操作与维护手册，手册内容至少应包括：

- (a) 设备的安装与场地准备要求，包括电源、气源、排风接口规格。
- (b) 开/关机标准操作程序。
- (c) 不同打印材料的气调、温湿度参数设置指南。
- (d) 安全操作规程，重点强调惰性气体窒息、粉末吸入、高温烫伤等风险防范。
- (e) 日常点检、定期保养的项目与周期，如密封条检查、传感器校准、过滤器更换等。
- (f) 常见故障诊断与排除方法。