

参考答案

1. 列出建筑行业主要的 3D 打印工艺方法。

建筑行业主要的 3D 打印工艺方法包括：

①粉末床法(如 D-型工艺)：通过逐层黏合砂土粉末形成结构。

②挤出法：包括轮廓工艺(contour crafting)，即通过挤出混凝土材料逐层建造大型建筑结构；混凝土打印工艺，即直接挤出混凝土浆体，逐层堆积成型。

2. 简述 D-型工艺的成型原理及优缺点。

D-型工艺的成型原理：D-S 型工艺属于粉末床法，利用镁基黏合剂选择性喷射到砂土粉末层上，逐层黏结固化，未黏合的砂土作为支撑材料。打印完成后清除多余粉末，形成类岩石材料的结构。

D-型工艺的优点：

①材料强度高(类岩石力学性能)。

②打印精度高(喷头间距 20 mm，层厚 5~10 mm)。

③无须支撑结构(未黏合砂土提供支撑)。

④适用于复杂几何结构(如雕塑、异形建筑)。

D-型工艺的缺点：

①表面粗糙(砂粒纹理)。

②成型尺寸受设备限制。

③材料利用率较低，后期清理工作量大。

3. 简述轮廓工艺的成型原理及优点。

轮廓工艺的成型原理：轮廓工艺属于挤出法，通过龙门式机械臂驱动喷头挤出混凝土材料，先打印外部轮廓，再填充内部结构(如保温材料或桁架)。打印路径由计算机控制，逐层叠加成型。

轮廓工艺的优点：

①施工速度快(24 h 内可打印 232 m² 的房屋)。

②建筑重量轻(中空墙体设计，可填充保温材料)。

③成本低(节省 20%~30%材料，减少 45%~55%人工)。

④设计自由度较高(支持弧形、波浪形等异形结构)。

4. 简述混凝土打印工艺的成型原理及优缺点。

混凝土打印工艺的成型原理：混凝土打印工艺采用挤出法，通过泵送流动混凝土浆体至喷嘴，沿 X 轴、Y 轴、Z 轴逐层堆积成型。每层厚度为 5~25 mm，无需模板，直接按数字模型建造。

混凝土打印工艺的优点：

①免模板施工，降低成本和工期。

②设计自由度极高(支持复杂几何形状)。

③环保节能(减少材料浪费和扬尘)。

混凝打印工艺的缺点：

①打印尺寸受设备限制(高度和横截面积受限)。

②层间黏结力较低，可能影响整体强度。

③对材料性能要求高(需快速凝固且流动性好)。

5. 请列出三大主流建筑 3D 打印工艺的区别，并谈谈这些技术可以和哪些技术相结合，使建筑 3D 打印工艺更具实用性。

三大主流建筑 3D 打印工艺区别如表 1 所示。

表 1 三大主流建筑 3D 打印工艺区别

工艺名称	D-型工艺	轮廓工艺	混凝土打印工艺
打印过程	选择性喷射黏结	挤出成型	挤出成型
打印材料	镁基胶凝材料和细骨料	黏土质、水泥基材料	以水泥为主的胶凝材料、 骨料、水及外加剂
喷嘴直径	0.15 mm	15 mm	9~20 mm
打印层厚	4~6 mm	13 mm	5~25 mm
喷嘴数量	数百个	1 个	1 个
打印速率	慢	快	快
打印尺寸	受打印框架限制	超大尺寸	受打印框架限制
技术特点	高强度	喷嘴外侧抹刀、表面光滑	精度和自由度高

技术结合方向：

BIM 技术：优化打印路径规划与结构设计，提升复杂建筑的可建造性。

机器人技术：突破打印尺寸限制(如轮廓工艺结合机械臂扩展作业范围)。

智能材料：开发自修复混凝土、纤维增强复合材料，提升结构性能。

物联网(IoT)：实时监测打印过程中的材料流动、层间黏结强度。

传统工艺后处理：3D 打印主体结构后，结合传统工艺完成装修、管网安装。

模块化预制：将打印构件与装配式建筑结合，降低现场施工难度。

6. 谈一谈三大主流建筑 3D 打印工艺与传统建造业的关系。

(1) 互补性

效率与成本：3D 打印可快速建造标准化或复杂结构(如 D-型工艺打印雕塑、轮廓工艺打印墙体)，传统工艺擅长精细化施工(如抹灰、装饰)。

材料利用：3D 打印减少材料浪费(按需沉积)，传统工艺适合大规模基础材料施工(如混凝土浇筑)。

设计自由度：3D 打印实现复杂几何(如 D-型工艺打印的珊瑚礁、轮廓工艺打印的弧形墙体)，传统工艺在标准化建筑中更经济。

(2) 替代性

重复性劳动：3D 打印可替代部分人工(如砌砖工、模板工)，但复杂工序(如电路铺设)仍需人工。

特殊场景：在太空基地(如轮廓工艺打印月球栖息地)、海洋工程(D-型工艺打印人工珊瑚礁)等领域 3D 打印具有不可替代性。

(3) 协同发展方向

混合建造模式：3D 打印主体结构+传统工艺完成细节(如门窗安装、防水处理)。

技术升级：传统材料企业开发适配 3D 打印的新型混凝土(如快凝、低收缩配方)。

产业链整合：3D 打印推动设计—生产—施工一体化驱动传统行业数字化转型。

(4) 挑战与融合

标准体系：需要建立 3D 打印建筑的质量检测、抗震规范与传统标准衔接。

人才转型：传统施工人员需要学习数字化技能，适应新工艺需求。

建筑 3D 打印工艺与传统建筑业并非是对立的，而是通过技术互补实现建筑工业化与个性化的平衡。未来，二者将在智能建造体系下深度融合，推动建筑业向高效、绿色、可持续发展方向。