

3D 打印技术的发展及应用现状

马晓坤¹, 侯建峰², 孟宪东³, 王 瑞¹, 蔡贺秋¹, 张文博¹(1. 吉林化工学院 石油化工学院; 2. 中国石油吉林石化公司研究院;
3. 中国石油吉林石化公司仓储中心, 吉林省 吉林市 132021)**摘 要:** 3D 打印技术是在数字三维模型的基础上进行的增材制造, 作为新兴的快速成型技术, 被视为第三次工业革命的开端。本文从 3D 打印技术的发展、原理、材料、应用领域等多角度对该技术进行了分析。**关键词:** 3D 打印; 热熔沉积; 热塑材料

DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2020.12.104

前 言

3D 打印思想起源于 19 世纪末, 人们在摄像机发明不久后开始尝试将二维图像转化为三维模型。3D 打印技术真正意义上的发展应从 20 世纪 80 年代末算起, 其最具核心的四项技术熔融沉积快速成型(Fused Deposition Modeling, FDM)、光固化成型(Stereo Lithography Apparatus, SLA)、选择性激光烧结(Selecting Laser Sintering, SLS)相继问世, 3D 打印技术由此开始快速发展起来。3D 打印技术是一种科技融合体模型中最新的高“维度”体现, 因此中国物联网校企联盟称它为“上个世纪的思想, 20 世纪的技术,

这个世纪的市场”。

1 3D 打印技术方法

3D 打印技术直译过来增材制造技术, 顾名思义就是数字三维模型离散并通过特定设备分层堆积, 通过降维由点到面再累积至体, 快速制造具备特有结构的实体。这种技术无须机械加工或模具, 直接从计算机图形数据中生成任何形状的物体, 从而极大地缩短了产品的生产周期, 提高了生产率。3D 打印机按照工作原理可以划分为 FDM、SLA、SLS、3DP^[1-3]等多种技术原理。表 1 中列举了主要的 3D 打印主要技术方法及其打印材料。

表 1 3D 打印主要技术方法及其打印材料

3D 打印技术方法	打印材料
熔融沉积成型 (Fused Deposition Modeling, FDM)	热塑性材料、共晶系统金属、可食用材料
光固化成型 (Stereo Lithography Apparatus, SLA)	光敏硬化树脂
选择性激光烧结 (Selecting Laser Sintering, SLS)	热塑性材料、金属粉末、陶瓷粉末
三维粉末粘接 (Three Dimensional Printing, 3DP)	石膏、砂、石膏粉末、金属粉末、陶瓷粉末
分层实体制造 (Laminated Object Manufacturing, LOM)	纸、塑料薄膜、金属膜
激光熔覆快速制造技术 (Laser Engineering Net Shape, LENS)	几乎所有合金
熔丝制造 (Fused Filament Fabrication, FFF)	聚乳酸树脂、ABS 树脂
融化压膜 (Melted and Extrusion Modeling, MEM)	金属线、塑料线

1.1 熔融沉积成型 (FDM)

Scott Crump 于 1988 年研发的最典型的 3D 打印技术, 通过将三维图形降维到二维层面, 利用喷头将材料熔融并按照图形切面的轮廓在 x-y 轴移动挤出并迅速凝固, 完成一个切面的打印, 逐层堆积, 最后在立体空间上排列粘结形成立体实物。

目前, FDM 技术可以打印的材料包括 ABS、聚碳酸酯、聚乳酸、聚苯砜等多种热塑性树脂。与其他的 3D 打印技术相比, FDM 是唯一使用工业级热塑材料作为成型材料的积层制造方法, 打印出的物件具有可耐受高热、腐蚀性化学物质、抗菌和强烈的机械应力等特性, 被用于制造概念模型、功能模型, 甚至直接制造零部件和生产工具。FDM^[4-6]技术被 Stratasys 公司的 Dimension、uPrint 和 Fortus 全线产品

以及惠普大幅面打印机作为核心技术所采用。

1.2 光固化技术 (SLA)

光固化技术 (SLA) 根据光聚合的原理, 在液槽里装满液态光固化树脂, 光束在振镜的控制下扫过液体表面, 光斑接触到的液面固化, 由点至面完成一层扫描后, 工作台下降一个层厚, 继续扫描, 重复上述过程层层堆叠成立体。SLA 有如下几个核心优势: 产品表面质量出色, 尺寸精度高, 可以打印具有复杂结构的模型或零件。但由于光刻材料的限制, 技术本身存有一定缺陷, 需要支撑结构。而且液态树脂具有毒性和刺激味道, 需要避光处理, 固化后的零件性能一般, 较脆、易断裂, 无法达到使用要求, 设备成本较高^[7-8]。

基于这些存在问题, 采用数字投影仪数字光处理替代紫外光束, 通过数字微镜晶片处理图像, 曝光整层树脂得到固

化效果，研发了数字光处理 DLP 技术。DLP 技术采取整层固化，相较于 SLA 由点至面的逐步打印方式，速度更快，效率更高。

1.3 选择性激光烧结(SLS)

选择性激光烧结(SLS)采用粉末床熔融技术，将预加热粉料铺在基面上，激光束再计算机控制下根据图像切面以一定轨迹水平移动，使轨迹上的粉末温度升至熔点并烧结在一起。完成一层的打印后，工作台下降一个层厚，铺上新的粉末，进行烧结并和下面一层烧结在一起，如此不断重复堆叠，实现立体制造。

选区激光熔化(SLM)和直接金属烧结技术(DMLS)是在选区激光烧结技术上发展演变而来，技术原理相近，得益于热源的技术进步，SLM 和 DMLS 可以使粉末完全熔化，凝固，形成冶金熔覆层，主要用于金属领域。SLM 技术用来制造纯金属，致密度高，力学性能出色，表面质量一般。DMLS 因为球化现象，精确度较差，但无须后处理，价格低效率高，常用于金属合金的打印制备。

2 3D 打印材料^[9-11]

3D 打印是一种跨学科交叉技术，而材料科学无疑是其中的最核心的部分之一。新材料的研发既是其瓶颈，也是 3D 打印发展的方向。打印原材料按照形态可以分为液体材

料、薄片材料、粉末材料、丝线材料，按照材料性能也可分为高分子材料，金属材料，无机非金属材料 and 复合材料。其中又以金属材料和高分子聚合材料应用最为广泛。

2.1 高分子材料

高分子材料在一定温度下具有良好的热塑性，强度合适，流动性好，价格低廉，是增材制造最主流的应用材料之一，应用于 3D 打印技术的高分子材料主要分为工程塑料和光敏树脂两大类。

ABS 工程塑料常用于 FDM 增材制造，强度高，韧性好，耐冲击，无毒无味，颜色多样，但其在遇冷尺寸稳定性差，会收缩引发脱落翘曲或开裂现象，可以通过复合改性提升 ABS 材料物理机械性能。PC 同 ABS 树脂相比，机械性能更出色，高强高弹，耐燃，抗疲劳，抗弯曲，尺寸稳定性好，不易收缩变形，在汽车航天等对制造强度要求较高的工业领域广泛应用。PLA 是典型的生物塑料，具有良好的生物降解性和生物相容性，对环境无害。相较于 ABS，PLA 材料热稳定性好，制作过程中几乎没有收缩，打印件为半透明状，可观赏性强。但其力学性能较差，可以通过改性研究在一定程度上改善。表 2 中例举了适用于 3D 打印技术的热塑性树脂的性能指标及特点。

表 2 常用热塑性 3D 打印材料及相关性质

名称	PLA	ABS	PC	PA	PEEK
特点	环保生物降解型材料	熔点高	防刮、防冲击性	性能稳定	耐高温、耐腐蚀
	原料来源广泛	冷却时会收缩	高强度、耐久度	生物可降解	自润滑
	熔点低	更易挤出	暴露紫外线下会变得质脆	耐油、耐水、耐磨	韧性、抗疲劳性高
	质脆	具有轻微气味	尺寸稳定性高	抗菌	复合材料开发

2.2 金属材料

金属材料在 3D 打印中的应用迅速发展，成为对传统机械制造的重要补充。3D 打印使用金属材料多为粉末，为了达到较高的性能，对原材料要求较高，特别是为了得到优异的流动性，要求粉末具有较高的纯净度和球形度，较窄的粒径分布和较低的氧含量。

钛及钛合金因其显著的比强度高，耐高温、高耐腐蚀性、以及良好的生物相容性等优点，在航天、医疗等领域被广泛应用。例如，钛合金 3D 打印的机翼中央翼缘条已应用在 C919 大飞机的机翼结构中。钴铬合金是对预合金粉末的一种巧妙混合，具有非常好的力学性能（强度、硬度等）、耐腐蚀性和耐热性。

2.3 无机非金属材料

无机非金属材料在 3D 打印中应用的主要有陶瓷，水泥等，且主要以粉末和浆料的形式出现。陶瓷材料是人类使用的最古老的材料之一，强度高，硬度大、耐熔耐磨抗氧化，绝缘性好、化学稳定性优，工业制造中常用材料。但由于其硬而脆的特性，模具制造较长的制作周期，成本高昂，限制了其发展，而 3D 打印恰恰克服了这些不足，使得生产效率

大大提高，夺得一席之地。

磷酸三钙陶瓷具有天然生物相容性和化学稳定性，其化学组成与人骨相似，与人体适配度良好，是骨修复材料的理想选择。氧化铝陶瓷以 Al_2O_3 为主体，来源广、用途宽、成本低、产量大、具有高强高硬，耐磨耐腐等特性，常应用于工业零部件制作。

3 3D 打印的应用

3D 打印技术已经在电子行业、结构件、医疗领域、个性设计日用品、建筑业、文物修复、航空航天、教育教学等众多领域有广泛的应用和涉及。

航天工业制造对零件安全性能有着十分严格的要求，随着增材制造技术的成熟，打印产品性能堪比锻造水平。3D 打印已成为航空发动机制造的核心技术，GE Catalyst 涡轮螺旋桨发动机中，通过 3D 打印技术生产制造近 1/3 的零件。在运动鞋市场，Adidas 率先与 Carbon 公司合作，利用 CLIP 连续液界光固化技术制作镂空鞋底，推出 Futurecraft 4D 运动鞋，打破了以往 3D 打印仅用于制作原型鞋的传统，直接利用增材制造提升产品附加值。3D 打印建筑在应急临时建筑的搭建上，其建造速度和成本的优势非常突出。3D 打

印在医疗领域应用的越来越广泛。从打印医学模板, 导板, 到医疗植入物, 从康复科, 骨科, 口腔科, 到肝胆外科, 心血管外科与再生医学, 增材制造在不断助力人类医学迅猛发展。

4 展 望

随着越来越多的科技力量投入到 3D 打印技术中去, 相关技术的不断进步, 3D 打印已经成功应用于消费电子、汽车、医疗、航空航天等行业, 随着桌面级的打印设备不断普及, 个人消费领域也不断被开发。3D 印技术的主要优势仍在于创新, 尤其在高度复杂的创新产品制造领域相对于传统工业有着压倒性的优势。3D 打印相对于传统制造业来说, 是一个最有利的技术补充, 随着材料开发和技术的革新, 希望可以逐步突破制品量化的鸿沟, 全面实现 3D 技术的应用推广。

参考文献

- [1] Alexander L., Santino V., Quan C. Advances in Optical Sensing and Bioanalysis Enabled by 3D Printing[J]. ACS Sens., 2018, 3(12): 2475-2491.
- [2] 罗雨丝, 武泽孟. 3D 打印技术应用现状及其展望[J]. 科技论坛, 2019(10): 111-113.
- [3] Niall P. M., Joan M. C., Petr S., et al. Comparing

Microfluidic Performance of Three-Dimensional (3D) Printing Platforms[J]. Anal. Chem., 2017, 89(7): 3858-3866.

- [4] 王延庆, 沈竞兴, 吴海全. 3D 打印材料应用和研究现状[J]. 航空材料学报, 2016, 36(04): 89-98.
- [5] 邵中魁, 姜耀林. 光固化 3D 打印关键技术研究[J]. 机电工程, 2015, 32(02): 180-184.
- [6] 宗学文, 周升栋, 刘洁, 等. 3D 打印及光敏树脂改性研究进展[J]. 塑料工业, 2020, 48: 12-17.
- [7] Herzberger J., Viswanath M., Christopher B. W., et al. 3D Printing All-Aromatic Polyimides Using Stereolithographic 3D Printing of Polyamic Acid Salts[J]. ACS Macro Lett., 2018, 7(4): 493-497.
- [8] 曹赛男. 激光熔化沉积 TiC/Ni 基高温合金: 工艺调控机制及跨尺度增强效应[D]. 南京航空航天大学, 2017.
- [9] 刘平, 崔良, 史金光, 等. 增材制造专用金属粉末材料的制备工艺研究现状[J]. 浙江冶金, 2018(04): 3-6.
- [10] 程梓原. 金属增材制造技术的应用与发展[J]. 世界有色金属, 2018, 15: 263-264.
- [11] 陈庆来. 3D 打印技术在塑料工业中的应用[J]. 塑料科技, 2019, 47: 91-94.

(上接第 233 页)

土建结构工程是建筑工程的基础, 影响着整个建筑工程的质量和实际效果, 在设计过程中必须满足建筑的承重质量和承重量要求, 若没有科学合理的结构力学设计, 将导致难以估测的建筑质量问题发生。在土建结构工程设计过程中运用数学规划法进行设计优化, 能够实现工程的设计变量数据最优, 从而促进整个建筑工程设计的科学合理。

3.3 优化措施

优化技术在土建结构工程设计中的应用, 可以有效保障工程的安全稳定性能, 在具体的设计过程中, 必须针对土建结构工程施工中可能出现的问题, 采用必要的优化措施, 以确保工程的顺利及安全。比如适当加大抗震缝宽度可以有效预防在发生地震时, 各抗震缝之间相互碰撞; 悬挑梁在设计中设置成截面可以降低其截面应力, 从而提高悬挑梁梁体的抗变形能力; 对梁柱的线刚度比进行合理控制, 从而保证承重柱的截面高度, 提高承重柱的抗震稳定性; 合理运用对称原理进行布局, 不仅能够提高建筑物的荷载能力, 同时也能

够提升建筑的艺术美感。

4 结束语

在土建结构工程设计中有效运用优化技术, 不仅可以提高建筑工程的工程质量, 同时可以降低施工成本并提升建筑美感。在优化技术的实际运用过程中, 需要根据实际情况合理选择优化方法, 不断提高设计水平和优化能力, 从而促进我国建筑行业的不断向前发展。

参考文献

- [1] 徐林刚. 优化技术在土建结构工程设计中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2020(03): 95-96.
- [2] 彭丽. 土建工程结构设计的优化技术研究[J]. 四川水泥, 2018(08): 105.
- [3] 贾娟. 优化技术在土建结构工程设计中的应用分析[J]. 化工管理, 2018(15): 51.