第37卷 第2期
2022年6月:255-258

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 37 No. 2
Jun. 2022:255-258

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.02.016

地矿行业3D打印技术的应用现状

刘小雨,陈蓉,卢珍松
(四川省冶金地质勘查院,成都 610051)

摘要: 随着地矿行业大转型的发展趋势,三维业务的需求日益增长。3D打印技术近年来蓬勃发展,作为新的应用切入点,相较于传统的制造工艺,更适用于制造精细、复杂、异形、多彩以及一定强度的地矿行业三维模型。通过国内外多项打印技术的对比,认为SLA、FDM、3DP、PolyJet等4类技术最适宜地矿行业模型定制化的打印需求。目前3D打印在地矿行业的测绘、城市地质、设计、矿山、科研、教学、地质环境等各方面均有应用,有较好的应用前景。受3D打印技术的制约,现阶段以打印单色或双色模型为主,且模型表面"台阶效应"难以避免。如何打印出色彩逼真且没有任何毛刺的物品,是3D打印技术在地矿行业应用的一大发展目标。

关键词: 3D打印;地矿行业;模型;应用现状
中图分类号: TD171 **文献标识码:** A

0 引言

传统的地矿行业以矿产勘查及矿业咨询为主要业务,随着地矿行业大转型的发展趋势,地矿行业在传统地质找矿的基础上,向测绘、工程勘察、水工环、地质灾害防治、城市地质、农业地质、旅游地质、污染土地治理、环境保护等众多新兴地质技术服务领域拓展。在现今"数字矿山"、"数字城市"、"数字中国"的宏伟目标下,数字地理空间框架作为其重要的基础构架,有力推动了地矿行业地理信息技术由传统的二维图像向三维图像的技术变革。

地矿行业是3D打印技术应用的新切入点,近年来呈蓬勃发展之势。地矿产业模型通常为高度定制化模型,模型形态复杂,实体化制作过程中,若采用传统的制造工艺,需要耗费比较高的人力、物力成本。3D打印作为一种新型材料制造技术,以逐层打印、叠加成型的制作原理,可以有效降低工艺成本负担,使地质三维实景模型可以直观地展现到管理人员、设计人员面前。

1 3D打印技术发展现状

3D打印技术起源于美国。1985年由Charles W. Hull开发出光固化技术(SLA),并成立3D System公司。2000年以来,3D打印技术逐步从单一的工业领域延展到私人、政府机构、医疗、食品、时尚等更广泛的领域中。经过多年来的研发应用,目前3D打印技术种类繁多,各类技术各有优势与缺点,适用于不同领域的需求。常见的3D打印技术包括立体固化成型(SLA)、喷墨印刷(PolyJet)、选择性激光烧结/熔融(SLS/SLM)、熔融沉积造型(FDM)、连续液面生长(CLIP)、电子束选区熔化成形(EBM)、多射流熔融(MJF)、定向能量沉积(DED)、激光熔覆沉积(LENS)等多项技术(表1)。

立体固化成型技术(SLA)主要用于模具、模型的制造,这项技术具有成形的速度快、精度高、成品表面光滑的特点;但树脂在固化的过程中会产生收缩,相应地出现应力或形变现象,所以开发收缩率较小、固化速度快、强度高的光敏材料是这项技术今后发展的方向。

收稿日期: 2021-11-09; **责任编辑:** 余和勇

作者简介: 刘小雨(1993—),女,工程师,主要从事遥感地质调查、三维地质建模、地理信息等工作。通信地址:四川省成都市成华区崔家店路75号,四川省冶金地质勘查院;邮政编码:610051;E-mail:295171651@qq.com

喷墨印刷技术(PolyJet)的优势体现在成型的效率高,由于增加了喷头的数量,从而实现了彩色打印制件,减少了后续的处理环节,但目前多为进口设备,价格较为昂贵[1]。

选择性激光烧结/熔融(SLS/SLM)中的激光熔融技术(SLM)是在激光烧结技术(SLS)基础上发展而来的,它用高功率、高密度的激光束将金属粉末直接熔化,最终得到预定尺寸和精度、高密度的金属零部件,是当前国内金属 3D 打印的主流技术。

熔融沉积造型(FDM)是近期广泛使用的一种快速造型技术,近年来开发出高性能、高分子的 PEEK 材料,可以打印出具有耐高温、自润滑、易加工和高机械强度等优异性能的塑料零件,在许多特殊领域可以替代金属、陶瓷等传统材料。

连续液面生长技术(CLIP)是由立体固化成型技术(SLA)改进而来,这项技术具有高速、可消除零件表面"台阶效应"的优势,同时大大改善了传统 3D 打印零件因为层状结构而使产品在堆叠方向上的力学性能差的情况,有巨大的发展潜力。

电子束选区熔化成形技术(EBM)开始用于医疗行业,现已广泛应用于医学、航空和汽车等行业,通常使用钛合金,无法打印塑料或陶瓷部件[2]。

多射流熔融技术(MJF)是惠普公司 2018 年新研发的一种 3D 打印工艺,适用于航空、航天、医疗保健和汽车等行业制造高质量的定制化部件[3]。

2 适用于地矿行业的 3D 打印技术

不同于制造业零部件的批量化生产,地矿行业 3D 打印的主要需求是定制化的模型打印,打印的模型要求精细、复杂、异形、多彩,以及一定的强度,模型的应用是以不同场景的展示为主。因此,打印设备的选择以高精度、支持复杂模型、多彩、易处理等为原则。对比了国内外多项打印技术,认为立体固化成型(SLA)、三维打印快速成型(3DP)、喷墨印刷(PolyJet)和熔融沉积造型(FDM)等 4 类技术最适合地矿行业模型定制化打印需求。

(1)立体固化成型技术(SLA)。该技术是以光敏树脂为原材料,采用激光固化成型,为目前定制化模型主流的打印方法。该技术可以打印出精度较高、表面光滑、强度较大的复杂模型,但打印的模型仅为单色。该项技术对环境的要求严苛,需要准备独立的打印室和后处理室。设备重量大,需考虑楼板的承重部位。打印室需维持恒温、恒湿状态,需配备紫外线光罩及 UPS 电源。此外,光敏树脂具有一定的挥发毒性。立体因化成型技术打印出的模型质量较好,应用广泛,但对环境要求高,设备价格高昂,打印过程中易挥发有毒气体,维护成本高昂。

(2)三维打印快速成型技术(3DP)。该技术是由喷头处喷射单色或彩色的黏结剂,将平台上的粉末(通常采用石膏粉)黏结成型[4]。三维打印快速成型技术可打印出全彩模型,非常适于地理模型、城市三维模型、地层模型等结构简单,色彩丰富的模型打印,在地矿行业的应用范围较广。设备无需激光器等高成本的元器件,成本较低,且易操作、易维护,同时耗材价格低。但这项技术打印复杂精细的零件(如矿山模型)难度较大,而且成品的强度较低,表面较为粗糙。目前,工业级 3D 快速成型打印机多从国外进口,价格高昂;国内的同类打印设备以桌面级为主,打印的精度和设备的稳定性较差。

表 1 3D 打印主流技术分类

Table 1 The leading classification of 3D technologies

类型	技术名称	打印形式	材料	材料形态
熔融堆积式	FDM	加热喷嘴挤出堆积	聚乳酸、ABS 塑料	丝状
选择性区域透光	LCD	液晶屏选择性透光	光敏树脂	液体
定向能量沉积	DED, LMD	将材料送入高温熔区熔化沉积	金属	粉末
数字光处理	DLP	高分辨率的数字光处理器投影仪	光敏树脂	液体
立体平板印刷	SLA	强度的激光扫描固化	光敏树脂	液体
选择性激光烧结	SLS	激光烧结粉末形成紧密结合体	尼龙、金属粉末、ps 粉、树脂砂	粉末
选择性激光熔融	SLM	高能镱光纤激光融化金属粉末	钛合金、钴铬合金、不锈钢、铝合金	粉末
多头喷发	MJP	喷头喷发出成型材料和支撑材料	树脂、蜡	液体
多射流熔融	MJF	喷墨阵列向粉末喷射定影剂和细化剂,加热元件熔融固化	尼龙	粉末
三维印刷	3DP	喷头喷发连接液连接粉末材料	石膏	粉末
电子束选区熔化成形	EBM	高能电子束扫描金属粉末熔融成型	金属	粉末

(3)喷墨印刷技术(PolyJet)。喷墨印刷技术与3D 快速成型技术类似,但直接喷射光敏树脂材料的技术具有的优势为:①可打印表面平滑的精细原型,呈现出产品的美感;②可制造精准的模具、钻模、夹具和其他制造工具;③可处理复杂的形状和细节,呈现精致的特征;④可将多彩色的材料种类一并应用到单个模型中,提高效率,这顶技术在打印模型的美观程度和细节呈现方面当属首选;⑤对环境的要求低,适用于办公环境[5]。但该技术的材料成本较高,且成品的硬度较差,不适用于小批量生产零件。目前,PolyJet 3D 打印机制造厂商主要为美国 Objet,设备价格昂贵。

(4)熔融沉积造型技术(FDM)。是当前全世界应用最为广泛的 3D 打印技术,该技术设备环境要求低,材料为丝状,易于保存,适合办公环境使用。该项技术材料种类繁多,包括 PLA 塑料、工程塑料、柔性材料、碳纤维材料等。现今发展的多喷头技术可以实现混合材质打印,使模型更加美观、实用,并易于后处理。但是,熔融沉积造型术受打印原理(层层堆积)的限制,打印结构复杂的模型难度较大,且模型的表面不可避免会有台阶效应。

3　地矿行业 3D 打印的应用现状

3.1　国内外应用现状

3D 打印技术在地矿行业的测绘、城市地质、设计、矿山、科研、教学、地质环境等各方面均有应用,展现出较好的发展前景(表 2)。

3D 打印技术已成为当前国外在地质研究、地下结构可视化、野外环境分析和军事地质领域较为成熟的一项应用技术。City GML(虚拟三维城市模型)平台有开放地理空间信息联盟 OGC 认可的标准,可制作标准化三维城市模型,它分为 5 个连续的分辨率等级(LOD 0—LOD 4),打印精度为 0.2～5 m,有多个城市(如德国的柏林市、荷兰的阿珀尔多伦市等)均已建立这类三维城市模型[6]。目前,国内的一些测绘装备类企业也在积极谋求为 3D 打印技术提供硬件、软件及数据支持,通过精准的测绘数据,清晰地打印出高标准的模型。

地理文化衍生品领域也成为地矿行业 3D 打印的重要拓展方向。在英国 3D 打印地图工艺产品网站 “Terrainator.com”地图平台,用户可以在有相关业务地区的地图中,以一定的比例尺设定出一块地域,提交后,系统会进行自动处理,并生成一张三维地形结构图。用户将这幅三维可视图提交给网站并支付费用后,网站就会打印出一套定制化的三维地形图模型提供给用户。目前该网站只支持美国(大部分地域)、加拿大(西部)、英国的版图以及欧洲少数国家的部分版图。美国 3D 地理地形图商业网站 “Landprint.com”可提供如“世界知名山峰”等 3D 地理结构商品,同时也提供 3D 地形定制化服务[7]。国内也有一些能够提供地理空间信息 3D 打印解决方案的公司,如杭州铭展网络科技有限公司。

3.2　地矿行业应用案例

2013 年,科技日报曾以“3D 打印‘打进’地理信息产业”为题,报道了 3D 打印技术在三维地图、三维模型精细度等地理信息领域的研究进展,并预示了这项技术的广阔应用前景;2016 年,同济大学王建秀等应用 3D 打印技术实现地质工程教学中各种地质体的实体模型三维打印,使得岩体的结构特征直观地展示出来,有利于学生对于岩体结构的深入理解,有助于诸如极射赤平投影、岩石节理统计、节理玫瑰花统计等课程的学习,从而提升课堂教学的效果[8];2014 年和 2017 年,中国矿业大学鞠杨等利用 CT 扫描了天然煤岩式样、混凝土试样的内部结构,用一种树脂材料作为主体,另一种非透明材料作为骨料,利用 3D 打印技术对试样进行重构,实现了内部裂隙结构和骨料结构的可视化[9];2018 年,中南大学管克亮等以金川铜镍矿田为例,应用 3D 打印技术实现了其中 4 个矿区地质体模型的打印,从而帮助地质人员更好地进行地质体模型的观察与研究[10];2019 年,成都理工大学李阳等以江油马角坝地区双马石灰石矿区为例,通过对矿区三维模型的构建,利用 3D 打印制作出可观性极强的地质体实体模型[11]。

表 2　3D 打印技术在地矿行业主要应用类型

Table 2　The main applicable types of 3D technologies to geology and mining industries

模型类型	应用优势
地质模型	专业人员了解不同地层在空间上的属性特征、矿体特性、地下水概况和不同深度的储水层构造
地形地貌模型	提高商谈复杂解决方案的效率
地理信息系统模型	快速、高质量呈现景观地形地图
房地产 3D 沙盘模型	不仅外观精细准确,内部结构也符合标准比例尺

3.3 应用技术难点

通过 3D 打印技术呈现 GIS 数据的技术仍然处于起步阶段，存在一定的技术难题。GIS 数据的格式繁多，STL 格式文件是目前 3D 打印机能够识别的几种通用文件格式之一，在 GIS 数据转换为 STL 文件格式过程中往往存在数据的丢失，使模型的细节受损；3D 打印技术可以制作高精度、高分辨率的实体模型，但模型在打印过程中，材质层堆叠的宽度将决定打印的分辨率，模型壁的最小厚度极限值会造成模型细节特征的丢失。另外，3D 模型打印之后，原始的 GIS 数据属性被整合压缩，研究人员需要研究数据个别属性的时候，需要重新返回到平面地图，参考初始的平面形态。从模型呈现的美观角度，地矿行业所需求的真实彩色模型仍是目前 3D 打印的技术难点。

4 结论

3D 打印技术近年来的飞速发展，不仅在传统的制造业中体现出非凡的发展潜力，同时其魅力更延伸至多个与人们生活息息相关的领域。目前地矿行业中的三维业务需求日益增长，如基础地质研究、成矿预测研究、矿体三维建模、物探勘查模型、测绘研究与成果表达、地质灾害模型研究、城市地质模块化管理、地质教学、地质景观研究等诸多专业技术环节均可与 3D 打印密切融合，从而提升研究效果和表达形式。地矿行业以打印定制化模型为主，其模型要求精细、复杂、异形、多彩以及一定的强度，打印出色彩逼真而且没有任何毛刺的物品，是 3D 打印技术在地矿行业应用的一大目标。

参考文献：

[1] 任何东，杨景宇，李超林，等. 3D 打印技术及应用趋势[J]. 成都工业学院学报，2018，21(2)：30－36.

[2] 冉江涛，赵鸿，高华兵，等. 电子束选取熔化成形技术及应用[J]. 航空制造技术，2019，62(1/2)：46－57.

[3] 成初. 惠普 MJF 3D 打印机多射流熔融 3D 打印技术[J]. 广东印刷，2017(3)：6.

[4] 张迪涅，杨建明，黄大志，等. 3DP 法三维打印技术的发展与研究现状[J]. 制造技术与机床，2017(3)：38－43.

[5] Yun Lu Tee，Chenxi Peng，Philip Pille，et al. PolyJet 3D Printing of Composite Materials：Experimental and Modelling Approach [J]. Springer Nature Journal，2020，72(3)：1105－1117.

[6] Sameer Saran，Kapil Oberai，Parag Wate，et al. Utilities of Virtual 3D City Models Based on CityGML：Various Use Cases [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing，2018，46(6)：957－972.

[7] 陈启临. 3D 打印“打进”地理信息产业[N]. 科技日报，2013－07－12(6).

[8] 王建秀，刘笑天，居哲超，等. 3D 数字扫描－3D 数字重建－3D 打印技术在地质工程教学中的应用[J]. 教育教学论坛，2016，(42)：160－161.

[9] 鞠杨，谢和平，郑泽民，等. 基于 3D 打印技术的岩体复杂结构与应力场的可视化方法[J]. 科学通报，2014，59(32)：3019－3119.

[10] 管克亮，邓浩. 地质体模型的 3D 打印应用研究[J]. 科技创新与生产力，2018(4)：27－30.

[11] 李阳，邹灏，刘行，等. 基于 3D 打印技术的矿床模型构建研究：以江油马角坝地区双马石灰石矿区为例[J]. 矿物学报，2017(增刊)：535.

Status of 3D printing technology application to geological and mining industries

LIU Xiaoyu, CHEN Rong, LU Zhensong

(*Sichuan Institute of Metallurgical Geology and Exploration, Chengdu* 610051, *China*)

Abstract: With significant transformation of geological and mining industries 3D business is growing day by day. Compared with traditional manufacturing processes 3D printing technology booms in recent years. It is more suitable to refine, complex, multi-color manufacturing and geological and mining models. According to application of the technology at home and abroad SLA, FDM, 3DP and PolyJet are most suitable to geological and mining industrial model. Now 3D printing is getting more and more applicable to survey, drawing, city geology, design, mining, scientific research, teaching and environments. Due to some limitation the technology application is mainly dominated by mono or two color models and the step effect on the model surface is unavoidable. To make 3D printing with as-true-as possible color and without any bur is the goal to apply the technology to geological and mining industries.

Key Words: 3D printing; Geological and mining industry; model; application