

3D Printing Technology and Its Applications in Construction Industry

Lu WANG

School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: In recent years, more and more people pay attention to 3D printing technology. In order to analyze the application of 3D printing technology in the construction industry, and to explore the development of 3D printing technology in China's construction industry, this paper introduces the concept of 3D printing technology, the development status, and the advantages and disadvantages of 3D printing technology in the field of construction industry. In the application of China's construction industry field, 3D printing technology has feasibility and prospect, has great advantages compared with traditional construction methods. But there are also many problems of safety and protection of intellectual property rights, technology is not mature and the shortage of technical personnel.

Keywords: 3D printing; Construction industry

3D 打印技术及其在建筑业的应用前景

王璐

重庆交通大学经济与管理学院, 重庆, 中国, 400074

摘要: 近年来, 3D 打印技术越来越多地受到人们的关注。为分析 3D 打印技术在建筑业的应用, 并探索出适合在我国建筑业领域中推广 3D 打印技术的发展思路, 本文采用文献综述的方法, 介绍了 3D 打印技术的概念、国内外发展现状, 结合 3D 打印技术应用的优劣势, 分析了 3D 打印技术在建筑业领域中的应用前景及局限。在我国建筑业领域推广应用 3D 打印技术具有可行性和广阔前景, 与传统建造方式相比有很大优点, 但也存在着安全与知识产权保护、技术不够成熟以及技术人才短缺等问题。

关键词: 3D 打印; 建筑业

1 引言

现今科学技术发展迅速, 传统的制造技术已经不能满足时代发展的需要, 于是新型的制造方法——3D 打印技术便在此背景下应运而生。3D 打印技术作为第三次工业革命的重要标志之一, 现广泛应用于各个研究领域, 对传统行业产生了巨大的冲击, 成为改变未来的创造型技术。作为一种突破传统的建造生产方式以及链接工厂化、信息化生产的新型技术, 3D 打印技术在航空航天、汽车、食品、医疗器械及模具制造等行业运用成熟, 现在正悄然应用于建筑业。

2 概述

2.1 3D 打印

3D 打印 (3 Dimensional Printing, 又称三维打印) 即快速成型技术的一种, 它是一种以数字模型文

件为基础, 运用粉末状金属或塑料等可粘合材料, 通过逐层打印的方式来构造物体的技术。运用该技术进行生产的特征是: 应用计算机软件, 设计出立体的数据模型, 然后通过特定的成型设备 (俗称“3D 打印机”), 用液化、粉末化、丝化的固体材料逐层打印出产品^[1]。3D 打印技术早在 20 世纪 90 年代中期就已出现, 但由于价格昂贵, 技术不成熟, 早期并没有得到推广普及。经过 20 多年的发展, 该技术已十分成熟、精确, 且价格有所降低。

2.2 3D 建筑打印

2012 年 10 月, 3D 打印展上首次提出了 3D 建筑打印的设计理念, 所谓 3D 建筑打印是通过 3D 打印技术建造起来的建筑物。通过计算机控制 3D 打印机喷头的运动且逐层叠加, 最终打印出设计图纸所绘制的建筑实体。3D 打印建筑的机械原理是靠龙门架行走机

构实现 X 轴方向的运动；靠横梁实现 Y 方向的运动；靠打印头上部的打印杆实现 Z 方向的运动。靠打印头自身的伸缩和转动，实现打印喷头的局部运动，从而通过打印出建筑物的“平面层”的不断堆积，生成不同的建筑结构。

现今，3D 打印建筑所采用的材料还没有统一的规定。我国上海采用的是建筑物废弃材料，将其粉碎磨细，加水泥、纤维、有机粘合剂等，制成牙膏状的打印原材料，进行打印。荷兰的专家采用树脂及塑料类的材料；美国采用树脂砂浆类、粘土类、混凝土类材料进行 3D 打印建筑试验。

3 3D 打印国内外发展现状

从 3D 打印技术产生至今，在其快速发展的同时也在不断改变着各行各业，现已被应用于国内外的诸多行业中，主要包括生物医疗、食品加工、航空航天、土木建筑、工业设计、机械制造等。只要能够提供物品的三维模型，就可以三维打印出任何物品。随着 3D 打印技术的不断发展应用，将使其在更多的领域中发挥作用。

3.1 3D 打印国外发展现状

1986 年，第一台商用的 3D 打印机出现在人们的视野当中，但 3D 打印技术的真正确立是以美国麻省理工大学的 Scans E.M. 和 CimaM.J. 等人于 1991 年申报的关于三维打印专利为标志的。目前，在 3D 打印领域比较著名的公司有 3D System、Z-Corporation、Object Geometries 等。

2011 年 7 月，英国研发团队研制出世界上第一台 3D 巧克力打印机^[2]。这意味着 3D 打印技术可以在不久的将来改变人们制作食品的传统方式。营养师可以根据个人的基础代谢量和每天的活动量利用 3D 打印机打印每日所需的食物，以此来控制肥胖、糖尿病等问题。近几年，许多国家将 3D 打印技术应用到航空航天领域，制造出了高精密的零部件，部分飞机制造公司已经将 3D 打印技术应用于飞机零部件的制造中，特别是一些形状、结构复杂的高精度零件。现代工业新产品的开发往往需要事先制作模型，比如手机、汽车、飞机等产品在推出之前需要做很多模型和零部件。3D 打印技术可以直接打印产品，不仅大大减少前期研发的时间，而且会改变工业领域的生产方式^[3]。除此之外，3D 打印技术在医学领域发挥的作用越

来越重要。3D 打印技术在医学方面的应用包括医用模型制作、临床手术、组织器官修复和研制新型药物。2012 年，比利时的外科医生已成功将 3D 打印的钛合金骨植入一位患口腔癌的妇女的下巴，标志着 3D 打印技术在医疗行业应用的开始^[4]。

在 3D 打印技术出现大约十年之后，美国的 Joseph Pegna 于 1997 年首次尝试建筑构件 3D 打印的科学家，他提出了一种适用于水泥材料逐层累加并选择性凝固的自由形态构件的建造方法^[5]，其方法类似于选择性沉积法：先在底层铺一层薄薄的砂子，然后上面铺一层水泥，采用蒸汽养护使其快速固化成型。

2001 年，美国南加州大学教授 Behrokh Khoshnevis 提出了一种称为“轮廓工艺”的建筑 3D 打印技术^[6]，通过大型三维挤出装置和带有抹刀的喷嘴实现混凝土的分层堆积打印。美国航天局(NASA)于 2012 年与美国南加州大学合作，研发出了“轮廓工艺”3D 打印技术，24h 内就可以打印出大约 230m² 的 2 层楼房，大大节约了 3D 打印建筑的时间成本。

2008 年，英国拉夫堡大学创新和建筑研究中心 Lim 等人提出了后来被称为“混凝土打印”的建筑 3D 打印技术^[4]，是基于混凝土喷挤堆积成型的工艺。从 2012 年开始，瑞士苏黎世联邦理工学院的 Michael 等人以砂石粉末为材料，经过数字算法建模、分块三维打印、垒砌组装等过程，完成了一个 3.2m 高的 Grotesque 构筑物的 3D 打印建造，称作数字异形体。

2013 年 1 月，荷兰建筑师 Janjaap Ruijsenaars 与意大利发明家 Enrico Dini (D-Shape 3D 打印机发明人)合作，发明了世界首台大型建筑 3D 打印机^[7]，这台机器用建筑材料打印出高 4 米的建筑物。这台 3D 打印机工作状态下沿着水平轴梁和 4 个垂直柱往返移动，打印机喷头每打印一层时仅形成 5mm~10mm 的厚度。打印机操作可由电脑 CAD 制图软件操控，建造完毕后建筑体的质地类似于大理石，比混凝土的强度更高，并且不需要内置铁管进行加固。

2014 年，伦敦设计工作室 Softkill 提出使用 3D 打印技术建造概念房屋^[8]，该房屋设计为单层住宅，模仿骨架的纤维结构，在工厂用激光烧结的生物塑料分 8 个组件进行 3D 打印，打印好的各个组件再用卡车运到现场拼接，由于材料轻质，拼接过程无需螺栓，焊接，这些组件可以在 3 周内打印完成，并在现场一天组装完成。

3.2 3D 打印国内发展现状

目前,在国内 3D 打印技术也受到了广泛关注,并取得了一定的成绩。国内多所高校开展了 3D 打印技术的自主研发。清华大学在现代成型学理论、分层实体制造、FDM 工艺等方面都有一定的科研优势;华中科技大学在分层实体制造工艺方面有优势,并已推出了 HRP 系列成型机和成型材料;西安交通大学自主研制了三维打印机喷头,并开发了光固化成型系统及相应成型材料,成型精度达到 0.2mm;中国科技大学自行研制了八喷头组合喷射装置,有望在微制造、光电器件领域得到应用。但总体而言,国内 3D 打印技术研发水平与国外相比还有较大差距。

2014 年 5 月,位于上海的 10 幢 3D 打印建筑完工^[9],成为全国首批 3D 打印建筑,该批建筑所用材料来自于建筑废料,全过程由计算机操作,大大降低了建筑成本。计算机根据设计图纸控制 1 台大型 3D 打印机层层叠加打印而成,墙体构件是中空的,可在里面填充保温材料,因此具有良好的保温性能。上海 3D 打印房屋的建造是 3D 打印建筑技术向前迈出的重要一步,但是由于目前 3D 打印建筑材料强度较低,打印质量不稳定,墙体脆性较大,易开裂等缺陷,在一定程度上限制了其打印高度,目前国内外打印的建筑大多为 1~2 层。

2014 年 8 月 21 日,苏州的建筑材料公司盈创使用一台巨大的 3D 打印机,采用特殊的墨水—混凝土进行打印,在一天内主要利用可回收材料,建造了 10 栋 200 平方米的毛坯房,展示了 3D 打印机的强大功能^[10]。

2015 年 1 月,中国建筑第八工程局有限公司联合盈创打印出世界上最高的 3D 打印建筑,这是 1 幢 5 层的房子楼层较高,因此为了抵抗风荷载和地震荷载,在 3D 打印的墙体中还加入钢筋,并对空心墙体进行灌浆。

目前,国产 3D 打印机在打印精度、打印速度、打印尺寸和软件支持等方面还难以满足商用的需求,技术水平有待进一步提升。在服务领域,我国东部发达城市已普遍有企业应用进口 3D 打印设备开展了商业化的快速成型服务,其服务范围涉及到模具制作、样品制作、辅助设计、文物复原等多个领域。与内地相比,我国港台地区 3D 打印技术引入起步较早,应用更为广泛,其中与 BIM 技术相结合的 3D 打印技术应用用于装配式房屋构建及智慧工地在香港的应用已基

本成熟,值得内地的建筑企业借鉴与参考。

4 3D 打印在建筑业的应用前景

传统的建筑建造过程周期长、成本高、危险性大、劳动强度大。随着 3D 打印技术的不断进步,3D 打印技术已经可以打印各种形状的房屋部件及整栋建筑房屋^[11]。现将 3D 打印技术在建筑业最具应用潜力的 4 个方向总结如下:

1) 装配化施工

与 BIM 技术相结合的 3D 打印技术在香港的发展已日趋成熟,工厂可以根据图纸运用 3D 打印技术进行房屋构件的预制,并可在工厂内对模块内部进行装修布置,随后运输到现场,通过 BIM 技术的智能化调配,将模块连接为可靠的建筑整体。目前该技术在香港广泛的应用于学生宿舍、工人宿舍、宾馆、社会保障房等大量结构统一小空间的建筑中,此外,3D 打印技术还可以用于提前预制一些复杂的楼梯,叠合阳台等。

纵观当今科技的发展方向,大数据时代背景下的物联网、云计算以及 BIM 技术迅速发展并日渐成熟,为基于实时 BIM 系统与 3D 打印技术相结合的智慧工地管理体系框架未来投入项目实践提供了可能。

2) 个性化定制

个性化定制是未来 3D 建筑打印极具发展潜力的方向之一。设想未来 3D 建筑打印企业能够根据客户对房屋结构、外观、功用等的要求,运用 3D 打印技术“打印”出相应的房屋,来满足客户个性化要求,不仅满足了客户的多元化选择,也避免了千篇一律的房屋设计结构,并为未来房屋结构的设计提供了更多的选择。

3) 临时性建筑

3D 打印建筑可以运用于一些临时性的建筑。比如上海世博会的一些建筑,在建造时期投资额大,但展览过后多数都被拆除。3D 打印建筑在这方面既可以省时省力,又可以减少资金投入,降低后期拆除的成本。在高速公路、铁路等大型建设项目中,3D 打印建筑可替代项目部传统的活动板房,改善办公环境和建设工人的居住环境。由于临时性建筑使用时间较短,导致多数临时性建筑只是单纯的满足使用需求,毫无美感可言。3D 打印技术的运用,可在省时省力的情况下,将临时性的样板房、展览房等空间建造的舒适、美观、实用。

4) 抗震建筑

在地震发生时, 墙体和梁柱倒塌, 将逃生人员压在厚重的混凝土楼板下无法逃生, 这是造成地震时人员伤亡的主要原因。在地震多发的邻国日本, 除在建筑基础部分增加橡胶隔震支座外, 还运用了轻质墙体, 减轻墙体自重, 降低逃生时被建筑构件砸伤。3D 打印建筑的空心墙体, 大大减轻了墙体自重, 在地震多发地区有广泛的应用前景。虽然在现阶段抵抗地震力作用较有效的措施是采用钢筋混凝土结构, 而 3D 打印建筑的抗震性能尚不明确。但是随着科学技术的蓬勃发展和试验研究不断改进与完善, 如何在 3D 打印建筑中增加竖直钢筋, 提高建筑的抗震性能的问题也会迎刃而解。

5 3D 打印技术应用于建筑业的局限

1) 安全风险与知识产权保护问题

3D 打印技术一直被人们喻为“万能制造机”, 但是创新科技背后也存在着诸多安全风险。世界上第一支 3D 打印枪支于 2014 年 5 月 5 日在美国诞生, 年仅 25 岁的得克萨斯大学法律系学生科迪·威尔森利用 3D 打印技术制造了一把“解放者”手枪并试射成功, 这把 3D 打印手枪除手枪撞针外全部组件均由 ABS 塑料构成^[12]。虽然该款枪支的杀伤力、使用寿命无法与普通枪支相比, 但是随着技术的发展, 未来极有可能有人运用 3D 打印技术创造出极具杀伤力的危险物品或武器。

3D 打印建筑是基于 CAD 等图形文件的建造技术, 是互联网、数字化产品信息以及 3D 打印技术三者融合的结果, 这使得其成果极易传播复制, 设计的知识产权保护会在一定程度上阻碍 3D 打印技术的发展。现在还没有相关完善的法律法规对 3D 打印产业进行规范化的限制, 可能会无法保护研发者的知识产权, 出现市场混乱的情况。因此, 需要为国内 3D 打印市场的发展制订相应的法律法规, 使 3D 打印行业以健康蓬勃的姿态持续性发展。

2) 技术研发不够成熟

3D 打印技术目前还处于初级阶段, 制约其发展的关键因素之一是 3D 打印所消耗的材料, 因此该技术成为主流生产建造技术还需要各方面技术的提高^[13]。同时, 目前 3D 打印只局限于使用一种材料进行打印, 在结合多种材料进行打印的技术水平方面还有待提高。使用的电力是在工厂里的 10 倍, 以及还没有找到在重量强度和耐久性等都很理想的材料。

3) 技术人才的短缺

3D 打印技术融合了很多学科专业知识, 要将 3D 打印技术应用于建筑业需要培养全能型人才, 而我国目前在这方面还有些欠缺。例如无法购置足够数量的设备, 应用研究领域也较窄, 学校教学中缺乏和 3D 打印技术相关课程, 政府也缺乏相应的宣传和培训, 这些原因局限了 3D 建筑打印技术在我国, 尤其是大陆地区的发展。

References (参考文献)

- [1] 王忠宏, 李扬帆, 张曼茵. 中国 3D 打印产业的现状及发展思路[J]. 经济纵横, 2013, 01: 90-93.
- [2] 吴世嘉, 张辉, 贾敬敦. 3D 打印技术在我国食品加工中的发展前景和建议[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 1-6.
- [3] 王灿才. 3D 打印的发展现状分析[J]. 丝网印刷, 2012 (9) : 37-41.
- [4] 胡迪·利普森, 梅尔芭·库曼. 3D 打印——从想象到现实[M]. 北京: 中信出版社, 2013.
- [5] Pegna J. Exploratory investigation of solid freeform construction[J]. Automation in Construction, 1997, 5(5) : 427-437.
- [6] Soar R, Andreen D. The role of additive manufacturing and physiometric computational design for digital construction[J]. Architectural Design, 2012, 82(2) : 126-135.
- [7] 于雷. 三维打印技术在建筑设计中的互为反馈作用[J]. 住区, 2013, (6) : 65-70.
- [8] 科学 24 小时编辑. 英国或建成首座 3D 打印住宅模型[J]. 科学 24 小时, 2013, (5) : 20.
- [9] 张卓钧, 王建刚. 全球首批 3D 打印建筑亮相上海[N]. 中华建筑报, 2014-04-02.
- [10] 王子明, 刘玮. 3D 打印技术及其在建筑领域的应用[J]. 混凝土世界, 2015, (1) : 50-57.
- [11] Cesaretti G, Dini E, De Kestelier X, et al. Building components for an outpost on the lunar soil by means of a novel 3D printing technology[J]. Acta Astronautica, 2014, (93) : 430-450.
- [12] 张梦然. 打印枪支, 暴露 3D 打印技术的双面性[N]. 科技日报, 2013-05-08.
- [13] 肖绪文, 田伟, 苗冬梅. 3D 打印技术在建筑领域的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(10) : 79-83.