

浅析 3D 打印技术在钢结构建筑中的应用分析

王恩鹏 薛雯静 李国文^{通讯作者}

(常熟理工学院商学院, 江苏 常熟 215500)

摘要: 3D 打印技术的出现, 使二维设计图以工程语言展示转变为三维实体。欧美发达国家建筑行业在运用 3D 打印技术方面已十分成熟, 已经将 3D 打印技术融合在钢结构建筑中。目前我国 3D 打印技术在建筑业实体工程、模型展示等领域应用逐渐增多。对此本文将进行相关的案例分析研究以及该技术在钢结构建筑中应用分析。

关键词: 3D 打印技术; 钢结构; 数字化模型

1983 年 3D 打印技术出现, 在当时该技术被视作流水线上机械代替工人革新的进步。到 2013 年美国加州工作室史密阿伦利用 3D 打印技术完成了世界上第一个建筑架构, 越来越多的建筑公司发现其在建筑上的优势。在悠长的建筑史中, 新工艺新技术的出现都会不断地推动着建筑业的发展, 3D 打印技术的出现推动着现代建筑行业技术工艺革新的方向。

一、3D 打印技术在建筑行业应用概述

3D 打印, 也被称为三维打印, 实际上是最新的快速成型设备, 利用光固化和纸层压技术。打印机包含“打印材料”, 如液体或粉末。在建筑工程中实现二维转三维的理论实现过程: 打印机与计算机连接后, 在读取数字模型文件的基础上, 逐层打印对象。在建筑业中 3D 打印的运用最早由佩尼亚 (Pegna) 于 1997 年提出, 现已发展成为三种主流印刷方法: 选择性激光烧结 (SLS)、光固化立体成型 (SLA) 和熔融沉积成型 (FDM)。熔融沉积成型 (FDM) 是最经济的快速成型制造技术, 而光固化立体成型 (SLA) 的优点在于创造非常光滑的表面, 可以还原极为精密的细节。因此, 在此阶段的 3D 打印建筑以熔融沉积成型为主、光固化立体造型为补充。三维打印钢结构或构件的过程分为三个步骤: 三维模型设计、切片加工、层层粘接。一般钢结构建筑构件的 3D 模型设计在有限元网格中表达, 这种表达方法数据便于计算, 布置情况一目了然, 完成理论建模, 接下来就是将 3D 模型切分为平面, 也可以理解为将模型进行二维处理, 计算机尽可能地把二维“切片”的厚度计算到既不影响理论设计, 也不影响实际施工进度。最后进行逐层黏合, 把分割好的“二维切片”通过数字模型输入至打印机, 打印机输出并逐层打印, 最终达到二维输出三维的效果。

二、3D 打印技术在建筑行业应用分析

案例应用分析:

案例一: 2014 年, 荷兰阿姆斯特丹宣布在运河旁建造世界上首个 3D 打印出来的房屋, 由荷兰 DUS 建筑师事务所设计, 共有 13 个房间。该建筑的最终形式将类似于传统的荷兰运河房屋, 因此被命名为“运河房屋”。先由约 3.5 米高的特大型 3D 打印机逐层打印熔塑层, 等到熔塑层材料凝固后形成塑料块后, 由工人将这些塑料块进行搭建, 最终运河屋构建完成。

荷兰打印的“运河屋”是一次大胆的 3D 打印技术运用的尝试, 而在其施工阶段表现出的优势有: 施工过程中无污染, 可以构造任意规格、形状的物件。构件理论上都能通过打印机输出建造出来。在整个打印过程中, 以一台 3D 打印机、一台计算机、三到五个人作为一个施工小组, 将这些图纸输入到计算机。根据图纸和相关

数据, 可以快速准确地完成建筑物墙壁和地板的打印, 以降低施工风险。这种新型的施工过程从人工、材料、机械三方面进行改善提高, 大幅度地降低了造价成本, 减少工期。实现在短时间内以高效高质量高规格的标准交付工程。

案例二: 2015 年, 中国盈创建筑科技有限公司用大型 3D 打印组件拼装了一座五层楼高、面积达 1100 平方米的公寓楼。2019 年, 在上海的某工业园区, 这样一栋 3D 打印出的公寓楼与一座新古典主义风格的建筑并排展出, 直观地展现了未来概念建筑与古典建筑之间的差异, 但这两栋建筑都属于模型结构, 并不能实际使用。

国内首次尝试 3D 打印建筑以模型展示为主, 由于 3D 打印机系统采用的光固化立体成型 (SLA) 技术案例中打印出来的建筑尺寸精度高, 使得精度能达到误差不超过 $\pm 100\text{nm}$, 其建筑精度能比传统建筑系统中的尺寸精度高。现阶段, 3D 打印技术的应用所展现出的高精度是国内各大建筑公司将目光聚焦到 3D 打印技术的原因之一, 无论是居民建筑, 还是公共建筑, 这些工程对于构件精度的误差要求并不是很严格, 但应用 3D 打印技术能够轻松地解决误差过大的问题。通过 3D 打印出来的建筑构件能大量地减少静摩擦力所产生的材料损坏、设计损耗, 大幅度地提高材料的利用率, 从材料方面降低了工程成本。

案例三: 2019 年, 在上海宝山, 两台机器臂 3D 打印系统, 仅用 450 小时打印完成的混凝土步行桥, 跨度 26.3 米, 宽度 3.6 米, 单拱结构, 在快速建造的同时, 其建筑结构强度远超传统人工建造, 堪称全球最大规模的混凝土 3D 打印步行桥。

从案例中可以看出, 3D 打印技术极大地缩短了工期。根据上海长肯实验公司的数据, 目前中国的 3D 打印机一天可以完成 10200 平方米的建筑。由于打印机完全按照计算机图纸顺序进行, 在缩短施工周期的同时, 还保证了建筑结构的稳定性并且大大提高了建筑强度。据估算 3D 打印建筑物的最高强度为 10000 磅/平方英寸 (约 70 兆帕), 而传统人工建造的建筑物最高强度为 3000 磅/平方英寸 (约 20 兆帕)。这些数据表明, 在现今工程理论及工程技术下, 大多数常规建筑是可以通过 3D 打印技术来构造, 并且远超精度设计要求。

综合上述多个案例应用分析可见 3D 打印技术这个新工艺与建筑业的结合推动着建筑业发展, 按目前新工艺的自身因素看, 可以通过其高精度建造的优势, 将中低层建筑应用 3D 打印技术构造出来, 在中低层高精度高效率地进行的同时, 高层建筑的构件可以用传统工艺进行布置, 而高层建筑的部分构件通过 3D 打印来解决刚度问题。并且在施工过程中并不会产生需要的精密细小构件, 若出现则可以选择市场购买进行替代, 以此避免因技术不成熟产生的问题。用这样中低层打印施工, 高层传统施工的特殊模式势必能提高施工效率, 完善施工进度管理, 降低施工成本。

三、3D 打印技术在钢结构中的应用

(一) 应用基础

随着钢结构建筑越来越多, 钢结构建筑产业对于新技术的需求也日益增大。于是国内专家把目标锁定在 3D 打印这样一个新兴

技术,提出这样新型的组合作:“3D 打印+钢结构建筑”。在 2019 年中科院人工智能院提出一种钢结构模型 3D 打印与有限元网格的融合方法。这个方法主要是对钢结构模型进行有限元力学计算分析,实际做法是将钢桁架 3D 打印 STL 文件外表面三角网的数据格式转换为用有限元方法表示的数据格式,以参数化模型设计,将 3D 打印的优势运用于钢结构中,以此来解决其高层刚度问题。钢结构高层刚度一直存在着问题,现在从理论上有了点突破,相信在不远的将来钢结构高层刚度问题一定能被有效解决。

(二) 3D 打印技术应用的优势

在以客户服务为中心的现代社会,3D 打印技术凭借制造建筑结构精确、整体性高、成本低特性,能够满足不同客户多样性、差异性的要求,为消费者提供质量过硬的打印产出,降低产品的市场风险和成本;对于工程方,在施工过程中,优化施工进度管理,提高是施工效率,降低工程成本。可见是无论是消费者的市场、客户的需求还是工程方的措施。3D 打印技术与钢结构结合的呼声越来越大。

与传统工艺技术相比,3D 打印技术的优点尤为突出,尤其在构件的可塑性方面,缩小了工程技术与建筑理论之间的差距,力学理论可实行的构件,但因为工程技术还未发展到这个程度而被忽略的新构件数不胜数。如今,钢结构建筑受困于高层刚度问题,很大一部分原因是传统钢结构建筑设计受到制约,传统建筑工艺所生产的构件往往受制造模具、组装部件等的限制,导致设计思路较狭窄,新工艺 3D 打印的出现,拓宽了设计师们的思维,各种新奇的钢结构建筑理念层出不穷,必然会使得相关理论不停地得到进化突破,对此,将 3D 技术运用于钢结构建筑中的声音逐渐开始显现。不仅在设计方面,3D 材料理论上也有着无限的可能,钢结构高层由于材料的性质,导致在高层结构中,钢结构材料密度高强度高而刚度不足。造纸业中的原材料层出不穷,假设钢结构建筑突破了材料的限制,像造纸业一样原材料丰富多彩的同时不改变纸的物理、化学性质,那么钢结构的建筑成本会大大降低,钢结构的高楼大厦也会成为可能,这些钢结构建筑业会逐渐走向民众,3D 打印技术也将会成为新居民住宅建造的基础工艺。

现在施工过程中,传统的施工工艺需要花费大量的人力、物力,施工现场效率不一定高效,在传统施工的过程中,会产生大量的额外成本,而对于 3D 打印技术这样独特的施工方式,在施工时,可实现一人一机短时间内快速地独立完成一道施工工序,后期检查时也能逐个专门检查,专人专项,还能对一些无法独立支撑的结构展开制造,使设计工作的思路变得更为开阔。同时,相关设备也会逐步朝着人工智能以及远程操作的方向发展,提高制作效果,适应各类不同的环境,即使没有工作人员,同样能够自我检查,找出自身的问题,在机械出现问题时,工期并不会被耽误,人工智能能及时予以维修,保证当日问题当日解决,提升运用的实际效果,不会在施工过程中产生额外的费用,有利于对施工工期的进度控制。

(三) 应用前景

钢结构建筑的主要优点是强度高、重量轻,这是传统建筑的优点。但在某些结构中,这可能是一个劣势。钢的密度高于混凝土,因此钢的强度高。在相同载荷下,所需钢材较少,从而导致刚度不足的问题。在动力问题中,高层和超高层建筑的质量不高导致抗风抗震失效。抗风和抗震不是强度问题,而是刚度问题,在大风地震情况下,楼层晃动的加速度太大。可见以现在计算机通过图纸的数字模拟、受力模拟可以解决钢结构高层结构构件受力、

布置问题。单看高层钢结构建筑或是 3D 打印技术,两者都处于技术不成熟、规范不完备的状态,一旦 3D 打印建筑的结构完成,更多的挑战就会出现,因为设计师要努力将这个混凝土盒子转换成宜居的空间。之所以国外敢大胆尝试两者结合,就是因为他们了解到这项技术在解决钢结构发展瓶颈等挑战方面的巨大潜力。同时,两者的弊端相似,结合之后的发展过程中,人才培养、规范设计能巧妙地做到事半功倍。且 3D 打印技术自身的制约因素对钢结构建筑本身的冲击不大,甚至不会产生影响,钢结构自身的优势,材料轻便、抗剪抗压的能力也出奇的高,单用 3D 打印技术楼层无法突破,单纯的钢结构楼层也无法突破,但两者结合的特殊“钢混结构”却能看到高层难关的突破口。

国内的 3D 打印技术并不成熟,相应的有关规范仍不完整,专业的 3D 打印人才也不完备,但我相信,这些都是一时的,而这些并不是 3D 打印自身的弊端,因此这些限制因素并不会对 3D 打印钢结构建筑的发展产生长久的负面影响,而且随着这项新工艺运用至钢结构日益成熟时,技术的不成熟,规范的不完整,人才的不完备等不足都会被慢慢弥补。如今,3D 钢结构建筑仍处于工厂试点状态,不久之后会进行推广,这种新型安全无污染的钢结构建筑工艺在试点阶段表现出很大的市场价值。在施工阶段中能接近 100% 用三维表达还原 BIM (建筑信息模型) 二维状态中的理论结构,推动建筑业信息化发展,这种状态下即缩短了工期又提高了工人的工作效率,降低在人工中的成本;在材料上可以用铁基合金作为打印辅助材料改变因钢结构材料自身的特性导致建筑普遍强度高、刚度小,而楼层不高的现状;能够避免在传统的钢结构建筑构件的工艺流程中因模具损耗致使成本增加,施工进度拖延的情况发生。无论是已有的实际应用,或者试点工厂的实验,无一不表明,在未来,3D 打印技术是钢结构发展的一剂助推剂。

四、结语

迪拜未来基金会表示:“在未来的一段时间内,3D 打印技术在建筑业中将创造价值数十亿美元的额外经济价值和效益。”总之,目前钢结构建筑越来越多。由于新材料的发展和 3D 打印技术的应用,钢结构建筑在施工、材料、模型展示等都有着长远的发展。然而,在设计和技术上仍有许多问题有待解决。在施工中仍有许多施工技术有待探索。希望通过 3D 打印技术与钢结构建筑的结合推动整个建筑业不断进步,为建筑行业的发展引导方向。

参考文献:

- [1] 石威,安杰罗·贝佐尼.国外 3D 打印建筑消防安全有望纳入规范[J].中国消防,2020(04):70-73.
- [2] 王超,陈继飞,冯韬,陈文刚.3D 打印技术发展及其耗材应用进展[J].中国铸造装备与技术,2021,56(06):38-44.
- [3] 魏鲁双,刘尚蔚,王颖,魏群.钢结构模型 3D 打印与有限元网格的融合方法[J].钢结构(中英文),2019,34(12):88-92.
- [4] 全超.浅析 3D 打印技术在土木工程中的应用与展望[DB/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术:289.

作者简介:王恩鹏,男,汉族,江苏南通人,研究方向为 BIM 技术应用。

通讯作者:李国文,女,汉族,黑龙江绥化人,常熟理工学院商学院副教授,硕士,研究方向为 BIM 技术应用和工程管理。