

## 探讨 3d 打印“生土”建造材料的可行性

陈泽<sup>1</sup> 潘易林<sup>2</sup>

1 广州番禺职业技术学院, 广东 广州 510000

2 广州景海苑材料科技有限公司, 广东 广州 510000

**[摘要]**一方面,3D 打印建造技术 1997 年开始发展至今已经从概念——研发实验——示范性建造物落地取得了飞跃式的发展,正在朝向大规模建造使用的目标快速前行。因其高效、环保等原因 3D 打印建造技术得到了社会各界的高度认可。但截止目前行业对 3D 打印建造技术的材料“油墨”的研究,还只有“混凝土”单一品类,这显然不利于 3D 打印建造技术的成熟发展;另一方面“生土”作为建造材料有着悠久的历史,因其资源丰富、分布广泛、环保低价等原因成为建造时主要的材料之一。将 3D 打印建造技术与传统生土材料相结合,探索出坚固、环保并符合 3D 打印建造要求“生土油墨”从而为我国城市化建设、乡村振兴,城镇设施,灾后重建等发挥重要的作用。

**[关键词]**3D 打印建造技术;生土材料;生土油墨;生土材料革新;环保

DOI: 10.33142/ec.v5i10.7015

中图分类号: TP271

文献标识码: A

## Discussion on the Feasibility of 3D Printing "Raw Soil" Construction Materials

CHEN Ze<sup>1</sup>, PAN Yilin<sup>2</sup>

1 Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

2 Guangzhou Jinghaiyuan Material Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

**Abstract:** On the one hand, 3D printing construction technology has been developed since 1997 and has made a leap from concept-research and development experiment-demonstrative construction to the ground, moving towards the goal of large-scale construction and use. 3D printing construction technology has been highly recognized by all circles for its high efficiency and environmental protection. However, up to now, there is only a single category of "concrete" in the industry's research on the material "ink" of 3D printing construction technology, which is obviously not conducive to the mature development of 3D printing construction technology. On the other hand, "raw soil" has a long history as construction material, and it has become one of the main materials in construction due to its abundant resources, wide distribution, low environmental protection and other reasons. Combining 3D printing construction technology with traditional raw soil materials, the paper explores a solid, environmentally friendly raw soil ink which meets the requirements of 3D printing construction, thus playing an important role in urbanization, rural revitalization, urban facilities and post-disaster reconstruction in China.

**Keywords:** 3D printing construction technology; raw soil materials; raw soil ink; innovation of raw soil materials; environment protection

3D 打印建造技术从 2007 开始至今从“概念—研发实验—示范性落地项目”十几年间已有了突破性进展。如“2019 年底,由中国建筑技术中心和中建二局华南公司联合打印的世界首例原 3D 打印双层示范建筑,在龙川产业园完成主体打印,该建筑是高 7.2 m、面积 230 m<sup>2</sup> 的办公建筑,打印完成净用时不到 60 小时;2020 年美国 SQ4D 建造了一栋 130 m<sup>2</sup> 的一层住宅,包括 3 个卧室,2 个卫生间,48 小时完成打印,完全现场打印,材料花费不超过 6000 美元。”3D 打印建造技术的实效性、经济性、数字协同能力是有目共睹,随着时间的推移必然会成为今后主流的建造技术,截止目前世界各国都在不遗余力的研究与发展。

3D 打印建造技术具有生产速度快、材料环保、建设成本低、节省劳动力、造型个性化等优势,即将迎来大规

模的广泛使用,将是未来的常用的建造技术方法。工作原理是将配比好的打印“油墨”通过输送管传输到打印喷嘴,在通过 XYZ 坐标在建造物所对应的坐标点之间逐层进行打印。但目前截止行业对 3D 打印建造技术材料“油墨”的研究只有“混凝土”单一品类,这显然不利于 3d 打印建造技术的成熟发展,随着我国十四五规划提出“全面推进乡村振兴、提升城镇化发展质量”的目标要求,新一轮的城市建设、基础设施建设、民生建设将会络绎不绝出现,建造要求也将会更加注重环保、高效、情感,为建设服务的 3D 打印建造技术也将迎来更快速的发展,开辟出新的打印“油墨”材料势在必行。

“生土”材料建筑始于人工凿穴,历史悠久,分布广泛几乎遍及全球是常见的建造材料之一。形成建造物的过程与混凝土相似,既从“胶体”到“固体”符合 3D 打印

建造技术的“油墨”要求，同时生土也具有以下两个方面的优点：(1) 造价低廉，近年来受到国际能源、环保的因素的影响我国建筑材料价格暴涨建、成本暴增，环保且资源丰富的生土材料优势便显现出来。我国 2018 年颁布的《国家乡村振兴战略规划(2018—2022)》，其中生土建筑作为文化遗产的重要代表，是历史载体，保护好生土建筑就是保存历史、保存文化，可以为乡村振兴发展增添更强劲的动力。因此，开展生土建筑与材料的研究重要性不言而喻。(2) 环保节能，生土建筑材料始于自然后又融于自然，有利于环境保护和生态平衡。与常规的建筑材料相比，生土具有可再生性，房屋拆除后生土材料可反复利用，甚至可作为肥料回归农田；加工过程低能耗、无污染，也是生土建造材料的另一特点据测算其加工能耗和碳排放量分别为粘土砖 3%、混凝土的 9%；生土材料具有突出的蓄热性能，使房屋室内冬暖夏凉；具有“呼吸”功能，可有效调节室内湿度与空气质量。因此对于当今社会注重环保建造的理念不谋而合。综上所述，生土材料作为建造材料的一种有着使用范围广、造价低廉、环保性能高的特点；同时也出现了针对传统工艺中材料抗压、抗折及其抗剪强度差的改进方法，随着我国进一步的城市化建设需求与 3d 打印建造技术的发展，生土材料必然会与 3d 打印建造技术结合开创出“生土油墨”3d 打印的新篇章，继续发挥着“生土”在建造领域的重要作用。<sup>[1]</sup>

生土作为建造材料有着使用范围广、造价低廉、环保性能高的特点。由于传统建造中的生土材料的强度、耐久性、防水性较差等一系列问题是现实存在的，因此要改变其自身材料特性满足现代建筑功能要求；另一方面生土材料在改变材料自身特性的同时也要满足 3D 打印建造的新的技术方法，将其作为 3D 打印建造技术“生土油墨”还需要在生土材料性能上进行材料密度方面、韧度方面、防水性方面、耐水性方面以及 3d 打印建造时流动性方面的革新研究。<sup>[2]</sup>

### 1 解决“生土油墨”的混合配方，提升材料性能，增强材料自身的密度及硬度。

材料的密度性不高是生土作为建造材料一直以来的诟病，因为传统的生土材料的主要成分为土 60%、植物桔梗 10%、水 30% 搅拌混合而成，但随着材料的初凝到终凝最后到成型过程中水分的蒸发会导致材料自身的密度变差，空气以及雨水进入建造物体中就容易出现开裂、坍塌、渗水等现象使其无法满足现代建造要求，曾一度被认为是落后材料，但随着现代符合性材料、技术的出现生土建造材料出现了明显的改善已有的改性材料有砂石、纤维、水泥、石灰、石膏、矿物掺合料及外加剂等。

Mesbah 等用剑麻纤维改性生土，对比了破坏特征的区别，分析了变形能力改善是因为试样开裂前，纤维和生土基体的相对位移不足以产生足够的摩擦阻力，所以在强

度上没有明显改善，但是纤维抑制了裂纹的扩展，使试样表现出较好的延性，具有较好的变形能力。<sup>[3]</sup>

王毅红等人以糯米浆、玻璃渣和竹纤维改性生土，发现糯米浆不能改善变形能力，但玻璃渣与竹纤维可使改性生土材料有较好的抵抗变形能力，有效改善生土脆性。造成变形能力不同是因为玻璃渣和纤维在生土中的拉结作用，可抑制试样的横向变形，且二者共同形成的空间受力骨架，可控制试样整体变形。张坤等人则保持糯米浆掺量不变，发现不同粒径的细砂与中砂在良好级配下，掺量 15% 时，延性比最多提升 7%。

郝传文将土的塑性指数纳入考虑中，将水泥与防水剂以面掺或复合面掺方式改性生土的耐水性与抗冻性。当塑性指数在 5.9~9 时，采用水泥面掺与防水剂复合面掺方式可以保证耐水性和抗冻性。当塑性指数在 9~18.5 时，采用水泥面掺方式可以保证耐水性和抗冻性。

王宝卿分别单掺水泥、矿渣、石灰、粉煤灰、石膏改性生土，发现每种改性材料均可改善耐水性与抗冻性。进一步对比结果后发现：相同材料对不同土样耐久性的提升也有高低之分，提出只有基于土样性质选择适合的改性材料，才有助于更好提升耐久性的观点。

综上所述在生土建造材料已有了与现代建造技术相结合的研究思路有效的提升了材料性能，因此可以通过减少生土材料水的占比并加入其他如沙石、水泥等材料作为骨料来提高材料的密度从而达到增强材料硬度的目的，并探索出解决“生土”与 3D 打印建造技术要求方法。

### 2 解决“生土油墨”材料的韧度问题。

3d 打印建造技术隶属与增材制造的范畴，在打印时通过材料堆叠与自身的粘性经过自然风干形成建造物，与传统的建造方法相比缺乏钢筋所能提供的韧度，因此使用 3d 打印建造方法就必须解决提高材料自身韧度。<sup>[4]</sup>

近年来与生土材料类似的建造胶体材料如混凝土、石膏、玻璃钢为了增加材料的柔韧性大多采用的是填充玻璃纤维、塑料纤维等材料，有效的解决了材料自身的韧度问题。以石膏材料为例，在没有与其他纤维材料混合之前是整体比较脆弱、容易发生断裂，建造时通常将其放置顶面并且只能起到装饰性的效果，随着社会上博物馆、音乐厅等公共建筑物的兴起，如 2010 年 3 月建设完成的广州地标性建筑“广州歌剧院”大剧场的舞台形式采用当今最流行的“品”字形，设有主舞台、双侧台和后舞台。舞台台口采用宽 18 米、高 12 米的镜框形式，台口前方是可容纳 3 支管制乐队伴奏的乐池。舞台在机械上具有“升、降、推、拉、转”等多种变换形式，使表演的艺术造型、层次、动感更强，要求建筑空间内部有一定的异形变化，此时人们又将目光投向了具有较好塑型能力的石膏材料，为改善其强度与韧度发明出与玻璃纤维混合的“GRG”新型材料，即 GlassFiber Reinforced Gypsum 中文全称为“玻璃纤

维增强石膏成型品”有效的解决了石膏材料整体比较脆弱、容易发生断裂,并广泛被使用在建筑室内空间的立面墙体,得到了高度的认可。<sup>[5]</sup>

因为生土材料也可参考添加玻璃纤维做法来保证成型后自身的韧度,从而实现可以 3D 打印的建造要求。

表 1 传统生土材料与现代生土材料的对比

传统生土材料表			现代生土材料表			
土	水	植物桔梗	土	水	骨料	纤维
硬度差、密度差			硬度强、密度强			

### 3 解决“生土油墨”材料防水性问题。

生土材料的防水问题也是其材料的另外一大诟病,自身的防水性差已经在现有的建筑中体现出来,如我国西部地区民居村落,自古以来便使用生土来建造房屋,通过多年的居住探索形成了与自然、人文的文化特色,这种生土建筑也就成为了重要的文化名片。但采用传统的生土建筑漏水、渗水的现象频繁,导致建筑出现倾斜、坍塌的现象,极度影响了人们的生活,为了改善现有的居住状况人们便会选择钢筋混凝土的建造方法,使得地域特色逐步消失。因此要探索生土材料中加入防水材料技术方法来解决其漏水、渗水的问题,防水材料施工方法通常是在建造物表面进行二次涂抹凝固后表面结膜达到防水效果,如果能够在原料上直接添加防水材料并在能够打印出来将会在材料自身结膜大大提升材料防水效果。因此可以尝试与环氧树脂类防水涂料混合,因为与改性胺类固化剂反应后,生成具有三维立体网状结构的固结体。并具有渗透能力强的特点,可渗入混凝土内 2mm 以上,形成植根式的涂层,渗入部分形成犬牙交错的不规则固结层,强度比原混凝土提高 30%以上,还可避免界面上的应力集中,既具有防水功能又提高了固结层的抗剥离能力,同时也能满足 3d 打印建造要求的胶体要求。<sup>[6-8]</sup>

### 4 解决“生土油墨”材料在 3D 打印输送过程中的流动性问题。

3D 打印技术被认为是“第三次工业革命的重要生产工具”,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,该技术已更加娴熟、精确,且价格有所降低。它是一种以数字模型文件为基础,通过逐层打印的方式来构造物体的技术,3d 打印建造时“油墨”通过输送管传输到打印喷嘴,在通控制打印头的 XYZ 方位来逐层将材料堆积并按照设计好的数字模型形成要建造的物体。但在这一过程中就会出现两个需求和一个矛盾问题,既在“油墨”输送时需要保证流畅性,这就要求材料具有较强的“流动性”;在“油墨”打印时由于 3D 打印机逐层打印的原理需要材料具有一定凝结度来保证“油墨”不会出现坍塌。因此从输料到打印的过程中就出现了针对“流动性”的需

求矛盾,此时可以通过打印头加热蒸发水的比例或通过二次加料增强其粘稠度等方法来解决这一技术问题。

表 2 生土材料问题研究及作用

拟解决生土材料问题	3d 打印建造生土油墨配比研究		作用
开裂、坍塌	砂石(骨料)	植物纤维、人造纤维(植筋增加韧度)	提高抗拉伸、抗折弯
渗水、漏水	水溶性树脂	减水剂	表面结膜达到防水要求

目前我国非常注重科技创新、科技兴国,在此种发展背景下,3D 打印建造的“油墨材料”只有混凝土的单一品类这显然不利于有 3D 打印建造技术的发展成熟,因此多样化的“油墨”材料研发必然是 3D 打印建造技术发展成熟的重要方向之一。本次探讨的是以传统环保建造材料“生土”为基础,开发出为 3d 打印建造技术服务的油墨既“生土油墨”材料,为 3D 打印建造技术的成熟发展提供新思路,将 3D 打印建造技术与传统生土材料相结合,探索出坚固、环保并符合 3D 打印建造要求“生土油墨”从而为我国城市化建设、乡村振兴,城镇设施,灾后重建等发挥重要的作用,服务我国“十四五”规划中“乡村振兴、提升城镇化发展”的宏伟目标要求。生土材料必然会与 3d 打印建造技术结合开创出“生土油墨”3d 打印的新篇章,继续发挥着“生土”在建造领域的重要作用。

#### [参考文献]

- [1]赵夏瑀,徐卫国. 3D 打印建造技术的研究进展及其应用现状[J]. 中外建筑,2021(10):7-13.
  - [2]贺宇豪,张明珍,任卫中,等. 传统生土技术改良策略及应用——基于乡村振兴中建筑实践的思考[J]. 新建筑,2021(5):38-43.
  - [3]越二寅. 生土结构建筑在甘肃省乡村振兴建设中的适用性探析[J]. 江西建材,2021(9):289-290.
  - [4]盛蕾,武雷. 3D 打印混凝土技术研究综述[J]. 混凝土与水泥制品,2021(10):7-11.
  - [5]高海慧,李维,高祚,等. 生土材料改性及发展现状综述[J]. 中国科技信息,2021(16):47-48.
  - [6]徐寅,李古,朱江. 混凝土 3D 打印技术的研究与发展[A]. 天津大学、天津市钢结构协会. 第二十一届全国现代结构工程学术研讨会论文集[C]. 天津大学、天津市钢结构协会:全国现代结构工程学术研讨会学术委员会,2021.
  - [7]高祚,李维,高海慧,等. 生土建筑材料发展方向展望[J]. 建筑安全,2021,36(7):55-57.
  - [8]刘雄飞,李琦,王里,等. 喷射 3D 打印磷酸镁水泥与混凝土界面粘结性能研究[J]. 硅酸盐通报,2021,40(6):18.
- 作者简介:陈泽(1982.7-)男,籍贯:吉林省辉南县,学位:硕士研究生,单位:广州番禺职业技术学院,职称:副教授,研究方向:环境艺术设计。