

# 基于 AIGC 和 3D 打印的从设计到实体建造流程探索

## ——以一把实验椅的设计与建造为例

李雨娇<sup>1</sup>, 吴昊<sup>2</sup>, 周鑫杰<sup>3</sup>, 袁烽<sup>4\*</sup>

### 摘要:

在计算力飞速扩展的时代, 人工智能生成内容 (AIGC) 技术的出现为设计带来了前所未有的机遇和挑战。为了将 AIGC 转化为真实的建造产物, 各领域都需要探索一套二维图片实体化的完整流程。3D 打印因其高度灵活性、对材料的高利用率以及高效率成为实体建造的理想选择。本文以一把仿生学椅从设计到制造的过程为例, 提出了一个基于 3D 打印的 AIGC 设计实体化全流程理论方法: 借助团队自主研发的 FUGenerator 平台通过多种生成算法以及逐步筛选进行可控的、迭代式的设计; 将设计图片转至三维模型并进行基于仿生学的拓扑优化; 生成模具模型并拆分为可 3D 打印部件, 打印部件后进行拼装和浇筑。该流程为工业和建筑领域的复杂形态物体的设计和建造提供了新的方法和参考。

**关键词:** AIGC 实体化; AIGC 辅助设计; 3D 打印模具; 模具浇筑; 拓扑优化

**Keywords:** AIGC Materialization; AIGC-Assisted Design; 3D-Printed Molds; Mold Casting; Topology Optimization

### 引言

人工智能生成内容 (AIGC) 技术是近年来人工智能领域的一项重大突破, 标志着人工智能从传统的感知与理解世界的角色, 向生成与创造世界的角色的转变<sup>[1]</sup>。这一转变不仅推动了设计领域的深刻变革, 还赋予设计师利用海量数据训练的模型来扩展创意思维、加速设计与筛选过程的能力, 以此得到理想的设计。对于工业制造和建筑等垂直实体领域而言, 生成式设计只是第一步, 更为关键的是将这些二维设计图转化为功能齐备、符合实际应用需求的产品。3D 打印, 区别于传统制造方法, 可以生产复杂的、高度定制化的产品, 是将设计理念转化为物理模型的理想选择。基于 3D 打印技术, 本文提出了面向特定工业和建筑场景的 AIGC 从设计转化为实体建造物的流程, 探讨了 AIGC 与数字化制造相结合的语境下的一种工作方法, 并以一把实验椅从设计到制造的过程为例对该流程进行了深入阐释。

<sup>1</sup> 李雨娇, 同济大学建筑与城市规划学院, 研究生

<sup>2</sup> 吴昊, 同济大学建筑与城市规划学院, 研究生

<sup>3</sup> 周鑫杰, 同济大学建筑与城市规划学院, 研究生

<sup>4</sup> 袁烽 (✉), 同济大学建筑与城市规划学院, 教授, philipyuan007@tongji.edu.cn

# 1 背景介绍

## 1.1 AIGC 在设计领域的应用

AIGC 技术的核心在于通过深度学习模型（如生成对抗网络 GAN、变分自编码器 VAE 等）对大量数据进行训练，使模型能够生成具有高度真实感和创意性的内容<sup>[2]</sup>。它在内容生成方面的独特优势与设计领域的创造性本质非常契合，因此被广泛纳入设计流程，在创意发散、设计生成、协助和建议、评估和反馈四个阶段帮助设计师显著地提高了效率<sup>[3]</sup>。在设计生成，尤其是图像生成阶段，以 Stable Diffusion 和 Midjourney 为首的生成模型可以帮助设计师迅速生成符合需求的艺术作品。例如建筑设计师利用 Stable Diffusion 结合 Control Net 进行项目的概念比选、方案深化，探索出 AIGC 与设计结合的工作流<sup>[4]</sup>；工业设计师通过与生成式 AI 工具的对话，应用文生图技术优化产品设计流程<sup>[5]</sup>。但聚焦于某个细分领域，它们也存在一定的缺陷：Midjourney 作为通用型 AI 大模型，用户难以完全控制输出图像的风格和细节，在面对特定的设计需求时，其生成的内容可能会缺乏精确度和专业性；Stable Diffusion 计算复杂性较高，导致在生成高质量图像时需要大量的计算资源和时间，这使得它在一些实时或快速迭代的设计任务中表现不佳<sup>[6]</sup>。

## 1.2 3D 打印注塑模具

3D 打印是一种通过逐层添加材料来制造三维物体的增材制造技术。与传统的减材制造方法不同，3D 打印通过数字模型直接生成物理对象，能够实现复杂形状和结构的精确再现，具有高度的设计自由度、快速原型制作、定制化生产等优势<sup>[7]</sup>。除了可以直接打印物体外，由于打印机尺寸的限制和为了实现独特的成型效果，3D 打印技术也可用于制造模具，而后采用铸造、注塑成型等工艺获得期望的产品<sup>[8]</sup>。Pelin 等<sup>[9]</sup>系统总结了 3D 打印聚合物模具在铸造、注塑和热成型等各种应用中的使用方式，并指出 3D 打印注塑用模具可以带来极大的设计自由度。Dizon 等<sup>[10]</sup>讨论了使用 3D 打印来创建注塑模具，强调了其在生产复杂几何形状和快速成型方面的优势。将 3D 打印注塑模具应用于工业设计领域，Šál 和 Dědič<sup>[11]</sup>使用 PLA 长丝 3D 打印的模具浇筑细骨料混凝土制造混凝土家具，证明了该模具用于浇筑复杂混凝土元件的适用性。3D 打印模具在带来形态自由度的同时，也对深化设计提出了进一步的挑战。

# 2 工作方法

## 2.1 迭代式 AIGC 辅助设计

在设计阶段，AIGC 可以帮助创作者进行基于概念的创意生成和筛选。但 Stable Diffusion 的复杂性和 Midjourney 的缺乏可控性使得两大生成式模型都不适用于面向工业和建筑场景的设计。本文在进行多方比较后选择本团队自主研发的生成式 AI 平台 FUGenerator 作为设计生成和迭代的工具。

如图 1，生成式设计的第一步是训练自己的私人模型。FUGenerator 平台中内置了针对建筑和工业设计的几类大模型，在此基础上用户根据自己的概念意向搜集图片并标注，用于训练私人模型。而后利用平台提供的多种生成式算法“语义生成”“图片输入”“局部修改”获得自动生成的多种创意方案，设计师只需要通过逐步的筛选控制方案进化的方向，最终得到理想的结果。该过程的可控性不仅体现在步进式的方案演化，还体现在借助“文本强度”“图像强度”“控制强度”对 prompt、原始图像、私人模型等各部分的权重进行调整，从而对设计实现精确的把控。

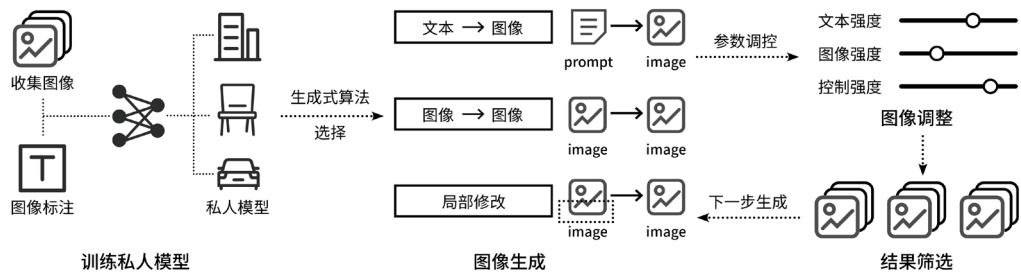


图 1 借助 FUGenerator 平台进行迭代式设计流程（图片来源：作者自绘）

## 2.2 大体量数字模型的实体建造

在 AIGC 辅助下得到的设计成果以二维图片的形式呈现，更进一步处理后可以得到三维数字模型。但对于工业制造品和建筑构筑物来说，设计成果必须最终落地成为实体。从数字模型到实体建造的过程涉及多方面的复杂因素，需要综合考虑建造物的尺寸、建造成本、建造条件等决定建造方式。直接 3D 打印建造对象对尺寸和材质有很大的限制，一次打印成型较大体量的模型会带来高昂的成本。基于此，可以采用打印注塑模具的方式，按照现有 3D 打印机的尺寸将建造物体进行切分，并给每一个切分的部分生成包裹其上的外壳，在外壳上添加法兰用于螺栓等的连接，形成一个个单独的部件。而后分别打印每一个部件并将他们连接和密封，部件连接后形成的内部空腔即为需要建造的物体的轮廓。最后选择合适的材料浇筑于空腔中，设计师对材料的选择会赋予成品不同的质感，从而带来材料层面的创作自由度，如图 2 所示为该流程示意图。事实上，已经有设计师采用此种方法进行自由形态的家具设计并取得了令人惊艳的效果<sup>[12]</sup>。

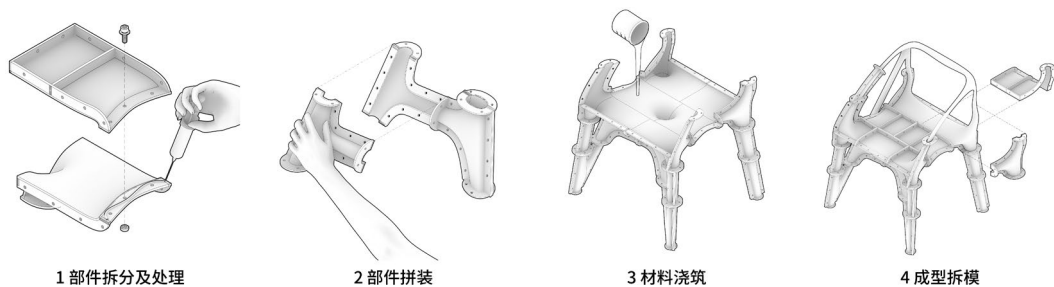


图 2 3D 打印注塑模具及材料浇筑的实体建造流程（图片来源：作者自绘）

## 2.3 AIGC 实体化流程

从 AIGC 辅助设计到最终设计落地，本文基于实践提出了一套完整的流程理论方法。整体流程被分为“概念提出-AI 生成式设计-图片三维化-实体建造”四个阶段。在初步确定概念后，可以借助 FUGenerator 平台，从训练私人模型开始一步步进行设计的生成、比选和优化。下一步是将理想的设计结果从二维图片转化为三维模型。针对设计对象的不同，可以采取多种参数化工具对原始的三维数字模型进行调整，在多目标驱动下进一步优化外形。最后是从数字模型到实际建造的阶段，涉及到大体量、形态复杂的物体，适合采用 3D 打印模具、而后拼接模具并选择材料进行浇筑的方式。这一阶段的难点在于合理划定每一个模具部件的尺寸和形状，使其便于打印、拼接、浇筑后脱模，同时部件不会过于零散而加大工作量。本文以一把仿生学椅从概念到制作的全过程为例，对提出的 AIGC 实体化流程做出详细的阐释（图 3）。

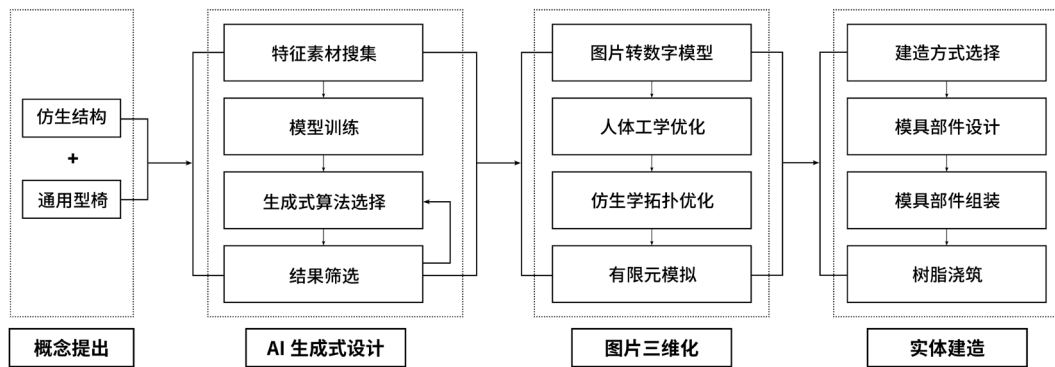


图 3 AIGC 实体化流程图（图片来源：作者自绘）

### 3 AIGC 实体化流程实践

#### 3.1 AIGC 辅助设计

仿生学一直是设计领域的灵感来源之一。设计师以自然界万物的形、色、音、功能、结构等为研究对象，有选择地运用这些特征原理进行设计。仿照自然界生物进化的形态，工业、机械、建筑设计等领域逐渐发展完善了拓扑优化方法，对结构的形状和材料进行优化，以实现最佳的性能和重量比。本文椅子的设计从仿生学的角度出发，希望借助 AI 将自然、灵动的形式与通用的扶手椅结合起来，使得椅子呈现类似拓扑优化的效果。

图 4 展示了仿生学椅模型训练与设计优化的全过程。在模型训练部分，搜集了约 50 张图片作为训练集，包括桌子、椅子、构筑物、机械部件等，它们都具有基于仿生学的自然、生动、流畅的外形。随后按照物体的类别（如 chair/table/decoration）、形体复杂程度（simple/complicated）等分别对每张图片进行标注，同时赋予所有图片一个共同的标签“bionic”，设定步数为 200 步训练扩散模型，得到的私人模型 bionic 即可作为附加模型用于后续的生成式设计部分。

在生成式设计部分，原始的图片输入是一把通用的钢管扶手椅 a，总共通过三个步骤逐步迭代、演化得到理想的形态。第一步是对椅腿部分进行仿生学形态的设计，采用“局部修改”的生成式算法，调节“图像强度”等各项比重使生成图像与原始图像有尽可能大的差别，选取私人模型 bionic 作为附加模型使生成图像具有仿生学特征，第一步得到的多张图像都具有较为自由流动、多孔洞的形态，出于后续建造的考量，选取其中形态简洁流畅、孔洞较少的 b 进行后续迭代设计。第二步同样采取“局部修改”的生成式算法，保持椅腿不变，只对 b 的扶手部分进行仿生学形态的生成式设计，并对各项参数进行调节。第二步生成的扶手形态大多棱角生硬，形态冗余，因此选择了弧线更加流畅优美的 c 作为进一步设计的对象。由于第一二步的扶手、椅腿分步设计，c 的整体衔接与形态协调还有待提升，第三步采取“图像生成图像”的算法，对椅腿和扶手部分进行一体化设计，在生成的大量图片中筛选出 d 作为最终的仿生学椅形态，相比其他生成结果，d 既展现了仿生学特征的自然、简洁的形态，又不失结构合理性和可建造性。



图 4 仿生学椅模型训练与设计优化过程（图片来源：作者自绘，训练集图片来源于网络）

### 3.2 三维模型生成及优化

将 AI 生成图从二维转至三维模型使用了开源程序 TripoSR。它是一种利用 Transformer 架构进行快速前馈生成 3D 重建模型的程序<sup>[13]</sup>，将椅子的生成图上传并选择保留的部分，就可以快速利用单张图片生成 3D 网格模型。但得到的结果并不理想，无法反映椅子各部分的空间关系。因此参考 TripoSR 生成的网格模型再次建模，获得椅子初始的数字模型，过程如图 5 所示。

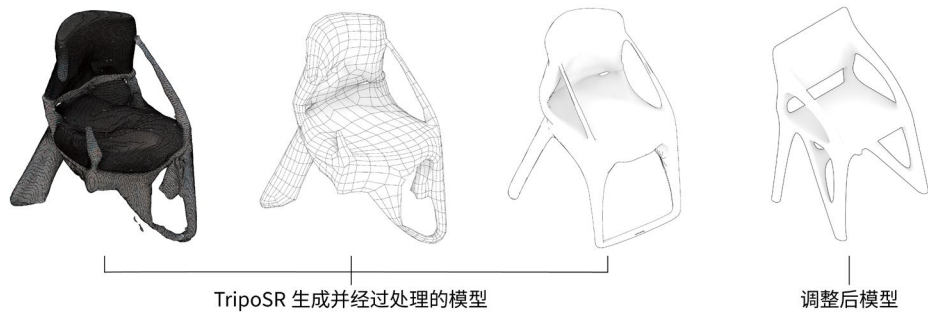


图5 二维图片转化为三维数字模型的过程（图片来源：作者自绘）

仿生学的意义在于用最合理的结构分布达到承重标准。AI理解的仿生学椅只是形态的模仿，有必要进一步利用参数化工具对椅子进行调整。如图6所示，设定人体对椅子各部分的压力后，分别针对椅子的椅背和椅腿部分进行仿生学的拓扑优化。拓扑优化旨在在规定的设计域内分布材料，使得所获得的结构具有最佳性能并满足规定的约束。优化的实现依托于Rhino/Grasshopper平台的Ameba插件，它是一种基于BESO方法和FEniCS开源计算平台的拓扑优化工具<sup>[4]</sup>。从优化结果看，椅背部分可以在现有基础上大幅减少，即可承受设定的压力，椅腿部分无需变动。通过拓扑优化，椅子的结构得以精简，不仅减少了后期浇筑所需的原材料，也减轻了椅子的自重，使其更具备实际使用价值，视觉上也更轻盈。

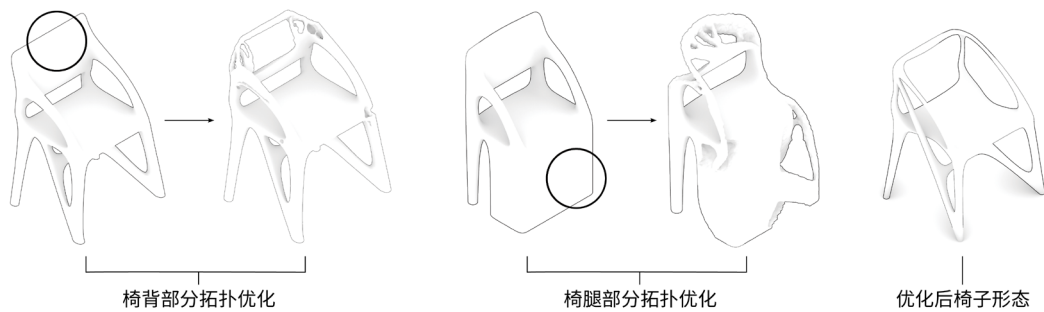


图6 椅背、椅腿部分的拓扑优化过程及优化后椅子形态（图片来源：作者自绘）

在椅子的形态完成拓扑优化后，有必要结合材料性能验证椅子的稳定性与安全性。环氧树脂可以使椅子呈现独特的、近乎透明的艺术效果，因此决定采用环氧树脂制作成品。为了测试该材料的强度，利用Ameba插件对椅子进行有限元模拟。输入环氧树脂的机械性能参数，设置相当于2人重量的荷载（椅面承受荷载1470N，椅背承受荷载270N，扶手承受荷载150N）<sup>[5]</sup>，生成椅子的应力图（图7）。发现椅子的最大应力小于环氧树脂的屈服强度，初步证明了结构和材料的可靠性。同时对拓扑优化前和优化后的椅子的有限元模拟结果进行横向比较，发现优化后椅子的应力最大值变小且分布更加均匀。

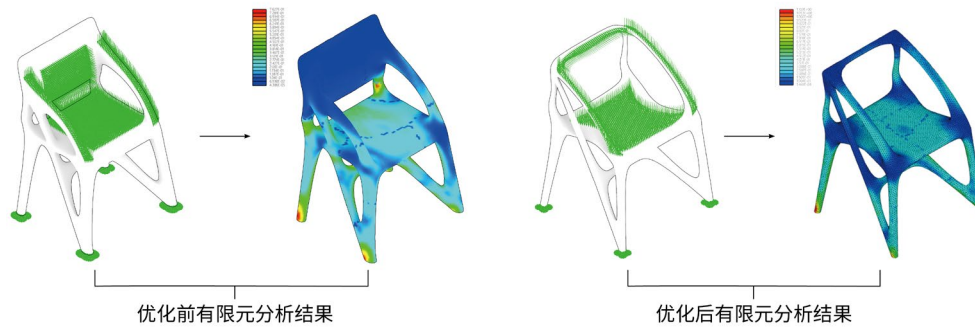


图7 优化前后有限元分析结果对比（图片来源：作者自绘）

### 3.3 模具拆分、制作及浇筑

3D 打印虽然可以制造出具有复杂结构的物件，但对于正常扶手椅的尺寸，需要大型工业打印机才能一次成型，会带来高昂的成本。且无论是熔融沉积建模还是光固化 3D 打印，都会在打印物体的内部形成中空，无法用于承重。因此出于实用性和经济性的考量，采用 3D 打印表面模具并浇筑环氧树脂的方法制作椅子。

可供使用的 3D 打印机打印方式为熔融沉积建模，打印尺寸为 256cm×256cm×256cm，按照不大于该尺寸的标准切分模型。如图 8 所示，切分后得到的每一个部件通过曲面偏移得到模具的外壳，而后法兰连接部分，孔洞的直径根据选用的 M6 螺栓和打印误差设定为 6.1mm。用于制造椅子的模具最后被拆分为 50 个部件，并逐一进行了打印（图 9）。

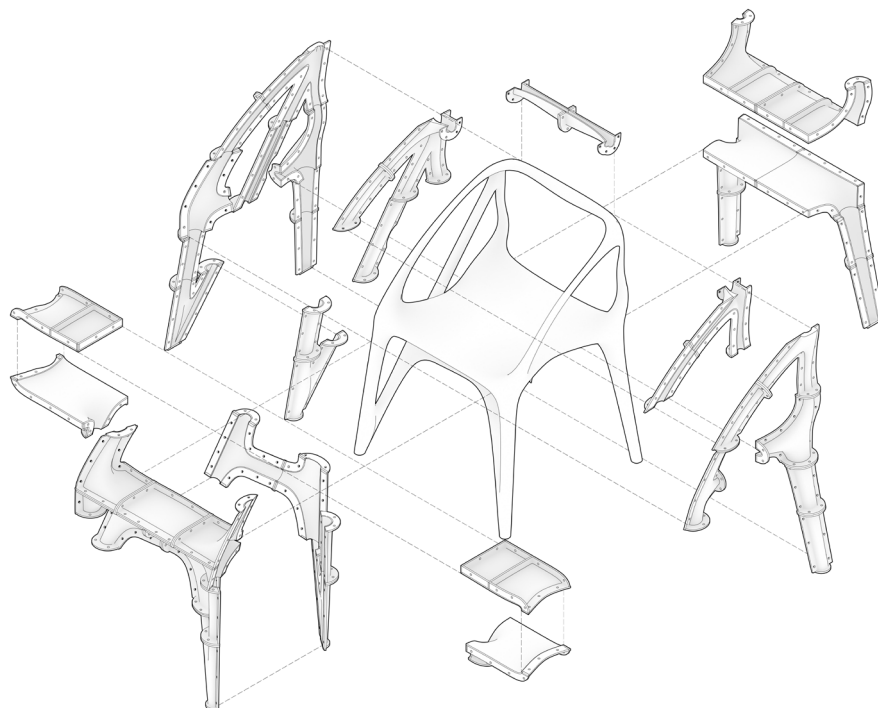


图8 椅子表面模具拆解示意图（图片来源：作者自绘）



图 9 3D 打印的模具部件（图片来源：作者自绘）

模具部件之间通过螺栓连接，在此之前还应考虑密封和脱模的问题。经过多次预实验，总结了应对该问题和连接模具部件的方法（图 10）：

- （1）在每个部件的内表面涂抹白蛇蜡防止环氧树脂和塑料打印件的粘连。
- （2）用填充密封胶涂抹每个部件的法兰部分，依靠胶水黏性连接各个部件。
- （3）通过螺栓连接各个部件并将其紧固，减小缝隙。
- （4）将部件紧密连接后在接缝处再次涂抹填充密封胶，预防浇筑后液态环氧树脂的漏液问题。

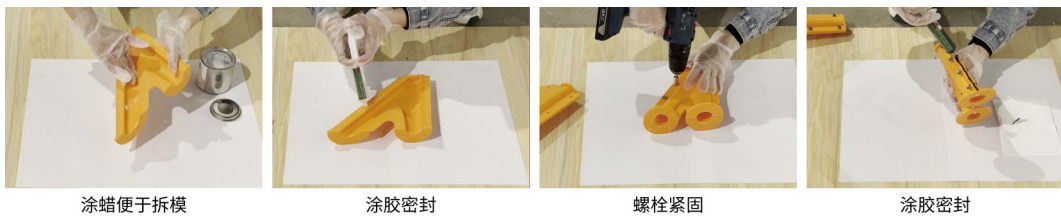


图 10 模具部件的处理和连接过程（图片来源：作者自绘）

模具拼装完成后会在顶部留出通气口用于浇筑树脂。环氧树脂一次浇筑过多会大量放热，高温会引起塑料模具变形，同时胶体迅速凝固并产生大量气泡，造成失败。因此采取分层多次的浇筑方法，历时近一周完成浇筑并拆模，如图 11 为浇筑过程和仿生学椅实体照片。



图 11 浇筑过程与仿生学椅实体照片（图片来源：作者自绘）

## 结语

本文提出了一套完整的结合 AIGC 与 3D 打印的设计实体化流程，涵盖了从 AIGC 辅助设计到最



终实体建造的具体步骤，展示了如何通过多次迭代优化生成设计，并利用 3D 打印技术和模具浇筑技术将其转化为物理产品。本研究的案例——一把仿生学椅——验证了这一流程的可行性，表明 AIGC 与 3D 打印结合可以在复杂形态物体的设计和建造中发挥重要作用。需要指出的是，在该流程中，从二维图片到三维模型的转换还面临着部分技术上的难题，现有的开源程序难以通过单张图片准确还原三维实体在空间中的结构与形态，从而对流程的顺利推进产生影响。未来，随着 AIGC 和 3D 打印技术的进一步发展，以及单张图片生成三维模型的研究不断取得突破，这一流程方法也有望在更广泛的工业和建筑领域得到应用，为设计和制造提供新的思路和实践路径。

## 参考文献

- [1] Shi Y, Shang M, Qi Z. Intelligent layout generation based on deep generative models: A comprehensive survey[J]. *Information Fusion*, 2023: 101940.
- [2] 李白杨,白云,詹希旎,等.人工智能生成内容(AIGC)的技术特征与形态演进[J].*图书情报知识*,2023,40(01):66-74.DOI:10.13366/j.dik.2023.01.066.
- [3] Wu J, Cai Y, Sun T, et al. Integrating AIGC with design: dependence, application, and evolution-a systematic literature review[J]. *Journal of Engineering Design*, 2024: 1-39.
- [4] 上官永吉.生成式 AI 在建筑方案设计中的应用初探——以某文化中心项目为例[J].*建筑与文化*,2024,(08):34-36.DOI:10.19875/j.cnki.jzywh.2024.08.012.
- [5] 彭燕凝,杨华珍.AIGC 与工业设计有机融合应用研究[J].*艺术与设计(理论)*,2024,2(03):29-32.DOI:10.16824/j.cnki.issn10082832.2024.03.001.
- [6] Aničin L, Stojmenović M. Bias analysis in Stable Diffusion and Midjourney models[C]//*International Conference on Intelligent Systems and Machine Learning*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022: 378-388.
- [7] Attaran M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing[J]. *Business horizons*, 2017, 60(5): 677-688.
- [8] 陈兴龙,陶士庆,李志奎,等.3D 打印技术在模具行业中的应用研究[J].*机械工程师*,2016,(01):174-176.
- [9] Pelin G, Sonmez M, Pelin C E. The Use of Additive Manufacturing Techniques in the Development of Polymeric Molds: A Review[J]. *Polymers*, 2024, 16(8): 1055.
- [10] Dizon J R C, Valino A D, Souza L R, et al. Three-dimensional-printed molds and materials for injection molding and rapid tooling applications[J]. *MRS Communications*, 2019, 9(4): 1267-1283.
- [11] Šál J, Dědič M. Application of modeling processes and 3D print on casting molds for concrete furniture[C]//*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020, 728(1): 012014.
- [12] Lee H J. Study of Furniture Design Utilizing 3D Printers Joris Laarman[J]. *Journal of the Korea Furniture Society*, 2016, 27(2): 128-136.
- [13] Tochilkin D, Pankratz D, Liu Z, et al. Tripotr: Fast 3d object reconstruction from a single image[J]. *arXiv preprint arXiv:2403.02151*, 2024.
- [14] Zhou Q, Shen W, Wang J, et al. Ameba: A new topology optimization tool for architectural design[C]//*Proceedings of IASS Annual Symposia*. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2018, 2018(19): 1-8.
- [15] 罗用.木质家具拓扑优化设计研究[J].*家具与室内装饰*,2019,(12):18-20.DOI:10.16771/j.cn43-1247/ts.2019.12.004.