

从书法到竹椅：AI 赋能的传统工艺生成式设计方法

张雨露¹，王世同²，刘一歌^{3*}，袁烽^{4*}

摘要：竹椅，作为中国传统家具的代表，其设计长久以来受限于单一形态与复杂工艺，难以满足当代社会对个性化与高效性的双重追求。随着 AI 技术的日新月异，尤其是生成式设计的兴起，为竹椅设计带来了前所未有的变革机遇。本文深入探讨了人工智能（AI）技术在传统竹椅设计领域的创新应用，提出了一条从书法艺术到竹椅制作的生成式设计方法。通过对比分析 Midjourney 与 FUGenerator 两大 AIGC 平台在相同设计任务中的效能，本文选择了在控制设计全流程方面表现更为出色、更符合建筑师需求的 FUGenerator 平台。在此基础上，本文提出了一种创新的设计流程，以传统书法的笔墨意境和形态为灵感，将“竹”字的书法形态转化为具体的设计元素，把二维汉字转化为三维竹椅。经过多轮参数调整与结构优化，本研究成功设计出了一款既有深厚文化底蕴又展现现代设计理念的数字化竹椅。这一设计方法旨在突破传统竹椅在造型和制作工艺上的局限性，它不仅推动了竹椅在现代设计领域的发展，也为传统手工艺与现代科技的融合提供了宝贵的实践经验。

关键词：人工智能；竹椅；生成式设计；书法

Keywords: Artificial Intelligence; Bamboo Chair; Generative Design; Calligraphy

资助项目情况：本工作由上海市科学技术委员会 2021 年度“科技创新行动计划社会发展科技攻关项目：“全域感知的移动机器人智能建造一体化关键技术研究及示范”资助，项目编号：21DZ1204500

引言

竹椅在中国传统家具中占有重要地位，以其轻盈、坚固和环保的特点而闻名。竹材因其自然的纹理、美观的形态以及可持续发展的优势，长期以来在家具制作中得到广泛应用。在中国传统文化中，竹子象征着高洁、坚韧和不屈不挠的精神，因此，竹椅不仅具有实用价值，还承载着丰富的文化内涵。传统竹椅的制作工艺经过数百年的发展，形成了精湛而独特的技艺体系。

然而，随着社会的发展和人们生活方式的转变，传统竹椅面临着前所未有的挑战。其单一的造型难以契合日益增长的个性化与多元化审美需求；手工制作流程的复杂性与耗时性则限制了生产效率与产量的提升^[1]。此外，竹材本身的物理特性也增加了现代使用中的维护难度。因此，如何在保留传统竹椅文化价值的同时，通过创新设计与现代技术突破其局限性，成为了一个亟待解决的问题。

¹ 张雨露，同济大学建筑与城市规划学院，研究生

² 王世同，同济大建筑与城市规划学院，研究生

³ 刘一歌，同济大建筑与城市规划学院，助理教授

⁴ 袁烽，同济大建筑与城市规划学院，教授

近年来，随着人工智能（AI）技术的飞速发展，给设计行业带来了前所未有的机遇，特别是生成式设计、数据分析、机器学习和增强现实等技术，为传统工艺的创新、记录和传播提供了新的可能性^[2]。人工智能设计主要指的是人工智能程序自动或者半自动地生成艺术设计类产品的过程^[3]，它利用计算机强大的运算能力，在预设参数与规则下自动生成多样化的设计方案，极大地拓宽了设计的边界与可能性。因此，本研究的主要目标是探索人工智能与传统工艺的结合，以实现传统工艺的现代化升级与创新。

1 生成式设计

生成式设计（Generative Design）是智能化设计主要呈现形式。生成式设计是一种以算法为核心，通过定义问题的目标和约束条件生成大量设计方案，再由设计师从海量方案中选取最适合的进行细化和完善。设计人员通过这种方式，实现了前所未有的自动化和智能化，大幅节省了时间的同时，效率也得到了提升^[4]。

1.1 AIGC 平台的比较分析

随着生成式设计的发展，越来越多的 AI 辅助设计工具快速发展，如 Midjourney 和 FUGenerator，它们为设计师提供了强大的技术支持，实现设计方案的快速迭代与优化。这些 AIGC 工具不仅能够自动化生成设计元素和布局，还能够根据用户需求和反馈进行智能调整，极大地提升了设计的效率和质量。本文将通过对比分析 Midjourney 和 FUGenerator 在相同提示词下的响应表现，探讨它们的工作流程在不同应用场景的优势与局限性。

1.1.1 Midjourney 平台

Midjourney 是一个基于人工智能的生成式设计平台，以其强大的图像生成能力和易用性著称。该平台能够基于文本输出或数字图像的网络链接生成具有高美学质量的数字图像，广泛应用于艺术创作、产品设计和视觉化表达等领域。Midjourney 的算法尤其擅长处理复杂的视觉元素，极大地助力设计师在项目的早期概念阶段进行快速迭代。值得一提的是，即便重复输入相同的关键词，Midjourney 也不会生成完全相同的结果，因为该程序会根据每次请求，从互联网上随机选择可用的匹配图像和图形，并在最终生成的图像中赋予这些元素不同的比例^[5]。

1.1.2 FUGenerator 平台

FUGenerator 是一个针对建筑师设计的多模态大模型平台，旨在从建筑学本体视角支持建筑设计到建造的全流程。该平台分为三个主要功能模块：社区、训练和生成。训练模块为设计师提供了私人模型训练接口，使生成结果更加可控。用户既可以选择平台提供的通用大模型，也可以利用私人训练的专业模型来精细控制设计生成过程。在生成模块中，FUGenerator 为建筑师提供了四个节点：文本（text）、图像（image）、模型（model）和视频（video）。这些节点可以灵活组合，支持多种交互方式，如文本生成图像、图像生成图像、文本生成视频等。用户可以根据具体应用场景和个人工作习惯，选择最适合的设计交互方式。

与 Midjourney 不同，FUGenerator 采用了节点回溯式的工作流程，允许用户精确定义设计流程中的每个步骤，并在此过程中分步骤调整参数和交互方式。通过多次迭代，用户可以逐步生成令人满意的设计方案。平台构建了 AI 与建筑师的互动方式，并以建筑词汇库的形式呈现交互界面。在这个过程中，AI 和建筑师相互启发，不断迭代和优化生成目标，能够更好地适应不同任务的需求^[6]。

1.1.3 平台比较分析

我们通过在两个平台上输入相同的建筑特征提示词做了多组对比试验（表 1），其中 FUGenerator 分别尝试了通用大模型和私人训练的专业模型，可以发现两个平台都能生成质量较高的图像，但图像之间在风格上有较大差异。为了客观地评价生成的图像结果，我们借助 Fréchet Inception Distance (FID) 算法^[7]对两个平台三种模型的多组生成图像进行分析，FID 被广泛应用于评估 AI 生成图像质量，计算生成图像和真实图像的距离，计算公式如下，其中 $\|\mu_g - \mu_r\|_2^2$ 是均值向量差的平方的 L2 范数， Tr 表示矩阵的迹（即矩阵对角线元素的和）， $(\sum_g \sum_r)^{\frac{1}{2}}$ 表示通过取两个矩阵乘积的特征值的平方根得到的矩阵。FID 分数越低，表示生成图像与真实图像的分布越接近，通常认为生成的图像质量越高。

$$FID = \|\mu_g - \mu_r\|_2^2 + Tr \left(\sum_g + \sum_r - 2 \left(\sum_g \sum_r \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1)$$

从 FID 的评分结果（表 1）对比中，我们能够看出 Midjourney 和 FUGenerator 专业模型生成图片的 FID 分数数值均较小，FUGenerator 通用大模型生成的图像 FID 分数数值最大。结合平台使用感受和 FID 结果综合来看，Midjourney 和 FUGenerator 在特定设计任务中各有其独特优势。Midjourney 相比于 FUGenerator 在创意生成和视觉表达方面表现出色，尤其适合需要快速迭代和概念生成的设计任务。而对于需要精细控制的设计项目，FUGenerator 专业模型则更为适合，FUGenerator 平台的训练功能、节点控制和多模态交互功能，确保了生成的图像既真实又更加可控。因此，结合竹椅设计任务中涉及到多步骤的节点控制，FUGenerator 能够提供更高的精度和控制力，本研究选择该工具进行后续设计。

表 1 Midjourney 和 FUGenerator 在相同提示词下生成的图片（图片来源：作者自绘）

	Midjourney 生成	FUGenerator 大模型生成	FUGenerator 专业模型生成
提示词: a chair of comfortable chair back, topology and nonlinear chair legs			
提示词: a tower of robotic weaving			
提示词: architecture, minimalism, curved shape, exterior rendering, glazing			
图像 FID 均分	230.65	284.03	238.81

2 设计方法

2.1 设计概念

本研究的设计灵感来源于汉字“竹”字的书法形态。竹子在中国文化中象征着高洁、坚韧与气节，而书法作为中国传统艺术的重要表现形式，蕴含了丰富的美学与文化内涵。我们通过将“竹”字的书法形态应用于竹椅的设计中，把这种文化符号转化为具象的设计元素，使得竹椅不仅在功能上满足现代需求，还在形态上传承和表达了深厚的文化意蕴。

在设计过程中，我们首先对“竹”字的书法形态进行了美学与文化内涵的深入分析。书法中的“竹”字以其简洁流畅的线条、刚柔并济的结构展现了竹子的形象与精神内核^[8]。这些特点为竹椅的设计提供了丰富的形式语言，使得椅子的整体造型能够兼具现代感与传统韵味。我们通过分析不同书法风格中的“竹”字形态，选择出具有代表性线条与结构的草书形态，并将其作为竹椅设计的原型进行深入研究与演化。

2.2 设计流程

在使用 FUGenerator 平台进行 AI 辅助设计的过程中，为了确保 AI 既能理解书法的形态，生成具有书法形态的椅子，又能学习竹编结构，生成竹编椅。作者经过多次尝试，最终确立了一条兼顾形式感与编织感的生成流线。整个过程分为两部分训练：首先训练书法形态，从二维书法到三维椅子的转化；接着训练编织结构，将三维椅子转化为竹编椅。整个流程可分为以下几个关键步骤（图 1）：

（1）训练专业模型

首先，为了确保生成的设计能够准确反映传统书法的形态特征和竹编器具的纹理，需要收集相关的图片训练集。我们准备了两个独立的训练集，分别进行控制。第一个训练集专注于书法形态，包含大量草书作品、具有书法形态的艺术装置，以及类似书法形态的椅子图片。第二个训练集聚焦竹编纹理，收集了竹编纹理、编织艺术装置和竹编椅子的图片。这些图片将被上传到 FUGenerator 平台的训练模块中，并通过关键词标注提供必要的语义信息，以确保训练的专业模型能够更精准地理解并生成符合设计需求的形式。

（2）二维书法到立体结构

在训练好书法形态专业模型之后，使用平台生成板块的图生图功能，输入竹字草书，并选择书法形态模型，再叠加相关的关键词描述，以指导 AI 能够理解并生成具有竹字形态的三维结构。

（3）立体结构到三维椅子

随后我们通过不断调整参数，在关键词中强化椅子的概念，并增加文本的权重，进行多次设计迭代，以达到最佳的平衡点——既能够体现书法的艺术性，又能够保证竹椅的功能性和实用性。

（4）三维椅子到编织竹椅

接着输入上一轮训练的三维椅子，选择训练好的竹编纹理模型，使椅子能够整体变为竹编结构，并生成较为合理的框架。通过多次训练，最终生成了一系列具有独特美学的设计方案。



图1 竹字书法生成编织竹椅流程（图片来源：作者自绘）

2.3 三维建模与结构优化

在筛选 AI 生成的多种设计方案时，我们设定了三个核心筛选标准，包括竹椅的结构稳定性、功能实用性以及设计美观度。从这三个标准出发，对每个方案进行详细的评估后进行打分，每个标准计 1 分，最终选出了三个表现出色的设计方案进入下一轮分析（图 2）。

在确定了这三个候选方案后，我们使用 Rhino 和 Grasshopper 工具对其进行了详细的三维建模和结构分析。在三维建模过程中，逐渐暴露出了一些问题。首先，AI 生成的图片通常只展示椅子的特定角度，这在建模时导致了上下结构遮挡的问题，使得难以准确理清设计中的某些结构细节，尤其是在方案一中，这种问题尤为明显。其次，三维空间曲线的建模和优化也是一个主要挑战。为了确保复杂的三维曲线框架能够在实际生产中顺利加工并保持设计的精度，我们引入了遗传算法进行曲率拟合计算。



图2 筛选方案并进行三维建模（图片来源：作者自绘）

遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的优化算法，特别适合处理复杂的多变量问题。通过模拟生物进化过程中的选择、交叉和变异等机制，遗传算法逐步优化曲线的拟合精度。通过多代的迭代优化，算法能够选择最接近目标曲线的圆弧段组合，从而达到最佳的拟合效果^[9]。这种方法使得复杂的三维曲线可以被分解为更易于加工的平面圆弧段，极大地提高了生产的可行性和精度。

在此基础上，我们对方案二和方案三进行了精细化建模，并使用 Karamba 进行了详细的结构分析。分析结果显示，方案二在拉压力分布上存在较大问题，整体受力不均匀，这在实际使用中可能导致结构失稳。尽管我们尝试对方案二进行了结构调整，但调整后的结果对其美观性造成了较大影响，未能达到预期效果。相比之下，方案三在美观性和结构受力方面表现更为均衡（图 3）。其设计不仅在视觉上具备高度的美学价值，同时也实现了结构受力的均匀分布，确保了椅子的稳定性与耐用性。因此，我们最终选择了方案三作为最终的建造方案。

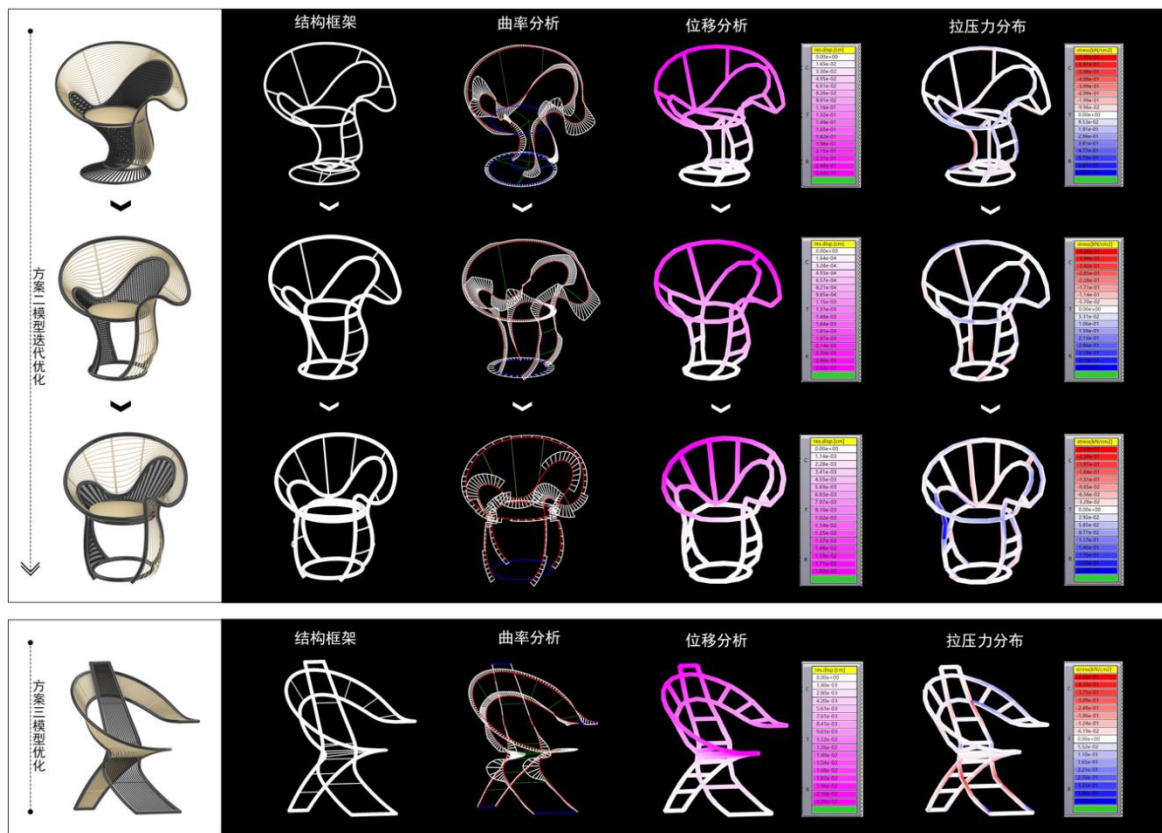


图 3 方案二、方案三结构分析（图片来源：作者自绘）

2.4 实物建造

建造过程采用了金属框架与竹条编织相结合的形式，以确保设计的美学价值与实用性得到充分体现。整体框架使用直径 24 毫米的铁管，由工厂进行焊接。金属框架的加工采用遗传算法对框架的曲率进行拟合计算后的结果，将复杂的三维曲线分解为若干段可在平面上加工的圆弧（图 4），之后按照图纸焊接，大大提升了工厂的加工效率和精度。

与此同时，椅面和椅背部分采用了直径 7 毫米的竹条，这些竹条在使用前经过了一系列预处理工序，以确保其在使用过程中具备更好的耐久性和美观性。预处理过程包括了打磨、喷漆、泡水等步骤。打磨使竹条表面更加光滑；喷漆不仅赋予竹条表面一层保护层，防止其受潮或虫蛀，还提升了竹条的

光泽度和整体视觉效果；泡水则有助于增强竹条的柔韧性，使其在后续的编织过程中更易于操作和成型。在预处理完成后，竹条竖向排列用纸绳与金属框架进行十字绑扎。纸绳既保持了传统工艺中的编织手法，又增加了现代材料的环保性和易维护性。

整个建造过程充分结合了现代算法优化与传统手工艺，确保最终产品既具备坚固耐用的特性，又保留了传统竹编工艺的独特美感与文化内涵。最终建造的实体如图 5 所示，通过将生成式设计应用到竹椅传统工艺，最终建造了一把兼具传统韵味与现代设计感的新时代数字化竹椅。



图 4 建造工艺及金属框架加工图纸（图片来源：作者自绘）



图 5 建造工艺及金属框架加工图纸（图片来源：作者自绘）

结语

本研究通过探索生成式设计与传统竹椅工艺的结合，展示了人工智能在现代设计中的巨大潜力。利用 FUGenerator 多模态大模型的多种交互功能，将二维书法形态转化为三维竹椅设计，并通过结构分析和优化，实现了从概念设计到实际建造的全流程。AI 技术不仅加速了设计迭代，还提供了更多创意可能性，使得传统竹椅在保留文化内涵的同时，兼具现代美学与结构实用性。这一跨越传统与现代的设计实践，不仅为竹椅的现代设计提供了新思路，也为其他传统工艺的数字化转型提供了参考。未来，随着 AI 技术的进一步发展，生成式设计将为更多领域带来深远影响，推动传统工艺与现代技术的深度融合。

参考文献

- [1] 罗宇晴. 竹椅——现代设计形态的应用与创新[J]. 牡丹, 2021, (02):160-162.
- [2] 谢晓宇, 范圣玺. 人工智能时代非物质文化遗产的传承与创新: 基于民族学与设计学交叉视角[J]. 贵州民族研究, 2024, 45(02):82-88. DOI:10.13965/j.cnki.gzmzyj10026959. 2024. 02. 012.
- [3] 陶锋, 梁正平. 设计与理性: 人工智能设计的美学反思[J]. 中国文艺评论, 2023, (10):32-46+126. DOI:10.19324/j.cnki.zgwyp1. 2023. 10. 005.
- [4] 李文龙, 张凡. 设计中的人工智能——设计师视角下人机协作关系研究[J]. 美术研究, 2024, (04):99-103. DOI:10.13318/j.cnki.msyj. 2024. 04. 012.
- [5] Jaruga-Rozdolska, A. Artificial intelligence as part of future practices in the architect's work: MidJourney generative tool as part of a process of creating an architectural form[J]. Architectus. 2022(3 (71):95-104.
- [6] 顾思佳, 王日新, 武雨菲, 等. 基于 FUGenerator 平台的 AI 启发式建筑生成设计流程探索[C]//全国高等学校建筑类专业教学指导委员会, 建筑学专业教学指导分委员会, 建筑数字技术教学工作委员会. 兴数育人 引智筑建: 2023 全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集. 同济大学建筑与城市规划学院;, 2023:4. DOI:10.26914/c.cnkihy. 2023. 091745.
- [7] Heusel M, Ramsauer H, Unterthiner T, et al. Gans trained by a two time-scale update rule converge to a local nash equilibrium[J]. Advances in neural information processing systems, 2017, 12:6629-6640
- [8] 耿良武. 汉字形态“听音品曲”系列竹材家具设计研究[D]. 广东工业大学, 2017.
- [9] Holland, John H. Genetic algorithms[J]. Scientific American, 1992, 267(1): 66-73.