

From Tool to Symbiosis: A Study on the Application of AI in the Field of Architectural Design

Biao Han

Shandong Dawei International Architectural Design Co., Ltd., Zaozhuang, Shandong, 277000, China

Abstract

Artificial intelligence is reshaping the working paradigm and value boundaries of the architectural design industry. This paper reviews the current application status of AI in architectural design and puts forward two viewpoints: "Breakthrough of Structural Blind Spots" and "Human-Machine Symbiosis Mode". Research shows that the current application of AI is highly unbalanced: 68.94% is concentrated in the schematic design stage, image data accounts for 68.32%, and in-depth development is still needed in late-stage design and multimodal fusion. Combined with case studies on the innovation of generative AI in scenarios such as conceptual design, performance optimization, structural design, and heritage protection, this paper reveals its evolutionary logic from a "drawing tool" to a "design collaborator". It also points out challenges including data silos, tool fragmentation, and insufficient interpretability, and prospects the human-machine symbiotic design paradigm. The study concludes that AI will not replace architects; architects who master AI collaboration capabilities will have greater advantages.

Keywords

Artificial Intelligence; Architectural Design; Generative Design; Human-Machine Collaboration; Structural Blind Spots

从工具到共生：AI 在建筑设计领域的应用研究

韩彪

山东大卫国际建筑设计有限公司，中国·山东 枣庄 277000

摘要

人工智能正重塑建筑设计行业的工作范式与价值边界。本文梳理AI在建筑设计领域的应用现状，提出“结构性盲区突破”与“人机共生模式”两大观点。研究显示，当前AI应用高度不均衡：68.94%集中在方案阶段，图像数据占68.32%，后期设计与多模态融合仍需深化。结合案例分析生成式AI在概念、性能、结构、遗产保护等场景的创新，揭示其从“绘图工具”向“设计协同者”的演进逻辑。同时指出数据孤岛、工具碎片化、可解释性不足等挑战，展望人机共生设计范式。研究认为，AI不会取代建筑师，掌握AI协同能力的建筑师将更具优势。

关键词

人工智能；建筑设计；生成式设计；人机协同；结构性盲区

1 引言

建筑设计行业正经历深刻的技术范式转型。RIBA 调查显示，88% 的建筑师认为 2035 年 AI 重要性将显著提升，50% 认为其将变革概念设计；但 35% 的设计师担忧 AI 冲击专业价值，引发人机关系讨论。

本文提出两大判断：当前 AI 建筑设计存在结构性盲区，长于图像生成，却难理解空间、结构与建造逻辑；破局关键是重构人机关系，走向人机共生设计，并结合理论与案例探讨 AI 应用现状、实践与前景。

【作者简介】韩彪（1992-），男，中国山东枣庄人，硕士，工程师，从事建筑结构设计及绿色建筑应用研究。

2 AI 在建筑设计中的应用现状

2.1 技术演进的加速效应

AI 技术从实验室到设计实践的转化周期正在急剧缩短。研究表明，理论创新与实际应用之间的时间差已从早期的 62 年缩减至 2.5 年。

从技术路线来看，生成对抗网络（GAN）自 2021 年起成为主流，近年来扩散模型（Diffusion Models）与 Transformer 架构（如 GPT、Stable Diffusion）的应用增速迅猛。后者之所以备受青睐，关键在于其对用户意图的实时响应能力——设计师可以通过自然语言提示词，在多方案比较中快速迭代，这种交互模式更贴合设计思维的探索性特征。

2.2 结构化盲区：当前 AI 工具的深层局限

当前 AI 建筑设计工具面临一个根本性挑战：“结构性盲区”。正如 Khan 等人指出的，现有工具擅长生成二维平

面和视觉效果图，却难以“以三维方式思考建筑如何矗立”，往往生成结构上不可行的方案，需要大量人工返工^[1]。

这一盲区的根源在于：建筑不仅是形式的组合，更是荷载的传递路径、空间的序列组织、材料的性能表达。这种“形式优先、结构次之”的生成逻辑，导致 AI 方案与现实建造之间存在难以弥合的鸿沟。

3 AI 在建筑设计中的创新探索

3.1 从图像到模型：AI 辅助概念生成

AI 在概念设计阶段的应用已相当成熟，其核心价值在于“创意的快速物化”与“多方案比较”。上海宝山“3D 打印咖啡屋”项目提供了一个完整的创新实践样本^[2]。该项目由清华大学徐卫国团队完成，建筑面积 20 平方米，从设计到建成仅用时 5 个月。

设计过程中，建筑师首先利用 ChatGPT 生成提示词，输入 Dall·E3 图像生成模型，获得一系列“具有创意的咖啡杯造型”图像。经甲方筛选确定方案意向，再通过 TripoAI 工具将二维图像转化为可编辑的三维模型。在这一模型中，建筑师调整了高度与直径（H4.5 米，D4.0 米），增加门窗、屋顶等细部，最终发展为满足使用功能的建筑设计模型。

这一案例揭示了 AI 辅助设计的三个关键突破：第一，非专业用户的参与权增强，甲方通过 AI 工具成为“概念共

创者”；第二，从二维到三维的转换效率提升，TripoAI 在数秒内完成人工数日的工作量；第三，建筑师的专业判断依然不可或缺——从 AI 生成的无数图像中识别出具备建造潜力的方案，依赖的是建筑师的审美经验与工程素养^[2]。

3.2 结构智能生成：PSS-GAN 系统的突破

如果说概念生成是 AI 的“显性战场”，那么结构设计则是更具挑战性的“隐性战场”。中建八局研发的 PSS-GAN 系统，标志着国内在 AI 驱动结构设计领域取得重要突破^[7]。

PSS-GAN 系统构建了“全局结构层—局部构造层—系统评价层”三层协同架构，首次实现“结构—节点”协同优化。在结构框架生成模块，系统采用蒙特卡洛树搜索（MCTS）与前馈神经网络（FNN）融合算法，将荷载条件、几何约束、规范参数转化为生成输入，通过条件生成对抗网络（cGAN）自动生成满足力学约束的三维空间关键点。在节点生成模块，系统通过有限元分析识别高应力集中区域，生成包含螺栓、焊缝等细节的高精度节点模型，并通过数据接口实现与全局结构的自动挂接。

该系统的技术突破在于：将深度学习、拓扑优化与工程力学原理深度融合，改变了传统设计中“结构师建模—节点详图深化”的割裂流程。测试表明，基于图神经网络（GNN）的评估体系较传统有限元分析效率提升数十倍，为复杂钢结构设计提供了新的技术路径^[7]。

表 PSS-GAN 系统核心模块与技术特征

模块层级	核心技术	功能特征	输出格式
结构框架生成	MCTS+FNN 融合算法	多目标力学性能优化	三维空间关键点
节点模型生成	多尺度残差学习	高精度构造细节还原	体素 / 网格 / 曲面模型
系统评价层	图神经网络 +NSGA-III	五维度综合评估	Pareto 最优方案集

3.3 城市尺度：从单体建筑到数据底座

AI 的应用正在从建筑单体向城市尺度延伸。重庆设计集团自主研发的“灵基智城”大模型，代表了 AI 在城市数字基础设施建设中的探索^[3]。该模型通过 AI-CG 双模态数据融合识别技术，可对工程图纸进行智能化破译，精准提取建筑内部构造数据，并自动构建分层分户三维建筑模型。

据重庆市设计院数字化发展研究院院长冉一辛介绍，相比人工建模，“灵基智城”的建模效率提高超千倍、成本降低超 80%，有效破解了大规模城市数字孪生“建不起、建得慢”的行业难题^[3]。基于该模型搭建的“消防信息速递”智能体，可将烟感设备直连 119 指挥中心，火情研判调派时效提升三分之二。

这一案例揭示了一个重要趋势：建筑设计正在从“交付图纸”转向“交付数据”。建筑信息模型不再是设计阶段的终点，而是城市智慧化运营的数据底座。正如孟建民院士所指出的，建筑数据作为城市数据的重要组成部分，其标准化采集、结构化管理和智能化应用，已成为推动城市治理现代化的关键基础设施^[4]。

3.4 遗产保护：AI 赋能文化传承

在文化遗产保护领域，AI 同样展现出独特价值。“智慧应县木塔”项目将空间计算与 AIGC 技术结合，在数字世界中构建“木塔孪生体”^[6]。依托清华大学建筑学院的研究成果，项目团队运用基础素材超过 1500 万面片，完成近 6 万行 unity 编程，渲染模型达 4.2G，逐层还原了木塔的完整构造与细节。

更具突破性的是，项目 2.0 方案引入了具身智能六足机器人，执行智能扫描建模与安全巡逻。机器人搭载的智能 3D 视觉系统可在非接触状态下实现毫米级文物细节还原，通过对比历次扫描数据，AI 算法能自动检测木材形变、漆层脱落等细微变化，为预防性保护提供量化依据^[6]。这一创新路径不仅为木塔建立了可视化数字资讯档案，也为其他文化遗产的数字化保护提供了可复制的技术范式。

4 AI 与建筑师的共生：一种新的设计范式

4.1 角色重构：从“绘图者”到“策展人”

随着 AI 深度介入设计流程，建筑师的角色正在发生根本性转变。Khan 等人敏锐地指出，这一转变的方向是让建

筑师从“生产者”变为“战略策展人”(strategic curators)^[1]。所谓“策展”，意味着建筑师的核心能力不再是亲手绘制每一根线条，而是在AI生成的海量方案中识别、筛选、整合出最契合场地条件与使用者需求的设计解。

这种角色转变对建筑师的能力结构提出了新要求。RIBA研究报告指出，随着AI的崛起，“人际关系、沟通技巧、伦理决策和批判性思维”将变得更为重要。因为当形式生成可以被算法自动化时，真正体现专业价值的，恰恰是那些无法被算法取代的能力：对场所精神的敏感、对社会诉求的回应、对建造伦理的坚守。

4.2 共生模式：“人类定义问题—AI生成方案—人类批判选择”

基于上述观察，本文提出“人机共生设计模式”作为AI时代建筑设计的方法论框架。这一模式包含三个核心环节：

第一，人类定义问题。建筑师基于场地调研、业主需求、规范约束、可持续目标等，形成清晰的设计任务书与评价标准。这一环节的核心产出不是形式草图，而是“问题空间”的边界设定——哪些参数可变、哪些约束刚性、哪些目标需优先满足。

第二，AI生成方案。将问题空间转化为算法可理解的输入，通过生成式模型产出多方案候选集。这里的核心优势在于“探索广度”——AI可以在短时间内遍历人力难以企及的设计空间，输出兼顾多重约束的优化解。

第三，人类批判选择。建筑师凭借专业判断，在AI生成的方案中进行筛选、综合、深化。所谓“批判”，既包含对功能合理性的评估，也包含对美学品质的判断，更包含对伦理意涵的审视——这个空间是促进交往还是制造隔离？这种形式是尊重文脉还是粗暴介入？

这一模式的本质，是将AI的“生成能力”与人类的“判断能力”进行耦合。AI负责“想得快”，人类负责“想得对”；AI拓展可能性的边界，人类划定可行性的底线。

4.3 从“形式生成”到“性能驱动”：AI与可持续设计

在可持续发展目标下，AI的应用正从“形式探索”转向“性能优化”。研究表明，早期设计决策对建筑全生命周期能耗的影响可达60%以上^[1]。将AI与能耗模拟、采光分析、风环境评估相结合，可以在概念阶段就生成兼具美学品质与生态性能的方案。

Zhang等人的研究展示了AI在住宅性能优化中的应用潜力：通过将遗传算法与参数化模型结合，在满足容积率、日照间距等约束条件下，自动生成能耗最优的布局方案^[1]。类似地，融合物理信息的神经网络模型正在突破“形式优先、性能滞后”的传统设计流程，实现结构与能耗的协同优化。这种“从生成到评估”的闭环迭代，正在推动可持续设计从“事后验证”走向“事前生成”。

5 挑战与前景

5.1 当前面临的主要挑战

尽管前景可期，AI在建筑设计领域的深度应用仍面临

多重挑战。综合学界研究与行业观察，可归纳为以下四个维度：

第一，数据孤岛与语料匮乏^[4]。

第二，工具碎片化与流程断裂^[4]。

第三，可解释性与信任赤字。

第四，伦理隐忧与身份焦虑^[5]。

5.2 未来发展方向

面对上述挑战，学界与行业正在探索多条突破路径。统一评估框架的建立是当务之急^[1]。未来需要发展兼顾技术性能与设计品质的标准化评估方法。

多模态数据融合是另一关键方向；人机协同的交互模式创新同样值得关注^[1]。具身智能与建造自动化的结合，则是从“设计”到“建造”打通闭环的可能路径。机器狗扫描建模、机器人3D打印、自动化砌筑等技术的成熟，正在将AI生成的数字模型直接转化为物理空间^{[2][6]}。当设计与建造的边界日益模糊，建筑师的职能也将从“图纸的绘制者”延展为“建造系统的设计者”。

6 结论

AI在建筑设计中应用不均衡，集中于方案阶段与图像数据，后期设计与多模态融合仍待突破，结构性盲区制约深度应用。AI已从辅助绘图向设计协同系统演进，在概念生成、结构优化、遗产保护等方向实现创新，与工程力学、空间计算等融合不断拓展边界。

建筑师角色从“生产者”转向“策展人”，“人定义问题—AI生成方案—人批判选择”成为人机共生的核心模式。AI承担形式生成工作，使建筑师回归价值判断与设计本质，统一评估框架、多模态融合、打通设计建造闭环是未来重点。

参考文献

- [1] Khan A, Chang S, Chang H. Generative AI approaches for architectural design automation[J]. Automation in Construction, 2025, 170: 105946.
- [2] XWG建筑工作室. 徐卫国新作：3D打印咖啡屋，设计建造新路线[EB/OL]. 有方, 2025-08-28.
- [3] 雍黎. 筑牢城市数智底座“灵基智城”大模型在渝发布[N]. 科技日报, 2025-09-07.
- [4] 孟建民, 冯果川. AI技术引领下的建筑设计行业新模式探索[J]. 中国勘察设计杂志, 2025(8).
- [5] Alnaser A, et al. The role of artificial intelligence (AI) in architectural design: a systematic review of emerging technologies and applications[J]. Architecture, Structures and Construction, 2025, 16: 1457-1476.
- [6] 夏天一. AI赋能，在数字世界里复刻一个应县木塔[N]. 科技日报, 2025-08-04.
- [7] 中建八局. AI驱动装配式钢结构智能设计系统PSS-GAN引领建筑工业化智能变革[EB/OL]. 中国日报网, 2025-11-14.