

基于数智化技术的模块化低多层建筑 “设计-建造-运维”一体化研究

张耀林¹, 常明媛^{1*}, 王谏鸣¹, 张蓉¹, 李彦鹏², 吴昊²

(1. 中建科工集团有限公司, 上海 201100; 2. 华东建筑设计研究院有限公司, 上海 200002)

摘要: 随着乡村振兴战略及“好房子”政策的深入推进, 乡村宜居型住房建设已日益成为社会关注的焦点。传统乡村住宅建设存在设计效率低、施工周期长、个性化需求难以满足等问题, 亟需通过新型技术手段予以优化。模块化钢结构建筑作为兼具高效、绿色、可持续特性的建筑形态, 为乡村宜居房建设提供了新的解决方案。文中将钢结构模块化住宅建筑应用于乡村宜居房建设, 聚焦模块化钢结构建筑全生命周期研究, 覆盖前期方案数字化设计、中期建筑设计及后期建造运维阶段。通过引入AIGC辅助设计工具、Unity三维数字化平台及智能布局算法等数智化手段, 实现数据在各端的流通, 推动钢结构模块化住宅设计、建造与运维的一体化落地及应用, 打造契合乡村宜居需求的模块化钢结构建筑解决方案。实践案例表明, 与传统设计及建造流程相比, 应用数智化技术的模块化钢结构建筑项目在成本控制、建设周期、实施效率及用户满意度等方面均实现了显著改善, 同时为打造安全、舒适、绿色、智慧的“好房子”提供了实践案例。

关键词: 模块化钢结构建筑; 乡村宜居房; 乡村振兴; AIGC辅助设计; Unity三维设计平台; 智能布局算法

中图分类号: TU201, TU391

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2026)03-0104-10

DOI: 10.13969/j.jzgjgz.20250317001

Research on the Integration of Design, Construction, Operation and Maintenance of Modular Low-Rise Buildings Based on Digital Intelligence Technology

ZHANG Yaolin¹, CHANG Mingyuan^{1*}, WANG Suming¹,
ZANG Rong¹, LI Yanpeng², WU Hao²

(1. China Construction Science and Industry Co., Ltd. Group, Shanghai 201100, China;

2. East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

*Corresponding author: zjgg_changmingyuan@cscec.com

Abstract: With the in-depth promotion of the rural revitalization strategy and the "Good Housing" policy, the construction of rural livable housing has become a focus of social attention. Traditional rural housing construction faces problems such as low design efficiency, long construction periods, and difficulty in meeting personalized demands, and it is urgent to optimize it through innovative technologies. Modular steel structure buildings, as a building form with efficient, green and sustainable characteristics, provide a new solution for the construction of rural livable housing.

收稿日期: 2025-03-17

作者简介:

张耀林(1978—), 男, 学士, 正高级工程师, 主要从事装配式钢结构建筑技术以及智能建造研究与应用的研究。

Email: zhangyaolin@cscec.com

通信作者:

常明媛(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事钢结构装配式建筑技术研发和设计, 绿色低碳建筑、城市更新技术研究与应用实践的研究。Email: zjgg_changmingyuan@cscec.com

This paper applies steel structure modular residential buildings to the construction of rural livable housing, focusing on the full life cycle research of modular steel structure buildings, including the digital design in the preliminary scheme, the mid-term architectural design, and the later construction and operation-maintenance stages. By introducing digital intelligence technologies such as AIGC-assisted design tools, a Unity three-dimensional digital platform, and intelligent layout algorithms, data interoperability across all project phases is achieved, enabling the integrated implementation and application of design, construction and operation-maintenance of modular steel structure housing, and developing modular steel structure building solutions that meet rural livability requirements. Practical cases show that compared with traditional design and construction processes, modular steel structure construction projects using digital technology have achieved significant improvements in cost control, construction duration, efficiency and user satisfaction, while providing practical references for building safe, comfortable, green and smart "Good Housing".

Keywords: modular steel structure building; rural livable housing; rural revitalization; AIGC-assisted design; Unity 3D design platform; intelligent layout algorithm

近年来,国家大力推进乡村振兴战略,2024年中央农村工作会议^[1]强调要扎实推进乡村建设,打造宜居宜业和美乡村。住房和城乡建设部近年来持续推动安全、舒适、绿色、智慧的“好房子”建设,着力提升人民群众的居住品质。钢结构模块化住宅建筑凭借轻质高强、抗震性能优异、施工周期短、绿色环保、便于工业化生产、可循环利用等优点^[2-3],契合建筑工业化和绿色低碳建筑发展要求,已广泛应用于住宅、公寓等建筑领域中,为乡村宜居房建设开拓了新路径。《2024年数字乡村发展工作要点》明确提出,要以信息化驱动引领农业农村现代化,促进乡村宜居宜业。数智化技术作为推动新一轮科技革命和产业变革的核心驱动力,能够为乡村建设注入新动能、创造新机遇。

钢结构模块化住宅建筑在国外起步较早^[4],20世纪60年代便已在日本、欧美等国家和地区逐步发展,如东京中银舱体楼、纽约住宅大厦、布鲁克林单身公寓、卡斯尔大学学生公寓等项目,从设计到建造均体现出高度集成化特征,且兼具施工速度快、环境影响小的优势。同时,这些模块化住宅建筑不仅在外部造型上形成差异化风格,还具备较高的居住舒适度。相较而言,国内乡村模块化建筑虽拥有巨大市场潜力,但受乡村居民接受度、企业参与积极性及建设成本较高等因素制约,加之当前乡村住宅设计效率低、施工周期长、个性化需求难以满足等问题,其推广应用面临诸多阻碍^[5-6]。此外,国内模块化住宅建筑的发展多聚焦于施工应用端,未形成从设计、加工、建造到运维的一体化发展路径。

2023年以来,随着AI技术和数字化技术的迅猛发展,结合国家对数字乡村、宜居宜业和美乡村建设的要求,数智化技术为钢结构模块化住宅建筑的应用赋予了新动能、创造了新机遇。AIGC技术依托Stable Diffusion、Midjourney等AI模型,能在建筑设计早期阶段激发创造性思维、提升设计效率,目前国内外知名设计事务所均已率先应用,为钢结构模块化住宅建筑的特色化

设计提供了新的可能。在算法优化结构设计方面,相关学者提出的深度强化学习方法突破了离散结构拓扑优化难题,廖文杰等^[7]基于生成对抗网络提出的剪力墙结构设计方法,有效降低了对训练数据的依赖。在智能平面布局领域,陈圣格等^[8]结合遗传算法的模块化钢结构建筑平面优化设计、常明媛等^[9]融合遗传与密铺算法的布局方案生成等研究,为建筑智能化设计提供了多元思路。但现有数字化应用案例均聚焦于设计端,未能有效打通后端施工端与运维端,无法为建筑全生命周期提供数智化赋能。

本文将钢结构模块化住宅建筑应用于乡村宜居房建设,结合数智化技术,将人工智能生成内容(AIGC)、三维设计平台(Unity 3D)及智能布局算法等数智化手段应用于建筑设计、建造和运维全过程,实现数据跨端流通,推动钢结构模块化住宅设计、建造与运维的一体化落地及应用,为打造安全、舒适、绿色、智慧的“好房子”提供实践案例。

1 总体技术路径

1.1 设计、建造和运维的一体化工作流程

与传统建筑设计建造的工作流程不同,本文采用AIGC、三维设计平台、智能排布算法等数智化手段,基于统一平台实现钢结构模块化住宅设计、建造和运维的一体化,核心工作流程如图1所示。

首先,在设计建造前期,依托AIGC辅助设计完成建筑多风格方案设计;其次,基于确定的建筑方案开展三维设计,包括房型定制、平面户型定制、内装设计及外立面设计;根据建筑设计数据,程序依拖结构布置算法自动完成梁柱、楼板的生成;同时依据设计数据实现机电管线的自动排布。完成建筑、结构和机电数据存储后,可导出BOM清单、CAD图纸,同时根据交付的三维模型生成模块施工动画。最后,借助Unity3D强大的渲染功能完成房屋整体三维渲染,并交付3D模型,为后续房屋运维提供支撑。

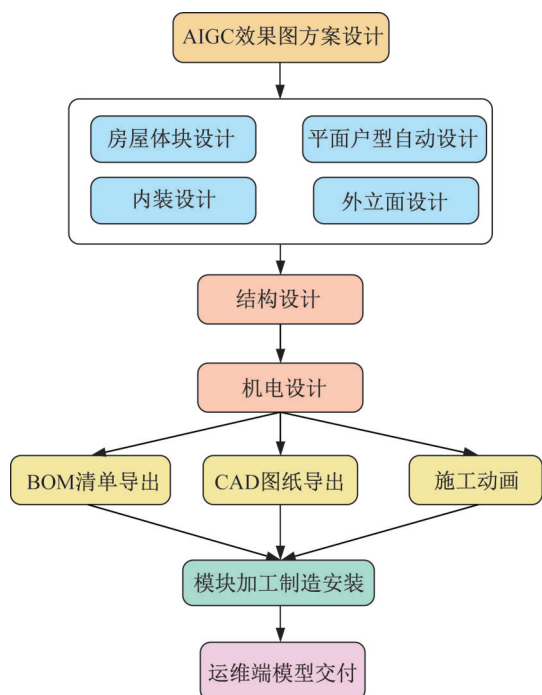


图1 一体化工作流程

Fig. 1 Integrated workflow

1.2 数字化平台的技术路径

打造钢结构模块化住宅建筑数字化平台开发并搭建全 workflow,核心技术难点包括:AIGC 模块中钢结构模块化住宅建筑风格的 AI 训练、房屋模块化拼接及其在 Unity 中的三维实现、模块化住宅室内户型的自动设计算法。

1.2.1 AIGC在风格生成与方案优化中的应用流程

1) 数据采集与预处理

系统收集并分析大量相关数据集,包括传统建筑样式、现代设计案例、装饰元素及材质配色等,对采集的图像、模型数据进行分类标注,每种风格配套 100 余张图片的分类标注成果,形成适用于 AI 训练的高质量数据集,通过 LORA 训练构建多样化风格数据库。

2) 风格生成模型

利用模型完成建筑外观和装饰风格的生成,经过多次迭代输出高质量的设计风格。同时,将徽派建筑马头墙、江南水乡白墙黛瓦等传统建筑融入设计,实现地域特色与现代设计的融合。

3) 方案优化

用户输入功能需求、风格特征等参数,模型结合反馈数据动态调整生成模型,使设计方案更贴合实际需求。

4) 实时交互与调整

平台支持用户通过交互界面调整设计需求, AI 实时生成新方案并进行动态可视化展示。用户可修改材质、颜色、布局等设计参数,系统实时计算并更新设计效果;

同时,平台提供平面图、三维模型、材质贴图等多种视图模式,方便用户全方位了解设计方案。

1.2.2 Unity 三维平台架构与模块拼接功能

1) 平台架构设计

平台采用模块化设计理念,将系统功能分为平面布局、室内设计、外观生成、渲染展示等多个子模块。各模块独立运行,并通过标准化接口实现互联互通,既能确保功能独立性,又能实现数据的动态交互。同时,平台建立与 AIGC 模块、算法模块、CAD 系统等外部系统的数据接口,实现数据无缝传递。此外,Unity 引擎的高性能实时渲染功能,能让用户直观查看三维设计效果,实现设计过程实时交互。

2) 模块拼接

平台支持用户通过组合不同模块创建复杂三维模型,用户可通过拖拽、旋转、缩放等直观交互操作,在三维空间中完成设计。平台系统内置智能捕捉功能,确保模块间的拼接精度,避免出现重叠、空隙或不规则连接;智能调整功能通过空间约束算法自动调整模块位置和比例,确保设计符合规范。本文以模块化作为建筑基本单元,房屋体块设计均基于模块开展,其模块拼接逻辑包括:

(1) 同一平面位置的模块长度、宽度保持一致,高度可灵活调整;同一位置的模块其平面尺寸长、宽是可调整的,结合实际使用需求,设定面宽范围为 3.0~3.6 m;进深范围为 9~13 m。

(2) 模块间仅支持 y 方向的移动或错位,错位时需保证人流控制线位于同一水平直线上;此外,左侧首个与第二个体块的底部需保持平齐(图 2)。

(3) 建筑从 1 层开始向上累加,最多可建 5 层;相邻体块之间必须实现有效连接,错动后相应墙体同步调整。

1.2.3 算法支持的室内布局功能设计

模块化住宅的户型排布算法涉及模块的拆分与实现、建筑室内布局功能实现及配套部品部件衔接等多个方面。需将建筑学问题转换为数学问题,再通过代码将数学问题转化为建筑平面解,这需要具备建筑专业背景且掌握代码开发能力的工程师进行合理拆分与实现。

模块化住宅的布局规划需考虑两个约束问题:尺寸约束和功能约束。尺寸约束明确各房间的大小范围,而功能约束根据房间的使用功能确定各模块单元的位置要求。几何平面布局的核心,是在二维笛卡尔空间中搜索一组位置与大小相互关联的最佳单元,其中每个单元均为实现特定建筑功能的矩形正交空间。模块建筑由若干个矩形模块单元组成,形体上几乎是规则的,且存在固定模数限制,仅可调整模块单元的长、宽与位置,因

此可通过对箱体模块进行拖动实现平面排列组合和多层堆叠,借助模块单元的新增、合并、分割或错动,形成不同的建筑形态。平台提供预设空间划分方式,可快速修改模块平面空间布局。如图2所示,在空间划分、功

能调整与尺寸优化过程中,会不断更新墙柱模型,系统将根据建筑不同部位生成不同厚度的墙体及结构,并同步调整对应门窗洞口的位置与类型,实现空间划分的实时动态变化。

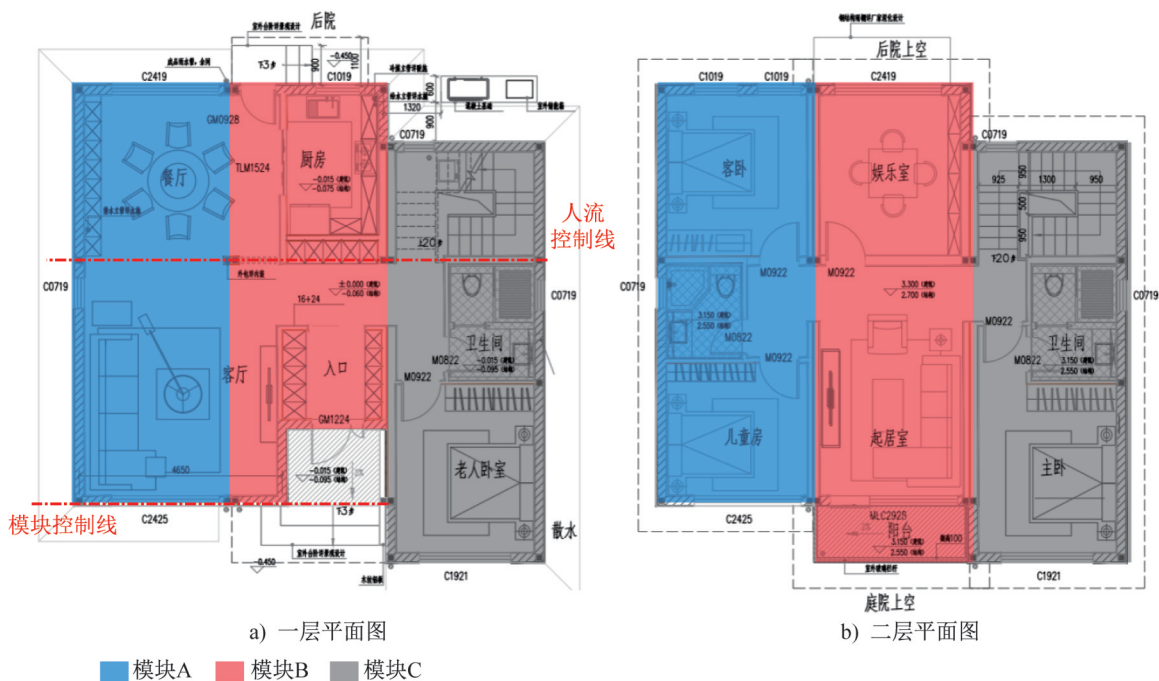


图2 平面户型及其模块化布局

Fig. 2 Floor plan and its modular layout

1) 建筑平面排布算法逻辑

结合模块化房屋建筑排布逻辑及专家系统分析,将乡村宜居房的房屋模块梳理为6种不同布局形式(图3),通过调整模块自身尺寸及模块间的布局尺寸,完成建筑平面布局设计。具体排布流程如下:

(1) 用户对每层各模块选择对应布局形式,算法根据模块间的逻辑关系自动完成墙体分隔,并对模块错动位置的墙体进行自动删除、填充或闭合。

(2) 算法根据模块间的关联关系,在墙体几何点(墙体转折、交叉点处)处自动打断墙体并进行序列化处理,将打断后的墙体分为三类:外墙、室内分隔墙、室内薄分隔墙(如卫生间隔墙),并将不同类型墙体赋予不同属性。

(3) 用户选择模块内部房间功能后,程序调用预设门洞尺寸,用户可自主修改门洞尺寸与位置,也可对序列化后的墙体进行删除或增加,优化人流动线;随后,用户可添加窗户,并自定义修改窗户的尺寸、外观与位置等。

(4) 用户选择房间功能后,程序将根据功能匹配多种室内家具排布方案,房间功能调整后,系统将根据用户需求自动切换室内布局并生成实时渲染效果,同时支持用户手动自定义添加室内部品部件。

空间类型

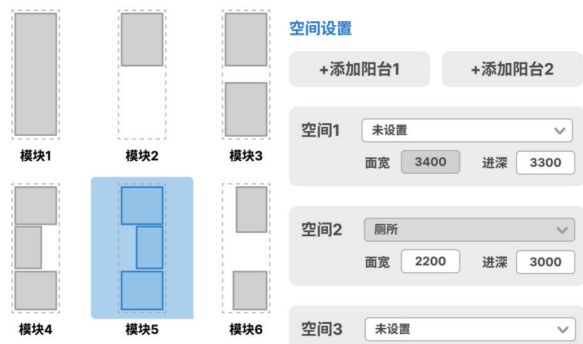


图3 6种不同的模块功能布局

Fig. 3 Six different module function layouts

2) 结构算法逻辑

(1) 结构柱生成:模块四个角各设置1根柱子;若两个模块发生错动,在角柱旁增设1根柱子;楼梯间四角、卫生间靠墙两角各增设1根柱子;同时,在图2所示人流控制线位置布置结构柱。

(2) 梁体搭建:柱体之间通过主梁搭接连接;次梁沿框架梁x向密铺,若次梁与框架梁间距小于50mm则取消该次梁;模块底部次梁按400mm间距从上往下布置;

据架构如图6所示,核心设计如下:

(1) 阿里云存储

考虑到项目实际应用场景遍布全国各地,平台采用阿里云作为数据存储载体,所有相关数据均通过Json格式进行相互传输,Json数据包含了项目全维度信息,具体的数据E-R图见图5。

(2) 设计模型数据保存

程序基于数据E-R图制定统一格式的Json数据包,涵盖模块、房间、建筑、结构、机电设备、室内部品及装饰等各个信息,所有数据自动储存至云服务器上,并支持实时数据传输。

(3) 与成果交付模块接口

平台基于Json文件开发了CAD接口,通过读取Json文件中的房屋平面布局、结构信息等,自动生成CAD图纸;同时,根据模块信息、部品部件等信息生成BOM清单。

(4) 运维端接口

依托成熟的Unity端运维开发经验,平台借助Unity 3D强大的可视化能力,结合三维模型与机电管线、设备数据,开展运维端开发工作,并在方案设计初期预留相应数据接口。

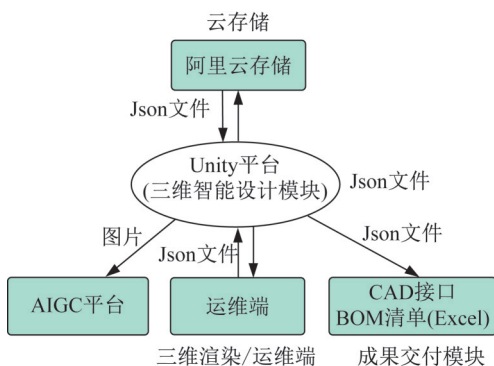


图6 平台数据架构

Fig. 6 Platform data architecture

2.2 建筑方案设计—AIGC辅助设计模块

AIGC辅助设计模块是依托人工智能技术辅助设计师开展创作的创新系统。为实现乡村宜居住宅的多样化设计,项目团队开展系统性数据采集与预处理工作,收集传统民居样式、装饰元素、色彩搭配、地域特色等大量乡村建筑风格数据,为AIGC技术应用奠定了坚实数据基础;产品风格效果如图7所示,数据涵盖了江南、海派、乡野等典型风格,形成高质量的风格数据库。同时,团队对地域文化、居民生活习惯与环境特点等进行了深入研究,将其转化为可供机器学习的设计参数。以江南风格为例,设计融入白墙黛瓦传统元素,同时增设大面积玻璃、采用流线型布局,提升建筑通透感与实用性;海派风格注重现代与复古的平衡,彰显开放性与精致感。通过迁移

学习,将本地传统建筑风格与现代建筑设计理念相结合,不仅保留了地域特色,还满足了现代居住的功能性与美观性需求,实现乡村住宅设计的多样化与个性化。

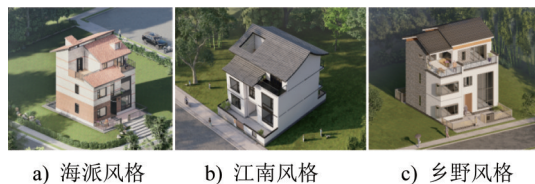


图7 建筑风格

Fig. 7 Architectural style

用户可根据自身设计需求灵活调整设计参数,实现设计的多样性与可拓展性。例如,用户可通过平台实时修改住宅屋顶造型与材料,平台提供瓦片、金属板、防水涂层等多种屋面材料,用户可结合经济预算、耐久性和美观需求进行选择,根据实际应用场景打造多样化的生活空间与多层次生活方式。

2.3 建筑智能设计—三维智能设计和渲染模块

三维平台架构以模块化设计为核心,整体流程分为项目管理、房型定制设计、项目设计三个阶段。在项目管理阶段,平台提供项目创建、命名、存储与版本管理功能,用户可定义项目目标、存储项目初始数据,同时支持多人协作与权限管理;在房型定制设计阶段,平台以核心模块为基础,拆解为房屋体块设计、平面户型设计等子模块,其中房屋体块设计通过参数化设计功能,支持用户调整房屋尺寸、比例、层高等基本形态;平面户型设计支持用户对房屋的内部空间进行分割和配置,如调整房间数量、面积与功能。

项目设计阶段包括内装修设计、建筑外立面设计、结构设计和机电设计。建筑外立面设计模块则根据建筑形态与空间设置自动生成外观效果,支持用户通过界面调整材质与样式;同时,房型定制功能通过与AIGC模块、算法模块建立数据接口,实现跨模块数据流转与同步,提升设计效率。在项目设计阶段,用户可整合房型定制结果进一步完善内装修设计,包括软装、硬装及家电家具设计,同时通过可视化的三维建模功能获得实时渲染效果,并与算法模块联动获取优化设计方案推荐。

在模块设计方面,遵循“模块种类越少、整体造价越经济”的原则,将模块箱体尺寸限制为长度 ≤ 13 m、宽度 ≤ 3.6 m、高度 ≤ 3.3 m,便于模块运输。用户可利用模块拼接功能,通过选择、拖拽等方式快速搭建三维模型,系统内置的空间约束算法可智能调整拼接模块的位置与比例,确保设计结果符合规范。乡村宜居房产品采用两种五模块设计方案,如图8所示,模块占比约2/3,既保证建筑形态的多样性,又兼顾项目经济性。

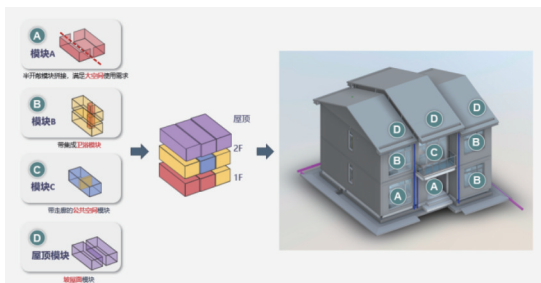


图8 模块设计

Fig. 8 Modular design

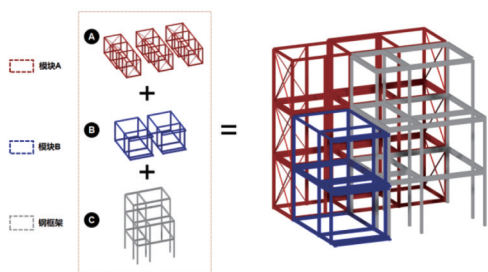


图9 结构体系

Fig. 9 Structural system

在结构设计方面,平台依据钢结构模块化住宅设计相关规范,采用钢框架模块化结构体系,通过可靠节点实现连接,保障建筑整体的抗震性能和安全性^[10](图9)。模块化钢框架的钢柱采用方钢管,钢梁采用热轧型钢梁,模块构件的标准化与工业化生产便于其集中采购。平台开发时,将结构模块的主梁、次梁、结构柱的生成逻辑内置到程序中,可基于建筑户型与模块分隔逻辑生成相应的结构构件,并充分考虑模块间的拼接需求(图10);对于坡屋顶屋架,程序同样内置桁架布置逻辑,实现自动设计。

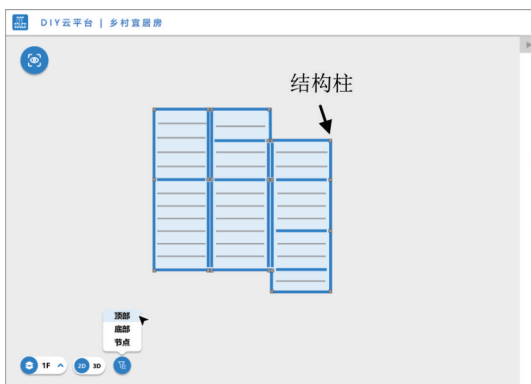


图10 结构平面图生成

Fig. 10 Structural floor plan generation

模块中预设机电系统设计方案,重点聚焦给排水和暖通系统布局,结合建筑结构复杂性,提供同层与跨层管道布局解决方案。系统将管道排布分为固定与可变两类,以适配不同空间布局需求:厕所、厨房等卫浴设备摆放位置为固定不变的区域,目的是给排水管道排布保持

固定;空调等终端设备的管道布局,可根据空间位置灵活调整适配,满足空间布局变化需求。

2.4 成果交付—快速导出与落地对接

成果交付模块支持生成详细的施工图纸、物料清单(BOM)、施工动画,同时可输出3D模型与渲染图片。其中,BOM清单和CAD图纸为生产施工提供精确的数据支撑,图纸与清单按楼层、专业分类整理,确保信息清晰、易于管理;部品数量统计功能可清晰呈现各组件的需求数量。结构构件可根据结构模型自动导出尺寸与图纸,并通过归并算法将构件采购种类优化至合理数量;机电管道长度计算与连接件数量估算,均基于实际机电系统管线排布开展,确保了施工准确性。通过与生产管理系统对接,设计方案可精准转化为生产指令。

安装指导模块通过提供详尽的安装流程模拟与动画展示,为施工团队呈现清晰的三维施工动画,让施工人员直观理解各施工步骤,保障施工过程的高效与准确,减少施工失误与返工概率。

3 案例研究与分析

3.1 典型运用案例分析

本文以上海某钢结构模块化乡村住宅项目为例进行研究,该项目依托本平台开展数字化设计,通过运用AIGC辅助设计模块及三维数字化设计平台,大幅提升了方案设计的效率与速度。在设计深化落地阶段,设计团队综合权衡造价成本与施工工艺,在坚守建筑品质、彰显文化特色的基础上,实现经济可行性与工程实操性的完美融合,成功打造了兼具文化魅力与实践价值的乡村宜居房建设典范,为后续同类项目提供了宝贵的参考与借鉴。

3.1.1 AIGC效果图生成的运用

在前期设计阶段,设计团队实地走访调研当地民居特色,深入钻研地域文化内涵,深度挖掘独有文化精髓,并将相关素材导入AI平台。设计团队借助AIGC强大的图像生成能力,输入江南水乡、白墙黛瓦、飞檐斗拱等关键设计元素与风格关键词,快速获得一系列丰富多样的建筑外观效果图(图11)。这些效果图展示了乡村宜居房的多种设计可能性,极大拓宽了设计团队的思维视野,为后续设计方向选择提供了多元路径。

3.1.2 三维数字化设计平台的运用

该项目依托Unity平台搭建三维数字化平台,快速完成了房屋体块生成、各模块内的平面户型布局(图12),并在此基础上高效完成模块内装设计和外立面生成。同时,基于建筑三维模型与数据,一键生成了符合规范要求的钢结构模块(图13),并完成机电管线的内置布置(图14)。



图 11 AIGC 生成不同风格效果图

Fig. 11 AIGC generated renderings of different styles

际施工要求,可直接应用于后续房屋运维;同时程序支持 2D 与 3D 视图双向切换,其数据结构可实现外观、内装、结构、机电等不同专业间部品部件的显示切换(图 14)。

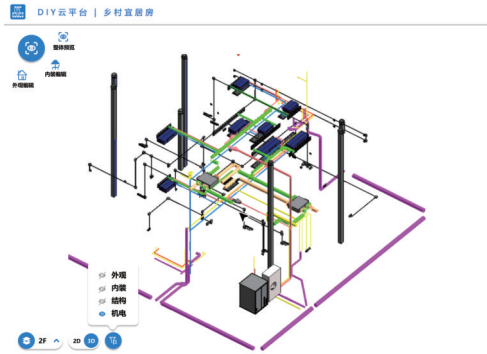
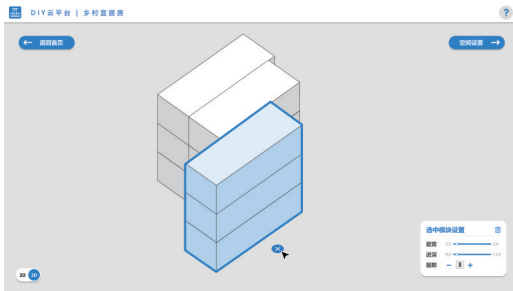
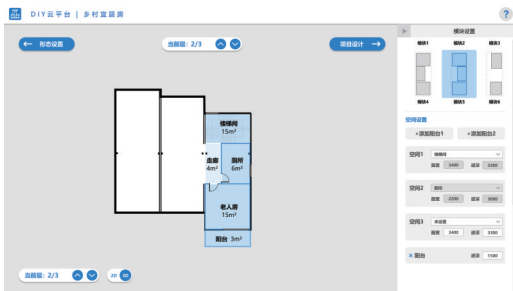


图 14 机电管线自动生成

Fig. 14 Automatic generation of mechanical and electrical pipelines



a) 房屋体块生成



b) 平面空间快速生成

图 12 建筑设计

Fig. 12 Architectural design

3.1.3 施工端应用

基于设计数据,用户可在三维数字平台上依托建筑三维模型导出BOM清单(图 15),清单涵盖模块清单、结构构件清单、家具家电清单和机电清单。此外,平台可通过 CAD 数据接口,自动生成建筑平面图、结构图等 Dxf 格式图纸;同时,可基于模块的安装过程生成施工动画,为现场施工提供可视化指导,见图 16。

总计		¥ 290,335.50			
产品名称	规格尺寸	材质	数量	综合单价	合计金额
模块1-1	9400*3400*3300	model1_1_dwg	1	27477.5	27477.5
模块1-2	9400*3400*3300	model1_2_dwg	1	33550	33550
模块1-3	9400*3400*3300	model1_3_dwg	1	27825	27825
模块2-1	9400*3400*3260	model2_1_dwg	1	27825	27825
模块2-2	9400*3400*3260	model2_2_dwg	1	28575	28575
模块2-3	9400*3400*3260	model2_3_dwg	1	27825	27825
总计	1200*3400*1100	bakery.dwg	1	6250	6250

图 15 BOM 清单生成

Fig. 15 BOM list generation

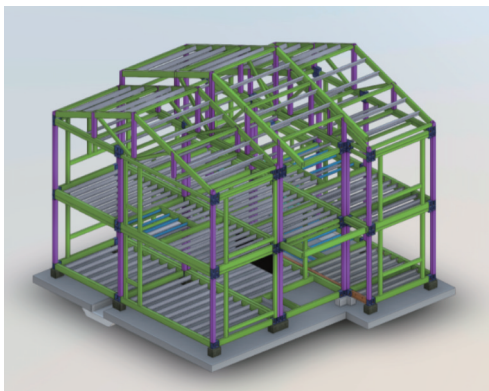


图 13 模块化结构自动生成

Fig. 13 Automatic generation of modular structures

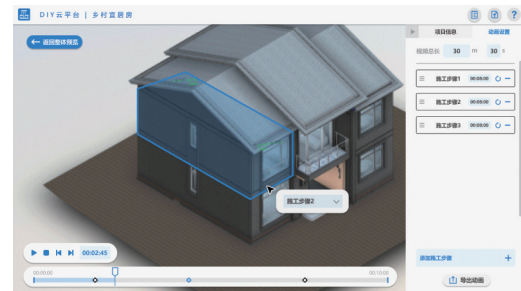


图 16 施工动画

Fig. 16 Construction animation

生成的模块化钢结构模型与机电管线模型均为三维模型,模型实体附带多重属性,构件尺寸与定位均满足实

3.1.4 房屋运维及其应用

建成后的钢结构模块化乡村宜居房如图 17 所示。

房屋运维涵盖了建筑竣工后的设施管理、维护计划、故障诊断等工作,包括对建筑内部设施的有效管理,以及定期维护计划的编制与实行。这些运维保障措施不仅能提升建筑的管理效率,还能有效延长建筑使用寿命,为建筑的可持续发展提供坚实保障。



图 17 钢结构模块化乡村宜居房实际案例

Fig. 17 Practical case of steel structure modular rural livable houses

本项目依托三维数字化设计平台,将建筑墙体、部品、家具电器、装修部件、结构构件、机电管线均构建为三维模型,模型实体附带材质、尺寸、定位等多种信息;结合 Unity 强大的渲染功能,生成的三维模型能够用于后续房屋运维,为建筑的智能化运营提供了坚实基础。

3.2 与传统设计流程对比

在模块化乡村宜居房建设中,数字化设计已逐步成为提升项目效率与精度的关键技术手段。与传统的线性设计流程相比,数字化设计流程展现出明显的智能化特性。传统设计流程需经过多轮人工沟通与修改,周期长、误差高,难以满足复杂项目设计需求;而通过三维数字化平台(图 18),设计团队可快速生成多个设计方案并进行可行性分析,实现设计效率的成倍提升。此外,建筑设计受多种因素影响,且各因素往往相互矛盾,设计师仅依靠个人经验难以实现最优设计;而基于数字化的智能优化算法,能够更客观地评估设计解决方案,根据优化目标整合多个相互冲突的设计要求,确定最优权衡方案。同时,数字化设计工具通过引入平面自动生成、AIGC 效果图生成、三维平台协作等 AI 技术,将传统手动设计中的误差降至最低,设计效率提升约 30%。依托从概念设计到施工图纸的全流程数字化技术,不仅能实现多专业协同设计,还能大幅缩短设计周期,减少传统设计中因信息不对称导致的返工问题。

三维数字化平台具备直观的视觉体验与友好的用户体验,这也是传统方法难以实现的。通过三维数智技术,

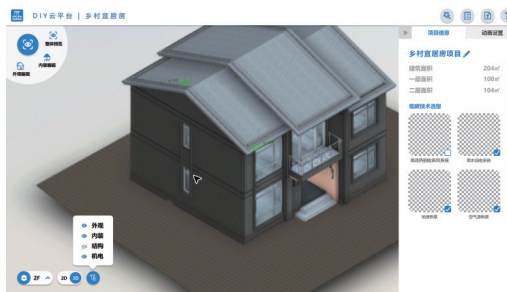


图 18 三维数字化平台

Fig. 18 3D digital platform

从早期设计到后期维护,用户均可通过可视化平台实时跟踪项目进展,保障项目顺利实施。通过搭建数字化平台,设计团队可与当地政府、施工方、居民开展实时沟通,大幅降低沟通成本,提升用户体验。模块化建筑的配置平台支持用户通过选择模块化部件与设计风格,实现住宅的高度个性化。同时,将 3D 模型与三维数字化技术相结合,让居民能够直观体验房屋设计效果,并提出优化建议。这种基于用户反馈的迭代设计模式,不仅增强了设计的用户友好性,还提高了用户的参与感和满意度。

4 结论

本文探讨了数智化手段在钢结构模块化乡村宜居房建设中的应用路径。基于 Unity 3D 平台,融合 AIGC、建筑三维数字设计与平面智能布局算法,依托统一平台与统一数据标准,将数智化技术应用于建筑设计、成果交付与运维全过程,实现数据跨端流通,推动钢结构模块化住宅设计、建造与运维的一体化落地,助力打造安全、舒适、绿色、智慧的“好房子”。同时,以上海某钢结构模块化乡村宜居房项目为案例,介绍了三维数字平台在实际项目中的应用效果,主要研究结论如下:

(1) 依托 Unity 3D 平台,基于统一数据标准,融合 AIGC、建筑三维数字设计与平面智能布局算法,结合建筑、结构、机电的功能逻辑,开发完成钢结构模块化住宅建筑三维数字设计平台,成功实现设计、建造与运维的一体化落地。

(2) 将三维数字平台应用于实际项目设计,实现了前期方案设计阶段的 AIGC 多风格方案生成、模块化房屋体块设计、户型自动设计,以及内装设计、外立面设计、结构设计、机电设计等全流程功能;通过数字化技术生成的 BOM 清单与 CAD 图纸可直接用于生产加工,同时可生成施工动画辅助现场安装;最终生成的高精度模型,在 Unity 强大的渲染功能支撑下,可直接应用于后续房屋运维。

(3) 依托三维数字平台开展数字化设计与建造,能有效减少多专业协调失误,大幅提升设计效率,降低施工

返工率;同时,三维数字化平台具备的直观视觉体验与友好用户体验,为后续建筑领域数字化设计、数字化建造与数字化运维奠定了坚实基础,同时有效提升了用户的参与感与满意度。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国中央人民政府.中央农村工作会议在京召开习近平对做好“三农”工作作出重要指示[EB/OL].(2024-12-18)[2025-03-17].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202412/content_6993406.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. The Central Rural Work Conference was held in Beijing and Xi Jinping gave important instructions on doing a good job in "agriculture, rural areas, and farmers" work[EB/OL].(2024-12-18)[2025-03-17].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202412/content_6993406.htm.(in Chinese)
- [2] 杨晓杰,陆焯,顾超,等.新型多高层钢结构箱式模块建筑的设计[J].建筑钢结构进展,2016,18(5):41-47,72.DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2016.05.006.
YANG Xiaojie,LU Ye,GU Chao,et al.Structural design of steel modular high-rise and multi-story buildings[J].Progress in Steel Building Structures,2016,18(5):41-47,72.DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2016.05.006.(in Chinese)
- [3] 刘宜丰,姜雪,叶美琳,等.模块化冷弯薄壁型钢结构体系低层村镇住宅设计研究[J].建筑科学与工程学报,2024,41(3):86-97.DOI:10.19815/j.jace.2022.10061.
LIU Yifeng,JIANG Xue,YE Meilin,et al.Design research of low-rise village houses with modular cold-formed thin-walled steel structure system[J].Journal of Architecture and Civil Engineering,2024,41(3):86-97.DOI:10.19815/j.jace.2022.10061.(in Chinese)
- [4] 马思齐.英国模块化钢结构集合住宅研究[D].西安:西安建筑科技大学,2022.
MA Siqi.Studies on modular steel multifamily residential in UK[D].Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology,2022.(in Chinese)
- [5] 缙毅立,陈俊,宗德新,等.装配式轻钢结构乡村住宅模块化设计研究:以重庆为例[J].小城镇建设,2024,42(2):94-103.DOI:10.3969/j.issn.1009-1483.2024.02.012.
GOU Yili,CHEN Jun,ZONG Dexin,et al.Research on modular design of prefabricated light steel structure rural houses:Taking Chongqing as an example[J].Development of Small Cities & Towns,2024,42(2):94-103.DOI:10.3969/j.issn.1009-1483.2024.02.012.(in Chinese)
- [6] 于小菲,胡惠琴,郑丽娜.钢结构农村住宅模块化设计方法初步研究[J].建筑学报,2011(增刊2):132-137.
YU Xiaofei,HU Huiqin,ZHENG Lina.Preliminary study on modular design method for steel structure rural houses[J].Architectural Journal,2011(Suppl.2):132-137.(in Chinese)
- [7] 廖文杰,陆新征,黄羽立,等.剪力墙结构智能化生成式设计方法:从数据驱动到物理增强[J].土木与环境工程学报(中英文),2024,46(1):82-92.DOI:10.11835/j.issn.2096-6717.2022.078.
LIAO Wenjie,LU Xinzhen,HUANG Yuli,et al.Intelligent generative structural design methods for shear wall buildings:From data-driven to physics-enhanced[J].Journal of Civil and Environmental Engineering,2024,46(1):82-92.DOI:10.11835/j.issn.2096-6717.2022.078.(in Chinese)
- [8] 陈圣格,周婷,陈志华,等.模块建筑参数化平面优化及智能化结构设计方法[J].重庆大学学报,2021,44(9):51-66.
DOI:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.09.006.
CHEN Shengge,ZHOU Ting,CHEN Zhihua,et al.Parametric plan optimization and structural intelligent design method of modular steel buildings[J].Journal of Chongqing University,2021,44(9):51-66.DOI:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.09.006.(in Chinese)
- [9] 常明媛,朱劭骏,陈韬,等.模块化钢结构建筑平面布局方案智能生成式设计方法[J].建筑钢结构进展,2024,26(2):83-89,103.DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2024.02.009.
CHANG Mingyuan,ZHU Shaojun,CHEN Tao,et al.Intelligent generative method for the planar layout of modular steel building structures[J].Progress in Steel Building Structures,2024,26(2):83-89,103.DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2024.02.009.(in Chinese)
- [10] T/CECS 507—2018 钢结构模块建筑技术规程[S].
T/CECS 507—2018 Technical specification for steel modular buildings[S].(in Chinese)