

# 智能建造与 AI 数字应用在建筑领域的融合与创新

杨松

广东广州 510000

DOI:10.61369/ERA.2025120023

**摘要：** 介绍智能建造体系架构在建筑设计阶段的延伸应用，包括三层技术架构及设计环节功能，阐述 AI 驱动的设计优化算法等相关原理，强调在方案生成、性能模拟、构件预制设计等建筑设计方面的应用，还涉及基于 BIM 的设计施工一体化协同等内容，同时提及含设计合理性指标的智能建造系统评价模型及未来研究方向。

**关键词：** 智能建造；机器人；PLC

## The Integration and Innovation of Intelligent Construction and AI Digital Applications in The Field of Architecture

Yang Song

Guangzhou, Guangzhou 510000

**Abstract：** This paper introduces the extended application of intelligent construction system architecture in the architectural design stage, including the three-layer technical architecture and functions in design links, elaborates on relevant principles such as AI-driven design optimization algorithms, emphasizes its application in architectural design aspects like scheme generation, performance simulation, and prefabricated component design, and also involves BIM-based integrated design and construction collaboration. At the same time, it mentions the intelligent construction system evaluation model including design rationality indicators and future research directions.

**Keywords：** intelligent building; robot; PLC

### 引言

随着《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（2020年）等政策的颁布，智能建造在建筑领域的应用从施工向全生命周期延伸，建筑设计的源头引领作用日益凸显。智能建造涵盖多层技术架构，其感知、决策和执行层在设计阶段均有重要应用。AI 设计优化算法、BIM 协同设计原理及参数化建模技术等是构建设计-施工一体化系统的关键。在方案优化、性能模拟、预制构件参数化设计等方面均有相关技术研究与应用。这些技术的发展旨在通过设计优化提升施工效率和质量，推动智能建造向设计引领模式发展。

## 一、智能建造与 AI 数字技术的理论框架

### （一）智能建造体系架构的设计维度

智能建造三层技术架构在设计阶段形成特色应用。感知层负责收集设计基础数据，如激光扫描获取场地三维信息、传感器采集气候参数等<sup>[1]</sup>。决策层基于数据运用 AI 算法优化设计方案，例如在 BIM 中通过遗传算法优化建筑体型系数以降低能耗，自动检测设计冲突。执行层将设计意图数字化传递，如参数化设计模型直接生成施工机器人指令。数字孪生技术在设计预演中价值显著，创建虚拟模型模拟采光、通风等性能，预演施工流程以优化设计方案，减少后期返工。

### （二）设计驱动的核心技术原理

AI 设计优化算法是设计精准化的核心，通过机器学习挖掘历

史项目数据，自动生成多组设计方案并优化能耗、结构稳定性等性能指标<sup>[2]</sup>。PLC 逻辑控制原理赋能设计流程自动化，将建筑规范转化为可执行逻辑规则，实现构件配筋率、尺寸偏差等参数的实时合规性校验。伺服系统的精密定位特性为参数化设计提供技术支持，确保建模设备达成毫米级精度，通过构建“设计参数-施工控制参数”的直接映射关系，保障设计意图从虚拟模型到实体建造的精准落地。

## 二、设计-施工协同：技术集成与实现路径

### （一）基于 BIM 的设计施工协同规范

在机电设计环节，BIM 平台通过全专业数据集成构建设计与机器人-PLC 系统的协同核心。设计阶段依托 BIM 可视化功能完

成管线综合优化，为机器人安装制定毫米级精准基准，地基预埋的标高偏差、轴线定位等关键参数均直接从模型中提取并固化为施工标准<sup>[9]</sup>。针对高温、潮湿、多尘等不同建筑环境，在 BIM 模型中提前嵌入机器人专项防护方案设计：高温环境明确散热装置功率与安装间距，潮湿环境标注防水密封等级与线缆防护标准，多尘环境预设空气过滤系统参数，使设计要求通过模型数据无缝传递至施工环节，实现从源头对设备适配性的精准管控。

### （二）设计导向的智能调试技术流程

构建以 BIM 为数据源头的 PLC 闭环调试体系，设计阶段即在模型中建立设计参数与 PLC 信号的关联映射，完成机器人 I/O 信号的预配置与逻辑校验，确保信号传输逻辑与设计功能需求完全匹配<sup>[9]</sup>。利用 BIM 协同软件模拟机器人运动轨迹，通过碰撞检测验证设计方案的可施工性，同步在模型中优化布线路径：采用强弱电分区隔离、关键线路屏蔽层包裹等设计措施，并标注接地电阻值等抗干扰参数，使调试阶段的信号稳定性从设计环节得到保障，有效减少调试返工，确保设计意图向施工效果的精准转化。

## 三、伺服驱动系统在建造场景的应用创新

### （一）设计驱动的运动控制优化

#### 1. 参数化轨迹规划

在异形构件与复杂形态设计中，伺服驱动系统的多轴联动轨迹规划算法成为设计落地的核心支撑。以自由曲面幕墙、双曲屋面等复杂构件设计为例，设计阶段通过运动学正逆解算法，将建筑形态参数转化为机器人各轴运动参数，精准计算加工轨迹的加速度、角速度阈值。同时在 BIM 模型中模拟轨迹可行性，提前规避构件曲率与机器人臂展的冲突、运动干涉等问题，确保设计形态无需因施工设备限制妥协。这种“设计形态 - 轨迹参数”的直接关联，既保留了建筑美学的设计自由度，又通过伺服系统的精准控制保障了施工精度<sup>[9]</sup>。

#### 2. 负载适应性设计

伺服系统的实时载荷反馈为重型构件设计提供了动态优化依据。在钢结构柱、预制墙板等重型构件设计阶段，通过采集伺服电机电流反馈的负载数据，建立载荷与构件应力的关联模型。据此优化构件连接节点的螺栓选型、焊缝高度等参数：如针对大跨度构件吊装时的动态载荷，增加节点加强肋设计；根据伺服系统的过载预警阈值，调整构件自重分布。这种设计与施工载荷特性的协同优化，既避免了设计冗余导致材料浪费，又通过伺服系统的自适应控制提升了施工稳定性<sup>[9]</sup>。

### （二）设计装备系统集成创新

#### 1. 模块化设计接口

模块化设计接口聚焦 BIM 与施工设备的数据联通，其核心是满足 IP65 防护等级的 BIM-PLC 通讯模块。该接口通过标准化数据协议，将 BIM 模型中的构件尺寸、安装精度等设计参数自动转化为 PLC 可识别的控制指令，实现设计模型与机器人、生产线等施工设备的即插即用。在设计变更时，接口能实时同步模型参数更新，如调整预制构件开孔位置后，10 分钟内即可完成设备参数

重置，大幅缩短响应周期。同时模块化架构支持新增设备的快速接入，为不同项目的设备组合提供灵活扩展能力，强化设计与施工的协同效率<sup>[7]</sup>。

#### 2. 设计优化边缘节点

边缘节点将 AI 推理模型与设计终端深度集成，构建“施工数据 - 设计参数”的动态优化闭环<sup>[9]</sup>。节点实时采集伺服驱动系统的位置偏差、扭矩波动等数据，通过轻量化 AI 模型分析施工过程中的精度偏差原因：如发现预制构件安装间隙超差，自动反推设计阶段的构件公差设置是否合理；根据伺服电机的能耗数据，优化构件减重设计参数。这种基于施工实时数据的设计优化，使方案能动态适配现场条件，如调整幕墙龙骨角度补偿安装误差，既保障设计意图落地，又通过精准参数调整提升建造质量稳定性。

## 四、智能建造系统实证研究

### （一）预制构件设计优化案例

#### 1. 参数化设计方案

在预制构件设计中，视觉引导技术与参数化设计形成深度协同模式。设计阶段通过视觉传感器捕捉钢筋网片绑扎场景信息，构建机器人运动轨迹与设计参数的关联模型。基于机器人作业特性反推钢筋布局、节点锚固等核心设计要素，在 BIM 平台中生成适配施工需求的参数化模板<sup>[9]</sup>。这种设计方法通过精准对接机器人操作逻辑，避免因设计与施工适配性不足导致的调整，使钢筋网片设计更贴合自动化施工流程，有效提升设计方案的可实施性，推动预制构件生产从设计源头实现高效协同。

#### 2. 设计能效评估

智能建造评价模型将设计合理性作为核心维度纳入能效评估体系。评价指标聚焦设计对全流程能效的影响，其中构件标准化设计通过减少设备换型频率提升整体效率，规范统一的设计参数使施工设备运行更稳定。同时，设计阶段通过 BIM 模拟优化构件生产各环节流程，从浇筑顺序到养护方式的设计优化，直接降低能源损耗。这种以设计为起点的能效评估，实现了设计意图与施工能耗、设备效率的有机衔接，形成闭环式能效管控机制<sup>[10]</sup>。

### （二）超高层设计与施工协同

#### 1. 伺服顶升设计适配

超高层巨型钢柱设计阶段注重与伺服顶升系统的技术适配。通过 BIM 平台模拟钢柱吊装全过程受力状态，将伺服系统的承重特性、同步精度等技术参数纳入设计考量。针对钢柱截面尺寸、节点连接刚度等关键设计要素进行优化，确保结构特性与液压伺服集群控制技术相匹配。这种设计与施工技术的提前协同，在保障结构安全的前提下，通过优化构件设计减少施工中的技术适配障碍，推动吊装过程更顺畅，体现设计对施工效率的前置支撑作用。

#### 2. 设计误差溯源

依托数字孪生平台构建设计与施工的误差联动分析机制。设计阶段在模型中为关键节点预设合理误差阈值，明确各类施工工艺参数的设计依据。通过平台实时关联设计参数与施工精度数

据,分析偏差产生的设计层面原因。当出现施工精度问题时,可回溯设计参数的合理性,如节点构造、尺寸标注等是否适配施工工艺。通过这种设计与施工的双向追溯,及时调整设计细节以减少偏差,提升整体施工精度控制水平。

### (三) 设计驱动的智能运维

#### 1. 设计阶段健康预设

设计阶段为建筑全生命周期运维植入健康监测基准参数。基于 PLC 振动特性与伺服系统运行规律,在 BIM 模型中为构件连接节点等关键部位预设健康状态阈值。如钢结构连接节点明确振动幅度安全范围,预制构件接缝处标注位移偏差预警值。这些设计参数成为运维阶段故障诊断的重要依据,使运维人员能通过比对实际运行数据与设计预设值,及时识别潜在隐患,实现从设计源头为智能运维提供技术支持。

#### 2. 设计可靠性验证

通过长时间连续运行测试验证设计参数的实际可靠性,测试场景全面模拟各类施工环境条件。伺服驱动系统的核心运行参数均源于设计阶段的负载特性分析,确保设备运行状态与设计预期一致。测试过程重点验证设计参数对系统稳定性的影响,通过观察设备在复杂工况下的表现,评估设计方案对潜在问题的预判能

力。测试结果显示,经优化的设计参数能有效减少系统故障,充分体现设计阶段参数优化对提升整体系统可靠性的关键作用。

## 五、总结

在智能建造与 AI 数字应用的深度融合进程中,建筑设计的引领作用愈发凸显。设计作为工程全生命周期的源头环节,通过与 AI 算法、数字孪生等技术的结合,从根本上优化施工流程适配性,推动施工效率的提升与质量缺陷的减少。这种以设计为核心的协同模式,通过提前规避施工矛盾、优化资源配置,使初期技术投入得以在全流程中逐步摊薄,实现长期效益最大化。未来研究需进一步强化设计与建造的技术衔接,重点探索基于 5G-MEC 技术的远程协同设计模式,打破空间限制实现跨主体实时设计交互。同时,开发建筑设计专用模块化机器人,通过标准化接口与参数化设计适配,提升设计方案向施工转化的灵活性。这些方向将推动设计与建造从技术协同迈向深度融合,为建筑行业智能化转型提供核心驱动力。

## 参考文献

- [1] 吴德建. 智能建造水平与建筑业企业绩效关系研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2023.
- [2] 王水玲. 基于 IoT 的装配式建筑智能建造系统构建研究 [D]. 广州大学, 2021.
- [3] 刘世越. 路桥施工企业智能建造能力评价研究 [D]. 东北林业大学, 2023.
- [4] 杜鹏. 基于成熟度理论的施工企业智能建造能力评价模型与应用研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [5] 张晓龙. 适用于智能建造的装配式木结构研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [6] 付慧星. 装配式混凝土建筑的数字设计与智能建造 [J]. 江苏建材, 2022(3): 57-58.
- [7] 徐卫国. 从数字建筑设计到智能建造实践 [J]. 建筑技术, 2022, 53(10): 1417-1420.
- [8] 孙永庆, 张燕. 基于装配式建筑智能建造的思考与创新研究 [J]. 中国住宅设施, 2021(8): 47-48.
- [9] 潘毅. 建筑工业化与智能建造融合发展的路径探索 [J]. 建材发展导向 (下), 2022, 20(10): 52-54.
- [10] 燕斌. 智能建造技术在建筑工程领域中的应用 [J]. 建筑, 2024(5): 126-128.