

人工智能在建筑结构方案自动生成中的应用

李 雨

中国市政工程西南设计研究总院有限公司 四川 成都 610299

【摘 要】：建筑结构方案设计直接影响建筑安全、经济性与施工可行性。传统结构方案生成依赖设计人员经验，存在建模过程重复、方案比选周期长、结构受力与空间需求匹配不足等问题。人工智能可结合历史工程数据、结构计算规则和参数化建模技术，建立结构方案自动生成路径；通过机器学习识别结构布置规律，利用智能优化算法筛选梁柱体系、剪力墙布置和构件尺寸方案，并将结构性能校核嵌入生成过程。该方式能够减少人工反复调整，提高方案生成速度，增强结构布置的合理性，使建筑结构设计从经验驱动转向数据与规则协同驱动。

【关键词】：人工智能；建筑结构；方案自动生成；智能优化；参数化建模

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.010

引言

建筑结构方案是建筑设计从构想到工程落地的关键环节，结构体系选择、构件布置和受力路径安排都会影响建筑安全、空间利用和建设成本。传统设计流程中，方案形成往往依靠设计人员经验进行多轮判断和修改，面对复杂建筑形态、紧张设计周期和多专业协同需求时，容易出现方案生成速度慢、比选范围有限、性能反馈不及时等情况。人工智能技术为结构方案生成提供了新的技术路径。借助数据学习、规则推理、参数化建模和智能优化，结构方案可以在限定条件下快速生成、筛选和修正，使设计过程由单一人工判断转向人机协同决策。由此展开对人工智能在建筑结构方案自动生成中的应用分析，能够更清晰地说明其解决设计低效与方案合理性不足问题的具体方式。

1 建筑结构方案生成中的效率与合理性困境

建筑结构方案生成具有较强的专业综合性，需要同时处理结构体系选型、竖向构件布置、水平抗侧力体系设置、荷载传递路径组织以及构件初步尺寸控制等内容。在实际设计中，结构工程师通常依据建筑平面、功能分区、层高条件和抗震设防要求进行人工判断，再通过建模软件完成初步结构模型。由于建筑形态日趋复杂，结构布置不仅要满足承载力、刚度和稳定性要求，还要兼顾建筑空间完整性、设备管线布置和施工可实施性，人工生成方案容易受到个人经验、项目周期和专业协同效率的限制。

传统流程中，模型建立与方案调整往往呈现反复循环状态。柱网间距、剪力墙位置、梁板截面和核心筒布置一旦发生变化，相关荷载计算、构件编号、节点连接和整体受力分析都需要同步修改，设计人员需要投入大量时间进行重复性校核。方案比选也容易停留在少数可行方案之间，难以在短时间内形成多组结构布置并进行技术经济比较^[1]。对于高层建筑、大跨度空间或不规则平面建筑，结构扭转效应、层间位移角、周期比、刚重比等指标需要经过计算后才能充分暴露问题，导致前

期方案判断存在滞后性。

结构性能反馈不及时会直接影响方案深化质量。前期布置若未充分考虑抗震概念设计、受力路径连续性和构件协同工作关系，后续计算阶段可能出现刚度分布不均、局部构件超限、材料用量偏高或建筑空间被结构构件侵占等情况。此类问题不仅增加修改工作量，还会影响建筑、结构、机电等专业之间的协调。建筑结构方案生成的核心矛盾，集中体现在设计效率、方案多样性和结构合理性之间难以同步平衡。

2 人工智能驱动结构方案自动生成的细分路径

人工智能技术彻底打破了传统建筑结构方案纯人工设计的局限，依托数据挖掘、规则推理、参数化建模与智能优化算法四大核心技术，构建出标准化、自动化、智能化的结构方案生成体系，将以往依赖设计师经验的主观设计模式，转化为数据与规则双重约束的科学设计模式，全方位解决传统设计效率低、方案单一、合理性不足的痛点，具体可分为数据预处理、参数化建模、智能方案优化、实时性能校核四大细分实施路径，各环节相互衔接、闭环运行，大幅提升结构方案设计的科学性与高效性^[2]。

数据预处理与知识库构建是人工智能实现结构方案自动生成的基础前提。人工智能技术可对海量历史工程数据进行深度挖掘与解析，整合不同建筑类型、不同场地条件、不同抗震设防标准下的成熟结构设计案例，将碎片化的设计经验、行业规范、结构力学规则转化为标准化、可识别、可调用的数据结构。系统可精准收录各类常规及异形建筑的结构体系类型、柱网排布规律、剪力墙分布特征、梁板构件参数、核心筒布置形式、荷载工况组合以及节点连接方式等核心数据，搭建起覆盖住宅、商业综合体、高层建筑、大跨度场馆等多场景的结构设计知识库。同时，该知识库可实时联动现行建筑结构设计规范、抗震设计标准、施工技术要求，对录入数据进行合规性筛选与更新，剔除不合理、过时的设计参数。在方案生成前期，系统可自动识别项目的建筑平面形态、功能分区、层高尺寸、场地

抗震等级、荷载限值等核心约束条件，结合知识库匹配最优的基础设计逻辑，无需设计师反复经验判断，为后续模型生成和方案优化提供标准化数据支撑，从源头规避经验性设计偏差。

参数化智能建模是提升结构方案生成效率的核心手段。相较于传统建模逐构件绘制、手动调整的繁琐模式，人工智能结合参数化技术，将结构设计中的核心变量全部模块化、参数化，把柱网间距、楼层高度、梁板截面尺寸、剪力墙位置与厚度、核心筒几何参数、节点约束形式等关键设计要素设置为可控的动态参数。设计师仅需录入项目基础约束条件，系统即可依托内置的结构力学规则和建模逻辑，自动完成整体结构模型的搭建。当建筑方案出现微调，如空间布局调整、层高变动、功能区域改动时，系统可实时联动所有关联参数，自动更新构件布置、荷载传递路径、节点连接关系和整体模型架构，无需人工逐点修改、重复建模。针对传统设计难度较大的异形曲面建筑、大跨度空间建筑、平面不规则高层建筑，参数化建模可突破人工思维局限，快速生成多维度初步结构模型，解决复杂形态结构建模难度大、耗时久的问题，为后续多方案比选提供充足的模型样本支撑，大幅压缩前期建模周期。

机器学习与智能优化算法实现了结构方案的多元化生成与精准筛选。传统设计仅能依托人工经验生成2-3组可行方案，比选范围狭窄，难以兼顾安全性、经济性与实用性。人工智能通过机器学习算法对知识库中海量优质工程案例进行迭代训练，精准识别不同建筑场景下的最优结构布置规律，掌握构件协同受力、刚度均衡分布、荷载高效传递的核心逻辑。基于训练完成的算法模型，系统可在限定设计条件下，自动生成数十组差异化的结构布置方案，涵盖不同柱网组合、剪力墙布局、构件截面搭配形式。同时，引入多目标智能优化算法，建立包含结构安全性、构件利用率、空间适配性、施工可行性、材料经济性、抗震性能等多维度的评价体系，对所有生成方案进行量化打分、排序筛选。算法可有效规避人工筛选的主观偏差，精准剔除刚度不均、构件超限、空间侵占、耗材过高的劣质方案，保留兼具安全可靠、经济合理、施工便捷的优质备选方案，极大拓宽方案比选维度，提升结构设计的综合品质^[3]。

性能校核与方案生成的深度融合，实现了设计、校核、优化的一体化闭环。传统设计存在“先建模、后校核、再修改”的滞后性问题，性能缺陷往往在设计后期才被发现，导致大量返工调整。人工智能系统将结构有限元分析、力学性能校核模块深度嵌入方案生成全过程，实现建模、优化、校核同步推进。在方案生成的每一个阶段，系统均可实时完成整体受力分析、构件承载力验算、层间位移角检测、周期比与刚重比校核、局部应力分析等核心性能检测，及时捕捉柱网刚度失衡、剪力墙协同性不足、梁板截面超限、结构扭转效应过大等问题。针对检测出的缺陷，系统可自主调整构件尺寸、优化构件布置、重构荷载传递路径，自动完成方案迭代优化，无需人工介入修改。

这种实时同步的校核优化模式，彻底解决了传统设计性能反馈滞后、反复修改的难题，有效保障每一组生成方案的合规性与合理性，实现结构方案设计效率与质量的双重提升。

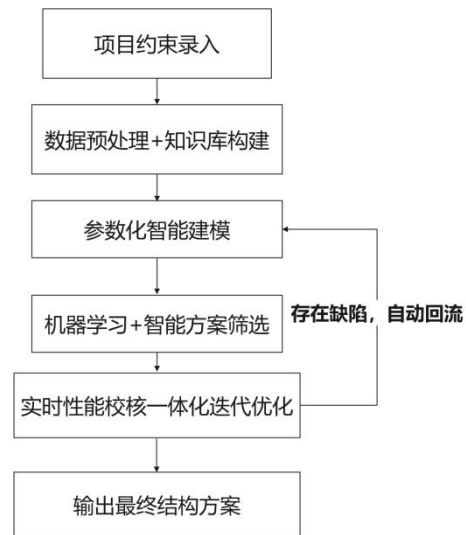


图1 人工智能驱动结构方案自动生成路径图

3 智能生成模式下建筑结构设计质量的提升

人工智能驱动的结构方案智能生成模式，彻底革新了传统建筑结构的设计逻辑与工作流程，通过自动化建模、智能化优化、实时化校核与协同化设计，从设计效率、结构精度、方案合理性、经济管控、人机协作等多个维度全面提升结构设计整体质量，有效解决传统设计模式下效率、质量、成本难以兼顾的行业痛点，适配现代复杂建筑工程的设计需求。相较于传统人工设计的经验化、碎片化、滞后化短板，智能设计模式构建了标准化、一体化、精细化的全新设计体系，让结构设计从“经验试错”转变为“数据精准设计”，整体设计质量实现质的提升。

在设计流程与产出效率层面，智能生成模式实现了全流程自动化闭环作业。传统结构设计需要经历手动建模、参数调试、性能计算、问题排查、方案修改、二次校核等多轮循环流程，环节繁琐、重复性工作量大，且极易因人工操作失误增加修改成本。而智能生成系统依托前置知识库与参数化模型体系，可实现项目条件输入、结构模型生成、荷载自动分配、体系智能匹配、构件参数初判的一键式完成，打通了前期方案设计与后期结构计算的衔接壁垒。系统能够自动规避常规设计漏洞，大幅减少人工重复建模、反复校核、多次调参的冗余工作，显著缩短结构方案设计周期。尤其针对高层建筑、大跨度建筑、不规则平面建筑等复杂项目，智能系统可在短时间内完成多组模型搭建与初步筛选，远超人工设计的产出效率，同时保障方案产出的稳定性与规范性，避免人工疲劳作业、经验局限带来的设计滞后与疏漏问题。

在方案合理性与设计精度层面，智能算法的多目标优化能

力大幅提升结构布置的科学性。传统人工方案比选受设计师主观经验、时间精力限制,仅能筛选少量可行方案,难以实现全域最优。智能生成模式依托机器学习算法,基于安全性、抗震性、空间适配性、施工可行性、材料经济性等多维度量化评价指标,对数十组差异化结构方案进行全方位对比排序,精准平衡结构受力需求与建筑功能需求。系统可智能识别结构布置与建筑空间的冲突点,自动优化柱网排布、剪力墙位置、核心筒尺寸以及梁板截面参数,在满足结构承载力、刚度、稳定性、层间位移角、刚重比等规范指标的基础上,最大限度减少结构构件对建筑使用空间、设备管线布设的侵占,实现结构安全、建筑功能与施工便捷性的高度统一。同时,算法可精准优化构件受力状态,均衡整体刚度分布,弱化结构扭转效应,提升构件利用率,杜绝人工设计中常见的构件冗余过大、局部刚度不均、受力路径混乱等问题。

在性能校核与设计可靠性层面,实时同步校核模式彻底解决传统设计反馈滞后的问题。智能系统将有限元力学分析、规范合规性校核深度融入方案生成全过程,实现方案迭代与性能校验同步推进,可实时输出结构应力分布、承载力状态、整体稳定性、抗震性能等核心数据,精准捕捉局部构件超限、刚度分布失衡、变形超标等隐性问题。针对设计缺陷,系统可自主完成参数调整与方案迭代,无需人工拆解模型、重新计算,从根本上减少后期施工图阶段的修改返工与设计漏洞。同时,智

能设计全程留存标准化数据记录,保证结构设计参数、计算数据、优化依据的一致性与可追溯性,为建筑、结构、机电多专业协同设计提供精准、统一的基础模型,有效降低专业冲突风险,提升整体设计团队的协同效率。

在工程经济与人力价值层面,智能生成模式实现了设计资源的最优配置与成本精细化管控。经过算法优化的结构方案,构件尺寸配置更加合理,受力体系更加精简,有效减少钢材、混凝土等建筑材料的有效消耗,降低工程建设造价,提升项目整体经济性。同时,系统承接了建模、调参、校核、筛选等重复性基础工作,将结构设计师从繁琐机械的工作中解放出来,使其能够聚焦于方案创新、特殊节点设计、复杂结构优化、项目整体把控等核心技术性工作,充分发挥设计师的专业思维与创新能力,实现人机协同的最优配比,全面提升建筑结构方案的设计深度与综合质量,适配现代建筑工程高质量、高效率、低成本的发展需求。

4 结语

智能生成模式使建筑结构方案设计在效率、合理性和多方案比选上获得显著提升。结构方案从数据驱动、参数化建模到智能优化与性能校核的完整流程,提高了结构布置精度和施工可行性,减少重复计算和人工干预,实现人机协同下的高质量结构方案生成,为复杂建筑设计提供可靠技术支撑。

参考文献:

- [1] 陆新征,廖文杰,顾栋炼,许镇,郑哲.从基于模拟到基于人工智能的建筑结构设计方法研究进展[J].工程力学,2025,42(3):1-17.
- [2] 王章琼,赵歧林,徐晓雅,周意,蔡永辉.人工智能在建筑结构设计中的应用研究进展[J].科学技术与工程,2025,25(16):6598-6607.
- [3] 吴梦蓓,陈旭恒.基于人工智能算法的建筑布局自动生成技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(6):125-128.