

数字化建筑结构设计应用研究

文 / 潘弼浩 中国联合工程有限公司

摘要: 本文深入探讨了数字化技术在建筑结构设计中的应用。阐述了数字化建筑结构设计概念与优势,详细分析了计算机辅助设计(CAD)、建筑信息模型(BIM)、虚拟现实(VR)等数字化工具在建筑结构设计中的应用情况,包括概念设计、初步设计和施工图设计阶段。探讨了数字化技术应用未来发展趋势,如人工智能(AI)与机器学习(ML)的深度融合、云平台与大数据技术的广泛应用、数字化孪生技术的兴起等。通过研究表明,数字化技术的应用显著提升了建筑结构设计的效率、质量和协同性,对推动建筑行业的现代化发展具有极为重要的意义。

关键词: BIM; CAD; 建筑模型; 数字化技术; 建筑结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.103

引言

在当今科技迅猛发展的时代浪潮之下,数字化技术宛如一股汹涌澎湃的洪流,以令人惊叹的速度全面席卷建筑行业的每一处细微角落。回首往昔,从较为基础的计算机辅助绘图起步,发展至今,建筑信息模型(BIM)、虚拟现实(VR)、人工智能(AI)等一系列极为前沿且高端的技术已广泛融入其中。数字化建筑结构设计由此崛起,一跃成为驱动建筑行业不断创新、持续前行的关键核心动力。它带来了全方位的变革,一方面让设计效率如同装上了高速引擎大幅跃升,设计精度亦达到前所未有的高度;另一方面极大地消融了各专业之间的壁垒,有力促进协同合作,如同坚实的基石,稳稳地为建筑项目从起始到终结的全生命周期管理筑牢根基,开启建筑行业崭新篇章。

一、数字化建筑设计相关阐述

数字化建筑结构设计是指采用计算机技术、信息技术等数字化手段,对建筑结构进行建模、分析、优化、设计表达的过程^[1]。相比传统设计方法,数字化设计优势明显,具体表现为以下几点:

(1) 提高设计效率。数字化工具可快速、自动生成和修改设计方案,有效缩短了设计周期。例如,CAD软件可快速绘制建筑结构图纸,且可在电子图纸上调整设计参数。

(2) 提升设计精度。采用建筑结构分析软件,可精准分析建筑结构情况,包括内力、变形等,从而保障设计方案的适用性、安全性。

(3) 实现可视化设计。采用BIM软件可创建三维可视化建筑结构模型,直观呈现建筑结构的形态、构件布置等情况,便于设计师、施工团队、业主沟通与掌握设计意图。

(4) 促进协同设计。数字化平台可加强信息共享,让建筑、给排水、电气等多个专业在同一平台上协同工作,减少施工矛盾与冲突。

二、数字化建筑结构设计中的主流技术

(一) 计算机辅助设计(CAD)技术

CAD软件作为建筑结构设计领域的“先驱者”,在20世纪就已经被应用到建筑结构设计当中,在几十年发展中经历了多次技术迭代和功能拓展,软件已经十分成熟。在二维绘图领域,CAD软件凭借其强大绘制与编

辑功能,可高效、高质量绘制建筑结构平面图、剖面图、立面图等。例如在大型商业综合体项目设计中,借助CAD软件可快速勾勒建筑轮廓、柱网布局、墙体位置,并标注结构尺寸、材料信息,为后续深化设计奠定基础。CAD的参数化设计是核心功能,通过设定变量与约束条件,可灵活修改设计参数。包括柱间距、梁高度等,软件可自动更新相关图形元素,提高了建筑结构设计效率^[2]。

(二) 建筑信息模型(BIM)技术

BIM技术的出现,打破传统二维设计模式,以三维模型为核心载体,集成建筑结构设计中的各类要素信息,包括几何形状、材料属性、力学性能、施工进度等。在建筑结构概念设计阶段,借助BIM参数化建模功能,可快速搭建多种建筑结构概念模型,设计师可实时调节设计参数,对比不同方案的空间效果、结构体系合理性、经济可行性。如图1所示,借助BIM模型可对建筑框架结构、剪力墙结构、框剪结构等各类体系的建筑性能指标展开评价,包括结构自重、空间利用率等,为结构选型奠定基础。

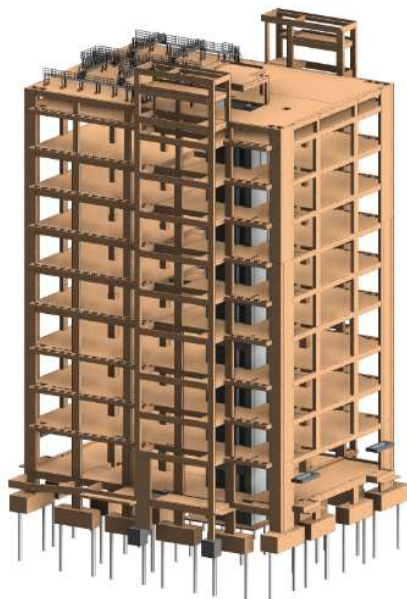


图1 BIM建筑模型示意图

在设计深化阶段，BIM模型可与结构分析软件联合应用，将几何模型转化为力学分析模型，对建筑结构进行精准计算与分析。如图2所示，联合应用ETABS、SAP2000等专业分析软件，详细计算复杂建筑结构在各类荷载工况下的内力、位移、应力等，保证结构设计满足安全性、合理性要求。并且结构分析软件还可以反馈给BIM模型，指导构件尺寸优化与配筋设计。

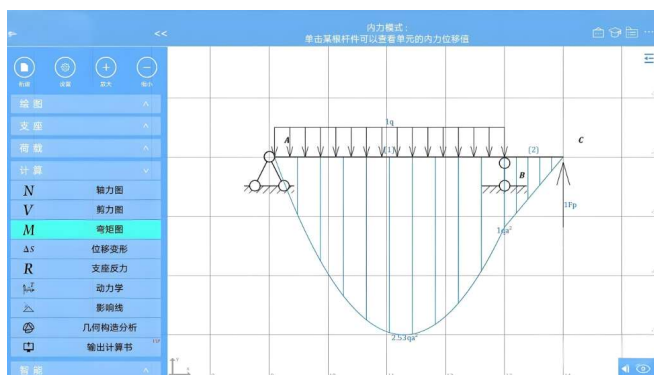


图2 结构分析软件示意图（内力分析）

（三）虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术

VR技术的到来给建筑结构设计带来全新的交互方式和沉浸式体验。在设计成果展示、评审阶段，借助VR设备让业主或相关人员身临其境感受建筑建成后空间效果、内部布局、结构细节。通过更加直观的体验不同结构形式对建筑内部空间的视觉效果，有助于提出针对性修改意见，提升设计方案的认可度、成功率。AR技术可将虚拟信息与现实场景结合，为建筑施工与运维阶段提供有力支持。施工人员可使用AR设备检查建筑结构的三维模型、工艺要求、进度计划等信息，更为直观的掌握施工操作标准，提高施工质量与效率。例如，钢结构安装期间，借助AR技术可实时呈现钢梁、钢柱的安装位置与连接方式，辅助施工人员完成构件定位、焊接，降低施工风险。在建筑运维阶段，AR技术还可以辅助设备巡检、维护管理等工作，对建筑结构、设备表面进行扫描，快速获取有关信息，并进行故障诊断与指导^[3]。

三、数字化建筑结构设计的工作流程优化

建筑结构设计大体分为三个阶段，分别为概念设计阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段，每个阶段环环相扣。这就需要综合利用CAD、BIM、结构分析等技术，保障建筑结构各阶段的设计质量。

（一）概念设计阶段

在概念设计阶段，数字化工具赋予设计师更大的创意空间与决策支持。采用CAD软件的快速绘图与草图功能，将自己的设计灵感转化为可视化图形，进行多方案构思与对比。在建筑设计中，采用CAD软件绘制不同形态、结构布局的草图，从功能、美学、结构可行性等多个方面筛选优化。同时，使用BIM技术的参数化建模功能，对初步设计方案进行量化分析，调整建筑跨度、高度、结构体系等参数，对不同方案结构性能指标进行评

估，包括结构稳定性、材料用量等，为概念设计深化提供有力支持。例如，在大跨度空间结构建筑设计中，使用避免模型分析网架结构、索膜结构等不同结构形式在不同荷载下的变形情况，从中选择最优的结构设计方案，从而保障建筑同时满足功能需求、结构性能要求。

（二）初步设计阶段

数字化技术让传统的定性设计转向了定量设计。采用BIM技术搭建三维模型，加强结构设计师与建筑、机电等专业设计协同性，协商确定建筑整体布局、功能区分、结构体系选型。通过BIM协同平台，结构设计师可根据建筑专业确定空间布局等要求，选择适宜的结构形式，初步确定柱网尺寸、梁截面尺寸等参数。并采用结构分析软件对设计模型进行力学分析，计算设计结构在风荷载、自重、地震荷载等作用下的内力、位移，根据分析结果优化设计结构构件。如调节梁、柱的截面尺寸或材料强度等级等，确保建筑结构在能够满足安全性前提下，降低材料成本、结构自重^[4]。

（三）施工图设计阶段

施工图设计用于建筑结构的精细化表达与施工指导。在该阶段，可将BIM模型直接生成详细的结构施工图纸，包括平面图、剖面图、节点详图等，图纸信息与三维模型习性保持高度一致。在实际应用中，BIM软件可自动生成各楼层的梁、板、柱配筋图，且标注钢筋型号、数量、间距等信息，同时生成楼梯、阳台等构件详图，有助于减少人工绘图工作量、错误率。此外，将BIM模型与施工管理软件集成，模拟施工流程，辅助设计优化。例如，在BIM平台上模拟混凝土浇筑顺序、模板搭建与拆除顺序等，提前找出施工期间可能出现的问题，包括混凝土供应不足、模板周转难度大等，对此制定相应的解决方案，为保障施工顺利进行奠定基础。在结构分析软件方面，其分析结果为确定结构配筋量、连接节点设计提供了依据，如根据混凝土结构在荷载作用下的内力计算结果，按照规范标准确定梁、柱、板等构件配筋数量与布置方式，保证结构在施工阶段的安全性。

四、数字化建筑结构设计面临的挑战与应对策略

（一）技术集成方面

1. 问题

数字化建筑结构设计中，需要多个技术和软件的集成应用，包括CAD、BIM、结构分析以及VR和AR等。由于不同软件的数据格式、接口标准不同，增加了数据交换与协同工作的难度。例如，BIM模型导入结构软件可能出现信息丢失、数据错误等情况，不同软件交互所遇到的数据兼容性问题，除了会影响设计效率，还可以导致最终分析结果不精准，进而影响到结构设计的安全性、可靠性。

2. 应对策略

建立统一的数据标准与接口规范，加强各类设计软件的兼容性。期间，行业协会、标准化组织应发挥主导作用，制定和完善数字化建筑设计技术标准。目前，国际协同工作联盟（IAI）制定的IFC（Industry

Foundation Classes) 标准, 已在一定程度上解决了部分BIM软件之间的数据交换问题, 但仍需进一步推广与细化。同时, 软件开发商应加强合作, 优化软件的接口功能, 强化软件技术的集成性能^[5]。

(二) 数据安全与管理方面

1. 问题

数字化建筑设计依托于计算机平台, 其各项数据中涉及建筑的核心安全与隐私信息, 在计算机平台上面面临着信息被盗取、篡改、丢失等风险。例如, 网络攻击可能导致BIM模型中结构设计数据被盗取, 影响建筑建设安全、造成经济损失。再者, 随着设计数据量持续增长, 数据存储、检索、管理等方面也面临着巨大挑战, 如何有效存储、管理这些数据成了亟待解决的问题。

2. 应对策略

加强数据安全防护技术的应用, 例如采用数据加密技术对数据进行加密存储、传输, 设置严格的用户管理权限, 以防非必要人员、外界人员访问和修改数据。建立完善的数据备份与恢复机制, 定期备份建筑结构数据, 以防数据丢失无从追溯。采用数据管理系统, 提升数据存储、检索效率, 可通过云平台数据管理解决方案, 提高数据共享、管理的便捷性, 有效应对数据高速增长带来的挑战。

五、数字化建筑设计的发展趋势

(一) 人工智能 (AI) 与机器学习 (ML) 的深度融合

随着数字化技术不断发展, 未来的AI和ML技术在建筑设计中将发挥更重要作用。在结构分析方面, 借助AI算法快速处理海量数据, 对复杂结构进行高效、精准的模拟分析, 预测建筑结构在不同工况下的性能表现, 使设计方案得到进一步优化。例如, 采用机器学习算法对大量地震数据进行学习, 为建筑抗震结构设计提供更精准的参数建议。在设计决策中, AI可根据项目功能需求、场地条件、预算限制等综合因素进行分析, 自动生成多个可行性设计方案, 并对各类设计方案进行评估, 帮助设计师从众多设计方案中挑选最优设计方案, 有效提升设计效率与设计质量。AI还可以学习、理解建筑规范与标准, 智能检测设计方案是否符合标准, 减少人为错误^[6]。

(二) 云平台与大数据技术的广泛应用

云平台可为建筑设计提供大量计算资源与存储空间。设计师在云端上存储设计模型和数据参数, 且能够随时进行访问与协同工作, 打破时间、空间上的限制。同时, 收集并分析建筑设计大数据, 从中挖掘有价值信息, 如不同结构类型在不同地区的实用性、材料最佳使用方式等, 为设计创新提供数据支持。例如, 基于云平台的大数据分析可发现区域内特定建筑类型的最优柱网尺寸规律, 作为新项目设计参考。并且, 云平台还支持多用户在线协作, 各个专业设计师、工程师在平台上可互动交流, 加速方案设计进程。

(三) 数字化孪生技术的兴起

数字化孪生技术可构建建筑结构虚拟数字模型与物理实体间的实时映射关系。在建筑全生命周期中, 从设计导致施工再到运维, 借助数字化孪生模型实时监测建筑结构状态, 对于结构安全隐患可提前预警, 有助于优化运维方案。例如, 在建筑结构中设置传感器用于实时采集结构应力参数, 用于实时更新数字化孪生模型, 一旦模型预测结构可能存在疲劳损伤等风险, 根据预警信息及时安排检测和维修工作, 保障借助结构安全, 实现建筑结构的智能化管理。此外, 数字化孪生技术还可以模拟建筑性能, 包括能耗分析、采光通风模拟等, 根据分析模拟结构优化设计方案, 改善建筑性能, 降低后期运营成本^[7]。随着物联网技术的不断发展, 数字化孪生模型中会介入更多的建筑设备、构件, 提高建筑管理与控制的精准度。

结束语

综上所述, 数字化建筑设计作为建筑行业发展的必然趋势, 已在技术支撑体系、工作流程优化等方面取得了显著成效。通过 CAD、BIM、VR/AR 等数字化技术的应用, 建筑设计在效率、质量、协同性等方面实现了质的飞跃。然而, 在数据安全与隐私保护等方面仍面临诸多挑战。通过采取先进的数据安全技术与管理措施, 数字化建筑设计将能够更好地应对挑战, 为建筑行业的可持续发展提供强大动力。在未来的发展中, 随着数字化技术的不断创新与进步, 建筑设计将迎来更加智能化、科技化、绿色化的新时代, 为人们创造更加安全、舒适、美观的建筑环境。

参考文献

- [1] 冯晓晖. BIM技术在优化建筑设计中的应用探究[J]. 工程建设(维泽科技), 2024, 7(6): 154-156.
 - [2] 邹志涛. BIM可视化技术在超高层建筑设计中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(03): 122-125.
 - [3] 沙萱, 李浩, 李亦崎, 等. 基于信息化发展下的建筑结构数智设计的应用[J]. 黑龙江科学, 2024(06): 15-23.
 - [4] 陈皓宇, 王子涵, 曹海婴. 凝固的生命——基于自然结构仿生学的建筑创作转译手法研究[J]. 建筑与文化, 2023(3): 22-24.
 - [5] 刘宏颖. 数字化时代建筑设计管理发展探究[J]. 城市建设理论研究—建筑结构, 2022(12): 12-13.
 - [6] 李璠. 数字景观在居住区环境设计中的应用研究[J]. 经济与社会发展研究, 2020(16): 1-5.
 - [7] 黄鹏飞. BIM在建筑设计中的应用[J]. 名城绘, 2020(1): 19-21.
- 作者简介: 潘弼浩(1993—), 男, 汉族, 浙江省泰顺人, 工程师职称, 学士学位, 研究方向为结构工程设计。