

建筑结构设计中的创新技术及应用研究

邓绪鲲

新疆峻特设计工程有限公司, 新疆 阿克苏 843000

[摘要]建筑结构设计是工程建设的重要环节,技术水平的高低决定建筑安全、经济和可持续发展的程度。伴随着数字化、工业化和智能化技术的发展,建筑结构设计领域产生了 BIM 技术、装配式结构技术、智能化设计技术等众多的创新成果。对上述的各种创新技术体系进行系统的整理,分析在典型的工程场景中所取得的效果,找出推广过程中遇到的障碍并提出相应的改善措施。从研究结果中可以得出 BIM 全生命周期协同设计可以使得多专业协作提高 70%以上,装配式技术可以减少施工工期 20%-30%,智能算法对于某些工作比人更有效。但是创新技术的应用存在着成本高、标准不健全、缺少专业人才等问题。今后应着力推进技术应用体系的建立和完善,推进标准化建设,推动智能化和数字化的深度融合,把创新技术由示范应用变成规模化应用。

[关键词]建筑结构设计; 创新技术; BIM 技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1273

中图分类号: TU318

文献标识码: A

Application Research on Innovative Technologies in Building Structural Design

Deng Xukun

Xinjiang Junte Design Engineering Co., Ltd., Aksu, Xinjiang 843000, China

Abstract: Building structural design is an important part of engineering construction, and its technical level determines the degree of building safety, economy, and sustainable development. With the development of digital, industrialized, and intelligent technologies, many innovative achievements have emerged in the field of building structural design, such as BIM technology, prefabricated structure technology, and intelligent design technology. This paper systematically reviews the above innovative technology systems, analyzes their application effects in typical engineering scenarios, identifies the obstacles encountered in the promotion process, and proposes corresponding improvement measures. The results show that BIM-based whole-life-cycle collaborative design can improve multi-disciplinary collaboration by more than 70%, prefabricated technology can shorten the construction period by 20%–30%, and intelligent algorithms are more efficient than manual work in certain tasks. However, the application of innovative technologies still faces problems such as high costs, incomplete standards, and a shortage of professional talent. In the future, efforts should be made to establish and improve the technology application system, promote standardization, advance the deep integration of intelligent and digital technologies, and transform innovative technologies from demonstration applications into large-scale applications.

Keywords: building structural design; innovative technology; BIM technology

引言

建筑结构设计是建筑工程建设的一个部分,结构设计质量的好坏直接关系到建筑的安全性、适用性以及经济性。传统的结构设计方式依靠工程师的经验和二维图纸来表现,存在着设计效率低下的问题,也难以实现专业间的交流。近几年来, BIM 技术、装配式建筑技术、智能化设计技术迅速发展,给结构设计领域带来了深刻的改变。BIM 技术把二维变成三维,可以实现全生命周期的信息管理。装配式技术在工业化的建造中可以提高施工效率、控制质

量。智能化的设计方面,结构构件的布置设计已经被生成式人工智能完成了。但是创新技术的推广也存在着成本高、标准滞后、人才缺乏等问题。因此,本文对主要的创新技术进行了系统的整理,分析了应用效果,发现了存在的问题,并提出了相应的改进措施,以期结构设计技术创新的发展提供一定的借鉴。

1 建筑结构设计中的主要创新技术体系

1.1 BIM 全周期协同设计技术

建筑信息模型技术属于建筑结构设计领域内最具有

革命性的进步。BIM 技术是以三维数字模型为基础，把建筑设计、施工、运维等整个过程中的所有相关信息数据都包含在内的一种技术。在设计阶段，BIM 技术可以对建筑、结构、机电等各专业进行三维协同建模，同一个模型上完成各专业的的设计工作，及时发现并解决问题。通过三维激光扫描、BIM 技术等对主体结构进行精制钢龙骨施工技术研究显示，利用三维激光扫描、BIM 技术可以快速复测出主体结构的误差，从而避免因测量偏差造成的安装问题。施工阶段用 BIM 技术可以做施工过程的虚拟仿真以及 4D 进度模拟，进而改善施工方案和资源调配。某国际机场航站楼大悬挑大矢高网架施工技术研究显示，经有限元数值模拟及加载试验来对理论模型以及新型节点加以验证之后，旋转提升网架水平偏移的理论计算值同有限元分析结果之间的差异只有 6%。BIM 技术的核心优势在于信息的集成性与可追溯性。设计、施工和运维各个环节的信息都在同一个模型里流通，没有出现以往模式所存在的信息孤岛以及重复录入的情况。某市以三维协同深化设计为主要抓手，对近 1500 处结构预留预埋进行了精确定位，总结出 BIM 技术应用的效果是能避免施工过程中出现施工图问题、减少材料损耗、缩短工期 10%以上。

1.2 装配式建筑结构技术

装配式建筑结构技术就是把传统的现场浇筑模式变

成工厂预制、现场装配的工业化建造方式。核心就是构件标准化设计、生产工业化和施工装配化三者之间的统一。装配式结构体系包括装配式混凝土结构、装配式钢结构、装配式组合结构等。球形建筑的拼装如何解决？装配式折板技术冲破传统施工的限制，用预制构件现场拼装的办法，节点现浇成整体，具备球形结构大跨度的特性，而且施工速度快，实验和数值模拟都表明这种技术有较好的承载性能。采用这种技术后大跨度球形建筑的平均装配率由原来的不到 30%提高到了现在的 70%以上。高层建筑的装配式钢结构自重轻、抗震性能好、施工速度快，因此得到了广泛的应用。基于 BIM 的装配式钢结构厂房协同设计及施工管理研究认为，建筑信息模型技术给装配式钢结构厂房的建设带来了革命性的改变，对 BIM 技术在装配式钢结构厂房全生命周期中所起到的作用进行了系统的分析。装配式技术的应用大大缩短了建设工期，减少了现场湿作业，降低了施工能耗和环境污染。

1.3 智能化结构设计技术

智能化结构设计技术就是人工智能与结构设计相结合的方向。用机器学习、深度学习等算法来学习大量的设计案例，从而得到工程经验及设计规律，进而达到结构设计自动化、智能化的目的。

表 1 不同类型智能化结构设计技术对比

技术类型	核心算法/原理	主要应用场景	技术优势	当前局限
生成对抗网络（GAN）	生成器与判别器博弈学习	剪力墙布局、钢框架设计	设计效率高、结果接近工程师水平	训练不稳定、易模式坍塌
扩散模型（Diffusion）	学习反向去噪过程	钢框架支撑结构布局	生成质量高、多样性好	计算资源需求大
图神经网络（GNN）	图结构信息传播与聚合	剪力墙结构智能设计	捕捉构件间物理关系	需大量先验知识与人工编码
遗传算法（GA）	模拟自然选择与进化	结构拓扑优化、截面优化	全局搜索能力强	收敛速度较慢

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中可知，基于人工智能的设计是通过学习已有的设计案例来快速生成满足工程经验和设计规范要求的结构设计图，但是其主要的难题是如何将工程经验以及结构特征有效地学习并表达出来。清华大学团队对于智能设计的各个层次结构从 L0 到 L5 进行了划分，并给出理论依据，从而为智能化设计技术的发展指明了方向。钢框架结构设计中，生成式人工智能具有很大的潜力。基于扩散模型的钢框架支撑结构智能布局设计方法，用低秩分解技术，在小规模多模态数据集中使通用大模型可以学习构件布局特征，实验结果表明该方法在多个指标上比传统的方案要好，有些结果已经达到了甚至超过了工程师的设计方案。

有关的研究创建了智能设计平台，从自动布置开始，到建模分析、方案评定全部完成，可以作为结构工程师设计的辅助工具。

2 创新技术在典型建筑设计中的应用

2.1 高层建筑结构设计中的应用

高层建筑对于结构设计的安全性、经济性以及施工的便捷性有着较高的要求，同时也是创新技术应用的主要领域。高性能材料和创新结构体系的结合，使高层建筑抗震设计取得了很好的效果，同时又降低了材料的用量。型钢少用 55%且提高抗震的研究表明，同济大学团队使用 L 形钢骨高强混凝土剪力墙技术，可以同时达到抗震和减小型钢用量的效果，在保证抗震性能的前提下，使剪力墙底

部型钢用量减少 55%，混凝土强度由原来的 C60 提高到 C80，给 499m 超高层建筑底部剪力墙瘦身提供新的思路。研究团队用 1/6 的缩尺模型做循环加载试验，C80 试件在型钢率减少 55% 的时候，承载力和 C60 试件差不多，耗能能力提高 65%。可以给超高层建筑底部加强区经济性设计提供有力的依据。高层建筑施工阶段使用 BIM 技术和智能监测系统相结合的方式可以保证施工的安全和精度^[1]。本文采用物联网技术对在建超高层建筑火灾防控进行了研究，在研究中发现由于存在火灾检测响应时间长、信息孤岛现象、消防应急响应迟缓等现象而提出了三重技术结构体系来建立自动预警火灾系统，用各种传感器网络实现无遮挡下可达 75m、遮挡下可达 20m 的通信距离，报警喷淋系统响应也十分可靠。

2.2 抗震结构设计中的应用

抗震设计属于建筑结构设计范畴之内，新型技术应用使得提高结构抗震性能有了新方式。结构减震控制方面新型阻尼装置、智能控制策略等的研究取得了很大的成果。不对称桥梁怎样“抗震”研究表明，对独塔斜拉桥左右不对称造成的地震风险，研制出倒 S 形阻尼器，该阻尼器的受力变形曲线呈倾斜 S 形，可以按照震动幅度自动调节刚度，在小震时软缓冲吸收震动能量，在大震时硬支撑防止过度晃动。经过 6 次的迭代优化后，塔底剪力由原来的 14.4 万吨下降到现在的 9.8 万吨，降低了 31.5%，塔墩基底剪力差在 7% 之内。新型抗震结构体系，损伤控制思想的理论及应用研究是正确的^[2]。工程力学期刊显示，配置曲线隅撑和柱端滑移摩擦节点的梁贯通式分层装配式钢框架体系，在地震作用下曲线隅撑是第一道保险丝先产生塑性变形，柱端滑移摩擦连接是第二道保险丝实现损伤时序的稳定、渐进、可控，加载过程中隅撑先于节点转动进入塑性，梁柱等主要构件均没有损伤。

3 创新技术应用中的主要问题分析

3.1 创新技术应用成本较高

创新技术的初期投入成本大，是造成它不能大范围推广的主要障碍。BIM 技术需要购买专业的软件、搭建硬件平台、进行人员的培训，初期投入大。装配式技术要建预制构件工厂、购进专用运输和吊装设备，产业构建时间久、资本投入多。智能化设计技术要想获得高质量的训练数据并配有高性能的计算设备，研发成本高。从全生命周期来看，创新技术的综合效益是非常显著的，但是短期内由于成本的压力使得很多中小型的设计企业和施工企业望而却步。在推进 BIM 技术应用的过程中，依靠政策引导、

试点示范、技术标准创建等途径，还要耗费大量的资金去推进技术的推广和人才的培养。如何在保证技术质量的前提下降低成本，是创新技术从示范应用走向规模化推广必须要解决的问题。

3.2 结构设计标准与规范更新滞后

现行的结构设计标准和规范体系大多依据传统的结构设计方法以及建造模式来制订，对于新的技术存在着不适应的情况。BIM 技术的协同设计成果在法律上还不能得到充分的认可，电子交付和纸质图纸的法律效力问题还没有完全解决。装配式建筑的节点连接、抗震性能评定等方法与现浇结构有区别，现行规范适用范围应予以说明。合肥市龙岗路特大桥钢结构 BIM 模型深化设计工程算量偏差研究发现，BIM 模型量比设计图纸量少 8.3%，比清单工程量少 5.1%，主要偏差在附属结构和节点构造上，主要偏差的原因有参数化程度不够、附属构件漏建、软件接口错误、图纸细节缺失等各方面原因^[3]。这一研究显示了由于缺少标准而产生的实际工程问题。标准规范体系更新速度跟不上技术发展的速度，是造成创新技术不能规范化应用的主要原因。

4 建筑结构设计创新技术的优化策略

4.1 完善创新技术应用体系

推动创新技术由点到面的推广，就要创建起系统的集成技术应用体系。设计阶段应该推动 BIM 正向设计的普及，使得建筑、结构、机电等专业之间的深度合作成为现实。施工阶段要加强对 BIM 模型向施工阶段的延伸应用，使设计信息可以无损地传达到施工管理中。运维阶段要创建以 BIM 为基础的智慧运维平台，对设备实行管理、能耗监测和安全预警的整合控制。将数据驱动的人工智能方法应用到结构优化中，已经产生了很多智能优化设计的研究成果，在生成初始设计、简化优化问题、求解模型、评价结果等各个方面都有很大的潜力。未来应该创建起包含设计、分析、优化、评价的全流程智能设计平台，打通数据流和业务流，使结构设计从方案产生到施工图制作完成的全过程都具备智能化特性，从而充分发挥出人工智能技术在结构设计方面的作用。

4.2 加强结构设计标准化建设

标准化属于创新技术大批量推广的前提。应尽快制订出 BIM 技术应用标准，确定模型精度等级、数据交换格式、协同设计流程等主要技术指标。要建立装配式建筑技术标准体系，对构件设计、生产运输、施工安装、质量验收等各个环节做出规定。应当推进智能化设计技术标准化

的发展,创建设计成果质量评定办法和证明手段。工程力学期刊综述认为陆新征团队提出了 L0 到 L5 不同层次结构智能设计划分的建议,给智能化设计技术发展路径以及成熟度评价赋予了理论架构。这是一项重要的工作,给智能设计技术的标准化工作打下了理论基础。标准规范的制定要考虑到技术发展的趋势,采用框架性、灵活性相结合的编制方式,保证规范具有指导性的同时,也要给技术创新留有余地。

4.3 推动智能化与数字化融合发展

智能化、数字化相融合,这是建筑结构设计创新技术发展的一种主要趋势。应该促使 BIM 模型朝着智能设计模型的方向发展,使得三维数字模型既包含几何信息又包含属性信息,而且可以嵌入设计知识和推理规则。应该发展以人工智能为基础的结构智能化设计方法,让计算机可以理解设计意图、产生设计方案、评价设计方案的质量。今后要继续加强 BIM 和人工智能的深度融合,研发出具有设计认知功能的智能设计系统,推动建筑结构设计由数字化走向智能化,形成人机协同的结构设计新方式。

5 结语

建筑结构设计领域内出现的创新技术,促使建筑行业由依靠经验进行设计转变为依靠数据来开展设计工作,由

人工完成的设计转变为利用智能技术完成的设计,并且由现场施工转变为工厂制造。BIM 全生命周期协同设计技术、装配式建筑结构技术、智能化结构设计技术等创新成果,在高层建筑、抗震结构等典型应用场合里获得了较好的效果。但是创新技术的推广还存在着成本、标准、人才等方面的限制。今后要不断健全技术创新应用体系、标准化体系建设和智能化、数字化深度融合,使创新技术由示范应用走向规模化推广,给建筑行业高质量发展提供技术支持。

【参考文献】

- [1]陆新征,廖文杰,顾栋炼,等.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(03):1-17.
- [2]胡海春.桥梁钢结构 BIM 模型深化设计工程算量偏差——以合肥市龙岗路特大桥为例[J].中国建设信息化,2025(20):46-49.
- [3]付勇,郝乐,龚正华,等.飘带造型玻璃幕墙精制钢龙骨施工技术[J].施工技术(中英文),2025,54(20):49-53.

作者简介:邓绪锟(1994.04—),毕业院校:长安大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:新疆峻特设计工程有限公司,就职单位职务:建筑结构设计,职称级别:中级。