

建筑结构设计中的创新技术及应用研究

杨 鹏 庞 博

基准方中建筑设计股份有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]随着建筑业向数字化、智能化及绿色低碳发展, 结构设计出现许多新技术, 对传统的设计理念造成冲击。本文总结目前在结构设计中存在的一些问题, 在 BIM 技术、参数化设计、新型高性能材料、绿色节能设计、装配式结构和人工智能 6 个方面阐述新技术的主要内容及其未来发展方向, 并结合具体工程项目介绍这些技术的应用实例。可以看出, 新技术的应用有利于提高结构设计水平, 促进我国建筑行业更快更好发展。

[关键词]建筑结构设计; BIM 技术; 参数化设计; 技术应用

DOI: 10.64635/ja.2026.1221

中图分类号: TU318

文献标识码: A

Research on Innovative Technologies and Their Applications in Building Structural Design

Yang Peng, Pang Bo

Jizhun Fangzhong Architectural Design Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530000, China

Abstract: With the development of the construction industry toward digitalization, intelligence, and green low-carbon transformation, many new technologies have emerged in structural design, bringing significant impacts on traditional design concepts. This paper summarizes current problems in structural design and discusses the main contents and future development directions of new technologies from six aspects: BIM technology, parametric design, new high-performance materials, green energy-saving design, prefabricated structures, and artificial intelligence. It also introduces application examples of these technologies in specific engineering projects. The study shows that the application of new technologies is beneficial to improving the level of structural design and promoting the faster and better development of China's construction industry.

Keywords: building structural design; BIM technology; parametric design; technology application

引言

建筑结构设计是建筑工程建设过程中重要组成部分, 也是整个建筑工程生命期中最重要的一个阶段, 它关系到建筑物是否安全可靠、是否经济合理以及是否可持续发展等问题。近年来由于我国城市化进程加快以及建筑物形式越来越多样化, 传统的结构设计理念已经不能满足当今社会对于结构设计的要求。而随着信息技术发展、新型建筑材料出现以及智能科技的进步都给结构设计带来新的机遇。但是目前一些工程项目中还存在着结构设计不合理问题、施工管理不到位等情况都会对整个项目造成不良影响。因此, 对 BIM 技术、参数化设计、新型高性能材料、绿色节能结构设计、装配式建筑结构设计以及人工智能应用于结构优化设计等进行系统的研究, 对于促进我国建筑业的发展具有重大的理论意义和现实意义, 在总结当今结构设计问题的基础上, 从这六个方面详细介绍了这些新技术的内容及其应用。

1 建筑结构设计中的问题

目前建筑结构设计存在诸多实际问题, 在传统的设计过程中, 建筑、结构、机电等各种专业的分离使得信息交流不畅造成大量的设计修改、错漏碰缺等问题。现在有些项目中出现了结构设计不合理、施工管理不到位的现象, 进而影响到整个工程质量。而在结构优化上, 一般采用的是依靠设计师经验进行尝试的方法, 在多种限制条件下的求解最优解较为困难。材料选取上, 普通的混凝土以及一般的钢材不能满足建筑向更高、更轻、更大的跨度发展的需求。同时随着社会的发展对能源的需求不断增加, 碳排放也越来越大, 在建筑的整个寿命期内的环保性能也需要从一开始的设计就考虑到。目前在装配式钢结构设计中存在着建模软件各自为战、工作内容分割、信息孤岛严重、各专业间沟通不便等问题, 传统的依靠经验和手工建模的方式低效且不能解决复杂的工程项目问题, 这说明建筑设计需要利用新技术来改变以往靠经验进行设计以及粗放

型的设计方式。

2 建筑结构设计中的创新技术

2.1 基于 BIM 技术的结构设计方法

建筑信息模型是以三维数字模型为基础,包含建筑物的所有几何信息、物理特性以及功能等,是对结构设计的一种新型的工作模式。利用一个整体的信息模型,使结构设计可以和其他专业的建筑设计、给排水设计等进行协调配合,在设计之初就可以发现并解决问题,大大降低后期施工中的返工率及变更次数^[1]。深圳图书馆新馆应用 BIM 技术建立了地质模型,用三个模型相互关联使基础施工不再依靠经验,而是依靠 BIM 提供的准确数据来进行,从土层分析到最后的桩位确定全部都是电脑模拟,有据可依,安全可靠。结构分析模型可以从 BIM 模型中直接获取,梁、柱、剪力墙等重要构件信息可以实现无间断传递,无需二次建模造成信息不准确。海珠区妇女儿童医院项目基于 Revit 以及其插件 Dynamo 完成桩基以及土层参数化建模,根据现场实际钻孔深度持续优化地质模型进而得出更合理桩长,在 BIM 下进行造价和工期估算,大大提升项目信息化水平。BIM 深入程度越高越好,但更主要一点是形成一种“设计就是信息”的思想,在之后施工管理和运营过程中数据连通奠定良好基础。

2.2 参数化设计与数字化建模技术

参数化设计是将几何形态与数学逻辑高度结合,在给定变量、约束以及运算的基础上实现自动建模及变化。而在结构设计中,利用参数化工具有利于设计师找到形态与结构之间的准确对应关系。基于结构性能考虑,本文提出一种结合结构力学理论和智能化寻优策略的参数化工具协同设计方式,“算法生形—力学耦合—性能迭代”,以此寻找合适的空间结构形式。对于大跨度空间结构、自由曲面网格、树状支撑柱等较为复杂的结构类型,参数化工具有利于产生众多备选方案并且迅速选出最佳结果,大大节省了以往的设计过程中不断尝试的过程。在广州塔南广场配套海心桥的设计过程中,设计师使用高度参数化横断面模板进行快速设计大量不同的横隔板以及肋板,在拱及吊杆位置布置也由设计规则自动化完成。同时利用数字化建模软件连接设计、计算以及生产环节,参数化模型可以导出施工图或者连接到 CNC 设备上,从而实现从虚拟到现实无缝过渡。

2.3 新型高性能材料的应用技术

新型高性能材料开发及应用已突破传统结构设计能力限制。UHPC(超高性能混凝土)是新型水泥基材料,

由于其很低水胶比、最紧密堆积及纤维增强等原因而具有优异性能,在国内外均被认为是近三十年来最具创新性水泥基工程材料,可用于大跨径桥梁、轻质薄板桥面、装饰性建筑幕墙或隔断以及防震抗爆等领域。UHPC 抗压强度远超过一般混凝土,而且具有很高的耐久性及自流平方便施工特点;而高强度钢材使用又使得钢结构与钢筋混凝土混合结构在高层及大跨度建筑方面有更大发挥空间。观音寺长江大桥是世界上最大跨度的公路斜拉桥,采用钢-UHPC 组合梁结构,其中 UHPC 是一种以钢纤维、硅灰为主的水泥基复合材料,在与普通混凝土相比的情况下,可以降低桥梁自重约 30%以上,同时与钢梁连接后还可以提高桥面的承载能力和抗疲劳性,从而使主梁跨径达到千米以上,这在我国超过千米的大桥上尚属首次使用钢-UHPC 组合梁。竹木结构在多层及高层建筑的应用已取得一定进展,在此基础上利用现代工程木材产品胶合及层压技术使得可再生绿色材料具有与传统结构材料相当甚至更好的力学性能^[2]。再生骨料混凝土的应用也给建筑废弃物资源化利用找到一条可行途径,在减少二氧化碳排放的同时使建筑业朝着循环经济的方向发展。

2.4 绿色节能结构设计技术

绿色节能设计理念已由建筑外围护系统及设备系统深入到结构设计层面。从建筑布局上,通过减少建筑体形系数、减小窗墙比、加大进深、增大开间等方式运用被动式技术降低建筑供暖、空调、照明使用率,引入自然通风、天然采光等措施改善夏季室温条件以及提高冬季太阳辐射吸收量从而达到节约能源的目的。而在结构方案的选择上,建筑体形系数、窗墙比以及朝向对建筑能耗有较大影响,在进行结构设计时需要考虑结构自身具有的蓄热能力以及热桥问题。立体绿化及结构一体化设计、光伏建筑一体化构件与结构体系整合,让建筑物不仅能够承受荷载而且可以发电、改善环境。温州市理工学院全国第一个高校既有建筑近零能耗改造工程,运用“以被动为主、主动为辅、可再生能源应用、智能化管理”四种方法,总体节能率为 93.8%、本体节能率为 43.8%、可再生能源使用率为 89.3%,每年节约电能 22 万 kWh,减少二氧化碳排放量约 114t。这说明在结构设计中进行系统优化对于整个建筑所造成的碳排放有着决定性作用。低碳结构设计是促进建筑行业实现“双碳”的一条有效途径。

2.5 装配式建筑结构设计技术

装配式建筑将传统的现场湿作业转变为工厂预制及现场拼装工艺方式,在结构设计上也有着标准化、模数化

以及节点细化等一系列新要求。预应力装配式混凝土框架是指全部或者部分框架梁、框架柱由预制混凝土构件组成并通过施加后张预应力连接而成的装配式混凝土框架，分为 I 型、II 型、III 型。而在结构设计时，预制构件划分方案直接影响到运输、吊装及节点连接等问题，因此需要在设计之初就要考虑到生产和施工情况。由同济大学、上海浦东建筑设计研究院有限公司、上海建工集团股份有限公司编制的《预应力装配式混凝土框架结构技术标准》，已经过批准成为上海市工程建设规范，其编号为 DG/TJ08-2496-2026，于 2026 年 8 月 1 日起施行，在本标准中，预应力框架根据梁柱连接形式以及受力情况分为三类，而 I 类、II 类预应力框架适用于抗震设防烈度为 8 度及 8 度以下地区框架结构；III 类预应力框架适用于抗震设防烈度为 9 度及 9 度以下地区框架结构。以“设计即制造”理念进行装配式结构设计可以提高施工速度并且促进我国建筑业向更高水平发展。

表 1 主要创新技术对比

技术类型	核心特征	主要优势	应用场景
BIM 技术	信息集成、协同设计	减少碰撞、数据贯通	全专业协同、碰撞检测
参数化设计	算法驱动、形态可控	快速迭代、形态自由	复杂曲面、大跨度结构
高性能材料	超高强度、高耐久性	减薄自重、延长寿命	大跨桥梁、超高层建筑
绿色节能	被动优先、低碳导向	降低能耗、减排降碳	近零能耗建筑、绿色建筑
装配式结构	工厂预制、现场装配	缩短工期、质量可控	住宅产业化、公共建筑
人工智能	数据驱动、自动优化	高效寻优、辅助决策	结构选型、智能优化

2.6 人工智能在结构优化设计中的应用

人工智能技术已由辅助工具发展成为主导设计的力量。中建八局开展“基于 AI 的装配式钢结构生成式智能设计软件及其应用研究”，开发出国内第一个“结构-节点”协同优化的设计工具 PSS-GAN，该软件结合深度学习、拓扑优化以及工程力学知识，实现了从给定参数到最终三维模型整个过程的自动设计^[3]。而在结构优化上，使用这些智能化的设计软件极大地提高了工作效率及结果的质量。AutoSiMP 是自动管道，能够把自然语言给出的问题表述转换成已经被验证有效的二进制拓扑，无需人工干预，该管道由五个部分组成：基于 LLM 的配置器、边界条件生成器、三场 SIMP 求解器、八项结构评估器以及闭环重试机制，在 10 种不同问题上，配置器在每个实例上都产

生合理结果，中位数顺应性惩罚只比专家基线高出 0.3%。生成式人工智能为土木及结构工程领域中结构优化提供了新契机，在此基础上不同于以往侧重于预测或者分类的人工智能方法，生成式人工智能包括生成对抗网络、变分自编码器、扩散模型以及大型语言模型等都是基于对设计-性能之间关系的学习来产生新的结构设计方案，人工智能与结构设计结合使得结构设计正逐渐由“经验主导”转变为“以数据为基础、智能协助”。

3 创新技术在建筑结构设计中的具体应用

3.1 超高层与大跨度结构中的数字化与高性能材料应用

超高层建筑物主体结构设计中，借助 BIM 技术和参数化设计可以准确把握复杂节点构造的每一个细节，而超高性能混凝土（UHPC）、高强度钢材的应用使整体结构更加轻盈，抵抗水平力的能力大幅度提升。深圳文化新馆项目就是运用这个技术路径的一个范例。它的塔楼北侧设置了九跨巨大的桁架，构成了最长悬臂跨度达到 21.4m 的双悬臂结构。项目组借助 BIM 软件对施工阶段可能发生的各种变形方向以及大小进行了全方位模拟，结果显示，当临时胎架拆除之后桁架发生变形量仅为 24.47mm，远低于规定的上限值 75mm 的 1/3 左右；再经过楼层浇筑前的调整，变形量更是压低到只有 14.48mm，仅仅是允许误差的四分之一，堪称当今世界上同类结构中的最精准水平。再比如大型体育场所、交通枢纽等大型公共建筑中，参数化的找形技术与结构分析紧密结合，基于算法生成形态的同时对性能进行优化，从而能获得既符合建筑美感又能兼顾经济性的优良结构方案。由此可见，数字仿真+高性能材料的方式对于设计和建造复杂的大跨度结构有着重要参考价值。

3.2 装配式、绿色低碳及智能化技术的融合应用

装配式建筑中预应力装配整体式混凝土框架结构已在我国抗震设防烈度九度及其以下区域取得了建筑上的应用。而随着上海工程建设规范 DG/TJ08-2496-2026 的发布，在设计、生产、安装与验收等方面都有了相应的规定，为其大规模的应用提供了技术依据。在绿色低碳建筑方面，通过优化被动式外围护系统、断绝热桥并结合使用可再生能源（太阳能、地热能等），有效提高了建筑的整体能效水平。而人工智能技术的应用也使结构的设计进入了一个新的时代。通过将其运用在选择结构与方案设计中，可以使设计师们快速地挑选出合适的构造形式方案，节约了设计时间。以上新技术之间是彼此联系的，相互影响着整个

设计的发展趋势,朝着更快捷、更智能、更节能环保的目标前进。

4 结语

建筑结构设计正处在由传统的范式向数字化、智能化、绿色化转变的过程中。BIM 技术打破信息孤岛,参数化设计带来形态上的无限可能,高性能材料使力学生态不再受限,绿色环保理念重新定义结构的功能,装配式施工加快了工业化的步伐,而人工智能开启了一扇智能化优化的大门。各种新技术的应用正在改变着结构设计的思想、方式以及过程。但是新技术的应用也存在一些问题,如标准滞后、技术投入大、人员短缺等。未来,在跨学科交叉融合日益加深以及技术不断进步背景下,建筑设计将向更智能

化、韧性、绿色方向发展,从而更好地服务于人们建设更安全、健康、可持续居住环境需要。

[参考文献]

- [1]周辉,李沁楠.建筑结构设计中的创新技术及应用研究[J].中华建设,2025(08):186-188.
- [2]殷晓波.既有建筑绿色改造中的结构设计加固技术创新与应用[J].陶瓷,2025(09):229-230.
- [3]彭楷.BIM 技术在建筑结构抗震设计中的创新应用研究[J].中国建设信息化,2025(22):43-45.

作者简介:杨鹏(1993.07—),毕业院校:南昌理工学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:基准方中建筑设计股份有限公司,职务:工程师,职称级别:副高。