

建筑工程结构设计的现状及发展趋势研究

文 / 崔静静 山东意和同悦电力工程设计有限公司

摘要: 建筑工程结构设计作为建筑领域的核心环节,其发展水平直接影响建筑工程的质量和安 全,随着科技进步和社会需求的变化,建筑工程结构设计领域正面临新的机遇与挑战。本研究通过分析建筑工程结构设计的现状,探讨了当前存在的主要问题和制约因素,在此基础上对建筑工程结构设计的未来发展趋势进行了深入探讨,包括智能化设计、绿色节能设计、抗震设计的创新以及新材料新技术的应用等方面,研究指出,加强人才培养、推动技术创新、完善标准规范是推动建筑工程结构设计发展的关键举措。

关键词: 建筑工程; 结构设计; 现状分析; 发展趋势; 技术创新

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.106

引言

建筑工程结构设计是确保建筑安全、功能和美观的关键环节,对建筑工程的整体质量和使用寿命具有决定性影响。近年来随着城镇化进程加快、建筑需求多样化以及新技术新材料的不断涌现,建筑工程结构设计领域面临着前所未有的机遇与挑战,深入研究建筑工程结构设计的现状,分析存在的问题,探讨未来发展趋势,对于推动建筑工程结构设计的创新发展、提升建筑工程质量具有重要意义,本研究旨在通过系统分析,为建筑工程结构设计的发展提供理论参考和实践指导。

一、建筑工程结构设计的现状分析

建筑工程结构设计领域近年来取得了显著进展,技术水平和管理体系不断完善,计算机辅助设计软件的广泛应用极大提高了设计效率和精确度,三维建模和参数化设计等先进技术逐步普及,使复杂结构的分析和优化成为可能。BIM技术的引入促进了设计过程的信息化和可视化,有效提升了设计质量和协同效率,在结构分析方面有限元法已成为主流手段,能够更准确地模拟结构在各种荷载下的行为,抗震设计技术不断革新,隔震和减震技术在高层建筑和重要建筑中得到广泛应用,绿色建筑理念的推广促使结构设计更加注重环保性和可持续性,材料选择和结构形式优化成为关注重点。然而传统的线性静力分析方法在某些复杂工程中仍显不足,动力分析和非线性分析有待进一步推广,新型建筑材料如高性能混凝土、纤维增强复合材料等的应用,为结构设计带来新的可能性和挑战,在管理体系方面质量控制体系日益完善,但跨专业协同设计和全生命周期设计理念的实施仍需加强,建筑工程结构设计正朝着智能化、精细化、绿色化的方向发展,但仍面临诸多技术和管理挑战^[1]。

二、建筑工程结构设计面临的主要问题

(一) 传统设计方法的局限性

传统建筑工程结构设计方法在面对日益复杂的建筑需求时显现出明显局限性。静力分析方法难以准确模拟结构在动力荷载下的真实行为,尤其是在高层建筑、大跨度结构和不规则建筑中表现突出,线性分析方法无法

充分考虑材料非线性和几何非线性,导致在极端荷载条件下结构性能评估存在偏差,经验主导的设计思路难以应对新型结构形式和创新材料的应用,制约了结构优化和创新,传统的二维图纸表达方式在复杂空间结构设计中容易引起信息丢失和理解偏差,影响设计质量和施工精度。手工计算和简化模型在某些复杂工程中已不能满足精确性要求,而全面采用高级分析软件又面临计算成本高、操作复杂等问题,标准化设计模式虽然提高了效率,但也在一定程度上限制了因地制宜和个性化设计的实现,这些局限性不仅影响设计质量和效率还可能导致资源浪费和安全隐患,亟须通过技术创新和方法革新加以突破。

(二) 新型建筑需求带来的挑战

1. 极限建筑与复杂结构的设计难题

新型建筑需求对结构设计提出了前所未有的挑战,尤其体现在极限建筑和复杂结构方面。超高层建筑的兴起要求结构设计应对极端风荷载和地震作用,同时满足使用舒适度要求,这对结构体系选择和性能优化提出了更高要求,设计师需要创新性地运用新材料、新技术如高性能混凝土、阻尼器等,以实现建筑的安全性和经济性,大跨度空间结构的需求增加如体育场馆、会展中心等,需要创新结构形式和连接方式以实现建筑功能和美学要求的统一。这类结构往往需要采用复杂的几何形态和新型结构体系,如索膜结构、网壳结构等,对结构分析和施工技术提出了更高要求,绿色建筑理念的普及要求结构设计更加注重材料的可持续性和建筑全生命周期的环境影响,这涉及新材料应用、结构轻量化设计等多个方面,需要在满足结构性能的同时最小化资源消耗和环境影响。

2. 智能化与多功能建筑的结构适应性

随着社会发展,建筑的智能化和多功能化趋势日益明显,为结构设计带来新的挑战,智能建筑的发展需要结构设计考虑各种智能系统的集成,以及建筑的适应性和可更新性。这要求结构设计不仅要满足传统的承载力和刚度要求,还需要为各种智能设备和系统预留空间

和接口，同时保证结构的灵活性以适应未来可能的功能变化，装配式建筑的推广对结构设计的模数化、标准化和精细化程度提出了更高要求，同时也需要解决构件连接和整体性能的问题，这要求设计师在保证结构整体性能的还要考虑构件的可工厂化生产、便捷运输和快速装配。既有建筑的改造加固、历史建筑的保护利用等特殊项目也对结构设计提出了独特挑战，需要在保证安全的前提下尊重原有建筑特征，这类项目往往需要采用创新的加固技术和非破坏性检测方法，同时还要考虑新旧结构的协调工作，这些新型需求不仅考验着结构工程师的专业技能还要求其具备跨学科知识和创新思维，以应对日益复杂和多元化的建筑工程需求^[2]。

三、建筑工程结构设计的发展趋势

（一）智能化设计技术的应用与发展

智能化设计技术正在彻底改革建筑工程结构设计领域，成为未来发展的核心趋势，人工智能（AI）和机器学习（ML）算法在结构优化、参数化设计和性能预测方面展现出巨大潜力，深度学习模型能够通过大量历史设计数据的训练，快速生成符合要求的结构方案，大大缩短设计周期。遗传算法和粒子群算法等智能优化方法可以在复杂约束条件下寻找最优结构形式，提高结构效率，自然语言处理技术的应用使得设计规范和标准的自动解读和应用成为可能，减少人为错误，计算机视觉技术结合3D扫描可以实现既有建筑的快速建模和结构评估，为改造加固提供精确依据，知识图谱和专家系统的构建有助于捕捉和传承资深工程师的经验，辅助新手快速成长。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术的引入使得设计师能够在虚拟环境中直观地体验和优化结构方案，边缘计算和云计算的发展为大规模结构分析和协同设计提供了强大的计算支持，这些智能化技术的融合应用不仅提高了设计效率和质量，还开启了结构创新的新途径，推动建筑工程结构设计向更智能、更精准的方向发展。

（二）绿色节能结构设计的推广

绿色节能结构设计已成为建筑工程领域的重要发展方向，旨在最小化建筑全生命周期的环境影响，低碳材料的研发和应用成为关注焦点，如利用工业废料制作的地聚物混凝土、碳纤维增强复合材料等，不仅减少了碳排放还提高了结构性能。生物基材料如竹、木等在结构中的创新应用也在探索中，结构形式的优化越来越多地注重材料使用效率，如拓扑优化技术能够在满足力学性能的前提下显著减少材料用量，被动式节能设计理念融入结构设计中如利用结构构件的热质特性调节室内温度，减少能耗，可拆卸、可回收的模块化结构设计理念得到推广，有利于建筑的循环利用。结构与建筑功能的一体化设计，如光伏板集成屋面结构、风力发电装置与高层建筑结构的结合等，实现了结构的多功能化，结构

健康监测系统的广泛应用有助于及时发现和处理结构问题，延长建筑使用寿命，减少重建带来的资源浪费，绿色节能结构设计不仅关注环境保护还注重提高建筑使用者的舒适度和健康水平，代表了建筑工程结构设计的可持续发展方向。

（三）新材料新工艺在结构设计中的创新应用

新材料新工艺的不断涌现为建筑工程结构设计带来了革命性变革，极大地拓展了结构设计的可能性，高性能混凝土如超高强混凝土、自修复混凝土的应用大大提高了结构的承载能力和耐久性，使得更加轻盈、跨度更大的结构成为可能。纳米材料技术的发展使得材料性能得到显著提升，如纳米二氧化钛涂层可以赋予结构自清洁功能，减少维护成本，形状记忆合金和压电材料等智能材料的应用开启了自适应结构设计的新领域，能够根据外部环境变化自动调整结构性能，提高了建筑的安全性和舒适性，3D打印技术在结构构件制造中的应用不仅提高了生产效率，还实现了复杂几何形状的精确制造，为非常规建筑形态提供了技术支持。预制装配技术的进步使得大型结构构件的工厂化生产和现场快速安装成为可能，显著提高了施工效率和质量，同时减少了现场施工对环境的影响，新型连接技术如摩擦阻尼连接、自锁连接等的应用改善了结构的整体性能和抗震性能，为高层建筑和大跨度结构提供了更多设计选择，仿生学原理在结构设计中的应用也取得了突破性进展如模仿竹子结构的轻质高强材料，模仿蜂巢结构的新型夹芯板等，这些创新不仅提高了结构效率还带来了全新的美学体验。碳纤维增强复合材料（CFRP）在结构加固和新建结构中的应用，大大提高了结构的强度重量比，相变材料（PCM）在建筑外围护结构中的应用，有效改善了建筑的热工性能，这些新材料新工艺不仅推动了建筑形态的创新，还为实现更安全、更高效、更环保的建筑结构提供了技术支撑，同时也对结构工程师提出了更高的要求，需要不断学习和创新以应对这些新技术带来的挑战和机遇^[3]。

（四）性能化设计和数字孪生技术的融合

1. 性能化设计与数字孪生技术的协同应用

性能化设计突破传统规范设计限制，通过精确模拟和分析实现结构全生命周期的最优性能，数字孪生技术则通过建立虚拟模型，实时反映物理结构的状态和行为，为性能化设计提供强大支持。这两种技术的融合带来了显著优势：BIM技术的深度应用实现了结构设计、建筑、机电等专业的无缝协同，提高了设计的整体性和准确性，基于云平台的协同设计环境支持多方实时交互，加速了设计过程，参数化设计和算法化设计的普及使快速生成和评估多个设计方案成为可能，有利于找到最优解，数字模拟技术的进步如CFD在风工程分析中的应用，使结构在复杂环境下的性能评估更加精确。

2. 数字技术在结构全生命周期管理中的应用

数字技术在结构全生命周期管理中的应用正不断深化,结构健康监测系统与数字孪生模型的结合,实现了结构全生命周期的动态管理,这种结合使得根据实时数据预测结构性能变化、制定最优维护策略成为可能,虚拟试验和物理试验的结合大大减少了实体试验的成本和时间,同时提高了结果的可靠性。这种性能化设计与数字技术的深度融合不仅提升了设计质量和效率,还为建筑结构的创新和优化提供了无限可能,通过实时数据收集和分析可以持续优化结构性能,延长建筑使用寿命,虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术的应用,使设计师能在虚拟环境中直观体验和优化结构方案,进一步提高了设计的精确性和创新性,这种融合推动了建筑工程结构设计向更精细、更智能、更可靠的方向发展^[4]。

四、推动建筑工程结构设计发展的对策建议

(一) 加强专业人才培养和技术创新

推动建筑工程结构设计发展,人才培养和技术创新是关键,高等院校应当及时更新课程体系,增加新技术、新材料相关内容,强化学生的创新思维和实践能力,可引入项目式学习方法,鼓励学生参与实际工程设计,培养综合应用能力,建立校企合作机制,通过联合实验室、实习基地等形式使教育与行业需求紧密结合。对在职工程师,应建立终身学习体系,通过定期培训、技术交流会等形式保持知识更新,鼓励跨学科学习,如计算机科学、材料学、环境科学等,培养复合型人才,在技术创新方面应加大研发投入,鼓励企业、高校、科研院所联合攻关,建立创新激励机制如设立创新基金、完善知识产权保护等,激发创新活力,推动产学研深度融合,加速科研成果转化。鼓励参与国际合作项目和学术交流,吸收国际先进经验,建立行业级实验平台和数据共享机制,为创新研究提供支持,重视基础研究,在新材料、新结构体系等领域取得突破,应注重培养工程伦理和职业道德,确保技术创新服务于社会发展需求。

(二) 完善相关标准规范和政策支持

标准规范和政策支持是引导和规范建筑工程结构设计发展的重要保障,应加快新技术、新材料、新工艺在标准规范中的纳入速度,建立快速响应机制,确保标准规范与技术发展同步,在制定和修订标准过程中广泛吸收一线工程师、研究人员的意见,确保标准的实用性和前瞻性,建立标准规范的分级体系,在保证基本安全的前提下为创新设计留有空间。推动性能化设计标准的制定,为非常规结构和创新材料的应用提供依据,加强国际标准的跟踪研究,推动标准的国际化进程,提升中国标准的国际影响力,在政策支持方面应制定鼓励创新的税收政策如对研发投入给予税收减免,完善知识产权保护制度,激励企业增加技术创新投入,建立绿色建筑评价体系,将结构设计的节能环保因素纳入评价指标。

制定针对性的产业支持政策如对新型结构材料生产企业给予补贴,推动产业升级,完善工程建设项目招投标制度,避免简单以价格为导向,鼓励采用新技术新方法,建立健全工程质量责任终身制,提高从业人员的责任意识,制定有利于跨学科、跨领域合作的政策,促进学科交叉创新。

(三) 推动数字化转型和智能化升级

数字化转型和智能化升级是建筑工程结构设计领域的必然趋势,应大力推广BIM技术的应用,实现设计、施工、运维全生命周期的信息化管理。鼓励开发适应本土需求的BIM软件和插件,提高设计效率,建立统一的数据标准和交换协议,实现不同软件、不同阶段、不同专业间的无缝对接,推动云计算和边缘计算在结构分析中的应用,提供强大的计算支持,鼓励人工智能技术在结构优化、方案生成等方面的应用,开发智能辅助设计系统,建立行业级大数据平台,收集和分析工程案例,为设计决策提供数据支持。推广数字孪生技术,实现虚拟与现实的实时互动,提高结构全生命周期管理水平,发展虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术在结构设计中的应用,增强设计的直观性和交互性,鼓励开发基于物联网的智能结构健康监测系统,实现结构性能的实时监测和预警,推动区块链技术在工程设计文件管理、知识产权保护等方面的应用,提高信息安全性。建立数字化设计标准和评价体系,规范数字化设计流程,加强网络安全建设,保护敏感数据和知识产权,培养具备数字化思维和能力的新型工程师,适应智能化设计的需求,鼓励传统设计院转型为数字化设计服务提供商,提升行业整体数字化水平^[5]。

结语

建筑工程结构设计作为建筑工程领域的重要组成部分,其发展水平直接关系到建筑工程的质量和安​​全,面对新时代的机遇与挑战,建筑工程结构设计必须不断创新,推动智能化、绿色化发展,同时加强人才培养和技术创新,通过产学研合作完善标准规范,建筑工程结构设计领域将迎来新的发展机遇,为建筑工程的高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 林国雄. 建筑工程结构设计现状及发展趋势分析[J]. 居舍, 2020, (12): 87+180.
- [2] 李福珠. 建筑工程结构设计现状及发展趋势分析[J]. 门窗, 2019, (21): 153.
- [3] 桑恬. 探析建筑工程设计的发展现状及趋势分析[J]. 门窗, 2019, (21): 159.
- [4] 陈敏. 建筑工程结构设计现状及发展趋势分析[J]. 住宅与房地产, 2019, (30): 55.
- [5] 张宏. 建筑工程结构设计现状分析及发展趋势探讨[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(01): 26-27.