

建筑结构领域下钢结构、混凝土与基坑设计的创新路径

陈国成

广东 湛江 524000

DOI:10.61369/UAID.2024110029

摘要：建筑结构领域在钢结构、混凝土与基坑设计方面有诸多创新路径。如钢结构研发新型结构体系、采用智能化设计技术；混凝土开发高性能材料、创新装配式节点；基坑应用智能监测、协同设计等技术。同时，构建相关平台、机制与模型助力创新，还需完善规范标准，未来应建立跨专业协同创新机制并深化数字孪生技术应用。

关键词：建筑结构；创新路径；协同创新

Innovative Path of Steel Structure, Concrete and Foundation Pit Design in the Field of Building Structures

Chen Guocheng

Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : There are many innovative paths in the field of building structures in steel structure, concrete and foundation pit design. Developing new structural systems for steel structures and adopting intelligent design technologies; Developing high-performance materials for concrete and innovating prefabricated nodes; Intelligent monitoring and collaborative design technologies are applied to foundation pits. At the same time, building relevant platforms, mechanisms, and models to support innovation requires improving regulatory standards. In the future, a cross disciplinary collaborative innovation mechanism should be established and the application of digital twin technology should be deepened.

Keywords : building structure; innovation path; collaborative innovation

引言

2023年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了建筑领域创新与数字化发展的重要性。在此背景下，建筑结构领域的钢结构、混凝土与基坑设计需探寻创新路径。新型结构体系研发、智能化设计技术等在钢结构设计中取得进展；高性能混凝土材料开发、装配式结构节点创新推动混凝土结构技术创新；光纤传感监测体系、AI预测模型构建等为基坑工程带来变革。但各领域创新缺乏深度融合，因此需建立跨专业协同创新机制，深化数字孪生技术应用，实现建筑结构设计整体提升与可持续发展。

一、钢结构设计创新路径

(一) 新型结构体系研发

在建筑结构领域的钢结构设计创新路径中，新型结构体系研发至关重要。研究大跨度空间网格结构，因其具有较大的空间跨越能力，能满足大型公共建筑等对空间的特殊需求，需深入剖析其节点构造、杆件布置等技术特征，探寻优化设计方法，以提升结构稳定性与经济性^[1]。错层钢结构体系则打破传统楼层平面的规整性，为建筑提供更灵活的空间布局。通过研究其在竖向与水平荷载作用下的力学性能，结合风洞试验模拟实际风荷载，以及地震响应分析了解结构在地震中的动力特性，进而验证结构性能优化方案，为新型结构体系的工程应用提供可靠依据，推动钢结

构设计在建筑领域的创新发展。

(二) 智能化设计技术

在钢结构设计创新路径的智能化设计技术方面，可借助BIM-LCA集成平台实现钢结构全生命周期管理。该平台将建筑信息模型（BIM）与生命周期评价（LCA）相结合，从设计阶段开始，便能够精确模拟钢结构在各个阶段的性能表现，比如材料选用对环境的影响、施工过程中的资源消耗等，帮助设计师全面了解钢结构全生命周期的各项指标，做出更科学合理的设计决策^[2]。同时，构建基于机器学习的节点优化算法模型也至关重要。通过对大量节点数据的学习，该模型能够分析不同节点在不同受力情况下的力学性能，自动优化节点设计，提高节点的安全性与稳定性，有效降低钢材用量，实现钢结构设计的智能化与高效化，为

钢结构设计提供全新的创新思路与方法。

二、混凝土结构技术创新

(一) 高性能混凝土材料开发

在建筑结构领域的混凝土结构技术创新中，高性能混凝土材料开发至关重要。超高性能混凝土（UHPC）因其卓越性能备受关注。分析UHPC的微观结构特性是开发高性能混凝土材料的关键一步，通过深入了解其微观结构，能够明晰各组成成分之间的相互作用机制，为材料性能优化提供理论依据。在此基础上，建立材料配比优化模型，综合考虑水泥、骨料、外加剂等原材料的性能与比例关系，通过精确计算与模拟，寻求最佳配比，以实现UHPC性能的最大化发挥。同时，构建耐久性评估体系^[3]，考虑环境因素对UHPC的侵蚀影响，从不同维度评估其耐久性，为UHPC在实际工程中的长期稳定应用提供保障，推动混凝土结构在建筑领域的技术创新。

(二) 装配式结构节点创新

在建筑结构领域下混凝土结构技术创新的装配式结构节点创新方面，研发预应力装配式框架节点构造是关键举措。此构造旨在突破传统装配式节点的局限，提升结构整体性能。通过拟静力试验对该节点进行深入研究，着重验证其耗能能力与延性性能的提升效果^[4]。拟静力试验能够模拟结构在地震等动态荷载作用下的响应，直观反映节点在复杂受力状态下的力学性能。若试验结果表明该预应力装配式框架节点的耗能能力显著增强，延性性能得到有效提升，意味着这种创新节点构造可更好地吸收地震能量，降低结构在地震中的破坏程度，为混凝土装配式结构在抗震设计方面提供更为可靠的技术支持，推动建筑结构领域的发展。

三、基坑工程协同设计方法

(一) 智能监测技术应用

1. 光纤传感监测体系

在基坑工程智能监测技术应用中，光纤传感监测体系发挥着关键作用。通过构建分布式光纤应变传感网络，能够实现对支护结构受力状态的实时可视化监测。光纤传感技术具有抗电磁干扰、耐腐蚀、精度高且可分布式测量等优势。将光纤传感器合理布置于基坑支护结构，如桩体、支撑梁等关键部位，可精准感知结构在不同施工阶段的应变变化。一旦结构受力出现异常，监测系统能及时捕捉并直观呈现，为工程人员提供准确数据，以便及时调整施工策略，预防安全事故。这一体系借助光纤传感的独特性能，为基坑工程的安全稳定施工提供有力保障^[5]。

2. AI预测模型构建

在基坑工程协同设计中，AI预测模型构建是关键环节。开发基于深度学习的基坑变形预测模型，能有效提升对基坑状态的预判能力。将地质参数，如土壤类型、土层分布、力学性质等纳入模型输入，这些参数对基坑变形有基础影响^[6]。同时，融入施工时序数据，包括挖掘顺序、支护设置时间等，因施工过程动态

变化，其顺序与时间点对基坑变形影响显著。通过集成这两类数据，让模型学习复杂的非线性关系，进而准确预测基坑变形趋势。这一AI预测模型为基坑工程的协同设计提供数据支撑与决策依据，确保设计的科学性与安全性，有效降低工程风险。

(二) 绿色支护技术研发

1. 可回收支护结构

在基坑工程协同设计方法的绿色支护技术研发中，可回收支护结构是重要一环。设计模块化钢支撑体系，能显著提高构件的周转利用率。这种体系由标准化、模块化的钢构件组成，便于安装、拆卸及运输，极大缩短施工周期。通过建立构件周转利用率的经济效益评估模型^[7]，可以精准分析钢支撑体系多次周转使用所带来的成本节约。该模型考虑钢构件的初始购置成本、运输成本、安装与拆卸成本以及多次周转中的损耗成本等因素，从经济角度为可回收支护结构的应用提供量化依据，推动绿色支护技术在基坑工程中的广泛应用，实现建筑结构领域下基坑设计的创新与可持续发展。

2. 生态支护工法

生态支护工法旨在将植物根系加固技术与传统支护体系相结合，实现基坑支护的生态化与绿色化。深入研究植物根系加固技术与传统支护体系的耦合作用机理至关重要^[8]。植物根系在土壤中能够增加土体的凝聚力和摩擦力，改善土体的力学性能。通过与传统支护体系协同工作，如土钉墙、桩锚支护等，可有效提升支护结构的稳定性。例如，草本植物根系浅而密集，能加固浅层土体；木本植物根系深且粗壮，可对深层土体起到锚固作用。在实际应用中，根据基坑的地质条件、周边环境等因素，合理选择植物种类与传统支护方式，优化两者的结合方式与参数，从而形成高效、环保的生态支护工法，在确保基坑安全的同时，实现生态效益与经济效益的双赢。

四、多专业协同优化策略

(一) 数字化协同平台开发

1. BIM-MEP集成系统

在建筑结构领域，针对钢结构、混凝土与基坑设计构建数字化协同平台时，BIM-MEP集成系统发挥着关键作用。通过该系统，能有效整合建筑结构各专业信息，实现数据的实时共享与交互。在钢结构设计中，可借助其对复杂节点进行可视化模拟与分析，优化连接方式。对于混凝土结构，能精准模拟浇筑过程，提前发现潜在问题并调整。在基坑设计方面，可与岩土等专业协同，利用BIM-MEP集成系统对周边环境影响进行评估。通过此系统，各专业可从不同角度审视设计方案，以达到多专业协同优化的目的，共同探索钢结构、混凝土与基坑设计的创新路径，提升整体项目质量与效率^[9]。

2. 云端协同工作机制

在建筑结构领域，为实现钢结构、混凝土与基坑设计的创新路径，基于区块链技术建立的云端协同工作机制至关重要。通过此机制，钢结构、混凝土与基坑设计等多专业人员可实时协作。

区块链的分布式账本特性使各方能随时获取最新设计信息，打破信息壁垒，比如在设计大型商业建筑时，钢结构工程师能实时知晓混凝土浇筑方案的调整，及时优化钢梁布局^[10]。同时，其不可篡改与时间戳功能实现了版本控制，每一次设计变更都被清晰记录，便于追溯与审查，防止因版本混乱导致设计错误。这样的云端协同工作机制让各专业在设计过程中紧密配合，实现协同优化，提升建筑结构设计的整体质量与效率。

（二）全生命周期成本控制

1. 碳排放评估模型

在建筑结构领域，为实现钢结构、混凝土与基坑设计的创新，需构建碳排放评估模型以助力全生命周期成本控制。该模型整合钢结构、混凝土与基坑设计相关数据，量化各阶段碳排放。比如，针对材料生产，依据钢、混凝土等材料生产工艺及用量，计算其碳排放系数；施工建造阶段，考量机械使用、能源消耗等因素，精准估算现场碳排放；运营维护阶段，分析设备运行能耗等对碳排放的影响。通过该模型，多专业人员可协同评估不同设计方案碳排放情况，优化设计，在满足建筑功能前提下，最大程度降低碳排放，达成环境效益与经济效益的双赢，为建筑结构领域可持续发展提供有力支撑。

2. 价值工程优化算法

在建筑结构领域下钢结构、混凝土与基坑设计中，价值工程优化算法可有效助力创新路径探索。以功能分析为核心，对钢结构、混凝土结构及基坑设计的功能与成本进行系统研究。通过精确计算功能重要性系数、成本系数，得出价值系数，确定需要改进的环节。例如，分析钢结构在承载功能与制造成本间的关系，优化材料选用与节点设计，在保证结构安全可靠前提下，降低成本。对混凝土结构，考量耐久性、施工便利性等功能，优化配合比与浇筑工艺，实现功能提升与成本控制。对于基坑设计，权衡支护稳定性、土方开挖量等功能与成本，优化支护方案，达到价值最大化，推动建筑结构领域多专业协同设计的创新发展。

（三）规范标准适应性研究

1. 技术创新规范转化

在建筑结构领域，钢结构、混凝土与基坑设计的创新路径离不开规范标准的适应性与技术创新规范的转化。对于装配式钢结

构验收标准与创新技术要求的匹配度分析，需深入探究现有验收标准对创新技术的涵盖程度。一方面，梳理创新技术的关键指标，诸如新型连接工艺、材料性能提升要点等。另一方面，将这些指标与现行验收标准的条款细致比对，明确标准中需补充或修订之处，使验收标准能更精准地契合创新技术的发展。通过这种方式，促进创新技术在实践中的有效应用与推广，在确保建筑结构安全可靠的基础上，推动钢结构、混凝土与基坑设计在多专业协同下不断创新发展，达成规范标准与技术创新的动态平衡。

2. 国际标准对比分析

在建筑结构领域，研究欧美规范在混凝土耐久性指标设置方面的先进性具有重要意义。欧美规范在这方面通常有着较为成熟的体系，例如对混凝土原材料的严格限定，从源头上保障混凝土质量，进而提升耐久性。在环境作用分类与作用等级划分上，其依据不同使用场景和环境条件进行细致区分，使耐久性设计更具针对性。在耐久性设计方法上，欧美规范多采用基于可靠度的设计理念，考虑多种不确定性因素，使设计更为科学合理。这些先进性可为钢结构、混凝土与基坑设计在耐久性方面提供借鉴，促进多专业协同优化，助力探寻创新路径，确保建筑结构在满足安全性能的同时，拥有更长久的使用寿命与良好的耐久性表现。

五、总结

在建筑结构领域，钢结构、混凝土与基坑设计在材料研发、设计方法及智能监测等方面均取得显著创新成果。新型材料的涌现，让结构性能大幅提升；先进设计方法的应用，提高了设计效率与精准度；智能监测手段的融入，实现对结构实时健康状况的有效把控。然而，各领域的创新多为独立开展，缺乏深度融合。因此，建立跨专业协同创新机制极为必要，打破专业壁垒，促进信息共享与技术互补，推动整体进步。同时，数字孪生技术为结构工程带来全新机遇，未来深化应用，将实现对建筑结构全生命周期的精准模拟与优化，全面提升建筑结构设计水平与工程质量，引领行业迈向智能化、数字化新时代。

参考文献

- [1] 徐靓. 制造企业协同创新的路径与绩效研究 -- 以万里扬集团为例 [D]. 苏州大学, 2022.
- [2] 黄锦迪. 城市垃圾分类回收政策演进特征与创新路径研究 [D]. 天津理工大学, 2022.
- [3] 朱思远. 平台协同创新下产品设计及定价策略研究 [D]. 中国科学技术大学, 2023.
- [4] 薛双. ALB 电商企业商业模式创新路径研究 [D]. 大连海事大学, 2023.
- [5] 本连昌. 创新生态系统视角下区域创新绩效提升路径组态分析 [D]. 兰州理工大学, 2021.
- [6] 李毓, 张钰. 协同创新视角下艺术引领乡村振兴模式与创新路径研究 [J]. 广东农工商职业技术学院学报, 2023, 39(04): 1-7.
- [7] 宋丽萍. 平台经济下企业创新路径——海尔、华为、阿里巴巴创新模式特征分析 [J]. 企业管理, 2022, (09): 18-22.
- [8] 康利慧. 多层钢结构模块与钢框架复合建筑结构设计探究 [J]. 科技创新导报, 2021, 18(36): 85-87.
- [9] 武鹏. 建筑结构设计中混凝土裂缝防治对策 [J]. 石材, 2024, (01): 119-121.
- [10] 谢志成. 钢结构设计在建筑设计中的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (05): 10-12.