

土木工程专业新型建材应用与结构性能优化研究

孙爱茹 程倩倩 刘丽 孙潇潇*

青岛城市学院 山东 青岛 266100

【摘要】：随着建筑行业的快速发展，新型建材逐渐成为提高建筑质量的重要手段，新型建材具有优异的力学性能、耐久性、环保性，能够有效优化结构设计，提高工程的安全性，随着绿色建筑的推行，新型建材不仅有助于节能减排，还能提升建筑物的综合性能。土木工程向着高质量升级，新型建材应用范围不断扩大，聚焦新型建材的内涵特征开展研究，对高性能工程材料、绿色低碳建材、复合功能材料的作用机理展开系统分析，文章探究材料力学性能、工程适用性等关键因素对应用效果的作用，提出了结构参数优化等结构性能优化办法，为新型建材和结构体系的协同设计提供理论支撑，以此优化土木工程结构性能，助力可持续发展。

【关键词】：土木工程；新型建材；工程材料

DOI:10.12417/3083-5526.25.05.018

随着基础设施高质量发展，土木工程需兼顾节能减排、耐久安全与智能建造多方面要求，高性能混凝土、复合材料与功能化材料等新型建材不断推出，轻量化、高强度和环境适应性为工程创新筑牢基础，对材料性能、结构受力机理及协同设计方法开展系统研究，推动新型建材在结构中合理运用，达成结构性能优化、寿命延长、全生命周期成本降低，具备理论及工程实用价值。

1 土木工程专业新型建材的内涵

1.1 高性能工程材料

高性能工程材料是指，在力学性能、耐久性能等方面显著优于传统建材的一类工程用材料，是土木工程新型建材的重要组成部分，该类材料通常具有高强度、高韧性、高弹性模量，能够保持结构安全，通过材料成分优化、微观结构调控，高性能工程材料突破了传统材料的限制，为大型、复杂、高标准工程建设提供了基础支撑^[1]。从工程应用实际出发，高性能工程材料不光聚焦材料自身性能的升级，更看重材料和结构体系的协同优化，这类材料可助力完成结构轻量化设计、构件尺寸优化、整体受力性能提升，提升结构安全储备与抗灾能力，高性能工程材料的耐久性、适应性、全生命周期性能表现出色，能切实削减维护成本，提升工程服役年限，贴合现代土木工程朝着高质量、可持续、高可靠性发展的总体需求。

1.2 绿色低碳建材

绿色低碳建材是以资源节约、环境友好为核心目标的新型土木工程材料，是实现工程建设可持续发展的重要基础，该类建材在原材料选取、生产制造等全过程中，强调降低能源消耗，减少对生态环境的负面影响，通过利用工业固废、可再生资源，绿色低碳建材在满足基本力学要求，有效缓解传统建材高能耗、高排放带来的环境压力，契合“双碳”目标背景下土木工程发展的现实需求^[2]。从工程应用内涵出发，绿色低碳建材的优势不只是材料自带的环保特性，更能体现在和结构设计、施工

方式的协同优化中，这类建材可提升结构耐久性，同时实现资源高效利用，提升构筑物使用年限、降低维修和重建次数，间接降低全生命周期碳排放，绿色低碳建材拉动装配式建造、循环利用和智能施工等新模式进步，为土木工程达成低能耗、高效率与生态友好兼顾的建设目标筑牢关键支撑，兼具突出工程价值与重大社会意义。

1.3 复合功能材料

复合功能材料是通过多种材料进行有机组合，使其在结构承载的基础上，具备多种工程功能的新式土木工程材料，这类材料通常融合不同材料的优势性能，如高强度与高韧性、承载能力等，从而突破单一材料在性能上的局限，通过合理设计材料组成、界面结构及成型工艺，复合功能材料能够实现力学性能与附加功能的协同发挥，体现了现代土木工程材料多功能化的发展趋势^[3]。聚焦土木工程应用的核心要义，复合功能材料可支撑结构安全，更突出它在耐久、防护、节能及环境适应等方面的综合效能（见表1），这类材料能在结构里承担多种功能，诸如同时实现受力、隔热、防腐或减振效果，进而缩减材料类型与结构复杂度，强化结构整体效率，采用复合功能材料可优化结构设计思路，优化工程系统性能，降低全生命周期维护成本，为复杂工程、特殊环境及高性能基础设施建设筑牢关键支撑，应用前景广阔。

表1 复合功能材料的效能

功能领域	综合效能
耐久性	提供长期的结构稳定性，增强材料抗老化、抗腐蚀、抗磨损的能力，确保结构在恶劣环境中保持性能。
防护性	提高抗冲击、抗火灾、抗辐射、抗冻等性能，增强结构对外部危险因素的防护能力。
节能性	优化热传导性能，减少能量损耗，提升建筑物和设备的能源利用效率，降低运行成本。

环境适应性	具备自适应功能，能够根据环境变化调节自身性能，如温度变化、湿度波动等，提高结构的适应性。
-------	--

2 土木工程专业新型建材应用的影响因素

2.1 材料力学性能

作为结构受力的基础，材料的强度、刚度直接决定其能否满足工程结构的基本要求，新型建材虽然在功能性方面具有优势，但若其力学性能不足，将难以适应复杂多变的工程受力环境，因此，在工程实践中，必须通过系统的力学试验与性能评价，确保材料具有可靠的承载能力，为结构设计施工应用提供科学依据。从结构整体层面看，材料力学性能影响单个构件的受力表现，还关乎结构体系的协同作业和长期服役性能，新型建材一般具备和传统材料不同的应力—应变特性、破坏模式和时间效应，相关力学特征会显著影响结构刚度分布、内力传递路径和极限状态^[4]。材料性能与结构设计不匹配，可能造成应力集中、过度变形或脆性破坏等问题，新型建材的实际应用阶段，需全面兼顾材料力学性能与结构形式、构造措施及使用环境的耦合关系，依托合理设计与优化配置，充分挖掘材料优势，维持结构安全、耐久和性能稳定。

2.2 工程适用性

工程适用性是决定新型建材能否成功的因素之一，其核心在于材料性能与具体工程条件之间的匹配程度，不同类型的工程在结构形式等方面存在显著差异，对材料提出了多样化要求，新型建材表现优良，若难以适应实际工程中的荷载条件，其应用价值也会受到限制，因此，工程适用性强调材料的可行性、可靠性与稳定性，是连接理论研究与工程实践的关键环节^[5]。从工程实施层面分析，工程适用性包含材料符合设计，还涉及施工工艺适配性、现场操作难度及和现有技术体系的兼容程度，部分新型建材对施工条件标准偏高，诸如施工温度、设备精度或操作工艺复杂，若不匹配现有施工水平，或提升施工风险与管理成本。各类工程的气候条件、地质环境和服役要求差别突出，新型建材必须拥有适应环境的相应能力，完成工程适用性充分评估后，结合具体工程特点选对用好，新型建材能切实发挥自身技术长处，实现安全、经济和高质量建设要求。

2.3 施工工艺条件

在土木工程中，施工工艺条件是影响新型建材推广的因素之一，其直接关系到材料性能能否得到充分发挥，新型建材往往具有不同于传统材料的成型方式、施工流程，对施工工艺提出更高的技术条件，如果施工方法不当，导致材料性能衰减、构件缺陷，因此，施工工艺条件不仅是材料顺利应用的前提，也是保障工程质量的重要支撑。从工程落实角度分析，施工工艺条件覆盖施工设备、技术水平、工序组织及现场管理等多个方面，部分新型建材对施工环境较为挑剔，严格要求温度、湿度、养护方式或施工精度，现场条件不达标，会干扰其力学性

能和耐久表现，进行新型建材施工，往往要配套专用设备或工艺标准，这就对施工单位的技术储备和人员素质提出更高标准，施工体系与材料特性不契合，可能增加施工难度与成本，限制它在工程中实际运用，开展新型建材推广的阶段，同步优化施工工艺参数，加大技术培训和工艺改进力度，协同推进材料性能、施工技术和工程质量升级。

3 土木工程专业新型建材结构性能优化的方法

3.1 结构参数优化

结构参数优化是新型建材结构性能优化方法，其核心在于通过合理调整结构几何尺寸、构件截面形式、配筋比例，使新型建材的力学性能得到充分发挥，在采用新型建材的结构中，材料特性往往与传统建材存在显著差异，如高强度、高延性等，这要求结构参数不再简单沿用传统设计经验，而需基于材料性能重新匹配结构尺度，通过对构件尺寸、跨度比例等参数进行优化设计，可有效改善结构受力状态，降低应力集中现象，提高承载能力，从而实现结构轻量化。从工程实践角度，优化结构参数要依托理论分析、数值模拟和试验研究结合的方法开展，采用有限元分析等数值技术，对比不同参数组合下结构响应的系统差异，找出影响结构性能的关键参数及敏感程度；通过试验验证优化结果的可行性和可靠性，防止只凭理论假设出现的偏差。优化结构参数需综合考量施工可行性、经济性及耐久性等相关因素，杜绝过度强化力学性能，引发施工难度增大或成本提高，从设计环节入手，科学系统优化结构参数，能实现新型建材和结构体系高效联动，为提升结构整体性能、延长服役寿命、推进新型建材工程化应用拿出切实可行的技术方案。

3.2 材料性能匹配

材料性能匹配可以实现新型建材结构性能，其核心在于根据结构受力特征，合理协调不同材料之间的性能关系，新型建材往往在强度、刚度等方面具有突出的单项优势，但结构体系的安全依赖于多种材料共同作用，如果材料性能差异过大，容易引发应力集中、变形不协调等问题，削弱结构整体性能，因此，在结构设计阶段，应充分分析新型建材的力学特性，结合结构构件所处的受力环境，对材料性能进行针对性匹配，以实现受力协调。在开展工程实操时，材料性能匹配需综合考量结构层级、构件功能及长期服役要求，从整体到局部实施系统优化，要留意不同材料在弹性模量、强度等级和延性特征上的合理搭配，保障结构在正常使用、极限状态下均维持稳定的受力传递和变形控制；还得关注材料耐久性、温度变形、收缩徐变等长期性能的匹配，防止因性能差异引发结构开裂、界面劣化或使用功能下降。构造设计、施工工艺和维护管理需结合材料性能匹配，靠合理设计构造措施，做好施工管控，维持材料协同工作稳定性，用科学方法推行材料性能匹配措施，可充分利用新型建材的技术优势，优化结构安全性、耐久性及整体服役

能力，全面优化土木工程结构性能。

3.3 多尺度分析方法

多尺度分析方法是新型建材结构性能对策，其核心在于将材料微观特性、细观结构行为、宏观结构响应有机结合，系统揭示材料性能对结构整体性能的影响机理，新型建材通常具有多层次结构特征，其力学行为不仅取决于宏观构件尺寸，还受到材料内部微结构、界面特性、损伤演化过程的显著影响，通过多尺度分析方法，可以从材料微观层面分析颗粒分布、孔隙结构等关键因素对力学性能的作用机理，再将其等效或传递至构件，从而为结构设计提供更具物理基础的参数依据，避免单一尺度分析带来的简化误差。在工程实际应用层面，多尺度分析方法须和数值模拟、试验研究、工程实践紧密结合，整理出框架化的结构性能优化路径，构建多尺度本构模型及跨尺度耦合分析框架，实现不同尺度间材料性能的高效传递，为新型建材结构的受力分析、耐久性评估和失效预测提供支撑；参照试验结果校验修正多尺度模型，增强分析结果的可靠性与工程实用性。多尺度分析方法还能用来找出影响结构性能的关键材料参数，为结构参数优化、构造改进和材料选型提供科学依据，把多尺度分析方法融入设计和分析阶段，可有效增强新型建材结构性能优化的精准度，为复杂结构和高性能工程的安全、经济与耐久设计筑牢坚实后盾。

3.4 数值模拟优化

数值模拟优化是提升新型建材结构性能过程中，应用范围广且效果显著的核心举措，核心为借助计算分析技术，细化模拟结构在不同工况下的受力、变形与破坏过程（见图1），为结构设计和材料配置给出科学参照，新型建材一般有非线性、非均质或多功能等特质，通过传统经验做设计，无法精准体现结构实际表现，搭建合理的数值模型，把材料本构关系、几何特性及边界条件做综合表达，能系统分析结构正常使用、极限

状态下的性能表现，定位关键薄弱环节和性能管控要素，指明结构性能优化路径。在实施具体对策时，数值模拟优化要结合模型精度，凭试验数据对材料模型，保证模拟结果兼具可靠性；工程师需结合工程实际需求，对不同设计方案、材料组合和结构参数做对比分析，选出性能佳、成本合理的优化方案。数值模拟能评估结构受复杂荷载、长期服役或极端环境作用时的响应规律，预先排查潜在风险，协助制定专属优化方案，通过不断迭代优化分析，数值模拟能同步提升新型建材结构设计的科学性，还能切实削减试验成本，助力新型建材在土木工程中安全、高效及规模化应用。

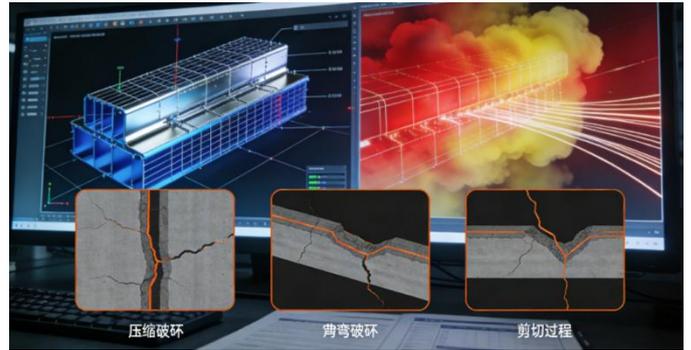


图1 数值模拟优化

4 结语

新型建材在土木工程的应用及结构性能优化，是助力工程技术进步和行业高质量发展的关键方式，对材料内涵、应用影响因素及结构性能优化方法开展系统研究，助力材料性能和结构设计深度融合，增强工程安全、耐久与经济属性，合理采用新型建材可强化结构整体性能，减少资源消耗，也为复杂工程筑牢技术基础，要强化理论研究 with 工程实践的配合，完备设计方法，推进新型建材在土木工程科学应用。

参考文献：

- [1] 李辉鹏.绿色建造技术在土木工程结构设计中的应用探讨[J].产品可靠性报告,2025(2):149-150.
- [2] 杨献丰.土木工程建设中钢结构技术的应用与管理研究[J].中国科技期刊数据库工业 A,2023(5):15-18.
- [3] 陆文添,董青.新型环保民用建筑材料在土木工程施工中的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(4):104-106.
- [4] 任旗.土木工程中新型复合材料性能与应用研究[J].新城建科技,2025(7):120-122.
- [5] 吴京安.混凝土结构在土木工程中的应用与发展[J].中国科技期刊数据库工业 A,2024(003):6-8.