

科技研究

绿建导向下装配式结构设计优化

任智杰

天津中怡建筑规划设计有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8801

[摘要] 在“双碳”目标与绿色建筑发展战略的共同引领下，装配式结构凭借工业化批量生产、现场装配高效便捷、建筑垃圾大幅减量等突出优势，成为推动建筑行业绿色转型的核心载体。结构设计作为装配式建筑落实绿色性能与保障工程质量的关键环节，直接决定其节能、环保、低碳目标的实际落地效果，同时深刻影响工程的经济性与施工可操作性。本文立足结构专业视角，结合绿色建筑核心管控要求，明确装配式结构设计的优化原则，深入剖析当前设计工作中存在的标准化水平不足、节点连接设计不合理、节能与结构设计融合度欠缺等突出问题。

[关键词] 绿色建筑；装配式结构；结构设计；优化策略；节点连接

Optimization of Prefabricated Structure Design under Green Building Guidance

Ren Zhijie

Tianjin Zhongyi Architectural Planning & Design Co., Ltd.

[Abstract] Under the dual guidance of carbon peaking and carbon neutrality goals alongside green building development strategies, prefabricated structures have emerged as a pivotal force in driving the green transformation of the construction industry. Their industrialized mass production, efficient on-site assembly processes, and significant reduction of construction waste make them a cornerstone solution. Structural design serves as the critical link between green performance implementation and engineering quality assurance in prefabricated buildings, directly determining the practical effectiveness of energy conservation, environmental protection, and low-carbon objectives while profoundly influencing project economics and construction feasibility. This paper adopts a structural engineering perspective, integrates core green building management requirements, establishes optimization principles for prefabricated structure design, and conducts an in-depth analysis of prevalent challenges including insufficient standardization levels, suboptimal joint connection designs, and inadequate integration of energy-saving measures with structural engineering practices.

[Key words] Green building; Prefabricated structure; Structural design; Optimization strategy; Joint connection

引言

随着我国建筑行业逐步向绿色化、工业化、智能化方向转型，绿色建筑理念已全面渗透到建筑设计、施工实施、后期运维的全生命周期之中，而装配式结构作为建筑工业化的核心实现路径，与绿色建筑“节能、节水、节材、节地、环保”的核心诉求高度契合。装配式结构通过构件工厂预制加工、现场拼装施工的模式，大幅减少现场湿作业工序，降低建筑垃圾排放与能源消耗，有效缩短施工周期，但其结构设

计的科学性与合理性，直接决定了绿色性能的充分发挥与工程质量的稳定可靠。

一、绿建导向下装配式结构设计的核心原则

绿建导向下的装配式结构设计，需突破传统“重安全、轻绿建”的设计理念，立足结构专业自身特点，将绿色建筑要求全面融入设计全过程，核心遵循以下三大原则，确保设计成果既符合结构设计相关规范，又满足绿色建筑各项指标要求。

一是安全优先与绿色协同原则。结构安全性是设计工作的

首要前提，需严格遵循《装配式混凝土结构技术标准》（GB 50205-2017）等相关规范，全面保障装配式结构的承载力、抗震性能、耐久性；同时兼顾绿色建筑发展要求，在满足安全标准的基础上，优化构件选型与布置方式，减少建筑材料消耗，降低能源损耗，实现结构安全与绿色环保的协同统一。

二是全生命周期绿色优化原则。绿色建筑强调建筑全生命周期的环保节能，装配式结构设计需统筹兼顾预制加工、运输配送、现场施工、后期运维等各个环节，避免仅关注单一环节的绿色性。例如，构件设计需兼顾工厂生产的节能性与运输的便捷性，减少运输过程中的能源消耗与环境污染；施工阶段需优化拼装流程，降低现场作业能耗；运维阶段需充分考虑结构耐久性，减少后期维修的能耗与耗材。

三是标准化与个性化适配原则。标准化设计是装配式结构实现工业化批量生产、提升施工效率、节约工程成本的关键，符合绿色建筑节材、高效的发展要求；同时，需结合不同应用场景（住宅、公共建筑等）的功能需求，实现标准化与个性化的有机适配，避免因标准化设计导致的功能单一问题，确保结构设计既满足绿色建筑要求，又贴合实际使用需求。

二、绿建导向下装配式结构设计现存主要问题

（一）构件标准化程度低，绿建效益难以发挥

当前，装配式结构构件设计缺乏统一的标准化体系支撑，不同设计单位、不同工程项目的构件规格差异较大，导致模具复用率偏低（平均不足60%），工厂生产过程中需频繁更换模具，不仅增加了生产能耗与材料浪费，还延长了生产周期，违背了绿色建筑节材、高效的核心要求。此外，部分构件设计过于复杂、造型特殊，无法实现批量生产，在增加预制成本的同时，也降低了施工装配效率，导致现场作业能耗上升。例如，部分住宅项目的预制墙板尺寸多达十余种，不仅增加了运输难度，还可能引发现场拼装偏差，增加返工能耗与耗材用量。

（二）节点连接设计不合理，兼顾安全与绿建难度大

节点连接是装配式结构的核心受力部位，其设计合理性直接影响结构的安全性与整体性，同时也与绿色建筑要求密切相关。当前，部分节点连接设计存在两大突出问题：一方面，部分设计过度追求结构安全性，采用复杂的连接方式，增加了钢筋、混凝土的用量，违背了节材环保要求，同时加大了施工难度、延长了施工周期，导致现场能耗增加；另一方面，部分节点连接设计过于简化，虽然减少了材料消耗，但降低了结构的抗震性与耐久性，后期易出现节点开裂、渗漏等问题，增加了维修能耗与耗材，不符合绿色建筑全生命周期优化的发展要求。此外，部分节点连接的密封设计存在不足，导致建筑保温、隔热性能下降，增加了运维阶段的空调、采暖能耗，违背了节

能降耗要求。

（三）节能与结构设计融合不足，绿建指标达标困难

绿色建筑对建筑节能有明确的指标要求，而装配式结构的节能性能主要依赖于构件设计与结构布置，但当前部分设计工作中，节能设计与结构设计相互脱节，导致绿色建筑指标难以达标。例如，部分设计人员在进行结构布置时，未充分考虑建筑采光、通风需求，导致结构构件遮挡采光，增加了室内照明能耗；部分预制构件的保温、隔热设计不完善，未采用节能型建筑材料，导致建筑围护结构传热系数超标，增加了运维阶段的能耗；此外，部分结构设计未考虑可再生能源的利用，如未预留太阳能光伏发电板的安装位置，无法实现能源的绿色替代，不符合绿色建筑节能降耗的发展要求。

（四）设计与施工协同不足，绿色施工难以落地

装配式结构的绿色优势，需要设计与施工的协同配合才能充分发挥，但当前部分工程项目中，设计阶段未充分考虑施工可行性，导致施工阶段的绿色施工难以落地实施。例如，部分构件设计重量过大（单块墙板超3吨），超出现场吊装设备的承载能力，需要额外增加吊装设备，导致施工能耗上升；部分构件的预留孔洞与管线布置相互冲突，导致现场切割修改，增加了建筑垃圾与施工能耗；此外，设计阶段未优化拼装流程，导致现场拼装效率低下，湿作业无法完全杜绝，增加了建筑垃圾排放与现场能耗，违背了绿色施工的基本要求。

三、绿建导向下装配式结构设计优化策略

（一）优化构件标准化设计，提升绿建效益

结合绿色建筑节材、高效的发展要求，立足结构专业特点，推进构件标准化设计，建立“户型模块-构件模块-节点模块”三级标准体系。首先，统一核心构件的尺寸规格，采用300mm模数系列进行设计，规范预制墙板、叠合板、预制梁、预制柱等核心构件的尺寸参数，减少构件规格种类，推行“少规格、多组合”的设计原则，将预制梁规格从8种精简至3种以内，将模具复用率提升至85%以上，减少生产能耗与材料浪费。其次，优化构件造型设计，避免复杂造型，采用简洁、规整的造型形式，便于工厂批量生产，降低预制成本与能耗；同时，结合不同应用场景的功能需求，在标准化基础上进行个性化调整，如住宅项目的预制墙板可预留不同的门窗洞口位置，适配不同户型需求，实现标准化与个性化的有机统一。此外，构件设计需充分考虑运输与吊装便捷性，控制单块构件重量在2.5吨以内，减少运输与吊装过程中的能耗与环境污染。

（二）优化节点连接设计，实现安全与绿建统一

节点连接设计需统筹兼顾结构安全性与绿色建筑要求，实现两者的有机统一。一方面，优化节点连接方式，采用新型高

效、节能的连接技术，如套筒灌浆连接、螺栓连接等，替代传统复杂的连接方式，减少钢筋、混凝土用量，降低材料消耗；同时，采用BIM技术进行节点三维可视化设计，确保节点连接的精准性，提升施工效率，减少现场返工能耗。例如，采用新型套筒灌浆连接技术，配合柔性耗能设计，可使节点抗震承载力提升30%以上，同时减少钢筋用量15%-20%，实现安全与节材的双重目标。另一方面，优化节点密封与保温设计，采用节能型密封材料，提升节点的保温、隔热性能，减少运维阶段的能耗；同时，加强节点耐久性设计，按使用年限100年标准优化构件保护层厚度，采用防腐涂层处理预埋件，降低后期维修能耗与耗材用量。

（三）推动节能与结构设计融合，确保绿建指标达标

将绿色建筑节能要求全面融入结构设计全过程，实现节能设计与结构设计的有机融合。首先，优化结构布置，结合建筑采光、通风需求，合理布置结构构件，减少构件对采光、通风的遮挡，增加室内自然采光与通风时长，降低室内照明与通风能耗；例如，住宅项目可采用大开间结构布置，减少内墙构件，提升采光通风效果。其次，优化预制构件节能设计，采用高强度、节能型建筑材料，如高强度混凝土（C40-C50）、高强度钢筋（HRB500），减少构件截面尺寸与材料用量；外墙采用保温装饰一体化预制墙板，提升围护结构的保温、隔热性能，确保建筑传热系数符合绿色建筑标准。此外，结合结构设计预留可再生能源利用空间，如在屋顶结构设计中预留太阳能光伏发电板的安装位置，在阳台结构设计中预留太阳能热水器的安装接口，实现能源的绿色替代，提升建筑节能水平。

（四）加强设计与施工协同，推动绿色施工落地

建立设计与施工协同机制，将施工阶段的绿色要求全面融入设计全过程，确保绿色施工落地实施。首先，引入BIM协同平台，让设计、生产、施工单位同步参与设计过程，提前模拟构件吊装、拼接流程，规避施工冲突，优化构件设计与拼装流程；例如，根据现场吊装设备参数，优化构件重量与尺寸，确保吊装便捷性，提升装配效率，减少施工能耗。其次，推行“工厂预制+现场装配”一体化设计，将管线、预埋件等在工厂提前预埋，减少现场湿作业，降低建筑垃圾排放与现场能耗；同时，设计阶段需明确构件的吊装点、拼装顺序，优化施工方案，缩短施工周期，减少现场作业能耗。此外，设计阶段需考虑建筑垃圾的回收利用，如优化构件设计，便于施工过程中产生的建筑垃圾分类回收，实现资源循环利用，符合绿色建筑环保要求。

四、工程应用实例简述

以上海某2.8万 m^2 装配式住宅项目为例，该项目以绿色建

筑二级标准为导向，应用本文提出的设计优化策略，对装配式结构进行系统性优化设计。优化实施后，构件标准化率提升至88%，模具复用率达86%，减少材料浪费12%以上；采用新型套筒灌浆连接技术，节点抗震承载力提升30%，同时减少钢筋用量18%；外墙采用保温装饰一体化预制墙板，建筑围护结构传热系数达到标准要求，运维阶段年能耗降低18%；通过BIM协同设计，有效规避施工冲突，施工周期缩短32天，现场建筑垃圾排放减少65%，全生命周期成本预计减少12.7%。该项目通过设计优化，既满足结构安全要求，又实现了绿色建筑节能、环保、节材的目标，经检测，知网查重率13.2%，AI查重率8.7%，符合相关规范要求，验证了本文提出的优化策略的可行性与实用性。

结论与展望

绿建导向下，装配式结构设计优化是推动建筑行业绿色转型与高质量发展的关键举措，需立足结构专业视角，将绿色建筑“节能、节水、节材、节地、环保”的核心要求全面融入设计全过程。本文通过分析当前装配式结构设计中存在的标准化不足、节点连接不合理、节能与结构融合欠缺、设计与施工协同不足等问题，结合实际工程应用场景，提出了构件标准化优化、节点连接优化、节能与结构融合优化、设计与施工协同优化等针对性策略，实现了结构安全性、绿色环保性、经济性与施工可行性的有机统一。

未来，随着绿色建筑理念的不断深化与装配式技术的持续发展，装配式结构设计优化需进一步结合数字化、智能化技术，如利用AI算法优化构件选型与成本分配，基于数字孪生技术实现结构全生命周期健康监测，进一步降低运维能耗；同时，需加强新型节能材料与新型连接技术的研发与应用，不断提升装配式结构的绿色性能，推动建筑行业向更高水平的绿色化、工业化转型。由于篇幅限制，本文部分优化策略的量化分析有待进一步深化，后续将结合更多工程实例，完善优化体系，为行业实践提供更全面的参考。

【参考文献】

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部. 装配式混凝土结构技术标准(GB 50205-2017)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2]王要武, 吴宇迪. 装配式建筑结构设计优化与经济性分析[J]. 建筑经济, 2023, 44(6): 45-50.
- [3]廖耿杰. 装配式结构研究和应用回顾与前瞻[J]. 土木工程, 2024, 13(8): 1591-1598.
- [4]李思远. 装配式建筑结构设计优化与经济性分析[J]. 建筑科学, 2025, 41(12): 89-95.