

装配式混凝土建筑设计理论与方法

金腰斯吐

内蒙古建筑勘察设计研究院有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要：装配式混凝土建筑设计是建筑工业化发展的核心支撑，以全流程协同、标准化模块化及功能性能平衡为核心逻辑。本文梳理其设计概述，阐述结构组成体系、构件力学特性、性能适配及设计协同优化四大核心理论，探讨构件拆分、节点连接、标准化构件及集成化四大设计方法，旨在为装配式混凝土建筑高效、绿色、高质量发展提供支撑，推动建筑行业从现场施工向工业化协同转型。

关键词：装配式混凝土建筑；设计理论与方法；协同优化

引言：建筑工业化浪潮下，装配式混凝土建筑凭借标准化生产、现场高效装配及绿色低碳特性，成为建筑行业转型核心载体。相较于传统现浇模式，其设计需突破单一环节局限，通过预制构件统筹与全流程协同，实现从“现场施工导向”向“工业化协同导向”的转变。这一转型提升建造效率与质量稳定性，更推动建筑行业向资源节约、环境友好、性能优化的可持续发展方向迈进，为行业高质量发展注入新动能。

1 装配式混凝土建筑设计概述

装配式混凝土建筑设计是依托预制构件工厂化生产与现场装配协同作用的建筑设计形式，核心在于打破传统现浇建筑的局限，通过全流程统筹实现建造效率与质量的双重提升，是建筑工业化发展的核心支撑。其设计逻辑需围绕预制构件的特性展开，既要兼顾建筑的基础功能需求，也要适配构件生产、运输及装配的全链条要求，形成从设计源头到施工落地的一体化思维。（1）强调全流程协同性：设计环节需提前对接构件生产工艺与现场装配流程，避免设计与后续环节脱节，确保构件的尺寸精度、连接方式等符合装配施工的实际需求，实现设计、生产、装配的无缝衔接。（2）秉持标准化与模块化理念：通过梳理常见建筑户型与构件类型，建立标准化构件库，依托模块化组合满足不同建筑功能需求，既能提升构件生产效率、降低成本，也能增强设计的灵活性与适配性^[1]。（3）统筹功能与性能平衡：在满足建筑使用功能的基础上，重点考量预制构件的结构安全性、耐久性及保温隔热等性能，通过合理的构件拆分与连接设计，保障建筑整体性能达标。相较于传统现浇建筑设计，装配式混凝土建筑设计更注重前置规划与系统统筹，其发展推动了建筑设计从“现场施工导向”向“工业化协同导向”的转型，为建筑行业的高效、绿色发展提供了重要路径。

2 装配式混凝土建筑设计核心理论

2.1 装配式混凝土结构组成体系理论

装配式混凝土结构组成体系理论需以模块化设计与系统协同为核心，构建高效、安全、可持续的建筑体系。（1）预制构件标准化设计：通过统一模数协调与接口规范，实现梁、板、柱、墙等构件的标准化生产与快速拼装，降低施工误差，提升装配效率，同时确保构件连接节点的力学性能与耐久性满足使用要求。（2）连接节点可靠性理论：针对湿连接、干连接等不同连接方式，研究其传力机制、变形协调与抗震性能，确保节点在复杂荷载作用下的安全可靠，避免因连接失效引发结构整体破坏。（3）结构体系整体性能优化：通过整体结构分析与性能化设计，协调预制构件与现浇部分的协同工作，优化结构刚度、延性与耗能能力，提升结构在地震、风载等极端条件下的抗灾能力，实现从单一构件性能向整体结构性能的跃升。该理论体系需贯穿设计、生产、施工全流程，通过标准化设计降低建造成本，通过可靠性连接保障结构安全，通过整体性能优化提升建筑品质，最终形成覆盖“设计-生产-施工-运维”全生命周期的装配式混凝土结构技术体系，推动建筑工业化的高质量发展。

2.2 装配式混凝土构件力学特性理论

装配式混凝土构件力学特性理论是装配式建筑设计的核心支撑，其研究重点聚焦于构件在预制、运输、安装及使用全周期中的力学行为表现，为结构安全与性能优化提供科学依据。（1）构件受力模式差异分析：与现浇混凝土构件不同，预制构件需考虑自重、运输振动、吊装冲击等附加荷载作用，其受力路径呈现分段传递特征，需通过精细化有限元模拟与实体试验验证其承载能力。（2）连接节点力学性能研究：连接节点是装配式结构的关键薄弱环节，其抗剪、抗拉、抗弯性能直接影响整体结构稳定性。理论需结合螺栓连接、钢筋锚固、浆

锚搭接等不同连接方式的力学机制，建立节点刚度与延性协调的设计方法。(3) 材料特性时变效应考量：混凝土收缩徐变、钢筋锈蚀等材料时变特性在预制构件中表现更为显著，需通过长期性能试验与数值模拟，量化其对构件刚度、裂缝宽度及耐久性的影响规律，形成全寿命周期力学性能评估体系^[2]。本理论通过整合构件-节点-材料的多尺度力学特性，构建了从设计到施工的全链条力学控制标准，为装配式混凝土建筑的高效、安全、可持续设计提供了理论基石。

2.3 装配式混凝土建筑性能适配理论

性能适配理论聚焦建筑功能需求与结构性能的动态平衡，通过精准匹配构件性能参数与使用场景特征，实现安全、舒适与高效的目标。设计时需综合考量结构承载、环境适应及用户使用三重维度，避免性能冗余或不足导致的资源浪费或功能缺陷。(1) 结构性能精准匹配：根据建筑功能分区（如住宅、办公）确定构件力学参数。例如，高层住宅需强化剪力墙抗侧刚度，确保地震作用下变形可控；低层办公建筑可优化楼板跨度，平衡经济性与使用舒适性。(2) 环境性能协同优化：结合区域气候特征适配保温、隔热、隔音等性能指标。通过热工模拟确定外墙保温层厚度，提升冬季保温与夏季隔热效果；采用双层中空玻璃降低噪音传递，提升室内声环境质量。(3) 使用功能灵活适配：通过模块化构件组合实现空间可变性。例如，采用可拆装隔墙系统满足不同用户对空间分割的需求，结合可调节照明与通风设备提升使用舒适度，延长建筑全生命周期使用价值。性能适配理论通过结构、环境、功能的三维协同，推动装配式建筑从“标准化生产”向“定制化服务”升级，实现建筑性能与用户需求的精准对接。

2.4 装配式混凝土设计协同优化理论

设计协同优化理论以全流程高效协同为核心，通过打破传统设计、生产、施工环节的壁垒，实现多专业、多技术、多阶段的深度融合。该理论强调以系统思维统筹各环节技术要点，提升建筑整体性能与建造效率，避免因环节脱节导致的资源浪费或性能缺陷。(1) 多专业并行设计：建筑、结构、机电、装修等专业在设计初期即开展协同作业。例如，通过BIM平台实现管线与结构构件的精准定位，避免施工阶段管线冲突，减少返工成本，提升设计质量与施工效率。(2) 全阶段动态优化：从设计到施工再到运维，各阶段数据实时反馈并动态调整设计参数。通过施工模拟验证设计可行性，运维数据反哺设计优化，形成“设计-施工-运维”闭环优化机制，提升建筑全生命周期性能。(3) 技术集成创新：融合新型

结构体系、智能建造技术与绿色材料^[3]。例如，采用自愈混凝土提升构件耐久性，结合机器人施工实现复杂节点精准装配，推动建造技术向智能化、绿色化方向升级。协同优化理论通过多专业并行、全阶段动态优化与技术集成创新，推动装配式建筑从“分段式建造”向“全流程协同”转型，实现设计效率与建筑性能的双重提升。

3 装配式混凝土建筑关键设计方法

3.1 构件拆分设计方法

构件拆分需以结构安全为前提，结合生产效率与装配需求展开。设计时需平衡构件尺寸标准化与功能适配性，避免过度拆分导致连接节点复杂化或构件重量超标，同时确保拆分后的构件便于工厂预制与现场吊装。(1) 拆分适配性验证：拆分前需通过有限元分析模拟构件运输、吊装及使用阶段的适配受力状态。例如，剪力墙拆分需避开应力集中区域，通过增设暗柱或调整钢筋配置提升整体抗侧刚度；楼板拆分需控制单块长度不超过6米，避免吊装变形或拼缝开裂风险。(2) 模数网格适配：采用基本模数（如1.2米、1.5米）划分构件尺寸，确保构件在平面与立面布局中实现模数协调。通过统一模数减少非标构件比例，降低模具开发成本，同时提升构件互换性与装配效率。(3) 连接节点简化：优先选用干式连接方式，如高强螺栓连接、钢筋灌浆套筒连接等，减少现场湿作业量。节点设计需兼顾传力明确与施工便捷，通过BIM技术模拟节点装配顺序，优化钢筋排布与管线穿插路径，避免现场冲突与返工。构件拆分设计通过力学验证、模数适配与节点简化，实现从设计到施工的全流程高效协同，为装配式建筑工业化建造提供可靠技术支撑，推动建筑行业向标准化、精细化方向演进。

3.2 节点连接设计方法

节点连接是装配式混凝土建筑实现结构整体性与功能可靠性的核心环节，需兼顾力学性能、施工效率与耐久性要求。设计时需根据构件类型、受力特征及施工条件选择适宜的连接方式，确保传力路径清晰、变形协调。(1) 连接方式分类优化：干式连接如高强螺栓、焊接，适用于非受力或次要受力构件，施工便捷但需高精度加工；湿式连接如钢筋灌浆套筒、浆锚搭接，通过浆料固化实现可靠传力，适用于受力关键节点，需控制浆料性能与养护条件。(2) 力学性能验证：通过试验与有限元分析验证节点在静载、动载及地震作用下的承载力、变形能力与耗能机制。梁柱节点需满足“强节点、弱构件”原则，避免节点先于构件破坏；墙板连接需控制拼缝宽度与错位量，确保应力传递连续。(3) 施工适应性提升：节点设计需考虑现场装配条件，如吊装能力、操作空间与温度

环境。采用可调节连接件、预留安装偏差,降低施工误差对结构性能的影响。通过BIM技术模拟装配过程,优化连接顺序与操作步骤,提升施工效率与质量^[4]。节点连接设计通过方式优化、性能验证与施工适配,实现结构安全、施工高效与长期耐久的目标,推动装配式建筑技术体系完善。

3.3 标准化构件设计方法

标准化构件设计以“少规格、多组合”为核心原则,通过统一尺寸、接口及性能参数,实现构件的批量生产与灵活装配。设计时需平衡标准化与个性化需求,避免过度定制导致成本上升或装配效率降低,同时确保构件的互换性与通用性。(1) 尺寸模数化:采用基础模数(如1.2米、1.5米)划分构件尺寸,确保平面布局与立面造型的协调统一。模数化设计可减少非标构件比例,降低模具开发成本,提升生产效率与装配精度。(2) 接口通用化:通过标准化接口设计(如螺栓孔位、灌浆套筒位置),实现不同构件间的快速连接与替换。接口通用化可简化装配流程,减少现场调整工作量,提升施工效率与质量可控性。(3) 性能标准化:明确构件的力学性能、耐久性及环保指标,确保批量生产构件的质量一致性。通过严格的性能测试与质量控制,保障装配后建筑的整体安全性与功能可靠性。标准化构件设计通过模数化、通用化与性能标准化,推动装配式建筑向工业化、精细化方向发展,实现设计、生产、施工全流程的高效协同与质量可控,为建筑行业转型升级提供关键技术支撑。

3.4 集成化设计方法

集成化设计强调多专业协同与全流程融合,通过建筑、结构、机电、装修等专业的一体化设计,实现功能、性能与效率的最优化。设计时需打破传统分专业设计壁垒,以系统思维统筹各环节技术要点,提升建筑整体性能与建造效率。(1) 多专业协同平台:基于BIM技术构建三维协同平台,实现建筑、结构、机电等专业数据的实时共享与

冲突检测。例如,通过碰撞检查提前优化管线排布,避免施工阶段返工,提升设计质量与施工效率。(2) 全流程信息贯通:从设计到施工再到运维,实现全生命周期信息无损传递。通过统一数据标准与接口协议,确保各阶段数据一致性,支持建筑性能模拟、施工模拟与运维管理,提升全流程管理效能。(3) 技术与材料集成:融合新型结构体系、高性能材料与智能建造技术。例如,采用高性能混凝土提升构件耐久性,结合3D打印技术实现复杂节点快速成型,推动建造技术向智能化、精细化升级^[5]。集成化设计通过多专业协同、全流程信息贯通与技术材料集成,推动装配式建筑向高性能、高效率、高可靠性方向发展,为建筑行业数字化转型提供核心支撑。

结束语:未来,需持续深化多专业协同机制,强化建筑、结构、机电等专业的数据互通与动态优化;优化全流程管理体系,从设计到运维实现全生命周期信息无损传递;融合智能建造技术如机器人施工、3D打印,结合绿色材料如自愈混凝土、相变储能构件,全面提升建筑结构安全、环境适应与使用舒适性,推动建筑行业向高效、绿色、可持续方向稳步迈进。

参考文献:

- [1] 王俊,丁安磊.装配式混凝土建筑设计理论与方法[J].建筑与文化,2025(6):31-34.
- [2] 于彬,张元良,汪昕,成佃虎,梁梦蝶,倪路瑶,顾天一.装配式混凝土变电站建筑结构优化设计研究综述[J].山西建筑,2025,51(13):1-6+16.
- [3] 平涛,黄琪林.BIM技术在装配式建筑设计及施工管理中的应用[J].建筑与装饰,2025(13):121-123.
- [4] 谈其辉,王德才,黄杰,张润嘉,袁泽伟,高松.面向制造生产的预制装配式混凝土农宅深化设计研究[J].混凝土,2025(9):186-194.
- [5] 龚泽,王晶,李文钰.装配式建筑一体化设计研究[J].建筑经济,2025,46(9):88-92.