

装配式混凝土结构设计的优化策略与工程实践研究

王 栋

中土大地国际建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]装配式混凝土结构是一种通过工厂化预制构件并在施工现场进行组装的建造方式,其核心在于将建筑结构分解为若干标准化、模块化的构件,如叠合板、预制墙板和框架等部分,在施工现场通过可靠的连接方式形成整体结构。这种结构形式不仅能够实现高效施工,还能显著提升建筑质量与安全性。从工作原理上看,装配式混凝土结构依赖于精确的设计与先进的制造工艺,确保各预制构件之间的尺寸精度和力学性能满足设计要求,同时通过科学的施工流程保障整体结构的安全性与稳定性。这种建造模式为现代建筑行业提供了绿色环保且高效的技术路径,充分体现了建筑工业化的发展方向。

[关键词]装配式; 混凝土结构设计; 优化策略

DOI: 10.33142/ec.v9i2.19084

中图分类号: TU375

文献标识码: A

Optimization Strategy and Engineering Practice Research on Prefabricated Concrete Structure Design

WANG Dong

Zhongtu Dadi International Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Prefabricated concrete structure is a construction method that uses factory prefabricated components and assembles them on the construction site. Its core is to decompose the building structure into several standardized and modular components, such as composite panels, prefabricated wall panels, and frames, and form a whole structure through reliable connection methods on the construction site. This structural form not only enables efficient construction, but also significantly improves building quality and safety. From a working principle perspective, prefabricated concrete structures rely on precise design and advanced manufacturing processes to ensure that the dimensional accuracy and mechanical properties between each prefabricated component meet design requirements, while ensuring the safety and stability of the overall structure through scientific construction processes. This construction mode provides a green, environmentally friendly, and efficient technological path for the modern construction industry, fully reflecting the development direction of building industrialization.

Keywords: prefabricated; concrete structure design; optimization strategy

1 装配式混凝土结构的发展历程

装配式混凝土结构的起源可以追溯到 20 世纪初,当时随着工业化进程的推进,建筑行业开始探索如何利用预制构件提高施工效率。早期的装配式混凝土结构主要以简单的预制板为主,技术相对单一且应用范围有限。进入 20 世纪中期,随着材料科学和施工技术的进步,装配式混凝土结构逐渐向多层建筑领域扩展,并在结构设计上引入了更多复杂的连接形式。到了 21 世纪,尤其是近年来,随着低碳、环保理念的普及以及建筑工业化政策的推动,装配式混凝土结构迎来了快速发展阶段。这一时期的技术特点包括数字化设计工具的广泛应用、构件生产精度的显著提升以及施工管理模式创新,使得装配式混凝土结构在高层建筑、公共建筑等领域得到了广泛应用。

2 装配式混凝土结构的优势与挑战

装配式混凝土结构在提高施工效率方面具有显著优势,由于其构件主要在工厂内完成生产,施工现场仅需进行组装作业,因此可大幅缩短工期并降低因天气等因素导致的不确定性。此外,该结构形式通过标准化生产和严格

的质量控制,能够有效保证工程质量,减少施工过程中的误差和缺陷。在节能环保方面,装配式混凝土结构通过减少现场湿作业和材料浪费,符合绿色建筑的发展需求。然而,装配式混凝土结构在设计和施工实践中也面临诸多挑战。例如,设计阶段需要充分考虑构件之间的连接节点,以确保整体结构的稳定性;施工阶段则需解决预制构件运输与吊装过程中的技术难题。此外,装配式混凝土结构的初期投入较高,且在技术标准和政策支持方面尚存在不足,这些问题对其推广应用构成了一定的制约。

3 装配式混凝土结构设计的优化策略

3.1 结构体系优化

装配式混凝土结构的设计中,选择合适的结构体系是提升整体性能的关键。不同的结构体系在抗震性能、空间利用效率和施工便捷性等方面表现出显著差异。例如,框架结构适用于大空间建筑,能够提供灵活的平面布置,而剪力墙结构则在高层住宅中表现出色,因其具备优异的抗侧刚度。在选择结构体系时,需综合考虑建筑功能需求、地理环境条件以及施工技术水平等因素。此外,随着标准

化设计的推进,结构体系的优化还应注重构件的模块化和通用性,以减少生产成本并提高施工效率。通过科学合理的结构体系选择与优化,可以有效提升装配式混凝土结构的整体性能,满足多样化工程需求。

3.2 构件连接节点优化

构件连接节点是装配式混凝土结构中的关键部位,其设计直接影响结构的稳定性和安全性。常见的连接形式包括焊接、螺栓连接和后浇混凝土连接等,每种形式均有其适用范围和技术特点。在材料选择方面,应优先选用高强度、高韧性的钢材或高性能混凝土,以确保连接节点的承载能力和延性。同时,在构造设计上,需对节点的抗弯刚度、抗剪强度进行精确计算,并通过实验验证其可靠性。例如,参考文献指出,通过改进连接点的构造设计,可以有效增强结构的整体性能,同时提高抗震等级。因此,构件连接节点的优化应从材料选择、构造设计和施工工艺等多个方面入手,以实现结构的安全性和耐久性目标。

3.3 材料选用优化

装配式混凝土结构中材料的合理选用对于提高结构的耐久性和经济性具有重要意义。首先,混凝土作为主要建筑材料,其性能直接影响结构的使用寿命。在材料选用时,应优先选择高强度、低渗透性的混凝土,以增强结构的抗腐蚀能力和承载能力。其次,钢筋及其他连接件的选择也需满足抗震和抗风设计要求,确保结构在极端荷载条件下的安全性。此外,随着绿色建筑理念的推广,应优先考虑使用环保型材料,如再生骨料混凝土或可循环利用的钢材,以降低施工过程中的资源消耗和环境影响。通过综合考虑材料的力学性能、耐久性和环保性能,可以制定出科学合理的材料选用策略,为装配式混凝土结构的可持续发展奠定基础。

4 装配式混凝土结构设计的工程实践案例分析

4.1 案例一: [具体工程名称 1]

该工程位于某城市中心区域,是一座集商业与办公功能于一体的综合性高层建筑,总建筑面积约为 50,000 平方米。由于项目地处繁华地段,施工场地受限且对周边环境要求较高,因此采用装配式混凝土结构以缩短工期并减少施工过程中的噪音和扬尘污染。此外,该结构设计需满足抗震设防烈度为 8 度的要求,并确保建筑在全生命周期内具备良好的耐久性与经济性。

在设计过程中,优化策略主要集中于结构体系的选择和构件连接节点的优化。首先,设计团队通过对比分析多种结构体系,最终选用了框架-剪力墙结构体系,这种体系不仅能够提供较大的使用空间,还显著增强了建筑的抗侧刚度。其次,在构件连接节点的设计中,采用了高性能灌浆套筒连接技术,通过理论计算与数值模拟相结合的方式验证了其受力性能,确保了节点的安全性和可靠性。同时,叠合板的支撑体系经过多工况模拟分析,确定了三跨

等间距布置为最优方案,此时叠合板在 X 方向的拉应力最小值为 0.4MPa, Y 方向最小值为 0.59MPa,均远低于混凝土抗拉强度设计值 1.62MPa,满足安全规范要求。

优化效果通过实际施工得到了充分验证。一方面,装配式混凝土结构的预制率达到了 70% 以上,大幅缩短了现场施工时间;另一方面,通过科学合理的材料选用和构造设计,结构整体重量减轻了约 15%,从而降低了基础工程的造价。此外,抗震和抗风设计的优化措施进一步提升了结构的动力响应性能,为建筑的安全使用提供了有力保障。

4.2 案例二: [具体工程名称 2]

该工程是一座位于地震高发区的住宅楼项目,共包含两栋 30 层的高层建筑,总建筑面积约为 40,000 平方米。由于项目所在地地质条件复杂且抗震要求严格,传统现浇混凝土结构难以满足快速施工和高效抗震的需求,因此决定采用装配式混凝土结构进行建造。该项目的特殊之处在于其外墙采用了非承重预制挂板,空调板及阳台板也全部实现工厂化生产,这要求在设计阶段充分考虑各部件之间的协调性和连接精度。

然而,在设计初期遇到了若干技术难题,例如如何保证预制构件之间的连接紧密性以及如何提高整体结构的抗震性能。针对这些问题,设计团队采取了一系列优化策略。首先,在构件连接方面,引入了基于 BIM 技术的三维建模方法,通过参数化设计精确控制每个连接节点的尺寸和位置,避免了因误差累积导致的质量问题。同时,对于关键部位如框架柱节点和梁柱节点,采用了后浇混凝土的方式进行加固处理,以确保结构整体的延性和耗能能力。其次,在材料选用上,优先选择了高强度、低收缩的混凝土材料,并配合耐腐蚀钢筋,有效提升了构件的耐久性。

通过上述优化措施,该项目在实际施工中取得了显著成效。一方面,装配式混凝土结构的施工效率较传统方法提高了近 40%,且施工现场的人工成本和设备租赁费用分别降低了 25% 和 20%。另一方面,经过地震模拟试验验证,优化后的结构体系在设防烈度下表现出优异的抗震性能,其层间位移角最大值仅为 1/550,远低于规范限值 1/300,充分证明了优化策略的有效性。此外,预制挂板的安装精度达到了毫米级,不仅提高了外观质量,还增强了外墙的保温隔热性能,为用户创造了更加舒适的居住环境。

5 装配式混凝土结构设计优化面临的挑战与应对措施

5.1 面临的挑战

装配式混凝土结构设计优化在技术、经济、政策等方面仍面临诸多挑战。在技术层面,现行技术标准的不完善成为主要障碍之一,尤其是在构件连接节点的设计和施工验收环节,缺乏统一且精细化的规范,导致实际工程中存

在一定的安全隐患。此外，装配式混凝土结构的设计与施工对一体化水平要求较高，但目前设计与施工之间的协同性不足，难以充分发挥装配式建筑的优势。在经济层面，尽管装配式混凝土结构具有潜在的长期经济效益，但其初期投入较高，特别是在预制构件的生产和运输环节，成本控制的难度较大，这在一定程度上限制了其推广应用。同时，由于市场对装配式建筑的认知度有限，投资者对其经济回报的信心不足，进一步加剧了资金筹集的困难。在政策层面，虽然国家已出台多项政策鼓励装配式建筑的发展，但相关配套措施尚不健全，例如税收优惠、补贴政策等落实不到位，未能形成有效的激励效应。

5.2 应对措施

为应对上述挑战，需从技术研发、政策支持及行业协作等方面采取综合措施。首先，在技术研发方面，应加强对装配式混凝土结构设计关键技术的研究，特别是构件连接节点的优化设计和施工工法的创新，以提高结构的整体性能和使用安全性。同时，推广建筑信息模型（BIM）技术的应用，通过三维建模和虚拟拼装，实现设计与施工的无缝衔接，从而减少误差并提升效率。其次，在政策支持方面，政府应进一步完善相关政策体系，制定更具针对性的扶持措施，例如加大财政补贴力度、优化税收优惠政策，以降低企业的前期投入成本。此外，建立健全装配式建筑的标准规范体系，明确各环节的技术要求和验收标准，为设计优化提供科学依据。最后，在行业协作方面，应加强设计单位、施工单位及科研机构之间的合作，构建产学研一体化的创新平台，共同推动装配式混凝土结构设计优化技术的发展与应用。通过多方努力，为装配式混凝土结构设计优化的实施提供坚实保障。

6 装配式混凝土结构设计优化的未来发展趋势

6.1 与新兴技术的融合

随着建筑行业技术的不断进步，装配式混凝土结构设计正逐步与 BIM 技术、智能化建造技术等新兴技术深度融合，从而显著提升设计水平和施工效率。例如，BIM 技术的应用使得设计人员能够在虚拟环境中对装配式混凝土结构进行三维建模和模拟分析，从而优化构件的设计与连接节点构造。通过 BIM 技术，可以实现从设计到施工全过程的信息共享与协同管理，减少因信息不对称导致的错误和返工。此外，智能化建造技术的引入为装配式混凝土结构的生产和安装提供了更高的精度和自动化水平。例如，利用智能机器人进行预制构件的生产和安装，不仅

提高了施工效率，还降低了人工操作的误差率。这种技术融合不仅能够缩短工期，还能有效降低施工成本，为装配式混凝土结构的广泛应用奠定了坚实基础。

6.2 可持续发展方向

装配式混凝土结构在绿色建筑和节能减排方面展现出巨大的可持续发展潜力。一方面，由于其预制构件主要在工厂内完成生产，施工现场的湿作业大幅减少，从而有效降低了材料浪费和环境污染。另一方面，装配式混凝土结构的设计与施工过程可以通过优化材料选用和构造方式，进一步提升其节能性能。例如，在墙体设计中采用高性能保温材料，可以显著提高建筑的隔热性能，减少能源消耗。此外，随着环保意识的增强，未来装配式混凝土结构的发展应更加注重资源的循环利用和碳排放的减少。例如，研究如何将废弃混凝土回收并重新用于预制构件的生产，以实现资源的最大化利用。同时，政府和行业应制定更加完善的政策和技术标准，鼓励和支持装配式混凝土结构在可持续发展方向上的创新与实践，推动其向更加绿色、低碳的方向迈进。

[参考文献]

- [1]王虹坤.装配式混凝土结构关键技术的优化分析[J].四川水泥,2024(5):94-96.
 - [2]汪学军.房屋建筑工程中的装配式混凝土结构施工技术研究[J].居业,2024(5):14-16.
 - [3]李兵,马迎倩.装配式混凝土结构特征研究[J].前卫,2022(19):78-80.
 - [4]刘世月.房屋建筑装配式混凝土结构施工关键技术研究[J].市场调查信息(综合版),2022(2):93-95.
 - [5]魏高军.房屋建筑装配式混凝土结构建造技术新进展[J].建材发展导向,2022,20(2):4-6.
 - [6]甘越.建筑装配式混凝土结构设计与建造技术应用分析[J].建筑与装饰,2023(18):139-141.
 - [7]李志鹏.房屋建筑装配式混凝土结构施工关键技术[J].城市住宅,2021,28(2):141-142.
 - [8]方鲁兵,范家茂,汪雪微.装配式建筑混凝土结构系统设计的研究[J].芜湖职业技术学院学报,2022,24(3):48-52.
 - [9]孙国帅,刘占坤,冯娇,等.中国装配式混凝土结构研究态势的知识图谱分析——基于 1992—2019 年文献计量数据[J].科学技术与工程,2021,21(16):6807-6814.
- 作者简介：王栋（1985.10—），男，汉族，毕业院校：湖南大学，现就职单位：中土大地国际建筑设计有限公司。