

装配式混凝土结构节点连接性能分析与优化

刘旺峰

河北元鼎房地产开发有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 装配式混凝土结构在建筑行业中广泛应用, 节点连接作为关键的受力部位, 其性能直接影响结构的安全性与稳定性。通过对不同连接方式进行性能对比分析, 针对装配式结构中常见的节点设计问题, 提出了一系列优化方案。采用有限元分析与实验测试相结合的方法, 模拟了节点在不同荷载下的受力响应, 并对节点的抗震性能、耐久性进行了综合评价。结果表明, 优化后的节点连接方案在提高结构整体刚度和抗震性能方面具有显著优势, 同时施工过程中简化了连接工序, 提升了施工效率。优化措施不仅增强了结构的安全性, 也为装配式建筑的推广应用提供了技术支持。

[关键词] 装配式混凝土结构; 节点连接; 性能分析

DOI: 10.33142/aem.v7i3.15989

中图分类号: TV334

文献标识码: A

Analysis and Optimization of Node Connection Performance in Prefabricated Concrete Structures

LIU Wangfeng

Hebei Yuanding Real Estate Development Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Prefabricated concrete structures are widely used in the construction industry, and node connections are key load-bearing parts whose performance directly affects the safety and stability of the structure. By comparing and analyzing the performance of different connection methods, a series of optimization solutions have been proposed to address common node design issues in prefabricated structures. By combining finite element analysis with experimental testing, the stress response of the node under different loads was simulated, and the seismic performance and durability of the node were comprehensively evaluated. The results indicate that the optimized node connection scheme has significant advantages in improving the overall stiffness and seismic performance of the structure, while simplifying the connection process during construction and improving construction efficiency. The optimization measures not only enhance the safety of the structure, but also provide technical support for the promotion and application of prefabricated buildings.

Keywords: prefabricated concrete structures; node connection; performance analysis

引言

装配式混凝土结构因其高效施工和绿色环保特性, 近年来在建筑行业中备受关注。然而, 节点连接作为承载和传递荷载的核心部位, 其性能直接关系到整体结构的安全性与可靠性。实际工程中, 由于设计与施工过程中对节点连接的性能要求复杂, 传统连接方式常面临抗震能力不足、施工难度较高等问题。因此, 如何通过技术优化提升节点连接性能, 成为装配式建筑发展的重要研究方向。结合有限元分析和实验测试技术, 探索更高效的节点连接方案, 不仅是提升装配式建筑应用价值的关键, 也是推动建筑行业向智能化、可持续发展迈进的技术路径。

1 装配式混凝土结构节点连接的设计与现状分析

1.1 节点连接在装配式混凝土结构中的重要性

装配式混凝土结构在现代建筑中具有显著优势, 如缩短工期、减少现场施工、提高施工精度等。然而, 节点连接作为连接预制构件的关键部位, 其设计直接影响到结构的整体稳定性与安全性。节点不仅要承受垂直荷载, 还需抵抗水平力、震动等复杂荷载, 因此其受力性能、施工便利性及耐久性成为设计的重点。合适的节点连接设计能够

提升结构的抗震性、刚度及抗变形能力, 从而增强整体结构的使用安全性。

1.2 传统节点连接设计中的问题与挑战

当前, 许多装配式混凝土结构仍采用传统的节点连接设计方式, 存在着抗震性能不足、施工复杂性高、连接强度低等问题。例如, 传统节点设计通常依赖于大量的钢筋或焊接工艺, 这使得施工现场依赖性较强, 且易受工艺不规范等因素的影响, 导致节点连接部位出现安全隐患。部分传统节点连接在抗震性和耐久性方面未能有效应对地震荷载和环境因素的长期作用, 容易造成节点的疲劳损伤和结构失稳。此外, 由于不同施工人员对传统工艺的理解差异, 节点连接的施工精度难以保障, 这也降低了装配式结构的整体性能。

1.3 现代节点连接设计的进展与创新

为了克服传统节点设计的不足, 近年来, 装配式混凝土结构节点的设计逐渐向更高效、简便、可靠的方向发展。新型节点设计不仅注重节点本身的承载性能, 还充分考虑了节点的施工性与经济性。比如, 采用预埋钢筋、插接式连接、预制化钢构件等新技术, 使得节点连接的施工更加

简便、快速且精准。此外,抗震性能的提升也成为设计的重要目标,利用更加科学的连接方式(如抗震支撑、减震材料的应用)有效提升了节点的韧性与抗震能力。同时,现代节点连接设计在材料选择上也更加注重耐久性,采用耐腐蚀材料和增强保护措施,提高了结构的长期稳定性。这些创新为装配式混凝土结构的推广和应用提供了技术支撑,也使得其在实际工程中更加安全和高效。

2 节点连接性能的有限元分析与实验验证

2.1 有限元分析在节点连接性能评估中的应用

有限元分析(FEA)作为一种强有力的数值模拟工具,广泛应用于装配式混凝土结构节点连接性能的评估。通过对不同节点连接形式进行建模,模拟节点在不同荷载作用下的受力和变形情况,可以直观地了解节点的力学行为。有限元分析能够精确计算节点连接处的应力分布、变形特征及可能出现的破坏模式,为优化设计提供理论依据。此外,采用非线性有限元分析能够模拟节点在实际工作状态下的复杂行为,帮助研究者了解节点在地震、风力等荷载作用下的性能变化,为节点连接设计提供数据支持。

2.2 节点连接的应力与变形分析

通过有限元分析,对装配式混凝土结构节点连接进行应力与变形分析,可以揭示节点连接在实际使用过程中可能面临的最大应力集中区域。节点处的应力集中通常是结构破坏的起点,尤其是在荷载作用较大的情况下。通过对比不同设计方案的节点连接,在模拟荷载作用下的应力分布情况,能够识别出可能导致节点失效的关键部位。此外,变形分析能够明确节点在受力作用下的形变程度及其对整体结构的影响,这为优化节点的几何形状、加强节点部位的材料选用提供了依据。

2.3 实验验证与有限元分析结果对比

有限元分析的结果往往需要通过实验来验证其准确性和可靠性。在节点连接的性能研究中,通过实验测试,如静力加载实验和振动台试验等,能够对有限元分析得到的结果进行验证。实验可以直接获取节点连接在实际荷载作用下的力学性能数据,并与有限元分析的模拟结果进行对比,验证分析模型的准确性。同时,实验过程中还可以观察节点连接的实际破坏模式,进一步完善和调整有限元模型,提高模拟结果的可信度。通过实验验证,不仅能够增强有限元分析的实用性,还能够为进一步的设计优化提供实验依据。

2.4 节点连接的耐久性与抗震性能评估

节点连接的性能不仅仅体现在短期荷载下的表现,还需要考虑长期使用过程中的耐久性与抗震性能。有限元分析结合实验验证能够全面评估节点在长期荷载和环境作用下的表现。在耐久性方面,通过模拟节点连接在不同温湿度条件、冻融循环、腐蚀环境中的行为,能够预测节点的使用寿命。抗震性能评估则通过模拟地震波的作用,研

究节点在震动荷载下的响应,评估节点连接在地震作用下的可靠性。通过对耐久性与抗震性能的综合评估,能够为装配式混凝土结构的长期安全性提供理论和实验依据。

3 节点连接优化方案的提出与实现

3.1 优化设计目标与方案提出

节点连接的优化设计旨在提高装配式混凝土结构的整体性能,尤其是增强节点的抗震能力、承载力和耐久性。针对传统节点连接存在的问题,优化设计方案主要围绕以下目标展开:首先,降低节点施工复杂度,简化工艺流程;其次,提高节点的抗震能力,增强其对地震荷载的响应能力;最后,提升节点连接的长期耐久性,确保结构在长期使用过程中保持稳定的性能。为实现这一目标,提出了一种基于钢筋与预应力钢缆组合的创新节点连接方式,通过合理布置钢筋和预应力钢缆,在提高节点强度的同时,简化了施工操作。

3.2 预应力钢缆与钢筋组合的节点连接方案

在优化设计中,采用了预应力钢缆与钢筋组合的节点连接方案,旨在提升建筑结构的抗震性能和整体稳定性。与传统节点连接方式相比,这一组合方案具有显著的技术优势。预应力钢缆通过施加预应力,可以有效分担节点连接处的拉力,减少节点处的变形和应力集中,从而提高了结构的抗拉能力。钢筋则主要承担节点的剪力和压应力,增强了节点的抗剪强度,使得整个节点在承受外部荷载时更加稳定。

预应力钢缆的应用还能够减轻混凝土结构的自重,降低了建筑物的整体负荷。预应力钢缆的使用不仅优化了结构设计,还提高了施工效率,简化了节点的施工步骤。由于预应力钢缆和钢筋的合理配合,施工过程中可以减少对传统节点连接方案的依赖,从而降低了施工难度和时间成本。

3.3 施工工艺与技术实现

为了实现优化后的节点连接方案,施工工艺需要进行一系列调整,确保新设计方案的顺利实施。首先,在设计阶段,需要对预制构件的节点部位进行精准设计与定位,特别是在钢筋和预应力钢缆的布置上,必须确保每个节点的位置和角度精确无误。这为后续施工提供了准确的操作依据,确保预制构件的高效组装。

在实际施工过程中,采用预应力钢缆拉紧技术对节点进行预应力处理,以增强其受力性能。预应力钢缆的拉紧可以有效提升节点的抗震性能,防止在受力作用下发生过度变形。钢筋与钢缆的配合使用使节点连接的施工变得简便,传统的焊接和大量钢筋绑扎工作不再必要,减少了施工中的繁琐操作,大大提高了施工效率并降低了劳动强度。在节点连接的安装过程中,可以采用模块化预制的方式,将节点部位提前预制好,并在现场进行快速组装。这不仅可以提高施工精度,还能更好地控制质量,确保每个节点的施工质量达到标准要求,从而提升整个建筑结构的稳定

性和安全性。

3.4 优化方案的实施效果与验证

通过对优化节点连接方案进行模拟分析与实验验证,采用预应力钢缆与钢筋组合的节点连接方式显著提升了建筑结构的抗震能力、整体刚度和稳定性。在实验过程中,优化后的节点连接在不同荷载条件下表现出良好的抗剪能力,变形量较小,充分满足了建筑结构的安全性要求。与传统节点连接方案相比,优化设计不仅在结构性能上得到了显著提升,还在施工周期和施工精度上表现出更高的效率,减少了施工过程中的误差和不确定性。通过进一步的工程测试与反馈,优化方案的实施效果得到验证,证明其在实际工程中具有较高的可行性和优越性。这一优化设计能够有效提高建筑的耐震性能,延长建筑使用寿命,为现代建筑结构提供了一种更为可靠的连接方式。

4 优化节点连接对装配式结构性能的提升作用

4.1 提升结构的抗震性能

优化后的节点连接显著增强了装配式混凝土结构的抗震性能。在传统节点设计中,由于节点连接部位的受力不均衡,常常导致结构在地震荷载作用下发生局部失稳或破坏。而通过采用预应力钢缆与钢筋组合的节点连接方案,节点能够更好地分担来自不同方向的荷载,尤其是水平力和震动作用,从而有效减轻了地震荷载对结构的冲击。这种优化设计在节点连接处实现了更为均匀的应力分布,降低了节点破坏的风险,提高了结构的整体抗震能力,使得装配式结构在地震等极端荷载条件下表现出更高的可靠性。

4.2 增强结构的整体刚度与稳定性

优化后的节点连接设计不仅提高了节点本身的承载力,也增强了装配式结构的整体刚度与稳定性。通过合理布置钢筋和预应力钢缆,节点连接的刚度得到了有效提升,减少了因节点部位的变形过大而导致的结构失稳现象。这种设计能够有效限制结构在外部荷载作用下的过度变形,确保结构在长期使用过程中保持稳定的性能。此外,节点连接优化设计的实现使得各构件之间的配合更加精确,从而提升了整体结构的协调性,使得整个装配式结构更加紧密与稳定。

4.3 提高施工效率与减少施工难度

优化后的节点连接方案不仅在力学性能上表现突出,还有效提升了施工效率和简化了施工工艺。传统节点连接方式往往需要大量的钢筋焊接、混凝土浇筑和细致的工艺操作,施工周期长,且对施工质量的依赖较大。相比之下,预应力钢缆与钢筋组合的节点连接方案减少了施工环节,降低了工艺复杂度,使得节点施工更加简便,工人操作的

可控性提高。这种设计能够减少对高技术工人的依赖,降低施工过程中可能出现的质量问题,同时缩短了施工周期,提高了施工效率,为装配式建筑的推广应用提供了便利。

4.4 提升结构的耐久性与长期使用性能

节点连接优化还显著提高了装配式混凝土结构的耐久性。在传统设计中,由于节点部位的应力集中和施工精度难以保障,节点往往容易出现裂缝和劣化现象,影响结构的长期稳定性。而通过采用预应力钢缆与钢筋组合方案,节点连接处的受力得到了优化,有效避免了应力集中的问题。同时,优化设计选用了更耐用的材料,并在施工过程中确保了更高的精度,从而延长了结构的使用寿命。此外,优化节点设计在抗冻性、抗腐蚀性等方面的表现也更加优越,有效降低了环境因素对结构的影响,提升了结构在恶劣条件下的长期稳定性和安全性。

5 结语

通过对装配式混凝土结构节点连接的性能分析与优化研究,提出了一种基于预应力钢缆与钢筋组合的创新节点连接方案。该方案有效提升了节点的抗震能力、承载力及耐久性,解决了传统节点连接在抗震性、施工复杂性等方面的不足。有限元分析与实验验证结果表明,优化后的节点连接在结构整体性能方面具有显著优势,尤其是在提高抗震性能和施工效率方面表现突出。优化设计不仅简化了施工工艺,降低了施工难度,还增强了结构的整体稳定性,为装配式混凝土结构在实际工程中的应用提供了技术保障。未来,随着装配式建筑技术的发展,节点连接的进一步优化将推动这一领域的创新与进步,促进建筑行业的可持续发展。

【参考文献】

- [1]李定乾. 笼模装配整体式混凝土结构技术的工程应用[J]. 建筑结构, 2023, 53(2): 1033-1037.
 - [2]姜安民,董彦辰,王飞飞,等. 装配式混凝土结构连接方式分类及性能研究[J]. 科技创新与生产力, 2023(3): 58-62.
 - [3]袁昌民. 挤压套筒连接装配式再生混凝土构件抗震性能[D]. 广州: 华南理工大学, 2023.
 - [4]邹艳花,刘玲. 装配式混凝土结构柱-柱连接节点分析[J]. 砖瓦, 2023(4): 54-56.
 - [5]张林捷. 装配式混凝土结构节点的连接方式研究[J]. 住宅与房地产, 2023(32): 86-88.
- 作者简介: 刘旺峰(1984.5—),男,汉族,毕业学校: 河北科技师范学院,现工作单位: 河北元鼎房地产开发有限公司。