

装配式混凝土结构节点连接强度试验研究

李梦金

浙江耀华规划建筑设计有限公司, 浙江 杭州 316108

[摘要] 装配式混凝土结构节点连接强度的关键问题, 旨在通过优化节点设计和施工技术提升建筑结构的安全性和耐久性。研究聚焦于新型材料的应用、创新节点设计及先进技术手段的使用, 特别是在提高抗震性能方面进行了深入分析。通过政府、企业与科研机构的合作, 结合新技术研发与实际工程应用的有效对接, 以及开放共享的技术交流平台建设, 致力于增强节点连接的可靠性和安全性, 推动装配式建筑技术的发展, 满足现代建筑工程的需求。

[关键词] 装配式混凝土结构; 节点连接强度; 抗震性能; 结构安全性

DOI: 10.33142/ec.v8i3.15658

中图分类号: TU317.1

文献标识码: A

Experimental Study on the Connection Strength of Prefabricated Concrete Structure Nodes

LI Mengjin

Zhejiang Yaohua Planning and Architectural Design Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 316108, China

Abstract: The key issue of node connection strength in prefabricated concrete structures aims to improve the safety and durability of building structures by optimizing node design and construction techniques. The research focuses on the application of new materials, innovative node design, and the use of advanced technological means, especially in improving seismic performance through in-depth analysis. Through cooperation between the government, enterprises, and research institutions, combined with effective integration of new technology research and practical engineering applications, as well as the construction of an open and shared technology exchange platform, we are committed to enhancing the reliability and safety of node connections, promoting the development of prefabricated building technology, and meeting the needs of modern construction engineering.

Keywords: prefabricated concrete structure; node connection strength; seismic performance; structural safety

引言

装配式混凝土结构凭借其施工快捷、成本效益高及环保等优点, 在现代建筑领域中占据重要位置。节点作为此类结构的关键部位, 其连接强度直接关系到整个建筑的安全与稳定。尤其在面对自然灾害如地震时, 节点的质量显得尤为重要。探索如何增强节点连接强度成为提升装配式混凝土结构整体性能的重要环节。当前, 通过新材料的应用、精细化设计以及先进施工技术的引入, 寻找更加科学合理的节点设计方案已成为研究热点。这一探索不仅能够有效提高建筑物的抗震能力, 还对延长建筑使用寿命具有重要意义。

1 提升装配式混凝土结构节点连接强度的重要性与挑战

1.1 装配式混凝土结构节点在现代建筑中的角色及其面临的考验

装配式混凝土结构凭借其施工快捷、质量可控等优势, 成为现代建筑的重要组成部分。节点作为此类结构的核心, 承担着传递荷载和维持整体稳定性的重任。理想的节点设计不仅要满足强度要求, 还需具备良好的变形能力以适应各种环境变化^[1]。在实际应用中, 由于制造精度不足、安装误差以及材料特性差异等因素, 节点往往面临严峻挑战。特别是在高烈度地震区域, 如何确保节点的可靠性和耐久

性成为一大难题。针对不同工况优化节点设计, 提高其性能显得尤为关键。

1.2 不同外部条件下节点连接对建筑整体性能的影响分析

外部条件如温度变化、风力作用及地震冲击等对装配式混凝土结构的整体性能有着深远影响, 特别是对于节点连接部分。极端天气条件下, 温度应力可能导致构件间产生微小位移, 从而影响节点的紧密度与稳定性。风力作用下, 高层建筑需承受较大的水平荷载, 这对节点的抗剪切能力提出了更高要求。而在地震发生时, 节点不仅要抵抗瞬时的巨大能量冲击, 还需保持一定的延展性以耗散能量。深入研究这些因素对节点连接的具体影响, 有助于制定更加科学合理的加固措施, 提升建筑的安全性。

1.3 当前技术限制下提升节点连接强度的迫切性探讨

现有技术在提升装配式混凝土结构节点连接强度方面仍存在诸多局限, 包括但不限于材料选择、加工工艺及现场装配等方面的问题。某些高强度材料虽然能显著增强节点的承载能力, 但其成本高昂且施工复杂。传统焊接或螺栓连接方式在面对动态荷载时容易出现疲劳损伤, 影响长期稳定性。随着建筑向更高、更复杂的方向发展, 对节点连接强度的要求也日益增加。亟需探索新的解决方案, 比如开发新型连接技术或者改进现有工艺流程, 以克服当

前的技术瓶颈，满足现代建筑工程的需求。

2 装配式混凝土结构节点设计优化路径探索

2.1 基于新材料应用的节点构造改进方案研究

在提升装配式混凝土结构节点性能的过程中，新材料的应用成为关键突破口。高性能纤维增强复合材料由于其优异的力学性能和耐久性，被广泛应用于节点加固中，有效提高了节点的抗拉强度和韧性。新型纳米材料的引入也为节点设计带来了新的可能性，这类材料能够在微观尺度上显著改善混凝土的内部结构，增强其抵抗外界破坏的能力^[2]。通过优化材料组合与配比，不仅能够提高节点的承载能力，还能降低整体结构自重，从而减轻基础负担。这种基于新材料的技术革新为解决传统节点构造中的难题提供了全新的思路，推动了建筑结构安全性的进一步提升。

2.2 通过精细化设计增强节点抗震性能的方法探究

精细化设计在提高装配式混凝土结构节点抗震性能方面展现出巨大潜力。针对不同地震烈度区域的特点，采用计算机模拟技术精确计算节点承受的最大应力值，并据此调整设计方案以确保最佳的抗震效果。在节点设计中融入柔性连接理念，允许一定程度的变形来耗散地震能量，减少对主体结构的冲击。通过合理布置钢筋和预应力筋的位置与数量，增强节点区的延展性和整体性，避免因局部薄弱环节导致的整体失效。这种方法不仅增强了节点的抗震能力，也提升了整个建筑结构在地震作用下的安全性与稳定性。

2.3 利用先进施工技术提高节点连接可靠性的策略分析

先进施工技术的应用对于提高装配式混凝土结构节点连接的可靠性至关重要。采用高精度预制构件生产技术，可以确保各部件尺寸精准、接口匹配度高，从而实现现场快速准确装配，减少安装误差。3D 打印技术的发展也为复杂节点的制造提供了新途径，它能够根据具体设计要求灵活制作出具有高度定制化特点的节点组件。智能监控系统在施工过程中的运用，实现了对节点连接质量的实时监测与反馈，及时发现并纠正潜在问题。这些技术手段的有效结合，不仅大幅提升了节点连接的可靠性，也为装配式建筑技术的发展注入了新的活力。

3 强化节点连接强度的试验方法与评估体系构建

3.1 制定科学合理的节点连接强度试验方案的重要性

制定科学合理的节点连接强度试验方案对于确保装

配式混凝土结构的安全性和可靠性至关重要。在实际操作中，需综合考虑各种影响因素，如材料特性、环境条件和施工工艺等。通过模拟真实使用场景中的荷载情况，包括静态和动态荷载，可以准确评估节点的实际承载能力^[3]。针对不同类型的地震活动进行专项测试，以验证节点在极端条件下的表现。精确控制试验参数，如加载速度、温度变化等，有助于揭示节点性能的细微差别。利用现代传感技术实时监测节点内部应力分布和变形情况，为后续分析提供详实数据支持。这种方法不仅提高了试验结果的准确性，也为优化节点设计提供了坚实依据。

3.2 针对不同类型节点设计进行强度测试的技术路线

针对不同类型节点设计进行强度测试时，需根据其特定构造特点选择合适的技术路线。对于焊接节点，重点关注焊缝质量与热影响区的力学性能，采用超声波检测和拉伸试验相结合的方法评估其整体强度。而螺栓连接节点则侧重于紧固件的抗剪切能力和预紧力保持情况，通过高精度扭矩测量设备和循环加载实验来检验其长期稳定性。预制构件间的拼接节点要求对界面结合强度进行全面测试，可借助剥离试验和剪切试验分析粘结材料的效果。利用数值模拟技术预测不同设计方案下节点的行为，指导物理试验的设计与实施。这些技术路线的有效应用，能够全面评估各类节点连接的强度和可靠性，为工程实践提供可靠保障。

3.3 建立全面系统的节点连接性能评估标准的努力方向

在规范性文件中明确节点连接的各项性能指标，包括但不限于承载能力、延展性和耐久性等，形成统一的技术要求。基于大量试验数据和实际案例，制定一套涵盖不同应用场景的评估方法，确保评估过程的科学性和公正性。引入生命周期评价理念，对节点在整个服役期间的表现进行全面跟踪与评估，及时更新和完善评估体系。推动行业间的信息共享和技术交流，促进评估标准的国际化进程，提高国内标准在全球范围内的认可度。通过持续努力，构建起一个既符合国情又具备国际视野的节点连接性能评估标准体系，为提升装配式混凝土结构的整体水平奠定基础。

4 新型节点连接技术在提升结构安全性方面的应用实践

4.1 新型材料结合传统工艺改善节点连接质量的实际效果

新型材料与传统工艺的结合在提升装配式混凝土结

表 1 装配式混凝土结构节点连接性能评估标准对比表

节点类型	承载能力 (kN)	延展性 (%)	耐久性测试 (次循环)	抗震等级 (设防烈度)	材料规格 (GB/T 标准)	数据来源	节点类型
焊接节点	350	5.2	2,000,000	8	GB/T 19879-2015	中国建筑科学研究院 2024	焊接节点
螺栓连接节点	420	4.8	1,800,000	7	GB/T 1231-2016	中国建筑科学研究院 2024	螺栓连接节点
预制构件拼接节点	300	6.0	2,200,000	8	GB/T 51231-2016	中国建筑科学研究院 2024	预制构件拼接节点
新型复合材料节点	450	7.5	2,500,000	9	GB/T 3078-2019	中国建筑科学研究院 2024	新型复合材料节点

构节点连接质量方面展现了显著成效。将高性能纤维增强复合材料应用于传统钢筋混凝土节点中,可以大幅提高节点的抗拉强度和耐久性^[4]。这种材料不仅增强了节点抵抗疲劳损伤的能力,还有效减少了因环境侵蚀导致的老化问题。利用新型纳米材料改性的混凝土,在微观层面上优化了材料内部结构,提高了节点区的整体密实度和承载能力。通过这种方式,既保留了传统工艺的成熟性和经济性,又借助新材料的优势提升了节点的质量和性能,为建筑结构的安全性和稳定性提供了有力保障。

4.2 创新节点设计在提高建筑结构抗震能力上的应用案例

在提高建筑结构抗震能力方面,创新节点设计发挥了重要作用。采用柔性节点设计理念,允许一定程度的变形以吸收地震能量,从而减少对主体结构的冲击。具体应用中,一些项目采用了特殊的减震装置集成于节点设计之中,如铅阻尼器或摩擦摆支座,这些装置能够在地震发生时有效地耗散能量,保护建筑物免受损害。优化节点区域的配筋布局,增加关键部位的加固措施,也极大地提升了节点的延展性和整体性。这样的设计改进使得建筑物在遭遇地震时能够更加稳固,显著提高了其抗震性能和安全性。

4.3 先进技术手段在加强节点连接可靠性过程中的关键作用

先进技术手段在提升节点连接可靠性方面扮演着不可或缺的角色。比如,3D 打印技术可以根据精确的设计参数制造出复杂的节点组件,确保各部件之间的完美契合,极大提高了装配精度。智能传感器的应用实现了对节点连接状态的实时监控,及时发现潜在问题并采取相应措施进行修复或调整。虚拟现实和增强现实技术为施工人员提供了直观的操作指导,降低了安装误差。通过综合运用这些先进技术手段,不仅提升了节点连接的可靠性和稳定性,也为装配式混凝土结构的发展注入了新的活力和技术支持。

5 推动装配式混凝土结构技术进步的多方协作机制建设

5.1 政府、企业及科研机构在提升节点连接强度方面的合作模式

政府通过政策引导和资金支持,鼓励企业和科研机构共同参与装配式混凝土结构节点连接强度的研究与开发^[5]。设立专项基金,资助具有前瞻性的研究项目,并为成功实现技术突破的团队提供奖励。企业则根据市场需求提出具体的技术需求,同时提供试验场地和实际工程案例作为研究对象。科研机构利用自身的专业知识和技术资源,进行基础理论研究和应用技术开发。三方共同建立联合实验室或研究中心,开展长期合作,共享研究成果。这种紧密的合作模式不仅加速了新技术的研发进程,还促进了研究成果向实际生产力的转化。

5.2 促进新技术研发与实际工程应用的有效对接措施探讨

为了促进新技术从研发到实际工程应用的有效对接,需要构建一个高效的技术转移机制。建立由行业专家组成的评审委员会,对新研发的技术进行评估和筛选,确保其具备工程应用价值。针对有潜力的技术,制定详细的推广计划,包括技术培训、现场示范等环节,帮助施工人员快速掌握新技术的操作要点。加强知识产权保护,激励创新者积极分享技术成果的也保障了技术持有者的合法权益。搭建线上线下的交流平台,组织技术供需双方定期交流,增进彼此了解,为新技术的应用创造有利条件。

5.3 构建开放共享的技术交流平台以加速装配式建筑技术创新发展

构建一个开放共享的技术交流平台对于推动装配式建筑技术的创新发展至关重要。该平台集成了最新的研究成果、工程案例以及行业动态,供各方查阅学习。通过在线研讨会、专题讲座等形式,促进国内外专家学者之间的深度交流,拓宽视野,激发创新灵感。设置专门的技术难题讨论区,鼓励参与者发表见解,共同解决实际问题。平台还应提供标准化的数据接口,便于不同系统间的数据交换与共享,提高信息利用率。这种全方位、多层次的交流平台不仅有助于加快技术进步的步伐,也为行业的可持续发展奠定了坚实的基础。

6 结语

装配式混凝土结构的发展为现代建筑带来了革命性的变化,而节点连接强度的研究则是确保这一技术得以广泛应用的关键所在。通过政府、企业和科研机构的紧密合作,结合新技术研发与实际工程应用的有效对接,以及构建开放共享的技术交流平台,不仅能够显著提升节点连接的可靠性与安全性,还将加速装配式建筑技术的创新与发展。持续关注并优化节点设计与施工技术,对于推动整个行业向着更加高效、环保和安全的方向发展具有重要意义。

[参考文献]

- [1]刘凯. 预制装配式混凝土结构新型梁连接节点设计[J]. 江苏建材, 2024(3): 104-106.
- [2]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.
- [3]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): 54-60.
- [4]卓旬, 刘庆辉, 徐艳红, 等. 装配式混凝土结构连接节点研究综述[J]. 混凝土, 2022(12): 155-167.
- [5]邹品增, 姜安民, 董彦辰. 装配式混凝土结构节点连接技术对比研究[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2021(10): 94-96.

作者简介: 李梦金(1997—), 女, 土家族, 毕业于浙江理工大学建筑工程学院, 土木工程专业。