

# 装配式混凝土结构节点连接技术及抗震性能研究

张德军

上海中勘建设工程有限公司, 上海市, 200120;

**摘要:** 装配式混凝土结构因其施工效率高、质量可控等优势在建筑领域应用广泛, 节点连接技术是其核心环节, 直接关系到结构的整体性和抗震性能。本文系统阐述了装配式混凝土结构节点连接技术的分类与特点, 深入探讨了影响节点抗震性能的关键因素, 包括连接方式、材料性能等, 并对现有抗震设计方法进行了分析。同时, 提出了优化节点连接技术以提升抗震性能的策略, 展望了未来装配式混凝土结构节点连接技术的发展方向, 旨在为装配式混凝土结构的设计与施工提供理论支持, 推动其在建筑抗震领域的更好应用。

**关键词:** 装配式混凝土结构; 节点连接技术; 抗震性能; 连接方式; 材料性能

**DOI:** 10.64216/3104-9664.25.03.043

## 引言

随着建筑工业化进程的加速, 装配式混凝土结构作为一种符合可持续发展理念的建筑结构形式, 受到越来越多的关注。其通过工厂预制构件、现场装配的方式, 有效缩短了施工周期、减少了现场湿作业, 提高了建筑质量和生产效率。然而, 装配式混凝土结构的节点连接技术是制约其发展的关键因素之一。节点是结构中受力最为复杂且集中部位, 其连接性能直接影响到整个结构的承载能力和抗震性能。在地震作用下, 节点区域易出现应力集中、变形协调困难等问题, 一旦节点破坏, 可能导致结构整体失效。因此, 深入研究装配式混凝土结构节点连接技术及其抗震性能, 对于保障装配式混凝土结构的安全可靠应用具有极其重要的意义, 是当前建筑结构领域亟待解决的关键课题。

## 1 装配式混凝土结构节点连接技术概述

### 1.1 梁柱节点连接技术

梁柱节点是装配式混凝土框架结构中最关键的连接部位。常见的连接形式主要包括以下几种: 一种方式是采用钢筋套筒灌浆连接, 在预制梁和柱的端部预留套筒, 现场将对应钢筋插入后灌注高强灌浆料, 从而实现梁柱钢筋的整体连接。该方式连接可靠, 但对施工精度和灌浆质量有较高要求。另一种是浆锚搭接连接, 通过在梁柱预制端预留孔洞, 将钢筋插入后注入灌浆料, 利用钢筋在锚固区与浆体间的粘结力实现连接, 其施工相对简便, 但对搭接长度和灌浆密实性需严格控制。此外, 也可采用后浇区连接方式, 即在节点区域预留后浇混凝土段, 预制梁柱的钢筋伸入其中, 通过现场浇筑形成整

体连接, 其优点是可较好保证节点性能, 但现场湿作业量较大。

### 1.2 剪力墙边缘构件连接技术

在装配式混凝土剪力墙结构中, 边缘构件的可靠连接十分重要。通常采用预制结合现浇的方法, 预制边缘构件与墙体可通过预埋钢筋、套筒灌浆或浆锚搭接等方式进行连接。比如, 预制边缘构件在出厂时已预留钢筋锚固区, 现场与剪力墙板之间采用套筒灌浆连接, 有助于提升整体协同工作性能。为增强连接的整体性, 常在边缘构件与墙体接合处设置后浇带, 并通过后浇混凝土填充, 使二者形成完整的受力体系, 从而有效提高剪力墙的抗侧刚度与承载能力, 确保结构在地震作用下的抗震性能。

### 1.3 楼板与梁柱连接技术

装配式混凝土楼板与梁柱的连接方式有多种。对于预制叠合楼板, 多采用搁置在梁上的形式, 可通过设置现浇层或抗剪连接件与梁形成整体。现浇层连接是在板与梁接触面设置现浇混凝土, 实现两者协同工作以传递荷载。抗剪连接件连接则是在接合处布置抗剪构造, 例如钢筋桁架、抗剪钢筋等, 通过抗剪作用增强板与梁的整体连接性能, 保障楼板在正常使用和地震作用下的可靠性, 确保结构功能与抗震要求得到满足。

## 2 影响装配式混凝土结构节点抗震性能的关键因素

### 2.1 连接方式对节点抗震性能的影响

不同连接方式会显著影响节点在地震作用下的受力与变形特征。以梁柱节点为例, 采用钢筋套筒灌浆连

接时,其抗震性能受套筒与钢筋的匹配度、灌浆料强度与密实度等因素影响。若套筒间隙偏大或灌浆不密实,地震作用下易发生连接部位的松动与滑移,削弱节点的抗剪和变形性能。采用浆锚搭接连接时,搭接长度和钢筋间距是关键,如搭接不足或间距不当,地震作用下可能出现钢筋拔出或断裂,影响节点抗震能力。后浇段连接的节点,其后浇混凝土的浇筑质量、钢筋锚固长度等对节点抗震性能极为重要,若后浇段混凝土强度不足或锚固长度不够,可能导致节点开裂甚至破坏,降低结构抗震能力。

## 2.2 材料性能对节点抗震性能的影响

节点所用材料的性能直接影响其抗震表现。对于钢筋套筒灌浆连接,灌浆料的强度、流动性和粘结性能是关键。高强、高流动性且粘结良好的灌浆料能更充分地填充套筒与钢筋间的空隙,增强两者间的粘结与抗剪能力,从而提升节点的抗震性能。钢筋的强度和延性同样重要,高强度、高延性的钢筋在地震反复荷载下具有更好的变形与耗能能力。预制构件混凝土的强度和弹性模量等参数影响节点的整体刚度与承载力,混凝土强度高可能引起节点脆性破坏,强度过低则会降低其承载力,因此需合理选择混凝土强度等级,以保障节点的抗震性能。

## 2.3 施工质量对节点抗震性能的影响

施工质量是影响装配式混凝土结构节点抗震性能的重要因素。施工过程中,预制构件的安装精度、钢筋连接质量、灌浆质量等均会直接影响节点性能。例如,预制构件安装偏差过大可能导致节点受力不均,在地震时易发生应力集中破坏。钢筋连接方面,若套筒连接中钢筋插入深度不足或灌浆不饱满,浆锚搭接中搭接长度不够或间距不当,均会削弱节点连接强度与抗震能力。灌浆质量则受配合比、搅拌质量、灌浆压力等因素影响,灌浆不密实或存在空洞会降低节点的抗剪性能与整体性,进而影响结构抗震表现。

## 3 装配式混凝土结构节点抗震设计方法

### 3.1 基于性能的抗震设计方法

基于性能的抗震设计方法是当前装配式混凝土结构抗震设计的重要发展方向。该方法依据结构在不同强度地震作用下的性能目标来确定节点的抗震要求。例如,对于重要建筑,可设定在小震下节点无损坏,中震下允许轻微损伤并可修复,大震下节点虽有损伤但结构不倒

塌。通过合理设计节点连接方式、材料与构造措施,使节点在不同水准地震下满足相应性能目标。设计时需综合考虑建筑功能、重要性、设防烈度等因素,确定节点的屈服强度、延性系数、耗能能力等性能指标,并通过计算与试验验证,确保设计满足性能要求。

### 3.2 等效抗剪刚度设计方法

等效抗剪刚度设计方法是针对节点在地震中主要承受剪力这一特点提出的设计思路。该方法通过计算节点的等效抗剪刚度,确定节点的连接参数与构造措施。等效抗剪刚度反映节点在剪力作用下的变形能力,其值越大,节点抗剪性能越强。设计时需根据结构受力特点与抗震需求,确定节点的等效抗剪刚度目标,进而通过选择适宜连接方式、调整钢筋配置、优化构件尺寸等措施,使节点实际刚度满足设计要求。例如,在梁柱节点中可通过增加套筒数量、提高灌浆料强度、优化后浇段尺寸等方式提升其等效抗剪刚度。同时需注意节点与结构整体刚度的协调,确保结构在地震下的整体抗震性能。

### 3.3 耗能设计方法

耗能设计方法通过在节点区域设置耗能构件或使用耗能材料,使节点在地震中有效耗散能量,从而降低结构地震反应。常用耗能构件包括粘滞阻尼器、金属阻尼器等,耗能材料有高阻尼橡胶、耗能砂浆等。在装配式混凝土节点中,可将这些耗能构件或材料布置在梁柱节点、剪力墙边缘构件等关键部位。例如,在梁柱节点处设置粘滞阻尼器,地震时通过其粘滞作用耗散能量,减小节点的剪力与变形。采用耗能砂浆填充节点区域,则可利用其变形与破坏过程消耗地震输入能量,从而减轻结构响应。

## 4 装配式混凝土结构节点抗震性能优化策略

### 4.1 改进连接方式

针对现有连接方式的不足,可通过采用新型连接技术或对传统方式进行改进。例如,开发高精度的钢筋套筒灌浆连接技术,提高套筒与钢筋的匹配度及灌浆料性能,减少连接部位的松动与滑移风险。研究新型浆锚搭接形式,优化搭接区构造,增加锚固长度与抗剪措施,增强节点的抗剪与变形能力。同时,可探索预制与现浇相结合的混合连接方式,发挥各自优势,提高节点整体性与抗震性能。如在梁柱节点区采用部分预制与现浇混凝土结合的形式,通过合理设计连接界面与构造,使节点在地震中具备更好的受力性能。

## 4.2 优化材料性能

通过研发与应用高性能材料提升节点抗震能力。针对灌浆料,可开发高强度、高流动性、高粘结性能的新型材料,改善其填充效果与连接强度。研究高延性混凝土,用于节点区域的预制构件或后浇段,增强节点的延性与耗能能力。同时可采用高强高延性抗震钢筋,提高其抗拉与屈服强度,增强在地震反复荷载下的承载与变形能力。此外,还可探索将形状记忆合金等智能材料用于节点连接部位,使节点在地震中能自适应调节形状与应力状态,从而提升其抗震性能与自适应能力。

## 4.3 加强施工质量控制

严格施工质量控制是保障节点抗震性能的重要环节。施工中应提高预制构件安装精度,借助先进测量与安装设备,确保构件位置准确。加强钢筋连接质量检验,对套筒灌浆连接、浆锚搭接等实施严格质量检查,确保连接牢固。同时需规范灌浆作业流程,控制灌浆料的配合比、搅拌质量与灌浆压力,保证灌浆密实饱满。还应建立健全施工质量管理体系,加强对施工人员的技术培训与质量意识教育,提升操作技能与责任意识,从施工源头确保装配式混凝土结构节点的抗震性能。

## 5 装配式混凝土结构节点连接技术发展趋势

### 5.1 智能化连接技术的发展

随着智能技术在建筑领域的不断发展,智能化连接技术将成为装配式混凝土结构节点连接技术的重要发展方向。例如,采用智能传感器技术,在节点连接部位安装传感器,实时监测节点的受力状态、变形情况和连接质量。通过传感器将监测数据传输到智能控制系统,实现对节点连接状态的实时监控和预警。同时,可利用智能机器人技术进行节点连接施工,提高施工精度和效率,减少人为因素对施工质量的影响。

### 5.2 绿色环保连接技术的发展

在环保要求日益严格的背景下,绿色环保连接技术将成为装配式混凝土结构节点连接技术的发展趋势。一方面,研发和应用绿色环保的连接材料,如采用可再生资源生产的灌浆料、无污染的耗能材料等,减少传统材料对环境的影响。另一方面,优化连接工艺,降低施工过程中的能源消耗和废弃物排放。例如,采用干式连接技术,减少施工现场的湿作业量,降低水资源消耗和污水排放。同时,可探索采用预制构件的循环利用技术,提高预制构件的可重复使用率,减少建筑垃圾的产生,

实现装配式混凝土结构的可持续发展。

### 5.3 多学科融合的连接技术创新

装配式混凝土结构节点连接技术将与多学科技术进行深度融合,推动连接技术创新。例如,与材料科学相结合,开发新型高性能连接材料和复合材料,提高节点的连接性能和抗震性能。与力学、结构工程学相结合,深入研究节点的受力机理和破坏模式,优化连接构造设计。与计算机技术相结合,利用计算机模拟和优化设计技术,对节点连接方案进行虚拟设计和性能评估,提高设计效率和准确性。同时,与建筑信息模型(BIM)技术相结合,实现装配式混凝土结构节点连接的全生命周期管理,从设计、施工到使用阶段,通过BIM技术对节点连接信息进行集成和共享,提高节点连接技术的管理水平和协同效率,为装配式混凝土结构的高质量发展提供有力的技术支持。

## 6 总结

装配式混凝土结构节点连接技术及其抗震性能是装配式混凝土结构发展的关键问题。本文系统地阐述了装配式混凝土结构节点连接技术的分类与特点,深入分析了影响节点抗震性能的关键因素,包括连接方式、材料性能和施工质量等,并探讨了现有抗震设计方法。同时,提出了优化节点抗震性能的策略,如改进连接方式、优化材料性能和加强施工质量控制等,展望了装配式混凝土结构节点连接技术的未来发展趋势,包括智能化连接技术、绿色环保连接技术和多学科融合的连接技术创新。通过这些研究,为装配式混凝土结构的设计与施工提供了理论支持,有助于推动装配式混凝土结构在建筑抗震领域的更好应用,促进装配式混凝土结构的健康发展,为建筑工业化和可持续发展做出贡献。

### 参考文献

- [1] 夏哲轩. 装配式混凝土结构设计关键连接技术研究[J]. 中华建设, 2025, (12): 92-94.
- [2] 孙元凯. 装配式混凝土结构节点高效连接技术应用研究[J]. 砖瓦, 2025, (11): 69-71.
- [3] 王文铎. 装配式混凝土剪力墙结构节点连接方式标准化[J]. 大众标准化, 2025, (18): 75-76+79.
- [4] 韩饮冰. 基于回弹法的装配式混凝土结构节点损伤诊断技术研究[J]. 建筑与预算, 2025, (08): 67-69.
- [5] 侯欢欢. 高性能装配式钢-混凝土节点连接技术研究[J]. 中国高新科技, 2025, (12): 146-148.