

# 装配式混凝土构件连接节点技术研究

毛源涛

浙江省建材集团有限公司 浙江 杭州 310011

**摘要:** 装配式混凝土构件连接节点对结构性能至关重要。本文首先介绍连接节点按受力形式、连接部位、连接材料分类情况。接着阐述连接节点构造设计原则、不同类型节点构造细节及优化方向。然后说明施工工艺,包括设计原则、节点构造细节、施工过程技术控制要点。最后探讨技术发展方向,涉及新型连接节点技术研发、施工技术创新、新型材料在连接节点中的应用,为装配式混凝土结构发展提供参考。

**关键词:** 装配式混凝土; 连接节点; 构造设计; 施工工艺; 技术发展

引言: 装配式混凝土结构凭借高效、环保等优势在建筑领域广泛应用。连接节点作为装配式混凝土结构的关键部分,其性能直接影响结构整体安全性、稳定性与耐久性。不同类型的连接节点在受力特点、施工工艺等方面存在差异,合理分类有助于深入理解其特性。科学的构造设计是保障节点性能的基础,而规范的施工工艺则是实现设计意图的关键。因此,全面研究装配式混凝土构件连接节点技术具有重要意义。

## 1 装配式混凝土构件连接节点分类

### 1.1 按连接受力形式分类

依据连接受力形式差异,装配式混凝土构件连接节点可分为柔性连接节点、刚性连接节点及半刚性连接节点<sup>[1]</sup>。柔性连接节点具备一定变形能力,在结构受力过程中,可允许连接部位产生相对位移,有效吸收地震等动力荷载产生的能量,降低结构整体刚度突变带来的不利影响,适用于对变形能力要求较高的结构部位。刚性连接节点则强调连接部位的刚度,能够高效传递弯矩与剪力,使连接构件形成整体共同受力,确保结构在荷载作用下保持稳定几何形态,常用于对结构整体性要求严苛的区域。半刚性连接节点介于柔性与刚性之间,既具备一定变形能力,又能传递部分弯矩与剪力,在满足结构受力需求的同时,兼顾变形协调性,为结构设计与施工提供更多灵活性。

### 1.2 按连接部位分类

梁柱连接节点是装配式框架结构的关键节点,承受弯矩、剪力与轴力的复合作用,其设计需满足强度、刚度与延性的多重要求,直接决定结构整体抗震性能与施工可行性。墙板连接节点主要用于围护墙板与主结构的衔接,根据墙板功能不同分为结构性与非结构性连接,通过预埋件、螺栓或后浇混凝土实现固定,兼顾连接可靠性与结构变形适应性。楼板连接节点用于预制楼板间

及楼板与梁柱的衔接,多采用叠合现浇或机械连接形式,确保楼板荷载有效传递,保障楼盖整体性与使用安全性,适配装配式楼盖的工业化施工需求。基础与构件连接节点是构件与基础衔接的关键,承担构件传递的全部荷载并传递至地基,多采用灌浆套筒或预埋连接件实现连接,需满足锚固长度要求,保障结构竖向稳定性。

### 1.3 按连接材料分类

依据连接材料不同,装配式混凝土构件连接节点可分为钢筋连接节点、预应力连接节点、灌浆连接节点及螺栓连接节点。钢筋连接节点通过钢筋搭接、焊接或机械连接等方式实现构件间连接,利用钢筋高强度与良好延性传递内力。预应力连接节点借助预应力筋施加预应力,使连接部位处于受压状态,提高节点抗裂性与刚度,增强结构整体性。灌浆连接节点利用高强度灌浆料填充连接间隙,通过灌浆料与钢筋、混凝土间粘结力传递荷载,施工便捷且连接可靠。螺栓连接节点通过螺栓紧固实现构件连接,具有安装迅速、可拆卸等优点,适用于需要频繁装拆或对施工速度要求较高工程。

## 2 装配式混凝土构件连接节点构造设计

### 2.1 连接节点构造设计原则

连接节点构造设计需遵循一系列严谨且科学的原则。强度匹配原则要求节点的承载能力必须不低于所连接构件的承载能力。若节点强度不足,在荷载作用下可能率先破坏,进而引发整个结构的失效,造成严重后果。刚度协调原则强调节点刚度与构件刚度应合理适配。刚度突变会导致应力集中现象,使结构在受力时局部应力过大,增加破坏风险<sup>[2]</sup>。变形协调原则确保节点在受力过程中产生的变形与构件变形相互协调。若变形不协调,会产生附加应力,影响结构的正常使用与安全性。耐久性原则关注节点在长期使用过程中抵抗环境侵蚀的能力。通过合理设计构造细节,采取有效的防护措

施, 延长节点使用寿命, 减少后期维护成本。施工便捷性原则要求节点构造简单易懂、易于操作, 降低现场施工难度, 缩短施工周期, 提高施工质量。

## 2.2 不同类型节点构造细节

### 2.2.1 钢筋连接构造

钢筋连接方式多样, 搭接连接时, 搭接长度需依据钢筋直径、混凝土强度等因素精确确定, 以保证钢筋间粘结力能有效传递内力。焊接连接对焊缝质量要求极高, 需严格控制焊接工艺参数, 避免出现气孔、夹渣等缺陷, 确保焊接强度满足设计要求。机械连接借助专用连接件实现钢筋可靠连接, 连接件的性能、尺寸与安装工艺都需严格把控, 保证连接质量稳定可靠。

### 2.2.2 灌浆套筒连接构造

灌浆套筒连接中, 套筒的材质与尺寸必须与所连接钢筋精准匹配。灌浆料需具备良好的流动性、早强性与高强度, 以满足施工与受力要求。灌浆过程中, 要确保灌浆料充满套筒与钢筋间的间隙, 避免出现空洞, 影响连接强度。

### 2.2.3 预应力锚具连接构造

预应力锚具需具备足够的锚固能力, 防止预应力筋在长期受力过程中发生滑移。张拉工艺要科学合理, 精确控制张拉力大小与张拉顺序, 确保预应力有效施加并长期稳定保持。

### 2.2.4 螺栓连接构造

螺栓的规格、性能要符合设计标准, 连接板的厚度与孔径需精确加工。螺栓紧固时, 要按照规定的力矩进行拧紧, 保证连接紧密可靠, 避免因松动导致连接失效。

## 2.3 连接节点构造优化方向

从材料层面优化, 研发高性能连接材料, 如高强度、耐腐蚀的灌浆料与锚具, 提升节点性能。构造形式上, 简化节点构造, 减少构件数量与连接工序, 降低施工难度与成本。改进传力路径, 使内力传递更直接高效。细节处理方面, 加强节点防水、防裂措施, 如设置防水层、增加构造钢筋等, 提高节点耐久性。结合数字化技术, 利用BIM等工具对节点构造进行精细化设计与模拟分析, 提前发现潜在问题并优化设计, 推动连接节点构造设计向更高水平发展。

## 3 装配式混凝土构件连接节点施工工艺

### 3.1 连接节点构造设计原则

连接节点构造设计需遵循一系列科学且严谨的原则。强度匹配原则要求节点的承载能力必须不低于所连接构件的承载能力。若节点强度不足, 在荷载作用下可能率先破坏, 进而引发整个结构的失效, 造成严重安全

隐患。刚度协调原则强调整节点刚度与构件刚度应合理匹配。刚度突变会导致应力集中现象, 使结构在受力时局部应力过大, 增加破坏风险<sup>[3]</sup>。变形协调原则确保节点在受力过程中产生的变形与构件变形相互协调。若变形不协调, 会产生附加应力, 影响结构的正常使用与安全性。耐久性原则关注节点在长期使用过程中抵抗环境侵蚀的能力。通过合理设计构造细节, 采取有效的防护措施, 如设置防水层、采用耐腐蚀材料等, 延长节点使用寿命, 减少后期维护成本。施工便捷性原则要求节点构造简单易懂、易于操作, 降低现场施工难度, 缩短施工周期, 提高施工质量。

## 3.2 不同类型节点构造细节

### 3.2.1 钢筋连接构造

钢筋连接方式多样, 各有特点。搭接连接时, 搭接长度需依据钢筋直径、混凝土强度等因素精确确定。通过钢筋与混凝土之间的粘结力传递内力, 这种方式施工简便, 但对搭接长度要求严格。焊接连接对焊缝质量要求极高, 需严格控制焊接工艺参数, 如焊接电流、电压、焊接时间等。合适的工艺参数能保证焊缝饱满、无缺陷, 使钢筋有效连接, 传递拉力与压力。机械连接借助专用连接件实现钢筋可靠连接, 如直螺纹套筒连接。连接件的材质、尺寸与加工精度都需严格把控, 确保连接质量稳定可靠, 能满足结构在不同受力状态下的需求。

### 3.2.2 灌浆套筒连接构造

灌浆套筒连接中, 套筒的材质通常选用高强度合金钢, 其尺寸与形状需与所连接钢筋精准匹配。灌浆料需具备良好的流动性、早强性与高强度, 以满足施工与受力要求。灌浆前, 要清理套筒与钢筋表面杂质, 确保灌浆料与两者良好粘结。灌浆过程中, 采用专用灌浆设备, 确保灌浆料充满套筒与钢筋间的间隙, 避免出现空洞, 影响连接强度。

### 3.2.3 预应力锚具连接构造

预应力锚具需具备足够的锚固能力, 防止预应力筋在长期受力过程中发生滑移。锚具的材质多为优质合金钢, 经过特殊热处理工艺, 提高其强度与硬度。张拉工艺要科学合理, 精确控制张拉力大小与张拉顺序。先张拉部分预应力筋, 再张拉其余余筋, 使预应力有效施加并长期稳定保持, 增强结构的抗裂性与承载能力。

### 3.2.4 螺栓连接构造

螺栓的规格、性能要符合设计标准, 连接板的厚度与孔径需精确加工。螺栓紧固时, 按照规定的力矩进行拧紧, 保证连接紧密可靠。为避免螺栓松动, 可采用双螺母防松、弹簧垫圈防松等措施, 确保连接在长期使用

过程中稳定安全。

### 3.3 施工过程中的技术控制要点

施工过程要严格控制环境条件,灌浆施工宜在5℃至30℃环境下进行,避免低温或高温影响灌浆料性能,低温可能导致灌浆料凝固缓慢,高温可能使灌浆料过快干燥,影响连接强度,确保灌浆质量。加强测量控制,提高测量精度,减少误差积累,测量精度直接影响构件的安装位置和连接质量,若测量误差过大,会导致构件连接不准确,影响结构受力。对关键工序实行全程质量监控,安排专人检查与记录<sup>[4]</sup>。施工完成后,按规范要求进行质量检测,如灌浆强度检测、螺栓紧固力检测等,对不合格部位及时整改,确保连接节点施工质量可靠,保障装配式混凝土结构安全稳定。

## 4 装配式混凝土构件连接节点技术发展方向

### 4.1 新型连接节点技术研发

传统连接节点在应对复杂结构与极端环境时,逐渐暴露出承载能力有限、施工精度要求高、适应性不足等问题。为此,研发新型连接节点成为行业焦点。在力学性能提升方面,研究人员致力于开发具备更高强度与更好延性的连接节点。通过优化节点构造形式,如采用特殊的榫卯结构、增设加劲肋等,增强节点在复杂受力状态下的稳定性。一些新型节点借鉴了桥梁工程中的连接理念,引入预应力技术,使节点在承受荷载前就具备一定预应力,有效提高抗裂性与承载能力。适应复杂结构需求的新型节点也在不断涌现。针对异形构件、大跨度结构等特殊情况,研发出可调节、可变形的连接节点。这类节点能够根据构件的实际形状与尺寸进行灵活调整,确保连接紧密可靠,拓宽装配式结构的应用范围。

### 4.2 连接节点施工技术创新

施工技术的创新是推动连接节点技术发展的关键动力。数字化施工技术的应用为连接节点施工带来变革。借助BIM技术,可对连接节点进行三维建模与虚拟施工模拟,提前发现施工中的碰撞问题与潜在风险,优化施工方案。在施工过程中,利用物联网技术对施工设备、材料与人员进行实时监控,实现施工信息的精准采集与动态管理,提高施工效率与质量。智能化施工装备的研发与应用也取得显著进展。自动化灌浆设备能够实现灌浆料的精准配比与均匀灌注,避免人工操作带来的误差,确保灌浆质量。智能螺栓紧固设备可根据预设扭矩值自动完成螺栓紧固,保证螺栓预紧力的一致性,提高连接可靠性。此外,绿色施工技术逐渐受到重视。在连接节

点施工中,采用低噪音、低粉尘的施工工艺,减少对环境的影响。推广使用可回收、可降解的施工材料,降低资源消耗与废弃物产生,实现施工过程的可持续发展。

### 4.3 新型材料在连接节点中的应用

新型材料的不断涌现为连接节点性能提升提供新途径。高性能混凝土材料具有高强度、高耐久性与良好的工作性能,应用于连接节点可提高节点的抗压、抗剪能力,延长结构使用寿命。纤维增强混凝土通过添加纤维材料,改善混凝土的韧性,增强节点在受力过程中的变形能力,减少裂缝产生。新型金属材料在连接节点中也发挥重要作用。高强度钢材的应用使连接件尺寸减小、重量减轻,同时提高承载能力。耐候钢具有良好的耐大气腐蚀性能,应用于户外连接节点可减少防腐处理工序,降低维护成本<sup>[5]</sup>。智能材料的应用为连接节点带来新的功能。形状记忆合金具有独特的形状记忆效应与超弹性,应用于连接节点可实现自复位功能,在地震等灾害后自动恢复原始形状,提高结构的抗震性能与灾后修复能力。压电材料可用于连接节点的健康监测,通过检测材料的电信号变化,实时掌握节点的受力状态与损伤情况,为结构安全评估提供依据。

## 结束语

装配式混凝土构件连接节点技术不断发展,新型连接节点研发、施工技术创新以及新型材料应用,为解决传统节点问题、提升结构性能提供了有力支撑。通过持续探索与实践,不断优化连接节点设计、施工与管理,能够更好地满足复杂建筑结构需求,推动装配式混凝土结构在更广泛领域应用,保障建筑工程质量与安全,促进建筑行业可持续发展。

## 参考文献

- [1]赵文涛.装配式建筑混凝土构件连接节点施工关键技术及质量控制研究[J].砖瓦世界,2026(4):13-15.
- [2]丁雄.装配式混凝土结构预制构件连接节点施工关键技术[J].砖瓦,2025(7):144-146.
- [3]张宜伟.装配式混凝土建筑施工中预制构件连接节点的力学性能试验与抗震性能评估[J].石材,2025(11):74-76.
- [4]冯新.预制柱连接节点在装配式混凝土U形梁结构中的抗震性能改进应用[J].中国高新科技,2025(9):74-76.
- [5]高怡,方有珍,彭剑锋,等.装配式混凝土框架混合连接中节点抗震性能模拟[J].地震工程学报,2024,46(6):1387-1394.