

装配式混凝土框架节点抗震性能研究

陈晨 吴清桂

新疆生产建设兵团建设工程(集团)环境工程有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：装配式混凝土框架结构在现代工程建设中应用广泛，节点作为结构传力与受力的关键部位，其抗震性能直接决定整体结构在地震作用下的安全稳定。文章聚焦于采用灌浆套筒连接的湿式装配整体式混凝土框架节点，系统探究其抗震性能，重点分析该类节点在构造形式、连接可靠性（尤其是灌浆套筒饱满度与钢筋锚固）及施工工艺等方面的薄弱环节，梳理当前节点抗震设计与构造处理中存在的核心问题，结合工程实践与现行规范提出针对性优化路径，为装配式混凝土框架节点的设计、施工与工程应用提供理论参考与实践依据，推动装配式结构抗震技术的完善与发展。

【关键词】：装配式混凝土框架；节点；抗震性能；构造设计；工程应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.045

引言

地震作用下建筑结构的安全可靠性至关重要。装配式混凝土框架结构因工业化程度高、施工高效而广泛应用，其中框架节点作为传力核心，其抗震性能直接决定整体结构安全。节点区域受力复杂、应力集中，在往复荷载下易损伤，成为装配式结构应用的关键制约因素。当前在构造设计、连接可靠性及施工控制等方面仍存不足。聚焦灌浆套筒连接的湿式装配整体式节点，结合《建筑抗震设计规范》(GB 50011)和《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231)，系统分析其抗震短板与提升路径，可为提高装配式结构抗震性能提供有力支撑。

1 装配式混凝土框架节点抗震性能现存问题分析

装配式混凝土框架节点的受力行为与现浇节点存在显著差异，预制与装配工序削弱了节点区域的整体性与传力连续性。采用灌浆套筒连接的梁柱节点，若套筒布置过密、钢筋插入不足或后浇混凝土不密实，易在地震往复作用下发生套筒滑移、粘结失效或钢筋拔出，引发核心区剪切或锚固破坏，影响梁柱变形协调。施工中构件定位精度、拼缝处理及灌浆密实度等环节控制难度大，一旦管控不足，将显著降低节点刚度与耗能能力，削弱结构抗震性能。

节点区域的钢筋布置与锚固方式直接影响抗震性能。《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)对现浇节点箍筋加密和锚固有明确要求，而装配式节点因后浇或连接区构造复杂，若锚固或搭接长度不足，易导致钢筋拔出，难以实现“强锚固”原则，削弱耗能能力。预制构件的尺寸偏差与材料波动会在装配后形成初始缺陷，地震作用下缺陷扩展，加速破坏。当前对装配式节点在刚度、延性及耗能方面的特性重视不足，缺乏针对性设计，制约整体抗震安全。

现行部分设计理念与施工规范在装配式混凝土框架节点抗震细节上仍有完善空间，对不同抗震设防烈度、不同结构形

式下节点的差异化要求体现不足。工程实践中对节点抗震性能的长期监测与反馈机制不够完善，缺乏对实际工程节点在地震作用或模拟受力作用下损伤演化过程的系统总结，难以形成设计、施工、检验与优化的闭环体系^[1]。诸多问题相互关联，共同影响装配式混凝土框架节点抗震性能的稳定发挥，也为后续技术改进与工程应用提出了明确的研究方向与改进重点。

2 装配式混凝土框架节点抗震性能提升技术措施

优化装配式混凝土框架节点构造设计是提升抗震性能的基础环节，通过合理调整节点尺寸、钢筋配置、连接形式，构建传力清晰、变形协调、耗能稳定的节点构造体系。强化钢筋锚固与搭接构造。对于灌浆套筒连接，应确保套筒的灌浆饱满度，优先采用全灌浆套筒，并严格控制钢筋插入长度不小于规范要求；对于后浇段内的纵向钢筋连接，宜采用机械连接或焊接，并确保后浇混凝土的强度等级不低于预制构件且具备微膨胀性能，以满足《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231)关于后浇节点性能的要求。采用可靠的构件连接方式，减少拼接部位的薄弱环节，使预制梁、柱构件通过节点形成连续整体，确保地震作用下力的传递顺畅，避免因连接失效导致结构局部破坏甚至连续倒塌。

强化节点施工全过程质量控制，能够有效保障抗震性能设计目标的实现，从预制构件生产、运输、现场吊装到拼接灌浆，建立全流程质量管控体系。严格控制预制构件的尺寸精度与材料性能，特别是灌浆套筒的定位精度，必须控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。在现场装配阶段，除精准定位外，应重点监控灌浆料的流动度(宜 $\geq 300\text{mm}$)、28d抗压强度($\geq 85\text{MPa}$)及灌浆压力，并采用有效的排气措施(如设置排气孔或真空辅助灌浆)，确保套筒内浆体完全密实，避免因空腔导致连接失效。加强施工过程中的检验检测，及时发现并纠正装配偏差，为节点抗震性能提供可靠的施工保障。

结合工程实际需求完善节点抗震设计方法与技术标准,充分考虑不同使用环境、抗震设防等级对节点性能的要求,形成针对性强、可操作性高的设计方案。引入成熟的构造加强措施,对节点核心区、梁柱交接部位进行局部强化,提高节点抗裂、抗压与抗剪能力^[2]。注重节点延性与耗能能力的协同提升,避免过度追求刚度而降低结构变形适应能力,使节点在地震中既能有效抵御作用,又能通过合理变形耗散能量,减轻结构整体损伤。同时总结工程实践中的成功经验,将可靠技术措施转化为标准化做法,为同类节点设计与施工提供参考。

3 装配式混凝土框架节点抗震性能工程应用保障

建立完善的装配式混凝土框架节点抗震性能评价体系,是保障其在工程中安全应用的重要前提。例如,通过低周往复加载试验获取节点的荷载-位移滞回曲线,据此计算延性系数($\mu \geq 3.0$)、等效粘滞阻尼系数($h_e \geq 0.15$)及刚度退化率等量化指标,系统评价其耗能能力、变形适应性与损伤演化规律,确保其满足《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1)关于节点性能验证的要求。从构造合理性、受力可靠性、变形适应性、损伤可控性等多个维度,对节点抗震性能进行综合评判^[3]。结合实际工程条件,明确节点在不同受力阶段、不同灾害等级下的性能目标,确保节点能够满足工程全生命周期内的抗震安全需求。通过系统化的性能评价,识别节点在实际应用中的潜在风险,提前采取优化措施,降低地震作用下的失效概率,提升结构整体安全储备。

加强工程全过程技术管理与专业支撑,能够为装配式混凝土

土框架节点抗震性能提供稳定保障,设计、施工、监理、运维等多方主体协同配合,形成完整的技术管控链条。设计阶段充分考虑抗震需求与装配特点,提供科学合理、便于施工的方案;施工阶段严格遵循设计要求与工艺标准,保障节点施工质量;监理阶段强化关键工序与关键部位的监督,确保各项技术措施落实到位;运维阶段定期对节点状态进行检查评估,及时处理使用过程中出现的损伤与病害。多方协同、全程管控,能够有效维持节点抗震性能,保障结构长期安全使用。

推动抗震技术与装配式建筑产业的深度融合,为节点抗震性能提升提供持续动力,鼓励针对装配式混凝土框架节点抗震关键技术开展研究与创新,结合新材料、新工艺、新构造不断优化节点性能。加强行业内技术交流与经验共享,推广应用抗震性能优良、施工便捷的节点形式与技术方,提升装配式建筑整体抗震水平。同时强化从业人员专业培训,提高设计、施工、管理人员对装配式节点抗震机理与技术要点的理解,保障先进技术措施能够准确落地实施,为装配式混凝土框架节点在工程领域的广泛应用筑牢基础。

4 结语

装配式混凝土框架节点的抗震性能直接关乎结构整体安全,聚焦灌浆套筒连接节点的构造细节、锚固可靠性与施工质量控制,是提升其延性、耗能能力与损伤容限的关键。未来应深化规范衔接,推动试验验证与工程实践融合,完善全过程技术管理体系,促进高性能、高可靠装配式节点的标准化与产业化应用,支撑装配式建筑在高烈度地震区的安全发展。

参考文献:

- [1] 王超.装配式混凝土框架节点后浇段裂缝成因与施工工艺优化[J].四川水泥,2025,(12):45-46+49.
- [2] 崔砚军.装配式混凝土框架构件连接方式设计与抗震性能研究[J].粘接,2025,52(08):163-165+169.
- [3] 王雨乐,曹大富,王琨,等.预应力套筒装配式混凝土框架节点抗震性能非线性分析[J].建筑结构,2025,55(14):87-96.