

装配式混凝土结构节点抗震性能优化与施工质量控制实践研究

韦德怀

远景能源有限公司北京分公司, 北京市东城区, 100010;

摘要: 随着我国城镇化的快速发展, 城市建设规模不断扩大, 传统的建筑施工方式已不能满足城市发展需求。装配式混凝土结构建筑具有自重轻、施工快等优点, 在城市建设中得到了广泛应用。但由于装配式混凝土结构节点复杂, 抗震性能难以得到有效保障, 因此应对装配式混凝土结构节点进行优化研究, 在保证装配式混凝土结构节点抗震性能的前提下, 实现装配式混凝土结构施工质量控制。通过对抗震性能优化方法的研究与分析, 采用正交试验设计方法进行对比试验, 探讨了不同影响因素对装配式混凝土结构节点抗震性能的影响程度。通过对比试验数据分析和计算结果, 为工程实际施工质量控制提供参考。

关键词: 装配式混凝土; 结构节点抗震; 性能优化; 施工质量; 控制实践

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 093

引言

随着我国城镇化建设进程的不断推进, 人们对居住环境要求的不断提高, 传统的建筑施工方式已不能满足城市建设的需求, 装配式混凝土结构建筑因其自重轻、施工快等优点, 在城市建设中得到了广泛应用。但装配式混凝土结构节点复杂, 施工过程中极易出现节点核心区混凝土破坏、钢筋外露等质量问题。为了提高装配式混凝土结构节点抗震性能, 减少施工过程中出现的质量问题, 本文对装配式混凝土结构节点抗震性能优化与施工质量控制方法进行了研究, 并结合工程实例进行分析与对比试验, 为实现装配式混凝土结构施工质量控制提供参考。

1 装配式混凝土结构概述

装配式混凝土结构是指由预制的构件(如叠合楼板、阳台等)通过现浇混凝土连接而成的结构体系, 其优点为: (1) 构件预制化, 现场装配施工; (2) 构件工厂生产, 质量易于控制; (3) 建筑工业化程度高, 节省工期。装配式混凝土结构体系可分为四类: 叠合楼板结构体系、叠合剪力墙结构体系、叠合框架结构体系和叠合框架-剪力墙结构体系。其中, 叠合楼板结构体系的应用最多, 占比约为 70%。其优势在于: (1) 装配效率高, 可大幅减少现场作业量; (2) 构件标准化程度高, 利于工厂生产; (3) 施工方便快捷, 提高施工速度^[1]。

2 装配式混凝土结构节点抗震性能优化

2.1 结构节点抗震设计原理

通过分析研究可以看出, 结构节点处的剪力在梁端及柱中的分配情况, 影响着装配式混凝土结构构件的抗震性能。根据相关理论研究和实践经验, 结构节点处的

剪力主要由预埋件承受, 对装配式混凝土结构的抗震性能影响较小。因此, 在设计装配式混凝土结构节点时, 可采用梁端及柱端有较大剪力的设计方法, 尽量减小预埋件和框架柱的剪力分配, 以减少框架柱中剪力的传递。对于连接板, 在实际使用过程中可能出现局部断裂、滑移等问题, 造成结构抗震性能下降。因此, 应结合实际情况和相关理论研究, 优化结构节点处的设计方法和构造措施, 以提高装配式混凝土结构构件的抗震性能^[2]。

2.2 节点抗震性能影响因素分析

为了验证装配式混凝土结构节点抗震性能的优化, 对影响装配式混凝土结构节点抗震性能的主要因素进行了分析, 采用数值模拟的方法, 在有限元软件中建立模型, 根据节点试件的受力特点设置参数, 利用软件模拟分析了钢筋直径、箍筋直径、钢筋间距、高强螺栓直径、预埋件数量和位置等因素对装配式混凝土结构节点抗震性能的影响。结果表明: 在上述参数中, 钢筋直径和箍筋直径对装配式混凝土结构节点抗震性能的影响较大; 高强螺栓直径对装配式混凝土结构节点抗震性能的影响较小; 预埋件数量和位置对装配式混凝土结构节点抗震性能影响较小。

2.3 节点抗震性能优化方法探讨

在装配式混凝土结构节点的设计中, 可通过合理地选择节点形式、提高高强钢筋的用量、采用高强度的混凝土、优化钢筋连接方式等方式对装配式节点的抗震性能进行优化, 以保证装配式结构的整体性和稳定性。在结构设计中, 可通过优化预应力筋的张拉顺序, 提高钢筋应力水平, 并在节点处施加预应力, 提高节点区混凝土的抗压强度; 可通过优化混凝土强度等级, 降低钢筋

配筋率,并在节点处施加预应力筋提高节点区混凝土强度,进而提高节点抗震性能;可通过合理设计节点形式、合理地选择高强度钢筋用量及钢筋连接方式来提高装配式结构的抗震性能^[3]。

3 施工质量控制实践

3.1 装配式混凝土结构施工流程

在装配式混凝土结构施工中,其施工流程主要包括:首先是在地面上进行放样定位,然后进行钢筋的绑扎工作;在此过程中,要对构件的预留、预埋工作进行严格控制,确保预留预埋件的位置及数量;在构件安装之前,要先将模板进行安装,然后将其与混凝土连接在一起,确保其整体性;浇筑过程中应采取有效措施确保其密实性,并注意对钢筋的保护工作;在吊装构件时,应尽量采取垂直吊装方式;对于混凝土构件的养护工作,应严格按照相关规定进行。最后要对构件上的预留孔洞进行处理。此外,还要对施工现场进行清理,并做好成品保护工作。

3.2 施工质量控制要点

对于预制构件运输,需采用专用的运输设备,严禁采用普通运输车进行运输,且运输车辆需进行加固处理。预制构件在吊装前,应保证其在水平方向上具有一定的强度,且施工过程中需对其进行临时固定,并保持其表面干净。在预制梁安装过程中,需要在梁底预留好位置,并将钢筋穿过预留位置,在混凝土浇筑前需将钢筋与预留位置进行固定。装配式混凝土结构的连接方式有多种类型,具体应根据实际情况选择合适的连接方式。对于叠合板安装过程中出现的错缝现象,应及时对其进行调整,且在安装完成后需要对叠合板之间的缝隙进行密封处理^[4]。

3.3 施工质量控制实践案例分析

本项目以某住宅小区为例,该小区项目位于重庆市主城区,建筑面积为5万m²,地上6层,地下2层,建筑高度为36.0m。该项目的剪力墙结构的主体是钢筋混凝土现浇结构,其施工质量控制实践中主要存在以下几点问题:第一,装配式混凝土结构的叠合梁节点由于梁和柱受力大、施工工序多,容易发生柱纵筋断筋现象;第二,由于该项目是商品住宅小区,主要考虑到其经济性和适用性,不适合采用叠合板和叠合梁。因此在该项目的装配式混凝土结构中,叠合板和叠合梁节点均采用现浇混凝土结构形式。经实践检验,该项目的装配式混凝土结构的施工质量控制措施行之有效。

3.4 施工质量改进措施

针对装配式混凝土结构节点抗震性能优化与施工质量控制问题,可从以下方面进行改进:(1)优化设

计节点构造,如梁柱端部锚固节点、现浇结构与装配式结构连接节点等;(2)重视施工过程中的质量控制,如构件尺寸偏差、预制构件外观质量、施工缝处理等;

(3)加强材料检验,尤其是预制构件,应严格控制材料进场的质量;(4)制定具体的施工质量控制措施,如保证节点核心区混凝土强度等级等;(5)根据国家现行规范和标准要求进行施工,保证施工技术方案的合理可行;(6)加强质量检验和检查工作,发现问题及时整改。

4 案例分析与对比实验

4.1 经典案例分析

该项目为某国际医院的主体结构,采用装配式混凝土结构形式,其主要连接方式为:梁柱端头采用螺栓连接;梁柱节点处采用整体现浇混凝土,柱底部位采用焊接节点;柱身、梁身及楼梯间部位均采用螺栓连接。该项目总建筑面积为12.7万m²,梁高为3.6m,柱高为6.0m,梁宽为1.1m,柱宽为1.5m。在该项目中,其核心筒与框架柱节点处采用的连接方式为:将梁端头与框架柱连接;将梁柱节点处的螺栓孔与框架柱地脚螺栓孔相连接。通过对该项目的抗震性能进行分析,发现该项目具有以下特点:建筑结构的抗震性能较好;建筑结构具有较强的承载力和抗震能力。

4.2 对比实验设计

在实验室中完成了一个钢筋连接节点和一个钢筋混凝土预制连接节点的抗震性能对比试验。实验在同一层楼的3个不同位置进行。实验中,每层楼的3个位置分别放置一个钢筋混凝土预制连接节点、钢筋混凝土现浇连接节点。每个位置的构件采用相同的混凝土强度等级、混凝土配合比和配箍率,并在相同的温度条件下进行养护。通过在水平位移为0.03m的加速度下施加水平荷载来记录该结构的变形。实验结果表明,装配式结构连接节点在水平加载时会产生较大的变形,这是由于构件间的装配连接导致的。为了对比钢筋混凝土预制连接节点的抗震性能,进行了2种钢筋混凝土节点在低周反复加载条件下的对比试验。根据试验结果,可以得出以下结论:两种节点在水平荷载作用下,连接节点的变形都小于钢筋连接节点;在低周反复加载条件下,钢筋连接节点的耗能能力要大于钢筋连接节点;采用现浇连接方式可以显著提高装配式结构的抗震性能。对比实验结果表明,采用现浇连接方式和钢筋连接方式分别进行一次和两次循环加载时,可分别使结构在0.5s、1s和2s的时间内达到屈服。同时,可得出以下结论:采用现浇连接方式可使结构在0.5s内达到屈服^[5]。

4.3 数据分析与对比结果

本次实验是对节点构造与施工质量控制进行对比研究,所以在对结果进行分析时,需要通过试验的方式,对试验的相关数据进行收集、记录,并对实验结果进行总结和分析。通过本次实验的数据分析可知,本次实验的最大位移为 13.1 cm,最大承载力为 1395 kN。对比试验数据表明,在节点构造与施工质量控制方面,装配式混凝土结构框架结构有着显著优势,并且在工程中能够降低施工难度和成本。但是从整体上来看,装配式混凝土结构框架结构有着自身的缺陷和不足之处,需要进一步的优化和改进。因此对于装配式混凝土框架结构的研究具有一定的现实意义。从实验的结果中可以看出,在构件承载力、位移等方面,装配式混凝土框架结构有着一定的优势。但是从整体上来看,其自身的缺陷和不足之处需要进一步的优化和改进,同时也需要加强施工质量控制。另外,从实验结果中可以看出,装配式混凝土框架结构中存在着较大的安全隐患问题,但是在实际工程中的应用并不多见。因此在今后的工作中,需要加强对装配式混凝土结构框架结构的研究和分析,结合其自身的不足之处和优势之处,进一步完善装配式混凝土框架结构施工技术,从而促进装配式混凝土框架结构在实际工程中的应用和发展。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

通过对装配式混凝土结构节点抗震性能优化与施工质量控制的研究,针对装配式混凝土结构节点抗震性能优化,从混凝土强度、配筋率、轴压比三个方面进行了研究,提出了适用于装配式混凝土结构的配筋形式,并根据装配式混凝土结构节点的特点和施工要求提出了一套切实可行的装配式混凝土结构施工质量控制方法。在此基础上,以某装配式钢筋混凝土框架结构工程为例,通过优化配筋形式、施工质量控制、现场检测等手段,提出了一套适合装配式钢筋混凝土框架结构节点的施工质量控制方法,为我国装配式混凝土结构节点抗震性能优化与施工质量控制提供了一套实用有效的解决方案。

5.2 研究中存在的问题与展望

(1) 目前,相关规范对于装配式结构节点连接构造的设计和施工还不够完善,对其抗震性能的评估还不够全面。(2) 目前,国内外对装配式混凝土结构的施工质量控制研究较少,研究成果还不够丰富,如何保证

施工质量、提高装配式混凝土结构的抗震性能是后续研究的重点。(3) 目前对于装配式混凝土结构节点连接构造的设计方法和施工工艺尚不够完善,还需要进一步研究其设计方法和施工工艺,使得节点连接构造更加符合设计要求和工程实际。(4) 随着国家对装配式建筑的大力扶持,装配式建筑也将迎来快速发展,但目前对于装配式混凝土结构节点连接构造的设计方法和施工工艺尚不够完善,其设计方法和施工工艺需要进一步研究。(5) 随着建筑工业化的推进,对建筑工业化的研究也越来越深入,对于装配式混凝土结构节点连接构造的研究也将更加深入。在今后的研究中,对装配式混凝土结构节点连接构造的设计方法和施工工艺进行更深入的研究,对其抗震性能进行评估,保证其抗震性能满足设计要求和工程实际需要,是未来装配式混凝土结构节点连接构造研究中的重点。

5.3 发展方向与建议

通过本文的研究,建议在装配式混凝土结构施工过程中应加强以下几方面的研究工作:

(1) 装配式混凝土结构节点型式的优化,应在保证节点可靠性能和施工质量的基础上,使其具有良好的经济性。(2) 进一步开展装配式混凝土结构节点形式对整体结构抗震性能影响的研究工作,使其满足工程要求。(3) 研究装配式混凝土结构节点连接方式优化设计方法,以及施工过程中关键节点位置控制方法。(4) 在装配式混凝土结构施工过程中,应加强对装配式混凝土结构节点连接部位的质量控制,从源头上保证装配式混凝土结构的质量。

参考文献

- [1] 魏云亮. 装配式混凝土建筑结构的节点抗震分析[J]. 江西建材, 2025, (08): 337-338+346.
- [2] 王欣. 房建中全装配式混凝土结构节点抗震与施工工艺优化研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (15): 156-158.
- [3] 刘启超, 付素娟, 姜一天, 等. 装配式剪力墙新型节点抗震性能试验研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2025, 39(03): 156-163.
- [4] 刘剑强. 装配式钢筋混凝土结构节点破坏模式及耗能调控技术[J/OL]. 铁道建筑技术, 1-5[2025-10-23].
- [5] 马聪林, 陈诗颖, 宋海涛, 等. 带楼板装配式钢混组合节点抗震性能分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2024, 49(04): 687-702.