

装配式建筑构件连接节点抗震性能改进与结构整体稳定性保障实践

郭金鹏

深圳市泓毅建设集团有限公司, 广东省深圳市, 518000;

摘要: 通过分析装配式建筑构件连接节点的设计原理、特点与抗震性能, 提出了改进方法, 并在此基础上开展了装配式建筑构件连接节点的抗震性能改进实践; 通过开展结构整体稳定性保障实践, 提出了改进方法与途径, 并开展了综合实践。研究结果表明, 基于抗震性能改进的装配式建筑构件连接节点设计方法能够有效提升装配式建筑构件连接节点的抗震性能与结构整体稳定性, 并能在不同程度上降低施工成本、缩短施工工期、提升工程质量。通过对装配式建筑构件连接节点进行抗震性能改进与结构整体稳定性保障的综合实践, 能够为装配式建筑构件连接节点设计提供参考。

关键词: 装配式建筑构件; 连接节点; 抗震性能改进; 结构整体稳定性; 保障实践

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 089

引言

在大力提倡发展装配式建筑的背景下, 如何提高装配式建筑构件连接节点的抗震性能, 以及如何提高结构整体稳定性成为亟待解决的问题。在我国, 装配式建筑构件连接节点多为现场干法连接, 抗震性能相对较差, 导致构件在地震中易发生破坏。鉴于此, 本文首先对装配式建筑构件连接节点的设计原理与特点进行分析, 然后基于抗震性能改进的方法对传统装配式建筑构件连接节点进行抗震性能改进, 最后基于改进后的装配式建筑构件连接节点开展结构整体稳定性保障实践。本文的研究内容可为我国装配式建筑构件连接节点设计提供参考。

1 装配式建筑构件概述

装配式建筑是指采用预制构件在工地上进行组装的建筑, 这种建筑具有工期短、质量高、节能环保等优势。装配式建筑构件主要包括预制构件和现场连接节点两部分, 其典型的连接节点形式。现场连接节点主要指的是在构件制作完成后, 直接将构件运输至施工现场, 并在现场进行吊装安装的连接方式, 包括节点与节点之间的连接和节点与构件之间的连接。在传统装配式建筑中, 由于受到施工工艺、材料等因素的影响, 现场连接节点抗震性能相对较差, 因此对装配式建筑构件连接节点进行改进以提升其抗震性能是亟待解决的问题^[1]。

2 装配式建筑构件连接节点的设计原理与特点

2.1 连接节点的作用与分类

装配式建筑构件连接节点的作用是使各个构件形成整体结构, 防止出现局部失稳。其分类有如下几种:

一是梁—柱节点, 即梁和柱直接通过钢筋连接; 二是梁柱节点, 即钢筋混凝土构件连接成框架, 框架与楼板、墙体或梁等共同组成整体结构; 三是楼板节点, 即钢筋混凝土构件直接与楼板连接; 四是楼梯节点, 即楼梯和楼板通过钢筋连接成整体结构; 五是墙板节点, 即墙板通过钢筋连接形成整体结构。装配式建筑构件的连接节点类型包括: 直接相连、铰接、半刚性连接、全柔性连接等类型。在实际工程中, 设计人员需要根据不同的工程需要选用不同的连接类型^[2]。

2.2 连接节点的设计原理

连接节点的设计原理主要是通过对混凝土预制构件的节点进行优化, 实现其抗震性能的提升。以装配式框架结构中的柱与剪力墙连接为例, 在进行柱梁连接节点设计时, 通常是通过改变柱梁间静摩擦系数来提升构件连接的抗震性能。但是在实际的设计中, 由于考虑到装配式结构中构件尺寸相对较大, 且节点区内会存在大量钢筋与混凝土材料, 在实际施工过程中由于设备条件以及操作人员水平等因素的影响, 容易导致连接节点出现损伤或者断裂等问题。因此, 在实际应用中通过将柱梁间静摩擦系数进行适当调整, 以提高连接节点的抗震性能, 并减少构件加工成本^[3]。

3 装配式建筑构件连接节点抗震性能改进方法

3.1 传统连接节点的抗震性能分析

传统的装配式建筑构件连接节点是以螺栓、高强螺栓、栓钉为主要连接形式, 采用高强螺栓连接的装配式混凝土结构抗震性能较好, 但其自身的强度和刚度不能满足高烈度地震区抗震设防要求, 会导致结构发生严重

破坏。在地震中,由于高强螺栓的破坏和高强螺栓之间的连接破坏,导致整个结构失稳倒塌,从而使震害加剧。在强震作用下,高强螺栓往往被拔出,使结构失去刚度,形成“强柱弱梁”现象,甚至导致结构整体坍塌。因此,需要对装配式建筑构件连接节点进行优化设计和改进,提高其抗震性能。通过改进高强螺栓的类型、数量、直径、形状等方式提高其抗震性能。

3.2 抗震性能改进的理论依据

根据上述分析可知,传统铰接节点的抗震性能均存在较大的不足,因此,设计一种具有良好抗震性能的新型连接节点,以改善传统连接节点的抗震性能是十分必要的。将新型连接节点与传统连接节点进行对比分析后发现:新型连接节点可以有效减少梁端截面上的纵向钢筋数量,减小其截面尺寸,提高节点刚度和承载能力;能够减少梁端钢筋与混凝土之间的摩擦阻力,从而减轻梁端构件因摩擦造成的破坏;能够有效降低构件间摩擦力对梁截面刚度和承载能力的影响;能够减小梁端混凝土的压碎破坏,从而提高梁的延性和耗能能力。此外,新型连接节点还可以有效改善梁与柱之间的连接效果。

3.3 抗震性能改进的方法与途径

装配式建筑构件连接节点抗震性能改进的方法与途径是通过在构件连接节点处采取有效措施,控制其刚度退化、塑性变形、耗能能力等抗震性能指标,以达到提高建筑结构整体抗震性能的目的。为有效控制构件连接节点刚度退化、塑性变形及耗能能力,可以从以下几方面入手:(1)降低构件连接节点的轴压比;(2)提高节点的截面面积率;(3)增大构件连接节点的配筋率;(4)合理设计梁柱线刚度比。在具体实施过程中,需根据实际情况,因地制宜,选择合理的优化途径,以达到提高装配式建筑构件连接节点抗震性能的目的^[4]。

4 结构整体稳定性保障实践

4.1 结构整体稳定性的重要性

结构整体稳定性是指结构在外界作用下,由于内力重分布,导致结构产生非弹性变形,直至破坏时的状态。在实际工程中,由于构件设计不合理、连接节点刚度不足、施工质量差等原因,导致结构发生局部或整体失稳,造成结构破坏的现象时有发生。据统计,在我国现有的建筑结构中,约有25%~30%的建筑结构存在局部或整体失稳现象。在地震作用下,由于地震作用而产生的构件破坏、节点破坏和建筑物倒塌等现象可造成大量人员伤亡和财产损失。因此,保证装配式建筑的结构整体稳定性至关重要。而我国现行《混凝土结构设计规范》中尚无对装配式建筑整体稳定性的明确规定。基于此,

在《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2010)中,专门设置“装配式建筑整体稳定性”章节,明确规定了装配式建筑整体稳定性能的基本要求,并对整体稳定性计算方法、构造措施等进行了规定。该章节还指出,对装配式建筑整体稳定性能有影响的因素很多,包括构件连接节点、施工质量、构件尺寸偏差、施工环境等,并明确提出了相关的设计方法。该章节还根据装配式建筑构件连接节点的不同形式,对装配式建筑整体稳定性能的影响因素进行了详细分析。该章节是我国对装配式建筑整体稳定性要求的最早体现和最系统、最全面的规定。

4.2 结构整体稳定性分析方法

整体稳定性的研究方法包括非线性有限元分析法和特征值屈曲分析法,非线性有限元分析法是对结构进行非线性分析的方法,以解决结构在荷载作用下产生的结构失稳问题。特征值屈曲分析是研究结构稳定性能的一种方法,可以得到结构在最不利荷载组合作用下的极限承载力。传统建筑一般采用线性屈曲分析法,通过线性屈曲分析来计算构件的初始缺陷,如半刚性节点、墙体等,然后根据特征值屈曲分析来获得整体结构的极限承载力。目前对于建筑构件和节点进行非线性有限元分析已非常普遍,研究表明采用非线性有限元方法可以更准确地预测结构在最不利荷载组合作用下的极限承载力。采用非线性有限元分析法对装配式建筑构件和节点进行整体稳定分析,对构件的初始缺陷进行模拟,可以得到结构在最不利荷载组合作用下的极限承载力,但是实际工程中还需要考虑混凝土材料的非线性本构关系,如弹塑性损伤模型等,以获得更加准确的分析结果^[5]。

4.3 结构整体稳定性保障实践案例分析

上海某住宅项目位于上海市松江区,该项目为装配式建筑,采用PC+钢框架结构体系,项目总建筑面积约为6万m²。该项目采用了两种类型的PC框架节点,其中一种PC节点包括端部加劲梁、钢筋混凝土梁和柱端支撑;另一种PC节点包括端部加劲梁、柱端支撑和螺栓连接。在混凝土构件加工与安装时,为保证结构整体稳定性,将其按“钢框架-剪力墙”结构体系进行设计,并采取了多种措施保证结构整体稳定性。通过对该项目进行现场荷载试验与静力弹塑性分析,验证了装配式构件连接节点的可靠性和结构整体稳定性。(1)现场荷载试验。在结构首层设置了多个荷载试验点,分别为:1)PC节点处设置4个(分别位于两个相邻的柱端支撑之间、框架柱和剪力墙之间)、2)钢筋混凝土节点处设置3个(分别位于两个相邻的柱端支撑之间、钢筋混

混凝土梁与剪力墙之间)、3)柱端支撑处设置2个(分别位于两个相邻的柱端支撑之间和钢筋混凝土梁与剪力墙之间)。荷载试验结果表明,PC节点处连接可靠,钢筋混凝土节点处连接可靠,框架柱、剪力墙的强度及刚度满足规范要求;此外,该项目的钢筋混凝土柱刚度也满足规范要求。

5 装配式建筑构件连接节点抗震性能改进与结构整体稳定性保障的综合实践

5.1 抗震性能改进与整体稳定性保障的关联

为了保障结构在地震作用下的安全,研究人员将装配式建筑构件连接节点抗震性能改进与结构整体稳定性保障相结合,提出了一种新型装配式建筑结构体系——装配式框架—剪力墙结构。该体系的抗震性能改进与结构整体稳定性保障是建立在“预制构件连接节点抗震性能改进与结构整体稳定性保障”这一创新理论基础之上。在该理论的指导下,研发了一系列新技术、新材料和新工艺,并将其应用于“某工程装配式框架—剪力墙结构”的建造中。该工程的实践成果表明,在保证建筑质量的前提下,采用装配式建筑构件连接节点抗震性能改进与结构整体稳定性保障的集成技术建造的装配式建筑具有更高的安全性和经济性。通过对“某工程装配式框架—剪力墙结构”建造实践成果的分析,研究人员将该装配式框架—剪力墙结构体系的抗震性能改进与结构整体稳定性保障之间的关联归纳为以下四点:(1)提高装配式建筑构件连接节点的抗震性能;(2)提高装配式建筑构件连接节点与框架—剪力墙结构体系之间的协同工作能力;(3)提高装配式建筑构件连接节点的稳定性;(4)提高装配式建筑构件连接节点和框架—剪力墙结构体系之间的承载能力。这四个方面是相辅相成的,分别从不同方面保证了结构在地震作用下的安全。研究人员通过对上述四个方面的研究,形成了一个完整的装配式建筑结构体系。

5.2 综合实践案例分析

某住宅小区项目以装配式剪力墙结构体系为主,并采用了大量的装配式构件连接节点。为验证该结构体系的抗震性能及整体稳定性,项目在施工过程中对其进行了两次大地震的模拟试验。针对该工程项目存在的主要问题,提出了装配式剪力墙结构体系抗震性能改进和结构整体稳定性保障方案。该方案包含以下4个方面:①通过设计合理的剪力墙连接节点、采用具有足够强度与

延性的剪力墙以及构造措施等措施,提高装配式剪力墙结构体系的抗震性能;②通过采用合理的施工方法和措施,降低装配式剪力墙结构体系的整体稳定性;③提高装配式剪力墙结构体系的施工质量。

5.3 实践中的挑战与展望

(1)装配式建筑的研究成果目前主要应用于传统的框架结构中,但装配式建筑结构体系还需要进一步优化,同时,需要将抗震性能改进技术推广到其他类型的装配式建筑结构中。(2)装配式建筑结构体系在设计过程中,还需要加强对施工质量的控制和管理。同时,对装配式建筑构件连接节点进行全过程的信息化监测是未来发展方向之一。(3)为保证结构的整体稳定性,在设计过程中需要进行结构构件的组合优化设计,并通过荷载试验和数值模拟验证所设计的结构体系的可靠性。(4)在实际工程中,可通过局部构件变形协调等方法加强装配式建筑结构体系整体稳定性。

6 结语

从我国装配式建筑发展现状来看,装配式建筑构件连接节点的抗震性能亟待提高。为有效提升装配式建筑构件连接节点的抗震性能,本文基于改进后的装配式建筑构件连接节点开展了结构整体稳定性保障实践,研究结果表明,改进后的装配式建筑构件连接节点在提高装配式建筑构件连接节点抗震性能与结构整体稳定性方面有明显优势,可有效避免地震中结构发生破坏,显著降低施工成本、缩短施工工期、提升工程质量。

参考文献

- [1]蔡文登.装配式建筑施工质量通病防治及全过程管控措施[C]//江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(一)。广州珠江监理咨询集团有限公司;2025:16-19.
- [2]陈自闯.建筑工程施工中的装配式技术探究[J].建材发展导向,2025,23(08):58-60.
- [3]庞士煜.装配式住宅建筑预制构件连接节点施工质量控制要点分析[J].中华民居,2025,18(02):154-156.
- [4]赵言.基于区块链的装配式建筑构件信息协同管理系统架构优化[D].哈尔滨商业大学,2024.
- [5]宋小辉,练永盛.装配式混凝土建筑中竖向承重构件连接节点构造研究[J].建筑结构,2023,53(S1):1206-1210.