

装配式钢结构住宅体系的应用

陈 鹏

(北京城建精工钢结构工程有限公司, 北京 100012)

摘要:近年来随着我国城镇化进程的持续推进,仍然需要建造大量房屋。传统的建造方式质量差、效率低、污染大,且对劳动力依赖程度高,因此,房屋建造方式亟须升级,工业化生产、装配式施工、绿色环保的建造方式应运而生。装配式钢结构建筑具有绿色装配的特点,还可以化解钢铁产业过剩产能,是最理想的住宅之一,近年来在国家政策的倡导下取得了较大的发展。本文针对装配式钢结构建筑的特点,列出了五种装配式钢结构建筑体系,并对每种结构体系的优缺点、研究现状及应用进行了总结归纳,在已有研究的基础上指出目前装配式钢结构建筑体系发展中存在的缺陷。

关键词: 钢结构; 装配式; 绿色建筑; 工业化; 结构体系

中图分类号: TU74 **文献标识码:** A

钢结构质量轻、塑性以及韧性都比较好,具有较好的抗震性能,且空间布置较为灵活。与钢筋混凝土结构相比,钢结构室内使用面积增大。装配式结构节约资源,减少施工现场的环境污染,如噪声、粉尘等。同时现场施工工作量少,施工速度快,受环境尤其是冬期施工等的影响较小,质量稳定。装配式钢结构建筑汇集了上述优点,且可以循环利用,能够满足绿色环保的发展要求。

我国钢铁产能过剩,传统的住宅建造模式对环境的破坏较大,装配式钢结构住房可以较好地解决这些问题。2016年2月下发的《中共中央 国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中,重点提到发展新型建造方式、着力推广装配式建筑的使用,目前国家已颁布十余个文件推动装配式建筑的发展。因此,我国的装配式钢结构建筑拥有极大的发展优势,具有良好的应用前景。

1 装配式钢结构体系的研究现状及应用

1.1 装配式钢框架结构体系

装配式钢框架结构体系是指采用型钢梁柱、预制楼板或叠合板、预制墙体和楼盖组成的框架结构。其空间布置灵活、塑性韧性好、抗震性能优异,但抗侧刚度较小,一般适用于6层以下的多层建筑。梁柱连接一般为刚性或半刚性节点。常用的外墙板主要有蒸压轻质加气混凝土墙板(ALC板)、预制现场装配式轻钢龙骨复合墙板以及预应力混凝土夹芯复合墙板,其中ALC板具有轻质高强、保温隔声性好、施工方便、耐火持久、渗透能力强等特点,在装配式建筑中广泛应用^[1]。楼板主要有压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼

承板、混凝土叠合楼板以及PK预应力叠合楼板四种类型,其中钢筋桁架楼承板受力合理、整体性能较好,施工速度快,应用范围广;PK预应力叠合板采用带肋薄板构件,轻质高强且承载能力及抗裂性能好,运输和安装便捷^[2]。

不少学者针对装配式钢框架结构体系开展了研究,主要集中在柱脚构造、梁柱连接构造、墙体类型等。有学者为减轻传统钢框架在强震作用下的损伤与破坏,提出了一种具有自复位柱脚的装配式摇摆钢框架结构。该结构主要由钢柱、中间梁段、短梁段、自复位柱脚和金属耗能梁柱节点组成,利用梁端转动时短梁段与长梁段之间的间隙张开与闭合引起金属阻尼器发生拉压塑性变形耗能。研究表明,该结构具有较好的自复位性和耗能性,有效实现了消能构件地震损伤可更换以及结构功能可恢复的设计目标。还有学者提出了一种可变梁高的装配式梁柱节点。该类节点主要由梁、柱、T形件以及L形件四部分组成,可以根据一定范围内梁高的变化对梁下翼缘连接件的位置进行适当调整,方便施工。研究表明,该节点具有较大的初始刚度及承载力,具有良好的抗震性能。

美国提出的ConX体系,其梁柱连接组件是一种套板拼装连接,分为ConXL与ConXR两种形式。ConXL连接的基本构造形式见图1,其组装过程见图2,连接节点的套板为T形,在梁柱拼装时,将梁端套板插入由两个柱面套板组成的空间内,使钢梁从上往下就位,并使用高强螺栓紧固。卢俊凡对ConXL节点进行了改进,根据国内的钢结构设计规范对节点的螺栓间距、位置以及连接板的构造进行重新设计和布置。研究表明,该节点的破坏发

生在梁端削弱处，符合“强柱弱梁”“强节点弱构件”的设计理念，具有良好的抗震性能。

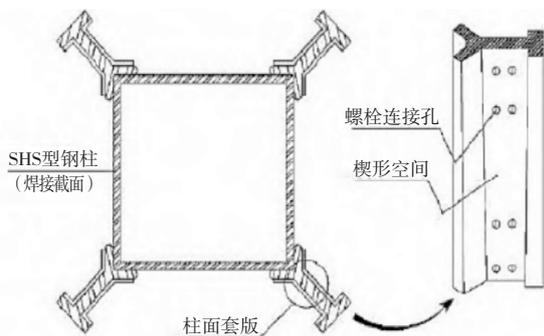


图1 ConXL连接的基本构造形式

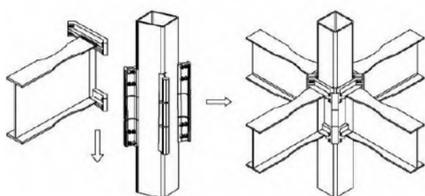


图2 ConXL节点的组装过程

还有学者提出了一种适用于装配式钢结构的带Z字形悬臂梁段拼接的梁柱节点。节点装配过程表明，该节点装配便捷且具有良好的滞回性能、耗能能力、延性性能。

有学者分析了蒸压加气混凝土墙板（ALC）以及轻钢龙骨纸面石膏板填充墙板（LSF干式墙板）对装配式钢框架的滞回性能、刚度退化以及耗能能力的影响；研究表明，ALC板可延缓钢框架的失效，并提高钢框架的初始刚度、峰值荷载以及耗能能力，而LSF干式墙板对钢框架力学性能的影响不明显。

装配式钢框架结构体系具有较多的工程应用，例如山东省装配式建筑示范工程——文昌嘉苑项目，总建筑面积为69万 m^2 ，其中17号楼主体结构采用装配式钢框架结构，楼板采用PK预制板，外墙板及内墙板均采用ALC板；该设计采用了一体化的集成设计，即预制构件设计、建筑设计、室内设计是同步推进、相互配合的，在一定程度上减少了工作量。

1.2 钢框架—支撑结构体系

钢框架—支撑结构体系是在钢框架结构体系的基础上，于框架上设置支撑结构，形成共同工作的双重抗侧力结构体系。该结构体系相比纯钢框架而言抗侧刚度更大，抗震性能更优^[2]。

中心支撑的水平刚度较大，构造简单，但中心支撑的设置不利于门窗洞口的开设，且该结构在地震后易发生侧向屈曲，导致结构体系无法继续正

常工作。偏心支撑在中心支撑基础上增加了耗能梁段，抗震性能更优，但其构造复杂，大震后耗能梁的屈服会导致楼板破坏，支撑体系会出现变形，耗能能力有限。防屈曲支撑是一种新型耗能支撑，在普通支撑的外围加入约束套筒，从而防止支撑在受压过程中发生屈曲；防屈曲支撑在地震作用下有着较好的稳定性能及优越的耗能能力、抗震性能。

钢框架—支撑结构体系具有较多的工程应用，位于湖南湘阴县的“T30A塔式酒店”即采用了远大集团装配式斜支撑节点钢结构框架体系，见图3。该建筑共30层，建筑面积共 $1.7 \times 10^4 m^2$ 。主体结构施工仅用15d。整栋建筑被划分为若干块空间模块，墙体、门窗、电气、空调、照明、给排水等工程均在工厂中制造完成，随后运输至施工现场进行吊装。有研究人员对“T30A塔式酒店”的综合性能进行了分析，建立了装配式建筑可持续发展的评价模型，结果表明该建筑在装配式建筑中处于中上游水平，但其存在成本较高的问题。



图3 T30A塔式酒店现场施工图

1.3 钢框架—钢板剪力墙结构体系

钢框架—钢板剪力墙结构体系是在钢框架结构体系的基础上，于框架内设置钢板的双重抗侧力结构体系。该体系耗能少、结构刚度大，但成本较高。

例如某市的灾后重建重点项目“兴堰·逸苑”全钢结构安居房采用了钢框架—带缝钢板剪力墙结构体系，在工程中发现带缝钢板剪力墙适用于建筑布局复杂、门窗洞口较多的建筑，且不需要沿建筑物竖向通高布置。但其成本较高，施工较为复杂，同时存在防火、防腐、外围护、后期装修等一系列后续工作，还需进一步改善。

1.4 钢框架—核心筒结构体系

钢框架—核心筒结构体系是由外部钢框架及内部核心筒组成的结构体系，见图4。内部核心筒主要承担水平荷载，外部钢框架主要承担竖向荷载。该体系抗侧刚度较大、稳定性较好，具有良好

的空间性能,被广泛应用于高层建筑。但混凝土核心筒的浇筑作业量较大,且破坏后果较为严重,不利于装配化,在装配式钢结构建筑中应用较少。

钢框架与核心筒一般采用刚接或铰接。钢梁与钢筋混凝土剪力墙采用铰接时,可在钢筋混凝土墙中设预埋件或在钢筋混凝土剪力墙中设置钢柱;当钢梁与墙采用刚接时,通常在钢筋混凝土剪力墙中设钢柱进行连接。



图4 钢框架—核心筒结构体系

1.5 模块化建筑结构体系

模块化建筑结构体系以每个房间作为一个模块单元,在工厂进行预制生产后运输至现场并通过可靠的连接方式组装成建筑整体。该体系可以满足不同的功能需求,室内外装修均在工厂进行,无须二次装修,现场施工速度快,但其运输较为不便。模块化建筑结构体系可分为纯模块结构体系以及模块与其他体系的混合结构体系。纯模块结构的抗侧刚度较差,当建筑高度或高宽度比增加时,可以使用与其他系统混合的模块结构来承受水平荷载,也就是模块单元,其承载自重和垂直重力,操作系统模块与其他系统组合以形成抗侧力体系^[3]。

2 目前存在的主要问题

2.1 结构整体的抗震性能试验较少

目前针对新型装配式钢结构构件及节点的分析 and 试验研究较多,但对结构整体的抗震性能试验还不够充分。对新型装配式钢结构进行整体足尺试验可以进一步探究其结构构件及节点在结构整体抗震过程中发挥的实际作用。

由于试验条件的限制,开展其结构的整体抗震性能试验存在一定困难,但通过混合模拟(real-time hybrid simulation, RTHS)技术,以装配为主要研究对象的新型结构构件或节点,在地震期间装配的部件子结构的整体结构的时变内力,可以在整体地震响应状态和结构布置上得到更精确的获取,在一定程度上解决上述困难,并为其施工提供参考。

2.2 结构的防火防腐性能

钢结构在耐火及耐腐蚀方面性能较差。在高温条件下,钢材的强度和刚度均有明显降低,

导致结构构件发生破坏,进而引起内力重分布,最终导致建筑结构整体破坏。在腐蚀作用下,钢材的强度、韧性等均有明显降低,同时也会影响整体结构的耐久性。装配式钢结构建筑中,防火措施主要为采用防火涂料或防火板材,防腐措施主要为镀锌或采用防腐涂料。目前对装配式钢结构建筑防火防腐性能的研究较少,应探究效率更高、工序更简便的防火防腐方式,以完善装配式钢结构建筑的整体性能。

2.3 标准化、工业化程度不足

目前我国装配式结构构件还没有一个统一的标准。由上述研究现状可以看出,不同企业、高校研究制作的结构构件各有不同,无法通用,部品化率较低,阻碍了建筑产业化的进程。相对于国外,目前国内在装配式建筑领域走在前列的城市是上海,新建建筑预制率刚超过40%。同时,由于产品的针对性、独有性,其价格居高不下,对装配式钢结构住宅的成本造成了一定影响,制约了装配式钢结构建筑的发展。

设计单位、生产企业等单位应协同合作,形成一条信息互通的产业链,实现装配式钢结构建筑构件的标准化、模数化、工业化生产,降低生产成本,从而降低建筑造价,推动实现住宅的工业化、产业化。

3 结束语

综上所述,可以得出以下主要结论:

(1) 钢框架结构体系研究较为成熟,工业化程度高,经济效益好,普遍适用于6层以下建筑。

(2) 钢框架—支撑结构体系和钢框架—钢板剪力墙结构体系可以提高建筑的抗侧刚度,改善纯钢框架体系的缺点,在国内应用较为广泛。

(3) 钢框架—核心筒结构体系的核心筒浇筑作业量较大,且该体系破坏的后果较为严重,不利于装配化,在装配式钢结构建筑中应用较少。

(4) 模块化建筑结构体系装配率高,可以实现建筑、结构、设备及内装一体化建造,施工速度快,适用于临时搭建的救灾中心等。

参考文献

- [1] 张翩翩. 装配式住宅建筑在乡村发展中的探索[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [2] 彭军. 装配式钢结构住宅关键技术与工程实践[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [3] 肖荣胜. 装配式钢结构住宅体系的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2020(8): 112-113.