

装配式钢框架结构体系的研究与应用分析

段嘉琪

(中国中元国际工程有限公司 北京 100089)

10.12238/jpm.v3i1.4599

[摘要]目前我国正大力推广装配式建筑体系，努力实现建筑工业化。装配式钢框架结构体系存在广阔应用前景。本文从钢框架结构体系的装配化角度，分别介绍钢框架柱脚、柱柱连接节点、梁柱连接节点、模块化装配式体系、楼板及连接等研究与应用现状。通过分析梳理得到装配式钢框架结构体系的构造做法及研究进展，并对部分研究现状提出几点建议。

[关键词]装配式钢结构；钢框架结构；模块化装配式结构；连接构造

Research and application analysis of prefabricated steel frame structure

Duan Jiaqi

(China IPPR International Engineering CO.,LTD. Beijing 100089, China)

Abstract: At present, China is promoting the prefabricated structures and striving to realize the industrialization of construction. Prefabricated steel frame structure system will have a wide application. From the assembly of steel frame structure point of view, this paper introduced the research and application status of steel column base, column-to-column connection, beam-to-column connection, modular prefabricated structure, floor and connections. The structure construction and research progress of prefabricated steel frame structure were obtained, and some suggestions were proposed.

Keywords: prefabricated steel structure; steel frame structure; modular prefabricated structure; joint construction

0 引言

我国是钢铁生产大国，2020 年我国粗钢产量占全球粗钢产量的 56.7%。钢铁工业是国民经济的重要基础产业。建筑、机械和汽车是我国钢铁下游三大产业。其中，建筑行业占整个钢材消耗的 55%左右。钢结构在建筑施工阶段大量使用钢材，是钢铁在建筑行业应用的主要方向之一。钢结构具备节能、环保、绿色等建造优势，符合可持续发展要求。

然而，随着钢铁行业供给侧改革拉开序幕，工信部提出逐步降低粗钢产量，促进我国钢铁行业高质量发展目标。研究估计 2021 年我国累计粗钢产量 10.33 亿吨，同比减少约 3200 万吨，下降 3.0%。《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年碳达峰行动方案》相继发布，碳中和被纳入经济社会发展和生态文明建设全局。在碳达峰、

碳中和目标下，钢铁行业制定 2025 年前实现碳达峰及到 2030 年碳排放量较峰值降低 30%的目标。控制粗钢产量是行业实现低碳减排的有效方式。有研究表明预计 2030 年左右，我国钢铁工业资源中废钢占比将超过 40%，废铁作为可再生能源的优势将逐步凸显。

装配式钢结构作为一种全寿命周期内的绿色建筑，可以实现建筑部品循环利用，有效减少钢铁消耗量，契合我国碳达峰和碳中和的发展目标。日前住建部印发“十四五”建筑业发展规划提出：到 2035 年，建筑业发展质量和效益大幅提升，建筑工业化全面实现；装配式建筑占新建建筑的比例达到 30%以上。《规划》将加快智能建造与新型建筑工业化协同发展作为主要任务之一。

由此可见，装配式钢结构符合国家发展战略目标、具有明

显优势,将会得到大力发展和广泛应用。目前装配式钢结构体系主要包括钢框架结构、钢框架-支撑结构、钢框架-剪力墙结构、钢框架-核心筒结构等。其中框架结构是最基本,也是应用最普遍的结构形式。在此背景下,本文将从梁、楼板、柱及节点连接等方面简述装配式钢框架结构体系的研究与应用现状。

1 装配式钢框架结构体系

1.1 装配式柱脚

柱脚是下部基础与上部建筑物连接的重要部分,柱脚的构造往往根据刚接或铰接的不同计算假定有所差异。其中钢框柱的刚接柱脚需设置大量加劲肋板或与混凝土现浇做埋入式柱脚,才能保证实际情况与设计假定基本相符。这种做法在现场施工时工作量较大,不利于装配式建筑的快速、标准化施工模式。有研究提出^[1]一种装配式 H 型钢柱-独立基础-混凝土圈梁 T 形/十字形连接节点,将 H 型钢柱与混凝土独立基础采用端板及螺栓连接,混凝土预制圈梁搭接于独立基础上,圈梁纵筋绑扎后将柱脚节点在施工现场浇筑。此做法将圈梁、钢柱及独立基础连接,形成完整的受力体系从而增强结构整体性。除此之外,目前关于装配式钢结构柱脚受力性能的试验及模拟研究还较少,提出的构造设计能否满足刚接柱脚要求有待验证。

1.2 柱柱连接节点

钢框架柱-柱连接常采用等强对接坡口焊连接。虽然在设计上默认连接处焊缝强度与柱本身钢材强度相同,但实际现场施工量巨大,且焊接质量不易把控;由于焊接残余应力的影响,柱连接处还存在脆性断裂隐患。因此,在装配式结构中常采用高强螺栓连接形式,在便于加快施工速度的同时提高节点力学性能。

一种构造做法是在楼层层高处箱型截面柱外焊接法兰连接板并在板上开孔,现场安装时将上下两端法兰连接板对齐并用高强螺栓拧紧完成连接。目前法兰连接节点包括不带肋的柔性法兰和带肋的刚性法兰。相关连接的试验及模拟研究也较为深入,验证了其可靠的抗震性能,是一种较为可行的柱-柱连接节点形式。

此外,针对适用于模块化装配式建筑的钢管柱-柱连接节

点,舍弃法兰连接形式,直接通过内套筒焊接螺栓或外设连接板的螺栓进行连接。由于没有外伸法兰板,柱-柱连接节点可设置于柱弯矩较小的反弯点区域,不仅避免占用室内空间,还有利于节点区受力。

1.3 梁柱连接节点

梁柱连接节点设计是装配式钢框架结构设计的重要环节。按连接形式划分,梁柱连接包括全焊接连接、栓焊混合连接及全螺栓连接。次梁的铰接连接仅需钢梁腹板螺栓相连以传递剪力,形式较为简单成熟。钢框架结构中梁柱连接常采用刚性连接设计,具体分为梁翼缘及腹板全焊连接、翼缘焊接腹板螺栓连接、翼缘及腹板螺栓连接形式。采用螺栓连接可减少现场焊接量,提高节点安装速度并保证质量。

一种装配式带斜支撑全螺栓连接节点,由带斜支撑下柱、带斜支撑上柱和梁组成。现场安装时将三种模块配合组装,减少斜撑单独连接的螺栓数量,提高装配速度。此做法由于预设斜撑,在地震力作用时可将节点区塑性铰外移至梁段内,有效保护节点域,是一种显著提高节点刚度和承载力的刚性连接节点。

上述带斜支撑的装配式梁柱连接节点由于斜撑尺度较大,存在节点边缘处砌墙难以贴合、开门窗洞口位置受限等潜在问题。有研究在此基础上提出将斜支撑用上下两块竖向梯形加劲肋代替,形成一种由带法兰板的上、下柱和钢梁通过螺栓连接组成的新型装配式全螺栓连接节点。通过在法兰板、梁上下翼缘及连接端板预留螺栓孔连接。同样能达到塑性铰外移,提高节点承载力的效果。

此外,针对地震时钢结构梁柱节点发生破坏的状况,有研究提出震后可修复的钢管柱-H 型钢梁全螺栓双夹板连接节点。其由法兰柱、钢梁、柱座及夹板等组成,主要通过设置上下翼缘夹板及腹板夹板消耗地震作用。震后将发生变形破坏的夹板及螺栓拆卸,更换夹板及节点区破坏的螺栓,便可重新正常使用。该类节点提高了梁柱构件及节点的使用效率,节约了后期维修成本。这种构造优势有利于装配式钢结构的推广应用。

1.4 模块化装配式体系

装配式钢结构具有工厂标准化预制,现场安装便捷,施工

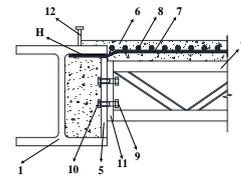
污染较小等特点。在前述装配式构件及节点设计研究的基础上,有研究提出模块化装配式钢结构体系。将钢框架结构梁、楼板、柱等构件按框架结构边跨、中跨和角部等不同模块类型,分别进行模块形式设计,统一模块内构件尺寸及连接方法,再按建筑设计需求,将边跨、中跨和角部等不同模块灵活组合拼装,从而形成标准模块化装配式钢框架结构体系。此类体系更加符合工厂化生产要求,通过标准建筑部品生产,达到快速生产推广建造的效果,符合装配式建筑的设计理念。

1.5 楼板及连接

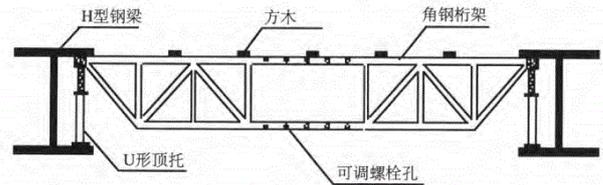
现浇钢筋混凝土楼板需在现场支模、绑筋并现浇混凝土,湿作业多且工作量大,不适宜在装配式建筑中使用。目前钢结构中常见的楼板做法包括钢筋桁架楼承板、混凝土叠合楼板及压型钢板组合楼板^[2]。上述做法虽然可免去楼板现场支模并减少现场绑筋工作量,但对于装配式钢结构而言,楼板与钢梁连接处的构造及拼接板缝等问题都需要进一步完善解决。

装配式钢结构中的楼板,由于预制板现场拼接后存在拼接缝,处理不当容易造成楼板在拼缝处刚度突变,进而影响楼板整体受力。有研究针对装配式钢结构楼板拼缝,提出在板缝处加设梁连接件、板连接件及梁板连接件。在两块压型钢板混凝土楼板端部分别增设连接件,施工现场装配时将两连接件对齐并用高强螺栓连接。合理布置连接件间隔即可满足板缝处刚度要求,使楼板连接具有良好受力性能和传力效果。

此外,针对叠合楼板在施工中常需设置竖向支撑的情况,一类新型叠合楼板支撑体系出现。其核心是在工字形钢梁上下翼缘间设置如图 1 的连接板或 U 形顶托支架^[3],将钢桁架所组成的楼板临时支撑系统与框架梁相连,最后在其上进行叠合楼板施工。钢桁架作为楼板施工时的临时支撑,具有较大刚度,可承受较大施工荷载,并减小混凝土楼板挠度,有效提高预制楼板施工质量。连接板或 U 形顶托的设置,既能保证梁与支撑可靠相连形成稳固支撑体系,也能在楼板成型后将临时支撑快速拆卸重复利用,实现楼板体系的装配式应用。



a) 连接板连接



b) U 形顶托支架连接

图 1 新型叠合楼板支撑体系

(注: 1-钢梁; 4-临时支撑; 5-连接板; 6-8-预制混凝土及钢筋; 9-10-螺栓; 11-支撑连接板; 12-栓钉)

2 结论

通过分析可知,装配式钢框架结构体系应用范围广泛,符合国家战略需求,有较大的推广应用及发展前景。目前针对适用于装配式的钢结构柱脚新型构造体系和力学性能研究较少,柱脚做法在传统构造基础上仍需优化更新,以便在装配式结构体系中应用。对于装配式钢框架结构柱-柱连接、梁柱连接节点的设计研究成果较丰富,可根据梁柱连接的不同假定选取相应连接构造样式,达到梁柱间铰接、半刚接、刚接及震后可恢复功能等不同设计目标。模块化装配式结构体系,设计环节将不同标准模块排列组合、工厂环节批量化生产标准构件、现场统一快速安装,契合装配式建筑发展理念。新型楼板体系及相应连接的研究,实现了楼板体系的装配化应用。

[参考文献]

[1]北京工业大学. 装配式 H 型钢-独立基础-混凝土圈梁 T 形连接节点:CN201810223336.2[P].
 [2]孙李涛,张海宾,焦伟,等. 装配式钢结构建筑楼板体系的演变及应用[J]. 建筑技术, 2018, 49(z1):16-18.
 [3]陈晨,姚守涛,郭奇,等. 高层装配式钢结构建筑新型叠合楼板快速支撑体系施工技术[J]. 工程技术, 2020, 47(4):120-121.