

浅析 PC 肋梁楼板主次梁连接构造

黄勇 喻圣洁

江苏建筑职业技术学院

DOI:10.12238/pe.v2i6.10381

[摘要] 主次梁连接节点是PC肋梁楼板设计、生产与吊装的关键部位,节点性能直接影响建筑的安全可靠性。通过介绍了主次梁连接构造技术发展,总结了连接类型,分析了各类节点特点,提出了PC主次梁之间通过榫式栓接的新型连接方式,为肋梁楼板的技术创新发展提供一定参考。

[关键词] 肋梁楼板; PC主次梁; 节点; 连接构造

中图分类号: TU756.4+4 文献标识码: A

Analysis on the construction of the connection of the main and secondary beams in PC Ribbed beam floor

Yong Huang Shengjie Yu

Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology

[Abstract] The main and secondary beams connect the key contents of the design, production and lifting of the PC rib beam floor, and the performance of the nodes directly affects the safety and reliability of the building. By introducing the development of the connection structure technology of the primary and secondary beams, summarizing the classification of the connection mode, analyzing the characteristics of various nodes, putting forward the new connection mode between the PC primary and secondary beams, which provides some reference for the technical innovation and development of the rib beam floor.

[Key words] ribbed beam floor; PC main and secondary beam; node; connection structure

引言

随着科技进步,社会不断发展,人们对生活品质要求越来越高,促使建筑业向高质量方向发展。PC结构可大幅降低建造过程中的能耗和噪声,大量减少施工产生的粉尘和垃圾,提高施工效率和质量稳定性,低能耗、低污染的特点,可以减缓建筑人力资源匮乏的问题,符合我国碳中和的中长期目标,契合信息化、数字化和智能化的发展要求,因此得以快速发展^[1]。

近年来,国家先后出台多项重要政策和指导方针,各级政府积极引导装配式建筑朝着新型工业化方向发展^[2]。随着建筑工业化的深入推进和装配式建筑的快速发展,PC结构需要不断创新和发展,需要不断提高标准化、产业化、信息化和智能化。

PC结构高质量发展的过程中,安全是首要考虑的关键因素,这要求预制装配结构体系具有良好的承载能力、变形能力和防灾减灾能力。预制构件的连接技术是控制结构体系可靠度的一个重要因素,研究开发可靠的节点连接技术成为了PC结构高质量的必然要求。

PC肋梁楼板,是PC结构中最经典的水平承重机构,不但适用于多高层住宅、别墅等房屋建筑,而且也适用于桥梁、地下工程

等大型工程,应用最广泛,近年来再次受到国内外学者的关注。在PC肋梁楼板中,主次梁的连接构造一直是研究的热点。主次梁连接区域主要传递弯矩和剪力,是肋梁楼板的薄弱环节,是控制肋梁楼板受力性能的重要部位,直接影响结构安全性、稳定性和耐久性。分析PC主次梁的连接构造技术,为设计安全可靠性的连接节点提供一定思路。

1 研究概述

国外对PC主次梁节点研究较早,并将研究成果编入了相关规范中,国内研究起步较晚,早期有关标准规范主要借鉴西方國家的设计做法。国内学者^[2]就PC主次梁连接节点开展了系列的构造设计、理论分析以及试验研究,主要研究情况如表1所示。

目前关于PC主次梁节点的研究,主要通过案例构造分析、理论计算分析、静力加载试验和数值模拟分析进行,总体试验测试较少,研究主要围绕混凝土后浇段连接和企口搁置式连接两种形式展开,鲜少涉及PC主次梁节点的动力性能,因此有必要对PC主次梁连接构造开展深入系统的分析。

2 连接类型

随着装配式建筑技术的快速发展,PC主次梁连接技术取得了显著进展。中外学者经过大量的试验测试和理论分析,提出了

多种连接形式^[3-6],依据现场浇筑混凝土作业情况、节点受力主要材料种类和节点力学特性等不同分类标准,主要的常见连接类型如表2所示。

表1 国内PC主次梁连接节点主要研究情况一览表

年份	单位	学者	研究方法	结 论
2008	广州大学	李国甫	静力加载	叠合主次梁端节点等强度设计条件下,与现浇结构具有相同的变形能力和破坏模式。
2009	广州大学	许勇等	静力加载试验	预制倒T形截面主梁与矩形截面次梁连接的足尺试件单调静力加载试验表明:构件截面应变基本符合平截面假定,节点因次梁受弯破坏而失效,构件中叠合面基本未产生滑移,依规范公式计算构件抗弯承载力和抗裂能力安全。
2015	广州大学	张季超等	静力加载试验	足尺构件的单调静力加载试验结果表明,在等强度条件设计情况下,节点破坏模式、理论计算结果与现浇节点的基本相同,叠合面打毛处理后构件满足正常使用和承载能力极限状态的设计目标。
2016	清华大学	韩文龙等	静力加载试验	静力试验表明:次梁受力纵筋套筒挤压连接传力有效,混凝土叠合面未见破坏,次梁因的固端一倍梁高范围内类斜截面弯曲破坏而失效,受力机理、截面应变分布符合“拉-压杆”模型,承载力实验值是规范预估值的1.37倍,是“拉-压杆”模型计算值的1.09倍。
2019	唐山学院	李素娟等	计算分析	设计主次梁牛腿板连接节点案例,详细计算了各个零部件如牛腿板、栓钉、埋件,提出了牛腿板强度的计算方法,牛腿板的承载力计算是此类节点进行设计的关键,决定着节点的安全与否。
2019	西安建筑科技大学	耿玲玲	理论分析	创新提出一种带钢牛腿装配式预制主次梁节点连接技术,提高某工程节点连接质量的施工方法。
2020	浙江省建筑设计研究院有限公司	曾宪纯等	案例构造分析	长度较短的直型半灌浆套筒组件连接主梁预埋钢筋和次梁纵向钢筋,避免主梁缺口处开裂及因钢筋错位锚固而加大次梁截面,减小预制次梁拼装现浇混凝土段的长度和方量,提高预制率,降低预制梁制作及节点装配成本,进一步提高预制梁及拼装节点的标准化设计、制作、施工应用水平。
2021	广州一建建设集团有限公司	张健	数值分析	主次梁节点处的钢筋连接优化为90度弯折交错锚固,形成一种新型主次梁节点连接方法,研究结果成功应用在“华南理工大学广州国际校区一期工程B地块项目”装配式结构施工中,取得了显著的社会效益和经济效益。
2021	华南理工大学	胡健昌	案例构造分析	设计了新型主次梁搭接“牛腿板”连接节点,方便生产与吊装,力学概念清晰,对成本与工期均有显著的提高。
2021	同济大学	吴智伟等	静力试验研究	次梁端栓钉钢板企口试件的破坏模式有两种,梁端剪挑或剪压破坏和钢板企口栓钉剪断破坏,梁端箍筋加密可提高试件承载力,可采用拉压杆模型计算栓钉钢板企口混凝土梁端的受剪承载力,可将外侧栓钉到梁端最大距离调小为100mm。
2023	广州大学	李家豪	静力加载和有限元分析	双钢和加劲钢企口节点斜截面弯曲破坏,刚度较好,承载力跟普通钢企口节点基本相同,是整浇节点的110%左右。
2024	华南理工大学建筑设计研究院有限公司	黄泽等	静力加载试验	钢企口连接时节点呈次梁固端弯曲破坏,开裂荷载和屈服荷载可基本等同整浇次梁,正截面受弯承载力比整浇次梁提高约10%,可按规范计算值预测其正截面受弯承载力;拉压杆模型计算得出钢企口连接的预制叠合次梁的破坏模式为拉杆破坏(受弯破坏)。

表2 PC主次梁连接类型

分类标准	主要类型	主要做法
作业环境	湿连接	整浇式节点、部分现浇节点
	干连接	混凝土企口连接、钢企口连接
材料类型	钢筋混凝土连接	钢筋混凝土后浇段连接、企口连接
	钢材连接	套筒连接、吊筋连接、钢配件螺栓连接
变形特点	刚性连接	型钢焊接、高强度螺栓连接
	铰接连接	企口连接、牛腿板连接

3 连接构造分析

PC主次梁连接构造多样,从节点区域主要承担和传递荷载所依靠的建筑材料角度,对常见连接方式的构造进行探讨,其中混凝土企口连接类似主梁预留现浇槽口连接,不再进行分析。

3.1钢筋混凝土后浇段连接

钢筋混凝土后浇段连接,是一种通过在PC主次梁连接区域,设置现浇钢筋混凝土连接段的湿连接方式,因其开发最早,理论和技术相对比较成熟,实际工程中已经广泛应用。根据钢筋混凝土后浇段所在主要空间位置不同,一般有主梁预留现浇槽口、次梁预留现浇段、节点预留后浇叠合层等刚性连接方式。

主梁预留现浇槽口连接,一般指在PC主次梁连接处,次梁底筋在主梁预留槽口内锚固好以后,现浇混凝土将主次梁连接在一起,这种连接施工时模板用量较少,次梁整体性较好,忽略次梁直剪或斜剪破坏,但是削弱了主梁跨中整体性,在吊装时要加强处理,考虑混凝土结合面处于集中力较大的位置,要进行结构补强设计,次梁出筋锚固不便,主梁考虑受扭时预留槽口断面处腰筋一般需要贯通布置,需增加机械套筒等连接处理,施工不便,且易漏浆。

次梁预留现浇段连接,一般是通过在次梁端部现浇一段钢筋混凝土将PC主次梁连接在一起。主梁节点处预埋机械连接套筒,吊装前拧入一小段钢筋形成搭接钢筋,吊装时与次梁预留底筋搭接锚固,绑扎好现浇段箍筋和构造腰筋后,浇筑混凝土连接成整体。此种连接,主梁整体性好,无需考虑加强处理,但是现浇段长,模板工程量较大,工序较多,主梁搭接钢筋拧入困难,次梁箍筋施工较麻烦,次梁新旧混凝土连接面薄弱,整体施工效率较低,成本较高。

节点预留后浇叠合层连接,一般指节点区域次梁设计成叠合梁,主梁预留槽口或设计成叠合梁,通过浇筑节点后浇层将PC主次梁连接在一起。此种连接模板工程量很小,连接时不再箍筋施工,安装便捷,连接整体性好,承载力较高,但是节点内水平锚固钢筋安装不便。

3.2钢材连接

钢材连接,是一种通过在节点区域,设置钢材连接件将PC主次梁连接在一起的方式,节点区域荷载传递主要通过钢材连接件进行,节点力学性能主要受连接用钢材的影响。根据材料空间几何特点,常用的有线材、板材和型材连接三种,线材连接主要有钢筋灌浆套筒、钢筋机械套筒和吊筋连接等方式,板材连接主要有牛腿板企口连接、钢板配件螺栓连接和牛腿连接,型材连接主要是型钢企口连接。

线材连接先通过灌浆或机械套筒等措施对钢筋进行加强处理,或通过弯折成L型、U型吊筋甚至回型钢筋加长在较小连接空间范围内钢筋的锚固长度,再现浇混凝土将PC主次梁连接在一起。灌浆套筒连接减小后浇段长度,支模和支撑工程量减少,施工速度提高,简化钢筋操作,预制次梁箍筋加密区无需增长,但是增加了工序,灌浆操作不便,灌浆质量难以保证,灌浆成本较高。机械套筒连接一般包括挤压和螺纹两种套筒连接,应力传递有效,缩短后浇段,整体性较好,但要求较高的构件制作精度和

连接准确度。L型、U型等吊筋连接常见有一体式和分段式两种,主要解决构件钢筋碰撞问题,提高连接节点抗剪能力。

板材连接,通常是PC次梁端预埋钢板企口与主梁槽口预埋承压板搁置连接、主梁预埋钢板制作的明暗牛腿与次梁搭接或主次梁预埋钢板螺栓连接,辅以砂浆填缝或后浇混凝土。连接简单、受力明确、安装难度低,构件制作难度大,整体性较差,一般按铰接考虑。型材连接跟钢板企口连接类似,承载力有所提高。

3.3 新型连接方式设计

综合钢筋混凝土连接和钢材连接特点,考虑连接节点的承载性能、耐久性能、抗震性能以及施工便捷性等,提出PC主次梁榫式螺栓连接方式,该节点主要包括PC主次梁和螺栓,主次梁预埋带有螺孔的钢板预埋件。为提高节点整体性,主次梁为PC叠合梁。为降低设置榫槽、榫眼或榫孔对主梁的削弱,主梁设置外伸带长条形螺孔钢板预埋件形成不完整榫槽。为避免节点区域钢筋布置,次梁端部由两片带有圆形螺孔钢板预埋件与预制混凝土形成榫头。预制次梁榫头就位于预制主梁两片钢板预埋件之间后通过螺栓连接。榫式螺栓连接便于工业化生产,保持主梁完整性,提高主梁的承载力,主次梁榫式螺栓连接,承载力高、传力路径明确、形成有效的耗能机制、增强结构的抗震性能,同时现场装配快捷简单,具有较好的安全性、经济性和实用性。

4 结语

PC主次梁连接是影响预制混凝土肋梁楼板可靠度的一个关键因素,装配式建筑的发展,需要设计开发新型连接方式。PC主次梁连接形式多样,目前常见的有钢筋混凝土后浇段连接、钢企口连接、钢筋套筒连接等。钢筋混凝土后浇段连接承载能力比

较高、整体性和抗震性较好,但工业化程度低、钢筋模板工程量较大、湿作业较多、施工速度较慢、成本较高。套筒连接缩短混凝土后浇段、减少钢筋工程量、连接更可靠,但工艺较复杂、构件制作精度和连接准确度要求高、成本较高。考虑承载性能、耐久性、抗震性能以及施工便捷性等因素,提出了PC主次梁之间通过榫式栓接的新型连接方式,为肋梁楼板的技术创新发展提供一定参考。

[基金项目]

2015年度江苏省建设系统科技项目(2015ZD53)。

[参考文献]

- [1]蒋勤俭.国内外装配式混凝土建筑发展综述[J].建筑技术,2010,41(12):1074-1077.
- [2]李家豪.基于新型钢企口连接的预制叠合主次梁节点受力性能研究[D].广州大学,2023.
- [3]黄泽,黄奕斌,王黎,等.钢企口连接的预制叠合主次梁节点受力性能试验研究[J].建筑结构,2024,54(15):45-51.
- [4]张健.新型装配式主次梁刚性连接节点研究[J].广州建筑,2021,49(03):1-5.
- [5]陈悦,华良.全预制主次梁节点做法分析[J].城市建筑空间,2022,29(09):253-255+258.
- [6]李伟兴,强旭媛,冯莹.预制混凝土楼盖的主次梁连接做法探讨[J].混凝土世界,2021,(07):18-23.

作者简介:

黄勇(1986—),男,汉族,贵州省大方县人,硕士研究生,高级工程师,主要从事建筑结构工程研究。