

装配式混凝土楼板节点连接方式探析

张澄颢¹, 崔文潇², 陈子申¹, 方舰航¹, 马勇博¹, 魏光顺¹

(1. 江苏科技大学苏州理工学院, 江苏 张家港 215600;

2. 江苏科技大学, 江苏 张家港 215600)

摘要 装配式混凝土结构具备施工效率高、能耗低、绿色环保、工业化程度高的优势, 是建筑工业化发展的主要趋势。楼板作为建筑结构中的水平承重构件, 其节点连接的可靠性对结构的整体性、承载能力和抗震性能影响较大, 是装配式混凝土结构应用中的技术难点。本文基于国内装配式混凝土楼板节点连接的研究成果与工程实践, 系统梳理了各类装配式楼板节点连接形式, 包括板间节点连接、楼板与支座节点连接, 详细分析了不同连接形式的构造特点、优势缺点、施工工艺, 探讨了当前节点连接技术存在的问题, 并展望了未来的发展趋势, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 装配式楼板; 节点连接; 湿式连接; 干式连接

基金项目: 江苏科技大学苏州理工学院 2025 年大学生创新创业训练计划项目“密拼钢筋桁架叠合楼板接缝传力机制与协同工作机理研究”研究成果。

中图分类号: TU756

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.017

0 引言

与传统建筑相比, 装配式建筑具有生产效率高、降低能耗、减少环境影响、改善工程质量等优势。此外, 其建筑特点能大幅度规避建筑废弃物的出现, 并能有效降低全寿命周期碳排放。楼板作为建筑的重要构件, 其产业化对装配式混凝土结构推广具有重要意义。与传统现浇楼板相比, 装配式楼板由预制构件现场拼装而成, 节点区域造成结构的不连续性, 从而成为结构的薄弱环节。节点是装配式结构的薄弱环节, 结构的抗震性能和整体性主要取决于节点连接效果。

1 装配式楼板节点连接的主要形式及技术特点

装配式楼板节点连接形式可根据有无后浇混凝土工序大致分为湿式连接、干式连接和混合连接。

湿式连接是通过节点内预制构件的钢筋相互连接, 之后在节点区域内浇筑混凝土或灌浆料从而将预制构件连接为一体的方式, 湿式连接形成的结构称为装配整体式混凝土结构。通过合理设计与构造措施, 其结构整体性、抗震性和承载力与现浇混凝土结构差异不大。湿式连接通过现场浇筑混凝土或高性能砂浆、ECC、UHPC 等材料实现预制构件的连接, 在节点内钢筋通过搭接、焊接、机械套筒等方式连接, 依赖材料的粘结与咬合传递内力, 整体性好, 是目前应用最广泛的节点连接形式。

干式连接是借助预制构件中预埋件、预留孔等经螺栓、焊接、预应力等方式将不同预制构件连接为一体的方式, 干式连接形成的结构通常称为全装配式混凝土结构。现场仅需做简单的填缝、灌浆等作业, 基本无湿作业, 建筑工业化程度高, 但对设计精度、构件加工及连接件性能要求较高。

混合连接是融合湿式连接与干式连接核心优势的新型连接形式, 其核心是通过干式连接实现构件快速定位装配, 再通过局部湿作业强化节点整体性, 兼顾施工效率与结构可靠性。该形式通常先采用螺栓、预埋钢板等干式连接件完成预制楼板的快速对接固定, 减少现场湿作业工期, 再在节点关键部位浇筑少量 UHPC 或高性能灌浆料, 增强节点传力性能, 有效弥补干式连接整体性不足的短板。

三种连接形式适用场景各有不同, 湿式连接适用于抗震等级高、对整体性要求较高的建筑, 干式连接适用于低烈度地震区、对装配效率要求较高的建筑, 混合连接则凭借其综合优势, 成为近年来装配式楼板节点连接的主要发展方向之一。

2 湿式连接

2.1 有叠合层的湿式连接

叠合楼板是目前装配式楼板应用最广泛的形式之一, 其由预制板和后浇叠合层组合而成, 预制板在施

作者简介: 张澄颢 (2002-), 男, 本科, 研究方向: 密拼钢筋桁架叠合楼板接缝。

工时作为模板,在施工后与叠合层形成整体,传递结构荷载。节点连接主要针对预制底板之间的拼缝处理,核心是保证拼缝处的整体性和传力可靠性,实现预制底板与现浇层、相邻预制底板之间的协同受力。预制底板侧面可四面出筋,通过后浇带形成整体双向板^[1];或采用密拼接缝^[2](侧面不出筋),依靠附加钢筋在叠合层中间搭接与桁架钢筋协同传力。后者可大大节省预制构件制作费用以及现场施工用具和工作量,大大降低施工成本,节省工期,但其双向传力机理与设计方法仍是研究重点。

为了提高节点连接传力效率,预制底板在连接处可设计成阶梯式、凹槽式等形式,从而增大新旧混凝土接触面、增大钢筋连接长度、提高节点抗剪性能。使用具有优异的粘结对裂性能的UHPC、ECC、纤维混凝土等材料^[3]浇筑接缝或后浇带,能显著提升节点的开裂荷载、极限承载力及耐久性。此外还可通过粘贴碳纤维方式增大楼板承载力,降低钢筋用量。

有叠合层的湿式连接作为叠合楼板最核心的节点连接方式,充分利用后浇叠合层的整体性,实现预制底板与节点区域的整体连接,结构可靠性强。该连接方式借助叠合层的现浇特性,仅通过连接预制底板的外伸钢筋、一体式浇筑接缝和叠合层,即可实现节点传力,本质是将节点连接与叠合层施工一体化,简化了施工流程。研究表明,有叠合层的湿式连接可通过优化钢筋连接(梅花形布置、错缝搭接等),有效提升节点的抗剪、抗拉性能,满足不同跨度、不同抗震等级的建筑需求。通过钢筋的粘结锚固与新旧混凝土的界面咬合,将相邻预制底板的内力传递至后浇叠合层,再由叠合层传递至竖向承重结构,实现整体协同受力。该连接形式中预制底板可作为施工模板,降低了模板投入;与干式连接相比,其整体性和抗震性能更强,对预制构件精度要求更低,容错率更高。目前该连接方式广泛应用于住宅、写字楼等中高层装配式建筑中,但仍存在界面粘结性能受施工质量影响较大、底板存在通缝、易开缝等问题,后续研究重点集中在界面处理工艺优化、高性能接缝材料应用及裂缝控制技术,推动其向高效、可靠、经济的方向发展。

2.2 无叠合层的湿式连接

该连接方式通过预留后浇带(键槽、缺槽等)连接预制构件,内部钢筋采用焊接、搭接或套筒连接,然后浇筑普通混凝土或高强灌浆料。此类连接可减少大面积叠合现浇层,提升预制率,如“免于现浇叠合的全预制板”体系。

采用高强柔性索环后浇连接预制板时^[4],预制板外伸高强柔性索环,在后浇带接缝内,柔性索环相交,并穿入销栓筋,之后采用UHPC或ECC浇筑接缝。

采用预制楼板缝合式对接连接时,钢丝绳依次交错穿过两组穿绳孔,由此将两块预制构件连接在一起,在后浇缝内浇筑并养护混凝土,完成预制楼板的拼接。

配置桁架钢筋叠合后浇带连接预制板时,全预制楼板的板缝处和混凝土后浇带的形状相适应且均设置为台阶状,在全预制楼板台阶处设有桁架钢筋借以提高预留后浇带和预制构件的整体性能。新型板的一侧采用台阶式,上台阶内收,下台阶外伸,为了减少板底弯起钢筋的弯起角度,踏面与踢面相交处做成坡面,两块预制板拼接后,之间形成倒台阶状的后浇带。

采用U型筋和钢棒连接时^[5],在板端预留开口或缺口,通过错位放置U型钢筋形成孔道后穿入圆钢棒并灌浆,或通过预埋钢板焊接圆钢棒,实现可靠连接。

采用装配式错缝相扣型连接时^[6],由带有凹凸相间网格状齿槽的预制构件通过错缝倒扣而形成装配式楼板,该楼板的上下构件通过齿槽来进行配合,构件中配置受力钢筋和分布钢筋,并在节点处现浇混凝土加强节点以形成完整的楼盖体系,从而增强其整体受力性能。

上述各类连接均属于无叠合层的湿式连接,其核心特征是无须设置大面积后浇叠合层,仅通过节点局部后浇混凝土或灌浆料,结合钢筋连接实现预制板协同受力,核心目标是提升预制率、缩短施工工期。通过局部后浇带构造保证节点整体性,传力核心依赖钢筋的可靠连接与后浇材料的粘结咬合,兼具湿式连接的整体性优势与全预制构件的高效装配特点。与有叠合层的湿式连接相比,其大幅减少了现场现浇工作量,对预制构件成型精度要求更高,适用于对预制率要求高、工期紧张的项目。该类连接后续研究重点集中在优化局部后浇构造、提升节点抗裂性能,进一步平衡预制率与结构可靠性,完善其设计计算方法与施工验收标准。

3 干式连接

预制装配式楼盖焊接式板缝连接节点,以预制企口平板和挑耳梁作为基本构件,梁一板之间和板一板之间采用分离式预埋机械连接件加以连接。

基于螺栓连接的装配式混凝土结构体系^[7-8],预制构件内预埋的型钢为节点搭接待件,拼装就位后将螺栓穿过预留孔洞进行连接。

干式耗能连接节点采用螺栓连接, 考虑了螺栓孔与螺栓杆的间隙便于安装, 同时为摩擦耗能提供了有利条件。在预制楼板拼缝处, 两侧预制板预埋开孔钢板, 与预制板连接的拼缝节点板两侧开孔, 一侧为圆孔, 另一侧为扁孔, 限制了摩擦的滑动范围, 当节点与预埋钢板相对滑动位移超过扁螺栓孔的大小时, 螺杆被限制, 摩擦耗能与金属耗能相结合形成摩擦与金属滞回双重耗能机制。

预应力筋连接中将不同预制板内预留贯穿孔洞内穿入预应力筋, 在构件外侧张拉锚固, 无需后浇混凝土。

上述几种连接均属于干式连接, 焊接式、螺栓式可实现便捷拼装与可靠传力, 干式耗能连接强化了结构抗震耗能能力, 预应力筋连接则提升了结构整体性。干式连接对构件加工精度和连接件性能要求严格, 适配低烈度地震区、工期紧张的工业与民用建筑, 该类连接后续研究重点集中在结构整体性和抗震性提升上。

4 混合连接

近年来, 国内外学者围绕装配式楼板节点混合连接技术开展了大量试验研究与工程实践, 在构造创新方面, 突破传统“干式定位+局部后浇”的基础模式, 研发出预应力—后浇混合连接、型钢预埋—灌浆混合连接等新型构造形式, 其中预应力—后浇混合连接借鉴预应力筋连接的高效传力优势, 在干式螺栓定位后, 通过张拉预应力筋施加预紧力, 再浇筑少量 UHPC 完成节点封锚, 既提升了节点的抗裂性能, 又增强了结构整体性, 相关试验表明, 该形式节点的极限承载力较传统混合连接提升 30% 以上。型钢预埋—灌浆混合连接则通过在预制楼板端部预埋型钢连接件, 现场螺栓对接后, 在型钢间隙浇筑高强灌浆料, 依托型钢与灌浆料的协同作用传递内力, 解决了传统混合连接传力不均的问题, 适配大跨度装配式楼板的连接需求。

在材料适配与施工优化方面, 近几年研究重点聚焦于高效节能材料与混合连接的协同应用, 广泛采用 UHPC、ECC 等高性能材料作为局部材料, 利用其优异的粘结强度、抗裂性和耐久性, 大幅提升节点的服役寿命, 同时减少湿作业量, 进一步缩短施工工期。结合灌浆套筒连接技术的优化, 研发出模块化混合连接构件, 将干式连接件与后浇预留槽一体化预制, 现场仅需完成拼接、灌浆两道核心工序, 装配效率较传统混合连接提升 40%。针对混合连接施工质量难以控制的痛点, 通过在连接件、灌浆区域预埋传感器, 实时监测螺栓预紧力、灌浆饱满度, 有效规避了灌浆不密实、螺栓

松动等质量隐患, 为节点可靠性提供了技术保障。

目前, 混合连接技术仍存在部分亟待解决的共性问题: 高烈度地震区节点的耗能性能有待进一步提升, 不同连接形式的标准化设计体系尚未完善, 模块化构件的生产成本较高, 且节点的抗火、抗腐蚀性研究较为薄弱。后续研究将重点围绕抗震耗能优化、标准化设计、成本控制三个方向展开, 通过增设耗能钢板、优化预应力施加方式, 提升节点的抗震耗能能力; 建立不同跨度、不同抗震等级的混合连接标准化构造体系, 推动技术规范应用; 优化模块化构件生产工艺, 降低制造成本。

5 结束语

当前, 装配式混凝土楼板节点连接形式正朝着预制率更高、施工效率更高、整体性能更好及综合效益更佳的方向发展。选择合适的连接方式需综合考虑结构体系、抗震要求、施工条件、成本与工期等多方面因素。可通过应用高性能材料 (UHPC、ECC 等) 缩小后浇区域、提升节点性能; 发展标准化、系列化的干式连接件, 并探索便于自动化安装的智能连接技术; 开发兼具高效传力与耗能能力的节点, 提升楼盖的抗震韧性; 针对密拼接缝、干式连接等复杂传力机制, 发展更精确的计算模型与设计方法。通过解决装配式楼板推广应用中的难点问题, 提升装配式楼板节点连接的可靠性、经济性和适用性, 为我国建筑工业化的高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 聂建国, 姜越鑫, 聂鑫, 等. 叠合板中桁架钢筋对预制板受力性能的影响 [J]. 建筑结构学报, 2021, 42(01): 151-158.
- [2] 程志军, 马智周, 胡杰, 等. 密拼钢筋桁架混凝土叠合双向板堆载试验研究 [J]. 建筑结构, 2021, 51(23): 111-119.
- [3] 任潇斌. UHPC 后浇新型装配式楼板设计及其抗力性能研究 [D]. 宜昌: 三峡大学, 2022.
- [4] 安豪. 基于高强柔性索环后浇连接的预制装配式板受弯性能研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2025.
- [5] 张骄. 新型预制板装配节点的受力性能研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2023.
- [6] 李亚宁. 装配式错缝相扣型楼板力学性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- [7] 王合辉. 基于型钢连接的全装配式混凝土楼板设计及研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2023.
- [8] 冯身强, 魏英杰, 王虎. 螺栓连接装配式混凝土建筑在农房建设中的应用 [J]. 四川建筑, 2021, 41(S1): 123-126.