

Quality Control Strategies for Prefabricated Component Connection Joints in Prefabricated Building Construction

Bing Cao

Shanghai Fengxian Second Construction Co., Ltd., Shanghai, 200020, China

Abstract

Prefabricated construction, characterized by energy efficiency, environmental sustainability, and construction efficiency, represents a pivotal direction for the transformation and upgrading of the construction industry. Connection nodes serve as critical components for load transfer and seismic resistance in prefabricated structures, and their construction quality directly impacts the structural stability and service life of buildings. This paper summarizes common connection methods for prefabricated building components and identifies common quality issues—such as insufficient grouting density, deviation in steel reinforcement positioning, and excessive joint gaps—in node construction based on actual site conditions. It analyzes the root causes of these quality problems from four perspectives: design, materials, construction, and inspection, proposes targeted whole-process quality control measures, and advocates the application of intelligent inspection technologies to enhance construction techniques and quality, thereby providing valuable insights for construction management in prefabricated building projects.

Keywords

prefabricated construction; prefabricated components; connection nodes; construction techniques; quality control

装配式建筑施工中预制构件连接节点的质量控制策略

曹冰

上海奉贤二建股份有限公司, 中国·上海 200020

摘要

装配式建筑以节能环保、施工高效为特点,是建筑行业转型升级的重要方向,连接节点是预制构件传力、抗震的关键部位,连接节点施工质量直接影响到建筑结构的稳定性和使用寿命。本文归纳装配式建筑常见构件连接方式,根据施工现场情况,整理出节点施工中灌浆不密实、钢筋定位偏差、拼接缝隙超标等质量通病,从设计、材料、施工、检测四个方面分析质量问题产生的原因,有针对性地提出全过程质量控制措施,并采用智能化检测技术来提高节点施工工艺和施工质量,为装配式建筑工程施工管理提供一定的借鉴。

关键词

装配式建筑; 预制构件; 连接节点; 施工工艺; 质量控制

1 引言

在双碳政策和建筑工业化发展的背景下,传统现浇施工模式的弊端越来越明显,装配式建筑由于低污染、短工期、标准化生产的优点迅速推广。目前我国装配式建筑产业规模不断扩大,但是施工技术配套体系还不健全,预制构件连接节点仍然是施工的薄弱环节。节点连接工艺繁杂,受施工人员、环境、设备等诸多因素的影响,容易造成质量隐患,埋下结构安全隐患。为了规范节点施工流程、减少质量通病的发生,本文根据现行行业标准,对连接节点质量控制要点进行研究,以提高装配式建筑整体施工质量。

【作者简介】曹冰(1986-),男,中国安徽合肥人,本科,工程师,从事建筑施工研究。

2 装配式建筑预制构件连接节点概述

2.1 连接节点的作用

预制构件连接节点是装配式建筑结构的重要组成部分,起着传递竖向荷载和水平荷载的作用,并且具有抗震、防渗、稳固结构的功能。装配式建筑是由墙板、楼板、梁柱等预制构件拼装而成的,构件之间没有现浇整体结构的整体性,依靠连接节点来实现结构一体化。节点强度、刚度和耐久性影响建筑整体稳定性,按照强节点、弱构件的原则设计,在地震等外力作用下,节点先抵抗形变,保护预制构件完整,提高建筑抗震性能。另外外墙连接节点还有防水、保温、隔音的附加作用,是决定建筑居住舒适度的关键部位^[1]。

2.2 常见连接节点类型

装配式建筑常见的连接节点有套筒灌浆、浆锚搭接、焊接和螺栓这四种,其中套筒灌浆连接是装配式混凝土建筑

中使用最广的连接方式，多应用于竖向预制墙板、承重柱钢筋连接，用带肋钢筋插入金属套筒后高压灌注高强无收缩灌浆料，依靠粘结摩擦力传递应力，承载力高、稳定性好，适合高层建筑承重构件，（图1）。浆锚搭接连接成本低、工艺简单，常用于多层建筑非承重构件，将预留搭接钢筋插入孔洞后灌注灌浆料完成锚固，但锚固长度有限、受力性能差，不能用于高层建筑承重节点；焊接和螺栓连接多用于装配式钢结构以及部分混凝土外挂墙板，拼接速度快、方便后期检修，但是焊接容易产生形变、螺栓容易锈蚀松动，需要做好防腐维护。连接节点施工质量管控具有很强的必要性，相关工程数据显示装配式建筑超八成的安全隐患来自于节点缺陷，灌浆空洞、钢筋偏移、连接松动等问题会降低结构承载力，严重时会造成建筑坍塌，还会引发渗水、保温失效等使用问题，增加运维成本，因此加强节点质量控制可以保证建筑结构安全、延长使用寿命，促进行业规范化高质量发展。

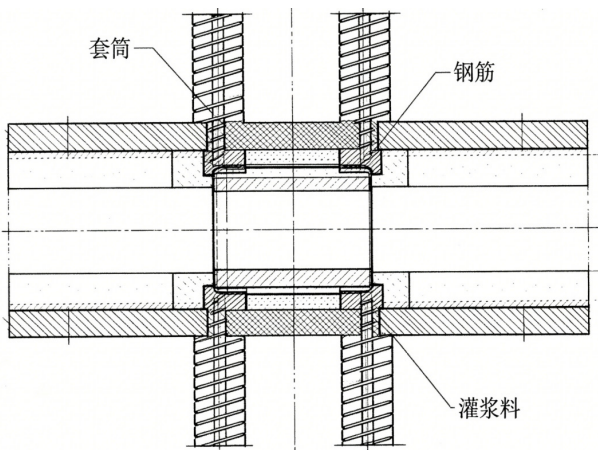


图1 套筒灌浆连接结构图

3 预制构件连接节点常见质量问题及成因分析

3.1 常见质量问题

装配式建筑预制构件连接节点常见的施工质量问题有多种。灌浆施工缺陷最常见，主要是灌浆料饱满度不够、内部有气泡空洞、灌浆料开裂，空洞大多出现在套筒顶部和转角处，隐蔽性很强，容易造成钢筋锚固力不足，大大降低节点承载能力；钢筋定位偏差问题多发生在构件生产及吊装阶段，模板固定不牢、振捣不均、强行拼接等都会造成钢筋偏移、弯折，改变节点受力结构并产生应力集中；拼接缝隙处理不合格现象比较普遍，墙板、楼板缝隙宽窄不均、填充不密实、密封胶脱落，容易造成外墙渗水、内墙开裂，杂质残留会降低填充材料粘结强度；另外，连接件锈蚀老化问题也不能忽视，预埋钢板、连接件防腐措施不到位，长期潮湿环境下会出现锈蚀、截面缩小、承载力下降，严重时出现连接断裂，持续侵蚀混凝土结构并缩短建筑使用寿命。

3.2 质量问题成因分析

造成预制构件连接节点质量问题的原因可以从设计、

材料、施工、检测监管四个方面来分析，多方面因素共同作用造成节点容易出现质量缺陷。从设计层面来讲，部分设计人员对于装配式节点构造规范了解不够，没有现场施工的思维，节点设计方案不合理，钢筋排布密集，灌浆孔布置杂乱，大大增加了现场施工的操作难度；部分图纸设计比较死板，没有考虑施工地域温度、湿度等环境因素来优化方案，没有根据高低温极端环境选用专用建材，忽略了温差形变、干湿收缩对节点的影响，给结构留下了先天性的设计缺陷。材料生产层面，部分构件工厂生产加工精度不够，生产模板公差超差，容易造成构件尺寸偏差、预埋件偏移；同时市面上灌浆料、密封胶等辅材质量良莠不齐，劣质材料稳定性差，金属连接件材质不合格，整体抗腐蚀、抗形变能力差，不能满足节点长期受力的要求。现场施工层面上施工人员专业水平低，装配式施工工艺掌握不好，施工操作流程不规范；施工设备陈旧、仪器精度不够，施工现场管理混乱，构件堆放防护不到位，工序交接缺少严格的质量复核，造成施工缺陷不断积累。检测监管层面，目前专用检测技术欠缺，灌浆空洞等隐蔽缺陷难以发现，施工单位为了赶工期而简化检测程序，而且行业监管体系缺失，责任不明，质量约束力度小^[2]。

4 预制构件连接节点质量综合控制策略

4.1 优化节点设计方案，筑牢设计基础

优化节点设计方案是源头上减少连接节点质量隐患的措施，设计人员必须严格按照《装配式混凝土建筑技术标准》（GB/T 51231-2016）的要求，始终坚持建筑结构“强节点、弱构件”的设计思想来科学地优化节点构造。设计过程中尽量简化复杂的异形节点结构，科学规划钢筋排布路径和灌浆孔布设位置，避免钢筋过于密集、孔洞排布混乱的问题，预留足够的施工操作空间，降低现场灌浆和拼接施工难度；根据建筑高度、结构受力特点和现场环境条件合理选择连接方式，高层建筑承重构件优先选用稳定性更高的全灌浆套筒连接，多层建筑非承重构件选用经济性更好的浆锚搭接。对于高低温、潮湿等特殊的施工环境，要对材料进行有针对性的选择，并加强节点防水、防腐构造的设计，合理留设结构伸缩缝，防止温度变形、干湿变化引起的结构开裂。加强建筑、结构、施工多专业之间的协同配合，多次对施工图纸进行修改，明确节点施工的重难点以及误差控制的标准，施工前进行专项技术交底，保证设计意图能够准确地落实到工程中。

4.2 严控材料生产质量，把控源头质量

为了从源头上控制工程质量，需要对预制构件以及各种辅助材料的生产、进场质量进行严格的控制，材料质量是决定节点连接强度和耐久性的基础，必须实行全过程材料管控。预制构件生产阶段，工厂要使用自动化生产线和高精度定型模板，减少人工生产造成的尺寸偏差，严格控制构件尺寸公差，在钢筋预埋时使用专用定位工装，准确固定预埋钢筋，使钢筋偏移误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。构件浇筑完成后

进行规范化的保温保湿养护,严格按照养护周期执行,构件强度达到设计要求后方可出厂;出厂前必须对构件的外观质量、几何尺寸、预埋件位置等进行检测,不合格构件不得进入现场使用。同时在运输过程中用缓冲垫块固定构件,做好防护包裹,防止运输颠簸造成构件磕碰、钢筋弯折。在辅助材料控制上应选择正规厂家生产的灌浆料、密封胶、金属连接件,材料进场时必须核对合格证、检测报告等资料。施工前对灌浆料进行试配检测,严格控制水灰比,保证灌浆料具有高流动性、无收缩、高强度等优良性能;金属套筒和螺栓用防腐合金材料,进场后及时做好防锈处理,外墙密封胶选用耐候性材料,延缓温差老化开裂。所有的材料都要分门别类地分区存放,做好防潮、防晒、防尘的保护工作,防止材料受潮变质、性能失效^[1]。

4.3 规范现场施工工艺,强化过程管控

为了严格控制现场施工工艺,从前期准备、核心施工到成品养护全过程加强施工控制,采用闭环式现场管理来减少人为施工误差造成的节点质量隐患。施工前应组织技术人员、施工工人进行专项专业培训,详细讲解节点施工工艺、操作规范、质量验收标准,考核合格后方可上岗作业;同时对测量仪器和灌浆设备进行校准,保证施工器械精度符合要求,清理构件表面的杂质、油污,修整破损部位,编制专项施工方案,明确灌浆、拼接、封堵等关键施工工序,制定雨雪、低温等恶劣天气施工应急措施。套筒灌浆要严格按照“由下至上、连续灌注”的原则进行,用专用灌浆泵稳定施压,待出浆孔流出均匀无气泡的浆料后才能封堵,控制钢筋插入深度,全灌浆套筒插入深度不得小于钢筋直径的1.1倍;构件吊装采用精准对位的方式,缓慢调位,防止强行拼接造成构件和钢筋的损伤,缝隙施工需要彻底清除内部的杂质,分层压实填充密封材料,外墙增设防水垫层提高防渗能力。施工完成后严格落实成品养护防护工作,灌浆料固化阶段禁止震动、挪动构件,常温养护时间不少于48小时,低温环境下增加保温养护措施;对外露金属连接件涂刷防腐涂料并定期复检,构件堆放垫高处理,远离积水和腐蚀性物质,防止

构件锈蚀损坏。

4.4 完善检测技术,健全监管体系

为了加强节点质量的控制,应该对检测技术进行改进,并建立施工监管体系。目前装配式建筑节点大多为隐蔽工程,内部缺陷不能用肉眼直接发现,传统的手工抽检方式误差大、漏检率高,不能达到高标准施工的要求。因此施工过程中应该摒弃单一的人工检测方式,引入智能化的无损检测技术,使用超声波检测仪探测套筒内部灌浆饱满度,准确找出空洞、缝隙等缺陷,用预埋传感器实时监测节点受力形变数据,对焊接节点进行探伤检测,全面排查焊接裂纹、虚焊等问题,检测完成后留存数据档案,实现施工质量可追溯;同时建立施工、监理、建设三方联合监管机制,明确各岗位的管控职责,严格执行工序报验制度,上一道工序检测合格后才能进行下一道施工,加大灌浆施工、钢筋定位等隐蔽工序的巡查力度,完善质量追责机制,严肃处理违规操作、全面提升节点施工可靠性。

5 结语

预制构件连接节点质量管控是保障装配式建筑安全稳定运行的核心环节,当前行业仍存在设计不完善、施工不规范、检测不到位等问题。本文从设计、材料、施工、检测四大维度,构建全流程节点质量控制体系,细化灌浆、拼接等关键工序管控要点。未来,随着建筑工业化、智能化升级,装配式建筑将朝着高精度、智能化方向发展,需持续优化节点构造设计,研发新型环保连接材料,普及无损检测、智能监测技术,同时完善行业监管标准,强化施工人员专业能力,推动装配式建筑产业高质量、可持续发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 51231-2016 装配式混凝土建筑技术标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [2] 袁敏金,白雪源,宋强.民用建筑装配式混凝土结构连接节点施工质量控制[J]. 建筑技术开发,2025(11):89-91.
- [3] 左文建.装配式混凝土建筑节点连接性能优化及工程实践分析[J]. 工程技术论坛,2026(04):76-78.