# 装配式建筑构件安装精度控制技术优化研究

郭一锋[1]　夏振华[1]　夏　冰[2]　张　亮[1]
1. 宁夏回族自治区建设工程招标投标管理中心　宁夏　银川　750001
2. 宁夏建筑科学研究院集团股份有限公司　宁夏　银川　750001

**摘　要：**装配式构件安装精度涵盖水平位置偏差、垂直度、标高、平整度及相邻构件接缝宽度等核心指标，其控制水平直接影响结构整体性、抗震性能、外围护系统气密水密性以及装饰装修施工效率。现阶段精度检测依赖逐点测量，效率低且数据格式不统一，预埋件内部定位存在检测盲区；施工工艺中灌浆饱满度判断依赖经验，调校装置粗放；全过程管控呈碎片化，设备数字化接口不兼容。优化路径包括高精度实时传感检测、预制生产阶段模具在线校核与变形控制、现场微调装置标准化、偏差矢量分解与温度补偿动态修正，以及建筑信息模型与机器学习支撑的智能化预警，推动精度管理向数据驱动模式升级。

**关键词：**装配式建筑；构件安装精度；精度控制技术；智能化管控

**引言：**装配式建筑在我国快速发展，构件安装精度成为制约工程质量提升的核心因素。安装精度涵盖水平位置偏差、垂直度、标高、平整度及接缝宽度等指标，其控制水平直接左右结构整体性、抗震性能及外围护系统气密水密性，并显著影响装饰装修施工效率。然而现阶段精度检测多依赖逐点测量，数据格式不统一，预埋件内部定位存在检测盲区；灌浆饱满度判断依赖经验，调校装置粗放，全过程管控呈碎片化状态，设备数字化接口互不兼容。偏差超限往往在验收阶段才被察觉，此时整改代价已十分高昂。为此亟需从高精度实时检测、预制阶段前置控差、现场精细化调校、偏差动态补偿及智能化数据驱动管理等维度切入，系统提升安装精度控制水平。

## 1 装配式建筑构件安装精度影响因素分析

### 1.1 构件生产阶段精度影响因素

构件生产阶段的精度控制是整个安装精度保障体系的起始环节。模具系统加工精度直接决定了构件成型后的几何尺寸偏差范围，模具拼缝不严或侧模变形会造成构件边缘尺寸超差。混凝土浇筑过程中振捣作业引起的侧模位移和预埋件位置扰动，会在构件硬化后形成固定偏差。养护制度不合理导致混凝土收缩不均匀，构件出模后产生翘曲变形，这种变形在后期安装中难以完全消除。构件脱模起吊时吊点位置设计不当或起吊速度控制失当，容易在构件内部产生微裂缝或造成局部损伤，影响安装时的找平找正作业。预埋套筒、连接件及预留孔洞的定位精度若在浇筑振捣过程中发生偏移，将直接增加现场安装时对孔对接的困难程度。

### 1.2 施工准备阶段精度影响因素

施工准备阶段各项工作的质量水平为后续安装作业提供了基础条件。现场测量控制网布设精度不足将导致各楼层轴线传递累积误差增大，使安装定位基准丧失可靠性。基础或下层结构顶面标高偏差超出允许范围时，构件底部坐浆层厚度被迫调整，这种调整会改变构件的设计受力状态。定位预埋件和临时支撑预埋点的位置偏差会直接影响构件就位后的临时固定效果。施工组织设计中安装顺序编排不合理，未充分考虑不同类型构件安装时的相互约束关系，会造成后期安装构件与已安装构件间产生空间冲突[1]。作业人员对设计图纸和安装工艺文件的消化理解程度参差不齐，实际操作中因理解偏差引起的定位失误时有发生。

### 1.3 现场安装阶段精度影响因素

现场安装阶段是精度偏差产生最为集中的环节。塔吊或汽车吊等吊装设备的运行精度和操作人员熟练程度影响构件空中的姿态调整效果，起升与回转动作的配合不当会延长构件悬空对位时间。临时支撑系统的刚度与稳定性不足，构件在脱钩后因自重作用产生附加变形。套筒连接或浆锚连接作业时灌浆料的流动性和膨胀性能影响连接界面的最终位置固定。作业面风力等级和温度变化等环境因素对构件就位后的稳定状态产生持续干扰，高温条件下钢结构构件热伸长效应会改变已调校完毕的构件位置。各工种交叉作业时的相互干扰不可避免，已安装构件可能在后续作业中被碰撞移位而未被及

时发现。

1.4 后期调校阶段精度影响因素

后期调校阶段是安装精度偏差修正的最后窗口。构件就位后通过支撑丝杠或千斤顶进行的微调作业，其调节精度受制于调节装置自身的螺纹间隙和机械磨损程度。测量复核环节使用的激光测距仪或水准仪若未经周期校准，其系统误差会误导调校方向。调校顺序安排不合理时，先调校构件在相邻构件调校过程中因约束关系改变而发生位置回弹。支撑锁紧装置的锁定时机选择不当，构件在锁定过程中因应力释放产生微小位移。已调校构件在后续相邻构件安装时受到挤压或振动影响，前期调校成果难以保持。环境温度在白天与夜间的周期性变化引起构件热胀冷缩，这种周期性尺寸变化使调校基准时刻的选择成为影响最终固定位置精度的隐性因素。

## 2 现阶段装配式建筑构件安装精度控制技术现存问题

2.1 精度检测技术存在的缺陷

现有精度检测技术体系难以满足装配式建筑高精度安装的实时监控需求。传统全站仪与水准仪逐点测量方式效率低下，检测点位数量受制于作业时间窗口，大量关键部位安装偏差处于未监控状态。三维激光扫描技术虽能获取构件表面海量点云数据，但数据后处理软件自动化程度有限，点云配准与偏差分析环节的人工干预过多，难以在安装作业进程中提供及时反馈。预埋套筒及预留孔洞内部位置偏差缺乏可视化检测手段，施工人员无法在构件吊装前获取内部预埋件的精确空间坐标。各类检测方法获取的偏差数据格式不统一，人工读数记录与电子数据采集并存，数据流转过程中信息丢失与转录错误现象普遍存在。

2.2 安装施工工艺技术的不足

现行安装施工工艺在精细化程度和适应性方面暴露出明显短板。套筒灌浆连接工艺中，灌浆饱满度与密实度难以实时量化判定，施工人员主要依赖排浆孔出浆状态进行经验性判断，这种判断方式的主观性较强[2]。叠合板底部支座找平工艺沿用传统现浇结构的垫块调平方法，找平精度受制于垫块制作尺寸误差和作业人员摆放位置偏差。预制墙板安装时的临时斜撑调节装置多为普通螺纹丝杠结构，调节量难以精确控制，微调过程中易产生爬行现象。预制柱垂直度校正作业需反复多次进行，每次调节均会改变柱底坐浆层厚度分布，坐浆料在凝固前的塑性流动使已调垂直度发生持续漂移。预制楼梯安装时两端支座高差控制缺乏专用定位装置，主要依靠起重设备多次起落进行调整，调整过程粗放且耗时较长。

2.3 精度全过程管控技术体系缺失

装配式建筑构件安装精度管理呈现碎片化状态，各阶段精度数据未形成有效闭环。构件出厂前工厂质检数据与现场安装验收数据采用不同测量基准和检测方法，两类数据之间缺乏可比性。安装过程中各工序交接时精度状态记录不完整，偏差产生的时间节点与责任主体难以追溯。精度控制标准执行过程中缺乏动态调整机制，设计容许偏差值与现场实际操作水平之间存在脱节。质量验收环节仅对最终安装完成状态进行评定，安装过程中积累的偏差演变规律未被系统记录。精度偏差预警机制基本处于空白状态，偏差超限通常只能在验收阶段被发现，此时大部分偏差已固化在结构中，整改成本高昂。

2.4 施工设备与配套技术适配性不足

现场施工设备的性能参数与装配式安装精度要求之间存在不匹配现象。吊装设备缺乏专用的微动对位装置，大吨位起重机在低速运行区间控制特性不佳，无法满足构件就位阶段毫米级位置调整需要。临时支撑系统多为通用型钢管支撑构件，缺少与预制构件预埋连接件相匹配的专用接头，支撑点位置受限于预埋件实际定位。灌浆设备出浆压力波动范围偏大，灌浆作业过程中流量控制不够稳定，易造成套筒内气体残留[3]。测量仪器与安装作业之间缺乏实时数据链路，测量结果需经人工记录计算后才能指导调校操作，信息传递延迟降低了调校工作的时效性。各类设备数字化输出接口与施工管理信息系统之间协议不兼容，设备运行参数无法自动汇入精度管理数据库。

## 3 装配式建筑构件安装精度控制优化技术

3.1 高精度检测技术优化

检测技术优化方向聚焦于提高数据采集效率与实时反馈能力。无线智能传感器网络可布设于构件关键部位，在安装过程中持续监测空间位置变化，无需人工逐点测量即可获取全时段偏差数据。激光跟踪仪结合自动靶标技术可实现构件空中姿态的动态捕捉，吊装过程中的位姿信息以可视化形式直接呈现于作业人员终端设备。工业摄影测量系统运用多台同步相机对构件表面编码标志点进行三维重建，单次测量即可完成数十个特征点的空间坐标解算。预埋件内部位置检测采用电磁感应定位技术，套筒及预留孔洞中心坐标可通过专用探棒在

构件外侧直接读取[4]。各类检测数据通过标准化接口上传至云端精度管理平台，避免了人工录写环节带来的转录误差和信息延迟。

3.2 构件预制精度前置控制技术优化

前置控制技术着眼于将精度保障工作前移至构件生产环节。模具组装阶段应用数字化合模检测技术，通过激光测距传感器对模具各边模位置及垂直度进行在线校验，确认模具空间姿态满足浇筑要求后方可进行混凝土作业。养护过程中预埋应变计实时监测构件内部应力发展态势，根据应力数据动态调整养护温度升降速率，有效控制不均匀收缩引起的翘曲变形。构件脱模后立即实施三维扫描检测，获取的全尺寸数据与设计模型进行自动比对，偏差超差构件在出厂前即被识别并标记，避免不合格构件进入施工现场。每个构件生成包含模具状态、浇筑参数、养护记录及尺寸检测报告的全流程数字档案，该档案作为现场安装定位的参考依据。

3.3 现场精细化安装工艺优化

安装工艺优化以标准化操作和精准调节为核心展开。构件起吊前在地面进行模拟对位预演，通过预埋导向杆与定位锥套的引导作用使构件在接近安装位置时自动导入设计位姿，减少空中悬停调整时间。临时支撑系统配备微调齿轮箱结构调节装置，每转动一格对应毫米级线性位移，调节量直观可读且无爬行现象。叠合板底部标高控制采用可调式托座配合激光接收靶，操作人员根据靶面光斑位置直接旋转托座调节螺母直至标高达标。预制柱垂直度校正采用双向水准管与电子倾角仪联合监控，两个方向倾斜数据同时显示，操作人员依据数值进行双向同时调节以避免反复修正。灌浆连接作业采用稳压注浆装置，注浆压力全程记录形成压力曲线，通过曲线形态判断套筒内浆体填充密实程度。

3.4 安装偏差动态修正技术优化

动态修正技术注重偏差产生后的及时识别与定向补偿。构件就位初测发现位置偏差后，偏差矢量分解为水平平移、竖向调高和角度旋转三个独立分量，各分量分别由对应的调节装置实施独立校正。环境温度变化导致已安装构件位置漂移时，温度补偿系数被引入测量数据修正计算，排除热胀冷缩对判定结果的干扰。相邻构件安装后相互作用引起前期构件位置变动，变动量通过安装在构件表面的位移传感器实时捕捉，操作人员根据传感器反馈值对受扰动构件进行二次微调[5]。连续安装多个构件后中间构件的累积位移通过闭合测量方式识别，超差构件采用专用顶推装置进行原位纠偏，纠偏过程中支撑系统保持有效约束以防止次生位移。

3.5 智能化精度控制技术应用优化

智能化技术应用将人工经验主导的精度控制模式转变为数据驱动模式。建筑信息模型承载的设计坐标数据直接输出为各构件的理论定位参数，现场测量数据与理论参数自动比对生成偏差云图，偏差分布特征通过图形化界面直观呈现。机器学习算法对历史安装数据进行深度挖掘，建立构件类型、尺寸规格、安装时段环境参数与最终精度水平之间的关联模型，新项目安装前依据该模型预判高风险偏差构件并提前制定针对性控制方案。安装作业过程中增强现实设备将构件理论轮廓线叠加投射于实际作业面，操作人员通过头戴显示器直接观察当前构件位置与目标位置的偏差量。数字孪生体与物理构件同步更新位姿信息，管理人员在虚拟空间中即可掌握各楼层所有构件的实时精度状态。

**结束语：**装配式建筑构件安装精度控制贯穿生产、施工、验收全过程，任何环节的偏差均会向后续工序传递并逐级放大。当前检测手段效率不足、施工工艺精细化欠缺、管控体系碎片化以及设备适配性低下等突出问题，严重制约了装配式建筑质量水平的整体提升。高精度实时检测、预制阶段前置控差、现场精细化调校、偏差动态补偿以及智能化数据驱动管理等技术路径的协同应用，为精度控制提供了系统性解决方案。未来随着传感器技术、数字孪生与人工智能算法的深度融合，装配式建筑安装精度管理有望实现从被动检测向主动预防的根本性转变。

**参考文献**

[1] 蔡向东. 装配式建筑预制构件安装精度控制技术及质量验收标准研究 [J]. 中国住宅设施,2026(2):39-41.

[2] 李金虎. 装配式建筑构件施工精度控制技术 [J]. 科技创新与生产力,2026,47(7):95-97.

[3] 康红刚, 胡小鹏, 韩庆, 等. 基于铝模工艺的装配式构件预埋件安装精度控制技术研究 [J]. 城市建筑与发展,2026,7(8).

[4] 杜东辉. 复杂环境下装配式建筑主体结构施工精度控制技术分析 [J]. 中国建筑金属结构,2025,24(11):112-114.

[5] 张连生, 曾令发, 王春鹏, 等. 装配式混凝土建筑预制构件吊装精度控制研究 [J]. 陶瓷,2025(10):150-152.