房屋建筑工程梁柱节点混凝土预制施工关键技术分析

李 峰

中铁上海工程局集团有限公司第五工程有限公司 广西 南宁 530000

【摘 要】：以某地区装配式办公楼为工程背景，针对该工程 8 度抗震设防下节点受力要求高、钢筋密集浇筑困难、套筒灌浆质量隐蔽性强等现场实际难点，从深化设计、构件吊装、节点浇筑、套筒灌浆四个维度阐述预制梁柱节点全流程施工关键技术，并结合工程实测数据验证应用效果。结果表明，该工程主体施工效率提升 42%，且精度和质量均符合要求，可为同类高抗震要求装配式框架工程提供实践参考。

【关键词】：房屋建筑；梁柱节点；混凝土

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.049

引言

当前国内针对预制梁柱节点的研究多集中于构件力学性能试验与数值模拟，对现场施工全流程的技术集成与工程验证相对不足；部分工程存在深化设计与现场施工脱节、预埋精度管控不足、灌浆质量隐蔽性强、新旧混凝土界面粘结薄弱等问题，导致节点施工质量离散性较大，甚至引发承载力不足、裂缝等质量隐患，在高抗震设防烈度地区的工程风险更为突出。同时，现有工程实践总结多聚焦于通用工艺，针对 8 度设防地区高受力要求节点的专项施工技术体系仍有待完善。

1 工程概况与施工核心难点

1.1 工程基本概况

某地区办公楼位于城市核心区，地上 12 层、地下 2 层，建筑高度 48.6m，总建筑面积 28200 ㎡，设计使用年限 50 年，抗震设防烈度 8 度（设计基本地震加速度 0.2g），场地类别Ⅱ类。主体结构采用装配式混凝土框架体系，整体预制率 65.3%，竖向构件与水平构件均采用工厂预制、现场装配的施工模式。

1.2 梁柱节点施工核心难点

结合本工程抗震要求与现场条件，预制梁柱节点施工主要面临四项难点：一是抗震受力要求严苛。8 度设防烈度下，节点核心区需满足“强节点、弱构件”的抗震设计原则，核心区受剪承载力需高于梁端、柱端，对钢筋锚固长度、混凝土密实度、界面粘结强度均提出高于常规工程的要求。二是节点构造密集复杂。初步设计阶段，节点核心区同时存在柱纵筋、双向梁端锚固钢筋、柱箍筋、套筒外露段等构件，钢筋净间距最小处仅 18mm，现场绑扎与混凝土浇筑难度极大，易出现振捣不密实、钢筋移位等问题。三是施工精度控制难度大。预制柱套筒预埋位置、梁端伸出钢筋位置、现场安装轴线偏差均直接影响连接可靠性，本工程设计要求套筒中心位置偏差≤2mm，严于国家规范要求，对工厂预制与现场安装均提出极高精度要求。四是质量隐蔽性与工期矛盾突出。套筒灌浆、新旧混凝土界面粘结均属于隐蔽工程，常规外观检查难以发现内部缺陷；同时项目主体结构要求 120 天封顶，传统现浇节点每层施工周期约 7 天，无法满足工期目标，需在保障质量的前提下大幅提升施工效率[1]。

2 梁柱节点深化设计技术

针对上述难点，本工程在施工图基础上开展专项深化设计，以 BIM 技术为载体，从构件拆分、预埋精度、界面构造三个维度优化节点方案，从源头降低现场施工风险。

2.1 构件拆分与节点构造优化

本工程采用“预制柱层间拆分+预制叠合梁+节点核心区后浇”的总体方案，针对初步设计中钢筋密集的问题，实施三项针对性优化：第一，节点核心区箍筋预制化。将节点核心区 8 道柱箍筋提前在工厂加工为整体焊接封闭箍，箍筋间距 100mm，弯钩角度 135°、弯钩平直段长度 10d，在预制柱吊装前预先套入柱顶。相比传统现场绑扎方案，避免了梁筋安装后箍筋无法就位的问题，同时箍筋间距偏差控制在±2mm 以内，核心区钢筋净间距提升至 35mm，满足混凝土浇筑要求。第二，梁端钢筋锚固形式优化。将梁底纵筋由原设计直锚改为 90°弯折锚固，弯折段长度 250mm，总锚固长度满足抗震要求；梁顶纵筋采用直螺纹套筒与节点区附加钢筋连接，减少节点上部钢筋重叠。优化后节点核心区钢筋数量减少 15%，有效缓解了钢筋拥挤问题。第三，混凝土强度与材料匹配。节点核心区后浇混凝土强度等级比预制构件提高 5MPa（预制构件 C35，核心区 C40），并掺入 8%～10%的微膨胀剂，补偿混凝土收缩，确保节点核心区强度高于构件本体，满足“强节点”设计要求。

2.2 预埋精度三级控制体系

灌浆套筒与外露钢筋的预埋精度是节点连接的基础，本工

程建立“工厂胎架定位+BIM 碰撞复核+出厂激光扫描”三级精度控制体系，核心参数控制与实测结果如表 1 所示。

表 1 本工程预制梁柱节点精度控制指标及实测结果

构件类型	检测项目	规范允许偏差	本工程设计控制值	实测平均值	抽检合格率
预制柱	截面尺寸	±5mm	±3mm	+1.2mm	100%
预制柱	灌浆套筒中心位置	±3mm	±2mm	+0.8mm	100%
预制柱	套筒垂直度	1/100	1/150	1/220	100%
预制梁	端部外露钢筋长度	±15mm	±10mm	+4.2mm	98.70%
预制梁	外露钢筋中心间距	±5mm	±3mm	+1.1mm	100%
节点核心区	柱顶标高偏差	±10mm	±5mm	+2.3mm	100%

工厂预制阶段，灌浆套筒采用专用钢制定位胎架固定，胎架与钢模刚性连接，混凝土浇筑前采用靠尺全数检查套筒垂直度；钢筋骨架绑扎完成后，采用三维激光扫描仪对套筒坐标、钢筋伸出长度进行 100%扫描，偏差超标的构件直接返修，不得进入下道工序。构件进场前，通过 Revit 建立节点精细化模型，开展钢筋碰撞检测，累计排查出 12 处钢筋干涉问题，提前在工厂调整钢筋位置，避免现场返工[2]。

2.3 节点界面精细化构造设计

新旧混凝土界面是预制节点的受力薄弱环节，本工程对预制构件的节点接触面进行专项深化：预制柱顶、梁端与后浇混凝土接触的表面采用“人工凿毛+横向键槽”的复合构造，键槽深度 30mm、间距 150mm，凿毛深度控制在 6～8mm，露出粗骨料面积不小于接触面总面积的 75%。同时，在预制柱顶接触面预埋 2 根直径 20mm 的注浆管，延伸至节点侧面，若后期界面粘结检测不达标，可通过注浆管注入环氧树脂进行补强。

3 现场施工关键工艺实施

3.1 预制构件精准吊装与定位

本工程采用 QTZ80 型塔式起重机进行构件吊装，针对预制柱定位精度要求高的特点，采用“底部限位+双向斜撑+全站仪实时测控”的定位工艺。吊装前，在下层楼板表面弹出柱身轴线、边线与标高控制点，在柱底位置设置 4 块厚度 10mm 的钢制限位板，限制柱底水平位移。预制柱起吊至距楼面 500mm 时暂停，由两名工人在柱底两侧引导，将下层柱外露钢筋缓慢对准套筒入口，避免钢筋碰撞套筒内壁。柱体就位后，在柱身两个垂直方向各设置 2 道可调式钢斜撑，斜撑与楼面夹角控制在 45°～60°，通过全站仪实时监测柱身垂直度，调整斜撑长度将垂直度偏差控制在 1/1000 柱高且不大于 10mm。

本工程首层吊装阶段，曾出现 3 根预制柱因出厂钢筋偏位 8mm，导致钢筋无法顺利插入套筒。现场经设计单位确认后，采用锥形导向套筒辅助就位，钢筋偏差控制在 15mm 以内，未对结构受力造成影响；后续工厂立即优化钢筋定位胎架，增加出厂前钢筋位置全数检测工序，后续楼层未再出现同类问题。

预制梁吊装采用双点吊工艺，梁体起吊后保持水平，下落至柱顶上方 300mm 时，人工辅助将梁端钢筋插入节点核心区，避免钢筋弯折。梁就位后，依据柱身弹出的梁端控制线调整标高与轴线位置，标高偏差控制在±3mm 以内，轴线偏差控制在±2mm 以内。

3.2 节点核心区钢筋绑扎与隐蔽验收

针对节点核心区钢筋密集的问题，本工程严格执行“先套箍、后穿梁、分层就位”的绑扎顺序：预制柱吊装就位后，先套入最下一道预制焊接箍筋；吊装第一方向预制梁，放置第二道柱箍筋；吊装第二方向预制梁，按设计间距放置剩余柱箍筋；最后绑扎梁上部纵筋与节点附加钢筋。该顺序从根本上解决了梁筋安装后箍筋无法套入的问题，单节点钢筋绑扎时间从传统的 4 小时缩短至 1.5 小时。

钢筋绑扎完成后，执行“三检制”隐蔽验收，重点核查四项内容：灌浆套筒内钢筋插入深度（不小于 10 倍钢筋直径，即 250mm）、核心区箍筋数量与间距、梁筋锚固长度、钢筋保护层厚度。本工程累计验收 326 个节点，一次验收合格率 97.5%，不合格项主要为个别箍筋间距偏差，经调整后全部合格[3]。

3.3 节点后浇混凝土施工

节点核心区模板采用定制钢模，配合对拉螺栓与斜撑固定，模板拼缝处粘贴 5mm 厚海绵条，防止漏浆。模板支设完成后，检查模板垂直度、截面尺寸与支撑稳定性，确保混凝土浇筑过程中不发生胀模、位移。

节点核心区采用 C40 微膨胀自密实混凝土，坍落度控制在 260±20mm，扩展度不小于 600mm，初凝时间控制在 4～6 小时。浇筑前 2 小时，将预制构件接触面充分浇水湿润，排除

表面积水，避免混凝土水分被预制构件吸收。浇筑时分层下料，每层厚度不超过 300mm，采用 φ30 小型插入式振捣器振捣，振捣棒快插慢拔，避免触碰钢筋与套筒；节点顶部采用人工二次抹压，消除表面收缩裂缝。浇筑完成后，及时覆盖土工布洒水养护，养护时间不少于 14 天。

3.4 套筒压力灌浆施工工艺

套筒灌浆是预制柱竖向连接的核心工序，本工程采用 CGM-4 型高强无收缩灌浆料，严格执行“分区压力灌浆+逐孔验收”工艺，施工工序与质量验收统计如表 2 所示。

表 2 本工程套筒灌浆施工工序质量验收统计

工序	控制要点	本工程执行标准	抽检数量	合格数量	合格率
灌浆前准备	套筒内杂物清理、接缝密封	套筒内无积水杂物，接缝密封无漏浆	60 根柱	60 根	100%
灌浆料制备	配合比、流动度	水料比 0.13，初始流动度≥300mm	20 组	20 组	100%
压力灌浆	灌浆压力、出浆顺序	压力 0.15～0.25MPa，下进上出	60 根柱	58 根	96.70%
灌浆后养护	扰动控制、温度控制	24h 内不受扰动，低于 5℃保温	60 根柱	60 根	100%
无损检测	灌浆饱满度	饱满度≥98%	32 个套筒	32 个	100%

灌浆施工严格遵循“下进上出”原则，从柱底最下方的灌浆孔注入灌浆料，待上方出浆孔连续流出均匀浆液、无气泡后，用专用堵头封堵出浆孔，继续稳压注浆 10s 后封堵灌浆孔。灌浆过程全程采用压力表监测压力，避免压力过大导致接缝漏浆或压力不足导致灌浆不密实。

本工程施工中曾出现 2 根柱底局部漏浆，现场立即停止注浆，采用座浆料对漏浆部位进行分层封堵，待封堵材料初凝后重新进行灌浆，后续超声波检测显示灌浆饱满度达标，未对结构质量造成影响。灌浆完成后 24 小时内禁止吊装上部构件与扰动柱身，确保灌浆料强度正常发展。

4 工程应用效果

与传统现浇梁柱节点方案相比，本工程预制节点施工体现出显著效益：工期方面，单楼层节点施工周期从传统现浇的 7 天缩短至 4 天，12 层主体结构累计提前 28 天封顶，满足 120 天封顶的工期目标；成本方面，现场模板用量减少 60%，钢筋绑扎人工用量减少 45%，虽然预制构件工厂加工成本略有上升，但综合工期成本与现场管理成本，整体造价降低约 8%；绿色施工方面，现场湿作业量减少约 60%，建筑垃圾排放量降低 55%，施工扬尘与噪声污染显著减少，符合绿色建造与“双碳”目标要求[4]。

5 结论

预制梁柱节点施工质量控制需以具体工程的抗震要求、构造特点与现场条件为核心，从深化设计源头优化、现场工艺精准管控、全过程质量追溯三个层面系统发力。本工程提出的核心区箍筋预制化、三级精度控制、分区压力灌浆等技术，有效解决了高抗震设防下节点钢筋密集、精度要求高、质量隐蔽性强等难题，实现了节点受力可靠、施工高效、质量稳定的目标。

参考文献：

[1] 孙剑南.房屋建筑工程梁柱节点混凝土预制施工技术[J].中国住宅设施,2026,(7):47-49.

[2] 滕永权,朱静龙.建筑工程劲性混凝土梁柱结构节点施工技术[J].智能建筑与工程机械,2025,7(4):47-49.

[3] 余胜利,王斐,刘义康.建筑工程劲性混凝土梁柱结构节点施工技术[J].城市建设,2025,(4):42-45.

[4] 袁征,吴振磊,李小猛,等.房屋建筑工程梁柱节点混凝土预制施工技术[J].城市建筑空间,2023,30(S1):405-406.