

高层建筑主体结构施工质量关键控制技术探讨

张波

上海建工四建集团有限公司 上海 201103

摘要: 高层建筑主体结构施工质量直接关系建筑安全与使用功能。本文结合工程实践,系统探讨高层建筑主体结构施工质量关键控制技术。从模板工程、钢筋工程、混凝土工程、垂直度控制、裂缝防治等方面入手,分析常见问题成因,提出针对性控制措施。研究表明,采用高精度模板体系、优化混凝土配合比、强化全过程监测等综合技术措施,可有效提升主体结构施工质量,实测合格率达96.8%,垂直度偏差控制在2.5mm以内。本文可为同类工程提供技术参考。

关键词: 高层建筑;主体结构;施工质量;控制技术;实测数据

引言:随着城市化进程加快,高层建筑数量持续增长,主体结构作为建筑的核心受力体系,其施工质量直接决定建筑安全性能与使用寿命。高层建筑主体结构具有体量大、施工周期长、工序交叉多、质量控制难点突出等特点,模板安装偏差、钢筋定位不准确、混凝土强度离散性大、结构垂直度超差等问题时有发生,一旦形成质量缺陷,后期处理难度大、成本高。如何建立科学的质量控制体系,从工艺选择、过程监控、检测验证等环节实施全过程管控,成为工程技术人员关注的重点。

1 高层建筑主体结构施工质量影响因素分析

1.1 材料因素

材料质量是主体结构施工质量的基础。高层建筑主体结构主要使用钢筋与混凝土两大类材料。钢筋方面,常见问题包括:钢筋强度等级不达标、直径偏差超限、锈蚀程度超标、焊接性能不稳定等,这些问题直接影响结构受力性能。混凝土方面,主要问题表现为原材料质量波动、配合比执行不严格、坍落度损失大、强度离散性高。统计显示,混凝土强度变异系数超过15%时,结构实体强度合格率显著下降。

1.2 工艺因素

施工工艺选择直接影响结构成型质量。模板体系方面,传统木模板刚度不足,拼缝不严易导致漏浆、涨模、错台等问题。钢筋绑扎间距控制不严、保护层厚度不均匀、焊接或机械连接质量不稳定等问题普遍存在;分层厚度过大、振捣不密实、浇筑间歇时间过长等易造成冷缝、蜂窝、麻面等质量缺陷。养护工艺不当则易导致混凝土早期裂缝、强度发展不足^[1]。

1.3 环境与人为因素

高层建筑施工受环境因素影响显著。温度变化对混

凝土凝结硬化影响明显,夏季高温施工时混凝土坍落度损失快,冬季低温施工时强度发展缓慢。大风天气下高空作业安全风险增加,同时影响测量放线的精度。施工人员技术水平参差不齐,质量意识淡薄,操作不规范现象时有发生。现场管理水平同样关键,质量检查频次不足、问题整改闭环不及时,都会影响最终结构质量。

1.4 质量控制难点识别

高层建筑主体结构质量控制难点主要体现在以下方面:一是超高泵送混凝土质量控制,泵送高度超过100米时,混凝土坍落度损失、离析风险增加;二是竖向构件垂直度控制,随着层高增加,累计偏差控制难度加大;三是钢筋密集区混凝土密实性保证,梁柱节点、剪力墙暗柱区域钢筋密集,混凝土浇筑不易密实;四是结构裂缝控制,大体积混凝土水化热高,收缩裂缝风险突出。

2 关键施工质量控制技术

2.1 高精度模板体系应用

模板体系是保证结构几何尺寸与外观质量的关键。高层建筑施工中,推荐采用铝模板或高强度模板替代传统木模板。铝模板体系具有刚度大、精度高、周转次数多、拼缝严密等优点。某48层超高层住宅项目采用铝模板体系,模板面板厚度4mm,背楞采用双槽钢,间距600mm。施工前通过BIM技术进行模板配模设计,优化拼缝位置与加固体系。模板安装过程采用激光铅垂仪控制垂直度,每层复核两次。实测数据显示,采用铝模板后,剪力墙垂直度合格率从木模板时期的87.3%提升至96.5%,墙面平整度合格率从82.1%提升至94.8%。

模板加固体系需进行专项设计。对拉螺杆间距应通过计算确定,一般墙厚200mm时,螺杆间距不宜大于500mm×500mm。模板接缝处粘贴海绵条防止漏浆,转角部位增设斜撑确保刚度。模板安装完成后,需进行“三

检制”验收，重点检查轴线位置、截面尺寸、垂直度、平整度等指标。表1为铝模板与木模板施工质量对比数据。

表1 铝模板与木模板施工质量对比统计

检查项目	允许偏差	木模板合格率	铝模板合格率
轴线位置	±5mm	89.2%	97.6%
截面尺寸	±5mm	85.6%	96.3%
垂直度（每层）	≤ 6mm	87.3%	96.5%
平整度	≤ 4mm	82.1%	94.8%
接缝宽度	≤ 2mm	78.5%	93.2%

注：数据来源于某48层超高层住宅项目，统计样本量各200个测点

2.2 钢筋工程精准控制技术

钢筋工程是结构受力安全的核心保障。精准控制技术包括钢筋定位、保护层控制、连接质量控制三个方面。钢筋定位方面，采用梯子筋、定位箍等工具式定位措施。墙体竖向钢筋采用梯子筋控制间距与保护层厚度，梯子筋间距按墙体主筋间距加工，两端焊接定位横筋^[2]。梁柱节点核心区钢筋密集，采用BIM技术进行钢筋排布优化，提前解决钢筋冲突问题。保护层控制是确保钢筋耐久性的关键，采用高强塑料垫块或水泥砂浆垫块，间距不大于800mm，梅花形布置。墙柱钢筋保护层垫块每平方米不少于4个。梁板底筋垫块间距不大于1000mm。某项目统计显示，采用定位工具后，钢筋保护层厚度合格率从82.3%提升至94.6%。钢筋连接质量控制方面，直螺纹套筒连接需控制剥肋长度、扭矩值，采用力矩扳手100%检查，扭矩值应

符合规程要求，直径25mm钢筋扭矩值不低于260N·m。

2.3 混凝土工程质量控制技术

混凝土工程质量控制涵盖配合比设计、泵送施工、浇筑振捣、养护等环节。配合比设计需兼顾强度、工作性、耐久性要求。对于超高层泵送混凝土，需控制坍落度在180-220mm，扩展度在550-650mm之间。胶凝材料总量不宜小于400kg/m³，水胶比不宜大于0.45。某项目C50混凝土配合比优化后，28天强度平均值达58.6MPa，强度标准差降低至3.2MPa。混凝土泵送施工需控制泵送速度，宜控制在30-40m³/h，避免速度过快导致管道内压力过大。浇筑过程中应分层浇筑，每层厚度控制在300-500mm，振捣棒插入下层混凝土50-100mm，振捣时间以表面泛浆、无明显气泡溢出为准。混凝土养护是保证强度发展的关键，竖向构件喷涂养护液，水平构件覆盖薄膜并定期洒水，养护时间不少于7天。表2为不同养护方式对混凝土强度的影响数据。

表2 不同养护方式对混凝土强度影响对比

养护方式	7天强度（MPa）	28天强度（MPa）	强度增长率
自然养护	32.5	48.6	1.50
薄膜覆盖	35.2	52.3	1.49
养护液喷涂	34.8	51.8	1.49
标准养护	38.6	56.4	1.46

注：混凝土设计强度C45，数据来源于实验室对比试验，每组6个试件取均值

2.4 垂直度与标高控制技术

高层建筑垂直度与标高控制是保证结构整体稳定性的关键。测量控制采用“三级复核”制度，即控制网布设、楼层放线、构件定位分别进行复核。首层建立高精度平面控制网，采用全站仪测设轴线控制桩。楼层测量采用激光铅垂仪投测，每层设置不少于4个投测点，投测精度控制在1mm以内。垂直度控制采用“外控法”与“内控法”相结合。外控法利用经纬仪在建筑物外围观测大角垂直度，每施工5层进行一次校核；内控法通过激光铅垂仪传递轴线控制点，每层放线后复核。标高控制采用“钢尺传递法”，每层标高基准点不少于3个，相互校核。每层

施工完成后，进行结构标高复测，发现偏差及时调整。

3 施工过程质量监测与检测

3.1 全过程监测体系建立

建立全过程质量监测体系是动态控制施工质量的有效手段。监测内容包括模板安装质量监测、钢筋工程隐蔽验收、混凝土浇筑过程监控、结构变形监测等。模板安装质量监测采用“三检制”，班组自检、工长复检、质检员专检，检查记录存档备查。钢筋工程隐蔽验收前，需完成钢筋规格、数量、间距、保护层、连接质量等全面检查，验收合格后方可进入下道工序。混凝土浇筑过程监控重点控制浇筑顺序、振捣质量、浇筑厚度等，设置专职振捣工，定人定岗。浇筑过程中取样制作混凝土试件，标准养护与同条件养护并行，每100m³取样一组。结

构变形监测包括沉降观测与垂直度观测，沉降观测点每层布设，每施工完成两层观测一次^[3]。

3.2 实体质量检测方法

实体质量检测是验证施工质量的重要手段。混凝土强度检测采用回弹法与钻芯法相结合。回弹法检测方便快捷，适用于批量检测；钻芯法检测精度高，适用于争议部位验证。某项目共检测混凝土构件320个，回弹法推定强度均达到设计强度115%以上，钻芯法抽检30处，芯样强度平均值达设计强度118.6%。钢筋保护层厚度检测采用钢筋扫描仪，检测点按梁、板、柱构件总数的2%抽取。某项目检测结果显示，保护层厚度合格率为94.2%，未出现负偏差超标情况。结构尺寸与垂直度检测采用全站仪与激光测距仪，每层抽取不少于20个测点。实测数据显示，墙柱垂直度最大偏差5mm，截面尺寸最大偏差4mm，均满足规范要求。

4 工程实践与效果分析

4.1 工程概况

武汉复地汉正街项目（东片）超高层住宅工程，位于武汉市硚口区，建筑高度148.6米，地上48层，地下2层，结构形式为剪力墙结构。结构设计使用年限50年，抗震设防烈度7度。混凝土强度等级：地下1层至地上10层为C50，11层至30层为C45，31层至顶层为C40。钢筋采用HRB400E。项目总建筑面积约12.6万平方米，主体结构施工周期12个月。

4.2 关键控制技术应用

针对本项目特点，应用了以下关键控制技术：采用铝模板体系替代传统木模板，单层施工周期缩短2天；钢筋工程采用梯子筋定位与直螺纹套筒连接技术；混凝土工程优化配合比，控制泵送压力；垂直度控制采用激光铅垂仪投测与经纬仪校核相结合。建立全过程质量监测

体系，每层进行质量验收与实体检测，形成完整的过程记录档案^[4]。

4.3 应用效果评价

项目主体结构施工完成后，进行了全面的质量检测与评估。混凝土试件强度统计显示，C50、C45、C40各组试件强度均满足设计要求，C50试件28天强度平均值达58.6MPa，C45试件平均值达52.3MPa。实体检测方面，共抽取混凝土构件280个进行回弹检测，合格率100%；钻芯法抽检25处，芯样强度平均值为设计强度的1.17倍。钢筋保护层厚度合格率94.6%，高于规范要求。结构总垂直度偏差2.2mm，标高累计偏差8mm，均优于规范允许值。实测数据显示，主体结构施工质量合格率达96.8%，高于项目质量目标95%的要求。该工程荣获武汉市优质结构工程奖。

结束语

高层建筑主体结构施工质量控制是一项系统工程，需要从材料、工艺、管理等多维度协同发力。本文结合工程实践，系统分析了影响结构质量的关键因素，提出了高精度模板应用、钢筋精准控制、混凝土全过程管控、垂直度与标高精细测量等关键技术措施。随着建筑工业化与智能化技术的发展，装配式施工、BIM协同管理、智能监测等技术将进一步赋能高层建筑施工质量控制。

参考文献

- [1] 阴晓东.高层建筑主体结构施工技术 with 质量控制措施[J].建筑·建材·装饰,2025(8):76-78.
- [2] 靳利斌.高层建筑施工主体结构的关键施工技术[J].新疆有色金属,2023,46(02):88-89.
- [3] 刘锐.高层建筑主体结构施工技术要点[J].建材与装饰,2022,18(5):71-73.
- [4] 黄钦照.高层建筑主体结构施工质量监理控制要点[J].建筑与装饰,2022(8):106-108.