

混凝土搅拌站主楼结构装配精度控制技术

张振伟

安徽建工公路桥梁建设集团有限公司 安徽 合肥 230031

【摘要】：混凝土搅拌站主楼是骨料计量、物料拌合的核心载体，其结构装配精度直接关联混凝土生产质量与设备运行稳定性。当前装配式主楼施工普遍面临构件对接偏差、标高控制失准等问题，易引发设备卡滞、物料泄漏等隐患。本文聚焦搅拌站主楼结构装配的关键工序，从测量放线、构件吊装、节点连接等维度探究精度控制技术路径，为提升搅拌站装配式施工质量、推动行业工业化升级提供实践参考。

【关键词】：混凝土搅拌站；主楼结构；装配；精度控制技术

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.064

1 混凝土搅拌站主楼结构概述

混凝土搅拌站主楼是集物料储存、计量、搅拌、出料于一体的核心竖向构筑物，多采用装配式钢结构或钢-混凝土组合结构，具有模块化程度高、施工周期短的特点。其结构体系包含骨料仓、计量层、搅拌层、出料层等功能分区，各层构件通过高强螺栓、焊接等方式连接。同时，主楼结构需承载料仓荷载、设备运行振动荷载及风荷载等多重作用，对构件尺寸精度、节点刚度和整体稳定性要求严苛。合理的结构设计 with 装配工艺，是保障搅拌站长期稳定运行、提升混凝土生产效率的基础前提。

2 混凝土搅拌站主楼结构装配的关键工序

2.1 测量放线定位工序

测量放线是保障主楼装配精度的基础前提，直接决定构件安装的基准准确性。施工前需结合设计图纸，采用高精度全站仪、水准仪建立三维控制网，对基础预埋板的标高、轴线位置进行反复校验，偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。针对装配式构件的安装预留点位，需标注清晰的定位线与控制线，同时考虑环境温度对测量仪器的影响，选择早晚温差较小时段作业，避免温度变形导致的测量误差，为后续构件吊装提供精准的定位依据。

2.2 构件吊装就位工序

构件吊装需兼顾稳定性与精准度，根据主楼构件重量、尺寸选用匹配的吊装设备与吊具，对钢柱、横梁等核心构件采用双点吊装法，减少吊装过程中的构件变形。吊装时安排专人指挥，通过溜绳控制构件姿态，缓慢调整至安装位置，利用临时固定件进行初步定位。就位后实时核对构件的轴线偏差与标高数据，借助千斤顶、垫板等工具微调校正，确保构件安装位置符合设计要求，校正完成后及时加固临时固定装置，防止构件移位。

2.3 节点连接加固工序

节点连接是保障主楼结构整体性与刚度的核心环节，需根据构件类型选择对应的连接方式。钢结构构件优先采用高强螺栓连接，螺栓紧固前需清理节点接触面的浮锈、油污，确保贴

合紧密，采用扭矩扳手按预设扭矩分次紧固，避免漏拧、过拧现象。焊接节点需控制焊接参数，采用分层焊接工艺减少焊接应力与变形，焊接完成后对焊缝进行外观检查与无损检测，排查气孔、裂纹等缺陷。钢-混凝土组合节点需保证预埋件位置准确，浇筑混凝土前校验连接牢固性，确保节点承载能力达标。

2.4 成品校验调整工序

装配完成后的成品校验的是把控最终精度的关键。采用三维扫描技术对主楼整体结构进行全面检测，采集构件位置、节点偏差等数据，与设计图纸进行比对分析。针对检测出的偏差，制定针对性调整方案，对轻微偏差通过局部微调校正，对超出允许范围的偏差及时返工处理。同时，检查临时固定件拆除后的结构稳定性，测试设备安装后的运行振动情况，确保主楼结构装配精度满足生产运营需求，杜绝后期安全隐患。

3 混凝土搅拌站主楼结构装配精度控制技术

3.1 三维测量定位控制技术

三维测量定位控制技术是主楼结构装配精度的核心支撑，突破传统二维测量的平面化局限，实现对装配全过程的立体化、全维度精准把控。施工前期，依托 BIM 技术构建主楼结构 1:1 比例三维数字化模型，将设计图纸中的轴线基准、标高梯度、构件几何尺寸等核心参数全面导入模型系统，通过虚拟仿真完成构件间的碰撞检测与参数迭代优化，形成可视化、精准化的现场测量数据支撑体系（如图 1 所示）。

现场施工作业阶段，采用高精度全站仪与电子水准仪组合测量设备，搭建覆盖整个装配作业区域的三维空间控制网。在点位坐标校验中，采用空间三维坐标偏差计算公式 $\Delta L = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$ 对预埋板、预留连接点位进行误差核算，其中 Δx 、 Δy 、 Δz 分别代表空间坐标系下 X、Y、Z 轴的实测与设计值偏差量。通过多维度、多频次的复核校验，将预埋板标高偏差、轴线水平位移的误差值严格控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，代入公式计算可得空间综合偏差 $\Delta L \leq \sqrt{2^2 + 2^2 + 0^2} = \sqrt{8} \approx 2.83\text{mm}$ ，满足高精度装配的误差阈值要求。

针对环境温度变化对测量精度的干扰问题，现场测量作业需选择早晚时段温差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的稳定窗口期开展。同时建立测量仪器定期校准机制，按行业规范完成仪器的精度校验与误差补偿，利用温度修正系数公式 $K_t = 1 + \alpha(t - t_0)$ 对测量数据进行修正（其中 α 为仪器构件线膨胀系数， t 为实测温度， t_0 为仪器标定温度），从源头上消除温度应力变形、仪器系统误差带来的不利影响，保障各构件安装基准的统一性与一致性，为后续装配工序的顺利推进筑牢精准化基础。



图1 混凝土搅拌站主楼三维测量定位技术

3.2 构件预制精度管控技术

构件预制精度直接决定主楼装配质量，需从原材料、生产工艺、成品检验三方面构建全流程管控体系。原材料选用上，针对钢结构构件的钢材、高强螺栓等核心材料，严格核查材质证明与力学性能检测报告，杜绝不合格材料投入生产；对于混凝土预制构件，精准控制骨料级配、水胶比，确保构件强度与耐久性达标。生产工艺环节，采用数控切割、焊接机器人等自动化设备加工钢结构构件，减少人工操作误差，对构件的长度、截面尺寸、孔位精度进行实时监测，其中孔位偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内。构件出厂前，通过三维扫描技术对成品进行全面检测，对比 BIM 模型参数，对超差构件及时进行打磨、校正处理，合格后方可出厂运输。同时，运输过程中采用专用防护支架固定构件，避免碰撞、挤压导致的变形，保障构件到场后仍能满足装配精度要求。

3.3 吊装姿态精准控制技术

吊装作业是主楼结构装配的核心工序，吊装姿态的稳定性直接影响构件安装精度与结构安全。需根据主楼构件的重量、尺寸、外形特征，科学选用吊装设备与吊具，对于钢柱、横梁等重型核心构件，采用双点对称吊装法，合理设置吊点位置，确保吊装过程中构件受力均匀，减少弯曲、扭转变形。吊装前，在构件上标注精准的定位线与控制线，同时通过溜绳控制构件姿态，由专人指挥吊装作业，缓慢调整构件位置，避免吊装过程中构件与已安装结构、周边设备发生碰撞。构件就位时，借助千斤顶、垫板等微调工具，实时核对构件轴线、标高与设计参数的偏差，逐点校正调整，待偏差符合要求后，立即采用临时固定件加固，临时固定装置的刚度需满足构件自重与施工荷载要求，防止构件移位，确保吊装就位精度达标。

3.4 节点连接精度控制技术

节点连接是保障主楼结构整体性与刚度的关键，需针对不同连接类型采用针对性的精度控制技术。对于钢结构高强螺栓连接，连接前彻底清理节点接触面的浮锈、油污、灰尘等杂质，确保接触面贴合紧密，贴合面间隙控制在 0.3mm 内；采用扭矩扳手按预设扭矩分次紧固螺栓，先初拧至设计扭矩的 50% ，再复拧至满扭矩，杜绝漏拧、过拧现象，同时对螺栓紧固质量进行抽样检测，确保连接强度达标。对于焊接节点，根据钢材材质与焊缝等级，优化焊接参数，采用分层焊接、对称焊接工艺，减少焊接应力与变形，焊接过程中实时监测焊缝温度，避免温差过大导致的裂纹缺陷；焊接完成后，通过外观检查与超声波无损检测，排查气孔、夹渣、裂纹等隐患，对不合格焊缝及时返修处理。对于钢-混凝土组合节点，严格控制预埋件位置精度，浇筑混凝土前校验预埋件与构件的连接牢固性，确保混凝土浇筑后预埋件无移位，保障节点承载能力满足设计要求。

3.5 环境因素适配控制技术

主楼装配施工受环境因素影响较大，温度、风力、湿度等均可能导致装配精度偏差，需采取针对性适配技术消除干扰。温度控制方面，除优化测量、吊装作业时段外，对焊接、混凝土浇筑等工序采取温控措施，焊接作业时若环境温度低于 -5°C ，采用预热装置对焊接区域进行预热，预热温度不低于 15°C ；混凝土浇筑后及时覆盖保温层，控制降温速率，减少温度应力导致的裂缝与变形。风力控制方面，当室外风力 ≥ 6 级时，暂停高空吊装、焊接等作业，避免风力导致构件姿态失控；对于已吊装就位的构件，加强临时固定，防止风力作用下发生移位。湿度控制方面，雨天、大雾天气暂停露天装配作业，雨后及时清理作业面积水与淤泥，校验基础预埋板、构件连接面的平整度，避免湿度过大影响螺栓紧固效果与焊接质量。

3.6 全过程动态监测控制技术

全过程动态监测控制技术实现对主楼装配从施工准备到成品验收的全流程精准管控，及时发现并纠正精度偏差。基于 BIM 技术与物联网技术，在主楼关键构件、节点位置安装位移传感器、振动传感器，实时采集构件安装偏差、结构振动、节点应力等数据，传输至智能监测平台。监测平台对数据进行实时分析，与预设的精度控制标准进行比对，当数据超出允许范围时，自动发出预警信号，提醒工作人员及时处理。装配过程中，针对测量放线、吊装就位、节点连接等关键工序，每道工序完成后，通过三维扫描、全站仪复测等方式进行精度校验，留存检测数据，形成完整的质量追溯体系。成品验收阶段，对主楼整体结构进行全面扫描检测，采集构件位置、节点偏差、结构垂直度等数据，与 BIM 模型进行比对分析，对轻微偏差进行局部微调，对超差部位制定专项整改方案，确保主楼结构装配精度满足生产运营需求，杜绝后期设备运行、物料承载带来的安全隐患。

4 混凝土搅拌站主楼结构装配精度控制技术的应用策略

4.1 精准设计与预制管控，筑牢精度基础

强化前期设计与构件预制精度管控，是保障搅拌站主楼装配质量的核心前提。设计阶段需深度结合主楼结构受力特性、装配工艺适配性及现场施工环境，优化节点构造设计，借助参数化建模技术实现构件尺寸、连接方式的精准定位，从源头规避设计偏差引发的装配冲突。构件预制环节需规范全流程管控，选用高精度加工设备与标准化模具，搭建覆盖生产全周期的质量追溯体系，对构件几何尺寸、平整度、预留孔洞位置等关键指标开展多维度检测，针对预制过程中出现的偏差及时微调工艺参数，确保构件出厂精度完全契合设计标准，减少后续装配阶段的误差叠加，为高效装配提供坚实保障。

4.2 优化施工工艺，强化流程精度管控

优化装配施工工艺与流程管控，是提升主楼结构装配精度的关键环节。施工前期需对现场基础进行精准找平与定位，运用激光定位技术与全站仪反复复核基础标高、轴线位置，确保基础精度满足装配施工要求。装配过程中，根据构件类型适配对应的吊装工艺与固定方式，合理控制吊装速率与受力平衡，防止构件因吊装变形影响装配精度。同时，要建立分层装配、分层复核的标准化流程，每完成一个装配单元，立即对构件连接部位、安装位置进行精度检测，通过垫片调整、螺栓紧固等方式修正偏差，同步做好节点连接的密封与加固处理，保障节点稳定性与精度一致性，杜绝后期使用中的结构安全隐患。

4.3 智能检测赋能，实现动态精准调控

运用智能化检测技术与动态调控手段，是实现装配精度精准把控的重要支撑。相关部门需依托物联网、大数据技术，在装配施工全链条部署高精度传感器、激光扫描仪等设备，实时采集构件安装姿态、节点位移、结构应力变化等数据并同步传输，构建可视化动态监测平台，实现精度数据的实时管控。通过对监测数据的深度分析研判，及时识别微小偏差与潜在问题，预判偏差发展趋势，针对性制定调控方案，避免偏差累积扩大。同时，需结合施工进度与现场工况动态优化施工参数，对突发偏差快速响应处置，从而大幅提升精度控制的智能化水平与实施效率。

4.4 健全管控体系，强化人员能力建设

健全质量管控体系与人员能力建设，是保障装配精度控制成效的长效举措。因此，需搭建覆盖设计、预制、装配、检测全流程的质量管理制度，明确各岗位职责分工，制定标准化精度控制流程与验收标准，对装配关键工序实行旁站监督，确保各项管控措施落地见效。同时，加强施工人员专业技能培训，重点提升其高精度设备操作、偏差识别修正、节点处理等核心能力，强化质量意识与责任意识，规避人为操作失误导致的精度偏差。并在建立质量问题复盘机制的基础上，对装配过程中出现的精度问题深度剖析根源，总结经验教训并优化管控措施，持续提升搅拌站主楼结构装配精度控制的整体水平。

总而言之，混凝土搅拌站主楼结构装配精度控制是一项系统性工程，需贯穿设计、加工、安装全流程。未来，还需结合智能化监测手段深化研究，推动搅拌站建设向高精度、高效率、高可靠性方向迈进，助力建筑行业高质量发展。

参考文献：

- [1] 熊骧.HZS75型混凝土搅拌站钢结构动态特性研究及优化[D].中南林业科技大学,2023.
- [2] 曹先昭,成凯,陈鑫,等.混凝土搅拌站主楼钢架结构谐响应计算分析[J].建筑机械,2022,(07):58-63.
- [3] 张玄.基于ANSYS的HZS180型混凝土搅拌站主楼结构的动态特性分析[D].中国矿业大学,2021.
- [4] 郭政东.混凝土搅拌站主楼失效分析与轻量化优化设计[J].施工技术(中英文),2021,50(15):129-132.
- [5] 张伟超.混凝土搅拌站(楼)快速设计技术及可靠性分析[D].华北水利水电大学,2021.