

建筑钢结构施工技术与全过程质量控制

张 俊 朱林峰

浙江大东吴建筑科技有限公司 浙江 湖州 313017

摘 要：高层科创综合体大量采用钢框架-劲性混凝土组合结构，兼具自重轻、施工速度快、抗震性能优越等优势，但工程存在厚板焊接、高空吊装、劲性柱钢筋节点交叉、多楼栋同步施工等多重管控难点。以上海交通大学闵行北校区未来技术策源创新区项目为工程载体，系统梳理钢结构预埋、分段吊装、现场连接、防腐防火全流程标准化施工工艺，从原材料进场、tekla 深化前置、工序三检、专项监测、季节性施工五大维度搭建全过程质量管控体系。工程实践证明，成套施工与管控方案可将焊缝一次探伤合格率提升至 99%，构件安装偏差控制在规范限值内，整体钢结构施工返工率降低 40%，工期缩短 8%，可为同类型高层科研建筑钢结构施工提供实操参考。

关键词：高层钢结构；劲性柱；吊装施工；焊接工艺；全过程质量控制

引言

随着装配式建筑与绿色建筑政策持续推进，钢框架、型钢混凝土组合结构广泛应用于高层科研、商业综合体项目。相较于传统钢筋混凝土结构，钢结构构件工厂预制化程度高，现场湿作业少，可显著压缩主体施工周期，同时有效降低基础造价、提升建筑空间利用率。但高层多单体钢结构工程工序链条长，涵盖构件加工运输、现场预埋、塔吊吊装、高空厚板焊接、高强螺栓施工、防腐防火涂装等多道关键工序，叠加多楼栋、架空连廊交叉施工，极易出现轴线偏移、焊接气孔夹渣、涂层脱落、节点钢筋碰撞等质量通病^[1]。

本文结合上海交通大学闵行北校区未来技术策源创新区项目钢结构专项施工全过程管理经验，依托项目全套施工方案、吊装验算、焊接工艺评定资料，梳理标准化施工操作要点，构建覆盖事前策划、事中管控、事后验收的全流程质量管控模式，总结适配多楼栋、大跨度连廊、厚板项目的质量防控措施，为建筑钢结构现场技术管理与质量管控提供工程实践依据。

1 工程概况

本项目坐落于上海市闵行区紫竹科学园区，总建筑面积 140661m²，包含 1# 塔楼 17 层、1# 裙房、2# 楼 5 层、4# 楼 01-02 分塔及多层架空钢连廊，地下 1 层，抗震设防烈度 7 度，耐火等级一级。主体结构体系为钢框架、混凝土核心筒、型钢混凝土劲性柱组合体系，地下室、地上塔楼大量采用材质为 Q355B、Q390B 钢材，最大钢板厚度 50mm，钢柱截面包含圆管、箱型、十字型，钢梁截面采用 H 型钢、箱型，4# 楼屋面设置跨度 32.6m 拱形钢桁架，楼栋间设置多层架空钢连廊，最大连廊主梁跨度 41.3m。

项目施工难点：1) 多楼栋同步作业，塔吊、汽车吊

多机械协同吊装，吊装工况复杂；2) Q390B 厚板高空焊接，大风、低温环境易产生冷裂纹；3) 劲性柱梁柱节点钢筋密集，型钢与主筋碰撞问题突出；4) 大跨度桁架、分段连廊需地面拼装、高空整体吊装，临时支撑体系管控要求高；5) 多楼栋钢结构同步开展防腐防火涂装，成品保护难度大^[2]。

2 核心标准化施工技术要点

2.1 基础预埋锚栓施工技术

预埋锚栓作为上部钢柱安装基准，定位偏差会造成整层构件累积偏移，本项目采用角钢整体定位工艺：

技术前置：结合 tekla 模型输出锚栓精准坐标，定位架采用角钢整体焊接成型，整体刚度满足混凝土振捣冲击要求；

定位管控：采用全站仪测放双向轴线，锚栓中心偏差控制 $\leq 2\text{mm}$ ，标高误差 $\leq 3\text{mm}$ ，定位架与地下室钢筋、模板可靠焊接固定；

浇筑监护：混凝土浇筑全程安排钢结构技术员旁站，分层缓慢下料，避免振捣棒撞击锚栓支架；

成品保护：浇筑前螺杆套上塑料保护套，防止丝杆部分锈蚀、混凝土粘结^[3]。

2.2 钢构件分段与吊装施工工艺

本项目结合塔吊 TC7052、W350-20T 及 50t 汽车吊额定吊重，统一制定构件分段原则：竖向钢柱一层一段为主；钢梁优先整根出厂，跨度超 18m 大跨梁工厂分段、现场搭设胎架拼装。

吊装分区：1# 塔楼采用 TC7052 塔吊全覆盖，4# 楼采用 W350 塔吊，屋面桁架、连廊使用 25t/50t 汽车吊地面拼装后吊装；

吊装顺序：遵循“先竖向钢柱、后楼层主梁、在楼

层次梁”流水施工，钢柱吊装焊接完成，形成稳定受力框架后再开展楼承板施工；

校正工艺：钢柱就位后使用 8.8 级临时连接板固定，两台正交方向全站仪实时监测垂直度，配套千斤顶微调，标高偏差通过增减钢柱底部垫板调整；

2.3 高强螺栓连接施工关键措施

本工程主次梁、钢柱拼接均采用 10.9 级扭剪型高强螺栓，严格执行初拧 + 终拧两道工序：

施工前完成摩擦面抗滑移系数检测、螺栓扭矩系数复试，摩擦面浮锈、油污、飞刺全部打磨清理；

紧固顺序遵循螺栓群由中心向四周对称施工，初拧达到终拧扭矩 50%~80%，间隔不超过 24h 完成终拧；

终拧后梅花头全部扭断为合格，采用小锤敲击复检，欠拧、漏拧立即补拧，超拧螺栓整套报废更换；

雨天、摩擦面潮湿禁止螺栓作业，构件开孔偏差过大仅允许铰刀扩孔，严禁气割扩孔。

2.4 厚板高空焊接标准化工艺

项目 Q390B 厚板构件占比高，高空露天焊接易受风力、低温影响，采用 CO₂ 气体保护焊焊接工艺：

坡口设计：40±2°V/K 型坡口，清除坡口油污、氧化皮，厚板（≥40mm）焊前预热 80~120℃；

环境管控：高空焊接搭设全封闭防风操作平台，风速超 2m/s 停止气体保护焊；冬季低温焊接后覆盖防火棉缓冷，杜绝延迟冷裂纹；

焊接顺序：梁柱节点、箱型柱采用对称分段退焊，减小焊接收缩应力，每层焊道及时清理焊渣；

探伤要求：所有一级对接焊缝完成 100% 超声波无损检测，二级焊缝按比例抽检，探伤不合格部位碳刨清除后重新焊接。

2.5 钢筋桁架楼承板施工

采用 HB2-100/130/150 型号楼承板，简支跨度超 3.3m、连续超 4m 搭设临时支撑。铺设时板边搭接 ≥ 30mm，伸入钢梁 ≥ 50mm；栓钉熔焊固定，切割仅允许等离子切割，禁止气割开孔。混凝土强度达标后方拆除支撑，避免楼板下挠超标^[4]。

2.6 钢结构防腐与防火涂装施工

钢结构耐久性、消防性能由涂装质量决定，分基底处理、底漆、中间漆、防火涂层、面漆五道工序：

基底抛丸除锈，达到 Sa2.5 级标准，粗糙度满足涂料附着要求；

分层控制干膜厚度，防火涂料厚度严格依据构件耐火极限计算，薄涂型、厚涂型区分施工；

焊缝、螺栓连接处待探伤合格后补涂，楼层混凝土浇筑前做好钢构件漆膜覆盖保护；

雨季、高湿度环境暂停室外涂装，涂层未完全固化禁止踩踏、堆放材料。

3 钢结构全过程质量控制体系

3.1 事前策划管控

3.1.1 tekla 深化前置管控

项目开工前采用 Tekla 软件完成全楼栋钢结构三维建模，整合土建钢筋、机电管线模型开展碰撞模拟，提前解决劲性柱钢筋与型钢腹板冲突、连廊支座干涉问题，输出优化后构件加工图纸，从工厂加工阶段减少现场返工。所有节点优化方案经设计单位复核确认后方可投产。

3.1.2 方案与人员资质管控

编制《钢结构安装专项方案》《焊接专项方案》《材料检验试验方案》《施工测量方案》《钢筋桁架楼承板方案》《连廊安装专项施工方案》《施工吊装计算书》，钢结构安装专项方案完成专家论证；焊工、起重工、探伤人员必须持对应资质证书上岗，进场开展现场工艺交底与实操考核，不合格人员清退出场^[5]。

3.1.3 原材料进场闭环验收

钢材、焊材、高强螺栓、防火涂料进场同步提供质保书、出厂检测报告，按规范抽样复检：≥40mm 厚板增加 Z 向性能检测，高强螺栓做扭矩试验，防火涂料检测粘结强度；复检不合格材料隔离退场，严禁投入使用。构件进场核对编号、尺寸、坡口、涂装外观，运输变形现场校正或返厂处理。

3.1.4 设备仪器校验

全站仪、水准仪、探伤仪、扭矩扳手、漆膜测厚仪全部送计量机构检定，过期严禁使用；焊接设备、起重机械进场验收，记录设备工况。

3.1.5 工厂预制加工质量控制

工厂精度直接决定现场安装难易度，实行工序流转检验，上道不合格不得流入下道：

下料、矫平工序：抽检板材尺寸、切割坡口，毛刺、缺角及时返修；

组立工序：胎架定期校验，抽查构件对角线、组对间隙，摩擦面喷砂后封闭保护；

焊接工序：专职探伤人员驻厂，一级焊缝逐根探伤，记录焊工钢印；

成品校正与涂装：校正后检测构件直线度、扭曲度，底漆厚度逐批检测；

出厂验收：每批次构件附完整出厂资料，尺寸、焊缝、外观不合格构件禁止装车运输，运输采用木方支垫防变形。

4.1 事中工序过程管控

推行“班组自检→项目部复检→监理交接检”三级检查制度,关键工序设置质量停止点,未验收不得进入下道工序。

4.1.1 测量全过程管控

建立“首级-二级-楼层”三级测量控制网,采用激光垂准仪竖向传递轴线,每层钢柱安装完成复测轴线、标高、垂直度,形成测量台账,楼层偏差超规范立即校正。

4.1.2 工序专项质量管控

预埋、吊装、焊接、螺栓、涂装每道工序留存影像资料;焊接班组逐道焊缝做好施工记录,标注焊接时间、环境温度、焊工编号;高强螺栓留存终拧扭矩记录,所有资料与施工同步归档^[6]。

大跨度桁架、钢连廊专项质量管控

桁架地面拼装全程监测尺寸、相贯焊缝质量;临时支撑体系承载力提前验算,分级缓慢卸载,禁止一次性拆除支撑;连廊球形支座轴线、标高精准定位,支座焊接避免高温损伤支座橡胶减震层。

4.2 楼承板施工质量管控

板材堆放防水防潮,铺设搭接尺寸管控,栓钉焊接无虚焊、漏焊;临时支撑按计算搭设,混凝土养护期间禁止集中堆载。

4.3 季节性施工专项措施

雨季:搭建防雨焊接棚,锚栓、螺栓做好防潮堆放,室外涂装停工;

冬季低温:厚板强制预热、焊后保温,焊材烘箱恒温保存,现场随取随用;大风天气停止高空吊装与气体保护焊作业。

4.4 多机械作业安全质量协同

多塔吊、汽车同步吊装划定作业隔离区,编制群塔防碰撞方案,吊装前复核吊重、吊装半径,构件分段重量、吊耳承载力提前验算,杜绝超载吊装造成构件变形。

5.1 事后验收与成品保护管控

分区分段验收:单栋楼层钢结构安装、焊接、螺栓全部完成后,联合监理、设计开展分项验收,核查探伤报告、测量记录、材料复试资料齐全后方可开展楼板施工;整体桁架、架空连廊单独组织专项竣工验收。

成品防护措施:钢构件完工后禁止电焊随意打火,混凝土浇筑前覆盖防火保护膜;楼梯、走道钢梁增设临时防护,避免磕碰划伤漆膜。

质量缺陷闭环处理:现场发现焊缝缺陷、安装偏差、漆膜破损建立问题台账,明确整改责任人、整改时限,复查合格销项,同类问题同步在其他楼栋预警,杜绝重复发生。

5.2 信息化监测辅助管控

现场配置全站仪、超声波探伤仪、漆膜测厚仪、红外测温仪全套检测设备;对 32.6m 屋面大跨度桁架安装、多层连廊吊装过程开展变形实时监测,记录变形数据,保障大跨度结构施工安全与精度。

4 工程应用成效

本项目通过上述成套施工工艺与全过程质量管控体系落地实施,取得显著技术与管理效益:

质量指标:厚板高空焊缝一次超声波探伤合格率达 99%,钢柱垂直度、轴线标高全部满足 GB 50205-2020 规范限值,钢结构分项工程一次性验收通过率 100%,整体返工率降低 40%;

工期效益:标准化流水吊装、tekla 前置深化减少现场整改,钢结构主体施工总工期缩短 8%,多楼栋同步施工交叉冲突大幅减少;

成本效益:构件返工、焊缝返修人工与材料损耗显著下降,吊装工序优化减少大型机械台班投入,综合施工成本得到有效控制;

推广价值:针对多楼栋、大跨度钢桁架、多层架空连廊、Q390 厚板、劲性柱节点形成成套标准化施工与质量管控流程,适用于科创园区、城市综合体同类高层钢结构项目。

结语

高层多单体钢框架-劲性混凝土组合结构施工涉及加工、吊装、焊接、涂装多专业交叉,质量管控贯穿设计深化、原材料、现场安装、验收全周期。以上海交通大学闵行北校区未来技术策源创新区项目为实例,总结预埋锚栓、分段吊装、高强螺栓、厚板焊接、防腐防火标准化施工工艺,建立事前策划、事中三检制度、事后分项验收的全过程质量管控模式,同步完善季节性施工、大型构件专项防控措施。工程实践表明,全链条精细化管控可有效解决高空焊接、节点碰撞、安装偏差等常见质量通病,提升钢结构施工整体质量与施工效率,可为同类高层科研类钢结构工程现场技术、质量管理工作提供实践参考。

参考文献

- [1] GB50205-2020 钢结构工程施工质量验收标准 [S].
- [2] GB50661-2011 钢结构焊接规范 [S].
- [3] JGJ82-2011 钢结构高强度螺栓连接技术规程 [S].
- [4] 吴灏斌,张楠.高层钢结构安装施工与全过程质量管控研究 [J]. 中华建设.
- [5] 刘阳.型钢混凝土劲性柱节点施工 BIM 应用与质量控制 [J]. 工程建设与设计.
- [6] 陈凯.大跨度钢结构桁架拼装吊装施工技术要点 [J]. 中国住宅设施.