

大型医疗建筑钢结构施工技术及质量控制 ——临港新片区浦东医院项目工程实践

朱天佑

上海临港新片区建设发展有限公司, 上海 201306

DOI:10.61369/ME.2026050026

摘 要 : 以上海临港新片区泥城社区浦东医院临港院区项目为工程依托, 系统阐述大型医疗建筑钢结构施工的关键工艺路线与质量控制方法。该项目总建筑面积约 17.1 万 m², 用钢量约 20902t, 最大板厚 50mm, 涵盖钢框架及钢框架-屈曲约束支撑两种结构体系, 并设有跨度 28.6m 的桁架式钢连廊。针对地下室及 ±0.00 板区域钢柱与钢筋混凝土梁交汇的复合节点, 从连接可靠性、施工作业条件与质量监督便利性三个维度, 对比分析了穿孔贯通、机械套筒、环形加强板、平板牛腿与阶梯状连接板五种钢筋连接方案, 论证了阶梯状连接板分排平焊方案的工艺优势。质量控制方面, 构建了“驻厂监造+进场验收+第三方无损复验”三重把关机制, 将质量管控重心前移至工厂制作阶段。工程实践表明, 以 BIM 协同深化为先导、以工序质量控制点为骨架、以驻厂监造与无损复验为保障的系统性管理措施, 可有效保证复杂钢-混凝土组合结构的安装精度与工程质量, 可为同类大型医疗建筑及复杂钢结构工程提供参考。

关 键 词 : 大型医疗建筑; 钢结构施工; 梁柱节点; 阶梯状连接板; 驻厂监造; 全过程质量控制

Construction Technology and Quality Control for Steel Structures in Large-scale Medical Buildings —Engineering Practice of the Pudong Hospital Project in Lingang New Area

Zhu Tianyou

Shanghai Lingang New Area Construction and Development Co., Ltd., Shanghai 201306

Abstract : Based on the Lingang Campus Project of Pudong Hospital in the Nicheng Community of Shanghai Lingang New Area, this paper systematically expounds on the key process routes and quality control methods for steel structure construction in large-scale medical buildings. The project covers a total construction area of approximately 171,000 m², with a steel consumption of about 20,902 tons and a maximum plate thickness of 50 mm. It encompasses two structural systems: steel frames and steel frame-buckling restrained braces, and features a truss-type steel corridor with a span of 28.6 m. For the composite joints where steel columns intersect with reinforced concrete beams in the basement and ±0.00 slab areas, five reinforcement connection schemes—perforated through, mechanical sleeves, circular stiffening plates, flat plate corbels, and stepped connection plates—are compared and analyzed from three dimensions: connection reliability, construction conditions, and quality supervision convenience. The process advantages of the stepped connection plate with flat welding in rows are demonstrated. In terms of quality control, a triple-check mechanism of "in-factory supervision + on-site acceptance + third-party non-destructive re-inspection" is established, shifting the focus of quality control to the factory manufacturing stage. Engineering practice shows that systematic management measures, guided by BIM collaborative deepening, structured around process quality control points, and safeguarded by in-factory supervision and non-destructive re-inspection, can effectively ensure the installation accuracy and engineering quality of complex steel-concrete composite structures. This provides a reference for similar large-scale medical buildings and complex steel structure projects.

Keywords : large-scale medical buildings; steel structure construction; beam-column joints; stepped connection plates; in-factory supervision; whole-process quality control

引言

现代医疗建筑的功能集成度与空间高度持续攀升，对主体结构的承载能力和施工效率提出了更高要求。在大型医院综合楼建设中，钢结构因其强度高、自重轻、施工速度快、空间布置灵活，已成为首选结构形式之一。然而，钢结构工程涵盖设计深化、工厂制作、物流运输、现场安装与检测验收等众多环节，任一环节的疏漏都可能转化为结构安全隐患，故将“全过程受控”确立为施工管理的核心准则，具有工程实践层面的现实意义。

围绕钢-混凝土组合结构梁柱节点，国内外研究者积累了大量成果。Azizinamini等较早提出了钢梁穿越钢管混凝土柱的构造思路；Jafari等通过循环加载试验验证了带管板节点的承载可靠性；Marimuthu等的综述进一步指出，节点失效的根源多集中于构造细节处理不当和梁纵筋锚固长度不足。在国内，丁铁军等针对型钢柱翼缘开孔削弱承载力的矛盾，提出了变截面折线形钢牛腿方案，将梁纵筋分层焊接于牛腿翼缘板上。质量管理领域，李维斌、康宏愿等强调了监理在钢结构工程质量控制中的决定性作用，DongZhi-long等则指出驻厂监造是平衡加工质量与工期压力的有效手段。

本文依托临港新片区泥城社区浦东医院临港院区项目（用钢量约20902t，存在密集梁柱节点与大跨度连廊），系统梳理大型医疗建筑钢结构施工的关键工艺路线与全过程质量控制方法，重点讨论梁柱核心区钢筋连接方案的择优逻辑，以及驻厂监造与进场验收两道关口的具体做法，旨在为同类工程提供可复用的技术参照。

一、施工前期准备与关键技术路线

钢结构工程具有“工厂化预制、现场装配集成”的显著特征，前期准备工作的深度直接框定了后续施工的精度上限与效率基线。

深化设计与BIM协同是技术路线的起点。在原设计图纸交付后，需结合节点构造细部、构件合理拆分方案与现场安装顺序安排，开展二次深化设计。借助BIM平台进行虚拟预拼装和多专业碰撞检查，能够在计算机环境中提前暴露并消除设计矛盾，将返工率降至最低。

原材料质量把关须贯穿始终。对进场钢材、焊接材料和高强度螺栓，严格执行力学性能复验与工艺适应性试验，逐批核查质量证明文件，确保材料实物的性能指标与设计值、规范值全面吻合。

施工组织方案的编制应因地制宜。根据现场场地条件与结构分布特点，合理选定塔吊、履带吊等吊装设备的型号与站位，明确分区流水作业顺序与关键节点工期目标，形成指导现场作业的技术纲领。

上述三项前期工作的质量，从根本上决定了后续加工精度、焊接质量和安装定位的可靠性，是钢结构技术体系不可或缺的基石。

二、核心施工技术要求

钢结构施工的技术核心贯穿加工制作、连接作业与现场安装三个维度。

加工制作阶段，以精确下料、高精度制孔和厂内预拼装为手段，将构件几何尺寸偏差控制在允许范围内；对于焊接引起的初始变形，则采用机械矫正与火焰矫正相结合的方式予以消除，确

保出厂构件符合安装精度要求。

连接作业是结构安全的关键保障。焊接连接须严格依照焊接工艺评定报告（WPS）确定的电流、电压和层间温度区间执行，通过对称施焊或分段跳焊的次序安排，将残余应力与冷裂纹风险降至最低。高强度螺栓连接则需控制摩擦面处理质量与抗滑移系数实测值，严格遵循初拧（达到标准轴力的60%~80%）与终拧（达到标准轴力的100%）两步工艺，杜绝超拧或欠拧。

现场安装环节，应根据构件重心位置布置吊点，辅以临时支撑系统维持构件在安装过程中的空间姿态稳定，并对钢柱、钢梁实施逐件精确定位与校核。对于大跨度屋盖结构，可选用整体提升或累积滑移工艺，利用计算机同步控制系统对提升位移与荷载分布进行实时调控，防止局部失稳，实现从分散吊装到整体成型的系统化作业。

三、工程实例分析

（一）工程概况

临港新片区泥城社区浦东医院临港院区项目位于上海临港新片区，总建筑面积约17.1万m²，其中地上部分约10.9万m²。钢结构主体分布于1#AB楼、1#C病房综合楼、2#门诊发热门诊和3#科研行政楼。结构体系采用钢框架及钢框架-屈曲约束支撑组合方案，用钢总量约20902t，钢材牌号以Q355B和Q355C为主，最大板厚达50mm。其中，1#C楼地上12层，结构高度58.0m；3#楼地上9层，高度50.5m；1#AB楼地上4层，高度22.0m。1#C楼与3#楼之间设有一道跨度28.6m的桁架式钢连廊。钢柱截面涵盖箱型和圆管两类，钢梁以H型钢为主，局部采用箱型截面。地下室底板及±0.00板标高范围内存在大量钢柱与钢筋混凝土梁交汇的复合节点，构造密集、施工条件受限，是本工程需重

点攻克的技术难点。

（二）关键施工技术分解

1.深化设计与 BIM 协同路径

本工程钢结构体量、节点构造复杂，深化设计以 Tekla Structures 作为主建模平台，辅以 AutoCAD 完成施工图输出与节点详图绘制。在 BIM 模型基础上，组织多专业协同与碰撞检查，具体协调内容见表 1。

表1 深化设计与 BIM 多专业协同内容

配合专业	协调事项
设计院	节点构造确认、特殊截面审批
土建	钢管柱与钢筋连接方案、预埋件定位
机电	管线穿梁避让、预留洞口补强
幕墙	预埋件排布、框架碰撞复核
现场安装	吊耳位置与尺寸、构件分段优化
运输	单元尺寸满足公路运输限界

2.加工制作工艺控制

加工制作按工艺流程分级管控，重点把控下料、组立、焊接与矫正四道工序，控制标准见表 2。

表2 钢构件加工制作关键工序控制指标

工序	控制项目	允许偏差或标准
钢板矫平	局部平面度	$t \leq 14\text{mm}$ 时 $\leq 1.5\text{mm}$ ； $t > 14\text{mm}$ 时 $\leq 1.0\text{mm}$
下料切割	零件宽度偏差	$\pm 2.0\text{mm}$
H 型钢组立	截面高度偏差	$\pm 2.0\text{mm}$
焊接	预热温度上限	150°C （视板厚与材质确定）
除锈	除锈等级与粗糙度	Sa2.5 级，粗糙度 $40\sim 70\mu\text{m}$
矫正	翼缘垂直度	$\leq b/100$ 且不大于 1.0mm

3.运输与堆放组织

本工程钢构件由六安（运距 640km）和杭州（运距 190km）两处加工厂供应，全部采用公路运输。运输与堆放管理要点见表 3。

表3 运输及堆放管理要点

环节	措施	控制要求
包装	单件裸装或装箱	单重 $\geq 2\text{t}$ 裸装，小件装箱
车辆	牵引车 + 低平板挂车	载重 $\leq 34\text{t}$ ，车长 $\leq 19\text{m}$
绑扎加固	钢丝绳捆绑	八字形、倒八字形或下压式
超限运输	办理通行证、夜间进城	凌晨 2:00—5:00 通行，设警示灯
现场堆放	分区堆场 + 工厂备用堆场	工厂备用堆场容量约 1000t

4.吊装与安装作业

现场吊装以 5 台塔吊（1#、2#、3#、5#、6#）进行全覆盖作业，局部补充 50t 和 130t 汽车吊。吊装技术参数见表 4。

表4 吊装与安装技术参数

构件	吊装方式	关键控制指标
钢柱	塔吊 / 汽车吊，一层一段	分段点位于楼面标高以上 $1.2\sim 1.3\text{m}$ ，垂直度 $\leq H/1000$
钢梁	整段吊装，大跨度分段	最大跨度 22m ，分段单重 $\leq 5.5\text{t}$

钢连廊	地面拼装 +130t 汽车吊分块吊装	单榀最重 22.8t，作业半径 12~14m
停机坪桁架	临时支架 + 分段吊装	最大分段重量 2.9t
安装顺序	先柱后梁、先主后次	柱间梁就位后形成稳定体系

5.梁柱节点核心区施工方案

地下室底板及 ± 0.00 板位置，钢柱需与钢筋混凝土梁形成刚接节点，构成钢 - 混凝土组合受力体系。该区域节点核心区同时容纳钢柱翼缘、内隔板、梁纵筋与箍筋群，构造高度密集。核心矛盾在于：梁纵向主筋如何有效地穿越或锚固于钢柱截面，同时确保节点区混凝土浇筑密实。

（1）连接方式比选与择优

工程实践中梁纵筋与钢柱的连接主要有五种做法，其适用条件与优劣对比如表 5 所示。

表5 梁纵筋与钢柱连接方式综合对比

编号	做法	力学特征	施工可操作性	质量控制难度	主要短板
①	钢筋穿孔贯通钢柱	力流连续	开孔削弱截面，多排错孔困难	孔位精度要求苛刻	削弱钢柱承载力
②	绕筋 + 机械套筒连接	锚固性能依赖套筒	套筒密集，安装效率低	隐蔽点多，扭矩逐根检验	成本偏高，对位容差小
③	焊接于环形加强板	环板传力可靠	钢筋笼套装就位复杂	焊缝分布散，监督点位多	混凝土浇筑通道受阻
④	焊接于平板钢牛腿	锚固基本可靠	多排钢筋集中施焊，下排仰焊	仰焊与立焊质量波动大	混凝土易离析、蜂窝
⑤	阶梯状连接板分排焊接	传力路径明确	各排平焊，操作空间充裕	各层焊缝独立验收，易于复检	—

综合比较后，本工程选定方案⑤——阶梯状连接板（即变截面折线形钢牛腿）分排焊接作为统一做法。该方案的核心优势在于：将梁上、中、下各排纵筋分别焊接于不同标高的翼缘板上，全部焊缝均为平焊，施焊视野开阔、操作条件好；同时，变截面翼缘板缩短了混凝土在牛腿下方的自由下落高度，粗骨料易于通过，辅以适当振捣即可保证节点区混凝土密实度，从源头规避了蜂窝麻面质量通病。

（2）施工工艺与管控要点

阶梯状连接板与钢柱在工厂完成全熔透坡口焊组装，焊缝按一级标准施焊并实施 100% 超声波探伤。现场作业时，梁纵筋按照从下排到上排的顺序逐层焊接，单面坡口焊缝长度取 $10d$ （ d 为钢筋直径），双面焊缝取 $5d$ 。每排钢筋焊接完毕后，进行外观检查并抽样送检力学性能，确认合格后方可转入上一层作业。节点区模板封闭前，由监理组织联合验收，对焊缝外观、钢筋排距、保护层厚度逐项确认，并留存影像资料与检测报告。混凝土浇筑采用细石混凝土配合高频附着式振捣器，塌落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$ 范围内。实践数据表明，本工程地下室及 ± 0.00 板所有梁柱节点焊缝一次验收合格率达到 98% 以上，节点区抽芯检测密实度全部

满足设计要求。

（三）全过程质量控制体系

1. 质量管理组织架构

本工程确立了“确保上海市金钢奖、争创国家钢结构金奖”的质量目标，以此倒推各工序的验收标准。工厂端由项目经理牵头组建三级管理层级，覆盖钢结构技术、生产调度、商务合约、质量管控与安全保障等岗位，逐一签订质量责任书。现场端实行“公司一项目部一作业班组”三级质量管控，施工前逐级开展技术交底与图纸会审，严格执行“自检、互检、专检”三检流转制度。每道工序均以首件验收合格作为批量作业的放行条件。此外，项目部还配套建立了质量会诊、样板引路、工序挂牌和成品保护等专项制度，对不合格品执行质量否决并限期返工，形成“检查—反馈—整改—复验”的闭环流程。

2. 驻厂监造与进场验收

由于本工程构件来源分散、运距较远，由建设单位、监理单位和施工总包单位联合派驻常驻代表进驻两处加工厂，实施“驻厂监造+进场复验”的双重把关机制。

驻厂监造组配备钢结构工程师、焊接工程师和无损检测持证人员，主要履行以下职责：审核加工厂质保体系运行状态与焊工资质；见证原材料进厂复验，尤其对厚度 $\geq 36\text{mm}$ 的钢板逐张进行Z向性能检测和超声波探伤；跟踪下料、组装、焊接、矫正、除锈、涂装等工序，按预设“停止点”逐项签认；监督无损检测作业及其报告编制的规范性；主持出厂前构件预拼装与最终验收。通过驻厂监造，本工程在制作阶段即发现并纠正了板厚偏差超限、坡口加工角度偏差、局部焊缝外观缺陷等问题，避免了问题构件流入现场。

构件运抵现场后，由总包、监理和建设单位三方联合验收，验收内容覆盖出厂资料（合格证、材质证明、检测报告）、构件外观（表面缺陷、运输变形、涂层完整性）、几何尺寸（长度、截面、孔群位置）和焊缝质量复验。

3. 加工制作环节质量控制

加工制作阶段的质量管控从原材料进厂开始。钢材进场后逐批核查材质证明，对 $\geq 36\text{mm}$ 厚板逐张进行超声波探伤与Z向性能检测。焊条按技术要求烘焙，重复烘焙超过两次的作报废处置。下料环节零件宽度偏差控制在 $\pm 2.0\text{mm}$ 以内，切割面不得有任何裂纹、夹渣或超过 1mm 的缺棱。H型钢组立时截面高度偏差 $\leq \pm 2.0\text{mm}$ ，腹板中心偏移 $\leq 1.5\text{mm}$ 。厚板焊接的预热温度控制在 150°C 以下，层间温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ ，焊后采取保温缓冷措施。焊缝在完成后24h进行无损检测，一级焊缝实施100%超声波探伤，二级焊缝抽检20%。箱型截面内隔板电渣焊的组装间隙控制在 $25\sim 32\text{mm}$ ，夹板间隙 $< 0.5\text{mm}$ 。除锈等级须达到Sa2.5级、表面粗糙度 $40\sim 70\mu\text{m}$ ，除锈后3h内完成首道底漆涂刷，采用高压无气喷涂工艺，底漆干膜厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ，中间漆 $\geq 100\mu\text{m}$ ，按“两个90%”规则检测膜厚。每道工序均须经

三检合格方可放行至下道工序，所有质量记录分类归档、全程可追溯。

4. 现场安装环节质量控制

安装阶段的质量管控聚焦地脚螺栓预埋、钢柱定位校正、高强螺栓紧固和现场焊接四个关键节点。

地脚螺栓预埋前，用全站仪精确放出轴线控制网，通过定位支架固定螺栓组，中心偏差 $\leq 5.0\text{mm}$ ，外露长度控制在 $0\sim +20\text{mm}$ ，混凝土浇筑过程中持续进行位移监测。

钢柱安装时，首节柱采用垫铁调整水平度，柱底标高误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内；用经纬仪从两个正交方向校正柱身垂直度，单节柱偏差不超过 $H/1000$ 且最大不超过 10mm 。上节柱通过连接耳板临时固定后，精确调整对接间隙并预留焊接收缩补偿量。

钢梁安装遵循先主梁后次梁的次序。高强螺栓分两阶段紧固：初拧达到标准轴力的60%~80%，终拧达到100%，紧固作业从螺栓群几何中心向四周对称开展，终拧在24h内全部完成。摩擦面抗滑移系数按每2000t一批送检，实测值不低于设计要求的0.45。

现场焊缝的一级焊缝100%超声波探伤、二级焊缝20%抽检。探伤作业在焊接完成后24h进行，厚板焊缝延长至48h。对于检测发现的超差部位，采用千斤顶、缆风绳等工具进行精细调整，直至复验合格。

四、结语

本文以临港新片区浦东医院临港院区项目为工程载体，系统梳理了大型医疗建筑钢结构施工的关键技术链条与全过程质量控制方法，主要形成以下认识：

（1）以深化设计与BIM协同为先导，将多专业碰撞检查前置到施工准备阶段，能够有效优化构件拆分方案、压缩现场返工时间，对于构造复杂的大型钢结构工程而言，这道工序不可简化。

（2）在地下室及 ± 0.00 板梁柱节点核心区，从连接质量、施工便利和监督可控三个维度对五种钢筋连接方式进行了系统对比。阶梯状连接板分排平焊方案兼具锚固可靠、平焊作业条件好、焊缝独立验收方便、混凝土浇筑不易离析等综合优势，是此类复合节点值得推广的做法。

（3）“驻厂监造+进场验收+第三方无损复验”三重把关机制，将质量管控重心前移至工厂端，使大批量构件在出厂前即完成实质性消缺，有效降低了现场批量返工的风险。隐蔽工程须坚守“验收在前、覆盖在后、影像留痕”的原则。

（4）加工阶段对下料、组立、焊接、涂装等工序的精度管控，配合数字化追溯系统；安装阶段对地脚螺栓预埋、柱身垂直度、高强螺栓紧固与现场焊接的专项控制，两者共同构成了从零件到整体结构的精度传递链。

本工程最终顺利完成约20902t钢结构的安装就位，各项精度

指标与质量验收结果均满足设计及规范要求。实践表明：一个健全的全过程质量管理架构、一组有针对性的节点构造方案、一套系统化的工序控制措施，三者协同运作，是保障大型复杂钢-混凝土组合结构施工质量的可靠路径。本文总结的做法与数据，可供同类医疗建筑及复杂钢结构工程参考借鉴。

参考文献

[1] 郑舒爽, 冯文慧, 王倩. 建筑钢结构施工技术与管理措施 [J]. 中国房地产业, 2025(30): 142-145.

[2] 韩宝仪. 建筑钢结构连接技术应用要点与施工质量控制策略 [J]. 房地产世界, 2025(13): 158-160.

[3] 邹军. 建筑钢结构网架施工技术应用及质量控制措施研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(5): 134-136.

[4] 丁铁军. 钢管混凝土柱变截面折线形牛腿钢筋连接施工探究 [J]. 建筑结构, 2022.

[5] 陆燕春. 劲性混凝土结构梁柱复杂节点施工技术 [J]. 建筑施工, 2024.

[6] 韩秦平. 特殊截面型钢混凝土组合结构钢筋工程施工工法 [P]. 中国, 2008.

[7] 陈勇, 李大鹏. 核心区采用带孔钢板代替柱箍筋的型钢混凝土梁柱节点 [P]. 中国, 2013.

[8] 何中勇, 邱水平. 环梁钢筋连接结构及钢管柱环梁节点施工方法 [P]. 中国, 2015.

[9] 阿齐齐纳米尼·A, 普拉卡什·B, 普里什蒂娜·B, 萨尔蒙·D·C. 新钢梁与复合柱连接细节 [J]. ACI 结构学报, 1993.

[10] Jafari R, Attari N K, Nikkhoo A, Alizadeh S. 钢筋混凝土柱-钢梁连接的简化建模方法 [J]. 高层与特殊建筑的结构设计, 2020.

[11] Marimuthu K, Kothandaraman S. 钢筋混凝土梁柱接合处钢筋技术方法综述 [J]. 国际土木工程与技术杂志, 2019.

[12] 东志龙. 在钢结构工程部件加工的工厂监督经验 [J]. 钢结构, 2005.

[13] 陆明. 优化监造方式确保承压类设备（或材料）制造质量 [J]. 化工管理, 2015.

[14] 张龙习. 球形储罐现场组装焊接的质量监督与检验 [J]. 石化设备, 2006.

[15] 贺志乐. 建筑钢结构工程及焊缝无损检测技术应用 [J]. 工程技术研究, 2024.

[16] 杨伊帆. 钢结构工程焊缝无损检测技术应用探讨 [J]. 工程管理与技术研究, 2021.

[17] 李维斌. 装配式钢结构建筑工程施工监理控制要点 [J]. 工程管理与技术研究, 2022.

[18] 康宏愿. 浅析钢结构工业厂房质量监管管控措施 [J]. 建筑监督检测与造价, 2022.

[19] 赵洪浩. 钢结构施工全过程管理质量控制要点研究 [J]. 工程建设与设计, 2023.