

城市建筑群中大型钢结构施工技术研究 ——以申昆路片区某地块上盖综合开发工程为例

吴剑

上海敏冉建筑工程有限公司，上海 201323

DOI:10.61369/ERA.2026070014

摘 要： 在城市更新与综合交通枢纽建设的背景下，上盖综合开发工程中的大型钢结构施工面临着场地受限、结构复杂、等突出问题。以上海市申昆路片区某地块的上盖综合开发工程为依托，针对城市建筑群环境中的大型钢结构施工的技术特点进行系统研究。结合工程实践，对钢结构的类型及关键施工技术进行分析，重点围绕高层韧性钢柱的定位与焊接变形的控制、超厚钢板焊接、屋面组合钢架安装及群塔协同施工等核心工艺展开深入探讨，总结施工难点与针对性技术措施。研究成果可为类似城市复杂环境条件下大型钢结构工程的施工提供了参考与借鉴，对提升城市钢结构建造水平具有一定的工程实践意义。

关 键 词： 城市建筑群；中大型钢结构；施工技术

Research on Construction Technology of Large-Scale Steel Structures in Urban Building Complexes: A Case Study of the Comprehensive Development Project on a Plot in the Shenkun Road Area

Wu Jian

Shanghai Minran Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 201323

Abstract： Against the backdrop of urban renewal and the construction of integrated transportation hubs, the construction of large-scale steel structures in comprehensive development projects on top of existing structures faces prominent challenges such as limited space and complex structural configurations. This study systematically explores the technical characteristics of large-scale steel structure construction within urban building complexes, drawing on the comprehensive development project on a plot in the Shenkun Road area of Shanghai. Combining engineering practices, it analyzes the types of steel structures and key construction techniques, focusing on in-depth discussions of core processes such as the positioning of high-rise resilient steel columns, control of welding deformation, welding of ultra-thick steel plates, installation of roof composite steel frames, and coordinated construction with multiple cranes. It summarizes construction challenges and targeted technical measures. The research findings provide valuable references for the construction of large-scale steel structure projects in similar complex urban environments and hold practical engineering significance for enhancing the level of urban steel structure construction.

Keywords： urban building complexes; medium-to-large-scale steel structures; construction technology

引言

在城市建筑群中开展大型钢结构施工，面临着诸多复杂而严峻的挑战。城市环境的高度复杂性，如狭窄的施工场地、密集的地下管线、繁忙的交通状况以及周边既有建筑的影响，对施工技术的精度、安全性和高效性提出了严苛的要求。同时，大型钢结构自身的复杂设计、超大构件的运输与安装、高精度的焊接与连接工艺等，也给施工过程带来了一系列的技术难题。在有限的城市空间内，精准、高效且安全地完成了大型钢结构的施工，成为建筑行业亟待攻克的关键课题。

一、城市建筑群中钢结构的分类

城市建筑群钢结构是依据结构形式与功能用途，可分为多种类型。框架钢结构由钢梁、钢柱构成受力框架体系，承担竖向与

水平荷载。桁架钢结构以三角形单元为基础构建的稳定体系，具备大跨度的承载能力。常用于体育馆、会展中心等大跨度建筑屋盖结构，可根据建筑的造型与受力特性，设计为平面或空间桁架形式，实现建筑美学与结构力学的融合。网架钢结构是杆件依规

律通过节点连接形成的空间结构。具有空间受力、传力路径明确、整体性强等优势。索膜钢结构以钢索与膜材为主要受力构件,通过张拉钢索与膜材变形承载荷载,造型美观、自重轻、透光性良好。设计需精确计算索力与膜面应力,保障结构稳定性。钢管混凝土结构将混凝土填充于钢管内,实现钢材与混凝土协同受力。兼具钢材高强度与混凝土高抗压性,承载能力与抗震性能优异,常用于高层建筑柱、梁构件。本工程中两栋 8 层办公楼主体结构即采用钢框架体系,通过合理布置柱网与梁截面,在满足建筑功能需求的同时有效控制结构自重。

二、城市建筑群中大型钢结构施工技术

(一) 高层韧性钢柱的定位及焊接变形控制

在中昆路片区上盖综合开发工程中,高层建筑钢结构主柱采用高强高韧性钢柱,其安装精度与焊接质量直接关系到上盖结构的整体稳定性。所以在建筑施工中,为了保证建筑的安全性和稳定性,需要采用合理的焊接方式进行钢柱的固定。高层韧性钢柱定位精度直接影响钢结构整体稳定性。采用全站仪实施三维坐标测量,于钢柱底部与顶部布设测量控制点。安装前,对基础预埋件进行精准测量校准,确保其位置与标高符合设计标准。钢柱吊装过程中,借助全站仪实时监测垂直度与平面位置,利用千斤顶、缆风绳微调,将垂直度偏差控制在 $H/1000$ (H 为钢柱高度) 且不超过 10mm 范围。焊接变形控制是施工关键环节。焊接前依钢材材质与厚度,对焊接部位进行预热处理,预热温度维持在 $80^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 区间。采用对称焊接、分段退焊等工艺优化焊接顺序与方向,降低焊接应力与变形。针对厚板焊接,采用多层多道焊技术,严格控制每层焊接厚度与电流,避免热量集中引发变形。焊接过程中利用测温仪监测温度,焊接完成后实施后热处理,消除残余应力^[2]。例如:对于地脚螺栓,预埋时需采用钢板制作钢模,这样可以有效控制地脚螺栓的定位。焊接前采用电加热器对焊缝区域预热(预热温度 $\geq 100^{\circ}\text{C}$,预热范围为焊缝两侧各 150mm),焊接过程中用测温仪实时监测层间温度(Q460 钢层间温度 $\leq 280^{\circ}\text{C}$)。

(二) 高层屋面组合钢架施工

高层屋面组合钢架常用桁架式、网架式形式,跨度大(多为 30–60m)、受力复杂,本项目该结构总长度达 120m,且受地下已完工机场联络线停车场限制,塔吊需依托地下室顶板设置(属危大工程),需统筹塔吊覆盖范围、结构形式及顶板承载能力设计安装技术。施工前先勘察现场并核对地下室结构图纸,依托地下室主梁 $1400\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 、圆柱直径 2m、板厚 350mm 的结构条件,确定塔吊基础落位优先选择地下室顶板梁及柱范围内,采用矩形板式基础利用地下室框架结构受力,同步完成上盖结构承载力验算,对局部承载力薄弱区域采取增设钢支撑、梁柱外包型钢或粘贴碳纤维布、增加反梁等加固措施,确保满足塔吊自重、吊重、风荷载等需求。编制初步方案经公司技术、安全、设备部门研讨及荷载计算确认可行后,报设计单位复核塔吊基础及顶板受力,各项指标达标后编制详细方案,最终经专家论证后

实施。吊装作业采用“分块吊装法”,利用上盖施工塔吊吊装至设计标高后,通过高强螺栓临时连接,同时在上盖钢架支座预埋钢板上标记中心线,通过全站仪测量调整,使支座中心线与设计中心线偏差 $\leq 2\text{mm}$ 、支座标高偏差 $\leq 1\text{mm}$,适配荷载传递要求。节点连接时先安装临时螺栓,用激光跟踪仪监测节点位移,调整到位后安装永久螺栓并焊接,焊接选用低氢型焊丝降低扩散氢含量,采用多层多道焊接工艺,通过红外测温仪实时监测确保层间温度维持在 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$,厚板对接采用“对称分段退焊法”,从中间向两端分段落施焊,每段长度不超过 500mm 以减少应力累积,每道焊缝清渣后采用磁粉探伤排查表面裂纹,焊后 48 小时内完成超声波探伤,发现缺陷用碳弧气刨彻底清除,补焊时预热温度提高 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 确保返修质量。施工过程中在组合钢架跨中、 $1/4$ 跨度处设置挠度监测点,在塔吊基础顶面四角作好沉降及位移观测点并记录原始数据,采用水准仪测量安装前后及上盖荷载施加后的挠度值,确保挠度偏差控制在 $L/2500$ 以内(L 为钢架跨度)且上盖活荷载施加后挠度增量 $\leq 5\text{mm}$,同时设置现场监测系统实时监测塔吊及结构变形,发现异常立即停用并处理,通过全过程精准管控,确保施工质量与安全。

(三) 超厚钢板焊接施工技术

在本工程上盖支座节点及关键受力部位,大量采用 Q355B 超厚钢板,焊接质量直接影响结构安全与耐久性。超厚钢板焊接易出现未焊透、裂纹等缺陷,需采用专用焊接工艺。焊接工艺选择与上盖节点适配:优先采用埋弧焊或窄间隙熔化极气体保护焊,上盖支座节点超厚钢板焊接采用“窄间隙焊+背面清根”工艺,确保焊透。焊丝选用与母材匹配的低合金钢焊丝,坡口形式采用 X 形或 U 形坡口, X 形坡口适用于厚度 50–80mm 钢板(坡口角度 $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$,钝边厚度 5–8mm), U 形坡口适用于厚度 $> 80\text{mm}$ 钢板(坡口半径 8–10mm,钝边厚度 3–5mm),上盖支座节点坡口增设垫板,防止焊穿。焊接前采用履带式电加热器预热,上盖露天焊接时,需搭建防风棚与防雨棚,避免环境因素影响焊接质量。焊接后立即进行后热,消除焊接残余应力。焊接完成 24 小时后进行无损检测,先采用 UT 探伤检查内部缺陷,再采用 MT 探伤检查表面裂纹,上盖支座节点焊缝需达到 I 级焊缝要求,不合格焊缝需返修,返修后重新检测。发现未焊透、裂纹等缺陷时,采用碳弧气刨清除缺陷,重新预热后按原焊接工艺补焊,补焊后再次进行无损检测,直至合格^[3]。

(四) 钢管混凝土框架结构施工

本工程在高承载部位采用钢管混凝土框架结构,对施工精度与混凝土浇筑工艺提出了较高要求。钢管采用卷制或无缝工艺,加工过程严控圆度、直线度与壁厚偏差。安装前检查调整基础预埋件,确保位置标高准确。利用塔吊或汽车吊进行钢管吊装,注意保护表面防止碰撞变形。吊装后调整垂直度与平面位置,符合设计要求。混凝土浇筑为关键工序。可采用高位抛落无振捣法或泵送顶升法。高位抛落适用于较低高度钢管混凝土柱,利用混凝土自重下落实现密实。泵送顶升法则用于较高柱体,通过混凝土泵从底部顶升浇筑。浇筑过程控制混凝土坍落度与速度,保障浇筑密实度。完成后清理钢管表面并进行养护^[4]。

三、项目案例分析

（一）项目概况

本项目位于上海市申昆路片区控规单元，东至七莘路、南至沪青平公路、西至申昆路、北至申贵路。本工程主要建设内容包括新建①2栋办公楼（8层）：主要功能为餐厅、联合办公、配套用房等。②公交首末站、公交站蓬、停车楼：主要功能为公交站、停车库等。③公交调度配套用房：公交运行调度等。④35KV变电所地上4层：主要功能为电业开关站、隔离变压器室、SVG室、电阻室、公交整流站配电区域等。本工程 ± 0.000 相当于绝对标高+6.550m。工程钢结构施工内容集中、技术难度高，是典型的城市上盖综合开发钢结构工程。

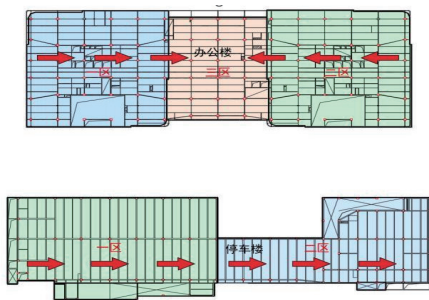


图1 钢结构分区布置图

（二）项目技术难点及解决措施

1. 超厚钢板焊接与应力控制难点及对策

本项目中，Q355B 材质超厚钢板的焊接存在多重挑战：因板厚较大导致拘束应力显著，易引发焊接变形与冷裂纹。定位焊阶段局部冷却速度快，裂纹风险较高。多层多道焊接过程中，层间温度的稳定控制难度较大。

对策：提升预热的温度，延长定位焊缝的长度，增大焊脚的尺寸，通过强化局部预热与焊缝尺寸，避免应力集中的引发裂纹。选用低氢型焊丝，降低扩散氢含量。采用多层多道的焊接工艺，严格控制每层厚度，借助红外测温仪实时监测，确保层间的温度维持在150–250℃。厚板对接时应用“对称分段退焊法”，从中间向两端分段落施焊，每段的长度不超过500mm，减少应力累积。焊接完成后，立即采用红外线电加热板对焊缝及两侧100mm 范围加热至250–350℃，按板厚每25mm 增加1 小时的标准保温2–4 小时，加速扩散氢逸出，随后自然的缓冷至常温，预防延迟裂纹的产生。每道焊缝清渣后，采用磁粉探伤排查表面裂纹。焊后48小时内完成了超声波探伤，发现缺陷时用碳弧气刨彻底清除，补焊时预热温度提高30–50℃，确保返修质量。

2. 场地狭小条件下大型构件吊装及精度控制难点及对策

项目施工场地狭小且周边建筑密集，大型构件的吊装面临多重制约，吊装路径易与周边建筑或地下管线冲突。单机吊装时精度控制难度大。构件堆场的规划不合理易导致二次转运效率低下。

对策：利用 BIM 模型模拟吊装的路径，避开周边障碍物及地下管线，优化起吊点设计。将大型构件拆分为小型标准单元，在地面组装平台完成焊接与涂装，减少高空作业量约40%。采用全站仪实时监测构件垂直度与标高，结合液压同步起吊技术，将吊

装变形控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。针对大跨度钢梁，吊装前在下方搭设盘扣式满堂脚手架临时支撑，保障就位稳定性^[5]。依据 STT373 塔吊覆盖范围，划分3处固定堆场，构件按吊装顺序进场，重型构件优先存放于塔吊的回转半径内。运输车辆夜间进场直接对接塔吊卸车，减少场内二次搬运。

3. 焊接变形与结构稳定性控制难点及对策

钢结构框架焊接过程中，箱型柱与 H 型钢梁连接节点易产生角变形、侧弯等问题，影响结构尺寸精度。高空焊接作业时，若临时支撑的设置不到位，可能导致构件在焊接过程中失稳。

对策：箱型柱焊接采用“双人对称施焊”模式，两侧同步分层焊接，每层焊道错开50mm。H 型钢梁与柱连接节点采用“跳焊法”，先焊腹板后焊翼缘，降低拘束应力。高空焊接时，在钢梁的两端设置可调式临时支撑，通过千斤顶微调标高，焊接过程中实时监测挠度（ $\leq L/1000$ ），避免变形累积。对超差变形采用机械矫正或火焰矫正，矫正后通过全站仪复核。

（三）个人技术心得

在本项目的施工中，深知钢结构“量大、重”的特点对吊装与焊接提出了极大的挑战。在选择吊装设备和方案的过程中，本人对现场情况进行了全面的分析，发现项目场地狭小，周围建筑密度大，吊车回转半径有限，吊车行走空间有限。通过反复模拟演练，准确计算各机载荷分配比例，控制误差不超过3%，有效解决大型构件吊装难题。

对于焊接质量的控制，在超高空间工作的每一道焊缝，都关系到结构的安全。我带领焊工小组，在焊接过程中，严格执行多层多道焊接工艺，每一层焊接完毕后立即对其进行锤击，以释放残余应力。对于厚壁管的焊接，采用对称焊接工艺，使两侧焊缝产生的应力互相抵消。并对焊接前的坡口质量进行检查，焊接中的电流电压参数进行检查，焊接后的焊接外观检查和 NDT（无损检测）检测结果的检查。每一次钢结构施工，对我来说都是一次技术和经验的锻炼，更坚定了一个信念，只有把每一个细节都做到极致，才能打造出一座经得起时间考验的精品工程。

四、结束语

随着城市化进程的加速与建筑技术的迭代，大型钢结构在城市建筑群中的应用将更加广泛，面临的挑战也会更加艰巨。本文相关技术措施均来源于申昆路片区上盖综合开发工程的施工实践，对类似城市建筑群钢结构工程具有一定参考价值。我们需持续关注行业前沿动态，不断探索新技术、新工艺，加强跨学科交流与合作，以应对不断变化的施工需求，推动城市建筑群中大型钢结构施工技术迈向新的高度，为城市建设贡献更多力量。

参考文献

- [1] 朱新瑶. 大型建筑钢结构施工及防震安全研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(02): 163–166.
- [2] 余来峰. 大型公用建筑钢结构施工技术探讨[J]. 中国住宅设施, 2024, (12): 59–61.
- [3] 彭松柏. 大型工业厂房建筑钢结构施工技术研究[J]. 居业, 2024, (09): 40–42.
- [4] 韩杰. 大型公共建筑钢结构施工研究[J]. 房地产世界, 2024, (05): 128–130.
- [5] 巨创. 大型建筑钢结构虚拟施工建模关键技术[J]. 居业, 2024, (02): 19–21.