

Research on Key Technologies for Construction of Large Span Aerial Steel Structures

Zhifeng Xu

Shanghai Construction Group Co., Ltd., Shanghai 200080, China

Abstract: This study investigates the steel structure hoisting and installation challenges beneath a long-span elevated floor in a commercial complex project in Changning District Shanghai. Through comprehensive analysis, we optimized hoisting point layouts and material storage areas. The integrated implementation of tower cranes and mobile cranes, combined with the erection of temporary supports and phased load release protocols, enabled precise positioning of large-span steel structures. This methodology effectively resolved complications including restricted hoisting operations in complex elevated spaces, stringent installation accuracy requirements, and confined construction site conditions. Furthermore, the steel structure installation procedures and technical specifications were concluded. It can provide valuable references for analogous steel construction projects.

Keywords: Large span; Steel structure; Lifting method; Erection sequence

大跨度架空层钢结构施工的关键技术研究

许志峰

上海建工集团股份有限公司, 中国·上海 200080

摘要: 本文以上海市长宁区某综合体项目中大跨度架空层为背景, 对大跨度架空层下的钢结构吊装及安装难题进行深化分析, 规划了吊装点位与材料堆场区, 采用塔吊及汽车吊相配合、搭设临时支撑及逐级卸载的方式完成大跨度钢结构的精准定位, 解决了复杂架空层吊装难、安装定位精度高及施工场地小等问题, 并对钢结构安装程序和技术进行总结, 为类似的钢结构吊装作业和安装工程提供参考借鉴。

关键词: 大跨度; 钢结构; 吊装方法; 安装程序

1 项目概况

近年来, 大跨度钢结构已广泛运用于建筑工程之中。由于大跨度钢结构本身的特点以及外部环境的影响, 构件吊装作业属于危险性较大的分部分项工程, 钢结构安装质量要求高, 需要加大技术创新力度, 提高大跨度钢结构产品的安全性。

临空商办项目位于长宁区西侧, 总用地面积 86277.2m², 总建筑面积44902.9m², 地上建筑面积 256911m²。本工程中7#商务办公楼设置3层地下室, 地上9层, 总建筑面积为6.9万m², 结构类型为钢框架+防屈曲波纹钢板剪力墙结构。7#架空层下部架空6层, 架空结构共4层, 结构底标高25.15m, 结构顶标高39.25m, 跨度约为36m, 结构形式为双向悬挑正交桁架。构件截面类型均为箱型和H型钢, 最大箱型构件截面为1900*1300*80*80, 每米重达 3.82t, 材质Q390, 位于9层顶。最大H型钢截面为 H600*400*30*35, 每米重达0.35t, 材质Q390。在架空

层下悬挂一小型悬挂结构, 楼层范围2至6层。通过吊柱与架空层连接。

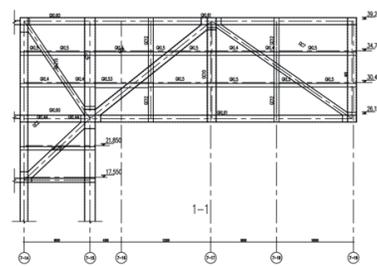


图 1 7# 架空层桁架剖面图

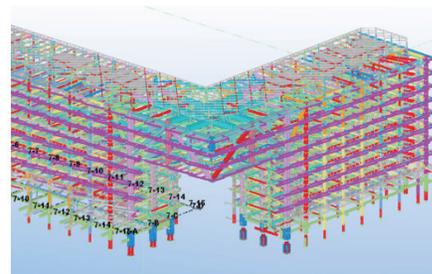


图 2 7# 架空层三维示意图

2.2 安装重难点分析及应对措施

2.1 施工组织

本工程体量大，跨度大，二次深化工作量大；并且钢结构构件数量多，受场地制约大。因此，如何合理的进行施工组织布置是本工程的重点之一。

首先通过做好钢材备料和构件加工工作，尽量减少现场构件囤积和倒运，配备专职人员进行作业冲突区协调。其次根据现有平面布置图和现场实际情况，将布置2个钢结构临时堆场，1台ZSC600塔吊施工路径、1条400t履带吊行走道路并将周围一圈作为130t汽车吊行走道路，保证塔吊、履带吊和汽车吊不受场地限制并充分发挥作用。

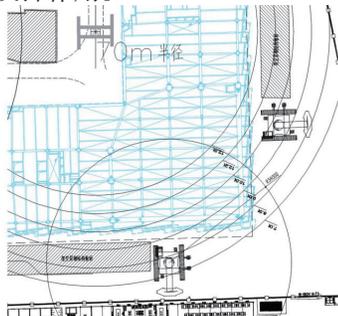


图3 7# 架空层塔吊、履带吊局部布置图

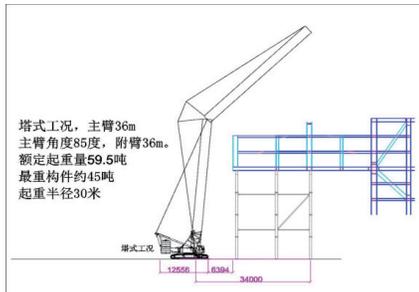


图4 7# 架空层塔吊工况布置图

2.2 钢结构测量

架空层钢结构安装的最大高度为39.25m，且立体交叉多，空间结构复杂，随着高度的变化，各点空间坐标均发生变化。标高引测和轴线控制是本工程的重点之一。

根据作业条件选择适应性高的测量仪器和测量方法，施工前要做好控制点的交接、联测和校核工作。施工平面采用内控法来进行测量控制。构件安装时进行测量校核，精确复核控制点三维坐标。同时焊接前后及焊接过程中进行实时监控，及时复测。

2.3 现场主桁架梁拼装

由于本项目7号楼架空层钢结构跨度大并且屋顶大梁分段后单根梁长17.6m，重约34.3吨，故钢结构吊装

难度大，焊接要求高。

根据现场施工条件，分段桁架及屋顶大梁在正式加工前需进行预拼装，对有预起拱要求的构件进行预起拱值的确认及调整。分段桁架吊装完成，测量校正后进行整体焊接。相邻两榀桁架安装完成后及时吊装桁架间次梁及垂直支撑等构件，桁架及屋顶大梁安装完成后分单元逐级卸载。

3 安装施工流程与技术

3.1 钢柱钢梁安装技术

吊装钢柱时，在下节柱顶或预埋板放样钢柱对接十字轴线，重量小于10t吊装时通过牛腿或对接耳板上的螺栓孔与钢丝绳进行稳固连接进行吊装，重量大于10t的钢柱增加吊耳进行吊装，钢柱吊装到预定位置与控制轴线对线安装，校正到位后，紧固临时连接耳板。

钢柱安装完成后，及时安装钢柱与柱间钢梁，整体形成稳定体系。先安装与柱十字牛腿相连的径向主梁和环向主梁，待其框架成型后再进行与梁连接的环向次梁。如当天内无法安装主梁，应对钢柱做好可靠的临时支撑固定。

3.2 悬挑结构施工技术

待7#楼主结构施工完成后，开始2-6层悬挑结构施工。2至6层利用5m的426圆管支撑由下至上安装。对于中间被外挑混凝土板阻挡位置，将临时支撑分割为两段支撑，中间使用型钢填充。悬挑结构的立面安装顺序至下而上，每层的悬挑结构间隔施工，顶部吊柱在上部架空层结构安装完成后再进行焊接节点连接。

由于梁柱节点为柱通梁断节点，因此第一节吊柱施工时需塔吊及汽车吊配合施工，吊柱及梁吊装到使用临时螺栓固定后方可松钩，并且吊柱使用神仙葫芦与主结构进行拉结。

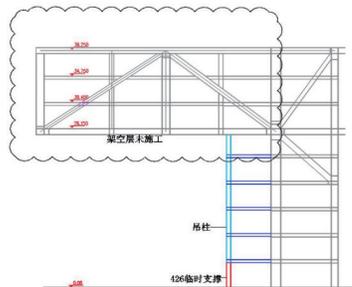


图5 2-6层悬挑梁柱安装示意图

3.3 架空层结构施工技术

在小悬挑结构施工完成后进行上部架空层施工。

总体安装流程为先安装第一层钢结构，后将内侧钢结构安装至顶层，再将外侧钢结构安装至顶层。

搭设临时支撑以及临时斜撑，完成七层悬挑部分构件安装。七层悬挑部分构件优先安装主梁形成框架，主梁安装完成后次梁进行嵌补。其中编号1与2（见七层主梁安装顺序及临时措施点位示意图）由于下部无竖向支撑并且为悬挑结构，因此将悬挑梁在地面拼装完成后整体吊装。七层与八层共8根梁需设置临时拉撑，梁平面位置相同。节点设置在结构外围钢柱上，临时拉撑和钢梁在地面调整好角度后整体吊装。

在7层结构安装完成后进行上部结构的吊装。8、9层梁及中间吊柱均在塔吊起重能力范围内，由塔吊及履带吊配合进行吊装。完成后进行屋顶大梁的安装，屋顶大梁主要采用或400T履带吊塔式工况进行吊装，共有两个停机点位。屋顶大梁吊装完成后由塔吊进行后续次梁的补齐，至此架空层构件吊装完毕，进行后续卸载工作。

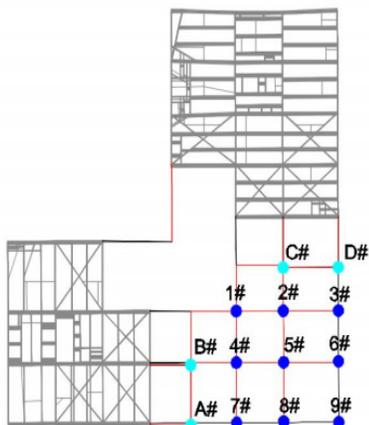


图6 架空层结构卸载技术

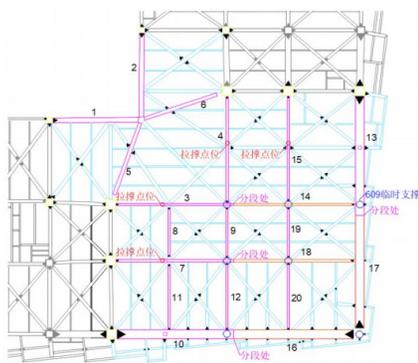


图7 七层主梁安装顺序及临时措施点位示意图

3.4 架空层结构卸载技术

架空层结构安装完成后进行结构卸载。现场拟采

用液压千斤顶进行卸载，千斤顶相对于传统气割卸载有卸载行程均匀、卸载时可实时观测反力、可同步卸载各个支撑点、不需高空动火等优点。卸载结构位于609支撑顶部，通过法兰盘与609支撑连接。形式为H型钢焊接刚性支架内设300T液压千斤顶。

卸载流程：结构安装至卸载前由刚性支撑受力，卸载时千斤顶顶升将结构顶离支撑1-2mm。拆除刚性支撑连接螺栓，将刚性支撑部分拆除。后通过电脑统一控制千斤顶进行卸载，直至千斤顶脱离结构卸载完成。同时卸载时实时监控千斤顶反力保证卸载稳定。

3.5 临时支撑布置及安装

由于架空层结构为高度约25m大跨度悬挑及两个高度5m悬挑结构，因此在B0板布置9根25m609钢管支撑。5m支撑采用一道C20槽钢斜撑作为稳定措施。25m支撑使用219圆管联系杆配合作为稳定措施，将临时支撑连成整体。临时支撑设置于B0板柱顶，于柱顶预埋埋件。临时支撑单段长度6-9m，安装时禁止无稳定措施搭设至25m，需与稳定措施同步搭设，临时支撑搭设8m后同步搭设第一道横向联系杆，将临时支撑形成稳定体系。安装至第三段时设置完成所有联系杆，然后方可安装第四段含活络段临时支撑，并在其顶部焊接连接方管。

4 关键施工工艺

4.1 测量校正工艺

本工程的钢结构呈整体闭合，对相对精度的要求较高。在复测移交的场区平面控制网和高程控制网的同时，还必须复测同钢结构关联的土建结构相互关系，以保证最终钢结构施工的整体性，只有当所有复测精度满足要求后，才能进行下步工作。

为满足钢结构安装定位需要，需利用周边稳固建筑物构建平面网，选择控制点时应选择稳定的不受施工影响的场外，同时考虑今后的使用方便及通视问题。控制网须精确观测严密平差后方可使用。控制网观测墩采用强制归心形式，以减少对点误差。平面控制网采用与测绘单位提供的相一致的控制系统。使用GPS和精密全站仪复测这4个外控点，无误后方可使用。

钢结构安装主要是控制立柱位置，基础上的立柱根部在做施工控制网时同时控制，每一施工段上的立柱控制时，主要控制立柱顶部，根部以对准前一段的顶部控制。在控制立柱顶部时，直接将顶部调整到设

计位置,各种变形所引起的残差在两段立柱衔接处调整并消除。

4.2 高强螺栓施工工艺

(1) 检查钢结构的连接接头,合格后方可紧固高强度螺栓。

(2) 高强度螺栓施工前,应先复验连接构件摩擦面的抗滑移系数,合格后方可安装。摩擦面的抗滑移系数检查应由制造厂和安装单位分别以钢结构制造批为单位进行试验。制造批可按分部(子分部)工程划分规定的工程量每2000t为一批,不足2000t的可视为一批,每批三组试件。选用两种及两种以上表面处理工艺时,每种处理工艺应单独检验。抗滑移系数试验用的试件应由制造厂加工,试件与所代表的钢结构构件应为同一材质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺和具有相同的表面状态,并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接副,在同一环境条件下存放。抗滑移系数检验的最小值必须等于或大于设计规定值。当不符合上述规定时,构件摩擦面应重新处理。处理后的构件摩擦面应按规定重新检验。

(3) 高强度螺栓连接板接触面应平整,当接触有间隙时,小于1.0 mm的间隙可不处理,1.0 mm~3.0 mm的间隙应将高出的一侧磨成1:10的斜面,打磨方向应与受力方向垂直,大于3.0 mm的间隙应加垫板,垫板两面处理方法应与构件相同。

(4) 高强度螺栓连接安装时,在每个节点上应穿入临时螺栓和冲钉,数量由安装时可能承担的荷载计算确定,并应符合下列规定:不得少于安装总数的1/3。不得少于两个临时螺栓。冲钉穿入数量不宜多于临时螺栓的30%。扩钻后的螺栓孔(A、B级)不得使用冲钉。

(5) 不得用高强度螺栓兼作临时螺栓,以防损伤螺纹引起扭矩系数的变化。

(6) 高强度螺栓的安装应顺畅穿入孔内,严禁强行敲打,如不能自由穿入时,该孔应用铰刀进行修整,修整后的最大孔径应小于1.2倍螺栓直径。修孔时,为了防止铁屑落入板缝中,铰孔前应将四周的螺栓全部拧紧,使板缝密贴后再进行。严禁气割扩孔。

(7) 高强度螺栓安装时,构件的摩擦面应保持干燥、整洁,不得在雨中作业。应清除飞边、毛刺、焊接飞溅物、焊疤氧化铁皮和不需要的涂料等。如采用生锈处理方法时,安装前应视锈蚀程度不同进行处理。

(8) 扭剪型高强度螺栓的拧紧分为初拧、终拧。对于大型节点应分为初拧、复拧、终拧。初拧、复拧和终拧应在24小时内完成。

(9) 复拧扭矩等于初拧扭矩值。初拧或复拧后的高强度螺栓应用颜色在螺母上涂上标记,以表示初拧、复拧完毕,然后用专用扳手进行终拧,直至拧掉螺栓尾部梅花头。对于个别因操作空间有限不能用专用扳手进行终拧的高强度螺栓,可按相同直径的高强度大六角螺栓采用扭矩法施拧,扭矩系数取0.13。

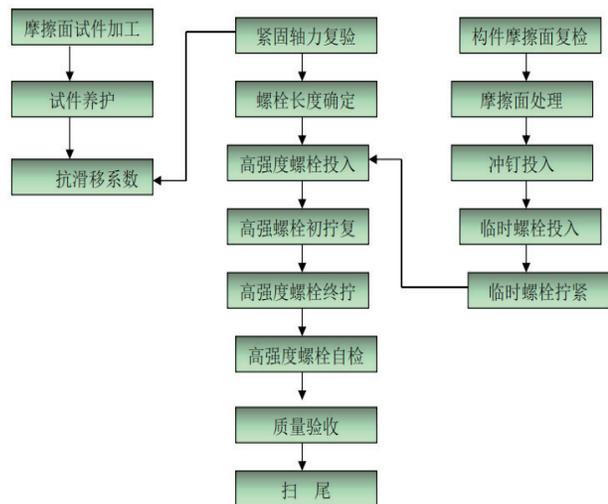


图8 扭剪型高强螺栓施工工艺流程图

4.3 焊接工艺

(1) 采用多层多道焊,控制层间温度不低于预热温度,但不宜超过150℃。

(2) 采用直流反接(DC+)。

(3) 焊丝伸出长度控制在20mm左右。

(4) 保护气体流量20~25L/min。

(5) 焊条打底焊使用不大于 $\phi 4\text{mm}$ 的焊条,根部焊道厚度不超过6mm。

(6) 焊缝构成由坡口面到中间。

后热处理主要是为了消氢,从而降低留在焊缝中的氢含量,减小氢致裂纹倾向。后热温度取250~300℃,然后根据板厚进行一段时间的保温。对于7号楼架空层位置立柱这种相对比较的焊接接头,现场后热有一定的难度。为此,我们从焊接材料、预热上采取一些措施。首先选用低氢焊材,从熔敷金属上降低氢含量;其次,适当提高预热温度,进一步降低焊缝热影响区的冷却速度,以防止延迟裂纹的产生;焊后采取缓冷措施。

5 总结

据现场实际情况,提出合理的大跨度架空层钢结

构吊装方案，确保了吊装作业的安全性与可靠性。对现场施工可能遇到的重点难点问题，提出相应的应对措施，为类似的大跨度钢结构安装提供了经验与借鉴。测量精度控制技术、钢柱安装技术以及焊接质量控制技术有效解决了大跨度钢结构的安装问题，提高了施工质量，降低了工程施工成本。

参考文献

- [1] 王沁平. 临空国际商务花园四期项目 L 形高位连体结构选型 [J]. 上海建设科技, 2022(04): 14-17.
- [2] 李孝杰, 田承尧, 潘梦阳等. 72.9m 大跨度钢结构吊装方法和安装技术 [J]. 安装, 2023(12): 29-31.
- [3] 毛朝江, 翁和平. 大跨度钢桁架原位散装技术 [J]. 建筑技术开发, 2022, 49(21): 47-50.
- [4] 杨宏, 罗庆洲, 何涛等. 超高层商业架空层大跨度钢梁分段安装技术 [J]. 建筑技术, 2018, 49(10): 1054-1057.
- [5] 郑军委, 桑兆龙, 孙治民等. 大跨度钢结构吊装施工技术研究与应 [J]. 工程建设与设计, 2023(20): 210-212.