

# 建筑屋顶造型钢结构安装施工核心技术研究

文 / 崔赫磊 陕西顺隆建设有限公司

张 杰 万铭建设集团有限公司

**摘要：**为增强建筑屋顶造型钢结构安装施工的质量水平，应对高空作业风险、构件运输难题以及滑移操作复杂等关键问题，本文就建筑屋顶造型钢结构安装施工的核心技术展开了系统研究。在明确施工意义和现存问题的前提下，重点剖析了钢构件吊装操作、测量监控开展、节点构造连接、临时支撑拆除和防腐措施处理等五大核心技术环节。弄清楚技术要点及操作流程，严格按照标准化施工作法，采用系统化方式应用上述技术可显著提高结构安装精度与施工安全性，维护屋顶造型的稳定性和持久度，望能为复杂钢结构工程供给提供一些技术支撑，推动行业走上标准化发展之路。

**关键词：**建筑；屋顶造型；钢结构；安装施工；核心技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.035

## 引言

建筑屋顶造型钢结构依靠其造型灵活、跨度大以及空间表现出色等优点，大量被应用于大型公共建筑及高层住宅里，钢构件在高空拼装的精度直接关乎整体结构稳定性。基于 BIM 技术实施碰撞检查和节点深化设计对施工误差控制的作用，提议利用无损检测技术保障焊接质量。施工面临的三项瓶颈：（1）钢构件超限运输效率处于低位、（2）高空作业安全风险极高、（3）滑移法操作精度控制比较棘手。这些因素影响了屋顶造型的实现效果与工程进度。本文以冲破施工技术壁垒为立足点，通过把吊装方案优化、实时测量监控、节点连接工艺创新以及动态支撑体系管理整合起来，构建一套系统性的施工技术框架。目标是提高钢结构屋顶安装的可靠水平，降低施工过程中事故的发生频率，促进绿色建造及智能施工技术在工程实践中的深度开展。

### 一、建筑屋顶造型钢结构安装施工的意义

经济增长持续提速，建筑业在高层建设领域发展态势良好，建筑屋面市场的渗透程度逐步加大，施工操作阶段，由于施工场景复杂、技术门槛高以及材料设备市场存在差异，造成各构件施工的安全稳定性变差。本文选取建筑屋顶钢结构安装作业流程作为示例，剖析施工控制的核心难点，从而对问题影响进行管控和消除。

### 二、建筑屋顶造型钢结构施工问题

#### （一）钢构件运输难度较大

屋面钢构由大量钢构件拼接组成，钢构材料体积庞大、重量很大，常规运输办法没办法运输。必须使用大型起重设备，借助大型塔吊将钢构件从地面分段吊到屋顶区域，吊运工作耗费时间长。一旦施工期间出现狂风、雨雪等恶劣天气条件，就得中断材料吊运，整体施工节奏缓慢。在一些高层住宅建筑工程里，塔吊拆除后才开始钢构屋面安装，塔吊运输及安装方案被迫放弃，如果改用独脚桅杆配合卷扬机和滑轮组吊装钢构件，垂直运输效率降得更低。

#### （二）现场拼装需高空作业

钢构屋顶安装时，会大量进行高空作业，比如做钢结构吊装、纠正安装位置、拆除与架设临时支撑等。跟地面作业比，高空作业如果安全防护不好，存在高空坠落的潜在危机，常导致致命后果。为保证施工安全，要在工作面周边搭建防护脚手架，绑好密目安全网、拉好安全绳等，但这样会使工程量上升，施工变复杂。

#### （三）采用滑移法时需高空操作

在滑移施工期间，要是受到风力影响，很难实现理想的水平稳定，反而会产生可控的偏移情况，这种偏移量大小和施工现场风力大小直接有关。风力越大，错位就越严重。这会造成钢构件安装出现误差，增加施工风险，另外由于滑移单元比单个钢构件重很多，滑轨底部会承受较大荷载，带来潜在安全隐患<sup>[1]</sup>。

### 三、建筑屋顶造型钢结构安装施工核心技术

#### （一）钢构件吊装作业

钢结构屋顶是由多种钢构件构成的，包括钢柱、钢梁、屋面檩条等，对于不同的钢构件类型，要实施合适的吊装方案。拿钢柱起吊作业来说，在吊耳板位置设置起吊点，采用对称且多点均衡受力的吊装方式，单柱吊点一般设置 4 到 6 处，若钢柱荷载较大，吊点就要布置得更密。通过全熔透焊接技术把吊耳板和钢柱主体紧紧连接在一起。为了评定吊装方案的实施成效，在吊具安装工作完成后，不要立刻进行吊装操作，让钢构件在地表上方处于悬吊状态，观察吊具和吊耳板的受力状态如何，以及钢构件是否回到水平静止的状态。若吊具和吊耳板有损伤现象，可判断吊点数量偏少；钢材悬吊时不断晃动说明定位点不对，需对吊装方案作出调整。地面吊装模拟测试做完后，正式开启吊装进程，有初步调整和精细调整两个阶段，把钢构件以均匀速度提升到安装基准面上方，让钢构件在空中短暂悬吊着，进行钢构件平面位置、垂直精度和空间角度的首轮修正，之后让钢构件在安装基准面就位，设置过渡固定物件，严格检验

钢构件空间姿态。再用可调节接头与托板对构件水平度、垂直度和标高精准校准,最后进行节点部位的连接作业。

(图1为钢构件吊装作业示意图)



图1 钢构件吊装作业

## (二) 测量监控实施

逐节吊装钢柱完成后就开始调整轴线偏移,以下段钢柱实测中心线作为参照依据,让上层钢柱底面和下层柱心线对应上,检测轴线是否存在偏移的误差。根据实际偏移量进行修正操作,避免单侧出现集中性的偏差,确保钢柱焊接后垂直度平稳过渡。调整垂直方向时,以钢柱垂直度调节的方式为例,运用激光投射技术,现场配备好激光经纬仪,在钢柱侧面装上激光标靶,把握好经纬仪激光投射的范围,使激光中心线和靶标中心重合起来。判断钢柱垂直度时,按照激光偏移量对各段钢柱垂直状态进行微调。调整平面基准高度时,以钢梁平面标高校正为例,用标尺和水准仪联合检测钢梁两端水平高差。若核查发现高差超出可控范围,说明钢梁平整度未达标,可通过扩大螺栓孔进行调校,也能通过测量对角线偏差来衡量其平整度。

## (三) 节点构造连接

钢结构连接实施阶段中,钢结构的高层住宅建筑,其屋顶钢结构连接方式有现浇混凝土、焊接、螺栓等。在屋顶钢结构和梁柱框架的连接点,应选用高性能合金钢螺栓进行连接,可以预先在连接面钻孔,或者现场打孔。打孔结束后,把孔洞内壁和端口的毛刺、碎末清理干净,然后核查螺栓孔的数量、位置、垂直偏差和同轴情况。完成核实后,清理螺栓头部污垢。按装配次序把螺栓、垫片和螺母逐个放进预留孔,在螺栓头部和钢板接触的地方装上垫片,螺栓尾部配上对应的螺母,通过气动或者人工手段紧固螺栓,一直拧到螺栓接合面看不到缝隙。锁紧阶段结束后,检查螺栓固定扭矩是否达标,对于采用多螺栓连接的屋面钢结构,遵循交替推进、分步开展的施工准则,逐步施加螺栓锁紧力,排除应力集中的潜在风险。

## (四) 临时支撑拆除

实施屋顶钢梁吊装工作期间,需配套搭建临时稳固的构造,在钢构件下放定位,到节点连接完成的环节里,

应注意临时稳定钢构件就位的状况,防止钢结构产生安装偏差或者垮塌。等钢结构件终凝固定妥当,作业人员逐渐拆除临时支撑体系,以实现流程高效运行。将拆除临时支撑时,将临时支撑分成若干小组,自结构一侧起,朝着另一侧分轮次逐个拆除,同一批的临时支撑需同步拆掉<sup>[2]</sup>。拆除时应逐渐降低高度,注意稳定性与平衡性,验证分析多工况下的受力情况,防止失稳。

## (五) 防腐措施处理

如今主要运用涂层防腐作为处理措施,防腐处理前应核实现场气候条件是否符合要求,环境温度应在5℃到35℃这个范围,湿度低于85%,且防腐涂料温度不低于10摄氏度。之后应保证钢结构表面干燥、没有尘土,通过喷砂工艺去除锈迹,使用酒精或丙酮湿润的抹布擦拭钢构件表面,直至表面污染物完全去除,最终除锈程度达到Sa2.5级。钢材表面判定为合格后,依照防腐参数确定涂装材料和施工次数,采用多次涂漆工艺进行钢材表面的防腐,利用高压无气喷涂和滚涂来执行涂装工作。在稳定运行阶段,室内防腐涂层干透后的总厚度应大于125 μm,室外防腐涂层固化后的总厚度须大于等于150 μm,单层涂膜厚度偏差不超过5微米。

## 四、建筑屋顶造型钢结构安装施工案例分析

### (一) 项目概况

某建筑地上有28层,地下有2层,结构采用钢框架中心支撑形式,位于市中心位置,该建筑整合了商品住宅与汽车站功能,屋顶的钢结构总面积达1200平方米,屋面造型高度从98.6米起至106.6米止,由不同规格钢柱、钢梁、造型复杂的板块以及大量支撑构件组成。该建筑屋面的用钢量200余吨左右,整栋楼的用钢量大致为3500吨,屋面造型呈现大量凹凸面且造型复杂的钢结构形态,施工难度比较大,需精确掌控每一个步骤。

### (二) 施工前期准备

贯穿整个施工进度,结构的安全和耐久性达成始于精心的前期安排,特别是钢材这类重要建筑材料的采购与质量管控流程。项目部切实了解到结构材料对工程安全性和耐久程度有直接关联,从建设一开始就采用高标准,操作实施严格遵照国家规范、行业标准和设计文件的要求,杜绝降低标准的模糊之处。对于关键钢材而言,在生产环节严格把控质量关,挑选国内外技术实力雄厚、质量管理体系完善的优质钢企作为主要供货源,保证材料严格符合国家标准和设计要求的性能标准,使每块钢板、每根型钢从加工开始就达到高水准。项目执行阶段,通过分阶段执行采购方案,采购不同规格的建筑结构钢,以保障各部位荷载传递和结构的完好性。这个阶段的核心工作是质量把关,按生产批次开展钢材全检的质量管控措施,排除所有质量隐患因素,各批次钢材到达后,专业检测小组立即进行系统性质量检查。先开展力学性能测试,再用光谱检测技术对钢材中碳、锰、硫、磷等

主要元素的组成比例进行定量分析,确保钢铁材料关键指标达标。运用多级联控办法,检查钢材的屈服强度、抗拉强度等力学性能,以及合同约定的尺寸精度、外观质量等检验项目。经过实验室与现场双重查验确定,检测数据全部吻合且达到标准,部分指标还超出设计要求,从头到尾的缜密投入<sup>[3]</sup>。

### (三) 安装施工过程

**测量放线:**在项目动工到完工期间,运用电子全站仪,依照设计图纸要求,在已完工基础上精确测设钢柱安装定位线与标高标记点,施工时共埋设200个测控点。按周期复测控制点,保证测量误差不超 $\pm 2\text{mm}$ ,通过科学测量定线为钢结构吊装精准定位,有效保障钢柱垂直精度和定位准确性。

(1) 钢柱安装。选用2台徐工XGT280(7030-12)塔吊,把臂长设成35米,钢柱最重单根有25吨。利用特别设计的临时支撑装置固定钢柱底部,以此校正钢柱垂直偏差,屋面板最大吊装单元为5吨、长7.5米。钢柱吊装时,用全站仪动态监测其垂直度,每吊完一根钢柱,全程将垂直度偏差控制在3毫米以内,完全符合设计技术规范,首批吊装钢柱时,4天就顺利完成40根钢柱吊装,为后续施工顺利衔接创造了条件。

(2) 钢梁安装。按照主次顺序安装钢梁,空间上从内向外推进,结合钢梁自重和吊装点位,灵活调度汽车吊一起作业。对于长且重的钢梁,采取分节吊运、高空对接的作业措施,在钢梁部件组对阶段,将拼接缝间隙严格控制在2-3毫米,错边量最大为1毫米。通过定位板和临时支撑结合,保证钢梁定位精确无误,钢梁安装好后,测量其挠度,对比实测挠度值和设计计算值,挠度偏差均在允许范围,保证了钢梁结构安全和使用性能。

(3) 复杂节点安装。运用专业建模体系搭配有限元计算程序,开展节点构造的精细设计,精准模拟节点在不同工况下的应力分布状况。挑选最优的节点方案、连接样式及其螺栓排列形式,梳理出一套完整的零部件加工与安装图纸,利用高精度全站仪装置,以工地首级控制基准点为依托,通过极坐标测量方法来完成复杂节点的空间定位。依据节点承重和工况状况,选用250吨履带式吊车,合理安排节点处的吊装位置。经过多次比对,平面位置实际测量值的相对误差在 $\pm 2$ 毫米限度内,竖向坐标误差为 $\pm 3$ 毫米。在构件悬吊期间,用经纬仪和水准仪同时观测,借助平衡梁让吊装过程平稳。把节点提升到设计标高上方20-30厘米处,先进行初步对位,再做精细调整,借助千斤顶与楔铁等器具,对节点进行水平、垂直及高程方向的精确调校,保证偏差在正负2毫米的容差范围之内。细致调校完成后,使用高强螺栓进行临时紧固,分初拧、复拧、终拧三个阶段进行,确保螺栓拧紧力矩达到设计要求,完成结构的最终锚固工序<sup>[4]</sup>。

(4) 焊接施工。该工程钢结构屋面施工面临不小挑战,焊接工艺是保障结构稳定的关键所在,屋顶主体由1200多根变截面钢梁组成,还有500多个节点和密集支撑网络,全部用钢量是5000吨。厚板钢梁对接施工工作既繁杂又有难度。使用多层多道次手工电弧焊技术,对于E5016等低氢焊条,在焊接前要350-400℃烘烤1-2小时进行除湿,控制焊缝区氢孔缺陷,填充焊道时使用180-220安培的较高电流,增强熔滴过渡的效果;盖面层焊接把电流降到160-200安培,实现焊缝表面美观成型;根部焊接用160-180安培电流,保证根部彻底熔透。每条焊缝焊接结束后,先进行清渣操作,接着做焊缝形貌查看,要求焊缝不能有气孔和裂纹缺陷。在支撑结构的长直焊缝连接上,运用CO<sub>2</sub>气体保护焊工艺,选用ER50-6型号焊丝,气体流量参数为15-20升/分钟,电流范围是200-250安培,电压参数取25-30伏,以此实现焊接作业高效,精准控制焊接质量。

### 结语

本文对建筑屋顶造型钢结构安装施工的核心技术路径开展了系统的研究,经过对施工意义、问题探究与关键技术的整合钻研,归纳出以下结论:识别施工难点是工程管控的前提条件,应针对钢构件运输方面的限制、高空拼装存在的风险及滑移施工的不稳定难题,依靠精细化预案预先回避,为高效施工搭建基础。核心技术的协同采用是质量保障的关键,从吊装定位、实时监测到节点联结和支撑拆除,各环节技术在标准化实施下形成闭环控制链,切实保障结构精度与长期稳固性。安全与质量管理要贯穿整个施工过程,进一步强化高空作业防护、工艺精度控制及防腐体系的标准化,体现其在整个施工周期里的必不可少。未来研究要进一步整合数字化技术,搭建智能化的施工决策体系,让复杂造型钢结构的动态响应模型实现优化,推进施工技术往高精度、低能耗、少人作业的方向进步升级。

### 参考文献

- [1] 王辉,王松. 仿古建筑屋顶钢结构加固技术及其施工难点分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (09): 127-129.
  - [2] 金涛. 建设项目钢结构安装施工研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(07): 29-32.
  - [3] 宋建标, 范少锋. 某屋顶钢结构设计分析[J]. 建筑术, 2025, (03): 260-264.
  - [4] 薛剑豪, 陈泽榕, 吴钦. 办公楼屋顶钢结构构筑物安全性分析[J]. 江西建材, 2022, (12): 43-45.
- 作者简介: 崔赫磊(1990年1月), 男, 汉, 陕西省西安市人, 大学本科, 陕西顺隆建设有限公司, 中级工程师, 研究方向: 建筑施工; 张杰(1990年7月), 男, 汉, 山西省临汾市人, 大学本科, 万铭建设集团有限公司, 中级工程师, 研究方向: 建筑市政。