

大跨度钢结构工程安装精度控制技术与实践研究

高俊龙

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 301800

摘要: 大跨度钢结构工程安装精度至关重要, 关乎结构安全与使用性能。研究剖析影响安装精度的材料特性、加工精度、施工环境、操作工艺及测量监测技术等因素。阐述数字化预拼装、高精度测量与实时监测、焊接变形控制等关键技术。通过大型场馆、工业厂房、桥梁等工程实践, 验证技术有效性。提出智能化监测与控制、新型材料与结构体系应用、BIM与物联网融合等创新方向, 为提升大跨度钢结构安装精度提供技术支撑。

关键词: 大跨度钢结构工程; 安装精度; 控制技术; 实践

引言

在现代建筑与基础设施建设中, 大跨度钢结构因独特优势应用日益广泛。然而, 其安装精度控制面临诸多挑战。不同钢材特性与加工精度差异, 影响构件尺寸准确性与拼接效果; 复杂施工环境及操作工艺不当, 易导致结构变形与连接缺陷; 测量与监测技术水平制约偏差检测与纠正效率。本文聚焦大跨度钢结构工程, 深入研究安装精度控制技术, 分析影响因素, 探索关键技术与创新方向, 以保障工程质量与安全。

1 影响大跨度钢结构工程安装精度的因素

1.1 材料特性与加工精度

在大跨度钢结构工程中, 材料特性与加工精度对安装精度影响显著。不同钢材的弹性模量、屈服强度等特性各异, 会在荷载作用下产生不同程度变形。例如, 弹性模量较低的钢材, 受自重与施工荷载影响, 易发生较大弹性变形, 使安装定位产生偏差。加工精度方面, 零件下料精度决定构件尺寸准确性, 偏差过大会导致拼接时无法精准对接。像切割边缘的垂直度偏差, 会使构件组装后角度偏离设计要求。零件板成型精度同样关键, 对于有弧度要求的构件, 若成型误差大, 将破坏结构整体线形。构件组立焊接变形控制不佳, 会造成构件弯曲、扭曲等, 严重影响安装精度, 这些都源于材料特性与加工各环节精度的综合作用。

1.2 施工环境与操作工艺

施工环境与操作工艺也是影响安装精度的重要因素。温度变化对大跨度钢结构影响突出, 昼夜温差使钢材热胀冷缩, 导致构件尺寸与安装位置改变。在高温时段, 构件膨胀伸长, 低温时收缩缩短, 这种变化若未在施工中考虑并调整, 累积起来会造成较大安装偏差。湿度影响也不容忽视, 潮湿环境可能使钢材表面生锈, 降低材料性能, 还会影响焊接质量, 产生气孔、裂纹等缺陷, 进而影响结构安装精度与整体性能。

操作工艺上, 焊接顺序不合理会导致结构内应力分布不均, 引起变形。比如先焊接一侧焊缝, 未采取对称焊接等措施, 会使构件向焊接侧弯曲。螺栓紧固工艺不当, 如扭矩不足或过大, 前者会使连接松动, 后者可能损伤螺栓或构件, 都无法保证连接紧密性与安装精度, 所以施工环境与操作工艺需精细把控。

1.3 测量与监测技术水平

测量与监测技术水平在大跨度钢结构安装精度控制中起着核心作用。精准测量是确保安装符合设计要求的基础, 测量仪器精度至关重要。低精度仪器易产生测量误差, 像全站仪的测角、测距精度不足, 测量构件位置与尺寸时偏差较大, 传递至后续安装环节, 偏差不断累积。测量方法选择也很关键, 对于复杂大跨度结构, 传统测量方法难以满足精度要求, 需采用先进测量技术, 如三维激光扫描, 能快速获取结构整体空间信息, 实现高精度测量与变形监测。监测技术水平决定能否及时发现安装过程中的偏差并采取措施纠正。实时监测系统可对结构关键部位应力、变形等参数实时采集与分析, 一旦参数超出允许范围, 及时预警, 为调整施工工艺、纠正偏差争取时间, 保障安装精度, 所以持续提升测量与监测技术水平是控制安装精度的必要举措。

2 大跨度钢结构工程安装精度控制关键技术

2.1 数字化预拼装技术

在大跨度钢结构工程中, 数字化预拼装技术发挥着至关重要的作用。通过引入工业级激光三维扫描仪, 利用其高精度特性对实际加工的构件展开全方位扫描, 达成对构件的精准测量。将扫描获取的数据进行逆向建模, 构建出与实际构件高度吻合的实景模型。在此基础上, 运用特定算法与拟合方案, 在虚拟环境中模拟实际预拼装过程。把扫描模型与理论模型进行拟合对比分

析,能够精准地检测出构件尺寸、形状等方面的偏差。提前识别出超偏构件,并在工厂阶段进行返修处理,避免这些问题构件进入施工现场,有效保障现场施工能够有序、高效地进行,极大地提高了安装精度,减少了现场因构件偏差导致的施工延误与调整工作,确保大跨度钢结构的安装质量^[1]。

2.2 高精度测量与实时监测技术

高精度测量与实时监测技术是保障大跨度钢结构安装精度的核心支撑。利用先进的测量仪器,比如具备高精度定位能力的静态GNSS定位设备,搭配覆盖全国的北斗地基增强站以及自主研发的精准定位算法,可为工程持续提供全天候的高精度位置数据。针对复杂的大跨度结构,采用三维激光扫描、高精度边坡雷达等先进测量手段,可快速、全面地获取结构的整体空间信息。构建实时监测系统,对结构关键部位的应力、变形等参数进行实时采集与分析。一旦监测数据超出允许范围,系统即刻发出预警。通过这种方式,能够及时发现安装过程中出现的偏差,为施工团队争取宝贵的时间,以便迅速调整施工工艺,纠正偏差,从而有效控制安装精度,确保大跨度钢结构在整个安装过程中的稳定性与安全性。

2.3 焊接变形控制技术

焊接变形是大跨度钢结构安装中影响精度的关键因素,因此焊接变形控制技术尤为重要。从结构设计层面出发,充分考虑焊接变形因素,采用对称结构设计,合理布置焊缝位置,减少焊接区域的不对称性,降低焊接变形的产生概率。在焊接工艺方面,采用分段焊接工艺,将长焊缝分解为若干小段进行焊接,减小焊接过程中的温度梯度,从而有效控制焊接变形。预应力焊接与焊后热处理也是控制焊接变形的有效手段。通过施加预应力,抵消部分焊接产生的内应力,而焊后热处理则能消除残余应力,稳定结构尺寸。精准控制焊接电流、速度以及焊接过程中的温度等参数,结合刚性固定、反变形等措施,从多个维度协同控制焊接变形,确保大跨度钢结构在焊接过程中保持高精度,提升结构的整体质量与安全性^[2]。

3 大跨度钢结构工程安装精度控制实践分析

3.1 大型场馆钢结构安装精度控制实践

大型场馆钢结构多呈现复杂曲面或大悬挑形态,安装过程中需应对自重荷载下的变形累积问题。通过建立基于BIM的参数化模型,将构件加工精度与安装定位坐标进行关联映射,在虚拟环境中模拟不同吊装顺序对结构整体线形的影响,进而优化吊装单元划分方案。针对屋盖等关键部位的大跨度桁架,采用分阶段累积滑移工

艺,结合实时监测的结构应力变化数据,动态调整滑移牵引力与支撑点位置,确保滑移过程中结构变形始终处于设计允许范围。对于曲面幕墙支撑钢结构,利用三维激光扫描获取已安装构件的实际空间坐标,与理论模型进行偏差分析后生成调整预案,通过对连接节点的微调节实现曲面形态的精准拟合,有效解决了复杂造型下的安装精度控制难题。

3.2 工业厂房大跨度钢结构安装实践

工业厂房大跨度钢结构常因生产工艺需求设置多跨连续梁与重型吊车梁,安装精度直接影响后续设备运行稳定性。在钢柱安装阶段,采用双机抬吊对称就位工艺,配合全站仪实时监测柱身垂直度,通过调整临时支撑的伸缩量实现钢柱轴线偏差的即时修正。针对屋盖系统的门式刚架,在工厂完成单元体预拼装后,采用整体吊装与高空对接相结合的方式,利用预设在节点处的调节装置消除累积误差,确保刚架跨度尺寸偏差控制在毫米级范围内。对于吊车梁轨道安装,通过预埋基准控制点建立高精度测量控制网,采用精密水准仪分段测量轨道顶面高程,结合轨道连接件的微调功能实现高程平顺过渡,同时对轨道与吊车梁连接节点的螺栓紧固过程进行应力监测,避免因局部应力集中导致的轨道变形,保障了吊车运行时的平稳性与安全性。

3.3 桥梁钢结构安装精度控制实践

桥梁钢结构安装面临跨越河道、峡谷等复杂地形条件下的高空作业挑战,需兼顾结构整体受力平衡与线形流畅性。对于钢箱梁斜拉桥,在节段吊装前通过专用胎架完成梁段匹配预拼,标记出匹配件的相对位置关系,利用梁段端面的三维定位器实现高空对接时的快速精准就位。斜拉索张拉过程中,结合振动弦式传感器采集的索力数据与全站仪监测的梁体高程变化,建立索力与梁体变形的动态响应模型,通过多轮次张拉调整实现梁体线形与内力状态的双控目标。针对拱桥钢结构的拱肋安装,采用无支架缆索吊装工艺,在拱肋合龙前设置临时扣索系统,根据实时监测的拱肋轴线偏差与应力分布情况,调整扣索张拉力使拱肋逐渐趋近设计线形,合龙时通过预设的温度补偿装置消除昼夜温差引起的长度变化,确保合龙精度满足设计要求^[3]。

4 大跨度钢结构工程安装精度控制技术创新方向

4.1 智能化监测与控制系统的研发

(1) 基于机器学习算法构建结构变形预测模型,深度整合历史安装数据与实时监测参数,运用高效算法挖掘数据潜在关联,精准实现对结构变形趋势的提前预判,为施工调整提供有力前瞻性指导。该模型可自主学

习不同工况变形规律,优化预测精度,减少人为偏差。

(2) 开发集成多传感技术的智能监测终端,把光纤光栅传感器、倾角传感器等精准嵌入结构关键节点,构建起全方位监测网络,实现对应力、位移、温度等多参数的同步精准采集。终端具备高效边缘计算能力,能实时处理原始数据并识别异常,提升监测响应速度。(3) 构建数字孪生驱动的闭环控制系统,将现场监测数据与虚拟模型实时交互,通过虚拟仿真模拟不同调整方案的实施效果,自动生成最优调整指令并传输至施工机械控制系统,形成“监测-分析-决策-执行”的全流程智能化闭环,提高精度控制的自动化水平。

4.2 新型材料与结构体系的应用

(1) 研发具有自修复功能的高性能钢材,通过在材料内部巧妙植入微胶囊型修复剂,一旦结构因焊接或荷载作用产生微裂纹,修复剂便会自动释放并迅速填充裂纹,有效抑制损伤进一步扩展,同时材料具备更稳定的温度变形系数,减少环境温度波动对安装精度的影响。

(2) 探索模块化可调节结构体系,把传统刚性连接节点革新为具备自适应调节能力的柔性节点,节点之中内置先进的伺服驱动装置,能依据实时监测数据自动精准微调构件相对位置,有效抵消安装累积误差,且该体系便于拆分重组,适应不同跨度需求的快速转换。(3) 应用轻质高强复合材料与钢结构的混合体系,充分发挥复合材料密度低、刚度高的显著特性,有效减轻结构自重,大幅降低施工过程中的变形风险。同时精心优化两种材料的连接工艺,保证界面受力均匀,充分激发协同工作效应,提升结构整体稳定性与安装可控性。

4.3 BIM技术与物联网技术的深度融合

(1) 打造BIM模型与物联网设备的实时数据交互平台,借助先进通信技术,把物联网采集的构件精准定位信息、设备实时运行参数等动态加载至BIM模型,让模

型精准实时反映现场施工状态,通过模型的可视化功能直观呈现偏差位置与程度,为精准调整提供清晰指引。

(2) 基于BIM模型构建虚拟预拼装与现场安装的联动机制,在虚拟环境里借助先进算法完成构件预拼装模拟,精准生成最优安装路径。物联网设备依据路径信息,通过智能系统引导吊装机械精准作业,同时将现场实际安装数据实时反馈至虚拟模型,实现虚拟与现实的动态校准。(3) 开发基于BIM的供应链协同管理模块,通过物联网技术追踪构件从生产到运输再到安装的全流程状态信息,将构件加工精度、运输过程中的变形数据等整合至BIM模型,提前识别可能影响安装精度的潜在问题,实现从源头到现场的全链条精度管控^[4]。

结语

综上所述,大跨度钢结构工程安装精度控制受多因素交织影响。当前关键技术在实践中取得一定成效,但仍需持续创新。智能化监测与控制系统、新型材料与结构体系,以及BIM与物联网深度融合等创新方向,有望突破现有局限,实现更高效、精准的安装精度控制。未来应加强相关研究与实践,推动大跨度钢结构工程建设迈向更高水平,为建筑与基础设施领域发展注入新动力。

参考文献

- [1]李冬,杨先志,吴平,等.大跨度双向曲线钢结构施工精度控制技术应用研究[J].建筑施工,2024,46(11):1876-1879.
- [2]李培新.大跨钢结构安装精度控制技术及其对策[J].河南科技,2020(5):109-111.
- [3]黄亚茹,张纪伟,张祥祺.大跨度钢结构建筑施工关键技术与精度控制研究[J].建筑·建材·装饰,2025(3):85-87.
- [4]董晶.大跨度钢结构施工安装变形控制技术[J].门窗,2023(7):213-215.