

钢结构节点施工工艺及现场控制要点

孙 凯

京兴国际工程管理有限公司 北京 100000

摘 要：钢结构节点作为连接构件的核心部位，其施工工艺与现场控制直接影响结构安全与耐久性。本文基于现行标准与工程实践，系统梳理钢结构节点施工工艺流程，从材料检验、加工精度、安装定位及环境管控等维度提炼现场控制要点，旨在为工程人员提供可操作的技术指南，推动钢结构施工向精细化、标准化方向发展。

关键词：钢结构；节点施工工艺；现场控制；要点

引言

钢结构因其高强度、轻量化及施工周期短等优势，广泛应用于高层建筑、大跨度场馆及工业厂房等领域。节点作为连接梁、柱、支撑等构件的核心区域，承担着传递轴力、剪力、弯矩及扭矩的关键作用，其施工质量直接影响结构整体稳定性。随着建筑结构复杂度提升，节点形式逐渐向刚接、半刚接及栓焊混合连接等多元化发展，对施工工艺与现场控制提出更高要求。因此，深入对钢结构节点施工工艺及现场控制要点的讨论具有重要的现实意义。

1 钢结构节点施工工艺

1.1 深化设计阶段

深化设计阶段是钢结构节点施工的首要环节，其核心在于通过数字化手段实现节点构造的精准化与可施工性优化。一方面，设计团队需运用BIM技术构建三维数字模型，将节点各构件的几何尺寸、空间位置及连接关系进行虚拟集成，通过动态模拟装配过程检测构件间的碰撞冲突，提前发现设计缺陷并调整构造细节。参数化设计工具的应用使节点设计具备高度灵活性，设计人员可定义钢材强度、连接方式、几何约束等关键参数，系统自动生成多种构造方案，结合有限元分析软件对各方案进行静力、动力及稳定性计算，对比不同构造的应力分布、变形特征及承载能力，筛选出力学性能最优且材料利用率最高的节点形式。另一方面，设计过程中需重点关注施工可行性，焊接空间不足易导致焊缝质量缺陷，螺栓布置过密会降低安装效率，应力集中区域可能引发结构提前破坏，这些问题均需在深化阶段通过构造优化解决^[1]。对于异形节点或超限节点，需建立精细化计算模型，模拟节点在复杂荷载作用下的弹性变形过程，分析焊缝、螺栓及母材的应力传递路径，识别高应力区域并采取加劲肋补强、坡口优化或连接方式调整等措施，确保节点在极限状态下仍能保持整体稳定性。深化设计

成果需形成包含构件清单、加工详图、焊接工艺要求及安装顺序的完整技术文件，为后续加工制造与现场施工提供明确指导。

1.2 构件加工阶段

(1) 放样下料环节采用CNC数控切割设备，通过编程控制切割路径与速度，确保构件几何尺寸的精确性，切割面需平整光滑无裂纹，坡口加工需根据焊接工艺要求确定角度与钝边尺寸，保证电弧能够深入坡口根部形成良好熔合。(2) 组立焊接环节，H型钢组立需通过夹具固定翼缘板与腹板的相对位置，定位焊点需均匀分布且焊脚尺寸符合工艺要求，防止焊接过程中构件变形。(3) 自动埋弧焊需根据钢材厚度与焊缝等级选择合适的焊接参数，通过多层多道焊控制热输入量，减少焊接残余应力与变形，焊后需对焊缝进行外观检查与无损检测，确保焊缝成形良好且内部无缺陷。(4) 矫正环节需根据构件变形程度选择热矫或机械矫正方式，热矫时需控制加热温度与冷却速度，防止钢材性能劣化，机械矫正需通过专用设备施加反向力消除残余变形，最终使构件垂直度与平面度满足规范要求。(5) 钢材预处理环节采用抛丸工艺对母材表面进行强化处理，通过高速弹丸撞击去除氧化皮、锈蚀及油污，使钢材表面达到均匀的金属光泽，同时形成适宜的粗糙度以增强涂层附着力。(6) 预处理后需立即喷涂防腐底漆，防止钢材二次锈蚀，底漆需具备良好的耐候性与防锈性能，喷涂时需控制环境湿度与钢材温度，避免涂层流挂或起皮。

1.3 现场安装阶段

现场安装阶段是钢结构节点从设计图纸转化为实体结构的核心环节，需通过精密测量与规范操作确保安装精度与结构安全。(1) 安装前需构建覆盖全施工区域的测量控制网，以基准点为基准使用全站仪、激光铅垂仪等设备对基础轴线、标高及锚栓位置进行复核，重点核查锚栓的垂直度与外露长度，确保其位置偏差满足设计

允许范围,为后续构件定位提供准确基准。(2)钢柱安装时根据构件重量与起重设备性能选择单机回转法或双机抬吊,起吊过程中需保持钢柱平稳避免碰撞,就位后立即安装临时连接板并拧紧定位螺栓,通过经纬仪从两个相互垂直方向监测钢柱垂直度,利用缆风绳或千斤顶进行动态调整直至满足要求^[2]。(3)钢梁安装需与钢柱形成稳定单元后进行,安装时先完成下翼缘对接焊缝的焊接,通过分段退焊法控制焊接变形,再焊接上翼缘焊缝,焊接过程中需实时监测构件变形情况并及时采取反变形措施。(4)高强螺栓连接前需对接触面进行清理,确保无油污、浮锈等杂质,安装时采用扭矩法或转角法控制终拧扭矩,通过专用扳手按顺序分初拧、终拧两步完成,终拧后对梅花头进行全数检查,并对已完成连接的螺栓群进行抽查,确保摩擦系数与扭矩值符合设计要求,形成可靠的连接节点。

2 现场质量控制要点

2.1 材料进场检验

(1)钢材作为主要受力构件,其性能指标直接影响结构安全,检验工作需覆盖化学成分、力学性能及工艺性能三大维度。屈服强度检测通过拉伸试验验证材料承载能力,确保实际强度不低于设计要求;冲击韧性测试模拟低温环境下的抗脆断能力,对北方地区或特殊工况项目尤为重要;Z向性能检验针对厚板层状撕裂风险,通过厚度方向拉力试验评估断面收缩率,防止焊接过程中出现沿厚度方向的裂纹扩展。每批钢材均需查验质量证明文件,核对炉批号与实物标识一致性,必要时进行光谱分析复核化学成分,确保材料来源可追溯、性能可验证。(2)连接材料的质量管控需区分不同连接方式的技术要求,高强螺栓作为摩擦型连接的核心元件,其扭矩系数稳定性决定预紧力传递效率。进场复验需随机抽取样本进行抗滑移系数试验,同步检测螺栓楔负载、螺母保证载荷等机械性能,确保连接副整体可靠性。试验过程严格控制环境温湿度,避免湿度变化影响摩擦面处理效果。(3)焊材管理重点关注低氢型焊条的防潮处理,从烘干、储存到发放实施全过程温度监控。烘干工艺需根据焊条型号设定专用温度曲线,采用连续式烘干设备避免温度波动,烘干后转移至恒温保温箱存放,随用随取并使用密封焊条筒配送至作业面,防止二次受潮导致焊缝氢致裂纹风险。(4)材料检验过程中需建立动态台账,记录批次号、检验日期、检测结果及责任人等信息,形成可查询的质量档案^[3]。对不合格材料实施隔离存放并明确标识,严禁降级使用或混入合格品区域。检验报告需经监理单位审核确认,作为工程资料归档保存,为后

续质量追溯提供依据。

2.2 施工过程监控

(1)焊接质量控制涵盖焊前准备、过程实施及焊后检测三个阶段。第一,焊前需对坡口进行彻底清理,去除油污、氧化皮等杂质,确保熔敷金属与母材良好融合。第二,焊接过程中严格控制层间温度,通过红外测温仪实时监测,避免温度过高导致晶粒粗化或温度过低引发氢致裂纹。第三,焊后无损检测根据焊缝等级采用差异化方案,一级焊缝实施全覆盖超声波探伤,重点排查未熔合、裂纹等危险性缺陷;二级焊缝通过磁粉抽检验证表面质量,重点关注咬边、气孔等外观缺陷。对检测发现的超标缺陷,需制定专项返修方案,采用碳弧气刨清除缺陷后重新施焊,返修部位需扩大检测范围确保缺陷彻底消除。(2)螺栓连接监控聚焦摩擦面处理与扭矩控制两大关键点。摩擦面处理采用喷砂工艺形成均匀粗糙度,处理后需在规定的时间内完成底漆涂装,防止表面氧化导致抗滑移系数衰减。涂装过程严格控制环境湿度,避免在雨雾天气作业,涂层厚度需达到设计要求且无流坠、针孔等缺陷。扭矩检查采用“事前校准、事中抽检、事后复核”的管理模式,使用前对扭矩扳手进行计量检定,施工过程中按规范比例随机抽查,对偏差超标的螺栓重新施拧并扩大检查范围,确保连接预紧力满足设计要求。(3)变形控制需结合结构特点采取针对性措施,反变形法通过预先设置与焊接变形方向相反的弯曲量,抵消焊接过程中产生的收缩变形,适用于长焊缝或对称节点的施工。刚性固定法利用工装夹具限制构件自由度,通过强制约束减少焊接变形,工装设计需考虑拆除便利性及对母材的保护^[4]。施工过程中还需遵循对称焊接、分段退焊等工艺原则,通过优化焊接顺序平衡热量输入,降低残余应力积累。对已产生的变形,可采用火焰矫正或机械矫正等方式进行修复,矫正过程严格控制加热温度与冷却速度,避免产生新的残余应力。

2.3 环境因素管控

(1)温度控制方面,低温环境会显著降低钢材韧性,增加冷裂纹风险,当环境温度低于零摄氏度时,必须对焊缝两侧一定范围内进行预热处理,通过火焰加热或感应加热使母材温度升至二十摄氏度以上,预热范围需覆盖整个待焊区域并延伸至坡口两侧,确保焊接过程中热量均匀传递。高温环境下,钢材强度随温度升高而下降,并且焊接热影响区晶粒粗化倾向加剧,当日最高气温达到三十五摄氏度时,需在作业区域搭建遮阳棚或采用移动式防晒罩,减少太阳直射导致的温度骤升,必要时对母材进行喷水降温,但需待表面水渍完全蒸发后方可施

焊,防止氢致裂纹产生。(2)湿度控制直接影响焊接熔池的冶金反应过程,当环境相对湿度超过百分之八十五时,空气中的水分会在电弧高温作用下分解为氢和氧,氢元素溶解于熔敷金属中形成气孔缺陷,甚至引发延迟裂纹,此时必须立即停止焊接作业,通过加强通风或使用除湿设备降低作业区域湿度,待环境条件改善后重新进行焊前清理^[5]。对于未涂装的节点构件,需采取覆盖防雨布、搭建防雨棚等防护措施,避免雨水直接冲刷导致钢材表面锈蚀,并且防止雨水渗入构件内部形成积水,影响后续涂装质量。防雨布需选用防水性能优良、抗老化能力强的材料,覆盖时确保边缘密封严密,防止雨水从缝隙处侵入,对大型构件可采用分段覆盖方式,既保证防护效果又便于现场操作。(3)环境因素管控需贯穿施工全过程,通过设置温湿度监测设备实时获取环境参数,建立动态预警机制,当监测值接近临界值时提前采取应对措施。施工人员需接受专项培训,掌握不同环境条件下的操作要点,在作业前检查防护措施落实情况,确保环境因素始终处于可控状态,为钢结构节点施工提供稳定的质量保障。

3 数字化技术应用

(1)在设计与准备阶段,三维建模技术通过构建高精度数字孪生模型,实现节点构造的虚拟装配与碰撞检测,设计人员可直观分析各构件的空间关系,提前发现并优化设计缺陷,避免现场施工中的返工问题。(2)施工过程中,物联网技术通过在焊接设备、高强螺栓拧紧机等关键机具上安装传感器,实时采集电流、电压、扭矩等工艺参数,并将数据上传至云端管理平台。管理人员可通过移动终端随时查看施工状态,当参数偏离设定范围时系统自动触发预警,指导现场人员及时调整工艺,确保焊接质量与螺栓连接可靠性。激光跟踪仪与三维扫描仪等设备的引入,实现了节点安装精度的毫米级控制,通过实时测量构件空间位置与姿态,指导吊装机械进行动态调整,避免因安装偏差导致结构受力异常。(3)质量追溯与运维管理环节,区块链技术为材料进场检验、工序交接验收等关键环节建立不可篡改的电子档案,每批钢材

的炉批号、检测报告、加工记录等信息均被加密存储于分布式账本中,实现质量信息的全生命周期可追溯。结合AR增强现实技术,运维人员可通过智能眼镜扫描节点部位,快速调取设计图纸、施工记录及检测报告等资料,辅助判断结构损伤类型与程度,制定针对性的维修加固方案。数字孪生技术进一步延伸至结构健康监测领域,通过在节点关键部位布置应变计、加速度传感器等监测设备,实时采集结构响应数据并反馈至虚拟模型,利用机器学习算法预测结构剩余寿命,为预防性维护提供数据支撑,全面提升钢结构节点的全生命周期管理效能。

结语

综上所述,钢结构节点施工是集材料科学、焊接工艺、力学分析及数字化管理于一体的系统性工程。从材料进场检验到构件加工,从现场安装定位到连接施工,每一环节均需严格遵循工艺规范与质量标准。通过建立材料质量追溯体系、强化焊接工艺评定、优化螺栓连接顺序及利用高精度测量设备,可有效控制节点施工偏差,保障结构受力性能。未来,随着耐候钢、高强螺栓等新型材料的推广及智能焊接机器人的应用,钢结构节点施工将向更高效、更精准的方向演进。工程人员需持续积累实践经验,结合技术创新完善质量控制体系,为钢结构工程的长期安全运行奠定坚实基础。

参考文献:

- [1]王建平,裴陶园,崔志广,杨彦明.大型公共建筑复杂钢结构节点施工工艺优化研究[J].云南水力发电,2025,41(10):179-181.
- [2]祝迎建.大型工业厂房钢结构施工工艺与质量控制技术研究[J].工程机械与维修,2025(7):128-130.
- [3]牛艳江.钢结构建筑安装施工过程中的监理关键控制点分析[J].门窗,2026(3):202-204.
- [4]陶旭峰.建筑钢结构工程吊装施工控制要点探析[J].产品可靠性报告,2025(6):131-132.
- [5]陈新.钢结构施工要点及质量控制研究[J].居业,2025(12):58-60.