

钢结构厂房焊接工艺与质量控制策略

刘谦, 刘欢, 张琦楠

莆田中建建设发展有限公司, 福建 莆田 351100

DOI:10.61369/ETQM.2025120022

摘要 : 本文围绕钢结构厂房焊接工艺与质量控制进行了系统研究, 从工艺参数设计、焊接质量检测及控制措施三大方面深入分析。通过科学优化焊丝直径、电流、电压等关键参数, 并结合无损检测、力学性能检测, 辅以合理的预热及层间温度控制, 使焊缝合格率达到 97.8%, 力学性能符合 GB/T 19879 标准要求。同时, 文章详细提供了核心工艺参数、检测数据及热输入和熔深计算方法, 为施工现场的工艺优化和质量保障提供了全面的技术支撑与参考依据。

关键词 : 钢结构厂房; 焊接工艺参数; 无损检测; 质量控制; 焊缝强度; 热输入量

Welding Technology and Quality Control Strategies for Steel Structure Workshops

Liu Qian, Liu Huan, Zhang Qinan

Putian Zhongjian Construction Development Co., LTD., Putian, Fujian 351100

Abstract : This paper conducts a systematic study on the welding process and quality control of steel structure workshops, and conducts an in-depth analysis from three major aspects: process parameter design, welding quality inspection and control measures. By scientifically optimizing key parameters such as wire diameter, current and voltage, combined with non-destructive testing and mechanical property testing, supplemented by reasonable preheating and interlayer temperature control, the weld qualification rate reached 97.8%, and the mechanical properties met the requirements of the GB/T 19879 standard. Meanwhile, the article provides detailed core process parameters, detection data, as well as calculation methods for heat input and penetration depth, offering comprehensive technical support and reference basis for process optimization and quality assurance at the construction site.

Keywords : steel structure factory building; welding process parameters; non-destructive testing; quality control; weld strength; heat input quantity

一、焊接工艺参数设计

(一) 焊丝与保护气体参数选择

采用气体保护焊 (GMAW) 对钢结构厂房进行焊接, 所选焊丝材质要和母材相契合。针对 Q355 钢, 应采用 ER50-6 型号的焊丝, 母材厚度决定焊丝直径。若板材厚度 $\leq 12\text{mm}$, 选用 1.2mm 焊丝, 厚度在 12 至 20mm 区间就选 1.4mm 焊丝, 若板材厚度超过 20mm, 则使用 1.6mm 的焊丝^[1]。采用 Ar 与 CO₂ 的混合气体当作保护气体, 要让配比兼顾电弧稳定性和焊缝成形性。在实际项目中, 当体积比为 Ar:CO₂ = 80:20 时, 可将气孔出现率控制到 0.5% 以内。表 1 呈现了不同直径焊丝所对应的关键工艺参数, 保护气体流量要依据焊接位置作出调整, 平焊时流量稍小, 立焊和横焊时流量增加 10% – 15%, 防止保护气体散失。

表 1 不同焊丝直径对应的焊接电流、电压及保护气体参数

焊丝直径 (mm)	焊接电流范围 (A)	焊接电压范围 (V)	保护气体配比 (Ar:CO ₂ , 体积比)	保护气体流量 (L/min)	适用母材厚度 (mm)
1.2	200 – 250	28 – 32	80:20	15 – 20	≤ 12
1.4	240 – 290	30 – 34	80:20	18 – 22	12 – 20
1.6	280 – 350	32 – 36	80:20	20 – 25	> 20

(二) 焊接电流与电压匹配设计

在开展焊接操作期间, 电流与电压搭配情况对焊缝熔深、熔宽及整体成型质量有直接作用。以 Q355 钢柱对接焊缝施工为例, 板的厚度为 25mm, 选用的焊丝直径是 1.6mm, 施工期间将焊接电流设为 320A、电压设为 34V。基于此参数, 焊缝熔宽达 18mm, 熔深 6mm, 熔宽与熔深比值 (成形系数) 为 3.0, 该系数处于 2.5 至 4.0 的最佳范围区间, 可有效降低焊缝中心偏析现

作者简介:

刘谦 (1994.11-), 男, 湖南永兴人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 工程管理、技术质量管理。

刘欢 (1990.03-), 男, 本科。

张琦楠 (1996.08-), 男, 本科。

象，提升焊缝组织的均匀性以及力学性能表现。在实际生产时，为确保焊缝稳定，需将电流与电压的偏差严格限定在 $\pm 5\%$ 范围内^[2]。

二、焊接质量检测方法

(一) 无损检测技术

钢结构厂房焊缝质量对整体结构安全与寿命有直接影响，故而焊缝无损检测是把控施工质量的关键。主要常用无损检测方式包含超声检测，各类检测方法各具特性，要使适用范围和灵敏度契合焊缝类型。关键承重焊缝可借助超声检测，能发现其中内部缺陷；射线检测还可用于检查内部缺陷，不过对复杂结构的覆盖范围或许存在局限；磁粉检测可高效检测表面及近表面的缺陷，具有高灵敏性且操作简易^[3]。对总长近8600米的钢结构厂房焊缝开展检测，如柱梁对接、牛腿连接这类关键焊缝处，UT检测实现全覆盖，保障承重结构焊缝内部品质；约50%的RT检测覆盖范围，作为重点区域检查的辅助手段；表面焊缝开展的MT检测实现了全覆盖，保障焊缝表面瑕疵能被即刻察觉与处置。具体检测数据如表2所示。

表2 不同无损检测方法的检测范围、灵敏度及焊缝合格率

检测方法	适用焊缝类型	缺陷检出灵敏度(可检出最小缺陷尺寸)	检测数量(占总焊缝长度比)	检测焊缝长度(m)	合格焊缝长度(m)	焊缝合格率(%)
超声检测(UT)	对接焊缝、角焊缝	Φ2mm圆形缺陷/长度2mm线性缺陷	35%(关键焊缝100%)	3010	2965	98.5
射线检测(RT)	对接焊缝	Φ1.5mm圆形缺陷/长度1.5mm线性缺陷	15%(关键对接焊缝50%)	1290	1261	97.8
磁粉检测(MT)	表面焊缝、角焊缝	宽度0.1mm裂纹/深度0.2mm表面气孔	50%(表面焊缝100%)	4300	4277	99.2

根据表2可得，由于MT检测是针对表面缺陷展开的，合格比例达到最高，为99.2%；RT检测对体积类缺陷的灵敏性较强，其合格比例稍低于UT检测，不过都符合GB50205中“关键焊缝合格率 $\geq 98\%$ 、一般焊缝合格率 $\geq 95\%$ ”的规定。

(二) 焊缝力学性能

为使试验结果真实且具代表性，应从实际焊缝获取试验试样，每种试验至少得取3个试件。在开展试验时，对每组试样开展测量与记录工作，以实测平均值作为焊缝性能的总体评价，同时将最小值作为安全判定参考依据^[4]。此方法既能展现焊缝整体质量情况，还能找出局部存在的薄弱之处，为结构安全给出科学凭据，还能助力焊接工艺优化与质量把控。表3呈现了钢结构厂房Q355钢焊缝力学性能的检测数据，各项指标均契合GB/T19879《钢结构焊接规范》标准，-20℃时冲击功实测的最小数值为42J，远超34J的设计标准，保障焊缝在低温条件下具备韧性。

表3 焊缝力学性能实测数据(Q355钢，ER50-6焊丝)

力学性能指标	设计要求(GB/T 19879)	实测平均值(3组试样)	实测最小值(3组试样)	达标情况
抗拉强度 σ_b (MPa)	≥ 490	520	510	达标
屈服强度 σ_s (MPa)	≥ 355	380	370	达标
冲击功 $A_{kv}(-20^\circ\text{C})$ (J)	≥ 34	45	42	达标
弯曲角度(180°)	无裂纹、无断裂	无裂纹、无断裂	无裂纹、无断裂	达标

三、焊接质量控制技术措施

(一) 焊前预热温度控制

焊前预热作为焊接施工中的一项关键工艺举措，能大幅降低焊接部位的温度梯度差，进而削减应力聚集与冷裂纹出现。需综合考量母材材质、板的厚度以及焊接所处位置等因素来确定预热温度，以此保障焊接品质与结构稳定性。合理预热可优化焊缝金属结晶状况，减少热应力，还能促进氢的扩散，降低冷裂纹与气孔缺陷出现几率^[5]。

对于Q355钢焊接工艺而言，预热温度标准与板厚关联紧密：若板材厚度不超过16mm，无需开展预热操作；当板材厚度处于16至30mm范围时，需将预热温度调控至80~120摄氏度区间；若板的厚度大于30mm，要把预热温度控制在120~150°C范围内。依照该标准要求，此钢结构厂房柱体采用的钢材为Q355，板材厚度达35mm，处于需较高预热温度的情形，利用电加热片对焊缝实施预热操作，预热范围是焊缝中心两侧各延展100mm，确保焊接区域温度一致。为保证预热效果达成，利用红外测温仪器在距焊缝中心50mm处选定5个检测点进行实地测量，测得温度依次为125°C、132°C、128°C、130°C、127°C，平均温度达128°C，完全处于所规定的120至150°C控制区间。实际检测表明，其发生率降到了0.1%以下，有力证明预热措施有效，为柱体焊缝品质和钢结构厂房整体安全性提供可靠支撑。

(二) 层间温度监测

在多层多道焊接作业中，焊缝质量受层间温度控制的影响极大。层间温度应维持在预热温度上，且控制在250°C以内，防止温度过低产生焊缝未熔合现象，或者温度过高出现焊缝晶粒粗大问题，进而对焊接接头力学性能和结构稳定性造成影响^[6]。

运用接触式温度测量仪对层间温度开展实时监控。每10分钟做一次记录，使监测的点位与预热温度检测的点位保持一样，以此保障数据的连续与可靠。以Q355钢厚板为例，多层多道焊接作业将层间温度控制区间设定为150~250°C，实际监测的温度数据有185°C、192°C、188°C、195°C和180°C^[7]。核算得到平均层间温度为188摄氏度，与预设控制标准完全契合，说明焊接时温度管理成效显著。为保障焊接热输入的稳定性，施工期间依据层间温度对焊接速度作出调整，若层间温度高于220°C，合理增加焊接速

度 $5 - 10\text{cm/min}$, 把原本设定的 30cm/min 变为 35cm/min , 进而降低单位焊缝长度的热量输入, 防止焊缝过热以及晶粒出现粗化现象。通过科学把控层间温度以及调整焊接速度, 本次作业达成了焊缝均匀熔接、焊缝组织致密稳定, 为厚板焊接质量及结构的安全性提供坚实支撑^[8]。

(三) 焊后热处理工艺

在钢结构厚板焊接施工中, 焊后热处理是一项必要的工艺操作, 可消除焊接残余应力, 优化焊缝与热影响区的金属结构, 增强焊缝力学特性与结构可靠性^[9]。以Q355钢厚板焊缝为例, 若板厚超过 30mm , 应实施焊后应力消除热处理, 防止因焊接残余应力造成结构变形或局部应力集中而引发开裂情况。必须严格把控热处理工艺的各项参数, 包含升温的速度、恒温的温度和时间、冷却的速度等^[10], 明确的要求为: 每小时升温幅度不得高于 150°C ; 温度恒定控制在 620°C 上下浮动 20°C 的范围, 恒温的时间按照板的厚度进行计算, 每 25 mm 板厚需进行1小时保温; 冷却速率应控制在 50°C/h 以内, 若温度降至 200°C 以下, 可让其自行冷却。选取钢结构厂房吊车梁的焊接作业为例, 该梁的板材厚度是 45mm , 其焊缝长度为 6m 。

四、总结

本次研究针对钢结构厂房焊接工艺和质量控制进行全面研究, 明晰了核心参数与手段: 借助调整焊丝直径以及电流、电压、气体等参数, 将热输入把控在 $25 - 40\text{kJ/cm}$ 范围, 保障熔深达到设计标准; 经质量检测, 无损检测的合格比例达到97.8%, 机械性能(拉伸强度 $\geq 510\text{MPa}$ 、冲击韧性 $\geq 42\text{J}$)比标准更优; 在质量管控环节, 借助预热处理、控制层间温度以及实施焊后热处理, 使冷裂纹发生率降至0.1%、残余应力减至 85MPa 。经工程检验, 该技术办法能够有效保证焊缝质量, 可供同类项目借鉴。

参考文献

- [1] 陈小兵.轻钢结构厂房的建筑技术[J].低碳世界,2014,(07):166-167.
- [2] 苏智良.Q420C钢在建筑钢结构箱形梁柱焊接质量控制中的应用[J].焊接技术,2024,000(7):4.
- [3] 郑求鑫,寿晨峰.大型钢结构焊接变形控制工艺的研究[J].产城:上半月,2023(3):0238-0240.
- [4] 王燕梅.钢结构厂房施工质量管理探析[J].山西建筑,2018,44(22):202-203.
- [5] 江湘华.钢结构施工工艺及质量控制措施[J].工程建设与设计,2024(22):124-126.
- [6] 阳云波.钢结构焊接质量控制[J].科技创新与应用,2014(5):15-16.
- [7] 谢仁静.钢结构建造过程中焊接质量控制[C]//全国钢结构设计与施工学术会议.2014(2):14-15.
- [8] 江湘华.钢结构施工工艺及质量控制措施[J].工程建设与设计,2024(22):124-126.
- [9] 文龙.钢结构工业厂房构件焊接应力及变形控制措施[J].城市住宅,2020,27(3):21-23.
- [10] 刘云飞.钢结构焊接工艺的腐蚀因素与控制研究[J].电子乐园,2019(7):5-7.