

钢索塔斜拉桥主桥钢结构焊接工艺研究

李铭启

中铁三局集团有限公司运输工程分公司 山西 晋中 030600

【摘要】斜拉桥是一种由钢结构和混凝土结构组成的复杂建筑结构。钢结构是斜拉桥的主要承重构件。焊接工艺是钢结构加工的关键环节，焊接工艺的改进是保证斜拉桥钢结构焊接质量和效率的重要手段。因此，改进斜拉桥钢结构焊接工艺具有重要意义。

【关键词】钢索塔；斜拉桥；主桥钢结构；焊接工艺

1. 钢索塔斜拉桥主桥钢结构焊接工艺设计

1.1. 焊前准备

主桥钢结构吊装采用塔吊进行吊装。钢结构安装误差必须满足以下要求：主体结构中心线偏位 $\leq 5\text{mm}$ ，顶面高程 $\pm 2\text{mm}$ 、且不超过 $\pm 10\text{mm}$ ，高强螺栓扭矩 $\pm 10\%$ 。节段高度 $\pm 1\text{mm}$ ，节段断面尺寸对角线差 $\leq 3\text{mm}$ 、边长 $\pm 2\text{mm}$ ，节段上下两端平行度 $\leq 0.8\text{mm}$ ，节段端面平面度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，锚面角度 $\leq 0.5^\circ$ ，锚点坐标 $\pm 2\text{mm}$ 。

测量坡口间隙、形状、角度、钝边，检查衬板与钢结构焊接情况，保护易燃易爆材料，选择与钢结构焊接要求相匹配的焊接机具，准确切割钢板，使剪切面无分层、夹渣、裂纹等缺陷。这是完成主桥钢结构焊接前的准备工作。

1.2. 钢索塔斜拉桥主桥钢结构焊接

主桥钢结构和钢箱梁采用 CO_2 气体焊接。主焊接材料应选用与斜拉桥主桥相同强度的 CO_2 气体保护焊丝和钢结构焊接材料。焊条应抛光至直径为焊缝宽度的1.5倍，弧板和灭弧板厚度应大于 9mm ，宽度和长度应大于 50mm 。弧焊板的质量应与待焊母材的质量一致， CO_2 气体储存在通风良好且干燥的地方，气体纯度要大于99.8%。当钢结构温度低于 0°C 时需要预热，使其温度保持在 22°C 。对钢结构进行预热，预热范围为焊缝中心两侧各大于 100mm 宽的地方，且T型接头的预热范围也要大于3倍板厚值。在焊接坡口 100mm 处通过表面温度计测试，在预热完成后，对钢结构进行定位焊。若定位焊缝有裂缝或气孔，清除后重焊。设置焊点厚度为焊缝厚度的 $2/3$ ，间距控制在 $500\sim 600\text{mm}$ ，焊角长度控制在 $30\sim 100\text{mm}$ ，焊条直径不能大于焊缝尺寸的 $1/2$ 。定位焊完毕后，使焊条和焊丝沿焊缝方向移动，并使其横向摆动，以获得焊条直径1.5倍宽的焊缝。焊材规格为外径 $\phi 1.2\text{mm}$ 。

焊接钢结构时，在焊缝末端 80mm 处，自动焊弧启动，淬火，局部需要自动焊钢结构，然后在焊缝末端 25mm 处弧启动，淬火。钢结构为箱形时，先焊接相邻两层，再焊接相应焊缝；钢结构为H型时，让对称位置的两名焊工等速对翼缘板进行焊接，当焊板焊道完成 $2/3$ 后，对另一侧根部进行气刨清根，再对翼缘板的腹板进行焊接；钢结构为梁一柱的工字结构时，固定预穿临时螺栓，同样使用翼缘板，先焊下翼板然后焊上翼板，当焊缝冷却至常温时再对钢梁的另一端进行焊接。针对整个钢结构采用左焊法，使焊条或焊丝偏向左侧，并与水平方向呈 60° 左右，焊件的每层焊缝厚度控制在 $4\sim 5\text{mm}$ ，层间接头错开 30mm 以上。及时清理焊道表面，用电加热器加热焊缝层间，通过专用测温仪器测量，保持其温度在 $130\sim 150^\circ\text{C}$ 。

2. 实验论证分析

2.1. 实验准备

对该钢进行了焊接性能试验。主桥钢板材料为Q345B，钢筋为HRB400。

对Q345B钢的力学性能进行了验证，Q345B钢的屈服强度为 $524\sim 583\text{MPa}$ ，纵向屈服强度较小。伸长率为 $21.5\%\sim 26.0\%$ ，横向伸长率小于纵向伸长率。抗拉强度为 $661\sim 729\text{MPa}$ ，纵向抗拉强度小于横向抗拉强度。产率为 $0.72\sim 0.80$ 。对Q345B钢进行冲击检验，结果表明，在规定的实验温度范围内，钢材冲击功在 110J 以上，可知Q345B钢具有良好的低温冲击韧性，能够作为钢索塔斜拉桥主桥的焊接母材。钢板厚度为 25mm ，使用SJ101q焊剂，分别采用上述三种焊接工艺焊接钢板，焊后室温冷却 40h ，得到实验试件。

2.2. 疲劳裂纹扩展速率实验

测试钢结构焊接试件的抗疲劳断裂性能。使用 0.2mm 钼丝在试件的中间位置切割 1.5mm 深的缺口，实验装备采用低温环境箱，在箱体上、下壁留有可以使内窥镜镜头伸入的小孔。环境箱的均热带长度为 100mm ，工作温度为 $-75\sim 300^\circ\text{C}$ ，温度波动 $< 2^\circ\text{C}$ ，温度梯度 $< 5^\circ\text{C}$ 。将氮气喷入环境箱，形成低温环境，在箱内装有热电偶，实时采集温度并传送到控制面板，通过控制面板输入温度控制指令。将内窥镜镜头伸入环境箱内并由光纤固定，观察焊接试件的裂纹。同时把镜头接在摄像机上拍摄焊接试件的裂纹图像。将试件的线切割长度和预制疲劳裂纹之和控制在 $0.45\sim 0.70$ 倍试件宽度之内。在焊接试件上采用等幅加载，其载荷的加载方式为正弦波形式，加载频率为 0.3Hz ，下限应力比固定为 0.15 ，平均荷载为 26.8kN ，荷载幅值为 24.35kN 。记录疲劳荷载的平均值，将其作为荷载循环加载的起点，不断作用于焊接试件，当裂纹扩展到达设定长度时，记录整个疲劳过程试件裂纹的扩展频率、载荷大小、次数、加载时间等。

3. 结束语

本文设计的焊接工艺可以降低被焊件的疲劳裂纹扩展速率，保证被焊件的抗疲劳性能，提高被焊件的硬度值和屈服强度，使其力学性能达到标准要求，桥梁钢结构的可焊性优于两种传统焊接工艺。但是，本研究还存在一些不足之处，主要针对斜拉桥主桥缆塔使用的常用钢材进行研究。在未来的研究中，将进一步研究其他复杂类型的钢，以提高焊接工艺的通用性。

【参考文献】

- [1] 陈欣, 吉伯海, 李心诚, 等. 大跨悬索桥钢箱梁焊缝重要性分级方法研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2019, 39(5): 81-86.
- [2] 张明启, 王虎, 李文强, 等. 大跨度弧形桁架桥钢结构加工关键技术[J]. 山西建筑, 2020, 46(16): 144-146.
- [3] 程茂欣. 大跨度城市景观桥钢箱梁焊接技术[J]. 低碳世界, 2020, 10(3): 124-126.