

基于正交异性钢桥面U型纵向加劲肋焊接工艺的研究

夏宇龙 曹立辰 宋生玮 李 品 张弼畅

中国水电四局(长治)能源装备工程有限公司 山西 长治 046000

摘 要: 随着钢结构桥梁在现代化桥梁工程中的广泛推广,正交异性钢桥面作为大跨度钢桥结构中采用最多的一种桥面板结构形式,是现代钢结构桥梁制造领域的重要成果之一。从繁忙的城市交通要道,到偏远的山川河流之上,正交异性钢桥面已成为大跨度钢桥梁建设中的首选材料,其自重仅为钢筋预制混凝土桥面板自重的1/3,有效减轻了桥梁整体的重量,降低了对地基承载力的要求,提升了行车的安全性和舒适性。尽管正交异性钢桥面有承载力高、适应性强和重量较轻的优点,但钢桥面板焊接后会产生大量的残余应力,在大量交通载荷的反复作用下,伴有疲劳开裂的普遍性病害。本文针对U型肋与面板焊接过程中的焊缝成形工艺要点及质量控制做出分析,提出较优的拼装焊接工艺。

关键词: 全熔透焊接;焊前控制;随焊控制;焊后处理;U肋接头

1 工程概况

G341胶南至海晏公路加定(青甘界)至海晏(西海)段工程JX-1标段项目位于甘禅口东侧,为互通式立交,斜交角度为60°,中心桩号为K14+231,桥梁全长249米,连续钢箱梁部分跨径布置为36m+60m+36m,钢箱梁均为单箱多室直腹板截面,主体结构(包括调平钢板)皆采用Q345qE钢材。此桥面板结构由面板、纵肋和横肋组成,纵肋和横肋互相垂直布置并焊接在面板上,为正交异性钢桥面板结构^[1]。

本桥跨大通河处1#~4#采用两幅等高连续钢箱梁,边中跨比为0.6。钢箱梁的横坡形成方式为底板水平,腹板不等高找坡,左幅桥基准高为3m,右幅桥基准高为2.6m。Z1#~Z4#范围内沿分跨线的斜向桥宽25.088~17.59m,Y1#~Y4#范围内沿分跨线的斜向桥宽25.92m,侧悬臂长度2m。

结合甘禅口大桥分段情况,又将左幅横向分为8个块体(包含悬臂部分),右幅分为9个块体(包含悬臂部分),钢梁加工与制造均在工厂内进行,在工厂内拼装后分块运输至现场。正交异性钢桥面板结构板件众多,受力复杂长且长期承受反复的车辆载荷作用,因此U肋与桥面板间角焊缝的焊接质量尤为重要,采用全焊接工艺。

2 面板与U肋焊接质量控制措施

2.1 焊接前工艺要求

钢板在投入生产前的预处理质量直接决定产品后期的使用寿命,进行钢材预处理可提高金属构件的抗腐蚀能力,提高钢板的抗疲劳性能,同时还可以优化钢材表面工艺制作状态,有利于数控气割机进行下料。U肋材料使用前需对高度、宽度、厚度、顶部凸度、坡口角度等外形基本尺寸进行检查,保证零件尺寸在允许的偏差范

围内。

2.1.1 编制焊接工艺试验任务书

根据本桥结构特点、所使用钢材种类以及对焊接接头的质量要求,对面板和U肋焊接接头拟选定坡口形式、坡口尺寸、焊接材料及焊接工艺,依据本桥梁项目设计文件、铁路钢桥制造规范、公路桥涵施工技术规范等进行焊接工艺评定试验。

2.1.2 钢材预处理工艺

钢材进场后,需对来料钢材进行校平处理、抛丸处理和车间底漆喷涂。由于钢板自钢厂生产下线后经过一段时间的堆积和运输过程中的挤压,会存在变形的情况,平面度变化后进而影响数控下料的精度。钢板校平处理可以消除钢板内部的残余应力,提高钢板表面的加工性能。对钢材进行抛丸处理可以清除钢材表面的氧化皮、油污杂质与锈蚀部分,使得钢板表面达到所要求的清洁度与粗糙度。钢板喷涂车间底漆有利于对底材进行保护和装饰,可以保证材料在焊接、切割、装配等阶段不生锈,有利于后期防腐涂装工序施工,高等级的表面处理质量将会延长钢构件的使用寿命。

2.1.3 面板、U肋处理工艺

2.1.3.1 面板处理工艺

在面板U肋装配前,要考虑到下一步与U肋装配焊接时的焊接质量,对已经经过预处理工序的面板要在U肋两侧焊接区域进行处理。装配前应进行零部件检查,U肋所在面板接接触面和沿焊缝边缘30mm~50mm范围内的铁锈、氧化皮、油污水份清除干净,露出面板金属光泽。

2.1.3.2 U肋处理工艺及坡口选型

U肋板单元制造前需在U肋内壁及覆盖区域涂装无机硅酸锌车间底漆。清洁U肋两侧焊接部位的毛刺、油污、

氧化皮、铁锈和其他杂质时，可采用喷砂或者抛丸等方法进行彻底除锈，修补时可采用手工机械除锈，装配U肋时采用无焊接马板装配，进一步减轻工人打磨处理的工作量，减少材料浪费。

U肋坡口对焊缝熔深有着重要的影响，在满足设计要求的熔深条件下可有效避免U肋焊缝疲劳开裂的情况。施

工小组以达到焊缝最大熔透深度为出发点，设计了三组焊接试验（见表1）。试验中运用3种不同大小坡口角度的U肋与面板进行实体组装焊接试验，根据记录实测数据进一步分析U肋坡口角度对焊接质量的影响，优选焊缝熔深最好的一种坡口角度进行施工^[2]。

表1 不同U肋坡口角度影响焊接质量统计表

试验编号	坡口角度	钝边尺寸（mm）	焊缝长度（mm）	不合格焊缝长度（mm）	熔透合格率
PK01	33°	3	12000	1625	86.5%
PK02	45°	3	12000	1403	83.3
PK03	53°	3	12000	1032	91.4%

通过焊缝断面酸蚀试验可以得到焊缝宏观金相图（图1），采用53°坡口的U肋焊接后的断面如图1所示，焊接后焊缝熔深较大，焊缝一次探伤合格率较高，熔深基本能满足U肋板厚的80%，尽可能避免产生焊透深度不足及焊漏的风险。因此，U肋原材选用53°的坡口角度。

2.1.4 装配工艺

组装时严格执行板单元焊前检查制度，U肋与面板组装间隙应不大于0.5mm，U肋与面板组装间隙超差的全部打开重装。

2.2 焊接前准备

2.2.1 钢材及焊接材料准备

2.2.1.1 匹配焊接材料

根据本工程设计文件要求所用钢板材质，选择与其相匹配的焊接材料，焊接评定试验用焊接材料符合表2规定。

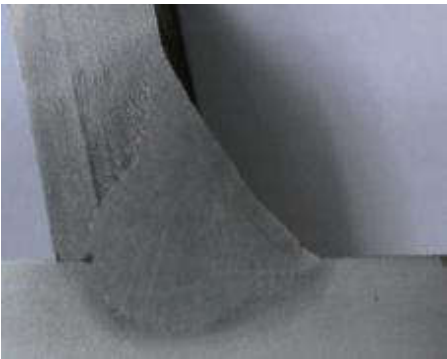


图1 焊缝酸蚀断面

表2 试验用焊接材料

焊接材料名称	焊接材料牌号或型号	标准名称	标准号
CO ₂ 实芯焊丝	ER50-6	《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》	GB/T 8110-2018

2.2.1.2 焊接材料使用规定

（1）焊接材料的储存库应保持十一的温度及湿度，一般室内温度不低于5℃，相对湿度不大于60%。对于因吸潮而可能导致失效及有特殊要求的焊接材料，应采取必要的存放措施。

（2）焊接材料应符合质量标准，有效期遵循焊接材料质量证明书推荐的使用期限。无推荐时，一般不超过五年；如焊材包装破损、生锈等，则需评估后确定，有效期限由使用方根据实际存放环境、产品特性要求和焊材材料状态等进行评估确认。

2.2.2 设备配置

当前主流的正交异性桥面U肋焊接设备有U肋气体保护内焊专用设备、U肋埋弧内焊设备、U肋埋弧外焊设备、二氧化碳气体保护焊自动焊接小车。本项目选用自动焊接小车（HK-8SS）+船型焊接胎架的组合进行桥面板U肋的焊接。

2.2.3 焊接工艺

若实现U肋角焊缝全熔透焊接工艺，则可采用气体保护双面焊接设备和龙门埋弧双面焊接设备，埋弧双面焊接相比气体保护双面焊接工艺热输入较大，可以保证更深的焊缝熔深，并且龙门埋弧双面焊不需要U肋开设坡口就可以达到稳定的焊缝质量。根据本项目施工特点，采用成本更加低廉的二氧化碳气体保护焊自动焊接小车设备，焊丝选用Ø1.2mm标号为ER50-6的实芯焊丝，焊接电流维持在280~320A，电压维持在30~32V，焊接速度维持在460~520mm/min，外侧角焊缝熔深规定达到75%-80%。

U肋焊接时，将拼装好的面板单元件吊装放置在交叉角度为90度的三角焊接胎架上，自动焊接小车放置在U肋外壁上，辅助支撑轮与面板接触引导小车的行进方向，进而将气体保护焊枪头插在自动焊接小车焊枪架上即可完成小车布置。U肋同侧的焊缝焊接完成后，再将板单元调运至另外一侧以相同的倾斜角度放置，以此焊接另

外一侧的焊缝。所有焊缝焊接时都保持焊接方向一致，根据U形肋数量以及焊缝焊接时产生侧向弯曲的倾向安排合理的焊接顺序，减小产生扭曲变形和侧向弯曲变形的倾向^[3]。这样更有利于保证焊缝的熔深，并且焊接质量稳定，以最经济的方式获得理想的焊缝。

2.2.3.1 焊前预热

施焊前，焊工应复查焊件接头质量和焊区的处理情况，当不符合要求时，应经修整合格后方可施焊。根据以往焊接实验结果和工程制造经验，确定本桥钢板焊接最低预热温度见表3。

表3 最低预热温度及道间温度

材质	板厚 (mm)	最低预热温度(℃)		预热区域范围 (mm)	道间温度 (℃)
		定位焊、手弧焊气体保护焊	埋弧焊		
Q345qE	$t \leq 20$	—	—	每侧100mm以上	5~250
	$20 < t < 40$	20	20	每侧100mm以上	20~250

注：1.上述预热板厚以板厚组合中厚板为准；
2.预热方法：火焰预热或电加热；
3.预热范围为焊缝及两侧>100mm范围内，测温点距离焊缝中心30~50mm；
4.板厚>30mm需要记录测量温度。

2.2.3.2 焊接工艺参数

焊缝质量与焊接时工艺参数的选择息息相关，焊接电流、电压、速度、焊丝干伸长度等参数对焊缝成型产生不同程度的影响，进而影响焊缝质量。例如，焊接电流对焊缝的熔深影响较大；合适的焊接电压配合焊接电流可以获得良好的焊缝外形；焊接速度的快慢对焊缝的成形及缺陷的形成有重要的影响；焊丝的焊前伸出长度则影响焊接操作者观看焊缝熔池，过长和过短都对焊缝

熔深、电弧功率、保护效果等产生影响。

为了获得合理的U肋焊接工艺参数，施工组通过调整二保焊机焊接时的电流、电压、速度等参数获得四组对照组数据。焊接时以焊接电弧电压以飞溅小、焊缝成形好、无咬边为目标，再将每组的试件进行超声波检测，分析焊接工艺参数对焊缝的影响。试验组焊丝规格均选用ER50-6(Ø1.2mm)型，焊机均选用NBC-500型，实验组数据见表4。

表4 对照组焊接工艺参数

试验编号	焊丝规格	焊接电流(A)	焊接电压(V)	焊接速度(mm/min)	焊丝伸长(mm)
HJ01	ER50-6(Ø1.2mm)	280~320	30~32	460~520	20~25mm
HJ01	ER50-6(Ø1.2mm)	300	31	500	30
HJ01	ER50-6(Ø1.2mm)	320	31	450	30
HJ01	ER50-6(Ø1.2mm)	300	31	450	30

通过对比，焊接电流和焊接速度对U肋焊接一次合格率影响较大，焊接速度过低、焊接电流过大都容易导致熔透深度不足；电流超过330A时，会出现局部焊漏的现象。因此，选择合适的焊接工艺参数对提高焊接质量和提高生产效率是十分重要的。在生产过程中，工艺技术人员需根据实际工况对焊接工艺参数做出合理调整，以此获得良好的焊缝成形和内部质量。

3 结束语

随着正交异性钢桥面U肋焊接工艺由外部的单面焊接衍生至内外双面焊接，由气体保护焊接衍生至埋弧焊接，一步步优化的焊接工艺对于提升U肋角焊缝质量有着极大的帮助。U肋与桥面板的连接部位作为关键的受力部位，影响到桥梁运营后的耐久性。后期在生产制造过程

中，应进一步优化焊接工艺，提升U肋角焊缝一次焊缝成形合格率，减少非必要的返修工作，降低返修对母材造成的损伤。尤其是将内部角焊缝的外观成型质量作为研究的重点，从技术必要性和生产制作经济性出发，结合稳定可控的施焊设备，将正交异性钢桥面的U肋焊缝疲劳性能提升至行业新高度。

参考文献

[1]刘治国,李军平,张梁,等.正交异性钢桥面板细节构造及关键制造技术[J].公路交通科技,2014.
[2]裴雪峰,车平,冯辉.钢桥面板U肋角焊缝全熔透焊接工艺研究[J].金属加工(热加工),2021.
[3]何思根,虎门大桥钢箱梁U肋与桥面板的焊接工艺[J].广船科技,1995.