

钢桥梁正交异性桥面板U肋焊接工艺研发与探讨

薛长利, 张建国, 孙卫国, 杨大伟

中铁宝桥集团有限公司 陕西宝鸡 721006

摘要: 结合近些年来几种桥面板U肋角焊缝焊接工艺研发情况, 详述了坡口设计、焊接工艺及工艺措施等内容, 通过焊缝宏观金相试验检验熔深, 分析了各种焊接工艺措施的优势和不足, 总结了实施过程中的控制要点, 为今后施工提供借鉴。

关键词: 正交异性桥面板; U肋; 焊接工艺; 钢桥梁

1 序言

钢桥梁是设计使用寿命百年以上的公共建筑, 正交异性桥面是众多钢结构桥梁的重要组成部分, 钢桥面板与U肋焊缝属典型的承力焊缝, 质量要求严格^[1, 2]。其中, U肋根部裂纹广受关注, 该类裂纹一旦萌生, 很可能向桥面板发展形成贯通裂纹, 不仅影响行车安全, 而且返修十分困难。

U肋与面板焊接接头的焊接方式主要采用部分熔透角焊缝, 即未熔透焊。TB 10091—2017《铁路桥梁钢结构设计规范》和JTGD 64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》要求U肋采用单面焊接且熔深为不小于U肋板厚的75%; 日本钢桥疲劳设计指南同样要求确保U肋板厚75%以上的熔透量; 美国AASHTO 规范规定熔透深度不小于U肋板厚的80%。

2000年以后, 我国桥梁工程正交异性桥面U肋焊接熔深要求均为U肋板厚的75%~80%, 例如郑新黄河公铁两用桥、泰州长江公路大桥、南沙大桥等重大项目均被采用。近几年, 随着桥梁装备制造业的发展, 又推出了桥面U肋角焊缝全熔透焊接技术, 即在U肋内、外侧施焊, 使U肋与桥面板之间焊缝熔透。该技术已在深圳至中山跨江通道工程、连镇铁路五峰山长江大桥、武穴长江大桥等项目中采用。

2 U肋焊接工艺研发

伴随设计要求和科技水平的发展, 工程师对正交异性U肋焊接工艺研究一直未停止过, 通过试验

和施工, 开发了一系列U肋焊接工艺。

2.1 药芯焊丝CO₂气体保护焊

(1) 横位焊接工艺 20世纪90年代初, 虎门大桥开始建造, 正交异性桥面板单元制造无相应的标准和经验可遵循, 设计对U肋焊接熔深没有要求, 仅对U肋提出了一些外观上的要求^[3]。针对这些技术要求, 制造厂制定了金属粉型CO₂气体保护焊丝横位焊接工艺。

虎门大桥U肋厚度为8mm, 按照当时技术, 虽然国内无法自己压制U肋, 但日本进口的U肋坡口为33°, 且大小不一, 需制造厂二次加工到45°, 不留钝边, 如图1所示。

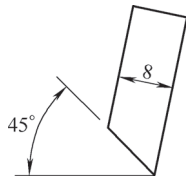


图1 虎门大桥U肋坡口

虎门大桥U肋焊接采用金属粉型药芯焊丝(型号MX-200、 ϕ 1.6mm)横位CO₂气体保护焊工艺, 焊接两道, 焊丝干伸长为20~25mm, 气体流量为25L/min。虎门大桥U肋焊接参数见表1。

表1 虎门大桥U肋焊接参数

焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
1	260~280	32~34	650~700
2	300~320	28~30	450~500

第一道焊丝起弧点距U肋内侧边向外1~1.5mm处,焊枪与桥面板夹角为 $35^{\circ} \pm 2^{\circ}$,虎门大桥U肋焊接焊枪位置如图2所示。

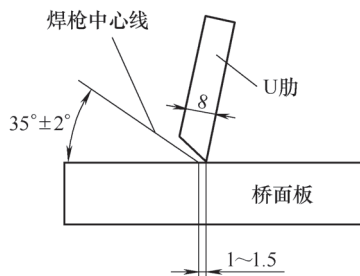


图2 虎门大桥U肋焊接焊枪位置

由于虎门大桥对U肋熔深没有要求,仅对U肋焊缝外观进行检验和验收,所以随着经济的发展,物流节奏加快,超载现象严重,疲劳导致虎门大桥U肋角焊缝开裂,给后续运营带来安全隐患。

(2) 船位焊接工艺 由于虎门大桥U肋角焊缝开裂,桥梁设计和科研单位开始对正交异性桥面板进行抗疲劳性研究,得出结论:U肋熔深不得小于U肋板厚的75%~80%,且不得焊漏。为此,国内各制造厂也开展了U肋焊接工艺的开发,提出了船位焊接工艺更能保证焊缝外观质量,于是设计U肋焊接专用船型胎,采用药芯焊丝 CO_2 气体保护焊配跟踪小车焊接。板厚为8mm的U肋焊缝,采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 焊丝一道焊接完成, $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝两道焊接完成,均要求在 30° 船位状态下焊接。这两种焊接工艺在郑新黄河桥、苏通长江大桥、舟山西堠门长江大桥等国家重点项目上运用,具体工艺及措施如下。

U肋坡口与桥面板的夹角为 $50^{\circ} \sim 55^{\circ}$,预留1~2mm钝边,如图3所示。

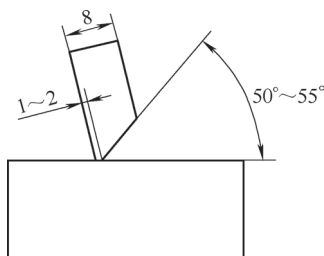


图3 船位焊接U肋坡口

采用药芯焊丝为E501T-1,焊丝干伸长为20~25mm,气体流量25L/min。药芯焊丝船位焊接U肋工艺参数见表2。

U肋焊缝需在焊接专用胎架上 30° (桥面板与

表2 药芯焊丝船位焊接U肋工艺参数

焊丝规格 ϕ/mm	焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
1.6	1	320~340	32~34	260~300
1.2	1	280~320	30~32	460~520
	2	280~320	32~34	270~330

水平面夹角) 船位焊接, U肋船位焊接示意如图4所示。

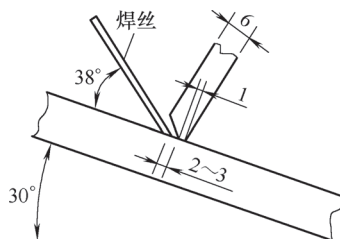
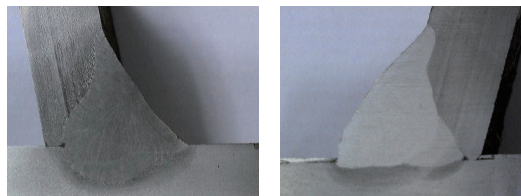


图4 U肋船位焊接示意

为了验证工艺是否满足要求,对焊缝进行宏观断面检测熔深。焊缝熔深基本能满足U肋板厚的75%~80%且不焊漏要求,但是焊缝根部容易出现空洞现象,药芯焊丝船位焊接U肋焊缝宏观金相如图5所示。



a) 药芯焊丝一道焊接宏观金相 b) 药芯焊丝两道焊接宏观金相

图5 药芯焊丝船位焊接U肋焊缝宏观金相

从宏观金相来看,虽然两种焊接工艺基本满足要求,但还是有焊缝根部出现未熔合的小瑕疵,这是因为药芯焊丝自身的焊接熔深小,不足以把焊缝钝边熔化。

2.2 实芯焊丝混合气体保护焊

由于药芯焊丝熔深小的特点,所以焊丝指向焊缝根部会出现焊漏现象,偏离根部则会出现不能与根部熔合。利用实芯焊丝自身焊接熔深较大的特点,制造厂开发了实芯焊丝气体保护焊工艺。但实芯焊丝采用 CO_2 气体保护时飞溅较多,焊缝表面清理困难,另外焊接飞溅容易堵喷嘴出口,焊接过程得不到 CO_2 气体保护容易出现表面气孔或断弧现

象，造成焊接接头较多。

采用实芯焊丝富氩混合气体（体积比为80%Ar+20% CO₂）保护焊，飞溅小，且船位焊接U肋焊缝比药芯焊丝CO₂气体保护焊更容易保证根部熔合良好，此工艺在马鞍山长江公路大桥、南京长江四桥等项目上得到应用。

实芯焊丝混合气体焊接U肋焊缝工艺如下。

U肋坡口与药芯焊丝CO₂气体保护焊船位焊接坡口一致。 ϕ 1.6mm实芯焊丝ER50-6一道焊接完成，焊丝干伸长为20~25mm，气体流量为25L/min。实芯焊丝船位焊接U肋工艺参数见表3。

表3 实芯焊丝船位焊接U肋工艺参数

规格 ϕ /mm	焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
1.6	1	300~340	26~28	300~340

实芯焊丝混合气体（体积比为80%Ar+20% CO₂）船位焊接U肋的工艺措施与药芯焊丝CO₂气体保护焊船位焊接U肋相同。

对U肋焊缝进行宏观断面检测熔深，焊缝熔深基本接近熔透，能满足设计要求达到U肋板厚75%~80%熔透率，但是在焊接过程中焊丝的角度控制不好的情况下，非常容易出现焊漏现象。实芯焊丝混合气体保护焊船位U肋焊缝宏观金相如图6所示。

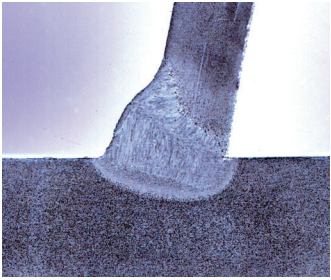


图6 实芯焊丝混合气体U肋焊缝宏观金相

2.3 双丝混合焊

虽然上述两种U肋焊接工艺均能满足U肋焊缝设计要求，但是在施工过程中对工艺措施要求非常苛刻，过程管控比较困难。针对这些难点，制造厂研发出一种U肋双丝焊接专机，即一个机械臂上两套送丝（分为前丝和后丝）系统，呈前后位置布置，两套供气系统。U肋双丝焊接专机如图7所示。

前丝采用实芯焊丝混合气体（体积比为80%Ar+20% CO₂）焊接，后丝为药芯焊丝CO₂气体



图7 U肋双丝焊接专机

保护焊焊接，此工艺已经在南沙大桥、深中通道等项目中运用。具体工艺如下。

U肋坡口与药芯焊丝CO₂气体保护焊船位焊接坡口一致。焊丝干伸长和气体流量与药芯焊丝CO₂气体保护焊船位焊接工艺要求一致，前丝实芯焊丝直径为1.2mm，后丝药芯焊丝直径为1.6mm，采用横位焊接。混合双丝焊接U肋工艺参数见表4。

表4 混合双丝焊接U肋工艺参数

焊丝位置	焊道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
前丝	1	260~300	28~32	430~460
后丝	2	280~320	32~36	

U肋焊缝需在焊接专用胎架上横位焊接，前（后）丝焊枪与水平面夹角为43°，前丝起弧点距U肋内侧边向外2~4mm处，U肋双丝焊接如图8所示。

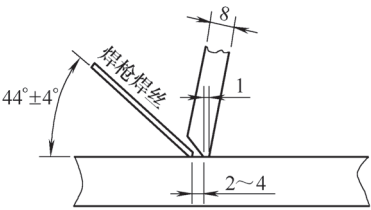


图8 U肋双丝焊接

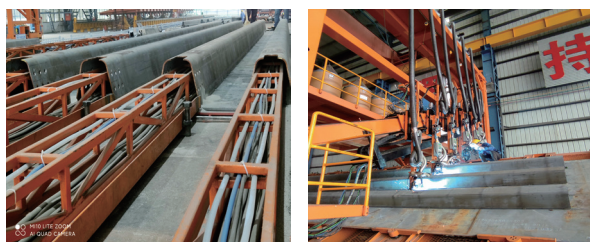
对U肋焊缝进行宏观断面检测熔深，焊缝熔深能满足设计要求大于U肋板厚75%~80%熔透率，且没有焊漏的现象，焊缝表面没有飞溅。前丝主要是利用实芯焊丝焊接熔深较大的特点，保证了坡口根部的熔合，横位焊接减少了焊漏现象的发生；后丝是利用药芯焊丝飞溅小的特点，保证了焊缝表面成形。控制措施要求不是很严格，焊丝焊枪的夹角可在8°范围内调整，前丝起弧点可在2mm范围内调整。双丝混合焊U肋焊缝宏观金相如图9所示。



图9 双丝混合焊U肋焊缝宏观金相

2.4 U肋熔透焊

随着桥梁装备制造业的发展,近几年又研发了U肋内角焊专机,随之正交异性桥面板U肋焊缝要求熔透。U肋熔透角焊缝焊接工艺分为内焊、外焊两部分,均采用埋弧焊的焊接工艺(也有内焊采用药芯焊丝 CO_2 气体保护焊焊接),并且U肋无需加工坡口, U肋熔透焊接设备如图10所示。



a) U肋内焊专机

b) U肋外焊专机

图10 U肋熔透焊接设备

U肋熔透焊操作方法:首先,使用内焊机采用横位在U肋内侧焊接K6mm的贴角焊缝,并形成一个较大的熔深,然后用外焊机采用 35° 船位在U肋外侧焊接确保熔透,内焊和外焊分别使用 $\phi 1.6\text{mm}$ 和 $\phi 3.2\text{mm}$ 埋弧焊丝(也有内焊使用药芯焊丝)焊接。采用U肋熔透焊接的项目有五峰山长江大桥、武穴长江大桥、深中通道等项目。U肋熔透焊接顺序如图11所示,焊接参数见表5。

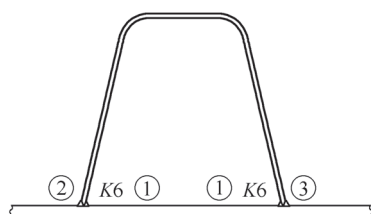


图11 U肋熔透焊接顺序

注:①~③代表焊接顺序。

为了保证U肋内焊质量,要求焊丝对准U肋焊缝中心,起弧后一次性焊接完成,焊接过程中不得熄

表5 U肋熔透焊接参数

焊道	焊接位置	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
1	横位	350~410	30~34	360~440
2、3	35° 船位	580~620	30~34	440~520

弧,否则无法实现连续焊接。

从宏观金相来看,确实保证了U肋熔透要求,U肋熔透焊缝宏观金相如图12所示。

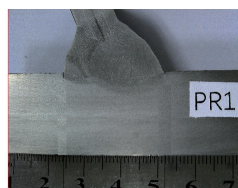


图12 U肋熔透焊缝宏观金相

正交异性桥面U肋内焊技术的运用,提高了中国钢桥梁制造水平。需要注意的是内焊专机要有很高的稳定性,否则不能保证焊缝质量。

3 焊接工艺及措施

虎门大桥桥面疲劳致使U肋焊缝开裂是一个很复杂的过程,由设计、制造及后续运营管理等很多原因造成。

1) 药芯焊丝船位焊工艺充分考虑了设计要求达到U肋板厚75%~80%熔透率,此工艺基本能满足设计要求。由于药芯焊丝熔深较小的特点,所以容易产生坡口根部未熔合现象。另外,工艺措施要求苛刻,若使用此工艺施焊,就对操作人员、检验人员的操作水平及责任心提出了较高要求。

2) 实芯焊丝混合气体保护焊单道焊接工艺也充分考虑了设计要求达到U肋板厚75%~80%熔透率,此工艺利用实芯焊丝熔深较大的特点,制定合理的工艺,采用船位焊完全能保证焊缝熔透率,但是很容易出现焊漏,很大程度导致根部裂纹的产生,为此解决焊漏问题成为控制U肋焊缝质量的重中之重。

3) 双丝混合焊焊接U肋焊缝工艺,前丝解决了焊缝熔深问题,后丝解决了焊接飞溅问题,一旦工艺制定合理、焊丝位置调整到位,就可以解决焊缝熔深要求的难题,但是此工艺仅能在专用焊机上使用。

工艺仿真技术在工程机械结构中的应用研究

李德明, 蒋富强, 宫涛, 王彩凤

山推工程机械股份有限公司 山东济宁 272000

摘要: 随着工程机械制造业产品研发的数字化转型, 对产品所涉及关键构件的设计及制造过程中趋于更全面的工艺风险评估, 但工艺开发手段仅仅依赖传统经验模式是远远不够的。通过结合某款推土机新型车架结构优化, 创新地采取某款焊接工艺仿真工具进行提前介入分析, 有效减少物理试错概率及试错成本, 降低产品开发风险, 同时也为工艺仿真对实际问题的解决方案提供一种参考。

关键词: 工艺仿真; 焊接; 工程机械; 应用研究

1 序言

近年来, 随着电、液等相关技术和智能化技术在工程机械行业中的应用, 推土机也由原常规机械液力式向更高效的静液压推土机转变, 产品结构的差异性大也给工厂生产制造带来新的挑战。如某新型车架完全不同于常规产品的后桥箱、机架、平衡梁架等几大传统部件中铸锻件较多的组焊结构特点, 而是摒弃对环保要求过高铸锻件, 采取以低合金高强板为主的一体式组焊结构, 如图1所示。

由于公司原自动化焊接生产线相对柔性较低, 生产工艺流程只适应于原常规产品的生产, 所以无法有效满足该新产品的生产工艺要求。若根据新机型产品结构投入新的自动化焊接生产线, 一是投资额度较大, 二是新机型产品需经历市场推广阶段, 这期间常规产品在量上仍为主导, 无法替换腾出厂房空间来布局, 从而导致短期内新机型生产瓶颈的现实问题。因此, 也只能采取人工参与度较高的焊接作业方式来实现, 但作业中使用行车吊装翻转会

4) U肋内外焊熔透焊接工艺能满足U肋全熔透要求, 工艺的关键在于内焊不得焊偏, 要求内焊设备稳定性好, U肋内部焊缝一旦出现缺陷很难返修或根本无法返修, 无法保证熔透。

总之, 在上述几种成熟的焊接工艺中, 不管采用何种方法焊接, U肋机加工和组装精度均需满足技术要求。

4 结束语

合理的焊接工艺可提高正交异性桥面结构抗疲劳性能, U肋熔深控制、焊缝外观质量满足要求也是提高抗疲劳性的一种措施。通过总结研发出的以上几种U肋焊接工艺, 在实施过程中各有优缺点, 得出以下结论。

1) 采用药芯焊丝焊接, 坡口根部容易产生未

熔合。实芯焊丝船位单道焊对电弧燃烧位置要求极高, 措施控制不合理容易出现焊漏现象。

2) 双丝混合焊实芯焊丝保证了焊缝熔深, 药芯焊丝保证了外观质量。

3) U肋内外埋弧焊能够实现熔透焊接, 进一步提高了桥面板的焊接质量。

参考文献:

- [1] 张华, 舒先庆, 黄新明. 钢桥焊接中工艺参数与焊缝金属填充量的关系[J]. 焊接, 2007 (8): 50-52, 64.
- [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): 41-44.
- [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 (4): 47-49.

MW 20210806