

垂直气电焊在船体大合拢60°斜板对接合拢缝中的应用

郭金翔 张芳杰

【摘要】 本文通过试验模拟对接焊缝60°倾角状态下，使用垂直气电焊焊接，分析影响其在该状态下的主要因素，探索总结出垂直气电焊在该状态下的工艺参数，并在实船（82000T散货船）上边舱斜板大合拢对接焊缝中实践，论证垂直气电焊运用于大合拢60°斜板对接合拢缝中的焊接，其焊接质量能够满足要求；它的应用将进一步缩短大合拢的建造周期，提高焊接效率和焊接质量。

关键词： 垂直气电焊；60°斜板对接焊；工艺参数

1. 概述

随着造船行业的发展，尤其是目前造船企业所面临的困境，高效率的焊接方式已成为各船厂追求的目标；优良的焊接方式不仅影响船舶的建造周期，更直接影响到船厂的经济效益；在船舶大合拢的垂直立缝焊接中，垂直气电焊凭借焊接速度快，焊接过程稳定，焊缝成形美观、质量好等优点，得到广泛应用。它的应用将进一步缩短大合拢的建造周期，提高焊接效率和焊接质量。

2. 60°斜板对接垂直气电焊的试验和应用

通常垂直气电焊适用于垂直于基面90°的对接立焊板缝，焊接电流、电弧电压、焊丝干伸长度的选择决定了焊接小车的行走速度。而当对接板缝的板材向后倾斜30°，即与基面成60°角

时，该状态的各项焊接参数将会发生怎样的变化，因此，带着此课题进行项目试验和探究，摸索搭配合理的工艺参数。

此次试验模拟斜板状态（与基面成60°），板材的材质与实船相同，而厚度分别选取了板厚14~20mm为试验对象。

试验设备焊接小车的组成：XD600G CO₂半自动焊接电源、HIT—COOL38水冷循环装置、HIT201焊接小车、带齿的永磁铁铝合金导轨、CO₂送丝机构与试验焊丝φ1.6mm。

从上述垂直气电焊的特点及影响其焊接性的主要因素，可以看出影响其焊接参数的因素有：焊接坡口角度和间隙、焊接电流和电弧电压、焊丝的伸出长度、焊丝摆动和焊丝停留时间。为此，建立了试验过程中上述因素

的跟踪表，将跟踪过程中的主要因素变化，以及焊缝外观的成形（正/反面）、焊缝内在的质量（NDT）、时间和工效进行对比（见表1）。

当板材倾斜60°后，上述参数选择是难点也是关键点。为此，过程中对上述的四个主要因素进行跟踪和分析。

（1）坡口角度和间隙 从上述跟踪表可以看出，对接板材在60°状态下，相对于90°而言板厚有所增加，因此其对接板材坡口角度应减小，间隙需增大。试验的结果也验证这一点。该状态的坡口为25°左右，间隙为10~12 mm较为适宜。

（2）焊接电流与电弧电压 由于垂直气电焊正反面焊缝一次成形，药芯焊丝直径为1.6mm，所以焊接电流、电弧电

表1 部分焊接过程跟踪

板厚 /mm	坡口间隙 /mm	电弧电压 /V	焊接电流 /A	干伸长度 /mm	摆幅 /mm	停留时间 /s
14	10~12	40	260~300	22	7~8	0~0
14	6~8	42	360~380	31	3~4	0~0
14	8	42	380~400	34	7~8	0~0
14	8	40	240~260	34	5~6	0~0
14	6~8	36	360~380	32	5~6	0~0
14	6~8	46~50	400~440	35	6	0~1
14	6~8	42~46	400~440	34	6	0~1
14	10~12	40~42	360~380	33	6	0~0.5
14	10~12	38~40	300~340	28	6	0~0.5
20	10~12	46	360~380	31	9~10	0~0
20	6~8	36	300~320	36	8~9	0~0
20	6~8	42	320~340	43	5~6	0~0
20	6~8	42	360~380	40	9~10	0~0
20	6~8	46	460~480	33	10~11	0~0
20	6~8	40	400~420	30	10~11	0~0
20	6~8	56~60	400~420	36	9	0~1
20	6~8	42~46	360~400	35	9	0~1
20	10~12	46~50	360~400	36	9	0~1
20	10~12	38~42	300~320	33	9	0~1

注：表中坡口角度均为25°~35°，斜板角度60°，气体流量30~35L/min，凡是正反面成形好的焊缝，探伤结果都为完好。

压的选择受到限制，过大或过小的焊接电流都会影响焊接过程的稳定性和焊道的成形；垂直气电焊电流密度大，超过一般CO₂焊短路过渡的临界电流值，熔滴显示滴状过渡型式。为此，要确保飞溅小、电弧燃烧稳定，且熔敷速度大，必须选用合适的电流；通过试验，在该状态下板材厚度为14~20mm时，其电流为300~340A为宜。而电弧电压的选用值须与焊接电流相匹配，在其他焊接参数不变的情况下，电弧电压增大，焊缝宽度增加，过高的电弧电压会出现焊缝咬边，但过低的电弧电压会使电弧燃烧不稳定。因此在保证焊接过程稳定和焊缝成形良好的情况下，应尽量降低电弧电压，这对防止气

孔和减少合金元素的烧损都是有利的，一般为38~42V较为适宜。

(3) 焊丝干伸长度 倾斜角度后熔池液面随之倾斜，坡口根部的熔池液面几乎与铜滑块的出气口持平，焊丝伸出长度过长，电阻热增大，熔化速度快，易发生过热而烧断，造成严重飞溅及保护效果差，影响焊接过程的稳定性，使焊缝成形变差。焊丝伸出长度太短，易导致保护气体出气口堵塞，因保护不良而影响焊接质量。

经过多次反复试验，在对接板材60°状态下，适合的焊丝伸出长度为26~28mm。

(4) 焊丝摆动和停留时间 焊丝的摆动幅度和停留时间决定电弧位置，摆动和停留时间

能够有利于焊接性能的提高；对于不同厚度的板材选择不同的摆动幅度和坡口内外停留时间。原有板材的水平断面厚度随倾斜角度而增加，故焊丝摆幅采用摆动器焊接，此时的电弧稳定、飞溅小，焊缝截面上温度均匀，熔池金属结晶状态得到改善，晶粒度细，焊缝致密。

通过试验模拟60°倾角状态下使用垂直气电焊焊接对接板缝，掌握了该状态下的垂直气电焊的工艺参数，且其主要因素的参数均在工艺要求范围内，满足工艺及质量的要求。焊接试板外观成形如图1、图2所示。

3. 60°斜板对接垂直气电焊实船运用的工效对比

在上述试验成功的基础上，我们在82000T系列散货船上边舱船台大合拢上进行了实际运用（见图3），涉及板厚：14mm、14.5mm、15mm、16mm、16.5mm和18mm，并进行了斜板对接焊缝质量和时间的实绩跟踪（见表2~表4），同时与手工CO₂焊进行了工效对比。焊缝正反面成形均良好，焊缝的无损检测结果均满足要求。

从表2~表4的结果可以看出，垂直气电焊在60°状态下的合拢缝对接焊中，完全能够满足



图1 14mm试板（正面/反面）



图2 20mm试板 (正面/反面)



(a) 现场焊接



(b) 正面成形良好



(c) 反面成形良好

图 3

工艺和质量的要求，且其综合工效与手工CO₂焊接对比，提高了近3.2倍。

4. 结语

经过上述试验及在82000T散货船上边舱斜板的焊接实践，垂直气电焊在60°状态下的合拢缝对接焊中，焊缝成形及焊接质量均能满足现场生产要求。它的

运用进一步扩大了垂直气电焊在船厂的适用范围，充分发挥垂直气电焊焊接速度快，焊接过程稳定，焊缝成形美观，质量好等优点，因此值得在广大船舶企业中推广应用。

表2 斜板对接焊缝质量跟踪

船名	分段名	检测部位	UT检测长度/m	RT检测点	检测结论
82000T散货船	HS23P/24P	检测点、内控	9	1	合格
82000T散货船	HS24P/25P	检测点、内控	3	1	合格
82000T散货船	HS23S/24S	检测点、内控	3	1	合格
82000T散货船	HS24S/25S	检测点、内控	3	1	合格
82000T散货船	HS26P/27P	检测点	2	2	合格
82000T散货船	HS27P/28P	检测点	2	1	合格
82000T散货船	HS26S/27S	检测点	2	1	合格
82000T散货船	HS27S/284S	检测点	2	1	合格
82000T散货船	HS29P/CS21P	检测点	2	1	合格
82000T散货船	CS22P/23P	检测点	2	1	合格
82000T散货船	HS29S/CS21S	检测点	2	1	合格
82000T散货船	CS22S/23S	检测点	2	1	合格
82000T散货船	CS26P/27P	检测点	2	1	合格
82000T散货船	CS26S/27S	检测点	2	1	合格

表3 斜板对接垂直气电焊焊接实绩综合绩跟踪

板厚/mm	焊接速度/mm·min ⁻¹	焊接用时/min	综合用时/min	电弧电压/V	焊接电流/A
14	69.9	128.7	188.7	38~40	300~340
14.5	69.5	129.4	189.4	38~40	300~340
15	69	130	190	38~40	300~340
16	68.2	131.9	191.9	38~40	300~340
16.5	67.8	132.7	192.7	38~42	300~320
18	64	140	200	38~42	300~320

注：焊丝选用直径为1.6mm，焊缝长度9000mm，坡口间隙10~12mm，坡口角度25°，贴衬垫时间30min，排轨道时间30min，层间清渣0min，成形好，焊缝无损检测均合格。

表4 斜板对接CO₂手工焊接实绩综合绩跟踪

板厚/mm	焊接速度/mm·min ⁻¹	焊接用时/min	综合用时/min	电弧电压/V	焊接电流/A
14	26.9	335	520	26~30	140~180
14.5	26.9	335	520	26~30	140~180
15	22	409	639	26~30	140~180
16	22	409	639	26~30	140~180
16.5	22	409	639	26~30	140~180
18	18.7	481	756	26~30	140~180

注：焊丝直径为1.2mm，焊缝长度9000mm，坡口间隙6~8mm，坡口角度35°，贴衬垫时间30min，排轨道时间0min，层间清渣155~245min，焊缝的成形及内部质量不确定，视焊工水平而定。

作者简介：郭金翔、张芳杰，中外运长航集团南京金陵船厂。

MW 20171115