

团 体 标 准

T/CANSI 27—2020

FAB 埋弧自动焊工艺

FAB submerged arc automatic welding process

中国船舶工业行业协会

2020-12-21 发布

2020-12-22 实施

中国船舶工业行业协会 发布

中国船舶工业行业协会

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会归口。

本文件起草单位：广船国际有限公司、中国船舶工业综合技术经济研究院。

本文件主要起草人：马金军、刘亚伟、江泽新、毛文全、冯慧君、许杨溢、宋艳媛、胡杰鑫。

中国船舶工业行业协会

中国船舶工业行业协会

FAB 埋弧自动焊工艺

1 范围

本文件规定了FAB埋弧自动焊的焊前准备、焊接过程、焊缝质量检验及返修、安全防护。
本文件适用于船体结构板厚4 mm~25 mm的平直或小线型单电极单道拼板对接焊。

2 规范性引用文件

下列文件的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 9448 焊接与切割安全

GB/T 34000 中国造船质量标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

FAB 埋弧自动焊 FAB (Flux Asbest Backing) submerged arc automatic welding

背面采用固化焊剂铺设或纤维陶瓷衬垫粘贴以成型，并在坡口内填充额外金属以提高焊接效率，从坡口正面使用单电极进行埋弧自动焊接，可以实现单面单道焊双面成型的单面衬垫埋弧自动焊方法。

拘束焊 restraint welding

采用药芯焊丝或实心焊丝CO₂气体保护焊在接头端部坡口内进行焊接的多层多道阶梯焊缝的焊接。

3.2

小线型拼板缝 small linear panel seam

拼板缝轴线倾角不大于10°、面旋转角为175°~185°的非平面位置的拼板缝。

4 焊前准备

4.1 人员

4.1.1 施工操作人员应经过专门的理论和实操培训，经考试合格后，才能从事相关的装配和 FAB 埋弧自动焊焊接工作。

4.1.2 FAB 埋弧自动焊工超过 6 个月未从事 FAB 埋弧自动焊焊接工作，或因焊工技能和理论知识的欠缺导致的重大质量问题的，应重新进行理论和实操培训，并经重新认证后方能继续从事焊接工作。

4.2 焊接材料

4.2.1 焊接材料应有出厂质量合格证书及船级社证书，且焊丝、焊剂、坡口填充物和衬垫的焊材组合形式应有船级社或船级社认可检验机构的认证证书。

4.2.2 应根据母材材质和力学性能选择焊接材料，不同强度或韧性等级的母材焊接时，除应力较高区域外，可选用与较低强度或韧性级别母材相匹配的焊接材料，FAB埋弧自动焊焊材组合参见附录A。母材应采用适应于大热输入焊接工艺的钢板。

4.2.3 焊剂使用前应烘干处理，烘干条件应符合焊剂厂家的烘干要求，焊丝、坡口填充物表面应光滑，无水、油污、铁锈等。

4.3 焊接设备与工具

4.3.1 焊接前应准备如下工具：

- a) 钢尺；
- b) 衬垫刮板；
- c) 木锤或橡皮锤；
- d) 打磨机；

4.3.2 FAB埋弧自动焊设备要求和适用板厚见表1。

表1 FAB埋弧自动焊设备要求和适用板厚

单位为毫米

适用板厚 t	FAB埋弧自动焊设备额定电流和暂载率 A	电流类型
$4 \leq t < 7$	≥ 630 (100%暂载率)	直流反接 (DCEP)
$7 \leq t \leq 14$	≥ 1250 (100%暂载率)	
$14 < t \leq 25$	≥ 1600 (100%暂载率)	
对于其它暂载率的设备，需能稳定输出相应板厚焊接所要求的电流范围。		

4.3.3 FAB埋弧自动焊前，应检查埋弧焊设备焊接电源、电缆、地线等按相应接线要求连接，确保埋弧自动焊焊接参数的稳定和使用安全。

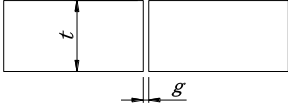
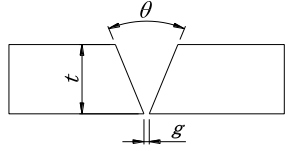
4.3.4 焊接设备和配套装置应定期维护保养、检测、校准，计量器具和设备均应在检定合格期内。

4.4 坡口形式及装配要求

焊接坡口根据待焊板厚分为I型或V型，其坡口形式、坡口角度、装配间隙等装配要求见表2。

表2 FAB埋弧自动焊坡口型式及装配要求

单位为毫米

板厚 t	坡口 型式	坡口形状	坡口角 度 θ°	坡口边 缘直线 度	装配间 隙 g	板厚差 h	错边量允许 极限 a
$4 \leq t < 7$	I 型		—	≤ 0.5	0~5	≤ 0.5	≤ 0.5
$7 \leq t \leq 25$	V 型		45^{+5}_{-5}			≤ 2	≤ 2

4.5 坡口面打磨要求

为保证定位焊和正式焊缝焊接质量，待焊件吊运装配前应将坡口面的铁锈、割渣、油污等使用打磨机打磨干净。

4.6 装配定位要求

- 4.6.1 定位焊应采用与正式焊缝相同或更高等级药芯焊丝或实心焊丝 CO₂ 气体保护焊、焊条电弧焊进行焊接。
- 4.6.2 定位焊前，先将坡口正反面不小于 20 mm 范围内的底漆使用打磨机打磨干净并露出金属光亮，然后检查坡口角度是否满足要求。
- 4.6.3 定位焊可由待焊坡口终端向始端装焊，也可以由中间向两端进行装焊，距待焊坡口终端 500 mm 范围内不允许定位焊（端头拘束焊除外），若端头局部有错边，应使用点焊或装配码板固定。
- 4.6.4 定位焊长度应根据待焊件板厚和钢材强度等级确定（薄板除外），若存在错边、变形，可适当调整定位焊间距。定位焊焊缝高度应根据待焊件板厚确定，当定位焊焊缝高度超过工艺要求时，应用磨机修整至要求的高度，定位焊要求按表 3。

表3 定位焊要求

单位为毫米

定位焊图示	装配间隙	板厚 t	定位焊长度 L	定位焊间距 L_1	定位焊高度要求
	0~2	$4 \leq t < 7$	15~20	100~150	≤ 2
	2~5				≤ 5
	0~5	$7 \leq t \leq 25$	普通钢: ≥ 30 高强钢: ≥ 50	250~350	≤ 5

4.6.5 对于间隙不大于 2 mm 的坡口，直接在坡口里焊接定位焊；对于间隙大于 2 mm 的坡口，可在坡口反面粘贴陶瓷衬垫后进行定位焊。

4.6.6 定位焊焊接完成后应目视检查定位焊质量，对于有缺陷的定位焊应在 FAB 埋弧自动焊前通过打磨、碳刨等方式将缺陷剔除，然后再重新进行定位焊焊接。

4.6.7 若在装配过程中两定位焊之间出现局部错边，应使用装配方法进行校正，并在两定位焊之间增加定位焊固定。

4.6.8 当装配间隙较大时，也可采用背面装配码板方式进行装配固定，码板间距为 350 mm~500 mm，码板过焊孔高度不小于 60 mm，宽度不小于 100 mm。

4.6.9 设计阶段排板时，十字缝、丁字缝拼板不宜使用 FAB 埋弧自动焊焊接；对于不可避免的十字缝、丁字缝位置，FAB 埋弧自动焊前应将待焊坡口反面两侧 30 mm 内的横向焊缝使用打磨机打磨至与板齐平，便于衬垫与板贴紧。

4.7 引、熄弧板和端头拘束焊要求

4.7.1 引、熄弧板安装焊接可采用药芯焊丝或实心焊丝 CO₂ 气体保护焊、焊条电弧焊进行，拘束焊可采用药芯焊丝或实心焊丝 CO₂ 气体保护焊。

4.7.2 引、熄弧板的板厚和材质应与焊接件板厚相同，对于有板厚差的焊接件，引、熄弧板应按厚板的焊接件尺寸选取引、熄弧板。板厚小于 7 mm 的坡口引弧、熄弧板规格见表 4，板厚不小于 7 mm 的坡口引弧、熄弧板规格见表 5。

4.7.3 靠近引、熄弧板端正式坡口采用拘束焊进行固定，以避免焊缝终端裂纹的产生。

4.7.4 拘束焊应由坡口内向引弧板端或熄弧板端焊接，减少熄弧位置缺陷对拘束焊质量的影响。板厚小于 7 mm 的拘束焊要求见表 4；板厚不小于 7 mm 的坡口拘束焊要求见表 5，并在引弧板上碳刨出一段不小于 50 mm 长的过渡坡口。

表4 板厚小于 7 mm 的引、熄弧板和拘束焊要求

单位为毫米

内容	图示
引、熄弧板尺寸	
引、熄弧板装配要求及引、熄弧板端拘束焊要求	

表5 板厚不小于 7 mm 的引、熄弧板与拘束焊要求

单位为毫米

内容	图示
引、熄弧板尺寸	
引弧板装配要求与弧端拘束焊要求	
熄弧板装配要求与弧端拘束焊要求	

4.8 焊前坡口清洁要求

距离坡口正反面30 mm范围内应打磨去除铁锈，并将码脚、横向焊缝、定位焊背面余高等影响衬垫贴紧的杂物打磨与母材平齐，除此之外应使用压缩空气将坡口内和坡口附近的尘垢、焊渣等清理干净。

4.9 焊前坡口间隙检查、标注

对装配、打磨好的坡口间隙使用钢尺进行测量检查，将间隙不均匀位置用油漆笔标注出来，便于焊接过程中对焊接参数进行及时调节来保证坡口间隙不均匀处的焊接质量。

4.10 纤维陶瓷衬垫粘贴

衬垫中心红线对准坡口中心线粘贴，相连两条衬垫接头应顶紧后再与钢板贴紧，衬垫与衬垫接头之间不能存在间隙。衬垫张贴完后使用衬垫刮板将衬垫两侧的铝箔胶纸表面刮平，使胶纸与钢板粘贴牢固，再使用木锤或者橡皮锤对衬垫陶瓷部分进行连续轻击，使衬垫完全与钢板贴紧。

4.11 焊丝矫直与干伸长调节

将埋弧焊小车轨道铺设至与坡口中心线平行且距离合适位置，检查焊丝矫直情况，焊丝应与待焊件表面垂直然后进行焊丝对中，使焊丝前端与导向红外线跟踪点对准坡口中心，根据待焊件厚度和焊接参数调整焊丝干伸长度至30 mm~45 mm，参见图1。

单位为毫米

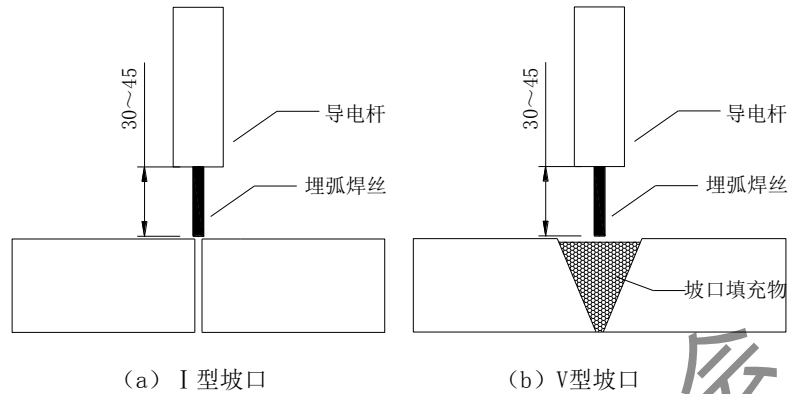


图1 埋弧焊丝干伸长

4.12 坡口填充物铺设

4.12.1 对于板厚不大于6.5 mm，装配间隙不大于2 mm的I型坡口不需要添加坡口填充物。

4.12.2 对于装配间隙大于2 mm的I型坡口和所有V型坡口，坡口填充物需均匀地铺设在坡口内；坡口填充物高度根据待焊坡口尺寸、坡口间隙以及板厚而定，应保证坡口填充物铺设高度和平整度的均匀性，见附录B、附录C与附录D。

5 焊接过程

5.1 引、熄弧

FAB埋弧自动焊引、熄弧应分别在引、熄弧板上进行，引、熄弧位置距离正式焊缝不小于100 mm，因交叉焊缝导致两端不能安装引、熄弧板的焊缝，引、熄弧位置应落在拘束焊缝上，距离拘束焊端部不小于100 mm。

5.2 焊接工艺参数

5.2.1 FAB埋弧自动焊焊接参数见附录B、附录C和附录D，并可根据生产现场设备、坡口等情况进行适当调节，保证焊接质量与焊缝成型，但应控制焊接热输入的变化量。

5.2.2 热输入量的适用范围为焊接工艺认可试验使用值的 $\pm 25\%$ ，但使用上限不超过55 kJ/cm。对热输入超过50 kJ/cm的焊接方法，其使用上限不超过焊接工艺认可试验使用值的1.1倍。

5.3 焊接

5.3.1 焊接过程中应经常观察导向红外线跟踪点与坡口中心线对齐情况，若有偏离应及时调整焊丝位置以对齐坡口中心。

5.3.2 及时目视检查焊缝正、反面成型情况，若发现焊缝成型不良的情况应及时调整焊接参数，保证焊缝质量。

5.3.3 焊接过程中应及时铺设埋弧焊小车轨道和电缆，避免因轨道、电缆铺设问题导致埋弧焊小车跑偏或停止行走的情况。

5.4 断弧处理

5.4.1 焊接过程中由于焊穿、焊漏导致断弧时，应将埋弧自动焊小车前移，重新在距离焊穿处 50 mm 处的坡口填充物上引弧进行焊接。

5.4.2 由于其它原因导致断弧，则应将埋弧自动焊小车后移，重新在距离断弧处 50 mm 处的已成型焊缝上引弧焊接。

5.4.3 对于焊穿、断弧位置应采用记号笔进行标记，便于后续质量检查或返修处理。

5.5 端头处理

对于因坡口间隙影响导致拘束焊难以单面焊双面成型的位置，应在FAB埋弧自动焊焊接完成后对端头的拘束焊在焊缝反面进行碳刨清根，再使用药芯焊丝CO₂气体保护焊或焊条电弧焊焊满。

6 焊缝质量检验及返修

6.1 焊缝表面质量检查

焊接结束后，在工位上检查焊缝正反面质量，焊缝表面质量应满足GB/T 34000或其他同类型标准要求。

6.2 焊缝内部质量检查

按焊缝要求进行X光射线或超声波探伤检验。对焊接过程中停弧位置、首尾、十字缝或T字缝接头位置进行超声波探伤，探伤检测长度不小于500 mm。若发现缺陷，则应扩大探伤检测长度。

6.3 焊缝返修

6.3.1 焊缝表面缺陷的返修主要采取打磨、碳弧气刨方法，必要时可以补焊。

6.3.2 焊缝内部缺陷的返修主要采取碳弧气刨、打磨、焊接修补方法，焊接修补采用药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊或焊条电弧焊进行。

6.3.3 焊穿的部位，应先打磨、贴衬垫焊补正面焊缝，然后用碳弧气刨、打磨清理反面焊缝，再进行修补。

6.3.4 所有修补焊缝应再次进行质量检查，确认修补焊缝无缺陷后则焊缝返修处理结束。

7 安全防护

7.1 装配安全

7.1.1 工作人员劳防用品应穿戴整齐。

7.1.2 施工区域应做好孔洞防护，边缘应搭设安全栏杆。

7.1.3 施工区域通风照明应措施到位。

7.1.4 坡口反面施工区域应增加强制通风设备，保证通风质量。

7.1.5 各类登高工装，脚手架应搭设到位，固定牢固。

7.2 焊接安全

焊接安全防护应按GB 9448的规定进行。

附 录 A
(资料性附录)

推荐使用的 FAB 埋弧自动焊焊接材料组合形式

推荐使用的FAB埋弧自动焊焊接材料组合形式见表A. 1。

表 A. 1 FAB 埋弧自动焊焊接材料组合形式

焊接材料 组合形式	焊接材料			适用钢板级别与板厚	
	名称	牌号	认可等级	等级	板厚 mm
组合 1	焊丝	H-14	2Y	A、B、D、AH32、AH36、DH32、DH36	4~25
	焊剂	S-705EF			
	坡口填充物	CW			
	衬垫	CBM-G22			
组合 2	焊丝	H-14	3Y	A、B、D、E、AH36、AH36、DH32、DH36、EH32、EH36	4~25
	焊剂	S-705HF			
	坡口填充物	CW			
	衬垫	CBM-G22			
组合 3	焊丝	H-14	2Y	A、B、D、AH32、AH36、DH32、DH36	4~25
	焊剂	S-705EF			
	坡口填充物	IRN			
	衬垫	S-22			
组合 4	焊丝	H-14	3Y	A、B、D、E、AH32、AH36、DH32、DH36、EH32、EH36	4~25
	焊剂	S-705HF			
	坡口填充物	IRN			
	衬垫	BS-3W			
组合 5	焊丝	US-36	3Y	A、B、D、E、AH32、AH36、DH32、DH36、EH32、EH36	4~25
	焊剂	PF-125E			
	坡口填充物	RR-2			
	衬垫	FA-B1			

注1：包括但不限于以上认可的组合形式。
注2：坡口填充物CW代表碎焊丝，坡口填充物IRN代表铁粉。
注3：不同强度或韧性等级的母材焊接时，除应力较高区域外，可选用与较低强度或韧性级别母材相匹配的焊接材料。

附 录 B
(规范性附录)

FAB埋弧自动焊坡口填充物(碎焊丝)高度与焊接参数

FAB埋弧自动焊坡口填充物(碎焊丝)高度与焊接参数见表B.1。

表 B.1 FAB埋弧自动焊坡口填充物(碎焊丝)高度与焊接参数

坡口填充物	板厚 t mm	装配间隙范围 mm	填充高度 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 cm/min	
碎焊丝	7	0~5	6~7	710~720	31~32	53~55	
	8		7~8	720~730	32~33	55~57	
	9		8~9	800~860	730~740	33~34	56~58
	10				30~33	23~25	
	11		9~10				
	12		10~11				
	13		11~12	820~860	31~33	25~27	
	14		12~13				
	15		13~14	840~880	32~33	23~25	
	16		14~15				
	17		15~16	900~930	33~34	22~23	
	18		16~17				
	19		17~18	930~970	34~36	22~23	
	20		18~19				
	21		19~20	990~1050	35~36	22~23	
	22		20~21				
	23		21~22				
	24		22~23	1000~1050	36~37	22~24	
	25		23~24	1000~1100	37~38		

注1: 所列板厚中间值按照四舍五入方式选择相应板厚的焊接工艺参数。
注2: 碎焊丝规格: $\Phi 1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 。

附 录 C
(规范性附录)

FAB 埋弧自动焊坡口填充物（铁粉）高度与焊接参数

FAB埋弧自动焊坡口填充物（铁粉）高度与焊接参数见表C.1。

表 C.1 FAB 埋弧自动焊坡口填充物（铁粉）高度与焊接参数

坡口填充物	板厚 t mm	装配间隙范围 mm	填充高度 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 cm/min	
铁粉	7	0~5	6~7	710~720	31~32	53~55	
	8		7~8	720~730	32~33	55~57	
	9		8~9	9~10	730~740	33~34	57~58
	10				800~860	30~33	27~28
	11		10~11	820~860			
	12		11~12				
	13		12~13	800~850	32~33		
	14		13~14	820~870			
	15		14~15	870~900	33~34	25~27	
	16		15~16	900~930			
	17		16~17	920~950	34~36	24~25	
	18		17~18	950~970			
	19		18~19	960~980	35~37	22~23	
	20		19~20	970~1000			
	21		20~21	980~1020	36~38	20~22	
	22		21~22	990~1040			
	23		22~23	1000~1050	38~42	18~20	
	24		23~24	1050~1100			
	25						

注：所列板厚中间值按照四舍五入方式选择相应板厚的焊接工艺参数。

附 录 D
(规范性附录)
薄板 FAB 埋弧自动焊 I 型坡口焊接参数

薄板FAB埋弧自动焊I型坡口焊接参数见表D. 1。

表 D. 1 薄板 FAB 埋弧自动焊 I 型坡口焊接参数

板厚 t mm	标准装配间隙 mm	填充高度 mm	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 cm/min
4	0~2	0	500~530	30~33	62~67
	2~5	3~4	500~540	31~32	
5	0~2	0	540~550	30~33	57~60
	2~5	4~5	540~580	32~33	
6	0~2	0	580~600	31~33	55~58
	2~5	5~6	580~620		
6.5	0~2	0	600~630	32~34	57~60
	2~5	5.5~6.5	620~650		

注：所列板厚中间值按照四舍五入方式选择相应板厚的焊接工艺参数。