

ICS 25.160.10  
CCS J 33



# 团 体 标 准

T/CWAN 0066—2022

## 气电立焊推荐工艺规程

Recommended procedure specification of electrogas welding

2022-9-14 发布

2022-11-01 实施

中国焊接协会 发布

## 目 次

前 言.....	II
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 一般要求.....	3
4 工艺要求.....	4
5 工艺过程.....	5
6 检验.....	9
7 返修.....	9
8 安全防护.....	9

## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：广州黄船海洋工程有限公司、中船黄埔文冲船舶有限公司、中国船级社广州分社。

本文件主要起草人：邵丹丹、雷炳育、张继军、杨婷、卓振坚、蒋巍、邹晓峰、陈立群、梁剑明、黄楚畅、吴玉辉、王耀、赵李君、尹宝福、郭大洲、李佳男、王勇、杜勇、李峰。

# 气电立焊推荐工艺规程

## 1 范围

本文件规定了船舶与海洋工程中气电立焊的一般要求、工艺要求、工艺过程、检验、返修、安全防护等内容。

本文件适用于厚度10 mm~80 mm碳素结构钢、低合金高强度结构钢及其他化学成分相近且力学性能相当的钢材立焊位置及钢板相对于水平面倾角大于45°位置气电立焊。

## 2 规范性引用文件

下列文件中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 50661 钢结构焊接规范

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术

GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定

GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分：总则

GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南

GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测

GB/T 26952 焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级

GB/T 26953 焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级

GB/T 29712 焊缝无损检测 超声检测 验收等级

GB/T 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金

GB/T 39255 焊接与切割用保护气体

CB/T 3761 船体结构钢焊缝修补技术要求

AWS A5.26/A5.26M 气电立焊用碳钢和低合金钢焊丝规范（Specification for carbon and low-alloy steel electrodes for electrogas welding）

## 3 一般要求

### 3.1 技术文件

气电立焊前应准备以下技术文件：

- 1) 待焊构件设计详图；
- 2) 焊接工艺文件（WPS）。

### 3.2 人员

3.2.1 作业人员应熟悉待焊结构设计详图和焊接工艺文件，能够熟练使用相关工装、工具及设备。

3.2.2 作业人员应具备认定的技能资格，并经考核合格后持证上岗。

3.2.3 作业人员应熟悉生产现场环境，且经过焊接作业安全培训。

### 3.3 工装、工具及设备

气电立焊焊接用的主要工具、工装及设备包括但不限于：

- 1) 焊接电源、焊接行走机构、行走路轨、送丝机构、冷却水箱（水源）、控制箱、焊接电缆、保护气体输送管路、冷却水输送管路、水冷铜滑块、焊枪等；
- 2) 手持式砂轮机、扳手、螺丝刀、绝缘棒、锤子等；

- 3) 卷尺、塞尺、钢直尺等；
- 4) 背面衬垫、用于背面衬垫固定安装的工装及工具。

### 3.4 材料

3.4.1 气电立焊用焊丝的熔敷金属力学性能标准值及实测值不应低于相应母材标准的下限值或应满足设计文件要求。

3.4.2 气电立焊用焊丝宜选用药芯焊丝，所用焊丝宜按表 1 的规定选用。

表1 气电立焊用焊丝

序号	母材	焊丝
1	GB/T 700 的 Q235A、Q235B、Q235C、Q235D 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	AWS A5.26/A5.26M 的 EG70T-X，及强度等级、低温冲击韧性等级相当或更高的其他标准及型号
2	GB/T 700 的 Q275A、Q275B、Q275C、Q275D 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	
3	GB/T 1591 的 Q355B、Q355C、Q355D、Q355NB、Q355NC、Q355ND、Q355MB、Q355MC、Q355MD 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	
4	GB/T 1591 的 Q390B、Q390C、Q390D、Q390NB、Q390NC、Q390ND、Q390MB、Q390MC、Q390MD 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	
5	GB/T 1591 的 Q355NE、Q390NE 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	AWS A5.26/A5.26M 的 EG72T-X，及强度等级、低温冲击韧性等级相当或更高的其他标准及型号
6	GB/T 1591 的 Q420B、Q420C、Q420NB、Q420NC、Q420ND、Q420MB、Q420MC、Q420MD 钢，及化学成分相近且力学性能相当的其他钢材	AWS A5.26/A5.26M 的 EG82T-X，及强度等级、低温冲击韧性等级相当或更高的其他标准及型号

3.4.3 焊丝用于焊接生产前，应经过相应的焊接工艺评定试验，并获得认可或允许。

3.4.4 所用焊丝的表面不应存在铁锈、油污、水分以及其他影响焊接质量的杂质。

3.4.5 焊丝在使用过程中，应保持其标签完好，以备查证。

3.4.6 气电立焊用保护气体宜选用纯度 $\geq 99.5\%$ 的  $\text{CO}_2$  气体，应符合 GB/T 39255 的要求。

3.4.7 气电立焊用辅助衬垫可采用陶瓷衬垫或水冷铜衬垫。

3.4.8 陶瓷衬垫应随用随开封，且开封后的陶瓷衬垫应在当天使用。

3.4.9 陶瓷衬垫保持干燥、整洁，陶瓷衬垫表面不应存在水分、油污等对焊接质量有影响的杂质。

### 3.5 环境

3.5.1 应尽量避免露天焊接；在雨、雪天气环境下，应采取相应的防雨、防雪措施。

3.5.2 施焊环境相对湿度原则上不宜大于 90%。若施焊环境相对湿度大于 90% 时，在焊接前宜对焊接坡口及其周围 100 mm 范围内的母材进行烘干处理。

3.5.3 施焊环境温度应符合 GB 50661 的要求，原则上不宜低于 0℃；若施焊环境温度低于 0℃ 但不低于 -10℃ 时，应采取加热措施，确保焊接坡口及其周围不小于 2 倍母材板厚或 100 mm 板厚（取其较厚者）范围内的母材温度不低于 20℃ 或最低预热温度（取其较高者）；若施焊环境温度低于 -10℃ 时，应进行相应施焊环境下的工艺评定试验，评定合格后再进行施焊。

3.5.4 施焊环境风速不宜大于 2m/s；若施焊环境风速大于 2m/s 时，应采取相应的挡风、防风措施。

## 4 工艺要求

4.1 焊缝外观应符合 GB/T 19418 规定的 B 级要求或其他相当标准的要求。

4.2 焊缝表面的无损检测验收等级应符合 GB/T 26953 中规定的 2X 级或 GB/T 26952 中规定的 2X 级要求或其他相当标准要求。

4.3 焊缝内部的无损检测验收等级应符合 GB/T 37910.1 中规定的 1 级或 GB/T 29712 中规定的 2 级要求或其他相当标准要求。

## 5 工艺过程

### 5.1 工艺流程

气电立焊工艺流程见图 1。

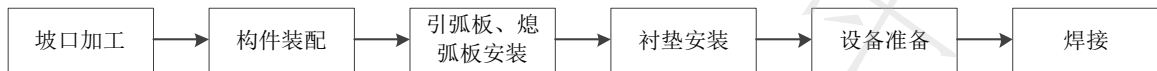
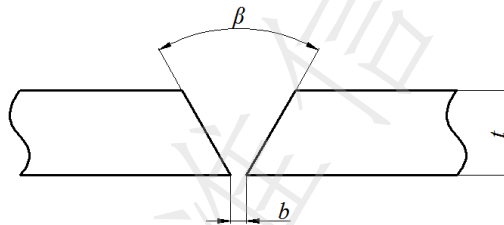


图1 气电立焊工艺流程

### 5.2 坡口加工

5.2.1 气电立焊焊接坡口形式宜采用单面 V 型坡口，见图 2。坡口角度和根部间隙应根据母材板厚进行选定，见表 2。



说明：

$t$ ——板厚；

$\beta$ ——坡口角度；

$b$ ——根部间隙。

图2 气电立焊单面坡口示意图

表 2 焊接坡口推荐尺寸

单位为毫米

板厚 $t$	坡口角度 $\beta$	根部间隙 $b$
$10 \leq t \leq 12$	$50^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+4}$
$12 < t \leq 16$	$45^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+3}$
$16 < t \leq 22$	$40^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+3}$
$22 < t \leq 25$	$35^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+2}$
$25 < t \leq 32$	$30^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+2}$
$32 < t \leq 40$	$25^\circ \pm 5^\circ$	$6_1^{+1}$
$40 < t \leq 80$	$20^\circ \pm 2^\circ$	$6_1^{+1}$

5.2.2 焊接坡口加工可采用火焰切割、等离子切割或机械切削等方法。若采用火焰切割或等离子切割方法进行坡口加工时，坡口加工后宜采用机械打磨方法去除坡口面氧化层。

5.2.3 焊接坡口面应平整，焊接坡口局部缺口深度应小于 1 mm，若焊接坡口局部缺口深度过大时，宜采用堆焊法对缺口进行修补，再采用机械打磨方式将修补区域打磨平整。

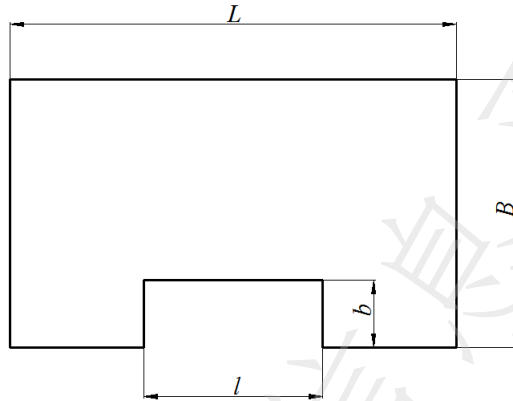
5.2.4 焊接坡口面及其附近 30 mm 范围内存在锈蚀、油污、割渣、毛刺、氧化层等对焊接质量有影响的杂质时，宜采用机械打磨方式对焊接坡口进行清理。

### 5.3 构件装配

5.3.1 宜采用卡马在焊接坡口背面侧装配待焊构件。

5.3.2 卡马形状及尺寸见图 3，其中卡马厚度应为钢板厚度的 1.0 倍~1.2 倍，卡马上与板材结合的一边应与板材保持平直，或其线性应与板材面一致。

单位为毫米



说明:

$L$ ——卡马长度，取  $L \geq 200$ ;

$B$ ——卡马宽度，取  $B \geq 120$ ;

$l$ ——开口长度，取  $l = 80 \pm 10$ ;

$b$ ——开口宽度，取  $b = 30 \pm 5$ 。

图 3 卡马形状及尺寸

5.3.3 卡马安装间距应控制在 300 mm~400 mm 范围内。

5.3.4 卡马安装焊接宜采用焊条电弧焊或熔化极气体保护焊。

5.3.5 构件装配后钢板的错边量应  $\leq 1$  mm。

### 5.4 引弧板、引出板安装

5.4.1 待焊构件坡口两端应安装引弧板、引出板。

5.4.2 引弧板、引出板长度宜  $\geq 150$  mm，引弧板、引出板宽度宜  $\geq 100$  mm。

5.4.3 引弧板、引出板材料焊接性应与母材焊接性相当或相近，且引弧板、引出板材料强度不应大于母材强度。

5.4.4 原则上引弧板、引出板厚度宜与母材厚度相同。若母材存在厚度差时，引弧板、引出板厚度宜与薄板侧母材厚度相同。

5.4.5 引弧板、引出板的安装宜采用焊条电弧焊或熔化极气体保护焊。

### 5.5 衬垫安装

5.5.1 焊接前宜在焊接坡口背面安装衬垫以辅助焊接，若采用水冷铜滑块作为辅助衬垫时，还应连接冷却水管，并在焊接前接通循环冷却水源。

5.5.2 衬垫应紧贴母材钢板背面，且衬垫成形槽中心线应与坡口中心对齐。

### 5.6 设备准备

5.6.1 在焊接坡口正面侧安装焊接导轨，焊接导轨应平行于焊接坡口，焊接导轨到焊接坡口的距离应符合焊接行走机构的调节范围。

5.6.2 安装焊接行走机构，并在焊接行走机构上安装水冷铜滑块和焊枪，其中水冷铜滑块成形槽宽度宜比焊接坡口宽度大 3 mm~7 mm 范围，且水冷铜滑块成形槽中心线应与坡口中心对齐。

5.6.3 调整焊丝角度  $\alpha$ ，待焊构件钢板平面与水平面倾角呈  $75^\circ \sim 90^\circ$  范围时，焊丝与待焊构件钢板平面呈  $5^\circ \sim 15^\circ$  夹角；待焊构件钢板平面与水平面倾角呈  $45^\circ \sim 75^\circ$  范围时，焊丝与待焊构件钢板平面呈  $45^\circ \sim 60^\circ$ 。调整焊枪高度，使导电嘴端部与滑块中保护气体输出口下沿的垂直距离  $h$  控制在 20 mm~30 mm。焊枪位置示意图见图 4。

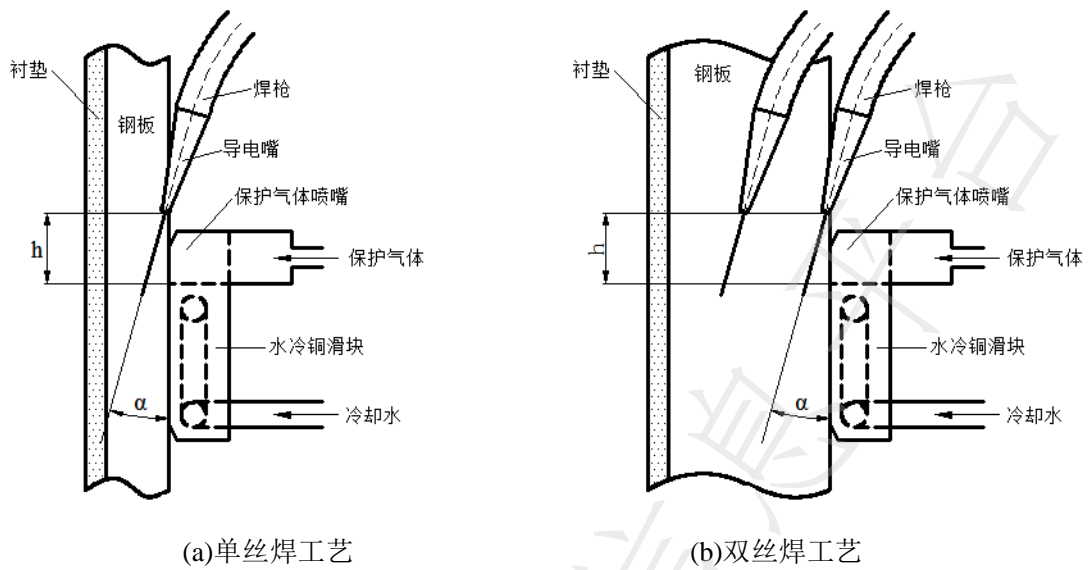


图4 焊枪位置示意图

5.6.4 调整焊丝端部位置。对于单丝焊工艺，焊丝伸出长度应符合表4规定要求，再将焊丝端部调整至坡口截面的重心位置；对于双丝焊工艺，焊丝伸出长度应符合表5规定要求，再将焊丝端部调整至图5所示位置，其中两个电极的焊丝端部间距  $d$  根据母材板厚进行选定，如表3所示。

单位为毫米

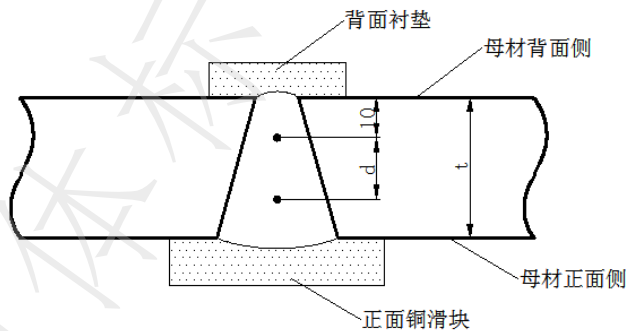


图5 双丝焊工艺的焊丝端部位置示意图

表3 推荐焊丝端部间距

单位为 mm

母材板厚 $t$	两电极焊丝端部间距 $d$
$35 \leq t \leq 40$	19~24
$40 < t \leq 45$	24~29
$45 < t \leq 50$	29~33
$50 < t \leq 55$	33~38
$55 < t \leq 60$	38~42
$60 < t \leq 65$	42~47
$65 < t \leq 70$	47~50
$70 < t \leq 75$	50~55
$75 < t \leq 80$	55~58

5.6.5 检查气电立焊焊接设备，应确保电路、管路、送丝系统、控制按钮和指示灯、参数表、机械运动及调节装置等能够正常运行。

5.6.6 检查焊接行走机构带动下的焊枪运行轨迹，若焊枪运行轨迹与焊接坡口偏差过大时，应对焊接导轨的位置进行微调。

## 5.7 焊接

5.7.1 气电立焊单丝焊和双丝焊的焊接参数宜按表 4 和表 5 的要求选定。

表 4 气电立焊单丝焊推荐焊接工艺参数（倾角在 75°~90°）

钢板厚度 t (mm)	焊接 电流 (A)	电弧 电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊丝伸 出长度 (mm)	保护气 体流量 (L/min)	摆动 幅度 (mm)	停留时间 (s)	
							背面侧	正面侧
10≤t≤12	320~340	32~34	9.0~11.0	30~35	25~35	0	0	0
12<t≤14	330~350	33~35	8.0~10.0	30~35	25~35	0	0	0
14<t≤16	330~350	33~35	6.5~8.5	30~35	25~35	0	0	0
16<t≤19	330~350	33~35	5.5~7.5	30~35	25~35	0	0	0
19<t≤22	340~360	34~36	4.5~6.0	30~35	25~35	0	0	0
22<t≤25	340~360	34~36	4.0~5.5	30~35	25~35	7.5~12.5	0.2~0.4	0
25<t≤28	340~360	34~36	3.5~5.0	30~35	25~35	8.5~14.0	0.2~0.4	0
28<t≤30	340~360	34~36	3.0~4.5	30~35	25~35	9.5~15.0	0.2~0.4	0
30<t≤32	350~370	35~37	3.0~4.5	30~35	25~35	10.0~16.0	0.2~0.3	0~0.1
32<t≤34	350~370	35~37	3.0~4.0	30~35	25~35	11.0~17.0	0.2~0.3	0~0.1
34<t≤36	350~370	35~37	2.5~3.5	30~35	25~35	11.5~18.0	0.2~0.3	0~0.1
36<t≤38	360~380	36~38	2.5~3.5	30~35	25~35	12.0~19.0	0.2~0.3	0~0.1
38<t≤40	360~380	36~38	2.0~3.0	30~35	25~35	13.0~20.0	0.2~0.3	0~0.1

表 5 气电立焊双丝焊推荐焊接工艺参数（倾角在 75°~90°）

钢板厚度 t (mm)	焊接 电极	焊接 电流 (A)	电弧 电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊丝伸 出长度 (mm)	保护气 体流量 (L/min)	摆动 幅度 (mm)	停留时间 (s)	
								背面侧	正面侧
35≤t≤40	背面侧	380~420	40~42	4.5~5.5	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	40~42	4.5~5.5	30~35	30~40	0	0	0
40<t≤45	背面侧	380~420	40~42	4.0~5.0	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	40~42	4.0~5.0	30~35	30~40	0	0	0
45<t≤50	背面侧	380~420	40~42	3.5~4.5	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	40~42	3.5~4.5	30~35	30~40	0	0	0
50<t≤55	背面侧	380~420	40~42	3.0~4.0	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	40~42	3.0~4.0	30~35	30~40	6.0~8.0	0.2~0.5	0.2~0.5
55<t≤60	背面侧	380~420	42~44	2.5~3.5	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	42~44	2.5~3.5	30~35	30~40	6.0~8.0	0.2~0.5	0.2~0.5
60<t≤65	背面侧	380~420	42~44	2.0~3.0	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	42~44	2.0~3.0	30~35	30~40	8.0~10.0	0.2~0.5	0.2~0.5
65<t≤70	背面侧	380~420	42~44	1.7~2.5	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	42~44	1.7~2.5	30~35	30~40	8.0~10.0	0.2~0.5	0.2~0.5
70<t≤75	背面侧	380~420	42~44	1.5~2.2	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	42~44	1.5~2.2	30~35	30~40	10.0~12.0	0.2~0.5	0.2~0.5
75<t≤80	背面侧	380~420	42~44	1.2~1.7	30~35	30~40	0	0	0
	正面侧	380~420	42~44	1.2~1.7	30~35	30~40	12.0~14.0	0.2~0.5	0.2~0.5

5.7.2 驱动焊接行走机构，使焊枪中伸出焊丝的端部位于引弧板焊接起始位置。

5.7.3 接通冷却水、保护气体，启动焊接开关，待熔池液面升至距离水冷铜滑块保护气体出口 5 mm~10 mm 范围时再启动焊接行走机构的行走控制按钮。

5.7.4 施工人员应注意观察焊丝端部、水冷铜滑块与焊接坡口的相对位置，若焊丝端部、水冷铜滑块出现偏移时，应及时对焊枪和水冷滑块作出调整，避免出现电弧偏离坡口中心、电弧接触铜滑块、背面焊缝未焊透、熔融金属流出坡口等现象。

5.7.5 施工人员应注意监控焊接电流、电弧电压、焊接速度等焊接参数，根据熔池状态及时对焊接参数做出微调，保持熔池液面与水冷滑块保护气体出气口距离处于 5 mm~10 mm 范围。

5.7.6 施工人员应注意观察熔渣排渣情况，若熔渣过多而影响到电弧稳定性时，应及时调节水冷铜滑块，适当降低水冷铜滑块压紧力，使过多的熔渣顺利排出，避免影响焊缝成形。

5.7.7 施工人员应及时采用绝缘棒清除水冷铜滑块保护气体出气口及其附近的飞溅物，确保保护气体送气通畅。

5.7.8 焊接过程中原则上宜在引出板上收弧，收弧点位置至待焊构件焊接坡口终端的距离应 $\geq 50$  mm。

5.7.9 待熔池凝固后，切断冷却水，松开水冷铜滑块。

## 6 检验

6.1 对焊缝及其周围的焊渣和飞溅物进行清理，再采用目视检测方法对焊缝表面进行外观检测。

6.2 焊缝表面无损检测宜采用渗透检测或磁粉检测方法，渗透检测技术应符合 GB/T 18851.1 规定的要求或其他相当标准要求，磁粉检测技术应符合 GB/T 26951 规定的要求或其他相当标准要求。

6.3 焊缝内部无损检测宜采用射线检测或超声波检测方法，射线检测技术应符合 GB/T 3323.1 规定的要求或其他相当标准要求，超声波检测技术应符合 GB/T 11345 规定的要求或其他相当标准要求。

6.4 焊缝始端、焊缝终端、焊接断弧位置、交叉焊缝等特定位置应进行射线检测。

## 7 返修

7.1 带缺陷的焊缝部位可采用打磨、气割、碳弧气刨、等离子气刨等方式清除。

7.2 焊缝返修补焊可采用焊条电弧焊或熔化极气体保护焊进行。

7.3 焊缝返修应按 CB/T 3761 或 GB 50661 的相关要求执行。

## 8 安全防护

8.1 进入作业区域的所有人员应穿戴齐全的劳动保护用品，应遵循作业区域相关的安全管理规定。

8.2 不能接近强磁场的人员应远离设备和电缆。

8.3 作业人员应熟悉生产环境及布局，应随时关注设备运行状态，防止发生砸伤、挤伤、摔伤、烫伤等安全事故。

8.4 焊接设备的接线应由专业电工实施，应确保设备保护地线接线良好。

8.5 所有电器接头及电缆接线柱应具有良好的导电作用，如电器接头及电缆接线柱发生锈蚀、断裂等现象时应及时更换。

8.6 焊接过程中焊接设备输出电流较大，作业人员不应徒手触摸其电源线、电极等，以避免发生触电、烫伤等安全事故。

8.7 焊接安全防护应符合 GB 9448 的要求。