**ICS**

**CCS**

T/SASE

2024-xx-xx发布 2024-xx-xx实施

**山东省特种设备协会团体标准**

**T/SACE XXXXX—2024**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_

全容式LNG储罐钢穹顶熔化极气体保护焊焊接工艺规程

Welding Procedure for gas shielded melting welding of steel domes for LNG full containment tank

(征求意见稿)

**山东省特种设备协会 发布**

**目 次**

[1 范围 4](#_Toc159400059)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc159400060)

[3 术语和定义 4](#_Toc159400061)

[4 材料 5](#_Toc159400062)

[4.1 母材 5](#_Toc159400063)

[4.2 焊丝 5](#_Toc159400064)

[4.3 焊丝储存、保管及使用 5](#_Toc159400065)

[5 焊接保护气体 6](#_Toc159400066)

[6 焊工 6](#_Toc159400067)

[7 焊接工艺评定及焊接工艺规程 6](#_Toc159400068)

[7.1 焊接工艺评定 6](#_Toc159400069)

[7.2 焊接工艺规程 6](#_Toc159400070)

[8 焊接环境 7](#_Toc159400071)

[9 焊接施工 7](#_Toc159400072)

[9.1 焊接设备 7](#_Toc159400073)

[9.2 坡口清理及准备 7](#_Toc159400074)

[9.3 组对及定位焊接 7](#_Toc159400075)

[9.4 焊接工艺 9](#_Toc159400076)

[10 焊接质量检测 11](#_Toc159400077)

[10.1 外观检查 11](#_Toc159400078)

[10.2 无损检测 11](#_Toc159400079)

[10.3 焊缝返修 12](#_Toc159400080)

[附录A：常用国内外焊丝型号对照及力学性能 1](#_Toc159400081)

[附录B：穹顶梁、衬板及承压环焊接工艺参数推荐表 2](#_Toc159400082)

[附录C：穹顶梁结构组成结构示意图 4](#_Toc159400083)

**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。

LNG天然气作为清洁能源越来越受到青睐，天然气在能源供应中的比例迅速增加。由于LNG液态天然气温度为-165℃，陆地承载全容式LNG储罐要求材料标准较高，焊接质量要求苛刻。

本标准在制定过程中，对熔化极气体保护焊在全容式LNG储罐钢穹顶、承压圈的应用进行了广泛深入的调查研究，参考有关国际标准和国外先进标准，制订本标准。

本标准主要内容包括：

LNG储罐用熔化极气体保护焊使用范围；

LNG储罐及其所使用熔化极气体保护焊相关定义和术语；

LNG储罐用材料验收；

LNG储罐用熔化极气体保护焊焊丝储存、保管和使用；

LNG储罐熔化极气体保护焊焊接工艺要点；

LNG储罐用熔化极气体保护焊焊接质量检验；

本文件由中石化第十建设有限公司提出。

本文件由山东省特种设备协会归口。

本文件起草单位：

本标准起草人：

本标准审查人员：

全容式LNG储罐钢穹顶熔化极气体保护焊焊接工艺规程

# 范围

本标准规定了全容式LNG储罐钢穹顶、承压圈熔化极气体保护焊的材料、熔化极气体保护焊焊丝（以下简称焊丝）、焊接保护气体、焊工、焊接工艺评定及焊接工艺规程、焊接环境、焊接施工、焊接质量检测等要求。

本标准适用于全容式LNG储罐钢钢穹顶、承压圈等位置的熔化极气体保护焊焊接施工。

# 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 50661 钢结构焊接规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准

GB/T 3965 熔敷金属中扩散氢测定方法

GB/T 8110熔化极气体保护电弧焊用非合金及细晶粒钢实心焊丝

GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝

GB/T 26978 现场组装立式圆筒平底钢质低温液化气储罐的设计与建造

GB/T 39255 焊接与切割用保护气体

GB/T 50938 液化天然气（LNG）储罐全容式内罐组焊技术规范

SH/T 3560 石油化工立式圆筒形低温储罐施工质量验收规范

SH/T 3561 液化天然气（LNG）储罐全容式钢制内罐组焊技术规范

NB/T 47013 承压设备无损检测

NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定

TSG Z 6002 特种设备焊接操作人员考核细则

JB/T 3223 焊接材料质量管理规程

# 术语和定义

3.1

钢穹顶

由穹顶钢梁和紧贴穹顶钢梁外壁内侧安装的金属衬板组成，防止渗透产品蒸发气体和水蒸汽。穹顶梁分为径向梁和环向梁。

3.2

穹顶梁

由主要承载力的径向梁和连接作用的环向梁组成，主要用于承载金属衬板和吊顶。

3.3

衬板

紧贴混凝土外罐内侧安装的金属板，防止渗透产品蒸发气体和水蒸汽。

3.4

承压圈

与外罐壁最顶圈预埋件焊接在一起，用于连接混凝土外罐壁和钢穹顶的竖向钢制构件。由竖板和环板组成。

3.5

混合气体 mixed gas

包含两种或两种以上有效组合的气体。

# 材料

1. 母材

4.1.1型材表面不得有肉眼可见的缺陷*，*表面不得存在机械划伤。验收合格的型材应按品种、材质、规格分类存放，存放应防止产生永久性变形

4.1.2 钢板表面的制造厂标志应清晰并与质量证明文件一致。  
4.1.3 钢板应逐张进行外观质量检查，表面不得有裂纹、气泡、夹杂、结疤和压入的氧化皮，钢板不得有分层。

4.1.4钢板局部减薄量与钢板实际厚度负偏差之和，不应大于相应钢板标准允许负偏差值。  
4.1.5 验收合格的钢板应做好标记，并按品种、材质、规格分类存放。

1. 焊丝

4.2.1 焊丝应符合以下规定：

1. 熔化极气体保护焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝应符合GB/T 8110的规定；
2. 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝应符合GB/T 10045的规定；

4.2.2 国外牌号焊丝应符合相应的标准和技术条件。国内外焊材型号及性能对照参照附录A。

4.2.3 当熔敷金属有低温冲击韧性等要求时，焊丝制造商应出具相应的熔敷金属检测报告或证明文件。

4.2.4 扩散氢含量

4.2.4.1 应在质量证明书中注明熔敷金属扩散氢含量合格指标，储存、运输和使用注意事项。4.2.4.2 焊丝熔敷金属扩散氢含量应根据供需双方协商、且符合相应要求。当设计无规定时，熔敷金属扩散氢含量应不大于5mL/100g。

4.2.4.3 如果需方对熔敷金属扩散氢含量有特殊要求，供方应满足，并做好相关试验和合格标识。检测方法宜采用GB/T 3965规定的水银法或热导法。

4.2.5 焊丝验收

4.2.5.1 焊丝的真空包装应完好无破损，包装标识与质量证明文件的内容相符。

4.2.5.2 焊丝有效期限为质量证明文件或说明书推荐的使用期限。有效期限也可由使用方根据实际存放环境、产品特性要求和焊接材料状态等进行评估和确定。

4.2.5.3 焊丝表面应光滑，无毛刺、凹坑、凸起、划痕、锈蚀、氧化皮和油污等，也不应有其他不利于焊接操作和影响熔敷金属质量的杂质。

4.2.5.4 焊丝外包装及使用说明书中，应注明可使用的焊接位置、保护气体等关键工艺条件。当熔滴过渡形式对焊接工艺质量有明显影响时，也应在焊丝外包装或使用说明书中进行标注。

1. 焊丝储存、保管及使用

4.3.1 焊丝存储、保管应符合JB/T 3223的规定。

4.3.2 焊丝发放应按照焊接工程师出具的焊材领用卡，且随用随领。

4.3.3 焊丝在使用前应核对其材质、型号和规格。

4.3.4 药芯焊丝拆封前，应检查真空包装不得有破损。使用过程中，应保持焊丝表面洁净、干燥。

4.3.5 当焊丝表面有锈蚀时，不得用于钢穹顶、承压圈及其构件的焊接。

4.3.4未使用完的药芯焊丝宜采用真空抽塑、加干燥剂等措施进行保存。

4.3.5 焊丝回收入库时应保证焊丝型号/牌号、批号、规格、回收数量、时间等内容信息完整，内容缺失时应及时进行标识移植。

4.3.6 回收的焊丝宜优先使用。

# 焊接保护气体

5.1 熔化极气体保护焊应明确采用的保护气体类型为基本气体或混合气体。

5.2 焊接保护用二氧化碳气体应符合GB/T 39255的规定，二氧化碳气体纯度不应低于99.8%，焊接时减压器应全程加热和干燥。

5.3 焊接保护用氩气应符合GB/T 39255的规定，纯度不应低于99.99%。

5.4 焊接保护用混合气体的比例应符合焊丝质量证明文件和焊接工艺的要求，且应符合GB/T 39255的规定，宜采用瓶装成品气。

# 焊工

6.1 从事LNG储罐钢穹顶、承压圈的熔化极气体保护焊接工作的焊接操作人员应按照TSG Z6002的规定，取得GMAW或FCAW焊接方法的操作资格，且在有效期内。

6.2 焊接操作人员，焊接前应经过培训或考核。

# 焊接工艺评定及焊接工艺规程

7.1 焊接工艺评定

7.1.1钢穹顶、承压圈熔化极气体保护焊焊接前应进行焊接工艺评定。

7.1.2 焊接工艺评定应按NB/T 47014或GB 50661的规定进行，当设计有其他要求时，焊接工艺评定还应满足设计文件的要求。

7.1.3 熔化极气体保护焊接采用的保护气体类型、混合气体比例、气体流量范围等，应在焊接工艺评定报告中记录。

7.1.4 当保护气体类型发生变化，或气体混合比例变化超过焊接工艺评定中规定的范围时，应重新进行评定。

7.2 焊接工艺规程

7.2.1 施焊前，应根据焊接工艺评定、相关标准、设计文件编制焊接工艺规程，用于指导焊接施工。

7.2.2 焊接工艺规程应至少包括下列内容：

1. 焊接环境要求；
2. 焊接方法及机动化程度；
3. 电源种类和极性；
4. 母材的型号、规格尺寸；
5. 坡口形式、尺寸及加工要求；
6. 焊丝的标准号、型号/牌号、规格；
7. 焊接位置及焊接方向；
8. 焊接层道数量及层厚；
9. 预热及层道间温度及后热、焊后热处理要求；
10. 保护气体的类型、型号、混合比例、纯度、流量范围；
11. 焊接电特性及焊接参数；
12. 焊接操作要领与技术措施；
13. 焊接检验要求。

# 焊接环境

8.1 施焊环境出现下列情况之一时，应采取防护措施，否则应停止焊接工作：

1. 焊接时风速等于或大于2m/s；
2. 相对湿度大于90%；
3. 下雨或下雪时露天作业；
4. 环境温度低于0℃。

8.2 当焊接时风速过大时，可采用防风棚、焊枪防风罩等措施。

# 焊接施工

## 9.1 焊接设备

9.1.1 熔化极气体保护焊宜设置专用电源供电，网络电压应满足焊接电源运行稳定性要求。

9.1.2 焊接前，检查焊接设备、电加热预热干燥器、压丝轮、导丝管、导电嘴、保护气喷嘴等应满足要求。

9.1.3 焊接电缆截面积、长度应满足焊机出厂说明书的要求。焊接电缆标称截面宜不小于50mm2，电缆长度不宜超过50m。若电缆长度超过50m，应增加焊接电缆直径。

9.1.4焊接地线应尽量靠近焊接区，宜用卡具将地线和被焊管件牢固连接，不应产生电弧灼伤母材。

## 9.2 坡口清理及准备

9.2.1 坡口形式和尺寸应符合焊接工艺规程，且应符合设计图纸和相关规范要求。

9.2.2 坡口加工，宜采用机械方法加工。当采用等离子弧、火焰等热加工方法，应除去坡口表面的氧化皮、熔渣及影响接头质量的表面层，并应将凹凸不平处打磨平整，直至露出金属光泽。

9.2.3 焊件组对及焊接前，应将坡口及内外侧表面不小于25-30mm范围内的水分、铁锈、杂质、毛刺、油污等清理干净，打磨至露出金属光泽，不得有裂纹、夹层等缺陷。

9.2.4 母材坡口表面切割缺陷需要进行焊接修补时，应制订修补焊接工艺，并应记录存档。

## 9.3 组对及定位焊接

**9.3.1 一般要求**

9.3.1.1 组对、定位焊应按照焊接工艺评定、GB/T 26978及设计文件相关规定编制焊接工艺规程。

9.3.1.2 定位焊和临时焊缝的焊接应由取得相应资格的焊接操作人员担任，并采用经评定合格的工艺。

9.3.1.3 定位焊厚度不应小于3mm，长度不应小于30-50mm，其间距宜为300mm-400mm。

9.3.1.4 在根部焊道焊接前，应对熔入正式焊缝的定位焊缝进行检查，定位焊缝两端应圆滑过渡，当发现缺陷时，按要求处理合格后方可施焊。

9.3.1.5 拆除钢板上的工卡具时，不得损伤钢板母材。

**9.3.2 钢穹顶梁的组对及定位焊接**

9.3.2.1 钢穹顶径向梁、环向梁的翼板、腹板连接焊缝采用全熔透的V型坡口对接接头。钢穹顶梁结构示意图见附录C。

9.3.2.2 穹顶梁采用钢板现场拼焊时，翼板与腹板、翼板与翼板的拼接焊缝的间距应大于200mm。

9.3.2.3 径向梁和环向梁连接时，翼板与翼板连接采用加垫板对接接头；腹板与腹板连接采用T形角焊缝。

9.3.2.4 角焊缝连接部件的根部间隙应大于1.5mm，且小于5mm时，角焊缝的焊角尺寸应按根部间隙予以增加。径向梁和环向梁接头型式见图 9.3.2.4。



图 9.3.2.4 径向梁和环向梁接头型式

**9.3.3 钢穹顶衬板组对及定位焊接**

9.3.3.1 衬板安装由外环大圈向内环小圈依次进行安装点固，先进行衬板的搭接定位点固。

9.3.3.2 衬板定位固定完成后，先进行顶板与径向梁、环向梁的背面搭接位置点固焊，再点固正面焊缝。

9.3.3.3 衬板和衬板之间采用搭接接头时，搭接宽度应不小于板厚的5倍，且不小于30mm。搭接宽度允许偏差不应大于±5mm；衬板之间搭接接头组对间隙不应大于1mm。

9.3.3.4衬板和衬板之间搭接焊缝的点固焊间距应不小于200mm，定位焊长度宜为30mm-50mm 。

9.3.3.5 径向梁上的两层衬板搭接时，搭接区域上层顶衬板边缘应局部剪切，并和下层衬板错开12mm，见图9.3.5.6 a。

9.3.3.6 径向梁上、下两端部衬板的搭接焊缝，为保证气密性，两块衬板搭接处应增加焊接一个厚度为6mm的扁铁，见图9.3.5.6 b。



a 径向梁和衬板贯通式组对 b径向梁上、下两尾部衬板的搭接组对

图 9.3.3.6 钢穹顶径向梁和衬板组对形式

**9.3.4 承压圈的组对及定位焊接**

9.3.4.1 承压圈宜在专用胎具上进行分段组焊，将一块承压圈竖板和环板组装成一个整体。承压圈环板和竖板现场组焊坡口形式见图9.3.4.1。

9.3.4.2 承压圈环板与竖板组对采用Y型焊缝，点固点长度不小于50mm，间隔不小于350mm，采用交错对称点固。



9.3.4.1 承压圈竖板和环板焊缝组对型式

## 9.4 焊接工艺

**9.4.1 一般要求**

9.4.1.1 焊前预热的加热范围应以焊缝中心为基准，每侧不应小于焊件厚度的5倍，且不应小于100mm。

9.4.1.2 焊接设备启动前，应检查设备、指示仪表、开关位置和电源极性等。在正式焊接前，应在试弧板上进行焊接工艺参数调试。

9.4.1.3 保护喷嘴直径，一般为焊丝直径的10倍～15倍，且不小于12mm。

9.4.1.4 焊接时喷嘴保护气流量，宜按照式10.6.5计算，必要时，可适当增加保护气喷嘴流量：

Q =Ф×（1～1.2） L/min （式9.4.1.4）

式中：Q——喷嘴保护气流量（L/min）；

Ф——喷嘴孔径（mm）。

9.4.1.5 焊接时，焊丝干伸长度宜为焊丝直径的10倍～15倍。当焊丝干伸长度超过该数值时，应适当增加喷嘴保护气流量。

9.4.1.6 焊接过程中，电弧摆动幅度不宜超过焊丝直径10倍～15倍。

9.4.1.7 焊工需要根据焊缝位置、形状，随时调整焊枪角度，和摆幅、摆频；焊枪倾角、转角宜垂直于熔池，并采用多层多道焊，单道焊缝金属厚度不宜超过焊丝直径3倍，且不大于5mm。

9.4.1.8 焊接时，当飞溅物影响观察和焊接时，应及时停止焊接，清除焊道中的飞溅物。

9.4.1.9 当焊接过程出现磁偏吹时，应停止施焊，采取措施消除磁偏吹。

9.4.1.10 应采取提前送气、滞后停气的措施，并且在熄弧后，金属熔池未完全凝固之前，不得抬起焊枪及喷嘴。

9.4.1.11 焊接过程中应保证起弧和收弧处的质量，收弧时应将弧坑填满。多层多道焊接头应错开30～50mm以上，并清理道间的杂质。

**9.4.2 钢穹顶梁的焊接**

9.4.2.1穹顶径向梁和环向梁组装完成，检查确认尺寸无误后方可进行焊接。

9.4.2.2穹顶梁焊接时，宜先焊接径向梁对接焊缝，再进行径向梁与环向梁之间焊缝。

9.4.2.3 焊接径向梁与环向梁焊缝时，先进行上、下翼板加垫板的对接焊缝。最后焊接径向梁与环梁腹板之间的角焊缝。焊接材料的选用及焊接工艺参数见附录A、附录B。

* + 1. **钢穹顶衬板的焊接**
       1. 穹顶衬板铺设定位完成后，先进行衬板下表面与径向梁、环向梁的仰焊位置焊接，再进行顶衬板上表面的角焊缝焊接。焊接时从大端向小端分段对称进行焊接，焊接顺序采用分段倒退焊，焊接过程中焊工应均匀分布，防止局部变形。
       2. 衬板仰焊部位的焊缝应满足图纸与设计要求，焊缝长度为100mm、间隔150mm，且每道焊缝不少于两层，焊角高度不小于衬板厚度且不低于6mm。
       3. 衬板上表面与径向梁搭接焊缝宜采用分段退焊或跳焊方式，焊脚高度不小于衬板厚度，焊接不少于2层。
       4. 衬板焊接时宜先焊接衬板之间的搭接焊缝，再焊接衬板与穹顶梁之间的搭接焊缝；宜先焊接仰焊位置，再焊接平焊位置。
       5. 衬板与梁之间的搭接焊缝，宜从穹顶外侧往穹顶中心方向施焊并采用分段退焊的方式进行焊接，焊接过程中焊工应均布。
       6. 焊接时应采用合理的焊接顺序控制焊接变形，先焊接短焊缝，再焊接长焊缝，长焊缝时，采用分段倒退焊，接头错开100mm以上。
       7. 穹顶梁和衬板的尾端钢板厚度及搭接厚度大于或等于6mm的角焊缝应全部满焊，且每道焊缝不少于两层，焊角高度不低于衬板厚度且不小于6mm。
    2. **承压圈的焊接**
       1. 承压圈竖板和环板的预制焊接

1. 承压圈竖板与环板的角焊缝焊接过程中，宜在竖板与环板之间增设防变形板，防止焊接变形。
2. 焊接应采用内外侧交替焊接的方法进行焊接，即先进行外侧点焊，再进行内侧Y形角接头打底焊，内侧打底填充完再焊外侧。
3. 内侧Y形角接头打底焊时，宜2名焊工从中间往两侧分段跳焊。
4. Y形角接头焊接时每层厚度不应超过5mm，焊接线能量控制在工艺指导书范围内。焊缝接头应错开50mm以上。
5. 预制组焊时，每块承压圈竖板、环板两头预留出500mm范围不予焊接，待安装时焊接。
   * + 1. 承压圈竖板和环板的安装焊接
6. 承压圈竖板、环板现场组焊时，坡口形式采用不对称X形坡口，坡口形式见图9.4.4.2-1）。
7. 对接焊缝焊接时，焊工应均匀分布，大坡口侧至少先进行3层焊接，再完成小坡口层焊接，最后完成大坡口侧焊接。焊接时应严格控制焊接热输入，控制焊接变形。
8. 首先焊接承压圈竖板对接焊缝后，方可焊接承压圈环板焊缝。
9. 焊接时，应在坡口内、焊道上引弧，严禁在坡口、焊道以外的母材表面引弧或试验电流，防止电弧擦伤母材表面，施焊时保证起弧好收弧处的质量，收弧时应将弧坑填满。



9.4.4.2-1） 承压圈环板和竖板现场组焊坡口形式

# 焊接质量检测

## 10.1 外观检查

11.1.1 钢穹顶、加强圈间的对接焊缝、角焊缝应100%目视检测。

11.1.2除设计文件和焊接工艺文件有特殊要求的焊缝外，焊缝应在焊完后立即去除熔渣、飞溅物，清理干净焊缝表面，并应进行焊缝外观检查。

11.1.3 焊缝外观成形要求良好，外观应平缓过渡。

11.1.4 以下焊缝等级要求如下，焊缝外观质量等级要求见附录D。

1. 穹顶梁的腹板对接焊缝、翼板对接焊缝、以及径向梁与环向梁连接的翼缘处等被覆盖的穹顶梁焊缝质量等级均为一级；
2. 构件的对接焊缝、T型接头Y型焊缝的质量等级均为一级；
3. 径向梁与环向梁连接的腹板角焊缝的质量等级均为二级；
4. 其他角焊缝的质量等级为外观二级。

表11.1.4 焊缝外观质量要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 一级 | 二级 |
| 裂纹 | 不允许 | |
| 表面气孔 | 不允许 | |
| 表面夹渣 | 不允许 | |
| 电弧擦伤 | 不允许 | |
| 未焊满 | 不允许 | ≤0.2mm+0.02t且≤1mm，每100mm长度焊缝内未填满累计长度≤25mm |
| 根部收缩 | 不允许 | ≤0.2mm+0.02t且≤1mm，长度不限 |
| 咬边 | 不允许 | 深度≤0.05t且≤0.5mm，连续长度≤100mm，且焊缝两侧咬边总长≤10%焊缝全长 |
| 接头不良 | 不允许 | 缺口深处≤0.05t，且≤0.5mm，每100mm长度焊缝内不得超过1处 |
| 注：t为母材厚度 | | |

11.1.5 穹顶衬板焊后局部最大凹凸变形不应大于变形长度的2%，且不大于70mm。

11.1.6角焊缝的焊脚高度符合设计文件规定，若图纸无其它要求，焊脚高度应不小于较薄的板厚。

## 10.2 无损检测

10.2.1 无损检测人员应通过考试合格并取得相应资质，符合TSG Z8001规定。

10.2.2 焊接接头无损检测应在该焊缝焊接完成并经外观检查合格后进行。

10.2.3 穹顶梁对接焊缝或角焊缝应进行100%目视检测和100%射线或超声波检测。

10.2.4 钢穹顶衬板搭接焊缝、对接焊缝全焊缝长度均按照NB/T 47013规定进行真空箱检查，真空度不小于53kPa，应至少保持10s无气泡出现为合格。

10.2.5 承压圈主体对接焊缝应进行100%目视检测和100%射线或超声波检测。射线检测应符合NB/T 47013.2的规定，技术等级不低于AB级；超声检测应符合NB/T47013.3的规定，技术等级不低于B级。

10.2.6 承压圈与罐壁角焊接接头应进行100%目视检查和100%渗透检测或磁粉检测。

## 10.3 焊缝返修

10.3.1 焊缝金属或母材的缺欠超过相应的质量验收标准时，可采用砂轮打磨、碳弧气刨或

机械等方法彻底清除。返修焊接之前，应清洁修复区域的表面。对于焊缝尺寸不足、咬边、弧坑未填满等缺陷应进行焊补。

10.3.2 打磨后的焊缝两侧母材实际厚度不应小于母材厚度标准值，焊缝补焊长度不应小于50mm。

10.3.3 焊缝返修或修补后应按原焊缝检测方式进行检验。

10.3.4 焊缝返修部位、次数、结果，应做好记录。

10.3.5 焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次，超过两次应制定返修措施，并经项目技术总负责人批准。

# 附录A：常用国内外焊丝型号对照及力学性能

**附录A 常用国内外焊丝型号对照及力学性能**

（母材主要为16MnDR/Q355ND）

资料性附录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 国家标准型号 | | 美国标准型号 | | 国际标准型号 | | 主要化学成分 | | | | | | | | 主要力学性能 | | | | 备注 |
| C | Mn | Si | Ni | S | P | Cr | Mo | 屈服强度ReL/RpMpa | 抗拉强度Rm/Mpa | 伸长率  A/% | 夏比V型缺口冲击工KV2（J） |
| GB/T 10045 | T492T1-XC1A | AWS A5.20 | E7XT-1C | ISO 17632 | T492T1-XC1A | ≤0.12 | ≤1.75 | ≤0.90 | ≤0.5 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≥390 | 490-670 | ≥25 | ≥27  （-20℃） | CO2气体保护 |
| T492T1-XM21A | E7XT-1M | T492T1-XM21A | ≤0.12 | ≤1.75 | ≤0.90 | ≤0.5 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≥390 | 490-670 | ≥25 | ≥27  （-20℃） | 混合气保护 |
| T494T1-XC1A | E7XT-1C-J | T494T1-XC1A | ≤0.12 | ≤1.75 | ≤0.90 | ≤0.5 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≥390 | 490-670 | ≥25 | ≥27  （-40℃） | CO2气体保护 |
| T494T1-XM21A | E7XT-1M-J | T494T1-XM21A | ≤0.12 | ≤1.75 | ≤0.90 | ≤0.5 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≥390 | 490-670 | ≥25 | ≥27  （-40℃） | 混合气保护 |
| GB/T  8110 | G49A3C1S6 | AWS A5.18 | ER70S-6 | ISO 14341 | G49A3C1S6 | 0.06~0.15 | 1.40~1.86 | 0.8~1.15 | ≤0.15 | ≤0.025 | ≤0.025 | ≤0.15 | ≤0.15 | ≥390 | 490~670 |  | ≥27  （-30℃） | CO2气体保护 |
| G49A3M21S6 | ER70S-6 | G49A3M21S6 | 0.06~0.15 | 1.40~1.86 | 0.8~1.15 | ≤0.15 | ≤0.025 | ≤0.025 | ≤0.15 | ≤0.15 | ≥390 | 490~670 |  | ≥27  （-30℃） | 混合气保护 |

# 附录B：穹顶梁、衬板及承压环焊接工艺参数推荐表

**附录 B 穹顶梁、衬板及承压环焊接工艺参数推荐表**

（资料性附录）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 焊件名称 | 焊接部位 | 焊缝位置 | 焊接方法 | 焊丝牌号 | 焊丝型号 | 焊丝直径 （mm） | 坡口类型 | 垫板/清根 | 电流 （A） | 电压 （V） | 气体类型 | 气体成份 （%） | 气体流量 (ml/min) | 焊缝状态 |
| 1 | 径向梁与径向梁焊接 | 上翼板与上翼板焊接 | 1G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | V型对接焊缝 | 垫板 | 190~200 | 25~27 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 上翼板焊缝磨平 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 下翼板与下翼板焊接 | 1G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | V型对接焊缝 | 垫板 | 190~200 | 25~27 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 腹板与腹板焊接 | 3G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | V型对接焊缝 | 清根 | 160~170 | 21~23 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 150~160 | 19~21 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 2 | 径向梁与环向梁焊接 | 上翼板与上翼板焊接 | 1G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | V型对接焊缝 | 垫板 | 190~200 | 25~27 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 上翼板焊缝磨平 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 下翼板与下翼板焊接 | 1G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 单边V型对接焊缝 | 垫板 | 190~200 | 25~27 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 腹板与腹板焊接 | 3F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 160~170 | 21~23 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 150~160 | 19~21 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 3 | 径向梁与衬板焊接 | 上翼板与衬板焊接 | 2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 4F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 20~22 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 4 | 环向梁与衬板焊接 | 上翼板与衬板焊接 | 2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 20~22 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 4F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 170~180 | 20~22 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 5 | 衬板与衬板焊接 | 衬板与衬板焊接 | 2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 衬板与衬板三叠焊缝焊接 | 2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 6 | 承压圈竖板与承压圈环板焊接 | 承压圈竖板与承压圈环板内侧预制焊接 | 2FG+2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | Y型对接焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 承压圈竖板与承压圈环板外侧预制焊接 | 2F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 7 | 承压圈竖板与承压圈竖板焊接 | 承压圈竖板与承压圈竖板安装焊接 | 3G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | X型对接焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 160~170 | 20~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 承压圈环板与承压圈环板安装焊接 | 4G+1G | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | X型对接焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 仰焊缝位置磨平 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 8 | 承压圈竖板与承压圈环板焊接 | 承压圈竖板与承压圈环板外侧安装焊接 | 4F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | 角焊缝 |  | 180~190 | 23~24 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 170~180 | 20~23 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |
| 承压圈竖板与承压圈环板内侧安装焊接 | 2FG+4F | FCAW | GFL-71Ni | E71T-1C-J | Ø1.2 | Y型对接焊缝 |  | 190~200 | 24~26 | CO2 | ≥99.9 | 25 | 原始焊缝 |
| GMAW | CHW-50C6 | ER70S-6 | 180~190 | 21~24 | CO2/混合气 | ≥99.9 | 30 |

# 附录C：穹顶梁结构组成结构示意图

**附录C 穹顶梁结构分布示意图**



本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜” ，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合…….的规定”或“应按……执行”。