

## 薄型低温不锈钢罐底板焊接变形的控制

汪涛

中国核工业第五建设有限公司, 上海 201512

[摘要] 在进行薄型低温不锈钢罐底板的焊接中, 由于底板厚度较低, 极容易产生变形, 需要重点控制。基于此, 文章结合 LNG 常压低温双层罐的底板焊接项目, 分析了不锈钢罐底板焊接变形的常见种类及其成因, 并提出了选定适宜的焊接方法及工艺参数、控制焊接顺序、降低焊接热量等一系列焊接变形的控制措施。

[关键词] 薄型低温不锈钢罐; 底板焊接; 变形量

DOI: 10.33142/ec.v3i2.1492

中图分类号: TG457.5

文献标识码: A

### Control of Welding Deformation of Bottom Plate of Thin Low Temperature Stainless Steel Tank

WANG Tao

China Nuclear Industry Fifth Construction Co., Ltd., Shanghai, 201512, China

**Abstract:** In welding of bottom plate of the thin low temperature stainless steel tank, due to low thickness of the bottom plate, it is easy to produce deformation, which needs to be controlled. Based on this, this paper analyzes common types and causes of welding deformation of stainless steel tank bottom plate and puts forward a series of control measures for welding deformation, such as selecting appropriate welding methods and process parameters, controlling welding sequence, reducing welding heat and so on.

**Keywords:** thin low temperature stainless steel tank; bottom plate welding; deformation

#### 引言

天然气属于新一代能源, 相比于其他能源来说, 有着更高的使用优势, 因此得到了广泛使用。在天然气的存储中, 一般使用不锈钢储罐。基于这样的情况, 在日常管理中, 展开薄型低温不锈钢罐底板的焊接处理极为常见, 此时, 需要重点避免焊接变形的发生, 保证储罐的使用效果。

#### 1 焊接项目简述

在本项目中, 主要对一台 2000 立方米的 LNG 常压低温双层罐的底板进行焊接处理。其中, 内筒底板的边缘板厚度为 8 毫米、中幅板为 5 毫米。该低温罐基础使用了高台式基础, 场地标高为 2.5 米, 使用的材料为 9 镍钢底板。

对于 9 镍钢来说, 其是制造大型液化天然气 (LNG) 储罐的首选材料, 焊缝冲击试验温度要求  $-196^{\circ}\text{C}$  实现良好的性能。9 镍钢底板的焊接难度大、工艺参数复杂, 极容易产生焊接变形, 因此需要重点分析其焊接变形的控制技术。

#### 2 薄型低温不锈钢罐底板焊接变形的常见种类及其成因分析

##### 2.1 焊接变形常见种类

在进行薄型低温不锈钢罐底板焊接的过程中, 常见的焊接变形包含波浪变形以及角变形两种。其中, 对于波浪变形(图 1)来说, 焊接厚度小于 10 毫米的薄钢板焊接结构时更容易产生; 对于角变形(图 2)来说, 主要为由于接头出沿板厚的方向温度分布不均匀所导致横向收缩不一致引发的变形。



图 1 焊接波浪变形



图 2 焊接角变形

## 2.2 焊接变形成因

造成波浪变形的原因主要有两种,即:由于薄板结构焊缝的纵向收缩对薄板的压力超过了一定数值时,在边缘就会出现波浪式变形;由于角焊缝的横向收缩引起的角变形所造成。

造成角变形的原因主要为:钢板厚度方向上热量的分布并不均匀,由于焊接面膨胀受阻,出现了较大的横向压缩性变形。因此,在冷却时就产生了钢板厚度方向上收缩不均匀现象,出现角变形。

除此之外,产生焊接变形的原因还有以下几点:第一,材质内在因素。不锈钢的热膨胀系数较大,因此在焊接过程中,其变形量比其他材质更高<sup>[1]</sup>。例如,不锈钢焊接的变形量比低碳钢焊接的变形量高出50%。第二,由于热导率较低且导热性能较差,所以极容易在焊接中形成较大的内应力。在本次焊接中,不锈钢罐底板的厚底较,因此必须严格控制焊接工艺参数,否则产生变形的概率更高。第三,在实际的底板焊接中,由于不锈钢熔池的铁液黏度相对较大,因此为了降低焊接难度,普遍会提升焊接电流,由此引发焊接变形。

## 3 薄型低温不锈钢罐底板焊接变形的控制措施探究

### 3.1 选定适宜的焊接方法

在本次焊接中,由于内筒底板的厚度较低,因此主要使用了钨极惰性气体保护焊完成焊接。相比于其他焊接方法来说,钨极惰性气体保护焊的熔池以及电弧可见性更高,实际操作更为简单;在焊接中不存在熔渣或是很少产生熔渣,因此不需要落实清渣操作,保证了焊缝的美观程度,形成的焊接变形量也更低。

在展开钨极惰性气体保护焊中,需要重点关注以下几项内容:要使用垂直外特性电源,在直流条件下,将焊丝连接负极;使用 $\varphi 99.99\%$ 的氩气作为保护气体,当焊接电流在50-150A范围内时,控制氩气流量在8-10L/min,当焊接电流在150-250A范围内时,控制氩气流量在12-15L/min;将钨极伸出长度稳定在4-5毫米,在进行隐蔽性强(如角焊缝等)区域的焊接时,需控制钨极伸出长度在2-3毫米的范围内,而在进行开槽深区域的焊接时,需控制钨极伸出长度在5-6毫米的范围内;将喷嘴与工件之间的距离稳定在15毫米以内;设定焊接电弧长度为1-3毫米。

### 3.2 选择合理的工艺参数

对于不锈钢罐底板来说,其中幅板为搭接、弓形边缘板为对接。基于这样的情况,为了避免在实际的焊接过程中出现变形问题,实现对变形量的有效控制,本工程使用了小焊接电流的方法完成对热输入的控制。在此过程中,将焊接电流稳定在90A,完成对焊接变形的有效预防。

需要注意的是,若材料中碳的含量有所增加,钢的抗拉伸强度以及屈服强度会随之提升,极易造成焊接性变差。在本工程中,焊接的不锈钢罐使用了低合金结构钢,因此碳含量低于0.2%。因此,在进行角焊缝的焊接时,主要选用了E308L-I6(A002)焊条完成焊接操作。这种焊条属于超低碳焊条,可以达到避免焊接变形问题发生的效果。

在本工程中,内罐罐底板的边缘板应用对接焊接,为了避免焊接变形,需要严格控制焊接工艺参数,包括电弧电压、钨极直径、保护气流、焊接电流、焊接速度、喷嘴直径等。其中,电弧电压为12-20V、钨极直径为 $\varphi 3$ 毫米、保护气体流量为8-10L/min、焊接电流为90-170A、焊接速度为1-3mm/s、喷嘴直径为12毫米。依托这样的参数控制,能够将薄型低温不锈钢罐底板焊接的变形量控制在允许范围内。

### 3.3 控制焊接顺序

在罐底板焊接过程中,需要提前在边缘板区域留出变形量,避免由于焊接后收缩所引发的变形。具体来说,针对共性边缘板,在焊接前需在外缘300毫米区域预留不等间隙<sup>[2]</sup>。在本工程中,外侧间隙控制在4-5毫米、内侧间隙控制在9-10毫米。

在进行中幅板的焊接时,应对组对边展开点固焊。此时,保证两个底板紧密贴合,间隙低于1毫米;在每间隔500毫米的区域,完成一段点固焊,控制点固焊缝长度在50毫米。在搭接接头三层钢板的重叠区域,对上层底板进行切角,并控制切角长度为搭接长度的2倍、宽度设定为搭接长度的三分之二。在铺设上层底板时,应提前完成上层底板覆盖的角焊缝的焊接,严禁使用直接锤击的方式,以免不锈钢板的表面遭到破坏。在进行初层焊道的焊接时,可以使用跳焊或是分段退步焊的方法,并结合“先短缝后长缝”的原则完成焊接。

### 3.4 降低焊接热量

本次焊接的主体为薄型低温不锈钢罐底板,且其材料厚度为5毫米,因此极容易在焊接中发生变形。为了避免这一问题的发生,需要降低焊接热量。应当结合实际情况,控制焊接操作中产生的热量以及电流大小,从根本上降低底板收缩。同时,还应当将道间温度稳定在100℃以下。

### 3.5 刚性固定法

由于底板厚度较薄,因此在落实边缘板加垫板的焊接操作时,主要引入了刚性固定法控制焊接变形的发生,将变形量稳定在最小的范围内。对于刚性固定法来说,其主要指在焊接过程中,将薄型不锈钢管底板固定在具有足够刚性的基础上,使其在焊接时不能移动,并在焊后完全冷却时将不锈钢管底板放开的一种方法。相比于自由状态下的焊接变形来说,应用该方法产生的焊接变形较小。结合实践情况来看,这一方法对薄型低温不锈钢罐底板焊接变形有着较好的控制效果,促使焊接变形量符合相关验收规范要求。

### 3.6 反变形法

反变形法也是降低不锈钢罐底板焊接变形的重要方法。在此过程中,需要提前分析焊接后可能产生的变形方向与大小,并结合多种措施使得不锈钢罐底板产生大小相同但是方向相反的变形。通过这样的方式,能够补偿或是抵消焊接后发生的变形,因此达到防止焊接变形的效果。

## 4 总结

综上所述,受到材质内在因素、焊接温度、焊接电流等因素的影响,在进行薄型低温不锈钢罐底板焊接时,极易发生变形。在明确成因的基础上,通过选定适宜的焊接方法、选择合理的工艺参数、控制焊接顺序、降低焊接热量、刚性固定法、反变形法,降低了焊接变形量,有效避免了薄型低温不锈钢罐底板焊接变形的产生。同时,实践结果证实了这些方法的有效性,确保变形量稳定在最小的范围内。

### [参考文献]

- [1]尚振一.冷焊接不锈钢操作技能与工艺分析[J].湖北农机化,2019(18):105-106.
- [2]邵立军.不锈钢储罐焊接变形控制[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(22):142-143.
- [3]王金洲,王家松,王玉洪.薄型低温不锈钢罐底板焊接变形的控制[J].焊接技术,2012(04):73-75.
- [4]申建国.大型储罐底板焊接变形控制[J].化工建设工程,2003(04):25-28.
- [5]刘尚明.大型薄壁不锈钢球罐焊接变形的控制研究[J].广州化工,2019(3).

作者简介:汪涛(1988-),毕业于武汉理工大学,专业:工程力学,现就职于中国核工业第五建设有限公司,中级工程师,项目经理。