

# 海洋钢结构关键节点的焊接变形控制

程子兴 冯增科 侯大伟 穆广军 展振 于秀海 赵占山

海洋石油工程(青岛)有限公司 山东 青岛 266555

**[摘要]**在钢结构工件焊接过程中,由于外形、尺寸、焊接位置等多种因素的影响,会出现焊件变形的问题,通过观察能够发现焊件最大变形处位于焊件宽度方向的外端。本文将从焊前、焊中及焊后三方面,对海洋钢结构关键节点的焊接变形控制措施进行分析。

**[关键词]**海洋钢结构; 关键节点; 焊接; 变形; 控制

**【DOI】**10.12252/j.issn.2096-627X.2021.12.354

## 1. 焊接在海洋钢平台中的应用特点

### 1.1 海洋钢结构的主要特点

海洋钢结构建设应用的主要原材料是低碳钢与低合金钢,往往需要结合钢结构的实际工作条件与项目具体要求来选择材料与搭建方式,确保所用的钢材料能够达到强度标准,满足应用要求。海洋结构的屈服强度等级包括500MPa、420MPa、400MPa几个等级,厚度大多在10mm至15mm之间,次钢结构使用的钢材屈服强度等级偏低,235MPa等级的钢材就可满足。针对自升型钻井船桩腿,应选用高强度。海洋钢结构在钻探海上油气资源的活动中发挥重要作用,使用钻探设备需要有自升钻井平台以及半潜式钻井平台提供支持,开采设备需要的平台包括固定化导管架系统、顺应塔平台与立柱式平台等。自升式钻井平台通过柱腿被固定到海床上,并起到支撑作用,将钻井相关设施直接设置到船体上,船体依靠齿轮与齿条啮合活动可在桩腿间上下运动,进而实现不同海上环境的钻探需求。采用固定型导管架时,需利用打桩技术将其固定,平台中的导管架能被用于支持其他结构体系,承担上部结构的重量。选用不同的开采设备与钻探设备工作时,对于钢结构的需求也有所不同,需结合具体情况进行选用。

### 1.2 焊接技术的应用特点

海洋钢结构与普通构筑物结构不同,需要长期处于海洋环境中,因此对于材料的强度与质量往往有更严格的要求。焊接作为钢结构施工中的关键技术,更要得到重视,确保焊接能符合综合性能要求。次要结构中大多运用低碳钢,具体多为正火与热轧的高强度钢与高强度低碳调质钢,所使用的钢材料性能与化学成分都应符合标准,施工过程中,必须按照焊接技术要求施工,以达到较高的焊接质量。完成焊接活动后,钢结构的关键部位会保留一定的剩余热应力,应及时予以热处理,以减轻热应力对钢结构综合稳定性造成的负面影响。

## 2. 海洋钢结构关键节点的焊接变形控制

### 2.1 焊前工作

#### 2.1.1 组对坡口角度、组对间隙

海洋钢结构关键节点的组对坡口形式有下面四种形式:第一种,单面V形坡口,第二种,双面V形坡口,第三种,单面单边V形坡口,第四种,双面单边V形坡口。海洋钢结构中关键节点都是使用全熔透的焊接方式进行操作,首先要结合材料的厚度和组对的不同形式,就可以分别使用上面四种坡口方式。在焊接的过程中,电弧热会出现作用,导致电弧

四周的金属温度会随之上升,通常情况下距离电弧很远的金属温度就比较低,为此就会出现焊件由于受热不均匀导致的热膨胀。另外,进行金属的加热的过程,要按照受热程度的不同,要将加热时间进行延长,没有进行加热的金属要保持住之前的长度对此进行固定,若在加热的过程中应力超过金属的强度时,就容易出现变形。在钢材组对的坡口角度和根部间隙处都有相应的标准和规范。如果实际的数据和所规定的要小,全熔透焊接在强度和要求上就无法得到满足,极易出现变形的情况。为此,进行焊前组对的环节,要对坡口角度,组对间隙的测量采取提前规划,在后续的结构焊接变形问题上要制定出相应的措施。

#### 2.1.2 支撑形式

焊接的变形起到抑制作用的就是焊接前的支撑工作,在焊接的过程中避免结构件没有一定的约束导致的变形,然而在焊前支撑,因为海洋钢结构关键阶段有很多不同的形式,一些特殊的节点在大量增加支撑的过程中,就会出现不良的现象,影响效果。针对材料的厚度,厚度大,尺寸小,然而强度很高的钢材,在进行后续热调直步骤时要采取调直的工作。板材的宽度是50mm,上下板材的厚度则是32mm,因为会受到板材整体强度和尺寸的影响,此时局部的支撑结构就起到了避免板材变形的作用,根据具体的情况进行分析,如果母材的强度很低,厚度小,尺寸小就会出现变形;如果进行焊接的过程中,针对结构的位置要加大支撑,就会导致焊接后板材将会出现波浪形,后续调整阶段也无法改变。

#### 2.1.3 辅助设施

焊接过程中产生的应力不可避免会导致结构变形,在焊前可根据接头形式,合理设计和添加临时支撑,固定在接头两侧的母材上。在条件允许的情况下,焊前还可将构件与预制胎架或地面上的预埋铁进行固定,可对母材产生刚性约束。对于立柱等圆形构件的焊接,在条件允许的情况下,环缝坡口两侧均应加刚性固定,同时,在内部还可以加强径向的刚性固定,以控制圆形构件的椭圆度及直线度。变形不仅影响构件本身尺寸,还会导致构件之间的相对位置发生变化,因此在构件之间加入临时支撑,确保焊接完成后,构件之间相对位置满足要求,直至完成总装后再进行拆除。另外,在甲板钢板焊接前,为减少因焊接收缩导致的四周翘起,一般会在甲板片四个角的位置加放配重,以抵抗焊接产生的收缩应力。

#### 2.1.4 焊前预热

根据焊接工艺要求,在焊接前对焊缝及相邻母材区域进

行预热,可以减小焊缝与构件其他部分的温差,降低焊缝的冷却速度,进而减小焊接应力与变形。值得注意的是,预热需保证构件整个厚度方向均满足要求,同时要保证整个焊接过程不低于预热温度。

## 2.2 焊接过程

### 2.2.1 工艺执行及监控

(1) 焊接方法选择。一般情况下,埋弧焊的热输入相对较大,从而导致尺寸变形较大。在满足焊接要求的前提下,优先选择CO<sub>2</sub>气体保护焊或焊条电弧焊。(2) 焊接参数控制。焊接过程中的各项参数应完全符合工艺要求,电流、电压、焊接速度以及产生的热输入都会影响母材的变形量,电流、电压越大,焊接速度越慢,由此产生的热输入就越大,焊接变形也会越大。单道焊缝摆宽不应超出焊接工艺要求。对于角焊缝焊接,只需按照图纸要求焊接足够尺寸的焊脚即可,过量的焊缝金属反而会导致较大的变形量。

### 2.2.2 焊接变形过程监控

应建立焊接尺寸过程控制的概念,可安排专人使用全站仪等仪器进行尺寸测量,一旦出现偏离理论位置或者其他变形情况,应暂停焊接并调整焊接位置或焊接顺序。为了减少人力投入,也可以在焊接构件上悬挂线坠,一旦线坠偏离理论位置,应立即停止焊接并做出调整,此种方法适用于立柱或者筋板的焊接。对于其他形状的构件,可因地制宜地选取适当的监测工具。

### 2.2.3 焊接顺序控制

海洋钢结构重要节点的焊接一般都需要采用正确的焊接顺序,既能保证焊接质量,又能防止焊接变形。对于单面坡口焊接,可以采用分段焊接的形式来确保热输入不集中于一处,以减小焊接变形;对于双面坡口焊接,由于涉及气刨清根作业,因此在焊接此类节点时,应该在正面焊接完成一部分之后,采取背面清根后再焊接背面,以保证两侧均匀焊接,不至于在焊接过程中出现板材向一侧弯曲变形的情况。

## 2.3 焊接完成后

### 2.3.1 机械调直和热调直

(1) 机械调直。机械调直需采用液压矫正机或者液压千斤顶,主要适用于矫正组合梁焊接引起的变形或者板对接焊接引起的变形,以及矫正钢板局部弯曲变形。组合梁焊接后超出公差范围的区域可使用H-型钢翼缘液压矫正机进行调直,局部区域的变形可使用液压千斤顶进行调直,需要注意的是,在使用液压千斤顶时,不可同时在焊道处加压或在机械调直时同时加热。板对接焊接完成后超出公差要求的部分可使用液压千斤顶来机械调直,同样地,在使用液压千斤顶调直时不可同时在焊道处加压或者在机械调直时同时加热。

(2) 热调直。热调直也称为火焰调直,主要使用氧气加可燃气体对构件变形位置进行火焰加热,热调直需采用多口加热型的烤把,不允许使用切割枪或者其他不符合要求的工具。热调直多采用手工加热方式,由一名调直工和一名负责监控的人员组成。热调直前需明确火焰距离工件表面、焊缝焊趾处的最小距离,以及加热的最高温度,调质钢最高加热温度应不超过600℃,其他钢种则不超过650℃。加热前应在待调

直区域外使用粉笔进行划线,划线位置以火焰不会影响焊道为准,不允许对焊道进行加热。热调直前,对变形构件可施加一定的预载,热调直过程中,不允许再施加其他外力。

### 2.3.2 施工工序

海洋平台包含数量巨大的构件,应化整为零,按照组件、部件、甲板片等递进式的建造工序,可以有效避免后期的集中焊接,进而减少总装阶段焊接变形。结构焊接是整个海洋平台建造的基础,应从影响尺寸的各要素入手,精细化管理,确保焊接后的整体尺寸,保障海洋平台的整体性能和设计强度。

### 2.3.3 人员操作控制

焊接质量终究主要是依靠人员精准操作,对人员素质要求非常高,由于钢结构焊接本身是比较复杂的施工过程,所以在焊接中受到的影响也是非常多的,一定要保证焊接人员具备足够的专业水平,对焊接人员要加强资质管理。在人员选拔的环节需要严格进行监督。并建立专业的培训机制。焊接人员在正式进入工作前一定要经过严格的技术培训以及安全教育,要尽可能提升焊接人员的技能水平以及责任意识。

### 2.3.4 设备检修控制

在钢结构焊接中需要使用大量的工具和设备,这些设备也是影响焊接质量的重要条件,对这些设备的检查和维修一定要尽可能完善。尤其是焊接设备,直接影响着焊接的质量。若是在施工中不具备性能优良的焊接设备,即便是焊接人员具备极强的技能水平,也无法取得理想中的焊接效果,这与技术是否娴熟无关,主要是因为焊接设备本身也是施工的基本条件。因此在平台焊接中一定要重视对设备的检查和维修,定期要对设备进行维修,保证设备处于良好的工作状态。

## 3. 结束语

随着我国经济的发展,社会的进步,海洋工程受到了广泛关注。在海洋工程装备制造工程中,其主要的加工工艺就是焊接,焊接作为至关重要的应用技术,其应用范围非常广泛,具有许多显著的优势,然而钢结构焊接中出现的变形问题却也不可避免。因此需要做好海洋钢结构关键节点的焊接变形控制,保障海洋钢结构的焊接质量。

## 参考文献

- [1] 庞广超,朱丽娟.海洋石油平台钢结构的焊接[J].石化技术,2019,26(03):155-155.
- [2] 赵国华.有效焊接质量管理在海洋工程装备制造过程中的应用[J].中国建材科技,2019,28(01):119+118.
- [3] 徐倩,邵飞,白林越,等.海洋钢结构焊接接头的腐蚀疲劳裂纹扩展机理[J].中南大学学报(英文版),2021,28(1):58-71.
- [4] 王胜伟,李曼德,刘显勇,等.焊接热输入对堆焊残余应力和变形的影响分析[J].焊管,2017,40(12):19-23.
- [5] 刘强.浅谈钢结构焊接中存在的问题及处理方法[J].盐科学与化工,2017,46(10):50-52.