

自升式钻井平台厚板构件 自动脉冲气体保护焊工艺试验

■ 陈淑梅, 周文

摘要: 本文针对海工钻井平台桩腿齿条板EQ70高强钢120mm厚板构件, 分析了齿条板焊接难点, 试验研究了金属粉芯富氩气体保护自动焊方法和对称焊工艺, 给出了坡口形式、焊接电流、电弧电压、熔敷面积、层道数分布、焊接速参数以及预热温度、焊道层间温度等工艺参数及技术措施, 使焊缝接头强度和塑性等力学性能优于母材, -40°C 抗冲击值70~120J, 大于设计要求的45J, 优于实测母材值60~69J, 构件焊接变形、残余应力明显降低。本文工艺经平台齿条板焊接验证, 获得满意的结果, 焊接接头质量和性能完全满足AWS要求, 与手工焊接相比, 焊接效率提高100%, 焊接时间减少一倍, 对于自升式钻井平台焊接制造具有指导价值。

关键词: 高强超高强钢; 富氩脉冲气体保护自动焊; 海洋平台; 齿条板; 对称焊

1. 概述

GustoMSC NG-2500X是荷兰GustoMSC设计的一艘同时具有自航能力和升降能力的多功能平台(见图1), 主要用于油田服务, 生活支持以及风电安装等方面, 其作业水深可达70m以内水域。

该平台最重要构架是4条桁架式桩腿, 腿长94.2m, 下面连接桩靴, 弦管间距5.0m, 选用超高强的EQ70弦管焊接而成。弦管两侧焊有用于船体升降的齿条板, 齿条板选用120mm厚的EQ70钢焊接而成, 升降装置沿齿条实现爬升, 提升总重量5500t。桩腿是自升式平台的关键特殊构件, 该关键部件弦管和齿条板均采用EQ70超高强度钢, 全焊接结构, 厚度为

20~120mm, C_{eq} 达到0.65%, 极易产生氢致冷裂纹、未熔合、硬脆区及软化区等焊接缺陷, 尤其是40mm板厚以上的复杂构件, 缺陷产生的概率更高。

我国海洋平台大型构件传统上均采用焊条电弧焊工艺, 存在质量不稳定、易产生裂纹等缺陷, 返修率高、效率低、周期长等难题。欧美已普遍采用过程在线控制的金属粉芯焊丝高效自动脉冲气保多层多道焊接工艺, 质量稳定性好。因而针对这类厚板复杂构件, 研发金属粉芯焊丝脉冲气保自动焊接工艺, 对于提高我国海洋平台焊接建造质量和技术水平、提升我国海工企业核心竞争能力, 具有重要的经济和社会意义。

本文以我国自升式生活服务平台120mm厚EQ70桩腿齿条板为

研究对象, 研究金属粉芯焊丝脉冲气体保护自动焊接工艺, 突破关键工艺及参数与焊接缺陷、接头性能的关系规律, 为我国海工平台高强厚板构件焊接建造提供一种可行的高效焊接工艺, 65mm厚EQ70板对接横焊如图2所示。



图1 NG-2500X效果



图2 焊接试验

2. 焊接工艺

(1) 母材 试验采用 ABSEQ70钢, 板厚65mm, 化学成分、力学性能分别如表1、表2所示。

(2) 焊接材料选择 根据海工平台焊接结构等强匹配原则, 同时为提高厚板构件熔敷效率, 齿条板构件焊接设计采用STEIN-MEGAFIL 690R (以下简称690R) 和STEIN-MEGAFIL 742M (以下简称742M)。依据国家标准, 对690R和742M熔敷金属化学成分和力学性能进行了试验测试, 结果如表3所示。

(3) 焊接工艺设计 120mmEQ70齿条板焊后需进行200~230℃保温2h的后热处理, 焊前母材处于调质状态, 该构件焊接存在三大问题: 一是焊接冷裂纹; 二是焊缝硬脆组织和热影响硬脆区; 三是热影响软化区。金属脉冲粉芯焊丝Ar+CO₂气体保护焊工艺, 保护气氛呈氧化性, 可抑制焊缝中扩散氢的产生, 有效降低冷裂纹产生的可能性; 与焊条电弧焊相比, 熔化极气体保护焊热量集中, 热影响区较窄, 软化区较窄; 多层多道焊兼具预热和后热的效果, 有利于提高硬脆区的性能, 同时减少冷裂纹的产生; 同时金属粉芯焊丝熔敷效率明显高于手工焊, 也高于实芯焊丝气体保护焊。为进一步减低焊接变形和残余应力, 滑移箱尽量设计采用双枪对称焊接工序, 有效地控制了焊缝根部熔透。

齿条板对接焊接头采用双面V形45°坡口 (见图3), 留合适的间隙, 双面焊接, 经工艺评

定验证的具体焊接参数如表4所示。焊缝采用双枪对称同步半自动焊接工艺, 保证了最低的焊接变形和残余应力, 有效地降低了

焊接裂纹。

齿条板典型焊缝采用引收弧板, 焊接完成后对试板进行无损检测, 结果如下: ①焊缝外观检

表1 ABSEQ70钢化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Al
0.13	0.08	0.8	0.006	0.003	0.21	0.73	0.74	0.38	0.04	0.011	0.01	0.06

表2 ABSEQ70钢力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	冲击吸收能量 (-40℃) /J
690	770~940	14	69

表3 690R和742M金属粉芯焊丝熔敷金属实测化学成分及力学性能

牌号	化学成分 (质量分数, %)							力学性能				
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	R _{σ0.2} /MPa	R _m /MPa	A (%)	KV (-40℃) /J	
690R	0.082	1.71	0.51	<0.015	<0.015	1.9	0.21	710	760	20	85	70
724M	0.051	1.62	0.43	<0.015	<0.015	2.1	0.52	735	780	21.5	100	105

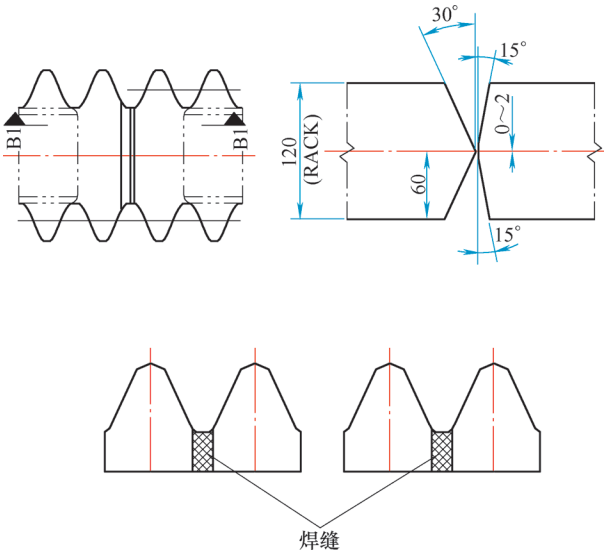


图3 NG-2500X平台齿条板焊接

表4 120mm厚EQ70齿条板对接焊接参数

层、道	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹	熔敷面积/cm ²
打底层	130~160	18~20	30~32	0.28~0.32
封底层	160~180	20~21	40~45	0.30~0.35
正面中间多层	220~260	25~28	45~60	0.5~0.6
背面中间多层	220~260	25~28	45~60	0.5~0.6
正面盖面	230~250	23~24	32~36	0.35~0.4
背面盖面	230~250	23~24	32~36	0.35~0.4

注: 保护气: Ar82%+CO₂18%; 气体流量25L/min; 技术措施预热120~140℃、层间温度180℃。

测：100%VT，焊缝成形良好，无裂纹、气孔、夹渣及咬边等缺陷。②焊缝渗透检测：100%着色，无缺陷。③焊缝检测：100%RT+100%UT 检测，满足AWS D1.1: 2010，Chapter 6的要求。

3. 焊缝接头微观组织分析

EQ70钢焊接接头的典型宏观形貌如图4所示，焊缝、熔合线、热影响区均未发现裂纹、未熔合、气孔及夹渣等焊接缺陷，焊缝熔合良好，设计的工艺满足质量要求。

母材、热影响区、热影响过热区和焊缝2000倍、5000倍的扫描电镜照片分别如图5、图6所示。从图5b可见热影响区呈现回火组织形态，从图5c可见热影响过热区部分晶粒较为粗大，是热影响区的薄弱区域。图6a为母材组织，结合母材成分可知母材为低碳板条马氏体，并含有少量细微的微合金元素析出物。热影响区在多层多道焊接过程中经多次回火，其所得组织如图6b所示。焊接过程中，热影响区奥氏体化，冷却后形成板条马氏体，在热循环过程中回火形成等轴铁素体和少量板条马氏体混合组织，并产生少量细小析出物。图6c为热影响过热区，该区组织粗大，尤其是焊缝盖面层未经过多次回

火，在靠近熔合区的地方形成粗大的马氏体组织，成为焊缝的薄弱区域。图6d为焊缝组织，焊缝区由于焊Ni、Cr较多，冷却过程中形成马氏体组织，多次热循环回火后呈现回火索氏体的形貌。

焊缝和热影响区微观组织表明，焊缝组织总体上呈现板条M

氏体转变的中温回火组织，盖面层出现板条M组织，存在少量片状M，靠近熔合区处组织较为粗大，是薄弱环节，总体组织符合工艺设计要求。

4. 焊缝接头力学性能分析

按照AWS D1.1: 2010，Chapter 4 要求，我们以65mm

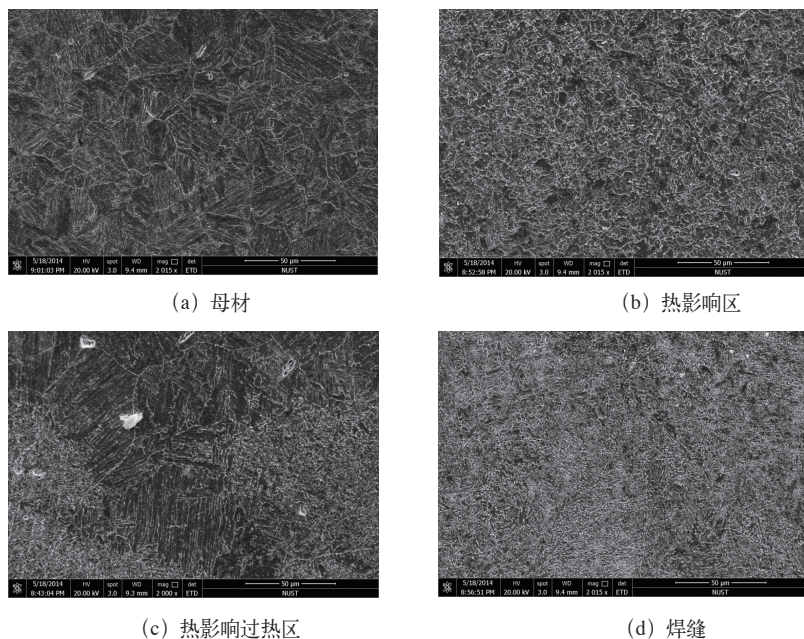


图5 金相照片 (2000×)

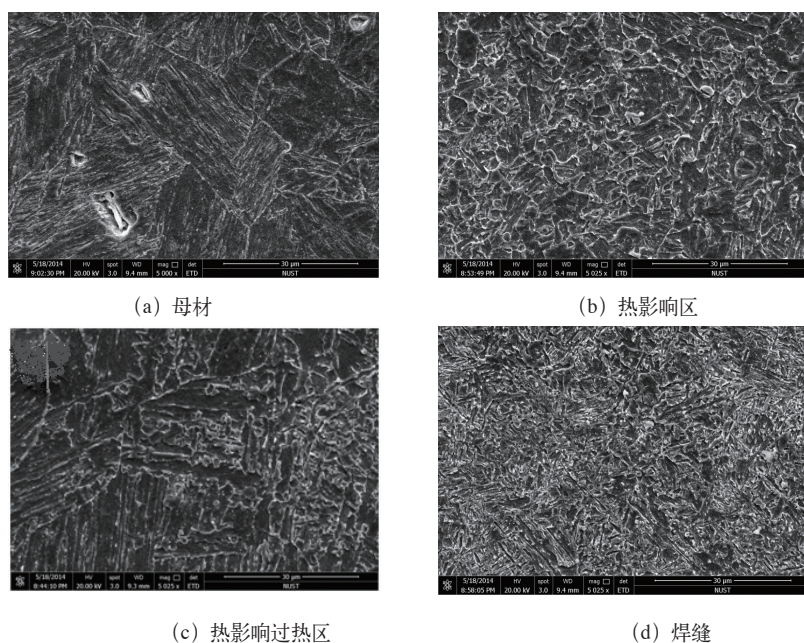


图6 金相照片 (5000×)



图4 焊缝宏观组织形貌

厚EQ70钢板焊后进行了拉伸、弯曲、冲击和硬度检测。其中拉伸试样分两层制备，试验结果如表5所示。拉伸后均断裂于母材，抗拉强度数值较为集中。弯曲试验也分两层进行，180°侧弯，试样规格为10mm×40mm×240mm，弯芯直径，取63.5mm，仅个别试样上有微小裂纹，按AWS D1.1标准，裂纹长度在合格范围。

冲击试验按照焊缝中心（T/4和根部）、熔合区和热影响区（熔合线+5mm）部位进行-40℃低温冲击检测，其中熔合线和热影响区的冲击值均在140J以上，远高于母材的标准值69J，焊缝中心的冲击值也在70J以上（见表6），其中焊缝中心（根部）的冲击值最低。由数据可见，焊缝根部、中间和热影响区冲击性能稳定，均满足规范要求。

表5 试件抗拉强度

编号	抗拉强度/MPa				均值/MPa
	上层		下层		
1	800	805	800	805	803
2	790	785	795	785	789
3	810	800	815	790	804
4	806	806	804	804	805

表6 各组试样的冲击值 (J)

序号位置	1			2			3			4			5		
焊缝根部	65	82	90	50	62	60	72	50	55	60	50	75	60	50	45
焊缝中心	95	105	100	90	95	85	90	100	85	70	75	90	90	75	90
熔合区	250	270	240	180	170	150	150	155	160	135	140	130	200	190	190
粗晶区	300	310	310	280	270	275	300	300	290	280	280	275	300	300	290

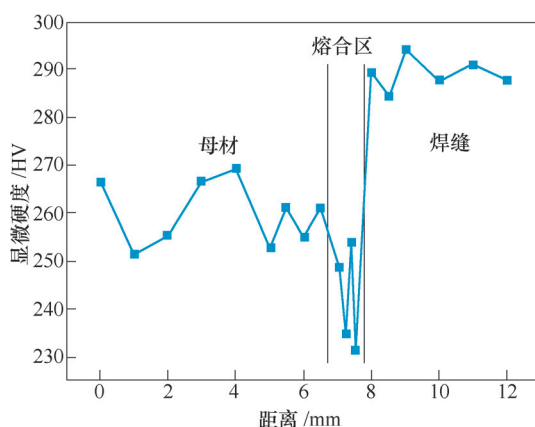


图7 焊缝接头区显微硬度分布

求。

接头区域的显微硬度分布如图7所示，母材硬度约为HV255，焊缝约为HV290，热影响软化区硬度约HV240，软化区较窄、约为1mm。按照“硬夹软”分布的力学模型分析，拉伸时断口将出现在母材，这与拉伸检测试验的结果保持一致。但总体而言，母材、热影响区硬度值相差不是特别大，软化区出现在熔合区附近，表明多层多道焊重复热作用的结果，已将熔合区附近的脆化区进行了退火或正火处理。

5. 结语

采用富氩脉冲气保自动对称多层多道焊接工艺，可以显著提升高强钢齿条板结构件焊缝接头的整体性能，降低焊接变形，减少残余应力。工艺研究和生产验证均表明，焊接质量和构件焊缝性能满足了大型海工自升式平台齿条板焊接接头质量、性能和尺寸精度的要求。同时试验表明：金属粉芯脉冲富氩气保自动焊接效率与手工焊相比，整个齿条板焊接时间减少了95%以上，效率提高一倍。

参考文献：

- [1]李朋，陈希章，胡超.Q690焊接接头组织及其残余应力分布研究[J].热加工工艺，2014(23)：212-214.

作者简介：陈淑梅、周文，招商局重工（深圳）有限公司。