



海洋平台4130高压管线焊接 工艺研究

朱洪宇 于训达 王淑梅 李光辉

【摘要】 4130钢管是一种强度等级高、综合性能优良的高合金钢管，普遍用于海洋平台中的高压管线。该材料焊接性差，焊接接头的力学性能要求高，焊接难度较大。本文主要从母材焊接性分析、选择合理的焊接材料和采取适当工艺措施等，对某产品4130高压管线的焊接工艺予以介绍。

关键词： 海洋平台；4130钢；焊接工艺

1. 概述

海洋平台中的高压泥浆/水泥系统是海工产品核心系统之一，几乎贯穿了平台的基面和钻台上、下结构，其特点是工作压力大，且需具有相应的耐蚀能力等。因此，选材上通常采用ASTM A519—4130—SR高合金材料，且材料等级高、管子壁厚大，钢管供货状态为调质处理，淬透性很大，因此焊接性较差，焊接难度较大。认真分析材料的焊接性、采取适当有效的焊接工艺措施及焊后热处理手段等，通过焊接工艺试验评定，确定出合理的焊接工艺，对于满足产品设计要求，保证焊接质量十分重要。

2. 焊接性分析

4130钢管为无缝管，材料需要经过应力释放、调质处理状态供货。母材化学成分、力学性能如表1、表2所示。

(1) 热裂纹 由表1可见，此材料的含碳量及合金元素含量

表1 母材化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0.28~0.38	0.15~0.35	0.45~0.80	0.90~1.10	≤0.25	0.20~0.25	≤0.025	≤0.025

表2 母材力学性能

热处理工艺参数	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ (%)	ψ (%)	A_{KV} /J	HV _{max}
850℃淬火（水） 550℃回火 （水或油）	≥690	≥517	≥18	≥35	≥27	270

都较高，因此具有较大的焊缝热裂纹倾向。所以在焊材的选择上需要考虑避免热裂纹的产生，同时，施工时应该注意保证填满弧坑和良好的焊接成形，尤其要注意多层焊时第一层的弧坑，以及焊缝的凹陷等。

(2) 冷裂纹 根据计算，试验母材的碳当量为0.59，具有明显的淬硬、冷裂倾向。另外，由于含碳量较高，所以加入的合金元素也较多，在500℃以下的温度区间过冷奥氏体具有更大的稳定性，增加了淬硬倾向。同时，与低碳调质钢相比，试验母材的 M_s 点较低，在低温下形成马氏体

一般难以产生“自回火”效应，并且由于马氏体中的含碳量较高，有很大的过饱和度，点阵畸变就更严重，因而硬度和脆性就更大，对冷裂纹的敏感性也就更大。

(3) 热影响区脆化 中碳调质钢由于含碳量较高和合金元素较多，有较大的淬硬性，因而在焊接热影响区的过热区内很容易产生硬脆的高碳马氏体，导致脆化。因此工艺上应尽可能减少母材受热影响，减缓冷却速度。为此，采用大焊接热输入是有利的，但仅此难以避免马氏体的形成，却反而增加了奥氏体的过热

并提高了奥氏体的稳定性，促使形成粗大的马氏体，使过热区的脆化更为严重。因此，适合的方法是：采用较小的焊接热输入，而同时增加预热、缓冷和后热等措施。小的热输入减少了高温停留时间，避免了奥氏体晶粒的过热和晶粒过分长大，同时预热和缓冷等措施，降低了冷却速度，防止产生淬硬组织。

(4) 焊接热影响区软化 由于生产现场条件所限，一般无法对母材进行焊后调质处理，这就导致必须考虑焊后热影响区的软化问题。强度级别越高，软化问题越突出。工艺措施上，热输入越小，加热冷却速度越快，受热时间越短，软化程度越小，软化区的宽度越窄，对减少软化越有利。但同时要注意过热区的脆化和冷裂问题。

3. 焊接工艺方案设计

(1) 焊接材料的选择 由于4130钢具有较大的热裂倾向，所以在焊接材料选择上应力求采用低碳、低硅，且含S、P杂质少的焊接材料。根据母材的化学成分、供货状态、强度等级等因素综合考虑，焊接材料选择如表3所示。这种焊条熔敷金属的含碳量在0.1%左右，S、P的含量也较低，对焊接热裂纹的产生有很好地抑制作用。

因为接头形式为管状对接，内部无法施焊，所以只能采用单面焊工艺方法。为保证焊缝背面的成形质量，打底焊采用钨极氩弧焊，填充材料选用标准型号为AWS A5.28 ER80S-B2焊丝。另外，这两种焊接方法热量集中、能量密度大，特别是钨极氩弧

焊，它的热量比较容易控制，焊接质量容易保证，非常有利于减少热影响区的软化。

(2) 预热及层温 必要的预热可有效减少过热区的淬硬组织，防止延迟裂纹的产生。试验中根据之前的母材焊接性分析，确定预热温度为200~250℃，层间温度控制在200~280℃。

(3) 焊后热处理 焊后热处理的目的是解决其热影响区组织的淬硬问题，消除焊接残余应力，同时产品中对焊接接头有硫化氢要求，即要求整个焊缝接头硬度值不能太高，通过焊后热处理可将焊态下的高硬度有效降低，达到标准值。

但是，由此可能导致热影响区强度降低、低温冲击韧性明显下降等问题。本试验中，综合考虑材料的化学成分、供货状态、强度等级等因素，确定焊后热处理条件为：加热至630~650℃，保温2h，之后以每小时不超过200℃的速度缓冷（见表4）。

(4) 坡口形式 本次试验，根据结构接头形式，采用GTAW打底+SMAW填充盖面的

工艺方法。依此确定：坡口角度为 $60^\circ \pm 5^\circ$ ，根部间隙为 (3 ± 5) mm（见附图）。

(5) 焊接参数的选择 由于本项目是母材为调质状态下焊接，除了裂纹外，热影响区的高碳马氏体引起的硬化和脆化、高温回火区软化引起的强度降低等问题不容忽视。其中，硬化和脆化问题一般可通过焊后的回火处理来解决。但高温回火区软化引起的强度降低问题，在焊后不能调质处理的情况下是无法挽救的，所以确定调质状态下的焊接参数，必须考虑避免热影响区组织软化，建议焊接热输入越小越好。

总之，在综合考虑生产效率、焊接工艺性的基础上，确定打底焊（氩弧焊）的热输入为在2.0kJ/mm左右，焊条电弧焊的热输入为2.5~3.2kJ/mm。具体焊接参数如表5所示。

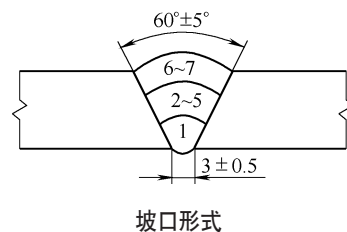


表3 焊材匹配

钢板牌号	接头形式	焊接方法	焊接材料
4130	对接	GTAW	1CrMo (AWS A5.28 ER80S-B2)
		SMAW	TENACITO65R (AWS A5.5 E9018 G)

表4 焊后热处理控制参数

300℃后升温速度/℃·h ⁻¹	热处理温度/℃	保温时间/h	300℃前降温速度/℃·h ⁻¹
120~150	620	2	120~150

表5 焊接参数

焊道序号	焊接方法	焊材直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	热输入/kJ·mm ⁻¹
1	GMAW	2.4	130	12	47	1.99
2	GMAW	2.4	150	12	50	2.16
填充	SMAW	3.2	110	22~24	48~63	3.03
盖面	SMAW	3.2	110	24	65~68	2.44



大型海洋钢结构加强环焊接工艺

戴世超 张耀 杨超 刘兰金

【摘要】 重点研究了DH36—Z35材质的导管加强环焊接工艺，焊接方法采用GMAW封底、SAW填充盖面，焊接材料选用JM—58、PREMIER WELD NiIK，使其焊接接头各项性能满足了产品设计、相关标准和项目技术文件要求。

关键词： 大型海洋钢结构；焊接工艺；加强环；

1. 概述

随着我国陆地油气资源的逐渐减少，海洋已成为我国陆上油气开发最重要、最现实的接替区。“海上大庆”的建成，标志着海洋石油能源从浅海向深海的过渡，海洋钢结构趋于大型化发

展是这一过渡的重要依托。深水海洋石油平台结构中的导管架、组块都是大型的钢结构，为保证其在海况中的承受能力，在导管、组块立柱中设计加强环增加其结构强度。

加强环形式复杂多样，并朝

着大壁厚、密集化、内部空间狭小发展，有的3m长导管内部多达5个加强环，且部分加强环带有翼缘环，这对现场施工带来了很大的困难。常用的导管加强环结构形式如图1所示，为保证焊接质量和焊接效率，减少制造周

4. 工艺认可试验

依据上述工艺设计方案，进行了焊接工艺验证试验，并根据ASME IX《焊接和钎焊评定标准》进行了工艺认可。

试验用管尺寸为 $\phi 114\text{mm} \times 150\text{mm} \times 8.5\text{mm}$ 。试件在热处理结束后，焊缝进行100%射线探伤和磁粉检测，结果合格。

试件按照ASME IX《焊接和钎焊评定标准》进行了全套力学性能检测，各项性能满足设计要求（拉伸强度 $\geq 690\text{MPa}$ ；弯曲试验为5倍压头 180° ， $\leq 3.2\text{mm}$ 裂纹；冲击试验为 -30°C ， $\geq 30\text{J}$ ；维氏硬度值 $\leq 248\text{HV}$ ）。具体如表6所示。

表6 力学性能试验结果

试验母材	拉伸试验		弯曲试验	冲击试验		硬度 (HV10)	
	抗拉强度 /MPa	断裂位置	$D=5t$ 180°	位置	冲击值 平均值/J	位置	硬度值
4130	780	母材	合格	焊缝中心	44	母材	217~148
	789	母材	合格	熔合线	47	热影响区	214~240
	—	—	合格	线外2mm	50	焊缝	213~245
	—	—	合格	线外5mm	63	—	—

5. 结语

本试验项目，通过正确选择焊接材料、合理控制预热、热输入、焊后热处理等工艺关键，有效避免了4130钢管焊接的热裂纹、延迟裂纹、热影响区脆化及软化等问题，接头各项力学性能及硬度值满足产品设计要求。

通过实际试验验证和焊接工

艺认可试验，证明对4130管的焊接性分析准确，采用工艺措施合理、有效。工艺通过了评定认可，可以用于海洋平台高压管线4130的焊接。

作者简介：朱洪宇等，大连船舶重工集团有限公司。

MW 20160622