



荔湾3-1海洋石油平台无间隙焊接工艺

戴世超 李林 靳伟亮 张耀 李超

【摘要】 荔湾3-1海洋石油平台结构中的导管架、组块和钢桩都是大型的钢结构，传统焊接工艺不能完全满足作业需求，我公司通过改进工艺，开发无间隙焊接工艺，焊接方法为埋弧焊，坡口为小钝边X形，组对间隙0~1mm。通过无损检测和破坏性试验研究，结果表明，焊缝质量满足相关标准要求，并成功应用于荔湾3-1，取得了良好的经济效益和社会效益，对以后大型深水海洋工程结构的制管作业具有指导意义。

关键词： 海洋石油平台；埋弧焊；无间隙

1. 概述

我公司承建的荔湾3-1项目，导管架垂直高度203m，重32 000t，钢桩总重12 000t，组块总重31 000t，总重达75 000t，是亚洲最大的海洋石油平台，也是我国海洋石油平台深水化、大型化发展的里程碑。其中，制管作业占导管架建造作业量的40%，约占组块建造作业量的15%，占钢桩建造作业量的100%。制管作业作为海洋石油平台建造中的首道工序，传统的制管焊接工艺（STT+埋弧焊），已不能满足目前的作业需要。

荔湾3-1海洋石油平台项目板材厚度100mm，管材最大直径达4 200mm，焊接工作量巨大，加强环、压溃环、水密封板等附属结构多，节点形式复杂多样。同时，总体建造属户外作业，容易受气候条件影响。我公司建造场地属于海洋性气候，年降水量662.1mm，平均雾天46.9天，冬

季气温多低于0℃，恶劣的施工环境对焊接质量带来较大影响。为保证焊接质量和焊接效率，缩短建造周期，我公司实行技术革新，针对荔湾3-1海洋石油平台开发了无间隙埋弧焊焊接工艺。

2. 焊接工艺试验

试验材料采用GB712—2000 D36—Z35钢板，钢板尺寸为1000mm×300mm×38mm，化学成分和力学性能分别如表1、表2所示。

（1）坡口加工形式和组对要求 传统制管焊接工艺的焊接接头形式为X形坡口，组对间隙2~4mm，钝边厚度1~2mm，坡口和组对要求如图1所示，采用

STT表面张力过渡气体保护电弧焊进行封底后，埋弧焊进行两侧坡口的填充、盖面焊接。针对大型化的荔湾3-1海洋钢结构，该焊接工艺显露出的弊端主要表现为：①焊接工序多，增加封底和气刨人员。②间隙大，焊材使用量大。③增加焊接时间和焊工劳动强度。④背面焊接过程中需要进行碳弧气刨作业，噪声大，环境恶劣。

针对传统制管焊接工艺存在的问题，我公司设计开发了埋弧焊无间隙焊接工艺，坡口和组对要求如图2所示，焊道分布如图3所示，焊前打磨去除表面氧化膜。

表1 D36—Z35钢的化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	AL	Cr	Nb	V	Ti	Mo	Ni	Cu	Ceq
0.12	0.24	1.55	0.008	0	0.04	0.02	0.044	0.042	0.014	0	0.01	0.03	0.39

表2 D36—Z35钢的力学性能

板厚/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	冲击吸收能量(-20℃)/J
38	420	570	27.5	192、156、195

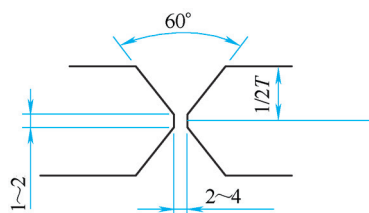


图1 传统坡口加工

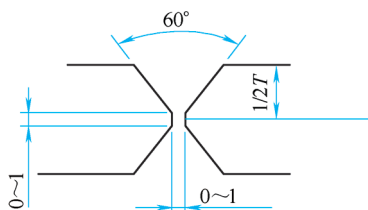


图2 改进坡口加工

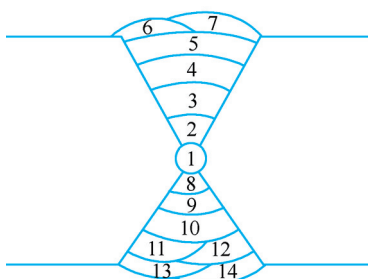


图3 焊道分布

(2) 焊材确定 焊材选择依据等强匹配原则，选用国产JW—1焊丝（ $\phi 4.0\text{mm}$ ）和SJ101焊剂，其化学成分分别如表3、表4所示。

(3) 焊接参数 改进后的无间隙焊接参数如表5所示。

3. 试验结果

无损检测：焊缝正面和背面无外观缺陷，外观检验合格；通过磁粉检测，检测结果100%合格；按照ASTM A578/A578M进行超声波检测，达到B级标准，根部焊未出现未熔合、未焊透等内部缺陷。

破坏性试验：焊接接头拉伸、弯曲、冲击试验均满足AWS

D1.1标准及项目技术要求，试验数据分别如表6~表8所示。

4. 工艺试验分析及应用

(1) 工艺试验分析 通过试块无损检测和破坏性试验结果可知，焊缝表面无外观缺陷，焊缝内部尤其根焊部位未出现未熔合、未焊透等内部缺陷，根焊部位熔合良好，改进的埋弧焊无间隙焊接工艺焊接质量满足工程和

相关标准要求。

埋弧焊无间隙焊接工艺与传统的STT+埋弧焊焊接工艺的不同：

工艺顺序：传统的STT+埋弧焊焊接工艺第1道焊采用STT表面张力过渡气体保护电弧焊进行封底，第2~7道埋弧焊接，接着碳弧清根，第8~14道埋弧焊接。改进后的焊接工艺，取消了STT

表3 JW—1化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	Cu
0.12	0.062	1.55	0.013	0.01	—	0.02	0.011	0.0043

表4 SJ101化学成分（质量分数） (%)

CaO+MgO	Al ₂ O ₃ +MnO	SiO ₂ +TiO ₂	P	S	CaF ₂
31.0	24.0	24.0	0.021	0.017	20.0

表5 焊接参数

焊道	电源极性	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹	热输入 /kJ·mm ⁻¹	层间温度 /℃
1	DC (+)	450	30	480	1.69	80
2	DC (+)	580	30	472	2.21	89
3	DC (+)	580	32	488	2.05	125
4	DC (+)	630	33	484	2.07	95
5	DC (+)	650	33	462	2.17	100
6	DC (+)	580	32	476	2.10	150
7	DC (+)	580	28	469	2.13	180
8	DC (+)	580	33	455	2.20	215
9	DC (+)	600	33	451	2.22	220
10	DC (+)	590	33	444	2.25	235
11	DC (+)	580	32	448	2.23	250
12	DC (+)	580	32	451	2.22	180
13	DC (+)	580	32	448	2.23	190
14	DC (+)	550	32	432	2.23	190

表6 拉伸试验数据

试样编号	试样规格 /mm × mm	横截面积 /mm ²	拉伸强度 /MPa	破坏位置	试样取向	试验结果
C1	20.18 × 38.12	769.26	585	母材	横向	合格
C2	20.30 × 37.96	770.59	580	母材	横向	合格

表7 弯曲试验数据

试样编号	试样规格/mm × mm × mm	压头直径/mm	弯曲角度 (°)	弯曲类型	试验结果
C3~C6	10 × 38 × 250	50.8	180	侧弯	合格

表8 冲击试验数据

试样编号	试样规格 /mm × mm × mm	V型缺口位置	缺口深度 /mm	试验温度 /℃	冲击吸收能量/J	平均值 /J	试验结果
C9	10 × 10 × 55	焊缝中心线	2	-20	101,89,104	98	合格
C10		熔合线	2	-20	178,174,160	171	合格
C11		熔合线+1mm	2	-20	224,208,150	194	合格
C12		熔合线+5mm	2	-20	232,277,280	263	合格
C13		打底焊中心线	2	-20	140,146,130	139	合格
C14		打底焊熔合线	2	-20	138,105,162	135	合格
C15		熔合线+2mm	2	-20	252,254,230	245	合格

封底焊作业，实现了第1~14道的自动化焊接，提高了焊接过程的稳定性，减少了人为因素对焊接质量的影响；同时，利用后续焊道对前层焊道的热处理作用提高了焊接质量。

坡口形式：通过调整坡口形式，改进后的坡口采用0~1mm的组对间隙和小钝边，有效地减小了焊缝截面积，即熔敷金属量，不仅节约焊材，而且减少了焊接作业时间，达到节能、降耗、增效的效果。

(2) 工艺应用 无间隙焊接工艺在荔湾3—1海洋石油平台导管架、钢桩和组块的制管工作中，得到了大面积的推广和应用。荔湾3—1海洋石油平台导管架、组块和钢桩中仅壁厚 $\geq 50\text{mm}$ 杆件2 144节，厚壁焊缝长约21.278km。仅制管作业为项目的总体建造赢得26天的时间，同时大大提高了焊接效率，降低了生产成本，效能评价如表9所示（数据统计按一天24h两班倒作业，工作20h计算），取得良好的经济效益和社会效益。

5. 结语

随着海洋采油平台结构建造

表9 无间隙焊接工艺效能评价

序号	项目	型号	数量	节约费用/万元
1	焊材	JW—1	196t	230.88
		SJ101	263t	118.35
2	设备	DC—1000焊机	5 670台班	113.4
		50T吊机	284台班	56.8
3	人力	STT打底	700工日	14
		焊接	2835工日	56.7
4	电能	焊接	90.72万KW·h	90.72

的大型化，所用的钢板越来越厚，对于高效、节能焊接工艺的开发需求越来越迫切。无间隙焊接工艺利用现有的常规焊接设备，在满足了坡口加工、焊缝装配、预热、焊接变形及焊接技术操作等综合技术要求后，成功实现了大型钢结构制管的焊接，在产品焊接质量得到保证的同时，减少人力、焊材和设备台班的投入，缩短焊接时间，大大提高了焊接效率，经济效益显著。无间隙埋弧焊焊接工艺，适用于厚壁（ $> 38\text{mm}$ ）板材埋弧焊单丝工艺和双丝工艺，满足大型钢结构制管的焊接需求。

目前，该工艺在青岛公司承建的陆丰7—2组块、丽水36—1导管架、秦皇岛32—6钢桩和恩平油气田群导管架、钢桩等项目中得到广泛推广和应用，对以后大型深水海洋工程结构的制管作

业具有指导意义。

参考文献：

- [1] 孙有辉，等.海洋石油平台制管焊接新工艺的开发与评价[J].中国海上油气，2009，21（2）：142-144.
- [2] 胡义良，杨晓成.镍合金的窄间隙焊接工艺[J].电焊机，2008（3）：65-66.
- [3] 白金生，李伟武，段世新.窄间隙埋弧焊坡口形式和尺寸[J].电焊机，2009（8）：94-96.
- [4] 王斌，郑卫刚.窄间隙埋弧焊焊接曲轴[J].热加工工艺，2013（9）：174-175.

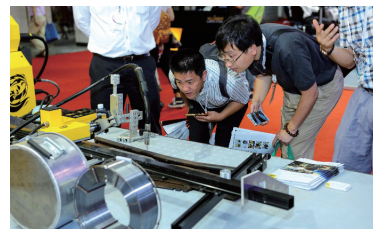
作者简介：戴世超等，海洋石油工程（青岛）有限公司。

MW 20160419

伊萨亮相现代化铁路技术装备展，引领“智能化”焊接趋势

近日，伊萨亮相于北京第十三届中国国际现代化铁路技术装备展览会。本届展会中，伊萨以“焊接自动化”、“轨道维修自动化解决方案”、“焊接设备”及应用于轨道交通行业的全系列焊材的超强阵容惊艳全场。

另外更值得一提的是，伊萨全球独有的Railtrac轨道修复技术和解决方案。Railtrac BVR 1000一经亮相便备受行业和现场观众瞩目，成为全场亮点。作为实现机械化维修和钢轨断面耐磨堆焊的专业首选，该轨道修复技术效率高，不仅能够缩短轨道封闭时间，也是铁路安全运



展会现场

营和经济高效维护作业的世界领先技术。（伊萨）