

双金属复合海底管道环焊缝坡口开发技术

何光华¹, 王晓峰²

(1. 中国船级社 上海分社, 上海 200135; 2. 海隆石油工业集团有限公司, 上海 200949)

摘要:为解决双金属复合海底管道海上铺设出现的环焊缝未熔合缺陷多、切管返修影响工期的问题,分析缺陷原因,认为焊缝坡口角度是形成未熔合缺陷的主要因素,进行不同角度焊接坡口的对比试验,确定优化后的焊接坡口角度,重新进行焊接工艺评定,并经工程项目验证,此举可使环焊缝未熔合缺陷数量大幅下降,焊接质量提高,保证了施工进度。

关键词:双金属复合海底管道;坡口角度;未熔合
中图分类号:U671.8 **文献标志码:**A

文章编号:1671-7953(2021)05-0047-04

随着具有腐蚀性的油气资源不断开采,作为海洋油气资源输送大动脉的传统碳钢海底管道已不能满足使用要求,为解决这个问题,研制了耐腐蚀的碳钢管内衬抗腐蚀材料管的双金属复合海底管道,在实际工程应用中发现,海上铺设过程中其环焊缝侧壁未熔合缺陷多,返修量大,影响施工进度;而且铺管船施工日费率高,浪费成本。初步认为未熔合形成的主要原因可能是焊缝区有油膜或过量的氧化物、坡口热输入不够、坡口太宽、坡口角度太小、焊接速度太快等。需要确定、识别出双金属复合海底管道的环焊缝未熔合的原因并提出解决方案。

1 海底管道介绍

海底管道管体材料一般分碳钢管道和耐腐蚀合金复合管道^[1]。碳钢管道按照生产工艺划分一般分为高频电阻焊钢管、埋弧焊钢管,以及无缝钢管。耐腐蚀合金复合管^[2]按照制造工艺一般分为冶金复合管和机械复合管。

海底管道使用专用铺管船进行海上铺设,为提高生产效率,海底管道采用自动焊接,一般分4道工序完成,分别是打底焊道、热焊道、填充焊道,以及盖面焊道,每道工序由2个自动焊机对称完成,每个焊机上由2个焊枪进行焊接,打底焊道与热焊道之间的间隔时间不能超过焊接工艺规范要

求的时间,碳钢海底管道一般不超过9 min。焊道层间可进行微打磨,盖面焊道可允许将表面飞溅及凹凸不平处进行打磨。

海底管道海上铺设是受多方面因素影响的复杂工程,铺到海底后,一旦发现质量问题,再行修复就十分困难,因此,在海底管道铺设到海底之前,要严把质量关,主要是焊接质量,通过AUT无损探伤发现焊接缺陷,及时修复,同时要优化焊接关键参数、提高焊接质量,避免产生需要修复的缺陷。

2 焊接缺陷分析

南海某8 in双金属复合海底管道项目管段海上铺设采用传统碳钢海底管道对接环焊缝坡口形式,见图1。

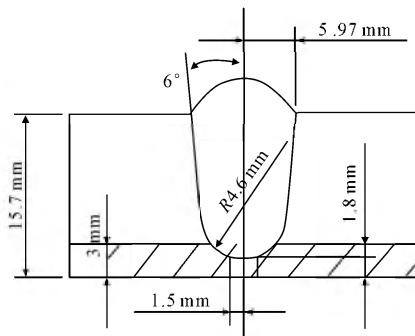


图1 6°坡口形式

对海上铺设生产线施工过程中发现的缺陷进行统计,共367根复合海底管道,加上海底管道起始段和终端两段短管共计368道环焊缝,缺陷焊缝统计见表1。

由表1可见,368道环焊缝中共15道焊缝缺陷需要切管返修,353道环焊缝未发现需要返修

收稿日期:2021-01-09

修回日期:2021-02-18

第一作者:何光华(1982—),男,硕士,高级工程师

研究方向:大型LNG运输船和海上设施管理与检验

**表1 南海某双金属复合海底管道
项目复合管施工缺陷统计**

序号	管号	缺陷类型及长度/mm
1	S0026	LF,65
2	S0034	P,3+4
3	S0044	LF,180
4	S0080	C,13
5	S0088	LF,85+155
6	S0098	LP,10
7	S0136	LF,38
8	S0147	P,5;LF,27
9	S0193	LF,80
10	S0206	LF,92
11	S0218	LF,105
12	S0256	P,4
13	S0275	LF,55
14	S0324	LF,60
15	S0342	LF,45

注:LF-侧壁未熔合;P-气孔;C-裂纹;LP-未焊透。

的缺陷,整条海底管道一次焊接合格率95.9%。已发现的15道焊缝缺陷中的11道是未熔合缺陷,占总缺陷量的比例为73%,是影响焊接质量的关键因素^[3]。未熔合是指焊缝金属与母材金属,或焊缝金属之间未熔化结合在一起的缺陷。未熔合缺陷种类一般分根部未熔合、侧壁未熔合和层间未熔合。焊缝未熔合缺陷形成的主要原因一般为焊缝区有油膜或过量的氧化物、坡口热输入不够、坡口角度太小、焊接速度太快等。经对现场焊接过程进行调查,焊缝区无油膜,焊道层间进行打磨,无过量氧化物存在,热输入量和焊接速度符合焊接工艺规范要求。因此,初步判断坡口型式是产生未熔合缺陷的主要因素,发生未熔合缺陷的坡口形式如图1所示。为验证这个判断,对不同坡口角度进行对比试验。







3 坡口角度对比试验

对不同坡口角度进行对比试验。焊接坡口角度设定见表2。

对坡口角度分别为6°、8°、10°、12°、14°和16°的多个试件进行焊接,并对焊接试件的环焊缝焊道进行自动超声波无损检测,发现了焊缝中存在部分侧壁未熔合缺陷,并对未熔合缺陷的大小和位置进行判断,把缺陷位置进行多次切割,对切面进行了金相处理,发现侧壁未熔合缺陷,同时也验证了自动超声波检验出的焊接缺陷位置和实际通

过切割确定的缺陷所在位置的一致性。

表2 焊接坡口角度设定

序号	坡口角度 / (°)	实物图片	序号	坡口角度 / (°)	实物图片
1	6		4	12	
2	8		5	14	
3	10		6	16	

发现坡口角度6°的试件发生侧壁未熔合缺陷,缺陷深度11.7 mm,缺陷长度为48 mm,自动超声波检测结果见图2,缺陷切面金相见图3。

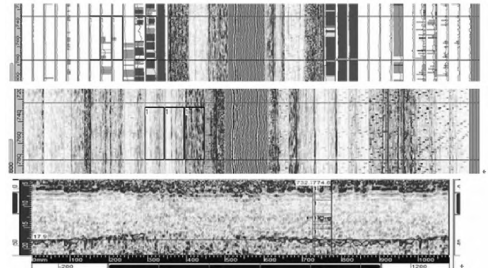


图2 6°坡口自动超声波检测截图(mm)



图3 6°坡口缺陷切面图(mm)

坡口角度8°的试件发生侧壁未熔合缺陷,缺陷深度10.6 mm,缺陷长度131 mm,自动超声波检测结果见图4,缺陷切面金相见图5。

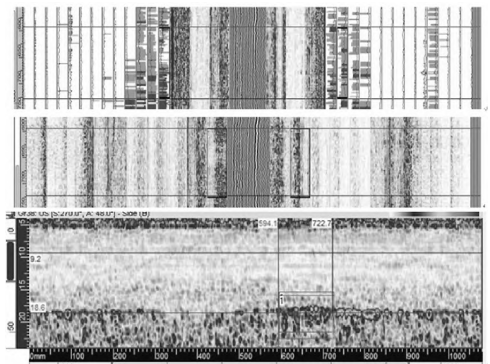


图4 8°坡口自动超声波检测截图(mm)

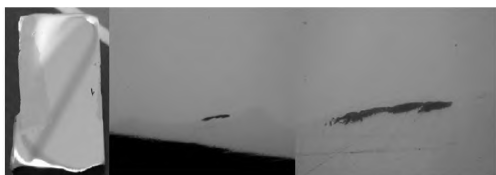


图5 8°坡口缺陷切面图(mm)

坡口角度 10°的试件发生侧壁未熔合缺陷,缺陷深度 2.2 mm,缺陷长度 68 mm,自动超声波检测结果见图 6,缺陷未能准确切出并进行金相处理。坡口角度 12°、14°和 16°的试件自动超声波检测结果见图 7,都未发现侧壁未熔合缺陷。

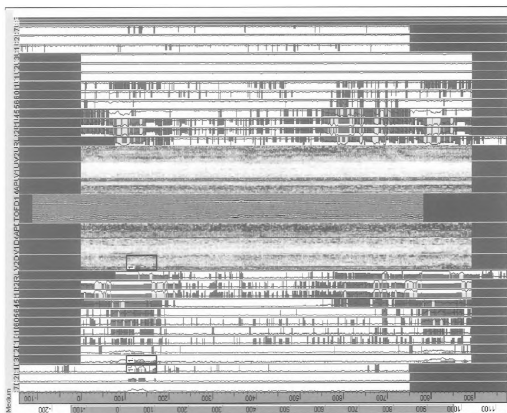


图6 10°坡口自动超声波检测截图(mm)

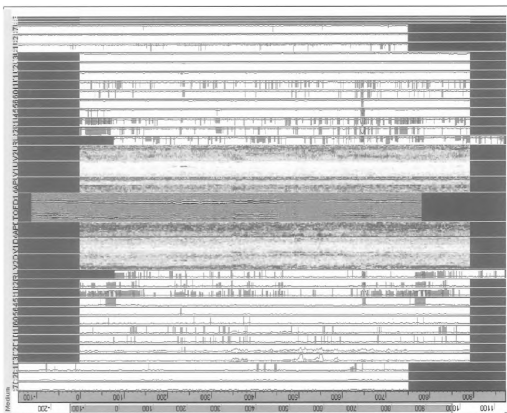


图7 12°及 14°和 16°坡口自动超声波检测截图(mm)

对比试验结果发现,在保证焊接效率的情况下,按照焊缝宽度增加摆动宽度和焊枪在坡口两侧停留时间,自动超声波检测到的未熔合缺陷在坡口角度 12°及 14°和 16°的焊接试验中未发现,同时为了减少焊丝填充量,进一步优化减少坡口中的 R 角,在试验条件下,选用坡口角度 12°U 形焊缝作为后续实际工程项目的推荐使用坡口角度,见图 8。

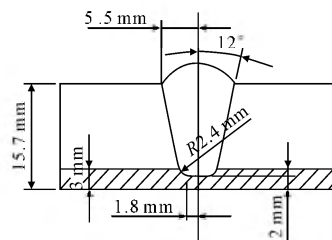


图8 12°坡口型式

4 焊接工艺评定

按照图 8 所示的焊接坡口形式,根据 DNV-OS-F101^[4]和《材料与焊接规范》^[5]的要求,对 12°U 形焊接坡口形式的双金属复合海底管道进行焊接工艺评定,焊接工艺规范关键参数见表 4。

表4 焊接工艺规范关键参数

内容	参数描述
母材参数	规范: API 5L X65/316L clad625; 厚度: (12.7 + 3) mm; 直径: 273.1 mm
焊材参数	规范: AWS A5. 14; 等级: ERNiCrMo-3; 直径: 0.9 mm; 焊丝: Acros 625
保护气	氩气, 成分 99.99%; 流量: 15 ~ 20 L/min
温度控制	最低预热温度 54 °C; 最大层间温度 150 °C
焊接位置	5G, 焊接方向: 打底(立向上); 热道、填充和盖面(立向下)
焊接方法	GTAW(TIP TIG)
焊接设备	WIG 500IDC, 直流正接
焊接技术	直线和摆动, 摆宽最大 9 mm, 多焊道, 单钨极, 单丝, 打底与热道最多中断 3 min
组对方式	内对口器组对
焊接参数	打底: 电流 130 ~ 145 A, 电压 9 ~ 12 V, 送丝速度 17 ~ 22 cm/min, 焊接速度 14 ~ 16 cm/min, 热输入 0.5 ~ 0.7 kJ/mm
	热道: 电流 220 ~ 235 A, 电压 11 ~ 14 V, 送丝速度 25 ~ 35 cm/min, 焊接速度 21 ~ 23 cm/min, 热输入 0.6 ~ 0.9 kJ/mm
	填充: 电流 230 ~ 270 A, 电压 11 ~ 16 V, 送丝速度 28 ~ 40 cm/min, 焊接速度 21 ~ 26 cm/min, 热输入 0.6 ~ 1.2 kJ/mm
	盖面: 电流 220 ~ 240 A, 电压 13 ~ 15 V, 送丝速度 30 ~ 40 cm/min, 焊接速度 16 ~ 17 cm/min, 热输入 1.0 ~ 1.3 kJ/mm

评定主要流程如下。

1) 编制焊接工艺计划书, 包括母材牌号、级别、厚度和交货状态, 焊接材料的型号、等级和规格, 焊接设备的型号和主要性能参数, 坡口设计, 焊道布置及焊接顺序, 焊接位置, 焊接规范参数等主要内容。

2) 进行焊接试件的准备、焊接、无损探伤和

相关试验。

3) 编制焊接工艺试验报告,包括母材和焊接材料相关信息、焊接参数、试样试验结果等。

4) 根据焊接工艺试验报告,编写适用于工程项目需要的完整焊接工艺规程。

5 工程实际应用

将坡口角度 12° U 型焊缝坡口(图 8)应用于东海某海上 8in 双金属复合海底管道项目施工,共焊接了 338 道焊缝,加上海底管道起始段和终端两段短管共计 339 道环焊缝,自动超声波检测缺陷统计见表 5。

表 5 东海某双金属复合海底管道项目复合管施工缺陷统计

序号	管号	缺陷类型及长度/mm
1	S0007	LF,65
2	S0024	P,3+4
3	S0067	LF,138
4	S0102	LP,10
5	S0158	LF,38
6	S0177	P,7
7	S0213	LP,13
8	S0226	LP,9
9	S0249	P,4+6
10	S0273	P,8
11	S0313	C,8

由表 5 可见:339 道环焊缝中共 11 道焊缝缺

陷需要切管返修,328 道环焊缝未发现需要返修的缺陷,整条海底管道一次焊接合格率 96.8%。已发现的 11 道焊缝缺陷中的 3 道是未熔合缺陷,占总缺陷量的比例为 27.3%,未熔合缺陷比例大幅下降,说明焊接坡口角度采用 12° 在实际工程应用中能够大幅度降低未熔合缺陷的数量,减少海底管道切管返修数量,提高一次焊接合格率,加快施工进度,节约施工成本。

6 结论

海底管道环焊缝采用 12° 坡口角度时焊接未熔合缺陷数量少,根据管材不同壁厚,调整 R 角和坡口根部间隙来减少焊丝填充量,可降低成本。图 8 所示坡口型式可推广应用到同类工程项目,提高海底管道施工效率和质量。

参考文献

- [1] 胡春红,朱绍宇,赵娜,等.海底管道管材的类型及选用原则[J].石油和化工设备,2015(18):31-34.
- [2] 国家能源局.内覆或衬里耐腐蚀合金复合钢管[S].北京:石油工业出版社,2018.
- [3] 郎一鸣,蒋晓斌.双金属复合管制造过程中的质量控制[J].石油工业技术监督,2014(7):9-10.
- [4] DNVGL. DNV-OS-F101[S]. 2005.
- [5] 中国船级社.材料与焊接规范[S].北京:人民交通出版社,2016.

Girth Weld Groove Development Technology of Bimetallic Composite Submarine Pipeline

HE Guang-hua¹, WANG Xiao-feng²

(1. Shanghai Branch, China Classification Society, Shanghai 200135, China;

2. Hailong Petroleum Industry Group Co., Ltd., Shanghai 200949, China)

Abstract: During the bimetallic composite submarine pipelines laying process, a lot of unfused defects in the girth welds are found, which lead to the repair of pipe cutting and affect the construction period. It was found that the angle of weld groove is the main factor to form the unfused defect after analyzing the reasons of defects. Comparison tests of welding groove at different angles were carried out to determine the optimized welding groove angle. After re-welding process evaluation and project verification, the number of unfused defects in girth welds was greatly reduced, so as to improve the welding quality and ensures the construction progress.

Key words: bimetal composite submarine pipeline; groove angle; not fusion