

大口径厚壁钢制管道全位置自动焊试验及应用

汪晓东

中石化胜利油建工程有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i2.12422

[摘要] 大口径厚壁钢制管道对接焊作业难度大,质量较难控制,对接焊坡口大都采用窄间隙U型坡口或复合型坡口,为了降低焊工劳动强度,降低技术和设备支持的局限性,降低成本及提高施工效率和质量,选用双面V型坡口,为进一步提高施工效率,采用外坡口双炬焊接,内外坡口同时焊接的方式,焊接工艺采用SMAW+FCAW-G工艺。试验过程中对焊接工艺参数不断调整,焊接、热处理完成经无损检测合格后,制备试件进行理化试验,验证了焊接工艺的准确性和可靠性,制作了焊接工艺评定。选用此焊接工艺能够保证施工质量,同时大大提高施工效率,值得推广应用。

[关键词] 大口径; 钢制管道; 自动焊; 焊接工艺; 硬度试验

中图分类号: TG43 **文献标识码:** A

Test and application of full-position automatic welding of large-diameter and thick-wall steel pipe

Xiaodong Wang

Sinopec Petroleum Engineering Construction Shengli Corporation

[Abstract] large diameter thick-wall steel pipe butt welding operation is difficult, quality is difficult to control, butt welding groove mostly using narrow gap U groove or compound groove, in order to reduce the welder labor intensity, reduce the limitations of technical level and equipment support, reduce cost and improve construction efficiency and quality, choose double V groove, to further improve the efficiency of construction, using outside groove double torch welding, internal and external groove at the same time welding way, welding process using SMAW + FCAW-G process. During the test process, the welding process parameters were constantly adjusted. After the welding and heat treatment were completed and passed the nondestructive test, the specimen was prepared for physical and chemical test, the accuracy and reliability of the welding process were verified, and the welding process evaluation was made. The selection of this welding process can ensure the construction quality and greatly improve the construction efficiency, which is worth popularizing and applying.

[Key words] large diameter; steel pipe; automatic welding; welding process; hardness test

前言

近些年以来,大口径厚壁钢制管道自动焊接技术应用在国内外大口径海底、陆上油气长输管道及海上平台导管架施工中较为广泛,在国内大口径油气管道、海上平台导管架施工中渐渐得到推广。

某港口增压平台导管架陆地预制工程,增压平台导管架采用4腿导管架形式,导管架四条腿均为1:7.071向内双斜。主导管采用 $\Phi 2025 \times 60$ 、 $\Phi 1981 \times 38$ 、 $\Phi 1995 \times 45$ 等几种规格钢管,在标高+6.000m、-3.000m、-21.800m处设水平支撑及水平斜拉筋,分别采用 $\Phi 762 \times 32/25/19$ 、 $\Phi 762 \times 28/16$ 等钢管,在标高之间设竖向斜拉筋,采用 $\Phi 914 \times 38/19$ 钢管。钢管桩采用 $\Phi 1829$ 开口

变壁厚钢管桩,壁厚分别为85mm、65mm、55mm等,桩入泥约93.000m。该项目直径不小于600mm及厚度范围在50mm-80mm的导管架及钢管桩焊接施工采用选用的焊接工艺,提高了焊接工序效率和质量,大大降低了焊工劳动强度。

本文通过对大口径厚壁钢制管道对接外双炬内外同时焊接全位置自动焊焊接工艺分析,且对通过该工艺焊接完成的对接接头经热处理和无损检测(磁粉检测和超声波检测)合格后,制备试件对拉伸性能、弯曲、低温冲击性能KV2(-40℃)、硬度HV10和低倍组织缺陷进行了检测,验证了该焊接工艺的准确性、可靠性和适用性。

1 焊接设备选型

美国的CRC EVANS公司和英国NOREAST公司的内外焊机自动焊接工艺为内焊机根焊+双焊炬外焊技术,意大利PWT公司和法国SERIMAX公司的外焊机自动焊接工艺为外焊根焊+双焊炬外焊一体化焊接技术^[1-2]。

CRC公司自动内焊机缺点是一次投入较大,内焊机仅适用于较大口径管道,且适用范围较窄;意大利PWT公司和法国SERIMAX公司的外焊机根焊时单面焊双面成型质量不易保证,焊缝容易出现缺陷。这些年,国内法姆管道焊机不断提升焊接性能和产品质量,有了较大的市场保有量及市场影响力。法姆管道焊机有以下特点:(1)适用范围广泛:适用于石油、天然气管道、炼化工艺管道、热力管道、矿浆管道、水管、钢结构等工程的焊接。(2)适合焊丝直径范围广:Φ0.9-Φ2.0mm。(3)适用管径广:100mm—4400mm,适用壁厚:4-80mm。(4)适用焊丝:国产、进口、实芯,金属粉芯、药芯焊丝。(5)焊接方式:埋弧全自动(配合滚轮架)、MIG(熔化极惰性气体保护焊)全自动填盖、MAG(熔化极活性气体保护焊)全自动填盖、脉冲全自动填盖、RMD(精确控制短路过渡技术)\STT(表面张力过渡技术)半自动及全自动打底及填盖等焊接。(6)适合位置范围:能够满足全位置焊接。(7)适用材质:碳钢、不锈钢,合金钢、低温钢等。(8)磁轨两用:预制或现场焊接无缝钢管时,直接焊接不跑偏,操作方便,简洁实用;焊接有防腐层或不锈钢管道时,加装轨道焊接。

通过焊接设备对比及现场考察、焊接工艺研究及施工效率分析,为保证内外自动焊机有较广的适用范围及合理经济的投入,焊接设备选用如下:根焊设备采用熊谷MPS-500,内填充/盖面采用设备:法姆F500G-P+FM3500+FM-F32送丝机,外根焊/填充/盖面采用设备:法姆F500G-P+FM3500。

2 自动焊工艺设计

2.1 坡口型式和焊道设计

试验用母材为钢管Φ1016×65mm,材质EH36-Z35,标准规范:GB/T712-2011、GB/T5313-2010,炉号24304595。目前市场上,大口径厚壁钢管对接焊坡口大都采用了窄间隙U型坡口或复合型坡口,窄间隙U型坡口或复合型坡口的加工相比V型坡口等其它类型更为复杂,需要较高的技术水平和设备支持,而且,在窄间隙U型坡口上采用传统的手工焊、半自动焊的操作难度非常大,还有,坡口加工成本相对较高,进而增加安装成本和安装时间。对此,结合焊接工艺特点及现场实际,试验采用双面V型坡口的形式,V型外坡口厚度约为钢制管道厚度的2/3,V型内坡口的厚度约为钢制管道厚度的1/3,不需要较高技术水平和设备支持,而且,大大降低采用传统的手工焊、半自动焊的操作难度。对接头内外同时焊接且外部采用双炬焊接大大提高了焊接效率,降低了焊接成本和焊接时间。接头型式及焊道顺序见图1。

2.2 焊接工艺参数及优化

按照图1进行坡口加工并组对完成后,按焊接顺序结合相应焊接工艺文件进行焊接,焊前预热温度为81-95℃,道间温度最大为128℃。经过对母材化学成分分析、焊接设备选型,和降低

焊工劳动强度及工人操作技能的不稳定性,选择采用SMAW+FCAW-G工艺,焊条标准ASME SFA5.1,型号E7018-1,牌号GEL-581(J506Fe-1),直径3.2mm;药芯焊丝标准ASME SFA5.29,型号E81T1-K2C,牌号GFR-81K2,直径1.2mm;所用保护气体为80%氩气和20%二氧化碳的混合气体,焊接方向为向上焊。其中根部处理:内部焊缝1、2焊接完成后,用角向打磨机进行清根打磨。根焊完成并处理后,外焊缝填充采用双焊炬工艺能够一次完成两层焊道的焊接或完成两条并列焊道的焊接,盖面采用双焊炬工艺可以一次完成盖面两条并列焊道的焊接。

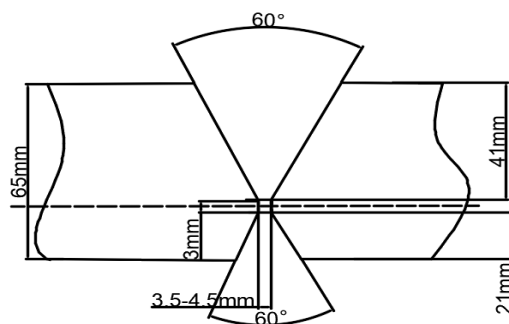
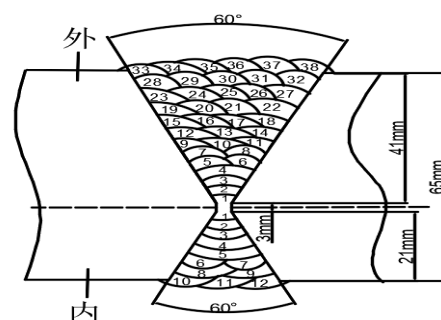


图1 接头型式简图



双面V型坡口焊道顺序示意图

焊接试验时,发现自动焊焊缝出现层间/侧壁未熔合、电弧不稳定、密集气孔等缺陷,其中未熔合及密集气孔缺陷占比85%。为保证焊接接头能有优良质量,必需合理调整焊接工艺参数,如:焊接电流、电弧电压、送丝速度、保护气体流量、焊接速度(焊接小车行走速度)、焊枪的摆幅及摆频和道间温度控制等。经分析,造成未熔合缺陷的主要原因为:焊接电流过小或焊接速度过快(热输入不足)、焊工操作不当、焊件散热速度过快及磁偏吹现象等;造成密集气孔的主要原因为:焊接时环境风速超标、焊件表面及坡口清理不彻底(存在油污、锈蚀)、焊条未按要求烘干、保护气体配比不正确等。

对上述造成缺陷的主要原因进行分析并实施针对性的改进措施及防范措施,还有,逐步调整典型工艺参数,减少直至消除因工艺参数不准确造成缺陷的因素。优化后的焊接工艺参数见表1。

采用大口径厚壁钢管对接外双炬内外同时焊接全位置自动焊焊接技术的工艺参数总结如下。

表1 焊接工艺参数

层		填充金属		焊接电流		电弧	送丝	保护	保护气体	焊接	最大	道间
or	焊接	直径	型号	类型	电流(A)	电压	速度	气体	流量	速度	热输入	温度
道	方法	(mm)		及极性		(V)	(in/min)	类型	(l/min)	(cm/min)	(KJ/cm)	(° C)
内1	SMW	3.2	E7018-1	DCEP	109-136	21.5-25.0	/	/	/	8.3-9.8	≤24.6	81-95
内2	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	182-233	18.9-20.6	235-264	Ar+CO ₂	25-30	15-21	≤19.2	86-98
外1	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	185-254	19.1-22.3	250-280	Ar+CO ₂	25-30	20-26	≤17.0	82-96
外2	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	195-233	19.8-22.2	250-280	Ar+CO ₂	25-30	18-21	≤17.2	85-93
内3	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	206-247	19.6-23.2	260-297	Ar+CO ₂	25-30	19-22	≤18.1	83-97
外3	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	209-235	20.0-21.8	265-295	Ar+CO ₂	25-30	16-21	≤19.2	92-101
.....												
外盖面13-38	FCM-G	1.2	ER11Ti-K2C	DCEP	197-247	20.4-22.2	255-286	Ar+CO ₂	25-30	23-27	≤14.3	87-104

(1)热焊时在90°立焊位置左右有较大的焊接电流和送丝速度,焊接机头有较快的运行速度。(2)采用双焊接小车双焊炬焊接时,第二个焊炬的焊接电压和焊接电流变化不大。(3)填充焊的焊接电压与热焊的焊接电压相比变化不大,焊接电流有所增加。(4)经参数优化后,焊缝每道宽度均匀,成型效果良好。一次焊接合格率达96%以上,提高了焊接合格率和焊接效率,大大降低了焊工的工作强度。(5)控制道间温度不高于128℃,避免较高的道间温度使焊缝粗晶区的平均宽度增加及焊缝组织粗大,从而避免造成热影响区的韧性降低^[3]。

2.3 热处理工艺要求、报告及无损检测报告

焊后热处理要求:焊接完成后经焊缝外观检验合格,通常情况下不要求进行焊后热处理,当碳钢结构焊缝厚度超过50mm时,必须进行焊后热处理。焊后热处理必须按照AWS D1.1执行。热处理过程记录、热处理报告及无损检测报告均合格有效。

3 焊接接头性能

根据规范要求对焊缝进行了力学性能试验和金相试验。试验内容包括拉伸试样2个、侧弯试样4个、刻槽锤断试样18个,硬度试样1个,检测结果均符合验收标准。报告YW202409-611中试验结果如下:拉伸性能试验结果:检验结果符合,弯曲试验结果:检验结论符合,冲击试验结果符合验收标准。

为了进一步分析焊缝金相组织和硬度分布规律并验证金相组织的一致性,进行了额外的金相组织观察和硬度测试。

3.1 低倍组织缺陷检测

样品编号: M-77-1, 样品规格Φ1016×65mm, 根据检测依据AWS D1.1/D1.1M:2020对样品进行低倍组织缺陷检测,检测结果为:在M-77-1号试样焊区未发现缺陷。

3.2 母材及其焊缝金属硬度试验

硬度试验采用维氏硬度计测量,载荷为10kg。硬度测量点位

置分布如图2所示,对试样45个点进行了试验,检测结果见表2。

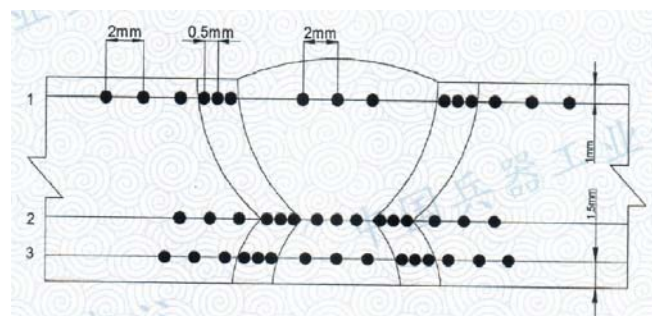


图2 试样硬度检测部位及编号示意图

表2 硬度检测结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	189	195	197	197	202	214	221	209	217	226	217	209	224	227	221
B	180	184	179	199	212	232	245	248	241	237	221	227	166	172	182
C	206	198	200	199	207	246	264	266	258	233	189	201	213	204	207

从表2可以看出:HAZ区的硬度值略高于母材,从母材、热影响区到焊缝金属的平均硬度值递增。

通过观察焊缝金属、HAZ及母材的金相组织及硬度分析,该焊接工艺所施焊的焊接接头完全达到标准规范规定的技术规格要求。

4 结论

大口径厚壁钢管管道对接外双炬内外同时焊接全位置自动焊焊接工艺,通过焊接设备选型,坡口型式和焊道设计,焊接工艺参数及优化,且经过热处理和无损检测合格后,制备试件对拉伸性能、弯曲、低温冲击性能KV2(-40℃)、硬度HV10和低倍组织缺陷进行了检测,验证了该焊接工艺的准确性、可靠性和适用性。本焊接工艺能够大大提高施工效率和保证施工质量,值得市场推广应用。

[参考文献]

[1]隋永莉,吴宏.我国长输油气管道自动焊技术应用现状及展望[J].油气储运,2014,33(9):913-921.

[2]NADEAU F,TAHASH G,NORRISH J.Automation of follec welding in process piping prefabrication[J].Welding review international,1994,13(4):357-362.

[3]徐道荣,李平瑾.3.5%Ni钢焊接接头低温韧性的研究(一)[J].压力容器,1997,14(3):9-17.

作者简介:

汪晓东(1987--),男,汉族,山东省潍坊市临朐县人,大学本科,中级工程师,长输管道、大型储罐及地面工程建设。