

Q345厚壁小口径管道现场焊接 试验研究

长庆油田建设工程处 (陕西西安 710086) 岳志宏 杨 涛 高贵胜 杨拥军

【摘要】 根据Q345厚壁小口径管道的现场焊接性试验与研究, 结合小口径厚壁管现场焊接中存在焊接效率低的问题, 在野外焊接中引进高效焊接技术, 对现场焊条电弧焊、熔化极气体保护自动焊、TIG/MAG自动焊、埋弧焊技术及其组合进行了工程实践和优化试验, 结合模块化场站预制技术, 提高了长距离小口径厚壁管道和油气场站现场焊接的焊接效率及焊接质量。对Q345厚壁小口径管道现场焊接提供了新的思路。

1. 概述

我公司承建的某储气库注采试验站工程, 采用“集注站增压, 注采管线合一”注采气工艺, 注气、采气管道采用同一管道, 规格为 $\phi 273\text{mm} \times 28\text{mm}$, 设计压力27.5MPa。管道材质为Q345, 站外注采管道长度约2.5km, 因管道管径小, 壁厚大, 野外施工焊接条件恶劣, 需要多层多道焊, 焊接工作量大。采用传统的焊条电弧焊接工艺每个坡口约需4.5h, 目前国内小口径集输管道自动焊尚无成熟的焊接工艺技术与装备, 为提高焊接效率, 我们结合国内管道预制与长输管道的施工先进经验, 开展了注采厚壁管道高效焊接工艺研究。采用焊条电弧焊与半自动焊组合、TIG焊与埋弧焊组合等焊接工艺进行试验并在工程中应用, 提高了焊接效率和焊接质量, 取得较好效果。

2. 焊接工艺的选择

(1) 可适用于厚壁集输管道的焊接工艺 目前, 在西气东输等大口径长输管道中大量应用STT打底, 自保护药芯焊丝半自动焊、气体保护全自动焊填充盖面等工艺, 管道预制厂采用MIG焊、MAG焊和埋弧焊等焊接工艺; 但在厚壁小口径管

道工程安装现场施工中仍大量采用焊条电弧焊。对于小口径厚壁管道野外施工, 全自动焊缺少成熟的设备, 药芯自保护焊丝半自动焊与焊条电弧焊相结合, 具有操作灵活, 环境适应性强, 一次性投资小等特点。但因药芯焊丝扩散氢含量较高等因素, 对于厚壁管焊接一般要进行焊后热处理或消氢处理, 否则焊缝冲击韧性等力学性能指标难以满足要求, 应用于小口径管道经验尚少; 国外采用热丝TIG焊进行厚壁管道全位置场站自动焊, 但对野外管道焊接环境不太适合; 埋弧焊工艺虽已成熟, 但应用于小口径管道时其设备与工艺尚待试验改进; 焊条电弧焊适应性强, 但焊接效率低, 只宜用作返修、管道连头等焊接作业。为此, 如何组合优化焊接工艺是本次试验的主要目的。

(2) 拟定的焊接工艺及试验组合 针对注采管道焊接为野外作业, 对站内管道采用焊条电弧焊/管道预制自动焊接工艺, 对站外注采管道采用自动焊“二接一”管道预制/半自动焊组焊, 焊条电弧焊作业焊接辅助工艺, 在充分调研与分析基础上制定下列坡口加工工艺及4种焊接工艺。

坡口加工工艺如下: 焊缝坡口在工厂加工U

本文获得“中国安装协会焊接专业委员会2012年年会暨焊接标准及先进焊接技术研讨会”论文大赛二等奖。

形、双V形,现场加工采用V形,试验用管材均为Q345,规格为 $\phi 273\text{mm} \times 28\text{mm}$ 。焊接工艺评定采用《钢制管道焊接及验收》SY/T4103-2006。

四种焊接工艺如下:

第一,氩弧焊打底/手工下向焊打底+手工上向焊(通用工艺)。

第二,氩弧焊打底/手工下向焊打底+药芯焊丝半自动焊(线路工程)。

第三,全自动氩弧焊/ CO_2 气体保护焊打底+埋弧焊(管段预制或二接一)。

第四,手工氩弧焊打底+焊条电弧焊热焊3道+全自动 CO_2 气体保护焊焊接(以适应现有管道预制焊机,管段预制或二接一)。

3. 焊接试验及焊接工艺要点

(1) 氩弧焊/E6010下向焊打底,焊条电弧焊填充盖面 首先,试验方案:GTAW (H08Mn2SiA, $\phi 2.5\text{mm}$) + SMAW (E5015, $\phi 3.2\text{mm}/\phi 4\text{mm}$); SMAW (E6010, AWS 5.1-0.4) + SMAW (E5015, $\phi 3.2\text{mm}/\phi 4\text{mm}$), 焊接坡口如图1所示,预热温度 $100 \sim 150^\circ\text{C}$,焊后保温缓冷,严格控制焊缝层间温度($<200^\circ\text{C}$)。

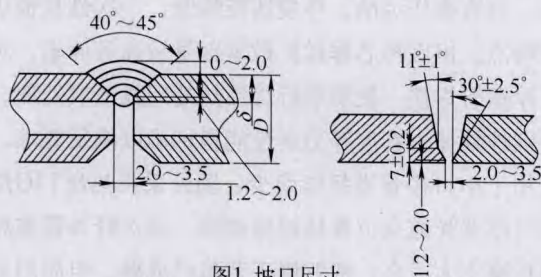


图1 坡口尺寸

其次,试验结论:采用小坡口以减少焊缝熔敷金属,提高焊接效率,手工TIG焊打底要考虑钨极能够到达坡口根部焊接。按SY4103-2006,焊接

接头拉伸试验、 -40°C 低温冲击试验、弯曲试验、刻槽锤断试验均合格,焊缝力学性能均能满足要求。

(2) 氩弧焊/E6010下向焊打底,半自动填充盖面 首先,试验方案:试验管件及坡口形式同图1所示,氩弧焊打底时采用V形坡口。为防止半自动焊接时烧穿,打底后用焊条电弧焊填充一道,然后采用半自动填充盖面的焊接工艺;焊材为:打底焊丝H08Mn2SiA, $\phi 2.5\text{mm}$,焊条E5015, $\phi 3.2\text{mm}$;填充焊丝JC29-Ni-1(金桥), $\phi 2\text{mm}$ 。E6010焊条(AWS 5.1-04, $\phi 3.2\text{mm}$)下向焊打底、半自动填充盖面的焊接工艺时,采用双V形坡口,以减小焊缝宽度。半自动药芯焊丝规格同前。预热温度、层间温度、焊后保温缓冷控制同(1)。

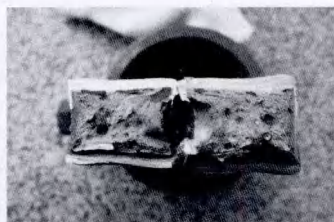
焊接设备采用熊谷ZD7-500焊机,X6-90送丝机,或采用LINCOLN DC-400焊机,LN23P送丝机。

其次,焊接参数如表1所示。

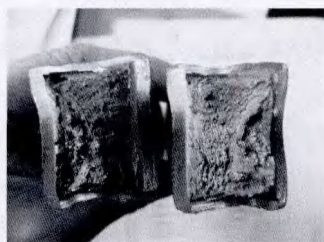
第三,焊接性试验结果及分析:按照GB6479-2000、SY4103-2006标准,焊接接头拉伸、侧弯试验合格; -40°C 低温冲击试验值应 $\geq 21\text{J}$,但实测值为焊缝热影响区 $15\text{J}/18\text{J}/12\text{J}$,焊接接头的冲击试验不合格;不同处理情况下焊缝刻槽锤断试验断口如图2所示。图2a氢白点严重,气孔尺寸超标,试验不合格。但如图2b所示,经过通风处放置及消氢处理后,刻槽锤断试验合格。加之热影响区冲击值较低,说明氢在焊接接头中存在组织诱导扩散,在焊接过程中熔合线附近形成了富氢带,当热影响区相变时氢便以过饱和状态存在于马氏体中,使该处金属进一步脆化。

表 1

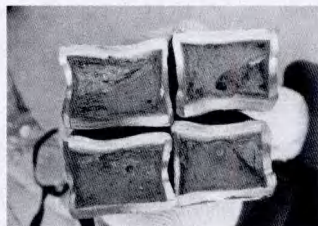
焊接工艺	焊缝层次	焊接方法	焊条、焊丝		极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
			型号	直径/mm				
方案一	根焊	SMAW	H08Mn2SiA	2.5	DC-	120~140	18~19	50~90
	填充1	SMAW	E5015	3.2	DC+	90~110	20~21	60~100
	填充2~8	FCAW	JC-29Ni-1	2.0	DC-	180~240	20~22	180~260
	盖面	FCAW	JC-29Ni-1	2.0	DC-	180~230	20~22	180~260
方案二	根焊	SMAW	E6010	3.2	DC-	65~85	28~31	70~100
	填充1~8	FCAW	JC-29Ni-1	2.0	DC-	180~240	20~21	180~260
	盖面	FCAW	JC-29Ni-1	2.0	DC-	180~230	20~22	180~260



(a) 焊后2天后刻槽锤断试验



(b) 焊后通风放置90天后刻槽锤断试验



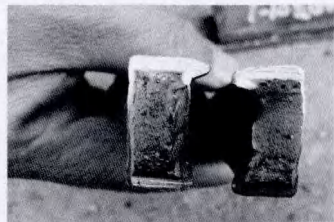
(c) 焊后通风放置180天后刻槽锤断试验



(d) 焊后250℃×2h消氢处理刻槽锤断试验



(e) 焊后350℃×2h消氢处理刻槽锤断试验



(f) φ273mm×8mm焊后2天内刻槽锤断试验

图2 不同处理情况下焊缝刻槽锤断试验

上述试验表明,试件在通风放置情况下,扩散氢呈减少趋势,在放置210天后,扩散氢基本都逸出焊接接头。扩散氢在常温通风环境逸出较慢,随着温度升高扩散氢逸出速度加快。在250℃×2h的消氢处理下焊缝基本上合格,但仍有小部分气孔直径超标;但在350℃×2h的消氢处理下,焊缝呈明显的塑性断裂特征,断口未发现气孔等缺陷,刻槽锤断断口合格。故对药芯焊丝半自动焊,通过在焊后350℃×2h的消氢处理,焊接接头刻槽锤断试验合格。通过对同工艺的φ273mm×8mm薄壁管对比试验,φ273mm×8mm管线焊后2天内刻槽锤断试验合格,说明随着壁厚降低,扩散氢在焊缝冷却过程中能够全部或大部分逸出,但随着壁厚增加,扩散氢在焊缝冷却过程中的扩散减慢,因此对厚壁管采用药芯焊丝半自动焊时应特别注意扩散氢的影响。

第四,试验结论:小口径厚壁管管道(φ159~φ323.9mm)可采用药芯焊丝自保护半自动焊,但除采取焊前预热、焊后缓冷外,还需焊后放置或进行焊后350℃×2h消氢处理来使焊缝扩散氢充分逸出,因此对小口径厚壁管应谨慎应用。

(3) 氩弧焊打底,焊条电弧焊填充3层,全自动MAG气体保护焊填充盖面 首先,试验方案:试件规格同前,选用图1 V形坡口;焊接参数如表2所示。选用焊条电弧焊填充是为了采用窄间隙坡口时焊枪能伸入坡口根部,其他同前。焊接设备采用熊谷ZX7-400焊机打底填充3层(为确保自动焊焊接时焊枪能够达到焊缝)。采用南京奥特熔化极自动焊焊接设备,完成其余填充盖面。

其次,焊接性试验结果:根据GB6479—2000、SY4103—2006标准进行焊接接头拉伸、侧弯、刻槽锤断试验,−40℃低温冲击试验全部合格。

(4) 全自动TIG打底或MAG焊打底,埋弧焊填充盖面 首先,试验方案:管件同前,为保证自动打底焊枪直接可以进行打底焊,采用较焊条电弧焊加大的V形坡口,如图3所示,坡口角为60°~70°;打底焊丝:ER50-6(JQ.MG50-6),φ1.2mm;埋弧焊填充盖面焊丝:JW-1(H10Mn2),φ2.0mm;焊剂:JF-B(SJ101,AWS A5.17)。分别采用CO₂+Ar气体保护焊打底

表2 焊接参数

焊缝层次	焊接方法	焊条、焊丝		极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹
		型号	直径/mm				
根焊	GTAW	H08Mn2SiA	2.5	DC-	140~160	18~19	50~90
填充1~3	SMAW	E5015	3.2	DC+	100~115	20~21	60~100
填充4~7	GMAW	ER50-6	1.2	DC+	180~210	18~19	60~85
盖面	GMAW	ER50-6	1.2	DC+	180~210	18~19	60~85

和TIG焊打底,以及埋弧焊填充盖面的焊接工艺进行焊接工艺评定。焊接设备: AUTO PPAW830-A焊机。Miler pipepro 450RFC焊接电源。

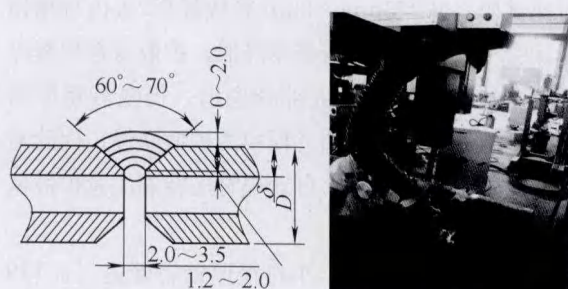


图3 TIG/MAG+SAW焊接坡口及焊接

其次, TIG焊+埋弧焊焊接参数: 共焊接10层, TIG打底填充各1层1道, 以避免烧穿; 其余焊道均为埋弧焊, 其中3层1道, 4~7层2道, 8层3道; 9层立填焊2道, 盖面焊3~4道; 共19~20道TIG焊打底、埋弧焊填充盖面, 焊接参数如表3所示。

第三, MAG焊打底、埋弧焊填充盖面焊接参数如表4所示。

第四, 焊接性试验结果: 按GB6479-2000, SY4103-2006, 两种工艺焊接接头拉伸、侧弯、刻槽锤断试验、-40℃低温冲击试验全部合格。由于焊接热输入相对较大, 焊接热影响区冲击韧性偏低, 现场焊接时要严格执行控制预热、焊后保温缓冷的工艺, 严格控制层间(道间)温度≤200℃。

4. 试验小结

小口径厚壁管焊接与大口径管道、薄壁管焊接工艺有较大差异, 在焊接工艺规程制定时应特别注意。

(1) 焊接效率 以 $\phi 273\text{mm} \times 28\text{mm}$ 为例焊接时间分别为: TIG+SMAW一个坡口约需4.5h, TIG+SMAW+ FCAW一个坡口约需3.5h, TIG+SMAW+ MAG一个坡口约需2.8h; TIG/MAG

表 3

焊缝层次	焊接方法	焊条、焊丝		极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	送丝速度/cm·min ⁻¹
		型号	直径/mm					
根焊	GTAW	(JQ.MG50-6) ER50-6	1.2	DC-	155~165	12~13	200~220	85~105
填充1	GTAW	ER50-6	1.2	DC-	155~165	12~13	200~220	85~105
填充2	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	290~310	27~28	240~270	115~120
填充3~8	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	330~350	28~29	240~280	115~120
盖面	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	330~350	28~29	260~280	120~130

表 4

焊缝层次	焊接方法	焊条、焊丝		极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	送丝速度/cm·min ⁻¹
		型号	直径/mm					
根焊	MAG	(JQ.MG50-6) ER50-6	1.2	DC-	170~195	18~19	200~220	100~115
填充1	SAW	ER50-6	1.2	DC+	290~310	27~28	250~270	115~120
填充2	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	290~310	27~28	240~270	115~120
填充3~8	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	330~350	28~29	240~280	115~120
盖面	SAW	H08Mn2	2.0	DC+	330~350	28~29	260~280	120~130

06Ni9钢中薄板焊条电弧焊焊接 工艺试验研究与应用

陕西化建工程有限责任公司 (杨凌 712100) 张啊妮 袁黎明

【摘要】 我公司承担安装建设的延长气田延气2井区天然气液化厂10 000m³ LNG低温储罐,内罐采用06Ni9钢材料,板厚分别为10mm、8mm、6mm三种规格。薄板焊接由于散热条件差、焊接应力与变形具有复杂性和多元性,现场施工焊接质量控制难度大,本文通过对焊接工艺试验研究提出了满足质量要求的焊接工艺,在实际应用中取得成功。

1. 概述

随着对液化天然气LNG需求的增加,06Ni9钢作为其贮罐用钢已被普遍采用,且贮罐结构不断向大型化方向发展。然而大型储罐多采用厚板焊条电弧焊及埋弧焊工艺,目前尚未采用薄板进行焊接。

我公司安装建设的LNG储罐内罐采用06Ni9钢薄板制作,直接与冷冻LNG接触,长期服役于

-168℃的低温环境。薄板焊接由于散热条件差,焊接应力与变形具有复杂性、多元性,现场施工焊接质量控制难度大等因素,一直是国内外薄板焊接制造的一个技术难题。目前在国内只有极少数的施工企业有施工业绩,因此,研究开发06Ni9钢焊接工艺,保证焊接低温容器的安全,对国产06Ni9钢的焊接工艺及组织性能进行研究有着重要的工程意义。

本文获得“中国安装协会焊接专业委员会2012年年会暨焊接标准及先进焊接技术研讨会”论文大赛二等奖。

+ SAW一个坡口约需2h(包括道间温度过高时的冷却时间),因此在管道预制厂进行管道二接一、场站管段预制时应优先采用全自动TIG/MAG+SAW组合焊工艺,自动焊焊接质量稳定效率高,但因对集输管道现场适应性差,难以完成全部野外管道焊接。

(2) 氩-电联焊 这种焊接方法在厚壁小口径管道具有较好的适应性,焊接质量较好,尽管焊接速度慢,但仍是返修及连头施工较常应用的工艺。

(3) 焊接注意事项 当采用氩弧焊打底,焊条电弧焊填充一道,半自动药芯焊丝下向焊焊接时,在现场施工适应性好,施工效率高于焊条电弧焊,但需注意扩散氢影响,做好消氢处理等工艺措

施,防止焊缝脆性断裂、冲击韧性偏低等现象出现。在采取相应工艺措施后可应用于线路工程施工。

5. 工程应用

按上述试验成果编制相应焊接工艺评定,制定相应焊接规程,并应用于某气田储气库注采试验集注试验站工程施工,完成 $\phi 273\text{mm} \times 28\text{mm}$ 注采管线约2.5km,采用TIG+SMAW+ MAG(全自动)组合焊完成站内工艺管道焊接预制,采用全自动TIG/MAG+ SAW焊接完成了“二接一”管道预制,连头/返修焊接采用焊条电弧焊完成,因TIG+SMAW+ FCAW 在工程期间扩散氢试验未完成,所以并未在工程应用中,还有待进一步研究验证。**MW**

(20120830)