

中等口径薄壁管全自动焊技术开发及应用

杨建新 侯俊 蔡德宇 马青山 许航 菅秀洋 周培兴

国家管网集团北方管道有限公司 河北 廊坊 065000

摘要：随着全自动焊技术在高钢级大口径管道上的推广应用，焊接效率与环焊缝质量稳定性不断提高。中等口径薄壁管道因焊接设备、管端不圆度等因素限制，焊接工艺仍以手工焊、半自动焊或手工自动组合焊为主。针对 L415M D508×7.1 mm 管道开展了全自动焊技术研发，并在中俄东线嫩江支线进行了工程应用。采用 0 间隙无衬垫的组对方式，配合自动氩弧根焊+实心焊丝自动填充盖面工艺，获得的环焊缝力学性能满足相关标准规范要求。同时，结合中俄东线嫩江支线实践，分析总结了施工工艺和低温环境对中等口径薄壁管全自动焊的影响，提出了在冬季低温环境下确保焊接设备正常运转和保证施工质量措施。

关键词：中等口径薄壁管 全自动焊 力学性能 低温环境 工程应用

1 研究概述

中等口径薄壁管环焊缝的填充盖面焊接可采用单枪自动焊设备，制约全自动焊工艺应用的瓶颈主要集中在如何实现根焊的全自动焊接，当前可用于中等口径薄壁管道（DN200-500）的全自动焊工艺有 3 种类型，即带铜衬垫型 GMAW 外自动根焊工艺、无衬垫型 GMAW 外自动根焊工艺、无衬垫型钨极氩弧外自动根焊工艺，其具体的应用案例与特点分析如下：

带铜衬垫型 GMAW 外自动根焊工艺在海洋管道建设、国外长输管道建设中有较成熟的应用案例。以国内某工程项目为例，该项目使用 L360M D323.9×9.5 mm 直缝管，采用 0 间隙带衬垫全自动焊工艺，采用双 V 型坡口，错边量要求 $\leq 1/8T$ ，且最大不应大于 1.0 mm。根焊采用实心焊丝自动外根焊工艺（GMAW），热焊、填充、盖面采用气保护药芯焊丝自动焊工艺（FCAW-G），铜衬垫内对口器工艺在该工程中累计焊接 821 km，检测合格率为 97%。焊接过程中，铜衬垫与管内壁紧密贴合，可以为整个根焊熔池提供稳定的支撑，有利于焊缝背面成型与根焊缝质量。但只适用于无缝管、直缝管，管口存在噉嘴时，铜衬垫无法与钢管内壁良好贴合，根焊焊接质量无法保证。

无衬垫型 GMAW 外自动根焊工艺在国外没有工程应用案例，国内某项目使用该工艺焊接 D323.9×9.5 mm 直缝管试验段约 2 km，检测合格率 98%。无衬垫 GMAW 外自动焊工艺坡口形式为 U 型窄坡口，组对间隙为 0~0.5 mm，错边量要求 $\leq 1/8 T$ ，且最大不应大于 1.0 mm。无衬垫 GMAW 外自动焊工艺根焊焊接速度可以达到 25~40 cm/min，焊缝质量与焊接效率高。但该工艺相比带铜衬垫工艺由于缺少衬垫衬托电弧稳定性差，易出现未焊透或烧穿缺陷，相比自动氩弧外根焊熔池深、飞溅特性明显，根焊质量不易保证。

无衬垫型钨极氩弧外自动根焊工艺在锦郑成品油管道华北注入支线改线工程项目 D457×7.1 mm 螺旋焊管试验应用 1.13 km，该焊接工艺采用 CPP900-TWR 轨道式自动氩弧根焊+CPP900-W1 轨道式单枪上向填充盖面设备进行焊接，具有无衬垫、0 间隙组对等特点。试验焊口 93 道，检测合格率为 100%。由于该工艺填充盖面仍然采用气保护药芯焊丝上向焊工艺，虽然根焊速度较快，但是总体工效提升不够明显。

本项目开发的窄坡口型全自动技术在嫩江支线实现了国内首个中等口径薄壁管全自动焊技术的工程应用，嫩江支线设置 35 km 全自动焊试验段（L415M D508 mm×7.1 mm 螺旋缝/直缝埋弧焊钢管），项目实施位置位于我国东北寒冷地区，冬季寒冷且漫长，最冷月平均气温 -31°C ，极端天气温度达 -47°C 。目前试验段已全部焊接完成，全自动焊接工艺优势得到良好发挥。该焊接工艺同样采用 CPP900-TWR 轨道式自动氩弧焊设备进行 360° 圆周根焊焊接，采用实心焊丝自动焊工艺下向填充、盖面，最高工效可达 24 道口/工日（较组合自动焊接，工效提升 70%~80%），检测合格率为 98%。但应用过程中当环境温度达到 -15°C 以下时，温差导致焊接产生的变形量较大，出现局部错边量超出焊接工艺规程要求的问题。

2 中等口径薄壁管全自动焊技术开发

本研究针对中等口径薄壁管开展的全自动焊技术开发采用嫩江支线 L415M D508 mm×7.1 mm 管道。根焊采用 GB/T 39280 W49A36 型氩弧焊丝，规格为 1.0 mm；填充盖面采用 GB/T 8110 G49A5M21S15 型实心焊丝，规格为 1.0 mm。

为降低施工成本、提高工效，进一步突显全自动焊工艺优势，在坡口选择方面，采用窄间隙 U 型坡口。使用坡口机对管口进行坡口加

工,保证坡口的精度和一致性。坡口面角度(α)为 $5\pm 1^\circ$,钝边(p)为 1.8 ± 0.2 mm,圆弧半径(R)为2.4 mm。采用无衬垫型内对口器进行管口组对,对口间隙为0~0.5 mm,错边 $\leq 1/8 T$,超过 $1/8 T$ 且不大于1.2 mm的局部长度不大于50 mm。

自动氩弧焊外根焊采用 360° 管道全位置连续根焊工艺,根焊保护气采用100%Ar,焊接方向分为上向与下向,实现1人、1机、1个接头的焊接方式,是手工根焊的4倍以上(以D508 mm管为例,氩弧全自动圆周焊根焊时间约为10分钟,手工根焊需要点焊固定,在进行焊接,单人整口

焊接时间约为40 min),有效提高了根焊的焊接速度。具体焊接工艺参数见表1。

采用气保实心焊丝单焊炬自动焊下向填充盖面,填充盖面保护气采用80%Ar+20%CO₂混合气,采用窄间隙U型坡口减少了焊材的使用,窄间隙U型坡口所需焊材约0.575千克,同等壁厚手工组合自动焊工艺(坡口面角度为30度的V型坡口)所需焊材约为0.9千克。本研究设计的窄间隙U型坡口比传统V型坡口平均每道焊口的焊材使用量节省约36%。气保实心焊丝单焊炬自动焊下向填充盖面的具体焊接工艺参数见表2。

表1 自动氩弧焊外根焊焊接工艺参数

焊道	极性	焊接方向	电流 /A	电压 /V	摆动宽度 /mm	送丝速度 (m/min)	保护气体流量 (L/min)	焊接速度 (cm/min)	热输入 (kJ/min)
根焊	DCEN	上向	175~230	9~15	1.7~2.6	1.9~2.4	12~18	16~20	0.76~0.84
		下向	155~230	9~15	2.0~3.0	1.8~2.2	12~18	16~20	0.65~0.81

表2 焊接工艺参数

焊道	极性	焊接方向	电流 /A	电压 /V	摆动宽度 /mm	送丝速度 / (m/min)	保护气体流量 / (L/min)	焊接速度 / (cm/min)	热输入 / (kJ/min)
填充	DCEP	下向	120~240	20~28	1.3~3.5	5.6~9.4	25~30	34~69	0.36~0.61
盖面	DCEP	下向	120~185	20~28	3.2~6.0	5.6~7.7	25~30	24~45	0.56~0.73

采用上述焊接工艺参数联系焊接完成6道焊口,经射线检测与相控阵超声检测合格后,进行了力学性能试验,环焊缝拉伸试验、弯曲试验与低温冲击试验均满足相关标准规范要求。

环焊缝力学性能试验结果可知拉伸试验断裂位置均位于远离焊缝的母材位置,四个试样的抗拉强度为528~530 MPa,大于L415M钢管规定的最低名义抗拉强度。面弯(盖面层作为弯曲拉伸面)与背弯(根焊层作为弯曲拉伸面)试验均没有明显的裂纹,刻槽锤断试验也没有明显的气孔或夹渣等缺陷。环焊缝不同位置焊缝与熔合线的冲击功波动较小,仰焊位置焊缝冲击功最低,为86.42 J,远高于验收要求(20 J)的要求。由此可知,采用本研究开发的中等口径薄壁管全自动焊接技术获得的环焊缝具有良好的力学性能。

针对焊缝金属与熔合线开展了系列温度冲击试验,系列温度分别为0℃、-5℃、-10℃、-20℃、-30℃、-45℃等6个温度点。由试验结果可知,焊缝金属与熔合线的韧脆转变温度均低于-45℃,表明本研究开发的全自动焊工艺具有良好的低温韧性水平。

3 低温环境对中等口径薄壁管全自动焊技术的影响与保障措施

3.1 内对口器选型及操作

冬季低温环境下传统气动内对口器采用压缩空气为动力源,因压缩空气中水分结冰导致气动阀无法工作,为解决此问题,现场采用电驱无线遥控内对口器,有效避免了因为依赖压缩空气产生的系列问题。

鉴于薄壁管的物理特性,在进行组对焊接时,会产生较大的焊接变形。在项目实施中,通过电驱无线遥控内对口器使前后涨靴的间距不超过20 mm,并配备涨靴调整垫片调节错边量,严格控制错边量在0.4 mm以下再进行焊接,可有效的减小焊接过程的变形量。

3.2 焊前预热环节

在常温环境下的施工过程中,通常只要确保焊前预热不低于焊接工艺要求即可,而在低温环境下,在管口组对好后,在防风棚内进行焊前预热,由于散热较快,要将焊前预热温度控制在120~150℃,此温度范围内可以保证焊接接头得到适当的加热,同时减少焊接变形量。低温环境下

的焊前预热采用中频加热,中频加热能够使管口受热更加均匀且受热面积更大,可有效的控制焊前预热温度,防止因环境温度过低造成的散热问题。

3.3 防风棚改造

施焊环境也是影响焊接质量的一个重要环节,全自动焊焊接作业需在全封闭的防风棚内进行,防风棚内圈应与管子密实贴合,低温环境的防风棚采用带保温层的壁板,与管子贴合处棚内安装防风帘,棚外加装保温防风被。低温环境下为确保施焊环境温度,同时还在防风棚内加装4组电加热取暖装置,每组采用4个275W的防爆取暖灯,来提高施焊环境温度,避免因寒冷低温环境对焊接质量的影响。

3.4 层间温度保障

嫩江支线施工现场采用全自动流水作业施工程序,并在低温环境下严格控制层间温度,每道工序结束后需要更换防风棚作业时,焊道使用岩棉保温被进行紧密包裹,保障层间温度不低于预热温度。施工现场采用接触式温度测量仪进行温度测量,如果发现层间温度低于预热温度,为保证焊接质量和减小焊接变形量,要重新将焊口温度加热到预热温度后方可进行后续焊接作业。

3.5 焊后及时保温

一般温度下,在焊口成型后,自然冷却即可。但由于焊接完成后焊道温度较高,焊口暴露在低温环境下冷却速度过快,易产生热应力或裂纹。故在嫩江支线冬季施工现场,自动焊焊接完成后采取岩棉保温被进行包裹,配备棘轮捆绑带对岩棉保温被进行预紧,确保岩棉保温被与焊道紧密贴合,以达到保温并缓冷的作用。

3.6 低温环境下自动焊措施优化前后与组合自动焊功效对比

在低温条件下,全自动焊接施工机械的预热启动时间、管口组对错边调整时间、管口预热时间等较常温状态下有所增加,有效的采取预防措

施和优化工艺,可提高低温状态下的施工功效和合格率。

4 结论

本文针对中等口径薄壁管开展了全自动焊技术开发与工程应用分析,360°自动氩弧焊外根焊+实心焊丝自动焊填充盖面工艺的应用可有效的提高焊接施工效率,窄间隙坡口的应用明显减少了焊材的使用,节约了工程造价成本。

(1)通过U型窄坡口设计与焊接工艺设计,采用360°自动氩弧焊外根焊+实心焊丝自动焊填充盖面工艺获得的环焊缝外观成型良好,焊缝质量与环焊缝力学性能满足标准规范要求。

(2)通过嫩江支线在冬季低温环境下,结合中等口径薄壁管自动焊施工中存在的问题,给出相应的预防措施,确保低温环境下中等口径薄壁管全自动焊施工高效正常运行,大大提高了长输管道中等口径薄壁管自动焊施工的实施应用水平,为今后的长输管道在低温环境下进行中等口径薄壁管自动焊施工提供了有效的方法和经验,具有重要意义。

参考文献

- [1] 隋永莉.油气管道环焊缝焊接技术现状及发展趋势[J].电焊机,2020,50(9):53-59.
- [2] 樊学华,庄贵涛,李向阳,等.长输油气管道焊接方法选用原则[J].油气储运,2014,33(8):885-890.
- [3] 姜昌亮.中俄东线天然气管道工程管理与技术创新[J].油气储运,2020,39(2):121-129.
- [4] 赵赏鑫.油气长输管道工程自动焊施工的技术准备要点[J].油气储运,2021,40(12):1409-1415.
- [5] 隋永莉,王鹏宇.中俄东线天然气管道黑河—长岭段环焊缝焊接工艺[J].油气储运,2020,39(9):961-970.