

# 钨极氩弧自动焊外根焊工艺在长输管道项目中的应用

阴有贵 (中石化江汉油建工程有限公司, 湖北 潜江 433123)

**摘要:** 长输管道的主流焊接工艺为全自动焊与组合自动焊, 但在山区地段, 二者均受限于焊接效率与焊接质量。钨极氩弧自动焊外根焊工艺成功突破了这些限制, 成为当前山区地段的主流焊接方法。

**关键词:** 钨极氩弧自动焊外根焊工艺; 全自动焊; 山区地段

**中图分类号:** TG457.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 004-0094-03

## Application of external root welding technology of automatic tungsten argon arc welding in long-distance pipeline project

Yin Yougui (Sinopec Jiangnan Oil Construction Engineering Co., Ltd., Qianjiang Hubei 433123, China)

**Abstract:** The mainstream welding technologies for long-distance pipelines are fully automatic welding and combined automatic welding, but both of them are limited by welding efficiency and welding quality in mountainous areas. The external root welding technology of automatic tungsten argon arc welding has successfully broken through these limitations and become the mainstream welding method in mountainous areas.

**Key words:** external root welding process of automatic tungsten argon arc welding; Fully automatic welding; Mountainous area

随着清洁能源的发展, 大口径、高钢级主干管道的需求日益增长, 对自动焊接技术提出了更高要求。内焊机根焊与双焊炬自动焊技术日趋成熟, 在平原地带优势显著, D1219 管道日均焊接量可达 20-25 道。然而, 在坡度大于 12° 的地形条件下, 内焊机的爬坡能力与通过率受到限制, 尤其对带有内涂层的管道难以实施, 且在通过大壁厚 6° 冷弯管时易发生卡滞。因此, 在无法使用内焊机的路段, 通常采用组合自动焊工艺, 根焊使用手工钨极氩弧焊或半自动根焊 (STT 或 RMD) 技术。

但半自动根焊熔深不足, 易产生假熔缺陷, 导致焊口不合格甚至返修; 手工钨极氩弧焊合格率较高, 但效率偏低。目前组合自动焊采用 23.5° 单 V 坡口, 焊接填充量大, 劳动强度高, 焊接质量受人为因素影响显著。

为解决上述问题, 我单位研发了钨极氩弧自动焊外根焊技术。该技术采用钨极氩弧自动外根焊替代手工钨极氩弧焊, 实现了外根焊的自动化, 与组合自动焊相比, 具有焊接质量稳定、效率高、操作简便等优点, 并可实现直管与热煨弯管的自动焊接, 有效保障了工程的安全、质量与进度。

### 1 钨极氩弧自动焊外根焊焊接技术介绍

该技术采用窄间隙小坡口组对, 钨极氩弧自动焊机外根焊 (↑) + 单 / 双焊炬外焊机填盖 (↓)。该项工艺很好的解决了外根焊自动化的问题, 可以作为内焊机根焊 + 外焊机填盖焊接工艺有效的补充, 该技术适用性强, 投入小, 可适用于丘陵、山区线路焊接

及沟下焊接等; 与组合自动焊相比, 具有焊接质量稳定、焊缝金属填充量少、焊接效率高、人员劳动强度小等优点。

主要创新点如下: ①首次将钨极氩弧自动焊工艺应用于大口径高钢级长输管道焊接; ②实现外根焊自动化, 焊接质量稳定且易于控制, 在管斜位置表现优异, 适用于山区及沟下焊接; ③采用 U 型坡口无间隙组对, 节省填盖金属量 40% 以上; ④以单焊炬实心焊丝熔化极气体保护焊下向焊替代药芯焊丝电弧焊上向焊进行填盖, 接头综合性能更优; ⑤采用 AUT 检测替代传统组合自动焊的 PAUT 检测, 检测更及时高效; ⑥相比手工钨极氩弧焊, 焊工更易掌握操作。

### 2 焊接工艺评定

基于《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032-2023、《油气管道工程线路焊接技术规定》DEC-OGP-G-WD-002-2020-1<sup>[1]</sup> 的相关要求开展焊接工艺评定。母材为 D1219 × 18.4/22mm (直管与热煨弯管母管), 根焊、填充及盖面均选用伯乐焊材, 根焊选用 BÖHLER C Ni1-IG φ 1.0mm, 填盖选用 BÖHLER SG8-P φ 1.2mm, 根焊焊接电源选用安意源, 填盖焊接电源选用安意源或熊谷。

#### 2.1 焊接工艺参数

根据壁厚及每层焊缝的厚度进行理论计算后, 确定焊接层数和道数, 并对每层的电压、送丝速度、行走速度、电流、停留时间、摆频、摆宽等参数按角度位置分区进行预设, 最终确定每种焊丝的合适的自动焊接参数 (如表 1 所示)。

表 1

焊道	焊接方法	极性	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	摆动宽度 (mm)	边缘停留 (s)	送丝速度 (in./min)	保护气体流量 (L/min)	焊接速度 (cm/min)
根焊	GTAW ↑	DCEN	105-250	9-16	/	/	80-160	15-25	9-17
热焊	GMAW ↓	DCEP	120-300	18-28	3.0-5.0	0-0.4	160-350	20-36	25-58
填充	GMAW ↓	DCEP	130-300	18-29	3.0-8.0	0-0.4	180-380	20-36	18-46
盖面	GMAW ↓	DCEP	100-200	18-29	1.0-6.0	0-0.3	150-250	20-36	23-57

注：① DCEN—表示钨极与焊接电源负输出端关联；② DCEP—表示焊丝与焊接电源正输出端关联。

表 2

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	V
钢管 1	0.063	0.18	1.73	0.0078	0.001	0.23	0.21	0.27	0.012	0.014
钢管 2	0.065	0.21	1.80	0.013	0.001	0.174	0.171	0.173	0.129	0.017
	Nb	Ti	Al	N	B	Ceq	Nb+Ti+V	Ni+Cr+Cu	CE <sub>ITW</sub>	CE <sub>Pcm</sub>
钢管 1	0.075	0.014	0.033	/	0.0003	/	0.103	/	0.469	0.191
钢管 2	0.058	0.016	/	/	0.0002	/	0.091	/	0.46	0.194

表 3

屈服强度 Rt0.5 (MPa)	抗拉强度 Rm (MPa)	断后伸长率 A (%)	冲击吸收功 J (-10℃ /-20℃)
600(钢管 1)/717(钢管 2)	725(钢管 1)/793(钢管 2)	24.0(钢管 1)/25.5(钢管 2)	321,302,307/289.7,316.1,290.7

表 4

焊材牌号	焊材级别	直径 /mm	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	断后伸长率 (%)	冲击吸收功 KV/J (-50℃)
BöHLER C Ni1-IG	ER80S-G	Φ1.0mm	600	685	28	116,158,128
BöHLER SG8-P	ER80S-G	Φ1.2mm	530	615	30	168,168,172

表 5

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	V	Ti	Al
焊材 1	0.06	0.70	1.54	0.007	0.007	0.010	0.86	0.01	0.10	0.001	0.07	0.002
焊材 2	0.059	0.70	1.54	0.007	0.007	0.01	0.86	0.01	0.10	0.0005	0.07	0.002

## 2.2 采用的坡口型式 (如图 1 所示)

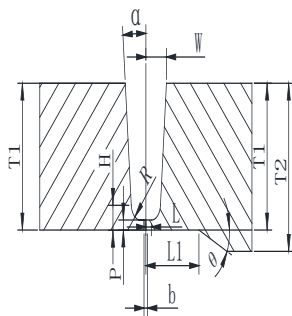


图 1

说明：坡口面角度 ( $\alpha$ )： $5^\circ \pm 1.0^\circ$ ；钝边 (P)： $1.7 \pm 0.2\text{mm}$ ；对口间隙 (b)： $0-0.5\text{mm}$ ；半坡口宽度 (W)：根据壁厚变化；平直段长度 (L)：

$1.7 \pm 0.2\text{mm}$ ；内膛孔 (L1)： $\geq 110\text{mm}$ ；内坡口角度 ( $\theta$ )： $\leq 15^\circ$ ；变坡口拐点距内壁的高度 (H)： $3.9 \pm 0.2\text{mm}$ ；下坡口半圆弧 (R)： $2.4\text{mm}$ 。

## 2.3 母材、焊材力学性能

### 2.3.1 母材化学成分 (质量分数) (%) (如表 2 所示)

钢管 1-D1219\*18.4 直管；钢管 2-D1219\*22mm 热煨弯管母管。

### 2.3.2 母材力学性能 (如表 3 所示)

### 2.3.3 焊接材料 (如表 4 所示)

### 2.3.4 焊材化学成分 (质量分数) (%) (如表 5 所示)

## 2.4 无损及理化测试结果

### 2.4.1 外观检查及无损检测

外观检查符合《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369-2014、《油气管道工程线路焊接技术

表 6

试验项目	抗拉强度 Rm/MPa	全焊缝拉伸 (MPa)	刻槽试验	弯曲试验	CTOD 试验 (焊缝中心, mm)
试验单位 1	703/705/710/697	689/691	合格	合格	0.548,0.363,0.581
试验单位 2	715/716/717/703	679/686	合格	合格	0.431,0.337,0.282

规定》DEC-OGP-G-WD-002-2020-1 的相关要求。

无损检测采用 100%AUT+100%DR 检测, AUT 检测执行《石油天然气管道工程全自动超声波检测技术规范》(GB/T 50818-2013)和《油气管道工程环焊缝全自动超声检测技术规定》(DEC-OGP-G-NT-003-2020-1)。RT 检测执行《石油天然气钢质管道无损检测》(SY/T 4109-2020)和《油气管道工程射线检测技术规定》(DEC-OGP-G-NT-001-2021-2), 射线检验合格标准为 II 级及以上。无损检测结果合格。

#### 2.4.2 理化检验结果

焊接接头应按要求进行焊缝横向拉伸、刻槽锤断、弯曲(含背弯侧弯)、冲击韧性、宏观金相、硬度、全焊缝纵向拉伸和 CTOD 试验等, 每个试样均应符合验收标准要求。具体按照《钢质管道焊接及验收》GB/T 31032-2023、DEC-OGP-G-WD-002-2020-1《油气管道工程线路焊接技术规定》。

##### 2.4.2.1 焊接接头力学性能(如表 6 所示)

由表 6 可见肩板型拉伸、全焊缝拉伸抗拉强度均大于 625MPa, 焊缝中心 CTOD 值大于 0.254mm, 刻槽、弯曲试验均合格。

##### 2.4.2.2 焊接接头硬度(HV10)

硬度值(HV10)验收要求: 根焊道焊缝金属 300, 根焊道热影响区、盖面焊道及热影响区 325。两家试验单位测试结果满足要求。

##### 2.4.2.3 冲击韧性测试结果

冲击值验收要求: -10℃低温冲击, 全尺寸试样 10×10×55mm 单值不低于 38J 平均值不低于 50J。两家试验单位测试结果满足要求。

### 3 现场焊接施工注意事项

①该工艺根焊采用 Ar100% 进行保护, 热焊、填充盖面采用 CO<sub>2</sub>20%+80Ar% 混合气体保护, 使用时应注意区分, 防止气体错用。

②该工艺主要采用气体来保护熔池, 因此现场应做好防风防雨措施。

③做好管口清理, 钢管内外表面及坡口两侧 150mm 范围内应清理干净, 不应有起鳞、磨损、铁锈、渣垢、油脂、油漆和影响焊接质量的其他有害物质。坡口及两侧 25mm 范围内应采用机械法清理至显现金属光泽。

④全自动焊质量控制的第一个关键点是管端尺寸、坡口加工、管口组对 3 个因素所影响的焊接坡口尺寸、形状的控制。加工好的坡口, 钝边与内坡口应均匀一致, 拐点处无凹槽, 钝边和拐点高度符合焊接工艺规程要求。组对好的管口, 错边量应不大于 2.0mm 且沿管口均匀分布, 坡口宽度符合工艺规程要求<sup>[2]</sup>。管口组对应控制好组对间隙, 应严格按照 0-0.5mm 进行控制。

⑤钨极氩弧自动焊根焊焊接完毕, 应及时更换焊接设备等, 进行单焊炬气体保实心焊丝电弧焊热焊, 时间间隔不应超过焊接工艺规程关于根焊和热焊的时间间隔要求。

⑥填充每层焊接前应选择相应焊层参数, 并注意焊丝摆动范围需覆盖前一层焊道。

⑦盖面宽度宜每侧比坡口边缘增宽 1-2mm, 焊缝高度 0-2mm, 排焊时, 前一焊道要保证直线度, 后续焊道宜覆盖前一焊道的 1/3, 且焊道间出现沟槽的深度小于 1.0mm。

### 4 工程应用

在某线路施工中, 钨极氩弧自动焊外根焊焊接技术大量应用于主线路焊接, 该工艺的出色表现, 得到了业主及施工一线的广泛欢迎, 累计在项目主线路焊接超过 50km, 焊接一次合格率在 98% 以上, 达到了该项目的焊接施工要求。

### 5 结论

钨极氩弧自动焊外根焊实现了根焊的自动化, 该焊接工艺通过在现场应用, 证明焊缝质量、焊接效率、焊接成本和焊工劳动强度等方面均优于组合自动焊工艺, 可以在山区、丘陵、水网焊接中进行推广, 特别是山区地段及沟下焊接, 可以逐步推广, 具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1]DEC-OGP-G-WD-002-2020-1. 油气管道工程线路焊接技术规定[S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2020.
- [2]隋永莉. 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(9):961-970.

#### 作者简介:

阴有贵(1987-), 男, 汉族, 陕西镇安人, 本科, 中级职称, 研究方向: 长输管道焊接技术。