

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2025.01.08

# 大口径长输热力管道自动焊接设备的工程应用

贾兆丰<sup>1</sup>, 贺凯<sup>2</sup>, 马少雄<sup>2</sup>, 罗雨<sup>3</sup>, 刘禹<sup>1</sup>, 苏佳毅<sup>3</sup>

1. 中铁三局集团投资有限公司, 山西 太原 030001
2. 呼和浩特富泰热力股份有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010
3. 北京石油化工学院 能源工程先进连接技术研究中心, 北京 102617

**摘要:** 在长输供热管网建设过程中, 管道安装效率是影响工程进度的决定因素, 提升管道焊接效率和焊接质量是确保工程进度及施工质量的重要措施。针对呼和浩特长输热力管网焊接工况, 开展了大口径供热管道全位置自动焊系统的工程现场应用研究。通过可自适应管径的柔性导轨、行走驱动系统、长行程焊枪姿态调整机构、高速异构网络实时控制系统、数字化焊接电源及移动工作站的模块化集成, 利用全位置焊接系统的预设工艺参数功能和全位置参数自动调用, 实现了大口径长输热力管道的全位置焊接。在托克托至呼和浩特供热管道第五工区进行了工程应用, 结果表明: 热力管道自动焊接设备的使用降低了焊接工人的劳动强度, 提高了焊接质量, 大幅度缩短了焊接工期。为热力管道工程使用管道自动焊接设备的应用推广提供了宝贵的经验。

**关键词:** 热力管网; 全位置自动焊系统; 焊接机器人; 工程应用

中图分类号: TG457.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2025)01-0058-07

## Development and Application of Automatic Welding Equipment for Large-caliber Long-distance Heat Pipes

JIA Zhaofeng<sup>1</sup>, HE Kai<sup>2</sup>, MA Shaoxiong<sup>2</sup>, LUO Yu<sup>3</sup>, LIU Yu<sup>1</sup>, SU Jiayi<sup>3</sup>

1. China Railway Third Bureau Group Investment Company Limited, Taiyuan 030001, China
2. Hohhot Futai Thermal Power Co., Ltd., Hohhot 010010, China
3. Research Center of Energy Engineering Advanced Joining Technology, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China

**Abstract:** In the long-distance heat supply pipeline network construction process, the pipeline installation efficiency is a decisive factor affecting the progress of the project, to improve the efficiency of pipeline welding and welding quality is to ensure that the progress of the project and the construction quality of the important measures. For the long-distance heat pipe network welding conditions in Hohhot, the all-position automatic welding system for large-diameter heating pipes developed by Beijing Institute of Petroleum and Chemical Technology was selected for the engineering field application research. Through the modular integration of the flexible guide rail that can be adapted to the diameter of the pipe, the traveling drive system, the long-stroke torch attitude adjustment mechanism, the real-time control system of high-speed heterogeneous network, the digital welding power source and the mobile workstation, the all-position welding system can be utilized for the modularization of the process parameters presetting function and the welding quality adjustment mechanism. The system's preset process parameter function and all-position parameter automatic call to realize the all-position welding of large-caliber long-distance heat pipe. In the Toktor to Hohhot heating pipeline in the fifth engineering application, the results show that: the use of automatic welding equipment for thermal pipelines reduces the labor intensity of welders, improves the quality of welding, and significantly shortens the welding period. For the heat pipeline project using pipeline automatic welding equipment application promotion provides valuable experience.

**Keywords:** heat pipe network; all-position automatic welding system; welding robot; engineering application

收稿日期: 2024-07-06 修回日期: 2024-10-20

作者简介: 贾兆丰(1975—), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事长输供热管网节能研究。

通讯作者: 罗雨(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要从事特种焊接机器人、焊接装备自动化及智能化方面的研究。E-mail: luoyu@bipt.edu.cn。

引用格式:贾兆丰,贺凯,马少雄,等.大口径长输热力管道自动焊接设备的工程应用[J].电焊机,2025,55(1):58-64.

Citation: JIA Zhao Feng, HE Kai, MA Shao Xiong, et al. Development and Application of Automatic Welding Equipment for Large-caliber Long-distance Heat Pipes[J]. Electric Welding Machine, 2025, 55(1): 58-64.

## 0 引言

随着城市化进展加快,供热性民生工程逐年增加。在能源结构调整和控煤的大背景下,长输供热管网建设是探索“降碳、减污、扩绿、增长”协同推进的新路径,是积极响应国家“碳达峰”“碳中和”战略决策部署的重要举措<sup>[1]</sup>。在长输供热管网的建设过程中,提升管道焊接效率和焊接质量是确保工程进度及施工质量的重要措施。目前,长输热力管道安装仍采用人工对口焊接,由于焊工水平的差异,焊接质量参差不齐,难以保证稳定性,且氩电联焊或药芯自保护焊的效率提升也受限。管道自动焊技术以其高效、优质的特点,在城市供水管道、油气管道建设及海底管道铺设中得到大规模的应用。然而,针对大口径厚壁长输热力管道管道焊接的工况与特点,目前尚无较为成熟的自动焊设备可直接应用到施工现场<sup>[2-8]</sup>。

本文深入分析了大口径厚壁长输热力管道焊接工况以及自动焊接的难点,借鉴油气管道和城市供水管道自动焊技术,结合四连排长输热力管道施工工况特点,研发了一套适用于大口径厚壁长输热力管道全位置自动焊系统,并开展现场复杂工况的焊接工艺试验研究,形成适用于现场工程应用的焊接工艺。该自动焊系统已在呼和浩特长输热力管网第五工区DN1600供水管和回水管现场焊接中得到应用。实践证明,该设备能够实现连续稳定的焊接,焊接合格率接近100%,焊接效率是传统人工焊接的2倍以上,为大口径长输热力管道自动焊的大规模推广提供了成功的应用经验。

## 1 大口径热力管道焊接工况及自动焊焊接难点分析

呼和浩特市长输供热管网工程主要建设城区外DN1600(外径1 620 mm,壁厚20 mm)长输管网68.2 km,管道铺设于5 m深的壕沟里,采用4联排管

道并行铺设方式,含2条供水管道DN1870(含保温层厚度)和2条回水管道DN1744(含保温层厚度)的焊接铺设,每根管道间距60 cm,沟渠底部宽度10 m,管道下方空间崎岖不平,施工工况复杂,如图1所示。

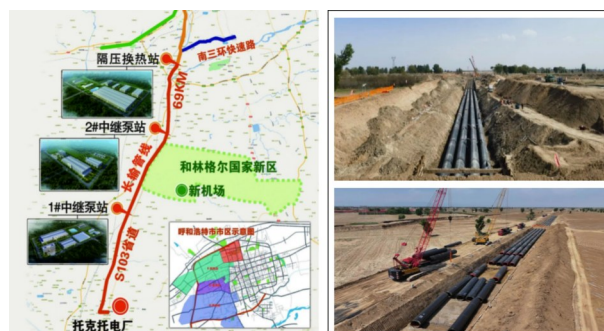


图1 托克托电厂至呼和浩特长输供热管网工程示意  
Fig. 1 Schematic diagram of the Toktor to Hohhot long-distance heating pipeline project

由于管道铺设在地下,无法像陆上的长输油气管道一样用铺管拖车拖动自动焊工作站向前行进。焊接电源、控制系统及保护气等装置需布置在沟渠岸边,焊接电缆和控制电缆的长度需在30 m以上才可进行焊接。当地施工环境无规律性刮风下雨,地下壕沟内风大,均严重影响焊接的连续性,若防风措施不当,会出现焊接气孔。热力管道沟渠空间及4联排管道间距小,陆地油气管道铺设用的标准化防风棚无法正常使用。城市热力管网采用的大口径厚壁钢管外围有隔热保温层,因采用不同的钢管生产厂家,保温层厚度误差太大。为了焊接方便,钢管两端留有无保温层区,热力管道钢管两侧无保温层区的宽度为30 cm,回水管道钢管两侧无保温层区的宽度为15 cm,在无保温层区铺设焊接导轨,因空间有限自动焊接设备无法工作;采用磁吸附焊接小车方案会因管道表面的螺旋焊缝、焊渣或飞溅导致焊接轨迹突变影响焊接质量,遇到错边对口焊缝,磁吸附焊接小车的四轮无法有效贴紧管道表面,存在掉车风险。此外,采用DN1600管径、20 mm壁厚的30° V形坡口,管道厚度较大,最填充层的焊缝宽度较宽,这对气保护药芯焊丝单层单道焊接的上向焊工艺提出了较高的要求。基于以上工况分

析,提出适应于当地现场施工环境的热力管道自动焊产品解决方案意义重大。

为了提出适应于长输热力管道自动焊的研制方案和技术,有必要对比分析油气管道自动焊的相关技术。长输热力管道与油气管道焊接的主要区别如表1所示。

表1 大口径热力管道与油气管道焊接技术的主要区别

Table 1 Main differences in welding technology between large-caliber heating pipes and oil and gas pipelines

| 区别        | 长输热力管道焊接                          | 长输油气管道焊接                           |
|-----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 管材        | Q235螺旋管                           | X70、X80直缝管                         |
| 坡口形式      | 25°V形坡口                           | J形窄坡口                              |
| 坡口加工      | 厂家加工,现场打磨修整坡口;坡口加工精度低。            | 坡口机现场加工,坡口加工精度高。                   |
| 对口        | 人工对口或外对口器对口,热力管道对口精度差。            | 油气管道管径一致性高,内焊机对口精度高。               |
| 打底        | 人工氩弧打底或STT半自动打底                   | 内焊机打底或氩弧自动焊打底                      |
| 填充和盖面     | 药芯焊丝上向焊                           | 实心焊丝下向焊                            |
| 施工环境      | 沟渠施工,无法使用常规防风棚                    | 标准防风棚                              |
| 柔性导轨      | 保温层厚度大,不同厂家保温层厚度不一致。需要自适应管径的柔性导轨。 | 油气管道管径较标准,防腐层厚度一致,对柔性导轨适应管径变化要求较低。 |
| 自动焊部分性能指标 | 需要长行程摆动机构,300 mm左右。               | 摆动机构行程50~60 mm                     |

## 2 大口径长输热力管道自动焊解决方案

根据大口径长输热力管道现场工况特点,针对施工现场复杂焊接工况,借鉴油气管线铺设自动焊接技术,在继承传统热力管道人工焊接工艺的基础上提出如下方案。

(1)坡口形式为单边V形坡口,采用便携式坡口加工机或等离子切割机加工坡口。

(2)根据工艺需求,采用外对口器进行管道组对。

(3)打底焊采用手工氩弧焊或半自动STT打底方案,保证打底焊接质量。

(4)研制自适应管径的可调柔性导轨,以适应管道保温层厚度不一致导致的变径自动焊接需求。

(5)常规管道自动焊设备整装较大,且在狭窄

的坑道内作业,搬运安装不便,提出行走机构和焊枪姿态调整机构模块化设计方案,并通过现场总线方式,将设备拆分成几个模块,设计快拆结构,使用时按模块快速安装,减轻焊工劳动强度。

(6)针对地下管道铺设现场空间受限工况,沟渠上方无配套吊机,提出便携式焊接移动工作站设计方案,将控制系统、焊接电源、保护气气瓶及辅助装置高度集成到该工作站中,置于陆地,其他设备置于地下,提升焊接现场施工时的操作便携性。

(7)搭建简易防风棚,减少焊接过程中风对熔池的直接影响。

## 3 大口径热力管道全位置焊接机器人设备

针对呼和浩特热力管网铺设复杂工况,以城市供水管道自动焊接设备为基础,提出了适应于热力管道焊接的便携式模块化全位置自动焊设备。采用现场总线和网络技术进行控制系统设计,焊接程序采用计算机控制,通过安装在焊接小车上的倾角传感器测量当前焊接位置,计算机输出与当前位置匹配的焊接小车运动参数和焊接电源参数,可实现良好的焊缝成形。

### 3.1 自适应管径的柔性导轨

由于热力管道外围包裹着一层保温隔热层,导致管道的管径一致性差,所以对柔性导轨的设计要求有一定的可调整空间,以保证导轨卡紧,如图2所示。柔性导轨采用交叉圆弧齿槽和多种导向沿组合的轨道设计,保证了焊接小车/切割小车或超声等检测设备小车的传动精度和导向精度。通过固定长度拉杆和双向定位的搭扣,既保证轨道闭合的精确,又方便操作人员现场装拆。柔性轨道装置的弹



图2 大口径柔性导轨

Fig. 2 Large-caliber flexible guide rail

簧卡子能够自动适应管道的变形和少量尺寸误差,操作人员在现场可方便确定导轨安装的松紧度,实现快速且简便的安装。

### 3.2 模块化可快拆装焊接机头

模块化焊接机械本体由双电机驱动行走底盘和可摆动、高低可调的焊接机头组成。

#### (1) 双电机驱动行走底盘。

行走底盘安装在柔性导轨上,底盘上方设计有快拆机构,便于快速安装焊接机头。底盘主要由锁紧机构、行走机构和焊接机头快锁机构组成,是焊接机头的驱动机构。行走机构与导轨上的外圆柱齿轮啮合,通过双电机驱动,整个焊接机械本体在锁紧机构的配合下沿导轨行走转动,进而带动焊接机头沿管道外壁做圆周运动。该设计减少了焊工安装工序及劳动强度。行走底盘如图3所示。

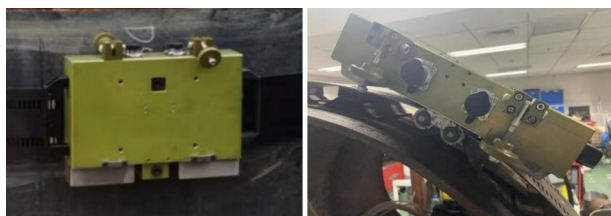


图3 行走驱动底盘实物

Fig. 3 Walking drive chassis

#### (2) 长行程焊接机头。

考虑到无保温层区间空间狭小,柔性导轨只能安装在保温层区外壁,焊接机头与焊缝的距离较大。为满足焊接需求,采用长行程横向调整机构和高低调整机构,确保焊枪可到达焊缝区进行焊接。横向调整机构的长行程工作范围为0~300 mm,高低调整机构的长行程工作范围为0~100 mm。焊接机头可快速安装在行走驱动机构上,大幅减少焊工劳动强度。焊接机头由横向摆动机构、焊枪高低调整机构、焊枪组件、电缆/保护气管路托架等部分组成,焊枪纵向调整机构、焊枪组件则延伸安装在摆动机构之上。焊枪采用专用福尼斯直柄焊枪,并配备绝缘板安装。焊接机头实物如图4所示。

在施工现场进行快速组合,减少因整机质量过大和行走锁紧频繁操作带来的安装误差,大幅减少了设备误操作带来的故障隐患,同时大幅减轻焊工劳动强度。组装的模块化产品如图5所示。该产品重心低,双电机行走驱动运行平稳,能显著提高管



图4 焊接机头

Fig. 4 Welding head



图5 组装后的工程机实物

Fig. 5 Assembled engineering machine

道施工的效率,满足大口径长输热力管道自动焊接的需求。

### 3.3 自动焊控制系统

控制系统选用了基于PC的开放式控制网络,通过PC将控制、通信和可视化等多种功能集于一体,其运算处理速度更快,资源更加丰富。基于PC的控制解决方案为工业自动化提供了一个开放式、多功能的系统集成平台和标准化运行环境,能有效提高控制的动态响应速度和精度。控制系统采用开放式控制网络结构,由主控单元、伺服驱动单元、焊接电源、手控盒系统以及电气辅助系统组成。控制系统采用抗干扰能力较强的CAN-open总线通信,可完成运动控制单元各伺服驱动器、倾角传感器以及焊接电源的CAN-open数据通信。控制网络系统结构简单,具有开放性、同步性、可重构性、实时网络性等特点。具备智能化应用的扩展功能。

采用基于现场总线和网络技术的控制系统设计,控制线缆少,可维护性和可扩展性显著提高。采用分布式可编程驱动器,实现了机械本体的分布式运动控制。通过焊接机械本体多轴运动参数与数字化焊接电源电参数的协同控制技术,根据空间

角度对诸如焊接电参数及运动参数进行分区,实现了全位置焊接过程的高精度控制。软件模块方面,系统支持升级安装,用户可根据需要选择升级程序版本,系统可选配电弧跟踪功能(高低、左右及摆动宽度),视觉跟踪(高低、左右及摆动宽度),以及焊接工艺参数自适应控制专家系统等高级功能。

### 3.4 数字化焊接电源

数字化焊接电源采用的是山东奥太 MAG-350RPL 型焊接电源。该型号全数字化焊接电源除了具备能满足打底功能要求的 STT 功能外,还提供了低飞溅、单脉冲、双脉冲、恒压等四种焊接模式的不停弧切换功能。数字化焊接电源预留 CANopen 总线接口,可通过控制系统对该焊接电源进行通信控制,总线方式的控制可控焊接参数多,焊接过程数据及时反馈,也为电弧跟踪提供了基础数据。

### 3.5 便携式移动焊接工作站

热力管道施工现场的沟渠深度和宽度都远大于陆地油气管道沟渠,且沟渠岸边辅助铺设工程车及工具车众多,渣土成堆,热力管道铺设行业也无法提供常规的管道自动焊吊车铺设。为了方便现场施工,设计了便携式移动工作站,如图6所示。便携式移动工作站集成了管道自动焊设备、系统供电、照明、保护气、施工工具箱等辅助装置。其设计旨在满足施工现场管道自动焊设备的快速移动需求。通过使用移动工作站,焊工可以在辅助操作下,使得自动焊设备在完成一道焊口的焊接后快速移动到下一工作点,提高了热力管道施工现场的施工效率,缩短施工工期。



图6 便携式焊接移动工作站

Fig. 6 Portable mobile welding workstation

### 3.6 防风棚

在热力管道施工现场,风力对焊接质量的影响不容忽视。考虑到热力管网属于长输管道,防风棚

的设计需兼顾便捷性、可拆卸性和移动性。设计的简易防风棚如图7所示。由多节钢管搭建成框架,外围铺上一层透明塑料布,在塑料布边缘位置开通风孔,方便操作工呼吸新鲜空气。在钢架和塑料布贴合处用扎带绑定,用几根绳子将塑料布捆在管道上,使之不受风雨影响。



图7 简易防风棚的搭建

Fig. 7 Construction of a simple windbreak shed

## 4 焊接工艺

### 4.1 焊接坡口形式及焊接道次

大口径供热管道的坡口形式如图8所示,坡口采用机械加工方式,坡口单边角度  $25^\circ$ ,焊缝余高  $0\sim 3\text{ mm}$ ,钝边  $1.6\pm 0.8\text{ mm}$ ,坡口组对间隙  $2.5\sim 3.5\text{ mm}$ 。针对外径 DN1600、壁厚  $20\text{ mm}$  的供热管道,加上保温层,供水管道的外径为  $1\ 870\text{ mm}$ ,回水管道外径为  $1\ 744\text{ mm}$ ,整条焊缝的焊接需要根据管径和壁厚进行焊道规划。

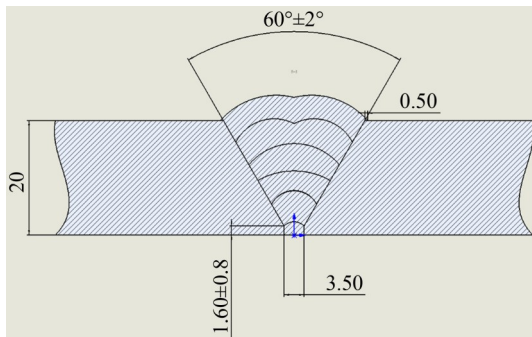


图8 坡口形式

Fig. 8 Weld formation

### 4.2 焊丝及保护气体

根据长输热力管道焊接材料特性,长输热力管道焊接可以用气体保护药芯焊丝进行上向焊。焊

丝选用金桥药芯焊丝,直径 1.2 mm,具体参数如表 2 所示。

4.3 焊接工艺规范及焊接道次规划

根据现场可允许的焊接工艺规范,打底焊有两种方式,第一种为氩弧焊接打底,打底厚度 3 mm,气保护药芯焊丝自动填充和盖面。因热力管道属于螺旋管,管道椭圆度差,坡口加工精度和组对精度无法达到油气管道氩弧自动打底的标准要求,所以热力管道打底采用人工氩弧,填充层、盖面层采用

气保护药芯自动焊的工艺方式,该工艺组合可以保证焊接效率的最大化。另一种打底方式为纤维素焊条打底,自保护药芯焊丝填充和盖面,因现场自保护药芯焊丝自动焊实施难度大,焊接效率低,还未有施工现场采用自保护药芯自动焊接工程案例。此外,根据焊接工艺规范每层填充厚度为 3~4 mm,盖面厚度为 3~4 mm。现场工艺规范要求完成人工氩弧打底,4 层填充,1 层盖面。具体的焊接工艺规程如表 3 所示。

表 2 焊丝及保护气体  
Table 2 Welding Wire and Shielding Gas

| 母材        | 管道外径   | 壁厚/mm | 填充金属                                 | 保护气体                                              | 流量/(L·min <sup>-1</sup> ) | 焊接方向 |
|-----------|--------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|------|
| Q235 钢制管道 | DN1600 | 20    | 金桥 JQ-81T1M, 焊丝 $\varnothing$ 1.2 mm | $\varphi(\text{Ar})80\%+\varphi(\text{CO}_2)20\%$ | 20                        | 上向焊  |

表 3 气保护药芯焊丝焊接工艺规范  
Table 3 Gas shielded flux-cored wire welding process specification

| 焊接道次   | 焊接电流/A  | 焊接电压/V     | 焊速/(cm·min <sup>-1</sup> ) | 送丝/(m·min <sup>-1</sup> ) | 摆频/Hz     | 摆动宽度/mm   | 焊道厚度/mm    |
|--------|---------|------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-----------|------------|
| 1-打底   | —       | —          | —                          | —                         | —         | $\geq 3$  | $\geq 3$   |
| 2-填充 1 | 200~230 | 22~23.5    | 15~16                      | 6~6.5                     | 1.92      | 5         | 3~4        |
| 3-填充 2 | 200~230 | 22~23.5    | 16~17                      | 6~6.5                     | 0.88      | 8         | 3~4        |
| 4-填充 3 | 200~230 | 23~24.5    | 16~17                      | 6.5~7                     | 0.88      | 10        | 3~4        |
| 5-填充 4 | 200~230 | 23~24.5    | 17~17.5                    | 6.5~7                     | 2.02      | 13        | 3~4        |
| 4-盖面   | 200~230 | 23~25      | 17.5~18                    | 6.5~7                     | 2.26      | 15        | 3~4        |
| 误差     |         | $\pm 10\%$ | —                          | —                         | $\pm 5\%$ | $\pm 0.5$ | $\pm 15\%$ |

5 工程应用

成功研制的大口径热力管道自动焊设备在 2 号中继泵站进行焊接工艺试验,测试了工程样机的性能,初步确定了焊接工艺规范,设备性能可满足现场应用,并进一步进行现场施工验证。自动焊设备首先在长输热力管网工程第 5 工区玉泉区运昌驾校东南处施工标段进行现场焊接,四联排管道,采用人工氩弧打底+气保护药芯填充、盖面的自动焊接,焊接设备操作方便,焊接工艺规范可行,焊接过程稳定,焊缝成形良好,焊接质量受到风的影响,增加简易防风棚可解决此问题。此后,热力管道自动焊设备又在第 5 工区玉泉区兴雅旺养殖有限公司南施工标段进行焊接,焊接过程稳定,焊接效率显著高于传统焊条电弧焊,是其焊接效率的 2 倍以上,焊缝成形美观。经过 X 射线探伤检测,检测结果均合格。现场焊接如图 9 所示,焊缝成形如图 10 所示。



图 9 现场焊接  
Fig. 9 On-site Welding



图 10 焊缝成形  
Fig. 10 Weld Formation

## 6 结论

本文针对呼和浩特市托克托电厂至呼和浩特长输供热管道铺设工程为背景,成功研制并应用了模块化大口径热力管道全位置自动焊接设备,实现了高效率、高质量的管道焊接,并取得了以下关键成果:

(1)大口径热力管道自动焊接设备的模块化设计使得设备易于组装、搬运和现场操作,显著降低了工人劳动强度,并提高了施工效率,实现连续稳定焊接,自动焊效率比手工焊高2倍以上。

(2)自动焊受人为影响小,焊缝成形好,焊接质量稳定,合格率高,减少了返修,提升整个工程的质量。

(3)管道自动焊技术可以有效缓解优秀焊工成本高、资源不足的问题,提高企业员工的利用率。

(4)管道自动焊机器人在供热管道的工程应用,为其他热力管网的自动化焊接的大规模推广提供了宝贵的应用经验。

(5)热力管道野外焊接接受风影响较大,研发能应用于工程现场的微型防风罩对提升自动焊设备的使用率有重要作用。

### 参考文献:

- [1] 徐学良,方舟,张灏,等.城市地下综合管廊钢制给水管道全位置自动焊系统的研发与应用[J].电焊机,2022,52(08):57-64.  
XU X L, FANG Z, ZHANG H, et al. Research and Application of a Full-position Automatic Welding System for Steel Water Supply Pipes in Urban Underground Comprehensive Pipe Galleries[J]. Electric Welding Machine, 2022, 52(8): 57-64
- [2] 黄丹,蒋国志,先泽均,等.山地管道全位置自动焊工

艺[J].焊接技术,2023,52(09):69-72.

HUANG D, JIANG G Z, XIAN Z J, et al. Full-position automatic welding technology for mountainous pipelines[J]. Welding Technology, 2023, 52(09): 69-72.

- [3] 蒋风松.长输管道环焊缝全位置自动外根焊工艺研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2021.

- [4] 朱洪亮,张文强,张鹏飞,等.山区长输管道自动焊施工工艺研究[J].电焊机,2023,53(12):107-112.

ZHU H L, ZHANG W Q, ZHANG P F, et al. Research on the automatic welding process of long-distance pipelines in mountainous areas [J]. Electric Welding Machine, 2023, 53(12): 107-112.

- [5] 李文.长输管道自动焊连续施工技术工艺分析[J].化工管理,2023(35):54-57.

LI W. Analysis of the technology and process of automatic welding continuous construction for long distance pipelines [J]. Chemical Engineering Management, 2023(35): 54-57.

- [6] 翁磊.长输管道全位置自动焊技术应用[J].中国高新技术企业,2011,54(04):63-64.

WENG L. Application of full-position automatic welding technology for long-distance pipelines [J]. China High-tech Enterprises, 2011, 54(04): 63-64.

- [7] 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(09):913-921.

SUI Y L, WU H. The current application and prospects of automatic welding technology for long-distance oil and gas pipelines in China [J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 2014, 33(09): 913-921.

- [8] 陈坚荣.广州市西江引水工程大直径输水钢管的吊装与焊接[J].给水排水,2010,46(05):106-109.

CHEN J R. Hoisting and Welding of Large-Diameter Water Transmission Steel Pipes in the Xijiang Water Diversion Project of Guangzhou City [J]. Water Supply and Drainage, 2010, 46(05): 106-109.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>