

文章编号: 2096-1618(2024)05-0553-07

# 厚壁管道复杂坡口自动焊接运动控制模型设计

项嘉辉<sup>1</sup>, 文浩钰<sup>2</sup>, 简雨旗<sup>1</sup>, 王冬萌<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225; 2. 西南交通大学, 四川 成都 611756)

**摘要:**针对提高厚壁管道焊接实际情况中复杂多变的复合型坡口的焊接精确性与稳定性, 完成了复杂坡口自动焊接运动控制模型的设计, 实现多轴焊接机器人更精确、稳定的自动焊接功能。模型通过坡口多层多道模型和多轴电机运动模型的整合, 实现坡口的简化、层数道数的修正及通过数据处理得出控制器脉冲值与电机实际行程的关系, 最终完成坡口的填充。且成型效果良好, 无裂纹、气孔、夹渣等焊接缺陷, 焊接质量较好, 符合工业化的要求。该模型的建立解决了焊接中由人工视觉手动矫正焊枪位置的不精确和通过电流大小判断电弧相关信息存在噪声干扰大而不稳定的问题, 为厚壁管道焊接中相对复杂的一类复合型坡口提供一套可行的理论依据, 以提供更方便、精确的自动焊接控制。

**关键词:**厚壁管道焊接; 复杂复合型坡口; 多层多道模型; 电机运动模型; 自动焊接控制

**中图分类号:** TP29

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2024.05.006

## 0 引言

厚壁管道在自来水工程、石化工业、化学工业、电力工业、农业灌溉、城市建设等领域承载着液体、气体输送的作用。一直以来, 中国的能源储备量不足以支撑国内的需求, 且俄乌冲突导致的全球能源、粮食等问题, 需构建更加稳定的能源运输链。2022年中国与卡塔尔签署了长达27年的液化天然气合作协定, 最方便、高效的运输仍是通过厚壁管道运输, 所以仍需要大量新的输送管道以及对一些老旧管道的修复工作。

随着中国工业生产模式的不断发展, 作为“工业裁缝”的焊接技术也在逐渐向柔性化、精细化、智能化方向转型<sup>[1]</sup>。厚壁管道焊接的质量更是直接决定了管道的使用寿命及运输的稳定性, 对时间跨度较长的成本起到决定性作用。

现阶段焊接前的焊枪位置大多需要依靠人工经验判断, 在焊接时需要通过视觉矫正实时手动微调以保证焊枪的位置与起弧点有合适的距离, 但精准度不高。即使焊接时通过电流的大小来判断电弧相关信息, 也会存在噪声干扰大、数据不稳定等因素影响结果的准确性。因此本文从厚壁管道复杂坡口自动焊接运动模型的研究入手, 对焊接设备的智能在线焊接提供新的模型与设计, 致力于提供更精确、更方便的自动焊接控制。

## 1 坡口多层多道模型

### 1.1 坡口形状

因土壤中存在大量微量元素, 其腐蚀性介质会对厚壁管道板材造成一定的侵蚀导致断裂等问题<sup>[2]</sup>, 因此管道多为中厚板; 为能提高对接效率, 保证管道对接质量, 在不同的环境下会采用复合坡口形式的管道进行加工, 有效解决大壁厚管现场对接施工中出现的夹渣、未焊透等缺陷。因此, 本文对如图1所示的厚板坡口类型进行研究。

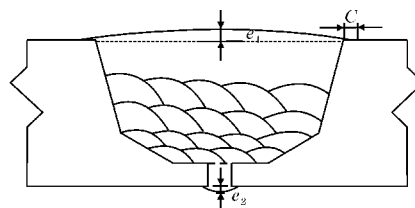


图1 复合坡口类型

图1中,  $C$  为焊缝盖面超过坡口边缘的宽度,  $e_1$  为盖面最高处与管道外壁的距离,  $e_2$  为根焊盖面最低处与管道内壁的距离。  $C$  和  $e_1$  在管道焊接中均会存在, 一般满足  $C \leq 2 \text{ mm}$ ,  $e_1 \leq 3 \text{ mm}$ , 因此在模型的建立中忽略这一部分的影响。

#### 1.1.1 焊道的简化模型

厚壁管道的自动焊接方式为在管道上设置便于自动焊接设备绕着轨道作圆周运动的轨道, 焊枪固定在设备上, 能跟随绕管道作圆周运动, 在该过程中, 可视

成焊枪的位姿是和管道的外侧保持静止状态,且与各层的平面呈垂直状态,见图2。



图2 焊枪与管道位置示意图

在管道焊接中,单个焊道的焊接多为焊枪的左右往复运动,即摆动焊接方式,可以保证每层焊接面的平直度,增加焊枪摆动,还可以增加每个焊道的宽度,有利于类似坡口这种横截面较大的坡口焊接,且在一般情况下避免焊缝成型不均匀。

焊枪摆动在一定程度上可以减少焊缝高度,提升焊缝金属的力学性能<sup>[3]</sup>,利于实现该模型中多层多道的焊接模型,电弧形成的运动轨迹见图3。每一个焊道中焊枪的站姿和起弧点位置示意图见图4。

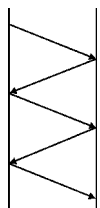


图3 电弧运动轨迹

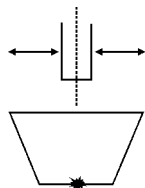


图4 焊枪站姿与起弧点

为方便计算,简化后的坡口横截面填充示意图见图5,该坡口由4部分组成,由上到下分别为盖面焊层(I层),该层上方会有少许残留的焊接余料凸起;坡口角度为 $\alpha_1$ 的填充焊上层(II层);坡口角度为 $\alpha_2$ 的填充焊下层(III层)及根焊(打底焊道)层(IV层)<sup>[4]</sup>。设管道壁厚度为 $T$ ,填充焊下层顶部至管道内壁的距离为 $H$ ,钝边为 $b$ ,根焊层高度为 $L$ ,两管道间的间隙为 $G$ 。填充焊上、下层焊道截面的初始焊道及中间焊道横截面采用平行四边形拟合,最末焊道横截面采用等腰梯形拟合;盖面焊层较这两者多了外壁的盖面部分;根焊层本身可视为一个焊道,其横截面以矩形拟合。其中,此模型各部分之间的交界处视为理想化平面,彼此互不影响。

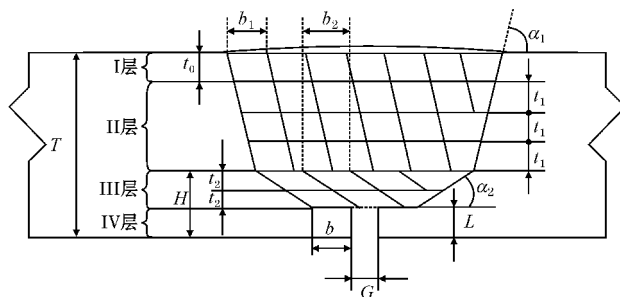


图5 坡口横截面填充示意图

坡口内的焊料填充采用等高形填充策略<sup>[5]</sup>来建立焊道的规划模型,该策略的核心思想在于填充焊上、下层中每层的高度都相等,即上层的每层焊道高度均为 $t_1$ ,下层的每层焊道高度均为 $t_2$ 。以填充焊下层为例,首先根据工程经验和项目实际环境来选择合适的单层中每个焊道的宽度 $b_2$ ,即该部分中所有平行四边形的高为 $t_2$ ,底为 $b_2$ ,设其面积为 $S_a$ ;最末焊道横截面采用梯形拟合,设其面积为 $S_b$ 。

#### 1.1.2 层数与焊道数的确定

以填充焊下层为例,要确定层数就需要通过层高来确定,而层高可由当层中平行四边形的面积和焊道宽度反推。单个焊道的横截面积由单位时间内焊丝填充量决定,送丝量越大能焊接的截面越大。因此只需确定送丝速度 $V_s(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$ 、焊接速度 $V_h(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$ 的工艺参数后,在换算合并两个单位后可由式(1)求得 $S_a$ ,并由式(2)反推求得四边形的高即为当层的层高 $t_2$ 。

$$S_a = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot V_s \cdot a}{\frac{V_h}{1000} \times 60} = \frac{5\pi d^2 V_s a}{12 V_h} \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{S_a}{b_2} \quad (2)$$

式中, $d$ 为焊丝的直径; $a$ 为熔敷系数,均根据实际情况代入即可。在确定层高后,填满填充焊下层的总层数为

$$n = \frac{H-L}{t_2} \quad (3)$$

式中, $n$ 的值一般不为整数,若只取整数部分 $n_i$ ,则此时该层并不会被完全填满;若进一位整数则会使焊丝填充超过该层,导致填充凸起,对填充焊上层的后续焊接造成影响(上层则直接体现在出现较大盖面余料)。对层高 $t_2$ 作一个修正。

$$t_{2x} = \frac{H-L}{n_i} \quad (4)$$

修正后的层高可由式(1)微调 $V_s$ 或 $V_h$ 实现修正后的参数需要。

确定层高后,设该层为第  $i$  层,其中,  $i \in [1, n_i]$ 。示意图见图 6。

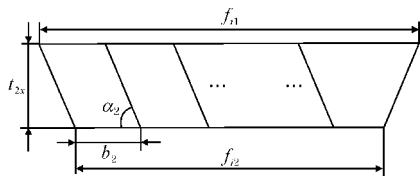


图6 第  $i$  层结构示意图

设等腰梯形的上底为  $f_{i1}$ , 下底为  $f_{i2}$ ,  $i$  层的总面积:

$$S = \frac{(f_{i1} + f_{i2}) \cdot t_{2x}}{2}$$

$$= \frac{\left\{ \left[ (G+2b) + i \cdot 2 \times \frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2} \right] + \left[ (G+2b) + (i-1) \cdot 2 \times \frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2} \right] \right\} \cdot t_{2x}}{2}$$

$$= (G+2b)t_{2x} + \frac{(2i-1)t_{2x}^2}{\tan \alpha_2} \quad (5)$$

目前已求得第  $i$  层的横截面积后,与修正后的平行四边形的面积  $S_{ax}$  的比值  $N$  即为  $i$  层中的焊道数。同理,一般情况下  $N$  也多为非整数。最末的梯形焊道宽度将由  $N$  的小数部分  $N_a$  决定,过大或过小都难以形成适当的熔宽,因此仍需要对  $N$  作修正。据文献所知,当  $N_a$  为 0.4 时可以保证成型较好的焊缝。当  $N_a \geq 0.4$  时,则第  $i$  层的平行四边形焊道数  $P$  为  $N$  的整数部分  $N_b$ ; 当  $N_a < 0.4$  时,则第  $i$  层的平行四边形焊道数  $P$  为  $N_b - 1$  [6]。

同理,填充焊上层的层数与焊道数也可按照此方法求得。需要注意的是,因为盖面焊层是坡口的最顶层,所以其层高  $t_0$  不能过小也不能过大,经试验,  $t_0$  与  $t_1$  的比例最好控制在 0.8 ~ 1.2, 可以获得较好的焊缝填充效果。因此只需在修正上层的层高时加入  $t_0$  的因子即可,焊道的计算上,两者的简化模型均拟合成相同的结构可直接套用。而跟焊层相对于其他 3 层相对独立,只有单层单道,采用的工艺也差距较大,因此无须计算层数焊道数,设置好对应工艺参数直接焊接即可。

### 1.1.3 各焊道坐标位置

在确定各层的层数和焊道数后,便需要确定焊枪头的焊接起始点。该模型是针对厚壁管道的焊接,其坡口截面绕着管道中心一周实际为一个空心的圆柱,因此对于单个焊道来说,在起始点开始焊接后作摆动运动一周后,仍能回到起始点平面位置,完成一个焊道的焊接后再移至同一层的另一个焊道中完成动作。

每个焊道的焊接起始点对于平行四边形来说是其两对角线的交点;对于梯形来说是两对角线交点所在

垂直底边的直线与平行四边形起始点与底边平行的直线的交点,见图 7。

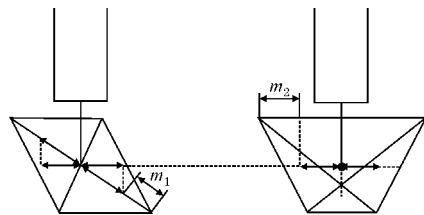


图7 两种焊道的焊接起始点

为防止摆动幅值过大导致焊枪头碰到坡口侧壁及过小造成焊接后侧壁存在未熔合的缺陷 [7], 设置与拟合焊道边缘距离的修正因子  $m_1$ 、 $m_2$ , 该值一般情况下取 2 ~ 3 mm, 但是必须满足单边摆动宽度小于焊道宽度的一半。以填充焊下层为例, 需满足:

$$\frac{\frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2} + b_2}{2} - m_1 \cdot \cos \left[ \arctan \left( \frac{t_{2x}}{\frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2} + b_2} \right) \right] < \frac{b_2}{2} \quad (6)$$

$$m_2 > \frac{\frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2}}{2} \quad (7)$$

若不满足则适当增加修正因子,防止碰壁。

以两管道内壁间隙中心(坡口下底中心)为坐标原点,坡口底边所在直线为  $y$  轴,垂直于底边的直线为  $z$  轴,建立如图 8 所示的坐标系。设电机设备绕着管道爬行的轨迹为  $x$  轴,因为  $x$  轴的数值仅受电机中爬行轴影响,相对独立,因此不单独列入坐标系中。

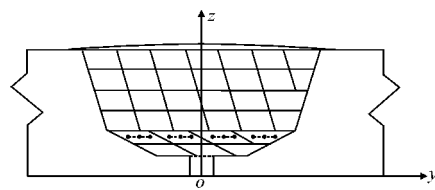


图8 坡口横截面坐标系

例如,填充焊下层中第 1 层中的第一个焊道的焊枪起始点坐标  $(y, z)$  为

$$\left( \frac{\left( -\frac{G+2b}{2} - \frac{t_{2x}}{\tan \alpha_2} \right) + \left( -\frac{G+2b}{2} + b_2 \right)}{2}, L + \frac{t_{2x}}{2} \right) \quad (8)$$

在起始点的基础上加减摆动大小即为焊枪在该焊道  $y$ 、 $z$  轴上的坐标位置。

## 1.2 五轴电机运动模型

电机驱动器在驱动电机进行一定距离的运动时是通过给脉冲值的方式,因此在固定一个脉冲当量(本系统中设为 1000)后需要知道实际的运动距离与所给

脉冲值之间的关系。虽然电机本身存在很小的运动轨迹的误差可以忽略不计,但在装上焊枪头等设备及带上焊丝等负重后,测算两者的关系将会得到更精确的结果。

### 1.2.1 电机实际行程测量

通过控制器中(Linux 的 ubuntu 版本)编写的测试程序,确定好方向、脉冲当量、加减速速度等参数后输入一定数量的脉冲值使电机往某个方向运动(图 9a),用高精度游标卡尺测量实际运动的距离值(图 9b),并将脉冲值和实际距离记录后存储到.csv 格式的表格中方便后续的数据处理。



(a) 数据采集记录软件

(b) 实际测量

图9 虚拟机测试软件及实际行程测量

### 1.2.2 行程与脉冲值的关系

在 5 个轴中,摆动轴(Axis2)、爬行轴(Axis1 和 Axis3)和送丝轴(Axis4)的电机运动行程随输入的脉冲值呈线性变化,而焊枪轴(Axis0)因装载了焊枪,是非线性变化。

Matlab 的曲线拟合工具箱可以非常方便地对曲线进行拟合,不需要太多编程且曲线拟合方法多样,效果较好,因此本系统采用该方法拟合测量后的数据。

为更直观地显示两者之间的关系,先用 Python 作数据预处理:将所有实际值均减去这些值中的最小值,即除去截距;并将两列数据转置,方便 Matlab 读取,且处理后的数据仍在一张表中,数据采集-处理流程图见图 10。

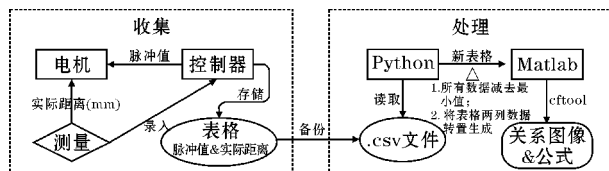


图10 数据采集-处理流程

将表格的数据导入 Matlab 后,在命令窗口输入“cftool”打开拟合工具箱,在拟合类型的选择中,5 个轴均使用多项式拟合,其中线性变化的 4 个轴使用 Degree 为 1 的一次方程,拟合结果以 Axis4 为例,见图 11。

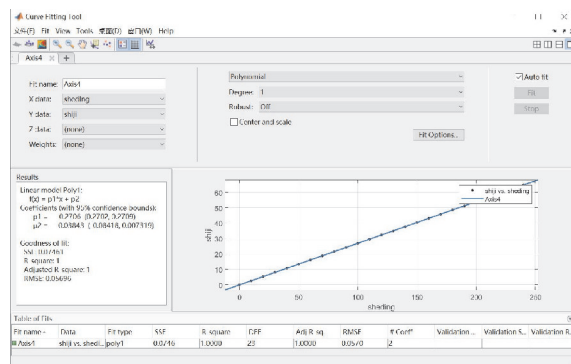
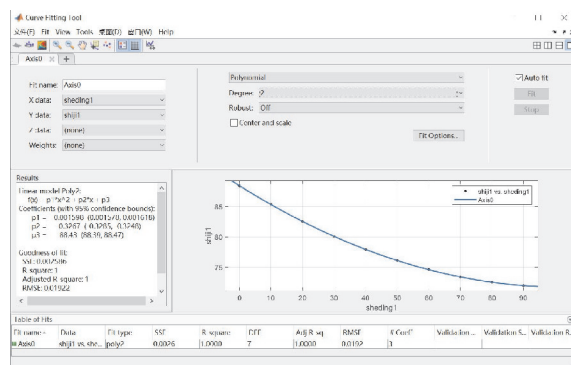
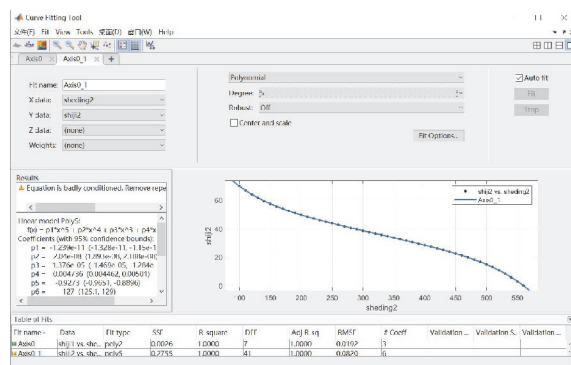


图11 送丝轴拟合结果

非线性变化的 Axis0 则使用 Degree 为  $n$  的多次方程拟合即可,但数据在拟合时无法用一个式子直接表示,因此将数据分段拟合,使两段拟合均有较好的效果。其中经各值的拟合推演,最终确定两段的  $n$  为 2 和 5。拟合结果见图 12。



(a) 第一段二次方程拟合



(b) 第二段五次方程拟合

图12 焊枪轴第一、二段拟合结果

由图 12 可知,拟合误差平方和趋近于 0,相关系数平方值趋近于 1,可见有较好的拟合效果。经 Matlab 处理后,Axis0、Axis1&3、Axis2、Axis4 的实际值  $y$  与设定值  $x$  之间的函数关系为

$$y = 0.0016x^2 - 0.3267x + 88.43 \quad (x \in (0, 90)) \quad (9)$$

$$y = -1.239e-11x^5 + 2.04e-8x^4 - 1.376e-5x^3 + 0.0047x^2 - 0.9273x + 127 \quad (x \in (100, 560)) \quad (10)$$

$$y = 0.0366x \quad (11)$$

$$y = 0.1945x \quad (12)$$



$y=0.2706x$  (13)

1.2.3 行程距离与脉冲值的换算

脉冲当量是指当控制器发出具体的定位控制脉冲后,电机驱动器产生的定位控制所移动的位移距离。其中运动轨迹是直线的,是指移动的距离;运动轨迹是圆周的,是指其转动的角度。

虽然爬行轴是在管道上环形运动,但本质仍是两个伺服直流电机驱动齿轮的直线运动,因此 5 轴均可视为直线运动轨迹,且在测试测量距离时采用寸动的方式,即每次都是固定量的脉冲值(units)输入后电机驱动器驱动电机位移多少距离(mm)。具体的脉冲值即为寸动的值与脉冲当量的乘积,除焊枪轴外,两者的换算如表 1 所示。

表 1 脉冲值与行程距离对应表

| 轴号  | 功能 | units→mm  |
|-----|----|-----------|
| 1&3 | 爬行 | 27322.4→1 |
| 2   | 摆动 | 5141.4→1  |
| 4   | 送丝 | 3695.5→1  |

两者的运行是在相同时间下进行的,因此 units/s→mm/s 的转换与 units→mm 的值是相同的。

而焊枪轴的换算若完全按照式 (10) 进行换算则过于烦琐,对它作简化处理:将第二段的五次方程拟合为 3 个一次方程的组合;第一段仍为二次方程。简化后的两者关系图见图 13。

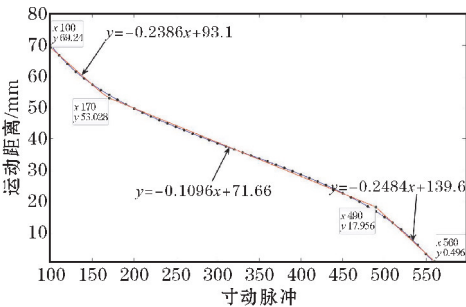


图 13 焊枪轴第二段简化处理

由图 13 可知,第二段中实际值  $y$  与设定值  $x$  在 3 个区间内的关系分别为

$y=-0.2386x+93.1, x \in (100,160)$  (14)

$y=-0.1096x+71.66, x \in (170,490)$  (15)

$y=-0.2484x+139.6, x \in (500,560)$  (16)

由公式可推知,以脉冲值划分的 4 个区间摆动轴行程距离与脉冲值的换算见表 2。

表 2 焊枪轴脉冲值与行程距离对应表

| 区间        | units→mm                                |
|-----------|---|
| (0,90)    | $0.0016x^2-0.3267x+88.43 \rightarrow x$ |
| (100,160) | 4191.1→1                                |
| (170,490) | 9124.1→1                                |
| (500,560) | 4025.8→1                                |

1.3 自动焊接运动模型

厚壁管道自动焊接的运动模型是 1.1 中的焊道简化模型与 1.2 中五轴电机运动模型的整合模型,模型建立流程图见图 14。将模型程序化后通过管道爬行机器人<sup>[8]</sup>(带导轨)的运动,最终实现管道的自动焊接工作。

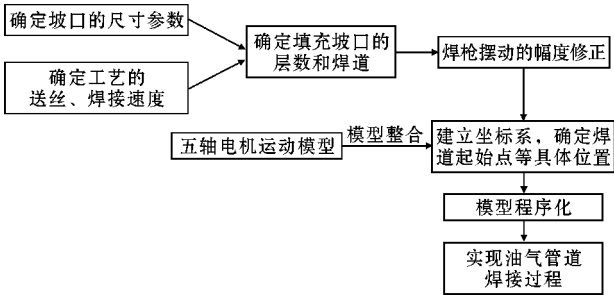


图 14 模型建立流程

2 模型的实验与验证

采用厚壁管道焊接的运动控制模型,对管道的焊接过程实现精细、稳定的自动化控制,并对该过程进行焊接实验。通过比较与传统焊接的焊接结果,验证该模型的正确性和可靠性。

2.1 验证平台及方法

焊接的验证平台主要是由上海宗镭 WSM-400Z 逆变直流脉冲氩弧焊机、深圳正运动 VPLC516E 运动控制器、雷赛 EC522-MS12B 步进电机驱动器、ISMC\_Diamond 直流电机驱动器及两段管道、焊接电机爬行轨道、保护气体罐等构成,见图 15。

在不计焊接材料和焊丝材质完整性,表面是否有锈迹等内部因素;焊接参数:焊接电流、起弧速度、送丝速度等外部因素对焊接质量的影响下,对焊接的质量进行观测。



图 15 焊接实验平台

2.2 焊接实验结果

焊接过程中,使用厚壁管道焊接的运动控制模型

程序化后完成一体化操作,焊接完成后焊缝表面无缺陷,坡口成型效果见图 16。



图 16 坡口成型效果

焊缝表面略高于管道表面,且盖面略盖过坡口边缘,管道也没有变形、翘曲,符合工业化的标准,属于良好的成型外观。焊缝的外观质量分级检测结果见表 3。

表 3 焊缝外观质量分级检测结果

| 缺陷名称 | 质量分级 |    |     |
|------|------|----|-----|
|      | I    | II | III |
| 总体外观 | 0    |    |     |
| 表面裂纹 | 0    |    |     |
| 表面气孔 | 0    |    |     |
| 表面夹渣 | 0    |    |     |
| 咬边   | 0    |    |     |
| 焊道塌陷 | 0    |    |     |
| 对接余高 | 0    |    |     |
| 根部收缩 | 0    |    |     |

在焊制过程中,可能存在焊接工艺与设备条件的偏差、残余应力状态变化以及结构材料与尺寸的差异等,导致焊缝中产生热裂纹等内部缺陷。厚壁管道因为用途的特殊性,在服役过程中,焊接件需经受高压或兼有介质腐蚀的环境,也需对焊缝的内部焊接质量进行检测<sup>[9]</sup>。使用无损检测中的 RT 射线检测技术,通过检测透射射线的强度,判断焊缝内部的缺陷和焊接质量,从而完成对被检测对象的检验<sup>[10]</sup>,RT 射线检测图像见图 17。

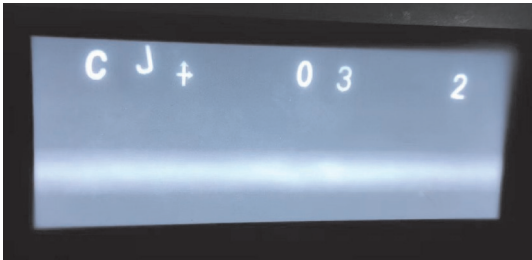


图 17 RT 射线检测图像

经检测后,该焊缝的内部质量分级检测结果见表 4。

表 4 焊缝内部质量分级检测结果

| 缺陷名称 | 质量分级 |    |     |
|------|------|----|-----|
|      | I    | II | III |
| 热裂纹  | 0    |    |     |
| 未融合  | 0    |    |     |
| 未焊透  | 0    |    |     |
| 条形缺陷 | 0    |    |     |
| 图形缺陷 | 0    |    |     |

无论是坡口成型还是在焊缝外观及内部的质量检测中,厚壁管道焊接的运动控制模型均有良好的稳定性,能满足工业要求。

3 结 论

(1)在复杂坡口的简化模型中以等高型填充策略为基础,将复杂坡口分成 4 层,每层除跟焊层外通过送丝、焊接速度等既定参数确定对应层高与层数,并作合理化修正,建立坡口的多层多焊道简化模型。

(2)五轴电机运动模型解决了电机本身或在载重后可能出现的运动轨迹与理论不同的情况,将控制器端输入的脉冲值与电机实际位移值建立关系,并对复杂方程作简化拟合处理,通过 Matlab、Python 作数据处理后建立各轴电机的运动模型。

(3)厚壁管道的自动焊接运动模型由上述两种模型整合而成,在实验验证后的实际焊接效果中有良好的坡口焊缝成型效果且焊缝外观及内部的质量均符合一级品的标准,完全符合工业化标准。

(4)解决了焊接中由人工视觉手动矫正焊枪位置的不精确和通过电流大小判断电弧相关信息存在噪声干扰大而不稳定的问题,为厚壁管道焊接中相对复杂的一类复合型坡口提供一套可行的理论依据,并提供更精确、更方便的自动焊接控制。

参考文献:

[1] 董航. 基于焊工智能的机器人焊接轨迹规划及动态熔池监控方法[D]. 大连:大连理工大学,2019.

[2] 李云龙. 某油田井口输油管线焊缝腐蚀失效分析[J]. 中国石油和化工标准与质量,2022,42(15):36-38.

[3] Zhu Wenliang, Ni Fusheng, Hong Caogen. An Algorithm for the Welding Torch Weaving Control of Arc Welding Robot [J]. Journal, 2015, 21(2):3-9.

[4] 胡啸, 崔川, 陈玮, 等. 厚板大坡口多层多道焊接轨迹规划算法[J]. 焊接技术, 2022, 51(15):102-106.

- [5] Hiramotos, Moriyasum, Ohminem. Development of a multipass welding program for arc welding robots and its application to heavy electrical components [J]. Welding International, 1992, 6(1): 26–31.
- [6] 温永策, 卢庆亮, 曹永华, 等. 厚板 V 形坡口焊接路径规划 [J]. 矿山机械, 2020, 48(3): 61–65.
- [7] 张彩霞. 中部槽双面双弧打底焊工艺研究 [J]. 电焊机, 2020, 50(4): 137–131+142.
- [8] 冯消冰, 王建军, 王永科, 等. 面向大型结构件爬行机器人智能焊接技术 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 63(10): 1608–1625.
- [9] 赵瑞云, 于真真. 压力管道焊接缺陷成因及对策 [J]. 化工管理, 2022, 32: 140–143.
- [10] 陈霄. 无损检测技术在金属部件焊接中的应用研究 [J]. 技术与创新, 2023, 214(1): 132–134.

## Design of Automatic Welding Motion Control Model for Complex Groove of Thick Wall Pipeline

XIANG Jiahui<sup>1</sup>, WEN Haoyu<sup>2</sup>, JIAN Yuqi<sup>1</sup>, WANG Dongmeng<sup>1</sup>

(1. College of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** To improve the welding accuracy and stability of complex and changeable compound grooves in the welding actual situation of a thick wall pipeline, the design of the complex groove automatic welding motion control model was completed, and the more accurate and stable automatic welding function of multi-axis welding robot was realized. Through the integration of the groove multi-layer and multi-channel model and the multi-axis motor motion model, the model realizes the simplification of the groove, the correction of the number of layers, and the relationship between the controller pulse value and the actual stroke of the motor through data processing. Finally, complete the groove filling, and the forming effect is good, with no cracks, pores, slag and other welding defects, the welding quality is good too, in line with the requirements of industrialization. The establishment of this model solves the problems of inaccurate correction of welding gun position by manual vision and unsteady judgment of arc information by current data because of high noise interference in welding. It will provide a set of feasible theoretical bases for a kind of complex compound groove in the welding of thick wall pipelines, and provide more convenient and accurate automatic welding control.

**Keywords:** thick wall pipeline welding; complex compound groove; multilayer multichannel model; motor motion model; automatic welding control