

基于激光结构光的管道激光/电弧复合焊焊道跟踪与能量控制系统

北华航天工业学院 电子与控制工程学院(廊坊市 065000)
 中国石油天然气管道科学研究院(廊坊市 065000)

檀朝彬
 曾惠林
 皮亚东 王新升

摘要 利用 650 nm 激光结构光发射器与 CMOS 光电传感器结合获取焊道图像信息,应用数字图像处理技术提取纵向偏差、横向偏差、错边量 and 对口间隙信息,激光结构光焊道跟踪系统根据纵向偏差、横向偏差实时调整焊炬位置,保证激光焊点准确对中。能量控制系统依据错边量 and 对口间隙信息实时调节激光输出功率,提高了管道激光/电弧复合焊对错边量 and 对口间隙的适应范围,为其工程应用打下了技术基础。

关键词: 焊道跟踪 激光-电弧复合焊 油气管道
中图分类号: TG456.7

0 前言

油气管道建设的关键是焊接质量和焊接速度。激光/电弧复合焊用于管道焊接具有焊接速度快、焊接质量高的优点,是油气管道施工研究的热点。采用 1 070 nm 波长的红外激光与弧焊组成复合焊接系统,选用不同芯径光纤其激光聚焦光斑直径为 0.2 ~ 0.4 mm,其焊接速度可达 1 200 ~ 1 600 mm/min。在焊接过程中需要对焊炬进行精确的纵向和横向偏差控制,及依据错边量、对口间隙信息实时调整激光输出功率,以获得较好焊缝内外成形和焊接质量。

1 设计原理

油气管道激光/电弧复合焊采用半面下向焊工艺,焊接方式如图 1 所示。试验工件采用“U”形对称坡口,钝边厚度 6 mm,坡口夹角 5°,理论对口间隙为 0。焊接时采用激光在前电弧在后无摆动焊接模式,采用激光结构光焊道完成跟踪。

激光结构光焊道跟踪系统原理如图 2 所示。选用 650 nm “一”字 LED 激光结构光产生“一”字光束,经光学系统聚焦成像于焊道表面。“一”字光束投射到“U”型坡口上,投射光束携带了焊道的横向/纵

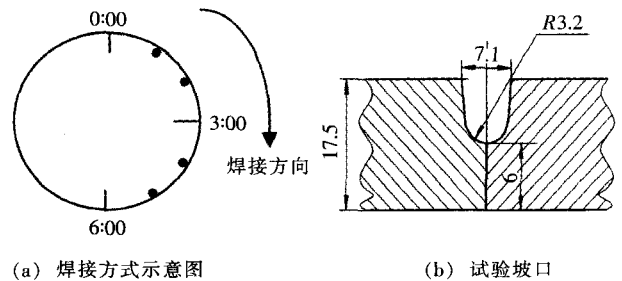


图 1 全位置管道激光/电弧复合焊焊接方式示意图

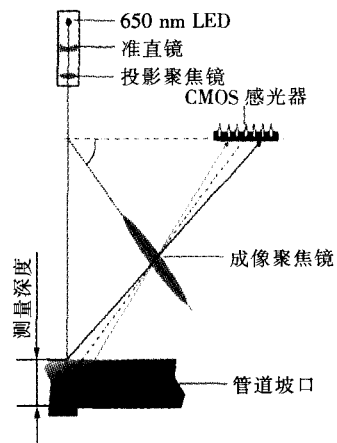


图 2 激光跟踪传感器原理图

向偏差及对口间隙、错边量信息。投射光束经 650 nm 带通滤光片滤除干扰光后成像于 CMOS 感光器上,获得数字图像。

跟踪传感器摄取的焊道数字图像首先传给图形处理计算机,经图像处理与解析计算得到焊道的横向/纵向偏差和对接间隙及错边量信息,并将这些参量转换为 $\pm 10\text{ V}$ (对应偏差量为 $\pm 10\text{ mm}$)的电压信号,传给管

道激光/电弧复合焊焊道跟踪与能量控制系统,跟踪系统根据横向/纵向偏差量控制三维运动电机实时调整焊炬,在焊接过程中保证对中误差小于设定值,实现精准对中,传感器参数见表1。

表1 激光跟踪传感器参数表

测量线	工作距离 d/mm	测量范围 $W \times H/\text{mm}^2$	分辨率 $/\text{mm}$	测量频率 f/Hz	尺寸 $/\text{mm}^3$
3	150 ± 40	40×80	0.08×0.12	$60 \sim 240$	$70 \times 40 \times 100$

能量控制系统依据对接间隙、错边量的不同依据激光能量空置函数得到激光输出功率量值,并将其传给激光器,实时控制激光输出功率,保证激光输出功率与对接间隙、错边量及焊接位置的匹配。焊道跟踪与能量控制系统原理图如图3所示。

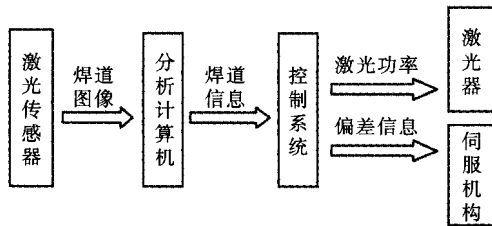


图3 焊道跟踪与能量控制系统原理图

原始焊道信息图像维度较粗,利用图像细化技术消除焊接过程中弧光、焊渣飞溅、烟尘等造成的干扰,进一步降低噪声,提高焊道信息识别精度。

2.4 焊道拟合

利用最小二乘法对细化后的焊道图像进行斜率确定、交点计算、函数构造,拟合得到焊道图像(图4)。

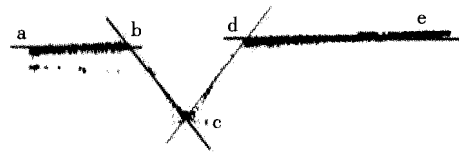


图4 焊道拟合原理图

2 图像处理

对焊道投射光束数字图像,首先利用数字图像处理技术对其进行处理,把包含在其中的焊道参数信息提取出来。具体步骤包括图像二值化、边缘检测、图像细化,焊道拟和、焊道特征参数提取^[1]。

2.1 图像二值化

CMOS 成像得到的焊道图像是由三原色 RGB 像素组合而成的彩色图像,为便于分析处理,需要设定一个灰度阈值,如果图像中的像素值小于该阈值,则该像素的灰度为0,否则为255^[2]。将焊道变成黑白两色的图像,这就是焊道图像的二值化。

$$B(x, y) = f[A(x, y)]$$

其中: $A(x, y)$ 为 (x, y) 处的点; f 为转化函数; $B(x, y)$ 为输出后 (x, y) 处的点。

2.2 边缘检测

二值化后的焊道图像需要进行降噪、增强、平滑等图像处理,采用中值滤波技术对焊道图像进行边缘检测,确定焊道图像在图片中的相对位置,为焊道偏差判别提供基准。

2.3 图像细化

2.5 焊道特征参数提取

利用二值累加法确定焊道各特征点在图像中的坐标值。以此计算得到焊炬对中的横向/纵向偏差、对接间隙、错边量的像素点值^[3-4]。根据确定的图像像素点对应的空间维度比例系数,可以确定焊道跟踪信息偏差量,并将 $\pm 10\text{ mm}$ 的跟踪信息偏差量转化为对应 $\pm 10\text{ V}$ 的电压伏值,输出给管道激光/电弧复合焊焊道跟踪与能量控制系统,作为跟踪控制的基准。

3 激光功率控制函数

在激光/电弧复合焊焊接过程中,激光输出功率与焊道的错边量 and 对接间隙大小有关。

3.1 错边量

激光/电弧复合焊具有大熔深的特点,可以适应较大的错边量,但对口产生错边量时,相当于焊层厚度增加,需要依据错边量增加焊接激光功率来保证焊接质量。

设 P_0 为基础功率(kW); C 为错边量(mm)。试验得到激光输出功率经验公式为:

$$P = P_0 \times \left(1 + \frac{1}{2}C\right) \quad (1)$$

3.2 对口间隙

激光/电弧复合焊焊接激光的聚焦光斑直径为 0.2 ~ 0.4 mm, 钝边较小时, 其适应的对口间隙为 0 ~ 0.4 mm, 而对于较厚钝边, 由于激光束离焦的存在, 可以适应 0 ~ 1.0 mm 的对口间隙。对口间隙使得焊接激光更容易透焊工件, 此时应该减小焊接激光功率, 防止激光透射能量过大, 造成焊缝背部超高, 影响焊接质量。因此, 需对应 0 ~ 1.0 mm 的对口间隙, 应减小激光输出功率。

设 P_0 为基础功率(kW); G 为对口间隙(mm)。

通过试验得到经验公式:

$$P = P_0 \times \left(1 - \frac{1}{2}G\right) \quad (2)$$

3.3 激光功率控制函数

考虑错边量和对口间隙对焊接激光的影响为线性关系, 得到激光功率控制函数:

$$P = P_0 \times \left(1 + \frac{1}{2}C - \frac{1}{2}G\right) \quad (3)$$

4 系统开发

激光焊道跟踪传感器采用三条激光条纹并联采集设计, 增强系统抗干扰能力, 提高系统稳定性, 如图 5 所示。

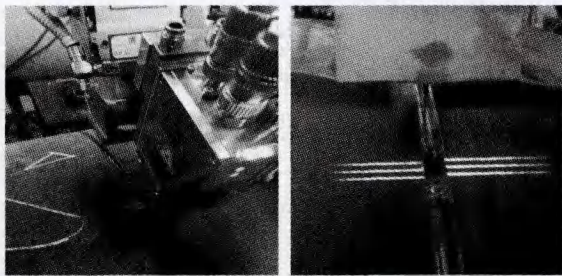


图 5 激光焊道跟踪传感器

开发了焊道跟踪控制系统。在算法设计中利用冗余技术, 实现三选二条件判别跟踪偏差, 有效消除了焊渣飞溅等突发干扰, 提高了跟踪的精度和稳定性, 如图 6 所示。激光跟踪系统技术参数见表 2。

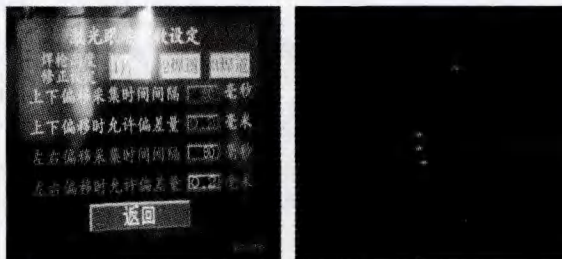


图 6 激光焊道跟踪系统控制软件

表 2 激光跟踪系统性能指标

横向偏差 跟踪精度/mm	纵向偏差 跟踪精度/mm	跟踪系统 反应时间/ms
0.15	0.30	100

5 焊接试验与效果

5.1 焊接试验

2014 年 4 月, 利用基于激光结构光的管道激光/电弧复合焊焊道跟踪与能量控制系统进行了 X70 - $\phi 1016$ mm \times 17.5 mm 管线钢管焊接试验, 试验过程如图 7 所示。

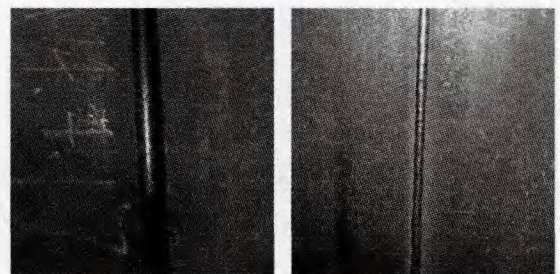


(a) 焊缝外部焊接情况 (b) 焊缝内部焊接情况

图 7 焊接试验

5.2 焊接效果

6 mm 钝边坡口焊接效果理想, 内外成形俱佳, 如图 8 所示。



(a) 焊缝外部成形 (b) 焊缝内部成形

图 8 钝边厚度 6 mm 坡口焊接效果

2014 年 5 月, 委托中国石油天然气管道科学研究院材料检测中心对焊缝不同位置的试件进行了力学性能检测。检测显示焊缝力学性能指标检测结构优良。

焊缝横断面金相图显示焊缝热影响区对称性良好, 证明跟踪系统对中准确, 如图 9 所示。

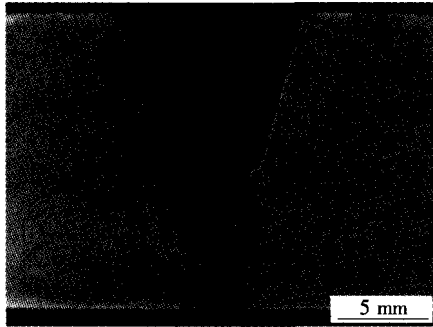


图9 焊缝横断面金相试件

6 结束语

以 650 nm 激光结构光和 CMOS 光电传感器为硬件基础,利用数字图像处理技术开发的管道激光/电弧复合焊焊道跟踪与能量控制系统,能够实现管道激光/电弧复合焊焊道精确跟踪与复合焊炬实时控制,保证焊接过程中复合焊炬与焊道中心偏差小于设定要求。

通过检测错边量和对口间隙信息,应用激光功率控制函数,控制系统实时调节焊接激光输出功率,提高了管道激光/电弧复合焊对管道焊口错边量和对口间隙的适应范围,保证了焊接质量,为激光/电弧复合焊技术推广应用打下了技术基础。

参 考 文 献

- [1] 毛志伟,李志增,石志新. 双线结构光焊缝跟踪传感器的焊枪高度识别[J]. 传感器与微系统,2013(1):29-32.
- [2] 廖高华,甘志梅,吴园. 管道焊缝检测视觉图像处理的研究[J]. 焊接技术,2011(6):33-36.
- [3] 丛焕武,郭福娟,吕飞. 基于 CCD 图像处理的焊缝识别技术研究[J]. 电子测量技术,2012(3):73-77.
- [4] 陆怡. 图像边缘检测算法的研究和仿真[J]. 计算机仿真,2012(9):289-292.

作者简介: 檀朝彬, 1977 年出生, 博士, 副教授。主要从事石油天然气长输管道施工技术及装备研究。

焊 接 专 利

专利名称:T型管堆焊焊接技术
 专利申请号:CN201310458459.1
 公开号:CN103480943A
 申请日:2013.10.02
 公开日:2014.01.01
 申请人:黑龙江宏宇电站设备有限公司

T型管堆焊焊接技术。目前,在国内散热器T型管相贯线的焊接工艺上,多采用人工焊接方式,人工焊接存在焊接质量不稳定、生产效率低等缺点。本发明包括:上位机,上位机通过以太网接口连接下位机,下位机包括6K4多轴运动控制器和MCS51单片机;6K4多轴运动控制器通过电机驱动接口连接两套步进电机驱动装置和一组交流伺服驱动装置,6K4多轴运动控制器通过4路通用数字量输出接口、8路通用数字量输入接口连接光纤传感器,6K4多轴运动控制器还具有各轴原点及限位开关输入接口和程序存储器,6K4多轴运动控制器还连接2台MIG数字焊接电源。本发明用于T型

管堆焊接。

专利名称:一种双电压焊机的电路结构
 专利申请号:CN201310437054.X
 公开号:CN103480946A
 申请日:2013.09.24
 公开日:2014.01.01
 申请人:永康市帝普特科技有限公司

本发明公开了一种双电压焊机的电路结构,包括电源输入端、电源输出端、整流滤波电路、取样电路、逆变电路、控制电压切换电路、光耦、继电器,所述的电源输入端通过整流滤波电路、取样电路与逆变电路连接,所述的逆变电路与电源输出端连接,还包括切换复位电路、控制模块、驱动模块,所述的控制电压切换电路与切换复位电路连接,所述的切换复位电路通过控制模块与驱动模块连接,所述的驱动模块的输出端与逆变电路连接。该双电压焊机的电路结构能够实现焊机在切换电压过程中无电压和电流通过继电器,避免了切换过程中因通过电流过大而造成一些故障和问题。