

## 手工电弧焊焊接线能量远程智能监测技术研究

李滢博<sup>1</sup> 吉章红<sup>1</sup> 田亚团<sup>1</sup> 向安<sup>2</sup> 来园凯<sup>2\*</sup>

1. 中石化工程质量监测有限公司, 北京 102500

2. 天津舜捷安科技有限公司, 天津 300111

**[摘要]**文章主要介绍了手工电弧焊“焊接线能量远程智能监测”技术研究情况。通过设置每一台手工焊电焊机对应的本地监测主机盒，用来收集电焊机对应的焊接线能量数据，并由监测主机内置的4G传输模块发送到远程服务器中。多个不同位置或地区的手工焊的本地监测主机，与远程服务器进行匹配和传输。远程服务器中预设好焊接线能量阈值范围，当某个手工电焊机反馈过来的焊接线能量不在合理阈值内，则远程服务器进行报警，并传远程给对应的本地监测主机中，利用声光对现场人员进行提醒。经实验验证，该方法可以有效提高手工焊的焊接质量，并通过大数据分析，可以对诸多省区及不同位置的焊接行为进行汇总和研判。

**[关键词]**焊接速度；焊接线能量；远程智能监测；手工电弧焊

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18291

中图分类号: TG456.7

文献标识码: A

## Research on Remote Intelligent Monitoring Technology for Welding Wire Energy in Manual Arc Welding

LI Yingbo<sup>1</sup>, JI Zhanghong<sup>1</sup>, TIAN Yatuan<sup>1</sup>, XIANG An<sup>2</sup>, LAI Yuankai<sup>2\*</sup>

1. Sinopec Engineering Quality Monitoring Co., Ltd., Beijing, 102500, China

2. Tianjin Shunjiean Technology Co., Ltd., Tianjin, 300111, China

**Abstract:** The article mainly introduces the research status of "remote intelligent monitoring of welding line energy" technology for manual arc welding. By setting up a local monitoring host box for each manual welding machine, energy data of the welding line corresponding to the welding machine can be collected and sent to a remote server through the built-in 4G transmission module of the monitoring host. Local monitoring hosts for manual welding in multiple different locations or regions, matched and transmitted with remote servers. The energy threshold range of the welding line is pre-set in the remote server. When the welding line energy feedback from a manual welding machine is not within the reasonable threshold, the remote server will sound an alarm and transmit it to the corresponding local monitoring host remotely, using sound and light to remind on-site personnel. Through experimental verification, this method can effectively improve the welding quality of manual welding, and through big data analysis, it can summarize and judge the welding behavior of many provinces and different locations.

**Keywords:** welding speed; welding line energy; remote intelligent monitoring; manual arc welding

### 引言

在石油、石化以及一些特殊化工行业中，某些特殊或关键部位部件必须使用手工电弧焊。焊接线能量，是影响手工电弧焊焊接接头性能的重要因素。由焊接线能量公式  $Q=UI/v$  可知，焊接线能量与电弧电压、焊接电流以及焊接速度有关。焊接电流和电压比较容易获得，而焊接速度通常采用人工测量来估算焊接速度，该方法测量误差大、实时性差、费时、费力。因此，实现焊接速度的在线智能监测，非常利于焊接操作人员设置调整合适的焊接参数

(主要是电弧焊接速度的科学有效控制)，提高焊接质量。

随着信息技术发展，各种新型通信手段不断涌出。在焊接参数远程智能监测领域，可供选择的通信方式也越来越多。可以在电焊机对应的本地监测主机中部内嵌4G/5G模块，利用SIM卡，把焊接线能量等多个监测数据的在线远程传输到服务器中。服务器数据库对上述监测数据进行存储和分析，对异常数据进行实时报警(预设好焊接线能量的阈值范围)，远程提醒相对应电焊机旁特定IP地址的监测主机，本地监测主机上予以声光报警提醒手工焊接

的工作人员。当然，本地监测主机也可以线下进行监测和预警。

## 1 远程智能监测系统的组成

每一台重点目标电焊机，必须对应一个固定 IP 地址的本地监测主机盒。本地监测主机盒将所收集的焊接目标参数数据（GPS 地址数据、开关机信号、焊接电流数据、焊接电压数据、焊接速度数据、汇总计算的焊接线能量数据），通过本地监测主机盒内部的 4G/5G 模块，实时传输到远端的服务器（云服务器或业主指定服务器）中，服务器具有数据存储、分析、预警等功能。

手工电弧焊焊接参数远程监测系统（服务器软件已经布置好）的主要功能模块包括：基础信息管理系统、焊接信息存储与实时分析系统、焊接参数统计及分析系统、异常信号报警及反馈系统等。该系统可以对接收到的焊接信号进行实时分析，对所有采集到的焊接信号进行存储、统计分析及展示，对异常信号进行报警并反馈给现场技术人员（在系统主机盒中通过声光提醒），对焊机及操作人员的基础信息进行管理等。手工电弧焊焊接参数远程监测系统框架示意图详见图 1 所示。

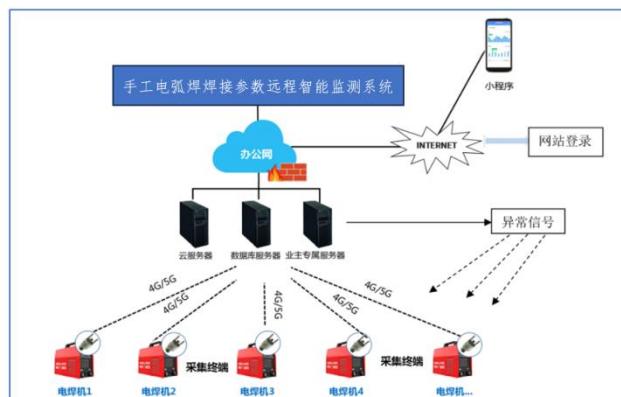


图 1 手工电弧焊焊接参数远程智能监测系统框架示意图

### 1.1 焊接电流和焊接电压的监测

手工电弧焊的焊接电流、焊接电压监测，使用市面上非常成熟的电压霍尔传感器。本项目使用卡环式闭环霍尔传感器。该传感器的 485 信号，通过线缆传输给监测主机。

需要特殊说明的是：焊接电压的动态监测，需要在焊把和工件之间测量动态电压值，因此传感器会随着焊把不断移动，可能对焊接工作造成严重干扰。这种动态取值在实施过程给焊接操作者造成不便，因此采用另外一种间接计算焊接电压的方式。即：使用测量到的焊接电流  $I$ ，来间接计算焊接电压  $V$  ( $V=20+0.04I$ )。这种方式对于高空、特殊位置等手工焊的在线监测也可以较大程度的适应。

## 1.2 焊接速度的监测

和焊接电流、焊接电压监测相比较，手工电弧焊焊接速度监测则较为困难。对于全自动焊接来讲，焊接速度通过编码器可以测得，而对于传统的手工焊接，并没有专门的、非常灵敏、有效的传感器直接检测其焊接速度。本文使用一种光电管测量技术（广义上是一种光栅传感器），来进行焊接速度的实时动态监测。传感器铺设吸附在焊道旁，电弧光经过等距离的光电管时，系统会自动测量出焊接速度。

如图 2 所示，手工焊接过程中当电弧移动到  $AA'$  位置时，1 号光电管接收弧光并导通，输出脉冲；当电弧位于  $A'B$  位置时，弧光受到遮光管的阻挡不会触发任何一个光电器件；当电弧位于  $BB'$  位置时，2 号光电管接收弧光并导通输出脉冲。随着焊枪的移动，遮光管内的光电器件依次被触发，产生一系列脉冲信号，通过后续处理电路的调理整形后得到一组规则的矩形波，将这一规则的矩形波输入单片机计算，得出实时焊接速度。图 3 为焊接速度传感器结构示意图。

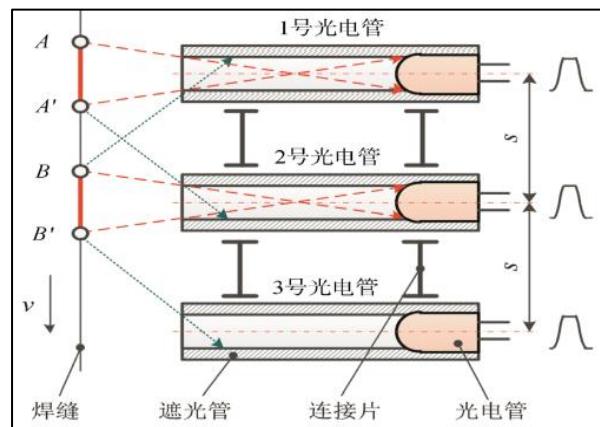


图 2 手工电弧焊焊接速度传感器原理图

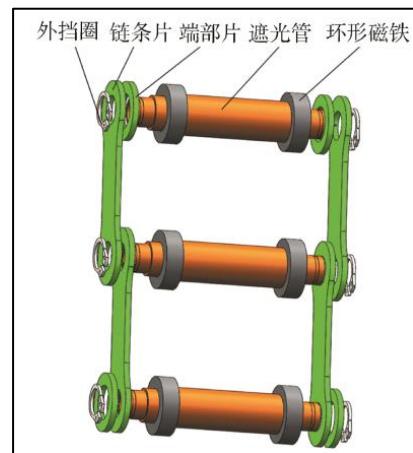


图 3 焊接速度传感器结构示意图

随着弧光的移动,弧光捕捉机构输出一组缓升缓降的波形,这样的波形不利于单片机进行处理,需设计整形电路将缓升缓降的波形调理成陡升陡降的脉冲波形,单片机通过捕获输入信号上升沿进行定时,经电路处理后的波形变化则容易进行处理和分析。

### 1.3 本地监测主机

每个要进行监测的目标电焊机,均要配置一个单独IP地址的本地监测主机,各传感器得到的监测参数,通过线缆传输到本地监测主机内。

本地监测主机通过内部功能模块,汇总所有收集到的手工电弧焊的监测参数,包括:GPS位置地址、开关机信号、焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接线能量(综合计算量)这五个关键数据,通过4G/5G无线方式,传输到远端中心服务器中。本地监测主机的功能结构图如图4所示。

### 1.4 系统服务器

手工电弧焊焊接参数远程监测系统(服务器软件布置)

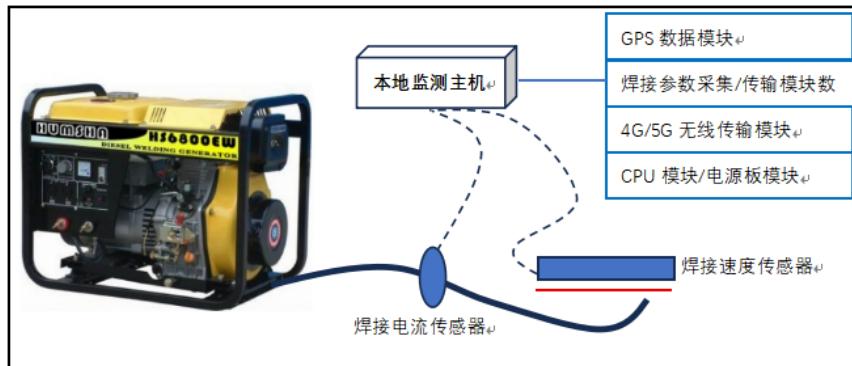


图4 本地监测主机功能结构示意图

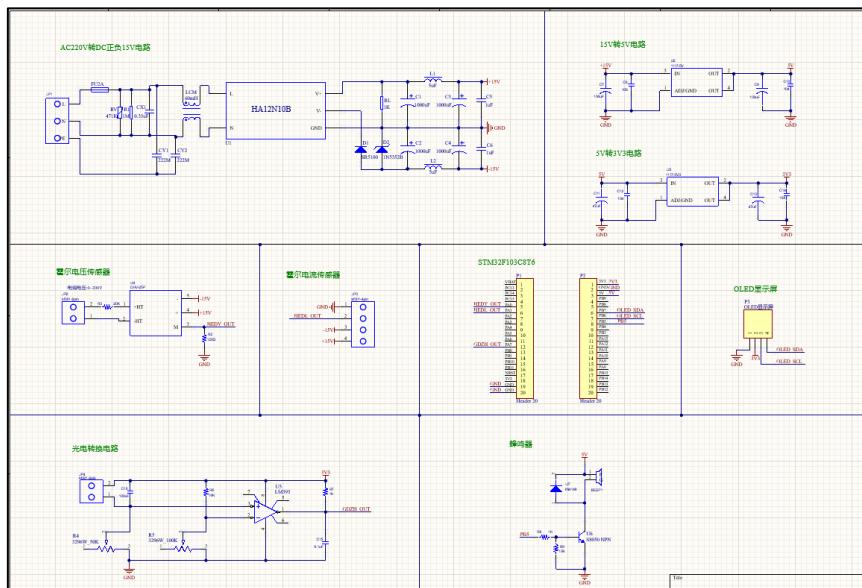


图5 本地监测主机电路设计图

的主要功能模块包括:基础信息管理系统、焊接信息存储与实时分析系统、焊接参数统计及分析系统、异常信号报警及反馈系统等。服务器系统可以对接收到的焊接信号进行实时分析,对所有采集到的焊接信号进行存储、统计分析及展示,对异常信号进行报警并反馈给现场技术人员(通过声光在系统主机中提醒),对焊机及操作人员的基础信息进行管理等。

### 2 本地监测主机的硬件和软件设计

针对焊机速度传感器、焊接电压传感器和焊接电路传感器(焊接速度V、焊接电压U、焊接电流I)进行电路设计,具体电路示意图和PCB板电路设计图见图5和图6所示。

使用MySQL数据库工具,对下位机(本地监测主机)上传监测数据进行存储,并测试了两个时间段、两台机器的模拟数据。模拟数据见图7所示,网站登录后显示界面见图8所示。

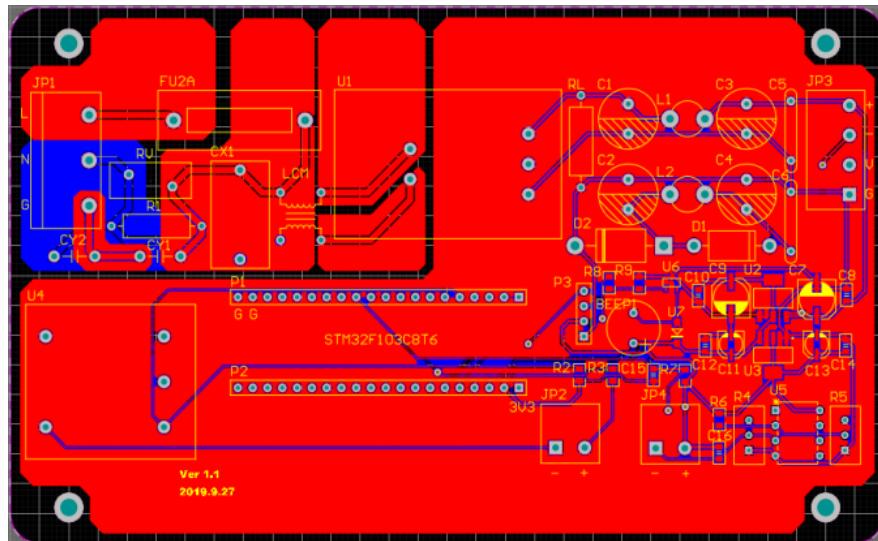


图 6 本地监测主机 PCB 板电路设计图

Real-time Energy Consumption Data (2024-02-17)									
ID	Time	Electrical Parameters		Performance Metrics		System Status		Log Details	
		Current (A)	Voltage (V)	Speed (RPM)	Energy (Wh)	GPS	IP	Signature	
1	2024-02-17 09:00:00	342	64	63	14	GPS1	IP1		0
2	2024-02-17 09:00:01	486	56	69	15	GPS1	IP1		0
3	2024-02-17 09:00:02	314	89	16	28	GPS1	IP1		0
4	2024-02-17 09:00:03	479	9	50	1	GPS1	IP1		0
5	2024-02-17 09:00:04	92	68	71	20	GPS1	IP1		0
6	2024-02-17 09:00:05	81	24	80	22	GPS1	IP1		0
7	2024-02-17 09:00:06	23	12	99	12	GPS1	IP1		0
8	2024-02-17 09:00:07	213	44	88	22	GPS1	IP1		0
9	2024-02-17 09:00:08	34	85	40	1	GPS1	IP1		0
10	2024-02-17 09:00:09	328	68	35	12	GPS1	IP1		0
11	2024-02-17 09:00:10	177	55	50	12	GPS1	IP1		0
12	2024-02-17 09:00:11	292	4	49	12	GPS1	IP1		0
13	2024-02-17 09:00:12	392	56	42	22	GPS1	IP1		0
14	2024-02-17 09:00:13	257	52	10	7	GPS1	IP1		0
15	2024-02-17 09:00:14	141	9	93	9	GPS1	IP1		0
16	2024-02-17 09:00:15	282	37	64	28	GPS1	IP1		0
17	2024-02-17 09:00:16	285	89	10	16	GPS1	IP1		0
18	2024-02-17 09:00:17	167	78	45	2	GPS1	IP1		0
19	2024-02-17 09:00:18	428	15	99	16	GPS1	IP1		0
20	2024-02-17 09:00:19	167	46	93	19	GPS1	IP1		0
21	2024-02-17 09:00:20	100	97	32	1	GPS1	IP1		0

图 7 模拟数据

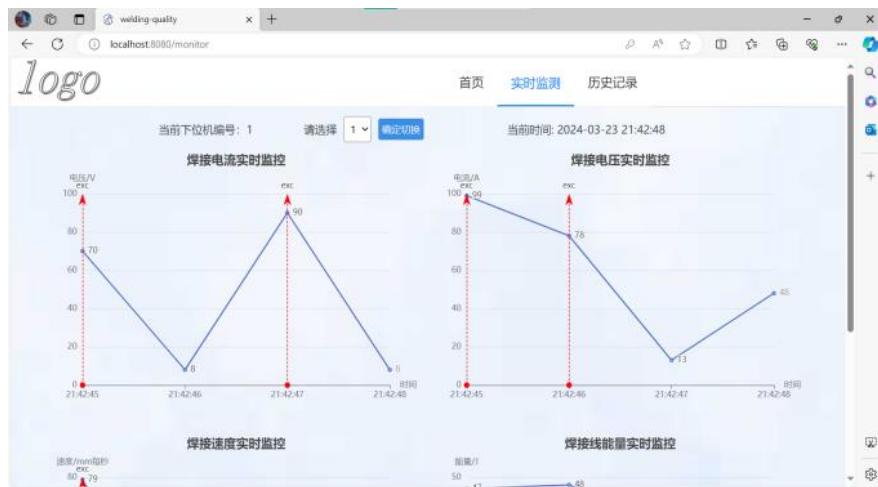


图 8 网站登录后的显示界面

### 3 系统测试

#### 3.1 理想状态下焊接测试（基础研发）

常规理想测试环境指的是弧光捕获机构平行置于待焊母材（焊道）120mm 前，并保证电弧与光敏三极管处于同一水平面上。这种常规理想测试的目的是研究技术的可行性，并在前期尽量减少技术开发过程的干扰，如图9所示。为屏蔽焊接环境中电磁干扰对测试结果的影响，将现场采集端设备放入金属制成的实验盒中，并引出电源线接入市电，引出各传感器输入端与焊机的输出端连接，通过触摸屏记录焊接过程中的实时值。

采用型号为 YD-400AT3HV 松下直流手工焊机进行 SMAW 焊接实验，焊接工艺参数如表1所示。

表1 焊接实验的工艺参数

工艺参数	实验参数	工艺参数	实验参数
焊接母材	Q235	焊接电流 (A)	140
焊条牌号	E4303	焊接电压 (V)	27
焊芯直径 (mm)	2.5	焊缝长度 (mm)	250

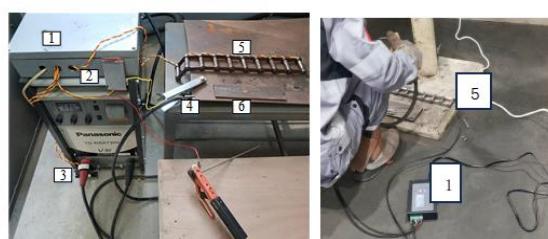
预设焊接的焊缝长度为 250mm，由弧光捕捉机构的相邻两个光敏三极管的间距为 40mm，在一条焊缝长度方

向采集 6 组数据。在每次触摸屏上焊接速度显示值变化时，记录下一组数据，同时读取电流表显示的焊接电流值和电压表显示的电弧电压值，并在监测客户端查询采集的数据。具体测试数据见表2所示。

由表2可知，数据远程传输稳定、可靠。焊接电流的检测值与焊机设定值偏差不大，电弧电压由于焊接过程中弧长的变化具有较大浮动；焊接线能量的波动范围适宜，基本满足焊接工艺要求；系统自动监测的焊接速度和人工计算（设定距离和秒表掐时）结果非常接近。

#### 3.2 带坡口板材和管道的焊接测试（应用改进）

手工焊实际应用中几乎全部是在坡口条件下完成焊接。焊条无论在是在板材、或在管道的坡口中移动时，电弧光由于受到坡口阻挡，会导致弧光捕获机构无法得到必要的弧光强度，继而无法输出正常波形和监测焊接速度。为了解决这个坡口挡光问题，且该焊接速度传感器既要适用于平板坡口，也能适用与管道破口，则需要在原传感器基础上改进其结构。主要思路是：（1）保留链条结构，使其能适用板材也能适用管道曲率；（2）弧光捕获机构斜置在链条上，并保留一定倾角，使之斜对着坡口。具体照片如下：

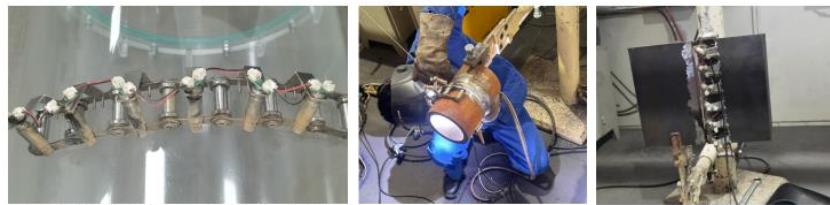


1-实验盒；2-触摸屏；3-霍尔电流传感器；4-电弧电压采集端；5-弧光捕捉机构；6-母材

图9 焊接现场测试环境照片和人工测试照片

表2 单焊缝显示数据和人工测量焊接速度数据对比

序号	焊接参数	监测 1	监测 2	监测 3	监测 4	监测 5	监测 6
1	焊接电流 I (A)	141.8	139.4	139.5	141.5	140.7	141.3
2	焊接电压 U (V)	29.4	27.3	25.6	26.2	24.1	28.8
3	监测平均 V (mm/s)	3.7	3.9	3.8	3.7	3.5	3.8
4	线能量 Q (J/mm)	1126.7	975.8	939.8	1001.9	968.8	1070.9
5	人工计算 V (mm/s)	3.8	4.1	3.8	3.8	3.6	4.0



适用于板材和管道破口的焊接速度传感器结构

适用于管道破口

适用于板材破口

图10 焊接速度传感器改造及适用管道和板材坡口照

焊接的焊缝长度约为 400mm, 弧光捕捉机构的相邻两个光敏三极管的间距为 40mm, 在一条焊缝长度方向采集 1 组数据。具体测试数据见表 3 所示。

表 3 坡口焊缝测试数据和人工测量焊接速度数据对比

序号	焊接参数	管道坡口监测 1	板材坡口监测 2
1	焊接电流 $I$ (A)	75.0	140.2
2	焊接电压 $U$ (V)	23.0	25.6
3	监测平均 $V$ (mm/s)	3.8	4.2
4	线能量 $Q$ (J/mm)	453.9	853.3
5	人工计算 $V$ (mm/s)	4.0	4.1

#### 4 结束语

本文针对手工电弧焊焊接线能量远程智能监测, 设计了焊接电流监测、电压监测和焊接速度监测的传感器设备, 以及收集汇总这三个参数的本地监测主机。多个本地监测主机, 把收集到的三个参数及计算得到的焊接线能量参数、本地 GPS 参数、开机状态参数等, 通过 4/5G 无线模块, 多点远程传输到服务器中。远程服务器可以对收集的焊接线能量进行判断, 并对远端的监测主机进行预警和提醒。用户可以访问对应的网站, 查看分析出现异常的电焊机参数情况, 并通过大数据对诸多地区或人员进行类比和统计

分析, 为整体性提高焊接质量提高技术性支持。

#### 【参考文献】

- [1] 范越. 手工焊焊接速度在线检测技术研究 [J]. 电焊机, 2022, 52(9):81-85.
  - [2] 庞力. 电焊机电压电流参数在线式采集系统设计 [J]. 船电技术, 2018, 38(11):56-58.
  - [3] 李铁良, 王军, 张建勋, 裴怡. 手弧焊焊接速度测试装置研究 [J]. 焊接技术, 2000, 12(6):26-27.
  - [4] 陈志远, 傅强, 朱雅琼, 等. 全位置手工焊接线能量在线检测技术研究 [J]. 电焊机, 2020, 50(3):24-27.
  - [5] 宋学平, 李光植, 李来军. 高职“职业素质本位”无损检测技术专业课程体系建构与实践 [J]. 无损检测, 2016, 38(12):68-73.
  - [6] 傅强, 陈志远, 朱雅琼, 等. 手工焊接速度检测设备 [Z]. 中国: 201910166910.X
- 作者简介: 李滢博 (1999.2—), 毕业院校: 北京石油化工学院, 所学专业: 能源与动力工程, 当前就职单位: 中石化工程质量监测有限公司, 职务: 科研助理, 职称级别: 助理工程师。