(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2016 年 6 月 16 日 (16.06.2016)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2016/090903 A1

(51) 国际专利分类号:
B23K 9/095 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/082903

(22) 国际申请日: 2015 年 6 月 30 日 (30.06.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410741503.4 2014 年 12 月 9 日 (09.12.2014) CN

(71) 申请人: 江苏科技大学 (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。

(72) 发明人: 王加友 (WANG, Jiayou); 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 朱杰 (ZHU, Jie); 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 苏娜 (SU, Na); 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 杨茂森 (YANG, Maosen); 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 黎文航 (LI, Wenhang); 中国江苏省镇江市梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD.); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[见续页]

(54) Title: ADAPTIVE CONTROL METHOD AND DEVICE FOR NARROW GAP WELDING ARC ROCKING

(54) 发明名称 : 窄间隙焊接电弧摇动的适应控制方法及装置

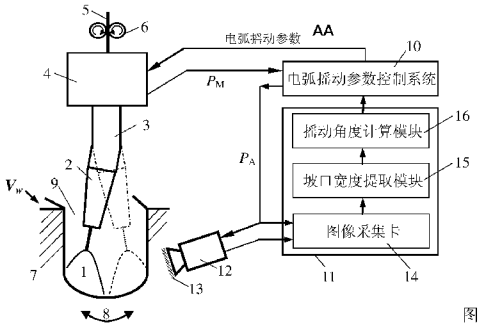


图 1 / Fig. 1

10 ARC ROCKING PARAMETER CONTROL SYSTEM
14 IMAGE ACQUISITION CARD
15 GROOVE WIDTH EXTRACTION MODULE
16 ROCKING ANGLE CALCULATION MODULE
AA ARC ROCKING PARAMETER

(57) Abstract: Disclosed are an adaptive control method and device for narrow gap welding arc rocking. The control device is composed of an infrared camera system, a computer image processing system (11), an arc rocking parameter control system (10), a bent conducting rod rocking arc torch and the like, wherein the infrared camera system acquires an infrared image of a welding area when an arc (1) is deviated towards a left side wall or a right side wall of a groove (9) in an external triggering manner, extracts information about the width of the groove in real time after image processing by a computer, and calculates an arc rocking angle target value; and the arc rocking parameter control system (11) controls a motor drive mechanism to rotate a bent conducting rod (3), and drives the welding arc to conduct circular arc rocking according to the rocking angle target value, thereby realizing the adaptive control for the arc rocking angle according to changes in the width of the groove. The control device is simple in composition, high in detection precision for the width of the groove, good in environmental adaptability, strong in engineering applicability, and capable of being used in combination with a welding seam tracking and welding melting-cladding quantity control system, thereby achieving the purpose of adaptive control of the welding quality of a narrow gap in a variable groove.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2016/090903 A1

SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国** (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

公开一种窄间隙焊接电弧摇动的适应控制方法和装置，该控制装置由红外摄像机系统、计算机图像处理系统（11）、电弧摇动参数控制系统（10）和折弯导电杆式摇动电弧焊炬等构成；红外摄像机系统以外触发方式采集电弧（1）偏向坡口（9）左侧壁或右侧壁时的焊接区域红外图像，经过计算机图像处理后，实时提取坡口宽度信息，并计算电弧摇动角度目标值；电弧摇动参数控制系统（11）控制电机驱动机构转动折弯导电杆（3），带动焊接电弧按摇动角度目标值作圆弧形摇动，实现根据坡口宽度变化对电弧摇动角度的适应控制。该控制装置构成简单，坡口宽度检测精度高，环境适应性好，工程实用性强，可与焊缝跟踪和焊接熔敷量控制系统联合使用，达到变坡口窄间隙焊接质量适应控制的目的。

说 明 书

窄间隙焊接电弧摇动的适应控制方法及装置

技术领域

本发明涉及焊接技术领域，特指一种在坡口宽度变化条件下对窄间隙焊接电弧运动进行适应控制的方法及装置。

背景技术

窄间隙熔化极气体保护焊是一种高效、高质量、低成本的焊接方法。在实际窄间隙焊接过程中，往往由于受坡口加工误差、工件装配误差、焊接热变形等因素的影响，会导致坡口宽度大小和焊缝中心位置发生变化，使得即使采用摇动电弧焊接法、高速旋转电弧焊接法、蛇形焊丝焊接法等控制坡口侧壁熔透的新工艺也不能保证电弧始终均匀有效地加热坡口侧壁，同时也难以保证获得稳定的焊缝高度，从而影响焊接质量。对于这种坡口宽度变化的变坡口焊接问题，需要引入针对电弧位置的适应控制机制。

日本专利号为 JP55048475A、名称为“窄间隙自动焊接方法”的专利文献中，公开采用轮式弯丝机构使焊丝预先产生圆弧状弯曲变形，电机通过蜗轮蜗杆装置驱动门板式摇动机构，带动从直型导丝管中心孔送出的呈圆弧状弯曲状态的焊丝端部的电弧，在窄间隙坡口内作往复式摇动；同时，通过锥形辊轮接触式探头探测坡口宽度，并通过与辊轮探头机构相连的电位差计将坡口宽度变化转换成电信号，最后通过门板式摇动机构控制焊丝摇动角度，以自动适应坡口宽度的变化。其缺点是：1）轮式弯丝机构和蜗轮蜗杆式摇动机构复杂，不方便调节焊丝弯曲度和电弧摇动半径；2）焊丝预变形和摇动导向机构远离焊丝伸出端，使得焊丝从导电嘴送出后摇动规则性不强；3）接触式坡口宽度传感探头易磨损，且传感检测点与焊接电弧位置不同步，使得传感精度较低；4）摇动控制装置可控性较差，导致电弧摇动控制精度下降。

中国专利号为 ZL200810236274.5、名称为“摇动电弧窄间隙熔化极气体保护焊接方法及装置”，采用空心轴电机直接驱动微弯导电杆绕焊炬中心轴线往复运动，带动从直型导电嘴中心孔送出焊丝端部的电弧在窄间隙焊接坡口内作圆弧形摇动，实现摇动电弧窄间隙焊接。该发明克服了上述先有技术的不足，无需对焊丝进行远程预变形处理，而是直接通过折弯导电杆为焊丝提供末端弯曲导向，从而简化了电弧摇动机构设计，并使得焊丝摇动规则性强，电弧指向性好，电弧摇动控制精度高；此外，通过采用不同折弯角度和折弯长度的弯曲导电杆，可方便地调节电弧摇动半径，以适应不同坡口宽度的焊接应用。其缺点是：对于常见的变坡口窄间隙焊接应用，未涉及具体的实施技术方案，难以使变坡口窄间隙焊接工艺实用化。

发明内容

针对现有技术存在窄间隙坡口宽度提取精度低、电弧摇动控制精度不高、焊接环境适应性不强等缺点，本发明提出一种控制精度高、工程实用性强、环境适应性好、实施方便的窄间隙焊接电弧摇动的适应控制方法及装置，根据红外视觉传感器检测坡口宽度信息，并通过折弯导电杆式摇动电弧焊炬实时调整电弧摇动角度，实现根据坡口宽度变化对电弧摇动角度的自适应控制。

本发明提出的窄间隙焊接电弧摇动的适应控制装置采用的技术方案是：包括窄间隙焊炬、电弧摇动参数控制系统、计算机图像处理系统以及红外摄像系统；其中窄间隙焊炬中的折弯导电杆一端与电机驱动及馈电机构相连、另一端与直型导电嘴相接，穿过窄间隙焊炬的焊丝伸入坡口宽度变化的待焊坡口中产生焊接电弧；红外摄像系统包括数字式红外摄像机及红外滤光系统；计算机图像处理系统包含依次连接的图像采集卡、坡口宽度提取模块和摇动角度计算模块，图像采集卡通过视频线与红外摄像机相连；摇动角度计算模块的输出连接电弧摇动参数控制系统；电弧摇动参数控制系统通过控制线与焊炬中的电机驱动及馈电机构相连，并通过信号线分别连接红外摄像机和图像采集卡。

本发明提出的窄间隙焊接电弧摇动的适应控制装置的控制方法采用的技术方案是：红外摄像系统以电弧位置外触发方式获取焊接区域红外图像，经过计算机图像处理后，实时提取坡口宽度信息，并根据坡口宽度计算出电弧摇动角度目标值；然后，电弧摇动参数控制系统控制电机驱动及馈电机构直接转动折弯导电杆，控制电弧在待焊坡口内以目标摇动角度作相对于焊炬的圆弧形轨迹摇动，实现根据坡口宽度变化对电弧摇动角度的自适应控制。

进一步地，本发明窄间隙焊接电弧摇动的适应控制装置的控制方法具体又包括如下步骤：

①在摇动角度计算模块中，预设电弧摇动半径 r、预留工艺间隙 g、坡口宽度变化判定阈值 TH_w 以及坡口宽度初始值 G_{s0} 后，计算出坡口初始宽度 G_{s0}（视同为坡口实际宽度 A_0B_0 处的采样值）处所对应的初始摇动角度 α_0；然后焊炬与红外摄像系统一起以焊接速度 V_w 向前移动，同时电弧摇动参数控制系统通过焊炬控制电弧在待焊坡口内作摇动角度为 α_0 的往复式圆弧形轨迹摇动；

②电弧摇动参数控制系统根据电机转动位置检测信号 P_M，在电弧偏向待焊坡口左侧壁或右侧壁（或处于坡口中心）时，向红外摄像机和图像采集卡发出电弧拍摄与图像采集触发信号 P_A，使计算机图像处理系统获取焊接区域图像后，宽度提取模块通过图像处理实时提取坡口宽度；

③当焊炬移动到坡口实际宽度为 A_iB_i（实际采样点序数 $i\geq1$）的任意位置处时，坡口宽度

提取模块实时提取该处坡口宽度当前检测值 G_i，并与之前在其他位置获取的最近（n-1）（i≥n 时）或（i-1）（i＜n 时）个坡口宽度检测值一起，求出共 n（n≥1）或 i（i＜n 时）个坡口宽度检测值的中值或平均值，作为 A_iB_i 处坡口宽度当前采样值 G_{si}，再输入至摇动角度计算模块中；

④摇动角度计算模块将坡口宽度当前采样值 G_{si} 与前次采样值 $G_{s(i-1)}$进行比较，若二者差值的绝对值 $\Delta G_{si} \leq TH_w$，则不调整坡口实际宽度为 A_iB_i 处的电弧摇动角度 α_i；否则，由摇动角度计算模块根据坡口宽度当前采样值 G_{si}、预留工艺间隙 g 和电弧摇动半径 r，计算求得 A_iB_i 处电弧摇动角度目标值 α_i 后，电弧摇动参数控制系统再通过电机驱动及馈电机构驱动折弯导电杆，控制电弧作角度为 α_i 的圆弧形轨迹摇动，使电弧在侧壁停留点 D_i 和 M_i 处至坡口侧壁距离分别与设定的预留工艺间隙 g 相等；重复上述步骤②至步骤④，直至焊接过程结束。

所述控制方法，其特征还包括：

在步骤①中，预留工艺间隙 g 是在与焊接速度 V_w 垂直方向上电弧轴线至坡口左右侧壁的最短距离，预设的电弧摇动半径 r≥（G_{max}－2g）/2，其中，$r=(a+b)\sin\beta+h\tan\beta$，$G_{max}$ 是坡口宽度可能的最大值，a 是焊炬的折弯导电杆（3）折弯部分的长度，b 是焊炬的直型导电嘴（2）的长度，h 是焊炬高度，β 是折弯导电杆（3）的折弯角度；在步骤④中，坡口宽度变化判定阈值 $TH_w \leq 0.5mm$，摇动角度 $\alpha_i = 2\arcsin\{(G_{si}-2g)/2r\}$。

在所述步骤②中，宽度提取模块实时提取坡口宽度的方法一是：当电弧偏向待焊坡口左侧壁时，根据坡口右边缘线的横向位置变化调整坡口右侧图像截取窗口定位点的横坐标值，截取坡口右侧图像，提取坡口右边缘线以及坡口右边缘线至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；当电弧偏向待焊坡口右侧壁时，根据坡口左边缘线的横向位置变化调整坡口左侧图像截取窗口定位点的横坐标值，截取坡口左侧图像，提取坡口左边缘线以及坡口左边缘线至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，计算出坡口宽度当前检测值 G_i=（L_{1i}－L_{2i}）；

在所述步骤②中，宽度提取模块实时提取坡口宽度的方法二是：通过对全局焊接图像进行处理，提取电弧区域最高点的位置坐标，根据最高点的纵坐标值确定坡口左、右侧图像截取窗口的定位点的纵坐标值，根据坡口边缘线的横向位置变化调整图像截取窗口定位点的横坐标值；用右侧图像截取窗口截取包含坡口右边缘线信息的图像后，再求取坡口右边缘线至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；在同一幅图像中用坡口左侧图像截取窗口截取包含坡口左边缘线信息的图像后，再求取坡口左边缘线至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，计算出坡口宽度的当前检测值 G_i=（L_{1i}－L_{2i}）。

在所述宽度提取模块实时提取坡口宽度的方法中：坡口左边缘线至全局图像左边界距离

L_{2i} 的检测点的纵坐标值，与坡口右边缘线至全局图像左边界距离 L_{1i} 的检测点的纵坐标值相同，为所述位置自适应移动式图像截取窗口内坡口边缘线上 m（m≥1）个位置检测值的中值或平均值；在处理图像截取窗口截取的小窗口图像时，先进行中值法滤波，再对所全局图像图像进行灰度分析，自动寻找熔池图像与背景图像灰度分布的峰谷点并确定阈值点，对全窗口图像进行大津法自适应阈值分割处理，最后用 Canny 边缘检测算子提取坡口边缘线；在对全局焊接图像处理时，先采用中值法滤波和对比度拉伸处理，然后对焊接图像进行全局固定阈值分割后提取电弧区域轮廓，再对电弧区域轮廓进行形态学腐蚀处理后，提取电弧区域最高点的位置坐标；根据电弧拍摄与图像采集脉冲触发信号 P_A 或电弧区域最高点横坐标值，辨识并确认电弧偏向坡口左侧壁或是偏向坡口右侧壁或是在坡口中心。

本发明与先有技术相比，其有益效果是：

1）采用红外摄像机以非接触方式实时检测窄间隙坡口宽度，其检测点与电弧位置同步性好，检测灵敏度和检测精度高，抗焊接飞溅、烟尘和电弧弧光干扰能力强。

2）采用电机直接（或通过传动副）驱动的折弯导电杆式摇动机构，使得电弧指向性更好，电弧摇动角度控制精度更高，同时还简化了焊炬机构设计。

3）通过小窗口截取远离电弧侧的坡口边缘区域图像进行处理，可有效避免运动电弧干扰，进一步提高了窄间隙坡口宽度的传感检测精度。

4）对焊接图像进行处理时，根据电弧和坡口边缘位置的变化，实时调整坡口边缘区域图像截取窗口的位置，提高了传感检测方法的环境适应性和工作可靠性。

5）根据电弧摇动位置信号以外触发方式采集焊接图像，可实现在一个摇动周期内对坡口宽度的多次检测，从而提高了坡口宽度传感检测和电弧摇动角度控制的实时性。

附图说明

下面结合附图和具体实施方式，对本发明作进一步详细说明，但本发明保护范围不限于下述实施例，凡采用等同替换或等效变换形式获得的技术方案，均在本发明保护范围之内。

图 1 为窄间隙焊接电弧摇动的适应控制系统原理框图。

图 2 为窄间隙焊接电弧摇动的适应控制过程示意图。

图 3 为电弧摇动半径和电弧摇动角度计算原理图。

图 4 为坡口宽度提取方法一的原理示意图；其中，**图 4（a）**为电弧偏向坡口左侧壁时坡口右边缘位置提取原理图，**图 4（b）**为电弧偏向坡口右侧壁时坡口左边缘位置提取原理图。

图 5 为坡口宽度提取方法二的原理示意图；其中，**图 5（a）**为电弧偏向坡口左侧壁时前

次坡口宽度提取原理图，**图 5（b）**为电弧偏向坡口右侧壁时当前坡口宽度提取原理图。

图 6 为采用坡口宽度提取方法一的宽度提取流程图。

图 7 为采用坡口宽度提取方法二的宽度提取流程图。

图 8 为窄间隙坡口宽度提取方法一的实施例图。

图 9 为窄间隙坡口宽度提取方法二的实施例图。

图 1 中：1—电弧；2—直型导电嘴；3—折弯导电杆；4—电机驱动及馈电机构；5—焊丝；6—送丝机；7—工件；8—电弧圆弧形摇动轨迹；9—待焊坡口；10—电弧摇动参数控制系统；11—计算机图像处理系统；12—红外摄像机；13—红外滤光系统；14—图像采集卡；15—坡口宽度提取模块；16—摇动角度计算模块；V_w—焊接速度，P_M—电机转动位置检测信号，P_A—电弧拍摄与图像采集触发信号。

图 2 中：A_0B_0—启弧处窄间隙坡口实际宽度；α_0—坡口实际宽度 A_0B_0 处的电弧初始摇动角度；圆弧 $M_0O_{10}D_0$—坡口实际宽度 A_0B_0 处相对于焊炬的电弧摇动轨迹；O_2O_{1i}—坡口 9 中心线；O_{10}—坡口实际宽度 A_0B_0 处电弧摇动轨迹中点；O_{40}—坡口实际宽度 A_0B_0 处焊炬中心在坡口 9 底面的投影；$A_0M_0=D_0B_0=A_iM_i=D_iB_i=g$，表示坡口实际宽度 A_0B_0 或 A_iB_i 处在与焊接速度 V_w 垂直方向上电弧轴线 O_3M_j（j=0 或 i，参见**图 3**）至坡口侧壁距离，即预留工艺间隙；$O_{40}M_0=O_{40}D_0=O_{4i}M_i=O_{4i}D_i=r$，为电弧摇动半径；$A_iB_i$—任意位置窄间隙坡口实际宽度；$\alpha_i$—坡口实际宽度 A_iB_i 处电弧摇动角度目标值；圆弧 $M_iO_{1i}D_i$—坡口实际宽度 A_iB_i 处相对于焊炬的电弧摇动轨迹；O_{1i}—坡口实际宽度 A_iB_i 处电弧摇动轨迹中点；O_{4i}—坡口实际宽度 A_iB_i 处焊炬中心在坡口 9 底面的投影。

图 3 中：β—折弯导电杆 3 的折弯角度；h—焊炬高度，即导电嘴 2 至工件的高度；j—电弧在坡口内的位置序数（j=0，...，i，…）；$O_{4j}O_{1j}$—坡口 9 中心线；O_{1j}—坡口实际宽度 A_jB_j 处电弧摇动轨迹中点；O_{4j}—坡口实际宽度 A_jB_j 处焊炬中心在坡口 9 底面的投影；$A_jM_j=D_jB_j=g$，表示坡口实际宽度 A_jB_j 处在与焊接速度 V_w 垂直方向上电弧轴线 O_3M_j 至坡口侧壁距离，即预留工艺间隙；$O_{4j}M_j=O_{4j}D_j=r$，为电弧摇动半径。

图 4 和**图 5** 中：17—右侧图像截取窗口；18—左侧图像截取窗口；19—坡口右边缘；20—坡口左边缘；21—熔池后沿；22—熔池前沿；L_{1i}—坡口右边缘 19 至全局图像左边界的当前距离，L_{2i}—坡口左边缘 20 至全局图像左边界的当前距离，G_i—坡口宽度的当前检测值；D_{w1}—右侧图像截取窗口 17 的定位点，D_{w2}—左侧图像截取窗口 18 的定位点；C_1—前次检测时电弧区域最高点，C_2—本次检测时电弧区域最高点；$L_{1(i-1)}$—坡口右边缘 19 至全局图像左边界的前次距离；$L_{2(i-1)}$—坡口左边缘 20 至全局图像左边界的前次距离；G_{i-1}—坡口宽度的前次检测值。

具体实施方式

如图 1 所示，窄间隙焊接电弧摇动的适应控制系统包括：窄间隙焊炬、电弧摇动参数控制系统 10、计算机图像处理系统 11 以及红外摄像系统。

窄间隙焊炬由电机驱动及馈电机构 4、折弯导电杆 3、直型导电嘴 2、喷嘴机构等构成，电机驱动及馈电机构 4 可以为空心轴电机直接驱动式，也可以为普通电机通过传动副间接驱动式，并且优选空心轴电机直接驱动式。经过校直的焊丝 5 经过送丝机 6，并依次穿过电机驱动及馈电机构 4、折弯导电杆 3 和直型导电嘴 2 的中心孔后送出，伸入待焊坡口 9 中产生焊接电弧 1。待焊坡口 9 是坡口宽度变化的窄间隙焊接坡口。电机驱动及馈电机构 4 中的电刷将焊接电流导入焊接电弧 1 回路，实现在焊接电缆无缠绕下的焊接馈电；供气系统通过焊炬中的喷嘴机构向电弧 1 所在的焊接区域提供活性或惰性保护气体，但是当采用自保护药芯焊丝焊接时则不需要喷嘴机构，也无需向焊接区域提供保护气体。这种折弯导电杆式摇动机构使得电弧指向性更好，同时还简化了焊炬机构设计。

红外摄像系统包括数字式红外摄像机 12 及红外滤光系统 13，红外滤光系统 13 与红外摄像机 12 同轴相连，并安装在红外摄像机 12 的正前方。红外摄像机 12 可以为电荷耦合器件(CCD)式或互补金属氧化物半导体(CMOS)式，并且优选 CMOS 式。将红外摄像机 12 固定连接在焊炬的正前方或正后方，使红外摄像机 12 与待焊坡口 9 底面成一定夹角 γ，便于红外摄像机 12 摄取到待焊坡口 9 内的焊接区域图像。选用变焦范围为 18~45mm、光圈为 5.6~32 的红外摄像机 12，在外触发方式下获取焊接区域图像。滤光系统 13 包括有窄带滤光片、中性减光片、防护玻璃（即 UV 镜），其中窄带滤光片中心波长为 700~1100nm，中性减光片透过率为 1~50%，UV 镜用于防焊接飞溅。窄间隙焊接时，利用电弧 1 弧光和熔池自身辐射光作为光源，采用中性减光片调节光强，并通过滤光系统 13 滤除弧光、烟尘、飞溅等干扰，可采集到清晰的焊接区域图像。

计算机图像处理系统 11 主要包含依次连接的图像采集卡 14、坡口宽度提取模块 15 和摇动角度计算模块 16，此外还配套有显示器、存储器等普通计算机应有的硬件设备。图像采集卡 14 置于计算机图像处理系统 11 的卡槽内并通过视频线与红外摄像机 12 相连，红外摄像机 12 摄取到的焊接区域图像经图像采集卡 14 送入计算机图像处理系统 11 处理，同时在计算机图像处理系统 11 中的显示器上显示，以便监控。摇动角度计算模块 16 的输出连接电弧摇动参数控制系统 10，电弧摇动参数控制系统 10 通过控制线连接焊炬，向焊炬输入电弧摇动参数，控制电机驱动及馈电机构 4 转动。电弧摇动参数控制系统 10 还通过信号线分别连接红外

摄像机 12 和图像采集卡 14。

本发明窄间隙焊接电弧摇动的适应控制方法，其总体技术方案是：红外摄像系统以电弧位置外触发方式获取焊接区域图像，对焊接坡口宽度进行实时传感；然后，计算机图像处理系统 11 通过图像处理提取出坡口宽度值后，计算出电弧摇动角度目标值；最后，电弧摇动参数控制系统 10 控制电机驱动及馈电机构 4 直接驱动折弯导电杆 3，带动从直型导电嘴 2 送出焊丝 5 端部的电弧 1 在待焊坡口 9 内以目标摇动角度作相对于焊炬的圆弧形轨迹 8 摇动，实现根据坡口宽度变化对电弧摇动角度的自适应控制。其具体步骤是：

步骤①：参见图 1、图 2 和图 3，具体又包括：

1）选定电弧摇动半径 r，或选配长度为 b 的直型导电嘴 2。根据焊炬上安装的折弯导电杆 3、直型导电嘴 2 以及设定的焊炬高度 h，根据下式（1）计算可得到窄间隙焊接过程中电弧 1 的摇动半径 r，其计算原理如图 3 所示（$r=O_{4j}M_j=O_{4j}D_j$，在 A_0B_0 处 j=0）：

$$r=(a+b)\sin\beta+h\tan\beta \qquad (1)$$

其中，a 表示折弯导电杆 3 折弯部分 O_3E 的长度，b 表示直型导电嘴 2 的长度，h 表示焊炬高度，β 表示折弯导电杆 3 的折弯角度。电弧摇动半径 r 的计算结果，应满足条件 $r\geq(G_{max}-2g)/2$，这里 G_{max} 表示坡口宽度可能的最大值，g 表示预留工艺间隙。

也可以按照 $r\geq(G_{max}-2g)/2$ 的原则，先选定电弧摇动半径 r，再根据给定的折弯导电杆 3 的折弯长度 a 和折弯角度 β、以及焊炬高度 h，并依照式（1）配用相应长度为 b 的直型导电嘴 2。在窄间隙焊接过程中，折弯导电杆 3、直型导电嘴 2 以及焊炬高度 h 三者通常不变，因而电弧 1 的摇动半径 r 保持恒定。

2）确定坡口宽度初始值 G_{s0}、预留工艺间隙 g。焊前，用测量出窄间隙待焊坡口 9 启弧处的坡口宽度初始值 G_{s0}，即 A_0B_0 线段的长度（见图 2），并视同为坡口实际宽度 A_0B_0 处的采样值；并且，为了使坡口两侧壁获得对称性好的足够熔深，需要选定合适的预留工艺间隙 g：在 A_0B_0 处电弧相对于焊炬的圆弧形摇动轨迹 8 的投影与 A_0B_0 线段相交于 M_0、D_0 两点（M_0 点靠近左侧 A_0 点、D_0 点靠近右侧 B_0 点），线段 A_0M_0 和 D_0B_0 的长度就是预留工艺间隙 g，即 $g=A_0M_0=D_0B_0$，该预留工艺间隙 g 也就是在与焊接速度 V_w 垂直方向上电弧轴线至坡口左、右侧壁的最短距离，一般取为 0.5~2mm。

3）预设电弧摇动控制参数及工艺参数，调整焊炬初始状态。将上述坡口宽度初始值 G_{s0}、窄间隙焊接工艺要求的预留工艺间隙 g、计算得到的或选定的电弧摇动半径 r、以及坡口宽度变化判定阈值 TH_w（一般小于 0.5mm），一起预设在计算机图像处理系统 11 的摇动角度计算模块 16 中；再将焊炬连同红外摄像机 12 一起移至坡口实际宽度为 A_0B_0 的启弧处，并设定焊

炬高度 h，此时焊炬在待焊坡口 9 底面的投影为 O_{40}；在电弧摇动参数控制系统 10 上，预设本次窄间隙焊接要求的电弧摇动频率 f 和电弧 1 在坡口两侧壁处停留时间 t_s 等摇动工艺参数，并进行自动寻找摇动中点 O_{10} 定位（见图 2）。

4）确定电弧的初始摇动角度 α_0。根据上述预留工艺间隙 g、坡口宽度初始值 G_{s0}、以及电弧摇动半径 r，摇动角度计算模块 16 通过下式（3）计算出坡口实际宽度为 A_0B_0 处的初始摇动角度 α_0，并将计算得出的初始摇动角度 α_0 输出至电弧摇动参数控制系统 10 中。根据图 3，在坡口实际宽度为 A_jB_j 处电弧摇动角度 α_j：

$$\alpha_j = 2\arcsin\{(R_j - 2g)/2r\} \tag{2}$$

所以，在实际宽度为 A_0B_0 处的初始摇动角度 α_0 为：

$$\begin{aligned}\alpha_0 = \alpha_j\big|_{j=0} &= 2\arcsin\{(R_0 - 2g)/2r\} \\ &= 2\arcsin\{(G_{s0} - 2g)/2r\}\end{aligned} \tag{3}$$

5）启动摇动电弧焊接过程。在坡口实际宽度 A_0B_0 处，引燃焊接电弧 1，由电弧摇动参数控制系统 10 控制电机驱动及馈电机构 4 转动可伸入待焊坡口 9 的折弯导电杆 3，绕焊炬中心线 O_3O_{4j}（参见**图 3**，在 A_0B_0 处 j=0）往复转动，带动从直型导电嘴 2 中心孔送出的焊丝 5 端部的焊接电弧 1，以摇动轨迹中点 O_{10} 为起点，在待焊坡口 9 内作摇动频率为 f、摇动角度为 α_0，且相对于焊炬、关于摇动轨迹中点 O_{10}（参见**图 2**）对称的往复式圆弧形轨迹 8 摇动，并在接近待焊坡口 9 左右两侧壁处（即 M_0、D_0 点处）作停留时间为 t_s 的停留；同时，拖动机构带动焊炬整体与红外摄像系统一起以焊接速度 V_w 向前移动。

步骤②：在焊炬移动过程中，电机驱动及馈电机构 4 中的光电（或电磁）检测装置实时检测电机转动位置，并将产生的电机转动位置检测信号 P_M 输入至电弧摇动参数控制系统 10 中，从而间接检测电弧 1 在待焊坡口 9 内相对坡口中心线 O_2O_{1i} 的位置。

然后，电弧摇动参数控制系统 10 根据输入的电机转动位置检测信号 P_M，在电弧 1 偏向待焊坡口 9 左侧壁或右侧壁（或位于坡口中心）时，同时向红外摄像机 12 的外触发信号输入端和焊接图像采集卡 14 输出电弧拍摄与图像采集触发信号 P_A，使计算机图像处理系统 11 可获取任意时刻的焊接区域图像。电弧摇动参数控制系统 10 每输出一个电弧拍摄与图像采集脉冲信号 P_A，计算机图像处理系统 11 就获取一帧焊接区域图像，该图像随即被送入宽度提取模块 15 中经过图像处理后实时坡口宽度提取（具体的坡口宽度实时提取方法，详见后文）。

步骤③：当焊炬从坡口宽度 A_0B_0 启弧处移动，到达了坡口实际宽度为 A_iB_i（参见**图 2**）的任意位置处，相应地焊炬中心投影从原先的 O_{40} 点移至 O_{4i} 点，电弧圆弧形摇动轨迹 8 的投影与 A_iB_i 线段相交于 M_i、D_i 两点。

同时，坡口宽度提取模块 15 对坡口实际宽度 A_iB_i（实际采样点序数 i≥1）处焊接区域图像进行处理，实时提取 A_iB_i 处的坡口宽度当前检测值 G_i，然后将该当前检测值 G_i 与先前在其他位置获取的最近（n-1）（i≥n 时）或（i-1）（i＜n 时）个坡口宽度检测值一起，求出共 n（n≥1）或 i（i＜n 时）个坡口宽度检测值的中值或平均值，并将此中值或平均值作为 A_iB_i 处的坡口宽度当前采样值 G_{si}，以减少焊接飞溅和其他随机干扰对坡口宽度检测精度的影响；最后，坡口宽度提取模块 15 将 A_iB_i 处坡口宽度当前采样值 G_{si} 输入至摇动角度计算模块 16 中。

步骤④：摇动角度计算模块 16 将 A_iB_i 处的坡口宽度当前采样值 G_{si} 与前次在其他位置处的采样值 $G_{s(i-1)}$进行比较，若二者差值的绝对值 ΔG_{si} 不大于坡口宽度变化判定阈值 TH_w，即 $\Delta G_{si}=|G_{si}-G_{s(i-1)}|\leq TH_w$，则不调整坡口实际宽度为 A_iB_i 处的电弧摇动角度 α_i；否则，摇动角度计算模块 16 根据坡口宽度当前采样值 G_{si}、预留工艺间隙 g 和电弧摇动半径 r，并由式（2）演变得到的式（4）计算求得 A_iB_i 处电弧摇动角度目标值 α_i，并将其输送至电弧摇动参数控制系统 10 中。

$$\begin{aligned}\alpha_i &= \alpha_j\big|_{j=i} = 2\arcsin\{(\overline{A_iB_i}-2g)/2r\} \\ &= 2\arcsin\{(G_{si}-2g)/2r\}\end{aligned} \qquad (4)$$

此时，电弧摇动参数控制系统 10 实时控制电机驱动及馈电机构 4 驱动折弯导电杆 3，带动焊丝 5 端部的焊接电弧 1 作角度为 α_i 的圆弧形摇动，使得电弧 1 在侧壁停留点 D_i 和 M_i 处至坡口侧壁距离分别与设定的预留工艺间隙 g 相等，如此实现窄间隙焊接电弧摇动的自适应调整和控制，从而在待焊坡口 9 两侧壁上形成均匀一致的熔深；重复上述步骤②至步骤④，直至焊接过程结束。在所述步骤④中，当实际采样点序数 i=1 时，即当电弧到达坡口实际宽度为 A_1B_1 处时，坡口宽度前次采样值 G_{s0}，实际上即为坡口实际宽度 A_0B_0 处坡口宽度初始值。

在变坡口情形下，若不对电弧摇动角度目标值 α_i 进行自适应控制，则电弧 1 在摇动至坡口侧壁处 D_i 或 M_i 点停留时，电弧 1 轴线至坡口 9 的侧壁距离 A_iM_i 或 D_iB_i 会不断变化；当该距离过大时，会引起坡口 9 的侧壁熔深减小，过小时则易出现咬边缺陷和/或侧壁打弧现象，导致焊缝成形质量变差，接头性能下降。而本发明采用红外摄像机这种以非接触方式检测窄间隙坡口宽度的方法，检测点与电弧位置同步，检测灵敏度好，检测精度高，抗弧光、飞溅、烟尘干扰能力强，可提高对电弧摇动角度的控制精度，从而实现对坡口 9 两侧壁熔深的精确控制；若本发明与焊缝跟踪和焊接熔敷量控制系统配合使用，可实现对变坡口窄间隙焊接坡口熔透和焊接熔敷量的同时控制，从而可获得坡口侧壁熔透均匀、焊缝高度一致的高质量窄间隙焊接接头。

坡口宽度提取模块 15 进行坡口宽度实时提取时，具有两种坡口宽度提取方法，其中坡口

宽度提取方法一的原理如图 4 所示，具体有如下的步骤：

A）当电弧 1 偏向待焊坡口 9 左侧壁时，如图 4（a）所示，先根据坡口右边缘线 19 横向位置最近两次检测值的变化量，自适应调整坡口右侧图像截取窗口 17 定位点 D_{w1} 的横坐标值 X_{1i}，再利用坡口右侧图像截取窗口 17 截取不受电弧干扰的坡口右侧图像，然后在图像截取窗口 17 截取图像内提取坡口右边缘线 19 后，再求取坡口右边缘线 19 至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；

B）当电弧 1 偏向待焊坡口 9 右侧壁时，如图 4（b）所示，先根据坡口左边缘线 20 横向位置最近两次检测值的变化量，自适应调整坡口左侧图像截取窗口 18 定位点 D_{w2} 的横坐标值 X_{2i}，再利用坡口左侧图像截取窗口 18 截取不受电弧干扰的坡口左侧图像，然后在坡口左侧图像截取窗口窗口 18 截取图像内提取坡口左边缘线 20 后，再求取坡口左边缘线 20 至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，此时坡口宽度的当前检测值 $G_i=（L_{1i}－L_{2i}）$；

C）当电弧 1 再次偏向待焊坡口 9 左侧壁时，按照步骤 A）所述方法提取坡口右边缘线 19 后，再提取坡口右边缘线 19 至全局图像左边界的下次距离 $L_{1(i+1)}$，此时窄间隙坡口宽度的下次检测值 $G_{i+1}=（L_{1(i+1)}－L_{2i}）$，以此类推。

在实施所述坡口宽度提取方法一时，步骤 A）与步骤 B）中求取坡口右边缘线 19 或坡口左边缘线 20 至全局图像左边界的当前距离 L_{1i} 或 L_{2i} 时先后顺序可以颠倒（此时步骤 C）中所提取坡口边缘也相应变化），而且优选步骤 A）、步骤 B）与步骤 C）联合使用。

当只采用上述步骤 A）与步骤 B）组成的坡口宽度提取方法时，如果采集电弧在坡口两侧壁处停留期间的焊接图像，那么在一个摇动周期内可完整地获取两幅焊接图像，相应地仅能对坡口宽度值进行 1 次提取；如果采集电弧运动过程中的焊接图像，那么在一个摇动周期内至少可获取 2 对（4 幅）焊接图像，相应地至少可对坡口宽度进行 2 次提取。当采用步骤 A）、步骤 B）与步骤 C）联合使用的优选提取方案时，如果采集电弧在坡口两侧壁处停留期间的焊接图像，那么在一个摇动周期内可完整地获取两幅焊接图像，相应地可对窄间隙坡口宽度进行 2 次提取（不含初始提取）；如果采集电弧运动过程中的焊接图像，虽然也至少可获取 4 幅焊接图像，但是这 4 幅图像为“电弧偏左—偏右—偏右—偏左”或“电弧偏右—偏左—偏左—偏右”排列方式，并非头尾相连式，那么相应地也只能对坡口宽度进行 2 次提取（不含初始提取）。可见，采用其优选方案或者根据电弧运动过程中焊接图像进行宽度提取时，均可提高坡口宽度提取的采样频率，从而提高坡口宽度传感检测和电弧摇动角度控制的实时性。另外，通过所述位置移动式图像截取小窗口 17 或 18 截取远离电弧侧的坡口边缘区域图像进行处理，可有效避免运动电弧干扰，进一步提高了窄间隙坡口宽度的传感检测精度。

坡口宽度提取模块 15 实现的坡口宽度实时提取方法二的原理如图 5 所示，此时移动式坡口右侧图像截取窗口 17、坡口左侧图像截取窗口 18 同时存在，具体包括如下步骤：

P）对全局（即整体）焊接图像进行处理，提取电弧区域最高点 C_1 或 C_2 的位置坐标，然后根据电弧区域最高点 C_1 或 C_2 的纵坐标值 Y_{C1} 或 Y_{C2}，确定图像截取窗口 17 或 18 定位点 D_{w1} 或 D_{w2} 的纵坐标值为 Y_{C1} 或 Y_{C2}；同时，根据坡口边缘线 19 或 20 横向位置检测值的变化，自适应调整坡口右侧图像截取窗口 17 或左侧图像截取窗口 18 定位点 D_{w1} 或 D_{w2} 的横坐标值 X_{1i} 或 X_{2i}；

Q）用右侧图像截取窗口 17 截取包含坡口右边缘 19 信息的图像后，再求取坡口右边缘 19 至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；

R）在同一幅焊接图像中，用左侧图像截取窗口 18 截取包含坡口左边缘线 20 信息的图像后，再求取坡口左边缘线 20 至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，此时坡口宽度的当前检测值 $G_i=（L_{1i}－L_{2i}）$。

采用上述坡口宽度提取方法二进行坡口宽度提取时，其步骤 Q)与步骤 R)中求取坡口边缘线 19 或 20 至全局图像左边界的当前距离 L_{1i} 或 L_{2i} 时先后顺序可以颠倒，而且优选根据电弧运动至摇动中点 O_{1i} 时的焊接图像提取坡口宽度信息，此时可省略所述步骤 P)。类似地，在如**图 5（a）**所示的前次提取中，坡口宽度的前次检测值 G_{i-1} 等于坡口右边缘线 19 至全局图像左边界的前次距离 $L_{1(i-1)}$减去坡口左边缘线 20 至全局图像左边界的前次距离 $L_{2(i-1)}$，即 $G_{i-1}=（L_{1(i-1)}－L_{2(i-1)}）$。

采用所述坡口宽度提取方法二，在一个摇动周期内可对坡口宽度进行多次提取，其中对于其所述优选方案，在一个摇动周期内电弧摇动时两次经过摇动中点 O_{1i}，相应地可对坡口宽度进行 2 次提取。并且，在所述坡口宽度提取方法二中，坡口左边缘 20 或右边缘 19 至全局图像左边界距离 L_{2i} 或 L_{1i} 的检测点，优选位于左侧图像截取窗口 18 或右侧图像截取窗口 17 内高度的一半及以上位置处，以尽可能减少电弧弧光干扰。

在所述窄间隙坡口宽度的提取方法一和提取方法二中，坡口左边缘线 20 至全局图像左边界距离 L_{2i} 或 $L_{2(i-1)}$的检测点纵坐标值，与坡口右边缘线 19 至全局图像左边界距离 L_{1i} 或 $L_{1(i-1)}$ 的检测点纵坐标值相同；并且，L_{1i}、L_{2i}、$L_{1(i-1)}$和 $L_{2(i-1)}$的最终检测值，可为图像截取小窗口 17 或 18 内坡口边缘线 19 或 20 上 m（m≥1）个位置检测值的中值或平均值，以提高坡口宽度检测可靠性。

坡口宽度提取模块 15 功能实现的关键是图像处理，如**图 6** 所示为坡口宽度提取方法一采用图像处理技术提取坡口宽度的流程，主要包括以下两大步骤：

1) 对小窗口截取图像进行处理，提取窄间隙坡口边缘。具体又包括：①根据坡口边缘线19或20横向坐标位置的变化，对移动式图像截取窗口17或18的定位点D_{w1}或D_{w2}横坐标值X_{1i}或X_{2i}进行适应性修正，确定图像截取窗口位置；②针对数字式红外摄像机12采集到的实时焊接图像，采用移动式图像截取窗口17或18截取坡口右侧壁边缘19或左侧壁边缘20附近区域图像，并尽可能地截取远离电弧侧的坡口边缘区域图像；③采用中值法对移动式小窗口17或18截取图像进行平滑滤波；④对全窗口图像进行大津法（阮秋琦等译，《数字图像处理（第三版）》，电子工业出版社，2011年，第479页）自适应阈值分割；⑤采用Canny边缘算子（李实英等译，《特征提取与图像处理（第二版）》，电子工业出版社，2013年，第103页）提取出熔池与坡口侧壁之间的边缘线19或20。

2) 提取坡口宽度当前检测值。求取坡口右边缘19或左边缘20至全局图像左边界的当前距离为L_{1i}或L_{2i}，从而计算出坡口宽度的当前检测值$G_i=（L_{1i}-L_{2i}）$。

图7所示为坡口宽度提取方法二采用图像处理技术提取坡口宽度的流程，包括以下三大步骤：

1) 对整幅焊接区域红外图像进行全局图像处理，并确定图像截取小窗口位置。具体又包括：①针对数字式红外摄像机12采集到的实时焊接图像，采用中值法对全局图像（即整体图像）进行平滑滤波，以减低焊接图像中弧光、飞溅、烟尘、外部环境干扰引起的噪声；②在对图像灰度值分析的基础上，对输入图像灰度进行分段线性变换，以压缩背景区域灰度，提升熔池和电弧区域像素灰度值，增大边界处对比度，实现对图像对比度的拉伸处理，为后续阈值分割创造条件；③对全局图像进行固定阈值分割，即将包含不同灰度级的图像变为一幅二值图像，以简化图像层次，突出电弧区域轮廓；④对电弧轮廓进行形态学腐蚀处理，以消除焊丝端部反光区域的影响，提取出电弧基本形态，并求出电弧区域最高点C_1或C_2位置坐标值为（X_{C1}，Y_{C1}）或（X_{C2}，Y_{C2}）；⑤根据电弧区域最高点C_1或C_2的纵坐标值，确定移动式图像截取小窗口17或18的定位点D_{w1}或D_{w2}的纵坐标，同时根据坡口边缘线横向坐标位置的变化，可对移动式图像截取窗口17或18的定位点D_{w1}或D_{w2}的横坐标值X_{1i}或X_{2i}进行适应性修正，以提高红外视觉传感检测方法的环境适应性和工作可靠性。

2) 对移动式小窗口截取的图像进行处理，提取窄间隙坡口边缘。具体又包括：①利用输入到计算机图像处理系统11中的电弧拍摄与图像采集触发信号P_A，也可根据电弧区域最高点C_1或C_2的横坐标值X_{C1}或X_{C2}，辨识并确认电弧偏向坡口左侧壁或是偏向坡口右侧壁或是在坡口中心；②针对经过全局中值滤波和对比度拉伸处理过的焊接图像，采用移动式图像截取小窗口17或18截取坡口右侧壁边缘19或左侧壁边缘20附近区域图像，并尽可能地截取

远离电弧侧的坡口边缘区域图像，以减少计算机图像处理系统 11 的图像处理工作量，同时避免运动电弧干扰；③对所截取的全窗口图像进行灰度分析，自动寻找熔池图像与背景图像灰度分布的峰谷点并定位阈值点后，对全窗口图像进行大津法自适应阈值分割，即对图像进行黑白化处理，以突出边界，方便边缘提取；④采用 Canny 边缘算子对经过自适应阈值分割处理后的窗口图像进行平滑和滤波处理滤除噪声后，检测熔池与背景图像灰度发生变化的位置，在小窗口内提取出熔池与坡口侧壁之间的边缘线 19 或 20。

3) 计算坡口宽度当前检测值。计算坡口右边缘 19 至移动式图像截取小窗口 17 左边缘的当前距离 L_{yi}、求取坡口右边缘 19 至全局图像左边界的当前距离为 $L_{1i}=(L_{yi}+X_{1i})$，并计算坡口左边缘 20 至移动式图像截取小窗口 18 左边缘的当前距离 L_{zi}、求取坡口左边缘 20 至全局图像左边界的当前距离为 $L_{2i}=(L_{zi}+X_{2i})$，从而计算出坡口宽度的当前检测值 $G_i=(L_{1i}-L_{2i})$。

在图 6 和图 7 所示的坡口宽度提取流程中，对移动式图像截取小窗口位置进行自适应修正的算法为：

1) 移动式图像截取窗口 17 或 18 定位点 D_{w1} 或 D_{w2} 纵坐标自适应修正算法：在所述坡口宽度提取方法二中，根据电弧区域最高点 C_1 或 C_2 的位置纵坐标 Y_{C1} 或 Y_{C2}，确定移动式图像截取窗口 17 或 18 的定位点 D_{w1} 或 D_{w2} 点的纵坐标值为 Y_{C1} 或 Y_{C2}。该修正算法也可以推广应用于所述坡口宽度提取方法一。

2) 移动式图像截取窗口 17 或 18 定位点 D_{w1} 或 D_{w2} 横坐标自适应修正算法：在所述坡口宽度提取方法一和方法二中，移动式图像截取窗口 17 定位点 D_{w1} 点的横坐标值 X_{1i} 等于其前次设定值 $X_{1(i-1)}$ 与坡口右边缘线 19 位置最近两次检测值的变化量 $(L_{1(i-1)}-L_{1(i-2)})$ 之和，即 $X_{1i}=X_{1(i-1)}+(L_{1(i-1)}-L_{1(i-2)})$；移动式图像截取窗口 18 定位点 D_{w2} 点的横坐标值 X_{2i} 等于其前次设定值 $X_{2(i-1)}$ 与坡口左边缘线 20 位置最近两次检测值的变化量 $(L_{2(i-1)}-L_{2(i-2)})$ 之和，即 $X_{2i}=X_{2(i-1)}+(L_{2(i-1)}-L_{2(i-2)})$。

以下提供本发明的 4 个实施例。

实施例 1

图 8 为窄间隙坡口宽度检测方法一的实施例图。摄像条件为：数字式红外 CMOS 摄像机 12 的摄像角度 γ=25°、光圈为 16，窄带滤光片中心波长为 970nm、带宽 25nm，中性减光片的透过率为 10%；焊接条件为：采用平位置直流 MAG 电弧焊接，焊接电流 300A，电弧电压 30V，焊接速度 20.3cm/min，焊炬高度 h=20mm，焊丝直径 1.2mm，焊接保护气体 Ar+20%CO_2 的流量为 30L/min，Ⅰ型窄间隙低碳钢焊接坡口宽度为 13mm，施焊时处于焊缝对中状态；电弧摇动工艺参数条件：摇动频率 f=2.5Hz，摇动半径 r=8.5mm，折弯导电杆 3 的折弯角度 β=8°，

摇动角度 α_j=72°，电弧在坡口两侧壁处停留时间各为 t_s=100ms，预留工艺间隙 g=1.5mm。

图 8（a）和（b）分别为计算机图像处理系统 11 获取的电弧摇动至坡口左侧壁和右侧壁处开始停留时的焊接图像，可见电弧在坡口左右侧停留时焊丝至坡口左侧壁和右侧壁距离基本相等，说明处于焊缝对中状态；根据坡口右边缘线 19 和左边缘线 20 横向位置最近两次检测值得变化量，分别自适应调整坡口右侧图像截取小窗口 17 和左侧图像截取小窗口 18 定位点 D_{w1} 和 D_{w2} 的横坐标值，最终形成的图像截取小窗口处于图 8（a）和（b）中白线框所示位置处；采用移动式小窗口 17 和 18 对焊接图像进行截取、并进行中值滤波后，获得的坡口边缘区域小窗口图像如图 8（c）和（d）所示；对截取的小窗口图像采用大津法进行全窗口自适应阈值分割处理后，获得的坡口边缘区域图像如图 8（e）和（f）所示，其中白色区域表示熔池区域；采用 Canny 边缘算子提取的坡口边缘图像，如图 8（g）和（h）中的白线所示。

最后，根据坡口宽度检测方法一所述检测算法，并以移动式小窗口 17 或 18 内坡口边缘线 19 或 20 上间隔为 10 个像素的相邻 3 个（即 m=3）位置检测值的中值作为坡口宽度的当前检测值，求得坡口宽度的当前检测值 G_i=13.13mm，检测误差率为 1%。

实施例 2

图 9 为窄间隙坡口宽度提取方法二的实施例图，摄像条件和摇动电弧焊接试验条件与实施例 1 相同。图 9（a）为计算机图像处理系统 11 获取的电弧摇动至坡口右侧壁处开始停留时的焊接图像，为了表达直观起见，这里用两个白线小窗口表示根据电弧区域最高点 C_2 和坡口边缘线 19 和 20 横坐标位置变化，自适应确定的移动式小窗口 17、18 的位置；图 9（b）为固定阈值分割和形态学腐蚀后的电弧形态图像，以此提取电弧最高点 C_2 位置坐标，并确定移动式小窗口 17 和 18 的纵坐标位置（如图 9（a）所示）；针对经过中值滤波和对比度拉伸处理后的全局图像，在图 9（a）和（b）中白线框所示位置处，采用移动式小窗口 17 和 18 分别截取得到的坡口边缘区域小窗口图像如图 9（c）和（d）所示；对截取的小窗口图像采用大津法进行全窗口自适应阈值分割处理后，获得的坡口边缘区域图像如图 9（e）和（f）所示，其中白色区域表示熔池区域；采用 Canny 边缘算子提取的坡口边缘图像，如图 9（g）和（h）中的白线所示。

最后，根据坡口宽度提取方法二所述检测算法，并以移动式小窗口 17 或 18 内坡口边缘线 19 或 20 上间隔为 10 个像素的相邻 3 个（即 m=3）位置检测值的中值作为坡口宽度的当前检测值，求得坡口宽度的当前检测值 G_i=13.27mm，检测误差率为 2.08%。可见，对于同一个坡口宽度实际值（13.0mm），采用检测方法二检测时，由于其移动式小窗口 17 中的小窗口图像受到了电弧弧光干扰，致使其检测误差比所述检测方法一的要大。

实施例 3

平位置窄间隙焊接电弧摇动控制实施例。在不同的电弧摇动半径下，进行了平位置窄间隙焊接电弧摇动控制试验。试验条件包括：预留工艺间隙 g=2.0mm，摇动频率 f=2.5Hz，侧壁停留时间 t_s=100ms，折弯导电杆 3 的折弯角度 β=8°，坡口宽度变化判定阈值 TH_w=0.2mm；随着坡口间隙在 8~16mm 范围内连续变化，焊接速度 V_w 对应地在 30.4~15.2cm/min 范围内自动调节，其余焊接试验条件同实施例 1 情形。

为了保证电弧摇动控制的有效性，当采用最小电弧摇动半径进行焊接时，在坡口可能的最大间隙处（即 $G_{si}=G_{max}$），应能保证表达式（4）中的电弧摇动角度 $\alpha_i \leq 180°$，因此焊前根据下式（5）确定电弧摇动的最小半径 r_{min}：

$$r_{\min} = (G_{\max} - 2g)/2 \qquad (5)$$

在表达式（5）中，G_{max} 为坡口间隙变化过程中可能出现的最大值，g 为预留工艺间隙。相应地，在本实施例中，电弧摇动的最小半径 r_{min}=6mm，即电弧摇动半径 r 应不小于 6mm。

为此，焊前选定电弧摇动半径 r=6mm，并根据已知的焊炬高度（h=20mm）、折弯角度（β=8°）、以及导电杆 3 折弯长度 a=7.3mm，依照式（1）计算出直型导电嘴 2 的长度 b=15.6mm，并选配相应长度的直型导电嘴 2；再将摄像机 12 固连于准备好的焊炬上，移动焊炬至坡口实际宽度为 8mm 的启弧处，并将此处的坡口宽度初始值 G_{s0}=8.0mm、以及预留工艺间隙 g=2.0mm、坡口间隙变化判定阀值 TH_w=0.2mm、电弧摇动半径 r=6mm 等初始控制参数，一同输入摇动角度计算模块 16 中；然后，在电弧摇动参数控制系统 10 上，设定电弧摇动频率 f=2.5Hz、电弧在坡口两侧壁处停留时间各为 t_s=100ms，并在摇动角度计算模块 16 中，根据式（3）计算出与电弧摇动半径 r 相对应的电弧初始摇动角度 α_0=38.9°后，将 α_0 输入到电弧摇动参数控制系统 10 中，完成包括摇动频率 f、侧壁停留时间 t_s、电弧初始摇动角度 α_0 等三个电弧摇动参数的预设。

在对焊炬进行自动寻找电弧摇动中点 O_{10} 操作后，引燃电弧 1，电弧摇动参数控制系统 10 控制电机驱动及馈电机构 4 转动伸入坡口 9 的折弯导电杆 3，带动焊丝 5 端部的焊接电弧 1 在坡口 9 内，按摇动频率 f=2.5Hz 作相对于焊炬的、关于摇动中点 O_{10}（或 O_{1i}，参见图 2）对称的往复式圆弧形轨迹 8 摇动，并在坡口 9 左右两侧壁处各停留时间 t_s=100ms；同时，拖动机构带动焊炬整体与红外摄像系统一起以焊接速度 V_w 向前移动。

焊接过程中，采用红外 CMOS 摄像机 12 实时采集焊接区域图像，在计算机图像处理系统 11 中对焊接图像进行处理后，坡口宽度提取模块 15 按类似于实施例 1 的坡口宽度提取方法，提取坡口宽度的当前检测值 G_i，并以最近 5 次（即 n=5）坡口宽度检测值的中间平均值

作为坡口宽度的当前采样值 G_{si}。若最近两次坡口宽度采样值变化量的绝对值 ΔG_{si} 不大于其误差控制阈值 TH_w=0.2mm，即 $\Delta G_{si}=|G_{si}-G_{s(i-1)}|\leq 0.2$mm，则不调整电弧摇动角度，其中 $G_{s(i-1)}$ 为坡口宽度的前次采样值；否则，根据焊前设定的电弧摇动半径 r 和预留工艺间隙 g、以及坡口宽度当前采样值 G_{si}，再根据表达式（4）计算出电弧摇动角度的当前目标值 α_i，并输入电弧摇动参数控制系统 10，通过电机驱动及馈电机构 4 驱动折弯导电杆 3，控制电弧 1 作角度为 α_i 的圆弧形轨迹 8 摇动，使电弧在坡口侧壁停留点处至坡口侧壁距离与设定的预留工艺间隙 g 相等，从而在坡口宽度变化下保证了电弧能均匀有效地加热坡口侧壁，获得稳定的坡口侧壁熔深和一致的焊缝高度。

本实施例中，针对 8~16mm 范围内变化的坡口宽度，当电弧摇动半径 r=6mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 38.9°~180.0°。另外，在同样焊接条件下，采用与电弧摇动半径 r=6mm 时同样的控制方法，针对 r=7、8、9、10mm 情形，分别实施了电弧摇动适应控制。其控制结果是：当电弧摇动半径 r=7mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 33.2°~118.0°；当电弧摇动半径 r=8mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 29.0°~97.2°；当电弧摇动半径 r=9mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 25.7°~83.6°；当电弧摇动半径 r=10mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 23.1°~73.7°。

实施例 4

立向位置窄间隙焊接电弧摇动控制实施例。在不同的电弧摇动半径下，进行了立向位置窄间隙焊接电弧摇动控制试验。试验条件包括：采用脉冲 MAG 电弧焊接，平均焊接电流 150A，平均电弧电压 22V，焊接速度 9.1cm/min，焊炬高度 h=20mm，焊丝直径 1.2mm，焊接保护气体 Ar+20%CO_2 的流量为 20L/min，坡口间隙在 8~16mm 范围内连续变化；电弧摇动频率 f=0.8Hz，电弧在坡口两侧壁处停留时间各为 t_s=400ms，预留工艺间隙 g=1.0mm，其余试验条件同实施例 1。另外，焊前根据表达式（5）求得电弧摇动的最小半径 r_{min}=7mm，即电弧摇动半径 r 应不小于 7mm。

本实施例中，采用与实施例 3 所涉及的平位置窄间隙焊接电弧摇动控制类似的控制方法。针对 8~16mm 范围内变化的立向坡口宽度，当电弧摇动半径 r=7mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 50.8°~180.0°；当电弧摇动半径 r=8mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 44.0°~122.1°；当电弧摇动半径 r=9mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 38.9°~102.1°；当电弧摇动半径 r=10mm 时，电弧摇动角度调节时的变化范围为 34.9°~88.9°。

可见，为适应坡口宽度由小到大的变化，根据式（4）所提算法，电弧摇动角度由小到大地进行实时调整，使窄间隙立焊坡口两侧壁获得了均匀稳定的熔深，保证了窄间隙立焊质量。

权 利 要 求 书

1．一种窄间隙焊接电弧摇动的适应控制装置，其特征是：包括窄间隙焊炬、电弧摇动参数控制系统（10）、计算机图像处理系统（11）以及红外摄像系统；窄间隙焊炬中的折弯导电杆（3）一端与电机驱动及馈电机构（4）相连、另一端与直型导电嘴（2）相接，穿过窄间隙焊炬的焊丝（5）伸入坡口宽度变化的待焊坡口（9）中产生焊接电弧（1）；红外摄像系统包括数字式红外摄像机（12）及红外滤光系统（13）；计算机图像处理系统（11）包含依次连接的图像采集卡（14）、坡口宽度提取模块（15）和摇动角度计算模块（16），图像采集卡（14）通过视频线与红外摄像机（12）相连；摇动角度计算模块（16）的输出连接电弧摇动参数控制系统（10）；电弧摇动参数控制系统（10）通过控制线与焊炬中的电机驱动及馈电机构（4）相连，并通过信号线分别连接红外摄像机（12）和图像采集卡（14）。

2．一种根据权利要求 1 所述窄间隙焊接电弧摇动的适应控制装置的控制方法，其特征是：红外摄像系统以电弧位置外触发方式获取焊接区域红外图像，经过计算机图像处理系统（11）处理，实时提取坡口宽度信息；计算机图像处理系统（11）根据坡口宽度计算出电弧摇动角度目标值；电弧摇动参数控制系统（10）控制电机驱动及馈电机构（4）直接转动折弯导电杆（3），控制电弧（1）在待焊坡口（9）内以目标摇动角度作相对于焊炬的圆弧形轨迹（8）摇动，实现根据坡口宽度变化对电弧摇动角度的自适应控制。

3．根据权利要求 2 所述的控制方法，其特征是具体包括以下步骤：

① 在摇动角度计算模块（16）中，预设电弧摇动半径 r、预留工艺间隙 g、坡口宽度变化判定阈值 TH_w 以及坡口宽度初始值 G_{s0} 后，计算出坡口初始宽度 G_{s0} 处所对应的初始摇动角度 α_0，作为坡口实际宽度 A_0B_0 处的采样值，然后焊炬与红外摄像系统一起以焊接速度 V_w 向前移动，同时电弧摇动参数控制系统（10）通过焊炬控制电弧（1）在待焊坡口（9）内作摇动角度为 α_0 的往复式圆弧形轨迹（8）摇动；

② 电弧摇动参数控制系统（10）根据电机转动位置检测信号 P_M，在电弧（1）偏向待焊坡口（9）左侧壁或右侧壁或处于坡口中心时，向红外摄像机（12）和图像采集卡（14）发出电弧拍摄与图像采集触发信号 P_A，使计算机图像处理系统（11）获取焊接区域图像后，宽度提取模块（15）通过图像处理实时提取坡口宽度；

③ 当焊炬移动到坡口实际宽度为 A_iB_i 的任意位置处时，坡口宽度提取模块（15）实时提取该处坡口宽度当前检测值 G_i，并与之前在其他位置获取的最近的当 $i\geq n$ 时的 n-1

或 i<n 时的 i-1 个坡口宽度检测值一起，求出共 n≥1 时共 n 个或当 i＜n 时共 i 个坡口宽度检测值的中值或平均值，作为 A_iB_i 处坡口宽度当前采样值 G_{si}，再输入至摇动角度计算模块（16）中；其中 i 是实际采样点序数，i≥1；

④ 摇动角度计算模块（16）将坡口宽度当前采样值 G_{si} 与前次采样值 $G_{s(i-1)}$进行比较，若二者差值的绝对值 $\Delta G_{si} \leq TH_w$，则不调整坡口实际宽度为 A_iB_i 处的电弧摇动角度 α_i；否则，摇动角度计算模块（16）根据坡口宽度当前采样值 G_{si}、预留工艺间隙 g 和电弧摇动半径 r，计算求得 A_iB_i 处电弧摇动角度目标值 α_i 后，电弧摇动参数控制系统（10）再通过电机驱动及馈电机构（4）驱动折弯导电杆（3），控制电弧（1）作角度为 α_i 的圆弧形轨迹（8）摇动，使电弧在侧壁停留点 D_i 和 M_i 处至坡口侧壁距离分别与设定的预留工艺间隙 g 相等；

⑤ 重复上述步骤②至步骤④，直至焊接过程结束。

4．根据权利要求 3 所述的控制方法，其特征是：步骤②中，宽度提取模块（15）实时提取坡口宽度的方法一是：当电弧（1）偏向待焊坡口（9）左侧壁时，根据坡口右边缘线（19）的横向位置变化调整坡口右侧图像截取窗口（17）定位点的横坐标值，截取坡口右侧图像，提取坡口右边缘线（19）以及坡口右边缘线（19）至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；当电弧偏向待焊坡口（9）右侧壁时，根据坡口左边缘线（20）的横向位置变化调整坡口左侧图像截取窗口（18）定位点的横坐标值，截取坡口左侧图像，提取坡口左边缘线（20）以及坡口左边缘线（20）至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，计算出坡口宽度当前检测值 $G_i=（L_{1i}－L_{2i}）$。

5．根据权利要求 3 所述的控制方法，其特征是：步骤②中，宽度提取模块（15）实时提取坡口宽度的方法二是：通过对全局焊接图像进行处理，提取电弧区域最高点的位置坐标，根据最高点的纵坐标值确定坡口左、右侧图像截取窗口（18、17）的定位点的纵坐标值，根据坡口边缘线（20、19）的横向位置变化调整图像截取窗口（18、17）定位点的横坐标值；用右侧图像截取窗口（17）截取包含坡口右边缘线（19）信息的图像后，再求取坡口右边缘线（19）至全局图像左边界的当前距离 L_{1i}；在同一幅图像中用坡口左侧图像截取窗口（18）截取包含坡口左边缘线（20）信息的图像后，再求取坡口左边缘线（20）至全局图像左边界的当前距离 L_{2i}，计算出坡口宽度的当前检测值 $G_i=（L_{1i}－L_{2i}）$。

6．根据权利要求 4 或 5 所述的控制方法，其特征是：坡口左边缘线（20）至全局

图像左边界距离 L_{2i} 的检测点的纵坐标值，与坡口右边缘线（19）至全局图像左边界距离 L_{1i} 的检测点的纵坐标值相同，为破口左、右侧图像截取窗口（18、17）内坡口左、右边缘线（20、19）上 m 个位置检测值的中值或平均值，m≥1。

7．根据权利要求 4 或 5 所述的控制方法，其特征是：在处理图像截取窗口（17）或（18）截取的小窗口图像时，先进行中值法滤波，再对所全局图像图像进行灰度分析，自动寻找熔池图像与背景图像灰度分布的峰谷点并确定阈值点，对全窗口图像进行大津法自适应阈值分割处理，最后用 Canny 边缘检测算子提取坡口边缘线（19、20）；在对全局焊接图像处理时，先采用中值法滤波和对比度拉伸处理，然后对焊接图像进行全局固定阈值分割后提取电弧区域轮廓，再对电弧区域轮廓进行形态学腐蚀处理后，提取电弧区域最高点的位置坐标。

8．根据权利要求 4 或 5 所述的控制方法，其特征是：根据电弧拍摄与图像采集触发信号 P_A 或电弧区域最高点横坐标值，辨识并确认电弧偏向坡口左侧壁或是偏向坡口右侧壁或是在坡口中心。

9．根据权利要求 3 所述的控制方法，其特征是：在步骤①中，预留工艺间隙 g 是在与焊接速度 V_w 垂直方向上电弧轴线至坡口左右侧壁的最短距离，预设的电弧摇动半径 r≥（G_{max}－2g）/2，其中，$r=(a+b)\sin\beta+h\tan\beta$，$G_{max}$ 是坡口宽度可能的最大值，a 是焊炬的折弯导电杆（3）折弯部分的长度，b 是焊炬的直型导电嘴（2）的长度，h 是焊炬高度，β 是折弯导电杆（3）的折弯角度；在步骤④中，坡口宽度变化判定阈值 TH_w≤0.5mm，摇动角度 $\alpha_i=2\arcsin\{(G_{si}-2g)/2r\}$。

说 明 书 附 图

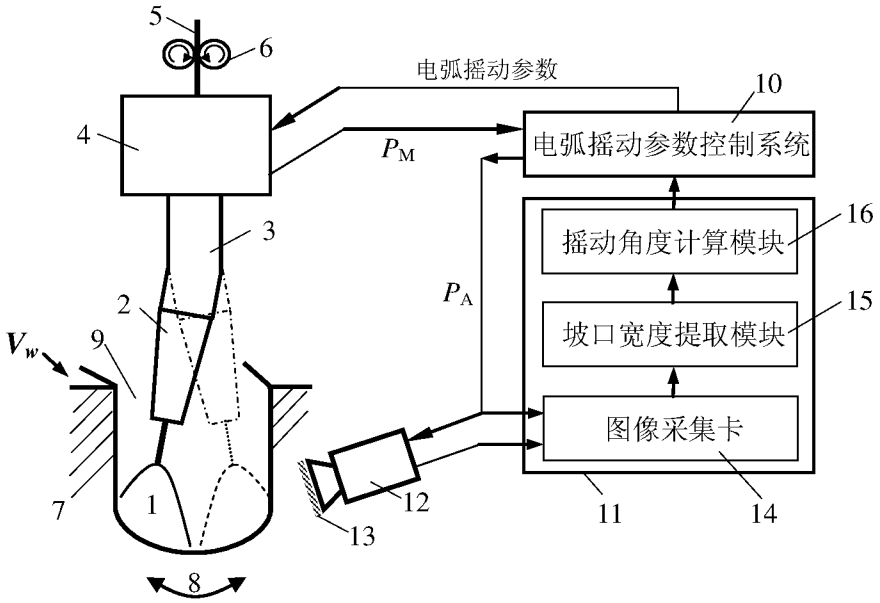

5
6
电弧摇动参数
10
4
P_M
电弧摇动参数控制系统
3
16
摇动角度计算模块
P_A
2
15
坡口宽度提取模块
V_w
9
图像采集卡
7
1
12
11
14
13
8

图 1

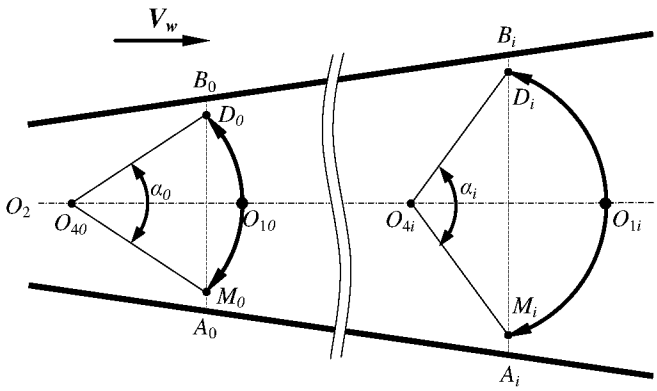

V_w
B_i
B_0
D_0
D_i
α_0
α_i
O_2
O_{40}
O_{10}
O_{4i}
O_{1i}
M_0
M_i
A_0
A_i

图 2

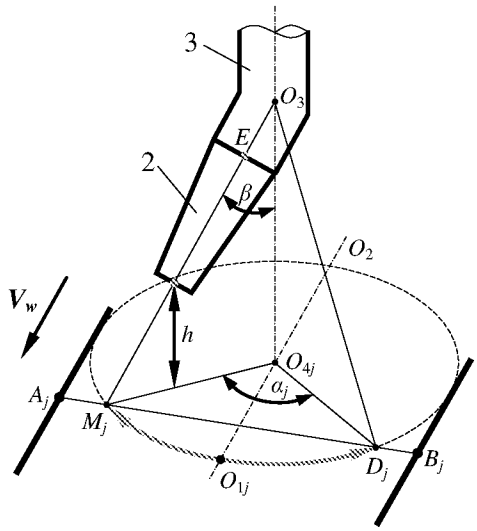
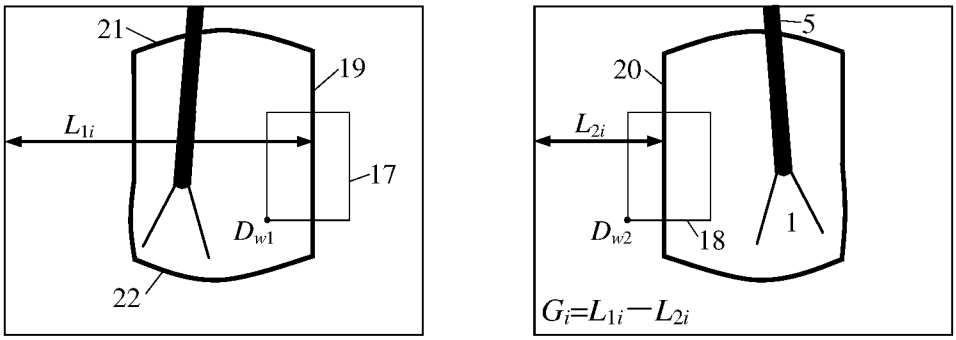
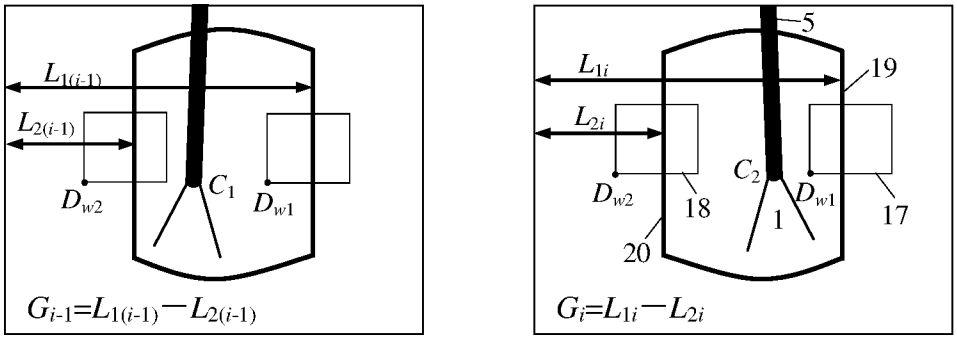

3
O_3
E
2
β
O_2
V_w
h
O_{4j}
A_j
α_j
M_j
D_j
B_j
O_{1j}

图 3



（a） （b）

图 4


$L_{1(i-1)}$
$L_{2(i-1)}$
D_{w2}
C_1
D_{w1}
$G_{i-1}=L_{1(i-1)}-L_{2(i-1)}$
5
L_{1i}
19
L_{2i}
C_2
D_{w2}
18
D_{w1}
17
1
20
$G_i=L_{1i}-L_{2i}$

（a） （b）

图 5

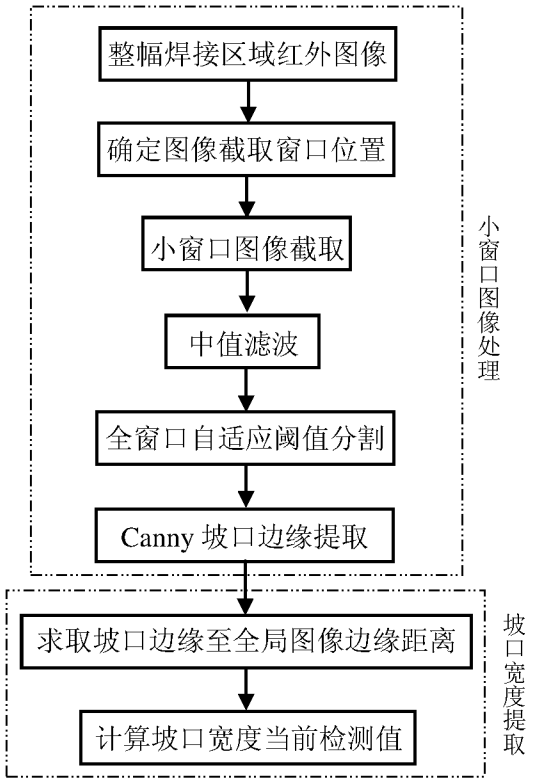

整幅焊接区域红外图像
确定图像截取窗口位置
小窗口图像截取
中值滤波
全窗口自适应阈值分割
Canny 坡口边缘提取
小窗口图像处理
求取坡口边缘至全局图像边缘距离
计算坡口宽度当前检测值
坡口宽度提取

图 6

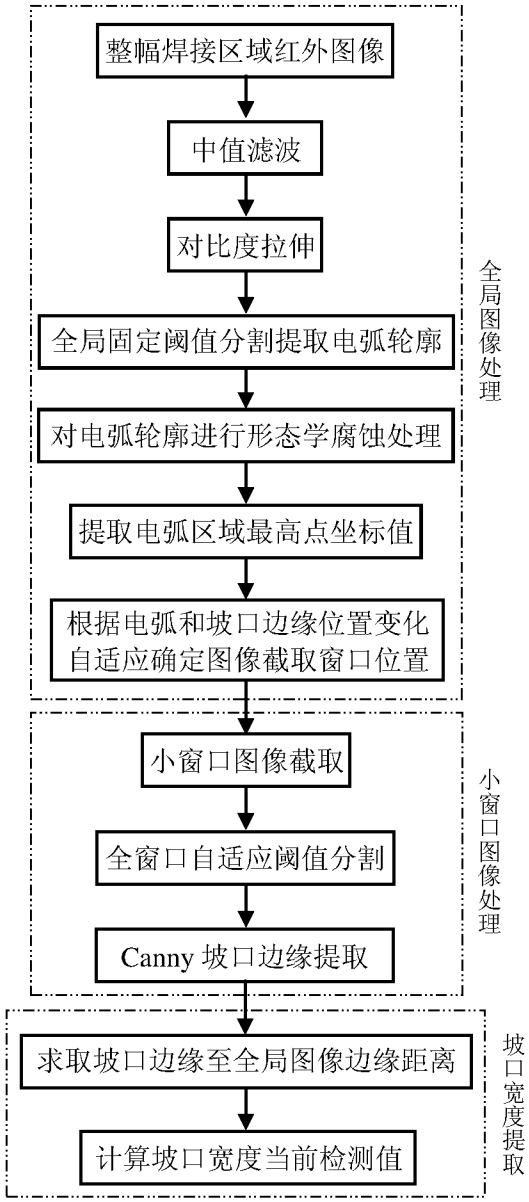

整幅焊接区域红外图像
中值滤波
对比度拉伸
全局固定阈值分割提取电弧轮廓
对电弧轮廓进行形态学腐蚀处理
提取电弧区域最高点坐标值
根据电弧和坡口边缘位置变化
自适应确定图像截取窗口位置
全局图像处理
小窗口图像截取
全窗口自适应阈值分割
Canny 坡口边缘提取
小窗口图像处理
求取坡口边缘至全局图像边缘距离
计算坡口宽度当前检测值
坡口宽度提取

图 7

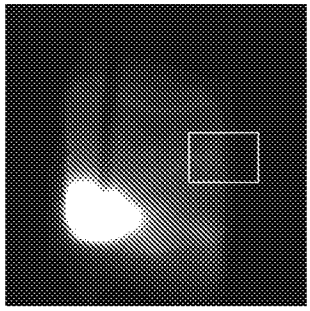
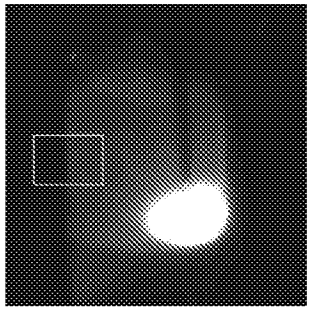
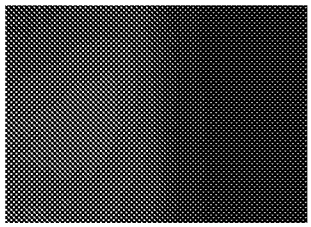
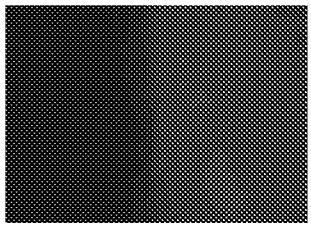
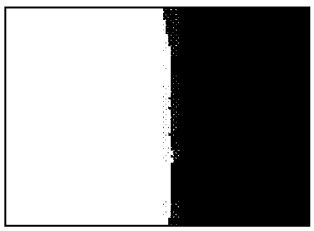
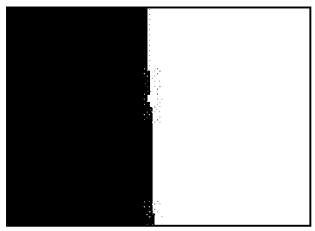
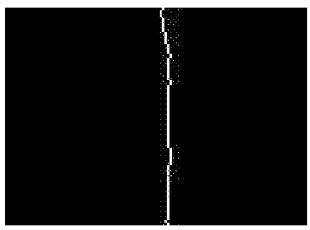
	电弧摇动至坡口左侧壁时	电弧摇动至坡口右侧壁时
图像处理前原始红外图像及图像截取窗口位置	 (a)	 (b)
小窗口截取坡口边缘区域图像	 (c)	 (d)
阈值处理后坡口边缘区域图像	 (e)	 (f)
边缘提取后坡口边缘图像	 (g)	 (h)

图 8

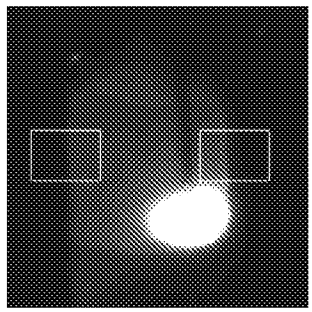
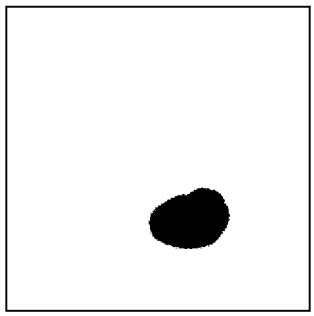
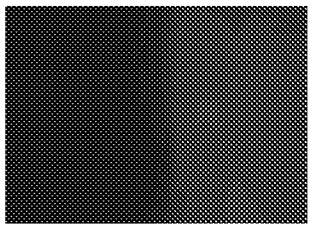
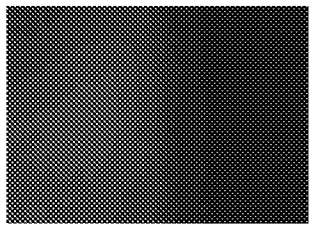
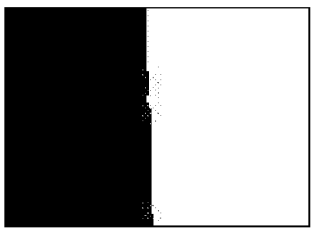
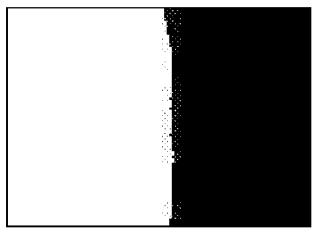
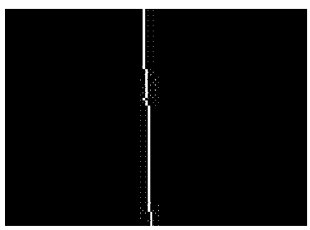
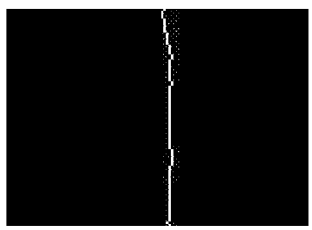
	以电弧摇动至坡口右侧时为例	
图像处理前原始红外图像及图像截取窗口位置	 (a)	
全局阈值分割和形态学腐蚀后电弧形态图像	 (b)	
小窗口截取坡口边缘区域图像	 (c)	 (d)
阈值处理后坡口边缘区域图像	 (e)	 (f)
边缘提取后坡口边缘图像	 (g)	 (h)

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/082903

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K 9/095 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B23K 9/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
CNKI, CNPAT, VEN, WPI, EPODOC: narrow gap, electric arc, groove, vision, angle, narrow, gap, weld, swing, control, arc, image, picture, camera, photo, CCD

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 101412143 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 22 April 2009 (22.04.2009) description, particular embodiments, and figures 1-4	1-2
Y	CN 102814574 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 12 December 2012 (12.12.2012), the description, paragraphs 0028-0035, and figures 1-5	1-2
Y	CN 101767242 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 07 July 2010 (07.07.2010), description, paragraphs 0021-0030, and figures 1-3	1-2
PX	CN 104439620 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 25 March 2015 (2015-013-25), claims 1-9	1-9
A	CN 102275029 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 14 December 2011 (14.12.2011), the whole document	1-9
A	JP 2004268088 A (BABCOCK HITACHI KK), 30 September 2004 (30.09.2004), the whole document	1-9
A	JP 10193126 A (TOKYO GAS CO., LTD. et al.), 28 July 1998 (28.07.1998), the whole document	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 September 2015 (09.25.2015)	**12 October 2015 (12.10.2015)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **REN, Guoli** Telephone No.: (86-10) **62085343**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/082903

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SHAN, Litao, "Application of CCD Image Sensor and STT Technique in Welding of Hydro-Turbine", ELECTRIC POWER CONSTRUCTION, volume 26, number 03, 20 March 2005 (20.03.2005), ISSN: the whole document	1-9
A	LI, Wenhang et al., "Development of the Welding Measurement and Control System Based on LabVIEW", JOURNAL OF SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY, volume 42, the supplement number, 15 November 2008 (15.11.2008), ISSN: the whole document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/082903

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101412143 A	22 April 2009	CN 101412143 B	01 June 2011
CN 102814574 A	12 December 2012	CN 102814574 B	10 September 2014
CN 101767242 A	07 July 2010	None	
CN 104439620 A	25 March 2015	None	
CN 102275029 A	14 December 2011	CN 102275029 B	15 May 2013
JP 2004268088 A	30 September 2004	None	
JP 10193126 A	28 July 1998	JP H10193126 A	28 July 1998

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2015/082903

A. 主题的分类

B23K 9/095(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B23K9/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNKI，CNPAT，VEN，WPI，EPODOC；窄间隙，焊接，电弧，坡口，图像，视觉，控制，角度，摄像，narrow， gap, weld, swing, control, arc, image, picture, camera, photo,CCD

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 101412143 A (江苏科技大学) 2009年 4月 22日 (2009-04-22) 说明书具体实施方式及附图1-4	1-2
Y	CN 102814574 A (江苏科技大学) 2012年 12月 12日 (2012-12-12) 明书第0028-0035段及附图1-5	1-2
Y	CN 101767242 A (清华大学) 2010年 7月 7日 (2010-07-07) 说明书第0021-0030段及附图1-3	1-2
PX	CN 104439620 A (江苏科技大学) 2015年 3月 25日 (2015-03-25) 权利要求1-9	1-9
A	CN 102275029 A (江苏科技大学) 2011年 12月 14日 (2011-12-14) 全文	1-9
A	JP 2004268088 A (BABCOCK HITACHI KK) 2004年 9月 30日 (2004-09-30) 全文	1-9
A	JP 10193126 A (TOKYO GAS CO LTD等) 1998年 7月 28日 (1998-07-28) 全文	1-9

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2015年 9月 25日	2015年 10月 12日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国	任国丽
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62085343

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	单利涛. "CCD图像传感器及STT技术在水轮机焊接中的应用" 电力建设, 第26卷，第03期，2005年 3月 20日 (2005 - 03 - 20)， ISSN：全文,	1-9
A	黎文航等. "基于LabVIEW的焊接测控系统开发" 上海交通大学学报, 第42卷，第增刊期，2008年 11月 15日 (2008 - 11 - 15)， ISSN：全文,	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/082903

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	101412143	A	2009年 4月 22日	CN	101412143	B	2011年 6月 1日
CN	102814574	A	2012年 12月 12日	CN	102814574	B	2014年 9月 10日
CN	101767242	A	2010年 7月 7日		无		
CN	104439620	A	2015年 3月 25日		无		
CN	102275029	A	2011年 12月 14日	CN	102275029	B	2013年 5月 15日
JP	2004268088	A	2004年 9月 30日		无		
JP	10193126	A	1998年 7月 28日	JP	H10193126	A	1998年 7月 28日