

马鞍形端面立面热丝 TIG 堆焊设备设计

高殿宝¹, 李 坚²

摘要: 采用多轴控制器, 设计出五轴联动控制的马鞍形接管端面和立面堆焊机。结合相应控制方法, 实现了马鞍形接管端面和立面的热丝 TIG 自动堆焊。

关键词: 马鞍形接管; 多轴控制; 堆焊机

中图分类号: TG434 **文献标识码:** B **文章编号:** 1673-3355 (2011) 06-0016-04

Hot Wire TIG Cladding Device Design for Cladding Vertical and End Faces of Saddle-shaped Nozzles

Gao Dianbao, Li Jian

Abstract: By using multiple-shaft controllers, a cladding machine that is controlled by five shafts together is designed to clad the end faces and vertical faces of saddle-shaped nozzles. With proper control methods, hot wire TIG automatic cladding can be performed on the end faces and vertical faces of saddle-shaped nozzles.

Key words: saddle-shaped nozzle; multiple-shaft control; cladding machine

马鞍形接管是核电进出口管, 并由筒节与进出口管相惯形成的马鞍端面, 在管内侧面还有一个外倾斜的台阶, 端面和侧面的整圈宽度都不相同。由于马鞍端面形状复杂, 现有通用自动焊接设备无法使用, 只能采用手工焊进行马鞍端面、立面的堆焊工作, 由于手工堆焊的工件端面整齐性差, 堆焊面凸凹不平, 堆焊余量大, 需要磨平后进行探伤, 磨削工作量大。

为解决上述问题, 实现马鞍端面接管堆焊自动化, 需要设计出采用专用变位器和操作机五轴联动控制的马鞍端面和侧立面堆焊机, 实现马鞍端面、外侧斜立面的水平位焊接; 实现不规则马鞍端面、侧斜立面、内立面堆焊轨迹数字程序控制; 完成核电进出口管马鞍面自动移距连续堆焊工作。

1 设备用途及组成

1.1 用途

本焊接设备主要用于大直径厚壁筒体的马鞍端面堆焊和内外壁堆焊, 具体功能为: 端面端部

堆焊及马鞍端内外角边缘堆焊; 外侧立面马鞍堆焊; 内侧立面马鞍堆焊。主要由热丝 TIG 焊接系统, 变位装置和电气控制系统组成。在控制系统的协调控制下, 可根据工艺设计要求实现自动焊接作业。

1.2 设备组成

本设备主要由底座、主(从)动侧立柱、回转变位机构、升降机构、横向移动滑座、焊枪进退机构、垂直滑座、焊接机头、激光定位装置、导电机头、焊接电源、焊枪及热丝系统、冷却水循环装置、电气控制系统等组成。

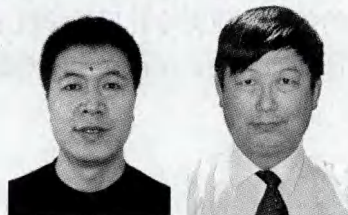
(1) 底座 由型钢拼焊而成, 强度高, 刚性好, 对整体安装基础要求低, 节约基础的施工成本, 可多点调整以确保整体安装后的水平度。

(2) 主动侧立柱 由主动支座、伺服电机、行星减速机、大小齿轮等组成。小齿轮轴与轴承套为偏心设计, 通过旋转轴承套可以调节大小齿轮齿侧间隙, 调节方便, 传动平稳精度高。交流伺服电机整体安装在底座上, 作为五轴联动中的一轴, 参与马鞍面或相贯线的轨迹合成。

(3) 从动侧立柱 由侧立柱、刻度盘等组成。

1. 中国第一重型机械股份公司核电石化事业部工程师, 辽宁 大连 116113

2. 中国第一重型机械股份公司核电石化事业部高级工程师, 辽宁 大连 116113



与主动侧立柱共同支撑升降机构,完成倾斜旋转,刻度盘可准确读取倾斜角度,便于操作。

(4) 回转变位机构 由回转支撑、小齿轮、导电装置、回转架体、工作盘等组成。由交流伺服电机通过精密减速机、齿轮齿圈传动工作盘旋转,从而带动工件运动。作为五轴联动中的一轴,参与马鞍面或相贯线的轨迹合成。回转支承与小齿轮外侧设有防护罩,防止焊接飞溅的进入。工作盘采用耐热钢板和型钢焊接而成,结构强度及刚性好。台面上均布等间隔的定位线,并设有放射状的多条T型槽。工件可通过螺栓压板压紧在工作台上。焊接电源地线通过导电装置电刷与工件连通。

(5) 升降机构 由减速电机、丝杠、导轨等组成。负责托起高低不同的工件,使工件端面相贯线的低点与倾斜轴同心,完成工件的粗定位。

(6) 横向移动滑座 由型钢拼焊而成,与变位机底座连接为一体,驱动部分由伺服电机加减速机组成,通过齿轮齿条传递动力,可以实现焊接机头由回转盘中心到回转盘外圆的行走。作为五轴联动中的一轴,参与马鞍面或相贯线的轨迹合成。

(7) 焊枪进退机构 由伺服电机、滚珠丝杠、直线导轨、滑座滑板等组成。焊枪进退机构作为焊接机头、送丝机、垂直滑座、跟踪传感器的主支撑,在进行焊接操作时整体进退,具有水平跟踪与进退枪功能,可以完成不同直径、高低工件的焊接,作为五轴联动中的一轴,参与马鞍面或相贯线的轨迹合成。

(8) 垂直滑座 由伺服电机、滚珠丝杠、直线导轨、滑座滑板等组成。具有垂直跟踪和进枪功能,作为五轴联动中的一轴,参与马鞍面或相贯线的轨迹合成。

(9) 焊接机头 由夹枪机构、热丝焊枪等部分组成。可以实现X、Y轴两方向的直线微调 and 两方向的角度调整。夹枪机构安装于垂直滑座上,用于连接及固定焊枪,由转向蜗轮组件带动焊枪旋转,旋转范围 $\pm 90^\circ$,满足工件端面及立面的焊接需求,结构轻巧,调节方便,并具有任意角度锁定的功能;微调机构通过小滑座调整,使焊枪可以做X、Y两个方向的微调。为了满足马鞍面中R面的焊接要求,还附加一定点旋转角度板,通过手动调节焊枪角度(此时枪尖不动)完成R面的焊接。热丝焊枪还可执行AVC弧压跟踪,跟踪方向角可设定。

(10) 激光定位装置 由架体与激光器组成。

安装在升降机构上,所发出激光束的中心与倾斜轴中心重合,用于设备(Y/Z/B)轴原点位置的确定。

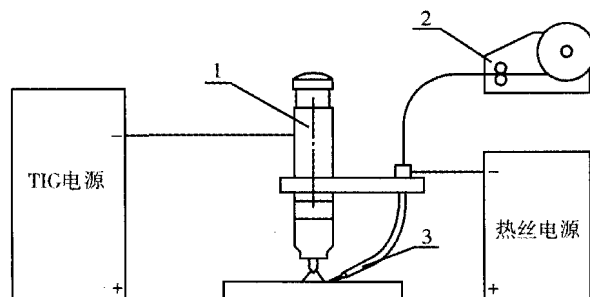
(11) 导电机构 导体与工作台的精加工面紧密接触,导电装置与回转箱体绝缘安装,导体采用铜质合金制作,允许使用焊接电流不小于1500A。

2 电气控制系统

采用进口多轴控制器为控制中心,具有小型化、高速度、高性能、大容量等特点,运算精度高,通过编程可实现多轴联动控制,通过触摸屏进行人机对话,可在屏幕上设置相关工件参数和查询各轴位置数据。手持操作盒上安装全部手动按钮,方便就近调整焊枪位置。

3 热丝 TIG 焊接工作原理

焊接方法为热丝 TIG 自动焊。在送丝导电嘴与工件间加入电压,利用送丝导电嘴与工件间焊丝流过的电流加热焊丝,减少电弧热量吸收,提高焊接效率。由于采用了自动弧压控制技术和脉冲焊接方式,焊道宽度均匀,焊接质量优于手工焊(见图1)。



1—TIG 焊枪; 2—送丝机; 3—热丝导电嘴。

图1 热丝 TIG 工作原理

4 焊接变位器的作用和控制思路

热丝 TIG 焊接方式要求焊丝与工件必须接触良好才能保证热丝电流和电弧稳定,如果与工件的接触点发生变化,或未与工件接触直接送入熔池,将产生与熔化极气体保护焊类似的飞溅现象,钨极尖附着飞溅物将导致电弧变形甚至与工件粘连,不能实现连续稳定的焊接。而专用焊接变位器的任务之一就是保证焊接位始终处于水平位置,使送丝与工件间角度恒定,从而保证热丝 TIG 焊接过程稳定,变位器的另一个作用是实现马鞍曲线轨迹控制

和连续堆焊时自动变换轨迹的功能。控制思路是以马鞍管中心轴为旋转中心和主变量，倾角、高度、半径、前后轴为随动量。根据模型公式，计算旋转轴变化最小分辨角度时其它轴变化量，由多条线段拟合出马鞍轨迹的一周变化。考虑到工件直径达到 $\varnothing 1600\text{ mm}$ ，角度最小变量取 0.1° ，以保证侧向堆焊时，运动轨迹不会出现高度台阶跳变。焊接时可通过电弧电压自动控制 (AVC) 修正轨迹偏差，AVC 控制动作方向夹角可以设定。数学模型的建立以适用控制为原则 (具体略)。

5 马鞍端面一周宽度不同的处理方法

由于马鞍端面底面内曲线为梯形圆台与筒体相贯，俯视图不是一个圆，如果按该轨迹平行向外堆焊，将造成堆焊焊道与外边缘不等距，影响产品美观，考虑到工件堆焊厚度允许有一定公差，在轨迹计算时采取轨迹平均法，使堆焊后外边缘宽度一致。具体方法是根据输入低点和高点宽度及道焊数，求出外轨迹与内轨迹对应每道焊道不同角度 θ 的半径变化量，再根据当前焊道数进行位置补偿。

6 焊接控制时序

焊接控制时序增加了送丝起始速度、加速时间、减速时间、回转延时、起动速度、加速时间、衰减时间、停止速度等参数，可满足各种不同条件下的控制要求。

当按下启动开关，开启保护气阀后，焊枪以低速接触工件，然后，向上提起至设定高度。当达到提前送气时间时，启动焊接电源高频引弧，并按上升斜率增加电流，到达设定电流后执行峰值与基值脉冲。当达到 AVC 延时时间后，AVC 控制有效，当弧压超出设定范围时，下一位置坐标将按与弧压变化相反方向修正。到达延时送丝时间时，按设定速度上升时间加速到设定速度，焊接变位装置达到延时运动时间后，执行启动加速到设定线速度，各轴按轨迹计算变量控制。按下停止键后，执行焊接电流衰减，同时执行送丝速度衰减填满弧坑，待达到回抽设定速度后回抽焊丝，变位器的速度也同时衰减到停止。最后延时停气时间计时结束，关闭保护气电磁阀 (见图 2)。

执行焊接或程序控制运动时，首先输入工件相

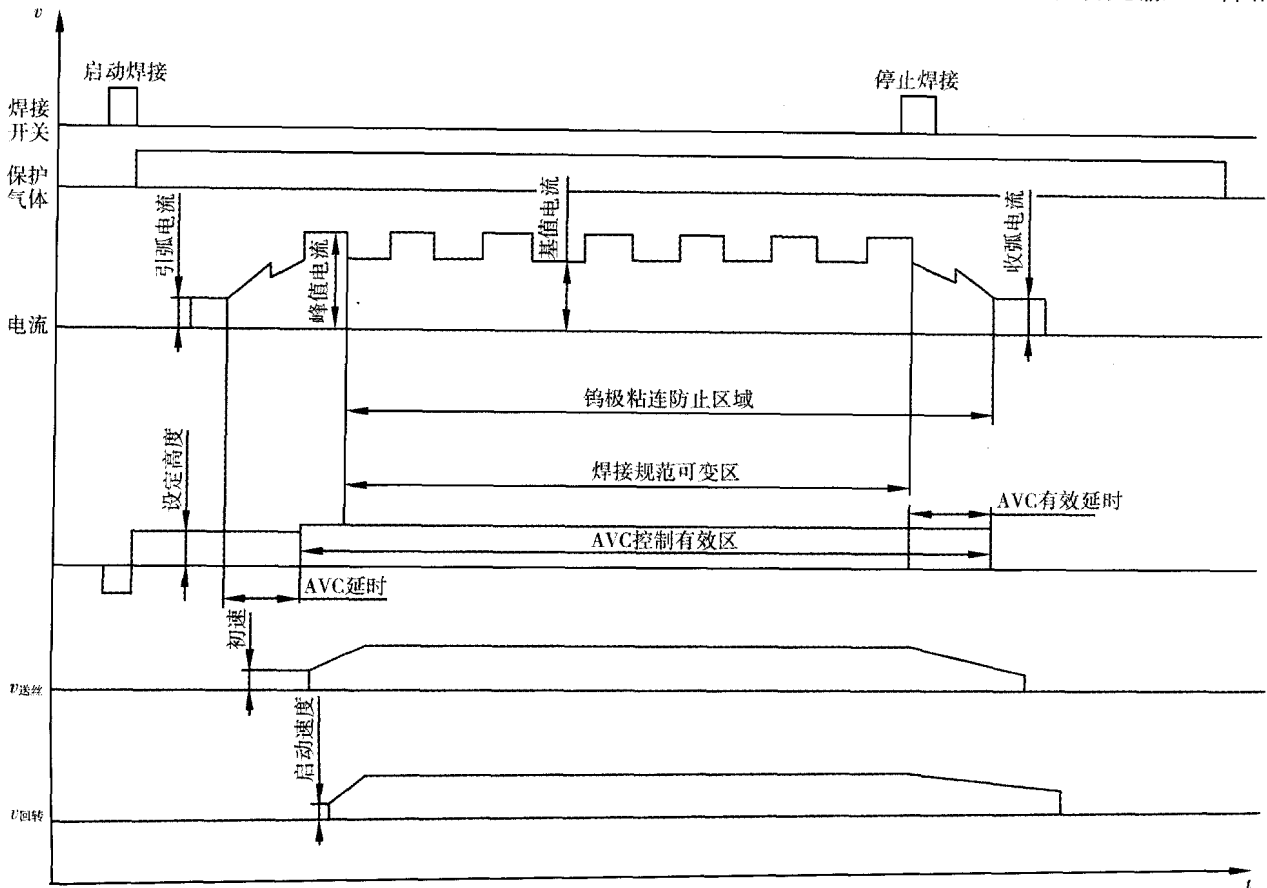
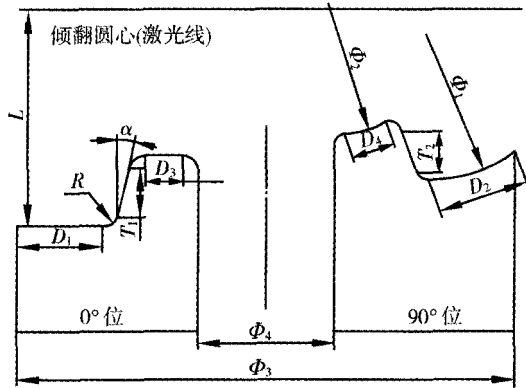


图 2 TIG 焊接控制时序图

关参数 (见图 3), 程序将根据这些参数, 计算初始原点坐标值、运动轨迹及运动轨迹修正补偿值等。在执行轨迹运动过程中几何尺寸不能修改, 焊接速度、基值电流、基值电流时间、峰值电流、峰值电流时间及 AVC 设定电压可变, 通过按 Z 轴升、降键可实现设定 AVC 电压每次 0.1 V 的修改。



Φ_1 —低面母管直径; D_1 —低面 0° 位宽度; D_2 —低面 90° 位宽度; Φ_2 —高面母管直径; D_3 —高面 0° 位宽度; D_4 —高面 90° 位宽度; Φ_3 —支管外径; Φ_4 —支管内径; L —中心高度; (T_1, T_2)—外壁高度差; α —外壁斜度; R —圆角半径。

图 3 马鞍工件相关尺寸参数

在进行堆焊轨迹控制时, 各轴可在手动状态下单独控制。当输入相关参数后, 首先将各轴调至设定起始原点位置, 执行原点复位, 各轴初始坐标将按工件设定参数和位置进行计算并赋值。当按下正转按钮或焊接过程启动运动时, 按正向运动轨迹进行横移、进退、高度、倾角、转速的计算。转速计算主要是用于控制由于坡度造成的线速度变化, 通过改变转速, 使焊接线速度一致。按设定速度计算的时基时间执行各轴的插补控制, 使各轴同时到达各自目标坐标点。当 AVC 控制使能时, 由程序根据设定值与实际采样的弧压差值以及 X 轴与 Z 轴设定值的夹角计算下一目标位两轴调整补偿值。改变设定焊接速度和 AVC 设定控制电压只能在执行下一个目标位置时生效。当转角达到设定一周的 360° 时, 执行 X 轴横移, 以 45° 角向下一周轨迹位置移动; 待达到设定焊接圈数时, 自动停止焊接。反向运动控制只在调整焊枪起始位置或焊接过程中出现电弧中断等意外时用于修理焊道或重新继续焊接前进行位置调整。

7 施焊要点

(1) 底角和顶角焊接

将枪旋转 45° , 在触摸控制屏上设置焊枪夹角为 45° , 也可根据 AVC 控制需要不与实际角度相同。输入的焊枪夹角主要是执行 AVC 控制时, 计算 X 轴与 Z 轴位移分量。

顶角焊接与底角焊接基本相同, 内顶角焊接时焊枪需要调整为 -45° 。

(2) 外侧向堆焊

基本轨迹控制与低面控制相同, 但每周自动换焊道的动作方向根据斜面夹角 α 和焊道间距宽度计算 X 轴与 Z 轴的位移量, 使移动轨迹与原轨迹成 45° 角, 第二道至末端的轨迹根据宽度差进行平均修正, 使最后一道焊道与顶部圆角轨迹重合。

(3) 内侧堆焊

马鞍端面各位置高低不平, 相差很大, 只能采取断续焊接的方法进行高度差修补。焊接控制方法有两种, 一是自动焊接方法, 根据焊道间距, 计算不同位置焊道与马鞍面相交点弧长减去起、停弧缩进长度后与转角的关系, 焊接顺序由下至上横向焊接。当旋转位置到达引弧位置时, 启动焊接, 到达转角终点时, 停止焊接, 而当转到下一个对称位置时, 再进行相同焊接操作, 待完成一周后提升一个焊道间距继续执行下一道焊接 (见图 4)。内侧堆焊还可以采用半自动方式, 即上部断续部分采用手动控制起始焊接位置, 停止位以其对称角度作为自动停止角度, 其它部分与自动相同。

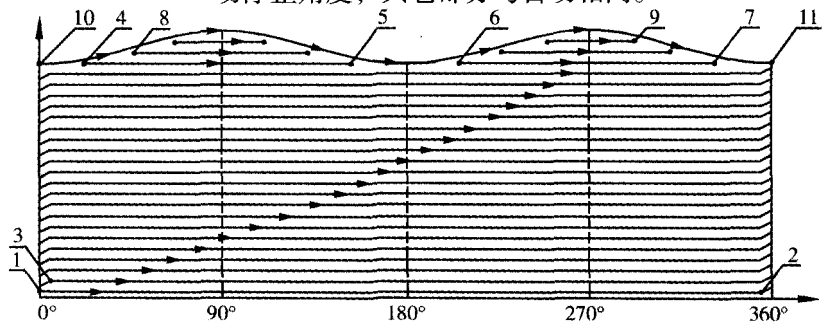


图 4 马鞍端面内孔上部堆焊轨迹示意图

8 结语

实践证明该马鞍端面和侧立面堆焊机能够实现复杂曲面的自动焊接, 可显著的提高焊接质量, 减轻焊工劳动强度及层间打磨量, 缩短生产周期, 提高核电产品的焊接自动化水平。

收稿日期: 2011-11-14