



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107378201 B

(45)授权公告日 2019.11.15

(21)申请号 201710550913.4

B23K 9/095(2006.01)

(22)申请日 2017.07.07

审查员 蒋辉

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107378201 A

(43)申请公布日 2017.11.24

(73)专利权人 上海工业自动化仪表研究院有限公司

地址 200233 上海市徐汇区漕宝路103号

(72)发明人 杨睿熙 刘亮 涂焯 高洪明

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司
31001

代理人 吴宝根 徐颖

(51)Int.Cl.

G05B 19/19(2006.01)

B23K 9/127(2006.01)

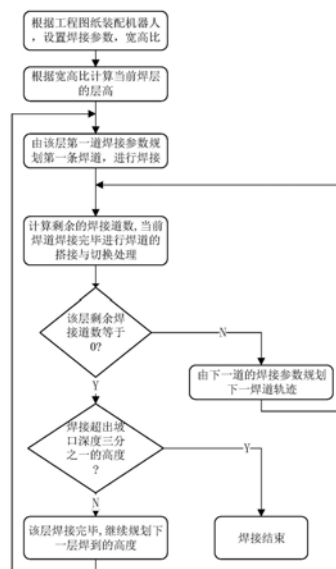
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法

(57)摘要

本发明涉及一种相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,首先根据给定的焊道宽高比来确定每层焊道的高度,再根据该层焊道的截面积及每条焊道的实时焊接参数设定该层剩余焊道宽度;然后对每一条焊道规划首尾重合区域和为焊道切换区域设置焊道过渡算法,即完成相邻焊道平滑切换,保证焊接质量;该层焊道焊接完毕,按照同样的方式,沿坡口深度方向向上依次完成多层焊接工序,直至将坡口填平并焊接超出坡口深度三分之一的高度为止;最后根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹;机器人模拟运行,调整偏差轨迹,得到多层多道焊的规划焊接轨迹。实现对单道轨迹的示教调整就能规划出所有焊道的实际轨迹,提高机器人对大构件焊接的效率。



CN 107378201 B

1. 一种相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,其特征在于,具体包括如下步骤:

1) 根据设定的焊道宽高比及焊道的焊接参数确定当前焊层的高度,随后由层高及该层焊道上下沿的宽度计算该层焊道总的截面积,再根据该层未焊接的截面积及实时的焊接参数计算该层实时的未焊接道数,根据剩余焊道数规划下一焊道的宽度和高度,对于同一层的焊道除最后一道焊道的高度不一样外,其余焊道的高度均为该层的层高,根据所剩的填充区域,对该层最后一道焊道的宽度和高度进行调整;

2) 在完成一条焊道规划焊接后,都要对焊道的起始点与结束点进行重合搭接,然后平滑过渡到下一道焊道,即完成相邻焊道平滑切换;

3) 当该层剩余焊道数等于0时,说明该层焊道焊接完毕,按照步骤1)和2)同样的方式,沿坡口深度方向向上依次完成多层焊接工序,直至将坡口填平并焊接超出坡口深度三分之一的高度为止;

4) 根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹;

5) 通过上述规划得到焊道的相贯线轨迹,让机器人沿规划轨迹运行一周,运行的过程中在出现偏差的地方暂停,将机器人焊枪末端调整至实际的相贯线上,记下此时的调整点及调整点参数,并记录下运行一周后共调整的次数N,当选定调整点以后,设定调整过渡区域,采用线性调整方式调整到实际的相贯线上。

2. 根据权利要求1所述相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,其特征在于,所述步骤2)在完成一条焊道规划焊接后,都要对焊道的起始点与结束点进行重合搭接,即需要继续焊接一段搭接区域,使焊道的起始点与结束点有一定的重合,在搭接区域之后进行焊道的切换,为了使焊接的过程平滑,在焊道间增加平滑过渡区域,进入平滑过渡区域前在原焊道上的焊接角度范围为 ε 的搭接区域,再进入焊接角度范围为 ε' 的过渡区域,过渡区域焊接轨迹对应的主管半径为 R' ,对应的支管半径为 r' ; R' 从第 $i-1$ 层焊道轨迹对应的主管半径

R_{i-1} 逐步过渡到第 i 层焊道轨迹对应的主管半径 R_i ,即 $R' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{R_i - R_{i-1}}{\varepsilon'} + R_{i-1}$;

r' 从第 i 层第 $j-1$ 道焊道轨迹对应的支管半径 $r_{i(j-1)}$ 逐步过渡到第 i 层第 j 道焊道轨迹对应的支管半径 r_{ij} ,即 $r' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{r_{ij} - r_{i(j-1)}}{\varepsilon'} + r_{i(j-1)}$;

焊接的起始点为第一层第一道的任一角度 θ_0 ,此时的焊接角度为 $\theta = \theta_0$,在第一道焊接过程中,焊接角度 θ 从 θ_0 到 2π ,接着再从0到 $\theta_0 + \varepsilon$,然后进入过渡区域切换至第二道,即第二道的起始点为 $\theta_0 + \varepsilon + \varepsilon'$,以此类推,第 k 道的起始点为 $(k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$,即第 k 道焊道的切换角度计算式为 $\theta = (k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$ 。

3. 根据权利要求1所述相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,其特征在于,所述步骤4)根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹,即对焊接的两管建立主、支管坐标,设主管外半径是 R ,支管外半径为 r ,主管厚度为 M , e 为主管与支管中心轴线偏置距离, α 是两管中心轴线的夹角,建立主、支管坐标系 $x_m y_m z_m$ 、 $x_b y_b z_b$,两坐标系的 z 轴均沿各自管道的中心轴线, y_m 、 y_b 轴共线, o_m 和 o_b 分别为两个坐标系的原点, o_b 在 $x_m y_m z_m$ 坐标系中的坐标为 $(0, e, 0)$;根据两交管的圆柱方程,建立支管坐标系 $\{o_b\}$ 相对主管坐标系 $\{o_m\}$ 的变换矩阵,由变换矩阵,得 $\{o_m\}$, $\{o_b\}$ 两个坐标系的位置关系,分别得到在 $\{o_m\}$, $\{o_b\}$ 坐标系下的相

贯线方程。

相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种焊接方法,特别涉及一种相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法。

背景技术

[0002] 管管相贯的相贯线轨迹的机器人自动化焊接,应用到锅炉,压力容器等大型结构件上一直是行业的难题。

[0003] 对于大型结构件,采用大电流埋弧焊能够加快焊接速度,提升焊接效率,但由于大结构件的焊缝坡口较大,即使采用埋弧焊仍需采用多层多道焊接,也不能一次规划到位。

[0004] 在机器人进行多层多道焊的过程中,通常不能进行焊道参数调整,整个坡口的焊接中,只能以固定的焊接参数规划多层多道焊轨迹,难以适应大型坡口的变参数焊接,缺少机器人自动焊接技术的灵活性与通用性。

[0005] 当采用多层多道焊接时,需要对每道焊道的轨迹进行规划。但对每道焊缝都采用示教,则会导致机器人的示教工作量大,操作复杂,焊接效率低,很难发挥机器人焊接的高效优势。

发明内容

[0006] 本发明是针对大构件的相贯线焊缝坡口较大单层单道焊道难以填充的问题,提出了一种相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,能够满足多层多道焊轨迹规划的要求,方法简单,通用性好,实用性强,具有很好的应用前景。

[0007] 本发明的技术方案为:一种相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,具体包括如下步骤:

[0008] 1) 根据设定的焊道宽高比及焊道的焊接参数确定当前焊层的高度,随后由层高及该层焊道上下沿的宽度计算该层焊道总的截面积,再根据该层未焊接的截面积及实时的焊接参数计算该层实时的未焊接道数,根据剩余焊道数规划下一焊道的宽度和高度,对于同一层的焊道除最后一道焊道的高度不一样外,其余焊道的高度均为该层的层高,根据所剩的填充区域,对该层最后一道焊道的宽度和高度进行调整;

[0009] 2) 在完成一条焊道规划焊接后,都要对焊道的起始点与结束点进行重合搭接,然后平滑过渡到下一道焊道,即完成相邻焊道平滑切换;

[0010] 3) 当该层剩余焊道数等于0时,说明该层焊道焊接完毕,按照步骤1)和2)同样的方式,沿坡口深度方向向上依次完成多层焊接工序,直至将坡口填平并焊接超出坡口深度三分之一的高度为止;

[0011] 4) 根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹;

[0012] 5) 通过上述规划出得到焊道的相贯线轨迹,让机器人沿规划轨迹运行一周,运行的过程中在出现偏差的地方暂停,将机器人焊枪末端调整至实际的相贯线上,记下此时的调整点及调整点参数,并记录下运行一周后共调整的次数N,当选定调整点以后,设定调整

过渡区域,采用线性调整方式调整到实际的相贯线上。

[0013] 所述步骤2)在完成一条焊道规划焊接后,都要对焊道的起始点与结束点进行重合搭接,即需要继续焊接一段搭接区域,使焊道的起始点与结束点有一定的重合,在搭接区域之后进行焊道的切换,为了使焊接的过程平滑,在焊道间增加平滑过渡区域,进入平滑过渡区域前在原焊道上的焊接角度范围为 ε 的搭接区域,再进入角度范围为 ε' 的过渡区域,过渡区域内 R' , r' 从当前焊道的 R_{i-1} , r_{ij-1} 逐步过渡到下一焊道的 R_i , r_{ij} ,第 i 层第 j 道焊道的相贯线参数 r_{ij} 和 R_i , R_i 为第 i 层焊道主管焊接半径, r_{ij} 为第 i 层第 j 道焊道支管焊接半径,

$$[0014] \quad R' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{R_i - R_{i-1}}{\varepsilon'} + R_{i-1}$$

$$[0015] \quad r' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{r_{ij} - r_{ij-1}}{\varepsilon'} + r_{ij-1};$$

[0016] 焊接的起始点为第一层第一道的任一角度 θ_0 ,此时的焊接角度为 $\theta = \theta_0$,在第一道焊接过程中,焊接角度 θ 从 θ_0 到 2π ,接着再从 0 到 $\theta_0 + \varepsilon$,然后进入过渡区域切换至第二道,即第二道的起始点为 $\theta_0 + \varepsilon + \varepsilon'$,以此类推,第 k 道的起始点为 $(k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$,即第 k 道焊道的切换角度计算式为 $\theta = (k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$ 。

[0017] 所述步骤4)根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹,即对焊接的两管建立主、支管坐标,设主管外半径是 R ,支管外半径为 r ,主管厚度为 M , e 为主管与支管中心轴线偏置距离, α 是两管中心轴线的夹角,建立主、支管坐标系 $x_m y_m z_m$ 、 $x_b y_b z_b$,两坐标系的 z 轴均沿各自管道的中心轴线, y_m 、 y_b 轴共线, o_m 和 o_b 分别为两个坐标系的原点, o_b 在 $x_m y_m z_m$ 坐标系中的坐标为 $(0, e, 0)$;根据两交管的圆柱方程,建立支管坐标系 $\{o_b\}$ 相对主管坐标系 $\{o_m\}$ 的变换矩阵,由变换矩阵,得 $\{o_m\}$, $\{o_b\}$ 两个坐标系的位置关系,分别得到在 $\{o_m\}$, $\{o_b\}$ 坐标系下的相贯线方程。

[0018] 本发明的有益效果在于:本发明相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法,通过对多层多道焊缝的填充策略和轨迹进行实时规划,实现一次示教就能规划出焊缝所有的焊道轨迹。提高机器人对大构件相贯线焊缝焊接的效率。

附图说明

[0019] 图1为本发明相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法流程图;

[0020] 图2为本发明已焊接区域位于坡口内焊接截面示意图;

[0021] 图3为本发明已焊接区域位于坡口外焊接截面示意图;

[0022] 图4为本发明焊道切换与过渡示意图;

[0023] 图5为本发明工件坐标系示意图;

[0024] 图6为本发明理想轨迹调整为实际轨迹示意图;

[0025] 图7相贯线焊接机器人结构简图。

具体实施方式

[0026] 如图1所示相贯线多层多道焊焊缝轨迹实时规划方法流程图,首先根据给定的焊道宽高比来确定每层焊道的高度,再根据该层焊道的截面积及每条焊道的实时焊接参数设定该层剩余焊道宽度;然后对每一条焊道规划首尾重合区域和为焊道切换区域设置焊道过

渡算法,即完成相邻焊道平滑切换,保证焊接质量;该层焊道焊接完毕,按照同样的方式,沿坡口深度方向向上依次完成多层焊接工序,直至将坡口填平并焊接超出坡口深度三分之一的高度为止;最后根据焊道中心点所对应的坐标,拟合出每道焊道的相贯线轨迹;机器人模拟运行,调整偏差轨迹,得到多层多道焊的规划焊接轨迹。

[0027] 焊道的规划具有实时性,体现在每道焊道开始焊接时根据当前所要焊接焊道的实时焊接参数重新规划当前焊道轨迹,同时为了使焊接轨迹平滑,减少机器人的抖动,对于已规划且正在焊接的轨迹不进行轨迹的实时调整。

[0028] 实际焊接过程中主管或支管不一定是理想的圆柱体,这样实际的相贯线轨迹就和理想的相贯线轨迹存在误差。为了消除这种误差,需要对理想的相贯线轨迹进行示教调整,并将一次示教的调整量运用到与之对应的每一道焊道中。下面具体介绍焊道规划方法:

[0029] 1、根据第*i*层第一道焊道的焊接参数计算出当前焊道的截面积: $S_w = \frac{v_{送} \cdot \pi d^2}{4v_{焊}}$;

[0030] 再由设定的焊道宽高比*C*,计算出多层多道焊的第*i*层焊层的高度 $h_i = \sqrt{\frac{S_w}{c}}$,焊

接参数包括:焊接速度*v_焊*,送丝速度*v_送*,焊丝直径*d*,设焊丝熔敷系数为1。

[0031] 2、根据每层的层高*h_i*,计算该层总的焊接截面积*S_i*,再根据该层已焊接的面积*S_y*,计算该层的剩余焊道数*N_剩*。

[0032] 3、对于相贯线轨迹坡口焊接,分为坡口内焊接与坡口外焊接,主要区别在于坡口内焊接时每层的最后一道焊道(最外道)的宽度由于坡口壁的存在而被限制,如图2所示已焊接区域位于坡口内焊接截面示意图。为了使每层最外道焊道的填充量合适,只能调整该层最后一道焊道的高度*h_i*。对于坡口外的情况,由于没有外侧坡口壁的存在,如图3所示已焊接区域位于坡口外焊接截面示意图,每层最后一道的宽度是不被限定的,因此可以保持高度*h_i*不变,调整焊道宽度*W_j*。设已焊接高度为*H*,第*i*层焊道的底部宽度为*W_{i-1}*,主管壁厚为*M*。

[0033] 4、当*H*<*M*时,即当前焊道位于坡口内,如图2所示已焊接区域位于坡口内焊接截面示意图,图中*W₀*是坡口下沿宽度,*W_y*是第*i*层已焊接的宽度, γ 是坡口的夹角,则第*i*层焊道的顶部宽度为*w_i*=*w_{i-1}*+*h_i*tan γ ,第*i*层焊道总截面积为 $S_i = \frac{h_i(2w_{i-1} + h_i \tan \gamma)}{2}$ 。

[0034] 5、当*H*>*M*时,即当前焊道位于坡口外,如图3所示已焊接区域位于坡口外焊接截面示意图,图中 δ 是坡口外焊接坡面与支管外壁的夹角,*W_M*是坡口上沿的宽度,则第*i*层焊道顶部宽度*w_i*=*w_{i-1}*-*h_i*tan δ ,第*i*层焊道总截面积为 $S_i = \frac{h_i(2w_{i-1} - h_i \tan \delta)}{2}$,其中 $\tan \delta = \frac{W_M}{M/3}$ 。

[0035] 6、将每层第*j*道焊道的实时焊接参数代入1所述公式求出*S_w*,那么根据层高可以计算出该层中第*j*道焊道的宽度 $W_j = \frac{S_w}{h_i}$ 。

[0036] 7、设*w_y*表示该层已焊接的宽度,该层已焊接的面积*S_y*=*h_i*·*W_y*。

[0037] 8、由当前层剩余焊道截面积*S_i*和下一焊道的填充面积*s_w*,计算该层实时未焊接道数(*N_{剩j}*) = $\frac{S_i - S_y}{S_w}$,式中符号<>代表对计算结果进行四舍五入取整。

[0038] 9、当 $N_{剩}=0$ ，若 $S_y \neq 0$ 说明该层已焊接完毕，将 h_i 加到已焊接高度 H 上，回到1所述的公式开始下一层焊道的规划；若 $S_y=0$ 说明整个焊道焊接完毕，焊接结束。

[0039] 10、当 $N_{剩}=1$ ，说明当前焊层还剩最后一道焊道，根据焊道所在坡口的位置确定是否调整当前层最后一道焊道的高度。

[0040] a)、若 $H < M$ ，则焊道位于坡口内，由于最后一道焊道的宽度被限定，因此，对最后一道的高度进行微调，得到新的高度 $h_i' = \frac{S_w}{S_i - S_y} h_i$ ，最后一道的宽度 $W_j = W_i - W_y$ 。

[0041] b)、若 $H \geq M$ ，则焊道位于坡口外，由于位于坡口外的每层最后一道焊道的宽度是不被限定的，因此不用进行高度微调。此时绕过11的判断条件，直接执行11；

[0042] 11、当 $N_{剩} \geq 2$ ，将焊道切换点的实时焊接参数代入1所述的公式，求出下一道焊道的截面积 s_w ，并带入6所述的公式继续规划剩余焊道。

[0043] 12、根据以上所述的焊道填充策略计算得到的 h_i, W_j 等参数，可以计算第 i 层第 j 道焊道的相贯线参数 r_{ij} 和 R_i ， R_i 为第 i 层焊道主管焊接半径， r_{ij} 为第 i 层第 j 道焊道支管焊接半径， $r_{ij} = r + W_y + \frac{W_j}{2}$ ， $R_i = R_0 + H + h_i$ 或 (h_i') ， r 为支管外半径， R_0 为主管的内半径，故 $R_0 =$

$R - M$ 。

[0044] 13、根据焊接的要求，每道焊道的结束点都要与起始点有一定的搭接，并且每一层上每一道焊道的搭接区域不能与相邻层和相邻道焊道的搭接区域重合，因此每焊完一条焊道后，还需要在原焊道上继续焊接角度为 ε 的搭接区域，如图4所示焊道切换与过渡示意图，根据焊接经验通常选取 ε 为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 之间。

[0045] 14、据13所述的搭接区域 ε ，在搭接结束后可以进行带弧焊道切换，切换至下一条焊道，这种焊道切换点的规划刚好能够使相邻的焊道的搭接区域错开。

[0046] 15、为使焊道切换平滑，在搭接 ε 区域后，进入角度范围为 ε' 的过渡区域，如图4，过渡区域内 R', r' 从当前焊道的 R_{i-1}, r_{ij-1} 逐步过渡到下一焊道的 R_i, r_{ij} 。

$$[0047] \quad R' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{R_i - R_{i-1}}{\varepsilon'} + R_{i-1}$$

$$[0048] \quad r' = (\theta - (\theta_0 + \varepsilon)) \frac{r_{ij} - r_{ij-1}}{\varepsilon'} + r_{ij-1}$$

[0049] 16、焊接的起始点为第一层第一道的任一角度 θ_0 （焊接的起始角度），此时的焊接角度为 $\theta = \theta_0$ ，在第一道焊接过程中，焊接角度 θ 从 θ_0 到 2π ，接着再从0到 $\theta_0 + \varepsilon$ ，然后进入过渡区域切换至第二道，即第二道的起始点为 $\theta_0 + \varepsilon + \varepsilon'$ ，以此类推，第 k 道的起弧点为 $(k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$ ，即第 k 道焊道的切换角度计算式为 $\theta = (k-1)(\varepsilon + \varepsilon') + \theta_0$ 。

[0050] 17、根据以上1~16所述步骤，计算出的 r_{ij}, R_i 及 R', r' ，可以规划出焊道的相贯线轨迹，为不失一般性，本发明考虑两管相贯的偏置斜交这一情况，如图5所示工件坐标系示意图。设主管外半径是 R ，支管外半径为 r ，主管厚度为 M ， e 为主管与支管中心轴线偏置距离， α 是两管中心轴线的夹角。建立主、支管坐标系 $x_m y_m z_m, x_b y_b z_b$ 。两坐标系的 z 轴均沿各自管道的中心轴线。 y_m, y_b 轴共线。 O_m 和 O_b 分别为两个坐标系的原点， O_b 在 $x_m y_m z_m$ 坐标系中的坐标为 $(0, e, 0)$ 。

[0051] 18、两交管的圆柱方程：
$$\begin{cases} x_m^2 + y_m^2 = R_i^2 \\ x_b^2 + y_b^2 = r_{ij}^2 \end{cases}$$

[0052] 19、支管圆柱参数方程：
$$\begin{cases} x_b = -r_{ij} \sin \theta \\ y_b = r_{ij} \cos \theta \end{cases}$$

[0053] 20、支管坐标系 $\{o_b\}$ 相对主管坐标系 $\{o_m\}$ 的变换矩阵：
$${}^m_b T = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & e \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0054] 21、由20所述的变换矩阵，得 $\{o_m\}$ ， $\{o_b\}$ 两个坐标系的位置关系：

[0055]
$$\begin{cases} x_m = x_b \cos \alpha + z_b \sin \alpha \\ y_m = y_b + e \\ z_m = -x_b \sin \alpha + z_b \cos \alpha \end{cases}$$

[0056] 22、将21所述的公式带入18所述的公式，并将19所述的公式带入，分别得到在 $\{o_m\}$ ， $\{o_b\}$ 坐标系下的相贯线方程：

[0057]
$$\begin{cases} x_m = \sqrt{R_i^2 - (r_{ij} \cos \theta + e)^2} \\ y_m = r_{ij} \cos \theta + e \\ z_m = (r_{ij} \sin \theta + \cos \alpha \sqrt{R_i^2 - (r_{ij} \cos \theta + e)^2}) / \sin \alpha \end{cases}$$

[0058]
$$\begin{cases} x_b = -r_{ij} \sin \theta \\ y_b = r_{ij} \cos \theta \\ z_b = (\sqrt{R_i^2 - (r_{ij} \cos \theta + e)^2} + r_{ij} \sin \theta \cos \alpha) / \sin \alpha \end{cases}$$

[0059] 其中 R_i 为第 i 层焊道主管焊接半径， r_{ij} 为第 i 层第 j 道焊道支管焊接半径。

[0060] 23、在正式焊接之前，先让机器人沿理想的轨迹运行一周，运行的过程中在出现偏差的地方暂停，示教，将机器人焊枪末端调整至实际的相贯线上，记下此时的调整点 θ_{Ti} (对应焊接角度)，横轴调整量 Δd_{2i} ，纵轴调整量 Δd_{3i} ，并记录下运行一周后共调整的次数 N 。当选定调整点以后，为使机器人的焊接平滑的从理想轨迹过度至实际轨迹上，采用线性调整方式，如图6所示理想轨迹调整为实际轨迹示意图，在调整点 θ_{Ti} 两侧各 θ_T 范围内为过渡区域，令过渡的起点为 $\theta_{TQ} = \theta_{Ti} - \theta_T$ ，过渡的终点为 $\theta_{TZ} = \theta_{Ti} + \theta_T$ (即实际调整范围 $(\theta_{TQ}, \theta_{TZ})$)。

[0061] 24、根据上述23所述方法，示教算法适用于如图7相贯线焊接机器人结构简图所示的骑坐式机器人结构，所谓骑坐式是指机器人装夹在支管上，上述横轴对应图7中的2轴，纵轴对应图7中的3轴。因为能够影响相贯线轨迹的是2轴和3轴运动量，因此本示教方法调整的是机器人的2轴和3轴，具体调整方法如下：

[0062] 设2轴，3轴实时调整量分别为 Δb_2 、 Δb_3 ，影响轨迹调整的量有 θ_{Ti} 、 θ_T 、 Δd_{2i} 、 Δd_{3i} 、 θ ，由这些量构建2轴，3轴调整函数

[0063]
$$f_{2i}(\theta, \theta_{Ti}, \theta_T) = \Delta d_{2i} - \frac{\Delta d_{2i}}{\theta_T} |\theta - \theta_{Ti}|$$

[0064]
$$f_{3i}(\theta, \theta_{Ti}, \theta_T) = \Delta d_{3i} - \frac{\Delta d_{3i}}{\theta_T} |\theta - \theta_{Ti}|$$

[0065] 在调整过程中，可能存在多个调整区域重合的情况，考虑到这种情况本发明用迭

代的方法进行轨迹调整。调整过程如下：

[0066] (1) 取第一个调整点 θ_{T1} ，初始化 $\Delta b_2=0$ ， $\Delta b_3=0$ ；

[0067] (2) 由调整点取对应的调整偏移量 $T\theta$ ，即确定调整的范围 $(\theta_{TQ}, \theta_{TZ})$ ；

[0068] (3) 判断当前插补角度 θ ，是否在调整的范围 $(\theta_{TQ}, \theta_{TZ})$ 内；

[0069] (4) 当 θ 在调整的范围內，即 $\theta \in (\theta_{TQ}, \theta_{TZ})$ ，则
$$\begin{cases} \Delta b_2 = \Delta b_2 + f_{2_i}(\theta, \theta_{T_i}, T\theta) \\ \Delta b_3 = \Delta b_3 + f_{3_i}(\theta, \theta_{T_i}, T\theta) \end{cases};$$

[0070] 当 θ 不在调整的范围內，即 $\theta \notin (\theta_{TQ}, \theta_{TZ})$ ，则令
$$\begin{cases} \Delta b_2 = \Delta b_2 + 0 \\ \Delta b_3 = \Delta b_3 + 0; \end{cases}$$

[0071] (5) 取下一个调整点 θ_{Ti} ，回到(2)，直到遍历完所有的调整点。

[0072] 在机器人插补过程中，每一个插补点，即焊接角度 θ 都要运行上面的调整过程，并将调整的量 Δb_2 、 Δb_3 分别加到2轴和3轴的运动量中。

[0073] 25、根据上述24所述方法，记录并存储示教信息，并根据示教信息设计轨迹调整算法，从而根据规划后的相贯线多层多道焊轨迹实时生成实际的相贯线焊接轨迹，这样既节省机器人工作时间、节省人工示教时间，保证轨迹正确无误。

[0074] 本发明实施例所示的焊接方法通过机器人自动焊接设备来完成，该机器人自动焊接设备包括机器人焊接系统，机器人运动控制系统，机器人轨迹规划系统，通过三个系统相互配合，完成大构件坡口的多层多道焊的自动化焊接。

[0075] 实现多层多道焊轨迹规划的实时性，适应性强。通过对多层多道焊缝的填充策略和轨迹进行规划，实现对多层多道焊的轨迹进行实时规划调整。能够实现在焊接过程中实时调整焊接速度与焊道的截面积，提高了大构件坡口焊接的多层多道焊的适应性。

[0076] 本发明方法操作简单，焊接速度快。本发明的方法实现焊枪在切换焊道时，进行带弧切换，不用进行反复的启弧灭弧操作，操作简单，整个坡口的多层多道焊接过程中可以实现连续同方向焊接，焊接速度快。

[0077] 本发明示教方法简单，示教效率高。为了提高焊接的质量与精确度，本发明的方法需要对理想的相贯线轨迹进行示教，本示教方法只用示教第一层第一道焊道，并将示教调整参数应用到每一条焊道中，因此可以满足一次示教，多层多道轨迹调整的目的，示教简单，效率高。

[0078] 本发明方法机器人调整范围小，编程方便。一般在焊接的过程中，同一焊道的截面积几乎是不变的，根据焊接工艺要求打底焊的焊道截面积要大于上层焊道截面积，所以不同焊道间的截面积是不相等的。本发明所采用的焊道的规划方法保证除坡口内当前层最后一道焊道外，剩余焊道的高度等于层高，再根据每道焊道的截面积设定焊道宽度，这样既保证了焊缝质量的一致性，也给机器人运动轨迹规划和运动控制带来方便，有利于自动化焊接过程。

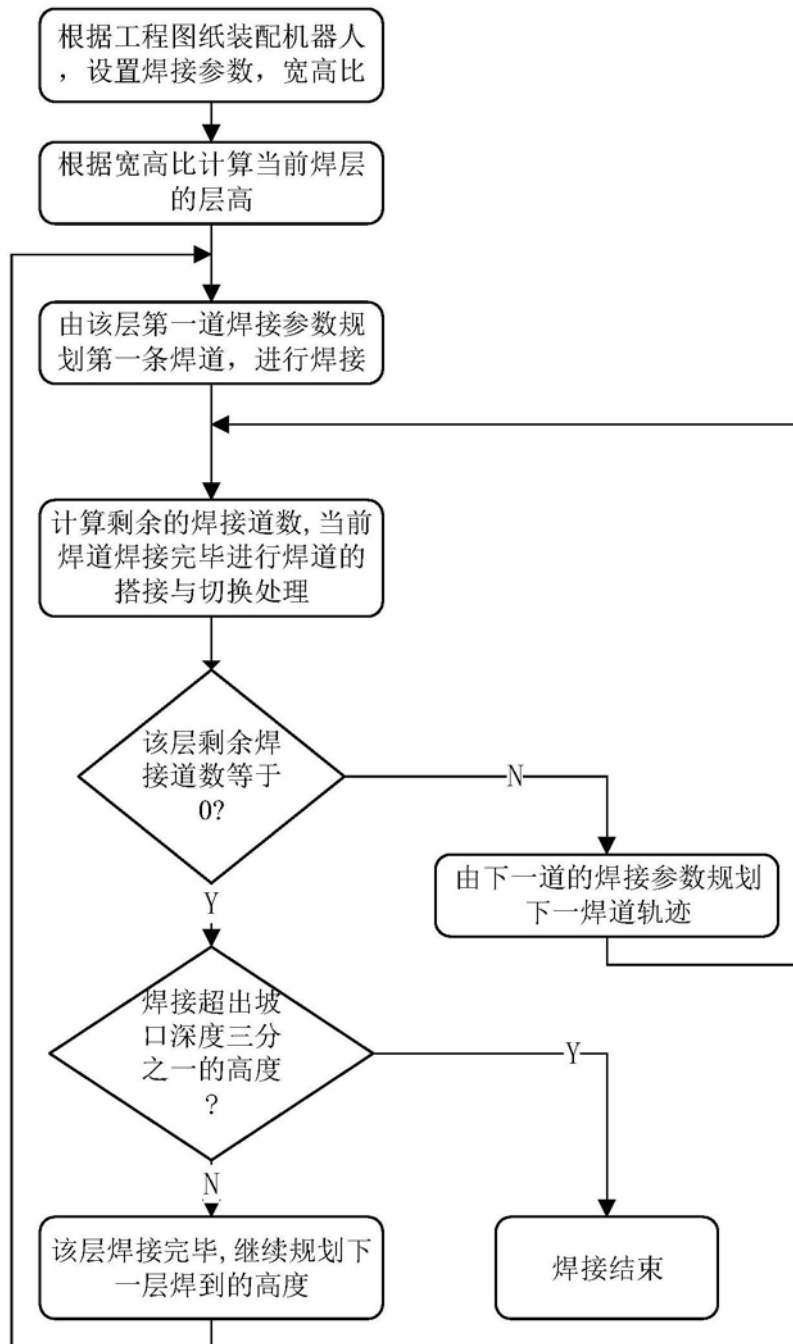


图1

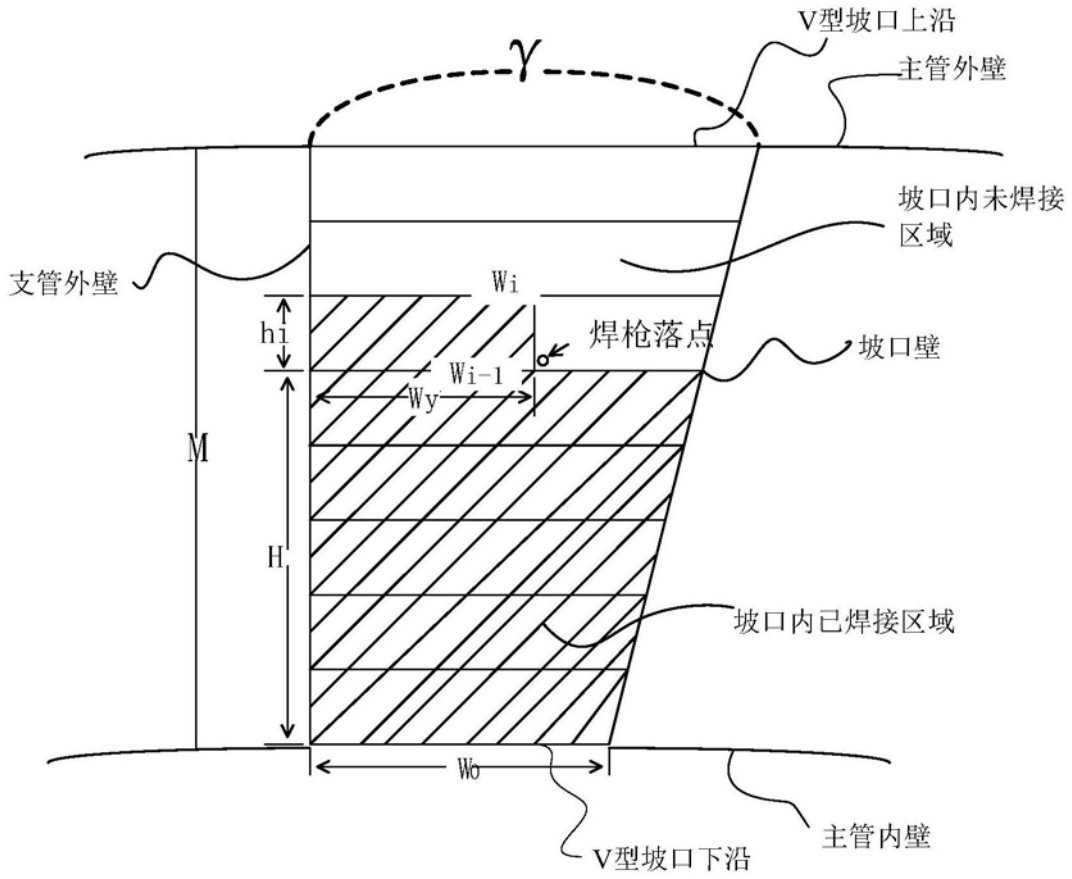


图2

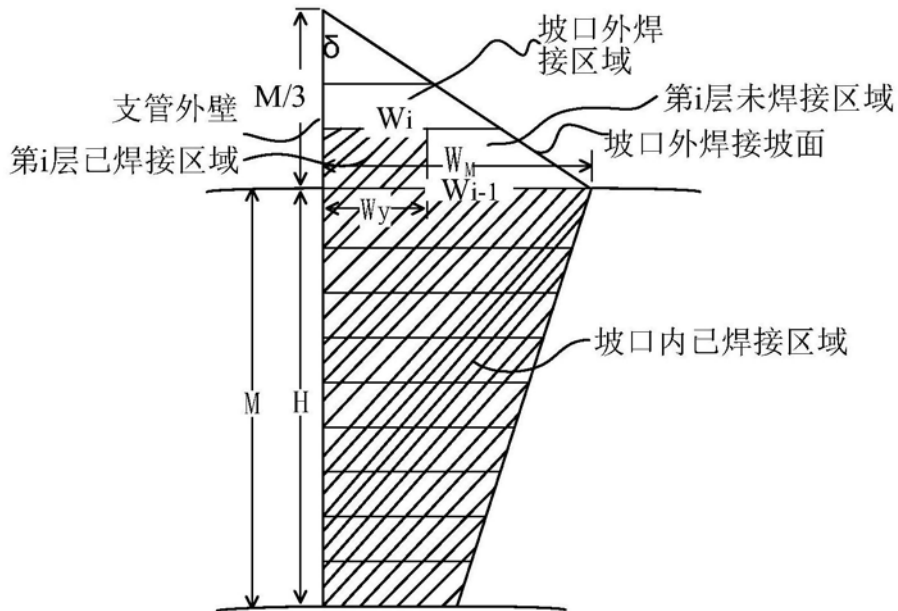


图3

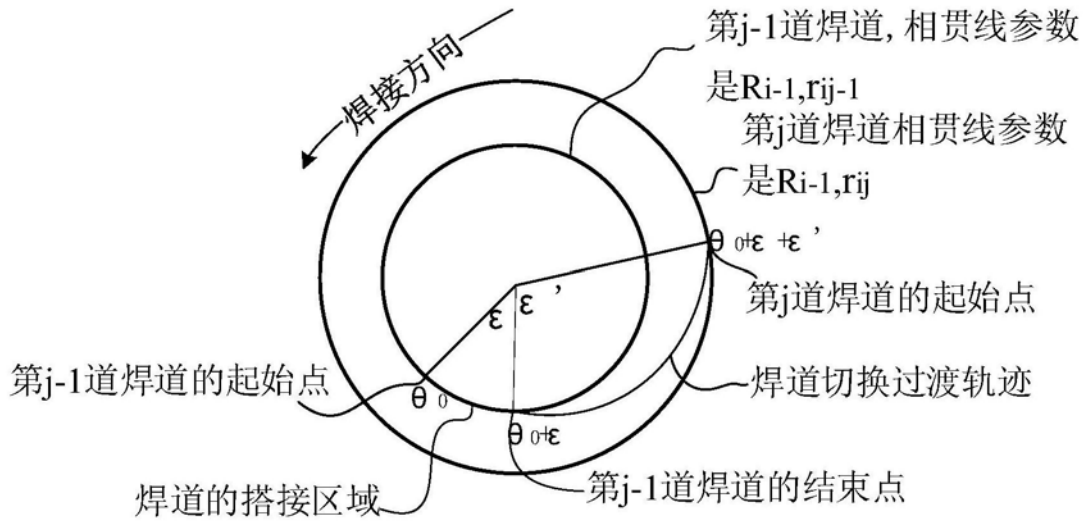


图4

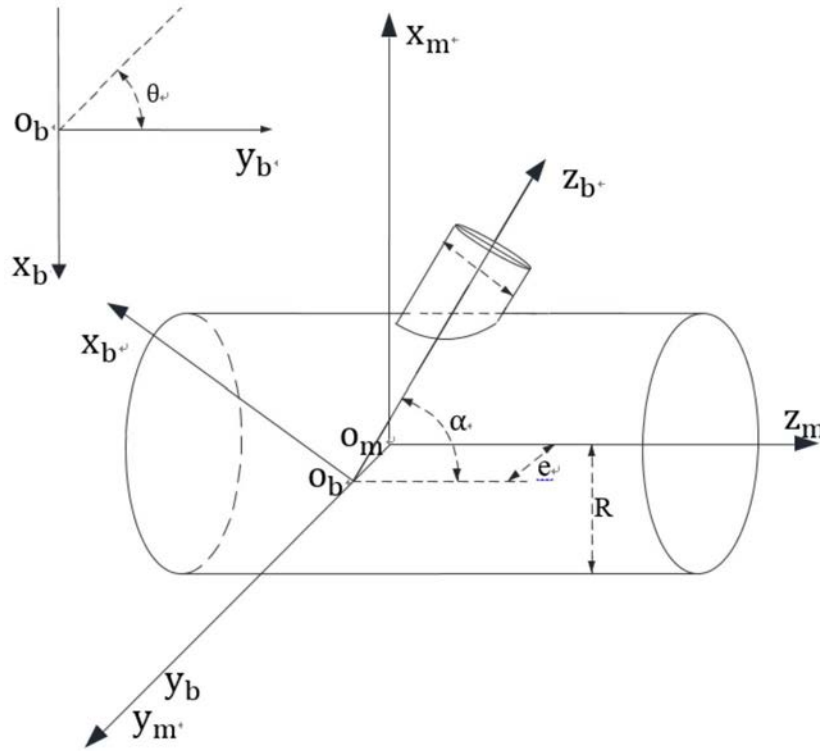


图5

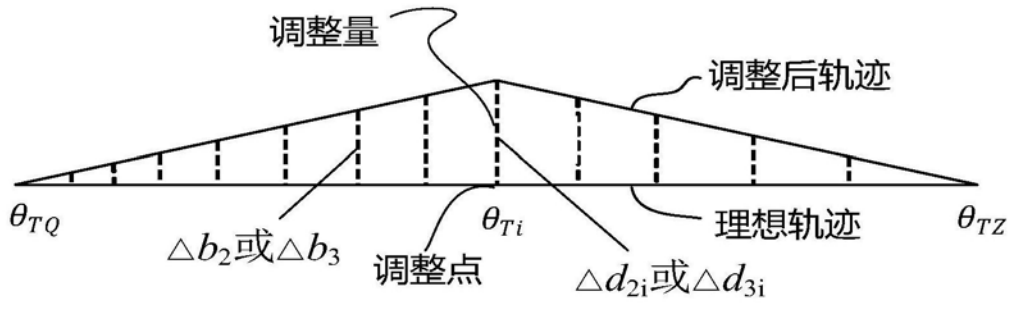


图6

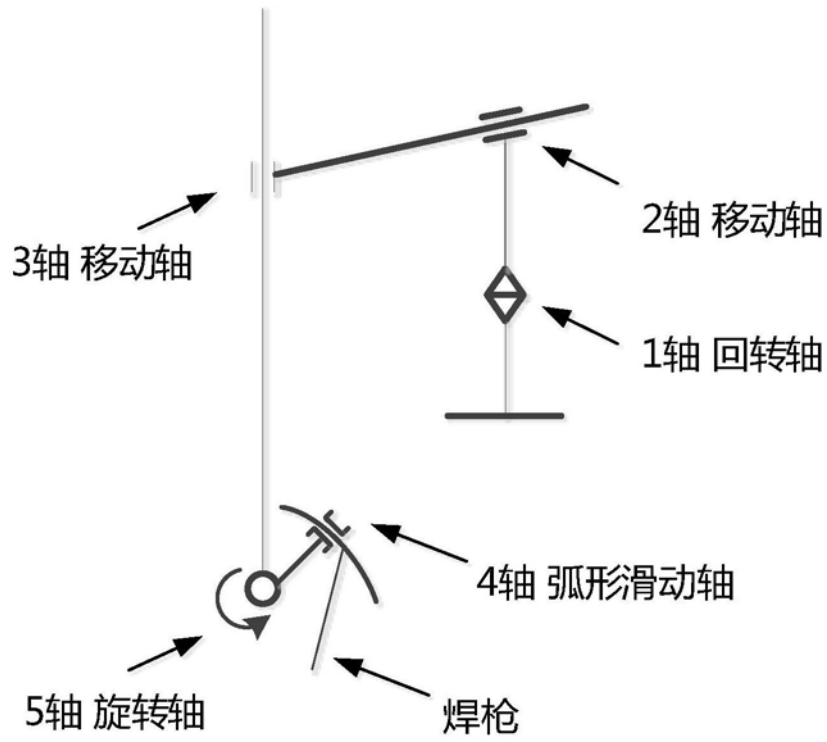


图7