

正交相贯焊缝建模与离线编程

曾广奎¹ 龙定华²

(1. 湖南机电职业技术学院, 湖南 长沙 410151)

(2. 湖南楚天科技股份有限公司, 湖南 长沙 410600)

摘要: 在操作焊接机器人进行曲线焊缝编程时, 操作员需要耗费很大精力才能找准示教点的位置和姿态, 不仅占用设备的时间长, 而且焊枪倾角、转角及示教点拾取精度的一致性较差。为提高编程效率, 提升焊缝成形质量, 可使用焊接机器人的文件导出/导入接口先将焊接程序模板导出到 PC 端, 对程序进行编辑、修改后再导入机器人系统。

本文以正交相贯焊缝离线编程为例, 先对焊缝曲线进行建模, 列出示教点位置和焊枪姿态的参数方程。然后设定参数, 标定示教点的位置和数量, 以折线拟合曲线, 使用科学计算工具算出这些示教点的坐标值和角度值, 再将这些示教点添加到焊接程序中。最后, 将已编辑好的程序沿原路径导入焊接机器人控制系统, 完成焊缝离线编程。

关键词: 相贯; 焊缝轨迹; 焊枪姿态; 离线编程

一、示教点轨迹

记主管(管径较大者)外圆柱面的半径为 r_1 , 记支管外圆柱

面的半径为 r_2 。 $r_1 \geq r_2$ 。 两管正交相贯, 轴线交于点 $P(x_0, y_0, z_0)$, 建立如图所示的直角坐标系(图 1)。称 $xP(x_0, y_0, z_0)y$ 平面为水平面, 记为 U ; 称 $xP(x_0, y_0, z_0)z$ 平面为正平面, 记为 V ; 称 $yP(x_0, y_0, z_0)z$ 平面为侧平面, 记为 W 。

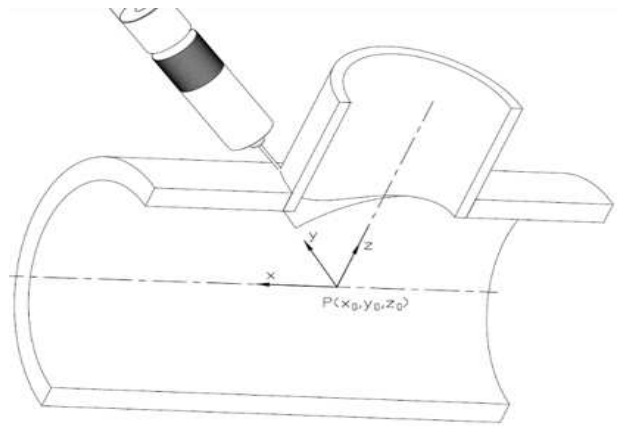


图 1 两管正交相贯示意图

合理分散中转换乘、商业区域和其他相关经济活动。使轨道交通、公交及出租等公共交通运输系统在高峰时段能充分发挥分流作用。此外, 开发区和商业中心等就业服务中心区域合理的规划要满足大部分商业住宅出行需求, 不能一味选择偏僻的郊区减少群众出行距离。第二, 加强道路交通需求管理。通过限号购车等抑制车辆无限制增加等方式, 适度控制对客货汽车拥有量的增长。

近 5 年来, 陈才君等、张志文、陆化普、尚金生和汪光焘等很多学者经过认真研究, 在智能交通和智慧出行方面认为: 加强智慧交通管理主要体现在二方面, 一是建立高效的政府交管系统、智能监控中也、综合交通规划体系。其中, 先进的交通管理系统是重点, 交通基础设施智能监控系统是基础, 交通运输规划决策支持系统则属于长期宏观类型的应用。二是城市交通管理覆盖子系统需要全面智能化改革和技术升级, 例如: 智能信息采集系统与全方位路网监控系统、全自动卡口监测设备、红外线电子监测体系、交通信号控制系统及政府交通管理部门口的各种交通执法系统等。

综上所述, 我国部分城市已从 1990 年代开始城市智能交通管理的政策尝试, 并取得一定成果, 但总体效果并不明显, 或只是单项交通管理。而我国学术界对智能交通管理、交通流分析、诱导系统、交通拥堵和公共交通管理等方面都已作了一定程度的分析, 传统的分析方式主要还是以政府和学术为主, 虽对外国一

些发达城市管理方式有一定借鉴, 但在新的城市发展环境和城市针对性上效果相对不明显, 具体分析研究和对策研究不多, 并且没有针对快速路专门的研究。不过以上的理论分析将为进一步深入研究城市快速路智能交通系统的完善提供了丰富的材料支持, 具有重要借鉴价值。

三、结语

交通拥堵问题成为现今交通部门最为重视的问题之一, 为了解决这一问题现今各个城市结合信息技术建设智慧交通系统。城市快速路智能交通系统规划研究旨在采用国际、国内先进技术, 在充分分析快速路的需求与特点的基础上, 使系统不仅能满足当前交通管理的需要, 还要预留未来系统扩容的可能。集成网络、通信、控制、计算机、信息处理及其他智能交通系统技术, 通过智能交通系统建设, 实现智能化交通管理和人性化交通服务。

参考文献:

[1]U.S.Department of Transportation, ITS Joint Program Office.The National ITS Architecture: A Framework for Integrated Transportation into the 21st Century.Washington DC: U.S.Department of Transportation.2001

[2]Michael D.Meyer, 易汉文 .21 世纪的交通规划 [J]. 国外城市规划, 2001, 2.

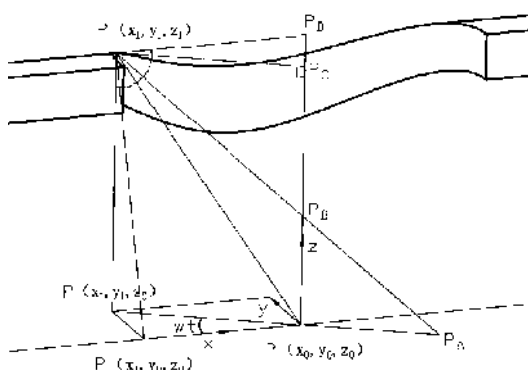


图2 相贯线上任意点的坐标

取相贯线上任意点 $P(x_1, y_1, z_1)$ (图2), 该点在 U、V、W 面上的投影分别为 $P(x_1, y_1, z_0)$ 、 $P(x_1, y_0, z_1)$ 、 $P(x_0, y_1, z_1)$ 。点 $P(x_1, y_1, z_0)$ 满足方程: $x_1^2 + y_1^2 = r_2^2$ (式1)

记 $\angle P(x_1, y_1, z_0) P(x_0, y_0, z_0) x$ 为 wt , 令 $x_0 = y_0 = z_0 = 0$, 如有:

$$x_1 = r_2 \cdot \cos(wt), wt \in [0, 2\pi) \text{ (式2)}$$

$$y_1 = r_2 \cdot \sin(wt), wt \in [0, 2\pi) \text{ (式3)}$$

点 $P(x_1, y_1, z_1)$ 在半径为 r_1 的圆上, 即: $|P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_0, z_0)| = r_1$ 。连接点 $P(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P(x_1, y_1, z_0)$ 、 $P(x_1, y_0, z_0)$ 组成直角三角形, $\angle P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_1, z_0) P(x_1, y_0, z_0) = 90^\circ$, 如是:

$$|P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_1, z_0)|^2 + |P(x_1, y_1, z_0) P(x_1, y_0, z_0)|^2 = |P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_0, z_0)|^2$$

$$z_1^2 + y_1^2 = r_1^2$$

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 - (r_2 \sin(wt))^2} \quad wt \in [0, 2\pi) \text{ (式4)}$$

式2~4组成相贯线上点的轨迹方程。

二、焊枪姿态

我们称焊丝送进方向与焊缝轨迹切线间的夹角为焊枪倾角, 记为 a 。称焊丝送进方向与支管切平面之间的夹角为焊枪转角, 记为 b , $a, b \in (0, 90]$ 。对于机器人自动焊接, 通常将焊丝置于过支管轴线的铅垂面内 (图3)。焊丝送进方向所在的铅垂面与支管切平面相互垂直, 焊枪倾角 a 接近 90° , 有利于增加熔深并减少飞溅。

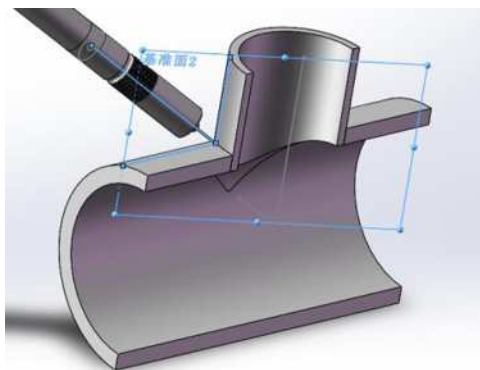


图3 焊枪倾角示意图

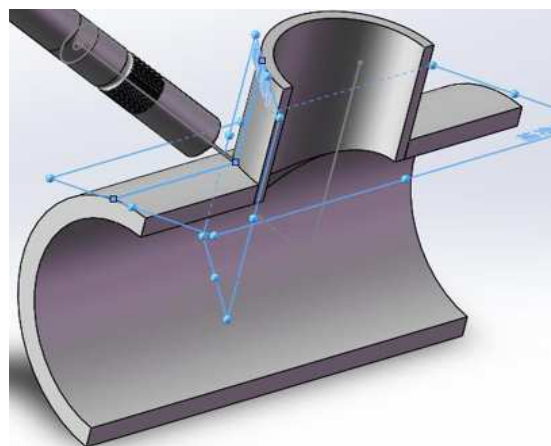


图4 焊枪转角示意图

焊接角焊缝时, 焊枪转角通常取焊缝两成形平面之间夹角的一半。形成相贯角焊缝的两个面都是圆柱面, 通过点 $P(x_1, y_1, z_1)$ 分别作两个圆柱面的切平面, 交线通过点 $P(x_1, y_1, z_1)$ 。这两个切平面形成一个夹角, 取焊枪转角为该夹角的 $1/2$ (图4)。

离线编程时, 我们用焊丝送进方向与 U、V、W 面的夹角描述焊枪姿态, 焊枪倾角和转角选定后需要进一步求出焊丝送进方向与水平面 U、正平面 V 和侧平面 W 之间的夹角, 将这三个夹角分别记为 $Uu, Vv, Ww, Uu, Vv, Ww \in (0, 90^\circ)$ 。

(一) 求焊丝送进方向与水平面 U 之间的夹角 Uu

图2中 $P(x_1, y_1, z_1) P_A$ 表示焊丝送进的方向, $P(x_1, y_1, z_1) P_D$ 是主管外圆柱切平面与铅垂面 $P(x_1, y_1, z_1) P_D P(x_0, y_0, z_0) P(x_1, y_1, z_0)$ 的交线。

$$|P(x_1, y_1, z_1) P_C| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

$$\angle PDP(x_1, y_1, z_1) P_C = \arctan[|P_D P_C| / |P(x_1, y_1, z_1) P_C|]$$

$P_D P_C$ 在直角三角形 $\triangle PDP C P(x_0, y_0, z_0)$ 中求 (图5), $p(x_0, y_1, z_1)$ 处的切线方程 (图6):

$$(z - z_1) = -(y - y_1) \cdot y_1 / z_1$$

当 $y = 0$ 时, 有: $|P_D P_C| = z - z_1 = y_1 \cdot y_1 / z_1$

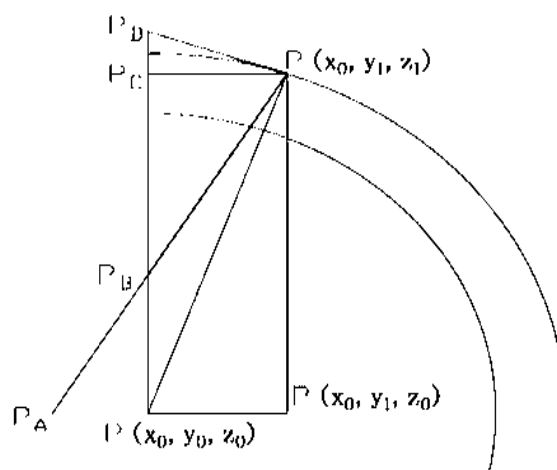


图5 切平面左视投影

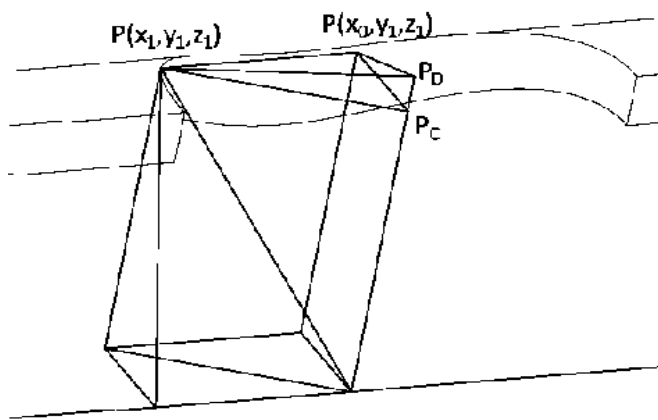


图5 切平面在W面上的截距

$$\angle PDP(x_1, y_1, z_1) P_C = \arctan[P_D P_C / P(x_1, y_1, z_1)]$$

$$P_C = \arctan\left[\frac{y_1^2}{z_1^2} / \sqrt{x_1^2 + y_1^2}\right]$$

$$b = \angle P_A P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_1, z_0) = 1/2 * \angle PDP(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_1, z_0)$$

$$= \frac{1}{2} \arctan\left[\frac{y_1^2}{z_1^2} / \sqrt{x_1^2 + y_1^2}\right] + 45^\circ$$

$$= 1/2 * (\angle PDP(x_1, y_1, z_1) P_C + 90^\circ)$$

$$Uu = \angle P(x_1, y_1, z_1) P(x_1, y_1, z_0) P_A =$$

$$b = -\frac{1}{2} \arctan\left[\frac{y_1^2}{z_1^2} / \sqrt{x_1^2 + y_1^2}\right] + 45^\circ$$

$$90^\circ - \quad (式5)$$

(二) 求焊枪与正平面V之间的夹角Vv

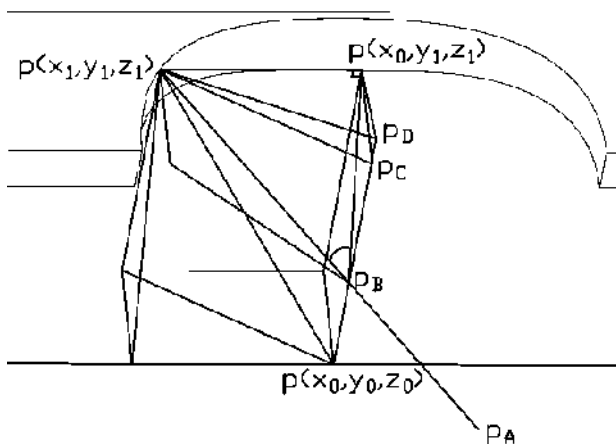
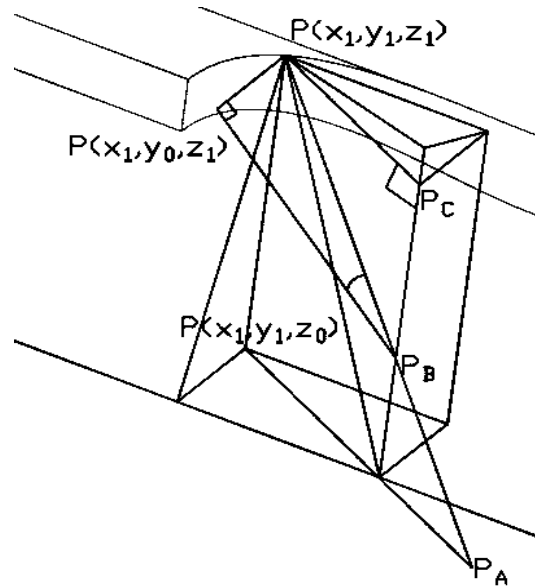


图6 焊丝送进方向与W面的夹角



式 5 ~ 7 组成了焊枪角度方程, 用来表达焊枪的姿态。

三、离线编程

为顺利将程序文件导入到机器人系统, 我们先在机器人系统中新建一个焊接程序文件, 程序结构、程序步、次序命令都符合相贯线焊缝的要求。然后将该程序文件导出到 PC 端, 保持文件名、文件格式不变。松下 GIII 系列机器人市示教器上有 USB 插口, 按 IO 说明导出文件。初始文件名为“IOdata.txt”, 导出完成后保存。

(一) 设定管子直径参数, 计算坐标值和焊枪角度值

假设主管直径为 120, 支管直径为 80, $w = \pi/180$, t 在 $[0, 360)$ 上取值, 求出焊缝轨迹上对应点的坐标值 (x, y, z) 和焊枪角度值 (U, V, W)。用折线拟合相贯曲线, t 的取值个数根据焊接要求而定, 我们每 1° 取了一个示教点, 共取 361 个示教点。第 0 ~ 359 点都是焊接点, 第 360 点于第 0 点的位置和姿态相同, 设为空走。

式 2 ~ 4 组成相贯线上点的轨迹方程, 取 $r_1=60, r_2=40$, $wt \in [0, 2\pi)$ 上展开可得图 9 所示曲线。

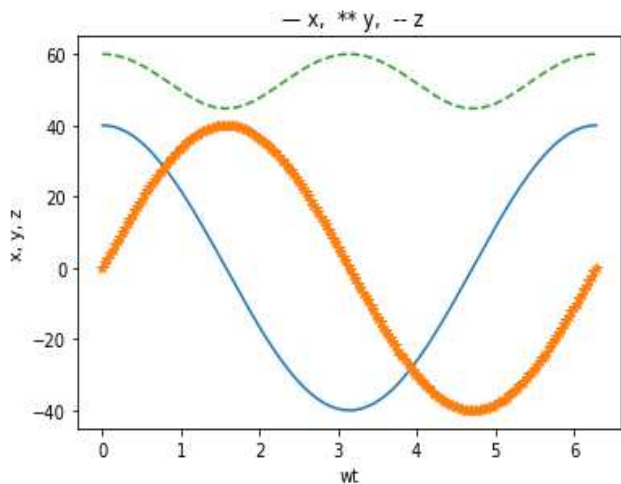


图 8 轨迹方程展开曲线

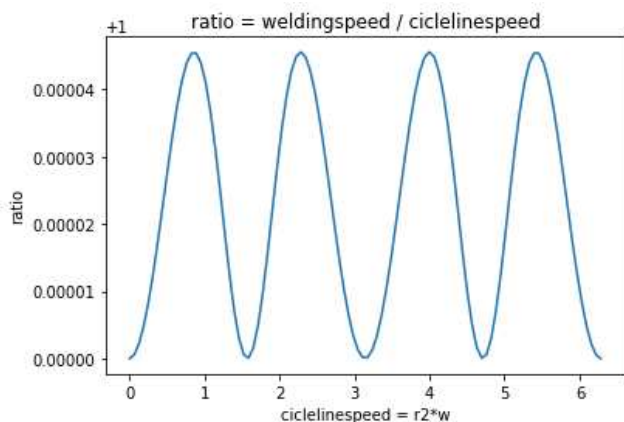


图 9 轨迹方程展开曲线

(二) 将示教点参数写入焊接程序

在 PC 端打开程序文件, 按导入文件的格式和语法增加示教点并写入示教点位置 (x, y, z) 值和焊枪姿态值 (U, V, W), 核对插补方式、工作状态、焊接速度后保存, 并将其导入到机器人控制系统。

对于采用固定工作台的机器人工作站而言, 焊接位置变化和焊枪姿态调整都由机器人本体完成, 位姿参数都设定在示教点属性内。各示教点设定的焊接速度就是实际焊接速度。

对采用数控工作台 (外部轴) 的机器人工作站而言, 工件通过夹具安装在数控工作台上, 支管与数控工作台同轴。焊接进给运动由工件的回转运动与焊枪沿 z 轴方向的上下运动合成。焊枪保持在 W 平面内, 按 $U(wt)$ 改变角度, 按 $z_1(wt)$ 改变高度。

若回转工作台匀速转动, 因 $z_1(wt)$ 不断波动 (图 9), 所以, 实际焊接速度也是变化的。为保证焊缝一致性, 应尽量保持实际焊接速度稳定。即保持焊枪对工件的相对线速度一致。

圆周运动线速度为: $v_1 = \frac{dz_1}{dt} = r_2 w + r_2 t \cdot \frac{dw}{dt}$, 若 w

为常数, 则: $v_1 = r_2 w$

焊枪沿 z 轴方向的运动速度:

$$v_2 = \frac{dx_1}{dt} = \frac{-wr_2 + \sin(wt) \cos(wt)}{\sqrt{r_1^2 - (r_2 \sin(wt))^2}} \quad (\text{式 7})$$

焊枪对焊缝的相对运动速度:

$$V_s = \frac{ds_1}{w dt} = r_2 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sin(wt) + \cos(wt))^2}{r_1^2 - (r_2 \sin(wt))^2}}$$

图 10 反映的是实际焊接速度与圆周线速度 $r_2 w$ 的比值变化情况, 从图上可以看出转台做匀速转动时, 实际焊接速度在 $(1.00000 \sim 1.00005) \cdot r_2 w$ 范围内变动, 变化率可以忽略不计。所以, 外部轴可做角速度为 w 的匀速转动, 焊枪在 Z 方向上的运动速度由式 7 计算。

四、结语

通过本例我们发现, 工程技术人员在没有商用离线编程和仿真系统的情况下, 可以利用焊接机器人系统的文件导入/导出功能对具体产品进行离线编程。

参考文献:

- [1] 任福深. 基于 PC+DSP 模式的管道插接专用焊接机器人系统研究 [D]. 北京工业大学, 2009.
- [2] 郑佳奕. 六自由度焊接机器人运动仿真平台研究 [D]. 浙江大学, 2015.