

基于 PLC 的管道多层焊跟踪控制系统研究

黄军芬¹,殷树言¹,蒋力培²

(1.北京工业大学 材料科学与工程学院,北京 100022;2.北京石化学院 装备技术研究所,北京 102617)

摘要:管道多层焊视觉图像跟踪系统采用 CCD 获取焊缝区域图像,通过计算机处理控制行走机构,设计的跟踪算法及相应的 PLC 软件程序设计实现了厚板多层焊的焊缝自动跟踪。

关键词:多层焊;跟踪算法;程序设计

中图分类号:TG457.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2005)10-0043-04

Research on pipeline multi-layer welding tracking control system with PLC

HUANG Jun-fen¹, YIN Shu-yan¹, JIANG Li-pei²

(1.Material & Engineering College, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2.Beijing Institute of Petro-chemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract: The pipeline multilayer welding tracking control system can acquire the seam graph with CCD, and control the traveller by computer. The track algorithm and PLC program design realize the seam auto tracking of thick-plate of multilayer welding.

Key words: multilayer welding; track algorithm; program design

概述

我国的油气资源大部分分布在东北和西北地区,而消费市场绝大部分在东南沿海和中南部的大中城市等人口密集地区,这种产销市场的严重分离使油气产品的输送成为油气资源开发和利用的最大障碍。管输是突破这一障碍的最佳手段,与铁路运输相比,管道运输是运量大、安全性更高、更经济的油气产品输送方式,其建设投资为铁路的一半,运输成本只有 1/3。因此,我国政府已将“加强输油气管道建设,形成管道运输网”的发展战略列入了“十五”发展规划^[1]。但是传统的管道施工技术与方法难以适应现代管道施工要求,而管道全位置自动焊接技术是改变这一现状的有效手段。国外许多公司从 20 世纪 70 年代开始使用管道自动焊接工艺,其技术日趋成熟,焊接一次合格率已达 97%~98%,而我国目前还处于起步阶段。

自动焊接工艺配备有自动控制系统,工艺性能稳定,受外界影响小。因为焊接作业采用自动焊,所

以焊工的培训成本大大减少。在大口径、厚壁管道焊接中,其速度、质量和工效都是其他方法所不能相比的。

在此就管道多层自动焊视觉图像跟踪的自动控制系统进行了研究。

1 管道多层焊视觉图像跟踪系统组成与工作原理

管道多层焊视觉图像跟踪系统组成如图 1 所示。首先使用 CCD 摄像机获取焊缝区域图像,并将图像各像素的光强信号转化成电信号,送给图像处理卡。图像处理卡中的 A/D 模块将对应各像素的电信号转化成相应灰度值,存入计算机的存储器中。计算机得到图像的数据矩阵后,在 Windows 平台下对焊缝图像进行处理,将处理得到的焊缝位置信息通过模入/模出接口卡转化成 0~5 V 范围内的一个模拟电压值,送给 PLC,PLC 根据接收的电压值来控制步进电机驱动器,从而控制行走机构。

2 实时跟踪算法研究

2.1 初始条件

收稿日期:2005-01-23;修回日期:2005-03-12

作者简介:黄军芬(1975—),女,湖南邵东人,在读博士,主要从事焊缝图像处理及智能控制的研究工作。

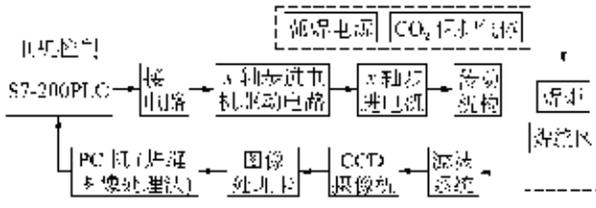


图 1 管道多层焊视觉图像跟踪系统

该研究设计的跟踪机构中摄像头置于焊枪前方 12 cm 处,焊枪与摄像头之间距离固定,为刚性连接,两者之间连线平行于轨道。焊接小车及焊炬与 CCD 摄像头的相对位置示意图如图 2 所示。

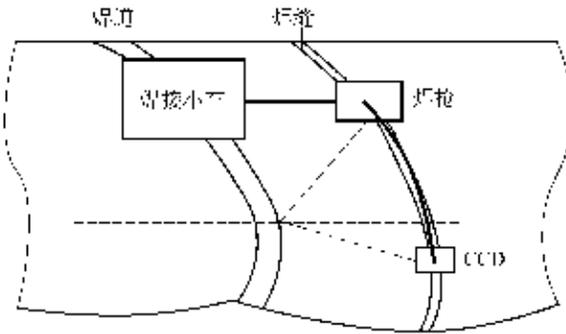


图 2 跟踪机构示意图

2.2 跟踪公式推导

以焊缝和轨道的一种偏差情况为例,如图 3 所示,焊缝位于焊枪的右侧。由于摄像头位于焊炬前方,所以焊枪对焊缝的跟踪滞后于图像处理过程,从摄像头采集第一幅图像到焊枪开始实时跟踪之间处理的图像数可采用式(1)推算

$$M=L/v/t_p, \quad (1)$$

式中 M 为处理图像数; L 为焊枪与摄像头之间距离; v 为焊接速度; t_p 为处理一幅焊缝图像时间。

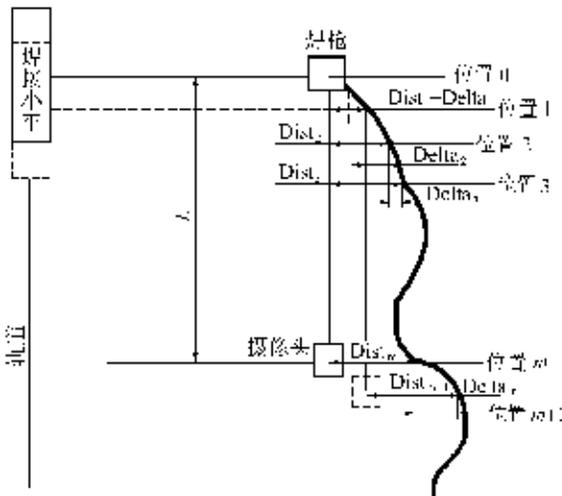


图 3 跟踪机构与焊缝相对位置示意图

式(1)的意义是:因为焊枪要到达摄像头初始位置后才开始进行实时跟踪,所以首先计算出从焊接小车开始行走走到焊枪到达摄像头初始位置所需时间(L/v),再用这一时间除以 PC 机处理一幅图像所用时间($L/v/t_p$),即得到焊枪开始实时跟踪前的处理图像数 M 。

事实上,研究关心的是焊枪从一个位置前进到下一个位置在水平方向上需要的矫正量,而图像处理结果体现的是获取图像这一时刻焊枪与焊缝的相对位置,并不是研究需要的矫正量,所以必须对之前图像处理所得的结果进行调整。设位置 n 的图像处理结果用 $Dist_n$ 表示,从位置 $n-1$ 到位置 n 的水平方向矫正值用 $Delta_n$ 表示。 $Dist_n$ 及 $Delta_n$ 均为有符号数,定义焊缝位于焊枪右侧时的 $Dist$ 及 $Delta$ 为正,位于焊枪左侧时对应的 $Dist$ 及 $Delta$ 为负。

由初始条件可知,当焊枪前进到摄像头初始位置(设为位置 0)前,不进行任何水平方向位置调整;在到摄像头初始位置时,焊枪正对焊缝,焊枪由位置 0 前进到位置 1 所需的水平位置矫正值($Delta_1$)等于之前计算所得偏差值($Dist_1$);而从位置 1 前进到位置 2 水平方向矫正值不再是之前得到的图像处理结果($Dist_2$),对该结果必须进行矫正

$$Delta_2=Dist_2-Delta_1. \quad (2)$$

焊枪从位置 2 到位置 3 的矫正值为

$$Delta_3=Dist_3-Delta_1-Delta_2. \quad (3)$$

依此类推,从位置 n 到位置 $n+1$ 的矫正值为

$$Delta_{n+1}=Dist_{n+1}-\sum_{p=1}^n Delta_p, \quad (4)$$

式中 $n+1 \leq M, n, p \in \mathbf{Z}$ 。

式(2)适用于焊枪前进位置小于等于 M 的情况。当焊枪从位置 M 前进到位置 $M+1$ 时,情况发生变化,摄像头在位置 $M+1$ 处获得的焊缝图像对应于焊枪(即摄像头中心)在水平方向平移 $Delta_1$ 距离,即此时图像的水平基准为位置 1 的横坐标,而不是此前的位置 0 的横坐标,所以焊枪从位置 M 前进到位置 $M+1$ 的矫正值为

$$Delta_{M+1}=Dist_{M+1}-\sum_{p=2}^M Delta_p, \quad (5)$$

式中 $p \in \mathbf{Z}$ 。

同理,可以得到焊枪到达位置 M 后的通用矫正值计算公式

$$Delta_{M+n+1}=Dist_{M+n+1}-\sum_{p=n+2}^{M+n} Delta_p, \quad (6)$$

式中 $n, p \in \mathbf{Z}$ 。

为了方便程序处理,用 k 代替 $M+n$, 则

$$\Delta_{k+1} = \text{Dist}_{k+1} - \left(\sum_{p=k-M+1}^k \Delta_{k-p} - \Delta_{k-M+1} \right), \quad (7)$$

式中 $k \geq M, k, p \in \mathbf{Z}$ 。

经验证,式(4)、(7)适用于焊枪与焊缝存在的各种位置关系。

3 利用 PLC 实现跟踪控制

3.1 主程序

主程序流程图如图 4 所示。在主程序中进行初始化,其中变量 n 可记录子程序 0 中处理图像的个数,变量 SumDelta 用来存储矫正值 Delta 的加和,Flag1 作为标志位。当 PC 机将图像处理结果转成模拟量送给 PLC 时,同时置位 Flag1,PLC 判断 Flag1 发生正跳变,即读入该模拟量,之后复位 Flag1。

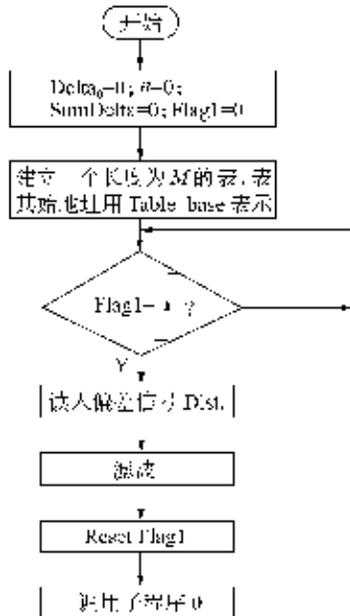


图 4 主程序流程图

3.2 子程序 0

子程序 0 流程图如图 5 所示。在子程序 0 中判断处理图像个数 n 是否达到 M , 如果未达到,则转到左侧的分支,计算从位置 n 到位置 $n+1$ 对应的矫正值 Δ_{n+1} , 存入相应的地址“Table_base+n”中; 当 $n=M$ (即 $n+1>M$) 时,程序转到右侧分支,调用子程序 1, 将地址“Table_base”中数据送给子程序 1, 这时 SumDelta 为 M 个 Delta 的加和, 根据式(7), 每次读入一个 Dist_{n+1} 后, 从当前的 SumDelta 中减去存在地址“Table_base”中的 Δ_{n-M+1} 的差作为新的

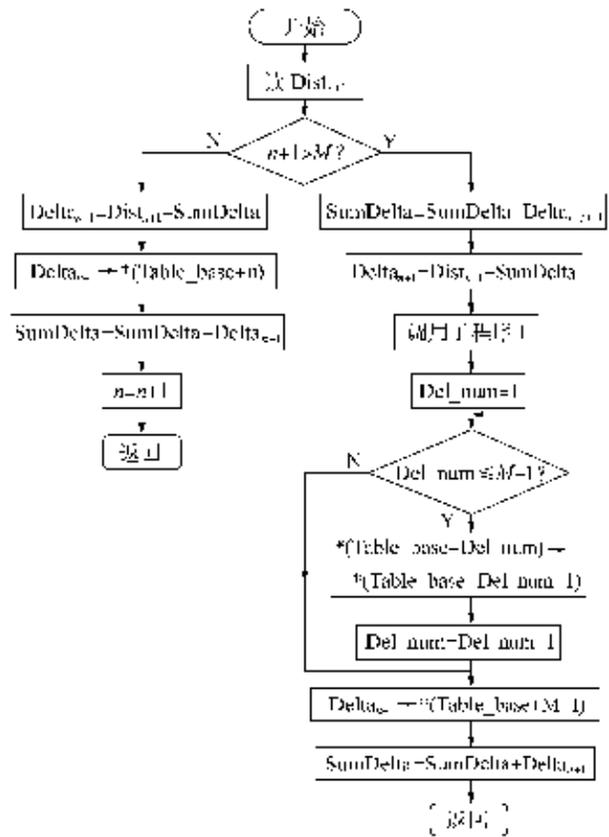


图 5 子程序 0 流程图

SumDelta 值($M-1$ 个 Delta 的加和), 用 Dist_{n+1} 减去这个新的 SumDelta 值, 就得到对应的 Δ_{n+1} , 将表中从第 2 个到第 M 个数据前移单位地址, 将 Δ_{n+1} 置于表的最后, 然后将 SumDelta 加上 Δ_{n+1} 作为新的 SumDelta, 这时 SumDelta 又是 M 个 Delta 的加和, 当子程序 0 再次被调用时, 重复上述过程。

3.3 子程序 1

子程序 1 流程图如图 6 所示。子程序 1 确定焊枪跟踪方向, 并根据矫正值(RectVal)的大小确定跟踪参数(脉冲数及脉冲周期), 通过变频实现焊枪的左右跟踪, 在考虑跟踪精度的前提下, 程序设计了死区, 以防止跟踪机构过于灵敏而引起振动, 死区误差为 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 。其中 $\text{ABS}(\text{RectVal})$ 表示取 RectVal 的绝对值。

4 跟踪精度测试

该研究对该跟踪控制系统进行了精度试验, 试验结果满足设计要求。

试验条件: 试件是直径为 $\varphi 43 \text{ cm}$ 、厚为 15 mm 的钢制管道, 多层焊自动跟踪管道焊接机器人, 黑色画线笔, 在焊缝右侧沿管道贴一张白纸。