

数控三轴弯圆机人机交互系统设计与实现

彭来湖^{1,3}, 倪明捷², 孙卓晟³, 徐步都³

(1.浙江理工大学机械工程学院, 浙江 杭州 310018;

2.浙江理工大学信息科学与工程学院, 浙江 杭州 310018;

3.浙江理工大学龙港研究院, 浙江 温州 325000)

✉ laihip@zstu.edu.cn; 1090114155@qq.com; xiaosun81663875@163.com; ab55599@qq.com



摘要:针对传统弯曲型材加工设备运行时不稳定、加工效率低、加工成本高以及操作界面复杂等问题,设计了弯圆机人机交互系统。主要介绍了上位机软件的设计与实现过程,包括逻辑算法、用户交互、通信处理以及数据存储等模块的设计方法。上位机软件使用 Qt Creator 编程软件进行开发,以 TCP/IP 协议作为通信总线实现数据交互,使用二进制文件和 SQLite 数据库存储数据。结果表明,根据所述方法设计的人机交互系统在实际生产中,型材加工精度误差小于 1 mm,并且该系统具有性能稳定、功能齐全等优点,能够满足弯曲型材加工市场的需求。

关键词:弯圆机; 人机交互系统; Qt Creator; TCP/IP 协议; SQLite

中图分类号: TP271 **文献标志码:** A

Design and Implementation of Human-Computer Interaction System for CNC Three-axis Bending Machine

PENG Laihu^{1,3}, NI Mingjie², SUN Zhuosheng³, XU Budu³

(1.School of Mechanical Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2.School of Information Science and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

3.Research Institute of Zhejiang Sci-Tech University in Longgang, Wenzhou 325000, China)

✉ laihip@zstu.edu.cn; 1090114155@qq.com; xiaosun81663875@163.com; ab55599@qq.com

Abstract: Aiming at the problems of instability, low processing efficiency, high processing costs, and complex operation interfaces in traditional bending profile processing equipment, this paper proposes to design a human-machine interaction system for bending machine. This paper mainly introduces the design and implementation process of the upper computer software, including the design methods of logic algorithms, user interaction, communication processing, and data storage modules. The upper computer software is developed by using Qt Creator programming software, and the TCP/IP protocol is used as the communication bus to realize data interaction. Binary files and SQLite databases are used to store data. The results show that the proposed human-machine interaction system has a processing accuracy error of less than 1 mm in actual production, and the system runs stably with full functions, which can meet the processing needs of the bending profile processing market.

Key words: bending machine; human-machine interaction system; Qt Creator; TCP/IP protocol; SQLite

0 引言 (Introduction)

如今,弯曲型材的应用越来越广泛,其已成为许多设备的重要组成部分。机械设备上的弯曲零件种类繁多,其造型复杂,因此加工的工艺也复杂。传统弯曲型材的加工工艺多以利用模具成型为主,不仅加工周期长、成本高,而且加工精度低,无法满足复杂型材的加工需求^[1]。采用滚弯成型^[2]工艺研发的弯圆机设

备,加工型材时不需要模具,不限制材料长度,具有加工效率高、成本低的特点,因此弯圆机近年来越来越受到弯曲型材加工市场的青睐^[3]。本文从弯曲型材生产加工的实际需求出发,综合考虑实际生产加工中操作系统和运动控制器之间数据传递与信号通信的实时性,型材的加工效率、加工精度,上位机软件运行的稳定性、功能的齐全性,以及操作界面的简洁性等重要因素,

利用工控机、运动控制器、传感器,并结合智能控制技术,实现对弯曲型材的自动化加工和实时监测,并使用 Qt Creator 编程软件^[4]设计了一款数控三轴弯圆机人机交互系统软件。

1 控制系统整体设计(Overall design of control system)

为达到加工效果,满足厂家要求,本系统包括工控机、运动控制器、液压系统、变频系统、光电传感器等。工控机以 TCP/IP 协议^[5]作为弯圆机的通信总线,实现与运动控制器之间的通信。运动控制器接收到上位机发送的指令后,输出信号给液压系统和变频系统,实现对液压站各个电磁阀以及变频器的控制,并且接收光电传感器、限位开关等的输入信号,以及读取光栅尺、编码器的示数,上位机经过逻辑运算后,再次向运动控制器发送相应的指令。控制系统总体方案如图 1 所示。

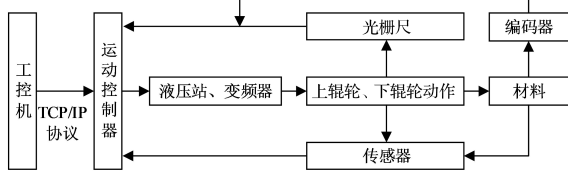


图 1 控制系统总体方案

Fig. 1 Overall scheme of the control system

2 上位机软件设计(Upper computer software design)

本文对弯圆机加工工艺进行分析,并结合机械结构与操作人员的要求,采用模块化的设计方法设计数控三轴弯圆机人机交互系统软件^[6],使软件具有更强的可维护性、可拓展性和可读性等。该软件的四大模块分别是逻辑算法模块、用户交互模块、通信处理模块以及数据存储模块。逻辑算法模块主要实现人机交互系统中的部分复杂算法,对系统进行初始化以及实现对机械设备的运动控制;用户交互模块主要包括对各类参数设置、显示各类数据信息、通过各类按键向其他模块发送请求以及对系统进行升级和维护等功能;通信处理模块主要是实现人机交互系统软件与运动控制器之间的通信,并实现数据的接收与发送;数据存储模块主要实现对人机交互系统的各类参数和数据存储并读取。数控三轴弯圆机人机交互系统软件架构如图 2 所示。

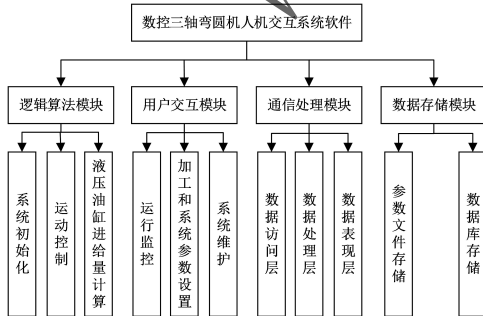


图 2 数控三轴弯圆机人机交互系统软件架构

Fig. 2 Architecture diagram of human-computer interaction system software for the CNC three-axis bending machine

2.1 逻辑算法模块

2.1.1 工件弯曲半径计算模型

工件的弯曲半径与液压油缸的进给量存在几何关系^[7],工

件弯曲半径计算模型如图 3 所示。

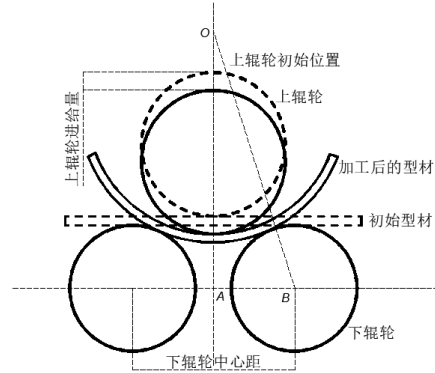


图 3 工件弯曲半径计算模型

Fig. 3 Calculation model of workpiece bending radius

设上辊轮的半径为 r_1 ,下辊轮的半径为 r ,两个下辊轮的中心距为 L ,型材的厚度为 t ,液压油缸进给量为 y ,工件成型半径为 R 。在直角三角形 OAB 中,由计算模型可得出 OB 、 OA 、 AB 的表达式,则由勾股定理可知:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 \quad (1)$$

$$(R+t+r)^2 = (R+t+r-y)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \quad (2)$$

得到液压油缸进给量 y 与工件成型半径 R 的关系式:

$$y = R+t+r - \sqrt{(R+t+r)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (3)$$

2.1.2 运动控制逻辑

上位机软件和运动控制器进行通信,并且配置运动控制器的输入和输出端口,上电后,定时器每隔 10 ms 进入响应事件,实时获取液压站电磁阀、变频器开关以及传感器的状态。当液压站使能开关打开时,可以点击相应的控制按钮进入响应事件,运动控制器执行相应的控制指令,液压油缸实现相应的动作。当液压油缸运动到某一限位开关时,自动停止当前的运行状态并失能该方向的运行操作按钮。按下变频器正反转控制按钮进入按钮响应事件,完成指定的动作。运动控制逻辑流程如图 4 所示。

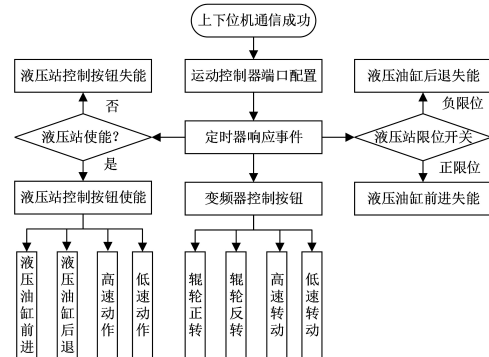


图 4 运动控制逻辑流程

Fig. 4 Flow chart of motion control logic

2.2 用户交互模块

用户交互模块的主要界面的功能如下:手动界面的主要功能是对各类执行机构实现单步控制,同时监控检测机构的状态,实现对弯圆机的调试测试以及手动加工材料;自动界面的主要功能是根据加工需求设置加工参数,并进行自动加工控制;半自动界面的主要功能是将手动控制与自动控制结合,对

型材精度进行调整,最大限度地减少浪费;参数设置界面主要负责设置系统、用户和设备参数,还包括输入和输出端口的配置,保证系统的正常运行;系统维护界面主要实现人机交互系统和运动控制器程序的更新与对系统进行维护。

用户交互模块还包括运行状态监控和系统报警两个功能,运行状态监控功能可以在弯圆机实际生产加工过程中对运动控制器上发送的实时信息进行周期性更新并在界面进行显示,方便操作人员了解系统的通信状态、执行机构运行状态以及零件加工状态,为保证数据的准确性和实时性,通常设置更新周期为 10 ms。系统报警功能是为保证整个系统加工运行的完整性与可靠性,可以将加工运行过程中遇到的各种问题进行记录、存储以及显示在界面中,以便操作人员根据实际情况采取相应措施。

在自动生产加工前,根据加工类型的选择设定工件的加工参数,设定方式可以选择手动输入与 CAD(Computer Aided Design)导入,然后根据界面上的加工信息通过工件弯曲半径计算模型计算出液压油缸的进给量,将得到的工件的不同弯曲半径对应液压油缸的进给量的计算结果封装成执行文件后下发至运动控制器,运动控制器根据下发的执行文件实现加工。自动加工流程如图 5 所示。

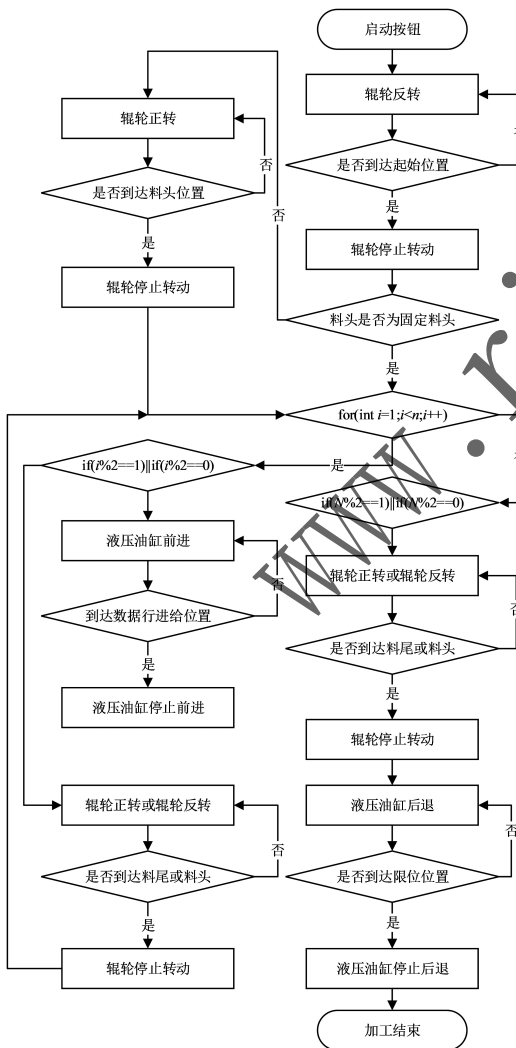


图 5 自动加工流程

Fig. 5 Automatic processing flow chart

2.3 通信处理模块

通信处理模块分为 3 个主要层次:数据访问层(基于 TCP/IP 协议)、数据预处理层(基于运动控制器协议)以及数据表现层(基于控制需求)。

数据表现层的主要职责是将各种功能需求进行整合,为其他模块提供调用接口,处理外部模块传入的数据,执行指令与进行数据处理,并采用适当的数据结构进行数据的临时存储。同时,通过 Qt Creator 自带的信号机制功能,向其他模块广播来自运动控制器的反馈信息。

基于 TCP/IP 协议的数据访问层能够使服务端和客户端之间建立稳定的连接状态。将数控三轴弯圆机人机交互系统作为 TCP/IP 服务端,使用 Qt Creator 提供的 QTcpServer 类创建服务端 TcpServer 对象,并监听与运动控制器建立的 socket 连接请求。运动控制器作为客户端,向数控三轴弯圆机人机交互系统发送连接请求。一旦系统在接收到运动控制器的连接请求,即触发信号,建立 socket 连接,实现与运动控制器之间的通信。图 6 为 TcpServer 工作流程。建立连接后,数控三轴弯圆机人机交互系统与运动控制器之间可以自由进行数据包传输。

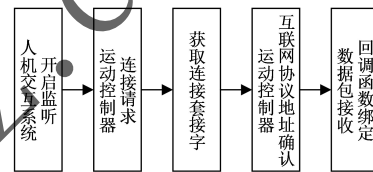


图 6 TcpServer 工作流程

Fig. 6 TcpServer workflow

数控三轴弯圆机人机交互系统通过 TCP/IP 协议与运动控制器建立 socket 连接后,需要根据运动控制器的通信协议进行数据封装和解析。数据交互方式主要分为以下 3 种。

(1) 单步控制指令发送与反馈。数控三轴弯圆机人机交互系统向运动控制器发送单条指令实现单步控制,运动控制器接收指令后执行相应操作,然后发送指令码相同的反馈信息。数控三轴弯圆机人机交互系统接收反馈信息后,确认指令发送成功。

(2) 批量动作指令发送。将大量的控制指令写入执行文件中,实现批量动作的运行。运动控制器接收并执行该文件中的指令,完成复杂的加工任务。

(3) 实时信息传输。运动控制器以一定周期(通常设置为 10 ms)循环向数控三轴弯圆机人机交互系统发送实时信息,系统接收并解析这些信息,以便及时了解系统的运行状态和性能。

2.4 数据存储模块

数控三轴弯圆机人机交互系统的参数主要包括用户参数、运动控制器运行参数、机器设备参数以及系统维护参数。上述参数采用二进制参数文件的存储方式。二进制参数文件存储是通过将参数数据结构以二进制形式写入操作系统的文件中实现的,能确保系统初始化时快速读取数据,系统掉电或出现异常时数据不丢失,保证数据的完整性和稳定性。同时,二进制参数文件主要保存在系统初始化过程中,其文件内容中每一

个字节都直接对应系统内部数据结构在内存中的存储位置,两者数据结构高度一致,因此二进制文件存储方式不依赖于其他库或模块,具有高度的安全性和出色的读写速度。

加工数据和报警数据的结构具有一定的特殊性且数据量较大,因此采用数据库的存储方式。SQLite^[8]是一种嵌入式数据库,既可以通过命令执行操作,又可以集成到代码中使用,能够保证在低性能系统中稳定运行^[9]。本文使用的工业触摸屏的硬件性能较低,由于弯圆机的相对数据量大,因此,选择与嵌入式设备适用性最佳的 SQLite 数据库来存储部分数据,能够确保数据的可靠性和数据管理的高效性。SQLite 数据库创建及测试流程如图 7 所示。

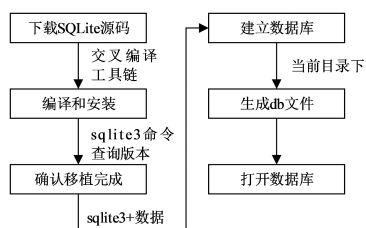


图 7 SQLite 数据库创建及测试流程

Fig. 7 Flow chart of SQLite database creation and testing

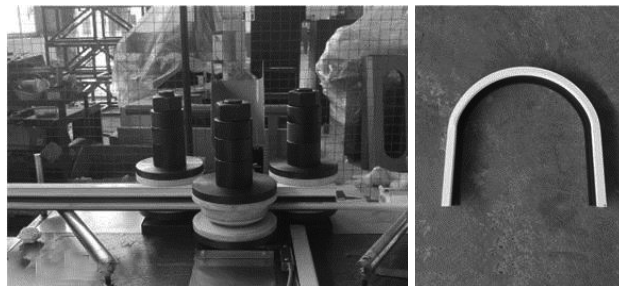
3 软件应用 (Software application)

数控三轴弯圆机人机交互系统界面如图 8 所示。软件开发完成之后需要搭建测试平台,配置测试系统环境,将编译完毕的上位机程序烧录到工业电脑或者嵌入式触摸屏中,以测试系统的各项功能。以测试结果符合要求后进行现场调试,上位机发送控制指令,机器设备能够完成液压油缸前进和后退动作,变频器控制辊轮正转和反转,并且监测到光栅尺、编码器的示数、传感器的状态、材料加工的过程等,这些信息可以实时显示在界面中。完成以上操作后,开展实际加工,选用 1 500 mm 长的铝合金材料,加工出 C 形和 U 形型材等。理论上, U 形型材的半径为 318.31 mm,直腿边长为 250 mm。经过加工后, U 形型材的实际半径为 318 mm,弯圆机设备和 U 形型材样本如图 9 所示。经过反复加工,型材半径误差小于 1 mm,符合要求。



图 8 数控三轴弯圆机人机交互系统界面

Fig. 8 Human-computer interaction system interface of the CNC three-axis bending machine



(a) 弯圆机设备

(b) U 形型材样本

图 9 弯圆机设备和 U 形型材样本

Fig. 9 Bending machine equipment U-shaped profile sample

4 结论 (Conclusion)

本研究通过深入分析弯曲型材加工工艺的控制要求,设计了一款数控三轴弯圆机人机交互系统软件,实现了对弯曲型材的自动化加工。经过工厂实际生产调试发现,相较于传统的模具加工工艺,数控三轴弯圆机人机交互系统具有生产效率高、加工精度高、系统运行稳定可靠以及操作界面交互性好等优点,能够满足企业的生产需求,能够为弯曲型材加工工艺的改进提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 周养萍. 型材滚弯加工现状与展望[J]. 锻压装备与制造技术, 2010, 45(3): 14-18.
- [2] ZHANG T, SHA H P, LU S H, et al. Study on flexible two-axis roll-bending process for component with non-circular section[J]. Journal of mechanical science and technology, 2019, 33(9): 4421-4429.
- [3] 陈明和, 谢兰生, 冯瑞, 等. 中机身蒙皮骨架变曲率截面桁条滚弯精确成形工艺研究[J]. 航空制造技术, 2022, 65(21): 135-142.
- [4] 刘佳梁. 基于 Qt5 开发的面向工业设备的状态监视及控制软件[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(20): 70-72.
- [5] 丁帅, 乔庐峰, 陈庆华, 等. 多端口 TCP 协议处理电路的设计与实现[J]. 通信技术, 2022, 55(10): 1376-1382.
- [6] 闻洪波, 彭来湖. 鞋面针织圆纬机人机交互系统设计[J]. 针织工业, 2019(4): 5-8.
- [7] 曹振鑫. 滚弯成形数学建模与有限元仿真验证[J]. 中国科技信息, 2021(11): 86-88.
- [8] 景子奇, 邹兆年. 嵌入式数据库 SQLite 上多版本并发控制的设计与实现[J]. 计算机应用, 2022, 42(1): 140-147.
- [9] 于斌, 陆旭, 田聪, 等. 面向 SQLite3 数据库 API 调用序列的并行运行时验证方法[J]. 软件学报, 2022, 33(8): 2755-2768.

作者简介:

彭来湖(1980-),男,博士,教授。研究领域:机电一体化。

倪明捷(1998-),男,硕士生。研究领域:工业过程控制,综合自动化。本文通信作者。

孙卓晟(1994-),男,硕士,高级工程师。研究领域:机械电子工程。

徐步都(1992-),男,本科,高级工程师。研究领域:自动化设备设计。