

一种多工位复合自动钻床的设计

李益东¹, 严思杰^{1*}, 廖黎波², 杨自建³

(1. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学 土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074; 3. 宁波赛维思机械有限公司, 浙江 宁波 315135)

摘要: 针对圆孔和螺纹孔加工中的多次装夹定位引起的误差和效率问题,设计研究了多工位复合自动钻床。采用了台达ES2系列可编程逻辑控制器(PLC)作为控制系统的核心控制器,以驱动并控制交流伺服系统和变频调速系统;控制系统采用了基于MODBUS-RTU协议的RS485通讯网络,并建立了高速稳定的通讯网络系统;采用人机界面(HMI)实现了参数设置和状态监控;设计了4种不同刀具,可实现多种加工工序的整合。实际运行结果显示:该钻床刀具的最大定位误差为0.1 mm,刀具重复定位误差为0.02 mm,所加工的螺纹孔正常,机床整体运行较稳定,能够满足用户基本加工要求。

关键词: 多工位复合自动钻床; MODBUS-RTU; 交流伺服控制; PLC

中图分类号: TG52; TH122; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)12-1419-04

Design of a multiple station combined automatic drilling machine

LI Yi-dong¹, YAN Si-jie¹, LIAO Li-bo², YANG Zi-jian³

(1. School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;
2. School of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;
3. Ningbo Saivs Machinery Co., Ltd., Ningbo 315135, China)

Abstract: Aiming at the processing errors and efficiency problems caused by multiple clamping positioning which exists in machining of a circular hole and threaded hole, a project for the design and research of multiple station combined automatic drilling machine was established. DVP-ES2 programmable logic controller(PLC) was used as the core controller of the control system in order to control the AC servo system and the frequency control system. RS485 communication network based on MODBUS-RTU protocol was designed to create a high-speed and stable communication network system. Human machine interface(HMI) was used to set parameters and monitor status. Four tools were designed for the combination of different manufacturing procedures. The operation results show that the maximum positioning error of tools has 0.1 mm, the repeated positioning error of tools has 0.02 mm, the threaded holes processed by this drilling machine are normal, this drilling machine runs stably and can meet the basic processing requirements.

Key words: multiple station combined automatic drilling machine; MODBUS-RTU; AC servo control; PLC

0 引 言

随着我国汽摩配件需求量的不断提高,国家对汽摩零件的加工也提出了更高的要求。但我国目前汽摩配件生产的自动化程度依然很低。举例来说,很多汽摩配件中,其中的相关圆孔及螺纹孔加工方式还处于人工或者半自动化加工阶段。同时,较高的员工成本和低下的加工效率促使企业开始寻求低成本、高效

率的自动化设备。现今国内孔加工自动化设备以多轴式孔加工设备为主,也有少量专用式双工位钻床,效率虽高,但是无法实现多工位多次装夹、自动控制的功能;国外较常用的自动化孔加工设备以数控钻床为主,特别是数控钻孔中心,具有多轴联动加工能力,拥有较高的加工柔性,但是成本较高,不适合大批量生产制造低成本零件。

针对国内外现有的圆孔及螺纹孔加工设备现状

收稿日期: 2012-06-21

作者简介: 李益东(1987-),男,浙江宁波人,主要从事数控技术与装备方面的研究。E-mail:liyidong401@126.com

通信联系人: 严思杰,男,副教授,硕士生导师。E-mail:yansijie@vip.sina.com

以及汽摩配件制造中孔的加工技术要求,本研究提出多工位复合自动钻床的研究方案,该设计拥有4种不同加工刀具,通过刀具盘旋转更替加工刀具分别实现4种孔的多种加工工序。控制系统核心采用PLC控制器实现逻辑运动控制、精确定位、稳速运行等功能^[1-2];运动系统采用两套交流伺服系统和一套变频调速系统^[3-4];监控系统采用触摸屏以实现状态监控、参数设定等功能。控制系统主体采用基于MODBUS-RTU协议的RS485网络实现通讯功能。

1 机械结构设计方案

1.1 多工位钻床机械整体结构

多工位钻床的整体机械结构主要由钻床箱体、工作台升降模块、工位回转模块、主轴加工模块和工件装夹平台组成,整体结构图如图1所示。

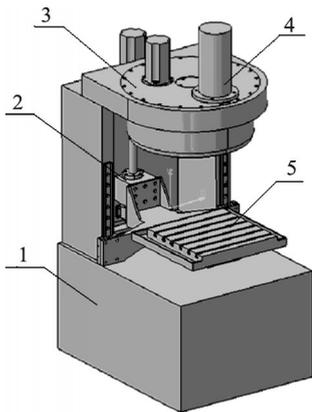


图1 多工位钻床整体结构图

1—钻床箱体;2—升降模块;3—工位回转模块;4—主轴加工模块;5—工件装夹平台

为适应被加工工件的特点,本研究所设计的多工位钻床整体上体型较小,安装运输方便,加工成本低。钻床的箱体采用类似台钻的支撑方式,钻床的升降机构采用长螺杆与滑动块配合的方式以完成升降动作,在箱体两侧配有梯形导轨实现对升降机构的支撑和导向作用,钻床的多工位体现在工位回转模块上设有刀盘,并均匀分布4种不同的刀具,通过控制工位回转模块的定位转动实现刀具的变换,主轴模块方案采用电机与刀具的直接连接,工件装夹平台采用通用装夹平台,可适用多种通用夹具和专用夹具。

1.2 多工位钻床升降机构

升降机构由螺杆及滑块、梯形导轨及滑块、轴承及轴承座等机械部件组成,由伺服电机作为执行元件带动螺杆转动以实现工作台的上下运动,通过配以传感器元件等可实现运动形成限制及保护功能。

螺杆及滑块的主要作用是将旋转运动转化为直线运动,同时提供一定的减速比,具有较稳定的传动

能力,考虑到伺服电机选用了带有抱闸系统的电机方案,因此螺杆的选择或加工在自锁功能上可以省略,减小了螺杆的成本及加工难度。根据汽摩零配件的加工精度要求,对升降机构的位移精度要求较低,但是由于伺服电机直接连接螺杆,滑块直接连接工件台,螺杆与滑块的运动稳定性直接影响工件的加工质量,因此对螺杆及滑块的配合度要求较高。

梯形导轨及滑块的作用主要是支撑及导向,螺杆可受力较小,长时间受较大作用力后会使其变形折断,因此本研究采用梯形导轨来承受间接施加在升降机构水平方向上的作用力和力矩。梯形导轨相对其他导轨,具有使用广泛、接触面积大、加工安装简易等特点。

1.3 多工位钻床工位回转机构及主轴机构

工位回转机构主要由四工位刀盘和减速机构组成,其结构如图2所示,由伺服电机驱动减速机构,带动四工位刀盘转动,完成刀具之间的转换,同时通过传感器及编码器信号完成刀具定位功能。

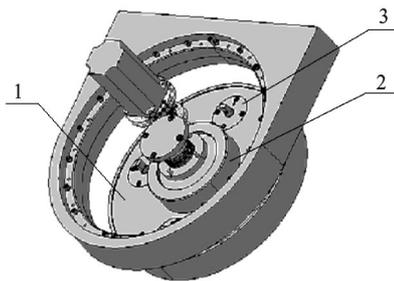


图2 多工位钻床工位回转机构

1—四工位刀盘;2—减速机构;3—刀具装夹单元

减速机构由一对标准直齿圆柱齿轮组成,主动齿轮通过键连接至伺服电机轴上,从动齿轮通过螺栓连接至四工位刀盘上。刀具装夹单元均匀等分在四工位刀盘上,其上部与主轴部分配合运动,其下部用于装夹不同的刀具。本研究采用的齿轮减速机构具有较稳定的配合运动,减速比固定,运动精度较高,且可承受力较大。

多工位钻床的主轴机构如图3所示,主要由电机连接轴、刀具装夹单元主轴等组成。其通过变频电机轴输出至电机连接轴,刀具装夹单元主轴与电机连接轴的配合采用嵌入式连接运动,两者以四工位刀盘中

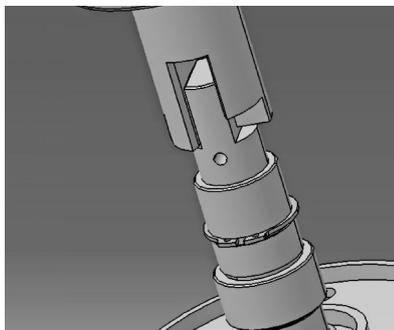


图3 多工位钻床主轴机构

心为圆心分别作内、外两个圆弧型面,电机连接轴处开倒角以扩大刀具装夹单元主轴进入的准确性。刀具装夹单元的主轴以一定的姿态运行至主轴变频电机正下方,并以同一姿态离开,配合刀盘回转机构实现刀具的变换与多工位加工。

2 控制系统设计方案

多工位钻床控制系统主要由用户层、核心层和应用层组成。用户层主要是以触摸屏为主的人机交互以及其他外部设备开关按钮;核心层是以台达DVP系列的PLC为核心控制器;应用层主要是由刀盘回转伺服系统模块、刀具转速控制模块、升降位移及速度控制模块、刀具扭矩自适应控制模块、冷却系统控制模块等组成^[5]。

控制系统的研究思路如图4所示。

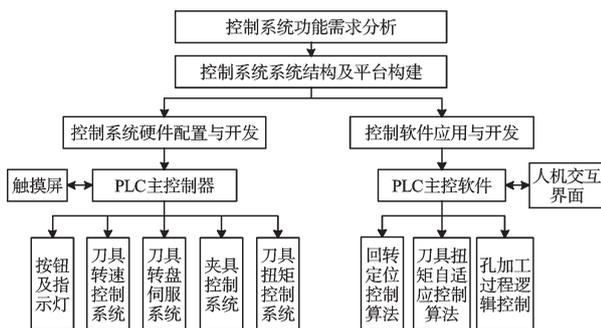


图4 多工位钻床控制系统框架图

控制系统主体采用基于MODBUS-RTU协议的RS485通讯以实现PLC与运动部件之间的通讯传输^[6]。MODBUS协议作为一种通用工业标准,将不同厂商生产的控制设备连接成工业网络以实现集中监控,该协议定义了一个控制器能认识使用的消息结构,而不管它们是经过何种网络进行通信的^[7]。MODBUS协议为开放标准,且支持多种电气接口如RS485等。触摸屏与PLC连接采用RS232串行通信完成参数设定与状态监控功能。

其整体控制系统如图5所示。

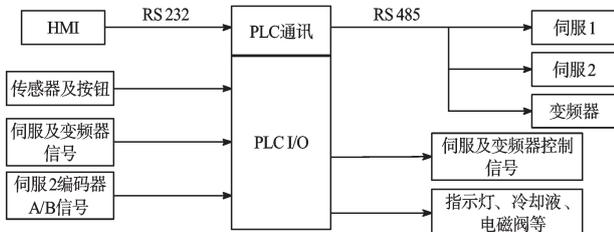
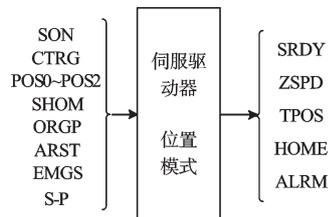


图5 多工位钻床控制系统图

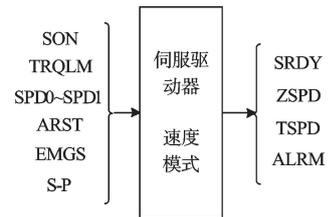
2.1 工位回转定位控制设计

刀盘回转以实现工位转换为目标,因此其定位精度直接影响刀具中心轴与工件的相对位置^[8]。回转伺服驱动器的控制设计如图6所示^[9]。

回转伺服在自动加工模式下采用的内部位置控



(a) 位置模式控制



(b) 速度模式控制

图6 回转伺服控制设计结构图

SON—伺服启动;POS0~POS2—内部位置寄存器选择接口;SPD0~SPD1—内部速度寄存器选择接口;S-P—模式切换接口;TPOS—位置到达信号;TSPD—速度到达信号

制模式如图6(a)所示,系统将所需运行的位移脉冲数存储在伺服驱动器内部寄存器中,通过读取其中的数据来实现当前所需运行位移,避免了采用外部脉冲给定方式中的脉冲丢失问题。针对机械结构设计刀盘回转控制时,只涉及一对减速齿轮对,因此机械结构对刀盘回转误差影响较小,电机轴输出可看作类全闭环位置控制,可实现高精度定位功能。刀盘零位前端设有零点传感器ORGP信号,到达该信号后电机减速向前搜索编码器Z相脉冲点为刀盘零点位置。为避免齿轮对存在的间隙带来反向运动误差,本研究在自动加工中只允许单向运动,同时每运行完一套工位,刀盘回转电机进行回零工作以避免产生累计误差。

回转伺服在手动调整模式下采用的速度控制模式如图6(b)所示,系统通过选择伺服驱动器数字输入接口读取对应内部速度寄存器数值作为当前所设定速度。内部位置控制模式与速度控制模式的切换通过数字输入接口S-P来实现。

2.2 升降运动控制设计

升降运动实现工件台的上下移动,其间接表现为刀具的快进、攻进等参数。攻丝过程要求主轴刀具旋转速度与攻进速度具有一定比例以得到正确的螺纹与螺距,因此升降伺服采用内部速度控制模式。同时本研究将编码器A/B相脉冲输入至PLC高速脉冲计数端口以获得当前工件台位置。其控制设计方案与回转伺服速度控制模式一致,与回转运动不同的是,升降运动在上下有极限位置,系统设置有限位开关。

编码器A/B相信号从伺服驱动器输出时为差分信号A+/A-和B+/B-,不能直接接入至PLC,系统需要对其进行信号处理转换成集电极开路输出(OC)信号。

该设计采用光电耦合器 TLP521-2 实现信号转换,其原理图如图 7 所示。

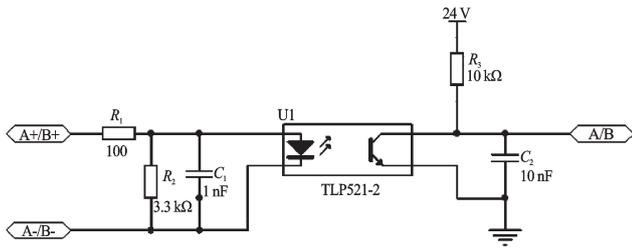


图 7 编码器 A/B 信号转换原理图

2.3 主轴运动控制设计

主轴运动由变频电机和变频器控制,主轴结构设计中电机轴与刀具装夹主轴之间没有减速机构,对电机的扭矩要求较高,因此主轴电机选用变频电机。该变频电机相对普通三相异步电机来说采用基频制变频调制,可采用 V/F 控制和矢量控制等多种控制方向,拥有更好的转矩特性、更优秀的静态和动态特性以及更高的启动转矩。

变频电机配有一定分辨率的增量编码器,同时变频器配有 PG 速度回收卡接收编码器 A/B 相信号,以处理并获得电机旋转速度信息,通过变频器内部控制实现电机转速的闭环控制^[10]。

2.4 多工位钻床加工过程规划

多工位钻床加工分为自动加工、手动调整和机床回零三部分功能,其加工过程包括手/自动选择、机床回零、参数设置、工位选择、循环加工、状态监控等。

多工位钻床加工流程图如图 8 所示。

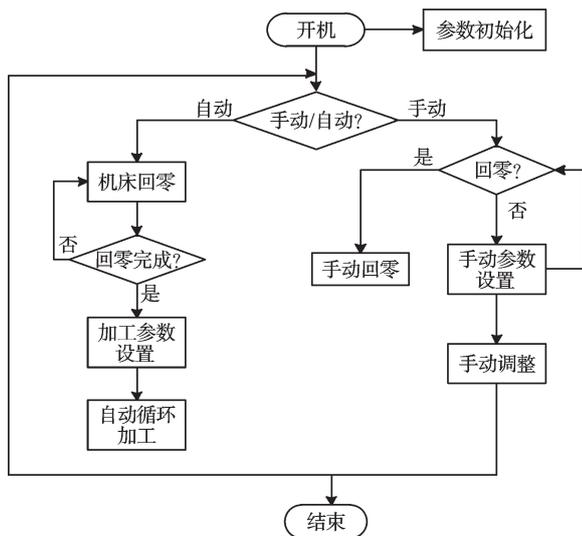


图 8 多工位钻床加工流程图

自动循环加工可根据所选的工位号进行顺序循环加工;手动模式主要用于刀具与零件之间的相对定位、试加工等功能;回零功能分为机床整体自动回零和各部分单独回零两种模式,前者用于自动加工模

式,后者用于手动调整模式。

3 多工位钻床调试与运行

螺紋孔及精孔的加工定位精度要求较高,因此本研究需要机床具有较高的运行精度和稳定度。4个刀具主轴的跳动平均误差在 0.02 mm 左右,4个刀具组合的定位误差范围大致为直径 0.1 mm,各刀具重复定位误差可保持在 0.02 mm 左右,且无累计误差;刀具盘中心轴跳动误差为 0.01 mm。通过实际加工摩托车油门阀体上 4 个 M6 组合螺紋孔,其结果螺紋较清晰,尚可配合连接件安装螺絲。

出于样机及人身安全考虑,钻床循环运行设置速度较低,每个工位的加工时间为 7 s 左右(包括攻进、快进、攻退、回零等动作),换工位时间为 2 s 左右,运行过程比较稳定,运行效率有待在样机合理化后进行提升。

4 结束语

本研究介绍了多工位复合自动钻床的机械机构设计和控制系统设计,该多工位复合自动钻床的设计立足汽摩零配件的孔加工,以实现孔加工的一次性装夹为基础进行设计,具有较高的自动化程度和良好的可扩展性。该钻床最多拥有 4 种加工刀具,可完成 15 种组合加工,满足实际生产线加工任务要求。另外,研究者在后期的研究和再开发过程中,可通过改进机床装配联动十字工作台以增加该钻床的通用性。

参考文献(References):

- [1] 张 政. PLC 编程技术与工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 陈蔚芳,王宏涛. 机床数控技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [3] 李清新. 伺服系统与机床电气控制[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [4] 岳庆来. 变频器、可编程序控制器及触摸屏综合应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 冯 浩. 机电一体化系统设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2009.
- [6] 中达电通股份有限公司. 台达 DVP-PLC 操作手册[M]. 中达电通股份有限公司,2011.
- [7] 华 谔. 从 Modbus 到透明就绪:施耐德电气工业网络的协议、设计、安装和应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [8] 王 欣,柳 滨. 用 PLC 实现三工位旋转工作台的定位控制[J]. 新技术应用,2007(6):44-48.
- [9] 中达电通股份有限公司. 台达 ASDA-A2 交流伺服系统使用手册[M]. 中达电通股份有限公司,2008.
- [10] 中达电通股份有限公司. 台达 VFD-E 变频器使用手册[M]. 中达电通股份有限公司,2009.

[编辑:张 翔]