

基于 UMAC 的爬行机器人制孔设备控制系统的设计^{*}

Design of Control System Based on UMAC for Crawling Robot Drilling Equipment

中航工业北京航空制造工程研究所 董婧婧 刘建东

[摘要] 介绍了 UMAC 控制系统的特性,根据爬行机器人制孔设备的结构特点与工艺需求,设计了一套基于 UMAC 多轴运动控制器的控制系统,阐述了 UMAC 多轴控制器的硬件系统搭建与软件设计方法,分析了 UMAC PID 伺服调整中常见的参数设定问题,并给出解决方法。

关键词: UMAC 爬行机器人 控制系统 PID

[ABSTRACT] The characteristic of UMAC control system is introduced. According to the structural features and process requirements of crawling robot drilling equipment, the control system based on UMAC multi-axis motion controller is designed. The hardware system construction and the software design method of UMAC multi-axis motion controller are introduced. The problem of adjusting UMAC PID servo-control parameters is analyzed, and solution is given.

Keywords: UMAC Crawling robot Control system PID

精确制孔在飞机制造和装配中占有重要地位,目前飞机自动化装配中广泛采用大型钻铆机床,设备体积大、造价昂贵。因此,研制一种轻量化、可移动的便携式自动制孔系统具有明显性价比优势,同时还应满足高精度自动制孔需求。爬行机器人系统提供了一种新的选择:当需要工作时,爬行机器人被带到即将装配的组件位置,并通过自己的真空吸盘固定在航空产品上;在机器视觉系统的帮助下,机器人完成位置坐标的定位,在工作空间内完成制孔作业。爬行机器人自动制孔设备采用美国 Delta Tau 公司的 UMAC (Universal Motion and Automation Controller) 多轴运动控制器进行控制。UMAC 多轴运动控制器控制精度高、实时性强,最多可以控制 32 个轴同时运动,且具有功能模块化和开放性等特点,满足爬行机器人制孔设备多轴联动及高精度制

孔要求。

1 爬行机器人控制系统

1.1 系统总体结构与功能

爬行机器人系统结构主要由运动定位系统与制孔系统组成,运动定位系统包括外框架与内框架,外框架有 8 个足(外足),内框架有 8 个足(内足),每个足分别配有一个使其上下运动的气缸和一个用于吸附工件表面的吸盘。爬行机器人制孔系统既需通过控制系统来完成 X、Y、Z 向和 B 摆方向的运动控制,又需要通过控制系统来完成对内、外足气缸的上下运动和内、外足吸盘的吸放气运动的 PLC 控制,并在视觉单元的配合下完成运动定位功能。制孔系统包括主轴单元、摆角单元、法向测量单元与吸屑单元等,用于完成工件精确制孔。

1.2 UMAC 多轴运动控制系统

为了适应爬行机器人制孔系统多轴联动、实时性强、高精度制孔等要求,本文选用 UMAC 多轴运动控制系统。UMAC 是美国 Delta Tau 公司推出的一种以 Turbo PMAC2 为基础的多轴运动控制器。UMAC 采用 Motorola 公司的 DSP5630x 系列处理器作为 CPU,最多可控制 32 个伺服轴。它的速度、分辨率、宽带指标远优于一般的控制器^[1]。UMAC 具有开放平台,可以同时执行多个运动程序和 PLC 程序,并且各个任务能够按照优先级进行组织安排,使应用程序最优化、高效、安全地运行。由于 DSP 芯片及各种插卡的强大功能,基于 UMAC 技术的控制器容易满足各种实时性控制的需要。此外,选择合适的插卡可以对测量元件输入信号进行程度不同的细分。高分辨率的测量反馈信号对于提高伺服系统的控制精度是很重要的^[2]。

1.3 控制系统结构

爬行机器人控制系统(如图 1)由 IPC(工控机)、便携式 HMI(人机界面)等上位机部件和下位机 UMAC 多轴运动控制器及伺服驱动系统组成。其中,下位机 UMAC 多轴运动控制器除了接入对伺服驱动电机控制的轴卡外,还接入了 I/O 扩展卡以实现对接脚、真空足等气动模块以及其他功能的检测与控制。

^{*} 飞机大部件外表面行走机器人自动制孔方法及单元结构研究(20121625008)航空基金项目。

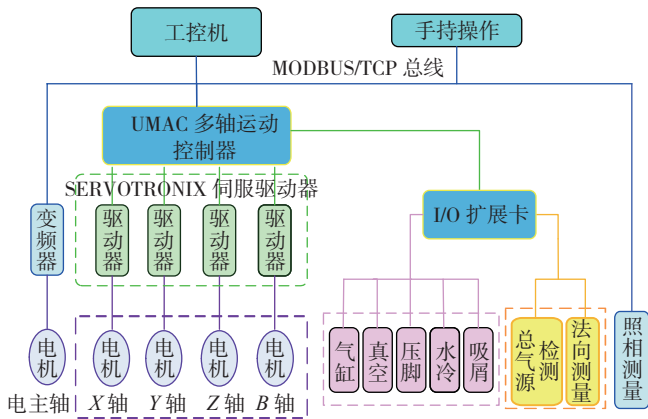


图1 爬行机器人制孔设备控制系统

Fig.1 Control system of crawling robot drilling equipment

上位机主要完成对系统状态的监控,并按照制孔工艺的要求实现自动模式、手动模式的操作以及一些系统参数和工艺参数的设置。下位机 UMAC 多轴运动控制器是整个系统的控制核心,其强大的插补功能与伺服更新率保证了爬行机器人系统运动的定位与制孔精度。

伺服系统采用 SERVOTRONIX 的 HD 系列伺服驱动器,该驱动器主要用于需要高速、高频率、高定位精度的场合,并且响应快、稳定性好、便于设置操作。

UMAC 与上位机之间采用基于工业以太网的 Modbus/TCP 协议进行通信。Modbus TCP 是基于以太网 TCP/IP 上实现的 Modbus 协议,它凭借高速以太网的物理传输介质和 Modbus 协议的开放性与 CRC (循环冗余校验) 校验纠错的特性,保证了爬行机器人制孔系统数据与指令传输的实时性与正确性。下位控制是通过调用下载在 UMAC 中的运动程序和 PLC 程序,完成 X、Y、Z、B 轴的协同运动和制孔气缸、压脚、吸屑等的开启或

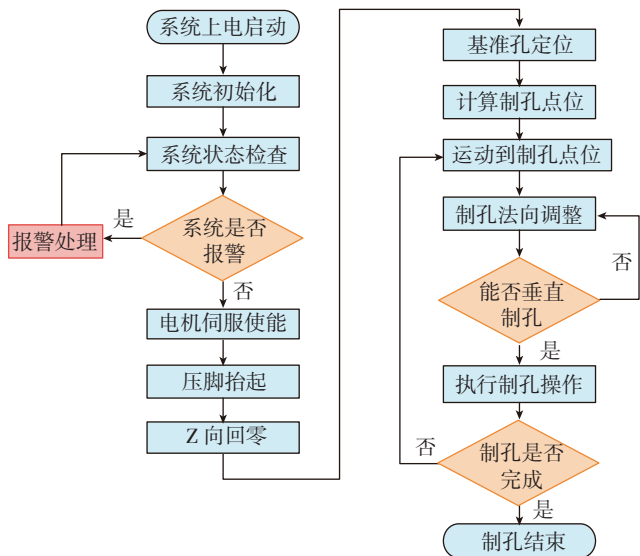


图2 爬行机器人制孔系统控制流程图

Fig.2 Control flow chart of crawling robot drilling system

关闭。UMAC 控制器是以模拟量的方式控制各轴的伺服驱动器,伺服驱动器通过编码器和光栅尺的反馈形成全闭环控制,完成对各轴电机位置的精确控制。

1.4 控制流程

爬行机器人制孔系统需要进行合理的流程控制管理,对工作时序和数据传递进行合理定制和优化,以实现制孔系统的高效运作。具体控制流程图如图 2 所示。

2 软件设计

2.1 软件设计概述

本软件利用 QT 和 Delta Tau 公司提供的 Pmac.dll 动态链接库编写,程序主要由 Machine 类、FormManualJog 类、FormAutoMachine 类、Global 类、FormInitToolSetting 类等组成。其中,MainWindow 类(父类是 QMainWindow)实现主体功能,按照自动模块、手动模块、工艺设置模块、系统设置模块、系统维护模块、信息记录模块等功能进行相应界面的开发。图 3 是爬行机器人制孔手动控制操作界面。



图3 爬行机器人制孔手动控制操作界面

Fig.3 Manual control interface of crawling robot drilling system

2.2 软件结构

爬行机器人制孔系统的控制软件结构见图 4,包括下位机实时控制软件 and 上位机监控、操作软件两部分。下位机 UMAC 多轴运动控制器可以编写运动程序和 PLC 程序,包括系统初始化模块、参数设置模块、编码器读写模块、回零控制模块、数据更新模块等。由于 UMAC 控制器采用实时操作系统,下位机的各个任务模块按照任务优先级进行分配,提高了系统的运行速度和稳定性。上位机采用 C++ 作为编程设计语言,完成系统的数据显示、参数设置、手动控制与自动控制等操作功能。上位机与下位机通过 Modbus/TCP 总线方式进行通信。Modbus 是一种应用于工业控制器上的标准通信协议,由于其功能比较完善而且协议开放,被广泛应用于工业现场。

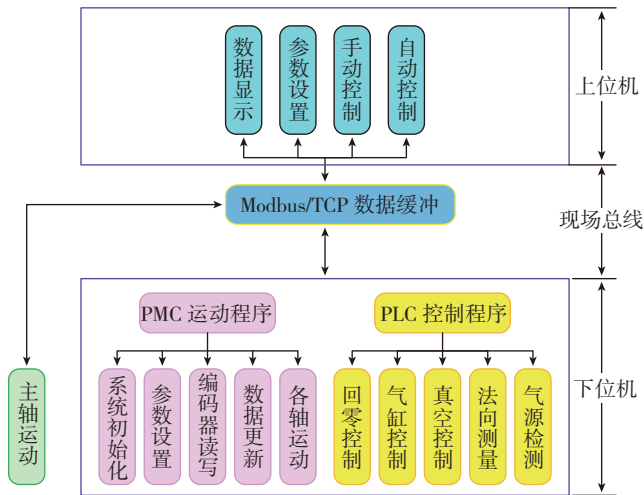


图4 爬行机器人制孔系统软件结构

Fig.4 Software architecture of crawling robot drilling system

2.3 下位机程序设计

UMAC 是一台具有独立内存、独立运算操作能力的计算机,它使用 DSP 数字处理芯片,内部有一套自己的编程语言,具有内置 PLC 和 PMC 运动控制程序,可以在后台同时运行 32 个异步 PLC 程序。在 UMAC 上运行运动程序前必须定义一个坐标系,多轴可以联动于一个坐标系下,也可以独立运行在不同的坐标系下。爬行机器人制孔系统中的各轴被分配到一个坐标系下。下面程序是把 X 轴进行坐标定义和参数配置的程序实例:

```
&1      ;定义坐标系
Close   ;关闭缓冲区
#1->X   ;缓冲区清零
LINEAR  ;采用线性插补
ABS     ;绝对值方式
TA500   ;设定加速度时间
F(2000) ;速度赋值
Z(500)  ;位置赋值
COMMAND "#1J-" ;第一轴运动
CLOSE   ;关闭缓冲
```

3 结论

本文通过对 UMAC 多轴运动控制器伺服控制功能的开发与研究,搭建了基于 UMAC 的多轴伺服控制系统,进行了爬行机器人制孔设备控制系统的设计,并开发了配套运动控制程序与操作软件。

参考文献

[1] 刘建东,张云志.UMAC 伺服同步控制技术在轨迹制孔上的实现 // 第五届柔性装配技术论坛论文集, 2013: 229-236.
 [2] 徐欣圻,杨世海.基于 UMAC 的精密伺服控制系统.安徽大学学报, 2005, 29(4): 41-45.

(责编 谷雨)

(上接第 126 页)

的铆钉墩头可参照普通铆接标准,可见复合材料结构普通铆钉的墩头尺寸至今还没有一个统一的标准,使用单位一般都在采用自己企业的标准。由于复合材料的脆性较大,更易发生挤压破坏,因而墩头不宜过大。参照金属结构的铆接,并考虑到复合材料层压板层间强度低的特点,双金属铆钉铆接后墩头尺寸可以参考 Cherry 公司的安装尺寸标准,墩头直径不小于 $1.3d$ (d 为铆钉直径),头部高度最小为 $0.34d$,如表 1 所示。

表1 双金属铆钉墩头尺寸

公称直径 (英制)	最小钉头直径 $1.3d$ /in	最小头部高度 $0.34d$ /in	顶锻力 /lbs
5/32 (-5)	0.213	0.056	3700
3/16 (-6)	0.246	0.065	5000
1/4 (-8)	0.325	0.085	8600
5/16 (-10)	0.408	0.106	15200
3/8 (-12)	0.488	0.128	22000

4 结束语

随着钛合金及其复合材料在宇航飞行器中用量的不断增加,钛合金紧固件的需求量将日益增长,这一产业也将不断得到发展。双金属铆钉作为用于复合材料等结构连接的特种紧固件,具有钉杆强度高、钉尾易于铆接、重量轻、成本低、安装简单的特点,可替代抗剪型高锁螺栓和钛合金环槽铆钉等紧固件,在宇航飞行器中的应用将越来越多。我国应加强对双金属铆钉的研究,使其成为一项完整的体系,以保障先进飞机研制的水平和质量。

参考文献

[1] 刘风雷,刘丹,刘健光.复合材料结构用紧固件及机械连接技术.航空制造技术,2012(1/2):102-111.
 [2] 倪沛彤,韩明臣,张英明,等.宇航飞行器紧固件用钛合金的发展.钛工业进展,2012(29/3):6-10.
 [3] Gapp R H, Alazraki M D, Harper J.Bimetal Rivets.United States ,utility, 3848389.1974/11/19.
 [4] 句庚麟.双金属钛铆钉.洪都科技,1983(01):23.
 [5] 龚少梅,隋明丽,龚力,等.一种双金属铆钉.中国,Y,ZL 200820096627.1,2009/7/8.
 [6] 谢丹贤,胡军林,谢仁军.一种双金属铆钉.中国,U,ZL 201020161612.2,2010/04/16.
 [7] 吕建坤.飞机复合材料结构件的连接技术.航空制造工程,1995(04):25-28.
 [8] 张利军,王幸运,郭启义,等.钛合金材料在我国航空紧固件中的应用.航空制造技术,2013(16):129-133.
 [9] 宁斐章,才荫先.摩擦焊.北京:机械工业出版社,1983.
 [10] 孙钢.抽芯铆钉用于复合材料夹层的研究与探讨.航空标准化与质量,2009(04):16-18.

(责编 叶枫)