

柔性导轨自动制孔设备控制技术

Control Technology of Flexible Track Automatic Drilling Machine

北京航空制造工程研究所

侯志霞 刘建东 薛贵军 徐石磊

[摘要] 介绍了一种用于自动化装配的柔性导轨自动制孔设备,对柔性导轨自动制孔设备的应用及工作流程和系统的软硬件组成进行了说明,并详细论述了该设备控制软件系统的功能、结构、软件界面及关键控制编程技术。

关键词: 柔性导轨 自动制孔 控制编程

[ABSTRACT] The application of portable automatic drilling machine could reduce the cost of aircraft assembly and enhance the automatic assembly level. A kind of flexible track automatic drilling machine for automatic assembly is introduced. The application, workflow and software/hardware of the machine are illustrated. The function, structure, software interface and key control programming technology are discussed in detail.

Keywords: Flexible track Automated drilling Control programming

柔性导轨自动制孔设备(见图1)是一种用于飞机装配制孔的便携式自动化设备。一般机身和机翼都有大量的平缓曲面,将导轨制孔系统直接固定在飞机表面进行制孔,可以取代传统的五轴制孔设备,具有成本低、重量轻、自动化程度高、使用方便等特点,广泛应用于机翼和机身装配的自动制孔。

柔性导轨自动制孔设备主要由带有真空吸盘柔性

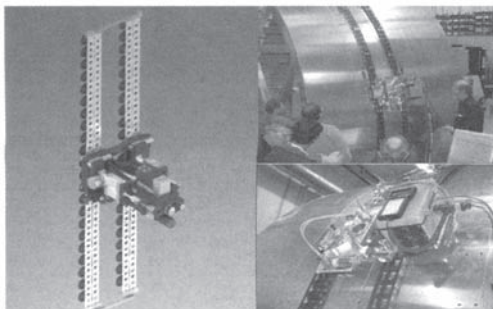


图1 柔性导轨自动制孔设备

Fig.1 Flexible track automated drilling machine

导轨、带有主轴箱的移动小车组成。工作时,由柔性导轨安装器进行安装,通过真空吸盘将导轨固定在机身或机翼表面。移动小车可以沿导轨进行 X 向和垂直于导轨的 Y 向运动。通过 X 、 Y 向移动,可以定位制孔位置,为了保证钻孔垂直度,主轴箱配有 A 摆(绕 X 轴旋转)以及压紧和测量装置等。制孔组件可在垂直工件表面的方向上进给,实现制孔加工。利用该设备进行制孔的操作流程如图2所示。

1 控制系统组成

柔性导轨自动制孔控制系统由一台PC机、一台多轴控制管理器、多台智能数字伺服驱动器、多台交流伺服电机组成,外围连接有各种辅助设备和输入输出开关等(见图3)。

其中,多轴管理器和数字伺服驱动器都提供专用用户编程开发环境,同时也提供C++动态连接库,允许用户用PC机进行编程,实现对设备的控制。外围辅助设备(如压紧气缸、真空吸盘等)采用MODBUS接口进行控制,照相测量设备直接通过TCP/IP方式进行数据的传送。

为了使用户方便使用,控制设备正常运行,开发了运行在PC机上交互式的设备控制软件,通过TCP/IP方式实现对多轴管理器(MASTRO)、驱动器以及其他辅助设备的控制。

从设备运行可靠高效的目的出发,将控制程序分为3个层次,分别是运行于PC机上的VC++程序、运行于MASTRO上的MAXL程序和运行于驱动器的EHL程序,其调用关系如图4所示。

2 控制系统软件结构

控制系统按照功能可分为连接、参数设置、回零、手动控制和自动控制等5部分。软件层次结构如图5所示。

连接功能实现上位机控制系统与MASTRO以及其他辅助设备的网络连接;参数设置功能包括设置各轴运动参数和行程限制、加工坐标系设置、压紧力设置等;回

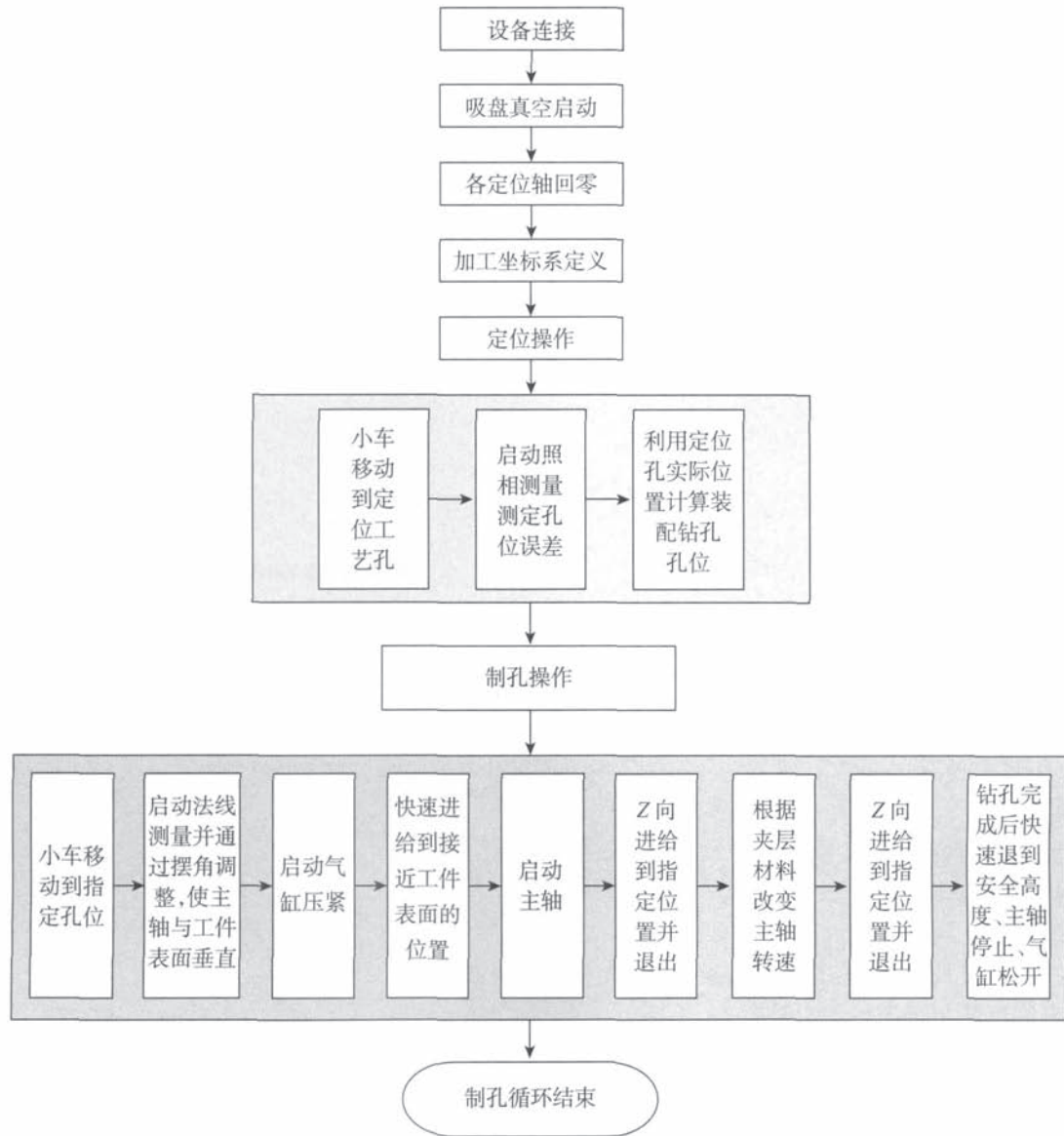


图2 制孔操作流程

Fig.2 Drilling flow

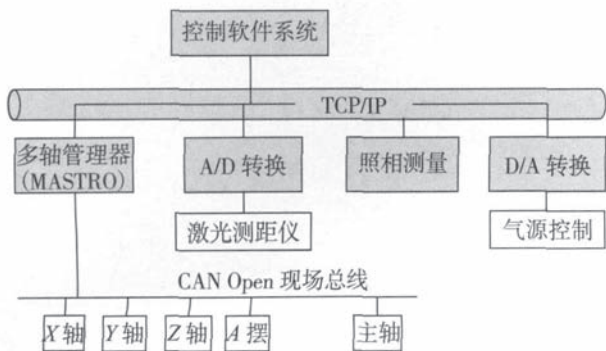


图3 控制系统组成

Fig.3 Control system configuration



图4 控制程序调用关系

Fig.4 Call relation of control program

零功能将各运动轴进行回零操作,并回到设备坐标系零位;手动控制功能实现设备各个运动轴的点动控制、压紧、法向垂直、照相测量等功能,并允许用户输入控制指令,执行单一指令;自动控制功能读入指令文件,按顺序逐条执行指令文件中的控制指令,指令文件分为照相测

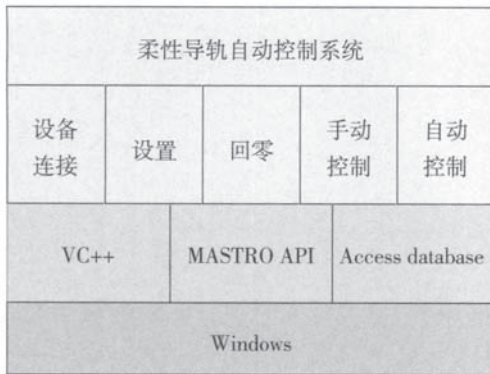


图5 软件层次结构
Fig.5 Software structure

量指令文件和孔位加工指令文件。执行照相测量指令文件时,系统移动到指定的工艺孔位,执行照相测量功能,并反馈孔位偏差。执行孔位加工程序时,系统移动到指定的孔位,按啄式钻孔指令执行钻孔循环。

3 控制编程技术

3.1 法向调整技术

利用安装在主轴箱两侧的激光测距模块测得主轴两侧光源与加工表面的距离,通过保证激光测距传感器的反馈值相等,来保证钻孔主轴与加工表面的垂直。

调整法向时,按照机构特点将摆角转换为电动缸的直线行程,同时计算主轴箱偏转引起的Y向偏移,通过A轴与Y轴的联动,既保证了钻孔法向垂直度,又保证了孔位精度。

3.2 压紧气缸控制技术

为了保证钻孔质量,移动小车设计了压紧装置。压紧装置采用气动控制,压紧力的大小由气压的大小来决定,启动压紧时,需要较大的压紧推力,在接近工件表面时,需要的压紧推力较小,为了满足这种气缸控制特点,系统采用动态调整气压技术,达到既压紧又保证工件表面安全的目的。

3.3 照相测量技术

通过 SOCKET 技术实现与照相单元的网络连接,将照相控制单元作为网络服务器端,控制系统端作为客户端。在服务器端定义数据输出格式,在客户端按既定格式读取测量信息,并从中提取出孔位偏差信息。

3.4 误差补偿技术

便携设备的特点决定了柔性导轨钻孔设备的精度要低于一般的数控加工设备,为了最大限度地提高设备精度,系统采用了分段双向补偿方案,以X轴为例,图6

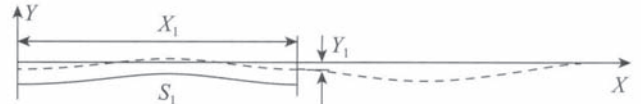


图6 X轴误差补偿示意图
Fig.6 Axis X compensation description

中虚线表示小车沿X向移动时的实际运行轨迹,如果指令位移量为 S_1 ,则实际位移量为 (X_1, Y_1) ;为了修正误差,系统计算获得的补偿值 DXX (沿X轴移动时X向偏差)、 DXY (沿X轴移动时Y向偏差)为:

$$DXX=S_1-X_1, DXY=Y_1。$$

同理,可以测定出在Y轴方向的补偿量 DYX (沿Y

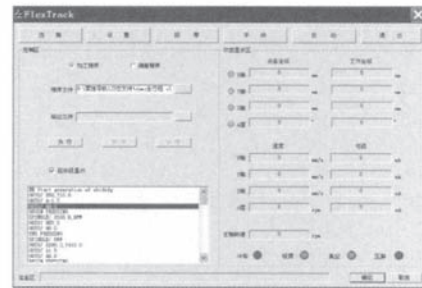


图7 自动控制软件界面
Fig.7 Software interface of automatic control

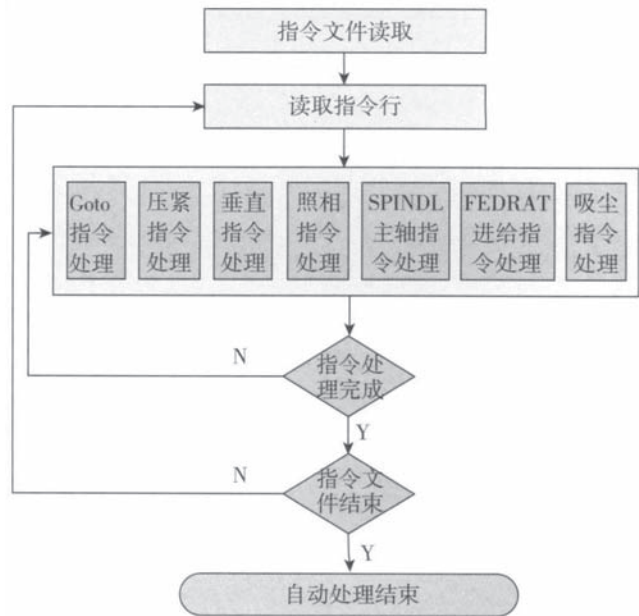


图8 自动控制流程
Fig.8 Automatic control flow

(下转第64页)

配过程,并形成紧配合,产生的表面光滑、间隙小,满足了F-35飞机气动和耐久性的要求。由于具有上述优势,F-16、F-22、F-2和T-50项目都对该系统进行评估并准备用于相应的装配作业。波音787采用的机器人自动制孔系统见图4。

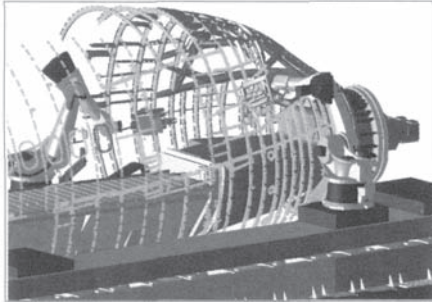


图4 波音787采用的机器人装配系统

Fig.4 Robot assembly system on Boeing 787

机器人自动制孔系统的关键技术包括^[6]:

- ① 压紧力的设定;
- ② 刀具和工件表面垂直度的调整;
- ③ 位置精度补偿。

4.3 龙门式自动制孔系统

龙门式自动化制孔系统,比如长桁柔性制孔系统对批量生产的大型构件可以实现高效、高质量、低成本的自动柔性制孔。

波音公司B-747、C-17等飞机机舱地板都采用了龙门式自动化制孔系统。过去,装配中所有难以进行点定位的部分,都要用固定夹具定位后手工制孔。而现在采用自动化制孔系统则可进行自动定位和制孔,大大缩短了流程时间,提高了制孔质量,并可节省体力劳动及工具成本。

4.4 柔性导轨自动制孔系统

制造与装配时,达到制孔自动化同时又降低成本是极其重要的。因此,低成本、柔性化且满足高质量制孔要求的便携式自动化制孔系统,与配有大量刀具的复杂结构自动制孔系统相比,极具竞争优势。波音公司开发的Flex Track模块化柔性导轨制孔系统正是属于此类。

5 结束语

飞机装配中以机械连接为主,机械连接带来了大量制孔问题,为了满足飞机长寿命要求,就必须解决精密制孔技术难题。国内飞机装配领域与航空技术先进国家有较大的差距,需要大力发展,以满足新一代飞机的研制和生产需求。

参 考 文 献

- [1] 张全纯,汪裕炳,瞿履和,等. 先进飞机机械连接技术. 北京:兵器工业出版社,2008.
- [2] 袁红璇. 飞机结构件连接孔制造技术. 航空制造技术,2007(1):96-99.
- [3] 徐红炉,刘军,章刚,等. 制孔工艺对紧固孔疲劳性能的影响. 飞机设计,2008(3):25-30.
- [4] 谢俊峰. 钻削加工毛刺的形成及解决方法. 轻工机械,2007(1):85-87.
- [5] 楼阿莉. 国外自动钻铆技术的发展现状及应用. 航空制造技术,2005(6):50-52.
- [6] 毕树生,梁杰,战强,等. 机器人技术在航空工业中的应用. 航空制造技术,2009(4):34-39. (责编 淡蓝)

(上接第60页)

轴移动时 X 向偏差)和 DYY (沿 Y 轴移动时 Y 向偏差)。

当指定小车移动到 XY 平面某一位置时,其 X 向和 Y 向的误差补偿值 DX 、 DY 分别为:

$$DX=DXX+DXY, \quad DY=DXY-DYY。$$

按照这种补偿方案,可以将小车的定位精度控制在0.2mm以内。

3.5 加工过程自动控制技术

系统提供自动控制功能,可以按照测量指令文件或加工指令文件的要求,顺序执行测量或加工过程。控制界面如图7所示,当前执行的指令在程序段显示区高亮显示。自动控制程序执行流程如图8所示。

4 结束语

图9为北京航空制造工程研究所自行研发的柔性

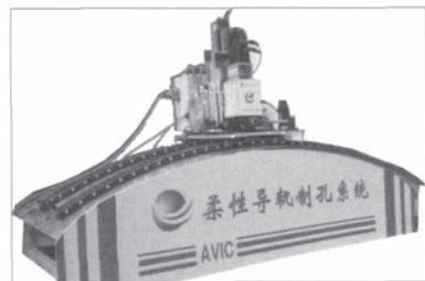


图9 柔性导轨制孔系统

Fig.9 Flexible track drilling system

导轨自动制孔设备。通过长时间的调试和大量工艺试验,目前该设备在定位精度和制孔质量方面已达到实用要求,通过进一步的改进和完善,这种方便实用的自动化制孔设备可广泛应用于我国航空工业的自动化装配中。 (责编 岩石)