

飞机翼面类部件柔性装配五坐标 自动制孔设备的研制*

Research on Automatic Drill With Five Axes for Flexible Assembly of
Aircraft Wing Components

北京航空制造工程研究所 周万勇 邹方 薛贵军 甘露
沈阳飞机工业(集团)有限公司 杜宝瑞



周万勇

1971年出生,高级工程师,北京航空航天大学硕士研究生机器人专业毕业,在读博士研究生。主要研究方向为机器人运动学、动力学及其控制。1994年获全国大学生数学建模竞赛一等奖。1995年参加工作。精通机械结构与精度设计、DSP运动控制系统软硬件开发、液压伺服系统仿真及故障诊断、空间机构算法开发等技术。

飞机制造技术的机械化、自动化、模块化一直倍受人们关注。飞机的结构具有尺寸大、形状复杂、连接

* 原国防科工委基础科研项目(11A13301)。

在本设计中采用机电一体化的技术,通过使用一种计算机算法消除由公垂线引起的系统误差来保证五轴定位平台的定位定姿精度。在零件制造和装配时,轴与轴之间不能零对零相交,它们之间存在公垂线。如果不消除公垂线,将会产生系统误差而无法保证加工精度。本设计使用西门子840D作为控制系统,公垂线为系统参数。

件数量多等特点。在飞机装配钻孔过程中如果完全依靠传统的人工作业,对人力、物力的要求是巨大的,更重要的是制孔质量低,连接质量难以满足较高疲劳寿命的要求,并且加工效率也低。

随着数字化设计制造技术以及自动装配制孔技术在飞机研制生产中的应用,飞机柔性装配技术的研究取得快速突破,并在工业发达国家航空企业中获得了显著的成效。国内虽然设计制造五坐标数控机床的能力已经成熟,但用于飞机柔性装配方面的机器设备尚属空白。本论文将对以平尾为代表的飞机翼面类部件柔性装配自动制孔设备的研制进行讨论。

飞机装配需求分析

现代飞机装配中最重要的是装配速度和装配质量。飞机装配质量和效率取决于飞机连接技术。目前,飞机(特别是军机)装配大量采用手工操作,制孔速度、制孔质量、连接质量难以满足高性能飞机的要求。自动钻铆技术的应用可以大幅度提高制孔速度、制孔质量和连接质量,在一定程度上实现装配技术的自动化、数字化和模块化。

自动制孔设备的要求大致有^[1]:

- 机床行程:10m×4m×0.4m;
- 定位精度:±0.2mm;
- 摆角范围:俯仰角与偏转角各±15°;

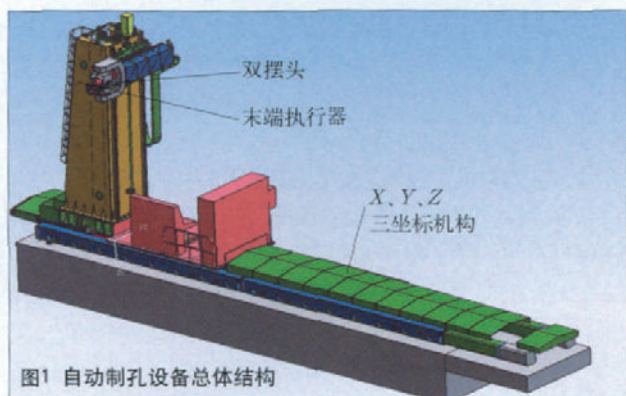


图1 自动制孔设备总体结构

- 制孔直径:4 ~ 10mm;
- 孔精度: H9;
- 加工材料: 复合材料、铝合金;
- 配备吸尘装置;
- 具有测法向功能;
- 具有监控及显示功能;
- 具有钻头破损检测功能;
- 效率:5 个孔 /min。

设备应能自动连续完成夹紧、制孔、镗窝、松开夹紧等加工工序。

自动制孔设备总体结构

自动制孔设备由立式五坐标机构和自动制孔用的末端执行器组成,以适应带有两个曲度的飞机翼面类部件的加工要求。设备的总体结构见图1。

五坐标机构可进行X、Y、Z方向的直角坐标运动和A、B两个摆角运动,可实现精确的空间定位和姿态调整,用于将多功能末端执行器移动到装配部件上的指定位置,以实现自动制孔。

1. X、Y、Z三坐标机构

X轴通过齿轮、齿条啮合进行运动,通过光栅尺反馈实现伺服电机的闭环控制,完成X向的高精度进给驱动。

Y轴立柱的内腔是空的,内部靠筋板间的连接保证其刚性。立柱的两个侧立板具有一定的斜度,目的是实现等强度设计。在Y轴的外部,悬挂有Z轴、平衡横滑板、双摆头和末端执行器,它们具有较大重量,如果

不采用平衡装置,丝杠的寿命将达不到预期设计要求。本系统采用机械重锤式配重机构。在立柱内腔,放置一个配重,配重的质量取外部质量的80%左右。移动平台与Y轴立柱相连接,平台上放置电气柜和控制台。

Z轴用丝杠螺母副传动,选用额定转速为1500r/min的伺服电机直接驱动,不需要减速器。Z轴的导向和承载通过直线导轨完成,每个导轨上都有滑块,并固定到滑板上。横滑板两面都装有滑块,分别与Y、Z轴连接,沿着Y向导轨,Z轴与横滑板可进行上下移动,实现在Y向的进给。Z轴相对于横滑板可进行往复运动,以实现Z向的进给。

2. 双摆头结构

双摆头用来实现A、B2个摆角的运动。多功能末端执行器用于实现孔定位、压紧力检测、自动制孔、镗窝、粉尘抽吸、孔径和位置检测的功能。

关键技术

1. 多功能末端执行器的开发

多功能末端执行器的设计以上述技术指标为基准。

结合工艺需求,本设计要求结构的压紧进给与镗窝进给同向。按照传统思路,其形式为压紧进给与镗窝进给采取并联方式,钻镗的精度取决于机构的精度。但因机构的精度极限不可能达到镗窝的精度,所以传统形式存在缺陷。

本设计的多功能末端执行器如图2所示。

(1) 高精度镗窝进给。

本设计采用另外一种形式,即压

紧进给与镗窝进给采取串联的方式,且镗窝进给置于压紧进给之上。由于孔定位精度要求 $\leq \pm 0.2\text{mm}$,镗窝精度 0.05mm 要高于定位精度,因此,采取末端执行器和定位平台分开进行设计的方案。

定位平台设计为五轴联动的机床,它的功能是对末端执行器进行定位和将法线垂直于被加工点。压紧进给是力控制,行程很短。

钻镗进给是在压紧的基础上,以被加工物表面为基准进行加工,因此可以保证镗窝精度的要求。这样,就避开了机床精度达不到镗窝精度要求的难题,实现了更高精度的钻镗加工功能。

(2) 压紧力控制。

压紧装置要求压紧力在 $0 \sim 200\text{kg}$ 范围内程控可调,其气动系统采用比例减压阀调压并由压力传感器反馈来进行气压伺服控制。压紧速度和退回速度采用手动调整,只需一次性调整好截流阀的流量,不需要经常调整。

(3) 法向调姿。

由于要求主轴轴线对工作平面垂

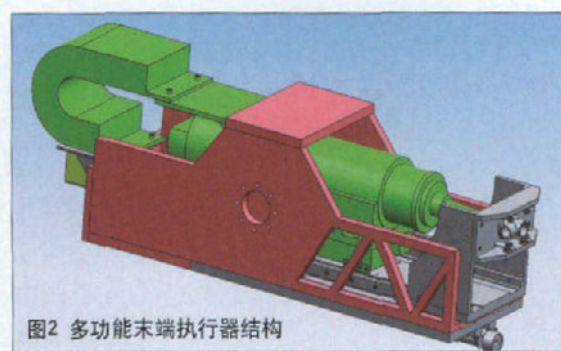


图2 多功能末端执行器结构

直,本设计使用了测法线技术。平尾虽然有两个曲度,但曲度并不大,在钻孔位置的四周局部,完全可以认为是小平面。当末端执行器的压脚靠近小平面的时候,使用4个测距仪测距,如果距离相等可视为垂直,不等时则要计算出偏差角,并通过五轴联动调整姿态,使其满足工作要求。

(4) 精度计算。



技术,通过使用一种计算机算法消除由公垂线引起的系统误差来保证五轴定位平台的定位定姿精度。在零件制造和装配时,轴与轴之间不能零对零相交,它们之间存在公垂线。如果不消除公垂线,将会产生系统误差而无法保证加工精度。本设计使用西门子 840D 作为控制系统,公垂线为系统参数。当装配完成后,通过检测仪器测量、分析和计算,得到系统参数后代入到控制系统中,从而保证五轴定位平台的定位精度,大大减少了机械零件加工和装配的难度。

(2) AB 与 AC 双摆角的选择。

设计采用了 AB 双摆角驱动, AB 双摆角仅有俯仰和偏转 2 个 $\pm 15^\circ$ 的微小运动。如果选用 AC 双摆角, C 摆角将运动 $\pm 180^\circ$ 。显然,与具有两层导轨的末端执行器协调工作, AB 双摆角的稳定性更好。

(3) 谐波减速机的应用。

在 AB 双摆角的设计中使用了谐波减速机,它是关节机器人技术中的关键部件^[3]。其主要特点及优点是:角度定位精度高、传动比大、力量大、结构扁薄。将关节机器人技术应用于 AB 双摆角的设计,是机器人技术工程化应用的尝试。

3. 双电机消除技术的应用

X 轴驱动采用齿轮齿条传动。由于齿轮齿条传动过程中存在反向间隙,因此如果不消除这个传动间隙,就无法实现伺服驱动;也无法达到上述技术要求中设定的定位精度。

传统的方法是使用机械消除。机械消除的原理是:一个电机驱动,通过预加的弹性载荷,使两个输出齿轮产生相反的扭力,其中的一个作用在齿条左齿廓上,另一个作用在右齿

廓上,从而获得消除的效果。

而电子消除的机械结构为两套一样的电机、减速机和齿轮,当需要伺服驱动时,控制系统将产生两个方向相反大小相似的力矩,使得两个驱动齿轮朝不同方向紧靠齿条,从而消除了间隙^[4]。

在启动和急刹车的情况下需要大扭矩,两个电机输出同向扭矩。在选择齿轮齿条的模数、电机、减速机的容量时,需要考虑的是最大扭矩的情况。如果需要 $1000\text{N}\cdot\text{m}$ 的驱动力,机械消除减速机正向运动齿轮输出力应达到 $1200\text{N}\cdot\text{m}$,因为反向齿轮内耗了 $200\text{N}\cdot\text{m}$;而双电机消除每个齿轮只要提供 $500\text{N}\cdot\text{m}$ 就够了。这样,在获得相同驱动力的条件下,前者需要模数 5 的齿轮齿条,而后者只需要模数 4 的就够了,另外,双电机消除的减速机是普通减速机,比机械消除的减速机成本要低很多,因此该项目使用了双电机消除技术。

结束语

该设备机械部分已经装配完成,实物图见图 3 和图 4,现在正处于机电联调阶段,该设备是国内第一台飞机翼面类部件柔性装配设备,末端执行器的开发技术为同类型设备研发提供了可借鉴的经验。该设备投产后,预期平尾制孔装配周期可缩短近 50%。双摆角结构及驱动精度难题的解决和双电机消除技术的应用成功为今后五坐标机床的设计开发提供了新思路。

参考文献

- [1] 蔡自兴. 机器人学. 清华大学出版社, 2000.
- [2] 王爱玲. 机床数控技术. 高等教育出版社, 2006.
- [3] 金泰义. 精度理论与应用. 中国科学技术大学出版社, 2005.
- [4] 马兴义. MATLAB6 应用开发指南. 机械工业出版社, 2002.

(责编 阳光)

因有孔精度要求,所以要全面考虑电主轴、刀柄、刀具的径向跳动精度及动平衡,以达到孔精度要求^[2]。

(5) 吸尘。

因复合材料的粉尘吸入肺部有害于健康,末端执行器上安装了吸尘装置。

2 双摆角结构与驱动的解决方案

双摆角机构是设计的难点。传统的方法是从机械制造工艺方面考虑,既要求 A 摆轴、 B 摆轴和钻孔主轴三者垂直相交,又要求 A 摆框和 B 摆框上的轴线保证同轴度。往往导致双摆头的设计只能停留在机械设计阶段,工艺中却很难实现。

(1) 双摆头标定法。

在本设计中采用机电一体化的