

壁板类部件 / 组件 / 零件数字化柔性装配、智能制孔系统

Digital and Flexible Assembly and Intelligent Drilling System of Panel

成都飞机工业(集团)有限责任公司 张 平 李少波 杨启兵

[摘要] 飞机壁板类组件应用范围广,采用一套工装满足不同尺寸、不同曲率的蒙皮壁板组件的柔性定位及智能制孔,将大大节省工装数量,减少生产准备周期,提高企业在市场新研产品的快速响应能力。

关键词: 柔性装配 机器人 X轴导轨

[ABSTRACT] Aircraft panel is applied widely. A set of flexible locater and intelligent drilling jig are adopted to meet distinct dimensions, distinct curvature of skin panel. This method economizes jig number, reduces produce prepare period over 50%, and raises enterprise answer ability quickly for new product.

Keywords: Flexible assembly Robot X-axis guide

柔性装配技术是一种能适应快速研制和生产以及低成本制造要求,模块化可重构的先进装配技术。它是在数字化技术、信息化技术、自动控制技术和精确制造技术的基础上,实现飞机装配自动化的先进制造技术。柔性装配技术近期得到了快速的发展,并成功应用到A380、波音787等新项目研发中。柔性装配技术之所以发展快速,这是因为:

(1) 现有装配型架大多采用刚性结构,一套刚性型架只能用于一个装配对象,飞机生产准备过程中需要制造大量的装配型架;

(2) 飞机生产准备周期占研制周期的50%以上,而装配型架的设计制造是飞机生产准备的主要内容之一,减少型架的数量对缩短整个飞机研制周期具有极其重要的意义;

(3) 型架的设计依据是飞机结构数据,传统的型架设计在飞机设计完成后才开始进行;

(4) 实际生产过程中,装配对象的设计数据变化频繁,导致型架的设计随之变化,这又延长了型架的设计制造周期。

柔性装配技术主要应用在以下2个方面:

(1) 装配型架实现由“一对一”向“一对多”的装配制造模式的转变,常应用于结构类似的小组件,如典型的壁板类、隔框类和桁梁类等组件;

(2) 零部件定位实现由“手工模拟量控制”向“自动化数字量精确控制”的装配制造模式的转变,常应用于大部件对接。

1 壁板类数字化柔性装配、智能制孔系统组成和工作原理

壁板类数字化柔性装配、智能制孔系统通过数字信息控制机器人对不同曲率、不同长度的壁板进行自动钻孔、铰孔、铤、标记等,使机身壁板钻孔自动化,提高孔的加工精度和效率。

壁板类数字化柔性装配、智能制孔系统由三大部分构成。

- 柔性定位工装——由框架、定位固持单元、测量基准组成。

- 智能制孔系统——由机器人、钻孔动力头、激光扫描仪等组成。

- 控制系统——由工业以太网、工业现场网络、监视器、控制器、执行器等组成。

将壁板定位卡板装到移动支架上,壁板靠成组(至少3组)卡板进行定位,不同曲率及长度的壁板零件配套相应的卡板。将移动支架移动到确定位置,插上定位销。将长桁固定在卡板的夹持件上,壁板2端定位孔装入卡板2端的定位块,使用三维激光扫描测量技术进行外形检测。保证壁板与卡板间隙满足工艺要求。通过计算机程序使机器人对壁板孔进行检查并位置校正后,钻、铤1次加工完成。

2 柔性定位工装

柔性定位工装采用框架接构,移动支架在框架内沿滑动导轨滑动。移动支架上装有壁板定位块、壁板卡板,卡板可成组拆换;移动支架沿滑轨移动到对应壁板的确定位置,插上定位销固定壁板卡板。不同曲率的壁板配有不同的成组卡板,移动支架定位孔在卡板定位条上。一根定位条可配制多套不同曲率卡板不同位置的定位孔。当卡板套数不断增加,定位条上的定位孔不能再增加时,可通过更换定位条来满足成组卡板增加的需要。卡板上带有长桁定位器及夹紧装置,实现长桁的定位及

固定;用吸盘将壁板固定在卡板上,通过数字测量,检查壁板的定位满足工艺需求。

根据典型壁板的技术参数,柔性定位工装的主要技术指标为:

- 加工范围:5000mm × 2000mm × 350mm (长 × 弦长 × 弦高);
- 加工材料:铝合金;
- 最大加工厚度:δ6mm(多层);
- 加工孔:φ3~φ5mm;
- 加工精度:孔径精度 H8,定位精度 ±0.5mm,法向精度待定,总精度 ±0.05mm。

(1) 主体框架。

采用方钢焊接,上、下梁上装有移动滑轨,框架内装有多件移动支架(视产品定位要求)及其他装置及元器件。

(2)在主体框架的下装有移动支架定位块、定位销及定位板(见图1)。

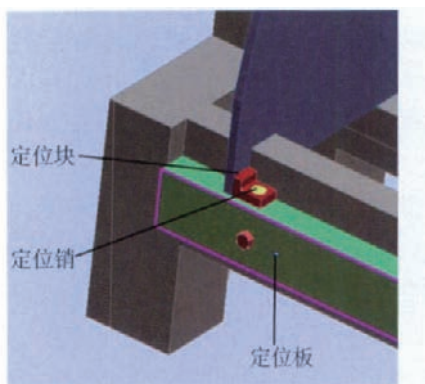


图1 移动支架定位块
Fig.1 Move bracket locator

3 智能制孔系统

智能制孔系统由机器人、X轴导轨、拖板、拖链、钻孔动力头系统、机器人自动钻孔控制系统和离线编程系统组成。实现功能包括:

- 智能钻孔、铰孔、铹窝,可选用复合刀具一次性加工到位;
- 自动标记点位;
- 具备离线编程及示教模式加工。

3.1 机器人结构

机器人结构形式采用独立多关节结构。具有6轴伺服自锁功能,各个自由度采用AC伺服电机。每个电机设置独立的伺服驱动控制,如其中一个伺服驱动出现故障,只需更换有故障的控制器。所有的轴设置抱闸,并具有软伺服随动功能。机器人系统的定位采用绝对位置编码器,运行可靠,维护方便。机器人在设置的范

围内运动,计算机对运动位置参数进行监视,如果机器人运动超过了监视限制范围将自动停止。

根据系统技术指标,机器人技术参数如下:

- 轴 A1: ±185°, ≥89°/s;
- 轴 A2: +110°/s; /-40°; ≥89°/s;
- 轴 A3: +60°/s; /-180°; ≥93°/s;
- 轴 A4: ±350°/s; ≥109°/s;
- 轴 A5: ±118°/s; ≥112°/s;
- 轴 A6: ±350°/s; ≥157°/s;
- 重复定位精度: ±0.15mm;
- 机器人点动步长 ≤0.1mm。

3.2 X轴导轨

X轴导轨作为机器人系统的第7轴,与机器人6个轴协同运动。X轴导轨用于安放机器人,控制机器人沿导轨作直线运动,行程5m,最大运行速度40m/min。X轴导轨安装在柔性工装前面与工装平行,见图2。

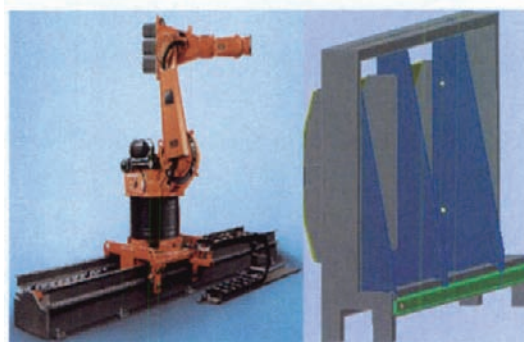


图2 X轴导轨
Fig.2 X-axis guide

3.3 拖板系统

拖板系统安装在导轨系统的线性导轨滑块上,由导轨系统的驱动机构驱动。拖板系统上安装有机器人的配电箱、除屑装置、钻头主轴冷却单元、机器人。

3.4 拖链系统

拖链系统为拖板系统上的各设备供电,传输控制信号。

3.5 钻孔动力头

动力头由箱体、电主轴、进给机构、导轨、压脚、钻头、适配器、传感器等组成,执行蒙皮钻孔、铹窝功能。

箱体由高强度钢材制成,用于安装动力头上的各种设备,承受切削力,保持动力头刚性。

电主轴由于加工类型属高速轻切削,所以选用电主轴作为工作主轴。选用高速电主轴,最高转速6000r/min。采用弹性夹头、碟簧抓刀、气动打刀、手动换刀,刀柄选用HSK系列。

3.6 机器人自动钻孔控制系统

机器人自动钻孔控制系统由进给机构、导轨、压脚、

钻头、适配器、传感器、电控系统、辅助系统构成。

进给机构由伺服电机、同步带、滚珠丝杠组成。为了减小长度,不采用直联方式,采用并列方式布局。进给机构驱动电主轴进给,进给机构由光栅测量系统测量位置。

导轨采用2条THK公司的高刚性精密级线性导轨。滑块末端密封,自带QZ润滑装置和导轨刮板。导轨用软式防尘罩防护,以保持导轨清洁。压脚机构和进给机构安装在导轨上,由双作用气缸驱动往复运行。气缸驱动的优点是压力恒定,用节流阀调速方便。压脚机构的作用是机器人调姿完成,接近蒙皮到设定距离时,由气缸驱动,以恒定的压力压紧蒙皮。这样既可消除蒙皮与长桁、框的微小间隙,又可向机器人系统提供一定的支撑,操作压力最大198N。压脚机构由光栅测量系统测量位置。压脚机构与蒙皮的接触面采用非金属材料,以免损伤蒙皮。

钻头采用含钴高速钢材质的钻、扩、铰、铤复合钻,铆钉孔一次加工完成。既节约了加工时间,又避免了重复定位误差带来的精度损失。钻孔直径3~5mm,钻孔精度H8。钴高速钢钻头切削速度快,孔的精度及表面粗糙度好。

适配器用于机器人与动力头连接,为适应蒙皮弧面,减小机器人调姿范围和增大机器人有效工作范围,适配器与机器人末端手臂轴线预先倾斜一定角度。钻孔动力头通过法兰用螺栓与机器人连接安装在机器人第6轴末端,机器人沿X轴导轨运动。

传感器由动力头安装距离/法向传感器、光栅测量系统、钻头断裂传感器、压力传感器等,用以保证系统加工精度和各运动机构安全。用位置传感器检测钻头与壁板距离。用法向传感器确定钻头对壁板的垂直位置。用光栅尺控制钻孔深度。

电控系统控制机器人动作,执行钻扩铤任务,处理各传感器信号,对各机构实施保护等。

辅助系统含吸屑机构、冷却机构等。吸屑机构用真空吸屑,以保持环境清洁和避免切屑影响加工质量。冷却机构用于电主轴冷却,采用风冷或液冷,以保证电主轴使用时的温升。

4 控制系统

控制系统由软PLC组成,对机器人、动力头进行控制,机器人控制系统采用KR-C2系列。

PLC控制系统由插入计算机的PLC卡和触摸式操作面板组成。在6轴机器人基础上,选配第7轴,用于

控制线性导轨(X轴)。

动力头控制系统、动力头的组成见图3。气推动电主轴和压脚同时前进,当压脚抵住工件表面,压力传感器检测到压力值达到设定压力时,姿态传感器开始工作,将当前位置角度检测并反馈,如有需要将进行调整,主轴快速移动到接近点(接近铤孔原点一定距离的位置),然后以设定的转速旋转,并按设定的进给速度进行钻、铤孔,同时启动真空除屑,当达到设定的铤孔深度时,主轴退回原位,关闭真空,同时检测钻头是否断损,等待机器人走到下一个钻孔位置时,进行下一个工作循环。压脚压力检测采用称重(压力)传感器,最大检测压力198N。

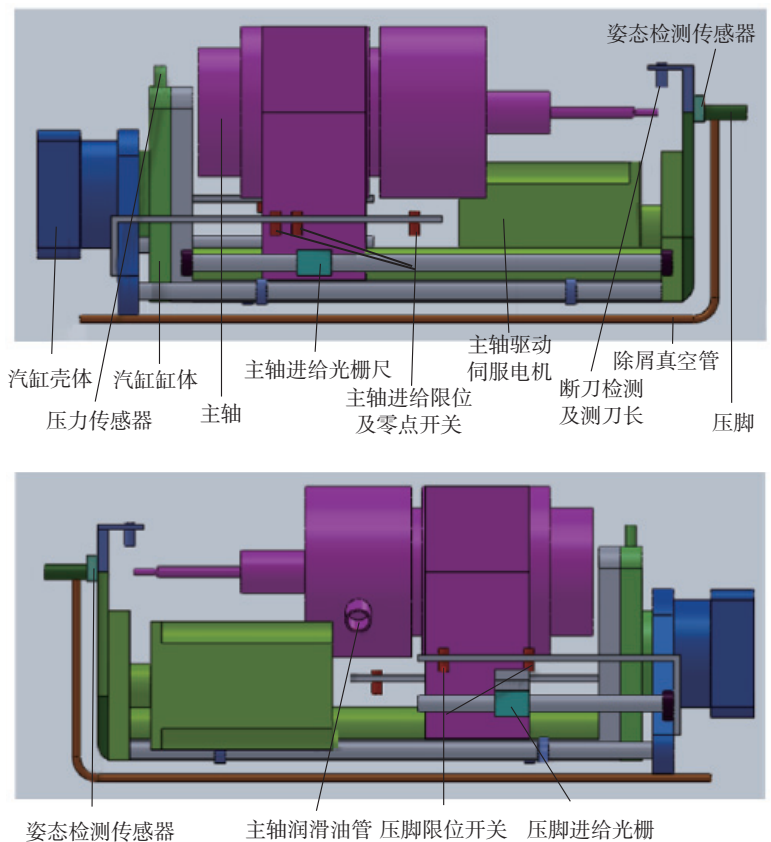


图3 动力头机构原理图
Fig.3 Principle of dynamic head

采用数字光纤传感器来实现刀具长度自动测量、断刀检测。不管刀具长度和装夹位置如何,都能自动实现刀具长度的自动测量,配合主轴进给和压脚进给的光栅尺,实现铤孔深度的准确控制,见图4。

采用2个增量式封闭式光栅尺(测量长度为50mm,安装长度为208mm),实现主轴和压脚进给距离的检测,准确度等级选用 $\pm 3 \mu\text{m}$,测量步距 $0.1 \mu\text{m}$ 。

(下转第78页)

100° 沉头干涉单面螺纹抽钉紧固系统进行安装。在钉孔附近安装应变片,采用多通过记录仪记录试验结果,试验机如图 5 所示。



图5 钉载分配加载试验
Fig.5 Test of pin load distribution

经过数据计算处理,四排钉的钉载分配如图 6 所示,同时进行了间隙连接钉载试验结果比较。由图 6 可以看出,复合材料在间隙连接时,外排钉与内排钉存在着极大的分配不均现象,而通过干涉连接可将这种不均匀减少到 8% 以内,可极大地提高复合材料的应变使用能力,满足先进飞机高寿命要求。

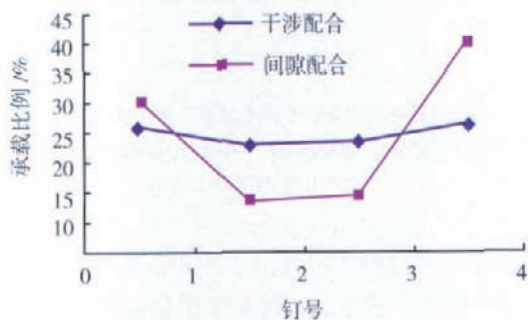


图6 干涉与无干涉接头钉载分配结果
Fig.6 Pin load distribution of interference fit and clearance fit

3 结束语

复合材料已开始大量应用于国内多种机型中,采用复合材料的间隙连接仅能满足较低寿命要求,而采用可靠的复合材料干涉连接紧固系统进行干涉连接后,可使复合材料连接效率提高到一个新的台阶。在一定干涉量范围内,可将接头寿命较间隙连接提高到 2 倍以上,而钉载分配能力得到了较大改善,并可提高复合材料结构应变许用能力,满足设计对复合材料结构的高寿命要求。

参考文献

- [1] 牛春匀. 飞机复合材料结构设计与制造. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.
- [2] 张全纯, 汪裕炳, 瞿履和. 先进飞机机械连接技术. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [3] 王武, 陶华, 刘风雷, 等. 干涉对复合材料疲劳寿命影响的研究. 绝缘材料, 2006, 39(4):45-47.
- [4] 王武, 陶华, 刘风雷, 等. 复合材料多排螺栓连接钉载分配的研究. 绝缘材料, 2006, 39(1):28-32.

(责编 良辰)

(上接第 75 页)

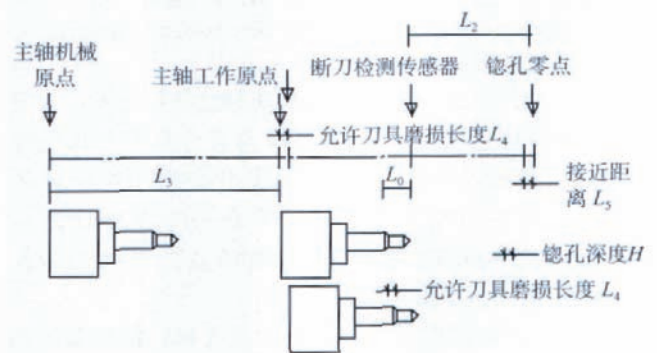


图4 刀具长度自动测量、断刀检测
Fig.4 Automatic measurement of tool length and testing of tool break

通过伺服电机配套的旋转编码器来实现主轴转速检测。

机器人钻孔姿态修正系统姿态传感系统,由激光传感器组成。该激光传感器不依赖机器人的运动,能在短时间内将当前位置的方向倾斜角度,反馈给机器人控制系统,使机器人对钻孔姿态进行修正。该传感器还能测量已加工的铤孔深度,若铤孔深度超过允许值时,发出警告并暂停加工,等待操作人员确认。该传感器自带视频系统,便于操作者在远处监测加工过程(根据用户需求确定是否需要此功能)。

5 结束语

柔性装配技术是飞机装配的前沿技术,通过在壁板类结构上的有益探索,将柔性装配技术和装配自动化技术进行有机结合,使飞机装配在自动化基础上实现柔性,在柔性的实现过程中提高自动化装配程度,从而形成一套完整的自动化柔性装配系统。该系统的应用将大大提高我国航空工业在先进装配技术应用上的自主创新能力。

(责编 良辰)