

自动钻铆技术在直升机机身总装中的应用研究

程 涛,魏 超,肖庆东

(北京航空制造工程研究所,北京 100024)

[摘要] 针对直升机装配行业的高质量、高效率的自动化装配需求,提出一种直升机机身总装自动钻铆系统。对直升机机身总装自动钻铆系统的功能、结构及关键技术进行了详细说明,此项研究系统可有效缩短直升机的研制周期、降低成本和提高竞争能力。

关键词: 直升机;自动钻铆系统;数字化定位工装;圆弧导轨;末端执行器

Research on Application of Automatic Drill-Riveting Technology in the Helicopter Fuselage Assembly

CHENG Tao, WEI Chao, XIAO Qingdong

(AVIC Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

[ABSTRACT] For the high quality and high efficiency requirement of helicopter assembly industry, automatic drill-riveting of the helicopter fuselage assembly was presented. The function, structure and key technique of the system were illustrated in detail. The automatic drill-riveting system can shorten the development cycle, reduce the cost and improve the competition ability in the helicopter assembly.

Keywords: Helicopter; Automatic drill-riveting system; Digital positioning tooling; Arc guide rail; End-effector

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.09.084

据相关统计,飞机机体疲劳失效事故的 70% 是源于结构连接部位,其中 80% 的疲劳裂纹产生于连接孔处,因此连接质量极大地影响着飞机的寿命^[1]。因此根据飞机自动化制孔的特点和要求,国外著名的飞机装配设备制造厂家(如 Gemcor、EI 等公司)生产了许多大型的面向飞机装配的自动化制孔和铆接设备。国外在新一代飞机的研制上大多已经采用自动钻铆设备配柔性定位工装的装配模式,尤其是基于机器人载体的自动制孔及铆接系统^[2]。

近年来,国内陆续引进了许多大型自动钻铆机,单台式自动钻铆机逐步开始应用于飞机壁板铆接中,并在局部上采用了较先进的技术,如利用激光跟踪仪或计算机辅助经纬仪技术安装型架^[3-4]。少数直升机制造厂也采用了自动钻铆技术,简化了装配型架结构,但与发达国家航空企业相比还存在较大的差距^[5]。

直升机外形复杂,而且零件数量巨大,内部空间紧凑,协调关系复杂,装配和安装周期长,质量要求更加严格,所以直升机的装配技术是一项技术难度大、涉及学科领域多的综合性高技术。目前装配工作在飞机生产

过程中是最费时费力的,长期以来一直困扰着制造业的发展,严重影响了直升机的研制周期^[3]。

本文根据直升机特殊的结构和工艺要求,设计出直升机机身总装自动钻铆系统,能够实现产品的自动压紧、自动测量标定、自动制孔、涂胶、送钉,并实施铆接,能够一次完成手工需要多次操作的工作,可满足直升机装配高质量、高效率的自动化装配需求。

1 直升机机身总装自动钻铆系统功能和结构

直升机机身总装自动钻铆系统包括机身结构自动化定位子系统、机器人自动钻孔子系统等,如图 1 所示。此系统可实现机身结构的自动夹持定位、测量和机器人自动定位,实现前机身、中机身及过渡段连接区的自动制孔、送钉并进行铆接。

1.1 机身结构自动化定位子系统

机身结构自动化定位子系统即数字化定位工装,主要包括工装主体、旋转机构和保型机构,可以完成产品的定位、夹持、保型和旋转。其功能主要是在机身结构预连接完成后,拖车驱动机身进入旋转机构,调整位置;

然后旋转机构、保型机构入位,保持机身外形;旋转机构驱动机身进行旋转,将机身旋转至工作位置,如图2所示。

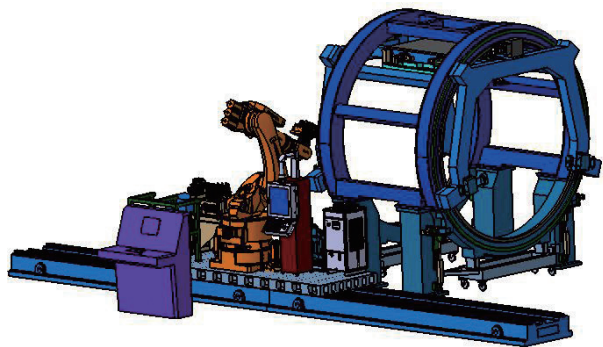


图1 直升机机身总装自动钻铆系统
Fig.1 Automatic drill-riveting system of the helicopter fuselage assembly

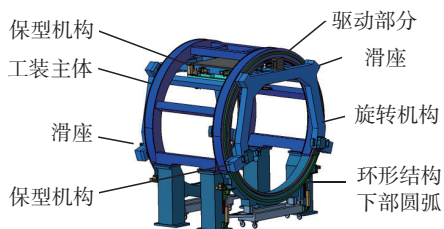


图2 机身结构自动化定位子系统
Fig.2 Automatic positioning subsystem of fuselage structure

工装主体包括4个立柱底座和1套环形结构。环形结构采用分体式设计,分为上下两个圆弧部分,上部圆弧固定在工装主体上,下部圆弧固定在小车上。在机身进入上部圆弧后,下部圆弧在小车的驱动下与上部圆弧完成对接,从而完成环形结构的对接。圆弧导轨、圆弧齿条各分为两组,安装在环形结构的上部圆弧和下部圆弧处,与环形结构同步对接。环形结构通过滑座(位于机身前后两组,每组4个)与旋转机构连接。

旋转机构包括主体部分和驱动部分。旋转机构是通过电机配减速机驱动齿轮和圆弧齿条相互啮合,驱动旋转结构和机身同步在圆弧导轨上做轨迹运动,满足机身旋转至工作位置。

保型机构主要分布在机身前后两组,每组3个。保型机构与机身之间采用球关节和铰链结构的方式连接,减少应力集中,防止机身发生大的变形。

1.2 机器人自动钻铆子系统

机器人自动钻铆子系统由机器人、第七轴、末端执行器、执行单元、送料机构、真空吸尘等组成。机器人用于驱动末端执行器进行钻铆接工作。第七轴由底座、导

轨滑块、齿轮齿条、滑台、伺服驱动等组成,通过伺服电机驱动齿轮齿条机构,带动滑台运动,从而驱动机器人沿航向运动。末端执行器搭载各加工单元、配置压脚,安装法相测量机构,可实现法向反馈、照相测量、压紧、钻孔、铆接等功能。

2 直升机机身总装自动钻铆系统工艺分析

直升机是高科技复杂产品,它的研制生产涉及到企业各个方面,需要多专业、多学科的技术支持,所以直升机装配过程中对工艺的要求非常高。根据各项装配技术的特点和直升机的机身结构,本系统的工艺过程为:

(1) 系统初始化,测量基准点,建立坐标系。

(2) 机身结构预连接完成,拖车驱动机身结构进入工装主体,调整位置。

(3) 数字化定位工装保型机构入位,保持机身外形,旋转机构驱动机身在圆弧导轨上做轨迹运动,旋转至工作位置。

(4) 第7轴驱动机器人系统进入工作位置,末端执行器上的照相单元,采集工艺基准孔信息,控制系统进行计算,拟合加工坐标系。

(5) 机器人自动钻铆子系统开始进行制孔、送钉以及铆接安装工作,并循环此部分工作,直至将该侧该区域的工作完成,第7轴驱动机器人进入该侧下一区域工作。

(6) 旋转机构驱动机身结构进行旋转,将工作区域旋转至下一侧。

(7) 进行(4)~(6)工序的循环,完成所有制孔及铆接,机身下架,进行后续工作。

3 关键技术

直升机机身总装自动钻铆系统是机械、电气、软件于一体的复杂多功能系统,涉及多专业、多学科。因此,直升机机身总装自动钻铆系统得以应用和发展需解决以下关键技术。

3.1 数字化定位工装

直升机因为外形复杂,内部空间紧凑,所以设计一套数字化定位工装就显得非常关键。本文根据直升机制造过程、机身特点和工艺要求设计的数字化定位工装,克服了机身外形复杂、不容易定位的问题,可满足机身工况要求,实现工装的数字化和柔性化^[6]。

数字化定位工装中的旋转机构可以保证机身旋转至所需要的姿态和角度。为达到机身要做圆周运动的要求,本系统采用力的作用点靠近输出扭矩(输出轴)的方式(即齿轮配合圆弧齿条),齿轮安装在减速电机的输出轴,齿轮驱动圆弧齿条。相对于运动轨迹的直径,齿

轮的直径大为缩小,这样就大大降低了对输出扭矩的要求。同时也解决了由于机身位于数字化定位工装的中心,在中心位置设计电机驱动空间局限性的问题。

保型机构既可保证机身的定位,又可保证机身和旋转机构在圆弧导轨上始终同步旋转,同时防止对产品划伤,减少应力集中,实现机身结构的柔性夹持。

3.2 圆弧导轨的设计选型

本系统采用机身与旋转机构在圆弧导轨上同步旋转,所以圆弧导轨的设计选型就尤为重要。

圆弧导轨固定在工装主体上,在圆弧导轨上安装滑座,机身前后两组,每组 4 个,如图 2 所示。滑座和旋转机构连接,滑座沿圆弧导轨做轨迹运动,带动旋转机构和机身转动。滑座的 4 个滚轮在弧形导轨两侧的精密 V 型面上滚动,每侧的两个滚轮中心的运动轨迹是同一条弧线,和圆弧导轨是同一个圆心,两侧的两条弧形运动轨迹是同圆心,如图 3 所示。

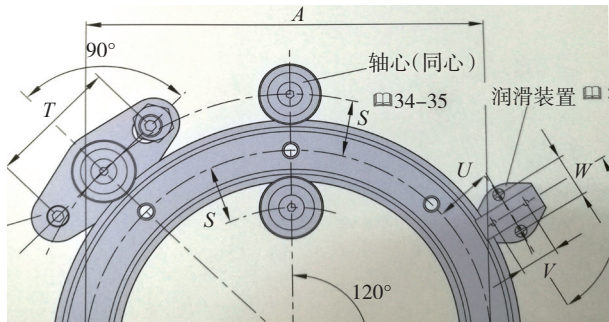


图3 圆弧导轨和滚轮的原理图
Fig.3 Principle diagram of arc guide rail and wheel

机身旋转轨迹为整个圆周,本系统圆形导轨由数段弧形导轨组成。当滚轮处于相邻梁弧形导轨的过渡阶段有可能会发生卡住和脱离。为了保证在过渡阶段滑座的顺利通过,对每根弧形导轨的两端进行了特殊的专门加工,角度比 180° 略微小些,靠近端部两边的 V 型导轨面经过精磨,形成特殊轨迹,确保相邻圆弧导轨结合的平滑,不会发生滑座脱离现象。

3.3 消隙机构

本系统直升机机身沿圆弧导轨做轨迹运动,所以对于旋转精度要求很高。为了提高齿轮和圆弧齿条的传动精度就要设计齿轮消除机构,本系统采用双齿轮消除间隙:两个齿轮合并到一起安装,并且两个齿轮之间装有可以周向相对扭转错位的装置。双齿轮与圆弧齿轮同时啮合,啮合时双齿轮中的一个轮齿与相邻轮齿的受力面啮合,而双齿轮的另外一个齿轮与相邻轮齿的背面啮合^[7]。

3.4 末端执行器

末端执行器是机器人自动钻孔子系统的核心部分。

其机构形式直接影响整个系统的功能和作用。伴随着现代飞机装配对设备多功能需求日益强烈,末端执行器应在现有制孔的基础上开发面向送钉、涂胶、铆接等新型功能^[8-9]。

本系统设计的末端执行器具有轻量化、多功能化的特点。末端执行器集成的执行单元有:制孔单元、压脚单元、插钉铆接单元和照相单元(见图 4)。末端执行器可实现自动完成特征定位、法向找正、压紧、钻孔、镗窝、润滑、冷却和排屑等主要功能^[10]。

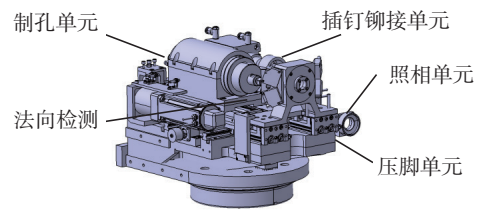


图4 末端执行器
Fig.4 End-effector

制孔单元的转速 1500~15000r/min (扭矩 2.6N·m),可实现钻孔和镗窝,主轴进给采用挡块控制以保持较好的重复定位精度。

压脚单元由双气缸推动压脚座压紧零件表面,压脚座上安装 4 个激光测距仪用来测量加工表面的法向。每个测距仪发射的激光接触到对面物体表面(如飞机壁板蒙皮表面)后反射回来,被传感器接收,可以计算出其与对面物体表面间的直线距离。将 4 个测距仪准确安装后,计算出加工表面的法向。

插钉铆接单元主要是由从自动送钉系统通过吹钉管选择器被送到钻铆工作头的送钉器,然后再完成铆钉的铆接工艺。

照相单元主要在末端执行器的外壳上装配康耐视摄像头,当移动到照相定位工位时,对产品上的已知目标,根据实际零件的几何形状调整机器人的理论轨迹。通过二维的相机和一维的激光测距仪组合,达到三维测量。

4 结论

直升机机身总装自动钻铆系统符合现在直升机装配制造的要求,具有柔性化、数字化和模块化的特点。随着相关技术的应用和推广,可以促进我国直升机装配技术向着高质量、高效率的方向发展,缩小我国直升机行业的研制能力与国际先进水平的差距,提高国际竞争力,为我国直升机的研制开发提供技术保障。

(下转第91页)