

# 飞机导管数字化柔性定位装夹技术探讨

曾德标, 胥 军, 石章虎, 王 强

(航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

[摘要] 因飞机导管种类多、数量大、形状复杂, 针对传统定位装夹技术无法满足飞机导管精确、高效、敏捷制造需求, 探讨了飞机导管数字化柔性定位装夹技术方案。提出了阵列式夹具、被动数字化重构夹具和自主数字化重构夹具 3 种飞机导管数字化柔性定位装夹技术方案, 为实现导管数字化定位、高效精确装夹提供解决方案, 达到缩短导管制造装备周期, 降低制造成本的目的。

关键词: 飞机导管; 数字化柔性定位; 装夹

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2017.14.050



曾德标

博士, 研究方向为数字化装配技术。

数量多达数千项。同时为了适应飞机紧凑复杂的内部结构, 导管结构复杂, 而且形状各异。

然而在切割、焊接、装配等飞机导管制造工艺环节中离不开夹具对导管进行定位装夹, 保证导管在加工、装配过程中精确的三维尺寸、外形形状和位置关系。目前国内外主要采用两种方式对导管进行装夹, 即专用夹具和组合夹具。专用夹具, 即根据导管形状、尺寸定制设计的固定夹具, 具有定位精度高、可靠性高等优点, 但是设计制造周期长、生产成本高、占用存放面积大, 因此多应用于批量化生产。组合夹具由一系列标准元件根据导管形状、尺寸组合而成, 相对于专用夹具具有设计制造周期短、可重复利用等优点, 目前主要应用于新机研制阶段。无论专用夹具还是组合夹具均需要根据导管形状、尺寸定制设计制造, 而飞机导管的数量大, 且形状、尺寸各异, 因此飞机导管制造需要设计制造大量的夹具, 以致导管的的生产准备周期长, 夹

具制造成本高, 无法满足飞机导管高效、低成本和敏捷制造需求。如何实现飞机导管高效率、高精度、低成本、敏捷制造一直是导管制造技术关注的重点<sup>[1-4]</sup>。许多学者对此开展了研究。毛燕等<sup>[5]</sup>研究了 ARJ21 飞机导管的数字化设计、弯曲成形和检测技术。陈明生等<sup>[6]</sup>研究了焊接夹具设计知识重用技术。曲航<sup>[7]</sup>研究了组合夹具在飞机导管焊接中的应用技术。许旭东等<sup>[8]</sup>研究了飞机导管数字化焊接技术。宁汝新等<sup>[9]</sup>研究了飞机导管在虚拟环境下的数字化装配技术。李光俊等<sup>[10]</sup>研究了组合夹具在飞机导管数字化制造技术中的应用方案与技术途径。上述研究从不同方面推动了飞机导管制造技术的发展。

本文以导管定位装夹为突破点, 探讨导管数字化柔性定位装夹技术, 提出了阵列式夹具、被动数字化重构夹具和自主数字化重构夹具 3 种飞机导管数字化柔性定位装夹技术方案, 为实现导管数字化定位、高效精

在各型号飞机的液压系统、燃油系统和环境控制系统中存在大量的导管, 为飞机各系统的正常工作传递动力或输送工作介质, 满足飞机正常飞行和执行任务的需求。以某型号战斗机为例, 导管种类有 200 余类,

确装夹提供解决方案,达到缩短导管制造装备周期,降低制造成本的目的。

### 阵列式数字化柔性定位 夹具方案

图1为阵列式数字化柔性定位装夹方案示意图。阵列式数字化柔性定位夹具由夹具基座和大量均匀阵列分布的定位器组成。定位器主要由1个支撑杆、1个V形定位块、1台伺服电机和1条导管紧固带组成。V形定位块具有竖直升降、水平滑动和绕支撑杆轴线 $\pm 90^\circ$ 转动3个自由度。V形定位块竖直升降和水平滑动可以确保导管处于柔性定位夹具工作区域内的任意位置均有若干V形定位块的中心对准导管的轴线。V形定位块 $\pm 90^\circ$ 转动可以确保定位块适应导管的任意摆放角度。因此导管能够被准确定位(图2)。

V形定位块的升降、转动和滑动均通过精确伺服驱动控制。整个柔

性定位夹具采用数字控制方式精确控制各个V形定位块的空间位置和角度以适应导管外形。夹具重构流程如下:

步骤1:在控制系统的虚拟加工环境中,人工载入待加工导管和管接头的数模,并调整导管和管接头的空间摆放位姿从而确定导管真实加工时的摆放位姿;

步骤2:用户通过鼠标在导管上点击确定定位装夹位置;

步骤3:系统自动获取鼠标点击位置的坐标,并投影到导管中心线上,然后获取投影点的坐标;

步骤4:根据投影点坐标自动计算柔性定位夹具上各个V形定位块的位置和角度;

步骤5:依据各个V形定位块的位置和角度生成定位器各个自由度的运动参数指令;

步骤6:控制指令传送给伺服驱动模块驱动各个定位器运动到位,从而完成夹具数字化精确重构,实现对

导管的精确定位。

### 被动数字化重构夹具 技术方案

被动数字化重构夹具由1个夹具平台和若干导管定位器组成。导管定位器概念图如图3所示。定位器由1个基座、1个竖直转轴、1个水平转轴和1个V形定位夹紧机构组成。竖直转轴具有旋转和竖直伸缩两个自由度。水平转轴只有摆转1个自由度。该自由度通过机械手进行姿态调节。

每个转轴都有1个气动复位和自锁装置。当从通气口通以压缩空气时,两个转轴解锁并自动复位;当断开压缩空气时,两个转轴自锁。定位器在夹具平台上的位置以及定位器V形定位夹紧机构的角度由1套夹具快速重构设备进行定位和调姿。定位器与夹具平台间通过电磁、真空或机械的方式固定锁紧。

重构设备根据导管的形状、尺寸和空间摆放位姿,自动调整每个导管定位器的位置和姿态,实现对导管的

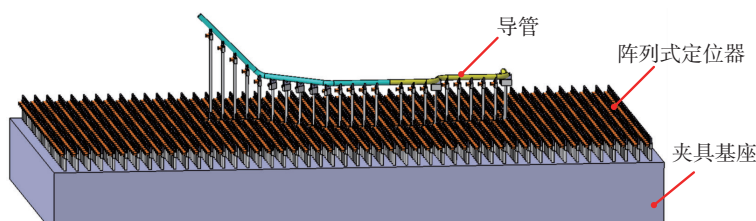


图1 点阵式定位总体方案  
Fig.1 Array positioning scheme

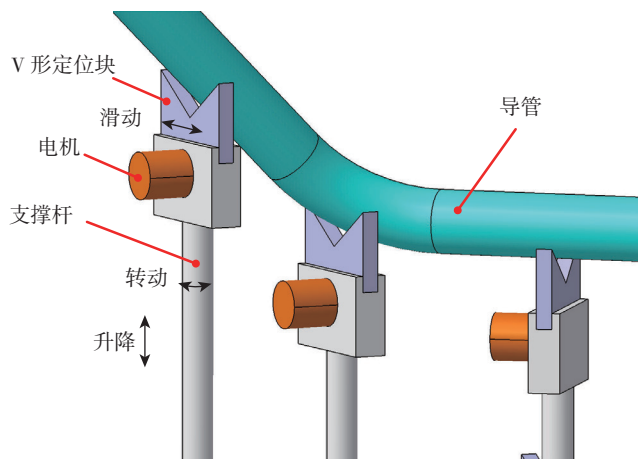


图2 定位器功能结构  
Fig.2 Structure of positioner

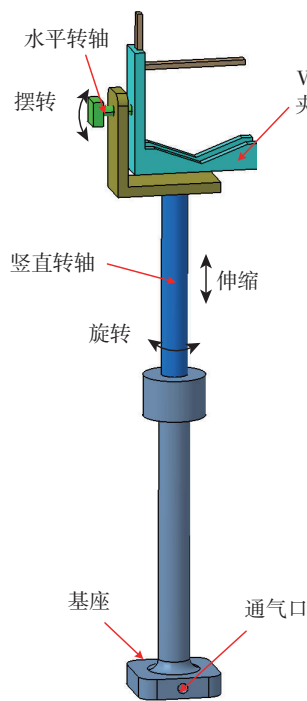


图3 定位器功能结构  
Fig.3 Structure of positioner

精确定位和夹紧。图4为夹具快速重构设备概念图。由1个高精度的工作平台、1个三自由度的定位机械手、1个五自由度的调姿机械手和1个导管定位器传送装置组成。夹具被动重构流程为：

步骤1：人工确定导管的空间摆放位姿；

步骤2：人工指定导管的定位装夹点；

步骤3：根据导管理论数模、空间摆放位姿和定位装夹点自动计算夹具上导管定位器的数量以及各个定位器的位置和装夹导管的角度；

步骤4：定位机械手夹持导管定位器从定位器传送装置移至调姿区，重构设备自动为定位器接通压缩空气使其解锁复位；

调姿机械手对定位器V形定位夹紧机构的角度和高度进行精密调整(定位器位置是随机的，自动接通空气是在调姿区完成的，调姿区有两个固定通气孔，每次将定位器移至调姿区，使得定位器通气孔与调姿区固定通气口连通)。

步骤5：然后断开压缩空气使定位器自锁以锁定精密调整后的姿态；

步骤6：夹持机械手将定位器移至夹具平台上的精确位置，并通过电磁、真空或机械的方式固定锁紧定位器。

### 自主数字化重构夹具技术方案

图5为自主数字化重构夹具方案示意图。夹具由1个基座和4~6个完全一样的定位器组成。每个定位器有6个自由度，能够沿着夹具的X轴和Y轴移动，升降轴能够沿着夹具的Z轴升降，可以保证在夹具上方一个长方体形的加工区域内，对于任意摆放的导管至少有3个定位器对其进行定位装夹。同时定位器末端为V型定位夹紧机构，且能够绕转动轴转动和绕摆动轴摆动，可实现

多种尺寸规格导管定位夹紧，并能够根据导管的角度调整V形定位夹紧机构的角度，从而确保可靠定位和装夹。为了确保导管定位的精度，定位器各个自由度采用精确伺服驱动控制，并且采用定位精度补偿技术实现导管精确定位。

目前，该结构可将定位器横向尺寸控制在150mm×150mm之内，高度尺寸控制在1000mm以内，可最小夹持200mm长度以内的导管，基本可实现80%以上飞机导管的装夹。

夹具重构采用数字控制方式。依据导管的理论数模和空间摆放位姿，自动控制各个定位器精确定位调姿，从而实现对导管的精确定位和装夹，确保导管在切割、焊接、装配等工艺环节中的几何精度。夹具重构流程与阵列式数字化柔性定位夹具的重构流程一样。

### 结束语

本文提出了3种飞机导管数字化柔性定位装夹技术方案。阵列式

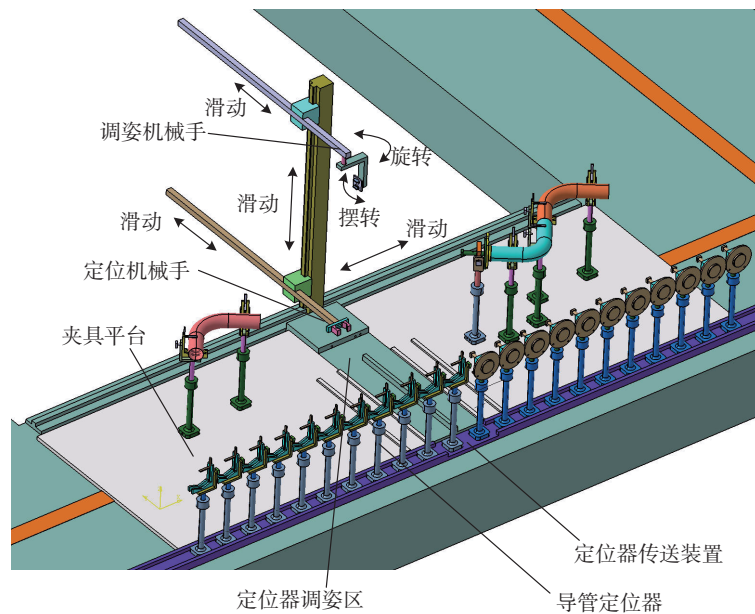


图4 总体方案  
Fig.4 Overall scheme

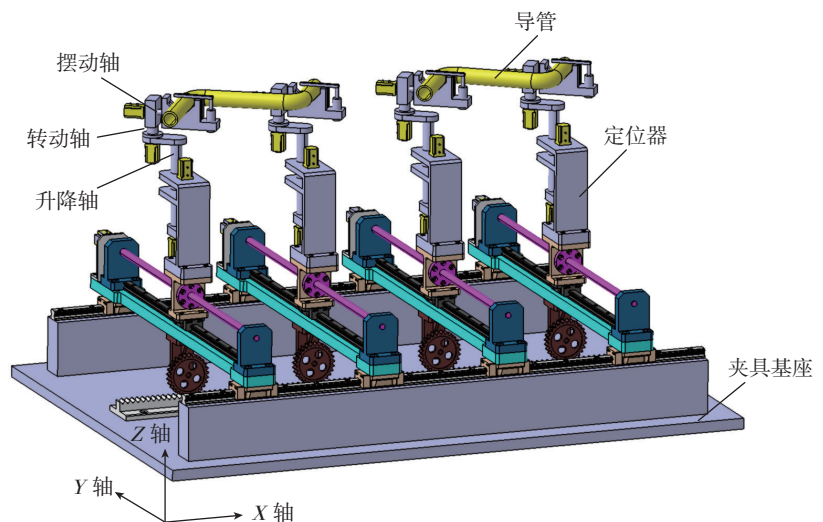


图5 总体定位方案  
Fig.5 Overall scheme of positioning

数字化柔性定位夹具为了实现在任意位置对导管进行定位装夹,需要大量均匀密集分布的定位器,因此制造成本较高,同时由于空间狭小导致定位器的支撑杆较细,定位器的刚度较差,定位器在定位夹紧导管之后的受力变形较大,因此定位精度比较低。被动数字化重构夹具由于每个定位器的复位和重构都需要借助夹具重构设备,被动重构的效率较低,且重构设备会挤占导管加工设备的工作空间,存在与加工设备发生碰撞的安全隐患。自主数字化重构夹具采取精密伺服驱动控制和精度补偿技术,定位精度高,且每个定位器可同步定位调姿,夹具重构效率高。通过对比分析,自主数字化重构夹具是最佳方案。该方案采用了数字化、柔性化的设计理念,能够依据导管的理论数模和空间摆放位姿快速对夹具进行数字化重构,实现对导管的高效、数字化、精确柔性定位装夹。可以替代传统的专用夹具和组合夹具,从而达到缩短导管制造准备周期,降低制造成本,满足导管敏捷制造的需求。同时也能够为飞机导管全制造工艺流程实现数字化、自动化乃至智能化奠定技术基础。

需要指出,该方案目前处于技术探索和试验阶段,需要在后续的研究中进一步完善和细化。该方案是否

能够满足飞机导管制造的工程实际需求,需要通过实践验证。

### 参考文献

- [1] 李光俊,毛燕. 飞机导管数字化快速敏捷制造技术[J]. 中国制造业信息化, 2009,38(5): 19-24.
- LI Guangjun, MAO Yan. Digital agile manufacture technology of airplane pipes[J]. Manufacturing Information Engineering of China, 2009, 38(5): 19-24.
- [2] 白雪山. 导管数字化制造技术在某新型飞机研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2014(14): 83-85.
- BAI Xueshan. Application of tube digital manufacturing technology on a new type of plane[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(14): 83-85.
- [3] 高战地,唐承统,贾美慧. 导管数字化制造集成框架研究[J]. 中国机械工程, 2011, 22(18): 2191-2194.
- GAO Zhandi, TANG Chengtong, JIA Meihui. Integrated framework for tube digital manufacturing[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(18): 2191-2194.
- [4] 冯新明,张因. 数字化技术在新支线研究中的应用[J]. 航空制造技术, 2006(10): 56-59.
- FENG Xinming, ZHANG Nan. Application of technology to the research of new subline[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(10): 56-59.
- [5] 毛燕,詹梅. 数字化制造技术在AJR21飞机导管研制中的应用[J]. 锻压技术, 2008, 33(4):120-123.
- MAO Yan, ZHAN Mei. Application of digitized manufacturing technology to pipes forming of aircraft ARJ21 [J]. Forging & Stamping

Technology, 2008, 33(4):120-123.

[6] 陈明生,廖文和,李迎光. 航空件焊接夹具设计知识重用技术研究与实现[J]. 机械制造与自动化, 2006,35(2):11-14.

CHEN Mingsheng, LIAO Wenhe, LI Yingguang. Research and implementation of knowledge reuse in airplane welding fixture design[J]. Machine Building & Automation, 2006, 35(2): 11-14.

[7] 曲航. 组合夹具在型号飞机焊接导管加工中的作用[J]. 航空标准化与质量, 1999(6):12.

QU Hang. Function of aggregated fixtures and jigs in process of welding pipes of type aircraft[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 1999(6):12.

[8] 许旭东,李光俊. 飞机导管数字化生产线探讨[J]. 航空制造技术, 2005(9):84-85.

XU Xudong, LI Guangjun. Discussion on digital production line for aircraft pipes[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005(9): 84-85.

[9] 宁汝新,刘检华,唐承统. 数字化制造中的建模与仿真技术[J]. 机械工程学报, 2006,42(7): 132-137.

NING Ruxin, LIU Jianhua, TANG chengtong. modeling and simulation technology in digital manufacturing[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(7):132-137.

[10] 李光俊,兰勇,孙林,等. 柔性组合夹具在飞机导管数字化快速制造中的应用. 航空制造技术, 2012(9):58-61.

LI Guangjun, LAN Yong, SUN Lin, et al. Application of flexible combine-clamp in digital rapid production for aircraft pipes[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(9): 58-61.

通讯作者: 曾德标, E-mail: debiaozen@126.com。

## Study on Digital and Flexible Positioning Technology of Airplane Pipes

ZENG Debiao, XU Jun, SHI Zhanghu, WANG Qiang

(AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China)

**[ABSTRACT]** The traditional positioning and clamping technology can't meet the requirement of accurate, efficient and agile manufacturing for airplane pipes with various types, large quantity and complicated shapes. This paper focused on the digital and flexible positioning and clamping technology for airplane pipes. Three digital positioning methods for airplane pipes, including an array positioning jig, a passively reconfigurable jig and an actively reconfigurable jig, are proposed. The study offered a solution for digital positioning, clamping accurately and efficiently for pipes, to shorten preporing cycle for pipe manufacturing and reduce cost.

**Keywords:** Airplane pipe; Digital and flexible Positioning; Clamping

(责编 大漠)