

# 多点柔性托架激光测量 划线系统的应用

Application of Measure-Score System With Multi-Point Flexible Bracket

成都飞机工业(集团)有限责任公司 李光俊 许旭东 陈妍君  
吉林大学锻工艺研究所 李明哲



李光俊

成都飞机工业(集团)有限责任公司制造工程部主任工艺师,研究员级高级工程师,主要从事飞机钣金、导管零件数字化制造技术研究。

长期以来,飞机蒙皮零件制造主要采用刚性模具成形。虽然一项蒙皮零件需要配置一套刚性拉形模,而且拉形模的设计、制造、试模费力费时,但是该方法满足了现代飞机生产过程中生产效率高、质量一致性好的要求,在飞机蒙皮零件批量生产中应用广泛<sup>[1]</sup>。

随着计算机技术的飞速发展,三

多点柔性托架激光测量划线系统的初步应用,实现了飞机蒙皮零件的三维型面激光快速测量、显示误差云图,并根据理论数模,在蒙皮表面准确划出修切轮廓线,满足了工程化应用的要求。多点柔性托架激光测量划线系统已经逐步从实验室走向工程化应用,并与多点柔性模具、多点柔性夹具一起使蒙皮数字化柔性制造成为可能。

维数字化产品定义、有限元分析在飞机产品设计、工艺设计中应用,各种军用和民用飞机试制速度加快、周期更短、制造精度要求更高。特别是在新机研制阶段,飞机设计处于反复叠代、不断优化的过程中,飞机蒙皮零件普遍呈现多品种、单件(1~3件)生产的趋势。在此情况下,采用刚性模具成形蒙皮的工艺方法已经无法满足现代飞机蒙皮零件在研制阶段高精度、多品种、短周期的的制造需求,飞机蒙皮的柔性数字化成形、切割技术开始在飞机研制过程中应用,并提高了蒙皮制造精度,缩短了生产周期,成为现代飞机研制过程中不可缺少的一个环节。

## 国内外技术状况

### 1 多点柔性模具成形技术

多点柔性模具成形技术是蒙皮数字化柔性制造的典型代表。2002年,美国 Cyril Bath 公司研制了用于实际生产的蒙皮拉形可重构装置,美国 Warner Robbins 空军后勤基地将该装置用于飞机机身与机翼蒙皮的制造<sup>[2]</sup>。近年来,北京航空制造工程研究所、北京航空航天大学、吉林大学以及成飞公司等对多点柔性模具蒙皮成形技术开展了系列研究,完成了多点柔性模具的研制工作,用多点柔性模具代替传统的刚性模具进行了典型蒙皮的数字化拉形,解决了蒙皮

成形过程中参数优化的问题,实现了工程化应用<sup>[3-6]</sup>。

## 2 多点柔性夹具切割技术

为了满足蒙皮零件工艺性和加工要求,国外技术人员十分关注可重复配置、可调整夹具的研究和开发工作,重点考虑如何将柔性夹具与五坐标数控机床实现高度集成,最大限度提高生产效率。国外柔性夹具与五坐标数控机床已实现高度融合,柔性夹具已实现真正意义的三轴联动<sup>[7]</sup>。国内高校、研究所则重点进行独立式柔性夹持工装系统的研制,并在五坐标数控机床上完成了典型工艺试验件的加工<sup>[8-9]</sup>。

## 3 多点柔性托架检测技术

飞机蒙皮零件一般尺寸比较大、刚性弱,采用传统三坐标测量效率太低;采用手持式激光测量臂则测量范围有限,效率也不高。蒙皮零件装配后虽然可采用高效、快速的激光雷达测量设备进行外形测量<sup>[10]</sup>,但零件成形时仍然需要配套支撑夹具(如拉形模)才能实现激光快速测量。

多点柔性技术已经成熟应用在蒙皮的成形与切割过程中,而激光测量技术以其精确、高效的优势应用在各种测量领域。考虑激光测量技术和多点柔性技术的优势,将2种技术高度融合,同时兼顾蒙皮外形划线、化铣刻形的功能,组成数字化的多点柔性托架激光测量划线系统,实现满足现代飞机蒙皮零件在研制阶段高精度、多品种、短周期的制造要求。

国外一些设备制造商已经考虑将多点柔性夹具与激光技术集成,例如MTORRES公司成功推出了柔性夹具三轴联动的五坐标激光刻形设备,并成功应用在波音、空客系列民用飞机化铣蒙皮刻形中<sup>[11]</sup>。由于柔性夹具是三轴联动的,再配五坐标数控机床,设备造价不菲。

成飞公司与国内高校合作,进行了飞机蒙皮柔性检测工装的研究,主要采用卡板式夹具配合真空吸盘的

方式,卡板是可以更换的,具备一定的柔性。但不同蒙皮需要配专用卡板,真空吸盘的高度需要手工调节,与真正意义的数字化柔性夹具还有一定的距离<sup>[12]</sup>。

考虑蒙皮一般相对平坦,不会出现陡峭突变的情况,可考虑用单轴柔性托架代替三轴联动柔性托架;用三坐标的数控系统代替五坐标数控系统,在满足蒙皮制造精度的条件下提出多点柔性托架激光测量划线系统。

## 多点柔性托架激光测量划线系统方案

### 1 系统基本构成

多点柔性托架激光测量划线系统由多点柔性托架、工作台与支架、测量头、划线头基本部件组成,如图1所示。

#### (1) 多点柔性托架。

多点柔性托架主要用于三维曲面蒙皮的支撑与固定。在工作台上均匀布置支撑单元,每个支撑单元由步进电机驱动。在计算机控制下,按蒙皮理论形状调整每个支撑单元的高度,使支撑单元顶端形成与蒙皮曲面一致的形状。每个支撑单元的顶部都设有真空吸盘,用于固定蒙皮。

#### (2) 工作台与支架。

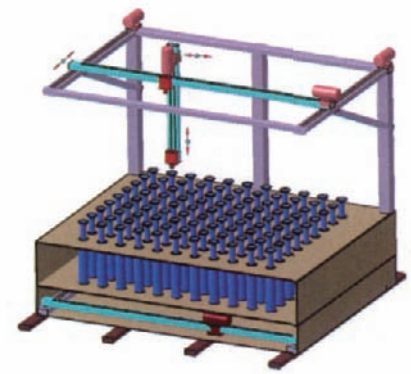


图1 多点柔性托架激光测量划线系统

工作台是一个长方形的箱体,用于安装多点柔性托架的控制机构,并固定支撑单元。支架用于安装激光测量头与划线头,对于中小蒙皮零件,可采用固定支架,如“T”、“r”形状;对于大蒙皮零件,可采用移动龙门式。

#### (3) 测量头。

测量头安装支架横梁上,由伺服电机驱动滚珠丝杠,带动测量头在工作台范围内移动,并用光栅尺反馈测量头的所在位置。测量头的激光功率很小,在计算机的控制下自动完成蒙皮与测量头之间距离的测量,通过数据处理后得到蒙皮的型面。

#### (4) 划线头。

划线头通过滚珠丝杠安装支架

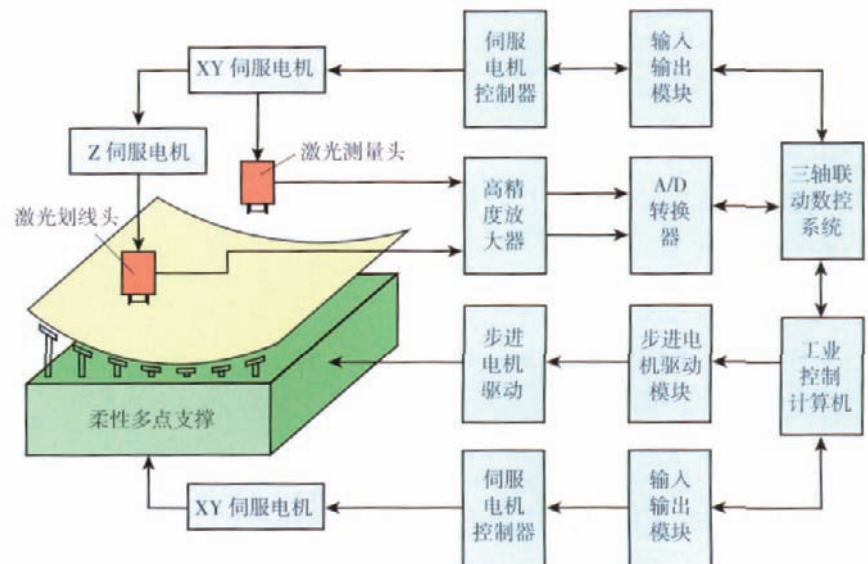


图2 控制系统

横梁下方,由伺服电机驱动滚珠丝杠,带动划线头在工作台范围移动,并保证距离蒙皮表面有一定的距离,用光栅尺反馈测量头的所在位置。划线头是一种高能激光器,激光束经过专用光学系统聚焦后成为一个非常小的光点,能量密度高,使蒙皮被照射区发生局部颜色变化达到划线、标记的目的。对于均匀涂胶的化铣蒙皮,则使胶层局部融化、气化而达到刻出化铣轮廓的目的。

## 2 控制系统

控制系统由工业控制计算机、三轴联动数控系统、输入输出模块、伺服电机控制器、伺服电机、高精度放大器、A/D 转换器组成(见图2)。数据处理由专门开发的激光扫描测量、自动划线的一体化软件完成,主要具备柔性托架调形、测量参数设置、数据测量、测量数据处理、曲面重构、三维数据配准、误差分析以及划线参数设置、蒙皮划线、蒙皮标记等模块。

## 3 系统主要功能

多点柔性托架激光测量划线系统是三维型面快速测量与激光自动划线的集成系统,是蒙皮多点模具拉形装置的配套设备。该系统具有以下功能:

(1)能够根据零件理论数模,自动将柔性托架调整成蒙皮的型面。

(2)能够对飞机蒙皮零件的三维型面进行激光快速测量,显示误差云图,生成蒙皮柔性多点模具成形的误差修正数据。

(3)能够根据理论数模,用激光在蒙皮表面准确划出修切轮廓线,并在蒙皮表面作识别标记。

(4)能够用激光准确在涂胶蒙皮表面烧蚀出化铣轮廓(激光刻形),方便后续化学铣切蒙皮台阶。

## 4 技术特点

多点柔性托架激光测量划线系统同时具备了多点柔性技术与激光测量技术的优势,主要体现在:

(1)实现蒙皮零件的自动定位

与精确、高效、快速的激光测量、划线、标记、刻形。

(2)不需要专用检验模具,省去了专用检验模具的设计制造时间,显著缩短新机研制工艺准备时间。

(3)使用一套多点柔性托架激光测量划线系统可以代替数十套甚至上百套传统的检验模具、化铣刻形样板,解决了模具的储存与管理问题。

(4)采用数字化的闭环控制技术,与多点柔性模具、多点柔性夹具一起实现真正意义的蒙皮数字化柔性制造。

## 多点柔性托架激光测量划线系统的典型应用

### 1 多点柔性托架的选型

多点柔性托架的参数直接影响了多点柔性托架激光测量划线系统在工厂的应用范围与应用效果。多点柔性托架的参数主要有台面尺寸、调形高度、调形时间、单元排列。其中调形高度与托架排列情况应通过对飞机蒙皮零件的轮廓尺寸、弦高进行统计分析后得到。大飞机的蒙皮零件曲率大,托架排列距离可以大些;小飞机的蒙皮零件曲率小,托架排列距离可以小些。

成都飞机工业(集团)有限责任公司通过对某飞机前机身蒙皮零件的统计分析,委托吉林大学进行多点柔性托架激光测量划线系统的研制,系统主要技术参数见表1。目前已经完成了激光测量划线系统软硬件的开发。

### 2 多点柔性托架的调形

多点柔性托架的调形与蒙皮成形用的多点柔性模具极为类似,由专用的调形软件实现。为了兼顾调形时间与制造成本,多点柔性托架采用混合调形方式,即当伺服电机将机械手移到一个位置后,由多个步进电机同时调整多个柔性托架的高度,实现精确、高效、快速调形的目的。经过分析,所有柔性托架按最大高度计

表1 多点柔性托架激光测量划线系统技术参数

技术参数	技术指标
蒙皮尺寸 (长 × 宽 × 高)/mm	1500 × 1200 × 500
蒙皮最大重量/kg	200
柔性托架调形高度/mm	500
托架排列数量 (长 × 宽)/个	11 × 9
柔性托架间距/mm	140
柔性托架调形时间/min	≈ 3
激光测量时间	≈ 10min/30000 点云
激光划线时间	≈ 3min/6m

算,调形时间约为 3min。

### 3 典型蒙皮零件应用

为了满足工程应用的要求,选择国产 LY12M 铝板、厚度 2.0mm,外形 450mm × 450mm 的典型蒙皮进行应用研究。与理论数模相比,最大上偏差为 0.40mm,最大下偏差为 -0.37mm,满足技术要求;经测量后合格的蒙皮用激光在零件表面划出修切轮廓线。

## 结束语

多点柔性托架激光测量划线系统的初步应用,实现了飞机蒙皮零件的三维型面激光快速测量、显示误差云图,并根据理论数模,在蒙皮表面准确划出修切轮廓线,满足了工程化应用的要求。多点柔性托架激光测量划线系统已经逐步从实验室走向工程化应用,并与多点柔性模具、多点柔性夹具一起使蒙皮数字化柔性制造成为可能。当然,在多点柔性托架激光测量划线系统推广应用的过程中,还可能面临许多各种各样的技术问题,相信通过广大科技人员的共同努力,各种技术问题将得到妥善处理,实现真正意义的飞机蒙皮数字化柔性制造。

本文共有参考文献 12 篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。(责编 小颖)