

柔性装夹系统应用研究

Application Research of Flexible Clamp System

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 务俊杰 李 薇

[摘要] 介绍了飞机柔性工装国外现状、分类及特点,并针对某型柔性夹具在型号产品研制中的应用进行了分析与研究。

关键词: 飞机柔性工装 柔性装夹系统 真空吸附

[ABSTRACT] The current status, classification and characteristics of aircraft flexible tooling at abroad are introduced. The application of a kind of flexible tooling in a product is analyzed.

Keywords: Aircraft flexible tooling Flexible clamp system Vacuum adsorption

飞机零部件结构尺寸大,外形复杂且种类繁多、制造准确度要求高,这些都给飞机制造带来一系列难题。而零件制造、飞机装配几乎贯穿于整个飞机制造周期的始终,与飞机工装相关的工艺准备也是飞机研制以及批生产的重点。

据统计,目前飞机零件制造及装配的工作量已占整个飞机制造总劳动量的70%~80%。而飞机研制时大批工装的设计制造需要大量的人力、物力、财力作支持,如何在保证飞机质量的前提下,最大程度地减少工装品种和投入费用是摆在航空制造企业面前的重大课题^[1]。随着航空制造领域数字化应用水平的提高,在国内外航空制造业内相继应用飞机柔性工装技术。

1 飞机柔性工装技术发展现状

在西方先进航空制造企业,数字化、柔性化工装技术发展迅速。欧盟于1994年提出“基于协作型多功能操作机器人的航空产品柔性装配系统”研究项目,其最终目标是实现数字化无型架装配。空客公司2005年机翼翼盒自动装配应用了多种数字化柔性装配技术,降低了成本,缩短了周期,实现月产38套机翼。洛克希德·马丁公司研制的X-35,采用具有激光定位、电磁精密制孔等数字化柔性装配特点的龙门钻铣系统,使装配周期减少了2/3,工装数量由350件减少到19件,成本降低1/2。美国Boeing 777研制周期缩短50%,返工率减少

75%,成本降低25%,成为数字化设计制造与并行工程技术成功应用的典范。

2 飞机柔性工装分类及特点

飞机柔性工装是基于产品数字量尺寸协调体系的、可重组的模块化、自动化工装和夹具系统,其目的是免除设计和制造各种产品(如飞机壁板、翼梁等)专用的传统装配型架和夹具,从而降低工装制造成本,缩短工装准备周期,同时大幅度提高生产率。柔性工装技术在国内外飞机制造中体现得特别明显,典型的应用有飞机壁板柔性装配工装、翼梁柔性装配工装、水平安定面升降舵柔性装配工装、机身柔性装配工装和总装用的柔性对接工装系统、复合材料切钻夹具等。

① 多点阵成形真空吸附柔性工装。

多点阵成形真空吸附柔性工装是一组或多组带真空吸盘的立柱阵列,模块化的立柱可由程序控制三维移动到空间一定位置定位,生成与装配件曲面完全符合并均匀分布的吸附点阵,能精确和牢固地夹持壁板供钻孔、铆接和铣切等装配工作。当壁板外形发生变化时,吸附点阵在伺服控制下相应改变,工装外形和布局自动进行调整,通过改变定位和夹紧位置,可以适应不同的零部件结构和定位装夹要求,从而降低了综合成本,缩短了工装准备周期和产品的研制周期。类似的柔性工装还用于翼梁、升降舵、机身的柔性装配和环铆系统中。

② 行列式高速柱阵柔性工装。

行列式高速柱阵工装适用于壁板及翼梁装配,如波音727、737、777、C-17等飞机翼梁的装配和空客A330系列机翼翼板的装配。最新的A380壁板及翼梁装配也采用了此类工装。空客机翼翼板柔性装配工装可完成A330/340、A319/320/321/A300系列飞机的机翼翼板的装配,它具有模块化、数字化、自动化的特点。

③ 移动装配生产线。

波音公司将飞机放在由传送链移动的轮车生产线上,使飞机沿生产线移动装配。通过射频信号实时传送

来实现对飞机移动装配生产线的远程控制,并监控飞机的移动情况。飞机在2个装配台的移动只需1h,可同时移动7架飞机,并能保证飞机之间的等距及等高。同时因传送链在地板上,地下总线能够保证恒电流供应及防火等监控管理。目前,波音公司已经在移动装配生产线上连续建造了波音717、737、757等单通道飞机,该技术大大缩短了民用飞机交付时间^[2-3]。

3 某型三轴柔性装夹系统的应用

3.1 系统概述

柔性装夹系统通过数控真空吸盘对复合材料零件进行定位夹紧,与相应五坐标钻铣床配套使用,对干线客机整流罩、平尾和垂尾的前缘、壁板、梁等复合材料零件进行铣切、切割、钻孔、镗窝等工作。

该系统的主要功能是提供必要的硬件和软件,以在空间精确地对系统真空吸盘和末端受动器进行定位,受动器是通用支撑夹具和工件的接触点。柔性装夹系统形成必要的配置,这样就可接受被加工蒙皮的外轮廓面。无论是单曲面还是复杂轮廓的蒙皮,该系统都能接受。

上述任务可用一个多轴控制系统来实现。柔性夹具实现模块化,包括数个在X轴向移动的排架,排架的具体数量要取决于每个项目的具体要求。每个排架包括数个在Y轴方向移动的支撑杆,支撑杆的数量也要根据每个项目的实际要求而确定。每个支撑杆又在Z轴方向垂直移动。真空吸盘位于每个支撑杆的顶端。

3.2 系统说明

该柔性装夹系统有如下特点:

- 两个相邻的X轴排架之间保持一定的最小距离;
- 两个相邻的Y轴鞍座之间保持一定的最小距离;
- 在柔性装夹系统中拥有近200个独立轴;
- 在柔性装夹系统中共拥有近100个支撑杆;
- 通用支撑夹具从针对一种形状工件的配置到另外一种形状工件的配置只需2min或更短时间。

X轴排架在2个独立的导轨上滚动。在每个Y轴鞍座上,都有Z轴的移动式升降装置。在每个Z轴移动式升降装置上都有真空支持系统,以固定工件。支撑系统有近200个轴,可在计算机指令下自我定位。X、Y轴的排架及鞍座可以分别在设备X、Y轴方向的整个工作区域移动,这些排架、鞍座可同时移动而不发生相互碰撞。

此外,该柔性装夹系统的排架还可在其上面装夹硬工装。某些特别的工件,如无法安装在真空吸盘上的“背

鳍”,可以装在专用的工装上,而此专用工装能装在柔性夹具的某些滑板上。

3.3 系统结构功能分析

3.3.1 真空支撑和吸盘

真空吸盘(见图1)的最小吸附面积是由100mm直径的配置所决定的,也可以提供60mm直径的真空吸盘。吸附单元最大倾斜角度是在任意方向45°。支撑杆上的可编程点与包含着真空吸盘的球体中心是一致的。这样,当装夹工件时,无论吸盘的方向和倾斜的角度如何变化,所编程的点,也就是真空吸盘和工件所接触的点保持不变。

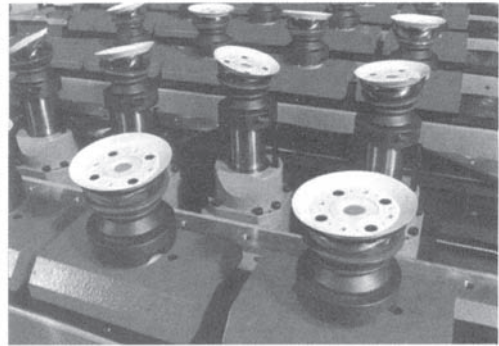


图1 真空吸盘

Fig.1 Vacuum cupula and clamping

那些不使用的真空支撑杆将完全退回其零点位置,并被切断真空。每个支撑杆都有真空传感器,这样在某个支撑杆因故障而没有与工件接触的话,可以通过特殊的显示来通知操作者。在卸下已经加工完的工件时,真空系统被切断,并转成压缩空气,通过相同的真空管产生气流,在工件和夹具之间产生气垫来帮助操作者卸下工件,这样使得工件的移动非常方便。在装夹工件时,采用同样的步骤,以便能尽可能地简化工件的装夹。

3.3.2 X轴、Y轴和Z轴的驱动、行程及定位精度

X轴导轨通过2套齿轮齿条机构加上硬化的经过研磨的导轨来驱动。齿轮齿条机构和导轨位于下沉式横梁上,齿轮齿条机构提供一套背隙调整系统来保证所需的精度。为了达到足够平衡的运动和定位精度,运动靠2台同步AC伺服电机驱动。

每个X轴排架上的Y轴鞍座都是由一个单精密循环滚珠丝杠驱动的,运动由AC同步电机来驱动,每个支撑杆上有一台电机,这样能使运动更平稳,定位精度更高;驱动系统配有背隙调整系统以达到规格书所规定的精度等级;每个支撑杆都带有4个精密滚柱轴承,在2

个硬化的经过研磨的导轨上运动。

Z轴滑板的升降运动是通过带有反背隙措施的精密循环滚珠丝杠执行的。运动是由AC同步伺服电机驱动的,这样能使运动更平稳,定位精度更高。

X轴和Y轴的行程是在考虑到整个工作范围和同一个轴上其它滑板所占用的距离这2个因素时,这2个轴所移动的最大距离。

该型柔性夹具可提供X、Y、Z这3个轴的行程分别为16 000mm、4 000mm、800mm。在通常情况下,系统应该满足相应的精度要求(见表1)。

表1 各轴定位精度

轴	双向定位误差/mm	单向定位误差/mm
X	0.4	0.2
Y	0.2	0.1
Z	0.2	0.1

3.3.3 参考点定位器

本系统包括2个参考点定位器(见图2),用来在柔性装夹系统中对工件定位。定位器装在一个面板上,而该面板装在柔性装夹装置的2个或3个支撑杆上。在面板的顶部,设定好定位器。定位器有2个轴向上的运动,C轴和A轴,在每个轴上都带有精确的量规,以便操作者把销子按照正确的角度插入准蒙皮的定位孔,此面板有一个校正孔,操作者可以用这个孔来测定实际的定位器的位置和编程的偏差。

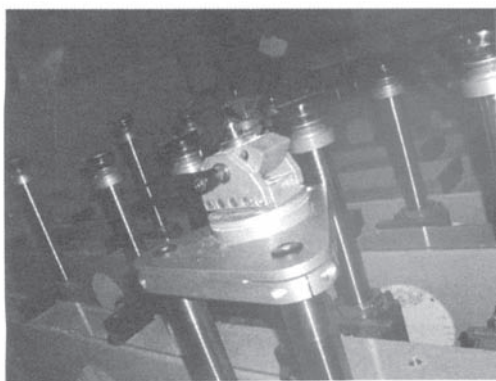


图2 参考点定位器

Fig.2 Reference point positioner

3.3.4 真空单元

固定蒙皮时使用的真空泵安装在主气动控制柜所在的平台上。本真空单元包括一个控制真空功率的真

空调节单元,可使真空能力从25%提高到95%。真空单元有2台泵同时给柔性装夹系统提供真空。在正常运行时,这2台泵同时工作。

3.3.5 电气/电子元器件

设备由3相380V±10%(50Hz±2%)的电源供电,零线和保护线接地。电气控制柜包括如下项目:

- ① 为控制及各轴的电机提供的必要变压器;
- ② 每个轴的电源电子设备(速度调节器);
- ③ 每个保护装置,例如熔断器和断路保护;
- ④ 主要的和辅助的接触器;
- ⑤ 电气控制柜中的灯。

3.3.6 测量设备、控制和通信规格

每个被控制的Y轴和Z轴的运动都使用增量旋转编码器作为测量系统,所有X轴使用绝对旋转编码器作为测量系统。

为了控制各轴的行程,每个柔性装夹的轴都有其各自的内置驱动器和通信装置。所有的电气控制都是通过网关以太网连接到一台控制柔性装夹系统的PC机上。工件的程序将从用户的主机或其它过渡主机下载到柔性装夹系统的PC机上。

该PC将通过以太网把每个根据工件程序需自我定位的,经过编程的位置传送到每个电气控制单元上,同时反馈每个轴的实际位置。网关和电机之间的通信是通过CAN-总线系统实施的。系统配有远程手动控制盒,每个操作者或维修人员都能在本地操作每个轴。在打开设备电源后,Y轴和Z轴有必要返回其参考点(即原点)。由于X轴配备的绝对编码器系统的特点,因此所有的X轴则没有必要执行“回原点”这个步骤。

由于柔性装夹系统的配置变化而需要改变轴的位置时,各轴将参考上个定位的位置来进行重新定位,而不需返回其参考点。当某个X轴或Y轴的定位滑板移动并在寻找其位置时,而另外的X轴或Y轴滑板无需进行重新定位时,一个类似接近开关的防撞系统将防止相邻的2个轴之间发生碰撞。

3.3.7 附加装置

- ① 针对特定工件装夹的特殊附件头。

虽然夹具有上下运动,吸盘能倾斜+/-45°角的特点,但是某些曲率大、半径小的工件在柔性装夹系统上却很难装夹,这时就需要在夹具上使用特别的转换头或加装附件头,用来装夹曲面特殊的工件,例如翼的前缘。

根据工件的不同,转换头应该按照吸盘安装在这些转换头上的方式,装在适合的夹具上。安装工作必须由

操作者手工来完成。特殊转换头将根据每个项目的特殊需要而设计。

② 产生 PC 工件程序的后置处理程序。

工件程序是在柔性装夹上运行的。后置处理程序将在 PC 平台上运行。

③ 地坑吹气系统。

该系统是防止碳纤维的粉末进入到地坑里对某些关键部件(如导轨等)的寿命产生影响的。它基本上包括空气吹气系统和一套装在地坑里的管路。管路沿着钻铣床和柔性装夹系统的底部横梁布置,并且上面有许多小孔,吹气系统通过这些小孔向外吹气。通过这种方式,地坑里面的压力一直大于外面的,以防止异物的进入。

3.4 特定工件的特别装夹系统应用

对于柔性装夹系统,一般的配置可以完全满足诸如方向舵上下蒙皮、各类整流罩的装夹。但对于背鳍类、翼尖类、前缘类零件,需要设计数个特殊夹持附件头(见图 3)。对于最极端的情况,完成装夹工作总计需要 12 种附件头,这些附件头基本上安装在一些支撑杆的顶端。末端受动器固定在支撑装置的顶部,它有一个气动驱动装夹装置,是完全相互独立驱动的。

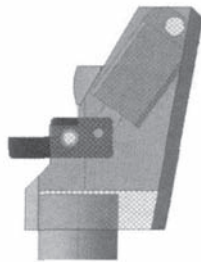


图 3 夹持附件头

Fig.3 Clamping transformation header

因为每一个夹紧装置都能独立地夹紧和松开(见图 4),因此当铣头到达夹紧工件的某个受动器位置时,该受动器靠气动方式松夹工件,从而不会中断切边工作进程。当切边刀具越过该位置时,受动器重新夹紧工件。这种方式实现了切边工作的连续性,而与工件夹紧受动器的数量无关。

除了必要的夹紧受动器之外,根据特定的工件还会需要某些工装框架,以在一端或两端支撑工件。通过快速安装、锁紧、装销、拆卸装置,这些框架将被安装在柔性夹具排架的现有任意支撑盘上,并被锁紧在柔性夹具排架工装支撑平面上。

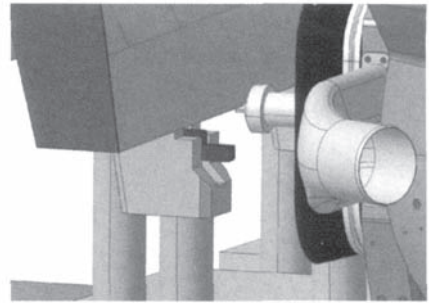


图 4 工件切割示意图

Fig.4 Cutting for workpiece

当进行切边和钻削时通过使用这些框架,工件的上部分(即那些因空间限制而使支撑杆不能达到的地方)能得到恰当和稳定地支撑。

3.4.1 工件装夹方案分析及解决

① 背鳍类。

背鳍类零件装夹包括 12 个装夹受动器和 1 个特别框架。在特别框架(见图 5)的另一端,设置了 1 个柔性夹具的标准参考点定位器。由于受到工件尺寸,特别是

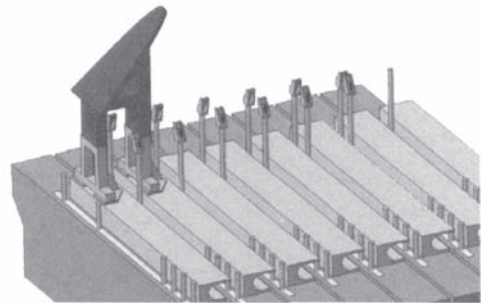


图 5 特别框架的设置

Fig.5 Setting for special frames

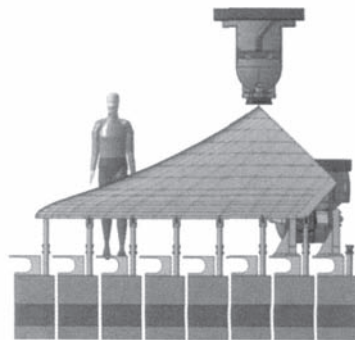


图 6 背鳍类零件装夹

Fig.6 Clamping of dorsal fin

高度的限制,与此特定工件相关的钻铣床的实际Z轴行程范围较大。

在这种情况下,由于工件一端角度的问题,框架将被设定在柔性夹具的两个相邻的排架上(见图6)。

② 翼尖类。

对于此工件,需要一套总计8个夹持器和2个框架,并且工件的每一端各需要一个框架(见图7)。

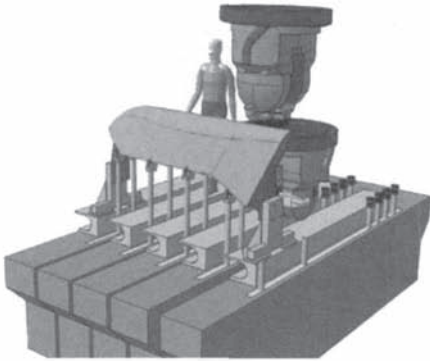


图7 翼尖类零件装夹

Fig.7 Clamping of wingtip parts

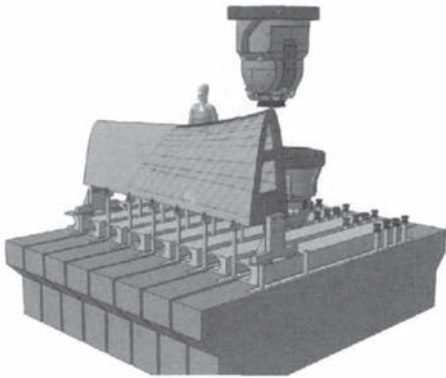


图8 前缘I类零件装夹

Fig.8 Clamping of wing leading edge I parts

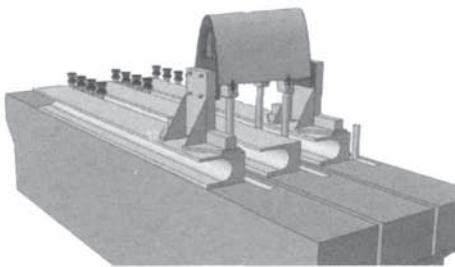


图9 前缘II类零件装夹

Fig.9 Clamping of wing leading edge II parts

③ 前缘I类。

该工件需要一套总计12个夹持器和2个框架,而且工件的每一端各需要1个框架(见图8)。

由于工件尺寸,特别是高度的限制,与该工件相关的钻铣床实际要求的Z轴行程范围较大。该工件很高,因此决定着钻铣床的Z轴最终行程范围很大。

④ 前缘II类。

该工件需要一套总计2个夹持器和2个框架,并且工件的每一端各有1个(见图9)。

4 结论

通过柔性夹具在波音翼身整流罩等复合材料零件上的应用,积累了一定的经验,同时大大减少了传统夹具的数量,降低了成本,提高了切钻的效率和质量,为数字化应用水平的提高起到了推动作用。

通过柔性夹具的应用研究获得如下主要结论:

① 对特定附件的设计和制造方法,避免了使用硬工装。

② 该系统是一个非常简单的、可以迅速安装和拆除的系统,柔性夹具单元生产所增加的重新配置时间很少,比要增加硬工装所需的时间要少。

③ 在钻铣床加工工件时,无需柔性夹具支撑杆进行重新定位和配置,就可以对所有工件需要加工的区域进行加工。只有在进行切边时,夹持末端受动器系统才需要松开工件,从而使钻铣床进行连续加工,并在铣头通过后又夹住工件。

④ 绝大部分情况下会在两排支撑杆上永久性地加上夹持末端受动器,所有同类型的工件总会在此区域装夹。通过这样的方式,其余的工件则可以装夹在每个排架的剩余支撑杆上,可以避免在相关的支撑杆上装卸夹持系统。

⑤ 钻铣床和柔性夹具的后置处理程序能够在这2套系统的控制器之间实现必要的通信,以保证当执行CNC程序时能传送适当的信号,以便在铣头在穿过某些区域时夹紧或松开工件。

参 考 文 献

- [1] 范玉青. 航空宇航制造工程飞行器制造技术. 重庆:重庆出版社,2000.
- [2] 陈昌伟. 飞机数字化柔性工装技术研究. 中国制造业信息化,2006,38(9):142.
- [3] 邹方. 飞机制造中数字化柔性装配技术的发展. 制造业自动化2005增刊,27(12):263.

(责编 阳光)