



Automated Fastening of Aircraft Cargo Door Structures With a Standard Articulating Robot System

上海合鉴商务咨询有限公司 邓 锋

通过采用宝捷公司的精度组合包在标准机器人运动平台上进行有效集成,验证了轻型自动化的优势。该项目是一个从基于手工的生产工艺转化为全自动轻型自动化解决方案的成功案例,解决了复杂产品可达性的挑战。

作为全球飞机客舱门和货舱门制造领域的领导者,欧直公司一直在寻找优化其生产过程的柔性解决方案。他们得到的建议是不仅要为新的飞机项目,而且还要为以前继承下来的项目找到新的具有成本效益的自动化解决方案。在保证经济性和高品质的指导方针下,德国宝捷(Broetje-Automation GmbH)推荐了一种最先进的钻铆设备集成方案。基于精益原则,宝捷公司研发了一种新型生产单元,它使用的关节臂机器人配有新型末端执行器,用于在单通道飞机货舱门内部结构中进行实心

铆钉的安装。

宝捷的工程师与客户一起组成的一个工作小组,就机器人单元的要求与设计布局共同进行了讨论,以求将新型的自动钻铆系统最优地集成到现有的货舱门生产线之中。该分析研究结果产生了这种配有多功能末端执行器且具有高定位精度的机器人,它可以用于制孔和安装实心铆钉,如图1所示。



图1 在生产中的RACe机器人单元系统

客户要求和目标

货舱门内部结构的装配原来都是采用手工工艺(如图2所示),用临时紧固件在蒙皮内部预定位之后,手工制做所有的孔,部分孔进行镗窝。孔位由在蒙皮内部预制的孔来确定,之后手工插入实心铆钉并压铆。



图2 铆钉的手工安装

欧直公司要求采用柔性的自动化解决方案,包括制孔和紧固能力,并可与产品运输装置结合起来。该解决方案应在货舱门内部结构上安装 1200 个实心铆钉。这个自动化解决方案的主要焦点集中在采用轻型自动化方式的方向上,以及用最小的占地面积将其集成到现有生产线之中。

项目要求如下:

(1)采用标准关节手臂机器人系统,三维定位精度 $\pm 0.3\text{mm}$;重复精度 $\pm 0.15\text{mm}$ 。

(2)多任务末端执行器采用自动制孔和铆接循环;涂密封胶;镗紧力最大为 3t。

(3)循环时间(定位、制孔、铆接)为 10.25s。

(4)产品定位能力可确保结构的边距得到保证。

(5)有紧固件自动输送系统。

(6)产品运输装置考虑到符合人体工学的装卸流程。

(7)所需最大占地面积: $5\text{m} \times 6\text{m}$ 。

轻型自动化概念

在上述要求下所得到的紧固系

统就是轻型自动化解决方案。宝捷自动化公司采取的途径是,将手工工艺的优点与那些在知名的重型紧固自动化系统中已实现了的典型优点相结合。手工操作的特点是高灵活性和低投入,但其表现和质量水平依赖于工人自身;重型紧固自动化系统则有高性能并能持续保持高品质,但同时它也要求有更高的投入而其柔性居中。

把关键的柔性性能与自动压铆工艺相结合的成果就是宝捷公司的 RACe 系统——即机器人装配单元(Robot Assembly Cell)。

宝捷在这里面临着一个重大的风险,即是否可以将标准的关节手臂机器人系统用于航空工业生产中制孔和紧固。标准机器人的绝对定位精度只有大约 $\pm 2.5\text{mm}$,但有着良好的重复定位精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

典型的航空工业生产的要求是绝对定位精度要达到 $\pm 0.3\text{mm}$,重复精度达到 $\pm 0.05\text{mm}$,并在直角坐标系中进行离线编程。

1 单元控制 CELL-CONTROL®

为了满足这些要求,宝捷自动化公司研发了一种包含校准和补偿方法的组合包,从而让一台标准机器人达到足够的精度。在生产中不使用任何其他外部测量仪器(比如激光跟踪仪)的前提下,这套组合包可确保绝对定位精度达到 $\pm 0.3\text{mm}$ 。该组合包的主要组成部分包括一套机器

人校准工艺和 3 种补偿方法,如图 3 所示。他们已经集成到由宝捷公司研发的 RACe 控制系统(即单元控制 Cell-Control®)里了。

在机器人单元进行调试时,精度组合包将一次性完成设置,这样生产就不会受到外部测量装置的干扰。

2 校准和补偿方法的说明

(1)校准:确认机器人的实际几何形状,增加基准精度。

(2)压力补偿:源于机器人液压-气动平衡系统的动态干扰补偿。

(3)网格补偿:补偿网格覆盖了已确定的机器人工作包线,以获得最大的定位精度。

(4)温度补偿:这个方法考虑了温度对长期稳定性的影响。

通过采用作为单元控制 Cell-Control®一部分的精度组合包,标准机器人就可以满足航空工业生产的要求了。因此,本机器人在轻型自动化解决方案中是一个具有成本效益的定位系统。

图 4 展示的是采用 KUKA KR360 机器人及其在激活和非激活校准和补偿方法后对定位精度的评估。激光跟踪仪的测量结果表明定位精度的误差在 $\pm 0.3\text{mm}$ 范围以内。

为欧洲直升机公司制定的自动化解决方案

该自动化解决方案如图 5 所示,主要部件是:



图3 机器人系统的精度组合包

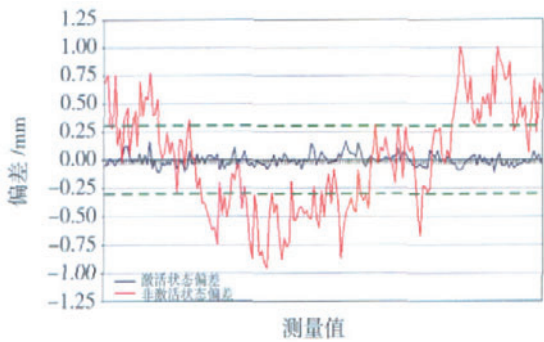


图4 精度组合包激活/非激活状态下的定位结果

- KUKA KR360 机器人系统;
- 精度组合包;
- 制孔和实心铆钉安装的多任务末端执行器;
 - 用于 2 个不同货舱门的产品运输车;
 - 紧固件自动输送系统;
 - 除屑除尘装置;
 - 安全设备;
 - 带有单元控制 Cell-Control[®] 软件的控制系統。

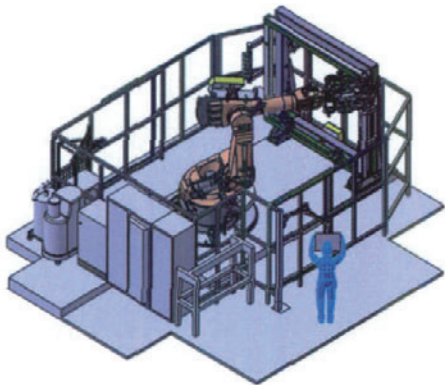


图5 机器人装配单元的布局

1 机器人

多任务末端执行器的可达性分析和重量估算要求为该应用项目选用 KUKA KR360-L240 型机器人。其他关键标准包括足够的有效载荷和机器人机体的刚度,以避免在定位精度方面的负面影响。

该机器人由 KRC2 控制系统控制,并包括一个 PROFIBUS 总线和以太网接口,用于与整个机器人单元的主控制系统进行通讯。

机器人单元的占地空间要求最

小化,这就必须采取附加措施来满足终端用户的安全规定和标准。因此这台机器人装备了 KUKA 的“安全机器人”选项。这项功能允许缩小安全区域。

2 末端执行器

末端执行器设计成通过安装平头和埋头受剪铆钉将内蒙皮与货舱门内部结构相连接。这种应用的主要挑战在于夹具和镦紧单元的设计要保证在内部结构的复杂干涉外形中实现可达性。末端执行器如图 6 所示。

此外,货舱门有一个封闭的由内蒙皮构成的区域,产品的这一部分按照“仅钻孔”模式(包括镦窝)加工。因此,压铆的整个夹紧和镦紧单元是可拆卸的。

多任务末端执行器有 4 个功能:

- 制孔;
- 涂密封胶;
- 实心铆接(插入和压铆);
- 测量(定位)。

实现上述前 3 个功能的装置安装在末端执行器基础框架上的一个直线横向滑板上。在钻孔和铆接循环期间,产品通过压力脚和夹紧/镦紧单元从两侧被夹持。

用来测量定位点的第 4 个装置是安装在压力脚旁边的

激光线传感器。它在控制系统中作为第 2 个工具中心点来处理。

末端执行器包含以下主要部件:

- 包括直线横向滑板的基础框架;
- 压力脚衬套夹紧力以 100~500N 的气动力驱动;
- 钻头主轴扭矩: 3Nm;
- 主轴速度: 250~10000r/min;
- 钻头夹具接口: HSK32E;
- 钻头进给单元;
- 进给速度 0~1500mm/min;
- 镦窝重复精度: $\pm 0.012\text{mm}$;
- 涂密封胶装置;
- 铆钉安装单元,镦紧力为 3t;
- 除屑和除尘。

末端执行器装备有最先进的各种电驱动或气动驱动的装置,没有使用或提出使用液压子系统。

3 产品的定位

货舱门内部结构的装配公差要求对内蒙皮的实际位置进行探测,以保持边距的指定公差,如图 7 所示。

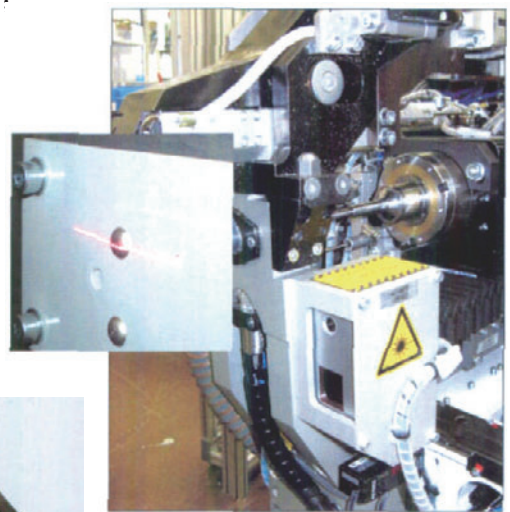


图7 产品的定位

因此,安装在末端执行器上的激光线传感器对定位细节或特点进行测量,如临时铆钉、孔和边缘。测量结果被用于坐标转换,以补偿实际产品的位置/方向。也可以在两种测量细节或特点之间插值以确保在一定的区域内有正确的边距。



图6 多任务末端执行器

4 铆钉选择系统

该机器人单元配备了针对8种不同铆钉的紧固件自动选择和输送系统,该系统按照零件数控程序将紧固件输送到末端执行器上。在夹持产品时,可以根据测量出的厚度决定所用紧固件的长度。

5 产品运载

该产品的运载装置能够装载两个不同的货舱门,设计焦点是产品定位的重复精度和一个符合人体工学的装卸过程。产品夹紧单元如图8所示。

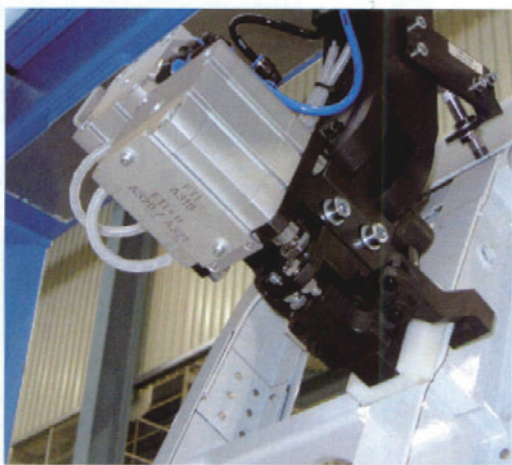


图8 产品夹紧单元

该产品装载过程包括两个主要步骤:

第1步:手工将产品定位在两个较低的支撑点上。

第2步:通过气动曲杆夹持产品。

6 控制系统

该机器人单元完全是数控控制的,所有的功能都可以在一个单独的控制面板上执行。

末端执行器和所有的外围设备,包括安全设备都是通过安装在一台工业计算机上的BECKHOFF Soft PLC来控制的,控制系统配有PROFIBUS总线和—个SERCOS接口,用于与数字

和模拟I/O装置以及与数控轴伺服驱动器的通讯。SERCOS总线的应用保证了系统内的高性能通讯。这使得无需硬停机就可以得到一些诸如控制镗窝精度的特性。

操作人员通过安装在工业计算机上的单元控制®软件(如图9所示)来操控机器人单元。除了显示器,单元控制®还包含数控控制系统和用于机器人定位的高精度组合包。

7 数控零件编程

该项目的另一个重要特点是对离线编程和数控零件编程系统的开发。

根据客户的要求,选用了—个基于DELMIA V5和FasTIP的解决方案。DELMIA有能力建立起完整的工作单元,定义机器人的任务和末端执行器,并进行仿真和碰撞分析。作为DELMIA在铆接解决方案方面的扩展,FasTIP为铆接和多层材料钻孔在规划、编程和验证新零件程序方面提供了加强的功能。PIK是为离线编程系统(OLP)定制的软件。

该项目范围包括了两个货舱门的PIK和数控零件编程的开发。

带有OLP系统(如图10所示)的数控零件编程要求从CAD模型中导入加工流程和几何数据。PIK提

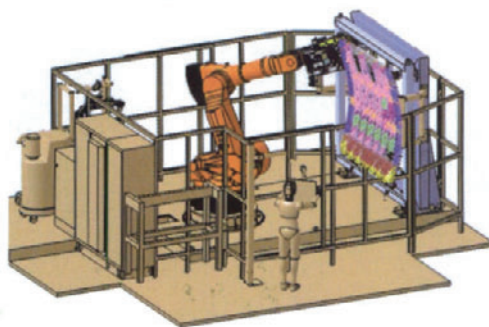


图10 离线编程系统(OLP)

供了两种不同的方法可以从CAD模型中导入诸如紧固件型号、材料厚度、材料夹层信息等必需的数据。使用包括所有必需数据的“用户已定义特征(UDF)”是第一个解决方案;另一个解决方案是从点位信息和附加色彩信息中导入数据的自动化过程。

内部结构复杂外形干涉的货舱门具有挑战性,需要—套完整的机器人和末端执行器的仿真。因此,包括碰撞分析的数控零件程序的离线仿真是作为系统的一部分而提供的。该软件使客户能够快速启动,创建无碰撞的数控零件程序。

结束语

这台新型机器人装配单元通过采用宝捷公司的精度组合包在标准机器人运动平台上进行有效集成,验证了轻型自动化的优势。该项目是一个从基于手工的生产工艺转化为全自动轻型自动化解决方案的成功案例,解决了复杂产品可达性的挑战。

轻型自动化解决方案的优势是:

- 低投入;
- 对地基的要求最少;
- 所需占地空间减少了;
- 投资偿还期缩短;
- 在离线编程系统OLP下实现无碰撞生产。

从2009年4月以来,这台机器人单元已成功应用到实行三班倒的生产安排之中。(责编 侧卫)

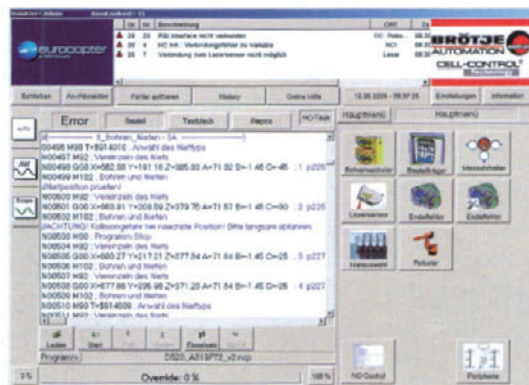


图9 单元控制Cell-Control®软件界面