

柔性导轨自动制孔设备制孔试验研究

Research on Drilling Experiment of Flexible Track Automatic Drilling Equipment

中航工业北京航空制造工程研究所 陈彪 刘华东 卜泳 薛贵军 刘建东

[摘要] 柔性导轨自动制孔设备因其低成本、柔性、占用空间小的优点,在飞机装配中逐渐被大量应用。本文从国外应用情况开始,分析了现阶段国内的需求,介绍了BAA300柔性导轨自动制孔设备,并开展了制孔工艺试验,获得了制孔的位置偏差和孔质量情况,最终得出了经过设备改进即可应用于ARJ21和C919机身段对接区的自动制孔的结论。

关键词: 柔性导轨 自动制孔 制孔试验

[ABSTRACT] The flexible track automatic drilling equipment is widely used in aircraft assembly because of the low cost, flexibility and little space occupation. Beginning with the foreign application status, the current domestic demand is analyzed, and BAA300 flexible track automatic drilling equipment is introduced. The drilling experiment is carried out to obtain the position deviation of drilling, and finally the conclusion is obtained that the equipment can be applied on ARJ21 and C919 after improvement.

Keywords: Flexible track Automatic drilling Drilling experiment

随着飞机质量的不断提升,人工制孔的质量已经不能满足飞机装配要求,而为了解决这一问题,于是出现了自动化制孔设备或系统,但此类设备体积庞大、价格昂贵,占用了大量厂房面积^[1]。因此,低成本、柔性、占用空间小且满足高质量制孔要求的便携式自动化制孔设备就应时而生,极具竞争优势。柔性导轨自动制孔设备通过吸盘吸附在工件表面,无需占用厂房面积,柔性导轨的大范围可适应性及设备较低的价格,大大提升了自身的应用空间。

1 柔性导轨自动制孔设备的特点

柔性导轨自动制孔是一种重量轻、便携移动式的数控四轴制孔设备,可一次性完成钻孔和铤窝。设备的柔性轨道经由真空吸盘吸附在工件上,导轨可拼接延长。柔性导轨的操作简单,导入工件的刀位文件,系统自动执行钻孔。所有系统功能都集成在嵌入分布式伺服控制系统中:一次性钻孔、铤窝、法向检测、照相定位、刀具检测、压脚压紧及真空吸屑等。

78 航空制造技术·2011年第22期

2 国外应用情况

波音公司首先开发了柔性导轨自动制孔设备的原型机,后授权 Electroimpact 公司进行工程机的制造,此设备主要用于机身段对接区的制孔和主翼盒的制孔。Boeing 787 机身段对接区的自动制孔见图 1^[2],777 机身段对接区的自动制孔见图 2^[3],A380 主翼盒的自动制孔见图 3。



图1 应用于787机身段对接区的柔性导轨自动制孔设备
Fig.1 Flexible track automatic drilling equipment for docking area of Boeing 787 fuselage

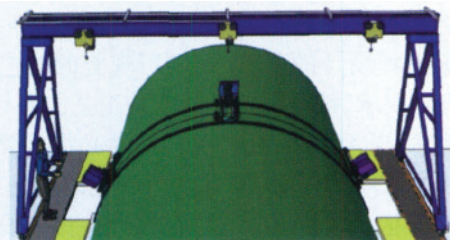


图2 应用于777机身段对接区的柔性导轨自动制孔设备
Fig.2 Flexible track automatic drilling equipment for docking area of Boeing 777 fuselage



图3 应用于A380主翼盒的柔性导轨自动制孔设备
Fig.3 Flexible track automatic drilling equipment for A380 main wing box

3 国内需求分析

国内大飞机项目的启动,对飞机疲劳寿命和产能提出了更高的要求。而影响飞机疲劳寿命的关键因素之一就是紧固孔质量。传统的手工制孔已经无法满足高质量紧固孔及高装配效率的要求,必须应用自动化设备解决。对于飞机机身段对接区(单曲度)及主翼盒(曲率变化小)的制孔,由于固定式伺服控制自动制孔设备价格昂贵、占地面积大,应用受到了极大限制。柔性导轨自动制孔设备因其自身的优势,需求大大提高。

目前柔性导轨自动制孔设备可用于 ARJ21 机头与前机身及中机身与后机身对接区、C919 机身对接区及主翼盒的自动制孔,同时也可应用于部分军机的自动制孔。

4 BAA300 柔性导轨自动制孔设备

中航工业北京航空制造工程研究所于 2009 年研发出 BAA300 柔性导轨自动制孔设备,设备的实物见图 4。

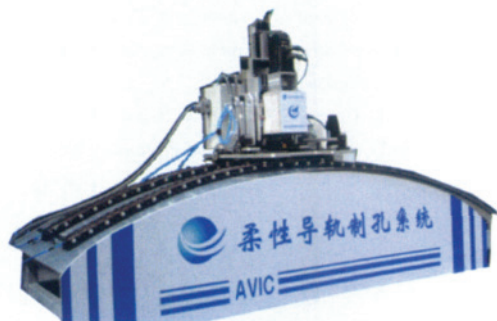


图4 BAA300柔性导轨自动制孔设备
Fig.4 BAA300 flexible track automatic drilling equipment

4.1 设备特点

- (1) 数控四轴制孔设备重量轻,便于携带;
- (2) 柔性轨道由真空吸盘吸附在工件上,设备可完成任意角度的稳定吸附;
- (3) 制孔单元、测量单元可以在柔性的轨道上运动,加工范围大;
- (4) 高质量制孔;
- (5) 比大型专用制孔机成本低;
- (6) 设备的离线编程系统可直接通过读取三维数模,进行数控编程即可完成刀位文件;
- (7) 配有手持控制单元,可以移动使用,操作简单方便。

4.2 设备的技术规格

- (1) x : 无限制; y : 50~200 mm; z : 50 mm; A : $\pm 5^\circ$;
- (2) 制孔速度: 6 个/min;
- (3) 制孔主轴: 300~10000r/min, 1.5kW;

- (4) 制孔材料: 复合材料、钛合金及铝合金;
- (5) 导轨长度: 1400mm;
- (6) 导轨宽度: 100mm;
- (7) 导轨最小弯曲半径: 1800mm;
- (8) 设备重量: 小于 50kg;
- (9) 压紧力: 0~200kg;
- (10) 气源: 0.7~0.8MPa;
- (11) 电网: 三相 380V/8kW/50Hz。

5 制孔试验

制孔试验在机翼盒段模拟件上进行,叠层材料包括: 复合材料+复合材料、复合材料+钛合金、复合材料+铝合金,制孔由复合材料一侧开始,通过伺服精确控制制孔参数,具体参数见表 1。制孔过程中将 API T3 激光跟踪仪的靶镜固定在制孔主轴箱上,通过激光跟踪仪测量制孔的位置,试验的孔位分布见图 5。制孔刀具选用 $\phi 6$ 高精度整体硬质合金金刚石涂层钻头。图 6 为制孔时的现场图片。

表1 不同材料的制孔参数

材料	进给方式	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给量 / ($\text{mm} \cdot r^{-1}$)
铝合金	连续	4000	0.2
钛合金	啄式	800	0.1
复合材料	连续	8000	0.05

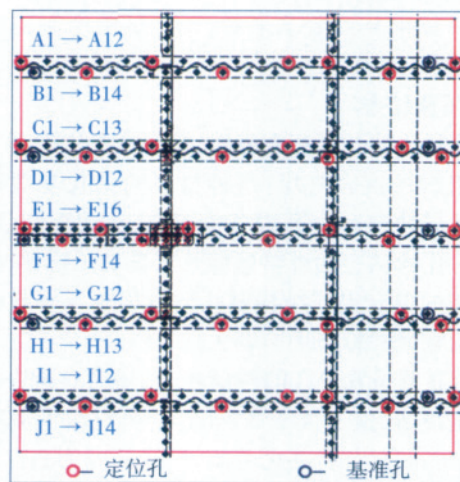


图5 制孔工艺试验孔位分布
Fig.5 Hole distribution of drilling experiment

6 试验结果

6.1 孔位精度结果

试验完成的 132 个紧固孔位置 x 向偏差 Δx 和 y 向偏差 Δy 数据见图 7,图中带有圈的孔 x 向偏差超出 0.5mm。



图6 制孔现场
Fig.6 Drilling spot

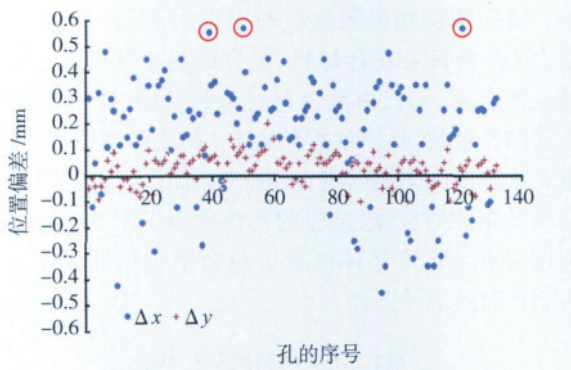


图7 自动制孔后孔的位置偏差
Fig.7 Position deviation of hole after automatic drilling

从图7的试验数据可以看出只有3个孔x向偏差超出0.5mm。

目前高性能飞机对紧固件的位置公差普遍要求为±0.5mm,如果从此要求来看,工艺试验所制出的紧固孔合格率为97.7%。

6.2 孔质量结果

试验制孔涉及到复合材料、钛合金和铝合金3种材料不同组合的混合夹层,每种材料的钻孔参数均不相同。柔性导轨自动制孔设备为CNC自动控制,可以精确控制钻孔的钻速和进给速度及刀具加工位置,这样可以把复杂的混合夹层结构制孔分解为单一材料的分别制孔。孔质量试验结果见表2。

目前高质量紧固孔的质量要求一般为:铆钉孔的孔表面粗糙度 R_a 值不大于 $3.2\mu m$,金属材料毛刺高度不大于0.13mm,复合材料无毛刺,孔径精度为H11;螺栓孔的孔表面粗糙度 R_a 值不大于 $3.2\mu m$,金属材料毛刺高度不大于0.13mm,复合材料无毛刺,孔径精度为H9。从试验结果可以看出,柔性导轨自动制孔设备完成的孔质量满足要求。

7 结束语

随着我国飞机制造业的发展,对柔性导轨自动制孔设备的需求越来越紧迫。中航工业北京航空制造工程

表2 孔质量指标和试验结果

项目	孔表面粗糙度 $R_a/\mu m$	毛刺高度/ mm	孔径
试验结果	≤ 3.2	≤ 0.13 (金属)/无毛刺(复合材料)	H9 通止规检测合格
达到的等级	$3.2/\nabla$	-	H9

研究所研制的BAA300柔性导轨自动制孔设备共完成132个孔的加工,加工材料包括复合材料+复合材料、复合材料+钛合金、复合材料+铝合金,孔位置精度和孔质量都达到了较高的指标,经过后期的设备改进可以满足新型飞机装配的需要。如果将设备导轨的最小弯曲半径提高到1600mm,此类设备即可应用于ARJ21和C919机身段对接区的自动制孔。

参考文献

[1] Boeing Commercial公司. 柔性导轨式钻孔机. 中航工业北京航空制造工程研究所,译. 北京:中航工业北京航空制造工程研究所,2005.
[2] Reid E. Development of portable and flexible track positioning system for aircraft manufacturing processes. 2007 SAE Aerospace Automated Fastening Conference. 2007.
[3] Thompson P, Oberoi H, Draper A. Robotic drilling system for 737 Aileron. 2003 SAE Aerospace Automated Fastening Conference. 2003.
(责编 夏宛)

(上接第56页)

与装配,通过对零件和各阶段装配过程中的关键特性的检测和监控,不断减少关键特性的波动范围,从而实现质量特性的精确控制,达到提高产品装配质量和效率的目的。

参考文献

[1] 贾玉红,何景武. 现代飞行器制造工艺学. 北京:北京航空航天大学出版社,2010:208-209.
[2] 王巍. AQS在波音飞机舱门上的应用. 航空制造技术,2003(7):62-67.
[3] Lee J D, Thornton C A. The identification and use of key characteristics in the product development process. Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference. New York, USA: ASME, 1996: 12-14.
[4] 刘志存,邹冀华,范玉青. 飞机制造中关键特性的定义与管理. 计算机集成制造系统,2007,13(10):2013-2018.
[5] Boeing Commercial Airplane Group. Advanced quality system tools. [2010-01-02]. http://www.boeing.com/supplier/index.html.
[6] 刘志存,范玉青. 飞机制造中新型质量控制模式——关键特性统计过程控制. 航空制造技术,2007(11):90-92.
[7] 刘平. 数字化预装配系统公差技术的研究[D]. 南京:南京理工大学,2006.
(责编 良辰)