

基于接触式传感器的制孔质量自动检测装置及研究*

曾超^{1,2}, 孟华林^{1,2}, 王强^{1,2}, 孙海龙^{1,2}

(1. 航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092;

2. 四川省航空智能制造装备工程技术研究中心, 成都 610092)

[摘要] 飞机铆钉孔的质量对飞机可靠性和安全性至关重要,但铆钉孔的精度仍采用传统的手工方式进行检测,无法满足现代飞机对铆钉孔高精度的要求。通过研究基于接触式传感器的制孔质量自动检测装置,将接触式测头、位移传感器等机械式测量工具和控制与数据采集系统、数据处理软件等自动化软件结合到一起,实现了铆钉孔孔径、孔深、总窝深度和总窝直径的一体化检测功能,提高了铆钉孔质量检测效率、精度和稳定性,对铆钉孔的接触式一体化检测起到了很好的推动作用,具有良好的工程应用价值。

关键词: 接触式测头; 位移传感器; 自动检测; 孔径; 孔深; 总窝深度; 总窝直径

Research on Automatic Detection Device for Hole Quality Based on Contact Sensor

ZENG Chao^{1,2}, MENG Hualin^{1,2}, WANG Qiang^{1,2}, SUN Hailong^{1,2}

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

2. Sichuan Aeronautical Intelligent Manufacturing Equipment Engineering Technology Research Center, Chengdu 610092, China)

[ABSTRACT] The quality of the rivet holes of the aircraft is critical to the reliability and safety of the aircraft, but the accuracy of the rivet holes is still detected by conventional manual methods, which cannot meet the high precision requirements of modern aircraft for rivet holes. In this paper, through the research of the automatic detection device for the hole quality based on the contact sensor, the mechanical measurement tools such as contact probe and displacement sensor and the automation software such as control and data acquisition system and data processing software are skillfully combined to realize the rivet. The integrated detection function of hole diameter, hole depth, axillary depth and axillary diameter improves the efficiency, accuracy and stability of rivet hole quality detection, and plays a very good role in promoting the contact-type integrated detection of rivet holes.

Keywords: Contact probe; Motion detector; Automatic detection; Aperture; Hole depth; Axillary depth; Axillary diameter

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.19.099

飞机机体构造复杂,零件和连接件的数量多,一架大型飞机就有近 10 万个零件,100 多万个铆钉。机身大部件要求长寿命、高强度、密封、抗疲劳,对连接孔的制备精度有非常高的要求。随着型号研发进展,工厂正在逐步改变手工制孔现状,实现高精度自动制孔和精密柔性定位装配工艺,孔径精度达到 H9 以上,总窝深度精度达到 0.05mm,加工效率达到 4 个/min。但铆钉孔的精度检测目前仍是通过人工进行操作,需要更换不同的检测工具,工人工作强度大,效率低下,且无法得出具

体检测值,严重制约了飞机自动化装配的步伐^[1-2]。本文主要研究了一种基于接触式传感器的铆钉孔质量自动检测系统,可以一次性完成孔深、孔径、总窝深度、总窝直径的自动检测,提高铆钉孔质量检测效率、精度和稳定性^[3-5],将本系统与自动制孔系统集成,可实现制孔质量在线检测。

1 制孔质量自动检测系统设计

基于接触式传感器的铆钉孔质量自动检测系统由检测装置、进给装置、控制与数据采集系统、数据分析软件等部分组成^[6],系统的架构如图 1 所示。

* 基金项目: 中国制造 2025 四川行动资金项目(高端装备方向)(2018ZB012)。

1.1 检测装置

检测装置是直接对待测铆钉孔接触的结构,通过各级零件间的位移传递关系,将位移传感器的变形量转换为待测孔的数据。装置包含连接器、传导器、接触式测头、位移传感器、安装座等零件,具体装置结构图如图2所示。

检测装置的设计方案如下:(1)接触式测头必须具备可变形能力,并能将受到的径向变形量转变为轴向位移量并最终传递到位移传感器。(2)衬套的压缩量应能通过中间机构传递到位移传感器。(3)检测装置应能保证接触式测头的变形量传递与衬套压缩量传递不产生干扰,否则会影响测量结果。(4)位移传感器应能实时记录变形量并传递到控制与数据采集系统。(5)装置设置多级缓冲结构,避免撞伤待测零件表面或损坏检测装置,并能使所有产生位移的零件恢复初始状态。

1.2 进给装置

检测装置是整个系统的核心,但其不能自主运动,因此需要设计一套进给装置带动检测装置实现检测过程。进给装置技术要求如下:(1)应包含安装平台并预留安装位置,实现检测装置的精确安装;(2)可实现精确运动;(3)可实时监测检测装置的进给量;(4)具备

两个自由度的转动,用于调整检测装置轴线与待测孔轴线重合。

1.3 控制与数据采集系统

控制与数据采集系统主要完成控制检测装置的运动以及检测过程中的数据采集,其技术要求如下:(1)应能根据给定的速度和位置发送指令控制进给装置精确前进、停止、后退;(2)应能实时记录并存储进给装置上光栅尺的数值,确定检测装置的进给量;(3)应能实时记录并存储检测装置上位传感器的位移量。

1.4 数据处理软件

数据处理软件主要完成待测孔检测值的计算,并绘制二维图形显示测量过程的各个阶段,便于分析各阶段的特征,其技术要求为:(1)应能根据控制与数据采集系统记录的检测装置进给量和位移传感器位移量绘制测量图形;(2)应能根据控制与数据采集系统记录数据分析得出测量过程各阶段及分界点;(3)应能根据测量各阶段分界点数据及标定好的数据及公式计算得出孔径、孔深、镗窝深度、镗窝直径等精度数据作为测量值并判断待测孔各项精度指标是否合格。

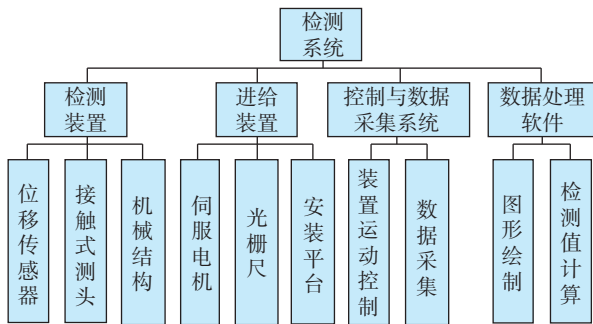


图1 制孔质量自动检测系统构架
Fig.1 Architecture of automatic detection system for hole quality

2 检测原理

系统通过实时采集接触式测头穿过待测孔内表面和零件表面衬压缩套时产生的位移传感器的变形量,分析出测量过程所处的阶段及临界点,并结合检测装置的进给量可计算得出待测孔的孔深及铆钉孔的镗窝深度,再根据铆钉孔的镗窝角度可计算得出镗窝直径等信息,从而判断待测孔的精度是否满足指标要求,其检测原理如图3所示,数据分析原理如图4所示。

3 检测流程

3.1 检测准备

检测准备是指在真正实施检测前的准备工作,主要

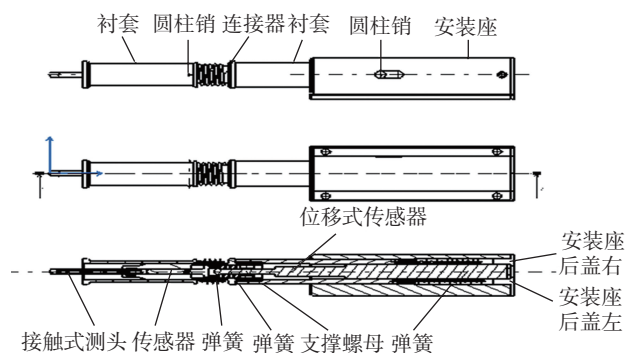


图2 检测装置结构示意图
Fig.2 Schematic structure of the detection device

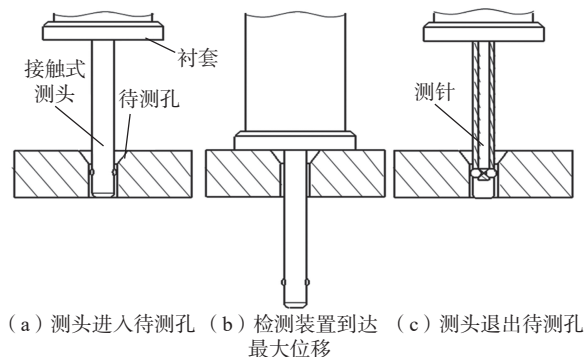


图3 检测原理图
Fig.3 Detection schematic diagram

包括以下内容:(1)将待测零件安装到指定位置;(2)更换接触式测头,使其检测范围与所测铆钉孔孔径相匹配;(3)利用标准孔进行系统自校准,确保测量值与标准值之差满足系统精度要求后才能进行检测操作;(4)在控制与数据采集系统中设置检测代码,包括进给速度、位置等信息;(5)将检测装置运动到指定位置,并调整位姿使检测装置轴线与待测孔轴线在指定偏差范围内(图5)。

3.2 检测过程

在进行孔测量时,控制与数据采集系统发出指令控制进给装置上的伺服电机启动,带动检测装置沿待测孔轴线前进,当装置的接触式测头进入孔后,孔壁压缩测头上的可变形部位(大于孔直径)使之沿孔径向压缩,压缩力使测头内部的测针产生沿孔轴向的位移量,并经传导器最终传递到位移传感器;当测头上的可变形部位通过孔后,受压状态解除,装置中的各级弹簧使传导器、位移传感器及测头恢复初始状态,装置继续前进直到衬套压到待测孔外表面,衬套受压带动传导器产生沿孔轴向的位移,并传递给位移传感器,当压缩量达到指定值时,装置停止运动并退回,退回过程与前进过程原理相同(图5)。当装置退出到测量前位置时,装置停止运动。在整个测量过程中,实时记录检测装置的进给量及位移传感器的变形量,并通过采集的变形量及进给量数据可分析计算出待测孔的孔深、孔径、铤窝深度、铤窝半径等值。

3.3 数据处理

(1)绘制检测过程数据图。

根据控制与数据采集系统采集到的位移传感器变形量及检测装置进给量绘制出检测过程的二维坐标图,分析出各检测阶段的临界点,便于直观地观察各阶段的情况及待测值的计算。

(2)孔径计算。

铆钉孔挤压接触式测头上可变形部位,测头可变形部位受到的压缩量经一次线性关系传递到测针,最终传

递为位移传感器的位移量。因此,待测孔径与位移传感器的位移量呈一次线性关系:

$$D=k \times (\Delta s_1+\Delta s_2) / 2+b \quad (1)$$

式中, D 为待测铆钉孔的直径, mm; k 为一次线性关系的斜率; b 为一次线性关系的常数。 Δs_1 为图4中位移传感器读取的位移量, mm; Δs_2 为图4中位移传感器读取的位移量, mm。 k 、 b 的数值需要使用检测装置对两个已知孔径的标准孔进行测量^[7-8], 读取位移传感器的位移量, 利用两个孔的孔径 (D_1 和 D_2) 和位移传感器的位移量 (Δs_{11} 、 Δs_{21} 、 Δs_{12} 、 Δs_{22}), 组成方程组解出 k 和 b 的值, 从而得到孔径值 D 。

(3)孔深计算。

在检测时,从测头可变形部位进入铆钉孔孔壁的瞬间到测头可变形部位穿出铆钉孔孔壁的瞬间,装置进给量正好为铆钉孔的孔深。因此得孔深为:

$$L=(L_1+L_2) / 2 \quad (2)$$

式中, L 为待测孔深, mm; L_1 为检测装置进给量, mm; L_2 为检测装置进给量, mm。

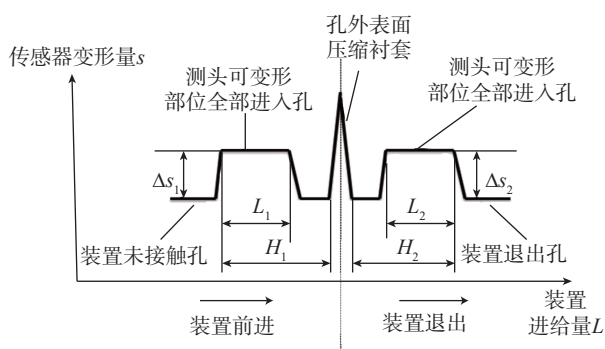


图4 数据分析原理图
Fig.4 Data analysis schematic diagram

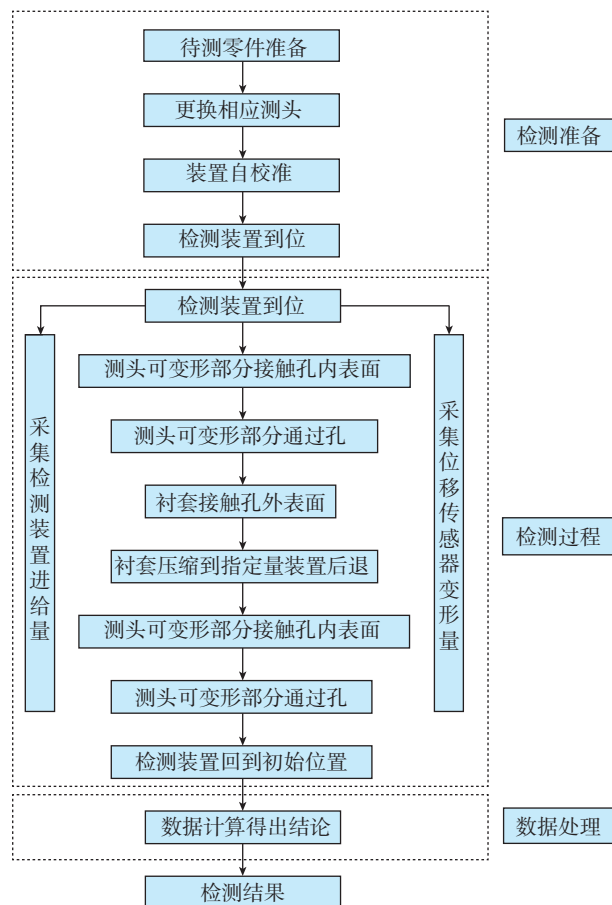


图5 检测流程图
Fig.5 Detection flow chart

(4) 铤窝深度计算。

在检测时,从测头可变形部位进入铆钉孔孔壁的瞬间到衬套压缩待测零件表面的瞬间,检测装置的进给量加上待测孔的铤窝深度刚好等于测头可变形部位到衬套表面的距离,因此可得铤窝深度:

$$h=H_0-(H_1+H_2)/2 \quad (3)$$

式中, h 为待测铆钉孔铤窝深度, mm; H_0 为测头可变形部位到衬套表面的距离, mm; H_1 为检测装置进给量, mm。 H_2 为图 4 在检测装置进给量, mm。 H_0 的值为测头可变形部位到衬套表面的距离, 为固定值, 可使用检测系统对不带铤窝的直孔进行检测得出。

(5) 铤窝直径计算。

由于待测孔的铤窝角度是已知的, 由计算得出的孔径及铤窝深度可直接计算出铤窝直径:

$$d=D+2 \times \tan (\alpha / 2) \times h \quad (4)$$

式中, d 为待测铆钉孔铤窝直径, mm; D 为待测铆钉孔的直径, mm; α 为待测铆钉孔的铤窝角度; h 为待测铆钉孔铤窝深度, mm。

4 应用示例

根据基于接触式传感器的制孔质量自动检测技术研制了一套检测装置, 并利用试板进行了检测, 得到了测量数据, 绘制了检测数据坐标如图 6 所示。

比较分析图 6 检测数据坐标图和图 4 数据分析原理图发现, 真实测试数据和理论数据基本一致, 仅在接触式测头可变形部位通过待测孔内表面但衬套未接触待测孔外表面时数据存在一定差异, 但由图 4 及计算公式(1)~(4)可知, 存在差异的数据并非需要计算的数据, 因此不影响待测孔值的计算。通过本应用案例的测试, 基于接触式传感器的制孔质量自动检测系统实现了铆钉孔孔径、孔深、铤窝深度和铤窝直径的一体化检测功能。

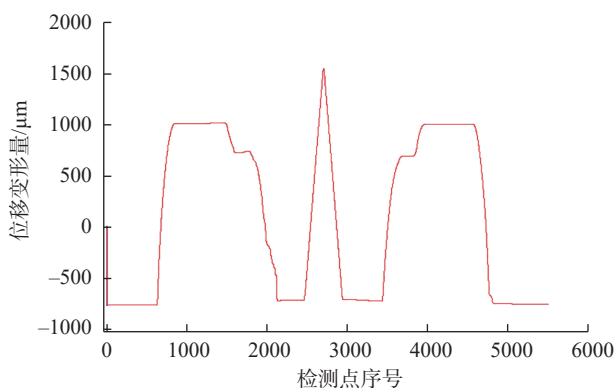


图6 环境检测数据坐标图

Fig.6 Environmental detection data coordinate diagram

5 结论

本文通过研究基于接触式传感器的制孔质量自动检测技术及装置, 将接触式测头、位移传感器等机械式测量工具和控制与数据采集系统、数据处理软件等自动化软件结合到一起, 实现了铆钉孔孔径、孔深、铤窝深度和铤窝直径的一体化检测功能, 对铆钉孔的接触式一体化检测起到了很好的推动作用, 具有良好的工程应用价值。

参考文献

- [1] 李云龙, 沈张煜, 史衍, 等. 可调带表式点接触浅孔测量卡规[J]. 精密制造与自动化, 2014(1): 56-60.
LI Yunlong, SHEN Zhangyu, SHI Yan, et al. Adjustable table point contact shallow hole measurement caliper[J]. Precision Manufacturing and Automation, 2014(1): 56-60.
- [2] 黄惠, 马信国, 吴丹. 一种铤窝深度测量工具的设计[J]. 制造技术与机床, 2014(11): 88-92.
HUANG Hui, MA Xinguo, WU Dan. Design of an axillary depth measuring tool[J]. Manufacturing Technology and Machine Tools, 2014(11): 88-92.
- [3] 翟培明. 数控加工程序中三维触发式测头的实践研究[J]. 数字技术与应用, 2016(12): 15.
ZHAI Peiming. Practical research on 3D trigger probe in NC machining program[J]. Digital Technology and Applications, 2016(12): 15.
- [4] 桑宏强, 刘丽冰, 刘芬, 等. 触发式测头在确定工件坐标系中的应用[J]. 机床与液压, 2009, 37(8): 169-170.
SANG Hongqiang, LIU Libing, LIU Fen, et al. Application of trigger probe in determining workpiece coordinate system[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2009, 37(8): 169-170.
- [5] 鲍中美. 触发式测头自动检测系统在数控机床上的应用[J]. 计量与测试技术, 2006, 33(2): 13-14.
BAO Zhongmei. Application of trigger probe automatic detection system on CNC machine tools[J]. Metrology and Testing Technology, 2006, 33(2): 13-14.
- [6] RENE MAYER J R, GHAZZA R A, ROSSY O. 3D characterisation, modelling and compensation of the pretravel of a kinematic touch triggerprobe[J]. Measurement, 1996, 19(2): 83-94.
- [7] 张新义, 孙立宁, 蔡鹤皋. 用于精密孔径测量的数字塞规[J]. 工具技术, 2002, 36(3): 40-41.
ZHANG Xinyi, SUN Lining, CAI Hegao. Digital plug gauge for precision aperture measurement[J]. Tool Technology, 2002, 36(3): 40-41.
- [8] 高峰, 赵柏涵, 李艳, 等. 基于误差隔离的触发式测头行程标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34 (7): 1581-1587.
GAO Feng, ZHAO Baihan, LI Yan, et al. Pre-stroke calibration method for triggering probe based on error isolation[J]. Journal of Instrument and Instrument, 2013, 34 (7): 1581-1587.

通讯作者: 曾超, 工程师, 主要研究方向为智能制造技术, E-mail: 447427446@qq.com。

(责编 大漠)