

机器人自动钻铆系统精密检测技术

Precise Testing Technology for Robot Automatic Riveting System

南京航空航天大学机电学院 贺美华 廖文和 田威
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 万世明



贺美华

工学硕士,毕业于南京航空航天大学机电学院航空宇航制造工程专业,主要从事机器人自动钻铆技术、数字化测量与检测技术方面的研究。

飞机部件的装配连接是飞机装配的重要环节。近年来,机器人自动钻铆技术依托机器人的高度柔性,成为飞机大部件自动钻铆技术的研究热点^[1]。在机器人自动钻铆系统中,传统的测量技术已难以满足系统的

本文分析了机器人自动钻铆系统对于精密检测设备的需求和要求,对关键的检测项目提出了可行的检测方法。突破这些关键技术,能够有效地提高系统的加工精度和效率。完善检测系统有助于优化系统加工任务,简化系统操作规程,使机器人自动钻铆系统更加自动化、智能化、人性化。

快速、高效、高精度检测要求,而与机器人自动钻铆系统高度集成的先进检测和测量设备,能够对钻铆过程进行全生命周期的监测和实时的测量反馈,以提高自动钻铆系统的自动化、智能化和安全水平,满足飞机零部件钻铆的高精度要求,提高钻铆效率^[2-3]。

对于基于机器人的数字化柔性装配系统,整个工作过程的加工和测量是开环的,自动化检测系统必不可少。空客 A320、A330 / 340 和 A340-500 / 600 型系列飞机复合材料飞机水平安定面升降舵后缘的柔性铆接装配系统,可自动完成后缘的测量和校准、上下壁板钻孔和铆窝、

壁板表面波纹度测量等检测过程^[4]。Electroimpact 与空客英国公司联合开发了一种机器人柔性装配系统,用于机翼壁板与骨架的装配,该系统具备探测壁板(厚度)、孔检测等检测功能^[5]。德国宝捷研制的用于飞机货舱门结构的自动钻铆系统,能够实现临时铆钉、孔和边缘、蒙皮定位、铆窝深度和孔厚度的检测等^[6]。北京航空航天大学 and 沈阳飞机工业(集团)有限公司联合研制的机器人自动钻孔系统具备视觉检测系统,可对制孔过程进行监测^[7]。浙江大学研制了一套双机器人协同自动钻铆系统^[8]。双机器人协同自动钻铆系统的装配对象为大型飞机机身壁板的

蒙皮、长桁、钣金框以及用来连接钣金框与蒙皮的补偿角片。

国外系统集成及设备供应商已经解决了机器人自动钻铆系统中检测方面的关键技术,国内有关主机厂和研究所也在这方面进行了初步研究,但是自动化钻铆设备和检测系统等还处于分别应用状态,没有集成为一体。在单项检测的研究中已取得了一些成果,但是针对整个系统的完整的、全面的检测技术的研究还有待深入。因此,突破机器人自动钻铆系统的关键检测技术,对促进国内机器人自动钻铆技术在飞机装配中的深入应用具有重要的指导意义。

机器人自动钻铆检测系统组成

机器人自动钻铆系统主要由机器人、多功能末端执行器、地轨、柔性工装等组成。其中,机器人可在地轨上移动实现多站点工作,扩大工作范围;多功能末端执行器安装在机器人法兰盘上,具有制孔、涂胶、铆接等功能单元,各项自动检测单元也集成于末端执行器上,分布在必要的位置;柔性工装能满足多种飞机大型零部件的装夹、定位和快速更换。

机器人单元、末端执行器单元和柔性工装单元作为3个主要独立单元部件,必须实现相互之间的数据关联和融合;待加工产品的理论数模与实际数模的不匹配,必然会影响自动钻铆的精度;对于规划好的产品加工孔位信息,加工过程必须是连续、不间断的,不能依靠原始的机械检测方法检查钻铆质量;为保证系统的加工效率和安全性,必须对加工过程进行实时监控,以防止发生突发情况。针对上述问题和系统需求,自动检测设备必须具备以下检测功能:(1)刀具零点检测:实现对刀,并补偿刀具安装和换刀的偏差;(2)加工基准检测:检测并识别产品上的基准孔,并对待加工孔的位姿进行修

正;(3)蒙皮法向检测:测量蒙皮表面的法向信息,并调整机器人制孔姿态,使得制孔方向与蒙皮法向一致;(4)制孔距离检测:测量刀具到产品的距离,以此合理控制压紧力,防止压力过大或过小引起的产品形变和孔质量的缺陷;(5)孔质量检测:包括各层材料的厚度、镗窝深度、孔厚度、孔径、孔边距、孔排距、沉头窝等质量信息;(6)刀具判断:实时监测刀具的状态,刀具破损和磨损时能及时更换。检测系统组成如图1所示。

接检查,末端执行器和电主轴复位检查、各输油输气管道检查以及机器人工作空间安全检查等各项检查。(2)进行系统标定,建立机器人系统,末端执行器和柔性工装系统的数据关联,实现系统的数据统一。(3)控制机器人带动末端执行器到测试区域,进行刀具零点检测,获得刀具实际位置,并修正制孔TCP位置。(4)启动基准检测装置,测量测试板上的基准孔,并完成测试板上的试加工。(5)完成试加工后,进行实际加工,进行

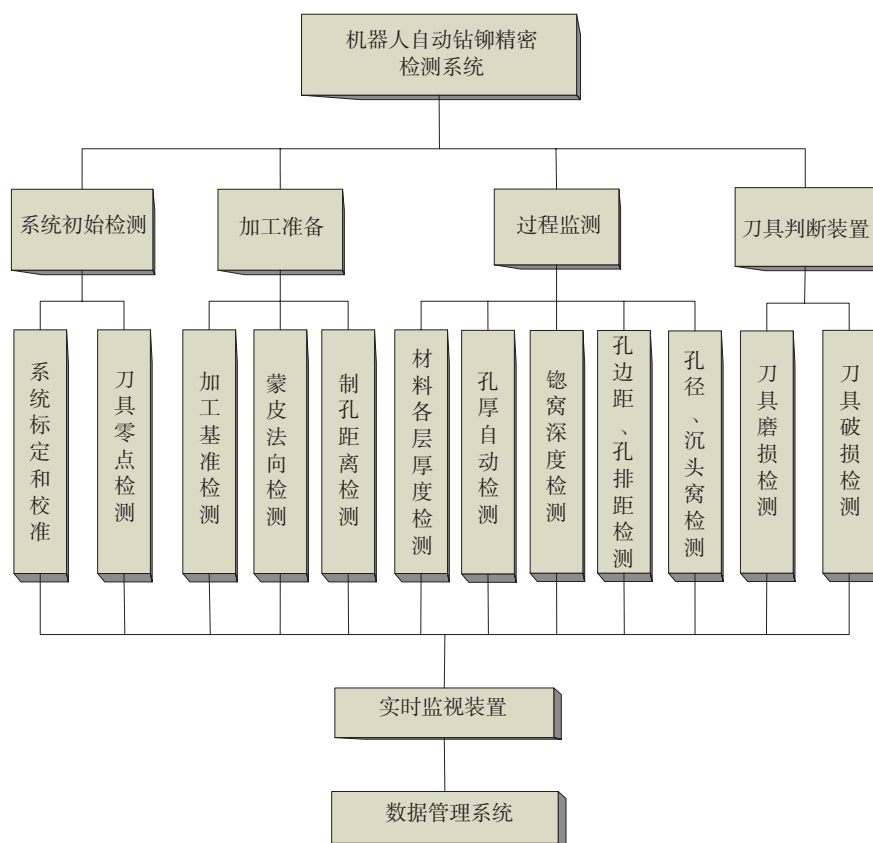


图1 机器人自动钻铆检测系统组成

机器人自动钻铆检测系统工作流程

根据机器人自动钻铆系统工作特点和要求以及各检测项目的特点,合理安排检测顺序,系统的检测流程(如图2所示):(1)进行系统初始化并完成系统自检,主要包括机器人工作模式和通信连接检查,各传感器连

产品上的加工基准检测,并以此修正待加工孔位的坐标。(6)将末端执行器定位到产品的待加工孔的位置,进行蒙皮法向检测,测量蒙皮法向,若不满足法向要求,则控制机器人进行法向调整,若满足要求,则进行下一步。(7)法向调整后,进行加工距离检测,刀具定位到合理的距离,启动主轴,进行制孔。(8)加工过程,

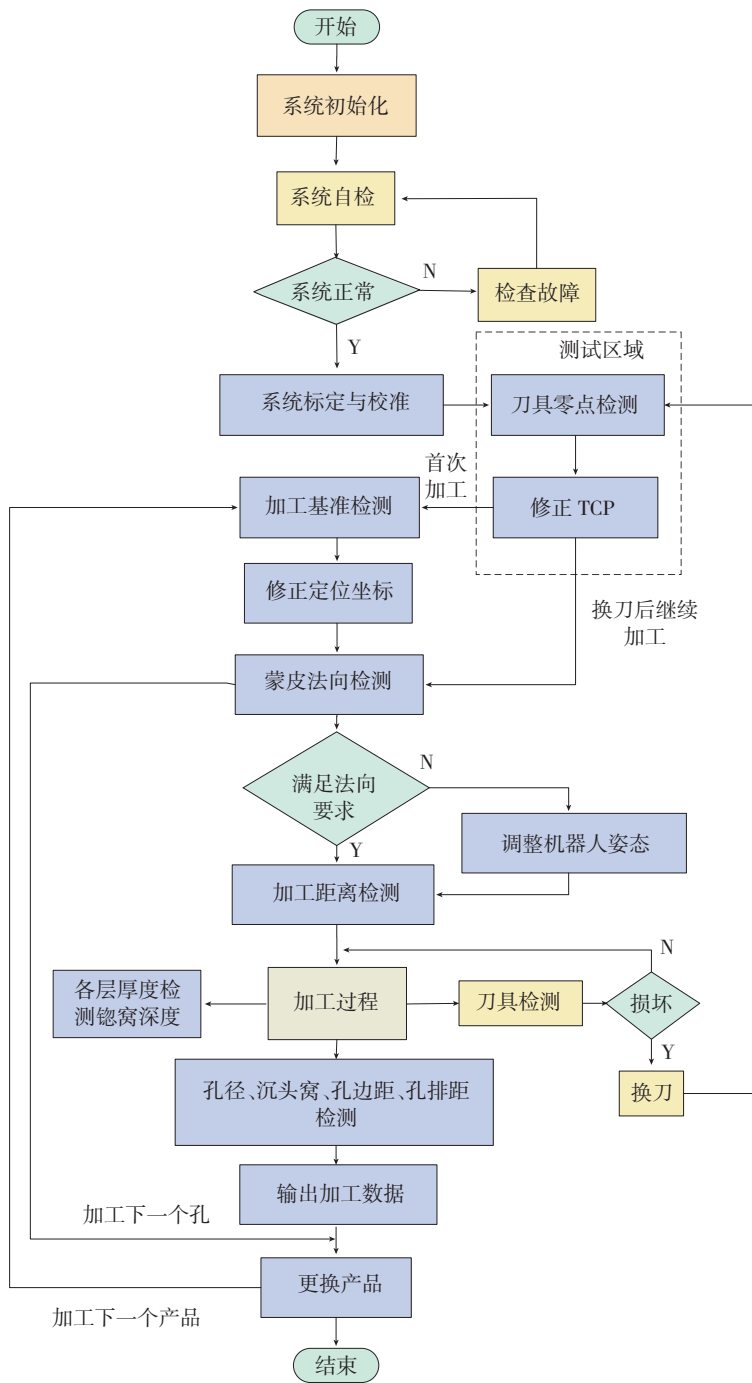


图2 系统检测流程

实时进行各层材料厚度检测、铤窝深度检测,并判断刀具状态,当刀具损坏时,停机换刀,并重复步骤(3),重新检测刀具零点。(9)完成制孔后,检查制孔质量,即孔径、沉头窝、孔间距、孔排距检测,并输出加工数据。重复步骤(6)~(9)完成当前产品上所有孔位的加工。(10)更换产品,

要重新进行加工基准检测,重复步骤(5)~(9),完成所有产品的加工。

检测系统关键技术

1 刀具零点检测

刀具零点检测采用3个接触式距离传感器来实现,如图3所示,3个传感器安装在同一平面内,测头均

伸入一个刚性圆筒内,分布在以圆筒轴线位置为中心的同一段圆弧上。其中,传感器2和传感器3的测量方向在同一直线上,传感器1的测量方向与传感器2、传感器3的测量方向垂直。如图4所示的零点检测几何模型,建立二维平面坐标系,当圆筒轴线、刀具轴线和主轴回转轴线重合时,系统记录下3个传感器测量的距离值,设定为理论值。末端执行器的刀具对准零点检测装置的圆筒,系统记下3个传感器的测量值,通过数学处理,计算刀具的实际位置,并与理论进行对比找出偏差,以此修正TCP的位置。实际应用时,由于检测装置的安装要求较高,首先应对检测装置进行标定,分析并测量3个传感器的安装位置、角度以及相对位置误差,并对几何模型中3个传感器的测量值进行修正,以消除安装误差。

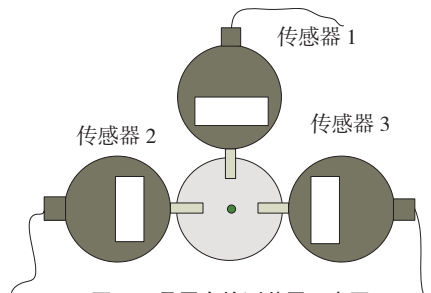


图3 刀具零点检测装置示意图

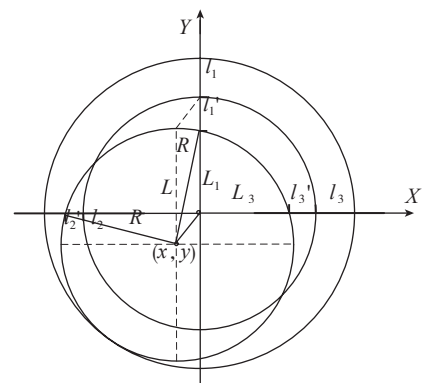


图4 刀具零点检测几何模型

2 加工基准检测

以基准孔为主的各类孔的检测方法有两种,基于2D激光位移传感器的激光扫描测量和照相测量(照相测量

在国内外文献中介绍的较多^[9-11],这里将重点对基于2D激光位移传感器的基准检测方法进行论述)。

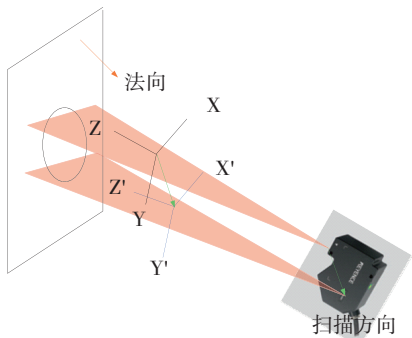


图5 基准检测原理

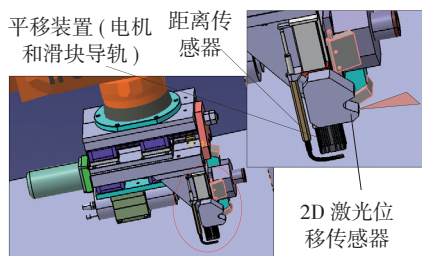


图6 基准检测装置

基于2D激光位移传感器的孔检测和识别方法,如图5所示。通过2D激光位移传感器测量基准孔边缘点在传感器坐标系下的 (x, z) 坐标,通过测量2D激光位移传感器延 y 方向做平移扫描运动的平移量,将2D传感器的测量信息由二维扩展到三维,提取基准孔边缘点的三维坐标,然后拟合圆孔、识别圆孔几何特征(圆心坐标及半径)。根据基准检测原理设计如图6的基准检测装置,2D激光位移传感器在滑块导轨的带动下实现平移扫描运动,距离传感器测量2D传感器的位移量,根据传感器获取的数据信息,经过数学处理,检测并识别基准孔的位置,并与理论进行对比,修正待加工孔的位姿信息。

以2D激光位移传感器为主要检测元件的基准检测装置,同时也可完成对加工完成的孔径、孔边距、孔排拒、沉头窝等孔质量检测,实际上,对于钻铆工作模式,可认为2D激光位移传感器的平移扫描测量是系统的另一种工作模式——扫描模式。当

系统执行扫描模式时,自动启动2D激光位移传感器装置,执行包括基准孔在内的各种孔的检测。

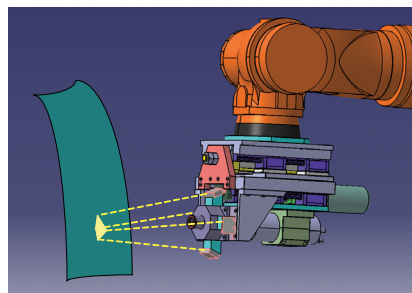


图7 法向精度检测装置

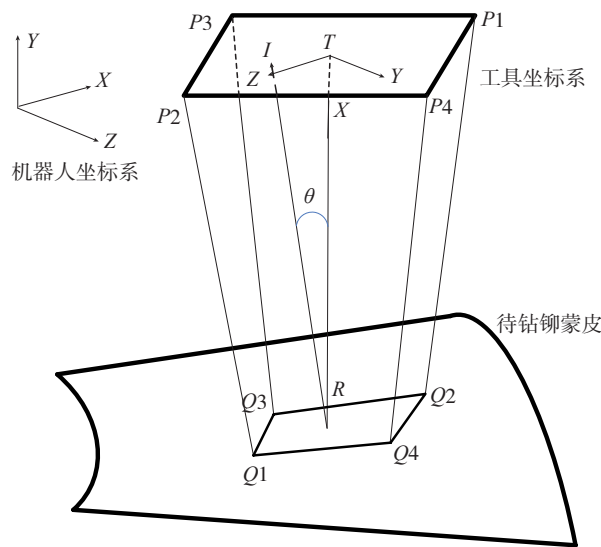


图8 法向检测几何模型

3 蒙皮法向检测

蒙皮法向检测采用4个非接触式激光位移传感器来实现,如图7和图8所示的法向检测装置和几何模型,4个位移传感器等分布在以刀具

轴线为中心轴的圆柱面上,且均与刀具轴线成一定夹角安装,以使得打到蒙皮表面的4个激光束在不交叉的前提下又能够足够靠拢,即4束激光在蒙皮表面形成的区域尽可能小。4个位移传感器检测与蒙皮表面之间的距离,通过一定的数学处理计算出机器人需要调整到的姿态角度,最后输出信息控制机器人进行姿态调整,实现法向测量与调整以达到法向定位的精度要求。

为了提高传感器的利用率,法向检测装置同时可实现制孔距离的检测,当系统完成法向调整,4个距离传感器同时记录到蒙皮表面的距离,通过数学处理,计算出蒙皮表面的垂直距离,并传递给控制系统,对制孔距离进行调节。

4 各层材料厚度和镗窝深度检测

在机器人自动钻铆系统中,通常使用钻绞镗一体的刀具,以提高加工效率。各层材料厚度和镗窝深度的检测通过在主轴上安装与主轴同时进给的接触式距离传感器来实现(如图9所示)。当刀具进给前,距离传感

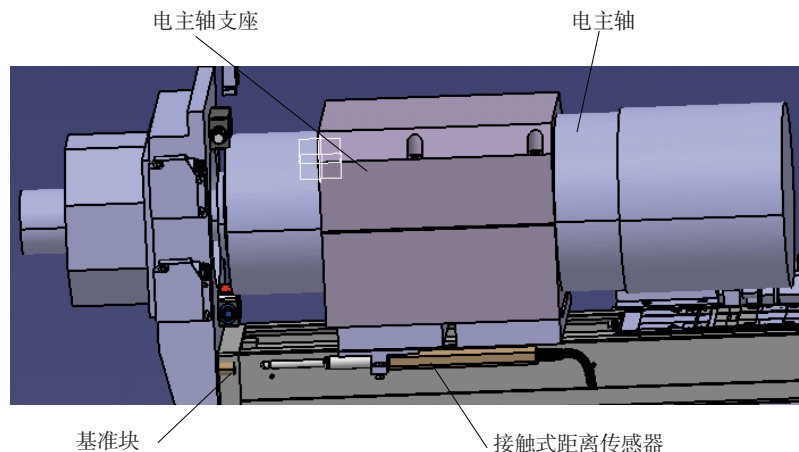


图9 各层材料厚度检测装置

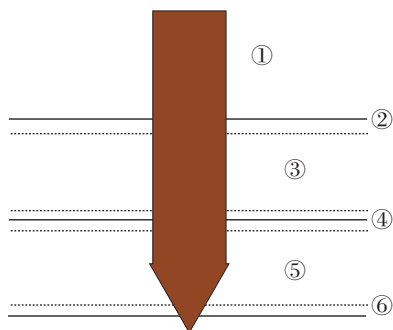


图10 主轴速度变化模型

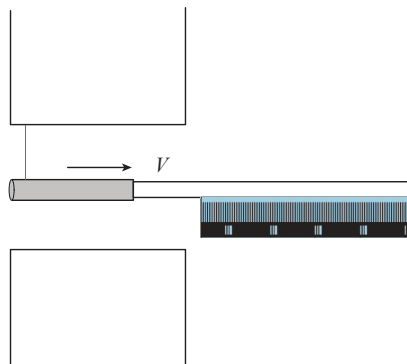


图11 孔厚自动检测原理

器的测头刚好到达一个固定的基准块上,主轴继续进给,距离传感器记录移动距离,同步提取制孔过程中的主轴速度。根据以复合材料为主的叠层材料产品的制孔工艺要求,以主轴速度变化模型为基础,将主轴速度与材料厚度信息进行匹配,提取制孔过程中各层材料的厚度和镗窝深度信息,图 10 为加工过程中不同层间主轴的 6 个速度的变化模型。

5 孔厚自动检测

由于蒙皮曲率的变化,造成蒙皮

厚度的不均匀,需要在制孔后快速测量孔的厚度,以确定铆钉的长度。孔厚自动检测采用一个微小的激光光纤传感器,伸进孔内部,如图 11 所示。光纤传感器从侧面发出光线照在孔内壁,传感器以一定速度从孔内移动,通过光栅尺记录传感器信号变化过程中传感器的移动量,即为孔厚度。

6 刀具判断

刀具判断包括刀具破损检测和刀具磨损检测两部分。刀具磨损是逐步发生的,且制孔过程中磨损量很少,工程上很难直接或间接取得磨损信息,通常采用预测的方法。前期研究阶段,经过有限元仿真分析和实验的方法,制定刀具工艺参数库,对于刀具的寿命进行预测和评估,其中,包括对应不同材料的多种型号的刀具的制孔磨损量的控制参数,以此作为预测的关键信息。计数器记录加工孔数,在产品上加工若干个孔,孔的具体个数由刀具工艺参数决定,然后到测试板上测试,检验孔的合格性,如合格则可继续加工,不合格即刻换刀。

刀具的断损是随机的,不可预见的。刀具破损检测采用激光光电传感器实时监测刀具的状态,刀具突然断裂时,传感器接收到的电信号会发生变化,以此来判断刀具是否破损。

根据系统检测技术指标,合理选择检测元器件,表 1 为拟选择的各检

测项目的元器件和各项检测能达到的检测精度。

结束语

本文分析了机器人自动钻铆系统对于精密检测设备的需求和要求,对关键的检测项目提出了可行的检测方法。突破这些关键技术,能够有效地提高系统的加工精度和效率。完善检测系统有助于优化系统加工任务,简化系统操作规程,使机器人自动钻铆系统更加自动化、智能化、人性化。

参考文献

- [1] 邹方,薛汉杰,周万勇,等.飞机数字化柔性装配关键技术及其发展.航空制造技术,2006(9):30-35.
- [2] 许国康.自动钻铆技术及其在数字化装配中的应用.航空制造技术,2005(6):45-49.
- [3] 秦瑞祥,邹冀华.工业机器人在飞机数字化装配中的应用.航空制造技术,2010(23):104-108.
- [4] Marin D M, Astorga J, Morazo J, et al. A versatile riveting system for metal/CFC Structures. SAE Aerospace Automated Fastening Conference. Proceedings, 2002:123-128.
- [5] Russell D V, Kevin S, Feikert E, et al. ONCE(One Sided Cell End Effector) Robotic Drilling System. Automated Fastening Conference & Exposition, SAE2002,01:2626.
- [6] 邓锋.采用标准关节机器人系统对飞机货舱门结构的自动钻铆.航空制造技术,2010(19):32-35.
- [7] Biss Liang J. Robotic drilling system for titanium structures. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011,5: 767-774.
- [8] 李茜.基于双机器人协同的自动钻铆终端器及其自动供钉装置的设计与研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- [9] 张剑剑,朱荻,李寒松.基于数字图像处理技术的微小群孔快速检测系统.传感器与微系统,2009(6):93-95,97.
- [10] 徐博,刁俊通,陈晓波.基于亚像素的圆孔几何参数立体视觉高精度测量.航空计算技术,2008(03):94-96.
- [11] 蔡勇,秦现生,张雪峰,等.多摄像机视觉检测大范围布置方法及其数据拼接.中国机械工程,2011(16): 1984-1987.

(责编 小城)

表1 元器件选型和检测精度

序号	检测项目	检测元器件	元器件精度 /mm	总检测精度
1	刀具零点检测	距离传感器	± 0.001	≤ 0.05mm
2	加工基准检测	2D 激光位移传感器	± 0.01	≤ 0.05mm
		距离传感器	± 0.001	
3	蒙皮法向检测	激光位移传感器	± 0.015	≤ 0.5°
4	各层材料厚度和镗窝深度检测	接触式距离传感器	± 0.001	≤ 0.05mm
5	孔厚自动检测	激光光纤传感器		≤ 0.2mm
		光栅尺	± 0.001	
6	刀具判断	光电传感器		