

文章编号: 2096-1618(2020)01-0015-07

大型铆接壳体表面质量检测设备总体设计

王向东, 刘永坡, 刘何荣, 彭莉斯

(四川航天长征装备制造有限公司研发中心, 四川 成都 610100)

摘要:为实现大型铆接壳体表面质量的检测需求,设计一套大型铆接壳体表面质量检测设备,该设备能够检测直径1000~3550 mm多种尺寸规格的壳体产品,设备主体采用“移动式横梁龙门+旋转式工作台”结构,通过在上面安装铆接质量检测单元,自动完成铆接壳体的铆钉表面质量检测。通过设计检测设备,可实现对大部段壳体的铆接表面质量快速、全面的检测功能,达到检测目标参数100%检测需求,该检测系统可用于其它类似回转产品的检测任务,提高检测质量与效率。

关键词:铆接壳体;铆钉;表面质量;检测

中图分类号:TP301.6

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.01.003

0 引言

航空航天行业中,大部段壳体结构采用铆接工艺进行装配连接的工作量约占全弹(箭)体结构件总工作量的60%~70%,任何一颗小小的铆钉引发事故都是非常严重的,所以在航空航天制造领域中,铆接质量的检测至关重要。

铆接质量检测主要是铆钉墩头尺寸变形和铆接缺陷。对于大量铆钉连接的零部件,实心铆钉墩头变形按传统行业标准规定,采用铆钉墩头卡规、墩头检查样板、塞尺、带辅助支架的千分表等进行抽检检测。铆接缺陷主要是指工件在铆接及使用过程中容易出现各种缺陷,如钉头下凹、凸出、滑窝、翘边、压痕、墩头过高、过矮、倾斜及压痕等,铆钉钉头与钉杆交界处裂纹、铆钉钉杆裂纹、钉杆伞状凸起等钉杆缺陷。对于可目视检测的缺陷,如钉头下凹、凸出、滑窝、翘边、压痕、墩头过高、过矮、倾斜及压痕等,可采用放大镜或内窥镜目视检测^[1]。

1 大型铆接壳体表面质量检测技术国内外现状

传统的铆接检测方法检测速度相对低,检测精度也不是太高,读数相对困难,对检测人员要求较高。南昌航空大学利用传感器技术设计了专用检具,借鉴游标卡尺的功能进行改进,使其与位移传感器结合,通过测量系统控制,可检测铆钉的变形情况,检测方便直观,检测效率提高,降低对测量人员要求。但该方法的使用也仅限于对批量铆接点的抽检,很难实现自动化

全检功能。

成都飞机工业(集团)有限公司(简称成飞公司)对飞机外壳上的铆接点采用了类似投影仪的方式,将铆接点照亮后通过摄像系统拍照,以图像分析方式判定铆接缺陷情况。该方法可识别铆钉墩头尺寸和铆接的表面缺陷。对于铆接裂纹缺陷,如铆钉钉头与钉杆交界处裂纹、铆钉钉杆裂纹、钉杆伞状凸起及蒙皮不开情况下的墩头缺陷,常规方法是采用超声波进行检测:采用带延迟块直探头从铆钉钉头一侧进行铆钉超声波检测,通过观察界面波至底波之间的波形变化,判定是否存在铆接裂纹。在一些特殊应用场合如塑料铆接,可采用红外线检测技术,利用铆接过程中目标和背景的温度差异大、辐射热量差异大的特点,在红外线热成像上两部分有明显差异,对比度高,可检测出铆接缺陷,主要是缝隙和裂纹检测。

成飞公司在飞机铆接质量检查方面采用超声相控阵、涡流阵列技术完成对铆钉蒙皮缺陷的全方面检测,同时引入铆钉平整度测量系统,使用3D光学扫描仪对机翼铆钉平整度、铆窝直径进行快速的光学扫描,计算分析数据并显示结果,实时视觉反馈一键式操作,易于使用,轻便易携带(图1)^[2-4]。

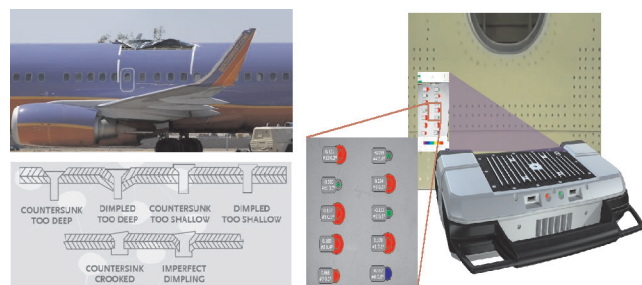


图1 3D光学扫描仪测量示意图

波音公司针对飞机进气道铆钉脱落打坏发动机,甚至导致飞行事故的问题曾多次进行铆接质量检测研究,采用目视和超声波检测相结合的方法(图2~3),对关键区域铆接质量进行检测,以减少因铆接缺陷导致的质量问题,从而提高航空武器装备的飞行和使用安全^[5]。



(a) 操作设备示意图



(b) 检测探头示意图

图2 MAKKO 超声相控阵系统

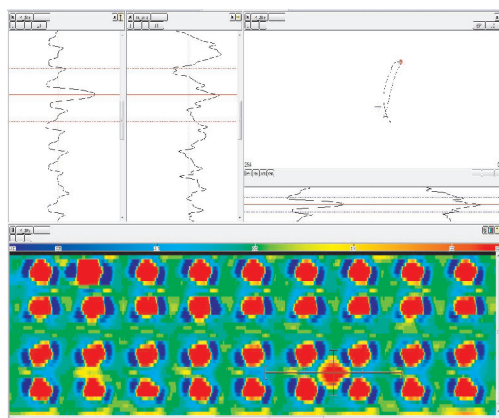


图3 3.5 mm 蒙皮下的铆钉 5% 腐蚀示意图

2 大型铆接壳体表面质量检测设备主要技术

铆接壳体表面质量检测系统能实现对铆接点的质量检测,检测系统中通过控制硬件结构部分的电机驱动,实现扫描检测路径的控制。在检测系统的各轴系运动过程中,采集各轴的空间位移量,即各轴的光栅位移信号,同时采集各检测单元(各路激光位移传感器、摄像机、相机等)输出信号。所有采集信号统一输入到分析系统(数据采集单元、分析处理单元)中,由分析软件根

据程序要求得到所测的形位参数及铆接缺陷分析。

方案设计的大型铆接壳体表面质量检测设备,能够检测直径 1000 ~ 3550 mm 多种尺寸规格,质量在 180 ~ 1400 kg,设备跨度大,功能多,国内外少见。设备主要解决部段壳体立式状态下,实现对部段壳体上万个铆接点的铆接质量检测,包括尺寸检测及裂纹检测。重点解决以下问题:(1) 铆接质量检测功能的实现:根据检测需求,对于铆接质量的检测既包括铆钉墩头的尺寸检测,同时也需检测其是否有裂纹。本方案中利用摄像机对铆钉墩头进行观测,通过图像处理得到铆接墩头的尺寸及表面质量。铆接质量重点关注是否有裂纹存在,对于墩头表面的裂纹,可通过提高摄像机的分辨率实现,如何观测到墩头侧面的裂纹则需合理设置摄像机的入射角度或安装位置。摄像机的选型及在检测系统中的定位关系是保证得到铆接质量检测数据的关键,既要图像清晰可辨,同时满足快速检测需求。在此过程中,需结合检测系统的整体运动方式,确定摄像机的检测路径,实现对上万个铆接点的全检功能。(2) 铆接质量检测的图像分析处理:该部分的图像处理既包括直观的 CCD 图像观测,同时也包括铆接点的质量分析及筛选、统计功能。将得到的处理后图像比对铆接质量的检测标准,识别缺陷铆接点并标识其空间位置。数据分析中既要保证数据的有效性,同时也能判定其位置关系及影响程度,尤其需关注对于裂纹的分析及判断。

3 结构总体设计

根据设备技术指标,设备主要实现大型铆接壳体的铆接表面质量快速非接触检测功能。根据方案设计的检测方法,要求设备的机械结构能够满足图4所示的运动需求,即能够实现产品的旋转,同时能够满足探头的前后上下左右移动,因此要求具备良好的定位精度和重复精度,结构设计合理,技术先进成熟,有足够的静态和动态刚度,保证设备具有良好的动态品质,并易于维护和操作,符合国家有关安全及环境保护要求。检测系统机械结构尺寸及精度要求如表1所示。

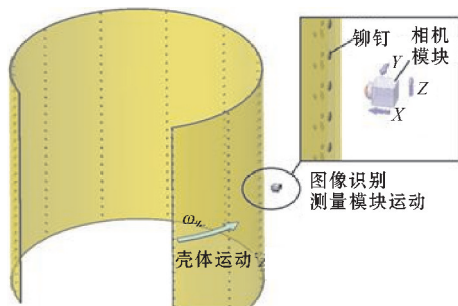


图4 检测设备运动需求示意图

表 1 检测系统机械结构尺寸及精度要求

序号	项目	参数指标
1	最大离地高度	7200 mm
2	检测产品范围	($\phi 1000$ mm $\times 1000$ mm) ~ ($\phi 3500$ mm $\times 3700$ mm)
3	Z 轴最大载荷	50 kg
4	工作台承载额定最大重量	2000 kg
5	转台定位精度	30"
6	转台重复定位精度	X 0.015 mm Z 0.015 mm
7	竖枕移动对工作台面的平行度	0.01 mm
8	工作台平面度	0.056 mm/ $\phi 3600$ mm
9	工作台端面跳动	0.03mm/ $\phi 3600$ mm
10	工作台径向跳动	0.03 mm/ $\phi 3600$ mm
11	空间定位精度	0.05 mm/m
12	运行速度	X/Y 轴 1000 mm/min Z 轴 500 mm/min
13	X 行程/X 轴尺寸	2250 mm/
14	Y 行程/Y 轴尺寸	1750 mm/4000 mm
15	Z 轴行程/	2000 mm/

经设计要求和多方调研,综合设计方案比较后,确定龙门式检测装置主体结构,主体结构采用“移动式横梁龙门+旋转式工作台”结构^[6],如图 5 所示。

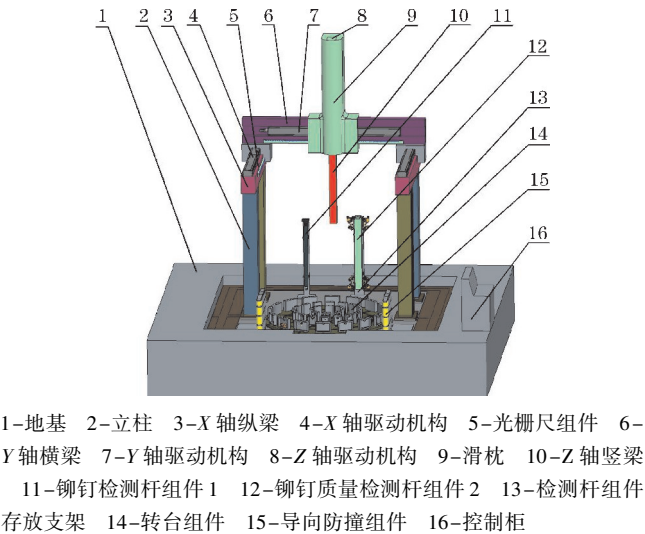


图 5 检测系统总体结构示意图

在此基础上,铆接质量检测单元的安装位置,即检测单元依附于主体结构,通过换用不同检测单元完成不同的检测任务,铆接质量检测单元负责识别、处理铆接点的各种缺陷,包括墩头的尺寸偏差、铆接点的表面缺陷及铆接裂纹。

3.1 立柱、X 轴纵梁、Y 轴横梁及 Z 轴竖梁设计

立柱、X 轴纵梁、Y 轴横梁采用花岗石材质,两件

立柱花岗石表面开设线槽,内部预埋各种螺套如图 6 所示,X 轴纵梁需根据驱动机构及光栅尺的结构预埋安装螺套,由于 Z 轴需考虑重量限制因此初步决定采用航空铝合金材料经多次尺寸稳定处理。

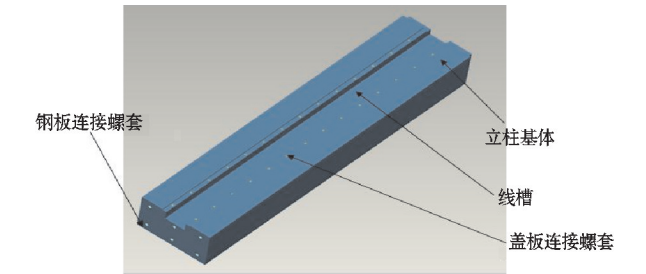


图 6 立柱及 X 轴纵梁、Y 轴横梁基体示意图

立柱与地面采用地脚螺栓连接,X 轴纵梁与立柱之间采用螺钉连接,并在立柱顶部设置调节支撑,用于调节 X 轴顶梁的水平度、平面度和与 Y 轴横梁的垂直度等。充分利用大理石的结构稳定、线膨胀系数小、刚性好、耐磨性强、保养方便等优点,作为检测系统主体结构的基体,可最大程度降低现场环境的影响、减少设备结构对测试精度的影响,满足现场使用条件的需要。

3.2 驱动机构的选择

驱动机构包含导轨、丝杆、伺服电机、联轴器、限位开关、行程开关等。X、Y、Z 轴驱动机构如图 7、8 所示。

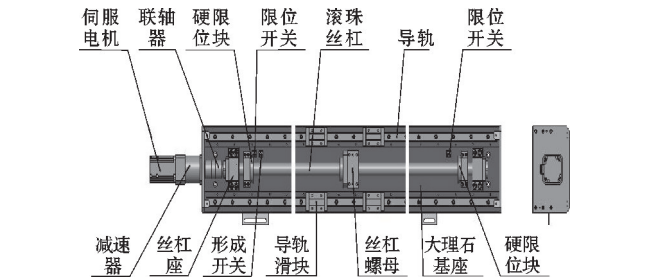


图 7 X 轴驱动机构简图

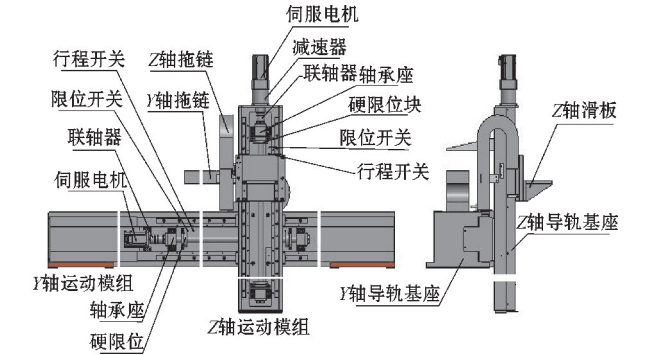


图 8 Y、Z 轴驱动机构简图

目前市场上直线导轨的生产厂家很多,各个厂家的型号命名和类型有所不同。其主要的类型有自调心全钢珠重负荷型(MSA)、自调心全钢珠低组装型

(MSB)、全不锈钢微小型(MSC)、全滚柱重负荷型(MSR)、静音钢珠(柱)重负荷型(SME/R)。

直线导轨的选型主要是依据不同的导轨特性和设计要求进行选择,PMI 直线导轨依据使用经验可以参考表 2 选择。

表 2 直线导轨主要类型及适用设备

类型	适用设备	类型	适用设备
自调心全钢珠重负荷型(MSA)	数控机床	全滚柱重负荷型(MSR)	龙门设备 电火花设备
自调心全钢珠低组装型(MSB)	产业机器 电子设备 测试平台	静音钢珠重负荷型(SME)	数控机床 工业机器人 医疗器械
全不锈钢微小型(MSC)	检测机器 医疗器械	静音钢柱重负荷型(SMR)	龙门设备 电火花设备

X 轴进给驱动机构采用丝杠驱动加直线导轨,如图 9 所示,为保证竖枕的左右移动即 Y 轴的精度,使丝杆只受水平方向的轴向力,采用伺服电动机与滚珠丝杠直联方式,联轴器带过载保护,在过载时联轴器会自动脱开,并安装双线性滚珠导轨,X、Y、Z 3 个方向均设置压力传感器,当设备任意部分与产品接触时会自动停止。Z 轴的上下垂直运动采用滚珠丝杠副传动,伺服电动机采用带电磁刹车,其次在滚珠丝杠上装一双向超越离合器,防止滚珠螺母自转引起 Z 轴机械式下垂。

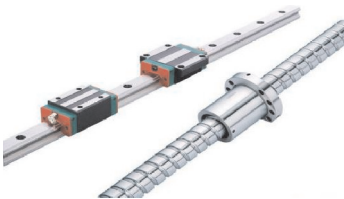


图 9 直线导轨与滚珠丝杠

检测装置主体部分采用硬限位和软限位两种方式进行行程保护。其中硬限位是采用接近开关,当旋轮行程超过规定行程时,设备停止运行,并给出提示信息。

系统配有手持单元,X、Y、Z 3 个方向均设置手动机构,用户可以在 JOG 模式,手工操作控制检测装置主体部分的 X 轴、Y 轴、Z 轴向的移动等。

铆接质量检测单元利用检测杆组件与主体结构立柱相连接,考虑到被测部段壳体尺寸较大,分别在检测杆组件的上下两端安装检测单元,分区域检测部段壳体不同部位的参数特征。由同一套主体结构和控制系统操控两个检测单元,可以使用同一套坐标系,方便操作及后期数据处理。

3.3 X、Y、Z 轴光栅尺选择

光栅尺如图 10 所示,光栅尺由标尺光栅和光栅读

数头两部分组成,标尺光栅固定在设备固定部件上,光栅读数头装在设备活动部件上。X 轴光栅尺的标尺光栅固定在 X 轴顶梁组件基体上,光栅读数头固定在 Y 轴横梁组件;Y 轴光栅尺的标尺光栅固定在 Y 轴横梁组件基体上,光栅读数头固定在 Z 轴竖梁组件上。初步选定封闭式光栅尺,此类型光栅尺能有效防尘,进口的光栅尺准确度等级可达±0.5 μm或更高;测量步距可达0.001 μm;测量长度可达30 m;Z 轴也采用同类型的光栅尺。



图 10 X、Y、Z 轴采用的高精密光栅尺

3.4 转台结构设计

测量转台用于在测量过程中,通过自身旋转,带动壳体产品一起转动,辅助完成产品各项参数的测量工作。考虑到被测部段壳体有多种结构尺寸,当放置在转台托盘上时,利用定位销将壳体与转台同心在可控范围内。为了减少装调时间,在转台上需根据被测壳体的尺寸设置多个快速压紧机构及定位机构。当壳体吊装接近至转台台面时,选择对应尺寸的定心压紧机构,固定被测壳体,完成同心工作。

转台设计原则:

(1)工作台直径为3600 mm,其中工作台面采用铸造方式,工作台面平面度小于0.056 mm,台面开设环形槽用于布置元器件线缆。

(2)为增加其扩展性,在平台上应设置转接支撑板用于φ3500 mm及以下产品的测量。

(3)平台上需设置明显的象限标识和销孔,以及压板、等高块和销轴等,用于产品的快速定位和压紧,等高块高度以满足底部平面度测量要求为准。

(4)采用成熟先进的技术,设计合理、结构简单、便于维修、使用安全可靠。

(5)在设备设计选材时充分考虑现场工作环境的因数,对轴承、减速机等重要的运动部件采用一定的防护措施,并选用品质优良的知名品牌产品。控制元件、信号检测原件、重要传感器均选用品质优良的知名品牌产品。

(6)充分考虑建造成本和使用效率,达到最大的性价比;在保证系统运行充分达到使用要求的同时减少工程造价。

转台工作台布局如图 11 所示。

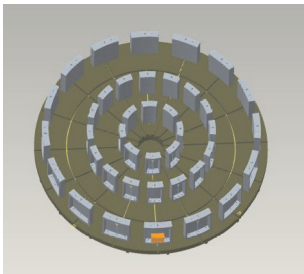


图 11 转台工作台布局及下端面平面度检测装置示意图

3.5 铆钉质量检测杆组件

铆接质量检测单元组件主要涉及线激光和相机测量组件,其中线激光传感器用于检测墩头尺寸,相机组件用于检测铆接表面缺陷。铆接质量检测即包括壳体内部的铆接墩头,同时也包括外部的钉头,被检测部段壳体尺寸较大,故此在测杆组件上下安装共计 4 套的铆接质量检测单元组件,分别负责不同区域的检测任务。采用模块化设计,集成为铆钉质量检测杆组件,铆接质量检测单元总体结构如图 12 所示。

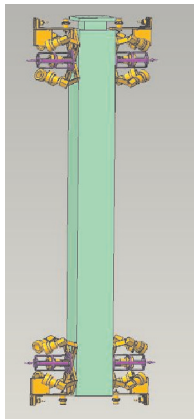


图 12 铆钉质量检测杆组件示意图

考虑相机的技术参数及被测件的结构尺寸,需设计铆接质量检测专用工装,为防止在误操作下损坏测量装置,在检测工装安装接近开关以实现装置自保护。

4 检测流程

检测系统(图 13)主要分为五大模块,即检测装置、控制系统、铆接缺陷标准数据库、数据采集系统和分析处理系统,其中数据采集系统和控制系统可集成在控制柜内,分析处理系统主要由上位机(计算机工作站)构成。

检测装置是以大型转台、可移动框架组为主体,配置作为检测部件的激光传感器组(位移传感器)和图像处理单元(摄像机)。该模块是检测系统的基础,检测部件的选型、大型转台和可移动框架组的加工、组

装、调试精度都将直接影响检测结果的可靠性。

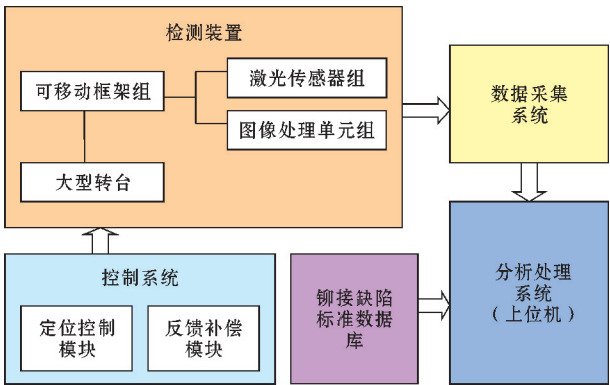


图 13 检测系统构成原理图

数据采集系统负责各测量组件、控制系统的数据收集。本项目设计以图像处理单元处理铆接质量检测,用到多个传感器及摄像机,同时包括位移控制中用到的光栅读数系统等多套数据输出接口。数据采集需同时兼顾各组件间的参数匹配及通信协议,同时需考虑数据量存贮、处理速度等因素。

分析处理系统主要负责对采集数据的分析计算、参数评定、铆接点质量筛选等功能,其依托为铆接质量筛选专用分析软件。该功能主要在计算机工作站上完成,同时需兼顾与控制系统及数据采集系统之间的关联,实现在程序上统一控制检测系统的整体运行及数据处理。

铆接表面质量的检测:

在大部段壳体圆柱轴向方向安装有 4 组图像采集设备,每一组图像采集设备由 3 台面阵相机组成。3 台相机中一台负责采集铆钉顶面图像,另外两台负责采集铆钉两个相对侧面图像。在大部段壳体转动过程中,所有的相机同时工作,将采集到的铆钉图像送入计算机中进行分析,检测铆钉位置或其侧面是否存在缺陷。铆钉顶面图像检测流程图如图 14 所示,铆钉侧面图像检测流程图如图 15 所示。

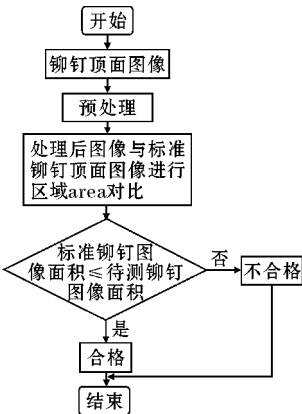


图 14 铆钉顶面图像检测流程

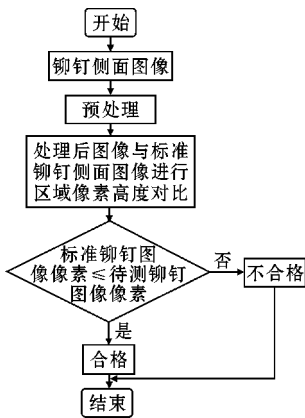


图 15 铆钉侧面图像检测流程图

当计算机分析出某铆钉位置存在缺陷时(铆接缺陷情况如图 16 所示),将保留有缺陷铆钉的位置坐标,并对应到大部件壳体圆柱件上的实际铆钉位置,根据该坐标位置便可对有缺陷铆钉进行准确定位并标记。

本设计实现对大型铆接壳体(图 17)的铆接表面质量的现场、快速、全检的检测功能,达到检测目标参数 100% 检测需求。检测内容包括铆钉钉头下凹、凸出、滑窝、翘边、压痕等铆接质量检测,铆钉墩头尺寸、表面凹坑及裂纹检测;检测范围从直径 1000 mm×1000 mm 到直径 3500 mm×4000 mm;转台定位精度:30",空间定位精度:0.05 mm,形位尺寸测量误差:≤0.1 mm,铆接墩头尺寸测量误差:≤0.1 mm,裂纹识别宽度:≥0.05 mm。

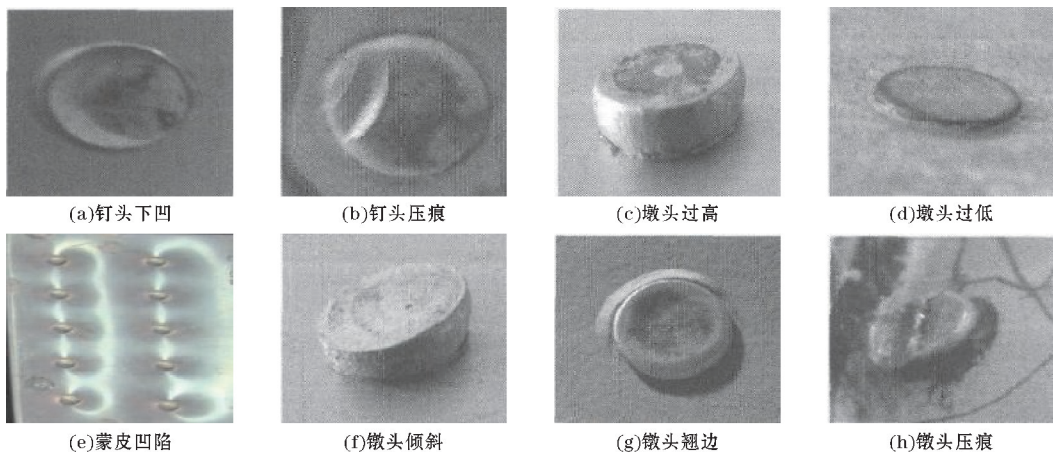


图 16 铆接缺陷图



图 17 铆接壳体实物图

5 结论

按机械结构可靠性、安全性等要求设计,具体情况如下:

(1)可靠性:设备整体结构在设计过程中留有充足的裕度,综合可靠性预计在正常使用时的 3 倍。主关件进行有限元分析、优化设计,保证主关件的刚度、强度满足设计要求。关键运动部件,在设计过程中安全裕度保证在 3 左右,保证设备的运动部件的刚度和使用寿命。

(2)安全性:机械部件应采用人机工程学设计,在方便操作的同时,保证设备运行的安全性。电器部分应设置各种行程开关、急停开关、断电保护、短路保护等保护措施,保证设备使用时的操作人员、设备和产品的安全。

(3)电磁兼容性:电气部件全部采用成熟品牌产品,电磁兼容性良好,符合标准 GB/T22663-2008 工业机械电气设备电磁兼容机床抗扰度要求。

(4)外观设计:整体外观要求简洁,各部组件结构尽量采用封闭式造型设计,各部组件尽量要求外观色彩协调、均衡,在整体统一的基础上,各配套件造型在外观和色彩上要有所差异,各零部件采用标准化、模块化设计。

(5)符合标准:GB/T5226.1-1996,工业机械电气设备通用技术条件;GB/T25295-2010,电器设备安全设计导则;GB/T50087-2013,工业企业噪声控制设计规范;GBZ1-2010,工业企业设计卫生标准;GB/T22663-2008,工业机械电气设备电磁兼容机床抗扰度要求。

该检测系统可用于同类回转零部件的相似任务检

测,该类大尺寸的回转壳体在航空、船舶、核工业等行业中均大量使用,可根据需求对检测系统适当改装后适用于目标检测任务,实现在其他行业的推广,产生良好的社会效益。

参考文献:

[1] 温秉权. 金属材料手册[M]. 北京:电子工业出版社,2013.

[2] 唐军萍,张丽艳,刘胜兰等飞机复杂零件上大量小尺寸导孔的快速视觉检测[J]. 中国机械工

程,2015,26(18):2456-2465.

[3] 蒋滔,方辉,董秀丽. 飞机蒙皮铆接质量视觉检测系统的构建[J]. 航空制造技术,2017,60(6):88-91.

[4] 王雷,张志超. 铆接过程质量控制工艺及生产技术研究[J]. 机电元件,2016,36(4):36-39.

[5] 张朝辉,李玫. 飞机铆钉检测技术[J]. 经贸实践,2016(21):345.

[6] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

Overall Design of Surface Quality Inspection Equipment for Large Riveted Shell

WANG Xiangdong, LIU Yongpo, LIU Herong, PENG Lisi

(Research Centre of Sichuan Aerospace Changzheng Equipment Manufacturing Co.,Ltd., Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to realize the requirement of surface quality inspection for large riveted shell, a set of surface quality inspection equipment for large riveted shell was designed. The equipment can check shell products of various sizes and specifications in the range of diameter from $\phi 1000-\phi 3550$ mm. The main body of the equipment adopts the structure of "mobile beam gantry + rotary table". By installing riveting quality detection unit on it, the surface quality of rivet of riveting shell can be automatically detected. Through the design of the testing equipment, the quick and comprehensive testing function of riveting surface quality of the large part of the shell can be realized, and the 100% testing requirement of the testing target parameters can be achieved. The detection system can be used in detection missions of other similar rotary products to improve the detection quality and efficiency.

Keywords: riveted shell; rivet; surface quality; check