

文章编号: 2096-1618(2019)06-0610-05

# 大型筒体自动化装配对接装备总体设计

王向东, 陈勇, 陈志华

(四川航天长征装备制造有限公司, 四川 成都 610100)

**摘要:**为实现大型筒体的自动化装配对接需求及对接质量要求,设计一套自动化装配对接装备。采用激光自动测量系统完成各个筒体的姿态和位置的测量,求解出筒体位姿的调整量,通过总控系统控制自动对接装置实现大型筒体之间的自动化对接装配,提高对接效率和精度。通过在实际产品中的应用,表明采用该装备完成装配对接的大型筒体能满足产品装配精度要求。

**关键词:**筒体装配对接;自动化;智能制造;结构设计

**中图分类号:**TP202

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.06.009

## 0 引言

筒体的对接装配,是工业装配作业中的常见形式(如图1)。在传统手工对接装配的作业过程中,主要由操作者通过目视判断象限线对正、定位销对准,然后通过操作者经验反复操作与试装完成筒体的对接。整个对接过程对操作人员的个体经验依赖程度较高、自动化程度低、产品适应性差、人员操作工作量大。因此研究一种针对大型筒体的自动化对接装置,以实现大型筒体的自动精确对接装配,具有重要的意义。

自动化对接装配技术近年来发展迅速,国外已在多个行业展开应用,如美国波音公司的飞机装配对接系统、paceX公司的猎鹰火箭柔性装配对接装备等。在国内,近年来航空航天内各企业在总装过程中也朝着自动化、柔性装配技术发展,成飞、沈飞等飞机总装厂已将柔性自动化装配系统投入各自飞机的总装过程中,天津航天长征火箭制造有限公司在新一代的运载火箭总装过程中实施了数字化对接设备,对接过程中采用了自动化跟踪测量技术,提高了生产效率<sup>[1-4]</sup>。

基于大型筒件基本特点,在对接装配过程中,通过“测量—匹配—调姿”的闭环控制技术,研制针对大型筒体的自动化对接装置,其特点是对接效率高、质量稳定可靠。

## 1 设计输入

需对接装配的两段部件分别称为筒体1、筒体2,其结构如图1所示。筒体1与筒体2依靠锥销定位,端面以螺栓螺母连接紧固。

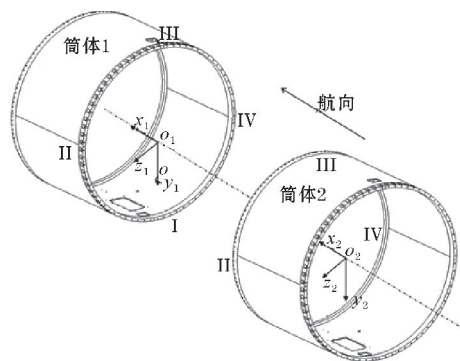


图1 对接筒体示意图

**主要技术指标:**对接面得几何尺寸和形位公差  
的测量精度 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ;各对接面对接精度,轴向间隙 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ ,横向间隙 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ 。

## 2 装备总体设计

自动化装配对接装备依据不同的功能实现,其整体构成主要包括系统总控部分、自动调姿对接装置部分以及自动测量系统等3部分<sup>[5]</sup>,系统整体组成如图2所示。

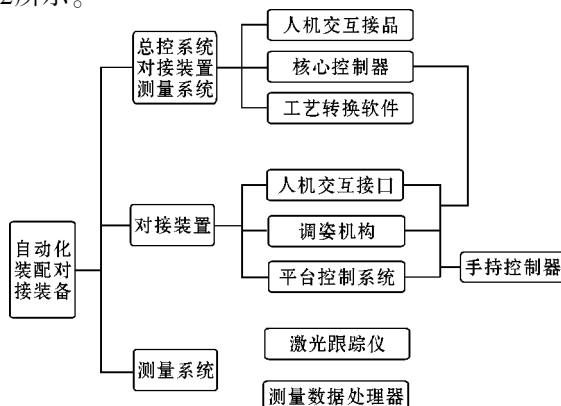


图2 自动化装配对接系统整体构成示意图

各部分功能如下:

(1) 系统总控

系统总控部分的功能主要包括:在系统操作界面上提供人性化的人机交互接口;在系统实现中编制对工艺内容进行功能转换的操作软件,可将工序内容转换为系统对应执行机构可实现的各向运动;系统接收测量系统的测量数据并处理,向各对接装置系统发出控制指令。

(2) 自动调姿对接装置

自动调姿对接装置的功能主要包括:可实现筒体在厂房内自动转运,可实现待对接筒体在  $X$  (筒体轴向)、 $Y$  (水平方向)、 $Z$  (上下方向)、 $u$  (筒体绕轴旋转)、 $v$  (筒体俯仰方向)、 $w$  (筒体水平偏转) 等 6 个自由度的全姿态调整,完成最终的前后筒体的自动对接。

(3) 自动测量系统

自动测量系统的功能主要包括:在筒体的自动对接过程中,实时测量筒体空间位置各个姿态的变化,向系统提供筒体的空间位置的姿态数据,辅助控制系统解算对接筒体需要调整的各个自由度的调整量,控制自动调姿对接装置完成自动对接的动作。

3 分系统设计要点

3.1 总控系统

自动化装配对接装备总控系统采用分层控制体系,如图 3 所示,上层由总控系统作为服务器,下层由自动化装配对接装备的总运动控制器作为服务器。

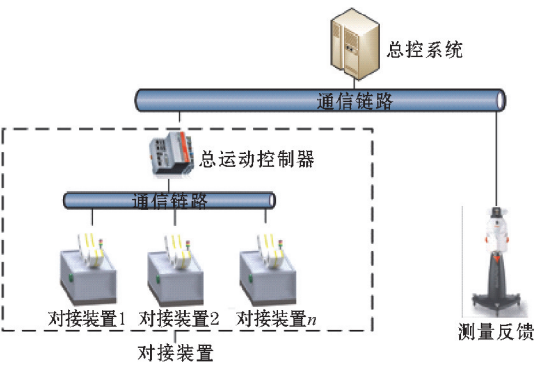


图 3 总控系统构成示意图

系统上层的总控系统为基于客户端/服务器模型的控制结构,其结构主要包括系统服务器层与系统客户端层这两个层次。在实际运行过程中,总控系统服务器作为自动化装配对接装备的系统服务器,通过各条通信线路对系统客户端的各个外接设备进行数据的自动采集和控制,同时在人机协同上设计良好的操作界面;系统

客户端层主要包括自动对接装置、自动测量系统等,同时可以根据实际需求对该客户端层的整体配置进行变动修改,保证整个系统具备非常好的开放性。

系统下层为自动化装配对接装备实时运动控制系统,系统采用星型控制架构。总运动控制器作为自动对接装置运动的控制核心,独立运行。总控制器与所有对接装置的控制器通讯,可接通总控系统上传装置状态及下发控制指令,也可接通手持控制设备独立控制各个对接装置的运动动作。

3.2 自动对接装置

自动对接装置主要实现筒体空间姿态调整,根据其功能需求进行控制系统和机械结构设计,自动对接装置的外形如图 4 所示。

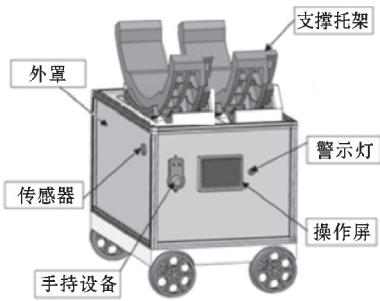


图 4 对接装置构成示意图

支撑托架负责筒体的支撑和各个自由度的调整;外罩主要实现自动对接装置内部的主要电子元器件的防尘安全保护;手持设备主要实现对接过程中的人工点动操作功能,来实现筒体的半自动对接操作;操作屏采用可触摸式操作屏,主要提供筒体对接过程中的实施姿态显示和操作命令的输入等功能;警示灯可实时监控各个自动对接装置的安全状态,一旦出现异常,报警提示。

自动对接装置的内部三维结构如图 5 所示。

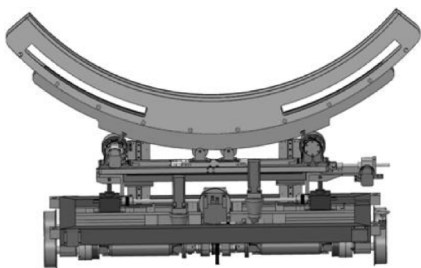


图 5 对接装置内部构成示意图

自动对接装置能够实现装置内各个自由度的自动调整,主要由机械结构部分、电气系统等组成。机械结构部分主要包括轮系组件、底盘组件、支撑组件等,主要完成筒体的支撑和对接装置整体的运动;电气系统

主要包括传动系统、电机动力系统等,主要完成对接装置在各个自由度运动过程中的动力输送。

3.2.1 X向运动

X方向运动即为对接装置沿航向方向的前进运动。

装置X向运动主要实现对接前沿航向的移动及对接时主动段向被动段微量距离的给进。前进运动又分为主动轮轴系和从动轮轴系,主动轮系为架车前进提供驱动力,从动轮系只起支撑作用,随主动轮系一同运动。

前进运动的传动系统采用伺服电机与减速器相结合的方式,采用双电机驱动,每台电机各自通过减速器驱动一个主动轮系运动,前进时两台电机均提供驱动,并由伺服电机自带的编码器提供位置信号。

对于主动轮轴系而言,伺服电机与减速器安装在固定支架底面,其中为了实现X向结构的紧凑性,伺服电机安装在减速器后端,如图6所示。

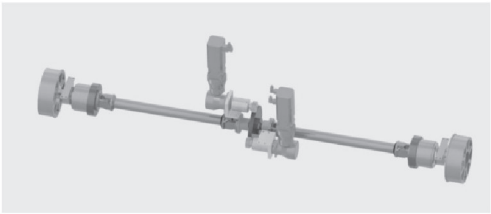


图6 X向运动机构构成示意图

3.2.2 Y向平移

装置Y向平移主要实现对接时左右方向的微量调整,属于直线平移的运动,采用直线运动执行机构形式实现。在直线运动设计中,通常采用滚珠丝杠与导轨滑块相结合的直线运动机构、直线运动单元电动缸或者螺旋升降机构。对于前者而言,结构实现组成部件较多,安装空间需求较大,安装调试较复杂。后者则将前者部件组合为一体式结构,方便安装。螺旋升降机构结构紧凑,安装简单,可以实现两端输入。对此项目而言,直线运动范围较小,整体结构要求紧凑,并且可以实现电动与手动的结合,因此选用螺旋升降结构实现直线平移运动,如图7所示。

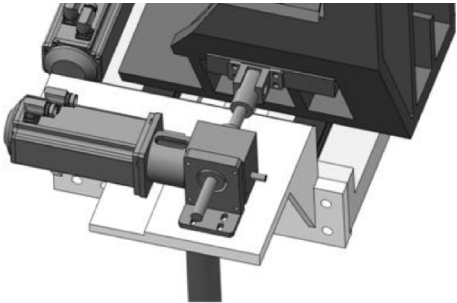


图7 Y向运动机构构成示意图

3.2.3 Z向升降

对于装置的Z向升降运动,由于运动距离较小,和Y向平移运动相同,采用螺旋升降机实现。螺旋升降机构如图8所示。



图8 螺旋升降机示意图

Z向升降运动可以采用两个螺旋升降机同时实现升降运动,通过两个电机控制的同步性实现运动的一致性。采用带消除的螺旋升降机,通过机械消除的方式实现此方向的消除,螺旋升降机构采用蜗轮蜗杆的传动方式,可以实现两端输入。选用的电机不带制动器,螺旋升降机具有自锁功能,螺旋升降机构安装在基座上,另一端安装于滚转支架上,如图9所示。

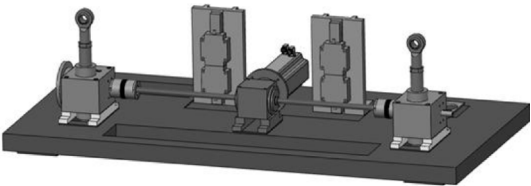


图9 Z向运动机构构成示意图

3.2.4 滚转运动

为了实现筒体在对接过程中的滚转姿态调整,在前进方向增加滚转运动。根据对接筒体结构形式特点,单叉圆弧与筒段的接触宽度为400 mm。

对接装置的滚转运动采用伺服电机提供转动动力,减速器作为传动机构,由多组支撑滚轮支撑筒段,支撑轮的数量可根据支撑负载的重量调整。通过滚轮转动带动筒段转动实现滚转运动,在滚轮的外圈设计有增加滚动摩擦力橡胶材料,防止滚轮发生打滑现象。伺服电机自带的编码器提供滚转角度信号,如图10所示。

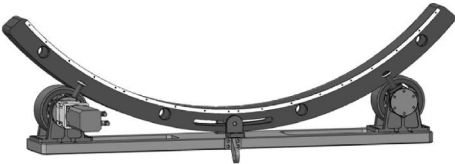


图10 滚转运动机构构成示意图

为防止圆弧托架在侧向的移动和倾覆,在圆弧托架的侧向设计有限位机构,同时为了限制圆弧托架在径向上的移动,在圆弧托架上设计有限制径向移动的限位轴如图 11 所示。

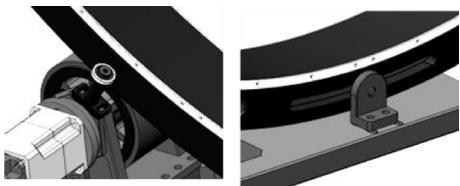


图 11 圆弧托架限位机构构成示意图

3.3 自动测量系统

自动测量系统采用 4 台激光跟踪仪联合组成多站点自动测量系统,通过各台激光跟踪仪的相互配合,实现筒体在空间姿态的实时测量<sup>[6-7]</sup>。自动测量系统示意图如图 12 所示。

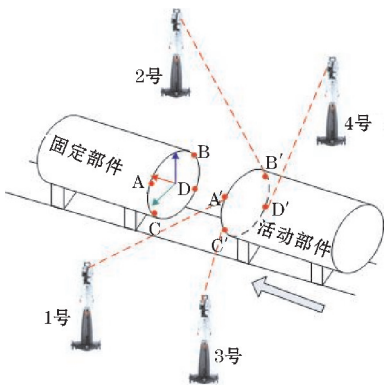


图 12 自动测量系统示意图

在实际操作过程中,首先利用激光跟踪仪的全局坐标控制点联合平差技术构建整体的全局坐标控制网络,即建立自动测量系统的全局测量坐标系。4 台激光跟踪仪作为实时姿态测量设备,主要基于激光的绝对测距与干涉测距技术,同时结合二维码盘精密测角技术实现空间点的三维坐标精密测量。在本系统中,需基于全局坐标点控制技术将各台激光跟踪仪的测量坐标系与全局坐标系实现统一,利用 4 台激光跟踪仪组合进行实时跟踪测量安装在对接筒体上的 4 个跟踪靶镜的空间坐标,在测量过程中,采用多点冗余位姿解算技术对前后对接筒体的相对位姿关系进行求解,得出前后对接筒体空间位置的姿态参数。

筒体姿态跟踪测量工作过程如图 13 所示。由 4 台激光跟踪仪组建而成的多站点自动测量系统,每台激光跟踪仪实时跟踪测量一个跟踪靶镜的空间位置,

得到在全局测量坐标系下 4 个跟踪靶镜的精确三维坐标。固定筒体坐标系在全局坐标系下固定不变,对接筒体坐标系随自动对接装置的运动不断变化。设置 4 个跟踪靶镜固定于活动筒体的销孔位置上,与活动筒体一起运动,通过冗余位姿解算模块得到活动筒体相对于固定筒体的位姿关系,即 3 个平移量( $X$ (筒体轴向)、 $Y$ (水平方向)、 $Z$ (上下方向))和 3 个旋转角度量( $u$ (筒体绕轴旋转)、 $v$ (筒体俯仰方向)、 $w$ (筒体水平偏转)),完成活动筒体位姿的实时自动测量。

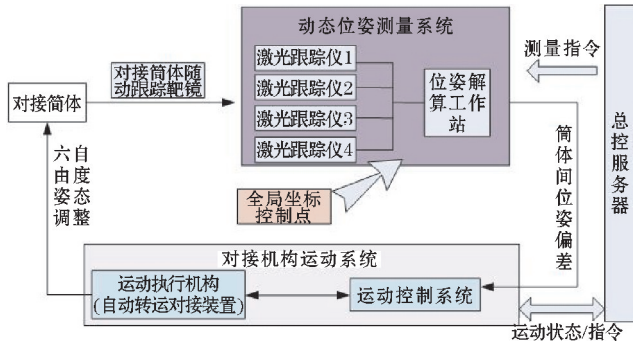


图 13 筒体姿态跟踪测量过程示意图

4 结束语

针对大型筒体装配对接过程中的技术指标要求,设计一套全新的自动化装配对接装备,采用激光自动测量系统完成整个对接过程中各个筒体的姿态和位置的测量,测量数据作为装配对接闭环控制系统的输入,通过总控系统,控制自动化对接装配装置进行各个自由度的调整,实现筒体之间的自动化对接装配。结果表明,采用该装备完成装配对接的大型筒体能满足产品装配精度要求。

参考文献:

[1] 王永青,李猛,刘海波,等. 大型筒体-端框对接装配位姿计算与调整研究[J]. 航天制造技术, 2015,4(2):1-4.

[2] 李强,张志博,申定贤,等. 新一代大型运载火箭总装数字化对接技术综述[J]. 科技与创新, 2019,4:100-101.

[3] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术[J]. 航空制造技术,2005(9):28-32.

[4] 刘东,李玉山,徐鹤洋,等. 柔性对接技术在运载器装配中的运用[J]. 科技视界,2019(5):57-58.

[5] 姜帆,杨振宇,何佳兵. 自动化装配设备的总体设计[J]. 机电工程技术,2011(7):131-133.

[6] 刘先卓,王树奎,陈锦生,等. 激光测量技术及应用[J]. 机械设计与制造,2003(3):95-96.

[7] 李强,王津,张磊,等. 基于激光跟踪仪的大型火箭包络测量技术[J]. 研究航空精密制造技术,2019(2):22-26.

Overall Design of Large-scale Cylinder Automation  
Assembly Docking Equipment

WANG Xiangdong, CHEN Yong, CHEN Zhihua  
(Sichuan Aerospace Changzheng Equipment Manufacturing Co. , Ltd. , Chengdu 610100,China)

**Abstract:** In order to realize the requirements of automatic assembly docking and docking quality, a set of automatic assembly docking equipment was designed. The laser automation measuring system is used for the measurement of the posture and position of each cylinder. Then calculating the adjustment quantity of cylinder's posture, the docking device is controlled by the master control system to realize the automatic docking assembly between the large cylinders, and the docking efficiency and accuracy are improved. Through the application of practical product, the results show that the large-scale cylinder assembled and docked by this equipment can satisfy the accuracy demands of products assembly.

**Keywords:** cylinder assembly docking; automation; intelligent manufacturing; structural design