

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.06.024

螺纹抽钉自动组装系统设计

郭双双¹, 符伟东², 张晓斌¹, 郭权², 单垄垄¹, 张丹²

(1. 航天精工股份有限公司 天津市紧固连接技术企业重点实验室, 天津 300300;

2. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 针对多规格螺纹抽钉的自动化批产需求, 分析螺纹抽钉结构和装配工艺特点, 基于模块化思想设计一种螺纹抽钉自动组装系统, 实现自动上料、定位、组装及检测等功能, 具有结构紧凑、可靠性高和实用性强的特点。

关键词: 非标设计; 自动化装配; 螺纹抽钉; 自动拧紧; 转矩检测

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2024)06-0123-05

Automatic Assembly System for Thread Pulling Screw

GUO Shuangshuang¹, FU Weidong², ZHANG Xiaobin¹, GUO Quan², SHAN Longlong¹, ZHANG Dan²

(1. Tianjin Key Laboratory of Fastening Technology, Aerospace Precision Products Co., Ltd., Tianjin 300300, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: For the demand of automatic batch production of multi-specification thread pulling screws, the structure and assembly process characteristics of thread pulling screws are analyzed, and an automatic assembly system of thread pulling screws is designed based on the idea of modularization to realize the functions of automatic feeding, positioning, assembly and detection, which has the characteristics of compact structure, high reliability and strong practicability.

Keywords: non-standard design; automatic assembly; thread pulling screw; automatic tightening; torque testing

0 引言

螺纹抽钉作为一种新型连接件, 适用于开敞性不够的场合, 已经在复合材料的结构装配中得到了广泛应用^[1]。但目前螺纹抽钉依然大量依赖人工装配, 导致实际生产中的效率低、成本高等问题, 因此急需提高抽钉装配的自动化水平。典型的自动化装配设备大部分采用螺栓、拉铆钉等标准紧固件, 其结构和装配工艺相对简单, 目前已有许多相关研究, 如郝欣妮等^[2]设计了一种可实现多规格螺母自动上料的自动拧紧机系统; 田永成等^[3]提出了一种在线式轮装制动盘螺栓自动拧紧机, 利用丝杠变径机构实现不同规格的轮盘拧紧。但对于螺纹抽钉这类复杂结构紧固件, 其装配不仅包括各零件组装, 还包括碾薄和压窝等收口加工工序, 其自动装配难度明显高于普通紧固件产品, 现有类似的复杂紧固件自动装配系统如某公司^[4]研发的用于膨胀螺栓组装的专用自动化设备又因其易卡顿、控制系统不稳定等问题难以适应螺纹抽钉自动装配要求。

针对上述问题, 本文开展了螺纹抽钉自动组

装系统的结构设计研究。在结构和装配工艺分析的基础上, 基于模块化思想设计了系统总体方案, 提出了核心装配模块的结构设计, 设计了控制系统的运行逻辑, 实现了多规格螺纹抽钉产品的自动化装配。

1 螺纹抽钉装配工艺分析

1.1 螺纹抽钉组件

如图1所示, 螺纹抽钉组成零件及其材料为芯杆(高温合金)、管体(不锈钢)、环圈(乙缩醛)、钉体(钛合金)和驱动螺母(合金钢)。装配时需先用工装钉将环圈压至管体, 再依次完成管体环圈组合体、钉体、驱动螺母到芯杆上的装配, 最后进行管体碾薄及钉体周边120°三点压窝, 同时对碾薄和压窝处的尺寸有检测要求。

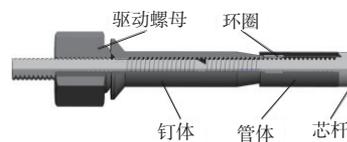


图1 抽钉结构示意图

基金项目: 天津市紧固连接技术企业重点实验室开放课题资助项目(TKLF2021-02-B-01)

第一作者简介: 郭双双(1988—), 男, 河南新乡人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为机械制造及自动化, 3335657966@qq.com。

1.2 自动装配难点

1) 作为一种用于抽钉批量化生产组装的专用技术设备,既要满足多规格产品自动组装需求,还要保证一定的生产效率。

2) 抽钉组件牙型结构特殊,旋紧工艺难度较大。芯杆后段直径较粗,旋拧时螺纹深度不同,且芯杆末端以及钉体螺母旋入端口没有倒角,无法顺滑入丝,如图 2 所示。如果旋拧时钉体及芯杆同轴度不满足要求,便会导致装配时提前拧死。



图 2 芯杆示意图

2 组装系统总体机械结构设计

2.1 系统布局设计

抽钉的自动组装过程以平移和旋转为主,整体产线布局一般可采用平行流水线或分度盘两种形式^[5],而这两种方式各有优劣:1) 流水线设置方便,可设置平行工序,作业周期时间短,但对于多规格产品而言生产弹性较差;2) 分度盘结构紧凑,可以减少多余的零件夹持、取放动作,生产弹性较好,但是对于生产节拍控制要求较高。

依照批量装配的效率要求,提出了每分钟装配 20 个的目标,即每 3 s 完成一个抽钉的装配。经过对各装配工艺的初步评估,拧钉体需将钉体旋进芯杆,且旋拧距离较长,工艺上所需装配时间

长。而钉体旋拧时间要根据旋拧圈数以及电机转速来决定,旋拧时间计算公式为:

$$N=L/P \tag{1}$$

$$t=N/N_0 \tag{2}$$

式中: N 为旋拧到位旋转圈数; L 为钉体在芯杆上的旋进长度,mm; P 为单线螺纹导程,mm; N_0 为驱动电机转速,r/min。不同抽钉型号导程皆为 $P=0.635$,旋进长度 $L_{max}=92.620$, $L_{min}=29.875$,计算得到不同型号抽钉旋进圈数分布在 48~93 圈之间。考虑到上料、夹持以及转运的时间,最大旋拧时间要控制在 1.5 s 以内,可以得到最大规格抽钉的旋拧驱动转速需要达到 3 720 r/min。初选稳定性较好的 MINASA4 系列转速为 5 000 r/min 的伺服电机。

考虑到抽钉型号较多,采用平行流水线生产弹性较差,因此拟采用分度盘来实现装配工位的转换,装配时芯杆固定在分度盘上,将其他零件依次装配在芯杆上。同时,为了减少各执行元件的动作行程,减小诸如气缸冲击等对于装配机构的影响,采用立式的旋拧夹持机构完成各工序的装配。整套方案所有动作结构采用螺栓连接的形式组装在转运滑台以及支撑机构上,同时用伺服电机以及气缸提供旋转以及平移所需要的动力,其相关结构一般利用 PLC 控制运行^[6]。

2.2 总体系统介绍

依照总体工艺流程,本文提出的自动组装系统主要组成部分如图 3 所示。

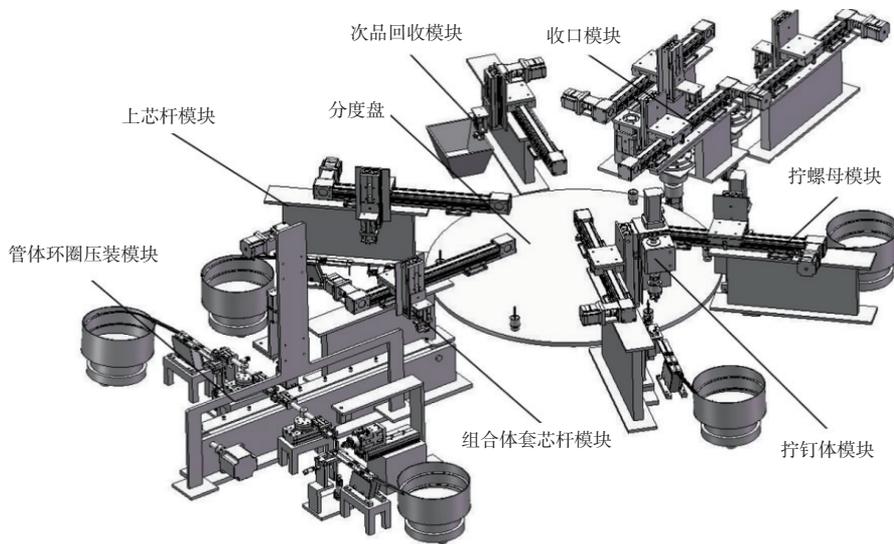


图 3 自动组装系统结构示意图

本自动组装系统采用分度盘的旋转定位实现螺纹抽钉不同工序的依次加工。抽钉在各个工位

的工作步骤如下。

1) 上芯杆模块:振动盘上料后,由气动手指夹

持再利用滑台气缸和导轨滑台完成各向运输,将芯杆转运放置在分度盘相应工位上。

2) 管体环圈压装模块:在管体和环圈经错料装置完成分料,由气动手指夹持,再经 180° 回转将夹持好的零件运至压装工位上,装有工装钉的导轨滑台机构向下移动将环圈压至管体上。

3) 组合体套芯杆模块:套芯杆转运装置与上芯杆转运装置类似,都由气动手指夹持及滑台转运后套至芯杆上。

4) 拧钉体模块:钉体由振动盘排列上料,由气动手指夹持,经滑台转运后,由旋拧机构将钉体旋拧至分度盘上的芯杆内。

5) 拧螺母模块:拧螺母机构将螺母由旋拧机构夹持,利用滑台模组转运,最后完成螺母在芯杆上的旋拧。

6) 收口模块:螺纹抽钉需要依次实现管体碾薄和钉体收口,且在管体碾薄后需要对碾薄尺寸进行检测,因此需将装配好的零件夹持至管体碾薄工位完成碾薄后,由另一滑台模组转运至检测工位夹持检测,最后送至钉体收口工位完成钉体收口及下料。

7) 废品回收模块:当检测到废品时,其余系统停止,由分度盘将废品运至废品回收工位上。

8) 分度盘:在一定时间内所有工位装配或下料完成后,转动 60°, 将各工位零件运送至下一工位,保证生产的同步性。

3 钉体旋拧模块结构设计

3.1 钉体自动旋拧方案分析

钉体自动拧紧装置需要实现的功能如下:1) 可以夹持由错料机构顶起的钉体,且夹持机构可更换以适配不同规格零件;2) 将钉体转运至分度盘指定工位上;3) 驱动拧紧装置旋拧,且在旋拧时通过转矩的反馈判断旋拧是否到位。

对于夹持机构,目前的常规螺母自动拧紧装置多采用磁吸式套筒以及弹出式快换头来满足多规格螺母自动拧紧的需求;但钉体采用的是钛合金材料,而且无法保证装配时同轴度。因此采用对心较好的气动抓手来夹取,针对不同规格钉体直接更换治具即可。

为提高螺纹旋拧的可靠性,一方面需设计扶正机构,利用夹爪夹持芯杆下端提供辅助定位;另一方面在主轴上设置转矩传感器,对钉体是否旋拧到位进行实时反馈,确保旋拧到位后及时停止,

同时在分度盘上设置压力传感器,在压力异常时停机检查以排除异常情况。

3.2 钉体旋拧模块机械结构

钉体旋拧模块的机械结构如图 4 所示,主要包含转运机构、自动拧紧机构及扶正机构。拧钉体模块工作步骤为:钉体通过上料机构到达指定位置后,由 PLC 控制滑台气缸带动拧紧机构向下移动夹取钉体,夹取后上移并通过安装限位的导轨滑台将拧紧机构移至旋拧工位上方。为防止产生干涉,采用 Y 型气动手指作为扶正机构夹持芯杆下端。后由滑台气缸下移至指定位置并施加一定压力,电机首先慢转将钉体旋入芯杆 2~3 圈保证入丝,接着增大转速将钉体全部拧至芯杆上,同时控制扶正夹爪松手。旋拧到位后夹持机构松手离开。同时,由转矩传感器和压力传感器进行检测,当数值出现异常时及时停机,将加工出错零件运至废品回收机构,并检查相关故障。

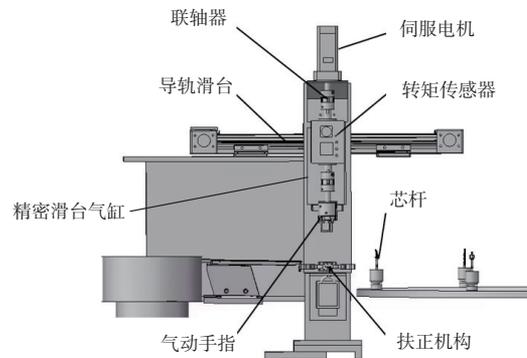


图 4 钉体旋拧模块

3.3 钉体旋拧模块同轴度验证

同轴度的计算选择使用求距法^[7]。求距法求解同轴度是计算被测元素和基准元素轴线间最大距离的 2 倍,即用关系计算出被测元素和基准元素的最大距离后,将其乘 2 即可。

钉体从上料到旋拧工位的尺寸链如图 5 所示。

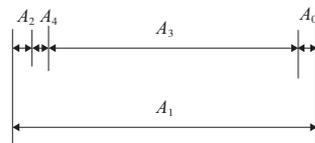


图 5 钉体装配尺寸链

图 5 中 A_0 为转运到达旋拧工位时钉体轴线与分度盘旋拧工位轴线之间的距离; A_1 为分度盘旋拧工位轴线与钉体夹持工位轴线之间的距离; A_2 为被夹持后钉体的轴线与夹持前钉体轴线之间的

偏移距离; A_3 为被夹持后钉体的轴线与转运到达旋拧工位时钉体轴线之间的距离; A_4 为滑台气缸固定部分与连接件之间的安装误差。

$$A_{0\max} = A_{1\max} - A_{2\min} - A_{3\min} - A_{4\min} \quad (3)$$

$$A_{0\min} = A_{1\min} - A_{2\max} - A_{3\max} - A_{4\max} \quad (4)$$

$$E_{S,A0} = A_{0\max} - A_0 \quad (5)$$

$$E_{I,A0} = A_{0\min} - A_0 \quad (6)$$

$$T_{A0} = E_{S,A0} - E_{I,A0} \quad (7)$$

式中: $E_{S,A0}$ 为 A_0 上偏差; $E_{I,A0}$ 为 A_0 下偏差; T_{A0} 为最大偏差值; $A_1 = 110_{-0.01}^{+0.02}$; $A_2 = 0_{-0.01}^{+0.01}$; $A_3 = 110_{-0.01}^{+0.02}$; $A_4 = 0_{-0.02}^{+0.01}$ 。

计算得: $A_{0\max} = 0.06$, $A_{0\min} = -0.05$, $T_{A0} = 0.01$;
同轴度 $\varphi = 0.12$ 。

根据李洪等^[8]对同轴度对螺栓连接的影响研究并结合抽钉实际生产经验,确定钉体旋拧时同轴度需要在 0.15 mm 以下,保证在驱动钉体慢转时可以将钉体旋入芯杆不脱落,再由螺纹旋合作用带动钉体旋入芯杆。

4 自动组装系统仿真验证及分析

为了验证螺纹抽钉自动组装系统的各运动机构能否满足要求,并满足各部分模块生产节拍的一致性以及生产抽钉的效率要求,本文利用 ADAMS 进行了各模块动力学仿真分析。

4.1 自动组装系统装配时间

采用分度盘装配对于生产节拍的一致性有很高要求,需要在分度盘旋转至下一工位前完成本道工序装配,且各执行机构要及时退出工位,因此需要验证预设时间能否完成装配,且生产效率能否达到要求。本系统依照装配要求以及所选各型零件对装配时间进行设置。

4.2 ADAMS 模块仿真分析

ADAMS 软件可以对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析,输出位移、速度、加速度和反作用力曲线。但对于复杂模型,ADAMS 需要借助专业的三维建模软件(如 SolidWorks、UG 等)完成三维建模再进行导入。

这里以拧钉体模块为例,首先设置各零件相应的质量,再通过约束库以及力库设置固定副、平移副和转动副等约束,并且对这些运动副添加 STEP 驱动函数,具体参数设置如表 1 所示。

经过仿真可得到如图 6 所示的某规格钉体速度以及角速度曲线,整体加工时间为 2.5~2.6 s,可以看出在拧钉体模块运行过程中钉体旋拧时先

缓慢入丝再以相对顺滑的旋转完成钉体旋拧。

表 1 拧钉体仿真参数

拧钉体参数/单位	时长/s	数值
夹持机构下行及上行/mm	0.20	150
转运钉体至分度盘上方/mm	0.20	110
下行至旋拧位置/mm	0.15	97
旋拧钉体下行位移/mm	1.10	36
旋拧钉体下行角度/(°)	1.10	57(圈)×360
急回/mm	0.20	150

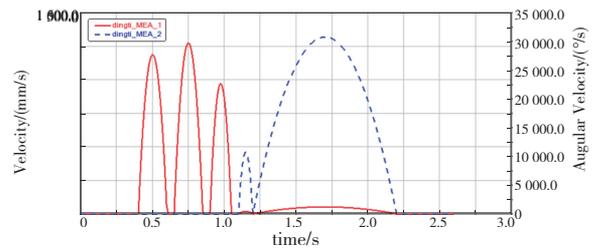


图 6 钉体质心速度及角速度曲线

通过对各模块及整体进行仿真分析,确保了所设时间能够实现分度盘上各模块生产节拍一致,同时在装配过程中各模块之间不会产生干涉,对于不同规格型号零件仅需要微调装配及等待时间便可保证生产节拍一致。因此,针对多型号螺纹抽钉的自动装配,采用分度盘装配相较平行流水线更加合适。

5 自动拧紧机控制系统

自动拧紧机利用 PLC 控制设备运行,其控制流程如图 7 所示。

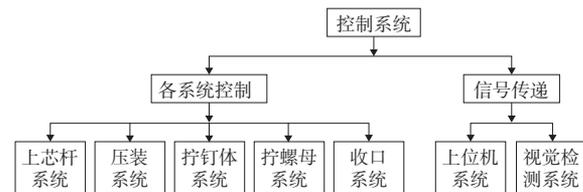


图 7 自动拧紧机控制系统

根据前文对于各系统的结构设计,在对子系统进行控制时,需要实现的功能有:

1) 制定相应的通信协议,控制各子系统的执行机构运动;

2) 设计选取合适的电机、传感器、气动元件的控制方案,实现电机转速以及各执行机构位置的精确控制;

3)通过对各子系统信号的控制,完成子系统的相互配合,实现生产协调同步;

4)上位机系统要将诸如视觉检测提取的图像数据信息等及时反馈,将获得的数据信息解读并完成对于各系统的控制。

6 结语

针对螺纹抽钉自动装配的问题,本文设计研究了螺纹抽钉自动组装系统。通过对自动组装系统机械结构和控制系统的设计,完成了螺纹抽钉的自动组装,实现了螺纹抽钉各零件自动上料、组装、检错、下料。实际使用中发现由于芯杆的制造工艺问题,在自动旋拧时若螺纹涂层不均匀或者残余毛刺较大可能会导致旋拧拧死而导致加工失败,但是相比人工旋拧仍然能够大幅提高生产效率。

参考文献:

[1] 李荣霞. 大底脚螺纹抽钉铆接工艺研究[J]. 科技创新与应用,2016(16):113.

[2] 郝欣妮,高艳,MOHAMMED A E A,等. 面向多规格螺母的自动拧紧机系统[J]. 制造技术与机床,2022(4):88-93.

[3] 田永成,黄丙庆,李云鹏. 在线式轮装制动盘螺栓自动拧紧机的设计和应用[J]. 机床与液压,2020,48(4):120-122.

[4] 王延强. 高效非标膨胀螺栓自动化组装机设计及关键技术研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2019.

[5] SIERLA S,KYRKI V,AARNIO P,et al. Automatic assembly planning based on digital product descriptions [J]. Computers in Industry,2018,97:34-46.

[6] 戴俊. 基于 PLC 控制的物料自动检测与分拣系统设计[D]. 大连:大连理工大学,2015.

[7] 刘明周,蒋倩男,葛茂根. 基于机器视觉的装配动作自动分割与识别[J]. 中国机械工程,2017,28(11):1346-1354.

[8] 李洪,黄建峰,张清泉,等. 法兰-螺栓联接对加速器对中装配同轴度的影响[J]. 四川大学学报(工程科学版),2007,39(3):155-159.

收稿日期:2022-11-07

(上接第 122 页)

4 结语

本文以 NU202 型圆柱滚子轴承为研究对象,通过 ANSYS/LS-DYNA 建立其外滚道、内滚道故障演化的有限元模型,基于仿真分析得出如下结论:

1)仿真计算得出的故障特征频率与理论解之间的误差小于 1%,该模型能够准确地模拟轴承滚道故障状态;

2)在外滚道及内滚道故障的演化过程中,轴承振动响应升高,但特征频率成分不会改变,故障所在套圈的应力水平均有显著升高;

3)在相同的故障尺寸下,故障位于内滚道时会引发更强烈的振动响应,同时内圈的应力水平大于外圈。

参考文献:

[1] 杨国安. 滚动轴承故障诊断实用技术[M]. 北京:中

国石化出版社,2012:10-11.

[2] SHAHA D R ,KULKARNI S S. Vibration analysis of deep groove ball bearing using finite element analysis [J]. International Journal of Engineering Research and Applications, 2015,5(5):44-50.

[3] 杨子臻,左彦飞,邵化金,等. 基于显式有限元的转子不平衡与轴承故障耦合分析[J]. 轴承,2021(2):8-13,16.

[4] SINGH S,KÖPKE U G,HOWARD C Q,et al. Analyses of contact forces and vibration response for a defective rolling element bearing using an explicit dynamics finite element model [J]. Journal of Sound Vibration, 2014,333(21):5356-5377.

[5] SINGH S, HOWARD C Q, HANSEN C H, et al. Analytical validation of an explicit finite element model of a rolling element bearing with a localised line spall[J]. Journal of Sound and Vibration, 2018,416:94-110.

收稿日期:2023-03-30