

# 汽车轮毂轴承外圈组件自动装配装置的研制

张庆麟,李成求,王强坤,王旭  
(大连海事大学 船舶与海洋工程学院,辽宁 大连 116026)

**摘要:**第三代汽车轮毂轴承外圈组件包括轮毂轴承外圈和带有滚动体的保持架,其外形复杂不便于实现自动化装配,为解决这一问题,研制一款全自动装配装置。介绍该装置的机械结构;控制系统的整体规划;对带有滚动体的保持架供料机构进行优化;利用 Adams 验证优化后的机构是否满足预期;将研制出的装配装置应用于企业进行生产试验。结果表明:该装配装置能够稳定、高效地完成装配任务,达到预期目标。

**关键词:**直角坐标机器人;汽车轴承;自动装配;结构优化

**中图分类号:**TP278 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)02-0061-04

## Development of Automatic Outer Component Assembly Machine for Vehicle Hub Bearing

ZHANG Qinglin, LI Chengqiu, WANG Qiangkun, WANG Xu

(Naval Architecture and Ocean Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** To overcome the difficulty in realizing the automated assembly of the third-generation vehicle hub bearing outer ring composed of a vehicle hub bearing outer ring and a cage with rolling elements due to its size complexity, a fully automatic assembly device was developed. The mechanical structure of the device and overall planning of the control system were introduced, the cage feeding mechanism with rolling elements was optimized, and Adams was used to verify whether the optimized mechanism meets the expectations. The automatic assembly device was applied to actual production in enterprises. The experimental results show that the machine can complete the assembly task stably and efficiently, and reach the expected goal.

**Keywords:** cartesian robot; vehicle hub bearing; automatic assembly; structure optimization

### 0 引言

第三代汽车轮毂轴承在设计开发上取得了重大进步,多个功能部件集中到了轴承上,外圈上集成了连接转向节(或悬架)的法兰,高集成度可以减小质量和外形尺寸,提高可靠性<sup>[1]</sup>,但同样也提高了轴承本身装配的难度。轴承外圈与装好滚动体的保持架装配示意图如图 1 所示。由于外形结构复杂,目前国内大多数汽车轴承厂该装配步骤仍然由人工进行。传统人工装配的效率低、劳动强度大,并且容易对轴承清洁度、精度造成影响使装配质量不稳定。针对这一问题设计研发了一款可以适用于多个型号的汽车轮毂轴承自动装配装置,该装置可以高效完成汽车轮毂轴承外圈与带有滚动体保持架的装配任务。

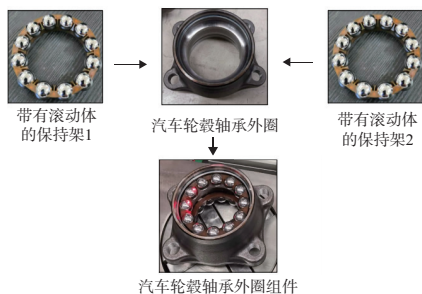


图 1 汽车轮毂轴承外圈组件装配示意图

### 1 装配装置机械结构与优化

#### 1.1 装置整体结构方案

汽车轮毂轴承外圈组件自动装配装置整体机械结构如图 2 所示。包括翻转供料机构、送料机构、辅助装配工作台、夹持机械手、xz 轴直角坐标机器人和机架等六个部分。翻转供料机构将带有滚动体的保持架送至辅助装配工作台;直角坐标机器人带动夹持机械手夹取轴承外圈后,水平移动到第一个装配工位上方后,竖直移动下压装上第一个带有滚动体的保持架;轴承外圈翻转 180°同时水平移动到第二个装配工位上方,竖直移动下压将第二个带有滚动体的保持架装入,完成装配后的轴承外圈组件将被送至指定位置,再由送料机构使用气缸带动挡板,将装配完成的轴承外圈组件送至下一工位<sup>[2]</sup>。

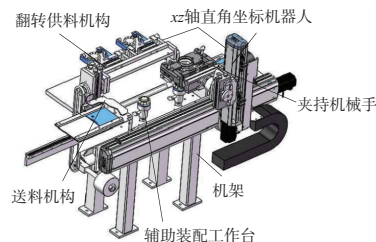


图 2 装配装置整体结构示意图

第一作者简介:张庆麟(1996—),男,辽宁大连人,硕士研究生,研究方向为机电系统集成与智能化。

## 1.2 主要机构设计

### 1) $xz$ 轴直角坐标机器人

装配过程主要是以直线运动为主,各个运动轴通常对应直角坐标系中的  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴,一般  $x$  轴和  $y$  轴是水平面内运动轴, $z$  轴是上下运动轴;直角坐标机器人具有工作行程大、负载能力强、高效率、高精度、成本低等优点,广泛应用于多种行业<sup>[3]</sup>。针对该装配任务要求及现场空间位置限制,选定机器人的形式为二维  $xz$  轴直角坐标机器人。采用的搭建方式为悬臂式,如图 3 所示。两轴直线运动均采用滚珠丝杠直线模组,由单独的伺服电机驱动,单轴的重复定位精度为 $\pm 0.01$  mm,直线运动速度最快为 3 000 mm/s。

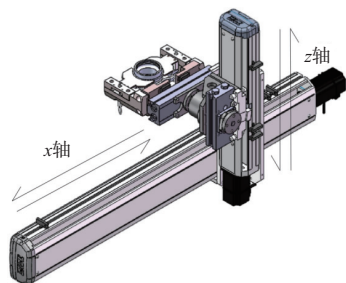


图 3  $xz$  轴直角坐标机器人结构示意图

### 2) 夹持机械手

夹持机械手结构如图 4 所示,包括夹持构件和翻转构件两部分。夹持构件由薄型平开气缸、夹板、拉环快锁插销、夹块和支撑板组成。利用拉环快锁插销将夹块和支撑板固定在夹板上,可以方便更换和维护。薄型平开气缸将夹紧力传递给夹板,两夹块在夹板带动下完成对轮毂轴承外圈的夹持,夹板下方有一对月牙形支撑板,其内径等于夹持部位外径,该支撑板能有效地辅助夹持轮毂轴承外圈,同时能够防止其脱落。

翻转构件主要由翻转气缸、翻转轴座、翻转轴和转接板组成。使用翻转气缸带动夹持构件,由于翻转气缸所能承受的弯矩有限,直接将夹持构件连接到翻转气缸上,会使夹持构件自重所产生的弯矩作用到翻转气缸上,翻转气缸长时间承受转矩工作将会缩短使用寿命。为了避免翻转气缸承受弯矩,使用翻转轴座代替翻转气缸承受弯矩。图 4 中翻转气缸将旋转运动传递给翻转轴,翻转轴与夹持构件通过法兰盘相连接,将旋转运动传递给夹持构件;其中夹持构件所产生的弯矩将由翻转轴座承受,再利用转接板将整个夹持机械手固定到  $z$  轴移动丝杠上。

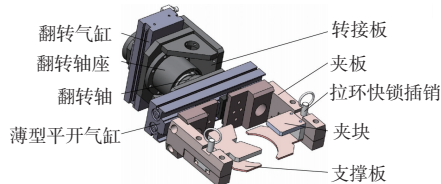


图 4 夹持机械手结构示意图

### 3) 辅助装配工作台

为了使汽车轮毂轴承外圈更好地固定住保持架,在轴承外圈设计了环形定位凸台。该凸台能够在不使用其他

零件的情况下固定住保持架位置,使保持架不能自由移动,但也使带有滚动体的保持架的最大直径大于环形定位凸台的内径,所以保持架需要在装入过程中产生变形收缩才能顺利完成装配。据此设计了辅助装配工作台如图 5 所示,该装配工作台可使保持架在受到轻微挤压后便可以产生足够变形,完成装配动作。

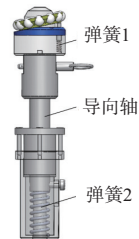


图 5 辅助装配工作台结构示意图

送料翻转机构将带有滚动体的保持架送至辅助装配工作台,装配挤压过程可分为以下两个步骤。第一步,带有滚动体的保持架初始状态由弹簧 1 顶起,倾斜放置;夹持机械手夹持轮毂轴承外圈沿  $z$  轴下移;由弹簧 1 支撑起的带有滚动体的保持架一端先装入轮毂轴承外圈。这一过程由于带有滚动体的保持架是倾斜放置,并且球体本身十分光滑,可以自动调节自身的位置,故不需要挤压力也可以顺利完成;第二步,当带有滚动体的保持架一端装入后,夹持机械手继续向下移动,将会克服弹簧 1 的弹力,使带有滚动体的保持架发生由倾斜向水平运动的趋势,同时导向轴向下移动挤压弹簧 2,弹簧 2 提供的向上的挤压力会逐步增加,使保持架发生足够的变形,最终完成装配。

## 1.3 关键机构优化

### 1) 翻转送料机构缺陷

带有滚动体的保持架送料任务由翻转气缸和两个蟹形平开气缸带动的两对夹爪实现。夹爪夹持住带有滚动体的保持架后,再由翻转气缸带动夹爪旋转 180°,到达辅助装配工作台的正上方;松开夹爪后,带有滚动体的保持架下落到辅助装配工作台,完成送料后翻转送料机构复位,等待进行下一轮送料。翻转送料机构结构如图 6 所示。

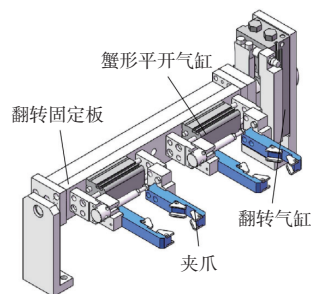


图 6 翻转送料机构结构示意图

翻转气缸提供恒定转矩,使翻转机构从 0° 运动到 180°;翻转机构偏心质量较大,在 0°~90° 翻转过程中,偏心质量做负功阻碍翻转运动;90°~180° 翻转过程中,偏心质量做正功加速翻转。翻转送料机构运动简图如图 7 所

示。为简化分析过程,忽略转轴的摩擦力矩,根据转动刚体定律可分别得到在  $0^\circ \sim 90^\circ$  和  $90^\circ \sim 180^\circ$  翻转时力矩平衡方程为:

$$T - m_1 g r_1 \cos \theta = J_1 \alpha \quad (1)$$

$$T + m_1 g r_1 |\cos \theta| = J_1 \alpha \quad (2)$$

式中: $J_1$ 为翻转机械爪转动惯量; $\alpha$ 为质心角加速度; $T$ 为翻转气缸输出转矩; $m_1$ 为偏心质量; $r_1$ 为偏心距; $\theta$ 为翻转角度。

由于翻转机构偏心质量的影响, $0^\circ \sim 90^\circ$ 翻转启动缓慢, $90^\circ \sim 180^\circ$ 加速翻转,故该翻转供料机构整体运动不平稳;同时运动行程末端角速度过大,会产生较大冲击,频繁的冲击会降低机构使用寿命。基于以上两个缺点对现有机构进行优化。

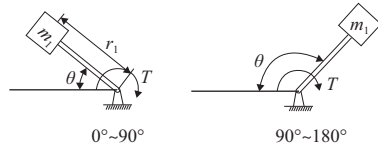


图7 翻转机构运动简图

2) 机构优化方案

依据翻转供料机构现有布局,优化方式为添加平衡装置,平衡现有机构的偏心质量。如图8所示,翻转轴通过键槽与链轮相连,链轮带动链条将翻转运动传递给平衡块。从  $0^\circ$  运动到  $180^\circ$  时,翻转机械爪的偏心质量先做负功后做正功;平衡块将先做正功后做负功,正好与翻转机械爪的偏心质量互相平衡,机构运动简图如图9所示。现设定平衡块质量大于翻转机械爪的偏心质量,其作用在于,当翻转运动启动时平衡块多出的质量可以提高翻转加速度;运动到末端时降低翻转加速度。平衡块质量有上限,当翻转机构运动到  $180^\circ$  时,平衡块质量产生的转矩小于翻转气缸和翻转机械爪的偏心质量所产生的转矩之和,其表达式为

$$m_1 g r_1 + T \geq m_2 g r_2 \quad (3)$$

式中: $m_2$ 为平衡块偏心质量; $r_2$ 为平衡块偏心距。根据现场设备布局设定  $r_2 = 2r_1$ ,可得到平衡块质量  $m_2$ 。

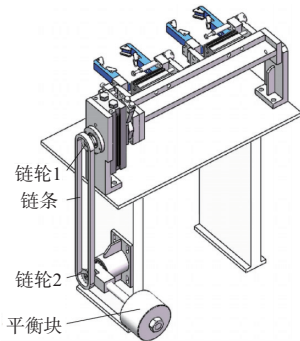


图8 翻转供料机构优化后结构示意图

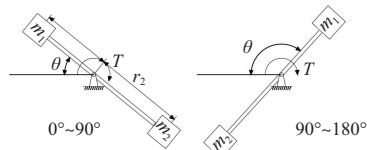


图9 翻转机构优化后运动简图

3) 动力学分析验证可行性

Adams 软件有强大的动力学解算器,但是实体建模功能薄弱。本文采用三维造型软件 Solidworks 对翻转机构进行适当简化,并利用 Solidworks 与 Adams 软件接口,将机构模型导入 Adams 中。几何模型建立好后便可以对模型施加运动副和运动约束。在相应的转动关节处施加 Revolute 副约束;基座和大地间采用 Fixed 副来固定<sup>[4]</sup>。翻转机构从  $0^\circ$  运动到  $180^\circ$ ,需要对其转动副建立角度测量,并对角度测量建立传感器,使得运动在角度超过  $180^\circ$  时终止仿真。建立的仿真分析模型如图10所示。

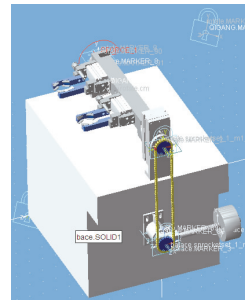
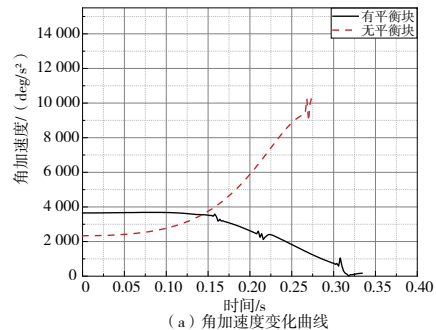
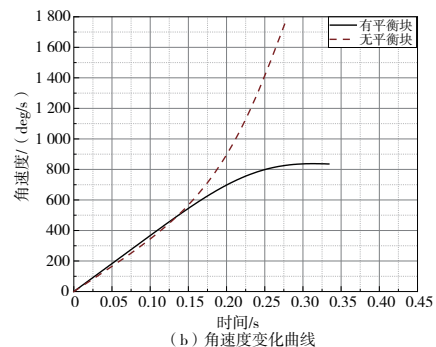


图10 Adams 仿真模型示意图

利用 Adams 分别对不加平衡块和加入平衡块的翻转机构进行仿真,翻转机构质心处的角加速度和角速度随时间变化曲线如图11所示。从图11(a)中可以看出相较于无平衡块的翻转机构,有平衡块的翻转机构在运动初期角加速度大,随着翻转运动的进行,角加速度逐渐减小,达到行程末端趋近于0;从图11(b)中可以看出有平衡块的翻转机构到达末端的速度小于无平衡块的翻转机构,并且有平衡块的翻转机构翻转过程速度变化相对平缓。依据动量定理,到达末端的速度越小,则所产生的冲击力越小。故通过仿真验证了该机构优化符合预期目标。



(a) 角加速度变化曲线



(b) 角速度变化曲线

图11 翻转机构质心角加速度与角速度随时间变化曲线

## 2 控制系统

汽车轮毂轴承外圈组件自动装配装置的控制系統结构如图 12 所示,主要包括信号输入单元、核心控制单元、执行单元和人机交互触摸屏。

信号输入单元中磁性开关用于判断气缸的位置以及对直角坐标机器人  $x$  轴、 $z$  轴限位;按钮开关用于控制电路的启动、停止;光电传感器判断带有滚动体的保持架和轮毂轴承外圈是否在所需位置;气源压力表用于监控机构整体气压是否满足预设需求;安全光幕用于防止操作工人身体部位误触到设备内部。核心控制单元采用可编程控制器(PLC),其结构紧凑,通信方便,通过数字式或模拟式的输入输出来控制各执行单元。执行单元包括伺服电机和气缸,PLC 通过定位指令来输出脉冲控制电机的运行,同时伺服电机上的编码器将实时位置信号反馈给 PLC,实现闭环控制,保证在  $x$  轴、 $z$  轴上的准确位移;电磁阀接收自 PLC 发出的电信号,控制气缸进行相应动作。触摸屏的主要功能是在系统运行时,实时显示直角坐标机器人的运行状态、位置坐标、各机构所处位置、装配完成数量等,在系统出现错误时触摸屏上会提醒有相应错误代码<sup>[5]</sup>。

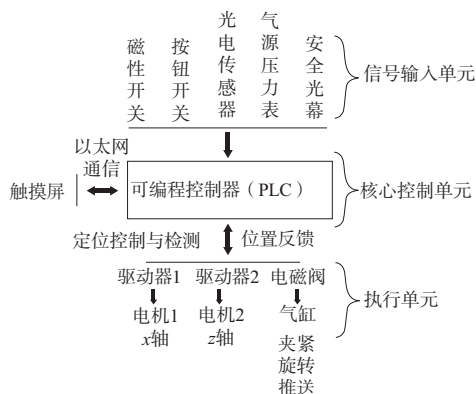


图 12 控制系统结构示意图

## 3 应用运行试验

将装置应用到企业实际生产线中,如图 13 所示。对汽车轴承外圈及装好滚动体的保持架装配工作进行 200 组装配试验。试验结果:装配机每 13 s 便可完成一次装配,满足企业要求的 15 s,并且装配成功率为 100%,生产效率相较于人工提高了 44%。该装配装置的精度、效率

和稳定性均能满足企业实际生产要求。



图 13 装配装置实际生产示意图

## 4 结语

通过对汽车轮毂轴承外圈组件的研究,设计了一款全自动装配装置。该装置利用交流伺服电机作为主驱动,能够实现精准的位置控制;夹持机械手能够准确、稳定地夹持住工件;辅助装配工作台使保持架在受到极小的挤压力下产生足够的变形,帮助装置顺利完成装配;利用 Adams 对优化后的翻转送料机构进行仿真分析,证明优化后的机构满足预期目标。该装配装置已顺利投入生产中,设备成功的应用使企业降低了人力成本、提高工作效率和装配质量,同时也为汽车领域中的其他企业生产方式升级提供了参考。

### 参考文献:

- [1] 宋祥峰. 轮毂轴承的定义、分类和技术发展趋势[J]. 汽车实用技术,2018(12):178-180.
- [2] 何琴,陈汉,喻维,等. 生产线上拾取机器人的设计——以易拉罐为例[J]. 机械制造与自动化,2019,48(5):153-156.
- [3] 李刚,周文宝. 直角坐标机器人简述及其应用介绍[J]. 伺服控制,2008(9):72-75.
- [4] 李庆龄,赵永生. 六自由度工业机器人动力学分析与仿真[J]. 上海电机学院学报,2008,11(4):275-278.
- [5] 金鹏,刘建新,史素敏. 抛光直角坐标机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造,2013(9):200-202.

收稿日期:2021-01-08