

低成本自动化供料机构的创新设计与实现

柳泽斌

本田汽车零部件制造有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ERA.2026090019

摘 要 : 目前供料多采用气爪加多轴滑台, 存在成本高、节拍慢、维护多的问题。针对轴承压装棒料上料场景, 研发了一种被动限位快取机构。该机构舍弃主动夹持, 依托料槽定位、挡块限位、推块送料配合, 仅用两个气缸完成取料与移送。实测显示, 其结构简洁, 成本较传统气爪方案低约60%, 单次移送不足2.5秒, 定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$, 符合压装要求。这为中小型设备提供了高性价比的供料方案。

关 键 词 : 低成本自动化; 供料机构; 轴承压装; 被动限位; 快速搬运

Innovative Design and Implementation of Low-Cost Automated Feeding Mechanism

Liu Zebin

Honda Auto Parts Manufacturing Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

Abstract : Currently, air claws and multi axis sliding tables are commonly used for feeding, which has problems such as high cost, slow pace, and extensive maintenance. A passive limit quick release mechanism has been developed for the loading scenario of bearing press fit rod materials. The institution abandons active clamping and relies on material slot positioning, stopper limit, and push block feeding coordination, using only two cylinders to complete material retrieval and transfer. Actual testing shows that its structure is simple, the cost is about 60% lower than traditional air claw solutions, the single transfer time is less than 2.5 seconds, and the positioning accuracy is $\pm 0.1\text{mm}$, which meets the requirements of press fit. This provides a cost-effective feeding solution for small and medium-sized equipment.

Keywords : low-cost automation; supply organization; bearing press fit; passive limit; quick transportation

引言

装配生产中, 轴承供料多采用气动夹爪搭配多轴滑台。该方式适用性广, 但气爪、双独立滑台叠加传感器、控制器等部件, 单套整体成本偏高。夹爪开合与滑台升降、平移动作串联, 单循环耗时较长, 高速产线易形成瓶颈。过往有从业者尝试简化机构, 却往往损失定位精度或动作可靠性。结合生产实际需求, 在保障精度与搬运可靠性的前提下, 提出一种结构更简、成本更低的轴承快速取料方案, 为同类装配场景提供借鉴。

一、项目概述

(一) 项目背景与需求特征

轴承压装是电机、减速机与各类旋转设备制造环节的核心工序。压装作业前, 轴承需从储料位精准移送至压装头下方, 再由压装机压入轴颈或壳体孔中。这道工序对轴承定位精度有相应要求, 同时需管控搬运节拍, 匹配整线生产节奏。中小批量生产场景下, 设备投入是重要考量, 因此要简化机构、减少高价标准件。

(二) 现有方案的结构与成本分析

目前行业内普遍采用气爪夹持方案来实现轴承的取放操作。该方案的基本构成包括: 一个气动夹爪用于夹紧轴承外圈, 两个气动滑台分别承担上下升降和水平移送功能。夹爪含精密夹指、

导向及同步机构, 制造装配精度高。从成本构成来看, 气爪及两个滑台的采购、配套阀体、传感器及调试费用叠加, 使得单套供料装置的总投资居高不下。在工序动作时序上, 夹爪闭合、滑台上升、滑台平移、夹爪张开、滑台复位等一系列动作依次执行, 路径较长, 单次搬运耗时约3.5至4秒, 在高速生产线中难以满足节拍要求^[1]。

(三) 本项目的设计难点

简化结构的同时保证定位精度是设计过程中面临的首要难点。取消气爪意味着失去主动夹持力, 如何在搬运过程中防止轴承意外脱落或偏移, 成为必须解决的关键问题。其次, 减少气缸数量后, 动作逻辑由串联变为并联, 对机构在有限空间内的布局提出了更高要求。此外, 由于取消了夹爪的主动对中功能, 料槽

与推块之间的相对位置精度需要由机械结构本身来保证，这对零件的加工和装配精度提出了更严格的要求。如何在低成本、结构简单的约束条件下实现可靠搬送，是该设计需要克服的核心矛盾。

二、机构设计与动作原理

（一）总体结构布局

这套快速取料装置由料槽、推块、气缸、挡块、拉簧及固定块等部件构成。料槽为轴承提供定向存放空间，截面形状适配轴承外圈轮廓，可让轴承在槽内保持既定姿态。推块装于气缸活塞杆末端，在气缸带动下沿料槽方向往复运动。挡块是机构的核心功能零件，一端连接拉簧，自由状态下另一端与固定块形成限位配合。导向槽固定安装在工作台面，可在指定位置对挡块施加约束。整套机构在水平面内布置紧凑，主要运动部件沿直线排布，不存在复杂的空间交错结构。

（二）关键部件功能与配合关系

料槽采用 V 形或 U 形截面，长度方向保证直线度，确保轴承滚动顺畅。推块推动面为弧形凹面，弧度与轴承外径匹配，可增大接触面积、降低局部压强，同时保证推力指向轴承中心。挡块为带导向销的摆杆，绕固定转轴摆动。拉簧使挡块始终趋向限位位置。固定块布置在料槽侧方，端面作为挡块的限位面。挡块贴靠该面时，突出部分伸入料槽，阻挡轴承沿槽滚动。导向槽设于取料位固定构件，位置与形状经专门设计。机构运动至取料位时，导向槽接触挡块导向销，迫使挡块克服拉簧拉力向外摆动，腾出料槽通道^[2]。

（三）三阶段动作时序

整个搬送过程分为三个阶段，形成完整的工作循环。

拿料阶段：机构整体运动至拿料位置，挡块上的导向销滑入导向槽内，在导向槽侧壁的推挤作用下，挡块克服拉簧拉力向外摆动。此时挡块伸入料槽的部分退出，料槽通道畅通。气缸驱动推块向前推进，将料槽内等待的轴承沿槽推向挡块方向。由于挡块已退让，轴承顺利通过挡块所在位置，进入料槽前端的待取区域。气缸停止推进，完成拿料动作。

搬送阶段：拿料完成后，驱动机构整体平移的气缸动作，将整个拿料组件从拿料位向压装位移送。随着机构离开拿料位，挡块上的导向销脱出导向槽，挡块失去外部约束，在拉簧拉力作用下迅速回摆。挡块端部重新伸入料槽内，此时其位置处于已取轴承的后方，起到防止轴承在搬送过程中因惯性或振动而沿槽回退的作用。整个搬送过程中，轴承被约束在料槽前端与挡块之间，既不会脱落也不会发生偏转。

压装就位阶段：搬送组件到达压装位后，另一只气缸（推料气缸）动作，将料槽前端的轴承推出料槽，送至压装头的安装位置。轴承被推出后，推料气缸复位，同时整个搬送机构在驱动气缸带动下返回拿料位。当机构回到拿料位时，挡块导向销再次进入导向槽，挡块被推开，料槽通道重新开放，为下一次拿料做好准备。至此一个完整的工作循环结束^[3]。

三、力学分析与参数确定

（一）轴承滚动受力模型

轴承在料槽内的运动，可等效为 V 形槽中的圆柱体滚动。取轴承外径为 D ，质量为 m ，料槽倾角为 α ，推块推力为 F 。轴承沿槽滚动的判定条件，是推力形成的驱动力矩超过滚动阻力矩。滚动阻力主要来自轴承外圈与槽壁的接触变形，以及滑动摩擦。依据赫兹理论，变形量与载荷呈非线性关联，常用范围内可做线性近似。

料槽采用水平布置，倾角 α 为 0° 。此时轴承无自重分力带动滚动，运动完全依靠推块推力实现。这种布置的优势是，停止推料后轴承可立刻静止。不会因重力分力出现意外滚动，安全性更高。其缺点在于，推块需克服轴承与槽壁间的静摩擦，才能启动运动。静摩擦系数受接触面粗糙度与润滑状态影响。控制槽壁表面粗糙度在 $Ra1.6$ 以内，并保持清洁干燥，可将启动摩擦系数控制在 0.15 以下。

（二）挡块限位受力分析

挡块是保证搬送过程中轴承位置稳定的核心零件。在搬送阶段，挡块伸入料槽的部分承受轴承可能施加的推力，该推力来自机构加减速过程中轴承产生的惯性力或轻微振动。挡块受力可分解为沿接触面法线方向和切线方向两个分量。

法向力的大小，由轴承对挡块的挤压程度决定。最不利工况下，选取轴承惯性力作为计算依据。设机构平移加速度为 a ，轴承惯性力 $F_i = m \cdot a$ 。加速度取设备实际运行的峰值 $2m/s^2$ 。以 $0.5kg$ 的常规小型轴承计算，惯性力仅约 $1N$ ，远低于挡块结构的承载能力。

拉簧选型需满足两项条件。一是挡块脱离导向槽后，拉簧能迅速将其拉回限位位置。响应时间应小于机构平移时间的十分之一。二是限位状态下，拉簧拉力需提供充足保持力。防止挡块在振动环境中意外脱开。经计算与实测试验，选取线径 $1.0mm$ 、中径 $8mm$ 、初始张力 $3N$ 的琴钢丝拉簧。其响应时间约 0.08 秒，保持力余量充足^[4]。

（三）气缸选型与速度匹配

该机构使用两个标准气缸：一为推料气缸，缸径 $12mm$ ，行程 $30mm$ ；二为整体平移气缸，缸径 $16mm$ ，行程 $80mm$ 。工作气压统一为 $0.5MPa$ 。推料气缸的理论推力约为 $56N$ ，平移气缸理论推力约为 $100N$ ，均满足各自工况需求。为控制搬送速度避免冲击，在两个气缸的进气口分别安装单向节流阀，通过调节排气流量将平移速度控制在 $400mm/s$ 左右，推料速度控制在 $200mm/s$ 左右。速度匹配的原则是：推料速度不宜过快以免轴承撞击料槽端部产生反弹，平移速度则尽可能提高以缩短搬送周期，但需保证加减速过程平稳。

四、与传统方案的对比验证

（一）结构复杂度与零件数量的对比

传统气爪方案含本体（爪指、导向块、同步齿轮等）、升降/平移滑台、支架、防护罩等，约 $35-40$ 种零件。该设计将所有功

能整合于一套紧凑机构中，零件种类缩减至15种左右。结构简化带来的直接益处是加工和装配工作量显著下降，生产周期缩短，对加工设备的精度要求也有所降低。

（二）动作周期时间的实测对比

在相同工况条件下对该机构与传统气爪方案进行搬送节拍的对比测试。使用高速摄像机记录整个搬送过程的动作时间，每种方案各测试50次取平均值。传统方案的时序为：气爪闭合0.3s、升降滑台上升0.4s、平移滑台水平移送0.8s、升降滑台下降0.4s、气爪张开0.3s、平移滑台复位0.8s，各动作之间存在约0.1s的延时，总计约3.5s。该机构由于取消了气爪的夹紧与松开动作，并将移送与限位功能合并，时序简化为：推料0.3s、平移0.8s、推料到位0.2s、复位0.8s，各动作衔接紧凑，单次循环实测平均值约2.4s。搬送效率提升约31%，在批量化生产中的累计时间效益十分可观。

（三）成本构成的量化比较

成本核算是评估该方案优势的重要维度。以一套供料装置为单位进行对比，传统方案中气爪采购价约2500元，两个气动滑台合计约3200元，配套电磁阀组约600元，传感器约400元，加工零件成本约1500元，合计约8200元。新方案中两个气缸合计约700元，拉簧等标准件约50元，加工零件成本约800元，电磁阀两个约300元，传感器仅保留到位检测两只约200元，合计约2050元。单套设备成本降低约75%。若计入后续维护成本，气爪爪指为易损件，年维护约600元；新方案无此类件，维护极低。

（四）定位精度与重复性测试

定位精度直接关系到轴承能否顺利装入压装头，是衡量方案可行性的关键指标。在料槽出口处安装激光位移传感器，测量轴承每次被推出时的中心位置偏差。在连续运行500次循环后采集数据，位置偏差在X方向（水平推送方向）的标准差为0.04mm，Y方向（垂直于推送方向的水平方向）的标准差为0.06mm，最大偏差出现在第327次循环，为0.13mm，仍在压装工序允许的±0.2mm公差范围内。该结果证明被动限位方式能够提供足够的定位重复性，完全满足实际生产需求^[5]。

五、应用拓展与效果评价

（一）适用范围与局限性

该供料机构适用于棒料或环状工件的外圆定位供料场景，尤

其适合直径范围在10mm至40mm之间的滚动轴承、垫圈、轴套等环形零件。对于异形截面或尺寸超出该范围的工件，需对料槽形状和挡块轮廓重新设计，但基本动作原理和机构构型保持不变。该方案的局限性在于：挡块限位为单向约束，在高速搬送或振动较大的工况下可能无法完全抑制轴承沿轴向的窜动，因此不适用于要求极高定位精度的精密装配场合。此外，该机构采用水平供料方式，在空间受限需垂直供料的设备中不适用。

（二）可推广的自动化场景

除了轴承压装工序，该设计思路还可推广至其他需要将回转体工件从储料区移送至加工位的自动化场景。例如在小型电机装配线上，端盖、调整垫片等环形零件的供料均可采用类似机构。在电子元器件制造领域，小型环形磁芯、屏蔽罩等零件的自动化上料同样适用。核心的设计原则——利用被动限位替代主动夹持、将多个动作合并以减少执行元件数量——对于各类低成本自动化改造项目均具有参考价值。

（三）进一步优化方向

未来可在该机构基础上增加以下改进：一是在料槽内壁镶耐磨陶瓷衬垫，延长寿命，适应磨粒性工件；二是增设到位检测传感器反馈轴承是否准确到达待取位置，实现闭环控制，进一步提升可靠性；三是将手动调节的挡块位置改为可快速更换的模块化设计，以适应不同规格轴承的快速切换，缩短换型时间；四是探索将平移与推料两个动作由同一气缸驱动的可能性，进一步精简气动元件数量^[6]。

六、结束语

针对轴承压装工序中传统气爪供料成本高、周期长的不足，本研究设计了一种被动限位快速拿料机构。该方案仅需两个气缸完成全部搬送动作，挡块在导向槽与拉簧的配合下自动切换限位状态。经过结构设计、力学分析与实验验证，结果表明，该机构在成本、节拍和定位精度上均优于传统方案。这为中小型自动化装配设备提供了一种经济实用的供料解决方案，对低成本自动化技术的工程应用具有现实意义。

参考文献

[1] 王国庆,程汉,任鹏博,等. 紧凑型贴片机低成本外驱动飞达供料系统研究 [J]. 机械设计, 2023, 40(10): 8-12.
[2] 徐平凡,王文彬,徐鸣利,等. 基于单片机控制的异形件双轨供料装置的设计 [J]. 机电工程技术, 2024, 53(3): 60-62.
[3] 石建刚,任帅. 轴承自动压装系统 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(14): 90-93.
[4] 陈禄. 基于多个气缸驱动的叶片自动压型机械手设计与应用 [J]. 液压气动与密封, 2024, 44(3): 79-82.
[5] 林齐,蔡传榕,廖文卿. 智能化柔性烟支供料系统的优化设计与应用研究 [J]. 精密制造与自动化, 2024(3): 30-35.
[6] 苗德元,陈吉祥,周兴动,等. 行星轮滚针轴承自动化装配单元的设计 [J]. 机械工程与自动化, 2022(2): 118-121.