

# 一种凸轮传动力控补偿机构的研制

刘小平, 郭克文

(湖南宇环精密制造有限公司, 湖南 长沙 410100)

**摘要** 在各种精密模具、电子数码产品等精密零配件产品的 3D 面打磨抛光中, 为了降低制造难度和成本, 以及使多工位加工获得良好的一致性, 在设备和工艺选择过程中往往采用带力控补偿功能的设备来进行抛光作业。传统的力控补偿机构都是基于导轨丝杆传动, 伺服电机驱动, 在设计单个方向的力控补偿机构时, 造价和体积都还可以接受, 但是, 当涉及两个方向以上力控补偿需要时, 以导轨丝杆为基础的机构就很难达到令人满意的效果, 其体积庞大, 结构复杂, 维修不便, 成本过高, 性价比不好。本设计采用凸轮传动副代替丝杆传动并选择合适的凸轮曲线, 再配合软件算法, 以期能为解决上述缺陷提供有益参考。

**关键词** 力控; 力控补偿; 凸轮传动; 五轴抛光机

中图分类号: TH132

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0001-03

## 1 研究背景

近年来, 在量大面广的消费电子行业中, 以手机和平板电脑为代表的各大厂商, 不断采用新材料、新外观造型来设计其产品的外壳、中框等, 以达到引领潮流和吸引消费者青睐的目的, 这些采用新材料、新外观的产品, 加工难度很大, 厂商还为了提高物料质感, 对产品表面先后进行多道工序处理, 而这些工艺都离不开五轴抛光机<sup>[1]</sup>。

上述精密零配件产品的 3D 面打磨及抛光中, 厂商为了降低制造难度和降低成本, 在设备和工艺选择过程中往往采用带力控补偿<sup>[2]</sup>功能的设备来进行抛光作业, 即根据耗材与工件的实际接触情况的抛光压力, 通过压力传感器对这些打磨抛光压力实时进行反馈, 数控系统根据反馈数据进行补偿, 从而维持既定的打磨抛光压力, 这个功能我们称为力控功能。

在精密制造与自动化控制领域, 传统力控补偿机构所面临的挑战尤为严峻。其庞大的体积不仅占据了宝贵的空间资源, 限制了应用场景的拓展, 更在微小设备或空间受限的环境中显得格格不入, 难以满足现代工业对高效、紧凑的需求。机械结构的复杂性如同一座迷宫, 使得拆装过程繁琐且耗时, 不仅增加了维护成本, 更在紧急维修时考验着技术人员的耐心与技能。一旦出现故障, 修复周期长, 会影响生产线的连续运行, 给企业带来不小的经济损失。更为关键的是, 这类机构的刚性不足直接影响了控制的精确性和稳定性。在高精度要求的场合, 即便初期能够勉强达标, 随着时间的推移, 精度的衰退也令人头疼不已, 难以

满足长期稳定的生产要求。这种精度的不可控性, 对于追求产品质量的现代制造业而言无疑是巨大的隐患。复杂的机械结构伴随着高昂的制造成本, 不仅抬高了产品售价, 降低了市场竞争力, 也限制了其在更广泛领域的应用。性价比的失衡, 使得许多潜在客户望而却步, 市场接受度大打折扣。

本设计通过深入研究和广泛测试, 突破性地摒弃了传统的导轨丝杆传动方式, 创新性地引入了凸轮传动机制, 精心设计了凸轮副机构, 并优选高效的凸轮曲线, 辅以先进的软件算法, 有效克服了传统机构的多项弊端。这一变革性设计采用伺服电机直接驱动凸轮组件, 替代复杂的精密丝杆传动系统, 不仅显著缩减了整体结构尺寸, 提升了机械刚性, 还极大地简化了机构复杂度, 使得拆装与维护变得更为便捷。这一创新方案在保持甚至提升精度的同时, 也增强了精度的长期稳定性, 满足了高精度作业的需求, 通过优化设计与材料选择, 成功降低了制造成本, 提升了产品的性价比。

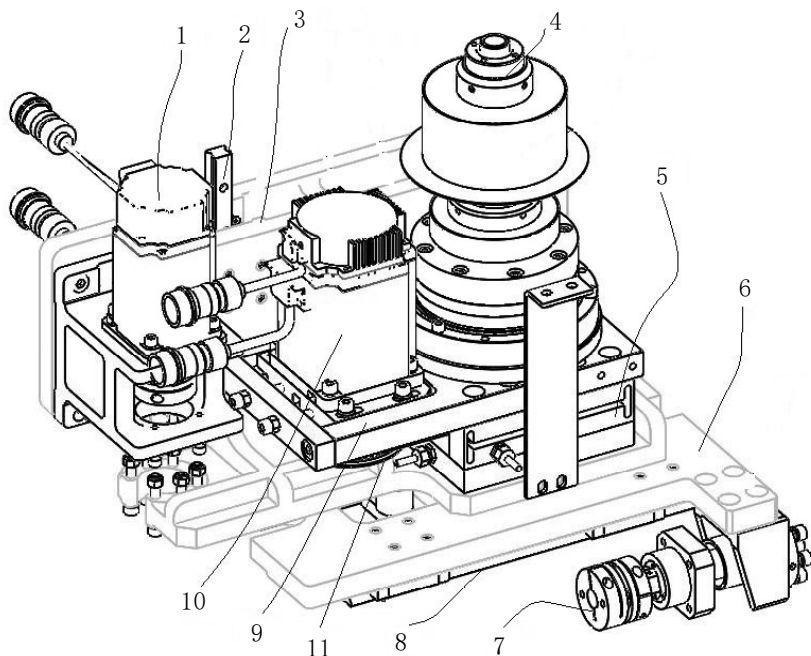
## 2 结构及工作原理分析

### 2.1 设计原型

图 1 是一种传统双向 (Y 向和 Z 向) 力控补偿的典型机构。如图 1 所示, 该双向力控机构主要由零件 1 和零件 7 实现 Z 向和 Y 向的力控补偿。

上述机构中, 零件 4、零件 10 分别固定在零件 9 上, 他们通过零件 11 传动驱动工件轴, 零件 9 固定在零件 5 上, 而双向压力传感器的固定端安装在零件 3 上。

上述机构中, 零件 3 通过零件 2 安装在零件 6 上。



(注: 1. Z向伺服驱动电机及丝杆; 2. Z向导向导轨副; 3. Z向滑动台; 4. 工件轴及减速机; 5. 双向压力传感器; 6. Y向滑动台; 7. Y向伺服驱动电机及丝杆(电机未画出); 8. Y向导向导轨副; 9. 减速机及电机安装板; 10. 工件轴驱动电机; 11. 同步轮及同步带)

图1 设计原型

零件1的固定端也安装在零件6上, 其活动端联接到零件3。

进一步地, 零件8的导轨安装在工作台台板上(台板未画出), 滑块安装在零件6上, 零件7的固定端也安装在工作台台板上, 活动端安装在零件6上。

此机构在运行与工作过程中, 零件5对工件的两个方向所受的抛光压力进行实时反馈, 系统根据算法驱动零件1和零件7实现耗材与工件的实际接触的距离进行微调, 从而实现Y方向和Z方向的力控补偿功能。

这个传统的双向(Y向和Z向)力控补偿机构, 基本功能是没有问题的, 但是具有前面叙述的大量缺点, 必须另辟蹊径。

## 2.2 采用凸轮副的新型设计

如图2所示, 是根据滑台运动的特点进行的新型设计, 考虑到力控补偿的实际行程很短, 一般不超过10 mm, 根据这个特点, 考量凸轮机构是可以满足的, 故我们设计了凸轮机构代替丝杆传动机构。

上述机构中, 零件5工件治具安装在零件3工件轴及减速机上, 中间零件4是减速机护罩, 为了保护减速机防止抛光液侵蚀<sup>[3]</sup>。零件3安装在零件2双向压力传感器上, 零件2的静止圈又安装在零件6上。零件1是工件轴驱动电机, 固定在减速机的固定座上,

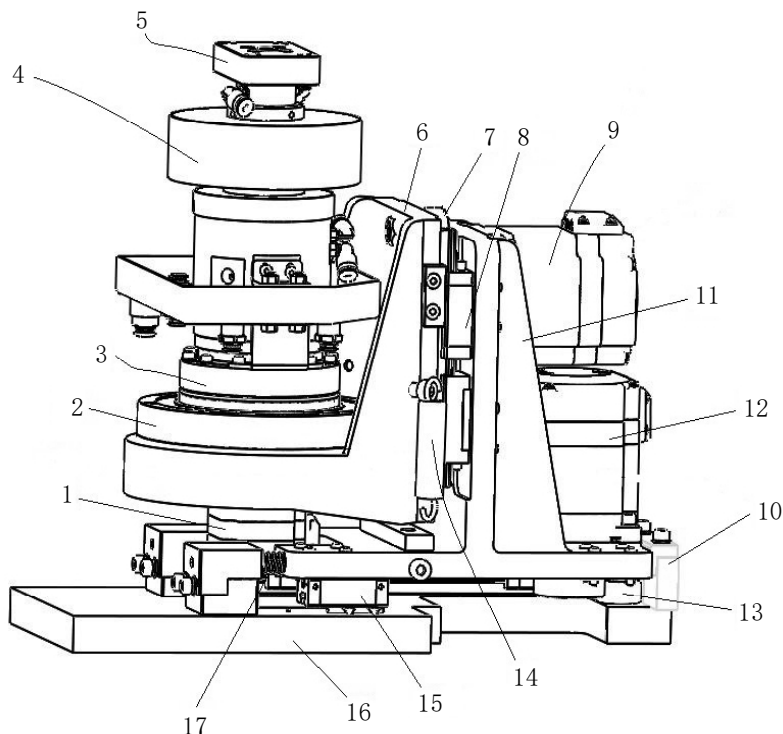
其驱动轴插入零件3的输入端, 可以使得治具和待加工工件精确地3D仿形旋转。

上述机构中, 零件6通过零件8安装在零件11上。零件7中, 凸轮安装在零件9的轴上, 随动器安装在零件6上, 电机9驱动凸轮转动, 可以带动零件6及安装在零件6上的零件上下运动。零件9固定在零件11上。零件14是拉簧, 为满足凸轮机构的力封闭而设计, 其一端固定在零件6上, 另一端固定在零件11上, 拉力可以使得零件7可靠接触, 保证零件6可靠上下移动<sup>[4]</sup>。

进一步地, 零件11通过零件15的滑块连接, 而零件15的滑轨则安装在零件16上; 零件12是Y向补偿驱动电机, 其安装在零件11上。零件13的凸轮安装在零件12上, 随动器则安装在零件16上。零件17是为满足此处凸轮机构的力封闭, 弹力使得零件13相互紧密贴合, 保证动作顺畅。

在机构运行与工作过程中, 零件2对工件的两个方向(Y和Z向)抛光压力进行实时反馈, 系统根据算法驱动零件9和零件12动作, 及时调整耗材与工件的实际接触的微小距离, 从而实现Y方向和Z方向的力控补偿功能。

该设计中, 两组凸轮和凸轮随动器是很关键的零



(注: 1. 工件轴驱动电机; 2. 双向压力传感器; 3. 工件轴及减速机; 4. 减速机护罩; 5. 工件治具; 6. Z向滑动台; 7. Z 凸轮和凸轮随动器组; 8. Z 向导向导轨副; 9. Z 向补偿驱动电机; 10. Y 向防撞块; 11. Y 向滑动台; 12. Y 向补偿驱动电机; 13. Y 凸轮和凸轮随动器组; 14. 拉簧; 15. Y 向导向导轨副; 16. 工作台台板; 17. 压簧)

图 2 新型设计

件副。凸轮曲线必须严格满足从动件即凸轮随动器是“等速直线”运动,方便配合系统算法实现力控<sup>[5]</sup>。

根据力控补偿的经验,通电后初始状态下,Y轴与Z轴方向力控处于零点状态,根据程序设定,可调整初始零点位置在凸轮曲线中段,因此我们设计补偿范围变为 $\pm 5\text{ mm}$ 。

上述设计中,没有采用昂贵的丝杆传动,省去了联轴器、精密丝杆、丝杆安装座、精密轴承、螺母座等,体积和重量都减小了很多,将Y轴与Z轴的传动组件集成在了零件11上,因此尺寸才能做到大幅缩小,在有限空间里,布置多维力控才可以排布。该机构除了凸轮加工复杂一点外,需要加工的主要零件数量少,加工相对也比较简单,因此整个机构的制作成本较传统力控机构大大减少。相比于现有的传统双力控机构,拥有更为简便的拆装方式,更为精简的机构,更为低廉的成本,带来了更高的生产效率和性价比。

### 3 结束语

这种凸轮机构用于五轴抛光机的力控补偿机构,设计跳出了传统的导轨丝杆传动固有模式,运用“等

速直线”凸轮曲线,配合软件算法,在一定程度上解决了原有机器的缺陷,基本解决了现有五轴抛光机力控机构的痛点,打破老款设备的局限性。在抛光过程中,抛光精度以及抛光效果、响应速度和可靠性都得到了验证,我司成功运用于多个项目,给我司和客户创造了良好的社会效益和经济效益。

### 参考文献:

- [1] 刘小平.一种复合抛光装置的研发设计[J].数码—移动生活,2023(07):301-303.
- [2] 孙明建,国凯,孙杰.机器人柔顺力控装置研究[J].制造技术与机床,2022(03):55-61.
- [3] 彭革辉,郭克文.“四堵两通一兜”解决C轴防水问题[J].科海故事博览,2023(11):124-126.
- [4] 赵宗圣,程金石,吴泓达,等.机器人的力控制技术及应用进展[J].人工智能与机器人研究,2023,12(04):292-300.
- [5] 成大先主编.机械设计手册第六版[M].北京:化学工业出版社,2016.