

浅析多轴同步驱动在旋压机制造中的应用

蔡宁

杭州太普机械科技有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】在现代工业制造范围，旋压机性能与效率对产品质量及生产效益影响重大。多轴同步驱动技术可使多个轴达成精确同步运动，不但能大幅度提高旋压机加工精度以保障产品尺寸和形状的稳定，还能显著提升旋压机生产效率，大幅缩减加工时间从而降低生产成本，也增强了旋压机的自动化程度以及可靠性，让旋压机可适应复杂多元的加工任务，契合现代制造业对高精度、高效率加工的急切需求。文章研究了多轴同步驱动在旋压机制造中的应用，期望能为相关人员提供参考。

【关键词】多轴同步驱动；旋压机制造；应用

Analysis of the application of multi-axis synchronous drive in spinning machine manufacturing

Cai Ning

Hangzhou Taipu Machinery Technology Co., LTD.Zhejiang Hangzhou 310000

【Abstract】In the realm of modern industrial manufacturing, the performance and efficiency of spinning machines significantly impact product quality and production efficiency. Multi-axis synchronous drive technology enables precise synchronization among multiple axes, which not only greatly enhances the machining accuracy of spinning machines, ensuring the stability of product dimensions and shapes, but also significantly boosts production efficiency. This reduces processing time, thereby lowering production costs. Additionally, it enhances the automation and reliability of spinning machines, making them capable of handling complex and diverse processing tasks, thus meeting the urgent demand for high-precision and efficient processing in modern manufacturing. This article explores the application of multi-axis synchronous drive in the manufacturing of spinning machines, aiming to provide valuable insights for professionals in the field.

【Key words】multi-axis synchronous drive; spinning machine manufacturing; application

制造业飞速发展，旋压机的性能自然要日益提高，但传统旋压机在加工精度和生产效率方面都有局限性，满足不了现代工业对复杂零件的加工需求。多轴同步驱动技术以先进的控制算法和电机驱动技术为基础理论，能让多个轴实现精确同步运动。目前，这种技术在一些高端制造业已得到应用，不过在旋压机制造领域发展还不够成熟，将多轴同步驱动技术应用到旋压机制造中，对提高旋压机性能、推动旋压加工行业发展很有意义。

1 多轴同步驱动技术基础

1.1 多轴同步驱动的原理

多轴同步驱动的达成靠精准控制多轴运动在时间和空间上高度统一，利用高精度反馈装置，如编码器之类的，它

能实时获取各轴位姿和速度等信息传输给控制器，控制器依据预设控制算法算出各轴运动调整量实现同步控制，如旋压机制造中多驱动轴协同使旋轮依设定轨迹速度旋压金属板材。多轴同步驱动系统能精确控制各轴，让旋轮旋转同步保证工件加工精度和质量，为更精准同步还需要靠时间同步和位置同步等关键技术。时间同步技术要让各控制节点基于同一时间基准操作，如 NTP、PTP 协议能将设备间时间同步误差控制在微秒级。位置同步技术凭相同参考坐标系或基准点用高精度编码器和同步算法实时反馈各轴位置信息，控制器算位置误差补偿让各轴在空间位置上精准同步。

1.2 驱动系统构成

多轴同步驱动系统由多部分构成，控制器作为中枢接收反馈装置信号，依预设策略计算决策后给驱动器发指令，驱

动器按指令提供功率驱动电机转速及扭矩来让其精确运动,电机执行部件直接带动机械轴旋转或直线运动,装在电机或机械轴上的反馈装置,如编码器实时监测位置速度信息并反馈给控制器,其精度响应速度影响系统性能。连接各部件的通信网络,如 CAN 总线负责传输控制和反馈信号以确保信息快速准确传递,各部件相互协作成完整多轴同步驱动系统。例如在旋压机中,多个电机凭借驱动器接收控制器指令带动旋轮等部件转,反馈装置监测旋轮位置速度信息反馈给控制器,控制器据此调整控制,实现旋压同步驱动并提高工件加工质量和生产效率。

1.3 技术优势特点

多轴同步驱动技术可大大提高旋压机制造的生产效率,多个轴同步工作,能够快速加工复杂工艺,既能缩短加工时间,又能加快生产节拍,同时能大幅提升加工精度,通过对各轴运动的精确管控,让旋轮等部件在加工时位置和速度精确匹配,进而加工出高精度工件,符合高质量产品要求。该技术还能强化系统稳定性与可靠性,其高精度反馈装置和先进控制算法可实时监测和调整各轴运动状态,迅速消除误差及故障隐患以保障设备稳定运行。这种技术灵活性和可扩展性良好,依据不同加工需求及设备配置,可轻松增减驱动轴数量并调整控制策略,从而适应复杂多变生产任务。它也便于实现远程监控和诊断,借助通信网络,操作人员在远处就能实时监控各轴运行状态,进行远程操作及故障诊断,提升设备管理效率和维护水平。

2 多轴同步驱动在旋压机制造中的应用方式

2.1 主轴同步控制

主轴同步控制作为多轴同步驱动在旋压机制造中的关键应用,要运用高精度的主从控制模式之类同步控制算法,将一条主轴设为主轴,其余为主轴的各轴作从轴去实时跟随主轴速度与位置。与此同时,还要利用高分辨率能达数千线的编码器进行位置反馈,结合精度可到 $\pm 0.01\%$ 的高精度伺服驱动器,将主轴间同步误差控制在微小范围内。在参数设置上,位置环增益需要设在 500-1000 范围,且速度环增益依电机特性匹配,以此确保主轴不同负载下有良好同步性能;另外还应采用前馈控制技术有效减小主轴加减速过程中同步误差来增强系统动态响应性能。在启动阶段,需要对主轴电机的电流和转矩实时监测与控制,让各主轴能平稳达到设定同步转速,杜绝启动冲击引发同步偏差,

2.2 进给轴同步协调

多轴联动旋压加工中,各进给轴依预设轨迹、速度运动,才可保证工件尺寸精度与表面质量。基于总线通讯的网络化控制架构,如 EtherCAT 等可实现进给轴高速数据传输及精确同步控制,通讯周期能短至微秒级,控制指令实时性与准确性也能由此确保。控制算法方面,运用先进同步插补算法对位移、速度、加速度精确规划协调,依加工工艺要求,进给轴加速度和减速度参数设定在 $0.5 \sim 2\text{m/s}^2$ 范围,速度误差控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。对进给轴机械传动系统精确建模补偿时,考虑丝杠热膨胀、间隙等因素,将前馈补偿和反馈校正相结合,能进一步提高同步精度,让各进给轴在高速加工、重载切削条件下始终保持良好同步性能,实现复杂形状工件高精度加工。

2.3 多轴联动加工模式

多轴联动加工模式能充分利用多轴同步驱动系统优势,旋压机借此可实现对复杂曲面与异型工件的高效精密加工。该模式下,高精度 CNC 控制系统使多个轴同时参与运动控制,它能依据预设加工程序及刀具路径实时生成各轴运动指令且控制精度达 $\pm 0.001\text{mm}$ 。轨迹规划运用非均匀有理 B 样条 (NURBS) 插补算法,可连续平滑加工曲线及曲面,大幅提高了加工效率和表面质量。各轴电机参数要精确匹配并优化调整来确保多轴联动加工过程中的同步性及稳定性,如电机额定转矩、最大转速等参数要满足加工工艺要求,同时凭借精确伺服控制算法让各轴在联动时跟随误差控制在极小范围。还利用先进传感器技术,如激光位移传感器、接触式传感器等对工件表面形状和尺寸偏差在线监测,再经实时反馈补偿控制使多轴联动加工精度和质量进一步提高,这样旋压机加工能力要到全面提升。

2.4 自动化集成应用

自动化集成应用将多轴同步驱动技术同旋压机制造中的上下料、装夹以及加工监测等环节有效结合起来,创建出拥有高度自动化和智能化特点的生产系统。利用工业机器人及多轴同步驱动的旋压机来进行上下料操作是可行的,凭借机器人的高精度定位以及重复性,可达到让工件快速且准确装卸的效果,定位精度可到 $\pm 0.05\text{mm}$ 。自动化的装夹装置结合多轴同步驱动系统,能快速装夹固定工件,让工件在加工中保持稳定。至于加工监测方面,集成声发射传感器、振动传感器等传感器,对旋压加工过程中的压力、温度、振动等各项参数实施实时监测,并运用数据采集与分析系统对

采集的数据实时处理分析,基于分析结果对多轴同步驱动系统进行实时反馈控制与优化调整,实现加工过程的自动化监控和质量掌控。另外,建立信息化生产管理系统可将旋压机生产数据和设备状态等信息集中管理分析,达成生产过程的智能化调度及优化,提高生产效率、产品质量并降低生产成本。

2.5 特殊工艺的同步应用

热旋压工艺下,高温使材料变形特性改变,对旋压机的主轴转速等参数控制精度要求增高,此时多轴同步驱动系统可精确控制主轴的转速与扭矩输出,依靠温度传感器实时监测和反馈加热区域温度,保障主轴不同温度下稳定运行且同步。旋轮的进给速度也由进给轴按热旋压工艺要求精确控制,控制精度可达 $\pm 0.02\text{mm/r}$ 。至于精密薄壁件旋压工艺,为防止工件变形震动,多轴同步驱动系统运用高精度位置控制和力矩控制模式,对主轴和进给轴运动精确协调,还借助先进控制算法依据实时监测的工件表面张力和变形情况对各轴运动参数动态调整,确保薄壁件旋压时形状尺寸精度。特殊工艺同步应用还涉及多轴力矩分配协调控制,需要对各轴电机力矩输出精确控制实时平衡,实现复杂工件在特殊工艺条件下高质量加工。

3 多轴同步驱动应用效果评估

3.1 做工精度与质量

多轴同步驱动技术能精确控制各轴运动,这使旋压机的加工精度与工件表面质量得到有效提高。它采用高分辨率的编码器以及高精度伺服驱动器来控制主轴间的同步误差,将控制在极小范围,编码器分辨率通常可达数千线,而伺服驱动器控制精度为 $\pm 0.01\%$ 。在进给轴方面,运用先进的同步插补算法能对位移、速度及加速度进行精准规划、协调控制。依加工工艺要求,设定进给轴加速度、减速度参数为 $0.5 \sim 2\text{m/s}^2$,同时精确控制进给速度,使速度误差控制在 $\pm 0.1\%$

以内,以此保证工件尺寸精度与表面质量。

3.2 系统稳定性与动态响应

多轴同步驱动系统采用主从控制等先进控制算法,这提高了系统稳定性与动态响应性能。在启动阶段,对主轴电机电流及转矩予以实时监测和控制,使各主轴可以平稳达到设定同步转速,可避免启动冲击致同步偏差。该系统也能快速响应速度指令,例如在切削操作时可维持恒定速度不受负载影响,刀具更换操作时能迅速响应,且低速控制质量能够提高。

3.3 能耗分析与效率提升

多轴同步驱动技术应用时降低能耗和提升生产效率很有必要,需要优化各轴间力矩分配与协调控制让电机处在高效区,进而提高系统整体效率。例如采用基于电机系统效率最优转矩分配控制策略,依据同一工况下单轴、双轴等不同驱动模式下电机系统效率,将效率最高驱动模式设为目标模式并生成“车速—需求转矩—最优驱动模式表”,实现车辆驱动控制并提高各工作电机负荷率及工作效率,在多轴联动加工模式下可做到连续平稳加工曲线和曲面,能有效提高加工效率。

结语

多轴同步驱动技术在旋压机制造中的应用成果显著,凭借对多个轴之间精确同步运动的实现,使旋压机的加工精度、生产效率、产品质量皆明显提升,并且设备的可靠性以及自动化程度也能够增强。在实际生产中,多轴同步驱动技术既能满足复杂零件的加工需求,还能降低生产成本,进而提升企业的市场竞争力。随着技术持续发展,多轴同步驱动技术会愈发成熟完善,在旋压机制造中的应用也会不断拓展深化,有望达成更高精度与效率的加工,推动旋压加工行业朝着智能化、自动化迈进。多轴同步驱动技术与其他先进技术的融合应用也会为旋压机制造带来更多创新发展机遇。

参考文献

- [1]程芳庆.旋压技术在曲轴扭转减震器成型中的应用[J].建筑工程技术与设计, 2018.
- [2]姜桂荣,赵炳利.旋压机成型辊装置的运动机构设计与驱动力矩计算[J].重型机械, 2002..
- [3]范淑琴,华毅,谷瑞杰,等.双辊夹持旋压成形装置伺服运动控制系统[J].锻压技术, 2019, 44(12).

作者简介:蔡宁(1976.3.),男,汉族,籍贯:诸暨,学历:大专,职务:总经理,研究方向:数控机床。