

机械设计及其自动化应用研究

崔 锋

中铝洛阳铜加工有限公司 河南 洛阳 471000

摘要：机械设计及其自动化技术是现代工业发展的重要支撑。本文围绕机械设计及其自动化应用展开研究，阐述了其理论基础，包括机械设计基本原理、自动化技术核心理论及两者融合机制。分析了核心支撑、智能控制与优化、系统集成与协同等关键技术。探讨了该技术在铜加工生产领域的具体应用。通过对理论、技术与应用的系统研究，展现了机械设计及其自动化技术的综合价值与发展潜力，为相关领域的实践与研究提供参考。

关键词：机械设计；自动化关键技术；具体应用

引言：随着工业现代化进程加快，机械设计及其自动化技术成为推动各行业发展的重要力量。其不仅能提升生产效率，还能优化系统性能。当前，各领域对高效、精准、智能的技术需求日益增长，传统机械设计与自动化技术的融合成为必然趋势。本文从理论基础入手，深入剖析关键技术，再结合在铜加工生产领域的具体应用进行研究，旨在明确该技术的发展脉络与应用价值，以适应时代对先进技术的需求。

1 机械设计自动化技术的理论基础

机械设计自动化技术的理论基础是支撑其发展与应用的核心框架，涵盖机械设计的基本原理、自动化技术的核心理论，以及两者的融合机制三个关键方面。（1）机械设计的基本原理。以实现机械系统的功能与性能为目标，核心包括结构设计的合理性准则，如基于材料力学和结构力学的强度、刚度与稳定性要求，确保机械部件安全运行；运动学与动力学原理，通过分析构件运动轨迹、速度、加速度及受力情况，优化机械传动与执行机构设计；还涉及能量转换与传递规律，保证动力源与工作机构间高效能量传递，减少损耗。（2）自动化技术的核心理论。控制理论是核心，包括经典控制理论中的反馈控制、PID调节，及现代控制理论中的状态空间分析，通过建立数学模型实现对机械系统的精确调控；传感器技术基于信号检测与转换原理，实现对位置、力、温度等物理量的实时感知，为控制系统提供输入；人工智能基础通过机器学习算法实现数据驱动的决策优化，使系统具备自适应与自主学习能力，突破传统控制局限。（3）机械设计与自动化的融合机制。从设计逻辑上，机械结构需为自动化部件预留集成空间，其动力学特性需与控制算法参数匹配，避免机械谐振影响控制精度；从信息流动角度，传感器采集的机械状态信息经数据处理转化为控制信号，驱动执行机构调整机械动作，

形成“感知-决策-执行”闭环；从功能实现层面，自动化技术弥补纯机械设计局限性，机械结构优化则为自动化算法高效运行提供物理支撑，二者通过参数协同与功能互补形成有机整体^[1]。

2 机械设计自动化关键技术

2.1 核心支撑技术

以下核心支撑技术是机械设计自动化的基础架构，为系统提供物理与信息层面的底层支持。（1）计算机辅助设计（CAD）技术通过参数化建模、三维实体造型等工具，实现机械结构的数字化描述，支持设计过程中的几何约束、尺寸驱动及虚拟装配，大幅提升设计效率与精度。计算机辅助工程（CAE）技术。基于有限元分析、动力学仿真等方法，对机械系统的强度、刚度、振动特性及运动轨迹进行数值模拟，在物理样机制造前完成性能验证与优化。（2）传感与检测技术。通过各类传感器将机械系统的物理量（如位移、力、温度、速度）转化为电信号，为自动化控制提供实时反馈。高精度光栅尺、编码器实现位置与速度的精确测量，压电传感器、应变片用于力与应力的检测，红外与激光传感器则适用于非接触式距离与轮廓检测。信号处理技术对传感器输出的原始信号进行滤波、放大与模数转换，消除噪声干扰，确保数据的可靠性。（3）驱动与执行技术。包括伺服电机、步进电机、液压与气动执行元件等。伺服驱动系统通过位置环、速度环与电流环的闭环控制，实现转速与扭矩的精确调节，配合滚珠丝杠、线性导轨等传动部件，将旋转运动转化为高精度直线运动。驱动技术的动态响应特性直接影响机械系统的运动平稳性与控制精度。

2.2 智能控制与优化技术

以下智能控制技术通过融合多学科方法实现复杂机械系统的自主调控。（1）自适应控制技术。能够实时识

别系统参数变化（如负载波动、摩擦系数改变），自动调整控制策略，维持系统性能的稳定性。鲁棒控制技术则针对模型不确定性与外部干扰，通过设计抗干扰控制器，确保系统在参数摄动情况下的稳定性与控制精度。

（2）机器学习与优化算法。监督学习算法通过训练样本建立输入与输出的映射关系，用于机械部件的寿命预测、故障诊断等场景；无监督学习算法可对运行数据进行聚类分析，挖掘系统的潜在运行模式。优化算法中，遗传算法、粒子群优化算法等启发式方法能够在多目标约束条件下（如重量最小化、强度最大化），搜索机械结构参数与控制参数的最优组合，实现设计方案的全局优化。（3）模糊控制与专家系统。基于人类经验与模糊逻辑推理，处理机械系统中难以用精确数学模型描述的复杂工况。模糊控制器通过模糊化、规则推理与解模糊过程，将定性经验转化为定量控制量，适用于非线性、时变系统的控制。专家系统则将领域知识与决策规则模块化，通过知识库与推理机实现故障诊断、参数设置等智能化决策，降低对操作人员经验的依赖。

2.3 系统集成与协同技术

以下系统集成技术负责将机械设计自动化的各子系统（如设计模块、控制模块、执行模块）有机融合，形成功能完整的整体。（1）硬件集成。通过标准化接口（如PLC的I/O接口、工业以太网）实现传感器、控制器与执行器的物理连接，确保信号传输的实时性与可靠性。软件集成则通过中间件技术、数据交换协议（如STEP、XML）实现CAD/CAE软件、控制系统与管理系统的数据共享，消除信息孤岛。（2）网络与通信技术。工业以太网凭借高带宽、低延迟的特性，实现控制器与传感器、执行器之间的实时数据传输；无线通信技术（如Wi-Fi、蓝牙、LoRa）适用于移动机械或恶劣环境下的非接触式通信，支持设备状态的远程采集与控制指令的无线下发。通信协议的标准化（如PROFINET、Modbus）确保不同厂商设备的兼容性与互操作性。（3）数字孪生技术。通过构建机械系统的虚拟镜像，实现物理实体与数字模型的实时映射。虚拟模型基于三维建模与多物理场仿真，同步反映物理系统的运行状态、性能参数与故障信息，支持设计优化、过程模拟与远程诊断。数字孪生与工业互联网的结合，可实现多设备、多生产线的协同仿真与全局优化，为机械设计自动化提供全生命周期的数字化支持^[2]。

3 机械设计及其自动化在铜加工生产领域的具体应用

在铜加工生产中，通过定制化设备与智能控制系统，实现铜从原料到成品的高效、高精度加工，覆盖熔

炼、轧制、成型、检测、化学分析等全流程。具体应用如下：

3.1 铜原料熔炼与铸造自动化领域应用

在铜原料熔炼与铸造环节，机械设计及其自动化技术的应用，有效解决了传统人工操作带来的诸多问题。

（1）传统熔炼铸造过程中，人工控制温度和浇铸速度难以保证精准度，容易导致铜的成分不均，进而产生铸坯缺陷，影响后续加工质量。而通过专门设计的自动化熔炼炉，如感应加热炉，能够根据铜熔炼的工艺要求，精准控制炉内温度，确保铜原料在适宜的温度环境下充分熔炼，避免因温度过高或过低造成的原料浪费或熔炼不充分。（2）配套的机械搅拌系统能够实现对熔融铜液的均匀搅拌，使铜液中的各种成分充分混合，进一步保证铜的成分均匀性。自动浇铸设备则彻底替代了人工浇铸，能够按照预设的工艺参数，精准控制浇铸速度和浇铸量，将熔融铜液平稳地注入铸模中，大大减少了铸坯缺陷的产生。（3）为了提升原料利用率，该环节还配备了自动送料与废料回收机械结构。自动送料系统能够根据熔炼炉的需求，按时、按量将铜原料输送至炉内，避免人工送料的延迟和误差；废料回收机械结构则可以对熔炼过程中产生的废料进行及时回收和处理，经过处理后的废料可重新投入熔炼环节，实现原料的循环利用，降低生产成本。

3.2 铜材生产轧制与加工领域应用

针对铜板、铜带等产品，机械设计及其自动化技术在轧制加工中优势显著。传统人工调整设备参数的方式，劳动强度大且难保证铜材尺寸精度与表面质量，自动化轧制生产线则彻底改变这一现状。（1）以四辊/六辊轧机为核心的自动化生产线，集成伺服电机控制、张力闭环调节系统及厚度在线检测模块。伺服电机提供稳定精准动力，确保轧机转速与压力稳定，避免动力波动影响质量；张力闭环调节系统实时监测并自动调节铜材张力，防止其拉伸变形或褶皱。（2）厚度在线检测模块可实时检测铜材厚度，将数据反馈至控制系统，系统自动调整轧制压力与速度，保障铜材厚度符合设计要求^[3]。

3.3 铜件精密成型与加工领域应用

铜制管件、连接器、散热部件等精密零件加工对精度和表面质量要求高，传统加工难满足批量与高精度需求，机械设计及其自动化技术提供了有效方案。（1）数控车床、冲压机械、注塑成型机等自动化专用设备作用关键。数控车床依预设程序自动完成车削、钻孔等工序，实现复杂铜件高精度加工；冲压机械通过定制模具快速冲压，适用于铜制连接器等规则零件批量生产；

注塑成型机则用于加工铜制散热部件塑料外壳等复合零件。（2）为提升精度与效率，还优化机械结构：定制专用模具与刀具，减少加工误差；通过自动化上下料与工序衔接系统，实现铜件自动流转，避免人工操作误差，减少工序等待时间，提升生产效率。

3.4 铜加工检测与质量控制领域应用

铜加工产品质量关乎使用性能与安全，机械设计及其自动化技术实现了检测自动化、高效化与精准化，提升质量控制水平。（1）集成视觉检测、涡流探伤、尺寸测量功能的自动化检测设备（如表面检测仪）是核心。视觉检测系统通过高清镜头与图像传感器高速采集表面图像，经算法识别划痕、凹陷等缺陷，并反馈结果。（2）涡流探伤通过探头检测铜产品内部，若存在夹渣、裂纹等缺陷，涡流变化会转化为电信号传输至控制系统。（3）尺寸测量功能借助激光传感器或光学系统，精准测量长度、厚度等尺寸，确保符合要求。（4）自动化检测设备搭配传送带、机械臂等传动机构，实现连续检测与自动分拣：传送带输送产品保证检测连续，机械臂分拣合格与不合格产品；检测结果反馈至加工设备控制系统，自动修正参数，形成闭环质量控制体系。

3.5 铜加工生产线智能集成与管控中的应用

随着铜加工规模扩大与工艺复杂，对生产线协调运作和管控要求更高，机械设计及其自动化技术与PLC、SCADA结合，实现全流程智能集成管控，提升运行效率与管理水平。（1）PLC控制系统对各设备进行逻辑控制与动作协调，如轧制与剪切工序中，依轧制速度自动调整剪切速度，避免浪费与质量问题；同时实时监测设备状态，故障时及时报警并停机，保障生产安全。（2）SCADA系统负责全流程数据采集、监控与管理，通过关键环节的传感器与采集模块，实时采集设备参数、质量数据、原料消耗等信息，传输至中央监控平台；平台分析处理数据，以图表等形式展示，方便操作人员掌握生产线运行与生产情况。

3.6 在铜产品化学分析中的应用

通过自动化设备与系统实现样品处理、检测过程及数据管理的高效化、精准化与标准化，减少人工干预带来的误差。（1）自动化样品前处理：通过机械结构与控制系统实现样品的自动制备，替代人工操作。例如，利用自动化研磨/切割设备精准控制铜样品的粒度、重量，确保后续溶样一致性；通过机械臂自动完成样品的移液、加酸、加热消解等流程，避免人工操作的剂量偏差和安全风险。（2）化学分析设备自动化改造与集成：为传统化学分析仪器（如原子吸收光谱仪、电感耦合等离子体发射光谱仪）配备机械自动化模块，实现检测全流程无人化。例如，通过机械传送机构自动将前处理后的样品送入检测仪器，完成自动进样、检测、清洗等步骤；利用自动化控制模块精准调节检测过程中的温度、压力、试剂浓度等参数，提升分析结果的重复性。（3）分析数据与流程自动化管理：通过机械系统与软件的结合，实现数据的自动采集、处理与追溯。例如，检测设备与上位机系统联动，自动记录铜产品中铜、锌、铁、镍等元素的含量数据，避免人工记录错误；通过自动化系统整合样品编号、检测参数、结果报告等信息，形成可追溯的数字化档案，满足铜产品质量管控的溯源需求^[4]。

结束语

机械设计及其自动化技术凭借坚实的理论基础、多样的关键技术，在铜加工生产领域展现出广泛应用前景。其理论为技术发展提供支撑，关键技术推动应用深化，在铜加工领域应用体现技术价值。未来要持续探索技术创新，解决应用难题，推动机械设计及其自动化技术在铜加工领域发挥更大作用，助力各行业实现更高质量的发展。

参考文献

- [1]陈意.机械设计制造及其自动化的应用研究[J].科技创新导报,2022,19(19):40-42.
- [2]张武炳,赵清江,冯滔.人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用研究[J].数码设计,2023(20):88-90.
- [3]王岳.冶金机械设计制造中自动化技术的深度应用与实践[J].冶金与材料,2025,45(1):110-112.
- [4]石瑞虎,张立勇.自动化技术在冶金机械设计制造中的应用[J].山东冶金,2024,46(5):84-86.