

机电制造技术中的数字化设计与制造研究

冯敬郭

宁波龙巍环境科技有限公司 浙江 宁波 315300

摘要：数字化设计与制造技术正在深刻改变机电制造行业的发展模式。本文系统分析了数字化设计中的建模方法与仿真分析技术，探讨了数控加工、柔性制造和智能制造等关键制造环节的技术原理与应用特点，并进一步研究了设计与制造集成的内涵、关键技术及协同模式。通过构建统一的数据管理平台和实现信息双向流动，提升产品开发效率与制造精度。数字化设计与制造的深度融合将推动机电制造向高效化、智能化方向发展，为产业升级提供技术支撑。

关键词：数字化设计；数字化制造；数控加工；柔性制造；集成协同

引言：随着信息技术与制造业的深度融合，数字化设计与制造技术正在重塑机电制造业的发展格局。该技术通过将产品全生命周期信息数字化，实现了设计、仿真、制造等环节的高效协同。当前研究重点在于突破多源数据融合、系统集成等关键技术难题，探索更高效的数字化协同模式。深入理解这些技术原理与应用方法，对推动机电制造业智能化转型具有重要意义。

1 数字化设计技术在机电制造中的应用基础

1.1 数字化设计技术概述

数字化设计技术是以计算机为核心载体，融合机械原理、材料科学等多学科知识，将机电产品从概念构思到详细结构的全部设计信息转化为数字形式的技术体系^[1]。其中计算机辅助设计用于构建产品的三维几何模型并完成细节绘制，精准呈现零件的每一处特征；计算机辅助工程专注于产品性能的分析与优化，涵盖强度、韧性等指标；虚拟设计通过数字环境模拟产品的外观和功能表现。相较于传统设计方法，数字化设计技术具有显著特点和优势。可视化让设计成果以三维模型呈现，能直观展现产品的结构形态和装配关系，便于发现设计中的空间冲突。可编辑性允许通过修改数字参数快速调整产品尺寸和结构，省去传统手绘修改的繁琐过程。协同设计支持不同设计人员在同一数字模型上同步工作，各自负责不同部件的设计并实时查看整体效果，减少信息传递中的偏差。

1.2 机电产品数字化建模方法

几何建模技术是构建机电产品数字模型的基础手段。线框建模通过线条勾勒产品的轮廓和棱边，能快速表达简单的几何形态，但缺乏表面和体积信息，适用于初步方案构思。表面建模在轮廓基础上添加曲面信息，可构建具有复杂曲面的零件模型，如发动机缸体的曲面结构，不过无法反映内部实心部分，常用于外观设计。

实体建模能完整呈现产品的三维实体形态，包含体积、质量等物理属性，适合机电产品的结构设计和装配分析。特征建模技术将产品的几何元素与工艺特征结合，特征可分为形状特征如孔槽凸台，精度特征如公差和表面粗糙度，材料特征如材质和硬度。通过将这些特征按一定逻辑组合，能构建出兼具几何信息和制造属性的数字化模型，为后续制造环节提供直接的数据支持。参数化设计方法基于尺寸参数与几何形状的关联关系，通过定义关键参数及其约束条件，使模型随参数变化自动调整形态。在机电产品设计中，只需修改参数就能生成不同规格的产品模型，满足快速设计和变型设计的需求，尤其适用于系列化产品的开发。

1.3 数字化设计中的仿真分析技术

结构仿真分析技术借助有限元分析实现，其基本原理是将产品结构分解为众多微小的单元，通过建立每个单元的力学方程并组合求解，获得整体结构的受力状态。分析步骤包括构建简化模型、划分网格、施加约束和载荷、求解计算。利用该技术可对机电产品的结构强度进行分析，判断在额定载荷下是否发生断裂；对刚度进行评估，查看是否产生超出允许范围的变形；对振动特性进行研究，避免工作时因共振导致的损坏，进而优化结构设计。流体仿真分析技术以计算流体动力学为理论基础，通过数值方法求解流体流动的控制方程，模拟流体的运动状态。其应用范围涵盖机电产品中的流体传动系统，分析液压油在管路中的压力损失和流速分布；散热装置，研究空气或冷却液在散热片中的流动情况，评估散热效果，为优化流体通道结构提供依据^[2]。运动仿真分析技术通过运动仿真软件构建产品的运动机构模型，设定各部件的运动约束和驱动方式。进行运动学分析可得到部件的位移、速度和加速度变化规律，验证运动轨迹是否符合设计要求；进行动力学分析能计算运动

过程中的作用力和力矩,判断零部件的强度是否满足使用需求,从而验证整个运动机构设计的合理性和可行性。

2 数字化制造技术在机电制造中的关键环节

2.1 数字化制造技术概述

数字化制造技术是依托数字信息贯穿制造全过程的技术体系,涵盖数控加工通过数字程序控制机床完成零件加工,柔性制造系统实现多品种小批量生产的自动化运作,计算机集成制造系统将设计制造管理等环节的信息整合为统一整体。其特点体现在高度自动化,设备按预设程序自主完成加工装配等操作,减少人工干预;柔性化,能快速调整生产参数以适应产品变化;智能化,通过数据反馈实现生产过程的自我优化。数字信息在各环节的顺畅流转,让设计方案能直接转化为制造指令,工艺参数可根据实时数据动态修正。这些特点促使机电制造生产模式从传统的刚性批量生产转向灵活的定制化生产,生产计划可根据订单需求动态调整,生产过程中的问题能通过数据监测及时发现,使制造环节更精准高效。

2.2 数控加工技术

数控加工的基本原理是将零件加工的工艺参数和运动轨迹转化为数字指令,由数控装置解读指令并控制设备运行^[3]。系统组成包括数控装置作为核心处理单元,接收并处理数字程序;伺服系统根据指令驱动机床运动部件,保证运动精度;机床本体提供加工所需的机械结构,如主轴负责零件旋转,工作台带动零件移动。数控编程是将加工意图转化为数字指令的过程,手工编程由人工计算坐标和编写程序,适用于简单零件的短程序编制,步骤包括分析零件图纸、确定加工工艺、计算坐标值、编写程序代码、校验程序。自动编程借助软件完成编程,先构建零件三维模型,再由软件自动生成程序,适用于复杂零件的长程序编制,特点是效率高错误少。数控加工工艺的制定需遵循保证加工质量、提高效率、降低成本的原则。刀具选择依据零件材料和加工方式,如高速钢刀具适合低速加工,硬质合金刀具适合高速切削。切削用量确定需考虑切削速度进给量和切削深度,避免因参数不当导致刀具磨损或零件变形。加工路线规划应遵循先粗后精、先面后孔的顺序,减少刀具空行程,确保加工连续稳定。

2.3 柔性制造技术

柔性制造系统是能适应多品种生产的自动化制造系统,概念核心在于通过系统整合实现生产灵活性。组成包括加工设备如数控机床加工中心,可完成多种零件的

不同工序;物料储运系统由传送带机器人等构成,负责零件在设备间的转运;信息系统处理生产计划和设备状态信息,协调各环节运作。其特点表现为能快速适应产品品种和产量的变化,通过更换加工程序和调整物料路径,在同一系统中生产不同零件,实现多品种小批量生产的高效化和自动化。柔性制造系统的调度与控制策略需围绕生产效率和资源利用展开。调度时根据订单优先级和设备负荷分配加工任务,避免设备闲置或过载。控制策略采用实时监控,通过传感器收集设备运行数据,当出现故障或工序延误时,系统自动调整生产计划,如将任务转移至空闲设备,确保生产过程不受严重影响。

2.4 智能制造技术

智能制造是在数字化基础上融合人工智能物联网大数据等技术的制造形态,是数字化制造的高级阶段。发展趋势表现为设备互联更广泛,生产数据采集更全面,决策过程更智能。其系统架构分为智能感知层通过传感器收集温度压力等生产数据;智能决策层利用算法分析数据并生成优化方案;智能执行层由机器人自动化设备等组成,执行决策指令。关键技术中智能感知实现对生产状态的实时监测,智能决策通过数据分析预测生产问题并提出解决方案,智能执行保证操作精准高效。这些技术在机电制造中应用于设备故障预警,通过分析运行数据提前发现潜在故障;自适应加工,设备根据材料硬度变化自动调整切削参数;智能质量检测,利用机器视觉识别零件表面缺陷^[4]。智能制造促使机电制造企业组织模式向扁平化发展,减少管理层级加快信息传递。管理方式从经验驱动转向数据驱动,生产计划和工艺优化基于数据分析制定。推动企业向智能化转型需整合设备数据建立统一管理平台,培养掌握数字技术和制造知识的复合型人才,重构生产流程以适应智能系统运作。

3 数字化设计与制造的集成与协同

3.1 数字化设计与制造集成的内涵与意义

数字化设计与制造集成的核心,是建立设计与制造环节的信息流通渠道,使设计阶段生成的数字模型包含的几何尺寸、材料属性、精度要求等信息,能直接被制造系统读取和应用。制造过程中产生的设备运行数据、加工精度反馈、物料消耗情况等,也能及时传递回设计系统,为设计优化提供依据。这种双向信息流动形成完整的闭环,让设计不再是孤立的环节,而是能根据制造实际情况动态调整。集成后的设计与制造环节如同一个有机整体,设计方案在制定时就已考虑制造可行性,比如复杂曲面的加工是否匹配现有设备能力,制造过程也能准确理解设计意图,从而减少因信息错位导致的设计

变更。反复的返工现象随之减少,产品从设计到量产的时间得以缩短,资源浪费情况减轻,设计人员可借助制造反馈优化后续同类产品,使设计经验不断积累,整体生产成本自然降低,产品在市场中的竞争力也随之提升。

3.2 数字化设计与制造集成的关键技术

产品数据管理技术搭建起统一的数据中枢,将分散在设计、工艺、制造等环节的数据集中存储。设计图纸的每一次修改都会形成新的版本并记录变更原因,工艺文件的查阅和修改需经过权限验证,物料清单的更新能实时同步至采购、生产等相关部门。这种集中管理模式确保各环节使用的信息始终一致,避免因数据版本混乱造成的生产错误,比如同一零件出现不同尺寸要求的情况,同时保障核心数据的安全。计算机辅助工艺规划技术以产品数字模型为基础,结合制造资源库中的设备能力、刀具参数等信息,自动分析加工工序的先后顺序,计算每道工序的切削参数和加工时间,生成详细的工艺卡片。这一过程无需人工重新输入信息,实现设计数据向制造工艺的直接转化。接口技术则像是连接不同系统的桥梁,通过制定统一的数据格式标准,让设计软件生成的模型文件能被制造执行系统正确解析,制造设备采集的实时数据也能被设计系统顺畅接收,确保信息在不同系统间传递时不失真、不延迟,比如加工误差数据能准确反馈给设计软件用于模型优化。

3.3 数字化设计与制造的协同模式

并行工程模式改变了传统的串行工作方式,在产品概念设计阶段就邀请制造工程师、装配技师、维护人员加入团队。制造工程师会从加工难度角度提出设计建议,比如将深孔结构调整阶梯孔以降低加工成本,装配技师会考虑零件的装配便利性,建议增加定位销孔,维护人员则关注未来检修时的可达性,提醒避免关键部件被遮挡^[5]。各专业人员通过共享数字模型开展讨论,同步推进设计方案优化和工艺准备工作,使设计方案在早

期就具备良好的制造可行性,避免后期出现因结构复杂无法加工而被迫大幅修改的情况。虚拟制造模式通过数字孪生技术构建虚拟工厂,工厂中的设备布局、加工参数、物料流转路线都与真实工厂一致。设计完成的数字模型被导入虚拟工厂后,会按照实际生产流程进行模拟加工,软件能检测出零件在加工过程中是否会与刀具发生碰撞,预测零件的加工变形量是否超出允许范围,这些问题在虚拟环境中被解决后,物理生产时的缺陷率显著降低。基于网络平台的协同模式依托云技术搭建共享数据空间,分布在不同城市的设计团队可以实时查看和修改同一数字模型,标注各自的修改意见,远在异地的制造企业能随时获取最新的设计数据并提前准备生产资源。跨地域的信息共享打破了组织边界,使设计与制造的协同不再受距离限制,加快产品的研发和生产节奏。

结束语

数字化设计与制造技术在机电制造领域展现出巨大潜力。从数字化设计的基础技术,到数字化制造的关键环节,再到二者的集成与协同,各部分紧密相连,共同推动机电制造向高效、智能、定制化方向迈进。未来,随着技术不断创新,数字化设计与制造将深度融合,为机电制造产业升级提供更强大动力,创造更多价值。

参考文献

- [1]张文邦.基于数字化设计与制造的复杂零部件加工工艺优化研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(3):146-148.
- [2]唐萌,叶霜,陈斌.高职数字化设计与制造技术专业建设研究与实践[J].科技风,2025(3):43-45.
- [3]马岳.基于数字孪生技术的机电一体化平台虚拟生产线与虚拟调试系统设计研究[J].造纸装备及材料,2024,53(11):115-117.
- [4]孙艺凌.基于数字孪生与混合现实技术的机电设备辅助维修方法研究[J].中国新技术新产品,2024(2):36-38.
- [5]封燕芳.基于数字建模的机电一体化数字智能控制系统的设计与实现[J].自动化应用,2024,65(20):75-77,81.