

机械产品数字化设计及关键技术研究

陈林

国营长虹机械厂

摘要：随着信息技术的不断发展和应用，机械产品的设计过程正逐渐转变为数字化设计。数字化设计使得设计人员可以利用计算机软件对机械产品进行模型建立、仿真和优化，从而提高设计效率、减少试错成本，并加速产品开发周期。本文旨在研究机械产品数字化设计及其关键技术，探索数字化设计在机械工程领域的应用。通过深入分析这些关键技术，可以为机械产品的设计和制造提供更高效、精确和创新的解决方案。

关键词：机械产品；数字化设计；关键技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.207

引言

近年来，随着信息技术的快速发展，机械产品设计正逐渐向数字化转型。数字化设计通过引入计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助制造（CAM）等技术，将传统的手工设计过程转化为基于计算机的数字化环境。这种转变不仅提高了设计和制造效率，还为产品创新和优化提供了新的机会。

一、机械产品数字化设计的重要性

机械产品数字化设计在现代工程设计中扮演着至关重要的角色，其重要性主要体现在以下几个方面。一是数字化设计可以帮助工程师更快速、更精确地完成产品设计过程。通过计算机辅助设计（CAD）软件，工程师可以快速创建、修改和优化设计方案，大大缩短了产品开发周期。二是数字化设计可以减少繁琐的手工绘图工作，减少了设计错误和重复的机会，从而降低了产品开发的成本。此外，数字化设计还可以通过模拟和测试功能，提前发现设计问题，避免在实际生产中出现昂贵的错误。三是数字化设计可以帮助工程师更好地理解产品的结构、功能和性能，从而更好地满足客户需求。通过模拟和虚拟测试，可以预测产品在不同工况下的表现，优化设计方案，提升产品质量和可靠性。四是数字化设计为工程师提供了更多的创新空间。他们可以更快速地尝试不同的设计方案，评估各种设计选择的优缺点，从而更好地实现产品创新和差异化竞争。五是数字化设计使得不同部门和团队之间更容易地进行信息共享、沟通和协作。各个部门可以同时访问同一设计文件，实时交换意见和反馈，提高团队协作效率^[1-2]。

二、机械产品数字化设计存在的问题

虽然机械产品数字化设计带来了诸多优势，但在实践中也存在一些问题和挑战。一是技术要求高。数字化设计需要工程师掌握专业的CAD软件操作技能和相关数学建模知识，对设计人员的技术要求较高。对于一些传统的制造企业或个体工程师来说，学习和适应新的数字

化设计工具和流程可能存在困难。二是软硬件投入成本高。引入数字化设计需要企业购买CAD软件、计算机等硬件设备，进行培训和技术支持的投入也不小。这对于一些中小型企业而言，可能存在资金和资源上的压力。三是数据安全风险。数字化设计过程中产生大量设计数据和知识产权，存在泄漏和安全风险。特别是在云端数据存储和共享的情况下，数据安全问题备受关注，需要加强数据保护措施。四是有限的标准化和检验体系。数字化设计由于技术发展较新，相关的标准化和检验体系相对不完善。这可能导致不同设计人员或企业之间的设计结果难以比较和验证，增加设计风险。五是虚拟设计与实际生产偏差。虽然数字化设计可以通过模拟和测试不同工况下的产品性能，但实际生产中仍可能出现设计与实际效果存在偏差的情况。因此，如何有效地将数字化设计转化为实际制造产品仍面临一定挑战。六是跨学科协同难度大。机械产品的设计往往涉及多学科的知识，数字化设计需要不同学科之间的有效协同和交流。跨学科协同难度大，可能造成沟通障碍和协作困难^[3-4]。

三、机械产品数字化设计关键技术

（一）CAD技术

CAD技术（计算机辅助设计）是机械产品数字化设计中的核心技术之一。它通过计算机软件帮助设计人员进行几何建模、装配设计、参数化设计等工作，实现快速、精确和灵活的产品设计。一是CAD软件提供了多种几何建模工具和操作方式，允许设计人员创建和编辑产品的几何形状。几何建模可以基于实体（如立体模型）或表面（如曲面模型），并支持多种参数化和特征化建模技术。二是CAD技术允许设计人员创建、编辑和分析产品的装配结构。它可以对各个零部件进行组装、排布和约束，进行装配体检测和碰撞检测，并对装配进行模拟和测试。三是参数化设计是基于参数和关系来描述和控制产品设计。通过定义参数和参数之间的关系，

可以实现设计参数的自动调整和修改，以快速生成不同尺寸、形状和配置的产品。四是曲面建模是在CAD软件中进行复杂曲面形状建模的技术。它可以生成光滑的曲面、精确的曲线，并支持曲面的拟合、修复和编辑。五是特征建模是一种基于产品的特征进行建模的技术。设计人员可以创建、编辑和管理具有特征的几何体，如孔、凸台、菱柱等。特征建模允许设计人员灵活地修改和调整产品的特征，以满足不同的设计要求。六是CAD软件提供了一些模拟和分析工具，用于评估产品的性能和行为。例如，有限元分析（FEA）可以预测产品在不同载荷和工况下的应力和变形，计算流体力学（CFD）可以模拟液体和气体的流动行为等。七是CAD技术可以生成高质量的三维可视化和渲染效果，帮助设计人员更好地理解产品设计和展示给他人。它包括灯光效果、材质纹理、透明度、动画等。这些CAD技术为设计人员提供了丰富的工具和功能，支持机械产品的数字化设计过程。设计人员可以使用CAD软件快速建模、编辑、分析和优化产品，在精确性、效率和创新性上取得突破。随着CAD技术的不断发展和进步，它在机械产品数字化设计中的作用将进一步加强。

（二）CAE技术

CAE技术通过数值模拟和分析方法，对机械产品进行性能评估、优化设计和故障分析。一是有限元分析是CAE技术中最常用的方法之一，用于模拟产品在不同载荷下的应力、应变、变形等行为。它将复杂的几何结构离散为有限数量的单元，并考虑材料的力学特性，使用数学方程求解得到产品的响应和行为。二是计算流体力学是CAE技术用于模拟和分析流体流动行为的方法。它基于数学方程集，模拟气体或液体在产品内部或周围的流动、传热、传质等过程，以评估产品的气动性能、冷却效果、流体力学效应等。三是多体动力学分析是一种模拟和分析机械系统中多个刚体或弹性体相互作用和运动的方法。它可以用于模拟和分析机械产品的运动、振动、冲击、接触等复杂动力学行为。四是耐久性和可靠性分析可以评估机械产品的寿命、可用性和可靠性。它基于材料疲劳、变形、腐蚀、磨损等方面的建模和分析，预测产品在实际使用条件下的寿命和可靠性。五是热分析用于评估机械产品的热性能和热行为。它可以模拟和分析产品的传热、热传导、热辐射、热膨胀等过程，帮助设计人员优化产品的散热性能和热稳定性。六是故障诊断与分析技术用于分析机械产品的故障原因和影响，并提供修复和改进建议。它可以通过结构分析、振动分析、应力分析等方法，帮助设计人员识别和解决

产品的故障问题。这些CAE技术在机械产品设计和分析过程中发挥着重要的作用，可以帮助设计人员预测和改善产品的性能、耐久性、可靠性和安全性^[5-6]。

（三）CNC技术

CNC技术通过将计算机与机床控制系统相结合，实现精准、高效、自动化的加工过程。一是数控编程是将产品设计的CAD模型转化为机床上可执行的加工路径和代码的过程。通过数控编程，设计人员可以指定工件的几何形状、尺寸、加工工艺等信息，生成数控程序，用于驱动数控机床进行加工。二是数控机床是配备数控系统的机械设备，用于自动控制和执行数控程序进行加工。常见的数控机床包括数控铣床、数控车床、数控磨床等，通过数控技术可以实现复杂形状和精密加工。三是加工路径规划是通过数学算法和优化方法确定产品加工的最佳路径和顺序。它考虑工具的轨迹、切削力、加工精度等因素，以提高加工效率和质量。四是自动刀具路径生成是指根据零件的几何特征和加工要求，自动生成刀具轨迹和路径。自动生成刀具路径可以减少人工干预，提高加工精度和效率。五是参数化加工是指利用数学表达式、参数和变量来描述加工过程和策略。通过调整参数和变量，可以快速调整加工路径、切削深度、进给速度等参数，以适应不同工艺和产品要求。六是CNC技术可以实现对加工过程的实时监控和反馈，包括刀具状态、工件尺寸、加工速度等参数的监测和控制。实时监控与反馈有助于调整加工参数，及时发现和解决问题。七是CNC技术可以通过仿真软件对数控程序进行验证和优化，模拟整个加工过程并检查潜在的错误和碰撞。通过仿真，可以提前发现问题、优化程序，减少加工试错成本。CNC技术在现代机械工业中扮演着重要角色，它通过数字化设计和精密控制，实现了机械加工的自动化、精细化和定制化。在数字化设计过程中，设计人员可以直接将CAD模型转化为数控程序，实现设计到加工的无缝衔接，提高生产效率和质量。

（四）仿真优化技术

仿真优化技术是机械产品数字化设计中的关键技术之一，它结合了仿真分析和优化算法，用于改善产品设计和性能。仿真优化技术可以帮助设计人员在设计阶段模拟和分析不同设计方案的行为，并通过优化算法找到最佳设计。一是建模与仿真。仿真优化技术开始于建立机械产品的虚拟模型。设计人员使用CAD软件创建产品的几何模型，并根据需要赋予模型材料、约束和载荷等特性。然后，使用CAE（计算机辅助工程）软件进行仿真分析，模拟产品在不同条件下的行为，如应力、变

形、热分布等。二是参数化建模。参数化建模是一种将设计参数与模型关联起来的方法。通过定义参数，设计人员可以快速修改模型、生成不同设计变体，并自动更新仿真分析结果。参数化建模使得对设计进行系统化的优化和评估成为可能。三是优化算法。优化算法用于搜索最优解，即满足预设约束的最佳设计。常见的优化算法包括遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等。这些算法通过迭代寻找设计空间中的最优解，并根据预设的目标函数和约束条件进行评估。四是在仿真优化中，需要定义和探索设计空间，即设计参数的范围和取值。设计空间的选择对于优化结果的准确性和可行性至关重要。设计人员可以基于经验、先前的仿真结果或特定的设计要求来定义设计空间。五是多目标优化。多目标优化是指在优化过程中同时考虑多个竞争性目标。机械产品的设计往往涉及多个关键参数和指标，例如重量、强度、成本等。多目标优化使得设计人员在设计过程中能够找到一个妥协解，平衡不同的目标要求。六是敏感度分析。敏感度分析用于评估设计参数对设计结果的影响程度。通过分析不同设计参数的敏感度，设计人员可以了解哪些参数对产品性能的改善影响最大，优化设计时可以着重调整这些关键参数。七是在仿真优化过程中，设计人员可以通过实时反馈分析模型的性能和结果。根据分析结果，可以进一步优化和调整设计。优化迭代过程使得设计技术逐步收敛到最优解。仿真优化技术在机械产品数字化设计中发挥着重要作用，它可以帮助设计人员快速评估和改善设计方案，降低产品开发成本和时间。通过数字化仿真和优化，设计人员能够系统地探索设计空间，优化产品性能，并提供可靠的决策依据^[7-8]。

（五）人工智能和机器学习技术

人工智能（AI）和机器学习技术在机械产品数字化设计中扮演着日益重要的角色，为设计过程带来了新的思路和方法。一是人工智能和机器学习技术可以帮助设计人员在设计过程中进行自动优化。通过分析大量的设计数据和仿真结果，机器学习算法可以发现隐藏的设计模式和规律，从而提供优化建议，加速设计优化的过程。二是基于人工智能技术的智能设计助手可以为设计人员提供实时的设计建议和反馈。这些设计助手可以根据设计要求、历史数据和专家知识，辅助设计人员做出更好的设计决策，并提供创新的设计思路。三是人工智能和机器学习技术可应用于机械产品的故障诊断与预测维护。通过监测传感器数据、分析设备状态和历史运行数据，AI可以帮助预测设备的故障风险，提前采取维护措施，降低故障率和维修成本。四是人工智能和机器学

习技术在智能制造中起着关键作用。通过智能调度、优化生产过程、预测市场需求等方式，AI可以使生产线更加高效、灵活和智能化，实现定制化生产和快速响应市场需求。五是AI和机器学习技术可用于自动化参数优化。在机械产品设计中，通过机器学习算法对设计参数进行分析和优化，可以快速找到最优的设计参数组合，提高产品性能和效率。六是机器学习技术可以通过学习大量的设计数据和图像，帮助设计人员生成新颖的设计概念和方案。AI可以根据设计要求和趋势，提供创新性的设计灵感，助力设计人员进行更具竞争力的产品设计^[9-10]。

结语

综上所述，机械产品数字化设计是现代机械工程领域的重要发展方向。本文对其关键技术进行了研究和分析，这些关键技术的发展和应用，为机械产品的设计、制造和服务提供了更高效、精确和创新的解决方案。然而，数字化设计仍然面临着挑战和困难，如数据安全性、软件兼容性问题。未来要进一步深化对数字化设计的研究，解决技术和应用中的难题，推动机械产品数字化设计的进一步发展和应用。

参考文献

- [1] 齐鹏选. 关于机械产品数字化设计及关键技术研究与应用[J]. 数字化用户, 2019, 25(14): 146.
- [2] 季峰. 机械产品数字化设计及关键技术研究[J]. 电脑校园, 2020(12): 10245-10246.
- [3] 吴敏娇, 蒲为国. 机械产品数字化设计及关键技术应用与研究[J]. 中国设备工程, 2020(23): 201-202.
- [4] 张哲. 基于工程机械用斜盘式轴向柱塞泵关键组件的数字化设计系统研究[D]. 山东: 烟台大学, 2021.
- [5] 刘文林. 齿轮传动系统协同设计关键技术研究[D]. 辽宁: 大连理工大学, 2021.
- [6] 肖科. 伸缩臂叉车臂架数字化样机的研究[D]. 广东: 广东工业大学, 2021.
- [7] 易扬. 基于数字孪生的复杂产品装配精度预测关键技术研究[D]. 江苏: 东南大学, 2021.
- [8] 胡海龙. 面向机械数字化产品的点云模型骨架提取和形状分析研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2020.
- [9] 颜胡. 工程机械工业设计知识库构建研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2020.
- [10] 李德明, 蒋富强, 宫涛, 等. 工艺仿真技术在工程机械结构中的应用研究[J]. 金属加工(热加工), 2021(12): 20-24.