

现代机械设计方法中的数字化与智能化技术应用研究

高冠斌

(广州市富荣丰橡胶企业有限公司, 广东 广州 510000)

摘要 在新一轮工业技术变革推动下, 数字化与智能化技术正深刻重塑现代机械设计方法。从设计理念、工具平台到流程控制, 传统机械设计正加速向高度集成、高度协同的新范式演进。本文聚焦数字化与智能化在机械设计方法中的融合应用, 分析其在设计流程重构、决策优化、协同创新等方面的变革作用, 挖掘其在缩短周期、提高精度、实现知识复用等方面的关键优势。通过对典型应用路径的剖析, 揭示数字化与智能化作为系统性生产力工具在实际工程设计中的协同机制与落地模式, 以期为制造业提质增效和智能升级提供可行参考。

关键词 现代机械设计方法; 数字化; 智能化; AI 算法; 高精度仿真反馈系统

中图分类号: TH122

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.006

0 引言

随着时代的发展以及全球经济一体化的加速, 机械设计制造行业发展日新月异, 同时数字化与智能化在其中的应用越来越广泛, 机械设计制造行业的发展既需要依靠传统工艺也需要结合现代科学生产技术。

《“十四五”智能制造发展规划》明确指出: “坚持以数字化设计为核心切入点, 推动产品全生命周期数字化管理。”该政策将数字化作为智能制造体系的关键基础, 强调以模型驱动、数据支撑、知识沉淀为路径, 重构制造企业的设计理念与技术体系。在此背景下, 机械设计方法正迎来从人工工作图向智能生成、从静态参数向动态仿真、从局部优化向系统集成的深度转型。

1 现代机械设计方法中的数字化与智能化发展逻辑

1.1 从信息孤岛到数据驱动的系统重构

在传统的机械设计体系中, 设计、仿真、制造等环节分离, 信息割裂严重, 不仅影响数据的准确传递, 还容易在多次人工处理过程中发生冗余、错漏与重复劳动^[1]。这种“信息孤岛”现象曾长期制约机械产品的研发效率与质量保障。而随着工业软件与数据基础设施的迭代, 数字化与智能化逐步打破各设计环节之间的边界。企业通过构建统一的数据接口标准(如 STEP、IGES)和产品数据管理平台(PDM), 实现了从建模到仿真的参数流转与结果共享, 使得设计数据成为支撑全过程的统一载体。在此基础上, 数字样机、虚拟调试、工艺集成等新模式迅速推广, 形成了以数据驱动为核心的系统化设计流程。

1.2 从模块化设计向智能优化协同升级

模块化设计强调对标准结构、典型构件进行功能划分与重复调用, 曾一度成为提升设计效率的主要策略。然而, 模块组合的最优性仍依赖人工经验判断, 缺乏动态调整能力, 难以满足高性能产品的个性化需求。随着智能算法的快速演进, 模块化设计被智能优化技术赋能。设计人员可通过遗传算法、粒子群算法等智能优化措施, 针对多个目标参数进行全局搜索与方案重构, 在满足设计约束的前提下自动生成最优结构模型。同时, 生成式设计工具的嵌入使得 AI 技术能够基于设定条件提出多个结构方案, 供设计人员选择与调优, 从而实现从“模块拼装”到“智能生成”的跃迁^[2]。

1.3 从人工主导向人机协同的范式变迁

传统机械设计过程依赖设计师的经验与直觉, 从建模到分析再到工艺评估多为线性推进、手工完成, 导致设计质量与效率受个体差异影响较大。数字化与智能化技术的融合改变了这一格局。基于自然语言处理、语义识别与图像感知等技术构建的智能设计助手, 已逐步嵌入现代设计软件体系, 实现对设计意图的捕捉与反馈响应。设计人员在建模过程中可获得实时建议、标准参考与风险提示, 系统还能结合已有数据库进行案例类比与智能推荐, 辅助完成复杂零部件结构的建模与参数控制。这种从“人主导”向“人机协同”的转型, 不仅提升了整体设计效率, 也推动了知识沉淀与共享的机制建立^[3]。

2 现代机械设计方法中的数字化与智能化技术应用优势

2.1 缩短设计周期与响应时间的高效引擎

在传统机械设计流程中,方案提出、结构建模、仿真验证往往是串联式推进,每一步均需等待前一步完成,导致周期拉长、响应滞后^[4]。而数字化与智能化技术的深度融合打破了这一局限,构建出以参数驱动、模型贯通为基础的并行式设计体系。借助 CAD/CAE 集成平台、自动参数化建模工具与实时仿真反馈模块,设计人员可在短时间内完成多轮方案生成与评估,大幅度压缩初设与详设阶段的时间成本。更重要的是,智能算法能够基于约束条件与历史案例自动完成方案初选与优化,减少人工调试与返工频次。响应速度的提升不仅体现在内部流程中,更显著增强了设计系统对客户需求变化、工程问题反馈的即时应对能力,使产品开发从“按部就班”转向“快速响应、快速迭代”的高效模式。

2.2 提升方案精度与产品质量的保障支撑

机械产品性能的稳定性在很大程度上取决于前端设计阶段的精度控制与参数优化^[5]。数字化与智能化技术在设计环节引入了多维度的建模与验证工具,使方案质量得到结构性保障。设计人员可借助多物理场仿真软件对结构、热应力、振动等工况进行精细模拟,提前识别潜在失效点并进行参数调优。同时,智能设计系统可以基于历史设计数据与性能反馈信息,形成面向质量的优化路径,辅助实现误差容限控制与可制造性判断。在此基础上,数字样机与虚拟调试技术的引入,使结构方案在实体制造之前即可完成完整的性能评估与工艺匹配。相比传统依赖经验的“试错式”设计,这种数字+智能的精度保障模式显著提升了设计的一次成功率与产品一致性,降低了后期调整与质量返工的风险。

2.3 增强多环节协同与知识复用的系统能力

现代机械产品设计不再是单一岗位的任务,而是涉及研发、工艺、制造、质控等多部门的协同工作^[6]。数字化与智能化技术通过搭建统一的数据平台和知识管理体系,极大地提升了多环节之间的联动效率。基于产品生命周期管理 (PLM) 系统,设计数据可在不同岗位间实现即时共享和版本同步,减少信息传递误差与重复建模工作。而智能知识库与案例推理模块则能够提取以往项目的设计意图、优化路径与失效案例,为新项目提供基于经验的数据参考。这种“数据贯通+知识沉淀”的协同方式,不仅打通了设计链上的壁垒,

也使得企业能够建立起可持续进化的设计知识体系,实现跨项目、跨团队的知识复用与智能调用,从而提升整体研发系统的响应能力与创新效率。

3 现代机械设计方法中的数字化与智能化技术应用路径

3.1 构建基于参数模型的设计一体化平台

基于参数模型的一体化设计平台是现代机械设计实现数字化与智能化深度融合的核心支撑路径^[7]。其基本做法是,借助统一建模平台完成结构模型、参数属性与设计逻辑的集中绑定,实现模型可重构、参数可追踪、流程可控管的多维协同机制。在具体实施中,企业通常采用集成 CAD/CAE/CAM 功能的三维建模软件(如 NX、Creo 等)进行参数化结构构建,并通过表达式定义、关联约束与特征驱动,实现模型自动调整与多方案快速生成。为打通设计与仿真、制造、工艺之间的链路,平台引入 PDM 或 PLM 系统作为数据主线,将模型信息统一编码,确保每一处设计更改都能同步传递至下游应用模块。与此同时,系统接入工艺资源数据库,使得结构设计在建模阶段即可调用标准工艺模板与制造规则,自动检测孔距、公差、装配面等关键要素的制造适应性。在中车某轨道车辆部件的设计流程中,技术团队构建以 NX 为核心的建模体系,并将其与 Teamcenter 系统打通,形成了集建模、仿真、工艺于一体的设计作业链。设计人员在同一平台中完成参数定义后,系统即可联动生成仿真工况模型和初步加工路径,极大提升了设计流程的连续性与响应速度。该路径本质上实现了从“图形驱动”向“数据驱动”的转型,使模型不仅是图纸表达,更成为承载知识、控制流程的核心数据资产。

3.2 集成 AI 算法实现设计过程智能寻优

将 AI 算法嵌入机械设计流程,是当前实现多目标自动优化与设计智能化决策的重要路径。具体做法主要围绕“模型优化、参数自动调控与性能权衡”展开。设计人员可在三维建模平台或 CAE 工具中内嵌遗传算法、粒子群算法或强化学习等优化模块,以性能指标作为目标函数,在设定的结构边界与材料约束内完成大规模方案迭代。在设计任务启动阶段,AI 系统可调用企业历史设计数据作为初始种群,结合当前工况需求快速生成多个结构候选解,并通过仿真验证或经验规则对其适应度进行评价,从中筛选最优解或形成设计建议。在机械装备领域,某液压驱动系统设计团队通过引入遗传算法对泵体结构进行多目标优化,在保持其耐压与刚度性能不变的前提下,成功实现了体积

减重与流道改良。该过程并未由设计师手动调参完成,而是通过预设目标函数(最小体积、最大强度)与工艺边界(加工半径、通道流速)自动驱动完成结构变异、交叉与筛选,最终输出多个可选结构方案供工程师评估选用。该路径不仅打破了传统经验导向的优化模式,也显著提升了复杂系统中结构—性能—工艺三要素的协同效率,实现了从人工决策向智能驱动的设计方式跃迁^[8]。

3.3 打造虚实融合的高精度仿真反馈系统

高精度仿真反馈系统已成为机械设计中不可或缺的前置验证手段,其关键在于将多物理场仿真过程与真实制造环境构建高度对应的虚拟映射,实现方案在物理实现前的高精度评估与误差预警。具体做法是,在参数化建模完成后,设计人员可将结构模型导入集成仿真平台(如Ansys、Abaqus),调用结构力学、热场、电磁等多领域仿真模块,建立典型工况下的性能映射模型。同时,系统还可同步接入制造过程模拟模块,如刀具路径仿真、焊接热源模拟等,将制造阶段可能产生的变形、残余应力或热影响区等误差反馈到设计初期,辅助结构形状与工艺路径的协同调整。在实际应用中,华为终端结构研发团队在手机金属边框设计中引入多轮多物理场仿真,结合3C制造环节的热处理与冲压误差,建立高精度反馈机制,实现了边框强度提升10%以上的同时确保加工精度与良品率。该系统核心不在于简单的数据输入输出,而是通过仿真—反馈—调参形成连续闭环,使结构设计具备自我检视与实时修正能力。通过这一路径,机械设计得以摆脱“先设计、再试错”的传统思路,在数字空间中实现了对复杂约束下结构性能的预判与动态演化,确保设计方案在正式投入制造前即已趋于最优解^[9]。

3.4 部署数据闭环驱动的全流程追溯机制

在机械设计数字化转型过程中,构建基于生产运行数据的设计闭环反馈系统,已成为提升设计适配性与响应力的关键路径。具体做法是:在设计模型完成后,系统会自动生成可追溯的数据标识(如结构编码、零件ID等),并与制造执行系统(MES)、质量监测系统(QMS)和边缘采集终端进行绑定,实现从设计方案到加工执行的全过程数据链路追踪。在生产阶段,传感器实时采集温度、压力、振动、刀具磨损等关键运行数据,并通过工业网上传至数据中台,与设计端参数模型进行动态比对。一旦出现偏差或稳定性下降,系统即可反向定位至初始设计参数,触发优化建议或结构修正流程。在高精密夹具制造领域,某机床企业

利用该机制将加工过程中的工件定位偏差反馈至CAD设计模型,系统自动分析装夹面设计的约束失配问题,提出基于加工路径的结构局部重构方案,显著提升装夹重复定位精度。在整个过程中,数据不再是单向流动的“记录材料”,而成为指导设计迭代、驱动结构演化的主动因素。通过将实际工况信息嵌入设计模型内部,闭环机制使机械设计实现了从静态图纸向动态系统的跃迁,为构建高适应性、高稳定性的工程产品提供了可靠的反馈通道与快速响应能力^[10]。

4 结束语

数字化与智能化的深度融合,可重构机械设计方法的技术基础与组织逻辑。机械设计不再是线性孤立的图纸生成过程,而是嵌入数据流、算法流与知识流的系统性工程。从参数建模到AI寻优,从多场耦合仿真到制造反馈驱动的闭环机制,技术路径的优化不仅提高了设计效率与精度,更推动了设计范式向自适应、自演化方向改进。在制造强国战略和工业智能化浪潮共同驱动下,构建协同高效、响应灵敏、知识沉淀能力强的现代机械设计体系,将成为企业保持核心竞争力的关键。

参考文献:

- [1] 李云霞.数字化设计技术在农业机械设计中的应用[J].南方农机,2025,56(08):148-150.
- [2] 廖晨.智能制造技术在现代机械工程中的应用与发展[J].内燃机与配件,2024(16):131-133.
- [3] 邓萍华.数字化与智能化在农业机械工程设计中的应用[J].中国农机装备,2024(05):84-86.
- [4] 贾红军.数字技术在现代农业机械设计中的应用研究[J].农村实用技术,2024(10):111-113.
- [5] 陈善龙,李桂花,王其营.简析数字化技术在机械设计中的应用与发展趋势[J].橡塑技术与装备,2024,50(07):1-5.
- [6] 李国昌.数字仿真技术在机械设计中的应用探析[J].时代汽车,2024(09):26-28.
- [7] 梁强.机械产品数字化设计及关键技术研究[J].农机使用与维修,2023(04):76-78.
- [8] 孙占涛,杜立红,关爱如,等.机械设计制造的数字化与智能化发展思考[J].现代工业经济和信息化,2023,13(02):41-43.
- [9] 王彦诚.数字化技术在机械设计制造中的应用[J].造纸装备及材料,2022,51(10):82-84.
- [10] 段明艳.浅析机械设计制造的数字化与智能化[J].中国设备工程,2022(18):29-31.