

工业互联网环境下机械产品数字化设计与制造数据闭环集成平台构建

魏清华

宜昌科技职业学院, 湖北 宜昌 443000

DOI:10.61369/ME.2026010008

摘 要 : 工业互联网技术正以前所未有的速度推进, 为机械制造领域的设计与生产模式带来了革命性转变。本研究聚焦于构建适应工业互联网环境的机械产品数字化设计及制造数据闭环集成系统, 旨在突破传统机械制造过程中设计、生产与管理环节间的信息壁垒。通过该平台的实施, 能够显著提高制造效率并确保产品品质。文章开篇即阐明工业互联网对机械产品全生命周期智能管控的重要性, 同时强调数据闭环整合是实现智能制造的核心要素。

关 键 词 : 工业互联网; 机械产品; 数字化设计; 制造数据闭环; 集成平台

Construction of a Closed-Loop Integrated Platform for Digital Design and Manufacturing Data of Mechanical Products in the Industrial Internet Environment

Wei Qinghua

Yichang Vocational College of Science and Technology, Yichang, Hubei 443000

Abstract : Industrial Internet technology is advancing at an unprecedented pace, bringing revolutionary changes to the design and production models in the field of mechanical manufacturing. This study focuses on constructing a closed-loop integrated system for digital design and manufacturing data of mechanical products that adapts to the Industrial Internet environment, aiming to break down information barriers between design, production, and management in traditional mechanical manufacturing processes. The implementation of this platform can significantly enhance manufacturing efficiency and ensure product quality. The article begins by elucidating the importance of the Industrial Internet for intelligent management and control throughout the lifecycle of mechanical products, while emphasizing that closed-loop data integration is a core element in achieving intelligent manufacturing.

Keywords : Industrial Internet; mechanical products; digital design; closed-loop manufacturing data; integrated platform

引言

通过构建数字化设计与制造数据闭环集成平台, 可以实现在线交互优化设计的信息和技术、生产的数据及质量指标, 推动机器产品全生命周期智能化转型的过程。本文阐述数字化四步曲以及制造数据循环集成系统四部分的主要功能, 并以实例说明系统的应用价值。本文提出的基于工业云平台的制造业企业数字化转型思路及路径, 为制造业企业数字化转型提供了参考方案, 对于促进工业转型升级向智能制造、互联网+、服务型制造的发展具有一定的指导意义。

一、工业互联网环境下机械产品数字化设计与制造数据闭环集成平台构建意义

作为将信息技术应用于制造领域的新一代基础设施, 工业互联网正在深刻地影响着整个现代产业的应用模式与生态系统。而机器设备的研发设计以及生产制造又是整个制造业体系中的主

体, 其智能水平以及信息化程度如何决定了一个国家的工业实力。但是传统意义上的机械加工方式通常存在设计环节、生产要素、管控各环节信息不统一的问题, 会出现交流效率低、资源利用率不足及总产能受限等情况。

借助于 IOT 基础上的云计算能力能够将设备之间进行智能链接, 在数据交互中体现出自我决策的特征。这种新型技术为人们

作者简介: 魏清华 (1986.01-), 男, 湖北枝江人, 宜昌科技职业学院就职, 职称: 讲师。学历: 本科。毕业单位: 三峡大学, 机械设计制造及其自动化专业。研究方向: 《机械设计基础》、《CAXA 制造工程师》教学。

提供了一种全新的思路来对待机器设备全生命周期管理；搭建了贯穿产品研制、设计到生产的全流程的大数据库。确保设计参数、制程方法、生产工序、品质信息实时共享及持续改善。这样不仅能大大提高产品品质和价值，而且能减少运营费用。该课题的研究对推进机械制造业信息化进程以及促进产业升级由低层次向高层次迈进都具有重要的现实意义。开放是中国制造出海的一张王牌。

在发达国家中，工业互联网及机械产品数字化的设计已较成熟，如美国通用电气 (GE) 和德国西门子公司均依托政府支持及自身发展打造了完善的、高效的工业互联网生态圈，例如：推出 Predix 及 MindSphere 平台，能够完成机器之间的链接以及数据的采集与分析，并作出智能判断等，都可以极大地提升机械设计效率及水平。

虽然我国在积极推动发展工业互联网产业，在一些领域仍比先进国家存在差距，如数据融合和治理能力不足、平台体系完善性不够、智能算法水平不高等。国内研究热点集中在工业互联网平台构建技术、数字化设计技术和手段、制造企业数据流通机制等领域，我们已做出一定的努力，但目前的研究主要局限于某一方面的提升，并未从产品的全生命周期角度考虑设计生产运营全过程的整体协同优化，未能实现整体性能的全面提升。

本次课题将建立基于工业物联网的设备数字化模型全流程信息流系统，在此系统内可完成所有产品开发、设计、制造过程中的全部信息集成，并采用工业物联网架构确保设计环节和生产环节的连贯性和信息同步性。同时，也融合了边缘计算技术和云计算技术，因此可以对多来源的不同类型的大规模的数据进行服务支撑。实践表明，该方案有效提高了设计工作的整体效率，并能减少产品交付周期以及制造费用；构建起完整的信息传递体系，在客户的需求到最终的产品供给间形成联系，引领着机械制造业向数字化加工及智能化工厂发展。

（一）传统机械制造的数据孤岛问题

传统机械加工中由于信息壁垒严重，例如设计 - 生产 - 管理各环节之间信息传递滞后，导致资源不必要的浪费以及生产力水平的降低等问题。设计师使用 CAD 软件进行产品设计后得到的产品文档无法实时传送给生产部门，他们只能依靠纸质或电子介质的人工转换操作，易造成信息遗漏或差错。虽然工厂通过 MES 来监测和管理自己的制造流程，但因为生产信息没有及时反馈给设计师团队而影响了他们改善方案的设计；同样，虽然公司通过 ERP 对资源进行合理安排，但这并没有延伸至设计的不同环节中导致资源配置不当。这些数据隔离的情况严重制约着机械制造企业生产力水平以及产品质量，从而增加其成本投入。

（二）工业互联网的赋能作用

工业互联网采用先进的物联网络、大数据分析技术和云平台技术实现了新的机器间联网以及各种信息交互和智能控制等功能，为研究全面的机械产品全生命周期提供了新思路。基于物联网技术，首先，利用信息技术我们可以实时监测设备状态；其次，采用大数据技术可保障海量数据存储及分析工作；再次，依托云计算技术应用，便于进行数据资源共享合作处理。工业互联网在其自身所具备的功能包括以下几点：在设计环节中可以使用

数据共享以及协同完成设计的优化与快速更新；在生产环节当中能够通过实时信息的回馈完成对于生产问题的及时修正以及报警；管理环节，在管理环节当中，可以进行数据分析和数据整合，实现资源配置最优化及降本增效。以上功能成为推进制造企业数字化转型的利器——工业互联网。

二、机械产品数字化设计技术的应用

（一）二维 CAD 技术

CAD 技术即计算机辅助设计，在机械制造业产品生产中能够实现数字转型升级，将原本用笔在纸上作图的设计工作改为在电脑上进行操作，并能借助于计算机的数据分析功能对设计图纸作出改进。这种方法相对于手绘而言，能够提高工作效率，并能帮助设计者清晰把握机械产品的相关功能特点，从而保证设计成果的质量水平。

（二）曲面造型技术

虽然二维 CAD 技术可以给出一些机械产品相关的数据以及尺寸大小，但是其却不能展现出产品的效果，所以这就需要采用曲面建模的技术来进行弥补。这一技术主要是将 3D 的技术以及 CAD 技术进行结合应用，并且能够很好地补充二维 CAD 存在的不足的部分。基于曲面建模方法在机械产品设计过程中能够依据相关规范建立三维虚拟样机，在计算机辅助设计环境中实现对其设计方案的直观分析评估，并快速优化设计方案。

（三）实体造型技术

应用实体造型的方法可以将机械产品的三维形象在 CAD 软件中直观呈现出来，并且能够完整反映机械产品中的零件，因此这种表现形式更加真实具体。运用实体造型的方式可以直接反映机体内各个零部件的作用以及质量情况，这样工程人员就可以根据所得到的数据对机械的设计进行改进。比如增加必要部件等，有利于提高机器的功能性以及推动数字化设计理念在制造领域中的发展进度。

（四）虚拟仿真技术

因为模拟仿真科技是在设计目的基础上建立相关产品模型，所以其更加具有真实感。这一技术不仅模拟了机器设备的制造过程，在很大程度上也减少了研究开发的时间成本，能够有效提高机械产品的生产效率。其实，模拟仿真科技就是将计算机技术结合机械设备的标准以及要求，生成合理的数字模型，制作与其本身相匹配的表现形式，即质量属性、尺寸特征以及其他的都是相对应的。采用数字化技术中的模拟化手段来实现对于机械设备产品的性能检测工作能够避免后期出现应用故障的问题，进而大大提升了机械加工的工作效率，确保了机械设备在工作期间充分发挥出自身的应用价值。

（五）变量化技术

在对机械产品的进行数字设计的过程中，其最为重要的组成部分是复合建模技术的应用，也就是将 3D CAD 技术以及参数化技术相融合的技术。这种技术当中包括多种类型三维模型，其中包括表面型、实体型及线框型等等。由于参数化技术具有集成性特

点，在对其进行使用的过程中能够根据实际的机械情况进行模型的改动。确保其具有机械产品特点，并进行准确尺寸改性操作。

三、工业互联网环境下机械产品数字化设计

（一）三维建模与参数化设计

在所有机械产品的数字化设计中，三维建模是最基本的过程，在该过程中主要是使用计算机辅助设计软件对机械零件进行三维形状描述；而参数化设计是根据给定的一些参数及条件限制下，实现对产品模型的动态变化及改进过程。以齿轮为例，不同类型的齿轮仅需输入一些关键参数，比如模数、齿宽、螺旋角等即可快速生成。参数化的创建方法大大提高了工作效率，减少了重复工作量，同时又统一了设计文件的标准格式。三维建模与参数化相结合的设计技术为后续仿真分析以及加工制造提供有效依据。

（二）仿真分析与优化

虚拟仿真就是运用 CAE 软件对产品模型进行力学、热学以及流体分析，在汽车发动机领域可以提前预测出发动机的动力效率以及振动特性等内容；最优化设计就是在确定了目标函数以及约束条件的基础上，基于各类优化方法如基因法、粒子群法对产品的模型进行持续地修正完善过程。将虚拟试验与优化方法相结合可以提高质量、降低实验成本并能实现设计资料的智能管理。

（三）工艺规划与虚拟验证

工艺设计是机械产品数字化的关键环节，其主要是通过 CAPP 来制定加工工序、工步以及工艺条件等内容；运用虚拟样机技术对工艺过程进行验证，检查其可行性；例如在数控机床中可通过此方法提前发现刀路轨迹等问题。以避免发生冲突或者碰撞。将制造过程规划与仿真模拟相结合可以提高制造解决方案的精度以及减少实际操作中的失误，有利于达到最初设计的数据化与初始生产结合的目的。

（四）数据共享与协同设计

产品数字设计主要是依靠数据的共享和协同设计，可以通过采用 PLM 实现设计信息以及加工技术和生产信息的集中管理和共享，并且通过协同设计可以利用不同单位和角色之间的相互配合实现设计优化和快速更新。例如在汽车设计中：这种方法可以让车身、底盘以及发动机等进行同步的研发，在结合了数据共享和协同设计后，能够加快设计的速度以及缩短产品的开发时间，同时还能够让设计的数据和生产的数据更加深入融合。

四、工业互联网环境下机械产品制造数据闭环集成平台构建

（一）数据采集与传输

数据感知层：以工业级传感器为载体的智能物联平台是整个系

统的数据感知层基础，实现对生产设备运行状态及生产制造工艺过程的信息采集，并由高速工业以太网或基于 5G 的无线通信技术构建起数据传输通道，确保信息传递的时效性与准确性。如在数控加工中心中的应用。实时采集主轴转速、切削进给量等加工关键工艺信息，通过特定通讯方式传输至上层分析处理单元进行加工过程数据分析，为后续加工过程的优化及智能诊断提供可靠依据。

（二）数据处理与分析

在整个数据循环集成系统构建过程中，数据处理环节扮演着非常重要的作用，主要是利用大数据手段对海量数据进行存储以及清洗，并对其做出进一步分析。运用诸如机器学习及深度学习等先进算法能够完成智能化的在线数据分析工作。比如针对质检方面的应用为例，将海量的数据进行深入挖掘并得到有价值信息，并能够对产品缺陷进行精准识别以及未来质变趋势进行预判，在这种数据处理结合数据分析的方式大大提升了数据资产的利用价值和效率，也为智能决策提供了坚实的数据支撑平台。

（三）数据应用与智能决策

制造业建立基于大数据的大数据分析体系，其核心是将大数据运用于生产优化、预测性维护以及资源优化配置等智能作业之中；具体而言，就是在产线规划环节，借助大数据分析技术持续优化产线流程，并提升产能产出率。在决定支持层面，利用专家库、机器学习等智能化手段进行辅助科学决策；将数据价值挖掘和智能化算法融合的方法极大提升了工业化程度，并构建完整的制造数据管理闭环体系。

（四）平台集成与优化

平台融合是制造业信息循环集成功能的最终目标，它主要是将统一数据链接以及统一数据结构进行应用，在深化设计的信息、生产的信息以及管理的各种信息之间的融合；平台完善则是对平台功能进行不断补充和完善，从而保证平台具备长远发展的能力。例如：在融合的过程中，利用统一的数据接口可以实现 PLM 与 MES 和 ERP 的无缝对接，在融合优化的同时提升系统的稳定性和可靠性，实现了整个生产流程中所有信息的封闭采集和分析。

五、结束语

本文从理论上深入探讨了基于工业互联网环境下的机械产品数字化研发及生产数据闭环构建路径，对数字化研发过程中四个关键阶段以及制造数据集成平台中核心四层进行研究，最终形成设计数据—工艺信息—生产工艺规范—检验检测数据相互关联动态发展。本文分析了机械制造企业数字化转型及优化对策，有效地推动制造业以智能化为导向，向网络化和服务型方向发展。下一步可进一步深入探讨人工智能技术在平台上的应用以及区块链技术的应用。以增强其智能性及安全性。

参考文献

- [1] 龚友平. 机械产品数字化设计技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2023.
- [2] 徐尚捷. 机械产品数字化设计技术论述 [J]. 工程技术 (全文版), 2025(11): 218.
- [3] 李靖. 机械产品数字化设计创新与发展 [J]. 现代商贸工业, 2022, 37(34): 475.
- [4] 杨方飞. 机械产品数字化设计及关键技术研究与应用 [D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2025.