

Research on the Integration of Mechanical Automation and Information Technology in Internal Combustion Engine Manufacturing Systems: A Case Study of the Internal Combustion Engine Oil Pump and Nozzle Industry

Yue Sun

Zhejiang Liwei Oil Pump and Nozzle Co., Ltd., Lishui, Zhejiang, 323000, China

Abstract

Against the backdrop of the continuous evolution of the internal combustion engine industry towards high efficiency, low emissions, and high reliability, the manufacturing quality and production efficiency of key components such as oil pumps and nozzles have become important factors restricting the overall performance and competitiveness of enterprises. The traditional mechanical manufacturing model, represented by internal combustion engine components, has long been plagued by problems such as discrete processes, low equipment collaboration, and reliance on manual experience for quality control, making it difficult to adapt to the modern manufacturing demands of multiple varieties, small batches, and high consistency. The deep integration of mechanical automation and informatization provides an important technical path for the reconstruction of oil pump and nozzle manufacturing systems. On this basis, summarize the actual effectiveness of integrated applications in improving product consistency, production flexibility, and quality traceability, and propose an industry-specific integrated optimization path. The research conclusion can provide theoretical reference and practical guidance for key internal combustion engine component manufacturing enterprises to promote intelligent transformation and high-quality development.

Keywords

internal combustion engine manufacturing; Oil pump; Oil nozzle; Mechanical automation; Information Integration

内燃机制造系统中机械自动化与信息化融合研究——以内燃机油泵油嘴行业为例

孙越

浙江丽威油泵油嘴有限公司, 中国·浙江 丽水 323000

摘要

在内燃机产业向高效率、低排放与高可靠性方向持续演进的背景下, 油泵油嘴等关键零部件的制造质量与生产效率, 已成为制约整机性能与企业竞争力的重要因素。传统以内燃机零部件为代表的机械制造模式, 长期存在工序离散、设备协同度低、质量控制依赖人工经验等问题, 难以适应多品种、小批量与高一致性并存的现代制造需求。机械自动化与信息化的深度融合, 为油泵油嘴制造系统的重构提供了重要技术路径。在此基础上, 总结融合应用对提升产品一致性、生产柔性 with 质量可追溯能力的实际成效, 并提出面向行业特点的融合优化路径。研究结论可为内燃机关键零部件制造企业推进智能化改造与高质量发展提供理论参考与实践指导。

关键词

内燃机制造; 油泵; 油嘴; 机械自动化; 信息化融合

1 引言

内燃机作为动力装备领域的重要基础, 其技术演进始终与关键零部件制造水平密切相关。油泵油嘴作为燃油喷射

系统的核心部件, 直接影响燃油喷射精度、燃烧效率与排放控制效果, 对加工精度、装配一致性与质量稳定性提出了极高要求。随着排放法规趋严与市场需求多样化, 油泵油嘴产品呈现出结构复杂化、规格多样化与精度极限化的发展趋势, 传统依赖单机设备与人工干预的制造模式已难以满足产业升级需求。思考如何在油泵油嘴制造系统中实现两者的有机融合, 使自动化装备“可感知、可决策、可协同”, 成为当前内燃机零部件制造领域亟需解决的关键问题。基于此,

【作者简介】孙越 (1987-), 女, 中国浙江丽水人, 本科, 工程师, 从事内燃机油泵油嘴行业机械制造与自动化研究。

本文从系统视角出发,对机械自动化与信息化融合在油泵油嘴制造中的应用模式与实施效果进行系统研究。

2 内燃机油泵油嘴制造系统的工艺技术特征

内燃机油泵油嘴作为燃油喷射系统中的关键功能部件,其制造过程具有显著的精密机械加工属性和高度系统集成特征^[1]。从工艺角度看,该产品普遍涉及高精度孔系加工、微小流道成形、关键配合面的精加工以及表面强化与清洁控制等核心工序。其中,油泵壳体、出油阀、柱塞以及油嘴偶件等零件在结构上呈现出尺寸微小、结构紧凑与功能高度集成的特点,对尺寸公差、形位精度和表面粗糙度均提出了严格要求。尤其是在高压共轨技术广泛应用的背景下,油嘴喷孔与针阀配合精度已直接关系到喷油雾化质量与燃烧效率,制造误差容忍度进一步压缩。从制造系统层面看,油泵油嘴生产通常由多台数控机床、专用加工设备、自动上下料装置及检测设备共同构成,各工序之间在时间顺序、质量传递与工艺约束方面存在显著的逻辑依赖关系。但在传统制造模式下,设备多以单机方式运行,工序信息依赖人工传递,质量反馈路径长、响应滞后,容易形成“设备自动化而系统非自动化”的运行状态。一旦某一关键工序出现偏差,往往难以及时追溯至源头工艺参数,增加了批量质量风险。与此同时,油泵油嘴产品型号更替频繁、定制化程度不断提高,制造系统不仅需要保证高精度和高一致性,还需具备快速换型和柔性调整能力,这对制造系统整体技术水平提出了更高要求。

3 信息化技术在油泵油嘴制造系统中的应用与支撑作用

3.1 制造信息系统在油泵油嘴生产过程中的功能定位

在油泵油嘴制造系统中,信息化技术的核心价值在于通过对生产要素、工艺过程与质量数据的系统整合,实现制造活动的可视化、可控化与可追溯化^[2]。从功能定位上看,制造信息系统并非简单的管理工具,而是连接设计、工艺、生产与质量等环节的重要枢纽。通过对生产计划、工序路径与设备资源的统一调度,信息系统能够在多品种、小批量与高精度并存的生产环境中,维持系统运行的整体协调性。在具体应用中,制造执行层的信息系统通过对订单需求与工艺路线的解析,将生产任务分解并下达至具体设备或生产单元,实现生产节拍与资源配置的动态匹配。同时,系统能够实时采集设备运行状态、加工参数与工序完成情况,使管理人员对生产过程具备持续、客观的认知基础。这种基于数据驱动的运行方式,有效克服了传统依赖经验和人工汇报的管理局限,为油泵油嘴制造系统的精细化运行提供了技术支撑。

3.2 信息化对质量控制与系统协同的支撑机制

在质量控制层面,信息化技术对油泵油嘴制造系统的支撑作用尤为突出。通过对在线检测设备与测量系统的数据集成,制造信息系统能够实现关键尺寸、装配参数与性能指标的全过程记录与关联分析。当检测结果出现异常趋势时,系统可辅助技术人员快速定位问题工序与潜在影响因素,缩

短质量反馈链条,避免问题在后续工序中被放大^[3]。而基于历史数据的统计分析还可为工艺参数优化与设备维护决策提供依据,推动质量管理由事后纠偏向过程预防转变。从系统协同角度看,信息化技术为机械自动化设备之间的协同运行提供了统一平台。通过标准化的数据接口与通信协议,不同类型的数控机床、装配设备与物流单元能够在信息系统的协调下实现有序衔接,减少因信息不对称造成的等待与空转现象。实践表明,在油泵油嘴制造系统中,信息化的深入应用不仅提升了单个工序的运行效率,更通过系统层面的协同优化,增强了整体制造能力与运行稳定性,为后续机械自动化与信息化的深度融合奠定了坚实基础。

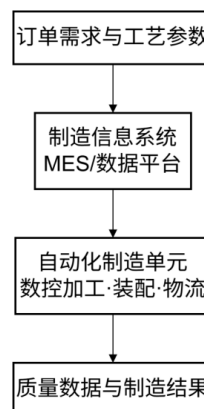


图1 内燃机油泵油嘴制造系统中机械自动化与信息化融合运行结构示意图

综上所述,信息化技术在油泵油嘴制造系统中不仅承担生产计划与过程管理功能,更通过对工艺参数与制造数据的集中整合,成为机械自动化系统运行的统筹中枢。在此基础上,油泵油嘴制造逐步形成由订单需求驱动、信息系统协调、自动化单元执行的融合运行模式,其典型结构如图1所示。

4 融合模式在油泵油嘴制造系统中的应用成效分析

4.1 对制造效率与生产柔性的综合提升作用

在机械自动化与信息化深度融合的背景下,油泵油嘴制造系统在生产效率与运行柔性方面表现出显著提升^[4]。通过信息系统对生产计划、设备负荷与工序节拍的统一调度,自动化设备能够在较高负载率下保持稳定运行,减少因计划不匹配或信息滞后导致的等待与停机现象。相较于传统依赖人工协调的生产组织方式,融合模式下的制造系统在节拍衔接与资源配置方面更具整体性,有效提升了单位时间内的有效产出水平。

由表1可以看出,在引入信息化系统并与机械自动化深度融合后,油泵油嘴制造系统由以单机设备为中心的分散运行模式,逐步转向以系统调度和数据驱动为核心的协同运行模式。生产组织方式、工序衔接效率以及质量控制手段均发生了结构性变化,为制造效率和系统柔性的提升提供了基础条件。

表 1 机械自动化与信息化融合前后油泵油嘴制造系统特征对比

对比维度	传统制造模式	自动化与信息化融合模式
生产组织方式	以单机设备为中心,人工协调	以系统调度为核心,数据驱动协同
工序衔接	信息传递依赖人工,反馈滞后	工序状态实时共享,闭环反馈
加工与装配一致性	受操作经验影响较大	参数受控,重复性与稳定性高
产品换型能力	换型周期长、调整成本高	工艺与任务快速切换,柔性显著提升
质量控制方式	以终检为主,事后纠偏	过程监控为主,事前预警
质量追溯能力	追溯链条断裂,效率低	数据完整可查,定位准确
系统运行稳定性	易受局部异常影响	具备系统级协调与缓冲能力

4.2 对质量稳定性与过程可控性的促进效应

在质量管理层面,机械自动化与信息化融合显著增强了油泵油嘴制造系统的过程可控性。通过对加工参数、装配数据与检测结果的全过程采集与关联分析,制造系统能够实现关键质量特性的实时监控与动态评估。当某一工序参数出现偏离趋势时,信息系统可及时提示并辅助技术人员进行工艺调整,从而在质量问题尚未固化之前完成干预,降低不合格品流入后续工序的风险。而融合模式下形成的完整数据链条,为质量追溯与持续改进提供了可靠依据。通过对历史数据的系统分析,企业能够识别影响油泵油嘴性能稳定性的关键因素,并据此优化工艺参数、完善设备维护策略。这种由数据支撑的质量管理方式,使制造系统由传统的事后检验逐步转向以过程控制为核心的预防型管理模式,不仅提升了产品一致性和可靠性,也为内燃机关键零部件制造的高质量发展提供了长期保障^[5]。

5 面向油泵油嘴行业的机械自动化与信息化融合优化路径

5.1 以关键工序为核心的融合深化方向

从油泵油嘴制造实践看,机械自动化与信息化融合的成效在不同工序之间呈现出明显差异,其关键制约因素往往集中于精密加工、关键装配及质量判定等核心环节。因此,融合优化应以关键工序为突破口,围绕高精度孔系加工、针阀装配与性能一致性控制等核心环节,进一步强化自动化装备与信息系统之间的数据耦合深度。一方面,需要通过完善传感与采集手段,实现加工参数、装配力一位移曲线及在线检测结果的高频、稳定获取;另一方面,应在信息系统层面加强对关键参数的关联分析能力,使数据不仅用于记录,更能服务于工艺优化与异常预警。在此基础上,制造系统可逐步构建以关键质量特性为核心的数据模型,将产品性能要求与工艺参数之间的关系显性化、结构化。这种以质量目标反向驱动工艺控制的融合路径,有助于油泵油嘴制造系统由“经验调试”向“数据校正”转变,提升制造过程的可复制性与长期稳定性。同时,通过对关键工序运行数据的持续积累,还可为后续工艺标准化和技术迭代提供可靠依据。

5.2 面向系统协同与持续演进的融合发展方向

从更高层级看,油泵油嘴制造系统的融合优化不应局

限于单一产线或局部工序,而应着眼于系统整体协同能力的提升。在制造组织层面,需要进一步打通设计、工艺、生产与质量之间的信息壁垒,使产品结构变更、工艺调整和质量反馈能够在系统内实现快速闭环响应。通过这种纵向贯通的信息流设计,机械自动化设备的运行可更加贴合产品生命周期演进需求,减少因信息断层造成的重复试错与资源浪费。同时通过融合发展还应服务于制造系统的持续演进能力。随着产品技术升级和市场需求变化,油泵油嘴制造系统需要具备不断扩展和自我优化的空间。这要求在自动化装备选型和信息系统架构设计阶段,充分考虑系统的开放性与兼容性,为后续新设备接入、工艺升级和功能扩展预留接口。从长远看,通过构建可扩展、可迭代的融合制造体系,油泵油嘴制造系统能够在保持高精度与高可靠性的同时,实现对复杂市场环境的主动适应,为内燃机关键零部件制造的高质量与可持续发展奠定坚实基础。

6 结语

内燃机油泵油嘴制造系统具有精度要求高、工序复杂与产品多样化等典型特征,单一依赖机械自动化或信息化均难以支撑其高质量发展需求。通过机械自动化与信息化的深度融合,制造系统能够在效率、质量与柔性方面实现协同提升。本文的研究表明,融合发展不仅是技术升级路径,更是制造模式与管理理念的系统性变革。如今随着信息技术与制造技术的持续演进,内燃机关键零部件制造领域将进一步向智能化、精细化与高可靠性方向迈进。

参考文献

- [1] 宋天霖,屈慧栋,徐雨熙,等. 基于深度学习的增材制造技术在内燃机优化中的应用研究[J].内燃机与配件,2025,(15):119-121.
- [2] 许小娟. 面向绿色制造的内燃机制造过程自动化改造研究[J].内燃机与配件,2025,(08):100-102.
- [3] 赵曰超. 内燃机凸轮轴的设计及制造分析[J].现代制造技术与装备,2025,61(01):7-9.
- [4] 江灏源. 机械工程及自动化在内燃机制造中的应用[J].内燃机工程,2024,45(06):8.
- [5] 王志岩. 机器人群控智能制造系统功能设计与应用方法探析[J].内燃机与配件,2022,(05):196-198.