

# 机电一体化技术在化工泵阀精密制造中的创新应用

张旭

温州聚恩辈实业有限公司 浙江温州 325000

**【摘要】**化工行业对泵阀设备的精度、可靠性及耐腐蚀性要求极高，泵阀作为流体输送与控制的核心部件，其制造质量直接影响整个化工生产系统的安全高效运行。机电一体化技术融合机械工程、电子技术、计算机控制与信息技术，为化工泵阀精密制造提供了全新的技术路径，有效突破传统制造模式的精度瓶颈与效率局限。本文阐述机电一体化技术的核心内涵，分析化工泵阀精密制造的技术需求，重点探讨机电一体化技术在泵阀设计、加工、检测及智能化控制等环节的创新应用，结合实际应用案例说明技术应用效果，最后总结应用过程中的问题并展望未来发展趋势，为推动化工泵阀制造行业的技术升级与高质量发展提供参考。

**【关键词】**机电一体化技术；化工；泵阀；精密制造；创新应用

Innovative Applications of Mechatronics Technology in Precision Manufacturing of Chemical Pump Valves

Zhang Xu

Wenzhou Ju'enbei Industrial Co., Ltd., Wenzhou City, Zhejiang Province 325000

**【Abstract】**The chemical industry imposes extremely high requirements on the precision, reliability, and corrosion resistance of pump valve equipment. As core components for fluid transportation and control systems, the manufacturing quality of pumps and valves directly impacts the safe and efficient operation of entire chemical production systems. Mechatronics technology integrates mechanical engineering, electronic technology, computer control, and information technology, providing a novel technical approach for precision manufacturing of chemical pumps and valves. This innovation effectively overcomes precision bottlenecks and efficiency limitations inherent in traditional manufacturing models. This paper elucidates the core principles of mechatronics technology, analyzes technical requirements for precision manufacturing of chemical pump valves, and focuses on innovative applications of mechatronics in pump valve design, processing, inspection, and intelligent control systems. Practical case studies demonstrate technological implementation outcomes, followed by an assessment of challenges encountered during application and future development trends. The findings aim to provide references for advancing technological upgrades and high-quality development in the chemical pump valve manufacturing industry.

**【Key words】**Mechatronics technology; Chemical engineering; Pumps and valves; Precision manufacturing; Innovative applications

## 一、引言

化工行业作为国民经济的支柱产业，其生产流程具有高温、高压、强腐蚀、易燃易爆等特点，对核心设备的稳定性与精密性提出了严苛要求。泵阀设备广泛应用于石油开采、炼化、储运等全产业链环节，承担着流体介质的输送、调节、截止等关键功能，其制造精度不足、密封性能不佳易引发介质泄漏、设备故障等问题，不仅影响生产效率，还可能导致安全事故与环境污染。传统泵阀制造以机械加工为主，依赖人工经验进行操作与调整，存在加工精度低、生产效率不高、产品一致性差等缺陷，难以满足现代化工行业的高端需求。机电一体化技术通过多学科技术的融合协同，实现制造过程的自动化、精准化与智能化控制，为泵阀精密制造注入新的活力。基于此，本文聚焦机电一体化技术在化工泵阀精密制造中的创新应用，旨在为提升泵阀产品质量与制造水平提供技术支撑，助力化工行业实现安全、高效、绿色发展。

## 二、机电一体化技术核心内涵

机电一体化技术是一门跨学科的综合技术，以机械结构为基础，融合电子技术、计算机技术、自动控制技术、传感检测技术等多领域成果，通过各技术的有机协同，实现设备与系统的功能优化、性能提升与智能化升级。其核心特征体现为集成化、智能化、精准化与自动化，打破了传统机械制造与电子技术相互独立的格局，形成“机械+电子+控制”的一体化系统。在制造领域，机电一体化技术能够实现从设计、加工、检测到运维全流程的数字化管控，减少人工干预，提升制造精度与效率，同时增强设备的自适应能力与可靠性，为精密制造提供核心技术支撑。

## 三、化工泵阀精密制造的技术需求

### 3.1 高精度制造需求

化工泵阀的密封性能、流量调节精度直接取决于制造精度，尤其是球阀、闸阀、离心泵等核心产品，其阀芯、阀座、叶轮等关键部件的尺寸公差、形位公差需控制在微米级。传统机械加工难以满足如此高的精度要求，亟需依托机电一体化技术实现精准加工与控制。

### 3.2 高效化生产需求

化工行业对泵阀设备的需求量大、规格多样，传统制造模式采用单一设备、分段加工的方式，生产流程分散，换型调整时间长，生产效率低下。同时，泵阀部件的结构复杂，多为异形曲面、复杂腔体结构，加工难度大、周期长。基于此，行业亟需通过机电一体化技术实现加工过程的自动化、连续化，缩短生产周期，提升生产效率与产品一致性。

### 3.3 高可靠性与耐腐蚀性需求

化工介质多为强酸、强碱、高粘度介质，且工作环境多为高温、高压工况，泵阀设备需具备优异的耐腐蚀性、耐磨性与密封可靠性，以延长使用寿命，减少运维成本。这就要求在制造过程中精准控制材料成型、表面处理等环节的工艺参数，通过机电一体化技术实现工艺参数的实时监测与精准调控，确保产品性能达标。

### 3.4 智能化与可追溯需求

现代化工生产逐步向智能化、数字化转型，对泵阀设备的智能化水平提出了更高要求，不仅需要泵阀具备基础的控制功能，还需实现运行状态的实时监测、故障预警与远程调控。同时，为保障产品质量，需建立全生命周期追溯体系，通过机电一体化技术实现制造过程数据的采集、存储与分析，为产品质量追溯与运维优化提供支撑。

## 四、机电一体化技术在化工泵阀精密制造中的创新应用

### 4.1 在泵阀数字化设计中的应用

传统泵阀设计依赖工程师的经验积累，采用二维图纸设计方式，设计周期长、修改繁琐，且难以精准预判产品的力学性能与运行效果，易出现设计缺陷。机电一体化技术中的CAD/CAM/CAE一体化设计技术，为泵阀数字化设计提供了全新路径，实现了从设计、仿真到加工的全流程数字化管控。

在设计阶段，工程师借助三维CAD设计软件（如SolidWorks、UG等）构建泵阀部件的三维模型，精准表达部件的结构特征、尺寸参数与装配关系，同时通过参数化设计功能，实现同类产品的快速迭代设计，缩短设计周期。针对泵阀的复杂工况，采用CAE仿真分析软件（如ANSYS、ABAQUS等）对泵阀部件进行力学性能、流体动力学仿真，模拟高温高压工况下部件的应力分布、变形情况与流体流动状态，精准预判设计缺陷，优化结构参数。例如，在离心泵叶轮设计中，通过流体动力学仿真优化叶片曲面造型，减少流体阻力，提升泵的效率与抗气蚀性能；在高压阀门设计中，通过力学仿真优化阀座结构，增强密封性能与抗压能力。

### 4.2 在泵阀精密加工中的应用

泵阀关键部件的精密加工是保障产品性能的核心环节，机电一体化技术中的数控加工技术、柔性制造技术、精密磨削技术等，有效突破了传统加工的精度与效率瓶颈，实现了泵阀部件的高精度、高效化加工。

数控加工技术是机电一体化精密加工的核心技术之一，通过计算机数控系统控制机床的运动轨迹、转速、进给量等参数，实现对泵阀部件的自动化、精准化加工。针对泵阀阀芯、阀座等关键部件的复杂曲面结构，采用五轴联动数控机床，可实现多维度、高精度加工，减少装夹次数，避免装夹误差，提升部件的尺寸精度与形位公差一致性。例如，采用五轴联动数控铣床加工球阀阀芯曲面，加工精度可控制在 $\pm 0.002\text{mm}$ 以内，满足高压密封需求。同时，数控系统具备参数记忆与自动调整功能，可实现批量产品的标准化加工，提升产品一致性。

柔性制造技术（FMS）通过将多台数控机床、机器人、输送设备与系统集成，形成柔性制造单元，实现多品种、小批量泵阀产品的自动化加工。化工泵阀规格多样，传统制造模式难以适应多品种生产需求，而柔性制造系统可通过计算机控制系统快速切换加工程序、调整工装夹具，实现不同规格泵阀部件的连续加工，大幅缩短换型时间，提升生产效率。

精密磨削技术结合机电一体化控制技术，实现了泵阀密封面、端面等关键部位的超精密加工。通过采用高精度磨床、智能砂轮修整技术与在线监测技术，精准控制磨削速度、进给量与砂轮磨损量，提升加工表面的粗糙度与平面度。例如，在阀门密封面加工中，采用数控精密平面磨床，结合在线激光检测技术，可将密封面粗糙度控制在 $\text{Ra}0.02\mu\text{m}$ 以下，显著提升阀门的密封性能与使用寿命。

### 4.3 在泵阀精密检测中的应用

精密检测是保障泵阀制造质量的关键环节，传统检测方式以人工检测、接触式检测为主，检测精度低、效率不高，且难以实现复杂结构部件的全面检测。机电一体化技术中的非接触式检测技术、智能检测系统、数据化检测技术等，实现了泵阀部件检测的精准化、自动化与全面化。

激光检测技术作为典型的非接触式检测技术，凭借高精度、高速度、非损伤性等优势，广泛应用于泵阀部件的尺寸检测与形位公差检测。通过激光传感器发射激光束，扫描泵阀部件表面，获取三维坐标数据，经计算机处理后生成检测报告，精准判断部件是否符合设计要求。例如，采用激光干涉仪检测离心泵叶轮的尺寸精度与形位公差，检测精度可达纳米级，且检测效率较传统接触式检测提升5倍以上。同时，激光检测技术可实现复杂曲面部件的全面检测，避免人工检测的盲区与误差。

三坐标测量机（CMM）结合机电一体化控制技术，实现了泵阀部件的多维度、高精度检测。通过计算机控制系统控制测量探头的运动轨迹，对部件的尺寸、形位公差、装配间隙等参数进行自动化检测，检测数据可直接与CAD设计模型对比，生成偏差分析报告，为加工工艺优化提供数据支撑。某企业采用智能三坐标测量机后，泵阀部件检测合格率

提升至 99.5%，检测数据的追溯性与准确性显著提升。

#### 4.4 在泵阀智能化控制与装配中的应用

机电一体化技术不仅应用于泵阀的制造环节，还渗透到装配与智能化控制环节，实现泵阀产品的智能化装配与运行管控，提升产品的整体性能与运维水平。

在智能化装配方面，通过工业机器人、智能装配平台与控制系统的集成，实现泵阀部件的自动化、精准化装配。传统泵阀装配依赖人工操作，装配精度受人工经验影响大，且劳动强度高、效率低。工业机器人凭借高精度定位与灵活操作能力，可完成阀芯、阀座、密封圈等部件的精准装配，同时通过力传感器、视觉传感器实时监测装配过程中的受力情况与装配位置，避免装配偏差与部件损伤。例如，在阀门自动化装配线中，机器人通过视觉定位技术精准抓取阀座与阀芯，按照预设程序完成装配，装配精度可控制在  $\pm 0.003\text{mm}$  以内，装配效率较人工提升 4 倍以上。同时，智能装配平台可实现装配数据的实时采集与记录，确保每台泵阀的装配质量可追溯。

在智能化控制方面，通过将嵌入式控制系统、传感器技术与泵阀产品集成，实现泵阀运行状态的实时监测、智能调节与故障预警。化工泵阀工作在复杂工况下，运行状态的稳定性直接影响生产安全，嵌入式控制系统可根据介质压力、流量、温度等参数，自动调节泵阀的开度与运行速度，实现流量与压力的精准控制。同时，通过安装温度传感器、压力传感器、振动传感器等设备，实时采集泵阀运行数据，经计算机分析处理后，预判设备潜在故障，及时发出预警信号，为运维人员提供决策依据，减少非计划停机时间。

### 五、机电一体化技术应用中的问题与对策

#### 5.1 存在的问题

尽管机电一体化技术在化工泵阀精密制造中取得了广泛应用，但在实际推广过程中仍存在问题。一是核心技术与关键部件依赖进口，我国在高精度伺服电机、高端数控系统、智能传感器等核心部件方面的研发能力不足，多数依赖国外品牌，导致制造成本偏高，且受国际供应链影响较大；二是技术集成度有待提升，部分企业仅在单一环节应用机电一体化技术，未能实现设计、加工、检测、装配全流程的技术融合，难以发挥技术的协同效应；三是专业人才短缺，机电一体化技术涉及多学科知识，需要既掌握机械制造技术，又熟悉电子技术、计算机控制技术的复合型人才，目前行业

内此类人才供不应求，制约了技术的深度应用；四是中小企业应用门槛高，机电一体化设备与技术的前期投入大，中小企业资金实力有限，难以承担设备购置与技术升级成本，导致技术应用不均衡。

#### 5.2 解决对策

针对上述问题，提出以下对策：一是加强核心技术研发，加大科研投入，鼓励企业与高校、科研院所合作，开展高精度伺服电机、高端数控系统、智能传感器等核心部件的研发，突破技术瓶颈，实现核心技术自主可控；二是推动全流程技术集成，引导企业构建机电一体化综合制造体系，实现设计、加工、检测、装配、运维全流程的数字化、智能化融合，发挥技术协同效应，提升整体制造水平；三是加强专业人才培养，高校应优化相关专业课程设置，培养复合型机电一体化人才，企业应加强员工培训，提升现有人员的技术水平，同时引进高端技术人才，完善人才梯队建设；四是加大政策支持力度，政府应出台相关政策，对中小企业购置机电一体化设备、开展技术升级给予资金补贴与税收优惠，降低企业应用门槛，推动技术在全行业的普及应用。

### 六、结论

机电一体化技术作为智能制造的核心支撑，为化工泵阀精密制造带来了革命性变革，有效突破了传统制造模式的精度、效率与性能瓶颈，在泵阀数字化设计、精密加工、精准检测、智能化装配与控制等环节的创新应用，显著提升了泵阀产品的质量、性能与生产效率，降低了生产成本与运维风险，为化工行业的安全、高效、绿色发展提供了重要保障。通过案例分析可知，机电一体化技术的综合应用能够为企业创造显著的经济效益与安全效益，是化工泵阀制造行业转型升级的必然趋势。

尽管目前机电一体化技术在应用过程中仍存在核心技术依赖进口、人才短缺、中小企业应用门槛高等问题，但随着科研投入的加大、技术的不断迭代与政策的扶持，这些问题将逐步得到解决。未来，机电一体化技术将与人工智能、大数据、物联网等新兴技术深度融合，实现泵阀制造的全流程智能化、网络化与绿色化，推动泵阀产品向高精度、高可靠性、智能化方向发展，进一步赋能化工行业的高质量发展。相关企业应抓住技术发展机遇，加大技术创新与设备升级力度，提升核心竞争力，助力我国化工装备制造行业迈向世界领先水平。

### 参考文献

- [1]张尚雷. 机电一体化技术在化工机械中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2024 (6): 219-221.
- [2]吕良伟, 邬永利, 高艳, 等. 化工企业安全生产中机电一体化技术的应用研究[J]. 内蒙古化工, 2025, 51 (2): 85-88.
- [3]池加练. 机电一体化技术在自动化生产线中的应用研究[C]//2025 智慧设计与建造经验交流会议论文集. 2025: 1-3.
- [4]于腾飞. 机电一体化制造技术在工业生产中的价值及服务探索[C]//2025 工程技术与材料应用学术交流会议论文集. 2025: 1-3.