

卫生泵阀智能化控制系统设计与集成应用

蔡甘霖

浙江利百加泵阀科技有限公司 浙江温州 325000

【摘要】在食品、医药等严苛领域，卫生泵阀的控制水平直接决定流体系统的安全与效率。针对传统控制系统存在的模式单一、响应滞后及集成性差等问题，本文立足机电制造，通过理论推演，系统探讨了智能化控制系统的核心定位、设计原则与关键技术。研究明确了卫生适配性、控制精准性、集成协同性与运行可靠性的设计核心，剖析了硬件架构、软件模块及控制策略，梳理了集成应用逻辑与实施路径。研究表明，融合智能技术可实现精准调控与协同运维，而当前集成中的兼容性与协同问题仍需优化。本研究为卫生流体系统的智能化升级及机电装备协同发展提供了理论支撑与实践参考。

【关键词】卫生泵阀；智能化控制系统；PLC控制；物联网技术；集成应用；机电制造

Design and Integrated Application of Intelligent Control System for Sanitary Pump Valves by
Cai Ganlin

Zhejiang Libajia Pump Valve Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325000

【Abstract】In stringent industries such as food processing and pharmaceuticals, the control performance of sanitary pumps and valves directly determines the safety and efficiency of fluid systems. Addressing limitations of traditional control systems—including monolithic operation modes, delayed response, and poor integration—we conduct theoretical analysis rooted in electromechanical manufacturing to systematically explore the core positioning, design principles, and key technologies of intelligent control systems. The study identifies four critical design elements: sanitary compatibility, control precision, integrated coordination, and operational reliability. It analyzes hardware architecture, software modules, and control strategies while outlining implementation pathways for integrated applications. Findings demonstrate that intelligent technology integration enables precise regulation and collaborative maintenance, though compatibility and coordination challenges in current implementations require further optimization. This research provides theoretical foundations and practical references for intelligent upgrades of sanitary fluid systems and synergistic development of electromechanical equipment.

【Key words】sanitary pump valve; intelligent control system; PLC control; Internet of Things (IoT) technology; integrated application; electromechanical manufacturing

引言

随着食品加工、生物医药等行业发展，卫生流体系统运行标准与安全要求提升，介质精准控制、污染防控与运行效率成核心诉求。卫生泵阀作为流体系统核心机电执行组件，性能关系产品质量与生产合规性，较普通工业泵阀有更高特性要求，对控制系统设计要求也更高。当前，机电制造行业智能化转型，相关技术应用推动卫生泵阀从手动控制向智能调控升级，解决了传统控制系统一些问题。但现有研究多聚焦单一技术或泵阀改造，缺乏系统理论剖析，关键问题研究薄弱，导致部分控制系统与实际场景脱节，影响稳定性与合规性。本文立足机电制造领域，以卫生泵阀智能化控制系统设计与集成应用为核心，通过理论分析与推演，梳理核心定位、设计原则等，剖析问题并提出策略，构建完善体系，为行业智能化升级提供支撑与参考。

1 卫生泵阀智能化控制系统的核心定位与设计原则

明确系统核心定位与设计原则是设计与集成应用基础，

可确保系统适配卫生流体系统需求、发挥功能效能。

1.1 核心特征与定位

卫生泵阀智能化控制系统融合智能传感等技术，是实现泵阀运行监测等功能的一体化体系。核心特征有卫生适配性、控制精准性、集成协同性与智能运维性。其中，卫生适配性是首要特征，组件与流程围绕卫生安全，硬件选卫生级材质，软件适配清洁消毒流程；控制精准性靠高精度感知与调控算法稳定参数，支撑精细化运行；集成协同性实现多组件协同联动，满足复杂系统需求；智能运维性通过诊断算法监测状态、预警故障，减少人工干预。核心定位为：精准控制保障介质参数与卫生安全；集成协同构建控制网络、提升效率；智能运维实现运维升级、保障稳定运行。

1.2 设计原则

系统设计以卫生流体系统需求为导向，遵循五大原则。卫生安全性原则贯穿硬件选型等全过程，防介质污染，硬件选卫生级材质、结构易清洁，软件有清洁消毒功能与防误操作能力；控制精准性原则通过高精度传感器、先进算法和高精度执行器实现高精度感知与调控；集成协同性原则要求具备集成与协同能力，硬件采用标准化架构，软件用开放式平台，优化协同控制逻辑；运行可靠性原则确保长期稳定运行，

硬件选可靠组件、核心部件冗余配置,软件有容错与自恢复功能,采取抗干扰措施;合规性与可扩展性原则中,合规性要求设计遵循行业标准,有数据追溯功能,组件通过认证;可扩展性要求软硬件有扩展能力,预留接口与空间,降低成本。

2 卫生泵阀智能化控制系统的核心硬件架构设计

硬件架构是实现智能控制功能的基础,其设计质量决定系统控制精度、运行可靠性与集成协同能力。基于设计原则与核心定位,系统硬件采用分层模块化设计,构建感知层、控制层、执行层与通信层四层协同架构。

2.1 整体设计思路

硬件架构以“分层协同、模块化集成、精准适配、稳定可靠”为核心。感知层采集参数为控制层提供数据;控制层处理数据、生成指令;执行层调控泵阀状态;通信层实现数据传输。分层模块化设计功能独立、接口标准,便于选型安装与扩展;模块化集成提升兼容性、降低成本;精准适配与可靠设计确保性能匹配需求、减少故障。

2.2 感知层设计

感知层是系统“感知器官”,负责采集泵阀运行状态与介质参数,硬件选型兼顾卫生性、精度与稳定性。核心组件有智能传感器、数据采集模块与信号调理模块。运行状态和介质参数传感器选用适配卫生场景类型;数据采集模块用多通道 PLC 采集模块;信号调理模块放大微弱信号。传感器安装不影响运行与清洁,接线做好屏蔽接地。

2.3 控制层设计

控制层是系统“大脑”,处理感知层数据、生成指令、协同管理系统、诊断故障与存储数据。核心组件包括主控制器、辅助控制器、数据存储模块与人机交互模块。主控制器用工业级 PLC 统筹运行;辅助控制器分担特定任务;数据存储模块存储数据;人机交互模块实现参数设置与状态查看。组件安装于密封控制柜,触摸屏安装在便于操作且远离清洁消毒区域。

2.4 执行层设计

执行层是系统“执行器官”,接收控制层指令,执行泵阀启停、转速和开度调节等动作。核心组件有执行器、驱动模块与辅助执行组件。泵用和阀用执行器按需选用,驱动模块有信号放大与过载保护功能,辅助执行组件适配卫生环境。硬件安装牢固灵活,连接可靠,便于维护清洁,接线做好绝缘密封。

2.5 通信层设计

通信层是系统“神经中枢”,实现各层次、组件及外部系统的数据与指令传输。通信协议与模块选型结合系统规模与集成需求,小型系统用有线协议,大型复杂系统用有线无线结合方式。通信模块选用工业级密封产品,路由器与交换机选高性能设备。采用安全措施防止数据泄露与指令篡改。

3 卫生泵阀智能化控制系统的软件模块与控制策略设计

软件模块与控制策略是系统核心,前者实现数据处理与功能调度,后者决定控制精度与响应速度。基于硬件架构与设计原则,本节探讨软件模块划分、功能设计及控制策略优化。

3.1 软件模块整体设计思路

软件设计遵循“模块化、标准化、开放式、可靠性”原则,采用分层模块化架构,与硬件四层对应,划分为八大核心模块,即感知采集、数据处理、控制决策、执行驱动、通信交互、故障诊断、运维管理、人机交互。各模块功能独立、接口标准,便于开发调试与扩展维护;开放式设计支持与外部系统对接;可靠性设计确保长期稳定运行。

3.2 核心软件模块设计

感知采集模块与感知层协同,采集运行与介质参数,经校准、滤波等处理后传至数据处理模块。

数据处理模块作为核心单元,用滤波等算法处理数据,分类存储并生成报表,支持数据追溯。

控制决策模块根据处理后的数据生成控制指令,内置多种算法,支持手动/自动切换,实现多泵阀联动。

执行驱动模块与执行层协同,将指令转换为驱动信号,具备信号放大等功能,异常时报警并暂停指令。

通信交互模块与通信层协同,支持协议转换,实现数据与指令交互,监测通信状态。

故障诊断模块是智能运维核心,内置算法监测组件状态,识别故障并推送处理建议。

运维管理模块实现运维智能化,包括计划生成等,满足合规要求。

人机交互模块提供操作界面,支持参数设置等功能,具备权限管理与多语言切换。

3.3 核心控制策略设计

参数精准控制策略针对卫生泵阀特点,采用 PID 与模糊控制结合的算法,参数自整定算法可自动调整参数。

多设备协同控制策略基于分布式协同逻辑,明确设备优先级与规则,组件异常时自动调整关联设备状态。

故障应急控制策略内置分级处理逻辑,轻微故障预警并调整策略,严重故障紧急停机,全过程记录供后续分析。

4 卫生泵阀智能化控制系统的集成应用逻辑与实施路径

卫生泵阀智能化控制系统的集成应用,需围绕“需求分析—系统适配—集成实施—调试优化—运维保障”五大环节构建闭环逻辑,并通过五步实施路径有序推进,确保系统高效、合规、稳定运行。

4.1 集成应用核心逻辑

集成以需求分析为起点,明确介质特性、工况条件、控制目标及合规要求;系统适配阶段确保软硬件与泵阀设备、企业管理系统兼容;集成实施完成物理连接与软件部署;调试优化分阶段验证单机、联机及整体性能;运维保障则建立全生命周期管理体系,支撑系统长效运行。

4.2 集成应用实施路径

一是开展需求调研,形成经企业确认的需求报告;二是设计集成方案,涵盖硬件选型、软件配置、控制策略及合规

措施,并组织评审;三是实施硬件集成与软件部署,确保连接可靠、数据互通;四是分阶段调试优化,提升系统稳定性与控制精度;五是建立运维体系并组织验收交付,确保系统正式投用后可靠运行。

4.3 集成应用关键点

兼容性把控: 优先选用标准化、通用化组件,确保控制器、传感器、执行器与泵阀设备在接口、协议、控制逻辑上高度兼容,避免信号中断或协同失效。

卫生安全管控: 所有硬件采用卫生级材质与快装密封结构,杜绝污染风险;软件内置 CIP/SIP 控制逻辑,保障清洁消毒流程规范彻底;施工与运维全程注重洁净操作,防止介质污染。

合规性保障: 系统组件须通过 GMP、食品级等相关认证;软件具备完整数据记录与追溯功能,实时存储运行参数、操作指令及维护日志,满足监管审计要求。

人员能力提升: 开展针对性培训,覆盖系统操作、参数设置、故障诊断与日常维护等内容,并建立考核机制,提升人员专业水平与责任意识,确保系统高效稳定运行。

5 卫生泵阀智能化控制系统集成应用中的常见问题与优化策略

在卫生泵阀智能化控制系统的集成应用中,常因设计、实施或管理疏漏引发问题,影响系统性能与合规性。需精准识别问题根源,并采取针对性优化措施。

5.1 常见问题及根源

一是硬件兼容性不足。由于需求调研不充分、设备参数掌握不清,或选型缺乏统一标准,导致控制器、泵阀、传感器等之间接口不匹配、信号传输不稳定,甚至无法通信。

二是软件协同性欠缺。软件模块接口不统一、控制逻辑设计不合理,或参数配置错误、版本不兼容,造成系统内部或与上位系统数据不通、功能冲突,降低运行效率。

三是控制精度不达标。传感器选型不当或安装位置不合理,控制算法未适配泵阀的非线性特性,执行器精度不足或调试不到位,导致流量、压力等关键参数波动大,难以满足工艺要求。

四是运维管理薄弱。缺乏系统化运维制度,人员技能不足,易损件更换不及时,运维记录缺失,导致故障频发、设备寿命缩短、维护成本上升。

五是合规性风险突出。集成过程中忽视法规要求,选用未认证组件,软件缺少完整数据追溯功能,清洁消毒和运维记录不规范,难以通过监管审查。

参考文献

- [1]赵树立. 基于物联网的智能泵阀控制平台设计[J]. 无线互联科技, 2018, 15(18): 25-28.
- [2]张继伟. 基于 PLC 与组态软件自动智能化控制系统设计[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2023, 39(4): 11-16.
- [3]刘波. 基于云边端架构的集成供液控制系统设计[J]. 煤炭工程, 2024, 56(6): 35-41.
- [4]周加永, 孟小净, 王亮宽, 等. 闭式泵阀联控电液驱动系统的设计[J]. 兵器装备工程学报, 2023, 44(2): 247-252.

5.2 优化策略

提升硬件兼容性。 在需求阶段全面梳理现有设备参数,优先选用标准化、同品牌或通用接口的组件;规范安装接线流程,确保连接可靠,并预留扩展能力。

增强软件协同性。 采用模块化、标准化软件架构,优化多设备联动逻辑;严格按方案部署和配置参数,建立软件版本管理机制,保障系统间稳定通信。

提高控制精度。 选用高精度卫生级传感器并合理布置,定期校准;结合 PID 与智能控制算法,实现参数自整定;搭配高响应执行器,并通过单机、联机到整体的分阶段调试持续优化性能。

健全运维体系。 制定常态化运维计划,明确职责分工;加强人员操作与故障处理培训,建立考核机制;定期检查并更换易损件;完整记录运行、故障、清洁等信息,支撑全生命周期管理。

强化合规管控。 从项目初期即纳入 GMP、食品安全等法规要求;硬件必须通过相关卫生与行业认证;软件应具备真实、完整、可追溯的数据记录功能;运维过程全程留痕,并定期开展合规自查,有效防范监管风险。

6 结论

本文立足机电制造领域,以卫生泵阀智能化控制系统设计与集成应用为核心,采用理论分析、逻辑推演与理论案例相结合的方法,系统探讨相关内容,构建设计与集成应用体系,得出以下结论。第一,该系统是融合多类智能技术的一体化体系,有卫生适配性等核心特征,承担精准控制等核心定位,设计与集成要结合卫生流体系统特点与需求。第二,系统设计需遵循卫生安全性等五大相互关联的原则,为设计提供指导,确保适配需求。第三,硬件架构采用四层模块化设计,各层协同;软件系统分八大核心模块,实现多种功能;控制策略结合多种控制方式,可提升控制精度等。第四,系统集成应用遵循“需求分析 - 系统适配 - 集成实施 - 调试优化 - 运维保障”逻辑,通过五步把控要点,实现无缝集成与协同运行,针对常见问题采取优化策略可提升效能、降低成本。第五,当前系统集成应用存在硬件兼容性不足等问题,根源是需求分析不精准等,本文优化策略可解决问题、提升效果。本文研究为企业设计系统、优化产品结构提供理论支撑,为卫生流体系统智能化升级提供实践参考,丰富应用研究、推动协同发展。因未开展实证研究,后续可结合场景开展实证测试、优化方案,还可结合技术趋势探索升级路径,推动系统适配转型需求。