

# 液体流量计检定系统全自动化的实现

王召杰 邵成双 杨 钊 杜美玲

淄博市检验检测计量研究总院 山东 淄博 255000

**摘要：**本文旨在开发一套高精度、高效率的液体流量计全自动检定系统。系统融合先进自动化控制技术和智能算法，实现流量调节、数据采集与处理、检定流程控制的全面自动化。通过模块化设计与可扩展配置，系统兼容多种类型流量计，显著提升检定精度与效率，减少人为误差。同时，强化安全稳定性与数据保护措施，确保检定过程可靠，为工业流量测量提供坚实的技术支撑。

**关键词：**液体流量计；检定系统全自动化；实现

**引言：**液体流量计作为工业计量领域的关键设备，其准确性和可靠性直接关乎生产安全与资源高效利用。传统手动检定方式不仅耗时费力，且易受人为因素影响，难以满足现代工业快速、精准的检定需求。因此，探索并实现液体流量计检定系统的全自动化，成为提升检定效率与精度的关键。本研究旨在通过技术创新，推动检定系统向智能化、自动化方向发展。

## 1 液体流量计检定系统概述

### 1.1 液体流量计的类型与工作原理

(1) 不同类型的流量计及其测量原理。液体流量计种类多样，超声波流量计利用超声波在流体中传播速度随流体流速变化的特性，通过测量顺流和逆流传播时间差计算流速与流量；质量流量计则基于科里奥利力原理，当流体在振动管道中流动时会产生科里奥利力，通过检测该力的大小得出流体质量流量。此外，还有电磁流量计、涡轮流量计等，分别依据电磁感应和叶轮转动原理实现流量测量。(2) 流量计的应用领域与重要性。液体流量计广泛应用于石油化工、给排水、能源计量等领域。在石油化工行业，精确的流量测量有助于控制原料投入与产品产出；给排水系统中，准确计量水量能实现水资源合理调配与成本核算。其测量准确性直接影响生产效率、经济效益和资源管理，是工业生产和民生保障不可或缺的关键设备。

### 1.2 液体流量计检定的重要性

(1) 检定的定义与目的。液体流量计检定是依据国家计量标准，通过一系列操作对流量计的计量性能进行评定的过程。其目的在于确定流量计是否符合规定的计量要求，确保流量测量数据准确可靠，为贸易结算、生产控制等提供有效依据。(2) 检定对流量计精度和可靠性的影响。定期检定能及时发现流量计因磨损、环境变化等因素导致的测量偏差，通过校准修正误差，恢复其

精度；同时，检定过程中的性能检测可提前发现潜在故障，增强流量计运行的可靠性，保障测量数据的长期有效性。

### 1.3 现有检定系统的不足

(1) 手动检定系统的局限性与问题。手动检定系统依赖人工操作，存在效率低、误差大的问题。人工调节流量、读取数据易受主观因素影响，且操作繁琐，难以满足大量流量计快速检定需求；同时，长时间工作易导致人员疲劳，进一步降低检定准确性和稳定性。(2) 需要改进的关键环节。手动检定的关键改进环节在于实现流量调节、数据采集与处理的自动化，减少人工干预；此外，还需建立智能化的检定流程管理和数据分析系统，提升检定效率与精度，增强系统对复杂工况的适应性。

## 2 液体流量计检定系统全自动化的实现原理

### 2.1 自动化检定系统的总体架构

(1) 软硬件架构介绍。硬件层面，自动化检定系统以工业控制计算机为核心，搭配PLC控制器，协同高精度泵组、电动阀门组及各类传感器运行。传感器负责采集流量、压力等数据，泵组与阀门组在指令下精准调节液体输送。软件系统基于LabVIEW开发，包括设备驱动、数据处理与控制算法模块，以及可视化操作界面，实现系统全流程管控。(2) 各模块功能与交互方式。泵组提供动力源，变频器调节其转速以控制流量；阀门组根据指令改变管路通断与流量分配。传感器将物理信号转换为电信号传输至PLC，PLC经数据处理后向泵组、阀门组下达控制指令，同时将数据上传至工控机，形成闭环控制。

### 2.2 关键技术和方法

(1) 泵组及变频器的自动化调节。采用PID控制算法，变频器根据设定流量与实际测量值的偏差，自动调节泵组转速。通过不断优化PID参数，确保流量稳定在高精度范围，满足检定要求。(2) 阀门组的智能控制。

电动阀门配备位置反馈装置,控制软件依据检定流程发送开关指令,并实时监控阀门状态。模糊控制策略的应用,让阀门能在复杂工况下实现快速、精准的开闭调节。(3)过程数据的实时采集与处理。利用高速数据采集卡,结合数字滤波算法,对传感器数据进行毫秒级采集与降噪。采集数据经初步处理后,同步传输至本地数据库与云端,便于后续分析。(4)基于人工神经网络(ANNs)的参数自学习与调整。构建ANNs模型,以历史检定数据为样本进行训练。运行时,网络根据当前工况预测最佳控制参数,自动调整系统运行状态,提升检定适应性。(5)检定流程的自动化控制与调整。系统预设多种检定方案,可根据待检流量计类型自动匹配流程。通过状态监测与逻辑判断,实时调整检定步骤,异常时触发报警并暂停流程<sup>[1]</sup>。

### 2.3 自动化检定的数学模型与算法

(1)数学模型的建立与优化。基于流体力学理论,建立流量与压力、管径等参数的数学模型。通过最小二乘法对模型参数进行优化,提高模型对实际工况的拟合度。(2)流量调节算法的设计与实现。融合模糊控制与PID控制算法,根据流量变化趋势动态调整控制参数,实现流量快速、稳定调节。(3)误差分析与修正方法。分析系统误差来源,建立误差修正模型。检定过程中,系统自动调用修正模型对测量结果进行补偿,提高检定准确性。

## 3 液体流量计自动化检定系统的设计与实现

### 3.1 系统设计原则与目标

#### 3.1.1 设计原则与总体目标

液体流量计自动化检定系统的设计遵循“高精度、高效率、高可靠性”三大核心原则。总体目标是建立一个能够实现流量计全自动检定、数据自动采集处理、报告自动生成的智能化系统,将传统人工检定效率提升200%以上,测量不确定度控制在0.2%以内。系统需满足国家计量检定规程JJG1030-2023的要求,同时兼容多种类型液体流量计(如涡轮式、电磁式、超声波式等)的检定需求。通过自动化技术减少人为干预,消除人为误差,年检定能力达到1000台次以上。

#### 3.1.2 模块化与可扩展性的考虑

系统采用模块化架构设计,各功能单元(如流体控制模块、数据采集模块、检定执行模块等)通过标准化接口互联。模块化设计不仅便于后期维护(单个模块故障不影响整体系统运行),还能根据用户需求灵活扩展功能,如增加新型流量计检定模块或与工厂MES系统对接。系统预留20%的硬件扩展余量和30%的软件功能扩展

空间,采用开放式通信协议(如OPCUA、ModbusTCP)确保与第三方设备的兼容性。软件架构采用分层设计,将用户界面层、业务逻辑层和数据访问层分离,便于未来升级迭代<sup>[2]</sup>。

### 3.2 硬件设备选型与配置

#### 3.2.1 泵组与变频器的选择

系统选用不锈钢多级离心泵作为动力源,流量范围(0.2-1780)m<sup>3</sup>/h,扬程60m,配备ABBACS880系列变频器实现无级调速。变频器采用矢量控制技术,稳态转速精度±0.1%,响应时间<50ms,配合PID闭环控制算法可将流量稳定度控制在±0.3%以内。泵组配置采用一用一备冗余设计,通过自动切换装置确保连续运行。为降低脉动影响,在泵出口安装液压缓冲器,使流体脉动系数<1.5%。

#### 3.2.2 调节阀与执行机构的配置

流量调节采用FisherVee-BallV300系列调节阀,流量特性为等百分比,泄漏等级达到ANSIClassV标准。执行机构选用RotorkIQ3智能电动执行器,定位精度0.1%,全行程时间8-20秒可调,内置扭矩保护和位置反馈功能。关键管路节点安装SiemensSIPARTPS2定位器,形成二级控制回路,将调节阀开度控制精度提高到±0.5%。系统配置快速切断阀作为安全保护,响应时间<1秒<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.3 数据采集与处理设备的选型

数据采集采用NationalInstrumentscRIO-9045实时控制器,搭配NI9215模拟输入模块(16位ADC,20V量程,100kS/s采样率)和NI9423数字输入模块。温度测量选用Pt100四线制传感器,配合NI9217RTD输入模块,精度达±0.1℃;压力测量采用Rosemount3051系列变送器,精度0.075%FS。系统配置专用信号调理模块,对微弱信号进行放大和滤波处理,共模抑制比>120dB。所有采集通道均进行定期自校准,确保长期稳定性。

### 3.3 软件系统开发与实现

#### 3.3.1 基于Windows的LabVIEW开发平台应用

系统软件基于LabVIEW202464位开发环境构建,采用面向对象的设计方法。利用LabVIEW的FPGA模块实现高速数据采集(1MHz采样率),通过实时模块确保控制周期稳定在1ms。人机界面采用WPF技术开发,支持多点触控和4K分辨率显示,提供3D动画流程演示。系统数据库采用SQLServer2022,存储所有检定原始数据、过程参数和设备状态信息,支持10年数据归档。利用LabVIEW的Web服务功能,实现远程监控和移动终端访问。

#### 3.3.2 数据采集与处理模块的设计

数据采集模块采用生产者/消费者模式,通过DMA

技术实现高速数据传输。数据处理包含实时滤波（中值滤波+滑动平均）、温度压力补偿、流量计算等功能。针对脉动流问题，开发专用算法进行周期识别和相位平均处理。所有计算过程遵循ISO5167、API MPMS等国际标准，不确定度分析采用蒙特卡洛法。系统自动记录环境参数（温度（ $20\pm 2$ ）℃，湿度（45%-75%）RH）并修正其对测量的影响。

### 3.3.3 自动化检定流程控制与监控模块的实现

检定流程按照预置程序自动执行，包含12个标准步骤：系统预检→流量计安装→管路排气→稳态建立→数据采集→重复性测试→误差计算→结果判定→报告生成→设备复位。监控模块实时显示40个关键参数的趋势曲线，包括瞬时流量、累积流量、压力、温度、阀门开度等，异常情况自动触发三级报警（提示、警告、紧急停止）。系统内置30种故障诊断模式，能准确识别90%以上的常见故障<sup>[4]</sup>。

### 3.3.4 数据计算、判定与报告生成模块

计算模块依据JJG1030-2023进行仪表系数K计算、重复性评估和误差分析，支持7种流量特征曲线拟合。判定模块根据预设标准（如0.5级、1.0级）自动给出合格/不合格结论。报告生成符合CNAS认可要求，包含完整的检定数据、环境条件、设备信息和测量不确定度分析，支持PDF、Excel和XML三种格式输出。系统实现电子签名和数字证书功能，确保报告的法律效力。

## 3.4 系统安全稳定性的保障

### 3.4.1 抗干扰与防爆措施的设计

电气系统采用三级防雷保护（10/350μs波形， $I_{max} = 50kA$ ），信号线全部采用双层屏蔽电缆，关键线路增加磁环滤波。本安回路通过Barrier隔离，满足ATEX Zone2防爆要求。机柜设计符合IP54防护等级，配备正压通风系统。所有金属部件进行等电位连接，接地电阻  $< 4\Omega$ 。软件层面采用数字签名和CRC校验确保数据传输完整性，通信协议加密采用AES-256算法。

### 3.4.2 数据备份与恢复策略

系统实施“3-2-1”备份策略：3份数据副本，存储在2种不同介质（SSD+磁带），其中1份异地保存。实时数据通过RAID10阵列保护，历史数据每天自动备份到NAS和云端（阿里云OSS）。数据库事务日志每15分钟归档一次，支持时间点恢复。配置变更采用版本控制，可回溯到任意历史版本。全系统镜像备份每月一次，灾难恢复时间目标（RTO） $< 4$ 小时。

### 3.4.3 紧急应对模式与恢复机制

系统设计三级应急响应：一级为预警状态（自动调整参数消除异常）；二级为保护状态（安全停机并保存现场数据）；三级为紧急断电（触发ESD系统）。关键控制回路采用三冗余表决机制（2oo3），安全PLC达到SIL3等级。备用UPS可维持系统运行30分钟，发电机在60秒内自动投入。故障恢复采用“黑匣子”技术，完整记录故障前10分钟的系统状态，便于事后分析。建立完善的预防性维护制度，关键部件按运行小时数强制更换。

## 结束语

本文成功实现了液体流量计检定系统的全自动化，不仅显著提高了检定效率与精度，还有效降低了人为误差，为工业流量计量提供了坚实的技术保障。未来，随着物联网、大数据等技术的不断发展，我们将持续优化系统性能，增强智能化水平，推动检定系统向更高效、更智能的方向迈进。相信在不久的将来，全自动检定系统将成为工业计量领域的新标杆，助力企业实现可持续发展。

## 参考文献

- [1]江挺.流量计现场在线计量校准方法[J].建筑理论, 2022,(12):126-127.
- [2]章涛,袁矩.液体流量计在线校准方法研究[J].建筑技术科学,2024,(10):98-99.
- [3]马建国.液体流量计量关键技术及应用探讨[J].建筑技术科学,2021,(08):81-82.
- [4]张汉周,吴步坤.液体流量计同步器法在线校准方法的研究[J].建筑技术科学,2023,(14):135-136.