

doi: 10.7690/bgzdh.2026.06.009

# 多参数工业现场总线差压流量仪表

金光淑, 胡冬华, 尹逊增, 宁德魁, 彭 帅

(沈阳中科博微科技股份有限公司产品事业部, 沈阳 110179)

**摘要:**为解决目前差压流量计测量精度与量程成反比的矛盾,设计一款基于基金会现场总线(foundation fieldbus, FF)的多参数差压流量计。给出多参数采集卡结构和量程自适应算法的设计步骤,从软、硬件方面对智能通信卡进行分析和测试。测试结果表明:通过集成多个传感器能实现大量程、高精度测量,该仪表可广泛应用于石油、化工等领域。

**关键词:**差压流量计;基金会现场总线;多参数融合

**中图分类号:**TP212 **文献标志码:**A

## Multi-parameter Industrial Fieldbus Differential Pressure Flow Instrument

Jin Guangshu, Hu Donghua, Yin Xunzeng, Ning Dekui, Peng Shuai

(Products Division Microcyber Corporation, Shenyang 110179, China)

**Abstract:** In order to solve the contradiction that the measurement accuracy of differential pressure flowmeter is inversely proportional to the range, a multi-parameter differential pressure flowmeter based on foundation fieldbus (FF) is designed. The structure of the multi-parameter acquisition card and the design steps of the range adaptive algorithm are given, and the intelligent communication card is analyzed and tested from the aspects of software and hardware. The test results show that the instrument can achieve large range and high precision measurement by integrating multiple sensors, and it can be widely used in petroleum, chemical and other fields.

**Keywords:** differential pressure flowmeter; foundation fieldbus; multi-parameter fusion

## 0 引言

自动化技术在现代生产控制中举足轻重,相关仪表与检测技术是自动化控制中最重要的组成部分,随着“中国智能制造 2025”的不断发展,为了满足新工艺、新材料和新技术的全新要求,仪表检测技术也向着智能化、网络化、数字化、高精度和低成本的方向发生了革命性变化。

差压流量仪表在流程工业热工量原位测量领域获得广泛的应用。一家大型石化企业的差压流量仪表使用量可达数千台,仪表的精度和可靠性对生产效率和质量至关重要。由于材料和技术的限制,目前压力传感器呈现出大量程精度差,小量程精度高但难以满足大量程测量要求的矛盾(大量程范围内检测精度达不到 0.05%F.S.~0.5%F.S.的使用要求,而检测精度达到 0.05%F.S.~0.5%F.S.要求的差压流量计量程较小);当前压力变送器多数以 4~20 mA 模拟量作为对外输出形式,与当前仪表对网络化、智能化的发展要求相矛盾。为解决上述问题,笔者设计一款支持基金会现场总线(FF)、PROFIBUS、HART 和 Wireless HART 等多种工业现场总线的大

量程、高精度多参数融合智能差压流量仪表。

## 1 总体结构

多参数差压流量仪表由多参数差压采集卡和智能通信显示卡构成,多参数差压采集卡和智能通信显示卡分别配置微控制单元(microcontroller unit, MCU)模块如图 1 所示。

多参数差压采集卡内部集成温度传感器、压力传感器和由多个差压传感器构成的差压传感器组,MCU 中内嵌流量算法和自适应量程管理模块,实现一个传感卡内温度、压力和大量程高精度的流量采集;智能通信显示卡内嵌 FF、HART、PROFIBUS、MODBUS、Wireless HART 等多种现场总线,通过软件适配实现有线或无线等多种通信方式。

## 2 多参数采集卡设计

### 2.1 多参数采集卡结构设计

液体、气体和蒸汽是当前较为普遍的流量测量介质。其中液体随着温度的升高,体积变大,对压力的影响并不显著;但气体和蒸汽随着温度的升高,

收稿日期:2024-12-11;修回日期:2025-01-11

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFB3206200)

第一作者:金光淑(1979—),女,辽宁人,硕士。

压力有显著的变化。测量液体流量时，不需要考虑温度和压力的补偿，而计算气体和蒸汽流量时，需

要增加当前温度和压力的补偿因子，以提高流量测量的精度<sup>[1-2]</sup>。

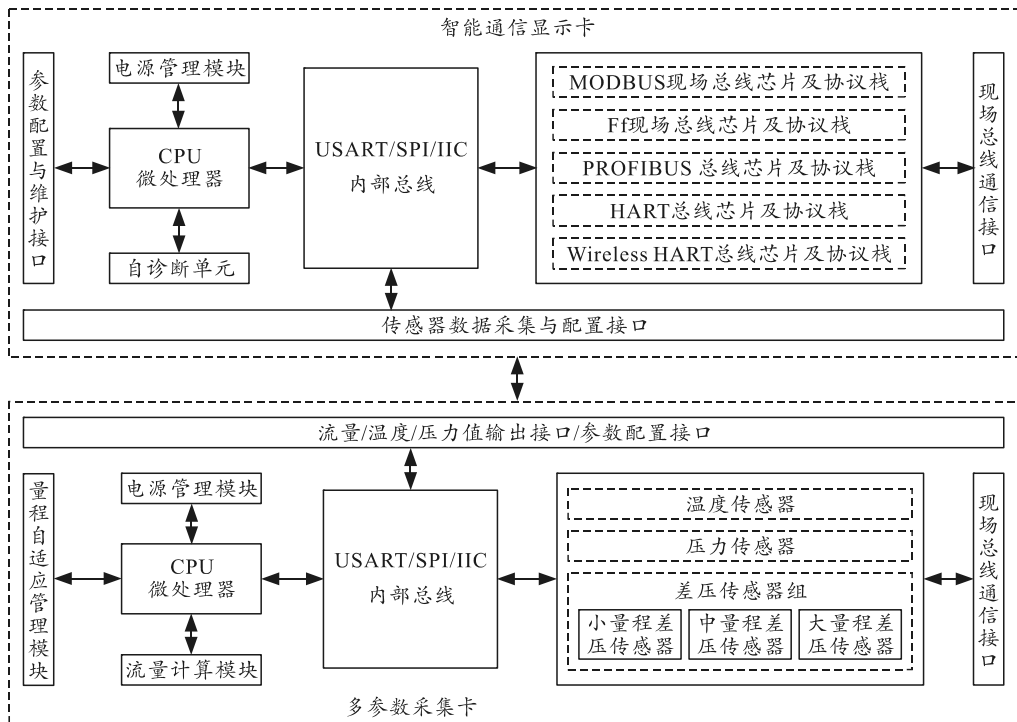


图 1 多参数差压流量仪表总体结构

传统差压流量仪表的温度和压力补偿数值需要其他温度仪表和压力仪表采集，采集后统一传到设备中进行二次计算。该方法存在补偿温度/压力值采集时间与差压采集值的采集时间不匹配，以及温度/压力采集点距差压采集点较远的问题，进而影响流量的测量精度。

为解决上述问题，提高流量仪表的检测精度，多参数差压传感器打破以往单传感器的设计，将传感器设计成多个腔体，腔体内集成温度、压力和差压传感器如图 2 所示。

多参数差压采集卡内 MCU 可同时采集流体差压、温度和压力值，且传感器空腔间距离很近；因此，温度/压力补偿值与差压值可有效反应出流体产生压差时，当前位置的温度和压力。

多参数差压采集卡的结构设计有效提高了温度/压力补偿值的准确度，进而提升差压流量仪表的精度，同时在实施过程中省去了温度/压力补偿值的采集仪表，进一步降低工程实施成本。

### 2.2 量程自适应算法设计

因材料及技术限制，目前，差压传感器测量范围有限，行业内量程迁移比最大为 400:1，且精度误差随着量程比的扩大而变差。造成大量程差压传感器测量小压差时精度差(即不能达到 0.05%F.S.~0.5%F.S.使用要求)，小量程的差压传感器测量大压差时量程又达不到要求的矛盾。

为实现大量程高精度的传感器，在传感器差压腔体内设置 2 个或 2 个以上不同量程的差压传感器，相邻 2 个不同量程差压传感器的上限值不应大于 10 倍，且不同量程差压传感器的上限不得大于 100 倍。控制板计算不同量程上限差压传感器的相对值，根据相对值选出测量得到的最优解作为差压传感器的输出值，具体算法步骤如图 3 所示。

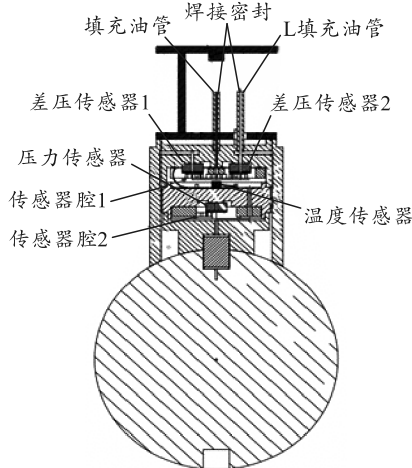


图 2 多参数差采集卡结构

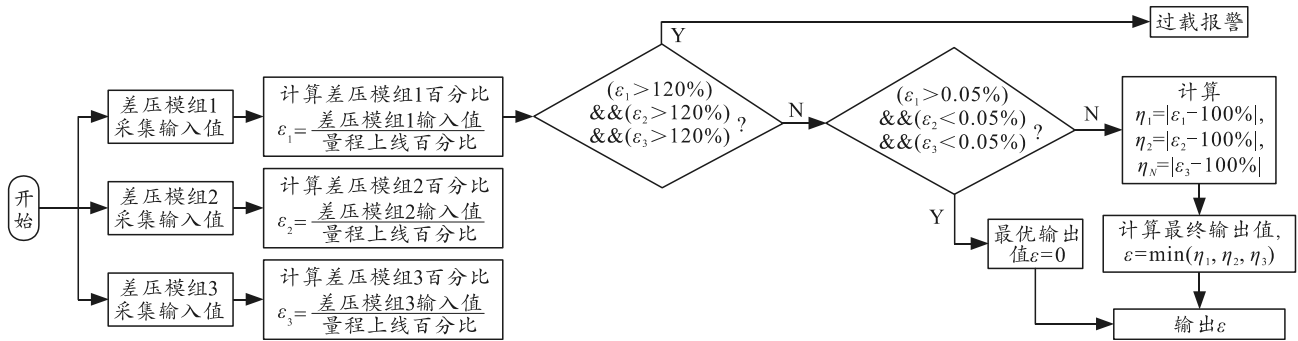


图 3 量程自适应算法流程

处理步骤:

- 1) 多个不同量程上限的差压模组同时监测原始压力信号;
- 2) 将多个差压模组得到的输入值与其对应的量程上限分别做商,再乘以 100%得到多个相对比值;
- 3) 若所有差压模组得到的相对值均大于 120%,则产生过压报警;
- 4) 若所有差压模组得到的相对值均小于 0.05%,则最优输出值为 0;

- 5) 否则所有差压模组得到的相对值中最接近 100%的为最优输出值;
- 6) 通过现场总线协议芯片对外输出最优输出值或过压报警。

### 3 智能通信卡设计

#### 3.1 硬件设计

智能通信卡核心硬件由 STM32F103 系列 MCU、FBC0409FF/PA 物理层芯片、串口模块、电源模块、LED 显示屏和诊断电路构成,如图 4 所示。

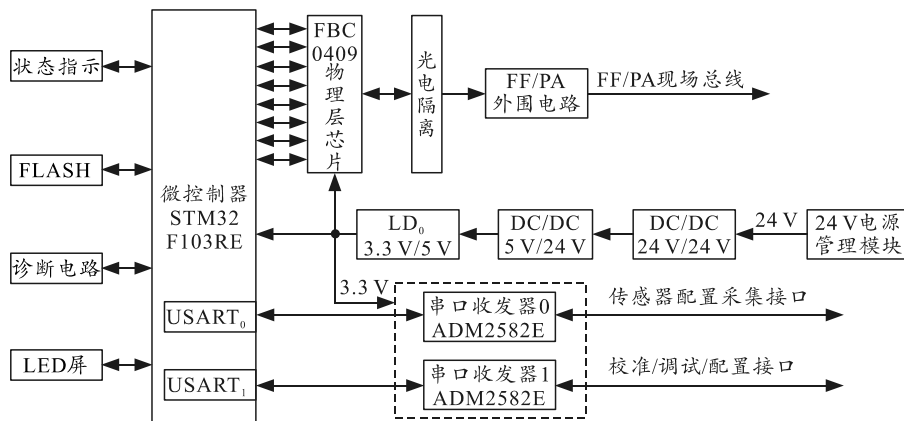


图 4 智能通信卡硬件框架

其中 MCU 作为智能通信卡的主 MCU 内嵌 FF/PA 工业现场总线协议栈,处理来自 FF/PA 现场总线数据;FBC0409 芯片可同时满足 FF 现场总线和 PROFIBUS PA 现场总线物理层要求,实现同一硬件电路适配 2 种现场总线的通信要求;诊断电路具备通信总线自诊断和存储自诊断功能,可提升多参数工业现场总线差压流量仪表的可用性和可靠性;电源管理模块包括 24 V 电源输入、过压保护、过流防护、隔离电源和本地 DC-DC 转换电路,为智能通信模块提供稳定的电压。

#### 3.2 软件设计

智能通信卡软件架构如图 5 所示,包含驱动模

块、操作系统模块、调试/校准模块、流量数据采集模块、FF 协议栈和自诊断模块,其处理流程如图 6 所示。

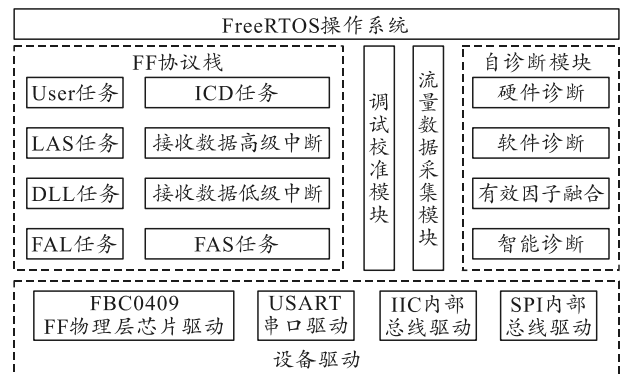
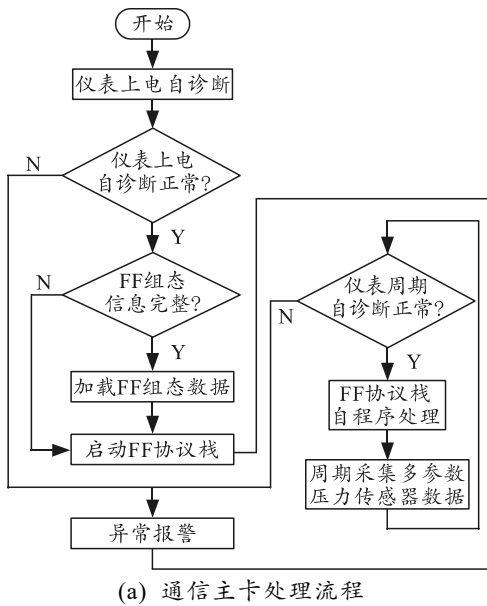
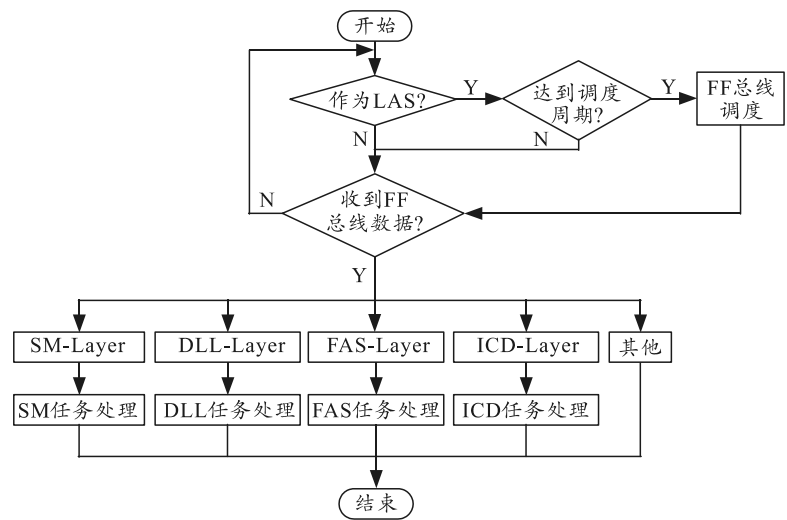


图 5 智能通信卡软件架构



(a) 通信主卡处理流程



(b) 通信卡 FF 协议自程序处理流程

图 6 智能通信卡处理流程

在 FF 协议栈模块中，接收数据高级中断和低级中断协同完成 FF 现场总线物理层数据的采集工作，将采集到的物理层数据交由 ICD 任务进行数据有效性判断，有效数据交由数据链路层 DLL 任务处理后，根据数据类型分发给 FAS 层和 FAL 层进行任务处理，并最终送入用户层 User 任务进行处理。在 FF 协议栈中只有当 FF 现场总线仪表作为主 LAS 设备时才启动 LAS 任务，LAS 任务主要负责给 FF 现场总线发送令牌和校准时间，以实现 FF 现场总线的调度功能<sup>[3-4]</sup>。

在自诊断模块中，通过仪表内部的软件逻辑对过程关键参数实时检查，在仪表的硬件单元中添加电流、电压、电阻和温度测量手段，获取检测数据的正常值和异常值，通过边界对比实现仪表的软、硬件自诊断；在此基础上通过统计每个器件的失效数，失效模式，失效模式的权重、影响以及可否被诊断来优化调整效率因子，提升故障诊断的准确率。基于效率因子变化的动态诊断方式能够结合仪表设备在实际工作的真实情况判断仪表是否能够正常运行，从而达到现场实时监测要求。

### 4 测试与数据分析

#### 4.1 测量环境

测试环境包括软件环境与硬件环境，硬件环境包括工控机、美国仪器仪表公司 (national instruments, NI) 的 NI-Fbus 接口卡 (简称接口卡) 和多参数工业现场总线孔板式差压流量仪表 (简称流量计)、PT105 压力变送器、TT105 温度变送器；软

件环境借助 NI-FbusMonitor 组态工具 (简称 FF 组态工具)<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 NI 工具软件测试

FF 组态件可扫描到在线设备列表，能够准确识别流量计、PT105 压力变送器和 TT105 温度变送器，并获取设备 ID、设备标签、厂家编号、设备类型，在线设备列表如图 7 所示。

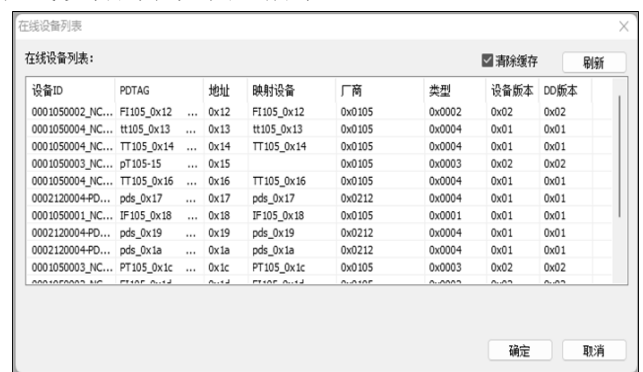


图 7 FF 设备在线列表

除可以在 FF 组态软件中查看到设备列表外，还可以检测仪表的运行状态、修改仪表运行状态、监视仪表的当前值以及测量范围等。

#### 4.3 数据分析

原有传感器按照 1% 的误差计算，量程 0~8 kPa 的传感器 A 的误差为 8 Pa，量程 0~80 kPa 的传感器的 B 误差为 80 Pa，用传感器 B 测量小于 8 kPa 的压力，精度达不到要求；用传感器 A 测量，因量程有限无法测量大于 8 kPa 的压力。