

文章编号:1671-251X(2015)05-0106-03

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.026

杨绪军,王文龙,高文平,等.具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表设计[J].工矿自动化,2015,41(5):106-108.

具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表设计

杨绪军, 王文龙, 高文平, 朱承建

(天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

摘要:针对现有瓦斯抽放流量仪表不能对管道流量参数进行实时补偿而导致流量测量结果存在较大误差的问题,设计了一种具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表。给出了气体温度、压力和浓度的补偿方法,介绍了该仪表的软硬件设计。现场测试结果表明,该仪表测量数据准确、稳定,满足煤矿瓦斯抽放计量的精度要求。

关键词:瓦斯抽放;管道;流量仪表;差压式;动态补偿

中图分类号:TD605

文献标志码:A

网络出版时间:2015-04-30 08:56

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0856.026.html>

Design of differential pressure type gas drainage flow meter with dynamic compensation

YANG Xujun, WANG Wenlong, GAO Wenping, ZHU Chengjian

(Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of problem of large flow measurement error caused by existing gas drainage flow meter which cannot realize real-time compensation for pipeline flow parameters, a differential pressure type gas drainage flow meter with dynamic compensation was designed. The compensation methods of gas temperature, pressure and concentration were gave, and design schemes of hardware and software of the flow meter were introduced. The field test results show that the flow meter meets accuracy requirement of coal mine gas drainage measurement with accurate and stable data.

Key words: gas drainage; pipeline; flow meter; differential pressure type; dynamic compensation

0 引言

针对瓦斯抽放管道中流量计量装置不同的安装环境,目前煤矿使用的流量计主要有差压式V锥流量计和威力巴流量计、热线式流量计^[1-4]。差压式V锥流量计和威力巴流量计需要配置信号处理仪表,但市场上配置的信号处理仪表只能采集1个差压信号用于计算瓦斯抽放管道流量,且没有考虑环境条件变化对流量的影响,不能进行实时补偿,造成流量测量结果误差较大。鉴此,本文设计了一种具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表^[5],可同时测试管道差压、管道负压、环境绝压、管道温度、管道

瓦斯浓度5个环境参数,并对管道瓦斯流量测量进行实时补偿,提高了流量测量的准确性。

1 测量原理及补偿方法

1.1 传感器测量原理

差压式V锥流量计和威力巴流量计是由传感器和信号处理仪表组成的测量装置。传感器产生一个依据流量大小而变化的差压。具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表采集相应管道差压、管道负压、环境绝压、管道温度和管道瓦斯浓度5个环境参数,用于计算流量。常用的差压式流量计体积流量计算公式为

收稿日期:2014-08-06;修回日期:2015-03-17;责任编辑:盛男。

基金项目:天地(常州)自动化股份有限公司研发项目(13SY010-01)。

作者简介:杨绪军(1986—),男,山西朔州人,助理工程师,硕士,主要从事煤矿仪器仪表研发工作,E-mail:xjyang1986@163.com。

$$Q_v = k \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \tag{1}$$

式中: Q_v 为体积流量; k 为传感器的结构系数; Δp 为传感器检测的差压; ρ 为被测介质的密度。

在实际生产和测试中, k 、 Δp 和 ρ 都可能造成不同程度的测量误差。其中 k 取决于结构加工精密度,出厂前通过水流量计量装置实流标定确定; Δp 取决于差压传感器精度,出厂前精度通过压力计量标校装置标校; ρ 取决于现场测试介质状态,需要根据介质状态的变化进行实时动态补偿。

瓦斯抽放管道内气体压力变化范围一般为 $-80 \sim 20$ kPa,温度变化范围为 $0 \sim 40$ $^{\circ}\text{C}$ 。管道内气体一般由空气、 CH_4 及其他烷类气体组成,空气和 CH_4 比例占 99% 以上,因此瓦斯抽放管道内其他气体组分几乎可以忽略不计,但空气和 CH_4 的组分比例在不停变化。由此可见,介质密度动态补偿需要从气体压力、温度和浓度 3 方面来考虑。

1.2 仪表补偿方法

理想气体状态方程:

$$PV = nRT \tag{2}$$

式中: P 为绝压; V 为体积; n 为物质的量; R 为比例常数; T 为温度。

摩尔质量计算公式:

$$M = m/n \tag{3}$$

式中: M 为摩尔质量; m 为质量。

密度计算公式:

$$\rho = m/V \tag{4}$$

由式(2)一式(4)可得

$$\rho = PM/RT \tag{5}$$

由式(1)和式(5)可得

$$Q_v = k \sqrt{\frac{\Delta p RT}{PM}} \tag{6}$$

由于管道内气体主要由 CH_4 和空气组成,所以混合气体的摩尔质量为

$$M = M_k(1 - C) + M_j C \tag{7}$$

式中: M_k 为空气的摩尔质量; M_j 为 CH_4 的摩尔质量; C 为管道气体中 CH_4 比例。

由式(6)和式(7)可得

$$Q_v = k \sqrt{\frac{\Delta p RT}{P[M_k(1 - C) + M_j C]}} \tag{8}$$

式(8)为管道内气体体积流量实时动态补偿模型,包含了气体温度、压力和浓度补偿,可以完全兼容应用在瓦斯抽放系统中,使整个流量计量装置准确度达到 1 级。针对现场不能采集管道气体浓度信

号的特殊情况,如果浓度变化范围不大,可在仪表参数中设置管道浓度定值来进行补偿。

2 硬件和软件设计

2.1 硬件设计

2.1.1 硬件结构

具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表的硬件结构如图 1 所示。该仪表具有 4 个传感器模块,分别为差压、绝压、表压和温度检测模块,其中差压和绝压检测模块输出信号经外部 16 位 A/D 模块 AD7705 转换后通过 SPI 总线由 MCU 采集处理计算,温度和表压检测模块输出信号由 MCU 内部 10 位 A/D 转换器采集转换后参与计算。 CH_4 信号来自瓦斯抽放装置内的 CH_4 传感器,MCU 通过频率信号采集电路采集其输入的频率进行计算,最终计算的流量结果通过 LCD 显示。在实际使用中通信方式和管径等参数可通过红外遥控器直接设置。另外,电源处理模块增加了限流和软启动处理;信号传输分为总线和频率 2 种数据传输方式,并增加光耦隔离处理,提高抗干扰性。

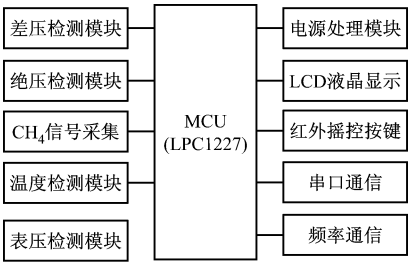


图 1 具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表硬件结构

2.1.2 压力信号处理

差压、表压和绝压 3 路信号处理模块基本一致,选用 1210A 系列电流型压力传感器模块。压力测量范围内 1.25 mA 电流输入,0~40 mV 电压信号输出。输出信号经过运算放大器 AD8572 及外围电路器件进行放大处理,最终差压(量程 0~10 kPa)和绝压(量程 0~200 kPa)信号通过外部 16 位 A/D 处理,表压(量程 $-100 \sim 0$ kPa)信号通过 MCU 内部 10 位 A/D 转换。A/D 转换精度满足差压准确度等级 0.5 和分辨率 0.02 kPa、绝压和表压准确度等级 1 和分辨率 0.3 kPa 的要求。

2.1.3 频率信号采集

CH_4 频率信号采集电路如图 2 所示。 IN_CH_4^+ 和 IN_CH_4^- 分别为 CH_4 频率信号正负输入端,经过光耦 TLP521 隔离,输出信号 PWM_IN 直接接入 MCU 进行采集处理。

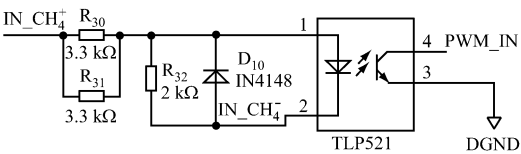


图 2 频率信号采集电路

2.2 软件设计

瓦斯抽放管道内气体介质比较特殊,体现在以下方面:① 气体介质由多种气体混合而成;② 气体介质受抽放管道前端钻孔影响,水汽成分会瞬间增大;③ 现场管道布置不合理会导致管道内待测气流不稳定。这些情况都会影响传感器数据采集的稳定性,造成测量结果漂动或瞬时失真。硬件上无法解决该问题,因此在软件上采用中位值平均滤波算法,该算法融合了中位值滤波算法和算术平均滤波算法的优点,可对偶然出现的脉冲干扰起到很好的抑制作用,同时也可提高信号的平滑度。

软件在实用性方面增加了以下设计:① 考虑到现场防爆要求,仪表不能开盖,采用红外遥控按键方式设置仪表参数;② 根据现场不同分站通信格式的要求,设计基于标准 Modbus RTU 协议的 RS485 和 200~1 000 kHz 频率输出的 2 种通信方式;③ 根据现场管道内气流复杂度,增加滤波次数设置功能;④ 根据客户使用习惯,增加工况流量和标况流量换算以及显示功能;⑤ 根据现场特殊情况,增加单参数和多参数补偿设置功能。

具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表的主程序流程如图 3 所示。

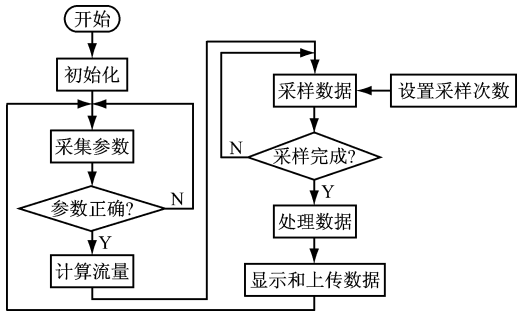


图 3 具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表主程序流程

3 性能测试

为验证具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表在水汽较大、直管段短、有振动环境下的补偿性能,将该流量仪表配合 V 锥流量计安装于 2 套不同的瓦斯抽放管道。第 1 套为贵州小牛煤矿地面抽放泵站附近 DN700 抽放管道,该管道距离抽放泵较近,伴有一定振动,且直管段不足,流量范围为 0~300 m³/min;第 2 套为贵州米箩煤矿井下回风巷

DN300 抽放管道,该管道经常伴有突然的水流流过,流量范围为 0~80 m³/min。每套瓦斯抽放管道前端 50 cm 处焊接测试孔用于安装标准流量计测试,标准流量计采用认可度较高的热式质量流量计。仪表在 2 套管道上的实测数据分别见表 1 和表 2。

表 1 小牛煤矿测试数据 m³/min

标准流量	测试流量		
	无补偿	温度和压力补偿	温度、压力和瓦斯浓度补偿
138.6	97.6	133.3	139.2

注:环境绝压 81.2 kPa;管道负压 27.1 kPa;管道温度 19.4 ℃;瓦斯体积分数 18.5%。

表 2 米箩煤矿测试数据 m³/min

标准流量	测试流量		
	无补偿	温度和压力补偿	温度、压力和瓦斯浓度补偿
59.0	46.2	56.1	59.2

注:环境绝压 85.1 kPa;管道负压 15.8 kPa;管道温度 22.3 ℃;瓦斯体积分数 22.5%。

从表 1 和表 2 可看出,若不采用温度、压力和瓦斯浓度补偿,小牛煤矿的流量测试实时相对误差为 29.6%,米箩煤矿的流量测试实时相对误差为 21.7%,补偿后的数据和标准流量偏差在准确度 1 级以内。目前为止,具有动态补偿的差压式瓦斯抽放流量仪表已稳定运行 2 个月,没有出现由干扰引起的数据波动。

4 结语

介绍了一种差压式流量仪表测量瓦斯抽放管道气体流量的补偿公式及方法,给出了该仪表的软硬件设计。现场测试结果表明,该仪表可从气体温度、压力和浓度 3 方面对瓦斯抽放管道气体流量进行实时补偿,减小了管道流量测量误差,能较好地抑制现场干扰对数据采集造成的波动。

参考文献:

[1] 谭飞. 威力巴流量计在煤矿管道瓦斯流量计量中的应用[J]. 工矿自动化, 2013, 39(6): 13-16.
[2] 罗志成, 张柳燕, 李凤. 威力巴流量计在煤气计量中的应用[J]. 冶金动力, 2010(6): 60-62.
[3] 杨绪军, 程大伟, 杨康. 矿用多参数气体流量传感器设计[J]. 工矿自动化, 2014, 40(5): 12-14.
[4] 李涛. 煤矿管道瓦斯流量计量技术研究[J]. 工矿自动化, 2012, 38(11): 14-17.
[5] 王晓蕾. 动态补偿质量流量仪表在蒸汽计量上的应用[J]. 石油化工自动化, 2008, 44(4): 62-64.