

文章编号: 1003-1480 (2008) 03-0044-04

气溶胶采样过程中流量控制技术

李庆伟^{1,2}, 肖凯涛²

(1. 北京大学物理学院, 北京, 100815; 2. 防化研究院第五研究所, 北京, 102205)

摘 要: 介绍了一种实现气溶胶采样过程中维持采样流量恒定的方法, 从流量监控原理、系统组成、电路设计等多个方面进行了详细论述。流量测试结果表明: 在采样膜阻力增加 3 倍的情况下, 该方法可以较好地控制采样过程中的流量, 在一定范围内保持恒定, 采样流量误差可以控制在 3.7% 以内。

关键词: 气溶胶; 采样; 恒流; 控制

中图分类号: TQ560.72 文献标识码: A

Control Technique of Flow Rate in Aerosol Sampling Process

LI Qing-wei^{1,2}, XIAO Kai-tao²

(1. Institute of Physics, Peking University, Beijing, 100815; 2. Research Institute of Chemical Defense, Beijing, 102205)

Abstract: A method of maintaining the rate of flow constantly in aerosol sampling process is introduced, and the principle of the rate of flow control, system components and the circuit design etc. has been discussed in detail. The flow rate test result indicated that under the condition of 3 times of filter film resistance, the method could control the rate of flow fairly good, the flow rate could be maintained in some range, and the measuring error could be controlled under 3.7%.

Key words: Aerosol; Sampling; Constant flow; Control

气溶胶是能长时间悬浮于气相介质(如空气)中的液体或固体粒子的集合, 大气中 PM10 (空气动力学直径小于等于 10 μm 的气溶胶) 也被称为可吸入颗粒物, 它可以进入呼吸道, 对人体健康会产生重要影响, 已成为环境气溶胶监测的重点之一。目前气溶胶测量的方法有很多, 最普遍的气溶胶采样技术是用滤膜收集空气中的粒子进行过滤收集, 过滤技术由于其灵活、简易和经济, 成为最广泛的气溶胶测量技术^[1]。

在进行过滤采样的过程中, 采样流量的稳定性成为采样器重要的技术指标之一, 是保证采样精度要求的重要手段。由于在采样过程中, 气溶胶粒子

吸附在滤膜上, 滤膜的透过性能改变, 压力降增加, 在没有控制系统参与的情况下, 采样流量必然下降, 导致进入入口的空气流速下降, 等速采样条件破坏, 影响采样效率^[1]。另外, 其他非过滤采样方法都涉及到采样流速稳定的问题, 对采样流量进行有效控制是十分必要的。

传统的解决方案是通过稳压电源、缓冲瓶等手段。这些方法在一定程度上能够解决采样流量稳定的问题, 但存在着体积大、不定因素多、流量控制精度低、误差大等问题。在现代电子技术条件下, 气体流量控制通常采用先进的流量传感器, 结合智能单片机技术来实现。

收稿日期: 2008-04-02

作者简介: 李庆伟(1975-), 男, 工程师, 主要从事烟火装备效能评价工作。

1 流量控制原理

实现流量控制功能，主要通过精确监测采样流量、计算比较预设值、控制电机转速 3 个步骤循环进行。笔者采用了涡街流量传感器测量通过气路的气流。利用单片机硬件资源中的 HSI 部件精确测量由涡街流量传感器输出的代表气体瞬时流量的脉冲信号，同时利用 A/D 转换部件测量气体在当时的压力和温度，然后由软件根据理想气体方程计算出对应的标准状态流量，经调节后，由 HSO 部件输出控制信号，从而精确控制气体的流量^[2]。

1.1 涡街流量计原理

涡街流量计原理如图 1 所示。

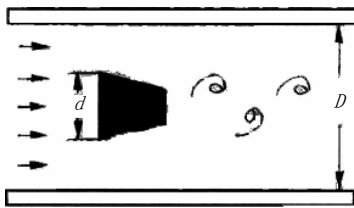


图 1 涡街流量计原理

Fig.1 Eddy flowmeter principle

当流体流经旋涡发生体时，就会在其下游两侧产生两列有规律的卡门涡街，其频率正比于旋涡发生体两侧的流体流速：

$$F = S_t \frac{v_1}{d} \tag{1}$$

式 (1) 中：F 为涡街频率，Hz；d 为旋涡发生体宽度，m；v₁ 为旋涡发生体两侧的流速，m/s；S_t 为斯特罗哈常数^[3]。

流量 Q (m³/s) 定义为：

$$Q = v_2 \times S_2 \tag{2}$$

式 (2) 中：S₂ 为管道截面积，v₂ 为管道内流体的平均速度。

流体连续方程为：

$$v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2 \tag{3}$$

式 (3) 中：S₁ 为旋涡发生体处管道的截面积。

设 S₁/S₂=m，当 d/D<0.35 时，近似认为：

$$m = 1 - 1.25d / D \tag{4}$$

式 (4) 中：D 为流量计管道内径。

整理式 (1) ~ (4)，得：

$$Q = F / k \tag{5}$$

式 (5) 中：k 为流量计系数，1/m³。

$$k = \frac{4S_t}{[\pi D^2 d \cdot (1 - 1.25d / D)]}$$

从式 (5) 可知，流量 Q 与旋涡的频率 F 呈线性关系，只要测量出旋涡的频率 F 就能求得流过流量计管道流体的体积流量 Q。

1.2 流量控制过程

传感器检测到的压力、温度、流量信号经过光隔、整形、I/V 转换、放大等环节被调理为标准电信号，然后输送到 8098 的 A/D 端和 HSI 端，经 CPU 处理后，对采样泵输出控制^[4]。控制系统结构见图 2。

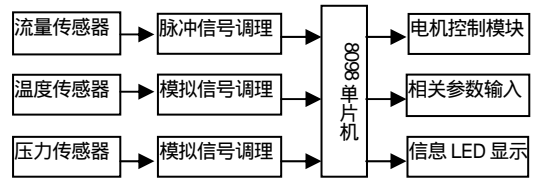


图 2 控制系统结构

Fig.2 Structure of control system

2 硬件设计

2.1 脉冲信号整理

由于外界电磁干扰等原因，控制系统中的流量传感器的数字脉冲信号会产生很多噪声，需要经过整形、驱动过程，才能输入到 CPU 芯片中进行处理。信号整理电路见图 3，电路中使用施密特触发器 74HC14 作为整形器，输入线路中 D4、D7 2 个二极管起到保护作用，防止高电压冲击主芯片。

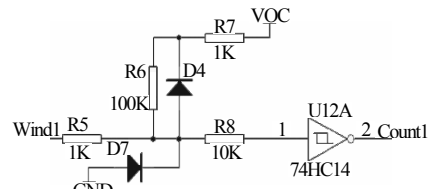


图 3 脉冲整形电路

Fig.3 Pulse reshaping circuit

2.2 模拟信号放大

图 4 为模拟信号放大电路^[4]，模拟信号放大器采用了高精度仪表放大器 AD620N，该芯是三运放

的结构，具有高阻抗输入，放大器的增益由电阻器 R_{42} 决定。与一般的分立三运放（例如由 OP07 组成的三运放）相比，集成化的 AD620 有着更高的性能和稳定性。

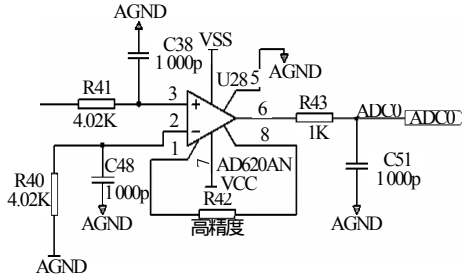


图 4 模拟信号放大电路

Fig.4 The analog signal enlarges circuit

2.3 电机控制模块设计

电机转速控制模块主要采用了 UC3633 电动机锁相环控制集成电路设计。该集成电路是为直流电动机锁相控制而设计的集成电路，精确的基准频率可以由本电路的高频振荡器和可编程分频器产生。此振荡器也可以接石英晶体谐振器工作，还可以作为外接频率源的缓冲电路。电机控制模块见图 5。

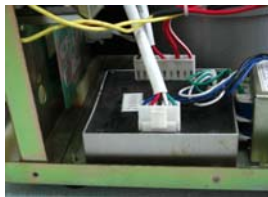


图 5 电机控制模块

Fig.5 The control module of electric motor

3 结果验证

3.1 对比试验

选择两台采样器，以 8L/min 作为参考流量，利用高精度流量计对采样器的流量进行标定，同时，采用增加滤膜厚度的方法模拟采样阻力增加，对比检测有恒流稳定功能的采样器和没有恒流装置的采样器的流量变化情况，结果见表 1。

表 1 采样流量对比试验结果

滤膜层数	1	2	3	4
流量/有控制装置 (L·min ⁻¹)	7.95	7.96	7.82	7.52
流量/无控制装置 (L·min ⁻¹)	7.89	7.55	6.77	6.05

表 1 结果显示，在有恒流稳定功能的情况下，当滤膜增加到 3 层时，采样流量下降很小，误差不

大于 3%。没有恒流稳定功能的情况下，流量下降明显，超过了 15%，结果表明，该套恒流装置能够很好地起到稳定流量的作用。流量变化趋势见图 6。

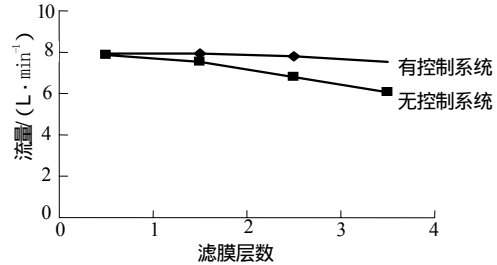


图 6 对比试验结果

Fig.6 Comparative test results

3.2 稳流效果测试

在本试验中，通过对不同流量值（6~12L/min）在不同阻力的情况进行测试，验证该套装置的稳流效果。测试结果见表 2，表 2 中测量值为 1 层滤膜时的平均流量值，测量值为 2 层滤膜时的平均流量值，测量值为 3 层滤膜时的平均流量，测量值为 4 层滤膜时的平均流量。图 7 为流量变化图。

表 2 采样流量标定结果

设定值/ (L·min ⁻¹)	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
测量值 / (L·min ⁻¹)	5.9	7.05	7.95	9.02	10.03	11.05	11.98
测量值 / (L·min ⁻¹)	5.9	7.01	7.96	8.98	9.97	10.85	11.76
测量值 / (L·min ⁻¹)	5.8	6.88	7.82	8.88	9.76	10.65	11.55
测量值 / (L·min ⁻¹)	5.6	6.68	7.52	8.48	9.35	10.13	10.90

表 2 结果显示，在滤膜层数增加到 3 层时，测得流量值与预设值的差别很小，误差最大值出现在 12L/min 时，约为 3.7%。说明在滤膜阻力增加 3 倍的情况下，该套系统能够较好地保持流量稳定。

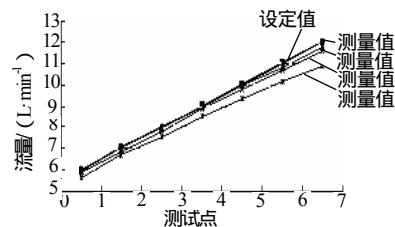


图 7 流量变化图

Fig.7 The change of rate of flow

3.3 结果分析

试验结果表明，在滤膜的阻力增加在一定范围内时，采样流量变化不大，采样流量误差控制在 3.7% 以内，说明流量控制系统能够较好地控制采样

流量,维持采样流量的恒定。在继续增加滤膜阻力的情况下,试验测得的流量值均在设定值之下,而且,流量越大偏差越大。说明控制系统的调节能力不是无限的,在阻力增加的情况下,控制系统通过增加电机转速提高采样流量,当转速增加到调节的极限时,流量不会继续增加,采样误差变大。

4 结论

本研究结果表明,通过精确监控采样流量,将监测结果反馈回电机控制装置来达到稳流的方法是可行的。在采样阻力增加3倍的情况下,仍能够较好地稳定流量。另外,由于采样过程中气体压缩,监测的流量信号有较强的波动,需要采用增加缓冲瓶、增加滤波功能等手段进行消除。

.....
(上接第27页)

从表2可以看出:当固定输入起爆能量时,随着爆炸箔体积的减小,峰值电流变化不大,爆发电压时间缩短。对于相同参数的脉冲功率源而言,峰值电流反映的是短路状态通过回路的最大电流,由于在测试范围内不同体积的爆炸箔电阻变化很小,因此,峰值电流变化也不大。而爆发电压时间反映的是爆炸箔汽化时电阻突然增大的现象,爆炸箔汽化所需的能量与其体积密切相关,较小体积的爆炸箔汽化所需的能量较少,因此输入相同起爆能量时,较小体积的爆炸箔汽化时间相对较短,爆发电压时间相对也就较短。对于固定参数的起爆装置,可以通过对爆炸箔尺寸的设计提高对输入起爆能量的利用效率。

4 结论

通过研究固定参数的桥箔在不同发火电压下的电爆参数规律,发现爆发电压、爆发电流随输入能量的增大而增大,爆发电压时间和峰值电流时间随发火能量增大而减小,但是峰值电流时间和爆发电压时间

参考文献:

- [1] [美]保罗 A.巴伦,克劳斯·戴维克.气溶胶测量原理、技术及应用[M].白志鹏,杨灿,等,译.北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 王小梅.温度传感器的选择与使用[J].实用测试技术,1996(3):11-14.
- [3] 童诗白.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [4] 任志山,黄春耀.高精度、高稳定度微弱信号放大器的设计[J].漳州师范学院学报,2003(3):18-19.
- [5] 金侗泰.如何使用 KEIL 8051 C 编译器[M].金奎焕,任正权,译.北京:航空航天大学出版社,2002.
- [6] 马忠梅,籍顺心.单片机的 C 语言应用程序设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.

应有一个最接近的区间,这一区间应该是能量利用率最高的区间。在固定发火能量时,有一个最佳对应的桥区尺寸,使得这一尺寸的桥区对应的爆发电流和峰值电流较其它桥区尺寸高。

参考文献:

- [1] 曾庆轩,袁士伟,罗承沐,等.新型电爆炸箔系统电压对爆发电流影响的实验研究[J].火工品,2002(1):41-42.
- [2] 谢雁,党瑞荣,任西,等.电火工品发火过程的无损检测办法[J].火工品,2005(4):41-44.
- [3] 张军,李涛,陈军,等.爆炸箔电参数的测试方法[J].高能密度物理,2007(2):51-54.
- [4] 钱勇.爆炸箔冲击片加载试验装置及优化设计研究[D].西安:中国兵器工业第213研究所,2007.
- [5] STANTON P L.The acceleration of flyer plates by electrically exploded foil[R].SAND 75-0221,1976.
- [6] 周智,胡晓棉,曾庆轩,等.点火回路电感对 EFIs 发火能量的影响[J].火工品,1998(3):20-23.