

漩涡式气体质量流量计的研究

齐海燕 莫德举 田 晖

(北京化工大学自动化系, 北京 100029)

摘 要: 介绍了一种利用检测漩涡频率和横向变动升力的方法测量气体质量流量的漩涡式气体质量流量计。同时论述了其测量机理、电子线路、实验结果及结论。

关键词: 质量流量计; 变动升力; 除法器

中图分类号: TQ 056. 15

随着科学技术的发展, 工业生产对流量测量的准确性要求越来越高, 尤其是气体和气液两相流的质量流量测量, 已经成为一项前沿性难题。单组分的气体流量还有热式质量流量计可以应用, 而对于变组分的气体质量测量目前尚无成熟的流量计可以应用。笔者研制的漩涡式气体质量流量计是在深入研究卡曼涡街原理基础上而开发的。流量计的核心是传感器和双通道信号检测电路。

1 测量原理

漩涡是一著名的流动现象, 在充满流体的管道中垂直于流体流向插入一个漩涡发生体, 当流体的流量增大到一定程度时, 会在漩涡发生体的下游侧形成一系列的漩涡, 并且漩涡发生体两侧产生的漩涡是周期性交替出现的, 如图 1 所示。

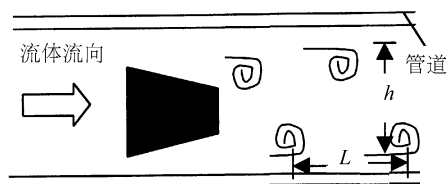


图 1 漩涡和横向变动升力产生原理

Fig. 1 The generation of vortex and horizontal varying lifting force

当产生的稳定漩涡列满足公式 $h = 1.3b$ (h 是两涡列之间的距离) 时, 漩涡发生的频率 f 与被测

流体的流速之间有以下关系^[1]: $f = S_t \frac{v_1}{b}$ (1)

式中: v_1 为漩涡发生体两侧的平均流速; b 为漩涡发生体迎流面的最大宽度; S_t 为斯特劳哈尔数(无量纲, 漩涡发生体的形状确定后, 在一定的雷诺数范围内为常数)。此时, 流过管道和漩涡发生体两

侧的流体体积流量 q_v 为: $q_v = A_1 \frac{b}{S_t} f$ (2)

式中: A_1 为管道漩涡发生体两侧的流通截面积。

目前的漩涡流量计就是采用上述原理来测量流量的。伴随着漩涡的产生, 在漩涡发生体的周围产生循环流, 当漩涡在发生体一侧分离时, 发生体受到的横向变动升力 F_{Lf} ^[2] 大小为:

$$F_{Lf} = \pm C_{Lf} \times 0.5 \rho v_1^2 S_0 \quad (3)$$

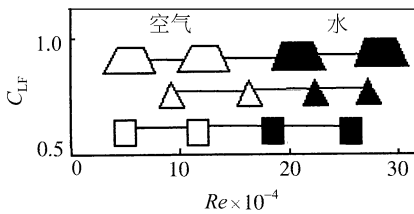
式中, C_{Lf} 为横向升力系数; ρ 为被测流体密度; S_0 为漩涡发生体在流动方向上的投影面积。

(3) 式除以 (1) 式可以消掉一个公共变量 v_1 , 得到质量流量 q_m :

$$\frac{F_{Lf}}{f} = \frac{\pm b S_0 C_{Lf}}{2 S_t} \rho v_1 = K \rho v_1 = K q_m \quad (4)$$

根据 (4) 式, 当仪表系数 K 为常数时, F_{Lf} 和 f 之商就表示被测流体的质量流量 q_m 。而在漩涡发生体的几何形状确定后, b 、 S_0 、 C_{Lf} 都是常数, 当被测流体的流速大到一定程度时, S_t 也为常数, 故 K 是一常数。这就是漩涡式质量流量计的测量原理。详细的实验资料表明, C_{Lf} 是雷诺数 Re 和漩涡发生体形状的函数, 如图 2 所示, 其中当漩涡发生体的形状为梯形、矩形、三角形时, 横向升力系数分别为 0.92, 0.62, 0.80。

综上所述, 如果实现了 f 和 F_{Lf} 的测量, 并进行除法运算, 就能进行质量流量的测量。

图 2 管道内发生体后端面的流动介质的 C_{Lf} 值Fig. 2 Values of C_{Lf} at the back of bluff-body

2 f 和 F_{Lf} 的检测

漩涡式质量流量计传感器结构如图 3 所示。传感器采用了应力检测法^[3]，检测元件是压电晶体，漩涡发生体为梯形柱形状。压电晶体用单片对分的形式封装在漩涡发生体的内部，优点是检测元件不与被测流体直接接触。两片压电晶体安装在漩涡发生体惯性力零弯矩端面内，中性面一侧为压应力，另一侧为拉应力。

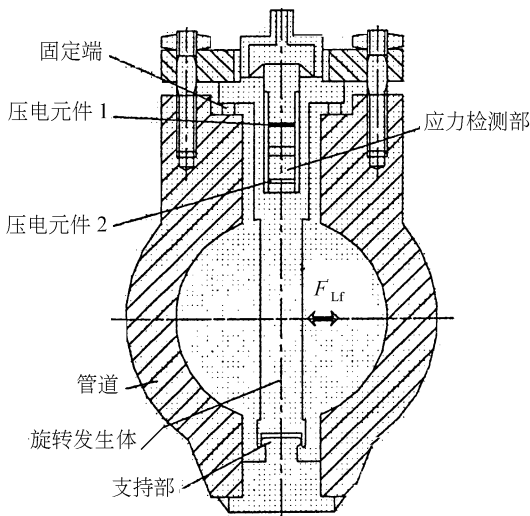


图 3 漩涡式气体质量流量计传感器结构

Fig. 3 Sensor configuration

两部分所产生的电荷极性相反，经电荷放大器后，两部分的信号叠加，除掉共模干扰。放大器输出与漩涡频率 f 成正比的信号，同时根据压电效应，可求出压电晶体上产生的电荷 q 为：

$$q = {}_s d_{33} dA$$

式中： d_{33} 为压电常数； ${}_s$ 为压电晶体所承受的力； A 为压电晶体的电极面积。 q 与 F_{Lf} 成正比， $q = K_1 F_{Lf}$ 。当漩涡发生体的形状、尺寸、支撑方式固定

后，压电晶体输出的交变电荷其频率和 f 相同，幅值大小反映 F_{Lf} 的大小。压电晶体所产生的 q 包括两部分信号： q 的频率是漩涡产生的频率 f ， f 的大小由式(1)决定； q 的幅值表示 F_{Lf} 的大小，即：

$$q = K_1 F_{Lf} = \pm C_{Lf} \times 0.5 v_1^2 S_0 K_1$$

通过检测压电元件的电荷强度就可以同时得到漩涡频率和横向变动升力两个变量，这种一箭双雕的作法在流量检测领域是十分罕见的，同时这也是漩涡式气体质量流量计的主要特点。

3 整机结构框图

q_1 、 q_2 是漩涡发生体内的两片压电晶体上所产生的交变电荷(幅值与 v_1^2 成比例，频率与流速 v_1 成比例)，通过两个电荷变换器，变换成交流电压信号，然后通过加法器，去掉由于管道振动引起的共模干扰，将有用信号分别送到幅值处理回路和频率处理回路(如图 4 所示)。

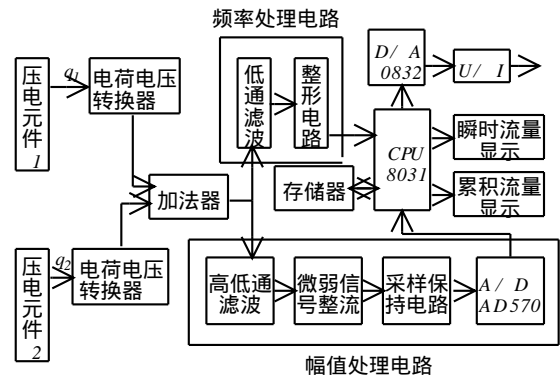


图 4 漩涡式质量流量计整机结构框图

Fig. 4 Block diagram of vortex mass flow meter

在频率处理回路，有用交流电压信号通过低通滤波器除掉高频杂波，经过整形电路成为 5 V 方波，这个方波就是漩涡频率信号，它进入 8031 的 T_1 端进行定时计数。在幅值处理回路，有用电压交流信号经四阶高通二阶低通滤波，将水利学噪声干扰、高频杂波干扰滤掉，再经过微弱信号整流电路将其变为脉动直流电压信号，用采样保持电路把信号离散化，经 AD570 变为数字信号从 8031 的 P_0 口输入。这就是说幅值信号和频率信号都进入 8031 后，进行公式(4)的除法运算和乘以系数 K 的运算，使乘后数值与理论的质量流量相符，再进行瞬时流量和累积流量的数字显示。8031 把运算结果也同时送往 D/A0832，把数字信号变为电压信号，再经电压电流转换，输出 4~20 mA 电流信号。

4 系统程序

从工作原理中可知,只要检测出加法器输出的交流电压的幅值和频率数,再经 8031 进行除法运算和乘以系数 K 的运算就可以求出被测流体的质量流量。系统程序框图如图 5 所示,其主要任务有:(1)对加法器输出的交流电压信号的幅值进行采样并转换成数字量;(2)对交流电压信号的频率进行计数;(3)完成除法运算求出被测流体的质量流量;(4)消除水利学噪声干扰、工频和高频干扰;(5)数字显示瞬时流量和累积流量。

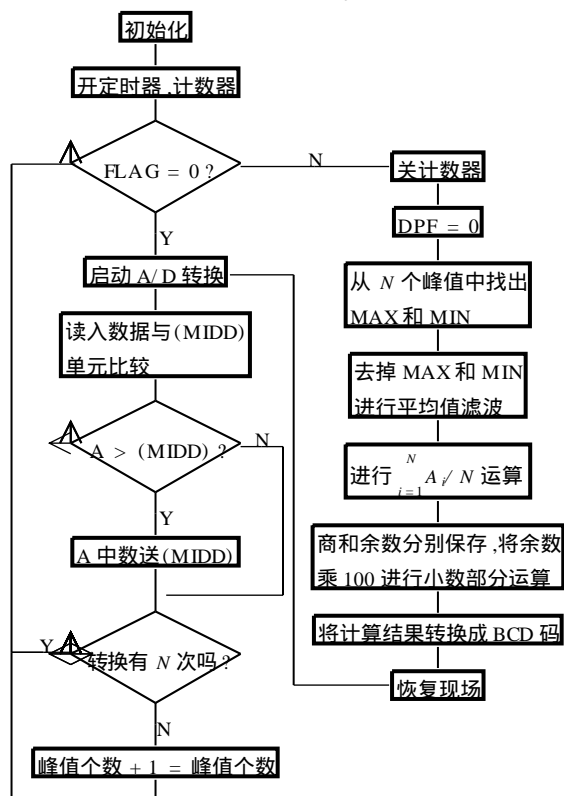


图 5 系统程序框图

Fig. 5 Program block diagram

5 实验结果和结论

直径为 50 mm 的漩涡式质量流量计的气体实验

是在钟罩上进行的。钟罩是一种标准的气体流量校验装置,将钟罩内充满待测空气后,将漩涡式质量流量计装在出口管道上,调节出口阀开度。因钟罩在下降过程中压力保持稳定,计算出下降时间就可算出标准的空气体积流量。测出当时的室温、空气密度,将体积流量换算成质量流量,再和被校验漩涡式质量流量计的指示值对比,实验结果见图 6。其中横轴 q_{ms} 为标准的气体质量流量;纵轴 q_m 为质量流量计显示值。

实验得知,常压下的质量流量误差在 $\pm 1.46\%$ 以内,变压力实验因没有标准压力气体标定装置,结果不十分理想,但已经证明了漩涡式质量流量计的测量原理是正确的。

漩涡式质量流量计突出特点是传感器结构简单、寿命长,除了测量液体质量流量外,更适合于测量变组分气体的质量流量。所以,漩涡式质量流量计必将在不久的将来成为一种具有强大竞争能力的流量计。

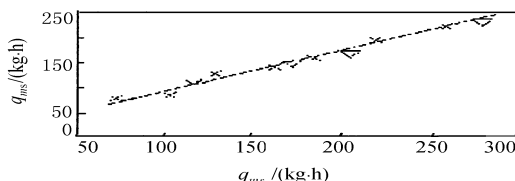


图 6 空气实验数据

Fig. 6 Experimental data of air

参 考 文 献

- [1] Miller R W. 流量测量手册. 孙延祚译. 北京:机械工业出版社, 1990
- [2] 伊藤一造, 大木真一. 渦による変動揚力に利用した质量流量计. 见:仪表与控制学会论文集. 东京:日本仪表与控制学会, 1986
- [3] 刘欣荣. 流量计. 北京:水利电力出版社, 1990

Research on the vortex gas mass flowmeter

QI Hai-yan MO De-ju TIAN Hui

(Department of Chemical Automation, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The paper introduces a new kind of vortex gas mass flowmeter, which can measure gas mass flow by testing the vortex frequency and the horizontal varying lifting force. The mechanism of measurement, electronic circuits, experiments results and conclusions are also discussed.

Key words: mass flowmeter; varying lifting force; divider