

科里奥利质量流量计

中国科学院力学研究所 马文驹

芜湖电表厂 王中廷

科里奥利质量流量计是根据科里奥利力原理进行质量流量测量的流量计。它原理简单,构思新颖,能直接测出液体、气体、多相流和浆料等的质量流量,并且不受被测流体的温度、压力、密度、粘性和腐蚀性的影响,测量精确度较高。这种流量计也可用于遥测。缺点是技术难度较大,成本较高。因此,如何寻找一条简单而可靠的技术途径,降低价格,是目前需要考虑的课题。

一、工作原理

众所周知,当一个物体在旋转系统中以速度 V 沿径向运动时,将受到一个力的作用,其大小由式(1)确定

$$\vec{F}_c = 2m\vec{V} \times \vec{\omega} \quad (1)$$

式中, \vec{F}_c 称作科氏力; m 是物体的质量; \vec{V} 是在物体在旋转坐标系中的速度矢量; $\vec{\omega}$ 是旋转的角速度矢量。对于如图 1(a) 所示的围绕 X-X 轴旋转的 U 形管,如果里面有流体流动,则由于科氏力的存在,管壁要受到流体的作用力。由于流体在 U 形管的两平行直管段流动方向相反,所以管壁受到的作用力的方向也相反。这样,对 U 形管来说,就有一扭矩 M 产生。而科氏力 \vec{F}_c 的大小(从而也就是扭矩 M 的大小,是直接正比于量 mV ,因此,只要测出 U 形管的扭变量,推算出扭矩 M ,就可以知道质量流量。

实际上, U 形管不一定非以常角速度 ω 转动。如果 U 形管如图 1(b) 那样绕 X-X 轴振动。科氏力仍将存在,只不过是周期性变化的力而已。

如图 1(b) 所示,如果 U 形管两平行直管段

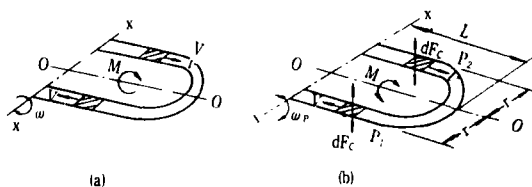


图1 U形管扭矩产生示意图

是几何对称的,则直管上一微小长度 dx 有扭矩

$$dM = 2dF_c r = 4dmV\omega_p r \quad (2)$$

式中, ω_p 为正弦变化的角速度; dF_c 为两小段管子上的科氏力 dF_{c1} 和 dF_{c2} 的绝对值。显然 dF_{c1} 和 dF_{c2} 也是正弦变化的,但彼此相差 180° 相位。 dm 为 dx 管长内的流体质量, V 为流体在管内的速度。式(2)可写成

$$dM = 4dm(dx/dt)\omega_p r = 4q\omega_p r dx \quad (3)$$

式中, q 为质量流量, $q = dm/dt$ 。积分上式得

$$M = \int dM = \int 4q\omega_p r dx = 4q\omega_p r L \quad (4)$$

假定在该扭矩作用下, U 形管产生扭角 θ (见图 2, 虚线表示管子在向下振动时通过中心位置 N-N 的扭转情况), 由于 θ 角很小, 则有

$$M = K_s \theta \quad (5)$$

式中, K_s 是 U 形管的角弹性模量, 它与 U 形管的材料和结构有关。由式(4)和(5)得

$$q = \frac{K_s \theta}{4\omega_p r L} \quad (6)$$

如图 2 所示,

$$\Delta t = 2r\theta/V_p \quad (7)$$

式中, V_p 是管端在振动中心位置时垂直方向的速度, 它与 U 形管在中心位置时的角速度 ω_p 有如下关系

$$V_p = L\omega_p \quad (8)$$

由式(7)和(8)得

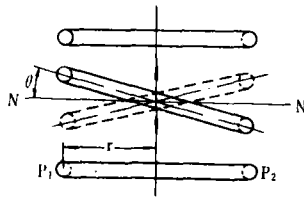


图2 U形管在振动时的端视图

$$\theta = \frac{L\omega_p \Delta t}{2r} \quad (9)$$

将式(9)代入式(6)得

$$q = \frac{K_S L \omega_p \Delta t}{8r^2 \omega_p} = \frac{K_S}{8r^2} \Delta t \quad (10)$$

式中, K_S 和 r 对确定的U形管是已知的。这样, 可以不必测出 ω_p 和 θ , 只要在振动中心位置N-N上放两个光电探测器, 测出U形管在振动过程中 P_1 和 P_2 点向上通过振动中心位置N-N的时间间隔 Δt , 就可以由式(10)求得质量流量 q 。

二、测量信号的分析

图3是科里奥利流量计用光电法取出测量信号的原理图。U形管在上下振动过程中, 当 P_1 点向上通过光电探测器 S_1 时, S_1 使触发器翻转, 当 P_2 点通过光电探测器 S_2 时, S_2 使触发器复零。图4(a)是U形管内无流动时的信号结构图, 图4(b)是有流动时管子产生扭角 θ 情况下的信号结构图。用触发器来控制振荡器, 则计数器所记下的每次开关期间的振荡波数就正比于时间间隔 Δt , 也就正比于管内的质量流量。

实际上, 往往管内无流动时, 管子可能就有初始扭角或者因为光电探测器不是严格置于中心位置N-N线上, 而是与中心位置成一角度

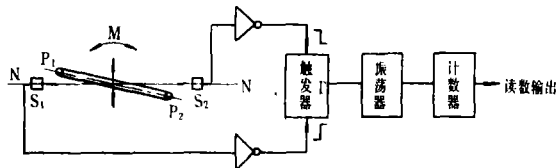


图3 流量计信号逻辑原理图

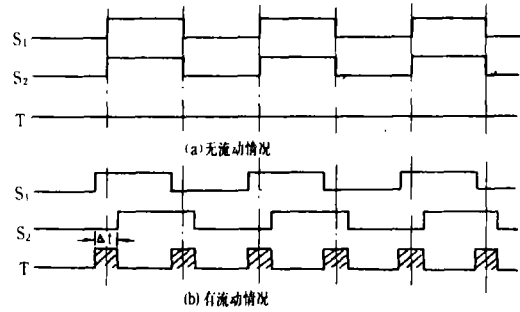


图4 信号结构图

(如图5, 该图为有初始偏角 θ_0 情况下U形管的端视图, 虚线为向下振动通过中心位置时U形管的端部位置)。这样, 在零流量时, P_1 和 P_2 就有一固有时间间隔

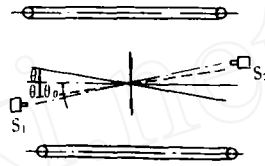


图5

$$\Delta t_0 = \frac{2r\theta_0}{V_p} \quad (11)$$

式中, θ_0 为管子和 S_1 - S_2 间的初始夹角。当管内有流动时, 在管子向上振动半周期里, P_1 和 P_2 间通过光电探测器的时间间隔为

$$\Delta t_1 = \frac{2r(\theta + \theta_0)}{V_p} = \frac{2r\theta}{V_p} + \Delta t_0 \quad (12)$$

在管子向下振动的半周期里, P_1 和 P_2 间的时间间隔为

$$\Delta t_2 = \frac{2r(\theta - \theta_0)}{V_p} = \frac{2r\theta}{V_p} - \Delta t_0 \quad (13)$$

显然, 若 $\theta < \theta_0$, 则 $\Delta t_2 < 0$; 若 $\theta > \theta_0$, 则 $\Delta t_2 > 0$ 。

由式(12)和(13)得

$$\theta = \frac{V_p}{4r} (\Delta t_1 + \Delta t_2)$$

所以

$$q = \frac{K_S}{16r^2} (\Delta t_1 + \Delta t_2) \quad (14)$$

为方便线路设计, 使U形管工作在 $\theta < \theta_0$

的状态。图6为测量线路的原理图，图7为信号结构图。在U形管向上振动的半周期中，信号 S_1 使触发器 T_1 翻转， S_2 使触发器 T_2 复零，在向下振动的半周期里， S_2 使触发器 T_2 翻转， S_1 使触发器 T_1 复零(注意，假定 $\theta < \theta_0$)。 T_1 和 T_2 的信号分别送到两个门电路来控制振荡器，使振荡器输出分别与 Δt_1 和 Δt_2 成正比的脉冲数 n_1 和 n_2 ，再由计数器测出 $n_1 - n_2$ 后输出对应于质量流量 q 的读数。

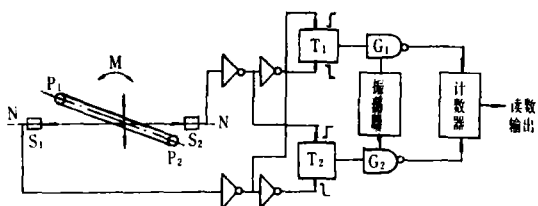


图6 有初始扭角情况下信号逻辑原理图

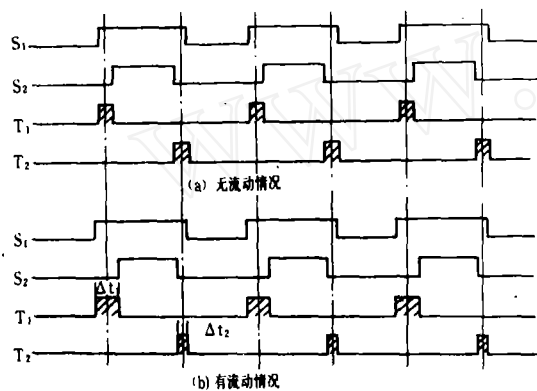


图7 有初始扭角情况下信号结构图

三、总量的测定

在任意时刻 t_1 至 t_2 时间内的总质量流量为

$$\theta = \int_{t_1}^{t_2} q \, dt \quad (15)$$

前面已推导出管内的瞬时质量流量(更精确地说，在U形管振动一周时间内的平均质量流量)为

$$q = \frac{K_s}{16r^2} \frac{1}{f_0} (n_1 - n_2) \quad (16)$$

式中， f_0 为振荡器的脉冲频率。从而，在U形管振动一周时间内流过管内的质量流量为

$$\Delta\theta = q \frac{1}{f_p} = \frac{K_s(n_1 - n_2)}{16r^2 f_0 f_p} \quad (17)$$

式中， f_p 为U形管的振动频率。于是，用计数器连续累计每次振动内的 $\Delta\theta$ ，就可求得总质量流量

$$Q = \sum_{t_1 \rightarrow t_2} \Delta Q \quad (18)$$

四、机械结构

科里奥利流量计的机械结构如图8所示，在U形管的进出口端固连着一个T形弹簧片，在片端装有一个电磁传感线圈和一个驱动线圈。在U形管的顶端装有一永久磁铁伸入到上述两个线圈内。弹簧片的固有振动使线圈和永久磁铁产生相对运动，从而在传感线圈中感应出一个感应电压，通过放大器放大后又输到驱动线圈，使振动维持下去。为了控制放大器的增益，中间有一个峰值检测器(见图9)。

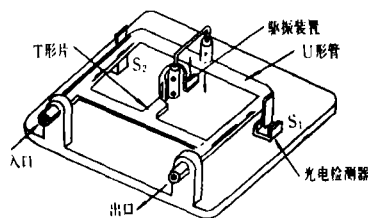


图8 结构示意图

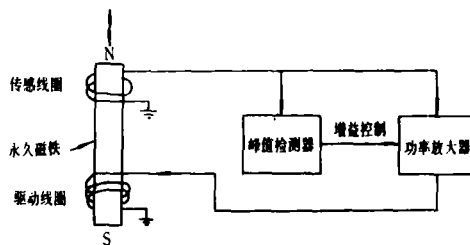


图9 U形管驱振原理图

科里奥利流量计的另一种结构是在上述基础上用另一个U形管来代替T形弹簧片，如图10所示。这种方法的好处是由于两个U形管(下转第31页)

程,形成循环的逐次递增控制信号。将 $Q_1 \sim Q_8$ 分别接至LCD的驱动电路中异或门(C660,四异或门)的控制端作为控制电平。异或门的另一输入端与LCD的公共电极(BP)相连,并输入200 Hz的方波显示频率。CP为1 Hz,当 $Q_1 \sim Q_8$ 分别为“1”电平时,LCD便逐次递增显示。

(5) 东芝产LCD微型组件TLC-241及其接口电路

图11为TLC-241微型组件内部方块图。其接口电路之一如图12所示。

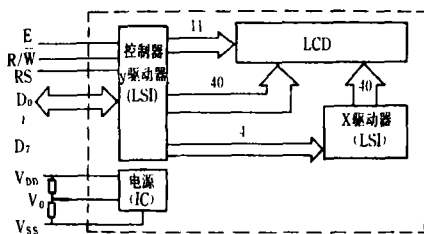


图11

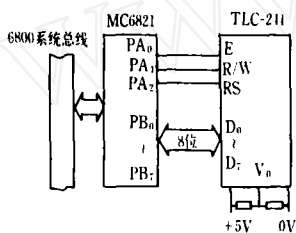


图12

TLC-241微型组件包括LCD、X、Y驱动器IC、控制器IC次级电源电路。控制器IC通常都包括字符发生器和读写存储器RAM。LCD可显示16个字(一行),每字由 5×11 个点组成。 V_0 可根据LCD的驱动电压及环境温度进行调整。有的微型组件包括了温度补偿电路而不需要外部调整。目前,国外研制出 640×200 点矩阵式LCD,可显示图形、图象,其驱动电路都是由大规模集成电路组成。

参 考 文 献

[1] 陈树民,液晶显示器件的驱动原理,电子科学技术,1981,9

- [2] 陈树民,液晶显示器件的三线多路驱动方法及电路,电测与仪表,1982,9
 [3] 陈树民,教学示范用液晶显示器件的控制和驱动电路,电世界,1985,5
 [4] 大沢与一、ドットマトリックス型LCD,电子技术,1985,5

(上接第26页)

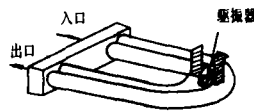


图10 双U形管组成的流量计的示意图

基本相似,固有振动频率相近,很容易起振。又由于两个U形管内的流动情况相同,而上下振动的相位相反,所以科氏力产生的扭矩也相反,整个流量计基部总是处于受力平衡状态。

这里需要指出的是,扭角 θ 的测量,除了上面介绍的光电法外,也可用电磁式或其它方法来实现。

另外,当介质流动方向相反时,科氏力及U管的扭曲也要反向,此时,积分器输出的不是正的而是负的信号电压,其它过程类推。因而,该流量计可以进行双向流量测量。

参 考 文 献

- [1] 川田裕郎、罗秦等译流量测量手册计量出版社,1982
 [2] 吴训一,自动检测技术机械工业出版社,1981年1月
 [3] Plache, K. O., Mechanical Engineering, March, 1979, p. 36~41
 [4] Tullis, J. P., NEL(Natl. Eng. Lab) Fluid Mech, Siever Judileeconf., East Kilbride, Glasgow, Scotl/Nov. 27~29, 1979, pap. 6.3
 [5] Mettlen, D., Wagen+dosieren, No.5 1983, p. 154~156

本期内容摘要

国外商用电子秤技术与国产化前景/颜重光 // 自动化仪表.—1987年,8(9).—1~4

本文综述了国外商用电子秤概况,重点以称重传感器和显示仪表为例,分析了商用电子秤国产化的有利条件和存在的问题,同时提出了国产化的设想要点。

氢氮比微机自控系统控制方案的探讨/单传海 // 自动化仪表.—1987年,8(9).—5~7

本文较全面地介绍了国内氢氮比控制系统的发展过程及其水平,对采用微机的氢氮比控制系统提出了多种控制方案并进行了分析。其中,较详细地分析了PID控制方案,提出了积分分离等方法,具有实际价值。

闭环辨识与最优整定/俞金寿 // 自动化仪表.—1987年,8(9).—8~11

本文从工程实际出发,提出一种适用于调节有纯滞后的一阶环节($\tau_0/T_0 < 0.3$)的过程的PID调节器的自整定方法,经过数字仿真,并在实验装置进行了试

验,取得令人满意的结果。

调节阀振动及其解决方法/明赐东 // 自动化仪表.—1987年,8(9).—18~20

本文分析了调节阀产生振动的原因,提出了解决和防止振动的办法。文中重点对调节阀共振振动进行了分析,并列出了消除共振的几个例子。

科里奥利质量流量计/马文驹... // 自动化仪表.—1987年,8(9).—24~26

本文介绍一种新型质量流量计的工作原理和基本的设计构思。

液晶显示器件的驱动原理及电路/陈树民 // 自动化仪表.—1987年,8(9).—27~31

液晶显示器件(LCD)以其独特的低电压、低功耗、长寿命等特点在小型电子仪器中得到广泛应用。本文对LCD显示器及其静、动态驱动电路作了较为详细的比较、研究,文末介绍了一些典型的实际驱动电路。

(上接第7页)

可得出离散化的差分算式

$$F_n = \frac{1}{1+f_2} [f_2 F_{n-1} - K(1+f_1)\Delta D_n + Kf_1 \Delta D_{n-1}]$$

式中, $f_1 = T_1/T_s$, 为调节通道相对时间常数; $f_2 = T_2/T_s$, 为干扰通道相对时间常数; $K = K_2/K_1$, 为前馈放大系数; T_s 为采样周期。

七、模糊控制

上述控制方式中有一个基本的共同特点,这就是控制器的设计都要建立在被控对象精确数学模型的基础上。

模糊数学抛开一些精确的数学模型,使数学回过头来吸取人脑识别和判决的模糊特点使之运用于计算机,使部分自然语言能够作为算法语言直接进入程序,使人能以简易的程序调动机器完成复杂的任务,而大大提高了机器的

灵活性。模糊控制理论即是在模糊数学的基础上建立起来的。如图5表明了模糊控制的原理,就是用一定手段对被控对象逐次地进行观测,每次获得观测量O(一维或多维),按一定的控制规则r对O做出响应,将得到的控制量u施于被控对象上,如此循环往复,使被控制过程符合预期要求。

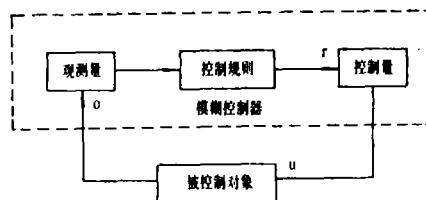


图5 模糊控制原理图

据资料介绍,河南计算中心已将模糊控制用于氢氮比自调,并取得成效。

(下转第36页)

Abstracts of Main Articles in This Issue

The Technology of Foreign Commercial Electronic Weigher and Localization Foreground of Such Products/Yan Chong-guang // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—1~4

The general survey of foreign commercial electronic weigher has been given. With weighing transducers and display instruments as examples, the prospects and related problems existed as well as the main consideration of localization are analyzed and illustrated.

An Investigation on The Control Scheme of a Microprocessor Based Automatic Hydrogen/Nitrogen Ratio Control System/Shan Chuan-hai // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—5~7

The developing stages and state-of-art of China made Hydrogen/Nitrogen ratio control systems are introduced comprehensively. In this article, various control schemes of microprocessor based Hydrogen/Nitrogen ratio control systems are suggested and analyzed, in which the PID control scheme is discussed in detail and I-PD control is proposed. This article is proved to be of practical value.

The Closed-Loop Recognition and Optimum Tuning/Yu Jin-shou // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—8~11

Based on project practice, this article shows a self-tuning method of the PID controller which

is adapted for the process with first order element ($\tau_0/T_0 < 0.3$) and dead time. Satisfactory results are obtained in digital simulation and laboratory test.

The Solution of The Control-Valve Vibration/Ming Ci-dong // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—18~20

The causes of control-valve vibration are analyzed. The solution and vibration prevention are presented. The article focuses on the analysis of the resonance of control valve. Some examples of resonance elimination are given.

The Coriolls Mass Flow Meter/Ma Wen-ju... // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—24~26

A new type mass flow meter is introduced together with its working principle and the basic design concept.

The Working Principle and Driving Circuit of Liquid Crystal Device/Chen Shu-min // Process Automation Instrumentation.—1987,8(9).—27~31

The liquid crystal device (LCD) is essential for small electronic instruments, for its unique features of low voltage, low power consumption and long-period usage. Detail investigations and comparisons on LCD's static and dynamic drive circuits have been done and some of the typical drive circuits for practical use are presented.

(上接第 44 页)

果总结,具有新颖性、先进性、科学性、实用性,受到了与会的专业委员与代表们的好评。

这次会议是专业委员会成立以来规模最大的一次盛会。代表们充分交流了学术见解,广交朋友,扩大了知识视野,对今后各自的工作具有促进作用。与会代表一致认为,今后每隔两年举行一次学术交流活动,无疑对我国的流量仪表行业是一次推动。专业委员会号召国内全体会员抓住各自优势,扬长避短,加强实验工作,为 1991 年在我国召开的 IMEKO 第三届流量学术会议作好充分准备。

这次会议还统一编印了“论文集”,分为五个专题,

共计编入 64 编论文。其中,“流量试验装置及标定方法”专题有 12 篇论文;“流量测量节流装置及转子流量计”专题有 16 篇论文;“水表、电磁、漩涡、涡轮流量计及其应用”专题有 11 篇论文;“双相流量测量及微机在流量测量中的应用”专题有 19 篇论文;“其它流量测量方法”收集了 6 篇论文。此外,会议上还补充分发了 9 篇单行本论文。会议自始至终充满了热情友好、坦诚交流的学术气氛。会议决定,今后将组织力量对论文集集中的论文进行评审,将其中质量较好的论文推荐给《自动化仪表》杂志予以刊登,发挥更大的作用。

(邵朋诚)