

气桥的检测与控制作用的理论计算

郭金基

(数学力学系)

摘 要

本文计算在负压气源条件下不同的气阻,理论的结果和实验相符,文中阐述了气桥的工作原理,并证明了气桥平衡的二个定理.通过一系列的计算数据,得出气桥不平衡时桥路输出的讯号.

流体控制系统中常利用流体阻力的特性和作用接成桥式气路(简称气桥).它具有感测、调节与控制功能,并能传输流体信号,实现流体控制的逻辑动作.

一、气桥原理与气阻特性的计算和表示法

气桥原理如图1所示,四个桥臂气阻分别以 R_1, R_3, R_2, R_4 表示.在负压气源作用下,气流从A点分两路:一路经 R_1, R_3 ;另一路经 R_2, R_4 至B点汇合通入风泵.通常用差压计检测C、D两点之间的压力差.在实践中,气阻 $R_1 \sim R_4$ 可由两个气阻串联或并联组合而成,它们可以具有各不相同的非线性性质,且与流体流动状态有关.处在较低雷诺数下的管流是层流流动,处于较高雷诺数下的管流是紊流流动,流体阻力的特性有所不同.

用于检测器件或控制元件的流体桥路的气阻,可归结为下面六类:(1)气流入口局部阻力及插板式局部阻力;(2)活栓式或针阀式可调气阻;(3)节流孔板阻力;(4)管道局部扩大或缩小引起的阻力;(5)管道的沿程阻力;(6)两平行平板间层流流阻.

气流通过桥路近似看作渐变一元流动.气流的速度较低(小于90米/秒),假设气体是不可压缩的,并因气体密度很小,忽略由质量力而产生的比位能项.于是可得到实际气体总流的贝努里方程^(1,2)式:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \alpha_0 \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \sum \zeta_i \frac{v_1^2}{2g} + \sum \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$

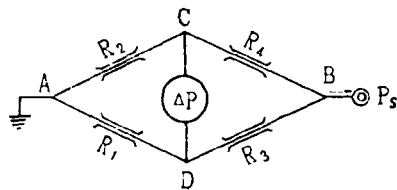


图 1

本文1983年7月收到

式中 p_0 、 p_1 、 v_0 、 v_1 分别为沿总流0—0、1—1断面上的压力、速度； γ 为气体重度； g 为重力加速度； λ_i 为沿程摩擦阻力系数； ζ_i 为局部阻力系数； d_i 为管径。 α_0 、 α_1 分别为0—0、1—1断面上动能修正系数，它们由总流断面上速度分布而定。通常不可压缩流体层流流动时 $\alpha = 2$ ；紊流时 $\alpha = 1$ 。

桥路中多半采用圆管，其雷诺数用下式表示

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2)$$

式中 ρ 为气体密度； μ 为动力粘性系数。

研究在一定流量范围内的流阻特性，当 $Re < 2320$ 时属于层流流动。如果忽略起始入口区域的能量损耗，取沿程摩擦阻力系数 $\lambda_L = 64/Re$ 代入(1)式相对应项可得 Poiseuille 定律，写成：

$$\Delta p = R_V Q_V, \quad R_V = \frac{128\mu l}{\pi d^4} \quad (3)$$

当 $Re > 4000$ 时流体充分发展成紊流状态，取沿程摩擦阻力系数 $\lambda_T = 0.3164/\sqrt[4]{Re}$ （称为布拉休斯公式）代入(1)式中相对应项可得：

$$\Delta p = R_V \cdot Q_V^{7/4}, \quad R_V = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{7/4} (0.3164l) \left(\frac{\mu \rho^3}{16D^{10}}\right)^{1/4} \quad (4)$$

式中 Q_V 表示体积流量（以下简称为 Q ）， R_V 为沿程流阻。

两平行平板的结构，负压气流在平行平板间流动，气流速度小于90米/秒，雷诺数 Re 小于2000，属不可压缩层流流动。文[3]从Navier—Stokes方程出发，用迭代逼近法求解，得：

$$\Delta p = k_1 Q + k_2 Q^2 \quad (5)$$

其中 $k_1 = \frac{6\mu}{\pi \Delta^3} \ln \frac{R_0}{R}$ ， $k_2 = 0.1928 \frac{\rho}{\pi \Delta^2} \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{R_0^2}\right)$ ， R_0 为检测平板半径； R 为考察点的

径向距离； Δ 为平板间的间距。

从式中可看出，气阻特性系数 k_1 、 k_2 与检测平板的间距 Δ 、半径 R_0 、 R 等有关。调节 Δ 可改变气阻特性的系数。

(1)至(4)类型的气阻的分析表达式，要在所有的压力和流量范围内用一个函数的形式表示是困难的。只能限制在一定的流量、压力范围内，用近似的函数式来表示。在(1)式中局部阻力系数 ζ 除与气阻结构的几何形状有关外，还与雷诺数 Re （流态）有关。相应于(1)式局部阻力部分可写成：

$$\Delta p = \beta Q^m \quad (6)$$

式中 Δp 为流经气阻前后两点的压力差； β 为气阻特性的系数， m 为气阻特性的指数。

对气阻特性的系数 β 及指数 m 的确定，首先实测通过每一个气阻的压力、流量。从大量的实验数据中，根据最小二乘法原理，运用数理统计的方法^[4]，把预测函数(6)式两边取对数，化为直线回归。由实测数据与预测值取对数之误差平方和取极小值条件，可以确定 β 、 m 值。然后计算相关系数 r 并进行相关检验。若相关系数 r 愈接近于1，化直线为曲线后，实测点愈接近按幂函数(6)式表示的曲线上。最后给定显著性水平 $\lambda = \lambda_0$ ，依

据实测点的数目减去2(记为 dF)，查相关系数 $\rho=0$ 的临界值 r_{λ} 表而得 r_{λ_0} 值；再把相关系数 r 与 r_{λ_0} 比较，判断其总体的可靠性(要求 $r>r_{\lambda_0}$)。

依据上述的方法，采用AGLOL-60及BASIC-Ⅱ语言，将实测四种气阻的压力、流量的大量数据，在DJS-21及TRS-80计算机上计算得到 β 、 m 及 r 值，列于表1。按幂函数(6)式计算的 $\Delta p-Q$ 值及实验数据表示在图2(a)-(d)上。

表1 $\Delta p = \beta Q^m$ 的 β 、 m 值及其相关检验

气阻结构	β	m	相关系数 r	理论相关 系数 $r_{0.02}^{**}$	说明
(a)*带恒节流孔($\phi 2\text{mm}$) 入口流阻	45.947	1.4633	0.9987	0.4921	*，(a)~(d)对应图2 (a)~(d) $\Delta P-Q$ 曲线。 ** 给定显著性水平 $\lambda_0 = 0.02$ ，查相关系数表而得 $r_{0.02}$ 值。易见 $r > r_{0.02}$ 。
(b)锥形针阀(锥度 8° ，阀 座 20°)可调气阻	260.88	1.16512	0.97811	0.5034	
(c)活栓可调气阻(开度 $1/2$ ， 孔径 $\phi 4\text{mm}$)	3.68547	1.98256	0.9918	0.7498	
(d)平行检测平板 $\Delta = 1\text{mm}$ 串接 中心孔 $\phi 4\text{MM}$ 入口气阻	1.10781	1.86522	0.9867	0.7498	

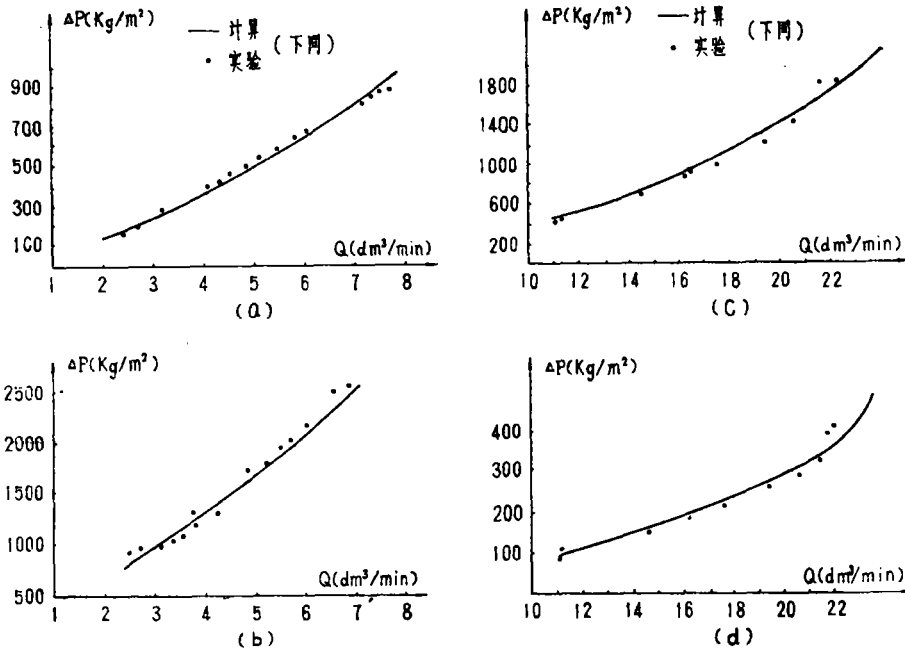


图2

以上的研究表明：(1)气阻特性的系数 β 及指数 m 与气阻的几何形状有关。即使同一类型的气阻，在一般的情况下，气阻的调节也会相应带来 β 、 m 值的改变。例如：活栓可调气阻开度 $4/5$ (孔径 $\phi 4\text{mm}$)时，按上述的方法求得 $\beta = 1.9827$ ， $m = 1.96061$ 与表1中(c)开度 $1/2$ 时不同。(2)气阻特性的系数 β 及指数 m 与气流雷诺数 Re 有关。 $Re < 2000$ 属层流

流动, 粘性力造成的能量损失起主要作用, Re 较大时属紊流流态, 惯性力造成的能量损失(旋涡、内摩擦)起主要作用。层流线性流阻(如毛细管、锥度配合针阀)时 m 选取1; 紊流流阻 m 选取为1~2, β 值亦作相应的改变。

二、气桥平衡的条件

气桥如图1所示。设 A 、 C 、 D 各点压力分别记为 p_0 、 p_C 、 p_D ; β 点连接负压气源, 压力记为 p_s 。 C 、 D 两点的差压计通常以弹性膜片来代替。设流经 ADB 回路气流的流量记为 Q_1 , 则桥臂 R_1 、 R_3 的气阻特性, 依据(6)式近似表为:

$$\Delta p_1 = p_0 - p_D = \beta_1 Q_1^{m_1} \quad (7)$$

$$\Delta p_3 = p_D - p_s = \beta_3 Q_1^{m_3} \quad (8)$$

设流经 ACB 回路气流的流量记为 Q_2 , 则桥臂 R_2 、 R_4 的气阻特性, 依据(6)式近似表为:

$$\Delta p_2 = p_0 - p_C = \beta_2 Q_2^{m_2} \quad (9)$$

$$\Delta p_4 = p_C - p_s = \beta_4 Q_2^{m_4} \quad (10)$$

现在来推导气桥平衡的条件:

定理1 (必要条件): 设气桥差压计用弹性膜片代替, 桥臂气阻特性用(7)至(10)式表示; 且桥臂指数满足

$$\frac{m_3}{m_1} = \frac{m_4}{m_2} \quad (11)$$

如果气桥处于平衡状态($p_C - p_D = 0$), 则桥臂气阻特性系数 β 满足下列条件:

$$\frac{\beta_4}{\beta_2 m_4 / m_2} = \frac{\beta_3}{\beta_1 m_3 / m_1} \quad (12)$$

证明 由(7)、(8)式可得:

$$p_D - p_s = \frac{\beta_3}{\beta_1 m_3 / m_1} (p_0 - p_D)^{m_3 / m_1} \quad (13)$$

由(9)、(10)式可得:

$$p_C - p_s = \frac{\beta_4}{\beta_2 m_4 / m_2} (p_0 - p_C)^{m_4 / m_2} \quad (14)$$

因为气桥处于平衡状态: $p_C - p_D = 0$, 将此条件代入(13)、(14)式, 并两式相除得:

$$\frac{p_D - p_s}{p_C - p_s} = \frac{\beta_3 \beta_2 m_4 / m_2}{\beta_4 \beta_1 m_3 / m_1} (p_0 - p_D) \left(\frac{m_3}{m_1} - \frac{m_4}{m_2} \right) = 1$$

利用(11)式的条件可知: $(p_0 - p_D) \left(\frac{m_3}{m_1} - \frac{m_4}{m_2} \right) = 1$, 故有:

$$\frac{\beta_3 \beta_2 m_4 / m_2}{\beta_4 \beta_1 m_3 / m_1} = 1$$

移项即得(12)式。

定理1给出气桥平衡的必要条件(12),但这条件不是充分条件,即满足此条件气桥未必平衡。

定理2(充分条件) 设气桥差压计以弹性膜片代替,桥臂气阻特性系数和指数满足下列条件:

$$\frac{m_3}{m_1} = \frac{m_4}{m_2} = 1 \quad (15)$$

$$\frac{\beta_4}{\beta_2} = \frac{\beta_3}{\beta_1} \quad (16)$$

则气桥处于平衡状态: $p_C - p_D = 0$ 。

证明 气桥C、D两端点的压力差,可由(14)式减去(13)式而得:

$$p_C - p_D = \frac{\beta_4}{\beta_2 m_4 / m_2} (p_0 - p_C)^{\frac{m_4}{m_2}} - \frac{\beta_3}{\beta_1 m_3 / m_1} (p_0 - p_D)^{\frac{m_3}{m_1}} \quad (17)$$

由(15)式代入(17)式得:

$$p_C - p_D = \frac{\beta_4}{\beta_2} (p_0 - p_C) - \frac{\beta_3}{\beta_1} (p_0 - p_D)$$

再由(16)式,可将上式化为:

$$p_C - p_D = \frac{-\beta_4}{\beta_2} (p_C - p_D)$$

移项得: $(1 + \beta_4 / \beta_2)(p_C - p_D) = 0$

由于 β_4 / β_2 是正数, $(1 + \beta_4 / \beta_2) \neq 0$ 故有

$$p_C - p_D = 0$$

得证。

显然气桥平衡时,其输出与气源压力无关。本定理给出气桥平衡的充分条件;若不满足这些条件,气桥是否平衡不能下结论。通常与定理1联系起来,并按实际情况加以考虑。

为了满足气桥平衡的条件,从气阻特性的研究中,我们把压力与流量的变化限制在较窄的范围内,把非线性流阻拟线性化处理,让其满足(15)式的条件,再适当调节 β ,让其满足(16)式;或按实际情形选择同一类型结构的气阻作为桥臂气阻;或同时调节两臂以上的气阻,改变 β 、 m 值,让气桥平衡条件近似得到满足。实践证明这些方法是行之有效的。

文[5]研究以桥式双张检测器为背景的气桥平衡条件,其结论是:“气桥的平衡与气源压力无关的条件是两臂指数比相等”(即满足(11)式条件),该文的结论值得商榷。事实上,如果桥臂同一回路选用同一类型的气阻,它们可以是线性的, $m=1$;也可以是非线性的, $m=1\sim 2$,则(11)式条件被满足。但桥臂的气阻特性的系数 β 可以选取许多不同的数值;若经过调节,难以满足(12)或(16)式条件,气桥是不平衡的。从下节的讨论中可以给出这情形下的输出值。

气桥研究的物理现象的数学描述与电桥类同相似,把文[5]的结论推广到电桥更可以看出问题。对于电桥,因为是稳恒电流,条件(11)或(15)式自然满足;但按该文的结论,难道不用调节电阻让其满足(16)式条件,电桥能够平衡?本文得到的结论完全适用于电桥的情形。

三、不平衡气桥的输出

现在讨论不平衡气桥的输出与气源压力 p_s 之间的关系。

考察气桥ADB回路(如图3(a)),两臂气阻 R_1 、 R_3 串联。串联系统中点压力 p_D 与流量 Q_1 的关系依(7)式计算。

将(7)、(8)两式相加得:

$$p_0 - p_s = \beta_1 Q_1^{m_1} + \beta_3 Q_1^{m_3} \quad (18)$$

把(7)式除以(18)式,可得串联系统中点压力 p_D 与气源压力 p_s 之间的关系:

$$p_0 - p_D = \frac{\beta_1 Q_1^{m_1}}{\beta_1 Q_1^{m_1} + \beta_3 Q_1^{m_3}} (p_0 - p_s) \quad (19)$$

考察气桥ACB回路(如图3(b)),两臂气阻 R_2 、 R_4 串联。由(9)、(10)两式相加可得:

$$p_0 - p_s = \beta_2 Q_2^{m_2} + \beta_4 Q_2^{m_4} \quad (20)$$

把(9)式除以(20)式,可得串联系统中点压力 p_C 与气源压力 p_s 之间的关系:

$$p_0 - p_C = \frac{\beta_2 Q_2^{m_2}}{\beta_2 Q_2^{m_2} + \beta_4 Q_2^{m_4}} (p_0 - p_s) \quad (21)$$

若气阻特性的指数满足(15)式的条件,即 $m_3 = m_1$ 、 $m_2 = m_4$,则

$$p_0 - p_D = \frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_3} (p_0 - p_s) \quad (19')$$

$$p_0 - p_C = \frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_4} (p_0 - p_s) \quad (21')$$

以上各式中 p_0 表示A点压力,亦即环境压力(此处为大气压)。 $p_0 - p_D$ 、 $p_0 - p_C$ 分别为 R_1 、 R_2 的压力差; $p_0 - p_s$ 为流经 $R_1 + R_3$ 或 $R_2 + R_4$ 气流的压力差。在负压气源下, $p_0 - p_C$ 、 $p_0 - p_D$ 、 $p_0 - p_s$ 分别表示C、D点及气源的真空度。(19')、(21')表示流经气阻的气流压力差之比等于气阻特性的系数之比(分压比)。

把图3(a)、(b)接成气桥(如图1)。气桥C、D两端点的输出,可由(19)式减去(21)式而得:

$$p_C - p_D = \frac{\beta_1 \beta_4 Q_1^{m_1} Q_2^{m_4} - \beta_2 \beta_3 Q_2^{m_2} Q_1^{m_3}}{(\beta_1 Q_1^{m_1} + \beta_3 Q_1^{m_3})(\beta_2 Q_2^{m_2} + \beta_4 Q_2^{m_4})} (p_0 - p_s) \quad (22)$$

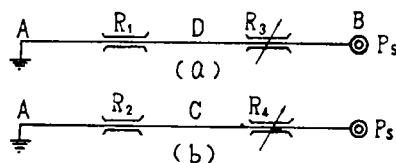


图3

若气阻特性的系数 β 及指数 m 满足(15)、(16)式的条件： $m_1 = m_3, m_2 = m_4, \beta_1\beta_4 = \beta_2\beta_3$ ，则(22)式 $p_C - p_D = 0$ ，再次证明了定理2，气桥是平衡的。

若气阻特性的指数 m 及系数 β 不满足(15)、(16)(或(11)、(12)式)条件，则气桥不平衡。表2给出印刷机上应用的气桥双张检测器： R_1 为恒节流孔、 R_3 为针伐可调气阻、 R_2 为平行检测平板、 R_4 为活栓可调气阻组成不平衡气桥的输出。从表2可看出，当气源真空度($p_0 - p_s$)从1197kg/m²变化到1487kg/m²(共变化290kg/m²)时，实测气桥的输出($p_C - p_D$)变化到47kg/m²，为($p_0 - p_s$)变化值的16.21%；而理论上气桥输出变化到44.13kg/m²，为($p_0 - p_s$)变化量的15.21%。如经过气阻调节， β 值选择更恰当时，气源压力的波动对气桥输出的影响会更小些。这是它独到的优点。

若气阻特性的指数 m 满足(15)式的条件，而气阻特性的系数 β 不满足(16)式条件，则气桥是不平衡的。依据(22)式，气桥的输出为：

$$p_C - p_D = \frac{\beta_1\beta_4 - \beta_2\beta_3}{(\beta_1 + \beta_3)(\beta_2 + \beta_4)} (p_0 - p_s) \quad (23)$$

取决于气阻特性的系数之比值。当 $\frac{\beta_1\beta_4}{\beta_2\beta_3}$ 愈接近于1时，气桥输出的信号愈小，气源压力对气桥输出的影响也愈小；反之，当 $\frac{\beta_1\beta_4}{\beta_2\beta_3}$ 与1比较偏差愈大，气桥输出的信号也愈大。

表2 不平衡气桥的输出

$(p_0 - p_s)^*$	$Q_1(\frac{dm^3}{min})$	$Q_2(\frac{dm^3}{min})$	实验 ($p_0 - p_D$)	理论** ($p_0 - p_D$)	实验 ($p_0 - p_C$)	理论** ($p_0 - p_C$)	实验 ($p_C - p_D$)	理论 ($p_C - p_D$)
1197	3.03	23.96	245	228	210	184.34	35	43.66
1257	3.19	24.48	273	243.97	219	191.65	54	52.32
1355	3.4	25.11	300	265	236	200.69	64	64.63
1487	3.77	26.16	356	303.94	274	216.15	82	87.79

[注] ● 压力(真空度) 的单位为 kg/m²。 ●● 理论计算式： $\Delta p_1 = p_0 - p_D = 53.0382Q_1$;^{1·31553}

$$\Delta p_2 = p_0 - p_C = 0.5825Q_2$$
^{1·8125}

现在研究气桥初始处于平衡状态，且 m 、 β 满足(15)、(16)式条件。在检测或控制过程中，桥臂的四个气阻特性的系数 β 产生微小的改变量时，选择什么条件能使气桥输出获得最大值？

在(23)式中，不妨令 $p_{CD} = p_C - p_D$ 。当 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 各产生一个微小改变量时，则 p_{CD} 的全微分为：

$$dp_{CD} = \frac{\partial p_{CD}}{\partial \beta_1} d\beta_1 + \frac{\partial p_{CD}}{\partial \beta_2} d\beta_2 + \frac{\partial p_{CD}}{\partial \beta_3} d\beta_3 + \frac{\partial p_{CD}}{\partial \beta_4} d\beta_4$$

依据初始平衡条件 $p_{CD} = 0$ 及设

$$x = \frac{\beta_1}{\beta_3} = \frac{\beta_2}{\beta_4} \tag{24}$$

则上式可写成:

$$dp_{CD} = \frac{x}{(1+x)^2} \left(\frac{d\beta_1}{\beta_1} - \frac{d\beta_2}{\beta_2} + \frac{d\beta_4}{\beta_4} - \frac{d\beta_3}{\beta_3} \right) (p_0 - p_s)$$

气桥的输出与 $(p_0 - p_s)$ 、 $\left(\frac{d\beta_1}{\beta_1} - \frac{d\beta_2}{\beta_2} + \frac{d\beta_4}{\beta_4} - \frac{d\beta_3}{\beta_3} \right)$ 、 $\frac{x}{(1+x)^2}$ 成正比。若前两项保持恒定, 单独讨论气桥输出与 $\frac{x}{(1+x)^2}$ 项的关系:

$$\text{令 } \frac{d(dp_{CD})}{dx} = 0, \text{ 得 } x = 1; \text{ 容易验证 } \left. \frac{d^2(dp_{CD})}{dx^2} \right|_{x=1} < 0, \text{ 故当 } x = 1 \text{ 时, } dp_{CD}$$

取最大值, 此时:

$$(dp_{CD})_{\max} = \frac{1}{4} \left(\frac{d\beta_1}{\beta_1} - \frac{d\beta_2}{\beta_2} + \frac{d\beta_4}{\beta_4} - \frac{d\beta_3}{\beta_3} \right) (p_0 - p_s)$$

故为了获得气桥最大的输出, 我们选取 $x = 1$, 即 $\beta_1 = \beta_3$ 、 $\beta_2 = \beta_4$ 的条件。如果忽略高阶小量的影响, 用差分代替微分, 则上式可写成:

$$\Delta p_{CD} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta\beta_1}{\beta_1} - \frac{\Delta\beta_2}{\beta_2} + \frac{\Delta\beta_4}{\beta_4} - \frac{\Delta\beta_3}{\beta_3} \right) (p_0 - p_s) \tag{25}$$

以上的结果已在气动逻辑元件及气桥检测装置中得到应用。

四、气桥的检测与控制作用举例

气桥检测是利用工件的厚薄、形状的大小等物理量变化, 造成气桥测量气阻的改变来表示物理量的变化大小。

例 气桥双张检测器*由^[1]流控检测平板、负压流控元件、气阻(可调)及膜式气—电转换器等构成, 如图4所示。两检测平板间及入口流阻由 R'_{2A} 、 R''_{2A} 并联构成气桥一臂的气阻 R_2 ; 负压元件C点接入气—电转换器下方盲室, 其气阻 R 只传递压力, 元件另一端通过可调气阻 R_4 接入负压气源。气—电转换器的膜片上方气室由恒节流孔 R_1 (通大气), 再经可调气阻 R_3 接入负压气源。若以气—电转换器的弹性膜片看作差压计, 则其等效的气桥检测气路如图5所示。本文的接法与文[5]接成两边通室的略有不同。

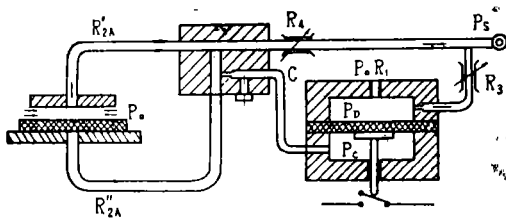


图4

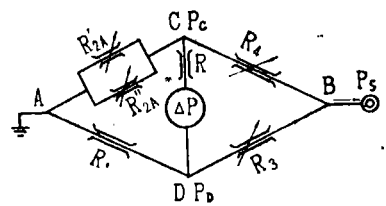


图5

当印刷机正常工作时, 要求气桥处于平衡。这时经过气阻 R_3 或 R_4 的调节, 让其满足

*1975年9月制成, 在广州红旗印刷厂等单位使用, 当时称为“负压气源反馈式双张检测器”

(15)、(16)式的条件。表3给出气桥双张检测器气阻特性及信号输出的情况。表中第一行表示气桥平衡(单张)时的信号输出。当双张出现时,随检测板间距 Δ 的改变以及纸张封住检测孔的程度不同,使局部阻力明显增加,气桥失去平衡,C点的真空度大为提高。表3中第二、三行表示双张信号输出的情况。气阻特性系数 β_2 从0.711变化到4.556,甚至变到250.16,局部阻力的改变是气桥发讯的主要原因,与负压流控元件^[1]发讯原理相同。

表3 气桥双张检测器的气阻特性与信号输出

工况	$P_0 - P_S$ (kg/m ²)	Q_1 (dm ³ /min)	Q_2 (dm ³ /min)	$P_0 - P_C$ (kg/m ²)	$P_0 - P_D$ (kg/m ²)	$P_C - P_D^*$ (kg/m ²)	β_1	β_2	β_3	β_4
单张	960.5	2.2	15.17	133	133	0	45.92	0.711	285.7	4.42
双张	1473.68	2.67	13.65	546	163	383	43.34	4.556	348.51	6.08
双张	3723.68	3.66	4.08	3289.47	260	3029.47	42.94	250.16	572.04	29.03

备注 *单张时气桥平衡, $m_1 \approx m_3 = 1.3488$ $m_2 \approx m_4 = 1.9238$, 双张时 $m_1 \sim m_4$ 有所改变。

气桥双张检测器是在检测平板周围存在许多纸毛与尘埃,气源压力 p_s 不能保持恒定等恶劣条件下工作的;而桥臂气阻多半是非线性流阻。由于气阻选择不恰当,有时会造成气桥平衡调节的困难,此时只能让气桥在不平衡状态下工作。

气桥的控制作用是指由传感器或发讯装置使桥臂气阻产生变化,造成气桥不平衡,输出流体信号,以实现流体控制的逻辑动作。例如气动负压膜式“双稳”、“非门”逻辑元件就是利用气桥原理实现逻辑动作的。

“双稳”元件类似于图4、图5中 R_1 、 R_3 半边结构,左右对称组合而成。桥臂气阻相对称,其不平衡的输出仿照上述计算而得。当气源真空度($p_0 - p_s$)在 $800\text{kg/m}^2 \sim 1200\text{kg/m}^2$ 时,信号输出在 $320\text{kg/m}^2 \sim 480\text{kg/m}^2$ 以上,切换时间20ms。非门桥臂气阻为非对称结构,气桥不平衡处于偏置式工作状态,当气源条件与双稳相同时,信号输出在 $350 \sim 550\text{kg/m}^2$ 以上,切换时间20ms。“非门”“双稳”等元件已在化工、印刷、食品等真空控制技术中得到应用。

气桥检测已在气动技术中广泛地应用。当检测对象物理量变化十分微小时,测量得到的气阻变化也很微小。为了提高气桥的信号输出和检测精度,按气阻实际结构可采用半桥式或全桥式接法。这时气桥的输出可按(25)式计算。

本文对气桥的讨论完全适用于正压气源的情形。

参 考 文 献

- 〔1〕 中山大学数力系射流组、广州红旗印刷厂, 负压流控元件及其在印刷机上的应用, 上海印刷技术动态, 1975, 2.
- 〔2〕 张也影等, 水力学与水力机械, 人民教育出版社, 1961年版.
- 〔3〕 郭金基, 中山大学学报(自然科学版), 1979, 2.
- 〔4〕 中国科学院数学研究所数理统计组, 回归分析方法, 科学出版社, 1974年版.
- 〔5〕 蔡敏学, 恶劣条件下的气桥检测, 仪器仪表学报, 1980, 4.

Theoretical Computation of Controlling and Measuring Function of the Pneumatic Bridge

Guo Jinji

Abstract

The author calculates different air resistance while under a supply negative pressure, and a good agreement is obtained between theoretical and experimental results. The working principle of the pneumatic bridge has been described and two theorems for the equilibrium of the pneumatic bridge have been proved. Through a series of computing data, the paper describe the signals given out by the bridge road while the pneumatic bridge is out of balance. The paper also points out how to apply research to the manufacturing of sensors and controlling units. Finally, its application examples are illustrated.