

能源计量与气动仪表维修

魏吉声 主编



科学技术文献出版社

内 容 简 介

本书主要以上海自动化仪表一厂生产的气动单元组合仪表为主,收集了有关能源计量的电动单元组合仪表的资料,结合作者多年的工作经验和体会编写而成。

该书内容丰富、实例甚多,特别是对仪表的结构原理、装配调校、故障排除、使用维护等内容结合理论分析进行了详细介绍,并对水、电、煤、气、油流量计量系统作了详细介绍。如对节流装置的选择、计算和安装,计量系统的调试和投运,均进行了实质性的分析。因此,该书具有很好的实用性。

本书共分五篇,主要包括:基础知识及弹性元件的特性分析;变送器及其应用;气动调节单元;流体计量装置;电动检测仪表及开方积算器;记录仪以及辅助单元等。根据节能工作和能源计量的需要,又介绍了孔板的计算实例;电动 II 型和 III 型变送器及系统的具体接线调试。本书主要供从事自动化仪表的制造、使用、维护和检定的广大工人阅读。还可供节能工作人员在流量计量中使用。也可供自动化仪表的设计工艺人员参考,更适用于工人技术培训和考核的教材。

能源计量与气动仪表维修

魏吉声 主编

科学技术文献出版社出版

上海市中德印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

287×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 505 千字

1989年4月北京第一版第一次印刷

印数: 1—10,100册

ISBN 7-5923-0814-8/TH·3

定价: 7.20 元

8



前 言

近年来,随着国民经济的发展和对外政策的开放,仪器仪表越来越广泛地被应用于石油、化工、冶金、电站、纺织、食品等工业中。使用仪器仪表的工人占全厂职工的比例日益增大,仪器仪表技术水平的提高对各企业的仪表工人提出了新的挑战,要求仪表工人掌握更多的知识,否则就难以正确使用仪器仪表。因此,各企业必须对仪表工人进行技术培训和考核,以提高工人的技术素质。但是,在实现这一工作中,以及仪表工人在调试工作中,都需要仪器仪表调校资料;使用单位的操作者需要维护修理手册;举办仪器仪表技术培训时需要教材;进行技术等级考核时需要仪器仪表的资料。为了满足上述各方面的需要,上海自动化仪表一厂组织编写了本丛书。

本丛书将以气动单元组合仪表、电动单元组合仪表、组件组装仪表、智能化仪表、微机系统为主,并考虑全国各有关仪表厂的产品等内容而组成。各分册将分期分批出版。本丛书宗旨是为广大的仪表工人和仪表操作者,以及从事节能工作和能源计量工作的同志服务,使得仪器仪表工人能全面掌握仪器仪表的知识,并对仪器仪表进行正确的操作。本丛书内容着重基本概念和表物理意义的介绍。避免繁琐数学公式的推导,重点放在调校和维修。对于仪表故障和不正确的调校,指出其错误原因并用理论和试验数据加以证实。在此基础上制定的调校工艺和操作规程才有生命力,才可能上升为工艺理论的依据。本丛书的作者一方面具有一定的理论知识,另一方面具有多年的设计调校的实际经验。只有这样才能完成本书的宗旨。该丛书的出版将对我国仪器仪表工艺理论的完善作出一定的贡献。

本分册为《能源计量与气动仪表维修》,参加本书编写工作的有魏吉声、章荣叶、范培源、赵永梁、魏恩国、彭国镇、杨庭范、卫乾亮、范富麟、姚维时、谢诚溪同志。

在编写过程中,上海自动化仪表一厂有关部门、重庆工业自动化仪表研究所、上海工业自动化仪表研究所、上海机械学院、北京化工学院、华东化工学院等有关单位的同志给我们提供了有关资料并提出了宝贵意见。在此表示深切的感谢。

由于我们水平有限,书中一定有不足之处,也可能有错误。希望广大读者给以批评指正。

编 者

1988年6月于上海

目 录

第一篇 气动仪表的基础知识

第一章 气动仪表的基本元件与机构	(1)
第一节 节流元件	(1)
第二节 弹性元件	(8)
第三节 连杆机构	(24)
第四节 流体力学的基础知识	(30)

第二篇 变送器及其应用

第一章 气动差压变送器	(37)
第一节 型号及分类	(37)
第二节 结构和原理	(38)
第三节 转换部分的受力分析	(38)
第四节 测量部分的特性分析	(42)
第五节 差压变送器的受力分析	(46)
第六节 几个主要性能的分析	(51)
第七节 装配和调校	(58)
第八节 使用和维修	(60)
第二章 气动压力变送器	(63)
第一节 型号和规格	(64)
第二节 工作原理和受力分析	(65)
第三节 调校	(72)
第四节 安装与使用	(74)
第三章 液位测量	(75)
第一节 开口容器液位的测量	(75)
第二节 密闭容器液位的测量	(81)
第三节 粘稠介质液位的测量	(85)
第四节 吹气法测量液位	(87)
第五节 分界面液位的测量	(89)
第四章 流量测量	(91)
第一节 用差压变送器测量流量	(91)
第二节 靶式流量变送器	(94)

第三篇 气动调节单元

第一章 气动比例积分和气动比例积分微分调节器	(103)
第一节 概述	(103)
第二节 调节器调节特性	(103)
第三节 调节器主要元件和部件	(109)
第四节 调节器的结构原理	(115)
第五节 比例积分调节器的拆装	(121)
第六节 调节器调校方法	(125)

第四篇 气动显示仪表

第一章 记录仪与记录调节仪	(146)
第一节 型号命名及主要技术参数	(146)
第二节 动作原理、结构和拆装	(147)
第三节 仪表的初校	(171)
第四节 仪表的总校	(175)
第五节 仪表在使用中可能出现的故障	(185)
第六节 附件	(186)
第二章 QFB 型气动遥控板	(188)
第一节 概述	(188)
第二节 结构与作用原理	(191)
第三节 指示仪的装配调校及故障排除	(194)
第四节 QGD 型定值器的调校及故障排除	(202)
第三章 QXZ 型色带、条形指示仪	(205)
第一节 概述	(205)
第二节 仪表结构与作用原理	(205)
第三节 仪表装校与维护修理	(207)

第五篇 流体计量

第一章 节流装置	(213)
第一节 节流装置的作用原理	(213)
第二节 结构和取压方式	(216)
第三节 参数的确定	(218)
第四节 计算举例	(220)
第五节 安装与维护	(232)
第二章 计量检测仪表	(233)

第一节	电动 II 型差压(压力)变送器	(233)
第二节	矢量式电动差压(压力)变送器	(257)
第三节	电容式变送器	(271)
第三章	计量积算记录仪表	(285)
第一节	DXS-202 开方积算器	(285)
第二节	DXS-302 流量积算器	(290)
第三节	DXS-2100 开方积算器	(296)
第四节	XWG-100 型中型圆图自动平衡记录仪	(299)
第五节	XWJL-100 单针指示记录仪	(303)
第四章	计量系统的举例	(308)
第一节	煤气计量系统	(308)
第二节	蒸气计量系统	(320)

第一篇 气动仪表的基础知识

第一章 气动仪表的基本元件与机构

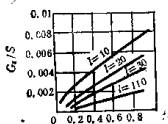
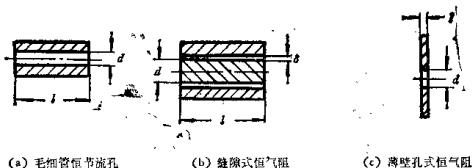
第一节 节流元件

在气动仪表的各种机构中,气阻是最基本的元件。它如同电子线路中的电阻,起着降低压力、改变气体流量的作用。它和气体的流动状态有关,即层流状态和紊流状态。当处于层流状态时,是线性气阻;处于紊流状态时,是非线性气阻。

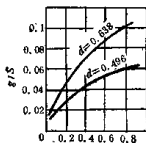
一、气阻及分类

1. 线性气阻

最经常使用的是毛细管式恒气阻,如图 1-1-1 所示。



$\Delta P \times 100 \text{ kPa}$
毛细管和缝隙式特性



$\Delta P \times 100 \text{ kPa}$
薄壁式孔特性

图 1-1-1

毛细管的长度远大于毛细管的孔径,如果忽略沿毛细管长度产生压力变化而使密度产生变化,其气阻值可以写为

$$R = \frac{128 \mu l}{\pi d^4} \quad (\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{cm}^5)$$

式中 μ ——工作状态下空气的动力粘度系数 ($\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$);

d ——毛细管的内径 (cm);

l ——毛细管的长度 (cm)。

由于空气的动力粘度系数和温度有关,所以温度也和气阻有关。

2. 非线性气阻

在实际使用中大多数是紊流状态,气阻产生的压力降主要是由于流束的压缩或膨胀产生的。

假定流动过程中处于等温过程,而且重度在流动过程中是不变化的。则流量方程为

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\rho}(p_1 - p_2)} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

式中 Q ——流体的体积流量 (cm^3/s);

A ——气阻的流通截面 (cm^2);

α ——流量系数(它和气阻的结构有关,还与流动状态有关,在流体的标定中来确定);

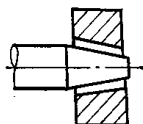
g ——重力加速度 ($g = 981 \text{ cm/s}^2$);

ρ ——流体的重度 (kg/cm^3);

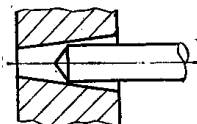
p_1, p_2 ——节流孔前后的绝对压力 (kgf/cm^2)。

3. 气阻的类型

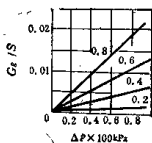
气阻以其作用可分为恒气阻(如毛细管式气阻和可调气阻。可调气阻种类很多(见图 1-1-2),它可以分为以下几种型式。



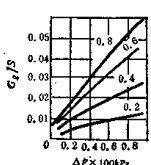
圆锥-圆柱



圆柱-圆锥



圆锥-圆锥特性



圆柱-圆柱特性

图 1-1-2

(1) 圆锥-圆柱型: 阀杆是圆锥形状, 阀座是圆柱形。它的特点是工艺性好, 但关闭特性较差。

(2) 圆锥-圆锥型: 阀杆是圆锥型, 阀座也是圆锥型。它的特点是关闭特性好。线性特性

较好,但工艺上制造困难。尽管如此,在要求有较大的调节范围时,仍采用这种结构型式。

(3) 圆锥-圆球型: 该种结构具有良好的开闭特性,且工艺简单,调试方便。不足之处是调节范围较小。

(4) 平面圆盘型: 在圆平面上有一个沟槽,平板在平面上可以自由转动。该结构具有较大的线性特性,结构紧凑,工艺性较强,如图 1-1-3。

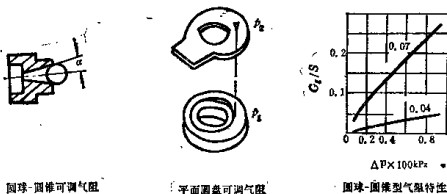


图 1-1-3

恒气阻除了毛细管式之外,还有以下两种型式:

(1) 薄壁式恒气阻: 它是紊流流动状态,在一个 0.5 mm 的薄金属板上,打一个 0.2 mm 的小孔。这种结构的特点是阻力恒定,不易沾污,不易堵塞。目前英国肯特公司均采用该种恒气阻。

(2) 玻璃恒气阻: 是上海自动化仪表一厂专用的恒气阻,其结构是用玻璃棒中间拉出 0.2 mm 的长孔,之后再切断为 2~3 mm 一段。经测定它的流动状态为紊流状态。其特点是抗污染能力强,不易堵塞,对气动仪表的稳定性和可靠性有很大的作用;另外,成本低,使用方便。该种气阻是非线性气阻,在理论上可这样分析:

流体流过恒气阻前后的压力差为高度和重度的乘积,即

$$H = \frac{\Delta p}{\rho}$$

式中 Δp ——节流前后的压力差;

ρ ——流体的重度;

H ——静水头的高度。

而

$$\omega = \frac{Q}{A}$$

其中 ω ——流体的流动流速;

A ——节流件的流通截面。

因为

$$\omega^2 = 2gHk = 2gk \frac{\Delta p}{\rho}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2gk}{\rho} \Delta p}$$

$$Q = A \sqrt{\frac{2gk}{\rho} \Delta p} \quad (\text{令 } \alpha = \sqrt{k})$$

所以

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\rho} \Delta p}$$

由上式可见,非线性气阻流量是和压差的方根值成比例的。它比线性气阻稳定,因此,在气动仪表中得到了广泛的应用。

二、气容

1. 气容定义

凡是在气路中能贮存或放出气体的容室都叫气容。

定量表示为: 每升高单位压力时,在这段压力变化的时间内,所需变化气体体积流量的总和。用下式表示:

$$C = \frac{\int_0^t Q dt}{dp}$$

式中 C ——气容;

dp ——单位压力;

Q ——气体流量;

dt ——单位时间;

t ——压力变化时间。

2. 气容的种类

气容以其功能来分可分为两大类:

(1) 刚性气容——压力变化时,容积不变(图 1-1-4 a)。

(2) 弹性气容——压力变化时,容积随着压力而变化(图 1-1-4 b)。

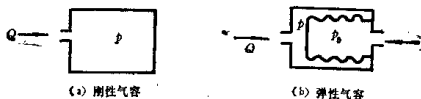


图 1-1-4 气容

以上两类气容的特点是,刚性气容仅仅和容积大小有关,它和压力变化无关,因为压力变化不会改变刚性气容的容积;弹性气容不仅和它的气室初始容积有关,而且和压力变化时引起的容积变化有关。这就是刚性气容和弹性气容的区别。

上边介绍了气阻元件和气容元件,如果两者组合起来,就形成了下面将要介绍的节流盲室和节流通室。

三、节流盲室和节流通室

节流盲室和节流通室都是阻容耦合元件。

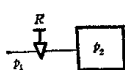
1. 节流盲室

由一个节流元件(气阻)串联一个不通大气的气容即组成了节流盲室,如图 1-1-5 所示。

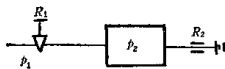
假设气阻为线性,其值为 R , 阀前压力为 p_1 , 盲室中的压力为 p_2 。则阀前后的压降为

$$p_1 - p_2 = QR$$

式中, Q 为流过气阻的流量。



(a) 节流盲室



(b) 节流通室

图 1-1-5 阻容耦合元件

将 $C = \frac{\int_0^t Q dt}{dp_2}$ 的等式两边变换后得:

$$\frac{C}{dt} = \frac{Q}{dp_2}$$

$$Q = \frac{C dp_2}{dt}$$

则有

$$Q = \frac{C dp_2}{dt} = \frac{p_1 - p_2}{R}$$

$$RC \frac{dp_2}{dt} = p_1 - p_2$$

$$\tau \frac{dp_2}{dt} + p_2 = p_1$$

式中, $\tau = RC$ (τ 为时间常数)。

解上式一阶常微分方程得:

$$p_2 = p_1(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

其中:

$$\tau = \frac{Vr}{\rho RT}$$

式中 p_2 ——气容中压力;

p_1 ——阀前压力;

t ——时间;

τ ——时间常数;

e ——自然对数的底 ($e \approx 2.7$);

V ——气容的容积;

R ——气体常数;

r ——气阻;

T ——绝对温度;

ρ ——气体密度。

上式的物理意义为:

① 如果 $p_1 > p_2$, 盲室是一个充气过程, 容室中的压力 p_2 随着时间的增加而增加, 其变化规律是按着指数曲线增加的, 开始增加的快, 以后明显地慢下来, 经过很长一段时间后, 则等于阀前压力 p_1 。

② 时间常数 τ 是气阻 R 和气容的乘积。又可转化为与结构有关的量, 它和气容的容积,

气阻成正比;与温度和气体密度成反比。

③ 当 $t = \tau$ 时,则有

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \\ &= p_1(1 - e^{-1}) \\ &= p_1\left(1 - \frac{1}{2.718}\right) \\ &= 0.632 p_1 \end{aligned}$$

当气容的压力值达到阀前压力的 63.2% 时,这个时间就是时间常数。这就是我们测定时间常数的依据。测定时间常数的方法是:气容压力为零时开始计时,盲室压力逐步增加,当 p_2 压力值达到 p_1 的 63.2% 时,停止计时,此时间就是节流盲室的时间常数。

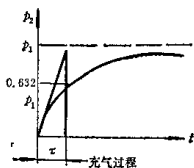


图 1-1-6 时间常数

如果气容的容积大,则充气时间长;如果阀的气阻大,则充气时间也长(参见图 1-1-6)。

2. 节流通室

由两个气阻和一个节流通室组成的环节,如图 1-1-7 所示。

同样,流过气阻 r_1 的流量为 $\frac{p_1 - p_2}{r_1}$, 流过 r_2 气阻的流量为

$$Q = \frac{p_2 - 0}{r_2}$$

由于流过两个气阻的流量是相等的,则有

$$\frac{p_1 - p_2}{r_1} = \frac{p_2 - 0}{r_2}$$

$$p_1 r_1 = r_2(p_1 - p_2)$$

$$p_2(r_1 + r_2) = r_2 p_1$$

$$p_2 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} p_1$$

$$K = \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

$$p_2 = K p_1$$

通过上述推导可以得到如下结论:

① 当阀前压力 p_1 保持某一恒定值时, r_2 气阻为恒定气阻,改变 r_1 可变气阻,可以任意分配 p_2 为 p_1 值的某一部分,也就是说可以确定一个分压比。这就说明,节流通室是一个分压器原理。

② 当可调气阻全开时, $r_1 = 0$, 则

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{r_2}{r_1 + r_2} p_1 \\ &= \frac{r_2}{r_2} p_1 = p_1 \end{aligned}$$

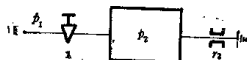


图 1-1-7 节流通室原理图

可调气阻全开,流体直接充入通室,使两者相等,这也是通室可能达到的最大压力值。

③ 当可调气阻全关时, $r_1 = \infty$, 则

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot p_1 \\ &= \frac{r_2}{\infty + r_2} p_1 \\ &= 0 p_1 = 0 \end{aligned}$$

可调气阻全关,节流通室的气容把流体放入大气,经过气阻 r_2 ,最后直到压力为零。

节流通室和节流盲室在气动仪表中得到了广泛地应用,是分析喷嘴特性、放大器特性和调节器作用原理的一个有用的工具。同时,还可以用这一原理来校验变送器仪表。

四、喷嘴挡板机构

喷嘴挡板机构如图 1-1-8 所示。140 kPa 的气源压力 p^* 经恒节流孔进入背压室,再经过喷嘴 d 流到大气中去。如果挡板和喷嘴是闭合状态即 $\Delta h = 0$ (这种关闭自然不是绝对密封的),假如我们设定它是完全关闭,一点也不漏气。它就如同一个节流盲室,根据节流盲室的特性,背压室的压力应接近气源压力,或达到气源压力。处于特性曲线 1 状态。

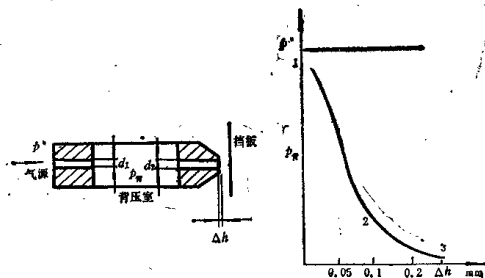


图 1-1-8 喷嘴挡板机构

p^* —气源压力 140 kPa; p_R —背压; d_1 —恒节流孔直径 (0.18 mm);
 d_2 —喷嘴直径 (1~0.8 mm); Δh —喷嘴挡板的位移 (0~0.25 mm)

如果挡板离开喷嘴,则成为节流通室,我们可以认为气源压力为阀前压力,而背压室则成为通室,挡板和喷嘴之间的气阻则成为可变气阻。调节可变气阻,可以按分压器原理实现各种少于气源压力的压力值,而且在 1~2 中可以有一段是线性段。

挡板的位移达到某一特定值之后,背压的压力值则下降减慢,甚至于挡板位移再增大,压力值也不降为零。这表明喷嘴本身有一定的节流作用。这段特性体现在曲线的 2~3 段。

根据喷嘴挡板的特性,我们必须在金属加工工艺和装配工艺上保证如下几点:

1. 喷嘴和挡板必须有良好的关闭状态。首先喷嘴必须实现这样的加工工艺,即喷嘴端面的粗糙度 R_a 应在 $1.6 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 之间 (光洁度 $\nabla_6 \sim \nabla_7$); 端面对孔的垂直度应尽量小; 喷嘴的外形要尽量减少气流的反冲。而挡板的粗糙度 R_a 应为 $0.2 \mu\text{m}(\nabla_7)$ 以上; 平直度、弹性均不可忽视。在装配工艺上,应采用专用的校验设备,通常是在气源为 140 kPa 时,检查挡板的关闭状态,在挡板全关时,背压室的压力应接近气源压力。如果达不到,则应用钳子对挡板的支撑点进行整形,以使挡板平面和喷嘴平面平行,直到达到指标为止。然而,在关闭时,不允许挡板对喷嘴有过大的压紧力。过大的压紧力会产生漂移,实践证明,气动变送器挡板在压紧力过大时,静压试验中会出现漂移现象。另外,压紧力过大则使挡板产生应力,该应力长时间存在会因此而产生零漂。为此,在挡板关闭指标完成后,应以 10 g 重物压挡板,背压应能下降在 20 kPa 以下,这样才认为喷嘴挡板已调试完毕。这以后再进行稳定处理。因为在整形中挡板有应力,为此把喷嘴挡板机构放在 80°C 的烘箱中加热 36 h , 自然冷却之后,重新检验上述指标,合格后才能认定是符合工艺要求的喷嘴挡板机构。

上述工艺是十分重要的。如果挡板关闭状态不佳,在其工作时,它的关闭时的压力 1 点则是一个不稳定工作点,这点或上或下,因此而使特性曲线移动,工作点则必然移动,因此造成漂移。

2. 曲线 $1 \sim 2$ 点的斜率与两个因素有关,它决定于喷嘴的直径和恒节流孔的直径。喷嘴的直径一般在 $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$ 之间。直径过小,产生的剩余压力就大,而且工作范围过大而影响特性曲线的形状;喷嘴直径过大,则在有振动的条件下工作点会移动,造成仪表不稳定。恒节流孔直径总要比喷嘴直径小,一般在 $0.12 \sim 0.25 \text{ mm}$ 之间。在确保上述参数的条件之下,对于力平衡的气动仪表,其喷嘴和挡板的位移量是很小的。通常是 $0.002 \sim 0.08 \text{ mm}$ 之间。本厂喷嘴挡板的位移量最大不超过 0.02 mm , 这是实测数据。斜率就是压力放大倍数,喷嘴直径愈大,恒节流孔直径愈小,压力放大倍数愈大。

3. 喷嘴和挡板如果有油或脏物,首先是破坏了它的平衡状态,其次是改变了喷嘴和恒节流孔的气阻。根据喷嘴挡板特性,在有油的情况下,则改变了特性曲线的形状,因此造成气动仪表零位的漂移。为克服这一现象,必须保证气源的清洁,除油除水过滤灰尘。其次是对气动节流件进行必要的维护,具体的方法是用吸墨纸或厚纸在喷嘴和挡板之间轻轻地移动,把挡板上和喷嘴端面上的脏物去掉。如果油量过大,严重的则要拆下零件用酒精清洗,干燥后再装入原来的位置。

4. 喷嘴挡板仅能实现压力放大作用,它不能完成功率放大的功能。如果没有功率放大器,而仅有喷嘴挡板机构,在挡板和喷嘴产生位移,背压室的压力由于负荷的气容大,而要气源通过恒节流孔一点一点的来充气。根据节流盲室的特性,则必然要相当长的时间,这种时间常数在自动控制中是不会接受的。为此,在压力放大之后,必须有一个功率放大器,即气动功率放大器。

第二节 弹性元件

一、基本概念

1. 力一位移特性

力一位移特性是弹性元件的最基本的特性。无论是弹簧,还是膜片,只有使用这一概念才

能设计它,使用它。而且在这基础之上方能引入其他概念。这一特性的参数是力刚度。即

$$F = Kx$$

式中 F ——力;

x ——位移。

力刚度——弹性元件产生单位位移时所需的力。我们举一个例子:一根圆柱型弹簧,在没有受力时是自由长度,当一端固定而另一端受力,则增长了10 mm,即由于受了10 kgf的力后弹性元件产生了位移。根据定义,如弹簧产生1 mm位移时需多大的力。则力刚度为

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{10 \text{ kgf}}{10 \text{ mm}} = 1 \text{ kgf/mm}$$

K 就是力刚度,如图 1-1-9。

对于金属膜片和波纹管也是用力刚度这一概念来衡量。例如气动低差压变送器中的膜盒,在其中心加入重物同时测量其位移,得到力—位移特性曲线如图 1-1-10 所示。

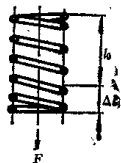
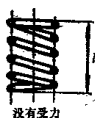


图 1-1-9

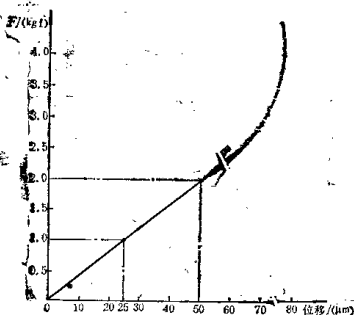


图 1-1-10 膜盒的力—位移特性曲线

从图中曲线可以看出,位移在 0.6 mm 之内,力刚度是恒定的。位移 0.25 mm 时需 1 kgf 力,位移为 0.5 mm 时需 2 kgf 力。它的力刚度 $K = 1 \text{ kgf}/0.25 \text{ mm} = 4 \text{ kgf/mm}$ 。随着位移的逐渐增大,力刚度则不是一个固定的线性值,而是变大了。如图中虚线所示部分。

力—位移特性对于研究弹性元件的非线性、滞后、变差、热处理状态、残余变形等,都是必不可少的。

2. 压力—位移特性

压力—位移特性是压力、差压、真空、负压等弹性元件的特性之一。这一特性是以压力刚度来衡量的。

压力刚度——弹性元件产生单位位移时所需的压力。它的数学表达式是：

$$p = C_p x$$

式中 p ——弹性元件承受的压力 (kPa);

x ——弹性元件产生的位移 (mm);

C_p ——压力刚度 (kPa/mm)。

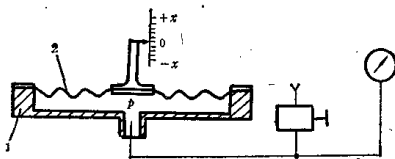


图 1-1-11

压力刚度是通过压力—位移特性曲线得到的。特性曲线是在实验中测定的。例如，测定膜片的压力刚度，首先按图来安装膜片(图 1-1-11)。在一个基座 1 上精确地固定金属膜片 2，在膜片的硬基上设置一个标志针，用光学测高仪可以在垂直方向精确测量膜片的位移量 x 值。在基座下面安装接头，使气动定值器的压力可以通入，其压力值用精密压力表或数字压力计来测量。以压力值为自变量，分别测定位移量，得到压力位移特性曲线，如图 (1-1-12) 所示。

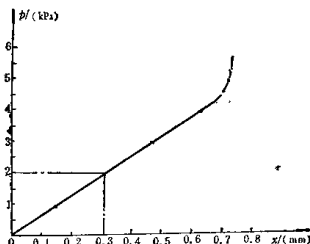


图 1-1-12 低差压膜盒压力位移特性曲线

从图中特性曲线可以看出，在膜片位移超过 0.6 mm 时，已经明显出现压力刚度变化。压力为 2 kPa 时，位移量为 0.31 mm，故

$$C_p = p/x = \frac{2 \text{ kPa}}{0.31 \text{ mm}} = 6.45 \text{ kPa/mm}$$

膜片的压力刚度在位移为 0.31 mm 时为 6.45 kPa/mm。这个压力刚度的数值表达了弹性元件的特性，运用它可以分析膜片材料的热处理、特性的重复性等等。

3. 压力—力特性

力平衡仪表对弹性元件的压力—力特性的要求特别高,这一特性是前边两个特性的综合,因此对于位移平衡的仪表,弹性元件也应用它来分析元件特性。

有效面积——弹性元件在位移很小的情况下,力刚度和压力刚度的比值。有效面积以 A 来表示,单位采用 cm^2 。

$$\lambda = \frac{K}{C_p}$$

因为

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta l}; \quad C_p = \frac{\Delta p}{\Delta l}$$

所以

$$A = \frac{\Delta F}{\Delta l} \frac{\Delta l}{\Delta p} = \frac{\Delta F}{\Delta p}$$

当位移很小时,理想的有效面积值应该保持某一恒定值。但是实际膜片的压力—力特性在力或者压力超过某一值时,有效面积值则明显下降。有效面积的测定方法和压力刚度的测定方法相似,设备也相同,只是需要增加一个重量的架子。首先,膜片处于自由状态,用仪器测定其位移为零时的刻度;然后,在膜片上加固定重量,膜片在重量作用下向下产生位移;最后在膜片下方加入压力,在压力作用下,膜片向上移动,直到膜片仍然回到原来的位置。这样就得到一组 ΔF 和 Δp 的数据。多次重复上述过程,则可以得到在不同力或压力时的有效面积。以 FOXBORO 公司的 d/p 型中差压膜盒有效面积为例,如图 1-1-13 所示。

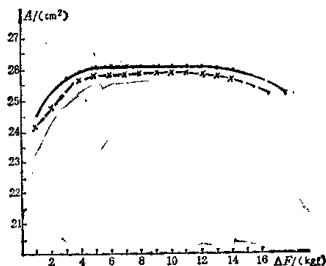


图 1-1-13 压力—力特性曲线

在特性曲线中,力较小时,测试方法误差较大;当在 4 kgf 以后则准确。在受力大于 14 kgf,有效面积值则有所下降。实线表示膜盒在自由状态时的有效面积,虚线表示硬芯向上移动 0.2 mm 时的有效面积。上述方法在检验膜盒质量和分析仪表特性时,是经常使用的。

二、圆柱弹簧的力刚度

1. 圆柱弹簧的种类和结构

圆柱弹簧以受力方式可以分为拉伸弹簧和压缩弹簧。拉伸弹簧有两种结构形式。一种是