25

现代化工检测及过程控制

主　编　向德明　姚　杰
副主编　张光林　刘利国　张兴奎　杨亭阁
主　审　唐伦成

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代化工检测及过程控制/向德明,姚杰主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.3
ISBN 7-81073-270-6

Ⅰ.现... Ⅱ.①向...②姚... Ⅲ.①化学工业-检测②化工过程-过程控制 Ⅳ.TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 010696 号

内 容 简 介

本书共分 10 章:第 1 至第 6 章属于化工参数检测部分,它包括压力测量及变送,物位测量及变送,流量测量及变送,温度测量及变送,在线分析,显示仪表。第 7 章至第 10 章属于化工自动化部分。它包括化工过程自动控制、执行器,可编程控制器、参数型控制系统。

本书可作为高等工科学校化工专业、环境工程专业、电化学专业本科教材,同时也可供从事化工专业工程技术人员参考。

哈 尔 滨 工 程 大 学 出 版 社 出 版 发 行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话:(0451)2519328 邮编:150001
新 华 书 店 经 销
肇 东 粮 食 印 刷 厂 印 刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 15.5 字数 368 千字
2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷
印数:1—2 000 册
定价:19.80 元

前　言

随着我国化学工业事业的飞速发展,计算机技术的应用日益深入到化学工业中。为适应新技术的要求,编写了“现代化工检测及过程控制”一书,它深入浅出地介绍了化工参数检测及过程控制的基本理论,参数变换的原理;又介绍了可编程控制器(PLC)以及参数型控制系统(简称 DCS)。

本书由哈尔滨工程大学、哈尔滨工业大学、哈尔滨师范大学、黑龙江大学及徐州师范大学联合编写。

参与编写工作的有:向德明、姚杰、刘利国、张光林、张兴奎、杨亭阁。

向德明、姚杰同志担任主编,张光林、刘利国、张兴奎、杨亭阁为副主编,唐伦成同志担任主审,李若楠同志对习题、附录进行校订。在编写过程中李文秀教授、王明学教授提出了许多宝贵指导性的意见,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者予以指正。

编　者

2001 年 10 月

目　　录

第 1 章　压力测量及变送器

1.1 概　　述

在化工生产过程中，会遇到比大气压力高几百倍的高压和比大气压力低很多的真空的测量。例如合成氨过程中氮气的压力为 32MPa(320kgf/cm^2)，减压蒸馏过程要在比大气压低几百毫米水银柱的真空下进行，高压聚乙烯要在 150MPa(1500kgf/cm^2) 高压下聚合。所以，压力测量是保证化工生产过程良好进行，实现优质、高产、低耗和安全生产所必需的重要参数之一。

压力：压力是垂直而均匀地作用在单位面积上的力。

$$P = \frac{F}{A} \tag{1-1}$$

式中，P—— 压力；

F—— 垂直作用力；

A—— 受力面积。

在工程技术上衡量压力的单位有下列几种：

(1) 工程大气压是工业上常用的单位即 1 千克力垂直而均匀地作用在 1 平方厘米的面积上所能产生的压力，以 kgf/cm^2 表示。

(2) 毫米汞柱(mmHg)，毫米水柱(mmH_2O)：在 1 平方厘米的面积上分别由 1 毫米汞柱、1 毫米水柱的重量所能产生的压力。

(3) 帕(Pa)：帕是国际制(SI) 单位，即 1 牛顿的力垂直而均匀地作用在 1 平方米的面积上所产生的压力，以牛顿 / 米^2 表示，记作 N/m^2。我国采用这一压力单位为法定计量单位。

(4) 物理大气压：由于大气压随地点不同变化很大，国际上规定，水银密度为 13.5951 克 / 厘米^3，重力加速度为 980.665cm/s^2 时，高度为 760mm 的汞柱作用在底面上所产生的压力。

压力测量中，常有表压、绝对压力，负压或真空度之分，相互关系见图 1 - 1。工业上所用的压力指示值为表压。根据工业过程的不同要求，还有指示、记录、远传变送、报警、调节等各种装置。

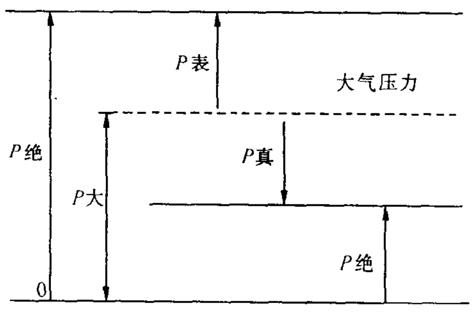


图 1 - 1　表压、绝对压力、真空度的关系

当被测压力高于大气压力时，

$$P_{表} = P_{绝} - P_{大}$$

当被测压力低于大气压力时，

$$P_{真} = P_{大} - P_{绝}$$

测压仪表依其工作原理的不同，可分为四大类：

1. 液柱式压力计　将被测压力转换成液柱高度差进行测量；
2. 弹性式压力计　将被测压力转换成弹性元件变形的位移进行测量；
3. 电气式压力计　将被测压力转换成电量来进行测量；
4. 活塞式压力计　将被测压力转换成各活塞上所加平衡砝码的重量进行测量。

压力表的精度级有：0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.35、1.0、1.5、2.5、4.0 等。

常用测压单位之间的换算关系如表 1－1 所示。

表 1－1　各种压力之间的换算关系

压力单位	帕 Pa	兆帕 MPa	工程大气压 kgf/cm^2	物理大气压 atm	汞柱 mmHg	水柱 mH_2O	磅/英寸^2 lb/in^2	巴 bar
帕	1	1×10^{-6}	1.0197×10^{-5}	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	1.0197×10^{-4}	1.450×10^{-4}	1×10^{-6}
兆帕	1×10^{6}	1	10.197	9.869	7.501×10^{3}	1.0197×10^{2}	1.450×10^{2}	10
工程大气压	9.807×10^{4}	9.807×10^{-2}	1	0.9678	735.6	10.00	14.22	0.9807
物理大气压	1.0133×10^{5}	0.10133	1.0332	1	760	10.33	14.70	1.0133
汞柱 mm	1.3332×10^{2}	1.3332×10^{-4}	1.3595×10^{-3}	1.3158×10^{-3}	1	0.0136	1.934×10^{-2}	1.3332×10^{-3}
水柱，m	9.806×10^{3}	9.806×10^{-3}	0.1000	0.09678	73.55	1	1.422	0.09806
磅/英寸^2	6.895×10^{3}	6.895×10^{-3}	0.07031	0.06805	51.71	0.7031	1	0.06895
巴	1×10^{5}	0.1	1.0197	0.9869	750.1	10.197	14.50	1

1.2　*U* 形管液柱式压力计

液柱式压力计是以液体静力学原理为基础进行测量。一般用水银或水作为工作液，用于测量低压、负压或压力差。通常有 U 型管液柱压力计、单管压力计。

1.2.1　U 型管液柱式压力计

如果玻璃 U 型管的一端通大气，而另一端接通被测压力，可由左右两边管内液面高度差 h 测知被测压力的数值 P(表压)，如图 1－2 所示。

根据静力平衡原理可知，在 U 型管 2－2 截面上，右边被测压力 P 作用在液面上的力与左边一段高度为 h 的液柱和大气压力 $P_{大}$ 作用在液面上的力相平衡，即

$$P_{绝对}A = (h\rho g + P_{大})A \qquad (1-2)$$

式中　A——U 型管内孔截面积；

ρ——U 型管内所充工作液的密度；

$P_{大}$ —— 大气压力；

h—— 左右液面高度差；

P—— 作用在 2 - 2 截面处液面上的被测压力。通常将 $P_{表}$ 简写为 P。

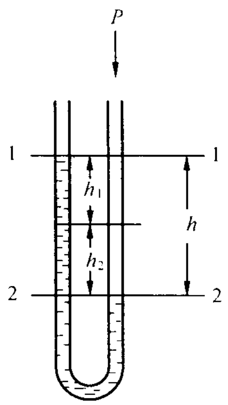


图 1 - 2　U 型液柱式压力计

由上式得

$$h = \frac{1}{\rho g}(P_{绝对} - P_{大}) = \frac{1}{\rho g}P_{表} \qquad (1-3)$$

比例系数 $1/\rho$ 取决于工作液的密度。

由此可见，被测压力的表压值 P 可用已知工作液高度 h(mm)来表示。

1.2.2　单管液柱式压力计

单管液柱式压力计的工作原理和 U 型管液柱式压力计相同，只是右边杯的内径 D 远大于左边管子的内径 d。见图 1 - 3。

由于左右工作液体积的减小量和增加量始终是相等的，所以，

$$\frac{\pi}{4}D^2h_2 = \frac{\pi}{4}d^2h_1 \text{ 或 } h_2 = \frac{d^2}{D^2}h_1$$

但是右边液面的下降将远小于左边液面的上升，即 $h_2 \ll h_1$，

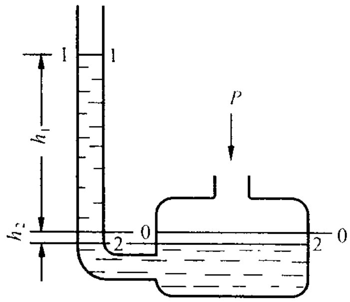


图 1 - 3　单管液柱式压力计

于是有

$$h_1(1 + \frac{d^2}{D^2}) = \frac{1}{\rho g}P$$

$$h_1 = \frac{P}{\rho g(1 + \frac{d^2}{D^2})} = k \cdot P \qquad (1-4)$$

由于 $D \gg d$，$k \approx \frac{1}{\rho g}$，这样只需一次读数取得 h_1 的数值便可测知被测压力的大小。所以其读数误差比 U 型液柱式压力计减少一半。

如果将此压力计的单管倾斜放置，便成为斜管压力计，由于 h_1 读数标尺连同单管一起被倾斜放置，使刻度标尺的分度间距得以放大，它可以测量到十分之一毫米水柱的微压。

1.3　弹性式压力计

弹性式压力计是以弹性元件受压后所产生的弹性变形作为测量基础。常用的有：波纹管、波纹膜片、单圈弹簧管压力表，多圈弹簧管。前两种多做微压、低压测量；后两种作高、中、

低压以及真空度的测量。

1.3.1 膜式微压计

膜式微压计是采用金属膜盒作为压力 —— 位移转换元件。此外，这类微压计还附有被测压力低于下限或高于上限给定值时的声光报警。见图 1 - 4、图 1 - 5。它测几千毫米水柱以下正、负压。

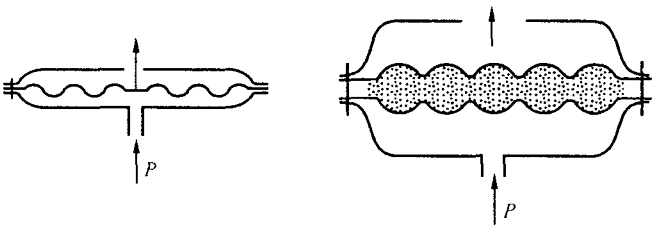


图 1 - 4　波纹膜

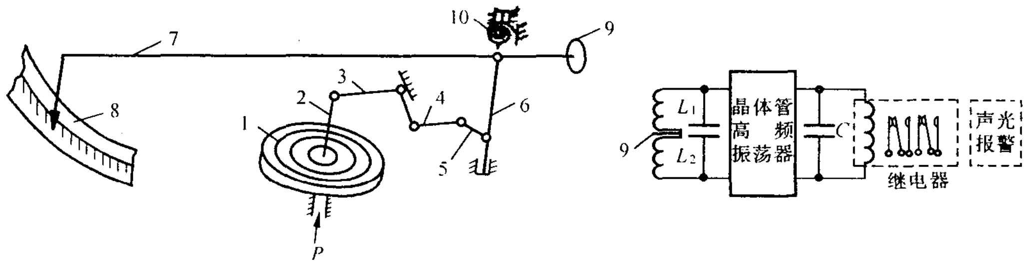


图 1 - 5　膜盒式微压计示意图

1— 膜盒；2— 连杆；3— 铰链块；4— 拉杆；5— 曲柄；6— 转轴

7— 指针；8— 面板；9— 金属片；10— 游丝

1.3.2 波纹管式压力计

它可测量低压、负压。采用带弹簧的波纹管作为压力 —— 位移转换元件。见图 1 - 6。

1.3.3 弹簧管式压力表(计)

弹簧管式压力表是工业上应用最广泛的一种测压仪表，如耐腐蚀的氨用压力表和禁油的氧用压力表以及易爆炸的乙炔用压力表。

单圈弹簧管是弯成圆弧形的空心管子，它的截面呈扁圆形或椭圆形、椭圆的长轴 a 与图面垂直的弹簧管中心轴 0 相平行。管子一端封闭为自由端，即位移输出端。另一端固定，作为

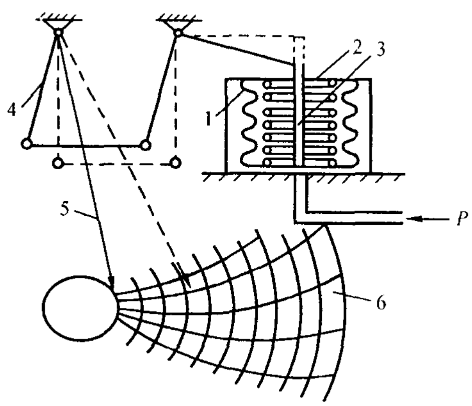


图 1 - 6　波纹管式压力记录仪示意图

1— 波纹管；2— 弹簧；3— 推杆；4— 连杆机构；5— 记录笔；6— 记录纸

被测压力输入端。如图 1－7。

当固定端 A 通入被测压力 P 后，由于椭圆形截面在压力 P 的作用下将趋于圆形，弯成圆弧的弹簧管随之产生向外挺直的扩张变形，其自由端 B 移至 B'，中心角随即减小 $\Delta\gamma$。中心角的相对变化值 $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}$ 与被测压力 P 成比例。

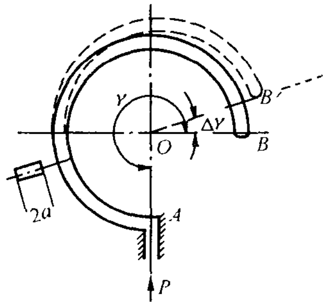


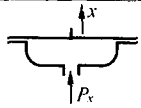
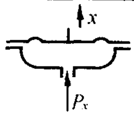
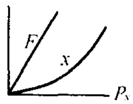
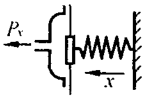
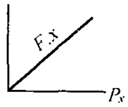
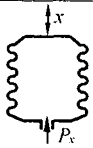
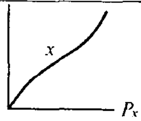
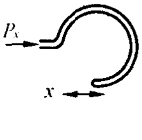
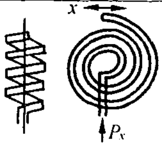
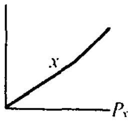
图 1－7　单圈弹簧管的结构

被测压力由接头 9 通入，迫使弹簧管 1 的自由端 B 向右上方扩张。自由端 B 的弹性变形位移由拉杆 2 使扇齿 3 作逆时针偏传，于是指针 5 通过同轴中心齿轮 4 的带动而作顺时针偏转，从而在面板 6 的刻度标尺上显示出被测压力 P 的数值。

测量氨气压力的弹簧管材料：必须采用不锈钢弹簧管，不能采用铜质材料；测量氧气压力时，则严禁沾有油脂和有机垫片，以确保安全生产。

各种弹性元件的结构和特性见表 1－2。

表 1－2　弹性元件的结构和特性

类别	名称	示意图	测量范围 MPa		输出特性	动态性质	
			最小	最大		时间常数(s)	自振频率(Hz)
薄膜式	平薄膜		$0 \sim 10^{-2}$	$0 \sim 10^{2}$		$10^{-5} \sim 10^{-2}$	$10 \sim 10^{4}$
	波纹膜		$0 \sim 10^{-6}$	$0 \sim 10^{-1}$		$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$10 \sim 100$
	挠性膜		$0 \sim 10^{-8}$	$0 \sim 10^{-2}$		$10^{-3} \sim 1$	$1 \sim 100$
波纹管式	波纹管		$0 \sim 10^{-6}$	$0 \sim 10^{-1}$		$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$10 \sim 100$
弹簧管式	单圈弹簧管		$0 \sim 10^{-4}$	$0 \sim 10^{3}$		—	$100 \sim 1000$
	多圈弹簧管		$0 \sim 10^{-5}$	$0 \sim 10^{2}$		—	$10 \sim 100$

在化工生产过程中常常需要把压力控制在某一范围内,即当压力低于或高于给定范围时,就会破坏正常工艺条件,可能发生危险。利用电接点信号压力表就能在压力偏离给定值范围时及时发出信号,以实现某种自动控制。

1.4 压力变送器

1.4.1 气动压力变送器

变送器是单元组合仪表中不可缺少的基本单元之一,变送器以压缩空气为能源便是气动变送器。下面介绍 QBY 型气动压力变送器。

1.4.1.1 气动元件及组件

首先我们介绍一下气动仪表中常遇到的元件与组件,便于了解气动仪表。

1. 气阻:气体流过节流元件时,会受到一定的阻力,此元件叫做气阻。气阻在气动仪表中阻碍气体的流动,起着降压(产生压力降)和阻流(改变气体流量)的作用。它分为恒气阻与变气阻。

2. 恒气阻:是指流通截面积不能调整的节流元件,见图 1-8。

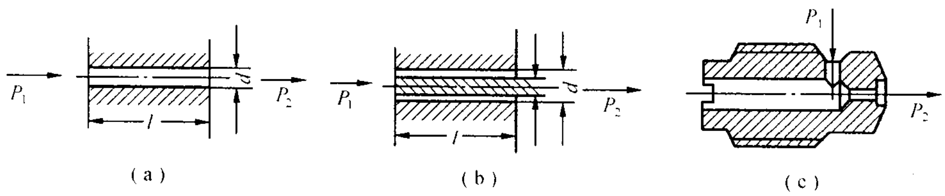


图 1-8　恒气阻结构

变气阻:是指流通截面积可以调整,气体通过时压力降可以改变的节流元件。

变气阻结构形式如图 1-9 所示。

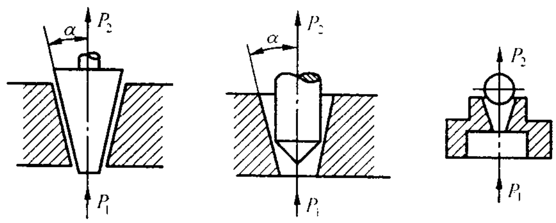


图 1-9　变气阻的结构形式

如果在气阻的两端加上一个压力差,就有一定流量的气体通过气阻。压力差越大,相应的流量也越大。气阻对空气流动阻碍的程度,一般用气阻值 R 来定量表示。气阻值的大小等于每增加单位质量流量的气体所需要的压力差,即

$$R = \frac{\Delta P}{M} \tag{1-5}$$

式中　ΔP—— 气阻前后压力降；

M—— 流过气阻的质量流量；

R—— 气阻。

气容：气体流过时，能贮存或放出气体的气室称为气容。其作用为缓冲，防止振荡。气容值是指每升高（或降低）单位压力所需增加（或降低）的气体贮存量。表示为

$$C = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}p} \tag{1-6}$$

在气动仪表中，气容很少单独使用，往往与气阻串联使用。

节流盲室：由一个变气阻和一个气室串联所构成的组件叫节流盲室。如图 1 - 10。

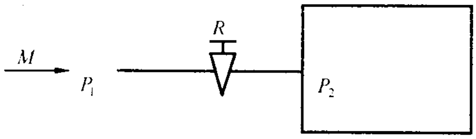


图 1 - 10　节流盲室

变气阻的气体流量与压降的关系式为

$$M = \frac{1}{R}(P_1 - P_2) \tag{1-7}$$

由气容的定义有

$$C = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}p_2} = \frac{\mathrm{d}m/\mathrm{d}t}{\mathrm{d}p_2/\mathrm{d}t} = \frac{M}{\mathrm{d}P_2/\mathrm{d}t}$$

由上两式有

$$\frac{1}{R}(P_1 - P_2) = C\frac{\mathrm{d}P_2}{\mathrm{d}t} \tag{1-8}$$

因为通过变气阻 R 的气体流量就是充入气室 C 的气体流量。

将上式变化有

$$RC\frac{\mathrm{d}P_2}{\mathrm{d}t} + P_2 = P_1$$

令 $RC = T$ 代入上式有

$$T\frac{\mathrm{d}P_2}{\mathrm{d}t} + P_2 = P_1$$

P_1 为某一定值，并令初始条件为 0，对上述一阶微方程式求解。

$$P_2 = P_1(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{T}}) \tag{1-9}$$

特征方程解可用图 1 - 11 特性曲线表示。

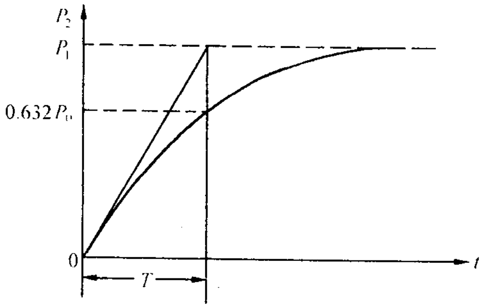


图 1 - 11　节流盲室特性曲线

从图中可以看出：

① 气容中的压力 P_2 随时间增加而增加，呈指数规律变化；

② 当 $t = T$ 时

$P_2 = P_1(1 - \mathrm{e}^{-1}) \approx 0.632P_1$；

③T 反映 P_2 的变化速度，T 越大，表示 P_2 上升的速度越慢。因为 $T = RC$，惯性环节的时间常数，所以 C 一定时，只要改变 R，就

可以调整 P_2 的变化速度。

(4) 节流通室　一个变气阻,一个气容和一个恒气阻所串联起来的节流装置叫节流通室。见图 1－12。

图 1－12　节流通室

在稳定状态下,单位时间内流过气阻 R_1 的流量 M_1 与流过 R_2 的流量 M_2 相等。

$$M_1 = \frac{P_1 - P_2}{R_1};M_2 = \frac{P_2 - P_3}{R_2}$$

所以

$$\frac{P_1 - P_2}{R_1} = \frac{P_2 - P_3}{R_2}$$

假如 P_3 通过大气即 $P_3 = 0$

有

$$P_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}P_1 \qquad (1-10)$$

从上式看出 P_2 与 P_1 呈比例变化。

(5) 挡板 —— 喷嘴机构。见图 1－13。

它实际上是由恒气阻、气容和喷嘴挡板型变气阻串联组成的节流通室。当由 0.14MPa 的压缩空气经由恒气阻进入背压室后,背压室的压力 $P_{背}$ 随着喷嘴挡板的相对位移而变化。当挡板靠近喷嘴时,气阻增大,背压室的气体不易排出,则 $P_{背}$ 上升;反之,气阻减小,背压室气体容易排出,则 $P_{背}$ 下降。由此看出挡板喷嘴对穿过恒气阻的气流造成了第二次阻力,此阻力是由挡板的不同位置造成的。这就完成了把挡板喷嘴之间的微小位移 h 转换成 $P_{背}$ 的气压信号的任务。$P_{背}$ 与 h 的特性曲线见图 1－14。

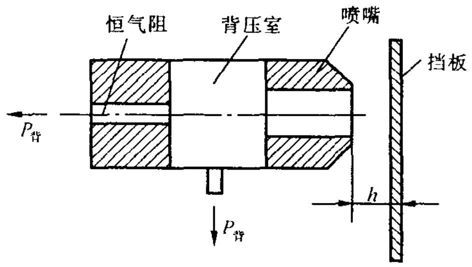


图 1－13　喷嘴挡板结构图

h 与 $P_{背}$ 之间的关系为非线性,一般工作在中间区段(0.025 ～ 0.13MPa)时,近似认为是线性的。正常工作时位移量不大于 0.02mm。

(6) 功率放大器

喷嘴背压的气量、气压一般都很小,不可以直接输送到显示仪表,亦不能直接用来推动执行机构。通常通过气动功率放大器进行放大。耗气型功率放大器见图 1－15。其动作过程如下:当气源进入 D 室时,放大器的输入气压就是喷嘴背压。当挡板靠近喷嘴时,$P_{背}$ 增加,D 室压力增加,金属膜片 2 上的作用压力就增大,推动阀杆 1 向下,从而打开进入球阀;同是上面的排气阀被关小。此时,气源由 A 室大量进入 B 室。由于进气增大,排气减小,所以 B 室输出压力增加。因为 B 室与气源 A 室仅用一个小球阀控制,流通面积

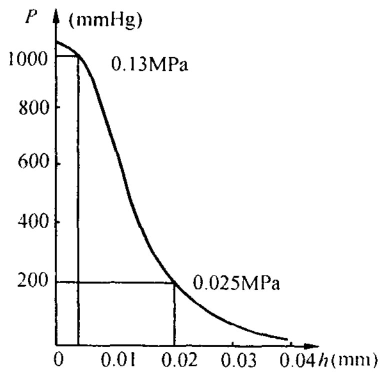


图 1－14　喷嘴挡板特性曲线

比恒节流孔大许多。这就实现了球阀的微小位移保证足够的气体从气源 A 室送到 B 室作为输出，实现了气量放大，$P_{出} = (6 \sim 10)P_{背}$。

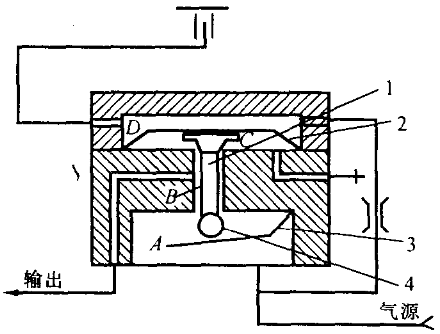


图 1 - 15　耗气型功率放大器原理图

1— 阀杆；2— 膜片；3— 弹簧片；4— 球阀

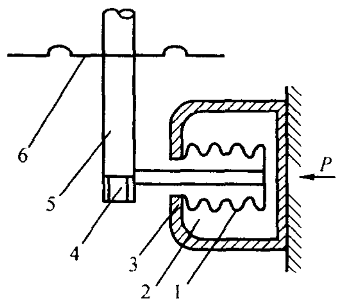


图 1 - 16　低压压力测量

1— 测量波纹管；2— 测量室；3— 推杆；4— 螺帽；5— 主杆杠；6— 出轴膜片

1.4.1.2　气动压力变送器

1. QBY 型气动压力变送器：是 QDZ 系列气动单元组合仪表之一，用以测量液体、蒸汽等气体的压力、负压或绝对压力。

气动压力变送器将压力信号 P 成比例地转换成 0.02 ~ 0.1MPa 的统一标准气压信号，送往调节器或显示仪表进行调节、指示和记录。气动压力变送器由测量部分和气动转换部分组成。测量部分由低压(0 ~ 2.5MPa) 敏感元件用黄铜、不锈钢材质制成波纹管见图 1 - 16，中、高压(2.5 ~ 10MPa，10 ~ 60MPa) 敏感元件用铬钒钢制成弹簧管，见图 1 - 17。

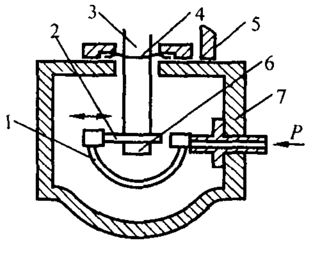


图 1 - 17　高中压压力测量

1— 弹簧管；2— 推杆；3— 主杆杠；4— 出轴膜片；5— 支架；6— 螺帽；7— 壳体

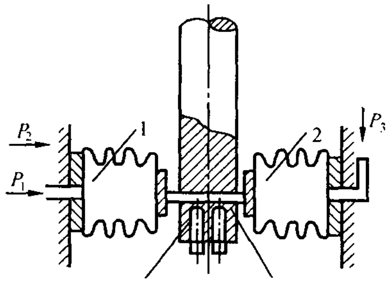


图 1 - 18　绝对压力测量部分

1— 测量波纹管；2— 补偿波纹管；3— 推杆；4— 主杠杆

绝对压力的测量见图 1 - 18。

两个波纹管制成有效面积相等，即 $A_1 = A_2$。当被测的气体压力 P_1 进入测量波纹管 1 时，在被测压力 P_1 与大气压力 P_2 的差压作用下，测量波纹管底部产生一个推力 F_1，其值为

$$F_1 = P_1 A_1 - P_2 A_1$$

由于补偿波纹管内部已抽成真空，所以它仅受到周围大气压力 P_2 的作用，在它底部所

产生的压缩力 $F_2 = P_2 A_2$。

因此,作用在主杠杆上 4 上的合力(即测量力)为

$$F = F_1 + F_2 = P_1 A_1 - P_2 A_1 + P_2 A_2 = P_1 A_1 \qquad (1-11)$$

从上式可以看出,测量力 F 与被测气体压力P_1 成正比,而与大气压力无关,故测得的压力为绝对压力。不论大气压力怎样变化,大气压力对波纹管 1 与对波纹管 2 作用所产生的力总是互相抵消的,这样就补偿了由于大气压力变化而引起的测量误差。

2. 单杠杆气动差压变送器:见图 1 - 19。

工作原理如下:如果 $P_1 > P_2$,则有

$$F_{测} = (P_1 - P_2) f_{膜} = \Delta P f_{膜}$$

$F_{测}$ 作用在主杠杆上,对支点(密封膜片)产生一力矩 $M_{测}$,主杠杆顺时针偏转,上端的挡板靠近喷嘴,引起背压增加,经功率放大器后作为 $P_{出}$ 输出。此时变送器输出也进入反馈波纹管内,产生一反馈力 $F_{反}$,使主杠杆产生一个逆时针方向力矩 $M_{反}$。当 $M_{测} = M_{反}$ 时,杠杆处于平衡状态,挡板喷嘴间的距离不再改变。此时有一个与差压相对应的气压信号 $P_{出}$ 输出,下面推导 $P_{出}$ 与 ΔP 的关系。

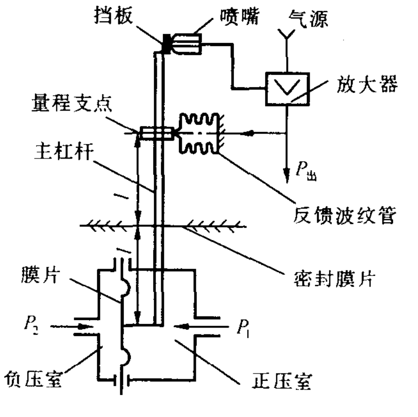


图 1 - 19　单杠杆气动差压变送器原理示意图

$$F_{测} = \Delta P f_{膜}$$

$f_{膜}$ —— 膜片有效面积

$$F_{波} = P_{出} f_{波}$$

$f_{波}$ —— 反馈波纹管有效面积。

$$M_{反} = P_{出} f_{波} L_2$$

$$M_{测} = \Delta P f_{膜} L_1 (M_{测} = M P_{出} f_{波反} \text{ 时});$$

$$\Delta P f_{膜} L_1 = P_{出} f_{波} L_2$$

$$P_{出} = \frac{L_1 f_{膜}}{L_2 f_{波}} \Delta P = K_{单} \Delta P \qquad (1-12)$$

$K_{单}$ 为单杠杆差压变送器的放大系数,改变 $K_{单}$ 就改变差压变送器的量程范围。$f_{膜}$,$f_{波}$,L_1 都是固定的,通过改变 L_2 移动量程支点来改变 $K_{单}$。在分析杠杆或差压变送器时,我们引出了反馈的概念。什么叫反馈,在自动化仪表中,把输出信号经过一些环节引回到输入端,此过程就叫反馈。如果加强输入信号作用就叫正反馈;削弱输入作用叫负反馈。

差压变送器的动作过程如下,输入信号通过膜片变成 $F_{测}$ 力作用在主杠杆上,引起输出信号 $P_{出}$ 变化,$P_{出}$ 一方面作为输出,另一方面又送给反馈波纹管,转换成反馈力又作用到主杠杆上,此力与 $F_{测}$ 一样又引起输出的变化。他们的作用是相反的,故此作用是负反馈作用。负反馈的作用在差压变送器中具有很重要的作用,它模仿天平法,实现输出信号与输入信号的比例关系以达到精确测量的目的。

1.4.2　电动差压变送器

以电为能源的差压变送器为电动差压变送器,它将被测差压 ΔP 的变化转换成直流信

号4～20mA，送往调节器、显示仪表进行调节、指示和记录，DBC型电动差压变送器适合连续测量差压、液位、分界面，与节流元件配合可以测量液体、蒸汽、气体的流量。它具有反应速度快、传递距离远的特点。

它的工作原理如图1－20所示，被测差压 $\Delta P = P_1 - P_2$，转换成 $F_{测}$ 力，作用主杠杆2绕 O_1 产生偏转，并通过11使副杠杆9以十字簧片 O_2 为支点产生偏转，使固定在副杠杆9上的位移检测片接近检测线圈8将此微小位移转换成相应的电量，通过放大器10变成4～10mA的直流输出，此电流为 i_0。它流过绕在永久磁铁7上的反馈线圈5，产生一个与 $F_{测}$ 相平衡的反馈 $F_{反}$，此力作用杠杆副9，使系统回到平衡状态，此时的电流 i_0 即为变送器的输出电流，它与被测差压成正比。

$$i_0 = K \cdot \Delta P \tag{1-13}$$

K 是比例系数，它通过改变11来改变力矩大小，从而达到改变量程的目的。

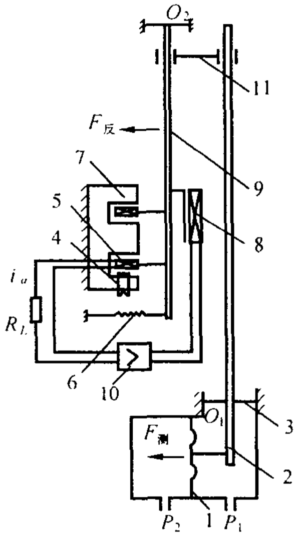


图1－20　电动差压变送器工作原理示意图

1—膜片；2—动杠杆；3—支点；4—衔铁；5线圈；6—调零；7—磁铁；8—线圈；9—杠杆；10—放大器；11—连杆

1.5　电气式压力表

电气式压力表是通过传感器把被测压力直接换成电信号，其方法有压电式、压磁式、电感式、电容式、电阻应变片式。

其特点是动态性能好、耐压高，适用于快速变化、脉动及超高压的场合。

1.5.1　压电式压力表

此种压力表是根据“压电效应”原理把被测压力变换为电信号。

“压电效应”是在无外电场存在时，某些晶体由于受压发生机械变形，在其相对的两面上产生异性电荷的现象。如图1－21。

石英晶体为一六棱形，它有三个互相垂直的轴 XX、YY、ZZ，当沿着 XX 轴方向有作用力时，则在 $ABCD$ 和 $EFGH$ 面上产生等量异性电荷 Q_x 与 $-Q_x$。如 A_x 为受力面积，P_x 代表作用在 A_x 面积上的压力，则

$$Q_x = KP_x \cdot A_x \tag{1-14}$$

K——压电常数（$C/(N \cdot cm^2)$）。

压电晶体如图1－22所示。

此法可测0～15MPa，0～100MPa的压力。

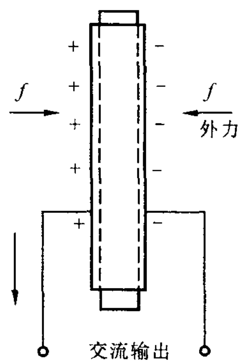


图1－21　压电效应