

工业自动化仪表丛书

12



气动单元组合仪表

李福宁 编

机械工业出版社

工业自动化仪表丛书

气动单元组合仪表

李福宁 编



机械工业出版社

本书系《工业自动化仪表丛书》之一。它以通俗的语言介绍了气动单元组合仪表的变送单元、调节单元、显示单元、计算单元、给定单元、转换单元以及辅助单元等的结构和工作原理。对有关气动单元组合仪表的气动元件、放大器和仪表气源以及仪表的调试与维护等也都作了较详细的论述。

本书可供工业自动化仪表工人、技术人员和管理干部阅读，也可供有关学校师生参考。

气动单元组合仪表

李福宁 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $14 \frac{1}{4}$ ·字数 317 千字

1982年9月北京第一版·1982年9月北京第一次印刷

印数 0,001—8,900·定价 1.15 元

*

统一书号：15033·4937

前 言

工业自动化仪表是实现工业生产过程自动化的一种重要装置。通过工业自动化仪表来了解生产过程中的物质变化状态,并将生产过程控制在预定的条件之下,确保着生产的优质、高效和安全。

随着我国社会主义工业的发展,工业自动化仪表已日益广泛地应用于冶金、电力、化工、石油、轻纺、机械等工业部门,其发展前途是十分广阔的。

为了适应工业自动化仪表迅速发展的需要,进一步做好技术交流与推广工作,我们组织编写了这套《工业自动化仪表丛书》。

本丛书预定为二十册。各分册书名分别为:《工业自动化仪表》、《温度测量仪表》、《压力测量仪表》、《流量测量仪表》、《物位测量仪表》、《机械量测量仪表》、《核辐射式检测仪表》、《自动平衡显示仪表》、《动圈指示调节仪表》、《自动调节仪表》、《电动单元组合仪表》、《气动单元组合仪表》、《射流技术及其应用》、《工业控制计算机》、《电动执行器》、《气动执行器》、《工业程序控制装置》、《工业仪表防护》、《工业仪表应用》和《工业仪表维修》等,将陆续分册出版。

本丛书力求以深入浅出、通俗易懂的文字,辅以图表的形式,简要介绍各类工业自动化仪表的结构原理、性能特点、安装使用以及维修等知识,供同志们参考。但由于我们水平有限,因而书中一定存在不少缺点,甚至错误,欢迎同志们批评指正。

IV

本丛书在编写过程中，曾得到有关工厂、大专院校、科研单位的大力支持，在此谨致谢意。

《工业自动化仪表丛书》编写组

目 录

第一章 绪论.....	1
第二章 气动元件.....	5
一、气动阻容元件	5
二、喷嘴 挡板机构	19
三、弹性元件	25
第三章 气动放大器	43
一、基本参数及结构	43
二、非泄气型膜片式功率放大器	48
三、泄气型功率放大器	63
第四章 变送单元	71
一、差压变送器	75
二、压力变送器	141
三、浮筒式液位变送器	149
四、靶式流量变送器	157
五、纸浆浓度变送器	167
六、压力式温度变送器	171
七、气动电测温度变送器.....	174
第五章 调节单元	184
一、概述	184
二、比例积分微分调节器	207
三、调节器的主要技术要求和试验方法	239
四、调节器的应用.....	268
第六章 显示单元	283
一、记录(指示)调节仪	284
二、色带指示仪	332

VI

三、积算器	337
四、条形指示仪	341
五、显示仪表的发展情况	342
六、记录(指示)调节仪的应用	362
第七章 计算单元	378
一、乘除器	378
二、比值器	396
三、加减器	398
第八章 给定单元	416
一、定值器	416
二、时间程序定值器	422
第九章 转换单元	425
第十章 辅助单元	427
一、气动继动器及恒差器	427
二、负荷分配器	431
三、高低值选择器	432
四、切换器	433
五、信号器	436
六、气动电开关	437
七、气动保位阀	438
第十一章 仪表气源	440
一、仪表气源的基本要求	440
二、压缩空气工艺流程及其设备	444
三、减压装置	449

第一章 绪 论

利用压缩空气作为能源的仪表统称气动仪表。30年代初，气动仪表开始应用于工业部门，那时，只是为特定的工艺而设计，它体积大、功能单一、结构复杂，只能满足简单的工艺过程自动化。

由于生产过程自动化的不断发展，要求仪表相应有更多的功能，使用更灵活，体积更小。于是逐渐把气动仪表中的各种部件，单独制成实现一定作用的单元，按自动化的各种要求，把这些单元重新组合，以构成不同的自动检测与自动调节系统，而单元之间用标准压力信号（ $0.2\sim 1$ 公斤力/厘米²）进行联系，这就是气动单元组合仪表，其结构框图如图 1-1 所示。

一般根据功能的不同分成如下若干个单元：

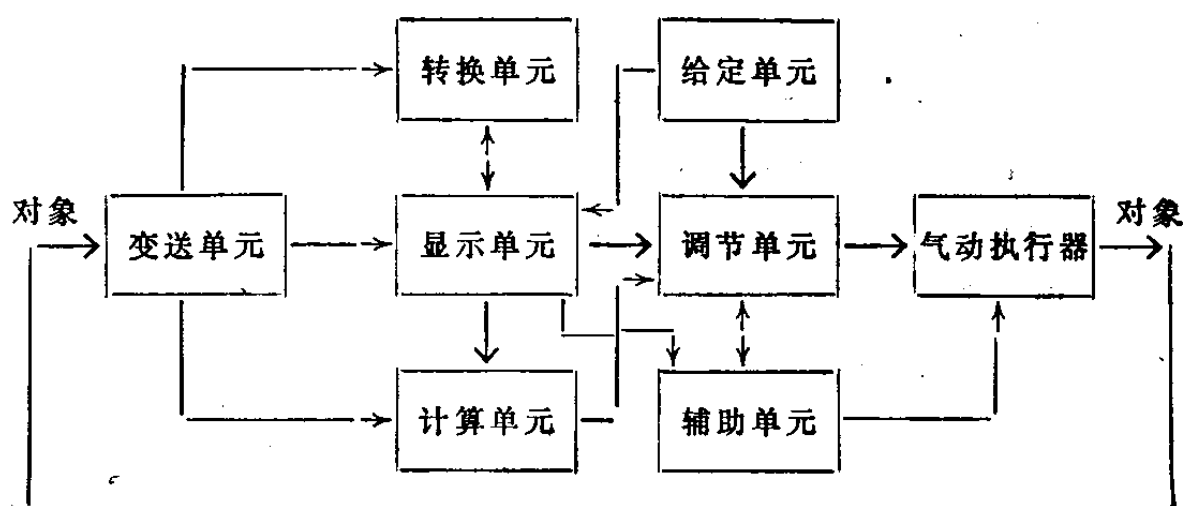


图1-1 气动单元组合仪表结构框图

1. 变送单元：它能把物理量（压力、差压、液面、流量、温度、温差）、成份量、物性量（浓度和密度）、位移量（线位移和角位移）等参数转换成标准的压力信号。

2. 显示单元：用来连续地指示、记录或积算来自变送单元的参数值；相应地指示给定压力、调节器的输出压力；构成调节系统的调控中心，进行给定、参数整定、参数切换，以及手动-自动的切换等。

3. 调节单元：具备各种调节规律的调节装置。其任务是使被调参数保持在需要的范围内，或按需要的规律进行变化。

4. 计算单元：具备各种计算功能的运算装置。其任务是使某些参数之间保持准确的数学关系。每个单元只具备某个特定的连续运算法则。

5. 转换单元：是把标准电信号和标准压力信号互相转换的装置，使电动仪表与气动仪表能相互联系，互为补充。

6. 给定单元：是给出信号的装置，这个信号是稳定不变的或是按一定规律变化的。

7. 辅助单元：具有多种功能的辅助仪表，以便满足多种调节功能的要求，或在仪表之间互相配合进行工作。

8. 气动执行器：根据调节器的或其它仪表的信号，改变阀门的流通截面；控制调节对象输入或输出的物料量（或能量），从而实现调节作用，克服干扰影响，使被调参数回到给定值。

现在气动单元组合仪表已广泛地应用于石油、化工、电力、冶金、造纸、食品等工业部门，成为自动化的一种重要工具。

近年来，电动单元组合仪表虽有了很大的发展，但由于

气动单元组合仪表有一系列的优点，因此仍普遍被采用。

气动单元组合仪表的优点是：

结构简单、性能可靠、维护方便；

抗外干扰（如磁场、振动、噪音、温度、湿度等）能力较强；

能直接驱动气动执行器，工作平稳；

经济实用。

但气动仪表与电动仪表相比也有一些局限性。例如需用一套去除油份、水份、尘埃的压缩空气装置；传送距离和传送速度受到限制；检测参数种类不够多；与计算机的配用不便等。因此，一般传送距离在 150 米的范围内。要求防火防爆，运行要求安全可靠的场合，可选用气动单元组合仪表。

实际上，在各种类型的企业中，经常是气动、电动仪表并存，互为补充。就是在大量采用电动仪表的情况下，也经常采用气动变送器、气-电转换器、气动执行器等。

工业自动化是强化生产工艺、发展社会生产力，提高劳动生产率和实现安全操作，改善劳动条件的重要手段。

随着现代化工业的发展，工业自动化仪表的范畴和概念也在适应新的变化，不仅包括检测、转换、显示、调节、执行等传统的技术工具，而且也包括功能组件、程序控制、连锁保护、信息远传、数据处理、计算机控制，管理自动化和系统控制技术等。

随着各个工业部门生产的需要，正向大容量、高效率、多参数综合控制方向发展，对工业仪表也提出了一系列新的要求。例如原来的气动单元组合仪表体积大，集中控制室占地面积大，一次投资费高，操作人员监视和操作不便，因而发

展了密集安装型仪表，并具有即时切换等新的功能。

为了满足复杂系统的需要，发展了一系列新的调节仪表，例如：串级调节记录仪、比率调节记录仪、前馈调节记录仪等。

为了能与电子计算机联机工作，还发展了计算机给定单元。为了满足开环系统工作的串级调节、超驰调节等的需要，采用了防止积分饱和的限幅器，以及外部反馈型调节仪。

最近在仪表工艺方面也有一些新发展，如气动仪表的气路，采用了印刷管路的板、金属粘结等新工艺，不但维修方便，而且提高了可靠性。

第二章 气动元件

气动仪表是由一些基本元件，按照一定的规律组成的。正确地认识和掌握这些元件，是掌握气动仪表的关键。

一、气动阻容元件

气动阻容元件是气动仪表的基本元件，得到广泛的应用。

(一) 气阻

气阻是指管路中能够阻碍气体流动的能力，它相当于电路中的电阻。

气阻 r 的大小等于改变单位流量所需要的压差。

$$r = \frac{\Delta p}{G} \quad \left(\frac{\text{s}}{\text{cm}^2} \right) \quad (2-1)$$

式中 Δp ——气阻前后的压力差（公斤力/厘米²）；

G ——流经气阻的重量流量（公斤/秒）。

气阻的种类很多，常见的有恒节流孔、针形阀、螺旋形（可调）节流孔、平面型节流孔等。

1. 恒节流孔

它是一种固定阻值的气阻，如图 2-1 所示。

常见的有毛细管、薄壁孔和缝隙式恒节流孔等。

（1）毛细管是一段均匀细长的小孔，其直径约为 0.15~0.6 毫米，长度为 5~50 毫米，具体数值根据设计或试验情况选取。通常采用不锈钢管（例如医用针头）或玻璃毛细

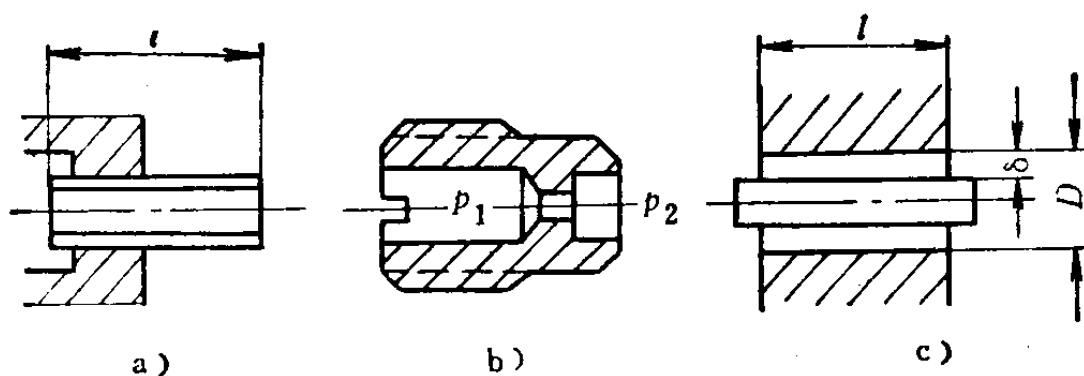


图2-1 恒节流孔结构

a) 毛细管 b) 薄壁孔 c) 缝隙式恒节流孔

管制成。

毛细管的气阻值 r 可用下式计算

$$r = \frac{128\mu l}{\pi d^4 \gamma} \quad \left(\frac{\text{s}}{\text{cm}^2} \right) \quad (2-2)$$

式中 l ——毛细管长度 (毫米);

γ ——空气重度 (公斤/米³);

μ ——空气动力粘度系数 (其值见表 2-1)。

气阻值的大小, 还受许多因素影响, 主要是几何形状和尺寸、孔内壁光洁度、差压大小、气流状况、环境温度、流量系数等。

恒节流孔两端的压力降与通过恒节流孔的流量之间的关系称为流量特性, 见图 2-2。

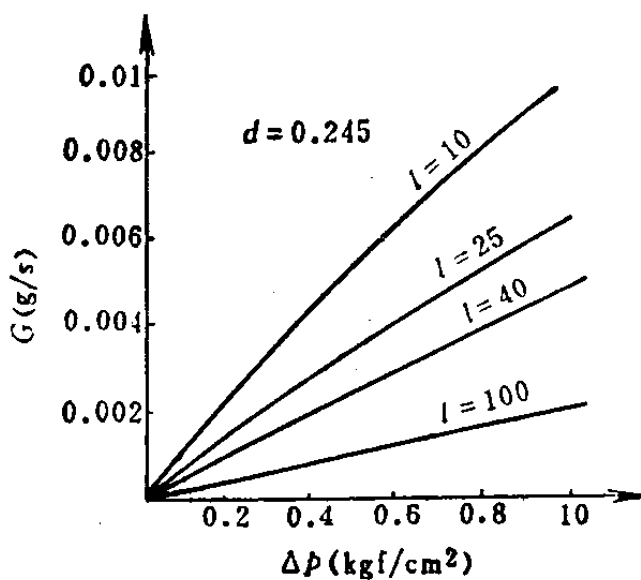


图2-2 毛细管的流量特性曲线

经大量试验, 此种节流孔的雷诺数 $Re < Re_{\text{临界}} = 2300$,

表2-1 空气动力粘度系数

t (°C)	0	10	15	20	25	30
$\mu \times 10^6 (\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{s} / \text{m}^2)$	1.75	1.80	1.825	1.85	1.874	1.90

$$\mu = 1.745 \times 10^{-6} + 5.03 \times 10^{-8} t^{\circ}\text{C}$$

属于层流型线性气阻。当毛细管愈长，则线性愈好。但由于批量生产的不锈钢管或玻璃管的直径大小不稳定，加上截短时可能被压扁或产生毛刺等，使阻值相差很大。增长毛细管使线性更好，但加工困难，容易引起堵塞。

(2) 缝隙式恒节流孔

它是在一个直径稍大一点的孔中放入一根直径更小的金属丝做成。孔径约为 0.3~0.8 毫米，金属丝直径约为 0.1 毫米，长度 l 为 5~15 毫米。

缝隙式恒节流孔的气阻值可用下式计算

$$r = \frac{12\mu l}{\pi D \delta^3 \gamma} \left(\frac{\text{s}}{\text{cm}^2} \right) \tag{2-3}$$

式中 δ ——缝隙 (毫米) (见图 2-1 c)；
 D ——孔径 (毫米)；
 γ ——空气重度 (公斤/米³)。

这种毛细管的临界雷诺数比较小， $Re_{\text{临}} = 1100$ ，由于缝隙较小，多属层流状态，故线性较好。孔径愈小和长度愈长则线性愈好。实验证明，金属丝与孔中心偏离时流量受很大影响，它使线性变坏。

(3) 薄壁式恒节流孔 (图 2-1 b)

当长度与直径之比 l/d 数值较小，不足以形成层流时，称为薄壁式恒节流孔。它制造方便，工艺因素影响少，流量系数受压差、雷诺数以及温度变化的影响少，因而在气动仪

表中应用较广。它的壁厚 l 为 0.5~3 毫米, 孔径 d 为 0.2~1 毫米。

薄壁式恒节流孔为平方型气阻, 其压降与流量成平方关系

$$G = \alpha f \sqrt{2g\gamma\Delta p} \quad (2-4)$$

式中 G ——流经恒节流孔的重量流量 (公斤/小时);

f ——小孔面积 (厘米²);

g ——重力加速度 (米/秒²);

γ ——恒节流孔后空气重度 (公斤/米³);

Δp ——恒节流孔两端压差 (公斤力/厘米²);

α ——流量系数, 由实验确定。

(4) 气阻值的测量

在试验室中或生产气动仪表时, 经常须要确定节流装置的气阻值。根据公式 (2-1), 只要测量恒节流孔前后的压力差 Δp 和流经恒节流孔的流量, 就可以求得气阻值 r 。

但测量如此小流量而高灵敏度流量计是不容易得到的, 测量工作就较为困难。

在气动试验装置或气动仪表中, 往往只须要知道气阻值的相对大小, 以便选择相差极微小的节流装置, 如图 2-3 所示。利

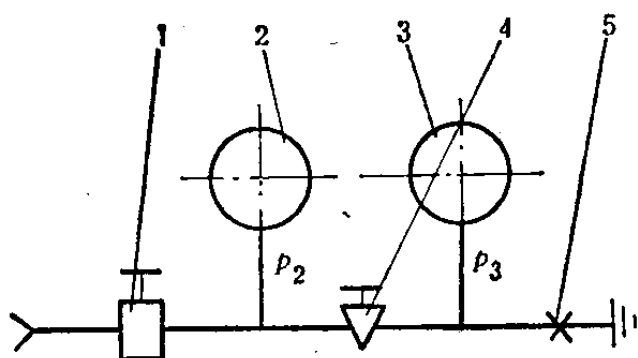


图2-3 气阻值测定线路

1—定值器 2、3—压力计

4—针形阀 5—恒节流孔

用定值器 1 给定压力 p_2 (实际工作时的最高压力), 然后调整针形阀 4, 使压力 p_3 达到一个稳定的压力值 (为装置中正常的工作压力)。5 是一个与被选取的恒节流孔大小差不多

的标准恒节流孔（相对标准）。当 p_2 、 p_3 确定后，把 5 更换为所需选定的恒节流孔，再读取压力 p_3 的数值，则是恒节流孔相对气阻值大小的数值。

正确地选取 p_2 、 p_3 压力，便可以准确地进行测量。

利用此方法，同样可以测量针形阀的相对气阻值。此时恒节流孔 5 是一个固定的标准恒节流孔。当 p_2 确定后，每个被试验的针形阀的刻度特性，都可由 p_3 相对读取。

2. 针形阀

它是一种可调气阻。在气动仪表中改变气阻，以整定某些参数。

对针形阀有如下要求：

（1）气阻值仅为开度的单值函数，刻度应均匀，再现性好，来回误差小；

（2）全开及全关点应符合设计指标；

（3）气阻值与节流阀前后压力无关，气体正、反方向通气时，特性应不变；

（4）气阻值受环境变化（如温度、湿度、时间）及干扰（如振动、气流冲激）的影响要少；

（5）结构简单，工艺性好，使用可靠。

圆锥-圆锥形针形阀（图 2-4）

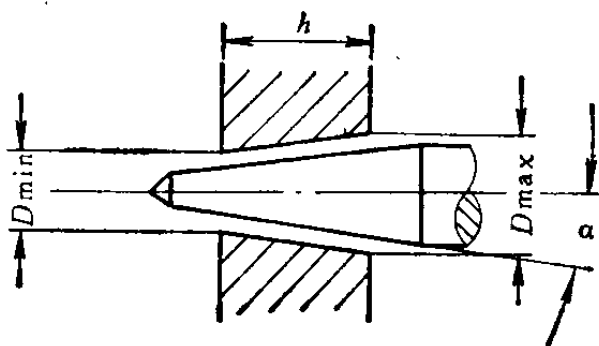


图2-4 圆锥-圆锥形针形阀

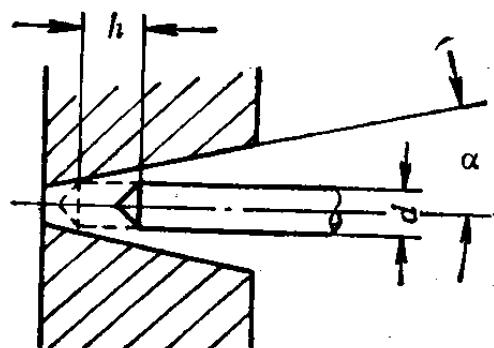


图2-5 圆柱-圆锥形针形阀

它相当于缝隙式气阻，其阻值为

$$r = \frac{12\mu l}{\pi D_c \gamma} \frac{1}{\delta^3} \quad (2-5)$$

其中 $\delta = h \cdot \sin \alpha \approx h \cdot \alpha / \frac{360}{2\pi} = \frac{h \cdot \alpha}{57.4}$

$$D_c = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

式中 δ —— 缝隙宽度，当针形阀半角很小时，近似为

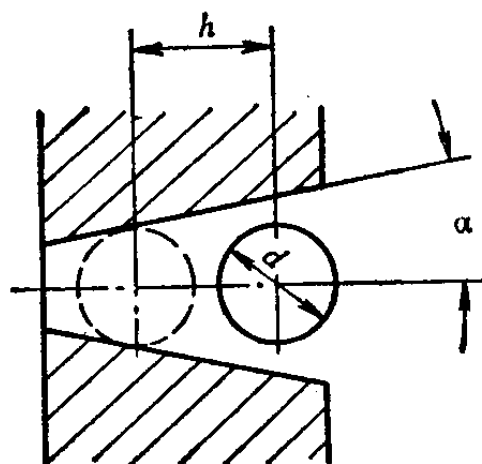
$$\frac{h \cdot \alpha}{57.4},$$

D_c —— 平均直径；

h —— 可调长度；

μ —— 空气动力粘度系数；

γ —— 空气重度。



圆柱-圆锥形针形阀 (图

2-5)

图2-6 圆球-圆锥形针形阀

它是平方型气阻，其压降与流量成平方关系。

$$G = \alpha F \sqrt{2g\gamma\Delta p} \quad (2-6)$$

$$F = \pi (h \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + d) h \cdot \sin \alpha \quad (2-7)$$

式中 γ —— 阀后空气重度；

F —— 流通面积。

圆球-圆锥形针形阀 (图 2-6)

它也是平方型气阻，与上述计算公式一样。

当针形阀用在阻容环节中，整定充、放气时间为 T 时，

其值为

$$T = \frac{1}{\delta^3} \frac{12\mu l V}{\pi D_c p_0} \quad (2-8)$$