

气动技术 在自动化 中的应用

孟繁华 李天贵 编

国防工业出版社



内 容 简 介

本书系统地论述了气动技术的基本理论及其应用。书中简述了空气的性质及运动规律、气动元件的工作原理及特点、常用的气动回路、电气回路及器件，同时又提出了设计气动控制系统的方法及有关计算图表等。书中着重介绍了气动技术在自动化中的应用，选择了题材广泛、内容新颖的应用实例37个，并对系统的常见故障及消除方法也作了适当的介绍。

本书的特点是突出气动技术在自动化中的实际应用，叙述方法是由浅入深，通俗易懂。可供从事于气动技术设计和应用的工程技术人员使用，也可供有关专业师生在讲述与学习气压传动课程时参考。

气动技术在自动化中的应用

孟繁华 李天贵 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $9\frac{1}{4}$ 239千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷 印数：0,001—3,850册

ISBN7-118-00225-9/TP23 定价：3.20元

前 言

气动技术是实现生产自动化的一个重要手段。虽然从目前来看它没有液压与电气传动及控制应用那么广泛,但由于它具有防火、防爆、防电磁干扰、没有污染、结构简单、寿命长、抗冲击并可承受很高的加速度等一系列优点,近年来采用气动技术的部门日益增多,气动技术在国内外都正在迅速地向前发展。尤其在工业自动化迅猛发展的现在,生产新的自动化设备与改造旧有的生产设备以提高自动化与省力化水平的技术改造工作中都将大量地采用气动技术,因此迫切需要有关气动技术在自动化中应用的系统知识,为此,我们编写了这本有关气动技术应用的科技书。概括起来本书有以下特点:

第一,自始至终突出实际应用而不追求教科书式的面面俱到,着眼点在于能够通过选择适当的元件而组成实际的应用系统。为此同时提出了各种计算图表。

第二,考虑到实用化的要求,加入了电气控制的电路部分。虽然气动技术中使用纯气动系统的情况是有的,但是由于电气控制的响应快、易于实现遥控,所以现在多数是使用电磁阀控制的气动回路。又加之从事机械工作的工程技术人员对电气控制总是感到陌生,因此作为用于自动化的气动技术书,如不包含电气控制部分的知识则不能算是全面与实用的。

第三,本书的通俗性与启发性的特点比较适用于自学。在本书内对具有典型意义的电气与气动回路的动作程序等进行了详细的说明,这样作的目的可使不是专门从事气动技术的工程技术人员在了解气动系统工作原理方面起到举一反三的作用;另外又收入了题材广泛的大量应用实例,它可起到气动技术应用的“样品”作用。

本书共八章。第一章讲述了气动技术目前要解决的技术问题与发展状况；第二章是介绍空气的各种物理性质与运动规律；第三章是简单介绍组成气动系统的各种元件的工作原理与用途；第四章是常用的基本气动回路；第五章是与气动回路配套的电气控制回路与器件的有关知识；第六章为气动系统的设计顺序与设计方法；第七章是具体的应用实例；第八章是气动系统中的故障分析与消除故障的方法；最后附有必要的计算图表及气动图形符号等。

本书由孟繁华主编。第一、四、五、七章由孟繁华编写；第二、三、六、八章及附录由李天贵编写。由于编者水平所限，缺点错误在所难免，敬请读者指正。

编 者

于哈尔滨工业大学

目 录

第一章 绪论	1
§1-1 气动控制技术的现状	1
一 无给油化	1
二 节能化	5
三 小型化与轻量化	6
四 位置控制的高精度化	7
五 与电子学的结合	8
§1-2 机械、气动、液压及电气传动间的比较	10
一 机械方式的特点	11
二 气动方式的特点	11
三 液压方式的特点	12
四 电气方式的特点	12
五 传动与控制	13
六 从自动化的角度评价气动控制	14
七 气动技术的优缺点	14
第二章 气动技术的理论基础	16
§2-1 空气的物理性质	16
一 空气的组成	16
二 湿空气	16
三 气体体积的易变特性	17
§2-2 气体的状态方程式	18
一 理想气体的状态方程式	18
二 实际气体的状态方程式	18
三 理想气体的状态变化过程	19
§2-3 气体流动规律	21
一 连续性方程和伯努利方程	21
二 从节流孔流出的流量	22
三 有效截面积和 C_d 值	23
四 音速和马赫数	25
§2-4 逻辑运算	27
一 逻辑“或”和逻辑“与”的恒等式	27

二 逻辑“非”	27
三 结合律、交换律、分配律	27
四 狄摩根定理	28
五 形式定理	28

第三章 气动系统中使用的主要元件 29

§3-1 气动执行元件	29
一 气动执行元件的分类	29
二 气缸的工作原理及基本计算	30
三 气动马达的工作原理及基本计算	35
§3-2 控制元件	39
一 压力控制阀	39
二 流量控制阀	42
三 方向控制阀	43
§3-3 气动辅助元件	51
一 空气过滤器	51
二 干燥器	52
三 油雾器	53
四 消声器	56
五 压力继电器	56
§3-4 气动逻辑元件及射流元件	57
一 逻辑元件	57
二 射流元件	59

第四章 气动系统中常用的基本回路 62

§4-1 程序线图	62
一 程序线图的画法	64
二 程序线图的读法	67
§4-2 逻辑回路	68
一 基本逻辑回路	68
二 其它逻辑回路	73
§4-3 单动气缸回路	76
一 单动气缸的基本回路	76
二 前进中可停止的单动气缸回路	76
三 单动气缸的速度控制回路	77
§4-4 复动气缸的基本回路	78
一 复动气缸的操作回路	78
二 复动气缸的速度控制回路	80
三 复动气缸的速度可变回路	82

四 复动气缸的中途停止回路	83
§4-5 双手操作回路	86
一 利用逻辑“与”的双手操作回路	86
二 利用逻辑“与”和逻辑“或非”回路的双手操作回路	87
§4-6 复动气缸的往复动作回路	88
一 一次往复动作回路	88
二 接通延时型一次往复回路(前端停止)	89
三 自动两次往复回路	90
四 普通型连续往复回路	91
五 双稳型连续往复回路	92
§4-7 程序控制回路	92
一 程序控制	92
二 两个气缸的往复回路	93
三 三缸往复回路	98
§4-8 计数器回路	103
一 信号部分	103
二 计数部分	104
三 设计计数器回路	105
§4-9 气液联合系统	110
一 气液联合系统	110
二 气液联合系统的回路	111
第五章 气动技术中常用的电气控制回路	113
§5-1 电气控制的基础知识	113
一 电气触点与电器元件的图形符号	113
二 电路中使用的电器	116
§5-2 气动技术中使用的基本电气回路	124
一 设计电气回路时的注意事项	124
二 串联电路(AND电路)	125
三 并联电路(OR电路)	126
四 自保持电路	127
五 延时电路	128
六 优先电路	130
§5-3 控制气缸动作的电气回路	131
一 气缸的往复回路	131
二 在前进端暂时停止回路	134
三 活塞杆连续往复回路	135
四 两个气缸的往复回路	136

§5-4 电磁阀控制的常用气动回路	144
一 具有低速控制特点的应用回路	144
二 具有高速控制特点的应用回路	146
三 具有中途变速控制特点的应用回路	149
四 具有中途停止控制特点的应用回路	151
五 具有输出功率控制特点的应用回路	155
第六章 气动系统的设计	157
§6-1 行程程序控制系统的设计步骤	157
§6-2 行程程序回路的设计方法	159
一 信号-动作状态线图法设计行程程序回路	159
二 程序控制线图法设计程序回路	169
§6-3 气动回路的绘制方法	175
一 逻辑框图画法	176
二 气动元件程序控制回路图画法	177
第七章 气动技术在自动化中的应用举例	178
§7-1 气动技术在自动生产线中的应用实例	178
例 1 空气式工件探测机构	178
例 2 流水作业线上用的擒纵机构	180
例 3 自动装配线上用的定位机构	181
例 4 纯气动式夹紧回路	183
例 5 纯气动式传送回路	184
例 6 各种成品的高速送出装置	186
例 7 冲床用电磁阀式传送装置	186
例 8 使用真空吸盘的搬运回路	195
例 9 电磁阀式真空吸盘搬送回路	196
例 10 推杆式送料机构	201
例 11 自动生产线上的元件压入装置	203
例 12 装配线中的打印装置	205
§7-2 气动技术在加工机械中的应用实例	206
例 1 数控车床用真空卡盘	206
例 2 钻床工作台升降机构	208
例 3 变压器铁芯切断机	209
例 4 高速切断装置	211
例 5 用光电开关的气动切割回路	213
例 6 槽形弯板机回路	215
例 7 利用摆动气缸的变力矩扳手	216
例 8 射流元件控制的紧丝机	218
例 9 锻造轧辊用机械手	218

例10 压缩捆包机	221
§7-3 气动技术在门户或阀门开闭装置中的应用实例	221
例1 手动阀门操作的自动开闭装置	221
例2 门户开闭装置	224
例3 加热炉门的开闭装置	226
§7-4 气动技术在其它方面的应用举例	227
例1 喷涂机器人中的供液系统	227
例2 液体自动定量灌装系统	229
例3 灌装系统	232
例4 罐体浸涂用升降机构	233
例5 用于制造胶带的粘着剂供给装置	234
例6 船舶前进与倒车的转换装置	236
例7 矿车的发送装置	237
例8 重物转台	238
例9 用微机控制的纸壳箱贮放系统	240
例10 飞机供油车的自动联锁回路	242
例11 气动逻辑式铸件检漏装置	244
例12 人工心脏用气动源	245
第八章 故障的发生及排除方法	249
§8-1 空气中的杂质对气动系统引起的故障及排除方法	249
一 水份对气动装置产生的故障及排除方法	249
二 油份对气动装置产生的故障及排除方法	250
三 粉尘对气动装置产生的故障及排除方法	251
§8-2 气动元件产生的故障及排除方法	252
一 控制元件产生的故障及排除方法	252
二 执行元件产生的故障及排除方法	255
§8-3 气动辅助元件产生的故障及排除方法	256
一 空气滤清器产生的故障及排除方法	257
二 油雾器产生的故障及排除方法	258
附录一 气动技术常用计算图表	259
附录二 气动元件图形符号	275
参考文献	284

第一章 绪 论

§ 1-1 气动控制技术的现状

我们周围的空气是取之不尽用之不竭的，只要将其压缩后就可作为能源使用。空气与液压油不同，它既不会变质又可随时随地地排出，也不致于造成污染与灾害。所以在很早以前，随着采矿、钢铁及汽车等工业的发展，气动机械的应用范围也逐渐扩大。可以说不使用气动机械的工业几乎是没有的。特别是在工业飞速发展的年代里，气动技术作为自动化与省力化的手段和方法，其发展速度更是急剧加快。目前来看，由于世界上能源日趋短缺，因而对自动化与省力化的要求也日益强烈，但是就其要求的内容来看，与早年相比却有很大的变化。为了满足这一变化的要求，气动技术与气动机械也迎来了巨大的变革时期。这就是随着应用范围的扩大，它的性能也必须满足气动机械多样化以及与电子工业快速发展相适应的要求。而在这样的变革时期，要求按不同于以前的观点去开发气动技术、气动机械与气动系统。即不单纯强调进行气动元件本身的研究而使之满足多样化的要求，而且为了达到提高系统的可靠性、降低总的成本以及与电子工业相适应的目的，从整个气动系统出发，进行综合技术与系统控制技术方面的研究。这样的气动技术可简单地归纳为以下几个方面，

1. 无给油化，
2. 节能化，
3. 小型化与轻量化，
4. 位置控制的高精度化，
5. 与电子学的结合。

一 无 给 油 化

在以前的气动控制系统中、油雾器是不可缺少的，主要是用它供给气动机械的润滑油。供给润滑油的目的是

- 1 用作气缸及方向控制阀等滑动部分的润滑；
- 2 用作管路等各部分的防锈；
- 3 洗净或清除粉尘与油泥等。

供给润滑油的系统，如果润滑油确实能够供到各元件的润滑部位时，可以说是可靠性高的系统。但是气动系统的特点之一是可将废气直接排入大气而不需要管路。如果使用润滑油则这个优点也就不存在了，相反却变成了缺点。虽然排入空气中的油量不多，但是在室内作业也是有害的。此外，由于油中含有各种添加剂还易于造成环境的污染。为了克服这一缺点开发了不供给润滑油的气动系统。但是无给油系统从根本上来说与无润滑系统是不同的。无润滑系统是完全不使用润滑油的系统，它是使用有自润滑性的特殊材料或者是利用空气润滑（气体薄膜润滑）。而无给油只是没必要经常给油，一般是在滑动部分封入黄油等润滑油。

1 无给油系统的优点

- (1) 取消了油雾器；
- (2) 由于不供给润滑油其成本降低了；
- (3) 由于不必进行给油量的监护与调整等的管理，所以气动系统的可靠性也就提高了。

2 无给油系统的缺点

- (1) 管路等零部件容易产生锈蚀；
- (2) 给油错误或空气中水分含量高时，封入的润滑油要产生流动，从而导致润滑效果的降低或消失；
- (3) 与给油的系统相比机器的寿命短。

由上述的优缺点可以看出，无给油系统的最大特点是摆脱了管理气动系统中润滑油的烦琐工作，同时，系统的可靠性也相应地得到了提高。

3 实现无给油化的措施

使用无给油电磁阀是实现无给油化的措施之一。电磁阀就其主阀形状而言，有先导阀型与滑阀型两种。先导阀型电磁阀比较简单，无给油也可以工作，但是四通或五通阀其结构较复杂，这是它的缺点。而滑阀型有金属密封与软密封两种方式。金属密封基本上属于无润滑方式，也适于无给油。但是使用的空气必须是经过精心过滤的。气膜润滑主阀寿命可达一亿次以上。图 1-1 是表示金属密封的主阀部分。

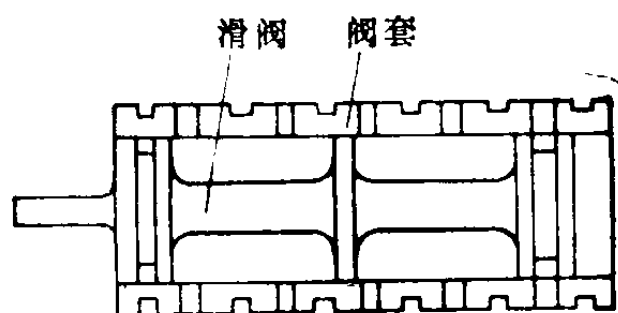


图1-1 金属密封方式的主阀

最近以软密封实现无给油的研究是很多的，因为使用方便又可小型化，所以应用较普遍。滑阀型软密封，由于其密封结构不同，无给油时的寿命无疑是高的。因此出现了多种形式的密封结构，它们都各有优缺点，下面只介绍其中的三种。

(1) 摇摆密封 一般滑阀式换向阀在供气口侧与排气口侧两个地方都得密封，不然供气时空气就要向外泄漏，但是对滑阀式主阀来说，要使两个地方同时密封是很困难的，因此在供气口侧用固定式胶圈，在滑阀的凸肩处完全密封之后，让排气侧的阀座有一点间隙（开口），如图 1-2 所示。它是特殊形状带有唇

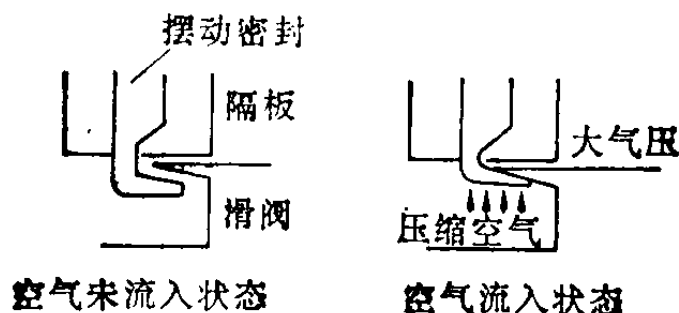


图1-2 摇摆密封的工作原理图

缘的密封。它是由于压力的作用而使密封的唇缘摇摆将间隙密封的结构。因此在密封部位上没有滑动，所以即使空气不太清洁或无给油的情况下也可使阀得到稳定的密封特性与可靠的动作。其缺点是阀的结构较复杂，尺寸较大；另外由于是唇缘形密封，其加压方向有一定限制。

(2) 锥状密封 图 1-3 是五通阀的锥状密封。此电磁阀是以软密封形的滑阀沿阀体内表面直接滑动的结构。该密封是将圆盘弹簧骨架与密封橡胶作成一体，以此来构成滑阀。圆盘弹簧在有压力作用时起到补强的作用。当滑阀移动时外径向后倾斜，可

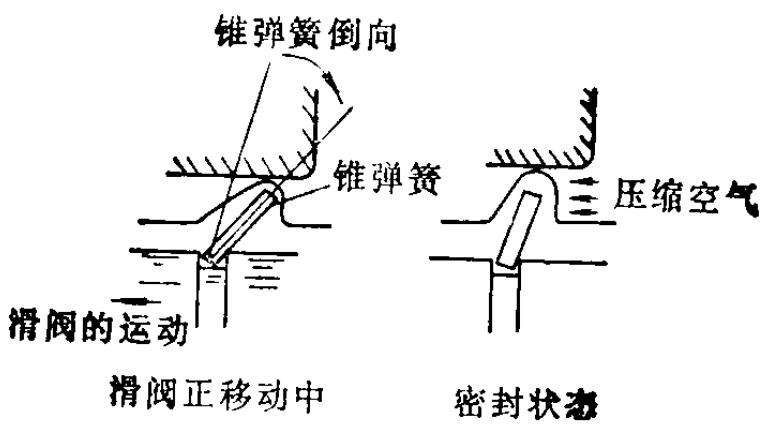


图1-3 锥状密封工作原理图

减小滑动阻力的作用。因此要防止软密封在开始运动时摩擦力大的缺点。圆锥方式的电磁阀与金属密封的一样，也可在无给油的情况下使用。它的优点是主阀的结构特别简单，缺点是加压方向有限制，所以供气口只能有一个。

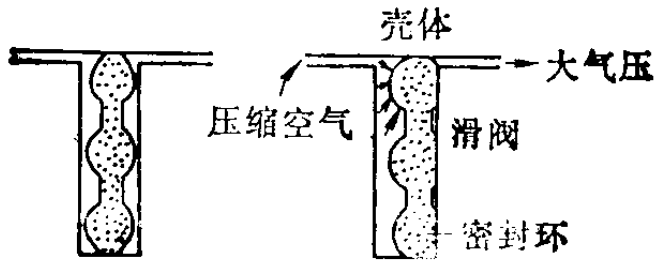


图1-4 三层挤压密封的断面图

(3) 三层挤压密封 图 1-4 是三层挤压密封的断面图。其结构是以三个直径不同的O形密封圈相重叠而构成的，是由密封圈的压缩变形而实现密封的。因此加压方向并无限制。另外，密封是由于预压缩量或压力而产生变形，所以与前一种结构一样，要

防止产生滑动阻力过大的问题。从主阀结构来看它也是属于软密封方式的滑阀，所以与锥形密封相类似。但是由于密封的结构不同，所以从机能上来看它更接近于金属密封的阀。

关于无给油密封结构，不只是对电磁阀，而且对气缸等执行机构也进行了大量的研究。此外，还对输气管、接头及其它气动元件等正进行着无给油化的研究，在此就不一一介绍了。

二 节 能 化

过去认为空气是取之不尽的，因此即便有些泄漏也无关紧要，又加之与其它系统相比电力的消耗又不多，所以对节能并不重视。但是近年来节能的呼声越来越高，而气动机械也不例外。气动技术的节能可分为两方面，即降低系统消耗的电力和降低空气的消耗量。

1 电力消耗

作为节能的一个方面是开发各种小功率的电磁阀，功率为2 W以下的电磁阀正在普及。从电磁阀本身的节能来看，其电功率消耗为以前的 $1/3 \sim 1/10$ ，但是从系统的全体来看其效果是非常大的。控制电磁阀的继电器、程序控制装置以及电线等的容量变小，所以购买这些元件与装置的成本以及它们消耗的功率也都变低了。

2 空气消耗量

为了降低空气消耗量，采用最佳过流断面尺寸和控制气动回路的压力与流量是非常重要的。

(1) 最佳过流断面尺寸(最佳组合法) 气动系统中使用的压缩空气是由空气压缩机产生的，减少空气消耗量也就是降低了压缩机的电功率消耗，这无疑会增大节能效果。降低空气消耗量最显著的办法是根据使用的目的和条件，将气动系统内流动的空气量控制在最小限度。因此要求把满足必要的合成有效断面的各种气动元件按最佳的原则加以组合。在构成系统的各元件中，首先要加以确定的是执行元件的工作情况。例如当负载确定之后，

要求出气缸的内径、必要的最大速度以及到达的时间等，从而可按最佳组合法确定最小的空气消耗量。

(2) 回路内压力的控制 用气缸作为驱动元件，一般是推或拉负载的单向工作为多，两侧同时工作的情况较少。这样可以在负载作用的一侧使用高压，无负载的一侧使用低压，用以减少空气的消耗量。例如高压侧工作压力为 $5 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，无负载侧压力为 $2 \times 10^5 \text{Pa}$ ，则空气的消耗量可减少 25%。图 1-5 就是这样的回路。另外，在减压阀中装有单向阀或者带不平衡板的可逆流形减压阀也可达到与上述系统相同的效果。

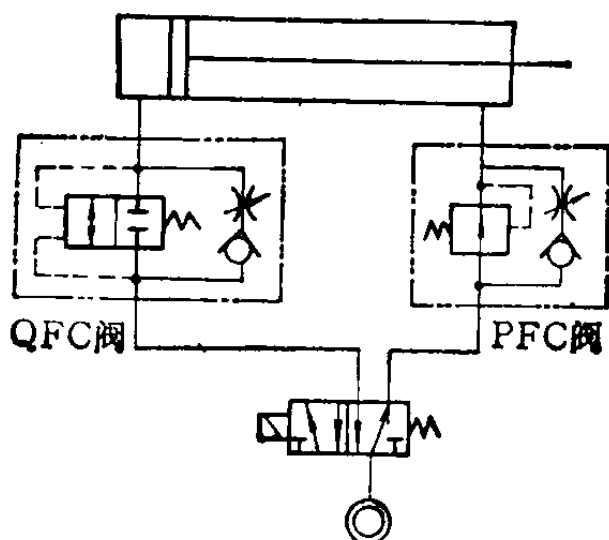


图1-5 用多目的控制阀构成的节能回路

三 小型化与轻量化

随着机械装置的紧凑化，对电磁阀、执行机构及调速阀等气动元件的小型化与轻量化的要求也越来越高了。电子学的进步实现了用小型的元件可以进行复杂的控制。

气动元件小型化轻量化的优点是很多的，它可降低元件的成本，节省功率，从而也就提高了总系统的经济性。但是进行气动元件小型化与轻量化时必须注意以下几点。

1 防止单纯为了小型化而小型化 象最初使用的电子管一样，经过半导体而发展成目前的超小型集成电路，可以说是非常小型化了，但是它是为了作为信号处理而使元件小型化集成化的，

而元件本身的机能并没有变化；可是随着小型化其输出功率要变小。对于用作能量处理的气动元件来说，除个别情况外，即使保持机能不变，而使输出功率变小的小型化也是不可取的。

2 重视性能与机能下的小型化 以电磁阀为例，若是小型化的结果使得表示其能力的有效断面也减小了，那时可以说小型化就没有任何意义了。因此为了实现小型化，就得在阀的基本结构、密封方式以及材料等方面以极新的观点进行开发与研究。目前具有新结构和密封的小型阀正在继续开发与应用中。

四 位置控制的高精度化

气动系统中的位置控制，由于空气的压缩性等原因，要想提高其精度是很困难的。从前是用三位五通的中位封闭式换向阀以实现定位，但是由于阀有内泄漏其定位精度并不高。一般可用对气缸加以机械制动的方法提高定位精度。下面简单地介绍其中的两种方式。

1 弹簧筒夹头方式 这种方式如图 1-6 所示。是利用分片的两端为锥形的弹簧筒夹头结构。当制动活塞供气时，活塞就压紧弹簧筒夹头将气缸的活塞杆锁紧，从而实现制动。这种形式的制动性能良好，用它可实现高精度的定位。

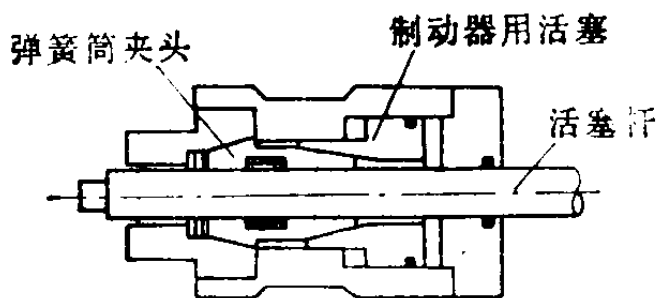


图1-6 弹簧筒夹头方式制动

2 弹簧夹头方式 这种方式是利用圆弹簧的变形而对活塞杆产生制动力。在圆周方向上用解放活塞将圆形弹簧的一端展开后解除制动。在没有信号时，两个左右旋转方向不同的圆弹簧紧贴在活塞杆上产生很大的制动力限制其移动。这种型式在停电、

长时间停止以及空气管路损伤等使气压消失时也可以制动，所以作为安全装置使用是非常有效的。

除上述两种制动方式外，还有气-液增压式、斜盘式、旋转锥套式以及偏心式等也是常用的定位方式。

五 与电子学的结合

由于电子学的进步给气动系统及其元件也带来了很大影响，小功率电磁阀就是其中一个。但是变化最大的还是控制方法。从前的继电控制正在向程序控制和微机控制方面转化。气动系统用的程序控制器也在开发中。但是今后的任务是开发包括传感器在内的使用简便的整个气动系统。在将电子学引入气动系统的时候，以前只不过是程序控制、开-闭式控制的概念出发，组成不包括信息处理的控制。仅以简单的组成变化是不能形成新的控制方法的，同时也得不到操作简易的系统。作为新的尝试之一是用微机定位，使气动系统与电子学结合起来了。

例如图 1-7 与图 1-8 是利用微机控制的方框图和气动回路图。

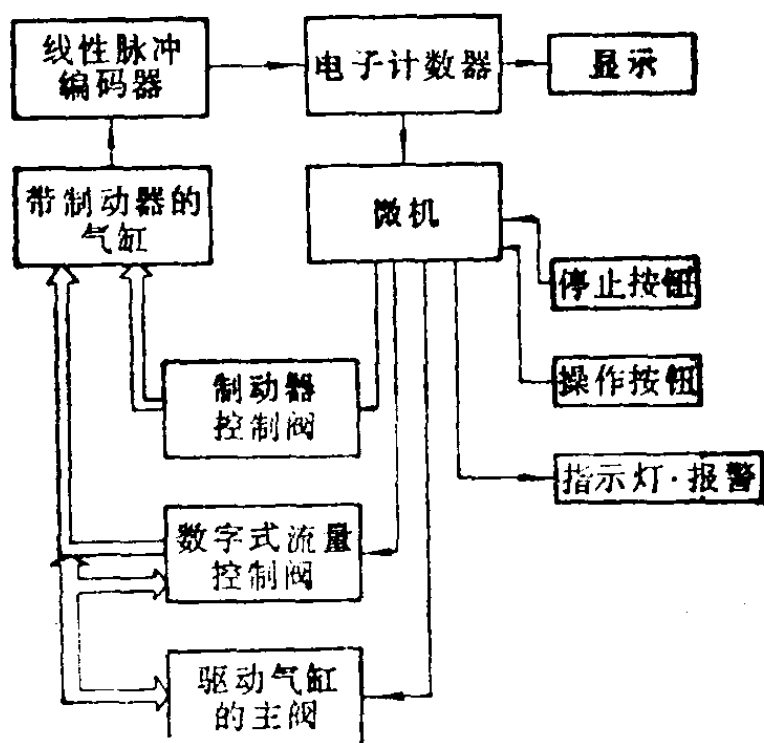


图1-7 微机控制的方框图