



# 气压传动基础知识

## 气源装置及气动元件

气压传动是以压缩空气作为工作介质进行能量的传递和控制的一种传动形式。

除了具有与液压传动一样，操作控制方便，易于实现自动控制、过载保护等优点外，还具有工作介质处理方便，无泄漏污染环境等优势。

但空气的压缩性极大的限制了气压传动传递的功率，一般工作压力较低（ $0.3\sim 1\text{MPa}$ ），总输出力不宜大于 $10\sim 40\text{kN}$ ，且工作速度稳定性较差。

应用非常广泛，尤其是轻工、食品工业、化工。

## ■ 气压传动基础知识

- 空气的物理性质
- 理想气体的状态方程
- 气体的流动规律
- 气体在管道中的流动特性
- 气动元件的通流能力
- 充、放气温度与时间的计算

# 第9章 气压传动基础知识

## 9.1 空气的物理性质

- 空气的组成
  - 主要成分有氮气、氧气和一定量的水蒸气。
  - 含水蒸气的空气称为湿空气，不含水蒸气的空气称为干空气。
- 空气的密度
  - 对于干空气  $\rho = \rho_0 \times 273 / (273 + t) \times p / 0.1013$   
式中，基准状态下（即温度  $t = 0^\circ\text{C}$ 、压力  $p = 0.1013\text{MPa}$ ）干空气密度  $\rho_0 = 1.293\text{kg/m}^3$
- 空气的粘度
  - 较液体粘度小，且随温度升高而升高。
- 空气的压缩性和膨胀性
  - 气体体积随压力升高而减小的性质称为压缩性，而气体体积随温度升高而增大的性质称为膨胀性。
  - 空气的压缩性和膨胀性远大于固体和液体的压缩性和膨胀性。
- 湿空气
  - 所含水份的程度用湿度和含湿量来表示。湿度的表示方法有 绝对湿度和相对湿度之分。
- 压缩空气的析水量
  - 压缩空气一旦冷却下来，相对湿度将大大增加，当温度降至露点后便会有水滴析出。

# 第9章 气压传动基础知识

## 9.2 气体状态方程

### ■ 理想气体的状态方程

- 不计粘性的气体称为理想气体。空气可视为理想气体。
- 一定质量的理想气体在状态变化的瞬间，有如下气体状态方程成立  
 $pV/T = \text{常量}$  或  $p = \rho RT$

### ■ 气体状态变化过程

- 等温过程  $p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{常量}$

- 在等温过程中，无内能变化，加入系统的热量全部变成气体所做的功。在气动系统中气缸工作、管道输送空气等均可视为等温过程。

- 绝热过程 一定质量的气体 and 外界没有热量交换时的状态变化过程叫做绝热过程。

- $p_1 V_1^k = p_2 V_2^k = \text{常量}$

式中  $k$  为绝热指数，对空气来说  $k=1.4$ 。

- 气动系统中快速充、排气过程可视为绝热过程。

# 第9章 气压传动基础知识

## 9.3 气体的流动规律

### ■ 气体流动基本方程

#### □ 连续性方程

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (\text{注意 } \rho_1 \neq \rho_2)$$

#### □ 伯努利方程

- 气体在管道中作恒定流动时，根据能量守恒定律，推导出管道任意截面上气体流动的伯努利方程为

$$gh + \frac{v^2}{2} + \int \frac{dp}{d\rho} + gh_f = \text{常数}$$

式中  $h$ ——管道任一截面的位置高度。

$hf$ ——摩擦阻力损失。

- 如果忽略气体流动时的能量损失和位能变化，则可压缩气体绝热过程下流动时的伯努利方程为

$$\frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$$

## 声速与马赫数

- 声音引起的波称为“声波”。声波在介质中的传播速度称为声速。声音传播过程属绝热过程。对理想气体来说，声音在其中传播的相对速度只与气体的温度有关。气体的声速 $a$ 是随气体状态参数的变化而变化的。
- 气流速度与当地声速（ $a=341\text{m/s}$ ）之比称为马赫数。

$$Ma = v/c$$

$Ma$  是气体流动的一个重要参数，集中反映了气流的压缩性， $Ma$ 愈大，气流密度变化越大。

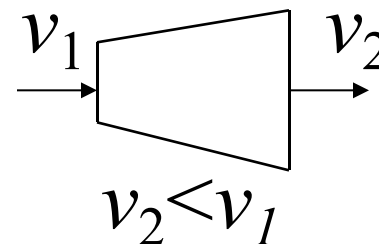
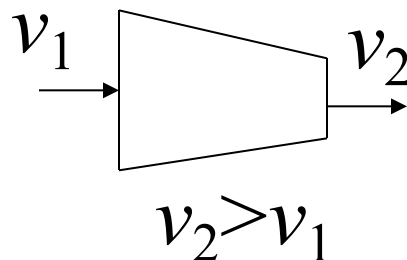
当 $v < a$ ， $Ma < 1$ 时，称为亚声速流动；

当 $v = a$ ， $Ma = 1$ 时，称为声速流动，也叫临界状态流动；

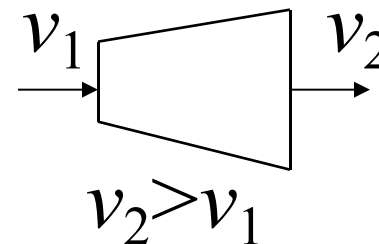
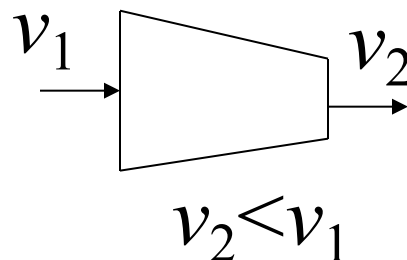
当 $v > a$ ， $Ma > 1$ 时，称为超声速流动。

## ■ 气体在管道中的流动特性

- 在亚声速流动时  
( $Ma < 1$ )



- 在超声速流动时  
( $Ma > 1$ )

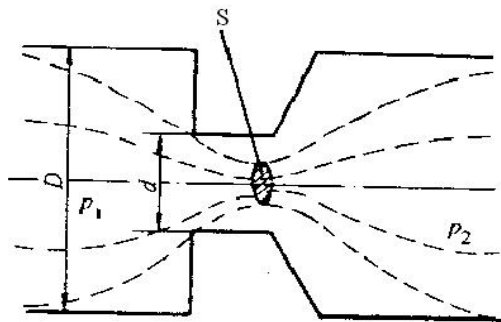


- 当  $v \leq 50m/s$  时，不必考虑压缩性。
- 当  $v \approx 140m/s$  时，应考虑压缩性。
- 在气动装置中，气体流动速度较低，且经过压缩，可以认为不可压缩；自由气体经空压机压缩的过程中是可压缩的。

# 第9章 气压传动基础知识

## 9.4 气动元件的流通能力

气动元件的通流能力，是指单位时间内通过阀、管路等的气体质量。通流能力可以采用有效截面积 $S$ 和质量流量 $q$ 表示。



### ■ 有效截面积

- 由于实际流体存在粘性，流速的收缩比节流孔实际面积小，此最小截面积称为有效截面积，它代表了节流孔的通流能力。
- 有效截面积的简化计算

- 对于阀口或管路  $S = \alpha A$

式中， $\alpha$ 为收缩系数，由相关图查出； $A$ 为孔口实际面积。

- 多个元件组合后有效截面积的计算

并联元件  $S_n = \sum S_i$

串联元件  $1/S_n^2 = \sum 1/S_i^2$

## ■ 流量

### 1. 不可压缩气体通过节流孔的流量

- 当气流速度较低（<5m/s）时，可不计压缩性的影响，将其密度视为常数，气体通过节流孔的流量可按不可压缩流体的流量公式计算。

$$q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

式中  $q$ ——通过节流孔的流量（m<sup>3</sup>/s）；

$C_d$ ——流量系数，对于空气一般取  $C_d=0.62\sim0.64$ ；

$A$ ——节流孔面积（m<sup>2</sup>）；

$\Delta p$ ——节流孔前后的压力差（MPa）。

## 2. 可压缩气体通过节流孔的流量

- 当气流以较高的速度通过节流孔时，需考虑气体压缩性的影响，其密度也不可再视为常数，这时应按绝热流动进行分析和计算。
- 当  $p_2/p_1 > 0.528$  时，气流以亚声速流动，通过节流孔的自由空气流量为

$$q_z = 3.9 \times 10^3 S \sqrt{\Delta p p_1} \sqrt{\frac{273.16}{T_1}}$$

- 当  $p_2/p_1 < 0.528$  时，气流以超声速流动，通过节流孔的自由空气流量为

$$q_z = 1.88 \times 10^3 S p_1 \sqrt{\frac{273.16}{T_1}}$$

式中  $q_z$ ——通过节流孔的自由空气流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$S$ ——有效截面积 ( $\text{m}^2$ ) ;

$p_1$ ——节流孔前绝对压力 (MPa) ;

$\Delta p$ ——节流孔前后的压力差,  $\Delta p = p_1 - p_2$  (MPa) 。

$p_2$ ——节流孔后绝对压力 (MPa) ;

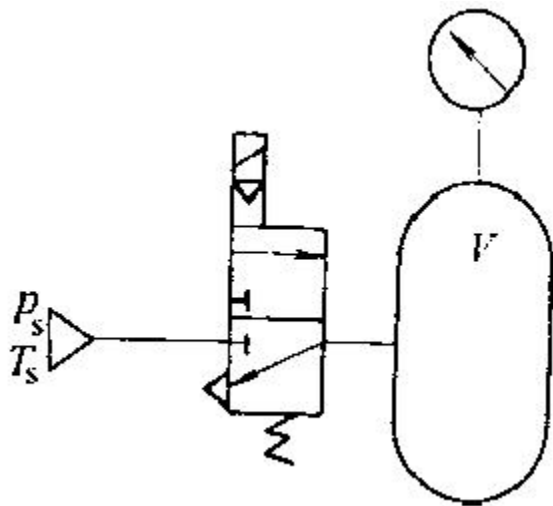
$T_1$ ——节流孔前绝对温度 (K) 。

# 第9章 气压传动基础知识

## 9.5 充、放气参数计算

在气压传动系统中，正确地向气罐、执行元件及管道等容腔充气或由其排气，合理选择、调整相关参数，是提高气动系统效率、节省能耗、正确利用气动技术的重要技术问题。

向定容容器充气的装置如图所示。绝对压力为 $p_s$ 、绝对温度为 $T_s$ 的恒定气源，通过气动阀向容积 $V$ 一定的容器内充气，容器内的绝对压力和绝对温度从 $p_1$ 和 $T_1$ 升高到 $p_2$ 和 $T_2$ 。由于充气速度较快，热量来不及通过容器壁向外界传导，故充气过程可视为绝热过程。



## 充气温度

根据气体的状态方程可推得充气后容器内气体温度 $T_2$ 为

$$T_2 = \frac{k}{1 + \frac{p_1}{p_2} \left( k \frac{T_s}{T_1} - 1 \right)} T_s$$

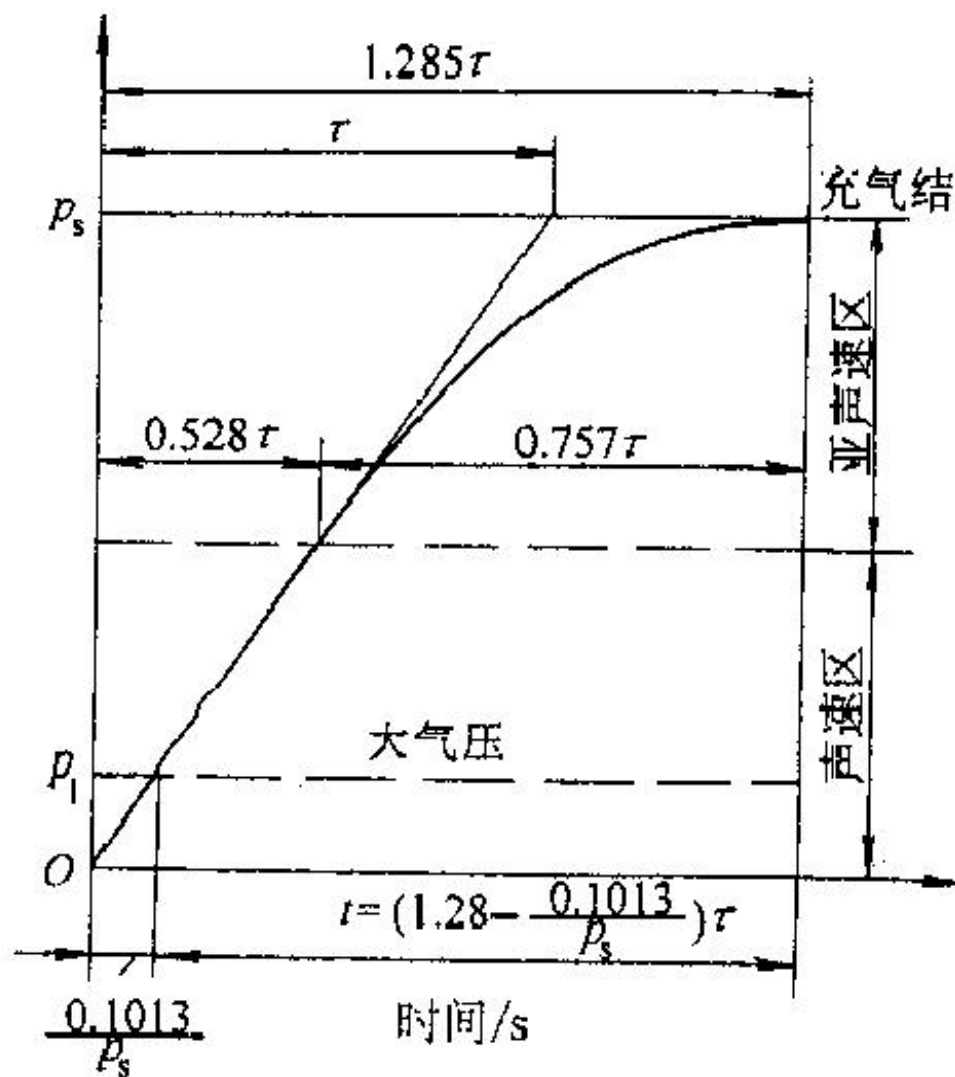
## 充气时间

容器充气到气源压力所需的时间 $t(\text{s})$ 为

$$t = \left( 1.285 - \frac{p_1}{p_s} \right) \tau$$

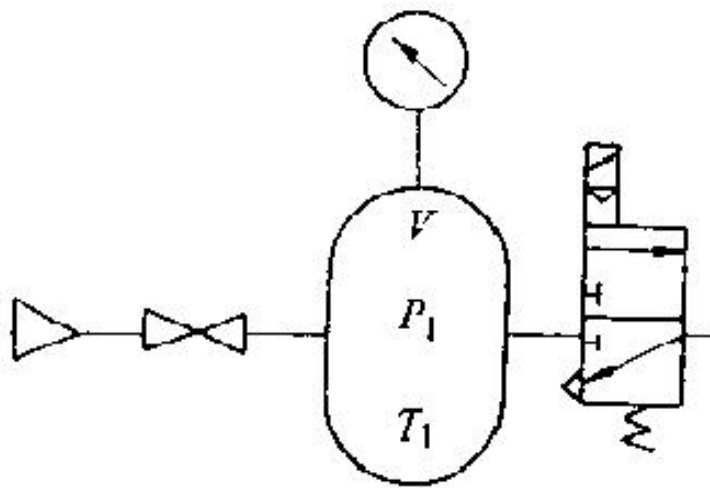
$$\tau = 5.217 \times 10^{-3} \times \frac{V}{kS} \sqrt{\frac{273.16}{T_s}}$$

容器内压力/(MPa绝对压力)



充气过程分成两个阶段：  
在  $0 \sim 0.528\tau$  时间段内为声速充气阶段，这一阶段充气流量保持常数，容器内气体压力随时间呈线性变化；在大于  $0.528\tau$  时间段内为亚声速充气阶段，这一阶段容器内气体压力增大，压差变小，气流速度随之降低，进入亚声速充气，随着容器内气体压力上升，充气流量逐渐减小，容器内气体压力随时间呈非线性变化。

从容器内向外界放气的装置如图所示。将容积 $V$ 一定的容器内的气体通过气动阀向外界放气，容器内气体的压力和温度从 $p_1$ 和 $T_1$ 降到 $p_2$ 和 $T_2$ 。由于放气速度很快，同样可将放气过程视为绝热过程。



## 放气温度

根据气体的状态方程可得放气后容器内气体温度 $T_2$ 为

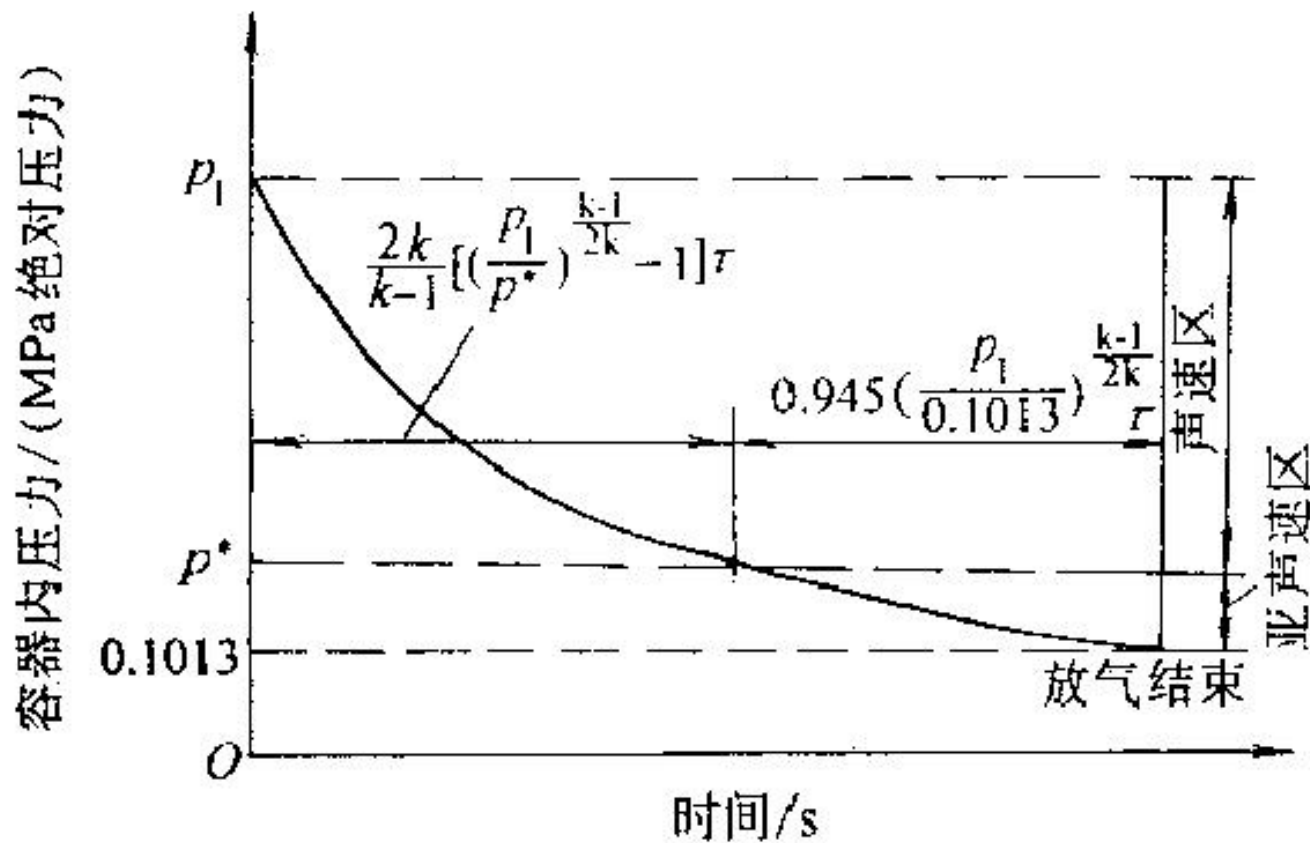
$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

## 放气时间

从容器中放气到结束时所需的时间 $t(\text{s})$ 为

$$t = \left\{ \frac{2k}{k-1} \left[ \left( \frac{p_1}{p^*} \right)^{\frac{k-1}{2k}} - 1 \right] + 0.945 \left( \frac{p_1}{0.1013} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \right\} \tau$$

式中  $p_1$ ——放气前容器内气体的初始绝对压力（MPa）；  
 $p^*$ ——放气临界绝对压力，一般取 $p^*=0.192\text{MPa}$ ；  
 $\tau$ ——意义同上。



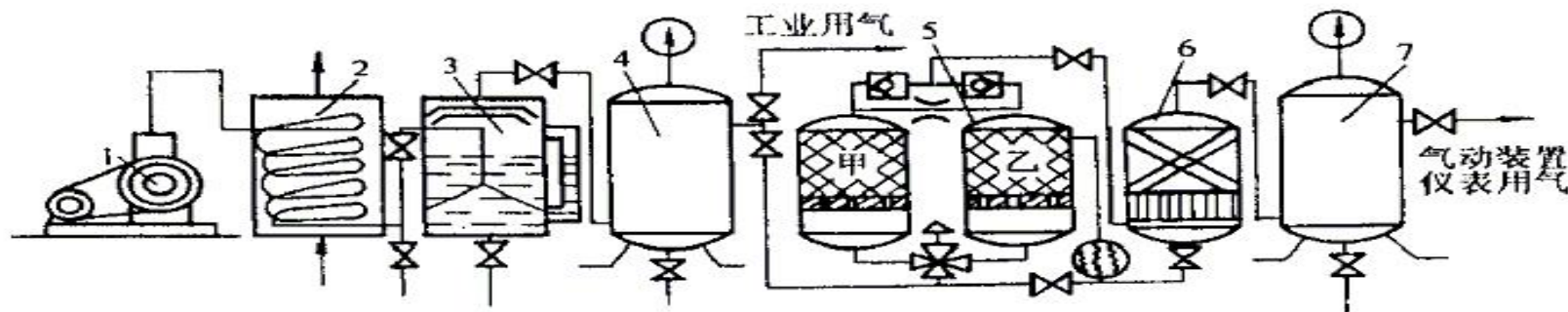
放气过程也可分成声速放气和亚声速放气两个阶段：当容器内的气压  $p > p^*$  时，放气气流保持声速流动；当容器内的气压  $p < p^*$  时，气流速度降低，放气气流处于亚声速流动。

# 第10章 气源装置及气动元件

## 10.1 气源装置

### ■ 气动系统组成

- **气源装置** 压缩空气的发生装置以及压缩空气的存贮、净化的辅助装置。它为系统提供合乎质量要求的压缩空气。
- **执行元件** 将气体压力能转换成机械能并完成做功动作的元件，如气缸、气马达。
- **控制元件** 控制气体压力、流量及运动方向的元件，如各种阀类；能完成一定逻辑功能的元件，即气动逻辑元件；感测、转换、处理气动信号的元器件，如气动传感器及信号处理装置。
- **气动辅件** 气动系统中的辅助元件，如消声器、管道、接头等。



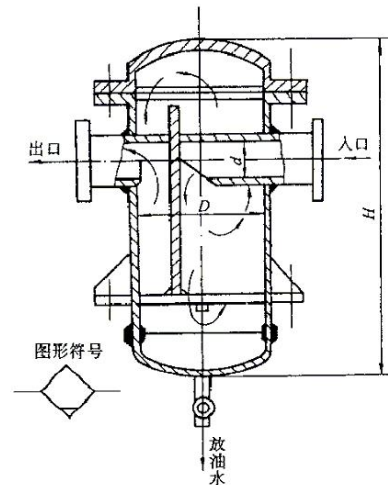
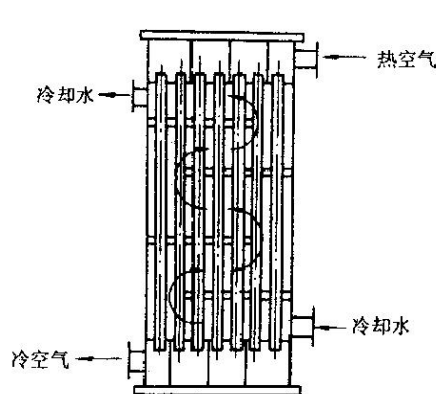
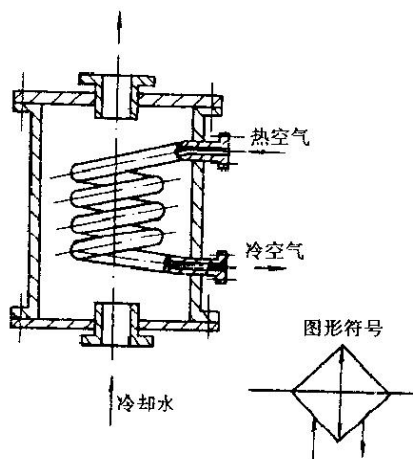
气源装置是为气动系统提供具有一定压力和足够流量、满足一定净化程度要求的压缩空气的能源装置，它是气动系统的重要组成部分。气源装置包括气压发生、压缩空气净化与贮存、压力稳定和传输管道等装置。

## 气压发生装置

- 空气压缩机的分类 分容积型和速度型
- 常用往复式容积型压缩机，一般空压机为中压，额定排气压力1MPa；
  - 低压空压机排气压力0.2MPa；
  - 高压空压机排气压力10MPa。
- 空气压缩机的选用原则 依据系统所需工作压力和流量
  - 空压机输出流量  $q_{Vn} = (q_{Vn0} + q_{Vn1}) / (0.7 \sim 0.8)$
  - $q_{Vn0}$  —— 配管等处的泄漏量
  - $q_{Vn1}$  —— 工作元件的总流量

## ■ 压缩空气净化设备

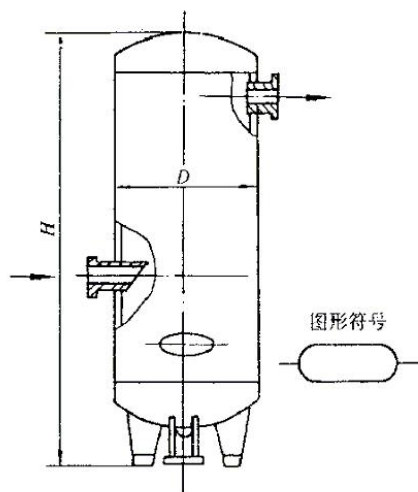
一般包括后冷却器、油水分离器、贮气罐、干燥器。



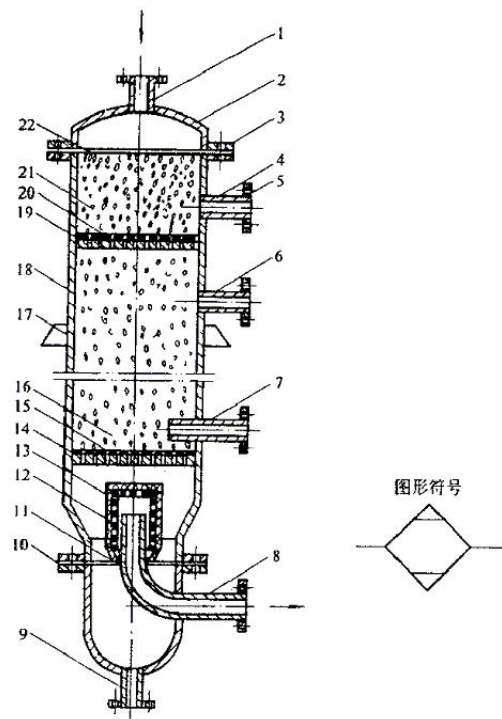
■ **后冷却器** 将空气压缩机排出具有 $140^{\circ}\text{C}\sim 170^{\circ}\text{C}$ 的压缩空气降至 $40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，压缩空气中的油雾和水气亦凝析出来。冷却方式有水冷和气冷式两种。

■ **油水分离器** 主要利用回转离心、撞击、水浴等方法使水滴、油滴及其他杂质颗粒从压缩空气中分离出来。

- **贮气罐**的主要作用是贮存一定数量的压缩空气，减少气流脉动，减弱气流脉动引起的管道振动，进一步分离压缩空气的水分和油分。



- **干燥器**的作用是进一步除去压缩空气中含有的水分、油分、颗粒杂质等，使压缩空气干燥，用于对气源质量要求较高的气动装置、气动仪表等。主要采用吸附、离心、机械降水及冷冻等方法。



## ■ 气动三联件

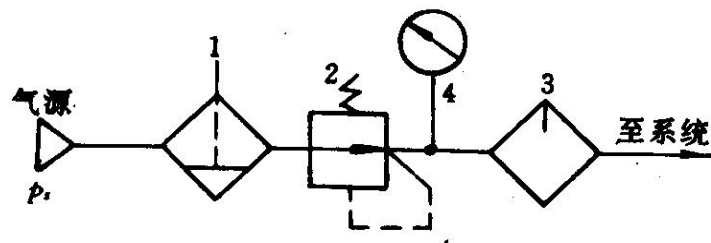


图 12-14 气动三联件的安装次序

1—分水滤气器；2—减压阀；3—油雾器；4—压力表

- 气动三联件是压缩空气质量的最后保证。
- 分水过滤器 作用是除去空气中的灰尘、杂质，并将空气中的水分分离出来。
  - 原理：回转离心、撞击，
  - 性能指标：过滤度、水分离率、滤灰效率、流量特性
- 油雾器 特殊的注油装置。
  - 原理 当压缩空气流过时，它将润滑油喷射成雾状，随压缩空气流入需要的润滑部件，达到润滑的目的。
  - 性能指标：流量特性、起雾油量
- 减压阀 起减压和稳压作用。
- 气动三联件的**安装连接次序：分水过滤器、减压阀、油雾器**。多数情况下，三件组合使用，也可以少于三件，只用一件或两件。

# 气动辅件

## ■ 消声器

- 气缸、气阀等工作时排气速度较高，气体体积急剧膨胀，会产生刺耳的噪声。噪声的强弱随排气的速度、排气量和空气通道的形状而变化。排气的速度和功率越大，噪声也越大，一般可达100~120dB，为了降低噪声在排气口要装设消声器。
- 消声器是通过阻尼或增加排气面积来降低排气的速度和功率，从而降低噪声的。
- 消声器的类型：吸收型；膨胀干涉型；膨胀干涉吸收性。

## ■ 管道连接件      包括管子和各种管接头。

- 管子可分为硬管和软管。      一些固定不动的、不需要经常装拆的地方使用硬管；连接运动部件、希望装拆方便的管路用软管。常用的是紫铜管和尼龙管。
- 管接头分为卡套式、扩口螺纹式、卡箍式、插入快换式等。

# 第10章 气源装置及气动元件

## 10.2 气动执行元件

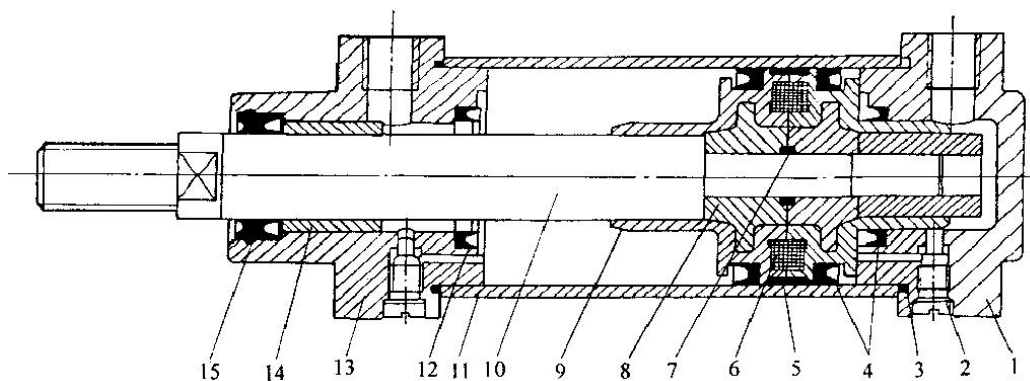
气动执行元件是将压缩空气的压力能转换为机械能的装置，包括实现直线运动的气缸、实现旋转运动的气马达。

### ■ 气缸的分类及典型结构

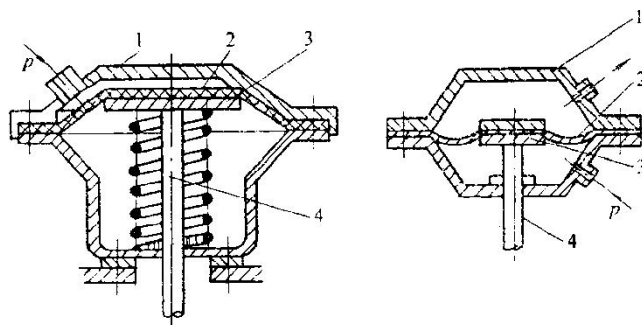
|     |     |       |      |            |     |
|-----|-----|-------|------|------------|-----|
| 气 缸 | 活塞式 | 单活塞   | 有活塞杆 | 单活塞杆       | 单作用 |
|     |     |       |      |            | 双作用 |
|     |     |       |      | 双活塞杆       | 单作用 |
|     |     |       |      |            | 双作用 |
|     |     |       | 无活塞杆 | 机械耦合（无杆气缸） |     |
|     |     |       |      | 磁性耦合（磁性气缸） |     |
|     |     | 绳索、钢缆 |      |            |     |
|     |     | 双活塞   |      |            |     |
|     | 膜片式 |       |      |            |     |

# 第10章 气源装置及气动元件

## 10.2 气动执行元件



■ **普通气缸**是指最常用的气缸，这种缸在缸筒内只有一个活塞和一根活塞杆，它有单作用和双作用两种形式。气缸的作用力与速度的计算与液压缸相同。



■ **膜片气缸**是一种用压缩空气推动非金属膜片作往复运动的气缸，可以是单作用式，也可以是双作用式。适用于气动夹具、自动调节阀及短行程工作场合。

## ■ 无杆气缸

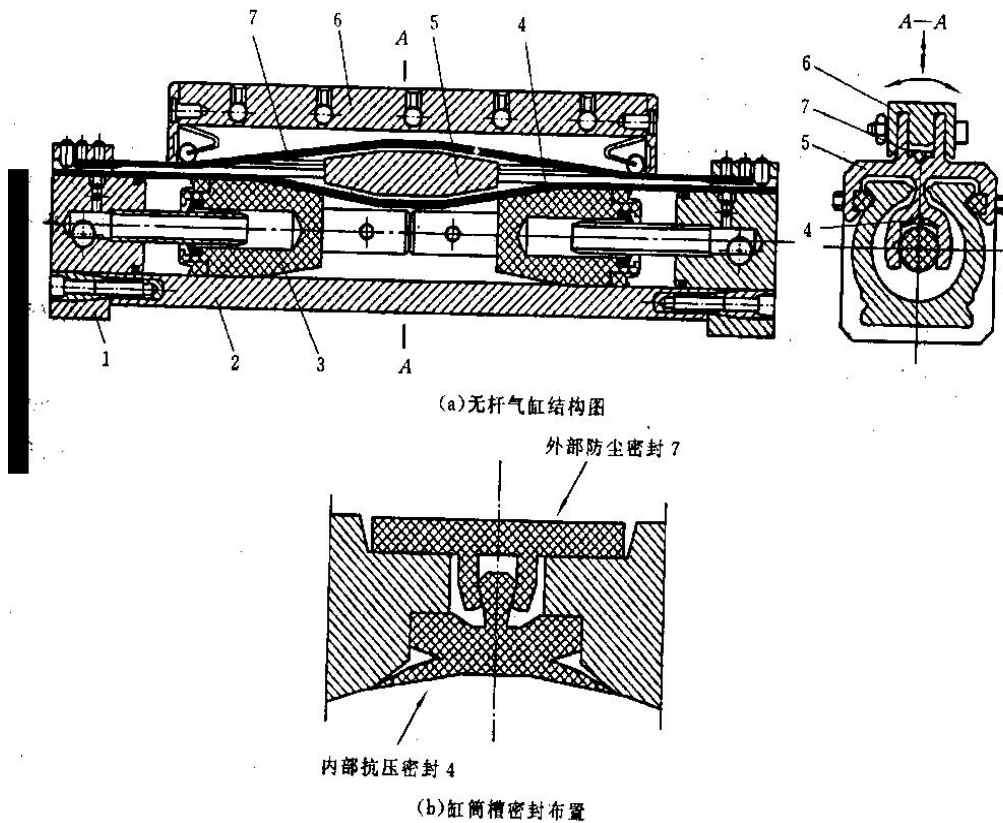


图 3-26 无杆气缸

1—左、右端盖；2—缸筒；3—无杆活塞；4—内部抗压密封件；  
5—传动舌片；6—导架；7—外部防尘密封件

■ 组成 由缸筒2，防尘和抗压密封件7、4，无杆活塞3，左右端盖1，传动舌片5，导架6等组成。



## ■ 气缸的工作特性

### ■ 气缸的速度

在运动过程中气缸活塞的速度是变化的，通常说气缸速度是指活塞平均速度。

### ■ 气缸的理论输出力

其计算公式与液压缸相同。

### ■ 气缸的效率和负载率

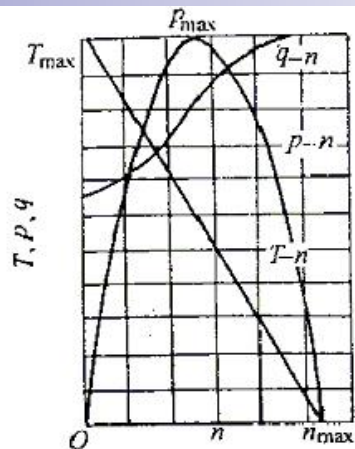
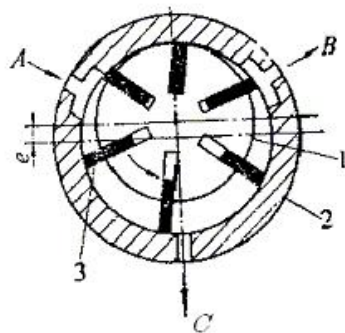
气缸实际所能输出的力受摩擦力的影响，其影响程度用气缸效率  $\eta$  表示， $\eta$  与缸径  $D$  和工作压力  $p$  有关， $D$  增大、 $p$  提高， $\eta$  增大，一般在 0.7~0.95 之间。

在研究气缸性能和确定缸径时，常用到负载率  $\beta$  的概念，定义  $\beta = (\text{气缸实际负载 } F / \text{气缸理论输出力 } F_0) \%$ 。 $\beta$  的选取与气缸的负载性质及运动速度有关

### ■ 气缸的耗气量

指气缸在往复运动时所消耗的压缩空气量，其大小与气缸性能无关，是选择空压机排量的重要依据。

## 气马达



### ■ 叶片式气马达的工作原理及特性

叶片式气马达的工作原理与叶片式液压马达相似。特性曲线最大特点是具有软特性：当气压不变时，它的转矩、转速、功率均随着外负载的变化而变化。

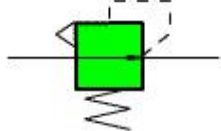
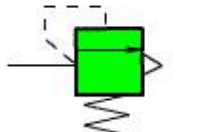
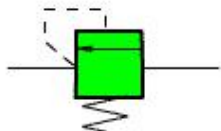
### 气动马达的特点和应用

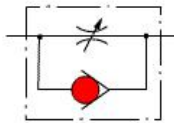
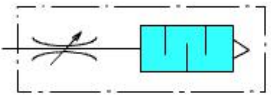
- 可无级调速；
- 可双向旋转；
- 有过载保护作用，过载时转速降低或停转；
- 具有较高的启动转矩，可直接带负载启动；
- 输出功率相对较小，转速范围较宽；
- 耗气量大，效率低，噪声大；
- 工作可靠，操作方便。

# 气动控制阀

## ■ 压力控制阀

- 减压阀—气动三大件之一，用于稳定用气压力。
- 溢流阀—只作安全阀用。
- 顺序阀—由于气缸（马达）的软特性，很难用顺序阀实现两个执行元件的顺序动作

|     |                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 减压阀 |  |
| 溢流阀 |  |
| 顺序阀 |  |

|       |                                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 节流阀   |   |
| 单向节流阀 |  |
| 排气节流阀 |  |

■ 流量控制阀 用于控制执行元件运动速度。

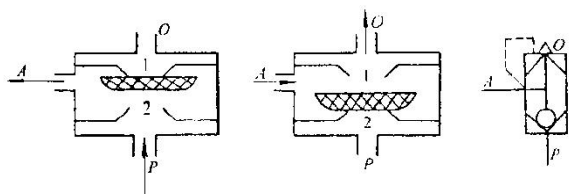
- 节流阀
- 单向节流阀
- 排气节流阀

# ■ 方向控制阀：

## □ 换向阀

- 气压控制换向阀（加压控制、泄压控制、差压控制）
- 电磁控制换向阀，电、气控制换向阀
- 机械控制换向阀
- 人力控制换向阀

|       |  |
|-------|--|
| 单向阀   |  |
| 梭阀    |  |
| 快速排气阀 |  |



|         |  |         |  |
|---------|--|---------|--|
| 气压控制换向阀 |  | 电磁控制换向阀 |  |
|         |  |         |  |
| 机械控制换向阀 |  |         |  |
|         |  | 人力控制换向阀 |  |
|         |  |         |  |

- 单向阀
- 梭阀 两个单向阀的组合，相当于“或门”。
- 快速排气阀

# 产品图片

