

9.1 气压传动概述

9.2 空气的物理性质

9.3 理想气体状态方程

9.4 气体的流动规律

- 气动（Pneumatic）是气压传动与控制的简称。
- 现在气压传动技术一词的词根，就是来源于古代希腊的“风吹”的意思。
“风吹” —（Pneuma）

- 气压传动技术是以空气压缩机为动力源，以压缩空气为工作介质，进行能量传递或信号传递的工程技术。
- 气压传动技术是实现各种生产控制、自动控制的重要手段之一。

9.1.1 气压传动的特点

1. 各种传动与控制方式的比较

表9-1 各种传动与控制方式的比较

项目 \ 主要方式	气压方式	液压方式	机械方式	电气方式	电子方式
驱动力	较大 (可达数十kN)	大 (可达数百kN以上)	不太大	不太大	小
驱动速度	大	小	小	大	大
响应速度	稍大	大	中	大	大
受外负载影响	大	较小	几乎没有	几乎没有	几乎没有
构造	简单	稍复杂	普通	稍复杂	复杂
配线, 配管	稍复杂	复杂	无	较简单	复杂
温度影响	小于100℃ 普通	小于70℃ 普通	普通	大	大
防潮性	排放冷凝水	普通	普通	差	差
防腐蚀性	普通	普通	普通	差	差
防振性	普通	普通	普通	差	特差
定位精度	稍不良	稍良好	良好	良好	良好

9.1.1 气压传动的特点

1. 各种传动与控制方式的比较

表9-1 各种传动与控制方式的比较（续）

项目 \ 主要方式	气压方式	液压方式	机械方式	电气方式	电子方式
维护	简单	简单	简单	有技术要求	技术要求高
危险性	几乎没有问题	注意防火	没有特别问题	注意漏电	没有特别问题
信号转换	较难	难	难	易	易
远程操作	良好	较良好	难	很好	很好
动力源出现故障	有一定应付能力	若有蓄能器， 可短时应付	不动作	不动作	不动作
安装自由度	有	有	小	有	有
承受过载能力	好	尚可	较难	不行	不行
无级变速	稍良好	良好	稍困难	稍困难	良好
速度调整	稍困难	容易	稍困难	容易	容易
价格	普通	稍高	普通	稍高	高

9.1.1 气压传动的特点

2. 气压传动的优点

3. 气压传动的缺点

4. 气动元件的发展趋势

- (1) 高质量。 (2) 高精度。 (3) 高速度。 (4) 低功耗。 (5) 小型化。
(6) 轻量化。 (7) 无给油化。 (8) 复合集成化。 (9) 机电一体化。

5. 气压传动的应用领域

- (1) 汽车制造行业。 (2) 生产自动化。 (3) 机械设备。
(4) 电子半导体家电制造行业。 (5) 包装自动化。 (6) 生命科学领域。

9.1.2 气压传动系统的组成

1. 气压传动系统的基本构成

一个典型的气气压传动系统是由各种控制阀、气动执行元件、各种气动辅助元件及气源净化元件所组成。

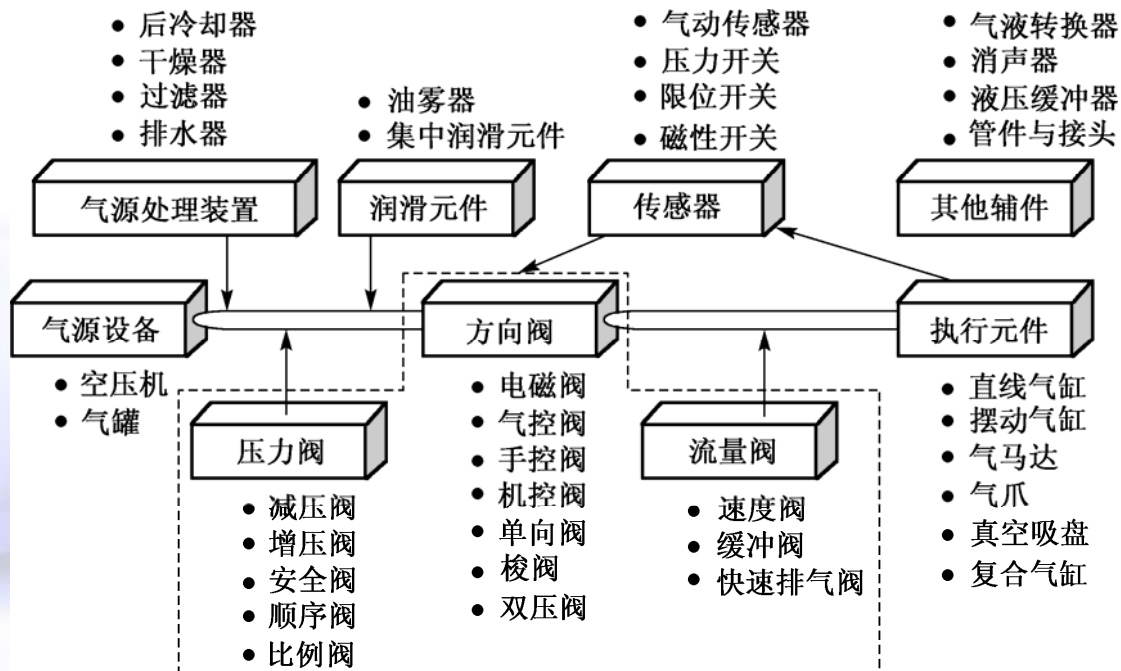


图9-1 气压传动系统的基本构成

9.1.2 气压传动系统的组成

2. 气动元件的基本品种

气动元件的基本品种包括：（详见表9-2）

- ★气源设备
- ★气源处理元件
- ★气动执行元件
- ★气动控制元件
- ★气动辅助元件
- ★真空元件

9.2.1 空气的性质

1. 空气的组成

表9-3 干空气的组成

成分 比值	氮 (N ₂)	氧 (O ₂)	氩 (Ar)	二氧化碳 (CO ₂)	其他气体
体积分数 (%)	78.03	20.93	0.93	0.03	0.08
质量分数 (%)	75.50	23.10	1.28	0.045	0.075

9.2.1 空气的性质

2. 空气的基本状态参数

(1) 密度(ρ)

(2) 压力 (p)

- ① 绝对压力
- ② 相对压力
- ③ 真空度
- ④ 真空压力

(3) 温度 (T)

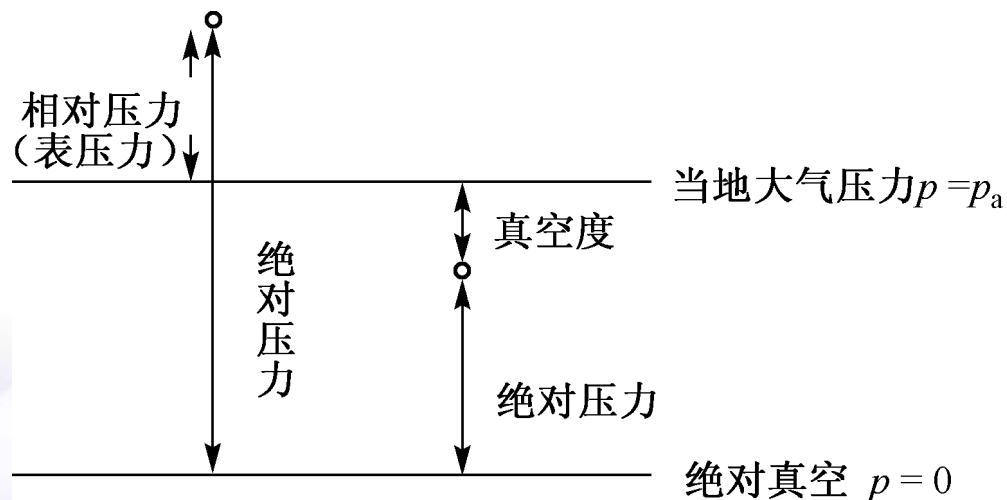


图9-2 绝对压力、表压力和真空度的相互关系

9.2.1 空气的性质

3. 黏度

表9-4 空气的运动黏度与温度的关系（压力为0.1Mpa）

t/°C	0	5	10	20	30	40	60	80	100
$\nu/(10^{-4}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$	0.133	0.142	0.147	0.157	0.166	0.176	0.196	0.21	0.238

9.2.1 空气的性质

4. 可压缩性

5. 标准状态、基准状态、理想气体和完全气体

- (1) 标准状态
- (2) 基准状态
- (3) 理想气体
- (4) 完全气体

9.2.2 湿度和含湿量

1. 湿度

- (1) 绝对湿度
- (2) 饱和绝对湿度
- (3) 相对湿度

2. 含湿量

3. 露点

9.3.1 理想气体状态方程

$$pv = RT$$

$$pV = mRT$$

式中：

p 为气体的绝对压力 (N/m^2)；

v 为气体的质量体积 (m^3/kg)；

R 为气体常数，干空气 $R=287.1 \text{ N}\cdot\text{m} / (\text{kg}\cdot\text{K})$ ；

T 为气体热力学温度 (K)；

m 为气体的质量 (kg)；

V 为气体的体积 (m^3)。

9.3.2 气体状态变化过程

1. 等温变化过程（波意尔法则）

在气体温度保持不变（ $T=常数$ ）的条件下，一定质量气体所进行的状态变化过程，称为等温过程。当气体状态变化很慢时，可视为等温变化过程，如气动系统中的气缸慢速运动、管道送气过程等。

等温过程状态方程为：

$$pv = 常数$$

或

$$p_1v_1 = p_2v_2$$

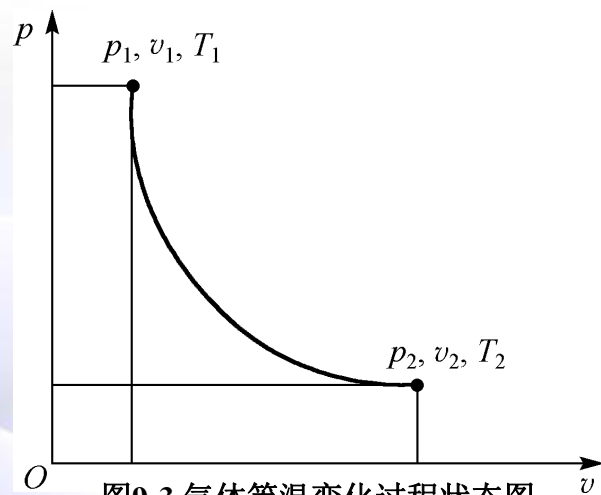


图9-3 气体等温变化过程状态图

9.3.2 气体状态变化过程

2. 等容状态过程（查理法则）

在气体的**质量**、**体积**保持不变（ $v=\text{常数}$ ）的条件下，所进行的状态变化过程，称为**等容过程**。等容过程状态方程为：

等容过程状态方程为：

$$\frac{p}{T} = \text{常数}$$

或

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

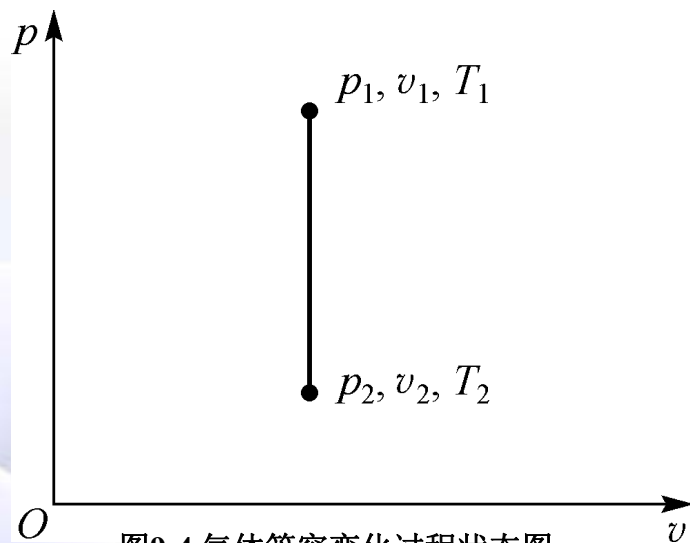


图9-4 气体等容变化过程状态图

9.3.2 气体状态变化过程

3. 等压状态过程（盖—吕萨克法则）

在气体压力保持不变（ $p=\text{常数}$ ）的条件下，一定质量气体所进行的状态变化过程，称为等压过程。

等压过程状态方程为：

$$\frac{v}{T} = \text{常数}$$

或

$$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

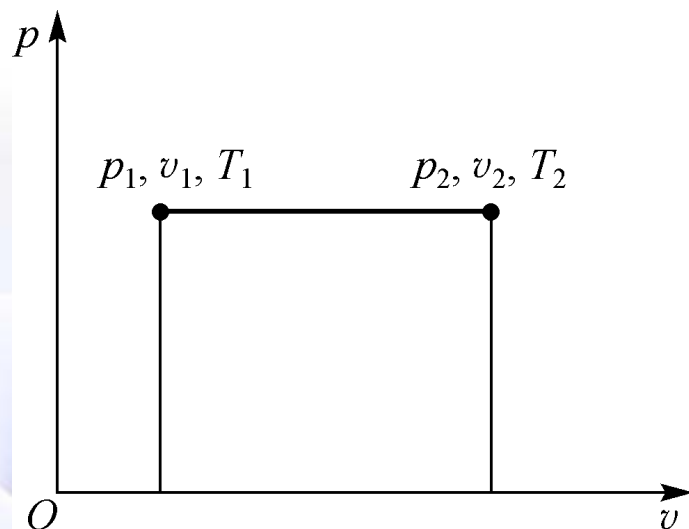


图9-5 气体等压变化过程状态图

9.3.2 气体状态变化过程

4. 绝热变化过程（查理法则）

在**气体与外界无热量交换**条件下，一定质量气体所进行的状态变化过程，称为**绝热过程**。

当气体状态变化很快，可视为绝热变化过程，如气动系统的**快速充、排气过程**。

绝热过程状态方程为：

$$pv^{\kappa} = \text{常数}$$

$$p_1 v_1^{\kappa} = p_2 v_2^{\kappa}$$

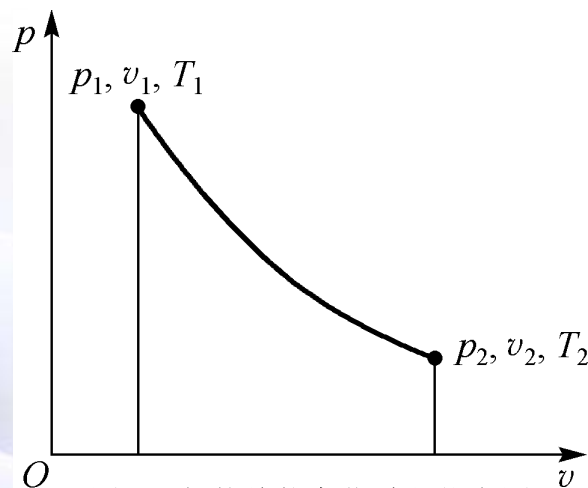


图9-6 气体绝热变化过程状态图

9.3.2 气体状态变化过程

5. 多变变化过程

在没有任何制约条件下，一定质量气体所进行的状态变化过程，称为**多变过程**。严格地讲，气体状态变化过程大多属于多变过程；**等容、等压、等温、绝热**这四种变化过程不过是多变过程的特例而已。

$$pv^n = \text{常数}$$

或

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$$

9.4.1 气体流动的基本方程

1. 连续性方程

根据质量守恒定律，当气体在管道中做稳定流动时，同一时间流过每一通流断面的质量为一定值，即为**连续性方程**。

$$q_m = \rho A v$$

$$\frac{dA}{A} + \frac{dv}{v} + \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

9.4.1 气体流动的基本方程

2.运动方程

$$v dv + \frac{dp}{\rho} = 0$$

9.4.1 气体流动的基本方程

3. 状态方程

$$\frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dT}{T}$$

9.4.1 气体流动的基本方程

4. 伯努利方程（能量方程）

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

9.4.2 气动元件的通流能力

9.4 气体的流动规律

1. 有效截面积S

$$S = \alpha \frac{\pi d^2}{4}$$

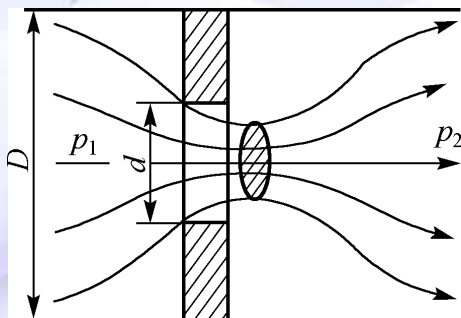


图9-7 节流阀的有效截面积

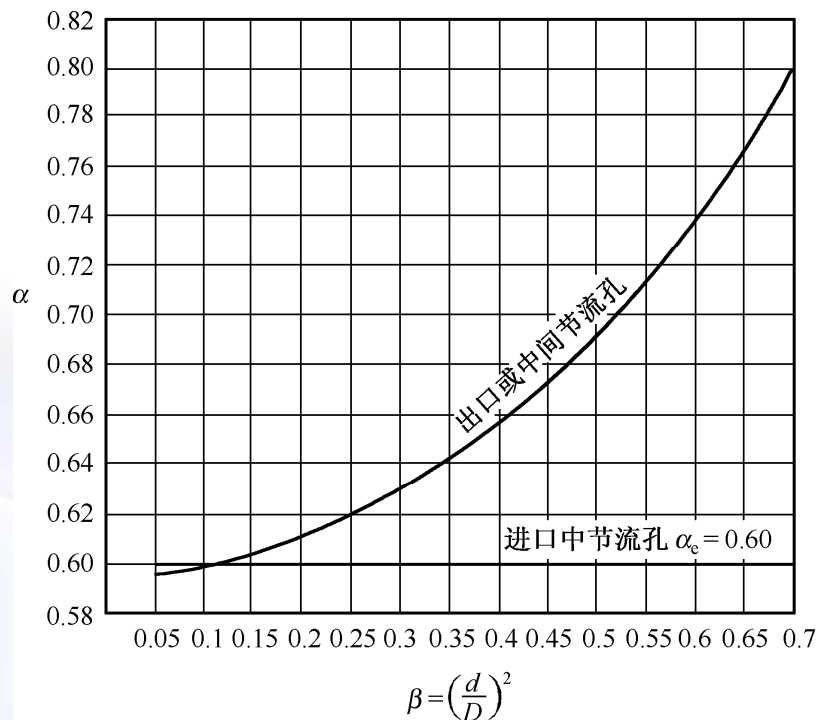


图9-8 节流孔的收缩系数

9.4.2 气动元件的通流能力

2. 流量 q

如果当气流压力之比 $p_1 / p_2 > 1.893$ 时，其流量公式为：

$$q = 11.3 S p_1 \sqrt{\frac{273}{T}}$$

如果当气流压力之比 $p_1 / p_2 < 1.893$ 时，其流量公式为：

$$q = 22.7 S_1 \sqrt{p_1 (p_1 - p_2)}$$

9.4.3 充放气时间的计算

1. 充气温度与时间的计算

2. 放气温度与时间的计算

1. 理解气压传动的基本概念、气压传动系统的基本组成，了解空气的物理性质。
2. 掌握理想气体的状态方程，掌握气体状态变化过程及其对应方程，掌握气体流动的基本方程及其应用。