



南京航空航天大學
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

机电学院

第十章

气压传动基础知识

主讲人：凌杰

南京航空航天大学机电学院

NUAA

第十章 气压传动基础知识

- 10.1 空气的物理性质
- 10.2 气体的流动规律
- 10.3 气动元件的通流能力
- 10.4 充、放气参数计算

10.1 空气的物理性质



10.1.1 空气的组成

- 氮和氧
- 含有水蒸气的空气称为湿空气，不含水蒸气的空气为干空气。

10.1.2 空气的性质

- 空气的密度：即单位体积内空气的质量；
标准状态下干空气的密度： $\rho_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3$
- 空气的粘度
 - ✓ 粘性：空气质点之间相对运动产生阻力的性质；
 - ✓ 影响因素：主要是温度，随温度升高而增大；
 - ✓ 表示方法：动力粘度和运动粘度。

10.1 空气的物理性质



➤ 空气的可压缩性与膨胀性

气体体积随着压力和温度变化而发生变化的性质，表现为可压缩性和膨胀性，服从气体状态方程。 $pV = mRT$

10.1.3 湿空气及其特性参数

- 湿度：每立方米的湿空气中所含水蒸气的质量称为湿空气的绝对湿度；
- 含湿量：质量含湿量 和容积含湿量；
- 自由空气流量：自由空气流量是指温度在20°C、大气压力为0.1013MPa、相对湿度为65%时的空气流量。
- 露点与析水量：将湿空气冷却降温，使其中所含水蒸气达到饱和并开始凝结形成水滴时的温度；

10.2 气体的流动规律



10.2.1 气体流动的基本方程

➤ 可压缩气体的连续性方程

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

➤ 可压缩气体的伯努利方程

$$\frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = C$$

10.2 气体的流动规律



10.2.2 声速和马赫数

► **声速**: 声波在介质中的传播速度; 对理想气体而言, 声音在其中的传播速度只与气体的温度有关; 又称局部声速。

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\kappa R T}$$

► **马赫数**: 马赫数是气流速度与该速度下的局部音速之比

$$M_a = \frac{v}{c}$$

10.2 气体的流动规律



10.2.3 气体在管道中的流动特性

连续性方程可简化为：

$$\frac{1}{A} \frac{dA}{dS} = (M_a^2 - 1) \frac{1}{v} \frac{dv}{dS}$$

- (1) $M_a < 1$ 这种流动称为亚音速流动，速度与断面积成反比。这种规律与不可压缩流体的流动是一致的
- (2) $M_a > 1$ 这种流动称为超音速流动，即气流速度与断面积成正比，截面积愈大，气流速度愈大。这种规律与不可压缩流体的规律完全相反。
- (3) $M_a = 1$ 这种流动称为临界流动，其速度为临界流速，即流速等于临界流速（即局部音速）时其断面为最小断面。喷嘴只有在最小断面处才能达到音速，

10.2 气体的流动规律



10.2.4 气体管道的阻力计算

气体沿程阻力计算的基本公式与液体相同，所不同的是，在工程上，气体流量常以质量流量（单位时间内流过某有效截面的气体质量） q_m 来计算更方便。

$$\Delta p = \frac{8\lambda q_m^2}{\pi^2 \rho d^5}$$

10.3 气动元件的通流能力



10.3.1 有效截面积S值

- 气动元件的有效截面积S，反映了节流孔的实际通流能力，其值可通过实验测定。
- 系统由多个元件串联组合时，合成的有效截面积S值通过下式计算

$$\frac{1}{S^2} = \frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} + \cdots + \frac{1}{S_n^2} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2}$$

- 系统由多个元件并联组合时，合成的有效截面积S值通过下式计算

$$S = S_1 + S_2 + \cdots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i$$

10.3 气动元件的通流能力



10.3.2 通流能力C值

通流能力C值常用于表述气动元件的流量特性。

$$C = q \sqrt{\frac{\rho \Delta p_0}{\rho_0 \Delta p}}$$

有效截面积S值与通流能力C值间的换算关系为

$$S = 19.82 \times 10^{-6} C$$

10.3 气动元件的通流能力



10.3.3 流量q

➤ 不可压缩气体通过节流孔的流量

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

➤ 可压缩气体通过节流孔的流量

✓ 气流以亚声速流动，通过节流孔的自由空气流量为

$$q_z = 3.7 \times 10^{-3} S \sqrt{\Delta p (p_2 + 1.013 \times 10^5)} \sqrt{\frac{273.16}{T_1}}$$

✓ 气流以超声速流动，通过节流孔的自由空气流量为

$$q_z = 1.85 \times 10^{-4} S (p_1 + 1.013 \times 10^5) \sqrt{\frac{273.16}{T_1}}$$

10.4 充、放气参数的计算



10.4.1 定容容器充气后的温度和充气时间

➤ 充气后的温度：

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

➤ 充气时间：见书中公式

10.4 充、放气参数的计算



10.4.2 定容容器放气后的温度和放气时间

➤ 放气后的温度为

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

➤ 放气时间:

$$t = \left\{ \frac{2\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_1}{1.893 p_a} \right)^{\frac{\kappa-1}{2\kappa}} - 1 \right] + 0.945 \left(\frac{p_1}{p_a} \right)^{\frac{\kappa-1}{2\kappa}} \right\} \tau$$