



## 1.1. SỰ PHÁT TRIỂN CỦA KỸ THUẬT KHÍ NÉN

Ứng dụng khí nén đã có từ thời trước Công Nguyên, tuy nhiên sự phát triển của khoa học kỹ thuật thời đó không đồng bộ, nhất là sự kết hợp các kiến thức về cơ học, vật lý, vật liệu ... còn thiếu, cho nên phạm vi ứng dụng của khí nén còn rất hạn chế.

Mãi đến thế kỷ thứ 19, các máy móc thiết bị sử dụng năng lượng khí nén lần lượt được phát minh. Với sự phát triển mạnh mẽ của năng lượng điện, vai trò sử dụng năng lượng bằng khí nén bị giảm dần. Tuy nhiên, việc sử dụng năng lượng bằng khí nén vẫn đóng một vai trò cốt yếu ở những lĩnh vực mà khi sử dụng điện sẽ không an toàn. Khí nén được sử dụng ở những dụng cụ nhỏ nhưng truyền động với vận tốc lớn như: búa hơi, dụng cụ đập, tán đinh... nhất là các dụng cụ, đồ gá kẹp chặt trong các máy.

Sau chiến tranh thế giới thứ hai, việc ứng dụng năng lượng bằng khí nén trong kỹ thuật điều khiển phát triển khá mạnh mẽ. Những dụng cụ, thiết bị, phần tử khí nén mới được sáng chế và ứng dụng vào nhiều lĩnh vực khác nhau. Sự kết hợp khí nén với điện - điện tử sẽ quyết định cho sự phát triển của kỹ thuật điều khiển trong tương lai.

## 1.2 KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA KHÍ NÉN

### 1.2.1. Trong lĩnh vực điều khiển

Những năm 50 và 60 của thế kỷ 20 là giai đoạn kỹ thuật tự động hóa quá trình sản xuất phát triển mạnh mẽ. Kỹ thuật điều khiển bằng khí nén được phát triển rộng rãi và đa dạng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Chỉ riêng ở Cộng Hoà Liên Bang Đức đã có 60 hãng chuyên sản xuất các phần tử điều khiển bằng khí nén.

Hệ thống điều khiển bằng khí nén được sử dụng ở những lĩnh vực mà ở đó hay xảy ra những vụ nổ nguy hiểm như các thiết bị phun sơn, các loại đồ gá kẹp các chi tiết nhựa, chất dẻo hoặc các lĩnh vực sản xuất thiết bị điện tử, vì điều kiện vệ sinh môi trường rất tốt và an toàn cao. Ngoài ra, hệ thống điều khiển bằng khí nén còn được sử dụng trong các dây chuyền rửa tự động, trong các thiết bị vận chuyển và kiểm tra của thiết bị lò hơi, thiết bị mạ điện, đóng gói, bao bì và trong công nghiệp hóa chất.

### 1.2.2. Trong các hệ thống truyền động

- Các dụng cụ, thiết bị máy va đập:

Các thiết bị, máy móc trong lĩnh vực khai thác như: khai thác đá, khai thác than, trong các công trình xây dựng như: xây dựng hầm mỏ, đường hầm.

- Truyền động quay:

Truyền động động cơ quay với công suất lớn bằng năng lượng khí nén giá thành rất cao. Nếu so sánh giá thành tiêu thụ điện của một động cơ quay bằng năng lượng

khí nén và một động cơ điện có cùng công suất, thì giá thành tiêu thụ điện của một động cơ quay bằng năng lượng khí nén cao hơn 10 đến 15 lần so với động cơ điện. Nhưng ngược lại thể tích và trọng lượng nhỏ hơn 30% so với động cơ điện có cùng công suất.

Những dụng cụ vặn vít, máy khoan, công suất khoảng 3,5 kW, máy mài, công suất khoảng 2,5 kW cũng như những máy mài với công suất nhỏ, nhưng với số vòng quay cao khoảng 100.000 v/ph thì khả năng sử dụng động cơ truyền động bằng khí nén là phù hợp.

- *Truyền động thẳng:*

Vận dụng truyền động bằng áp suất khí nén cho truyền động thẳng trong các dụng cụ, đồ gá kẹp chi tiết, trong các thiết bị đóng gói, trong các loại máy gia công gỗ, trong các thiết bị làm lạnh cũng như trong hệ thống phanh hãm của ô tô.

- *Trong các hệ thống đo và kiểm tra:*

### 1.3. NHỮNG ĐẶC TRƯNG CỦA KHÍ NÉN

- *Về số lượng:* có sẵn ở khắp mọi nơi nên có thể sử dụng với số lượng vô hạn.

- *Về vận chuyển:* khí nén có thể vận chuyển dễ dàng trong các đường ống, với một khoảng cách nhất định. Các đường ống dẫn về không cần thiết vì khí nén sau khi sử dụng sẽ được cho thoát ra ngoài môi trường sau khi đã thực hiện xong công tác.

- *Về lưu trữ:* máy nén khí không nhất thiết phải hoạt động liên tục. Khí nén có thể được lưu trữ trong các bình chứa để cung cấp khi cần thiết.

- *Về nhiệt độ:* khí nén ít thay đổi theo nhiệt độ.

- *Về phòng chống cháy nổ:* không một nguy cơ nào gây cháy bởi khí nén, nên không mất chi phí cho việc phòng chống cháy. Không khí nén thường hoạt động với áp suất khoảng 6 bar nên việc phòng nổ không quá phức tạp.

- *Về Tính vệ sinh:* khí nén được sử dụng trong các thiết bị đều được lọc các bụi bẩn, tạp chất hay nước nên thường sạch, không một nguy cơ nào về mặt vệ sinh. Tính chất này rất quan trọng trong các ngành công nghiệp đặc biệt như: thực phẩm, vải sợi, lâm sản và thuộc da.

- *Về cấu tạo thiết bị:* đơn giản nên rẻ hơn các thiết bị tự động khác.

- *Về vận tốc:* khí nén là một dòng chảy có lưu tốc lớn cho phép đạt được tốc độ cao (vận tốc làm việc trong các xy - lanh thường từ 1 - 2 m/s).

- *Về tính điều chỉnh:* vận tốc và áp lực của những thiết bị công tác bằng khí nén được điều chỉnh một cách vô cấp.

- *Về sự quá tải:* các công cụ và các thiết bị được khí nén đảm nhận tải trọng cho đến khi chúng dừng hoàn toàn cho nên sẽ không xảy ra quá tải.

### 1.4. ƯU NHƯỢC ĐIỂM CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG BẰNG KHÍ NÉN

#### 1.4.1. Ưu điểm:

- Do khả năng chịu nén (đàn hồi) lớn của không khí, cho nên có thể trích chứa dễ dàng. Như vậy, có khả năng ứng dụng để thành lập một trạm trích chứa khí nén.
- Có khả năng truyền năng lượng xa, bởi vì độ nhớt động học của khí nén nhỏ và tổn thất áp suất trên đường ống nhỏ.
- Đường dẫn khí nén thải ra không cần thiết.
- Chi phí thấp để thiết lập một hệ thống truyền động bằng khí nén, bởi vì phần lớn trong các xí nghiệp hệ thống đường dẫn khí nén đã có sẵn.
- Hệ thống phòng ngừa áp suất giới hạn được bảo đảm.

**1.4.2. Nhược điểm:**

- Lực truyền tải thấp.
- Khi tải trọng trong hệ thống thay đổi thì vận tốc cũng thay đổi. Bởi vì khả năng đàn hồi của khí nén lớn, cho nên không thể thực hiện được những chuyển động thẳng hoặc quay đều.
- Dòng khí nén thoát ra ở đường dẫn gây ra tiếng ồn.

Hiện nay, trong lĩnh vực điều khiển, người ta thường kết hợp hệ thống điều khiển bằng khí nén với điện hoặc điện tử. Cho nên rất khó xác định một cách chính xác, rõ ràng ưu nhược điểm của từng hệ thống điều khiển.

Tuy nhiên, có thể so sánh một số khía cạnh, đặc tính của truyền động bằng khí nén đối với truyền động bằng cơ, bằng điện.

**Bảng 1.1.** Phạm vi ứng dụng của các hệ thống điều khiển

ST T	Trường hợp ứng dụng	K	Đ-K	Đ-C	Đ	C	TL
1	Truyền động quay với công suất > 2kW	μ	6	3	6	6	⊗
1.1	Truyền động quay với công suất < 2 kW	⊗	6	3	6	6	⊗
1.2	Số vòng quay > 10.000 v/ph	3	6	⊗	6	6	6
2	Truyền động thẳng, quãng đường <200 mm, tải trọng <20kN	μ	6	⊗	6	6	3
2.1	Truyền động thẳng, quãng đường <500 mm, tải trọng <20kN	μ	6	⊗	6	6	⊗
2.2	Truyền động thẳng, quãng đường >500 mm, tải trọng < 6 kN	3	6	⊗	6	6	⊗
3	Điều khiển nhiều hơn 10 tiến trình	μ	⊗	6	3	μ	6
3.1	Điều khiển ít hơn 10 tiến trình	⊗	⊗	6	3	μ	μ
3.2	Điều khiển ít hơn 6 tiến trình	3	⊗	6	⊗	μ	6

Các ký hiệu:

K: Điều khiển bằng khí nén.

Đ-K: Điều khiển bằng điện – khí nén.

- Đ-C: Điều khiển bằng điện – cơ.
- Đ: Điều khiển bằng điện.
- C: Điều khiển bằng cơ.
- TL: Điều khiển bằng thủy lực.
- 3: Có khả năng ứng dụng thích hợp.
- ⊗: Có thể ứng dụng.
- μ: Có thể ứng dụng trong những trường hợp đặc biệt.
- 6: Không thể ứng dụng được.

## 1.6. ĐƠN VỊ ĐO TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

### 1.6.1. Áp suất:

Đơn vị cơ bản của áp suất theo hệ SI là Pascal (Pa).

1 Pascal là áp suất phân bố đều lên bề mặt có diện tích  $1\text{m}^2$  với lực tác động vuông góc lên bề mặt đó là 1 Newton (N).

$1\text{ Pascal (Pa)} = 1\text{ N/m}^2$ .

Trong thực tế người ta dùng đơn vị bội số của Pascal là Megapascal (MPa).

$1\text{ Mpa} = 10^6\text{ Pa}$ .

Ngoài ra còn dùng đơn vị bar, với  $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$ .

### 1.6.2. Lực

Đơn vị của lực là Newton (N).

1 Newton (N) là lực tác động lên đối trọng có khối lượng 1 kg với gia tốc  $1\text{ m/s}^2$ .

### 1.6.3. Công

Đơn vị của công là Joule (J).

1 Joule (J) là công sinh ra dưới tác động của lực 1 N để vật thể dịch chuyển quãng đường 1 m.  $1\text{ J} = 1\text{ Nm}$ .

### 1.6.4. Công suất:

Đơn vị của công suất là Watt.

1 Watt (W) là công suất, trong thời gian 1 giây sinh ra năng lượng 1 Joule.

$1\text{ W} = 1\text{ J/s} = 1\text{ Nm/s}$ .

### 1.6.5. Độ nhớt động

Độ nhớt động không có vai trò quan trọng trong hệ thống điều khiển bằng khí nén. Đơn vị của độ nhớt động là  $\text{m}^2/\text{s}$ .  $1\text{ m}^2/\text{s}$  là độ nhớt động của một chất lỏng có độ nhớt động lực  $1\text{ Pa}\cdot\text{s}$  và khối lượng riêng  $1\text{ kg/m}^3$ .

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

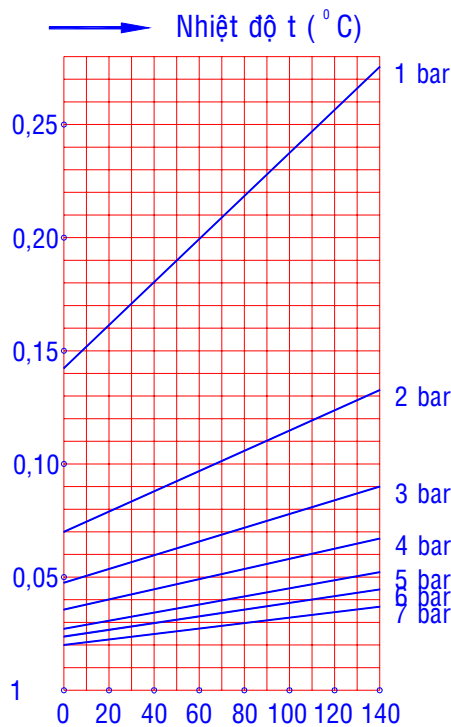
Trong đó:

$\eta$ : độ nhớt động [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ].

$\rho$ : khối lượng riêng [ $\text{kg/m}^3$ ].

v: độ nhớt động [m<sup>2</sup>/s].

Ngoài ra, người ta còn sử dụng đơn vị đo độ nhớt động là stokes (St) hoặc là centistokes (cSt).



Hình 1. Sự phụ thuộc áp suất, nhiệt độ và độ nhớt động của không khí.

## 1.7. CƠ SỞ TÍNH TOÁN KHÍ NÉN

### 1.7.1. Các đại lượng vật lý

Bảng 1.2. Các đại lượng vật lý cơ bản của không khí

ST T	Đại lượng vật lý	K.hiệu	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	Khối lượng riêng	$\rho_n$	1,293	kg/m <sup>3</sup>	T=273K, Pa=760
2	Hằng số khí	R	287	J/kg.K	
3	Tốc độ âm thanh	$\omega_s$	331,2 344	m/s	Ở nhiệt độ 0 <sup>0</sup> C Ở nhiệt độ 20 <sup>0</sup> C
4	Nhiệt lượng riêng	$c_p$ $c_v$	1,004 0,717	kJ/kg.K kJ/kg.K	Áp suất hằng số Thể tích hằng số
5	Số mũ đoạn nhiệt	K	1,4		
6	Độ nhớt động lực	$\eta$	17,17.10 <sup>-6</sup>	Pa.s	Ở trạng thái tiêu chuẩn
7	Độ nhớt động	v	13,28.10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s	Ở trạng thái tiêu chuẩn

### 1.7.2. Phương trình trạng thái nhiệt động học

Giả thiết khí nén trong hệ thống gần như là khí lý tưởng. Phương trình trạng thái nhiệt tổng quát của khí nén:

$$p_{abs} \cdot V = m \cdot R \cdot T. \tag{1.1}$$

Trong đó:

$p_{abs}$ : Áp suất tuyệt đối [bar].

V: Thể tích của khí nén [m<sup>3</sup>].

m: Khối lượng [kg].

R: hằng số khí. [J/kg.K].

T: Nhiệt độ Kelvin [K].

$$\frac{p_{abs} \cdot V}{T} = m \cdot R \tag{1.2}$$

Hay:

$$\frac{p_{1abs} \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_{2abs} \cdot V_2}{T_2} \tag{1.3}$$

Khối lượng không khí m được tính theo công thức:

- Khi nhiệt độ T không thay đổi, ta có:

$$\frac{\frac{m}{\rho_1}}{\frac{m}{\rho_2}} = \frac{p_{2abs}}{p_{1abs}} \tag{1.4}$$

Hay:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{p_{2abs}}{p_{1abs}}. \tag{1.5}$$

- Khi áp suất p không thay đổi, ta có:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1}{T_2}. \tag{1.6}$$

- Khi cả ba đại lượng trên đều thay đổi, ta có:

$$\rho_2 = \frac{T_1 \cdot p_{2abs} \cdot \rho_1}{T_2 \cdot p_{1abs}}. \tag{1.7}$$

Thể tích riêng của không khí:

$$v = \frac{V}{m} \cdot [m^3/kg]. \tag{1.8}$$

Thay phương trình (1.15) vào phương trình (1.9), ta có phương trình trạng thái của khí nén:

$$\frac{p \cdot v}{T} = R, \text{ hay } p \cdot v = R \cdot T. \tag{1.9}$$

Trong đó; R là hằng số khí.

Nhiệt lượng riêng  $c$  là nhiệt lượng cần thiết để nung nóng khối lượng không khí 1 kg lên  $1^0K$ . Nhiệt lượng riêng khi thể tích không thay đổi ký hiệu là  $c_v$ , khi áp suất không thay đổi ký hiệu  $c_p$ . tỷ số của  $c_v$  và  $c_p$  gọi là số mũ đoạn nhiệt k:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \tag{1.10}$$

Hiệu số của  $c_p$  và  $c_v$  gọi là hằng số khí R:

$$R = c_p - c_v = c_p \frac{k-1}{k} = c_v(k-1) \tag{1.11}$$

Trạng thái đoạn nhiệt là trạng thái mà trong quá trình nén hay giãn nở không có nhiệt được đưa vào hay lấy đi, có phương trình sau:

$$p_1 \cdot v_1^k = p_2 \cdot v_2^k = \text{hằng số.}$$
$$\text{Hay } \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \tag{1.12}$$

Diện tích mặt phẳng 1, 2, 5, 6 trong hình 1.7 tương ứng lượng nhiệt giãn nở cho khối lượng khí 1 kg và có giá trị:

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{k-1} \left[ 1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \right] \tag{1.13}$$

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{k-1} \left[ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$W = \frac{p_1 \cdot v_1}{k-1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

Công kỹ thuật  $W_t$  là công cần thiết để nén lượng không khí (Ví dụ trong máy nén khí) hoặc là công thực hiện khi áp suất khí giãn nở. Diện tích mặt phẳng 1, 2, 3, 4 ở trong hình 1.7 là công thực hiện để nén hay công thực hiện khi áp suất khí giãn nở cho 1 kg không khí, có giá trị:

$$W_t = \frac{k}{k-1} p_1 \cdot v_1 \left[ 1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \right] \tag{1.14}$$

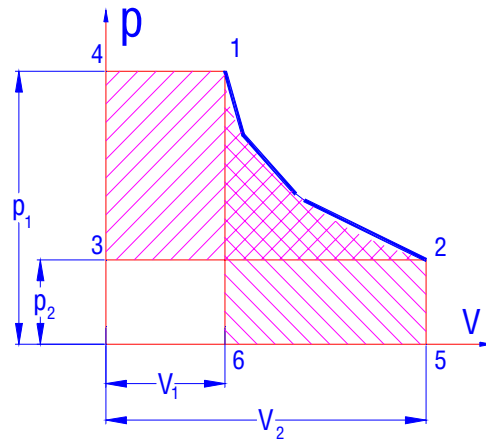
$$W = \frac{k}{k-1} p_1 \cdot v_1 \left[ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

Trong thực tế không thể thực hiện được quá trình đẳng nhiệt hay đoạn nhiệt. Quá trình xảy ra thường nằm trong khoảng giữa quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt gọi là quá trình đa biến và có phương trình:

$$p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n = \text{hằng số} \quad \text{Hay } \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} \tag{1.15}$$

Quá trình đẳng nhiệt:  $n = 1$ .

- Quá trình đẳng áp:  $n = 0$ .  
 Quá trình đoạn nhiệt:  $n = k$ .  
 Quá trình đẳng tích:  $n = \infty$ .



Hình 1.2. Biểu đồ đoạn nhiệt.

**1.7.4. Phương trình dòng chảy:**

**a/ Phương trình dòng chảy liên tục:**

Lưu lượng khí nén chảy trong đường ống từ vị trí 1 đến vị trí 2 là không đổi (hình 1.16), ta có phương trình dòng chảy như sau:

$$Q_{v1} = Q_{v2} \quad \text{Hay: } w_1 \cdot A_1 = w_2 \cdot A_2 = \text{hằng số.}$$

Trong đó:

$Q_{v1}, Q_{v2} [m^3]$ : Lưu lượng dòng chảy tại vị trí 1 và vị trí 2.

$w_1 [m/s]$ : Vận tốc dòng chảy tại vị trí 1.

$w_2 [m/s]$ : Vận tốc dòng chảy tại vị trí 2.

$A_1 [m^2]$ : Tiết diện chảy tại vị trí 1.

$A_2 [m^2]$ : Tiết diện chảy tại vị trí 2.

**b/ Phương trình Bernoulli:**

Phương trình Bernoulli được viết như sau:

$$m \cdot \frac{w_1^2}{2} + m \cdot g \cdot h_1 + m \cdot \frac{p_1}{\rho} = m \cdot \frac{w_2^2}{2} + m \cdot g \cdot h_2 + m \cdot \frac{p_2}{\rho}. \quad (1.16)$$

Trong đó:

$m \cdot \frac{w^2}{2}$ : Động năng.

$m \cdot g \cdot h$ : Thế năng.

$m \cdot \frac{p}{\rho} = V \cdot p$ : Áp năng.

$g$ : Gia tốc trọng trường.

$\rho$ : Khối lượng riêng không khí.

$p$ : Áp suất tĩnh.



Phương trình 1.31 có thể viết lại như sau:

$$\rho \cdot g \cdot h + p + w^2 \frac{\rho}{2} = \text{Hằng số.}$$

**1.7.5. Lưu lượng khí nén qua khe hở hẹp**

Lưu lượng khối lượng khí  $q_m$  qua khe hở được tính như sau:

$$q_m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_1 \sqrt{2 \rho_1 \Delta p} \quad [kg/s] \tag{1.17}$$

$$\text{Hay } q_m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_1 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_1}} \quad [m^3/s] \tag{1.18}$$

Trong đó:

$\alpha$ : Hệ số lưu lượng.

$\varepsilon$ : Hệ số giãn nở.

$A_1 [m^2]$ : Diện tích mặt cắt của khe hở.

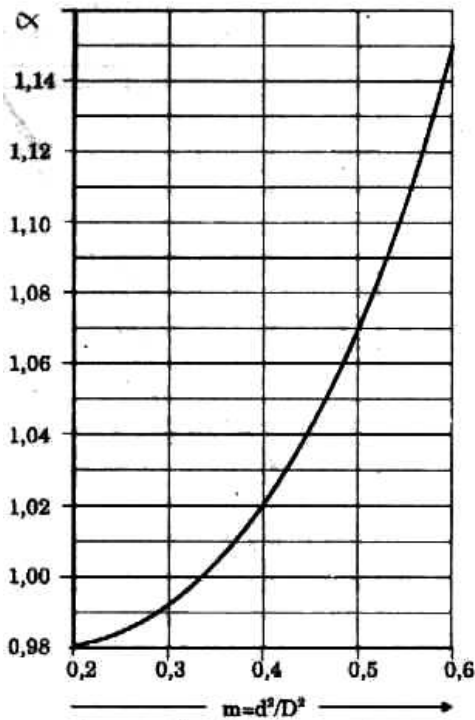
$\Delta p = p_1 - p_2$ : độ chênh áp suất trước và sau khe hở.

$\rho_1$ : Khối lượng riêng của không khí.

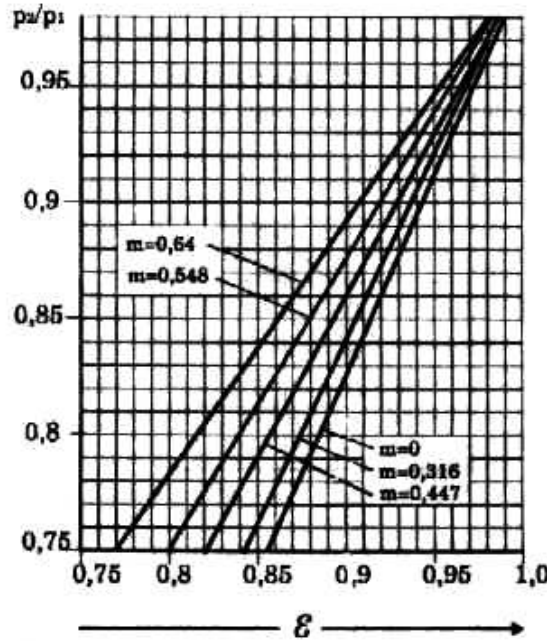
Hệ số lưu lượng  $\alpha$  phụ thuộc vào dạng hình học của khe hở và hệ số vận tốc.

Hình 1.19 biểu diễn mối quan hệ của hệ số lưu lượng  $\alpha$  và tỷ số  $m = d^2/D^2$ .

Trong hình 1.20 biểu diễn mối quan hệ của hệ số giãn nở  $\varepsilon$ , tỷ số áp suất sau và trước khe hở  $p_2/p_1$  và tỷ số  $m = d^2/D^2$  của vòi phun.



**Hình 1.3.** Hệ số lưu lượng.



Hình 1.4. Hệ số giãn nở của vòi phun.

**1.7.6. Tổn thất áp suất trong hệ thống điều khiển bằng khí nén**

Tính toán chính xác tổn thất áp suất trong hệ thống điều khiển bằng khí nén là vấn đề rất phức tạp. Tổn thất áp suất của hệ thống bao gồm:

- Tổn thất áp suất trong ống dẫn thẳng.
- Tổn thất áp suất trong tiết diện thay đổi.
- Tổn thất áp suất trong các loại van.

**a/ Tổn thất áp suất trong ống dẫn thẳng:**

Tổn thất áp suất trong ống dẫn thẳng ( $\Delta p_R$ ):

$$\Delta p_R = \lambda \cdot \frac{l \cdot \rho \cdot w^2}{2d} \text{ [N/m}^2\text{]} \tag{1.19}$$

Trong đó:

$l$  [m]: Chiều dài ống dẫn.

$\rho_n = 1,293$  [kg/m<sup>3</sup>]: Khối lượng riêng của không khí ở trạng thái tiêu chuẩn.

$\rho = \rho_n \frac{p_{abs}}{p_n}$  [kg/m<sup>3</sup>]: Khối lượng riêng của không khí.

$p_n = 1,013$  [bar]: Áp suất ở trạng thái tiêu chuẩn.

$w$  [m/s]: Vận tốc của dòng chảy ( $w = \frac{q_v}{A}$ ).

$d$  [m]: Đường kính ống dẫn.

$\lambda = \frac{64}{Re}$ : Hệ số ma sát ống, có giá trị cho ống trơn và dòng chảy tầng

( $Re < 2230$ ).

$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$ : Hệ số Reynold.

$v_n = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$ : Độ nhớt động học ở trạng thái tiêu chuẩn.

**b/ Tổn thất áp suất trong tiết diện thay đổi:**

Trong hệ thống ống dẫn, ngoài ống dẫn thẳng còn có ống dẫn có tiết diện thay đổi, dòng khí phân nhánh hoặc hợp thành, hướng dòng thay đổi... Tổn thất áp suất trong những tiết diện đó được tính như sau:

$$\Delta p_{EI} = \zeta \frac{\rho}{2} w^2.$$

Trong đó:

$\zeta$ : Hệ số cản, phụ thuộc vào loại tiết diện ống dẫn, số Re.

**- Khi tiết diện thay đổi đột ngột:**

Tổn thất áp suất:

$$\Delta p_{EI} = \left(1 - \frac{A_1}{A_{A\emptyset}}\right)^2 \cdot \frac{\rho w_1^2}{2} \quad [\text{N/m}^2]$$

$$\Delta p_{EI} = \left(\frac{A_1}{A_{A\emptyset}} - 1\right)^2 \cdot \frac{\rho w_1^2}{2} \quad [\text{N/m}^2]$$

Trong đó:  $w_1$  và  $w_2$  là vận tốc chảy trung bình ở tiết diện  $A_1$  và  $A_2$ .

**- Khi ống dẫn gãy khúc:**

Tổn thất áp suất:

$$\Delta p_{E2} = 0,5 \zeta \rho \cdot w^2 \quad [\text{N/m}^2].$$

Hệ số  $\zeta$  phụ thuộc vào độ nhọn và độ nhám của thành ống, tra theo bảng 1.5

**Bảng 1.3**

Hình a	$\zeta$	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°
	$\zeta_{nh\ddot{a}n}$	0,042	0,07	0,13	0,24	0,47	1,13
	$\zeta_{nh\ddot{a}m}$	0,062	0,15	0,17	0,32	0,68	1,27
Hình b	a/D	0,71	0,94	0,15	3,72	6,28	$\infty$
	$\zeta_{nh\ddot{a}n}$	0,51	0,35	0,28	0,36	0,40	0,48
	$\zeta_{nh\ddot{a}m}$	0,51	0,415	0,38	0,46	0,44	0,64

**- Trong hệ thống có các đường ống bị uốn cong:**

Tổn thất áp suất:

$$\Delta p_{E3} = \zeta_{ges} \cdot \frac{\rho}{2} w^2 \quad [\text{N/m}^2].$$

Trong đó:

Hệ số  $\zeta_{ges}$  bao gồm:

-  $\zeta_u$ : Hệ số cản do độ cong.

-  $\zeta_{Re}$ : Hệ số cản do ảnh hưởng của số Reynold (ma sát ống).

Hệ số cản  $\zeta_u$  phụ thuộc vào góc uốn cong  $\varphi$ , tỉ số R/d và chất lượng bề trong ống

**- Tổn thất áp suất trong ống dẫn khi phân dòng:**

Tổn thất áp suất trong ống phân nhánh:

$$\Delta p_{Ea} = \zeta_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_z^2 \cdot [N/m^2]$$

Tổn thất áp suất trong ống dẫn thẳng:

$$\Delta p_{Ed} = \zeta_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_z^2 \cdot [N/m^2]$$

Trong đó:

$w_z$ : vận tốc trung bình trong ống dẫn chính.

Hệ số cản  $\zeta_a$  và  $\zeta_d$  của ống dẫn khi phân dòng thuộc vào tỷ lệ  $d_{ia}/d_{iz}$  và tỷ lệ lưu lượng  $q_{ma}/q_{mz}$ .

**Bảng 1.4**

	Góc rẽ nhánh $\delta$								
	90°			120°			135°		
Tỷ lệ lưu lượng $q_{ma}/q_{mz}$	Ống rẽ nhánh, hệ số cản $\zeta_a$								
	Tỷ số $d_{ia}/d_{iz}$								
	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6
0,2	0,79	0,84	1,00	0,71	0,75	0,88	0,68	0,72	0,83
0,4	0,74	0,88	1,31	0,57	0,69	1,07	0,51	0,61	0,98
0,6	0,81	1,05	1,89	0,53	0,75	1,53	0,43	0,64	1,40
0,8	1,00	1,37	2,72	0,97	0,96	2,26	0,44	0,78	2,09
1,0	1,30	1,82	3,81	1,75	1,27	3,26	0,54	1,06	3,05
Tỷ lệ lưu lượng $q_{ma}/q_{mz}$	Ống dẫn thẳng, hệ số cản $\zeta_d$								
	Tỷ số $d_{ia}/d_{iz}$								
	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,6	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
0,8	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
1,0	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

**- Tổn thất áp suất trong ống dẫn khi hợp dòng:**

Tổn thất áp suất trong ống dẫn hợp dòng  $q_{ma}$ :

$$\Delta p_{Ea} = \zeta_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_z^2 \cdot [N/m^2]$$

$$\Delta p_{Ed} = \zeta_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_z^2 \cdot [N/m^2]$$

Trong đó:

$w_z$ : vận tốc trung bình trong ống dẫn chính.

Hệ số cản  $\zeta_a$  và  $\zeta_d$  của ống dẫn khí hợp dòng phụ thuộc vào tỉ lệ  $d_{ia}/d_{iz}$  và tỉ lệ lưu lượng  $q_{ma}/q_{mz}$ .

**Bảng 1.5**

	Góc rẽ nhánh $\delta$								
	45°			60°			90°		
Tỷ lệ lưu lượng $q_{ma}/q_{mz}$	Ống rẽ nhánh, hệ số cản $\zeta_a$								
	Tỉ số $d_{ia}/d_{iz}$								
	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6
0,2	-0,41	-0,31	-0,11	-0,40	-0,30	-0,09	-0,38	-0,28	-0,06
0,4	-0,03	0,22	0,94	0,00	0,27	0,99	0,10	0,37	1,11
0,6	0,22	0,69	2,22	0,31	0,79	2,33	0,52	1,03	2,61
0,8	0,35	1,09	3,73	0,51	1,27	3,93	0,89	1,69	4,43
1,0	0,35	1,43	5,47	0,60	1,70	5,80	1,20	2,35	6,57
Tỷ lệ lưu lượng $q_{ma}/q_{mz}$	Ống dẫn thẳng, hệ số cản $\zeta_d$								
	Tỉ số $d_{ia}/d_{iz}$								
	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6
0,2	0,16	0,20	0,19	0,17	0,22	0,23	0,20	0,27	0,32
0,4	0,17	0,17	0,03	0,22	0,26	0,18	0,35	0,46	0,54
0,6	0,06	-0,04	-0,44	0,18	0,15	-0,10	0,47	0,60	0,71
0,8	-0,18	-0,44	-1,22	0,04	-0,11	-0,62	0,56	0,70	0,82
1,0	-0,53	-1,03	-2,32	-0,19	-0,51	-1,39	0,62	0,76	0,86

**- Tổn thất áp suất trong ống phân nhánh:**

$$\Delta p_{E5} = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \cdot [N/m^2]$$

Trong đó:

w: vận tốc trung bình trong ống dẫn chính.

**c/ Tổn thất áp suất trong các loại van ( $\Delta p_v$ ):**

Tổn thất áp suất trong các loại van  $\Delta p_v$  (trong các van đảo chiều, van áp suất, van tiết lưu .v.v...) được tính theo:

$$\Delta p_{EV} = \zeta_v \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \cdot [N/m^2].$$

Trong công nghiệp sản xuất tử khí nén, hệ số cản  $\zeta_v$  là đại lượng đặc trưng cho các van. Thay vì hệ số cản  $\zeta$ , một số nhà sản xuất khác sử dụng một đại lượng gọi là hệ số lưu lượng  $k_v$  là đại lượng được xác định bằng thực nghiệm. Hệ số lưu lượng  $k_v$  là lưu lượng chảy của nước [m<sup>3</sup>/h] qua van ở nhiệt độ T = 278 - 303 [K], với áp suất ban đầu là: p<sub>1</sub> = 6 bar, tổn thất áp suất  $\Delta p_0 = 0,981$  bar và có giá trị, tính theo công thức:

$$k_v = \frac{q_v}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

Trong đó:

- $q_v$  : Lưu lượng khí nén [ $m^3/h$ ].
- $\rho$  : Khối lượng riêng không khí [ $kg/m^3$ ].
- $\Delta p$  : Tổn thất áp suất qua van [bar].

Hệ số cản  $\zeta_v$  tính theo công thức:

$$\zeta_v = \frac{2g * 10,18}{w^2} \left( \frac{q_v}{k_v} \right)^2 .$$

Vận tốc dòng chảy:

$$w = \frac{q_v}{A} .$$

Thay w vào phương trình tính  $\zeta_v$ , ta có:

$$\zeta_v = \frac{2g * 10,18 . q_v^2 \left( \frac{A}{10^6} \right)^2}{q_v^2 \left( \frac{k_v}{3600} \right)^2} .$$

Trong đó:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad : \text{Tiết diện dòng chảy [mm}^2\text{].}$$

Thay tiết diện dòng chảy A vào phương trình  $\zeta_v$  ở trên, ta có hệ số cản của van:

$$\zeta_v = \frac{1}{626,3} \left( \frac{d^2}{k_v} \right) .$$

Như vậy, nếu van có thông số đặc trưng  $k_v$ , đường kính ống nối d, thì ta xác định được hệ số cản qua van  $\zeta_v$ .

**d/ Tổn thất áp suất tính theo chiều dài ống dẫn tương đương:**

Vì tổn thất áp suất trong ống dẫn thẳng hay là tổn thất áp suất của ống dẫn có tiết diện thay đổi hoặc là tổn thất áp suất trong các loại van đều phụ thuộc vào hệ số  $\frac{\rho}{2} . w^2$ , cho nên có thể tính tổn thất áp suất thành chiều dài ống dẫn tương đương.

$$\zeta . \frac{\rho}{2} . w^2 = \lambda \frac{l'}{d} \frac{\rho}{2} w^2 .$$

Từ đó, chiều dài ống dẫn tương đương:

$$l' = \frac{\zeta}{\lambda} d .$$



**PHU TIN TECHNOLOGY, SERVICE & TRADING Co., Ltd**

**Head office :** Add: Binh Duong Avenue, Ben Cat Dist., Binh Duong Province, Ho Chi Minh City

**Hanoi office :** No 22/1197 Giai Phong Avenue, Hoang Mai Dist., Ha Noi capital

Tell : ( 0850 ) 3555108 , Fax : ( 0650 ) 3555109

Hotline : 0933 38 00 79 , 0933 38 45 79

Email : [Phutin@vnn.vn](mailto:Phutin@vnn.vn)

Website 1: [www.phutin.com](http://www.phutin.com) ,

Website 2 : [www.khinen.com.vn](http://www.khinen.com.vn)

Website 2 : [www.maynenkhi.pro.vn](http://www.maynenkhi.pro.vn)