

三什麼是氣壓？

當我們談到氣壓意指利用受壓氣體傳遞能量來作功，簡單的說就是使用壓縮空氣經由氣壓閥來作動氣壓缸氣壓馬達等。

一般正常使用的空氣壓力為 $6 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ ，有時亦視實際的需要來決定所須使用的壓力。

利用氣壓作動力，因甚為方便。在近十年來，成長非常快，廣為工業界採用，特別是在自動機器上，氣壓扮演極重要的地位。

它的優點如下：

1. 動力來源簡易：大部份生產工廠都有壓縮空氣。
2. 氣壓元件成本便宜，使用氣壓，很容易可達低成本自動化的效果。
3. 速度快：氣壓缸運動速度可達 $1 \sim 2 \text{ m/sec}$ ，可增高生產效率。
4. 無爆炸危險：壓縮空氣因無火花發生之危險，在易爆或禁用電力之處，甚為適用。
5. 合適性高：此為氣壓最大之優點，不論現有機器之自動化改善或新自動機器之製造，氣壓缸能直接裝於施力點，安裝甚為簡易。
6. 系統清潔乾淨，無如油壓漏油之麻煩。
7. 出力及速度的調整簡易，只要經由調壓閥或節流閥即可調整。
8. 零件可靠性高，容易維護。
9. 行程調整簡易：氣壓缸之行程調整只要使用 stopper 即可達到。

當然，氣壓除了以上之優點外，仍有它的缺點。

1. 由於氣體之可壓縮性，使氣壓缸之任意點定位精度較差，此點困難近年來幸好已發展出定位單元 (Locking Unit) 可克服。
2. 在信號的傳遞上，氣壓速度要較電力慢，特別是傳送較長距離 (超過 10 M) 時，宜用電氣控制。
3. 速度慢時，不穩定，不宜做車、鎖、磨、之機械加工，但若與油壓混合使用，亦即用壓縮空氣做動力，推油前進則可達油壓穩速效果。
4. 動力小：一般氣壓缸內徑以 250 mm 為極限，其可產生之力量，約在 2.5 噸到 3 噸左右：超過此力量之氣壓缸亦可做，但其使用壓縮空氣量大，成本較高。故 3 噸以上之力量一般以油壓較適宜。
5. 動力費用昂貴：此點一般均被忽視，甚為遺憾。固然吾人周圍之大氣是免費的，而且取之不盡，用之不竭，但是壓縮空氣，須經由電力轉換始能取得，其空氣壓縮機的效率亦有一定的極限，故當吾人取用 6 kg/cm^2 壓力之空氣時，此能量是昂貴的，值此能源昂貴之際尤須重視。

三氣壓基本理論

3.1. 氣壓常用單位換算表

3.1.1 長度 (Length)

cm	m	in	ft
1	0.01	0.3937	0.0328
100	1	39.371	3.2809
2.54	0.02540	1	0.0833
30.48	0.3048	12	1

3.1.2 面積 (Area)

cm^2	m^2	in^2	ft^2
1	0.0001	0.1550	0.001076

3.1.4 質量 (Mass)

kg	lb
1	2.2
0.4536	1

3.1.5 重量或力 (Force)

kg _f	kp	N (Newton)	lbf
1	1	9.81	2.2

3.1.7 壓力 (Pressure)

kg/cm ²	atm	lb/in ²	bar
1	0.9678	14.223	0.9807

3.1.3 體積 (Volume)

m ³	dm ³ 或 l	ft ³
1	1000	35.317
0.02832	28.315	1

3.1.6 流量 (Flowrate)

m ³ /hr	ft ³ /hr	l/Min
1	35.317	16.6667

3.2. 氣壓常用公式：基本單位：長度 l : m , 質量 m : kg , 時間 t : s , 體積 : m³ 或 l

3.2.1 力量 (Force)

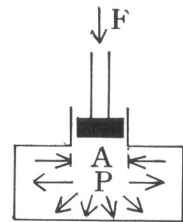
$$F = m \cdot a \quad N = kg \cdot \frac{m}{s^2} \quad \text{牛頓定律}$$

3.2.2 重量 (Weight)

$$G = m \cdot g \quad N = kg \cdot \frac{m}{s^2} \quad \text{加速度與重力 (Gravity) 有關}$$

3.2.3 巴斯卡原理 (Pascal's theorem)

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{單位：} 1 \text{ Pa} = \frac{N}{m^2} \quad 1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$



3.2.4 波義耳定律

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

說明：壓力與體積成反比

3.2.5 查理定律 (Charles' Law)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

說明：壓力與體積的變化與溫度成正比。

3.2.6 柏努力定理 (Bernoulli's Equation)

$$P_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{Z} = P_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{Z}$$

說明：流體速度愈快，其壓力愈低，反之速度減低，壓力增加。

3.2.7 流量公式

$$Q = A \cdot V \quad \frac{m^3}{s} = m^2 \cdot \frac{m}{s}$$

說明：流量為管路截面積與流速之乘積。

3.2.8 密度：單位體積的質量

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ kg/m}^3$$

3.2.9 黏度：流體對流動的阻礙程度。

1 動力黏度 (dynamics viscosity)

$$\mu = \frac{\text{剪應力}}{\text{剪力變化率}}$$

2 運動黏度 (kinematic viscosity)

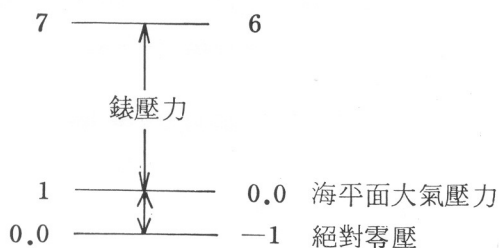
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

3.3. 氣壓學裡的四種壓力：

- 1 大氣壓力：1 atm \approx 14.7 psi 在海平面。
- 2 錶壓力：未知壓力與大氣壓力之差 (psig)。
- 3 絕對壓力：大氣壓力與錶壓力之和 (psia)。
- 4 真空：低於大氣壓力之壓力。

此四種壓力之關係如下圖：

絕對壓力 atm (a) 錶壓力 atm (g)



3.4. 氣壓缸

3.4.1 理論力

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

A : 氣壓缸截面積 cm²

D : 氣壓缸內徑 cm

$$F = A \times P$$

F : 理論力 kg

P : 操作壓力 kg/cm²

$$N = F \times 9.81 \text{ N/kg}$$

N : Newton

3.4.2 單動氣壓缸

實際正向力 : $F = A \times P - (R_1 + R_2)$

R₁ : 摩擦阻力, 約為 F 的 10 ~ 40 % 左右, 視品質而異。

R₂ : 彈簧阻力, 約為 F 的 5 ~ 20 % 左右, 視品質而異。

實際負向力 : 查表 1. 及表 2.

Piston dia.	Stroke	Piston area A (cm ²)	Thrust force (N) at p _e = 6 bar	Return force (N)
8	4	0,5	25	2,8
12	4	1,1	44	7,2
20	4	3,1	161	14
32	5	8,0	385	31
32	10	8,0	385	28
50	10	19,6	1000	42
63	10	31,1	1569	76

表 1 (From BOSCH)

單動短行程缸之正負向力 (6 bar)

dia. Cylinder	dia. Piston rod	Piston area	Thrust force (N) at p _e = 6 bar	Return force (N) of the spring min. for stroke (mm)					
				max.	10	25	50	80	100
6	3	0,3	10,9	4,5	-	1,8	-	-	-
10	4	0,8	37,5	5,5	5,1	4,5	3,4	-	-
12	6	1,1	54,3	7,3	6,8	6,0	4,6	-	-
16	6	2,0	88,3	20,3	18,7	16,1	11,8	-	-
20	8	3,1	143,4	28,0	26,1	22,9	17,8	-	-
25	10	4,9	234,0	33,4	31,4	28,3	23,2	-	-
25	8	4,9	239,0	19,6	-	9,8	-	Clamping cylinder	
35	10	9,6	477,0	29,4	-	-	14,7		
32	12	8,0	375	47,1	-	42,2	36,3	28,2	24,5
40	16	12,6	614	51,0	-	47,1	43,2	37,8	34,3
50	20	19,6	968	66,7	-	62,8	57,9	52,5	49,0
63	20	31,1	1556	91,2	-	85,3	80,4	73,3	68,7
80	25	50,3	2532	123,6	-	114,8	106,0	95,3	88,3
100	25	78,5	4011	134,4	-	128,5	121,6	113,4	108,0

表 2 (From BOSCH)

單動缸之正負向力 (6 bar)

3.4.3 雙動氣壓缸

實際正向力：
$$F = \frac{\pi D^2}{4} \times P - R_1$$

實際負向力：
$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P - R_1$$
 d ：活塞桿直徑

R_1 ：摩擦阻力，約為 F 的 10 ~ 40 %，視品質而異。

廣告：BOSCH 氣壓缸， R_1 約為 F 的 11 ~ 15 %。

dia. Cylinder	dia. Piston rod	Piston area A (cm ²)		Effective force (N) at $p_e = \text{bar}$															
				3		4		5		6		7		8		9		10	
		●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
10	4	0,8	0,66	21	17	28	21	35	29	42	35	49	41	56	46	63	52	70	58
12	6	1,1	0,8	29	22	39	30	48	37	58	45	68	52	77	60	87	67	97	75
16	6	2,0	1,73	53	46	70	61	88	76	106	91	123	107	141	122	158	137	176	152
20	8	3,1	2,6	82	69	109	92	136	114	164	137	191	160	218	183	246	206	273	229
25	10	4,9	4,1	129	108	172	144	216	180	259	216	302	253	345	289	388	325	431	361
32	12	8,0	6,9	212	182	282	243	352	304	422	364	493	425	563	486	634	546	704	607
40	16	12,6	10,6	333	280	444	373	554	466	665	560	776	653	887	746	998	840	1109	933
50	20	19,6	16,5	517	436	690	581	862	726	1035	871	1207	1016	1380	1162	1552	1307	1725	1452
63	20	31,1	28,0	824	739	1098	986	1373	1232	1647	1478	1923	1725	2196	1971	2471	2218	2746	2464
80	25	50,0	45,3	1328	1199	1771	1598	2213	1998	2656	2397	3098	2797	3541	3196	3984	3596	4426	3995
100	25	78,5	73,6	2072	1943	2763	2591	3454	3238	4145	3886	4836	4534	5526	5181	6217	5829	6908	6477
125	32	122,7	114,6	3239	3028	4319	4037	5399	5047	6479	6056	7558	7066	8638	8075	9718	9084	10798	10094
160	40	201,0	188,4	5309	4976	7079	6635	8848	8294	10618	9953	12388	11612	14157	13270	15927	14929	17697	16588
200	40	314,1	301,4	8295	7962	11060	10616	13825	13270	16590	15924	19355	18579	22120	21233	24885	23887	27650	26541
250	50	490,6	471,0	12960	12442	17280	16590	21600	20737	25920	24885	30239	29032	34559	33180	38879	37327	43199	41474

表 3 氣壓缸出力表 10 ϕ - 250 ϕ (From BOSCH)

- 正向力
- 負向力

3.4.4 負荷中氣壓缸力量之計算

行程力 (Stroke Force)

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

摩擦力 (Friction Force)

$$F_R = m \cdot g \cdot u \cdot \cos \alpha$$

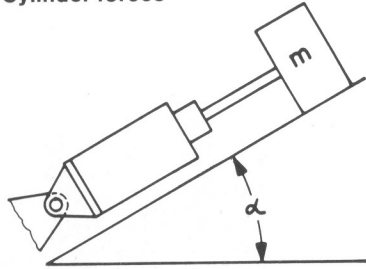
慣性力 (Inertia Force)

$$F_M = m \cdot a \quad a = \frac{v^2}{2 \cdot s} \text{ m/s}^2$$

總力 $F_{tot} = F_H + F_R + F_M$

例：

Cylinder forces



負荷： $m = 55 \text{ kg}$

$\alpha : 30^\circ$

速度： $v = 0.4 \text{ m/s}$ (穩速)

行程： $h = 500 \text{ m/m}$

摩擦係數： $\mu = 0.12$

緩衝程內之加速度 $s = 0.03 \text{ m}$

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 55 \cdot 9.81 \cdot 0.5 \approx 270 \text{ N}$$

$$F_R = m \cdot g \cdot u \cdot \cos \alpha = 55 \cdot 9.81 \cdot 0.12 \cdot 0.866 \approx 56 \text{ N}$$

$$F_M = m \cdot a = \frac{55 \cdot 0.4^2}{2 \cdot 0.03} \approx 147 \text{ N}$$

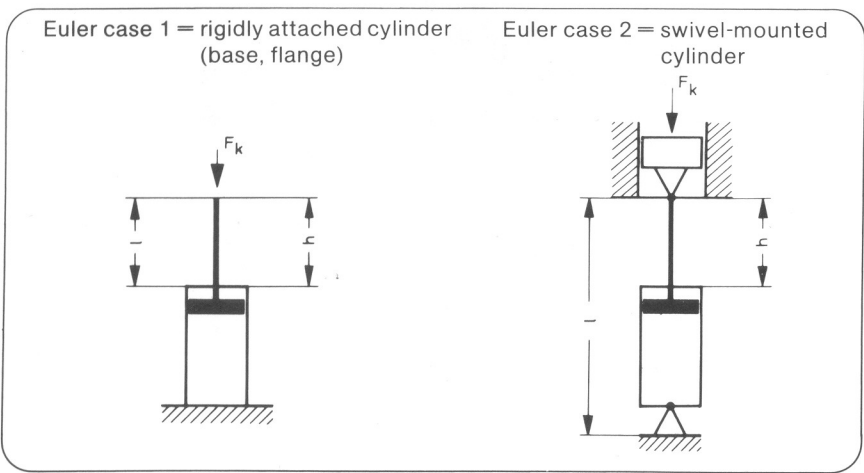
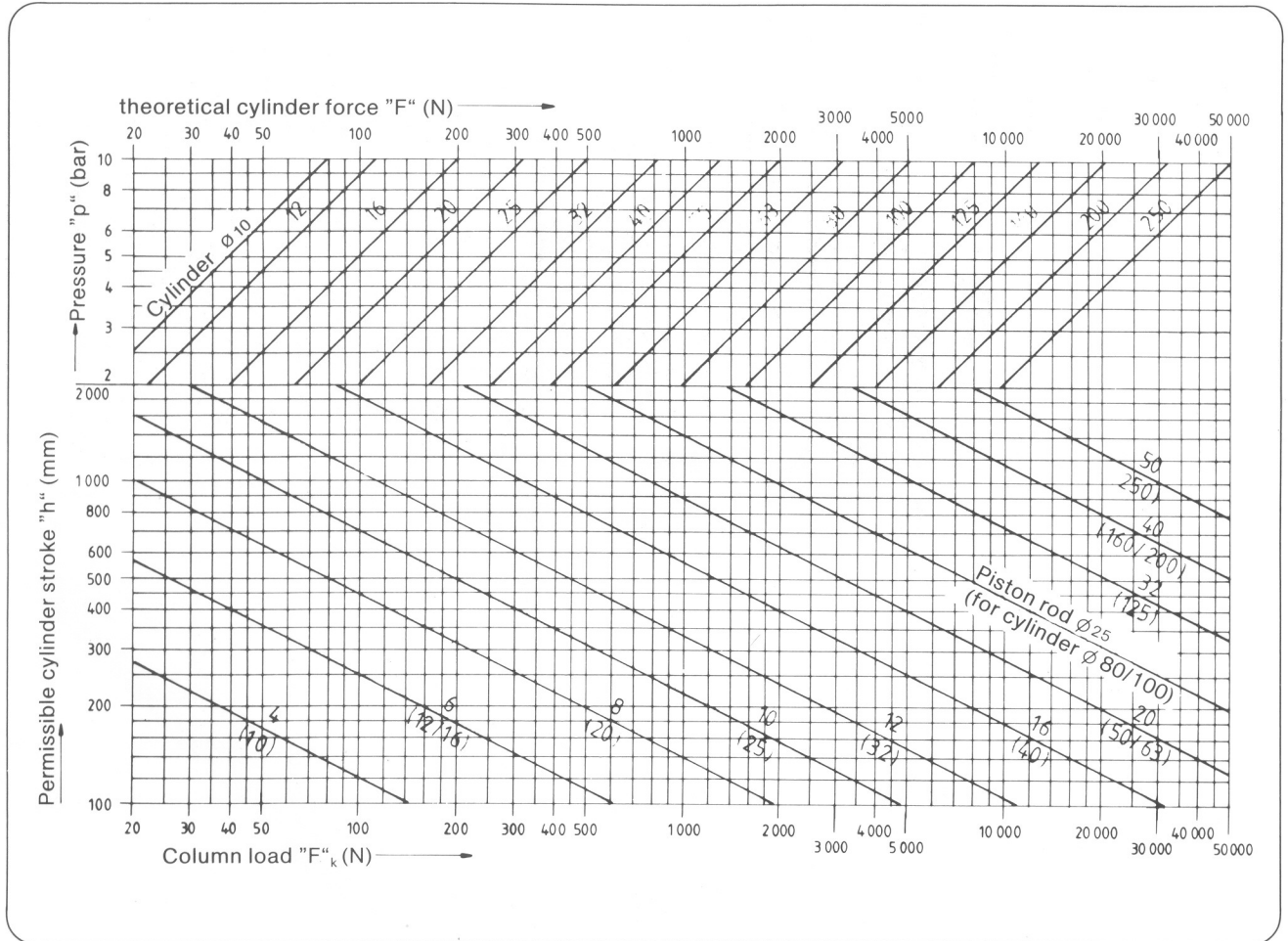
$$\text{總力} = F_H + F_R + F_M \approx 473 \text{ N}$$

3.4.5 氣壓缸行程與負荷之關係圖

氣壓缸活塞桿太長會有撓曲的危險，一般以 2000 mm 為行程之極限。(無桿氣壓缸例外) 視活塞桿大小來決定其可承受之最大長度。

下圖為壓力 P_e (bar)，缸徑 D (mm)，氣壓缸力 F (N) 柱向負荷 F_k (N) 及其可承受之活塞桿長度 h (mm) 之關係圖。

表 4 行程與負荷關係圖 (From BOSCH)



Case 1 and 2 which are of relevance to compressed-air cylinders are identical because of $l = h$ (case 1) and $l = 2h$ (case 2) and can be checked using the same graph.

3.4.6 氣壓缸空氣消耗量計算

$$1 \quad Q = \eta \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L$$

Q : 空氣消耗量 cm^3 ($1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$)

η : 壓縮比

$$\frac{1.033 + \text{工作壓力 (Atm)}}{1.033}$$

$\frac{\pi D^2}{4}$: 氣壓缸截面積 cm^2

L : 行程 cm

以上計算所得之 Q 值為氣壓缸在一行程中之空氣消耗量。

1. 單動氣壓缸

$$Q_S = Q$$

2. 雙動氣壓缸

$$Q_D = 2Q$$

每分鐘氣壓缸之空氣消耗量：

$$Q_S = Q \cdot n$$

n : 每分鐘氣壓缸往復次數

$$Q_D = 2Q \cdot n$$

例：行程 = 125 mm

內徑 = 80 mm

壓力 = 6 bar

查表後得空氣消耗量 = 8.5 L/MIN

註：本表為雙動氣壓缸之值

若為單動須減半。

2表 5 為空氣消耗量表 (From BOSCH)

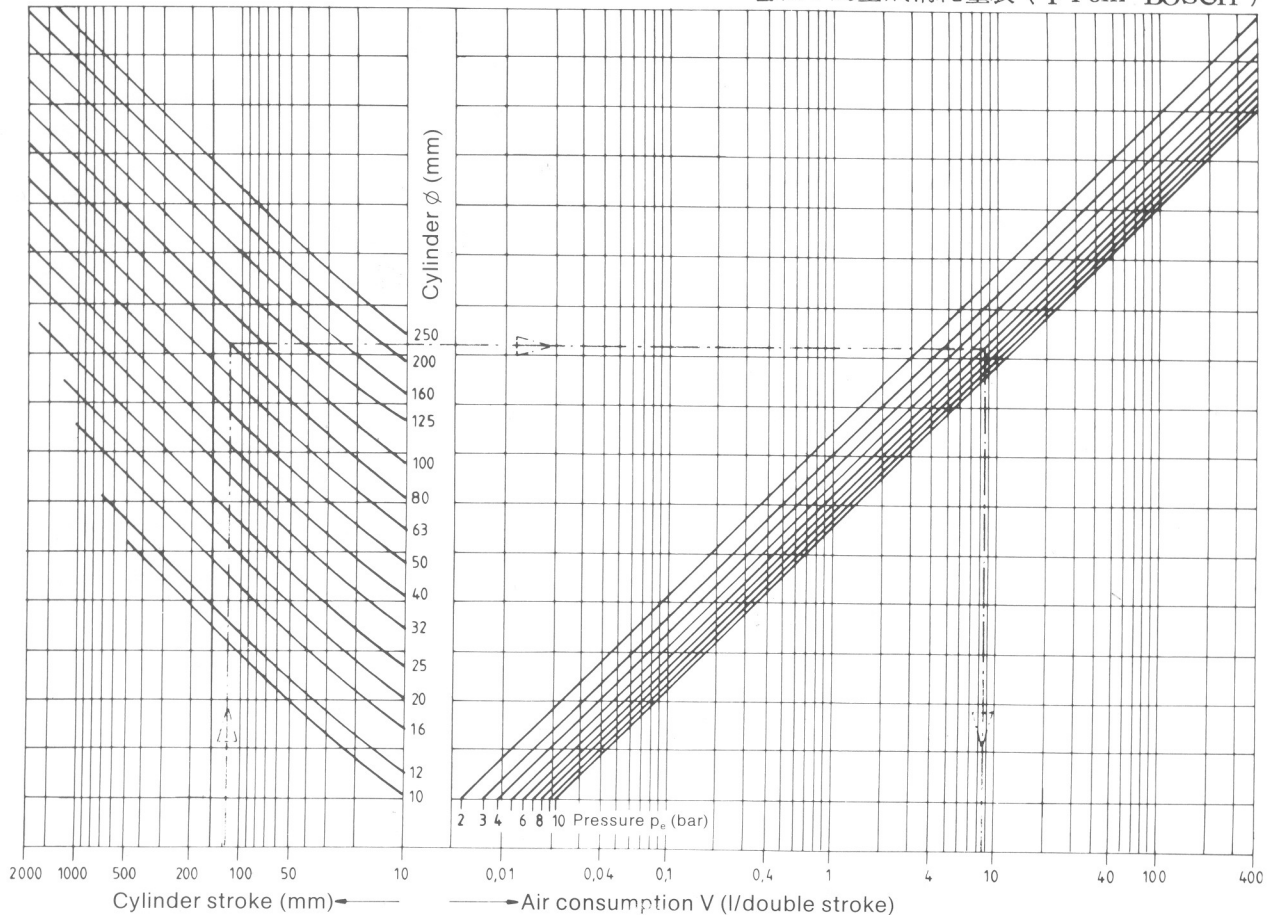


表 5 空氣消耗量表 (From BOSCH)

3.5. 閥之理論

3.5.1 閥之定義：於流體系統中控制或限制流動方向，壓力或流量之元件。

3.5.2 氣壓學裡使用的閥有以下幾類：

1. 機械式氣壓閥：使用人力或機械式（如凸輪連桿等）操作之控制元件。
2. 氣壓方向閥：使用氣壓做信號，以使閥之方向切換之元件。
3. 電磁閥：使用電磁力以使閥之方向切換之元件。
4. 節流閥：用限制作用，限制流量之閥。
5. 止回閥：只容許單方向之流體流通，另一方向之流體不通。
6. 快速排氣閥：可使驅動器（如氣壓缸）產生快速排氣效果之閥。
7. 邏輯閥：具有邏輯機能之閥如，或（OR），積（AND），否（NOT）等元件。
8. 壓力控制閥：控制壓力之閥如調壓閥、壓力開關等。

3.5.3 閥流量之關係公式：

1. C_v 值與流量 Q 之公式：

$$C_v = \frac{Q}{22.48 \sqrt{\frac{\Delta P \times (P_2 + P_A)}{T_1 \times G}}}$$

C_v 值：表示閥流量特性之係數

Q ：流量（SCFM）

ΔP ： $P_1 - P_2$ P_1 入口壓力（Psi）

P_2 ：出口壓力（Psi）

P_A ：大氣壓力（Psi）

T_1 ：溫度 °R

G ：氣體係數

2. A_v 值與流量之公式

$$A_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P \times 10^5}}$$

A_v ：為計算閥在任何開度之流量時使用之值。

A_v ：容量係數（ m^2 ）

Q ：流量（ m^3/s ）

ΔP ：閥前後之壓力降（ kg_f/cm^2 ）

ρ ：流體密度（ kg/m^3 ）