

科學圖書大庫

職業訓練教材

# 氣 力 學

譯者 朱燭崙



徐氏基金會出版

科學圖書大庫

職業訓練教材

氣 力 學

譯者 朱焜崙

徐氏基金會出版

# 原 序

本書為德國聯邦職業訓練機構（B I B B）下轄之職業訓練中心（B B F）所出版的叢書之一。

本機構之目的在提高工技教育之水準，由於多年來推展之心得，教學之器材、內容與方法皆漸趨完備，另目前正在發展與試用大型之實驗模型與多向媒體教學系統（Multimedia system），所謂多向媒體教學系統，係允許應用各種不同的教學方式與各種不同的硬體，因此，也可能利用這些材料去引用專家級之理論，去從事專家級之實務。

B I B B是一個獨立機構，成員由德國聯邦政府，土地管理部，資方與勞方等代表所組成，所以，本機構之研究發展與刊物出版等之利益與工作環境，皆可獲得良好之保障。

FESTO DIDACTIC廣為流傳及使用於世界各地，歷經百餘年來有系統地累積教學經驗，已使本書成為淺入深出及最為實用之職訓教材。

除了下表所列者，尚需要不同的管路連接器，至少有六個汽口的歧管以及兩個多向連接器，在某些練習題中，亦需要馬錶，而且，必需之壓力供應來源並未包括在器材表中。

註：

(1)通常 $\frac{3}{8}$ 一閥可用互換汽口之方式而兼可作為正常開啓或正常關閉之閥門，因此不必重複採購，但並非所有之 $\frac{3}{8}$ 一閥在設計上皆可如此，所以，為謹慎起見，應該向供應廠商詢問清楚。

(2)本練習題僅使用繩導控制之提動閥，若完全使用滑動閥，則本練習題取消。

氣力學課程之器材表

數量	器材之名稱	各練習題之需要量														註號		
		練習一	練習二	練習三	練習四	練習五	練習六	練習七	練習八	練習九	練習十	練習十一	練習十二	練習十三	練習十四		練習十五	練習十六
1	輔助性元件 ( 總清器, 釋壓閥, 壓力計, 潤滑器 )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	帶有緊急關閉用插鎖之 3/2- 閥	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	單作動氣缸	1	1	1	1	1	1								1			
2	雙作動氣缸								1	1	1	2	1	1	1	2	2	
2	壓力計	1	1	1		2				2		1	1					
2	正常關閉之 3/2- 閥 ( $\overline{M} \Rightarrow$ )	1	1		1	1	1	2	2		1	1	2	1		1	1	
1	正常開啓之 3/2- 閥 ( $M \Rightarrow$ )			1														1
1	3/2- 無導閥 ( $\overline{M} \overline{M}$ )				1													2
3	正常關閉之 3/2- 閥 ( $\overline{M} \Rightarrow \circ$ )										1				1	2	3	
1	正常關閉之 3/2- 閥 ( $\overline{M} \Rightarrow \circ$ )																1	
1	可予調整促動壓力之 3/2- 閥 ( $\overline{M} \leftarrow$ )											1						
1	4/2- 或 5/2- 閥 ( $\overline{M} \Rightarrow$ )								1	1		1			1			
3	4/2- 或 5/2- 閥 ( $\overline{M} \leftarrow \overline{M}$ )										1		1	1		2	3	
1	4/2- 或 5/2- 閥 ( $\overline{M} \leftarrow$ )											1						
1	正常關閉之遲延閥														1			
2	可變性之單向流動控制閥					1	1			1		1		1	1	2		
1	帶有消音器之快洩閥					1						1	1					
1	梭動閥							1										
1	釋壓閥													1				

# 目 錄

原序

## 氣壓學課程之器材表

1. 概 述.....	1
1.1 氣力學之物理量及使用單位.....	3
1.2 空氣之物理特性及定律.....	7
1.3 壓縮空氣作為工作之媒體.....	16
測驗題.....	18
2. 練習 1.....	21
2.1 具有回送彈簧的單作動氣缸.....	23
2.2 ISO 1219 ( DIN 24 300 ) 規定之方向控制閥符號.....	25
2.3 正常關閉之 3/2 - 提動閥 ( POPPET VALVE ).....	28
2.4 正常關閉之 3/2 - 滑動閥 ( SLIDING VALVE ).....	30
測驗題.....	32
3. 練習 2.....	34
3.1 輔助性元件.....	36
測驗題.....	42
4. 練習 3.....	44
4.1 正常開啓之 3/2 - 提動閥.....	46
4.2 3/2 閥中滑動閥和提動閥之比較.....	48
測驗題.....	50
5. 練習 4.....	52
5.1 正常關閉之 3/2 - 插導閥.....	54
測驗題.....	58
6. 練習 5.....	60

6.1	流動控制閥	62
6.2	具有彈簧之止回閥	64
6.3	單向流動控制閥	66
	測驗題	68
7.	練習 6	70
7.1	快洩閥	72
7.2	消音器	74
	測驗題	75
8.	練習 7	77
8.1	梭動閥(雙向止回閥)	79
	測驗題	81
9.	練習 8	82
9.1	雙壓閥	84
	測驗題	86
10.	練習 9	87
10.1	雙作動氣缸	89
10.2	4/2-衝導閥	91
10.3	5/2-衝導閥	94
	測驗題	96
11.	練習 10	98
11.1	供氣之節流;排氣之節流	100
	測驗題	102
12.	練習 11	103
12.1	閥門控制之型式	105
12.2	空氣作動之 4/2 閥	107
12.3	空氣作動之 5/2 閥(脈衝閥)	109
12.4	迴路圖之設計	111
	測驗題	113
13.	練習 12	115
13.1	3/2-閥促動之壓力可予以調整	117
	測驗題	119
14.	練習 13	121

14.1 釋壓閥.....	123
測驗題.....	126
15. 練習 14 .....	128
15.1 正常關閉之遲延閥.....	130
測驗題.....	134
16. 練習 15 .....	136
16.1 位移一步驟圖.....	138
測驗題.....	140
17. 練習 16 .....	142
17.1 彎曲用之工具.....	144
測驗題.....	146
18. 練習 17 .....	147
18.1 彎曲工具.....	149
測驗題.....	153
教學指導.....	195
1. 單位一作動之汽缸.....	173
2. 輔助性元件.....	177
3. 正常開啓之 3/2 閥，其滑閥與提動閥之比較.....	179
4. 3/2 橋導閥.....	181
5. 單向流動控制閥.....	186
6. 快洩閥與消音器.....	188
7. 梭動閥.....	190
8. 雙壓閥.....	192
9. 雙作動氣缸，4/2 - 橋導閥，5/2 - 閥.....	194
10. 供氣節流 - 排氣節流.....	197
11. 4/2 - 閥與 5/2 - 閥.....	200
12. 可予調整促動壓力之 3/2 - 閥.....	203
13. 釋壓閥.....	205
14. 遲延閥.....	207
15. 位移一步驟圖.....	209
16. 彎曲用之工具.....	211
17. 彎曲用工具.....	213
物理量 - 符號 - 單位表.....	217
索引.....	270

# 1. 概 述

溯自數千年以前，空氣已被人類所認知——其為地球上存在之物質，且已對於此種“媒體”在工作上進行某些程度上的利用，當初，人們僅考慮利用風來點火，及至往後扇子、風箱等空氣用具發明，甚至利用自然空氣的移動來驅動帆船及風車。

“Pneuma”一詞，源自希臘語，意即呼吸或風，而和其他字尾結合在一起，形成“Pneumatics”氣力學，即為研究空氣運動與其現象的專門學科。

雖然一如上述，氣力學的基本概念於早期人類理念中即已存在，但對空氣反應及基本壓縮空氣作有系統之探究，亦不過是近世紀的事情。

在德國，我們可以說真正氣力學應用在工業界，始於1960年。

在此以前，人們僅考慮應用在採礦業、建築業，甚至鐵路方面，早已應用壓縮空氣於煞車及平台貨車上，1927年，Maschinenfabrik Esslingen 公司建造了一台氣力傳動系統的柴油機車頭（見圖1），以柴油馬達驅動一空氣壓縮機，而壓縮空氣經由調節器被送往兩個運轉的氣缸中，至於蒸汽，亦利用同一方式來驅動蒸汽火車頭，唯由於壓縮空氣在細節問題上所導致之困難，故這種氣力傳動系統的柴油機車頭未予繼續製造，今日，德國之柴油引擎機車頭幾乎全部採用液壓動力傳動系統，而另一項壓縮空氣迄今仍然存在的用途是在工場內作為吹驅加工粉屑及灰塵之用。

氣力學在工業界上真正及世界性之引用，乃由於自動控制之成長而發軔於美國。



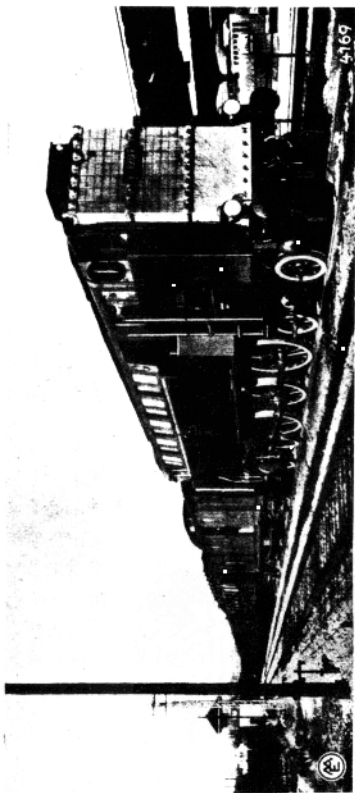


圖 1 氣力傳動系統的柴油機車頭

## 1.1 氣力學之物理量及使用單位

為進一步地了解空氣在壓縮狀況下之特性，必須先對它因壓縮而產生之物理量加以敘述。

關於此點，你一定會問“物理量是些什麼東西”？在工程上，物體可予衡量的特性或可予量測的事件與狀態，皆為物理量，因此，速率、壓力、時間及溫度皆表示一種物理量，而顏色則不屬之。

以下即為用來定義氣力學所需之物理量：

長度 公尺 (m)

質量 公斤 (Kg)

時間 秒 (s)

溫度 克爾文氏溫度 (K) 或攝氏溫度 (°C)

其他氣力學上重要的物理量，諸如力、面積、體積、數量、壓力及速率，皆可由以上之物理量導出。

為了描述物理量，一個數值須具備一個計量數字及一個單位，如某長度可能以 24 mm 表示，它的計量數字為 24，單位是 mm (公厘)。

最初，每個物理量具有不同的單位存在，如力的單位有千磅、牛頓等，為了清楚起見及避免混淆，許多國家的科學界及工程界開始從事於單位的統一，產生了“國際單位系統”(簡稱為 S I)，而它目前已成為德國合法適用的單位。

國際單位系統僅有 7 個基本單位，而其他的物理量及單位則可由它導出(圖 2)。

在 S I 系統中，質量之單位定為公斤，但質量之定義為何？在一般使用上，人們將質量視為重量，一個 1 公斤的鋼質立方體具有 1 公斤的質量，但質量之特性與地心引力無關，一個 1 公斤的質量，縱然是置於月球上，亦永遠具有 1 公斤的質量。

基於物理學之故，力的單位，因着質量單位的確定而隨之決定，英國人牛頓(1643~1727)發現了以下的自然定律：

力 = 質量 · 加速度

$$F = m \cdot a$$

當以單位表示時



$$\text{力} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{力} = 1 \text{ N}$$

以上例子中說明只有在我們的行星上，102 g 的質量方能產生 1 N 的力，因為我們係引用地球上之地心引力加速度，在月球上，則同樣的質量只能造成 0.166 N 的力，因為月球地心引力加速度僅為地球的 1/6。

壓力的意義為作用於單位面積上之力量。

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{即} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

導出之 S I 壓力單位因此為  $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ，稱之為 Pascal<sup>(1)</sup>，(單位之符號為 pa)。

1 pascal 的壓力是非常微小的，微小到使我們的皮膚無法感覺出來，1 pascal 的壓力大約相當於本書的一頁紙張壓在一個物體上，一平方公尺的紙，重量為 100 g，因此它以 1 N 的力作用於一平方公尺的面積上，而此一壓力即為 1 pascal，把紙張弄得小一點也對壓力的大小沒有影響，因為受壓力的面積減小，所承受之重量亦同時減小。

因為 pascal 之壓力是如此之微小，所以通常都乘上係數一千 (kilo =  $10^3$ ) 或一百萬 (mega =  $10^6$ )，1 megapascal (符號為 MPa) 之壓力相當於大氣壓力之 10 倍。

另外一個經常使用的壓力單位是 megapascal 的十分之一，稱做 BAR (符號為 bar)，經過實用的經驗，認為這是最合適的壓力單位，且 Bar 相當於大氣壓力。

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 100 \text{ kPa} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 10^5 \text{ Pa} \\ &= 14.5 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$

壓力數值經常以大氣壓力作為參考，而大氣壓力則視氣候條件及不同的海平面高度而在 98 kPa (0.980 bar / 14.21 psi) 與 104 kPa / 15.08 psi<sup>(2)</sup> 之間變動。氣象學家稱之為 980 millibar 與 1040 millibar，單位之符號為 980 mbar 與 1040 mbar。

依據 DIN 1314 (第 2.77 版) 之規定，相對於大氣壓力之壓力，稱之為相對壓力，它的符號為  $P_e$ ，指數 e 代表拉丁字 excedens，即為“超越”之意，壓力為  $p_e = 200 \text{ kPa}$  (2 bar / 29 psi) 時，亦即大於大氣壓

力 200 kPa ( 2 bar / 29 psi ) 的壓力。

$p_a = -50 \text{ kPa}$  (  $-0.5 \text{ bar} / -7.25 \text{ psi}$  ) 即為小於大氣壓力 50 kPa (  $0.5 \text{ bar} / 7.25 \text{ psi}$  ) 之壓力， $p_a$  的數值無法小於  $-100 \text{ kPa}$  (  $-1 \text{ bar} / -14.5 \text{ psi}$  ) [ 譬如相對壓力  $p_a = -200 \text{ kPa}$  (  $-2 \text{ bar} / -29 \text{ psi}$  ) ]，因為沒有小於真空的壓力存在，而真空中是沒有氣體分子的，依據科技之觀點，完全真空是無法產生的，但是可以將密閉容器中之氣體抽吸至絕對壓力為僅有  $0.0000000001 \text{ Pa}$  (  $= 10^{-10} \text{ pa}$  ) 之程度。

我們剛才引用到“絕對壓力”這個名詞，它的符號是  $P_{abs}$ ，絕對壓力之零點（參考點）是真空，絕對壓力經常應用在物理定律上（見第 8 頁），絕對壓力  $P_{abs}$  不受大氣壓力的影響，一般情況所測得的壓力大部份是絕對壓力，因為絕對壓力之零度是真空。

在油壓及氣壓學中常應用相對壓力，輒以  $P_a = 0$  作為空氣壓力量測之基準（圖 3）。

① = 空氣壓力浮動綫

② = 真空

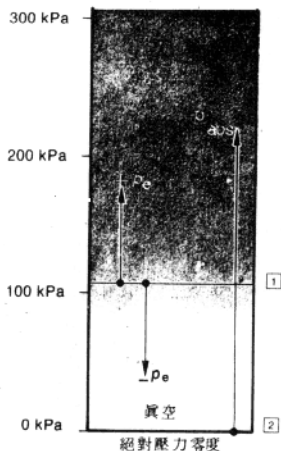


圖 3

註：(1) Pascal, Blaise ( 1623 - 1662 )，數學家、物理學家兼哲學家，發現大氣壓力之存在。

(2) D I N 1343 中規定標準壓力之定義為大氣壓力之平均值， $P_a = 1.01325 \text{ bar}$ 。

## 1.2 空氣之物理特性及定律

在氣壓學中，我們利用地球上稱之為空氣之混合氣體來工作，首先，我們將解釋及說明在實際生活中關於空氣某些典型的現象。

空氣是由兩種主要氣體混合而成，即

氮 ( $N_2$ ) 約佔總體積之 78%。

氧 ( $O_2$ ) 約佔總體積之 21%。

除此之外，空氣中含有微量之二氧化碳、氫、氬、氖 ( $Ne$ )、氦 ( $He$ )、氪 ( $Kr$ )、氙 ( $Xe$ )，另外包圍在我們四周的空氣中含有不同百分比的水蒸氣 (濕度)。空氣係由氣體分子所組成。而氣體分子由原子成對地結合。舉一模式來說明，我們可以想像氣體分子為一個非常微小的彈性球體，一立方公厘的體積中包含分子之數量，大得令人難以想像 ( $27 \cdot 10^8$ )。

氣體分子並非呈靜止狀態，而為不停地迅速運動及相互碰撞。

由於空氣之運動，成為空氣充滿其存在空間之原因。在密閉容器中之氣體分子經常地撞擊其儲槽的內壁，因此產生壓力。

### 1.2.1 熱能與壓力對空氣之影響

空氣受熱能之影響而膨脹。實驗：將一充滿空氣的耐火玻璃燒瓶加熱，而燒瓶之開口處以導管連接至一倒滿有顏色水的燒杯中，然後燒瓶以一火焰加熱，其結果是空氣自水底形成氣泡逸出，當燒瓶冷卻時，水進入導管中。(圖 4)

解釋：

當加熱時，燒瓶中之空氣膨脹產生壓力，將導管中之水擠壓而出，再繼續加熱，則空氣繼續不斷地自水中逸出。若不再加熱時，殘留在燒瓶中之空氣冷卻後而收縮，因為先前已有空氣逸出，則燒瓶中呈現半真空狀態，大氣壓力迫使水進入導管中，直到燒瓶中之壓力與大氣壓力平衡為止。

觀察結果：

氣體之體積、壓力及溫度等物理量彼此間有相互之關係，在精密之量度下，顯示出有下列公式存在：

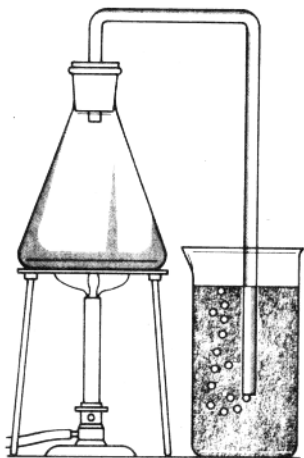


圖 4

$$\frac{p_{abs} \cdot V}{T} = \text{常數}$$

$p_{abs}$  = 絕對壓力

$V$  = 體積

$T$  = 以 Kelvin (K) 表示之絕對溫度

實驗：

我們將一充滿普通空氣的瓶子，以一支裝滿水的U型管連接其上（如圖5）而置之於一溫度較冷的房間內，在冬天或秋天時，我們可將之置於室外，瓶子與水受到室外溫度之影響，經過一段時間後而達到穩定之溫度，然後我們用一溫度計緊塞於瓶口，則瓶中之空氣壓力及溫度可因此測得，瓶子的體積，可於事先經由量規瓶測得。

舉例： $p_{abs} = 101 \text{ kPa}$  ( 1010 mbar / 14.645 psi )

絕對溫度經測得為  $t = 14 \text{ }^\circ\text{C}$

$$V_1 = 514 \text{ cm}^3$$

$$T = t + T_0 \text{ 單位為 kelvin}$$

$$T_1 = 14 + 273 = 287 \text{ K}$$

$$T_1 = 287 \text{ K}$$

將全部的實驗儀器移入較高溫之室內，然後，溫度再次達到平穩時，我們可以觀察體積的膨脹與壓力之上昇。

水柱每上昇 100 mm 相當於壓力上昇 0.98 kPa ( 9.8 mbar / 0.142 psi )，因此 10 mm 水柱高  $\approx$  0.1 kPa ( 1 mbar / 0.0145 psi ) [ 圖 6 ] 以下為實驗測得之數據：

$$p_{2\text{abs}} = 101 + 2.4 = 103.4 \text{ kPa} \quad ( 1010 + 24 = 1034 \text{ mbar} / 14.645 + 0.348 = 14.993 \text{ psi} )$$

$$\Delta p = 2.4 \text{ kPa} \quad ( 240 \text{ mm 水柱高} )$$

$$V_2 = 517.4 \text{ cm}^3 \quad t = 23^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 23 + 273 = 296 \text{ K}$$

$$T_2 = 296 \text{ K}$$

$$\left[ \frac{p_{1\text{abs}} \times V_1}{T_1} = \frac{101 \times 514}{287} = 180.9 \frac{\text{kPa} \times \text{cm}^3}{\text{K}} \right]$$

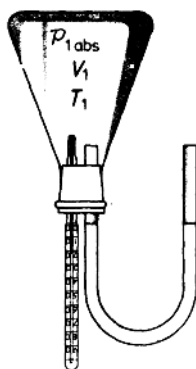


圖 5

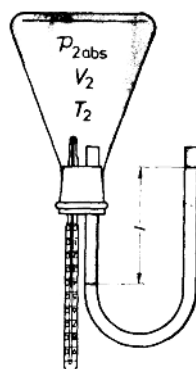


圖 6



$$\left[ \begin{array}{l} \frac{p_{2,abs} \times V_2}{T_2} = \frac{103.4 \times 517.4}{296} = 1807 \frac{\text{kPa} \times \text{cm}^3}{\text{K}} \\ \frac{p_{1,abs} \times V_1}{T_1} = \frac{1010 \times 514}{287} = 1809 \frac{\text{mbar} \times \text{cm}^3}{\text{K}} \\ \frac{p_{2,abs} \times V_2}{T_2} = \frac{1034 \times 517.4}{296} = 1807 \frac{\text{mbar} \times \text{cm}^3}{\text{K}} \end{array} \right]$$

以上兩種狀況下之數值皆為相同，二者間微小的差異，是因為這種簡單的實驗，無法避免在量度上所造成的誤差。

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

此一自然定律稱為波義爾—給呂薩克定律 (Boyle-gay-lussac's law)。

以上關係式在特殊情況下，形成另一公式，即在若能保持溫度不變之狀態下(恒溫狀態)， $T_1 = T_2$ ，則以上公式中之溫度一項，可相互消去。

$$p_{1,abs} \cdot V_1 = p_{2,abs} \cdot V_2 = \text{常數}$$

此一情況，並不常發生，無論如何，空氣在壓縮、膨脹或其他技術之處理情況下，如果實際上溫度維持不變，則所發生之壓縮或膨脹效果會非常緩慢。

應用波義爾—給呂薩克定律，任何氣體的狀態皆可轉換為標準狀態 (D I N 1343)。

舉例：

絕對壓力為 700 kPa ( 7 bar / 101.5 psi ) 溫度為 25 °C 之壓縮空氣儲存於一壓縮空氣儲槽中，該儲槽之內容積為 2 m<sup>3</sup>，試問在標準狀態下 (  $p_0 = 101.3 \text{ kPa}$  ( 1.013 bar / 14.688 psi ),  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  ) 在儲槽中空氣的體積為何？

以實際測得之溫度  $t = 25 \text{ °C}$  (見圖 7) 來測定以 kelvin 為單位之溫度。

$$T_1 = t_1 + 273.15 \text{ 單位為 kelvin}$$

$$T_1 = 25 + 273.15$$

$$T_1 = 298.15$$

$$T_1 \approx 298 \text{ K}$$