

科學圖書大庫

氣力控制學



徐氏基金會出版

科學圖書大庫

氣力控制學

徐氏基金會出版

譯者序

近代工程技術突飛猛進，主要是因爲自動控制之大量引用與發展，所謂技術密集工業，便是自動控制系統之引用。

自動控制可類分爲氣力控制、油壓控制及電氣控制，前兩者則幾乎完全類似，只是使用之壓力介質不同而已。氣力控制與電氣控制之間亦有密不可分之關係。此三種自動控制在近日之工業扮演著非常非常重要之角色。

本書主要在介紹氣力控制所必備之知識，凡是與工業有關係之任何人，必須具備，否則便會因自動控制智能不足而漸漸受到淘汰。

本書爲FESTO之訓練教材，對氣力控制作一很有系統，很詳盡清晰圖解說明。先介紹壓縮空氣之製造與處理，所耗費之成本與效益，然後以解介紹氣力作動元件、基本元件、各種方向閥、止回閥及近距離感應器，介紹氣力——電動訊號之轉換，使用符號及基本迴路，最後則用工業上經使用之範例來加以說明。堪稱爲相當新穎優秀之氣力控制教材，一目了然。

倉促付梓，錯誤在所難免，歡迎來信指正，無任感激，並在此致上最高謝意。

林建山
於中國鋼鐵公司

原 序

“氣力控制學”一書為F E S T O基本訓練課程之彙總，經過多年來之指導訓練，教材已形成本書之模樣。

本書之安排與訓練課程之方式相似。

在此新版書中，作者已揚棄沒有必要之理論，以便更為簡單明白。

光讀本書而不需老師指導，便能完全了解每一個氣力工作件與控制元件，且不會失掉氣力控制學之全貌。

本書不惜利用很大之篇幅來介紹壓縮空氣之製造與處理，因為此部份為造成氣力系統故障與操作失常之主因。此教材與工程界之進展互相輝映，而且作者亦僅將其界限於基本知識方面。作者非常感激任何來函之指正與建議。

“氣力控制學”之目的在於提供廣泛之知識，以便任何人可以對氣力控制更為深入。

二 版 序

第一版之迅快流通顯示氣力學上撇開純技術之討論而採用詳細之描述與圖說為廣大讀者所需要。

由於人爲之疏忽，造成第一版有些許錯誤，本版已加以更正，此外更感謝那些協助我們改進之人們，我們更期望讀者來函多多指正。

目 錄

譯者序

原 序

二 版 序

第一章 緒 論

- 1-1 壓縮空氣工程之發展…… 1
- 1-2 壓縮空氣之特性…… 2
- 1-3 氣力設備之經濟效益…… 2
- 1-4 物理基本原理…… 6

第二章 壓縮空氣之製造

- 2-1 製造廠…… 13
- 2-2 空氣壓縮機之型式…… 13
- 2-3 壓縮機選擇之基準…… 18

第三章 壓縮空氣之分配

- 3-1 管綫之尺寸…… 25
- 3-2 管綫之裝配…… 28
- 3-3 管綫之材料…… 29
- 3-4 管綫接頭…… 30

第四章 壓縮空氣之製造

- 4-1 空氣之污染…… 32

- 4-2 壓縮空氣濾清器…… 36
- 4-3 壓力調節器…… 36
- 4-4 壓縮空氣潤滑器…… 39
- 4-5 配供組…… 42

第五章 氣力作動元件

- 5-1 直綫作動氣力元件(氣動氣缸)…… 45
- 5-2 安裝之類別…… 53
- 5-3 氣缸之構造…… 54
- 5-4 氣缸之計算…… 55
- 5-5 迴轉操作氣力元件…… 65

第六章 基本元件

- 6-1 裝有空氣控制單元之氣缸…… 68
- 6-2 油壓—氣力系統…… 68
- 6-3 進給單元…… 73
- 6-4 迴轉指示盤…… 75
- 6-5 開槽夾頭…… 78
- 6-6 氣墊滑動盤…… 78

第七章 閥

- 7-1 導 論…… 80
- 7-2 方向閥…… 80
- 7-3 止回閥…… 104

7-4	壓力控制閥	111
7-5	流量控制閥	114
7-6	關斷閥	115
7-7	多種閥之組合	115
7-8	程式控制單元	124

第八章 近距離感應器

8-1	空氣柵門	129
8-2	反射感應器	131
8-3	背壓感應器	133
8-4	壓力放大器	135

第九章 氣力—電動訊號之轉換

9-1	訊號轉換器	137
9-2	訊號轉換接觸器	137

第十章 氣力控制學使用之符號

第十一章 基本迴路

11-1	單動氣缸之控制	153
------	---------	-----

11-2	雙動氣缸之控制	153
11-3	利用綫上球止回閥控制	154
11-4	單動氣缸之速率控制	154
11-5	雙動氣缸之速率調整	155
11-6	單動與雙動氣缸速率之加快	156
11-7	利用二壓閥控制	157
11-8	單動氣缸之間接控制	157

第十二章 實用範例 (基本迴路圖)

12-1	條板箱之分配	159
12-2	比例滑塊 (Proportioning slide) 之操作	160
12-3	鑄鐵液盛桶之操作	160
12-4	重力進料倉匣球下來時之分配	161
12-5	塑膠件之接合夾具	163
12-6	計算尺之壓製	164
12-7	凝乳杯蓋之控制	166

第一章 緒 論

1-1 壓縮空氣工程之發展

壓縮空氣係人類所知之能源中最早知道之一種，並且已加以應用以增加其物理效用。

人類利用空氣作為傳導體及利用此“介質”的歷史，可以追溯到幾千年以前。

我們確知利用壓縮空氣作為傳導體的第一個人為希臘的卡提西比奧斯 (KTESIBIDS)，兩千年前他製造了一個利用壓縮空氣推動之彈弓。第一本討論壓縮空氣作為能源的書起源於西元一世紀，並且已劃出利用熱空氣轉動的器具。

“Pneuma”這個字導源於古希臘文，其意思為呼吸，風，及哲學之靈魂。

因此，“Pneumatic”(研究空氣運動及現象之學問)係起源於“Pneuma”這個字。

雖然空氣的基本特性在人類最早的知識上佔有一地位，然而直到上世紀其行為與基本特性才有一系統的研究，而真正實際加以應用到生產，則是在1950年才開始。

當然，也有一些早期加以應用的例子，例如開礦工業，建築工業與鐵路(壓縮空氣煞車)。

空氣被真正與廣泛加以應用到工業上係由於需要自動化與操作序列的簡單化。

由於對空氣的忽視與理解不夠造成早期受到的擱拒，然而其應用的領域則繼續增加。

今天你已無法想像出一旦近代的工廠缺乏壓縮空氣時其混亂之情形，利用壓縮空氣之儀器在各種工業上已相當廣泛。

1-2 壓縮空氣之特性

氣動工具可以在如此短暫的時間被迅快推廣出去的確令人驚異。其主要原因為自動控制時比其他介質更容易取得，而且來得經濟。

下面是壓縮空氣顯得卓越之特性：

數量上：任何地方之空氣均可以拿來壓縮，而且數量不受限制。

輸送性：空氣可以非常容易的利用管綫輸送，即用完之壓縮空氣不需要再送回。

儲存性：空壓機並不需要連續運轉，壓縮空氣可以儲藏在容器內再由容器內送出。此外，亦可利用貯氣瓶加以輸送（例如空氣鋼瓶）。

溫度：壓縮空氣對溫度之變化並不敏感，故即使在特殊溫度之下，亦可安心的操作。

防爆性：壓縮空氣沒有爆炸起火的危險，故可以節省防爆所需之昂貴費用。

清潔度：壓縮空氣非常乾淨，任何由管綫或元件漏出之空氣均不會造成污染。這種清潔度係必須的，尤其在食品、木材、紡織與皮革工業方面。

構造：操作原件構造很簡單，因此非常便宜。

速度：壓縮空氣係非常快速的介質，因此工作速度也很快。

（氣動活塞的工作速度為 $1 - 2 \text{ m/sec}$ ）

調整性：對壓縮空氣之構件來說，其速度與力量為不定變數。

過載安全性：氣動工具與操作構件可以負載到其停止不動為止，故即使過量負載時亦是安全的。

為了正確了解氣動工具適用之範圍，氣動之幾個缺點亦得加以認識。

製備：壓縮空氣必須製備良好，否則會含有雜質及濕氣。（兩者均會損壞氣動構件）。

可壓縮性：氣動活塞之速度不會保持均勻與恒定。

力量限度：壓縮空氣的經濟價值只到某一力量限度。一般的操作壓力為 $7 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，並取決於其距離與速度，其極限為 2000 與 3000 牛頓之間。

廢氣：排氣之聲音非常嘈雜，然而此問題目前已因吸音材料之發展而加以解決。

成本：壓縮空氣用在輸送動力時非常昂貴。價值昂貴之能源部份可以由便宜之構件及高度操作率（迴轉數）取得補償。

1-3 氣力設備之經濟效益

由於自動化及序列化之結果，人力已被其他形式之動力所取代，而取代之動力一般為壓縮空氣。

壓縮空氣係一昂貴之能源，然而其利益亦不少。壓縮空氣的製造、儲存、到機器與配件之間的配管費用不少，這一點導致一般認為使用氣動設備之成本非常昂貴。這個觀念不對，因為生產成本的計算不只是動力之成本，亦包括其他相對而產生的成本。一旦加以詳細研究之後，動力之成本與工資，裝置成本，維護成本加以比較之下，顯得微不足道。

壓縮空氣費用之計算例

一壓縮工廠，有兩部空壓機、空氣接收槽、冷卻水塔、冷卻水泵、風扇、冷卻水管、電源控制、空氣管綫等，該工廠雇用有 600 員工。

以上之成本約為 200,000 馬克。

計算期間為 1 年。

工廠成本計算

折舊 / 利息費用	26,000 馬克
建築費用	10,000 馬克
每年之固定成本	<u>36,000 馬克</u>

一年內有 3,003 工作小時，其中 2231 小時為真正壓縮運轉時間，772 小時為隨速運轉時間。（壓縮機一天運轉 12 小時）

每一年之運轉成本計算

壓縮機運轉時之電費（2231 小時）	13,400 馬克
壓縮機隨速運轉電費（772 小時）	1,090 馬克
潤滑油費用（170 升）	270 馬克
冷卻水（303 m ³ ）	170 馬克
維護費用	6,750 馬克
修理費	<u>1,000 馬克</u>
總 共	<u>22,680 馬克</u>

總成本

每年之固定成本	36,000 馬克
每年之操作成本	<u>22,680 馬克</u>
總成本	<u>58,680 馬克</u>

壓縮容量

壓縮機壓縮空氣之容量為 1040 Nm³/hr（Nm³ 為標準狀態下以立方

4 氣力控制學

米表示之體積單位；參閱第 11 頁)

運轉時間為 2231 小時，總壓縮容量為

$$2,231 \times 1,040 \approx 2,320,000 \text{ Nm}^3$$

每 Nm^3 之成本

$$58,680 \text{ 馬克} / 2,320,000 \text{ Nm}^3$$

對每天運轉 12 小時，壓縮機利用率 75% 之壓縮機來說，每 Nm^3 之壓縮空氣價格為 2.5 芬尼 (0.025 馬克)。

如果該壓縮工廠一天 24 小時均在運轉 (採輪班制連續性試驗或試漏)，而且利用率為 75%，則該工廠每年之運轉時數為 6000 小時。

其中 4500 小時為壓縮機壓縮運轉時間而 1500 小時為隋速運轉時間。

成本計算

每年固定成本	36,000 馬克
壓縮機運轉電費 (4500 小時)	26,800 馬克
壓縮機隋速運轉電費	2,180 馬克
潤滑油費用 (340 升)	540 馬克
冷却水 (606 m^3)	340 馬克
維護費用	6,750 馬克
修理費	2,000 馬克
總共	<u>74,610 馬克</u>

壓縮容量

壓縮容量為產生 1040 Nm^3 / 小時之壓縮空氣

壓縮運轉時間為 4,500 小時，總壓縮量為

$$4,500 \times 1040 = 4,680,000 \text{ Nm}^3$$

每 Nm^3 之成本

$$74610 \text{ 馬克} / 4,680,000 \text{ Nm}^3 \approx 0,016 \text{ 馬克} / \text{Nm}^3$$

一天 24 小時運轉，壓縮機利用率為 75% 時，每 Nm^3 壓縮空氣之成本為 1.6 芬尼 (0.016 馬克)。

平均來說，將 1 M^3 之空氣加壓至 6 bar 之成本為 1 與 3 芬尼之間。

1 Nm^3 之壓縮空氣可以作多少功？

下面這個例子可以說明壓縮空氣之經濟性。

例題：有一直徑為 35 mm 之活塞可以舉起重 200 N 之包裹，另有一直徑 35 mm 之活塞將包裹推至輸送皮帶上。

壓力在 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 時，壓縮力量為 520 N

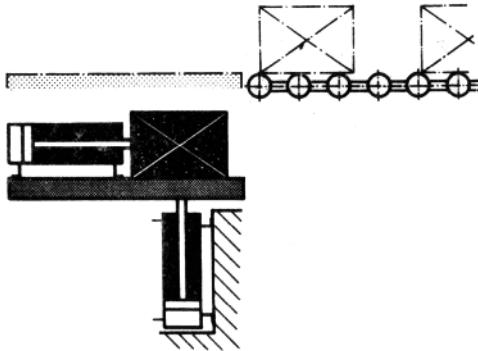


圖 1 應用例

壓力在 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 時，壓縮力量為 520 N

第 1 活塞之衝程 = 400 mm

第 2 活塞之衝程 = 200 mm

對兩個活塞來說，每一衝程來回（上 / 下）共需 8 Nm^3 之空氣，故 1 M^3 可以將 125 個包裹擡上並推至輸送帶上。

這個例子說明了使用壓縮空氣可以節省工業界昂貴之人力費用，尤其可以取代超過體力負荷及單調之工作。

壓縮空氣的洩漏會造成成本的大幅度上升，即使很小之洩漏，亦會造成成本之增高。

圖 2 說明在各種壓力下，破孔之大小與漏氣量之關係。

例 a：一個直徑 3.5 mm 的破洞，壓力在 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 時的漏氣速度為 $0.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ，一小時的漏氣量為 30 Nm^3 。

例題：b

閥桿（直徑 20 mm）的四周，由於填塞函鬆弛造成了 0.06 mm 圓桶形之空隙，此空隙相等於 2 mm 直徑之破孔，其漏氣速度約為 $0.2 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ，即壓力在 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 時 $12 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。該閥即使是在靜止狀態亦繼續漏氣，即每天之漏氣量為 290 Nm^3 ；如果每 Nm^3 之成本為 2 芬尼，則漏氣的成本為每天 5.8 馬克。

這個例題說明了，漏氣處的去處可以使壓縮空氣增加甚大的經濟效益。

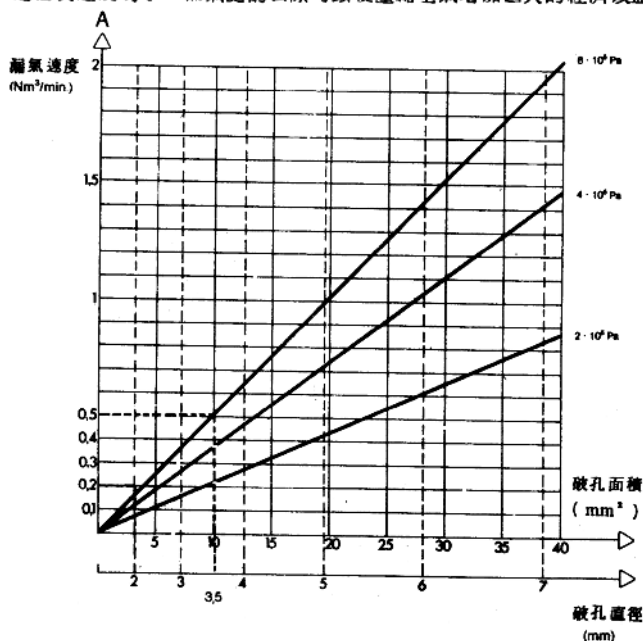


圖 2 漏氣速度圖

1-4 物理基本原理

地球表面為厚厚的一層空氣所覆蓋，這些空氣係生命之必需品，其組成如下：

氮 約 78% (體積百分比)

氧 約 21% (體積百分比)

其同時含有微量之二氧化碳、氫、氫、氖、氬、氪、與氙。

為了便於了解自然定律及氣體行為，其所使用之物理量與單位在下面列表討論。

為了使單位統一與定義明確，世界各國之科學家及工程師均同意一公定之制度，稱為“國際單位系統”(International System of Units)簡寫為SI。

下表係“技術單位系統”(technical system of units)與“SI單位系統”之間的對照。

下列之名稱與單位之定義在氣力學上是必要的。

基本單位

單位符號

單位	簡寫符號	技術系統	SI系統
長度	l	公尺(m)	米(m)
質量	m	—	公斤(kg)
時間	t	秒(S)	秒(S)
溫度	T	攝氏(°C)	凱氏(K)
電流	I	安培(A)	安培(A)
亮度			燭光(cd)

導出單位

導出單位及單位符號

單位	簡寫符號	技術系統	SI系統
質量	m	$\text{kp} \cdot \text{s}^1 / \text{m}$	—
力	F	Kilopond (Kp)	牛頓(N) $1 \text{ N} = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
面積	A	平方公尺(m^2)	平方公尺(m^2)
體積	V	立方公尺(m^3)	立方公尺(m^3)
流量	Q	(m^3 / s)	(m^3 / s)
壓力	P	大氣壓單位 (Kp / cm^2)	Pascal (Pa) $1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2}$ Bar (bar) $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

國際系統與技術系統單位間之相關性以下面者為基準。

牛頓定律： 力 = 質量 × 加速度

$$F = m \cdot a, \quad a \text{ 由重力加速度取代}$$

重力加速度： $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

1 kg 為標準重量之質量，目前保存於巴黎，相等於 1 dm³ 之蒸餾水在 4.2 °C 時之重量。

1 kp 為作用於靜置之 1 kg 質量表面上之力。

下面之換算適用於表上之單位系統。

$$\text{質量: } 1 (\text{kg}) = \frac{1}{9.81} \frac{\text{Kp} \cdot \text{S}^2}{\text{m}}$$

$$\text{力: } 1 (\text{kp}) = 9.81 (\text{N})$$

取近似值時

$$1 \text{ Kp} \cong 10 \text{ N}$$

溫度: 溫度差距 $1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$ (凱氏)

零點 $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ (凱氏)

壓力: 除了上表內壓力之單位 (技術系統之單位及 S I 系統內之 Bar 與 Pascal), 壓力亦經常使用其他單位。

總結來說, 總共有以下這些:

1. 大氣壓, at

(技術系統中之絕對壓力)

$$1 \text{ at} = 1 \text{ Kp} / \text{cm}^2 \cong 0.981 \text{ bar}$$

2. Pascal, Pa

Bar, bar

(技術系統中之絕對壓力)

$$1 \text{ Pa} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{ Pa} = 1.02 \text{ at}$$

3. 物理大氣壓力, atm

(物理系統中之絕對壓力)

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ at} = 1.013 \text{ bar}$$

4. mm水柱, mmWG

$$10,000 \text{ mmWG} = 1 \text{ at} = 0.981 \text{ bar}$$

5. mm水銀柱, mmHg

(相等於壓力單位之 Torr)

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ at} = 736 \text{ Torr}, 1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr}$$

由於地球上萬物均承受有絕對大氣壓力, 且此壓力無法感覺出來, 故此大氣壓力通常均作為基準及變動之依據。

錶壓 = atg

真空 = atv

下圖說明了錶壓、大氣壓與真空壓力之關係。

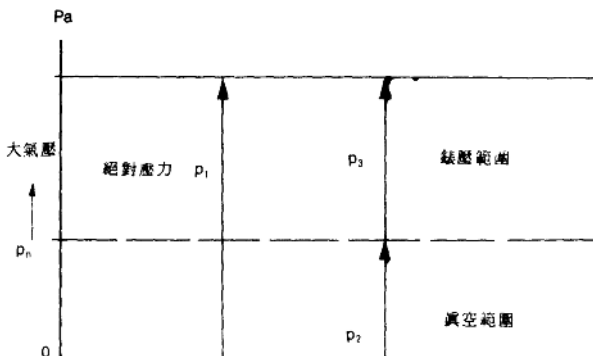


圖 3

大氣壓並非定值，會隨著地理位置與氣候而變，由絕對零點綫至壓力綫之間稱為真空範圍，壓力綫以上稱為錶壓範圍。

絕對壓力 P_1 為壓力 P_2 與 P_3 之和。實用上壓力錶僅顯示 P_3 之壓力，一旦要求壓力 P_1 時，只要將錶壓加 1 bar 即得。

利用這個基本值，關於空氣之重要定律均可以解釋出來。

1-4-1 空氣係可以壓縮的

空氣與其他氣體一樣，沒有特定之形狀，欲改變其形狀時沒有任何阻力，亦即其形狀與容器一樣。空氣可以被壓縮，而且會奮力膨脹。

空氣的運用可以以波義耳 (Boyle-Mariotte) 定律加以說明。“常溫之下，定量氣體之體積與其絕對壓力成反比。”亦即定量之氣體，其絕對壓力與體積之乘積為一常數。

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = \text{常數}$$

下面的例題可以說明以上之原理。

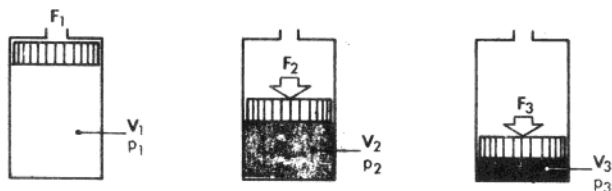


圖 4

例題：

如果大氣壓力 $P_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ 時體積 $V_1 = 1 \text{ m}^3$ ，在常溫下被一外力 F_2 壓縮到體積 $V_2 = 0.5 \text{ m}^3$ ，則：

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3 = P_2 \cdot 0.5 \text{ m}^3$$

$$P_2 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3 / 0.5 \text{ m}^3 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

如果體積 V_1 繼續被外力 F_3 壓縮成 $V_3 = 0.05 \text{ m}^3$ ，則最終之壓力為

$$P_3 = P_1 \cdot V_1 / V_3 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3 / 0.05 \text{ m}^3 = 20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

1-4-2 溫度對體積之改變

在常壓之下，將空氣溫度升高 1 K，空氣之體積膨脹 1/273。這可以由蓋呂薩克定律 (Gay-Lussac's law) 加以說明：

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$$

一般來說：

$$V_{T_2} = V_{T_1} + \frac{V_{T_1}}{273} \cdot (T_2 - T_1)$$

V_{T_1} = 溫度 T_1 時之體積

V_{T_2} = 溫度 T_2 時之體積

