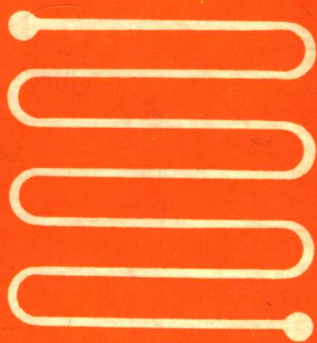
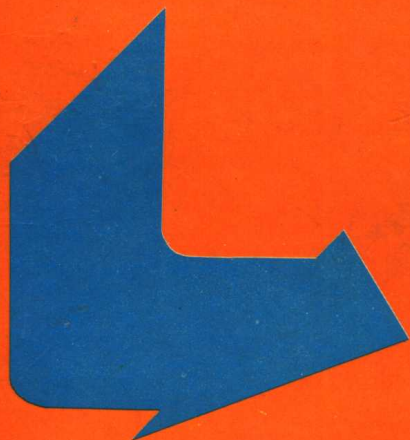
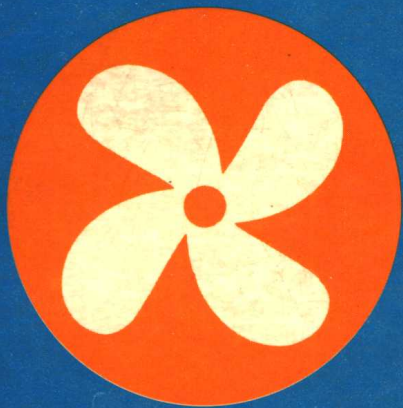


BASIC AIR CONDITIONING

# 空調原理與維修

啟學科技系列 ⑱

崔承慰編著



# 序

由於工商業的進步和經濟的繁榮，高樓大廈及工廠林立，空氣調節的應用已日趨廣泛，其目的不但是使人感覺舒適而已，並且在工業上為品質控制的應用及增進工作人員的效率所必需。而空氣調節除了控制溫度以外，尚要調節濕度（所含水分），空氣的流通，並保持空氣的新鮮等。因此，目前空氣調節對日常生活及工商業應用日佔重要，而這一方面的知識亦為大家所需要。

本書為供專科及高工學生對空調系統的瞭解與認識。故不着重屬於“設計、製造”方面的高深理論與繁雜計算，而以深入淺出的敘述作一般性介紹。全書分上下兩冊，上册除介紹基本原理構造與操作以外，所述之各基本部分及控制器，是以現代住宅及小型工商業空調系統所使用的為主；下冊討論基本應用、安裝以及保養維護、故障檢修等實用技術，故更適宜於訓練空調維護技術人員之教材。本書的另一大特色是，圖多、文字淺，對初學自修也是一適當的參考讀物。

# 上册 目 录

第一章 基本物理理論 .....	1
1-1 什麼是空氣調節 .....	1
1-2 物質 .....	1
1-3 溫度 .....	2
1-4 熱 .....	4
1-5 壓力和真空 .....	9
1-6 電學 .....	14
第二章 環境舒適的原理 .....	29
第三章 冷凍原理 .....	33
3-1 冷凍循環 .....	33
3-2 基本機械冷凍系統 .....	34
第四章 冷凍系統的基本部份 .....	37
4-1 基本系統 .....	37
4-2 冷凍劑 .....	38
4-3 蒸發器 .....	41
4-4 壓縮機 .....	46
4-5 冷凝器 .....	64
4-6 貯液器 .....	71
4-7 冷凍劑計量裝置 .....	72
第五章 輔助裝置 .....	89

5-1	多壓閥	89
5-2	壓力計	92
5-3	過濾乾燥器	100
第六章	電動機及控制	113
6-1	壓縮機及風扇馬達	113
6-2	自動控制	121
索引		

# 第一章

## 基本物理理論

### - 1 什麼是空氣調節

久以前，人們已經知道用雪、冰和冷水來貯藏食物。不過現代進步到用機械的冷卻裝置以後，人們才注意到個人舒適，因此有**空氣調節**（air conditioning）的發明。

**空氣調節與冷凍**（refrigeration）有何區別？就學術上而言，**空氣調節**是在一個**結構**（structure）內，對影響人體周圍大氣狀況各種因素的控制；此種因素如溫度、濕度、灰塵、氣味等。從另一方面講，**冷凍**僅僅是一種從一個結構中除去熱的**過程**（process）。雖然**空氣調節**和**冷凍**有差異的地方，但是亦有相似之處；兩者都是除熱的過程，不過**空氣調節**的過程，較為複雜而已。由於這兩種過程均靠除熱和／或熱的**傳遞**（transfer of heat），因此須瞭解熱是什麼，如何量度、如何輸送，以及在已知的狀況下，需要怎樣的熱？

所以，首先須明瞭物質的基本原理，溫度及其量度，熱及其量度。要瞭解**空調器**（**空氣調節器**，air conditioner）的操作，更需知道壓力和真空的影響，以及它們的量度。其次，尚需要電學方面的基本知識，以瞭解空調器內部電路和電源連接。

### 1—2 物質

**物質**（matter）是具有重量及佔有空間的任何物體。它是固體、液體、或氣體三態中，任何一態（state）存在。不論是那

一種物態的物質分成最小 **質點** (particle), 而仍能保持原有特性的是**分子** (molecule)。在每一態中, 這些分子相互間有不同的關係。

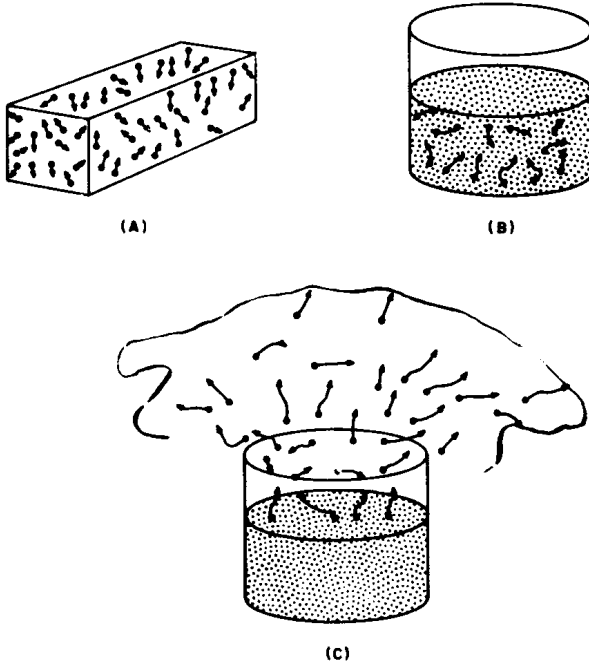


圖 1-1 物質的三種形式: (A) 固體 (B) 液體 (C) 氣體

在固體形式中, 如圖 1-1 所示, 分子密接的保持在一起, 相互間不能自由地分開。因此固體有一定的形狀和體積。在液體形式中, 分子仍密接的保持在一起, 但是可相互自由移動。所以, 液體有一定的體積, 但是其形狀則由所盛容器決定。在氣體形式中, 一些各別的分 子是不保持在一起的。分子可以自由移動, 變成完全分離。因此, 氣體的體積和形狀都由所盛容器決定。

## 1-3 溫度

### 1. 溫度的定義

所有物質有兩種熱的 (屬於熱) 特性: 溫度和熱。物質的溫

度只是代表熱的度數 ( degree of heat )，而不是熱的量 ( quantity of heat )。例如，一塊 1 公斤的鉛和一塊 100 公斤的鉛，兩者的溫度是相同的，但是大塊鉛的熱量是小塊鉛的一百倍。

溫度有三種：乾球溫度、濕球溫度、露點溫度。

**乾球溫度** ( dry-bulb temperature ) 是最熟悉的溫度，用普通的乾球溫度計來量度的。

**濕球溫度** ( wet-bulb temperature ) 是用濕球溫度計來表示的溫度。濕球溫度要比乾球溫度低。

**露點溫度** ( dew point temperature ) 是蒸汽溫度降低時，水蒸汽開始冷凝 ( condensation ) 的溫度。

## 2. 溫度的量度

剛才所說，溫度是用**溫度計** ( thermometer ) 來量度的。許多溫度計是玻璃管形式，用刻度量出裝在管內流體的收縮及膨脹 ( contraction and expansion )。常用的流體有兩種：水銀和有色酒精。水銀在  $-40^{\circ}\text{C}$  至約  $+357^{\circ}\text{C}$  溫度範圍內最準確，因為在此範圍內水銀脹縮最均勻。低溫度量度宜用酒精溫度計，其範圍大約是  $-70^{\circ}\text{C}$  至  $+120^{\circ}\text{C}$ 。

兩種最常用的**溫度標** ( 溫標， temperature scale ) 是華氏 ( $^{\circ}\text{F}$ ) 和攝氏 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 標度。華氏溫標，水的沸點為  $212^{\circ}\text{F}$ ，冰

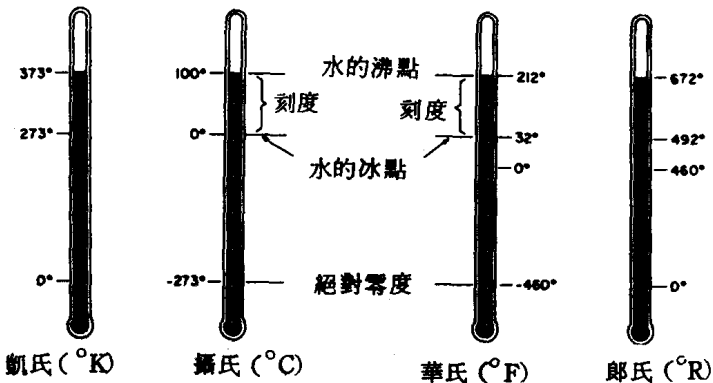


圖 1-2 溫標的比較

點為  $32^{\circ}\text{F}$ 。因此，水的沸點與冰點間的華氏溫度差是  $180^{\circ}$ 。攝氏溫標，水的冰點為  $0^{\circ}\text{C}$ ，沸點為  $100^{\circ}\text{C}$ 。此溫度差為  $100^{\circ}$ ，與華氏溫標  $180^{\circ}$  成對比。華氏與攝氏的關係用數學式表示如下：

$$C = (F - 32) \frac{5}{9} \quad \text{及} \quad F = \frac{9}{5}C + 32$$

另外兩種溫標是凱氏（Kelvin,  $^{\circ}\text{K}$ ）和郎氏標度（Rankin,  $^{\circ}\text{R}$ ）。凱氏溫標是絕對溫度的一種，以攝氏溫標為基礎。零度凱氏等於  $-273.15^{\circ}\text{C}$ （通常捨入為  $-273^{\circ}\text{C}$ ）。郎氏溫標也是一種絕對溫度，是以華氏標度為基礎。零度郎氏等於  $-459.67^{\circ}\text{F}$ （通常捨入為  $-460^{\circ}\text{F}$ ），圖 1-2 說明此種關係。

## 1 - 4 熱

### 1. 熱的定義

熱（heat）是物質內分子的移動所產生的熱能（thermal energy）。在高於絕對溫度零度（ $-273^{\circ}\text{C}$ ， $-460^{\circ}\text{F}$ ）時，物體中的分子都在運動，運動越快所產生的熱越多。只有當溫度降低至絕對溫度零度，分子的運動才能停止，同時在此點，物質被認為無熱能產生。

### 2. 熱量

物質內的熱量（quantity of heat）與分子速度有關；即與分子移動的速度有關。例如，施電動勢於一金屬時，分子的速度增加（此乃由於電動勢施於分子的原子，當較多的外施電壓時，原子的振動增加）。這種分子速度的增加，是由其本身的熱顯示出來。同樣的，當加熱於一物體（不論固體、液體或氣體），分子速度增加（也是由於原子振動增加）。反之亦然：除去的熱越多，分子的速度越低。理論上說，若全部熱從一物質除去，則分子之移動將全部停止（此種情況在絕對溫度零度，即  $-273^{\circ}\text{C}$  時才會發生）。

熱的除去和加入，會改變物質的物理狀態。加熱於一物質，首先使其膨脹，如圖 1-3 所示。若加入足夠的熱，固體就會變成



液體，液體就會變成氣體。反之亦然：若從物質除去熱，物質就會收縮。若除去足夠的熱，氣體就會變成液體，液體就會變成固體。

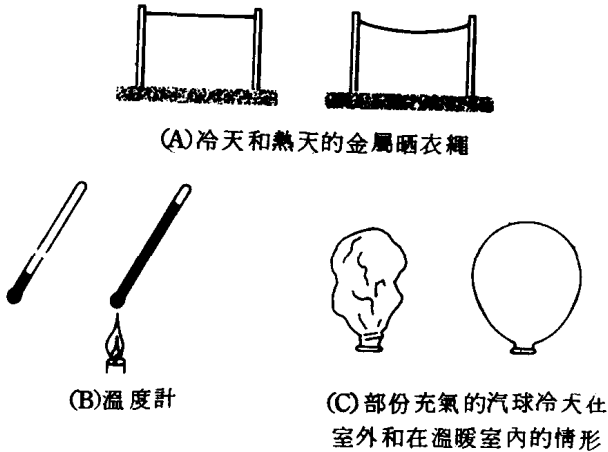


圖 1-3 熱使固體、液體及氣體膨脹

用酒精來舉例說明這些現象，若自酒精除去足夠的熱，酒精就會變成固體，同時體積縮小。若加入足夠的熱，酒精就會沸騰而膨脹，然後變成氣體。這也就是溫度計所依據的熱脹冷縮的原理。

### 3. 熱的量度

一定量的熱可以量度出來，正如一加侖水或一公升米一樣。利用像水一類的物質，很容易得到純淨的形式，和固定的特性，可以制定產生一定溫度變化所需熱量的標準。

一種最常用於空氣調節方面的熱標準單位為**英熱單位** (British Thermal Unit, Btu)。1 Btu 為 1 磅水升高華氏 1 度所需熱。

另一標準是**卡路里** (caloric, 簡稱為卡)。1 卡為 1 克重的水升高攝氏一度所需的熱。1 卡約等於 0.004 Btu，或 1 Btu 等於 252 卡。因卡的單位太小，一般冷凍及空氣調節有關的計算中使用仟卡 (Kcal)，1 仟卡等於 3.968 Btu，或 1 Btu 等於 0.252 仟卡。

252 仟卡。

#### 4. 熱的種類

有三種熱與空氣調節及冷凍關係密切：即比熱（specific heat），顯熱（sensible heat，又名可感熱）及潛熱（latent heat）。現分別說明如下：

(一) 比熱：雖然 Btu 是以水來定義的，但是空氣調節常常包括其他物質，如空氣、冷凍劑（refrigerant）、或金屬；因此，要為這些物質加一個修正因數（correction factor）。這個修正因素稱為比熱。

由於 1 克重的水升高攝氏溫度一度只需要 1 卡，參閱圖 1-4，因此就以比數作為標準，將水的比熱規定為 1。如以 1 克其他物質升高攝氏一度所需的熱，與水的比熱相比，就可定出以卡來求出其他物體的比熱。表 1-1 是一般物質的比熱。

(二) 顯熱：顯熱只影響溫度的變化，它不會引起物質的態的變化。用“顯”這個名詞來代表，是因為這種熱可以用摸觸而顯出來的。例如，設以  $100^{\circ}\text{C}$  的熱，加於溫度  $0^{\circ}\text{C}$  的 1 克的水中，結果此 1 克水的溫度升高為  $100^{\circ}\text{C}$ ，如圖 1-5 (B)。

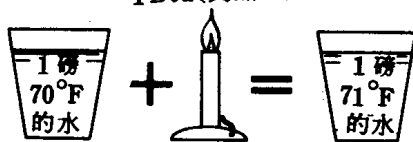
(三) 潛熱：潛熱是使物質發生態的變化而加於物質，或從物質除去的熱。在發生這種物理變化的時間內，雖不斷增加或除去熱，物質本身的溫度卻不變更。態的變化過程，可從固體變為液體，液體變為固體，液體變為氣體，氣體變為液體；也可能直接從固體變為氣體，或氣體變為固體，而不出現液態。

表 1-1 材料的比熱（仟卡 / 公斤  $^{\circ}\text{C}$ ）

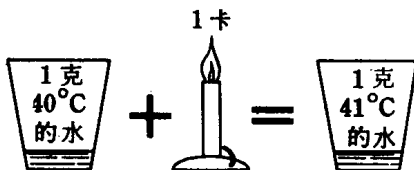
水	1.000
玻璃	0.180
銅	0.093
酒精	0.600
氫（液體）	1.100
氫（氣體）	0.520
鉛	0.031
空氣	0.240

其他材料的比熱，可於標準比熱表中查得。

1 Btu (英熱單位)



(A) 1 磅水升高 1°F 需要 1 Btu



(B) 1 克水升高 1°C 需要 1 卡

圖 1-4 比熱的概念

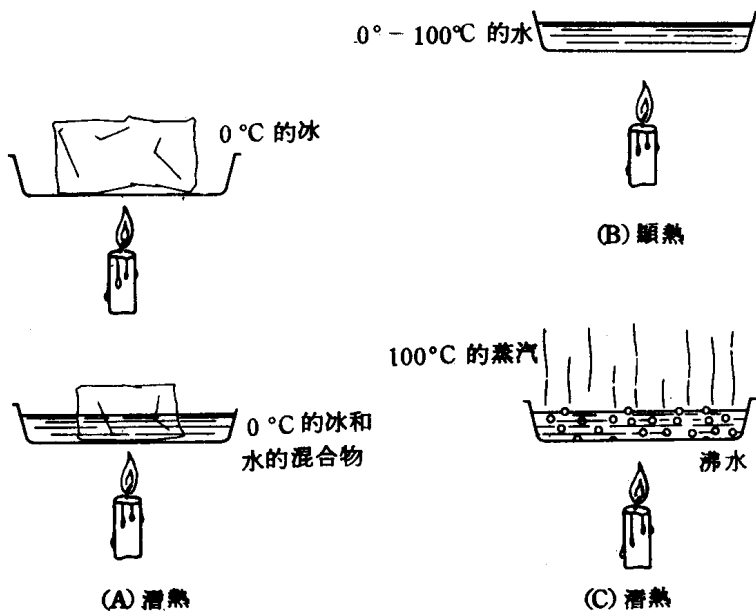


圖 1-5 顯熱和潛熱

由於分子間的**內聚力** ( cohesion ) , 使固體或液體結合在一起, 成爲一個緊密的質量。在某種狀況下, 當供給足夠的能量, 以抵消內聚力, 在一定的溫度時, 內聚力和企圖分裂物質的內部能量達到平衡。此時, 物態發生變化, 全部供給的熱都被吸收作爲使物質的分子結構發生**分裂** ( disruption ) 的能量。

物質由固體變爲液體的過程, 稱爲**溶化** ( melting ) 或**溶解** ( fusion ) 。溶化發生的正確溫度, 須視過程進行時, 所加的壓力而定。本節所討論者, 是假定在正常大氣壓力之下。

若有一塊冰放在火上加熱, 如圖 1-5(A) 所示, 冰開始溶化, 形成冰和水的混合物。此過程繼續進行, 直至冰全部溶化成水爲止。溶化過程中, 如冰和水攪拌得很勻, 放在水中的溫度計測得的溫度是  $0^{\circ}\text{C}$  。在冰未全部溶化完以前, 溫度不會升高。

很明顯的, 潛熱與只增加被加熱物質溫度的顯熱所產生的結果不同; 因爲, 潛熱供給足夠的能量, 使物質的分子結構發生變化而改變了態。將 1 克  $0^{\circ}\text{C}$  的冰變成 1 克  $0^{\circ}\text{C}$  的水, 所需熱量爲 80 卡, 此即水的**溶化潛熱** ( latent heat of fusion ) 。

從液態變化爲氣態需要大量的能, 此能量須以熱的形式供給, 正如溶化的情況一樣, 如圖 1-5(C) 所示。然而, 汽化比溶化的變化激烈, 不但分子有較大的自由程度, 並且分隔更寬。所以, 一般說來, 汽化的熱要比溶化的熱大得多。例如, 1 克  $100^{\circ}\text{C}$  的水, 必須加熱 540 卡, 才能變成 1 克  $100^{\circ}\text{C}$  的蒸汽, 540 卡即稱爲**汽化潛熱** ( latent heat of vaporation ) 。

總之, 潛熱是變物質的物理狀態所需的熱, 它不能用摸觸的感覺明白顯示出來, 且無法用溫度計來量測。

## 5. 熱傳遞

有三種**熱傳遞** ( heat transfer ) 的方法: **傳導** ( conduction ) 、**對流** ( convection ) 、及**輻射** ( radiation ) 。

### (一)、傳導

傳導是一種點與點的過程, 在此過程中, 熱是由物質內某一

分子傳遞至另一分子，或從一物質至直接接觸的另一物質。

用接觸傳遞熱的最明顯的例子，是用手摸觸熱爐子。若兩者的溫度不相等時，熱就會從較熱的一方傳至較冷的一方。

同樣情形，熱藉傳導通過冷凍劑管壁，和通過冷凝板。

### (二)、對流

對流是通過運動而傳遞熱。它包含被加熱物質的運動。對流僅適用於液體和氣體。

用冬天燃燒火爐作說明。加熱使爐內的空氣膨脹，暖空氣上升，驅開暖空氣上面的較重的冷空氣。只要火爐熱著，此過程會繼續不斷的進行；亦即熱空氣繼續上升，移開冷空氣，如此通過運動而傳遞熱。

### (三)、輻射

輻射包含在熱源處由熱能變為輻射能，以及當輻射能被吸收時，又由輻射能轉換為熱能。所有物體不論是冷或熱，都可以輻射熱能。物體越熱所輻射的熱越多。

輻射熱 ( radiant heat ) 是由輻射物體發射的能量。此種能量是以波 ( wave ) 的方式行進。當此輻射能撞擊於物體時，立即再轉換為熱。由於輻射的緣故，地球從太陽獲得熱。

所有物體都接收及反射輻射，只是程度大小不同而已。輻射熱容易被白色或光滑的表面所反射，容易被深色或粗糙的表面所吸收。反過來說也可以；即是白色或光滑的表面比深色或粗糙的表面所輻射的熱要少。

用機械方法對熱的控制及傳遞是建立在上面所討論過的熱定律的基礎上。是空調設備的設計和應用方面必須考慮的。

## 1-5 壓力和真空

### 1. 定義

壓力 ( pressure ) 是作用於物質單位面積上的力，英制用磅每平方吋 ( pounds per square inch, psi ) 來表示。而公制用公

斤每平方公分 (Kilograms per square centimeter) 來表示。

兩者的關係如下：

$$1 \text{ psi} = 0.0703 \text{ 公斤 / 公分}^2$$

$$1 \text{ 公斤 / 公分}^2 = 14.2 \text{ psi}$$

**真空 (vacuum)** 是指完全無物質存在；或為適應我們的需要使空氣成極稀薄的狀態，因而壓力遠較正常大氣壓力為低。

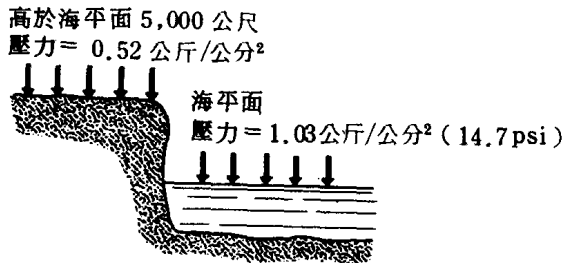


圖 1-6 大氣壓力隨海拔而變

## 2. 大氣壓力

**大氣壓力 (atmosphere pressure)** 是指在地球表面所受大氣重量的壓力。如圖 1-6 所示，所受空氣壓力是由不同**海拔 (elevation)** 而異。以  $1 \text{ 公分}^2$  的空氣柱，從地球表面一直延伸到無空氣的區域，它所加在地球表面海平面的壓力為 1.03 公斤。因此可得到一個結論，即圍繞地球的大氣，在地球表面的海平面上，所加的壓力為  $1.03 \text{ 公斤 / 公分}^2$  (或 14.7 psi)。

如在某一海拔較高處作同樣的量度 (如山頂)，則其壓力就會低於  $1.03 \text{ 公斤 / 公分}^2$ 。海拔愈高，空氣柱愈短，所施的壓力就愈少。

## 3. 絕對壓力

如將所有空氣從地球表面除去，則地球表面壓力為零，此即完全真空。**絕對壓力 (absolute pressure)** 是從完全真空中量得。在完全真空中，壓力為零磅絕對壓力。例如，在海平面的地球大氣壓力是高於零壓力  $1.03 \text{ 公斤 / 公分}^2$ 。此壓力稱為

1.03 公斤每平方公分絕對值 ( Kilograms per square centimeter absolute )。亦稱為 1 大氣壓力，或大氣壓力 ( Atmospheric pressure )，英制以 psia 而公制以公斤 / 公分<sup>2</sup> 絕對值來表示。

#### 4. 錶 ( 計示 ) 壓力

在冷凍及空調作業中，壓力通常用壓力計 ( pressure gauge ) 來量度。由這種壓力計是可以讀出高於大氣壓力的壓力。當壓力計讀數為零時，其絕對壓力為 1.03 公斤 / 公分<sup>2</sup>，參閱圖 1-7。

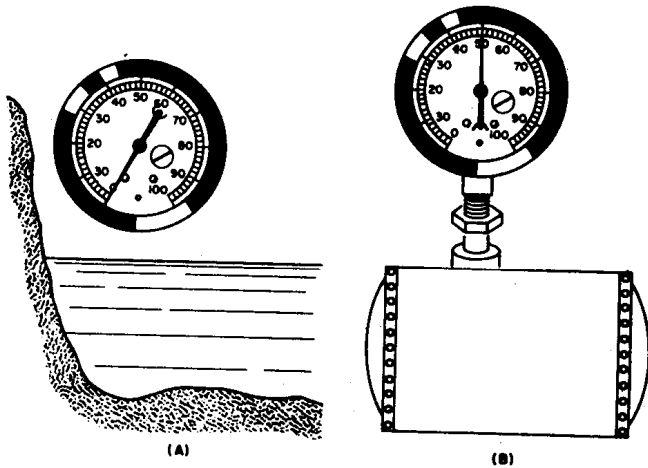


圖 1-7 (A) 在海平面壓力計讀數為零  
(B) 錶壓讀數為實際壓力與海平面壓力  
(兩者均為絕對值) 之差

用錶 ( 計, gauge ) 所表示的壓力稱為錶壓力 ( 計示壓力, gauge pressure )，並以公斤每平方公分錶值 ( Kilograms per square centimeter gauge ) 為單位。要換算表壓力為絕對壓力時，加上 1.03。使用英制時以 psig 為單位，要換算表壓力為絕對壓力時，加上 14.7。

#### 5. 壓力的影響

波義耳定律 ( Boyle's Law ) 和查理定律 ( Charles' Law ) 是對空調和冷凍方面，最有影響的兩個氣體定律。

(一) 壓力與體積的關係

波義耳定律敘述：在固定溫度之下，某一定量的氣體的體積與絕對壓力成反比。即

$$\text{體積} \propto 1 / \text{絕對壓力}$$

因此，如在已知容器中的某定量氣體，承受的壓力變化時，其體積亦將隨之而變。亦即，壓力愈大，氣體的體積愈小。但其體積與絕對壓力的乘積始終相同。

波義耳定律可以下列數學公式來說明：

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{或} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$$

式中，  
 $P_1$  = 原始絕對壓力  
 $P_2$  = 新的絕對壓力  
 $V_1$  = 原始體積  
 $V_2$  = 新體積

### (二) 壓力與溫度的關係 —— 查理定律

查理定律敘述：固定容積內密閉的（confined）氣體，其絕對壓力與絕對溫度成正比；即

$$\text{絕對壓力} \propto \text{絕對溫度}$$

所以，如一定容積的氣體，密閉在容器中，承受溫度的變化，則氣體壓力亦隨之而變。亦即，絕對溫度愈高，氣體的絕對壓力愈大。惟絕對壓力與絕對溫度之商，始終相同。

查理定律可用數學式說明：

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{或} \quad P_1 T_2 = P_2 T_1$$

式中，  
 $P_1$  = 原始絕對壓力  
 $P_2$  = 原始絕對溫度  
 $T_1$  = 新絕對壓力  
 $T_2$  = 新絕對溫度

### (三) 壓力與冷凝

減少壓力能使液體的沸點（boiling point）降低，增加壓力



則使沸點增高。因此每一作用於液體的壓力，就有一個對應的液體沸騰溫度。

例如，在大氣壓力狀況下（1.03 公斤 / 公分<sup>2</sup> 絕對值），水在 100 °C 煮沸。若壓力升高到 2.46 公斤 / 公分<sup>2</sup>，則水在 138 °C 煮沸。若壓力減少到低於大氣壓力，至錶壓力讀數為 330 公分水銀真空（0.44 公斤 / 公分<sup>2</sup>）時，水在大約 84.5 °C 煮沸，見圖 1-8。

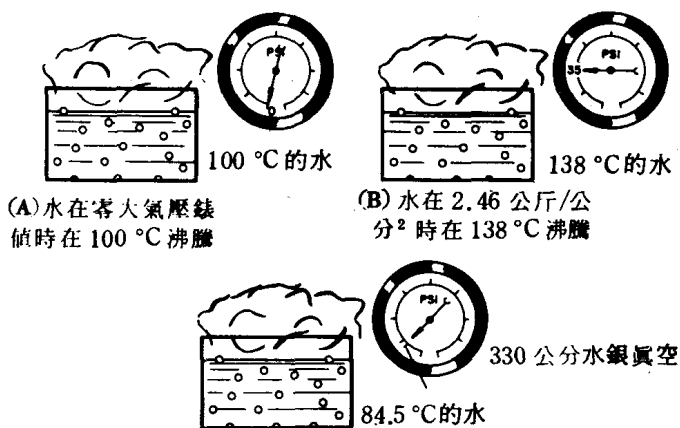


圖 1-8 壓力及沸騰

- (A) 熱施於冰塊加潛熱使冰從固態變為液態。此時液體的溫度和冰相同（短時內為 0 °C）；(B) 現在熱施於 0 °C 液體使它吸收顯熱，升高溫度到 100 °C 而不變化物態；(C) 在 100 °C 繼續加熱加潛熱至水，使物態從液體變成氣體而溫度不變。

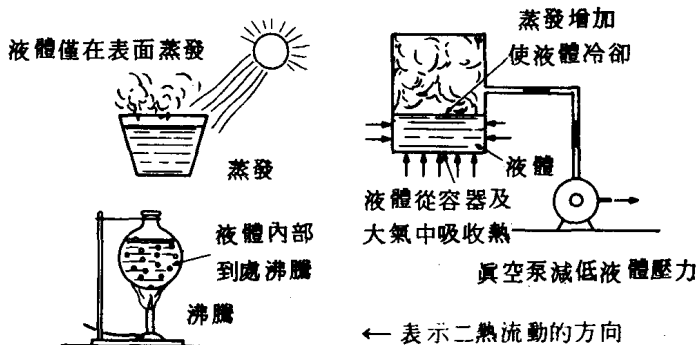


圖 1-9 壓力及蒸發

(四) 壓力與汽化