

工業叢書

冷凍技術士實務入門

胡俊源編譯

南台圖書公司印行

序 言

由於經濟繁榮，各種工業的進步以及生活水準的提高，冷凍與空氣調節相對的也為各方所矚目，尤以夏天所耗費的電力，更成為電力公司擔心的問題。

鑒於此，除了配合用電負荷，需要減少若干的電力外，以冷凍與空氣調節設備本身，在運轉時是否合於經濟原則這個問題，就有待技術士來解決了。

本書提供技術士一些基本知識及實務上應有的認識，凡是冷凍空調技術士及有意從事這類工作的人員或在學學生皆可採用參考，使冷凍空調機，均能作合乎經濟而有效的運轉，則也算是對能源問題有所貢獻了。

本書如有疏漏之處，尚祈諸先進不吝指正。

空調工程師

胡俊源 謹識

六十八年六月一日

冷凍技術士實務入門

目 次

第 一 章	什麼是熱 (What is Heat ?)	1
第 二 章	熱對物體的影響 (How Heat Affects Matter)	8
第 三 章	我們如何使用熱 (How We Use Heat)	14
第 四 章	壓縮蒸氣冷凍循環 (The Vapor-Compression Refrigeration Cycle)	21
第 五 章	冷媒 (Refrigerants)	32
第 六 章	壓縮機 (Compressors)	42
第 七 章	冷凝器及受液器 (Condensers and Receivers)	63
第 八 章	限流裝置 (Metering Devices)	85
第 九 章	蒸發器 (Evaporators)	100
第 十 章	冷凍循環控制及安全裝置 (Refrigeration Cycle Controls and Safety Devices)	110
第 十 一 章	配管及附件 (Piping and Accessories)	131
第 十 二 章	系統操作 (System Operation)	149

第一章 什麼是熱

(What is Heat?)

技術士們可經由機械的運轉而控制氣溫，如今所控制的地區愈來愈大，譬如：購物中心、大工廠、學校、大建築物（本省之中正國際機場、圓山飯店、希爾頓大飯店、遠東百貨公司、中鋼公司等等皆可作為代表）都可作為控制的對象。

由於應用上的改變經常產生，新式機種因此應運而生，它較之舊機種在調節功能上要增加很多。

我們不可能在一本書中或幾本書中把所有的變動一一敘述清楚。但是，有一點我們可肯定的，就是對於基本原理的認識，是不可不知的。

要控制氣溫，其先決條件就是要認識“熱”，在認識熱之前，我們先要知道什麼是溫度，在這前面三章中，我們將討論這些問題，使大家先有基本概念，然後再作進一步的探討。

溫度 (TEMPERATURE)

溫度是表示相對熱或冷的程度。由於水在各種不同溫度有多種不同變化，我們可以拿它來作一溫度計，然後用來測量溫度，為了有一定標準，我們選擇一種刻度來計算。

我們可在水的冰點定為 0° ，水的沸點定為 100° 。這種刻度叫作攝氏度數，如攝氏 40 度，我們可寫成 40°C 。

另一種常用的溫度刻度是華氏度數，華氏度數之大小是攝氏的 $5/9$ ，因為在華氏刻度上，水的冰點是 32°F ，沸點是 212°F 。

我們可把其換算度數以公式列出：

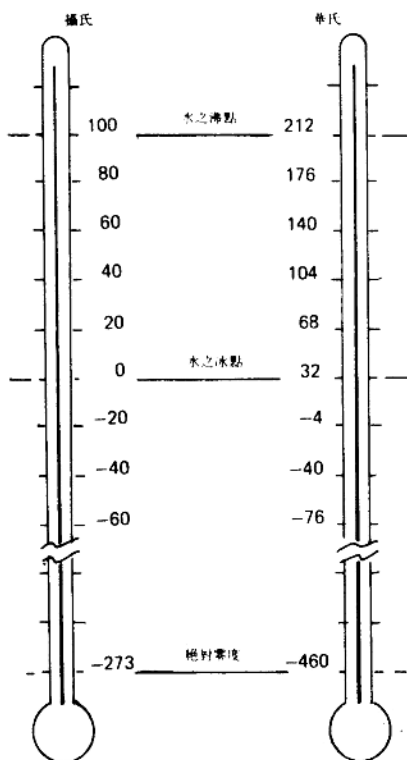


圖1-1 華氏和攝氏溫度刻度的比較

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32^{\circ})$$

例如：100°C 為華氏幾度？

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (100^{\circ}) + 32^{\circ} = 180^{\circ} + 32^{\circ} = 212^{\circ}\text{F}$$

32°F 為攝氏幾度？

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(32^{\circ} - 32^{\circ}) = \frac{5}{9}(0^{\circ}) = 0^{\circ}\text{C}$$

在溫度刻度的底端有一理論點，此點是最低可能點。在這裏所有分子運動皆停止，稱之為絕對零度，絕對零度實際上是達不到的。但物理學家可用計算法得到這值，絕對零度在理論上是 -459.7°F 或 -273.2°C 。

熱 (HEAT)

熱和溫度是相關的，但物理學的性質並不相同，其差別是很重要的。

假設我們有一塊冰，要使它溶解，我們可用小量 210°F 的水或大量 50°F 的水來達此目的。 210°F 的水是非常熱，於是 50°F 的水摸起

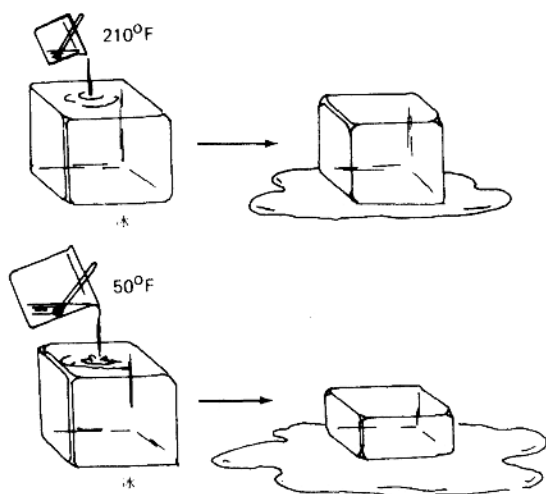


圖1-2 大量的涼水其含熱量比小量的熱水為多

來就是所謂“涼”了。可是，我們發現大量 50°F 的水要比小量 210°F 的水，溶解更多的冰。要解釋這種現象，我們可說，溶解的冰中含有熱，而高溫少量的水，其含熱量要比低溫大量的水含熱量為少。同時，你可看到，熱流是從較熱物體流向較冷物體。

一物體所含之熱量，並不能由溫度計測得，它只能表示溫度的強弱。例如：一加倫的水和一品脫的水具有同樣的溫度，但我們絕對可以肯定，較大量物體所含之熱量，要比較小量物體為多。

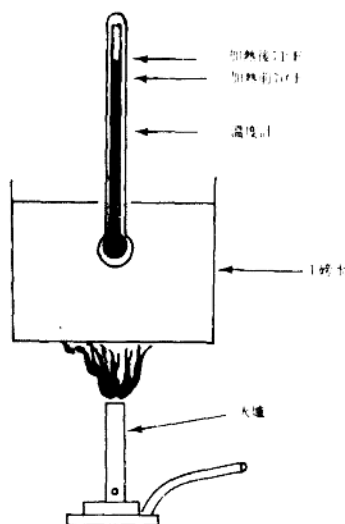


圖1-3 英熱單位(BTU)是1磅的水，溫度升高 1°F 所需之熱量

英熱單位 (BRITISH THERMAL UNIT)

熱的單位，在英制系統中採用英熱單位，簡稱爲 BTU，（以後書中亦以 BTU 稱之），所謂 1 BTU，即爲 1 磅的水溫度升高 1°F 所需的熱量。當 1 磅的水，被移走 1 BTU 的熱，則溫度下降 1°F 。

在冷凍及空氣調節工作中，我們通常都稱某一機組，在1小時內移走多少 BTU 的熱量。把它縮寫成 BTUH，有時這些數目相當大，我們就用字母 *M* 表示 1000。例如：有一冷疑機組具有 36000 BTUH 的能量，我們可寫成 36 MBH，兩者表示皆可，通常採用後者較多。

比熱 (SPECIFIC HEAT)

所謂比熱，是指任何物質與水相比所得之值。一物質的比熱是等於 1°F (1 磅的水，當加熱 1 BTU 時，其溫升值)，除以物質之華氏度溫升。

表 J-1

材料	比熱 BTU/磅 $^{\circ}\text{F}$
木材 (橡木)	.570
水	1.000
冰	.487
蘋果	.86
蛋	.76
酒精	.665
蜂蜜	.35
牛排	.77
玻璃	.187
牛奶 (凍結點上)	.92
磚	0.200
R-500 (液體在 $+30^{\circ}\text{F}$)	0.265
鹽油水 (20% 在 59°F)	0.813
R-12 (液體在 $+30^{\circ}\text{F}$)	0.220
R-22 (液體在 $+30^{\circ}\text{F}$)	0.280

例如：1 BTU 使 1 磅的鐵升高 8.5°F

$$\text{則鐵之比熱} = \frac{1^{\circ}\text{F}}{8.5^{\circ}\text{F}} = 0.118$$

比熱是 1 磅的物質其華氏升高 1 度時所需的 BTU 數。註：此公式只用於無狀態 (STATE) 改變情況下。

要計算在一物質上加熱或除熱，其 BTU 之值，我們可應用下列公式：BTU = 重量 (磅) × 比熱 × 溫度變化 (°F 度數)。

簡單的寫成

$$H = W \times S \times (T_2 - T_1)$$

其中 H = BTU 熱量值

W = 多少磅的重量

S = 比熱

T₁ = 原有溫度 °F

T₂ = 最後溫度 °F

問題：要使 40 磅 20 % 鹽鹵水，從 60°F 降至 20°F，要移走多少

BTU？(可查表 1-1 找出 20 % 鹽鹵水之比熱)

解：BTU = 40 磅 × 0.85 BTU/磅 × (60° - 20°)

$$= 40 \times 0.85 \times 40$$

$$= 1368 \text{ BTU}$$

第一章 複習題

1. 溫度的定義是什麼？
2. 攝氏 100°C，華氏是幾度？
3. 華氏 32°F，攝氏是幾度？
4. 華氏度數上，絕對零度是幾度？
5. 我們可真正得到絕對零度嗎？

6. 當到達絕對零度之物質，會發生什麼現象？
7. 溫度和熱之間，有什麼不同？
8. 熱的定義是什麼？
9. 熱是由暖物體傳至涼物體，還是由涼物體傳至暖物體？
10. 熱是如何測得的？
11. 為什麼在研究冷凍時，對熱的知識及影響，也要一起研究？
12. BTU 的定義是什麼？
13. 什麼是比熱？
14. 1 加侖的牛奶，從 80°F 冷至 45°F ，需要多少 BTU 的冷凍量？
(牛奶 1 加侖重為 8.6 磅)

第二章 熱對物體的影響

(How Heat Affects Matter)

我們發現，熱對於各種形式的材料或物體有不同的影響。例如：在沸點之上，液體溫度不上升，還有，有些情況下，物體的形式不改變，但是材料溫度卻改變。

物體的狀態 (STATES OF MATTER)

物質存在有三種物理形態：固態、液態、氣態。固體是任何物質具有一定的形狀，液體，這種物質是隨容器形狀而變化。氣體，這種物質必須裝在密閉容器中。

例如：水可存在於此三種狀態的任一狀態。如果是冰，則是固體。如果是水，就是液體。如果是水蒸氣（蒸汽），那麼就是氣體。

物質的物理狀態，可由溫度來改變。加了熱，可使冰變成水或者水變成蒸汽，移掉了熱，則蒸汽變成水，水變成冰。

潛熱 (LATENT HEAT)

在一物質上加熱或除熱，並不是永遠都會改變溫度的。我們可在圖 2-1 看到冰加熱的結果。

因為冰的比熱是 0.5，從 0°F 到 32°F ，需要 16 BTU 的熱。

$$\text{BTU} = 1 \times 0.5 \times (32^{\circ} - 0^{\circ}) = 16 \text{ BTU}$$

冰加熱，在 32°F 溶解，並由固體變為液體，在這段改變中，1 磅冰需要 144 BTU 來改變狀態，成為 1 磅水，同時，這段改變中溫度沒有變化。

我們稱這種使狀態改變，而溫度不變的熱為潛熱。

在圖 2-1，1 磅的水從 32°F 到 212°F ，需要 180 BTU 的熱，因為水的比熱是 1。

$$\text{BTU} = 1 \times 1 \times (212^{\circ} - 32^{\circ}) = 180 \text{ BTU}$$

在 212°F 加熱，使液體變成蒸汽，改變了狀態。一大氣壓力下，1 磅的水，要改變狀態，需要 970 BTU 的熱。這段變化中，溫度沒有改變，我們又一次的加入了潛熱。

蒸發潛熱 (LATENT HEAT OF VAPORIZATION)

我們發現一個現象，當液體仍舊保持為液體，則潛熱可一直加入，而水溫不上升，但是，液體一開始氣化，那麼溫度就開始上升。

反過來，其情況也相同，我們把 212°F 的蒸汽，使其改變狀態成為水，必需把熱移除，這種使氣體變成液體的現象，我們叫作冷凝。

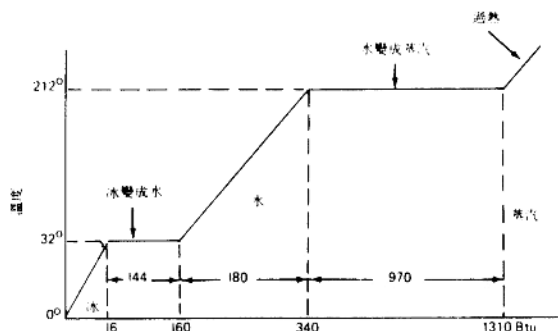


圖2-1 1 磅水加熱後其溫度結果

蒸發潛熱是種使液體變成蒸汽，而溫度不變的熱量。

溶解潛熱 (LATENT HEAT OF FUSION)

我們再看圖 2-1，冰在 32°F 溶解，但要全部變成水，則 1 磅冰要 144 BTU 的熱，才可完全變成 1 磅水。這個熱我們稱之為溶解熱，反過來說，1 磅水要移掉 144 BTU 的熱，才能變成 1 磅冰。這時，我們稱之為凝固熱。

昇華潛熱 (LATENT HEAT OF SUBLIMATION)

有些物質，由固體直接變成氣體。最常見的就是樟腦丸，它們並不經由液體，而直接變成氣體。在冷凍中，有種物質，就是乾冰（二氧化碳）。在變化過程中，其溫度並不改變，這種所加之熱，叫作昇華潛熱。

所謂昇華潛熱，就是使固體變成氣體，而溫度不變的熱量。例如：乾冰（固態二氧化碳）在 -109°F 時沸騰，其昇華潛熱每磅是 248 BTU。

顯熱 (SENSIBLE HEAT)

看圖 2-1，我們可發現有三點在加熱時，溫度開始上升。這三點是：把冰在 0°F 加熱至 32°F ，把水從 32°F 加熱至 212°F ，以及把蒸汽溫度提高。在這三種狀況下，其狀態並沒有變化，所加之熱，直接的影響物質的溫度，這種熱，我們稱之為顯熱。

顯熱是種使物質溫度升高，而狀態不變的熱，它是一種我們感覺得到的熱，並可由溫度計觀察其溫度的改變。

飽和蒸氣 (SATURATED VAPOR)

其定義為：在現有液體中之蒸氣是呈飽和狀態，如果，把熱稍微除去一些，則有些蒸氣會冷凝成液體。同樣的，如果加熱，則有些液體會變成氣體。有個例子，就是冷媒筒中存有一半的液體冷媒，其蒸氣即為飽和狀態。

在冷凍系統中，當蒸氣在其蒸發溫度，它即為飽和蒸氣。

過熱蒸氣 (SUPERHEATED VAPOR)

當所有的液體及飽和蒸氣都蒸發，加入任何的熱皆會使蒸氣過熱，永遠不會有液體及過熱蒸氣同時存在的情況。在蒸氣冷卻溫度之上，減少了熱，會使蒸氣的體積和壓力減少，但不會產生冷凝。若繼續減少熱，到冷凝點之下，則會減少蒸氣至飽和情況。

在一冷卻循環中，有兩個地方經常發生過熱。其一是吸氣管，該處是蒸氣進入壓縮機前加熱於已蒸發冷媒。另一是壓縮機本身，該處是經由壓縮加熱，而使溫度提高至遠超過蒸發溫度。

因此，在一冷凍系統中，有飽和蒸氣產生，可能會有蒸氣及液體冷媒，若為過熱蒸氣，則無液體冷媒。

蒸發 (EVAPORATION)

液體置於一開口容器中，若長久存放，則會漸漸蒸發而終至乾涸。液體的分子是連續不停的運動著，有些高速度分子，有足夠的能量衝向液體的表面，並且脫離液體。這些分子接著就變成蒸氣或氣體狀態。此過程稱之為蒸發。

由於蒸發結果，失去了高速度分子，所剩下的能減少，以及液體的溫度降低，於是，蒸氣可說是一種冷卻過程。

增加液體的溫度（增加分子速度）造成每秒跑出更多的分子，也就是增加了蒸發的速率，減少溫度，也就是減低了分子的速度，使蒸發速率降低，有些蒸發，甚至在相對低溫下也會發生。

如果沒有外熱加入，蒸氣會使其本身溫度降低。這種現象，可舉一例說明：酒精塗於皮膚上，由於它蒸發，我們有種涼的感覺，此外，在濕球溫度計上，水蒸氣冷卻的結果，可指示出相對濕度。

沸點 (BOILING POINT)

假定有一蓋子蓋在一容器上，使密封空氣的壓力增加，容器上的蓋

子，會被蒸發的分子衝擊。分子的衝擊，會產生一額外壓力，而且分子蒸發繼續增加，它們衝擊蓋子及四周容器壁，有些分子反彈回液體中，當蒸氣分子再進入液體的數目，相等於由液體蒸發的數目，我們稱之這空間是飽和了。由飽和蒸氣而產生的壓力，叫作蒸氣壓力。

蒸氣壓力與壓力的關係示於表 2-1，它顯示出溫度愈高，分子運動愈速。液體的沸點是液體的蒸發壓力，等於液體表面壓力時的溫度。

表2-1 水的蒸氣壓力

溫度 °F	蒸氣壓力 磅/每平方吋
-40°	0.0019
-4°	0.015
+32°	0.089
122°	1.79
173°	6.4
212°	14.7

沸點的特性，在實際上，蒸發不僅在液體的表面產生，而是經由其整個體積產生。

超冷液體 (SUBCOOLED LIQUID)

當液體的溫度冷至冷凝溫度之下，此液體就說是超冷了。

例如：如果冷凝溫度在 194 psi 時是 135°F，任何低於此溫度之液體溫度，都可說是超冷。

第二章 複習題

1. 潛熱的定義是什麼？
2. 蒸發潛熱是什麼？
3. 在大氣壓力下，1磅的水，蒸發潛熱是多少？
4. 什麼是溶解熱？
5. 1磅水在大氣壓力下為 32°F ，其凝固熱是多少？
6. 什麼是昇華潛熱？
7. 在冷凍中，什麼物質會昇華？
8. 顯熱的定義為何？
9. 顯熱和潛熱，那一種可用溫度計來測量？
10. 說出水的三態。
11. 請說明物質的物理狀態，如何由溫度影響？
12. 什麼是飽和蒸氣？過熱蒸氣又是什麼？那一種會有液體存在？
13. 為什麼蒸發會使溫度降低？舉兩例說明。
14. 蒸發的定義為何？
15. 如果有不同的沸點，是否可稱之為液體的自然蒸發？

第三章 我們如何使用熱

(How We Use Heat)

熱是一種我們看不見的物質，其他如空氣、電，也具有同樣的特性。因此，操作技術士有如魔術師，要對看不見的東西發生的狀況，加以控制。

我們提到感官，通常對聲音或噪音或嗅覺，皆感覺得到實際的狀況，但若要進一步分析，則要有精密的儀器方可。

有件事我們要知道，熱會影響物體的壓力、溫度、及體積。這樣，我們就有路可循，因為，我們有辦法測量壓力、溫度及體積。我們知道，熱是能的基本型態，因此，能夠轉變成其他的能，如功、功率及光。因為熱能轉變，就可由一物質傳至另一物質。

壓力 (PRESSURE)

提到這名詞，我們知道有一力量存在，當其作用在一流體時，會使流體加速流動，流體有氣體和液體。所謂壓力，是指每單位面積的重量或力量。當這力量，作用在一物體表面時，其壓力為作用力除以表面積。因此：

$$P = \frac{F}{A}$$

P：表示壓力為 psi (磅／每平方吋)

F：作用力為磅

A：表面積為平方吋

問題：有一活塞它面積是 20 平方吋，受到 100 磅的力，請算出活塞上受到的壓力是多少？

解答：這作用力是垂直於活塞表面，因此：