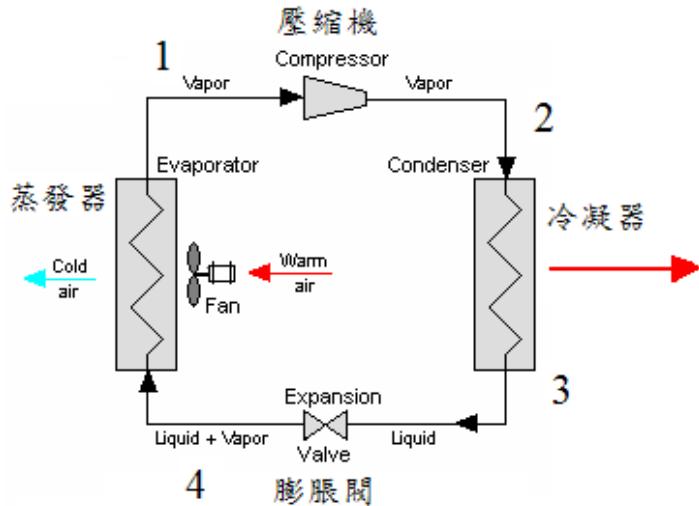


# 蒸氣吸收式冷凍循環實驗

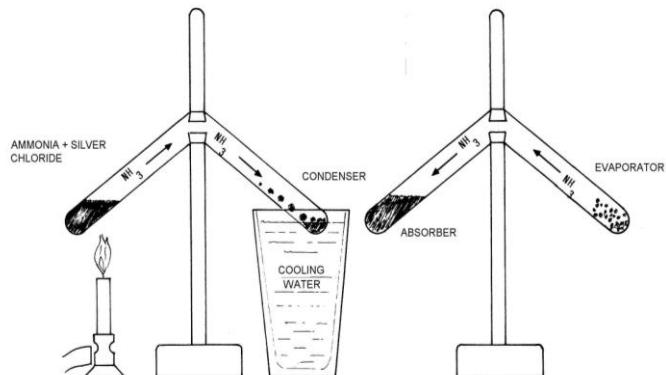
## 一、前言

熱量可自發性地由高溫處傳遞到低溫處，但是卻無法反其道而行。若要將熱量由低溫處移到高溫處，則必須依靠冷凍（refrigeration）過程，付出能量（熱量或功）作為代價才能達成。目前所知的冷凍循環主要有蒸氣壓縮式、蒸氣吸收式、氣體冷凍式、熱電冷凍式、磁冷凍式等五種。其中蒸氣壓縮式最為常見，一般家用冷氣機皆使用此種冷凍循環，其係以低沸點的流體作為冷媒，利用冷媒壓力降低時溫度隨之降低的特性，使冷媒得以在低溫下進行氣化並且吸收大量的熱量，達到冷卻的效果。如圖一所示，在蒸氣壓縮式冷凍循環中，冷媒蒸氣（狀態 1）被引入壓縮機之中進行壓縮，變成高壓、高溫的氣態冷媒（狀態 2），並於冷凝器中冷卻為液態（狀態 3），再經膨脹閥降壓之後（狀態 4）即成為溫度低於冰點的冷媒，最後進入蒸發器中吸收熱量變成冷媒蒸氣，並完成一個冷凍循環。

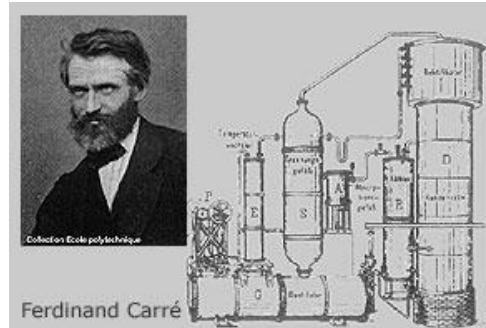


圖一、蒸氣壓縮式冷凍循環示意圖

本實驗單元係進行一種蒸氣吸收式冷凍循環，蒸氣吸收式冷凍循環之基本原理與蒸氣壓縮式冷凍循環大致相同，只是冷媒並非利用壓縮機回收後再加以壓縮送出，而是以水作為吸收劑，在較低的溫度下將冷媒回收，並在高溫下將冷媒釋出。此種冷凍技術歷史長遠，法拉第在 1824 年實驗發現（參考圖二），對左側試管加熱，氯化銀將其所吸收的氨 ( $\text{NH}_3$ ) 釋出，同時在右側試管以水冷卻，即可得到液態氨；移走熱源之後不久，液態氨會吸收環境中的熱量並蒸發為氨蒸氣，並再度為氯化銀所吸收。



圖二、法拉第 1824 年實驗裝置

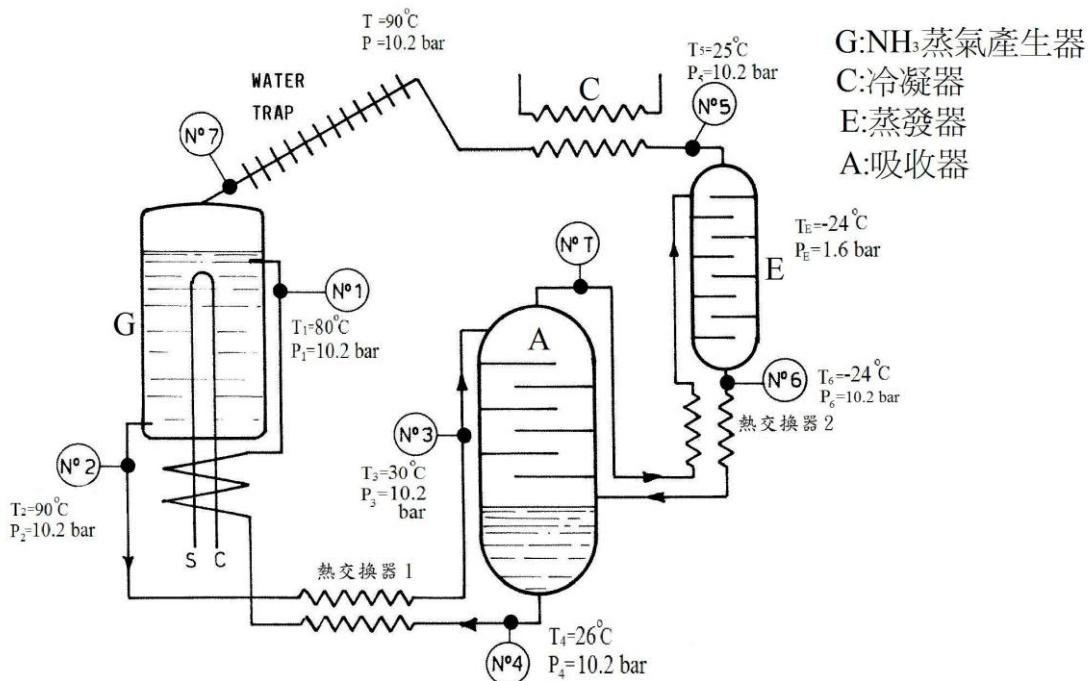


圖三、Ferdinand Carré 及其專利

法國人 Ferdinand Carré 在 1859，首先利用此一原理，以氨為冷媒、以水為吸收劑，取得吸收式冷凍系統的發明專利，該發明順利商品化並且在製冰產業界廣泛使用。

由於蒸氣吸收式冷凍循環的效率低，其 COP（性能係數，*coefficient of performance*）遠低於蒸氣壓縮式冷凍循環，所以現今並未廣泛地應用於一般的冷凍空調系統。但是在能源價格高漲以及環保問題越趨嚴重的今日，因吸收式冷凍循環可將低品質的能源加以利用，例如，以太陽能（太陽越大時、冷氣就越強）或工廠廢熱作為熱源進行製冷，所以它的重要性應會與日俱增。

## 二、蒸氣吸收式冷凍循環原理說明



圖四、吸收式冷凍循環示意圖（圖中標示之壓力與溫度為本實驗單元操作時典型數值）

吸收式冷凍循環中最常用的工作流體是水與氨的混合物或溴化鋰與水的混合物，前者以水為吸收劑而以氨為冷媒；後者則以溴化鋰為吸收劑而以水為冷媒（前者可得到較低的冷凍溫度）。吸收式冷凍循環的吸收劑之所以能『吸收』及『釋出』冷媒，係利用吸收劑對冷媒的吸收能力與隨溫度變化的特性：混合物在高溫狀態下，冷媒的飽和濃度較低，致使混合物被加熱時可將冷媒釋出；在低溫狀態下，冷媒的飽和濃度較高，混合物可將更多的冷媒加以吸收。

現在以工作流體是水與氨混合物的冷凍循環為例（本實驗之設備即屬此類），並依據圖四加以說明如下：氨氣產生器 G 中裝有水與氨的混合物（氨水），我們對產生器 G 加熱使混合物的溫度升高，即會有大量的氨氣（其中包含少量的水蒸氣）被釋出並向上竄出（No. 7），氨氣流經 WATER TRAP 時，內含的水蒸氣將被凝結為水而回流至產生器 G（若不將水分取出，則在蒸發器中溫度降至冰點時，水分會結冰並堵塞循環管路）；另一方面，在氨氣向上竄出的同時，產生器下

方有因釋出氮氣而密度變大（水中含氮越少則密度越高）的低濃度氨水（No. 2）流向吸收器 A。

圖上方的氮氣流經冷凝器 C 時，被冷卻而凝結為液態氮（No.5），之後流入蒸發器 E。在整個冷凍循環中，系統總壓皆為 10.2 bar，但是蒸發器 E 與吸收器 A 兩個裝置內充塞著大量的氮氣（氮不溶於水），致使氮氣的分壓僅有 1.6 bar。當液態氮流入氮氣分壓僅有 1.6 bar 的蒸發器 E 時，將進行自由膨脹並吸收熱量，使蒸發器 E 產生製冷效果（根據道爾敦定律，成分的『分壓』將決定該成分的相平衡，而非總壓）。之後氮氣（No.6）流入吸收器 A 中與的來自產生器 G 的低濃度氨水（No. 3）進行混合，並為低濃度氨水所吸收。當氮氣與低濃度氨水進行混合吸收時會產生熱量，故吸收器 A 必須加以散熱。

低濃度氨水吸收氮氣成為高濃度氨水（No. 4）後，流經熱交換器 1 與低濃度氨水進行熱交換，取得熱量而成為溫度較高的高濃度氨水（No. 1）之後，再度回到產生器 G 中進行加熱釋出氮氣，如此完成一個完整的蒸氣吸收式冷凍循環。

### 三、 實驗步驟

1. 打開『蒸氣吸收式冷凍循環系統』之總電源開關。
2. 氮氣產生器 G 加熱：
  - a. 打開瓦斯桶閥門（瓦斯桶在機台右下方櫃子中）。
  - b. 將瓦斯控制調扭下壓並轉至 min，此時下壓調扭（不要將手放開），並連續按點火開關兩次以點燃瓦斯，點燃之後即可放手；若點不燃，可多試幾次。
3. 打開電熱器開關，選擇  $2\Omega$  的加熱器，以低功率電熱器配合瓦斯進行加熱。
4. 當氮氣產生器 G 溫度（No. 7）到達  $90^\circ\text{C}$  之後，即可關閉瓦斯加熱器，僅以電熱器加熱。等到氮氣產生器 G 溫度不再變動，且冷凍循環各點溫度值較為穩定之後，即可進行以下之實驗量測：

- a. 系統冷凍能力之測定：以塑膠水袋裝水（水溫及水的質量預先量好），並以水袋包圍繞蒸發器（冷凍室中較粗的黑色直管），再以塑膠圓管套住水袋，並將水袋與塑膠圓管間的空隙，以隔熱材料填充之。
  - b. 每隔 5 分鐘量取 No. 2, 3, 4, 5, 6, 7 等各點溫度一次，加以記錄，並算出各點溫度之平均值。
  - c. 30 分鐘之後取下水袋，倒入容器中量測出冷水之水溫。
5. 選擇  $1\Omega$  的加熱器，以高功率進行加熱，並重覆步驟 4 之實驗。

#### 四、 實驗結果之計算分析與討論

1. 將所得到的各點平均溫度填入表一之中，並計算出此一吸收式冷凍循環之性能係數。
2. 假設氮以飽和液體狀態進入蒸發器，而離開蒸發器時為飽和蒸氣狀態，請由其溫度及壓力，利用圖五查出氮蒸發所吸收的潛熱 ( $\Delta h_{5-6} = h_6 - h_5$ )。並由表一所得到的冷凍能力  $\dot{Q}_e$ ，推算出氮之質量流率  $\dot{m}_5$  ( $\dot{Q}_e = \dot{m}_5 \times \Delta h_{5-6}$ )。
3. 利用 No. 2、No. 7 之溫度及壓力 (10.2 bar)，由圖五查出低濃度氮水中  $\text{NH}_3$  之質量分率 (mass fraction)  $x_2$ ，以及由產生器上方流出的氮蒸氣中， $\text{NH}_3$  之質量分率  $x_7$ 。
4. 由純氮之質量流率  $\dot{m}_5$  推算產生器上方流出的氮蒸氣（其中含有少量的水蒸氣）之質量流率  $\dot{m}_7$ （註： $\dot{m}_7 = \dot{m}_5 / x_7$ ）。
5. 利用產生器處之質量守恆以及熱交換器 1 處之能量守恆關係，可以寫出下列三式：

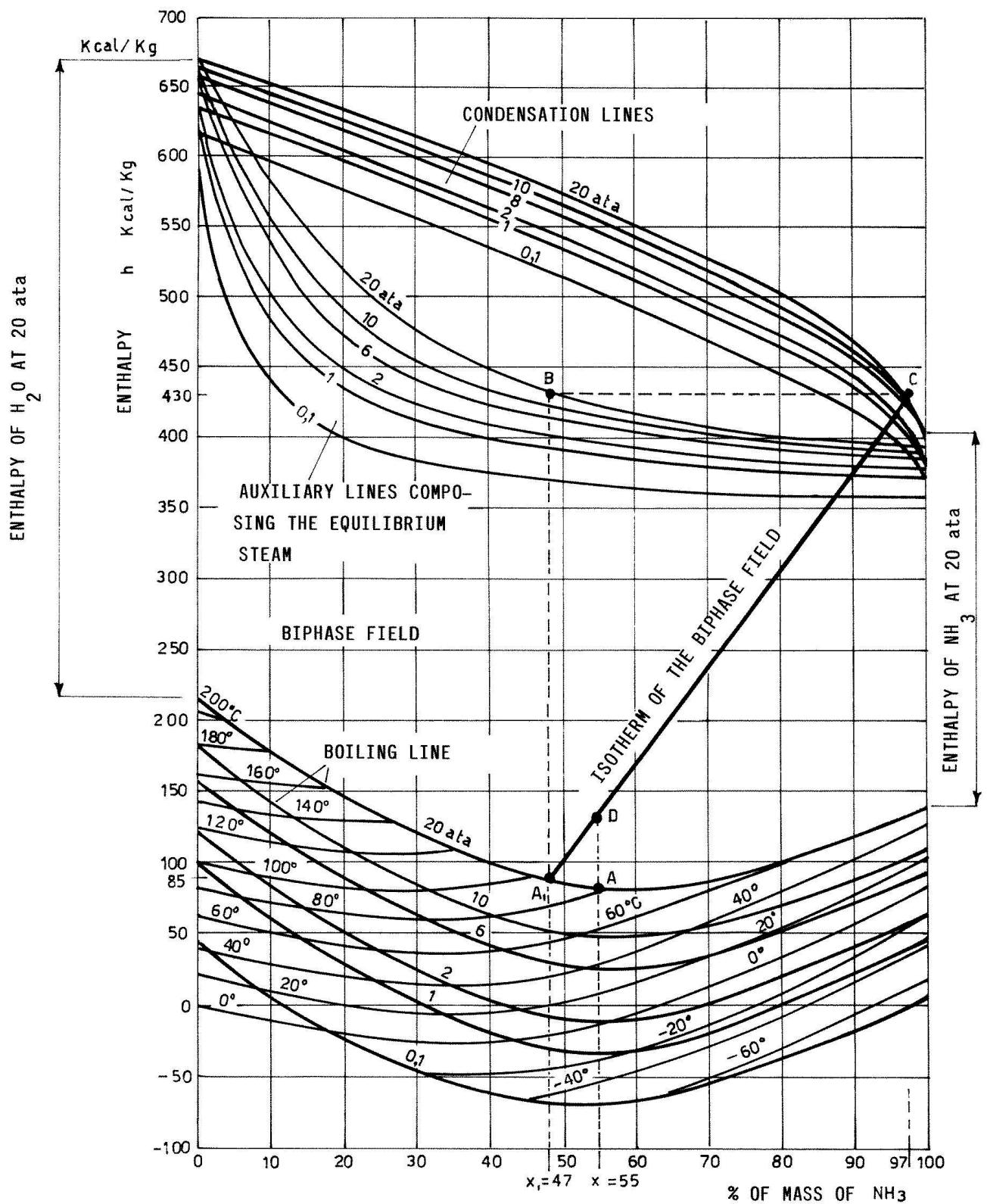
- a.  $\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_5 \dots\dots\dots\dots\dots \text{NH}_3 \text{ 之質量守恆}$
- b.  $\dot{m}_1 = \dot{m}_5 + \dot{m}_2 \dots\dots\dots\dots\dots \text{混合物之質量守恆}$
- c.  $\dot{m}_1 C_1 (T_1 - T_4) = \dot{m}_2 C_2 (T_2 - T_3) \dots\dots\dots\dots\dots \text{能量守恆}$

假設低濃度氨水與高濃度氨水之比熱相同 ( $C_1 = C_2$ )，且流回產生器之高濃度氨水 No. 1 為飽和狀態，請由 a、b、c 三個聯立方程式

及圖五，利用試誤法（trial and error）推算出流回產生器之高濃度  
氨水的溫度  $T_1$  及質量流率  $\dot{m}_1$ 。

表一、實驗數據及計算表

實驗參數 加熱條件	1. 低加熱功率( $2\Omega$ )	2. 高加熱功率( $1\Omega$ )
水袋中水之總質量(g)		
水溫下降度數( $^{\circ}\text{C}$ )		
水所吸收之熱量(Joul)		
水之吸熱時間 (Sec)		
系統之冷凍能力 $\dot{Q}_e$ (W)		
電加熱器之電壓 (V)		
電加熱器之電流 (A)		
電加熱器之加熱功率 P (W)		
吸收式冷凍系統之 COP (%) = $\dot{Q}_e / P$		
No. 2 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
No. 3 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
No. 4 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
No. 5 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
No. 6 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
No. 7 之溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		



圖五 Enthalpy-vs-percent composition diagram of ammonia-water mixtures