

第二章 基本理論

2-1 迴路式熱管結構及基本運作原理

迴路式熱管結構如圖 2.1，包含補償室(compensation chamber)，蒸發器(evaporator)，蒸汽管(vapor line)，冷凝器(condenser)以及液體管(liquid line)。蒸發器內的液態工作流體吸收熱量而生成大量蒸汽，一但累積足夠的蒸汽壓即驅動工作流體前進，在冷凝區凝結成液態工作流體，經由液體段管路回到補償室，再通過蒸發器內的毛細結構到達高溫壁面以完成循環。

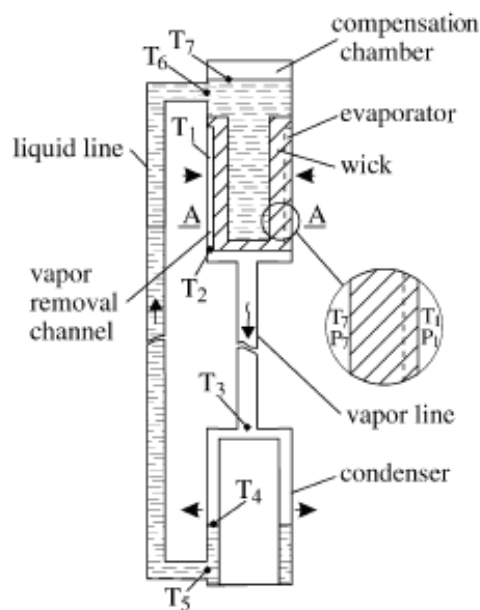


圖 2.1 迴路式熱管結構圖[6]

圖 2.2 為迴路式熱管的工作循環圖，飽和線上的點 1 表示蒸發區內，工作流體在毛細結構上形成的半月狀表面(menisci)上的性質。線段 1-2 則代表蒸汽流向蒸汽段的過程，流阻降低了壓力，熱源亦使得蒸汽為過熱狀態。線段 2-3 表示蒸汽經由蒸汽段到達冷凝區，通常

被視為等溫過程。線段 3-5 指出冷凝區內的狀態，蒸汽遇低溫冷凝成液態(線段 3-4)，液態工作流體再降溫至過冷態(線段 4-5)。然後過冷態工作流體經由液體段流向補償室，亦即線段 5-6，雖然實際上會受到環境溫度影響而被加熱或冷卻，但理論上我們仍將此段過程近似為等溫。補償室內的工作流體受到蒸發區加熱的影響，因此溫度逐漸上升(線段 6-7)，於此同時，部份的工作流體受到毛細結構作用，由補償室補充至蒸發區(線 7-8)，雖然線段 7-8 為過熱態，考慮其時間間隔相當短，所以視其並未出現沸騰的狀況。

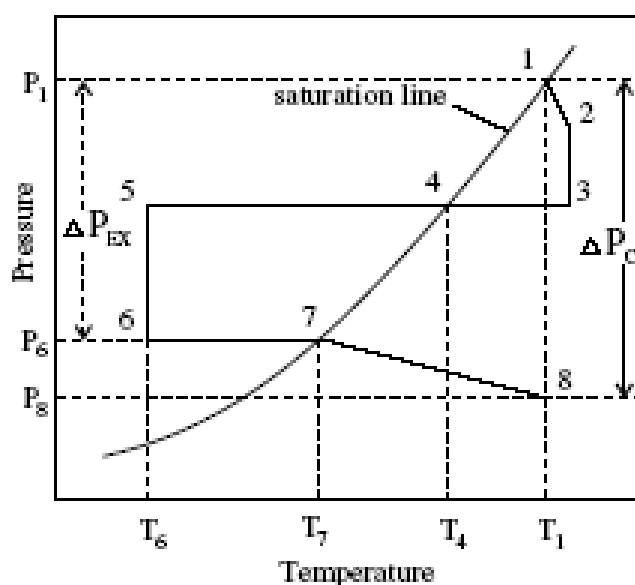


圖 2.2 迴路式熱管工作循環圖[6]

完整迴路式熱管循環簡述如上，在循環過程中亦有幾項會導致效能衰退，甚至破壞循環的限制需要注意：

- A. ΔP_c 是毛細結構所能提供的毛細壓力，亦是整個循環主要的驅動力，而 ΔP_{1-8} 表示整個循環過程損耗的總壓降，包含蒸汽段流動壓降 ΔP_v ，液體段流動壓降 ΔP_l ，以及重力造成的靜壓壓降 ΔP_g 。維持正常循環運作的條件為：

$$\Delta P_c \geq \Delta P_{1-8} = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g$$

- B. 在啟動時，毛細結構內的工作流體蒸發表面有一最小壓力差要求，用以將蒸汽段之液態工作流體推往液體段及補償室，此壓力差由毛細結構之徑向溫度差 ΔT_{1-7} 提供，其關係式如下：

$$\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_{\bar{T}_v} \Delta T_{1-7} \geq \Delta P_{EX}$$

\bar{T}_v 是 T_1 和 T_7 的平均值， ΔP_{EX} 則是除了毛細壓降以外的整個循環的總壓降。

- C. 自冷凝區到整個液體段的工作流體需要足夠的壓力和過冷度，以避免液體段發生沸騰的現象，沸騰產生的氣泡有可能會阻塞住液體段而使得循環中止。所求狀態關係式如下：

$$\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_{T_v} \Delta T_{4-6} \geq \Delta P_{5-6}$$

由以上敘述可知，迴路式熱管需要在蒸發器和補償室兩處達到足夠的溫差及壓差才能順利作動，緊鄰的兩者主要是靠著毛細結構提供壓差。，如下式：

$$\Delta P = 2\sigma/r$$

為了提供足夠的壓差，好的毛細結構應俱備高表面張力以及細小的孔徑，而為了避免熱洩漏的問題，低熱傳導能力也是一個選擇毛細結構材質的考量因素，迴路式熱管的毛細結構具有逆半月型液汽界面(inverted menisci)，輸入熱量可直接傳予工作流體，減少毛細結構的熱阻影響，見圖 2.3。文獻中常用的毛細結構材質包含矽晶片(silicon)，聚乙烯(polyethylene)，聚丙烯(polypropylene)，以及鎳(nickel)，鈦(titanium)，不鏽鋼(stainless steel)和銅(copper)

的金屬粉末燒結，而顆粒孔徑大小約在 $0.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 。

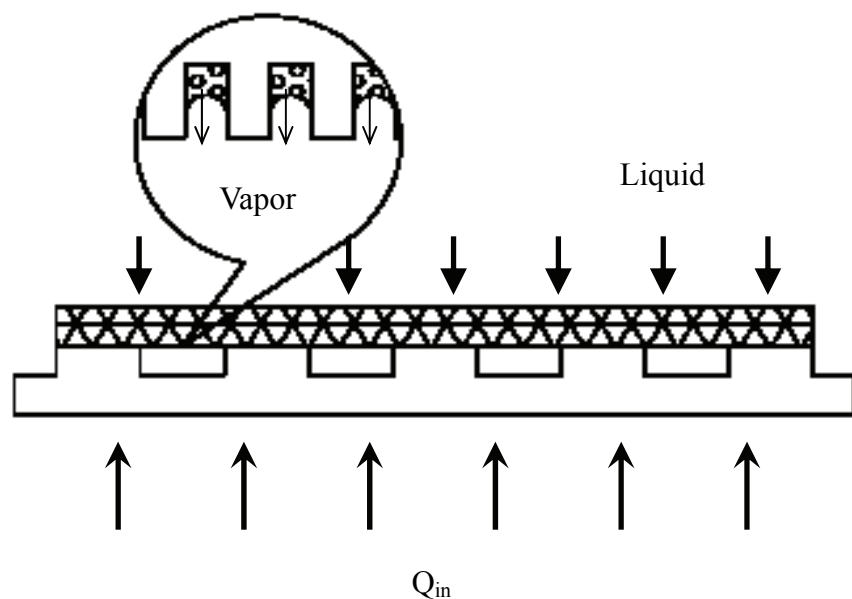


圖 2.3 逆半月型液面

如前所述，蒸發器和補償室在短距離內需達成足夠的壓力差，加熱面所產生的蒸汽壓可靠著毛細結構來避免壓力洩漏，然而熱量仍會由蒸發區洩漏至補償室，造成補償室內的壓力上升，使得 LHP 作動效能下降，甚至無法啟動，熱洩漏的機制主要有以下三種型式：

- A. 加熱區的蒸汽可能經由外迴路，或穿越毛細結構，逸漏至補償室而凝結釋放出熱量。毛細結構內部亦會發生汽化的現象，生成的蒸汽也會造成補償室的高溫高壓。
- B. 熱量以熱傳導的方式經由蒸發器結構洩漏至補償室。
- C. 由毛細結構內的液態工作流體的熱對流現象傳導熱量。

其中以前兩項因素造成的影響較大。

2-2 工作流體的選擇

由於迴路式熱管是利用工作流體的相變化來進行熱傳遞，所以選擇適當的工作流體是一件相當重要的事。而工作流體的選擇應考量以下幾點：

- A. 符合適用的操作溫度範圍
- B. 能夠提供足夠的蒸汽壓
- C. 熱傳導係數
- D. 和毛細結構及底材材質的相適性
- E. 穩定性
- F. 毒性



對一個給定的工作流體而言，其適合的操作溫度上下限分別為熱力狀態 P-V 圖中的臨界點(critical point)及三相線(triple state line)之溫度。圖 2.3 標示出一般工作流體適合的操作溫度範圍。電子冷卻問題要求的操作溫度約在 260K 至 375K，此一範圍的常見工作流體有氨，水，丙酮和甲醇等。若考慮工作流體的洩漏問題，可以採用非導電性流體，如 F-11。一般常見的工作流體性質則如下圖 2.4，圖 2.5 和表 2.1 所示。

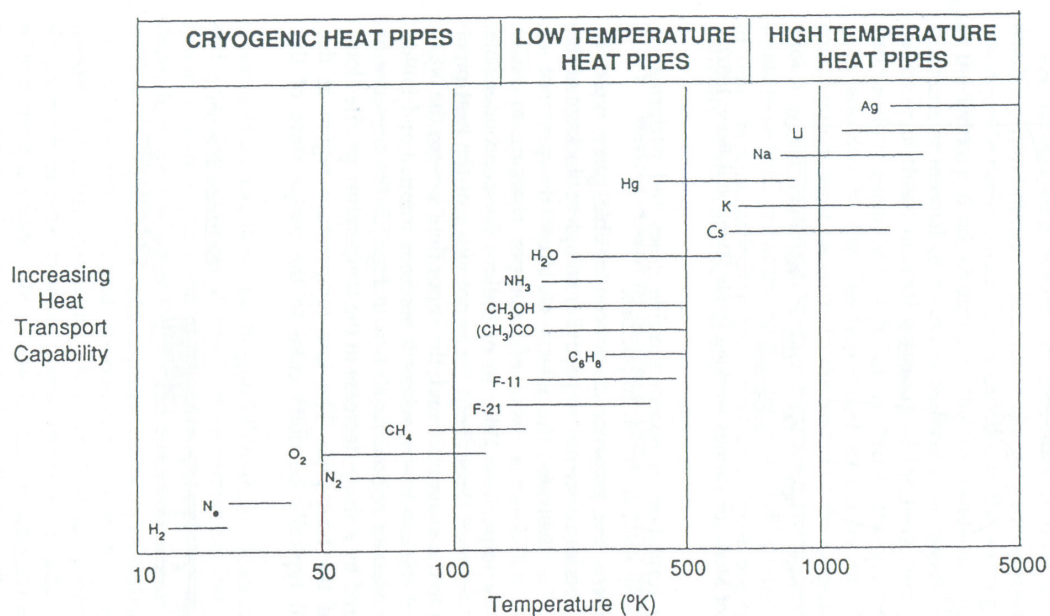


圖 2.4 工作流體的適用溫度範圍[4]

表 2.1 常見工作流體性質表

工作流體	融點 (°C)	沸點 (°C)	操作範圍 (°C)	適合材質	不適材質
氨 (NH ₃)	-77.7	-33.4	-60~100	Al, Ni, Ti, SS	Cu
丙酮 (C ₃ H ₆ O)	-94.3	56.5	0~120	Al, Cu, Si, SS	
甲醇 (CH ₄ O)	-97.8	64.5	10~130	Fe, Cu, Ni, Si, SS	Al
水 (H ₂ O)	0	100	30~250	Cu, Ni, Ti, Si, SS	Al, Fe

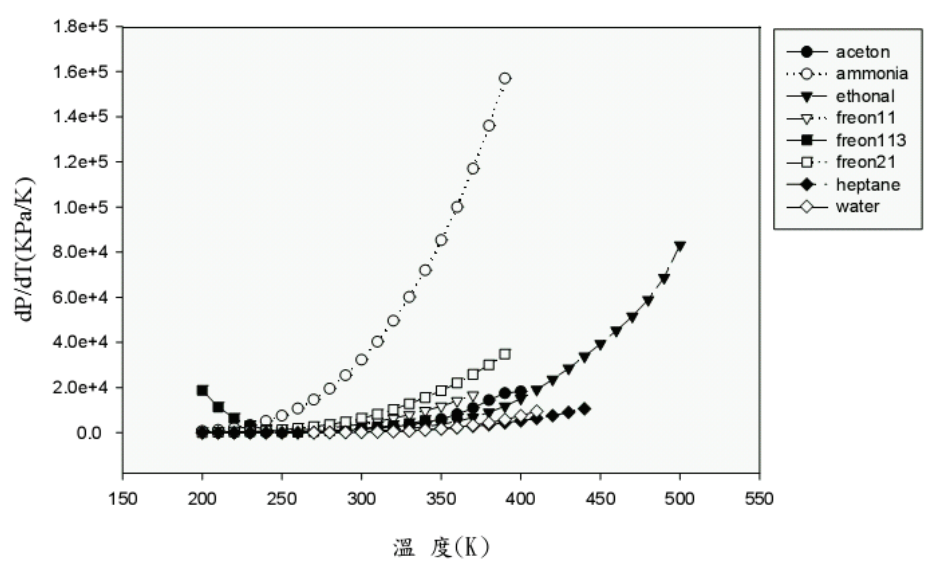


圖 2.5 常見工作流體 dP/dT 圖[15]

