

第四章 結果與討論


平板式迴路熱管的散熱效能直接受到迴路內工作流體運動情況的影響，系統循環啟動前，迴路傳輸管內大部份為蒸汽態的工作流體。施以熱負載至加熱器表面溫度為 60°C 左右，U 型管末端，亦即冷凝區內的傳輸管開始出現冷凝液柱，藉由蒸發器生成的蒸汽壓驅動著冷凝液柱往補償室移動，冷凝液柱的前方，亦即液體管內的蒸汽態工作流體亦受到此一蒸汽壓不斷地壓縮凝結。此時的加熱面溫度仍以和時間成正比的關係不斷上升，直到冷凝液柱前進至補償室和毛細結構連結，系統方為啟動循環，溫度亦趨穩定。然而亦有可能在冷凝液柱前進到補償室前，過度的蒸汽洩漏或者熱洩漏造成冷凝液柱前方的蒸汽無法順利凝結，而隔絕了冷凝液柱和補償室內毛細連結的可能性，系統循環因此而失敗。簡言之，迴路熱管的正確作動與否的關鍵在於冷凝液是否能順利連結補償室內的毛細結構，使工作流體的運動能形成一通暢的迴路。而本研究發現，在蒸發器結構能順利提供足夠蒸汽壓驅動系統作動的前提下，傳輸管路的結構明顯影響工作流體的運動情況，也直接影響到了迴路熱管的效能，以及啟動現象。以下將就本次研究嘗試過的蒸發器結構以及三種不同結構傳輸管造成的影響進行說明。

4-1 A 型結構設計

A 型結構的特色是蒸發器生成的蒸汽和回流的工作流體位於毛細結構的同側，和加熱表面共平面。然而 A 型的結構在這次的觀察實驗中卻從未正確地啟動循環。隔熱板可以有效為蒸發器以及補償室提供相當程度的溫差，當施以熱負載時，U 型管內的液體會慢慢由蒸汽管

端推向液體管，之後連接到補償室內的毛細結構，然而此時的工作流體便不再向前推進，僅是堵塞在液體管和補償室內。由蒸發器上的觀察視窗內可看到加熱面上有激烈的沸騰現象，而觀察的視窗玻璃則有大量冷凝液。推測未能正確作動的原因為大量的熱洩漏造成了補償室的高壓，阻擋了工作流體的回流；再者，蒸發器的蓋板(玻璃板)熱阻遠較 U 型迴路管來的低，因此蒸汽即在蓋板上進行冷凝放熱，再沿壁面結構流回蒸發表面，形成一個類似 vapor chamber 的散熱機制，U 型管此時僅作為調節儲水的功用。迴路熱管的熱傳能力會直接受到工作流體流況的影響，亦即質傳帶動了熱傳，流阻也直接影響了熱阻。U 型管內的流阻太大，所以儘管冷凝區的溫度比玻璃蓋板還低，生成的蒸汽仍不會進入 U 型管進行散熱。

4-2 B 型結構設計



相對於 A 型結構設計，B 型結構生成的蒸汽和回流至補償室的工作流體位於毛細結構的相異兩側。如圖 3.3a 所示的蒸發器結構設計，U 型管中會有明顯的蒸汽冷凝的現象，而冷凝液會由蒸汽管側推向液體管側，然而最後幾乎會因為補償室內過高的蒸汽壓力，使得冷凝液柱無法順利連結補償室內的毛細結構，而造成系統啟動的失敗。不斷上升的加熱面溫度汽化了毛細結構上的液態工作流體，當毛細結構因而無法有效阻擋蒸汽時，傳輸管內的工作流體將會被蒸發器和補償室內的蒸汽壓力推向 U 型管的末端。

儘管在傳輸管內冷凝液能順利連結補償室內部毛細結構，啟動工作流體的循環，然而系統最後仍因為大量的蒸汽洩漏而中止循環。由補償室上方的玻璃蓋板，可以觀察到補償室側的毛細結構表面會有汽泡不斷的產生。此一蒸汽洩漏的現象是由於熱洩漏至補償室，汽化了

補償室內的工作流體，可能的熱洩漏機制如第二章所述。

以圖 3.3b 和圖 3.3c 的結構設計組裝，企圖將洩漏至補償室的蒸汽和液體管回流的工作流體隔離開來，如此的設計可以順利啟動系統的循環運作。此種結構會有大量的工作液態流體積存於補償室，系統作動時亦會觀察到補償室內大量的汽泡激烈地產生。由此可以推論：

- 補償室側的毛細結構會有大量蒸汽生成，過高的蒸汽壓會抑止工作流體的回流，亦即循環的失敗。
- 補償室的設計除了調節水量，亦應考量對於洩漏蒸汽的阻隔，以避免造成系統循環的失敗。

參考文獻[8, 9]的資料，具大橫截面的補償室設計可以有較低的蒸發器溫度，推測原因即為大橫截面補償室上方的空間可作為容納洩漏蒸汽的空間，避免洩漏蒸汽阻隔了工作流體的循環。對照圖 1.2 和

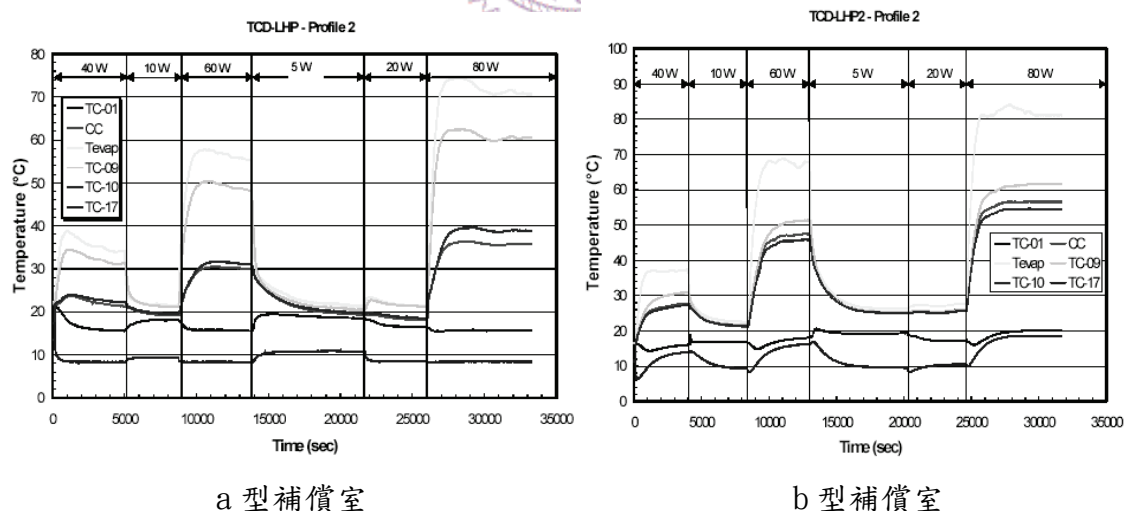


圖 4.1 大橫截面的補償室有較低的蒸發器溫度[8]

圖 4.1，a 型幾何結構的補償室設計在 80W 熱負載的情況下蒸發器溫度約為 75°C；相對地，b 型補償室幾何結構則約為 84°C。因此之後的實驗將以如圖 3.3b 和 3.3c 所示的第二種補償室結構來進行，在補

償室內隔成兩個空間，以避免洩漏蒸汽阻隔工作流體的循環。

4-3 U 型玻璃管中的流況觀察

4-3-1 U 型平滑玻璃管

汽態工作流體在蒸汽管內即有冷凝的現象，然而冷凝液主要仍出現在冷凝區。參照圖 4.2，冷凝初期，玻璃管內壁面會有霧化現象，亦即有大量微小液滴附著在玻璃管內壁上。鄰近的微小液滴彼此結合成較大的液滴隨機地散佈在玻璃管壁內上。大液滴一方面繼續接受蒸汽冷凝液，一方面和鄰近液滴進行合併，因而體積不斷地增大，直至覆蓋整個玻璃管橫截面形成一小段液柱，液柱後方，亦即蒸發器側會不斷累積高蒸汽壓，液柱前方的蒸汽空間會由於冷凝區的低溫而不斷凝結縮小，液柱前後方的壓差會迅速將液柱推向玻璃管中的汽液界面，推動的過程中會將管壁上的液滴一併帶走，玻璃管壁面將回復至潔淨的情況而重複這段冷凝的過程。

在冷凝液柱的移動過程中，受到重力的影響，會造成下方液膜較厚的情況，當前方氣體柱壓縮冷凝成一小汽泡時，往往會附著在玻璃管上方壁面而不會往前移動，後方的液體柱則經由汽泡下方持續前進因而變薄，造成汽泡的破裂。然而若前方的汽體柱無法順利冷凝，會造成液體管內堵塞的現象，亦即液態工作流體的通路被迫截斷，汽體柱的出現象有可能會造成迴路循環的中斷，汽體柱無法有效冷凝的原因可能是其中含有少量非凝結氣體(non-condensable gas, NCG)。

系統循環時，會觀察到蒸汽管側的汽液界面呈現大幅度的來回振盪，加熱面溫度也因此出現振盪的情況，在輸入功率為 30 W 時，加熱面溫度會在 94.4 至 95.4℃ 間來回跳動。

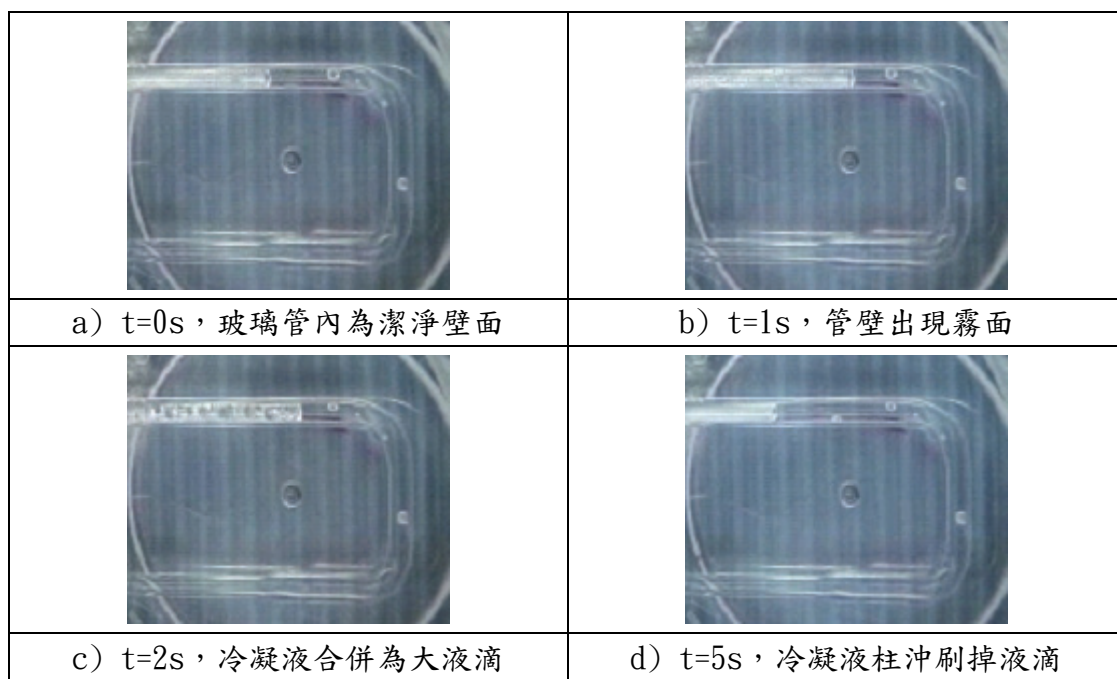


圖 4.2 平滑管內冷凝現象

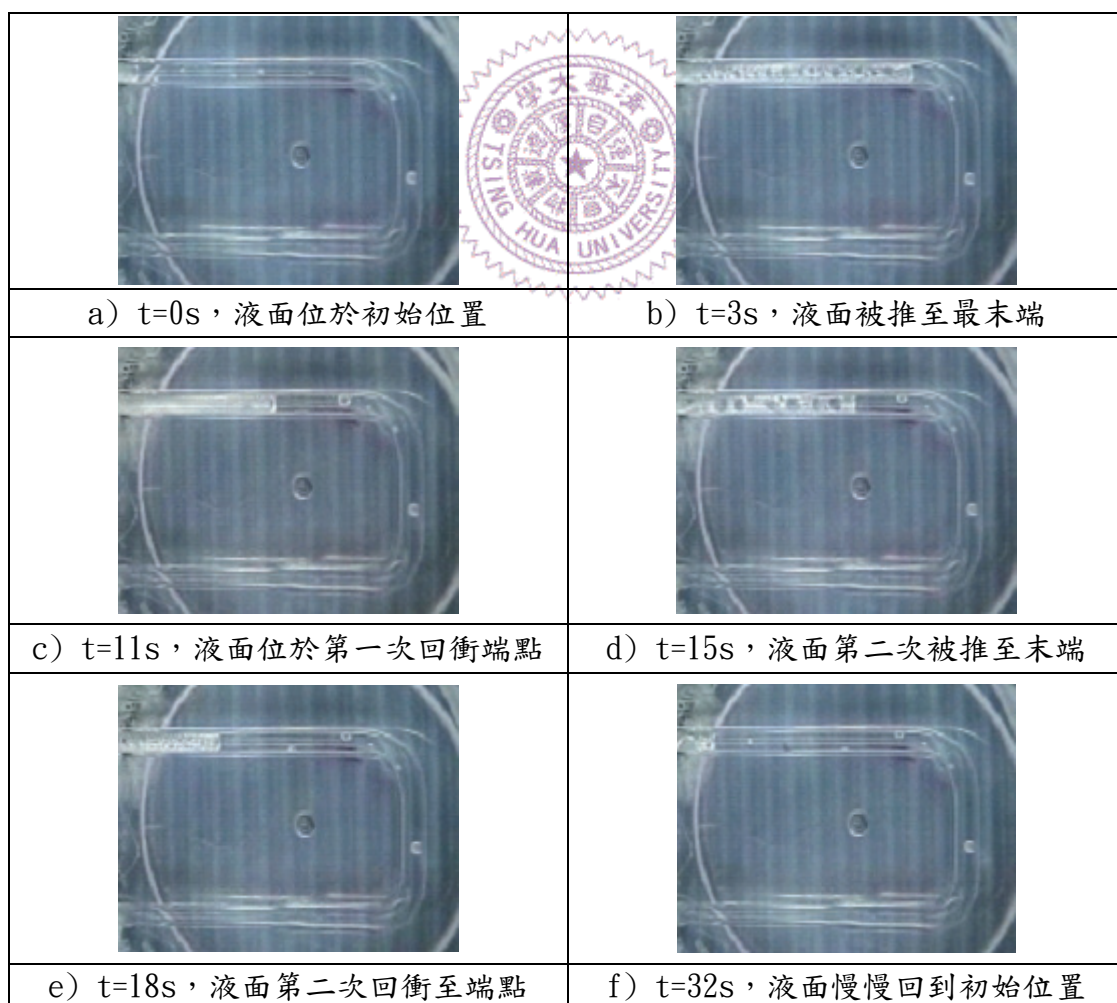


圖 4.3 平滑玻璃管液面振動現象

4-3-2 液體管內壁加銅網

在液體管內壁鋪上銅網，將有效縮小管內汽液界面振盪的幅度（見圖 4.4），蒸汽管側的冷凝現象仍然和平滑玻璃管類同，當冷凝區出現無法順利凝結的氣體柱時，銅網可提供一通道使得液態工作流體繼續前進而不致於堵塞。液體管出口處的銅網則可以直接和毛細結構連結，亦即將補償室的毛細結構延伸進入液體管內，如此的結構可以避免洩漏蒸汽造成的迴路中斷，因而增加循環的穩定度，如圖 4.5 所示，然而傳輸路管路的質傳能力將受此一毛細結構傳輸能力的限制。補償室內洩漏的蒸汽會在液體管出口處形成一明顯的汽液界面，當蒸汽管側的汽液面有明顯冷凝和向前移動的現象時，液體管末端的汽液界面則維持固定的位置，足可証明液體管末端是靠著銅網毛細結構在進行工作流體的傳輸。使用較低的冷凝溫度則會造成此液體管末端的汽液界面向冷凝區退去，加熱面溫度也會因此而上升，在 25W 的熱負載下，冷凝溫度由 30℃ 降為 15℃ 時，加熱面溫度由 106.4℃ 上升至 107.5℃，其時室溫為 31.7℃。推測可能原因為冷凝區過低的溫度降低了管路內的飽和蒸汽壓，補償室內高度的洩漏蒸汽壓造成了工作流體的逆流。

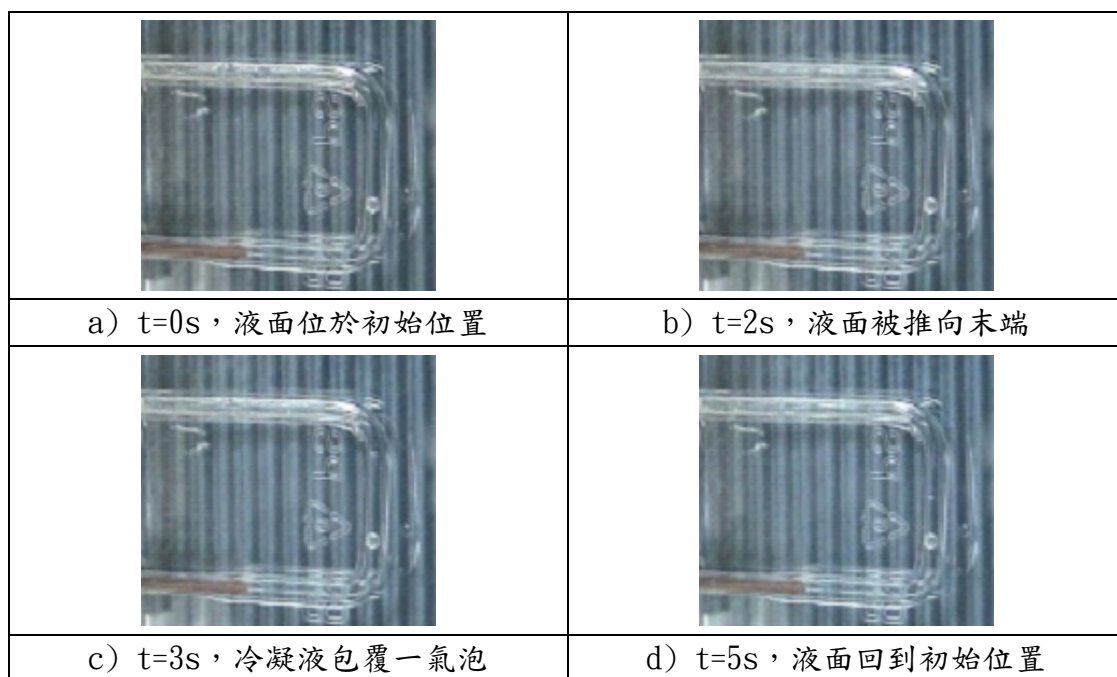


圖 4.4 液體管貼附銅網時的液面振動現象

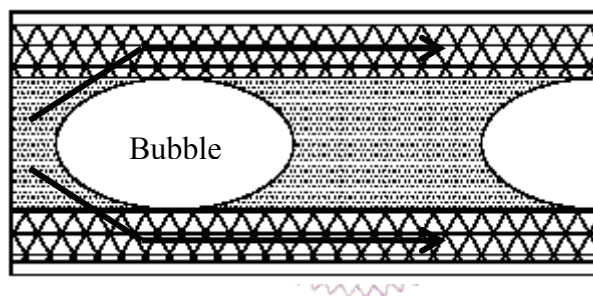


圖 4.5 液態工作流體可從銅網處向前流，而不被汽泡堵塞

4-3-3 蒸汽管及液體管內壁皆加銅網

在蒸汽管內壁上也鋪上銅網，可觀察到汽液界面的振盪幅度將變得更小，這是因為蒸汽管壁上的銅網毛細結構提供一流動通道，讓管壁上的冷凝液滴穩定地傳輸至汽液界面，而不是像平滑管般，累積一定冷凝液後會出現突衝的冷凝液柱，也因此蒸汽管貼附銅網時不易出現汽體或大量汽泡。補償室的洩漏蒸汽會造成液體管內工作流體的逆流，壁面上的銅網可提供工作流體一流動的通道和補償室內的毛細結

構連結，因此和平滑管相比，在穩定循環操作時，鋪上銅網的液體管末端會有一汽液界面位於一固定位置。

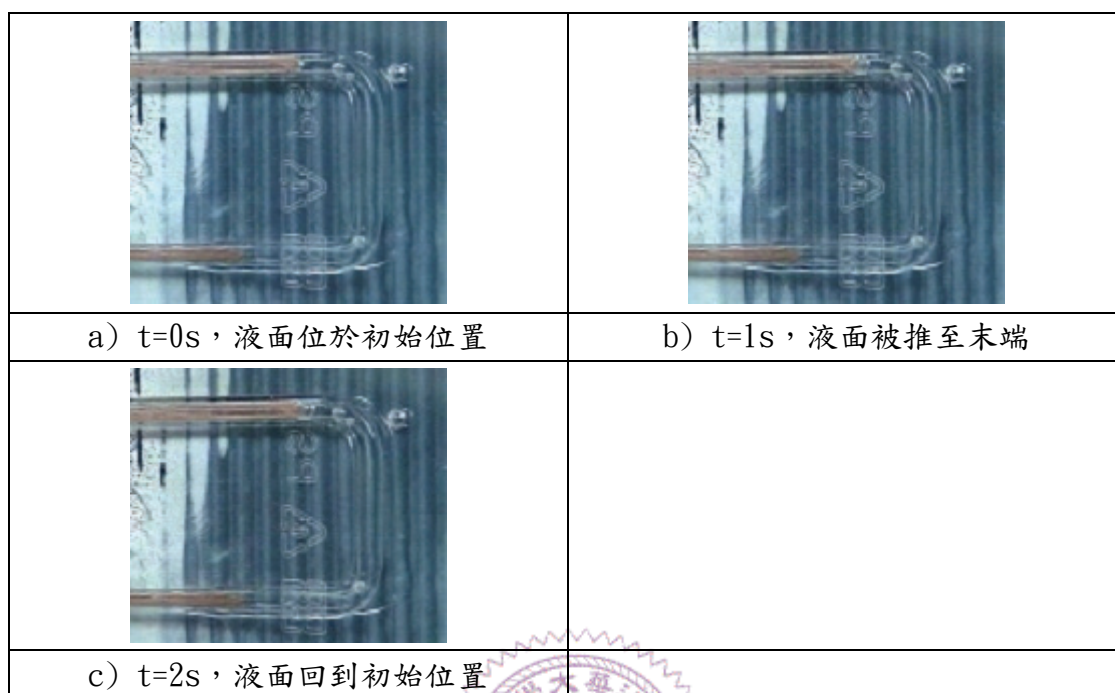


圖 4.6 液體管和蒸汽管內皆貼附銅時的液面振盪現象

4-4 不同結構傳輸管之散熱性能

迴路熱管的散熱表現取決於是否有足夠的液態工作流體回流至蒸發器內的加熱面，以進行沸騰蒸發移除熱量。定義熱阻為 $(T_{\text{heater}} - T_{\text{cooler}}) / Q_{\text{in}}$ ， T_{heater} 為加熱表面溫度， T_{cooler} 則為冷凝水入口溫度， Q_{in} 是輸入熱，由電源供應器輸入電壓和電流相乘而得。在液態工作流體能維持循環的前提下，得到不同結構的傳輸管散熱性能表現如圖 4.7 和 4.8 所示。平滑管意為玻璃管壁面為平滑面結構，雙網管則是指在 U 型玻璃管兩側的蒸汽管及液體管內壁上皆鋪上金屬銅網。圖 4.7 指出在高輸入熱的情況下，迴路熱管會有較低熱阻。平滑管的熱阻性能表現較雙網管好，這可能是因為雙網管的流阻大於平滑管，消耗了較

多的驅動蒸汽壓力所致。然而在實作的經驗和觀察上，雙網管的啟動較為容易且管內的傳輸情況也較平穩，較少產生氣泡或氣柱等情況。圖 4.8 則顯示出，迴路熱管在較高的冷凝溫度時會有較低的熱阻值，最佳的熱阻表現為平滑管結構，填注量 5.22g，冷凝溫度 45°C 時，其值為 1.98°C/W。

圖 4.9 表示不同工作流體填注量的熱阻表現，5.22g 的填注量潤溼了毛細結構，而餘下的工作流體幾乎儲存於補償室內，蒸汽溝槽和傳輸管內皆為氣體所佔據。5.9g 的填注條件下，補償室內不可避免地會存在一個氣室，溢出的液態工作流體積存於傳輸管內，相信蒸汽溝槽內亦存在著部份液態工作流體。傳輸管內的液柱會使得系統不易啟動循環，而蒸發器內過多的工作流體亦會造成加熱面上沸騰的困難。

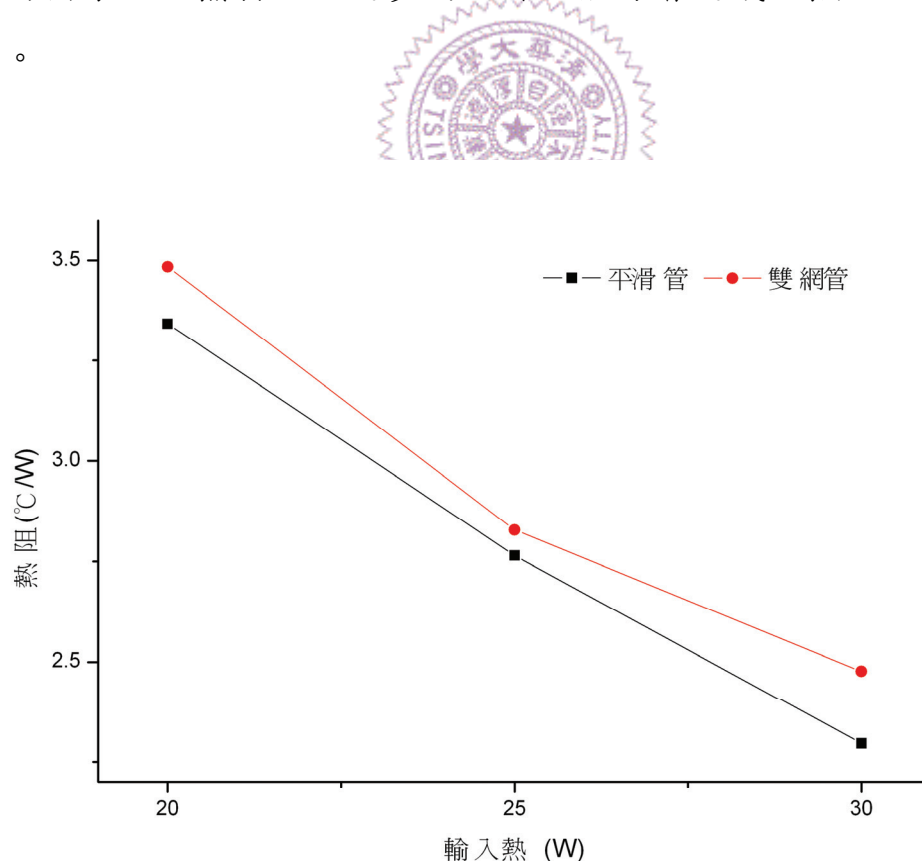


圖 4.7 不同輸入熱功率下平滑管和雙網管熱阻比較，固定冷凝溫度為 30°C

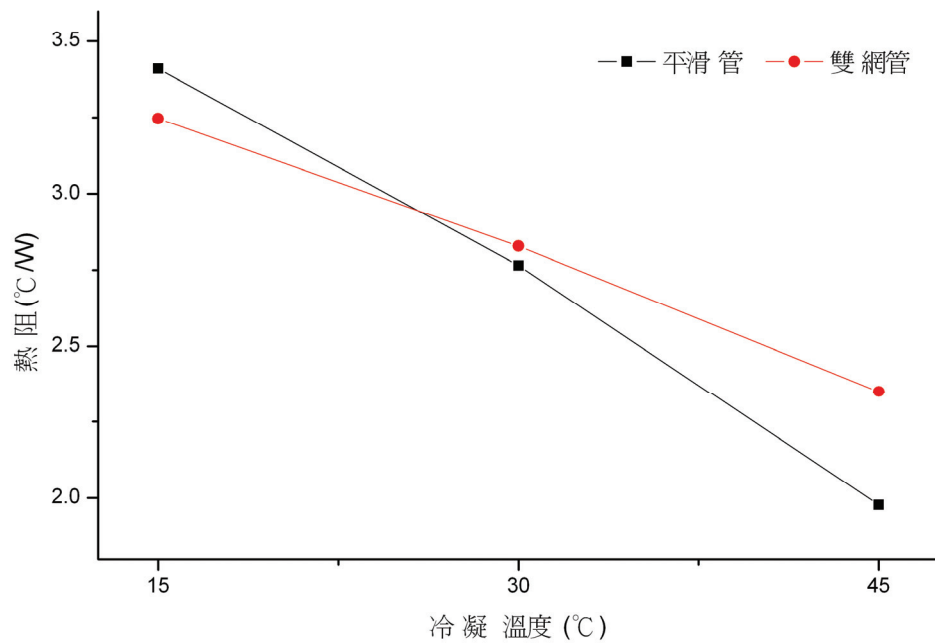


圖 4.8 不同冷凝溫度下平滑管和雙網管熱阻比較，固定輸入熱為 25W

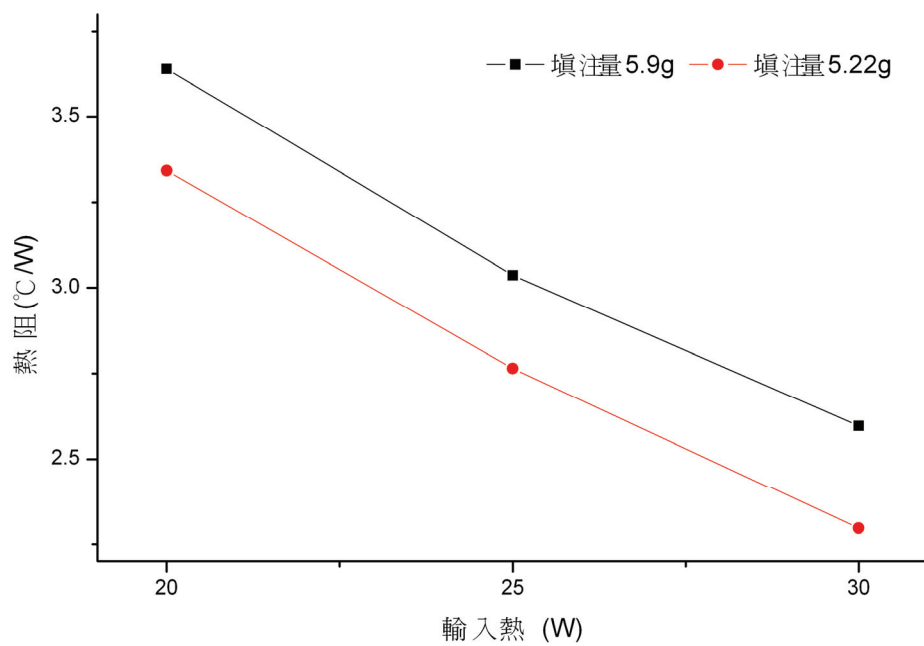


圖 4.9 不同填注量的平滑管熱阻比較，固定輸入熱為 25W，冷凝溫度為 30°C