

## 第四章 底板垂直擺設之鰭片陣列幾何配置

自然對流和強制對流的影響散熱因素極不同，在自然對流下影響針狀鰭片陣列散熱流場效能的因素主要分成兩大類：一則是驅動自然對流流場的驅動力，在自然對流中對流場的趨動力是來自於冷空氣流經加熱區域增溫引發的浮力與負壓，而除去浮力係數與物體力的給定，在流場中溫差與壓差的保持和散熱面積的增加就是驅動力的最大來源；二則影響效能的是流體流經針狀鰭片陣列的阻力，流阻不僅是消耗能量，也會拖慢流體使氣流增溫而減低了流場的趨動力，因此流場的順暢度亦是決定散熱效能的一大關鍵。

而關於流場溫差、壓差與流阻的決定則與針狀鰭片陣列的幾何配置有關，故而關於針狀鰭片陣列的基礎效能研究，本研究首先以底板垂直擺設的針狀鰭片陣列分別就針狀鰭片的間距、遮蔽層與針狀鰭片頂的距離、針狀鰭片的排列方式（對正式或交錯式）、針狀鰭片形狀等幾何條件變化對流場及散熱效能的影響進行探討。在結果探討的順序上，本研究首先探討對壓差與流阻造成明顯影響的遮蔽層與針狀鰭片頂的距離對效能之影響，進而探討間距和遮蔽層與針狀鰭片頂的距離之間的相互影響對效能的改變，並對相同體積下的配置進行最佳化效能的討論，再討論針狀鰭片形狀改變與其他參數之交互影響對效能造成的變化，接著探討鰭片排列方式之影響，最後則是底板傾斜對效能造成的影響。

## 4.1 遮蔽層與針狀鰭片頂距離影響之探討

在遮蔽層針狀鰭片頂距離影響之探討上，本研究首先以直徑 2mm、高 4~20mm 與直徑 5mm、高 10~50mm 的對正式圓柱形針狀鰭片陣列進行探討，採用遮蔽層與針狀鰭片頂距離 ( $S_z$ ) 分別為直徑的 0、2、5、10 倍。本研究亦嘗試除去遮蔽層使針狀鰭片陣列曝露於空氣中，該做法其實等同於將遮蔽層拉至無窮遠處，本研究的做法是將原有遮蔽層拉開至足夠遠處後改為開放的入口條件，而所謂的足夠遠處是必須經由測試的，本研究經過誤差收斂之檢測，對於直徑為 2mm 的針狀鰭片陣列將入口條件拉至距離針狀鰭片頂 40mm 處 (誤差收斂在 1% 以內)，對於直徑為 5mm 的針狀鰭片陣列將入口條件拉至距離針狀鰭片頂 50mm 處 (誤差收斂在 1.5% 以內)。

該研究結果以圖 4.1、圖 4.2 為代表，分別顯示不同鰭片長度( $H = 10, 25 \text{ mm}$ )時，在鰭片直徑  $D = 5 \text{ mm}$  的情況下，遮蔽層連接針狀鰭片頂之配置的效能大多遠較遮蔽層與針狀鰭片頂有相當距離或者無遮蔽層配置的散熱效能低，此在  $Ra$  值較低時尤其明顯。這是因為在遮蔽層連接針狀鰭片頂配置的流場引入的冷空氣遠比其他配置來得少，因此很早就接近溫度全展流 (如圖 4.3)，其流場溫度差太小導致缺乏驅動力，而又必須克服剩餘針狀鰭片造成的熱阻，因此其效能遠差於其他。而該現象在柱長( $H$ )較短的配置上，由於加熱底板與遮蔽層更為接近、流阻較大，故其效能更遠落後於遮蔽層與針狀鰭片頂具有相當距離的配置。然而在  $Ra=10^7$  時，由於流場驅動力有具體的提升，遮蔽層連接針狀鰭片頂的配置之散熱效能落後的情況便較不明顯，在有些流阻較小的間距配置上由於其驅動力甚足，加上流場順暢、具有相當的壓差，該配置的散熱效能反而可以超過部

份遮蔽層與針狀鰭片頂距離較遠的配置。

遮蔽層與針狀鰭片頂具有相當距離的配置在較低  $Ra$  值時由於可以引入較多的低溫空氣，使得氣流與加熱面能保持較大的溫差而造成更多流場驅動力。然而過大的距離，卻會使得氣流通過面積增加，而降低了入口引流處的壓差；尤其在較高  $Ra$  值時，流場速度較快，氣流溫度較低，引入的冷空氣部分已經無法進入發熱區或與之進行熱交換而處於無用狀態，更糟的是這些冷空氣由於不具浮力，完全是依靠壓差與黏性力來帶動，無疑對整體流場是造成拖滯的效果，其流場速度分佈更近似於外流場的狀況，較異於遮蔽層與針狀鰭片頂距離較小的配置所具有的內流場速度分佈（如圖 4.4），因而在較高  $Ra$  值或流阻較小的配置下，遮蔽層與針狀鰭片頂距離較大或開放配置的散熱效能反而較差。因此，遮蔽層與針狀鰭片頂的距離在不同的配置條件下，是有其最佳範圍的。整體而言，在本研究的計算中，除了在  $Ra=10^5$ 、 $S_{xy}=10\text{mm}$  時趨動力過小而流阻過大的情況下，遮蔽層與針狀鰭片頂的距離在  $10\text{mm}$  時幾乎可以得到最好的效能（參照圖 4.1、圖 4.2）。

而在直徑  $2\text{mm}$  的配置下，遮蔽層與針狀鰭片頂距離（ $S_z$ ）的效應就更為明顯。圖 4.5 針對鰭片長度  $H = 10\text{ mm}$ ，鰭片直徑  $D = 2\text{mm}$  的情況下，比較不同  $S_z$  及不同  $Ra$  值時的散熱效能。在直徑  $2\text{mm}$  下，通常間距（ $S_{xy}$ ）也會較小使得加熱區域更為密集，當  $Ra$  值較小時，氣流會較早發展成全展流的溫度場。當  $S_z$  較小時，所引入的冷空氣太少而缺乏流場溫度差來造成趨動力，而流阻在該配置下又甚大，因此其散熱效能遠遜於其他  $S_z$  較大的配置。圖 4.5 顯示， $Ra=10^5$  時  $S_z$  需大至  $20\text{mm}$  才能找到最佳效能； $Ra=10^6$  時，最佳效能出現在  $S_z=$

10 mm 的位置；直至  $Ra=10^7$  時， $S_z=4$  mm 的配置可小幅超越  $S_z$  較大配置的散熱效能。

## 4.2 針狀鰭片間距之影響

本節延續遮蔽層與針狀鰭片頂距離影響之探討，研究針狀鰭片間距  $S_{xy}$  對於散熱效能的影響，並探討遮蔽層與針狀鰭片頂的距離  $S_z$  與鰭片間距  $S_{xy}$  配置的交互作用。

在直徑為 5mm 的圓形針狀鰭片陣列中，在遮蔽層與針狀鰭片頂連接的配置下(參照圖 4.1、圖 4.2)，當  $Ra=10^5$  時，因驅動力較小，氣流的溫度場很早就發展成全展流，使得後段流場流經的針狀鰭片不具有散熱效能，在該狀況下，間距越大、空隙度越高的配置引入的冷空氣越多，延後發展成全展流的位置，增加具有散熱效能的區域進而提升整體散熱效能，因此在該狀況下，間距  $S_{xy}=20$ mm 時具最佳散熱效果。而當  $Ra=10^6$  時，趨動力增加使得氣流流速提高，整體流場溫度較為降低，氣流與針狀鰭片都具有或大或小的溫差，而較小間距的配置雖然空隙度較低使流阻增加但是相對散熱面積也增加很多，因此在此時最佳間距已經可以小至 15mm。到  $Ra=10^7$  時，趨動力大增，整體流場速度大幅提高，氣流相當流暢而具有較低的平均溫度，在該狀況下流場已經有足夠的能量克服流阻而不影響效能；此時空隙度的大小已不是主導，而是由散熱面積的大小決定散熱效能的優劣，因此最佳間距達到本研究測試的最小間距--10mm。以上論述可以參照圖 4.3 與圖 4.6 之流場溫度比較。



增加遮蔽層與針狀鰭片頂的距離 ( $S_z$ ) 時，由於減弱了粘性效應並引入較多的冷空氣，有助於改善在較小  $Ra$  值時間距配置本身空隙度過小而增加流阻所造成的問題。以在  $Ra=10^5$  時的狀況為例，當  $S_z=10\text{ mm}$  時，流場雖然因為冷空氣變多，和發熱面有較大的溫差帶來趨動力，在散熱效能上有明顯的提昇；但是  $S_{xy}$  較小的配置由於冷空氣仍不足，在邊界層發展的中後期氣流與發熱面的溫差仍是較小（如圖 4.7），在散熱效能上仍是略遜於最大間距 ( $S_{xy}=20\text{mm}$ ) 的配置。然而在  $S_z=25\text{ mm}$  時，流場便有較多的冷空氣形成較薄的溫度邊界層，造成針狀鰭片與氣流的溫差拉大，這使得間距較小而具有較大散熱面積的配置可以增加其有效散熱面積與散熱量，因而扭轉了不同間距配置下散熱效能之優劣順序，此時具有最佳散熱效能的間距縮減為  $15\text{mm}$ 。然而隨著遮蔽層與針狀鰭片頂距離的增加而提升流場效能並不是無上限的，一如上節所言，遮蔽層與針狀鰭片頂的距離具有其最佳值，在超過其最佳值後，遮蔽層與針狀鰭片頂距離的增加反而只減低散熱效能，因此在遮蔽層與針狀鰭片頂距離超過  $25\text{mm}$  的配置並沒有發生再次扭轉最佳間距位置的情形。這也是因為當流場具有足夠的溫度差帶來趨動力、足夠的壓差克服流阻時，多餘的冷空氣反而不會帶來更多散熱效能的改善，因此在較高  $Ra$  值或較高空隙度的狀況下，其配置僅需要較小的遮蔽層與針狀鰭片頂距離。

在直徑為  $D=2\text{mm}$  的圓形針狀鰭片陣列中，在遮蔽層與針狀鰭片頂貼齊的配置下，由於針狀鰭片的配置相當密集，流場的流阻相當大，導致在較小的  $Ra (10^5-10^6)$  值時，所有不同間距配置的流場都在出口之前達到溫度的全展流；因此在入口到發展成溫度全展流處

的氣流行走距離（即有效的散熱範圍）的長短就成為散熱效能優劣之決定因素，而在這樣的條件下無疑的是最大間距--8mm 的配置佔盡優勢。直至  $Ra=10^7$  時，入口氣流流量大增，氣流無法在出口前發展成溫度的全展流，有效的提高較小間距配置的散熱範圍，故而使得最佳間距降為 6mm。

由於在針狀鰭片直徑 2mm 的配置下，由於鰭片配置過於密集而限制了進入的氣流，使得遮蔽層與針狀鰭片頂具有距離時對於各間距配置都有相當的散熱效能提升，但不一定改變不同間距配置在散熱效能上的優劣順序（參見圖 4.5）。在  $Ra=10^5$  時（圖 4.5a），遮蔽層與針狀鰭片頂距離  $S_z=4\text{mm}$  和 10mm 的配置對於不同間距配置的效能都有很大的改善，甚至反而拉開了不同間距配置在散熱量上的相對差距；而當  $S_z \geq 20\text{mm}$  後，由於引入冷空氣來改善散熱效能的方式已經達到了極限（由於流場速度較慢、負壓差較小，能吸入的冷空氣有限。），不同間距配置在散熱量上的差距也相對縮小。在  $Ra=10^6$  時（圖 4.5b），遮蔽層與針狀鰭片頂的距離也具有如上所述的效果，但是在間距（ $S_{xy}$ ）為 8mm 的配置，由於本身流阻較小，在  $Ra$  值變大、流場本身流速的提升下，對於倚賴遮蔽層與鰭片頂的距離提供額外冷空氣的需求便不那麼強烈，故遮蔽層提高對其改善逐漸趨緩；因此  $S_{xy}=6\text{mm}$  的配置在具有遮蔽層與針狀鰭片頂距離時，其散熱量會與  $S_{xy}=8\text{mm}$  的配置縮小差距，但仍會拉大與  $S_{xy}=4\text{mm}$  配置散熱量的差距。但在  $Ra=10^7$  時， $S_{xy}=6\text{mm}$  的配置在遮蔽層與針狀鰭片頂有距離時，克服了先前流阻與較低溫差的劣勢，其散熱量超越了  $S_{xy}=8\text{mm}$  的配置，這是直徑 2mm 的配置中，唯一因遮蔽層與針狀鰭片頂有距離而改變最佳間距大小的情況。然而過小的間距

( $S_{xy}=4\text{mm}$ )，雖然有較大的發熱面積，但由於間距過小，低溫氣流難以進入，因此其效能無論如何仍遠落後於其他較大的間距配置。

從以上討論，可以發現一般研究中以空隙度作為最佳間距找尋之標準，其實是相當有問題的：空隙度基本上與  $S_{xy}/D$  有很大的關係，如表 4.1 所示，在不同的直徑下，相同的間距與直徑比具有極相近的空隙度；然而，根據本研究的結果在不同直徑與不同的  $Ra$  值時具有不同的最佳間距配置，亦即不同直徑的針狀鰭片陣列並不一定具有相同的最佳空隙度，反而是在不同的直徑時，針狀鰭片陣列具有個別的最佳間距範圍。

### 4.3 相同鰭片體積下效能之比較

此外，本研究亦發現直徑的大小對於效能的影響不亞於其他幾何條件的變換，在相同的空隙度下只要改變直徑就可能有很大的落差影響，因此本研究選擇相同的鰭片高度與相同的遮蔽層與針狀鰭片頂距離，將直徑 5mm 的與直徑 2mm 的圓形針狀鰭片陣列在同樣的擺設體積下進行比較。圖 4.8 顯示，在相同鰭片體積下（相同的鰭片間距與直徑比例）直徑 5mm 配置的效能在低  $Ra$  值時比直徑 2mm 要好，但在較高  $Ra$  值且較大的間距條件下，直徑 2mm 針狀鰭片配置的效能就反而較好。由此可發現就算在相同的空隙度下，只要直徑的大小改變，就會對流場的特性和散熱效能有很大的影響，因此本研究認為在針狀鰭片陣列之散熱效能的改進上，不應單以空隙度或  $S_{xy}/D$  之比例作為流阻大小的判斷與考量最佳效能之參數，而應以直徑大小的選擇配合  $Ra$  值的選擇範圍作為最優先的考量。

#### 4.4 針狀鰭片形狀之影響

為研究鰭片形狀改變對針狀鰭片陣列散熱效能之影響，本研究首先採用以圓形直徑為 5mm 和其餘相同特徵直徑的形狀，在不同鰭片間距 ( $S_{xy}=10\text{mm}$ 、 $15\text{mm}$ 、 $20\text{mm}$ )、針狀鰭片長度 ( $H=10\text{mm}$ 、 $25\text{mm}$ 、 $50\text{mm}$ )、針狀鰭片頂與遮蔽層距離 ( $S_z=10\text{mm}$ 、 $25\text{mm}$ 、 $50\text{mm}$ ) 的組合下計算。據研究發現，不論鰭片高度或鰭片頂與遮蔽層距離如何改變，在固定鰭片間距與 Ra 值的狀況下，不同形狀的針狀鰭片在散熱效能比較下的優劣順序幾乎是固定的；如圖 4.9 所示，其效能之優劣順序依序為鈍角 120 度菱形、圓形、正方形、鈍角 90 度菱形，而圓型與正方形具有相近的效能而大於鈍角 90 度菱形。這和前節討論之針對單一鰭片所得到的結果相當不同，在單一鰭片的流場時，菱形 90 度的前端是可以與高速氣流接觸而具有散熱效能的，但在陣列的流場之下，如圖 4.10 所示，其前緣仍處在上一個針狀鰭片的 wake 中，真正觸碰到高速氣流的只有側緣的一點面積；相對來說，正方形卻有一整個邊長的側面可以接觸到高速氣流進行散熱，而圓形也有相當的面積接觸到高速氣流，更甚者，鈍角 120 度的菱形由於形狀變化小，加上表面積相當的大，因此在散熱效能上佔據領先的地位。

本研究探討菱形針狀鰭片的原因主要是因為菱形在前端的銳角能有效的突破流場而消耗較少的能量與壓差，在低 Ra 值或高流阻的流場下，該形狀的特性應能對流阻有所改善。然而菱形主要因為側向的鈍角所產生的 wake 會使氣流分離的角度較大，而使得在間距較



小的情況下，該形狀的前緣往往處在前一個鰭片的 wake 中，降低了散熱效能，因此本研究將兩側的鈍角修成圓角，結果發現鈍角 120 度菱形修圓角後改善流場的確提升了散熱效能，且在最低間距（10mm）的效能有極為明顯的改善；而鈍角 90 度菱形修圓角後更整體大幅的改善了原有的散熱效能。如圖 4.10、圖 4.11 所示，這樣類似梭形的針狀鰭片在  $Ra=10^5$  時，由於氣流速度較低，分離點的延後造成的速度差並不會太明顯，因此對散熱效能造成的改善也只是小幅的提升；而在  $Ra=10^6$  時，速度場的提升使得 wake 的效應變的明顯，因此在較小間距的情況，梭形針狀鰭片對於流場流阻與散熱效能都有很大的改善而優於圓形或正方形的針狀鰭片，然而在  $Ra=10^7$  下，由於流速更大壓制了 wake 的形成，各個形狀的 wake 都小很多，此時效能優劣的取決便來自其表面積的大小，而使彼此間有小幅的差距。

本研究也以圓形直徑 2mm 與其相同特徵直徑的正方形與鈍角 120 度菱形(修圓角)的對正式針狀鰭片陣列進行比較，發現其優劣順序大致與在直徑 5mm 時在低  $Ra$  值 ( $Ra=10^5$ ) 的狀況相同：如圖 4.12 所示，圓形與正方形有極相近的效能表現，而鈍角 120 度菱形(修圓角)的散熱效能則比以上兩者更為出色。

## 4.5 排列方式之影響

在對正式與交錯式排列的選擇討論上，Zografos et al.[9]曾提出在相同的直徑與針狀鰭片中心對中心間距的比例下，對正式有比交錯式略好的效能，然而這兩者是在不同的空隙度下進行比較，在不

能排出空隙度影響的情況下，吾人認為這並不能確認對正式與交錯式在自然對流下的優劣之分。因此，本研究以直徑 5mm 的圓形針狀鰭片陣列進行對正式與交錯式排列的比較，且將陣列的間距分成兩種類別：先以 Zografos et al.[9]定義的間距對交錯式與對正式排列的情況進行計算，再以本研究原有對於間距的定義（相同空隙度）進行不同排列情況下的計算。由於在固定空間下對正式與交錯式排列不一定能放入相同個數的針狀鰭片，因此在效能的比較上也引入以固定空間下的散熱瓦數除以總發熱面積（即平均熱對流係數乘以固定溫差）作為基準。

研究發現，在與 Zografos et al.[9]定義之相同間距下，的確得到與之相符的結果，如圖 4.13 所示，不論是以直接散熱瓦數或者將散熱瓦入除以發熱面積做為比較基準，對正式都有比交錯式較好的效能，且在與 Zografos et al.[9]可相對應的 Ra 值中，本研究所得到的結果，對正式與交錯式排列若以平均熱對流係數比較也有 15%以上的差距，足可呼應 Zografos et al.[9]的結果（有高達 20%的差距）。然而吾人也發現，這樣的間距定義下，對正式也有比交錯式略高的空隙度，所以不能排除在該狀況下對正式略好於交錯式的效能是源於空隙度不同所致。

而在以本研究對於間距的定義下，相同的間距具有相同的空隙度，然而其排列方式造成效能的優劣卻與前者不同（如圖 4.13 所示）。本研究繼續依此相同空隙度之間距定義，進行不同排列方式與其他參數對效能影響的研究。圖 4.14 顯示圓形針狀鰭片陣列在不同 Ra 值下的散熱效能，在多數的情況下交錯式在效能上較具優勢，隨著間距越大，對正式配置散熱效能落後交錯式的幅度越小，甚至在

$Ra=10^7$  時，間距為 20mm 的配置下對正式的效能還能略優於交錯式。吾人認為流阻可能是造成以上影響的主因：以對正式而言，氣流在通過針狀鰭片時會受到兩側針狀鰭片的擠壓而具有較大的流阻，相對於交錯式的排列氣流同時通過的針狀鰭片較少因此流阻較小，故而在較小的間距或較小的  $Ra$  值時，交錯式排列對流阻的改善便能直接反映在效能上；然而相對在較大的間距時，流阻的減少就不是那麼的必要，因此交錯式排列的優勢也相對減少，甚而在較高  $Ra$  值時，同樣因氣流在交錯式排列下通過的針狀鰭片較少，故氣流通過的橫截面積較大，反而使通入氣流的壓差變小，使得效能反而略遜於對正式排列。

本研究亦引入與直徑 5mm 圓形相同特徵直徑的鈍角 120 度菱形（兩側修圓角）的針狀鰭片陣列進行對正式和交錯式之散熱效能比較，然而卻是對正式的效能皆遜於交錯式，如圖 4.15 所示。這可能是因為該形狀本身較為細長因此對氣流的通過的橫截面積變動較小，對壓差影響相對較小，故不會出現對正式與交錯式散熱效能之優劣順序對調的情形。

整體而言，對正式與交錯式的配置在不同情況下有優劣之別，但差距並不大，在相同空隙度下，兩者效能最大差距不過 15%；故在選擇上仍可以設計製作方便為考量。

## 4.6 底板傾斜之影響

本研究亦嘗試使底板垂直微傾斜（ $\psi = 30^\circ$ ）和原本垂直擺設的

狀況做比較，配置上則採用對正式圓形針狀鰭片陣列（改變其餘幾何條件之配置）。圖 4.16 顯示， $\psi = 30^\circ$  配置在間距、遮蔽層與針狀鰭片頂距離改變對散熱效能的影響上基本上與底板垂直擺設（ $\psi = 0^\circ$ ）的狀況相近，然而就  $\psi = 30^\circ$  和  $\psi = 0^\circ$  配置的散熱效能相比較，卻能發現相當有趣的現象。在直徑為 5mm 的配置下，在  $Ra=10^5$  時， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能較  $\psi = 0^\circ$  時差，而在  $Ra=10^6$  時， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能和  $\psi = 0^\circ$  的差距隨間距的增加而減少，並在間距為 20mm 時， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能幾乎與  $\psi = 0^\circ$  時相等、甚至超越之（但在遮蔽層緊貼於針狀鰭片頂時， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能仍略遜於  $\psi = 0^\circ$ ）。當  $Ra=10^7$  時， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能除了在間距為 10mm 時小於  $\psi = 0^\circ$  之外，其餘間距配置下  $\psi = 30^\circ$  的效能都處在較優越的位置。然而，在直徑為 2mm 的配置下， $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能卻不曾優於  $\psi = 0^\circ$ 。會有以上現象之發生，是因為在  $\psi = 30^\circ$  配置下氣流是沿著與 y 軸夾 30 度角的方向貫穿整個流場的，該特性在不同狀況下可能對流場的散熱效能造成損失或增益。在  $Ra$  值過小或流阻過大的情況下，氣流的行進方向會將自底板吸熱的增溫氣體帶向針狀鰭片頂的方向，故而減少了氣流與針狀鰭片表面的溫差；更甚者，在具有遮蔽層的情況下，氣流的行進方向會使得受熱的高溫氣流撞向遮蔽層，使得發生溫度全展流的位置提前，進而降低了散熱效能，是以在該狀況下  $\psi = 30^\circ$  配置的散熱效能無法優於  $\psi = 0^\circ$ 。然而，在  $Ra$  值較高或流阻較低的情況下，當氣流經過底部發熱面時將吸熱的增溫氣體以較高的速度帶向針狀鰭片頂的方向，原處與其後方靠近底板的位置便形成低壓區而吸引入口的低溫氣流進入，發熱底板可持續吸入新鮮的冷空氣，而略受其增溫的氣流則繼續流向針狀鰭片進行



熱交換後排出，亦即在該狀況下氣流並不是貼著發熱底板行進而不斷增溫的，這可能可以造成較大的氣流與發熱面之溫差和更多的熱交換，因此在該狀況下 $\psi = 30^\circ$ 配置的散熱效能有機會優於 $\psi = 0^\circ$ 。以上的論述可以由圖 4.17 中兩種角度配置的溫度場分布比較來印證。

## 4.7 渦旋流逸存在與否之判別

由於鈍形物體置於流場中當 Re 值高至一定程度時會有出現渦旋流逸(Vortex Shedding)的可能，而一般出現渦旋流逸的 Re 值範圍是  $40 < Re < 10\,000$ [29]。本研究針對研究結果進行是否可能出現渦旋流逸的檢驗，發現在  $Ra=10^7$  時， $D(\text{circle})=5\text{mm}$  的針狀鰭片陣列的  $Re_D \leq 150$ ， $D=2\text{mm}$  的針狀鰭片陣列的  $Re_D \leq 70$ ，有發生渦旋流逸的可能，可能在數值上有較大的誤差；而在  $Ra=10^6$  時， $D=5\text{mm}$  的針狀鰭片陣列的  $Re_D \leq 45$ ， $D=2\text{mm}$  的針狀鰭片陣列的  $Re_D \leq 15$ ，因此較不會有發生渦旋流逸的可能。

## 4.8 小結

鑒於自然對流下沒有強制的氣流驅動來源，各個因素彼此影響複雜，因此很難有一個絕對的最佳配置，因此本研究除提供在不同狀況下各種幾何條件在數據上的比較與參考外，也將各項因素對於最佳配置的影響簡單整理如下，作為本章之小結。

一如本章開頭所提，如圖 4.18，在自然對流下，驅動力和流阻

是主要影響針狀鰭片陣列散熱流場效能的因素，而在相同物理條件下，散熱面積的增加與溫差的保持則是增進驅動力的主要來源，其中流阻與散熱面積、氣流與發熱面溫差是有交互影響的，因此要產生好的散熱效能就必須在這三個因素之間取得平衡或針對這些因素進行改善。

以間距為例，如圖 4.19，較小的間距雖可以增加散熱面積，但同時也會增加流阻，在原有驅動力較弱的情況下，流阻的增加會使得氣流速度減緩而使得氣流與發熱面溫差減小，反而使驅動力減少，因此須在散熱面積與流阻之間取得平衡，以致在設計上會有最佳間距值。而當  $Ra$  值增加，氣流驅動力較大、速度較大，因而可以克服較大的流阻，因此具有最佳散熱效能的間距會隨著  $Ra$  值增加而減小。

相同的原理也可運用在相同空隙度下直徑的選擇，過小的直徑配置雖然有較大的散熱面積，但由於整體流阻太大，在驅動條件較弱的情況下反而具有較差的散熱效能，而過大的直徑配置雖然流阻很小但是散熱面積也很少，也不會有好的效能，因此在相同的空隙度下有最佳直徑，而隨著  $Ra$  值或空隙度的增加，此最佳直徑會減小。

此外，當遮蔽層與針狀鰭片頂具有一適當距離時，不但可減低流阻，同時也引入較多冷空氣、降低氣流與發熱面溫差，因此有助於散熱效能的增進。而在針狀鰭片的外型選擇上也以散熱表面積較大而流阻較小的鈍角 120 度(修圓角)的針狀鰭片有最好的散熱效能。

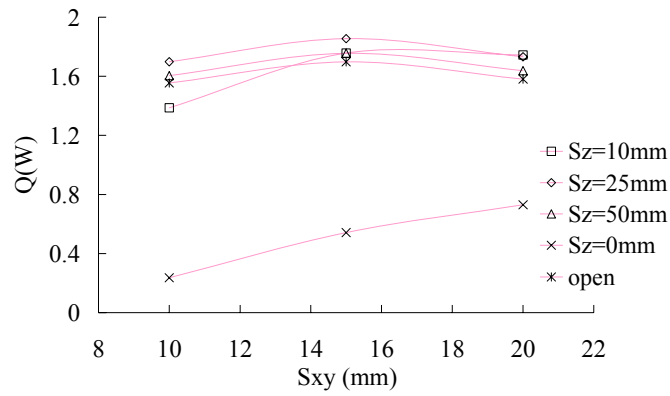
表 4.1 鰭片間距與直徑比例和空隙度之關係

$S_{xy}/D$	D(circle)=2mm		D(circle)=5mm	
	$S_{xy}$ (mm)	Porosity (%)	$S_{xy}$ (mm)	Porosity (%)
2	4	80.37	10	80.37
3	6	91.10	15	90.84
4	8	94.89	20	95.09

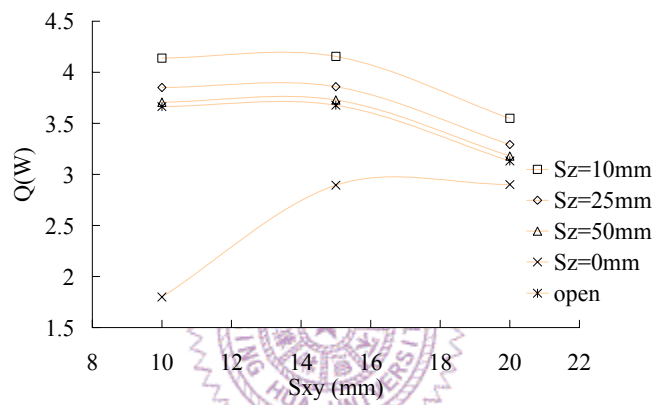
表 4.2 相同特徵直徑之形狀的周長比較

	D (mm)	surface length (mm)
circle	1.77	6.28
square	1.77	7.09
Diamond(90)	1.77	7.09
Diamond(120)	1.77	7.62

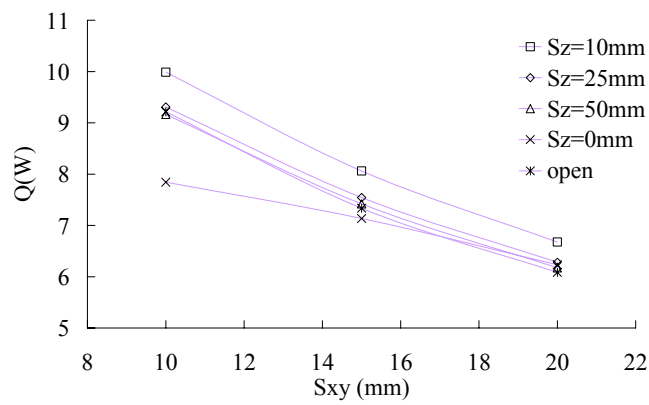




(a)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^5$



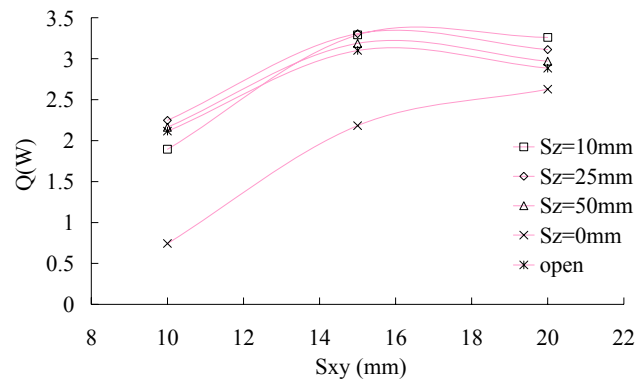
(b)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^6$



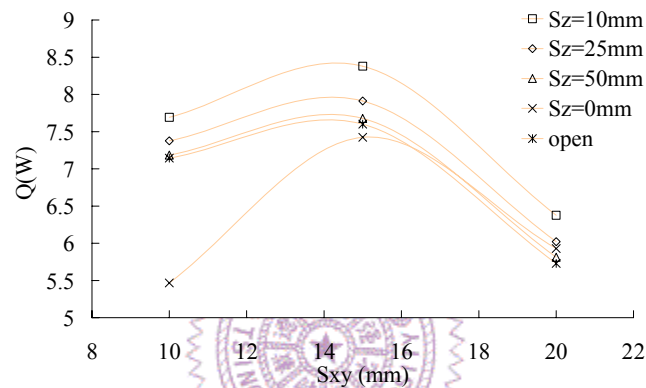
(c)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^7$

圖 4.1 不同配置的對正式直徑 5mm 圓形針狀鰭片散熱效能之比較(1)

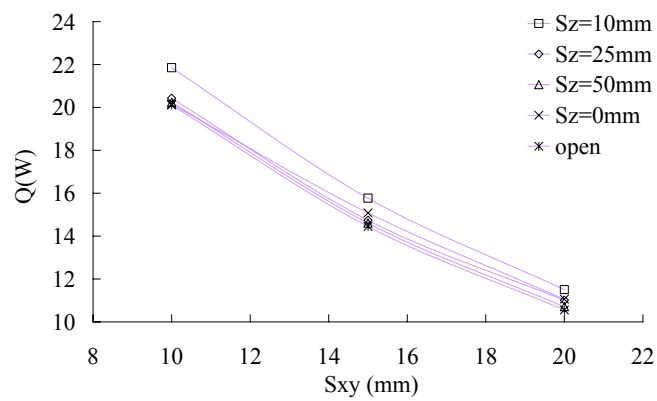




(a)  $H = 25mm$  ,  $Ra = 10^5$



(b)  $H = 25mm$  ,  $Ra = 10^6$



(c)  $H = 25mm$  ,  $Ra = 10^7$

圖 4.2 不同配置的對正式直徑 5mm 圓形針狀鰭片散熱效能之比較(2)

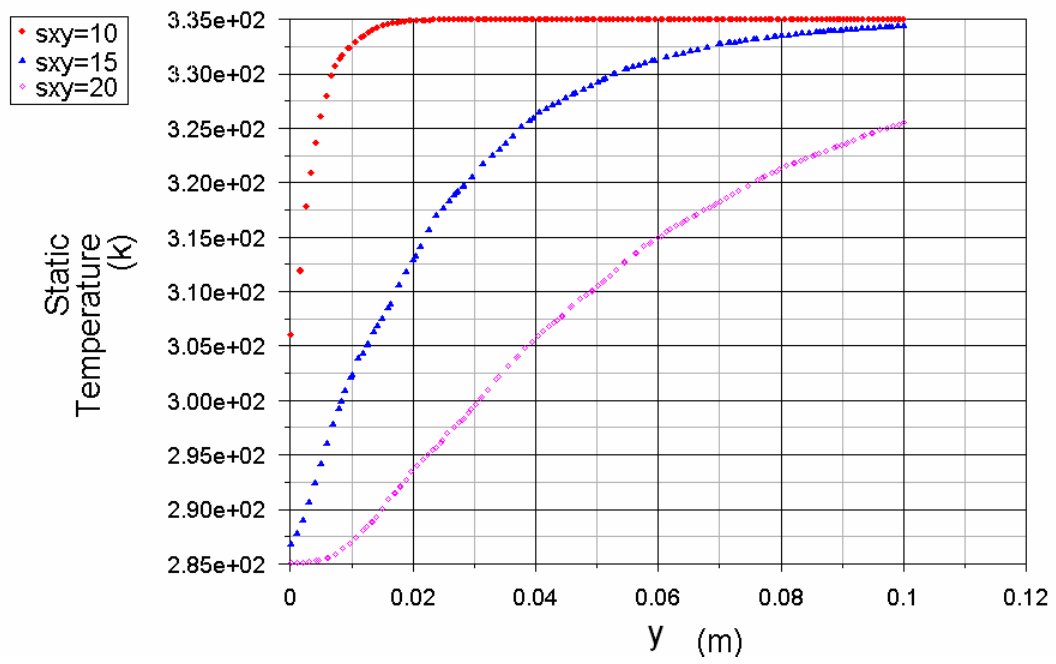
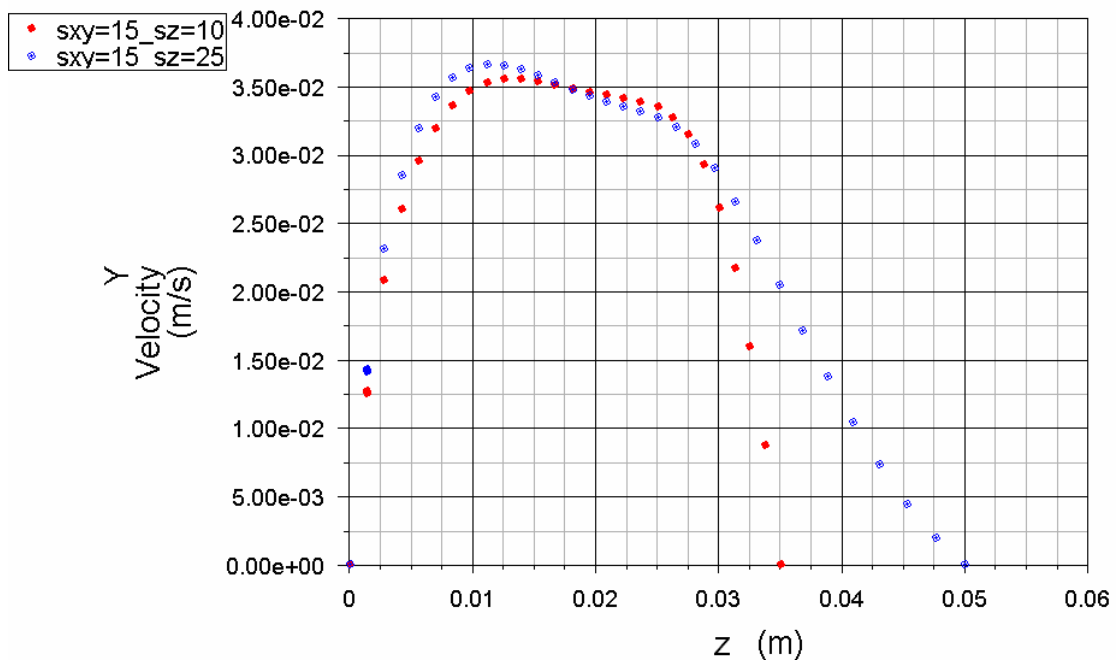


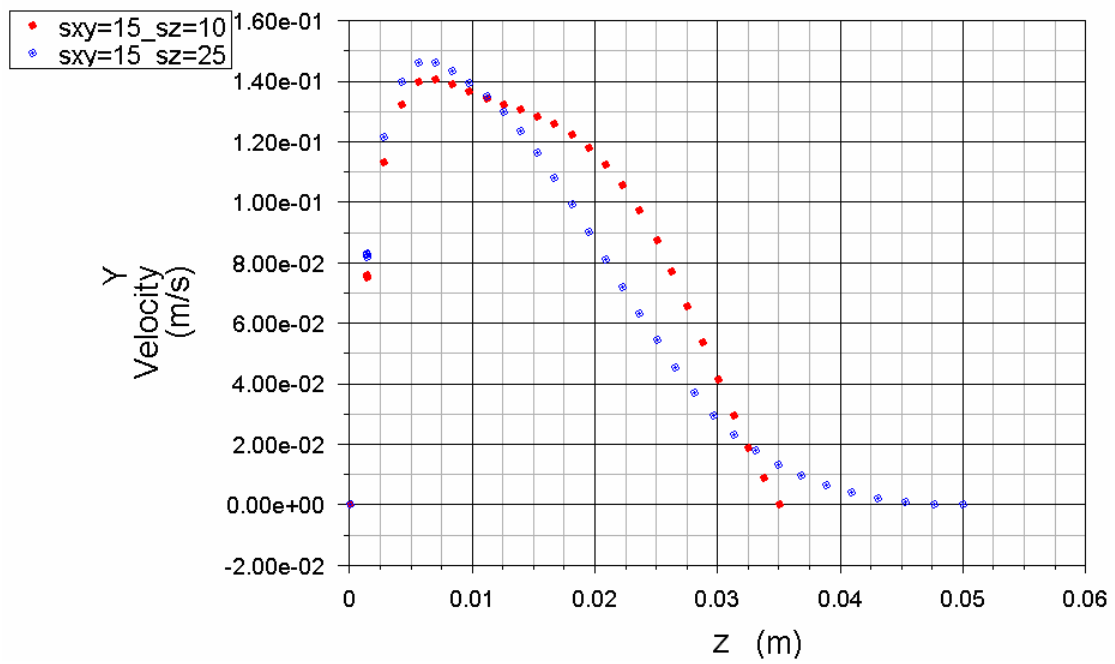
圖 4.3  $Ra=10^5$  時不同  $S_{xy}$  配置之溫度分佈比較

$D=5mm$  ,  $H=25mm$  ,  $S_z=0mm$  , 截線位置 :  $x=S_{xy}/2$  ,  $z=12.5mm$  。





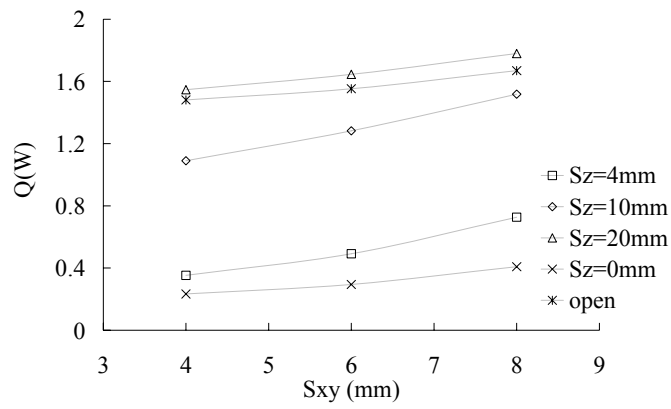
(a)  $Ra = 10^5$



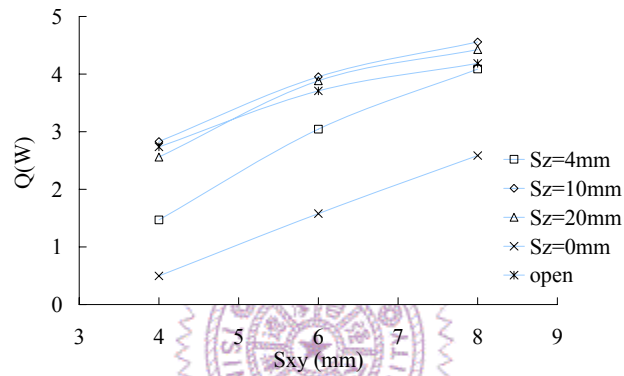
(b)  $Ra = 10^6$

圖 4.4 不同  $S_z$  (10mm, 25mm)配置下之速度分佈：

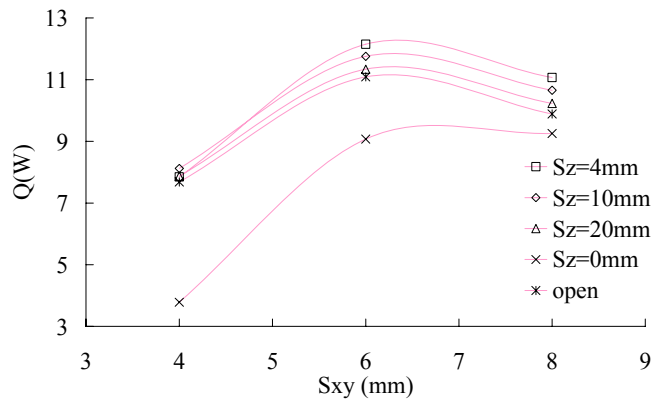
$D = 5mm$  ,  $H = 25mm$  ,  $S_{xy} = 15mm$  , 截線位置： $x = S_{xy}/2$  ,  $y = 80mm$  。



(a)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^5$



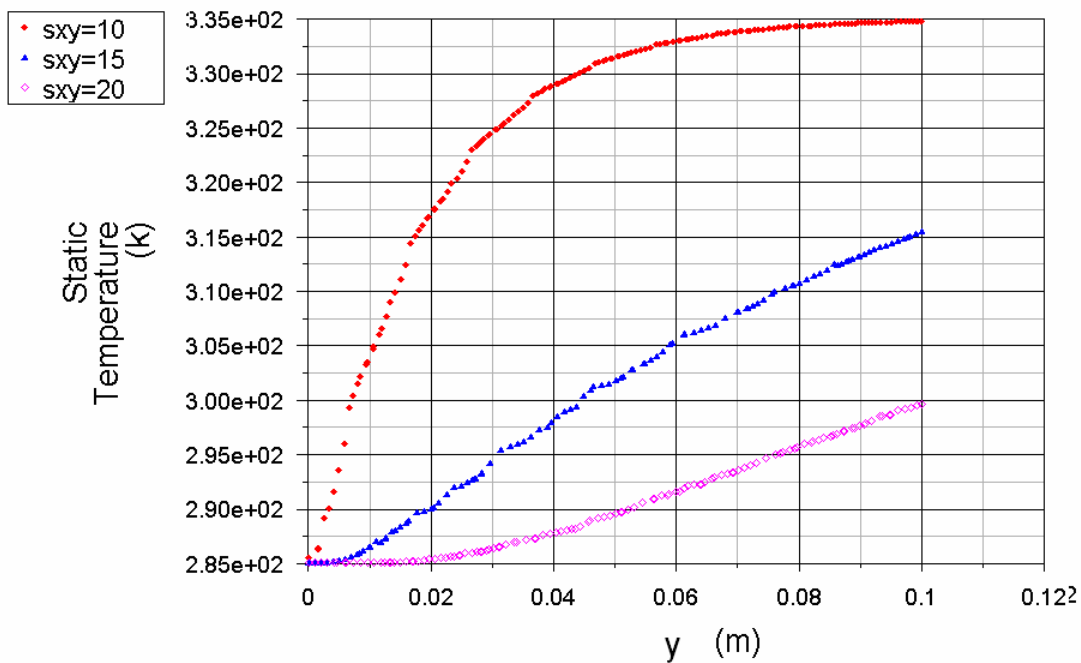
(b)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^6$



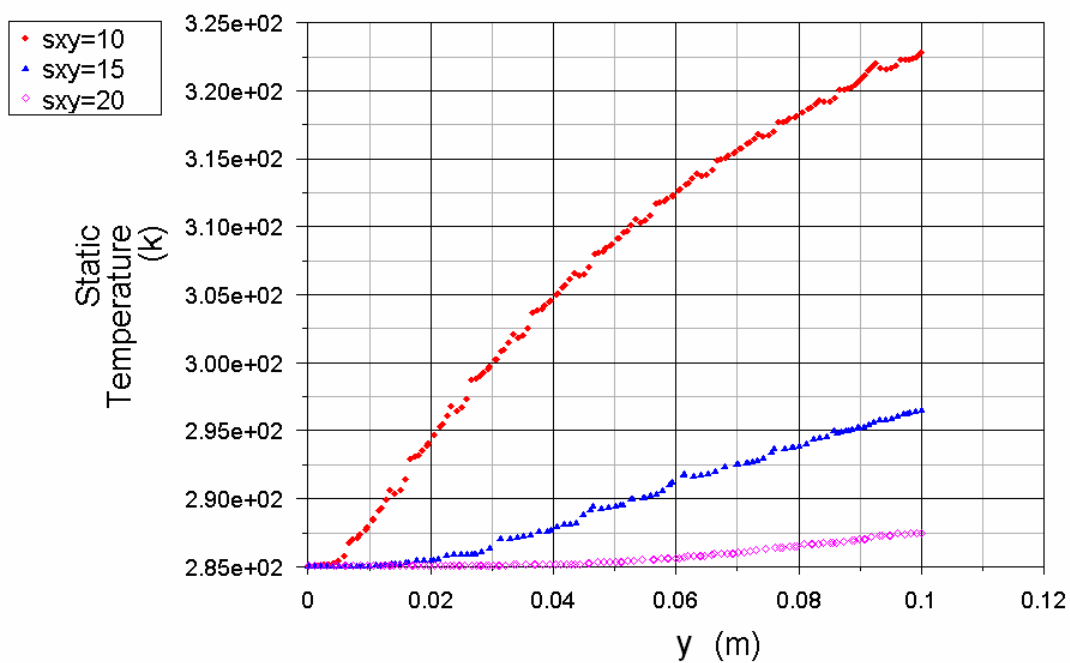
(c)  $H = 10\text{mm}$  ,  $Ra = 10^7$

圖 4.5 不同配置的對正式直徑 2mm 圓形針狀鰭片散熱效能之比較





(a)  $Ra = 10^6$



(b)  $Ra = 10^7$

圖 4.6 不同  $S_{xy}$  配置之溫度分佈比較

$D = 5mm$  ,  $H = 25mm$  ,  $S_z = 0mm$  , 截線位置 :  $x = S_{xy}/2$  ,  $z = 12.5mm$

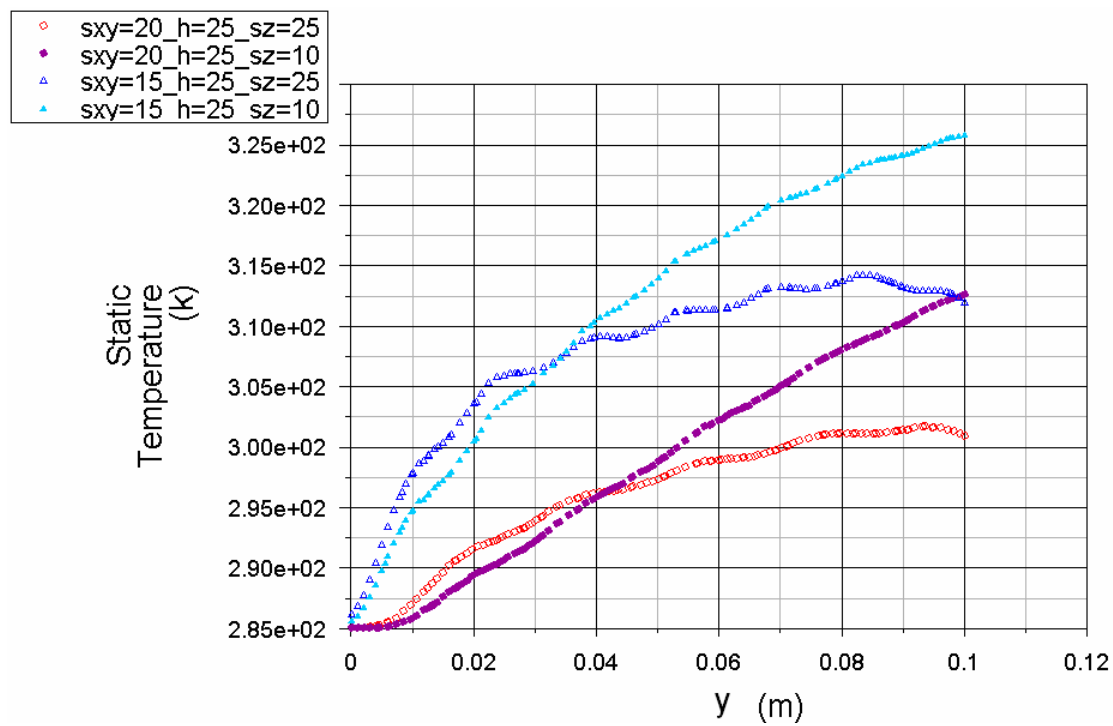
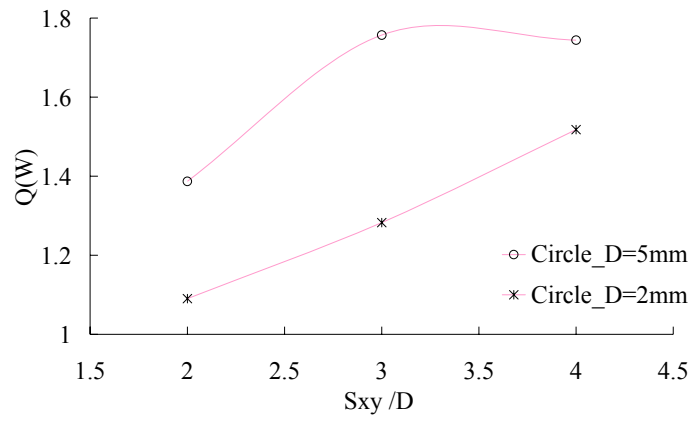
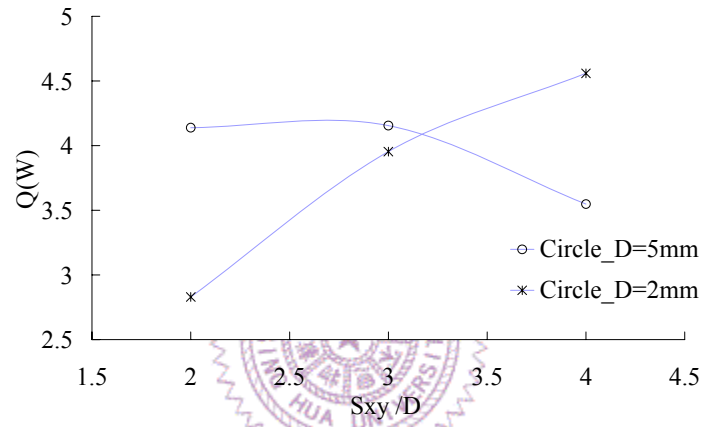


圖 4.7  $Ra = 10^5$  時，不同  $S_z$  與  $S_{xy}$  配置之溫度分佈比較

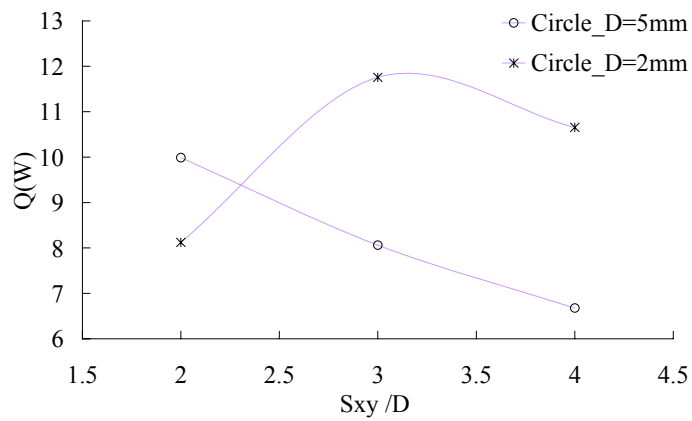
$D = 5mm$ ， $H = 25mm$ ，截線位置： $x = S_{xy}/2$ ， $z = 25mm$ 。



(a)  $Ra = 10^5$



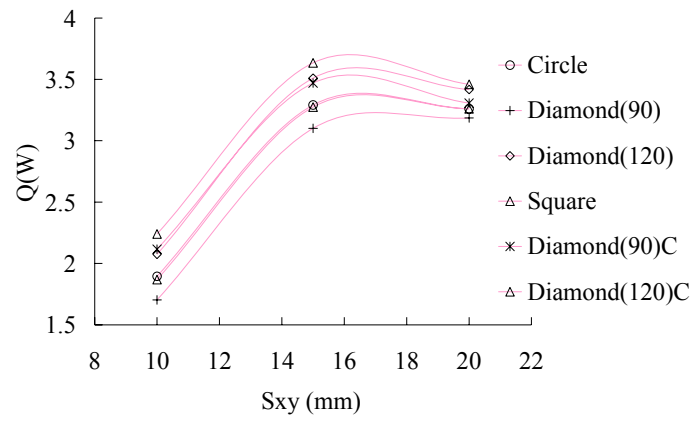
(b)  $Ra = 10^6$



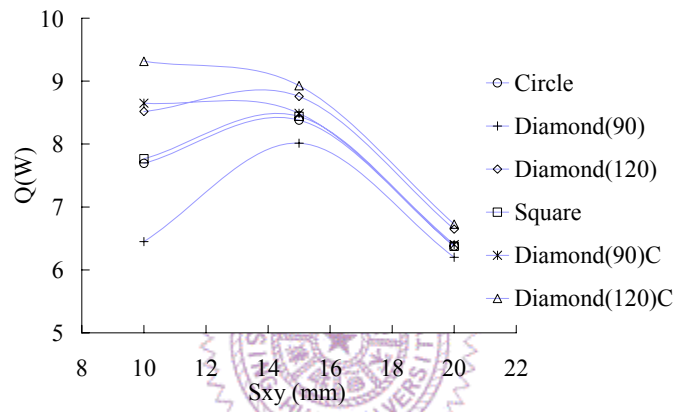
(c)  $Ra = 10^7$

圖 4.8 不同直徑對散熱效能之影響

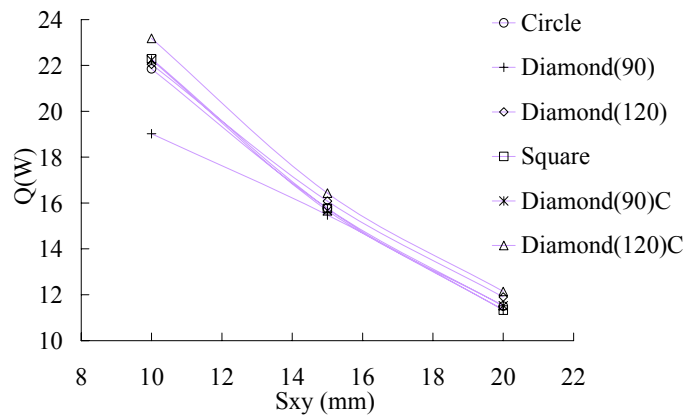
$H = 10mm$  ,  $S_z = 10mm$  。



(a)  $Ra = 10^5$



(b)  $Ra = 10^6$



(c)  $Ra = 10^7$

圖 4.9 不同形狀的針狀鰭片散熱效能之比較(1)

$D(circle) = 5mm$  ,  $H = 25mm$  ,  $S_z = 10mm$  。



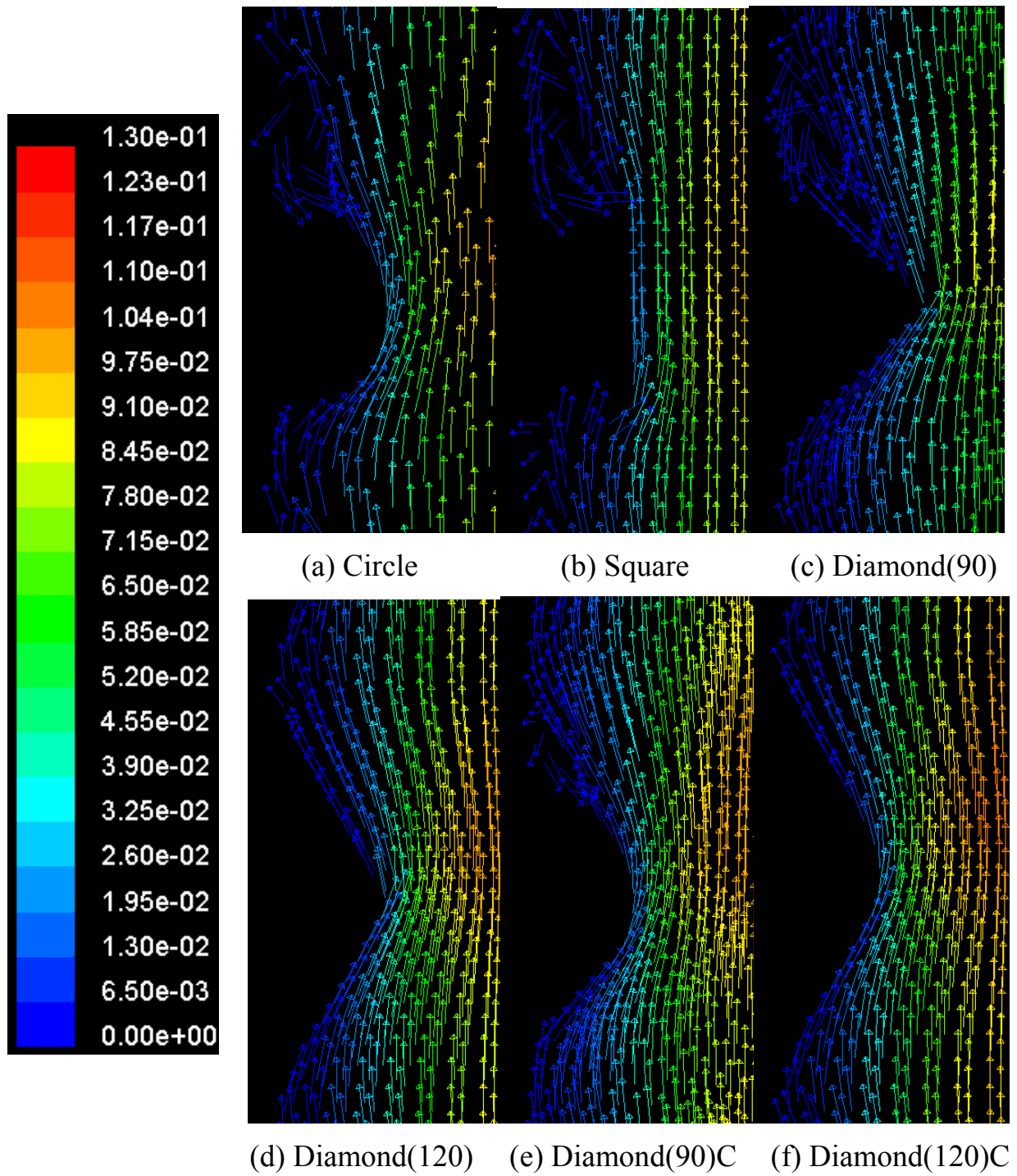
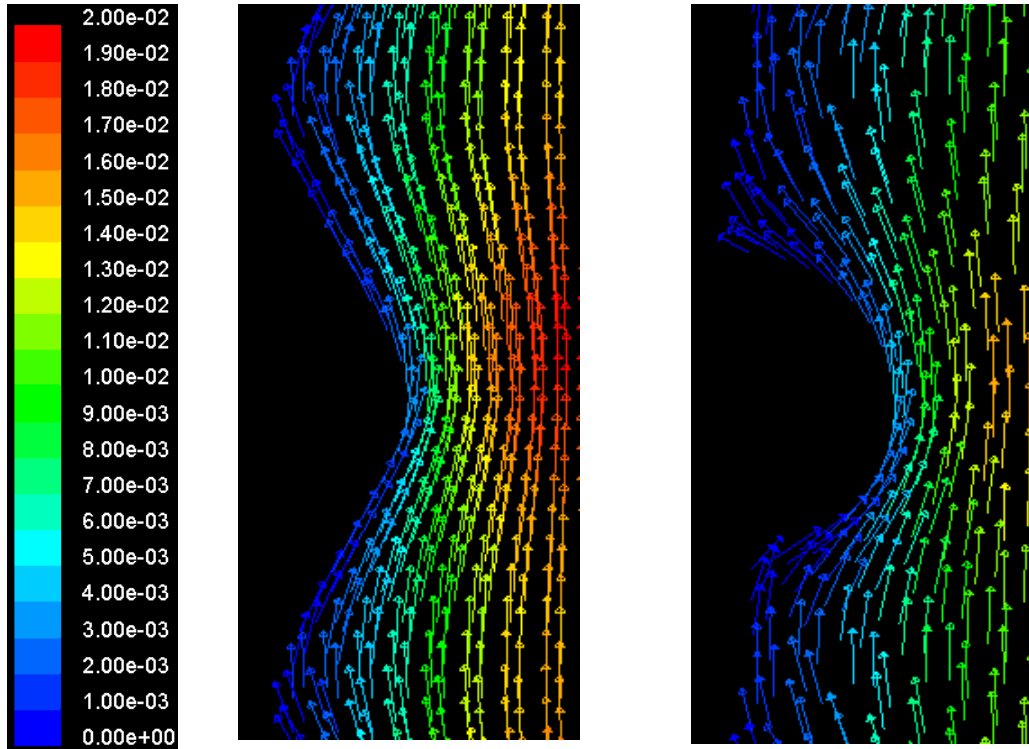
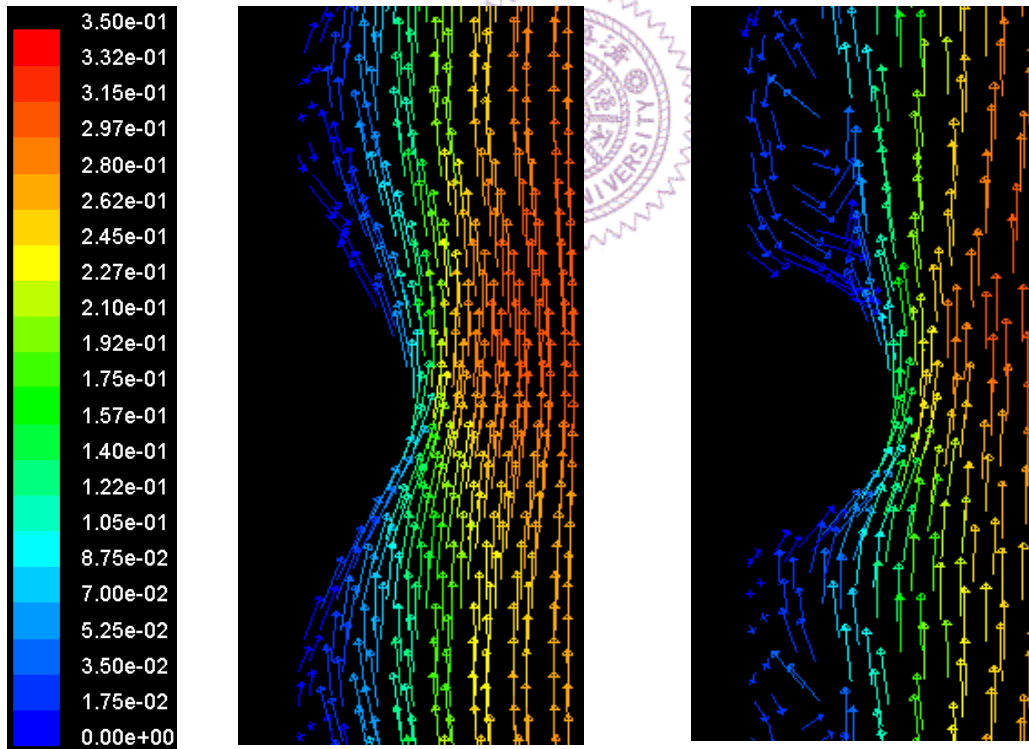


圖 4.10 氣流通過不同形狀之針狀鰭片陣列之速度分佈

$D(circle) = 5mm$  ,  $H = 25mm$  ,  $S_z = 10mm$  ,  $Ra = 10^6$  , 截面位置:  $y \approx 35mm$  ,  $z = 12.5mm$  。



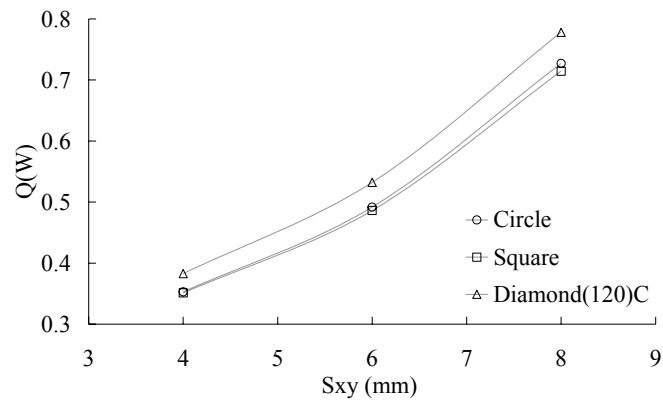
(a)  $Ra = 10^5$  : Diamond(120)C, Circle



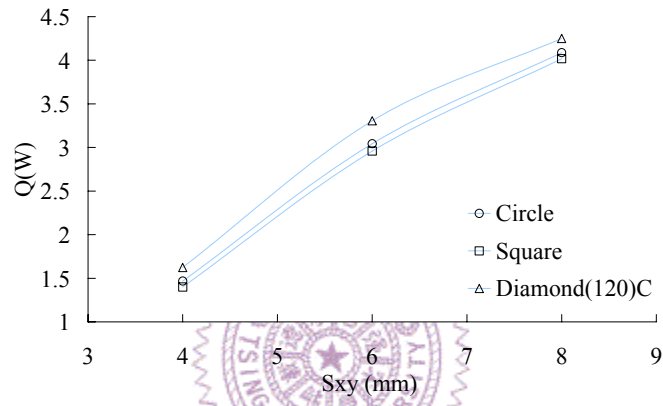
(b)  $Ra = 10^7$  : Diamond(120)C, Circle

圖 4.11 氣流通過不同形狀之針狀鰭片陣列之速度分佈

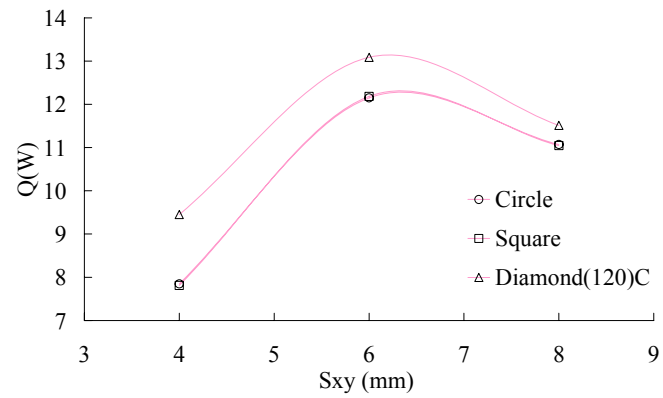
$D(circle) = 5mm$  ,  $H = 25mm$  ,  $S_z = 10mm$  , 截面位置 :  $y \approx 35mm$  ,  $z = 12.5mm$  。



(a)  $Ra = 10^5$



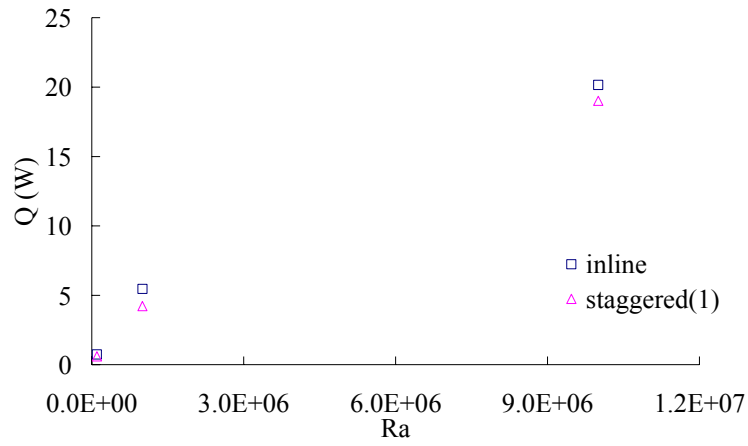
(b)  $Ra = 10^6$



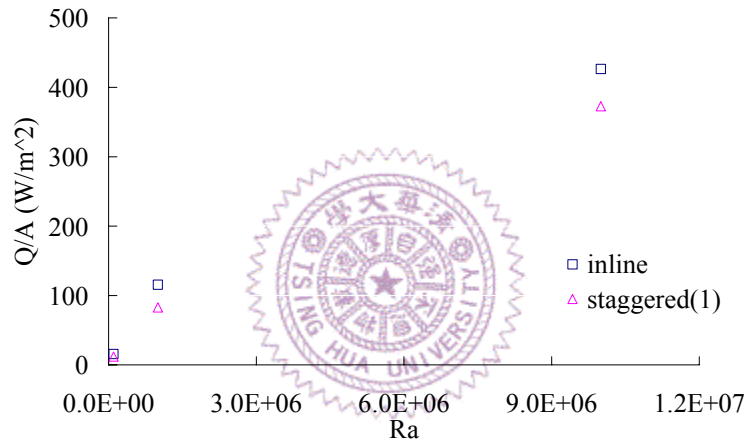
(c)  $Ra = 10^7$

圖 4.12 不同形狀的針狀鰭片散熱效能之比較(2)

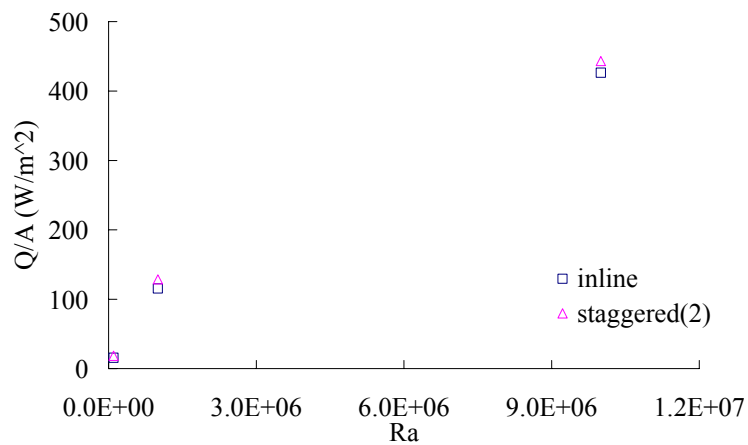
$$D(circle) = 2mm, H = 10mm, S_z = 4mm.$$



(a) 鰭片中心對中心距離=10mm 在不同排列方式下散熱量之比較  
(Zografos et al.[9]所定義之間距)



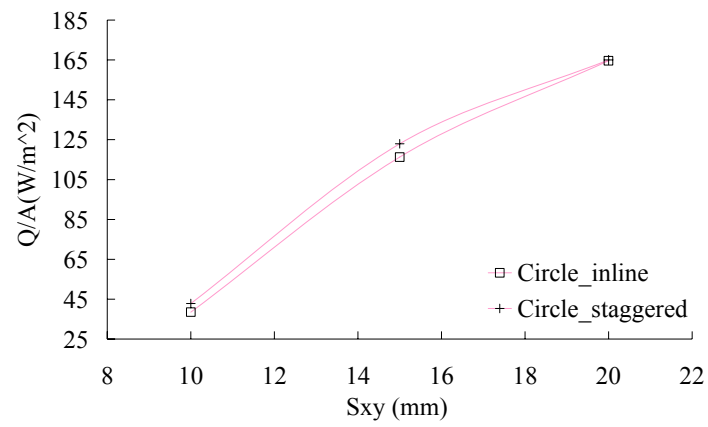
(b) 鰭片中心對中心距離=10mm 在不同排列方式下散熱效能之比較



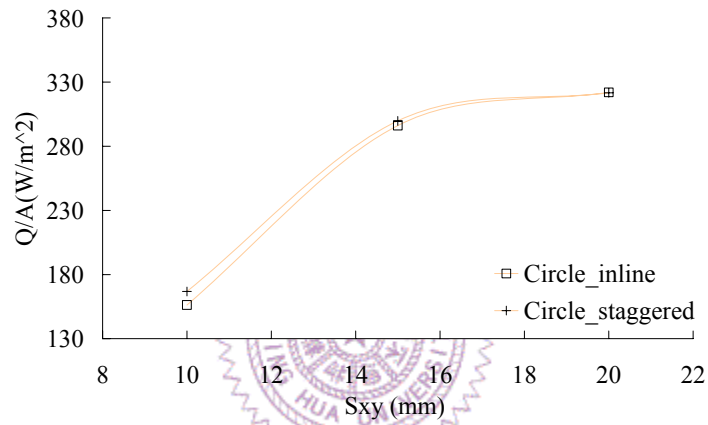
(b)  $S_{xy} = 10mm$  在不同排列方式下散熱效能之比較

圖 4.13 不同間距定義下不同排列方式的圓形針狀鰭片散熱效能比較

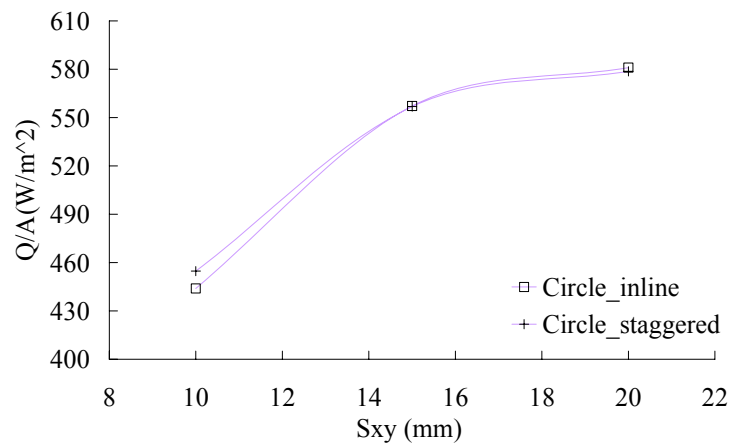
$$D(circle) = 5mm, H = 25mm, S_z = 0mm$$



(a)  $Ra = 10^5$



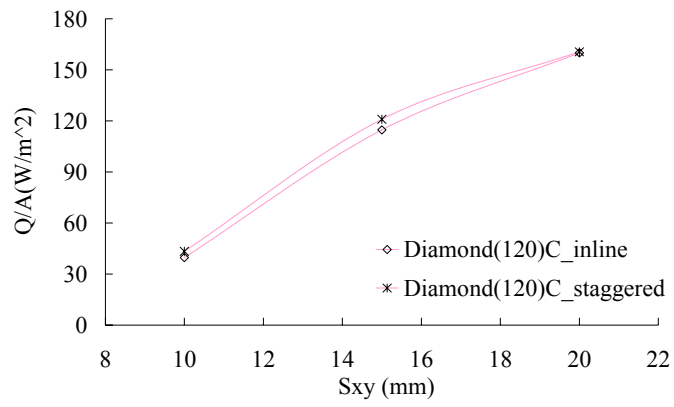
(b)  $Ra = 10^6$



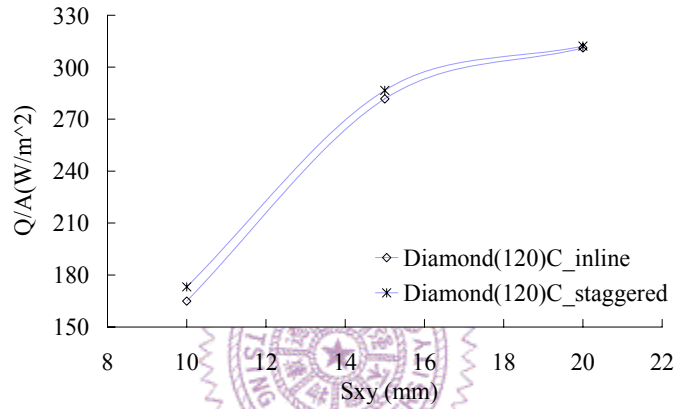
(c)  $Ra = 10^7$

圖 4.14 不同排列方式的圓形針狀鰭片散熱效能之比較

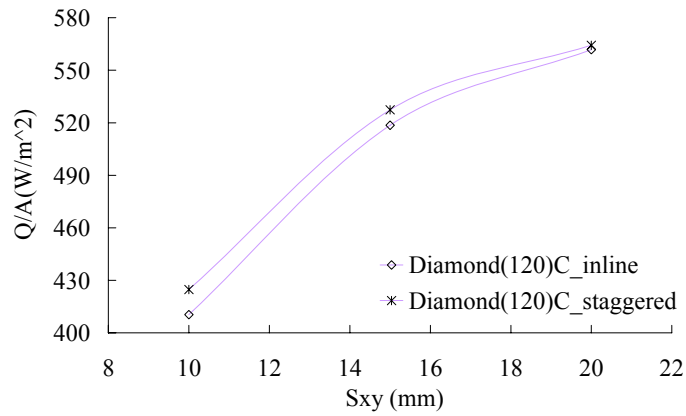
$$D(circle) = 5mm, H = 25mm, S_z = 10mm。$$



(a)  $Ra = 10^5$



(b)  $Ra = 10^6$

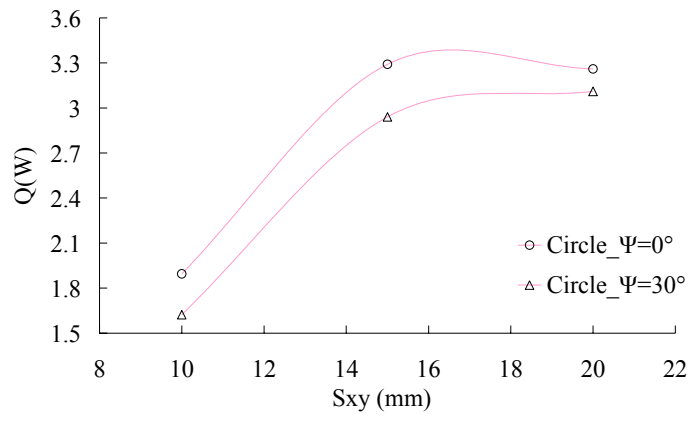


(c)  $Ra = 10^7$

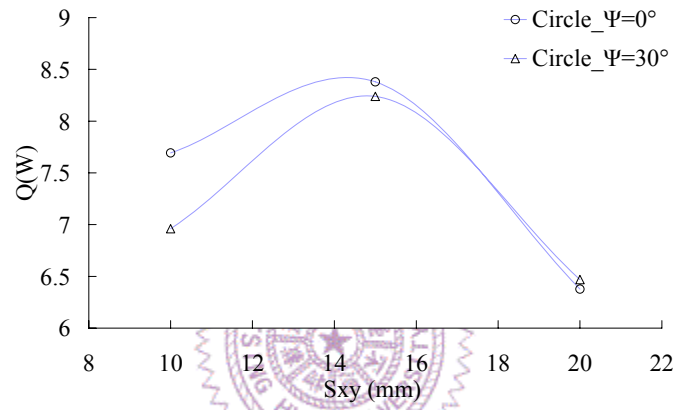
圖 4.15 不同排列方式的鈍角 120 度菱形（修圓角）針狀鰭片散熱效能之比較

$$D(\text{circle}) = 5\text{mm} \text{ , } H = 25\text{mm} \text{ , } S_z = 10\text{mm} \text{ .}$$

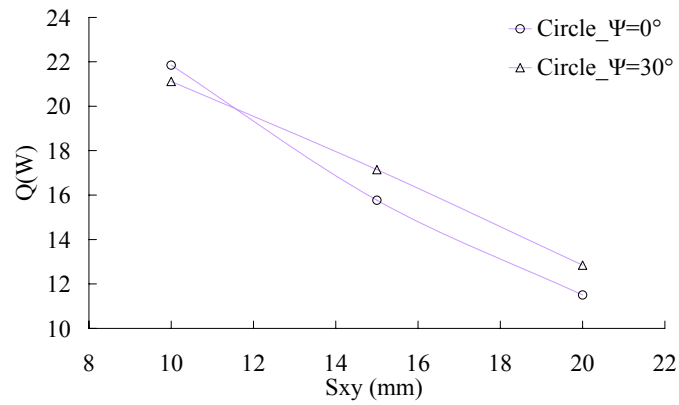




(a)  $Ra = 10^5$



(b)  $Ra = 10^6$



(c)  $Ra = 10^7$

圖 4.16 不同擺設角度的對正式圓形針狀鰭片散熱效能之比較

$$D(circle) = 5mm, H = 25mm, S_z = 10mm$$

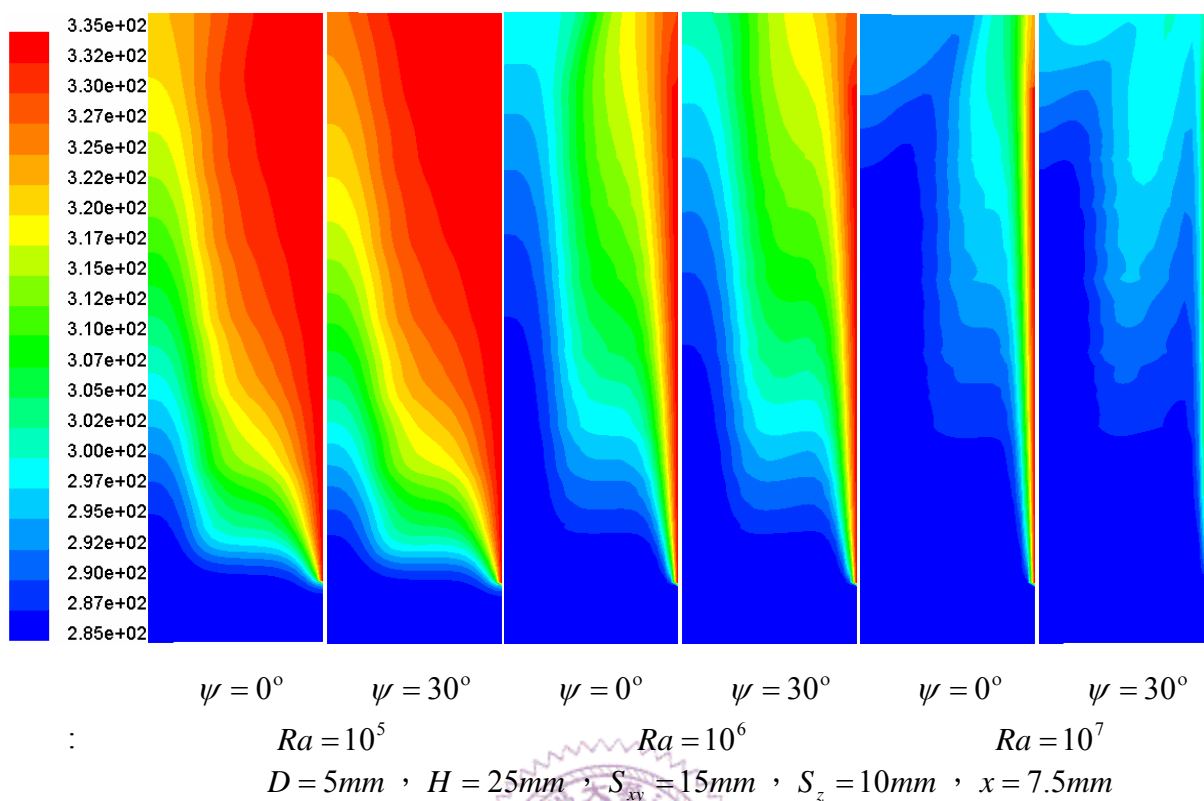


圖 4.17 不同傾斜角度配置流場中心切面的溫度分布比較

