

## 第五章 水平擺設的加熱平板與針狀鰭片陣列之散熱效能

水平擺設的加熱流場是目前應用於自然對流相當廣泛的配置，而且其流場特性不同於垂直擺設的加熱流場，氣流受負壓引入的流向與氣流受熱後產生浮力上升的流向不同使得流場特性具有更大的多變性，因此本研究提出了關於水平擺設之加熱流場（加熱平板或針狀鰭片陣列）之流場特性與效能之探討。

### 5.1 水平加熱平板之散熱效能

#### 5.1.1 水平加熱平板之流場

本研究在水平加熱平板計算的邊界設定如 2.4.4.2 節所述，網格設置則如 3.2.2.1 節中所示。在 3.2.2.1 節中，吾人提及在三維的計算上，由於加熱平板對周圍的氣流是呈放射狀的吸引，隨著與加熱面的距離增加，其流入氣流的橫截面也增加，大量的空氣因壓差自遠處被引入，當氣流往加熱平板接近時會因擠壓而產生局部高壓之情形（如圖 5.1 所示），部分較低溫的氣流被擠到底部的絕熱面而往外流出，亦即在部分入口處存在向外氣流。這類緣於入口面積遠大於加熱物面積而造成的向外氣流在計算範圍的縮減下可漸漸減小甚至消失。經仔細比對，本研究發現若採用不同計算範圍，向外氣流仍發生在接近的位置，可見計算範圍的改變對流場的特性影響不大。

本研究的計算結果也得到 Husar et al.[20]所觀察到的現象，如圖 5.2 所示，氣流會以垂直於平板邊緣的方向進入加熱範圍，兩道彼此垂直的氣流在對角線上相遇，漸受熱而升溫的氣流彼此相撞擊而向垂直於平板的方向浮升，因此在流場中不會有跨越過對角線上的氣流速度。

### 5.1.2 水平加熱板之散熱效能探討

本研究進而計算原長 100mm、寬 100mm、厚 2mm 之正方形平板在不同加熱瓦數下的散熱效能，所得到的結果如圖 5.3 所示。其中在層流流場的假設下，所得到的計算結果與一般實驗整理出的經驗公式落差很大，且接近  $Nu \sim Ra^{1/5}$  的函數關係。Sparrow et al. [21] 曾指出先前的解析解分析得到的都是呈現  $Nu \sim Ra^{1/5}$  的關係，然而在實驗中所得到的經驗公式卻多以  $Nu \sim Ra^{1/4}$  呈現，但並未提出解釋。這使吾人回想到前人的研究結果：前人發現其實在一般定義的層流狀況下，流場已出現擾動或分離等接近於紊流的現象[24]，甚至明顯地同時包含層流與紊流的效應。然而一般文獻中仍把整體的散熱效能所得到的公式定義在層流範圍，因此本研究認為很有可能是因為實驗狀況已包含紊流流場之行為，故僅以層流流場進行計算所得的散熱效能低於實驗所得的經驗公式，這也解決了過去理論分析和實驗結果趨勢不同的問題。

### 5.1.3 紊流對散熱效能的影響

若以層流計算所得的流場粗估在底板輸入瓦數在 500~1000 左右時的最大速度為  $V_{\max} \geq O(10^{-1})$ ，則所得到的  $Re_L \sim O(10^3)$ ，是在可能從層流轉為紊流的區域內。因此本研究試圖將微弱的紊流效應帶入水平加熱板之流場，以期能驗證上節之論點，本研究採用  $k-\varepsilon$  紊流模式，以使接近水平加熱板之流場的擾動程度能接近真實。在  $k-\varepsilon$  紊流模式中，採用的數值方法如前文 2.3.3 節所述，並設定入口與出口的  $k-\varepsilon$  值與對法向量微分為零，如 2.2.4.2 節所述。計算結果發現，加入紊流效應流場隨著進入平板加熱區域，經過一段層流發展區域後，當氣流隨行進方向彼此擠壓、撞擊時， $k$  值開始增加，且隨著高度的增加有更為強烈的趨勢，如圖 5.4 所示，因此散熱效能有明顯的提升，而呈現了  $Nu$  值與  $Ra^{1/4}$  成比例關係的結果（如圖 5.3），且接近於 Fishenden et al. [18] 所提出的經驗公式  $Nu = 0.54 \times Ra^{1/4}$ （註：不同的經驗公式在 1.2.3 節中有說明）。根據以上的觀察發現，在進入平板後一段距離的氣流的確具有紊流效應，故本研究認為過去之經驗公式的確有極大的可能是在一般認定的層流範圍下包含了部份紊流流場所帶來的散熱效果。

## 5.2 水平擺設針狀鰭片陣列之散熱效能

### 5.2.1 水平擺設之針狀鰭片陣列的流場特性

本研究在流場探討上，為便於流場的呈現，僅選擇性針對較小（底板面積 40mm x 40mm）的正方形針狀鰭片陣列作討論，而格點密

度與計算範圍則採經 3.2.2.2 節所測試而得者。計算結果顯示其流場具有最特別的特性便是：當氣流流經針狀鰭片時而產生的迴流區 (wake)，在一般流場會被視為對能量的耗損，但在此處卻不盡然，迴流區會使氣流被保留在散熱鰭片的後方，因而受熱增溫產生浮力、繼續沿著針狀鰭片向上爬升而帶走鰭片上更多的熱量，由圖 5.5 所示，鰭片後方的低速迴流區氣流的方向是平行於針狀鰭片長度方向的，並且因浮力的作用其迴流區範圍較小。此外，吾人亦發現流經針狀鰭片的流場會隨著鰭片的位置有很不同的特性，依流場的對稱性本研究將鰭片標號，如圖 5.5(a)所示：編號 1 的鰭片由於處在對角線的最外側，因此氣流就如同流經一個菱形的鰭片，而因為兩側的氣流相當的強勁，所以鰭片後方邊界層被壓的很薄，幾乎看不出回流，因此該鰭片的後方有較好的散熱效能（如圖 5.6(a)）。而編號 2 的鰭片再前端碰到的氣流就如一般正方形一樣、具有很大的阻力，垂直於底板邊緣的氣流撞到鰭片後分開，沿著側緣繞到了鰭片後方，這時靠近對角線的氣流因為對稱而沿著對角線方向行進，因此壓制了鰭片後方迴流區的形成。而在編號 3 的鰭片則較類似於一般正方形的加熱體，有著較大的迴流區，但是由於沿著對角線方向的氣流持續發展壓制了兩側的氣流，因此鰭片後方仍有一些斜向的低速氣流出現。而編號 4 的鰭片其前端受到從編號 1 與編號 2 鰭片間通過的高速氣流，故有比編號 1 鰭片更薄的邊界層，而其後方的迴流區則受到通過編號 2 編號 3 鰭片的高速氣流壓制，因此尾流區也很小，但是因為通過編號 4 鰭片的氣流已經通過過其他鰭片了，因此其散去的熱通量並沒有很大。編號 5 的鰭片在前端由斜向氣流流經，具有較小的流阻，而後端則有對角線方向的氣流壓制可減小

迴流區，但由於氣流速度較慢對於迴流區的壓制效果不如編號 2 的鰭片，且由於氣流溫度較高所以散熱的效果已經不如前述的鰭片。編號 6 的鰭片雖然是像菱形鰭片受到氣流通過的情形，但是由於氣流已經通過了那麼多鰭片，耗去了大量的動能而吸收了大量的熱量，至此低速而高溫的氣流對於編號 6 的鰭片已無太多的散熱效果。

而當針狀鰭片間距更窄時（如圖 5.6(b)所示），氣流在通過鰭片不僅要克服鰭片的阻力、且須經過不斷的轉折而造成驅動能量的損失，而當氣流通過太多鰭片後受熱升溫，對於之後流經的鰭片基本上已不具有散熱效能。因此間距較窄的配置雖然有較大的散熱面積，但就流場本身的散熱效能（平均熱對流係數）而言，卻不會有較好的效益。



## 5.2.2 水平擺設之針狀鰭片陣列的散熱效能

### 5.2.2.1 相同鰭片長度下改變幾何配置對效能的影響

本研究在效能的探討上採用底板原長為 100mm 的正方形底板之正方形針狀鰭片陣列，針狀鰭片長度皆採用 10mm，在邊長 2mm 的正方形針狀鰭片採用間距 10mm、7mm、5mm 的配置，而在邊長 4mm 正方形針狀鰭片採用間距 10mm 的配置進行散熱效能的探討。

在邊長 2mm 的正方形針狀鰭片陣列之計算上，本研究採用和 Huang et al.[14]相同的幾何配置比較相同底板均勻熱通量時其底板溫度與室溫之差距。然而本研究計算得到結果與其實驗結果約有 13~35%的差距，且在相同的加熱瓦數下，本研究與前人所得到的底



板溫度差距範圍約在 9~13K 以內，結果如圖 5.7 所示。

而在相同大小的針狀鰭片下，計算得到如之前流場探討時所論述的結果，如圖 5.8 所述，就以流場效能（平均熱對流係數，以加熱總瓦數和總散熱表面積的比例定義之。）來討論時，以間距為 10mm 的正方形鰭片配置具有最好的流場表現，但是實際運用中散熱效能的優劣仍取決於實際散熱量的大小與溫度差之關係（熱阻，定義為底板與環境空氣間的熱阻。）。然而在以熱阻大小論散熱效能時，由於間距 7mm 具有較大的散熱面積（ $S_{xy}=7\text{mm}$  的配置表面積比  $S_{xy}=10\text{mm}$  多出 42.6%），且  $Ra_L=O(10^6\sim 10^7)$ ，故流場具有相當的驅動力，反而具有較佳的效能。然而當間距過窄的時候（ $S_{xy}=5\text{mm}$ ），如同上節所提，過窄的間距在底板水平擺設下使得原本就比較弱的驅動力被過大的流阻消耗的極快，而往往僅有外緣的針狀鰭片具有散熱效能；因此，在該間距下，其平均對流細數遠小於前兩者，廣大的散熱面積也多處於無用的狀態，故在熱阻的表現上也比前兩者差。

而在相同間距的配置下改變直徑大小的影響，如圖 5.9 所示，本研究發現在以熱阻做為比較基準時，較大的針狀鰭片有較小的熱阻，而在以熱對流係數作為比較基準時，發現較小的針狀鰭片反而具有較好的效果。可見較大的針狀鰭片陣列雖然流阻較大、在散熱流場上較具劣勢，但由於散熱面積的增加（ $D=4\text{mm}$  的配置表面積比  $D=2\text{mm}$  多出 44%），因此總體散熱效能反而具有較大的優勢。

而在相同空隙度的配置下，如圖 5.10，研究發現較小的針狀鰭片配置由於鰭片較密、流阻較大，因此在平均熱對流係數的比較上

遠遜於較大直徑的針狀鰭片，但由於其散熱面積較大，因此在流阻的比較上較小的鰭片配置並沒有落後較大的鰭片配置太多，這可以和第四章中得到的結果相呼應----對於流阻牽制流場較嚴重（如較低的  $Ra$  值，或如同現在底板水平擺設、較缺乏驅動力時）的情況下，較大直徑的針狀鰭片會由於具有較好的流場特性而具有較好的散熱效能。

研究也發現  $D=4\text{mm}$ 、 $S_{xy}=10\text{mm}$  的配置和  $D=2\text{mm}$ 、 $S_{xy}=7\text{mm}$  的配置有相近的散熱面積，因此將兩者的散熱效能做了比較，結果發現兩者的散熱效能差距並不大，這與 Sparrow et al. [7] 的結果相同，但  $D=2\text{mm}$ 、 $S_{xy}=7\text{mm}$  的配置有略小的熱阻，如圖 5.11 所示。由此，本研究也發現在散熱效能與幾何條件的關係上，在相同的散熱面積下，散熱效能差異不大，顯示散熱面積可能比空隙度更適合做為探討幾何條件對散熱效能影響之重要參數。

#### 5.2.2.2 鰭片長度對散熱效能的影響

由於在底板水平擺設的情況下，氣流受熱後產生的浮力沿著鰭片長度方向行進，所以改變鰭片長度可以明顯改變散熱效能，因此在  $D=4\text{mm}$ 、 $S_{xy}=10\text{mm}$  的配置和  $D=2\text{mm}$ 、 $S_{xy}=7, 10\text{mm}$  的配置比較不同鰭片長度( $H=10, 20, 30\text{ mm}$ )的散熱效能。

圖 5.12 比較  $D=2\text{mm}$  下  $H=10\text{mm}$  與  $H=20\text{mm}$  時的效能，結果顯示在不同間距  $S_{xy}$  時都有熱阻減少且平均熱對流係數增加的趨勢。圖 5.13 比較  $D=4\text{mm}$ 、 $S_{xy}=10\text{mm}$  下， $H=10\text{mm}$ 、 $H=20\text{mm}$  與

H=30mm 時的效能。結果仍有熱阻減少且平均熱對流係數增加的趨勢，但增幅隨鰭片長度 H 增加而減小。此外，也發現原本間距過大而效能較差的配置隨著鰭片長度的增加，其散熱效能相對於間距較窄的配置略有提升（其中以平均熱對流係數的提升較為明顯），此乃因鰭片長度的增加改善了原本間距過大的配置散熱面積過小的問題。

此外，如圖 5.14 所示，同為 H=20mm 的配置下，結果仍如上節所提：相近散熱面積有接近的散熱特性。但是當鰭片高度不維持固定時，D=4mm、 $S_{xy}=10\text{mm}$ 、H=20mm 的配置和 D=2mm、 $S_{xy}=5\text{mm}$ 、H=10mm 的配置雖有相同的散熱面積，散熱效果卻有顯著差異，如圖 5.15 所示。換言之，上述「相近散熱面積有接近的散熱特性」是必須限制在相同的鰭片長度下的，這也確立了散熱效能的主要影響參數除了散熱面積外，也應考慮鰭片長度所帶來的影響。

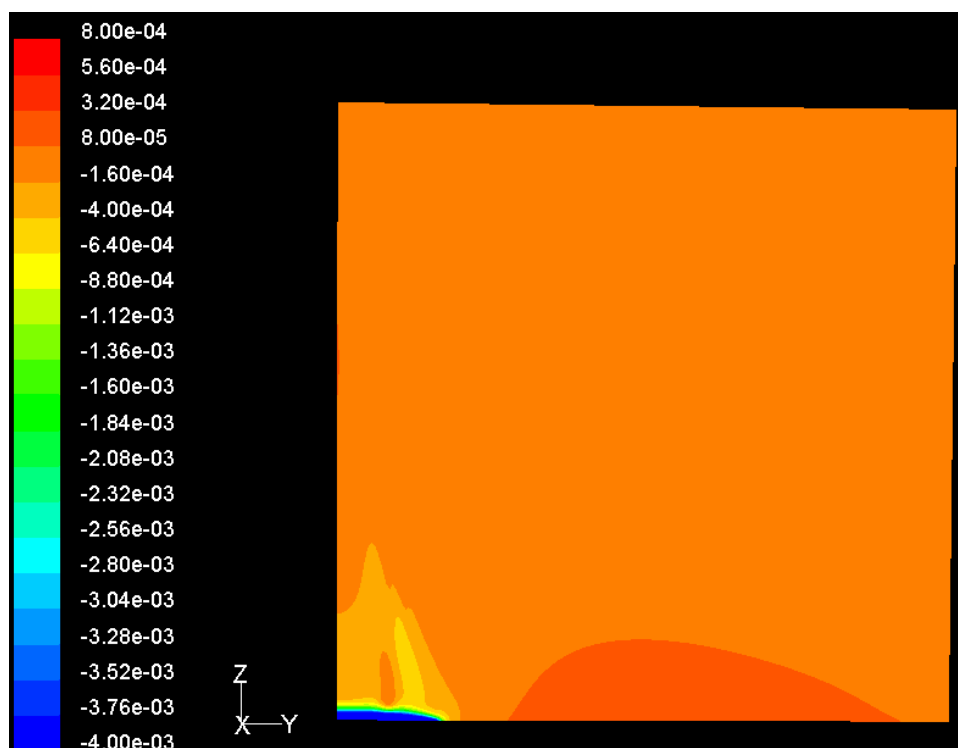
### 5.2.3 小結

延續 4.8 節所提，在底板水平擺設之配置下，散熱效能仍取決於散熱面積、流阻、氣流與發熱面溫差三者相互影響的效應，且在水平擺設的情況氣流受熱後產生浮力而減少繼續通過較內側針狀鰭片的驅動力，因此與底板垂直擺設的狀況相比，流阻的影響就更為明顯。而根據本研究所模擬的結果，最佳的間距和直徑也都是趨向於減少流阻而非增加散熱面積，可見流阻的影響的確較為明顯。此外研究也發現由於氣流受熱後往上走，會使得針狀鰭片的長度大小有較為重要的影響，隨著針狀鰭片長度的增加效能也會有明顯的改

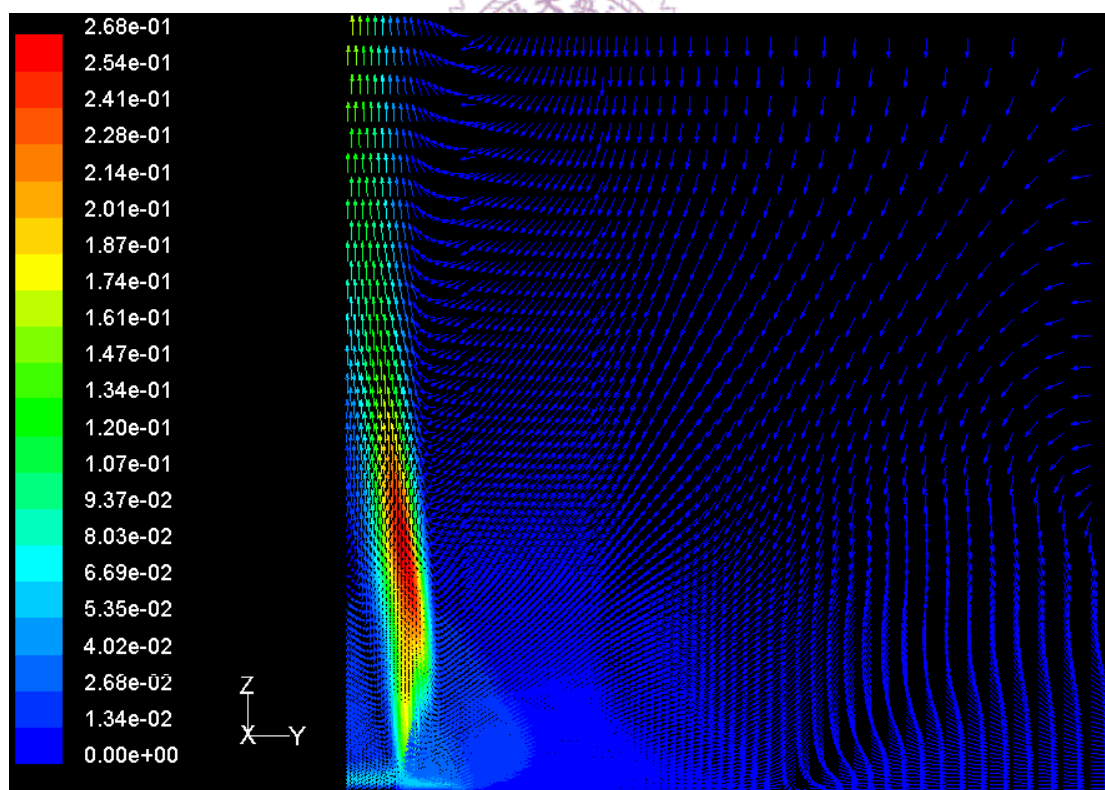


善，尤其以間距較大而散熱面積較小的配置最為明顯，而原本間距較小而散熱面積較大的配置則因流阻增加，對驅動力的提升較不明顯。





(a) 壓力分布(單位：Pa)



(b) 速度分布(單位：m/s)

圖 5.1 水平加熱平板周圍流場分布圖

$Ra = 1.06 \times 10^7$ ，截面位置：x=0.025m

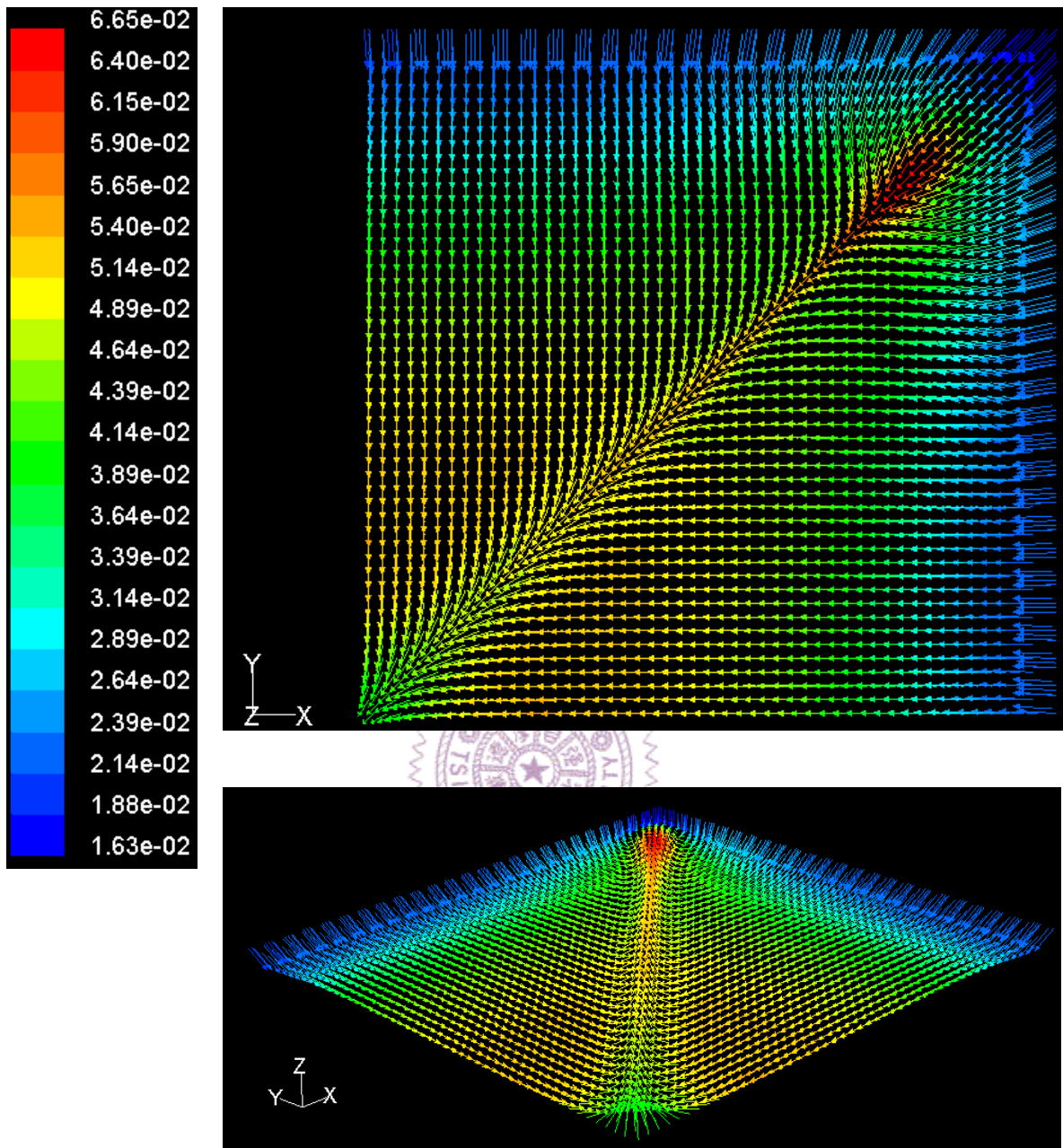


圖 5.2 水平加熱板上方部份流場速度分布圖(單位：m/s)

$Ra = 5.65 \times 10^6$ ，截面位置： $z=0.005\text{m}$

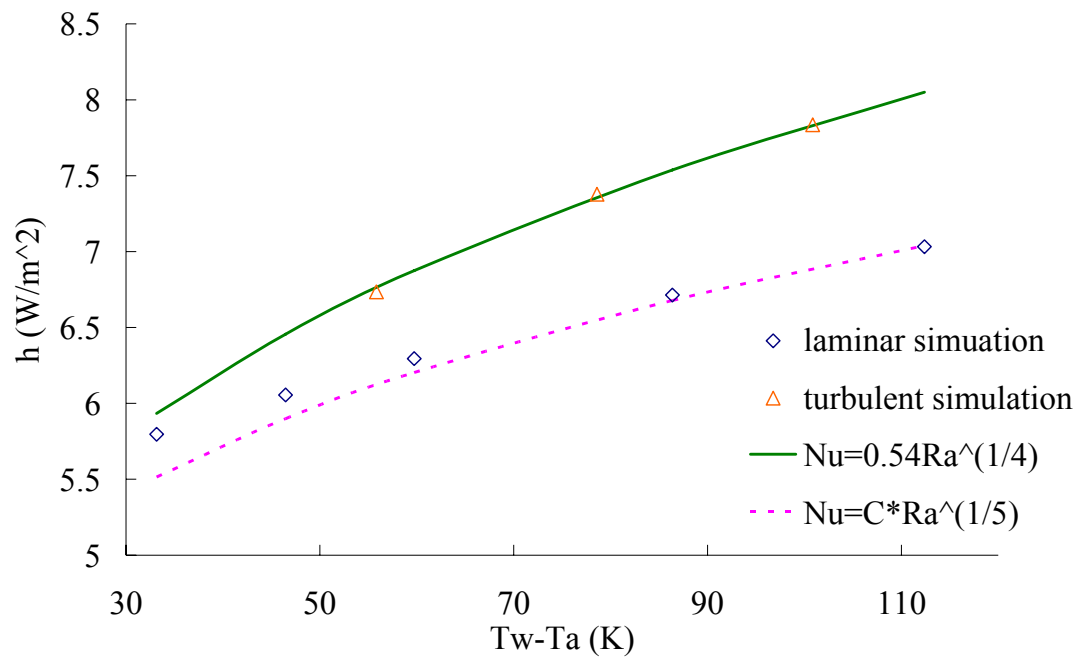


圖 5.3 長 100mm 之正方形水平加熱平板在層流流場、紊流流場的計

算結果與經驗公式之散熱效能比較



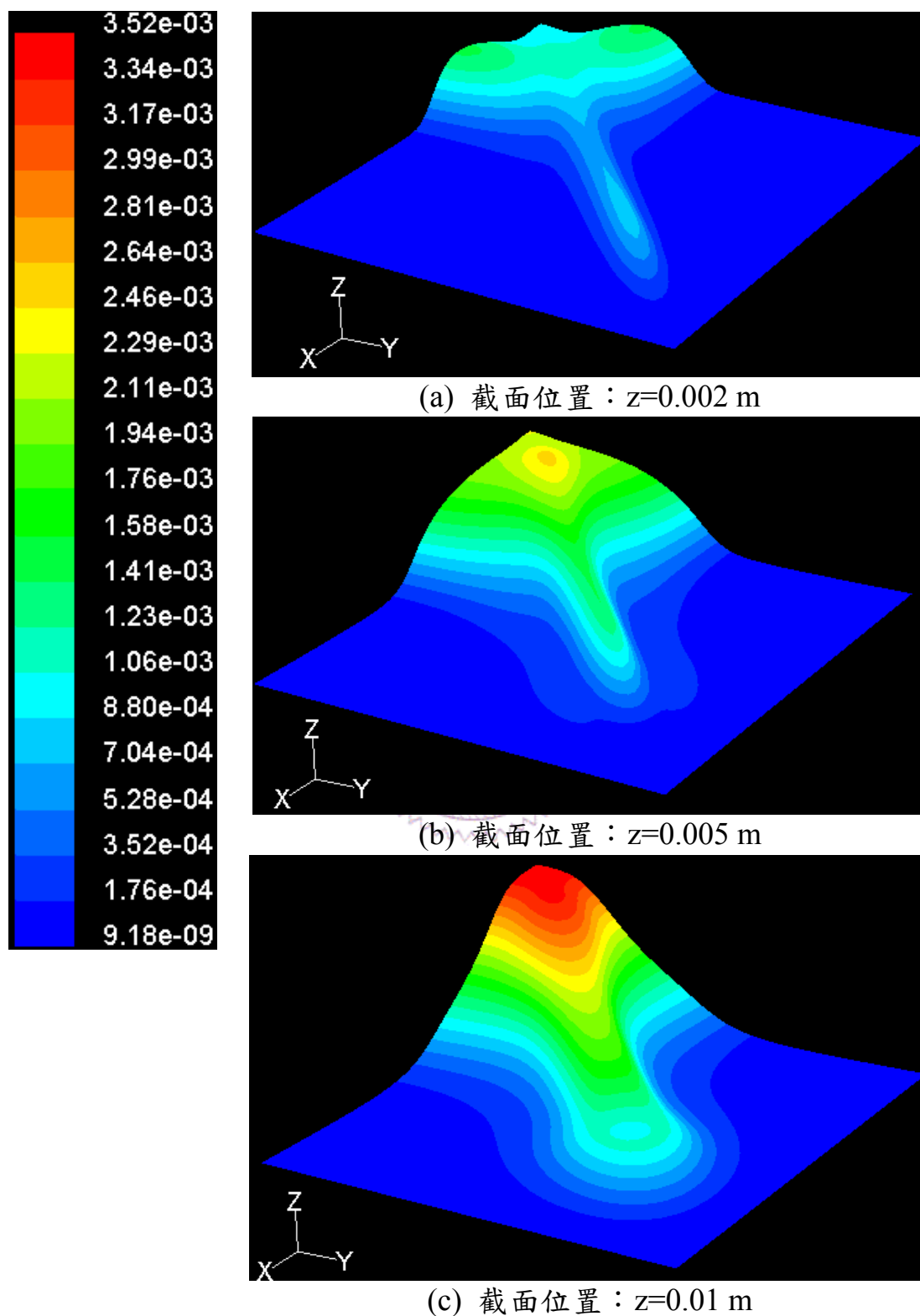
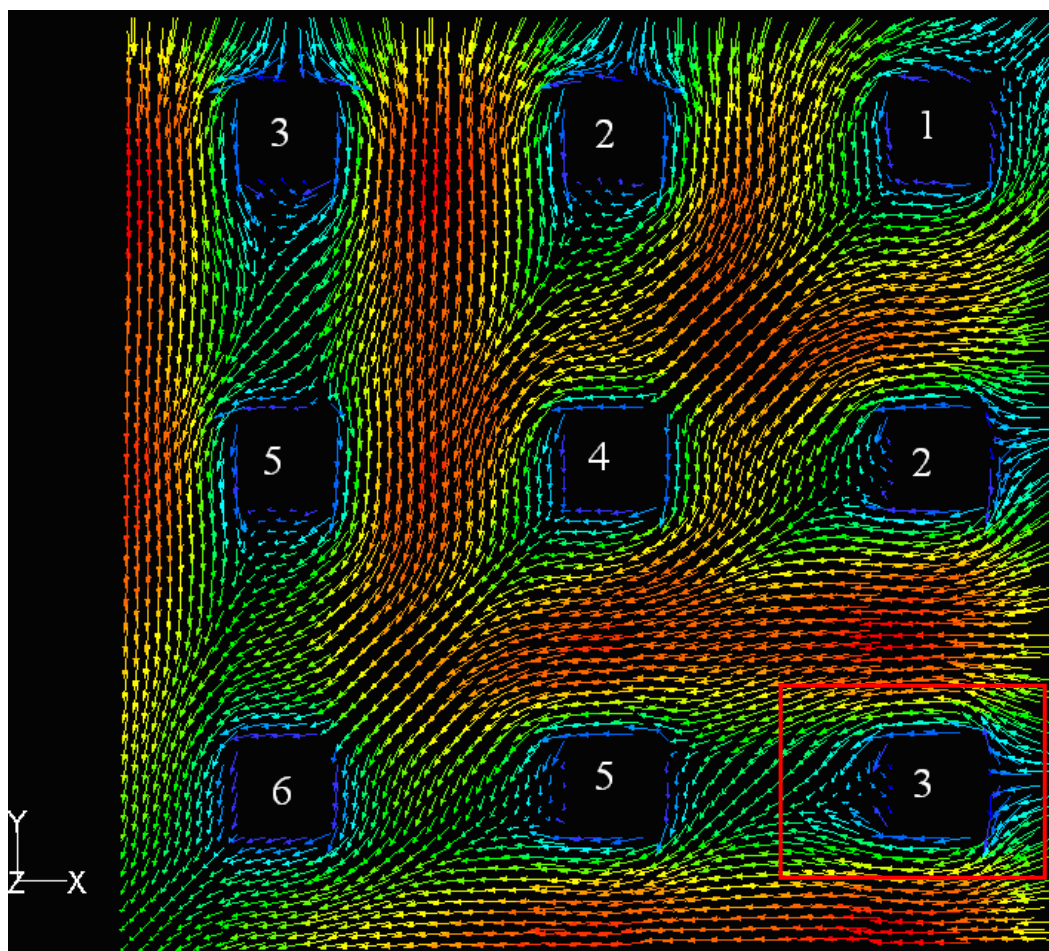


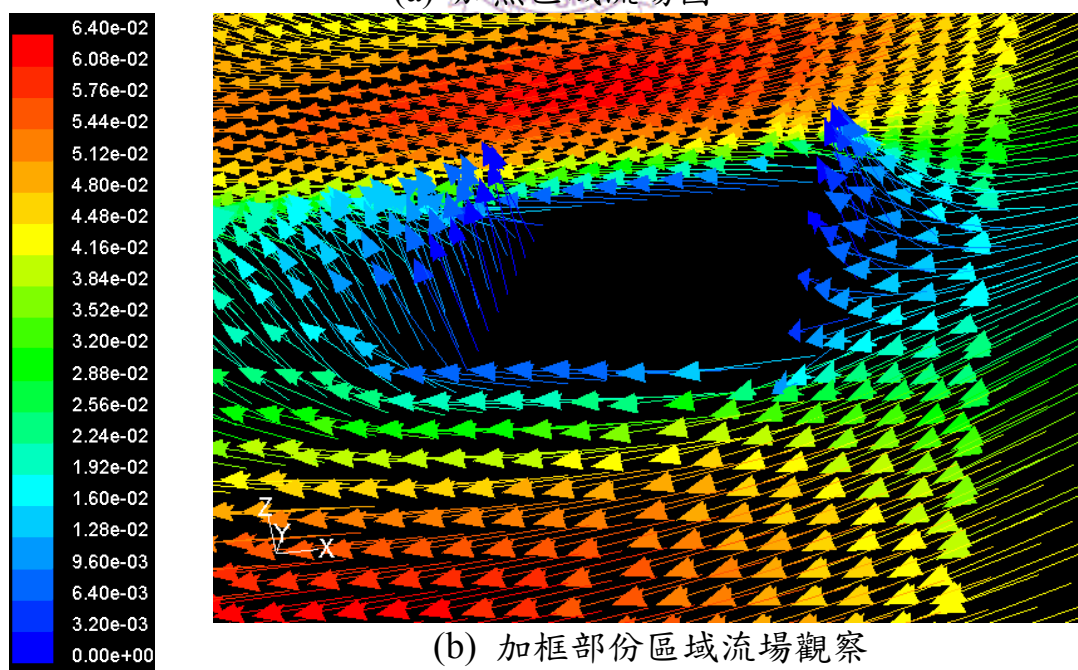
圖 5.4 氣流通過水平加熱平板上方時  $k$  值的變化

$z$  方向表  $k$  值 (單位:  $m^2/s^2$ )  $Ra = 9.56 \times 10^6$ 。





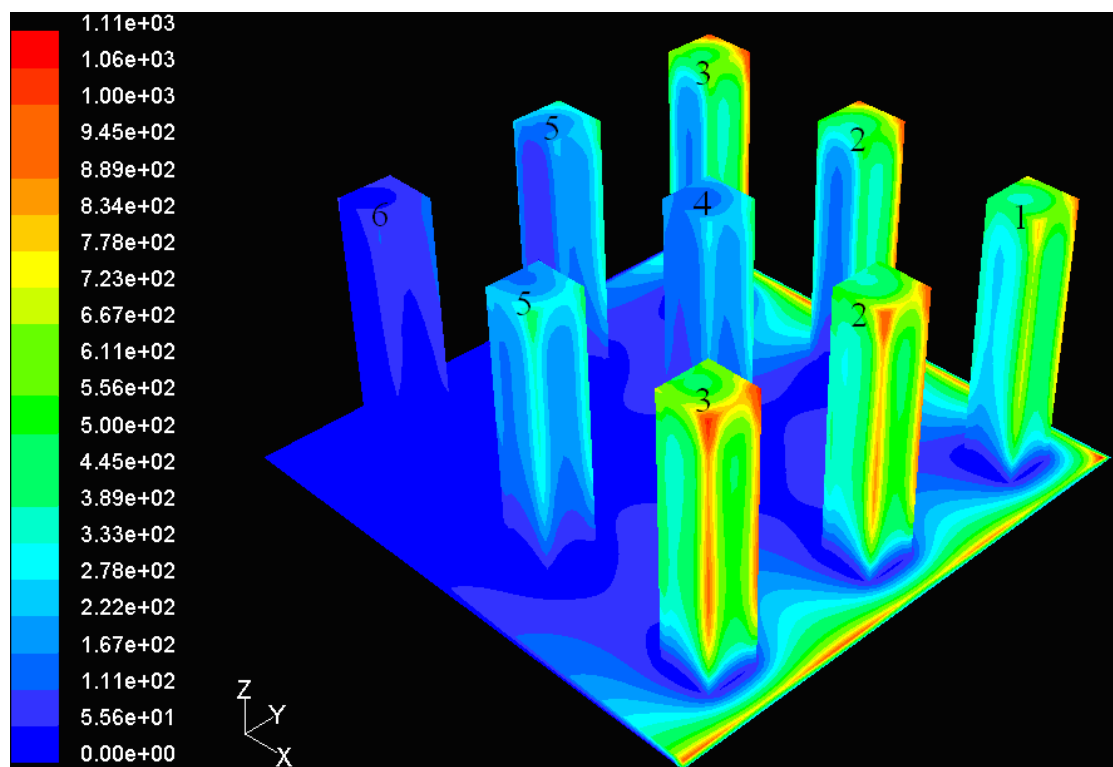
(a) 加熱區域流場圖



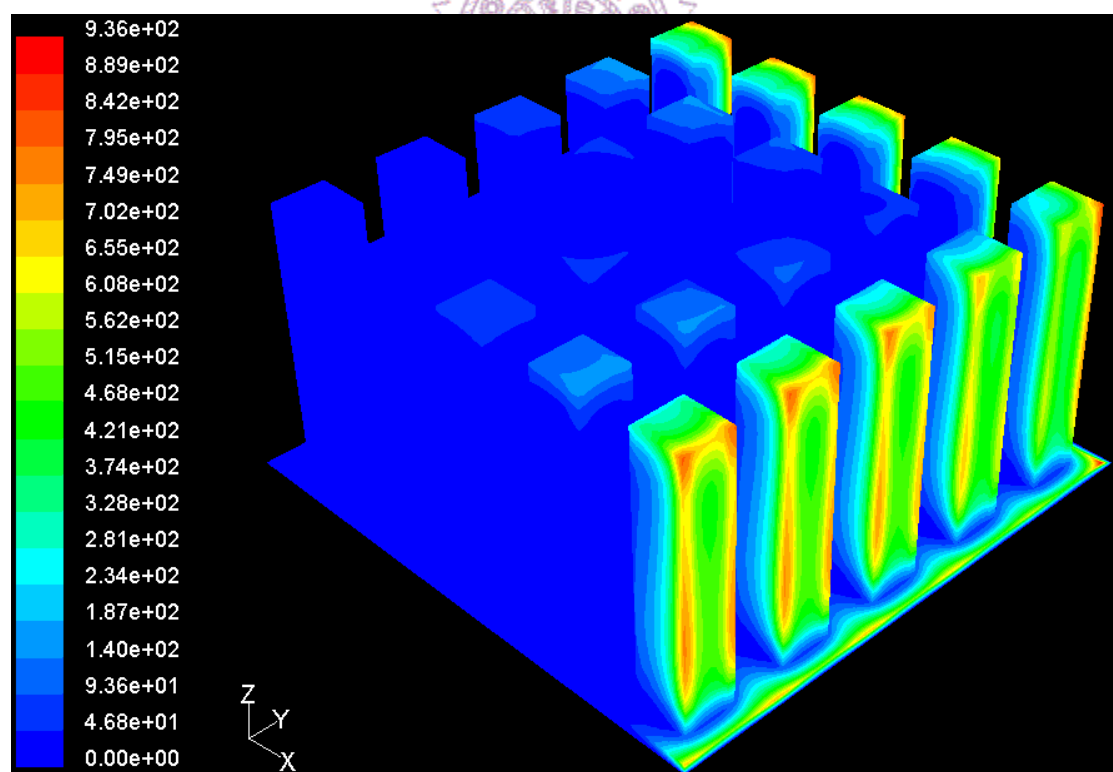
(b) 加框部份區域流場觀察

圖 5.5 氣流通過正方形針狀鰭片陣列流場速度分布圖(單位：m/s)

$$q'' = 1000 \text{ W/m}^2, \quad L = 40 \text{ mm}, \quad S_{xy} = 7 \text{ mm}, \quad \text{截面位置：} z = 0.005 \text{ m}$$

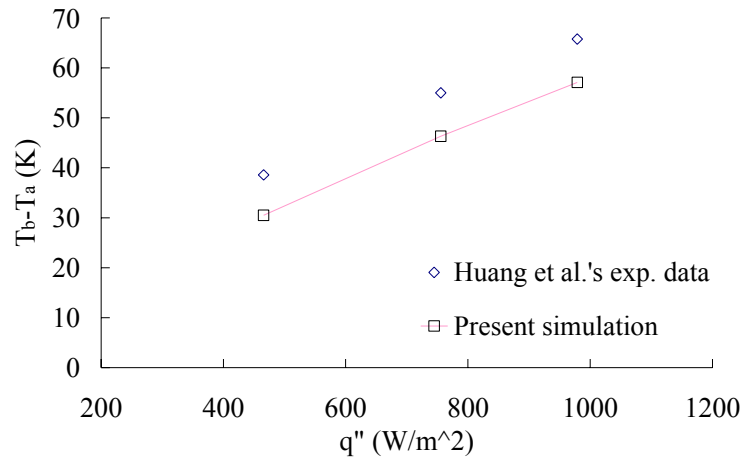


(a)  $q_b'' = 1000 W/m^2$  ,  $L = 40mm$  ,  $D(square) = 2mm$  ,  $S_{xy} = 7mm$  ,  $H = 10mm$

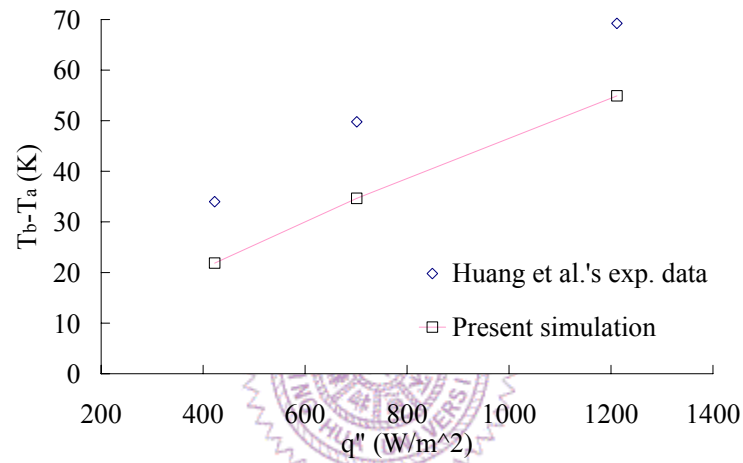


(b)  $q_b'' = 1000 W/m^2$  ,  $L = 40mm$  ,  $D(square) = 2mm$  ,  $S_{xy} = 4mm$  ,  $H = 10mm$

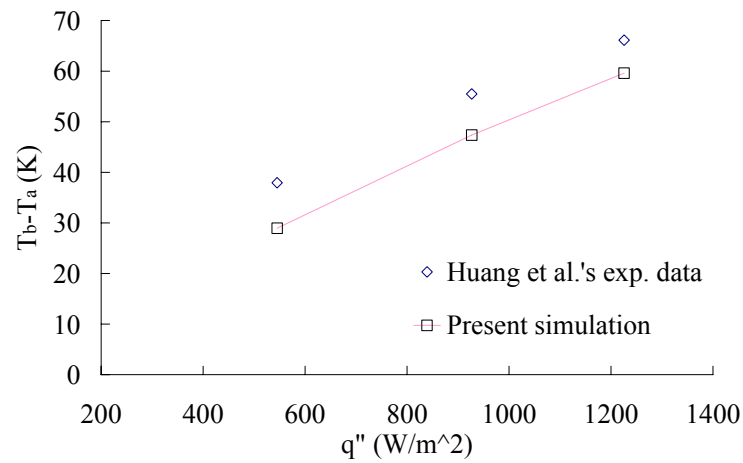
圖 5.6 正方形針狀鰭片陣列表面散熱量分布圖(單位： $W/m^2$ )



(a)  $S_{xy} = 10mm$



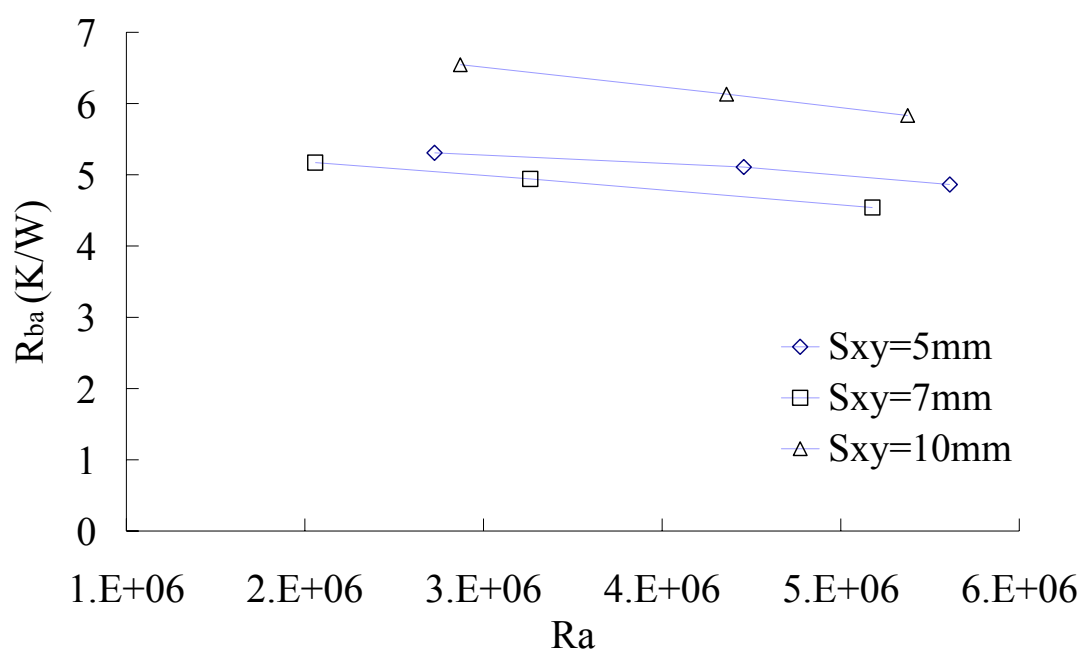
(b)  $S_{xy} = 7mm$



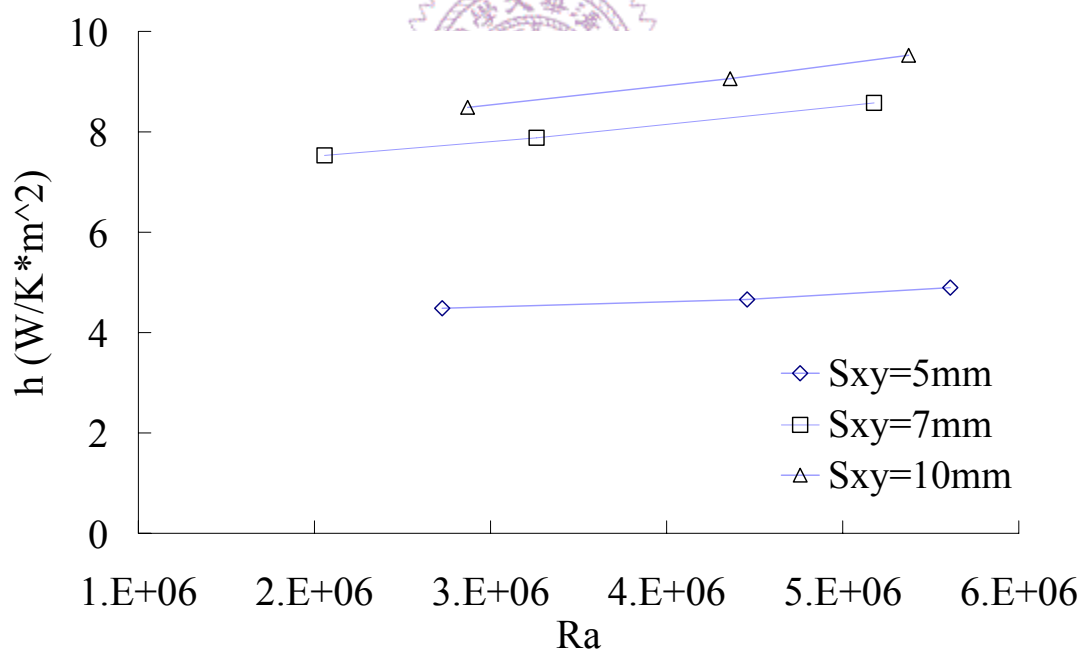
(c)  $S_{xy} = 5mm$

圖 5.7 數值結果與 Huang et al.[14]之實驗結果比較

$L=100mm$  ,  $D(\text{square})=2mm$  ,  $H=10mm$



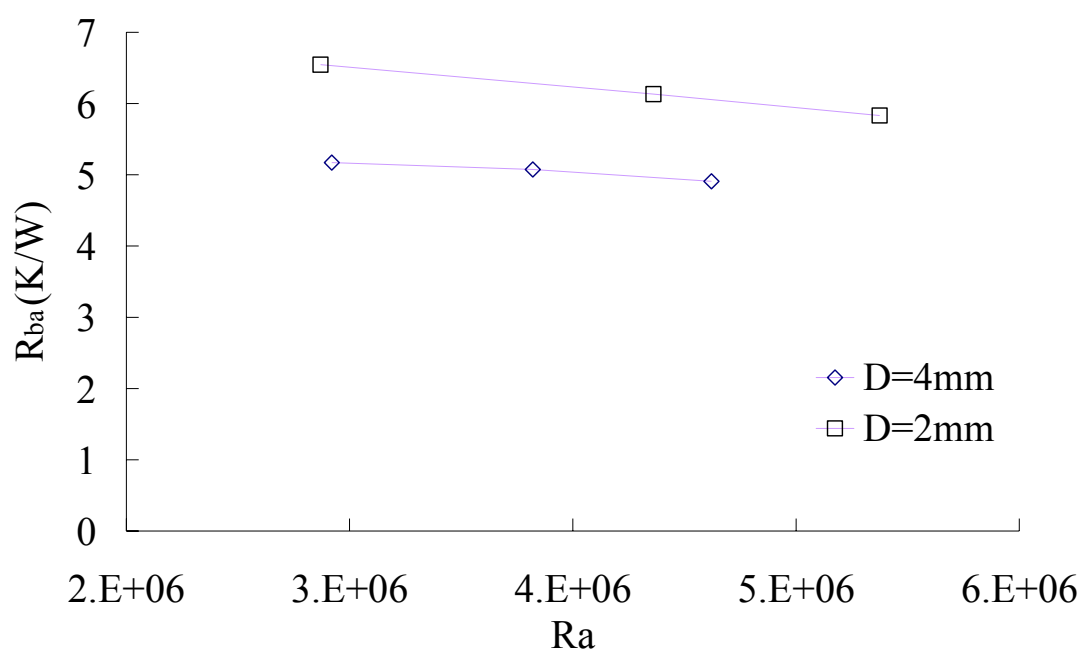
(a) 加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



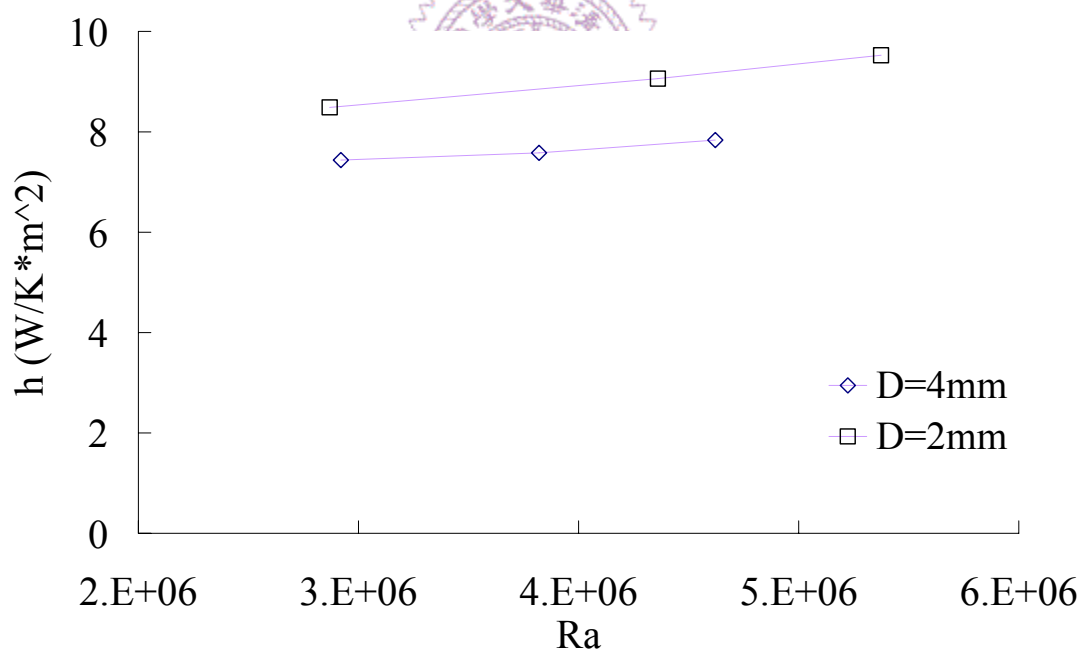
(b) 流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.8 相同直徑  $D=2mm$  之散熱效能比較

$L=100mm$  ,  $H=10mm$



(a) 加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係

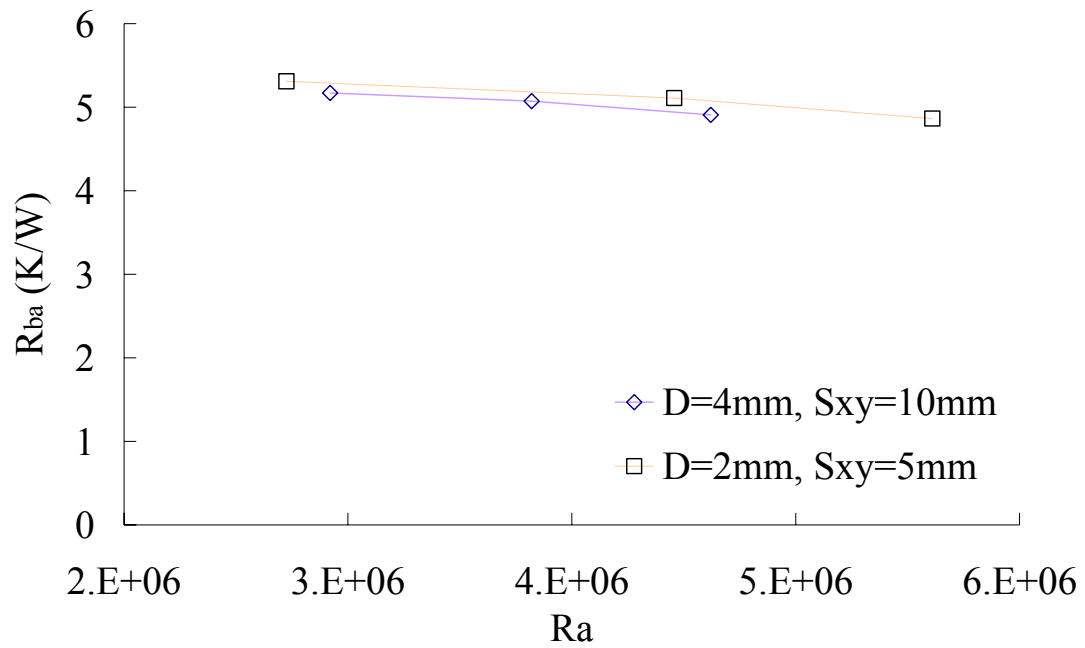


(b) 流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

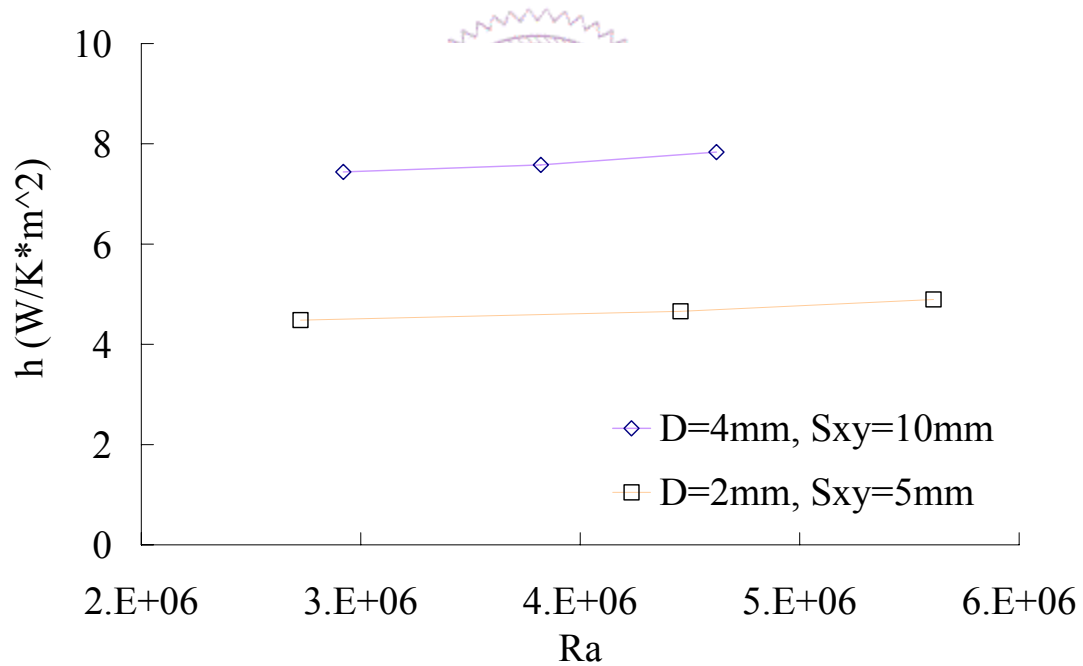
圖 5.9 相同間距  $S_{xy}=10\text{mm}$  之散熱效能比較

$L=100\text{mm}$  ,  $H=10\text{mm}$





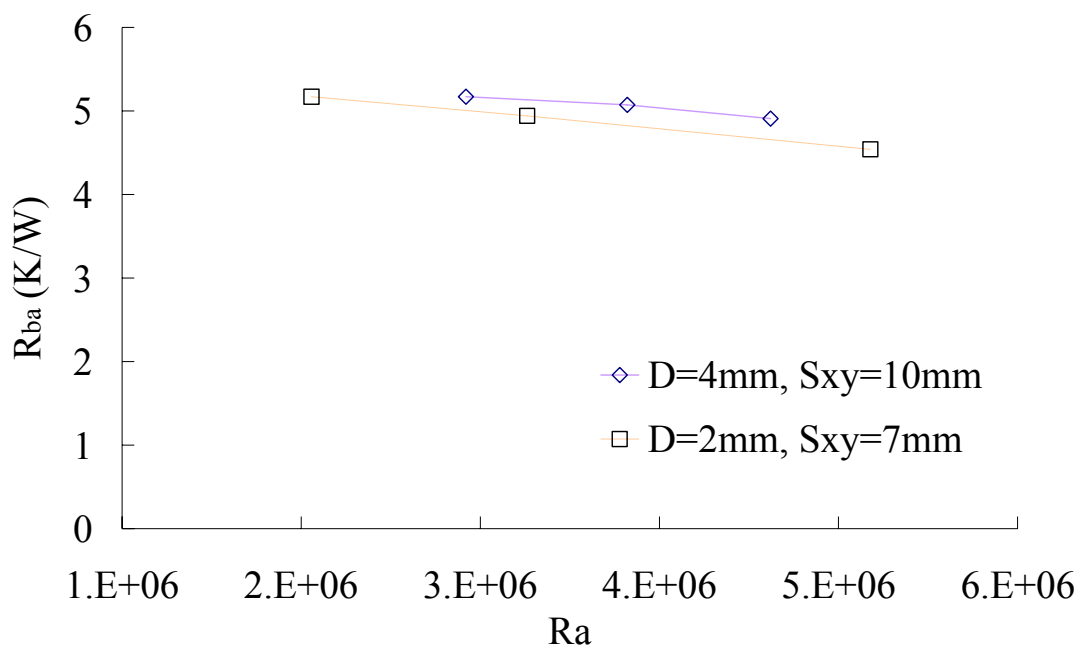
(a)加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



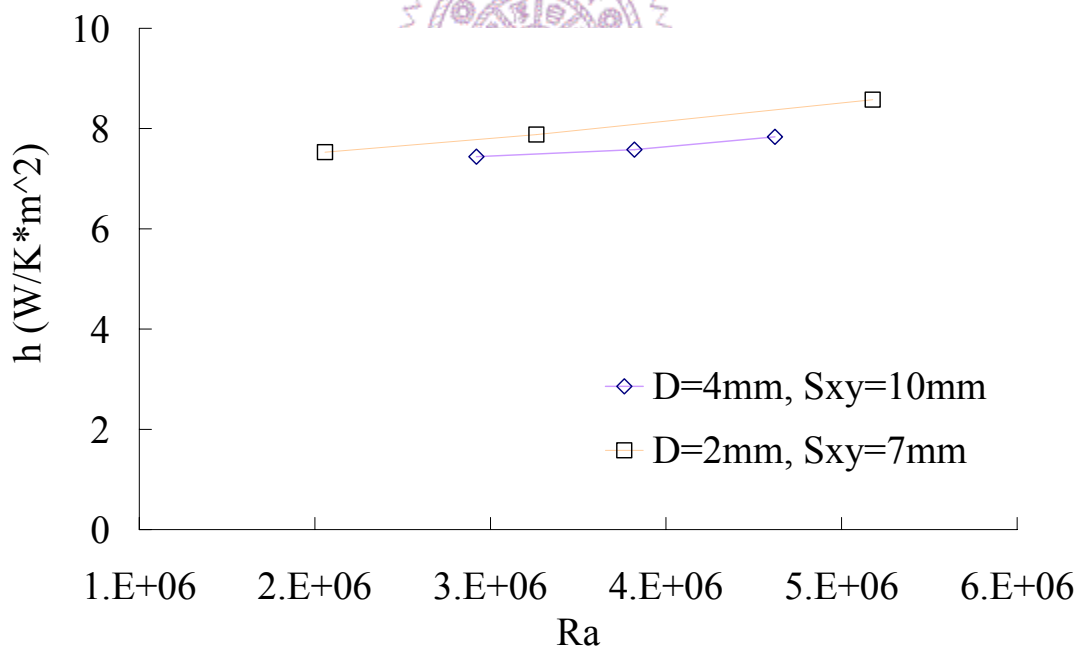
(b)流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.10 空隙度相近的配置之熱阻比較

$L=100mm$  ,  $H=10mm$



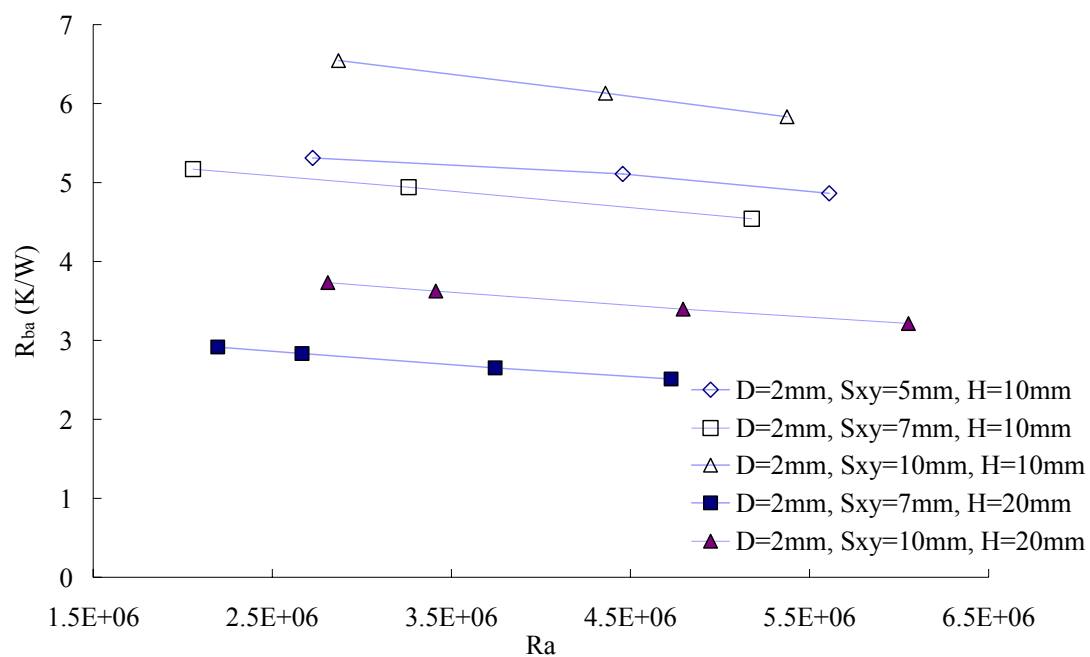
(a)加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



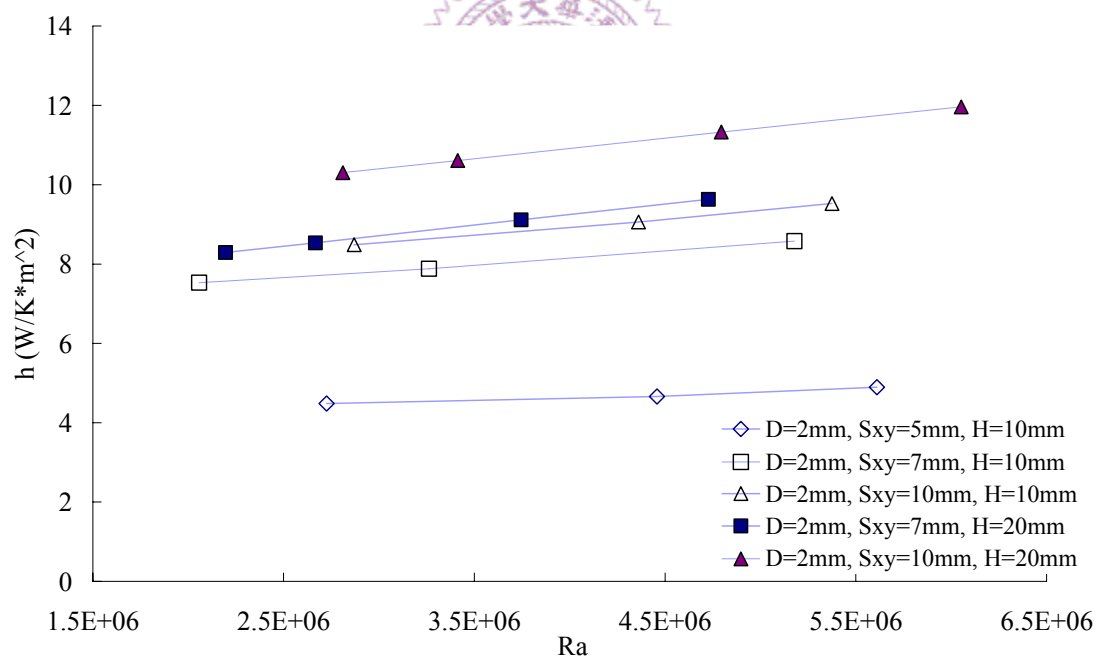
(b)流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.11 散熱面積相近的配置之熱阻比較(1)

$L=100mm$  ,  $H=10mm$



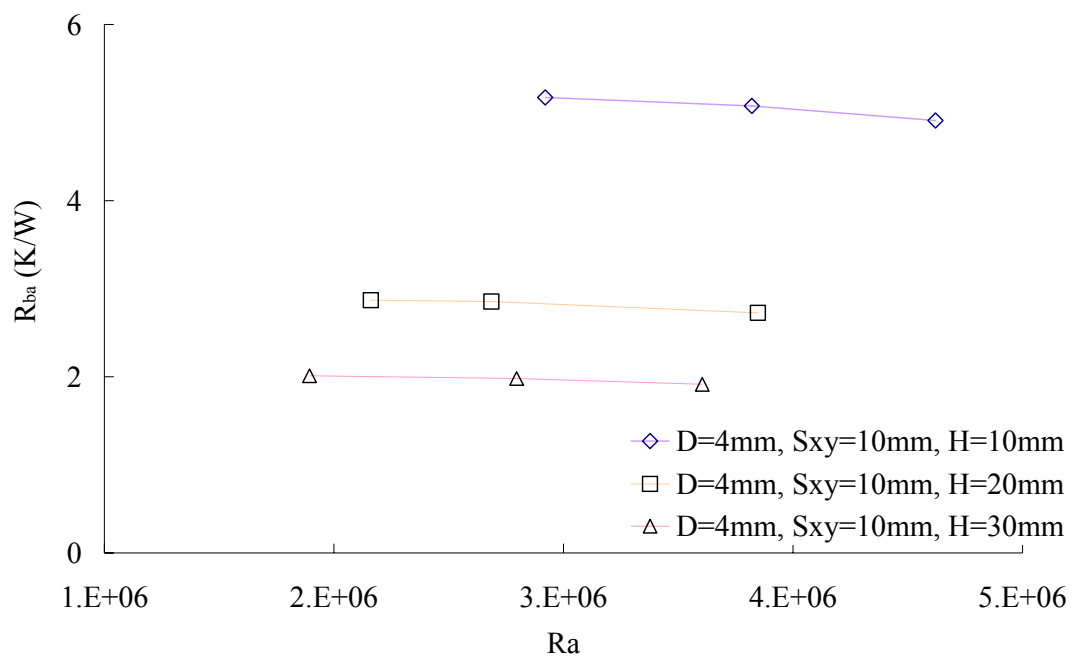
(a) 加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



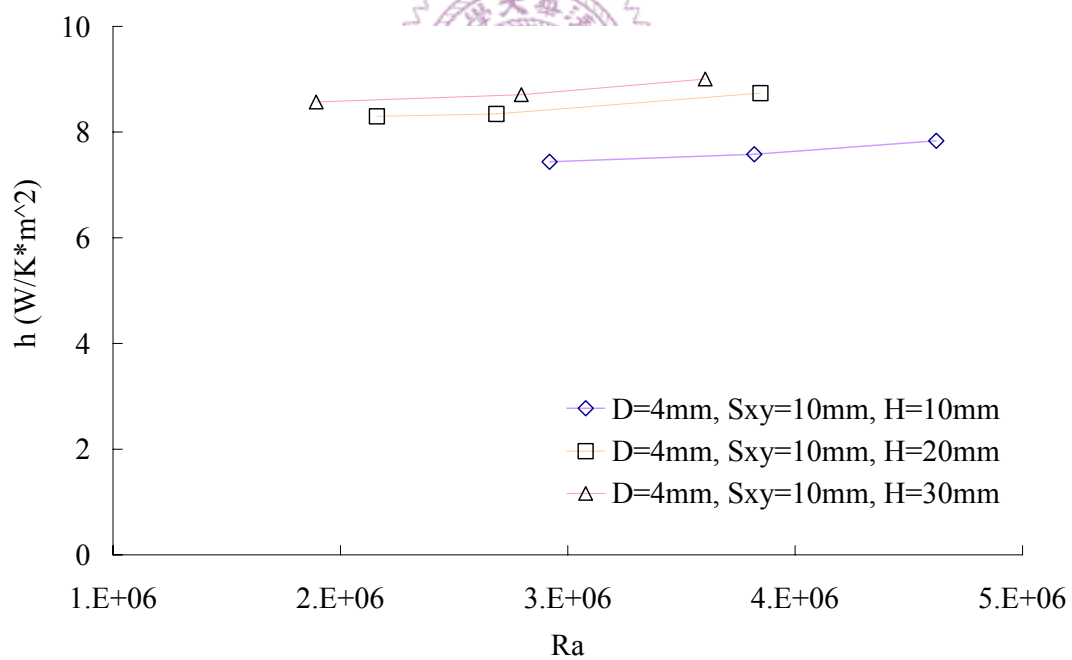
(b) 流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.12 散熱面積相近的配置之熱阻比較(1)

$L=100mm$



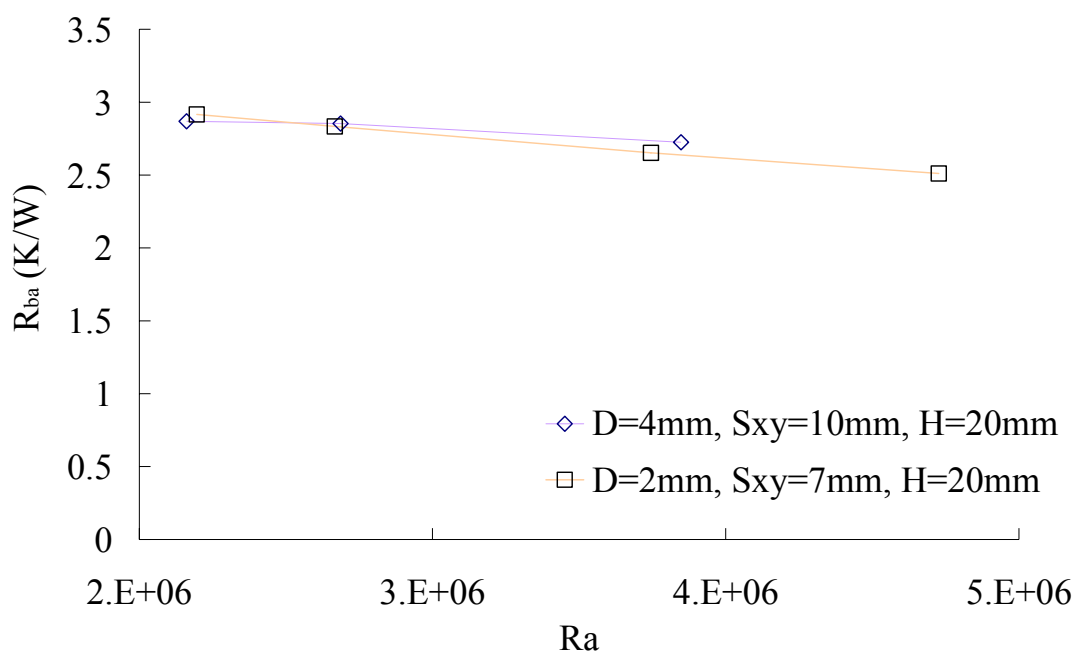
(a)加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



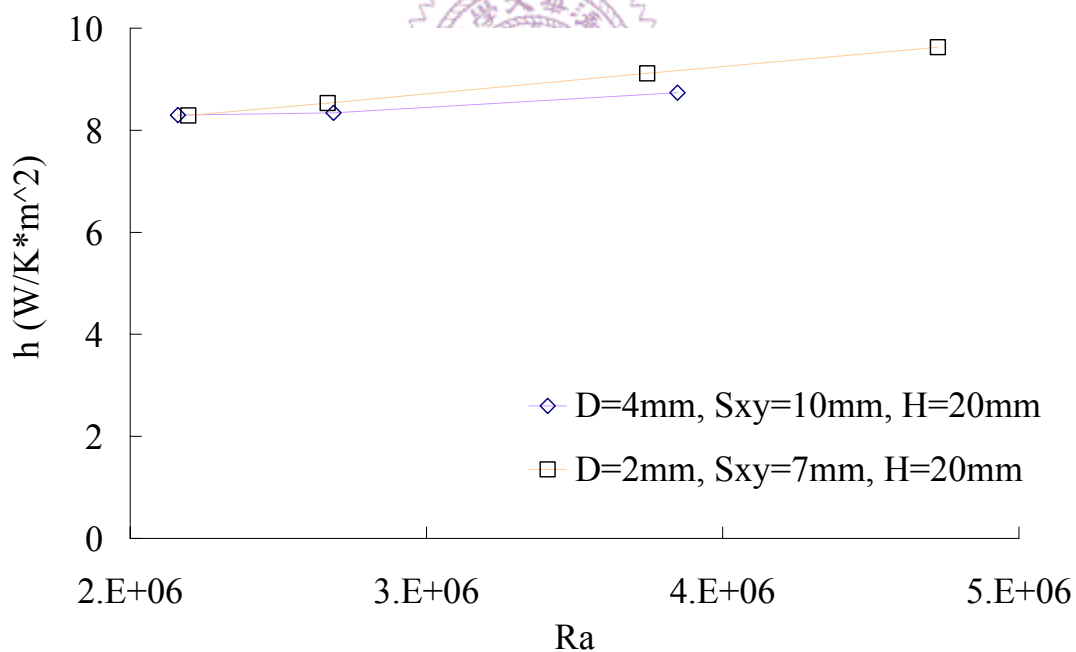
(b)流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.13 散熱面積相近的配置之熱阻比較(2)

$L=100mm$



(a)加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係

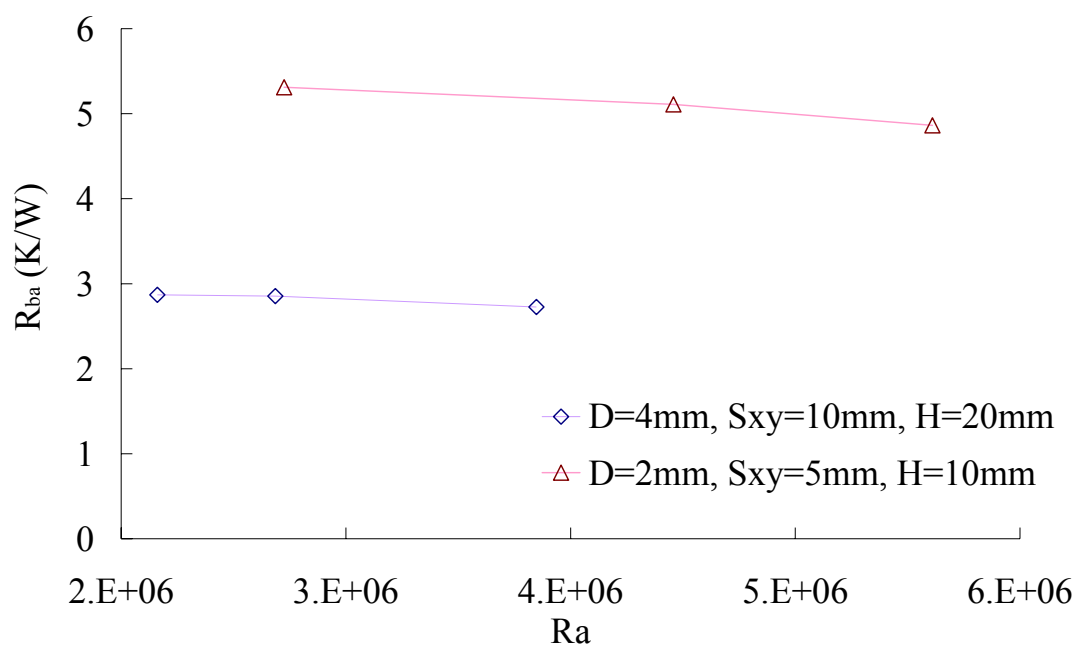


(b)流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

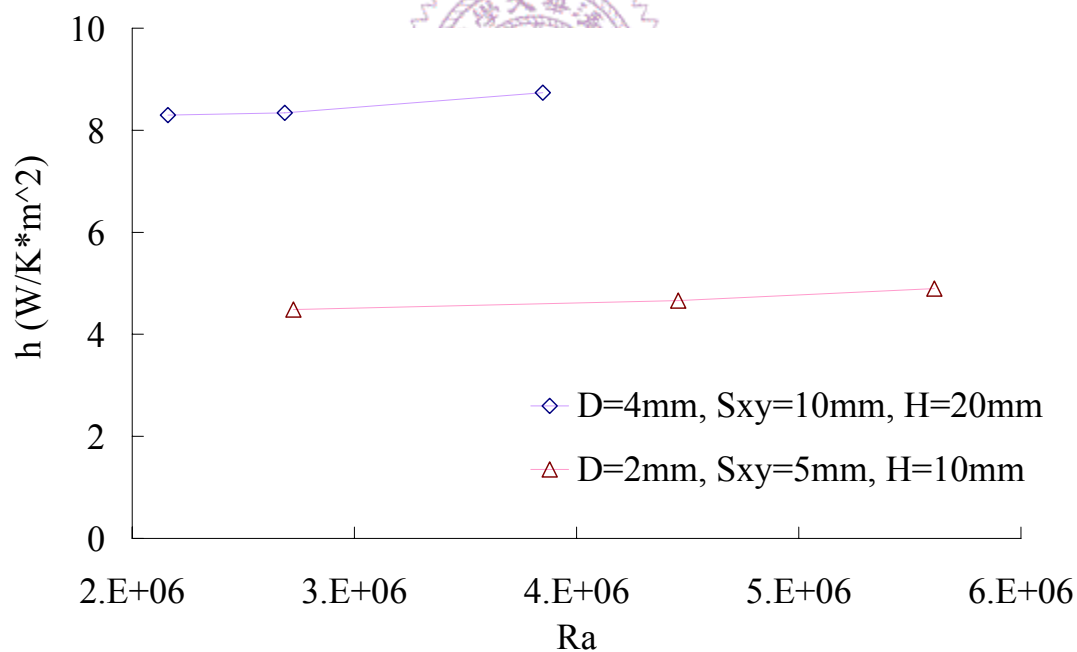
圖 5.14 散熱面積相近的配置之熱阻比較(2)

$L=100mm$  ,  $H=20mm$





(a)加熱面與空氣間熱阻與  $Ra$  的關係



(b)流場平均熱對流係數與  $Ra$  的關係

圖 5.15 散熱面積相近的配置之熱阻比較(3)

$L=100mm$