

第五屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA5-050

作品名稱：自然對流式空氣清淨燈具之研究與開發

Research and Development of Air Cleaning Lamp by Free
Convection

姓名：張靜云

關鍵字：自然對流、空氣清淨機、照度

自然對流式空氣清淨燈具之研究與開發

Research and Development of Air Cleaning Lamp by Free Convection

一、研究動機

對於現代人長期生活在空氣品質不佳的環境中，很容易罹患過敏、支氣管發炎及各種不同種類等呼吸道疾病，即使在室內也容易有患病的可能，根據相關資料顯示，很多的過敏原都來自塵蟎、黴菌孢子等空氣中的微粒子，這些污染源皆可導致眼睛、咽喉及鼻黏膜刺激，使患者的病情加重；在現代生活裡，一天之中使用最頻繁的就是燈具，使用燈具時會發熱，隨著溫度變化就會與周圍空氣發生自然對流的情形，以一般閱讀的檯燈為例，最常使用的燈泡為鎢絲、電子 3U 與螺旋燈泡，目前市售的燈具在燈罩上方多為密閉的型式，因此散熱只能從燈具的下方進行，違反「熱空氣上升，冷空氣下降」的原理，長期使用下來一定會影響燈泡的壽命，尤其以電子省電燈泡最為明顯。為了提昇燈具散熱性能，所以將燈具上方開孔，提供氣流路徑，並裝置濾網，當燈具使用時，附近空氣中的微粒子跟隨著燈內的熱空氣而上升，通過燈具上方的濾網進行淨化，同時達到散熱與空氣清淨的目的。

本研究試圖利用自然對流的原理，開發出不需額外提供能源就具有過濾效果的空氣清淨燈，為了瞭解開孔大小與燈具照度及溫度變化的關係，因此必須對開孔導葉角度與排列方式進行實驗評估，選擇最佳的開孔型式作為本研究長期過濾效果評估的基礎。此一新型燈具在使用時可降低過敏原的濃度及淨化周遭的空氣，整個研發的成果具有省能、延長燈泡壽命與有效提升室內空氣品質，對環境與健康具有良好的貢獻。

二、研究目的

本研究的目的是要開發出不需額外提供能源就具有過濾效果的空氣清淨燈。其功能包含省能、延長燈泡壽命與有效提升室內空氣品質的目的。實現本研究具體目標細節如下：

- 一、評估使用鎢絲、電子 3U 與螺旋燈泡的燈具定距離五點照度分佈關係，瞭解各種燈泡照明的均勻度。
- 二、評估使用鎢絲、電子 3U 與螺旋燈泡的燈具上方開孔角度對燈內溫度的影響，評估最佳開孔角度與燈內溫度的關係，進而瞭解對流狀況，並定義散熱增進因子。
- 三、評估使用鎢絲、電子 3U 與螺旋燈泡的燈具上方開孔角度對各種燈泡定距離平均照度的影響，進一步了解最佳開孔角度與照度的關係，並定義照度增進因子。
- 四、利用散熱增進因子與照度增進因子的乘積求出比較因子，決定各種燈泡最佳的開孔角度。
- 五、將比較因子決定出的三種燈泡最佳狀況進行長期實驗評估，完成自然對流式空氣清淨燈的過濾性能與相關數據的討論與分析，提供給使用者參考。

三、研究過程

本研究試圖開發以自然對流原理為基礎的空氣清淨燈具，在燈罩頂端以導葉方式開孔，並安裝自行設計的過濾板，在開孔的過程之中必須兼顧照度可能發生的變化，因此本節將針對相關理論分析、實驗設計、實驗裝置製作與初步實驗結果方面進行探討如後。

（一）理論分析

1. 照明的原理

燈具所使用的燈泡本身就是發光體（luminous body），光源所發出的能量是以電磁波的形式存在，此種能量稱為輻射能（radiant energy），單位為焦耳。而光源每秒能發出的輻射能則

稱為輻射通量 (radiant flux)，單位為焦耳／秒 (J/s)，即為瓦特 (watt, W)。就一般光源而言，輻射通量越大，人眼就會感到越亮。在相同輻射通量的情況下，不同的光色也會影響明暗度的不同，這就牽涉到不同色光有不同的發光效率，發光效率越高者 (黃、綠光)，會讓人眼感覺越亮，反之 (藍、紫或紅光)，則會感覺越暗。因此真正影響人眼視覺明亮感受的是輻射通量與發光效率的乘積，即為光通量 (luminous flux)，單位為流明 (lm)，其定義為波長 555nm 的單色光其發光效率定義為 1，該波長每一瓦特的輻射通量具有 683 流明的光通量，故光通量可表示成式 (1) 所示[1]。

$$\text{光通量(流明)} = 683 \times \text{發光效率} \times \text{輻射通量(瓦特)} \quad (1)$$

光源發光強度 (luminous intensity) 以燭光 (candela, cd) 來表示，一燭光的球狀光源所發出的總光通量為 4π 流明。一般照明的規範則多使用照度 (illuminance) 來表示，一般教室與辦公室至少需達到 300lux 以上。照度即為單位面積上入射的光通量，單位為勒克司 (lux, lx)，如式 (2) 所示。

$$\text{lux} = \frac{\text{lm}}{\text{A}} \quad (2)$$

以球狀光源為例，發光強度為 I 燭光，則所發出的總光通量為 $4\pi I$ 流明，以燈泡為中心，四周距離半徑 r 的球形表面上的照度可表示為式 (3) 所示，對同一光源而言，照度與照明表面距離平方成反比。

$$\text{lux} = \frac{4\pi \times I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (3)$$

一般照明燈具多呈現半開放的型式，因此在燈泡上方有一面反射的區間，可利用反射的方式增加照度。如圖一所示，假設燈泡為點光源的情況之下，燈泡在反光曲面焦點位置時，理論上為全反射，得到最大的照度，但事實上反光面並非鏡面反射，表面的粗糙會產生漫射現象，加上燈泡本身並非是點光源，因此最適當的位置還必需經過更詳細的計算或實驗驗證。此外在一般照明用途的情況下，還必須考慮照明的均勻度，過度集中的照明方式並不適合一般閱讀使用。再者燈罩的形狀也會影響燈具的散熱能力，影響燈泡的壽命。

2. 空氣浮力的基本原理

如圖二所示， F_y 為空氣上升合力， F_B 為空氣浮力， F_R 為濾網與導葉的阻力， $F_{h.a.g}$ 為熱空氣重力。依據阿基米德原理（Archimedes principle）得知浮力 F_B 關係為[2]：

$$F_B = \rho_{air} \times V \times g \quad (4)$$

燈內熱空氣的重力 $F_{h.a.g}$ 可表示為：

$$F_{h.a.g} = \rho_{h.a} \times V \times g \quad (5)$$

空氣上升合力 F_y 可表示為：

$$\begin{aligned} F_y &= F_B - F_R - F_{h.a.g} \\ &= (\rho_{s.air} \times V \times g) - F_R - (\rho_{h.a} \times V \times g) \\ &= (\rho_{s.air} - \rho_{h.a}) \times V \times g - F_R \end{aligned} \quad (6)$$

$$F_y = f(\rho, T) \quad (7)$$

$$\vec{V}_y = f(F_y, \rho, T) \quad (8)$$

$$Q_{air} = \vec{V}_y \times A_{avg}. \quad (9)$$

濾網與導葉的阻力是視濾網的狀態與導葉的角度而定，若視為定值，上升合力可視為冷、熱空氣密度差的函數，如圖三所示，密度則與溫度有關，溫度與空氣密度呈現非線性反比關係[3]。在初始條件之下，內外溫差越大，上升力越大，流速越高，由於內部熱空氣由導葉與濾網流出之後，內部壓力下降，循環空氣由下方補入，隨著操作時間上升，內外溫差會越來越小而趨於定值。自然對流的流速很低，不易使用風速計量測流速，但是可以使用內部溫度 T_{in} 與環境溫度 T_s 穩定之後的差值來推定散熱效果，進而推論空氣循環量。穩定之後的內外溫差越低，代表散熱效果越好，若假設環境溫度視為定值時，內部溫度越低，即代表循環燈內外的氣流量越高，在相同開口面積 A_{avg} 之下，通過濾網的空氣流量越大，過濾效果越好。

3. 照度與散熱的關係

若將濾網阻力視為定值，理論上導葉開孔角度與散熱性能應該呈現正比的趨勢，如圖四所示，開孔角度越小，散熱能力應該越低，亦代表循環流量下降，由於本研究所使用的反光開孔導葉板是弧形，所定義的角度均為該開孔點切線的角度，空氣對流關係會變成相當複雜，導致理論與實際的情況不同，二者之間的實際關係可經由量測內部溫度與導葉角度之間的關係來決定，相同燈泡情況之下，燈內環境溫度越低，散熱越好，本研究定義該變化的無因次關係為散熱能力增進因子 $f_{heatsink+}$ (式 (10))，該值在 $1 \rightarrow 0$ 之間，該值越高，代表該角度在整個實驗範圍的散熱效果越好；此外導葉開孔角度與燈具照度理論上應該呈現反比的趨勢，在相等量測距離之下，開孔角度越小，理論上反射面積會較大，燈具的照度應該也會較高，與上述散熱能力和開孔角度考量的因素一樣，理論與實際都會有差距，二者之間的實際關係可經由量測固定距離的照度與導葉角度之間的關係來決定，本研究定義該變化的無因次關係為照度增進因子 f_{E+} (式 (11))，該值在 $0 \rightarrow 1$ 之間，該值越大代表在整個實驗範圍中照明效果越好。整體而言，本研究希望能兼顧照度與散熱效果，最好散熱效果時，不一定對照明有利，反之亦然，因此取散熱能力增進因子與照度增進因子乘積的最大值作為最佳選擇的依據，該乘積在本研究中命名為比較因子 (compare factor, C) (式 (12))，C 介於 $0 \sim 1$ 之間，發生最大值之處，即為建議最佳的選擇狀態。

$$f_{heatsink+} = 1 - \frac{T_{in}(\theta) - T_{in.min}}{T_{in.max} - T_{in.min}} \quad (10)$$

$$f_{E+} = \frac{E(\theta) - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} \quad (11)$$

$$C = f_{heatsink+} \times f_{E+} \quad (12)$$

4. 空氣清淨的基本原理

淨化室內空氣的方法有很多種，使用空氣清淨機是最常見的方式。一般市售的清淨機，大多數都以「強制對流」的方式為主。過濾性能取決於濾網的孔隙率、材質、吸附特性與循環氣流量，當循環空氣通過濾網時，污染物會被濾網的組織攔截，使得通過的空氣變成潔淨。

有些濾網還具有活性炭吸附或是殺菌效果，能夠提昇過濾性能[4~7]。在空氣清淨的過程當中，應定期檢查或更換濾網，以便保持室內空氣的品質及空氣清淨的效果。傳統的過濾器都必須單獨設置，且需額外的運轉耗能，在風扇馬達運轉的情況下，噪音是難以避免。

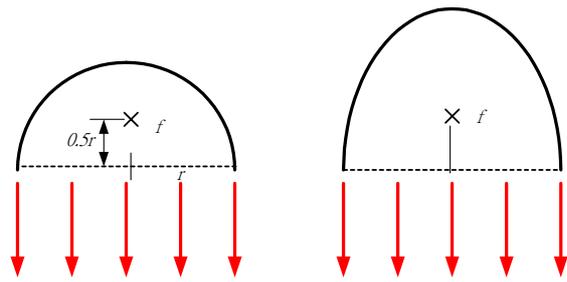
本研究同樣是採用循環過濾原理，不過循環的動能來自於燈具發熱所產生的自然對流，不需其他風扇馬達，沒有噪音的顧慮，結合燈具照明與空氣清淨功能。本空氣清淨燈具是將燈罩上方開孔，以提供氣流循環路徑，並在路徑中裝置濾網，當燈具使用時，附近空氣中的微粒會跟隨著燈內的熱空氣而上升，通過燈具上方可過濾至 0.01 公厘之過敏原及微粒物的靜電濾網，進行空氣淨化，以達到降低室內空氣污染濃度的目的。

使用肉眼或顯微鏡觀測濾網過濾性能並不適合進行定量分析，僅適合做一般性的比較。因此本研究採用濾網的透光照度作為過濾性能判定。以濾網在未使用前的穿透照度作為基準值 (E_{new})，然後跟逐時量測之後的濾網的穿透照度 (E_t) 相比較，本研究提出照度衰減百分比 E_D 的概念來判定濾網性能，該值定義如式(13)所示。

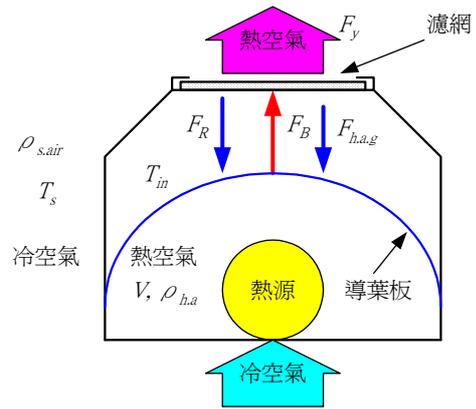
$$E_D = \frac{\text{測試時的照度}}{\text{新濾網測試時的照度}} = \frac{E_t}{E_{new}} \quad (13)$$

當污染物增加時濾網的透光度會逐漸下降，而過濾效果的增進率 η_f 則定義如式(14)所示。其中污染最嚴重的狀況（極端的狀態）之下就是完全不透光的情況 ($E=0$)，因此分母代表最大的污染範圍（最透光的照度減去完全不透光的照度 $= E_{new} - E_{last} = E_{new} - 0 = E_{new}$ ），該是等於照度降低量與整個照度最大變化量的比值。

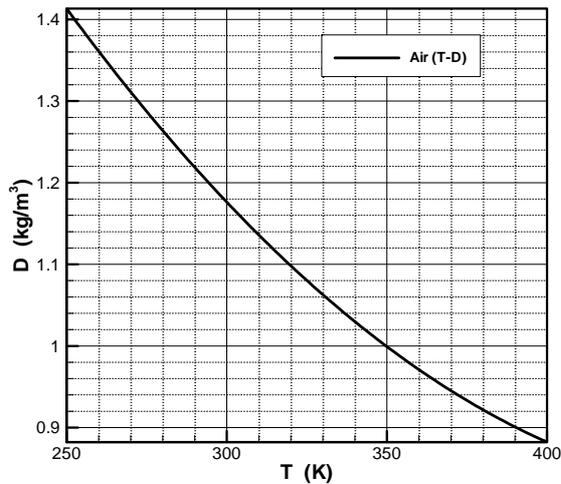
$$\eta_f = \frac{\text{新濾網的照度} - \text{該次測試時的照度}}{\text{新濾網的照度}} = \frac{E_{new} - E_t}{E_{new}} \quad (14)$$



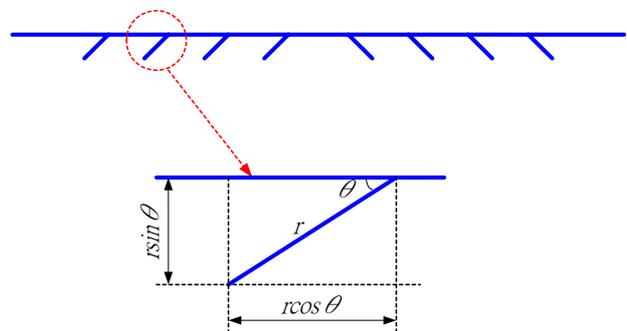
圖一 燈泡位置與反射關係



圖二 燈具內外循環空氣關係示意圖



圖三 空氣密度與溫度關係曲線圖[3]



圖四 開孔角度與反光面變化示意圖

(二) 實驗設計

本研究試圖開發出不需額外提供能源就具有過濾效果的空氣清淨燈，目的就是要讓此一新型燈具在使用時即可達到空氣清淨的效果，有效地提升室內空氣品質。研究架構如圖五所示，整個實驗研究初步有三個方向：(1) 燈具上方開孔角度對使用各種燈泡燈內溫度的影響。(2) 燈具上方開孔角度與排列方式對各種燈泡定距離照度的關係。爲了更深入瞭解開孔排列方式是否會對上述二者造成影響，本研究加設了導葉板的排列方式(列數)爲控制變因。照度與溫度測試系統則如圖六所示。(3) 選出各種燈泡最佳配置值之後，最後並進行五週的長期過濾測試，經過實驗方式去比較與分析各變因的關連性，並將實驗結果繪製適當的曲線圖[8~10]以便於評估與確立本研究開發的可行性。

1. 三種燈泡燈具的上方開孔角度及排列數對燈內溫度的影響實驗

研究與實驗步驟流程圖如圖五所示，評估三種燈泡最佳開孔角度及排列數與燈內溫度的關係，進而瞭解對流狀況，並定義為散熱增進因子。各實驗條件與設定分述如下：

- (1) 實驗燈具五組，實驗控制變因分別為導葉開孔角度（0、30、45、60、90° 五種）、燈泡種類（如圖七所示，分別為鎢絲（tungsten）、3U、螺旋（helix）三種燈泡）、排列數（如圖十三~十五所示，分別為一、二、三排），並依照圖六安裝熱電耦溫度感測線。
- (2) 進行一小時的燈泡種類與導葉角度對各點溫度的測試（燈內、導葉板、燈外）。
- (3) 偵測溫度以資料擷取器（data logger）配合電腦進行資料蒐集與監控。

經由上述二者的實驗結果，使用上述提及的比較因子來選定最佳的導葉開孔角度進行長期（一個月）過濾性能量測。過濾性能判斷是以照度計和顯微鏡作為判斷依據，利用照度計量測濾網透光度的變化及觀察微粒子覆蓋狀況來判定性能。

2. 三種燈泡燈具的上方開孔角度及排列數對各種燈泡定距離照度的影響實驗

研究與實驗步驟流程圖如圖五所示，評估三種燈泡最佳開孔角度及排列數與照度分佈與平均照度的關係，並定義為照度增進因子。各實驗條件與設定分述如下：

- (1) 實驗燈具五組，實驗控制變因分別為導葉開孔角度（0、30、45、60、90° 五種）、燈泡種類（如圖七所示，分別為鎢絲（tungsten）、3U、螺旋（helix）三種燈泡）、排列數（如圖十三~十五所示，分別為一、二、三排）。
- (2) 使用照度計針對各種燈泡與導葉角度對照度的影響（取五點平均照度（圖八））。

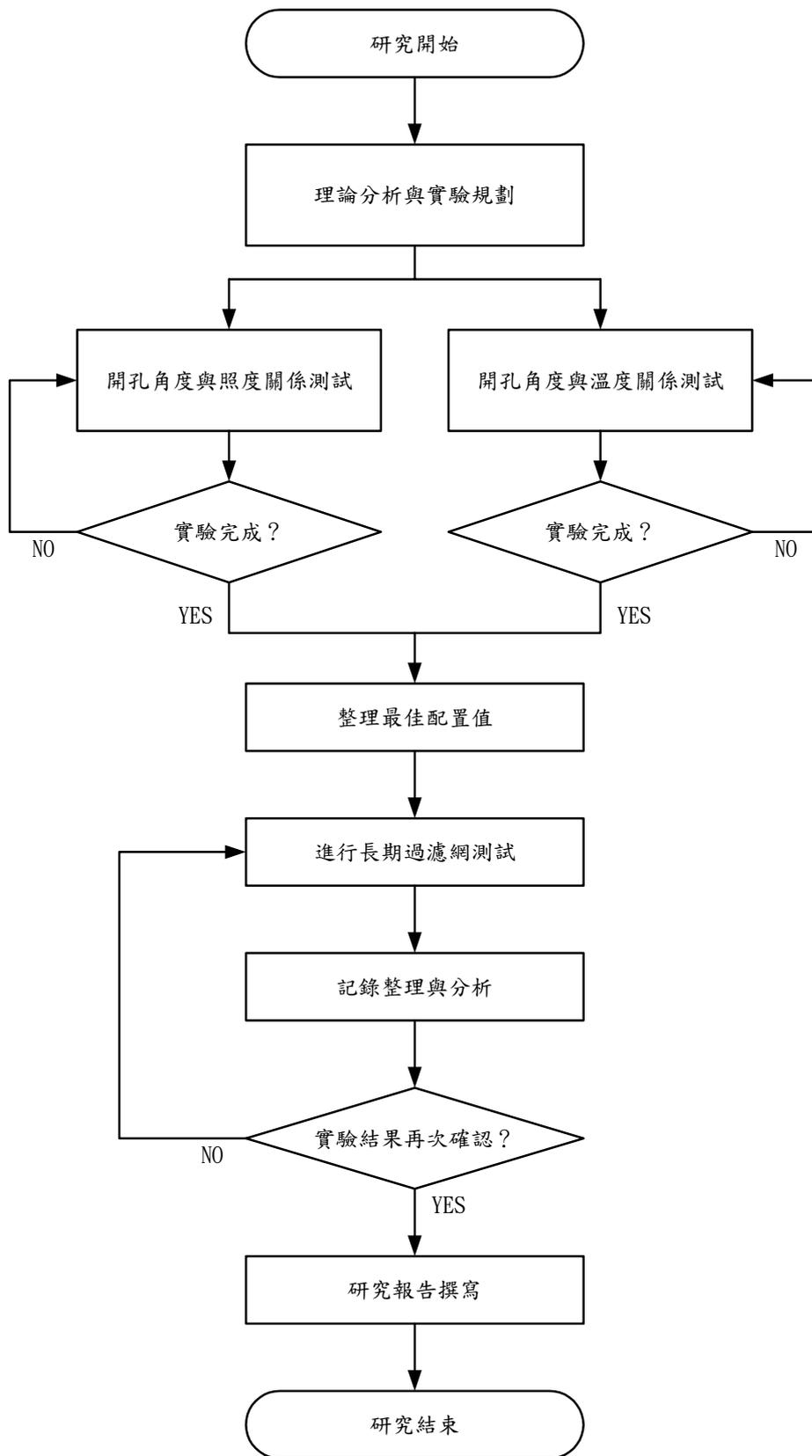
3. 濾網過濾性能判斷長期實驗設計

本研究是利用照度計量測濾網透光度的變化及觀察微粒子覆蓋狀況來判定性能。為了量測濾網對光的穿透照度作為污染物多寡判定，因此設計一套如圖九所式的濾網過濾性能檢測裝置，圖十則為該裝置的實體照片。遮光箱的詳細尺寸如圖十一所示。設置一個遮光箱以防

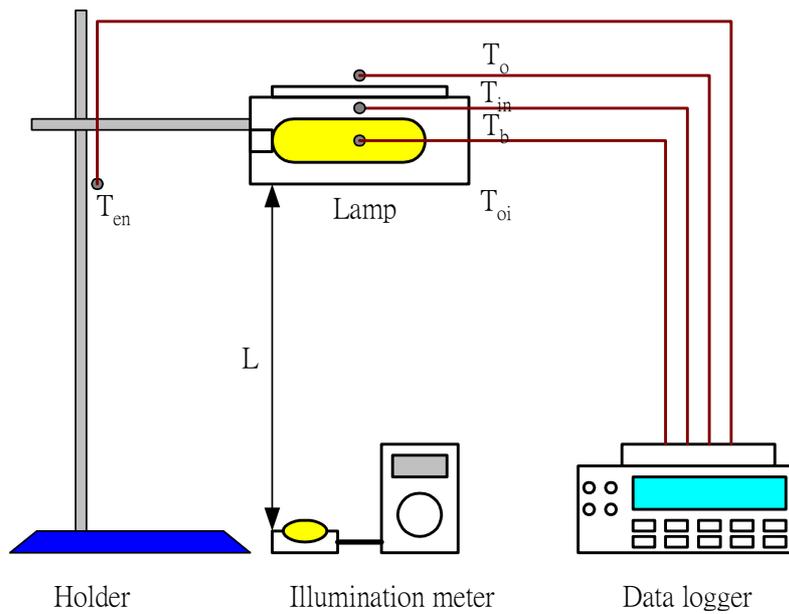
止周圍光線對檢測的干擾，遮光箱配合濾網大小在上方開一方孔，檢測時濾網放置在方孔上方，濾網上方 1.5cm 距離以一只 13W 的 PL 燈作為光源，遮光箱內放置照度計的感測器。先分別測試各濾網在未使用前的穿透照度，然後每週取下濾網檢測一次，在相同污染狀況時，空氣循環效果越好，濾網就會越髒，透光效果就會越差，箱內的照度就會越低。

為了讓測試結果更明顯，本研究採用蚊香作為污染源進行長期實驗，如圖十二所示，污染源置於三組實驗燈具的中心位置。每週一、三、五中午十二點點一卷蚊香，星期五下午六點（蚊香燃燒完畢）進行濾網透光照度的測試，並適時使用顯微鏡觀察污染狀態。該實驗連續進行五週的長期測試，以求取過濾性能發展趨勢。詳細步驟如下：

- (1) 採用蚊香作為污染源，對選出的最佳配置進行長期實驗（如圖十二所示，污染源置於三組實驗燈具的中心位置），燈具開關以二十四小時定時器進行控制，開四小時，關四小時，每天開啓十二小時。
- (2) 每週一、三、五中午十二點點一卷蚊香，星期五下午六點（蚊香燃燒完畢）進行濾網透光照度的測試，並適時使用顯微鏡觀察污染狀態。
- (3) 重複步驟（2）連續進行五週的長期測試，以求取過濾性能發展趨勢。
- (4) 參考式（13~14）計算實驗結果，判定各種燈泡最佳配置的過濾效果。



圖五 研究與實驗步驟流程圖



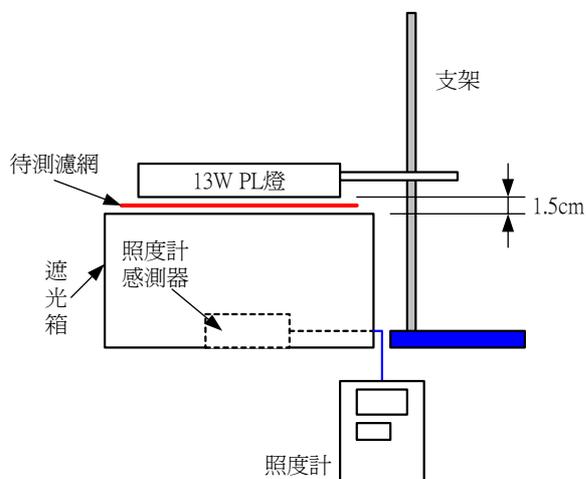
圖六 研究測試系統示意圖



圖七 實驗用各種燈泡實體圖(由左至右分別是鎢絲燈、螺旋與 3U 燈泡)

2 (2,4)				5 (2,0)
		3 (1,2)		
1 (0,4)				4 (0,0)

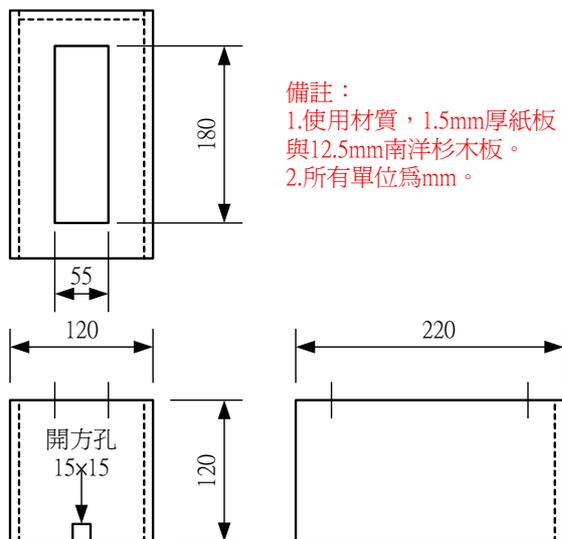
圖八 平均照度實驗位置圖 (紙張大小 B4)



圖九 濾網過濾性能檢測裝置

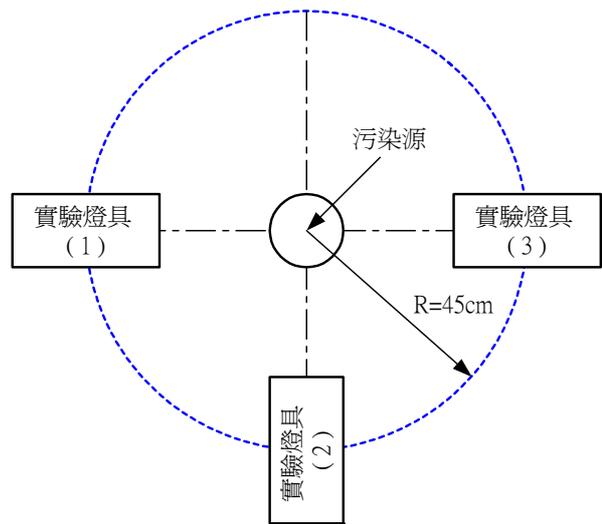


圖十 濾網過濾性能檢測裝置實體照片



備註：
1.使用材質，1.5mm厚紙板
與12.5mm南洋杉木板。
2.所有單位為mm。

圖十一 遮光箱的詳細尺寸圖



圖十二 長期測試環境佈置圖

(三) 實驗裝置製作

1. 反光導葉板裝置製作

如圖十三~十五所示，為反光導葉板設計圖。反光導葉板是將西卡紙貼上鋁箔紙以增加反光效果，反光導葉板以一、二、三排及開孔角度（0、30、45、60、90°）為實驗控制變因，使用的反光開孔導葉板是弧形，所定義的角度均為該開孔點切線的角度；利用三角函數原理作為開孔角度的測量並使用環氧樹脂加以固定，防止變形。

2. 濾網板的製作

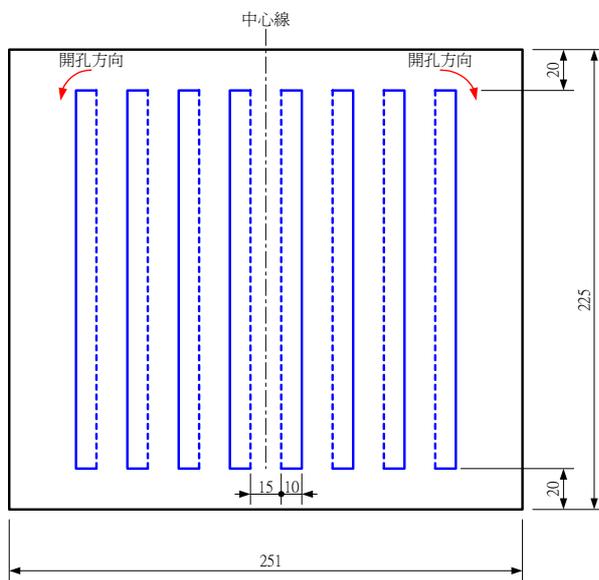
如圖十六所示，為本研究所使用的濾網板構造圖，該濾網是將市售 3M 靜電濾網裁剪成適當大小後，貼附在 1mm 厚的紙板外框上。

3. 燈罩裝置

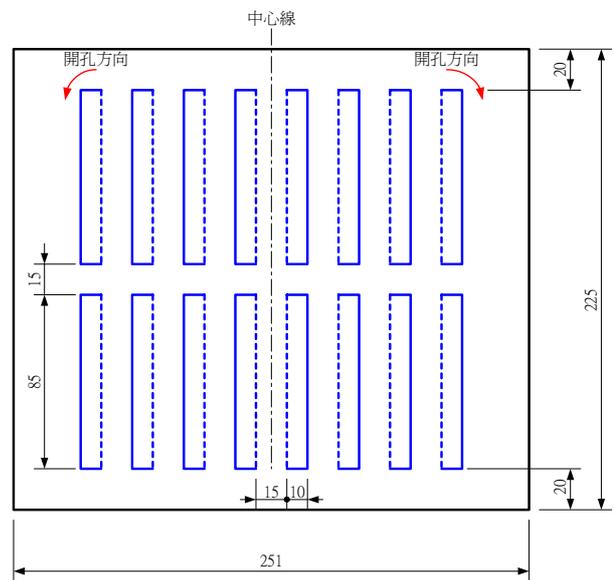
如圖十七~十八所示，為實驗燈具構造示意圖。除了燈具兩端的端版是使用木板，其他外部主體是用 1mm 彩色厚紙板組合而成。在內部兩側旁設計一組小軌道，以方便更換不同角度的反光導葉板；在上方側面開孔裝置靜電濾網，以便更換。燈具內部均貼覆鋁箔紙以增進反射效果。

4. 自然對流－空氣清淨燈

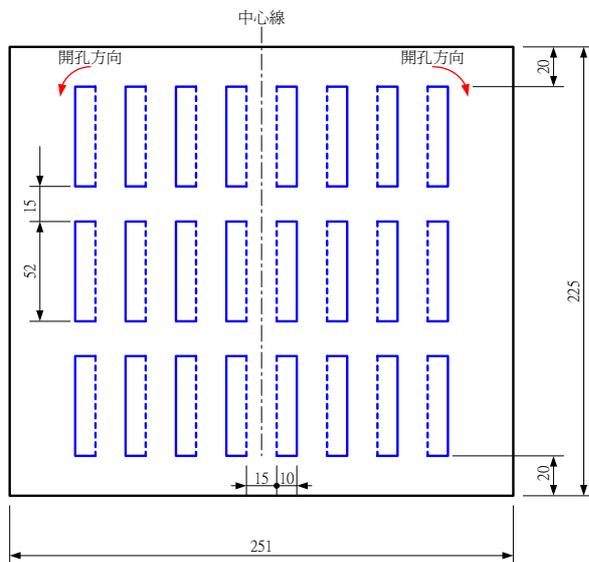
如圖十九所示為本研究所開發的空氣清淨燈。該裝置爲了提昇燈具散熱性能，所以將燈具上方開孔，提供氣流路徑，並裝置靜電濾網，當燈具使用時，附近空氣中的微粒子跟隨著燈內的熱空氣而上升，通過燈具上方的濾網進行淨化，同時達到散熱與空氣清淨的目的。根據比較因子決定出各種燈泡最佳導葉板的開孔角度進行長期（五星期）過濾性能量測，整個研發具有省能、延長燈泡壽命與有效提升室內的空氣品質。



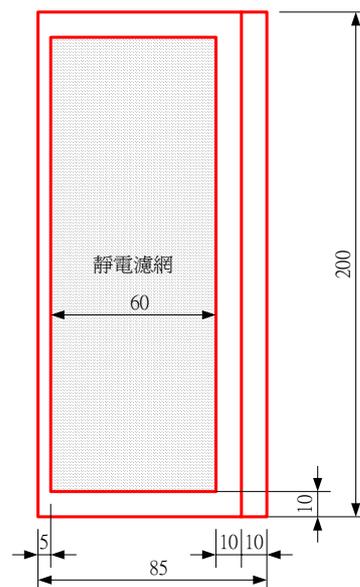
圖十三 一排反光導葉板設計圖



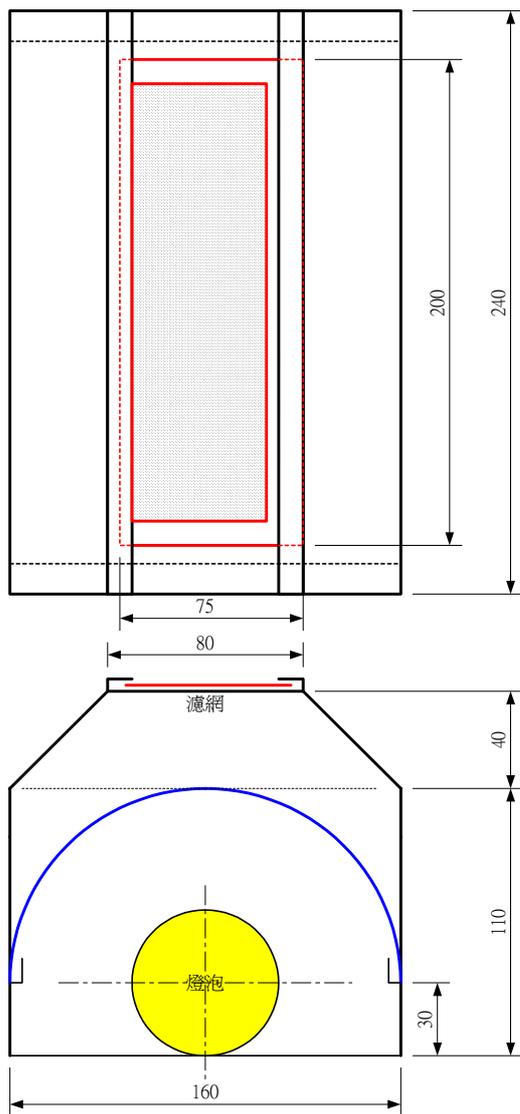
圖十四 二排反光導葉板設計圖



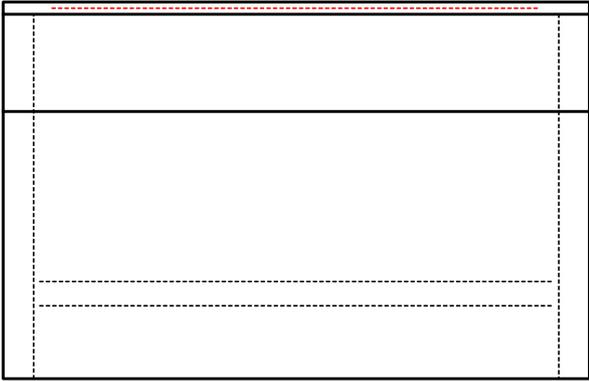
圖十五 三排反光導葉板設計圖



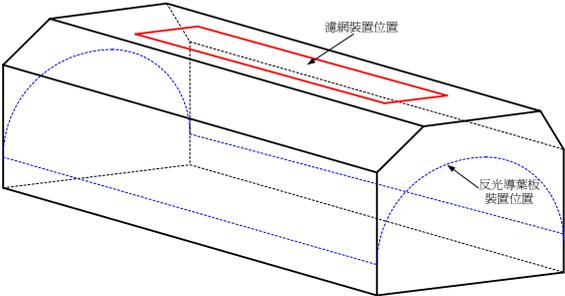
圖十六 濾網設計圖



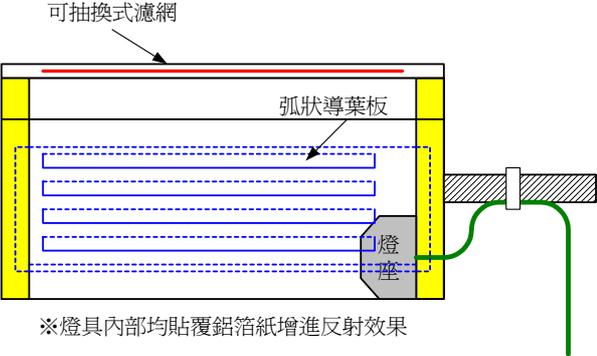
說明：
 一、使用材料：
 1.燈具兩端端板—南洋杉木板12.5mmt
 2.燈具外部主體—彩色厚紙板1.5mmt
 3.反光導葉板—白色厚紙板0.5mmt(反光面披覆鋁箔)
 4.濾網材質—靜電濾網
 二、標註單位：mm



圖十七 實驗燈具設計三視圖



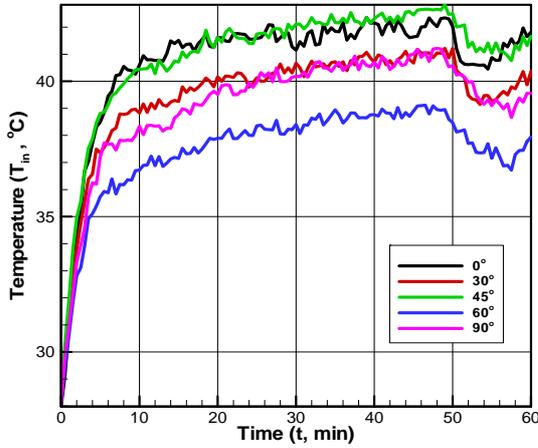
圖十八 實驗用燈具外部立體圖



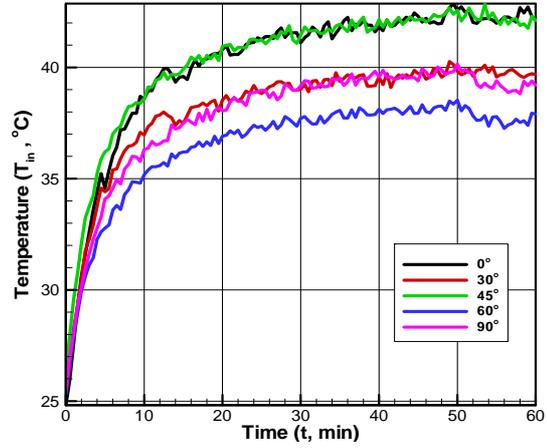
圖十九 實驗用燈具結構示意圖

(四) 實驗結果

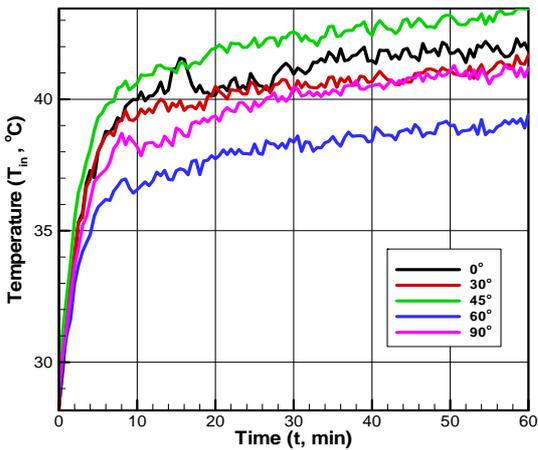
1. 開孔角度與排列方式對燈內溫度變化的影響實驗結果



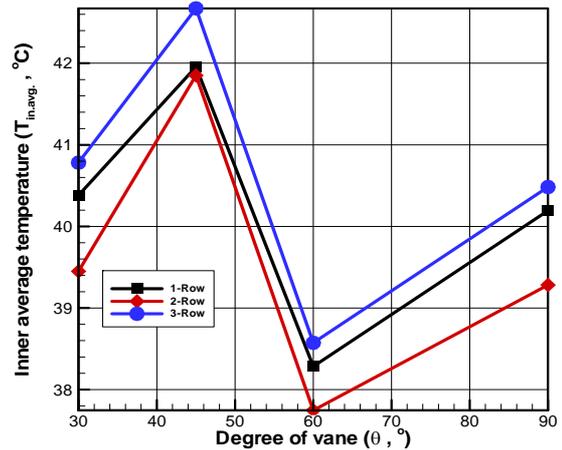
圖二十 (a) 鎢絲燈一排開孔內部逐時溫度變化圖



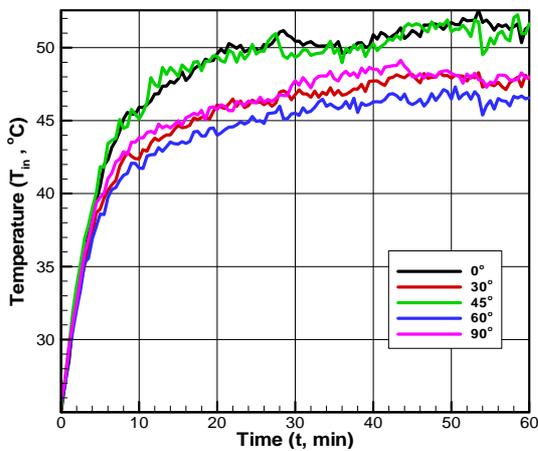
圖二十 (b) 鎢絲燈二排開孔內部逐時溫度變化圖



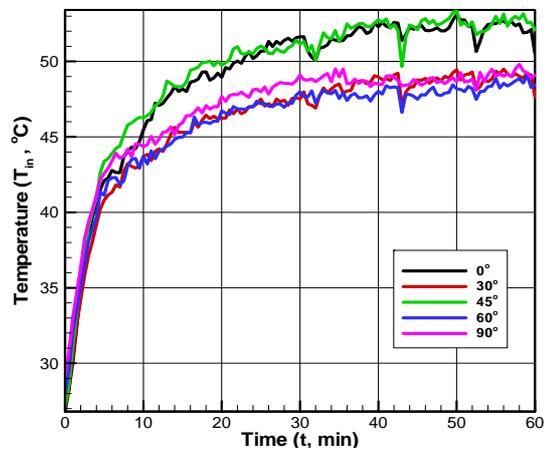
圖二十 (c) 鎢絲燈三排開孔內部逐時溫度變化圖



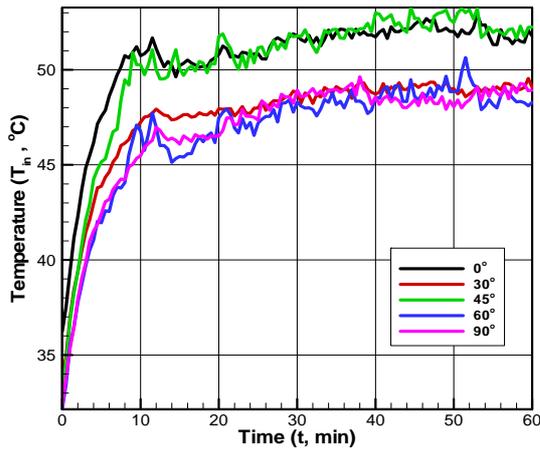
圖二十 (d) 鎢絲燈各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)



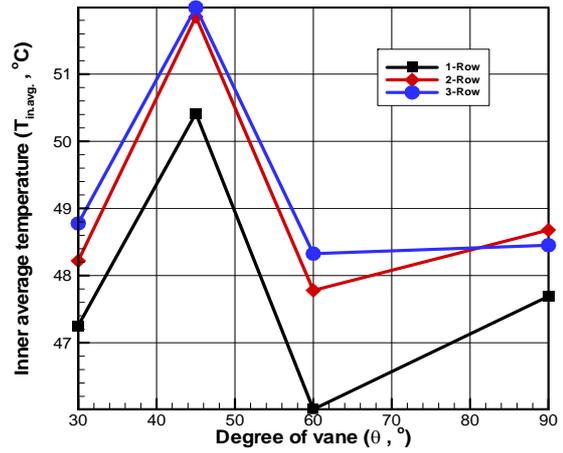
圖二十一 (a) 3U 省電燈泡一排開孔內部逐時溫度變化圖



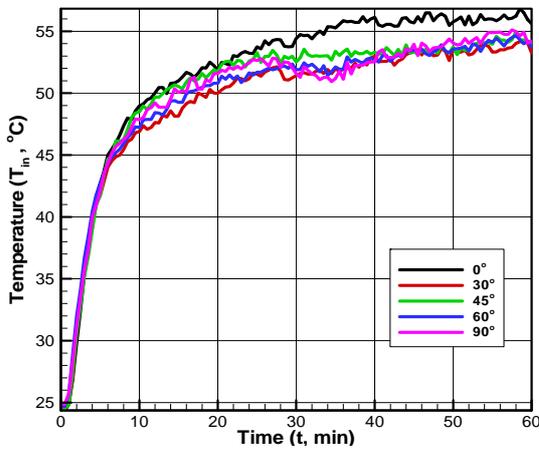
圖二十一 (b) 3U 省電燈泡二排開孔內部逐時溫度變化圖



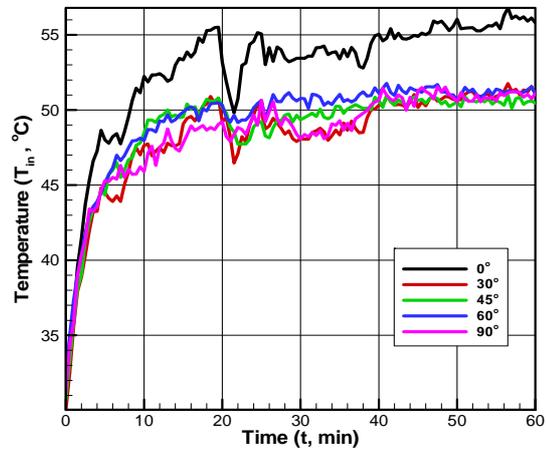
圖二十一 (c) 3U 省電燈泡三排開孔內部逐時溫度變化圖



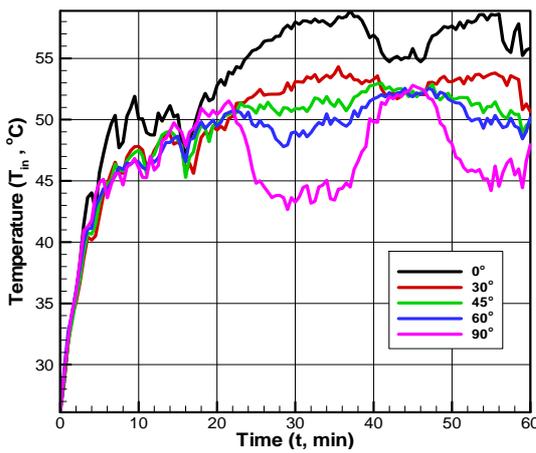
圖二十一 (d) 3U 省電燈泡各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)



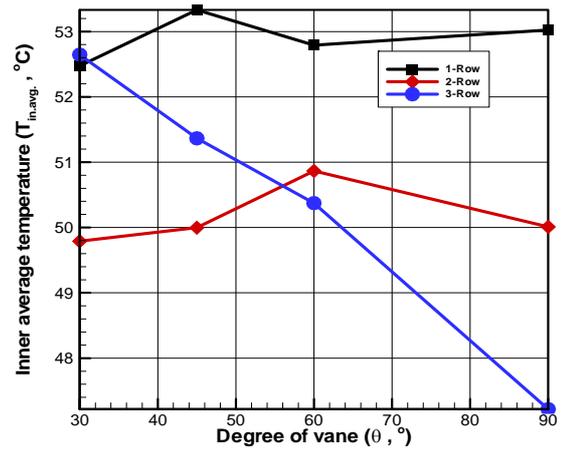
圖二十二 (a) 螺旋省電燈泡一排開孔內部逐時溫度變化圖



圖二十二 (b) 螺旋省電燈泡二排開孔內部逐時溫度變化圖

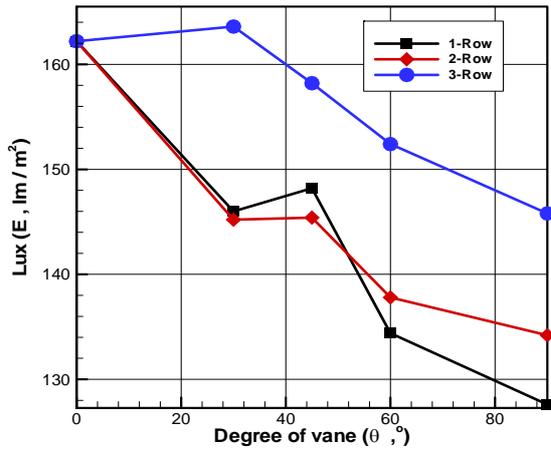


圖二十二 (c) 螺旋省電燈泡三排開孔內部逐時溫度變化圖

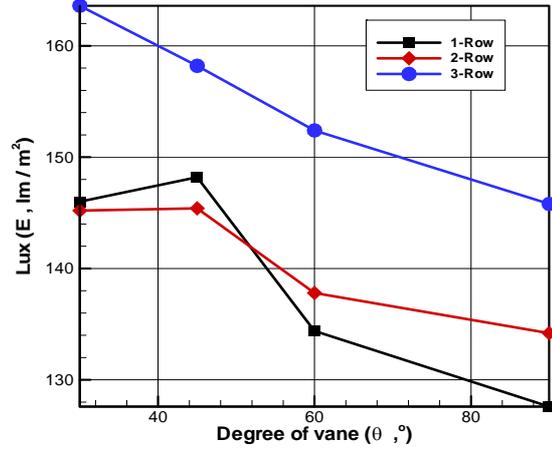


圖二十二 (d) 螺旋省電燈泡各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)

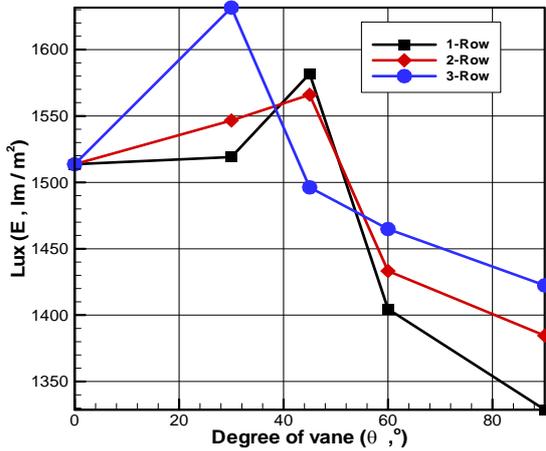
2. 開孔角度與排列方式對平均照度變化的影響實驗結果



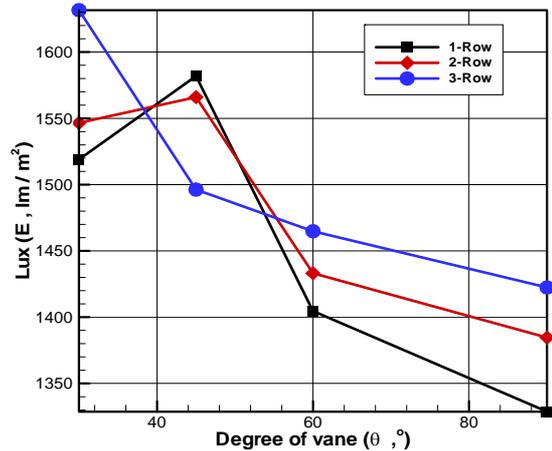
圖二十三 (a) 鎢絲燈泡開孔角度與平均照度比較圖



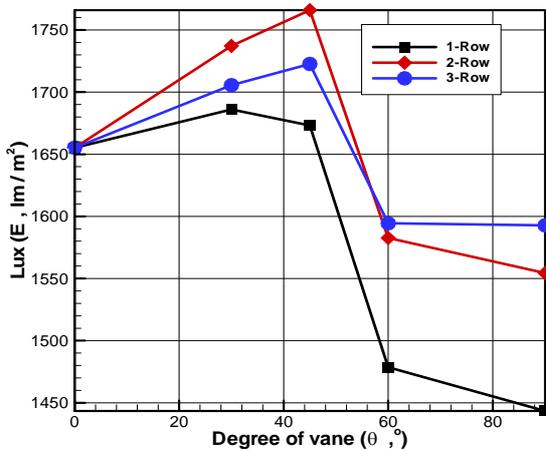
圖二十三 (b) 鎢絲燈泡開孔角度與平均照度曲線圖
(放大有開孔部分)



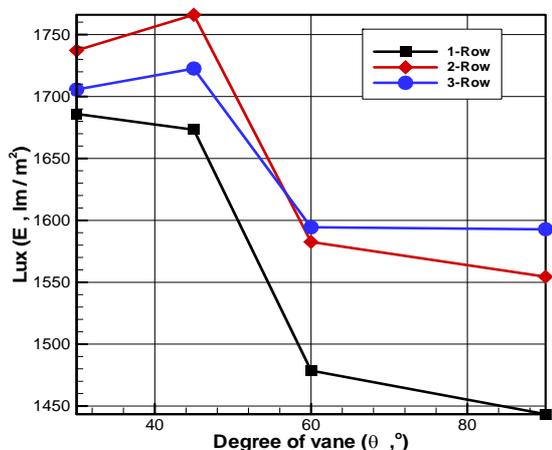
圖二十四 (a) 3U 省電燈泡開孔角度與平均照度比較圖



圖二十四 (b) 3U 省電燈泡燈開孔角度與平均照度曲線圖
(放大有開孔部分)

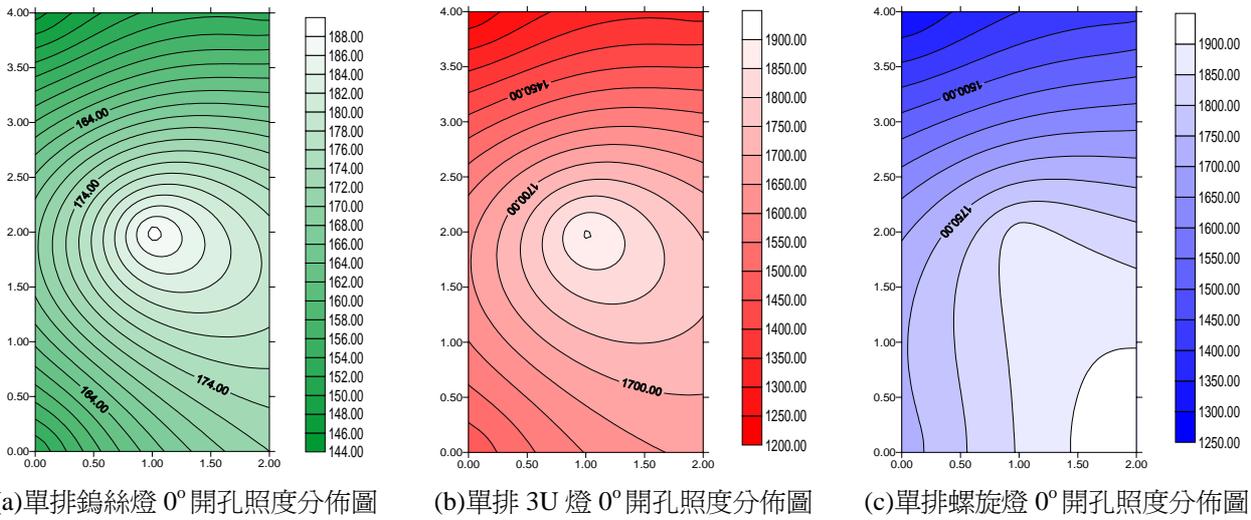


圖二十五 (a) 螺旋省電燈泡開孔角度與平均照度比較圖

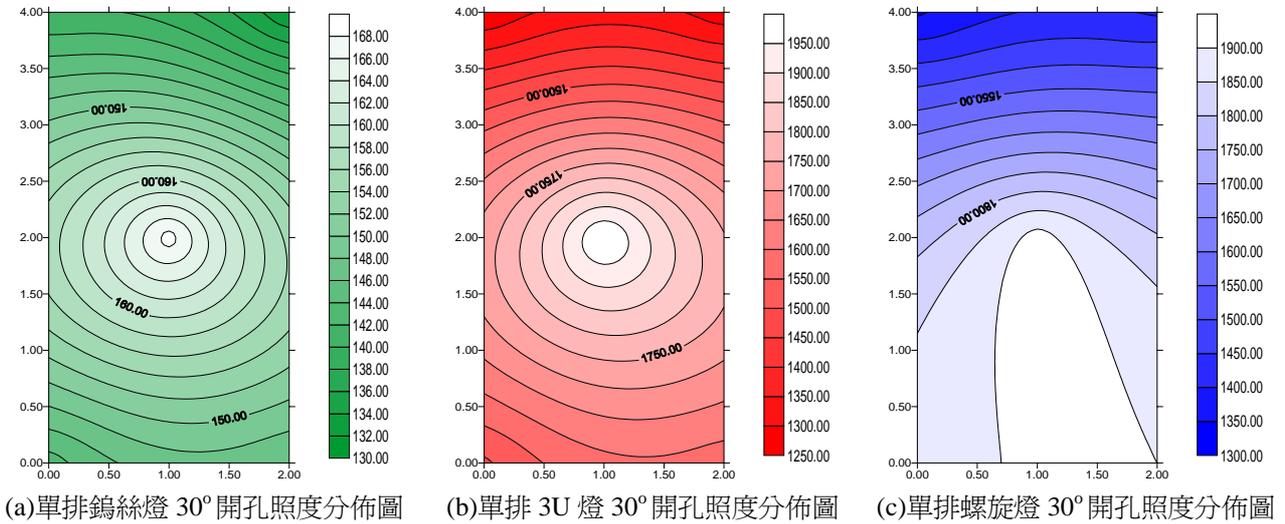


圖二十五 (b) 螺旋省電燈泡燈開孔角度與平均照度曲線圖
(放大有開孔部分)

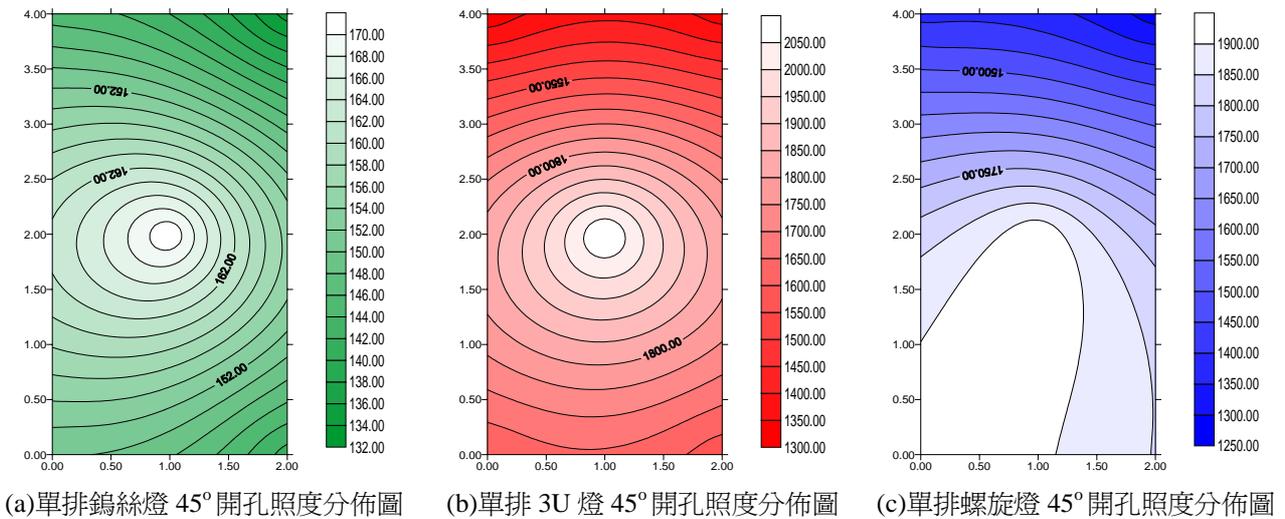
3.開孔角度與排列方式對照度分佈變化的影響實驗結果



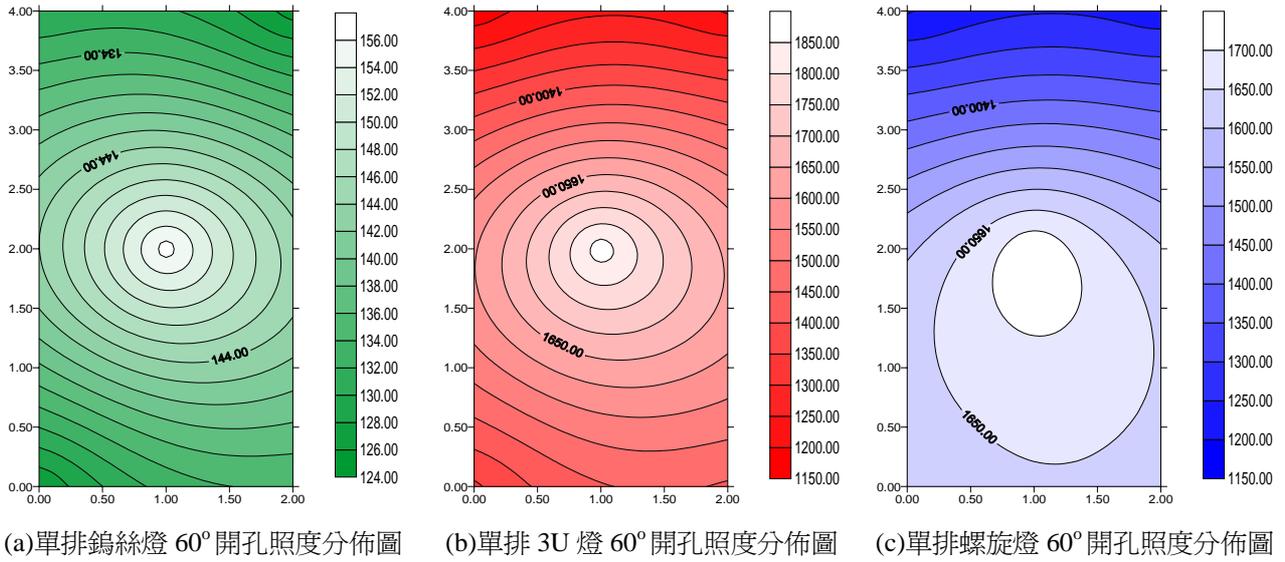
圖二十六 各種實驗燈具單排 0° 開孔照度分佈圖



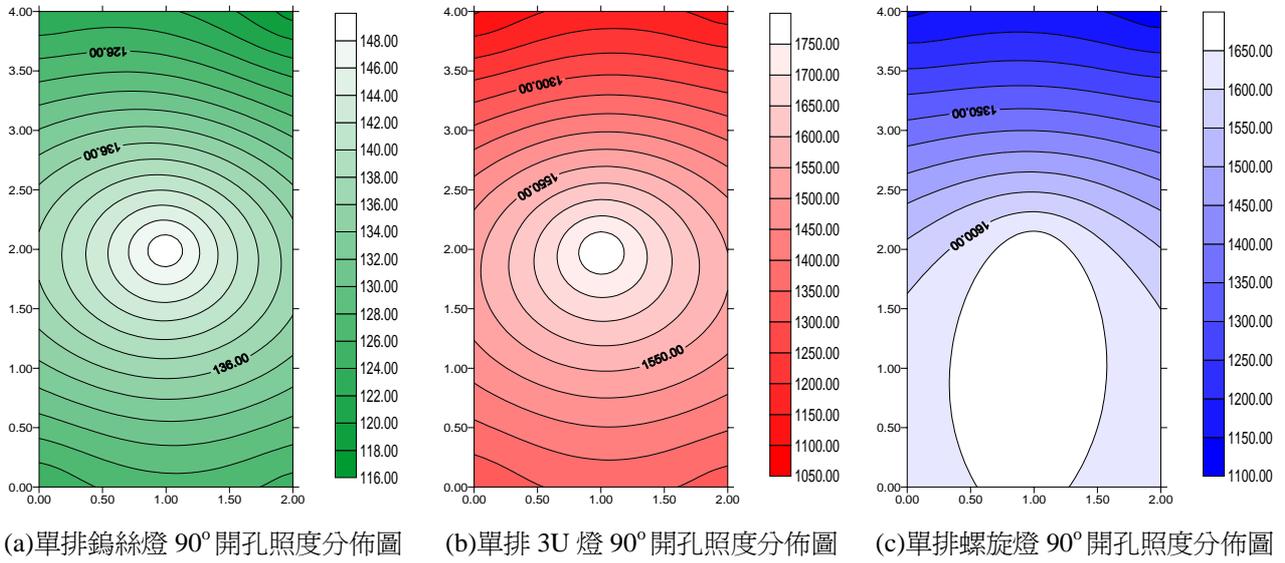
圖二十七 各種實驗燈具單排 30° 開孔照度分佈圖



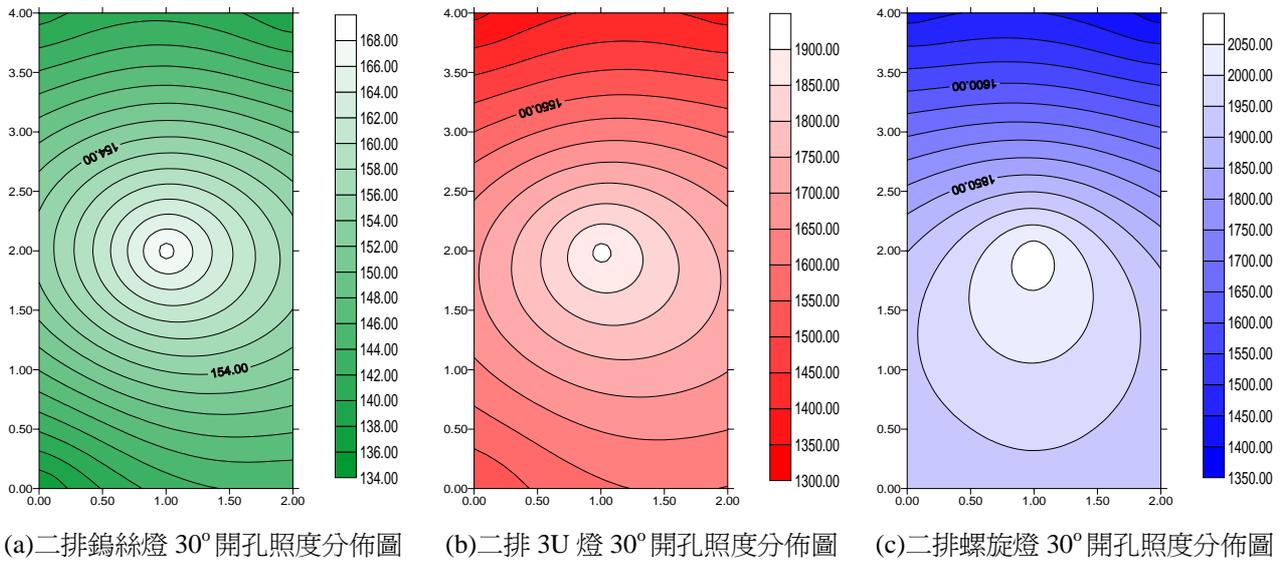
圖二十八 各種實驗燈具單排 45° 開孔照度分佈圖



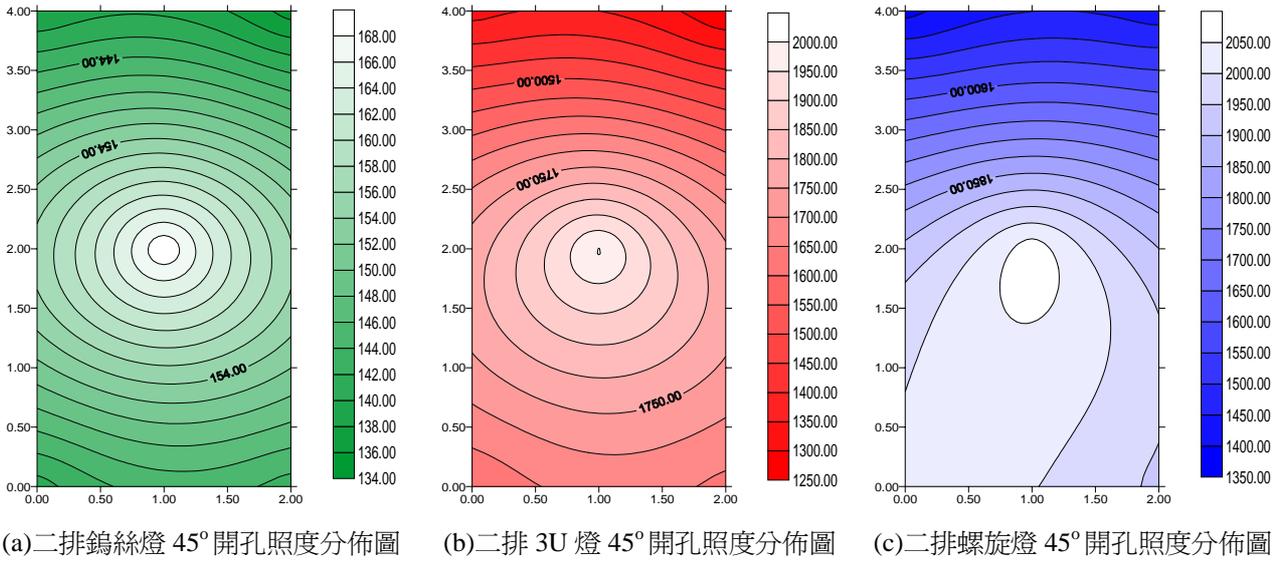
圖二十九 各種實驗燈具單排 60° 開孔照度分佈圖



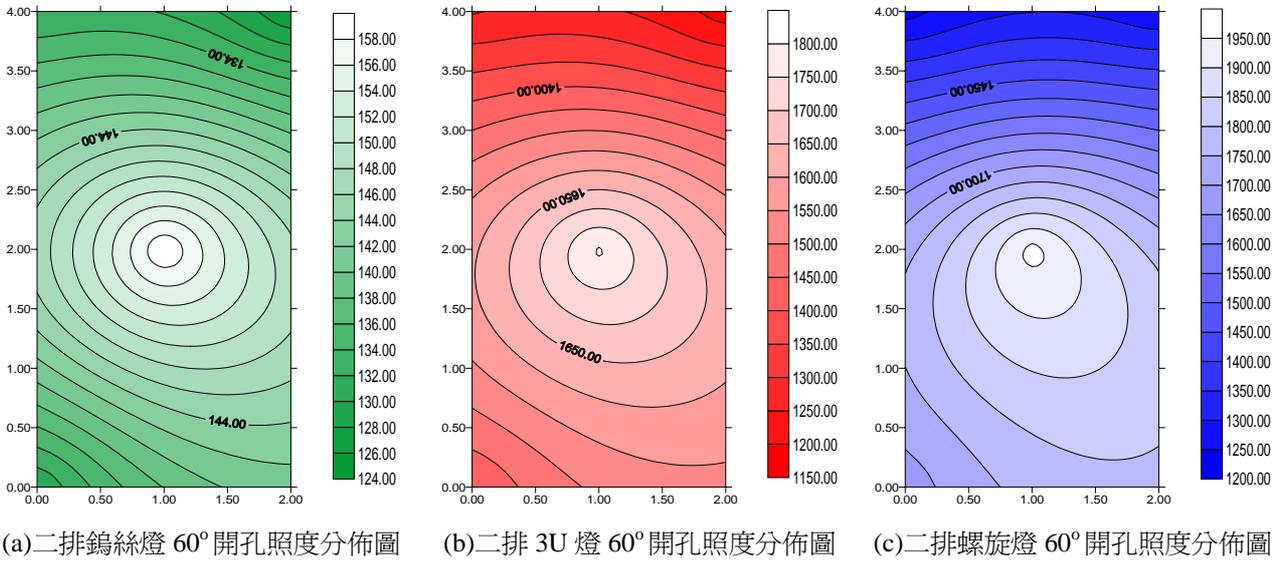
圖三十 各種實驗燈具單排 90° 開孔照度分佈圖



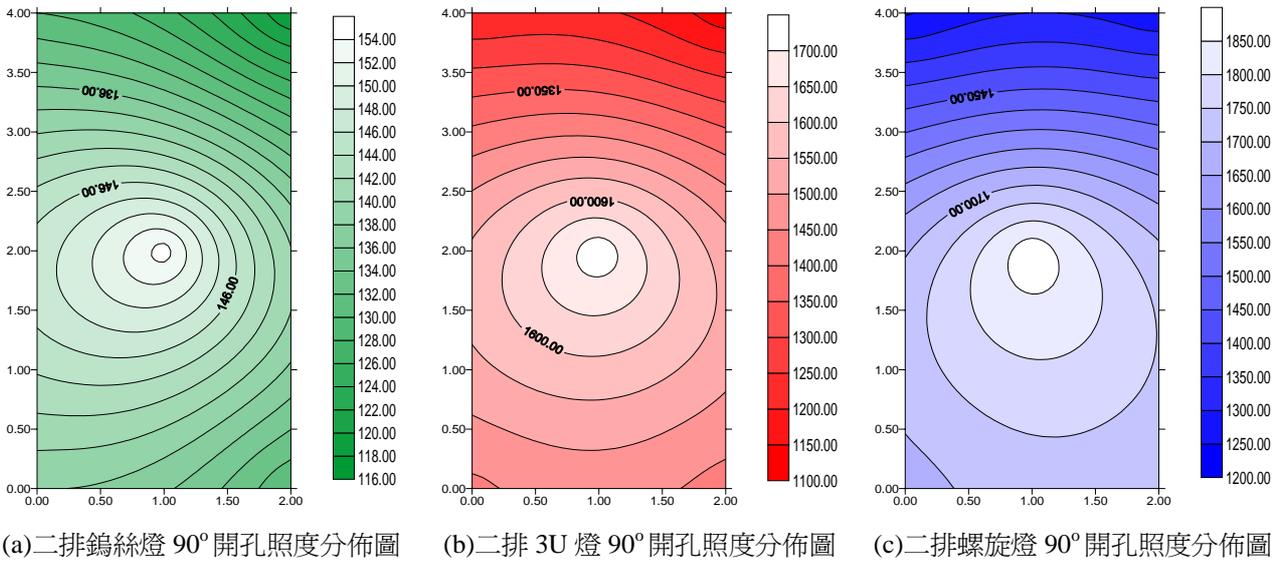
圖三十一 各種實驗燈具二排 30° 開孔照度分佈圖



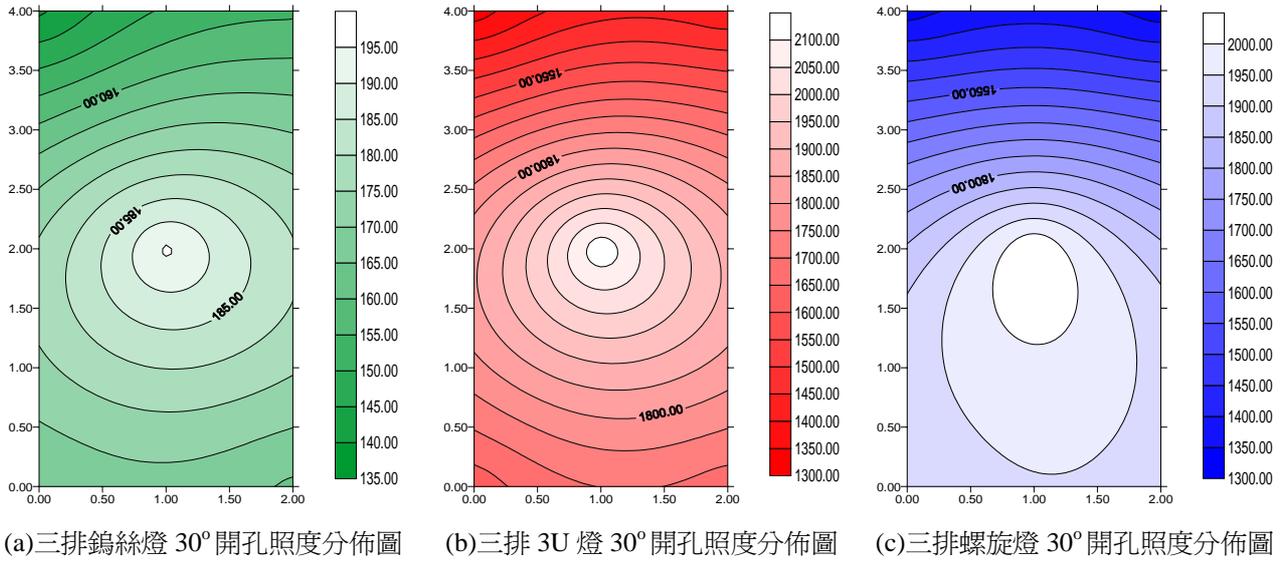
圖三十二 各種實驗燈具二排 45° 開孔照度分佈圖



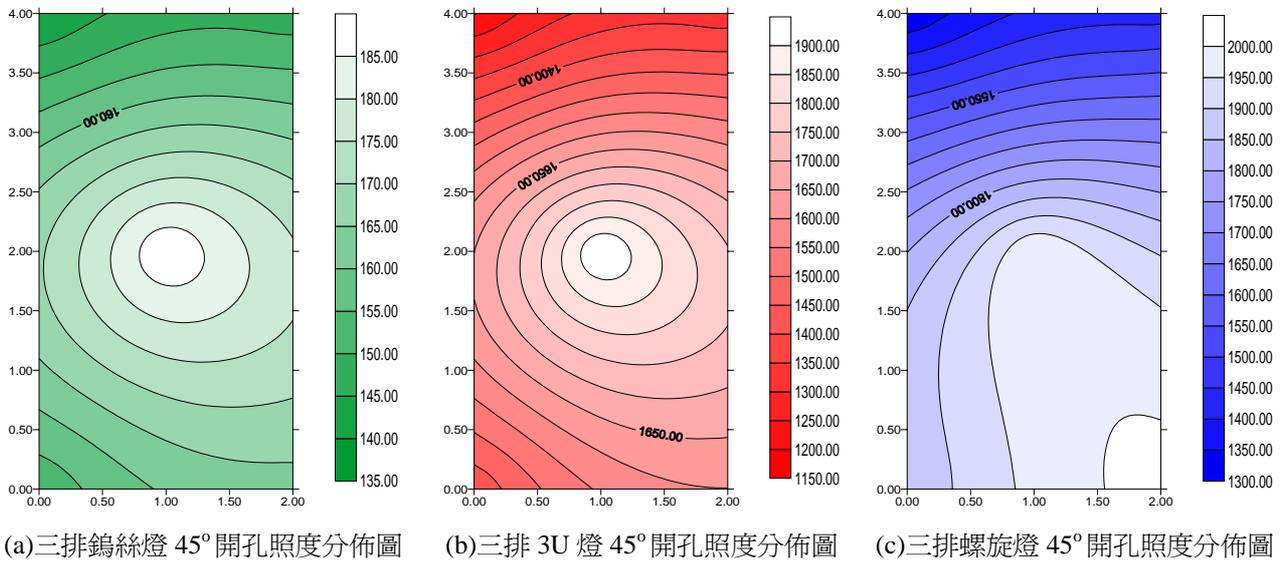
圖三十三 各種實驗燈具二排 60° 開孔照度分佈圖



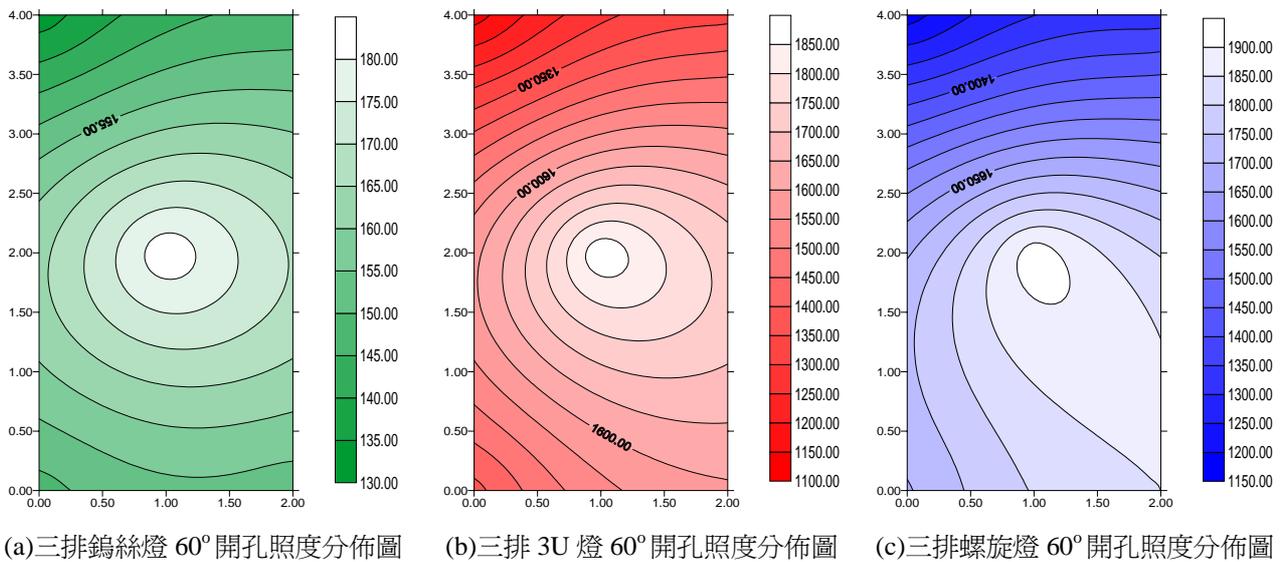
圖三十四 各種實驗燈具二排 90° 開孔照度分佈圖



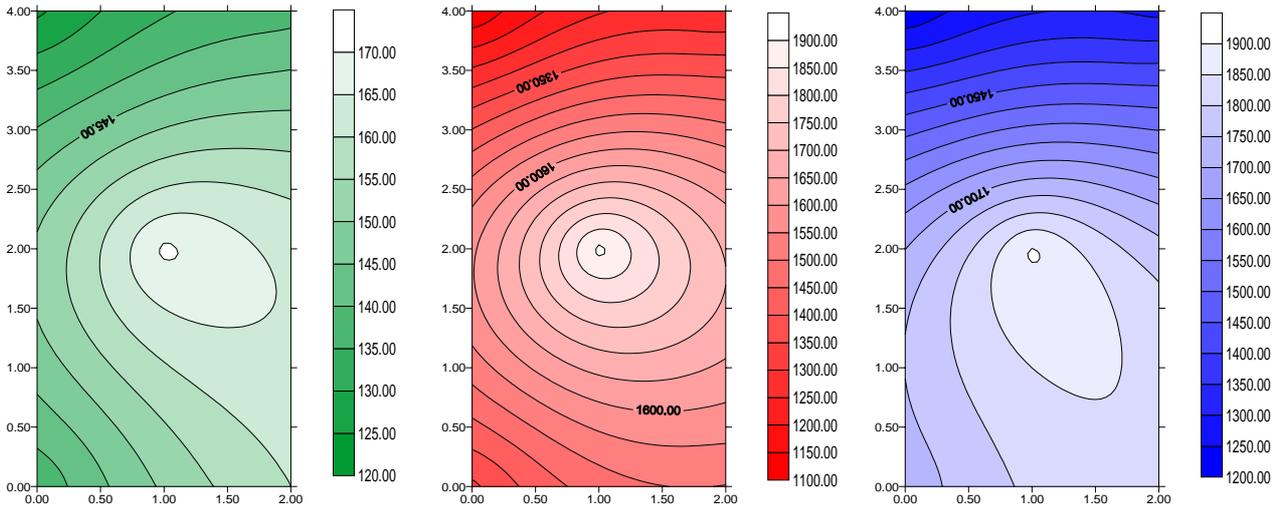
圖三十五 各種實驗燈具三排 30° 開孔照度分佈圖



圖三十六 各種實驗燈具三排 45° 開孔照度分佈圖

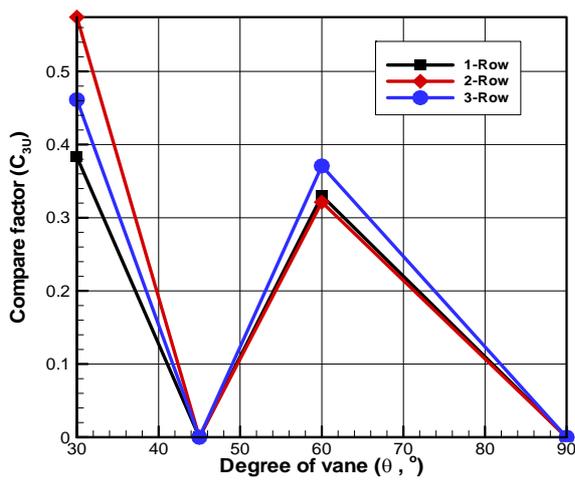


圖三十七 各種實驗燈具三排 60° 開孔照度分佈圖

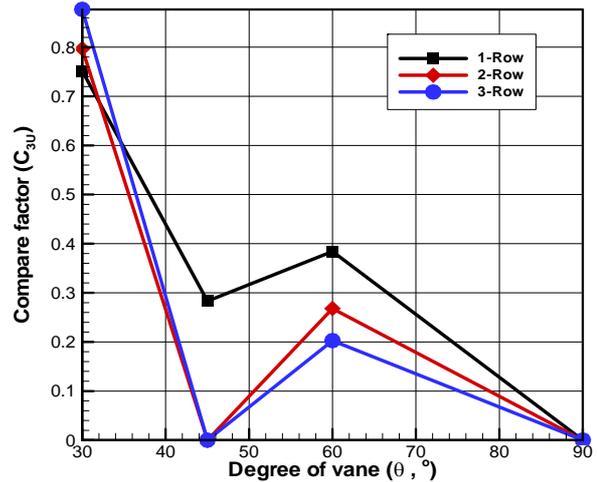


圖三十八 各種實驗燈具三排 90° 開孔照度分佈圖

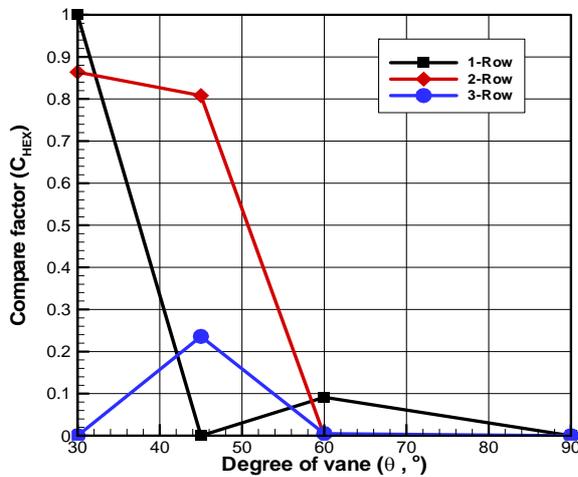
4. 各種燈泡最佳條件選擇結果



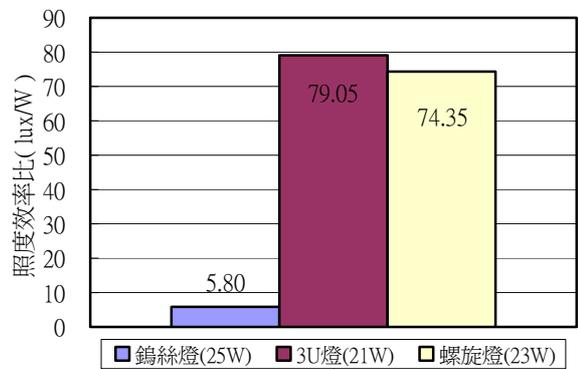
圖三十九 鎢絲燈選擇曲線圖



圖四十 3U 燈選擇曲線圖



圖四十一 螺旋燈選擇曲線圖



圖四十二 各燈泡最佳選擇條件之照度效率比

表一 各種燈泡最佳狀況的選擇表（取自圖三十九～四十一）

測試燈泡名稱	鎢絲燈泡 (額定 110V/25W)	3U 省電燈泡 (額定 110V/20W)	螺旋省電燈泡 (額定 110V/23W)
開孔排數 (Row)	2	3	1
開孔角度(Degree)	30°	30°	30°

表二 各種燈泡最佳狀況的選擇表（參照照度分佈圖修正）

測試燈泡名稱	鎢絲燈泡 (額定 110V/25W)	3U 省電燈泡 (額定 110V/20W)	螺旋省電燈泡 (額定 110V/23W)
開孔排數 (Row)	2	3	2*
開孔角度(Degree)	30°	30°	30°

表三 實驗環境平均溫度控制一覽表

開孔排數 (Row)	1	2	3
測試燈泡名稱	鎢絲燈泡 (額定 110V/25W)		
溫度 (°C)	25.214	25.13	25.31
測試燈泡名稱	3U 省電燈泡 (額定 110V/21W)		
溫度 (°C)	24.77	24.90	24.74
測試燈泡名稱	螺旋省電燈泡 (額定 110V/23W)		
溫度 (°C)	25.04	24.38	24.80
備註：實驗室空調設備設定溫度為 24°C			

5. 濾網過濾性能判斷長期實驗結果

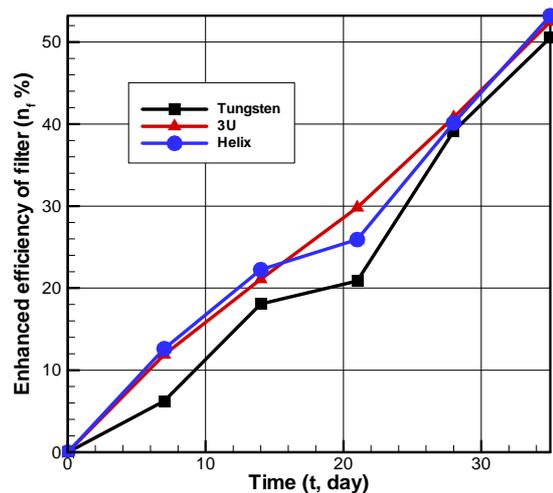
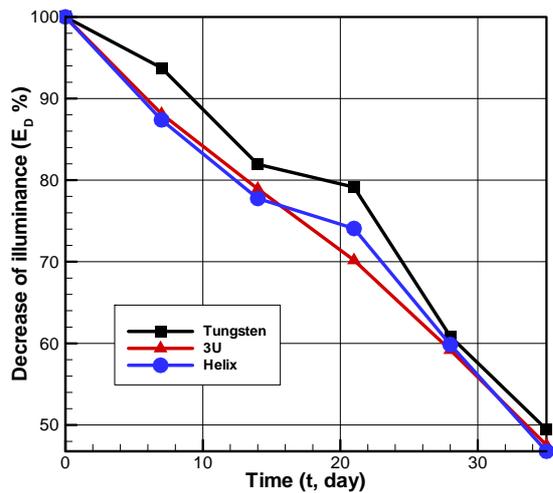


(a) 新濾網



(b) 五星期測試後

圖四十三 濾網使用前後立體顯微鏡照片 (4x7 倍)



圖四十四 濾網長期測試實驗的照度衰減百分率變化圖 圖四十五 濾網長期測試實驗的過濾效果增進率變化圖

表四 五週長期實驗濾網照度衰減百分率與濾網過濾效果增進率一覽表

測試時間 (Days)	濾網照度衰減百分率 (%)			濾網過濾效果增進率 (%)		
	鎢絲燈	3U 燈	螺旋燈	鎢絲燈	3U 燈	螺旋燈
0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
7	93.8	88.1	87.4	6.2	11.9	12.6
14	81.9	78.9	77.8	18.1	21.1	22.2
21	79.1	70.2	74.1	20.9	29.8	25.9
28	60.9	59.2	59.9	39.1	40.8	40.1
35	49.5	47.5	46.8	50.5	52.5	53.2

四、討論及應用

本節將針對各實驗研究結果進行分析與討論如下：

(一) 開孔角度與排列方式對燈內溫度變化的影響結果討論

如圖二十所示為鎢絲燈泡燈內溫度變化曲線圖。該圖中顯示不同排列方式與開孔角度對於燈內溫度變化的影響。在考量有開孔的情況之下，由圖中可以發現不論開孔排數為何，燈內發生最低溫度的情況均為開孔 60°；燈內發生最高溫度的情況均為開孔 45°。

圖二十一所示為 3U 省電燈泡燈內溫度變化曲線圖。在考量有開孔的情況之下，由圖中可以發現不論開孔排數為何，燈內發生最低溫度的情況均為開孔 60°；燈內發生最高溫度的情況均為開孔 45°。

圖二十二所示為螺旋省電燈泡燈內溫度變化曲線圖。在考量有開孔的情況之下，由圖中可以發現不論開孔排數為何，燈內發生最低溫度的情況均為開孔 90° ；燈內發生最高溫度的情況均為開孔 30° 。

上述各實驗結果圖中可以發現，某些未開孔的狀態 (0°) 之下溫度反而低於有開孔的情況發生，這主要是因為沒有開孔的燈罩內部氣流流動的狀態不如有開孔的狀態，因此燈罩內的溫度分佈並不均勻，而且在空氣流動效果不佳的情況之下，對於熱傳是相當不利的，因此熱電耦量測到的誤差就會比較大，不過未開孔在各種條件之下，仍接近最高的燈內溫度。為了驗證此一假設，本研究使用表面溫度計去測試燈泡表面溫度，發現燈罩未開孔的燈泡表面溫度大約高於燈罩有開孔的燈泡表面溫度 10°C 以上，因此未開孔的狀態應該還是最熱的狀況。由各圖中可以看出排列方式、開孔角度與燈內溫度高低無等比例的關係，但是開孔能降低燈溫度的趨勢是肯定的，主要是因為對流的問題是非常複雜，很難以單一條件去評估，這也就是本研究為何要以實驗進行驗證的原因。將所有實驗結果進行散熱增進因子 (式(10)) 的計算，作為決定比較因子的第一步。

(二) 開孔角度與排列方式對平均照度變化的影響結果討論

如圖二十三所示為鎢絲燈泡平均照度變化曲線圖。在討論有開孔的範圍條件之下，該圖中顯示三排開孔平均照度最高，並隨著開孔角度增加而有降低的趨勢，不過整個範圍均高於開孔一、二排的情況。開孔一排與二排的平均照度值有發生交越的情形，在二排條件下的照度值隨著角度增加的下降較一排為緩和，整體而言，平均照度是隨著開孔角度的增加而降低，僅在一排 45° 時發生一次例外。

如圖二十四所示，為 3U 燈泡平均照度變化曲線圖。在討論有開孔的範圍條件之下，該圖中顯示各開孔狀況均發生交越的情形，其中三排開孔的條件下，平均照度隨著角度增加的下降。一、二排都是在 45° 發生最大平均照度後，才開始隨著開孔度增加而呈現下降的趨勢，整體而言，平均照度是隨著開孔角度的增加而降低，僅在一、二排 45° 時發生二次例外。

如圖二十五所示，為螺旋燈泡平均照度變化曲線圖。在討論有開孔的範圍條件之下，該圖中顯示二、三排開孔平均照度較高，並發生交越的情況，都是在 45° 發生最大平均照度後，隨著開孔角度增加而有降低的趨勢。開孔一排的平均照度在各角度條件之下均比二、三排為低，整個範圍隨著開孔角度增加而有降低的趨勢。

綜觀上述各實驗結果圖可以發現，在有開孔的情況之下，開孔角度較小可以獲得較大的

照度的現象，不過有些情況 45° 的平均照度卻高於 30° ，不過 60° 與 90° 的平均照度均不會高於 30° 與 45° 的情況，所有平均照度實驗的結果在開孔 45° 以後都呈現非線性下降的趨勢。會產生這些變化的原因很多，主要是因為燈泡並非點光源且反光面也非鏡面反射，使得反光效率問題變得繁複。將所有實驗結果進行照度增進因子（式(11)）的計算，作為決定選擇因子的第二步。

（三）開孔角度與排列方式對照度分佈變化的影響結果討論

如圖二十六～三十所示，為各種實驗燈具導葉板的開孔角度與單排的照度分佈圖。由圖中可以發現，在單排的情況之下，無論開孔角度為何，鎢絲燈泡和 3U 省電燈泡的照度都分佈很平均。但螺旋燈泡的照度分佈卻不盡相然，由圖中可以看出，當開孔角度為 0° 與 45° 時，照度明顯的往左右邊的下方偏移。就鎢絲和 3U 燈泡而言，其照度是由中心逐漸向外減弱。

如圖三十一～三十四所示，為各種實驗燈具導葉板的開孔角度與二排的照度分佈圖。由圖中可以發現，雖然螺旋燈泡在開孔角度為 45° 時照度有往左下偏的現象，但其照度仍為各角度的最大值。無論開孔角度為何，鎢絲燈泡和 3U 省電燈泡的照度都分佈很平均，其照度是由中心逐漸向外減弱。

如圖三十五～三十八所示，為各種實驗燈具導葉板的開孔角度與三排的照度分佈圖。根據圖中可以看出，鎢絲與 3U 省電燈泡的照度分佈是十分的平均，其照度是由中心逐漸向外減弱，鎢絲燈泡僅在三排開孔 90° 時發生照度集中偏右的情況。就螺旋燈泡而言，在開孔角度為 45° 、 60° 和 90° 時，照度有明顯的往右下方偏移的情形。

根據上述各實驗結果圖中可以知道，鎢絲和 3U 省電燈泡在任何的開孔角度及導葉板的排列數情況之下，其照度的分佈是由中心點向四周緩步降低，呈現平均的狀態。螺旋燈泡的照度分佈在某些開孔角度及排數之下會發生偏移的情形，照度分佈不是很均勻，且由圖中還可以看出螺旋燈泡的照度分佈不會像鎢絲和 3U 省電燈泡一樣，都是由中心向四周擴散，而是會發生某方向的偏移，且照度的衰減梯度較為劇烈，這個原因可能跟螺旋燈泡的幾何形狀有關係。雖然螺旋燈泡的照度為三者中最高，但其照度的分佈不平均。在要求光線均勻與省電的場合之下，3U 燈泡應該是照明效率與平均度兼顧的最佳選擇。

(四) 各種燈泡最佳條件選擇結果討論

最後將照度增進因子與散熱增進因子帶入比較因子（式(12)）的公式中，即可繪製比較因子關係圖。如圖三十九～四十一所示，為三種燈泡選擇的曲線圖，根據曲線圖整理出將來長期過濾性能實驗的條件，其初步選擇的最佳狀況如表一所示。為了兼顧照明的均勻度，將初步選擇的最佳狀態參考照度分佈圖加以比較，發現鎢絲燈與 3U 燈的最佳選擇狀態的照度分佈上屬均勻分佈，不過螺旋燈的最佳狀況（單排/30 度）則在照度分佈方面顯得不理想，因此退而求其次選擇第二最佳狀態（兩排/30 度）作為長期測試的條件，因此表一可以更進一步修正為表二，各種燈泡的最佳配置的燈內溫度均比無開孔時低了約 4℃。如圖四十二所示，為各種燈泡在最佳配置狀態的照度效率比，其中可以發現，單位消耗電功率所呈現的照度值是以 3U 為最高，其次為螺旋燈泡，鎢絲燈則遠低於其他二者，這也就是為何普遍使用電子省電燈泡的原因，電子省電燈泡的照度效率比高達鎢絲燈泡十倍以上。如表三所示，為各種條件測試時的環境溫度控制的平均溫度值一覽表（以分離式冷氣設定溫度 24℃），由表中可看出實驗時的環境溫度均能維持 24±1℃ 以內，應能儘量消除環境溫度變化所造成的影響。

(五) 濾網過濾性能判斷長期實驗結果討論

本研究長期濾網過濾效果以立體顯微鏡觀察以及濾網穿透照度來判定。如圖四十三所示，為經過五星期長期測試前後的顯微照片，從濾網照片可以看出使用過的濾網顏色明顯比較深，但是僅限於觀測，無法定量，因為三個燈具的濾網使用顯微鏡觀測難以分辨其差異，因此還是必須靠濾網穿透照度來判定。如圖四十四所示，為經過五星期的長測試條件之下濾網透光照度的趨勢圖，該圖是利用每星期量測的透光照度搭配式（13）計算求得。由圖中可以發現，濾網透光的照度呈現逐時衰減的趨勢，其中 3U 與螺旋燈泡的衰減趨勢非常接近，鎢絲燈則較為緩和，經過五星期長期的測試，濾網透光的照度只剩下一半以下（各詳細值如表四所示）。污染越嚴重濾網則越不透光，因此 3U 與螺旋燈泡在此空氣清淨燈中的效果比鎢絲燈為高，這個原因可以從燈內溫度實驗結果（圖二十(d)～二十二(d)）看出，鎢絲燈平均溫度約為 39.5℃（二排/30°），3U 燈平均溫度約為 48.8℃（三排/30°），螺旋燈平均溫度約為 49.8℃（二排/30°），鎢絲燈在燈內的溫度明顯低於其他二者，熱的驅動力較弱，因此過濾效果較差。若再考慮三者額定功率來看，3U 燈泡額定功率為三者最低（21W），過濾效果也與螺旋

燈泡相當，如果再考慮照度分佈的情況，3U 燈泡的照度分佈也比螺旋燈泡為均勻，整個研究的最佳選擇是 3U 燈泡。3U 燈泡在整個研究中呈現最佳的狀況可能與其較狹長的外型使得熱分佈與照度都較為均勻，整體造成的循環空氣量也比較大，因此通過濾網的熱空氣也較多，因此雖然燈罩內溫度與耗電量均比螺旋燈為低，但是過濾效果卻不會遜色，不過在平均照度的大小上則是比螺旋燈泡小。利用式 (14) 可以將圖四十四轉換成如圖四十五所示的過濾效能增進率變化圖，該圖與照度衰減圖互補 (相加等於 100%)，呈現各燈具濾網的過濾性能增進率高低的比較，以鎢絲燈為基準值來看，3U 燈是鎢絲燈的 1.04 倍，螺旋燈是鎢絲燈的 1.05 倍，相差不多。

五、結論

本研究的目的是要開發出不需額外提供能源就具有過濾效果的空氣清淨燈。其功能包含省能、延長燈泡壽命與有效提升室內空氣品質的目的。最後再經由長期過濾性能的量測以確立本裝置的可行性與優越性。本研究綜合歸納結論如下：

- (一) 開孔角度與燈內溫度高低無等比例的關係，但是開孔能降低燈溫度的趨勢是肯定的，主要是因為對流的問題是非常複雜，很難以單一條件去評估，故本研究提出散熱增進因子，作為決定比較因子的第一步。
- (二) 在有開孔的情況之下，開孔角度較小可以獲得較大的照度的現象，不過有些情況 45° 的平均照度卻高於 30° ，不過所有平均照度實驗的結果在開孔 45° 以後都呈現非線性下降的趨勢。會產生這些變化的原因很多，主要是因為燈泡並非點光源且反光面也非鏡面反射，使得反光效率問題變得繁複。本研究提出照度增進因子，作為決定比較因子的第二步。
- (三) 鎢絲和 3U 省電燈泡在任何的開孔角度及導葉板的排列數情況之下，其照度的分佈是由中心點向四周緩步降低，呈現平均的狀態。螺旋燈泡的照度分佈在某些開孔角度及排數之下會發生偏移的情形，照度分佈不是很均勻。在要求光線均勻與省電的場合之

下，3U 燈泡應該是照明效率與平均度兼顧的最佳選擇。

(四) 本研究最後長期實驗的條件是以計算出的比較因子來決定。單位消耗電功率所呈現的照度值是以 3U 為最高，其次為螺旋燈泡，鎢絲燈則遠低於其他二者，這也就是為何現在大家都普遍使用電子省電燈泡的原因，電子省電燈泡的照度效率比高達鎢絲燈泡十倍以上。

(五) 3U 與螺旋燈泡的衰減趨勢非常接近，鎢絲燈則較為緩和，經過五星期長期的測試，濾網透光的照度只剩下一半以下。在同時考慮燈內溫度、照度分佈與過濾效果的情況之下，本研究推薦 3U 燈泡為最佳選擇。

本研究所開發的自然對流清淨燈具經過實驗驗證，三種燈泡的最佳配置均能兼顧燈具散熱與照明效果，並能有效地過濾空氣中的污染物，此一研究結果可供在此一研究領域的研究者做為參考。本燈具的研究概念還可以更進一步地應用到相關照明設備之中，包含家庭或寺廟中的供桌、廚房與教室中的日光燈照明，相信本研究的成果能在空氣清淨與省能領域有所貢獻。

六、參考資料

- [1] 褚德三。基礎物理－第五章 光。龍騰文化。2001。
- [2] 林源堂。陀螺天燈轉速控制之探討，物理雙月刊，廿二卷一期，02. 2000。
- [3] 楊春欽 譯。熱傳遞學。科技圖書有限公司。1980。
- [4] 卓清松、鄭龍嶽、徐金輝。空氣污染與清淨裝置之原理，台北市立木柵高工學報第八期，2003。
- [5] 卓清松、鄭龍嶽、王偉儒。空氣清淨濾網之原理與技術，台北市立木柵高工學報第八期，2003。
- [6] 黃瑞隆、陸紀文、黃建民、謝文建、謝建新 編譯。空調工程與設計，第四章 舒適與健康－室內環境品質，高立圖書有限公司，2003。
- [7] ASHRAE, *Systems and Equipment Handbook, Chapter24 Air cleaners for particulate contaminants*. P.24.15. 2000.
- [8] Golden software Inc., *Grapher ver.1.32, 2-D Graphing User guide*. Colorado, U.S.A., 1997.
- [9] Golden software Inc., *Sufer(win32) ver.6.04, Surface Mapping System User guide*. Colorado, U.S.A., 1997.
- [10] Amtec Engineering Inc.(2000). *Tecplot 8.0 User's Manual*, Bellevue, Washington.

附錄

(一) 實驗裝置實體圖



附圖一 燈具溫度量測



附圖二 燈具溫度量測一隅



附圖三 燈具上方濾網實體照片



附圖四 鎢絲燈測試燈內實體照片



附圖五 濾網過濾效果測試裝置



附圖六 濾網過濾效果長期測試