

# 臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作 品 名 稱：新型空氣清淨燈具之研究與開發

得 獎 獎 項：第二名

學 校 / 作 者：臺北市立明倫高級中學

張澗云

# 目 錄

目 錄.....	ii
作者簡介.....	iv
摘 要.....	1
壹、前言.....	2
貳、研究方法或過程.....	3
一、研究方法.....	3
二、理論分析.....	3
(一) 照明的原理.....	3
(二) 空氣浮力的基本原理.....	4
(三) 照度與散熱的關係.....	6
(四) 太陽能電池.....	7
(五) 空氣清淨的基本原理.....	7
三、成品與實驗裝置製作.....	10
(一) 反光導葉板裝置製作.....	10
(二) 濾網板的製作.....	10
(三) 燈罩裝置.....	10
(四) 自然對流－空氣清淨桌燈.....	10
(五) 強制對流與自然對流－空氣清淨吊燈.....	10
四、實驗設計.....	14
(一) 桌燈（自然對流）方面.....	14
(二) 吊燈（自然對流與強制對流）方面.....	16
參、研究結果與討論.....	22
自然對流桌燈實驗結果.....	22
(一) 開孔角度與排列方式之照度分佈實驗結果.....	22
(二) 開孔角度與排列方式之平均照度實驗結果.....	26
(三) 開孔角度與排列方式之燈內溫度實驗結果.....	27
(四) 開孔角度與排列方式之最佳配置計算結果（compare factor, C）.....	29
(五) 過濾效果長期實驗結果.....	31
吊燈實驗結果（自然&強制對流）.....	32
(一) 照度分佈實驗結果.....	32
(二) 平均照度實驗結果.....	33
(三) 有無開孔之燈內溫度實驗結果.....	34
(四) 過濾效果長期實驗結果.....	35
(五) 無外加污染物長期實驗結果.....	36
三、無外加污染物長期實驗濾網過濾效果結果與計算.....	38
肆、結論與應用.....	40
一、自然對流桌燈部分.....	40
(一) 開孔角度與排列方式對照度分佈變化的影響.....	40

(二) 開孔角度與排列方式對平均照度變化的影響.....	41
(三) 開孔角度與排列方式對燈內溫度變化的影響.....	41
(四) 各種燈泡最佳條件選擇的比較.....	42
(五) 濾網過濾性能判斷長期實驗結果討論.....	42
二、自然對流與強制對流吊燈部分.....	43
(一) 各種燈泡照度分佈變化實驗結果討論.....	43
(二) 各種燈泡平均照度變化的結果討論.....	44
(三) 開孔對燈內溫度變化的結果討論.....	44
(四) 濾網過濾性能判斷長期實驗結果討論.....	45
三、無外加污染物濾網實際測試.....	46
伍、結論與應用.....	47
一、在自然對流清淨桌燈方面.....	47
二、在自然對流與強制對流清淨吊燈方面.....	48
陸、參考文獻.....	49
柒、附錄.....	50

## 作者簡介



我叫張瀨云，是一個對任何事情都保有好奇心態的人，對我而言，人如果缺乏好奇心的話，就會把一切事物視為理所當然，假如人人都如此的話，那社會就不會進步了。很高興能參與這項活動，從整個做科展當中，我學習到許多，尤其是如何進行實驗分析、處理資料及報告的統整能力，也讓我體會到其實研究這檔事是很快樂的，雖然實驗過程當中會遇到許多的瓶頸，以及面臨到會有許多腦細胞死亡的可能，但是當看到實驗成功那瞬間的成就感，真的覺得一切都很值得。

# 新型空氣清淨燈具之研究與開發

## Research and Development of Novel Lamps for Air Cleaning

### 摘 要

本研究主要的目的是在開發同時具有空氣清淨與照明的兩種燈具。其中桌燈是基於自然對流原理，利用燈泡發熱讓氣流通過燈具上方的濾網達到過濾功能，為了尋求過濾效果與照度兼顧的最佳值，本研究並提出比較因子的概念。在吊燈方面，除了運用自然對流原理之外，還更進一步利用太陽能驅動風扇，進行強制對流，強化過濾的效果，使得本研究成果更趨於完善。

由實驗結果可得知，桌燈在四星期長期測試條件之下，其過濾效果增進率分別為 39.1, 40.8 與 40.1%。在吊燈四週長期實驗的結果方面，螺旋與 100W 鎢絲燈泡在自然對流的過濾效果增進率分別為 49.1% 與 51.4%，而 100W 鎢絲燈強制對流方面過濾效果增進率則為 60.2%。由整個研究結果可以發現，本燈具對於空氣清淨有極佳的效果，在不增加額外耗能條件之下，能增加燈具的散熱效果與延長壽命，同時又具備空氣清淨效果，對環境空氣品質具有相當的貢獻。

### Abstract

The purpose of this study is to develop a novel lamp with both the functions of air-cleaning and lighting. One of it is the desk light. Basing on free convection principle, it makes the air run through the filter on the top of the lamp by its heat in order to attain the aim of air cleaning. To find the optimum value of both cleaning effect and illumination, we advanced the compare factor. The other is the droplight, though it is based on the same principle, we use the solar energy as its power to drive the fan. So that the effect of the filter can be augmented and the result of this research approach perfect.

According to the experimental result, in the four-week experiment with desk light, the enhanced efficiency of filter is 39.1%, 40.8% and 40.1% respectively. On the way of droplight with four-week experiment, the enhanced efficiency of filter is 49.1% and 51.4% with helix and tungsten(100W) lamp under the condition of free convection; the enhanced efficiency of filter is 60.2% with tungsten(100W) lamp under forced convection. All these results of the research shows that the novel lamp has great performance on air cleaning and much better effect of heat sink without extra consuming of energy, also the lifespan of the lamp can be extended. Furthermore, it is capable of air cleaning and contributes to the quality of environmental air.

## 壹、前言

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物，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，附近空氣中的微粒物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。

本研究主要的目的是在開發同時具有空氣清淨與照明的燈具。本研究開發出桌燈與吊燈兩種燈具，其中桌燈是基於自然對流原理，利用燈泡發熱讓氣流通過燈具上方的濾網達到過濾功能，為了尋求過濾效果與照度兼顧的最佳值，本研究並提出比較因子的概念。在吊燈方面，因為他有較大的反光面積，安裝太陽能電池對反光面積的影響較低，因此除了運用自然對流原理之外，還更進一步利用太陽能驅動風扇，進行強制對流，強化過濾的效果，使得本研究成果更趨於完善。

## 貳、研究方法或過程

### 一、研究方法

本研究採用理論分析與實驗研究兩方面進行，其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，朝向桌燈與吊燈兩種產品進行開發。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。研究方法分為理論分析與實驗研究兩大部分，由理論分析瞭解影響空氣對流、照度分佈與過濾效果等因素，並設計判定最佳配置的方式。在實驗研究方面，則是基於理論分析的結果對於本研究的實驗樣本進行溫度、照度與過濾效果進行量測，並將實驗結果進行分析討論使得本研究更趨於完善。

本研究試圖開發以自然對流與強制對流的空氣清淨燈具，自然對流桌燈在燈罩頂端以導葉板方式開孔，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與燈內溫度可能發生的變化；吊燈方面因為幾何形狀與桌燈不同，上方需要開孔的面積佔燈罩整個反光面積而言是相對地小，因此僅對有無開孔作為控制變因，評估燈頂上方有無開孔對於照度與燈內溫度可能發生的變化。由於吊燈燈罩擁有較大的反光面積，除了使用自然對流之外，還更一步引進以太陽能電池為能源的強制對流模式，評估燈頂上方有無開孔對於照度與燈內溫度可能發生的變化。因此本節將針對相關理論分析、實驗裝置製作與實驗設計方面進行探討如後。

### 二、理論分析

#### （一）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型式存在，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  $4\pi$  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。

## （二）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。

一般來說自然對流的風速很低，其空氣的循環量不是很大，爲了要讓通過濾網的空氣流量加大，就要使用強制對流，但強制對流多半需要消耗額外的能源，且會有噪音的產生。在

本研究中，是利用太陽能電池板作為驅動風扇的原動力，該風扇使用小型直流低噪音風扇（4x4cm/5V），當燈打開時，太陽能電池板將光能轉換為電能，然後使風扇不需額外的電力消耗就即可運轉，強制對流方向與自然對流同向，以風扇提供強制對流來強化自然對流所產生的過濾效果，更能有效地延長燈泡壽命。

### （三）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→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→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 0~1 之間，發生最大值之處，即為建議最佳的選擇狀態。

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

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

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

本研究僅有在自然對流桌燈使用反光導葉板。而在吊燈方面，由於構造的關係，並不使用反光導葉板，僅在有無開孔與是否加裝太陽能電池等變因做比較。

#### (四) 太陽能電池

太陽能光電池簡稱為太陽能電池或太陽電池，又稱為太陽能晶片，在物理學上稱為光伏打 (Photovoltaic, PV)[4]。太陽能電池係一種利用太陽光直接發電的光電半導體晶片，其將高純度的半導體材料加入一些不純物，使其呈現不同的性質，例如加入硼可形成 P 型半導體，加入磷可形成 N 型半導體，PN 半導體相結合後，形成太陽能電池。當受太陽光照射時，電洞朝向 P 型區移動，電子朝向 N 型區移動，形成電位差，產生電力，其原理如圖五所示。單一太陽能電池所輸出的電力有限，為提高其發電量，將許多太陽能電池經過串、並聯組合封裝程序後，形成為太陽能電池模組 (Solar Module)，如圖六所示。太陽光是一種全域波長，與白熾燈、日光燈的波長不同，不過太陽能電池以陽光或白熾燈之波長為較適用。因此本研究在使用太陽能板作為強制對流的電源時，以白熾燈作為主要考量，不過也對其他電子燈泡做相關評估，量測使用四片 60x60mm 太陽能板並連時所需的最低燈泡瓦數，因為使用太多片的太陽能板會過度降低吊燈內部的反光面積，而且成本太高。

#### (五) 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[5~8]。在空氣清靜的過程當中，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。

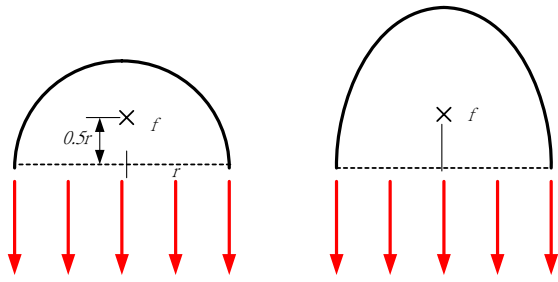
本研究同樣是採用循環過濾原理，不過循環的動能依燈具的不同而採用燈具發熱所產生的自然對流與太陽能強制對流兩種方式，風扇是使用電子散熱用的低噪音直流風扇，噪音的問題可以降到最低，結合燈具照明與空氣清淨功能。本空氣清淨燈具是將燈罩上方開孔，以提供氣流循環路徑，並在路徑中裝置濾網，當燈具使用時，附近空氣中的微粒會跟隨著燈內的熱空氣或循環氣流而上升，通過燈具上方可過濾至 0.01 公厘之過敏原及微粒物的靜電濾網，進行空氣淨化，以達到降低室內空氣污染濃度的目的。

若以肉眼或顯微鏡觀測濾網過濾性能並不適合進行定量分析，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做為基準值 ( $E_{new}$ )，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。

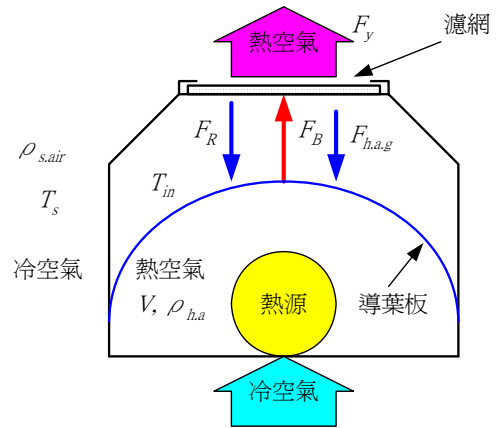
$$E_D = \frac{\text{測試時的照度}}{\text{新濾網測試時的照度}} = \frac{E_t}{E_{new}} \quad (13)$$

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  $\eta_f$  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。

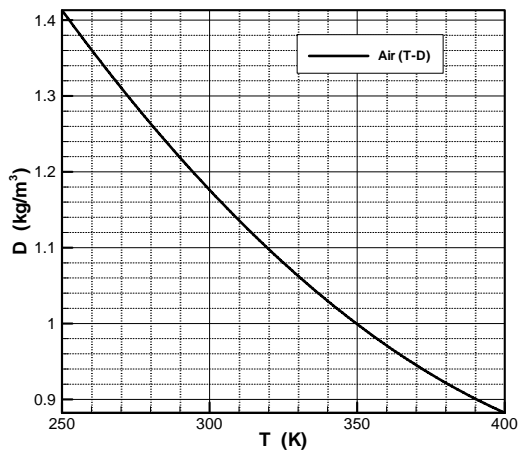
$$\eta_f = \frac{\text{新濾網的照度} - \text{該次測試時的照度}}{\text{新濾網的照度}} = \frac{E_{new} - E_t}{E_{new}} \quad (14)$$



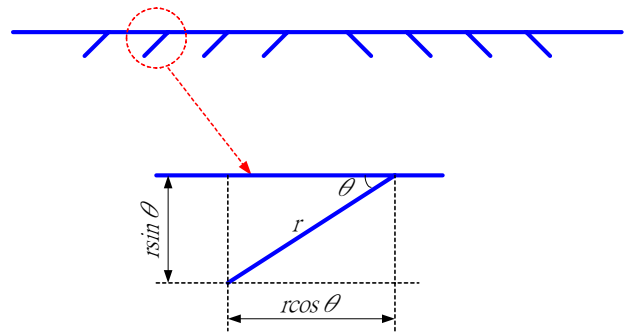
圖一 燈泡位置與反射關係



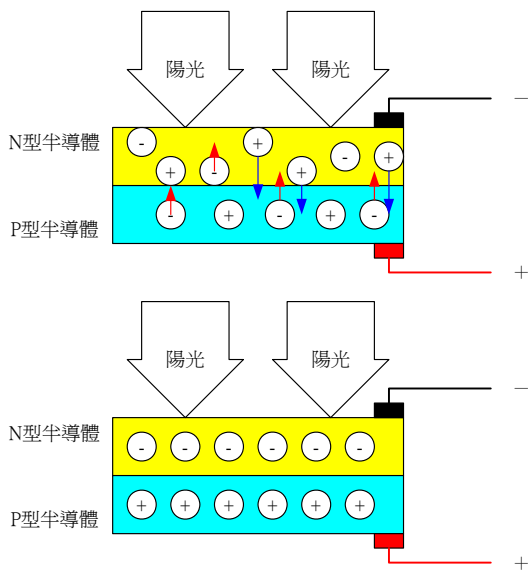
圖二 燈具內外循環空氣關係示意圖



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



圖五 太陽能電池工作原理



圖六 本研究所使用的太陽能電池實體圖

### 三、成品與實驗裝置製作

#### (一) 反光導葉板裝置製作

如圖七~九所示，為使用在自然對流桌燈的反光導葉板設計圖。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；利用三角函數計算開孔角度的相關尺寸，並使用環氧樹脂加以固定，防止變形。

#### (二) 濾網板的製作

如圖十所示，為本研究所使用在自然對流桌燈的濾網板構造圖，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。

#### (三) 燈罩裝置

如圖十一~十二所示，為自然對流桌燈的構造示意圖。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。

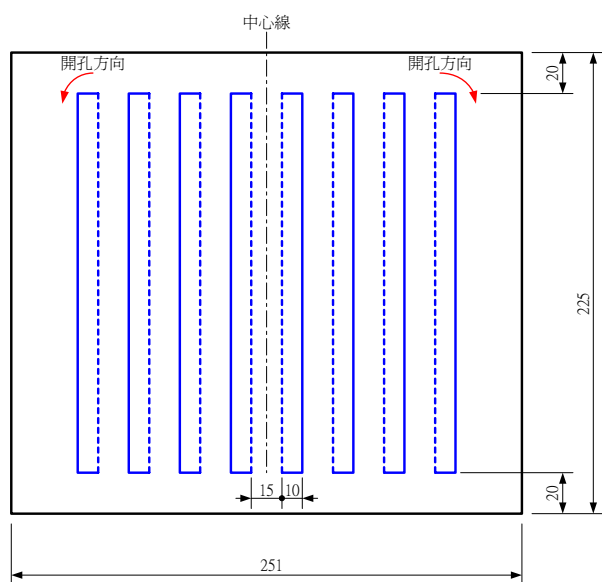
#### (四) 自然對流—空氣清淨桌燈

如圖十三所示為本研究所開發的自然對流的空氣清淨桌燈。該裝置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，並裝置靜電濾網，當燈具使用時，附近空氣中的微粒物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（四星期）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。

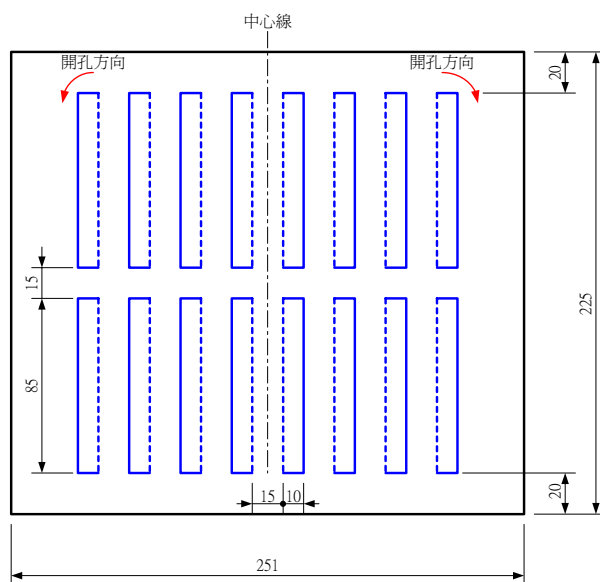
#### (五) 強制對流與自然對流—空氣清淨吊燈

圖十四所示為本研究所開發的空氣清淨吊燈。該裝置主要分為強制對流與自然對流兩大

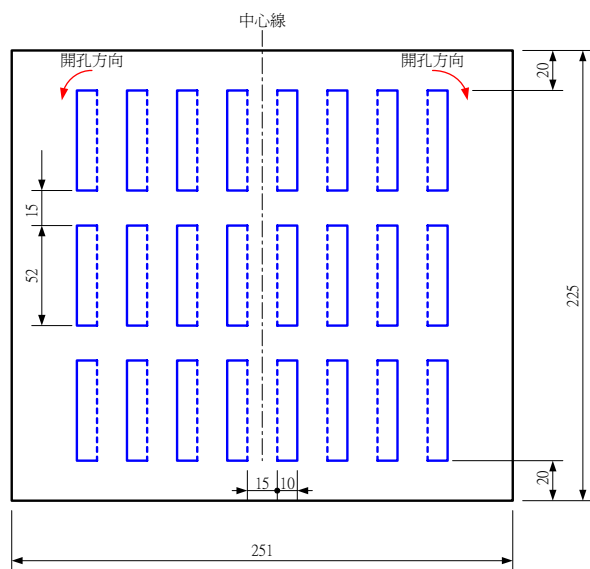
方向，在自然對流方面其形式與設計跟桌燈相同，由於吊燈的構造與桌燈不同，並無反光導葉板的設置；在強制對流方面的研究是在燈罩內裝置四片太陽能電池板，並在燈泡與濾網之間安裝一個直流風扇，當燈打開時，太陽能電池板將光能轉換為電能，然後使風扇不需額外的電力消耗就即可運轉，以風扇提供強制對流來強化自然對流所產生的過濾效果，更能有效地延長燈泡壽命與提升室內的空氣品質。



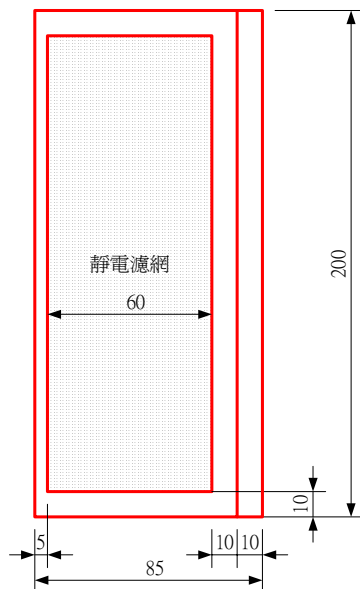
圖七 一排反光導葉板設計圖



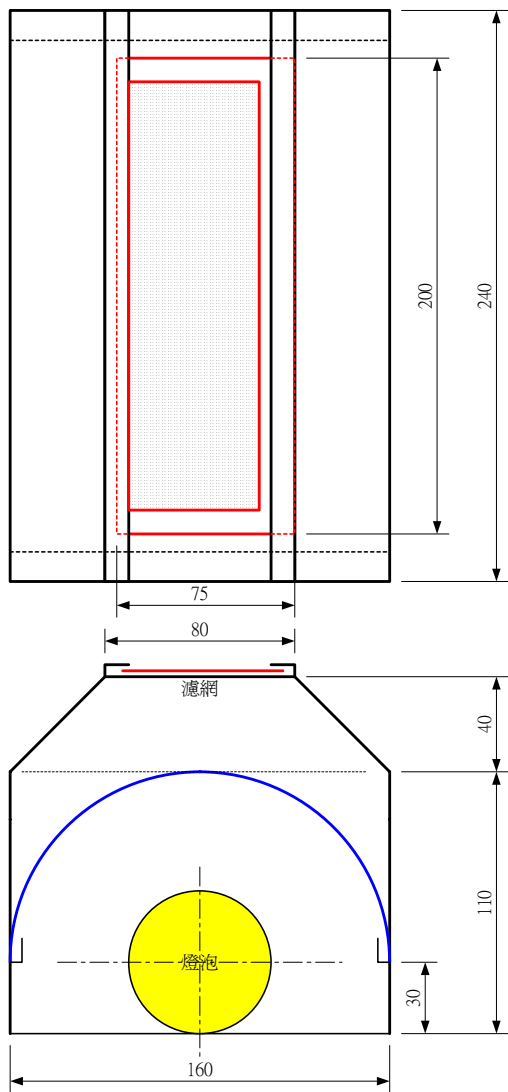
圖八 二排反光導葉板設計圖



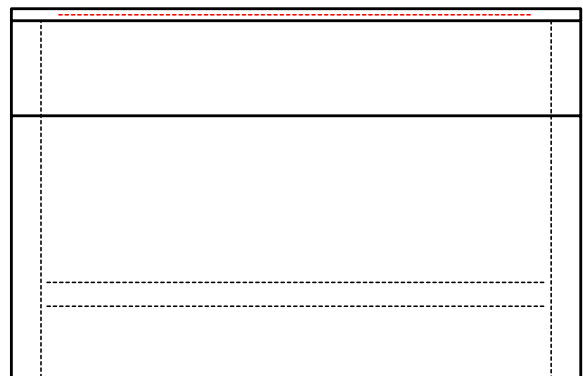
圖九 三排反光導葉板設計圖



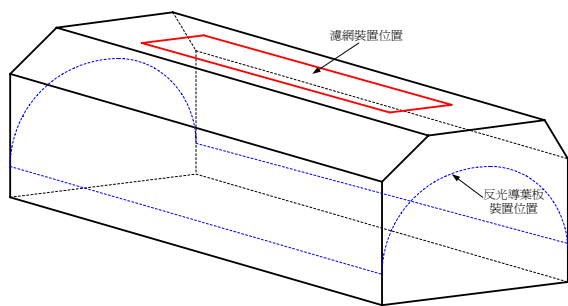
圖十 濾網設計圖



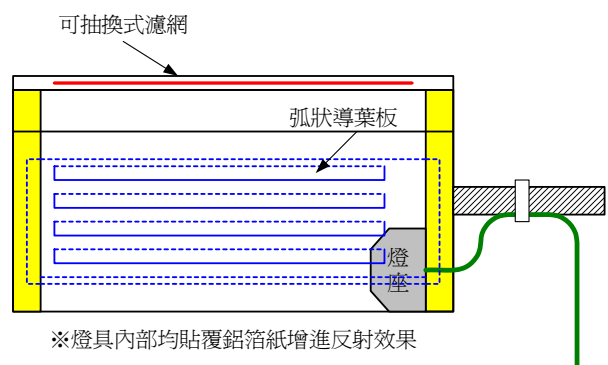
說明：  
 一、使用材料：  
 1. 燈具兩端端板—南洋杉木板12.5mmt  
 2. 燈具外部主體—彩色厚紙板1.5mmt  
 3. 反光導葉板—白色厚紙板0.5mmt(反光面披覆鋁箔)  
 4. 濾網材質—靜電濾網  
 二、標註單位：mm



圖十一 實驗燈具設計三視圖

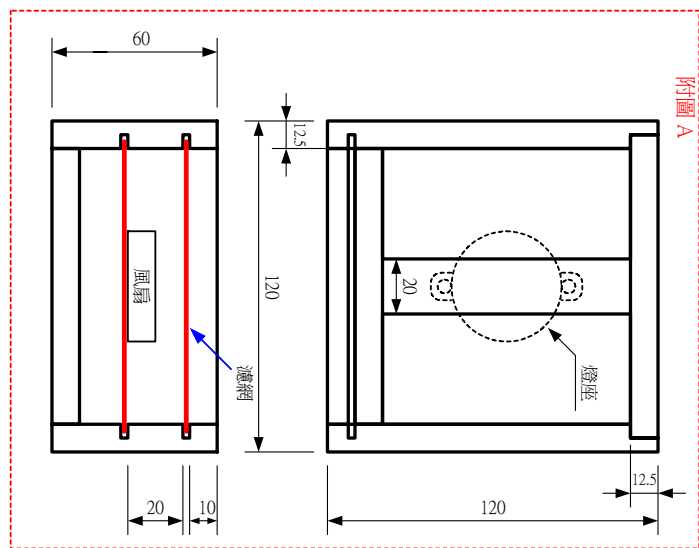
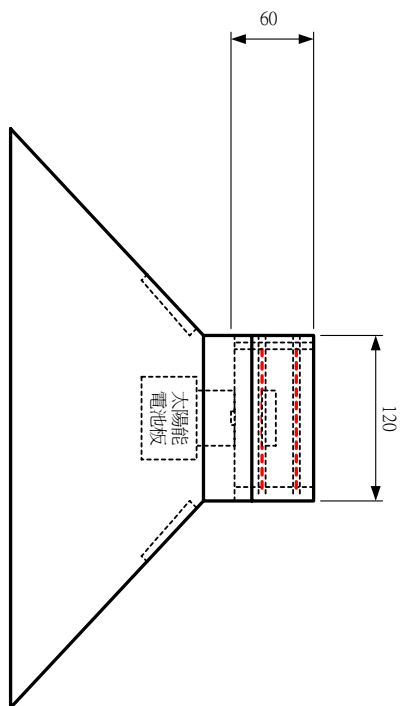
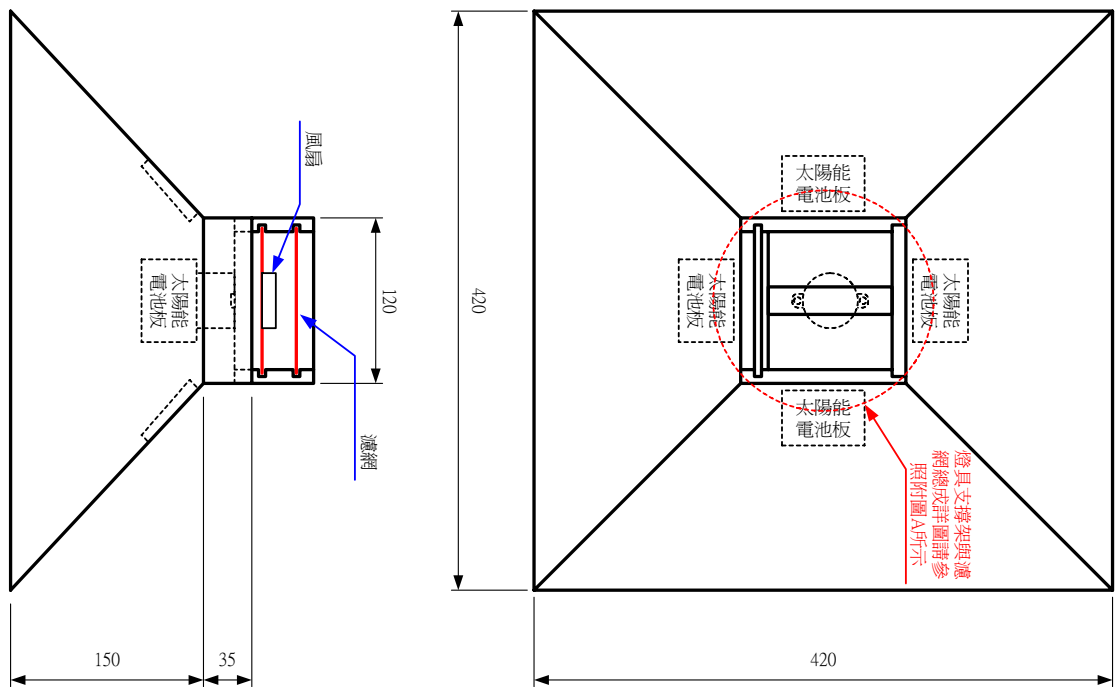


圖十二 實驗用燈具外部立體圖



圖十三 實驗用燈具結構示意圖





- 說明：
- 1.燈罩使用板材為 1.5mm紙板，內襯鋁箔反光面。
  - 2.燈具上方支撐架與過濾網或（附圖 A）使用 12.5mm南洋檜板材。
  - 3.所有木板上的卡接活動凹槽寬度均為3mm，深度 5mm。
  - 4.其他燈座、濾網、風扇與太陽能電池板等規格，請參照其他圖示所示。
  - 5.所有標示尺寸單位為公釐（mm）。

圖十四 吊燈結構與尺寸示意圖（不安裝太陽能板與風扇即為自然對流型式）

## 四、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。

自然對流桌燈的研究架構如圖十五（a）所示，整個實驗研究過程說明如下：

- （1）燈具上方開孔角度與排列方式（列數），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（列數），對各種燈泡定距離照度的關係。
- （3）選出各種燈泡最佳配置值（排列數與角度）之後，最後並進行四週的長期過濾測試，比較其過濾效果。

在太陽能強制對流吊燈方面，其研究架構如圖十五（b）所示，吊燈的控制變因為有無開孔及太陽能驅動的可行性，整個實驗研究過程說明如下：

- （1）先評估吊燈上方有無開孔對燈內溫度與照度上的影響。
- （2）選出最佳自然對流的燈具。
- （3）評估四片太陽能板能驅動風扇的條件，並選定長期測試的配置模式。
- （4）進行四週的長期過濾測試，比較自然對流與強制對流過濾效果的差異。

兩種燈具照度與溫度測試系統則如圖十六所示，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[9~11]以便於評估與確立本研究開發的可行性。實驗的步驟與細節如後所示：

### （一）桌燈（自然對流）方面

#### 1. 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十五（a）所示，評估三種燈泡最佳開孔角度及排列數與

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（如圖十七所示，分別為鎢絲（tungsten）、3U、螺旋（helix）三種燈泡）、排列數（如圖七~九所示，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（圖十八））。

## 2. 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十五（a）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（如圖十七所示，分別為鎢絲（tungsten）、3U、螺旋（helix）三種燈泡）、排列數（如圖七~九所示，分別為一、二、三排），並依照圖十六（a）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（四週）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。

## 3. 濾網過濾性能判斷長期實驗設計

本研究使用濾網對光的穿透照度作為污染物多寡判定，因此設計一套如圖十九所示的濾網過濾性能檢測裝置，圖二十則為該裝置的實體照片。遮光箱的詳細尺寸如圖二十一所示。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。計算方式參考式 (13~14) 所示，實驗步驟如下：

- (1) 採用蚊香作為污染源對選出的最佳配置進行長期實驗（如圖二十二所示，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) 連續進行四週的長期測試，以求取過濾性能發展趨勢。
- (4) 參考式 (13~14) 計算實驗結果。

## (二) 吊燈（自然對流與強制對流）方面

### 1. 五種燈泡燈具的上方有無開孔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十五 (b) 所示，評估五種燈泡有無開孔與照度的關係。各實驗條件與設定分述如下：

- (1) 實驗燈具六組，實驗控制變因分別為有無開孔、燈泡種類（分別為鎢絲 (tungsten) 25W，60W 與 100W、3U、螺旋 (helix) 五種燈泡)。
- (2) 使用照度計針對各種燈泡與有無開孔對照度的影響（取五點平均照度 (圖十八)）。

### 2. 五種燈泡燈具的上方有無開孔對燈內溫度的影響實驗

研究與實驗步驟流程圖如圖十五 (b) 所示，評估五種燈泡有無開孔與燈內溫度的關

係。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有無開孔、燈泡種類（分別為鎢絲（tungsten）25W，60W 與 100W、3U、螺旋（helix）五種燈泡）。並依照圖十六（b）安裝熱電耦溫度感測線。
- (2) 進行一小時的燈泡種類與有無開孔對燈內溫度的測試。
- (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。

### 3. 五種燈泡燈具太陽能板驅動能力評估實驗

研究與實驗步驟流程圖如圖十五（b）所示，評估五種燈泡是否能驅動四片太陽能電池板。各實驗條件與設定分述如下：

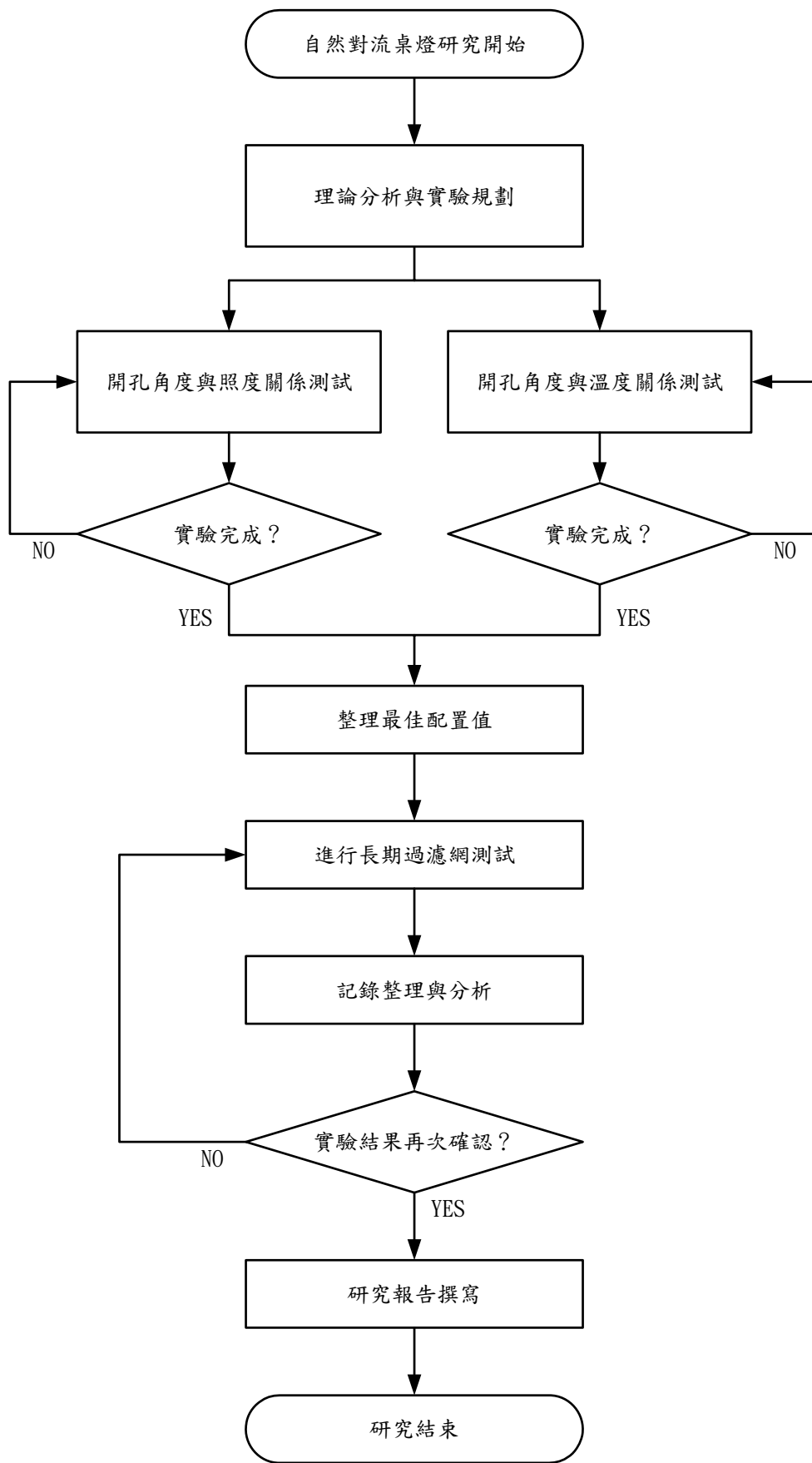
- (1) 先安裝燈泡種類（分別為鎢絲（tungsten）25W，60W 與 100W、3U、螺旋（helix）五種燈泡）。
- (2) 將四片太陽能板並連之後安裝在燈罩中，點亮燈具，觀察風扇是否有運轉的現象，判定該燈泡能否驅動風扇。

### 4. 濾網過濾性能判斷長期實驗設計

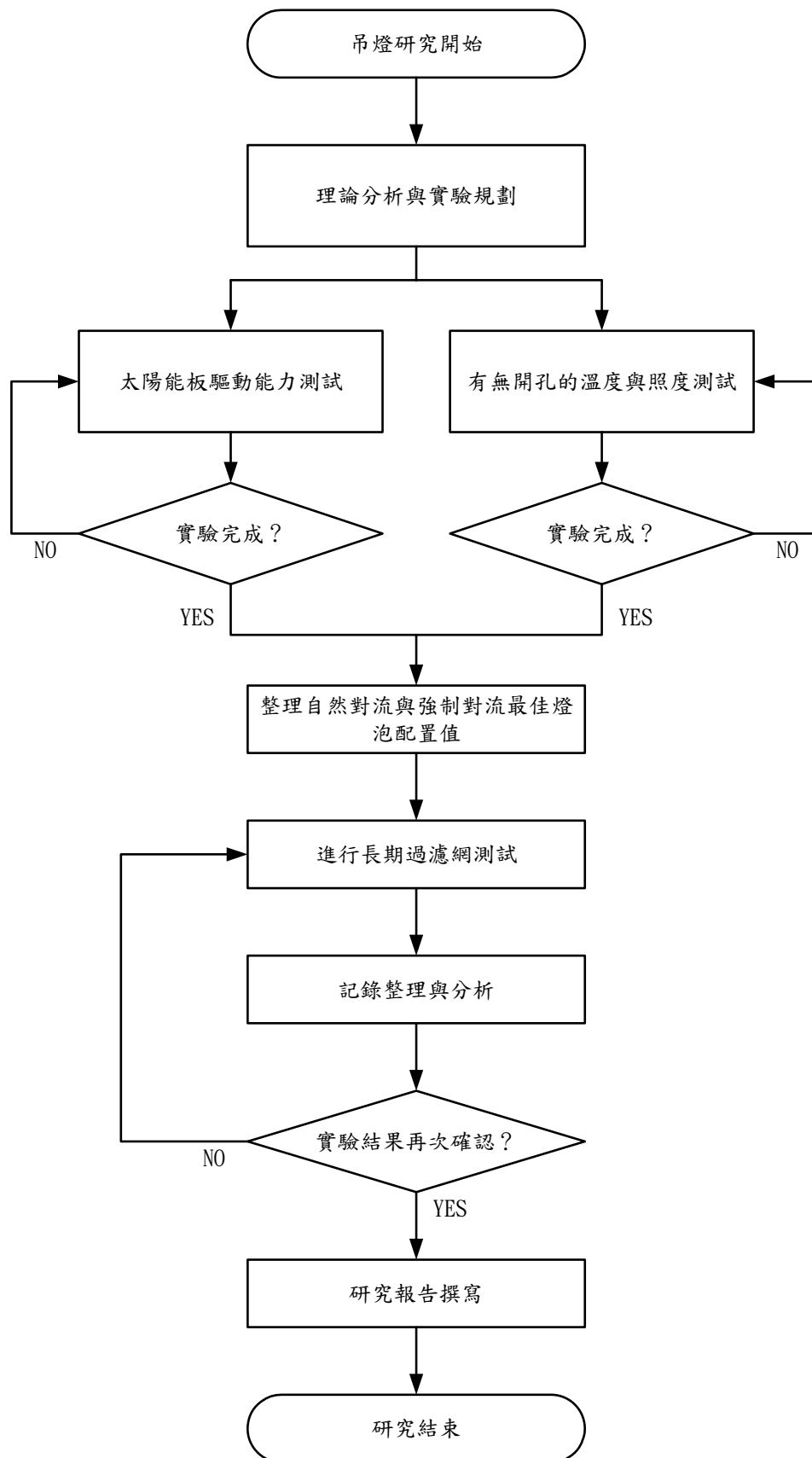
濾網過濾性能長期實驗方法及裝置與桌燈相同，選出自然對流與強制對流最佳配置值，其遮光箱的測量口必須配合濾網的尺寸（10×11cm）進行修正，然後分別針對最佳自然對流與強制對流配置進行四週長期實驗。

### 5. 無外加污染物濾網過濾性能判斷長期實驗設計

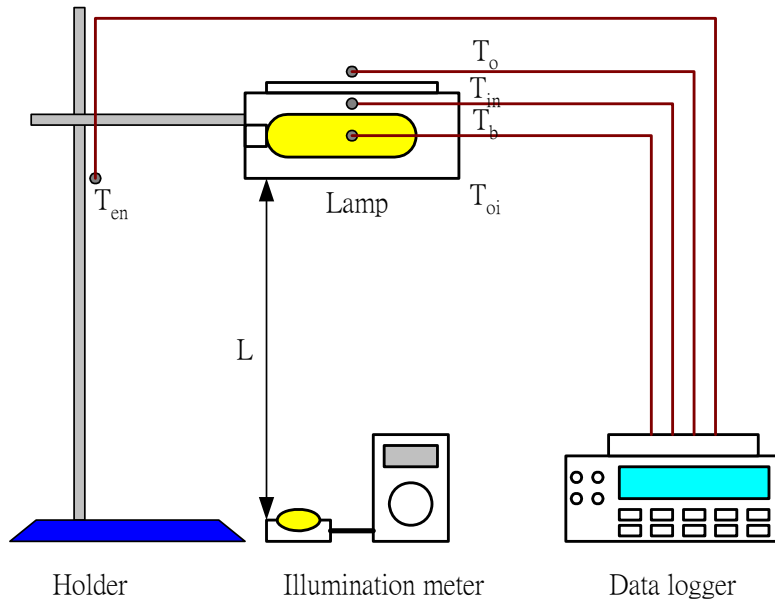
分別針對由比較因子選出的自然對流桌燈最佳配置，以及選出的最佳自然對流及強制對流吊燈進行 35 天（11/17/2006）與 70 天（08/18/2006）在本校生活科技教室進行實測（無外加蚊香污染物），每天以二十四小時定時器在 06:00~10:00 及 13:00~17:00 兩個時段點燈，每日運作八小時。



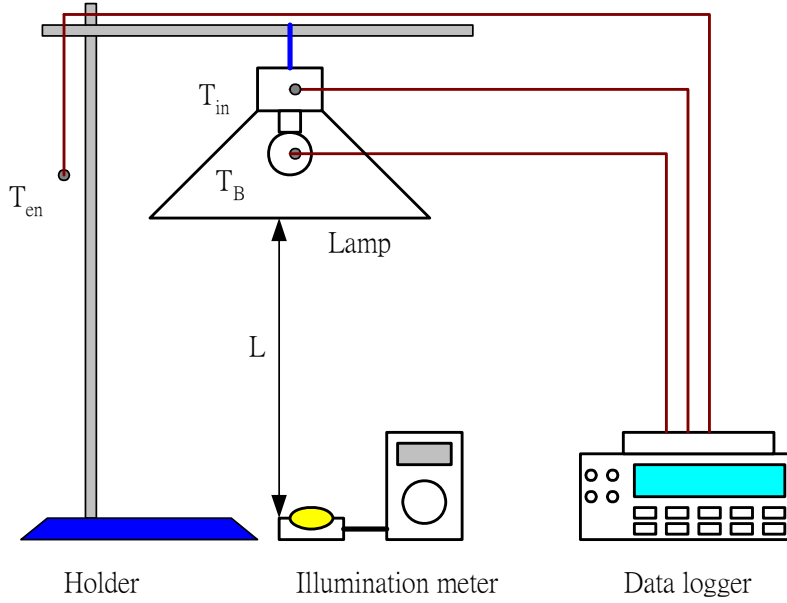
圖十五 (a) 自然對流桌燈研究與實驗步驟流程圖



圖十五 (b) 自然對流與強制對流吊燈研究與實驗步驟流程圖



(a) 自然對流桌燈測試系統



(b) 自然對流與強制對流吊燈測試系統

圖十六 研究測試系統示意圖

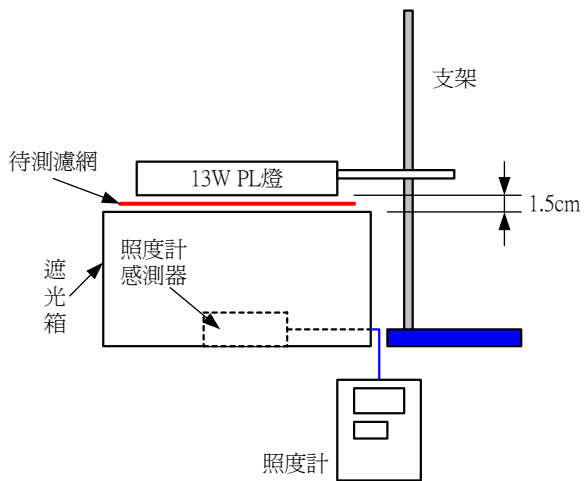


圖十七 實驗用各種燈泡實體圖(由左至右分別是鎢絲燈、螺旋與 3U 燈泡)

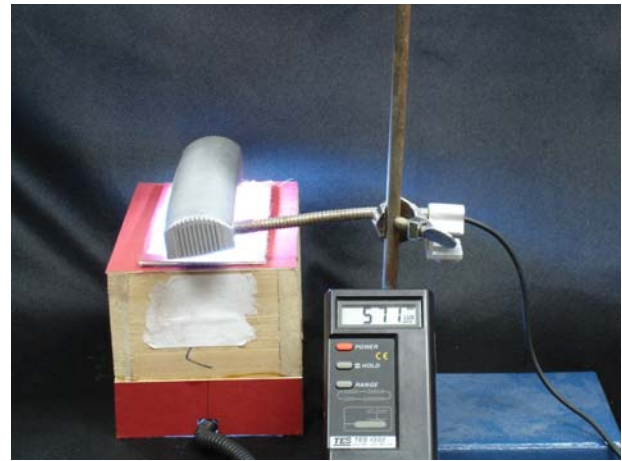
2 (2,4)				5 (2,0)
		3 (1,2)		
1 (0,4)				4 (0,0)

圖十八 平均照度實驗位置圖 (紙張大小 B4)

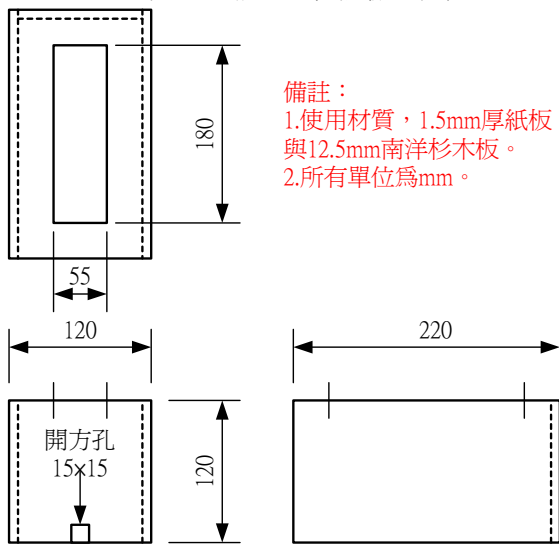




圖十九 濾網過濾性能檢測裝置

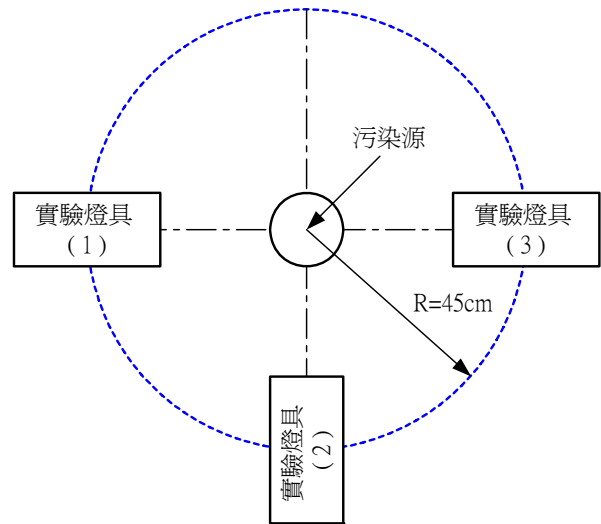


圖二十 濾網過濾性能檢測裝置實體照片



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。

圖二十一 遮光箱的詳細尺寸圖

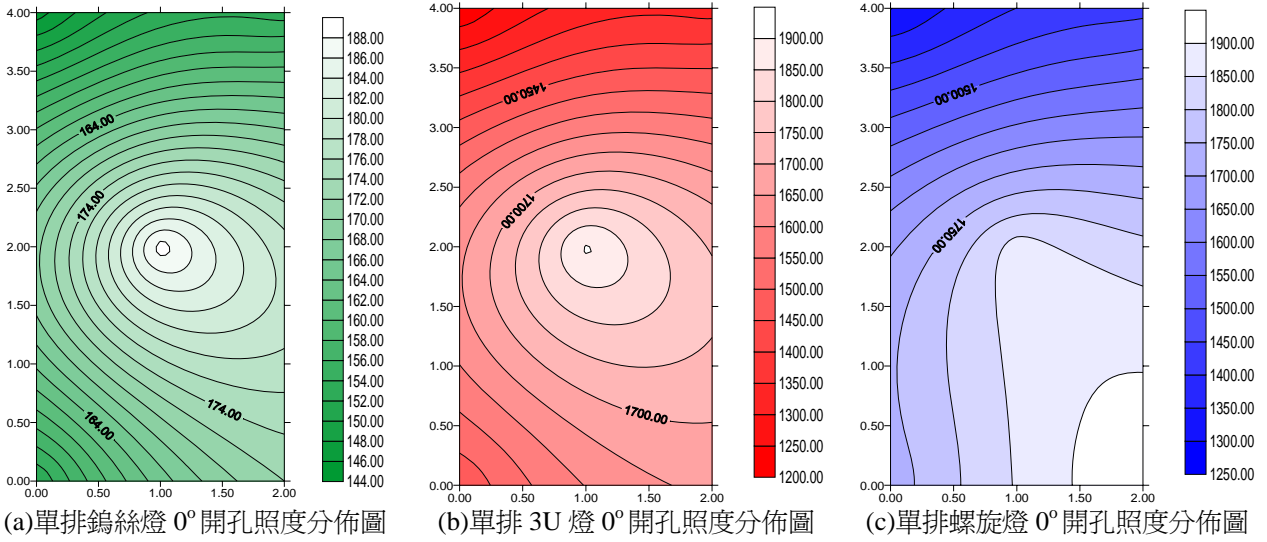


圖二十二 長期測試環境佈置圖

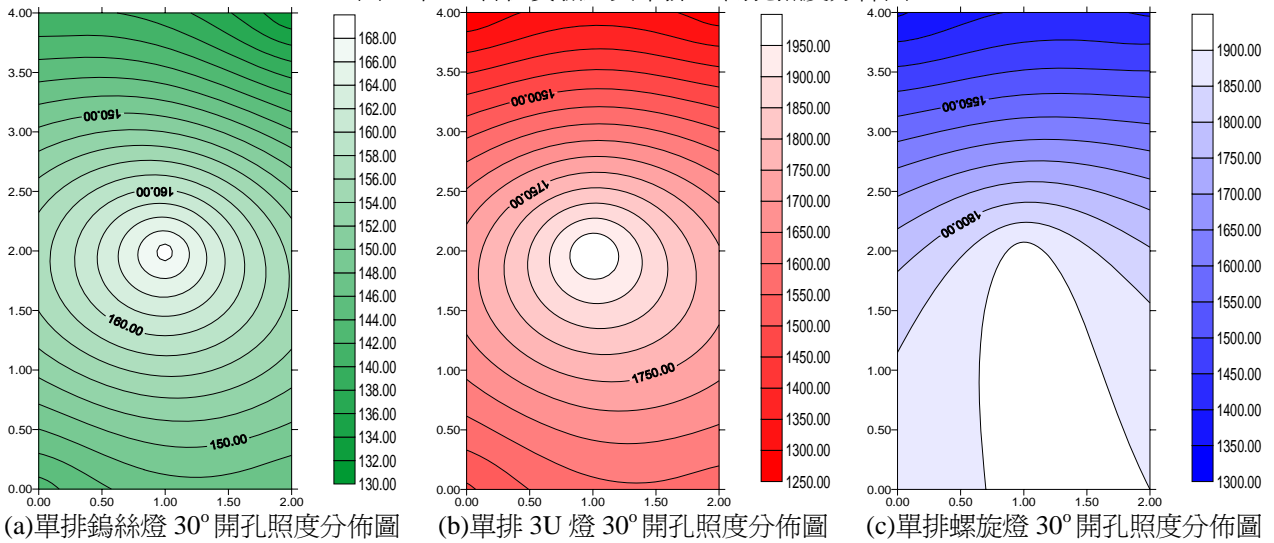
# 參、研究結果與討論

## 自然對流桌燈實驗結果

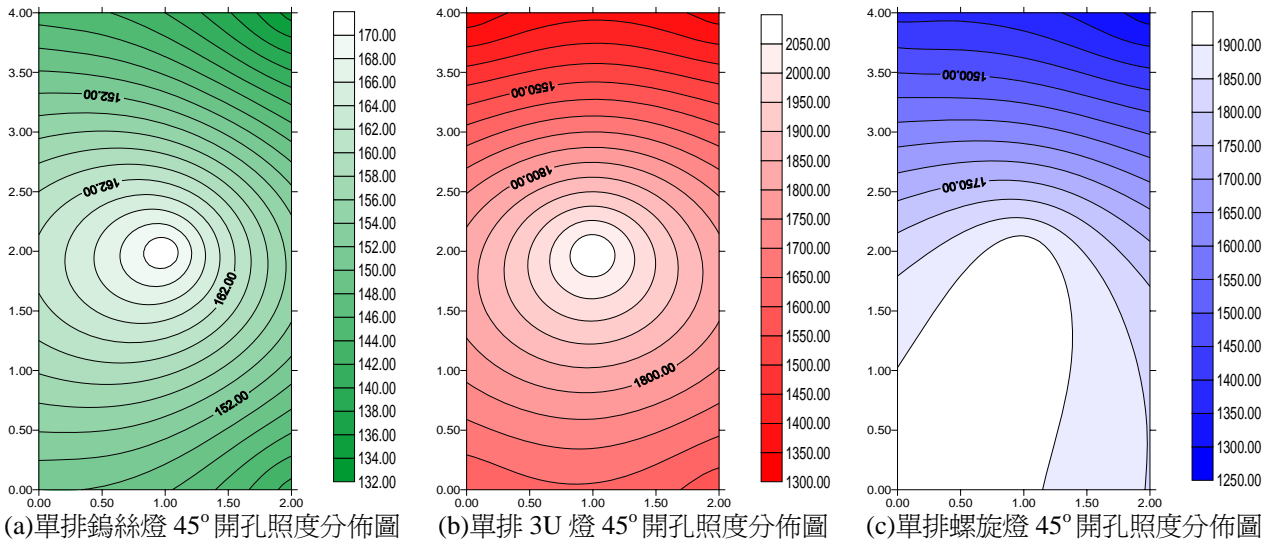
### (一) 開孔角度與排列方式之照度分佈實驗結果



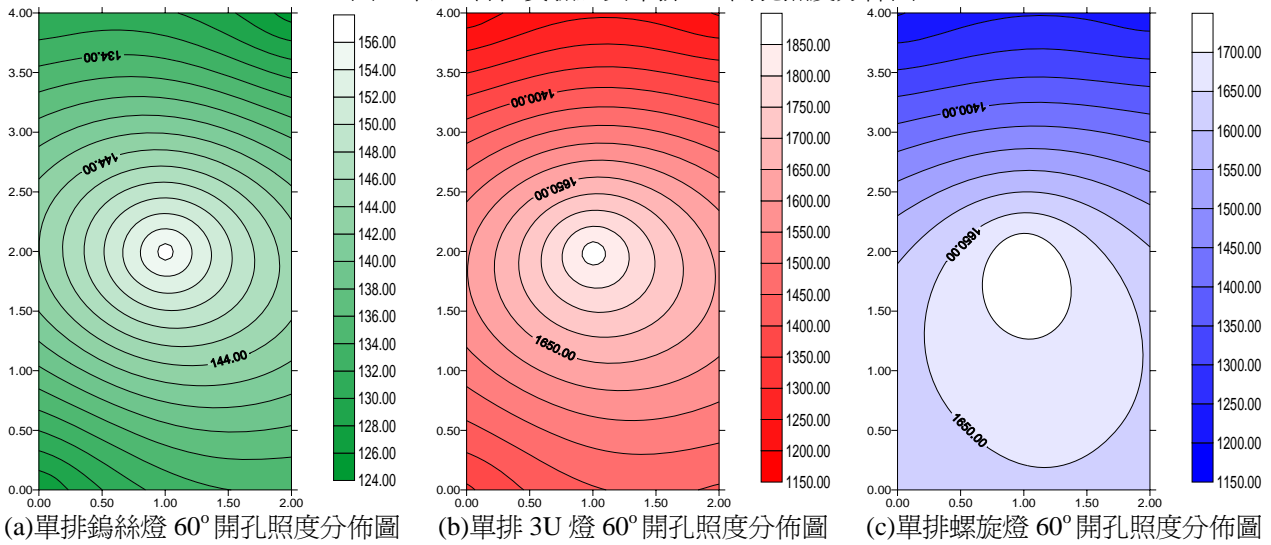
圖二十三 各種實驗燈具單排 0° 開孔照度分佈圖



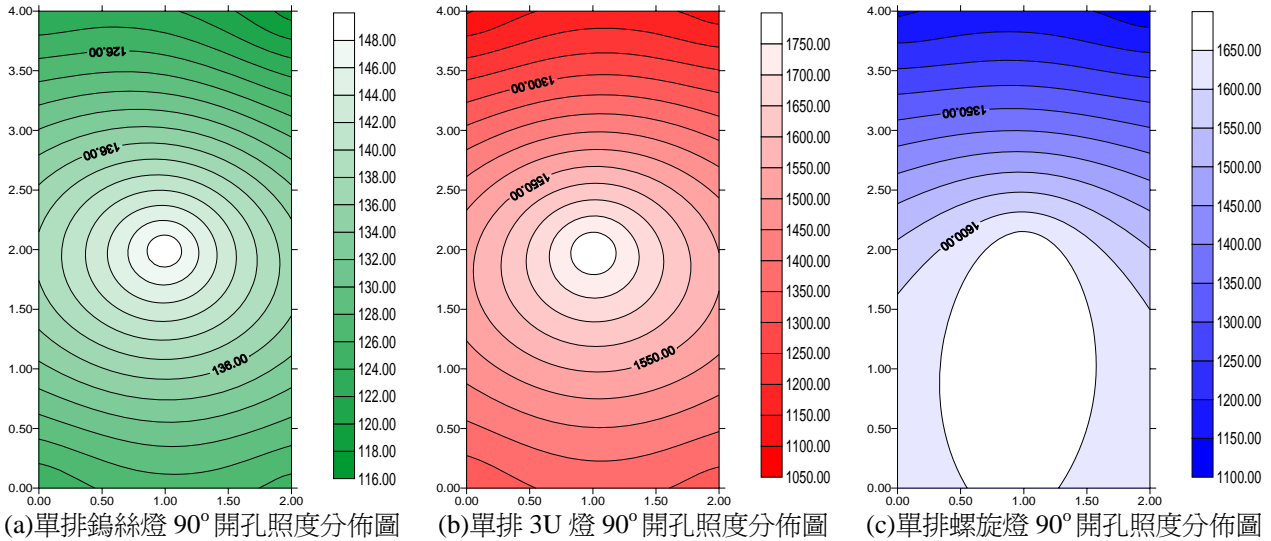
圖二十四 各種實驗燈具單排 30° 開孔照度分佈圖



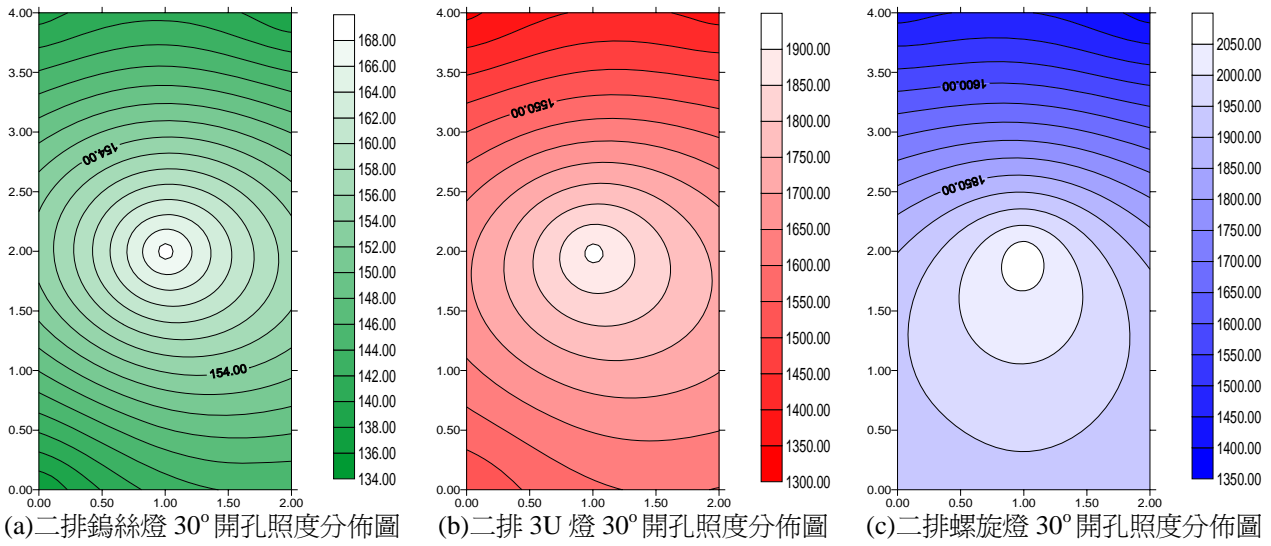
圖二十五 各種實驗燈具單排 45° 開孔照度分佈圖



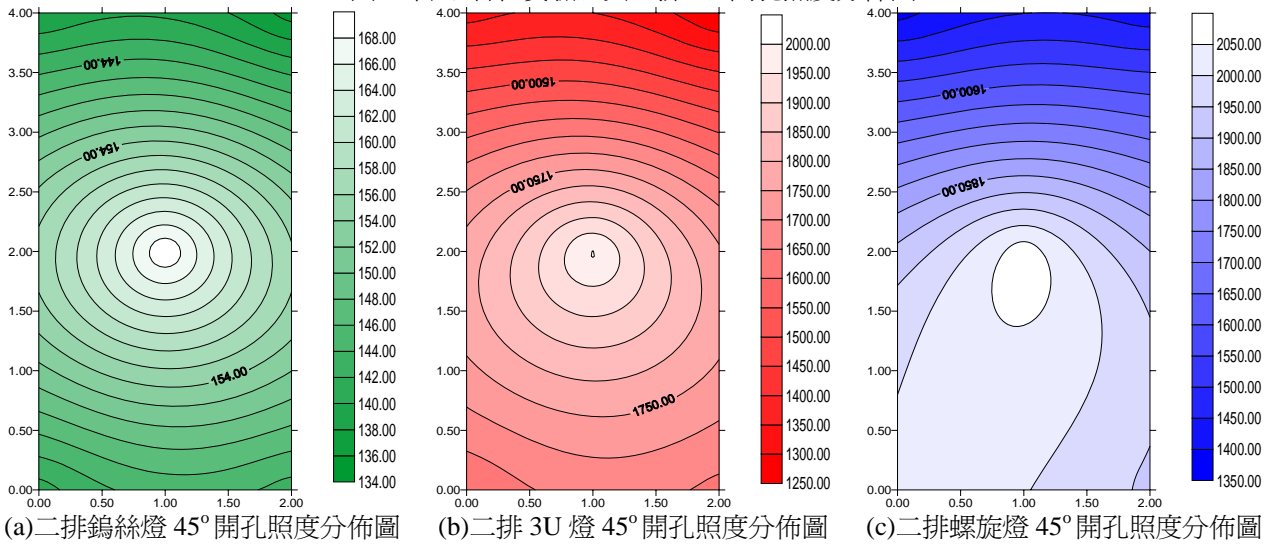
圖二十六 各種實驗燈具單排 60° 開孔照度分佈圖



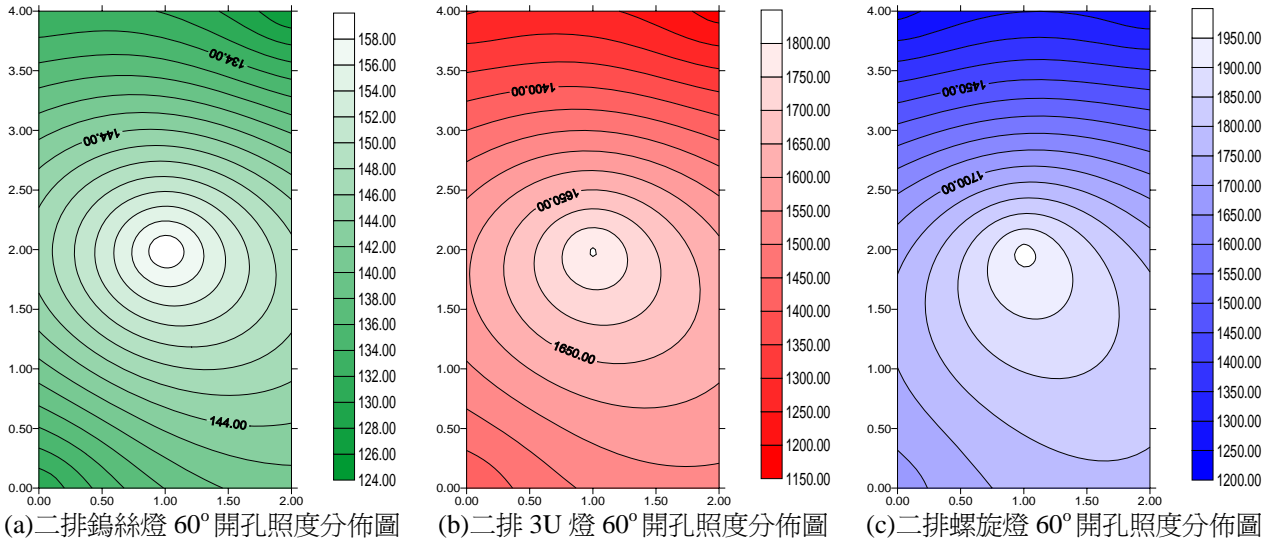
圖二十七 各種實驗燈具單排 90° 開孔照度分佈圖



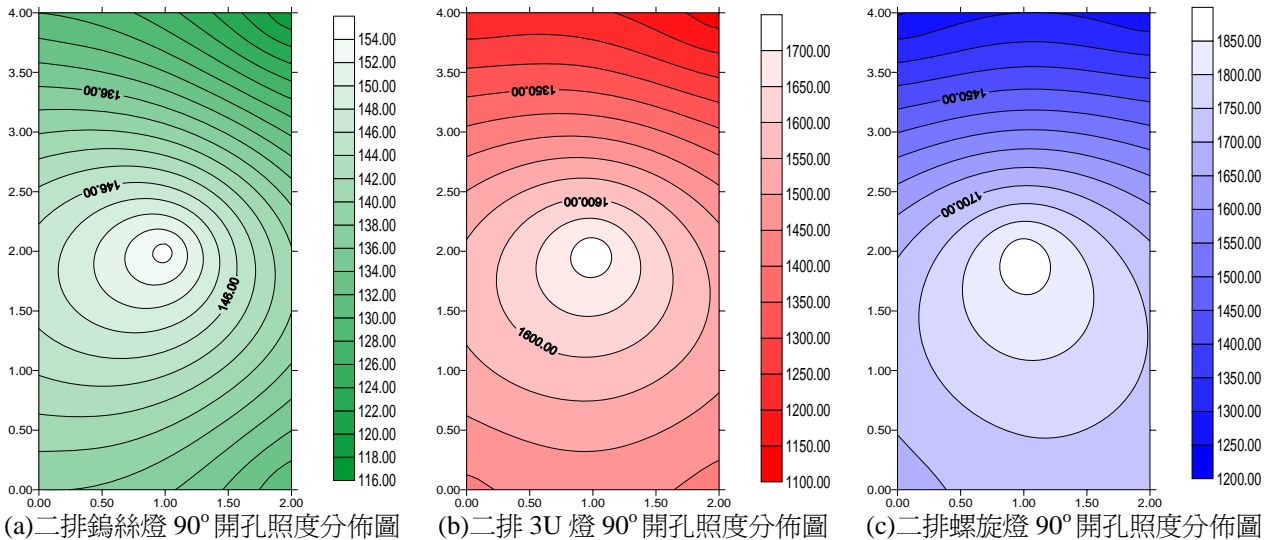
圖二十八 各種實驗燈具二排 30° 開孔照度分佈圖



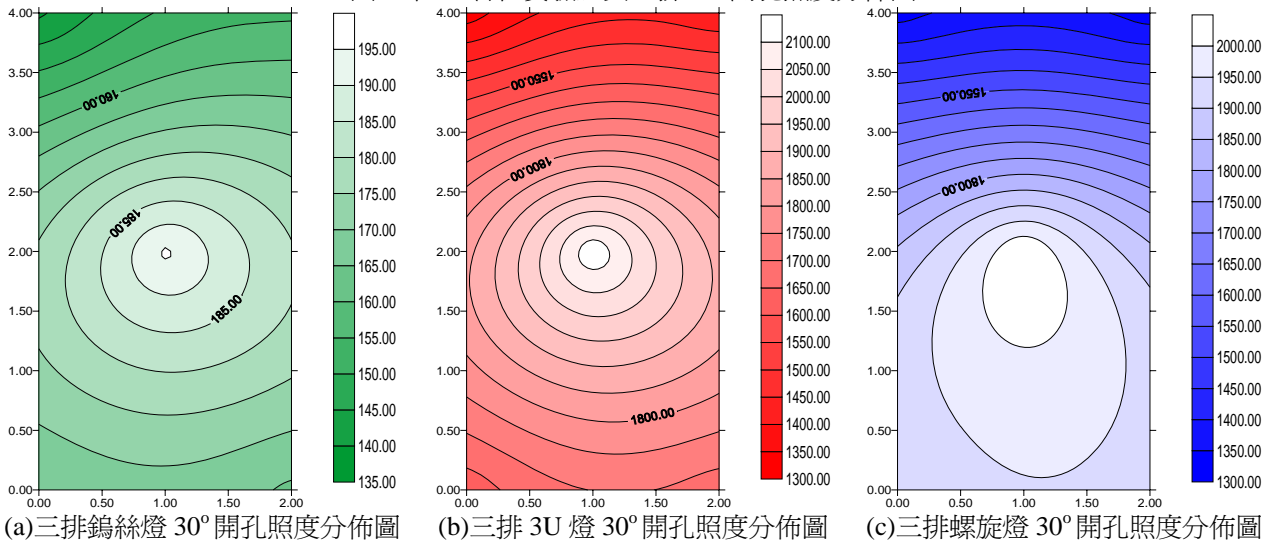
圖二十九 各種實驗燈具二排 45° 開孔照度分佈圖



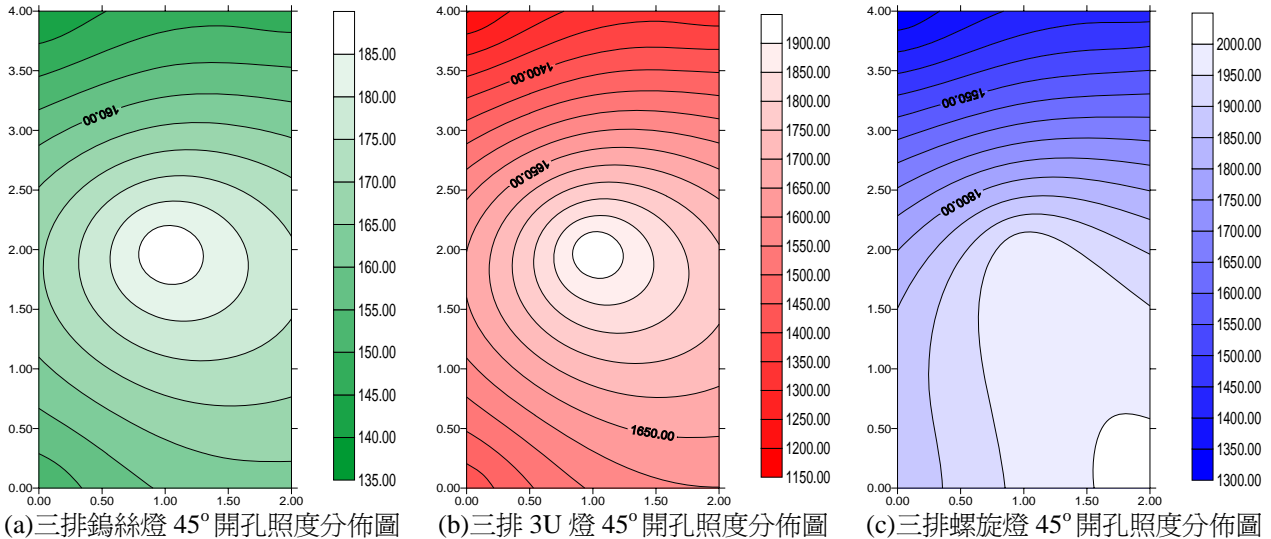
圖三十 各種實驗燈具二排 60° 開孔照度分佈圖



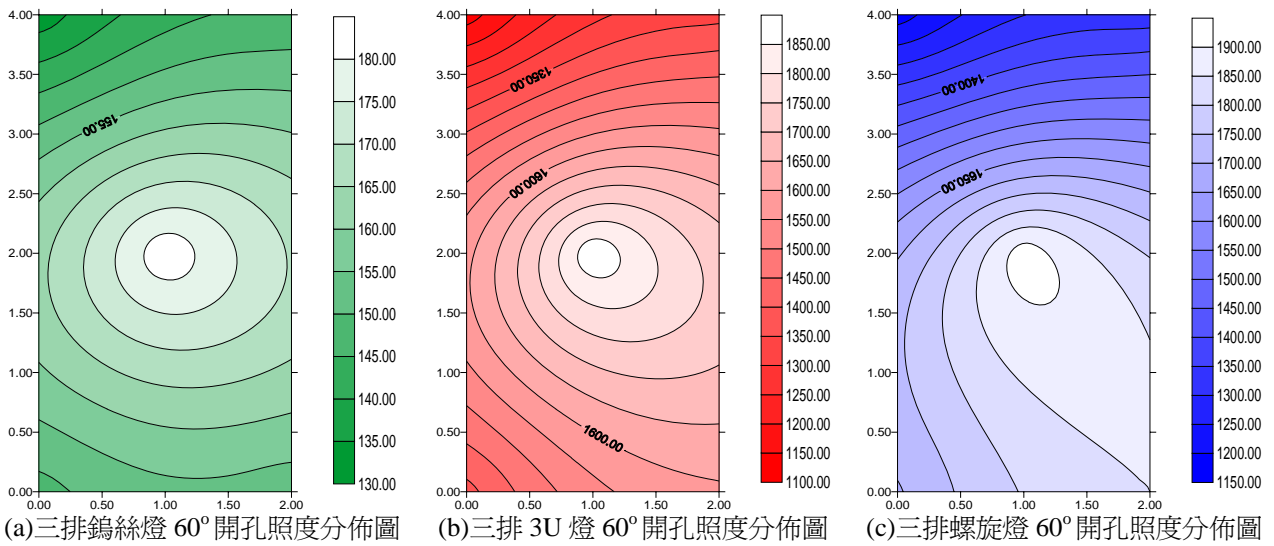
圖三十一 各種實驗燈具二排 90° 開孔照度分佈圖



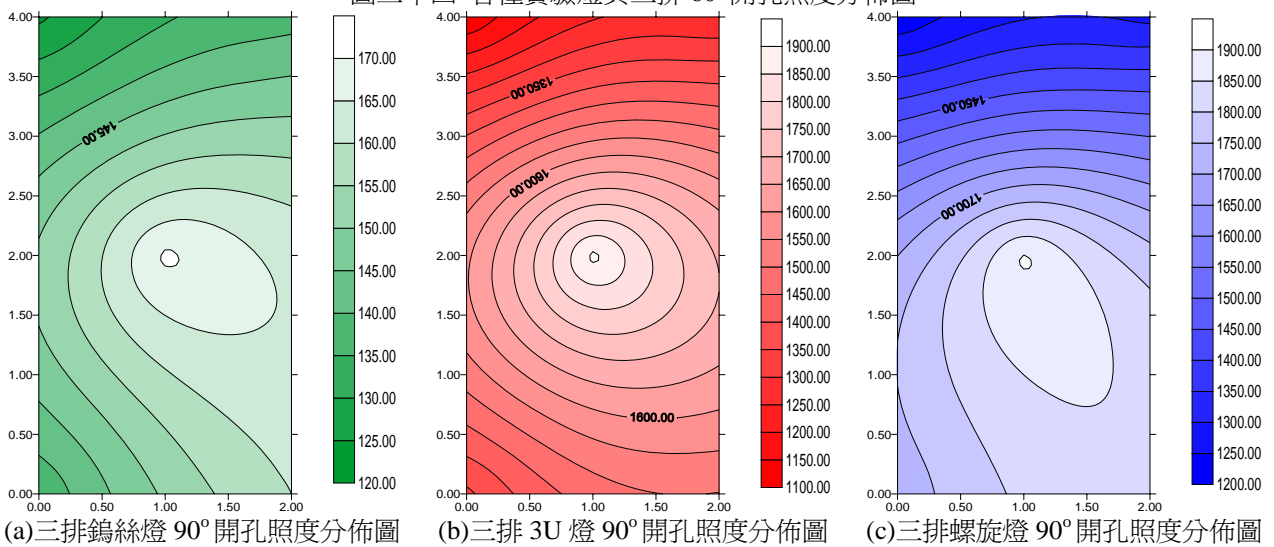
圖三十二 各種實驗燈具三排 30° 開孔照度分佈圖



圖三十三 各種實驗燈具三排 45° 開孔照度分佈圖

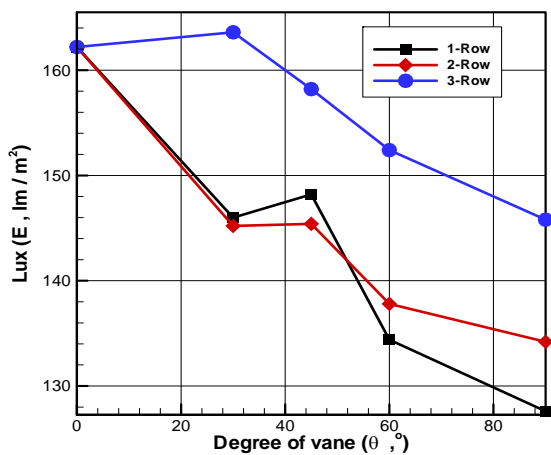


圖三十四 各種實驗燈具三排 60° 開孔照度分佈圖

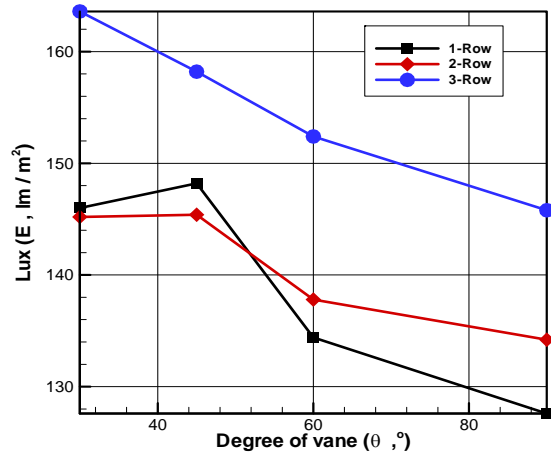


圖三十五 各種實驗燈具三排 90° 開孔照度分佈圖

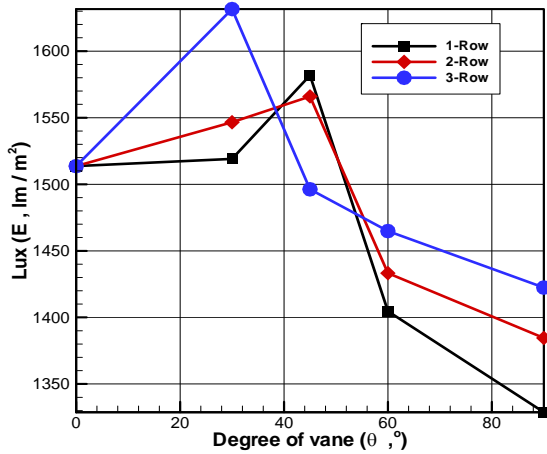
## (二) 開孔角度與排列方式之平均照度實驗結果



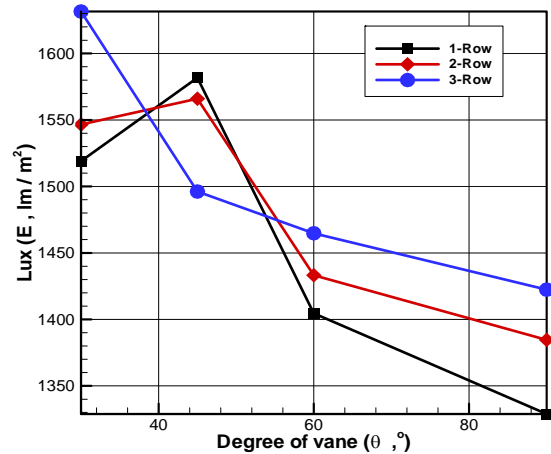
圖三十六 (a) 鎢絲燈泡開孔角度與平均照度比較圖



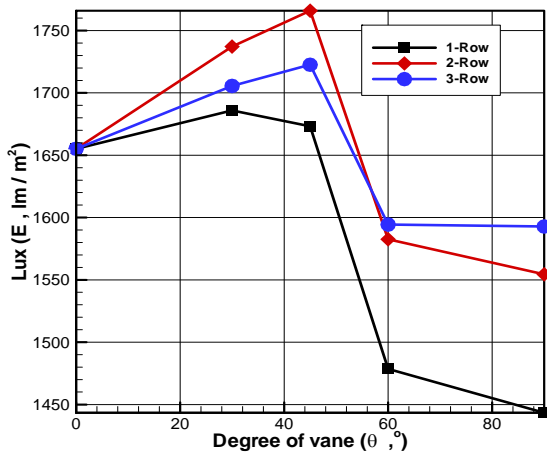
圖三十六 (b) 鎢絲燈泡開孔角度與平均照度曲線圖 (放大有開孔部分)



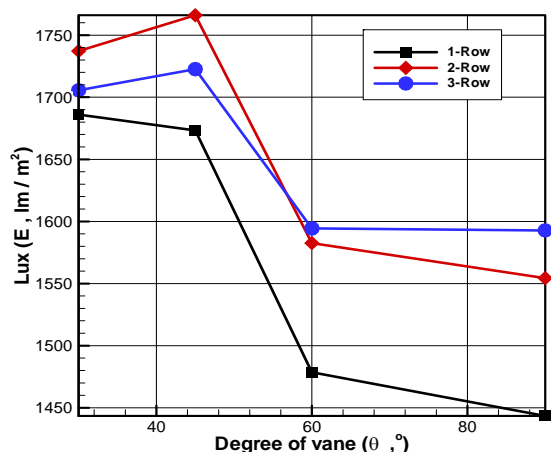
圖三十七 (a) 3U 省電燈泡開孔角度與平均照度比較圖



圖三十七 (b) 3U 省電燈泡燈開孔角度與平均照度曲線 (放大開孔部分)

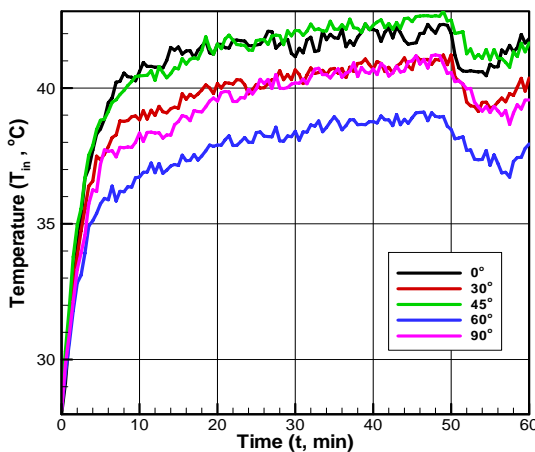


圖三十八 (a) 螺旋省電燈泡開孔角度與平均照度比較圖

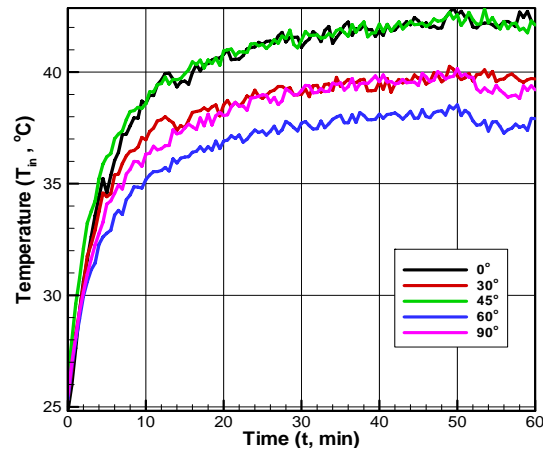


圖三十八 (b) 螺旋省電燈泡燈開孔角度與平均照度曲線圖 (放大開孔部分)

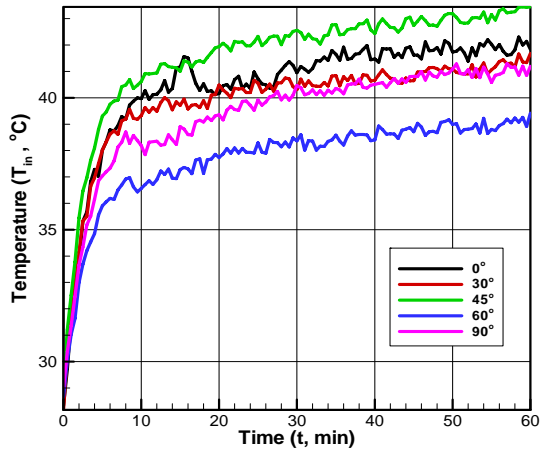
### (三) 開孔角度與排列方式之燈內溫度實驗結果



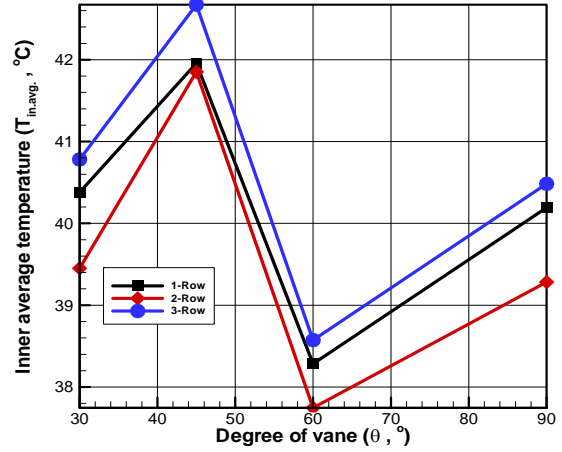
圖三十九 (a) 鎢絲燈一排開孔內部逐時溫度變化圖



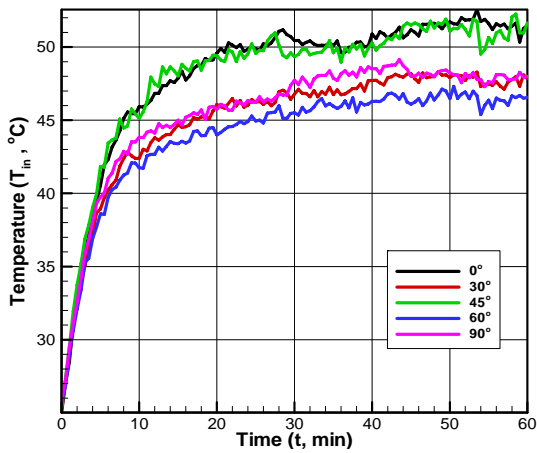
圖三十九 (b) 鎢絲燈二排開孔內部逐時溫度變化圖



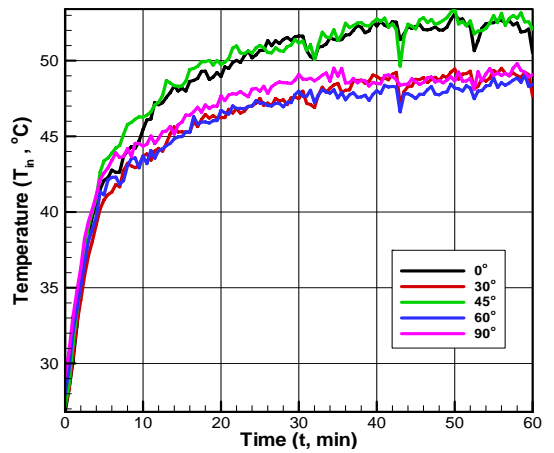
圖三十九 (c) 鎢絲燈三排開孔內部逐時溫度變化圖



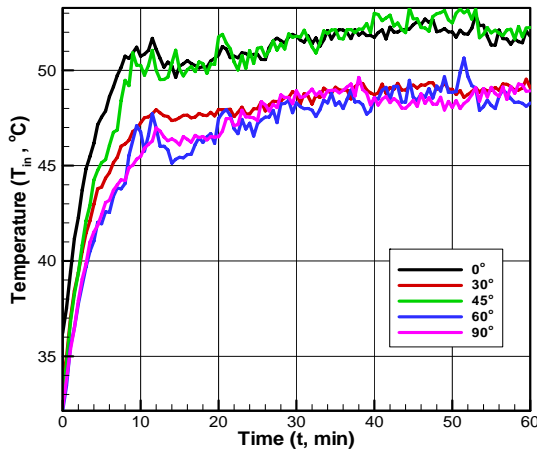
圖三十九 (d) 鎢絲燈各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)



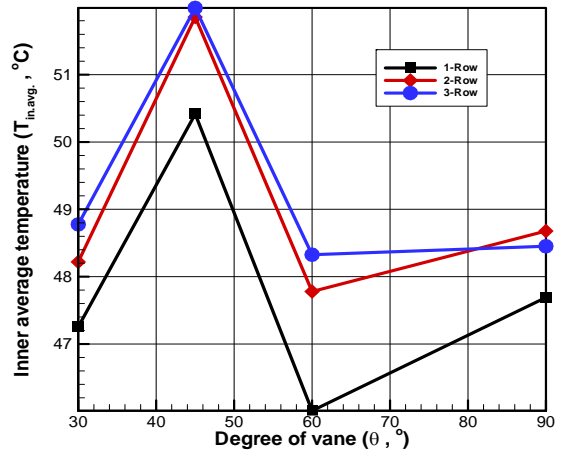
圖四十 (a) 3U 省電燈泡一排開孔內部逐時溫度變化圖



圖四十 (b) 3U 省電燈泡二排開孔內部逐時溫度變化圖

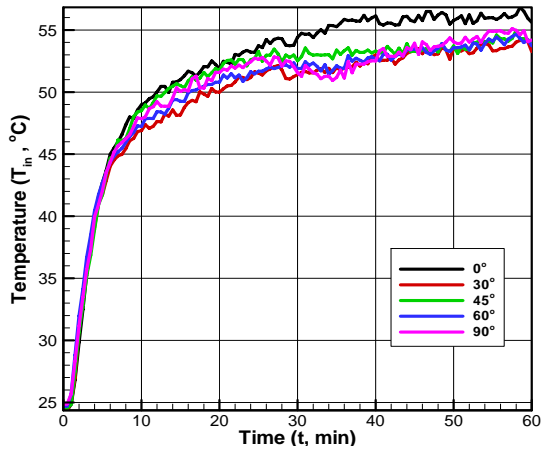


圖四十 (c) 3U 省電燈泡三排開孔內部逐時溫度變化圖

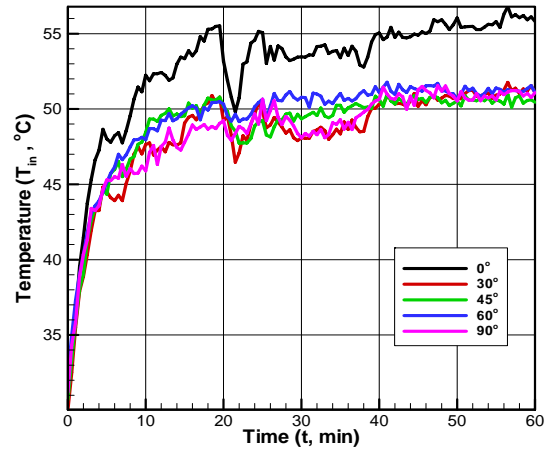


圖四十 (d) 3U 省電燈泡各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)

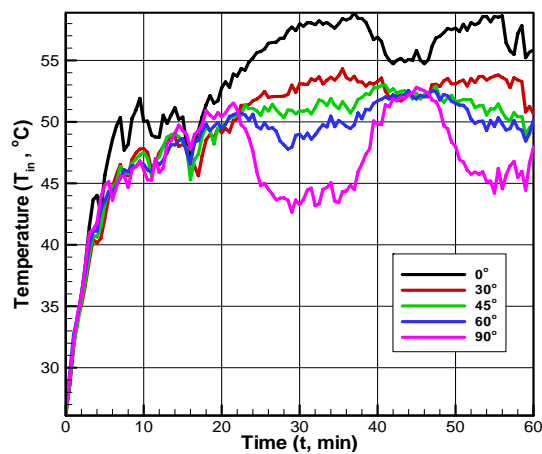




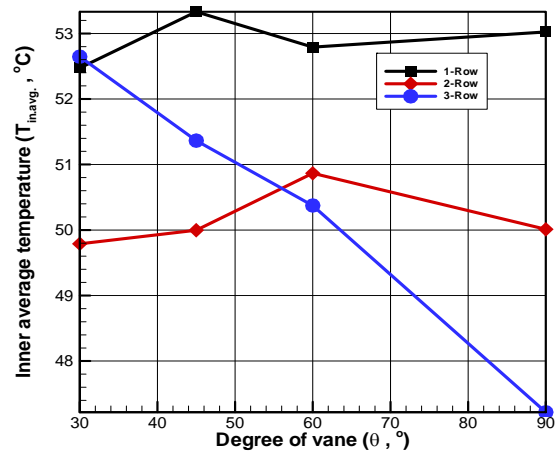
圖四十一 (a) 螺旋省電燈泡一排開孔內部逐時溫度變化圖



圖四十一 (b) 螺旋省電燈泡二排開孔內部逐時溫度變化圖

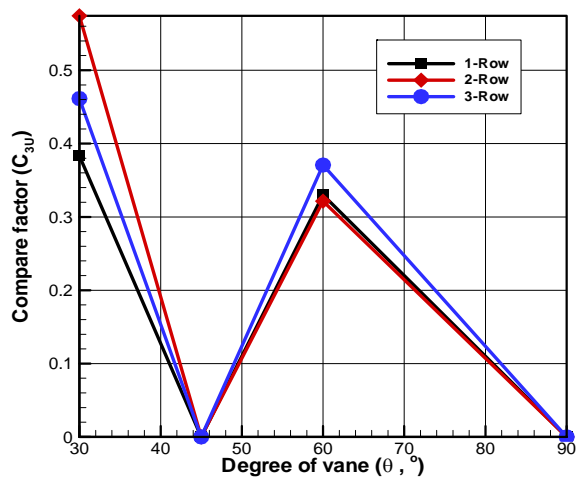


圖四十一 (c) 螺旋省電燈泡三排開孔內部逐時溫度變化圖

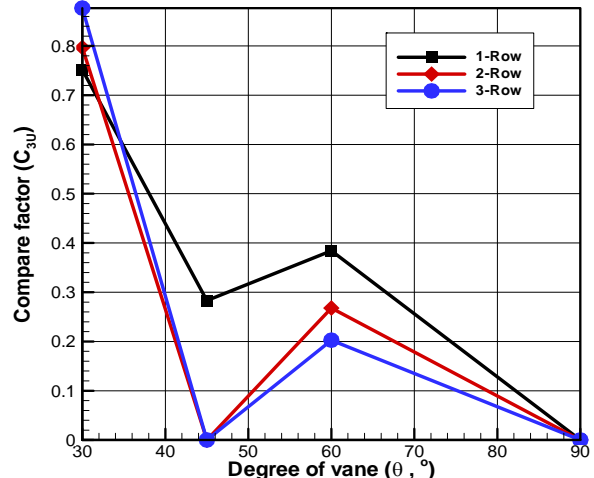


圖四十一 (d) 螺旋省電燈泡各開孔角度與排數內部平均溫度變化圖 (30min 以後平均)

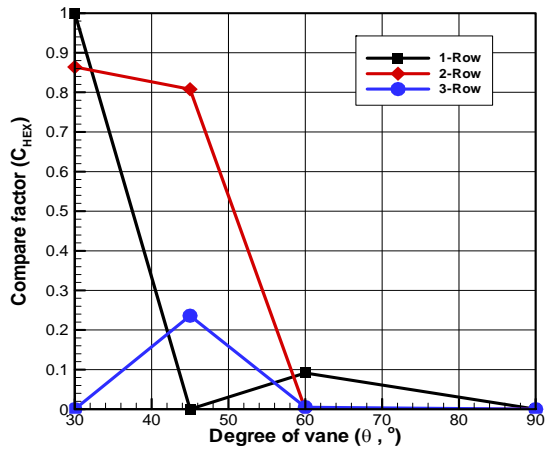
#### (四) 開孔角度與排列方式之最佳配置計算結果 (compare factor, C)



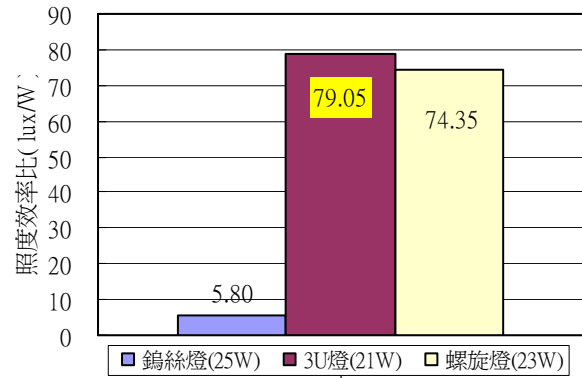
圖四十二 鎢絲燈選擇曲線圖



圖四十三 3U 燈選擇曲線圖



圖四十四 螺旋燈選擇曲線圖



圖四十五 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（取自圖四十二～四十四）

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°

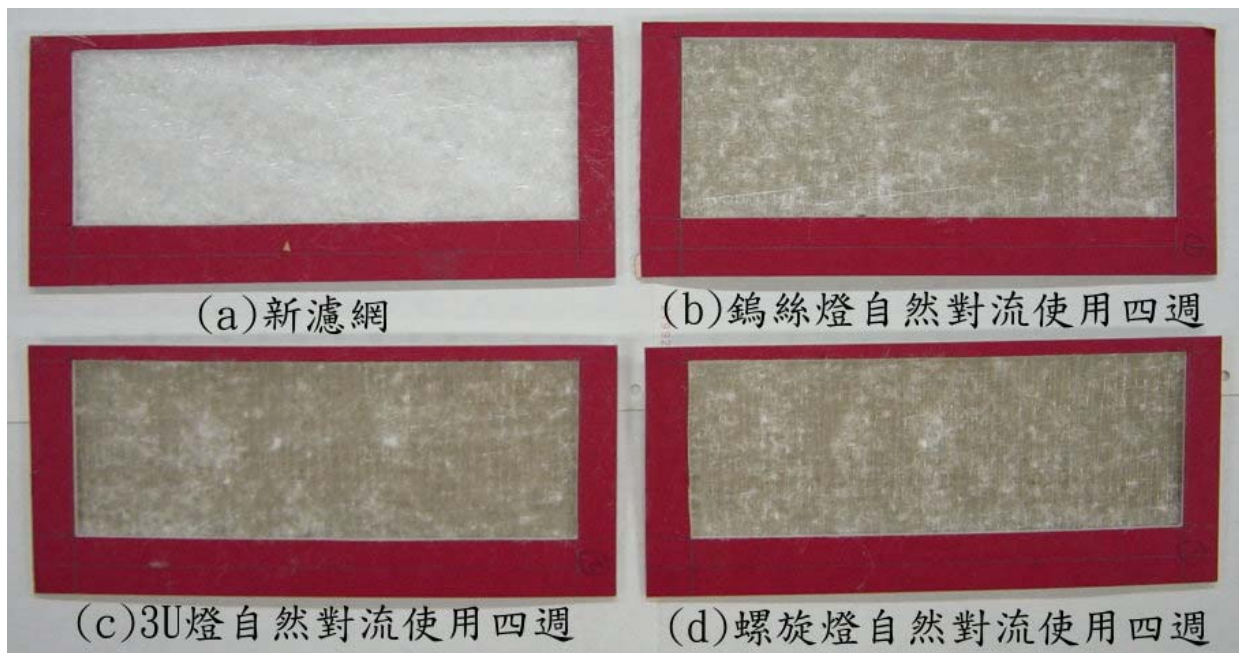
表二 各種燈泡最佳狀況的選擇表（參照照度分佈圖修正）

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°

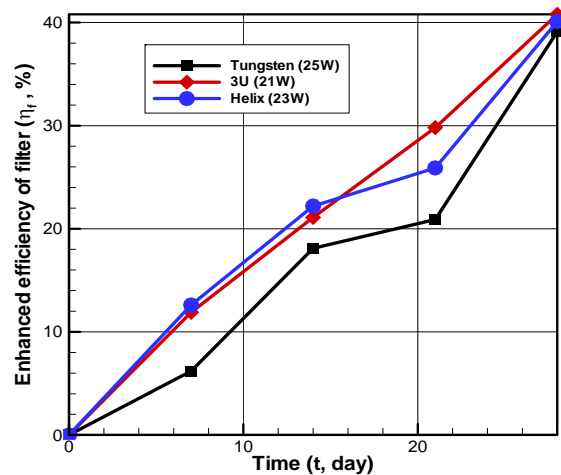
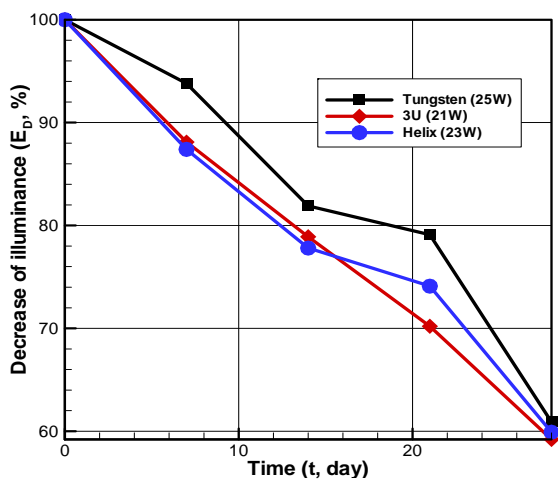
表三 實驗環境平均溫度控制一覽表

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			

### (五) 過濾效果長期實驗結果



圖四十六 自然對流桌燈各條件之下濾網使用前後實體照片



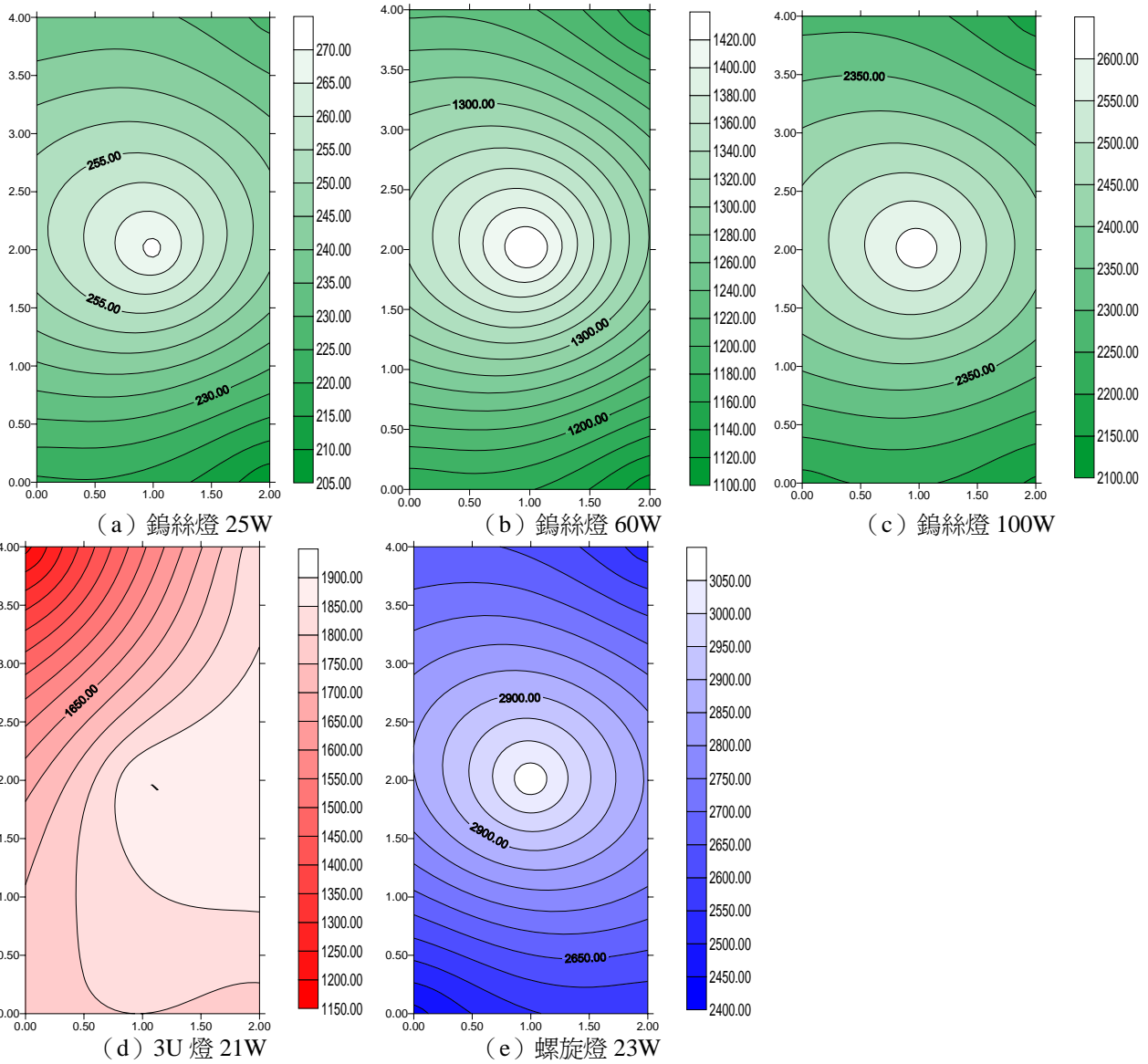
圖四十七 濾網長期測試實驗的照度衰減百分率變化圖 圖四十八 濾網長期測試實驗的過濾效果增進率變化圖

表四 桌燈四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

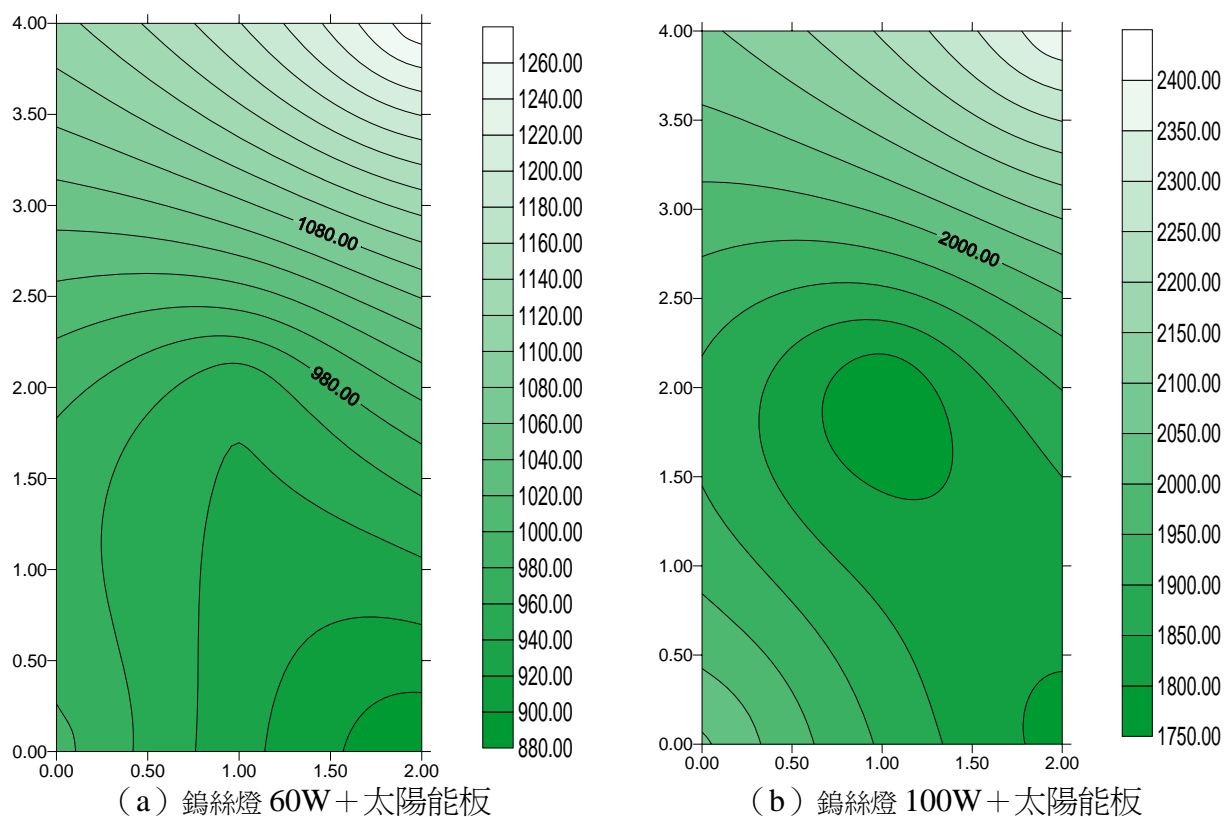
測試時間 (Days)	濾網照度衰減百分率 (%)			濾網過濾效果增進率 (%)		
	鎢絲燈	3U 燈	螺旋燈	鎢絲燈	3U 燈	螺旋燈
0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
7	93.8	88.1	87.4	6.2	11.9	12.6
14	81.9	78.9	77.8	18.1	21.1	22.2
21	79.1	70.2	74.1	20.9	29.8	25.9
28	60.9	59.2	59.9	39.1	40.8	40.1
<b>倍率 (以鎢絲燈為基準)</b>	<b>1</b>	<b>0.97</b>	<b>0.98</b>	<b>1</b>	<b>1.04</b>	<b>1.03</b>

# 吊燈實驗結果 (自然&強制對流)

## (一) 照度分佈實驗結果



圖四十九 自然對流吊燈照度分佈圖



圖五十 強制對流吊燈照度分佈圖

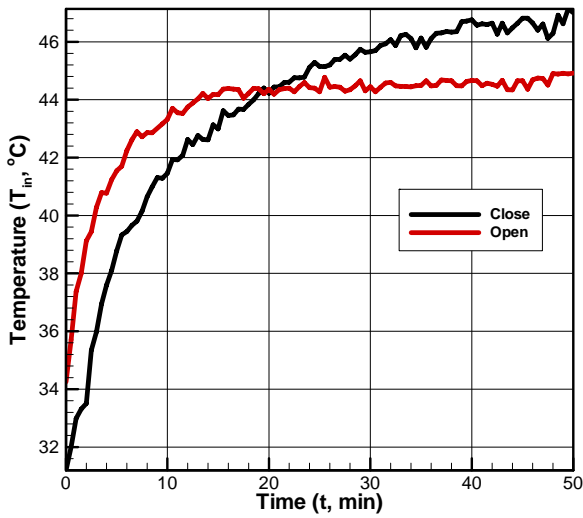
## (二) 平均照度實驗結果

表五 吊燈平均照度一覽表

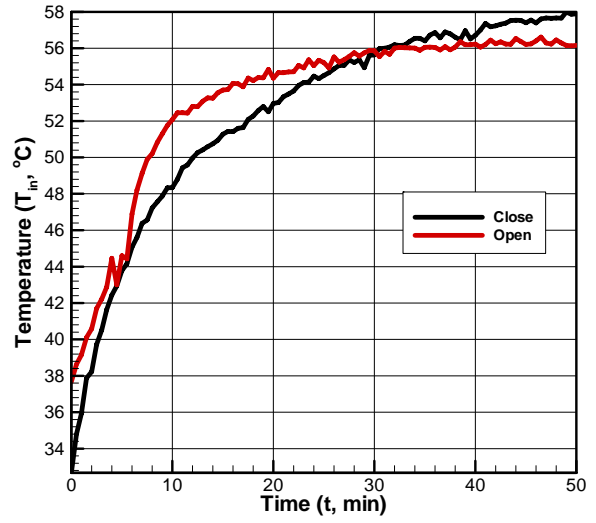
燈泡形式	鎊絲燈			3U	螺旋
額定功率	25W	60W	100W	21W	23W
照度 (lux)	232	1220.8	2282	1696	2648
照度 (lux) (有裝太陽能電池板)	—	1040.4	2016	—	—
照度衰減比	*	85.2%	88.3%	*	*

註：『—』代表該燈泡照射四片太陽能電池無法驅動風扇。『\*』代表無此項數據。

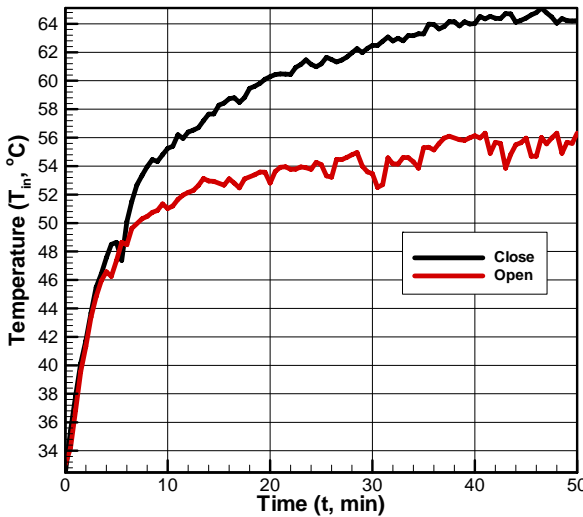
(三) 有無開孔之燈內溫度實驗結果



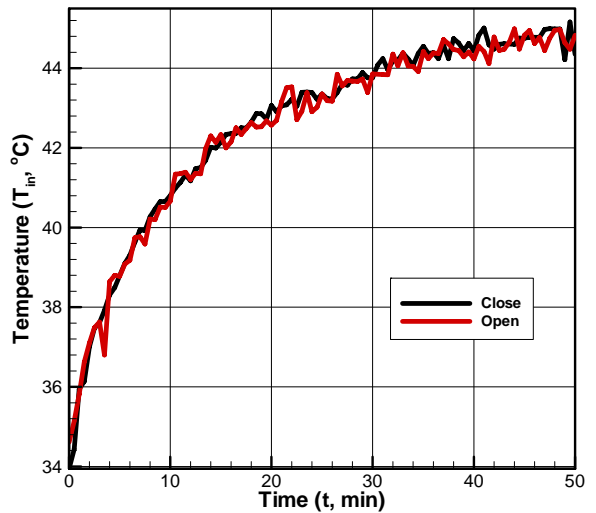
(a) 鎢絲燈 25W



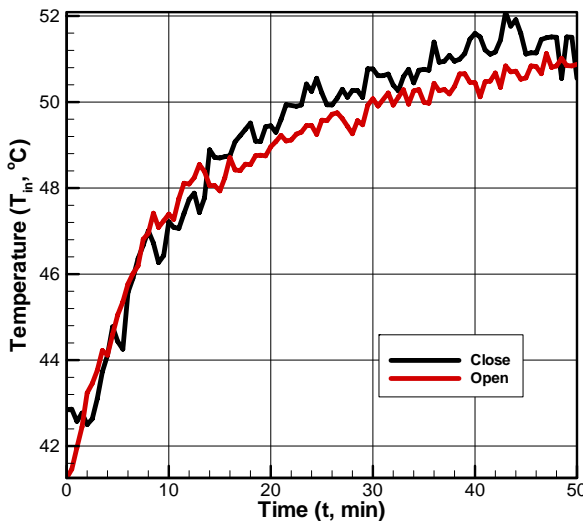
(b) 鎢絲燈 60W



(c) 鎢絲燈 100W

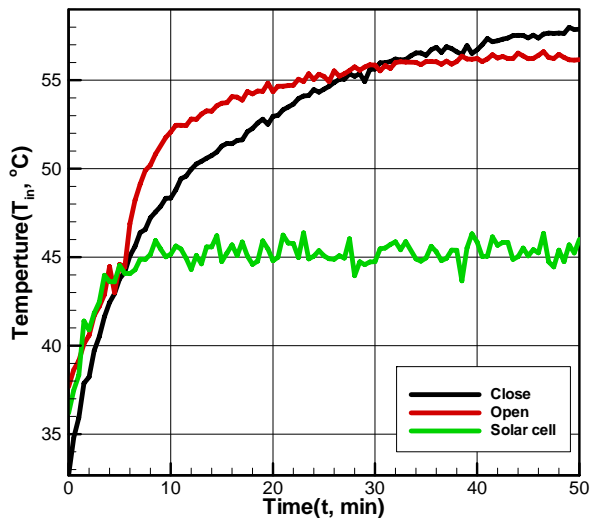


(d) 3U 燈 21W

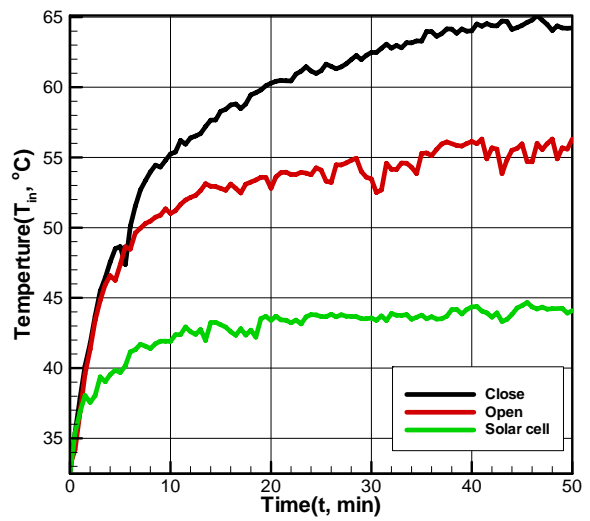


(e) 螺旋燈 23W

圖五十一 自然對流吊燈燈內溫度變化圖 (有無開孔比較)



(a) 鎢絲燈 60W



(b) 鎢絲燈 100W

圖五十二 無開孔、自然對流與強制對流吊燈溫度變化圖

#### (四) 過濾效果長期實驗結果

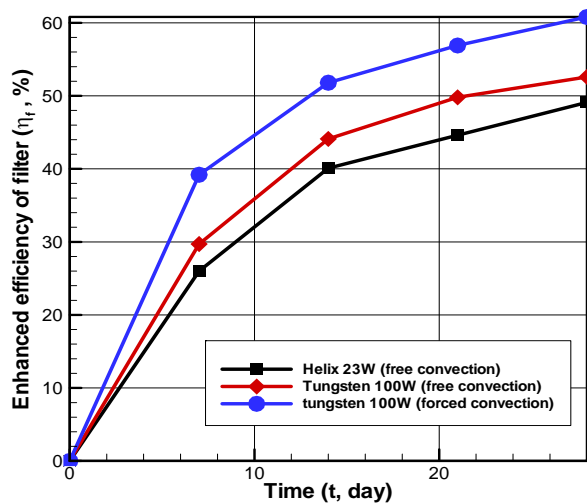
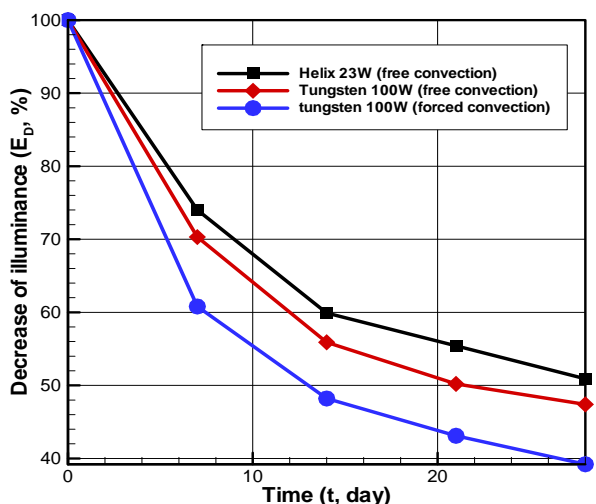


(a) 新濾網

(c) 鎢絲燈自然對流使用四週

(b) 螺旋燈自然對流使用四週 (d) 鎢絲燈強制對流使用四週

圖五十三 吊燈各條件之下濾網使用前後實體照片



圖五十四 濾網長期測試實驗的照度衰減百分率變化圖 圖五十五 濾網長期測試實驗的過濾效果增進率變化圖

表六 吊燈四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

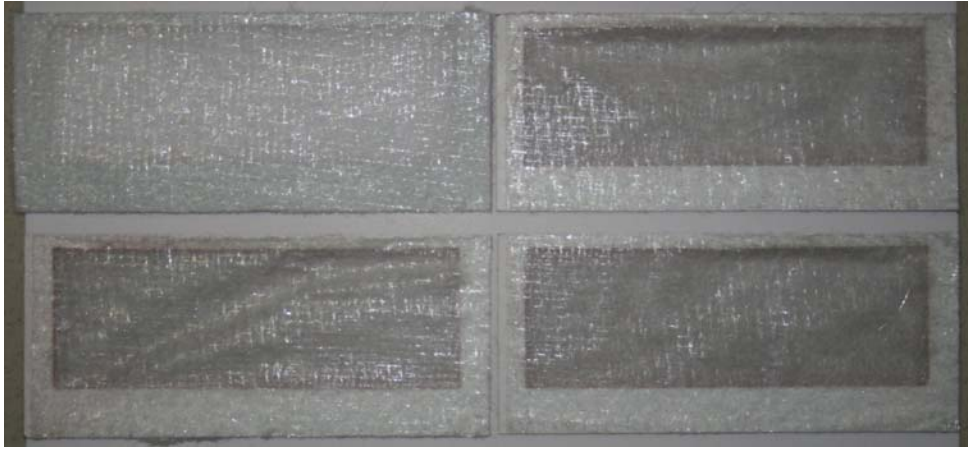
測試時間 (Days)	濾網照度衰減百分率 (%)			濾網過濾效果增進率 (%)		
	螺旋燈 (自然對流)	鎢絲燈 100W (自然對流)	鎢絲燈 100W (強制對流)	螺旋燈 (自然對流)	鎢絲燈 100W (自然對流)	鎢絲燈 100W (強制對流)
0	100	100	100	0	0	0
7	74.0	70.3	60.8	26.0	29.7	39.2
14	59.9	55.9	48.2	40.1	44.1	51.8
21	55.4	50.2	43.1	44.6	49.8	56.9
28	50.9	47.4	39.2	49.1	52.6	60.8
倍率 (以螺旋燈自然對流為 基準)	1	0.93	0.77	1	1.07	1.23

### (五) 無外加污染物長期實驗結果

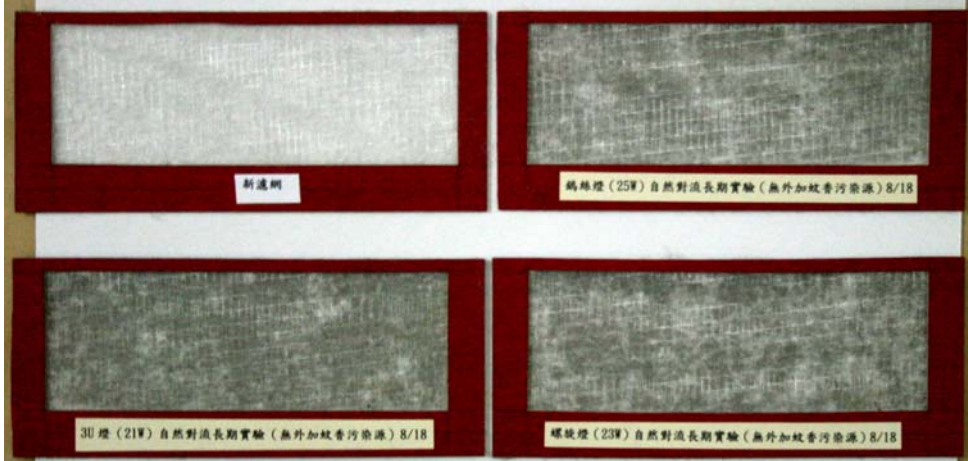


圖五十六 35 天自然對流桌燈濾網 (正面: 由左上角順時針依序為新濾網、鎢絲燈、3U 及螺旋燈濾網)

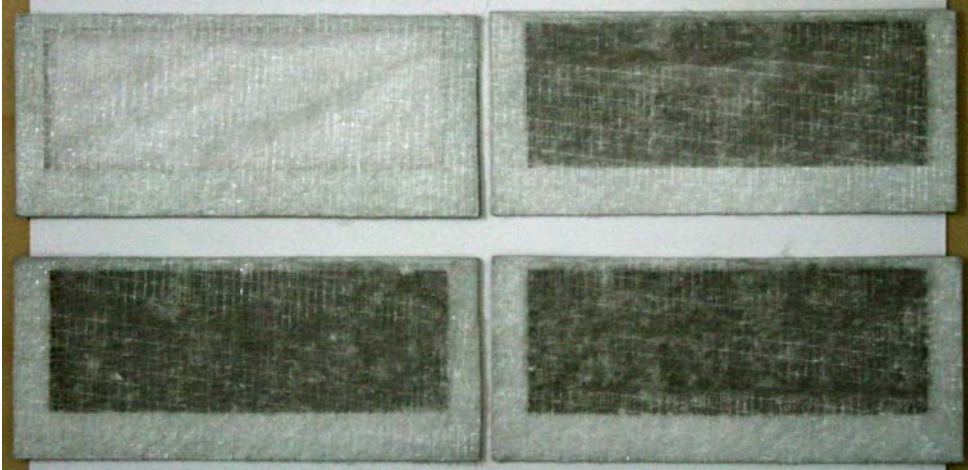




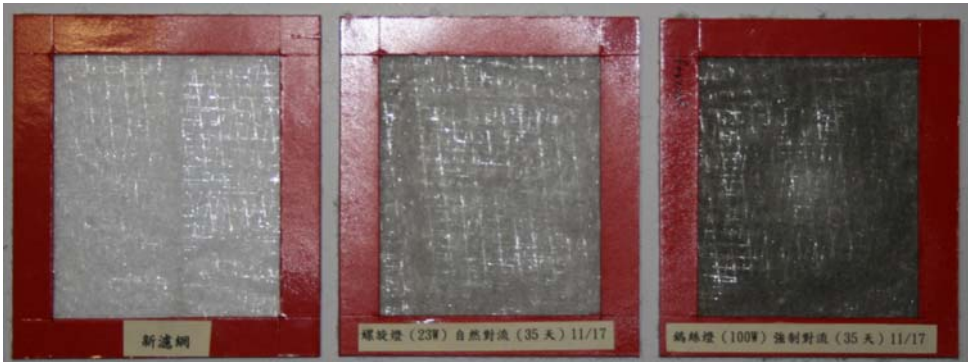
圖五十七 35 天自然對流桌燈濾網（反面：由左上角順時針依序為新濾網、鎢絲燈、3U 及螺旋燈濾網）



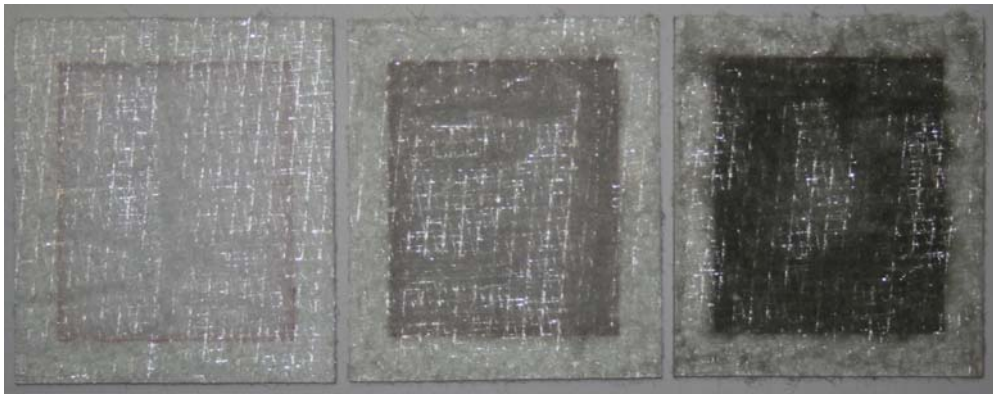
圖五十八 70 天自然對流桌燈濾網（正面：由左上角順時針依序為新濾網、鎢絲燈、3U 及螺旋燈濾網）



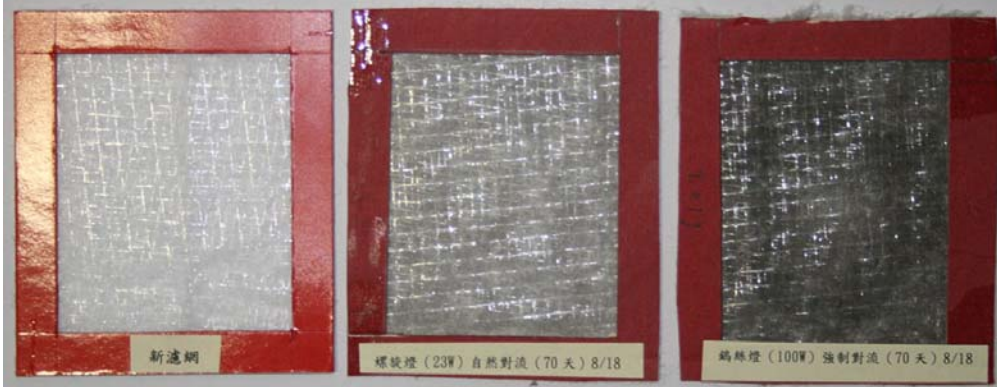
圖五十九 70 天自然對流桌燈濾網（反面：由左上角順時針依序為新濾網、鎢絲燈、3U 及螺旋燈濾網）



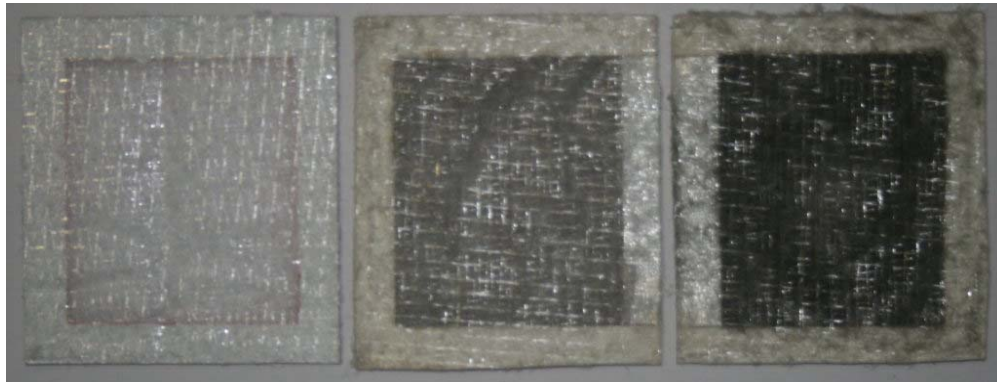
圖六十 35 天吊燈濾網（正面：由左至右依序為新濾網、螺旋燈 23W 自然對流及鎢絲燈 100W 強制對流濾網）



圖六十一 35 天吊燈濾網（反面：由左至右依序為新濾網、螺旋燈 23W 自然對流及鎢絲燈 100W 強制對流濾網）

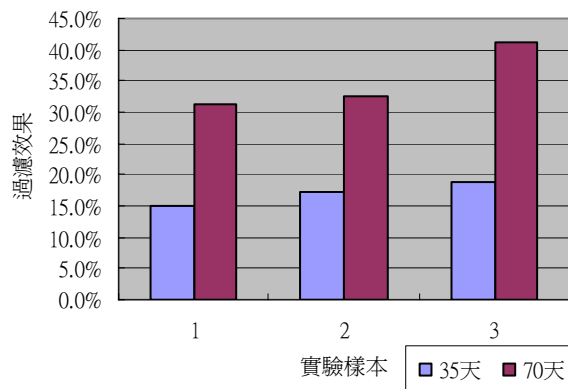


圖六十二 70 天吊燈濾網（正面：由左至右依序為新濾網、螺旋燈 23W 自然對流及鎢絲燈 100W 強制對流濾網）

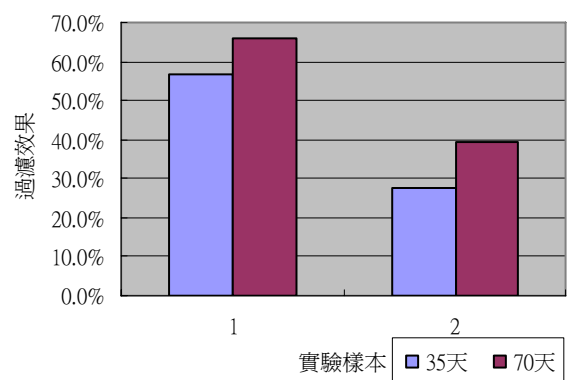


圖六十三 70 天吊燈濾網（反面：由左至右依序為新濾網、螺旋燈 23W 自然對流及鎢絲燈 100W 強制對流濾網）

### 三、無外加污染物長期實驗濾網過濾效果結果與計算



圖六十四 自然對流桌燈長期實驗結果比較  
備註說明：(1 為鎢絲燈 25W，2 為 3U 燈 21W，3 為螺旋燈 23W)



圖六十五 強制對流與自然對流吊燈實驗結果比較  
備註說明：(1 為鎢絲燈 100W 太陽能供電強制對流，2 為螺旋燈 23W 自然對流)

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

$\eta_f$	鎢絲燈 (25W)	3U (21W)	螺旋燈 (23W)
桌燈 35 天測試	14.9%	17.1%	18.8%
桌燈 70 天測試	31.3%	32.5%	41.2%
$\eta_f$	強制對流 (鎢絲 100W)	自然對流 (螺旋 23W)	—
吊燈 35 天測試	56.9%	27.4%	—
吊燈 70 天測試	65.8%	39.3%	—

## 肆、結論與應用

本節將針對各實驗研究結果進行分析與討論如下：

### 一、自然對流桌燈部分

#### (一) 開孔角度與排列方式對照度分佈變化的影響

如圖二十三~二十七所示，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  $0^\circ$  與  $45^\circ$  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。

如圖二十八~三十一所示，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  $45^\circ$  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。

如圖三十二~三十五所示，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  $90^\circ$  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  $45^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $90^\circ$  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。

## (二) 開孔角度與排列方式對平均照度變化的影響

如圖三十六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  $45^\circ$  時發生一次例外。

如圖三十七所示，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  $45^\circ$  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  $45^\circ$  時發生二次例外。

如圖三十八所示，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  $45^\circ$  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  $45^\circ$  的平均照度卻高於  $30^\circ$ ，不過  $60^\circ$  與  $90^\circ$  的平均照度均不會高於  $30^\circ$  與  $45^\circ$  的情況，所有平均照度實驗的結果在開孔  $45^\circ$  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燈內溫度變化的影響

如圖三十九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  $60^\circ$ ；燈內發生最高溫度的情況均為開孔  $45^\circ$ 。

圖四十所示為 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  $60^\circ$ ；燈內發生最高溫度的情況均為開孔  $45^\circ$ 。

圖四十一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  $90^\circ$ ；燈內發生最高溫度的情況均為開孔  $30^\circ$ 。

上述各實驗結果圖中可以發現，某些未開孔的狀態 ( $0^\circ$ ) 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  $10^\circ\text{C}$  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。

#### (四) 各種燈泡最佳條件選擇的比較

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。如圖四十二~四十四所示，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/ $30^\circ$ ) 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/ $30^\circ$ ) 作為長期測試的條件，因此表一可以更進一步修正為表二。如圖四十五所示，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。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  $24^\circ\text{C}$ )，由表中可看出實驗時的環境溫度均能維持  $24\pm 1^\circ\text{C}$  以內，應能盡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濾網穿透照度來判定。如圖四十六所示，為經過四星期自然

對流桌燈長期測試前後的照片，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，無法進行程度上的定量，因此還是必須靠濾網穿透照度來判定。如圖四十七所示，為經過四星期的長測試條件之下濾網透光照度衰減的趨勢圖，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，經過四星期長期的測試，濾網透光的照度約只剩下60%以下。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(圖三十九(d)~四十一(d))看出，鎢絲燈平均溫度約為 $39.5^{\circ}\text{C}$ (二排/ $30^{\circ}$ )，3U燈平均溫度約為 $48.8^{\circ}\text{C}$ (三排/ $30^{\circ}$ )，螺旋燈平均溫度約為 $49.8^{\circ}\text{C}$ (二排/ $30^{\circ}$ )，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)可以將圖四十七轉換成如圖四十八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，詳細數值請參照表四所示，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1.03倍，相差不多。

## 二、自然對流與強制對流吊燈部分

### (一) 各種燈泡照度分佈變化實驗結果討論

由於吊燈的開孔對於整個反光表面積而言是非常的小，因此有無開孔經實驗比較的結果幾乎沒有差異，因為本研究是要開發具有空氣過濾效果的燈具，因此僅呈現有開孔部分的照度分佈與平均值。

如圖四十九所示，為吊燈在各種燈泡的等照度分佈圖，由圖中可以看出，鎢絲燈泡和螺

旋燈泡的照度分佈是比較平均，其照度是由中心逐漸向外減弱。而 3U 燈泡的照度有往右邊偏移的現象。

如圖五十所示，為吊燈在鎢絲燈泡有加裝太陽能板的等照度分佈圖，由圖中可以觀察出，在 60W 加裝太陽能板時，其照度有往右下方偏移的情形，在 100W 時雖然有輕微的偏移，但跟 60W 比較起來，100W 的照度是分佈比較平均的。

根據上述各實驗結果圖中可以知道，鎢絲和螺旋省電燈泡的照度分佈是由中心點向四周緩步降低，呈現平均的狀態。3U 燈泡的照度分佈不會像鎢絲和螺旋省電燈泡一樣，都是由中心向四周擴散，而是會發生某方向的偏移，而且照度的衰減梯度較為劇烈，這個原因可能因為 3U 燈泡的幾何形狀和吊燈燈罩的形狀有關係。螺旋燈泡的照度為三者中最高，因此在自然對流方面，同時要求光線均勻與省電的場合之下，螺旋燈泡應該是照明效率與均勻度兼顧的最佳選擇

## （二）各種燈泡平均照度變化的結果討論

由表五吊燈平均照度一覽表，由表中可以看出各種燈泡及瓦特數對照度的關係，以 100W 的鎢絲燈照度最大，其次為螺旋燈泡、3U 燈泡、60W 鎢絲燈泡及 25W 的鎢絲燈泡。在表中此符號『-』代表該燈泡照射四片太陽能電池無法驅動風扇，螺旋燈泡的照度雖然比 100W 鎢絲燈來的大，但是仍無法讓太陽能電池驅動風扇，因此在考量照度方面，螺旋燈泡應該是最佳自然對流吊燈的選項。根據實際測試與相關理論都發現太陽能電池以白熾燈（鎢絲燈）之波長為較適用；雖然 60W 和 100W 的鎢絲燈皆能推動風扇，在單位功率所能獲得的照度相當，不過 100W 鎢絲燈在安裝太陽能電池板之後照度衰減比率較低，爲了要兼顧風扇順利運轉與照度特性，因此在強制對流方面，本長期的吊燈實驗所採用的燈泡爲 100W 鎢絲燈泡。

## （三）開孔對燈內溫度變化的結果討論

如圖五十一（a）~（c）所示，爲三種不同瓦特數的鎢絲燈泡燈內溫度變化曲線圖。該圖中顯示有無開孔對於燈內溫度變化的影響。由圖中可以發現，一開始有開孔的燈內溫度都會大於或等於沒有開孔的狀態，但過一段時間後所呈現穩定的狀況，是有開孔的燈內溫度會小於沒有開孔的狀態。圖五十一（d）所示，爲 3U 省電燈泡燈內溫度變化曲線圖。由圖中看出，兩條曲線糾結在一起，表示說有開孔和沒開孔的溫度並無明顯差異，取三十分鐘後的平均相



比較，有開孔大約低  $0.2^{\circ}\text{C}$ 。圖五十一 (e) 所示，為螺旋省電燈泡燈內溫度變化曲線圖。該圖中顯示有無開孔對於燈內溫度變化的影響。由圖中可以發現，一開始有開孔的燈內溫度都會大於沒有開孔的，但過一段時間後所呈現穩定的狀況，是有開孔的燈內溫度會小於沒有開孔的狀態。

如圖五十二(a)~(b)所示，為 100W 和 60W 鎢絲燈泡無開孔、自然對流與強制對流的燈內溫度變化曲線圖，由圖中可以觀察出，最低溫度都發生在有太陽能板作為強制對流的驅動力情況之下，呈現強制對流在散熱方面明顯優於自然對流，100W 鎢絲燈泡無開孔、自然對流與強制對流的差異均大於 60W 的鎢絲燈泡。

上述各實驗結果圖中可以發現，在自然對流的情況之下，除了 3U 燈泡以外，其他的燈泡都明顯顯示出有開孔的燈內溫度比沒開孔來的低，其中又以在 100W 時兩者的溫差較大，主要是因為提供熱氣流一個上升的路徑，使得散熱能力與對流的效果都提升；而在強制對流方面，也可以看出在有太陽能板來驅動風扇的情況之下，是比有開孔的狀態為佳，其中可以看出 100W 的燈內溫度比 60W 低，主要是 100W 燈泡所能提供轉換的電能比 60W 大，而使風扇得到較高的轉速，提高氣流流率，如此一來可以有效地提升對流及散熱效果，因此考慮燈內溫度的實驗結果，強制對流吊燈長期實驗所採用的燈泡為 100W 鎢絲燈泡。

#### (四) 濾網過濾性能判斷長期實驗結果討論

本研究在吊燈方面的長期測試配置是參照溫度與照度變化圖，太陽能板必須在 60W 以上的鎢絲燈才可以驅動，為了要確保風扇運轉的順利性，因此在強制對流方面，本長期的吊燈實驗所採用的燈泡為 100W 鎢絲燈泡；在自然對流選項方面，為了與 100W 鎢絲燈強制對流比較差異，故自然對流也選定 100W 鎢絲燈泡作為實驗樣本，此外為了瞭解電子省電燈泡在吊燈的使用狀況，選擇溫度與照度都較優越的螺旋燈泡作為實驗樣本，因此強制對流與自然對流共有三個實驗樣本進行四週的長期實驗量測。本研究長期濾網過濾效果以濾網穿透照度來判定。如圖五十三所示，為經過四星期自然對流與強制對流吊燈長期測試前後的照片，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，無法進行程度上的定量，因此還是必須靠濾網穿透照度來判定。如圖五十四所示，為經過四星期的長測試條件之下濾網透光照度衰減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，三種條件下的衰減趨勢非常接近，但是有

相當的差距，經過四星期長期的測試，濾網透光的照度約只剩下一半以下。污染越嚴重濾網則越不透光，其中強制對流明顯優於自然對流，100W 鎢絲燈泡在自然對流方面也優於螺旋燈泡，這個原因可以從燈內溫度實驗結果（圖五十一(e)~五十二(a)(b)）看出，螺旋燈自然對流有無開孔的溫差大約在 1~2°C 左右，100W 鎢絲燈自然對流有無開孔在 30 分鐘之後的溫差也在 1~2°C 左右，但是還有逐漸增加的趨勢。在 100W 強制對流方面，強制對流與未開孔的狀態相差近 20°C，與有開孔的自然對流相差約 12°C，代表強制對流確實具有較高的空氣循環量能有效移去燈內的熱，其優劣表現是 100W 鎢絲燈強制對流優於 100W 鎢絲燈自然對流，而 100W 鎢絲燈自然對流又優於螺旋燈自然對流。若再考慮三者額定功率來看，螺旋燈泡額定功率為三者最低（23W），只有鎢絲燈的四分之一，如果再考慮照度分佈的情況，螺旋燈泡分佈相當均於，不會比鎢絲燈差，此外平均照度也高於 100W 鎢絲燈，在整體考量之下，自然對流吊燈的最佳選擇應該是螺旋燈泡。在強制對流方面，100W 鎢絲燈強制對流明顯比相同瓦數的自然對流優越，不過鎢絲燈的耗電量相當大，照明效率很低，不過在過濾性能方面可以稍加彌補此一缺憾。利用式（14）可以將圖五十四轉換成如圖五十五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，詳細數值請參照表六所示，以自然對流螺旋燈泡為基準值來看，100W 鎢絲燈自然對流是螺旋燈泡自然對流的 1.07 倍，100W 鎢絲燈強制對流是螺旋燈泡自然對流的 1.23 倍，有相當大的差異。

### 三、無外加污染物濾網實際測試

自然對流桌燈測試時間與過濾效果呈現接近線性的關係（時間兩倍，效果近似兩倍），吊燈則非線性關係，呈現趨於飽和的狀態，主要是因為吊燈濾網較小，燈下進氣空間又較大，使得污染物快速累積（強制對流更為明顯），使得過濾效能趨於飽和。

## 伍、結論與應用

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。本研究綜合歸納結論如下：

### 一、在自然對流清淨桌燈方面

- (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  $45^\circ$  的平均照度卻高於  $30^\circ$ ，不過所有平均照度實驗的結果在開孔  $45^\circ$  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，經過四星期長期的測試，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。

## 二、在自然對流與強制對流清淨吊燈方面

- (一) 在照度分佈方面，鎢絲和螺旋省電燈泡的照度分佈是由中心點向四周緩步降低，呈現均勻的狀態，3U 燈泡的照度會發生某方向的偏移，而且照度的衰減梯度較為劇烈，這個原因可能因為 3U 燈泡的幾何形狀和吊燈燈罩的形狀有關係。在要求光線均勻、省電和自然對流的條件之下，螺旋燈泡應該是照明效率與平均度兼顧的最佳選擇。
- (二) 在自然對流的情況之下，除了 3U 燈泡以外，其他的燈泡都明顯顯示出有開孔的燈內溫度比沒開孔來的低。而在強制對流方面，可以看出在有太陽能板來驅動風扇的情況之下，是比有開孔的自然對流狀態為佳，其中可以看出 100W 的燈內溫度比 60W 低，主要是 100W 燈泡所能提供轉換的電能比較大，而使風扇以較高的轉速運轉，提高氣流流率，使得燈內溫度能有效地降低，具有延長燈泡使用壽命的功效。
- (三) 本研究最後長期濾網實驗性能測試結果，整個優劣表現是 100W 鎢絲燈強制對流優於 100W 鎢絲燈自然對流，而 100W 鎢絲燈自然對流又優於螺旋燈自然對流。根據過濾性能增進率的比較，以自然對流螺旋燈泡為基準值來看，100W 鎢絲燈自然對流是螺旋燈泡自然對流的 1.07 倍，100W 鎢絲燈強制對流是螺旋燈泡自然對流的 1.23 倍，有相當大的差異。

根據上述整理出，在使用吊燈自然對流的情況下，建議使用照度分佈均勻的螺旋燈泡來作為光源，即可達到不錯的清淨效果；在強制對流方面，100W 鎢絲燈則是最佳的選擇。

本發明在使用時能有效提昇空氣品質，延長燈泡壽命與不需要提供額外的能源即可達到強制對流的效果，實屬於具有實用價值的研究。在桌燈方面可以普遍地應用於閱讀的場合；在吊燈方面則是建議安裝的最佳場所為廚房、供桌等多塵埃或煙霧的場所，對環境與健康具有良好的貢獻。本研究所開發的新型清淨燈具經過實驗驗證，確實能有效地過濾空氣中的污染物。此外，未來將會朝向太陽能充電這方面更進一步研究與開發，希望此一研究結果可供在此研究領域的研究者做為參考，並能在空氣清淨與省能領域有所貢獻。

## 陸、參考文獻

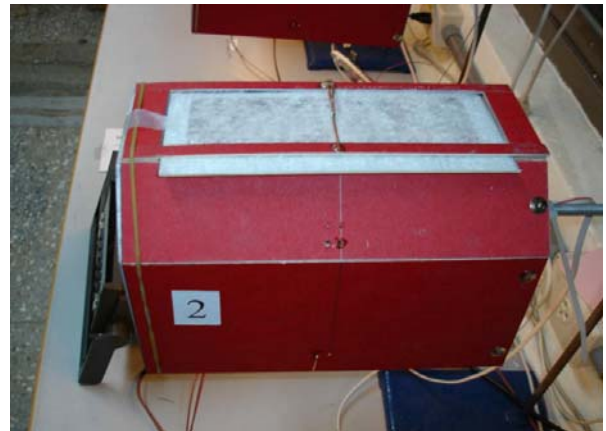
- [1] 褚德三。基礎物理－第五章 光。龍騰文化。2001。
- [2] 林源堂。陀螺天燈轉速控制之探討，物理雙月刊，廿二卷一期，02. 2000。
- [3] 楊春欽 譯。熱傳遞學。科技圖書有限公司。1980。
- [4] 電池資訊網。太陽能電池－環境保護大家一起來推廣。  
<http://www.nsc.gov.tw/dept/acro/version01/battery/electric/types/solar.htm>
- [5] 卓清松、鄭龍嶽、徐金輝。空氣污染與清淨裝置之原理，台北市立木柵高工學報第八期，2003。
- [6] 卓清松、鄭龍嶽、王偉儒。空氣清淨濾網之原理與技術，台北市立木柵高工學報第八期，2003。
- [7] 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。
- [8] ASHRAE, *Systems and Equipment Handbook, Chapter24 Air cleaners for particulate contaminants*. P.24.15. 2000.
- [9] Golden software Inc., *Grapher ver.1.32, 2-D Graphing User guide*. Colorado, U.S.A., 1997.
- [10] Golden software Inc., *Sufer(win32) ver.6.04, Surface Mapping System User guide*. Colorado, U.S.A., 1997.
- [11] Amtec Engineering Inc.(2000). *Tecplot 8.0 User's Manual*, Bellevue, Washington.

## 柒、附錄

### 實驗過程與設備剪影



附圖一 自然對流桌燈實驗（鎢絲燈）燈內實體圖



附圖二 自然對流桌燈濾網實體圖



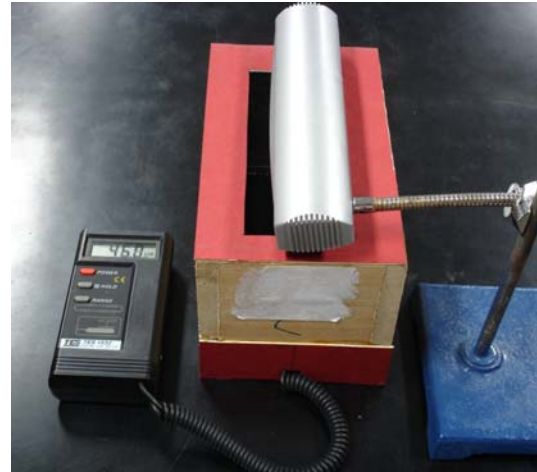
附圖三 自然對流桌燈燈內溫度量測（一小時）



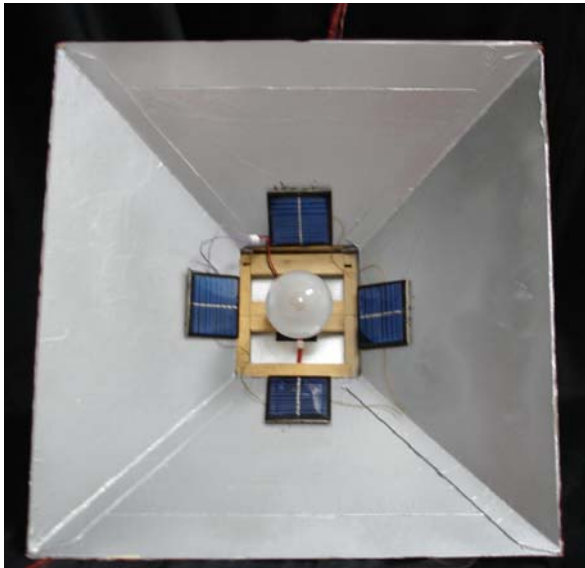
附圖四 自然對流桌燈長期測試配置實體圖



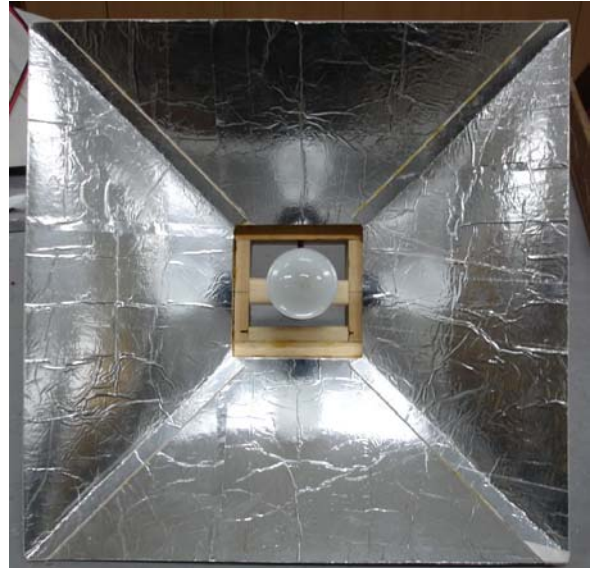
附圖五 自然對流桌燈長期測試實體圖



附圖六 濾網過濾效果測試裝置



附圖七 強制對流吊燈內部實體圖



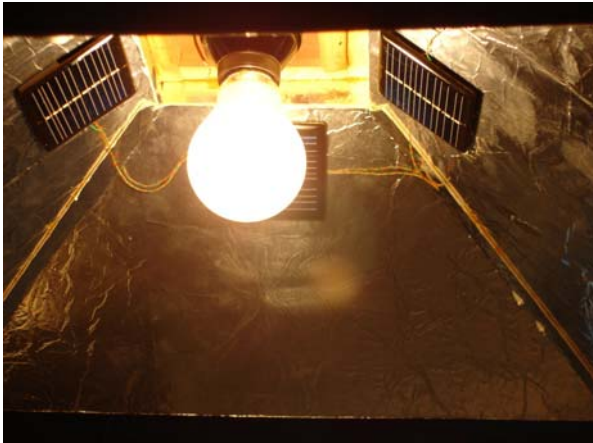
附圖八 自然對流吊燈內部實體圖



附圖九 強制對流吊燈燈頂風扇與濾網實體圖



附圖十 自然對流吊燈測試內部實體圖（螺旋燈）



附圖十一 強制對流吊燈測試內部實體圖（鎢絲燈）



附圖十二 強制對流吊燈長期測試實體圖

## 評語

本作品係開發同時具有空氣清淨與照明燈具，利用自然對流原理，讓燈泡發熱所產生氣流通過燈具上方的濾網，達到過濾與降溫功能。作者提出「比較因子」之公式，定義為散熱能力增進因子與照度增進因子之乘積，用以篩選能兼顧過濾效果與照度之最佳組合。實驗設計則分成桌燈與吊燈兩種，吊燈方面更利用太陽能電池驅動風扇，進行強制對流，強化過濾的效果。整體言之，本作品創意頗佳，實驗程序完整，為甚優之應用科學作品。