

紅外線測溫儀應用於溫排水擴散量測之可行性研究

翁文凱¹ 周宗仁² 黃國良³ 吳勝閔³

摘要

基於紅外線測溫影像技術的優越性，將其運用在溫排水表面擴散之研究，希望藉此方便且迅速獲得水面溫度變化的資訊，而讓我們了解水面溫度擴散之情形。試驗分為兩部分，第一部分為溫度測量計度量溫度，將測量的表面溫度資料繪成溫差等溫線圖，作為紅外線熱像儀測量結果的驗證。第二部分由紅外線熱像儀進行量測，將得到的結果與第一部分相比較並討論。在第二部分試驗中發現放射率的設定對溫度測量影響很大，且對於溫度較低的物質拍攝產生誤差會較小。另外試驗目標物是水體，所以試驗環境中水氣含量較高，會造成紅外線輻射到達儀器過程中被吸收部分的能量，而造成誤差，故需做適當的修正。試驗的結果可以看出擴散趨勢非常吻合，證明紅外線測溫影像技術運用在溫排水擴散的可行性。

A feasibility study on diffusion measurement of thermal discharges by infrared thermoscope

Wen-Kai Weng Chung-Ren Chou Guo-Liang Huang Sheng-Min Wu

ABSTRACT

The image technology of using infrared to measure temperature has its superiority. By using the technology to research how the surface temperature of thermal discharges diffuses, hoping to get information how the surface temperature change conveniently and fast. The thesis is based on this research to let us know more about the condition of surface temperature diffuses. This experiment divides into two parts. The first part is to use a temperature survey meter to measure the temperature. To draw a temperature difference chart according to the data of surface temperature, which we can support and prove the final result of using the Infrared Thermography. The second part is to use an Infrared Thermography to measure. We'll make a comparison between the first part and the second part and discuss the result. We could find that setting the specific emissivity has a great effect on temperature measurement on the second part. Besides, the inaccuracy will be less when filming the substance which is in low temperature. The water itself is also another object to be experimented. Therefore, if the air contains a lot of moisture when we do the experiment, this might contribute to partial energy to be taken up during the process of infrared reaching to the equipment, which also might cause inaccuracy. This needs to be adjusted. Combined these two parts, we can find that the proliferation tendency is connected perfectly, which proves that applying the image technology of using infrared to measure temperature to thermal discharges proliferation is possible.

1. 國立台灣海洋大學河海工程學系副教授
2. 國立台灣海洋大學河海工程學系教授
3. 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士班研究生

一、緒論

傳統量測方法雖具較佳的準確性，但是使用前需將每一根溫度測量計率定，以確保儀器正常，需

耗費相當多時間在儀器檢察和架設上。傳統量測溫度的方法幾乎是“點”的測量，如果要更完整表達待測範圍面的溫度分佈情形，勢必要使用更多的溫度測量計，而佈置太多又會對流場造成干擾。基於傳統溫度測量計的量測缺點與不方便性，本研究希望改以紅外線測溫影像技術來探討溫度的擴散，由於為“非接觸性”和“面”的量測，對於待測流場不會造成干擾，且熱像儀可以隨時隨地方便的架設在岸邊隨時去掌握水面溫度資訊，有別於傳統量測局限於只能架設在水面上，故採用紅外線測溫影像技術是一種方便又迅速的量測方法，而且又可以完整表現出待測範圍面的溫度擴散資訊。

紅外線測溫影像技術運用在流體上較為少見，一般都運用在固體上，對於此技術的運用都有很好的成果。有關此方向之研究大約有劉和林(1989)文中說明利用衛星紅外線頻道的資料求取海面、湖泊及河流的表面溫度。張(1989)將美國大地衛星(LANDSAT)熱紅外光段數值化資料轉換成地表水體溫度。Astarita 等人(2000)用紅外線熱像儀測量對流的熱傳遞。沈(2001)以紅外線熱像儀測得表面溫度場當做熱傳邊界條件而來分析 TQFP 構裝之晶片溫度與熱阻值時可得到滿高的精確度。葉(2001)以紅外線熱像儀量測熱交換器鰭片之表面溫度分佈，進而求得其局部熱傳係數。洪(2004)利用紅外線熱影像分析加熱爐之溫度分布。陳(2004)應用紅外線攝溫影像術檢測磁磚黏貼完整性。

本研究在國立海洋大學海洋工程綜合實驗館內的平面水槽進行，運用紅外線攝溫影像技術，採用紅外線熱像儀拍攝實驗水槽水面溫度擴散情形，配合溫度測量計的量測結果比較並探討之，驗證紅外線熱像儀應用在溫排水擴散的可行性。

二、試驗設備及量測方法

2.1 試驗設備及佈置

試驗水槽總長 50 公尺、寬為 50 公尺、深為 1 公尺。在水槽中選取長 1.5 公尺、寬 1.2 公尺之矩形範圍，作為量測的範圍，本試驗水深(h_0)採用 0.3 公尺。

試驗使用了 31 根熱電偶式的溫度測量計測量水溫，其中 1 根置於出水口前測量出水溫度，另外 30 根佈置測溫作為紅外線測溫的驗證。

紅外線熱像儀像機固定在腳架上，離水面 225 公分高，427.5 公分水平距離。該像機可以接收待測物 $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ 紅外線波段進而計算出待測物表面溫度。經紅外線熱像儀拍攝出來的影像圖片，由像機裡面 16 MB 的記憶卡儲存，檔案為 ISI 影像檔，可由影像分析軟體 SnapView Pro 開啟並分析。圖 3 為試驗所使用之紅外線熱像儀。

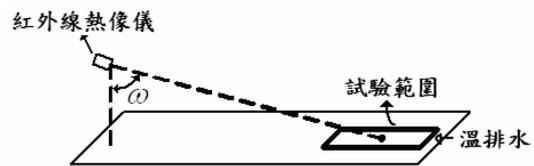


圖 1 試驗示意圖



圖 2 溫度測量計佈置情況

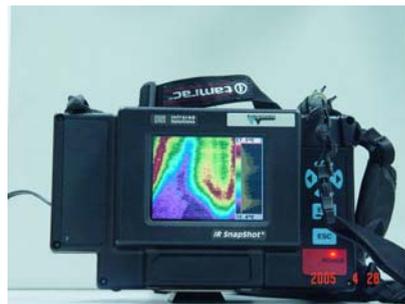


圖 3 紅外線熱像儀

2.2 資料量測與分析方法

試驗分兩部分，第一部分為溫度測量計度量溫度，區域如圖 1 之試驗範圍，其中等間距佈置了 30 根溫度測量計，如圖 2 為溫度測量計佈置情況，採用三聯公司所代理之 Instrunet 軟體去擷取溫度資料。第二部分試

驗範圍同於第一部分試驗，採用拓捷科技有限公司之產品-紅外線熱像儀—SnapShot 525 去拍攝，可得到水面的熱影像圖，再透過影像處理軟體 SnapView Pro 去分析水面擴散的情形。第一部分試驗結果結果為驗證第二部分試驗。

兩部分試驗以溫差 11°C 溫差進行，給定 9 組條件去量測，試驗條件如表 1 所示。

表 1 試驗條件

表面放流($d=1\text{cm}$)	流量 $Q=5.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=8.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=11.5\text{ LPM}$
沒水 10 公分放流 ($=11\text{cm}$)	流量 $Q=5.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=8.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=11.5\text{ LPM}$
沒水 20 公分放流 ($=21\text{cm}$)	流量 $Q=5.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=8.5\text{ LPM}$
	流量 $Q=11.5\text{ LPM}$

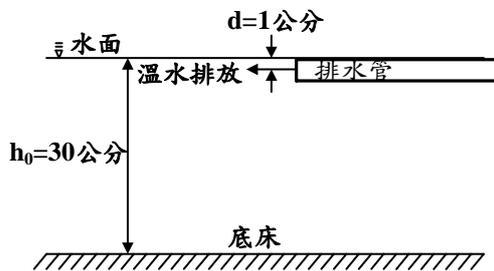


圖 4 試驗示意圖

試驗溫度測量計資料取樣頻率為每秒擷取 1.63 筆資料，試驗擷取 2 分鐘溫度資料，所以約有 200 筆的資料。紅外線熱像儀拍攝出來的熱影像，由熱像儀裡面的 16MB 記憶卡儲存，再由影像處理軟體 SnapView Pro 讀取熱影像圖上溫度的資料，在分析熱影像圖的溫度資料前要先對拍攝出來的影像做座標轉換，然後再抓第一部分溫度測量計試驗的點位，讀出各測點的溫度資料。然後將資料繪成溫差等溫線圖，將兩部分試驗結果比較並探討。

三、結果討論

本研究先以溫度測量計度量溫排水後各測點的溫度值，以 3 種沒水位置溫排水並配合 3 種流量，共 9 種組合條件來進行試驗量測，將所得結果繪出表面溫差等溫線圖，去探討不同溫排水沒水深度和流量條件下水表面溫度分佈情形。

紅外線熱像儀拍攝量測水面之前，先必須找到目標水體的放射率值，雖然水體為接近黑體的物質，但會因為氣溫不同和水質差異，以至於放射率會有所差異，因為放射率為非常重要的參數，會影響實驗精確度。另外原本短距離量測一般可以忽略大氣的影響，不過應用在量測水體勢必空氣中水氣含量一定很高，空氣中的水氣會吸收熱輻射，故距離越遠熱輻射穿透空氣到儀器時會損失較多能量，所以必須考慮此影響因子。

水體為灰體但其放射率接近黑體，試驗前先率定水體的 ϵ 值，以 5 種溫度試驗水體來找尋放射率，將紅外線熱像儀近距離拍攝，放射率 ϵ 從 1 試到 0.90，其結果如由表 2 所示。由表 2 可以看出水體放射率約為 0.95。紅外線輻射強度會受距離影響，主要是因為大氣中含有水氣、塵埃粒子，在輻射過程中會吸收、發散而消滅紅外線一些能量，所以試驗前要先找到距離所造成的影響。找到放射率後將熱像儀 ϵ 設定為 0.95 來探討距離的影響，水平距離退後 1 m、2 m、3 m、4 m、4.58 m、5 m、6 m 拍攝，實際攝影中心到水體距離為 183.6 cm、252.4 cm、337.2 cm、428.6 cm、483.1 cm、523.2 cm、619.4 cm，然後對五種溫度水體拍攝，在退後拍攝的時後需要調整像機焦距，而表 3 則為測量結果。

紅外線熱像儀拍攝後的影像，因為不是正射拍攝，所以原本矩形範圍變成梯型範圍，如圖 5 所示。所以要先座標轉換，利用 (1) 式就可以求得像片座標和空間座標對應的位置關係，再透過 (2) 式就可以將空間座標對應到影像座標。試驗取 30 個位置的溫度資料，對應溫度測量計 30 個位置，然後將溫度

資料以 Surfer 繪出溫差等溫線圖，而與溫度測量計測度的表面溫差等溫線圖比較並探討。

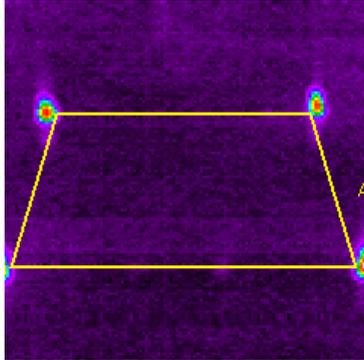


圖 5 試驗範圍熱影像圖

(1)式為基本共線方程式。

$$x - x_0 = -f \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)}$$

$$y - y_0 = -f \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \quad (1)$$

其中：

(x, y) : 為觀測點在像片上之座標

(X, Y, Z) : 為觀測點在空間上之座標

x_0, y_0, f : 為內方位元素

(x_0, y_0) : 為主像點像片座標

f : 為像機焦距

(2)式參考王正忠(2002)碩士論文所得到影像座標和像片座標轉換的公式。

$$c_i = \frac{x}{0.0525} + 59 \quad (\text{Pixel})$$

$$r_i = 59 - \frac{y}{0.0525} \quad (\text{Pixel}) \quad (2)$$

其中：

(x, y) : 為觀測點在像片上之座標

(c_i, r_i) : 為觀測點在影像上之座標

圖 6、圖 7 為溫排水表面放流條件下，由紅外線熱像儀拍攝分析得到的溫差(ΔT)等溫線圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。圖 8、圖 9 為溫排水表面放流條件下，由溫度測量計度量分析得到的溫差(ΔT)等溫線

圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。在圖 6 和圖 7 可明顯看出 Y 方向 60 公分內的等溫線分佈有很好的的一致性，溫差從 2°C 到 5.5°C 各等溫線位置分佈都接近，整體擴散趨勢都很吻合。圖 8 和圖 9 顯示溫度測量計度量結果較紅外線熱像儀量測結果高，且兩張圖在 Y 方向 55 公分以後趨勢較不相近，可能是流量不穩定而造成的。從圖 8 可看出後半部溫差分佈較圖 9 高，但是在 Y 方向 45 公分以前等溫線分佈都成一一致性。

圖 10、圖 11 為溫排水沒水 10 公分放流條件下，由紅外線熱像儀拍攝分析得到的溫差(ΔT)等溫線圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。圖 12、圖 13 為溫排水沒水 10 公分放流條件下，由溫度測量計度量分析得到的溫差(ΔT)等溫線圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。圖 10、圖 11 兩張圖約在 Y 方向 120cm 處，0.5°C 的溫差等溫線分佈很一致。在 Y 方向 30~60cm 處 1°C 溫差等溫線分佈位置也很一致，但紅外線熱像儀量測結果分佈範圍比較大，應該是進行紅外線熱像測溫試驗時，因為溫控系統精確度為 1°C，所以排出來的溫水略高了一點而導致此現象。圖 12、圖 13 溫差等溫線比較可明顯看出同位置每一條等溫線的值差了 0.5°C，此種現象應該是兩次試驗不同日期，而試驗溫排水溫度有所差異，所以造成兩次試驗結果有 0.5°C 的誤差，不過兩次試驗的溫差等溫線趨勢仍成良好的一致性。

圖 14、圖 15 為溫排水沒水 20 公分放流條件下，由紅外線熱像儀拍攝分析得到的溫差(ΔT)等溫線圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。圖 16、圖 17 為溫排水沒水 10 公分放流條件下，由溫度測量計度量分析得到的溫差(ΔT)等溫線圖，二張圖各代表不同溫排水流量之溫度分佈情形分別為 8.5 LPM、11.5 LPM。圖 14、圖 15 亦可看出溫差等溫線分

佈的一致性，且由於流量變大對於等溫線分佈也可看出有向後移的現象。圖 16、圖 17 為流量 11.5 LPM 時所得到的溫度分佈結果，可以看出整體溫差分佈較高且面積較大，有別於 8.5 LPM 流量的結果，主要是因為流量越大要將溫水冷卻需要更長的距離才能將溫度降下來。

表 2 改變放射率所測得目標溫度

放射率值 (ϵ)	水體 1 原始溫度 20°C	水體 2 原始溫度 24.5°C	水體 3 原始溫度 29°C	水體 4 原始溫度 32.5°C	水體 5 原始溫度 36°C
	水體 1 量測溫度(°C)	水體 2 量測溫度(°C)	水體 3 量測溫度(°C)	水體 4 量測溫度(°C)	水體 5 量測溫度(°C)
1.0	19.66	24.01	28.15	31.4	34.43
0.99	19.72	24.08	28.28	31.58	34.57
0.98	19.77	24.15	28.39	31.75	34.88
0.97	19.81	24.26	28.52	32.02	35.15
0.96	19.86	24.33	28.64	32.19	35.39
0.95	19.88	24.45	28.77	32.36	35.6
0.94	20.14	24.6	29.16	32.75	36.21
0.93	20.19	24.69	29.33	32.92	36.44
0.92	20.25	24.77	29.47	33.08	36.75
0.91	20.31	24.85	29.59	33.16	36.98
0.90	20.35	24.98	29.75	33.34	37.24

表 3 改變距離所測得目標溫度 ($\epsilon=0.95$)

量測距離 (cm)	水體 1 原始溫度 20°C	水體 2 原始溫度 24.5°C	水體 3 原始溫度 29°C	水體 4 原始溫度 32.5°C	水體 5 原始溫度 36°C
	水體 1 量測溫度(°C)	水體 2 量測溫度(°C)	水體 3 量測溫度(°C)	水體 4 量測溫度(°C)	水體 5 量測溫度(°C)
183.6	19.84	24.25	28.56	32.29	35.7
252.4	19.72	23.9	28.6	32.2	35.54
337.2	19.71	23.8	28.38	32.02	35.22
428.6	19.5	23.5	27.93	31.87	34.99
483.1	19.52	23.39	27.66	31.94	34.85
523.2	19.44	23.6	27.88	31.44	35.13
619.4	19.38	23.54	27.74	31.17	34.74

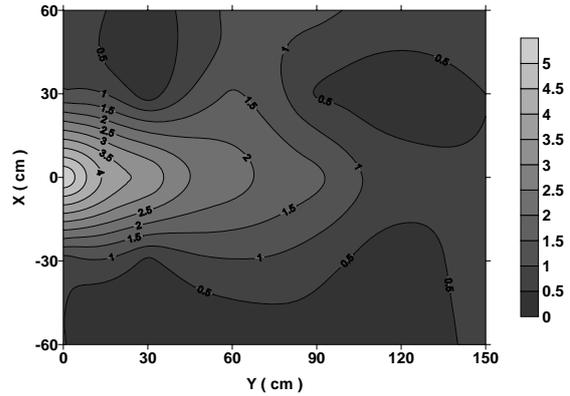


圖 6 為 $d=1\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖 (紅外線熱像儀量測)

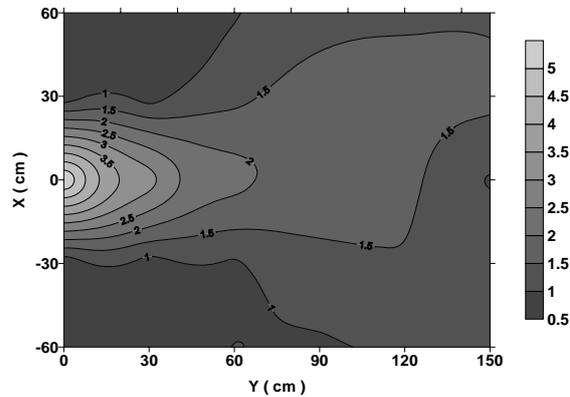


圖 7 為 $d=1\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖 (溫度測量計量測)

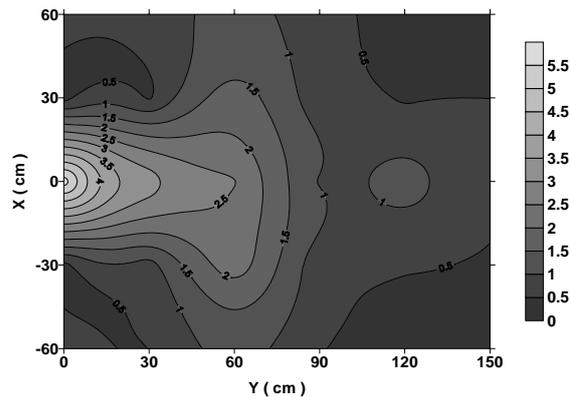


圖 8 為 $d=1\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖 (紅外線熱像儀量測)

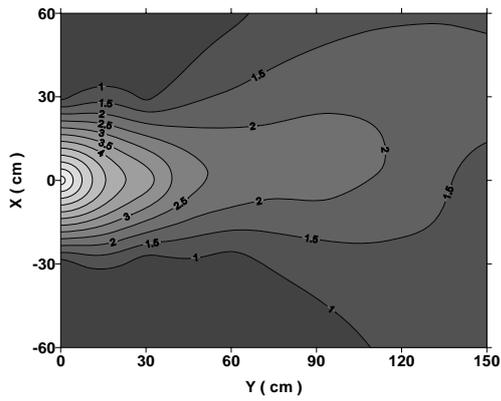


圖 9 為 $d=1\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(溫度測量計量測)

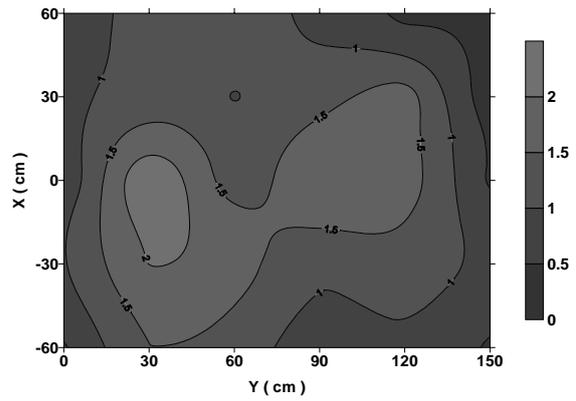


圖 12 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(紅外線熱像儀量測)

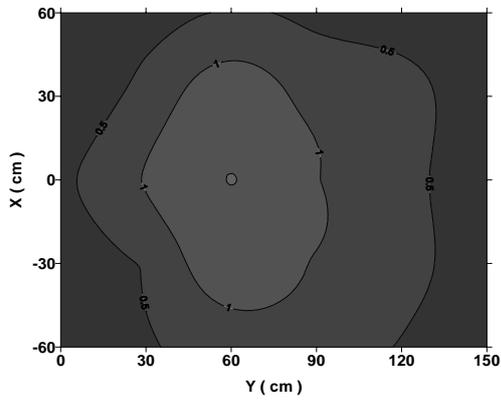


圖 10 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(紅外線熱像儀量測)

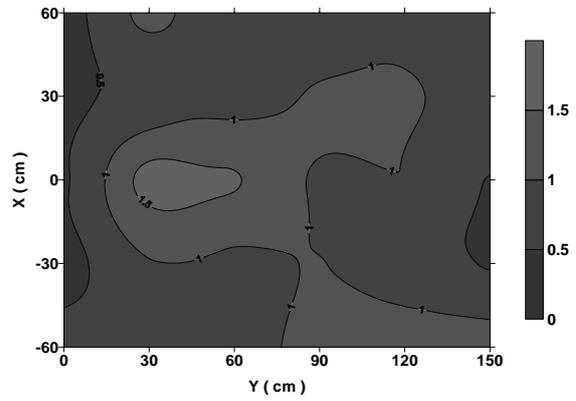


圖 13 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(溫度測量計量測)

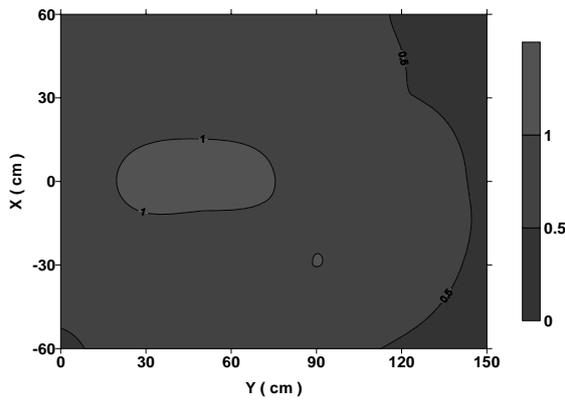


圖 11 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(溫度測量計量測)

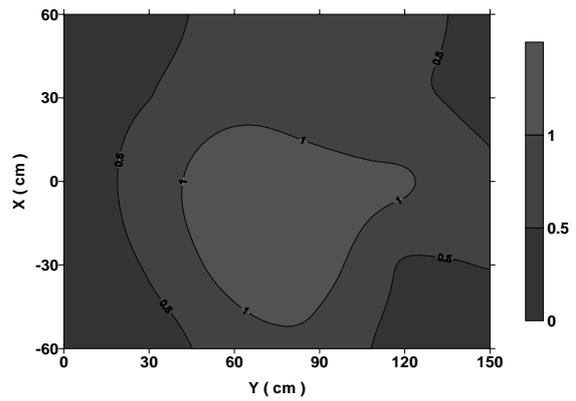


圖 14 為 $d=21\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(紅外線熱像儀量測)

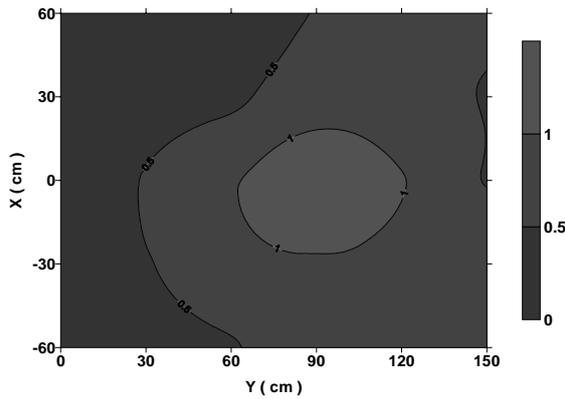


圖 15 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=8.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(溫度測量計量測)

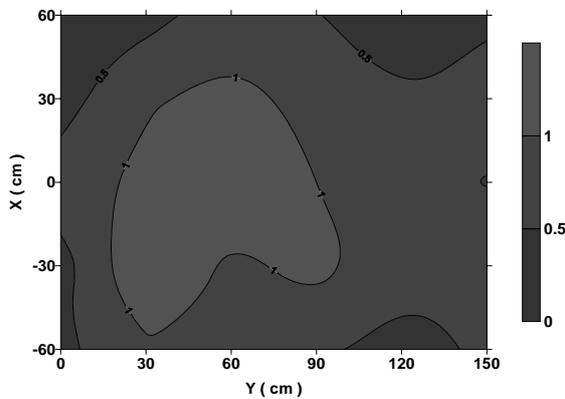


圖 16 為 $d=21\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(紅外線熱像儀量測)

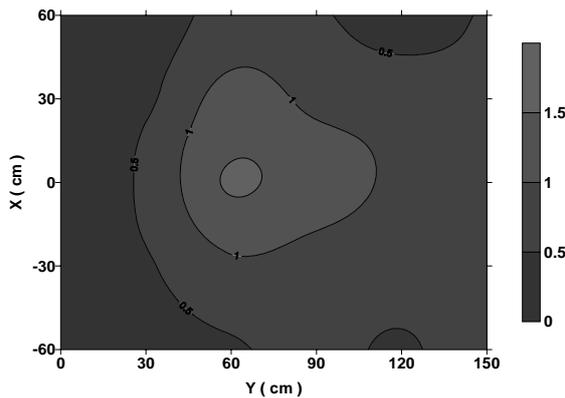


圖 17 為 $d=11\text{cm}$ 、 $Q=11.5\text{ LPM}$ 之溫差等溫線圖(溫度測量計量測)

四、結論

本研究為探討紅外線熱像儀應用於溫排

水量測的可行性，確定紅外線熱像儀可行性後，日後欲了解水面溫度溫度擴散情形，無需費時去架設溫度測量計，以增加測量的效率和方便性。

觀之溫差等溫線圖得到幾點：(1).流量越大需要更長的距離才能消散溫度。(2).流量越大溫水會越後面才會升到水面。(3).越底層放流對於溫度消散的效果更好，因為在垂直方向升到水面過程會消散，水平前進方向也會消散。(4).溫水向下擴散的量比較小。

利用接觸式溫度測量計度量時，由於溫度測量計直接接觸水體且又含有體積，因此會對流場造成阻礙干擾，如果佈置更密影響會更明顯，但其好處是可以測量各深度溫度；而紅外線熱像儀為非接觸式，因此並不會對待測區域流場造成影響，可以較精確追蹤溫度擴散趨勢，缺點在於只能針對表面測量，優點為方便且迅速就可得到表面溫度的資訊，可以作為傳統測量前的參考依據。

在 10m 距離內大氣對於溫度影響原本可以忽略掉，但是運用在量測水體時測量環境的水氣含量較高，而空氣中的水氣會造成紅外線的吸收，而使得測量出來結果會有所誤差，故仍需考慮大氣造成的誤差並加以修正，而得到更準確的溫度分佈資訊。

水體為接近黑體的物質，其放射率接近 1，實驗前先要找到水體的放射率，因為放射率的設定對於試驗結果影響很大，由表 2 可以看出，以 36°C 水體來說放射率差異 0.1 就約有 2°C 以上的誤差，放射率差異對越高溫的物體造成的誤差會越大，可見放射率參數設定非常重要。

本研究皆在靜水面的條件下進行，證明紅外線測溫影像技術可行性。然而實際海域上是有波浪條件的，未來需加上波浪條件去探討。

參考文獻

- 1.Inagaki,T. and Y. Okamoto (1997), "Diagnosis of the leakage point on a structure surface using infrared thermography in near ambient

- conditions” , NDT&E International, Vol. 30, No. 3, pp. 135-142.
- 2.Astarita,T., G. Cardone, G.M. Carlomagno and C. Meola (2000) , “A survey on infrared thermography for convective heat transfer measurements” , Optics & Laser Technology 32 , pp.593-610.
 - 3.Fito,P.J., M.D. Ortolá, R.D. Reyes, P. Fito and E.D. Reyes (2004) , “Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography” , Journal of Food Engineering 61 , pp.287-290.
 - 4.Avdelidis,N.P. and A. Moropoulou (2004) , “Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures” , Journal of Cultural Heritage 5 , pp.119-127.
 - 5.Clark,M.R., D.M. McCann and M.C. Forde (2003) , “Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges” , NDT&E International 36 , pp.265-275.
 - 6.黃煌輝等著 (1982) , “台灣電力公司核能四廠熱污染擴散研究報告” , 成大水工試驗所。
 - 7.何維信 (1995) , “航空攝影測量學” , 大中國圖書公司出版 , pp.131-147。
 - 8.鄭玄洋 (2001) , “利用高感度 CCD 遙控攝影機系統觀察實驗水槽波浪特性” , 國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。
 - 9.林家群 (2002) , “利用高感度 CCD 遙測攝影機系統觀察實驗水槽波浪特性可行性之再檢討” , 國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。
 - 10.王正忠 (2002) , “以近景攝影測量進行模型式建物重建” , 國立成功大學測量工程學系碩士論文。
 - 11.王人鋒 (2004) , “紅外線熱像儀應用於 FRP 補強施工品質控制參數最佳化之研究” , 中原大學土木工程學系碩士論文。
 - 12.陳俊菁 (2004) , “應用紅外線攝溫影像術檢測磁磚黏貼完整性” , 朝陽科技大學營建工程系碩士論文。
 - 13.洪瑞勳 (2004) , “紅外線熱影像於加熱爐熱分布檢測之應用研究” , 屏東科技大學機械工程系碩士論文。