# 二維剖面流場模擬應用於溫室設計之研究

李健[1], 鍾瑞永[2], 楊清富[1]

[1]行政院農委會臺南區農業改良場 助理研究員
[2]行政院農委會臺南區農業改良場 副研究員

## 摘要

本研究以計算流體力學來分析台荷溫室結構在外部風場驅動下內部流場的特性，在狹長的四行 Venlo-type 溫室架構下，不考慮邊緣效應而以二維剖面的方式來作分析。假設外部風場速率為 0.5 m/s，在溫室內部空無一物的情況下，分析了天窗及側捲揚在不同開啟姿態下的內部流場狀況。天窗及側捲揚的適當配置，可抑制流入空氣尋最短路徑的趨勢，有效提高溫室內空氣的換氣流動。此外放置擾流板於適當位置可有效消除附壁效應，避免流入空氣從後鄰天窗直接流出，而目前的溫室設計架構只有迎風面第一扇天窗可擷取外部風場。

**關鍵詞：**計算流體力學、二維剖面、溫室。

## 一、前言

溫室提供作物環境保護，使作物免於劇烈氣候及病蟲害的侵襲，然而由於溫室屬於封閉性空間，在太陽光照射下會使熱能累積而無法排放。目前的溫室栽培設施均須搭配抽風扇及水牆，藉由蒸發冷卻來降低溫室內溫度，然而抽風扇需要耗用電力，且水牆材料經久會累積污垢需定時更換。因此採用被動式自然通風的降溫設計是未來發展節能溫室重要方向，本研究模擬分析的對象為 2013 年台南區農業改良場與荷蘭 Wageningen University 國際合作下，由荷方針對台南氣候條件所設計的溫室，主要栽植作物為番茄。本文將探討在有外部風場下，二維剖面溫室的天窗及側捲揚開啟配置對內部通風效果的影響，及外來可進一步研究的方向。

## 二、模擬建置與操作變因選擇

(三)模擬模式

農業溫室的外形主要為狹長型，且任意長度位置的截面形狀一致，因此若要以計算流體力學(Computational fluid dynamics)方法來分析其空氣流場，二維剖面溫室模擬將會是能提供具一般性參考價值、大幅縮短計算時間及簡潔呈現數據的有效方法。因此研究者將可快速修改溫室剖面設計及相關幾何配置，快速進行有效設計評估，這對研究初期的前端摸索測式來說可省下許多寶貴時間及資源；另一方面，採用三維模擬需耗費龐大計算時間，其有效價值利用是在後端的完整設計概念驗證及取代高成本實體雛型測試。

圖 1 為台南區農改場委託奇圃園藝設計有限公司針對荷方設計進行溫室建造的南面施工設計圖，此圖即為狹長溫室的剖面，具有四行屋脊，寬度為 19 公尺，深度為 36 公尺。此溫室在所有天窗最大開啟的情況下，開口率為溫室面積的 50%，會設計成如

此高的開口率，主要是希望能增強熱脹浮力效應所產生的自然對流增強。本研究目前只針對外部風場效應，並未針對太陽輻射加熱進行分析，所以無法評估如此高的開口率能力是否有效降低加熱空氣壘積。待將來溫室建造完成時，分析結果將可以與實際實驗做比較來驗證模擬的準確性，所以研究中針對溫室內無物體的假設進行模擬。

(四)操作變因選擇

本文的溫室剖面結構採用本農改場台荷國際合作所規劃設計之 Venlo 型四列溫室，操作變因為天窗及側捲揚開合配置，並由不同開合配置分析結果，找出能使溫室內氣流具最均勻流通的配置。

(五)模擬軟體條件設定

本研究模擬環境及條件概述如下

- 不可壓縮空氣流體：在空氣流速慢的情況下，可以假設空氣為不可壓縮。
- 不考慮邊界層效應：空氣為稀薄流體，此外模擬的空間尺度大，忽略此效應不影響結果趨勢，此外可以增加求解的收斂速度及降低網格密度。
- 空氣流體等溫：無考慮太陽輻射加熱效應
- 外部左側水平風場 0.5m/s
- 採用 turbulent flow κ-εmodel
- 溫室內部空無一物
- 計算結果以速率場(speed field)及流線(streamline)呈現

圖 2 為本模擬的場域統御微分方程組，其中 ρ 為流體密度、μ 為黏滯系數、p 為壓力、**u** 為速度場。

圖 3 為二維剖面 CFD 的區域設定，灰色區域為空氣，線條為邊界，最左邊外圍為風場進氣面(inlet) ，最右邊外圍則為風場出氣面(outlet)，所有的邊界皆設為滑動(slip boundary)。圖 4 為模擬過程中誤差隨著迭代次數增加而不斷收斂至接近零，在模擬設定裡誤差收斂閥值設為 0.001。

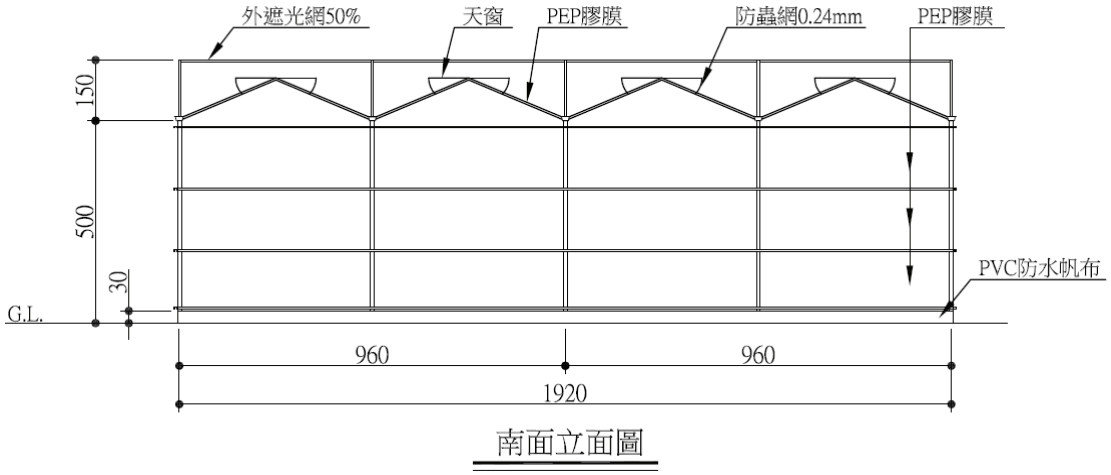



圖 1 台荷溫室施工圖剖面結構

$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)\mathbf{u} = \nabla\cdot\left[-p\mathbf{I} + (\mu+\mu_T)\left(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T\right) - \frac{2}{3}(\mu+\mu_T)(\nabla\cdot\mathbf{u})\mathbf{I} - \frac{2}{3}\rho k\mathbf{I}\right] + \mathbf{F}$$

$$\nabla\cdot(\rho\mathbf{u}) = 0$$

$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)k = \nabla\cdot\left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k}\right)\nabla k\right] + P_k - \rho\epsilon$$

$$\rho(\mathbf{u}\cdot\nabla)\epsilon = \nabla\cdot\left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\epsilon}\right)\nabla\epsilon\right] + C_{\epsilon 1}\frac{\epsilon}{k}P_k - C_{\epsilon 2}\rho\frac{\epsilon^2}{k}, \quad \epsilon = \mathrm{ep}$$

$$\mu_T = \rho C_\mu\frac{k^2}{\epsilon}, \quad P_k = \mu_T\left[\nabla\mathbf{u}:\left(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T\right) - \frac{2}{3}(\nabla\cdot\mathbf{u})^2\right] - \frac{2}{3}\rho k\nabla\cdot\mathbf{u}$$

圖 2 模擬場域統御微分方程組

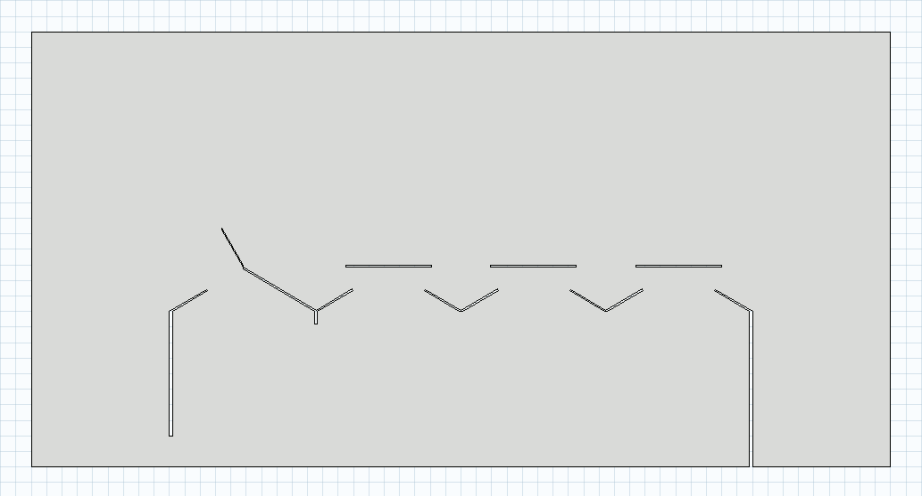


圖 3 灰色區域為模擬空氣區域設定，線條為邊界。

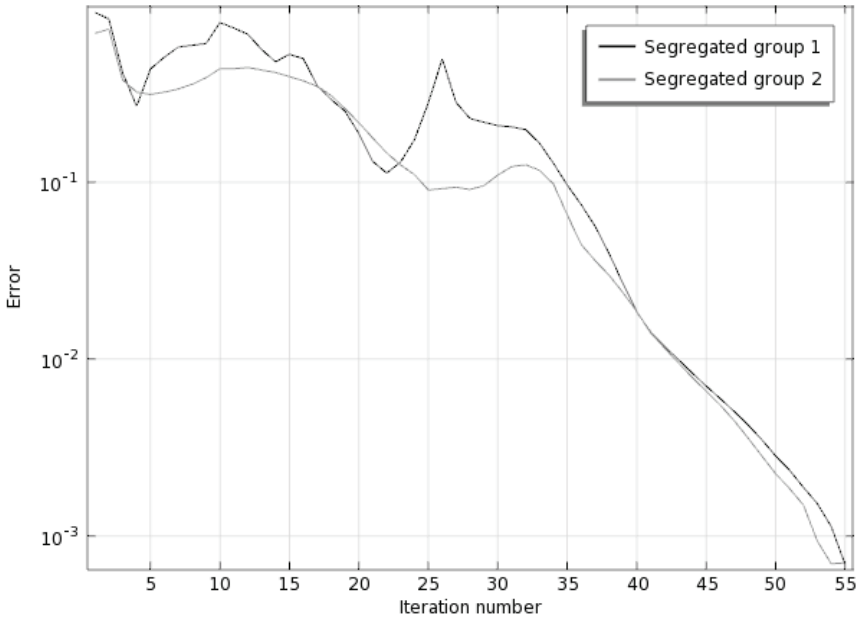



圖 4 模擬過程中誤差隨著迭代次數增加而收斂

## 三、結果

(一)在外部風場的吹拂下，不管天窗開啟角度為何，只有迎風面的第一扇天窗能灌入氣流，後面其餘天窗皆無法擷取到風場。

(二)流入溫室內之氣流會尋最短路徑流出室外，因此兩邊側捲揚中只要開啟迎風面側即可導引底部流入氣流往上流。

(三)進入第一扇天窗的氣流會因附壁效應(Coanda effect)，沿著屋頂尋最短路徑流出室外(圖 5)，於路徑插入擾流板(baffle)，可導引氣流往下流(圖 6)。

(四)圖 6 為溫室天窗及側捲揚最佳開合配置，並放置入擾流板。

## 四、討論

利用外部風場的自然通風式溫室仍有許多設計改善的空間，從分析的結果來看，天窗及側捲揚的適當配置，可抑制流入空氣尋最短路徑的趨勢，有效提高溫室內空氣的換氣流動。此外放置擾流板於適當位置可有效消除附壁效應，避免流入空氣從後鄰天窗直接流出，而目前的溫室設計架構只有迎風面第一扇天窗可擷取外部風場。在國外類似研究文獻中(E.J. Baeza et al., 2007)，皆有與本研究類似的模擬趨勢(圖 7)。

二維溫室剖面模擬確實能迅速評估溫室設計對流場的影響，然而其實際準確度有多少，在未來仍需與三維模擬作驗證比較。未來可再進一步研究的方向為頂部天窗外形及開啟位置的設計，設計出可導引氣流進入所有天窗的屋頂流線外形將會是重要挑戰與突破。除此之外，模擬未來將加入太陽輻射加熱效應，並與外部風場吹拂效應進行耦合模擬，亦會考慮內部植栽槽阻隔及防蟲網流動阻力的效應，以期最終能夠提供更加精確可靠的溫室設計模擬工具。

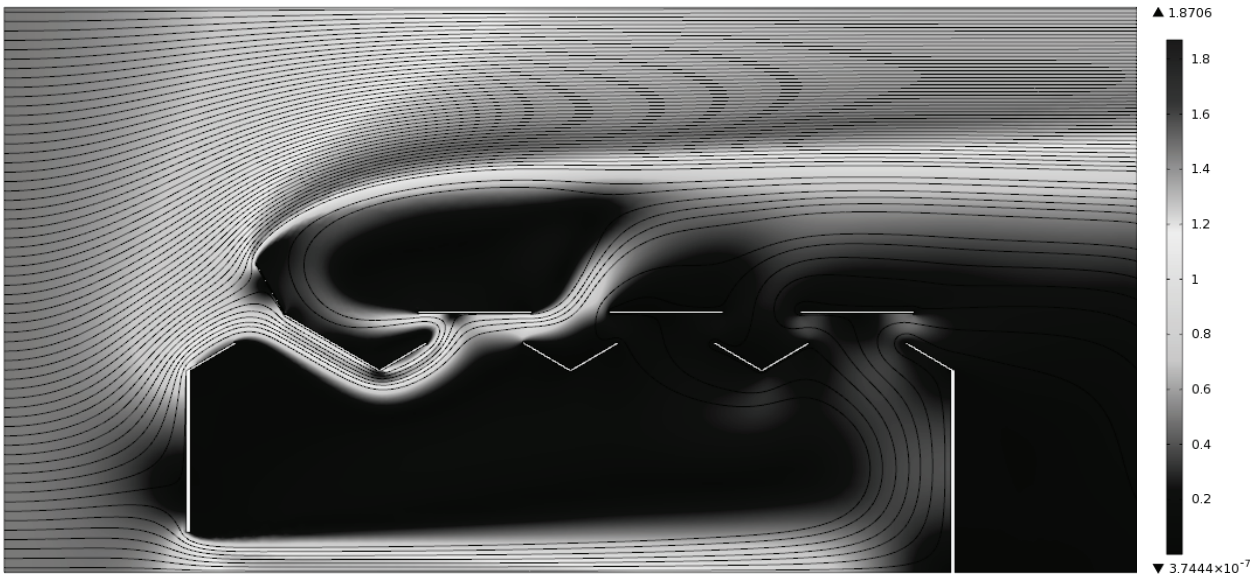



圖 5 流入天窗的氣流尋最短路徑流出室外。

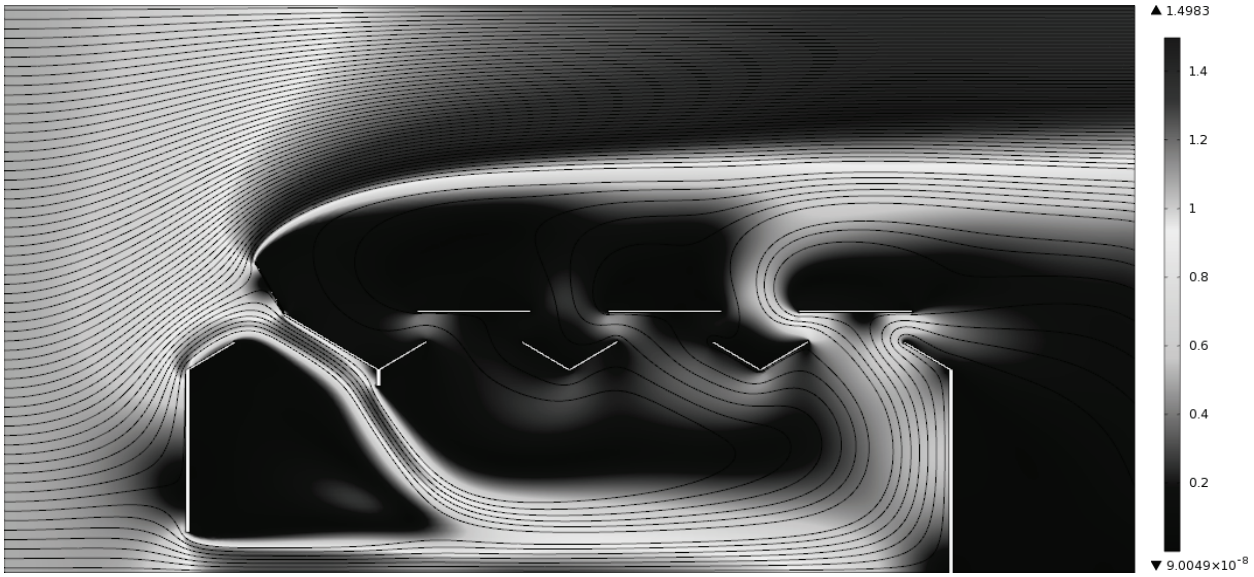



圖 6 溫室天窗及側捲揚最佳開合配置。

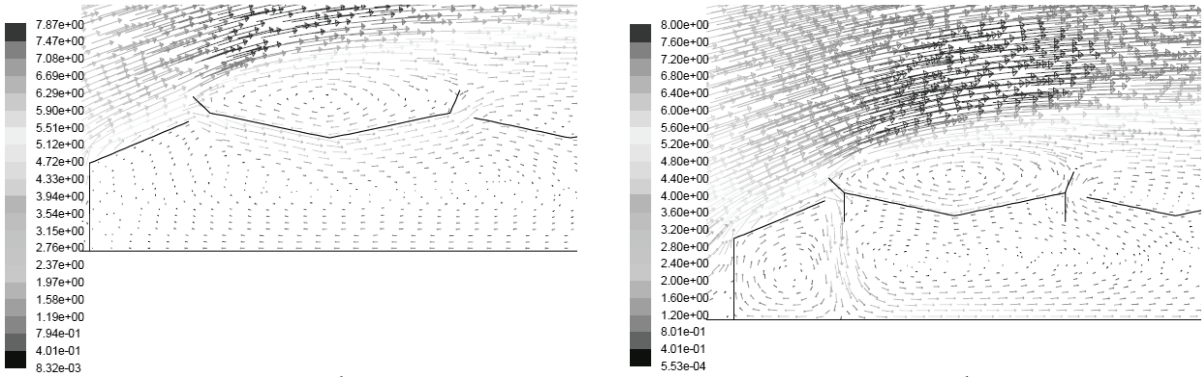



圖 7 國外研究文獻的模擬中亦有與本研究類似之趨勢
左圖：氣流會尋最短路徑流出室外　右圖：使用擾流板可促進氣流流入室內深處

## 參考文獻

1. Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2001. Fundamentals of Fluid Mechanics. Wiley.
2. E.J. Baeza, J.J. Perez-Parra, J.C. Lopez, J.I. Montero. 2007. CFD Simulation of Natural Ventilation of a Parral Greenhouse with a Baffle Device below the Greenhouse Vents. ISHS Acta Horticulture 801: International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management.

# Application of 2D Profile CFD Analysis on the Design of Greenhouse

Chien Li[1], Jui-Yung Chung[2], Ching-Fu Yang[1]

[1] Assistant Agricultural Engineer, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA

[2] Associate Agricultural Engineer, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA

**Abstract**

This study analyze the internal flow properties of four-span Venlo-type greenhouse under 0.5 m/s wind blow with the 2D profile computational fluid dynamics technique, where the end effect of greenhouse is neglected. On the condition of empty greenhouse, the effects of different top and side windows configuration on internal flow are analyzed, and the best setup for enhanced internal air exchange is found. Only the first top-window facing wind blow can take air indoor under the current design. Besides, the properly-situated baffle plates can eliminate the Coanda effect, and guide air flow deeper.

**Keywords:** CFD, 2D profile, Greenhouse.