

# 設施結構工程技術與病蟲害防範

黃國祥<sup>1,4</sup> 黃禮棟<sup>2</sup> 楊智凱<sup>3</sup>

## 摘要

溫室係利用各種材料所建構的栽培設施，藉以改善作物生長環境，增加產量或提高品質。設施的目地在於防風防雨，並為阻擋害蟲進入溫室以及防範病害發生，因此，設施之搭建強度至為重要。而目前設施搭建的工程水準參差不齊，溫室搭建業者皆以過往經驗作為選用材料以及慣用工法來施工，時常發生倒塌或塑膠布及防蟲網破損問題，亦因此引發病蟲害等相關問題。為改善上述問題，則應對於溫室結構之抗風性進行學理探討、調查分析設施損壞原因，且運用結構力學分析與有限元素分析方法，進行結構強度模擬分析，以設計更佳的溫室結構。於本年度，本研究團隊針對溫室結構強度進行分析研究，已完成耐受 10 級強風之加強型簡易溫網室之結構設計圖並完成結構強度模擬分析。本項成果，可提供農民參考，以搭建更強健的溫室，並確保其防範病蟲害的功能。

**關鍵詞：**溫室、結構、數值化模擬。

## 前言

17 世紀初期，荷蘭農民將葡萄種於石牆下，上面覆以玻璃，利用冬天的太陽能加溫，使葡萄提前採收，這便是荷蘭運用農業設施的起源，經過數百年的發展，造就荷蘭成為今日世界最大的溫室產業國。農業設施係利用各種材料以人為力量所建構的栽培設施，藉以改善作物生長環境，增加產量或提高品質。農業設施包括遮雨棚，遮蔭網，隧道棚栽培，溫網室，溫室，植物工廠等，其中溫室則可作為現代農業設施之代表。一般以具有屋頂、側牆、透光之被覆材料、人員可出入作業等三種條件之農業設施才可稱為溫室。溫室建造的考量需注意地點、方向、作物、光線、溫度、通風、作業條件及成本等要素，對於溫室設計也有其基本考

- 
1. 行政院農委會農業試驗所農業工程組助理研究員。台灣 台中市。
  2. 行政院農委會農業試驗所農業工程組研究員。台灣 台中市。
  3. 行政院農委會農業試驗所農業工程組副研究員兼組長。台灣 台中市。
  4. 通訊作者，電子郵件：hangoshan@tari.gov.tw；電話：(04) 23317717。

量如結構安全、環境控制、容易建造、工作效率、成本及維修容易；其最終目的皆為降低能源消耗及提高生產力。

### 設施與病蟲害防治

由於作物病蟲害影響收穫，加上消費者對於食物安全的注重，利用設施資材防護病蟲害的方式也被大量使用於田間，如採用特殊塑膠布、防蟲網來達到設施的密封性，其中特殊塑膠布的防霧滴性，可避免塑膠膜上霧滴凝結，而避免凝結水滴落於作物葉面，造成病害感染。有國外文獻指出，昆蟲空間定位靠紫外光，使用阻擋紫外光塑膠布，亦有助於溫室內之病蟲害防治。

吳 (2007) 指出防蟲網可以阻隔大型害蟲，但是對體型較小的害蟲，功效就不大。例如薊馬與粉蝨則可以輕易的鑽入 16 目或 24 目防蟲網所構成的設施內。一些大型害蟲的初齡幼蟲，也會因氣流或其它因素，飄落在設施周圍或防蟲網上，隨即尋隙侵入。故在此類型農業設施內，也常常發現一些較大型的害蟲，如毒蛾或夜盜蟲。所以，採用防蟲網的目的為防止有害的昆蟲進入設施內部以降低病蟲害的傳染。良好的防蟲網使用技術必須具備兩個條件 (1) 有效防止害蟲的進入；(2) 對於設施通風未能造成妨礙。根據歐、美與以色列三地之使用報導，利用防蟲網可以減少 50% 至 90% 的農藥使用量。防蟲網網目所代表之意義為其數字越大，孔徑越細，線徑越細；以 32 網目代表在一英吋平方的面積上，一邊有 32 條網絲，另一邊有 32 條網絲。該防蟲網之規格為 32×32 mesh，網絲直徑 0.2032 mm (0.008 英吋)，故開口尺寸約為 0.6 mm × 0.6 mm。因此設施栽培可較一般露天栽培減少病蟲害，然而設施搭建需要成本，而台灣地區於夏季常有颱風侵襲，溫室因結構資材本身強度不足、結構聯結零件強度薄弱，季節颱風來襲時，常造成溫室幾何外型之崩塌或永久形變，塑膠布及防蟲網亦因溫室形變而破裂損壞，由 105 年 9 月颱風設施損壞調查發現，估計損失金額 5,545 萬元，主要係高雄市、雲林縣及臺南市損失較為嚴重，若再估算實際設施重建金額則將更高，顯見設施遭受颱風侵襲所導致之經濟損失相當嚴重，因此設施必須強健才不至於損毀，病蟲害才不至於利用雨水侵入而蔓延。

### 溫室結構破壞樣態

由於每年夏季颱風侵襲時往往造成設施結構損壞，梅姬颱風災後，農委會組成設施技術服務團，第一時間至受損重災區，調查設施災損樣態與進行歸因分析，大約可分為以下幾類：

- (1)結構連接件與補強設計不佳；
- (2)因基地土壤流失而損壞；
- (3)結構管材耐受力等級不足；
- (4)形鋼底板變形；
- (5)柱體地基混凝土破裂。

考慮強風荷載狀況下，其造成破壞的主因有溫室側面橫向力、山牆面橫向力、上揚力及下降氣流等狀況。以上四種破壞型態亦會合併發生，溫室所在地形地貌不同，同樣溫室在不同位置，有可能安全無事，有可能破壞其型態不同。溫室結構受力之載重來自結構本身靜重、風力、地震載重、設施裝備、與懸吊作物載重等，結構受樑向外力作用（溫室側面受力），由主骨架承擔，結構受桁向外力作用（溫室山牆面受力），由桁條及繫材承擔。由於溫室結構中強度最弱者為各構件之接合處，因此即使溫室結構用強度最強的樑柱，如果接合地方處理不當，包括設計錯誤或施工疏忽，溫室將無法具備應有的強度。

### **農糧署公告 6 種具固定基礎溫室標準圖樣**

溫室為一具特定機能的建築物，以栽培植物為目的，構造上必須能夠提供植物適宜的生育環境，並以安全性、耐久性及經濟性為主要條件。現存溫室結構型式多樣且水準參差不齊，製造承作業者於搭建溫室皆以經驗來選用材料以及慣用工法來施作，並未對於溫室結構之抗風性或變形量進行學理探討與結構設計，造成抗風效果未能有效提高，亦或是造成過度使用材料而徒增施工成本。有鑑於此，農糧署於網站公布 6 種溫室標準圖樣（請參考文獻探討所列），列出目前國內所使用的溫室依型號編碼分類，並依其屋頂之幾何形狀，分成下列 W、V、U、S 等系列型態：

W 系列：Venlo 型溫室，柱間具 2 至 3 個屋頂單位，採用較細構材採光良好，簷高較高減少夏季的高溫障害，適合大規模栽培。

V 系列：大跨距山形溫室，屋頂左右對稱，受光量均一，通氣性良好，單棟溫室常採用。

U 系列：圓屋頂溫室，屋頂構材由鋁管組成，覆蓋塑膠布，簡便且造價便宜，為目前國內較常使用的形式。

S 系列：單斜頂屋頂溫室，僅具單面之屋頂，另面為開放之通風口，利用煙囪效應，充分發揮自然通風性能。

溫室構造以水平樑為主要形式，另有利用力霸樑取代，或於樑柱間加裝斜撐，以加強結構者分別以 T (力霸樑)、B (樑柱斜撐) 表示。另外依據溫室外表被覆材料的材質來分類，G 為玻璃材料；C 為硬質塑膠，包括 PET、FETE、PC 等；P 為塑膠布，包括 EVA、PE、PEP、PO 及其他機能性軟質塑膠布等。

6 種標準圖樣依據內政部營建署出版之建築物耐風設計規範及解說 (2006 版)，進行風壓設定，據以進行結構計算，其強度於圖面列表中標示。圖面中亦規範冷軋型鋼結構之構材應選用符合國家標準之鋼材，焊接材料、螺絲與自攻螺絲應符合相關材質標準。其他如材料斷面形狀、地基施作，混凝土抗壓標準亦有規範。而設施的搭建是材料的連接組合，於標準圖內亦繪出材料接合詳圖，以提供搭建參考。

### 新繪製 3 種非固定基礎溫室參考圖樣

除上述 6 種具固定基礎溫室標準圖樣，農委會鑒於國內大部分設施仍採用無固定基礎型式之簡易溫室與水平棚架網室，因此由本研究團隊蒐集基本樣式、材料並參照行政院農業委員會公布之 6 種溫室標圖說製作格式而繪製參考圖樣。包含：(1) 加強型簡易溫室；(2) 水平棚架網室；(3) 加強型水平棚架網室等 3 種圖樣。以加強型簡易溫室參考圖為例，內容包含：封面頁，展示整體組合圖。第 1 頁，名稱與材料說明。第 2 頁，構件及材料說明與圖資。第 3 頁，山牆尺寸說明。第 4 頁，拱架尺寸說明。第 5 頁，搭建注意事項與斜撐及地錨裝設要求。如圖 1 (為基礎溫室參考圖樣之第 5 頁圖面)。

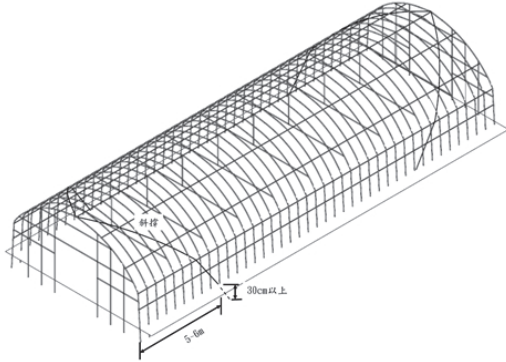
### 設施結構強度分析之研究

設施結構為立體桿件與連接件之組合，國內外學術單位大多以電腦數值模擬、風洞試驗與實地量測等方法進行設計與分析。溫室的開口大小、型式、防蟲網、溫室內作物排列方式對通風量的影響亦可以模型及計算流體力學 (CFD) 模擬進行研究。

數值模擬分析軟體 ANSYS 作為國內學術與工程界較易入門使用之軟體，主要針對機械結構強度分析，以有限元素法運算，提供快速的模擬求解。本研究團隊應用此軟體進行溫室管夾結構分析之研究 (張等人，2016)。圖 2 為模擬溫室結構於側向風力 10 級風作用下，結構承受最大應力為 270MPa 尚未超過鍍鋅鋼管降伏強度 (353MPa)，顯示加強行簡易溫室採取拱架間距 50 公分、5.4 公尺跨距，材料 31.8 × 1.8 mm 鍍鋅鋼管結構具備足夠的抗風能力 (10 級風之基本設計風速 32.5 m/s)。

搭建注意事項

(1) 加入斜撐以支持山牆



溫室四週的斜撐為加強抗風性的最主要關鍵，在溫室四邊角處以直管設置斜撐，斜撐一邊緊固於山牆面屋頂處，一邊固定於支柱，末端須插入至地面下 30cm 以上，斜撐受力能順暢傳達地面承受。斜撐投影於地面長度約 5~6m，與骨架縱管須以固定夾具緊密接合。對長度較大的溫室，以不超過 30 公尺的區間，設置 10 公尺的斜撐加強。

(2) 每 3 米加內地錨

在溫室兩側各用螺旋棍鑄定，沿側壁方向約以 3m 的間隔設置水泥塊地錨，再以鋼索固定於兩側螺旋棍頂端彎頭，水泥塊地錨尺寸至少 12×12×50 公分，埋設深度 50 公分(由水泥塊頂部計算)。

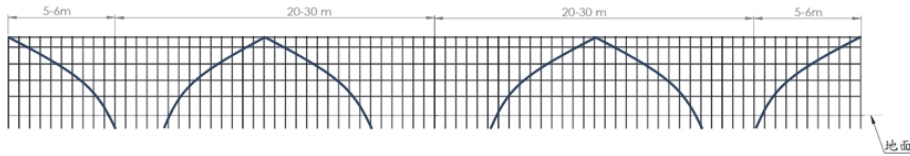
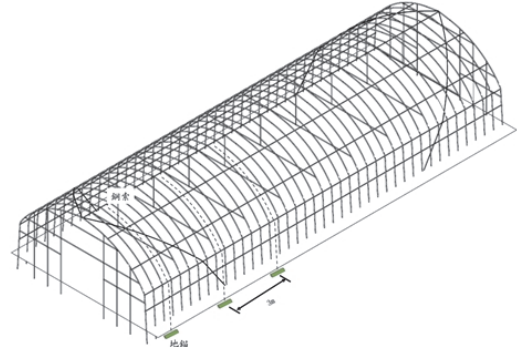


圖1. 加強型簡易溫室參考圖 (第5頁)。

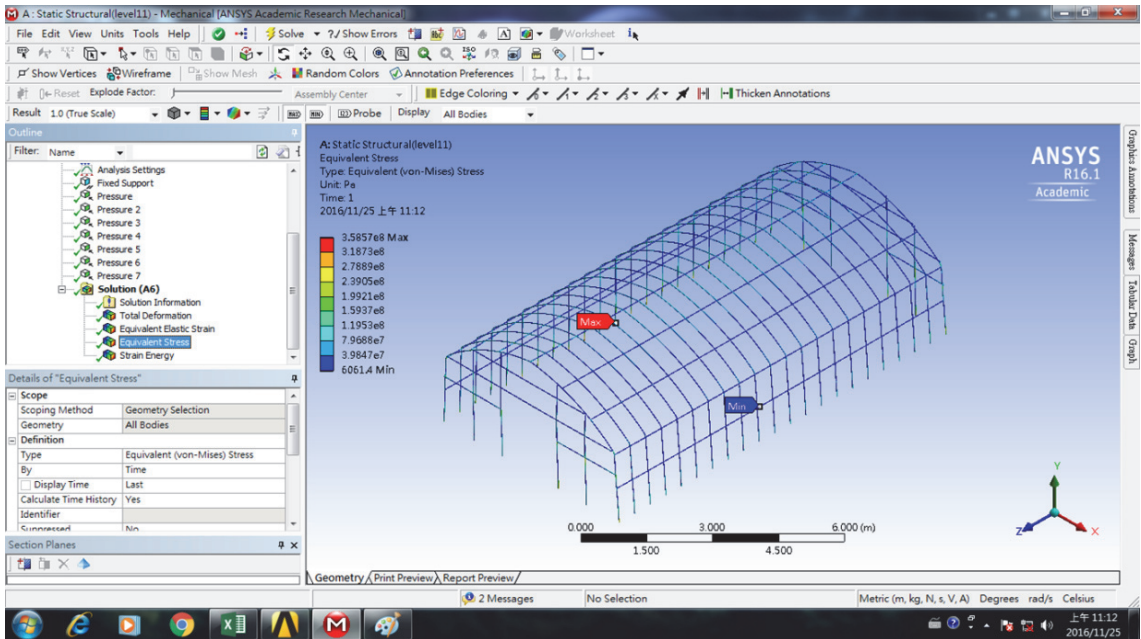


圖 2. 跨距 5.4m 加強型簡易溫室於基本設計風速 32.5 m/s 下應力值模擬結果。

除設施整體結構強度分析外，本研究團隊亦針對各項結構的細部狀況而增加輔助分析項目，如修改連棟橫樑、拱型支架桁架化、增加側方斜撐之設計分析、採用新型材料(降伏強度提升)所造成之效應、結構接合元件的強化之分析、地錨應用分析、破風網設計與分析等。

## 結論

設施的基本在於結構強度穩定方足以控制作物栽培環境，使不利於作物生長之因素排除，同時製造有利於作物生長之條件。本研究團隊針對溫室強度進行分析研究，已完成耐受 10 級強風之加強型簡易溫網室之結構設計圖並完成結構強度模擬分析。本項成果可提供農民參考，以搭建更強健的溫室，達到保護作物並提供合適栽培環境之功能，並防範病蟲害。

## 引用文獻

- 吳子淦。2007。作物栽培環境與害蟲發生及防治之關係。行政院農業委員會農業試驗所特刊第 130 號-作物蟲害之非農藥防治技術 p.81-86。
- 張金元、黃國祥、林建志、徐武煥。2016。溫室管夾結構分析之研究。2016 農機與生機學術研討會。
- 內政部營建署。2006。建築物耐風設計規範及解說。台北。.
- [http://www.afa.gov.tw/peasant\\_index.aspx?CatID=1077](http://www.afa.gov.tw/peasant_index.aspx?CatID=1077)。農糧署。六種農業溫室標準圖樣及其結構計算書。線上檢索日期 2017 年 10 月 31 日。

# Greenhouse Structural Technology with Disease and Pest Control Function

Guo-Shiang Hwang<sup>1,4</sup>, Li-Duhng Huarng<sup>2</sup>, Chih-kai Yang<sup>3</sup>

## Summary

Various materials were used to construct a greenhouse facility for crop cultivation to improve the growth environment, increase production or improve quality. The purpose of the facility is to prevent wind and rain, and to prevent disease and pests from entering the greenhouse. Therefore, to build a sturdy greenhouse is very important. At present, the facility construction level is different, some construction contractors built greenhouses based on the rule of thumb to choose materials and practices, and in some cases caused the collapse of the greenhouses or damage of plastic films and thus leads to presence of pests and diseases. To improve the above-mentioned problem, we should investigate the cause of the damage and design a wind resistant greenhouse structure. The structural mechanics analysis and numerical simulations with the finite element method can be applied to solve the construction strength problems and to design a better greenhouse structure. During the year, our research team conducted a study on greenhouse strength topics. We have completed the structural design and strength simulation analysis of the greenhouses that can withstand the pressure generated by force 10 gusty winds on Beaufort wind scale. The results can help farmers build strong greenhouses and keep the function of reducing pests and diseases.

**Key words:** Greenhouse, Structure, Numerical simulation.

- 
1. Assistant Researcher, Agricultural Engineering Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
  2. Researcher, Agricultural Engineering Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
  3. Associate Researcher and Director of Agricultural Engineering Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
  4. Corresponding author, e-mail: hangoshan@tari.gov.tw; Fax: 886-4-23317717.