**3.1** **設計依據**

根據本手冊設計的溫室結構應符合國家相關建築法規及國家標準，對於特殊構造者，或因規範條文尚未完備及無統一之設計基準，須由設計者依據實際的客觀條件及專業知識進行設計。對於溫室結構設計，應考量周遭環境因子及標準使用年限，確保其結構桿件及接合符合現行規範之安全標準。

**3.1.1設計依據之規範及解說**

一、最新建築技術規則(民國102年版)

二、內政部頒「建築物耐震設計規範及解說」(民國100年版)

三、內政部頒「建築物耐風設計規範及解說」(民國103年版)

四、內政部頒「鋼結構容許應力設計法規範及解說」(民國99年版)

五、內政部頒「鋼結構極限強度設計法規範及解說」(民國99年版)

六、内政部頒「鋼構造建築物施工規範」(民國96年版)

七、內政部頒「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」

(民國105年版)

八、內政部頒「建築物基礎構造設計規範」(民國90年版)

九、美國鋁合金協會(The AluminumAssociatio)「鋁合金設計手冊

(Aluminum Design Manual)」 (2015)

**3.2設計載重**

**3.2.1静載重**

1. 設施重量

設施重量依結構構架及外部被覆材詳實計算，並應考量固定於構架之裝備重量，例如固定於結構上之搬運設備、農用設備、照明設備、水槽、澆灌設備等等，須按實計算重量或依表3-1〜3-9之建議計算之。

表3-1 常用建築材料單位重

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料名稱 | 重量(kg/m3) | 材料名稱 | 重量(kg/m3) |
| 普通黏土 | 1600 | 硬木 | 800 |
| 飽和濕土 | 1800 | 鋁 | 2700 |
| 乾沙 | 1700 | 磚 | 1900 |
| 飽和濕沙 | 2000 | 鋼筋混凝土 | 2400 |
| 水泥混凝土 | 2300 | 鋼 | 7580 |

表3-2 換氣扇

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 葉扇直徑(mm) | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 500 | 21 | 14 |
| 600 | 26 | 23 |
| 750 | 33 | 30 |
| 800 | 39 | 26 |
| 1000 | 49 | 41 |
| 同上附捲門 | 67 |  |
| 1200 | 85 | 58 |

表3-3 屋頂換氣扇

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 葉扇直徑(mm) | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 500 | 21 |  |
| 600 | 50 |  |
| 750 | 110 |  |

表3-4 換氣扇用捲門入口氣

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱尺寸(mm) | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 500 | 4 | - |
| 600 | 6 | 5 |
| 800 | 12 | 8.5 |
| 1000 | 12 | - |
| 1200 | 13 | - |

表3-5 水帘-風扇式冷卻系統

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱尺寸(mm) | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 1000 | 80 | - |

表3-6 CO2發聲器

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱尺寸(mm) | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 4以下 | 70 | 38 |
| 4.1以上 | 85 | 50 |

表3-7 鐵製水管(不含瓦斯管)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱 | 重量(kg) | |
| 最大值 | 最少值 |
| 15A(½”) | 1.31 | 1.49 |
| 20A(¾”) | 1.68 | 2.00 |
| 25A(1”) | 2.43 | 2.95 |
| 32A(1-¼”) | 3.38 | 4.18 |
| 40A(1-½”) | 3.89 | 5.15 |
| 50A(2”) | 5.31 | 7.27 |
| 65A(2-½”) | 4.47 | 10.79 |

表3-8 P.V.C 水管

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱 | 空重量(kg/m) | 滿水重量(kg/m) |
| VD10 | 0.14 | 0.219 |
| 13 | 0.174 | 0.307 |
| 16 | 0.256 | 0.457 |
| 20 | 0.310 | 0.624 |
| 25 | 0.448 | 0.939 |
| 30 | 0.542 | 1.249 |
| 40 | 0.791 | 2.048 |
| 50 | 1.122 | 3.085 |

表3-9 空氣散熱管

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 標稱 | 空重量(kg/m) | 滿水重量(kg/m) |
| 32A | 12-9.5 | 12.8-10.3 |
| 40A | 13-6.5 | 14.3-7.8 |
| 50A | 16-7.6 | 18.0-9.6 |
| 65A | 19.5-12 | 23.5-16 |

散熱片寬 32mm˙25mm

螺距 8.95

2. 作物重量

溫室內作物植栽棚與溫室構架共用或作物可能吊掛、攀沿於溫室構架，設計時應酌予考量作物重量，例如番茄、小黄瓜等果菜類者可取15kg/m3，其他類植栽則需按實計算。

3.2.2活載重

1.施工臨時載重

施工之短期荷載，包括施工人員重量、臨時設備、材料堆置等臨時置放之重量，所有的施工臨時載重應於施工完成後解除。

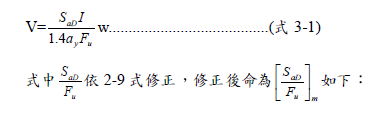
2.雨水重量

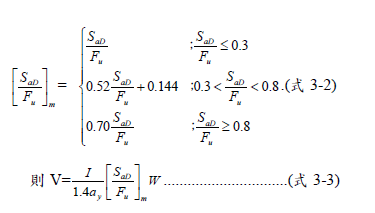
設計應考量台灣地區強風多夾雜暴雨，因此建議考量雨水衝擊重量10kgf/m2。

3.2.3地震力

溫室結構於受震分析設計，應按「建築物耐震設計規範及解說」(以下簡稱耐震規範)計算其設計地震力，構造物各主軸方向分別所受地震之最小設計水平總横力V依下式計算:

1.最小設計總横力





其中，

SaD:工址設計水平譜加速度係數，為工址水平向之設計譜加速度與重力加速度g之比值。除了臺北盆地依耐震規範2.7節規定外，―般工址與近斷層區域可依耐震規範第2.3節~第2.6節之規定訂定。

I:用途係數，取1.0。

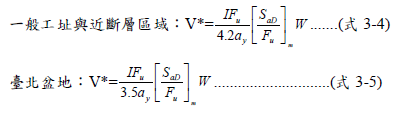
W:結構物全部静載重。

αy:起始降伏地震力放大倍數， αy =1.00

Fu:結構系統地震力折減係數，依耐震規範2.9節規定。

2.避免中小度地震降伏之設計地震力

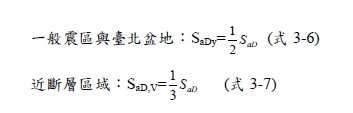
為避免韌性較佳之結構物在地震不大時即產生降伏，(式3-1)之地震設計最小總横力不得低於V\*:



對於耐震規範第2.4節規定之近斷層區域的震區，採用式<2-11>及式<2-12>計算SaD時不需要考慮近斷層調整因子NA與NV之放大效應，取NA與NV等於1.0即可。

3. 垂直地震力

為提升結構體抵抗垂直向地震之能力，垂直地震力應做適當之考量。水平懸臂構材與水平預力構材等尤其應就垂直地震效應做適當的考慮。垂直向之設計譜加速度係數SαD，V可藉由水平之設計譜加速度係數SαD，V定義為:



3.2.4風力

溫室結構於耐風分析設計，應按「建築物耐風設計規範及解說」(以下簡稱耐風規範)計算其設計風力。

1. 地況種類

地況種類依建築物或支撐架設備所在位置及其附近地表特性而定，分成以下三類:

(1)地況A:大城市市中心區，至少有50%之建築物高度大於20公尺者。建築物迎風向之前方至少800公尺或建築物高度10倍範圍(兩者取大值)條屬此種條件下，才可使用地況A。

(2)地況B:大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度(10〜20公尺)，或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。建築物迎風向之前方至少500公尺或建築物高度10倍的範圍(兩者取大值)係屬此種條件下，才可使用地況B。

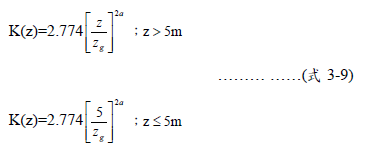
(3)地況C:平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於10公尺者。若附近地況為介於地況A與地況B間或地況B與地況C間之過渡地況，原則上應採用會產生較大風力之地況，但也可利用可信賴之合理分析法，决定此一過渡地況之風速垂直分布。

2.風速壓計算



其中:K(z)為風速壓地況係數Kzt為地形係數I為用途係數;V10(C)為離地面10公尺、地況C之基本設計風速;各種地況種類之α值及梯度高度Z(g)，詳見耐風規範表2-2。

K(z)為離地面Z公尺風速壓與標準風速壓(離地面10公、地況C)之比值。



Kzt為代表在獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應。若為一般平坦地形，Kzt取1.0即可。若此獨立山丘、山脊或懸崖高度H較上風側3.22公里內地形高度超過兩倍以上，且H大於4.5公尺(地況C)或18公尺(地況A或B)，且此獨立山丘、山脊或懸崖在上風側100H或3.22公里(兩者取小值)沒有類似高度之障礙物，且H/Ln≧0.2，則Kzt依下式計算:



其中K1、K2與K3詳見「建築物耐風設計規範及解說」;若當地地形並不符合上述要求，可作合理假設後，在依式3-10計算，或根據可信賴之試驗或文獻結果計算Kzt。

3.基本設計風速V10(C)

任一地點之基本設計風速V10(C)，係假設該地點之地況種類為C類，離地面10公尺高，相對於50年回歸期之10分鐘平均風速，其單位為m/sec。

臺灣地區各地之基本設計風速(其相對風力分級詳表3-10)列各區:

<http://naa.tnaa.org.tw/main_frame_01_files/y103/m12/1031210-1031203%E8%BD%89%E7%9F%A5%E5%85%A7%E6%94%BF%E9%83%A8%E6%96%BC103%E5%B9%B412%E6%9C%883%E6%97%A5%E4%BF%AE%E6%AD%A3%E7%99%BC%E5%B8%83%E3%80%8C%E5%BB%BA%E7%AF%89%E7%89%A9%E8%80%90%E9%A2%A8%E8%A8%AD%E8%A8%88%E8%A6%8F%E7%AF%84%E5%8F%8A%E8%A7%A3%E8%AA%AA%E3%80%8D%E7%AC%AC2.4%E9%BB%9E%E5%8F%8A%E8%A1%A82.21.pdf>

表3-10 中央氣象局風力分級表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 級數 | 風的名稱 | 速度 (m/sec) |
| 0 | 無風 | 0~0.2 |
| 1 | 軟風 | 0.3~1.5 |
| 2 | 輕風 | 1.6~3.3 |
| 3 | 微風 | 3.4~5.4 |
| 4 | 和風 | 5.5~7.9 |
| 5 | 清風 | 8.0~10.7 |
| 6 | 強風 | 10.8~13.8 |
| 7 | 疾風 | 13.9~17.1 |
| 8 | 大豐 | 17.2~20.7 |
| 9 | 烈風 | 20.8~24.4 |
| 10 | 狂風 | 24.5~28.4 |
| 11 | 暴風 | 28.5~32.6 |
| 12 | 颶風 | 32.7~36.9 |
| 13 | 颶風 | 37.0~41.4 |
| 14 | 颶風 | 41.5~46.1 |
| 15 | 颶風 | 46.2~50.9 |
| 16 | 颶風 | 51.0~56.0 |
| 17 | 颶風 | 56.1~61.2 |

4. 用途係數I

耐風規範對一般建築物之基本設計風速係對應於50年回歸期，為提高重要建築物之基本設計風速為100年回歸期，並降低重要性較低建築物之基本設計風速為25年回歸期，訂定用途係數I。溫室屬於非居住性設施，溫室破壞時，對人類生命危害度小，得根據其標準使用年限調整其基本設計風遠V10(C)，依據耐風規範2.4解說C2.6式計算其使用年限之回歸期計算出γn(下表所示0.5年到100年回歸期)，可將所得γn值代入用途係數I以調整設計風速。

地況C、離地面10公尺高之n年回歸期風速Vn(n≦100)，可以下式估計:



n年回歸期風速Vn(n≦100)與基本設計風速之比值，Vn = γnV10(C)

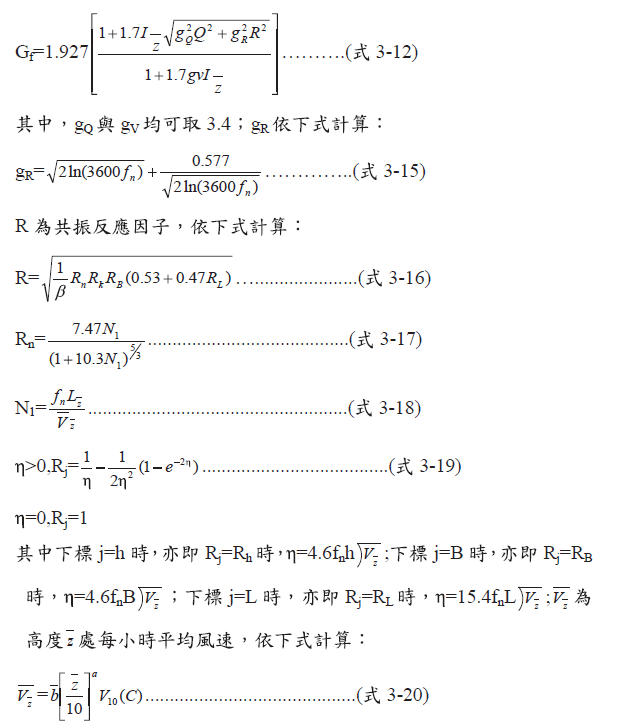
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 回歸期年數n | 0.5 | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| γn | 0.30 | 0.46 | 0.70 | 0.79 | 0.90 | 1.00 | 1.10 |

表3-11 溫室標準使用年限之γn

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 溫室種類 | 標準使用年限(年) | γn |
| 結構型溫室(山形屋頂) | 20 | 0.89 |
| 結構型溫室(圓屋頂) | 15 | 0.85 |
| 簡易型溫室 | 8 | 0.77 |

5. 陣風反應因子G

溫室之陣風反應因子可取1.88，如可確認為柔性建築物(fn<1Hz)得依下列方式計算:



6. 設計風力計算式

封閉式或部分封閉式普通溫室，依下式計算:



封閉式或部分封閉式柔性溫室，依下式計算:



CP與Gpi值另詳耐風規範。

**3.3 撓度**

溫室雖不提供人員居住使用，然其變形仍須控制，以免影響溫室的使用性及其結構抗力行為，建議參考日本「園藝用施設設計施工標準仕樣書」之建議值。

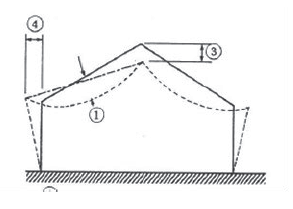
表3-12 溫室結構撓度標準

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 項目 | 桿件名稱 | 玻璃溫室 | VENLO型玻璃溫室 | 塑膠布溫室 |
| ① | 樑 | ≦t/200 | ≦t/150 | ≦t/150 |
| ② | 桁條 | ≦t/150 | ≦t/100 | ≦t/100 |
| ③ | 主樑、桁架 | ≦L/150 | ≦L/100 | ≦L/100 |
| ④ | 柱 | ≦h/100 | ≦h/80 | ≦h/60 |

t:梁跨度(cm)

L:主樑、桁架跨度(cm)

h:柱長(cm)



**3.4 結構分析**

3.4.1結構模型

1.分析設計流程:

設計者應完成規劃配置之溫室構架系統，建立適切之結構模型及正確模擬各構件接合束制行為，並依相關規範要求下進行合理的結構分析。結構模型建立後須藉由結構分析程式進行完整之結構分析，以便獲取各種載重及其組合下之受力行為，並檢核構材之容許應力或設計強度。此外，獨立構件檢核亦需將所有外力行為納入考量，以檢核構材之設計強度。溫室構架系統模型建立應考量下列原則:

(1) 分析採用之單位制應前後一致。

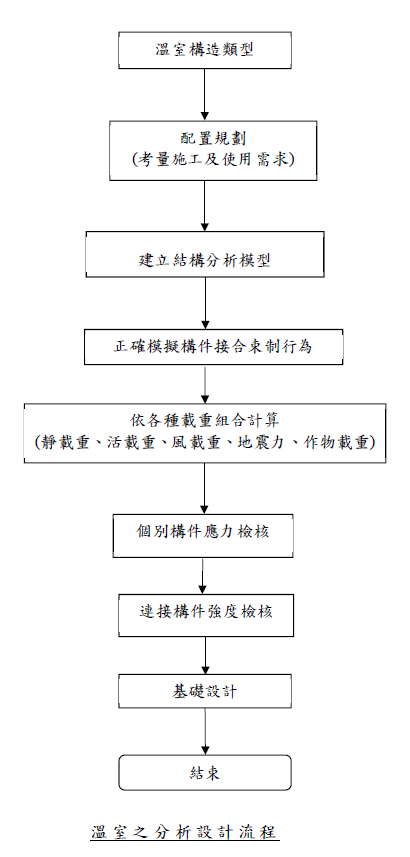
(2) 正確輸入結構模型之各節點座標。

(3) 正確輸入採用構件材料之種類(如熱軋型鋼構材、冷軋型鋼構材或鋁構材等)及其對應之材料性質。

(4) 依採用之各構件斷面尺寸計算其斷面性質，構件之強軸、弱軸方位輸入亦應正確無誤。

(5) 正確模擬各構件之接合設計(如剛性接合或鉸接合等)，並正確模擬基礎束制條件。

(6) 計算及輸入設計靜載重、活載重、地震力、風力及作物載重等，並依構材及設計方法等相對應之規範規定輸入各項載重組合，正確模擬載重分布情形。



2. 接合束制行為:

溫室構架系統是以主構架及次要支撐構架組合而成，其中構件間的接合束制除需固定構件系統外，必須傳遞各種載重組合下所產生之外力， 且材料之斷面容許應力或設計強度需足夠承受之外力造成的影響。設計者須依規範相關規定及設計假設以決定其構材尺寸、接合形式及接合強度，並正確建立結構模型，以反應構件間的接合束制行為，接合設計檢核詳見第3.5章節。

3.4.2構件強度檢核

溫室構架系統結構模型建立後，經計算或由結構分析程式進行完整之結構分析，可得各構件斷面之軸力、剪力、彎矩、扭矩等，設計者應依最大載重或強度需求及各類構件材料所對應之設計規範，檢核構件材料之斷面容許應力或設計強度是否足夠。此外，設計者需依接合設計之相關規定檢核構材間接合部分，以確認結構安全。採冷軋型鋼構材者，應依「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」之規定進行檢核。相關強度檢核如下:

1.軸力檢核:

承受軸向壓力或拉力之構材，須考量有效長度及細長比，以檢核容許應力或設計強度是否足夠。受軸向壓力桿件為細長受壓肢材時，為避免發生細長受壓肢材之局部挫屈，應依相關規定檢核。

2. 彎矩檢核:

承受彎矩之撓構材，須考量側向支撑間距及斷面結實性，以檢核該構材之容許撓曲應力或設計強度是否足夠。受軸力與彎矩共同作用下之構材，應檢核組合應力是否符合相關規定。

3. 剪力檢核:

溫室構架系統構件採熱軋型鋼構材者，設計時可依容許應力設計法(ASD)或載重及強度係數設計法(LRFD)進行剪力檢核;採冷軋型銅構材者，設計時應依「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」

4. 扭力檢核:

對於較薄平板所構成的柱及非對稱斷面柱，可能產生扭轉挫屈或撓曲扭轉挫屈，故設計時可依載重及強度係數設計法(LRFD)進行扭力檢核。

3.4.3 載重組合

溫室構架系統可依照容許應力設計法(ASD)或載重及強度係數設計法(LRFD)進行結構分析使用的載重組合將取決於設計方法，並以所產生之最大載重組合作為計算基準。

1.容許應力設計法(ASD)

結構分析設計時採容許應力設計法者，各構材及其接合物之容許應力(Ru/F)必須大於或等於由各種載重組合所得之計算應力(Rr)，如下式:

Rn/FS ≧ Rr

其中，Rn為構材之標稱應力強度(拉應力、壓應力、撓曲應力、

剪應力等)，FS為安全係數，兩者之數值隨梁、柱、斜撑等構件之斷面

條件及受力行為而異，應依所採用材料之相對應設計規範之相關規定計

算。

溫室構架系統構件採熱軋型鋼構材者，設計時應依「鋼結構容許

應力設計法規範及解說」之規定，至少須檢核下列載重組合:

|  |
| --- |
| D+L |
| D+0.75(L±1.25W) |
| D+0.75(L±0.8E) |
| 0.7D±1.25W |
| 0.7D±0.8E |

其中，

D=静載重，包括構材自重及永久附加物重量;

L=活載重;

E=設計地震力，詳見本手冊3.2.3地震力之規定;

W=設計風力，詳見本手冊3.2.4風力之規定。

溫室系統支撐架構件採冷軋型鋼構材者，設計時應依「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」之規定，至少須檢核下列載重組合:

|  |
| --- |
| D+L |
| D±W |
| D±0.7E |
| D+0.75L±0.75W |
| D+0.75L±0.7E |
| 0.6D±W |
| 0.6D±0.7E |

由於我國目前並無鋁結構之設計規範，如溫室系統支撐架構件係採鋁合金構材者，設計時建議可依美國「鋁合金設計手冊」(AAADM)之規定，檢核各項載重組合。

2. 載重及強度係數設計法(LRFD)

結構分析設計時採載重及強度係數設計法者，各構材及其接合物之設計強度(R)必須大於或等於由各種係數化載重組合所得之強度需求(Ru)，如下式:

ψRn≧Ru

其中，Rn為構材之標稱強度(拉力、壓力、彎矩、剪力等)，中為構材強度折減係數，兩者之數值隨梁、柱、斜撑等構件之斷面條件及受力行為而異，應依所採用材料之相對應設計規範之相關規定計算。

溫室系統支撐架構件採熱軋型鋼構材者，設計時應依「鋼結構極限強度設計法規範及解說」之規定，至少須檢核下列載重組合:

|  |
| --- |
| 1.4D |
| 1.2D+1.6L |
| 1.2D+0.5L±1.5W |
| 1.2D+0.5L±E |
| 0.9D±1.6W |
| 0.9D±E |

溫室系統支撐架構件採冷軋型鋼構材者，設計時應依「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」之規定，至少須檢核下列載重組合:

|  |
| --- |
| 1.4D |
| 1.2D+L |
| 1.2D+1.6L |
| 1.2D±1.8W |
| 1.2D+L±1.6W |
| 1.2D+L±E |
| 0.9D±1.6W |
| 0.9D±E |

由於我國目前並無鋁結構之設計規範，如溫室系統支撐架構件條採鋁合金構材者，設計時建議可依美國「鋁合金設計手冊」(AAADM)，檢核各項載重組合。

**3.5 構件接合設計**

3.5.1 接合型式

溫室構造系統支撐架結構各構件之接合設計，須符合規範規定。以構件接合點之結構行為而言，可概分為三種型式:

1.完全束制接合，或稱為「剛性接合」，係假設構件與構件間之接合為完全剛性。

2.部分束制接合，係假設構件與構件間之接合無法達完全剛性。

3.完全無束制，一般稱為「鉸接合」，此時接合部位僅承受剪力並能自由轉動。

接合部位之設計轉動能力應以分析方法或實驗驗證之。設計者於進行整體結構分析時，須先確認各構件接合部位(包括基座錨定接合)之設計束制條件，以免因錯誤模擬導致結構分析與實際條件不符。

3.5.2接合設計

當自重及外力作用時，溫室構造系統支撐架結構保經由被覆面材、繫件、桁樑、梁構件、柱構件、斜撑桿件、螺栓鎖固或焊接、基座錨定等，將外力傳遞至基座。故每個接合部位設計之成敗均將影響其整體或局部之穩定性，設計時應將各接合部位予以檢核，以確認是否能符合分析設計時設定之條件。

接合細部包含接合構件(如加勁鈑、連接鈑、角鋼、托座等)與接合物(如螺栓、自攻螺絲或焊接等)。接合設計須使接合後之構件能傳遞各種載重組合之最大載重，對於接合點之偏心問題亦應考量。

1. 螺栓接合

螺栓接合設計時，須針對螺栓及其接合構件之受力行為，依相關規範進行細部檢討，螺栓本身可能之破壞模式有拉力破壞、剪力破壞、承壓破壞，以及拉力與剪力聯合作用之破壞等，接合構件可能之破壞模式則有總斷面破壞、淨斷面破壞及塊狀剪力撕裂等。

2. 焊接接合

一般常用接合焊接有開槽焊接與填角焊接，由於開槽銲所需之加工成本較高，故通常採填角銲。就設計而言，銲材所承受之應力不外乎拉力、壓力及剪力等，故若此三項應力值符合容許應力範圈，則接合處之強度即滿足要求。

螺栓接合及焊接接合使用不同鋼構材，應依據不同規範做設計與檢核，其規定如下:

使用熱軋型鋼構材並採容許應力設計法(ASD)分析設計者，應依據「鋼結構容許應力設計法規範及解說」進行相關接合設計之各項細部檢核。

使用熱軋型銅構材並採載重及強度係數設計法(LRFD)分析設計者，應依據「鋼結構極限設計法規範及解說」進行相關接合設計之各項細部檢核。

使用冷軋型鋼構材者，應依據「冷軋型鋼構造建築物結構設計規範及解說」進行相關接合設計之各項細部檢核。

使用鋁合金構材並採容許應力法分析設計者，因國內目前尚無相關規範，建議可參考美國「鋁合金設計手冊」(AAADM)。

3.其他類型接合

溫室構造系統支撐架安裝常會採用各種類型之接合，包括有各種造型之接合鈑或接合構件，並結合螺栓、彈簧夾、T型螺桿或U型螺桿等接合物進行鎖固作業。對於這些接合型式，設計者應依其實際接合尺寸條件及結構力學理論進行適當之分析，檢核各扣件及母材之接合強度包括容許拉力、壓力、剪力及彎矩等)是否足以承受實際之作用力。實務上，建議提供這類型接合構件與接合物之拉力、剪力強度實際試驗值，以作為設計者設計檢核之依據。

**3.6基礎設計**

基礎底面應連接於未挖松的地盤上，開挖後回填土應將不良的土壤或廢棄物予與篩選掉，並將回填土確實夯實，務使工程完成後不至發生沉陷。基礎之設計必須考量將上部結構各種作用力傳遞到地盤上，如垂直力、地震横力、風拉拔力等。

3.6.1地質調查與地質參數

1. 簡易型參數

對於載重小、開挖淺、面積小之工程，如果能蒐集到基地相鄰地區可靠豐富之地質與施工資料，大致了解基地可能之地質狀況，則可針對調查作業做有效率之規劃，節省調查經費。目前台灣地區已有部份區域的地質資料庫可供參考，如經濟部中央地質調查所及內政部營建署等單位所建立之地質資料庫。惟於施工時若發現現況地質與引用之地質參數差異太大時，應做地質探勘及進行變更設計。

2. 地質調查

對於有特殊載重需求、面積大或是坐落於特殊地形之工程:如極軟弱地質、河灘地、海埔新生地、沼澤地等應實施地質調查。地基調查之調查深度、取樣位置及試驗項目應針對溫室及其他設施之基本規劃而決定;如採樁基礎設計，則須探查至可能之承載層深度，或基樁應力所及之範圍;如為淺基礎設計，則探查深度多在四倍基腳寬度左右，該深度範圍內土壤之變形性即為探查之重點。基地之調查與試驗方法應依規劃、設計及施工之需求而定，原則上應根據國家標準之規定辦理。

3. 簡易型基礎及樁基礎

採用混凝土基樁其承載力與抗拉力設計規定依內政部頒”建築物基礎構造設計規範”規定辦理。若採用其他特殊樁者(如螺旋樁等)設計者可依據設施廠商提供之力學性質或依據現地試驗結果，由設計者依專業知識進行設計。

**3.7荷重試驗**

對於外部被覆物或特殊接合材(如地錨)等，難以進行數值分析者。設計者可以選擇採用室內進行荷重試驗或現地荷重試驗來驗證其強度，回饋到設計資料，惟其進行試驗之單位選擇應為獨立且經認證合格之材料檢驗機構。

**3.8設計圖說**

溫室構造之設計圖說，應依結構計算書之分析檢核結果繪製，至少應包含下列項目內容:

1溫室結構之平面圖、立面圖、剖面圖及必要之詳細圖。平面圖應註明方位及柱軸線之相關位置，並標明尺寸。

2.構材之材料規格、編號、斷面尺寸等，並註明使用單位。

3. 接合細部圖。

4. 其他溫室設施之詳細圖說。

**3.9結構計算書**

溫室構造之結構計算書至少應包含下列項目內容(參見附錄一:結構計算書 範例)

1. 設計方法依據、設計方法及結構系統說明。

2. 各種設計載重之說明。

3. 使用之材料規格及其材料強度。

4. 載重組合及結構分析、桿件應力計算。

5. 桿件結合設計。

6. 基礎設計。

**一、溫室所面臨的特殊環境載重分析**

高溫、高濕、高輻射為熱帶及亞熱帶地區的氣候型態，高熱、強風、暴雨則為其常見的三大環境載重。以台灣為例，地理上由於北迴歸線的穿越，熱帶與亞熱帶氣候南北不到400公里間，氣候型態就有相當大的差異。再從地形地貌岩岸、沙岸、盆地、台地、丘陵、山地、平原造就氣候變化的多樣性。而台灣幾大山脈的南北直列，讓台灣東西向不到200公里間，從東臨太平洋海岸、花東縦谷、中央山脈、西部丘陵、平原、沙岸，更有海上的離島，其高度線從海平面到3，000多公尺的急速變化，更造成更多樣的氣候變化。

台灣常見氣候冬天天氣依然寒冷，東北季風強勁，但隨著各地理位置不同，地形地貌的變化，其風的形勢有所不同。而春天的梅兩季造成的連續下兩潮濕的天氣，夏天酷熱，且颱風多，暴兩頻繁，讓這在世界上不算大的島嶼，卻有極多樣的天氣模式。加上近年來全球的強烈氣候變尷，強風暴兩，已成為此地區的農作物栽培持續會面臨的嚴苛挑戰，往往強颱侵襲下溫室受損嚴重。因此以溫室進行的農作物栽培，將可提供較穩定的栽培環境，能提高產能及穩定的農作物供給模式。但溫室的結構須承受外部環境的強風暴雨侵襲，溫室的內部環境也須面臨劇烈熱能累積，相對於如荷蘭之溫寒帶溫室，這都是我國溫室設計所需面臨挑戰的特別課題。

各型農業設施的外部結構，都會面臨嚴苛的天候因素挑戰。以台灣溫室夏天所面臨最大的挑戰即是颱風的侵襲及瞬間的大兩，這對基於成本考量下非高安全係數設計的溫室有極大的傷害風險。加上台灣溫室於沿海有大量的應用，故對耐蝕性亦有相當的考量。目前在台灣使用之農業栽種設施會體遇的外在因素包含靠近海邊沿岸的區域鹽分較重，金屬結構易受鹽害銹蝕，而靠近工業區的區域易受酸雨或化學物質侵襲，導致使用年限不長。內在因素則因為植物栽種的溫濕度環境需求，易造成栽種設施結構銹蝕。

而農業投資仍為勞力密集獲利不易，故成本是一大重點。因此開發輕量化、高強度結構、高耐蝕性的台灣特色的農業栽種設施及材料結構，極具有研究開發價值，另施作容易度及成本控制也是考量的重點。

溫室抵抗環境載重的設計原理與原則，並依造溫室所在地點的地形、地貌及強風暴兩的經驗數據，以進行溫室外部環境載重抵抗設計，並考量溫室內的農作物所需的作業模式、需求空間動線及溫溼度參數進行溫室的内部環境控制設計，以完成溫室的總體規劃設計。

在溫室結構材料上，以材質優化、形狀設計、表面處理等三項材料製程設計與控制技術，以提升結構材料的結構強度、輕量化省成本及高耐蝕壽命性。並在溫室防颱強化上，結構強化、内部強化、外部強化及破風強化等四項防颱設計技術，以提升各種面對不同颱風等級時的防颱策略技術。

二、溫室破壞模式分析

(一)環境載重

溫室的功能以農作物之栽培為主要目的，基於功能性與經濟性考量，溫室設計非如同住宅及工廠之設計般具有相當高的安全係數，故針對溫室所面臨的環境載重需整合性的考量設計與分析，以同時符合安全性、成本性與壽命性的綜合考量。

在熱帶亞熱帶溫室環境載重中，高幅射的陽光、溫度季節冷熱與日夜溫差的變異、季節風速風向與日夜氣流的變異，氣候變遷所致的極端氣候型態的變異，反而讓溫室結構系統所需面臨的環境載重變化性還大於一般的民生住宅建築系統。

(二)結構載重

溫室所面臨的結構載重包含自身之重力載重、大自然之環境載重，及氣候變遷所帶來的新沖擊栽重。而這些載重的模式又包含了強度載重、變動載重、沖擊載重、反覆載重。

溫室實際所面臨的強風暴兩，跟地形地貌有很大的相互關係，瞬間的陣風強度往往會超出氣象報告所能完整預測。而台灣地處亞熱帶，其所面臨的強風暴兩，已成為溫室設計所必須面對的嚴苛挑戰。

(三) 材料結構破壞

溫室以封閉型式設計形成結構強度，但破壞均往往發生於一起點，而起點經常是弱點或奇異點，一旦破壞形成，則會造成連鎖的破壞，跟開始的封閉設計有相當的不同，故任何破壞的細節均是考量的重點。

而任一材料的破壞模式主要有應力破壞、應變破壞、疲勞破壞，除了拉力、剪力、扭力等瞬間的力量形式，長期所受的潛變與疲勞破壞亦為考量重點。以材料破壞的最大比例其實是疲勞破壞及腐蝕破壞，因其破壞的模式，往往於平時中低負荷的累積，而形成不易發現的破壞起點， 一旦，有重大負荷時，由此擴大破壞。

(四) 溫室連接機構失效造成集中載重與載重的能量傳遞失效

材料結構扮演的角色即要面臨載重時的力量與變形的抵抗與傳遞。

最經濟有效的結構設計，在於當栽重來臨時能讓多項元件去共同承擔這栽重，並將此栽重快速地傳遞到地面，讓大自然的沖擊能回到地球上。如桁架、斜撐等構成結構上的三角形結構，其讓原本較難承受的横向栽重，可利用鉸連結的力量傳遞方向轉換成軸向載重，如此只要能抵抗挫曲破壞，則可形成相對方向的力量抵銷及軸向元件強載重的能力展現。

但如造成某元件的集中載重，其將形成破壞的關鍵。同樣的如扮演能量傳遞的連接件失效，則載重將形成過度的集中而致破壞，而由一點破壞的突破，往往連鎖反應，造成結構系統性的破壞。

故連接件在溫室結構上往往扮演極為重要但又被常忽視的元件。以現有簡易溫室的常用連結件彈簧夾 (如圖3.17)，其連結材料強度不足、接觸面積小、磨擦力不足，力的傳遞能力嚴重不足。



圖3.17 簡易溫室彈簧夾連接件

（五） 材料腐蝕破壞

除了材料受力結構型的破壞，材料腐蝕破壞更是破壞的重點，主要的腐蝕因子包含物理腐蝕、化學腐蝕、電化學腐蝕，更包含生物腐蝕。

以金屬材料為主結構的溫室其破壞的原因經常是腐蝕所導致的材料失效，尤其在受到高溫高濕下促進化學、電化學及生物的腐蝕環境下，加速其腐蝕的破壞，而其會具體降低材料原先的預期強度，形成主導引起破壞的起點。

其具體影響的就是溫室的可靠度與安全性，也直接影響其壽命性。以錏管溫室為例，因常規管材長度因素，常需接管以增加長度，而接管點常為直接大小縮管套接，然後以自攻螺絲直攻鎖付 (如圖3.18)此將造成螺絲孔降低原有材料強度，螺絲往往與原有材料材質不同，易成電化學腐蝕，形成破壞點。原有材料交接處易累積化學性液體，形成化學腐蝕及電化學腐蝕。故當全新時尚有支撐力，當累積一段腐蝕時間後，此點將形成破壞的起點。



圖3.18 溫室錏管接管與自攻螺絲鎖付

三、 溫室結構面對颱風的破壞模式分析

（一） 颱風氣象預報

在熱帶亞熱帶颱風為一常見的風力破壞模式，現代化的氣象偵測技術不斷進步提升，所以颱風來臨前均可由各國氣象局得知其可能的路徑、風力等級、暴風半徑大小、瞬間最高風速等訊息。但颱風的軌跡及其變化受相關區域的地形地貌及其亦持續變化的即時氣象環境影響，往往多國的氣象站的預報有不一樣的推測 (如圖3.19)。但總能提高相當的關注以利提前地進入防颱準備作業。

（二） 颱風的行徑與風力合成

颱風以逆時針方向圍繞颱風中心旋轉，形成一具有中心近似無風的颱風眼，以不定的軌跡往前移動。故由此颱風的力量合成分析圖 (如圖3.20)，可得知其路徑的差異可能造成的攻擊路線、風力大小及方向的改變。

（三） 颱風長期登陸與風力路徑統計分析

此可由長期的風力路徑統計圖 (如圖3.21)，風力登陸分析圖 (如圖3.22)，進行颱風對所在溫室的攻擊可能方向，以利進行防颱超前部署。



圖3.19 各國氣象局的颱風路徑預測



圖3.20 颱風的行徑與風力合成圖



圖3.21 風力路徑分析 (1911～2017)



圖3.22 風力登陸分析 (1911～2017)

（四） 颱風的等級與風速

颱風的風力等級及風速亦可參考台灣中央氣象局之風力分級表 (如表3.1)。

表3.1 氣象局風力分級表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 級數 | 風的名稱 | 速度 (m/sec) |
| 0 | 無風 | 0~0.2 |
| 1 | 軟風 | 0.3~1.5 |
| 2 | 輕風 | 1.6~3.3 |
| 3 | 微風 | 3.4~5.4 |
| 4 | 和風 | 5.5~7.9 |
| 5 | 清風 | 8.0~10.7 |
| 6 | 強風 | 10.8~13.8 |
| 7 | 疾風 | 13.9~17.1 |
| 8 | 大豐 | 17.2~20.7 |
| 9 | 烈風 | 20.8~24.4 |
| 10 | 狂風 | 24.5~28.4 |
| 11 | 暴風 | 28.5~32.6 |
| 12 | 颶風 | 32.7~36.9 |
| 13 | 颶風 | 37.0~41.4 |
| 14 | 颶風 | 41.5~46.1 |
| 15 | 颶風 | 46.2~50.9 |
| 16 | 颶風 | 51.0~56.0 |
| 17 | 颶風 | 56.1~61.2 |

（五） 基本設計風速

台灣本島及離島各地鄉鎮可參考風速等級進行風力載重設計。風速等級分為各區(如連結)：

<http://naa.tnaa.org.tw/main_frame_01_files/y103/m12/1031210-1031203%E8%BD%89%E7%9F%A5%E5%85%A7%E6%94%BF%E9%83%A8%E6%96%BC103%E5%B9%B412%E6%9C%883%E6%97%A5%E4%BF%AE%E6%AD%A3%E7%99%BC%E5%B8%83%E3%80%8C%E5%BB%BA%E7%AF%89%E7%89%A9%E8%80%90%E9%A2%A8%E8%A8%AD%E8%A8%88%E8%A6%8F%E7%AF%84%E5%8F%8A%E8%A7%A3%E8%AA%AA%E3%80%8D%E7%AC%AC2.4%E9%BB%9E%E5%8F%8A%E8%A1%A82.21.pdf>

四、 溫室防颱工程設計

基於結構安全、環境控制、作業方便、成本合理，如何提升溫室的防颱能

力，並非將溫室如民生或工業建築般，以大型的鋼構或鋼筋水泥的高安全結構設計，而應研究如何提高跨距的有利作業環境下，同時又具輕量化及高安全性結構，且控制在合理成本。這種方法則需導入兩項設計思維 (如圖3.23)，一為溫室材料結構的優化設計，此乃利用材料工業技術的進步性，以材質、形狀、形貌、機能的四項組合技術，提升溫室結構的基本強度。

另一思維設計為溫室組合抗颱強化設計，溫室以平日正常的風速下的運維為主設計，但預留颱風來臨時的因應設施設計，把防颱當作對颱風的事先關注與預測、颱風來襲前的超前部署、颱風侵襲後的持續改善設計，如此將以合理的成本與合理的防颱設施進行防颱工程設計。

（一） 溫室材料結構優化技術

溫室材料結構優化如圖3.24將以材質、形狀、形貌、機能等四項技術提升。

1. 材料材質優化設計

提高材料性能包含強度、剛性、韌性，可立即提高溫室之結構強化與性能優化。一般金屬材料的成本主要以其合金元素定價，而以材料的合金強化、熱機處理的晶粒細化、應用塑性加工的變形硬化，均可以促進材料的結構強化與輕量化，故強度提高一倍的材料，其材料成本很可能只提高10～20％，此可經材料的屈服強度、抗張強度、抗彎強度測試以證明新材料結構的優勢。

如此將對溫室結構設計有很大的進步空間。一般規範結構用鋼強度為400MPa以上即可，但相對590MPa與780MPa的高強度鋼材設計上就有很大的強度與重量差異，這在汽車工業材料的應用設計上，就有非常明顯的進步空間。



圖3.23 溫室防颱工程設計



圖3.24 溫室結構材料優化技術

2. 材料高剖面係數之優化設計

結構材料的型式優化是在不改變材料材質即可提升的新優勢材料設計，本項如與上項結合，將可促進結構件的材質強化與剖面型式優化的同步強度提升。而此項優化設計也將促進金屬型材成形與加工設備系統的進步，如何高速且成功的針對高強度鋼材進行更高剖面係數的型材自動化連續成形及後續的開孔加工，也將是型材成本與品質的關鍵。建構高速高強度的成形機組及自動化的雷射切割系統將是材料解決的同步技術。

3. 材料表面處理與高耐蝕性設計

材料結構之耐蝕處理為提升高壽命性的關鍵，進行新材料的處理優化將包含鍍前處理、鍍層處理、鍍後處理、塗層處理、複層處理，以提升設施農業應用的強化抵抗環境能力。而此為完整的金屬表面處理技術，鍍層、塗層與覆層的材質選擇與方法設計，均為耐蝕性能與成本的關鍵，需綜合設計考量。

4. 材料機能優化設計

除了材料的物理性能 (如熱傳性能、低密度、高反射性)、化學性能 (耐侵蝕、耐腐蝕)、機械性能 (高強度、高剛度、高韌性) 的提升外，亦有材料具有良好的生物性能 (微生物抑制、抗菌性、抗生物腐蝕)。

（二） 溫室組合抗颱強化設計

1. 溫室結構耐風強化設計

(1) 單棟溫室風壓局部強化

溫室受風力載重時，屋面的邊緣區域往往是風壓局部強化區域 (如圖3.25)，可以屋面長與寬的10％，進行強化設計。

(2) 連棟溫室風壓局部強化

連棟溫室受風力載重時，最兩側的屋面的邊緣區域是風壓局部強化區域 (如圖3.26)，以屋面長與寬的10％，進行強化設計。中間棟溫室則側邊仍有風壓局部強化區域。

(3) 溫室建築群的風壓局部強化

溫室建築群受風力載重時，考慮間隔風道之影響及最兩側的屋面的邊緣區域是風壓局部強化區域 (如圖3.27)，以屋面長與寬的10％，進行強化設計。



圖3.25 單棟溫室風壓局部強化設計

2. 結構組合強化

以科學化的溫室設計與分析方法、適當的元件材質選用與處理技術及正確的連結與施工方法，以提高溫室的可靠度與使用壽命。結構組合使用具有結構強度且耐振動的連接件，依溫室結構位置搭配合適的型材構件，可以使溫室達到耐強風的結構強度。

3. 內、外部強化

對已建好的現有溫室及未來興建的溫室應進行防颱分析及強化設計，以強化溫室內部及外部強化機制，經工程分析於溫室內部結構進行斜撐、拉桿、支撐桿等，可提升溫室耐風等級。

4. 破風強化

極高風險的颱風路徑經過區域之溫室，增加溫室破風牆或破風網等強化結構，可提升溫室耐風壓等級。



圖3.26 連棟溫室風壓局部強化設計



圖3.27 溫室建築群風壓局部強化區域

(三） 溫室防颱優化設計流程

溫室防颱設計可依據以下步驟方法進行：(如圖3.28)



圖3.28 溫室防颱優化設計流程

1. 針對溫室所在區域進行颱風路徑與機率分析

依據溫室預定設立位置，以大範圍區域進行歷史颱風路徑分析，蒐集整理氣象局颱風資料庫歷史資料，可得知區域颱風路徑經過方式及機率，並求得歷年颱風侵襲時最大風速、最大陣風、最大雨量等，加以分析探討可得知區域可能風向、風力等級與颱風侵襲頻率。

2. 進行溫室側面與正面之受風力之風壓分布計算與分析

藉由溫室所在區域的風場及雨勢資料，並以溫室設立周遭的地形地貌加以探討，以計算分析溫室側面與正面的承受風力與風壓分布。

3. 進行溫室受風等級提升一級之結構的電腦輔助工程分析

將溫室承受風力及風壓等級對溫室結構的影響，使用工程計算及模擬分析加以探討，並進行溫室承受風壓等級一級的性能提升。

4. 分析結構之應力應變圖及各部件的安全係數

藉由溫室工程計算及模擬分析，對溫室結構承受風壓後應力應變進行分析，以求得溫室各部件材料結構受力特性及相關安全係數。

5. 進行低安全係數之強化設計及過高安全係數部件之輕量化設計

依據溫室各部件之相關安全係數進行材料結構的強化設計，並對過高安全係數之部件進行輕量化設計，以求得適合的溫室零件。

6. 再提升風力級數一級，以再進行受風結構電腦輔助工程分析

對於溫室部件組合結構以受風特性進行電腦輔助工程分析，並改善修正部分材料結構強度，以提升溫室耐風力級數一級。

7. 當內部結構已經提升後，開始進行內部強化與外部強化的強化設計

對於最適化的溫室材料結構組合，進行內部強化與外部強化規劃，預先準備相關部件組合連接設計，使溫室在颱風侵襲時能承受較高之風力級數。

8. 再提升風力級數一級，以進行強化設計後之溫室結構電腦工程分析

以溫室內部強化與外部強化的材料結構設計，進行溫室結構電腦模擬分析，以提升溫室承受風力級數一級。

9. 當內部強化與外部強化設計完成後，再加載風力等級進行工程分析

依據內部強化與外部強化設計方式，提高溫室部件安全係數再進行溫室性能提升工程分析，使溫室性能能承受加載一級風力之風壓。

10. 控制破風強化設計的破風密度，以利進行再加載之防颱強化設計

藉由增加溫室破風強化設計，並分析控制破風結構之密度，可提升溫室防颱性能與可承受風壓，使溫室防颱強化性能提升一級。