

溫室型太陽能乾燥系統室內空氣溫度之預估

Predicting the Air Temperature Inside the Greenhouse Solar Drying System

臺大農工系教授

張 漢 聖
H. S. Chang

臺大農工系研究生

李 庭 槐
T. W. Lee

Abstract

Solar energy is a readily available, alternative energy source which can be used in the drying of farm crops. The greenhouse solar drying system, developed by Dr. B. K. Huang of North Carolina State University, was designed to utilize physical equipment to collect, store and use energy from the sun directly for crops drying and greenhouse crop production.

Energy balance equation was used here for prediction of drying air temperature in the system with known ambient air temperature and solar radiation.

Experiments were conducted during the late February and early May 1978. The inside air temperature of the system was evaluated from the energy balance equation. The result shows that under good weather conditions, there is a good agreement between the predicted air temperature and the measured air temperature, while under poor weather conditions, there was a larger difference between the predicted air temperature and the measured air temperature.

一、引 言

近年來，由於世界石油能源危機日益加深，於是世界先進國家對可為石油代替品之能源，展開了積極熱烈之研究。太陽能之開發利用研究即為其中之一項。

乾燥農產品，需要的是熱能。太陽輻射熱能可以直接加以利用。收集太陽熱能裝置加熱乾燥用空氣，其構成簡單，且試驗效果立見，因之近年來，有關利用太陽能於乾燥農產品之研究非常之多，迭見報告。而其中以我旅美學人黃國彥教授所設計之「溫室型太陽能乾燥系統」，首創太陽能空氣加熱裝置與乾燥室合為一體，經試驗證明性能優越，可推廣使用。本研究之目的旨在分析此系統內乾燥熱空

氣之溫度，以作為今後如何提高其熱效率及改善結構之參考。

二、試 驗 裝 置

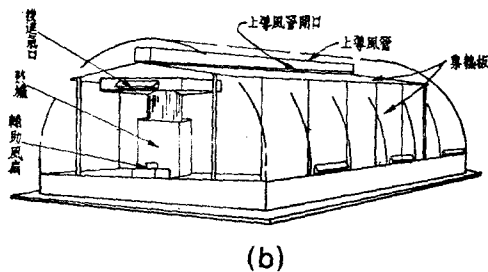
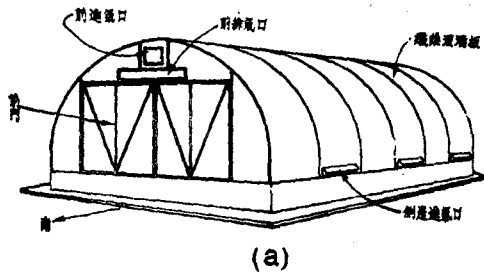
太陽能乾燥系統安裝在嘉義農業試驗分所內，其構造外觀參見圖一，內部組成可分成以下四部份。

(一) 太陽能收集裝置

太陽能收集裝置由透明纖維玻璃及吸熱板 (heat absorber) 二者構成 (圖二)。透明纖維玻璃板，0.2 公分厚，表面塗有 Du Point 之 Tedlar 特殊膠膜，可防止老化。纖維玻璃板呈波浪型，比平板型有較佳抗風及吸熱能力。

太陽能乾燥系統共有四個太陽能收集裝置即東

* 本研究承農復會資助



圖一 太陽能乾燥系統構造示意圖

(a) 前視圖 (b) 後視圖

側上太陽能收集裝置，東側下太陽能收集裝置，西側上太陽能收集裝置，西側下太陽能收集裝置（圖二）。兩側上太陽能收集裝置之吸熱板由厚 1.6 公分尤麗生 (Urethane) 絕熱板構成，表面覆有鋁箔 (Aluminum Foil)，鋁箔上塗有黑色不反光油漆。東西兩側上吸熱板的面積共為 20m^2 。兩側下太陽能收集裝置之吸熱板為厚 1.6cm 之三夾板所構成，表面亦塗有黑色不反光油漆。東西兩側下吸熱板之面積共為 23m^2 。

(二) 太陽能儲存裝置

太陽能儲存裝置由卵石及包圍其四周的空心磚短牆及水泥地面所構成（圖二）。太陽能乾燥室左右兩側各有一個太陽能儲存裝置，共有卵石約 13,822 公斤，卵石底部埋有多孔塑膠管一條作為卵石儲熱及釋熱熱風流動通路之用。卵石表面亦塗有黑色油漆，以增加對太陽軸射熱能之吸收能力。

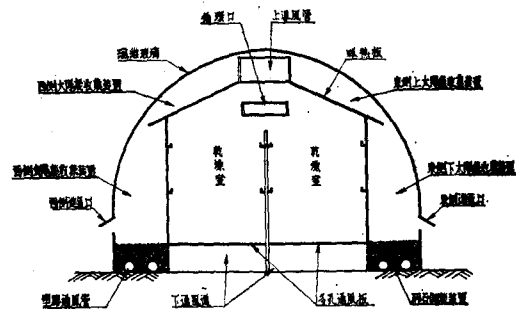
(三) 乾燥室

乾燥室用以放置待乾燥之農產品（圖二）。乾燥室高 180cm，長 407cm，寬 325cm，隔成二個相等空間。乾燥室底面為多孔板，側面為三夾板，側面裝有鐵軌，以利放置必須之鐵架、承盤等。

四) 熱爐及熱風循環裝置

熱爐位於乾燥室後面（圖一）。熱爐之功能為加熱流經其中之空氣，以提高乾燥用空氣之溫度至所需度數。熱爐配有燃燒機及溫度控制器。

熱風循環裝置由一台主風扇 (3hp) 及一台輔助風扇 (1hp) 組成（圖二）。主風扇之功能為強制循環流動熱風進入農產品中。輔助風扇之功能為強制流動空氣進出卵石以儲存太陽熱能於卵石中或釋出卵石中之熱能。

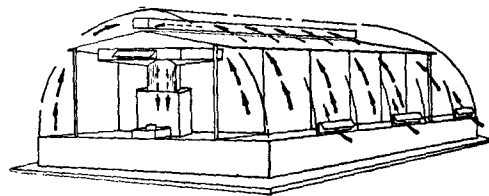


圖二 太陽能乾燥系統橫切面構造示意圖

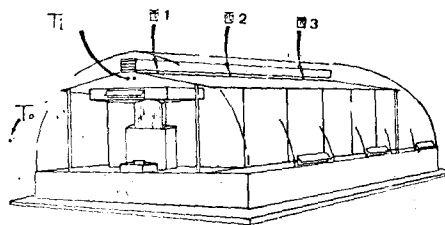
三、試驗步驟及測定儀器

太陽能乾燥系統安裝完成後，於民國六十七年二月廿五日及廿八日，三月一日，五月二日及三日進行試驗。試驗即為啓動主風扇，使室外空氣經由側邊進氣口進入太陽能收集裝置，空氣由下而上，進入上導風管，而後經熱爐再流入乾燥室中（圖三）。

本研究測定溫度位置參見圖四。



圖三 空氣流程圖



圖四 溫度探測點位置

有關各點溫度之測定由 Leeds & Northrup 之 Speedomax 多點溫度記錄儀記錄之。所用之熱偶線 (Thermocouple) 為 T 型。

每日水平太陽輻射能量由 Eppley Black and white pyranometer 測定。並由 Watanabe Servocorder 記錄之。

室內熱空氣流動之量由風速計測定之，再以平均值乘以相關面積求得。

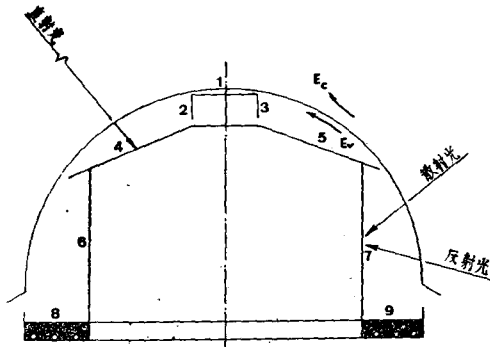
四、分析 方法

1. 熱量平衡方程式

太陽能乾燥系統熱量之平衡方程式經簡化可寫為 (參照圖五)：

被吸收的太陽光能 [(直射光能) + (散射光能) + (反射光能)] = 空氣流動帶走的熱量 (E_v) + 由纖維玻璃板外流損失的熱量 (E_o)……(1)

茲將上式中每一項能量的計算，分別討論如下。



圖五 太陽能乾燥系統熱量之收集及散失

2. 被吸收的太陽能

如圖五所示，此一系統內，一日中為陽光所照射的平面共有九面，當直射光落在集熱板上時，每單位面積單位時間的輻射量可用以下公式計算之(6)：

$$(H_T)_n = \frac{\cos \theta}{\sin \beta} (H_P - H_D) + \frac{1}{2} (1 + \sin \phi) H_D + \frac{1}{2} (1 - \sin \phi) \rho H_P \dots\dots\dots(2)$$

當直射光被阻擋時，落於集熱板上之熱量為散射光能和反射光能之和：

$$(H_T)_n = \frac{1}{2} (1 + \sin \phi) H_D + \frac{1}{2} (1 - \sin \phi) \rho H_P \dots\dots\dots(3)$$

式中：

$(H_T)_n$ ：任一日光照面上所接受的日射量 (W/m^2)

H_P ：由太陽輻射儀所記錄之水平日射量 (W/m^2)。

H_D ：由太陽輻射儀所記錄之散射日射量 (W/m^2)。

θ ：太陽光之入射角。

β ：太陽之高度角。

ϕ ：照射面與水平面之垂直線所夾之角。

ρ ：地表之反射係數。

而陽光之入射角可由下列公式求得：

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \alpha \cos \phi + \sin \beta \sin \phi \dots\dots\dots(4)$$

太陽之高度角則與 h 、 l 、 d 之間有如下之關係：

$$\sin \beta = \cos l \cos h \cos d + \sin l \sin d \dots\dots\dots(5)$$

式中：

l ：緯度角。

h ：時間角。

d ：太陽之傾斜角。

α ：照射面方位角，係垂直面法線與陽光投影之夾角。

計算太陽能的吸收量，首先要決定時間角 h 。時間角則由太陽時間 (Solar time) 所決定，當太陽在天頂的時候即為正午時刻，時間角為 0 度，從此刻起，每向前或往後 1 小時，時間角即增加 15 度，根據 Ozisik [7]，太陽時間與當地時間 (Local Civil Time) 的關係由緯度及時間公式，可直接計算之：

$$(\text{當地的太陽時間}) = (\text{當地時間}) + (\text{時間公式}) \dots\dots\dots(6)$$

我們日常生活中所使用的計時器，皆以中原標準時間 (Central Standard Time) 為準，而中原標準時間為某一特定經度的時間，如臺灣的標準時間即係以東經 120 度的時間為準，每向東 1 度，實際上的當地時間即提早 4 分鐘，此一關係以數學公式表示之為：

$$(\text{當地時間}) = (\text{中原標準時間}) - (4 \text{ 分}) \times (\text{經度差}) \dots\dots\dots(7)$$

所以自東經 120 度起，向東移動則公式 (7) 右端之經度差為正值，當地時間即較標準時間為早。

Threlkeld [8] 研究各種物體表面的反射係數，發現反射係數與陽光的入射角有關，其中年代較久之水泥建築物表面之反射係數介於 0.24 與 0.28 之間，由於此太陽能乾燥系統的周圍為老舊的水泥廣場及建築物，茲取 0.26 為反射係數之值。

黑色集熱板的表面，並不能百分之百的吸收照射其上的太陽能，根據 Whillier [9]，黑色表面

的能量吸收率為 0.95，故實際進入系統內而為各集熱板所吸收之輻射能，係依據輻射儀測得之太陽輻射量乘以纖維玻璃穿透係數 0.86 後再乘以 0.95。

3. 空氣流動帶走的熱量

空氣流動帶走之熱量，與空氣之流量 (mass flow) 及其總熱含量 (enthalpy) 有關：

$$E_v = M (H_i - H_o) \dots\dots\dots(8)$$

式中：

M：空氣之流量 (kg/hr)。

H_i：室內空氣之總熱含量 (Kcal/kg 空氣)。

H_o：室外空氣之總熱含量 (Kcal/kg 空氣)。

根據熱力學原理，空氣之總熱含量與其中水分的含量及空氣之溫度有關 [19]：

$$H_t = 0.24T + \omega(588.1 + 0.45T) \dots\dots\dots(9)$$

式中：

H_t：空氣之總熱含量 (Kcal/kg 空氣)。

T：空氣之乾球溫度 (°C)。

ω：絕對濕度 (Kg 水/kg 乾空氣)。

將(9)式代入(8)式中得

$$E_v = M (0.24 + 0.45\omega) (T_i - T_o) \\ = V \cdot r (0.24 + 0.45\omega) (T_i - T_o) \dots\dots\dots(10)$$

式中：

V：空氣流量 (m³/hr)。

r：空氣密度 (kg/m³)。

T_i：室內空氣溫度 (°C)。亦即室內乾燥熱空氣溫度。

T_o：室外空氣溫度 (°C)。

4. 由纖維玻璃板外流之熱損失

由纖維玻璃表面外流熱損失可以下式計算：

$$E_c = UA (T_i - T_o) \dots\dots\dots(11)$$

式中：

U：總熱傳係數 (Kcal/hr-m²-°C)。

A：纖維玻璃板表面積 (m²)。

T_i：室內空氣溫度 (°C)。

T_o：室外空氣溫度 (°C)。

上式中之 U 值可由下式求之：

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta X}{kf} + \frac{1}{h_o}} \cong \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

ΔX：纖維玻璃板之厚度 (m)。

kf：纖維玻璃板之熱傳導係數 (Kcal/hr-m-°C)

h_o：纖維玻璃板外側之熱對流係數 (Kcal/hr-m²-°C)

h_i：室內空氣對纖維玻璃板之熱對流係數 (Kcal/hr-m²-°C)。

纖維玻璃板外側的熱對流損失，恆與外界的風速有關，在此一分析中，根據 Hodges [10] 之公式：

$$h_o = 0.053 + 0.746 V_o \dots\dots\dots(13)$$

式中：

h_o：外側對流係數 (cal/m²-hr-°C)。

V_o：外界風速 (m/hr)。

在纖維玻璃板內側的空氣，流動速率極低，可以自然對流視之。根據 ASHRAE Hand Book [11]，直立的平面，其表面的自現對流係數為：

$$h_i = 0.420 \left(\frac{\Delta T}{l} \right)^{0.25} \dots\dots\dots(14)$$

式中：

h_i：自然熱對流係數 (BTU/ft²-hr-°F)。

ΔT：空氣與直立面之溫度差 (°F)。

l：直立面之高度 (ft)。

將(14)式轉化為公制單位得：

$$h_i = 1.764 \left(\frac{\Delta T}{l} \right)^{0.25} \dots\dots\dots(15)$$

式中：

h_i：Kcal/m²-hr-°C

ΔT：°C

l：m

太陽能乾燥系統中，大部份的吸收熱量均由進入集熱裝置之空氣所帶走，熱對流損失的能量所佔的比例較小，因此 h_i 值可用疊代法 (Iteratien) 計算之，又 h_i 值與 ΔT 的 0.25 次方有關，故在當日同一風量的情況下，將一次疊代所得之 h_i 值平均之，再據以計算對流所損失的熱量。其計算，可參考下述之計算實例：

5. 計算實例

六十七年二月廿五日十一時，太陽能乾燥系統室內空氣溫度之計算如下：

嘉義市位於北緯 23° 30' 東經 120° 24'，二月廿五日之太陽傾斜角為 -7° 51'，時間公式為 -12 分 36 秒，求太陽在正午時的中原標準時間，由公式(6)

$$L. S. T. = 12:00 = L. C. T. - 12':36'$$

$$\therefore L.C.T. = 12:12':36''$$

又由公式(7):

$$L.C.T. = C.S.T. - 4 \times \left(\frac{24}{60}\right) \\ = C.S.T. - 1':36''$$

$$\therefore C.S.T. = 12:14':12''$$

爲計算方便, 以12點15分爲正午, $h=0$,

則11點之時間角 $h=18.75^\circ$, 由公式(5)

$$\sin \beta = \cos \delta \cos h \cos \alpha + \sin \delta \sin \alpha \\ = \cos 23.5^\circ \cos 18.75^\circ \cos (-7.85^\circ) + \\ \sin 23.5^\circ \sin (-7.85^\circ) = 0.8060$$

$$\alpha = 90^\circ - \lambda \text{ 而 } \sin \lambda = \sec \beta \cos \delta \sin h \\ = \sec 53.71^\circ \cos (-7.85^\circ) \\ \sin 18.75^\circ \\ = 0.5380$$

λ 爲方位角即爲太陽在水面投影與北方之夾角)

$$\therefore \lambda = 32.54^\circ \quad \alpha = 57.46^\circ$$

由公式(4)

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \alpha \cos \phi + \sin \beta \sin \phi$$

則東上集熱板 $\phi = 67.38^\circ$

$$\cos \theta = 0.592 \times 0.538 \times 0.385 + 0.8060 \times 0.923 = \\ = 0.8660$$

西上集熱板 $\phi = 112.62^\circ$

$$\cos \theta = 0.5920 \times (-0.385) \times 0.538 + 0.8060 \times \\ 0.9230 = 0.6216$$

東側集熱板 $\phi = 0^\circ$

$$\cos \theta = 0.592 \times 0.538 = 0.318$$

因 $0.86H_p = 635.7 \text{ W/m}^2$, $0.86H_D = 156.9 \text{ W/m}^2$

由公式(2), 東上集熱板之太陽能輻射量爲:

$$(H_T)_n = \frac{\cos \theta}{\sin \beta} (H_p - H_D) + \frac{1}{2} (1 + \sin \phi) H_D + \\ \frac{1}{2} (1 - \sin \phi) \rho H_p \\ = \frac{0.8660}{0.8060} (635.7 - 156.9) + \frac{1}{2} \\ (1 + 0.9230) \times 156.9 + \frac{1}{2} (1 - 0.9230) \times \\ 0.26 \times 635.7 = 514.4 + 150.9 + 6.4 \\ = 671.7 \text{ W/m}^2$$

集熱板面積爲 9.954 m^2 , 故 $(H_T)_n A = 6686.1 \text{ W}$

由於西上集熱板有部份爲陰影遮蓋, 故須分成

兩部份計算:

直射部分:

$$(H_T)_n = \frac{0.6216}{0.8060} (478.8) + 0.9616 (156.9) \\ + 6.4 = 368.9 + 150.6 + 6.4 \\ = 481.7 \text{ W/m}^2$$

直射部份之面積爲 9.324 m^2 $\therefore (H_T)_n A = 4491.4 \text{ W}$

陰影部份: $(H_T)_n = 150.9 + 6.4 = 157.3 \text{ W/m}^2$

面積爲 0.63 m^2 $\therefore (H_T)_n A = 99.1 \text{ W}$

東側集熱板之太陽能輻射量:

直射部分:

$$(H_T)_n = \frac{0.318}{0.8060} (478.8) + \frac{1}{2} (156.9) \\ + 0.13 (635.7) \\ = 188.9 + 78.5 + 82.6 \\ = 350.0 \text{ W/m}^2$$

面積爲 8.631 m^2 , $(H_T)_n A = 3020.9 \text{ W}$

陰影部分:

$$(H_T)_n = \frac{1}{2} H_D + 0.13 H_p \\ = 78.5 + 82.6 \\ = 161.1 \text{ W/m}^2$$

面積爲 2.709 m^2 , $(H_T)_n A = 436.4 \text{ W}$

同理, 上導風管東側無陰影遮蓋, 太陽能輻射量爲:

$$(H_T)_n A = 350.0 \times 1.89 = 661.5 \text{ W}$$

西側集熱板全爲陰影遮蓋, 太陽能輻射量爲

$$(H_T)_n = \frac{1}{2} H_D + 0.13 H_p = 161.1 \text{ W/m}^2$$

$$(H_T)_n A = 161.1 \times 11.34 = 1826.9 \text{ W}$$

同理可求上導風管西側之太陽能輻射量爲

$$(H_T)_n A = 161.1 \times 1.89 = 304.5 \text{ W}$$

上導風管上端爲一水平面, 其太陽能輻射量即爲水平日射量, 故:

$$(H_T)_n A = 635.7 \times 3.78 = 2403.0 \text{ W}$$

東側卵石表面爲水平面, 故 $(H_T)_n A = 635.7 \times 5.796 = 3684.5 \text{ W}$

西側卵石表面太陽能輻射量等於散射日射量, 故:

$$(H_T)_n = H_D = 156.9 \text{ W/m}^2$$

$$(H_T)_n A = 156.9 \times 5.796 = 908.3 \text{ W}$$

太陽能輻射量之和爲

$$= 6686.1 + 4491.4 + 99.1 + 3020.9 + 436.4 + 661.5 \\ + 1826.9 + 304.5 + 2403.0 + 3684.5 + 908.3 \\ = 24522.6 \text{ W}$$

乘以吸收率 0.95 得

$$24522.6 \times 0.95 = 23296.5 \text{ W}$$

空氣流動所帶走之熱量:

當時風量爲 $0.43 \text{ m}^3/\text{sec}$, 室外乾球溫度爲 22°C

濕球溫度爲 18°C , 查表得 $r = 1.169 \text{ kg/m}^3$

$$\omega = 0.0111 \text{ kg/kg}$$

$$E_v = 0.43 \times 3600 \times 1.169 (0.24 + 0.45 \times 0.0111) \\ \times (T_i - T_o)$$

$$= 444.6 (T_i - T_o) \text{ Kcal/hr}$$

$$\therefore \Sigma (H_r)_n A = 23296.5 \text{ W} = 20035 \text{ Kcal/hr}$$

$$= 444.6 (T_i - T_o)$$

$$\therefore T_i - T_o = 45.06^\circ\text{C}$$

由公式(15)

$$h_i = 1.764 \left(\frac{45.06}{4.55} \right)^{0.25} = 2.63 \text{ K cal/hr-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

(上式 4.55 為纖維玻璃板直立面長度)

當時之外界平均風速為 1.14m/scc 由公式(13)

$$h_o = 0.053 + 0.746 \times 1.14 \times 3600$$

$$= 3.06 \text{ K cal/hr-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

由公式(12)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{2.63} + \frac{1}{3.06}} = 1.42 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

$$UA = 1.42 \times 4.55 \times 6.47 \times 2 = 83.6 \text{ Kcal/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

(上式 A 為纖維玻璃板之面積)

$$\therefore T_i - T_o = \frac{20035}{(444.6 + 83.6)} = 37.9^\circ\text{C}$$

五、結果與討論

依前述之分析方法，由已知之條件，求得六十七年二月廿五日、廿八日、三月一日、五月二日及三日之太陽能乾燥系統內空氣溫度之曲線，與實測之溫度及太陽能輻射量，分別繪成圖六、七、八、九及十。

二月廿日及三月一日為晴朗天氣，天空中雲量稀少，日射量呈緩慢的增加和減少，由集熱板與貯熱卵石所傳導損失的熱量，亦隨之呈緩慢的增加和減少，因此整個系統的熱量變化的狀況幾近於穩定

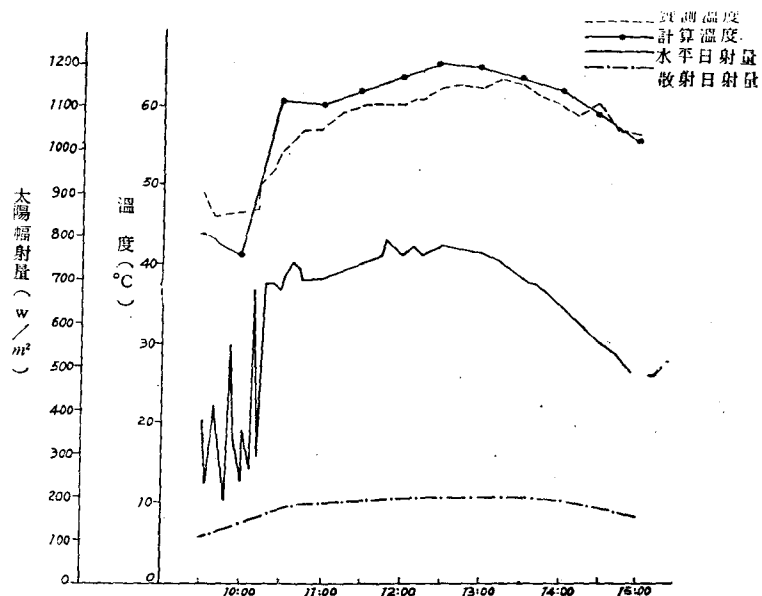
狀態，由計算所得之溫度曲線與實際溫度的曲線很相似。

二月二十八日、五月二日及三日，由於天空中雲量多，日射量呈急遽的升降，如圖七、九及十所示，在如此的條件下，Hp 值的估取，易產生偏差，同時由於日射量的不穩定，溫度的變化與日射量的改變，並不呈瞬時的反應，集熱板與貯熱卵石的熱含量於系統內造成緩衝的作用，使溫度的起伏，不立即隨日射量的改變而變。計算所得溫度之曲線與實際溫度之曲線間的差異較大。

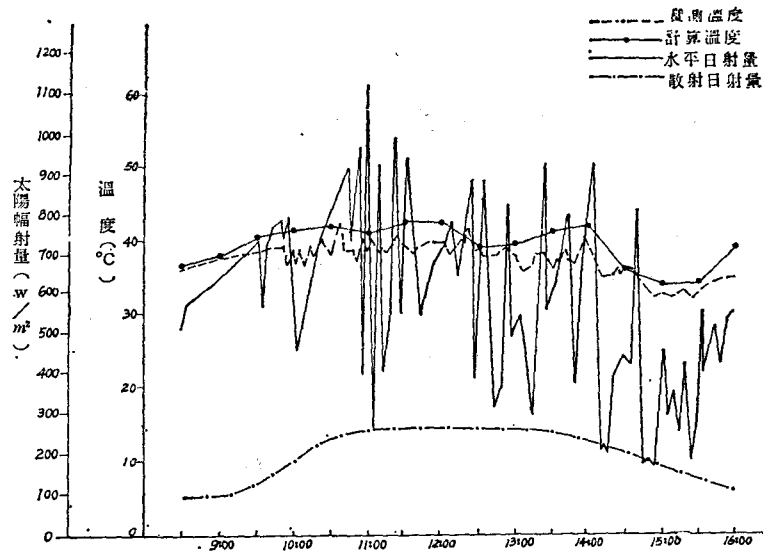
由計算的溫度值與實測溫度值之間的差異，以最小平方和法，求得每日計算值與實測值之標準差，其結果列於表一。表一顯示，當天氣晴朗時，室內空氣流動量愈大，其標準差愈小(圖十一)，此乃因為當室內空氣流量增加後，室內之溫度隨之降低，而由熱傳導所損失的能量亦相對的降低，故所計算之溫度亦愈準確。當多雲或陰天時，室內空氣流量之變化與標準差之間，並無明顯的相對關係。

由於 h_i 值隨 ΔT 的 0.25 次方而變，故一次所求得之 h_i 值與實際之 ΔT 值所求得之 h_i 值的差異甚微，對於熱對流損失的計算並無影響。

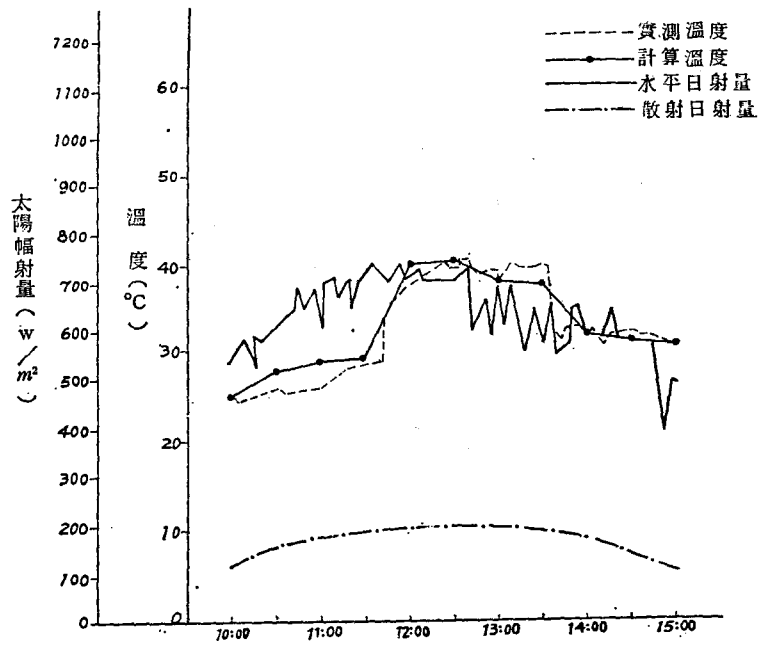
經簡化的熱平衡方程式係忽略了由集(吸)熱板(絕緣板)傳去之熱也忽略了纖維玻璃板，集熱板等本體之熱含量之影響。這也說明了為何預估溫度大部較實測溫度為高之原因。當然，將上述忽略因素均列入考慮，則可求得更精確預估之值。然而，簡化之熱平衡方程式可以迅速預估此複雜系統內之空氣溫度。



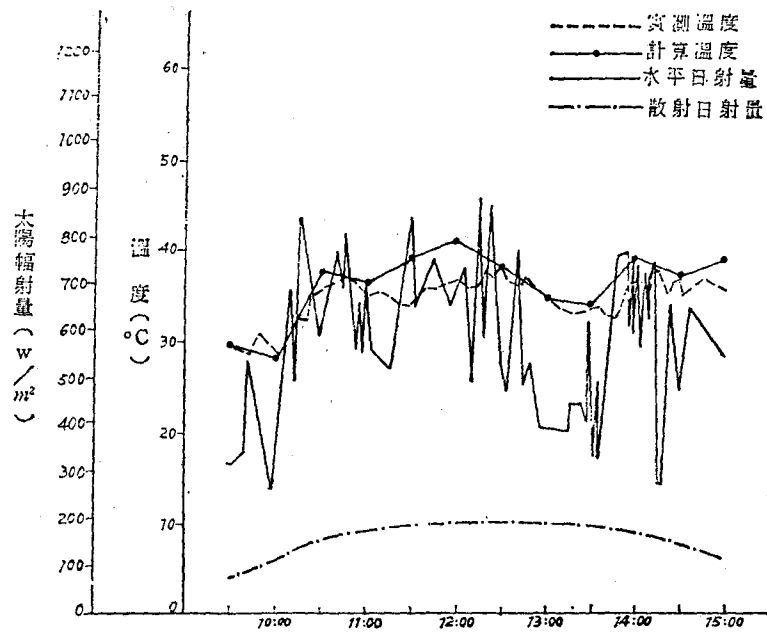
圖六 二月廿五日太陽輻射量與室內空氣溫度



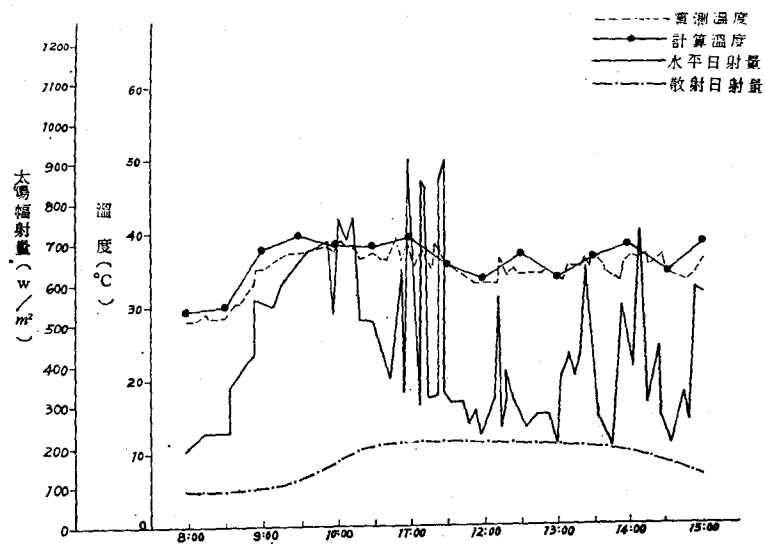
圖七 二月廿八日太陽輻射量與室內空氣溫度



圖八 三月一日太陽輻射量與室內空氣溫度



圖九 五月二日太陽幅射量與室內空氣溫度



圖十 五月三日太陽幅射量與室內空氣溫度

表一、預估溫度與實測溫度之標準差

單位：°C

2/25	Ti	預估值	誤差	平方
9:30	49	43.4	-5.6	31.36
10:00	46	40.8	-5.2	27.04
10:30	54	60.1	6.1	37.21
11:00	57	59.5	2.5	6.25
11:30	60	61.5	1.5	2.25
12:00	60.5	63.5	3.0	9.0
12:30	62.0	65.0	3.0	9.0
13:00	62.0	64.5	2.5	6.25
13:30	62.5	63.8	0.3	0.09
14:00	60.0	61.7	1.7	2.89
14:30	60.0	58.7	-1.3	1.69
15:00	55.5	55.0	-0.5	0.25

和 133.31
平均 11.1
標準差 3.33

3/1	Ti	預估值	誤差	平方
10:00	25.0	25.2	0.2	0.04
10:30	26.0	27.8	1.8	3.24
11:00	27.0	29.0	2.0	4.0
11:30	28.5	29.5	1.0	1.0
12:00	37.5	39.6	2.1	4.41
12:30	39.5	40.0	0.5	0.25
13:00	38.5	37.8	-0.7	0.49
13:30	39.5	37.4	-2.1	4.41
14:00	32.0	32.0	0	0.01
14:30	31.0	31.2	0.2	0.04
15:00	30.5	30.6	0.1	0.01

12:00-13:30 和 9.56
平均 2.39
標準差 1.55

10:00-11:30 及 14:00-15:00 和 8.34
平均 1.19
標準差 1.09

2/28	Ti	預估值	誤差	平方
9:30	29.0	29	0.5	0.25
10:00	29.0	28.2	-0.8	0.62
10:30	36.0	37.7	1.7	4.89
11:00	35.0	36.5	1.5	2.25
11:30	35.0	39.3	4.3	18.49
12:00	37.0	40.9	3.9	15.21
12:30	38.0	38.2	0.2	0.04
13:00	35.0	34.6	-0.4	0.16
13:30	33.0	34.0	1.0	1.0
14:00	37.5	39.0	1.5	2.25
14:30	37.0	37.6	0.6	0.36
15:00	35.5	39.1	3.6	12.96

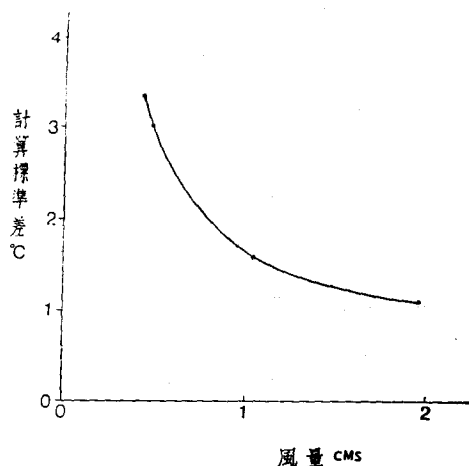
和 56.5
平均 4.71
標準差 2.17

5/2	Ti	預估值	誤差	平方
8:30	35.5	36.4	0.9	0.81
9:00	37.0	37.7	0.7	0.49
9:30	38.0	40.0	2.0	4.0
10:00	38.0	41.1	3.1	9.61
10:30	39.0	41.8	2.8	7.84
11:00	39.0	40.9	1.9	3.61
11:30	39.0	42.1	3.1	9.61
12:00	39.0	42.0	3.0	9.0
12:30	38.0	38.9	0.9	0.81
13:00	38.0	39.1	1.1	1.21
13:30	36.5	40.9	4.4	19.36
14:00	38.0	41.9	3.9	15.21
14:30	35.0	35.9	0.9	0.81
15:00	38.0	33.7	0.7	0.49
15:30	34.0	34.1	0.1	0.01
16:00	35.0	38.7	3.7	13.69

和 96.56
平均 6.04
標準差 2.46

5/3	Ti	預估值	誤差	平方
8:00	28.0	29.3	1.3	1.69
3:30	28.5	29.9	1.4	1.96
9:00	35.0	37.6	2.6	6.76
9:30	37.5	39.7	2.2	4.84
10:00	38.0	38.4	0.4	0.16
10:30	37.0	38.2	1.2	1.44
11:00	39.0	39.3	0.3	0.09
11:30	35.0	35.2	0.2	0.04
12:00	33.0	33.7	0.7	0.49
12:30	34.5	37.0	2.5	6.25
13:00	34.0	33.7	-0.3	0.09
13:30	36.0	36.5	0.5	0.25
14:00	36.0	38.0	2.0	4.0
14:30	34.5	34.5	0.0	0
15:00	36.0	38.4	2.4	5.76

和 33.82
平均 2.25
標準差 1.5



圖十一 風量變化與計算標準差之關係

六、結論與建議

在良好天氣情況下，應用簡化熱平衡方程式，可迅速而有效的預估太陽能乾燥系統內乾燥熱風的溫度，尤當室內空氣流量愈大時，計算溫度愈近於實測溫度。

在多雲或陰天天氣，以簡化熱平衡方程式計算太陽能乾燥系統內乾燥熱風之溫度所得的結果與實測的溫度差異較大。

風量的變化不但影響標準差的大小，也關係到整個系統之效率。因之有更詳盡的分析，當更有助於此一系統之改良與操作。

太陽能乾燥系統之貯熱裝置的功能，及該系統在夜間運轉時之熱傳分析，仍有待進一步之研究，俾使此一系統之熱傳分析更趨完備，以利改良。

參考文獻

1. 張漢聖：太陽能烤菸（稻）系統之研究實驗。1977. 農工學報 V. 23. No.
2. 徐明同、陳正改、林蘭貞：臺灣氣象與太陽能發展之關係。能源季刊，6 卷 2 期。
3. K. Garzoli; J. Blackwell. 1973. The response of a glasshouse to high solar radiation and ambient temperature. J. A. E. R. 18, 205-216.
4. M. J. Maher; T. O'Flaherty. 1973. An analysis of greenhouse climate. J. A. E. R. 18, 197-203.
5. Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan. 1963. A rational procedure for predicting the long-term average performance of flat plate solar energy collectors. Solar Energy, 40 (3) 142-151.
6. Threlkeld, J.L. 1962. Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hill Inc. Englewood Cliffs. Chap. 14. P. 309-334.
7. Ozisik, M. N. 1973. Radiative transfer and interactions with conduction and convection. John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y.
8. J. L. Threlkeld; Solar irradiation of surface on clear days. ASHRAE paper No. 1804. 1963.
9. Whillier, A. 1964. Performance of black-painted solar air heater of conventional design. Solar Energy 8(1):31-37.
10. Hodges, C. N., et al. 1966. Solar distillation utilizing multiple effect humidification. Final Report. The University of Arizona Solar Energy Laboratory of the Institute of Atmospheric Physics.
11. ASHRAE. [1967. ASHRAE Handbook of Fundamentals. ASHRAE, Inc. New York, N. Y. (下文轉第 4 頁)