

## 專 論

# 鋼皮圓筒倉頂改成無蓋式太陽能 空氣加熱器可行性之研究

## Design and Simulation of Bare Plate Solar Air Heater on the Roof of A Steel Circular Bin

國立臺灣大學農機系教授

張 漢 聖

Hang-Sun Chang

### 摘 要

爲利用鋼皮圓筒倉頂之太陽能作爲預熱乾燥空氣用途，倉頂改裝成太陽能收集器，其透明蓋不論使用省產塑膠布或是纖維玻璃板，均不耐久，如採用特殊玻璃則不合經濟條件。假如倉頂採用無蓋式太陽能空氣加熱器之設計，則有望免除上述缺點。

由構成的模擬熱流網路分析顯示，倉頂無蓋式太陽能收集器之熱效率在外界風速爲2m/s時仍有50%，明顯已具可行性，值得作進一步試驗研究。

### ABSTRACT

The roof of a steel circular bin was assumed to be modified as a bare plate solar air heater. The computer model was developed to simulate the performance of the roof.

The results from the computer model showed that the bare plate solar collector was a workable design for the application of solar energy for in-storage grain drying in Taiwan.

### 一、前 言

筆者前曾參與利用鋼皮圓筒倉頂太陽能之利用研究<sup>(4)</sup>，建議倉頂加裝外繫黑漆鋁薄管多支作爲集熱體，外面則覆以透明塑膠布，如此設計，初步試驗結果顯示，利用倉頂太陽能效果尚佳。惟目前省產透明塑膠布耐用性差，快則一年需更換一次，雖花費不多，但如圓筒倉之高度甚大時，欲更換塑膠布則可以想見必定十分困難，如採用一般省產纖維玻璃板，透光率低，壽命亦不長，又如用特殊玻璃如太陽能熱水器所採用者，則價格高昂，不符經濟條件。筆者常思以是否有更佳方法，解決此項問

題，爲本研究之主要動機。

鋼皮圓筒倉兼作雜糧乾燥用途時，倉內空氣溫度高達50°C~80°C，而倉頂由薄鋼板構成，熱能甚易外流，因之倉頂如能改裝成一種太陽能空氣加熱器，一方面利用入射的太陽能，另一方面又能將倉內外流的熱能回收重復利用，且裝設之後，不虞損壞，壽命與圓筒倉相同，豈不更佳。基於以上考慮，筆者認爲無蓋式太陽能空氣加熱器的設計值得一試。

無蓋式太陽能空氣加熱器可由原倉頂鐵板與其上再加上一層鐵板構成，外層鐵板無透明蓋。二層鐵板間即是空氣流徑，流入倉內空氣將受到二層鐵

板的預熱，但是外層鐵板因無透明蓋直接暴露於大氣中易受風吹而致散失熱能。究竟其性能與外界條件間的互動關係如何以及是否合乎經濟效益條件乃是本研究所要探討的。

## 二、設計及模擬分析

### 一、倉頂無蓋式太陽能空氣加熱器之設計

本研究仍以裝設於臺大農機系內的小型鋼皮圓筒倉為研究對象。該圓筒倉高2.2公尺，直徑5.5公尺，倉頂面積約為 29 m<sup>2</sup>。圓筒倉配有二組火爐及鼓風機，每組 1 馬力，風量 120 CMM（靜壓為 25 mm Ag）。

為利用倉頂太陽能，倉頂如改裝成無蓋式太陽能空氣加熱器，其設計示意圖請參見圖1。無蓋式太陽能空氣加熱器為二層鐵板構成，外面漆以黑漆，上下二層鐵板相距 0.15 m。倉頂集熱面積以 29 m<sup>2</sup> 計算，空氣流量最大 240 CMM，設計空氣流速 3 m/s~5 m/s<sup>(12)</sup>。

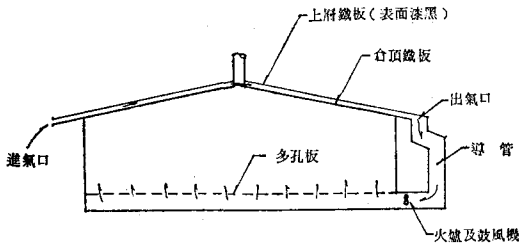


圖1. 鋼皮圓筒倉頂改成無蓋式太陽能空氣加熱器示意圖

### 二、模擬分析方法

以熱流網路 (Energy flow Network) 分析倉頂無蓋式太陽能收集器之熱傳 (圖2.)。圖2. 中所標示的符號說明如下：

- $T_a$  : 圓筒倉周圍大氣溫度，°C
- $T_s$  : 天空溫度，°C
- $T_p$  : 上層鐵板溫度，°C
- $T_r$  : 倉頂鐵板溫度，°C
- $T_b$  : 倉內空氣溫度，°C
- $T_i$  : 進氣口空氣溫度，°C
- $T_o$  : 出氣口空氣溫度，°C
- $h_w$  : 風與上層鐵板間的對流係數，w/m<sup>2</sup>°C
- $h_{r,ps}$  : 上層鐵板與天空間的輻射熱傳係數，w/m<sup>2</sup>°C
- $h_{r,pr}$  : 上層鐵板與倉頂間的輻射熱傳係數，

w/m<sup>2</sup>°C

$h_{c,pt}$  : 上層鐵板與流經其下空氣間的對流係數，w/m<sup>2</sup>°C

$h_{c,rf}$  : 倉頂與流經其上空空氣間的對流係數，w/m<sup>2</sup>°C

$h_{c,br}$  : 倉內空氣與倉頂間的對流係數，w/m<sup>2</sup>°C

$M$  : 空氣質量流率，kg/s

$A$  : 倉頂集熱面積，m<sup>2</sup>

$I$  : 日射量，w/m<sup>2</sup>

$\alpha_p$  : 上層鐵板的太陽能級收率 (0.9)

$C_p$  : 空氣比熱，J/kg°C

$q_u$  : 有用能量，w/m<sup>2</sup>

根據熱流網路寫成 Basic 程式，輸入  $T_a, I$ ，風速， $T_b$  及  $M$  即可求出  $T_p, T_r, T_f, T_o$ 。有了  $T_o$ ，太陽能空氣加熱器的熱效率 (thermal efficiency) 即可求出。

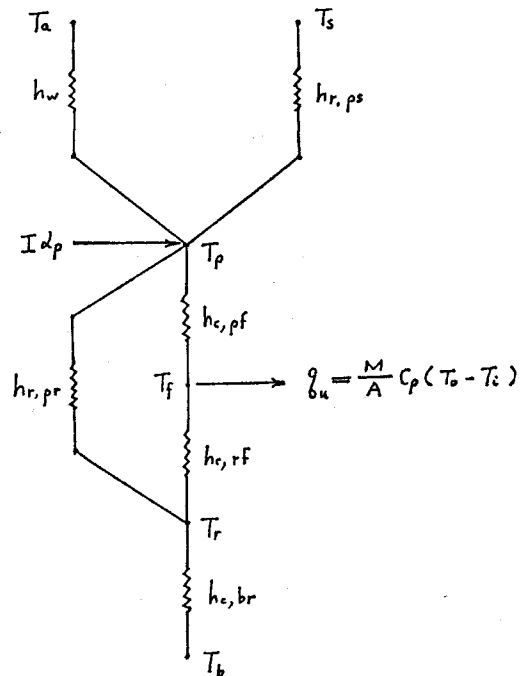


圖2. 無蓋式太陽能空氣加熱器之模擬熱流網路

模擬分析所用的重要係數有鐵板與空氣流間的對流係數  $h_{c,pt}$  與  $h_{c,rf}$  係根據下式求得<sup>(7)</sup>。

$$Nu = 0.0158 Re^{0.8}$$

$$h_c = \frac{KNu}{D_h}$$

上式中  $N_u, R_e, K, D_h$  分別為紐賽特數、雷諾數、導熱度及水力直徑。

上層鐵板暴露於大氣中，其對流係數，係根據下式計算<sup>(7)</sup>

$$h_w = \begin{cases} 5 & \text{當 } V = 0 \\ 2.8 + 3.0V & \text{當 } V > 0 \end{cases}$$

上式中  $V$  (m/s) 為外界風速。

天空之溫度，則用下式推估<sup>(7)</sup>

$$T_s = 0.0552T_a^{1.5}$$

### 三、結果與討論

臺大農機系內的小型圓筒倉倉頂如改裝成無蓋式太陽能收集器，其性能以熱流網路模擬，可得結果如下。

#### 一、熱效率

無蓋式太陽能空氣加熱器由於集熱板 (absorber) 無透明蓋，最忌風吹而散失熱量，因之，首要了解，外界風的速度對其熱效率所造成的影響。一般太陽能利用器具其熱效率的高低比較多以中午正照時分測定為準。茲選取臺北冬夏二季典型的某日中午日射量及大氣氣溫為例，則外界風速與無蓋式太陽能空氣加熱器熱效率間的關係如圖 3 所示。圖 3. 亦假定倉內溫度為  $60^\circ\text{C}$  與加熱器內空氣流速為  $4 \text{ m/s}$ 。

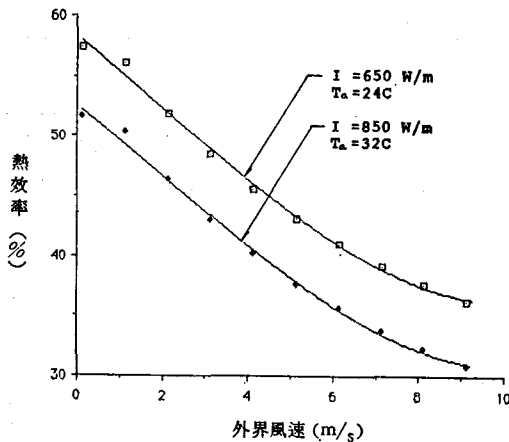


圖 3. 外界風速與熱效率之關係

圖 3. 顯示冬季當外界風速由 0 漸漸增大至  $9 \text{ m/s}$ ，熱效率由  $57\%$  降至  $36\%$ ，夏季時分熱效率值稍下降些。果然，無蓋式太陽能收集器之熱效率與外界風速的關係相當密切。換言之，無蓋式太陽

能收集器是否適用，應先了解當地的風速。臺灣除新竹與澎湖久享多風盛名，其他地區並非多風。筆者曾在臺北、臺中霧峯、臺南義竹所作的風速測定顯示多在  $2 \text{ m/s}$  左右，由圖 3. 可知採用無蓋式太陽能空氣加熱器可望有  $50\%$  左右的熱效率，此種熱效率應該可以接受。

又由模擬分析顯示，倉內空氣溫度影響太陽能收集器熱效率亦大。請參看圖 4.，圖 4. 係假設  $I = 650 \text{ W/m}^2$ ;  $T_a = 24^\circ\text{C}$ ; 空氣流速  $4 \text{ m/s}$ 。以外界風速  $2 \text{ m/s}$  為例，當倉內溫度為  $80^\circ\text{C}$  時熱效率為  $67\%$  而當倉內溫度為  $50^\circ\text{C}$  時熱效率為  $47\%$  兩者相差頗大，由此可知，無蓋式太陽能收集器確實具有將倉頂散出之熱能於回收之功能，所以倉內溫度愈大則熱效率愈高，換言之，圓筒倉頂如改裝成無蓋式太陽能空氣加熱器，不只利用日照能且亦能善用倉內外流的熱能，一舉兩得。

此外，太陽能收集器內的空氣流速與熱效率的關係請參見圖 5.，圖 5. 係假設  $I = 650 \text{ W/m}^2$ ;  $T_a = 24^\circ\text{C}$ ;  $T_b = 60^\circ\text{C}$ ; 外界平均風速  $2 \text{ m/s}$ 。

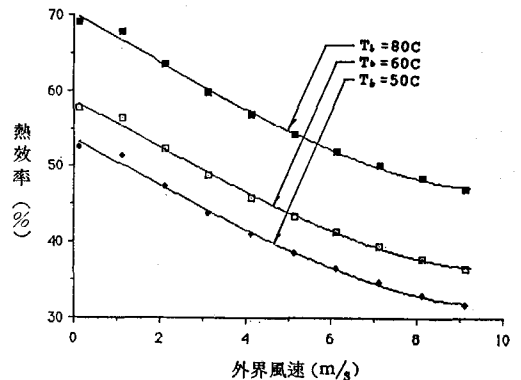


圖 4. 外界風速、倉內溫度與熱效率之相互關係

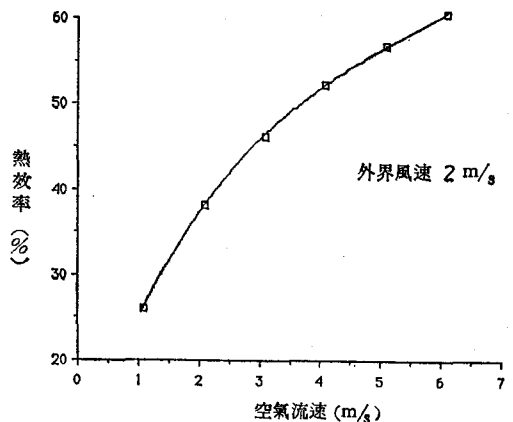


圖 5. 空氣流速與熱效率之關係

由圖5.，當太陽能收集器內的空氣流速由1增大至6m/s時，則熱效率由25%增大至60%。先前已說明設計空氣流速為3~5m/s，則通常熱效率預期當在50%左右。由圖5.可知提高空氣流速（流量）有助於提高加熱器的熱效率，但不能忽視也加重了鼓風機的負荷。

## 二、集熱量與經濟效益

本省倉貯設備多集中在中南部。假設該小型圓筒倉裝設在高雄地區，依據張鏡湖等之研究報告「臺灣地區太陽能輻射量資料分析之研究」<sup>(3)</sup>，則高雄地區的全天日射量平均為430 cal/cm<sup>2</sup>/day。倉頂無蓋式太陽能收集器在風速平均為2m/s時約為50%，以此推估倉頂年平均集熱量約為22.76×10<sup>6</sup>Kcal，轉換成柴油並考慮一般燃燒爐的熱效率以50%計算，同時柴油以每公升11元計算，則倉頂年平均集熱量之價值相當於5萬8千餘元。而倉頂改裝成無蓋式太陽能收集器經向廠商詢價約需8萬元，此亦屬初次試作價格。筆者以為無蓋式太陽能收集器其壽命與鋼皮圓筒倉相同約為20年以此漫長歲月，投下之太陽能設備成本收回應無問題。同時，推廣利用太陽能不應侷限於從節省燃油成本方面來考慮更重要的功能是節省燃油消耗，減少了環境污染，減少我國對進口燃油的依賴程度才是值得強調與重視的。

## 參 考 文 獻

1. 張漢聖、李庭槐。1978。溫室型太陽能乾燥系統室內空氣溫度之預估。中國農業工程學報，24(4):42-51。
2. 張漢聖、顏欽崇。1981。圓筒式太陽能乾燥機之研究。中國農業工程學報，27(2):40-47。
3. 張鏡湖、鄭師中、劉明揚。1986。臺灣地區太陽能輻射資料分析之研究。中華民國太陽能學會第六屆年會暨學術研討會論文集，pp. 15-47。
4. 張漢聖、蕭介宗。1987。鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計研究。中國農業工程學報，33(2):40-44。
5. 黃山樵。1987。屋脊式太陽能集熱器性能之模擬與研究。國立臺灣大學碩士論文。
6. 陳輝光。1988。圓筒倉頂鋁管太陽能收集器之性能分析。國立臺灣大學碩士論文。
7. Duffie, J.A. and W. A. Beckman. 1980. Solar engineering of thermal processes. Wiley, New York.
8. Ozisik, M. N., B. K. Huang and M. Toksoy. 1980. Solar grain drying. Solar Energy 24, 397-401.
9. Parker, B.F., D.G. Colliver and L.R. Walton. 1985. Prediction of solar air heater thermal performance. Transaction of the ASAE 28(3):932-936.
10. Rhee, S.J. and D.K. Edwards. Comparison of test results for flat-plate, transpired corrugated solar air heaters. Journal of solar Energy Engineering, Vol. 105 (8), pp. 231-235.
11. Selcuk, M.K. 1977. Solar air heaters and their applications in solar energy engineering, pp. 155-182. Academic Press, New York.
12. Low Temperature and Solar Grain Drying Handbook. 1980. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.

專營土木、水利、建築等工程

建 豐 土 木 包 工 業

負責人：張 建 榮

地址：宜蘭市軍民路二巷56號 電話(039)51589