

鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計研究

Design and Testing of the Solar Air Heater Mounted 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

國立臺灣大學農機系教授兼主任

蕭 介 宗

Jai-Tsung Shaw

摘 要

鋼皮圓筒倉在本省僅作貯存穀物用途；然而在本省圓筒倉頂日照多，本研究探討將其設計成太陽能收集器，預熱流入倉內之空氣，兼作乾燥用途之可行性。

為配合倉頂圓形之結構，以有皺褶的鋁薄管與透明塑膠布組成簡易低成本高效率的太陽能空氣加熱器。

根據測試及由本省各地年平均日射量資料推估顯示，在臺灣利用圓筒倉頂太陽能已具經濟效益值得進一步開發。

Abstract

At the present, Steel bins are only used to store grains. However, there are plenty of solar energy on the top of grain tanks in Taiwan. This paper investigates the feasibility of designing a solar collector mounted on the roof to preheat the ambient air for in-bin grain drying system.

To match with the round shape of roof structure, the solar collector is consisted of 24 corrugated aluminum tubes as heat exchangers and a transparent plastic film as a cover. As a result, the collector is a very simple, economic, and efficient preheater.

Based on the experimental data and average daily solar radiation data in Taiwan, the performance of the solar collector has the high potential for further development, particularly in the southern Taiwan.

一、前 言

鋼皮圓筒倉在本省僅作貯存穀物用途。如將鋼皮圓筒倉設計兼作乾燥用途^(4,5)，以其容積大為一般乾燥機之數倍，可望降低穀物乾燥成本，且乾燥後之穀物亦不必急於搬走，「就地貯存」，一舉兩

得。且圓筒倉之外壁暴露於日照之下，亦可將日照之能加以收集作為內部穀物乾燥之用，以減少圓筒倉兼作乾燥用途時所消耗的燃油量^(2,3)。

本研究以已裝設在臺大農機系內空地上的鋼皮圓筒倉為對象。經多次觀測，圓筒倉的外壁以倉頂日照最多溫度最高，故決定將倉頂改成太陽能收集

裝置以預熱流入倉內的空氣。

遍查有關文獻尚無將圓筒倉之圓型倉頂改成太陽能收集器之先例⁽¹⁴⁾，故如何設計一低成本高效率的圓形太陽能收集裝置頗費一番心思。

本研究旨在探討鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計，熱效率及經濟效益以作為將來繼續發展之參考。

二、材料與方法

1. 鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計

已裝設於臺大農機系內之鋼皮圓筒倉高 2.2 公尺，圓筒直徑 5.5 公尺，倉頂蓋面積直徑 6.1 公尺。倉頂設有六個排氣口，附防雨護罩；中央有穀物輸入管。圓筒倉之南方側面有穀物進出口，東方側面並列二組火爐及穀風機（每組 1 馬力，靜壓 25mm Ag, 120CMM）

臺灣地處低緯度亞熱帶，夏季日光近乎直射。日間圓筒倉之各處溫度及吸收之太陽能，經多次觀測，以倉頂為最高最多，故決定改裝倉頂作為太陽能收集裝置——太陽能空氣加熱器。

太陽能空氣加熱器之設計一般可以歸納成二大類，其一為無孔集熱板者(Collectors with non-porous absorber plates)。集熱板為平面或加裝許多鱗片或成規則之波浪形狀，空氣流經集熱板之上面或下面或上下面。其二為具多孔集熱板者(Collectors with porous absorbers)，集熱板內許多小片組成或成網狀、海綿狀，空氣流經並穿過集熱板。據研究⁽¹¹⁾顯示，具多孔集熱板之太陽能空氣加熱器其熱效率優於無孔集熱板者。然而又據研究⁽⁶⁾指出多孔集熱板之效率隨時間而大幅遞減。筆者認為係由於多孔集熱板其網狀孔隙易於累積灰塵而致吸收太陽能效率銳減之故，此亦為多孔集熱板不可避免之缺點。由此推論，無孔集熱板太陽能空氣加熱器其空氣流經集熱板下面者，應為較佳設計，如此則集熱板上表面與透明蓋之間形成靜上空間(Dead Space)無灰塵累積之虞，則集熱板表面之黑體處理性能可望長久不變。本研究把握上述原則。此外，集熱面積宜愈大愈佳以吸收更多之太陽能，但必須兼顧強度及成本。

茲將本研究設計之倉頂太陽能收集裝置要點說明如下：

1. 加裝三夾板延伸頂蓋面積之直徑由 6.1 公尺

至 7.5 公尺，如此，一方面增大倉頂面積為 45 平方公尺增加太陽能之收集量，另一方面則可產生遮蔭作用不使圓筒倉側面暴露於烈日之下，使倉壁之溫度不致過高而有害倉內穀物之品質。

2. 除去六個排氣口之防雨護罩，倉頂覆加一層三夾板與原倉頂相距 5 公分。板面髹以黑漆，作為太陽能之吸熱面，並隔絕熱能往下傳送，同時引導排氣經夾板與倉頂鐵板之間隙向外流放(圖 1)。

3. 已漆成黑色之倉頂排列 24 支東西走向鋁薄管(直徑 15 公分，厚度 0.01 公分，每支長度約 8 公尺，有皺褶，表面漆黑)。鋁薄管上面覆以 0.03 公分厚之透明塑膠布。鋁薄管有較佳吸熱能力，皺褶可以提升熱傳係數，且空氣流經管內不會污染管外吸熱黑體。鋁薄管亦作為透明柔軟的膠塑布支撐之用，以簡化構造成本(圖 1)。

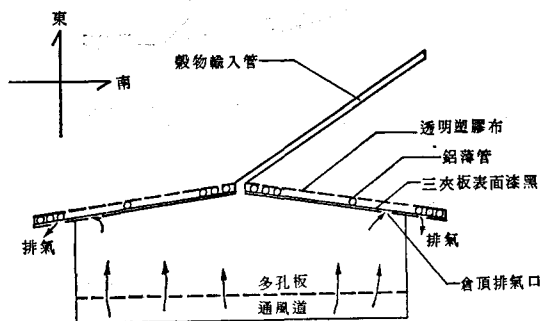


圖 1 鋼皮圓筒倉頂改裝成太陽收集裝置示意圖

4. 倉頂蓋東西兩端開出氣口、進氣口各二，進氣口與出氣口之面積為 0.4 平方公尺(圖 2)，設計風速 5m/s 以下。出氣口處以導管與火爐進氣口相連結。

外氣由進氣口流入倉頂經太陽能加熱之後由出氣口排出，經導管引入火爐而流入倉內。當太陽能轉弱或欠缺時由火爐彌補熱能之不足(圖 3)。

良好之太陽能收集裝置其四周應開闊，無建築物阻礙太陽能之吸收，而本研究選就已裝設之圓筒倉，其相鄰之西南角有大樹，西側又有斗升機機架設備，所產生的陰影在午後漸漸擴大影響倉頂太陽能之吸收。

2. 測試儀器與測試方法

(1) 空氣溫度之測定

空氣溫度包括大氣溫度，進氣口空氣溫度，出

氣口空氣溫度，由Data logger (Model 3020T, Electronic Controls Design Co., U. S. A.) 每半小時自動記錄一次。

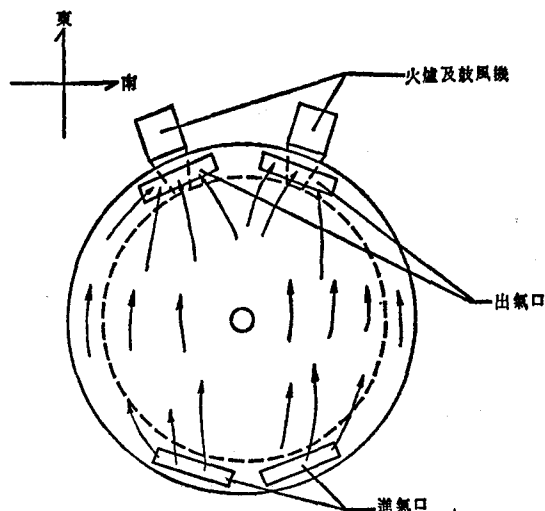


圖2 太陽能收集裝置進氣口與出氣口之位置示意圖

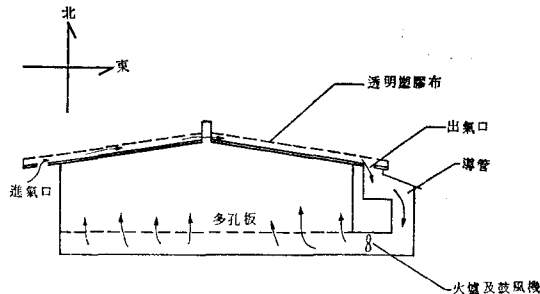


圖3 外氣進入倉內前之流徑示意圖

(2) 空氣流量之測定

流經太陽能收集裝置的空氣流量用 Rotating Vane Anemometer (model Edra Five, Airflow Developments Limited, England) 直接讀出。

(3) 日射量之測定

安裝一 Black and White Pyranometer (Model 8-48, Epply Laboratory INC., U. S. A.) 在臺大農機館頂層平臺上，Pyranometer 連結 Strip chart Recorder 連續記錄當日水平日射量。

三、理論分析

圓筒倉頂太陽能收集裝置為太陽能空氣加熱器 (Air-type Solar collector) 之一種，其熱效率 (Thermal efficiency) 為其有用能 (Useful thermal energy) 與照射能 (Total incident solar energy) 之比，可用下式表示^(7,11)，

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_t} = \frac{mC_p(T_o - T_i)}{A_c I} \quad (1)$$

又依據 Hottel-Whillier-Bliss Equation, 太陽能收集器之熱效率亦可寫成，

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (2)$$

相等以上二式得，

$$T_o - T_i = \Delta T = \frac{A_c F_R(\tau\alpha)_e I}{mC_p} - \frac{A_c F_R U_L (T_i - T_a)}{mC_p} \quad (3)$$

當 $T_i = T_a$ 時，

$$\Delta T = \frac{A_c F_R(\tau\alpha)_e I}{mC_p} \quad (4)$$

用式(4)，以 ΔT 為 Y 軸之值，以 I 為 X 軸之值，所給成之直線與斜率即為 $A_c F_R(\tau\alpha)_e / mC_p$ 。已知斜率 A_c 、 m 、 C_p ($\tau\alpha$)。則可求得該太陽能收集器之熱轉移因數 (F_R , Collector Heat Removal Factor)。 F_R 是太陽能收集器設計考慮之重要因子。 F_R 代表了此太陽能收集器將所收集之熱傳遞至媒介流體 (一般為水或空氣) 之能力。

四、結果與討論

鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計製作自七十五年夏開始歷經半年餘時間才完成。幾經測試，茲選取七十六年一月二十三日之數據予以分析討論如下。

七十六年一月二十三日所記錄之數據，參照前述公式予以整理，列於表 1，並將資料繪成圖 4。

表 1 顯示，倉頂太陽能收集裝置的熱效率約為 75%，換言之，照射於倉頂的太陽能約有 75% 轉變成有用能用之於預熱流入倉內的空氣。

表 1，太陽能強度，空氣溫度與效率（七十六年一月二十三日）*

時 間	T _a (C)	T _i (C)	T _e (C)	I (w/m ²)	Q _u (w)	η (%)
09:00	18	18	24	374.0	11938.2	69.7
09:30	19	19	26	429.0	13927.9	70.9
10:00	20	20	29	594.1	17907.3	65.8
10:30	21	21	31	550.1	19897.0	79.0
11:00	22	22	32	583.1	19897.0	74.5
11:30	23	23	34	649.1	21886.7	73.6
12:00	24	24	35	550.1	21886.7	86.9
12:30	24	24	34	572.1	19897.0	75.9
13:00	24	24	33	495.0	17907.3	79.0
13:30	25	25	34	506.1	17907.3	77.3
14:00	26	26	35	462.0	17907.3	84.6
14:30	26	26	34	451.0	15917.6	77.1
15:00	26	26	33	418.0	13927.9	72.7

- * 1.外界風速：1.67m/s
- 2.空氣流量：1.97m³/s

由圖 4，可知出氣口與進氣口空氣溫差與太陽能強度所成的直線關係其相關係數約為 0.9，此迴歸直線公式為

$$T = 0.0175I \quad (5)$$

式(5)之斜率為 0.0175 代入式(4)可求得 $F_R \approx 0.83$ ，至此確證倉頂太陽能收集裝置具有高效率。

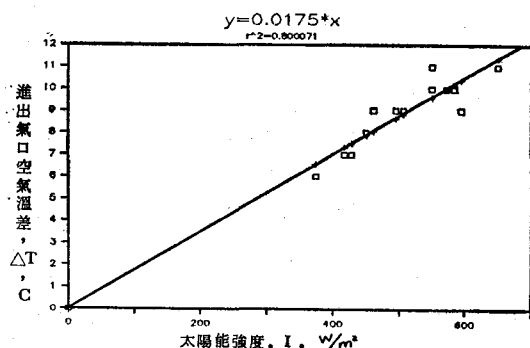


圖 4 太陽能強度對進出氣口空氣溫差之影響

既已知倉頂太陽能裝置之熱效率，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」⁽¹⁾試推估倉頂太陽能裝置在本省不同地區平均每年所收集之有用能（參見表 2）。

表 2，倉頂太陽能收集裝置之推估年平均集熱量

地 區	全天日射量 (Cal/cm ² /day)	一年累積 有用能 (×10 ⁶ kcal/ year)	一年累積有用 能相當柴油量 (ℓ/year)
臺 北	280	34.49	~3900
臺 中	360	44.35	~5000
嘉 義	390	48.04	~5400
高 雄	430	52.97	~5900

由表 2，可知倉頂太陽能裝置如在高雄地區則一年所收集的熱量相當於 5900 公升之柴油，在嘉義地區則略遞減為 5400 公升，在臺中地區則為 5000 公升，在臺北地區較差約為 3800 公升，幸好本省主要農業區在中南部亦為乾燥倉儲設備集中地區。

再由表 2，圓筒倉如在高雄地區，假設一年有一個月期間兼作乾燥玉米或其他穀物，則平均約可節省 490 公升之柴油，每公升柴油以市價 11 元計，則可節省約 5400 元。假如一年中有二個月從事兼作乾燥作業，則可節省 10800 元，以此類推，其他地區依此估計。而製作倉頂太陽能收集裝置之成本約為 25000 元。以高雄地區為例假如圓筒倉兼作乾燥

用途一年中只有一個月作乾燥用則需5年收回成本，如一年中有二個月從事乾燥作業，則回收成本的期間僅需二年多。因此，為利用照射於圓筒倉壁上之太陽能作乾燥倉內穀物用途將圓筒倉頂改裝以簡易低成本高效率之太陽能收集器在經濟效益上證明是可行的。無疑，利用太陽能之時間累積愈多，愈有利於太陽能裝置之投入。此外，太陽能收集器也可隔絕太陽輻射能，降低倉溫，增加鋼皮圓筒倉之儲存性能。雖然如此，在可能被推廣使用前，進一步的研究仍有必要。

符 號 說 明

- A_c : 太陽能收集裝置之面積, m^2
 C_p : 空氣比熱, J/kgC
 F_R : 太陽能收集器熱轉移係數
 I : 日射量 (太陽能強度), W/m^2
 m : 空氣流量, kg/s
 Q_u : 有用能量, W
 Q_t : 總入射能量, W
 T_a : 大氣溫度, C
 T_o : 出氣口空氣溫度, C
 T_i : 進氣口空氣溫度, C
 $(\tau\alpha)_e$: 有效穿透率吸收率乘積
 U_L : 熱損失係數, W/m^2
 η : 熱效率

謝 啓

本研究經費承臺灣區雜糧發展基金會補助，又承該會朱組長永康黃專員龍森時予鼓勵關切，在此敬致深謝。又在研究期間承臺大農機系陳世銘博士及賈精石先生，研究助理周國華及學生賴威宏協助尤多，在此一併致謝。

參 考 文 獻

1. 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。
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。
4. 蕭介宗。1984。平底圓筒鋼皮倉的設計和應用。中國農業工程學報，30(2): 90—117。
5. 蕭介宗。1986。鋼皮及水圓泥筒倉用於儲存進口玉米之研究。中國農業工程學報，32(1): 8—35。
6. Bharadwaj, S. S., D. Singh and N. K. Bansal. 1981. Design and thermal performance of a matrix solar air heater. Energy Conservation and management Vol. 21, pp. 253—256.
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. Collier 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. Henderson, S. M. and C. V. Khe. 1978. Performance of a matrix solar collector for heating air. ASAE paper No. 75—3005.
13. Ward, D. S. 1980. Operating thresholds of solar collection system. Transaction of the ASME Vol. 103(2), pp-72.
14. Low Temperature and Solar Grain Drying Handbook. 1980. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, Iowa. U. S. A.