行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

太陽能驅動式滲透蒸發程序與薄膜蒸餾程序於有機廢水中的溶劑回收之研究

研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 96-2221-E-032-031-
執 行 期 間 ：96 年 08 月 01 日至 97 年 10 月 31 日
執 行 單 位 ：淡江大學化學工程與材料工程學系

計 畫 主 持 人 ：何啟東

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：李博鈞
碩士班研究生-兼任助理人員：陳衛樽
碩士班研究生-兼任助理人員：黃君維
碩士班研究生-兼任助理人員：葉劍蟬
碩士班研究生-兼任助理人員：王柏翔
博士班研究生-兼任助理人員：陳宗慶

報 告 附 件 ：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公 開 資 訊 ：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 98 年 01 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■ **成 果 報 告**
□**期中進度報告**

太陽能驅動式滲透蒸發程序與薄膜蒸餾程序於有機廢水中的溶劑回收之研究

計畫類別：■ 個別型計畫　　□ 整合型計畫
計畫編號：NSC 96－2221－E－032－031－
執行期間：96 年 08 月 01 日至 97 年 10 月 31 日

計畫主持人：何啟東
共同主持人：
計畫參與人員：陳宗慶、李博鈞、陳衛樽、黃君維、葉劍蟬、王柏翔。

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：■精簡報告　□完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：
■赴國外出差或研習心得報告一份
□赴大陸地區出差或研習心得報告一份
□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
□國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
□涉及專利或其他智慧財產權，□一年□二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學化學工程與材料工程學系

中　華　民　國　98 年 01 月 23 日

太陽能驅動式滲透蒸發程序與薄膜蒸餾程序於有機廢水中的溶劑回收之研究

Solvent recovery from organic waste via solar-driven pervaporation and membrane distillation processes

何啟東
淡江大學化學工程與材料工程學系
國科會研究計畫編號：NSC 96-2212-E-032-031

摘要：本研究所探討之太陽能熱電複合系統為一結合太陽能發電系統與太陽能空氣加熱器的新型太陽能收集系統，可將太陽輻射經由太陽能電池與吸收板轉換成電能及熱能兩種不同應用形式的能量，目的為提高能源使用效率及增加發電效率。本研究以多通道太陽能空氣加熱器作為理論推演的基礎，且考慮通道側邊之溫度分佈，得到精確的模擬結果。本研究所探討的設計及操作參數有：(一)在固定通道截面積下，改變通道設計形式；(二)流體質量流率；(三)流體進口溫度；(四)太陽輻射之入射量；(五)增設太陽能電池後對集熱器的集熱效率之影響。本研究以單通道太陽能空氣加熱器系統為比較之基準，計算出不同條件下之熱傳效果改善率及太陽能電池發電效率改善率。結果顯示，增加下通道之通道數及流體質量流率會使得集熱效率提升，此外，質量流率上升及進口溫度較低時，可獲得較佳之太陽能電池發電效率改善率。關於薄膜蒸餾部分，本研究探討以順流型平板式薄膜蒸餾模組進行 NMP+水之混合溶液分離之研究，利用二維的溫度分佈式以有限差分簡化法加上 Runge-Kutta 數值方法求解出通道內的溫度分佈，再加入 UNIFAC 法估計在不同溶液組成下，飽和溶液之飽和蒸氣壓組成，求得理論的 NMP+水混合溶液之分離效率。結果顯示，在高濃度 NMP 的組成下，會有一最佳的設備通道長度。

關鍵字：太陽能熱電複合系統；太陽能空氣加熱器；多通道平板型；熱傳效率改善；薄膜蒸餾；溶劑回收。

Abstract—The new solar hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) system with multi-pass rectangular flow ducts is designed to improve the overall efficiency of thermal heat-transfer efficiency and PV cell efficiency. The theoretical formulations of the solar hybrid PV/T system are developed by making the energy balance and the resultant equations are solved by the fourth-order Runge-Kutta method. The factors affecting the device performance are the numbers of flow ducts, air mass flow rate, inlet air temperature and incident solar radiation. The theoretical results indicate that the heat transfer efficiency of solar air heater and solar hybrid PV/T systems increases with increasing the numbers of the rectangular flow ducts and air mass flow rate but decreasing with the incident solar radiation and inlet air temperature. The experimental apparatus of flat-plate solar air heaters and solar hybrid PV/T systems are also set up to confirm the accuracy of the theoretical predictions. A concurrent flat-plate device is developed for mathematical modeling on membrane distillation in solvent recovery, and thus, a pair of two-dimensional conjugated partial differential equations by making energy balance was derived. The activity coefficient on NMP/water mixture separation can be estimated by UNIFAC method

to correct the partial vapor pressures of both NMP and water in the non-ideal binary mixture for predicting the vapor flux across membrane. The conjugated partial differential equations (PDEs) can be transformed into an ordinary differential equations (ODEs) system using finite difference technique and the fourth-order Runge-Kutta method as well. The influences of solution volumetric flow rate, inlet solution temperature and solution composition under fixed cold stream temperature on the mass flux across the membrane and separation efficiency are also discussed.
Keywords: solar hybrid PV/T systems; solar air heater; multi-pass flat-plate; efficiency improvement; membrane distillation; solvent recovery.

1. 前言：

太陽能熱電複合系統是以太陽能空氣加熱器為基礎並置入太陽能電池之裝置，其特點為利用空氣通過使得太陽能電池溫度降低，以獲得較高的發電效率，同時可使空氣溫度上升，提升能源應用效率。過去已有許多相關應用研究發表(Sopain *et al.*, 2000；Chow *et al.*, 2006；Zondag, 2008)。本研究目的為降低裝載太陽能電池的面蓋溫度，亦即提升熱收集效率。為了提升熱收集效率，可針對設計參數與操作條件進行探討，這些參數有：增加熱傳面積(Yeh and Chou, 1991；Ammari, 2003)、提升強制對流(Goswami *et al.*, 1999)、增加玻璃面蓋數以減少頂部熱損失(Yeh *et al.*, 2000)等方式。另外也有學者利用增設外部迴流裝置，可明顯改善集熱器的集熱效率(Ho *et al.*, 2002；Ho and Chiang, 2002)。

傳統太陽能熱電複合系統，是將太陽能電池直接貼附在吸收板上，容易受到高溫的吸收板影響而降低太陽能電池的發電效率。本研究將多晶太陽能電池以 50%覆蓋率貼附於第二層玻璃面蓋上，再利用通入的流體帶走太陽能電池所產生之熱能，降低太陽能電池本體的溫度以改善太陽能電池之發電效率，並提高熱收集效率。本研究主要以多通道太陽能空氣加熱器作為理論推演的基礎，且考慮通道側邊之溫度分佈，得到精確的太陽能熱電複合系統的數學模型，並將模擬結果與實驗數據作比較。

薄膜蒸餾主要是由疏水介質分隔冷與熱兩物流，使得介質兩側之飽和蒸氣壓不同而產生的質傳現象。於 1967 年，Findley 使用紙與玻璃纖維做成的材質進行薄膜蒸餾系統的實驗(Findley, 1967)，結果顯示若是能提高薄膜的物理性質，則薄膜蒸餾系統具有發展潛力。1985 年，Andersson 等人發展了一套薄膜蒸餾的去鹽設備(Andersson *et al.*, 1985)，說明了薄膜蒸餾系統是相當節能的系統。Schofield 等人(Schofield *et al.*, 1987)利用熱傳的阻力串聯模式來描述薄膜表面的溫度極化現象，求得薄膜蒸餾的理論質量通量，為近代的薄膜蒸餾研究立下理論的基礎。從此開始，薄膜蒸餾即被應用在不同領域上，如廢水處理(Calabro *et al.*, 1991)與果汁濃縮(Calabro *et al.*, 1994)等。

甲基吡咯酮 (N-methly-pyrrolidone, NMP)是一種高價的溶劑，經常使用在 TFT-LCD 及半導體產業，作為去光阻劑等用途，其使用過之溶液中含有 5~20%不等之水分。薄膜蒸餾系統具有蒸發至凝結最小之阻力，適用於水為主要通過薄膜之分離程序，本研究即針對 NMP+水之混合溶液建立其數學模擬方式，提供適當的操作條件與設計參數作為設計此類分離裝置之用。

2. 基本原理：

2.1 複合式太陽能熱電收集系統

本研究以矩形雙通道太陽能空氣加熱器為例，推演多通道之太陽能空氣加熱器之數學理論模型。圖 1 為一多通道式太陽能熱電複合系統及流體流動方式。假設本系統於穩定狀態下操作，其通道內流體之溫度分佈僅為流動方向之函數，忽略吸收板及太陽能電池所吸收及放出之輻射能、吸收板之徑向

及軸向之溫度分佈且假設流體流動過程中之各種物理性質均為常數。

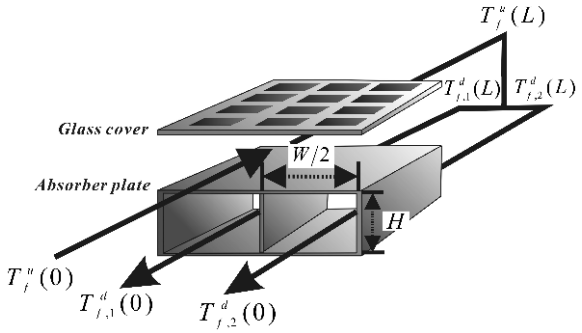

圖 1 多通道式太陽能熱電複合系統

平板式太陽能熱電複合系統各板之能量傳送示意圖如圖 2 所示。

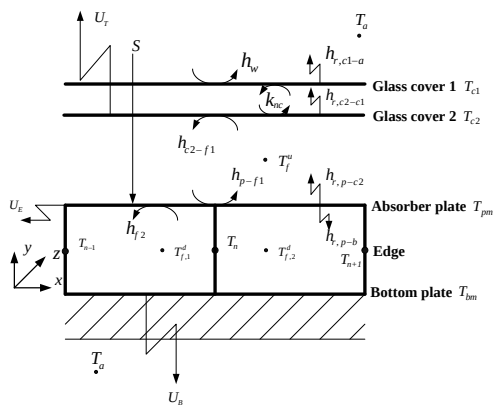

圖 2 熱電複合系統各板之能量傳送示意圖

經由能量結算後可得各板的能量平衡方程式為：

面蓋 1：

$$\frac{k_{nc}}{\delta_{c2-c1}}(T_{c2}-T_{c1})+h_{r,c2-c1}(T_{c2}-T_{c1})$$
$$=h_w(T_{c1}-T_a)+h_{r,c1-a}(T_{c1}-T_a) \qquad (1)$$

面蓋 2：

$$h_{r,p-c2}(T_{p,m}-T_{c2})+h_{c2-f1}(T_f^u-T_{c2})$$
$$=U_{c2-a}(T_{c2}-T_a) \qquad (2)$$

其中

$$\frac{1}{U_{c2-a}}=\frac{1}{h_w}+\frac{1}{k_{c1}/\delta_{c1}}+\frac{1}{(h_{nc}/\delta_{c1-c2})} \qquad (3)$$

吸收板：

$$S-h_{p-f1}(T_{p,m}-T_f^u(z))-h_{f2}(T_{p,m}-T_{f,1}^d(z))$$
$$-h_{f2}(T_{p,m}-T_{f,2}^d(z)) \quad -\frac{1}{A_c}(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_1}{dy}\bigg|_{y=0})$$
$$-\frac{1}{A_c}(-k(2\delta_x)\Delta z\frac{dT_2}{dy}\bigg|_{y=0})-\frac{1}{A_c}(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_3}{dy}\bigg|_{y=0})$$
$$=0 \qquad (4)$$

底板：

$$h_{r,p-b}(T_{p,m}-T_{b,m})+\frac{1}{A_c}(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_1}{dy}\bigg|_{y=D})$$
$$+\frac{1}{A_c}(-k(2\delta_x)\Delta z\frac{dT_2}{dy}\bigg|_{y=D})+\frac{1}{A_c}(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_3}{dy}\bigg|_{y=D})$$
$$+h_{f2}(T_{f,1}^d(z)-T_{bm})+h_{f2}(T_{f,2}^d(z)-T_{bm})$$
$$=U_{b-a}(T_{b,m}-T_a) \qquad (5)$$

通道側邊之溫度由能量平衡結算式表示如下:

$$[(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_1}{dy}\bigg|_y)-(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_1}{dy}\bigg|_{y+\Delta y})]$$
$$-\Delta y\Delta zU_E(T_1-T_a)=h_{f2}\Delta y\Delta z(T_1-T_{f,1}^d(z))) \quad (6)$$
$$[(-k(2\delta_x)\Delta z\frac{dT_2}{dy}\bigg|_y)-(-k(2\delta_x)\Delta z\frac{dT_2}{dy}\bigg|_{y+\Delta y})]=$$
$$h_{f2}\Delta y\Delta z(T_2-T_{f,1}^d(z))+h_{f2}\Delta y\Delta z(T_2-T_{f,2}^d(z)) \quad (7)$$
$$[(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_3}{dy}\bigg|_y)-(-k\delta_x\Delta z\frac{dT_3}{dy}\bigg|_{y+\Delta y})]$$
$$-\Delta y\Delta zU_E(T_3-T)=h_{f2}\Delta y\Delta z(T_3-T_{f,2}^d(z))_a) \quad (8)$$

其通道側邊之邊界條件如下：

$$y=0, \quad T_n(0)=T_n^t \quad n=1,\,2,\,3 \qquad (9)$$
$$y=D, \quad T_n(D)=T_n^b \quad n=1,\,2,\,3 \qquad (10)$$

將邊界條件(9)與(10)帶入式(6)至式(8)，解得通道側邊之溫度分佈如下：

$$T_2=\frac{(T_2^t-\theta_2)\sinh[m_1(D-y)]}{\sinh(\mathrm{m_1D})}$$
$$+\frac{(T_2^b-\theta_2)\sinh(m_1y)}{\sinh(\mathrm{m_1D})}+\theta_2 \qquad (11)$$

$$T_n=T_{n_h}+T_{n_p}$$
$$=c_7e^{-m_2y}+c_8e^{m_2y}+\frac{U_ET_a+h_{f2}T_{f,m}^d(z)}{U_E+h_{f2}}$$
$$(n=1,\,3) \qquad (12)$$

同理，對集熱器內部流體做其能量結算可得

上通道流體：

$$q'_{u_1}=h_{p-f1}w_f^u(T_{p,m}-T_f^u(z))$$
$$-U_{\mathrm{T}}w_f^u(T_f^u(z)-T_a) \qquad (13)$$

下通道流體：

$$q'_m=h_{f2}w_{f,m}^d(T_{p,m}-T_{f,m}^d(z))$$

$$-U_B w_{f,m}^d (T_{f,m}^d(z)-T_a)+h_{f2} w_{f,m}^d (T_n - T_{f,m}^d(z)) + h_{f2} w_{f,m}^d (T_{n+1} - T_{f,m}^d(z)) \quad (14)$$

$$q'_{u_2} = \sum_{m=1}^{2} q_m^d = q_1^d + q_2^d \text{ (以雙通道為例)} \quad (15)$$

對上、下通道之流體分別作其能量結算可得到:

$$\frac{dT_f^u}{dz} = q'_{u_1} \frac{1}{\dot{m}_f^u C_p} \quad (16)$$

$$\frac{dT_{f,m}^d}{dz} = q'_m \frac{1}{\dot{m}_{f,m}^d C_p} \quad (17)$$

太陽能電池理論之完全吸收量，如下:

$$E = S \cdot A_{sc} \quad (18)$$

實驗之電量，計算方式如下:

$$P_{sc} = I_{sc} \cdot V_{sc} \quad (19)$$

發電效率表示如下(η_e):

$$\eta_e = P_{sc} / E \quad (20)$$

系統總效率為熱收集效率與發電效率相加，如下所示

$$\eta_H = \eta_m + \eta_e \quad (21)$$

2.2 薄膜蒸餾於溶劑回收之應用

對熱側雙成分組成之溶液來說，其飽和蒸氣中的溶劑分壓可經由下式計算得到

$$N'' = c_m \Delta P^{sat} = c_m \left(P_1^{sat} - P_2^{sat}\right)$$
$$= c_m \left[\left(a_N x_N P_N^* + a_w x_w P_w^*\right) - a_s x_s P_w^*\right] \quad (22)$$

其中，各溶劑之活性係數可經由 UNIFAC 法估算得到。對冷側之鹽水來說，水的飽和蒸氣壓可經由以下經驗公式求得

$$a_s = 1 - 0.5 x_{\mathrm{NaCl}} - 10 x_{\mathrm{NaCl}}^2 \quad (23)$$

式(22)中之 NMP 與水純溶劑在不同溫度下之飽和蒸氣壓可由下式求得(Yaws, 1999；Felder and Rousseau, 2000)

$$P_N = 133.33\left(10^{A+B/T+C\log_{10}T+DT+ET^2}\right) \quad (24)$$

$$P_w = 133.33\left(10^{7.96681-\frac{1668.21}{228+T-273.15}}\right) \quad (25)$$

其中參數A = -0.8097, B = -3.0788×10^3, C = 5.8572, D = -1.4916×10^{-2}, and E = 6.9974×10^{-6}。薄膜係數C_m可結合Knudsen flow與Poiseuille flow模式計算得到

$$c_m = 1.064 \frac{\varepsilon r}{\tau \delta_m}\left(\frac{M}{RT}\right)^{1/2} + 0.125 \frac{\varepsilon r^2}{\tau \delta_m} \frac{M P_m}{\eta_v RT} \quad (26)$$

式(26)中之薄膜孔洞的彎曲係數可由 Iversen (Iversen *et al.*,1997)等人所提出之經驗公式計算

$$\tau = 1/\varepsilon \quad (27)$$

圖 3 為直接接觸薄膜蒸餾裝置的座標示意圖，考慮冷熱物流為順流之形式，並假設流體於通道中達到全展開流動(fully develop)，於層流(laminar flow)的狀態下，經由簡化後的熱傳方程式，可得到通道 *a* 與 *b* 的溫度統制方程式如下

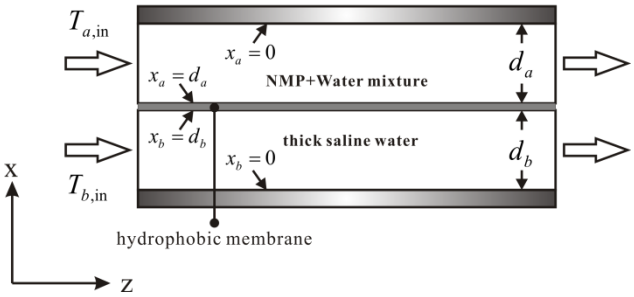

圖 3 直接接觸薄膜蒸餾裝置的座標示意圖

溫度統治方程式：

$$k_{fa} \frac{\partial^2 T_a(x_a,z)}{\partial x_a^2} = \rho_a C_{p,a} v_a(x_a) \frac{\partial T_a(x_a,z)}{\partial z} \quad (28)$$

$$k_{fb} \frac{\partial^2 T_b(x_b,z)}{\partial x_b^2} = \rho_b C_{p,b} v_b(x_b) \frac{\partial T_b(x_b,z)}{\partial z} \quad (29)$$

其邊界條件如圖 4 所示

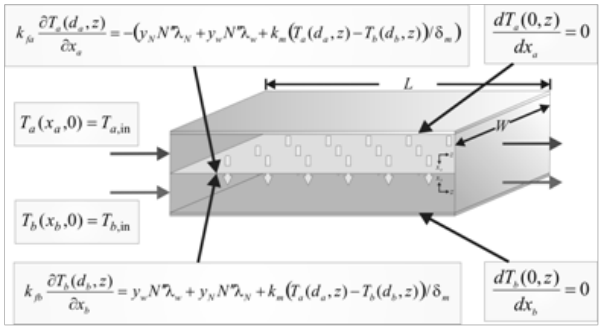

圖 4 薄膜蒸餾系統邊界條件示意圖

式(28)及(29)中之速度分佈式可經由假設通道及膜面上流體速度為 0 推導而得

$$v_i(x_i) = 6\bar{v}_i\left(x_i / d_i - x_i^2 / d_i^2\right), (i = a, b) \quad (30)$$

其中，流體的平均速度為

$$\bar{v}_a = \frac{Q}{d_a W}, \quad \bar{v}_b = \frac{Q}{d_b W} \quad (31)$$

對於一疏水多孔性的薄膜來說，其熱傳導係數可由下式計算

$$k_m = \varepsilon k_g + (1-\varepsilon)k_s \quad (32)$$

式(28)及(29)為一組複雜的共軛偏為分方程組，本研究利用有限差分法先將此方成組簡化為一組聯立之常微分方程組，即

溫度統治方程式：

$$\frac{\partial T_{a,j}(x_{a,j},z)}{\partial z} = \frac{\alpha_a}{v_a(x_{a,j})}\left(\frac{T_{a,j+1}-2T_{a,j}+T_{a,j-1}}{\Delta x_a^2}\right) \quad (33)$$

$$\frac{\partial T_{b,j}(x_{b,j},z)}{\partial z} = \frac{\alpha_b}{v_b(x_{b,j})}\left(\frac{T_{b,j+1}-2T_{b,j}+T_{b,j-1}}{\Delta x_b^2}\right) \quad (34)$$

邊界條件：

$$T_{a,M+1} = \left(4T_{a,M} - T_{a,M-1} - 2\Delta x_a\left(y_N N''\lambda_N + y_w N''\lambda_w + k_m\left(T_{a,M} - T_{b,M}\right)/\delta_m\right)/k_{fa}\right)/3 \quad (34a)$$

$$T_{a,j}\Big|_{z=0} = T_{a,in} \quad (34b)$$

$$T_{a,0} = \left(4T_{a,1} - T_{a,2}\right)/3 \quad (34c)$$

$$T_{b,M+1} = \left(4T_{b,M} - T_{b,M-1} + 2\Delta x_b\left(y_N N''\lambda_N + y_w N''\lambda_w + k_m\left(T_{a,M} - T_{b,M}\right)/\delta_m\right)/k_{fb}\right)/3 \quad (35a)$$

$$T_{b,j}\Big|_{z=0} = T_{b,in} \quad (35b)$$

$$T_{b,0} = \left(4T_{b,1} - T_{b,2}\right)/3 \quad (35c)$$

式(33)至(35c)可使用 4 階的 Runge-Kutta 法求得通道內的溫度分佈及透膜通量。

3. 實驗分析(太陽能熱電複合系統實驗)

本實驗針對上通道對下通道二管系統加入太陽能電池（Solar cell）進行太陽能熱電複合系統實驗，此實驗之目的在希望進料空氣一方面可以流過吸收板以加熱空氣，並帶走太陽能電池在發電過程中所產生之熱量，使太陽能電池本體降溫以提高發電效率。詳細裝置如圖 5 所示

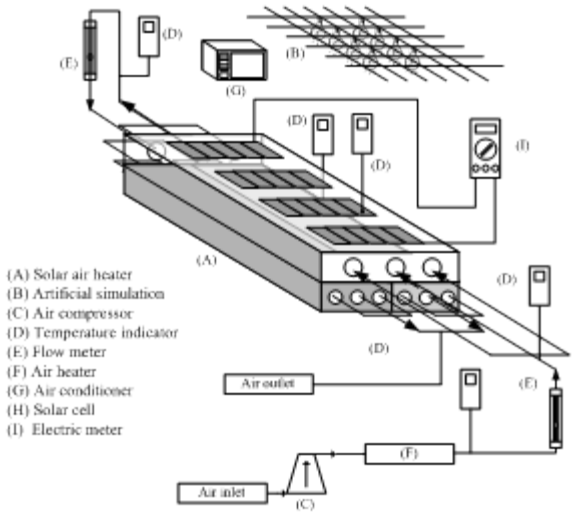

圖 5 太陽能熱電複合系統裝置示意圖

此實驗所使用之太陽能電池為茂迪製多晶矽太陽能電池（Multicrystalline I-Cells）IM125-M1，單片大小為長 12.5cm、寬 12.5cm，經過工廠切割處理後，成為單片大小為長 6.25cm、寬 3.125cm 的太陽能電池矽晶片，單片面積為 0.001953m^2，將 20 片手工焊接串聯後，總面積約為 0.0391m^2，將所有太陽能電池利用散熱膏黏貼於實驗系統之第二層面蓋，經由產品說明得知其散熱膏為台灣 JetArt 公司所製造，其傳導係數為 8.9W/(m*k)，而太陽能電池對於玻璃面蓋之覆蓋率約為面蓋總面積之 50%，太陽能電池矽晶片利用 K-type 之熱電偶式數位溫度計測量本體之溫度，測量方式將偵測端伸入矽晶片底部面，以避免裸露在外受光源影響溫度值。本實驗所要探討之目的主要可分為熱效率、電效率及相加之總效率，於系統在不同進口溫度、進口質量流率，觀察得到之出口溫度實驗值經計算而得到之熱效率與其理論模型計算得到之熱效率相互間之正確性與誤差，並觀察電錶顯示之電壓值及電流值及計算而得到之電效率實驗值。

4. 結果與討論

本研究之複合式太陽能集熱器討論於相同之設計參數與操作條件下，雙通道太陽能空氣加熱器其下通道為單流道及二流道與太陽能熱電複合系統其下通道為二流道之熱收集效率與總效率之比較。熱收集效率依序為：雙通道太陽能空氣加熱器之二流道系統＞太陽能熱電複合系統＞雙通道太陽能空氣加熱器之單流道系統。當流體質量流率增加時，因流速大，會提高對流熱傳係數，使熱傳效果提升，流體帶走系統的熱量變多，因此熱收集效率變好，而此時系統的熱損失較少。此外，當下通道為二流道時，其熱傳面積較單流道大，故能有效提升熱收集效率，如圖 6 所示。

另外。當流體進口溫度較低時，太陽能電池發電效率會較高，因流體與面蓋間之溫度差較大，流體所帶走之熱也較多，使得太

陽能電池溫度會較低。

本研究將太陽能電池貼附於第二層玻璃面蓋，佔其 50%的面積。實驗結果顯示太陽能熱電複合系統之總效率高於太陽能空氣加熱器之集熱收集效率，而理論預測亦能準確符合實驗值趨勢，如圖 7 所示。

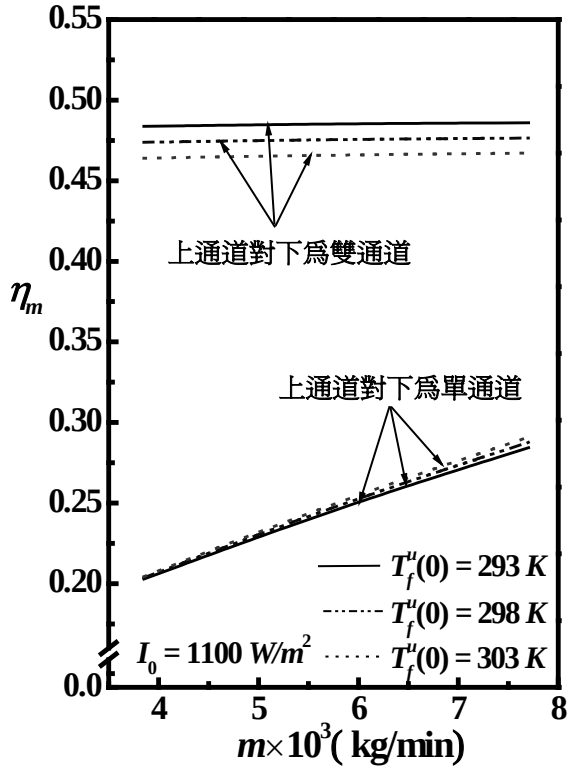

圖 6 流體流速對熱收集效率之比較圖

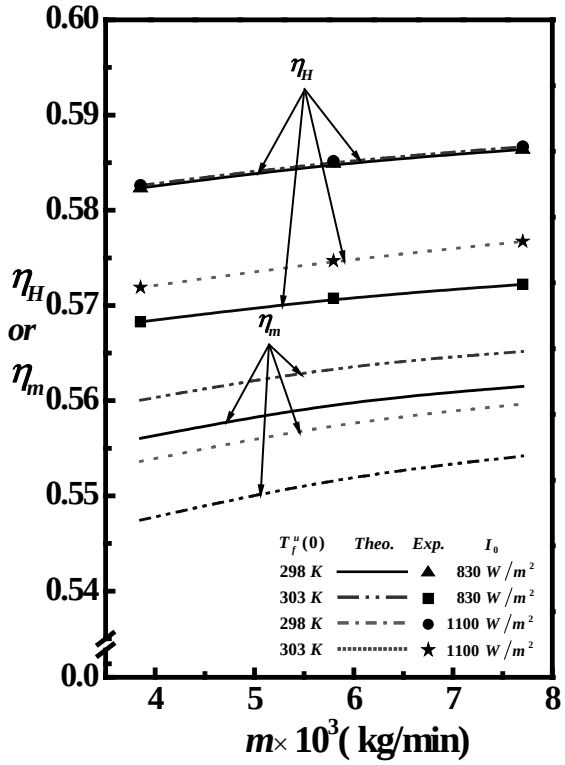

圖 7 流體流速對總效率及熱效率之比較圖

圖 7 至 10 為冷流端溫度固定為 25°C 之濃鹽水(26.4 wt%)，熱流端為溫度 90~130°C 之 NMP+水之混合溶液，其混合溶液濃度分別為 90 與 95 wt%的理論數據模擬圖。結果顯示，溶劑通過量會隨著通道位置及冷熱物流進口溫度差增加而增加，並可獲得 90%以上的分離效率，但增加的幅度會隨著通道位置增加而減少，此乃因冷熱流體同時在進行熱傳導之熱量傳送的關係，造成薄膜兩側的溫度差(飽和蒸氣壓差)驅動力下降，如圖 11 與 12 所示。其中，更可發現在不同的操作條件下，有一最佳的通道設計長度，可避免因薄膜兩側流體進行熱交換時所產生的通量回饋現象。此乃本研究的價值所在。

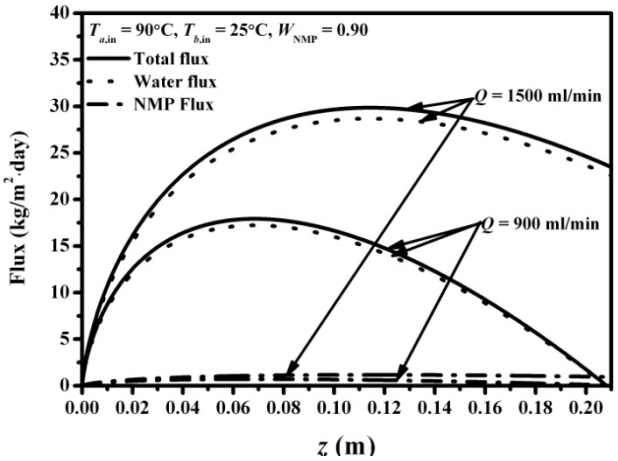

圖 8 通道位置與透膜通量關係, W_{nmp} =0.9; $T_{a,in}$ = 90˚C。

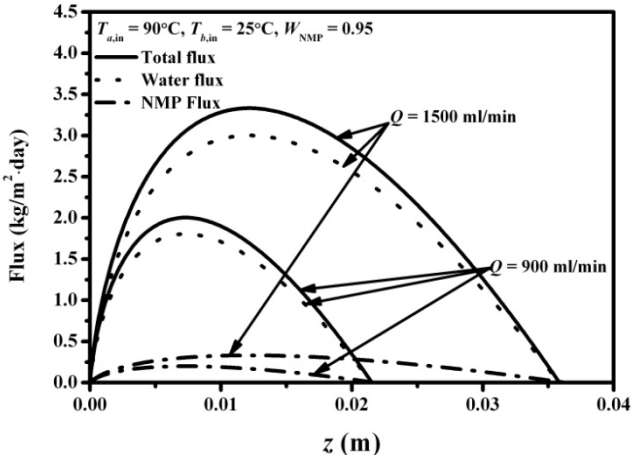

圖 8 通道位置與透膜通量關係, W_{nmp} =0.95; $T_{a,in}$ = 90˚C。

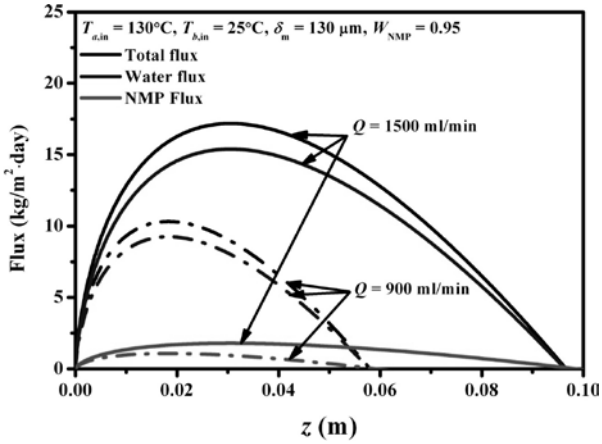

圖 9 通道位置與透膜通量關係, W_{nmp} =0.95; $T_{a,in}$ = 130˚C。

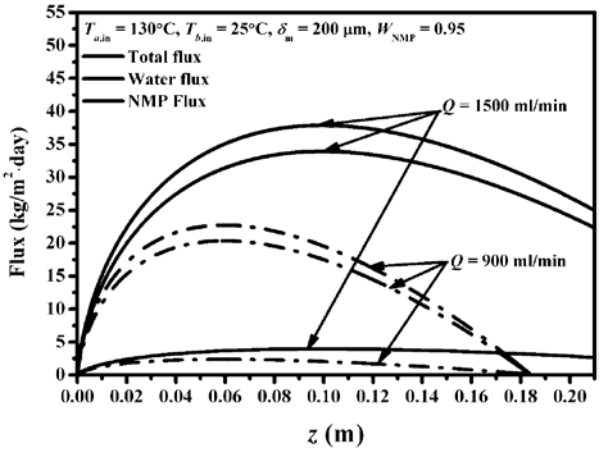

圖 10 通道位置與透膜通量關係, W_{nmp} =0.95; $T_{a,in}$ = 130˚C。

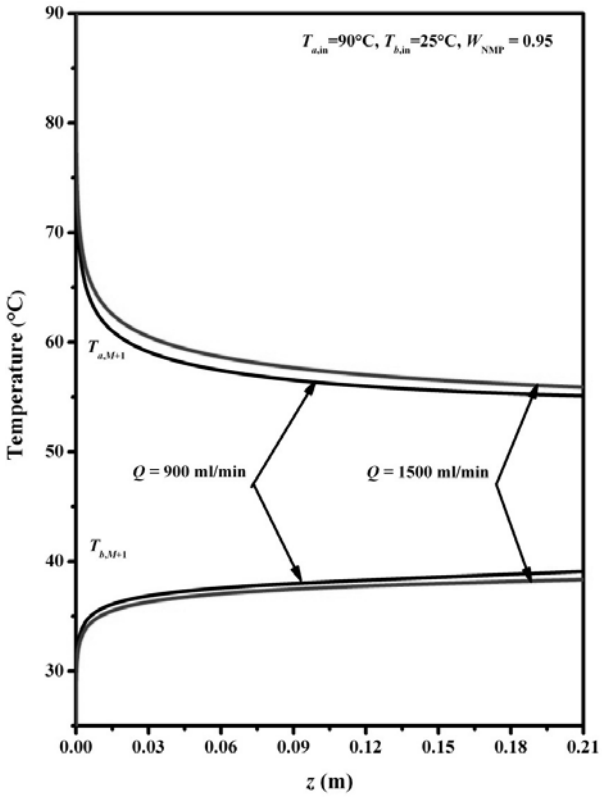

圖 11 薄膜表面溫度分佈對通道位置的關係

溶劑通量會隨著流體體積流率與薄膜兩側溫度差越高而提升，這是因為薄膜兩側溫度差較高時，薄膜表面的兩側飽和蒸氣壓差會增加，因而提升了質傳驅動力，如圖 13 所示。當流體體積流率增加時，流速也隨之升高，此時，薄膜表面的速度邊界層與溫度邊界層厚度會減小，邊界層與主流體的熱對流效果增加，可減低薄膜表面因為冷熱流體的熱交換與水的汽化現象所導致的溫度極化效應，因此可以有效提升溶劑通量。

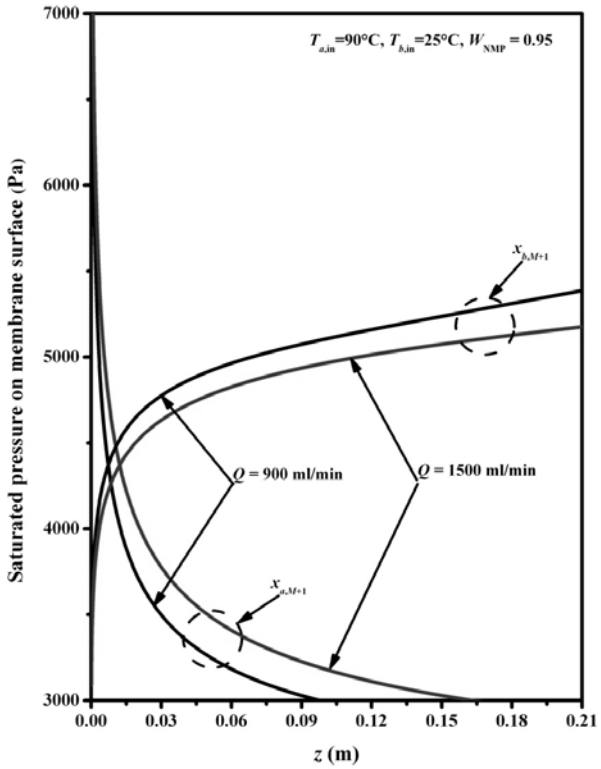

圖 12 薄膜表面蒸氣壓對通道位置的關係

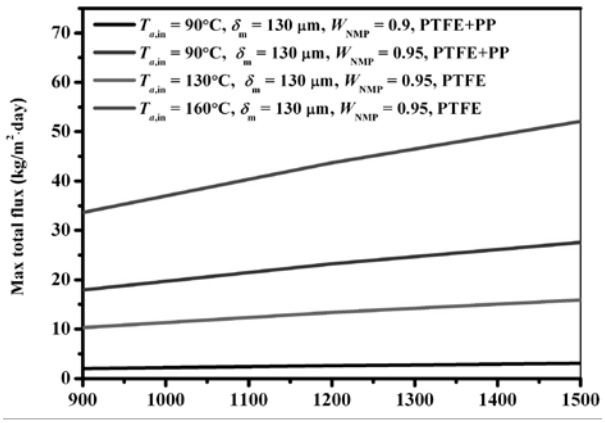

圖 13 流體流量對透膜通量之關係

參考文獻

Ammari, H. D., "A Mathematical Model; of Thermal Performance of a Solar Air Heater with Slats," *Renew. energy*, **28**, 1597 (2003).

Andersson, S. I., N. Kjellander and B. Rodesjo, "Design and Field Tests of a New Membrane Distillation Desalination Process," *Desalination*, **56**, 345 (1985).

Calabro, V., E. Drioli and F. Matera, "Membrane Distillation in the Textile Wastewater Treatment," *Desalination*, **83**, 209 (1991).

Calabro, V., B. L. Jiao and E. Drioli, "Theoretical and Experimental Study on Membrane Distillation in the Concentration of Orange Juice," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **33**, 1803 (1994).

Chow, T. T., W. He and J. Ji, "Hybrid Photovoltaic-Thermosyphon Water Heating Systems for Residential Application," *Sol. Energy*, **80**, 298 (2006).

Felder R. M., R. W. Rousseau, *Elementary principles of chemical processes*, 3rd ed., Wiley, New York, (2000).

Findley, M. E., "Vaporization through Porous Membranes," *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, **6**, 226 (1967).

Goswami, D. Y., F. Kreith and J. F. Kreider, *Principles of Solar Engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, USA (1999).

Ho, C. D., H. M. Yeh and W. Y. Yang, "Improvement in Performance on Laminar Countercurrent Concentric Circular Heat Exchangers with External Refluxes," Int. J. Heat Mass Transfer, **45**, 3559 (2002).

Ho, C. D. and S. C. Chiang, "A Theoretical Study of the Improvement in Performance of Double-pass Mass Exchangers with External Refluxes Separated by an Idealized Permeable Barrier," Chem. Eng. J., **89**, 253 (2002).

Iversen, S. B., V. K. Bhatia, K. Dam-Jphasen and G. Jonsson, "Characterization of Microporous Membranes for Use in Membrane Contactors," *J. Mem. Sci.*, **130**, 205 (1997).

Ozbek, H. and S. L. Phillips, "Thermal Conductivity of Aqueous Sodium Chloride Solutions from 20 to 330°C," *J. Chem. Eng. Data*, **25**, 263 (1980).

Schofield, R. W., A. G. Fane and C. J. D. Fell, "Heat and Mass Transfer in Membrane Distillation," *J. Mem. Sci.*, **33**, 299 (1987).

Sopian, K., H. T. Liu, S. Kakax and T. N. Veziroglu, "Performance of a Double Pass Photovoltaic Thermal Solar Collector Suitable for Solar Drying Systems," *Energy conv. Manag.*, **41**, 353 (2000).

Yaws, C. L., *Chemical properties handbook : physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals*. McGraw-Hill, New York, USA (1999).

Yeh, H. M. and W. H. Chou, "Efficiency of Solar Air Heaters with Baffles," *Energy*, **16**, 983 (1991).

Yeh, H. M., C. D. Ho and J. Z. Hou, "Collector Efficiency of Double-flow Baffled Solar Air Heaters," *J. Chin. Inst. Chem. Eng.*, **31** (2000).

Zondag, H. A., "Flat-plate PV-thermal Collectors and Systems a Review," *Renew. Sust. Energy Rev.*, **12**, 891 (2008).

執行本研究案之相關著作

1. 何啟東,黃君維,陳宗慶,葉劍蟬, "多通道平板型太陽能熱電複合系統之熱傳改善研究", 2008 年輸送現象及其應用研討會, Taipei, Taiwan, p.22.
2. 陳宗慶,何啟東, 2008, "Modeling of NMP/Water mixture separation using direct contact membrane distillation", 2008 台韓日三國化工會議與台灣化學工程學會第 55 周年年會暨國科會化學工程學門成果發表研討會摘要論文集, 2008 Taiwan/Korea/Japan ChE Conference and 55th TwIChE Annual Conference, 大同大學, p.171.
3. T. C. Chen, Chii-Dong Ho and H. M. Yeh, 2009, Theoretical modeling and experimental analysis of direct contact membrane distillation, *J. Membrane Sci.*, (In Press). 美國 (SCI,EI).
4. Chii-Dong Ho, H. M. Yeh, T. C. Chen and R. C. Wang, 2008, The influences of recycle on baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached, *Applied Energy*, (In Press). 美國 (SCI,EI).

可供推廣之研發成果資料表

□ 可申請專利　　■ 可技術移轉　　日期：98年1月23日

國科會補助計畫	計畫名稱：太陽能驅動式滲透蒸發程序與薄膜蒸餾程序於有機廢水中的溶劑回收之研究 計畫主持人：何啟東 計畫編號：NSC 96-2212-E-032-031　學門領域：能源科技
技術/創作名稱	複合式熱電收集系統之設計技術；薄膜蒸餾應用於溶劑回收之技術
發明人/創作人	何啟東
技術說明	中文： 本研究主要是針對複合式熱電收集系統之設計技術及薄膜蒸餾應用於溶劑回收之技術做一番探討，討論不同設計參數與操作條件對於透膜通量及集熱器總效率之影響。經由數學模型的建立，可獲得薄膜蒸餾系統之透膜通量及太陽能集熱器總效率。此技術可應用在設計薄膜蒸餾設備於溶劑回收之應用與複合式太陽能集熱設備的參考用，並能夠節省相當多的系統測試時間。
	英文： The purposes of this study are to develop the mathematical models and experimental apparatus for membrane distillation process and PV/T hybrid solar collector to obtain the effects of design and operation parameters on such two systems. The accurate temperature distribution of membrane distillation, transmembrane flux and overall collector efficiency can be obtained by establishing mathematical models and experimental set-up. The results of this study can be used to design membrane distillation devices for solvent recovery and PV/T hybrid solar collectors to saving the cost.
可利用之產業及可開發之產品	化學品純化業，TFT-LCD 產業，太陽能收集器製造業。
技術特點	以二維熱量傳送模式來分析薄膜蒸餾系統，可提高模擬的精確性，節省系統測試時間。此外，熱電複合型太陽能集熱器亦能夠做為改善傳統空氣加熱器的總收集效率，並可做為生產高效率集熱設備之參考。
推廣及運用的價值	在溶劑回收的方面，一方面將可利用之資源重複利用，可降低企業生產成本，提升產業競爭力。另一方面降低廢棄物產生，對環境保護亦是一項貢獻。在太陽能集熱器方面，若能廣泛應用將可降低化石燃料或核能之需求。

行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

96 年 10 月 01 日

報告人姓名	何啟東	服務機關及職稱	淡江大學 化材系 教授
會議時間地點	2007 年 09 月 16 日 至 09 月 20 日 Copenhagen, Denmark	本會核定補助文號	NSC 96-2221-E-032-031
會議名稱	(中文) 第六屆 2007 歐洲化工會議 (英文) European Congress of Chemical Engineering-6		
發表論文題目	(中文) 迴流型平板式二行程太陽能空氣集熱器之研究 (英文) Double-Pass Flat-Plate Solar Air Heaters with External Recycle		

行政院國科會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

報告人：淡江大學化材研究所 教授　何啓東

一、參加會議經過

九月十五日搭乘泰航 TG0635 班機由臺灣桃園機場起飛，飛往曼谷市。第六屆 2007 歐洲化工會議在 Bella Center, Copenhagen, Denmark 舉行，在辦理註冊手序後，領取出席證和大會論文摘要專輯及光碟片。其間出席開幕式及相關之研討主題，並於九月十七日下午，論文海報展示報告，會議結束後，順道參訪瑞典的大學(University of Lund)。然後搭乘九月二十三日泰航 TG0961 班機由瑞典斯德哥爾摩經曼谷市返國。

二、與會心得

歐洲化工會議是歐洲化工各會員國輪流所主辦的研討會，係每兩年舉辦一次的年會，聚集來自歐洲及世界各地的學者與工程師，總共有 1224 篇論文被提出。討論主題包括：Sustainable process-product development through green chemistry、Advancing the chemical engineering fundamentals、Multi-scale and/or multi-disciplinary approach to process-product innovation、Systematic methods and tools for managing the complexity、Integration of life sciences & engineering、Educating chemical engineers for coming challenges等六個相關主題，以及Energy、Multiscale modeling、Biotechnology-Honoring Prof. J. Villadsen、EPIC-1: 1st European process intensification conference、Innovations in food technology、The future of European chemical、Engineering education in a globalized world、Environmental protection & sustainability、Chemical product design and engineering (CPD&E) 等八個座談會。參加此次研討會，獲得很多相關研究領域的方法和資訊，相信對往後的研究有相當的助益。

三、建議

出席國際會議可以擴大與相關領域之學者的接觸，經由面對面的研討，對研究方向亦可有相當程度的啓發，對增進研究的深度與廣度皆有相當大的助益。此外，參加國際會議並可提昇國家的知名度與研究聲譽，所以值得政府繼續鼓勵與資助。

四、攜回資料名稱與內容

ECCE-6 Book of Abstracts 論文摘要專輯二冊及 European Congress of Chemical Engineering -6 光碟一片。

中華民國九十六年十月一日