

科學圖書大庫

太陽能的技術應用

譯者 沈 鵬

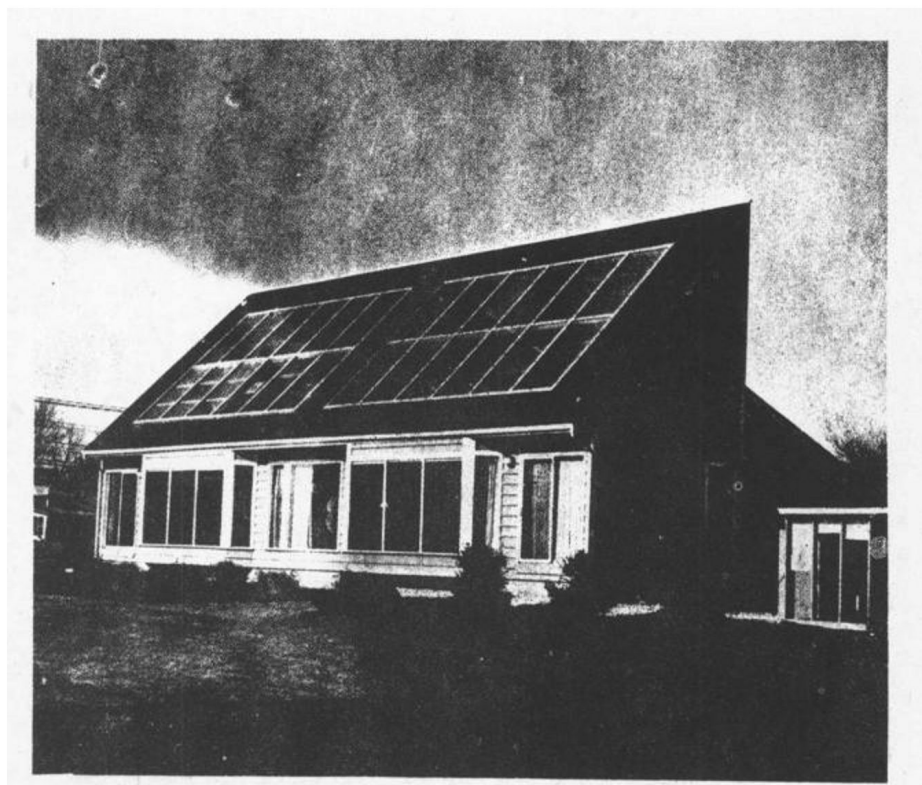
徐氏基金會出版

序

太陽能是人類世上唯一首要不污染空氣之能源，它能經常不斷地供應永久無限無盡之熱能發電，在經濟上提供了人類所需要之能源，近年來由於價格之上漲，代表了日益消耗從石油化學原料中提煉出來有限度的汽油。更由於大眾關心原子爐之反應安全，對運用太陽能所給與資源，發生了莫大的興趣。

太陽能的技術應用，在前介有各種技術方面的新知識，來使用太陽之能量，本書可以帶給各位讀者最新的近代知識，即研究光波大範圍之系統。本書編寫之目的，是供給各有關技術人員之參考，此外，如有嗜好科學的同仁對這方面，亦感到興趣，而不需要有什麼高深的學問及背景，讀時即可一目了然，洞悉其中之秘奧，并可作為一般大中校院有關能源學程課外最佳教科書之補充教材。

筆者 謹識



德拉威大學 (University of Delaware) 之太陽房建於一九七三年，應用平板收光器 (flat plate collector)，混以硫化鎘 (cadmium sulphide) 作為太陽電池，供給熱量與電力，並以酸性鉛蓄電池作為電量的存儲，使該房之電爐、電燈、以及其他各種家用之電器設備等，均可用直流電供應，同時配有交流電變換器，以供冰箱、熱水泵、電扇等之使用，其詳細內容請見圖二和圖三。

目 錄

序	第八章 全部能源系統	48
第一章 太陽能的時代到了	第九章 農工業的應用	52
第二章 太陽能的利用	太陽爐	52
第三章 太陽能收集器	空氣加熱器	55
平板收集器	第十章 太陽熱蒸餾	58
陽光吸收器	第十一章 清潔而非再生之	
第四章 室內冷暖氣設備	燃料	61
平板收集系統	第十二章 海洋熱力	66
日光集中吸收系統	第十三章 地球相對太空同時	
屋頂蓄電池	運轉之電力廠	76
法國式系統	第十四章 風力發電	80
成本計算	第十五章 未來的太陽能	84
第五章 太陽能用水加熱法	參考書籍	85
第六章 空氣冷暖調節	拾 穗	94
第七章 電力創造	索 引	99
太陽熱力創造		
光壓電力創造		

第一章 太陽能的時代到了

自公元一九七〇年以來美國能量消耗大約總量為 65×10^{15} BTU. 即相當於 4300 平方哩陸地面積上所吸收到的太陽總能量，就是此一面積約佔美國大陸面積之 0.15%，縱然此項能量之利用效率只有 10%，而美國所需總能量只要利用陸地面積 1.5% 來收集太陽能，而且能量之供應不會污染任何環境，祇要陸地面積 4%，使用效率同樣為 10%，在公元 2000 年時，美國可以全面實施太陽能源之供應，按目前美國陸地面積有 15% 是農作物之生長區域，從某些應用上來看（如房屋水和空間加熱），利用效率可能遠超過 10%，蒐集器（Solar Collector）裝在垂直的牆壁上或屋頂上，以吸收太陽能（Solar Energy），估計最多用 4% 之土地實際上所需的地面積，可能要少得多。

以實際而論，雖然太陽能可以供給吾人所需之能量，而且無一點污染之現象，預見未來情形太陽能或將可提供吾人全部能量，在過去一世紀中，以化石原油來說，一般比較價廉而方便，如以其他所有能源之能量來作一比較，直至目前為止，由於環境的污染情形來看，已達到了相當嚴重的程度，而不得不加以重新考慮。近年來正在着手大規模原子發電廠的建立，核子發電量的產生，業已成了急增的趨勢，因而在未來幾十年內，多種不同的能源將提供美國能量之需求，那麼，太陽能可總是唯一可競爭使用的能源，比任何其他能源為大。

過去幾年內所作的能源預測³⁻¹²；在消費上，原油及煤已有大量增加，核能發電（Nuclear power energy generation）方面也有顯著的增加，然而，預測美國國內原油需求，遠超於供應，所以有大量原油進口之必要，最近迅速成長中外國原油價格上漲，對美國國外所提供之能源問題，有着很大的疑問，美國總統已促請美國在能源之需求上，能自給自足。這就是說美國不需發行額外的輸入能源，以補充其不足。於是，太陽能也就成了美國未來重要使用能源之主流。亦可算是成了未來幾年中最新能源的唯一重要衝擊力（Impact），目前最急於需要的最大規模使用能源，房屋之加溫和冷卻

2 太陽能的技術應用

水之加熱，以及熱力之供應，工業和農業上作烘乾過程中熱量之使用。經過較長時間的比擬，太陽可算是在電力產生上，污染空氣最少的一種能源。

美國國家基金會太空航空總署太陽小組（NSFI NASA Solar Energy Panel）認為有三種廣泛應用在技術、經濟和能量觀點上，可說是最富有前途，那就是：(1)住宅和商業大廈工廠房舍內之冷暖設施，(2)有機體物質循環化學和生物途徑轉變為液體，固體和氣體燃料，(3)電力生產，根據該小組報告稱太陽能可望發展配合國家將來能源所需的大部分動力，佔有相當分量與比例。太陽能用於房屋空間的加溫，冷空氣調節，或水蒸汽供應，及房屋暖氣設備，目前約為美國全部能量消耗的25%，這些全部能量的供應大部是消耗高級化石燃料。但是，一旦利用太陽能，則其大半的能量可以替代價格昂貴的化石燃料，留下來的12%剩餘消耗，亦可提補。未來的太陽能應用將可直接供應發電，亦可生產燃料，以替代目前所用唯一能源之化石燃料；諸如煤、原油及天然氣等。問題是將來總有一天要消耗殆盡，但不知為何時？那麼再也無法重複使用此種昂貴的天然資源，進而亦無法來生產纖維品、塑膠品及其他日用原料的產品，若是真的一旦消耗殆盡，經濟上蒙受之損失，將是無法可以用其他的燃料來替代的。

第二章 太陽能的利用

在鑑定地太陽能之系統經濟實施之可能性前，必須先行了解各地太陽輻射量（Incident solar radiation）之一般利用價值，如是太陽能之可資利用詳細資料，應予以及早蒐集，這樣才可與其他任何天然資源相比較。

如果計算約數，通常都採用有效能的平均值運用，太陽輻射到達地表之日射量（Insolation），在美國其每天每平方呎之平均數約為1500 BTU，（相當於每天每平方哩 42×10^9 BTU），一年內，每平方哩上大約可得到 15×10^{12} BTU，公元1970年美國總消費量約為 6.5×10^{16} BTU，可見美國大陸面積4,300平方哩上所收到的太陽，平均每年相當於全美國的能量之需求²。以10%的變換效率來說，43,000平方哩能產生1970年美國所消費全部能量（約為全美48州總陸地面積之1.5%），太陽能之應用可算有24小時為一短週期，365天為一長週期，有雙重週期方程變化；外加一變化不定之衰弱函數方程（即天空狀況之雲量）¹，此函數方程之最大幅度，每平方呎約為300 BTU，如以美國大陸（阿拉斯加除外）積分計算每平方呎每年約有570,000 BTU之日射量投入，故每年以24小時內所吸收的總太陽能計，在美國平均每時每平方呎約為65 BTU。

然而，根據建議所提之太陽系統來作精確估計，需要更正確之資料，即太陽之強度、波長、日射角和雲量之時間函數方程，亦就是說，作為當地太陽能系統設置的所在地。以過去全球太陽輻射調查，各地所獲資料非常有限。美國和日本曾記錄此類函數詳細時間日，直接和間接日射之強度，但在使用時要考慮到雲量所遮蓋天空的特別時間可能率（probability）。此項資料實難獲得，有時很多觀測以太陽輻射之年總量為基準，如是當在使用時，這些資料要另加以合理設計太陽系統（Solar system），且須注意太陽輻射地區季節性之大變化。

有幾種太陽輻射資料可以利用包括垂直投入的直接輻射，垂直投入的直接輻射與擴散輻射，在一水平面上之直接輻射在一垂直水平面上之擴散輻射，均須將各輻射名稱分別垂直量表示之。

每一種衡量方法，均可在選定時間內，測知其最大及最小值，並須決定所用的是每季、每月、每天、或每小時平均值，雖然是在特殊非常短的時間內，也應予以測定，若用焦距式儀器系統，則在資料內，須包括直接輻射之方位，如屬平板收集器（Flat plate collectors），則總（直接加擴散）輻射量強度在一斜面上收集時，必須利用其位置。應用最大輻射量才可決定太陽能系統之潛能。在一段較長的時間內，必需要知道其平均強度（Average intensity），稱為時間強度分佈參數（Time-intensity distribution parameter），然後才能穩定系統的可能性。一般資料乃是直接擴散之總輻射量，在任何觀測站可以繼續取得，並可以電子計算機記錄之。所記錄之主要輻射量為其全日水平面上的總量，有時以每小時計，並有其他方法可以估計其直射分量及其分配參數量，也可從日射總量資料中接間求得之。

太陽輻射在技術上是指太陽日射而言、或簡稱日射量，有好幾種儀器測量法，採自金包爾（Kimball）及赫勃司（Hobbs）二氏，其性質及準確程度各異。熱電輻射是以黑、白兩種不同表面所吸收太陽輻射之溫度，即蒐集之熱量，產生電流，自溫度計輸出，分別記錄在圖表紙上，電磁帶上，或其他儀器上，若儀器維護良好，核對正確，則可取得長期或短期之太陽輻射量（Solar radiation）及天空輻射量（Sky radiation），其正確編差程度在3%以內或更小。

另一儀器利用不同膨脹係數之兩種金屬元素，由於吸收陽光而使儀器指針移動，隨即在圖紙上記錄，其準確程度約在10%以內，還有一種包拉尼輻射儀（Ballani Pyranometer），可測定全部太陽輻射量，是用蒸餾水為導體，自由受陽光加熱蒸發在槽內合成液態水，一定時間內之全部蒸發量，是供測量該期間之全天輻射量。在歐美各國常用熱量輻射儀（Thermoelectric Pyranometer），雙金屬式儀器（bimetallic type）比較簡單，且價廉，大概在亞洲及南美洲所常用，以及其他散佈在世界¹⁸各地的測站，也常採用。

每天日照總量可用開班爾及斯多克（Campbell-Stokes）兩氏的日照記錄儀器最為普通，是一種以球面鏡焦距直接獲取陽光集中在熱感應圖紙上而測得之，當太陽能在球面內相交於一焦點投影於紙片上燃孔計時，此線全長分有時間等分，自日出至日沒，以取得全天可能日照（Sunshine Hours）時數之百分比。

日照時間及雲量的經常觀測記錄，世界各地有很多測站同時舉行，其記錄時間有長達20年至60年之久，平均每天輻射量是各地日照時數的函數，

若與大氣外圍所收到的總量 Q_0 作成關係，則有以下的方程式。

$$Q = Q_0 \left(a + b \frac{S}{S_0} \right)$$

此處 Q 是每日平均輻射量，自地面測站收到的總量， S_0 是日照每日最多可能之時數（注意測站地表周圍距離內須無障礙物）， a 及 b 是已知常數，請見表一，平均 Q_0 值約等於 429 BTU/hr/ft^2 再乘以餘弦緯度角即得。

表 1 氣候常數¹⁸

地 點	S/S_0	a	b
Charleston, S.C.	0.67	0.48	0.09
Atlanta, Ga.	0.59	0.38	0.26
Miami, Fla.	0.65	0.42	0.22
Madison, Wisc.	0.58	0.30	0.34
El Paso, Texas	0.84	0.54	0.20
Poona, India (Monsoon)	0.37	0.30	0.51
(Dry)	0.81	0.41	0.34
Albuquerque, N.M.	0.78	0.41	0.37
Malange, Angola	0.58	0.34	0.34
Hamburg, Germany	0.36	0.22	0.57
Ely, Nevada	0.77	0.54	0.18
Brownsville, Texas	0.62	0.35	0.31
Tamanrasset, Sahara	0.83	0.30	0.43
Honolulu, Hawaii	0.65	0.14	0.73
Blue Hill, Mass.	0.52	0.22	0.50
Buenos Aires, Arg.	0.59	0.26	0.50
Nice, France	0.61	0.17	0.63
Darien, Manchuria	0.67	0.36	0.23
Stanleyville, Congo	0.48	0.28	0.39

美國國家氣象勤務署 (U.S. National Weather Service) 的太陽輻射觀測網，目前已超過 90 多站。其中部分已採用愛潑萊二型輻射儀 (Eppley Modle II Pyranometers) 此儀器比其他原來測站所用的正確率大二倍，資料常存在磁帶上，每隔一分鐘記錄一次，並可用電子計算機處理，原有的各種輻射標準延用已久，且各有不同，最大的差別可達 6 %，所以

在使用資料時，應予以仔細校驗測站及儀器之不同點。有的儀器其差可達20%至30%之多，故觀測時的日射強度（Solar intensity）可損失20至30%之譜。有的測站所得之資料非常良好，其正確度誤差在2~3%之內，氣象勤務部（NASA Meteorological Service）所有大多數資料是記錄在磁帶上或卡片上的，為每小時所實測之數值。并有資料表格手冊，可供參考之用。

目前每時每日的資料已不再印發分送全國各有關單位，僅將其保持在卡片上、磁帶上、或膠捲上。月與月間的月平均日照差別每年有時竟達40%。站與站間的差別也有20至30%，故在鄰近測站有很大的差異，由於天氣之不同所致，由此年與年間的不同亦很大，此乃是大氣渦度（Atmospheric Turbidity）的改變所致。

最近在加緊實施有關輻射反射至地表所照明的輻射量，由於衛星的測量，可利用地面輻射的太陽能加以應用之，太陽常數測量的極對差波長而言，用光波輻射儀（Spectral Redionmeter）來測量，其差小於5%。

地面反射率的決定乃依十五日之最低日光反射值，自衛星上測得，若一旦此值予以決定，即可自衛星上所測得的，來鑑定照明地表的輻射量（Incident radiation），衛星測量在短時間衡量上，大致非常相同，無法以外延法來推算長期地表變化的反射率（Albedo）及大氣渦度（Atmosphere turbidity），衛星的測量需有規模資料（定像須在數萬哩以下），若以測站與測站間的內插法來供特別站研究，以太陽熱力來計算對流已感不足，另一問題是衛星所供資料乃是全日輻射量，於此系統中所使用的太陽收集器，來吸收所需太陽的直接光柱，如用天空之雲量來確定，即可計算衛星亦可測知雲量，據美國氣象局（NASA）決定，在大氣之外圈，太陽常數（Solar Constant）是 $429.0 \pm 0.5 \text{ BTU/hr.ft}^2$ （約 $1353 \pm 1.5 \text{ W/m}^2$ ）。

平板收集器（Flat plate collector）黑板面上的空氣或水流，經由黑板固定位置，上部裝有透明罩（Transparent cover），在穩定實施時，必須知其強度，入射角，太陽能光譜間的函數。表面反射率乃是依入射角照明部分的輻射量而定，然而照明的輻射量必須分成直射及漫射二部分。技術實驗發展業已將每日大氣外圈之總日射量與每日地面之總日射量兩者間之關係，以統計分佈方式來決定每時輻射曲線，以對照各測站的全天雲量分佈，是否相當於部分時間輻射量，每日如有連續陰天可能率時，必須決定太陽能系統中所需能量的存儲。

太陽能計劃實驗，要蒐集資料，須具備以下各種儀器裝備器材。

金赫二氏熱電輻射儀	\$ 560
波段輻射儀	990
垂直日射輻射儀	880
赤道座位儀	1,225
風及溫度之儀器	1,100
共計（記錄儀不包括在內）	\$ 4,755

以上價格是依 1974 年 2 月知名廠商之報價，金赫二氏輻射儀（Kimball-Hobbs Pyranometer）可以連續探測 0.285μ 至 2.8μ 間之波長日射量，波段輻射儀是同一類似之儀器，有半球形濾波器，可限止某種波長之輻射照明在黑白兩儀表板上，故能測量日射及漫射波長間之一定總量，輻射儀之裝設固定在電動之赤道座位儀（Pyrheliometer）上，可以直接測量太陽輻射光波，并有風向風速儀（Anemometer）測量實際 $0.4 \sim 100$ mph 之風，三支溫度計（Thermistors）可記錄一米，三米、十米不同高度之溫度。此種日射儀現裝在喬士亞大學之技術學院內，以提供必須之日射量（Insolation）、及天氣資料（Weather data），作可分析穩定平板收集器及其他儀器所實施太陽能所需資料之蒐集。

第三章 太陽能收集器

收集太陽能所用之儀器有賴於使用的對象而定，平板熱能收集器（Flat plate thermal energy collectors）是作為加熱用水及房屋保護之用。但只能供給室內溫度 150°F ，如欲較高溫度，陽光收集須要集中在收集板平面上，若使用電力生產能源，是否使用收集器，均可以用電極池使陽光直接轉變為電力，主要的那一種收集器，乃是以經濟實用為要。

平版收集器

圖 1 所示為平板收集器（Flat plate collector）基本之一部分，黑平板上罩有透明玻璃或塑膠，匣子的二旁及底部為絕緣體，陽光由透明罩上穿過，為下面之板所吸收，罩之功用能使紅外光線輻射透不過去，且使熱量

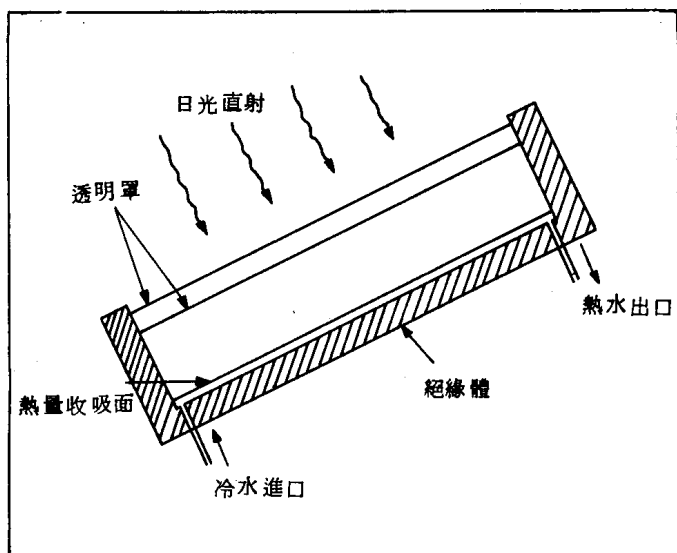


圖 1 平板太陽收集器

自黑板上的傳導對流滯緩，如是黑板被加熱後，能使熱量流於黑板上，經由表面穿入下面，並有水在下面吸收，增高溫度，使存水近乎沸騰，該項熱水可直接用來使房屋保溫，作為家庭暖氣設備，經試驗有五種不同平板收集器，使黑吸收板效率從40%至60%，可使30°F溫度的水升降30%，100°F之水升高²¹很小。收集器有木框組成，內裝有平板黑吸收器，下層有7~10米厘厚之鋸木屑襯墊，是為吸收絕緣體，上面頂部罩有2毫米厚之玻璃窗口，吸收板是1米長，3米寬，2.2毫米厚之鋼板，附屬有1米厘直徑之冷卻導管，相隔10米厘，能獲得最大輻射強度，800 Kcal/m²/hr（約等於295 BTU/ft².hr）。

試驗日光收集器，包括有二片玻璃板，及一隻平的金屬空器，用來研究玻璃板與容器間（0.01，0.02，0.04，0.08）氣體空隙之效應，以間隔0.08呎為最卓越，0.04之效果亦很好，若以容器收集數之表面塗以一層

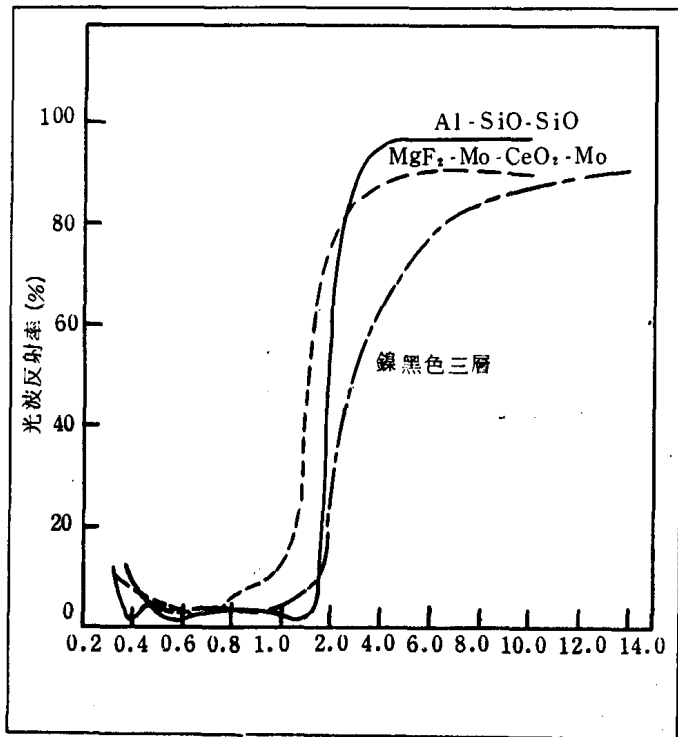


圖 2 波長選擇塗料反射率

選擇之薄膜來代替黑漆，則其效果更為良好。

圖2所示為三種不同選擇塗料 (Coatings)，其反射率波長²³，有強力日射吸收，但對紅外線輻射，即行減小。如是可使吸收板表面達到最高平衡溫度。當塗以選擇層後，在外層玻璃及吸收器間的收集效率，以溫度差 100°F 來計，可增加35%至55%。當溫度差達到 150°F ²²時，即可增加10%至40%。然而，收集器價格亦隨之增加，以實際來說，價格與實效相比，無多大差異，其收集效率如用垂直雙層玻璃板來收集，所測得的乃是三層絕緣隔離層溫度的函數。當溫度差達到 87°F 時，輻射量如 $100\text{ BTU}/\text{ft}^2\text{hr}$ ；而在 153°F 時，則為 $200\text{ BTU}/\text{ft}^2\text{hr}$ ； 210°F 時為 $300\text{ BTU}/\text{ft}^2\text{hr}$ 。其收集效率在最高溫度一半時，約為50%，函數漸減低至零為止。

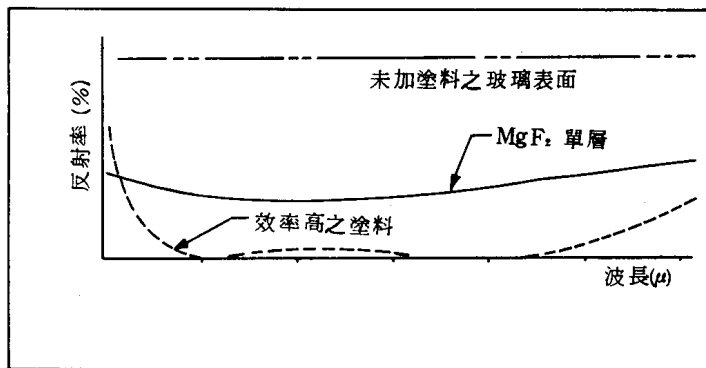


圖3 反輻射塗料之反射率

平板收集器效率亦可加以改良，乃視反輻射塗料在透明罩上之作用而定，圖3所示者為日光垂直投射在未加塗料玻璃板上之百分數，塗過的比不塗的要貴得多，如加塗料後，其效果亦隨各塗料相當的比例而提高。

圖4所示為一標準的平板收集器，使用熱水作為傳導并有吸收的空氣調節器作為功能，此種容器放置在向南傾仰之屋頂上及牆壁上。各季時日射量，因日射軌道傾斜，其量約減少20%。德蘭選大學 (University of Delaware)²⁵ 曾發展一種平板收集器，裝有日光電池，如圖5所示，可足供家用電氣及溫室的電量，此種收集器的唯一問題，是當溫度增高時，則電壓變換率隨即減低，且影響該器效率與壽命，收容器 4×8 呎見方裝在屋頂內部， $\frac{1}{4}$ 吋厚玻璃裝在外部，熱的傳導媒介為空氣。

氣象局科學家以太空飛行中心所生產之平板收集器，用一種新的塗料，

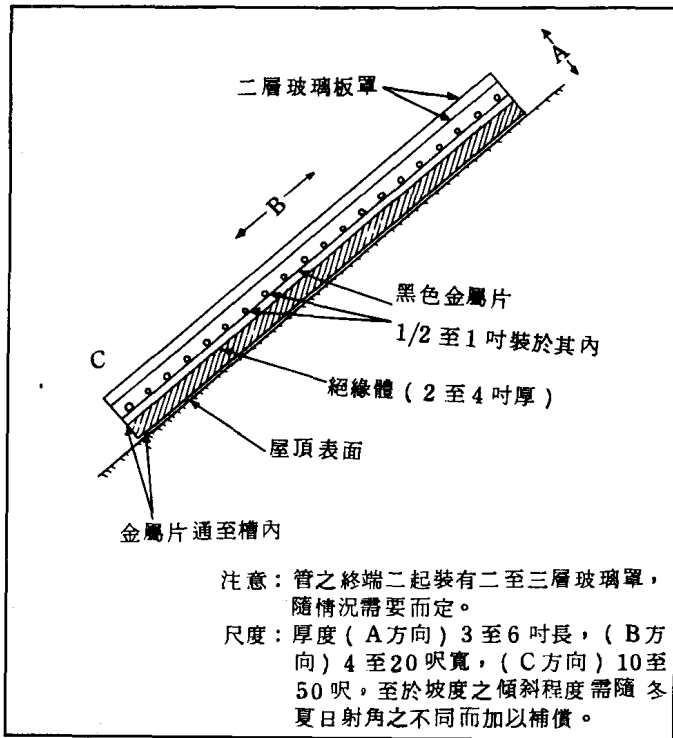


圖 4 平板收集器用作是 (沸煮) 熱水。

其吸收率可達 90 % 強的日射量，但反射率僅 6 %，其最大吸收溫度曾在無水之電纜上，曾記錄過 450° F 之高溫。

陽光吸收器

陽光吸收器可用來產生溫度，可超出 300° F 之多，有利於電力發動，作農工業烘乾機供電，還有其他應用，如高溫熱度需要，同樣的，陽光吸收器早已應用於電壓供電之輸出。

主要收集日光的方法，是用一種透明鏡頭，以收集太陽光線，集中於一點，一個小小放大玻璃透明鏡頭 (lens)，即可收集足夠之日光熱量，能燃燒木片或紙片，如用一個非常大的透明鏡頭來收集大量的日光輻射熱量，是一件很難的事，所以大部分日光收集器，附設有一反射鏡的系統，以理想光學的觀點來看，最好是用拋物線曲面。但要維持最大日射量，高的收熱反

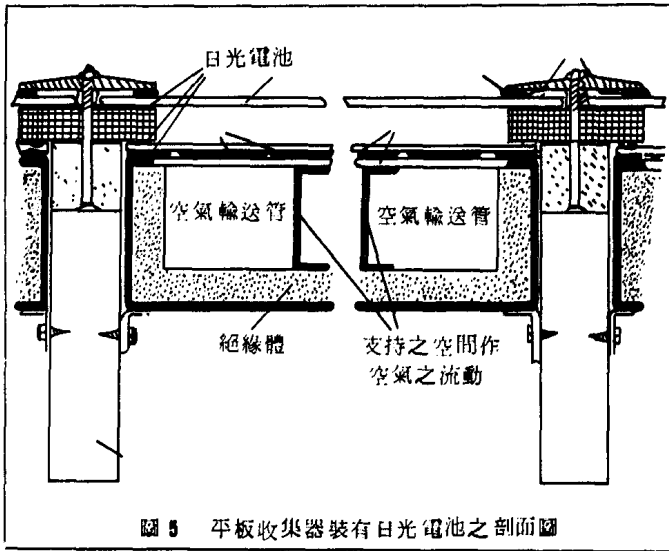


圖 5 平板收集器裝有日光電池之剖面圖

射鏡，必須隨太陽上升下降作垂直轉動，準對日光直射線，熱的轉換必須位於透鏡之交距上，據於此一理由，使用拋物線曲面日光能的收集也為最高，因為設備太貴很少採用，其他方法收效又低，有時因表面體積太大，遭受風壓亦大，需另外設計支架，以策安全。

因為太陽有一相當的直徑，每一度角度約為 0.009 弧度，故當理想的拋物線曲面收集輻射能在熱點交距上，其直徑等於交距與 0.009 弧度之乘積，其收集率 C 之產生乃以熱點交距收集位置之直接輻射與太陽輻射強度之比。

$$C = \frac{q_r}{q_1} = \frac{\text{在熱點交距上太陽輻射之強度}}{\text{未曾收集之直接太陽輻射}}$$

以一完整的拋物線曲面，發現其為拋物線曲面邊緣角 (θ) 及日光 ($a = 0.009$ 弧度) 交角直徑之比。

$$C = \frac{4}{a^2} \sin^2 \theta$$

或

$$q_r = q_1 \frac{4}{a^2} \sin^2 \theta$$

拋物線之確定，其座標軸必須準對向日光，唯一可行的方法如想要保持日射光線之來向，須將拋物線曲面之日光收集器轉動，隨時對準太陽，追蹤日光之垂直射線，當日光照射橫過天空時，其移動速度與移動座標軸亦需隨季節及日變化之位移而動。

另一操縱法是用輔助鏡面作收集器，包括許多平坦的小鏡子，組成追蹤太陽，將日光熱反射線投向拋物線鏡面時再收集之，其所用的鏡面，必須比曲面面積更大，因為有角度關係，然而其結構遠比拋物線曲面為簡單，表面反射率效果小於 100%，如用輔助鏡面，雖能使效率減低，不但使用時比較方便，而且價格也低。

收集器實在的最高溫度，不一定能超過太陽的溫度，以理論來講，如理想的拋線曲面，其反射率在太空中為 100%，則其黑體溫度，也即熱點交距溫度，可能達到 $10,000^{\circ}\text{F}$ ，然而，大氣本身已吸收減去太陽直射的輻射能，在美國各地平均總比例在大氣外圍所收到的日射量，約為 0.75 至 0.40

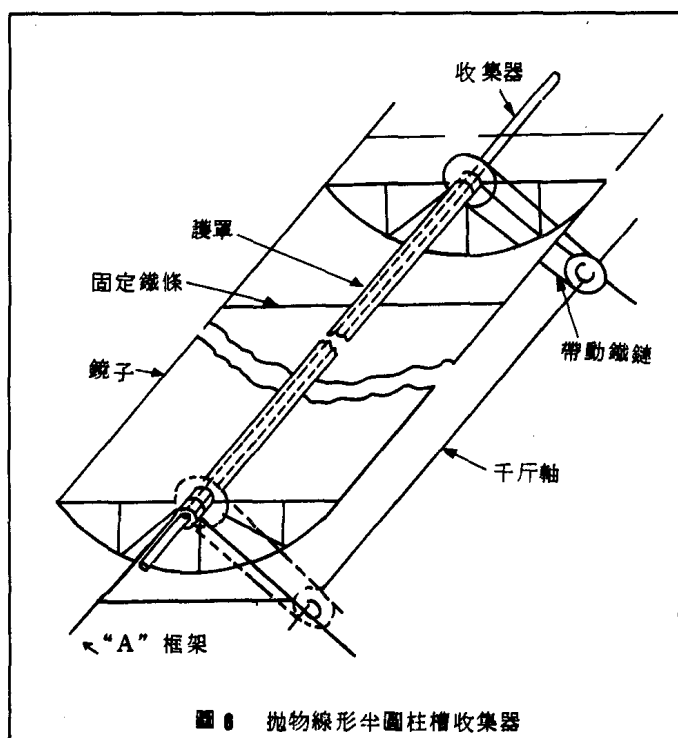


圖 8 拋物線形半圓柱槽收集器