

日光能概論

QUALITY OF SOLAR RADIATION

王 成 椿

JOHN C. WANG

(本論文在中國自然科學促進會第七屆年會物理組宣讀通過)

壹、前 言

亘古以來，太陽始終廣被大地，使萬物生長，綿延數萬萬年，或備為糧食，或備為燃料，如；五穀之衍，與樹木之叢植等然。由於此種生存條件之促成，動物乃能繁殖，歷經時日，發展成現代人類。邇來，人類藉其優越之智慧，探討宇宙奧秘，進而加以控制及利用。因此形成對煤炭，石油，原子能等，廣泛採用。人類享用自然界能量之總和，亦因文明之日益進步而愈見龐大。據估計，現社會之個人，每天平均約需消耗能量八千大卡路里，約為三十年前個人之十倍有強，供應頗成問題。然此數與地球表面太陽輻射能量相較，則顯見微小。蓋因地表之輻射，太陽耗費能量分配給每人每日之數達二十餘億大卡。此種超出所需的豐富能量，因技術上的問題，至今猶未為人類作有效使用，誠屬可惜。目前因國際間，對現存有限煤炭，石油之蘊藏區爭奪之激烈，則將來開發及利用日光能之機會愈益增多，尤其地瘠民貧之處，更宜研究發展，以謀求生活之改善，民生之樂利。

貳、日光輻射之能量

地球表面各處所接受太陽的光熱不相勻稱，隨緯度之高下而有差異。其所受之輻射量適與緯度之高下形為反比。主要原因(一)由於赤道與黃道間有二十三度二十七分之傾斜角。使季節氣候變化在南北半球適成相反。在北半球之冬至時適為南半球之夏至。(二)在春分至秋分間居一年中之一百八十六天。地面接受較多的日射量。在秋分至春分間僅有一年中之百七十九天則在地面接受較少之日射量。在遠日點時，距日約九千四百四十萬英里；而在近日點時距日約九千一百四十萬英里。由於地球對日距離之差別其所受光熱可能有百分之三的變差。若空氣中不受其他因素擾亂之影響，在氣溫上可能達華氏七

度之差。(三)太陽為完善之黑輻射體其溫度在絕對溫度六千度以上。由日斑與日焰之變化觀察，日面之爆發未嘗片刻終止，其在宇宙間輻射之熱量，因亦時有變化。日光四射，當係能量之散佈，使用 bolometer 或 thermopile 可見太陽光中任何波段，皆有能量傳播。圖(1)係在不同溫度下，不同波長日光所具之輻射能。惟因輻射能量除輻射溫度有關外

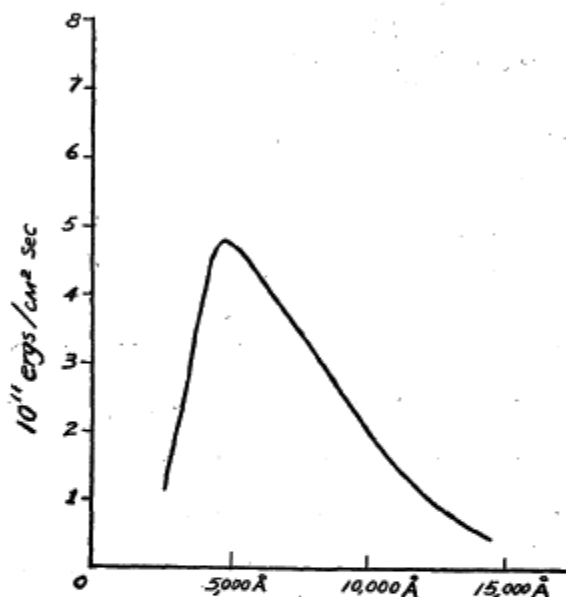


圖 I.

，並與表面之情況有關，故在太陽面與太陽中心所獲得之輻射能亦有上下

。現知在太陽中心之輻射能約為 $4.8 \times 10^{11} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ ，至太陽表面約為 $3.5 \times 10^{11} \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 欲測定日光輻射能，可由 Wien's radiation law

$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-\frac{C_2}{T}}$ 測定波長較短部份之能量。式中 E_λ 為波長為 λ 時之能量。 C_1, C_2 為常數， T 為絕對溫度。

此外亦可自 Rayleigh's radiation law

$E_\lambda = \frac{C_1 T}{C_2 \lambda^4}$ 測定波長較長部份之能量。綜合上兩方法，可使用 Planck's

radiation formula

$$E_\lambda = \left(\frac{hc^2}{\lambda^5} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \right)$$

式中 $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$ ， C 為光速， T 為絕對溫度， k 為常數 $= \frac{R}{N}$ ， R 為理

想氣體常數， N 為 avogadro's 常數。普通地表附近日光能能量之測定分大氣層外與大氣層內兩方進行，根據現有資料(1)，大氣層外之輻射能約為 $1.5 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 至大氣層內，因受水汽，霧霞，Aerosol 微粒之散射，聚集器障礙等影響，其輻射能更為低落，僅為 E_λ 之 $F_w F_h [(-k \log W + t_0)\%]$ ；式中 F_w 為水汽之干撓常數， F_h 為 Aerosol 微粒之干撓常數， W 為溫度，而 k 及 t_0 均為實驗所得常數。如：波長在 7000 Å 至 9000 Å 間之光，其輻射能本應有 $0.3 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 惟其 F_w 為 0.903 ， F_h 為 0.758 ， k 為 15.1 ， t_0 為 106.3 ， w 為 0.26 ，故 $F_w F_h [(-k \log W + t_0)\%] = 0.6$ 所輻射之實際

能量僅為 $0.18 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 故在大氣層內所求得輻射能量在 $0.8 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}$ 左右。(2)

叁、聚 集 器

日光能在使用時亟需解決之問題，為日光機械的完美設計。根據各項需要，日光機械，務必具備三大特性：

(一)聚集裝置俾能匯集大量日光能，使負供給工作材料，包括氣體或液體足夠之熱量，提高其溫度。

(二)儲存日光能以供應，天時不測陰雨氣候下，日光能缺乏來源時之需。

(三)創造適合上述能量供應狀況下之發動機。

姑勿論日光能照射大地時之輻射能量龐大異常，然在地球表面因輻射能密度之稀疏，欲全部直接利用，尚非易事，蓋密度過低，僅能使被照射物獲得較低溫度。故而未經焦集，日光能似無可能轉換而有效地作功。

聚集器乃日光機械之一部份，具有聚集能量，促使其內部所載有之氣體或液體，昇高溫度。至於其高溫極限之獲致，則視設計形式而別。就熱機觀點言之，此種設計，以使高溫極限愈高愈佳。然事實上，聚集器之溫度限於工作條件或受制於經濟原則，都局限在某一界限之內，無法完全符合理想之需要。

獲致昇高温度的因素，絕非純粹屬於聚集器之效率，其他如：聚集熱量之總和與工作材料本身高溫低溫時，溫度差 ΔT ，均具重大影響。故研究聚集器，必分門別類，考慮其操作原理，結構形態，高溫及低溫之極限，最大聚熱量及其使用效率等。

聚集器大別為兩類：第一類屬未經光學處理不加焦集者，而第二類屬經利用光學原理予以焦集。

〔1〕**平式聚集器** 凡屬未經處理不加焦集之聚集器皆稱為平式聚集器(3)。此類聚集器既未利用光學方法，故能在直接輻射與離散輻射都可使用，尤其在熱帶地區離散輻射的聚集尤見重要，誠此類聚集器之特點。然平式聚集器所根據之物理原則，影響使用效能，亦頗堪注意。大凡任何物體置放在日光輻射下，勿論其日晒時間多久，僅能昇高細微溫度，主要是逸出與吸收之熱量，互成平衡之緣故。關於逸出之研究，吾人可知其大部份，係由於空氣溫度與聚集器溫度間之差所造成空氣對流，招致熱能逸損(4)。設 q_1

為耗損之熱量 α_1 為某一空氣流速之函數, T_c 聚集器溫度, T_a 空氣溫度,

$$\text{則 } q_1 = \alpha_1 (T_c - T_a) \dots\dots\dots (1)$$

欲計算氣流速度在平式聚集器逸損熱量之效應上, 必先假設氣流與平式聚集器同具方向。為計算使氣流保持 Laminar 之最高流速應為若干, 由流體力學之 Reynolds number 與 Turbulence 關係圖 (2) 可知

Reynolds number $Re = 2.8 \times 10^6$ 時具有 Laminar 之特性。空氣在室溫之動黏滯係數 ν , 通常為

$$\frac{\mu}{\rho} = 0.145 \text{ cm}^2/\text{sec} \dots\dots\dots (2)$$

式中 μ 為空氣之黏滯係數, ρ 為空氣之密度。由 (2) 式可知

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \dots\dots\dots (3)$$

式中 v 為氣流速度, l 為平式聚集器之長度, 因此 $\frac{l \cdot v}{0.145} = 2.80 \times 10^6$, 若氣流速度 $v = 1000 \text{ cm/sec}$, $l \leq \frac{4.06 \times 10^5}{103} = 406 \text{ cm} \div 4 \text{ m}$ 此即氣流在 1000 cm/sec 平行於 4 m , 長之平式聚集器上流動時, 可認為 Laminar。長度在 4 m 上下, 此種誤差皆尚微小, 可略而勿計。在此情況下, 由氣流而成之熱量損失, 可由下式測得

$$Nu = \frac{q}{\lambda A (T_c - T_a)} \dots\dots\dots (4)$$

式中 $Nu = 0.585 \sqrt{Re}$ 稱為 Nusselt's number。 q 為在平式聚集器單位厚度內, 單位時間中由平行氣流所傳動逸出之熱量, λA 為空氣導熱係數內涵因對流損失在內。

另一熱量損失的因子, 是由輻射引起。根據 Stefan—Boltzmann 定律

$$q_2 = \alpha_2 \sigma (T_c^4 - T_s^4) \dots\dots\dots (5)$$

式中 α_2 表吸收係數 σ 為 Stefan-Boltzmann 常數, 約等於 $5.73 \times 10^{-8} \text{ erg. Grade}^{-4}/\text{sec cm}^2$ 而 T_s 則為聚集器週圍之溫度。為使聚集器增強其熱量之吸收, 器內壁可塗上黑色, 然根據 Kirchhoff's 定律, 此舉亦使此器能量之放射增加 $\frac{E}{A} = f(\lambda T) = E_B \dots\dots\dots (6)$

式中 E 及 A 為一定波長之照射光在特定溫度下之放射係數及吸收係數而 E_B 為絕對黑體之放射係數。

由此可見, 任一波長之照射光在特定溫度下之放射與吸收係數皆成正比地增加 (5),

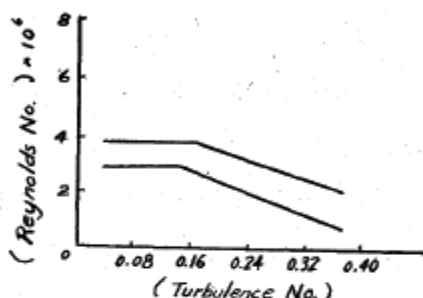


圖 II. Reynolds number 與 Turbulence number 之關係圖

結果與聚集器之增加溫度，無所補益。

此外吾人得特別注意，大氣層外最高一層的溫度 T_0 。在一般曝曬物體來言縱使是晴空萬里， T_0 還顯見過小。至於在陰霾籠罩之日， T_0 略近雲霧之溫度，而由輻射損失之熱能亦必見增高。例如，達到 100°C 之聚集器，若接受照射之面與入射光成直角，而損失僅限於輻射時，吾人可測得聚集器之黑體，在此溫度下，約放射 0.11 Watts/cm^2 其時由曝曬吸能約為 0.135 Watts/cm^2 ，此種數據，顯示 100°C 為黑體欲達到溫度之最高目標。

在聚集器之效用，吸收面之溫度佔重要因素，因其能揣測工作材料，氣體或液體，可能加熱達到之溫度。當然理想的情形是 100% 的將能量能從吸收部份轉化到工作材料如；水這一類介質上，但因水之汽化熱過高，從無希望可因此使其轉變成水汽。當然如熱空氣或沸點較低之液體，無此弊害易於達成此目的，較常被採納而取用。

為使聚集器吸收較多熱量，而獲得更高溫度，聚集器之吸收部份常罩在很多玻璃層內，普通之設計為自聚集器吸收黑面起，每相隔一小距離必有一層玻璃蓋。

玻璃之疊蓋有其利，亦必有其弊。最大利益，能收到「蔴花暖室」之效用，恰似波長變更器。通常，玻璃能在某一程度內具透射作用，視波長之長短而定。

由前圖一，揣測得日光光譜中，以波長 $\lambda_m = 4800\text{\AA}$ 之光具最大輻射能。根據前述，Wien's law $\lambda_m T_0 = 0.288\text{cm} \times \text{Grade} \dots \dots \dots (7)$

普通的玻璃，無法透過紫外及紅外線。此兩部份皆被玻璃所吸收，對聚集器言，純屬損失，但此項損失殊少，因其僅佔日光譜中之極小部份。

獲致透入之能量使聚集器溫度逐漸提高；同時，由於無法透入之光譜，被玻璃所吸收，亦自疊蓋玻璃片增高溫度。疊蓋玻璃之增加溫度，却具有減少由聚集器表面，經輻射而逸出熱量，此種逸出量可由公式

$$q_s = \frac{\sigma(T_c^4 - T_{G1}^4)}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_{G1}} - 1} \dots \dots \dots (8)$$

由計算而得， q_s 為由聚集器至第一玻璃片間輻射熱能之散失； T_c 及 T_{G1} 各為聚集器及第一玻璃片之絕對溫度； E_c 及 E_{G1} 各為聚集器表面及玻璃面之放射係數。在此特殊範圍內，聚集器與玻璃都遵守黑體之原理。

雖然玻璃片溫度之增加，減少由於輻射使聚集器損失熱量，然而玻璃片對四週之熱量損失，却因而增加。假設在聚集器中僅蓋有一層平玻璃，則由玻璃向四週輻射而損失能量約為

$$q_4 = \sigma E_{g1}(T_{g1}^4 - T_s^4) \dots\dots\dots(9)$$

式中 E_{g1} 假設玻璃片遵守黑體輻射原理時之放輻係數。 T_{g1} 為玻璃片之絕對溫度， T_s 則為晴空中高空大氣溫度，或陰天時之雲霧溫度。 T_s 愈低，則熱量失散之總和亦愈可觀。

此外，由於聚集器吸收而與玻璃片間之空氣空間，亦能因對流及傳導之作用，損失熱量。此種損失，受玻璃片外層之流動空氣速度而冷却玻璃片影響。空氣流動愈快，玻璃片失散熱能愈多，當然因對流及傳導致使聚集器吸收面損失之能量亦形增加。在計算因對流所引起之熱量失散，則聚集器之傾斜度，亦屬重要因子之一。此種損失可由公式

$$q_5 = \alpha_s (T_c - T_{g1}) \dots\dots\dots(10)$$

$$\alpha_s = k (T_c - T_{g1})^{1/4} \dots\dots\dots(11)$$

式中 k 為聚集器傾斜度之函數。 k 之數值因聚集器吸收面與疊蓋玻璃片對水平所成角度之不同而變更；若吸收面與水平間角度增大，則 k 之數却見減少。

聚集器吸收面與玻璃片間，部份之傳導及對流，造成玻璃片溫度之增加，亦因而增加玻璃片對四週熱量之散失。因此用第二片玻璃片疊蓋其上，使損失減小。在第一玻璃片與第二玻璃間，亦有與上述相似之熱量散失，依此類推至其他各玻璃片。

概括言之，由聚集器吸收面向外層玻璃片損失之總能量，大至由於照射到吸收面黑板上之日光能，其中部份，由此面反射至第一玻璃片。此部份之一部再經玻璃片反射至吸收面，另一部或由玻璃所吸收，或折射而入第一二兩玻璃片間之空間。由吸收面發散之低溫長波的輻射能，幾乎全部為第一玻璃片所吸收，因此提高其溫度，此高溫却足以減少輻射傳導及對流所造成由吸收面向外逸散其能量。然而第一玻璃片溫度之增高，却助長對第二玻璃片因輻射對流及傳導引起之能量損失，層層推論而至最外層。在最外層上，另外還有流動氣流之冷却因素，如：(4) 式所表者然。

其次吾人可考慮一下，聚集器中疊蓋玻璃片之弊害。其中之一業經敘述，即太陽光譜中紫外線與紅外線之被玻璃吸收。這些能量大部屬損失；因其或者溫暖外層玻璃片，或者經輻射，傳導及對流而逸出聚集器外。另一在多層玻璃片的情況下之重要弊害是對

結果與聚集器之增加溫度，無所補益。

此外吾人得特別注意，大氣層外最高一層之溫度 T_s 。在一般曝曬物體來言縱使是晴空萬里， T_s 還顯見過小。至於在陰霾籠罩之日， T_s 略近雲霧之溫度，而由輻射損失之熱能亦必見增高。例如，達到 100°C 之聚集器，若接受照射之面與入射光成直角，而損失僅限於輻射時，吾人可測得聚集器之黑體，在此溫下，約放射 0.11 Watts/cm^2 其時由曝曬吸能約為 0.135 Watts/cm^2 ，此種數據，顯示 100°C 為黑體欲達到溫度之最高目標。

在聚集器之效用，吸收面之溫度佔重要因素，因其能揣測工作材料，氣體或液體，可能加熱達到之溫度。當然理想的情形是 100% 的將能量能從吸收部份轉化到工作材料如；水這一類介質上，但因水之汽化熱過高，從無希望可因此使其轉變成水汽。當然如熱空氣或沸點較低之液體，無此弊害易於達成此目的，較常被採納而取用。

為使聚集器吸收較多熱量，而獲得更高溫度，聚集器之吸收部份常罩在很多玻璃層內，普通之設計為自聚集器吸收黑面起，每相隔一小距離必有一層玻璃蓋。

玻璃之疊蓋有其利，亦必有其弊。最大利益，能收到「蔴花暖室」之效用，恰似波長變更器。通常，玻璃能在某一程度內具透射作用，視波長之長短而定。

由前圖一，揣測得日光光譜中，以波長 $\lambda_m = 4800\text{\AA}$ 之光具最大輻射能。根據前述，Wien's law $\lambda_m T_0 = 0.288\text{cm} \times \text{Grade} \dots \dots \dots (7)$

普通的玻璃，無法透過紫外及紅外線。此兩部份皆被玻璃所吸收，對聚集器言，純屬損失，但此項損失殊少，因其僅佔日光譜中之極小部份。

獲致透入之能量使聚集器溫度逐漸提高；同時，由於無法透入之光譜，被玻璃所吸收，亦自疊蓋玻璃片增高溫度。疊蓋玻璃之增加溫度，却具有減少由聚集器表面，經輻射而逸出熱量，此種逸出量可由公式

$$q_s = \frac{\sigma(T_c^4 - T_{G1}^4)}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_{G1}} - 1} \dots \dots \dots (8)$$

由計算而得， q_s 為由聚集器至第一玻璃片間輻射熱能之散失； T_c 及 T_{G1} 各為聚集器及第一玻璃片之絕對溫度； E_c 及 E_g 各為聚集器表面及玻璃面之放射係數。在此特殊範圍內，聚集器與玻璃都遵守黑體之原理。

雖然玻璃片溫度之增加，減少由於輻射使聚集器損失熱量；然而玻璃片對四週之熱量損失，却因而增加。假設在聚集器中僅蓋有一層平玻璃，則由玻璃向四週輻射而損失能量約為

$$q_4 = \sigma E_{g1}(T_{g1}^4 - T_s^4) \dots\dots\dots(9)$$

式中 E_{g1} 假設玻璃片遵守黑體輻射原理時之放輻係數。 T_{g1} 為玻璃片之絕對溫度， T_s 則為晴空中高空大氣溫度，或陰天時之雲霧溫度。 T_s 愈低，則熱量失散之總和亦愈可觀。

此外，由於聚集器吸收面與玻璃片間之空氣空間，亦能因對流及傳導之作用，損失熱量。此種損失，受玻璃片外層之流動空氣速度而冷却玻璃片影響。空氣流動愈快，玻璃片失散熱能愈多，當然因對流及傳導致使聚集器吸收面損失之能量亦形增加。在計算因對流所引起之熱量失散，則聚集器之傾斜度，亦屬重要因子之一。此種損失可由公式

$$q_5 = \alpha_5 (T_c - T_{g1}) \dots\dots\dots(10)$$

$$\alpha_5 = k (T_c - T_{g1})^{1/4} \dots\dots\dots(11)$$

式中 k 為聚集器傾斜度之函數。 k 之數值因聚集器吸收面與疊蓋玻璃片對水平所成角度之不同而變更；若吸收面與水平間角度增大，則 k 之數却見減少。

聚集器吸收面與玻璃片間，部份之傳導及對流，造成玻璃片溫度之增加，亦因而增加玻璃片對四週熱量之散失。因此用第二片玻璃片疊蓋其上，使損失減小。在第一玻璃片與第二玻璃間，亦有與上述相似之熱量散失，依此類推至其他各玻璃片。

概括言之，由聚集器吸收面向外層玻璃片損失之總能量，大至由於照射到吸收面黑板上之日光能，其中部份，由此面反射至第一玻璃片。此部份中之一部再經玻璃片反射至吸收面，另一部或由玻璃所吸收，或折射而入第一二兩玻璃片間之空間。由吸收面發散之低溫長波的輻射能，幾乎全部為第一玻璃片所吸收，因此提高其溫度，此高溫却足以減少輻射傳導及對流所造成由吸收面向外逸散其能量。然而第一玻璃片溫度之增高，却助長對第二玻璃片因輻射對流及傳導引起之能量損失，層層推論而至最外層。在最外層上，另外還有流動氣流之冷却因素，如：(4) 式所表者然。

其次吾人可考慮一下，聚集器中疊蓋玻璃片之弊害。其中之一業經敘述，即太陽光譜中紫外線與紅外線之被玻璃吸收。這些能量大部屬損失；因其或者溫暖外層玻璃片，或者經輻射，傳導及對流而逸出聚集器外。另一在多層玻璃片的情況下之重要弊害是對

能見光譜的反射與吸收，影響至鉅。

由反射而損失之熱量，係輻射時，入射角之一函數，可由未經極化光束之 Fresnel's 反射公式計算而得：

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2(i-r)}{2\sin^2(i+r)} + \frac{\tan^2(i-r)}{2\tan^2(i+r)} \dots\dots\dots(12)$$

式中 I_0 為入射之輻射強度， I 為反射之輻射強度， i 為入射角 r 為折射角。在循法線方向入射的情況下，則有 $\frac{I}{I_0} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \dots\dots\dots(13)$

式中 n 為玻璃之折射率。如循法線方向入射之光經折射率為 $n=1.5$ 之玻璃，則反射損失約為 4%。在未極化之光束中，反射率與入射角之間的關係，經實驗測定各類數據而表示出如圖(3)所有之曲線。在 50° 以下之入射角，反射率與法線投射時之情形極為近似。此關係對每一經緯度上，確定聚集器傾斜度以獲致最低之反射，具有重大影響。圖中曲線亦可協助選定聚集器之形式。由此推論，在曲面而座落東西及南北方向之轉軸上之聚集器，必須使每一部份上，在整日內保持陽光投射角小於 50° 。

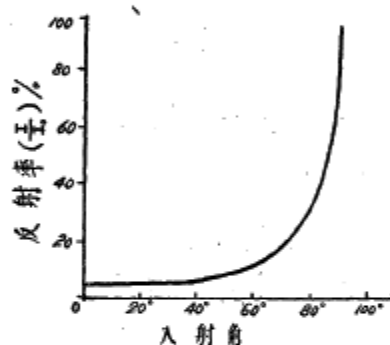


圖 III 入射角與反射率之關係圖

當一聚集器包括一片以上疊蓋玻璃片，其由此片至彼片間，因反射而損失之能，自能計算，則疊蓋玻璃片片數亦可選擇；惟以減少自內向外耗損能量至最低限度為主。

由玻璃吸收而損耗之能量，可由 Bongner 公式計算：

$$I = I_0 e^{-ax} \dots\dots\dots(14)$$

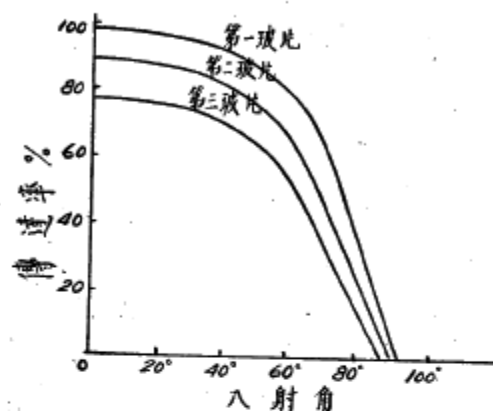
式中 I_0 為投入之輻射能， I 為傳達之輻射能 x 為光束通過玻璃之路程長， $a = \log_e d$ 而 d 為單位厚之介質，其傳達之輻射能。

由(14)式，能量吸收與入射角俱增，此亦所以使光束循玻璃片法線方向投射之原因。

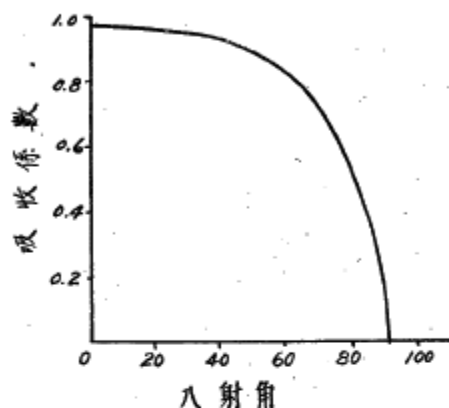
玻璃傳達率與入射角間之關係，可由圖(4)見之。在 20 至 25 度間，傳達率幾為常數，恒等不變，惟對較大角，則入射角增加傳達率亦變更愈大。

除玻璃反射、玻璃吸收之損失等原因外，另一嘗試得循法線投射之理由，是因着聚集器吸收黑面之吸收係數之關係。如圖(5)所示，在 0 至 20 度間吸收係數約為 95% 惟入

射角愈大則吸收係數愈小。



圖四



圖五

聚集器能量之吸收，視玻璃種類不同而變更，因此得先行測知使用玻璃之吸收係數，以便計算。

平式聚集器之一大特點，為玻璃之特性所造成， $\frac{1}{8}$ 英吋厚而含有 0.02% Fe_2O_3 之玻璃，在 4000 Å 至 20000 Å 波長間，具有 $\frac{9}{10}$ 以上之傳達率。此傳達率，對於 45000 Å 以上之波長，幾降為零。因此玻璃僅吸收太陽光束中極少之能量，但對自吸收面再輻射之較長波長之光束，却拒絕透射。

平式聚集器在實際使用上，必需注意到平衡狀態之獲致，再由玻璃片傳達率，吸收面吸收率及種種熱能單位，以求得穩定狀態下(6)，每單位面積熱量之聚集率。設 H_t 為聚集器之聚集率， E 為聚集器在室外每單位面積之曝曬率， r 為玻璃片之平均傳達率， a 為聚集器黑面上之吸收率，則

$$H_t = aEr - H_c \dots\dots\dots (15)$$

而 H_c 為單位面積上因輻射，傳導，對流之熱能損耗率。

由前述關係推測：

$$H_t = \frac{T_c - T_s}{\frac{n}{c \sqrt{\frac{T_c - T_s}{n+f}} + \frac{1}{bW}}} + \frac{\sigma(T_c^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{2n+f-1}{\epsilon_g} - n} \dots\dots\dots (16)$$

式中 T_c 及 T_s 同前為吸收面與週圍空氣之絕對溫度， f 為玻璃外層至玻璃內層之熱阻比。 bW 為外層片上之對流係數， ϵ_c 及 ϵ_g 分別為聚集器及玻璃之發射率。 C 為玻

$$H_c = C(T_c - T_a)^{1.4} \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{或 } H_c = K(T_c - T_a) \dots\dots\dots (18)$$

(17) 式中之C在單層玻璃片之聚集約為0.42，雙層者為0.30，三層者為0.22，因此(15)式亦可簡寫成：

$$H_t = aEr - K(T_c - T_a) \dots\dots\dots (19)$$

此外，若在聚集器內，通過水流，設每單位截面積在每秒內通過Wlb則

$$\Sigma H_t = \frac{W}{K+W} \Sigma E \dots\dots\dots (20)$$

式中 ΣH_t 為經歷一週期水流所吸收之熱量， ΣE 為經同一週期在水平面上由Thermopile所測得之投射輻射能，K為耗失熱能之水當量係數，此係數受失散能量之影響如因玻璃片之吸收及反射，器底之導熱，及流體對流與輻射等因素。此時之聚集器其效率即為

$$\eta = \frac{\Sigma H_t}{\Sigma H} = \frac{W}{K+W} \dots\dots\dots (21)$$

〔2〕**焦集聚集器** 焦集聚集器係使用透鏡或一組反射鏡，將日光能集中而使聚集。在平常的溫度下，使用圓柱形，且截面成一拋物形者較為適合，此種聚集器頗似一水槽。在高溫下，則以拋物鏡為佳。

各種焦集聚集器，具有共通之弊病，即僅能集中直射之日光而損失佔份量頗巨之曝曬能。尤其在乾燥之熱帶由於大氣層中含有多種Aerosol微粒使光譜中，大多輻能漫散而無法由光學裝置集中。

焦集裝置之性能，在理想無耗損之情況下(7)，可由曝曬面積，與經焦集後之太陽實像面積之比來表示之。稱為集中率。槽形聚集器之集中率約為200，若鏡面張口面積為 $2f$ ，則太陽實像面積，因 $\frac{2f}{X} = 200$ $X = \frac{f}{100}$ 式中，X為太陽實像面積。設曝曬所獲日光能為 0.133 Watt/cm^2 則在焦集點即太陽實像上，約有 $0.133 \times 200 = 26.6 \text{ Watt/cm}^2$ 可維持溫度達 1470°C 。

若在大氣中，熱能的損失亦予考慮，則在直射上焦集點上亦可獲致 15 Watt/cm^2 而導致溫度可增加至 1000°C 左右。

一個理想拋物面鏡，其集中率可以計算而得，若鏡面張口面積為一圓形，其直徑為 $2f$ (拋物面焦距之兩倍)，在焦點平面上，太陽實像之半徑為 $\frac{f}{100}$ 則集中率 $\frac{\pi f^2}{\frac{\pi}{4}(f/100)^2} = 200^2 = 40000$ 。

根據前述原理，照射焦聚集器上陽光之能量，當然為波長之函數。若 y 為集中率，則距焦焦點中心為 r 之輻射能 I 與焦焦點中心輻射能 I_0 之比數必為集中率之函數 $\frac{I}{I_0} = f(y)$ ， $y = \frac{r}{R_s}$ ，式中 R_s 為焦焦點之半徑。其次設 c 為聚集器焦焦點半徑面積所獲能量。其單位為 Watt/cm^2 ，復假設 R 為太陽實像之半徑，則 I_0 可證明 R 之函數。因：

$$c = \int_0^{R^1} I(r) ds = \int_0^R I(r) 2\pi r dr = \int_0^1 2\pi R^2 I_0 f(x) x dx \dots\dots (1)$$

$$\text{因此 } I_0 = \frac{c}{2\pi R^2} \int_0^1 f(x) x dx = \frac{c}{2\pi R^2 S} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{而 } S = \int_0^1 f(x) x dx \dots\dots\dots (3)$$

然上述 I_0 係指一般而言。實際上之焦焦點，其集中率並非均勻分佈，往往在光軸附近者特強，其他區域稍弱，因此所生影響，使焦焦點能量，均為計算中原有能量之 $\frac{1}{4}$ 。

今有兩個同樣效果之焦集裝置，吾人自可探斷，集中率與其張口面積必成反比。由於焦集效用之增加，必使能量耗損減小，故而焦集裝置能量耗損，與集中率成反比即式

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{y_2}{y_1} \dots\dots\dots (4)$$

中 q_1 為第一焦集器之能量耗損， q_2 為第二焦集器之能量耗損， y_1 及 y_2 分別為其集中率。

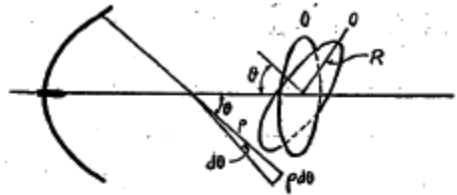
此外，由於鏡子的存在，亦可造成一部份之耗損。一片內層之鏡面對輻射能，有兩次吸收，即反射面與底面。紅外線較諸其他光譜更受影響。在鏡內耗損之外，還得考慮鏡外介質中之耗損，此兩類相加，造成極大弊害，因此鏡面之清潔問題亟需解決。

在輻射能之耗損上，外層鏡面效果較為良好，然在裝置上問題頗大。普通焦集裝置，常用巨量小形平面鏡構成。如此構造，將有部份反射光未能焦集在太陽之實像上。

另外還有一重大之耗損，由於聚集器本身溫度提高而經輻射，對流與傳導所產生，向外熱能散失，亦屬重要。

其次，由於焦集裝置，無法將焦焦點完全限制在焦點平面上之太陽實像內，因此，必須計算太陽實像以外之焦集能量。假設能量係由拋物鏡上，無數極小平面鏡聚集而來，則在焦點平面構成一橢圓形 O 其長徑為 $\frac{R}{\cos\theta}$ 短徑為 R 。 R 亦即反射光錐體之底，其軸因太陽位置與拋物面之軸成 θ 角，中心則在太陽實像之中心，如圖 (6) 若由環圈至太

陽實像中心之距離為 ρ ，則以 $\rho \sin \theta$ 為半徑，以 $\rho d\theta$ 為寬之圓環上聚集之能量，在反射光錐體軸線在拋物面上轉動時，必分佈在以 R 為半徑之圓內。因此在垂直於拋物面鏡軸線之圓 O' 上，其



圖六

$$\text{外環上強度爲： } dI_c = \frac{c}{\pi R^2 \cos \theta} 2\pi \rho^2 \sin \theta d\theta \dots\dots\dots (5)$$

式中 c 為日光照射能常數。在 O' 上之能量爲：

$$dE = dI_c \frac{\pi R^2}{\cos \theta} = 2\pi c \rho^2 \sin \theta d\theta \dots\dots\dots (6)$$

至於以 R 為半徑之內圓上，其所受能量應為 $dE_c = \pi R^2 dI_c$ 所以

$$dE_c = 2\pi c \rho^2 \sin \theta \cos \theta d\theta \dots\dots\dots (7)$$

因此在以 R 及 $\frac{R}{\cos \theta}$ 為兩半徑時其所挾圓環面積爲

$$Ar = \frac{\pi R^2}{\cos^2 \theta} - \pi R^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{其所受熱能爲： } dE_r = (2\pi c \rho^2 \sin \theta)(1 - \cos \theta) d\theta \dots\dots\dots (9)$$

由(7)(8)兩式得圓環上之強度爲：

$$\begin{aligned} dI_r &= \frac{2\pi c \rho^2 \sin \theta (1 - \cos \theta) \cos^2 \theta d\theta}{\pi R^2 \sin^2 \theta} \\ &= \frac{2c \rho^2 (1 - \cos \theta) \cos^2 \theta d\theta}{R^2 \sin \theta} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

現有太陽實像之直徑張角為 α 則 $R = \frac{\rho \alpha}{\alpha}$ 上式可寫成：

$$dI_c = \left(\frac{8c}{\alpha^2} \right) \sin \theta \cos \theta d\theta \dots\dots\dots (11)$$

$$dI_r = \left(\frac{8c}{\alpha^2} \right) \frac{(1 - \cos \theta) \cos^2 \theta d\theta}{\sin \theta} \dots\dots\dots (12)$$

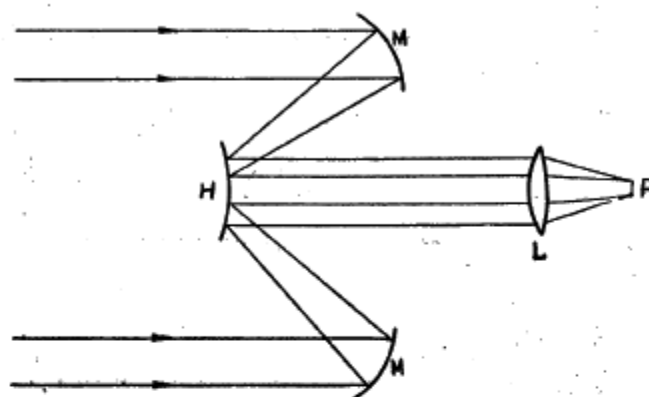
若 θ 之極限為 θ_1 及 θ_2 則：

$$I_r = \frac{8c}{\alpha^2} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \frac{(1 - \cos \theta) \cos^2 \theta d\theta}{\sin \theta} \dots\dots\dots (13)$$

此 (13) 式即可算出在太陽實像外之輻射強度

焦集聚器在實用時，共分兩種型式，第一種僅使拋物鏡面繞一軸旋轉，使鏡面能在東西向內運動，按時轉動，而始終受太陽直射。另一種更進一步修正因季節之更迭而

變更之太陽軌道共設兩軸，一軸隨日出日沒而轉動，一軸隨季節而偏轉，其使日光直射



圖七

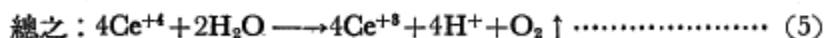
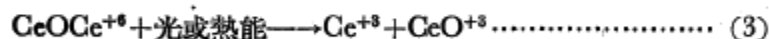
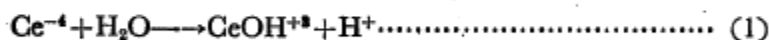
為良好，可為實驗室所採用。如圖（7）

之可能增大。

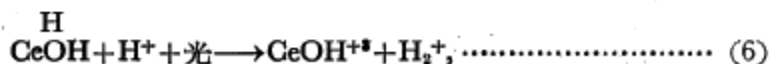
在各種焦集裝置中，Straubel 曾設計使用兩塊可旋轉面鏡 M，一固定凸鏡 H，一凸透鏡 L，使日光先照射平面鏡，反射至凸鏡，而經凸透鏡生焦集作用，效果至

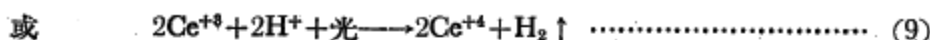
肆、日光能之轉換成化學能

欲使日光能之使用，廣泛而普遍，則必須探求日光能之轉換成化學能之可能。現在，假設可行者為水之光析作用，利用日光能，將水分解成氫和氧。其法將含有過氯酸亞銻（Cersus）及過氯酸銻（Ceric Perchlorates）與過氯酸（Perchloric acid）之水溶液，生成如下反應：

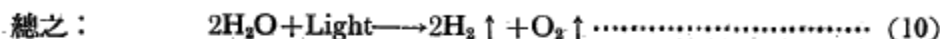


下列各式中之反應，顯見 Ce^{+4} 游子氧化，水，而自身成 Ce^{+3} 之游子，至於氫的生成有如下反應：





在上述反應中，亞鈾 (Cerous) 游子，將水還原成氫，自身氧化成鈾 (Ceric) 游子。



而鈾 (Cerium) 之游子，在光拆作用中，僅具觸媒之作用。上述反應中所生成之氫與空氣或氧，混合後，即可發生極大能量，供工業使用。

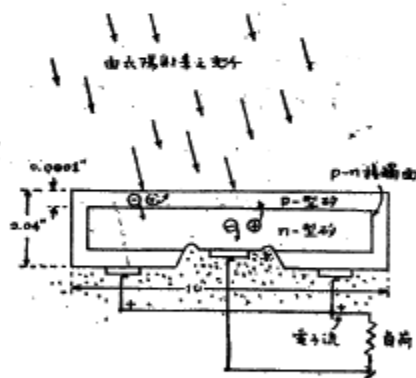
伍、日光能之使用

(1) 日光電池 日光電池乃利用半導體之特點，性質，將光能轉變為電能。首先吾人須明瞭半導體之特性。半導體是一種結晶體，其原子藉外圍電子的價標 (Bonds)，牢牢聯繫。純粹的結晶是絕緣體，但略混入雜質便成了導體。例如；加一點砷 (Arsenic) 到熔融的鍺 (Germanium) 中，冷凝後的結晶，其原子在構造上便多了一個電子。此時的鍺呈負性或稱 n—型鍺，多餘的電子，像金屬中的自由電子一樣可以流動。但如將硼 (Boron) 代替砷加入，結晶中原子的構造便少了一個電子，而形成 P—型。硼在結晶構造中，其原子少了一個電子的地方稱為穴 (Hole)

。穴的作用像是個正電荷，也會流動。

美國貝爾電話公司曾製造日光電池，圖 (8) 是將極少量的砷加入極純粹的矽 (Silicon)，砷與矽含量之比約為一比百萬。所得的含砷的矽塊，其電阻約為每公分 0.5 歐姆。將這矽塊切成薄片，大小為 $2\frac{1}{2}$ 吋長， $\frac{1}{2}$ 吋寬， $\frac{1}{25}$ 吋厚。這些矽片是 n—型的。將此矽片放入一個內裝硼化合物的蒸汽的石英管，在電爐上加熱 1000 至 1200°C。這時硼便會滲入矽塊而在表面形成一 P—型的薄層，根據經驗，這薄層厚度應該是 $\frac{1}{10000}$ 吋左右為最好。冷卻後，在底面括去 P—層而現出 n—層，在此處以及兩旁的 P—層連接電綫，日光電池便告完成。

P—層及 n—層相接觸時，P—n 接觸而形成一電場，使電子留在 n 層，穴留在 P 層，二者不至相合。日光電池主要即利用此一作用。當日光射至矽塊，光子之能量足以



產生一自由電子與一自由正電荷(穴)。P—n接觸面之電場乃將電子驅至n層，而將穴驅至P一層。這些電荷之移動，使矽塊之兩端有一電位差，P一層為正而n一層為負。如在端綫間接通，電流便會通過，光能便轉變成電能。

(2) 日光機械 利用日光聚集器所獲致高溫，根據熱機學中不同衝程，可設計成不同之發動機。目前已有各種試件之數據，可得知其效率。

(3) 其他 現今設計中者，種類繁多，如家庭用日光暖氣，日光爐，日光發電機等。日光能之採用，正方興未艾，有待工程界之深入研究，使服務人羣，為人類謀福祉。

參考文獻：

- (1) Kimball, H. H., U. S. Monthly Weather Rev., 52, No. 10, 473 (Oct. 1924)
- (2) Brooks, F. A., J. Meteorol., 9, No. 1, 41 (1952)
- (3) Hotter, H. C., Trans. Am. Soc. Mech. Engrs., 64, 91 (1942). Atmospheric Radiation and Its Reflection From the Ground.
- (4) Schlichting, H. Boundary Layer Theory. Mc Graw-Hill Book Co. (1955)
- (5) Hamilton, R. W. Space Heating With Solar Energy, Mass. Inst. of Tech. (1954)
- (6) Hottel, N. C. and Woertz, B. B., The Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors, A.S.M.E. Transactions, Feb. (1942)
- (7) Gny, Benveniste, Solar Energy Furnaces, Stanford Research Institute
- (8) Hardwick, T. J., and Robertson E., Can. J. Chem., 29, 818. (1951)
- (9) Chapin, D. M., Pearson, J., Appl. Phys., 25, 575, (1954); Bell Record 33, 241 (1955)