

能源科技

# 太陽能基礎與應用

# SOLAR ENERGY FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

日本太陽エネルギー学会 編

賴耿陽譯著

復漢出版社印行

能源科技

# 太陽能基礎與應用

# **SOLAR ENERGY FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS**

日本太陽エネルギー学会 編

賴耿陽譯著

復漢出版社印行

中華民國 七十年 五月出版

# 太陽能基礎與應用

原著者：日本太陽エネルギー学会會長  
工学博士 谷 下 市

譯著者：賴 耿

出版者：復 漢 出 版 社 陽

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈 岳 林

印刷者：國 發 印 刷 廠

地址：台南市安平路五五六號

版權所有  
翻印必究

平裝 一八〇元  
精裝 二二〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

# 序

1973年的石油危機對燃料資源的有限性響起警鐘，今起約10年後，還可能有第2次的石油危機，現在世界各國都傾全力研究節省能源及開發新能源，太陽系即為新能源的代表，對其直接利用法，已加速努力於研究調查和開發普及。

日本太陽能學會即為參與此事業的一環，特編纂本書，供同好者參考。本書的內容在太陽系利用裝置的設計、製造、實用上，網羅豐富的有用資料，由各分野的一流專家執筆各種裝置的理論與設計。

第1章詳述利用太陽能時必要的日射量與其強度、計測法、計測數據、傾斜面日射量的求法、標準氣象料等。第2章及第3章懇切敘述各種太陽能利用裝置在設計上必要的其失型集熱器、平板型集熱器的理論與實務。第4章討論各種集熱器的材料和耐久性。第5章介紹太能因時間分佈不均勻而需要的蓄熱裝置。以上5章為任何太陽能利用分解都需要的基本知識。

第6章以後敘述各種分野的利用裝置，第6章溫水器，第7章太陽熱暖氣，第8章太陽熱冷暖氣，第9章太陽熱發電，第10章太陽光發電，第11章太陽爐，分別引用各國實例，提示豐富的設計數據。第12章分析開發上的問題，特別討論太陽能利用上的經濟性。

本書為太陽能利用上的專門書，有超乎預想的充實內容。能源問題為目前的世界性重要課題，本書的出版頗得時宜，參與本書成書的幕前幕後人士都引為自豪。

但願本書能引起大眾關心太陽能利用的問題，希望參與的技術者會愈來愈多。祈禱太陽能帶來一個清潔的未來世界。

# 太陽能的基礎與應用 / 目次

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>第 1 章 太陽能的量與強度</b>     | <b>1</b>   |
| 1.1 日射量與測定機器              | 1          |
| 1.2 有關日射的量                | 13         |
| 1.3 日射量的工學研討              | 25         |
| <b>第 2 章 集光型集熱器的理論與實務</b> | <b>32</b>  |
| 2.1 集光的理論                 | 32         |
| 2.2 集熱的理論                 | 38         |
| 2.3 熱傳達的理論                | 41         |
| <b>第 3 章 平板型集熱器的理論與實務</b> | <b>55</b>  |
| 3.1 概說                    | 55         |
| 3.2 分類                    | 55         |
| 3.3 構造                    | 59         |
| 3.4 集熱量、集熱效率的計算           | 65         |
| <b>第 4 章 集熱器的材料與耐久性</b>   | <b>82</b>  |
| 4.1 概說                    | 82         |
| 4.2 集熱器的要求性能和材料           | 82         |
| 4.3 改善集熱器的耐久性             | 101        |
| <b>第 5 章 蓄熱的理論與實務</b>     | <b>108</b> |
| 5.1 概說                    | 108        |
| 5.2 冷暖氣用蓄熱                | 108        |
| <b>第 6 章 溫水器的理論與設計</b>    | <b>135</b> |

|                              |     |                           |     |
|------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 6.1 概說.....                  | 135 | 6.4 自然循環型溫水器的<br>設計法..... | 145 |
| 6.2 溫水器性能的理論計<br>算.....      | 137 | 6.5 靜置型溫水器的設計<br>法.....   | 152 |
| 6.3 溫水器性能的實測與<br>年間集熱量的預測... | 141 |                           |     |

## 第7章 太陽熱暖氣的理論與設計..... 154

|                  |     |                            |     |
|------------------|-----|----------------------------|-----|
| 7.1 概說.....      | 154 | 7.4 太陽熱熱泵浦（冷）<br>暖氣系統..... | 177 |
| 7.2 太陽熱自然暖冷氣...  | 159 |                            |     |
| 7.3 太陽熱暖氣系統..... | 165 |                            |     |

## 第8章 太陽熱冷暖氣熱水供給系統..... 183

|                 |     |                              |     |
|-----------------|-----|------------------------------|-----|
| 8.1 概說.....     | 183 | 8.3 太陽熱冷暖氣熱水供<br>給系統的設計..... | 197 |
| 8.2 太陽熱驅動冷凍機... | 185 |                              |     |

## 第9章 太陽熱發電的理論與設計..... 207

|                         |     |                  |     |
|-------------------------|-----|------------------|-----|
| 9.1 太陽熱發電的基本系<br>統..... | 207 | 9.2 各種熱發電系統..... | 219 |
|-------------------------|-----|------------------|-----|

## 第10章 太陽光發電的理論與設計..... 227

|                         |     |                             |     |
|-------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 10.1 概說.....            | 227 | 效率.....                     | 232 |
| 10.2 太陽電池的動作原理<br>..... | 227 | 10.4 太陽光發電裝置.....           | 238 |
| 10.3 太陽電池的能量變換          |     | 10.5 太陽電池的現況與今<br>後的課題..... | 241 |

## 第11章 太陽爐的理論與設計..... 244

|                          |     |                          |     |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 11.1 前言.....             | 244 | 製造.....                  | 252 |
| 11.2 太陽爐的基礎.....         | 245 | 11.5 利用太陽爐的高溫研<br>究..... | 257 |
| 11.3 理論集中比與到達溫<br>度..... | 249 | 11.6 結語.....             | 261 |
| 11.4 大型太陽爐的設計與           |     |                          |     |

## 第12章 開發上的問題.....262

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| 12.1 各種問題.....262   | ..... 264      |
| 12.2 天空光的利用.....262 | 12.6 技術主義觀念的導入 |
| 12.3 無追蹤集光.....263  | ..... 266      |
| 12.4 第三集光法.....263  | 12.7 太陽能利用與成本的 |
| 12.5 exergie觀念的導入   | 問題.....267     |

# 第1章 太陽能的量與強度

## 1.1 日射量與測定機器

以太陽輻射為能源時基本問題之一是瞭解入射的太陽放射量之絕對值與其變動。設計各種裝置時，需要此基礎量，但搜集資料時，常感適合目的的資料不足或懷疑測定值的精度。例如有關各波長的日射量、入射量在傾斜面的絕對值或日射量隨氣象條件的變動量等資料都很缺乏。為了補全資料，只好自己動手測定。又隨著利用技術的進步，必要的日射資料種類增多，也要求高精度，大都要重新測定。目前，日射的測定器大都沿用氣象測器的日射計。本章的宗旨在敘述可供實用的日射計種類、特色及問題。

〔1〕日射量的成分 從太陽射出的放射（輻射）通過地球大氣的期間，接受散射、吸收效果而到達地表面。散射的效果有空氣分子所致者與浮游於大氣中的粒子（aerosol 粒子）所致者，兩者的性質顯著不同。處理方法也大有差別。前者稱為瑞利散射（Rayleigh scattering），後者稱為Mie 散射。吸收的效果以水蒸氣所致近紅外線域的吸收最顯著，其次為臭氧所致紫外線的吸收。此外也有氧氣等分子的吸收，但極微少，在討論到達地上的日射量時，不成問題。

以上是無雲的場合，實際上，最影響日射量的是雲所致的散射及吸收。雲表面的反射極大，全天被厚雲包覆時，到達地表的日射可能為入射量的10%以下。另一方面，積雲形的雲分散時，從雲的側面到地面的反射很強，測定的日射量可能比無雲的增合大。可見雲呈現的效果非常複雜，變動量也大。實際的大氣以有雲為常態，萬里無雲的大氣才是特例。因而，利用太陽能時，須瞭解雲對日射的效果。

研討受以上各種效果的日射量時，常將日射量分為若干成分，亦即，入射大氣上端的日射量 $I_0(\lambda)$ ，在大氣中未受任何效果而到達地表面的直達日射 $I(\lambda)$ 、受散射後入射到地表面的散射入射 $D(\lambda)$ 、散射所致

的上向日射  $K\uparrow(\lambda)$ ，在地表面反射的上向日射  $R(\lambda)$ 、向上通過大氣層而再逸散到大氣外的日射  $K_0\uparrow(\lambda)$ ，在大氣中被各種物質吸收的日射  $A(\lambda)$ 。它們如圖 1·1 所示，入射到地球的日射可用上示諸成分表示

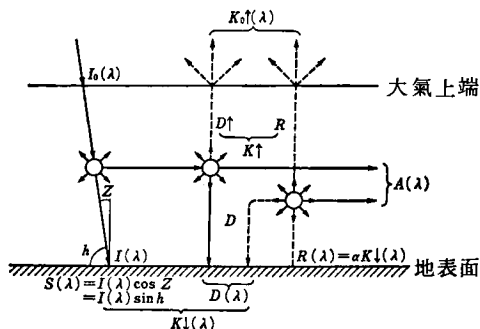


圖 1·1 地球大氣中的日射成分

如下：

$$\begin{aligned}
 I_0(\lambda) - K_0\uparrow(\lambda) &= K\downarrow(\lambda) (1 - \alpha) + A(\lambda) \\
 &= [S(\lambda) + D(\lambda)] (1 - \alpha) + A(\lambda)
 \end{aligned}
 \tag{1·1}$$

式(1·1)左邊表示大氣上端的淨通量 ( net flux )，此量為地球與其大氣的熱源。求大氣運動之原動力的熱源時，成為紅外線放射而逃出大氣外的能量很重要，不知此值就無法正確求得有效作用於大氣的熱能，不過，在此不談紅外線放射的詳情，表 1·1 為 WMO ( 世界氣象機構 ) 定義的放射主要成分。

除了太陽常數 ( $I_0$ ) 外，其他成分全因地球大氣的狀態而大變動，以各種比率分配，比率因空間、時間而異，此為大氣大循環的原動力，也是氣候變動的要因之一。

〔2〕放射測定 日射測定的原理是將入射到受光面的日射能完全吸收，將之變換為另一形式的能量，測定其量。因而，應考慮受光面吸收率的問題與能量變換方法的問題。受光面應考慮的問題在測定直達日射與測定全天日射的場合稍有不同，最重要的是受光面完全吸收入射的放射能，最簡單的方法是用黑色塗料，但難得可完全吸收的塗料物質，現在最良質的黑色塗料而用於日射計的是 Parsons 的光學黑漆 ( optical

表 1 · 1 放 射 諸 成 分

|   |                                                                                      |                                                      |                                                             |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 | 下向放射 ( $Q\downarrow$ )<br>(downward radiation)                                       | 下向日射及大氣放射                                            | $Q\downarrow = K\downarrow + L\downarrow$                   |
|   | 全天日射 ( $K\downarrow$ )<br>(global solar radiation)                                   | 從立體角 $2\pi$ 全方向對水平面<br>下向入射的直達日射及散射日<br>射之和          | $K\downarrow = S + D$                                       |
|   | 直達日射垂直成分 ( $S$ )<br>(vertical component of<br>direct solar radiation)                | 從太陽面直接入射於水平面的<br>日射                                  | $S = I \cos Z = I \sin h_0$<br>$Z$ : 太陽天頂角<br>$h_0$ : 太陽高度角 |
|   | 直達日射 ( $I$ )<br>(direct solar radiation)                                             | 從太陽面直接入射於垂直入射<br>方向之平面的日射                            |                                                             |
|   | 散射日射 ( $D$ )<br>(sky radiation, diffused<br>solar radiation)                         | 立體角 $2\pi$ 中, 除了太陽面所<br>占的立體角之外, 從全方向入<br>射於水平面的散射日射 |                                                             |
|   | 下向大氣放射 ( $L\downarrow$ )<br>( $A\downarrow$ )<br>(downward atmospheric<br>radiation) | 從大氣射出的下向長波長放射                                        | $L\downarrow = A\downarrow$                                 |
| 2 | 上向放射 ( $Q\uparrow$ )<br>(upward radiation)                                           | 上向日射與從地表面及大氣的<br>上向長波長放射之和                           | $Q\uparrow = K\uparrow + L\uparrow$                         |
|   | 反射所致的上向日射<br>( $K\uparrow$ ) ( $R$ )<br>(reflected solar radiation)                  | 地表面反射的日射與被大氣上<br>向散射的日射之和                            | $R$ 為只地表面所致<br>的反射成分<br>$K\uparrow = R + D\uparrow$         |
|   | 上向地球放射 ( $L\uparrow$ )<br>(upward terrestrial<br>radiation)                          | 地表面及大氣的上向長波長放<br>射                                   | $L\uparrow = A\uparrow + r + L_g$                           |
|   | 上向大氣放射 ( $A\uparrow$ )<br>(upward atmospheric<br>radiation)                          | 大氣射出的上向長波長放射                                         |                                                             |
|   | 反射所致的大氣放射 ( $r$ )<br>(reflect atmospheric<br>radiation)                              | 地表面反射的長波長放射                                          |                                                             |
|   | 地表面放射 ( $L_g$ )<br>(upward terrestrial<br>surface radiation)                         | 地表面射出的長波長放射                                          |                                                             |

|   |                                                 |                                        |                                                                         |
|---|-------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|   | 淨放射量 ( $Q^*$ )<br>(net radiation)               | 由下向及上向放射之差求得的<br>放射量                   | $Q^* = Q\downarrow - Q\uparrow$<br>$= K^* + Q^*$                        |
| 3 | 淨日射量 ( $K^*$ )<br>(net solar radiation)         | 由下向及上向日射之差求得的<br>日射量                   | $K^* = K\downarrow - K\uparrow$                                         |
|   | 淨地球放射量 ( $L^*$ )<br>(net terrestrial radiation) | 由下向及上向地球放射之差求<br>得的長波長放射量              | $L^* = L\downarrow - L\uparrow$                                         |
| 4 | 太陽常數 ( $I_0$ )                                  | 地球與太陽成平均距離時，入<br>射於大氣外垂直入射方向之面<br>的日射量 | $I_0 = 1.94 \text{ cal} \cdot$<br>$\text{cm}^{-2} \cdot \text{cm}^{-1}$ |

black lacquer) 等，有 99% 以上的吸收率；吸收率不因波長而變化，為優秀的吸收塗料，但不易購得。無論如何，無保證 100% 吸收的物質，有必要實測各受光面的吸收率為幾%，此為測定放射絕對值的一大障礙。最近不只依賴塗料物質，還利用空洞，以接近完全黑體，嘗試完全吸收入射的放射，結果令人滿意。設計以此方法測定放射絕對值的放射計乃近年的一大課題。

有關受光面的另一問題是以任意入射角入射於受光面的放射通量之測定，全天日射的測定即其一例，依據前項的定義，全天日射量為

$$K\downarrow = S + D$$

$$= I \cos Z + \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} i(\theta, \varphi) \cos\theta \sin\theta d\theta \quad (1.2)$$

來自各種方向的放射同時入射於受光面， $i(\theta, \varphi)$  為從  $(\theta, \varphi)$  方向入射的日射強度。此時，受光面的吸收率因入射方向而異的話，測定會發生誤差。對受光面有入射角  $\theta$  的放射之通量為  $i \cos\theta$ ， $i$  為入射強度。此謂放射測定的餘弦定律。不過，實際的放射測定器很難有滿足此律的受光面。依測定的方法而有各種形態的受光面。通常的日射計在放射吸收面上有玻璃蓋。分光測定等特殊場合用擴散板或積分球為受光面，都很難完全符合上述的餘弦律。實際上，入射角大時（就直達日射而言，太陽高度低的場合），吸收率下降，感度不良。以上兩點為測定日射時的受光面問題，若不預先在室內實驗確認，不會有精密的測定。

其次的問題是將受光面吸收的能量變換為何種能源而檢出，主要有下列四種：

- (1) 當成熱量檢出的方法。
- (2) 經由光電效果的電量檢出的方法。
- (3) 化學變化——主要是照相方法。
- (4) 目視法。

各有多種方法，表 1·2 爲此四種方法的特性概要，可知差異之大，須依目的而選方法，可測定的波長範圍也頗有差異，下面介紹氣象要素之一的放射波長範圍。

表 1·2 放射檢出方法的特性

| 方 法  | 波 長 範 圍                | 感 度 | 直 線 性 | 波長選擇性 |
|------|------------------------|-----|-------|-------|
| 熱量測定 | 全 波 長                  | 低   | 極良好   | 無     |
| 光電測定 | 40 $\mu\text{m}$ 以下    | 高   | 良     | 高     |
| 照相測定 | 1.2 $\mu\text{m}$ 以下   | 高   | 不良    | 高     |
| 目視測定 | 0.4~0.75 $\mu\text{m}$ | 高   | 極不良好  | 高     |

先談日射的波長範圍，太陽射出的放射強度之波長分佈與約 6000  $K$  的黑體放射很一致。此放射通過地球大氣，因前述的諸效果而衰減後到達地表面。可到達地表面的最短波長約 0.3  $\mu\text{m}$  (3000  $\text{\AA}$ )，較此爲短的波長之放射被上層的空氣分子完全吸收。日射的長波長域之放射除了紅外線域外，也有更長的波長放射，但爲量極微，不成問題。即使考慮很廣的範圍，不計 4  $\mu\text{m}$  以上的日射量也無妨。亦即，將地表面的日射波長範圍視爲 0.3~4  $\mu\text{m}$  即夠。另一方面，地球射出的紅外線放射接近約 250  $K$  的黑體放射，大都包含於約 3  $\mu\text{m}$  以上的波長範圍。如此，兩者的波長範圍以 3~4  $\mu\text{m}$  爲界而分離。有時爲了區別日射與出自地球的紅外線放射，分別稱爲短波長放射及長波長放射。

第 1 種熱量測定法爲最早採用的一般方法，銀盤直達日射計、Angström 電氣補償或日射計、熱電偶求全天日射計等用爲氣象測器的日射計大都屬此（構造等詳後述）。

第 2 種利用光電效果時，檢出器用光電子倍增管、光電管、光電池等，由表 1·2 所示，感度因波長而顯著差異，因而，不適於同時測定廣波長域の日射，對分失測定等場合有效。選用適合測定波長的檢出器，可得極高感度的測器。此方法不可能測定絕對值，須設法檢定裝置。絕

對值檢定詳後述，目前很難對各波長分別檢定。

第 3 種照相測光法最近不常用，不過，可在野外將某瞬間的狀態攝取於照相乾板，帶回實驗室從容處理。最近已有優秀的照相材料，讀取乾板黑氏度的濃度計也已有高精度品。濃度的色彩表示法也相當普遍。似有必要再度評估照相放射測定的價值。

最後為目視測定法，肉眼可感覺的波長範圍約為  $0.4 \sim 0.75 \mu\text{m}$  的可視光線，看不到約占日射能  $\frac{1}{2}$  的近紅外線域及紫外線域的放射，因而，肉眼不適用為測定器，不過，却可高精度檢出亮度差，在電氣測定未發達的時代，很可有效進行定性測定。

表 1·3 為各種放射計的分類。

表 1·3 氣象放射測器的分類

| 測器分類                                           | 定 義                                                                                            | 所用的放射計                                                                                           |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 直達日射計<br>(pyrheliometer,<br>actinometer)       | 測定入射於入射方向垂直面的<br>直達日射量<br>$I$                                                                  | Ångstrom 電氣補償式日射計<br>銀盤日射計<br>Linke-Feussner 日射計<br>流水日射計                                        |
| 全天日射計<br>(pyranometer)                         | 測定從半球的全方向 (立體角<br>$2\pi$ ) 入射於水平面的日射量<br>包含全天日射，散射日射及上<br>向散射日射<br>$K\downarrow, D, K\uparrow$ | Eppley 全天日射計<br>Moll-Gorczynski 日射計<br>Yanishevsky 日射計<br>羅比奇全天日射計<br>(測定 $D$ 時，用遮蔽環或遮蔽<br>直射成分) |
| 全天放射計<br>(pyrradiometer)                       | 測定從立體角 $2\pi$ 方向入射於<br>水平面的全波長域放射<br>$Q\downarrow = K\downarrow + L\downarrow$                 | 原理上，卸下上述全天日射計<br>的玻璃蓋等即可，但不宜露出<br>受光面，用聚乙烯 (PE) 的圓<br>頂取代玻璃                                      |
| 淨值放射計<br>(net pyrradiometer, balance<br>meter) | 測定表 1·1 所示的放射收支量<br>$Q^* = Q\downarrow - Q\uparrow$                                            | 休爾帖收支計<br>渾克收支計<br>(相對於放射，遮蔽這些測器<br>的下向受光面，即可用為上述<br>的全天放射計)                                     |
| 淨值放射計<br>(net pyranometer)                     | 測定日射收支量<br>$K^* = K\downarrow - K\uparrow$                                                     | 將上述放射收支量受光面的外<br>蓋換為玻璃等只透過日射的物<br>質即可                                                            |

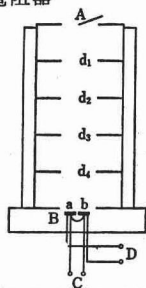
表1·3只列出較廣用的放射計，表1·1, 1·2中用用語也有曖昧之處。日射一語只用於短波長放射。但放射一語有只長波長放射的場合與指短波長、長波長之總和的場合。收支量對應於net flux，但並非最適當的譯語。感覺上，從天空向地面入射的通量（flux）為「收」，從地表面向天空的通量為「支」，其差值的net flux稱為收支量。有關放射的用語尚未完全統一。

〔3〕日射測器 測定前述的放射要素時，可用各種型式的日射計及放射計，最近已可有高精度的測定，但問題未完全解決，最大的問題在絕對值測器的開發，在此介紹廣用於氣象機構等的若干測器之構造等

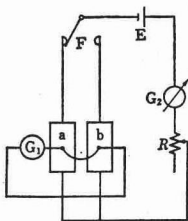
#### (a) 直達日射計

(1) Ångström電氣補償式日射計（electric compensation pyrheliometer）這是1893年K. Ångström設計的測器，目的在測定絕對值，圖1·2(a)為說明測定原理的受感部構成。受感部由2

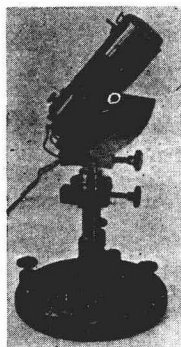
A：光閘，B：受光面（a, b 2塊平行），  
C：熱電偶輸出端子，D：電熱器， $d_1 \sim d_4$ ：光圈，E：電熱器電源，F：電熱器  
回路變換開關， $G_1, G_2$ ：檢流計，R：可  
變電阻器



(a) 受感部斷面圖



(b) 檢回路



(c) 外觀例

圖1·2 Ångström 電氣補償式日射計的斷面圖，檢出回路及外觀例

塊manganin（錳鎳銅合金）薄片（ $20 \times 2 \text{ mm}$ ，厚 $0.01 \text{ mm}$ ）表面黑化而成，置於約 $20 \text{ cm}$ 的圓筒底部，熱電偶接於各背面。如圖(b)所示，以檢流計 $G_1$ 檢出薄片的溫度差。此2薄片可藉電池E的電流加熱，由 $G_2$ 知加熱所消費的電流。圓筒上端有兩個遮光用光閘（shutter），打開其一，使manganin薄片的一方（例如薄片a）露出於直達日射，

結果薄片a昇溫， $G_1$  通電流。來到E的電流通到薄片b時，因焦耳熱而昇溫，結果， $G_1$  成零，亦即a片與b片的溫度相等，此時，日射供給a的熱量與電流供給b片的熱量相等。若已知加熱用電流*i*與b片的電阻*r*，即可求出日射量。關係如下，設電流供給的熱量為 $Q$ 〔cal·s<sup>-1</sup>〕，依焦耳定律得

$$Q = 0.24 i^2 r$$

日射供給a片的熱量也是 $Q$ ，

$$Q = S l d \alpha / 60$$

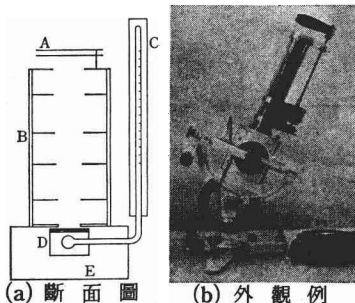
$S$ ：直達日射量〔cal·cm<sup>-2</sup>·min<sup>-1</sup>〕。 $l, d$ ：薄片的長度及寬度。

$\alpha$ ：b片的表面而吸收率。組合此2式得

$$S = 14.4 i^2 r / l d \alpha = C i^2$$

測定*i*，即得日射量 $S$ ， $C = 14.4 r / l d \alpha$ 為器械常數，可預先求得。

原理上，可以此測器測定絕對值，但實際上的誤差很大，最大的原因為邊緣效果（edge effect），亦即，入射於露出於日射的薄片之日射強度因圓筒內節縮的影響，在薄片上並不均勻，在邊緣部份減弱。日射的吸收只在薄片表面的極薄層，電流通於薄片的全體，將之加熱。加熱狀態如此不同，造成測定誤差，評價的日射量偏小。極難排除或補正此誤差。因而，不能用為測定絕對值的日常測器。現在，世界各地用此測器測定，公布測定值，為了彼此比較測定值，各測器須與世界公認的



(a) 斷面圖 (b) 外觀例  
A：光閘，B：採光部光圈，C：水銀寒暖計，D：寒暖計感部，E：斷熱壁

圖1.3 銀盤日射計的斷面圖與外觀例

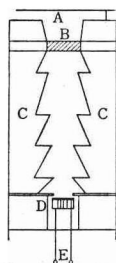
準器比較觀測，藉而定出器械常數。 $\text{\AA}$ ngström日射計的準器是在精密測定下求出常數 $C$ 。現在保管於斯德哥爾模（Stockholm，瑞典首都）

(2) 銀盤日射計（silver-disk pyrheliometer）這是美國 Smithsonian Institution 的 C.G. Abbot 在 1908 年設計製造的日射計，圖 1·3 (a) 示其斷面圖，日射的吸收面是將銀製圓盤表面黑化而成，將之置於圓筒底部，吸收通過圓筒內光圈的日射。銀盤內部埋有水銀寒暖計的感部，測定銀盤的溫度，銀盤部份被厚金屬包圍，充分增大熱容量，以免測定中發生溫度變化。打開圓筒頭部的光閘（shutter），吸收日射，測定銀盤溫度，求日射量。設金屬內壁的溫度為  $T_0$ ，露出  $t_1$  時間後的銀盤溫度為  $T_1$ ，則日射量  $I$  成為

$$I = C_1 (T_1 - T_0)$$

此式的係數  $C_1$  有複雜的內容，不易成為常數，因而此測器不可能用為絕對測器，要與其他準器比較而檢定。Abbot 等與流水日射計比較而檢定銀盤日射計。流水日射計量由水吸收日射所致的昇溫求日射量，為量熱器（calorimeter），可精密求得絕對值，但操作複雜，不適於日常測定。銀盤日射計須要檢定，測定稍費時間，不過，堅固而測定精度良好。

(3) 其他直達日射計 上述 2 種測器為直達日射測器的代表，此

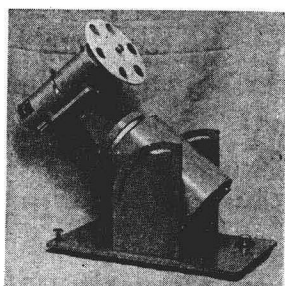


A：光閘，B：濾光鏡，  
C：採光部光圈，D：受光部，E：熱電偶輸出端子

圖 1·4 Linke-Feussner 日射計



(a) 日本製



(b) 歐美製

圖 1·5 波長別自記直達日射計之例

外也開發很多型式的測器，簡介若干如下：

Linke-Feussner 日射計 ( actinometer ) 是在厚金屬製圓筒底部放置薄片型熱電偶 ( Moll thermopile )，表面塗黑，以此為受感部。圖 1·4 為其斷面圖，金屬圓筒的厚度有超過受感部之 10000 倍的熱容量，可不計溫度的變動，熱電偶的冷接點接於此金屬圓筒，此測定不可能測定絕對值，有必要檢定。但可在圓筒前端裝濾光鏡，依波長別測定。最近也設法防止金屬圓筒的溫度變動，作成安定而感度良好的測器，圖 1·5 的波長別自記直達日射計等即其一例。

上述測器的改良品之一為 Eppley 直達日射計 ( normal incidence pyrheliometer )，全體的構造同上，受感部分為二部份，一方露出於日射，另一方遮蔽。分別接觸熱電偶的接點，接線使起電力的符號成逆向，藉而使出自遮蔽部的電流隨時消去器械因溫度變動所致的誤差，改善測定精度。

蘇俄使用 Savinov-Yanishovsky 日射計 ( thermoelectric actinometer )，構造同銀盤日射計，用熱電偶測定銀盤的溫度，也不能測定絕對值，須以其他準器檢定。

這些測器都須檢定，很不方便，不過，若將之設置於赤道儀，以時鐘驅動，即可自動追蹤太陽方向而連續測定。

以上為較廣用的測器，日本常用銀盤日射計，日本氣象廳內有 Ångström 日射計及銀盤日射計為全國的準器，最近為了監視大氣污染，開發屬於 Linke-Feussner 型的日射計，在日本岩手縣稜里連續測定。

#### (b) 全天日射計

(1) Moll-Gorczyński 日射計 ( pyranometer ) 廣用於歐洲，受感部為 Moll 型熱電偶，這是用 constantan ( 康銅 ) 與 manganin 的熱電偶，各一對形成  $10 \times 1 \times 0.005 \text{ mm}$  的薄片，有 14 個熱接點。因而受感部的面積為  $10 \times 14 \text{ mm}$ ，以黑色塗料包覆，表面減小反射而充分滿足前述的餘弦定律。冷接點接於充分大的金屬盒，受感部以二重玻璃圓頂蓋住。在與受感部面的同一面，安裝直徑 300 mm 的白色圓板，防止金屬盒不被日射、加熱，圖 1·6 (a) 為測器的斷面圖。

(2) Yanishovsky 日射計 這用於蘇俄，交互配置白面與黑面而