

日 射 計 之 研 製

*The Development of Two Type of Instruments
for the Measurement of Radiation*

李 兆 民

Chau-Ming Lii

ABSTRACT

Distillation-type and digital-type instruments for the measurement of solar radiation are designed, these instruments have a reasonable degree of accuracy. They can easily be manipulated and are of low cost.

Distillation-type instrument consists of two spherical concentric bulbs attached to a 46-ml graduated burette. The space between the two bulbs is evacuated to retard convective heat exchanges between the inner bulb and the ambient air. The inner bulb is evacuated and filled with ethyl alcohol.

As the inner bulb is heated by the sun, the alcohol in the reservoir evaporates. Some of the alcohol vapor condenses and enters the burette through the capillary tube. Thus, the recording of the burette is a measure of the integrated solar radiation within a given time interval.

The principal components and devices of the digital-type instrument are photo cell, analog-digital converter (linear voltage control oscillator), counter and display-unit. The numerical data observed from the display-unit is a measurement of the amount of radiation energy entering the photo-cell.

一、前 言

日射能量為農作物生長之最重要因素，亦為農業科學研究之基本資料。我國各農業研究對日射量測定與正式紀錄多未建立，致一切應用研究無從進行，其主因在於日射量測定儀器問題，國外日射計或質精價昂，需高水準技術人員使用維護，各農場一般氣象站均不可能採用，或價較廉而欠精確，易於衰退，國內無自行校驗訂正設備與能力，致購裝者不多，日射量紀錄均未建立。為配合農業研究與科技發展，亟應研究自製適合國內普遍裝用之日射計，以用國內零件及技術，且須求其價廉，使用簡

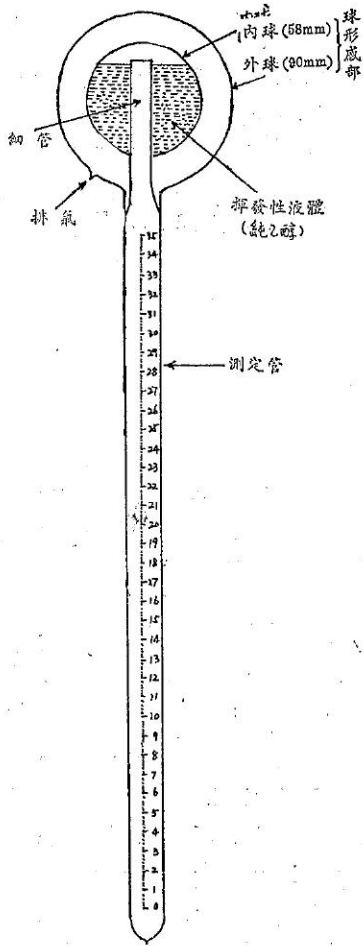
便而準確度尚可適用，不僅可普遍採用，節省大量外匯或資本支出費用，奠定日射量與農業研究之基礎。

尤其近年能源危機，必須發展太陽能，建立太陽輻射觀測站，測每一地方，太陽輻射能每日、每月、每年能得多少，這是太陽能工程設計的基本資料。

二、材料、方法與原理

(一) 蒸發型日射計

本器以硬質玻璃所製成，併合同心雙重球（內球及外球）與玻璃管而成，如圖一。在吸收日射能



圖一、蒸發型日射計
Fig. 1 Bellani Radiation Integrator.

的着色玻璃內球，予以排氣，封入揮發性液體（純乙醇）。外球與內球之間係真空狀態，使其不致受到外界氣溫影響。內球受到日射，溫度升高，液體慢慢蒸發，蒸氣通過突出於內球液體表面上的細管而移至玻璃測定管（凝結管）中，在此凝結成爲液體。

測定管分刻標示以一公分爲單位，而予以 20 等分，全長 55 公分。在一定時間內所留下液量，由此分刻標示所示便可知該時間內的水平面日射量（以美製電動描劃式日射計對照比較）。

蒸發型日射計最好放在同一溫度條件下，通常設於地上 150 公分高處，可視爲正常的蒸餾狀態。如溫度的垂直傾度大時，將無法從蒸餾量，正確的計算出日射量。

如將球部向下而輕輕左右搖擺數次，可使測定管內之液體回至內球，當球部回復向上時，等黏在管壁上的液體完全流下才開始觀測液量。

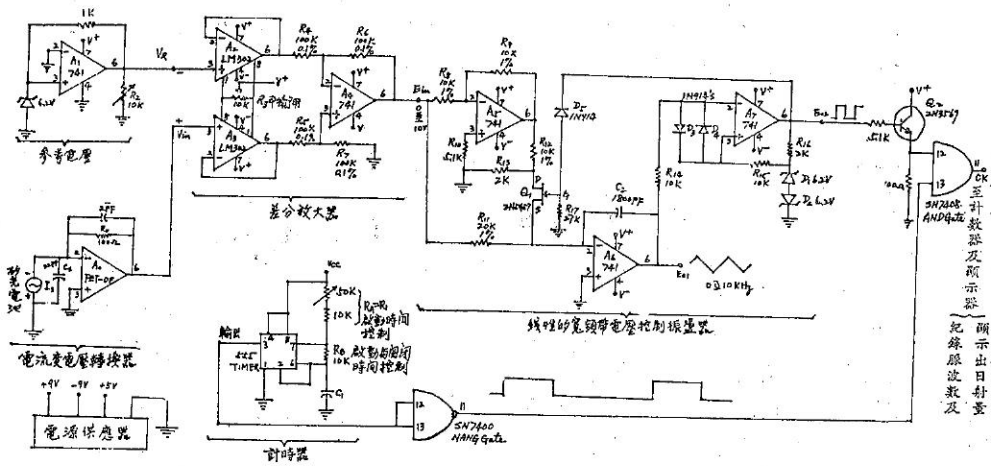
(二)電子型日射計

1. 電源供應器

電源供應器必需輸出 V^+ , V^- 各爲 +9V 和 -9V 之電壓供給運算放大器之偏壓。 V_{cc} 爲 +5V 供給計時器（振盪器）、計數與顯示器之需要，且需能供給一安培以上之電流，本實驗用 RCA 723 積體電路作穩壓器。

2. 數字式日射計

數字式日射計之流程與詳細線路如圖二：



圖二、電子型日射計線路圖
Fig. 2 Electronic-type Radiation Integrator Schematic.

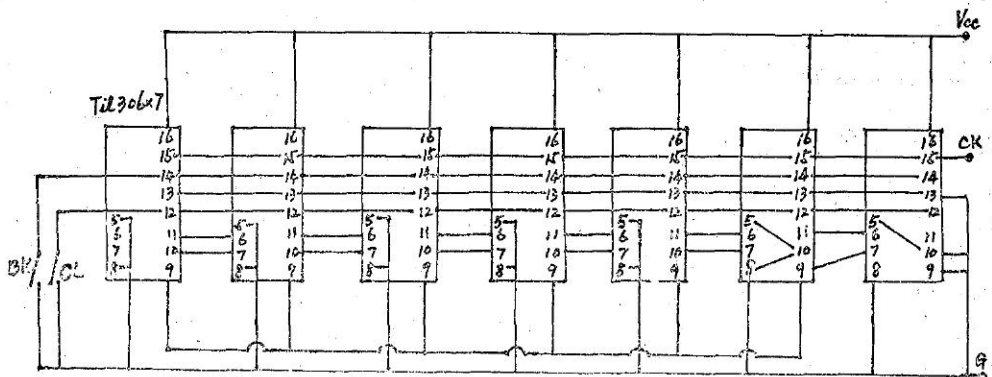
圖二中用一個可調參考電壓 V_R ，其目的在作輻射能靈敏度之調整，以摒除某種程度之干擾信號，或設定最低測量輻射能，即 $V_{in} > V_R$ 時，才開始測定。感應器使用矽光電池，因其電流與日射量成正比，故用電流—電壓轉換器^(1,3,6)先將電流轉換為電壓。將參考電壓與感應器之電壓信號輸入差分輸入放大器⁽²⁾ (Differential-Input Instrumentation Amplifier) 之輸入端，它可供放大信號用，其放大率為 $\frac{R_6}{R_4} = \frac{R_7}{R_5}$ ，(放大率之大小視感應器而定)，可消除共模信號大於 $\pm 11V$ ，接上兩個電壓隨耦器，使其有更佳之特性，其輸入阻抗為 $10000M\Omega$ ，如此高之輸入阻抗使其可用於高電阻信號源 (High Source Resistances) 而其誤差還是相當低，且不易降低其共模拒絕比 (Common mode rejection)，其中可調電阻 R_1 做平衡用。經放大或不放大之信號輸入線性的寬頻帶電壓控制振盪器⁽³⁾ (A wideband, linear VCO)，它具有良好的穩定性，直線性與很廣的操作範圍。

A_5 使輸入信號反相， Q_1 有如開關，以選擇積分的方向，放大器 A_6 與電容 C_2 形成積分器。運算放大器 A_7 用來作比較器。基納二極體 D_1 與 D_2 提供正或負的基準電壓，而積分器的輸出即與此電壓比較。當 A_7 輸出為負， Q_1 處於截止狀態。輸入信號 (必須為正) 使電流流經 R_{11} ，而流入積分

器 A_6 的相加結合端 (Summing junction)， A_6 的輸出因而變負，其轉運率與 E_{in} 成正比。當 A_6 的輸出約達 $-7V$ 時，比較器的輸出變正，使 Q_1 導通，將比較器的基準電壓由 $-7V$ 變為 $+7V$ ，比較器的輸出因而保持在正值狀態。當 Q_1 導通時，負電流流經 R_{12} ，其量為流經 R_{11} 電流的二倍。因此，流入積分器的淨電流與前一次的積分電流相同，而極性相反。現在積分器的輸出，則沿正向變化，當此輸出電壓升到 $+7V$ 時，比較器的輸出變負， Q_1 又被關閉，又開始另一個循環。

電阻 R_{13} 使 Q_1 的汲極電壓衰減，因此， Q_1 在應當關閉的半週中，即使輸入很高的電壓，亦處於截止狀態。 R_{13} 不會影響輸至 A_6 相加點的電流量。電阻 R_{14} 、 R_{15} 與二極體 D_3 與 D_4 用來防止在導通的暫態中發生的栓鎖 (Latch-up) 現象。

用可調計時器 (時基產生器) 與反及開使其產生正脈波，與電壓控制振盪器所產生之脈波經緩衝級，一同輸至及開，其目的為減少計數數字，以七位顯示器顯示全天之日射量為原則。累計及開輸出之脈波總數除以儀器常數即每單位面積每卡之脈波數，即可測定全天之相應日射量。由於日射量之計算用十進位，故計數器之計數、解碼、推動及顯示由 Ttl 306 來執行^(3,4)，以使電路簡化如圖三，其中裝兩個按鈕可使日射計類示與歸零，以備下次使用。



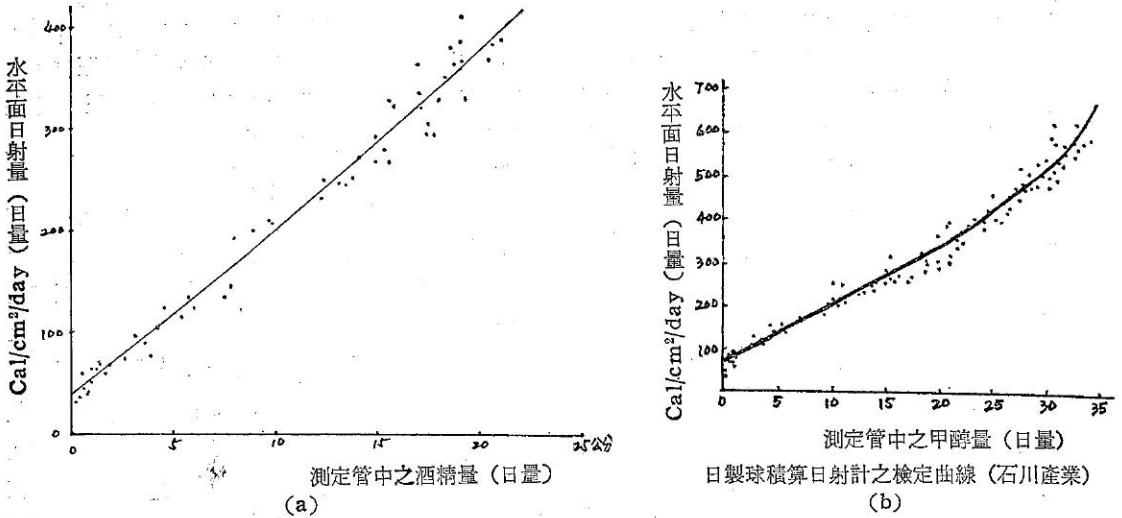
圖三、顯示部 (頂視圖)
Fig. 3 Display-unit (top-view)

三、實驗結果與討論

(一) 蒸發型日射計

1. 蒸發型日射計之規格、所含空氣量稍有差

異，檢定曲線亦各異。本日射計經初步測試，其結果與日製蒸發型日射計之曲線非常相似如圖四 (a) [附日製儀器之檢定曲線如圖四 (b)] 惟多數



圖四、蒸發型日射計之檢定曲線

Fig. 4 Calibration Curve of Bellani Radiation Integrator.

玻璃儀器廠商以技術困難及數量少，不願代製，最後始洽得桃園忠山玻璃儀器公司允合作研製，以現有玻璃製造，無法耗用鉅資製造特殊玻璃使用，雖經多次失敗，但繼續試製，最後製成功之蒸發型日射計，因技術問題，球面厚薄與透光稍有欠勻，影響感應。目前請該玻璃公司繼續研究改良，使製成之日射計符合標準。

2. 水平面日射量和全周日射量 (Circumglobal radiation) 可由一校正曲線可以求得，因此蒸發型日射計利用範圍廣且方便。

3. 不需電源、電氣紀錄器，不必調整，在任何地方都可以簡單使用。

4. 並無消耗部份，可以永久正確地測定日射能量。

5. 較其他日射計價錢便宜，增設測定處所需費用不多，符合經濟要求。

6. 蒸發型日射計的效率，在蒸餾量少和相當多的日子都會降低，此種現象不限於從測定管的零度數開始一天的蒸餾時會發生，而從任何度數開始也會發生⁽⁶⁾。

7. 蒸發型日射計由於每一季節的溫度不同，會引起效率的偏差。氣溫愈低，內球溫度與外面氣溫的相差會變為愈大，而蒸餾的順利使凝結液往愈增高。氣溫愈低，再放射的耗損愈大，蒸餾愈順利，耗損也愈大。當外面氣溫在 $+10^{\circ}\text{C}$ 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+30^{\circ}\text{C}$ 時的一天再放射耗損，約各為水平面日射量的 4%、2.5%、2%。傳導所發生的耗損約為 0.2

%，此耗損的數值遠比再放射的數值少。為維持內球溫度的上昇所需耗損約 1% (10°C)、0.5% (20°C 、 30°C)，此數值比因傳導而發生的耗損數值大，但比因再放射而發生的耗損數值小。以上係在理想狀況下之計算。

8. 氣溫對儀器靈敏度的影響，換句話說，溫度係數在低溫域時會變大，在高溫域時會變小得幾乎等於零⁽⁵⁾。

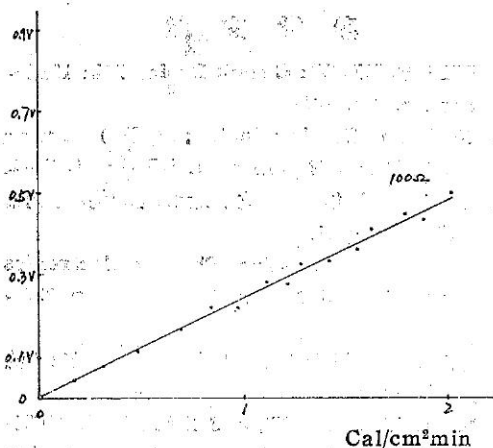
9. 蒸發型日射計最好放在同一環境溫度之條件下，如凝結部溫度較高，將降低蒸餾率，相反的，如其溫度低，將促進蒸餾。

10. 不適高緯度冬夏冷暖差別大 (日間) 之地區使用。臺灣一般氣溫冬季最低雖可接近 0°C ，但係在夜間無日射可測，冬季日間多在 15°C 左右，夏季最熱可達 38°C ，一般平均最高在 33°C 左右，溫度差不算太大，故在臺灣使用比日本要理想得多。

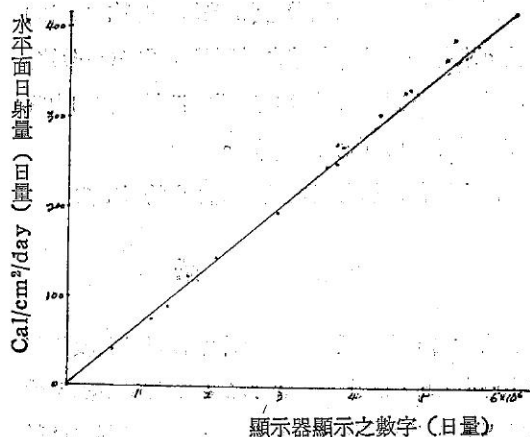
11. 此型日射計，不適於短時間測定，僅能測半日以上總日射量，但已够農業研究參用。

(二) 電子型日射計

1. 電子型日射計由矽光電池¹ 受日射產生之電流經電流——電壓轉換器所產生之電壓，在 $2\text{cal/cm}^2\text{-min}$ (加凸透鏡聚集方可得此數字) 以內相當線性，再由電壓轉換為頻率時也很線性。最後測試結果如圖五 (a) (b)，其最大誤差小於 10% (是以美製電動描劃式日射計對照比較)。



(a) 光電池輸出電壓與日射能之關係



(b) 電子型日射計實驗結果

圖五、線性關係

Fig. 5 Linear Characteristic.

2. 太陽能 90 % 以上是由可見光及紅外線所產生，用矽光電池為感應器對輻射能之反應為量子效應，反應甚為靈敏。為免受氣候影響，故封八半球玻璃罩或燈泡中心內。

3. 此型日射計僅能測定累積日射總量，不能測定即時或逐時日射量。

4. 測定日射能之標準儀為卡計，但卡計要完全隔熱甚難，故實用價值很低，次標準日射計則有機械式、熱一電式、光一電式及化學式。根據夏威夷糖業研究所之實驗及設計，認為機械式日射計很精確，故已委託快捷公司承造，此式日射計是利用氣體膨脹原理以推動機械結構而做成，又附有經緯度校正，故可減低誤差。但氣體膨脹屬於熱效應，故還需要做適當溫度補償，加以其尚未對外輸出，實用價值若何？不得而知。其原理雖簡單，機械結構却很複雜，一旦發生故障，機械維護及校正較費事。熱一電式、蒸發型及黑金屬片型日射計，其固有誤差都在 10 % 以上(3)、電子型日射計之誤差約在 10 % 以下，又用數字顯示日射量，故易使用，構造簡單更容易維護。

5. 因使用交流電，故不得有任何短暫停電之情形，否則所顯示之數字無效，且田間常無電，須拉相當長之電線供電。為改良此缺點，將來改以蓄電池供電，並用太陽能電池充電，使用會更精確便捷。

6. 矽光電池每升高攝氏一度產生 0.11 % 的誤差，故將矽光電池封入有乾燥空氣的燈泡中，當矽

光電池受日晒，溫度升高時，使附近之空氣受熱產生之對流而帶走部份累積於矽光電池之熱量（部份熱量由輻射散失），可避免溫度升得太高而產生較大之誤差。

7. 目前採用之積體電路，以廉價之 μA 741，其漂移電位易於變動，產生誤差，將來改用低功率且穩定度高之積體電路，但價格較貴。

8. Tii 306 雖可簡化電路，但耗電量大，不適合用蓄電池供電，使該日射計之使用感到不便為其缺點，將來改用省電之電路，由電池供應能量。

四、儀器校正程序

將蒸發型日射計、電子型日射計與美製電動描劃式日射計之感應部同置於空曠處，每日測得蒸發型測定管中之酒精量與電子型顯示器顯示之數字，其對應之日射量由美製電動描劃式日射計所測得。再將此些資料送入美製桌上型計算器求出其最佳曲線或直線，其結果如下：

用二次迴歸法求得蒸發型日射計之曲線方程式為：

$$y = 0.08119x^2 + 15.34136x + 38.92914$$

(相關係數) $\rho^2 = 0.95414$
(標準偏差) $\sigma = 18.3034$

用最小二乘法求得電子型日射計之直線方程式為：

$$y = 4.3005780 + 0.0000667x$$

$\rho^2 = 0.9884351$ $\sigma = 12.8074$

註 1. 購買該電池時，廠商無任何資料提供，必須經實驗決定何種較適用。

爲方便與其他已知儀器(誤差用百分比之儀器)比較,求每一測值與曲線之對應值之誤差(百分比)大部分測點之誤差大於 10 %再由日射量總和求誤差亦大於 10 % (約 12 %)。

同上法得直線之誤差幾乎全部小於 10 %

五、結 語

熱電式、蒸發型及黑金屬片型日射計其誤差都在 10 % 以上,電子型日射計之誤差經測試約爲 10 % 以下,且用數字顯示日射能量,故較描劃式日射計易使用。

購外貨電動自記型日射計每具約需 15~20 萬元,一般簡單電動型每具亦需 5 萬元,本研究自製電子型日射計約五千元左右。蒸發型日射計每具約需壹萬元左右(尙不含包裝、運費),自製其材料成本費用僅需壹千元左右,價格相差懸殊,性能又不比外貨差。爲減少大氣儀器對外依賴,培植國內大氣儀器人才,奠定自製大氣儀器基石,故繼續研究改良仍極值得。

參 考 文 獻

1. BILL FURLOW: Circuit Design Idia Handbook p. 8 p. 124.
2. National Semiconductor; (1973) Linear Applications Handbook 1, LB1-1~LB1-2.
3. 蔡木金, 1977 年 2 月國立中央大學地球物理學刊第 16 號 p. 53~p. 61.
4. Texas Instruments Inc.: The Optoelectronics Data Book for Design Engineers. p. 279~p. 310
5. 岸田恭允 (1971 年 3 月) 農業氣象第 26 卷第 4 號 p. 181~p. 186.
6. MILLMAN, JACOB, and HALKIAS. CHRISTOR C. (1972) Integrated Electronics, McGraw-Hill Book Company p. 540.
7. YARIV, AMMON, (1971) Optical Electronic Detection of Optical Radiation, p. 269~p. 304.

加 速 國 家 建 設 ,
厚 植 復 國 力 量 。