

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國小-地球科學科

科 別：地 球 科 學 科

組 別：國 小 組

作品名稱：E 世代日晷

關 鍵 詞：時 間、日 晷、太 陽 運 行 軌 跡

編 號：080501

學校名稱：

宜蘭縣冬山鄉大進國民小學

作者姓名：

陳宇凡、陳巧穎

指導老師：

張芳銘



壹、摘要

本次科展的研究主題是如何製作日晷，因為日晷是利用太陽照射晷針產生影子來判定時刻，所以我們猜想日晷和竿影的變化必定有密切的關係，於是我們先由繪製竿影圖著手，進而將竿影圖轉換成水平型日晷。

竿影圖的繪製雖然可以每天直接觀測記錄，但是基於準確性及方便性，我們間接的透過太陽在天空中的位置資料來求得竿影圖，以中央氣象局網站上的「四季太陽仰角與方位角」資料為基礎進行竿影圖的繪製。我們先以手電筒照射透明天空模型來模擬太陽在天空的運行，以鐵釘代替竹竿來繪製竿影圖，接著更進一步以電腦輔助計算的方式計算出更精密的竿影圖，從竿影圖中我們發現了小時線，接著配合將鐵釘換成薄的三角形板，我們製作出了含有季線的水平型日晷，如果我們的資料更多的話，更可加上月線，而將日晷變成判別方位的日光方位指示盤。

貳、研究動機

上自然四下<測量時間>的單元時，老師舉出古人以日晷來當計時的工具，並展示一水平型日晷，將它放至於太陽底下，透過晷針影子所落於晷面的刻度竟然可以讀出當時的時間。讓我們不僅崇拜古人的智慧，更是好奇日晷的原理到底是如何。但是關於介紹日晷的書籍不易找到，於是在老師指導之下透過網際網路開始研究日晷的相關知識，並且透過中央氣象局「四季太陽仰角與方位角」的資料來實際做一個日晷。

參、研究目的

一、教育學習方面

- (一) 學習利用網路蒐集資料。
- (二) 學習運用試算軟體(EXCEL)來將資料歸納、運算、整理、分析。
- (三) 學習日光、時間、方位、影子彼此間微妙的關係。

二、實物製作運用方面

- (一) 探討水平型日晷晷面刻度如何藉由太陽的方位角及仰角資料繪製。
- (二) 提出如果增加每月資料，則可進一步改良水平型日晷晷面刻度，開發出具有判別方位功能的日光方位指示盤。
- (三) 使大家了解太陽照射物體的影子在一整年當中，如何呈現規律的變化，進而加以運用。

肆、研究設備及器材

一、電腦(可上網路)及相關計算軟體(EXCEL)。

二、儀器器材: 檯燈、地球儀、透明天空模型、圓形尺規、手電筒、方格紙、鐵釘、薄壓克力(厚紙板)、四季太陽仰角與方位角表、指北針、手錶。

伍、研究過程或方法

一、透過網際網路來蒐集太陽在天空的運行軌跡、日晷、方位等相關資料。

二、資料分析整理和討論。

- (一) 太陽在天空的運行軌跡為何？
- (二) 太陽與日晷的關係為何？
- (三) 晷針影子隨著時間、季節如何變化？
- (四) 如何換算手錶(標準時)和日晷刻度(太陽時)兩者的時間？
- (五) 固定日晷時要如何做方位校正？

三、以手電筒緊貼在天空模型上摹擬太陽照射鐵釘的方式來繪製竿影圖。

因為日晷是透過太陽照射晷針，產生影子規律的變化來判定時刻，所以我們猜想日晷和竿影的變化必定有密切的關係，於是我們先由繪製竿影圖著手，再進一步研究日晷如何製作。而竿影圖的繪製雖然可以直接觀測記錄，但是總不免有人為誤差，加上每天觀測需要天氣配合，且需要耗費相當大的功夫。因此基於準確性及方便性，我們改由間接的方式，利用太陽在天空的位置來畫出竿影圖。我們透過詢問宜蘭氣象局和網路蒐尋的方式，來尋找是否有宜蘭地區的太陽仰角與方位角資料，但是答案是沒有，可是中央氣象局的網站上卻有台北地區的資料，如表 1。而台北（北緯 25 度 03 分，東經 121 度 30 分）和宜蘭（北緯 24 度 46 分，東經 121 度 45 分）兩地在地理因素上時間只差 1 分鐘，所以其微小誤差尚可接受，於是我們就以表 1 中春分、夏至、秋分、冬至四天的數據作為竿影圖的製作基礎，以手電筒照射透明天空模型來摹擬太陽在天空的運行，以鐵釘代替竹竿來繪製竿影圖。

台 北 （北緯 25.05 度，東經 121.5 度）															
季節	時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
夏至	仰角	11.3	24.1	37.3	50.7	64.2	77.8	88.5	87.8	74.7	61.1	47.6	34.2	21.1	08.4
	方位	069.1	074.1	078.6	082.9	087.4	094.4	180.0	226.4	267.8	273.7	278.1	282.4	287.0	292.1
春分	仰角	01.9	15.1	28.5	41.3	53.0	61.9	65.0	64.9	60.2	50.4	38.4	25.4	12.1	
秋分	方位	090.7	097.3	104.7	114.2	128.2	150.9	180.0	184.1	21.4	235.6	248.3	257.2	264.3	
冬至	仰角		04.2	15.6	25.9	34.3	39.8	41.5	41.4	38.8	32.6	23.6	13.1	01.7	
	方位		118.3	125.9	135.7	148.3	164.1	180.0	182.1	199.8	214.9	226.8	236.0	243.2	

表 1 四季太陽仰角與方位表(單位:角度)

初步繪製竿影圖的步驟分為以下三個步驟。

- (一) 將地球儀貼上一小平面和鐵釘，再用檯燈照射，來初步摹擬、認識竿影的變化，見圖 1。
- (二) 將太陽在天空位置(表 1)的資料標示在透明天空模型上，以建立太陽在天空運行軌跡的具體印象，見圖 2，圖中天空模型上紅點、藍點、黑點分別表示夏至、春秋分、冬至四天的太陽在天空每小時的位置。



圖 1



圖 2

- (三) 用手電筒照射透明天空模型，摹擬太陽照射竹竿，以了解一年四季竿影的變化，並將竿影記錄下來，見圖 3 圖 4，圖 4 中紅色藍色黑色分別表示夏至、春秋分、冬至的竿影。



圖 3

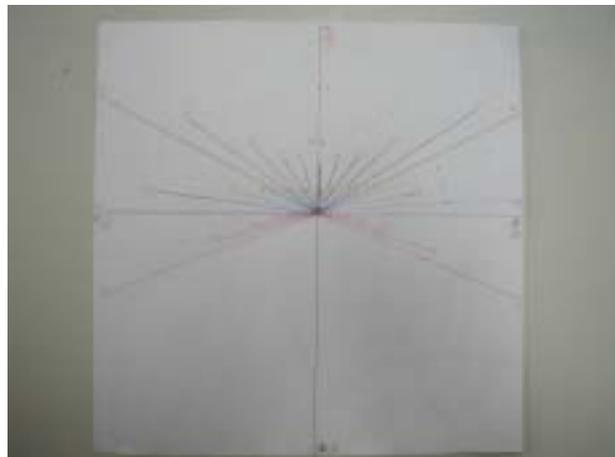


圖 4

由上述的步驟所繪製出的竿影圖，我們可以看出相對於透明天空模型上的三條太陽軌跡，竿影圖上也有相對應的竹竿端點軌跡，但不太平順，這些誤差可能來自手拿手電筒所定位出的太陽位置不精確，加上眼睛估測竿影端點的位置也會因觀察的角度不同而產生誤差。而日晷的製作需要精密的數據，所以我們改由電腦輔助計算的方式來重新製作較準確的竿影圖，和進行日晷製作的研究。

四、以電腦輔助計算的方式繪製竿影圖。

竿影圖的繪製除了由上述的方式得到外，一旦決定竹竿的高度後，我們也可藉由簡單的兩個公式，配合太陽方位角與仰角的資料(同前表 1)，來計算出竿影的長度與方位角。

(一) 計算竿影方位角

因為太陽、竹竿、影子三者在同一直線上，由圖 5 中我們可得知竿影的方位角和太陽的方位角的關係為：

$$\text{竿影方位角} = \text{太陽方位角} - 180 \text{ 度} \quad \dots\dots\dots(\text{公式一})$$

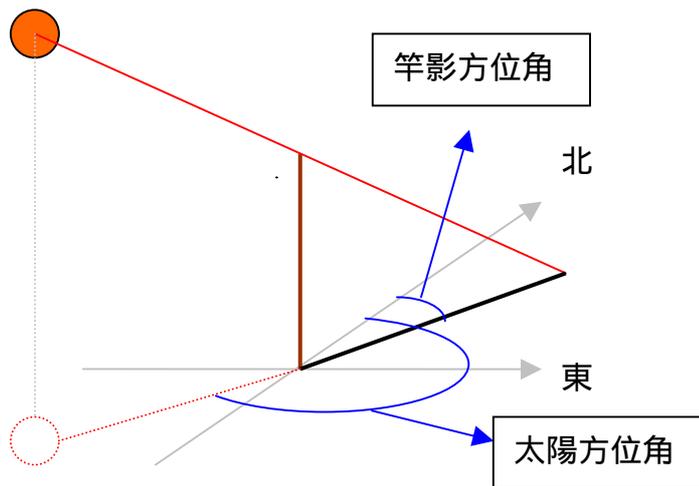


圖 5

(二) 計算竿影長度

由圖 6 竹竿、竿影及兩者端點的連線所構成的三角形中，我們運用三角函數中的 Tan 函數將其關係表示成：

$$\text{竹竿長} / \text{竿影長} = \text{Tan}(\text{太陽仰角})$$

$$\text{竿影長} / \text{竹竿長} = 1 / \text{Tan}(\text{太陽仰角})$$

$$\text{竿影長} = \text{竹竿長} / \text{Tan}(\text{太陽仰角}) \quad \dots\dots\dots(\text{公式二})$$

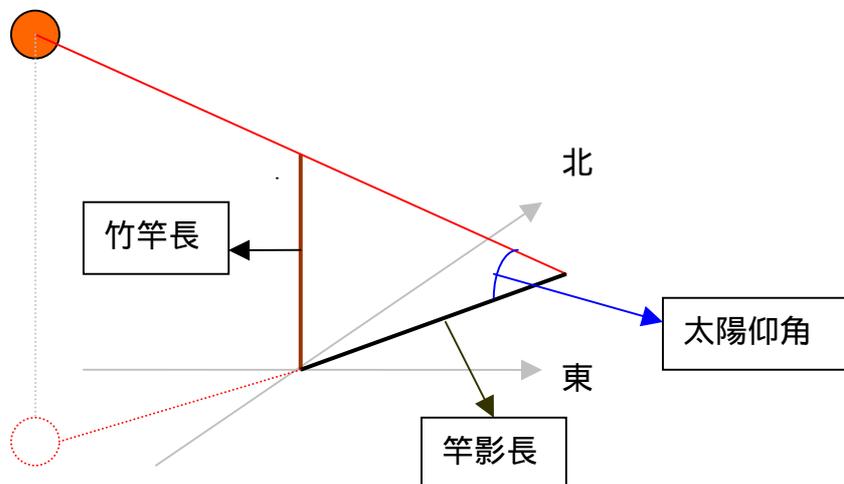


圖 6

(三) 我們運用 EXCEL 試算軟體，將表 1 的數據代入公式一及公式二中，可求得竿影在四季不同時刻的方位角及長度，資料整理如表 2。(單位:公分，假設竹竿長 5 公分)

季節	時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
夏至	影長	25.0	11.2	6.6	4.1	2.4	1.1	0.1	0.2	1.4	2.8	4.6	7.4	13.0	33.9
	方位	-110.9	-105.9	-101.4	-97.1	-92.6	-85.6	0.0	46.4	87.8	93.7	98.1	102.4	107.0	112.1
春分 秋分	影長	150.7	18.5	9.2	5.7	3.8	2.7	2.3	2.3	2.9	4.1	6.3	10.5	23.3	
	方位	-89.3	-82.7	-75.3	-65.8	-51.8	-29.1	0.0	4.1	35.4	55.6	68.3	77.2	84.3	
冬至	影長		68.1	17.9	10.3	7.3	6.0	5.7	5.7	6.2	7.8	11.4	21.5	168.5	
	方位		-61.7	-54.1	-44.3	-31.7	-15.9	0.0	2.1	19.8	34.9	46.8	56.0	63.2	

表 2 四季竹竿影長與方位表(單位:角度、公分)

(四) 實際動手將上述資料標示於方格紙上，如圖 7。

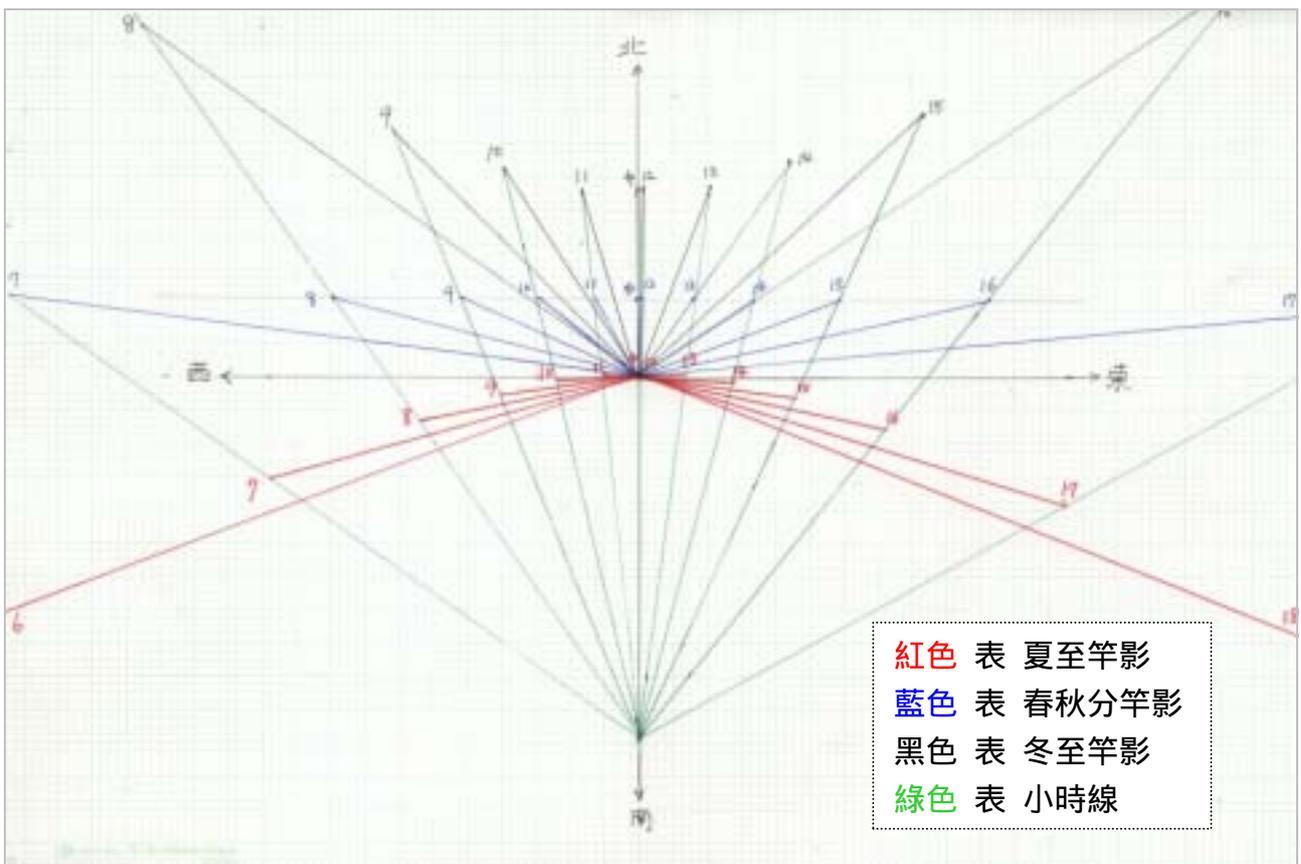


圖 7

五、將竿影圖轉換成水平型日晷。

(一) 發現竿影圖的秘密--小時線

由圖 7 中我們發現，將不同季節但相同時間的竿影端點連線，將可連成一直線，且各直線相交於竹竿正南方的一點，我們將這些直線稱作小時線。

(二) 問題的發現與軌針的改良

我們欲利用製作好的竿影圖和鐵釘放置於太陽底下來當日晷，看鐵釘影子落於哪一個刻度即可看出時間，但是我們發現底下四個問題：

- 1 鐵釘(竹竿)太短則日晷製作的規格便太小，刻度線會太密而不易使用，鐵釘太長則日晷的盤面太大也不實用。
- 2 鐵釘太粗造成影子太大在晷面上不易判讀刻度，見圖 8。
- 3 靠近中午的相鄰時點(早上 10 點至下午 2 點)的竿影近乎重疊，要從鐵釘影子的方位角和長度的些微改變來判定時間很不容易，其中夏至最難判定，見圖 8。
- 4 一年之中只有四天能用(春分、夏至、秋分、冬至)，其它日子則沒有可參考的竿影圖。

基於上述四點問題及和小時線、小時線交點的重要發現，我們將鐵釘改換成三角形的薄片(習慣上稱它為晷針)，並將三角形的高定於適當高度 5 公分，來增加自製日晷的準確度與實用性，見圖 9。

(三) 問題的解決與實用性

在竿影圖上加上小時線及鐵釘換成薄的三角板後，我們看的不再是鐵釘的影子重合於哪一條影子刻度，而是三角板的影子重合哪一條小時線，因此上述四點問題通通獲得解決。不但小時線的間隔比原本竿影刻度線的間隔大且平均，同時一年四季每天皆可用而不再侷限於四天。

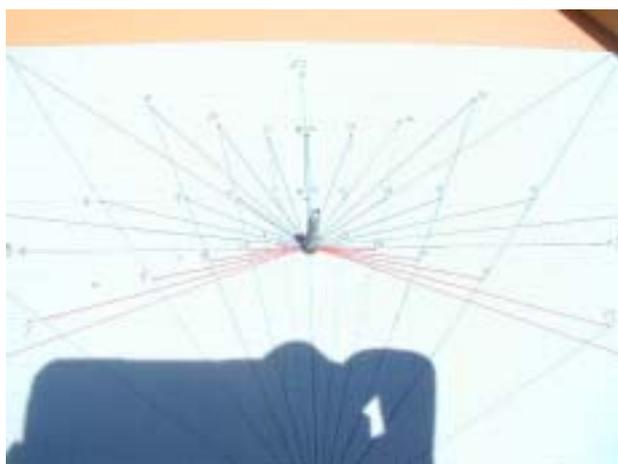


圖 8

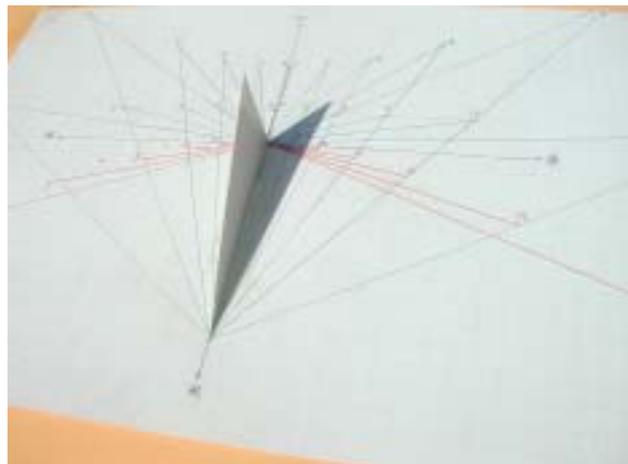


圖 9

六、戶外實際驗證

使用指北針和手錶來進行實際驗證我們製作出日晷的適用性。

實驗時間：91.5.4 AM7:12 ~ PM 5:10。

實驗地點：宜蘭地區(北緯 24 度 46 分，東經 121 度 45 分)。

實驗方法：每隔一小時進行時間比對和拍照如圖 10，實驗紀錄見附件一。

實驗結果尚令人滿意。



圖 10

七、觀察記錄分析

藉由觀察我們繪製的日晷晷面如圖 7，加上實際觀察一天中晷針影子的變化情形，我們發現以下幾個原則：

- (一) 晷針的影子成順時針方向移動，但並不是等速率旋轉，清晨或傍晚的時候移動的比較快（相鄰小時線間隔比較大），中午移動的比較慢（相鄰小時線間隔比較小）。
- (二) 晷針影子的長度在清晨或傍晚的時候最長，中午最短。
- (三) 分別將冬至及夏至晷針影子的端點連線我們可發現呈曲線。
- (四) 分別將春分及秋分晷針影子的端點連線我們可發現呈直線。
- (五) 將小時線相交的那一點和晷針尖端連線與地平面的夾角約 25 度，恰等於當地的緯度

陸、研究結果

一、太陽在天空的運行軌跡為何？(參考資料(一)~(六))

網路上有關太陽的運行軌跡資料相當豐富，我們將其歸納為以下幾點：

- (一) 太陽一年之中只有春分和秋分兩天由正東方升起，正西方落下。

(方位角變化： 90 度~ 270 度)

春分至秋分這段時間太陽由東偏北升起，西偏北落下，夏至時偏離最多約 23.5 度。

(方位角變化： $90-23.5$ 度~ $270+23.5$ 度)

秋分至春分這段時間太陽由東偏南升起，西偏南落下，冬至時偏離最多約 23.5 度。

(方位角變化： $90+23.5$ 度~ $270-23.5$ 度)

- (二) 太陽在天空的運行軌跡每天都不一樣，但彼此平行，夏天軌跡偏北，冬天軌跡偏南。
- (三) 太陽每天在天空最高的位置叫中天，但並不是每天都是中午 12 點到達中天的位置。
(變動範圍約 AM11:35 ~ AM12: 10)
- (四) 太陽每天升起和落下的時刻並不是固定在 AM6 和 PM6，白天時間在夏天約 AM5 ~PM7(晝長夜短)，冬天約 AM7 ~PM5(晝短夜長)，而春天和秋天則晝夜約略相等。但是晝夜長短的變動除了和季節有關外，緯度的高低更是影響的主因，接近赤道地區一年之中晝夜的變化不大(白天時間約 AM6~PM6)，緯度越高變化越大，到了緯度 66.5 時更會出現永晝或永夜的情形。
- (五) 除了時間、季節不同看到太陽的位置會不同外，同一經度但緯度不同的人看太陽的位置也會不相同，赤道地區的人看太陽約略都在頭頂，但是越是在緯度高地區的人看到太陽的位置也越低，極地的人們看到的太陽總是在地平面附近。
- (六) 從網路上所蒐集的資料真是讓我們大開眼界，原來太陽不只是東升西落而已。

二、太陽與日晷的關係為何？(參考資料(七)~(八))

從以上的研究我們知道，晷針影子的變化對應於太陽運行的軌跡，兩者充滿了規律性和密不可分的關係，而日晷就是一個將此規律性記錄下來的工具。日晷大致可分為三類：

- (一)水平型日晷
- (二)垂直型日晷
- (三)赤道型日晷

三、晷針影子隨著時間、季節如何變化？

見前面觀察記錄分析。

四、日晷要作時間校正，晷面上的刻度所指出的時間(太陽時)，才會和手錶的時間(標準時)一致。(參考資料(九)~(十四))

由於本實驗是透過太陽照射，所以參考的時間是太陽時，但是手錶上的是標準時，所以兩種時間存在有誤差需要校正，而時間校正需考慮三個因素，我們將網路所蒐集的資料整理如下：

(一) 軌道時差-時間修正公式。

其原因來自於(1)地球自轉軸傾斜 (2)地球公轉軌道呈橢圓形

由於這兩個原因造成每天太陽位置會稍微偏離理想中的軌道，如果我們每天同一時刻觀察並紀錄太陽在天空的位置，一年之後我們便可以發現太陽的軌跡構成一個 8 字型。相關時間修正公式數值請參考附件二。

(二) 地理時差-經度的校正(每偏東 1 度快 4 分鐘)

我們站在地球上會認為太陽一天繞地球一圈，經過 24 小時，故全球分為 24 個時區。又地球自轉一圈為一天經過 1440 分鐘，全球經度分為 360 度，所以地理時差為 $1440 \text{ 分鐘} / 360 \text{ 經度} = 4 \text{ 分鐘} / \text{經度}$ 。中原標準時區(東經 120 度)就太陽時而言，宜蘭地區(東經 121 度 45 分)比中原標準時區快 7 分鐘。就太陽時而言，台北地區(東經 121 度 30 分)比中原標準時區快 6 分鐘。



研究時區與地理時差換算

圖 11

(三) 日光節約時 (標準時比太陽時快 1 小時), 目前台灣並沒有實施。

五、用指北針來定位日晷, 需要作方位校正, 才能使日晷晷針指向正北方。(參考資料(十五))
日晷的晷針指向正北, 而指北針受地磁的因素指向磁北, 兩者相差磁偏角。

柒、討論

- 一、經由製作日晷的過程, 我們發現單單用一根鐵釘來當水平型日晷的晷針並不易完成時間的判讀, 而我們改用三角板當晷針就可以。其實我們可以把三角板看成一排由長到短的鐵釘依序排列所構成, 這也就說明了當初我們的猜想「竿影圖和日晷有很密切的關係」是正確的。
- 二、經過一天的時間, 天體在宇宙中的移動並不是十分明顯, 但是由於地球自轉的因素, 站在地球上的人相對會認為地球本身不動, 而所有天體(包括日、月、星辰等)都是順時針繞著北極星一天轉一週, 因此我們會看到太陽每天繞地軸旋轉一圈。
- 三、可是為什麼我們從網路上查得關於日晷的資料時, 說太陽也會繞著晷針的延長線旋轉呢? 和老師的討論結果是: 地球半徑為 6378 公里, 而太陽和地球的距離平均為 149600000 公里, 兩者相差太大。所以雖然地軸和晷針的延長線彼此相互平行, 且相差有地球半徑的距離, 但對太陽而言此差距可忽略, 也就是可以把太陽繞著地軸旋轉看成太陽繞著晷針的延長線旋轉一樣。
- 四、從我們製作日晷的過程中, 發現晷針的延長線與地平面的夾角約 25 度, 恰等於當地的緯度, 而其方向正是指著北極星(正北方)且與地軸平行, 從上述的討論我們可以瞭解, 為何晷針的影子會在晷面上出現規律的變化。
- 五、晷針影子隨著時間(原因是地球自轉)和季節(原因是地球公轉)不斷的在晷面上規律的移動, 對應於太陽在南北回歸線間來回移動, 晷針影子的端點也會在六月線(夏至)和十二月線(冬至)來回變化, 見圖 12。

- 六、我們在自製的日晷中已畫出小時線和季線(即 3,6,9,12 月份的月線,由春分,夏至,秋分,冬至四天的資料得來),如果我們能多收集當地每個月一天中太陽的方位角及仰角資料,則我們可以畫出月線,較精確的掌握因季節改變所造成的晷針影子變化,如此一來更可增加日晷的準確度。但是如果我們更進一步畫出日線卻會因線太密而變得不實用,見圖 12。
- 七、在小時線、月線兩者的資料都可求出後,自製日晷便可搖身一變變成<日光方位指示盤>,因為日期、竿影長及竿影的方位角皆在盤面有了刻度,加上時間因素(只要將手錶的時間換算出當時的太陽時)再轉動盤面,讓晷針的影子落於正確的位置,即可根據盤面上的方位定出正北方,見圖 12。

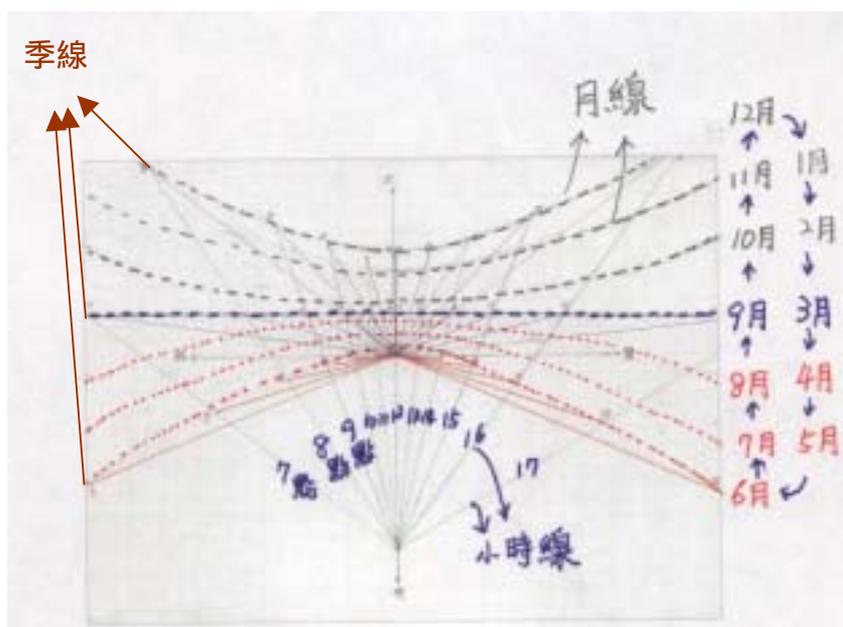


圖 12

捌、結論

- 一、從本次的科展研究中我們利用氣象局的資料來自行製作日晷,雖然有些許的誤差,但整體結果尚令人滿意(就附件一:五月四日的觀測記錄而言,若考慮時間誤差修正,太陽時比標準時快約四分鐘)。
- 二、從本次研究中我們證明了,可以由太陽在天空中的仰角與方位角資料做出竿影圖,並且由竿影圖做出水平型日晷,而且此日晷比一般日晷精密度更高(因為包含季線,而一般日晷僅有小時線)。(最少只需要春分、夏至、秋分、冬至四天的資料)
- 三、若資料越多則日晷可製作更精密(可加上月線),甚至發展出可判別方位的<日光方位指示盤>。

- 四、本研究提出的方法相當簡單，只要有正確的觀測數據及細心準確的製作，任何地點都可做出適用的水平型日晷(不考慮南北極地區)。
- 五、用指北針來做日晷方位的校正，會有些微的誤差，應注意磁偏角及實驗地區應儘量避免受到磁性物質的干擾。
- 六、用手錶(標準時)來做時間的比對，必須考慮時間校正，才會和日晷所指出的時間(太陽時)一致。
- 七、我們知道自然界萬物影子的變化規則後(即日光、時間、方位和影子之間的關係)，可將此規則應用在建築物的採光、方位設計，或協助各種有關太陽能應用產品之開發。

玖、參考資料及其他

一、太陽在天空的運行軌跡為何？

(一) 台灣四季太陽仰角與方位表

<http://service.cwb.gov.tw/docs/V3.0/astromy/calendar/season.htm>

(二) 中華民國九十一年宜蘭地區日出日沒時刻表

<http://service.cwb.gov.tw/docs/V3.0/astromy/database/2002/ilan.html>

(三) 民國 91 年太陽過中天的時刻表(東經 120 度)

<http://service.cwb.gov.tw/docs/V3.0/astromy/calendar/2002sc.htm5>

(四) 阮國全 <星星的運動與四季星座,> 再版三刷 台北市 台北市立天文教育館員工消費合作社 P7~P13 民國 88

(五) 太陽視軌跡實驗

http://content.edu.tw/senior/earth/tp_ml/sun_new/ss2.htm

(六) 白天黑夜變化軟體模擬

<http://www.analemma.com/Graphics/otherPhenomenon/SunGraphpackage.zip>

二、竿影與日晷的關係為何？

(七) 何謂日晷 (sundial) ？可分那幾類？

<http://www.csit.edu.tw/csitshow/Csitcomc/ee2c-10/q-cal.htm>

(八) 日晷製作軟體

<http://www.tam.gov.tw/act/science/item.htm>

三、如何換算手錶(標準時)和日晷刻度(太陽時)兩者的時間？

(九) 世界時區圖

<http://service.cwb.gov.tw/docs/V3.0/astromy/images/timezone.gif>

(十) 軌道時差與地理時差

<http://gis.e-earthgeo.com/eb-tell.asp>

(十一) 製作日晷儀

<http://www.ksjh.km.edu.tw/study/t890400.htm>

(十二) 台灣地區主要縣市的經緯度

<http://sunmoon.pair.com/astro/castrolog.html>

(十三) 日光節約時間的緣起

<http://www.cwb.gov.tw/V3.0/astronomy/calendar/summert.htm>

(十四) 太陽 8 字型軌跡 (The Analemma)

<http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html>

四、固定日晷時要如何做方位校正？

(十五) 磁偏角

<http://user.nksh.tp.edu.tw/Tause/基礎物理教材/第六章/6-3.htm>