

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

030504

「晷」迷心竅-三種日晷的探討

學校名稱： 臺東縣立新生國民中學

作者： 國二 陳力維 國二 鍾秉翰 國二 何儼品	指導老師： 邱洋斌
---	------------------

關鍵詞： 日晷、日晷時間、手錶時間

摘要

本研究想透過製作三種不同日晷與實際測量，了解日晷如何運作。第一種為赤道式日晷，製作上較容易，形如時鐘，時間刻度也都一樣大，晷針須和晷面垂直，晷針和地平面的夾角須和當地緯度吻合，分為北面和南面，兩面的刻度順序相反。第二種為水平式日晷，晷面和晷針夾角的角度為當地緯度，晷面的時間刻度大小不同，需用特定三角函數公式計算，刻度越靠近十二點線的越小，越遠離的越大，每個刻度單位是小時，測量容易產生誤差。第三種為圓弧式日晷，製作較複雜，但使用上能更精確、更方便。研究結果發現，日晷時間和手錶時間有差異，除了要考慮磁偏角、時差和經差補正之外，若能將刻度做到最小，則測量數據將會更精確。

壹、前言

一、研究動機

夏天火傘高張，我們看著窗櫺外灑落的陽光，以及東西在大太陽下的影子，於是，我們想起國小學過的日晷，知道古人利用它來知道時間。現代人看手錶就能得知時間，但是對於古人來說，他們如何利用日晷得知時間呢？經過和老師及同學的討論後，我們選定三種日晷，打算透過製作與實際測量，來揭開日晷這個古老計時工具的神秘面紗。

二、目的：

- (一)研究和製作三種日晷，包括赤道式日晷、水平式日晷和圓弧式日晷。
- (二)用自製的日晷實測，比較和手錶時間的差異。
- (三)探討日晷時間和手錶時間差異的可能原因。
- (四)討論三種日晷的特色。

三、文獻回顧：

(一)赤道式日晷

- 1.又稱陀螺式日晷，晷面類似圓形鐘錶的表面，以前設立在臺東的國立史前博物館門口前的日晷，就是屬於赤道式日晷，已於二零二零年六月封館後拆除，如圖一。
- 2.晷面和地球赤道面平行，晷針則和地球自轉軸平行。在北半球，晷針上端為指向北極的一端，在南半球則為指南極，形如北京故宮太和殿前的日晷，如圖二。



圖一 以前臺東國立史前博物館門口的日晷圖二 北京故宮太和殿前的日晷

3.晷面的形狀為圓形，每一小時的刻度時皆設計為十五度，相當於每一度為四分鐘。晷面有兩個刻度面，要看太陽的方位而定，春分到秋分，看的是晷針指向北極的那一面，而秋分到次年的春分，則是看另一面。日晷上的時刻，和太陽的投影位置有關。

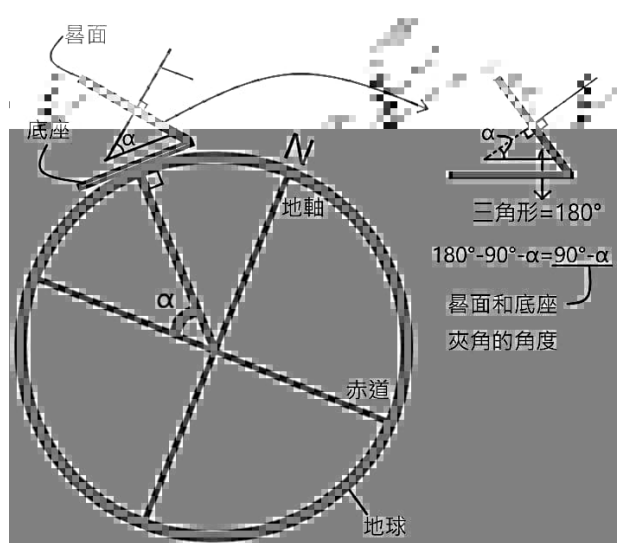
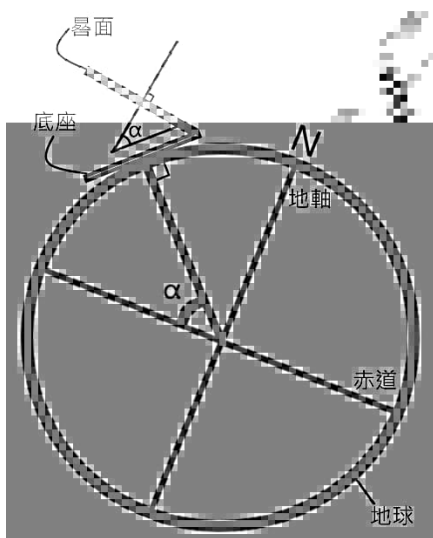
4.使用的時機點，為太陽出現在地平面後開始，直到太陽下山為止，一年四季使用的時間長短不同。在北半球，夏季晝長夜短，冬季則晝短夜長。

5.由於春分和秋分太陽直射赤道，所以赤道式日晷在這兩天會沒有影子，無法讀取時間。

6.晷針與晷面和地平面的夾角的關係

(1)如圖三， α 表示當地緯度，晷針和地軸平行，若在北半球則指向正北方，在南半球則指向正南方，晷針與地平面的夾角等於當地的緯度。

(2)如圖四，晷面和底座的夾角等於九十度減去當地的緯度，底座和地面平行。

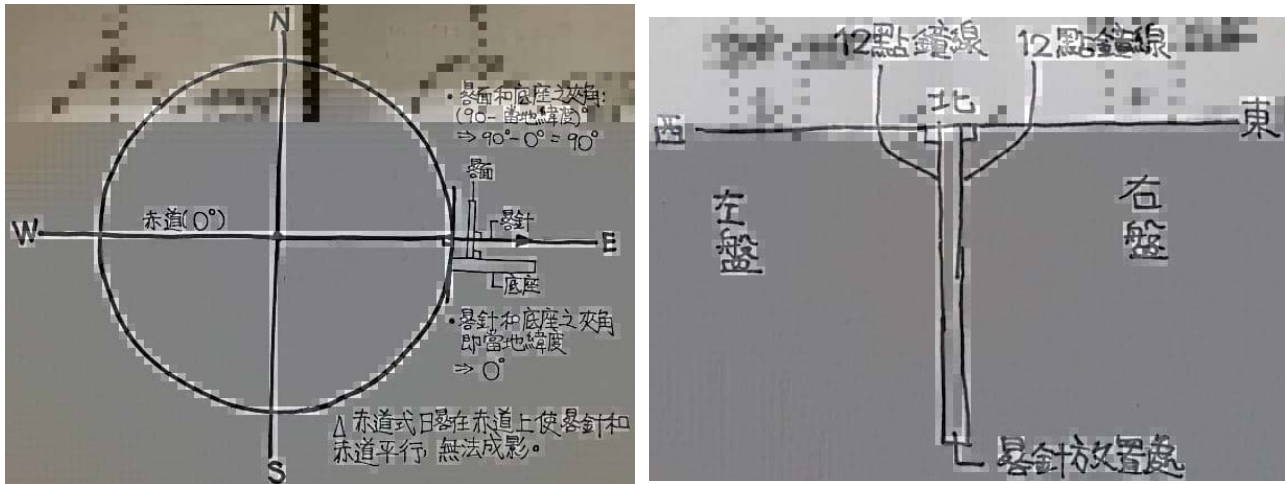


圖三 α 表示當地緯度圖四 晷面和底座的夾角示意圖

7.赤道地區與春、秋分時無法使用赤道式日晷

(1)赤道上，晷面是直立的，晷針和地平面平行，太陽無法在晷面上產生影子，如圖五。

(2)春分、秋分時，太陽直射赤道，正好與晷面平行，也無法使用該日晷。



圖五 在赤道上的赤道式日晷圖六水平式日晷的十二點鐘線

(二)水平式日晷

- 1.概念和赤道式日晷相同，但是晷面上的時刻分布不像赤道式日晷一樣是均勻劃分的，越接近中午十二點時，刻度線會越密集。
- 2.分為左盤和右盤，左盤和右盤中間要夾住晷針(為直角三角形)，由於晷針有厚度，所以水平式日晷的晷針左右要有兩條十二點鐘線，而不是以晷針中間處為十二點鐘線，如圖六。左盤的刻度線為早上，右盤的刻度線為下午。
- 3.底座為晷面，需和水平地面平行，晷針類似一個直角三角形，如圖七，繪製晷面刻度時需使用到三角函數。晷針和晷面的夾角為當地的緯度，晷針的方向(直角三角形的斜邊方向)則平行於地球的自轉軸。



圖七水平式日晷

4. 晷面時間刻度計算公式

(1) 假設某刻度與12點鐘的夾角 β ，當地緯度 α ，太陽於晷針的角度 θ ，則：

$$\beta = \tan^{-1}(\sin \alpha \times \tan \theta)$$

(2) 因為晷針平行於地軸，且和地面有夾角，使晷針的影子發生偏斜，為了配合影子的偏斜，才使晷面的時間刻度不一樣大。

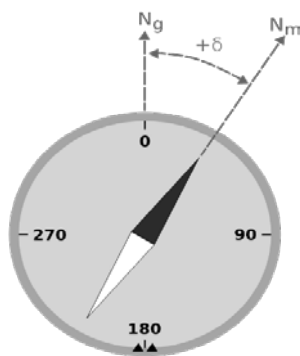
5. 若在赤道上，晷針和晷面(底座)夾角為零度，則該日晷無法使用。

(三) 圓弧式日晷

1. 其構造就如同赤道式日晷，只是晷面改成圓弧形，其圓弧面和赤道式日晷的晷面一樣，和地球赤道面平行，晷針平行於地球的自轉軸。
2. 圓弧面上的時間刻度和赤道式日晷相同，但改成以長度取代角度製作時間刻度。
3. 圓弧面上的弧長等於半個圓周，在製作與測量時，是從早上六點計時到下午六點。

(四) 地磁偏角和子午線

1. 子午線指的是地理北極和地理南極的的連線，而日晷的晷針必須和子午線平行。
2. 赤道式日晷、水平式日晷和圓弧式日晷的晷針頂端，在北半球都是指向正北方，所以在進行測量之前，都必須先確認方位後，才能有正確的測量結果，本實驗的方位判斷，先由指北針找出地磁北極，再藉由測量處的地磁偏角數值修正，得到地理北極的方位。
3. 地磁偏角是地磁北極和地理北極方向的夾角，若地磁北極 N_m 位於地理北極 N_g 的西方，則地磁偏角 δ 為負值；若地磁北極 N_m 位於地理北極 N_g 的東方，磁偏角 δ 為正值，如圖八。
4. 本實驗的測量地點，地磁偏角約為負四度，表示地磁北極在地理北極的西邊，也就是說在做日晷測量時，判斷地磁北極後，晷針需朝向再往東偏四度，才是地理北極。







圖八地磁偏角示意圖

(五)時差補正(均時差)和經差補正

- 1.日晷時間和手錶時間不一致的原因，除了製作上和測量時會有誤差以外，也須考慮測量地點所在的經度，還有太陽所在的位置。
- 2.地球繞太陽公轉的軌道為橢圓形，連續兩次太陽通過子午線的時間為一個太陽日，一年中每一個太陽日長短不盡相同，但是手錶時間是經由人為制定，讓每天都是二十四小時，每一天手錶時間和太陽位置並不完全相同，所以日晷時間必須要經過校正，才能和手錶時間一致，這就是時差補正(均時差)。均時差等於日晷時間減去手錶時間，若為正值，則代表日晷時間比手錶時間快。
- 3.經度每隔十五度，相當於一個小時的差異，以臺灣使用中原標準時間(手錶時間)為例，本實驗位置在東經121.13482度，和臺灣的時區約有經度一度多的差異，故日晷時間會比手錶時間快約四分鐘半左右。因經度產生的時間差，就稱為經差補正。

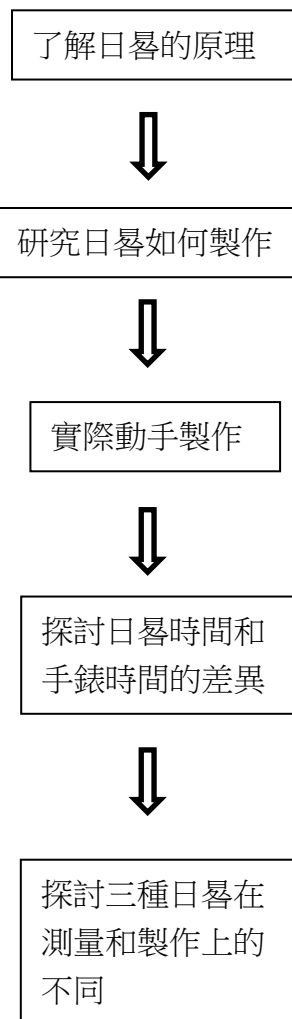
貳、研究設備及器材

			
各式紙(板)	剪刀	美工刀	熱熔膠槍
			
晷針	計算機	水平儀	指北針

			
量角器	三角板	圓規	直尺

參、研究過程或方法

一、實驗流程圖



二、製作赤道式日晷

(一)製作過程

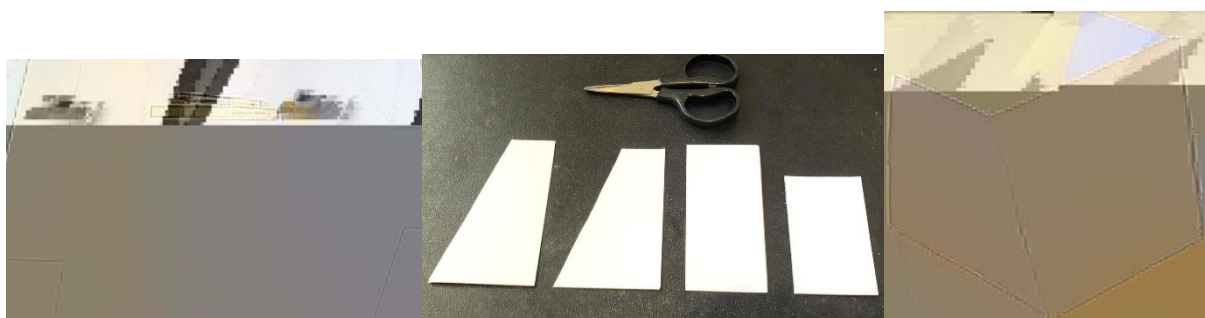
- 1.在紙板上畫出一個圓並將其剪下，如圖九。
- 2.在白紙上畫出一個與紙板剪下一樣大的圓，如圖十。
- 3.在圓上畫出時間的刻度，畫後把圓剪下，把畫好的紙貼在紙板上，如圖十一。

- 4.在另一個紙板上畫上底座的零件，如圖十二。
- 5.畫好後把它剪下，如圖十三。
- 6.把剪下來的底座用熱融膠槍組合起來，如圖十四。
- 7.將晷針用熱融膠固定在圓上，如圖十五。
- 8.用熱融膠將裝上晷針的圓和底座黏起來合併，如圖十六。每一個刻度為十分鐘。



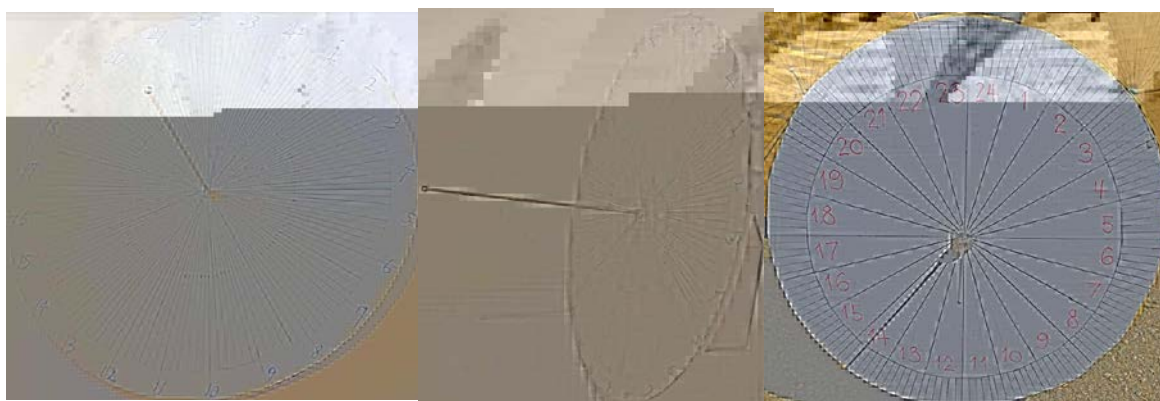
圖九 圖十

圖十一



圖十二圖十三

圖十四



圖十五

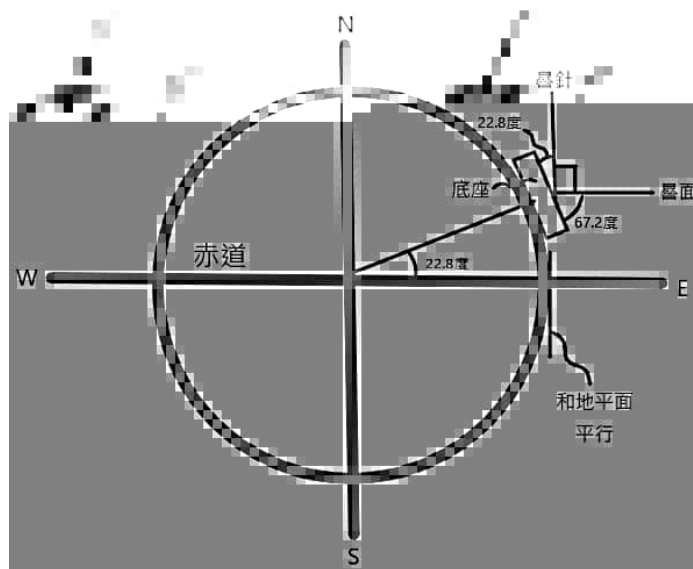
圖十六圖十七

(二)測量方式

- 1.確認地面水平及方位，晷針須對準正北方，赤道式日晷成品如圖十七。
- 2.晷針必須和晷面垂直，且晷針愈細、愈堅硬愈好。
- 3.晷針和底座夾角須等於當地緯度，晷面和底座的夾角為九十度減去測量地的緯度。

4.本實驗測量地點的緯度為 22.76353°N ，故晷針和底座的夾角約為 22.8° ，晷面和底座的夾角約為 67.2° ，赤道式日晷示意圖如圖十八。

5.以時差和經差補正，修正觀測結果。

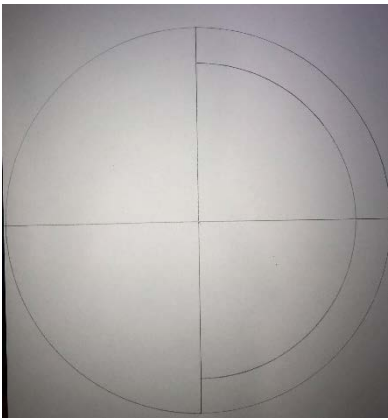


圖十八赤道式日晷示意圖

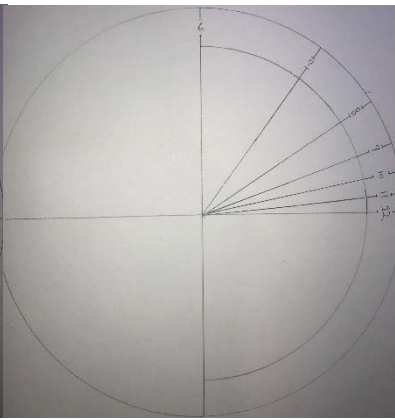
三、製作水平式日晷

(一)製作過程

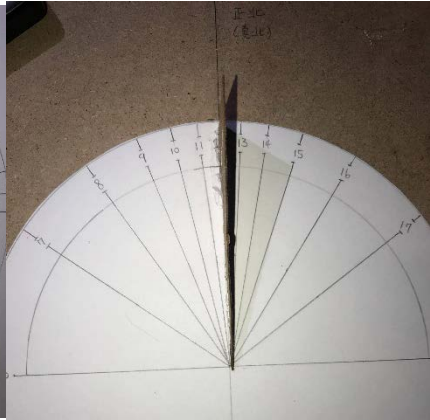
- 1.先決定水平式日晷的半徑(考量紙板大小)。
- 2.在紙上畫出具水平式日晷半徑的圓，加上外框，以利於標記時間，如圖十九。
- 3.利用公式計算某刻度與十二點鐘的夾角。
- 4.在外框中畫上小時線，如圖二十。
- 5.另一半計算方式相同，所以複製即可。
- 6.剪下並貼於紙板上。
- 7.用紙板剪下一直角三角形，底為圓的半徑，夾角的角為當地緯度，斜邊視為晷針。
- 8.將紙板黏於十二點鐘線的位置，如圖二十一。
- 9.每一個刻度為一個小時。



圖十九



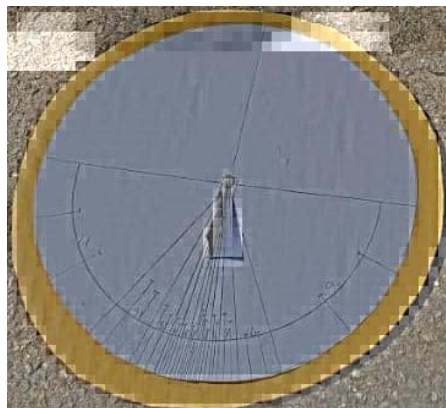
圖二十



圖二十一

(二)測量方式

- 1.與赤道式日晷相同，確認方位，晷針直立端對準正北方。
- 2.注意水平式日晷是否成水平，可用水平儀輔助。
- 3.以紙板斜邊的投影紀錄日晷的時間，水平式日晷成品如圖二十二。
- 4.以時差和經差補正，修正觀測結果。



圖二十二水平式日晷成品

四、圓弧式日晷

(一)製作過程

1.用紙板切出兩塊直徑為四十一公分的半圓，再從中切出直徑二十七為公分的半圓，如圖二十三。

2.取白紙，沿著步驟一切出的紙板剪下一樣大的形狀，並利用量角器在白紙上描繪出角度以表示緯度，如圖二十四。

3.將步驟二畫好的白紙黏在紙板上，如圖二十五。

4.將步驟三黏好的兩塊紙板做成立體的以方便之後操作，如圖二十六。

5.沿著步驟一紙板的圓弧邊緣切出兩塊底座，如圖二十七。

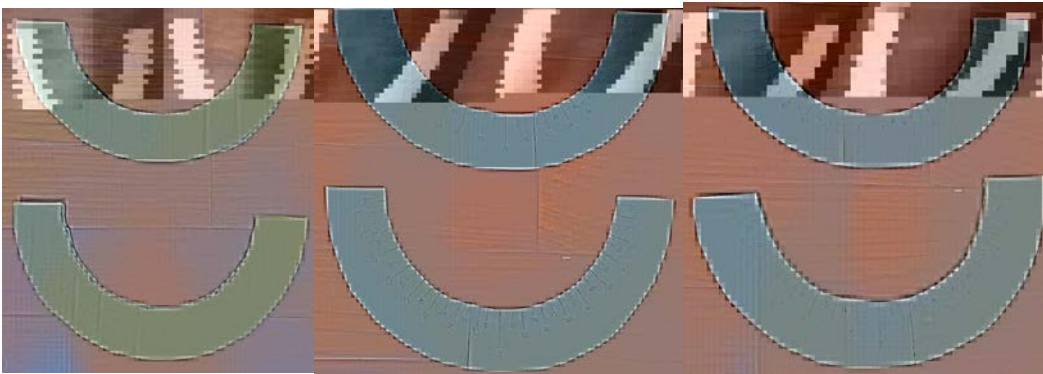
6.取白紙，沿著步驟五切出的紙板下一樣大的形狀，且在正中間畫一條直線，如圖二十八。

7.將步驟六畫好的白紙黏在步驟五的紙板上，如圖二十九。

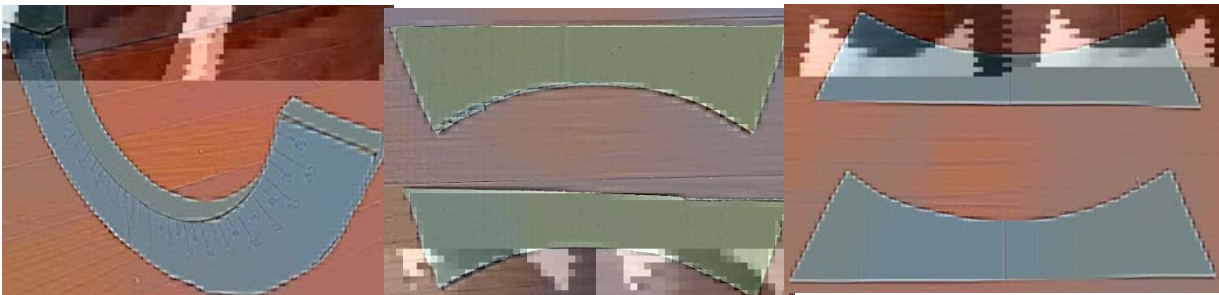
8.將步驟七黏好的兩塊紙板做成立體的以方便之後操作，如圖三十。

9.在紙板上切一64.37公分的紙板，再剪下一個一樣大的白紙條，每5.4公分劃一條小時線(六點到十八點)，至於這些數字的來源，如圖三十一。

10.將步驟九畫好的紙條做成立體，方便之後操作，最後將所有物件組合成黏上晷針，如圖三十二、圖三十三。每一個刻度為十分鐘。

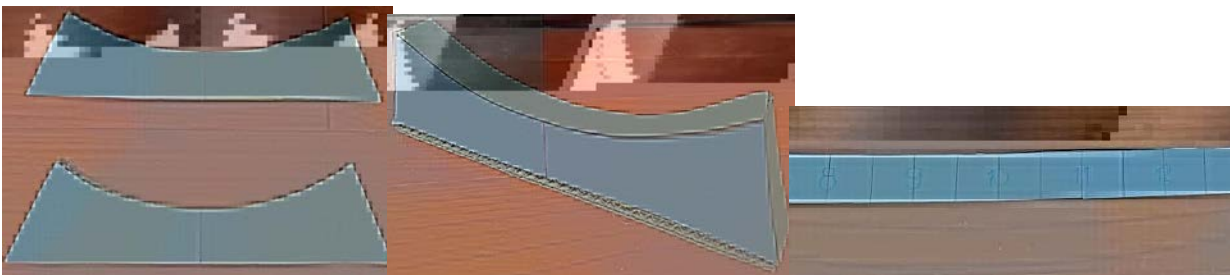


圖二十三圖二十四圖二十五



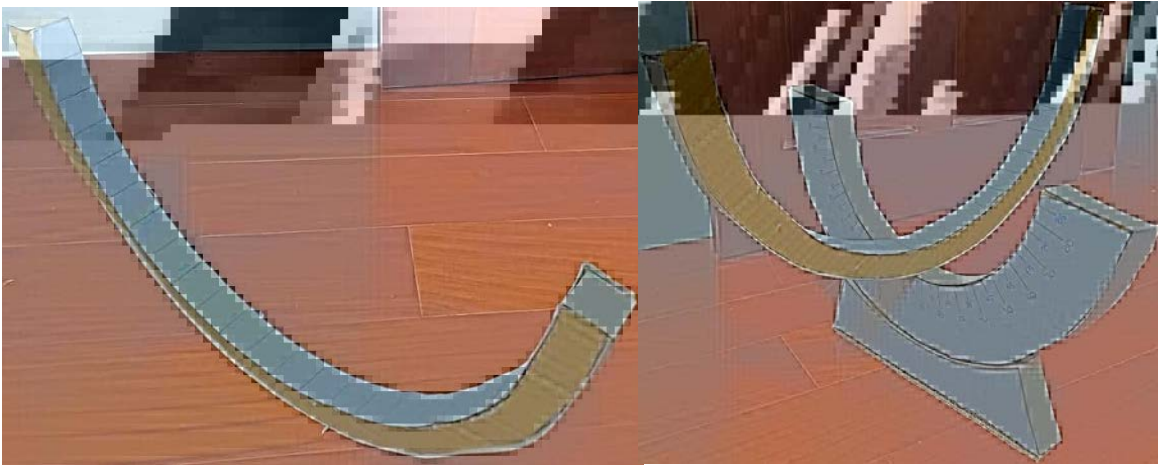
圖二十六

圖二十七 圖二十八



圖二十九 圖三十

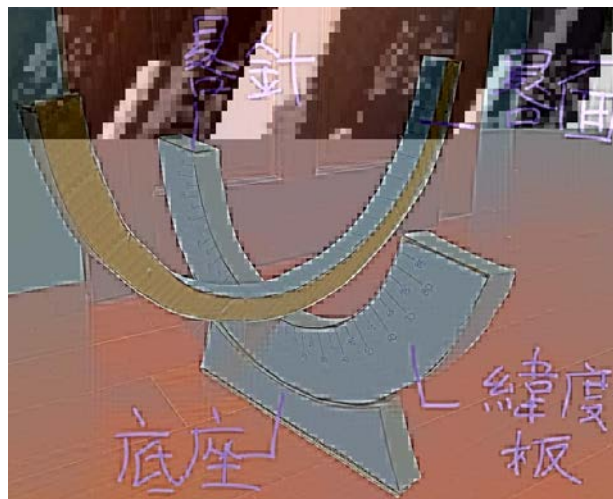
圖三十一



圖三十二圖三十三

(二)測量方式

- 1.測量時，滑動緯度板，使高的一端朝北，低的一端朝南。
- 2.調整緯度板，使角度為九十度減去當地緯度，得到的角度需要貼合底座上的直線，圓弧式日晷成品如圖三十四。
- 3.最後太陽光會把晷針的影子投射在晷面上，便可得知時間。
- 4.以時差和經差補正，修正觀測結果。



圖三十四圓弧式日晷成品

肆、研究結果

一、赤道式日晷

手錶時間	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
測量日期	日晷時間					
2022/7/13	10 : 00	10 : 50	12 : 00	14 : 00	15 : 00	15 : 50
2022/7/14	10 : 00	10 : 50	12 : 00	13 : 50	15 : 00	15 : 50
2022/7/15	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/18	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/19	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/20	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/21	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/22	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/1	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/2	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/3	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/4	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/5	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/12	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00

(一)本實驗時間在七月十三日到八月十二日，測量的天數為十四天。

(二)本次實驗結果發現，日晷時間和手錶時間比較，有五次不同。

(三)一開始日晷時間和手錶時間不一致，我們認為可能是測量方式或實驗器材不夠精確，後來再經過改良後，日晷時間經過時差和精差的修正，就可以和手錶時間大致吻合。

二、水平式日晷

手錶時間	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
測量日期	日晷時間					
2022/7/13	09 : 50	11 : 00	12 : 00	13 : 50	14 : 50	15 : 50
2022/7/14	10 : 00	11 : 00	12 : 00	13 : 50	15 : 10	16 : 00
2022/7/15	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/18	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/19	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/20	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 15	15 : 20	16 : 15
2022/7/21	09 : 50	11 : 00	12 : 00	14 : 15	15 : 15	16 : 15
2022/7/22	10 : 05	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/1	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/2	10 : 00	11 : 00	12 : 00	13 : 50	15 : 00	16 : 00
2022/8/3	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	15 : 50
2022/8/4	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	15 : 50
2022/8/5	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/12	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00

(一)本實驗時間在七月十三日到八月十二日，測量的天數為十四天。

(二)本次實驗結果發現，日晷時間和手錶時間比較，有十七次不同。

(三)測量過程中，常常會出現日晷時間和手錶時間較不吻合的情況，我們猜測可能是因為水平式日晷的刻度較大，所以判讀時間上會產生較大的誤差。

(四)若能改善刻度太大的問題，應該能提高準確度。

三、圓弧式日晷

手錶時間	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
測量日期	日晷時間					
2022/7/13	10 : 00	10 : 50	12 : 00	14 : 00	15 : 10	16 : 00
2022/7/14	10 : 00	10 : 50	12 : 00	13 : 50	15 : 00	16 : 00
2022/7/15	09 : 50	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 10	16 : 00
2022/7/18	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/19	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/20	10 : 00	10 : 50	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/21	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/7/22	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/1	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/2	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/3	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/4	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/5	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00
2022/8/12	10 : 00	11 : 00	12 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00

(一)本實驗時間在七月十三日到八月十二日，測量的天數為十四天。

(二)本次實驗結果發現，日晷時間和手錶時間比較，有六次不同。

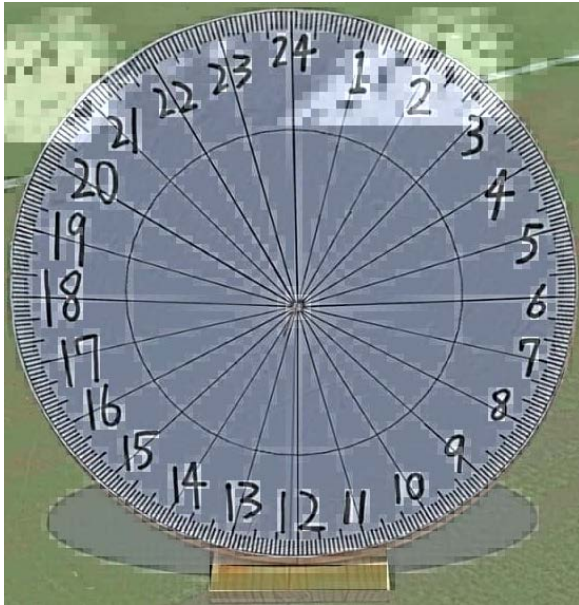
(三)一開始日晷時間有不吻合的情況，我們認為可能是測量方式以及實驗器材不夠精確，再經過改良後，日晷時間經過時差和精差的修正，就可以和手錶時間大致吻合。

(四)若能改善刻度太大的問題，應該能提高準確度。

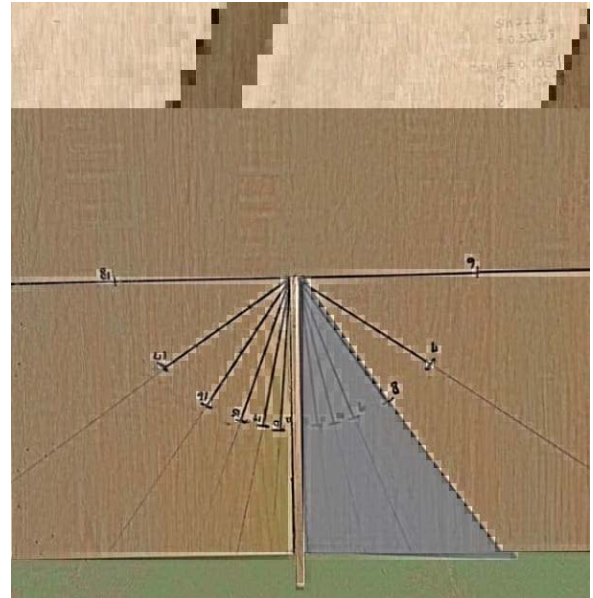
四、經過後續改良的三種日晷：

(一)赤道式日晷進行加強固定的設計，晷面增加至三百六十個刻度，每一刻度為四分鐘，如圖三十五。

(二)水平式日晷進行補強使其堅固，搭配手機格線的圖形輔助讀取刻度，使測量刻度可以小至十分鐘，如圖三十六。



圖三十五



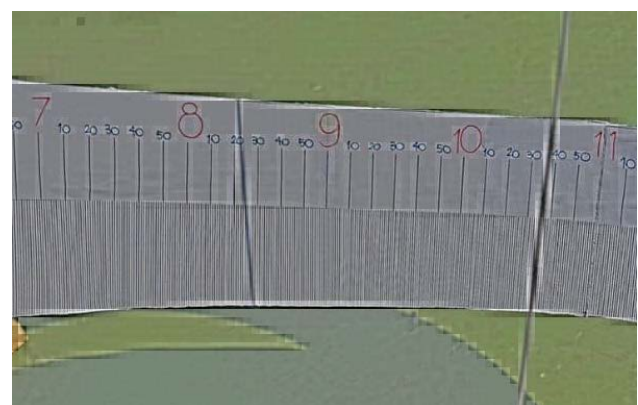
圖三十六

改良後的赤道式日晷改良後的水平式日晷

(三)圓弧式日晷進行補強使其堅固，刻度線也從原來的每一個刻度十分鐘，如圖三十七，再置換成每一個刻度為一分鐘，如圖三十八。



圖三十七



圖三十八

圓弧式日晷-每一刻度為十分鐘圓弧式日晷-每一刻度為一分鐘

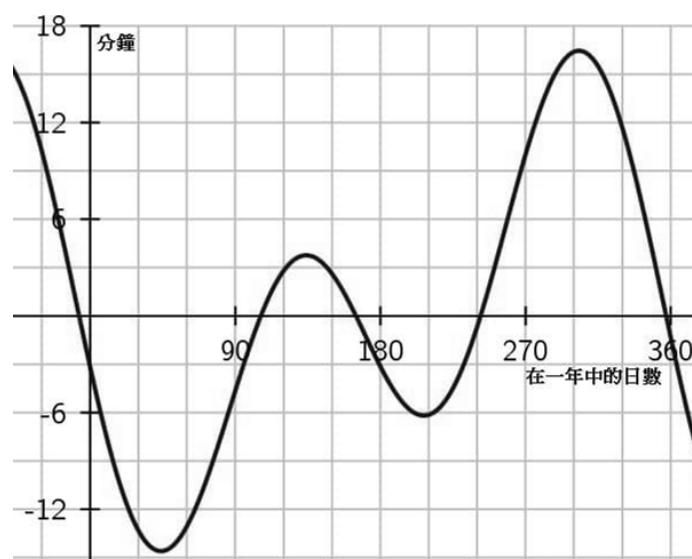
(四)改良後測試時間從民國一十二年五月十七日開始測量，由於已進入梅雨季，所以常有陰天或雨天無法測量的情況，所以數據不夠完整，日晷時間的實驗數據如下：

手錶時間		赤道式日晷	水平式日晷	圓弧式日晷
5/17	0800	0808	0810	0830
	1200	1208	1210	1210
5/18	0800	0808	0810	0830
	1200	1208	1210	1210
5/22	0800	0808	0810	0810
	1600	1608	1610	1610
5/25	0800	0808	0810	0810
	1200	1208	1210	1210
5/26	1200	1208	1210	1210
5/29	0800	0808	0810	0810
	1200	1208	1210	1210
5/31	0800	0808	0810	0810
6/1	0800	0808	0810	0810
	1200	1208	1210	1210
6/2	0800	0808	0810	0810
6/5	1200	1208	1210	X
6/6	0800	0808	0810	X
6/7	0800	0808	0810	0810

(五)由以上結果，我們發現當晷面的刻度設計的較小，確實可以記錄到較精確的時間，若再以經差和時差補正後，日晷時間和手錶時間就能更一致。測量期間的均時差大約在一、兩分鐘左右，也就是日晷時間會比手錶時間快一、兩分鐘左右，加上經差補正，所以日晷時間約比手錶時間快六、七分鐘左右。

伍、討論

一、日晷可以顯示時間，是由於太陽在晷面上產生影子所判讀，所以太陽所在的位置會影響日晷顯示的時間。地球上觀察太陽的位置會有週期性的變化，產生日行跡，和地球公轉的速率不一致，及地球自轉軸和黃道面有夾角有關，這些因素使得日晷時間和手錶時間會有差異，產生均時差，如下圖三十九。



圖三十九 均時差和一年中的日數之關係圖

二、根據均時差的數據，二零二二年七月十三日到八月十二日止，均時差約在負五、六分鐘之間的差異。若再加上經差補正，則日晷時間約比手錶時間快一、兩分鐘左右。

三、手錶時間是人為制定，以一年中的所有太陽日取平均之後得到的平均太陽日，再制訂出二十四小時，全球劃分成二十四個時區，同一時區內有一樣的時間，但是日晷時間會因為每向東一度，就比手錶時間快四分鐘，這就是日晷時間還要做經差補正的原因。

四、日晷的晷針須和子午線平行，地理北極的位置可從地磁北極和磁偏角決定，手機的應用程式也可以取代傳統的指北針。

五、如果日晷的刻度較大，則讀取數據上會有很多不確定的地方，反之，刻度越精細，測量結果越能精確表達。

六、赤道式日晷的晷面是一圓形盤面，若每個小時有十五度的間隔，就能精準到四分鐘(一度)。

七、水平式日晷的時間刻度一開始只有畫小時線，所以只能以小時為單位，有些數據在刻度之間，就有估計值，容易產生很大的誤差。後來改成最小刻度為十分鐘時，誤差就減小了。

八、水平式日晷晷針產生陰影面積的邊，可作為判斷時間的依據，會比以晷針式的赤道式和

圓弧式日晷細的晷針影子來的容易判讀。

九、製作圓弧式日晷時，其晷面每個小時之間間距是5.4公分，間距大小是由緯度板的半徑決定的，緯度板的半徑為 r 公分，直徑為 $2r$ 公分，總長為 $2\pi r$ 公分，而圓弧式日晷的晷面只有半個圓，只需 πr 公分，由於圓弧式日晷只能測量六時至十八時，共十二個小時，故每個小時的間距為 $(\pi r \div 12)$ 公分。我們一開始設定緯度板的直徑為41公分，所以半徑為20.5公分，因此間距為： $20.5\pi \div 12 \approx 5.3642 \approx 5.4$ 公分。

十、雖然製作圓弧式日晷時要考慮圓弧狀的晷面，裁切上較為困難，但是它的時間刻度是用直線長度取代角度的方式製作，製作刻度可以更精細，刻度可以小到一分鐘。

十一、赤道式日晷製作時，必須考慮南面和北面，但圓弧式日晷及水平式日晷製作完成後，一整年都是同一晷面測量，測量時間上較為方便。

十二、圓弧式日晷可在不同地點測量，因為可以調整晷面的角度，以配合當地的緯度，但是赤道式和水平式日晷皆無法調整晷面角度。

十三、圓弧式日晷會在接近正中午的時候，受到上方構造的影響產生影子，干擾晷針影子，使影子變大，影響判讀。

十四、本次實驗的測量數據不夠多，未來希望再補足更多數據，以做更好的推論。

陸、結論

- 一、三種日晷在測量時間時，晷針與地平面的夾角等於當地的緯度，晷針需要在南北方向上和子午線平行，在北半球則需將晷針指向正北方(地理北極)，而正北方可利用地磁北極加上地磁偏角修正。
- 二、太陽的方位會決定日晷時間，而日晷時間和手錶時間並不一定會完全相同。
- 三、日晷時間若要和手錶時間一致，則必須考慮到經差補正和時差補正(均時差)。
- 四、赤道式日晷製作上較容易，形如時鐘，時間刻度也都一樣大。
- 五、水平式日晷的時間刻度大小不同，刻度的大小由公式決定，越靠近十二點線的刻度越小，越遠離的越大，每個刻度單位是小時，測量上容易產生誤差。
- 六、雖然圓弧式日晷在製作上較繁瑣，但是時間刻度線可以畫得比較細，所以比水平式日晷更精準、也比赤道式日晷更方便。
- 七、晷面的時間刻度越小，測量的數據就越精確。

柒、參考文獻資料

一、邱紀良(2003)。日晷的實作。國立清華大學出版社。

二、邱紀良(2008)。日晷百變。國立清華大學出版社。

三、日晷。載於維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/日晷>

四、什麼是磁偏角？它的重要性如何？ 網絡氣象

<https://www.meteorologiaenred.com/zh-TW/磁偏角.html>

五、科技大觀園。與手表時間比較-日晷。

<https://sites.google.com/a/smail.ilc.edu.tw/ri-gui/ri-gui-yu-shou-biao-de-shi-jian-cha>

六、地平日晷和赤道日晷的原理以及几个相关问题-高海鹏老师的博客

<https://www.gaohaipeng.com/3362.html>(2016年12月16日)

七、傾斜的近水平式日晷 - 豆丁網

<https://www.docin.com/p-10505283.html>(2009年3月12日)

八、均時差。載於維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/均時差>

九、masayasu。2012來去台東之國立台灣史前文化博物館看日晷。

檢自<https://m.xuite.net/blog/masayasu/twblog/155094662>(2012年3月30日)

十、故宮的日晷。

<https://kknews.cc/history/2maxojy.html> (2017年7月5日)

十一、地磁偏角。載於維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/地磁偏角>

【評語】 030504

數字的精確度對於誤差的影響，誤差分析可以再強化。

數學公式（如 \tan^{-1} ，-1 需為上標）該書寫精確。

作品海報

「暑」迷心竅

三種日暑的探討

摘要

本研究想透過製作三種不同日晷與實際測量，了解日晷如何運作。第一種為赤道式日晷，製作上較容易，形如時鐘，時間刻度也都一樣大，晷針須和晷面垂直，晷針和地平面的夾角須和當地緯度吻合，分為北面 and 南面，兩面的刻度順序相反。第二種為水平式日晷，晷面和晷針夾角的角度為當地緯度，晷面的時間刻度大小不同，需用特定三角函數公式計算，刻度越靠近十二點鐘的越小，越遠離的越大，每個刻度單位是小時，測量容易產生誤差。第三種為圓弧式日晷，製作較複雜，但使用上能更精確、更方便。研究結果發現，日晷時間和手錶時間有差異，除了要考慮磁偏角、時差和經差補正之外若能將刻度做到最小，則測量數據將會更精確。

壹、前言

一、研究動機

夏天火傘高張，我們看著窗櫺外灑落的陽光，以及東西在大太陽下的影子，於是，我們想起國小學過的日晷，知道古人利用它來知道時間。現代人看手錶就能得知時間，但是對於古人來說，他們如何利用日晷得知時間呢？經過和老師及同學的討論後，我們選定三種日晷，打算透過製作與實際測量，來揭開日晷這個古老計時工具的神秘面紗。

二、目的：

- (一)研究和製作三種日晷，包括赤道式日晷、水平式日晷和圓弧式日晷。
- (二)用自製的日晷實測，比較和手錶時間的差異。
- (三)探討日晷時間和手錶時間差異的可能原因。
- (四)討論三種日晷的特色。

三、文獻回顧：

(一)赤道式日晷

- 1.又稱陀螺式日晷，晷面類似圓形鐘錶的表面，以前設立在臺東的國立史前博物館門口前的日晷，就是屬於赤道式日晷已於二零二零年六月封館後拆除，如圖一。
- 2.晷面和地球赤道面平行，晷針則和地球自轉軸平行。在北半球，晷針上端為指向北極的一端，在南半球則為指南極形如北京故宮太和殿前的日晷，如圖二。

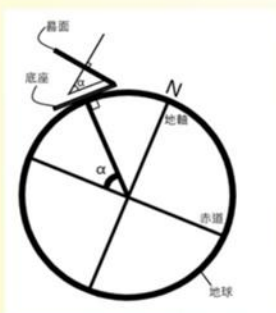


圖一 以前臺東國立史前博物館門口的日晷

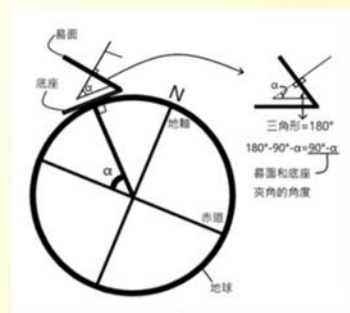


圖二 北京故宮太和殿前的日晷

- 3.晷面的形狀為圓形，每一小時的刻度時皆設計為十五度，相當於每一度為四分鐘。晷面有兩個刻度面，要看太陽的方位而定，春分到秋分，看的是晷針指向北極的那一面，而秋分到次年的春分，則是看另一面。日晷上的時刻，和太陽的投影位置有關。
- 4.使用的時機點，為太陽出現在地平面後開始，直到太陽下山為止，一年四季使用的時間長短不同。在北半球，夏季晝長夜短，冬季則晝短夜長。
- 5.由於春分和秋分太陽直射赤道，所以赤道式日晷在這兩天會沒有影子，無法讀取時間。
- 6.晷針與晷面和地平面的夾角的關係
 - (1)如圖三， α 表示當地緯度，晷針和地軸平行，若在北半球則指向正北方，在南半球則指向正南方，晷針與地平面的夾角等於當地的緯度。
 - (2)如圖四，晷面和底座的夾角等於九十度減去當地的緯度，底座和地面平行。



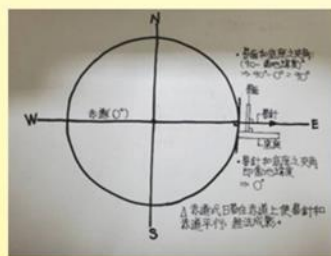
圖三 α 表示當地緯度



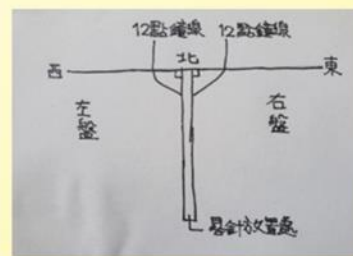
圖四 晷面和底座的夾角示意圖

7. 赤道地區與春、秋分時無法使用赤道式日晷

- (1)赤道上，晷面是直立的，晷針和地平面平行，太陽無法在晷面上產生影子，如圖五。
- (2)春分、秋分時，太陽直射赤道，正好與晷面平行，也無法使用該日晷。



圖五 在赤道上的赤道式日晷



圖六 水平式日晷的十二點鐘線

(二)水平式日晷

- 1.概念和赤道式日晷相同，但是晷面上的時刻分布不像赤道式日晷一樣是均勻劃分的，越接近中午十二點時，刻度線會越密集。
- 2.分為左盤和右盤，左盤和右盤中間要夾住晷針(為直角三角形)，由於晷針有厚度，所以水平式日晷的晷針左右要有兩條十二點鐘線，而不是以晷針中間處為十二點鐘線，如圖六。左盤的刻度線為早上，右盤的刻度線為下午。
- 3.底座為晷面，需和水平地面平行，晷針類似一個直角三角形，如圖七，繪製晷面刻度時需使用到三角函數。晷針和晷面的夾角為當地的緯度，晷針的方向(直角三角形的斜邊方向)則平行於地球的自轉軸。
- 4.晷面時間刻度計算公式
 - (1)假設某刻度與十二點鐘的夾角 β ，當地緯度 α ，太陽於晷針的角度 θ ，則： $\beta = \tan^{-1}(\sin \alpha \times \tan \theta)$
 - (2)因為晷針平行於地軸，且和地面有夾角，使晷針的影子發生偏斜，為了配合影子的偏斜，才使晷面的時間刻度不一樣大。
- 5.若在赤道上，晷針和晷面(底座)夾角為零度，則該日晷無法使用。



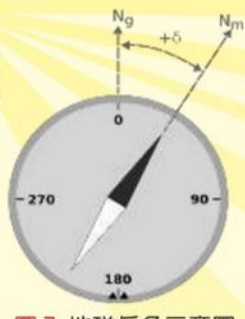
圖七 水平式日晷

(三)圓弧式日晷

- 1.其構造就如同赤道式日晷，只是晷面改成圓弧形，其圓弧面和赤道式日晷的晷面一樣，和地球赤道面平行，晷針平行於地球的自轉軸。
- 2.圓弧面上的時間刻度和赤道式日晷相同，但改成以長度取代角度製作時間刻度。
- 3.圓弧面上的弧長等於半個圓周，在製作與測量時，是從早上六點計時到下午六點。

(四)地磁偏角和子午線

- 1.子午線指的是地理北極和地理南極的的連線，而日晷的晷針必須和子午線平行。
- 2.赤道式日晷、水平式日晷和圓弧式日晷的晷針頂端，在北半球都是指向正北方，所以在進行測量之前，都必須先確認方位後才能有正確的測量結果，本實驗的方位判斷，先由指北針找出地磁北極，再藉由測量處的地磁偏角數值修正，得到地理北極的方位。
- 3.地磁偏角是地磁北極和地理北極方向的夾角，若地磁北極 N_m 位於地理北極 N_g 的西方，則地磁偏角 δ 為負值；若地磁北極 N_m 位於地理北極 N_g 的東方，磁偏角 δ 為正值，如圖八。
- 4.本實驗的測量地點，地磁偏角約為負四度，表示地磁北極在地理北極的西邊，也就是說在做日晷測量時，判斷地磁北極後，晷針需朝向再往東偏四度，才是地理北極。



圖八 地磁偏角示意圖

(五)時差補正(均時差)和經差補正

- 1.日晷時間和手錶時間不一致的原因，除了製作上和測量時會有誤差以外，也須考慮測量地點所在的經度，還有太陽所在的位置。
- 2.地球繞太陽公轉的軌道為橢圓形，連續兩次太陽通過子午線的時間為一個太陽日，一年中每一個太陽日長短不盡相同，但是手錶時間是經由人為制定，讓每天都是二十四小時，每一天手錶時間和太陽位置並不完全相同，所以日晷時間必須要經過校正，才能和手錶時間一致，這就是時差補正(均時差)。均時差等於日晷時間減去手錶時間，若為正值，則代表日晷時間比手錶時間快。
- 3.經度每隔十五度，相當於一個小時的差異，以臺灣使用中原標準時間(手錶時間)為例，本實驗位置在東經121.13482度，和臺灣的時區約有經度一度多的差異，故日晷時間會比手錶時間快約四分鐘半左右。因經度產生的時間差，就稱為經差補正。

貳、研究設備及器材

各式紙(板)	剪刀	美工刀	熱熔膠槍
晷針	計算機	水平儀	指北針
量角器	三角板	圓規	直尺

參、研究過程或方法

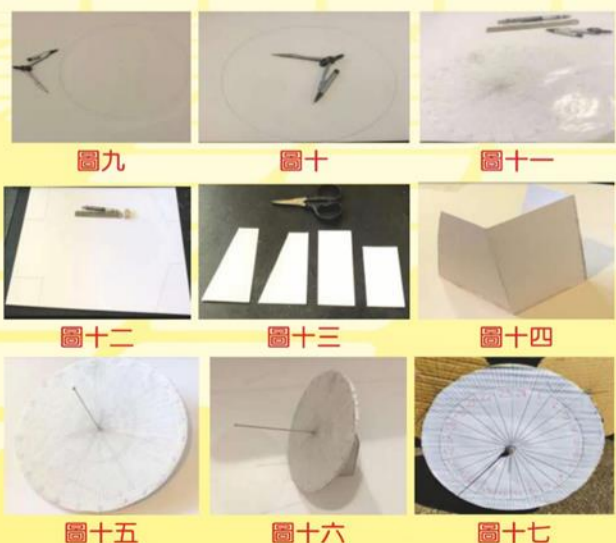
一、實驗流程圖



二、製作赤道式日晷

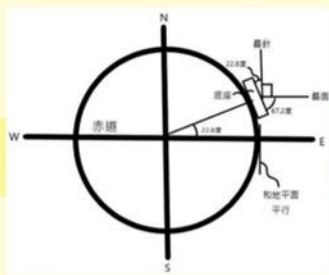
(一)製作過程

- 1.在紙板上畫出一個圓並將其剪下，如圖九。
- 2.在白紙上畫出一個與紙板剪下一樣大的圓，如圖十。
- 3.在圓上畫出時間的刻度，畫後把圓剪下，把畫好的紙貼在紙板上，如圖十一。
- 4.在另一個紙板上畫上底座的零件，如圖十二。
- 5.畫好後把它剪下，如圖十三。
- 6.把剪下來的底座用熱融膠槍組合起來，如圖十四。
- 7.將晷針用熱融膠固定在圓上，如圖十五。
- 8.用熱融膠將裝上晷針的圓和底座黏起來合併，如圖十六。每一個刻度為十分鐘。



(二)測量方式

- 1.確認地面水平及方位，晷針須對準正北方，赤道式日晷成品如圖十七。
- 2.晷針必須和晷面垂直，且晷針愈細、愈堅硬愈好。
- 3.晷針和底座夾角須等於當地緯度，晷面和底座的夾角為九十度減去測量地的緯度。
- 4.本實驗測量地點的緯度為 $22.76353^\circ N$ ，故晷針和底座的夾角約為 22.8° ，晷面和底座的夾角約為 67.2° ，赤道式日晷示意圖如圖十八。
- 5.以時差和經差補正，修正觀測結果。



圖十八

三、製作水平式日晷

(一)製作過程

- 1.先決定水平式日晷的半徑(考量紙板大小)。
- 2.在紙上畫出水平式日晷半徑的圓，加上外框，以利於標記時間，如圖十九。
- 3.利用公式計算某刻度與12點鐘的夾角。
- 4.在外框中畫上小時線，如圖二十。
- 5.另一半計算方式相同，所以複製即可。
- 6.剪下並貼於紙板上。
- 7.用紙板剪下一直角三角形，底為圓的半徑，夾角的角為當地緯度，斜邊視為晷針。
- 8.將紙板黏於12點鐘線的位置，如圖二十一。
- 9.每一個刻度為一個小時。



圖十九

圖二十

圖二十一

(二)測量方式

- 1.與赤道式日晷相同，確認方位，晷針直立端對準正北方。
- 2.注意水平式日晷是否成水平，可用水平儀輔助。
- 3.以紙板斜邊的投影紀錄日晷的時間，如圖二十二。
- 4.以時差和經差補正，修正觀測結果。



圖二十二 水平式日晷成品

四、圓弧式日晷

(一)製作過程

- 1.用紙板切出兩塊直徑為41公分的半圓，再從中切出直徑27為公分的半圓，如圖二十三。
- 2.取白紙，沿著步驟一切出的紙板剪下一樣大的形狀，並利用量角器在白紙上描繪出角度以表示緯度，如圖二十四。
- 3.將步驟二畫好的白紙黏在紙板上，如圖二十五。
- 4.將步驟三黏好的兩塊紙板做成立體的以方便之後操作，如圖二十六。
- 5.沿著步驟一紙板的圓弧邊緣切出兩塊底座，如圖二十七。
- 6.取白紙，沿著步驟五切出的紙板下一樣大的形狀，且在正中間畫一條直線，如圖二十八。
- 7.將步驟六畫好的白紙黏在步驟五的紙板上，如圖二十九。
- 8.將步驟七黏好的兩塊紙板做成立體的以方便之後操作，如圖三十。
- 9.在紙板上切一64.37公分的紙板，再剪下一個一樣大的白紙條，每5.4公分劃一條小時線(6點到18點)，至於這些數字的來源，如圖三十一。
- 10.將步驟九畫好的紙條做成立體，方便之後操作，最後將所有物件組合並黏上晷針，如圖三十二、圖三十三。每一個刻度為十分鐘。



圖二十三

圖二十四

圖二十五

圖二十六

圖二十七

圖二十八

圖二十九

圖三十

圖三十一

圖三十二

圖三十三

(二)測量方式

- 1.測量時，滑動緯度板，使高的一端朝北，低的一端朝南。
- 2.調整緯度板，使角度為九十度減去當地緯度，得到的角度需要貼合底座上的直線，圓弧式日晷成品如圖三十四。
- 3.最後太陽光會把晷針的影子投射在晷面上，便可得知時間。
- 4.以時差和經差補正，修正觀測結果。

圖三十四



肆、研究結果

一、赤道式日晷

手錶時間	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
測量日期	日晷時間					
2022/7/13	10:00	10:50	12:00	14:00	15:00	15:50
2022/7/14	10:00	10:50	12:00	13:50	15:00	15:50
2022/7/15	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/18	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/19	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/20	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/21	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/22	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/1	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/2	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/3	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/4	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/5	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/12	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00

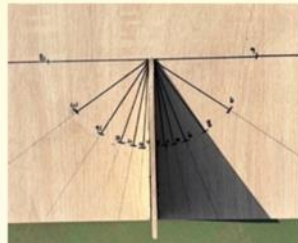
- (一)本實驗時間在七月十三日到八月十二日，測量的天數為十四天。
- (二)本次實驗結果發現，日晷時間和手錶時間比較，有五次不同。
- (三)一開始日晷時間和手錶時間不一致，我們認為可能是測量方式或實驗器材不夠精確，後來再經過改良後，日晷時間經過時差和精差的修正，就可以和手錶時間大致吻合。

四、經過後續改良的三種日晷：

- (一)赤道式日晷進行加強固定的設計，晷面增加至三百六十個刻度，每一刻度為四分鐘，如圖三十五。
- (二)水平式日晷進行補強使其堅固，搭配手機格線的圖形輔助讀取刻度，使測量刻度可以小至十分鐘，如圖三十六。



圖三十五 改良後的水平式日晷

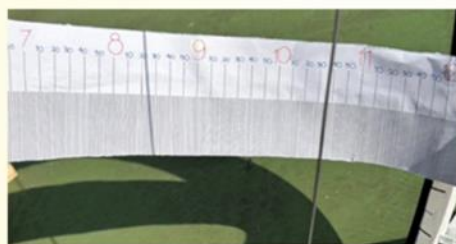


圖三十六 改良後的赤道式日晷

- (三)圓弧式日晷進行補強使其堅固，刻度線也從原來的每一個刻度十分鐘，如圖三十七，再置換成每一個刻度為一分鐘，如圖三十八。



圖三十七 圓弧式日晷-每一刻度為十分鐘

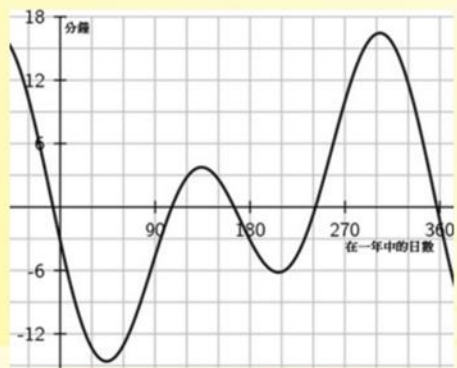


圖三十八 圓弧式日晷-每一刻度為一分鐘

- (五)由以上結果，我們發現當晷面的刻度設計的較小，確實可以記錄到較精確的時間，若再以經差和時差補正後，日晷時間和手錶時間就能更一致。測量期間的均時差大約在一、兩分鐘左右，也就是日晷時間會比手錶時間快一、兩分鐘左右，加上經差補正，所以日晷時間約比手錶時間快六、七分鐘左右。

伍、討論

- 一、日晷可以顯示時間，是由於太陽在晷面上產生影子所判讀，所以太陽所在的位置會影響日晷顯示的時間。地球上觀察太陽的位置會有週期性的變化，產生日行跡，和地球公轉的速率不一致，及地球自轉軸和黃道面有夾角有關，這些因素使得日晷時間和手錶時間會有差異，產生均時差，如圖三十九。



圖三十九 均時差和一年中的日數之關係圖

- 二、根據均時差的數據，二零二二年七月十三日到八月十二日止，均時差約在負五、六分鐘之間的差異。若再加上經差補正，則日晷時間約比手錶時間快一兩分鐘左右。
- 三、手錶時間是為制定，以一年中的所有太陽日取平均之後得到的平均太陽日，再制訂出二十四小時，全球劃分成二十四個時區，同一時區內有一樣的時間，但是日晷時間會因為每向東一度，就比手錶時間快四分鐘，這就是日晷時間還要補正的原因。
- 四、日晷的晷針須和子午線平行，地理北極的位置可從地磁北極和磁偏角決定手機的應用程式也可以取代傳統的指北針。

- 五、如果日晷的刻度較大，則讀取數據上會有很多不確定的地方，反之，刻度越精細，測量結果越精確表達。
- 六、赤道式日晷的晷面是一圓形盤面，若每個小時有十五度的間隔，就能精準到四分鐘（一度）。
- 七、水平式日晷的時間刻度一開始只有畫小時線，所以只能以小時為單位，有些數據在刻度之間，就有估計值，容易產生很大的誤差。後來改成最小刻度為十分鐘時，誤差就減小了。
- 八、水平式日晷晷針產生陰影面積的邊，可作為判斷時間的依據，會比以晷針式的赤道式和圓弧式日晷細的晷針影子來的容易判讀。
- 九、製作圓弧式日晷時，其晷面每個小時之間的問題是5.4公分，間距大小是由緯度板的半徑決定的，緯度板的半徑為r公分，直徑為2r公分，總長為 $2\pi r$ 公分，而圓弧式日晷的晷面只有半個圓，只需 πr 公分，由於圓弧式日晷只能測量六時至十八時，共十二個小時，故每個小時的間距為 $(\pi r \div 12)$ 公分。我們一開始設定緯度板的直徑為41公分，所以半徑為20.5公分，因此間距為： $20.5\pi \div 12 \approx 5.3642 \approx 5.4$ 公分。
- 十、雖然製作圓弧式日晷時要考慮圓弧狀的晷面，裁切上較為困難，但是它的時間刻度是用直線長度取代角度的方式製作，製作刻度可以更精細，刻度可以小到一分鐘。

三、圓弧式日晷

手錶時間	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
測量日期	日晷時間					
2022/7/13	10:00	10:50	12:00	14:00	15:10	16:00
2022/7/14	10:00	10:50	12:00	13:50	15:00	16:00
2022/7/15	09:50	11:00	12:00	14:00	15:10	16:00
2022/7/18	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/19	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/20	10:00	10:50	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/21	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/7/22	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/1	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/2	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/3	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/4	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/5	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00
2022/8/12	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00

- (一)本實驗時間在七月十三日到八月十二日，測量的天數為十四天。
- (二)本次實驗結果發現，日晷時間和手錶時間比較，有六次不同。
- (三)一開始日晷時間有不吻合的情況，我們認為可能是測量方式以及實驗器材不夠精確，再經過改良後，日晷時間經過時差和精差的修正，就可以和手錶時間大致吻合。
- (四)若能改善刻度太大的問題，應該能提高準確度。

- (四)改良後測試時間從民國一一二年五月十七日開始測量，由於已進入梅雨季，所以常有陰天或雨天無法測量的情況，所以數據不夠完整，日晷時間的實驗數據如下：

手錶時間	赤道式日晷	水平式日晷	圓弧式日晷
5/17	0800	0808	0810
	1200	1208	1210
5/18	0800	0808	0810
	1200	1208	1210
5/22	0800	0808	0810
	1600	1608	1610
5/25	0800	0808	0810
	1200	1208	1210
5/26	1200	1208	1210
5/29	0800	0808	0810
	1200	1208	1210
5/31	0800	0808	0810
6/1	0800	0808	0810
	1200	1208	1210
6/2	0800	0808	0810
6/5	1200	1208	X
6/6	0800	0808	X
6/7	0800	0808	0810

陸、結論

- 一、三種日晷在測量時間時，晷針與地平面的夾角等於當地的緯度，晷針需要在南北方向上和子午線平行，在北半球則需將晷針指向正北方（地理北極），而正北方可利用地磁北極加上地磁偏角修正。
- 二、太陽的方位會決定日晷時間，而日晷時間和手錶時間並不一定會完全相同。
- 三、日晷時間若要和手錶時間一致，則必須考慮到經差補正和時差補正（均時差）。
- 四、赤道式日晷製作上較容易，形如時鐘，時間刻度也都一樣大。
- 五、水平式日晷的時間刻度大小不同，刻度的大小由公式決定，越靠近十二點線的刻度越小，越遠離的越大，每個刻度單位是小時，測量上容易產生誤差。
- 六、雖然圓弧式日晷在製作上較繁瑣，但是時間刻度線可以畫得比較細，所以比水平式日晷更精準、也比赤道式日晷更方便。
- 七、晷面的時間刻度越小，測量的數據就越精確。

柒、參考文獻資料

- 一、邱紀良(2003)。日晷的實作。國立清華大學出版社。
- 二、邱紀良(2008)。日晷百變。國立清華大學出版社。
- 三、日晷。載於維基百科。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/日晷>
- 四、什麼是磁偏角？它的重要性如何？網絡氣象 <https://www.meteorologiaenred.com/zh-TW/磁偏角.html>
- 五、科技大觀園。與手表時間比較-日晷。 <https://sites.google.com/a/smail.ilc.edu.tw/ri-gui/ri-gui-yu-shou-biao-de-shi-jian-cha>
- 六、地平日晷和赤道日晷的原則以及幾個相關問題-高海鵬老師的 BLOG <https://www.gaohaipeng.com/3362.html>(2016年12月16日)
- 七、傾斜的近乎水平式日晷-豆丁網 <https://www.docin.com/p-10505283.html>(2009年3月12日)
- 八、均時差。載於維基百科。 <https://zh.wikipedia.org/wiki/均時差>
- 九、masayasu。2012來去台東之國立台灣史前文化博物館看日晷。檢自 <https://m.xuite.net/blog/masayasu/twblog/155094662>(2012年3月30日)
- 十、故宮的日晷。 <https://kknews.cc/history/2maxojy.html> (2017年7月5日)
- 十一、地磁偏角。載於維基百科。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/地磁偏角>