

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030512

光影捕手

學校名稱：宜蘭縣立國華國民中學

作者： 國二 張楷弘 國二 梁宗祺 國二 謝曉璇	指導老師： 陳郁婷 張芳銘
---	-----------------------------

關鍵詞：日晷、時間、太陽鐘

得獎感言

「光影捕手」團隊倍感榮幸代表宜蘭縣參加第五十七屆全國科展並且拔得頭籌。首先，感謝科學教育館給予我們學習機會，在此次比賽中我們學習到，遇見問題時應變的方法，並且了解團隊合作學習的重要性。也感謝指導老師張芳銘老師、陳郁婷老師，從科學探究中引導我們如何進行研究、建立模型、設計實驗、實地驗證，及瞭解更多關於地球科學的知識，使我們受益良多。而在進入比賽的前一周更是考驗腦力的重要關鍵，感謝指導老師們循循善誘的帶領，協助調整我們的答題、說明技巧，給予我們莫大的幫助，引導我們至空前的佳境。也感謝我們隊友之間的合作默契，鍥而不捨的研究精神，引領我們走向成功的道路！

在比賽後，我們很開心地親身參加科學之夜，體驗雲林在地農特產品美食、美景。藉由這次科學展覽會，我們觀察到許多生活中存在的科學原理，理解許多不懂的疑惑。在我們進一步準備好之後，也希望能代表國家參加國際科展，一來是增廣見聞，二來是為國增光，再者，在國際舞台上發揚我們的研究作品「極軸日晷」，我們這次所做的極軸日晷是利用太陽繞著極軸旋轉的特性來進行研究。很慶幸這次在縣賽時有教授指出我們研究不足的地方，讓我們有機會能讓研究結果更加完善，在此我們致上由衷的感謝。

此次我們很幸運能奪得佳績，而在未來我們將持續的努力，也希望將我們觀察到太陽運行的規律，能運用到太陽能板上，以取得更多的電力，增加發電的效益。



進入會場前檢錄時，我們的心情既期待又緊張！



第二回合解說完畢，完成任務，與老師合影。



美好的時刻，我們的極軸日晷研究得到國中組地球科學科第一名！

摘要

本研究的主題是製作極軸日晷。我們以太陽在天空中繞著極軸穩定運行的特性(地面觀察者的觀點)，來設計日晷的晷面(時間刻度、日期刻度)。我們利用晷針高度、從晷面看太陽的仰角，配合三角函數，算出 7 點到 17 點，每半小時的時間線；再運用二十四節氣太陽的日中天仰角差算出赤緯，配合三角函數，算出日期線。我們進一步改良使日晷的使用時間擴展到二十四小時(台灣地區從 5 點至 19 點可使用)，並設計可調整傾斜角度的底座，使我們設計的極軸日晷可以帶到世界各地使用。最後，日晷測量出的太陽時需經過時間修正才能得到手錶的標準時，而且日晷晷針要對準正北方，日晷才能正確使用。透過半年的驗證，我們證明所製作出的極軸日晷具有實用性。

壹、研究動機

我們曾在國二上學習理化 4-2「光線的直線性」單元中，學習到日晷是一種太陽鐘，它是透過太陽照射晷針產生影子來判定時間的計時工具。日晷的運作是靠太陽在天空穩定規律的運行特性(站在地球看天空)，不用任何電池或動力，在現在講究環保的時代，的確是值得好好的研究，因此引發我們想要研究日晷的動機。在網路上的資料，我們發現國內實際製作的日晷型式大多都是垂直型、水平型、赤道型三種，可是國外實際製作運行的日晷，卻還有極軸日晷，這種日晷它的晷面刻度具有上下左右的對稱性，這應該和太陽在天空中繞著極軸運行有密切的關係，因此我們選擇製作極軸日晷，來當作此次研究的主題。

貳、研究目的

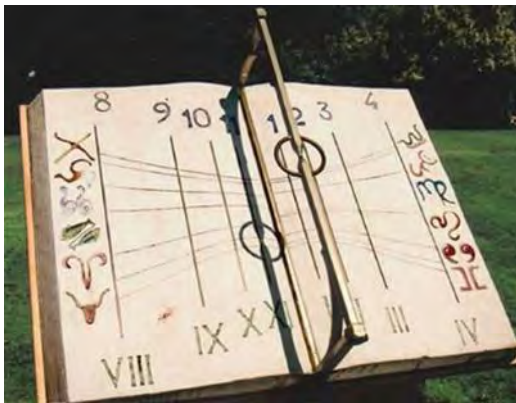
- 一、探討太陽一天及一年在天空的運行規律(以地面觀察者為中心)
- 二、探討極軸日晷的特性及如何畫出晷面上的刻度(時間線、日期線)
- 三、探討如何做時間修正來增加日晷的準確度
- 四、探討如何找出正北方來增加日晷的準確度
- 五、探討極軸日晷的優缺點
- 六、探討不同緯度地區，極軸日晷如何調整
- 七、探討極軸日晷的適用時間範圍，所需要滿足的條件
- 八、探討進一步改良極軸日晷的造型以增加使用適用性
- 九、探討南北半球地區，極軸日晷的差異及共同點

參、研究設備及器材

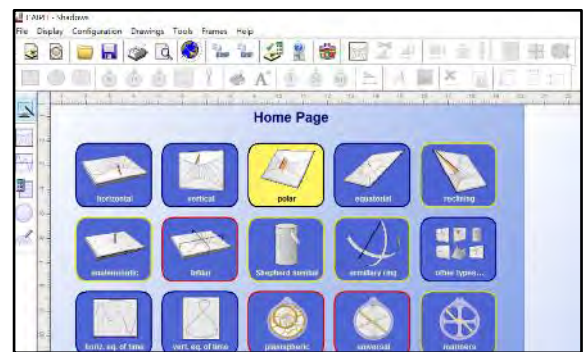
中央氣象局網站 2017 年宜蘭地區太陽日中天仰角及時間資料、臺北市立天文科學教育館的 2017 太陽表、shadows(日晷軟體)、手錶、方格紙、筆、手機、指北針、硬紙板、教具積木、直尺、量角器、Google 文件、照相機、電腦、天球模型、長尾夾、木板、鉸鏈。

肆、研究過程或方法

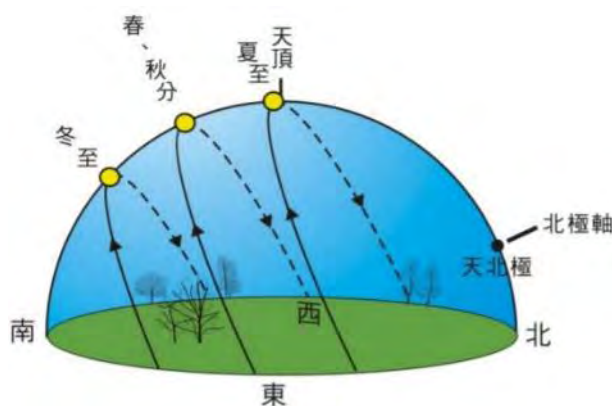
一、透過網際網路，來蒐集太陽在天空的運行軌跡、極軸日晷、日晷軟體 shadow 等相關資料，並進行分析與整理。(參考資料一、二、三、四、五)，我們將製作極軸日晷的相關基礎資料整理在伍、研究結果一。



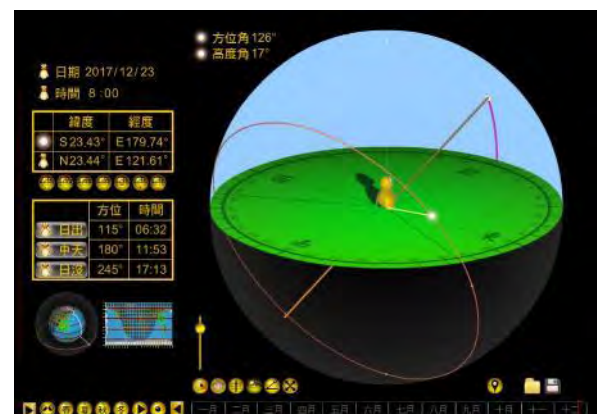
極軸日晷的外型



日晷軟體 shadow 可製作各式日晷的晷面及晷針



臺灣四季太陽仰角與方位角

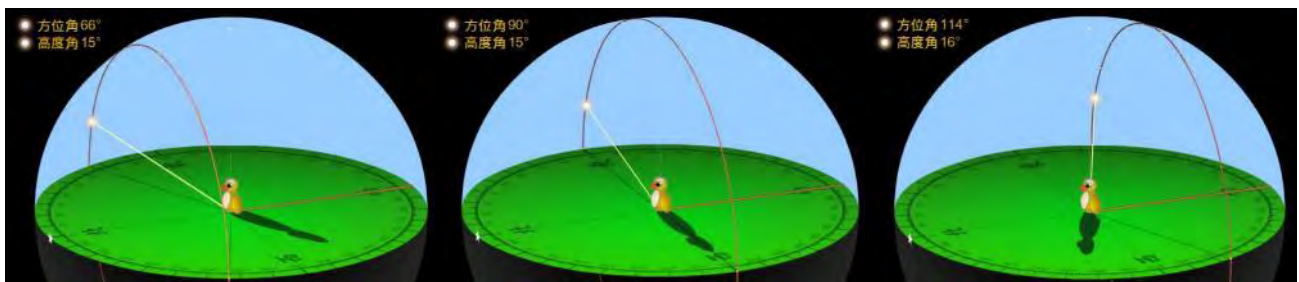


太陽視運動軌跡模擬器

二、分析竿影資料進行晷面時間線及日期線的公式推導

我們知道太陽的運行規律後，將一根柱子垂直豎立於一平面，並將此平面往北方抬高仰角等於當地緯度，那整個日晷模型的討論就變得很簡單，太陽的運行軌跡，就像在赤道地區，極軸變成地面上的南北線(參考資料四)。

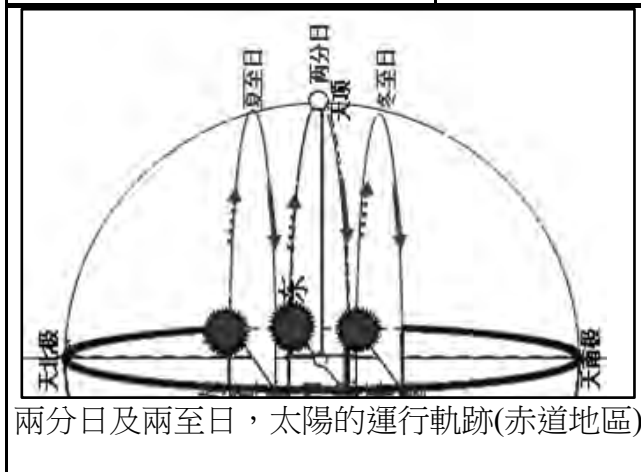
在此平面(晷面)上的觀察者看太陽在天空的軌跡，一天之中以中午為對稱中心，相對前後時間太陽會出現在東西方天空對稱位置；一年二十四節氣間以春(秋)分為對稱中心，相對前後日期太陽路徑會往南北方對稱偏移，如下太陽軌跡示意圖(參考資料六)及天球模型。



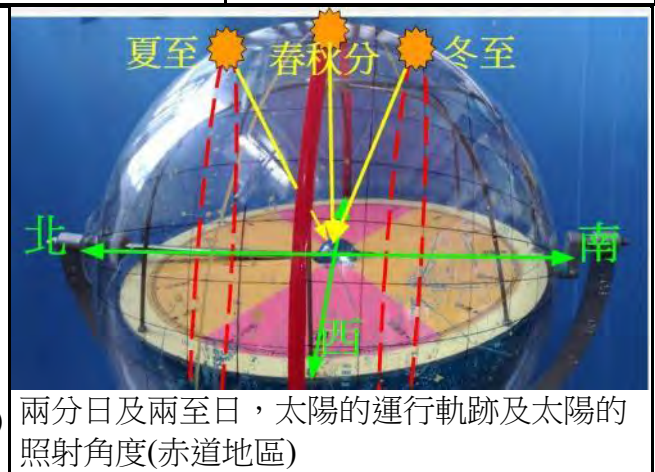
夏至太陽路徑(赤道地區)

春分太陽路徑(赤道地區)

冬至太陽路徑(赤道地區)



兩分日及兩至日，太陽的運行軌跡(赤道地區)

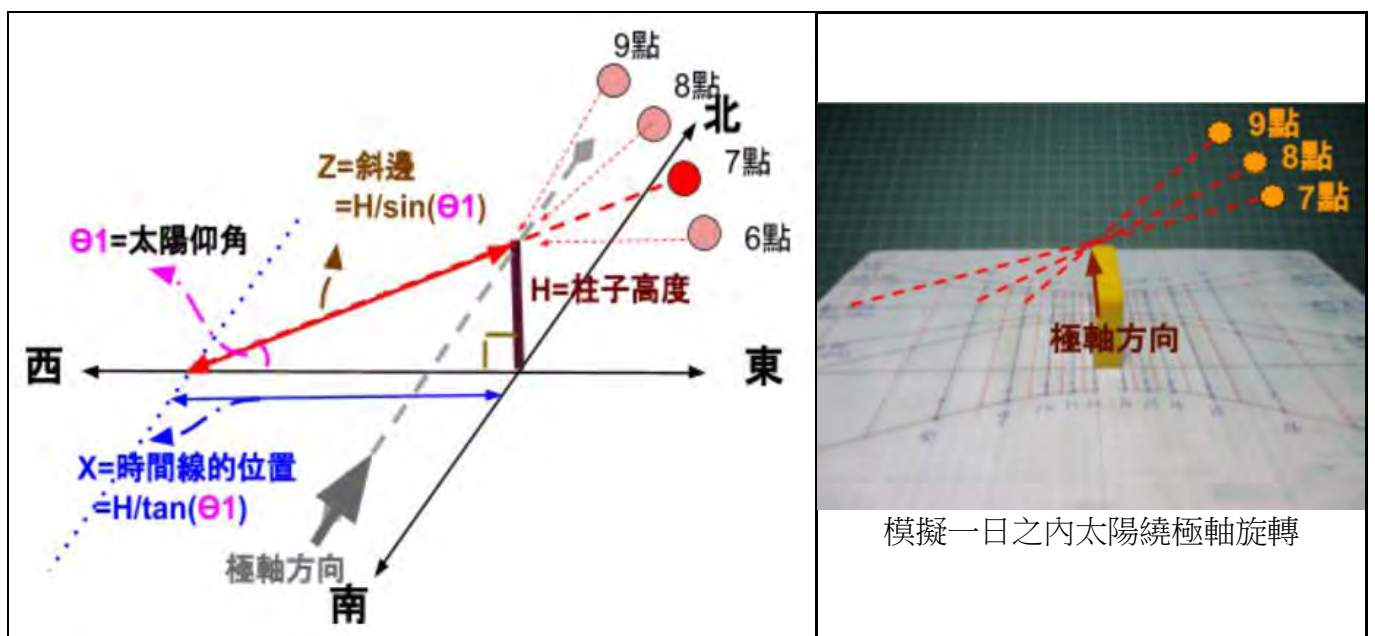


兩分日及兩至日，太陽的運行軌跡及太陽的照射角度(赤道地區)

以這種調整過的平面為基礎，我們簡略的將一年四季太陽和一根垂直豎立柱子及此調整後平面的相對位置，畫出下面分析圖，來探討極軸日晷晷面的刻度和時間及日期的關係。

(一)透過分析圖畫推導時間線的計算公式。

因為日晷是用來看時間，所以首先要找出時間線。



模擬一日之內太陽繞極軸旋轉

我們已知太陽繞著極軸運行，每小時陽走 15 度(=360 度/24 小時)，如上圖，太陽仰角每小時

也變化 15 度。觀察柱子頂端影子在東西方位置的改變 X ，就是我們要做日晷的時間線刻度。

假設柱子高度為 H ，當太陽仰角為 θ_1 ，觀察時間為 T

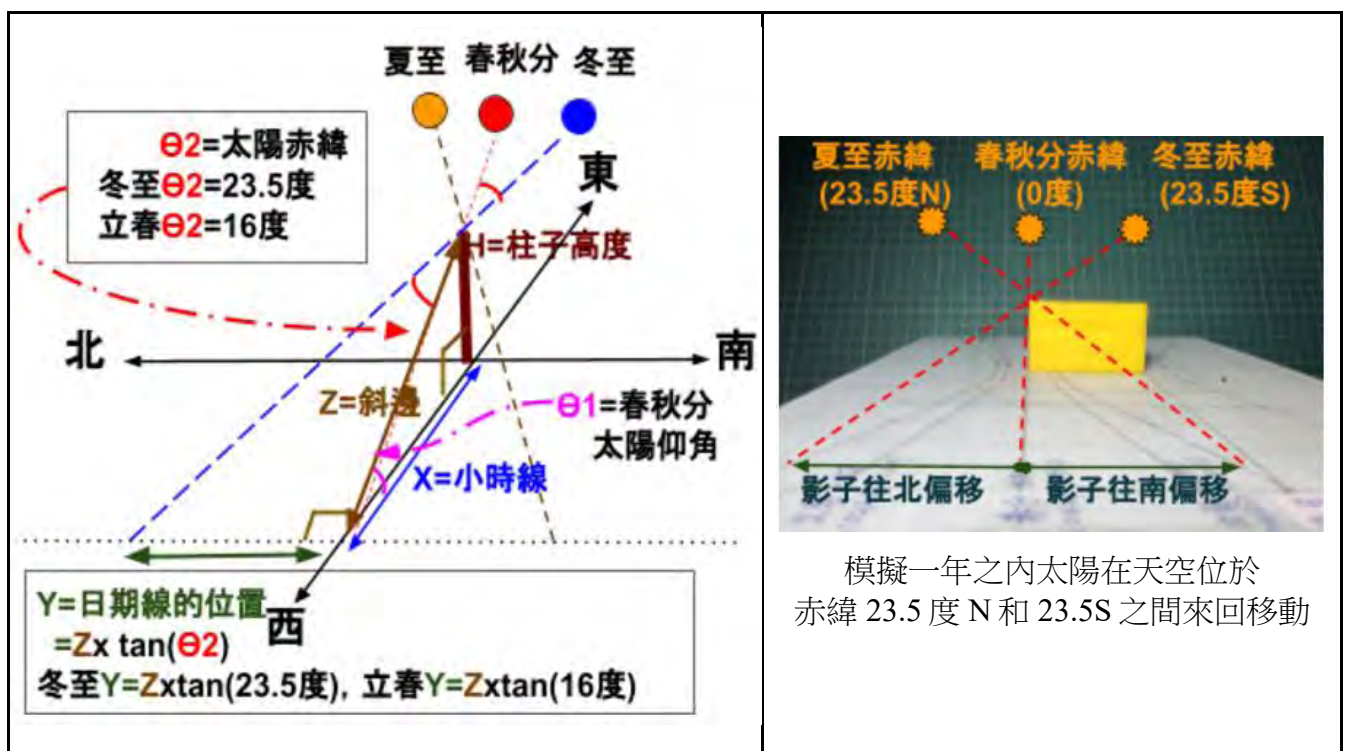
時間線的位置(柱子的影子長度)為 X ，那根據上面分析圖得知:

$X=H/\tan(\theta_1)$ 。其中 $\theta_1=(T-6) \times 15$ ， T =觀察時間

所以時間線 X 的位置公式= $H/\tan[(T-6) \times 15]$ (公式一)

(二)透過分析圖畫推導日期線的計算公式。

我們知道太陽一年之中不同日期在天空的軌跡會南北偏移，其偏移量與赤緯變化有關係。不同日期有不同的赤緯，以冬至為例，其赤緯為 23.5 度 S，立春則為 16 度 S。



觀察柱子頂端影子在南北方位置的改變 Y ，就是我們要做日晷的日期線(二十四節氣)刻度。

假設柱子高度為 H ，當太陽的赤緯為 θ_2 ，太陽仰角為 θ_1 ，觀察時間為 T

日期線的位置(柱子端點影子在南北方向上的偏移)為 Y

根據下面分析圖得知: $Y=Z \times \tan(\theta_2)$ ，其中 Z =斜邊= $H/\sin(\theta_1)$ ， $\theta_1=(T-6) \times 15$

因此 $Y=H/\sin(\theta_1) \times \tan(\theta_2)$

所以日期線 Y 的位置公式= $H/\sin((T-6) \times 15) \times \tan(\theta_2)$ (公式二)

三、進行日晷晷面時間線及日期線的計算

我們利用公式一及公式二，帶入柱子高度 $H=3$ 公分，24 節氣不同的赤緯(討論一中，我們

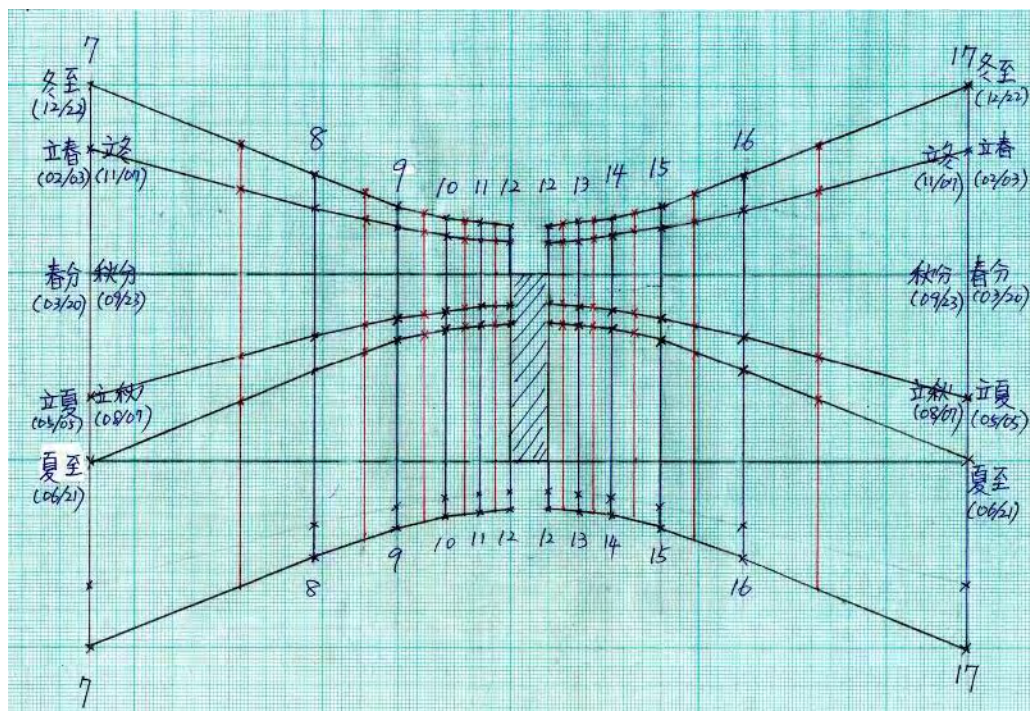
所計算出 13 個調整過的日中天仰角差資料，來代表二十四節氣太陽的赤緯)，及時間範圍從早上 7 到下午 5 點，每半點為一個計算單位，來算出一整年日晷晷面時間線及日期線如下表。

晷針高度3公分的極軸日晷晷面刻度		時間(時)	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	
新位置		時間線位置(cm)	時間線位置偏西(cm)											時間線位置偏東(cm)										
1	日期線位置偏北(cm)	(12/22)	11.2	7.2	5.2	3.9	3.0	2.3	1.7	1.2	0.8	0.4	0.0	0.4	0.8	1.2	1.7	2.3	3.0	3.9	5.2	7.2	11.2	
2		(01/05, 12/07)	5.0	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1	2.6	3.4	5.0
3		(01/20, 11/22)	4.8	3.2	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.2	4.8	
4		(02/03, 11/07)	4.2	2.9	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	2.2	2.9	4.2
5		(02/18, 10/23)	3.4	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	3.4
6		(02/05, 10/08)	2.4	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6	2.4
7		(03/20, 09/23)	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	
8	日期線位置偏南(cm)	(04/14, 09/07)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9		(04/20, 08/23)	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	
10		(05/05, 08/07)	2.4	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6	2.4
11		(05/21, 07/22)	3.4	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	3.4
12		(06/05, 07/07)	4.2	2.9	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	2.2	2.9	4.2
13		(06/21)	4.8	3.2	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.2	4.8	
			(06/21)	5.0	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1	2.6	3.4	5.0

晷針高度 3 公分的極軸日晷晷面刻度表

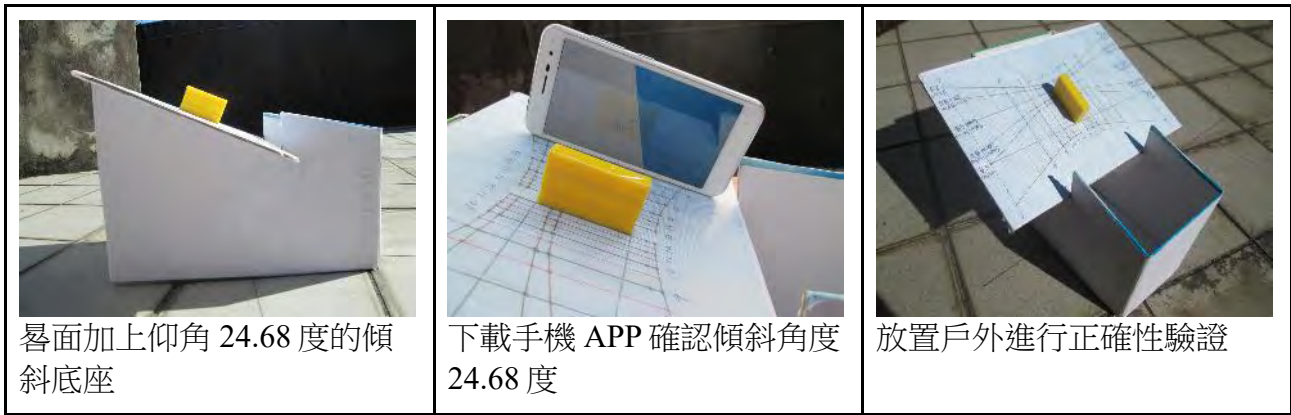
四、實際製作極軸日晷及戶外驗證

我們利用方格紙將上述表格的資料記錄下，並將時間線以藍線連接(整點)，紅線連接(半點)，為求簡潔日期線僅選擇冬至、立春(立冬)、春分(秋分)、立夏(立秋)、夏至，以黑線連接。



晷針高度 3 公分的極軸日晷晷面刻度圖

我們就以上述紙張當晷面，配合傾斜角抬高成當地緯度 24.68 度的底座，就完成我們的極軸日晷，如下圖。



晷面加上仰角 24.68 度的傾斜底座

下載手機 APP 確認傾斜角度 24.68 度

放置戶外進行正確性驗證

伍、研究結果

一、以地面觀察者為中心，太陽一天及一年在天空的運行規律整理如下：

- (一)、一天太陽繞地軸旋轉一圈， $360 \text{ 度} / 24 \text{ 時} = 15 \text{ 度} / \text{時}$ ，太陽在天球上每 1 小時移動 15 度， $360 \text{ 度} / 1440 \text{ 分} = 1 \text{ 度} / 4 \text{ 分}$ ，太陽在天球上每 4 分中移動 1 度。
- (二)、一年太陽運行黃道一圈，太陽每日運行軌跡相互平行，以天球赤道為中心，在赤緯 23.5 度 N 和 23.5 度 S 之間來回移動一圈(參考資料五)，觀察赤緯數據，為了南北對稱以方便製作日晷，我們將赤緯調整成 13 個理想值，如下表。

太陽位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
理想赤緯	23.5 S	22.5 S	20.0 S	16.5 S	11.5 S	6.0 S	0.0	6.0 N	11.5 N	16.5 N	20.0 N	22.5 N	23.5 N
日期		0105 小寒	0120 大寒	0203 立春	0218 雨水	0305 驚蟄	0320 春分	0404 清明	0420 穀雨	0505 立夏	0521 小滿	0605 芒種	0621 夏至
日期	1222 冬至	1207 大雪	1122 小雪	1107 立冬	1023 霜降	1008 寒露	0923 秋分	0907 白露	0823 處暑	0807 立秋	0722 大暑	0707 小暑	

我們以二十四節氣來看太陽在天空的位置，春秋分太陽在赤緯 0 度為對稱中心，往南方天空看，(驚蟄，寒露)、.....、(小寒，大雪)兩兩一組，太陽在天空偏南約相同的赤緯，冬至在最偏南的天空赤緯 23.5S 度；往北方天空也一樣。

二、極軸日晷晷面上時間線的公式

假設柱子高度為 H，觀察時間為 T，時間線的位置(柱子的影子長度)為 X

時間線 X 的位置公式= $H / \tan[(T-6) \times 15]$ (公式一)

我們推導出 X(時間線的位置)只和 H(柱子高度)及 T(觀察時間)有關

三、極軸日晷晷面上日期線的公式

假設柱子高度為 H，當太陽的赤緯為 Θ_2 ，觀察時間為 T

日期線的位置(柱子端點影子在南北方向上的偏移)為 Y

日期線 Y 的位置公式= $H/\sin((T-6) \times 15) \times \tan(\Theta_2)$ (公式二)

我們推導出 Y(日期線的位置)只和 H(柱子高度)、T(觀察時間)及 Θ_2 (太陽的赤緯)有關

四、極軸日晷的晷針、晷面及晷面刻度(時線、日期線)的特性

在討論一中我們知道可以用以 13 個調整過的日中天仰角差資料，來代表二十四節氣太陽的理想赤緯，配合公式一、公式二，我們設計出晷針高度 3 公分的極軸日晷晷面，見研究過程二~研究過程四。觀察此極軸日晷，我們將極軸日晷的特性整理如下：

- (一)、極軸日晷晷面抬高仰角成當地的緯度
- (二)、時間線朝向南北方，平行晷針。時間線及晷針都指向北極星。時間線越靠近中午，晷面的小時線間距越小，在靠近清晨和黃昏，晷面時間線的間距越大。
- (三)、日期線朝向東西方，成川字形，垂直時間線及晷針。日期線越靠近春(秋)分晷面的日期線間距越大，在靠近夏至和冬至晷面日期線的間距越小。
- (四)、極軸日晷晷面日期線及時間線刻度上下左右對稱

五、日晷觀測得到太陽時要進行時間修正才變成手錶的標準時

日晷觀測到的太陽時和手錶的標準時不同，需要校對，根據參考資料七，我們知道，手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+**時間修正**，**時間修正**=自然時差+人為時差。經討論二，我們知道**時間修正**=日中天時間差。戶外實際驗證時，我們就以宜蘭地區二十四節氣的日中天時間差當作**時間修正**，來校正日晷時間和手錶的時間，如下表。

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
月日	01 05	01 20	02 03	02 18	03 05	03 20	04 04	04 20	05 05	05 21	06 05	06 21	07 07	07 22	08 07	08 23	09 07	09 23	10 08	10 23	11 07	11 22	12 07	12 22
節氣	小寒	大寒	立春	雨水	驚蟄	春分	清明	穀雨	立夏	小滿	芒種	夏至	小暑	大暑	立秋	處暑	白露	秋分	寒露	霜降	立冬	小雪	大雪	冬至
時間修正	-2	4	7	7	4	0	-4	-8	-10	-10	-9	-5	-2	-1	-1	-4	-9	-15	-19	-23	-23	-21	-16	-9

宜蘭地區 2017 年二十四節氣的**時間修正**表 時間單位:分

六、日晷使用時要確認晷針對準正(真)北方位

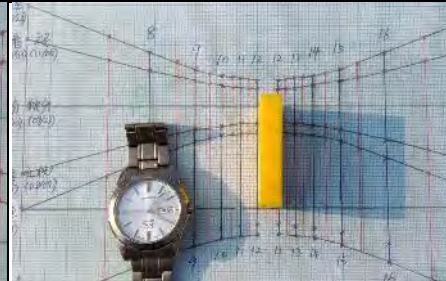
日晷在實際應用時，需要將晷針對準正北方，但是如果單純用指北針找北方會有當地磁場因素及磁偏角問題，我們透過網路資料查出宜蘭地區磁偏角-4 度 20 角分(參考資

料十二、十三)，因為實際應用時無法百分百精確訂出正北方，所以在討論三及附件三中，我們運用五種方法進行正北方的相互比對，發現透過這五種方法找出的正北方位一致。我們就以這五種方法找出的共同的正北方作為晷針對準的方向。

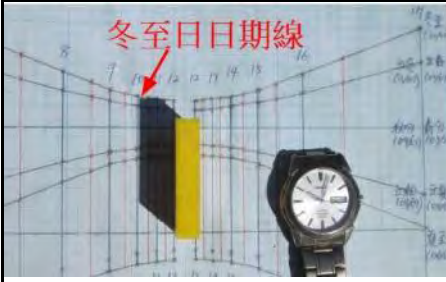

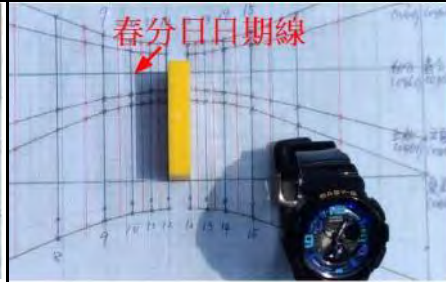
七、戶外驗證

日晷的晷面包括日期線及時間線，這兩部分刻度線的正確性就是我們驗證的重點。因為研究時間的時程，我們選擇驗證冬至、立春、春分、立夏、夏至日前後日期來觀測日期線及時間線的正确性，例如以下比較圖。全部驗證結果則見附件四之一 ~ 附件四之五，我們發現經時間修正及方位修正後，我們自製的極軸日晷誤差小於 5 分鐘。

(一)時間線驗證 [驗證 日晷太陽時+日中天時間差(時間修正)=手錶標準時]

		
1060102 08:02	1060217 15:02	1060328 16:06
日晷太陽時=08:05 日中天時間=11:57 (時間修正= -3) 手錶標準時=08:02, 誤差=0 分	日晷太陽時=14:54 日中天時間=12:07 (時間修正= +7) 手錶標準時=15:02, 誤差=-1 分	日晷太陽時=16:12 日中天時間=11:58 (時間修正= -2) 手錶標準時=16:06, 誤差=+4 分

(二)日期線驗證 [驗證 二十四節氣日期線]

		
1051226 10:02	1060205 10:04	1060320 10:05
105/12/26 晷針影子接近冬至日(12/22)日期線	106/02/05 晷針影子接近立春日(02/03)日期線	106/03/20 晷針影子位於春分日(03/20)日期線

陸、討論

一、討論如何由當地日中天仰角資料來算出太陽的赤緯。

在研究過程三，我們需要用太陽的赤緯來計算日期刻度，就是二十四節氣影子往南北方向的偏移量，其實我們也可由二十四節氣太陽在日中天的仰角來計算出太陽的赤緯，而不用

查天文年曆中的太陽表，見附件一。我們用 13 個調整過的理想日中天仰角差(度)，來代表二十四節氣太陽的理想赤緯(度)，來製作日晷。

二、討論如何由當地日中天時間資料來算出**時間修正**，以增加日晷時間的準確度。

(一)、確認手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+時間修正 的正確性

由參考資料七，我們知道**手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+時間修正**，**時間修正=自然時差(軌道時差)+人為時差(地理時差)**。(台灣地區目前不實施日光節約時，所以我們不考慮)。為求研究的嚴謹，上述公式需要驗證，驗證分以下三步驟：

1. 查詢自然時差(軌道時差): 透過參考資料二下載 shadows(日晷軟體)，軟體中有自然時差圖，如附件二之一 2016 年的自然時差圖。
2. 計算人為時差(地理時差)

因為氣象站觀測的資料一定會比我們觀測的資料正確及完整，而且宜蘭氣象站位置的太陽時只比我們實驗地區快 3.18 秒，所以我們以宜蘭氣象站的資料當作驗證標準。

地球一天 24 小時(1440 分鐘) 轉一圈， 全球經度共有 360 度，所以每 1 經度相對時間為 4 分鐘，(1440 分/360 度=4 分/度)。所以兩地區的時差計算=兩地經度差幾度 X4 分鐘。

*宜蘭氣象站經緯度 24°45'46.0"N 121°45'17.5"E

*實驗地區經緯度 24°40'44.2"N 121°46'05.2"E

兩地經度差 121°46'05.2" - 121°45'17.5" =65.2"-17.5"=47.7"=(47.7/3600)°

所以兩地時差僅僅(47.7/3600)*4 分=0.053 分=3.18 秒

宜蘭氣象站(東經 121°45'17.5")比手錶標準時區(東經 120 °) 經度多 1°45'17.5"， 所以宜蘭氣象站的人為時差(地理時差) =-(17.5/3600+45/60+1)*4= -7 分

因為一天中的每一時刻的時間差(太陽時-標準時)應該一樣，所以我們選擇以日中天時間當作驗證時刻。

3. 計算宜蘭氣象站 2016 年日中天時間差 (日中天時刻-12)

我們從網路下載 2016 宜蘭地區二十四節氣太陽在日中天的時間(參考資料八)，並算出日中天時間差(日中天時刻-12)將結果整理成附件二之二。

比對附件二之二 與(一)自然時差(軌道時差)+(二)人為時差(宜蘭地理時差)，我們發現：

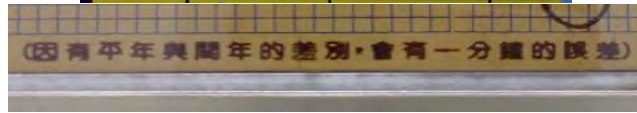
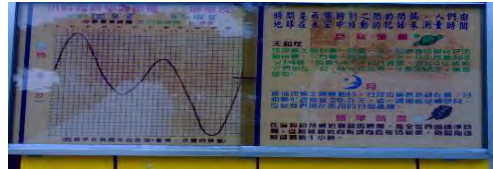
日中天時間差(日中天時刻-12:00) =自然時差(軌道時差)+人為時差(地理時差)。

手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+自然時差(軌道時差)+人為時差(地理時差) 是正確的

(二)我們進一步觀察氣象站日中天時間 2011 到 2017 的資料，發現每年同一日期的日中天時間誤差不超過 1 分鐘，而人為時差又是固定的，因此我們推論每年自然時差都應該差不多，誤差都不超過 1 分鐘。此推論在新竹小叮噹遊樂區三合一晷說明版可得到驗證，如下圖。



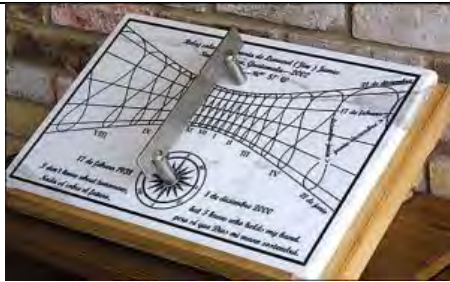
新竹小叮噹遊樂區三合一晷



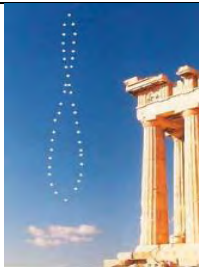
時間修正(自然時差)因平年、閏年的差別，每年不會差到 1 分鐘

(三)、討論日晷晷面上有畫上 8 字形軌跡和時間修正的關係。

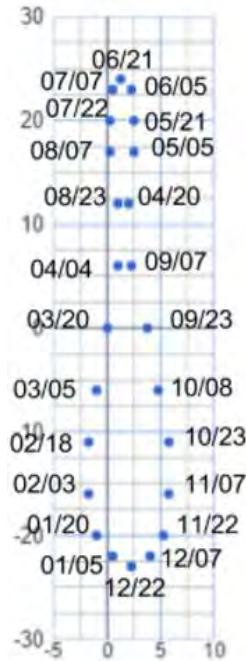
我們發現國外有些極軸日晷軌面上有畫上 8 字形軌跡，如下左圖。



極軸日晷晷面上的時間線具有 8 字軌跡(參考資料九)。



太陽在天空的 8 字形軌跡(參考資料十)。



自己畫的二十四節氣 12:00 時太陽在天空中 8 字軌跡
橫坐標: -日中天時間差/4(度)，縱坐標: 日中天仰角差(度)

我們認為晷面上晷針影子的變化和太陽在天上的位置有直接的關係，太陽在天上有 8 字形軌跡，相對的晷針端點的影子在晷面上就會有 8 字形的移動，因為太陽和影子是以晷針為中心，兩者方向相反。比較參考資料九、參考資料十，我們確實發現有上下顛倒左右相反的情形，接著我們嘗試用日中天時間和日中天仰角來畫出太陽在天空中的 8 字軌跡。見附件二之三，和右上完成圖。此外網路上我們找到別人用重複曝光拍攝二十四節氣太陽的 8 字軌跡圖(參考資料十一)，可以驗證我們計算出太陽在天空中的 8 字軌跡是正確的。

三、討論如何找出正北方的方向，以增加日晷時間的準確度。

網路上找北方的方法很多，但是日晷要使用正北方(地理子午線)才會正確，我們發現

要找正北方的方法，在確認地面是水平的狀態下，可整理成以下五種，見附件三：

(方法一) 立竿畫圓法:以圓弧和竿影頂點的兩個交叉點和竹竿底部的原點形成一個角度，此角度的角平分線即為正北方。

(方法二) 日中天竿影法:在日中天的時候，鉛垂線影子的方位就是正北方。

(方法三) 中午竿影最短時定向法:找中午竿影最短時，此時竿影方向就是正北方。

(方法四) 指北針法:用指北針定出磁北方，再順時針旋轉 4 度，就是正北方。

(方法五) 手機下載指北針 APP 法:下載指北針 APP 並開啟 GPS 定位系統，就可定正北方。

我們實地運用這五種方法進行正北方的比對，如附件三。發現透過這五種方法找出的正北方位一致。而這五種找正北方的優缺點分析如下：

找正北方的方法	優點	缺點
(方法一)立竿畫圓法	簡單不需要複雜的科技，只要竹竿、鉛筆、圓規就可以。	觀察竿影頂端和圓弧線的交點，會有一點誤差。且需要上午和下午各抓一段對稱的時間來觀察交點，需要一點經驗。
(方法二)日中天竿影法	只要知道日中天時間，加上一鉛錘線(或任何建築物的垂直柱邊)就可以，很方便迅速。	需要查出 中央氣象局網站的日中天時刻 ，且地區氣象站和觀測點的經度差不能太大。
(方法三)中午竿影最短時定向法	簡單不需要複雜的科技，只要鉛筆就可以。	需要在中午前後觀察記錄各約半小時，才能找出最短竿影。
(方法四)指北針法	不需要過於複雜的科技，只要指北針、鉛筆、量角器就可以。	指北針易受當地磁場影響，且需要查出當地的磁偏角， 宜蘭地區磁偏角(-4 度 20 角分)
(方法五)手機下載指北針 APP 法	只要一支智慧型手機，下載指北針 APP，打開 GPS 定位就可以。	指北針易受當地磁場影響，且智慧型手機不便宜。

四、探討極軸日晷的優缺點。

(一)優點:在不同緯度地區，極軸日晷晷面不用重新設計，只要將晷面的傾斜度調整成當地緯度，加上查出當地的日中天時間差(時間修正)，找出正北方，可以在任何地區使用。比其水平型、垂直型日晷都需要重新設計晷面來的方便。

(二)缺點:是中午時間前後，時間刻度距離較近，讀取上較不易；早上 7 點前及下午 5 點後因太陽仰角太低，晷針影子太長超出晷面範圍而無法使用。

五、探討不同緯度地區，極軸日晷如何調整。

根據公式一、公式二，極軸日晷的晷面刻度，只和晷針高度、觀察時間、太陽赤緯

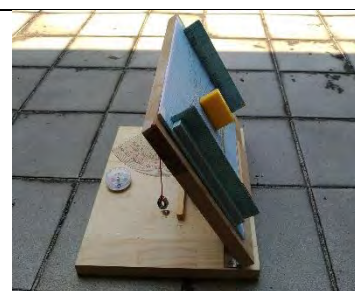
有關，與在地球任何地區無關，所以只要調整晷面仰角成當地緯度，晷面不用任何更改，就可以在地球任何緯度地區使用(參考資料十四)。為了將晷面傾斜仰角成當地緯度，我們設計一可調整角度的底座，來放置極軸日晷如下圖。



底座上有指北針可以定方位，有量角器可量測斜面傾斜角。



適用緯度較低地區



適用緯度較高地區

六、探討單面極軸日晷的適用時間範圍，需要滿足的條件。

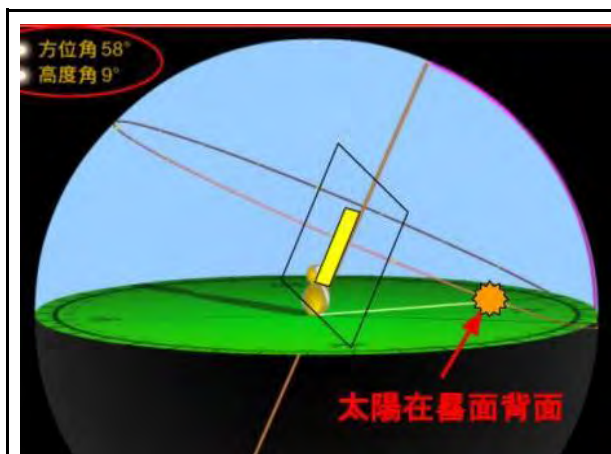
我們製作的極軸日晷從 7:00~17:00 在台灣地區一年四季都可適用，但是世界其他不同地區，不同日期的日出日落時間不同(日照時間有長有短)，可使用的時間範圍不一樣，可使用的日期範圍也不一樣(高緯度地區某些日期甚至有永夜)。因此日晷可使用的時間、日期範圍就要做調整，基本上單面極軸日晷的使用需要同時滿足以下二項條件:

條件一:6 點過後到 18 點之前(太陽會出現在晷面上方)，夏季清晨傍晚容易遇到條件不符合。

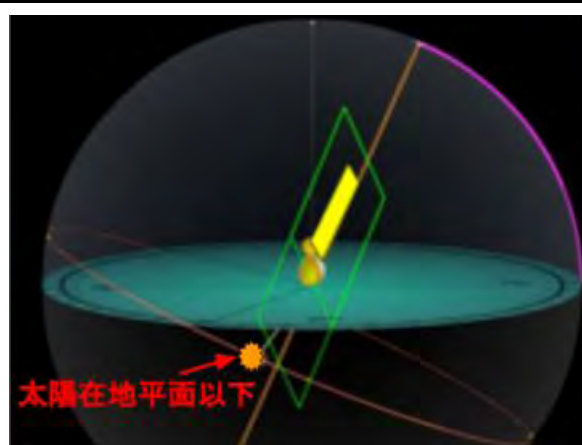
條件二:日出後到日落之間(太陽會出現在地面上方)，冬季清晨傍晚容易遇到條件不符合。

以下我們舉例兩個例子說明單面極軸日晷的適用時間範圍，如何搭配以上兩項條件:

例子一: 高緯度地區:66.6 度 N 來說明，如下圖。

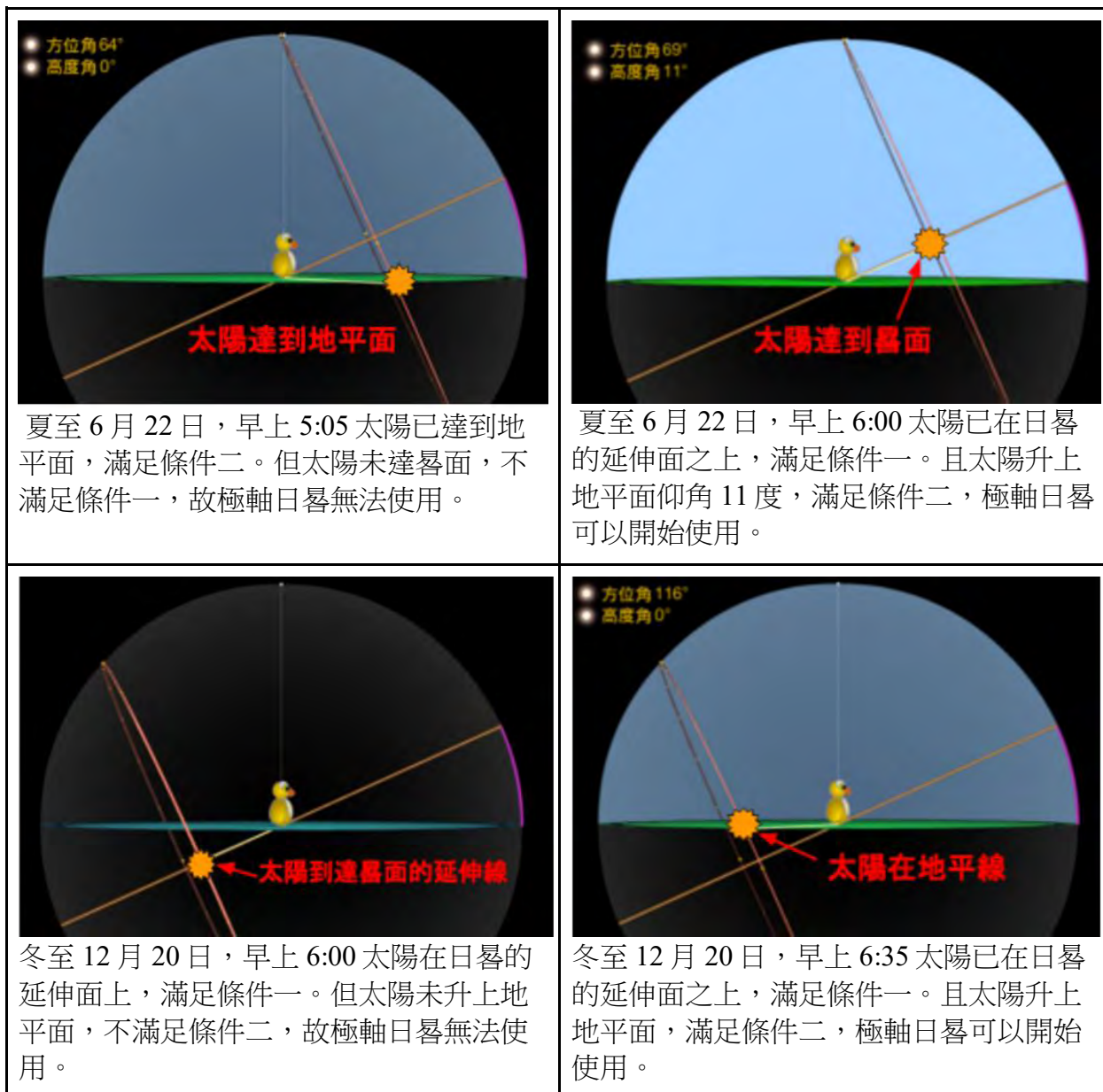


夏季 7 月 19 日，早上 4:37 太陽已在仰角 9 度，滿足條件 2。但仍在日晷背面，不滿足條件一，故極軸日晷無法使用。



冬季 10 月 25 日，早上 6:50 太陽已在日晷的延伸面之上，滿足條件一。但仍在水平面下，不滿足條件二，故極軸日晷無法使用。

例子二:宜蘭地區(緯度 24.25 度 N) 冬至日及夏至日，如下圖。



而春秋分太陽 6 點在正東方上升，18 點在正西方落下，同時滿足條件一、條件二，所以極軸日晷一定可以使用，因此我們不討論。

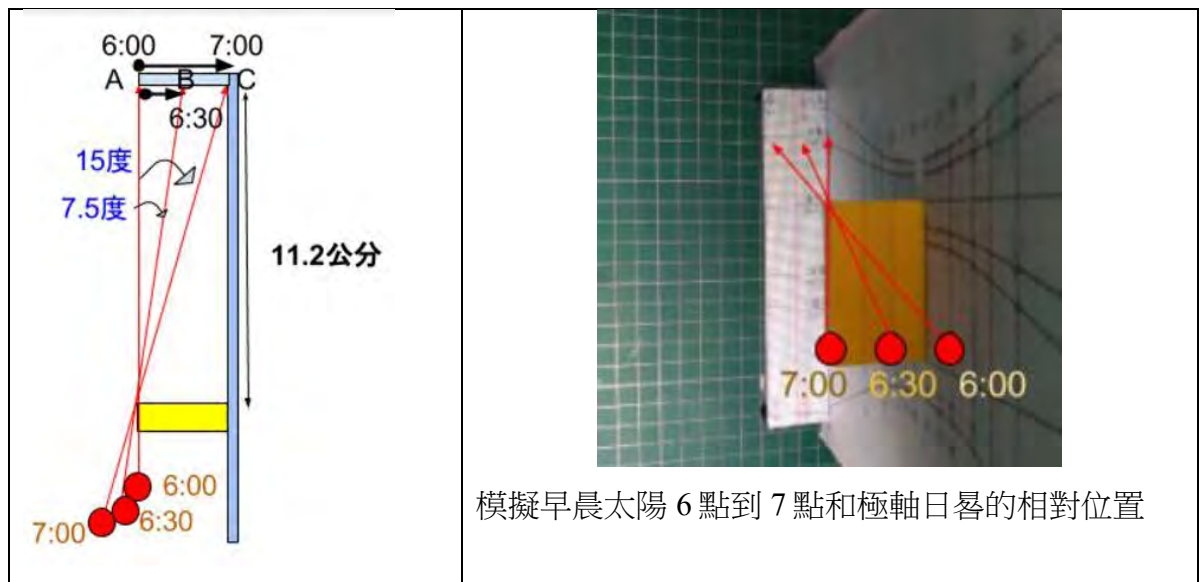
七、探討進一步改良極軸日晷的造型以增加使用適用性

(一)造型小改造以增加日晷的準確度。

- 1.極軸日晷的晷針用橫條長積木或小直立竹竿都可以，但根據公式一、公式二，我們知道可以透過增加晷針高度，來加大時間、日期刻度，以增加日晷的準確度。
- 2.可以將原本中午前後的它的平行晷面改變成弧形晷面，以增加日晷時間線之間的間距，以增加日晷的準確度。

(二) 造型大改造以增加日晷的適用時間範圍。

1.極軸日晷的使用有限制，在 6 時~7 時及 17 時~18 時，因太陽光接近平行晷面而無法使用，針對這點我們提出以下的造型修正，如下圖:



模擬早晨太陽 6 點到 7 點和極軸日晷的相對位置

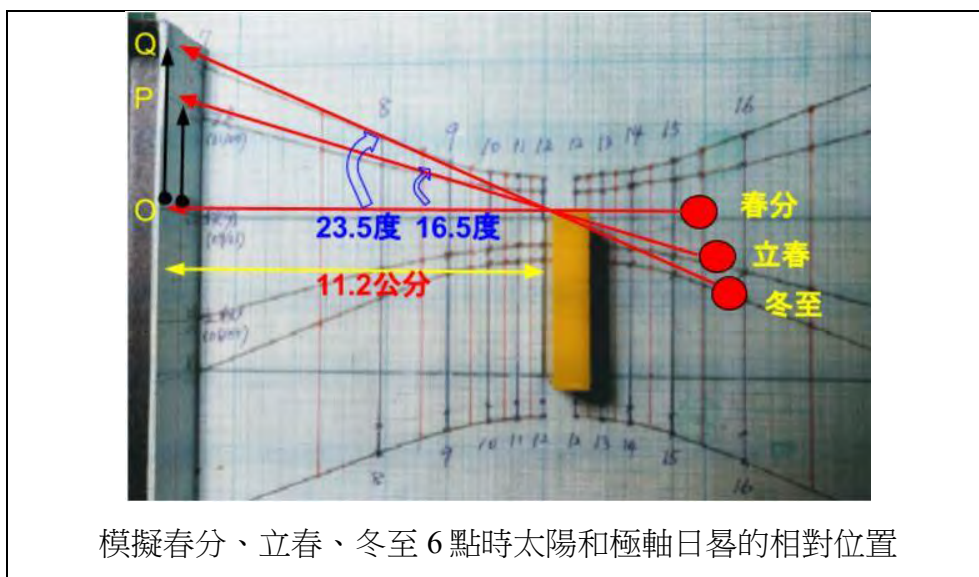
我們在 7 點的時間線位置垂直長出小牆壁來接受 6:00~7:00 晷針影子的投影，如上面分析圖，已知 3 公分高的晷針底部到 7 點刻度線的距離為 11.2 公分。

(1) 根據三角函數，6:00~6:30 影子的位移 AB 線段為 $11.2 \text{ 公分} \times \tan(7.5 \text{ 度}) = 1.47 \text{ 公分}$

(2) 根據三角函數，6:00~7:00 影子的位移 AC 線段為 $11.2 \text{ 公分} \times \tan(15 \text{ 度}) = 3 \text{ 公分}$

因為上下午太陽在東西方天空位置對稱，所以下午 17:00~18:00 的情況也一樣。我們就可以將極軸日晷適用的時間範圍擴展到 6 點到 18 點。

而日期線的計算方式則很簡單，因為晷針和兩邊垂直長出小牆壁的高度都是 3 公分，所以只要簡單的計算就可得到日期線的位置，如下圖:

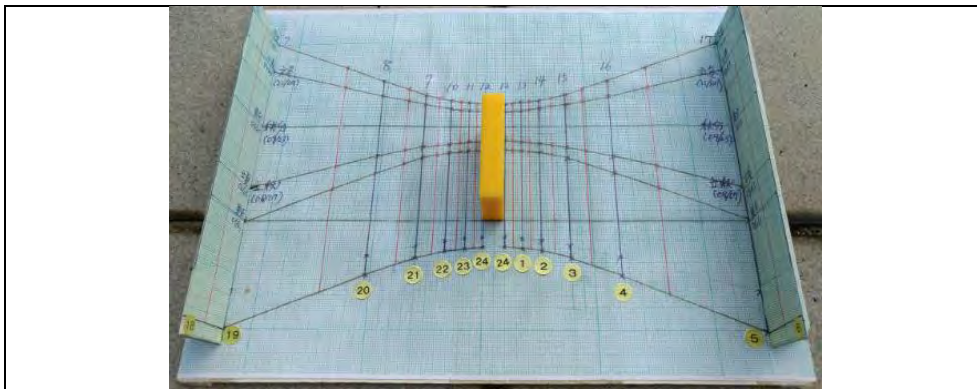


模擬春分、立春、冬至 6 點時太陽和極軸日晷的相對位置

(3) 根據三角函數，立春的日期線 OP 線段為 $11.2 \text{ 公分} \times \tan(16.5 \text{ 度}) = 3.3 \text{ 公分}$

(4) 根據三角函數，冬至的日期線 OQ 線段為 $11.2 \text{ 公分} \times \tan(23.5 \text{ 度}) = 4.87 \text{ 公分}$

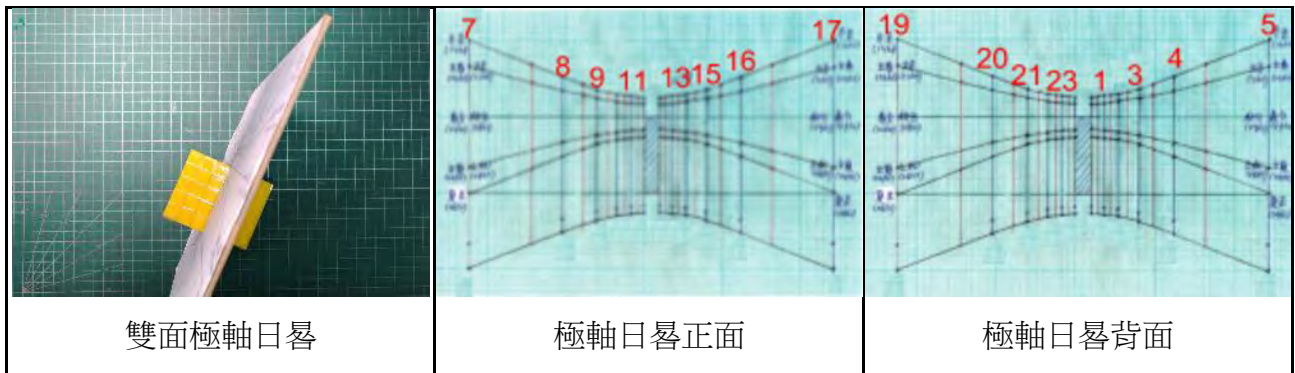
因為一整年二十四節氣太陽在天空南北位置對稱，所以春分~夏至的情況也一樣。我們就可以將極軸日晷適用的時間範圍擴展到一整年每天 6 點到 18 點。改良後的晷面如下圖。



造型修正後增加 6 點~7 點及 17 點~18 點的兩邊垂直影子投影晷面，並延長兩邊的日期線。

2. 在不同地區某些季節，太陽特別早日出及特別晚日落(北半球夏季)的情形，如上述太陽出現在晷面的背面(沒有滿足條件一)，針對這點我們提出以下的造型修正:

由於因為太陽繞極軸是對稱性，加上極軸日晷晷面也是對稱性，我們可以將晷針裝於日晷的兩面，時間線位置不變，時間刻度數字重新標示即可，如下圖。

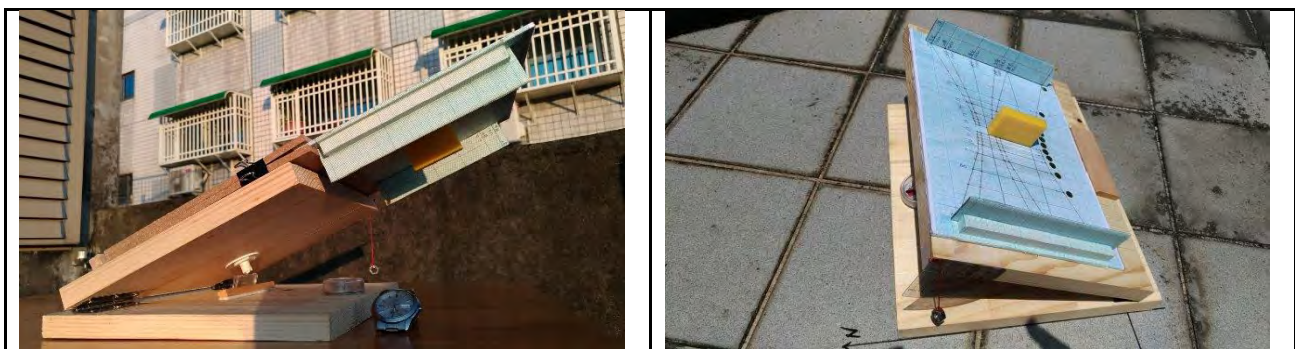


雙面極軸日晷

極軸日晷正面

極軸日晷背面

另外也可只用一個單面極軸日晷，直接放在底座斜面的上、下面，然後讀取單面極軸日晷晷面上下排不同的時間數字，如下圖。



早上六點以前及下午六點以後，日晷放底座斜面的背面，讀取下排時間刻度。

早上六點以後至下午六點以前，日晷放底座正面，讀取上排時間刻度。

八、探討南北半球地區，極軸日晷的差異及共同點

不論在南北半球何處，從地面的觀察者而言，太陽都是由東向西繞著極軸旋轉。

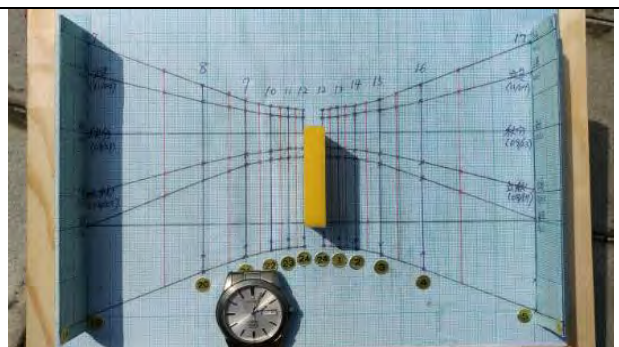
(一)時間刻度順序

在北半球地區，太陽偏向南邊天空，由東向西順時針旋轉，因此晷針的影子在晷面上由左至右移動；而在南半球地區，太陽偏向北邊天空，由東向西逆時針旋轉，因此晷針的影子在晷面上由右至左移動。

我們在網路上找到位於南半球澳洲墨爾本天象廳的極軸日晷(參考資料十五)，如下圖可以驗證時間數字順序和北半球的極軸日晷相反。



澳洲墨爾本天象廳的極軸日晷(在南半球使用)，時間順序由右至左。



我們設計的極軸日晷(在北半球使用)，時間順序由左至右。

(二)日期刻度順序

在南半球地區不僅時間數字順序對調，連日期線也是順序對調，因為 12 月冬至，太陽跑到南回歸線上方是南半球地區天空最高的地方，因此晷針影子在晷面上偏下方。而 6 月夏至，太陽跑到北回歸線上方是南半球地區天空最低的地方，因此晷針影子在晷面上偏上方。

(三)極軸日晷的使用方式

在北(南)半球地區，將晷針對正北(南)方，再將晷面抬高成當地北(南)緯角度就可以。

(四)極軸日晷在南北半球的共同點就是時間修正方式相同，因為世界各地自然時差一樣，地理時差只和經度有關，唯一要考慮的是該地區是否有採用日光節約時。

柒、結論

一、任何時間極軸日晷晷針端點影子的位置公式(時間線)。

假設柱子高度為 H ，觀察時間為 T ，時間線的位置(柱子的影子長度)為 X ，

時間線 X 的位置公式 $= H / \tan [(T-6) \times 15]$ (公式一)

小結論: X (時間線的位置)只和 H (柱子高度)及 T (觀察時間)有關

二、任何日期極軸日晷晷針端點影子的偏移量公式（日期線）。

假設柱子高度為 H ，當太陽的赤緯為 Θ_2 ，觀察時間為 T ，日期線的位置(柱子端點影子在南北方向上的偏移)為 Y ，

$$\text{日期線 } Y \text{ 的位置公式} = H / \sin((T-6) \times 15) \times \tan(\Theta_2) \quad \dots\dots\dots(\text{公式二})$$

小結論: Y (日期線的位置)只和 H (柱子高度)、 T (觀察時間)及 Θ_2 (太陽的赤緯)有關

三、製作極軸日晷晷面的日期線，需要知道太陽的赤緯，我們可以用 13 個調整過的日中天仰角差資料，來代表二十四節氣太陽的理想赤緯，如討論一。(我們由宜蘭氣象站的日中天資料推導出這 13 個理想赤緯值，製作理想的極軸日晷)

四、根據上述 13 個理想赤緯值、公式一、公式二，我們計算出晷針高度 3 公分的極軸日晷晷面刻度，如研究過程三。

五、做好時間修正，可以增加日晷的準確度。(而日光節約時不考慮，因為台灣目前不實施)。

手錶標準時間=日晷時間+時間修正，時間修正=人為時差(地理時差)+自然時差(軌道時差)

手錶標準時間=日晷時間+實驗地區日中天時間差(日中天時間-12 時)

(一)人為時差(地理時差):實驗地區每往東方經度 1 度，時間要減 4 分鐘。

(二)自然時差(軌道時差):見附件二的 2016 的自然時差圖(大致每年都一樣，平年、閏年的差別，每年不會差到 1 分鐘)。

(三)宜蘭地區(實驗地區)2017 年二十四節氣的時間修正資料表(日中天時間差)，見研究結果五。

六、時間修正就是日中天時間差(日中天時間-12 時)，和日晷晷面上 8 字形軌跡的關係如下:

(一)日中天時間差的負值除以 4=太陽日中天在東西方向的偏移角度，

日中天仰角差=太陽日中天在南北方向的偏移角度，

結合上兩者，可繪製出太陽中午 12 時在天上的 8 字形軌跡。

(二)日晷晷面上時間線可畫上 8 字形軌跡，相對應於天上太陽的 8 字形軌跡，上下顛倒，左右相反，我們可以將手錶標準時間-時間修正=日晷時間，帶入公式一及公式二，就可以繪製出日晷晷面上每一條時間線上的 8 字軌跡。

七、對準正北方，以增加日晷的準確度。

我們在討論三中，利用五種找正北方的方法，來實地找正北方，並分析各種方法的優缺點。其中我們覺得立竿畫圓法最單純，不需要較科技的方法且不易受地磁的影響。

八、單面極軸日晷的優缺點及適用時間:

(一)優點:是只要將晷面的傾斜度調整成當地緯度，晷面不用重新設計，查出當地的日中天時間差(時間修正)，找出正北方，就可以在任何地區使用，比水平型、垂直型日晷方便。

(二)缺點:是中午時間前後，時間刻度距離較近，讀取上較不易；早上 7 點前及下午 5 點後因太陽仰角太低，影子太長超出晷面範圍而無法使用。

(三)適用時間:我們製作的極軸日晷從 7:00~17:00 在台灣地區都可適用，但是世界其他地區可使用的時間範圍就要做調整，需要同時滿足以下兩項條件:

1. 6 點過後到 18 點之前(太陽會出現在晷面之上)。

2. 日出後直到日落(太陽會出現在地面之上)

九、修正日晷造型，以增加日晷的準確度及適用性。

(一)根據公式一、公式二，我們知道增加晷針高度，可增加日晷的準確度。

(二)可以將原本中午前後的它的平行晷面改變成弧形晷面，以增加日晷的準確度。

(三)我們在 7 點(17 點)的時間線位置垂直長出小牆壁，來接受 6:00~7:00(17:00~18:00)晷針影子的投影，成功將單面極軸日晷的適用時間擴展到 6:00~18:00。

(四)我們利用可調整傾斜角度的底座，將日晷的適用性擴展到各個緯度，從赤道到南北極，都可適用。

(五)我們使用雙面日晷，或單面日晷配合底座正放、反放，可以將極軸日晷的適用時間擴展到一天 24 小時。

十、極軸日晷在南北半球地區的差異及共同點

(一)極軸日晷在北半球地區的時間數字順序是由左至右，南半球相反。

(二)極軸日晷在北半球地區的日期線 12 月冬至在上，6 月夏至在下，南半球相反。

(三)極軸日晷在北(南)半球地區的使用方式，是將晷針面對正北(南)方，將晷面抬高成當地的北(南)緯角度就可以。

(四)南北半球的時間修正方式相同，唯一要考慮的是該地區是否有採用日光節約時。

十一、我們由中央氣象局的日中天仰角及時間資料，透過理論模型的建構，製造出適合在任何地點使用的日晷，經由半年實際的觀察記錄，我們發現所製作的極軸日晷在本地的時間觀測，誤差值小於 5 分鐘，相當具有實用性。

捌、參考資料及其他

一、極軸日晷

<http://www.sundial.net/pictures-of-sundials-2.php>

<http://www.spot-on-sundials.co.uk/universal-polar-sundial.html>

二、日晷軟體 shadows

<http://www.shadowspro.com/en/download-shadows.html>

三、中央氣象局網站 臺灣四季仰角與方位角

<http://www.cwb.gov.tw/V7/astronomy/cdata/season.htm>

四、太陽視運動軌跡模擬器

<http://edson.tw/earth/sunrise/sunrisetw.html>

五、2017 太陽表 - 臺北市立天文科學教育館

<http://www.tam.gov.taipei/public/Attachment/612151358195.pdf>

六、日出方位角的判斷及計算

<http://www.360docs.net/doc/info-17669873960590c69fc3761c.html>

七、Sundials 日晷天地

<http://blog.xuite.net/nycl.chiu/blog/10406736-%E6%97%A5%E6%99%B7%E6%99%82%E5%B7%AE>

八、中央氣象局網站宜蘭地區 2011~ 2017 年太陽過中天的仰角資料

<http://www.cwb.gov.tw/V7/astronomy/sunrise.htm>

九、晷面有 8 字形軌跡的極軸日晷

<http://www.shadowspro.com/help/en/polarsundial.html>

十、在空中跳個 8 字街舞-太陽軌跡年畫像

<http://www.dili360.com/nh/article/p5350c3d88e53158.htm>

十一、日行跡在一年二十四節氣的位置

<http://blog.udn.com/tsao144/19930778>

十二、.全球各地區磁偏角

https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015_D_MERC.pdf

十三、.宜蘭地區磁偏角(-4 度 20 角分)

<http://www.magnetic-declination.com/Taiwan/Lotung/2649438.html>

十四、The Universal Polar Sundial(通用的極軸日晷)

<http://www.spot-on-sundials.co.uk/universal-polar-sundial.html>

十五、澳洲墨爾本墨爾本天象廳的極日晷

<http://www.wikiwand.com/en/Sundial>

附件一 用宜蘭地區二十四節氣太陽在日中天的仰角來計算出太陽的赤緯

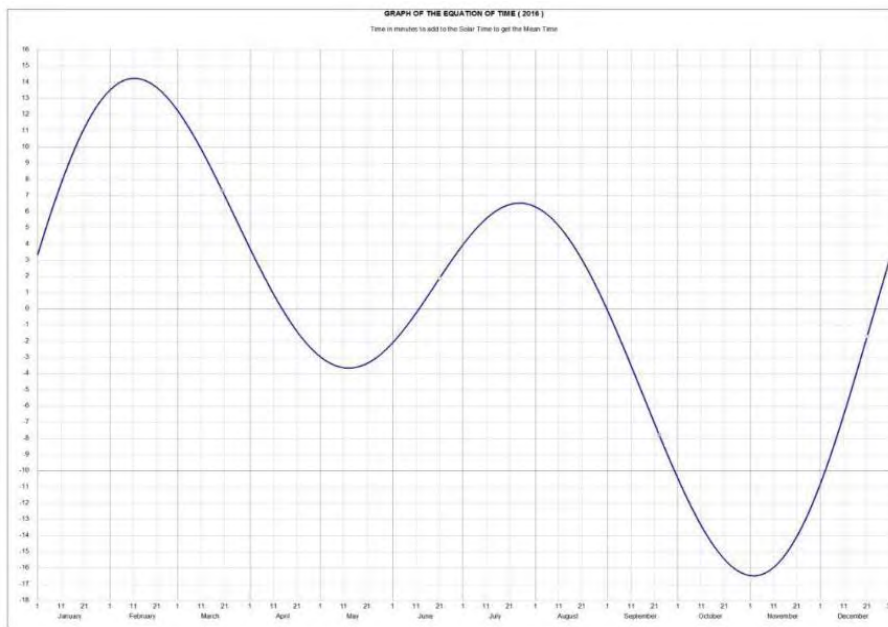
首先我們從中央氣象局網站下載 2017 宜蘭地區二十四節氣太陽在日中天的仰角資料(參考資料八)，並算出和春秋分的日中天仰角差(日中天仰角-65)，並且和參考資料五的太陽赤緯做比較，見下表，我們發現兩者誤差很小。

編號	日期	日中天仰角(度)	日中天仰角差(度)	赤緯值(度 角分)	理想赤緯值(度)	編號	日期	日中天仰角(度)	日中天仰角差(度)	赤緯值(度 角分)	理想赤緯值(度)
1	01/05 小寒	43	-22	22 36.6 S	22.5 S	13	07/07 小暑	88	23	22 34.9 N	22.5 N
2	01/20 大寒	45	-20	20 7.4 S	20.0 S	14	07/22 大暑	85	20	20 16.4 N	20.0 N
3	02/03 立春	49	-16	16 31.5 S	16.5 S	15	08/07 立秋	82	17	16 25.4 N	16.5 N
4	02/18 雨水	54	-11	11 38.4 S	11.5 S	16	08/23 處暑	77	12	11 26.8 N	11.5 N
5	03/05 驚蟄	59	-6	6 3.7 S	6.0 S	17	09/07 白露	71	6	6 4.4 N	6.0 N
6	03/20 春分	65	0	0 10.3 S	0	18	09/23 秋分	65	0	0 3.9 S	0
7	04/04 清明	71	6	5 40.9 N	6.0 N	19	10/08 寒露	59	-6	5 52.2 S	6.0 S

8	04/20 穀雨	77	12	11 30.4 N	11.5 N	20	10/23 霜降	54	-11	11 23.4 S	11.5 S
9	05/05 立夏	82	17	16 14.6 N	16.5 N	21	11/07 立冬	49	-16	16 15.8 S	16.5 S
10	05/21 小滿	85	20	20 10.6 N	20.0 N	22	11/22 小雪	45	-20	20 7.1 S	20.0 S
11	06/05 芒種	88	23	22 32.3 N	22.5 N	23	12/07 大雪	43	-22	22 35.9 S	22.5 S
12	06/21 夏至	89	24	23 26.1 N	23.5 N	24	12/22 冬至	42	-23	23 26.1 S	23.5 S

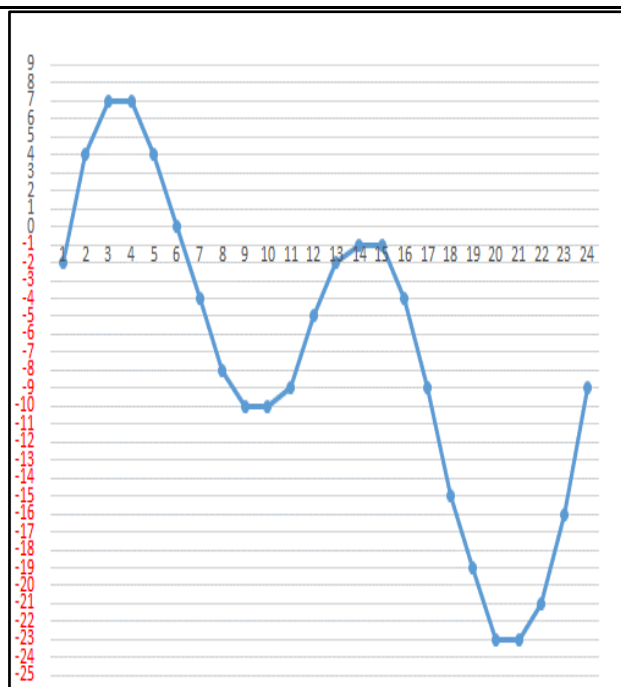
基於簡化製作日晷的因素，因此我們用 13 個整理過的理想日中天仰角差(宜蘭地區：日中天仰角-65)，來代表二十四節氣太陽的赤緯值，如研究結果一。

附件二之一 2016 年的自然時差圖 (資料來源:參考資料二)



附件二之二 宜蘭地區二十四節氣太陽在日中天的時間差 (日中天時刻-12:00)

編號	日期	日中天	日中天時間差(分)
1	01/05 小寒	11:58	-2
2	01/20 大寒	12:04	4
3	02/03 立春	12:07	7
4	02/18 雨水	12:07	7
5	03/05 驚蟄	12:04	4
6	03/20 春分	12:00	0
7	04/04 清明	11:56	-4
8	04/20 穀雨	11:52	-8
9	05/05 立夏	11:50	-10
10	05/21 小滿	11:50	-10
11	06/05 芒種	11:51	-9
12	06/21 夏至	11:55	-5
13	07/07 小暑	11:58	-2
14	07/22 大暑	11:59	-1
15	08/07 立秋	11:59	-1
16	08/23 處暑	11:56	-4

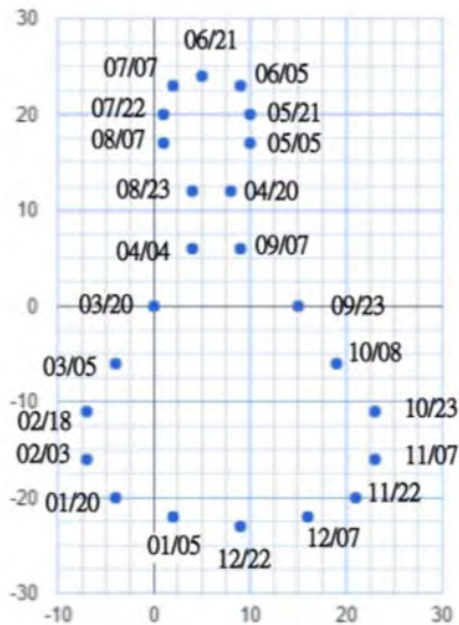


宜蘭氣象站 2016 日中天時間差圖

17	09/07 白露	11:51	-9
18	09/23 秋分	11:45	-15
19	10/08 寒露	11:41	-19
20	10/23 霜降	11:37	-23
21	11/07 立冬	11:37	-23
22	11/22 小雪	11:39	-21
23	12/07 大雪	11:44	-16
24	12/22 冬至	11:51	-9

附件二 之三 畫出太陽在天空中的 8 字軌跡

我們先計算 (太陽時-標準時)=(-時間修正)=(-日中天時間差)當水平軸，以日中天仰角差當垂直軸，畫出類似二十四節氣太陽在天空 12 點的 8 字軌跡，見下圖。



日中天時間差的負值與仰角差合併圖。

橫坐標: -日中天時間差(分)，縱坐標: 日中天仰角差(度)

由於太陽在天空中每四分鐘走 1 度，故中午時太陽每四分鐘在天上東西方向的移動角度就是 1 度，所以只要將上圖在水平座標縮小為 1/4，就可以畫出真正太陽在天上 12 時的 8 字形軌跡，如討論二之(三)。

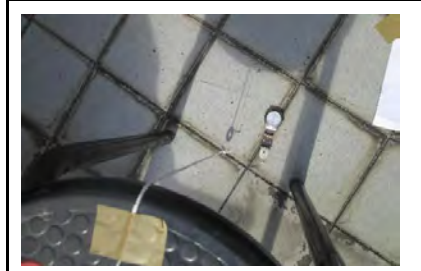
編號	日期	-日中天時間差(分)	日中天仰角差(度)
1	01/05 小寒	2	-22
2	01/20 大寒	-4	-20
3	02/03 立春	-7	-16
4	02/18 雨水	-7	-11
5	03/05 驚蟄	-4	-6
6	03/20 春分	0	0
7	04/04 清明	4	6
8	04/20 穀雨	8	12
9	05/05 立夏	10	17
10	05/21 小滿	10	20
11	06/05 芒種	9	23
12	06/21 夏至	5	24
13	07/07 小暑	2	23
14	07/22 大暑	1	20
15	08/07 立秋	1	17
16	08/23 處暑	4	12
17	09/07 白露	9	6
18	09/23 秋分	15	0
19	10/08 寒露	19	-6
20	10/23 霜降	23	-11
21	11/07 立冬	23	-16
22	11/22 小雪	21	-20
23	12/07 大雪	16	-22
24	12/22 冬至	9	-23

附件三 找出正北方的方法

(方法一) 立竿畫圓法(實驗日期 105/12/25)

		
1.竿影第一次與圓交於 10:46	2.竿影第二次與圓交於 13:04	3.利用兩交點為圓心，畫兩弧線，連線新的弧線兩交點即是正南北方。
4.計算兩次交點的中點時間為 11:54 ($14+4=18$ ， $18/2=9$ ， $45+9=54$) 接近中央氣象局網站宜蘭地區 105/12/25 日中天時間 11:53。		

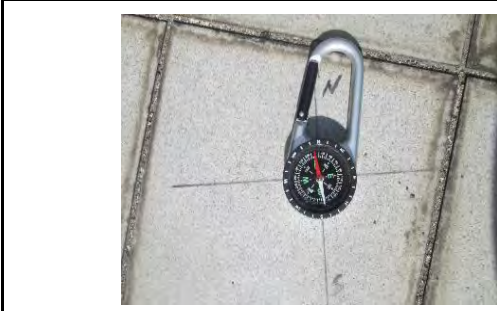
(方法二) 日中天竿影法(實驗日期 105/12/25)

	105/12/25 日中天時間，11:53 記錄鉛垂物體繩子地上的影子，影子指向正南北方。
--	---

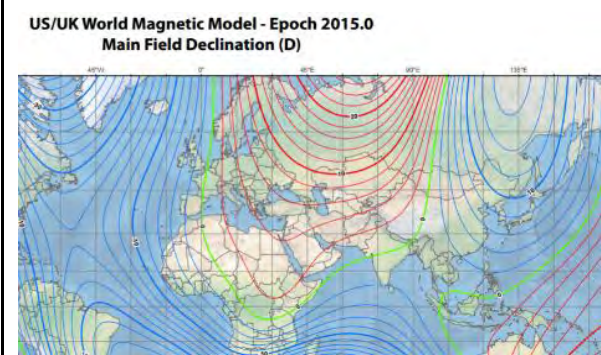
(方法三) 中午竿影最短時定向法(實驗日期 106/1/28)

		
將 20cm 直鐵棒垂直豎立在地上	在中午前後不同時間，記錄下鐵棒頂端影子的位置，頂端影子的紀錄中，最短的影子方向指向正北方	頂端影子的紀錄中，最短的影子的時刻為中午 12:06 分，和宜蘭氣象站 106/1/28 日中天時刻 一致。

(方法四) 指北針法



正(真)北方只和水平方向的磁偏角有關，和垂直方向的磁傾角無關，我們透過網路查到宜蘭地區的磁偏角為-4度，表示磁北方順時針轉4度即正北方。

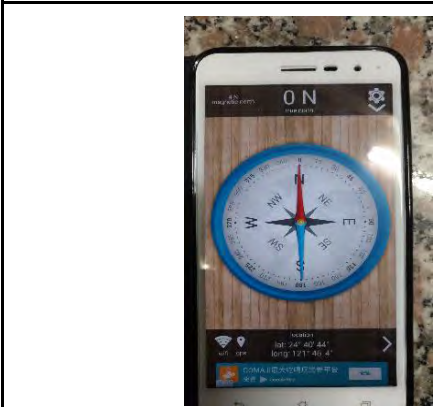


全球各地區磁偏角(參考資料十二)



宜蘭地區磁偏角-4度 20角分(參考資料十三)

(方法五) 手機下載指北針 APP 法



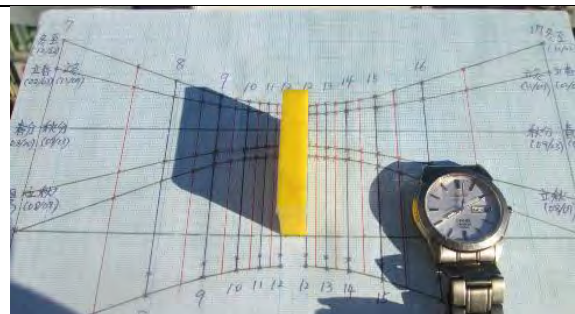
在宜蘭地區正北方 0 度就是磁北方 4 度，正北方 0 度就在磁北方 0 度順時針 4 度的地方。

附件四之一 極軸日晷驗證紀錄(冬至附近日期)

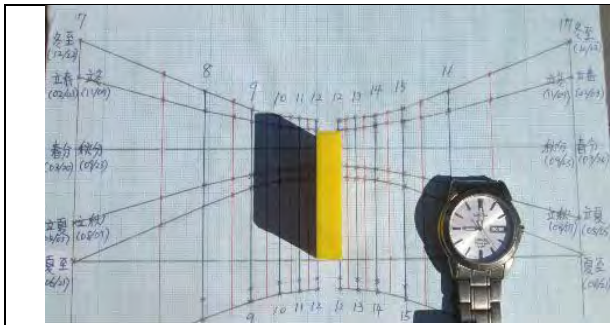
地點: 北緯 24.68 度，東經 121.77 度



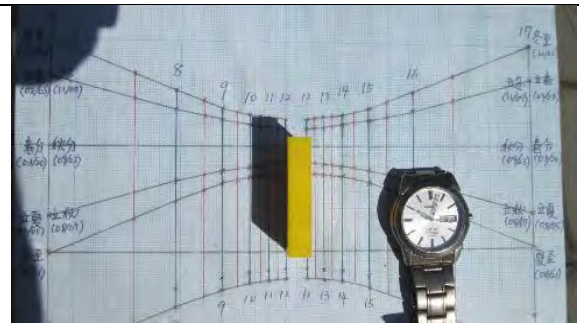
1060102 07:09



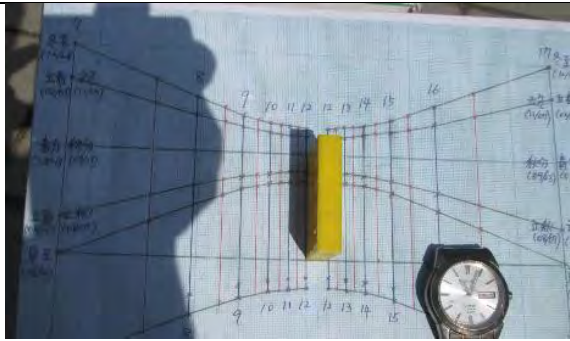
1060102 08:02



1060102 09:01



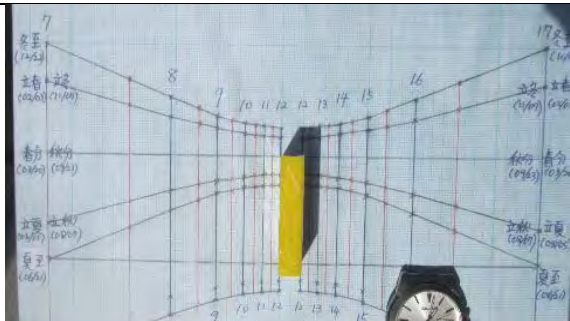
1051226 10:02



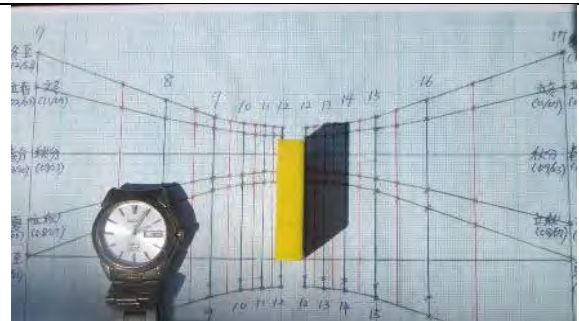
1051225 11:04



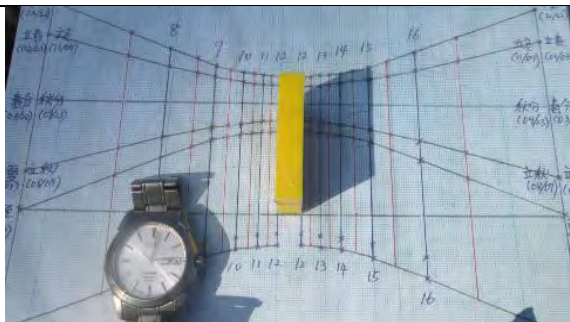
1051225 12:04



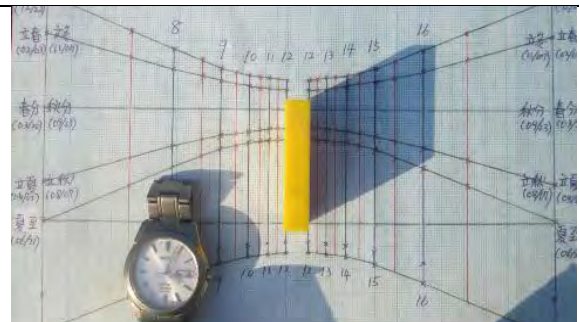
1051225 13:02



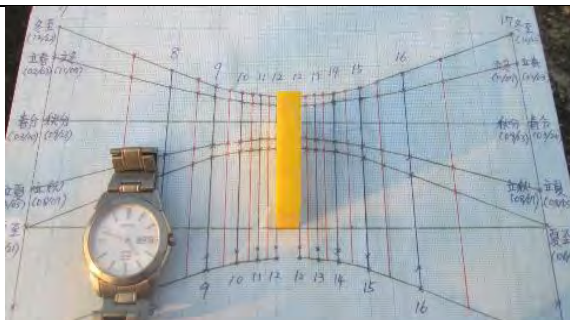
1051225 14:03



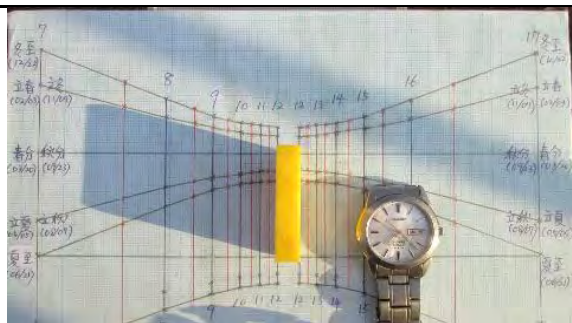
1060102 15:02



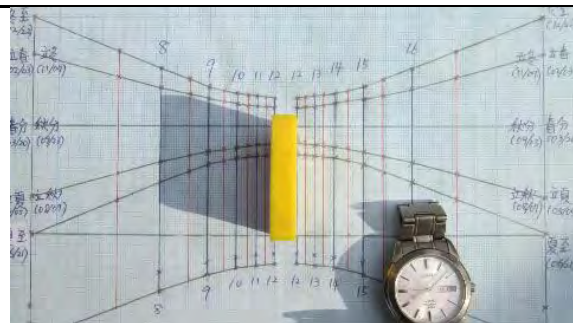
1051225 16:03



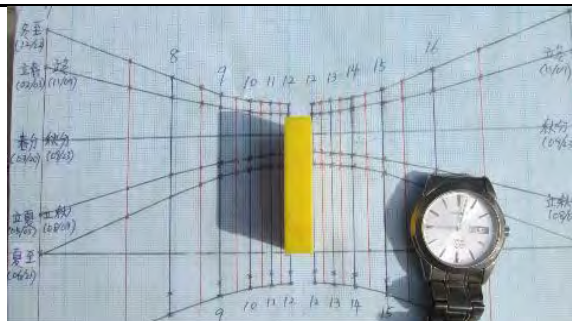
1051226 16:48



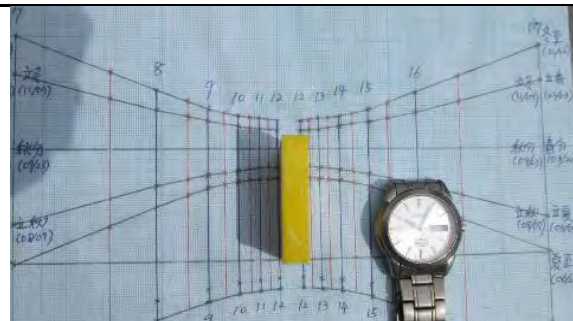
1060205 07:22



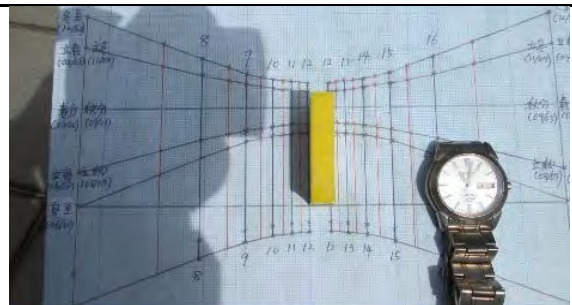
1060205 08:08



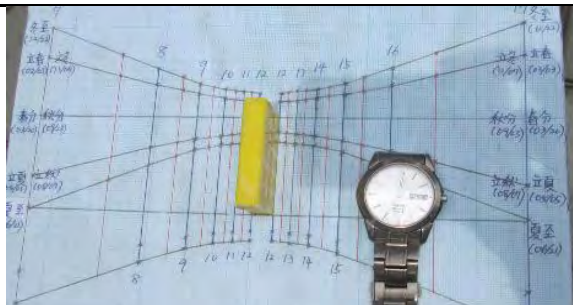
1060205 09:02



1060205 10:04



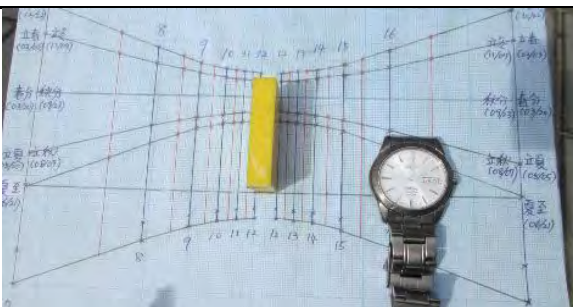
1060203 11:02



1060205 12:01



1060205 13:08



1060205 14:00



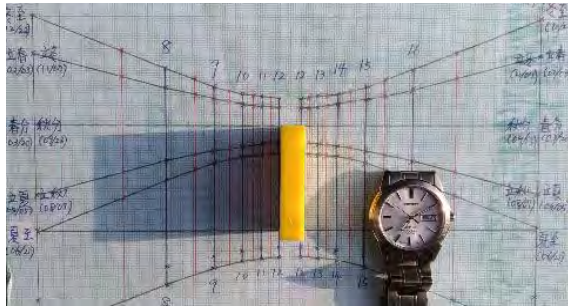
1060217 15:02



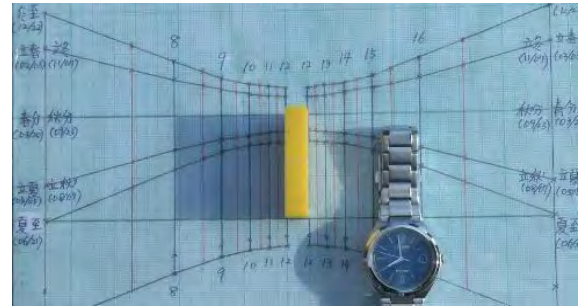
1060217 15:34

附件四之三 極軸日晷驗證紀錄(春分附近日期)

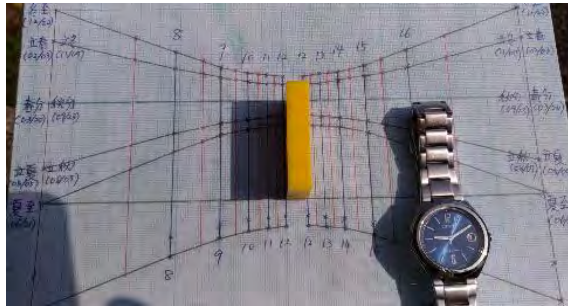
地點: 北緯 24.68 度, 東經 121.77 度



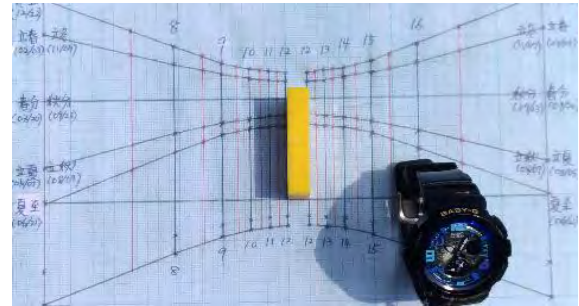
1060323 07:10



1060320 07:59



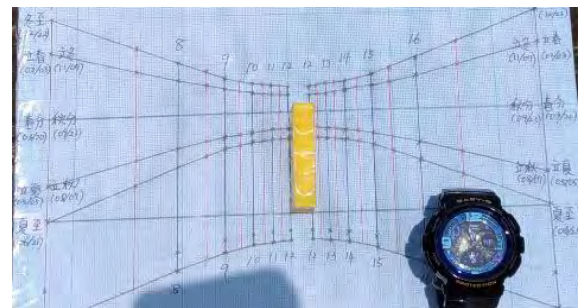
1060324 09:10



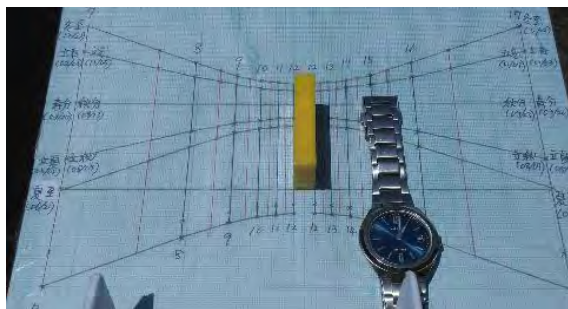
1060320 10:05



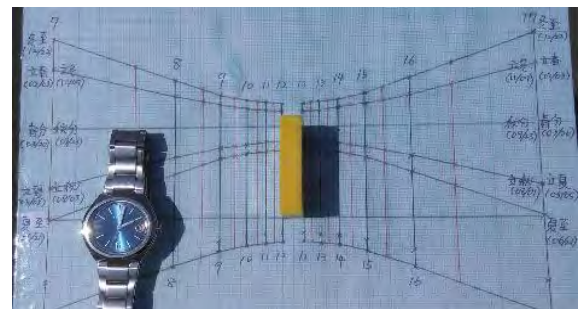
1060323 11:08



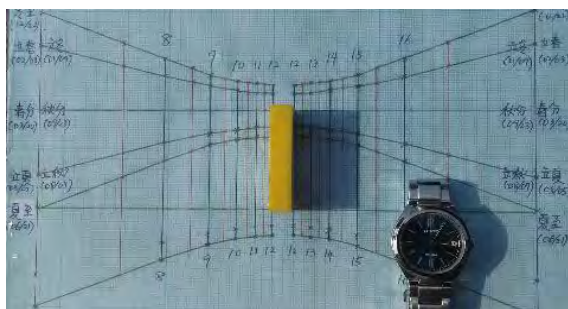
1060320 11:57



1060323 13:01



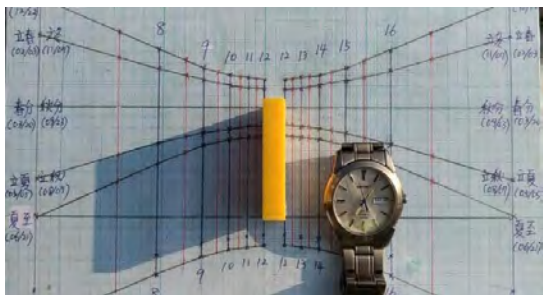
1060323 14:02



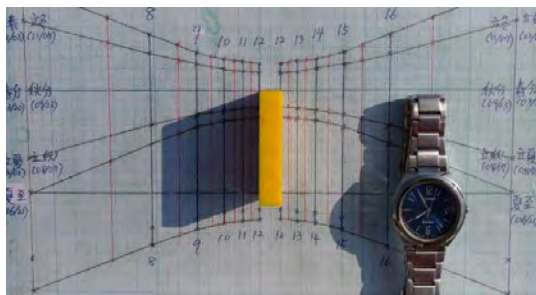
1060318 15:05



1060328 16:06



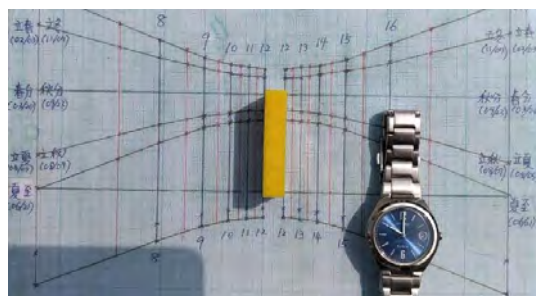
1060505 07:07



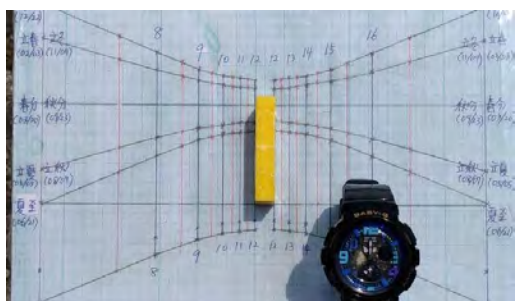
1060509 07:55



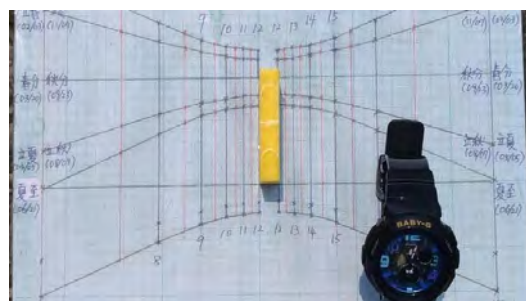
1060506 09:06



1060506 10:00



1060504 11:00



1060504 12:03



1060506 13:01



1060508 13:55



1060509 15:00



1060510 16:07



6 點以前日晷要翻面, 時間刻度要讀下排數字



1060610 05:19



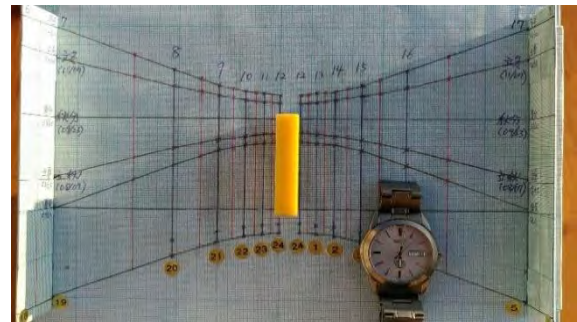
1060610 05:34



1060610 05:49



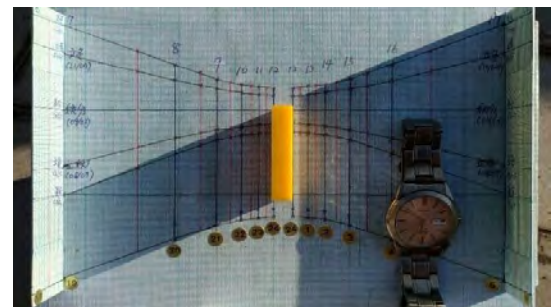
1060610 05:55



1060610 06:02



1060610 06:23



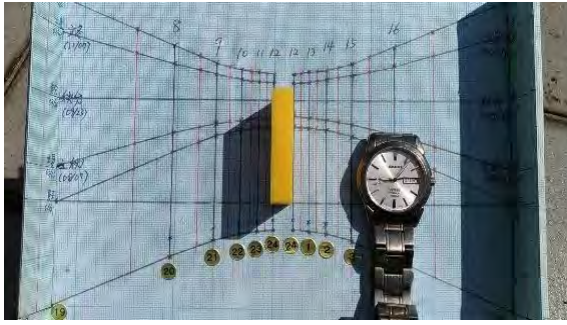
1060610 06:52



1060610 07:05



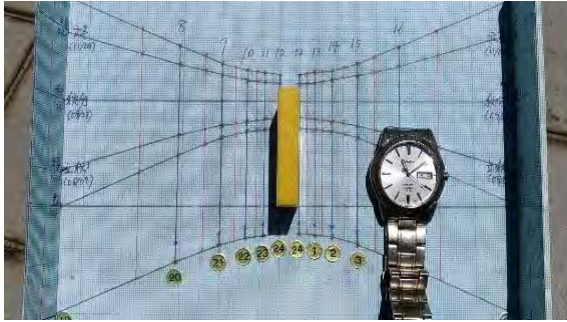
1060610 08:03



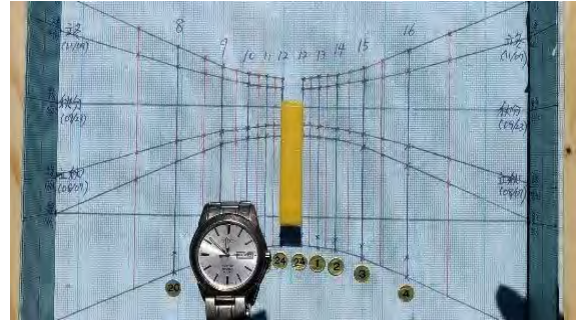
1060610 09:07



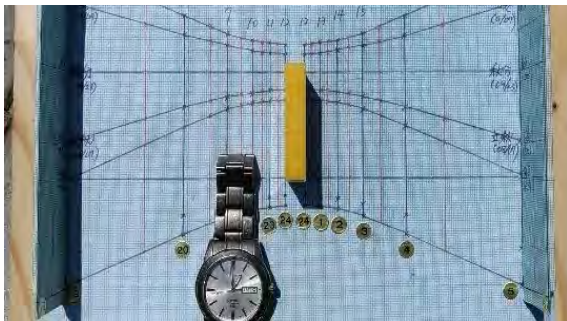
1060610 10:04



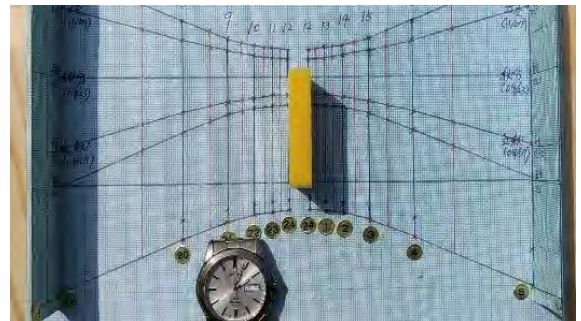
1060610 11:09



1060610 11:52



1060610 12:59



1060610 14:03



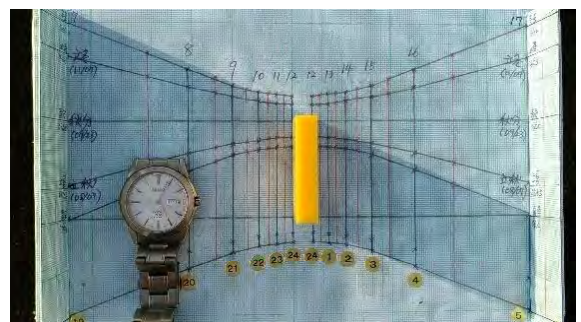
1060610 15:06



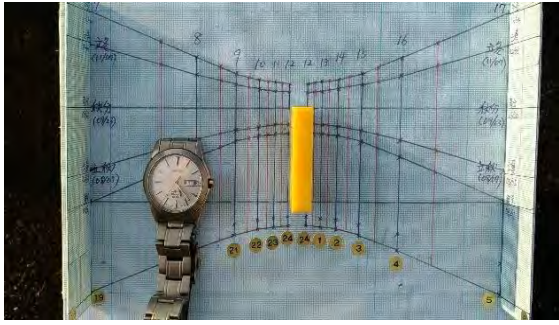
1060609 16:48



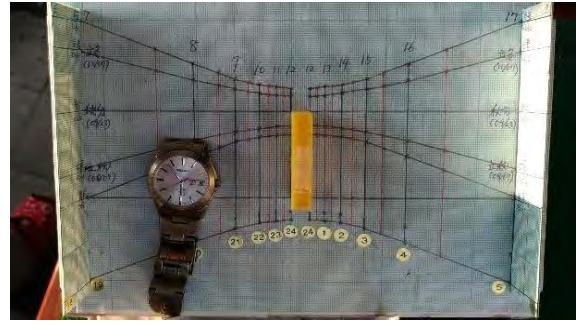
1060609 16:53



1060609 17:04



1060609 17:23



1060609 17:53



18 點過後日晷要翻面，時間刻度要讀下排數字



1060609 18:01



1060609 18:12



1060609 18:22

【評語】 030512

1. 實驗設計、器材製作以及分析結果都很詳盡完整。
2. 根據國中所學教材、自發進行實驗體驗，並且分析各種季節、節氣日晷所估算時間之準確性。
3. 資料查詢、文獻研究都很詳盡。
4. 最難能可貴的是，同學們在實作的過程中，不斷改進實驗器材，使得所製作的日晷能夠比現有的日晷更進步、更具彈性與可變異性。
5. 本組同學展現出實驗精神，使得原本以為較無創意的一個議題，展現新生命，讓評審們發現原來作日晷測時間也可以這麼有趣。

摘要

本研究的主題是製作極軸日晷。我們以太陽在天空中繞著極軸穩定運行的特性(地面觀察者的觀點)，來設計日晷的晷面(時間刻度、日期刻度)。我們利用晷針高度、從晷面看太陽的仰角，配合三角函數，算出7點到17點，每半小時的時間線；再運用二十四節氣太陽的日中天仰角差算出赤緯，配合三角函數，算出日期線。我們進一步改良使日晷的使用時間擴展到二十四小時(台灣地區從5點至19點可使用)，並設計可調整傾斜角度的底座，使我們設計的極軸日晷可以帶到世界各地使用。最後，日晷測量出的太陽時需經過時間修正才能得到手錶的標準時，而且日晷晷針要對準正北方，日晷才能正確使用。經過半年的驗證，我們證明所製作出的極軸日晷具有實用性。

壹、研究動機:

我們曾在國二上學習理化4-2「光線的直線性」單元中，學習到日晷是一種太陽鐘，日晷的運作是靠太陽在天空穩定規律的運行特性(站在地球看天空)，不用任何電池或動力，在現在講究節能環保的現代，這種大自然的計時工具顯得特別有趣，因此引發我們研究日晷的動機。

貳、研究目的

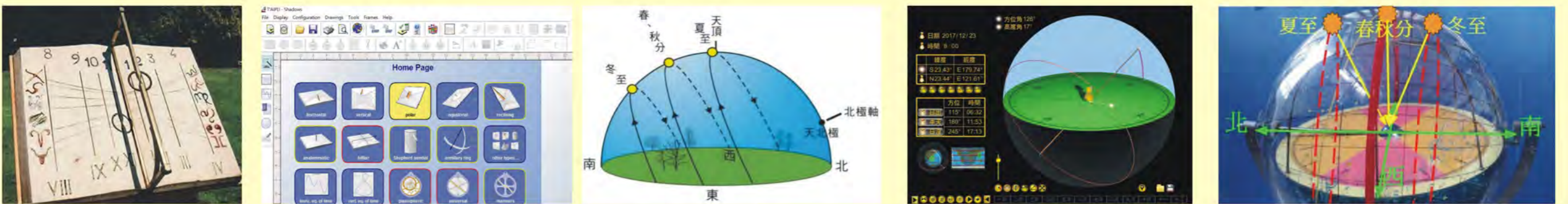
- 一、探討太陽在天空的運行規律
- 二、探討極軸日晷的特性及如何計算出晷面刻度
- 三、探討如何做時間修正來增加日晷的準確度
- 四、探討如何找出正北方來增加日晷的準確度
- 五、討論單面極軸日晷的優缺點及使用時間
- 六、探討不同緯度地區，極軸日晷如何調整
- 七、探討進一步改良極軸日晷的造型，以增加日晷準確度及擴展日晷適用時間範圍
- 八、探討極軸日晷在南北半球地區的差異及共同點

參、研究設備及器材

中央氣象局網站2017年宜蘭地區太陽日中天仰角及時間資料、臺北市立天文科學教育館的2017太陽表、shadows(日晷軟體)、手錶、方格紙、筆、手機、指北針、硬紙板、教具積木、直尺、量角器、Google文件、照相機、電腦、天球模型、長尾夾、木板、鉸鏈。

肆、研究過程或方法

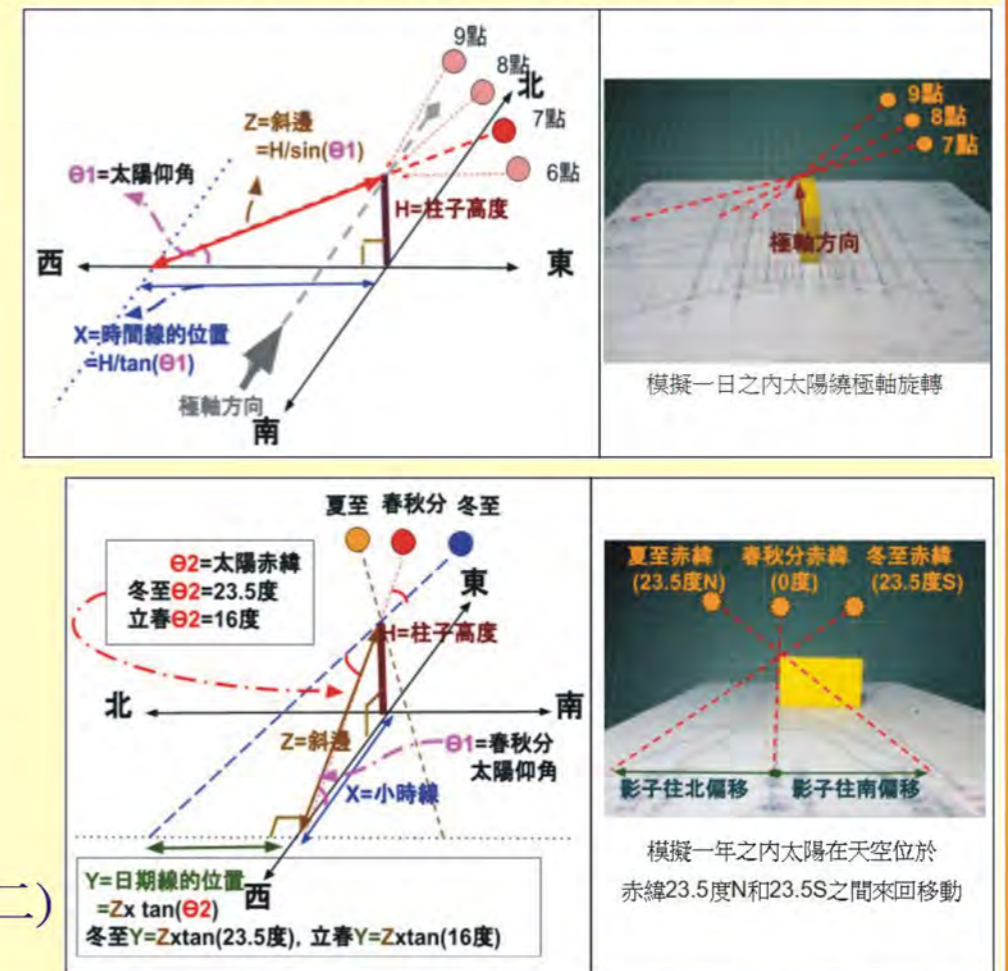
一、透過網際網路，來蒐集太陽在天空的運行軌跡、極軸日晷、日晷軟體 shadow等相關資料，並進行分析與整理。



國外極軸日晷 日晷軟體 shadow 四季太陽運行軌跡 太陽視運動軌跡模擬器 模擬赤道地區太陽四季的運行軌跡

二、分析竿影資料進行晷面時間線及日期線的公式推導

我們知道太陽的運行規律後，將一根柱子垂直豎立於一平面，並將此平面往北方抬高仰角等於當地緯度，那整個日晷模型的討論就變得很簡單，太陽的運行軌跡，就像在赤道地區，極軸變成地面上的南北線，如右上圖。



假設柱子高=H，太陽仰角= θ_1 ，太陽赤緯= θ_2 ，觀察時間=T
(一)透過分析圖畫推導時間線的計算公式。

那根據右邊分析圖，柱子頂端影子在東西方位置X，就是日晷的時間線刻度。

$X = H / \tan(\theta_1)$ 。其中 $\theta_1 = (T-6) \times 15$ ，所以時間線X的位置 = $H / \tan[(T-6) \times 15]$ …(公式一)

(二)透過分析圖畫推導日期線的計算公式。

那根據右邊分析圖，柱子頂端影子在南北方位置Y，就是日晷的日期線刻度。

$Y = Z \times \tan(\theta_2)$ ，其中 $Z = \text{斜邊} = H / \sin(\theta_1)$ ， $\theta_1 = (T-6) \times 15$ 因此 $Y = H / \sin(\theta_1) \times \tan(\theta_2)$

所以日期線Y的位置 = $H / \sin((T-6) \times 15) \times \tan(\theta_2) \dots$ (公式二)

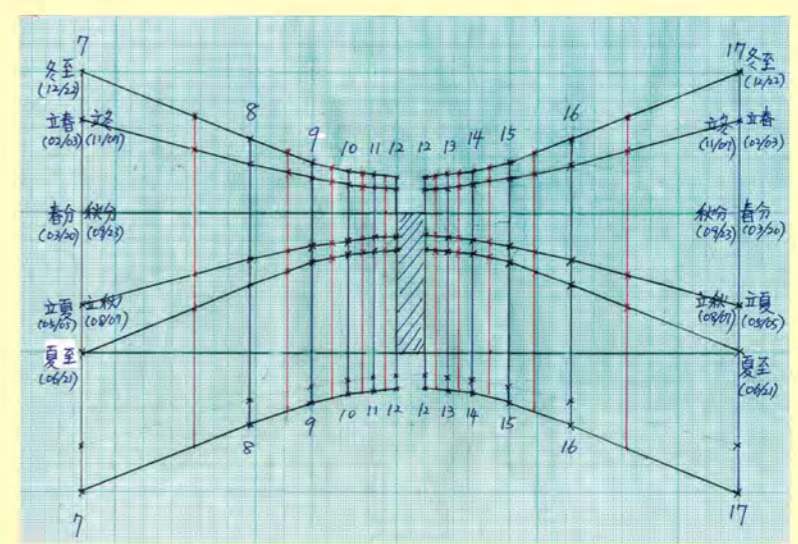
三、進行日晷晷面時間線及日期線的計算

我們利用公式一及公式二，帶入柱子高度H=3公分，24節氣不同的赤緯(討論一中，我們用13個調整過的日中天仰角差資料，來代表二十四節氣太陽的赤緯)，及時間範圍從早上7到下午5點，每半點為一個計算單位，來算出一整年日晷晷面時間線及日期線如下表。

四、實際製作極軸日晷及戶外驗證

我們利用方格紙將上述表格的資料記錄下，並將時間線以藍線連接(整點)，紅線連接(半點)，為求簡潔，日期線僅選擇冬至、立春(立冬)、春分(秋分)、立夏(立秋)、夏至，以黑線連接如下圖。

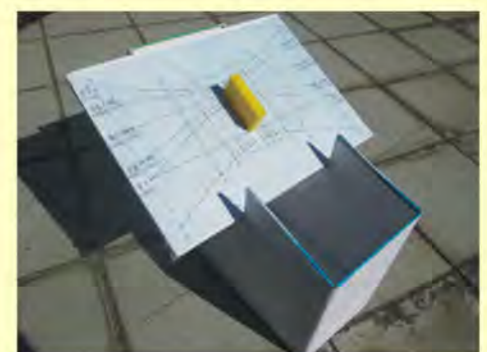
晷針高度3公分的極軸日晷晷面刻度	時間(時)	時間線位置偏西(cm)											時間線位置偏東(cm)										
		7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	
新位置	時間線位置(cm)	11.2	7.2	5.2	3.9	3.0	2.3	1.7	1.2	0.8	0.4	0.0	0.4	0.8	1.2	1.7	2.3	3.0	3.9	5.2	7.2	11.2	
1	日期線位置偏北	(12/22)	6.0	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1	2.6	3.4	6.0
2	日期線位置偏北	(01/05, 12/07)	4.8	3.2	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.2	4.8
3	日期線位置偏北	(01/20, 11/22)	4.2	2.9	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	2.2	2.9	4.2
4	日期線位置偏北	(02/03, 11/07)	3.4	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	3.4
5	日期線位置偏北	(02/18, 10/23)	2.4	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6	2.4
6	日期線位置偏北	(02/05, 10/08)	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2
7	日期線位置偏北	(03/20, 09/23)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	日期線位置偏南	(04/14, 09/07)	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2
9	日期線位置偏南	(04/20, 08/23)	2.4	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6	2.4
10	日期線位置偏南	(05/05, 08/07)	3.4	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	3.4
11	日期線位置偏南	(05/21, 07/22)	4.2	2.9	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	2.2	2.9	4.2
12	日期線位置偏南	(06/05, 07/07)	4.8	3.2	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.2	4.8	
13	日期線位置偏南	(06/21)	6.0	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1	2.6	3.4	6.0



晷針高度3公分的極軸日晷晷面刻度表

晷針高度3公分的極軸日晷晷面刻度圖

我們就以上述紙張當晷面，配合傾斜角抬高成當地緯度24.68度的底座，就完成極軸日晷，如下圖。



晷面加上仰角24.68度的傾斜底座

下載手機APP確認傾斜角度24.68度

放置戶外進行正確性驗證

伍、研究結果

一、以地面觀察者為中心，太陽一天及一年在天空的運行規律整理如下：

- (一)、一天太陽繞地軸旋轉一圈，360度/24時=15度/時，太陽在天球上每1小時移動15度，360度/1440分=1度/4分，太陽在天球上每4分中移動1度。
- (二)、一年太陽運行黃道一圈，太陽每日運行軌跡相互平行，以天球赤道為中心，在赤緯 23.5度N和23.5度S之間來回移動，為了對稱以方便製作日晷，我們將赤緯調整成13個理想值。

二、極軸日晷晷面上時間線的公式

假設柱子高度為H，觀察時間為T，時間線的位置為X， $X=H/\tan[(T-6)X15]$ ……(公式一)
我們推導出 X(時間線的位置)只和H(柱子高度)及T(觀察時間)有關

三、極軸日晷晷面上日期線的公式

假設柱子高度為H，當太陽的赤緯為 θ_2 ，觀察時間為T，日期線的位置為Y， $Y=H/\sin((T-6)X15) \times \tan(\theta_2)$ …(公式二)
我們推導出 Y(日期線的位置)只和H(柱子高度)、T(觀察時間)及 θ_2 (太陽的赤緯)有關

四、極軸日晷的特性及晷面刻度(時線、日期線)的特性

- (一)、極軸日晷晷面抬高仰角成當地的緯度
- (二)、時間線朝向南北方，平行晷針。時間線及晷針都指向北極星。時間線越靠近中午，晷面的時間線間距越小，在靠近清晨和黃昏，晷面時間線的間距越大。
- (三)、日期線朝向東西方，成川字形，垂直時間線及晷針。日期線越靠近春(秋)分晷面的日期線間距越大，在靠近夏至和冬至晷面日期線的間距越小。
- (四)、極軸日晷晷面日期線及時間線刻度上下左右對稱

五、日晷觀測得到太陽時要進行時間修正才變成手錶的標準時

根據參考資料七，我們知道，手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+時間修正，時間修正=自然時差+人為時差。
經討論二，我們知道 時間修正=日中天時間差。戶外實際驗證時，我們就以宜蘭地區二十四節氣的日中天時間差當作時間修正，來校正日晷時間和手錶的時間。(台灣地區目前不實施日光節約時，所以我們不考慮)。

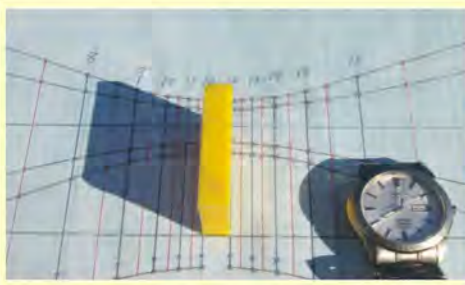
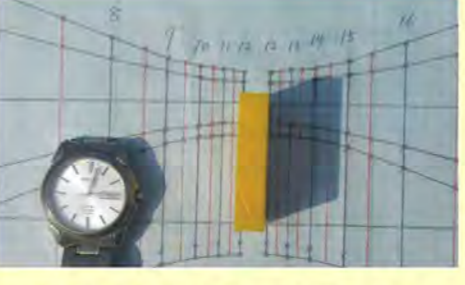
六、日晷使用時要確認晷針對準正(真)北方

如果單純用指北針找北方會有當地磁場因素及磁偏角問題，我們透過網路資料查出宜蘭地區磁偏角-4度20角分(參考資料十二、十三)，在討論三及附件三中，我們運用五種方法進行正北方的相互比對，發現透過這五種方法找出的正北方一致。

七、戶外驗證

日晷的晷面包括日期線及時間線，這兩部分刻度線的正確性就是我們驗證的重點。我們選擇驗證冬至、立春、春分、立夏、夏至日前後來觀測日期線及時間線的正確性，例以下比較圖。全部驗證結果則見附件四之一~附件四之五。透過時間修正及方位修正，觀察記錄半年後，發現我們自製的極軸日晷誤差小於5分鐘。

(一)時間線驗證 [驗證 日晷太陽時+時間修正=手錶標準時]

	日晷太陽時=08:05 日中天時間=11:57 (時間修正= -3) 手錶標準時=08:02 1060102 08:02 誤差=0分		日晷太陽時=14:54 日中天時間=12:07 (時間修正= +7) 手錶標準時=15:02 1060217 15:02 誤差=-1分
---	--	---	---

(二)日期線驗證 [驗證 二十四節氣日期線]

	冬至日日期線 105/12/26晷針影子接近冬至日(12/22)日期線		春分日日期線 106/03/20晷針影子就在春分日(03/20)日期線
---	--	---	--

陸、討論

一、討論如何由當地日中天仰角資料來算出太陽的赤緯。

在公式二，我們需要用太陽的赤緯來計算日期刻度，就是二十四節氣影子往南北方向的偏移量，其實我們可以以13個調整過的日中天仰角差(日中天仰角-65度)，來代表二十四節氣太陽的理想赤緯(度)，如以下兩表。

編號	日期	日中天仰角(度)	日中天仰角差(度)	赤緯(度 角分)	理想赤緯值(度)
1	01/05 小寒	43	-22	22 36.6 S	22.5 S
2	01/20 大寒	45	-20	20 7.4 S	20.0 S
6	03/20 春分	65	0	0 10.3 S	0
23	12/07 大雪	43	-22	22 35.9 S	22.5 S
24	12/22 冬至	42	-23	23 26.1 S	23.5 S

=>

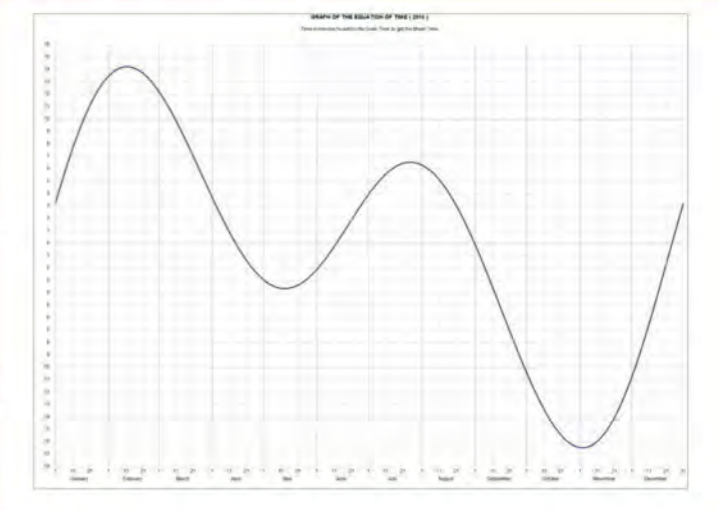
太陽位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
日中天仰角差	23.5 (-)	22.5 (-)	20.0 (-)	16.5 (-)	11.5 (-)	6.0 (-)	0.0	6.0 (+)	11.5 (+)	16.5 (+)	20.0 (+)	22.5 (+)	23.5 (+)
日期	0105 小寒	0120 大寒	0203 立春	0218 雨水	0305 驚蟄	0320 春分	0404 清明	0420 穀雨	0505 立夏	0521 小滿	0605 芒種	0621 夏至	
日期	1222 冬至	1207 大雪	1122 小雪	1107 立冬	1023 霜降	1008 寒露	0923 秋分	0907 白露	0823 處暑	0807 立秋	0722 大暑	0707 小暑	

二、討論如何由當地日中天時間資料來算出時間修正，以增加日晷時間的準確度。

(一)、確認手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+時間修正 的正確性

我們從網路下載2016宜蘭地區二十四節氣太陽在日中天的時間(參考資料八)，並算出日中天時間差(日中天時刻-12)，將結果整理成附件二之二。我們確認手錶時間(標準時)=日晷時間(太陽時)+自然時差(軌道時差)+人為時差(地理時差) 是正確的。而且 時間修正 = 自然時差(軌道時差)+人為時差(地理時差) = 日中天時間差(日中天時刻-12:00)

因此做時間修正變得很簡單，只要查詢接近實驗地區氣象局的日中天時刻再減12:00就可以



自然時差(軌道時差)世界各地都一樣如上圖。

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
月	01	01	02	02	03	03	04	04	05	05	06	06	07	07	08	08	09	09	10	10	11	11	12	12
日	05	20	03	18	05	20	04	20	05	21	05	21	07	22	07	23	07	23	08	08	10	11	12	12
節氣	小寒	大寒	立春	雨水	驚蟄	春分	清明	穀雨	立夏	小滿	芒種	夏至	小暑	大暑	立秋	處暑	白露	秋分	寒露	霜降	立冬	小雪	大雪	冬至
時間修正	-2	4	7	7	4	0	-4	-8	-10	-10	-9	-5	-2	-1	-1	-4	-9	-15	-19	-23	-23	-21	-16	-9

宜蘭地區2017年二十四節氣的時間修正表 時間單位:分

(二)我們推論每年自然時差都應該差不多，誤差都不超過1分鐘。

(三)討論日晷晷面上有畫上8字形軌跡和時間修正的關係。

- 1.日中天時間差的負值除以4=太陽日中天在東西方向的偏移角度，日中天仰角差=太陽日中天在南北方向的偏移角度，結合以上兩者，可繪製出太陽中午12時在天上的8字形軌跡，如右圖。
- 2.外國極軸日晷晷面上時間線有畫上8字形軌跡，相對應於天上太陽的8字形軌跡，上下顛倒，左右相反。我們可以將手錶標準時間-時間修正=日晷時間，帶入公式一及公式二，就可以繪製出日晷晷面上每一條時間線上的8字軌跡。

三、討論如何找出正北方的方向，以增加日晷時間的準確度。

日晷要使用正北方(地理子午線)才會正確，我們發現要找出正北方的方法，可以整理成以下五種:

(方法一) 立竿畫圓法:以圓弧和竿影頂點的兩個交叉點和竹竿底部的原點形成一個角度，此角度的角平分線即為正北方。

- 1.竿影第一次與圓相交
- 2.竿影第二次與圓相交
- 3.利用兩交點為圓心，畫兩弧線，連線新的弧線兩交點即是正南北方。



方法一之1



方法一之2



方法一之3

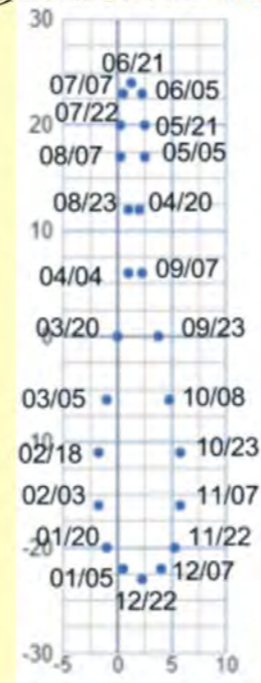
(方法二) 日中天竿影法:在日中天的時候，鉛垂線影子的方位就是正北方(相當簡單，且不受附近磁場的影響)。

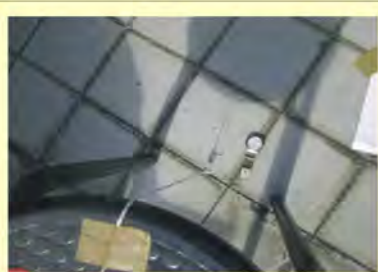
(方法三) 中午竿影最短時定向法:找中午竿影最短時，此時竿影方向就是正北方。

(方法四) 指北針法:用指北針定出磁北方，再順時針旋轉4度，就是正北方(做磁偏角修正)。

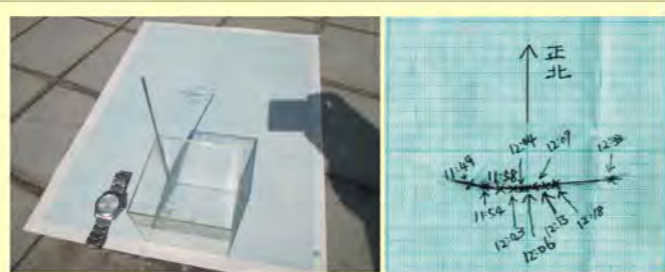
(方法五) 手機下載指北針APP法:下載指北針APP並開啟GPS定位系統，就可定正北方。

PS:實驗地區(東經 121.77度)比手錶標準時區(東經120度)經度多1.77度，地區每往東方經度1度，時間要減4分鐘。所以實驗地區人為時差(地理時差) = -1.77*4= -7.08分。

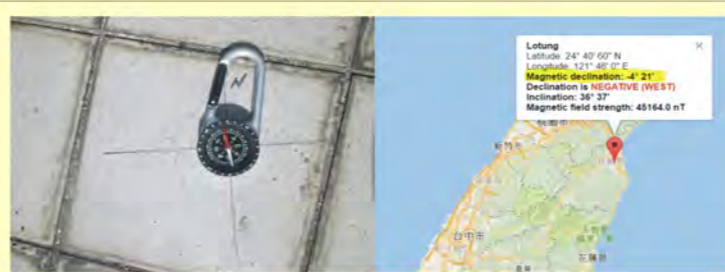




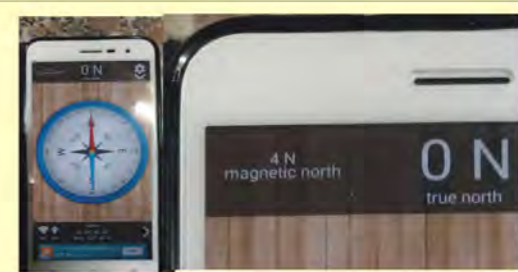
方法二



方法三



方法四



方法五

四、討論單面極軸日晷的優缺點及適用時間:

(一)優點:是只要將晷面的傾斜度調整成當地緯度,晷面不用重新設計,查出當地的日中天時間差(時間修正),找出正北方,就可以在任何地區使用,比其水平型、垂直型日晷方便。

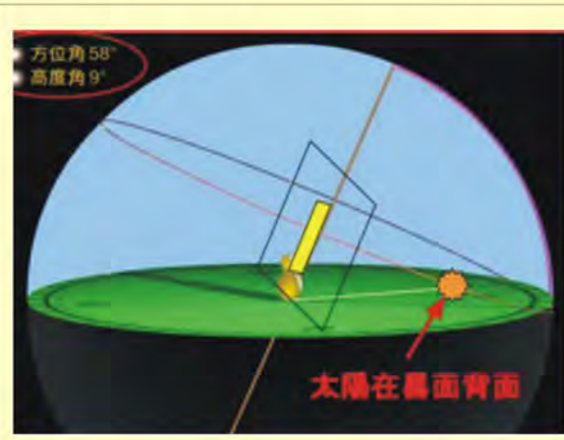
*為適用在不同緯度地區,我們設計可調整傾斜度的底座,如右圖。底座上有指北針可以定方位,有量角器可量測斜面傾斜角。

(二)缺點:是中午時間前後,時間刻度距離較近,讀取上較不易;早上7點前及下午5點後因太陽仰角太低,晷針影子太長超出晷面範圍而無法使用。

(三)適用時間:我們設計的極軸日晷從7:00~17:00在台灣地區都可適用,但是一般來說在其他高緯度地區,單面極軸日晷的使用時間範圍,需同時滿足以下兩項條件:

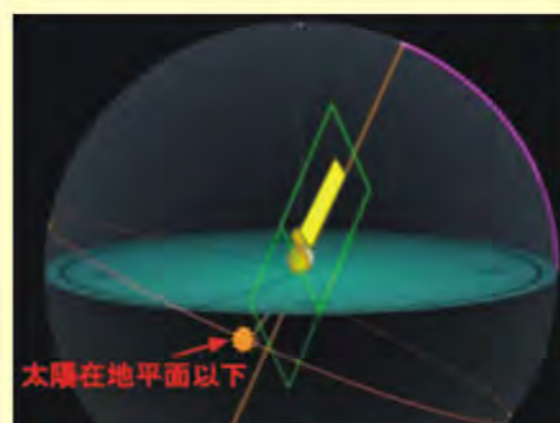
1. 6點過後到18點之前(太陽會出現在晷面之上)。
2. 日出後直到日落(太陽會出現在地面之上)

我們以高緯度地區:66.6度N來說明,不滿足以上條件一及條件二的情形,如下圖。



例一:

7月19日,早上4:37
太陽已在仰角9度,滿足
條件2。
但仍在晷面背面,不
滿足條件1,故極軸日晷
無法使用。



例二:

10月25日,早上6:50
太陽已在日晷的延伸面之
上,滿足條件1。
但仍在地平面下,不滿足
條件2,故極軸日晷無法
使用。

五、進一步改良極軸日晷的造型,以增加日晷準確度及擴展日晷適用時間範圍

(一)造型小改造以增加日晷的準確度。

1. 增加晷針高度可增加日晷準確度
2. 將中午前後的平行晷面改變成弧形晷面,可增加日晷的準確度。

(二)造型大改造以增加日晷適用時間範圍,如下圖,以晷針高度3公分為例說明。

1. 在6時~7時及17時~18時,因陽光接近平行晷面而無法使用,我們提出兩邊長出小牆壁的造型修正,將適用時間範圍增加到6:00~18:00:

新增時間線刻度:

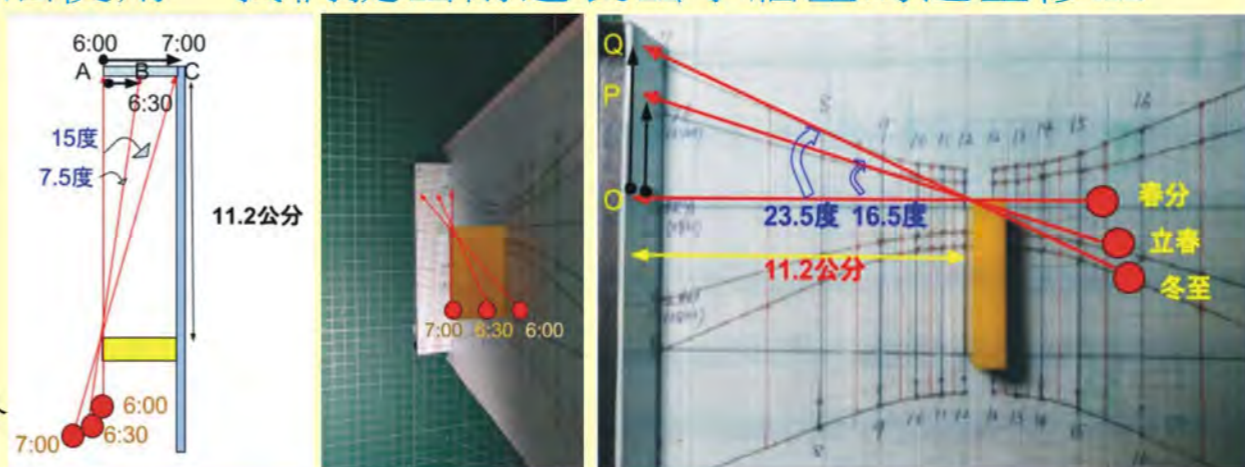
6:30時間線AB線段為 $11.2\text{公分} \times \tan(7.5^\circ) = 1.47\text{公分}$

7:00時間線AC線段為 $11.2\text{公分} \times \tan(15^\circ) = 3\text{公分}$

新增日期線刻度:

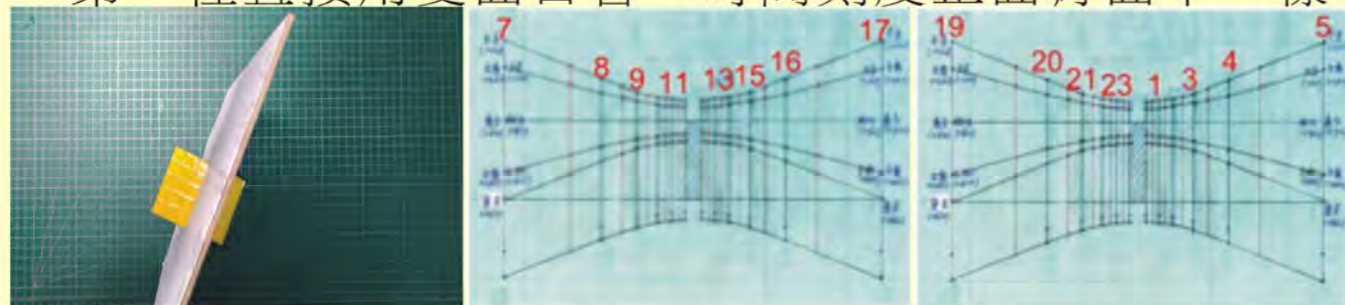
立春的日期線OP線段為 $11.2\text{公分} \times \tan(16.5^\circ) = 3.3\text{公分}$

冬至的日期線OQ線段為 $11.2\text{公分} \times \tan(23.5^\circ) = 4.87\text{公分}$



2. 在不同地區某些季節,太陽特別早日出及特別晚日落(北半球夏季)的情形,我們提出以下兩種造型修正,將適用時間範圍增加到0:00~24:00,一整天都能用。

第一種直接用雙面日晷,時間刻度正面背面不一樣



雙面極軸日晷

日晷正面

日晷背面

第二種用單面日晷,時間刻度上下排不一樣



6:00以前及18:00以後(6:00~18:00),極軸日晷放底座斜面的背面(正面),讀取下排(上排)時間刻度。

六、極軸日晷在南北半球地區的差異及共同點

- (一)極軸日晷在北半球地區的時間數字順序是由左至右,南半球相反。見右圖是南半球的極軸日晷,時間刻度順序由右至左(參考資料十五)。
- (二)極軸日晷在北半球地區的日期線12月冬至在上,6月夏至在下,南半球相反。
- (三)極軸日晷在北(南)半球地區的使用,是將晷針面對正北(南)方,再將晷面抬高成當地的北(南)緯角度就可以。
- (四)南北半球的時間修正方式相同,唯一要考慮的是該地區是否有採用日光節約時。



澳洲墨爾本極軸日晷

柒、結論

- 一、極軸日晷晷面刻度及特性,見研究結果二、三、四(可用公式一計算時間線、用公式二計算日期線)。
- 二、實務上我們可以用13個調整過的日中天仰角差資料,來代替二十四節氣太陽的理想赤緯,見討論一。
- 三、根據上述13個理想赤緯值、公式一、公式二,我們計算出晷針高度3公分的極軸日晷晷面刻度。
- 四、做好時間修正,可以增加日晷的準確度。(台灣地區目前不實施日光節約時,所以我們不考慮)
手錶標準時間=日晷時間+時間修正,時間修正=人為時差(地理時差)+自然時差(軌道時差)
- 五、實務上我們可以用日中天時間差(日中天時間-12時),來代替時間修正,見討論二。
- 六、極軸日晷的使用要晷針對準正北方,以增加日晷的準確度,見討論三。
- 七、單面極軸日晷的優缺點及適用時間,見討論四。
- 八、修正日晷造型,以增加日晷的準確度及適用時間範圍,見討論五。
- 九、極軸日晷在南北半球地區的差異及共同點,見討論六。
- 十、我們由中央氣象局的日中天仰角及時間資料,透過理論模型的建構,製造出適合在本地使用的日晷,經由半年實際的觀察記錄,我們發現所製作的極軸日晷誤差小於5分鐘,相當具有實用及可靠性,全部驗證記錄見附件四之一~附件四之五。

捌、參考資料及其他

- 一、極軸日晷 <http://www.sundial.net/pictures-of-sundials-2.php>, <http://www.spot-on-sundials.co.uk/universal-polar-sundial.html>
- 二、日晷軟體 shadows <http://www.shadowspro.com/en/download-shadows.html>
- 三、中央氣象局網站 臺灣四季仰角與方位角 <http://www.cwb.gov.tw/V7/astromy/cdata/season.htm>
- 四、太陽視運動軌跡模擬器 <http://edson.tw/earth/sunrise/sunrisetw.html>
- 五、2017太陽表-臺北市立天文科學教育館 <http://www.tam.gov.taipei/public/Attachment/612151358195.pdf>
- 六、日出方位角的判斷及計算 <http://www.360docs.net/doc/info-17669873960590c69fc3761c.html>
- 七、Sundials 日晷天地 <http://blog.xuite.net/nycl.chiu/blog/>
- 八、中央氣象局網站宜蘭地區2011~2017年太陽過中天的仰角資料 <http://www.cwb.gov.tw/V7/astromy/sunrise.htm>
- 九、晷面有8字形軌跡的極軸日晷 <http://www.shadowspro.com/help/en/polarsundial.html>
- 十、在空中跳個8字街舞-太陽軌跡年畫像 <http://www.dill360.com/nh/article/p5350c3d88e53158.htm>
- 十一、日行跡在一年二十四節氣的位置 <http://blog.udn.com/tsao144/19930778>
- 十二、全球各地區磁偏角 https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015_D_MERC.pdf
- 十三、宜蘭地區磁偏角(-4度20分) <http://www.magnetic-declination.com/Taiwan/Lotung/2649438.html>
- 十四、The Universal Polar Sundial(通用的極軸日晷) <http://www.spot-on-sundials.co.uk/universal-polar-sundial.html>
- 十五、澳洲墨爾本天象廳的極軸日晷 <http://www.wikiwand.com/en/Sundial>

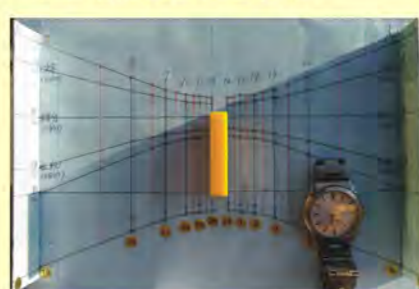
接近夏至日極軸日晷驗證記錄

實驗地點: 北緯 24.68度, 東經 121.77度

1060610 時間修正=-7.5分



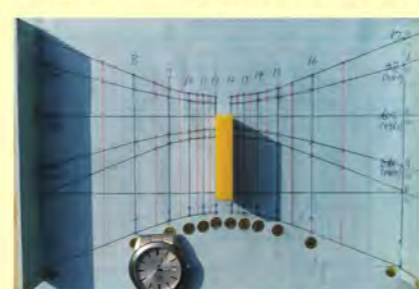
1060610 05:19



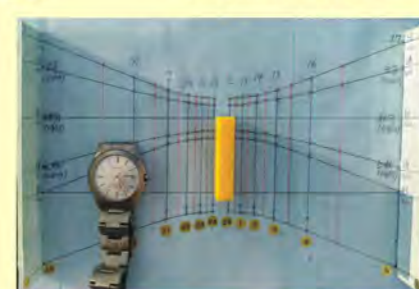
1060610 06:23



1060610 09:07



1060610 15:03



1060609 17:23



1060609 18:12