

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

探究精神獎

080506

星空地圖-自製渾天儀(立體星座儀)

學校名稱：宜蘭縣三星鄉萬富國民小學

作者：	指導老師：
小六 楊濬安	張芳銘
小六 鐘子璿	蕭向志
小五 李品寬	
小五 蕭曦恩	

關鍵詞：渾天儀、星星、位置

摘要

星座盤是常見用來觀測星星的工具，它適用在觀察者面對北邊(南邊)的天空，但是平面星座盤上的星座圖案，與我們直接望向立體星空所看到的圖案會產生一些形狀上的差距，如果我們用它比對東方或西方天空中的星座，則變形的問題更大。為了改善星座盤的問題，我們藉由古代中國渾天儀(渾象)的概念，結合現代西方的天球儀，加上透明天空模型(上面標示有經度、緯度線，用來模擬星座盤的方位、仰角網線圖)，使它整合成為立體星座儀(新式渾天儀)。只要給定觀測地點的緯度，透過日期盤、時間盤刻度的對齊，就可以知道星星的方位角、仰角，而這原本是需要經過複雜的數學運算才能得到的，所以我們的作品也可以說是簡單好用的手工天文計算機。

壹、研究動機

我們在五下自然課上到“星星的世界”單元，老師用星座盤及天球儀來教我們認識星座，但是在使用平面星座盤時無法直接感受曲面的天空，而使用天球儀雖能有天空的感覺，但是只能知道星星彼此之間的相對位置(赤經、赤緯)，無法準確的知道星星的方位角、仰角。後來經過老師介紹古代的天文儀器“渾象”(又叫「渾天儀」或「天體儀」)，它是古代用來認識星星的工具，能準確定位星星的位置。因此引發我們的興趣，我們希望藉由改良容易購得的塑膠天球儀，及現代的雷射工具來自己打造新式渾天儀，成為立體星座儀，來幫助我們更容易的認識夜空中的星星。

貳、研究目的

- 一. 探討天球座標(地平座標與赤道座標)
- 二. 探討古代與現代的基礎天文儀器
- 三. 探討市售星座盤的構成部分、所能達到的觀測結果及尚需改良的地方
- 四. 探討新式渾天儀(立體星座儀)如何設計改良
- 五. 探討新式渾天儀的誤差及模型如何改進以增加實用性
- 六. 探討星星在天空如何定位(地球公轉與自轉的運轉規律對星空的影響)

參、研究設備及器材

Stellarium 星空軟體、SketchUp 3D 計軟體、RDWorksV8、雷射切割機、椴木板、星座盤、天球儀、透明天空模型、線 Tone、氣象局網站亮星排行表、經緯儀+望遠鏡、赤道儀+望遠鏡。

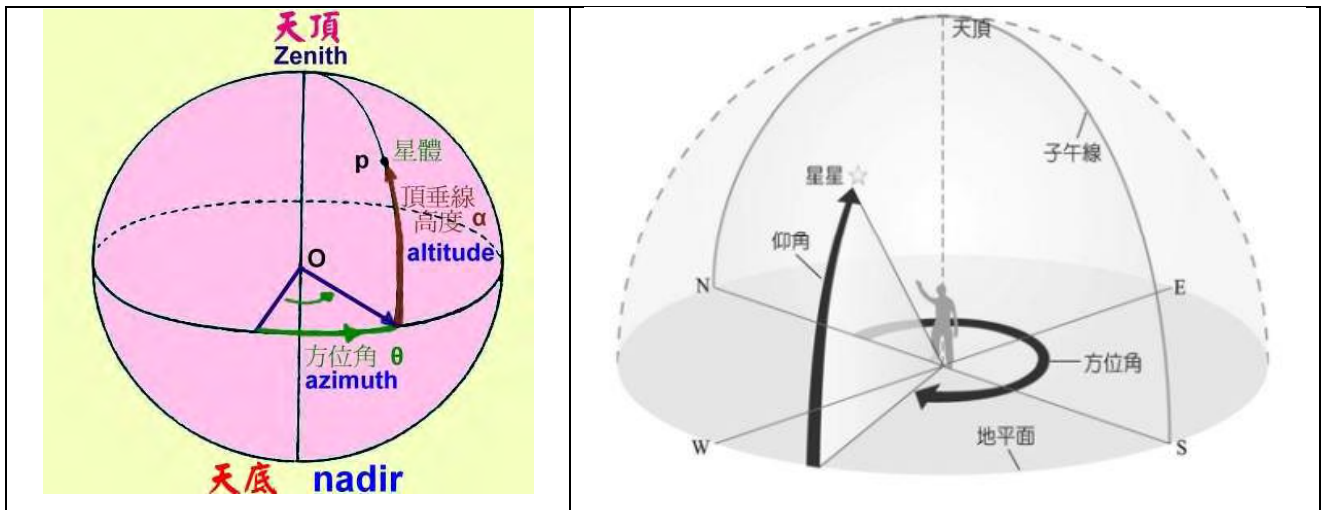
肆、研究過程或方法

一. 探討天球座標(地平座標與赤道座標)

天球坐標系統，是天文學上用來描繪天體在天球上位置的坐標系統。有許多不同的坐標系統都使用球面坐標投影在天球上，每個坐標系統都是依據其所選擇的基本參考面而命名的。常見的座標系統包括: 地平坐標系統、赤道坐標系統、黃道系統…等，我們僅就和研究較相關的地平坐標系統、赤道坐標系統來進行說明。(參考資料 1~參考資料 4)

(一)地平坐標系統

以觀測者所在地為中心點，所在地的地平面作為基礎平面，將天球適當的分成能看見的上半球和看不見的下半球。上半球的頂點（最高點）稱為天頂，下半球的頂點（最低點）稱為地底。在天球上天體位置的兩個座標分量，用「仰角 (Altitude) α 」和「方位角 (Azimuth) θ 」來表示。

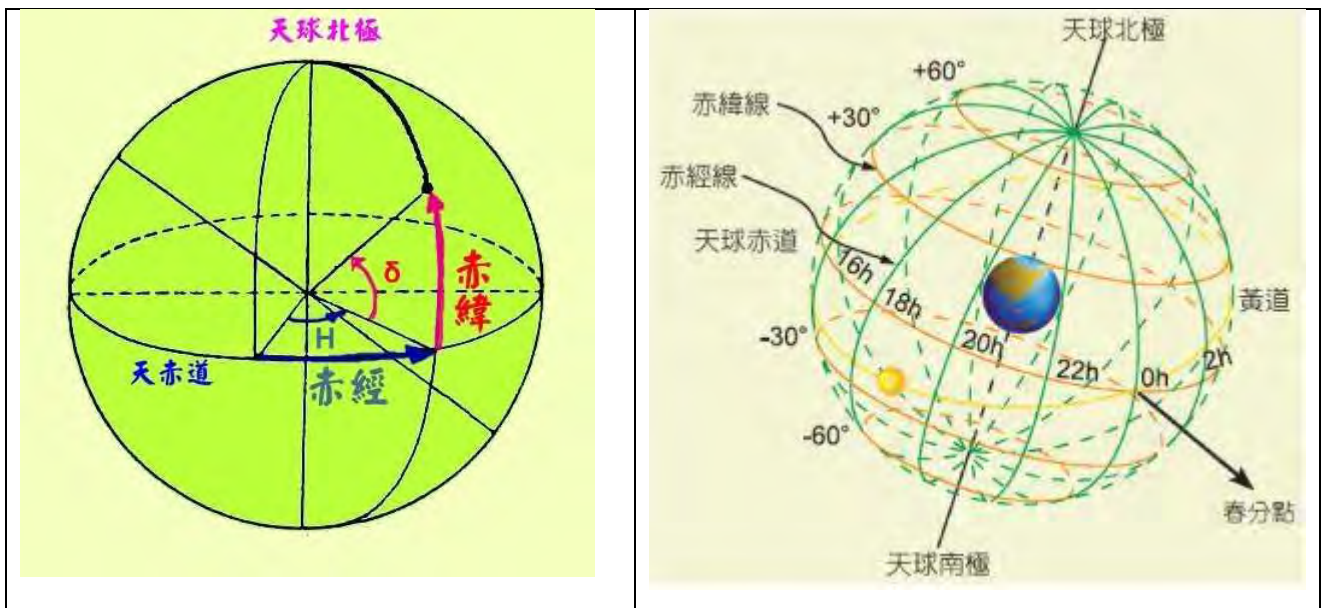


(二)赤道坐標系統

我們將地球經緯線向外太空投射出去，在天球上形成「赤經」及「赤緯」。另外天球赤道、天球北極(南極)，也是由地球赤道、北極(南極)延伸而成。赤道坐標系統也比照地理的座標方式，有24小時時區制的經度和從南緯90度到北緯90度的180度的緯度來表示，而建立了「赤經(Right ascension) RA」和「赤緯(Declination) Dec」兩個座標分量。

赤經：以春分點(「黃道(面)(Ecliptic)」和天赤道在雙魚座內的交點)為0時起算，向東測量出春分點與天體間的角度，並以小時、分、秒為單位。配合地球自轉速率，15度為一時。總共劃分成24小時。

赤緯：以天球赤道為基準(0度)，測量恆星與赤道面的夾角，北天球為正，南天球為負，各劃分成90度。



二.探討古代與現代的基礎天文儀器

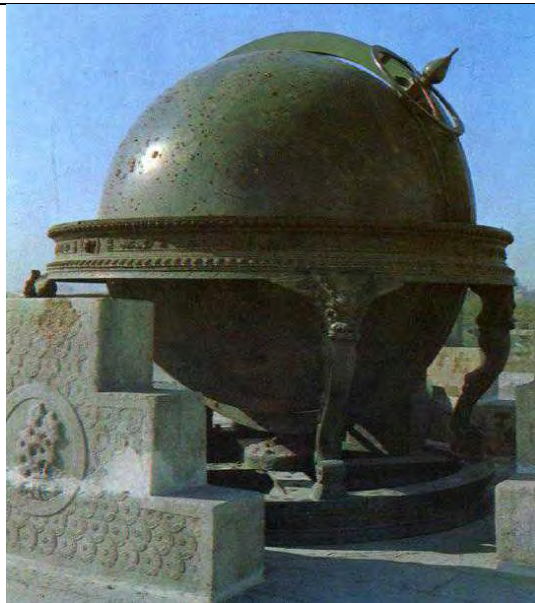
(渾象、渾儀、水運儀象台、星盤、天球儀、經緯儀、赤道儀)。

中國古代的宇宙學說在漢代以前就已經形成，主要可分成三派：渾天說、蓋天說和宣夜說三個學說。東漢張衡則將「渾天說」發展成為一套系統的理論，而渾儀和渾象就是按照渾天說所發展出來觀測和表現天空情況的天文儀器，我們透過網路收集古代及現代的天文儀器資料，並整理如下，來確認我們要發展的新式渾天儀該具有何種功用。(參考資料5 ~ 參考資料10)

(一) 古代基礎天文儀器

1. 「**渾象**」又叫渾天儀、天體儀，它是一種教學、演示天體視運動的儀器，也就是天體運動模擬儀器；它是將日、月、二十八星宿等天體以及赤道、黃道都繪製在一個圓球面上，能使人們不受日夜時間、陰雨天候的限制，隨時瞭解當時的天象。渾象不但位置精準不差，可以補足肉眼無法觀測的空白，而且能幫人們直覺地理解日月星辰的運動規律。
2. 「**渾儀**」是觀測天象(天體)座標的儀器，渾儀主要由中空的窺管(下圖圓球中央的直管)與支撐的四游儀(四個圓球中，最中心的兩個)所組成。其中「窺管」類似現代的望遠筒，但中無鏡片。除窺管與四游儀外，另有各種有角度刻劃與天文意義的環圈和支承結構，諸如地平圈，子午圈、卯酉環、赤道環、黃道環與白道環... 等等。
3. 「**水運儀象台**」是北宋科學家蘇頌依據各家的方法所製造的古代自動天文台。水運儀象台共分三層，上層是觀測天體的渾儀，中層是演示天象的渾象，下層是使

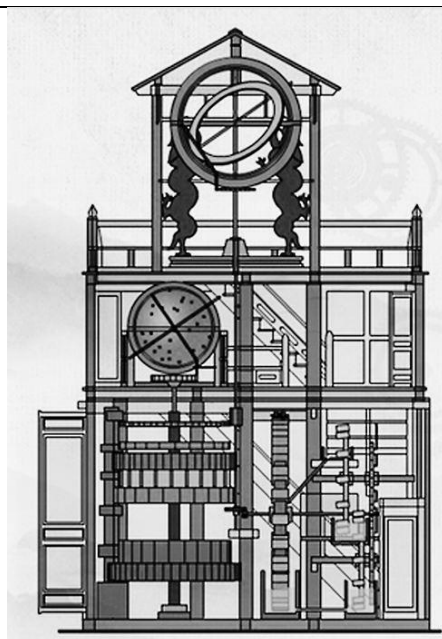
渾儀、渾象隨天體運動而報時的機械裝置。它兼有觀測天體運行，演示天象變化以及隨天象推移而有木人自動敲鐘、擊鼓、搖鈴，準確報時的三種功用。



渾象



渾儀



水運儀象台剖面圖



水運儀象台外觀

4. 「星盤」是古希臘的一項發明，是古代天文學家、占星師和航海家用來進行天文測量的一項重要的天文儀器，用途非常廣泛，包括定位和預測太陽、月亮、金星、火星相關天體在宇宙中的位置，確定本地時間和經緯度，也是一種用來測量恆星的高度以及黃道十二宮的儀器。它正面有常見的亮星星圖，類似現在的星座盤，背面有可以測量星體高度角的設計。



星盤正面



星盤背面

(二) 現代基礎天文儀器

1. 「**天球儀**」是將星空表示在一個球上的一種天文儀器。在天球儀的特色是上面**恆星**和**星座**的位置可以不變形地顯示出來，但是觀看天球儀的人是從儀器的外面來看它上面顯示的星座，它與我們肉眼看星空所看到的景象是鏡像反射(**左右顛倒**)。(參考資料11)



以地平為中心的天球儀



以地球為中心的天球儀



天球儀星座的形狀和眼睛直視星空鏡像反射，比對右邊星空軟體(獵戶座)



星空軟體星座的形狀和眼睛直視星空一致，比對左邊天球儀照鏡子(獵戶座)

2. 「**經緯儀**」或「**高度方位架台**」是一種簡單的可以支撐和旋轉的雙座標軸架台，這兩個軸互相垂直，一根是水平軸 (**高度軸**)，另一根是垂直軸 (**方位軸**)。經緯儀需要以**變速**轉動兩個軸才能追蹤固定在天球上的天體。此類架台結構簡單，成本較低，可配合**望遠鏡**、**照相機**、**天線**或**太陽能電池板**等儀器使用。



經緯儀+望遠鏡



經緯儀仰角刻度



經緯儀方位角刻度

3. 「赤道儀」是只以一根平行於地球自轉軸旋轉的赤經軸，就能追隨著天空（[天球](#)）旋轉的儀器裝置，赤道儀的優勢在於只需要驅動赤經軸以**固定的速率(23小時56分鐘旋轉一周)**，聯接在其上的裝置就可以追蹤天空中以**周日運動**運行的任何天體。



赤道儀+望遠鏡



赤道儀赤經刻度



赤道儀赤緯刻度

三.探討市售星座盤的構成部分、所能達到的觀測結果及尚需改良的地方。

星座盤的使用很方便，只要把要觀測的日期、時間對準之後，就能呈現當時的星空狀態，透過網線圖的仰角、方位角刻度，我們可以知道星星的位置。座盤的使用依面對的方向不同，使用時可分以下兩種。



面對北方天空使用正面

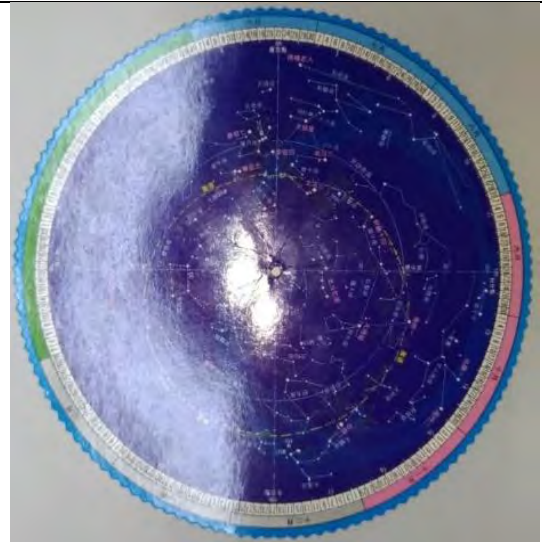


面對南方天空使用背面

(一) 面對北方天空使用正面



上盤包括時間圈(逆時針方向)，及透明網線圖，包括方位、高度角刻度。



下盤包括外環的日期圈(順時針方向)，及以天北極為中心的圓形星圖

(二) 面對南方天空使用背面

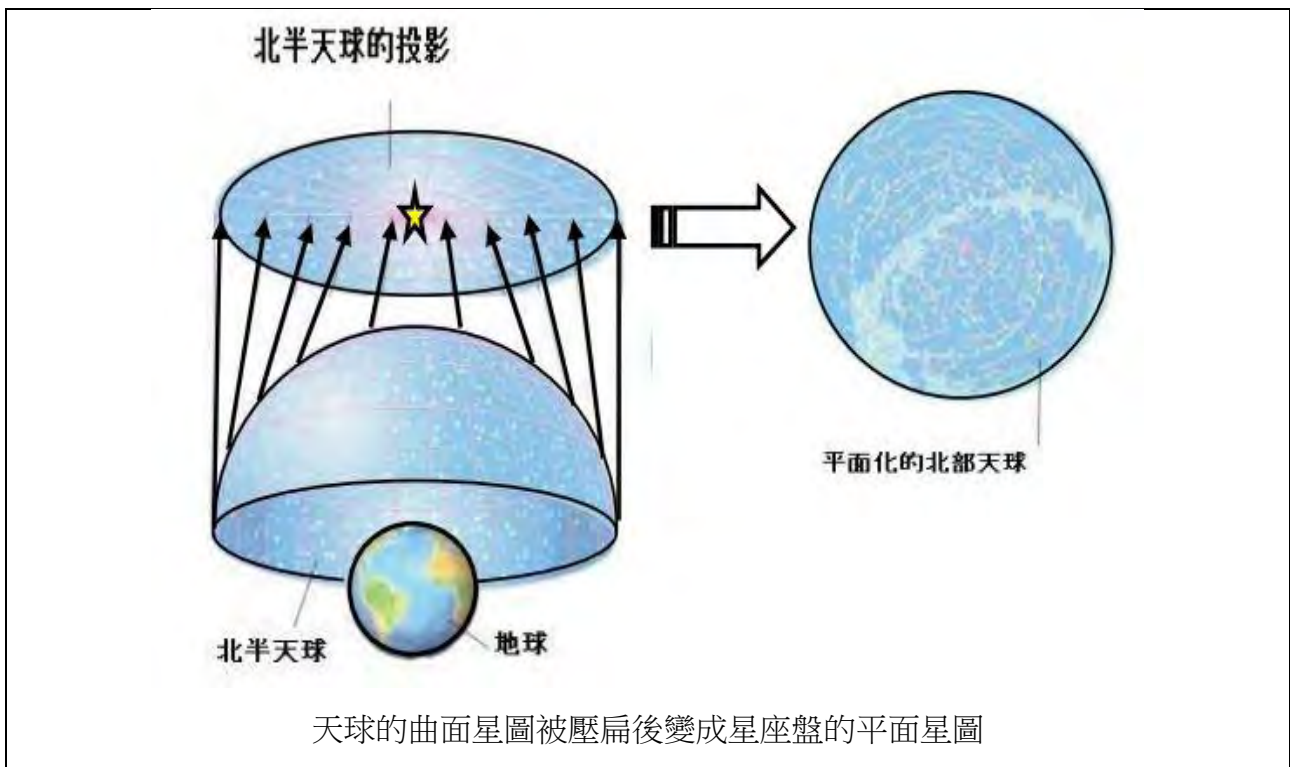


上盤包括時間圈(順時針方向)，及透明網線圖，包括方位、高度角刻度。



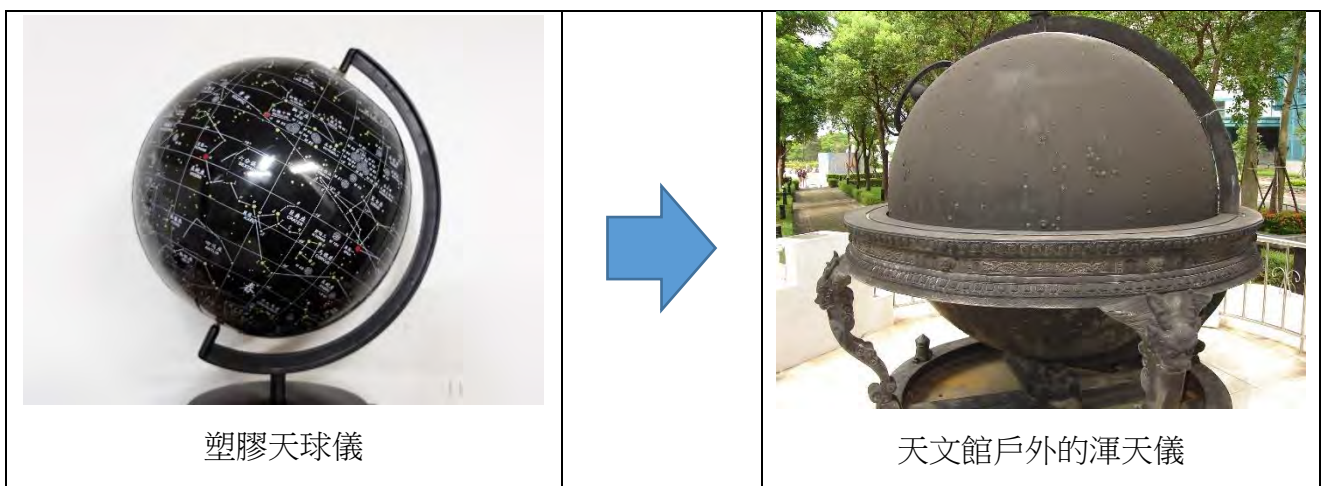
下盤包括外環的日期圈(逆時針方向)，及以天南極為中心的圓形星圖

星座盤雖然有容易使用的優點，但是有不太精確的問題，因為它是將立體星空壓扁成一個平面，所以在顯示星座圖案時會稍有變化，星座盤的星座愈靠近邊緣，變形愈大。當我們面對北方星空，用星座盤來比對星星時，北方天空的星座圖形沒什麼大問題，但是如果我們用星座盤來比對東方或西方天空中的星座時，則星座的圖案則更是變形嚴重。(參考資料 12)



四.探討新式渾天儀 (立體星座儀)如何設計改良

在了解星座盤的問題後，我們認為球面星圖比平面星圖更能正確展示星星在天上的位置，加上我們知道古代的渾天儀是可以演示天體視運動的儀器後，讓我們想到如果將自然教室的天球儀改成為像古代的渾天儀，就可以利用它來認識不同地區、日期、時間的星空。



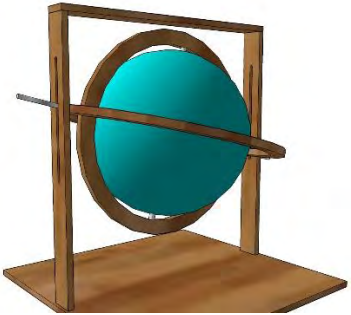
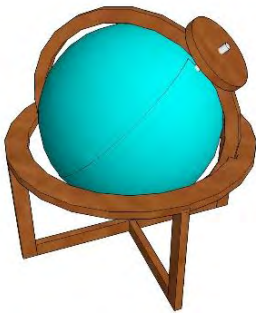
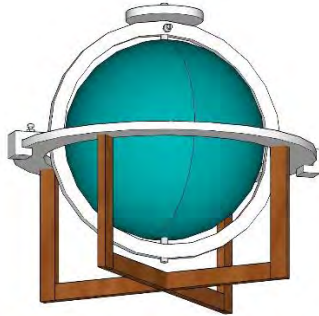
首先我們比較塑膠天球儀和古代渾天儀，藉由比較兩者的共通性和相異點來進行改良。

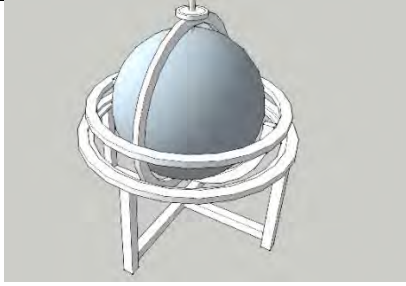
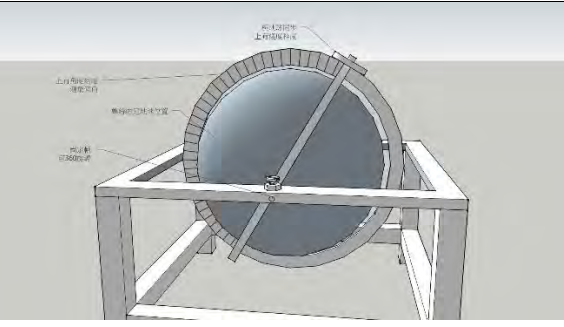
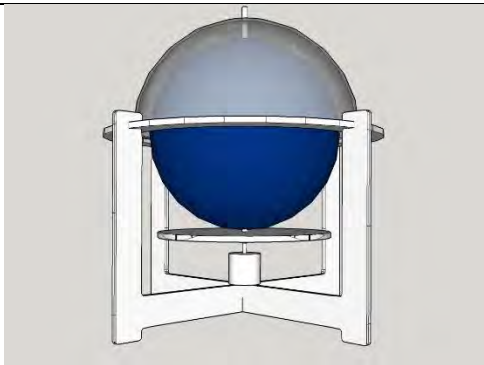
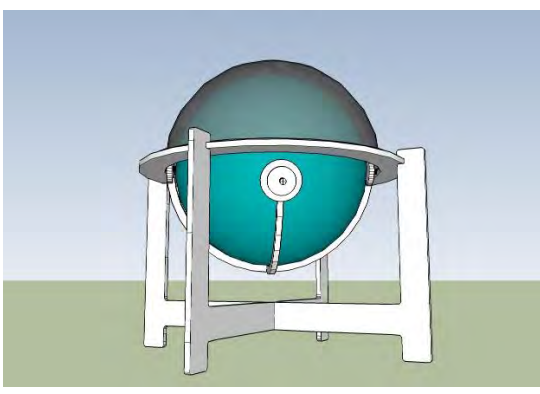
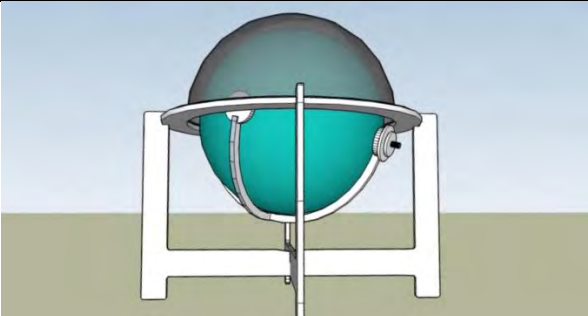
	塑膠天球儀	渾天儀
共同性	表面有星圖(西方星座) 有 360 度旋轉的軸及垂直方向的緯度刻度。	表面有星圖(中國星宿) 有 360 度旋轉的軸及垂直方向的緯度刻度。

相異點	旋轉軸傾斜固定約 65 度 沒有水平方向的環	旋轉軸傾斜成當地的緯度 有水平方向的方位刻度 (方位環)
-----	---------------------------	---------------------------------

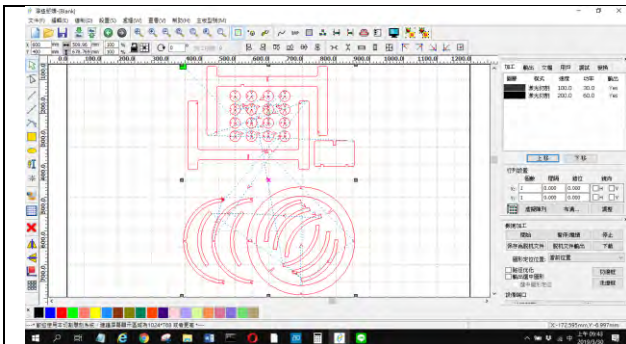
由於設計需要反覆更改，加上市面上我們沒有找到可以進行直接修改的圓球框架底座，所以渾天儀的底座需要自己設計，我們透過家長的協助，利用 SketchUp 3D 設計軟體，幫我們的需求先在電腦系統中建立模組，讓我們可以進行討論及修改。

首先我們希望設計的渾天儀底座功能上具備，使天球旋轉軸可以旋轉360度，並使旋轉軸能固定成特定的角度 (因為此旋轉軸要和地軸平行，必須要能對準北極星，即面對正北方抬高仰角成當地的緯度)，也就是旋轉軸要朝南北方向，且可以調成整傾斜成 -90度到+90度，我們將討論及修改的過程整理如下：

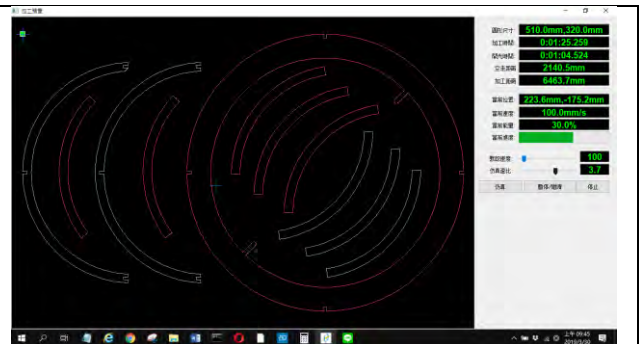
修改過程	電腦圖示	說明
初稿		一開始，我們研究設計把球體固定的裝置(方形木框)，並讓它旋轉軸可以 360 度旋轉、而且朝向南北極兩端的旋轉軸必須可以上下調整，使旋轉軸傾斜不同的角度，讓它可以對準北極星(抬高仰角成當地緯度)。
第二次修正		上圖的旋轉軸仰角無法達到 90 度，因此我們將垂直方框改成水平圓框，並加上固定支架，讓旋轉軸傾斜角度可以調整 0-90 度。並在北極軸區加一圈日期圓盤。但還無法固定轉 360 度的球體。
第三次修正		此次修正更改球體底部基座固定孔的大小，以增加摩擦力，讓球在轉動位置後可固定。

第四次修正		此次修正增加方位角的水平環，但好像將方位角刻度做在上圖的水平圓框即可，不太需要加一個水平圓環。
第五次修正		此次修正增加高度角的刻度，可將轉軸指向北極星，去掉一個水平圓環並改固定方框，將方框加螺絲，以固定旋轉軸傾斜角度。
第六次修正		我們希望模仿星座盤有方位角，仰角的透明膠片刻度，所以我們改用透明天空模型，在罩子上畫上方位角及高度角的線。並將日期盤放大改放到下面(像星座盤外環大圈的日期圈)。
第七次修正		上圖發現，旋轉軸又被固定住，且日期盤太大也會影響旋轉軸可以傾斜的角度，因此要再改良。先移除日期盤，改由相互垂直的兩個半圓支架支撐天球，這樣上半部天球就比較不會被支架遮到，又可以維持旋轉軸 360 度旋轉，及軸可以傾斜的靈活性。
第八次修正		最後在北極或南極加上小圓盤時間刻盤、小圓盤日期刻盤，就大致完成。

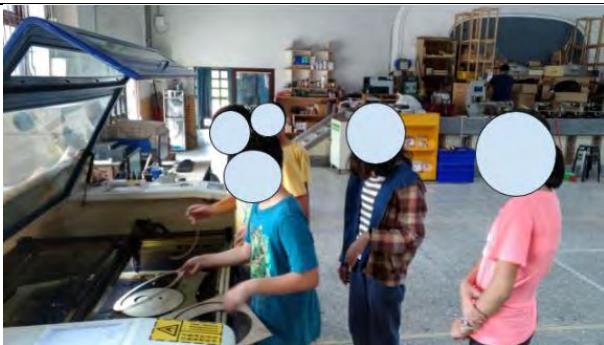
完成模型設計後，就進行圖檔輸出，然後利用雷射切割機來切割椴木板做成底座，再將透明天空模型及塑膠天球儀組裝成品。



將設計圖導入 RDWorksV8 切割軟體



系統模擬切割



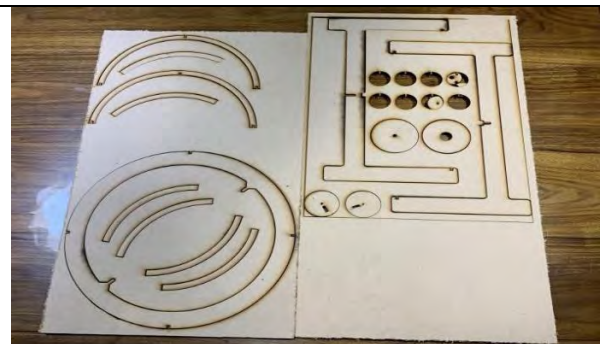
進行雷射切割



進行組裝



所有零件



切割模型(尚未組成)



結構零件



結構零件



結構零件



天球及天空模型

雷射切割後將各部分零件組合後的成品外觀如下:



本體(俯視圖)

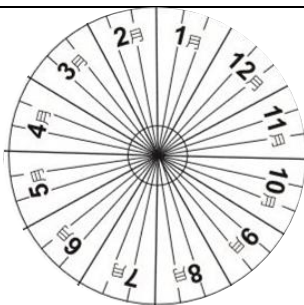


本體(側面)

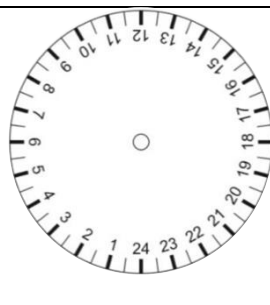


北極面向前

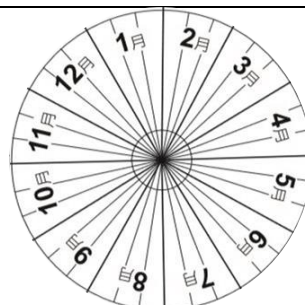
接著我們模仿星座盤的日期盤及時間盤，由於新式渾天儀和星座盤所採用的觀看視角不同，新式渾天儀是由外向內看，星座盤是由內向外看，因此兩者的數字順序相反。以下是我們設計放在天球北極(天球南極)日期盤與時間盤的圖示貼紙。日期盤每月我們再以10天畫一小刻度，時間盤每小時中間我們再以半小時畫一小刻度。



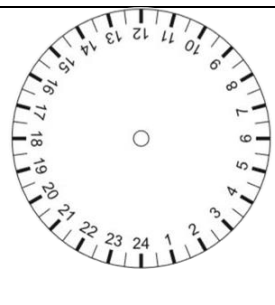
北極日期盤



北極時間盤



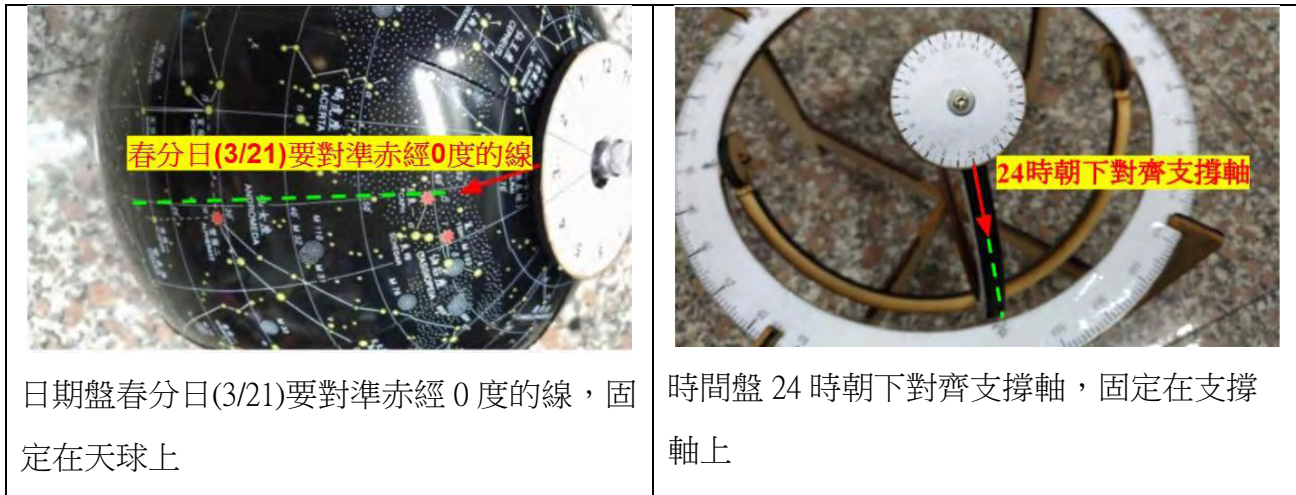
南極日期盤



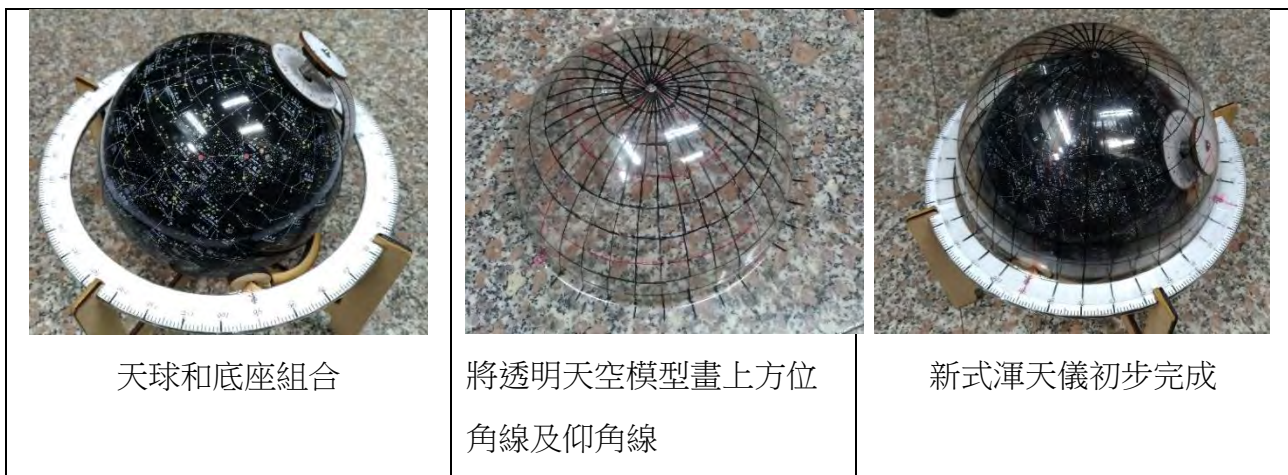
南極時間盤

觀看星座盤，我們知道日期刻度必須要跟隨星圖轉動，而關鍵點就是春分日(3/21)要對準赤經0度的線；同樣的觀看星座盤，我們知道日期刻度必須要12時永遠朝上，24時永遠朝

下，我們因此仿照此法將時間刻度24時朝下，固定不動在北極的支撐軸上，如下圖。



最後我們再將透明天空模型畫上方位及高度角的線，並在水平的方位圈，垂直的仰角圈加上刻度，就完成我們的新式渾天儀。

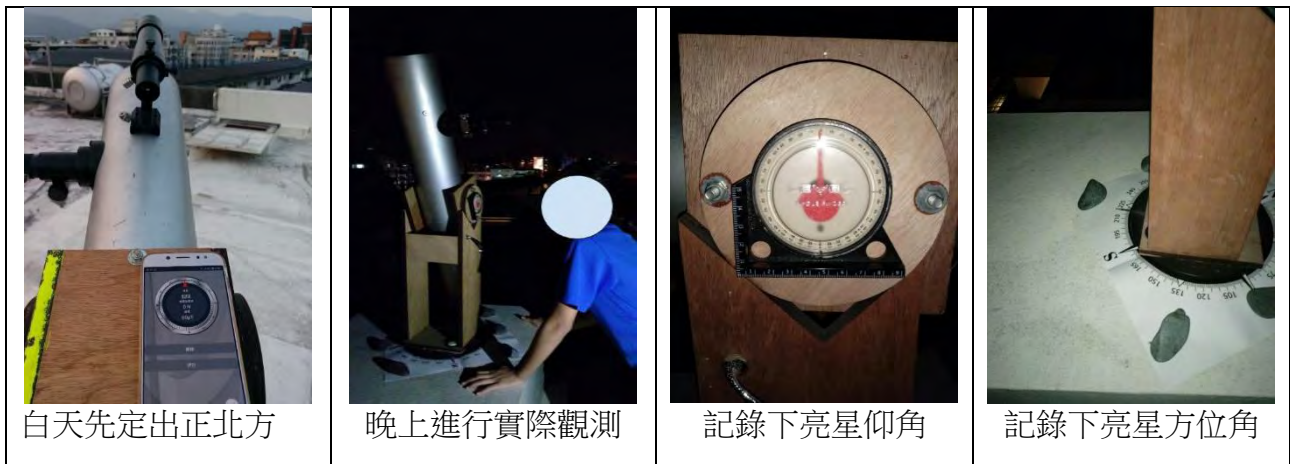


五. 探討新式渾天儀的誤差及模型如何改進以增加實用性

在驗證新式渾天儀的誤差方面，我們分成二階段來驗證，第一階段是利用天文望遠鏡觀察記錄天空亮星的位置(方位角、仰角)，然後和 Stellarium 星空軟體的星星位置相互驗證，以確認 Stellarium 軟體的正確性。第二階段再利用 Stellarium 星空軟體和新式渾天儀做驗證。

(一) 直接觀察記錄天空亮星的方位角、仰角和 Stellarium 星空軟體做驗證

我們選擇目前三月晚上天空中可以看到的亮星來進行驗證，108/3/28晚上7點半到晚上10點半之觀測過程如下面照片所示，利用白天先進行尋星鏡及主鏡的校正，再用手機先定方位(找出正北方)，然後晚上觀察記錄亮星。我們將所觀察到亮星的方位角及仰角，與 Stellarium 星空軟體的亮星資料比對，並整理成附件一。由附件一資料，我們發現兩者方位角誤差取絕對值後的平均值為1.25度，仰角誤差取絕對值後的平均值為1.17度，誤差很小。因此我們確認可以用 Stellarium 星空軟體的模擬資料，可以來替代實際觀測星星的資料。



白天先定出正北方

晚上進行實際觀測

記錄下亮星仰角

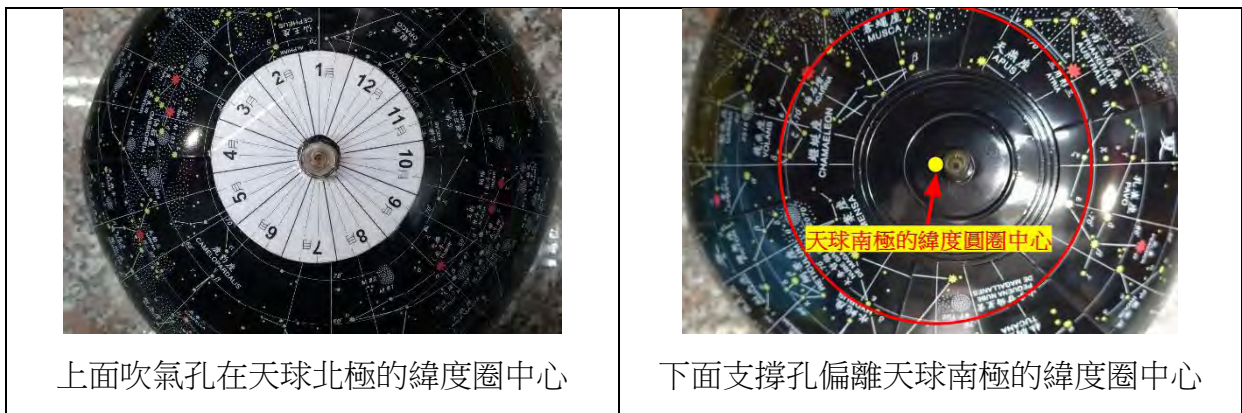
記錄下亮星方位角

(二)運用 Stellarium 星空軟體和新式渾天儀做驗證。

接著我們用新式渾天儀來模擬108/3/28晚上的星空狀態，並和 Stellarium 星空軟體的模擬資料比對，我們將比對資料整理成附件二。由附件二資料，我們發現方位角的誤差範圍： $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ ，仰角的誤差範圍： $-8^{\circ} \sim +11^{\circ}$ ，兩者都誤差過大，因此模型還需要再修正。

(三)進一步修改新式渾天儀來降低誤差(主要進行以下6個修正)

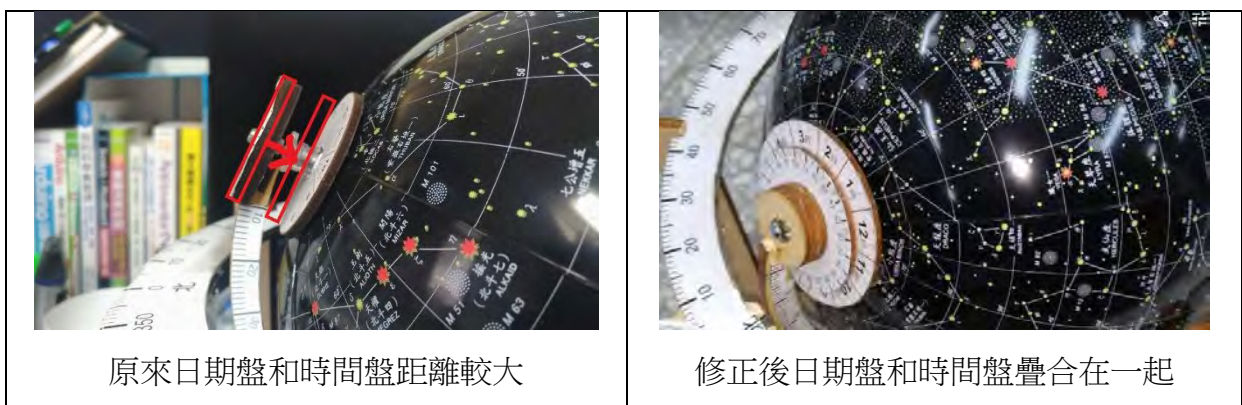
1. 塑膠天球的製作誤差，因為塑膠天球不是正圓，而且星點位置標示並不準確。但是這部分只能緊量找符合標準的天球，並在固定南、北極日期圈時儘量將春分日對齊赤經 0° 。



上面吹氣孔在天球北極的緯度圈中心

下面支撐孔偏離天球南極的緯度圈中心

2. 日期盤及時間盤距離較大，造成判讀誤差。這部分我們重新設計，讓日期盤與時間盤儘量靠近，來減少日期和時間對齊的觀察誤差。



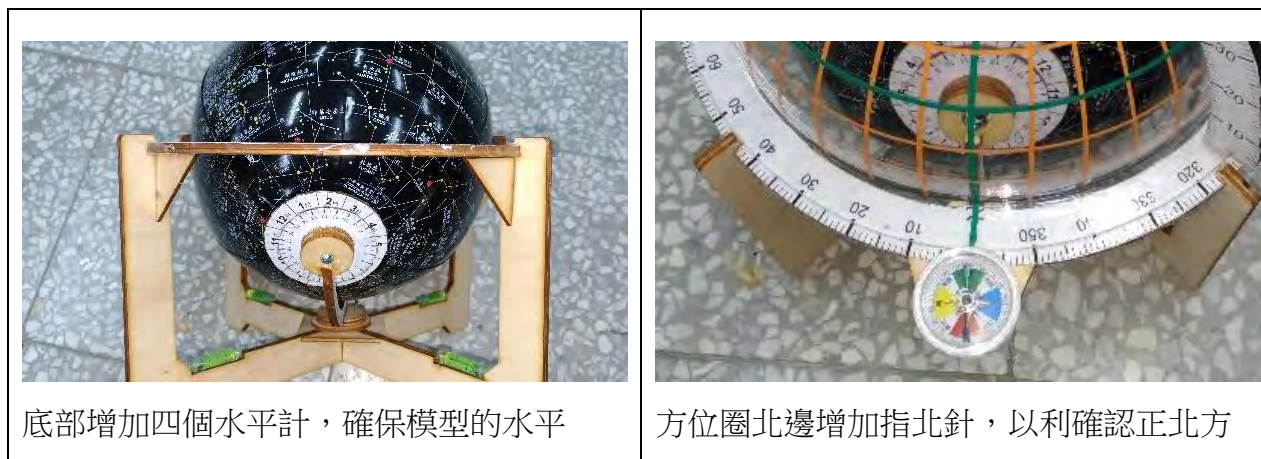
原來日期盤和時間盤距離較大

修正後日期盤和時間盤疊合在一起

3. 組裝底座後並沒有達到天球旋轉時能一直維持球心在底座的正中心。這部分我們稍做修改，重新組裝。
4. 透明天空模型用畫的方位角線及仰角線不精確，改以雷射光的輔助，貼上有顏色的線 Tone。
5. 透明天空模型與天球距離較大，造方位角、仰角判讀誤差。這部分我們修改設計，增加可旋轉的仰角尺標，來減少人為的觀察誤差。



6. 為真的能帶到戶外使用，我們在底部增加四個水平計，以確保模型的水平。並且增加指北針，方便確認正北方。



(四)再次用 Stellarium 星空軟體和進階版的新式渾天儀做驗證

為證明修改後新式渾天儀的準確性，我們設計以下不同的條件來驗證常見亮星的位置:

1. 地區部分: 北半球(N23度、N70度)，南半球(S10度、S40度)
2. 日期部分: 1月1日、3月1日、4月1日、6月1日、7月1日、9月1日、10月1日、12月1日
3. 時間部分: 早上3點、晚上9點

我們將修改後新式渾天儀實驗模擬數據和 Stellarium 星空軟體資料的比較，整理成附件三(北

半球地區)、附件四(南半球地區)。

六. 探討星星在天空如何定位(地球公轉與自轉的運轉規律對星空的影響)

我們已經可以利用新式渾天儀簡單將星星定位，另外我們也想從天文計算的角度來探討星星定位問題。

由於地球的自轉和公轉都是由西向東，因此我們看到天空的星星、太陽都是由東向西移動。只是往北邊天空看，星星繞北極點逆時針方向旋轉；往南邊天空看，星星繞南極點順時針方向旋轉的差異。而公轉與自轉的快慢不同，所造成星星轉動的效果也不同。

(一)地球公轉效應造成的星星轉動的角度計算:

地球一年繞太陽公轉一圈(由上往下看逆時針)叫1恆星年，1恆星年等於365日6小時9分鐘10秒(4年一次潤年，平均一年為365.25天)，表現在天空就是星星每天往西邊 $360/(365+6/24+9/1440+10/86400)=0.99$ (度/天)，如果我們往北邊看，就是逆時針轉0.99(度/天)，往南邊看就是順時針轉0.99(度/天)。

(二)地球自轉效應造成的星星轉動的角度計算:

地球一日自轉一圈(由上往下看逆時針)叫1恆星日，1恆星日=23小時56分4秒，表現在天空就是星星每小時往西邊 $360/(23+56/60+4/3600)=15.04$ (度/小時)，如果我們往北邊看，就是逆時針轉15.04(度/小時)，往南邊看就是順時針轉15.04(度/小時)。

綜合上述(一)(二)的結果就是星星在天空定位的規則。

伍、研究結果

一. 古代與現代的基礎天文儀器，我們可依儀器的構造和功能性，大致可歸類成以下表格。

功能 \ 年代	古代基礎天文儀器(工具)	現代的基礎天文儀器(工具)
演示天體視運動的儀器	立體: 渾象(天體儀、渾天儀) 平面: 星盤、古典星圖	立體: 天球儀、立體星空投影設備 平面: 星座盤、電子星圖
觀測天體位置(座標)的儀器	渾儀、簡儀 (其中「窺管」類似現代的望遠筒，但中無鏡片)。	赤道儀+望遠鏡 經緯儀+望遠鏡

我們本研究主要是改良塑膠天球儀，讓它成為能演示天體視運動的渾天儀，也就是立體星座儀，改善星座盤的問題。

二. 新式渾天儀與星座盤、天球儀在功能上的差異分析。

	具備的功能	新式渾天儀	星座盤	天球儀
1	將日期和時間對準，能知道星體的方位角及高度角。	V	X (只能知道大致方位及高度角)	X
2	能知道星體的赤經、赤緯	V	X	V
3	星座圖案在往任何方位看都不會變形	V	X	V
4	星座圖案和眼睛看像星空的星座是否一致	X (左右鏡射)	V	X (左右鏡射)
5	在任何緯度都能正確使用	V	X (星圖要調整)	X (以地平為中心的天球儀才能用)

三. 新式渾天儀和星座盤的日期與時間數字順序有何關係?

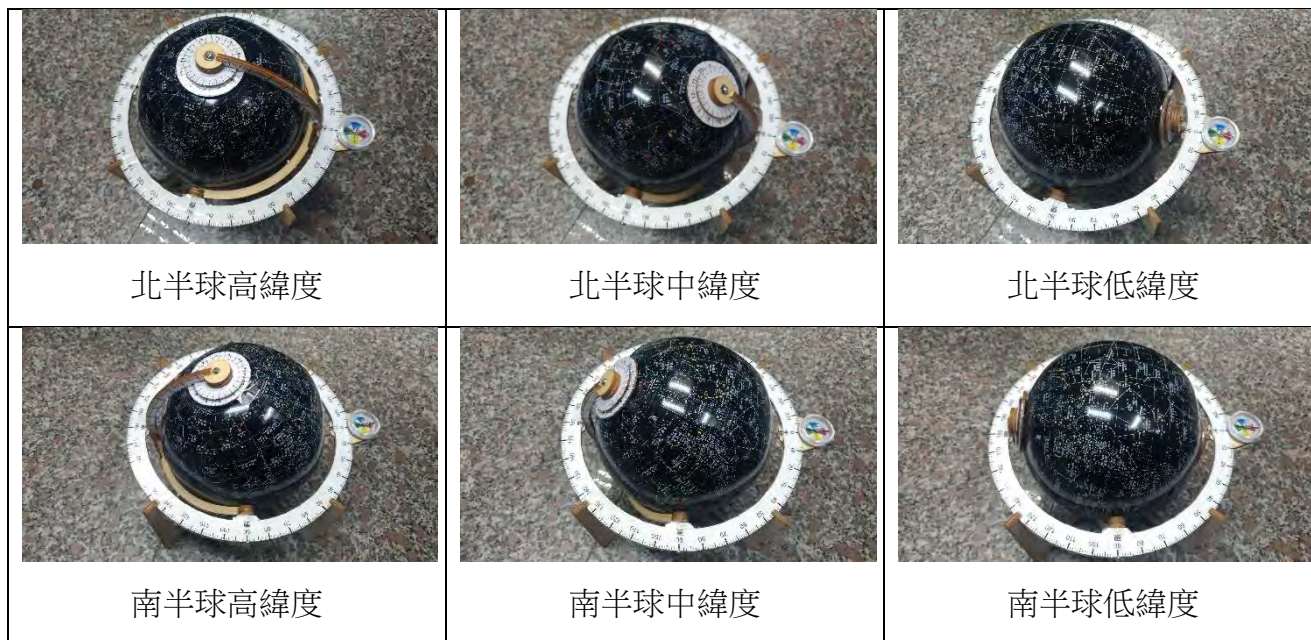
由於新式渾天儀和星座盤所採用的觀看視角不同，新式渾天儀是由外向內看，星座盤是由內向外看，因此兩者的數字順序相反；而從北極方向看和從南極方向看，數字順序也是剛好相反。

	新式渾天儀 (往北極看)	星座盤 (往北方看)	新式渾天儀 (往南極看)	星座盤 (往南方看)
日期盤數字方向	逆時針	順時針	順時針	逆時針
時間盤數字方向	順時針	逆時針 (星星繞北極星)	逆時針	順時針 (星星繞南極點)



四. 新式渾天儀在在南北半球、不同緯度地區都能使用。

我們設計的新式渾天儀在在北半(南半)球都可以使用，能適用於各種緯度地區，在北半球(南半球)使用時，將旋轉軸抬高仰角成當地的緯度，然後旋轉天球將日期和時間對準即可，如下圖，我們調成南、北半球高、中、低緯度的形況(為看清楚一點，我們將天空模型取下)。



五. 研究過程中我們探討新式渾天儀的誤差驗證，分成兩階段來探討，其結果如下:

(一)第一階段用戶外實際觀測，我們確認 Stellarium 星空軟體有正確性。

我們整個晚上觀察亮星兩輪的結果(附件一)，發現觀察資料竟然和 Stellarium 星空軟體的模擬資料差不多，整理如下表。

	誤差的變化範圍	誤差取絕對值後的平均值
直接觀察和 Stellarium 星空軟體 在方位角的比較	0 度 ~ +4 度	1.25 度
直接觀察和 Stellarium 星空軟體 在仰角的比較	-2 度 ~ +2.5 度	1.17 度

因為直接戶外觀察和 Stellarium 星空軟體的數據資料誤差很小，所以我們推論可以用 Stellarium 星空軟體來模擬不同日期，不同時間的星星位置資料，並且可以當作驗證新式渾天儀的基本數據。(當然最好多一些戶外驗證的證據，更能證明 Stellarium 星空軟體的可靠)

(二)第二階段用 Stellarium 星空軟體和修改後的新式渾天儀做驗證，我們確認所設計的新式渾天儀觀念是正確的。附件三(北半球)、附件四(南半球)的實驗數據，我們整理如下表。我們認為我們所設計的新式渾天儀比起常見的星座盤更具實用性，而且只要提升我們的製

作水準和採用較高精密度且穩固的材料，相信誤差會越來越小。

	誤差的變化範圍	誤差取絕對值後的平均值
進階版的新式渾天儀模擬和 Stellarium 軟體在方位角的比較	-7 度 ~ +7 度(北半球) -6 度 ~ +7 度(南半球)	2.84 度(北半球) 3.03 度(南半球)
進階版的新式渾天儀模擬和 Stellarium 軟體在仰角的比較	-7 度 ~ +1 度(北半球) -7 度 ~ +6 度(南半球)	2.94 度(北半球) 3.06 度(南半球)

陸、討論

一.如何提高新式渾天儀精確度

要提高新式渾天儀的精確度必須包含以下幾點:

- (一) 天球儀上上面的星體位置(赤經、赤緯)必須準確。
- (二) 各部分零件尺寸大小必須製作精確，零件安裝必須準確、包括同軸心、同圓心。尤其中間天球在轉動時，天球中心要保持在天空模型的中心。

根據我們的實驗數據，我們發現用 DIY 的經緯式天文望遠鏡來觀測星星，所得的資料和 Stellarium 星空軟體較接近，應該是 DIY 的經緯式天文望遠鏡製作比較準確，各個部份零件穩定度較高，且觀測技巧較好。

我們設計的新式渾天儀，雖然設計構想能達到我們要的功能，但是機構之間的穩定度不夠，尤其塑膠氣球稍微擠壓就變形，加上組裝無法精確到位，天球旋轉時不易保持在天空模型的中心，因此誤差就產生了。在觀測時更是會因為觀察角度的問題，產生很大的誤差(理論上是眼睛要朝天球的中心看去，可是天空模型和天球大小不同，半徑約差2公分，在觀察時不易看得十分精準)。所以比較好的方式應該是所用的天空模型和天球的大小要接近，可是兩者大小太接近，日期盤和時間盤又放不進天空模型裡面去，更何況日期盤和時間盤要越大越好，才能降低觀察誤差，因此存在製作技術上的兩難。

而當我們要拿到戶外驗證時，還要加上以下條件:

- (三) 旋轉軸抬高成當地的緯度必須正確，我們已在南北垂直方向加上仰角刻度。
- (四) 整個模型必須保持水平，我們已在底座加上四個水平計控管。
- (五) 旋轉軸必須對其正北方(正南方)，非磁北方，我們已加上指北針控管。

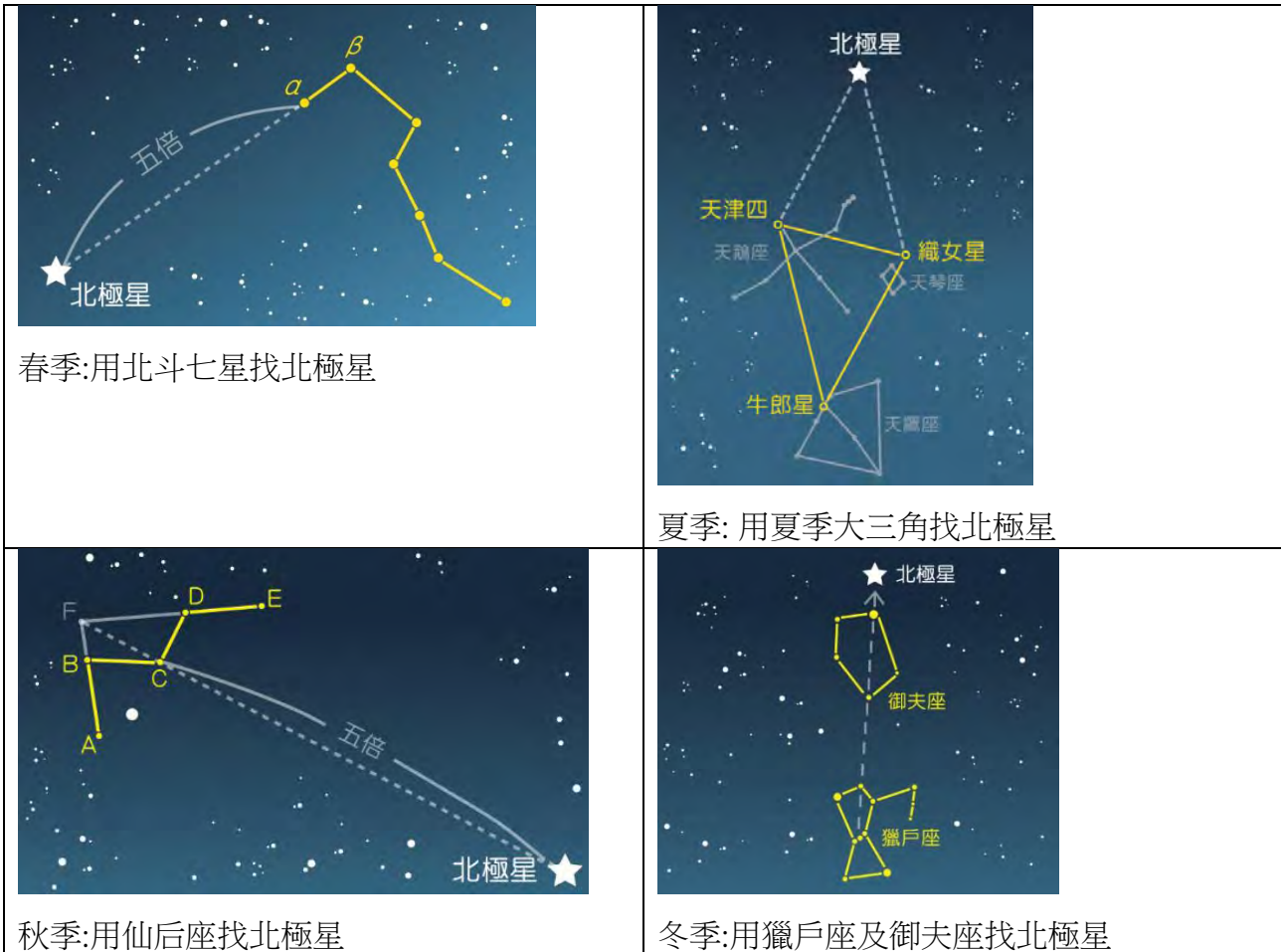
二. 在減少誤差部分，確認正(真)北方非常重要，我們可用以下四種方式來確認證北方:

(方法一):手機下載指北針(羅盤)APP，找出正(真)北方。

(方法二):用指北針找出磁北方，再補上磁偏角的角度差，就是正北方，以實驗地區而言，正北方是磁北方再順時針轉4度。(參考資料13)

那如果沒有智慧型手機或沒有指北針的時候，我們要如何判斷方位呢，可利用以下兩種方法:

(方法三):利用四季明顯星座找北極星，北極星的方位就是正(真)北方。(參考資料14)



(方法四):查詢中央氣象局當地當日日中天的時間(參考資料15)，利用中午在地上做記號，因為北半球太陽運行軌跡偏南，日中天時太陽會在正南方，影子會在正北方。

例如2019/3/30實驗 地區太陽的日中天時刻為11:58，這時垂直線(垂直物體)的影子會在正北方，我們可在地上畫線或貼上膠帶標出正北方，晚上觀星要對正北方時就可使用。不必為北極星被擋到或手機、指北針受磁性物質影響不準而煩惱。



三.從天文計算角度，我們討論在赤道座標系統中，如何透過查詢亮星的赤經、赤緯資料(參考資料16，附件五)，再根據星星在天空的運轉規律(地球公轉、自轉效應)將星星定位，也就是算出子午線赤經值(子午線當作赤經0度)。

(一)首先我們可從星星的赤緯值需決定往北邊天空或往南邊天空看(以天球東西方向線為標準來定位星星)。

以實驗地區緯度約 24 度來考慮，天球赤道在正南方的高度角為 66 度，赤緯範圍在[-66 度, +24 度]的星星都要往南看，赤緯範圍在[+24 度, +90 度]的星星都要往北看。

以 4 月 8 日，晚上 8 點的天狼星為例，它在赤經 6h 45m 9s (1h=赤經差 15 度)，赤緯-16° 42' 58"的位置。因為天狼星的赤緯約-16.7 度，介於[-66 度, +24 度]之間，所以要找天狼星要往南邊天空看。

(二)進一步我們以子午線(南北方向)當標準，再考慮赤經方向要做往東或往西的角度修正，子午線赤經角度修正計算可分成以下三部份。

1.原本星星距赤經 0 度的角度:

$$6h46m = (6+46/60) \times 15(\text{度}/h) = 101.5 \text{ 度}(\text{往東})$$

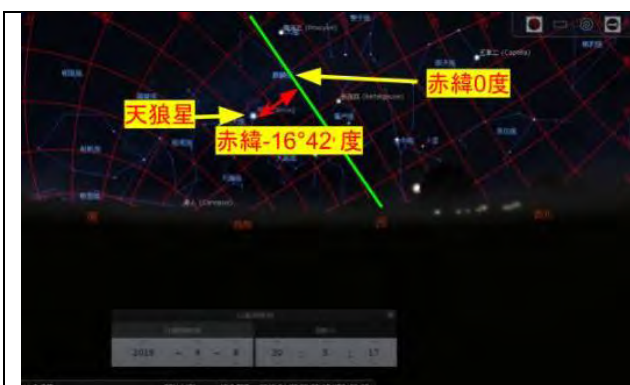
2.地球公轉效應造成的赤經修正(日期):以春分日為中心(2018 的春分日是 3/21)

$$4/8 \sim 3/21 = 18 \text{ 天}, 0.99(\text{度}/\text{天}) \times 18(\text{天}) = 17.82 \text{ 度}(\text{往西})$$

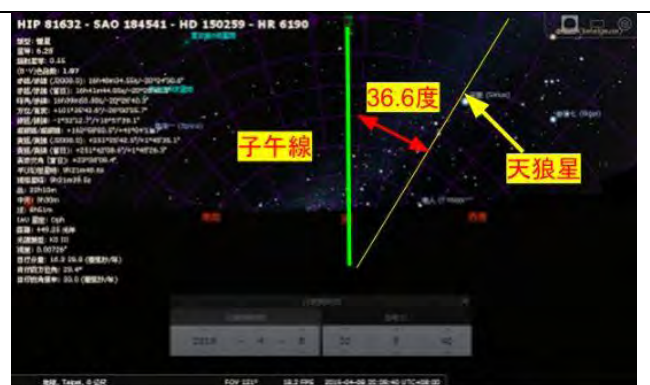
3.地球自轉效應造成的赤經修正(時間):以中午 12 時為中心

$$15.04(\text{度}/\text{時}) \times (20-12)(\text{時}) = 120.32 \text{ 度}(\text{往西})$$

合併以上三個因素，天狼星位於南方天空，赤緯為-16°42' 58"，子午線赤經要往西修正 17.82+120.32-101.5=36.64 度。



4 月 8 日，晚上 8 點的天狼星位於南方天空，赤緯為-16°42' 58"。



4 月 8 日，晚上 8 點的天狼星位於南方天空，子午線赤經值為子午線往西 36.6 度

我們為了證明上述天文計算星星位置的理論，我們這次採用赤道儀加天文望遠鏡來印證，過程如下面照片，紀錄資料如下星星觀測記錄表。



透過尋星尋鏡先定位亮星基本方向，再透過主鏡微調方向。

星星觀測記錄表

記錄地點:頂樓陽台

經度:東經 121.77 度，緯度:北緯 24.68 度

編號	日期	時間	星體	觀測的子午線赤經值	觀測的子午線赤經值	觀測赤緯	星圖赤經	星圖赤經	計算的子午線赤經值	星圖赤緯	星圖赤緯	赤經差	赤緯差
1	108/3/25	21:09	天狼星	21h	315	-17	6h 45.1m	101.3	319	-16° 43′	-16.7	-4.0	-0.3
2	108/3/25	21:43	北河三	21h20m	320	28	7h 45.3m	116.3	326	28° 02′	28.03	-6.0	0.0
3	108/3/25	21:58	南河三	21h50m	327.5	5	7h 39.3m	114.8	321	5° 14′	5.3	6.5	-0.3
4	108/3/27	22:20	南河三	21h20m	320	5	7h 39.3m	114.8	329	5° 14′	5.3	-9.0	-0.3
5	108/3/27	22:27	北河三	21h5m	316.3	28	7h 45.3m	116.3	313	28° 02′	28.03	3.3	0.0

單位:度

上表子午線赤經值是以子午線(南北線)當赤經0度。觀察上表數據，赤緯部分在星圖赤緯和觀察赤緯兩者幾乎一樣不變。而我們發現星圖中星星的赤經數據，透過上述天文計算，可得到**計算出子午線赤經值**，雖然和我們所觀察的子午線赤經值有一些誤差(可能是赤道儀的穩定度不是很好或觀測誤差)，但差異不大，確實能和戶外星空觀察彼此印證，證明我們上述的天文計算觀念是正確的。

上面我們已經算出星星的**子午線赤經值**，跟知道星星的**赤緯**，那我們是否可進一步透過數學計算得到星星的方位角、仰角值呢？而描述天球星體的赤道座標和地平面座標，它們之間又是怎樣的轉換關係呢？我們透過網路查詢找到了方法(參考資料17，如附件六)，但是它的公式太專業了，我們不易理解及應用。可是利用我們設計的新式渾天儀，卻可以很方便就得出星體的方位角及高度角，所以我們的新式渾天儀應該也可以說是一種人工的天文計算器。

四.新式渾天儀將來可以如何進一步改良

如果我們進一步加上動力，讓轉動軸和地球自轉同步，並在外面安裝日月兩圓環代表

黃道、白道，及日月標(日標每晝夜回轉一周外，並沿黃道環日行1度，365.25天沿黃道運行1周；月標每晝夜回轉一周的，每27.3天亦沿白道移動一周；29.5天多，日、月相合一次)，就可以規律地演示出日、月、星象的運轉，就像唐代的水運渾天儀(參考資料18)。



最後成品新式渾天儀



我們模擬製作具有二十八星宿的古代渾天儀

柒、結論

- 一. 我們的作品新式渾天儀(立體星座儀)，是一種演示天體運動的模擬儀器。只要指定觀察地區的緯度、日期、時間，轉動新式渾天儀，使轉動軸往南北方向抬高成當地的緯度，並將日期時間對齊，就能呈現當時的星空狀態。
- 二. 我們製作的新式渾天儀與 Stellarium 星空軟體，經過南北半球地區實驗比對驗證亮星的位置(方位角、仰角)，誤差的變化範圍都在-7度 ~ +7度，而且誤差取絕對值後的平均值都小於等於3.06度，就戶外找亮星的實用性而言已經夠用了，因為亮星之間通常距離很遠。
- 三. 如果我們可以選用製作更精準的塑膠天球(準確標示星點位置的天球)，並將透明罩緊密貼緊天球，在可能範圍內放大日期盤及時間盤，並透過可旋轉仰角尺標的幫助，來減少人為的觀察誤差，並且組裝底座需達到天球旋轉時能一直維持球心在底座的正中心，那精準度一定會再提升。
- 四. 從天文計算角度，我們知道可以透過查詢星星的赤經、赤緯資料，根據星星在天空的運轉規律(地球公轉、自轉的影響)來將星星定位，來計算出星星的方位角、仰角，詳細天文計算請參閱討論三。但是我們的新式渾天儀，不需要複雜的公式運算，只要透過簡單操作，就可知道當時星空中每一顆星星的方位角及高度角，所以它也可以說是方便好用的手工天文計算機。
- 五. 立體新式渾天儀和平面星座盤的操作一樣簡單，但是它的優點是比星座盤更能準確指出

星星的位置，並且星座不會有變形的情形，但是其缺點是所看到的星座圖案，和我們抬頭所看到天空的星座圖案會有左右相反的問題，因為一個是由內往外看，一個是由外往內看。要到戶外比對星空時，當新式渾天儀設定好後，只要將天球球心及表面星點的連線往外延長出去，就能正確指到天空中的星星。

六.新式渾天儀攜帶到世界任何地區都可使用，不像星座盤只能在固定區域使用，在不同地區(緯度)，星座盤要更換下盤星圖及調整上下盤的相對位置。

七.我們的新式渾天儀外面有刻度的透明罩能顯示星星的方位角及仰角，比起一開始自然教室的塑膠天球儀只能知道星星彼此之間的相對位置(赤經、赤緯)，我們創造的新式渾天儀更具教學價值。

八.如果我們把天球儀表面上的星座換成中國的星宿，拿開透明天空模型，就是變成古代中國的渾天儀，如果我們加上動力，讓轉動軸和地球自轉同步，並在外面安裝日月兩圓環代表黃道、白道及日月標，就可以規律地演示出日、月、星象的運轉，讓我們可以直覺的觀察體驗星體運轉的奧妙，就像唐代的水運渾天儀一樣。

捌、參考資料及其他

1.認識天球座標系統

http://aeaa.nmns.edu.tw/aeaa/courses/2006_courses/lec03.html

2.天球座標

https://market.cloud.edu.tw/content/senior/earth/tp_ml/celestial/celesphere.htm

3.AEEA 天文教育資訊網 赤道座標系

<http://aeaa.nmns.edu.tw/2001/0109/ap010905.html>

4.赤道座標圖

<http://www2.pymhs.tyc.edu.tw/edu/nat/earthscience/course/101LT1-2ADD.pdf>

5.中國古代天文儀器介紹影片

<https://www.youtube.com/watch?v=OYiJbfOplHU>

6.渾儀

http://web2.nmns.edu.tw/Web-Title/china/A-1-22_operating2.htm

7.渾儀&渾象

http://chungfa123.blogspot.com/2011/02/blog-post_5357.html

8.中國古天文觀測儀器(3):渾象

<http://aeaa.nmns.edu.tw/2001/0103/ap010324.html>

9.水運儀象台之歷史沿革

http://web2.nmns.edu.tw/Web-Title/china/A-1-2_display.htm

10.維基百科-星盤

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%98%9F%E7%9B%98>

11.天球儀

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A9%E7%90%83%E4%BB%AA>

12. 天球與星座盤

<http://mail2.cjhs.kh.edu.tw/blog/earth/files/2012/10/e5afa6e7bf92e6b4bbe58b95e4b880e4bdbfe794a8e6989fe5baa7e79ba4e88887e8aa8de8ad98e6989fe7a9ba-0.pdf>

13. 光影捕手：中華民國第 57 屆 屆中小學科學展覽作品，國中組。

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=67&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=2&sid=13614>

14. 星座找北方

<https://pweb.cwb.gov.tw/PopularScience/index.php/astronomy/74-%E5%93%AA%E8%A3%A1%E6%98%AF%E5%8C%97%E6%96%B9%EF%BC%9F%E2%80%94%E5%B0%8B%E6%89%BE%E5%AD%A4%E5%82%B2%E5%8C%97%E6%A5%B5%E6%98%9F>

15. 氣象局網站 日出日沒時間

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

16. 氣象局網站 亮星排行表

<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/astronomy/obser/lightstar.htm>

17. 赤道座標轉換成地平座標系 (Equatorial to Horizontal coordinates)

<http://aeaa.nmns.edu.tw/2001/0109/ap010912.html>

18. 現代鐘表的祖先 – 唐代的水運渾天儀

<http://www.epochtimes.com/b5/2/6/15/n196667.htm>

附件一

戶外亮星實際觀測記錄與 Stellarium 星空軟體比較表

記錄地點:頂樓陽台

經度:東經 121.77 度, 緯度:北緯 24.68 度

編號	日期	時間	星體	觀測方位	觀測仰角	軟體方位	軟體仰角	方位角差 (觀測-軟體)	仰角差 (觀測-軟體)
1	108/3/28	19:24	天狼星	205	46	203	45	2.0	1
2	108/3/28	19:30	五車二	314	53	313	51	1.0	2
3	108/3/28	19:35	參宿四	248	55	246	54	2.0	1
4	108/3/28	19:39	參宿七	239	36	237	36	2.0	0
5	108/3/28	19:45	南河三	205	66	204	68	1.0	-2
6	108/3/28	19:53	北河三	297	82	293	81	4.0	1
7	108/3/28	19:58	軒轅十四	113	61	113	62	0.0	-1
8	108/3/28	20:04	畢宿五	274	35	273	34	1.0	1
9	108/3/28	21:55	大角星	84	35.5	83	36	1.0	-0.5
10	108/3/28	22:03	角宿一	125	35	125	34	0.0	1
11	108/3/28	22:11	天狼星	241	20	240	19	1.0	1
12	108/3/28	22:13	五車二	312	23	311	23	1.0	0
13	108/3/28	22:15	參宿四	269	20	269	19	0.0	1
14	108/3/28	22:17	參宿七	X	X	259	3	X	X
15	108/3/28	22:24	南河三	256.5	40	255	39	1.5	1
16	108/3/28	22:26	北河三	285.5	48	285	47	0.5	1
17	108/3/28	22:29	軒轅十四	227.5	71	224	72	3.5	-1
18	108/3/28	22:30	畢宿五	X	X	287	2	X	X
19	108/3/28	22:32	大角星	87	47	87	44	0.0	3
20	108/3/28	22:34	角宿一	132	42.5	131	40	1.0	2.5

X:表觀察不到

附件二

初版新式渾天儀的實驗記錄與 Stellarium 星空軟體比較表

記錄地點:室內

緯度:北緯25度

編號	日期	時間	星體	新式渾天儀方位	新式渾天儀仰角	軟體方位	軟體仰角	方位角差 (渾天儀-軟體)	仰角差 (渾天儀-軟體)
1	108/3/28	19:24	天狼星	193	42	203	45	-10.0	-3
2	108/3/28	19:30	五車二	323	56	313	51	10.0	5
3	108/3/28	19:35	參宿四	240	52	246	54	-6.0	-2
4	108/3/28	19:39	參宿七	235	38	237	36	-2.0	2
5	108/3/28	19:45	南河三	195	68	204	68	-9.0	0
6	108/3/28	19:53	北河三	303	78	293	81	10.0	-3
7	108/3/28	19:58	軒轅十四	110	58	113	62	-3.0	-4
8	108/3/28	20:04	畢宿五	268	45	273	34	-5.0	11
9	108/3/28	21:55	大角星	82	33	83	36	-1.0	-3
10	108/3/28	22:03	角宿一	124	30	125	34	-1.0	-4
11	108/3/28	22:11	天狼星	243	18	240	19	3.0	-1
12	108/3/28	22:13	五車二	309	20	311	23	-2.0	-3
13	108/3/28	22:15	參宿四	270	15	269	19	1.0	-4
14	108/3/28	22:17	參宿七	261	1	259	3	2.0	-2
15	108/3/28	22:24	南河三	256	31	255	39	1.0	-8
16	108/3/28	22:26	北河三	280	40	285	47	-5.0	-7
17	108/3/28	22:29	軒轅十四	225	65	224	72	1.0	-7
18	108/3/28	22:30	畢宿五	285	0	287	2	-2.0	-2
19	108/3/28	22:32	大角星	90	46	87	44	3.0	2
20	108/3/28	22:34	角宿一	135	32	131	40	4.0	-8

附件三

進階版新式渾天儀的實驗記錄與 Stellarium 星空軟體比較表(北半球)

記錄地點:室內

編號	緯度	日期	時間	星體	新式渾天儀方位	新式渾天儀仰角	軟體方位	軟體仰角	方位角差 (渾天儀- 軟體)	仰角差 (渾天儀- 軟體)
1	N23度	108/4/1	21:00	大角星	84	23	79	26	5	-3
2	N23度	108/4/1	21:00	角宿一	120	23	116	25	4	-2
3	N23度	108/4/1	21:00	軒轅十四	152	74	149	76	3	-2
4	N23度	108/4/1	21:00	天狼星	233	30	231	31	2	-1
5	N23度	108/4/1	21:00	南河三	245	56	242	55	3	1
6	N23度	108/4/1	21:00	參宿七	253	17	252	17	1	0
7	N23度	108/4/1	21:00	北河二	296	59	293	60	3	-1
8	N23度	108/4/1	21:00	畢宿五	279	17	280	18	-1	-1
9	N23度	108/4/1	21:00	開陽	42	36	37	38	5	-2
10	N23度	108/10/1	21:00	五車二	41	2	39	2	2	0
11	N23度	108/10/1	21:00	北落師門	162	30	160	34	2	-4
12	N23度	108/10/1	21:00	牛郎星	242	54	246	59	-4	-5
13	N23度	108/10/1	21:00	大角星	297	44	302	47	-5	-3
14	N23度	108/10/1	21:00	天津四	326	64	333	64	-7	0
15	N23度	108/10/1	21:00	壁宿二	79	55	72	57	7	-2
16	N70度	108/3/1	03:00	五車二	318	32	316	33	2	-1
17	N70度	108/3/1	03:00	畢宿五	320	2	316	2	4	0
18	N70度	108/3/1	03:00	北河三	277	23	277	27	0	-4
19	N70度	108/3/1	03:00	南河三	273	5	269	5	4	0
20	N70度	108/3/1	03:00	軒轅十四	236	24	236	23	0	1
21	N70度	108/3/1	03:00	大角星	169	31	166	38	3	-7
22	N70度	108/3/1	03:00	織女星	90	33	87	40	3	-7
23	N70度	108/3/1	03:00	天津四	61	30	57	37	4	-7
24	N70度	108/12/1	03:00	畢宿五	231	24	231	29	0	-5
25	N70度	108/12/1	03:00	參宿四	210	20	207	25	3	-5
26	N70度	108/12/1	03:00	參宿七	216	8	215	8	1	0
27	N70度	108/12/1	03:00	天狼星	194	3	192	2	2	1
28	N70度	108/12/1	03:00	南河三	181	20	179	25	2	-5
29	N70度	108/12/1	03:00	北河二	183	47	180	51	3	-4
29	N70度	108/12/1	03:00	北河三	177	42	177	47	0	-5
30	N70度	108/12/1	03:00	軒轅十四	141	22	138	27	3	-5
31	N70度	108/12/1	03:00	大角星	79	10	75	15	4	-5
32	N70度	108/12/1	03:00	織女星	16	15	12	20	4	-5
33	N70度	108/12/1	03:00	天津四	351	21	347	27	4	-6

附件四

進階版新式渾天儀的實驗記錄與 Stellarium 星空軟體比較表(南半球)

記錄地點:室內

編號	緯度	日期	時間	星體	新式渾天儀方位	新式渾天儀仰角	軟體方位	軟體仰角	方位角差 (渾天儀-軟體)	仰角差 (渾天儀-軟體)
1	S10度	108/6/1	03:00	北落師門	119	34	120	39	-1	-5
2	S10度	108/6/1	03:00	心宿二	243	36	243	43	0	-7
3	S10度	108/6/1	03:00	天津四	13	32	13	32	0	0
4	S10度	108/6/1	03:00	織女星	343	37	345	39	-2	-2
5	S10度	108/6/1	03:00	大角星	291	8	290	5	1	3
6	S10度	108/6/1	03:00	南門二	214	17	209	17	5	0
7	S10度	108/9/1	03:00	老人星	138	17	142	19	-4	-2
8	S10度	108/9/1	03:00	水委一	175	43	180	42	-5	1
9	S10度	108/9/1	03:00	參宿七	88	30	92	36	-4	-6
10	S10度	108/9/1	03:00	參宿四	75	28	77	23	-2	5
11	S10度	108/9/1	03:00	五車二	36	12	36	15	0	-3
12	S10度	108/9/1	03:00	畢宿五	59	33	59	38	0	-5
13	S10度	108/9/1	03:00	牛郎星	279	7	278	1	1	6
14	S10度	108/9/1	03:00	北落師門	239	45	236	48	3	-3
15	S40度	108/1/1	21:00	老人星	122	62	128	60	-6	2
16	S40度	108/1/1	21:00	水委一	226	60	219	63	7	-3
17	S40度	108/1/1	21:00	參宿四	36	35	40	33	-4	2
18	S40度	108/1/1	21:00	參宿七	33	48	37	52	-4	-4
19	S40度	108/1/1	21:00	畢宿五	11	29	15	32	-4	-3
20	S40度	108/1/1	21:00	南河三	61	18	65	19	-4	-1
21	S40度	108/1/1	21:00	天狼星	65	40	71	45	-6	-5
22	S40度	108/1/1	21:00	北落師門	259	28	256	32	3	-4
23	S40度	108/1/1	21:00	牛郎星	65	12	66	14	-3	-4
24	S40度	108/1/1	21:00	南門二	171	7	172	12	-1	-5
25	S40度	108/7/1	21:00	心宿二	39	71	43	72	4	-1
26	S40度	108/7/1	21:00	大角星	340	25	338	28	2	-3
27	S40度	108/7/1	21:00	角宿一	311	44	306	49	5	-5
28	S40度	108/7/1	21:00	老人星	208	5	204	10	4	-5
29	S40度	108/7/1	21:00	輦道增七	50	3	49	3	1	0
30	S40度	108/7/1	21:00	三角形三	170	56	167	59	3	-3
31	S40度	108/7/1	21:00	北落師門	122	1	125	5	-3	-4
32	S40度	108/7/1	21:00	南門二	203	67	198	67	5	0

附件五

21顆亮星排行表 (參考資料16)

排行	中文星名	西洋星名	所屬星座	視星等	赤經	赤緯	光譜	距離(光年)
1	天狼星	Sirius	大犬座	-1.46	6h 45.1m	-16° 43′	A0,A1	8.6
2	老人星	Canopus	船底座	-0.72	6h 24.0m	-52° 42′	A9	80
3	南門二	Rigel Kentaurus	半人馬座	-0.30	14h 39.6m	-60° 50′	G2,K1	4.3
4	大角星	Arcturus	牧夫座	-0.04	14h 15.7m	19° 11′	K2	30
5	織女星	Vega	天琴座	0.03	18h 36.9m	38° 47′	A0	25
6	五車二	Capella	御夫座	0.08	5h 16.7m	46° 00′	G6,G2	40
7	參宿七	Rigel	獵戶座	0.12	5h 14.5m	-8° 12′	B8	700
8	南河三	Procyon	小犬座	0.38	7h 39.3m	5° 14′	F5	11
9	水委一	Achernar	波江座	0.46	1h 37.7m	-57° 14′	B3	80
10	參宿四	Betelgeuse	獵戶座	0.50	5h 55.2m	7° 24′	M1	500
11	馬腹一	Hadar	半人馬座	0.61	14h 03.8m	-60° 22′	B1	330
12	牛郎星	Altair	天鷹座	0.77	19h 50.8m	8° 52′	A7	16
13	十字架二	Acrux	南十字座	0.80	12h 26.6m	-63° 06′	B1	450
14	畢宿五	Aldebaran	金牛座	0.85	4h 35.9m	16° 31′	K5	60
15	角宿一	Spica	室女座	0.97	13h 25.2m	-11° 10′	B1,B2	350
16	心宿二	Antares	天蠍座	0.96	16h 29.4m	-26° 26′	M2	500
17	北河三	Pollux	雙子座	1.14	7h 45.3m	28° 02′	K0	35
18	北落師門	Fomalhaut	南魚座	1.16	22h 57.6m	-29° 37′	A3	22
19	天津四	Deneb	天鵝座	1.25	20h 41.4m	45° 17′	A2	1800
20	十字架三	Mimosa	南十字座	1.25	12h 47.7m	-59° 41′	B1	500
21	軒轅十四	Regulus	獅子座	1.35	10h 08.4m	11° 58′	B7	70

附件六

赤道座標和地平座標的轉換公式 (參考資料17)

若一天體在赤道座標系中的赤緯 (Dec.) 度數 δ 、赤經 (R.A.) 的度數 H ，觀測者緯度 (the observer's latitude) 為 φ ；而在地平座標系中的方位角 (Azimuth) 度數為 θ 、地平高度仰角 (Altitude) 度數為 α 。則它們滿足著以下的關係式：

$$\sin \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H ;$$

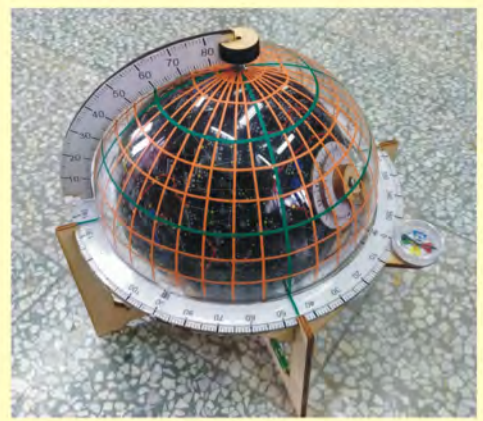
$$\cos \theta = (\cos \varphi \cdot \sin \delta - \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H) / \cos \alpha .$$

因此，利用反三角函數的運算，就可以從赤道座標的 φ 、 δ 和 H 等參數值換算成地平座標系的 α 和 θ 等參數值了。

【評語】 080506

團體合作完成改進渾天儀來做為可於任何緯度使用的新型渾天儀(立體星座盤)，並以實際進行觀測，經與 Stellarium 星空軟體的模擬資料進行比較，探討此新型渾天儀的誤差來源和可能的改進方法。鑒於目前市面上已經有類似的產品，創新性稍嫌不足，雖然難以避免誤差，但最後的成品有相當水準，也許購買的塑膠天球儀本身印刷就有誤差，但團隊能想辦法減少誤差具有不錯之探究精神。

星空地圖-自製渾天儀 (立體星座儀)



科別:地球科學科
組別:國小組

一、研究動機與目的

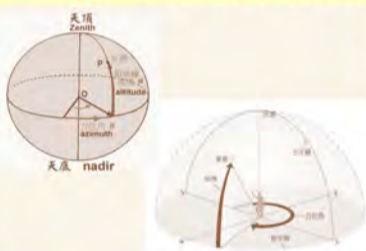
- 1.改善平面星座盤與立體星空視差及星座變形問題
- 2.利用天球座標系統(地平座標、赤道座標)如何定位星星位置
- 3.探討古代與現代基礎天文儀器-渾象(渾天儀、天體儀)、渾儀...
- 4.探討自製渾天儀(立體星座儀)如何設計、改良
- 5.探討星星在天空如何定位(地球公轉與自轉的運轉規律對星空的影響)

二、研究設備及器材

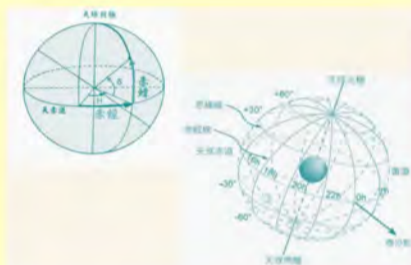
軟體: Stellarium 星空軟體、SketchUp 3D設計軟體、RDWorks V8雷切軟體
硬體:雷射切割機、3mm椴木合板、星座盤、天球儀、透明天空模型、
氣象局網站亮星排行表、經緯儀+望遠鏡、赤道儀+望遠鏡

三、研究過程或方法

(一)天球座標系統



地平座標系統:
以所在地的地平面為基礎平面。
星體位置定位用
[仰角(α)、方位角(θ)]

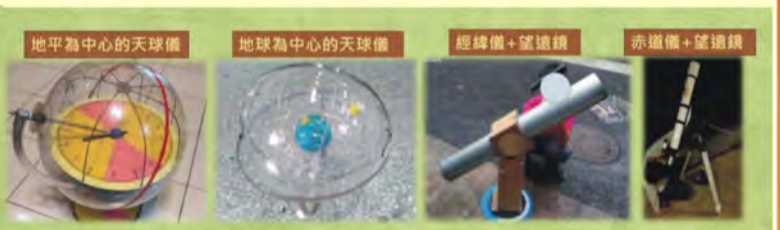


赤道座標系統:
地球經緯線投射至天球上所形成赤經及赤緯。
星體位置定位用
[赤經(RA)、赤緯(Dec)]

(二)探討古代天文儀器

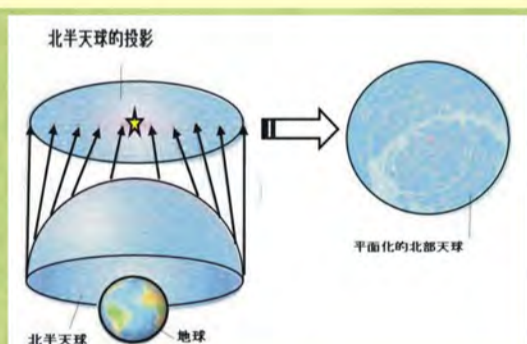


(三)探討現代基礎天文儀器



(四)探討市售星座盤的優缺點

優點:使用方便(日期對準時間)
攜帶方便
缺點:無法精確定位天空中星星的位置,平面星座盤與立體星空有視差,星座圖案會產生變形。



※天球的曲面星圖被壓扁後變成星座盤的平面星圖

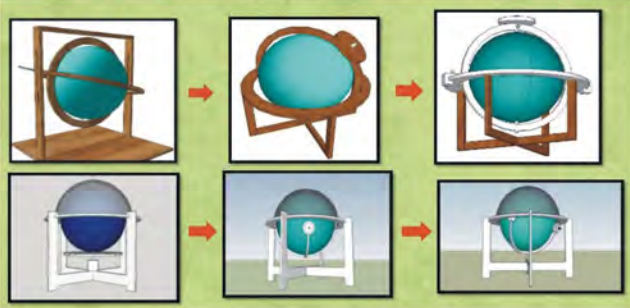
(五)探討自製渾天儀(立體星座儀)如何設計、改良

天球儀與渾天儀的比較



品項/性質	塑膠天球儀	渾天儀
共同性	表面有星圖(西方星座) 有360度旋轉的軸及垂直方向的緯度刻度。	表面有星圖(中國星宿) 有360度旋轉的軸及垂直方向的緯度刻度。
相異點	旋轉軸傾斜固定,約65度 沒有水平方向的環	旋轉軸傾斜成當地緯度 有水平方向的方位刻度(方位環)

自製渾天儀構思設計修改的演進



雷射切割自製渾天儀底座支架



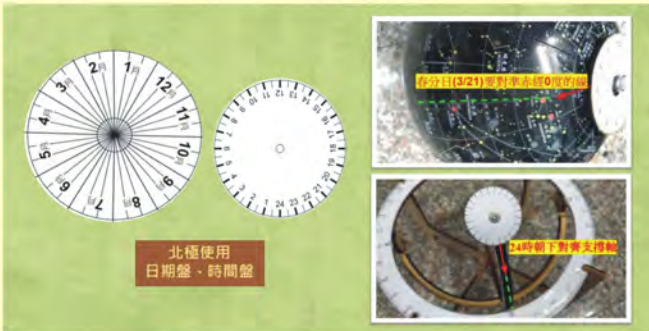
自製渾天儀零件組裝



自製渾天儀本體組裝



日期與時間刻盤製作



加上有方位及仰角線的透明天空模型，及方位圈、仰角定位板，水平計、指北針，自製渾天儀即完成。



四、研究結果

自製渾天儀與星座盤、天球儀的功能差異分析

具備功能	自製渾天儀	星座盤	天球儀
1 將日期時間對準可知星體的方位角、高度角	V	X (只能知道大致方位及高度角)	X
2 能知道星體的赤經、赤緯	V	X	V
3 星座圖案在往任何方位看大小都不變	V	X	V
4 星座圖案和裸眼看星空的星座形狀是否一致	X (左右鏡射)	V	X (左右鏡射)
5 在任何緯度都能正確使用	V	X (星圖要調整)	X (以地平為中心的 天球儀才能用)

自製渾天儀與星座盤的日期盤、時間盤順序

	自製渾天儀 (往北極看)	星座盤 (往北方看)	自製渾天儀 (往南極看)	星座盤 (往南方看)
日期盤方向	逆時針	順時針	順時針	逆時針
時間盤方向	順時針	逆時針 (星星繞北極星)	逆時針	順時針 (星星繞南極點)

透過以下兩步驟的驗證，我們證明的自製渾天儀(立體星座儀)的製作觀念是正確的

驗證步驟一:直接觀察星空 和 Stellarium 星空軟體
在方位角、仰角的比較

驗證步驟二:Stellarium 星空軟體 和 自製渾天儀
在方位角、仰角的比較

直接觀察星空 和Stellarium 星空軟體	誤差的變化範圍	誤差取絕對值 後的平均值
兩者方位角的比較	0度 ~ +4度	1.25度
兩者仰角的比較	-2度 ~ +2.5度	1.17度



Stellarium 星空軟體 和自製渾天儀	誤差的變化範圍	誤差取絕對值 後的平均值
兩者方位角的比較	-7度 ~ +7度(北半球)	2.84度(北半球)
	-6度 ~ +7度(南半球)	3.03度(南半球)
兩者仰角的比較	-7度 ~ +1度(北半球)	2.94度(北半球)
	-7度 ~ +6度(南半球)	3.06度(南半球)

自製渾天儀在南北半球、不同緯度皆能使用



探討星星在天空如何定位(地球公轉與自轉的運轉規律對星空的影響)

(一)地球公轉效應造成的星星轉動的角度計算:

朝北(南)方看，星星往西方轉 0.99 ($360/365.25$ 度/天)

(二)地球自轉效應造成的星星轉動的角度計算:

朝北(南)方看，星星往西方轉 15.04 ($360/23.9$ 度/小時)

從天球赤道座標系統觀點來看星體的定位，是赤緯不變，而赤經需要修正
以4月8日，晚上8點的天狼星為例，它在赤經 $6\text{h } 45\text{m } 9\text{s}$ ，赤緯 $-16^{\circ} 58''$ 的位置。

步驟一: 計算原本星星距赤經 0 度的角度:

$6\text{h}46\text{m} = (6+46/60) \times 15(\text{度}/\text{h}) = 101.5\text{度}(\text{往東方})$

步驟二: 計算地球公轉效應造成的赤經修正(日期修正):

以春分日為中心(2018的春分日是3/21)，

$4/8 - 3/21 = 18\text{天}$ ， $0.99(\text{度}/\text{天}) \times 18(\text{天}) = 17.82\text{度}(\text{往西方})$

步驟三: 計算地球自轉效應造成的赤經修正(時間修正):

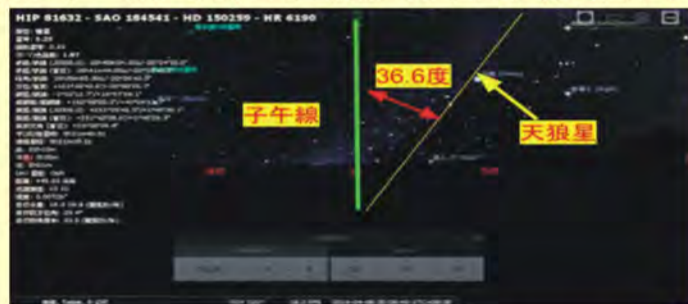
以中午12時為中心， $15.04(\text{度}/\text{時}) \times (20-12)(\text{時}) = 120.32\text{度}(\text{往西方})$

合併以上三步驟 $17.82 + 120.32 - 101.5 = 36.64\text{度}$ (赤經要往西方修正的角度)

透過以上三步驟可計算出赤經修正，另外我們再將當地緯度、赤緯值、修正後的赤經值代入參考資料10的公式，就可得出星體的方位角及仰角。



赤緯方向不需修正



赤經角度修正為子午線往西 36.64 度

經過實際戶外星空觀察印證，證明我們的天文計算觀念是正確的

編號	日期	時間	星體	星圖赤經	計算出子午線赤經	觀測的子午線赤經	赤經差	星圖赤緯	觀測的赤緯	赤緯差
1	108/3/25	21:09	天狼星	101.3	319	315	-4.0	-16.7	-17	-0.3
2	108/3/25	21:43	北河三	116.3	326	320	-6.0	28.03	28	0.0
3	108/3/25	21:58	南河三	114.8	321	327.5	6.5	5.3	5	-0.3
4	108/3/27	22:20	南河三	114.8	329	320	-9.0	5.3	5	-0.3
5	108/3/27	22:27	北河三	116.3	313	316.3	3.3	28.03	28	0.0

單位:度



五、結論

- (一)我們的作品自製渾天儀(立體星座儀)，是一種演示天體運動的模擬儀器。只要指定觀察地區的緯度、日期、時間，轉動自製渾天儀，使旋轉軸往南北方向抬高成當地的緯度，並將日期時間對齊，就能呈現當時的星空狀態，也能知道星體的方位角、仰角，就像是天文計算機。
- (二)比起平面星座盤更能精確定位星體，解決視差與星座變形的問題。
- (三)由於我們加上有刻度的透明罩，顯示星星的方位角及仰角，比起天球儀只能知道星星彼此之間的相對位置(赤經、赤緯)，我們所發展的自製渾天儀更具實用性。
- (四)雖然渾天儀的星座圖案與肉眼看到的星座圖案會左右相反，但渾天儀球心、表面星點與天空星星是連成一直線，能正確指出星星位置。
- (五)另外我們從赤道座標系統，天文計算的角度來看，考慮地球公轉、自轉因素也能定位星體在天空的位置，只是計算比較複雜。

六、延伸探索

- (一)如果我們將自製渾天儀中間天球上的星座換成中國的星宿，不放置透明天空模型，那就變成古代中國的渾天儀，如右下圖。
- (二)自製渾天儀若加上動力，讓轉動軸和地球自轉同步，並在外面安裝日月兩圓環代表黃道、白道及日月標，就可以規律地演示出日、月、星象的運轉，讓我們可以直覺的觀察體驗星體運轉的奧妙，就像唐代的水運渾天儀一樣。

七、參考資料

- 1.認識天球座標系統
http://aeea.nmns.edu.tw/aeea/courses/2006_courses/lec03.html
- 2.天球座標
https://market.cloud.edu.tw/content/senior/earth/tp_ml/celestial/celesphere.htm
- 3.赤道座標圖
<http://www2.pymhs.tyc.edu.tw/edu/nat/earthscience/course/101LT1-2ADD.pdf>
- 4.中國古代天文儀器介紹影片
<https://www.youtube.com/watch?v=OYiJbfOplHU>
- 5.渾儀&渾象
http://chungfal23.blogspot.com/2011/02/blog-post_5357.html
- 6.水運儀象台之歷史沿革
http://web2.nmns.edu.tw/Web-Title/china/A-1-2_display.htm
- 7.天球與星座盤
<http://mail2.cjhs.kh.edu.tw/blog/earth/files/2012/10/e5afa6c7bf92e6b4bbe58b95e4b880e4dbdfc794a8e6989fe5baa7e79ba4e88887e8aa8de8ad98e6989fe7a9ba-0.pdf>
- 8.星座找北方
<https://pweb.cwb.gov.tw/PopularScience/index.php/astronomy/74--哪裡是北方？—尋找孤傲北極星>
- 9.氣象局網站 亮星排行表
<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/astronomy/obscr/lightstar.htm>
- 10.赤道座標轉換成地平座標系(Equatorial to Horizontal coordinates)
<http://aeea.nmns.edu.tw/2001/0109/ap010912.html>
- 11.現代鐘表的祖先 唐代的水運渾天儀
<http://www.epochtimes.com/b5/2/6/15/n196667.htm>



我們模擬製作具有二十八星宿的古代渾天儀