

利用天文軟體校註《過洋牽星圖》

To Collate and Footnote Zheng-Ho's Astronomical Navigation Charts through Stellarium Software

徐勝一^a 韋煙灶^b 陳有志^c 李易修^d 孫兆中^e

Sheng-I Hsu Yen-Tsao Wei Yu-Chih Chen Yi-Hsiu Lee Chao-Chung Sun

Abstract

Four astronomical navigation charts on Aceh Indonesia, Beruwara Sri Lanka, Dandi-Baxi India, Raas-Al-Hadd Oman, and Hormus Iran, were prepared for ship navigation purposes for Zheng-Ho's journey to western oceans. Each chart basically provides two sets of star elevation angles, the first set includes Polaris and Acrux while the other set includes Vega and Pollux. When a ship arrived at a port of call, the azimuth and the elevation for each assigned star in the navigation chart should meet the previous record to position the ship. In Ming dynasty a Kamal wood board was used to measure the star elevation in fingers instead of radian degrees with low precision, therefore the conversion from fingers to degrees and vice versa requires a regression curve and a stellar software.

In order to convert fingers to degrees, this study employed 16 Polaris elevation angles in fingers observed around 1430 AD along the western Indian coast to establish a regression equation: $Y=1.094+1.601X$, where X is an independent variable in fingers and Y is a dependent variable in degrees. It is found that the figures recorded on these charts were comprehensive and explainable with help of the computed results. However, some obvious errors were found, which could be attributable to aiming at Jupiter instead of Pollux in April of 1433 AD, and other errors such as the misprinting of Chinese characters due to some unknown reasons. With the assistance of Stellarium software, a temporary named "Leveling" star

^a 國立臺灣師範大學地理系退休教授

Retired professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University

^b 國立臺灣師範大學地理學系教授

Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University

^c 國立臺灣師範大學文學院退休秘書

Retired official, National Taiwan Normal University

^d 國立臺灣師範大學地理學系研究助理

Research assistant, Department of Geography, National Taiwan Normal University

^e 國立臺灣師範大學歷史學系碩士生，通訊作者 (email: a379379123@yahoo.com.tw)

Corresponding author, graduate student, Department of History, National Taiwan Normal University

observed at Beruwara is confirmed to be Achenar (α Eri) while a “Canopy-Star” observed at Aceh is confirmed to be Kochab (β UMi).

Due to the fact that some observational errors and writing errors appeared in these charts, which had not been corrected before publication, these stellar charts are consequentially thought to be the records of Zheng-Ho’s last made journey between 1432 AD and 1433 AD.

Keywords: Astronomical Navigation Chart, Zheng-Ho, Vega, Pollux, Achenar, Kochab

摘 要

四幅過洋牽星圖是鄭和下西洋時船隻在印尼阿齊、錫蘭別羅里、印度丁得把昔、阿曼沙姑山、及伊朗魯魯斯等地的牽星定位圖解。每幅圖基本上繪有兩套星辰的仰角指數，一套為北辰星（勾陳一）與燈籠星（十字二星）組合，另一套為織女星與南北布司星（南河三與北河三）組合。當船隻抵達預定港口時，各套星辰組合的高度角應符合先前的觀測記錄，如此便完成了定位作業。牽星板（Kamal）用來度量星辰正切高度指數而非度數，因此利用天文軟體溯源牽星圖時，除了需要還原歲差外還要將指數換算成度數。

本文從〈鄭和航海圖〉中優選 16 個印度西岸的北辰星觀測記錄，求得回歸方程式 $Y=1.094+1.601X$ ，式中 X 為自變數，以星辰仰角指數為單位； Y 為因變數，以星辰仰角度數為單位。運用此回歸式可換算牽星指數為仰角度數，如此便可利用天文軟體還原明代的牽星圖，進行驗證與修訂工作。牽星圖記錄的星辰指數大抵與計算結果相符，然而在 1433 年 4 月時木星位置靠近北布司星（北河三），可能造成觀測誤判，此外也有幾個星辰的高度指數被誤寫或誤讀，原因不明。在 Stellarium 天文軟體協助下，本文認為在錫蘭 Beruwara 所牽西南水平星即是水委一星，而在印尼阿齊所牽的華蓋星即是帝星。

由於牽星圖當年刊印時，一些既存的觀測誤差以及明顯誤抄沒有被修訂過，本文相信這四幅圖雖然沒有記錄牽星季節與時刻，卻符合《前聞記》之日期與地點以及季風航海之經驗法則。因此，本文以 1432-1433 年鄭和最後一次下西洋訪問的港口與日程來進行各項說明與展示。

關鍵詞：過洋牽星圖、鄭和、織女星、布司星、水平星、華蓋星

前 言

〈鄭和航海圖〉¹收錄於茅元儀（1621/1984）《武備志》中，共有四十四幅圖繪，包括四十幅繪有山川地勢與針位更數者以及四幅橫渡大洋時觀測星辰方向與指數高度來定位導航者，本文簡稱前者為「航海圖」，稱後者為「過洋牽星圖」或「牽星圖」。兩者都是鄭和下西洋時代，有效協助船隻安全抵達目的地的導航方式。雖然航海圖在阿拉伯海沿岸地區也簡略記錄了北辰星及華蓋星的指數，卻不如四幅過洋牽星圖內容來得詳細。牽星圖除了記錄北辰星與燈籠星為南北配對之指數外，²也記錄織女星與布司星為東西配對之牽星指數，在特殊季節或低緯地區也用其他星辰來導航。四幅過洋牽星圖記錄

¹ 〈鄭和航海圖〉全名〈自寶船廠開船從龍江關出水直抵外國諸番圖〉，初刻於明天啟元年（1621）茅元儀編之《武備志》卷二百四十，相關版本流傳經過參見：喬娜，2016。

² 燈籠星即南十字星座，容易辨識。

了五個地點即別羅里、丁得把昔、沙姑馬山、忽魯謨斯、南巫里（如圖 1）的牽星狀況，包括十多個星辰方位與仰角指數，除了華蓋星與水平星的名稱仍有爭論尚待商榷外，多數星辰位置大致與天文軟體運算結果相符。

鄭和最後一次完成下西洋之旅（1433 年）到茅元儀輯成《武備志》（1621 年），中間相隔長達 195 年，牽星圖稿件因蟲蛀與腐損或經過抄寫重整，加上既存的觀測誤差等因素，造成刊印成書時，牽星圖內容已非原貌。慶幸近年電腦科技發展快速，加上天文軟體計算快速精準，能夠回溯 600 年前的天空星辰分布。**Stellarium** 天文軟體是目前科普與研究常用的星辰觀測工具，應用範圍甚廣，十多年來已從 0.9.0 版改進至目前的 0.20.0 版；它可演算星辰的時空分布數據，譬如星辰方位與高度，也能提供星辰自行速度與亮度等參數，應用時間範圍包括西元 2000 年前後十萬年的星空狀況。這套軟體解決了 600 年來因地軸擺動而引起的歲差問題，它可提供任何地點任何時刻全天空星辰及太陽系各行星的位置分布圖，並且附有星座圖繪、星座連線及星座名稱，大大提升非天文專業者對明代牽星環境的認識。有鑒於此，本文以祝允明（1966）《前聞記》所載鄭和第七次下西洋停泊港口與日期的基本資料，逐一輸入天文軟體，隨時布置好四幅過洋牽星圖的天空星辰，讓我們能夠精準計算指定港口某年某月某日某時的星辰方位與高度，將計算結果與舊圖星辰逐一比對星辰指數或高度角，也就是說我們有信心以天文科技方法還原明代的牽星記錄，可以驗證兩者的差異，若差異值大到無法被接納時，便是當初誤植、誤抄、或觀測誤差所造成的結果。

最常見的牽星方式以燈籠星中天時刻同步觀測北辰星，但也隨緯度及季節變化而有不同；譬如 1432 年 12 月 2 日船隻抵達別羅里時，因燈籠星中天時刻天已大白，失去指南定位的作用，乃於 23:20:45 時刻改牽北斗頭雙星及西南水平星，以及次日的 03:18:24 時刻牽西邊七星及燈籠星下雙星。又如 1433 年 4 月 23 日回南巫里洋時，因阿齊緯度低，北辰星僅測得一指高，觀測者另測華蓋星八指做為參考。

在天文軟體未臻完善之前，操作計算過程較繁瑣，加上牽星圖內容有些記錄存在誤植或誤抄等情況，讓研究者感到混擾與難以做合理解釋。今日因有 **Stellarium** 軟體出現，可以容易重複驗證牽星圖內容，解決不少長期困擾學界的古老問題。

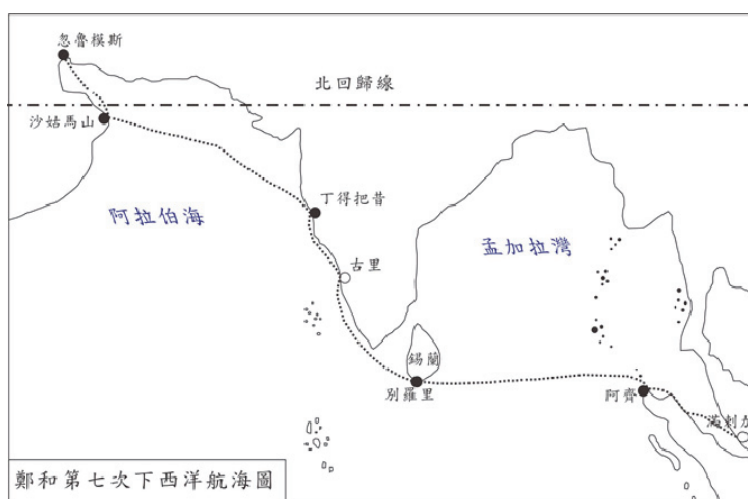


圖 1 四幅過洋牽星圖的五個測星地點（圖中黑圓圈）

資料來源：改繪自：朱鑒秋、李萬權，1988：5。

易懂難解的牽星圖

明初鄭和七次下西洋，每次航海都帶領兩萬多名官兵水手及近百船隻的隊伍，往返南海、孟加拉灣及阿拉伯海，在航線上除了靠針路航海圖外，也靠四幅過洋牽星圖定位，使船隻能安全航抵目的地。近年來不少學者嘗試解釋牽星圖的秘奧，雖然牽星方法簡單，但是中間已隔 600 年時間，由於相關文獻以及牽星工具未能妥善保存，以致無法正確掌握當年的牽星法則。學術界試圖了解牽星板指數與度數的換算問題，然而圖載記錄的牽星指數不一定正確，有些矛盾現象無法得到合理解釋。本文認為操作 Stellarium 天文軟體，應該可以還原 600 年前的天空星辰分布圖，希望能以此科學數據，來校註明代的牽星圖。在回溯四幅牽星圖之前，我們必須釐清下列幾個問題：600 年來的歲差（進動，precession）與星辰自行位移（靜地恆星視差 / geostatic stellar parallax）、牽星板（kamal）規格與使用方法、明代船隻所牽星辰的特點、以及現代天文軟體的應用範圍等問題。茲分別說明如下：

（一）歲差及星辰自行

當地球繞太陽公轉過程中，受到日月等天體引力的影響，造成地軸與軌道面呈約 66.5 度的傾斜，並作圓錐形如同陀螺旋轉所做的運動一般，意即地軸繞黃道軸作交角為 23.5 度的轉動，繞一圈約 25,800 年，稱為「歲差週期」。³從鄭和航海時代至今約 600 年，星辰的赤緯與赤經受歲差週期影響而有所變動，因此從地面上觀測星辰高度也就有改變。北辰星（環極星，circumpolar star）⁴向來是航海船隻作為指北的導航星辰，西元 2000 年的去極度為 0.73 度，它幾乎是繞著地軸方向作小夾角的轉動，而在西元 1430 年北辰星的去極度為 3.81 度，它繞地軸南北之夾角達 7.62 度之多。因此明代以北辰星來導航，牽星時刻是很關鍵的，此即牽星圖中為何常常出現燈籠星（又稱十字星座）中天時刻，以它作為標星同步觀測北辰星的道理了。（徐勝一等，2019）

至於古今星辰是否會移動，答案是會的。天文學家提供了參考答案，他們在西元 2000 年觀察數萬個星辰的赤經赤緯位置，並記錄每個星辰的自行角速率（毫弧秒 / 年），由此我們可以回推近 600 年前《過洋牽星圖》中各星辰之自行位移度數。計算結果顯示，除南門二星位移 0.772 度為最大外，南河三 0.214 度、北河三 0.12 度、織女星 0.068 度，都很細微，至於勾陳一、十字二、馬腹一等的自行距離都在 0.01 度以下，可知從 1400-2000 年的 600 年間，星辰自行運動的位移角度變動不大，與觀測誤差比較小很多，⁵而且操作天文軟體時，電腦會依年月日隨時修正歲差，是故星辰六百年來位移的問題是可以不必擔心的。本文將相關星辰資訊如星辰之明代星名、中文名稱、英文名稱、視星等、赤經赤緯、自行運動、600 年來自行度數及光年距離等參考數據，表列如表 1 所示。⁶

³ 參《竺可楨文集》〈論及以歲差定《尚書·堯典》四仲中星之年代〉中，對「歲差週期」有詳細說明。（竺可楨，1973：100）

⁴ 環極星：以北半球而言，恆星之赤緯大於或等於 90 度減去觀測處緯度，此等恆星始終在地平圈之上者。（張芝生主編，2003）

⁵ 牽星圖仰角指數以「角」為捨入捨出的單位，四指為一角，一角約等於 0.45 度。

⁶ 檢自 Stellarium 0.20.0 軟體計算所列數據。

表 1 牽星圖各星名稱及赤經緯古今對照表

明代星名	中文星名	英文星名	視星等	2000 年赤經及赤緯 ⁷	自行運動 (毫秒/年)	自行 600 年 (度)	光年
北辰星	勾陳一	Polaris	1.95	37.487/89.260	49.7	0.008	432.6
北斗頭雙星	北斗一 / 天樞	Dubhe	2.0	165.963/61.730	217.1	0.036	123.1
	北斗二 / 天璇	Merak	2.3	165.432/56.382	124.8	0.021	79.7
華蓋雙星	北極一 / 太子	Pherkad	3.1	230.195/71.834	27.2	0.005	480.8
	北極二 / 帝	Kochab	2.05	222.695/74.158	38.1	0.006	130.9
真華蓋星	杠九	38 CAS	5.8	22.740/70.250	169.9	0.028	92.5
假華蓋星	御女四	44 Dra	3.55	274.993/72.796	637.9	0.106	26.3
代華蓋星	少尉星	5 Dra	3.85	188.384/69.798	79.7	0.013	456.8
織女星	織女星	Vega	0.0	279.216/38.730	470.1	0.078	25.0
北布司星	北河三	Pollux	1.15	116.443/28.053	719.1	0.120	33.8
南布司星	南河三	Procyon	0.4	114.941/5.389	1283.3	0.214	11.5
西邊七星	昴宿六	Alcyone	2.85	56.868/24.113	52.6	0.009	403.2
燈籠骨星	十字架二	Acrux	1.25	186.659/-63.105	61.7	0.010	320.7
南門雙星	馬腹一	Hadar	0.55	210.970/-60.376	55.4	0.009	525.2
	南門二	Rigilkent	0.1	220.703/-61.357	4632.6	0.772	4.4
水平星	水委一	Achernar	0.45	24.407/-57.227	105.7	0.018	139.4
水平星 ⁸	南船五	Miaplacidus	1.65	138.389/-69.711	210.0	0.035	113.2
水平星 ⁹	老人星	Canopus	-0.65	95.983/-52.70	34.2	0.006	309.2

牽星圖中的華蓋星與水平星尚未解疑，為方便後文討論，表 1 也列出明朝可能代用的華蓋星名稱，如華蓋雙星（北極一與北極二）、真華蓋星（以杠九為傘心）、假華蓋星（以御女四為傘心）、代華蓋星（少尉星）；而可能被稱為水平星的星辰，如水委一、南船五、老人星等。本文最後一章「解開水平星與華蓋星之謎」中再詳細討論。

（二）牽星板規格與用法

牽星板一指有多寬？一指等於仰角幾度？如何將指數轉換成角度？這幾個問題一直是學界難解的關鍵議題，雖然以往學者們也有一些研究報告，但始終沒能達到統一合理的答案，因為明代牽星板是測量星辰的正切高度，而且記錄指數值很粗糙也常有誤植現象，不能直接套合到電腦作指數與度數的運算。若想合理解釋牽星圖內容，必須接受小範圍內的觀測誤差，反覆推敲各種可能發生誤差的觀測環境，再作調整才能獲得解答。

對於牽星圖的研究，徐玉虎（1976）引菲利浦的考據一指相當於 1.6 度，又引 Ferrand（1914）的考據一指為 1.71 度；朱鑒秋、李萬權（1988）參考蘇州馬懷德牽星板（牽星板如圖 2-1 所示），以眼

⁷ 赤經單位為時、分、秒；赤緯單位為度、分、秒。

⁸ 朱鑒秋、李萬權（1988）及雷宗友（2005）認為南船五即是水平星。

⁹ 本文曾考慮老人星亦為水平星的可能性，因此把老人星的資料也列入查驗。

板距 55.4 公分求得一指高度為 2 公分折約 2 度弧度角；¹⁰張江齊、陳現軍（2017）測量燈籠骨星¹¹與北辰星的天頂距夾角，求得一指相當於 2.15 度¹²。徐勝一等（2019）以眼板距 55.4 公分進行分析〈鄭和航海圖〉內 26 個北辰星的仰角，求得平均每指寬度為 1.7 公分，而每指代表之弧度角從 1.65 度至 1.90 度，平均為 1.74 度，視仰角高低而定，¹³他們認為燈籠星座十字一與十字二的南北跨幅達 6 度之巨，經階梯組合（stepwise combination）試算結果，以主牽十字二（Acrux）為最適當。

各地博物館展示的牽星板，種類與規格均不相同。國立海洋科技博物館（2012）展示的眼板間距繩長為 72 公分但未標明板高；林筱倩（2015）碩論提及泉州海洋博物館的 12 片牽星板寬度從 3.7 公分到 16.5 公分，卻未說明如何測高；而新加坡海洋博物館的板寬從 1 公分到 13.5 公分，也未說明眼板距及測高方法。

據 Polat（2017）研究，他認為牽星板是從印度傳播到中國及阿拉伯的，他們稱為 Kamal 的牽星板有兩類；一類是四指至十二指共九片木板（阿拉伯文稱指為 isba，每指折 1.71 度），可測仰角高度 6.84 度至 20.52 度。另一類由一塊矩形木質卡片及在卡片中間繫一條有幾個等間距結的繩子組成，從牙齒到卡片的繩結數目來測量角度。使用時將繩子一端放置在牙齒中，而另一端置於手臂前，令其大致平行於水平面。它可用來測量星辰仰角（參圖 2-2、圖 2-3、圖 2-4）。牽星板仰角指數與仰角度數之換算，因型制規格而異。



圖 2-1 牽星板

資料來源：溫志洪，2017。



圖 2-2 Kamal 牽星板

資料來源：Wikipedia, 2015.



圖 2-3 Kamal 之用法

資料來源：Musée national de la Marine, 2013.

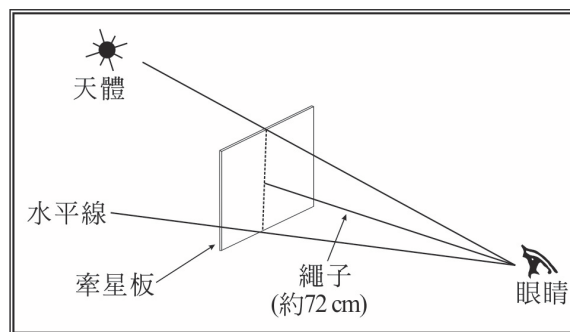


圖 2-4 牽星板用法示意圖

資料來源：改繪自：國立海洋科技博物館，2012。

¹⁰ 朱鑒秋、李萬權（1988）引自李詡（1505-1592）所著之《戒庵老人漫筆》。

¹¹ 原文未註明主牽燈籠星座的哪一顆星。

¹² 張江齊、陳現軍（2017）可能以十字一（Gacrux）與北辰星夾角計算得一指為 2.15 度，若以十字二（Acrux）與北辰星夾角計算則應得一指為 $[180-(63+89)]/15.5=1.8$ 度。

¹³ 若採每指板高 2 公分，則其眼板間距須長達 65 公分，超過一般人手臂長度，不方便牽星操作。

牽星板只是一種簡單的直角測高工具而已，若眼板距固定為 A 公分，星辰高為 B 公分，則兩者間夾角可用反正切三角函數表示為 $\tan^{-1}(B/A)$ 。當年的牽星指數僅代表星辰線性高度而已，船隻只需照此指數航行便可定位，當時並不存在換算高度為角度的問題；此外觀測牽星指數高度的精準度也因人而異，¹⁴這可從〈鄭和航海圖〉北辰星指數記錄有不合理之處來判斷，譬如印度西岸破而牙的北辰星為六指，而居南邊的纏達兀兒的北辰星記錄為六指二角，顯見其中存在誤測或誤寫的可能性。

其實，古人航海若船隻都使用同一規格的牽星工具（固定眼板距及相同的每指板高），大家只要遵循前人記錄之星辰指數去航海，便可安抵目標，本文提及指數與弧度角的換算，只在利用軟體還原牽星圖時才會遇到的困難。由於四幅《過洋牽星圖》成圖後，似乎尚未被使用及被驗證過，其中存在的觀測誤差與誤寫問題，沒有更正過，雖然電腦可以將正切指數高度轉換成弧度，但是主牽星辰指數若記錄有誤差時，可能影響配對星辰指數的計算結果，導致主牽與副牽星辰的仰角指數比例與計算度數比例無法整合，而難以回溯原貌。有鑒於此，本文先以明代記錄的北辰星指數與軟體計算的仰角度數，建立回歸公式作為兩個變數換算的依據，這種方法可暫時減少誤差記錄的干擾，讓操作程序簡潔方便。

（三）明代船隻的牽星特點與原則

從牽星板格式以及牽星指數記錄看來，明代測星高度是有限制的，通常以觀測海平面上 25 度高度內的星辰為主，若星辰仰角過高，觀測者難以同時對準海平面又要瞄準星辰高度。

每個星辰都有固定的赤經與赤緯，由於距離地球都在數十至數百光年以上，從地球觀測它們的位移，是非常小而幾乎可以忽略（參表 1）。但是因為地球的自轉運動，人們從地球上觀察星辰，一天 24 小時每個時刻都在變動，周而復始。在不同緯度所看到各別星辰的出沒方向以及中天時刻仰角都是獨特的，船隻就是利用這些獨特現象來定位。通常船隻在某港口時，會選擇特殊星辰組合做定位觀測，記錄各星辰的方位與指數高度，返航時就以先前記錄的星辰方位與指數來定位導航，若各星指數相符，即表示船隻已正確抵達港口了。又由於船隻停靠固定港口的季節不同，天氣變化以及太陽與星辰運行時間不同步，必須準備兩、三套牽星方式才能周全。牽星定位大約可分為三種方式。(1) 最佳方式：選擇燈籠星中天位置（即正南方向）為觀測時刻，此時觀測到的北辰星指數最穩定可靠。(2) 次佳方式：以某雙星在同一水平高度時刻（譬如北斗頭雙星、燈籠星下雙星等），同步觀測天際另一邊的某顆星辰作為配對。(3) 備選方式：指定某顆星辰升高到額定高度的時刻（譬如以織女星七指為母），同步觀測布司星。

在沒有航海鐘的年代，最佳方式乃是因為燈籠星中天位置，不但提供最佳的觀測時刻，而且北辰星在天空位移速度慢，是航海圖及過洋牽星圖中常用的方式。次佳方式，以某雙星連線達到指定水平線高度時為牽星時刻，同步觀測圖中其它星辰，此方式在軟體上操作不難，但當年以視覺判定雙星（天空距離跨度 5 度以內）達到同一水平高度的時刻，則不一定精準。以上兩種方式，其觀星步驟乃是先核對主牽星辰之方位，再測高度，不必靠時鐘（當年尚未有航海鐘）鎖定時刻而能啟動牽星觀測。採用最佳方式有利天文軟體還原當年的牽星狀況，並能將各地北辰星指數以回歸方程轉換成回歸仰角，

¹⁴ 各種比賽紙靶規格如下：300 公尺步槍靶：內十環＝50 mm(±0.5 mm)，黑心部份由五環至十環＝600 mm(±3.0 mm)，靶環厚度 0.5 至 1.0 mm，靶紙最小尺寸為 1020 mm×1020 mm。50 公尺步槍靶：內十環＝5 mm(±0.1 mm)，黑心部份由三環至十環＝112.4 mm(±0.5 mm)，靶環厚度 0.2 至 0.3 mm，靶紙最小面積為 200 mm×200 mm。

用此值與軟體計算仰角比對，可以驗證記錄的準確性。至於「備選方式」通常選定東西天邊低角度星辰作為配對，譬如當織女星上升到鎖定高度時刻（東方織女星七指為母），同步觀測西方布司星的仰角指數，由於地球自轉每四分鐘約轉一度，東西兩方星辰一升一落，在天空位移速度大，牽星者若沒把握好觀測時間，觀測誤差會增大。四幅牽星圖的內容，大抵是由上述三種牽星方式構成的。

（四）Stellarium 天文軟體

Stellarium 天文軟體可精確計算天空星辰的位置（維基百科，n.d.），可計算古今日月蝕及兩至（夏至、冬至）兩分（春分、秋分）的時刻。劉次沅、周曉陸（1999）用它來研究「懿王元年天再旦於鄭」的考證；陳久金、張明昌（2008）運用天文軟體推定武王伐紂的斷代工程；Esenak and Meeus（2009）在網路上公佈從西元前 2000 年至西元後 3000 年共五千年間全球的日蝕發生狀況。過去十年來，Stellarium 從 0.9.0 版改進到 0.20.0 版，它可模擬的時間範圍，從西元前 99999 年到西元後 99999 年任何時刻的星空圖像，而且計算結果的展示方法是多樣又快速。¹⁵由於此軟體應用範圍極廣，已逐漸成為星象界及科普教育的新寵。

明代北辰星去極度為 3.41 度比現代的 0.73 度大許多，它 24 小時內在北天極附近打轉，其南北之高度差達 6.82 度，折約牽星板三、四指之巨。當時若要把北辰星作為導航標星來看待，¹⁶最佳方式以牽燈籠星（十字星座）中天位置作為牽星時刻。但是由於鄭和時代的牽星記錄，僅存留於航海圖、過洋牽星圖，以及《順風相送》內（向達校注，2002），對於牽星法的描述簡略又片面，今日欲從這些有限圖繪與文字去歸納當年的牽星規則，是有困難的，再加上觀測誤差及抄寫誤漏等因素，更是雪上加霜。雖然本文有天文軟體可重建 600 年前星空景象，可以協助解答大部分問題，然而有些無法圓滿解答的問題，有待我們嘗試去說明。

四幅牽星圖的相關星辰已在上述「明代船隻的牽星特點與原則」稍為交待過，今以印尼阿齊（Aceh）為例，在 1433 年 4 月 23 日晚間 21:29:46 LTST（地方真太陽時，Local True Solar Time）星辰位置的分布繪如圖 3。圖中加註星辰名稱、星座連線、南北子午線，以資辨識。1433 年 4 月 23 日木星在雙子座附近，這是否是導致當日觀測布司星出錯的原因，有待商榷。此外，大角星及天狼星雖為一等亮星，由於找不到合適的南北配對或東西配對星辰，可能因此被捨棄作為牽星成員。

¹⁵ 感謝中央氣象局天文站鄭振豐先生傳授經驗與指教。

¹⁶ 當年尚未有真確緯度，北辰星高低只表示導航位置之偏南或偏北的程度而已。

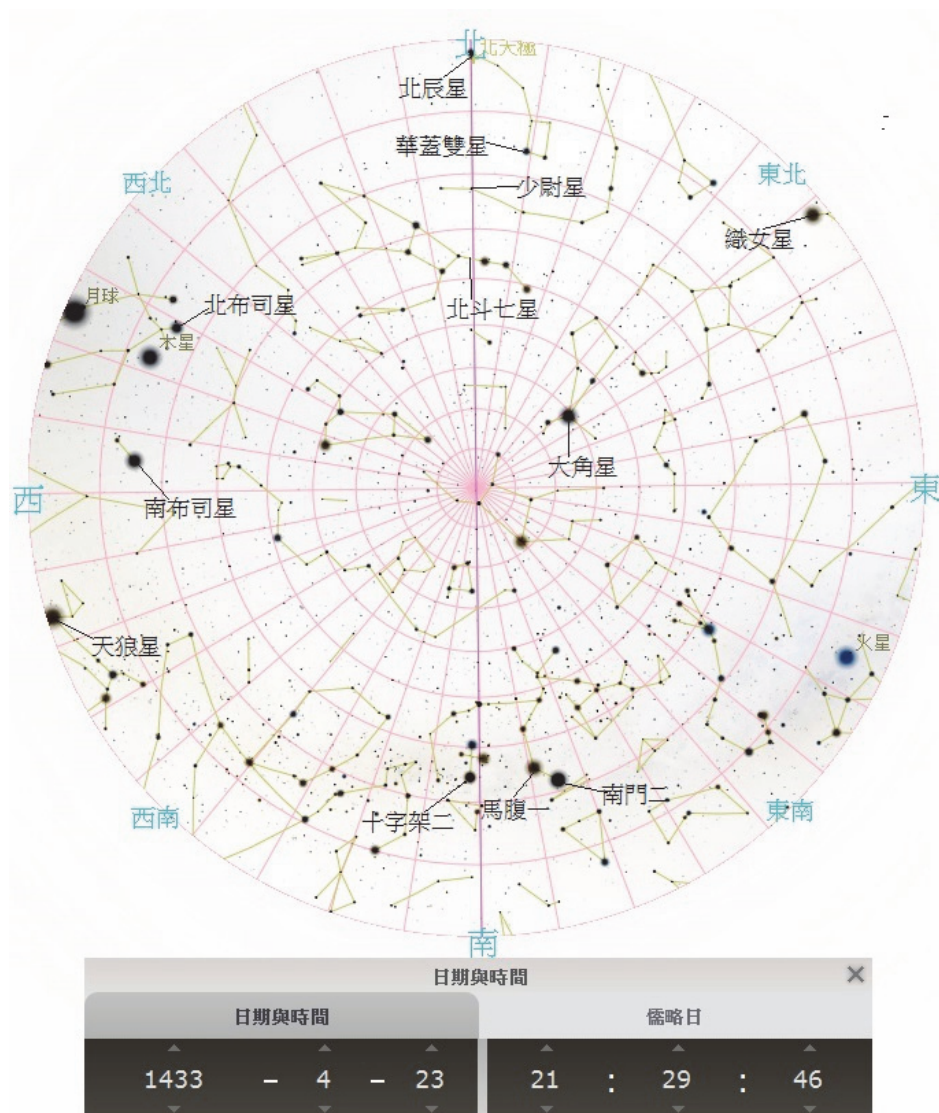


圖 3 1433 年 4 月 23 日 LTST 21:29:46 阿齊的星辰分佈圖

(五) 牽星指數與仰角度數之換算

四幅牽星圖內容顯示了明代牽星定位有兩個基本原則，一則以燈籠星（十字二）達中天位置為牽星時刻，此時主牽燈籠星（十字二）與北辰星（勾陳一）的指數回歸仰角比值，應很接近軟體計算的仰角比值，以此特徵來驗證當年牽星記錄的正確性，是有科學意義的檢驗方法；另一則以織女星上升到某一設定高度時（譬如七指為母）同步觀測布司星，觀測時刻過早或過遲，則牽星定位將會失準。以阿齊觀測為例，北辰星每分鐘位移不超過 0.002 度，而織女星每分鐘位移約 0.2 度，兩者相差甚大，因此若沒把握好牽星觀測時間，若超過 5 分鐘則織女星高度增加 1 度，而布司星高度則減少 1 度，這也是牽星圖中東西方向星辰指數不準確的原因之一。除了牽星圖原始記載可能已存在的觀測誤差外，

文件存放了兩百年後才刊印成書，其間紙張難免有蟲蛀、缺損、以及誤值等現象。今日我們若想依據武備志牽星圖拓本的內容去操作溯源，難免會遇到不能核實的記錄，所以我們應該容許一定程度的彈性空間，從電腦計算結果中找到合理而可解釋的答案，如此才能達到還原與校註 600 年前的牽星記錄。

據徐勝一等（2019）的研究，當年所用牽星板每指平均長約 1.7 公分，而每指代表之角度從 1.65 度至 1.90 度，視仰角高低而定。為了找尋比較簡易的指數與仰角度數的換算原則，本文優選航海圖在印度西岸 16 處的北辰星觀測，¹⁷如柯枝、古里、哈哈跌微、歇立、莽葛奴兒、阿者刁、纏打兀兒、丁得把昔、跛兒牙、起兒未兒、阿胡那、大灣、沙姑山、坎八葉城、客實、忽魯謨斯等，利用 EXCEL 套裝軟體求得北辰星仰角度數¹⁸(y)與指數(x)間的回歸公式： $y=1.094+1.601x$ ， $[R^2=0.998]$ ，如圖 4 所示。

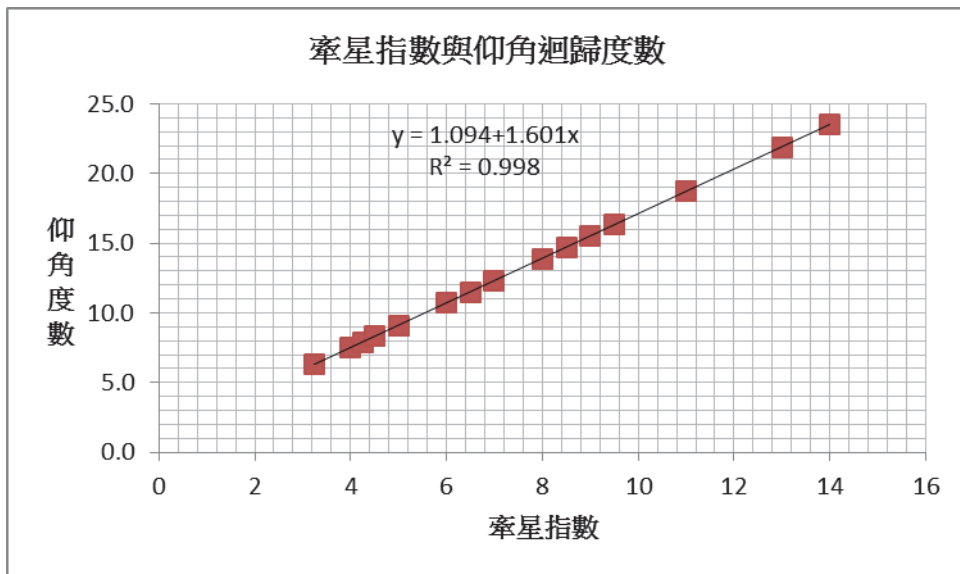


圖 4 北辰星指數與仰角度數的回歸公式

建立北辰星的牽星指數與仰角度數回歸方程式，可以換算星辰指數成為弧度角，這在利用天文軟體尋找某星辰指數的適當觀測時刻，特別有助還原織女星及布司星的操作，這種操作方法雖不如燈籠星中天的定位方法來得精準，卻也是備用方式之一。因此我們必須提供一個換算表，能將牽星圖的星辰指數快速轉換成角度，俾便天文軟體撥動觀測時刻，直到主牽星辰移動到記錄的位置，此時若配對星辰也符合記錄的位置，那麼這張牽星圖內容算是驗證成功了。

¹⁷ 航海圖印度洋西岸約有 26 個北辰星記錄，本文主觀刪除其中 10 處疑有位置不確定或記錄離差大者。

¹⁸ 各港口的北辰星仰角度數，在徐勝一等（2019）〈再談《過洋牽星圖》北辰星及織女星的天文導航〉一文已說明過。

表 2 牽星指數與回歸仰角換算表

港口	柯枝	古里	莽葛奴兒	阿者刁	丁得把昔	跛兒牙	阿胡那	沙姑山	坎八葉城	客實	忽魯謨斯
牽星指數	3.25	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	11.00	11.00	13.00	14.00
計算仰角	6.18	7.51	9.06	10.96	12.21	14.18	15.21	18.63	18.53	22.04	22.88
回歸仰角	6.30	7.50	9.10	10.70	12.30	13.90	15.50	18.70	18.70	21.91	23.51
每指度數	1.90	1.88	1.81	1.83	1.74	1.77	1.69	1.69	1.68	1.70	1.63
回歸指度	1.94	1.87	1.82	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.70	1.69	1.68

因篇幅所限，表 2 僅列 11 地點的牽星資訊供討論參考。第一行為港口之中文地名；第二行牽星指數是航海圖裏的記錄；第三行計算仰角則是 Stellarium 軟體在燈籠星中天時刻的北辰星仰角；第四行回歸仰角則是依回歸方程式以觀測指數代入的計算值；第五行每指度數則是計算仰角除以牽星指數的商值，表示該仰角高度的平均每指度數；第六行回歸指度則為回歸仰角除以牽星指數的商值。比較第五行與第六行數值，兩行都顯示牽星指數愈小則每指測得的平均度數愈大，此乃因牽星板原本就是以正切高度表示弧度的。(參徐勝一等，2019)但是第五行每指度數在莽葛奴兒為 1.81、丁得把昔為 1.74、客實為 1.70，此三個地點的觀測記錄稍微偏離回歸線，造成誤差的原因不明。

五個過洋牽星地點，據朱鑒秋、李萬權（1988）考據，其經緯度分別為別羅里（6.5°N, 80.0°E）、丁得把昔（16.0°N, 73.4°E）、沙姑馬山（22.4°N, 59.5°E）、忽魯謨斯（26.7°N, 55.6°E）、南巫里洋／帽山／阿齊（5.6°N, 95.3°E），我們預先將各地點經緯度鍵入軟體的「觀測位置」資料庫中，可供隨機檢索操作。在不同日期、不同時刻都有機會觀測到相同的星辰分布，牽星日期雖然不是關鍵因素，本文仍依照《前聞記》航程來操作，期能在時空位置變化上，對牽星圖內容有實況的對照基礎，借此了解明初下西洋時，在牽星觀測及繪製星圖過程中，可能遇到的限制及困擾。

還原四幅過洋牽星圖真貌

鄭和下西洋時代，船隻除了利用山川地勢和針位更數定位之外，也以牽星來幫助定位導航。在孟加拉灣、印度洋及阿拉伯海，過洋往返之間，海面上千里不見陸地人家，迷航機率高，因此以牽星來定位，其方法猶如今人觀看地圖尋找目標一般。過洋航程就如四幅牽星圖標題所描述的，包括往程蘇門答刺到錫蘭山、古里到忽魯謨斯、忽魯謨斯回到古里、錫蘭山回蘇門答刺。四幅牽星圖的右側有標題文字說明，左側繪有船隻四方的星辰指數與方位，圖標文字及圖繪內容，兩者相互對照，提供船隻牽星導航的定位參考。圖中未記明日期及牽星時刻，乃因各地點牽星圖每天必然重複一次，在不同日期、不同時刻都有機會觀測到相同的星辰分布，這就是牽星定位的原理。

由於明代北辰星的去極度為 3.7 度，比現今的 0.7 度相高出 3 度，因此鄭和下西洋時代欲以北辰星導航，必須以燈籠星中天時刻（正南方位）同步觀測北辰星才能準確定位，這種牽星法十分方便；假若沒有燈籠星作標星協助定位，而隨機單獨觀測北辰星高度，其誤差可達 7 度之多。在天候不佳時看不到燈籠星的情況下，可牽織女星與南北布司星，做為備套之用，但此法因星辰位移速度大，容易造成觀測誤差。

本文把各觀測地點的經緯度輸入到 Stellarium，以《武備志》航海日程為藍本，逐漸調整時間欄的時、分、秒，找到主牽及副牽星辰的計算仰角，兩星辰的計算仰角比例若與回歸仰角比例十分接近，這就驗證了當年的牽星觀測是正確的了。以下是本文將四幅牽星圖、電腦計算資料及 600 年前的星空分布（以天文軟體 stellarium 的截圖來展示），¹⁹逐一說明如下。

（一）龍涎嶼往錫蘭過洋牽星圖

看東西南北高低遠近四面星，收錫蘭山。時月往忽魯別羅里開洋，牽北斗頭雙星三指一角、北辰第一小星三指一角平水²⁰，看西南邊水平星五指一角，正路看東南邊燈籠骨星下雙星平七指，正路看西邊七星五指半平。

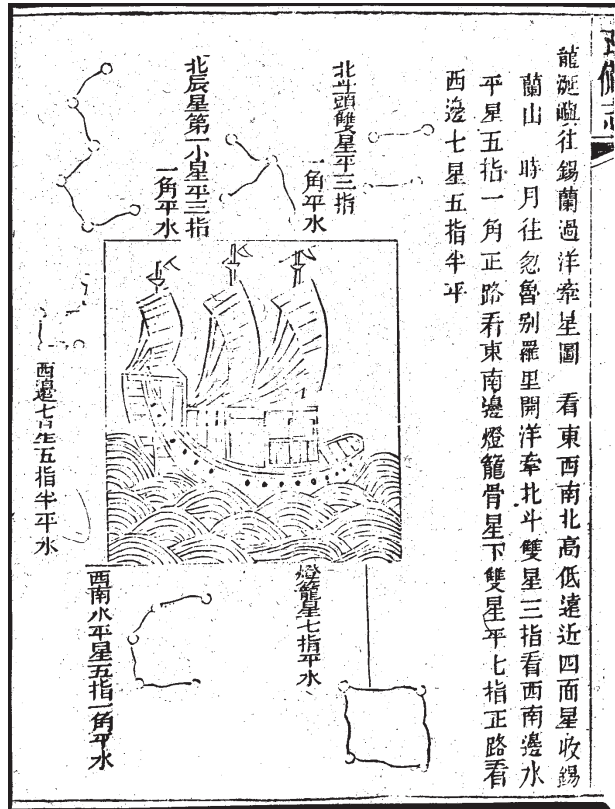


圖 5-1 龍涎嶼往錫蘭過洋牽星圖

圖片	龍涎嶼往錫蘭	
地點	別羅里	
年月日	1432/12/2	1432/12/3
時間	23:20:45	03:18:34
北辰星	三指一角	
Polaris	7.91	
北斗頭雙星	三指一角*	
Dubhe	7.51	
燈籠星下雙星		七指半*
Acrux+Becrux		13.2
西邊七星		五指半
Alcyone		10.2
西南水平星	五指一角	
Achernar	12.12	

圖 5-2 別羅里牽星時刻表

註：*表示主牽星辰，其高度由回歸公式其得。

¹⁹ 因為一張〈過洋牽星圖〉需要用原圖和相關數據來印證，同題號為一組圖，如圖 5-1、5-2、5-3、5-4 為一組，圖 6、圖 7、圖 8 亦同，而非各別一張圖以一圖號來標註。

²⁰ 圖繪上列有「北辰星第一小星三指一角平水」，本文認為此條與「北斗頭雙星三指一角平水」及「西南水平星五指一角平水」三者為同步觀測的結果。

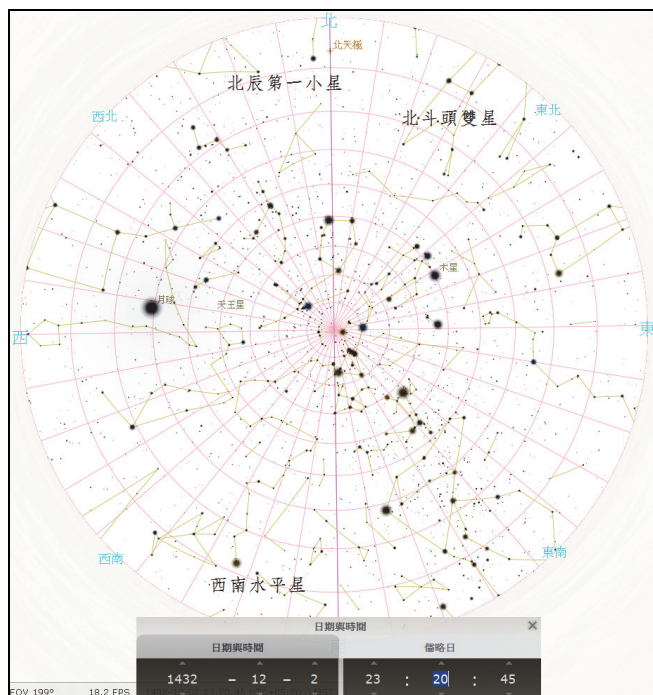


圖 5-3 別羅里牽北斗頭雙星及水平星

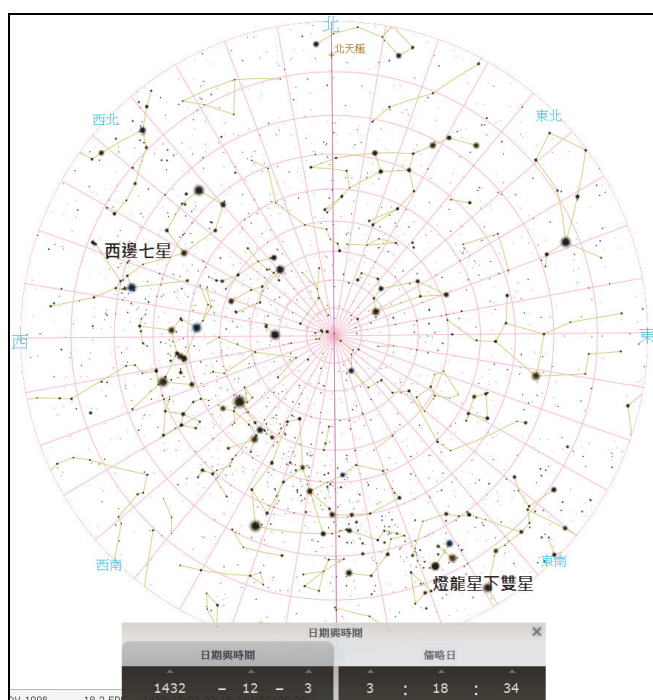


圖 5-4 別羅里牽西邊七星及燈籠下雙星

圖 5-1 為鄭和船隊從龍涎嶼出發往錫蘭的過洋牽星記載，根據《前聞記》內容，船隊於 1432/12/2

在別羅里開洋時所做的觀測，²¹此時燈籠星中天時刻已經天亮了，織女星也看不到了，觀測員只好採取特殊方式以「北辰第一小星三指一角、牽北斗頭雙星三指一角、看西南邊水平星五指一角」來定位。²²此時北辰第一小星（即北辰星）與北斗頭雙星在同一水平高度，圖題裡雖漏記，但在圖 5-1 左上方補記了，這個綜合特徵在天空中很顯眼，可做為牽星定位的觀測時刻。圖 5-2 為船隻在別羅里的兩次觀測時刻，及指定星辰的牽星高度角。

別羅里牽星圖排在四幅圖之首，其牽星方式與其他三圖不一樣，此圖也是最難說明的一幅圖。考其原因可能是季節變化的影響，船隊 1432/12/2 在別羅里時，因燈籠星中天時刻與日出時間同步而無法觀測，船隻乃改牽北斗頭雙星與水平星組合，以及牽燈籠星下雙星與西邊七星組合。這兩次主牽的頭雙星平水與下雙星平水，因雙星距離只有 5 弧度，難以肉眼判斷其平水狀況，因此不如以燈籠星中天的牽星時刻來得精準。

第一次牽星時刻，本文認為以北辰第一小星及北斗頭雙星這三顆星在同一水平高度時，即在 1432/12/2 的 23:20:45 LTST，²³從 Stellarium 銀幕檢索北斗頭雙星仰角與水委一仰角，分別為 7.51 度與 12.12 度，兩星的計算仰角比值為 0.62（=7.51 度/12.12 度），而從牽星指數轉換回歸仰角的兩星比值為 0.66（=6.3 度/9.5 度），前後兩者比值雖然巧合近似，然而此次所用牽星板的寬度，每指平均指數求得 2.31 度（=（7.51+12.12）/（3.25+5.25）），比本文表 2 所列回歸值（1.94 度~1.68 度）高出不少，可能是觀測誤差造成的。圖 5-3 為船隻在別羅里第一次牽星的天文軟體模擬圖。

第二次牽星在「正路看東南邊燈籠星下雙星平七指」時刻，即 1432/12/3 的 03:18:34 LTST，此時十字二與十字三兩星（燈籠星下雙星）在水平線上同一仰角 13.20 度，同步觀測西邊七星（昴宿星座，主牽昴宿六 η Tau）得仰角為 10.20 度。燈籠星下雙星與西邊七星的計算仰角比例為 1.29（=13.20 度/10.2 度），而回歸仰角比例為 1.24（=12.3 度/9.9 度），觀測的與計算的仰角比例很近似，而且換算一指平均為 1.87 度（=（13.21+10.2）/（7+5.5））。這次牽星記錄的驗證是成功的。圖 5-4 為船隻在別羅里第二次牽星的天文軟體模擬圖。

觀測員在龍涎嶼出發時（1432/11/2），理應做一次例行觀測，卻沒有記錄，考其原因可能也是因為做為標星的燈籠星在中天時刻已經天亮了，看不到北辰星，因此沒有進行觀測。

（二）古里國往忽魯謨斯過洋牽星圖

丁得把昔開洋 看北辰星七指、看燈籠星八指半、看南門雙星六指過洋。到沙姑馬山看北辰星十一指、²⁴燈籠星四指半；看東邊織女星七指為母、看西南布司星九指、看西北布司星十一指。
丁得把昔開到忽魯謨斯，看北辰星十四指。

古里往忽魯謨斯過洋牽星圖的圖題前半段，有些明顯缺失，今採取張江齊、陳現軍（2017）之建議及參考圖中星辰分布圖，加以增補，增補詞句畫上底線以資識別。

²¹ 參朱鑒秋、李萬權（2008：103），原日期為農曆，本文全換成陽曆，俾便統一說明。

²² 北斗頭雙星即天樞（ α UMa）與天璇（ β UMa）、西南水平星即水委一（ α Eri）。關於水平星的認定，請參考本文第四節「解開水平星與華蓋星之謎」。

²³ 本文所列牽星時刻均以 LTST 表示，即「地方真太陽時」，以太陽中天時刻為中午的時制。

²⁴ 圖繪左上角載「到沙姑馬山看北辰星十四指平水」，應是「到沙姑馬山看北辰星十一指或「到忽魯謨斯看北辰星十四指」之誤，抄錄者把兩項紀錄攪混為一項。

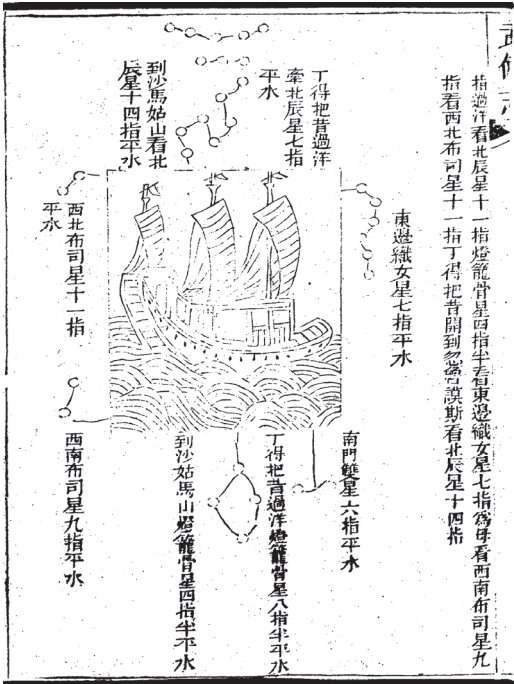


圖 6-1 古里往忽魯謨斯過洋牽星圖

圖片	古里往忽魯			
地點	丁得把昔	沙姑山	沙姑山	忽魯謨斯
年月日	1432/12/22	1433/1/9	1433/1/9	1433/1/17
時間	05:14:53	03:56:35	04:10:29	03:36:41
北辰星	七指	十一指		十四指
Polaris	12.21	18.68		22.88
燈籠星	八指半*	四指半*		一指半*
Acrux	14.05	7.75		3.38
南門雙星	六指			
R.K.	11.03			
織女星			七指*	
Vega			12.3	
北布司星			十一指	
Pollux			23.26	
木星			十指半	
Jupiter			17.65	
南布司星			九指	
Procyon			16.12	

圖 6-2 古里往忽魯謨斯牽星時刻表

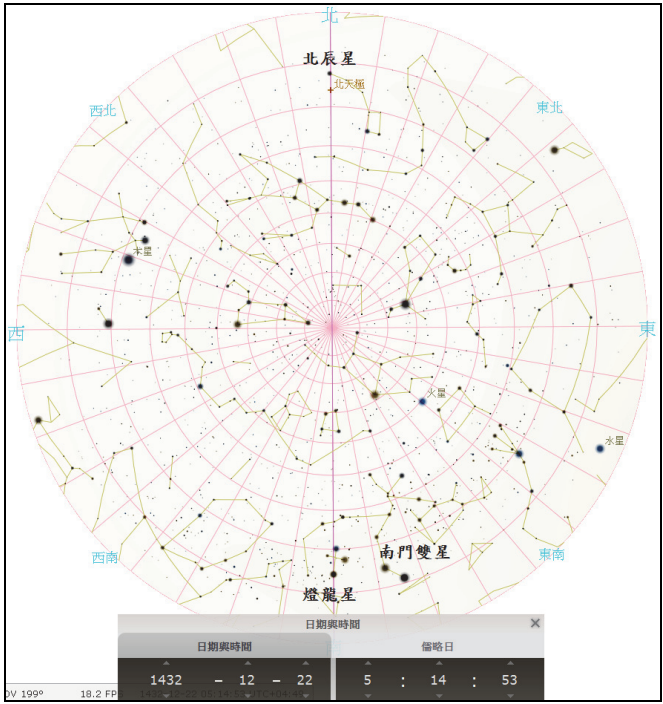


圖 6-3 丁得把昔牽北辰星及燈籠星

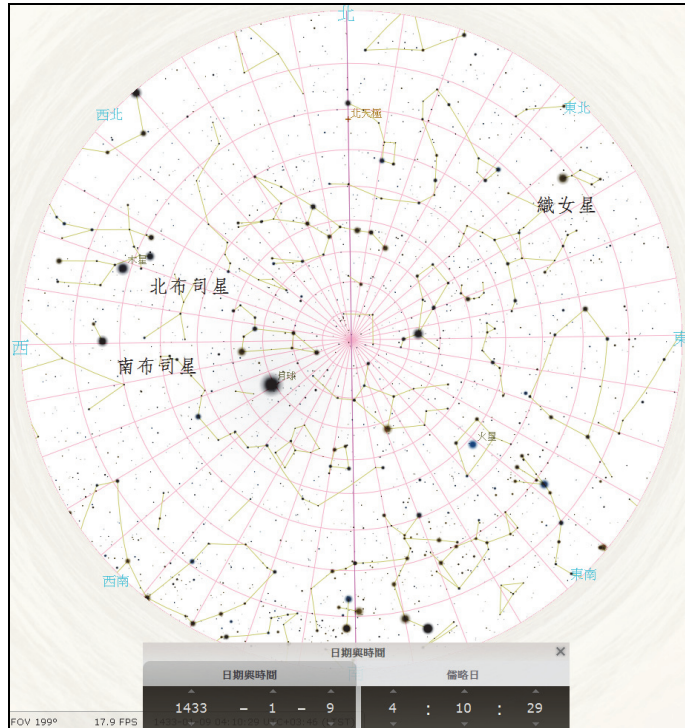


圖 6-4 沙姑山牽織女星及南北布司星

古里往忽魯謨斯過洋牽星圖內容包羅甚多，它記錄了丁得把昔、沙姑山、忽魯謨斯三個地點，共四個不同時段的牽星記錄，如圖 6-1。此圖為何沒有古里的牽星記錄呢？其可能原因有二；首先、古里為印度西岸的西洋大站，船隊從首次下西洋起至最後一次的航海都經過此地，水手們對此港口耳熟能詳，不需做牽星定位，其次、在《順風相送》古里條已有牽星記錄「看北辰星四指、燈籠星十一指半」。船隊在冬季半逆風情況下航行（徐勝一等，2008、2016；Hsu and Chen, 2012），船速稍慢，估計約於 1432/12/22 抵丁得把昔，1433/1/9 抵沙姑山，1433/1/17 抵忽魯謨斯（朱鑒秋、李萬權，1988）。圖 6-2 為船隻在這三個港口共四次的觀測時刻，及指定星辰的牽星高度角。

1432/12/22 清晨 05:14:53 LTST 在丁得把昔主牽燈籠星，當十字架二中天時刻，其計算仰角 14.05 度、記錄指數八指半折回歸仰角 14.70 度，此時北辰星仰角 12.21 度、記錄指數七指折回歸仰角 12.30 度，南門雙星主牽南門二（Rigel Kentaurus）仰角 11.03 度，記錄為六指，參圖 6-2 與圖 6-3。燈籠星與北辰星與之計算仰角比例為 1.15 ($=14.05/12.21$)，而回歸仰角比例為 1.20 ($=14.7/12.30$)，兩者比例接近，而每指平均為 1.69 度 ($=(14.05+12.21)/(8.5+7)$)，也算合理，驗證成功，參表 3。在丁得把昔當天清晨，當織女星從東方地平線上升到七指仰角時（回歸仰角 12.3 度），已是早晨 05:52:12 天已微亮，星辰已從夜空消失，因此，牽星圖裡不載丁得把昔織女星與布司星的觀測。圖 6-3 為船隻在丁得把昔牽星的天文軟體模擬圖。

1433/1/9 船隊來到阿曼灣口的沙姑山，於 03:56:35 LTST 當燈籠星中天時刻，十字架二仰角為 7.75 度，而牽星指數四指半折回歸仰角 8.3 度，北辰星計算仰角為 18.68 度，指數為十一指折回歸仰角 18.7

度；因此燈籠星與北辰星之計算仰角比例為 0.41 ($=7.75/18.68$)，而回歸仰角比例 0.44 ($=8.3/18.7$)，²⁵ 比例相近，而每指平均為 1.71 度 ($=(7.75+18.68)/(4.5+11)$)，也算驗證通過，參表 3。船隻同一天在沙姑山 04:10:29 LTST 進行第二次觀測，當織女星上升到鎖定的七指高度折回歸仰角 12.30 度，同步觀測西南布司星得計算仰角 16.12 度，指數九指折回歸仰角 15.50 度，織女星與南布司星的計算仰角比例 0.76，與指數回歸仰角比例 0.79，每指平均為 1.78 度，也是驗證成功。然而北布司星記錄為十一指 18.7 度與電腦計算仰角 23.26 度，相差甚遠，這個誤差可能由於那時木星運行到雙子座附近，其位置在北布司星西南方約 5 度，加上 1433/1/9 為農曆 12 月 18 日滿月後三天，牽星時刻月球在西半天空，十分明亮，猜測可能因誤判木星仰角 17.65 度為北布司星十一指。圖 6-4 為船隻在沙姑山第二次牽星的天文軟體模擬圖。

1433/1/17 船隊抵忽魯謨斯，在清晨 03:36:41 燈籠星座之十字二星中天時刻，指數測得一指半²⁶折回歸仰角 3.50 度、計算仰角為 3.38 度，同步觀測北辰星十四指²⁷折回歸仰角 23.51 度、計算仰角 22.88 度，因此燈籠星與北辰星的回歸仰角比值為 0.15，而計算仰角比值也為 0.15，而每指平均為 1.69 度，可以驗證牽星記錄是正確的。限於刊印篇幅，本文在此不另列出忽魯謨斯的模擬星空圖。

(三) 忽魯謨斯回古里國過洋牽星圖

忽魯謨斯回來沙姑馬開洋，看北辰星十一指，看燈籠星四指半；看東邊織女星七指為母、看西南布司星八指平。丁得把昔看北辰星七指，看骨星八指半平水²⁸；看東邊織女星七指為母、看西北布司星八指。

²⁵ 式中 8.3 度及 18.7 度，可由回歸公式 $y=1.094+1.601x$ 求得回歸仰角。參表 3。

²⁶ 《順風相送》「古里往忽魯謨斯」條也載：「沙刺抹山用單子五更取忽魯謨斯，看北辰星十四指，燈籠星一指半是也。」參頁 79。

²⁷ 圖 6-1 左上角記「到沙馬姑山看北辰星十四指平水」，應改為「到『沙馬姑山看北辰星十一指平水』」，並另加一條「到忽魯謨斯看北辰星十四指平水」。

²⁸ 圖繪骨星即燈籠星也。



圖 7-1 忽魯謨斯回古里過洋牽星圖

圖片	忽魯回古里			
地點	沙姑山	沙姑山	丁得把昔	丁得把昔
年月日	1433/3/13	1433/3/14	1433/3/25	1433/3/25
時間	23:49:28	00:03:20	23:06:15	23:40:20
北辰星	十一指		七指	
Polaris	18.63		12.21	
燈籠星	四指半*		八指半*	
Acrux	7.74		14.05	
織女星		七指*		七指*
Vega		12.3		12.3
北布司星				八指
Pollux				16.22
木星		九指		五指半
Jupiter		15.67		9.74
南布司星		九指		
Procyon		16.12		

圖 7-2 忽魯謨斯回古里牽星時刻表

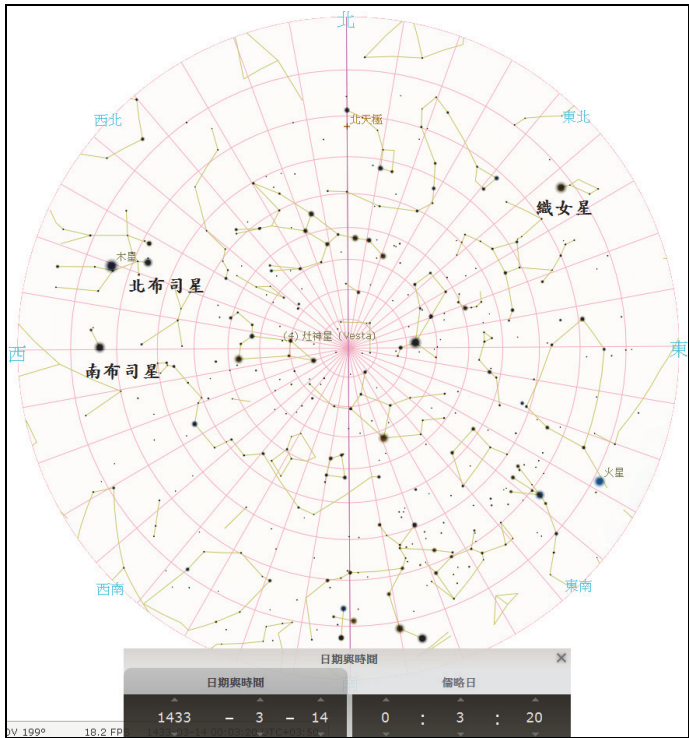


圖 7-3 丁得把昔牽織女星及南北布司星

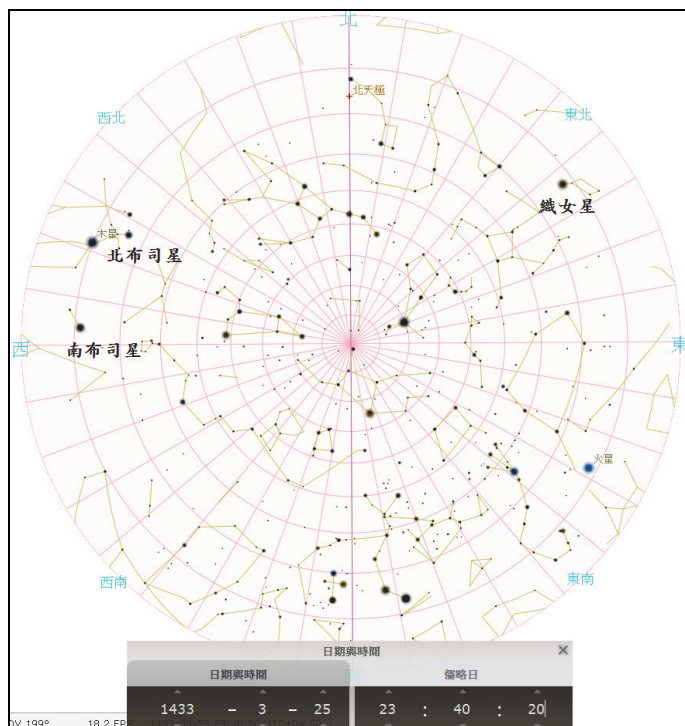


圖 7-4 丁得把昔牽織女星及南北布司星

忽魯謨斯返回古里途中，船隊大約於 1433/3/13 抵達沙姑山，於 1433/3/25 抵達丁得把昔。(朱鑒秋、李萬權，1988)。圖 7-1 為忽魯謨斯回古里的過洋牽星圖，此圖頂側繪有北斗七星，斗柄朝東，表示此圖為春天的牽星記錄。船隊在沙姑山及丁得把昔各做兩次牽星，一次牽燈籠星與北辰星，另一次牽織女星與南北布司星，總共應該有十個星辰的記錄，然而圖繪只顯示七個，而圖題只描述六個，且左上角的「北辰星十一指平水」與右上角的「沙姑馬山開洋看北辰星十一指平水」是重複的，顯得有點混亂。圖 7-2 為船隻在這沙姑山及丁得把昔兩個港口共四次的觀測時刻，及指定星辰的牽星高度角。

1433/3/13 在沙姑山的兩次觀測中，第一次為燈籠星的中天時刻 23:49:28，十字架二 (Acrux) 計算仰角為 7.74 度、記錄指數為四指半²⁹折回歸仰角 8.3 度，此時北辰星計算仰角 18.63 度、記錄指數為十一指折回歸仰角 18.7 度。兩星計算仰角比例為 0.42(=7.74/18.63)，回歸仰角比例為 0.44(=8.3/18.7)，兩個比數很接近，每指平均為 1.70 度，顯示這次的牽星記錄是正確的。第二次觀測在次日 1433/3/14，當織女星從東方上升到七指折回歸仰角 12.3 度，此時刻為 00:03:20，計算仰角也是 12.3 度，此時西南布司星計算仰角 16.12 度而指數記錄九指折回歸仰角 15.5 度。織女星與南布司星的計算仰角比例為 0.76(=12.3/16.12)、回歸仰角比例為 0.79(=12.3/15.5)，每指平均為 1.78 度，也算通過驗證，參表 3。圖 7-1 的圖題與圖繪都有西北布司星八指的記錄，實乃誤寫也，因為在沙姑山或丁得把昔觀測的西北布司星，它的仰角永遠都高於西南布司星的。圖 7-3 為船隻在沙姑山第二次牽星的天文軟體模擬圖。

1433/3/25 船隊抵達丁得把昔，第一次觀測在燈籠星中天時刻即 23:06:15 LTST，其計算仰角為 14.05

²⁹ 圖 7-1 缺載，然此星為標星是周知的。

度、指數八指半折回歸仰角 14.70 度，此時北辰星計算仰角為 12.21 度、指數為七指折回歸仰角 12.30 度。燈籠星與北辰星的計算仰角比例為 1.15 (=14.05/12.21)、回歸仰角比例為 1.20 (=14.70/12.30)，每指平均為 1.69 度，牽星記錄正確合理。第二次觀測於 23:40:20 東邊織女星上升到七指時折回歸仰角 12.30 度，計算仰角也恰為 12.30 度，此時西北布司計算仰角為 16.22 度、指數九指折回歸仰角 13.90 度。因此，織女星與西北布司星的計算仰角比例為 0.76 (=12.30/16.22)、回歸仰角比例為 0.88 (=12.3/13.90)，每指平均為 1.90 度。圖題與圖繪均記錄西北布司星八指平水，應為九指之誤，³⁰本文推測為翻錄誤抄所致。驗證比例有差距，可能源於織女星的牽星時刻過遲或是對西北布司星判讀過低所致。圖 7-4 為船隻在丁得把昔第二次牽星的天文軟體模擬圖。

(四) 錫蘭山回蘇門答刺過洋牽星圖

時月正回南巫里洋，牽華蓋星八指平水³¹，北辰星一指，燈籠骨星十四指半，南門雙星十五指。西北布司星四指為母，西南布司星四指平水³²，東北織女星十一指平兒山。³³

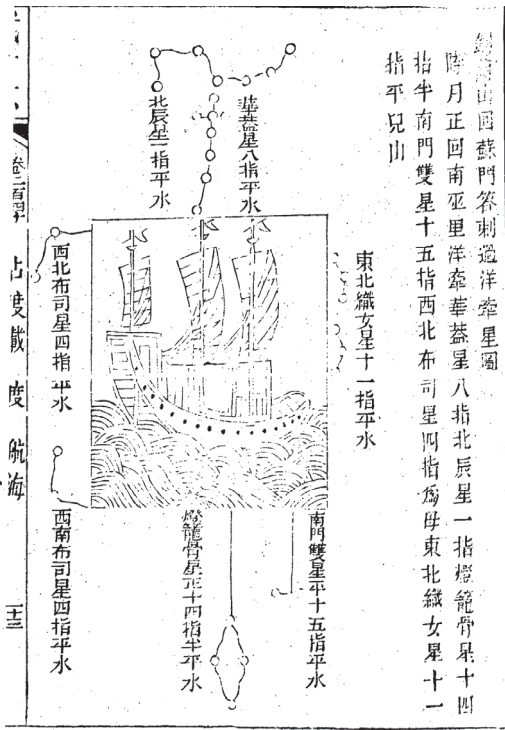


圖 8-1 錫蘭山回蘇門答刺過洋牽星圖

圖片	錫蘭回蘇門	
地點	阿齊	阿齊
年月日	1433/4/23	1433/4/23
時間	21:15:46	22:11:17
北辰星	一指	
Polaris	1.81	
華蓋星	八指	
Kochab	15.12	
燈籠星	十四指半*	
Acrux	24.01	
南門雙星	十五指	
Hardar	24.45	
織女星		十一指
Vega		9.47
北布司星		四指*
Pollux		7.5
南布司星		四指
Procyon		5.85

圖 8-2 忽魯謨斯回古里牽星時刻表

³⁰ 漢字「九」容易被誤寫為「八」。

³¹ 真華蓋在四月下旬，南巫里洋僅日出前兩小時可見，其他時間都在地平線下。真華蓋中心點（杠九--38 Cas）仰角最高為 12.43 度，且四周看不到常見之參考星辰如勾陳一、燈籠星等。在同步觀測北辰星一指、燈籠骨星十四指半、南門雙星十五指，此時帝星（Kochab）仰角為八指。觀測者所指華蓋星是否即為帝星有待考究。

³² 參圖繪補填

³³ Pulau Wee，即帽山，又稱龍涎嶼。

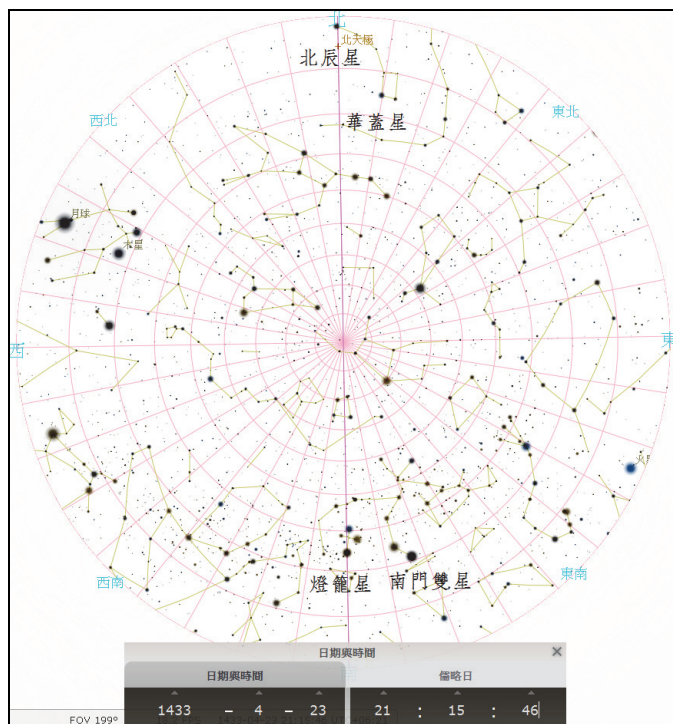


圖 8-3 阿齊牽北辰星、燈籠星、南門雙星

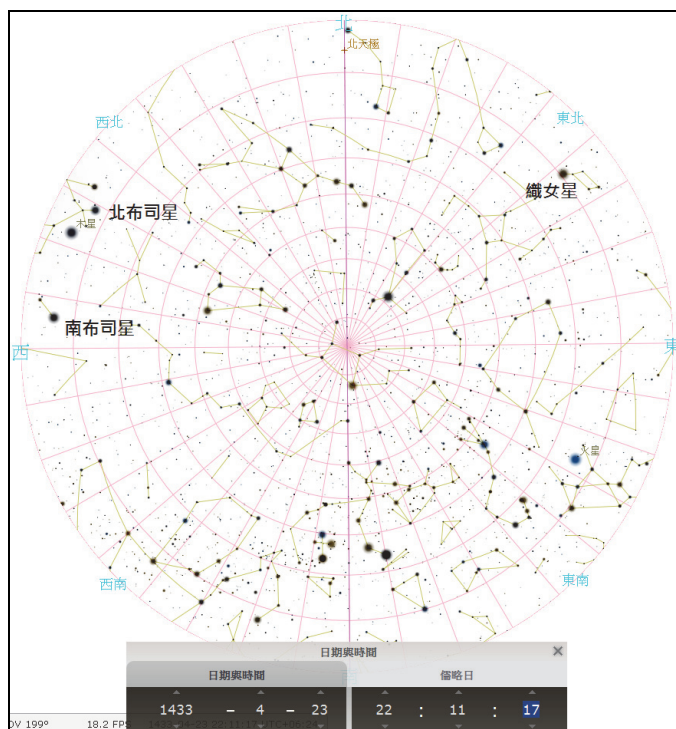


圖 8-4 阿齊牽北布司星、南部司星、織女星

圖 8-1 為船隻從錫蘭山回蘇門答刺時，在南巫裡洋阿齊的牽星記載。1433/4/23 船隊從錫蘭回蘇門答臘，在南巫里洋阿齊做了兩次觀測，第一次觀測在燈籠星中天時刻 21:15:46 LTST，十字二（燈籠星）的計算仰角為 24.01 度、指數十四指半折回歸仰角 24.31 度，此時北辰星計算仰角為 1.81 度、指數為一指折回歸仰角 2.69 度。檢驗十字二與北辰星的計算仰角比例 13.27 ($=24.01/1.81$)、回歸仰角比例為 9.02 ($=24.31/2.69$)，³⁴雖然每指平均為 1.67 度，在合理範圍內，但是回歸仰角比值與計算仰角比值高許多，參表 3，其誤差可能源於指數的捨入問題，尤其以低仰角為分母時，商值變動很大，本文認為此次觀測有瑕疵。圖 8-2 為船隻在阿齊的兩次牽星時刻，及指定星辰的牽星高度角。圖 8-3 為船隻在阿齊第一次牽星的天文軟體模擬圖。

阿齊的第二次觀測，以西北布司星四指為母折回歸仰角 7.5 度，此時刻為 22:11:17，織女星的計算仰角為 9.47 度、而指數記錄為十一指折回歸仰角 18.70。因此，西北布司星與織女星的回歸仰角比例為 2.49 ($=18.7/7.5$)，而計算仰角比例為 1.26 ($=9.47/7.5$)，兩者相差甚大，每指平均僅得 1.13 度。本文認為此時刻的織女星觀測指數應是六指（草寫「六」容易被誤讀為「十一」）。這次觀測誤差很大，驗證失敗，牽星記錄有問題。圖 8-4 為船隻在阿齊第二次牽星的天文軟體模擬圖。

（五）小結

綜合上揭四幅牽星圖的說明與分析，本文將各次牽星觀測的數據以及相對應的電腦計算結果，列於表 3。從比較主牽星辰與副牽星辰的回歸仰角比例與計算仰角比例中發現，若兩比例值誤差小於 10%，可以說明該次牽星記錄是正確的，反之若誤差大於 10%則記錄是有問題的。此外，本文也計算該次牽星板的每指平均度數，若其值在每指 1.63-1.95 度以外，我們也主觀認定觀測有誤差。表 3 列出四幅牽星圖的觀測數據與電腦計算結果，供大家參考討論，簡略說明如下：

³⁴ 若十字二指數為 14.4 指、北辰星指數為 1.1 指，則兩星指數比例改為 13.1，此乃指數捨入的問題。

表 3 牽星圖記錄指數與計算仰角之驗證

地點	日期	時間	星辰	星辰指數	回歸仰角	計算仰角	回歸比例	計算比例	誤差%	每指均度	驗證結果	資料來源
別羅里	1432/12/2	23:20:45	北斗頭雙*	3.25	6.30	7.51						圖5-1
			水平星	5.25	9.50	12.12	0.66	0.62	0.07	2.31	X	
別羅里	1432/12/3	03:18:24	燈籠下雙*	7	12.30	13.2						
			西邊七星	5.5	9.90	10.2	1.24	1.29	-0.04	1.87	○	
丁得把昔	1432/12/22	05:14:53	北辰星	7	12.30	12.21						圖6-1
			燈籠星*	8.5	14.70	14.05	1.20	1.15	0.04	1.69	○	
沙姑山	1433/1/9	03:56:35	北辰星	11	18.70	18.68						
			燈籠星*	4.5	8.30	7.75	0.44	0.41	0.07	1.71	○	
沙姑山	1433/1/9	04:10:29	織女星*	7	12.30	12.3						
			南布司	9	15.50	16.12	0.79	0.76	0.04	1.78	○	
忽魯謨斯	1433/1/17	03:36:41	北辰星	14	23.51	22.88						
			燈籠星*	1.5	3.50	3.38	0.15	0.15	0.01	1.69	○	
沙姑山	1433/3/13	23:49:28	北辰星	11	18.70	18.63						圖7-1
			燈籠星*	4.5	8.30	7.74	0.44	0.42	0.07	1.70	○	
沙姑山	1433/3/14	00:03:20	織女星*	7	12.30	12.3						
			南布司	9	15.50	16.12	0.79	0.76	0.04	1.78	○	
丁得把昔	1433/3/25	23:06:15	北辰星	7	12.30	12.21						
			燈籠星*	8.5	14.70	14.05	1.20	1.15	0.04	1.69	○	
丁得把昔	1433/3/25	23:40:20	織女星*	7	12.30	12.3						
			北布司	8	13.90	16.22	0.88	0.76	0.15	1.90	X	
阿齊	1433/4/23	21:15:46	北辰星	1	2.69	1.81						圖8-1
			燈籠星*	14.5	24.31	24.01	9.02	13.27	-0.38	1.67	X	
	1433/4/23	22:11:17	織女星	11	18.70	9.47						
			北布司*	4	7.50	7.5	2.49	1.26	0.66	1.13	X	

回歸仰角：根據星辰指數代入回歸公式 $y=1.094+1.601x$ ，計算所得的 y 值。計算仰角：依據燈籠星中天位置的時刻、或雙星平海面同高度的時刻、或織女星上升到指定高度的時刻，Stellarium 軟體的計算仰角。回歸比例：同一組合星辰中，主牽星辰與副牽星辰的回歸仰角比值。計算比例：同一組合星辰中，主牽星辰與副牽星辰的計算仰角比值。誤差%：回歸比例偏離計算比例的百分比。每指均度：同一組合星辰的計算仰角和除以指數和。驗證結果：本文認定，若「誤差%」大於 10%或「每指均度」範圍在 1.63-1.95 度之外，則視為驗證不通過或牽星記錄不正確。記錄不正確者打「X」，記錄正確者打「○」。

表 3 顯示，以燈籠星中天位置所進行的牽星觀測，因其內含了天文時鐘的正確觀測時刻，是為最佳牽星方式。東西向的星辰組合方式，很難把握主牽星辰的正確時刻，繼而影響其他星辰的準確度，因為東西兩星辰一起一落，位移速度快。下一節我們跳回到水平星與華蓋星的討論。

解開水平星與華蓋星之謎

關於水平星的文獻記載不多，學者有不同說法，雷宗友（2005）及朱鑒秋、李萬權（1988）認為是南船五（ β Car），也有說是老人星（ α Car），但據《順風相送·觀星法》³⁵載「北斗出在丑癸（22.5 度），入在壬亥（337.5 度）。華蓋出在癸（15 度），入在壬（345 度）。燈籠骨出在巳丙（157.5 度），入在丁未（202.5 度）。水平星出在巳丙（157.5 度），入在丁未（202.5 度）」³⁶。從上述水平星與燈籠

³⁵ 《順風相送·觀星法》（向達校注，2002），頁 28。荷蘭漢學家戴聞達（J. J. Duyvendak）認為《順風相送》成稿年代在 1430 年（明宣宗宣德 5 年）。

³⁶ 此觀星法推估為泉州一帶（北緯 25 度附近）漁民之觀星經驗。

骨出沒海平面方位相似的特點來判斷，兩星的赤緯是很相近的，僅出沒時刻有早晚之別而已。經查燈籠星的十字架二赤緯為-60.0度、水委一星赤緯為-60.2度，南船五赤緯為-67.4度，老人星赤緯為-52.5度，據此本文認為水委一星（Achernar/ α Eri）即是明代舟子所稱的水平星。水委一之星等為0.45，亮度與南布司0.40相差不遠。此外，在別羅里的牽星圖顯示，當北辰星及北斗頭雙星均為三指一角的時刻，水委一星五指一角確實出現在西南方的星空，故稱為西南水平星。

關於華蓋星，《順風相送·觀星法》記載「北斗出在丑癸（22.5度），入在壬亥（337.5度）。華蓋出在癸（15度），入在壬（345度）」，可見華蓋星的赤緯比北斗星高，但一般俗稱的傘狀華蓋七星（主牽杠九/38 Cas），其赤緯為67.24度。由此推測《順風相送》的華蓋星與俗稱的華蓋七星（後文稱之真華蓋）不是相同的星辰。天北極附近的帝星（Kochab，赤緯76.5度）及少尉星（天龍五/5 Dra，赤緯73.2度），兩星赤緯較接近《順風相送·觀星法》的華蓋星。下文我們引據明代的華蓋星指數記錄，可驗證之。

《順風相送》記載忽魯謨斯返回古里時「沙姑山看北辰星及華蓋雙星各十二指」（向達校注，2002：79），此時北辰星在西方十二指高度，而東方的帝星與太子星也在十二指高度的位置，軟體驗證這記錄是正確的。華蓋星也出現在《過洋牽星圖》錫蘭山回蘇門答刺時，在南巫里洋阿齊燈籠星中天時刻，華蓋指數八指（參圖5-3），經檢測南巫里洋的華蓋星，它與沙姑山的華蓋雙星所指星辰是相同的，前者指帝星（Kochab）而後者雙星則指帝星與太子星（Pherkad）。

然而〈鄭和航海圖〉在東非航線赤道附近或以南地區，因看不到北辰星而改牽華蓋星導航定位。譬如航海圖中麻林地牽華蓋五指、門肥赤牽華蓋七指、慢八薩牽華蓋七指半等，這幾個地點所牽的華蓋星，不同於阿齊所牽的華蓋星，因為慢八薩在南緯4.05度牽華蓋星七指半，而阿齊在北緯5.8度牽華蓋星八指，兩地緯度相差9.85度而華蓋星仰角指數只相差半指，顯見兩地所牽的華蓋星非屬同一星辰。歐陽亮（2019a；2019b）提出假華蓋的說法，他說以御女四（44 Dra / Alahakan）為中心加上周圍的小星，看起來也像傘狀星座，他稱謂之假華蓋。經Stellarium軟體模擬運算，假華蓋中天時刻的牽星方式，能符合東非的觀測記錄。本文以燈籠星中天時刻觀測少尉星（又稱天龍五，5 Dra），也能符合東非諸站華蓋星的指數記錄，雖然少尉星的星光微弱，在北斗星座之北方看不到北辰星的情況下，少尉星代替了北辰星（參圖9）。

少尉星（5 Dra）在赤緯72.9度，御女四（44 Dra / Alahakan）在赤緯72.4度，而真華蓋傘心杠九（38 Cas）在赤緯67.2度。真華蓋在牽星記錄中找不到可支撐的牽星方式，而少尉星與御女四各自中天時，符合東非指數記錄，尤其少尉星中天時刻也是燈籠星的中天時刻，這在前述三個牽星方式中，屬於最佳牽星方式，燈籠星中天的牽星方式不但應用到印度西岸的北辰星觀測上，也應用到看不到北辰星的非洲東岸，此時牽少尉星作為導航定位，是很合理的。

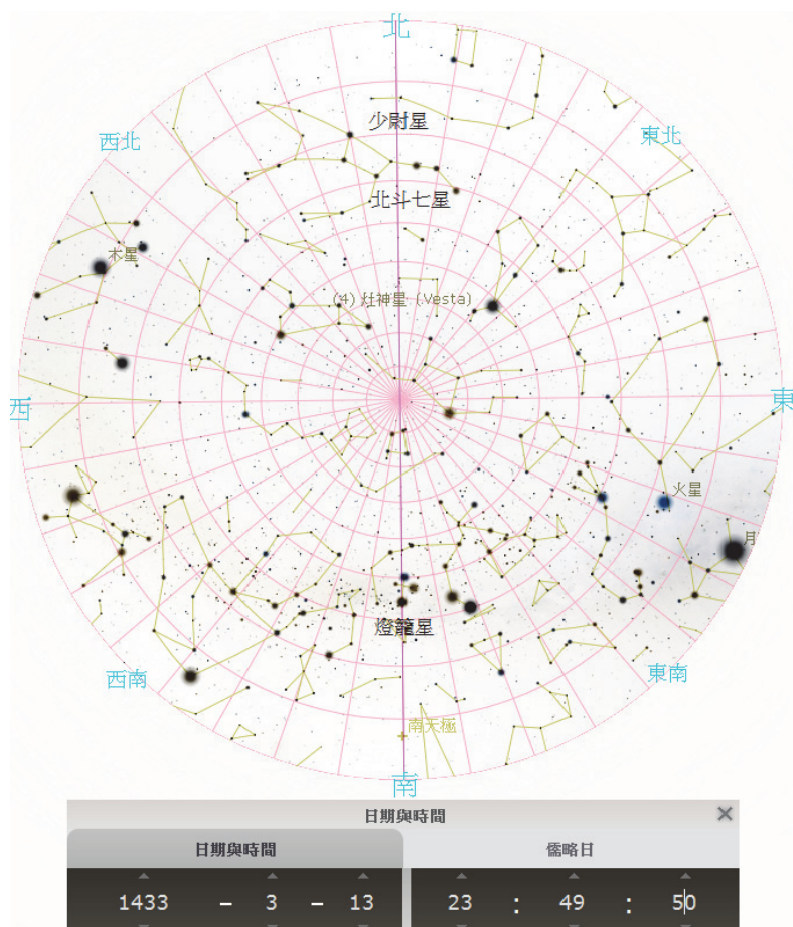


圖 9 東非海岸慢八薩牽少尉星導航的星空圖像

結語

四幅過洋牽星圖是觀測員所作的筆記，方便下西洋船隻下次航海使用，及至 1621 年（天啟元年）《武備志》刊印時，已時隔近兩百年，舊稿文件數據及文字，可能年久腐朽汙損或原稿字跡潦草等原因，造成抄錄錯誤及誤植等現象。雖然過洋牽星圖存在一些錯誤，但是被封存兩百年的牽星記錄，也因此保留了原貌，讓我們窺知其中的奧妙。

借助 Stellarium 天文軟體操作，可以還原過洋牽星圖內容，本文依據軟體提供的數據，經過分析與驗證，研習心得總結如下：

1. 明代的牽星大約有三種方式：最佳方式以燈籠星中天為牽星時刻，此時可同步觀測北辰星及華蓋星（天龍五或御女四）。其次以某雙星在同一水平高度為牽星時刻（譬如北斗頭雙星、燈籠星下雙星等），並同步觀測天際另一邊的某顆星辰。最後為備選方式，此乃以某星辰上升到指定高度時刻（譬如織女星七指為母），同步觀測另一星辰（如南北布司星）。

2. 鄭和船隊所用的牽星板類似直尺，以正切長度表示星辰仰角指數。當年船隻只要依據各地指數航行便可安抵目的地。由於四幅牽星圖的數據有「角數」的捨入及誤抄問題，這些問題必須在軟體上作適當檢驗調整，才能得到合理結果。
3. 1432 年 12 月 2 日往程在錫蘭別羅里主牽北斗頭雙星，係指大熊星座的北斗一（ α UMa）及北斗二（ β UMa），同步所牽西南水平星以水委一（ α Eri）之可能性最大。
4. 華蓋星座通常指以杠九（38 Cas）為傘心的傘狀星座，鄭和下西洋大多在冬春之際，夜晚不易見到。東非沿岸的華蓋指數記錄，符合主牽御女四（44 Dra）中天仰角，也符合天龍五（5 Dra）中天仰角。
5. 明代航海牽星方式，依各地緯度高低而異；在印度西岸牽北辰星為主，在非洲東岸因位置偏南改牽華蓋星。有時也因季節時序影響而牽西邊七星及東南邊燈籠星下雙星等。同步觀測東編織女星及西邊的南北布司星高度也是牽星定位方法之一。

引用文獻

- 向達校注（2002）：〈順風相送〉，《西洋番國志、鄭和航海圖、兩種海道針經》。北京市：中華書局。
- 【Xiang, D. (annotated) (2002). *Fair Winds for Escort. Records of Foreign Countries in the Western Ocean. The Nautical Charts of Zheng He. Two works on Sailing Directions for Sea Routes*. Beijing: Zhonghua Book Company.】
- 朱鑒秋、李萬權（1988）：《新編鄭和航海圖集》。北京市：人民交通出版社。
- 【Zhu, J.Q., and Li, W.Q. (1988). *The New Edition of Atlas of Zheng He's Navigation Chart*. Beijing: People's Transportation Publishing House.】
- 林筱倩（2015）：《牽星術：明代中國的伊斯蘭導航知識》。新竹市：國立清華大學歷史研究所碩士論文。
- 【Lin, H.C. (2015). *Fettering the Stars: Islamic Navigational Knowledge in Ming China*. Hsinchu: Master Thesis, Institute of History, National Tsing Hua University.】
- 竺可楨（1973）：〈論以歲差定《尚書·堯典》四仲中星之年代〉，《竺可楨文集》。頁 100-107。北京市：科學出版社。
- 【Chu, K.C. (1973). *Treatise on Using Precession to Determine the Period of the Four Mid-season Stars Recorded in the Book of Document. Collection of Chu Kochen* (pp. 100-107). Beijing: Science Press.】
- 茅元儀（1621/1984）：〈占度載·航海〉，《武備志》。臺北市：華世出版社。
- 【Mao, Y.Y. (1621/1984). *Records of prognostications and calculating: Navigation. Digest of Military Preparedness*. Taipei: Hua Shi Publishing Company.】
- 徐玉虎（1976）：《明代鄭和航海圖之研究》。臺北市：台灣學生書局。
- 【Xu, Y.H. (1976). *Research on the Cheng Ho of Ming Dynasty*. Taipei: Student Book.】
- 徐勝一、洪致文、白偉權（2016）：〈鄭和航海在孟加拉灣及阿拉伯海遇到的季風挑戰：以 QuikSCAT 風場為探討基礎〉，《地理學報》，80：1-22。
- 【Hsu, S.I., Hung, C.W., and Pek, W.C. (2016). *Challenge of Zheng He's Expedition against Monsoon across*

- Bay of Bengal and Arabian Sea based on QuikSCAT Wind Data. *Journal of Geographical Science*, 80: 1-22.】
- 徐勝一、陳有志 (2008):〈鄭和「過洋牽星圖」及丁得把昔與沙姑馬山地理定位之研究〉,《地理學報》, 52: 93-114。
- 【Hsu, S.I., and Chan, Y.Z. (2008). Study on the Navigation Charts of Zheng-he's Expedition and Geographical Positioning of Dandi Baxi and Sha-Gu-Ma-San. *Journal of Geographical Science*, 52: 93-114.】
- 徐勝一、陳有志、孫兆中 (2019):〈再談《過洋牽星圖》北辰星及織女星的天文導航〉,《中華科技史學會學刊》, 24: 77-88。
- 【Hsu, S.I., Chen, Y.C., and Sun, Z.C. (2019). Use of Polaris and Vega to Position the Ships in Zheng-Ho's Astronomical Navigation Charts. *Bulletin of Association for the History of Science*, 24: 77-88.】
- 祝允明 (1966):《前聞記》,收錄在王錡撰《寓圃雜記》。臺北市:臺灣商務出版社。
- 【Zhu, Y.M. (1966). *Records of previous legends*. In: Wang, Q. *Miscellaneous records of Yupu*. Taipei: The Commercial Press.】
- 國立海洋科技博物館 (2012),〈牽星板〉,《船舶與港口終身學習網教材》。
- 網址: <https://www.nmmst.gov.tw/chhtml/content/154/653>。2021.07.08 瀏覽。
- 【National Museum Of Marine Science and Technology (2012). Kamal. *Lifelong Learning Network Materials of Ship and Port*. <https://www.nmmst.gov.tw/chhtml/content/154/653>. (accessed 2021.07.08).】
- 張江齊、陳現軍 (2017):〈鄭和牽星圖導航技術研究〉,《地理資訊世界》, 24(5): 86-91。
- 【Zhang, J.Q., and Chen, X.J. (2017). Research on Zheng He's Astronomical Navigation Technology. *Geomatics World*, 24(5): 86-91.】
- 張芝生主編 (2003):〈測繪學辭典〉,《雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網》。
- 網址: <https://terms.naer.edu.tw/detail/1301072/>。2021.07.08 瀏覽。
- 【Chang, C.S. (Ed.) (2003). Dictionary of Surveying and Mapping. *Bilingual vocabulary, academic term and dictionaries news*. <https://terms.naer.edu.tw/detail/1301072/>. (accessed 2021.07.08).】
- 陳久金、張明昌 (2008):《中國天文大發現》。濟南市:山東畫報出版社。
- 【Chen, J.J., and Zhang, M.C. (2008). *Chinese astronomical discoveries*. Jinan: Shandong Pictorial Publishing House.】
- 喬娜 (2016):〈《武備志》版本流傳考〉,《清史論叢》, 31: 298-317。
- 【Qiao, N. (2016). Study on Evolvement and Development of Edition of Digest of Military Preparedness. *Collections of Studies on Qing History*, 31: 298-317.】
- 溫志紅 (2017):〈牽星板與過洋牽星術〉,《中國航海博物館》。
- 網址: https://www.shmmc.com.cn/Home/ww_detail?id=badf82ba09eda09a。2021.07.08 瀏覽。
- 【Wen, Z.H. (2017). Kamal and the method of Sea-crossing with Fettering Stars. *China Maritime Museum*. https://www.shmmc.com.cn/Home/ww_detail?id=badf82ba09eda09a. (accessed 2021.07.08).】

雷宗友 (2005):《鄭和下西洋》。上海市:少年兒童出版社。

【Lei, Z.Y. (2005). *Zheng He's Expeditions to the Western Ocean*. Shanghai: Children and Juvenile Publishing House.】

維基百科 (n.d.):〈Stellarium〉。<https://zh.wikipedia.org/wiki/Stellarium>。2021.07.05 瀏覽。

【Wikipedia (n.d.). Stellarium. <https://zh.wikipedia.org/wiki/Stellarium>. (accessed 2021.07.05).】

劉次沅、周曉陸 (1999):〈懿王元年天再旦於鄭考證〉,《自然科學史研究》,18(1):48-54。

【Liu, C.Y, and Zhou, X.L. (1999). An Examination into the Ancient Record on “Double Dawn”. *Studies in the History of Natural Sciences*, 18(1): 48-54.】

歐陽亮 (2019a):〈謎樣星宿:用星星做成的傘「華蓋」與鄭和航海圖(上篇)〉,《臺北星空》,87:31-36。

【Ou, Y.L. (2019a). Mystery of Constellations: Huagai (Canopy of the Emperor), umbrella made by stars, and Zheng He's Navigation Chart (part1). *Taipei Astronomical Museum Magazine*, 87: 31-36.】

歐陽亮 (2019b):〈謎樣星宿:用星星做成的傘「華蓋」與鄭和航海圖(下篇)〉,《臺北星空》,88:26-31。

【Ou, Y.L. (2019b). Mystery of Constellations: Huagai (Canopy of the Emperor), umbrella made by stars, and Zheng He's Navigation Chart (part 2). *Taipei Astronomical Museum Magazine*, 88: 26-31.】

Espenak, F., and Meeus, J. (2009). *Five Millennium Catalog of Solar Eclipses: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) —Revised*. Washington D.C.: National Aeronautics and Space Administration.

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCSE/TP2009-214174.pdf>.

Ferrand, G. (Ed.) (1914). Sīdī 'Alī Ćelebī (1554). *Relations de Voyages et Textes Géographiques: Arabes, Persans et Turks: Relatifs à L'Extreme-Orient: Du VIIIe au XVIIIe siècles (Vol. 2)* (pp. 484-541). Paris: Ernest Leroux.

Hsu, S.I., and Chen, Y.Z. (2012). Preliminary Study of Astronomical Navigation by Zheng He. In: Chia, L.S. and Church, S.K. (Eds.) *Zheng He and the Afro-Asian World* (pp. 85-97). Bandar Melaka: Perbadanan Muzium Melaka (PERZIM); Singapore: International Zheng He Society.

Musée national de la Marine (2013). The Art of Navigation. *Oman et la Mer*.

https://omanetlamer.fr/en/exhibition_artofnav_en.html. (accessed 2021.07.08).

Polat, G.D. (2017). Kamal, an Instrument of Celestial Navigation in the Indian Ocean, as described by Ottoman Mariners Piri Reis and Seydi Ali Reis. *Studies in Ottoman Science*, 19(1): 1-12.

Wikipedia (2015). A simple wooden Kamal (navigation).

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Simple_Wooden_Kamal_\(Navigation\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Simple_Wooden_Kamal_(Navigation).jpg). (accessed 2021.07.08).

投稿日期:110年03月31日

修正日期:110年08月12日

接受日期:110年08月30日