

天文航海學

何景星 周達洪 盧敏樹 編著

中國科學圖書儀器公司

出版

U
H/29

學 海 航 文 天

何景星 周達洪 盧敏樹 編著

中國科學圖書儀器公司

出版

內 容 提 要

本書先從天文學方面的基本知識敘述起，依次論及航海年歷、位置三角形、位置線及船位測算等航海方面的各項天文測量與計算方法。最後述及索星法，以供實際應用。書末附有航海年歷表舉例，凡本書中所舉計算實例之資料均可根據該項附表檢查而得。

本書可供航務學院作為教學參考，亦可供航海工作人員作自學及研究參考之需。

天 文 航 海 學

編 著 者 何 景 星 周 達 洪 盧 敏 樹

出 版 者 中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

上海延安中路 537 號 電話 64545

上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

經 售 者 新 華 書 店 上 海 發 行 所

★ 有 版 權 ★

NE.2—0.12 249 千字 開本：(762×1066) $\frac{1}{16}$ 印張：14.37

定 價 ¥ 21,400 1954年11月初版第1次印刷 1—1,500

序

我們感覺到，自然科學是應該服務於廣大的勞動人民，而且需要由他們去掌握，使它成為推動人類社會向前發展的一個重要因素。在目前，我國出版關於天文航海的書籍，還是不多，而且有部份又已經失去時間性了，這就是本書編寫以及把它帶回祖國出版的動機。

一九五一年底，我們初步地搜集好了關於天文航海的各種資料，開始動筆。由於我們分別在不同的船舶上工作，而這些船舶又經常在海外各處航行，相遇的機會很少，因此筆法的統一和經驗的交流上都受着環境所限制，而且寫作的速度也隨着緩慢了。經過了多次的增刪和修改，到一九五四年六月，纔完成了作為本書初版的底稿。

本書是在理論上的學習與工作上的實踐相結合的情況下編寫而成。重點是研究船舶遠洋航行時關於天測的各種應用問題。一切名詞及術語的製訂，以習慣流行為原則。所列舉的公式及各種計算法則，都着重於實用方面，不切合實際的公式以及古老的計算法則，在可能範圍內，都不加採用。同時，對於每一個重要的公式，都附帶敘述其來源。所以本書很適合在業海員進修和參考之用，也可以作為航務學校教材的副本。

我們對於航海方面的學識與經驗，還是不多，雖然在編寫本書時所抱的態度，比較嚴謹，但或許還會有錯誤或不足的地方，希望航海界工作者們加以批評，並予指正，以便作為再版時修正及補充的根據。

何景星 周達洪 盧敏樹

一九五四年八月

參 攷 書

Admiralty Navigation Manual

Nicholls's Concise Guide

Dutton's Navigation and Nautical Astronomy

Bowditch's Practical Navigation

日本酒井進著：天文航海術。

載文賽等譯：普通天文學教程。

夏堅白等編：實用天文學。

楊載廣編著：航海術。

目 錄

引言	1
第一章 天球	2-15
1-1 天體	2
(一)天體的眞位置與視位置	3
(二)天體的眞運動與視運動	3
1-2 天赤道系	4
(一)天極	4
(二)天赤道	4
(三)天體的視運動	4
(四)黃道	6
(五)春分點與秋分點	6
(六)夏至點與冬至點	7
(七)天子午線	7
(八)赤經	8
(九)赤緯	8
(十)赤緯等距圈	8
(十一)極距	8
(十二)天體的地理位置	9
(十三)天赤道坐標	9
(十四)天赤道平面圖	9
1-3 水平圈系	10
(一)天頂	10
(二)眞水平圈	11
(三)居處水平圈	11
(四)視界水平圈	11
(五)觀測者天子午線	11
(六)方位基點	11
(七)高度圈	11
(八)六時圈	11
(九)水平圈坐標	12
(十)水平圈平面圖	12
(十一)天體方位角	13
(十二)子午圈平面圖	13
(十三)極高	14
第二章 時	16-41
2-1 時角	16
(一)天體時角	16
(二)春分點時角	16
(三)天體的恒星時角	16
(四)時角與方位角的關係	17
2-2 時間的產生與種類	17
2-3 太陽時	18
(一)視太陽	18
(二)視太陽日	18
(三)視正子與視正午	18
(四)視太陽時	18
(五)視太陽時與視太陽時角的關係	19
(六)視太陽年	19
(七)平太陽	20
(八)平太陽日	20
(九)平正子與平正午	20
(十)平太陽時	20
(十一)平太陽時與平太陽時角的關係	21
(十二)平太陽年	21
(十三)時差	21
(十四)時間與弧度的換算法	23

(十五)格林時與地方時的換算法	24	(五)求恒星時角法	35
(十六)視時與平時的換算法	25	2-5 太陰時	37
(十七)標準時,區時與夏令時	26	(一)太陰日	37
(十八)日界線	27	(二)太陰月	37
(十九)求太陽時角法	30	(三)太陰時	38
2-4 恆星時	31	(四)求月亮時角法	38
(一)恒星日	32	2-6 求行星時角法	39
(二)恒星時	32	2-7 經線儀的誤差	40
(三)恒星年	32	(一)經線儀的誤差	40
(四)恒星時與平時的關係	32	(二)求經線儀誤差法	41
第三章 天體高度	42-59		
3-1 高度的分別	43	(三)折光差	46
(一)真高度	43	(四)半徑差	50
(二)視高度	43	(五)視差	53
(三)觀測高度	43	3-3 高度的改正法	55
(四)六分儀高度	43	(一)太陽高度的改正法	55
3-2 高度的改正量	43	(二)恒星高度的改正法	56
(一)六分儀的器差	44	(三)行星高度的改正法	57
(二)眼高差	44	(四)月亮高度的改正法	58
第四章 航海年曆	60-64		
4-1 時差表	60	4-5 恆星表	62
4-2 月亮上中天及月相表	60	4-6 北極星表	62
4-3 行星表	61	4-7 晨昏朦影表	63
4-4 日曆	61	4-8 內插表	63
第五章 位置三角形	65-79		
5-1 位置三角形的角和邊	65	5-4 求方位角	71
5-2 求高度(已知赤緯, 緯度和時角)	66	(一)已知赤緯,時角和高度,求方位角	71
5-3 求時角(已知赤緯, 緯度和高度)	68	(二)已知赤緯,緯度和高度,求方位角	75
		(三)已知赤緯,緯度和時角,求方位角	77
第六章 位置線及船位	80-120		
6-1 位置圈及位置線	80	(二)經度法	90
6-2 求位置線法	82	6-3 從位置線到船位	99
(一)修正差法	82	(一)同時觀測異天體法	102

(二)異時觀測同天體(或異天體)法	108	(二)船位的誤差	118
6-4 位置線與船位的誤差	117	(三)誤差三角形	119
(一)位置線的誤差	117		

第七章 求緯度法 121-147

7-1 天體的中天	121	7-2 子午圈高度求緯度法	128
(一)求太陽中天時間法	122	7-3 視正午緯度與船位	131
(二)求恒星中天時間法	124	7-4 旁子午圈高度求緯度法	137
(三)求月亮中天時間法	125	7-5 北極星高度求緯度法	144
(四)求行星中天時間法	127		

第八章 天體出沒 148-155

8-1 天體的出沒	148	8-3 月亮的出沒	152
8-2 太陽的出沒	149	8-4 天體出沒方位角	153

第九章 航海天測計算表 156-184

9-1 天測時船位的估計	156	使用 Δd 改正量	177
(一)推測位置與假定位置	156	(二)用假定緯度及推測經度求計算	
(二)推測位置與假定位置對於決定		高度及方位角, 使用 Δd 與 Δt	
位置線的關係	157	改正量	179
9-2 米村氏高度方位角表	162	(三)用推測位置求計算高度及方位	
9-3 208高度方位角表	166	角, 使用 Δd , Δt 和 ΔL 改正量	180
9-4 211高度方位角表	171	9-6 A.B.C. 方位角表	181
9-5 214高度方位角表	176	9-7 天體方位角表	183
(一)用假定位置求計算高度及方位角,			

第十章 索星法 185-193

10-1 星等	185	10-3 航海四大行星	190
10-2 恆星與星座	186	10-4 索星	191

附錄一 航海年曆表例 195-229

(一)時差表	197	(六)恒星略圖	217
(二)月亮上中天及月相表	198	(七)北極星表	219
(三)行星表	199	(八)弧度與時間換算表	221
(四)日曆	201	(九)內插表	222
(五)常用恒星表	215		

附錄二 天文航海學名詞..... 231-245

(一)天文航海學名詞華英對照···233

(三)天文航海學名詞主要略字···243

(二)天文航海學名詞英華對照···238

(四)天文航海學名詞重要符號···245

引 言

在所有自然科學中，天文學是很早便被發展的一門科學，由於人類社會的發展與實際需要，使天文學日漸進步，從實踐中研究出理論，又從理論結合到實踐。隨着海外物資交流與航海事業的增長，航海人員需要在廣闊的海洋上決定出船舶的位置，以便保持正確的航行方向。為了解決這個實際問題，完善的天文觀測，乃為必要。更由於無數航海工作者不斷研究的結果，使天文學在數學的幫助下，應用到航海方面，另外發展為一個獨立的部門——天文航海學。

根據球面幾何的基本原理，利用天體在天球上的位置，測量天體的眞高度，從而用球面三角公式，精確地計算出船舶的位置與方向，測定羅盤和經線儀的誤差，這些都是天文航海學的主要內容。

第一章

天 球

天球是一個想像的球體，有着無限大的半徑。所有日，月，星辰，都想像地附在天球的內面上。它的中心，也即是地球的中心。

地球上的觀測者，也想像地位置在天球的中心。因為地球的半徑（甚至地球繞日運行的軌道）與無限大的天球半徑比較起來，是渺小不足道的。地球在天球中，簡直像一個小點而已。

假使在晴朗的晚上，仰觀天體，便可以決定出一個想像的天球來。這時候，只覺得天空就像半個球形，蓋在地球上面，所有天體，看來都像是附在這半個球形的內面，分不出與地球間距離的遠近，而只有明暗的差別。雖然他們與地球實在是各有着不同的距離，而且相差極大，但這是無關重要的，因為在我們想像的天球上，已經把各個不同距離的天體，都一一投影在同一距離的球形內面上了。

1-1 天 體

在無窮的太空裏，有着太陽和月亮，也有着無數的星，辰，統稱天體。天體的種類大別可以分爲：恆星、行星、衛星、彗星、流星、小遊星、（或稱小行星），星雲及星團等。

肉眼所能看見的天體，以恆星佔最多數。由於它們本身自能發光，光度往往不變，位置也經常固定，所以叫做恆星。其實恆星每刻都有自行的運動，而且有的還是以驚人的速度在宇宙間移動着，不過它們與地球的距離，實在是太遠，因此我們在地球上絲毫不覺得它們的位置正在變動而已。

太陽是肉眼所見的恆星中距離我們最近，而且最光明最大的一個天體，它和地球的關係，也最密切。因此，太陽在航海的天測中，無疑地是最主要的對象。

行星，通常是指太陽系的行星而言。到目前止，已被發現的行星，連地球在內，共有九顆，那是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星，稱爲太陽系九大行星。它們都各按着橢圓形的軌道，環繞太陽而運行。由於天

王星、海王星與冥王星、距離地球過遠，非在良好的望遠鏡下，難以辨認；水星則因為與太陽距離過近，最大離角（大距）亦不超過 29° ，通常皆被太陽的光輝所掩，只有大距或接近大距時，在日出前的東方或日沒後的西方近水平線處，纔可發現，而且為時甚暫。所以在這九大行星當中，能夠被用作航海中天測對象的，實在只有金星(♀)火星(♂)木星(♃)和土星(♄)四個。

星 名	直徑(哩)	(至太陽) 平均距離(哩)	公轉周期	衛 星 數
太 陽	866,400	—	—	—
水 星	3,000	36,000,000	88 日	0
金 星	7,000	67,000,000	255 日	0
地 球	7,927	93,000,000	365 $\frac{1}{4}$ 日	1
火 星	4,200	142,000,000	1.88 年	2
木 星	88,250	483,000,000	11.86 年	11
土 星	74,240	886,000,000	29.5 年	9
天 王 星	32,000	1,782,000,000	84 年	5
海 王 星	32,900	2,792,000,000	164.8 年	2
冥 王 星	—	3,701,000,000	248.4 年	—

環繞着行星而運行的天體，叫做該行星的衛星。衛星而被作為天測對象的，只有月亮一個；它是地球的衛星。

彗星也是太陽系天體之一，拖着馬尾狀的光輝，不過並不常見，有的隱現無常，有的依着周期性而出現。至於流星，更只是煞那間飛越太空，一縱即逝。這些在航海工作上，都沒有什麼作用。

小遊星是在火星與土星運行的軌道間的小行星，約有 900 顆以上，由於它們的光輝微弱，體積甚小，故無助於航海工作。

至於星雲，是雲狀的天體，有着渾茫的光；而星團則只是多數恆星的密集，在這裏，更沒有詳細研究之必要。

（一）天體的真位置與視位置 地球中心至天體中心的聯線，無限延長、交天球於一點，這便是天體在天球上的真位置。

從觀測者至天體中心的聯線與天球相交於一點，稱為天體的視位置。

由於恆星與地球，有着無限大的距離，所以恆星的視位置與真位置是一致的。

（二）天體的真運動與視運動 由於天體的運行，使它本身的位置有所變動，叫做天體的真運動。例如行星與地球環繞太陽公轉，月亮繞着地球而運行，這都是它們的真運動。

至於天體的視運動，乃是觀測者在視覺上所見天體位置的變遷，但這並非緣於天體本身的運行，而是因為觀測者位置的移動（地球位置的移動），從相對作用中產生的錯覺所致；這正如我們在行走着的列車裏，所見車廂外兩旁的景物都在向後倒去的情形一樣。

1-2 天赤道系

（一）天極 將地軸無限延長而達於天球，這條想像的線，便是天軸，天軸與天球相交的兩點叫天極，在地球北極方面的是天北極，在南的是天南極，如圖 1-1 的 P 便是天北極， P' 便是天南極。

（二）天赤道 地球的赤道面無限擴展，與天球相交的一個大圈，便是天赤道，如圖 1-1 的 WE 。天赤道面與天軸，二者是互相垂直的。

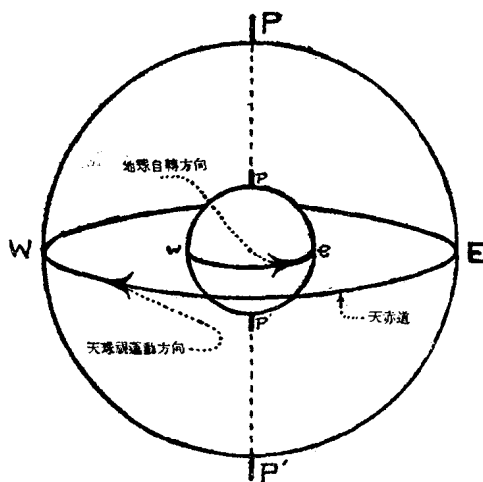


圖 1-1

（三）天體的視運動 天球原是固定不動的，地球則依地軸每天向東迴轉。然而，我們絲毫不覺得地球正在轉動，相反的只看見天球無時不在向西迴轉着，這就是在地球上所見到各天體每天東昇西沒的理由。

地球除了自轉之外，還作着繞日運行的公轉，公轉的軌道面雖然很大，但在無限遠的距離中，却顯得非常渺小，能夠給予恆星的影響，也就微乎其微。所以恆星的視運動，也就比較單純。我們只要留心觀察恆星，便可發現衆星總是循着一定的軌道，東昇西沒，周而復始，而這個視運動的軌跡，恰好成爲一個小圈，與天赤道平行。同時恆星與恆星間的角距，是經常不變的。

在圖 1-2 中， A 與 B 代表兩顆恆星，當地球在 O 點時，所見 B 恆星在天球上的位置是 B' ， A 恆星的位置是 A' ，兩恆星間的角距是 $A'OB'$ ；當地球因公轉而到達 O' 點時，則看見 B 恆星在天球上的位置是 B'' ， A 恆星的位置是 A'' ，兩恆星間的角距是 $A''OB''$ 。

在理論上， $\angle A'OB'$ 與 $\angle A''OB''$ 是應該有着差異存在的。但是，由於任何

一顆恆星(除了太陽)距離地球,都接近於無窮遠, OO' 在這偌大的距離中,便顯得非常渺小,簡直是接近於零的。於是 $\angle A'OB'$ 便等於 $\angle A''OB''$,這就是恆星與恆星間的角距所以經常不變的理由。

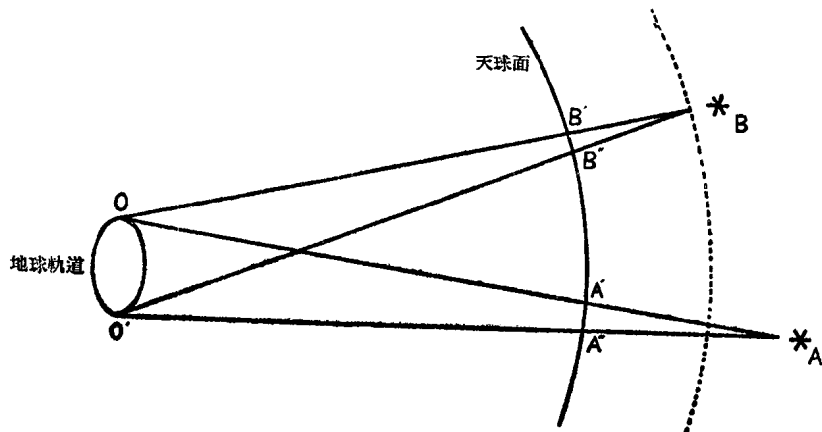


圖 1-2

太陽與地球的距離,比之恆星,要近了很多;所以太陽在天球上的位置,便會因地球在公轉軌道上的移動而變異。由於長期地觀察太陽的結果,發現太陽與恆星間的角距天天在變動着,今天在這顆恆星附近,趕明兒又跑到另外一顆恆星的旁邊了。

我們在天球上選擇一顆恆星(或一定點),作為觀察太陽在天球上移動的根據。如圖 1-3, X 表示天球上一顆恆星(或一定點), S 代表太陽,圓周代表地球公轉的軌道,又因恆星距離地球極遠,故圖中虛線可作成平行。

當地球位置在 E_1 時,設地球與太陽及該恆星在同一直線上。

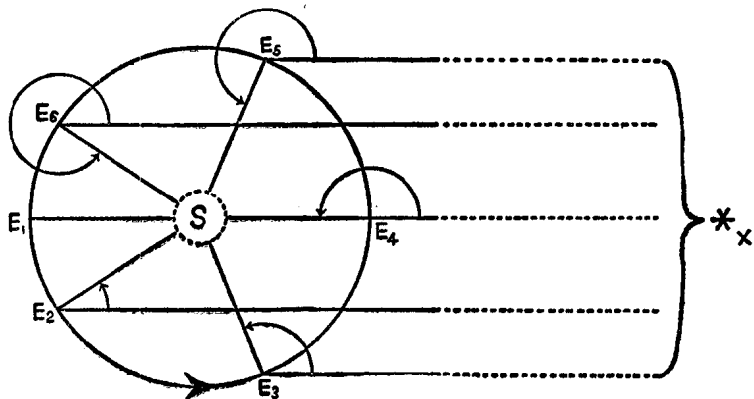


圖 1-3

隔了相當時候,地球循着公轉軌道從 E_1 到達 E_2 ,這時,太陽與該恆星便會在地球上成一個夾角 XE_2S (所有角度均按反時針方向量度)。

當地球在 E_3 時這個夾角便會遞增成 XE_3S 。

地球繼續移動至 E_4, E_5 及 E_6 ,這個夾角也一直在遞增。當地球公轉了一周再回到 E_1 時,這個角度也達到極限(360°)。然後又再重新開始,繼續運行。

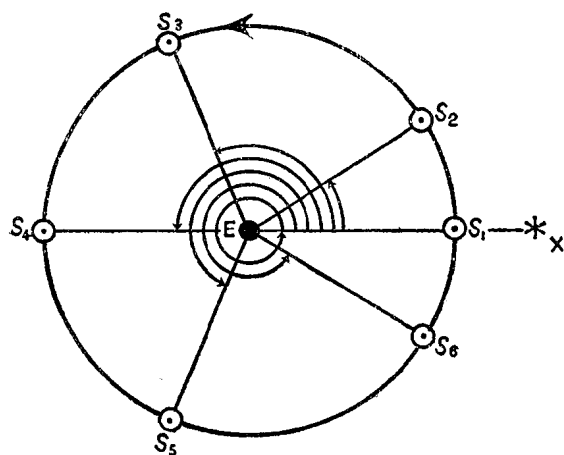


圖 1-4

當地球在 E_1 時(圖 1-3), 地球上的觀測者便見到太陽與該恆星重合在天球上的 S_1 (圖 1-4)。

當地球由 E_1 移動至 E_2 時(圖 1-3),由於相對作用所產生的結果,觀測者並不覺得地球正在移動,而只看見太陽在天球上從 S_1 跑到 S_2 ,夾角 XE_2S (圖 1-3)等於 XE_1S_2 (圖 1-4),這正是太陽與該恆星的角距。

太陽在 S_3 時,這個角距便會遞增成 XE_3S_3 。

於是太陽在天球上的移動從 $S_1S_2\cdots$ 而至 S_5, S_6 ;正相當於地球從 $E_1E_2\cdots$ 而至 E_5, E_6 ;地球回到 E_1 時,也即是太陽回到 S_1 ,地球環繞太陽公轉一周,也正是太陽在天球上移動了一個圓圈的時候了。

(四) 黃道 我們既已知道,太陽在天球上的移動,是由於地球的公轉,從相對作用所產生的結果。假使將太陽在天球上所移動的位置,一一記錄起來,經過長期間的觀察,便可知道太陽與恆星間的角距,雖然天天在變動,但一年總有一次的相同,由此發現了太陽在天球上移動的視軌跡,是一個大圈,稱為黃道。

黃道與天赤道在天球上相交於兩點,而黃道面與赤道面則約成 $23^\circ 27'$ 的交角;稱做黃道傾角,或稱黃赤交角;這是因為地球的自轉軸與公轉軌道面並不互相垂直的緣故。如圖 1-5。

(五) 春分點與秋分點 黃道與赤道相交的兩點,稱做二分點,

二分點中,太陽每年 3 月 21 日左右,循着黃道,由南往北,所經過的一點,稱為春分點(γ)。每年 9 月 23 日左右,循着黃道,自北向南,所經過的一點稱為秋

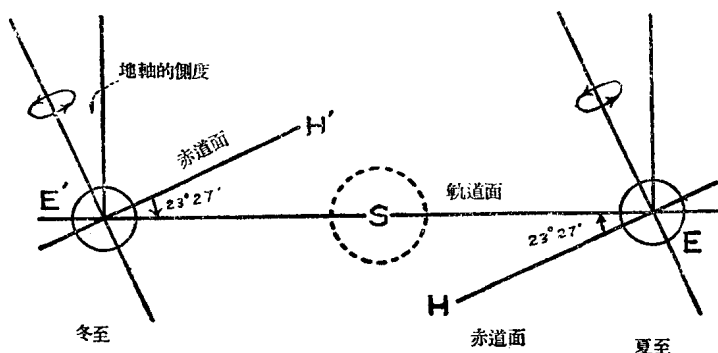


圖 1-5 表示地軸在公轉軌道面上的側度。當地球在圖中所示 E 和 E' 兩位置時，相當於北半球的夏至與冬至。

夏至時，地球在 E ，太陽位置在赤道面之上，所成的角度正等於地軸的側度 $23^{\circ}27'$ 。

冬至時，地球在 E' ，太陽落在赤道面之下，也成 $23^{\circ}27'$ 的角度。

所以黃道面與赤道面會成 $23^{\circ}27'$ 的交角。

分點(♈)。如圖 1-6。

(六) 夏至點與冬至點 在黃道上與天赤道相隔最遠的有兩點，(赤緯 $N 23^{\circ}27'$ ，赤經 $6^h, 18^h$) 稱做二至點。

二至點中，在天赤道以北的，叫夏至點(♋)，在天赤道以南的，叫冬至點(♏)。如圖 1-6。

每年 6 月 22 日左右，太陽便要經過夏至點，達到最大的北赤緯($N 23^{\circ}27'$)。過夏至點以後開始向南移動。每年 12 月 22 日左右，便經過冬至點，達到最大的南赤緯($S 23^{\circ}27'$)。然後再開始向北移動。

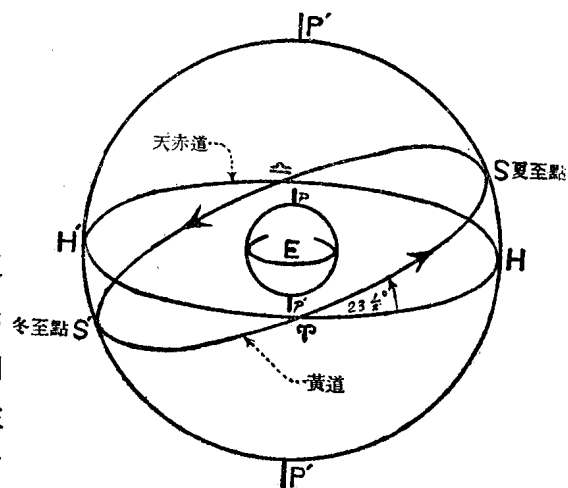


圖 1-6

所以從夏至點到冬至點這一段的期間，太陽在黃道上的移動，是自北向南；從冬至點到夏至點的一段期間，太陽的移動，是自南向北。

(七) 天子午線 聯結天球兩極所成的半個大圈，都稱做天子午線，它的含義與地球上的子午線相同，所以把地球上的子午線，無限擴展，交於天球，也便是天球上的天子午線。

所有天子午線，皆被天赤道垂直二等分，正如地球上的子午線和赤道。

通過天體的天子午線，稱做該天體的時圈。

(八) 赤經 天體的赤經(R. A.)，就是春分點的天子午線，與該天體的天子午線(時圈)二者在天極相交的一個夾角；自通過春分點的天子午線起，向東量度。也可以用該兩天子午線在天赤道上所截的一段大圈弧來表示它。

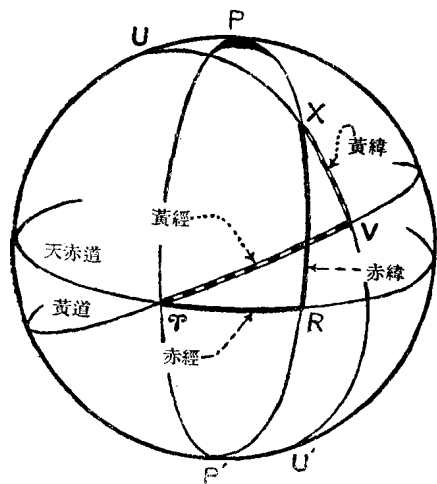


圖 1-7

如圖 1-7, $\angle \varphi PX$ 或 φR 即表示天體 X 的赤經。赤經由春分點向東數，自 0^h 至 24^h ，也即是 0° 至 360° 。

(九) 赤緯 天球上赤緯(Dec.)與地球上緯度的含義相同。天體的赤緯是天赤道和天體間的角距，它的量度方法也與地球緯度相同，由天赤道作為零點，分別

南北各數 90° 。如圖 1-7, RX 便是天體 X 的赤緯。

由此知道，位置的表示，在地球上用經度和緯度；在天球上，用赤經和赤緯。只不過地球上的經度是以格林尼治子午線作為 0° ，分別東西各數至 180° ，而赤經則是以春分點的子午線作為 0^h ，向東一直數至 24^h 。

有助於航海工作的主要天體，它們的赤經與赤緯，都被記載在航海年曆內，在實用時只要參閱航海年曆，便可知道某天體的赤經與赤緯。

特別注意，黃經與黃緯，跟赤經赤緯是絕不相同的，千萬不要把它們混亂。如圖 1-7 U 和 U' 是黃道的兩極， VX 是通過 UU' 的大圈弧，以表示天體 X 的黃緯； φV 是黃道上的截弧，以表示天體 X 的黃經。與赤緯 RX ，赤經 φR ，是有著顯著的差別。然而更要提出，用黃經與黃緯來表示天體位置的，叫黃道座標，但這在航用天文方面，並沒有重要性。

(十) 赤緯等距圈 與天赤道面平行的平面，交於天球，成為無數小圈，這都被稱做赤緯等距圈。由於這是所有天體每天晝夜運行(周日運動)的軌跡，所以也叫做周日圈。

(十一) 極距 天體到天極的角距，便是該天體的極距。所根據的天極，應與觀測者緯度同名；如觀測者在北緯，則根據天北極，反之，則根據天南極。

很顯明地，當天體赤緯與觀測者緯度同名時，極距的值等於 $90^\circ - \text{赤緯}$ 。如