



实用航海术

下 册

何 垸 编 著

山东人民出版社

实用航海术

下 册

何 堃 編 著

山 东 人 民 出



一 九 六 五 年 · 第 一 版

內 容 提 要

本書分上、下兩冊出版，上冊為地文航海法，下冊為天文航海法。

本冊為下冊，內容包括：航海天文學概說、天體高度的測法和改正法、時與天文鐘、航海天文曆的用法、天測位置綫的概念和各種算法、天測船位的求法及天體方位角的各種算法等。

本書可作為海運船舶、漁輪的航海人員及水產院校學生的參考書。

目 录

第二編 天文航海法

第 十 一 章	航海天文学概說及各名詞的解释.....	223
§11—1	概說.....	223
§11—2	航海天文学的基本名詞及天球坐标法.....	223
§11—3	天文三角形的各名詞.....	227
§11—4	天体出沒、天体中天和晨昏朦影.....	232
第 十 二 章	天体高度的測法与高度改正	235
§12—1	天体高度各名称的意义.....	235
§12—2	天体高度观测法.....	236
§12—3	天体高度的各改正数.....	240
§12—4	天体高度改正的算法.....	247
第 十 三 章	时与天文鐘	255
§13—1	概說.....	255
§13—2	太阳时.....	255
§13—3	恆星时.....	261
§13—4	太阴时.....	263
§13—5	时与經度.....	264
§13—6	天文鐘.....	270
§13—7	无线电授时.....	275
§13—8	記时表.....	277

第十四章 航海天文历的用法.....	281
§14—1 航海天文历的主要内容.....	281
§14—2 求天体的格林尼治时角和赤纬.....	284
§14—3 中天时刻的求法.....	286
§14—4 日出、日没和晨昏朦影时刻的算法.....	289
§14—5 月亮出沒时刻的算法.....	292
第十五章 星体的识别法.....	296
§15—1 星等.....	296
§15—2 星座和主要恒星.....	297
§15—3 恒星的识别法.....	299
§15—4 行星的识别法.....	315
第十六章 天测位置线的概念.....	316
§16—1 天测位置线和等高度位置圈的意义.....	316
§16—2 天测位置线的三种求法.....	317
第十七章 截距法求位置线.....	321
§17—1 截距法公式的推导.....	321
§17—2 截距法求位置线的计算程序和作图方法.....	323
§17—3 天体高度和方位表的用法.....	328
§17—4 正弦方法位置线表的用法.....	333
第十八章 经度法求位置线.....	336
§18—1 经度法公式的推导.....	336
§18—2 经度法求位置线的程序.....	339
第十九章 纬度法求位置线.....	346
§19—1 中天高度纬度法.....	346
§19—2 近中天高度纬度法.....	352
§19—3 近中天高度改算表的用法.....	358

§19—4 测北极星高度求緯度.....	364
第 二 十 章 天测船位的求法.....	367
§20—1 单一天测位置綫的利用.....	367
§20—2 同时观测两个或三个天体求船位.....	368
§20—3 隔时观测单一天体求船位.....	381
§20—4 天测船位的誤差.....	388
第二十一章 天体方位角	394
§21—1 天体方位角的各算法.....	394
§21—2 時間方位法.....	395
§21—3 天体出沒方位的求法.....	404
§21—4 北极星方位角的求法.....	408
§21—5 利用太阳方位求罗經自差表和修正自差.....	410
附录 I . “1961年航海天文历”部分摘录.....	415
附录 I . 天测位置綫簡捷計算表.....	439
附录 II . 三角学公式.....	524

第二編 天文航海法

第十一章

航海天文学概說及各名詞的解释

§11—1 概 說

天文学是研究天体现象的科学，它有着很悠久的历史。由于天体现象对于人类的生活有极密切的关系，因而这门科学的形成比其他自然科学都早。研究天文学所需要的基礎知識比較广泛，所以它的发展又同其他科学的成就有密切联系。

航海天文学是实用天文学的一部分。它主要講述天文学的基本名詞、天文的一般現象以及天文三角形的实用意义。而天文航海法則是以航海天文历（由天文台預先編印的一种历書）上載示的天体位置为依据，結合在海上实际測得的数据，利用航海天文学的算法来求船舶的位置或仪器的誤差；它对于航海事业的发展和安全有很大貢獻。

§11—2 航海天文学的基本名詞及天球坐标法

一、基本名詞

（1）**天体** 宇宙間所有的各星象，如太阳、月亮、行星、恆星、卫星、彗星、星团和星云等都叫做天体。而在天文航海上所觀測的天体計有：太阳、月亮、四大行星（金星、火星、木星、土星）和一些比較明亮的恆星。

（2）**天球** 在曠野或海上仰望天空，好象有半个巨大的空球罩在我們上面，地球就是它的中心，我們把这个想象的大空球叫做天球。

在天文学中，我們利用天球这样的假想，是为了便于說明天体在天球上的位置。天球是以地心作中心，以无限远作半径而在空間所描出的一个球面；凡是天空的天体，不論它們离地心有多远，一律都用从地心引出的直綫把它們投影到天球的內表面上，就好象在天球內表面上的許多点子。这样，我們就能够利用球面三角学的算法来計算所需要的各数据。

(3) 天球的视转动 天球原本是不转动的，但是地球在不停地向东自转，因而使我们看成天球好象在不停地向西旋转。依据这样的假象而看成的天球转动叫做天球的视转动（图158）。

(4) 天体真位置 从地心引出的直线，它通过天体中心而到达天球内表面上的一点叫做天体真位置（图159的 X' 和 Y' ）。

(5) 天体视位置 从地面上测者的眼引一直线，它通过天体中心而到达天球内表面上的一点叫做天体视位置（图159的 X'' 和 Y'' ）。

天体视位置和真位置相差的角距叫做视差（图159）。从图上可以看出：离地球近的天体，视差较大；离地球远的天体，视差则小。恒星离地球极远，它的视差几近于零，因此我们可以认为恒星视位置和真位置是一致的。

(6) 天极 无限引长地轴，它与天球面相交的两个点叫做天极（图158）。在北方的天极叫做北天极；在南方的天极叫做南天极。

(7) 天球赤道 无限扩展地球赤道的平面，它与天球面截成的大圆叫做天球赤道或天赤道（图158）。

(8) 天子午圈（时圈或赤经圈） 凡通过天球两极的大圆都叫做天子午圈或简称为子午圈（图158）。它也就是从地心把地面上的子午圈投影到天球面上所得的圆。显然，天子午圈和天赤道交成直角。

在习惯上，我们把通过某一地点的天顶（无限向上伸引该地的垂直线而交于天球面

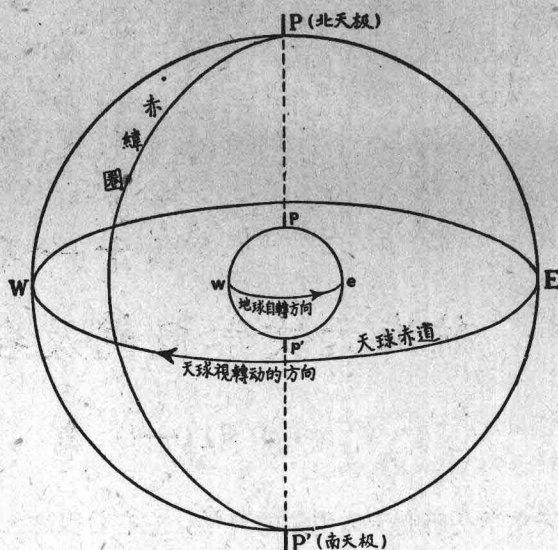


图158 天球和天球的视转动

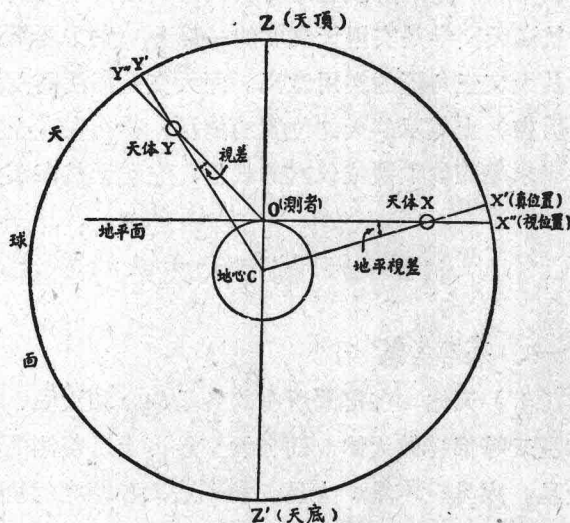


图159 天体的真位置和视位置

上的点)的天子午圈叫做該地的地方天子午圈或当地天子午圈;把通过格林尼治天頂(指格林尼治天文台子午仪中心的天頂)的天子午圈叫做格林尼治天子午圈;把通过某天体位置的天子午圈叫做該天体的时圈或赤緯圈。

此外,地方天子午圈又依两个天极把它划分为两个半圈,我們把測者天頂所在的半圈叫做极上段天子午圈;其余的半圈叫做极下段天子午圈。

(9) 赤緯平行圈 在天球面上,凡是和天赤道相平行的各小圈都叫做赤緯平行圈(图160)。赤緯平行圈同地球上的緯圈很相似,它也就是从地心把緯圈投影到天球面上所得的小圈。

(10) 天球黃道 在太阳系里,地球和各行星都围绕太阳自西向东进行公轉。然而按照天球的假想,是以地心作为天球的中心;因而我們在地球上观察,却把地球围绕太阳每年进行一周的公轉看成是太阳在天球上自西向东每年运转一周。在天文学上把这样看成的假現象叫做太阳的視运转或太阳的視运行;把太阳視运转所經過的路綫叫做天球黃道(图161)。

图161: 設 S 为太阳, $E_1 E_2 E_3 E_4$ 为地球繞太阳公轉的軌道。当地球在 E_1 的时候,我們看成太阳在天球上的位置为 S_1 ; 当地球在 E_2 的时候,看成太阳的位置为 S_2 ; 当地球在 E_3 的时候,看成太阳的位置为 S_3 ; 当地球在 E_4 的时候,看成太

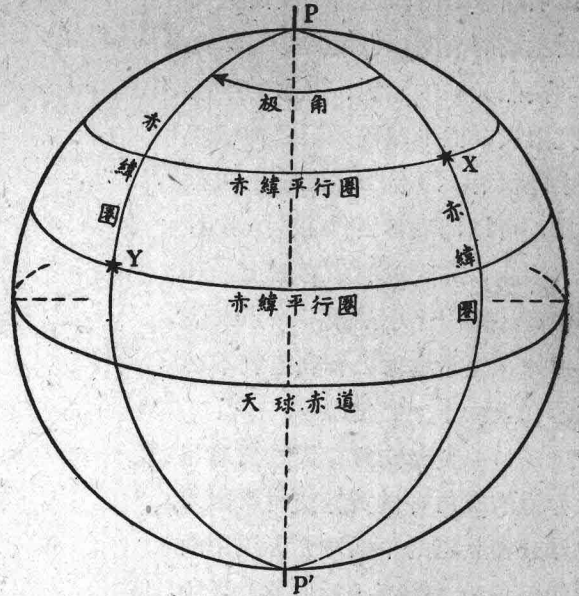


图160 赤緯圈和赤緯平行圈

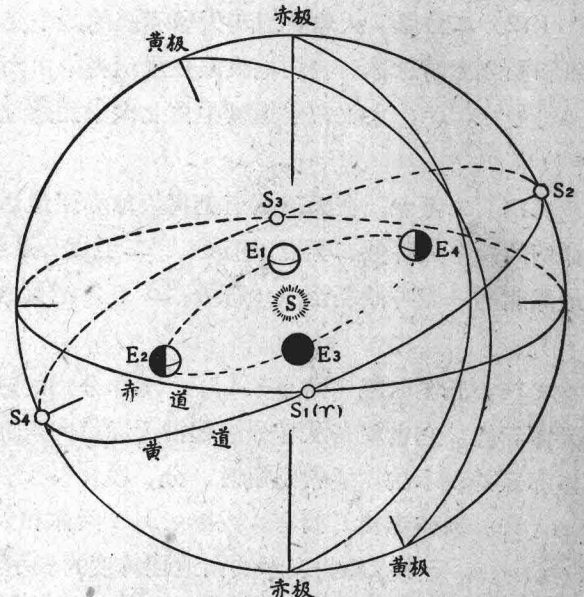


图161 太阳視运转的路綫和天球黃道示意图

阳的位置为 S_4 。由于这样看成太阳在天球上视运转所描出的大圈 $S_1S_2S_3S_4$ 就是天球黄道。

从这个图上还可以看出：无限地扩展地球公转轨道的平面而与天球面截成的大圈，也就是天球黄道。按照天球的说法：天球的半径为无限大，而地球绕太阳公转轨道的半径仅有 1.5 亿公里左右，两者相比，可以把后者当作极小来看待。因此，在天球的示意图上，只要在圆心画一个小圈或一个点来代表地球，至于地球公转轨道就不必表示在上面了（图 162）。

(11) 黄赤交角 天球黄道与天赤道的交角叫做黄赤交角。因为地球公转轨道的平面对于赤道平面的倾斜角为 $23^\circ 27'$ （近似数），所以黄赤交角也是 $23^\circ 27'$ （图 162）。

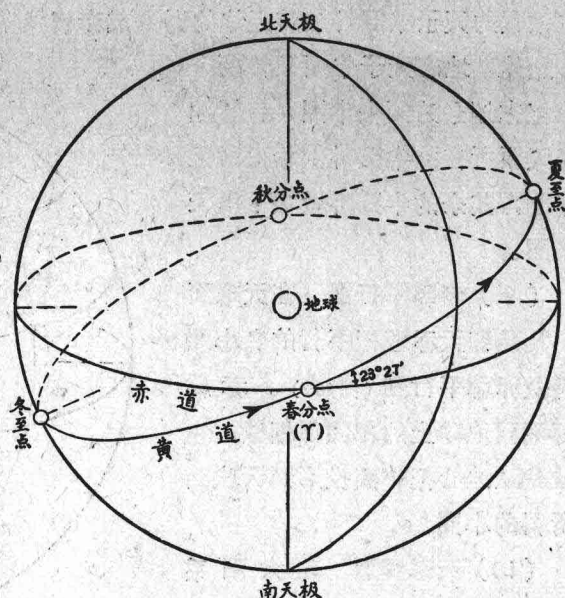


图 162 天球黄道和黄赤交角

(12) 二分点 天球黄道与天球赤道的两个交点叫做二分点（图 162）。二分点是春分点和秋分点的总称。我们把太阳在视运转中由南向北而通过天球赤道的一点叫做春分点（符号 Υ ）；太阳在视运转中由北向南而通过天球赤道的一点叫做秋分点（符号 $\cap$ ）。

(13) 二至点 在天球黄道上离天球赤道最远的两个点，也就是在黄道上最靠北和最靠南的两个点叫做二至点（图 162）。二至点是夏至点和冬至点的总称。我们把黄道上最靠北的一点叫做夏至点（符号 ☉ ）；把黄道上最靠南的一点叫做冬至点（符号 ☿ ）。

(14) 天体赤经（简写 R.A.）从春分点的时圈起向东度量到天体时圈的球面角叫做天体赤经。它也就是从春分点起沿天赤道向东度量到天体时圈的一段弧长（图 163）。天体赤经的表示法，通常是用时、分、秒（ $^h, ^m, ^s$ ），从 0^h 到 24^h 。

(15) 天体赤纬（简写 d 或 Dec.）天体和天球赤道所夹赤纬圈的弧长叫做天体赤纬（图 163）。天体赤纬的表示法同地理纬度的表示法相似。它是以天球赤道为 0° ，向北和向南各度量到 90° ，在天球赤道以北的叫做北赤纬（可在度数的前面注以北字或正号，

或在度数的后面注以 N 字)；在天球赤道以南的叫做南赤緯 (可在度数的前面注以南字或負号，或在度数的后面注以 S 字)。

二、天球的坐标法

(1) 赤道坐标法 是以天球赤道和时圈为基准，以春分点为原点，用天体赤經和赤緯来表示天体的位置。这种坐标法同地理的赤道坐标法很相似，而且两者又有密切联系。因此，在天文航海法里主要是使用赤道坐标法。

(2) 地平坐标法 是以地平圈和高度圈为基准，以真北点为原点，用天体方位角 (即地平經度)

和天体高度 (即地平緯度) 来表示天体的位置。这种坐标法在天文航海法里有时也用到，但不常用。

(3) 黄道坐标法 是以天球黄道和黄緯圈 (即通过黄极的大圈) 为基准，以春分点为原点，用天体黄經和黄緯来表示天体的位置。黄道坐标法是天球坐标的基础，在天文学中很重要，但在天文航海法里很少使用。

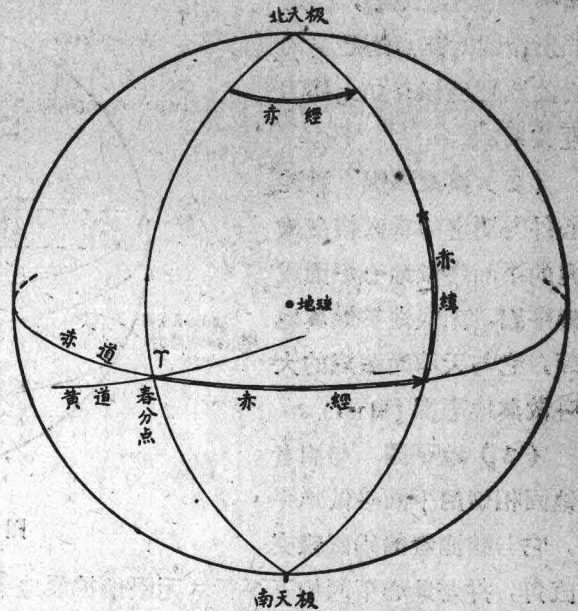


图163 天体赤經和天体赤緯

§11-3 天文三角形的各名詞

(1) 天頂和天底 无限地向正上方伸引某一测者的垂直綫，它与天球面相交的点就是該测者的天頂 (图164的 Z)。无限地向正下方伸引某一测者的垂直綫，它穿过地球而与天球面相交的点就是該测者的天底 (图164的 Z')。

假如地球是一个正球体，則自某一测者向正下方伸引的垂直綫将通过地心而到达同测者的經度相差 180° ，緯度的度数相同而名称相反的一点，我們把这个点叫做該测者的对蹠点*。实际上，地球虽然是个椭球体，除了测者在赤道上或两极外，向下伸引的垂

* 对蹠点也叫做相反的地点；我們在使用航海天文历的北緯地方月亮出沒時刻表求南緯地方月亮出沒時刻的計算中常要用到它。

直线都不能通过地心，但是我们所指的对臌点还是要同测者的地理坐标有如上所述的相互关系。

(2) **真地平圈** 通过地心并与测者的垂直线交成直角的平面叫做地心平面或真地平平面。无限地扩展真地平平面，它与天球面截成的大圆叫做真地平圈(图164)。

(3) **地平圈** 与测者的地面相切的平面叫做地平平面，它与该测者的垂直线交成直角，并与地心平面相互平行。无限地扩展地平平面，它与天球面截成的圆叫做地平圈(图164)。由于天球的半径为无限大，因此我们可以认为地平圈在天球面上将与真地平圈会合为一个大圆。

(4) **海平圈** 我们在海上所见天空与海面相接的线叫做视海平线；由视海平线闭合的圆叫做视海平圈或海平圈。在地球上，海平圈就是海面的视界范围，因而也叫做视海平圈。在天球上，除了测者的眼高为零外，海平圈的投影都是小圆(图164)。

(5) **视海平圈的俯角**(简写Dip) 地平圈的视线是真正的水平视线；除了测者的眼高为零外，海平圈的视线必低于地平圈的视线。在同一个垂直面上，海平圈的视线低于地平面的角度叫做视海平圈的俯角或眼高差(图164)。视海平圈俯角的大小是依测者的眼高而不同，我们根据测者眼高的米数(或呎数)可以用公式计算、或从航海表中查得它的角值。

(6) **高度圈** 凡通过天顶并与地平圈相互垂直的大圆都叫做高度圈(图165)。

(7) **天体高度**(简写 h 或Alt.) 天体中心与地平圈所夹高度圈的弧长叫做天体高度(图165)。

(8) **北点和南点** 测者的天子午圈与地平圈相交的两个点，在北方的叫做北

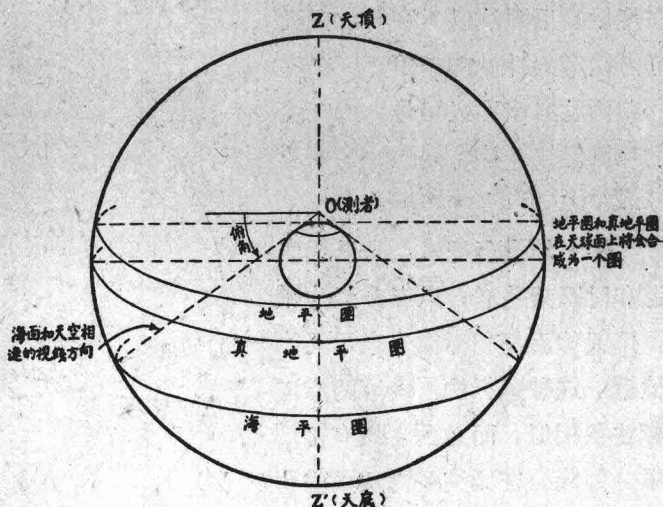


图164 各地平圈示意图

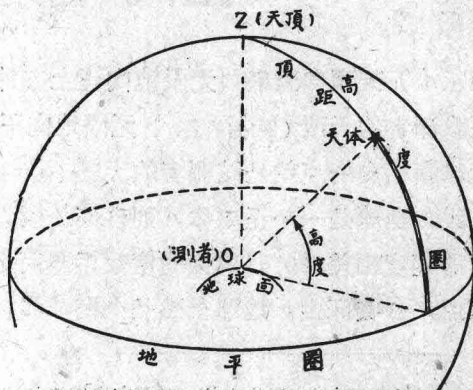


图165 高度圈和天体高度

点(图166 a、b的N点)；在南方的叫做南点(图166 a、b的S点)。

(9) 东西圈 与测者的天子午圈在天頂成垂直相交的高度圈叫做东西圈或卯酉圈(图166 a、b的EZW圈)。

(10) 东点和西点 东西圈(西点)W与地平圈相交的两个点，在东方的叫做东点(图166 a、b的E点)；在西方的叫做西点(图166 a、b的W点)。

(11) 六时圈 通过东点和西点的时圈叫做六时圈(图166 a的EPW圈)。六时圈与测者的天子午圈在天极交成直角，并与天球赤道在东点和西点也交成直角。

从图166 a上可以看出：不論测者在什么緯度地方，天球赤道、地平圈、东西圈和六时圈都是在东点和西点上相互交会。

(12) 天体頂距(簡写 z 或Zen. dist.) 是从天頂到某天体中心的角距(图167的ZX弧)。因为从天頂到地平圈的角距为 90° ，所以天体頂距就是天体高度的余角(即 $z = 90^\circ - h$)。

(13) 余緯度(簡写 c 或Co-lat.) 是从测者的天頂到仰极的角距(图167的PZ弧)。它也就是测者緯度的余角(即 $c = 90^\circ - L$)。

这里所谓的仰极是指和测者緯度同名的天极，也就是在测者地平圈以上的天极，或者把它叫做高极。

(14) 天体极距(簡写 p 或P.D.) 是从仰极到某天体中心的角距(图167的PX弧)。

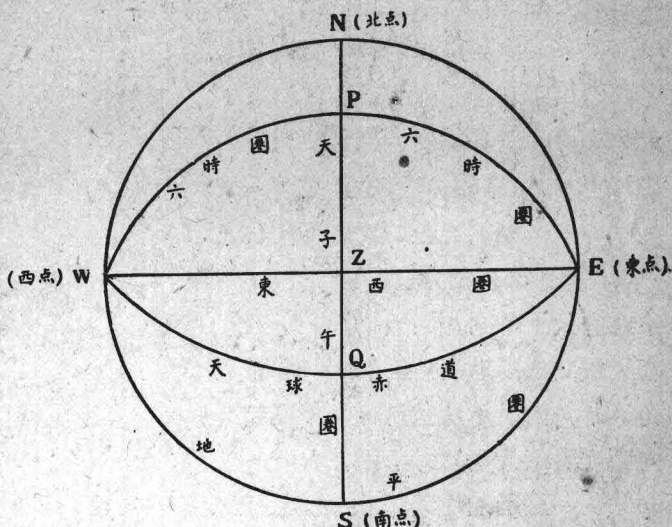


图166a 地平圈的四方基点和六时圈示意图

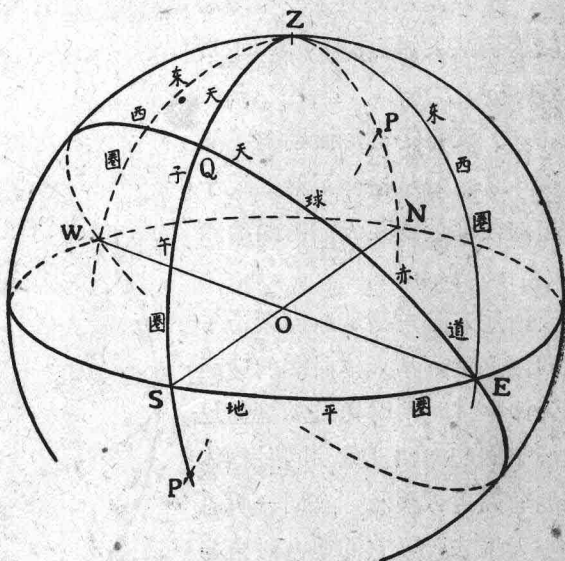


图166b 地平圈的四方基点

因为从天极到天球赤道的角距为 90° ，如果天体赤纬和测者纬度为同名，则极距等于赤纬的余角；如果天体赤纬和测者纬度为异名，则极距等于 90° 加赤纬。通用的算式为：
 $p = 90^\circ \mp d$ (同名为差、异名为和)。

(15) 天体时角 (简写 H.A.)

某地的天子午圈与某天体的时圈在天极交成的球面角叫做天体时角。时角的表示法是从天子午圈起向西度量到天体的时圈，自 $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ 。一般所说的天体时角就是天体地方时角 (简写 L.H.A. 或 H.A.)，也就是从地方天子午圈起向西度量到某天体时圈的球面角 (图167)。

(16) 天体格林尼治时角 (简写 G.H.A.) 是从格林尼治的天子午圈起向西度量到某天体时圈的球面角 (图168)。

天体地方时角是从地方天子午圈起向西度量到某天体时圈的球面角；天体格林尼治时角是从格林尼治天子午圈起向西度量到某天体时圈的球面角。因此，在同一瞬息对同一天体来说，它的地方时角与格林尼治时角的差数等于地方经度的度数，即：

$$G.H.A. - L.H.A. = \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \text{Long.} \begin{matrix} (W) \\ (E) \end{matrix}.$$

用这个式子算出的得数如果是正值，地方经度就是西经；如果是负值，地方经度就是东经。如果得数大于 180° ，则从 360° 中减去之，并把原来的正负号对调一下。

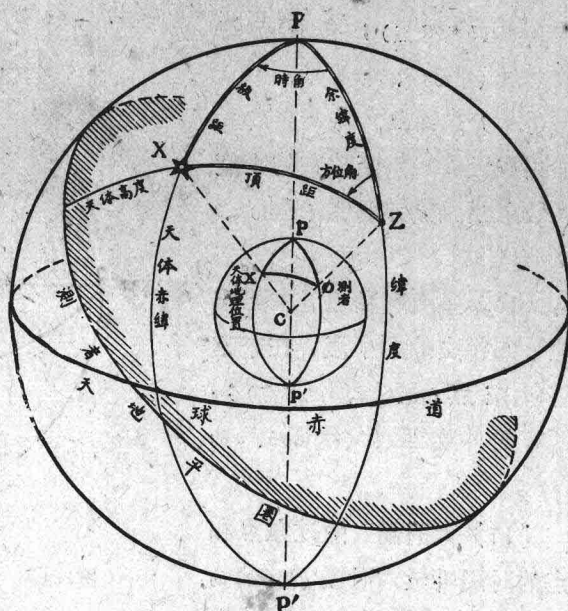


图167 天文三角形

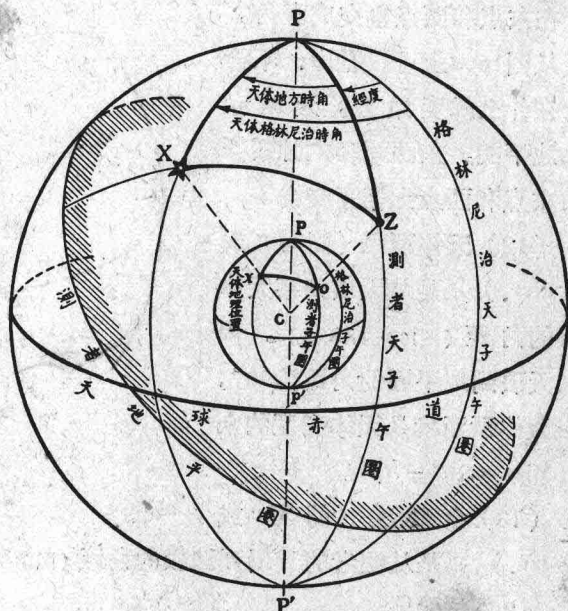


图168 天体格林尼治时角和地方时角

按照規定，时角一律是从天子午圈起向西度量的球面角，但有时为了查表的便利，也可以用它的共軛量（即 $360^\circ - H.A.$ ），也就是以自天子午圈起向东度量的球面角来表示它；不过，对于向东度量的时角，應該在它的后面注以东（E）字，以資区别。

(17) 天体方位角（簡写Az.） 天体的高度圈与測者天子午圈在天頂交成的球面角叫做天体方位角（图167）。它的表示法同陆上物标方位角的表示法一样，有周天法和象限法，并且有时还用半圓法（詳見上册第一章 §1—2）。

(18) 天体地理位置（簡写G.P.） 天体光綫垂直照射在地面上的一点，也就是天体中心和地心間的联綫穿过地面的点叫做天体地理位置（图167、168）。或者說，在地面上，以天体位置为天頂的一点就是該天体的地理位置。

由于天球赤道和地球赤道是在同一个平面上，并且天球的赤緯平行圈又和地球的緯圈相互对应，因此，天体地理位置的緯度相当于天体赤緯。又由于天体格林尼治时角和地理經度都是以格林尼治子午圈为基准起算的，因此，天体地理位置的經度相当于天体格林尼治时角。不过，天体格林尼治时角一律是从格林尼治天子午圈起向西度量，从 0° 到 360° ；而地理經度則是从格林尼治子午圈起向西或向东各度量到 180° 。如果天体格林尼治时角小于 180° ，它的地理位置的經度是西經，度数与格林尼治时角的度数相同；如果天体格林尼治时角大于 180° ，它的地理位置的經度是东經，而度数等于格林尼治时角的共軛量（即 $Long. = 360^\circ - G.H.A.$ ）。

(19) 天文三角形 以天极（仰极）、天頂和天体三个点构成的球面三角形叫做天文三角形（图167的 PZX ）。这个三角形的三个边是余緯度、极距和頂距，三个角是时角、方位角和星位角，把它們合起来叫做天文三角形的六个要素。在航海天文学中，除了星位角（图167的 $\angle PXZ$ ）一項不常使用外，其余五个要素都是經常要用到的。

把天文三角形垂直投影到地面上，这样可以得到一个以地极、測者的位置点和天体地理位置三个点构成的地理三角形（图167的 pox ）。由于这个地理三角形和天文三角形完全相似，所以为了便于說明天体位置与船位的相互关系，我們常要利用这个地理三角形。

(20) 极角 是两个天体的时圈在天极交成的球面角（图160）。另一个說法：同一个天体在不同时刻的两个时圈所夹的球面角也叫做极角。

(21) 春分点格林尼治时角（簡写G.H.A. γ ） 是从格林尼治天子午圈起向西度量到春分点时圈的球面角（图169）。

(22) 春分点地方时角（簡写L.H.A. γ ） 是从地方天子午圈起向西度量到春分点时圈的球面角（图169）。

(23) 赤經共軛量（簡写S.H.A.） 从春分点的时圈起向西度量到某天体的时圈

的球面角叫做该天体的赤经共轭量(图169)。“它等于 360° 一天体赤经(用度数表示的)。

过去的航海天文历是用赤经和赤纬表示恒星的视位置,求恒星时角的算法比较麻烦;目前的航海天文历大多是用赤经共轭量和赤纬表示恒星的视位置,求恒星时角的算法比较简便。从图169上可看出:恒星的时角与春分点时角的关系可用下列两个算式来表示,即:

$$\begin{aligned} G.H.A.* &= G.H.A.* \\ &+ S.H.A.*; \\ L.H.A.* &= L.H.A.* \\ &+ S.H.A.*. \end{aligned}$$

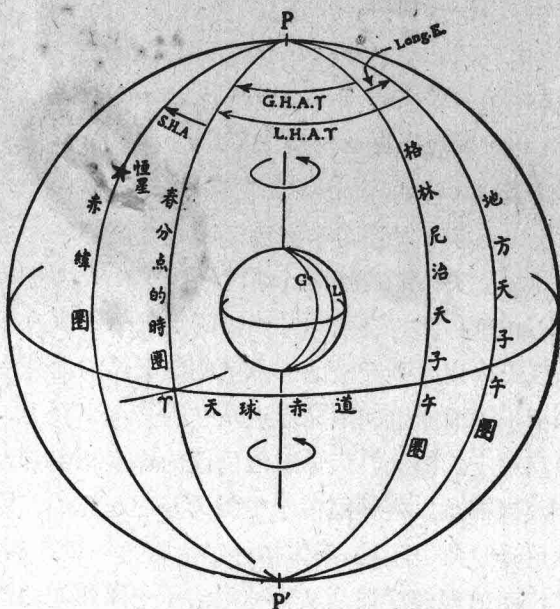


图169 春分点格林尼治时角和天体赤经共轭量

§11—4 天体出没、天体中天和晨昏朦影

一、天体出没 由于地球的自转运动而形成天体从地平圈的东方升起和向地平圈的西方降落,这个现象叫做天体升起和天体降落,合起来叫做天体出没。我们从图170上可以看出:如果天体赤纬和纬度为同名,而赤纬大于余纬度 ($\widehat{Q'Y} > \widehat{Q'N}$),这个天体就终天在地平圈以上,没有降落;相反地,如果天体赤纬和纬度为异名,而赤纬大于余纬度 ($\widehat{Q'Y} > \widehat{QS}$),这个天体就终天在地平圈以下,不会升起。

图171:天体出没之际,正当天体中心通过地平圈的时候,天体中心与东点或西点所夹地平圈的弧

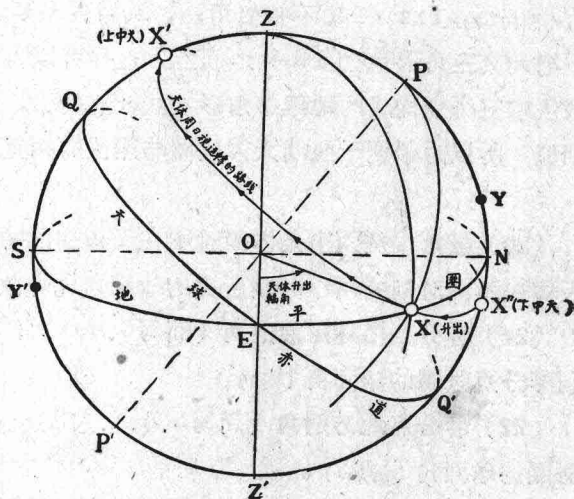


图170 天体出没和天体中天

长叫做**天体出沒輻角**（簡写 Brng. Amp. 或 Amp.）。天体出沒輻角的表示法是以地平圈的东点或西点为 0° ，各向北或向南度量到 90° ；它的标注方法是在度数的前面注以起算的方位（东或西），在度数的后面注以度量的方向（北或南）。这恰好和用限象法标注方位角的顺序相反；并且，天体出沒輻角的余角就是該天体出沒方位角的象限角度。

二、天体中天 当天体中心正通过測者天子午圈的瞬息，这一现象叫做**天体中天**（图 170、171）。

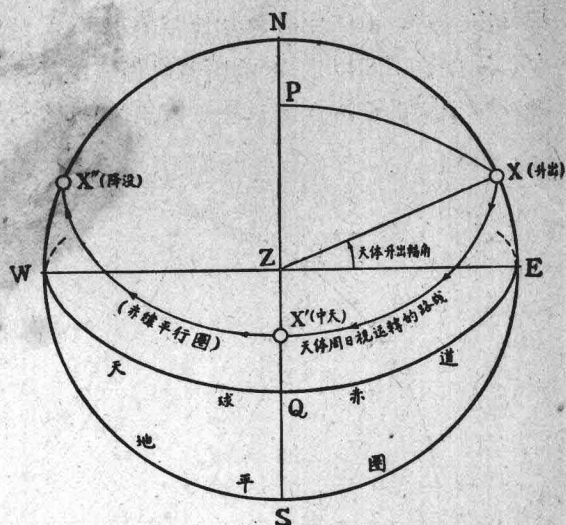


图171 天体出沒輻角示意图

天体中天有**上中天**和**下中天**的分別。我們把天体中心正通过測者的极上段天子午圈的一次叫做**上中天**；把天体中心正通过測者的极下段天子午圈的一次叫做**下中天**。

三、晨昏朦影 由于太阳光綫受到地面上大气中的水气和微尘等物質的反射，天空在日出之前片刻時間显出的微光叫做**晨光**，天空在日沒以后片刻時間显出的微光叫做**昏影**。晨光和昏影合起来叫做**晨昏朦影**。

按照天文学上的規定：以太阳中心在地平圈之下 $0^\circ \rightarrow 18^\circ$ 的一段时间作为晨昏朦影時間，这也就是界于黑夜和白昼之間的一段間隙。我們为了便于利用这段間隙在海上进行天文觀測，又依太阳在地平圈以下各不同位置，把晨昏朦影時間划分为三个間段（图 172）：

(1) 民用晨昏朦影 是太阳中心在地平圈以下 $0^\circ \rightarrow 6^\circ$ 之間天空所显出的微光。我們把日出之前，太阳中心位在地平圈以下 6° 的瞬息叫做**民用晨光始**；把日沒以后，太阳中心位在地平圈以下 6° 的瞬息叫做**民用昏影終**。在民用晨昏朦影時間里，海平圈虽很清楚，但天空比較明亮，除了很亮的星体之外，一般的星体都看不清楚。

(2) 航海晨昏朦影 是太阳中心在地平圈以下 $6^\circ \rightarrow 12^\circ$ 之間天空所显出的微光。我們把日出之前，太阳中心位在地平圈以下 12° 的瞬息叫做**航海晨光始**；把日沒以后，太阳中心位在地平圈以下 12° 的瞬息叫做**航海昏影終**。在航海晨昏朦影時間里，天空微暗，但海平圈（和高山的輪廓）还能看得清楚，比較明亮些的星体也能看到；这段时间是在海上利用天文觀測来确定船位的很好机会。

(3) 天文晨昏朦影 是太阳中心在地平圈以下 $12^\circ \rightarrow 18^\circ$ 之間天空所显出的微光。