



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105222777 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 06

(21) 申请号 201510626730. 7

(22) 申请日 2015. 09. 29

(71) 申请人 李清林

地址 100070 北京市丰台区怡海花园恒丰园
3 栋 1305 号

(72) 发明人 李清林

(51) Int. Cl.

G01C 21/02(2006. 01)

G01C 21/20(2006. 01)

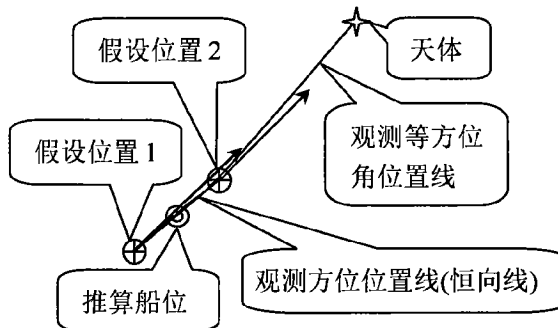
权利要求书4页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

用假设经纬度法观测天体定位的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用假设经纬度法观测天体定位的方法。该假设经纬度法观测天体定位的方法,在已知时刻观测已知天体的方位或者高度,用假设推算船位附近的经度(或者纬度),通过解算天文三角形,计算得到对应的纬度(或者经度),两次计算得到两个点,过这两点做连线,在墨卡托海图上一般得到一条恒向线,用这条恒向线代替等方位角位置线或者等高度位置线作为观测位置线;同时观测天体方位和高度联合定位,直接解算得到测者位置经纬度,已知测者位置和观测数据解算得到天体位置,已知测者位置和天体位置解算得到观测数据。与现有技术相比,本发明的有益效果是:提出了假设经纬度法观测天体定位的方法,解决了观测天体定位计算和作图的问题。



1. 一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 已知时刻观测已知天体的方位或者高度进行定位, 其特征在于: 用假设推算船位附近的经度 (或者纬度) 的方法, 通过解算天文三角形, 计算得到对应的纬度 (或者经度), 两次计算得到两个点, 连接两点得到观测位置线; 同时观测天体方位和高度联合定位, 直接解算得到测者位置经纬度, 已知测者位置和观测数据解算得到天体位置, 已知测者位置和天体位置解算得到观测数据。

2. 根据权利要求 1 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 已知时刻观测已知天体的方位, 假设一个推算船位附近的经度 (或者纬度), 通过解算天文三角形, 计算得到一个对应的纬度 (或者经度); 再次假设另一个经度 (或者纬度), 通过解算天文三角形, 计算得到另一个对应的纬度 (或者经度); 连接两次假设经度 (或者纬度) 和计算纬度 (或者经度) 的两个点, 在墨卡托海图上一般得到一条恒向线, 用这条恒向线代替等方位角位置线作为观测方位位置线。

3. 根据权利要求 2 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 在已知的时刻观测已知天体的真方位 A, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA Υ), 假设经度 1 为 Long1, 可得地方时角 LHA; 在天文三角形中: 已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$), 方位角 A 和地方时角 LHA 三要素, 可以根据正弦公式求解顶距 ($90^\circ - h$):

$$\sin(90^\circ - h) = \sin(90^\circ - \text{Dec}) * \frac{\sin \text{LHA}}{\sin A} = \cos \text{Dec} * \frac{\sin \text{LHA}}{\sin A} = \cos h$$

解得顶距 ($90^\circ - h$) 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$):

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \\ &= \cot \frac{(\text{Dec} + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$), 得到计算纬度 Lat1;

再假设经度 2 为 Long2, 同样可以解算得到计算纬度 Lat2;

过位置 1 (Lat1, Long1) 和位置 2 (Lat2, Long2) 做连线, 在墨卡托海图上一一般为恒向线, 即为一条观测天体方位位置线。

4. 根据权利要求 2 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 在已知的时刻观测已知天体的真方位 A, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA Υ), 假设纬度 1 为 Lat1, 可得余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$); 在天文三角形中: 已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$), 余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 和方位角 A 三要素, 可以根据正弦公式求解天体位置角 X:

$$\sin X = \sin A * \frac{\sin(90^\circ - \text{Lat})}{\sin(90^\circ - \text{Dec})} = \sin A * \frac{\cos \text{Lat}}{\cos \text{Dec}}$$

解得天体位置角 X 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解地方时角 LHA:

$$\begin{aligned}\tan \frac{\text{LHA}}{2} &= \cot \frac{(A+X)}{2} * \frac{\cos \frac{((90^\circ - \text{Dec}) - (90^\circ - \text{Lat}))}{2}}{\cos \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - \text{Lat}))}{2}} \\ &= \cot \frac{(A+X)}{2} * \frac{\cos \frac{(\text{Lat} - \text{Dec})}{2}}{\sin \frac{(\text{Dec} + \text{Lat})}{2}}\end{aligned}$$

可以解算得到天体地方时角 LHA, 得到计算经度 Long1 ;

再假设纬度 2 为 Lat2, 同样可以解算得到计算经度 Long2 ;

过位置 1 (Lat1, Long1) 和位置 2 (Lat2, Long2) 做连线, 在墨卡托海图上一般为恒向线, 即为一条观测天体方位位置线。

5. 根据权利要求 1 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 已知时刻观测已知天体的高度, 假设一个推算船位附近的经度 (或者纬度), 通过解算天文三角形, 计算得到一个对应的纬度 (或者经度); 再次假设另一个经度 (或者纬度), 通过解算天文三角形, 计算得到另一个对应的纬度 (或者经度); 连接两次假设经度 (或者纬度) 和计算纬度 (或者经度) 的两个点, 在墨卡托海图上一般得到一条恒向线, 用这条恒向线代替等高度位置线作为观测高度位置线。

6. 根据权利要求 5 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 在已知的时刻观测已知天体的真高度 h, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA), 假设经度 1 为 Long1, 可得地方时角 LHA; 在天文三角形中: 已知余距 (90° - Dec), 顶距 (90° - h) 和地方时角 LHA 三要素, 可以根据正弦公式求解天体方位角 A:

$$\sin A = \sin \text{LHA} * \frac{\sin(90^\circ - \text{Dec})}{\sin(90^\circ - h)} = \sin \text{LHA} * \frac{\cos \text{Dec}}{\cos h}$$

解得天体方位角 A 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 (90° - Lat):

$$\begin{aligned}\tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \\ &= \cot \frac{(\text{Dec} + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}}\end{aligned}$$

可以解算得到余纬 (90° - Lat), 得到计算纬度 Lat1 ;

再假设经度 2 为 Long2, 同样可以解算得到计算纬度 Lat2 ;

过位置 1 (Lat1, Long1) 和位置 2 (Lat2, Long2) 做连线, 在墨卡托海图上一般为恒向线, 即为一条观测天体高度位置线。

7. 根据权利要求 5 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 在已知的时刻观测已知天体的真高度 h, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角

GHA(或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA),假设纬度 1 为 Lat1,可得余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$);在天文三角形中:已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$),顶距 ($90^\circ - h$) 和余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 三要素,可以根据余弦公式变形来求解天体地方时角 LHA:

$$\begin{aligned}\cos \text{LHA} &= \frac{\cos(90^\circ - h) - \cos(90^\circ - \text{Dec}) * \cos(90^\circ - \text{Lat})}{\sin(90^\circ - \text{Dec}) * \sin(90^\circ - \text{Lat})} \\ &= \frac{\sin h}{\cos \text{Dec} * \cos \text{Lat}} - \tan \text{Dec} * \tan \text{Lat}\end{aligned}$$

可以解算得到天体地方时角 LHA,得到计算经度 Long1;

再假设纬度 2 为 Lat2,同样可以解算得到计算经度 Long2;

过位置 1 (Lat1, Long1) 和位置 2 (Lat2, Long2) 做连线,在墨卡托海图上一般为恒向线,即为一条观测天体高度位置线。

8. 根据权利要求 1 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法,其特征在于:在已知的时刻观测已知天体的真方位 A 和真高度 h,解算得到测者位置经纬度;根据时间,可以得到天体赤纬 Dec,天体格林时角 GHA(或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA Υ);在天文三角形中:已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$),顶距 ($90^\circ - h$) 和方位角 A 三要素,可以根据正弦公式求解地方时角 LHA:

$$\sin \text{LHA} = \sin A * \frac{\sin(90^\circ - h)}{\sin(90^\circ - \text{Dec})} = \sin A * \frac{\cos h}{\cos \text{Dec}}$$

解得地方时角 LHA,得到计算经度 Long;再根据纳皮尔公式变形来求解余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$):

$$\begin{aligned}\tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \\ &= \cot \frac{(\text{Dec} + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}}\end{aligned}$$

可以解算得到余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$),得到计算纬度 Lat;得到测者位置纬度和经度 (Lat/Long)。

9. 根据权利要求 1 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法,其特征在于:已知测者位置 (Lat/Long) 在已知时刻观测未知天体的真方位 A 和真高度 h,解算得到天体位置;根据时间,可以得到春分点格林时角 GHA Υ ;在天文三角形中:已知顶距 ($90^\circ - h$),余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 和方位角 A 三要素,可以根据余弦公式求解余距 ($90^\circ - \text{Dec}$):

$$\begin{aligned}\cos(90^\circ - \text{Dec}) &= \cos(90^\circ - h) * \cos(90^\circ - \text{Lat}) \\ &+ \sin(90^\circ - h) * \sin(90^\circ - \text{Lat}) * \cos A \\ &= \sin h * \sin \text{Lat} + \cos h * \cos \text{Lat} * \cos A\end{aligned}$$

解得余距 ($90^\circ - \text{Dec}$),得到天体赤纬 Dec;再根据余弦公式变形来求解地方时角 LHA:

$$\begin{aligned}\cos LHA &= \frac{\cos(90^\circ - h) - \cos(90^\circ - Dec) * \cos(90^\circ - Lat)}{\sin(90^\circ - Dec) * \sin(90^\circ - Lat)} \\ &= \frac{\sin h}{\cos Dec * \cos Lat} - \tan Dec * \tan Lat\end{aligned}$$

可以解算得到地方时角 LHA, 得到天体格林时角 GHA (或者 GHA Υ +SHA); 得到天体赤纬和格林时角或者共轭赤经 (Dec/GHA or Dec/SHA)。

10. 根据权利要求 1 所述的一种用假设经纬度法观测天体定位的方法, 其特征在于: 已知测者位置 (Lat/Long) 在已知时刻观测已知天体, 解算得到天体方位和高度; 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA Υ), 可得地方时角 LHA; 在天文三角形中: 已知余距 ($90^\circ - h$), 余纬 ($90^\circ - Lat$) 和地方时角 LHA 三要素, 可以根据余弦公式求解顶距 ($90^\circ - h$):

$$\begin{aligned}\cos(90^\circ - h) &= \cos(90^\circ - Dec) * \cos(90^\circ - Lat) \\ &+ \sin(90^\circ - Dec) * \sin(90^\circ - Lat) * \cos LHA \\ &= \sin Dec * \sin Lat + \cos Dec * \cos Lat * \cos LHA\end{aligned}$$

解得顶距 ($90^\circ - h$), 得到计算高度 h; 再根据余弦公式变形来求解方位角 A:

$$\begin{aligned}\cos A &= \frac{\cos(90^\circ - Dec) - \cos(90^\circ - h) * \cos(90^\circ - Lat)}{\sin(90^\circ - h) * \sin(90^\circ - Lat)} \\ &= \frac{\sin Dec}{\cos h * \cos Lat} - \tan h * \tan Lat\end{aligned}$$

可以解算得到方位角 A; 得到天体观测方位和高度 (A/h)。

用假设经纬度法观测天体定位的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及天文定位和导航的方法,尤其是一种用假设经纬度法观测天体定位和导航的方法。

背景技术

[0002] 航海测天定位方式,自 1837 年美国船长萨姆纳发现天文船位线,1875 年法国海军军官圣希勒尔发明高度差法(也称截距法),沿用至今。

[0003] 高度差法的原理是,以选择船位为基点,在天体计算方位方向上,用天体观测真高度与天体计算高度的差值为截距做垂线,该垂线为天体船位圆的切线,使用通过截点的切线代替天文船位圆,解决了测天定位的作图问题。参见《航海学》郭禹,张吉平,戴冉主编,大连·大连海事大学出版社·2014.8。

[0004] 高度差法是观测天体高度定位,需要同时能看到天体和水天线,白天观测太阳高度定位,需要等待时机,太阳方位角有一定的变化量后进行移线定位;夜晚测星定位只能在晨光昏影的一段时间,尤其是在满天繁星的整个夜晚,高度差法并不能进行测天定位。参见《航海学》郭禹,张吉平,戴冉主编,大连·大连海事大学出版社·2014.8。

[0005] 天体高度位置线是一条所有观测该天体高度都相等的球面曲线,我们称其为等高度位置线,等高度位置线是以天体在地面投影为圆心通过测者位置的小圆。天体方位位置线是一条所有观测该天体方位角都相等的球面曲线,我们称其为等方位角位置线,等方位角位置线通过测者位置和天体在地面投影。一般来说天体投影距离测者位置太远而无法直接在航行用海图上画出天体投影位置,并且一般我们无法直接在墨卡托海图上画出实际是曲线的等方位角天体方位位置线,观测天体方位定位同样面临不能直接作图定位的问题。

发明内容

[0006] 为解决上述问题,在此提出用假设经纬度法观测天体定位的方法。

[0007] 本发明所采用的技术方案是:在已知时刻观测已知天体的方位或者高度,用假设推算船位附近的经度(或者纬度),通过解算天文三角形,计算得到对应的纬度(或者经度),两次计算得到两个点,过这两点做连线,在墨卡托海图上一般得到一条恒向线,用这条恒向线代替等方位角位置线或者等高度位置线作为观测位置线;同时观测天体方位和高度联合定位,直接解算得到测者位置经纬度,已知测者位置和观测数据解算得到天体位置,已知测者位置和天体位置解算得到观测数据。假设经纬度法观测天体方位定位原理如图 1 所示,假设经纬度法观测天体高度定位原理如图 2 所示。

[0008] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:提出了假设经纬度法观测天体定位的方法,解决了观测天体定位计算和作图的问题;同时观测天体方位和高度联合定位,可以直接解算出测者位置经纬度;已知测者位置和观测天体方位和高度可以解算天体位置赤纬和格林时角或者共轭赤经,已知测者位置和天体位置可以解算天体观测方位和高度。用假设经纬度法观测天体定位,既可以观测天体方位也可以观测天体高度,在可以观测到天体的任

何时间,无论白天黑夜都可以测天定位。夜晚测星定位不再受晨光昏影的时间限制,在任何时刻都可以观测多星方位定位;白天观测太阳方位和高度联合定位,可以直接解算出测者位置经纬度,不再需要等待时机移线定位。

[0009] 高度差法只适用于观测天体高度定位。高度差法要用选择船位,即假设了经度和纬度,解算天文三角形,得到计算高度和计算方位,其解算结果只有在计算高度等于观测真高度时(截距为0)才是等高度位置线上的点,当计算高度不等于观测真高度时(截距不等于0),为了得到观测位置线,需要在计算方位上移动观测真高度与计算高度差值(截距)的距离,高度差法用等高度位置线上一点的切线作为观测高度位置线。

假设经纬度法计算得到的结果都是等方位角位置线或者等高度位置线上的点,假设经纬度法用位置线上两点的连线作为观测位置线,即等方位角位置线或者等高度位置线的弦线。高度差法可以看作是同时假设经度和纬度的假设经纬度法观测天体高度定位的一种特例。

[0010] 本发明用假设经纬度法观测天体定位的方法同样也可应用于航空、航天定位和导航、天文观测等领域。假设经纬度法的计算方法也可以适用于无线电测向定位、卫星定位及导航、大地测量和地球测绘等领域。

[0011] 本文中使用的地球圆球体模型,计算结果可以满足航海定位精度要求,如果需要更高精度时,可以使用精确度更高的模型,例如使用地球椭球体模型代替地球圆球体模型,将取得更精确的计算结果。

附图说明

[0012] 图1为:假设经纬度法观测天体方位定位原理图。

[0013] 图2为:假设经纬度法观测天体高度定位原理图。

[0014] 图3为:天文三角形中各边角关系图。

[0015] 图4为:1998年12月20日0900LT(0100GMT)观测太阳Sun,1800LT(1000GMT)观测五车二Capella,墨卡托海图作业图。

具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明进一步说明。

[0017] 用假设经纬度法观测天体定位的方法,计算方法分别有假设经度法和假设纬度法,观测天体分别有观测方位和观测高度的方法,为方便区别和记忆,在此特做如下命名:

假设经度法命名为“清林法”简称“L法”,假设纬度法命名为“春景法”简称“J法”,通过观测方位计算得到的等方位角位置线及其弦线命名为“有容线”简称“容(Rong)线”,通过观测高度计算得到的等高度位置线及其弦线命名为“海纳线”简称“纳(Na)线”。

[0018] 具体实施方式1,假设经度法观测天体方位定位(清林法得到有容线):在已知的时刻观测已知天体的真方位A,根据时间,可以得到天体赤纬Dec,天体格林时角GHA(或者共轭赤经SHA和春分点格林时角GHA γ),假设经度l为Long1(清林法),可得地方时角LHA;在天文三角形中,如图3所示:已知余距($90^\circ - \text{Dec}$),方位角A和地方时角LHA三要素,可以根据正弦公式求解顶距($90^\circ - h$):

$$\sin(90^\circ - h) = \sin(90^\circ - \text{Dec}) * \frac{\sin \text{LHA}}{\sin A} = \cos \text{Dec} * \frac{\sin \text{LHA}}{\sin A} = \cos h$$

解得顶距 ($90^\circ - h$) 后,可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$):

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \\ &= \cot \frac{(\text{Dec} + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$),得到计算纬度 $\text{Lat}1$;

再假设经度 2 为 $\text{Long}2$,同样可以解算得到计算纬度 $\text{Lat}2$;

过位置 1 ($\text{Lat}1, \text{Long}1$) 和位置 2 ($\text{Lat}2, \text{Long}2$) 做连线,在墨卡托海图上一般为恒向线,即为一条观测天体方位位置线(有容线)。

[0019] 具体实施方式 2,假设纬度法观测天体方位定位(春景法得到有容线):在已知的时刻观测已知天体的真方位 A ,根据时间,可以得到天体赤纬 Dec ,天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 $\text{GHA} \gamma$),假设纬度 1 为 $\text{Lat}1$ (春景法),可得余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$);在天文三角形中,如图 3 所示:已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$),余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 和方位角 A 三要素,可以根据正弦公式求解天体位置角 X :

$$\sin X = \sin A * \frac{\sin(90^\circ - \text{Lat})}{\sin(90^\circ - \text{Dec})} = \sin A * \frac{\cos \text{Lat}}{\cos \text{Dec}}$$

解得天体位置角 X 后,可以根据纳皮尔公式变形来求解地方时角 LHA :

$$\begin{aligned} \tan \frac{\text{LHA}}{2} &= \cot \frac{(A + X)}{2} * \frac{\cos \frac{((90^\circ - \text{Dec}) - (90^\circ - \text{Lat}))}{2}}{\cos \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - \text{Lat}))}{2}} \\ &= \cot \frac{(A + X)}{2} * \frac{\cos \frac{(\text{Lat} - \text{Dec})}{2}}{\sin \frac{(\text{Dec} + \text{Lat})}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到天体地方时角 LHA ,得到计算经度 $\text{Long}1$;

再假设纬度 2 为 $\text{Lat}2$,同样可以解算得到计算经度 $\text{Long}2$;

过位置 1 ($\text{Lat}1, \text{Long}1$) 和位置 2 ($\text{Lat}2, \text{Long}2$) 做连线,在墨卡托海图上一般为恒向线,即为一条观测天体方位位置线(有容线)。

[0020] 具体实施方式 3,假设经度法观测天体高度定位(清林法得到海纳线):在已知的时刻观测已知天体的真高度 h ,根据时间,可以得到天体赤纬 Dec ,天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA),假设经度 1 为 $\text{Long}1$ (清林法),可得地方时角 LHA ;在天文三角形中,如图 3 所示:已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$),顶距 ($90^\circ - h$) 和地方时角 LHA 三要

素,可以根据正弦公式求解天体方位角 A :

$$\sin A = \sin LHA * \frac{\sin(90^\circ - Dec)}{\sin(90^\circ - h)} = \sin LHA * \frac{\cos Dec}{\cos h}$$

解得天体方位角 A 后,可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 $(90^\circ - Lat)$:

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^\circ - Lat)}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - Dec) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + LHA)}{2}}{\cos \frac{(A - LHA)}{2}} \\ &= \cot \frac{(Dec + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + LHA)}{2}}{\cos \frac{(A - LHA)}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到余纬 $(90^\circ - Lat)$,得到计算纬度 Lat1 ;

再假设经度 2 为 Long2,同样可以解算得到计算纬度 Lat2 ;

过位置 1(Lat1,Long1) 和位置 2(Lat2,Long2) 做连线,在墨卡托海图上一般为恒向线,即为一条观测天体高度位置线(海纳线)。

[0021] 具体实施方式 4,假设纬度法观测天体高度定位(春景法得到海纳线):在已知的时刻观测已知天体的真高度 h,根据时间,可以得到天体赤纬 Dec,天体格林时角 GHA(或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA),假设纬度 1 为 Lat1(春景法),可得余纬 $(90^\circ - Lat)$;在天文三角形中,如图 3 所示:已知余距 $(90^\circ - Dec)$,顶距 $(90^\circ - h)$ 和余纬 $(90^\circ - Lat)$ 三要素,可以根据余弦公式变形来求解天体地方时角 LHA :

$$\begin{aligned} \cos LHA &= \frac{\cos(90^\circ - h) - \cos(90^\circ - Dec) * \cos(90^\circ - Lat)}{\sin(90^\circ - Dec) * \sin(90^\circ - Lat)} \\ &= \frac{\sin h}{\cos Dec * \cos Lat} - \tan Dec * \tan Lat \end{aligned}$$

可以解算得到天体地方时角 LHA,得到计算经度 Long1 ;

再假设纬度 2 为 Lat2,同样可以解算得到计算经度 Long2 ;

过位置 1(Lat1,Long1) 和位置 2(Lat2,Long2) 做连线,在墨卡托海图上一般为恒向线,即为一条观测天体高度位置线(海纳线)。

[0022] 公式中数值符号换算及命名规则:上述天文三角形为欧拉球面三角形,公式中参与计算值取值范围 $[0-180^\circ]$;

- 1) 纬度 Lat 恒为正值+(无论北纬或者南纬),取值范围 $[N/S 0-90^\circ]$;
- 2) 经度 Long 参与求取地方时角 LHA 时,东经 E 取正值+,西经 W 取负值-,取值范围 $[E/W 0-180^\circ]$;
- 3) 赤纬 Dec 与纬度 Lat 同名取正值+,异名取负值-,取值范围 $[N/S0-90^\circ]$;
- 4) 格林时角 GHA 和共轭赤经 SHA 恒为正值+,取值范围 $[0-360^\circ]$;
- 5) 观测真方位 A 取半圆方位,恒取正值+,取值范围 $[N/S//E/W 0-180^\circ]$;圆周方位转换为半圆方位规则:在北纬, $0-180^\circ$ 用原值命名为 NE, $180^\circ -360^\circ$ 用 $(360^\circ -A)$ 命名为

NW;在南纬,0-180° 用 (180° -A) 命名为 SE,180° -360° 用 (A-180°) 命名为 SW;

6) 解算得方位 A 为半圆方位,恒取正值+,取值范围 [N/S//E/W 0-180°];第一名称与纬度同名,第二名称与半圆地方时角同名;

7) 观测真高度 h 恒取正值+,取值范围 [0-90°];

8) 解算得真高度 h 为正值+时,取值范围 [0-90°];解算得真高度可以为负值-,取值范围 [-90° -0],此时天体在水天线以下,航海上天体实际不可见;

9) 查取得地方时角 LHA 取半圆时角,恒取正值+,取值范围 [E/W0-180°];地方时角 LHA 等于格林时角 GHA(或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 GHA γ) 与经度东加西减, LHA = GHA (or (GHA γ +SHA)) + LongE (or -LongW);圆周时角转换为半圆时角规则:小于 180° 时为西向时角 W 取原值,大于 180° 时为东向时角 E 取 (360° -LHA);

10) 解算得地方时角 LHA 为半圆时角,恒为正值+,取值范围 [E/W0-180°],名称取半圆方位第二名称 E/W;半圆时角转换为圆周时角规则:西向时角 W 取原值,东向时角 E 取 (360° -LHA);计算经度,推算经度为东经 E,计算经度 LongE = LHA-GHA (or (GHA γ +SHA)),推算经度为西经 W,计算经度 LongW = GHA (or (GHA γ +SHA)) -LHA。

[0023] 公式中正弦计算解的判定和地方时角命名及特殊角处理:因为用“L法”求解顶距 (90° -h) 和天体方位角 A,用“J法”求解天体位置角 X 时使用了正弦公式,用正弦公式解算未知项,根据条件,可能有一个解或者两个解或者无解,需要对解做出判定;用“J法”求解得地方时角 LHA 为半圆时角,需要对其进行命名;数学上判定需要比较天文三角形中各元素值的大小,测天定位可以简化做如下判定和命名:1) 对于“L法”解“容 (Rong) 线”中求解顶距 (90° -h),如果存在另一解,其值为 (180° -(90° -h)),可直接舍去 h 为负的解,因为高度为负的天体在水天线以下,航海上实际我们观察不到该天体。

2) 对于“J法”解“容 (Rong) 线”中求解天体位置角 X,如果存在另一解,其值为 (180° -X),可能在等方位角位置线上两个解都是真实的,但只有一个是我们的需求解,这种情况下可以根据两个 X 解算出两个 LHA,计算得到两个 Long,接近推算船位的是我们的需求解,舍去另外一个。

3) 对于“L法”解“纳 (Na) 线”中求解天体方位角 A,如果存在另一解,其值为 (180° -A),如果观测高度同时观测了天体方位或者大致方位,可直接舍去不符合的解;如果方位未知,可能在等高度位置线上两个解都是真实的,但只有一个是我们的需求解,这种情况下可以根据两个天体方位角 A 解算出两个余纬 (90° -Lat),计算得到两个 Lat,接近推算船位的是我们的需求解,舍去另外一个。

4) 对于“J法”解“纳 (Na) 线”中求解天体地方时角 LHA 为半圆时角,需要对其命名 E/W,如果观测高度同时观测了天体方位或者大致方位,可直接给予命名;如果方位未知,可能在等高度位置线上存在东或者西两个真实解,但只有一个是我们的需求解,这种情况下可以将地方时角分别命名为 E 和 W,得到两个地方时角 LHA,计算得到两个 Long,接近推算船位的是我们的需求解,舍去另外一个。

5) 如果观测真方位角为 0° 或者 180° 时,顶距、余距和余纬三线重合,天体地方时角等于 0°,可以根据天体格林时角解算得到经度,顶距 (90° -h) 与赤纬 Dec 的和或者差值得到纬度;如果观测真高度为 90° 时,测者位置为天体在地面上的投影;当天体赤纬等于 90° 时,天体投影位置与极点重合,如果为北纬 N,只在北纬可见该天体,任何经度观测该天

体方位角均为 0° , 如果为南纬 S, 只在南纬可见该天体, 任何经度观测该天体方位角均为 180° , 观测真高度等于测者纬度。

[0024] 具体计算例 1, 假设经度法观测天体方位定位 (清林法得到有容线): 1998 年 12 月 20 日 1800LT (1000GMT), 推算船位 $N30^\circ 32.1/E123^\circ 12.3$, 观测五车二 Capella 真方位 $51^\circ 22.8$; 根据时间, 可以得到五车二赤纬 Dec $N45^\circ 59.7$, 共轭赤经 SHA $280^\circ 50.5$ 和春分点格林时角 GHA $\gamma 238^\circ 47.2$, 假设经度 1 为 $Long1 = E123^\circ 00.0$ (清林法), 可得地方时角 $LHA = 238^\circ 47.2 + 280^\circ 50.5 + 123^\circ 00.0 = 282^\circ 37.7 = E77^\circ 22.3$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^\circ - Dec) = 90^\circ - 45^\circ 59.7 = 44^\circ 00.3$, 方位角 $A = NE 51^\circ 22.8$ 和地方时角 $LHA = E 77^\circ 22.3$ 三要素, 可以根据正弦公式求解顶距 $(90^\circ - h)$:

$$\sin(90^\circ - h) = \sin(44^\circ 00.3) * \frac{\sin(77^\circ 22.3)}{\sin(51^\circ 22.8)}$$

解得顶距 $(90^\circ - h) = 60^\circ 11.4$ 或者 $119^\circ 48.6$ (可根据高度为负舍去此值) 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 $(90^\circ - Lat)$:

$$\tan \frac{(90^\circ - Lat)}{2} = \tan \frac{(44^\circ 00.3 + 60^\circ 11.4)}{2} * \frac{\cos \frac{(51^\circ 22.8 + 77^\circ 22.3)}{2}}{\cos \frac{(51^\circ 22.8 - 77^\circ 22.3)}{2}}$$

可以解算得到余纬 $(90^\circ - Lat) = 59^\circ 22.3$, 得到计算纬度 $Lat1 = N30^\circ 37.7$;

再假设经度 2 为 $Long2 = E123^\circ 30.0$, 同样可以解算得到计算纬度 $Lat2 = N30^\circ 24.4$;

过位置 1 ($N30^\circ 37.7, E123^\circ 00.0$) 和位置 2 ($N30^\circ 24.4, E123^\circ 30.0$) 做连线, 即为一条 12 月 20 日 1800LT (1000GMT) 观测五车二 Capella 方位位置线 (有容线)。墨卡托海图作业如图 4。

[0025] 具体计算例 2, 假设纬度法观测天体方位定位 (春景法得到有容线): 1998 年 12 月 20 日 0900LT (0100GMT), 推算船位 $N30^\circ 32.1/E123^\circ 12.3$, 观测太阳 Sun 真方位 $138^\circ 58.6$; 根据时间, 可以得到太阳赤纬 Dec $S23^\circ 25.2$ 和格林时角 GHA $195^\circ 40.7$, 假设纬度 1 为 $Lat1 = N30^\circ 20.0$ (春景法), 可得余纬 $(90^\circ - Lat) = 90^\circ - 30^\circ 20.0 = 59^\circ 40.0$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^\circ - Dec) = 90^\circ - (-23^\circ 25.2) = 113^\circ 25.2$, 余纬 $(90^\circ - Lat) = 59^\circ 40.0$ 和方位角 $A = NE 138^\circ 58.6$ 三要素, 可以根据正弦公式求解天体位置角 X :

$$\sin X = \sin(138^\circ 58.6) * \frac{\sin(59^\circ 40.0)}{\sin(113^\circ 25.2)}$$

解得天体位置角 $X = 38^\circ 07.5$ 或者 $141^\circ 52.5$ 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解地方时角 LHA :

$$\tan \frac{LHA}{2} = \cot \frac{(138^\circ 58.6 + 38^\circ 07.5)}{2} * \frac{\cos \frac{(113^\circ 25.2 - 59^\circ 40.0)}{2}}{\cos \frac{(113^\circ 25.2 + 59^\circ 40.0)}{2}}$$

或者

$$\tan \frac{\text{LHA}}{2} = \cot \frac{(138^\circ 58.6 + 141^\circ 52.5)}{2} * \frac{\cos \frac{(113^\circ 25.2 - 59^\circ 40.0)}{2}}{\cos \frac{(113^\circ 25.2 + 59^\circ 40.0)}{2}}$$

可以解算得到地方时角 $\text{LHA} = 41^\circ 02.6$ 或者 $-173^\circ 36.3$ (根据地方时角取值范围 $[0-180^\circ]$ 舍去此解), 根据观测方位半圆命名 NE 可判断为东向时角 E, 转换为圆周时角 $\text{LHA} = 360^\circ - 41^\circ 02.6 = 318^\circ 57.4$, 得到计算经度 $\text{Long1} = \text{LHA} - \text{GHA} = 318^\circ 57.4 - 195^\circ 40.7 = \text{E}123^\circ 16.7$;

再假设纬度 2 为 $\text{Lat2} = \text{N}30^\circ 40.0$, 同样可以解算得到计算经度 $\text{Long2} = \text{E}123^\circ 09.5$;

过位置 1 ($\text{N}30^\circ 20.0, \text{E}123^\circ 16.7$) 和位置 2 ($\text{N}30^\circ 40.0, \text{E}123^\circ 09.5$) 做连线, 即为一条 12 月 20 日 0900LT (0100GMT) 观测太阳 Sun 方位位置线 (有容线)。墨卡托海图作业如图 4。

[0026] 具体计算例 3, 假设经度法观测天体高度定位 (清林法得到海纳线): 1998 年 12 月 20 日 0900LT (0100GMT), 推算船位 $\text{N}30^\circ 32.1/\text{E}123^\circ 12.3$, 观测太阳 Sun 真高度 $23^\circ 10.3$; 根据时间, 可以得到太阳赤纬 $\text{Dec} \text{ S}23^\circ 25.2$ 和格林时角 $\text{GHA} 195^\circ 40.7$, 假设经度 1 为 $\text{Long1} = \text{E}123^\circ 00.0$ (清林法), 可得地方时角 $\text{LHA} = 195^\circ 40.7 + 123^\circ 00.0 = 318^\circ 40.7 = \text{E} 41^\circ 19.3$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^\circ - \text{Dec}) = 90^\circ - (-23^\circ 25.2) = 113^\circ 25.2$, 顶距 $(90^\circ - h) = 90^\circ - 23^\circ 10.3 = 66^\circ 49.7$ 和地方时角 $\text{LHA} = \text{E} 41^\circ 19.3$ 三要素, 可以根据正弦公式求解方位角 A:

$$\sin A = \sin(41^\circ 19.3) * \frac{\sin(113^\circ 25.2)}{\sin(66^\circ 49.7)}$$

解得方位角 $A = 41^\circ 13.7$ (如果已知观测方位或大致方位, 可直接舍去此解; 如果方位未知, 计算如下) 或者 $138^\circ 46.3$ 后, 可以根据纳皮尔公式变形来求解余纬 $(90^\circ - \text{Lat})$:

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} \\ = \tan \frac{(113^\circ 25.2 + 66^\circ 49.7)}{2} * \frac{\cos \frac{(41^\circ 13.7 + 41^\circ 19.3)}{2}}{\cos \frac{(41^\circ 13.7 - 41^\circ 19.3)}{2}} \end{aligned}$$

或者

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} \\ = \tan \frac{(113^\circ 25.2 + 66^\circ 49.7)}{2} * \frac{\cos \frac{(138^\circ 46.3 + 41^\circ 19.3)}{2}}{\cos \frac{(138^\circ 46.3 - 41^\circ 19.3)}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到余纬 $(90^\circ - \text{Lat}) = -179^\circ 40.2$ (根据纬度取值范围 $0-90^\circ$ 舍去此解)

或者 $59^{\circ} 37.1$, 得到计算纬度 $Lat1 = N30^{\circ} 22.9$;

再假设经度 2 为 $Long2 = E123^{\circ} 30.0$, 同样可以解算得到计算纬度 $Lat2 = N30^{\circ} 45.3$;

过位置 1 ($N30^{\circ} 22.9, E123^{\circ} 00.0$) 和位置 2 ($N30^{\circ} 45.3, E123^{\circ} 30.0$) 做连线, 即为一条 12 月 20 日 0900LT (0100GMT) 观测太阳 Sun 高度位置线 (海纳线)。墨卡托海图作业如图 4。

[0027] 具体计算例 4, 假设纬度法观测天体高度定位 (春景法得到海纳线): 1998 年 12 月 20 日 1800LT (1000GMT), 推算船位 $N30^{\circ} 32.1/E123^{\circ} 12.3$, 观测五车二 Capella 真高度 $29^{\circ} 53.5$; 根据时间, 可以得到五车二赤纬 $Dec N45^{\circ} 59.7$, 共轭赤经 $SHA 280^{\circ} 50.5$ 和春分点格林时角 $GHA \gamma 238^{\circ} 47.2$, 假设纬度 1 为 $Lat1 = N30^{\circ} 20.0$ (春景法), 可得余纬 $(90^{\circ} - Lat) = 90^{\circ} - 30^{\circ} 20.0 = 59^{\circ} 40.0$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^{\circ} - Dec) = 90^{\circ} - 45^{\circ} 59.7 = 44^{\circ} 00.3$, 顶距 $(90^{\circ} - h) = 90^{\circ} - 29^{\circ} 53.5 = 60^{\circ} 06.5$ 和余纬 $(90^{\circ} - Lat) = 59^{\circ} 40.0$ 三要素, 可以根据余弦公式变形来求解天体地方时角 LHA:

$$\cos LHA = \frac{\cos(60^{\circ}06.5) - \cos(44^{\circ}00.3) * \cos(59^{\circ}40.0)}{\sin(44^{\circ}00.3) * \sin(59^{\circ}40.0)}$$

可以解算得到地方时角 $LHA = 76^{\circ} 58.7$, 如果已知观测方位为 NE, 可直接命名时角为 E; 如果方位未知, 可以取西向 W 或者东向 E, 转换为圆周时角 $LHA = 76^{\circ} 58.7$ 或者 $LHA = 360^{\circ} - 76^{\circ} 58.7 = 283^{\circ} 01.3$, 得到计算经度 $Long1 = LHA - (GHA \gamma + SHA) = 76^{\circ} 58.7 - (238^{\circ} 47.2 + 280^{\circ} 50.5) = E277^{\circ} 21.0$ (根据推算经度 $E123^{\circ}$ 舍去此解), 或者 $Long1 = LHA - (GHA \gamma + SHA) = 283^{\circ} 01.3 - (238^{\circ} 47.2 + 280^{\circ} 50.5) = E 123^{\circ} 23.6$;

再假设纬度 2 为 $Lat2 = N30^{\circ} 40.0$, 同样可以解算得到计算经度 $Long2 = E123^{\circ} 05.0$;

过位置 1 ($N30^{\circ} 20.0, E123^{\circ} 23.6$) 和位置 2 ($N30^{\circ} 40.0, E123^{\circ} 05.0$) 做连线, 即为一条 12 月 20 日 1800LT (1000GMT) 观测五车二 Capella 高度位置线 (海纳线)。墨卡托海图作业如图 4。

[0028] 同时观测天体方位和高度联合定位可以分为三种情况: 1. 观测已知天体方位和高度, 解算测者位置; 2. 已知测者位置观测未知天体方位和高度, 解算天体位置; 3. 已知测者位置观测已知天体, 解算天体方位和高度。

[0029] 具体实施方式 5, 观测已知天体方位和高度解算测者位置: 在已知的时刻观测已知天体的真方位 A 和真高度 h, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec, 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 $GHA \gamma$); 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^{\circ} - Dec)$, 顶距 $(90^{\circ} - h)$ 和方位角 A 三要素, 可以根据正弦公式求解地方时角 LHA:

$$\sin LHA = \sin A * \frac{\sin(90^{\circ} - h)}{\sin(90^{\circ} - Dec)} = \sin A * \frac{\cos h}{\cos Dec}$$

解得地方时角 LHA, 得到计算经度 Long; 再根据纳皮尔公式变形来求解余纬 $(90^{\circ} - Lat)$:

$$\begin{aligned}\tan \frac{(90^\circ - \text{Lat})}{2} &= \tan \frac{((90^\circ - \text{Dec}) + (90^\circ - h))}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}} \\ &= \cot \frac{(\text{Dec} + h)}{2} * \frac{\cos \frac{(A + \text{LHA})}{2}}{\cos \frac{(A - \text{LHA})}{2}}\end{aligned}$$

可以解算得到余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$), 得到计算纬度 Lat ; 得到测者位置纬度和经度 (Lat/Long)。

[0030] 具体实施方式 6, 已知测者位置观测未知天体方位和高度解算天体位置: 已知测者位置 (Lat/Long) 在已知时刻观测未知天体的真方位 A 和真高度 h , 根据时间, 可以得到春分点格林时角 $\text{GHA } \gamma$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知顶距 ($90^\circ - h$), 余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 和方位角 A 三要素, 可以根据余弦公式求解余距 ($90^\circ - \text{Dec}$):

$$\begin{aligned}\cos(90^\circ - \text{Dec}) &= \cos(90^\circ - h) * \cos(90^\circ - \text{Lat}) \\ &+ \sin(90^\circ - h) * \sin(90^\circ - \text{Lat}) * \cos A \\ &= \sin h * \sin \text{Lat} + \cos h * \cos \text{Lat} * \cos A\end{aligned}$$

解得余距 ($90^\circ - \text{Dec}$), 得到天体赤纬 Dec ; 再根据余弦公式变形来求解地方时角 LHA :

$$\begin{aligned}\cos \text{LHA} &= \frac{\cos(90^\circ - h) - \cos(90^\circ - \text{Dec}) * \cos(90^\circ - \text{Lat})}{\sin(90^\circ - \text{Dec}) * \sin(90^\circ - \text{Lat})} \\ &= \frac{\sin h}{\cos \text{Dec} * \cos \text{Lat}} - \tan \text{Dec} * \tan \text{Lat}\end{aligned}$$

可以解算得到地方时角 LHA , 得到天体格林时角 GHA (或者 $\text{GHA } \gamma + \text{SHA}$); 得到天体赤纬和格林时角或者共轭赤经 (Dec/GHA or Dec/SHA)。

[0031] 具体实施方式 7, 已知测者位置观测已知天体解算天体方位和高度: 已知测者位置 (Lat/Long) 在已知时刻观测已知天体, 根据时间, 可以得到天体赤纬 Dec , 天体格林时角 GHA (或者共轭赤经 SHA 和春分点格林时角 $\text{GHA } \gamma$), 可得地方时角 LHA ; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 ($90^\circ - \text{Dec}$), 余纬 ($90^\circ - \text{Lat}$) 和地方时角 LHA 三要素, 可以根据余弦公式求解顶距 ($90^\circ - h$):

$$\begin{aligned}\cos(90^\circ - h) &= \cos(90^\circ - \text{Dec}) * \cos(90^\circ - \text{Lat}) \\ &+ \sin(90^\circ - \text{Dec}) * \sin(90^\circ - \text{Lat}) * \cos \text{LHA} \\ &= \sin \text{Dec} * \sin \text{Lat} + \cos \text{Dec} * \cos \text{Lat} * \cos \text{LHA}\end{aligned}$$

解得顶距 ($90^\circ - h$), 得到计算高度 h ; 再根据余弦公式变形来求解方位角 A :

$$\begin{aligned}\cos A &= \frac{\cos(90^\circ - \text{Dec}) - \cos(90^\circ - h) * \cos(90^\circ - \text{Lat})}{\sin(90^\circ - h) * \sin(90^\circ - \text{Lat})} \\ &= \frac{\sin \text{Dec}}{\cos h * \cos \text{Lat}} - \tan h * \tan \text{Lat}\end{aligned}$$

可以解算得到方位角 A ; 得到天体观测方位和高度 (A/h)。

[0032] 具体计算例 5, 观测已知天体方位和高度解算测者位置: 1998 年 12 月 20 日 0900LT (0100GMT), 推算船位 $N30^{\circ} 32.1/E123^{\circ} 12.3$, 观测太阳 Sun 真方位 $138^{\circ} 58.6$, 真高度 $23^{\circ} 10.3$; 根据时间, 可以得到太阳赤纬 $Dec S23^{\circ} 25.2$ 和格林时角 $GHA 195^{\circ} 40.7$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^{\circ} - Dec) = 90^{\circ} - (-23^{\circ} 25.2) = 113^{\circ} 25.2$, 顶距 $(90^{\circ} - h) = 90^{\circ} - 23^{\circ} 10.3 = 66^{\circ} 49.7$ 和方位角 $A = NE 138^{\circ} 58.6$ 三要素, 可以根据正弦公式求解地方时角 LHA:

$$\sin LHA = \sin(138^{\circ}58.6) * \frac{\sin(66^{\circ}49.7)}{\sin(113^{\circ}25.2)}$$

解得地方时角 $LHA = 41^{\circ} 07.0$ 或者 $138^{\circ} 53.0$, 根据观测方位 NE 可知为东向时角 E, 转换为圆周时角 $LHA = 360^{\circ} - 41^{\circ} 07.0 = 318^{\circ} 53.0$ 或者 $LHA = 360^{\circ} - 138^{\circ} 53.0 = 221^{\circ} 07.0$, 得到计算经度 $Long = LHA - GHA = 318^{\circ} 53.0 - 195^{\circ} 40.7 = E123^{\circ} 12.3$ 或者 $Long = LHA - GHA = 221^{\circ} 07.0 - 195^{\circ} 40.7 = E25^{\circ} 26.3$ (根据推算经度 $E123^{\circ}$ 舍去此解);

再根据纳皮尔公式变形来求解余纬 $(90^{\circ} - Lat)$:

$$\begin{aligned} \tan \frac{(90^{\circ} - Lat)}{2} \\ = \tan \frac{(113^{\circ}25.2 + 66^{\circ}49.7)}{2} * \frac{\cos \frac{(138^{\circ}58.6 + 41^{\circ}07.0)}{2}}{\cos \frac{(138^{\circ}58.6 - 41^{\circ}07.0)}{2}} \end{aligned}$$

可以解算得到余纬 $(90^{\circ} - Lat) = 59^{\circ} 27.9$, 得到计算纬度 $Lat = N30^{\circ} 32.1$; 得到 12 月 20 日 0900LT (0100GMT) 观测太阳 Sun 的测者位置 ($N30^{\circ} 32.1, E123^{\circ} 12.3$)。

如果用前述假设经纬度法分别解算 (计算过程参见 [0025] 和 [0026]), 可以得到容 (Rong) 线为 1 ($N30^{\circ} 20.0, E123^{\circ} 16.7$) 和 2 ($N30^{\circ} 40.0, E123^{\circ} 09.5$) 连线, 与纳 (Na) 线为 1 ($N30^{\circ} 22.9, E123^{\circ} 00.0$) 和 2 ($N30^{\circ} 45.3, E123^{\circ} 30.0$) 连线, 根据容 (Rong) 线与纳 (Na) 线相交点可以得到 12 月 20 日 0900LT (0100GMT) 观测太阳 Sun 的测者位置 ($N30^{\circ} 32.1, E123^{\circ} 12.3$)。墨卡托海图作业如图 4。

[0033] 具体计算例 6, 观测已知天体方位和高度解算测者位置: 1998 年 12 月 20 日 1800LT (1000GMT), 推算船位 $N30^{\circ} 32.1/E123^{\circ} 12.3$, 观测五车二 Capella 真方位 $51^{\circ} 22.8$, 真高度 $29^{\circ} 53.5$; 根据时间, 可以得到五车二赤纬 $Dec N45^{\circ} 59.7$, 共轭赤经 $SHA 280^{\circ} 50.5$ 和春分点格林时角 $GHA \gamma 238^{\circ} 47.2$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知顶距 $(90^{\circ} - h) = 90^{\circ} - 29^{\circ} 53.5 = 60^{\circ} 06.5$, 余距 $(90^{\circ} - Dec) = 90^{\circ} - 45^{\circ} 59.7 = 44^{\circ} 00.3$ 和方位角 $A = NE 51^{\circ} 22.8$ 三要素, 可以根据正弦公式求解地方时角 LHA:

$$\sin LHA = \sin(51^{\circ}22.8) * \frac{\sin(60^{\circ}06.5)}{\sin(44^{\circ}00.3)}$$

解得地方时角 $LHA = 77^{\circ} 10.0$ 或者 $102^{\circ} 50.0$, 根据观测方位 NE 可知为东向时角 E, 转换为圆周时角 $LHA = 360^{\circ} - 77^{\circ} 10.0 = 282^{\circ} 50.0$ 或者 $LHA = 360^{\circ} - 102^{\circ} 50.0 = 257^{\circ} 10.0$, 得到计算经度 $Long = LHA - (GHA \gamma + SHA) =$

$282^{\circ} 50.0 - (238^{\circ} 47.2 + 280^{\circ} 50.5) = E123^{\circ} 12.3$ 或者 $\text{Long} = \text{LHA} - (\text{GHA} \gamma + \text{SHA}) = 257^{\circ} 10.0 - (238^{\circ} 47.2 + 280^{\circ} 50.5) = E97^{\circ} 32.3$ (根据推算经度 $E123^{\circ}$ 舍去此解); 再根据纳皮尔公式变形来求解余纬 ($90^{\circ} - \text{Lat}$):

$$\tan \frac{(90^{\circ} - \text{Lat})}{2} = \tan \frac{(44^{\circ}00.3 + 60^{\circ}06.5)}{2} * \frac{\cos \frac{(51^{\circ}22.8 + 77^{\circ}10.0)}{2}}{\cos \frac{(51^{\circ}22.8 - 77^{\circ}10.0)}{2}}$$

可以解算得到余纬 ($90^{\circ} - \text{Lat}$) = $59^{\circ} 27.9$, 得到计算纬度 $\text{Lat} = N30^{\circ} 32.1$; 得到 12 月 20 日 1800LT(1000GMT) 观测五车二 Capella 的测者位置 ($N30^{\circ} 32.1, E123^{\circ} 12.3$)。

如果用前述假设经纬度法分别解算 (计算过程参见 [0024] 和 [0027]), 可以得到容 (Rong) 线为 1 ($N30^{\circ} 37.7, E123^{\circ} 00.0$) 和 2 ($N30^{\circ} 24.4, E123^{\circ} 30.0$) 连线, 与纳 (Na) 线为 1 ($N30^{\circ} 20.0, E123^{\circ} 23.6$) 和 2 ($N30^{\circ} 40.0, E123^{\circ} 05.0$) 连线, 根据容 (Rong) 线与纳 (Na) 线相交点可以得到 12 月 20 日 1800LT(1000GMT) 观测五车二 Capella 的测者位置 ($N30^{\circ} 32.1, E123^{\circ} 12.3$)。墨卡托海图作业如图 4。

[0034] 具体计算例 7, 已知测者位置观测未知天体方位和高度解算天体位置: 1998 年 12 月 20 日 1800LT(1000GMT), 船位 $N30^{\circ} 32.1/E123^{\circ} 12.3$, 观测星体真方位 $51^{\circ} 22.8$, 真高度 $29^{\circ} 53.5$; 根据时间, 可以得到春分点格林时角 $\text{GHA} \gamma 238^{\circ} 47.2$; 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知顶距 ($90^{\circ} - h$) = $90^{\circ} - 29^{\circ} 53.5 = 60^{\circ} 06.5$, 余纬 ($90^{\circ} - \text{Lat}$) = $90^{\circ} - 30^{\circ} 32.1 = 59^{\circ} 27.9$ 和方位角 $A = NE 51^{\circ} 22.8$ 三要素, 可以根据余弦公式求解余距 ($90^{\circ} - \text{Dec}$):

$$\cos(90^{\circ} - \text{Dec}) = \cos(60^{\circ} 06.5) * \cos(59^{\circ} 27.9) + \sin(60^{\circ} 06.5) * \sin(59^{\circ} 27.9) * \cos(51^{\circ} 22.8)$$

解得余距 ($90^{\circ} - \text{Dec}$) = $44^{\circ} 00.3$, 得到天体赤纬 $\text{Dec} = N45^{\circ} 59.7$;

再根据余弦公式变形来求解地方时角 LHA:

$$\cos \text{LHA} = \frac{\cos(60^{\circ}06.5) - \cos(44^{\circ}00.3) * \cos(59^{\circ}27.9)}{\sin(44^{\circ}00.3) * \sin(59^{\circ}27.9)}$$

可以解算得到地方时角 $\text{LHA} = 77^{\circ} 09.9$, 根据观测方位 NE 可知为东向时角 E, 转换为圆周时角 $\text{LHA} = 360^{\circ} - 77^{\circ} 09.9 = 282^{\circ} 50.1$, 得到天体共轭赤经 $\text{SHA} = \text{LHA} - \text{GHA} \gamma - \text{LongE} = 282^{\circ} 50.1 - 238^{\circ} 47.2 - 123^{\circ} 12.3 = 280^{\circ} 50.6$; 得到 12 月 20 日 1800LT(1000GMT) 观测星体的赤纬和共轭赤经 ($\text{Dec} N45^{\circ} 59.7, \text{SHA} 280^{\circ} 50.6$), 查天文历可知该星体为五车二 Capella ($\text{Dec} N45^{\circ} 59.7, \text{SHA} 280^{\circ} 50.5$)。

上述例中共轭赤经 SHA 解算值为 $280^{\circ} 50.5765$ 保留一位小数 $280^{\circ} 50.6$, 查布朗天文历, 五车二 Capella 共轭赤经 SHA, 11 月 21 日 -12 月 8 日为 $280^{\circ} 50.6$, 12 月 9-31 日为 $280^{\circ} 50.5$; 将五车二 Capella 赤纬和共轭赤经 ($\text{Dec} N45^{\circ} 59.7, \text{SHA} 280^{\circ} 50.5$), 用 [0031] 方法解算可以得到观测方位和高度 ($A NE 51^{\circ} 22.7761, h 29^{\circ} 53.4505$), 再将观测方位和高度 ($A NE 51^{\circ} 22.7761, h 29^{\circ} 53.4505$) 用 [0030] 方法解算, 可以得到赤纬和共轭赤经 ($\text{Dec} N45^{\circ} 59.7000, \text{SHA} 280^{\circ} 50.5001$) 与天文历五车二 Capella 数据相符, 解算过程中的小数保留位数不同造成此差异。

[0035] 具体计算例 8, 已知测者位置观测已知天体解算天体方位和高度: 1998 年 12

月 20 日 0900LT(0100GMT), 船位 $N30^{\circ} 32.1/E123^{\circ} 12.3$, 观测太阳 Sun, 根据时间, 可以得到太阳赤纬 $Dec S23^{\circ} 25.2$ 和格林时角 $GHA 195^{\circ} 40.7$, 可得地方时角 $LHA = 195^{\circ} 40.7 + 123^{\circ} 12.3 = 318^{\circ} 53.0 = E41^{\circ} 07.0$, 在天文三角形中, 如图 3 所示: 已知余距 $(90^{\circ} - Dec) = 90^{\circ} - (-23^{\circ} 25.2) = 113^{\circ} 25.2$, 余纬 $(90^{\circ} - Lat) = 90^{\circ} - 30^{\circ} 32.1 = 59^{\circ} 27.9$ 和地方时角 $LHA = E 41^{\circ} 07.0$ 三要素, 可以根据余弦公式求解顶距 $(90^{\circ} - h)$:

$$\cos(90^{\circ} - h) = \cos(113^{\circ} 25.2) * \cos(59^{\circ} 27.9) \\ + \sin(113^{\circ} 25.2) * \sin(59^{\circ} 27.9) * \cos(41^{\circ} 07.0)$$

解得顶距 $(90^{\circ} - h) = 66^{\circ} 49.7$, 得到计算高度 $h = 23^{\circ} 10.3$; 再根据余弦公式变形来求解方位角 A:

$$\cos A = \frac{\cos(113^{\circ} 25.2) - \cos(66^{\circ} 49.7) * \cos(59^{\circ} 27.9)}{\sin(66^{\circ} 49.7) * \sin(59^{\circ} 27.9)}$$

可以解算得到方位角 $A = NE 138^{\circ} 58.6$; 得到 12 月 20 日 0900LT(0100GMT) 太阳 Sun 观测方位和高度 $(A NE 138^{\circ} 58.6, h 23^{\circ} 10.3)$ 。

[0036] 假设经纬度法测天体定位使用注意事项: 假设经纬度法观测天体定位, 实质是通过假设经度 (或者纬度) 计算出了天体等方位角位置线上或者等高度位置线上的两个点, 用两点的连线即弦线来代替实际的等方位角位置线或者等高度位置线, 使用时要注意如下事项:

1) 假设经度 (或者纬度) 最好距离推算船位不要太远; 一般假设一个比推算船位经度 (或者纬度) 大的假设经度 (或者纬度), 再假设一个比推算船位经度 (或者纬度) 小的假设经度 (或者纬度) 来计算, 理想状态是测者位置在两个假设和计算位置中间;

2) 天体方位位置线和天体高度位置线一般都是曲线, 使用墨卡托海图上为直线的恒向线来代替实际是曲线的等方位角位置线或者等高度位置线, 总有一定的误差, 如作图后误差较大, 或者多天体定位时连线不能相交, 可在连线延长方向上再选择一个假设经度 (或者纬度), 计算得到对应的纬度 (或者经度), 用第三个点或者更多的点连接来描绘出更长的等方位角位置线或者等高度位置线, 以得到测者位置;

3) 计算中两次假设经度 (或者纬度) 的间距越小, 两点之间的距离越短, 越接近真实等方位角位置线或者等高度位置线, 其大小的选择与观测方位和观测高度精确度有关, 观测方位和观测高度的精确度越高, 假设经度 (或者纬度) 的间距可以选择的越小, 反之应该选择的越大;

4) 假设经度法 (清林法) 和假设纬度法 (春景法) 都可以计算任何观测方向上的天体, 两种计算方法计算过程不同但计算结果相同; 为了作图上的方便, 对于偏向南、北方向上的天体, 观测方位定位 (获得有容线) 可优先选择假设纬度法 (春景法), 观测高度定位 (获得海纳线) 可优先选择假设经度法 (清林法); 对于偏向东、西方向上的天体, 观测方位定位 (获得有容线) 可优先选择假设经度法 (清林法), 观测高度定位 (获得海纳线) 可优先选择假设纬度法 (春景法); 等高度位置线 (海纳线) 总是垂直于观测方位, 但等方位角位置线 (有容线) 的方向不一定与观测方位线方向一致, 如果作图中发现选择的方法作图不便, 可以选择另一种方法计算;

5) 观测天体方位和高度联合定位中, 无论解算测者位置或者天体位置, 都要求观测方

位和高度的同时性；已知测者位置和天体位置解算得到的天体观测位置也是指同时观测的方位和高度；如果非同时分开观测方位和高度数据，即使测者位置不变，天体相对于测者的位置也是时刻变化的，分开观测的方位和高度数据其实是分别处于不同的两个天文三角形中，此时可以分别用选择经纬度法解算出有容线 and 海纳线后做移线定位或者做方位高度异顶差修正；

6) 观测天体高度定位因为要受大气密度垂直变化的影响，不可避免的会产生实际眼高差和蒙气差不等于标准眼高差和蒙气差的误差，故观测天体高度定位要求选择高度不低于 15° 最好不低于 30° 天体；观测天体方位定位相比观测天体高度定位，不受大气密度垂直变化的影响，不会产生因为大气密度垂直变化引起的眼高差和蒙气差的误差问题，一般我们可以认为大气密度在观测位置的水平方向上是均匀的，故观测天体方位定位可以观测低高度天体。

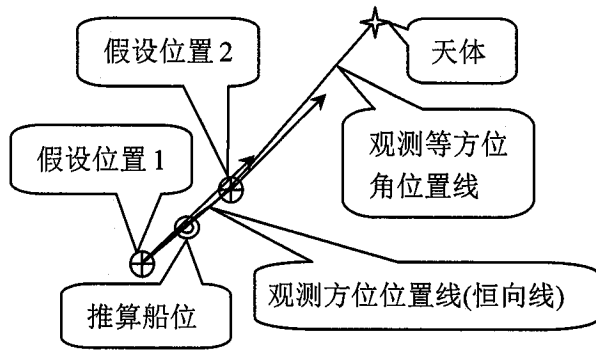


图 1

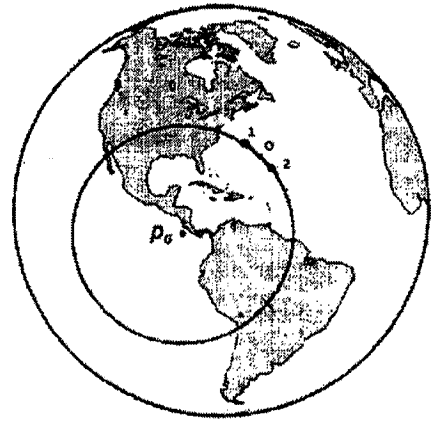


图 2

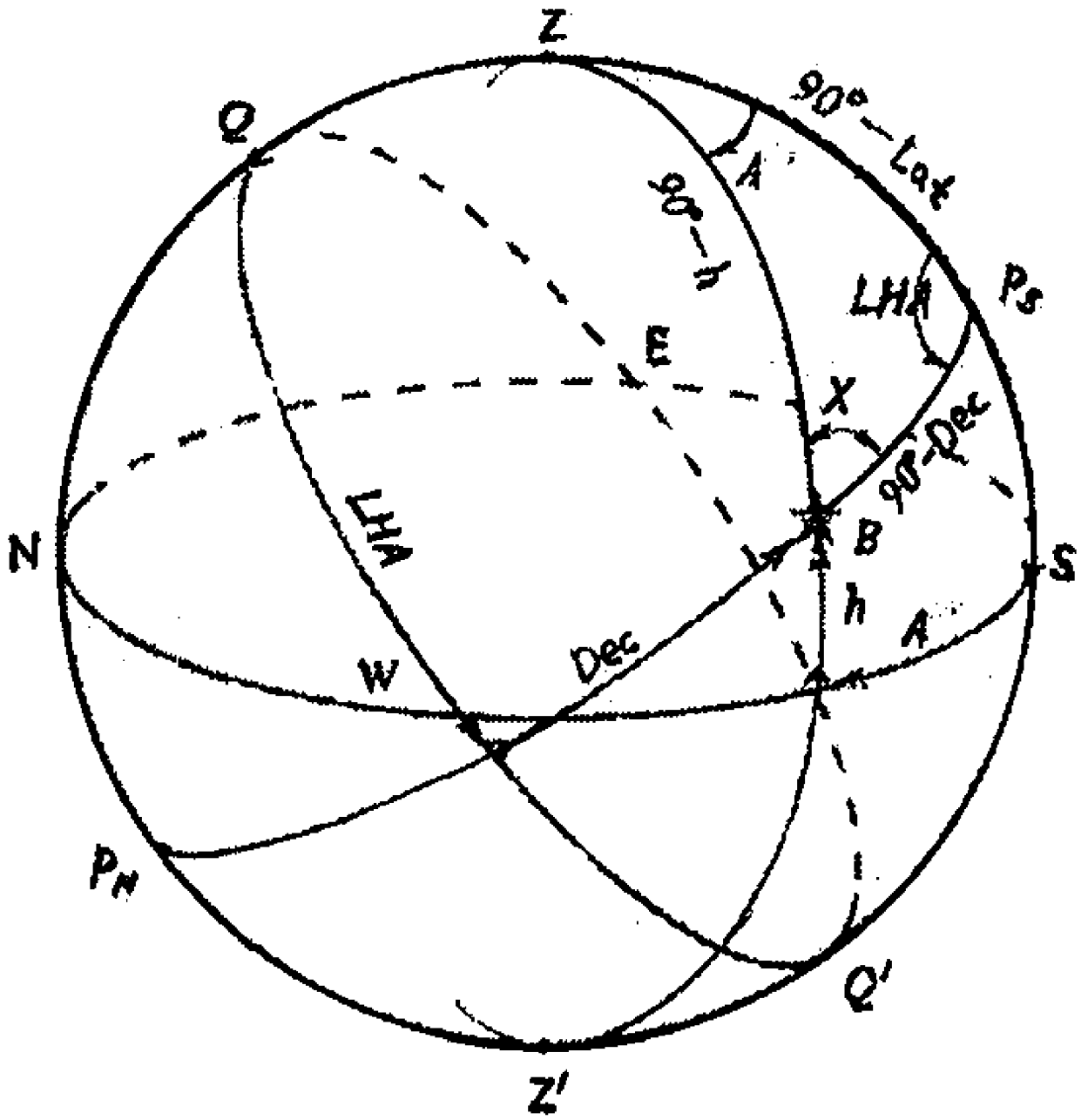
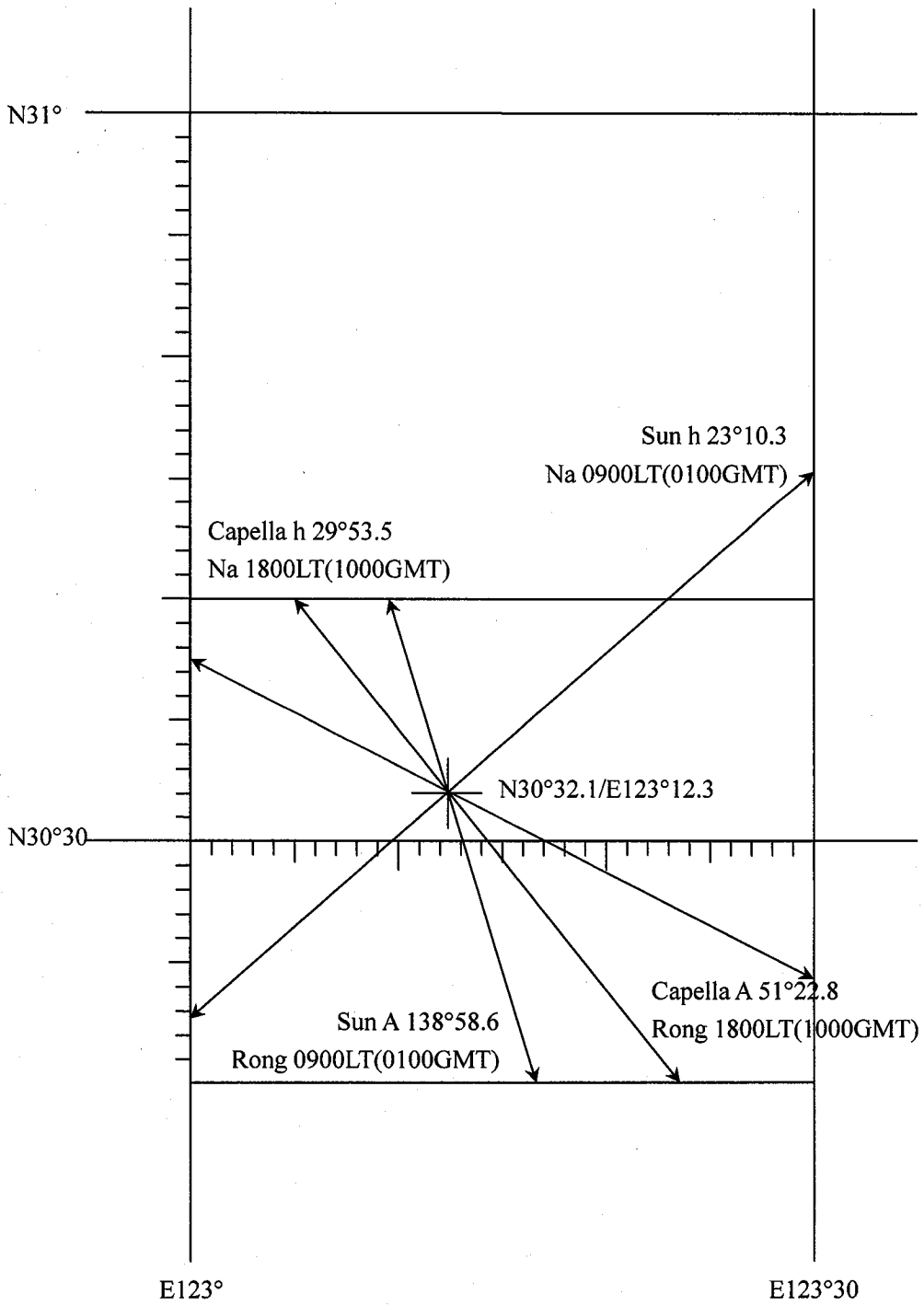


图 3



1998 年 12 月 20 日 0900LT(0100GMT)观测太阳 Sun A $138^{\circ}58.6$, $h 23^{\circ}10.3$;
1998 年 12 月 20 日 1800LT(1000GMT)观测五车二 Capella A $51^{\circ}22.8$, $h 29^{\circ}53.5$;
墨卡托海图作业。

图 4