

船員业务学习小丛书

航海天文学

下 冊

大连海运学院航海系船員业务学习小丛书編寫組 編



人民交通出版社

目 录

下 册

第七章 天体定位概念和截距法求船位	3
§ 24 船舶地理位置和天頂在天球上位置的关系, 各种天文定位方法的概念.....	3
§ 25 等高度圈和船位.....	5
§ 26 截距法原理及其求船位的概念.....	7
§ 27 天体計算高度 (h_c) 和計算方位角 (A_c) 的計 算方法.....	11
§ 28 截距法定船位和海图作业.....	20
§ 29 单一船位綫的应用.....	36
第八章 觀測天体高度求緯度	38
§ 30 觀測天体的中天高度求緯度.....	38
§ 31 觀測天体近中天高度求緯度.....	50
§ 32 觀測北极星高度求緯度.....	54
第九章 航海天文学所要解决的其它問題	62
§ 33 天体出沒区时的計算.....	62
§ 34 晨昏朦影.....	67
§ 35 天文方法求罗經修正量.....	69
附錄	77
1. 北极星方位角, 1955年.....	77
2. 从北极星高度求緯度, 1955年.....	78

3. 晨光始和日出, 1955年.....	82
4. 日沒和昏影終, 1955年.....	83
5. 月出, 1955年.....	84
6. 月沒, 1955年.....	85
7. 表8, 行星月亮中天时刻內插.....	86
8. 表10, 太阳出沒晨昏朦影时刻內插.....	87
9. 表11, 月亮出沒时刻內插.....	88

第七章 天体定位概念和截距法求船位

§ 24 船舶地理位置和天頂在天球上位置的关系，

各种天文定位方法的概念

船位就是船舶在地球面上的經緯度，而天球上的观测者子午圈和天頂同观测者的船位有着密切的关系。

天頂的赤緯就等于船位（观测者）的緯度，天頂的格林时角（西向）就是观测者的西經， 360° 减去天頂的格林时角（超过 180° 的西向时角）就是观测者的东經。如图 7-1 A 是观测者在地面上的位置， $P_N \widehat{ZQP}_S$ 是观测者的子午圈， ZQ 等于观

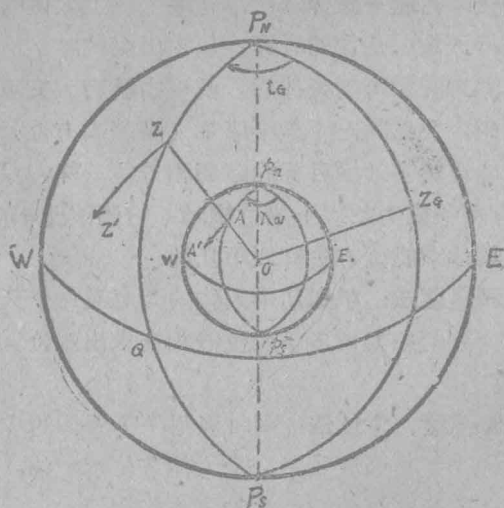


图 7-1

測者的緯度。 $\widehat{P_N Z_G P_S}$ 是格林子午圈， $\angle Z_G P_N Z$ 是天頂“Z”的格林時角（西向），等於觀測者經度。所以當船位A在地球上移動時，天頂（Z）在天球上也相應地移動。在航海天文中，我們只要求得某一時刻天頂的座標，就可以知道船位的經緯度。這就是船位和天頂的關係。

天文定位方法基本上和陸標定位方法相似，從性質上可分為下列兩種：

1. 直接觀測天頂法：直接測量天頂和它附近某一天體的赤經及赤緯的差額來求出天頂在天球上的座標，或者把天頂和它附近一部分天空與星圖作比較，求出天頂在圖上的位置。

此法優點在於無須計算或很少計算。但實際上船在不停地搖擺，目前尚不能準確地測量這個差額，所以很難求出天頂在天球上的正確位置，因此目前還不能應用。

2. 觀測天體的地平座標法：觀測地平以上天體的高度及方位，然後進行天文三角形的計算，以求出船位。

已知觀測時間和所測天體後，便可由航海天文歷求出赤緯。如果只測得天體的一個地平座標（高度或方位），那麼正如同航海學中觀測了地面目標的距離和方位一樣，只得到一條船位綫。當有兩條或兩條以上船位綫時，它們彼此相交，便求得一個船位。具體求船位方法有幾種：

（1）觀測高度法：觀測幾個天體的高度或一個天體的幾個高度，便可得到兩條或更多條船位綫相交求出船位。這是目前應用的方法。

（2）觀測高度、方位法：同時觀測一個天體的高度及方位，或觀測一個天體高度及另一個天體方位求船位。但目前觀測方位的儀器精確度還差，此法尚不能應用。

（3）觀測方位法：測一個天體或兩個或兩個以上天體的方

位，或同时测几个天体的方位求得船位。此法同样由于观测仪器不精确而尚不能实现。

§ 25 等高度圈和船位

当我们在海上观测一个天体的高度之后，可以得到该天体的顶距 z （即 $90^\circ - h$ ），同时也可以记下准确的天文钟时间。这样就可以从航海天文历中找出这个天体的时角和赤纬，也就是求出天体在天球上的位置，如图7-2，天体在天球上位于 X 点，

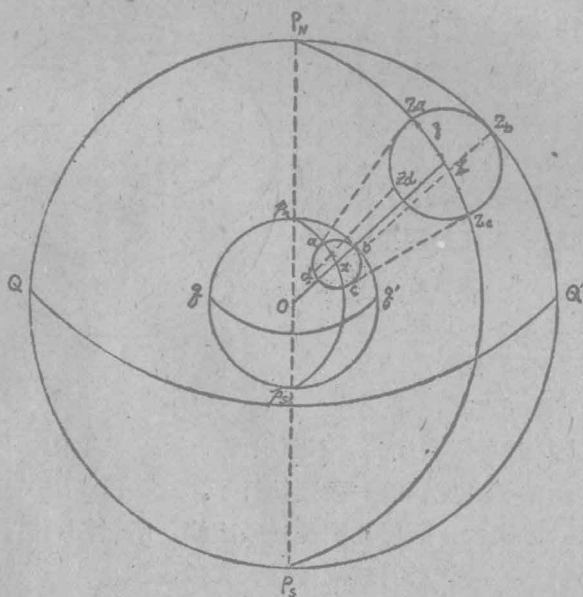


图 7-2

如果以顶距 ZX 为半径以天体 X 为中心，画一个小圆 (Z, Z_a, Z_b, Z_c, Z_d)，此时观测者的天顶 Z 必须在此圆上，而且从圆上任何一点如 Z_a, Z_b, Z_c, Z_d 到天体 X 的距离都是相等的，并且等于顶距 z 。

如果我們把天体位置移到地面上来，同样用上述的方法，就可以在地球面上找出一个小圓 $abcd$ ，同样道理船位是在这个小圓上，站在这个小圓上 a 、 b 、 c 、 d 各点来观测这个天体的高度时，它們的高度都是相等的，因而这个在地球面上的小圓就叫做**等高度圈**。等高度圈的中心是地球中心和天体的連接綫在地球面上所交的那个点，这个点又叫做**天体的地理位置**。

观测一个天体高度可以在地面上得到一个等高度圈，如图观测两个天体就可以得到两个等高度圈，如图7-3，这两个等高度圈交于两点（ a 和 a' ），观测者位置（船位）既在第一个等高度圈上又在第二个等高度圈上，所以船位就应在相交的两个点 a 和 a' 上。但不会两点都是船位，那么在那一点呢？我們是取在和推算船位 C 点比較接近的那一点 a 便是船位。

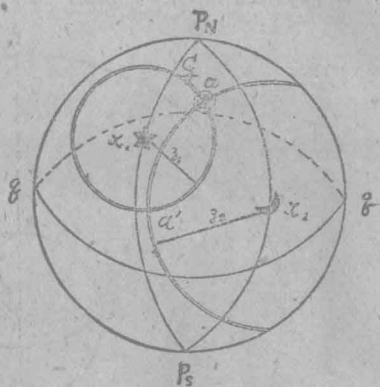


图 7-3

实际上我們可以在地面上不画出整个的等高度圈，而在推算船位附近画等高度圈的一段弧就行了。这一段弧因为它的半径（頂距 z ）很大，所以几乎是一条直綫，所以我們可以用它的切綫来代表它。这条直綫就叫做**天文船位綫**。

这种以天体的地理位置为中心，以頂距为球面半径繪出等高度圈的一段弧定船位的方法，如果我們在地球仪上直接来画的話，則是一种既简单又迅速的方法，但其准确度不够。如果要提高准确度到 $1'$ ，就需要一个很大的地球仪，它的直径要7米左右。另外，我們知道天体的頂距是几十度以上的，如果把

它变成哩，那就有几千哩以上。假如要在海图上作图，天体的地理位置与船位往往不能在同一张海图上，因而亦不可能直接以天体的地理位置为中心做等高度圈定船位了。因此这种看起来很简单的方法，但实际上都是一种不实用的方法。

§ 26 截距法原理及其求船位的概念

前节谈到用地球仪求船位不实际，但它提出了这样一个条件，即实际船位总是在靠近推算船位附近的一段等高度圈的弧上，它与推算位置究竟在那一点无关，因此不论用什么方法只要把这一段等高度圈的弧求出来或者正确地画到海图上就行。所以后来航海家就根据这个条件，找出一种简单的方法，把天文船位线直接画到海图上或纸上，这种方法就是目前我们应用的截距法。由等高度圈原理所得的天文船位线又称为等高度线。

截距法概念

如图 7-4 所示: x 为所测天体 X 的地理位置。 Z_c 为推算船位 C 点的天顶。 ake 为等高度圈。用大圆联 Z_c 和 X 以及 C 点和 x , 它们分别在天球上和在地球上交于 Z_K 和 K_K 两点, K 点称为截点, CK 就称为截距。

$\angle P_n C X = \angle P_N Z_c X =$ 以推算船位 C 点计算出来的天体 X 的计算方位角 (A_c)。

$$cx = \widehat{Z_c X} = \text{該天體用 } C \text{ 点}$$

$$\text{座標 (推算船位) 計算出來的}$$

$$\text{頂距 } (z_c), z_c = 90^\circ - h_c,$$
$$\widehat{kx} = \widehat{Z_K X} = \text{該天體的眞頂距}(z_t), \quad z_t = 90^\circ - h_t. \quad h_c \text{ 和 } h_t$$

分別為天體計算高度和天體眞高度。

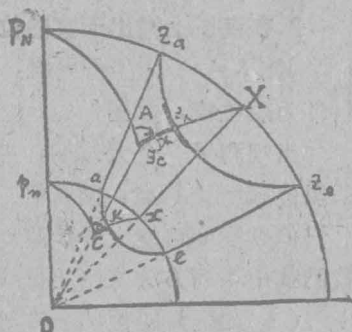


图 7-4

$$\widehat{ek} = \widehat{cx} - \widehat{kx} = h_t - h_c。$$

即：天体真高度与天体計算高度之差叫做截距。截距以符号 Dh 表示。

即： $Dh = h_t - h_c。$

截距 Dh 与計算方位角 A_c 称为等高度綫要素。

截距法解題步驟

由計算截距 Dh 及方位角 A_c 最后繪出船位綫的方法称 截距法。其具体步驟如下：

1. 計算等高度綫（船位綫）要素：在測某天体高度的同时，記下天文鐘時間，天文鐘時間土天文鐘修正量等于世界时 T_G ，但首先必須以 $Z.T.$ 求出 T'_G ，天文鐘的时间 应与 它对照。由 T_G 求出該天体的格林时角 (t_G) 和赤緯 (δ)，再由 t_G 和推算經度 λ_c 求出天体的地方时角 (t)。然后由 t 和推算緯度 φ_c 和 δ 求出天体的計算高度 h_c 及計算方位角 A_c (計算方法在下一节介紹)。再把所觀測的六分仪高度修正为真高度，然后即可求出截距 Dh 。

2. 在海图上繪出天文船位綫：由推算船位 C 按 A_c 方向繪出 CK ，取 $CK = Dh_c$ 。过 K 作 II 綫，垂直 CK (即垂直于計算方位角)。 II 即为船位綫，如图 7-5。

当觀測另一个天体后，用同样方法可得另一条船位綫，两条船位綫所交的点，便是所求的船位。

但真高度可能大于計算高度，也可能小于計算高度，此时我們就用下列方法来画船位綫，如图 7-6 所示。

(1) 如推算船位 C_1 点在等高度綫 (II) 之內 (即 $90^\circ - h_c < 90^\circ - h_t$)，此时 $h_t < h_c$ ，則截距 CK 背向天体 X (沿 A_c 反方向) 来繪。

(2) 如推算船位 C_2 点在等高度綫之外 (即 $90^\circ - h_c > 90^\circ$)

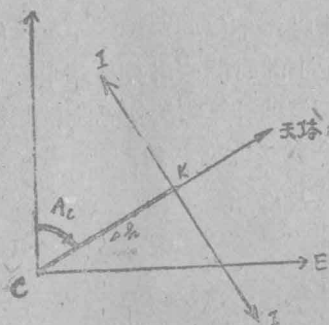


图 7-5

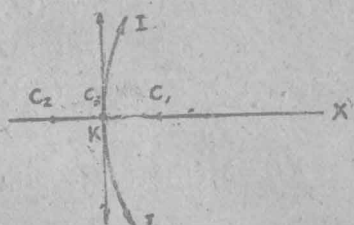


图 7-6

$-h_t$), 此时 $h_t > h_c$, 則截距 ch 朝向天体 X (沿 A_c 方向) 来繪。

(3) C 点在等高度圈上时, $h_c = h_t$, 沒有截距, 船位綫經過推算船位。

总之, 由 $Dh = h_t - h_c$ 中, 如果所得截距是正的, 則截距应向朝向天体方向来画。如果所得截距是負的, 則截距应向背着天体方向来画。

为什么可以用这种方法来求天文船位綫, 而且所求的船位綫画在海图上又是一根直綫呢? 我們是基于下列几个理由的:

1) 經驗証明: 眞正的船位和推算船位相差不会太多, 一般最多是 $30 \sim 40$ 浬, 在这个范围之內天体的眞方位和計算方位相差是不大的, 其誤差对船位影响亦不大。

2) 船位綫本来是等高度圈, 但等高度圈的半径相当大, 等高度圈上的一段弧就可以看成是一条直綫, 所以画在海图上的船位綫就用一条直綫来代替, 它所引起的誤差在一般情况下也是可以忽略的。

3) 天体方位綫本来也是大圓, 虽然我們在海图上是沿方位綫上的一段直綫。但截距一般是很短的; 这样短的一条綫, 我們也可以認為它是一条直綫。

如上所述，求一条天文船位綫时，不仅要观测一个天体的高度，而且还要根据当时观测所記下的时间来計算出这个天体的計算高度 (h_c) 和方位 (A_c)，这种計算方法实际上就是解天文三角形，如图 7-7 中， $\triangle ZP_NX$ 就是天文三角形。

我們已知 $\widehat{P_NN} = \varphi_c$ (推算緯度)，

所以 $\widehat{ZP_N} = 90^\circ - \varphi_c$ (余緯)。

$\widehat{XD} = \delta$ (由航海天文历中查得)，

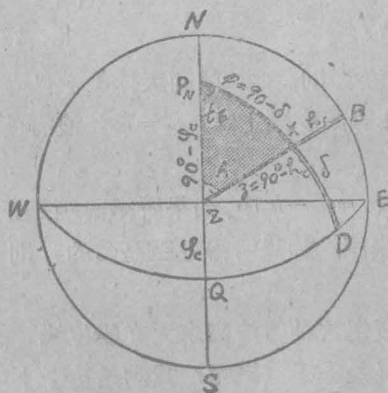


图 7-7

所以 $\widehat{P_NX} = 90^\circ - \delta$ (极距)。

$\widehat{XB} = h_c$

$\angle ZP_NX = t$ (时角，由航海天文历中找出格林时角，再 $\pm \lambda_W^E$ 而得)

我們所要求的是：

$\widehat{ZX} = 90^\circ - h_c$ (頂距)，

所以： $h_c = 90^\circ - \widehat{ZX}$ ，

$\angle P_NZX = A_c$ (計算方位)。

只要根据以上的已知条件 (φ_c 、 δ 和 t) 就能求出等高度綫要素 h_c 和 A_c 来。

§ 27 天体計算高度 (h_c) 和計算方位角 (A_c)

的計算方法

計算方法的分类

計算天体高度和方位角的方法很多，但實質上都是在一个球面三角形中已知两边及其夹角，求第三边及另一角的問題。

1. 数学演算法：是一切方法的原理根据，精确度高，是求高度及方位最根本的方法，但費時間，不太常用，而作为一个駕駛員來說，必須熟練地掌握一种基本計算法。下面是常見的几种計算方法。

(1) sinh公式：

$$\sinh = \sin\varphi_c \cdot \sin\delta + \cos\varphi_c \cdot \cos\delta \cdot \cos t.$$

这是最基本的公式，凡从事理論研究者多由此出发。

(2) 半正矢公式：

$$\text{hav} z_c = \text{hav}(\varphi_c \sim \delta) + \cos\varphi_c \cdot \cos\delta \cdot \text{hav} t.$$

我国船上用得較多，但計算費時且准确度不太高，将被淘汰。

以上两种方法的方位角可由正弦公式求出：

$$\sin A_c = \cos\delta \cdot \sec h_c \cdot \sin t.$$

(3) 尤森科公式：是苏联最盛行的方法之一，也是各种演算法中最优越的一种，只用四位对数，而且精确度較高，計算也便利。我們将在以后詳細介紹，予以广泛推广。

2. 表册法：是目前最常用的方法，只要一打开表，首先就能找出大概的 h_c 和 A_c 来，計算手續簡便，不費時，只是精确度較計算法为低，当高度較高时其精确度更低。

3. 仪器法：此法計算最迅速，但目前精确度不能滿足要

求，将来可以提高精确度而被普遍采用。

4. 图解法：迅速程度不如仪器法，精确度一般又不及其他方法，所以很少采用。

用尤森科表求等高度线要素

1. 尤氏表介绍：该表系由苏联教授尤森科氏创造的。利用此表可同时求得方位及高度，从而使计算便利，减少查表次数而又精确，是各种数学演算方法中最优越的一种，这种方法盛行于苏联船上。在我国航海中今后也将会广泛的采用。中国人民解放军海军海道测量部已有其旧版的翻译本。

注：现在正考虑将该表刊在我国自编的航海表中或另翻译其新版以资应用。

造表基本公式如下：

可以由天文三角形 $P_N Z X$ 中导出。

其中 X 系一辅助量，图中 $K B \perp P_N B$ ，

所以： $\operatorname{tg} x = \operatorname{tg} \delta \cdot \sec t$

$$\operatorname{tg} A_c = \operatorname{tg} t \frac{\sec(90^\circ + \varphi_c \sim x)}{\sec x}$$

$$\operatorname{tg} h_c = \frac{\operatorname{tg}(90^\circ + \varphi_c \sim x)}{\sec A_c}$$

用对数形式可写成：

$$T(x) = T(\delta) + S(t)$$

$$T(A_c) = T(t) - S(x) + S(90^\circ + \varphi_c \sim x)$$

$$T(h_c) = T(90^\circ + \varphi_c \sim x) - S(A_c)$$

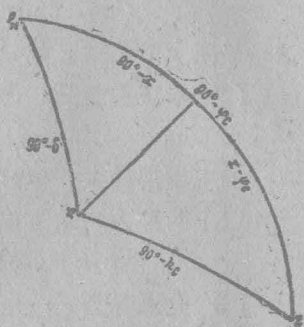
式中： $T(x)$ 表示 $2 \times 10^4 \lg \operatorname{tg} x + 70725$ ，

$S(x)$ 表示 $2 \times 10^4 \lg \sec x$ ，

余类推。

2. 用尤氏表计算截距 Dh 及方位 A_c 的步骤：

解此类问题时，在求 A_c 及 h_c 之先，须根据时间和推算船位求出 δ 和 t 值。将观测六分仪高度修正成真高度 h_t ，再由 h_t 及 h_c 之差求出截距 Dh 。



例題：1955年6月11日Z.T.0943(-8), $\varphi_c = 36^\circ 10' N$,
 $\lambda_c = 122^\circ 05' E$; 眼高30呎, 觀測了一批太陽高度, 其平均值与
 相应平均時間如下: C.T. = $1^h 00^m 03^s$, $h_s^\odot = 59^\circ 15'.8$,
 C.E.慢 $42^m 50^s$, $i+s = +2'.7$, 求計算高度、截距及方位角,
 并繪出船位綫

解：(1)求 δ 、 t 及 h_t ,

① Z.T. 0943 11/VI	C.T. $01^h 00^m 03^s$	③ $h_s^\odot 59^\circ 15'.8$
Z.D.(-)8	C.E.慢 $42^m 50^s$	$i+s \quad + 2'.7$
T'_G 0143 11/VI	T_G $01^h 42^m 53^s 11/VI$	$h_0^\odot 59^\circ 18'.5$
		$n - 5'.4$

② $t_G^\odot 180^\circ 11'.1$	$\delta^\odot 23^\circ 00'.9 N + 0'.4$	$59^\circ 13'.1$
-------------------------------	--	------------------

时、分、秒訂正 $25^\circ 43'.2$	+ $0'.4$	下边 + $15'.4$
--------------------------	----------	--------------

訂正 - $0'.2$	$\delta 23^\circ 01'.3 N$	$h_t^\odot 59^\circ 28'.5$
-------------	---------------------------	----------------------------

$t_G^\odot 205^\circ 54'.1$

$\lambda_c 122^\circ 05'.0 E$

$t^\odot 327^\circ 59'.1 W$

$32^\circ 00'.9 E$

(2) 求 h_c 、 A_c 及 Dh

$$\delta = 23^\circ 01'.3N \longrightarrow T(\delta) \quad 632 \quad 91$$

$$t = 32^\circ 00'.9 E \xrightarrow{+} S(t) \quad 14 \quad 33 \longrightarrow T(t) \quad 666 \quad 45$$

$$x = 26^\circ 37'.0N \longleftarrow T(x) \quad 647 \quad 24 \longrightarrow S(x) \quad 9 \quad 73$$

$$\varphi_c = 36^\circ 10'.0N \xrightarrow{+} T(y) \quad 656 \quad 72$$

$$90^\circ + (\varphi_c \sim x) = 99^\circ 33'.0 \xrightarrow{+} S \quad 156 \quad 03 \longrightarrow T \quad 862 \quad 06$$

$$A_c = 73^\circ 5' SE \longleftarrow T(A_c) \quad 812 \quad 75 \longrightarrow S \quad 109 \quad 17$$

$$h_c = 59^\circ 24'.4 \longleftarrow T \quad 752 \quad 89$$

$$h_t = 59^\circ 28'.5$$

$$Dh = +4'.1 \text{ (向)}$$

計算步驟說明:

- 1) 將 δ 、 t 、 φ_c 值填入計算表格中;
- 2) 據 δ 及 t 由表中查出 $T(\delta)$ 、 $S(t)$ 及 $T(t)$ 值;
- 3) $T(\delta)$ 及 $S(t)$ 相加得 $T(x)$, 然後由 $T(x)$ 查出 $S(x)$ 及 x 值;
- 4) $T(t)$ 值減去 $S(x)$ 值, 得 $T(y)$ 值;
- 5) 計算 $90^\circ + (\varphi_c \sim x)$, 並由此值查出 S 及 T 值;
- 6) $T(y)$ 和 S 值相加得 $T(A_c)$ 值, 然後根據 $T(A_c)$ 值查出 A_c 和 $S(A)$;
- 7) T 值減去 $S(A_c)$ 值, 得 $T(h)$ 值, 然後根據 $T(h_c)$ 值由表中查得 h_c 值。

几点注意:

- 1) x 值有方向, 其命名和 δ 同名;

2) 当 $t > 90^\circ$ 时, x 也大于 90° ; 当 $t < 90^\circ$ 时, x 也小于 90° ;
 当 $t = 90^\circ$ 时, $x = 90^\circ$;

3) x 和 φ_c 同名时, “~” 表示大值减小值; 当 x 和 φ_c 异名时, “~” 表示二者相加;

4) 天体方位命名: 当 x 和 φ_c 同名且 $x > \varphi_c$ 时, 方位角第一名称和 φ_c 相同, 在其它情况下全与 φ_c 异名, 而第二名称则永远和时角同名。

时角按半周天算法 ($0 \sim 180^\circ$)。

(3) 繪船位綫: 以推算船位 C 点为基点, 沿 $A_C = 73.5^\circ S E$ 方向作 CK 綫。取 $CK = 4'.1$, 过 K 点作 II 垂直 CK , II 便是船位綫。如图 7-8 所示。

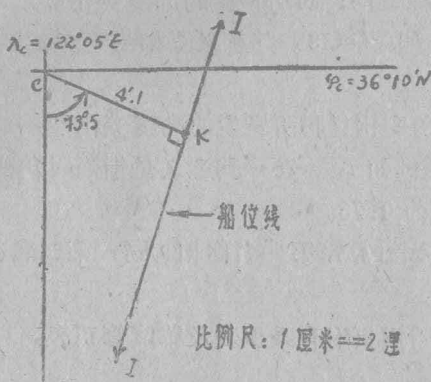


图 7-8

用 205 表 (或 H.O. 214 表) 求船位綫要素

1. 205 表的結構及用法:

中国人民解放军海軍海道測量部出版的 205 表或美国的 H.O. 214 表共分 9 册, 每册为緯度間隔 10° 的范围, 如 $0 \sim 9^\circ$, $10 \sim 19^\circ$, $20 \sim 29^\circ$ ……等等。該表系由引数 φ_c 、 t 和 δ 去找出

对应的 h_c 和 A_c 用的。引数中的緯度和时角全是整度的，赤緯在 29° 以下每半度列一次，在 29° 以上时当在半度附近沒有航海海上所用星体的赤緯則不列，高度低于 5° 的数据沒有列出。表中符号 lat 是代表緯度 (φ_c)。H.A. 栏 (垂直行) 代表时角 (t)，最上引数 (横向) 的度数表示赤緯 (δ)，当 δ 和 φ_c 同名时，在左半面或右頁下半部，当 δ 和 φ_c 异名时在表的右頁查。

在找表时，表中的 φ_c 、 t 的选择应和已知数之差小于 $30'$ 。 δ 的选择应和已知数之差小于 $15'$ (当 δ 每 1° 列一次时，則选差值应小于 $30'$)。

此表由引数查出四个答案： Alt (即 h_c)、 Δd 、 Δt 及 A_2 (即 A_c)。

Δd 表示赤緯变动 $1'$ 时所产生的高度变化量，单位为百分之一分 ($'$)。如 $\Delta d = 38$ ，其意义是相当于赤緯差 $1'$ 时，高度变化为 $0'.38$ 。

Δt 表示时角变化 $1'$ 时所发生的高度变化量，单位亦为百分之一分 ($'$)。例如 $\Delta t = 76$ ，其意义是指当时角变化 $1'$ 时，高度相应的变化为 $0'.76$ 。

A_c 按半周天計算，第一名称和 φ_c 同，第二名称和时角 (小于 180° 的) 同。

在表的最后两頁附有乘积表及緯度修正表，以便于內插使用。

乘积表作为赤緯及时角內插訂正使用。 Δ 表示 Δd 或 Δt 数值；上方代表已知 δ (或 t) 数和表列引数 δ (或 t) 間的差值。前半部代表整分，后半部代表 $0.1'$ 、 $0.2'$ (凡是空格应讀取前一格的数值) 等等。表中查出的答案为 δ 或 t 之訂正值。

緯度修正表作緯度內插訂正用： A_2 代表表中查出的方位，上方表示表列緯度引数和推算緯度之差。表中答案为緯度訂正