

程序法天文定位——太阳定位程序

The Programs of Celestial Navigation Fix by Sun

袁 启 书

(海洋渔业系)

Yuan Qishu

提 要

本文根据纽康太阳表所列理论展开式加以简化,设计了太阳座标(赤纬、时角等)程序。提供渔船船长在不查《航海天文年历》的情况下,即可利用 T1-59 计算机进行太阳定位计算。太阳座标的计算精度在 $\pm 0'.1$ 内可供 60 年使用。此外还为缺少“航海模块”的使用者,设计了太阳移线定位程序。定位计算精度在 ± 1 海里内。

前 言

从 1891 年法国 Souillagenet 表《Tables des Point Auxiliare》的出版至廿一世纪 70 年代初电子计算机在航海中的应用止,在这将近一百年的时期中,天文定位法基本上是以“表册法”为主的时代。至今仍在使用的航海表册,如英国的 Davis 表,美国的 H.O. 214 表;苏联的 TBA-52 表;以及我国 1965 年编制的 B-105 表等等。世界各国所出版应用的表册多至五十多种。

“表册法”定位的主要缺点是:表册的数量多,查表计算费时且需通过绘图才能求得船位。这就严重地影响了定位的精度和速度。在这方面我院的文干教授做了大量的研究工作,使每次观测定位需要查二至三表,简化为一种表,减少了查表计算的误差,节省了时间,提高了效率。但是这种简易表要推广到全球使用,需要编算几十册才能满足远洋航行的需要,因而有一定的局限性。由于电子计算技术的发展,特别是微处理机在各种学科的应用和发展,解决了天文定位中各种烦琐计算问题,从而开创了以“程序法”定位为主的新时代。

“程序法”定位的主要特征是,以天文定位计算的各种公式为模型,编制成程序系统储存于电子计算机内。使用时,直接输入观测值及修正量即可求出船位座标。从而省却了查表、计算和图上作业的步骤,节省了时间,提高了定位精度。使船舶驾驶人员从烦琐的绘算中解脱出来,有更多的时间和精力注意保证船舶的航行安全。从 70 年代初期日本首先制成 NC-2 型微型航海专用电子计算机以来,各国相继研制成功各种型号的

航海专用电子计算机。其中较好的有：日本的 NC-77 存有太阳位置程序，可提供20年的太阳座标；德国汉堡 CPLATH 公司研制的 Navicomp 型航海专用计算机，备有计算太阳、月亮、行星和57颗常用恒星的座标程序和原子计时装置，可使用80年。美国研制的有三种，较好的是 Hewlett Instrument 的 HP-67/97 型导航专用机，存有太阳位置程序，可供60年使用。此外二种是 Micro 公司的 Galaxy-1 型和 Texas 公司的 T1-58/59 型可编程序袖珍计算机备有“航海模块”供导航专用，后两种在使用中均需查《航海天文历》，缺少天体位置程序的功能。我国上海交通大学在80年代初也研制成功 MP-85 型 (JD-3301) 航海微型计算机，但是由于体积较大，且缺少天体位置程序，未能推广应用。

当前要发展我国航海专用袖珍型电子计算机尚需解决二个问题：一是袖珍型机的研制；二是导航程序系统的设计。在未能解决航海专用袖珍机制造问题之前。我国引进了美国的 T1-58/59 机深受广大航海工作者的欢迎。与此同时开始了天体位置程序的研究工作。首先由南京紫金山天文台历算室狄强华等三同志提出了“逼近法”计算天体位置的数学模型： $F(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \cdots \cdots + a_6x^6$ ； $x = \frac{t}{A} + B$ 、并编制出版了《计算机用航海天体位置表》、按年月日刊印了日、月、行星的位置系数 ($A, B, a_0 \cdots \cdots a_6$) 提供计算机用。按逼近式编制程序是简单的。但计算中所需要输入的系数过多，而且需要查表仍然比较烦琐。在此前后，海军水面舰艇学院司徒杰同志，根据文采尔的轨道展开式简化求黄经 λ 的公式： $\lambda = L + 1.916 \sin M + 0.02 \sin 2M$ 编制出求太阳位置的程序，较为简便实用。但所求太阳位置的精度稍差。我院于81年初也开展了程序的研究工作。主要是以文干教授简化的纽康太阳表所列理论展开式为模型进行设计的。为保证定位精度，我们采用三张磁卡合理的解决了该机容量不足的问题。其功能完全满足了太阳定位的需要。功能包括：一、太阳座标程序；二、太阳移线定位程序；三、观测子午高求纬度程序；四、观测太阳方位校正罗经差的程序；五、求观测船位误差的程序。组成了一个完整的太阳定位程序系统。现仅将太阳座标程序移线定位程序的编制原理和使用方法论述如下。

一、太阳座标程序

1. 数学模型：

$$\left. \begin{array}{l} \text{太 阳 赤 纬: } \delta = \sin^{-1}(\sin \lambda \cdot \sin \epsilon) \\ \text{太 阳 赤 经: } \alpha = \text{tg}^{-1}(\text{tg } \lambda \cdot \cos \epsilon) \\ \text{太阳格林时角: } t = S + (360^\circ - \alpha) \end{array} \right\} \quad (1)$$

当太阳为北纬 δ_N 时：

$$\left. \begin{array}{l} \alpha > 180^\circ \quad t_G = t \\ \alpha < 180^\circ \quad t_G = 360^\circ - t \end{array} \right\} \quad (1a)$$

当太阳为南赤纬 δ_S 时：

$$\left. \begin{array}{l} \alpha > 180^\circ \quad t_G = t \\ \alpha < 180^\circ \quad t_G = 180^\circ + t \end{array} \right\} \quad (1b)$$

式中: λ 为太阳视黄经; ε 为黄赤交角; S 为春分点格林时角。上述参量可根据纽康《太阳表》所列理论展开式求得:

$$\varepsilon = 23^{\circ}27'08.''26 - 46.''845T + 0.''0059T^2 \quad (2)$$

$$S = 99.^{\circ}6909833 + 36000.^{\circ}76892T + 0.^{\circ}0003870833T^2 \\ - (\Delta\phi + d\psi) \times \cos \varepsilon / 3600 \quad (3)$$

T ——儒略世纪数:

$$T = J. D / 36525 \quad (J. D \text{ 儒略日数计算见后})$$

黄经章动:

$$(\Delta\psi + d\psi) = -(17.''2327 + 0.''017T) \sin \Omega - 1.''273 \sin(2L) \quad (4)$$

月亮升交点平黄经:

$$\Omega = 259^{\circ}10'59.''79 - 6962911.''23T + 7.''48T^2 \quad (5)$$

太阳平黄经:

$$L = 279^{\circ}41'48.''04 + 129602768.''13T + 1.''089T^2 \quad (6)$$

太阳视黄经:

$$\lambda = L + (6910.''1 - 17.''2T) \sin M + 72.''23 \sin(2M) \\ + 1.''1 \sin(3M) + 6.''4 \sin(231.^{\circ}2 + 20.^{\circ}2T) \\ + 1.''9 \sin(57.^{\circ}2 + 150.^{\circ}3T) \\ + 4.''8 \cos(V + 90^{\circ}) + 5.''5 \cos(2V + 90^{\circ}) \\ + 2.''5 \cos(2V - M + 258^{\circ}) \\ + 1.''6 \cos(3V - M + 78^{\circ}) + 1.'' \cos(3V - 2M + 51^{\circ}) \\ + 2.'' \cos(2Q + 90^{\circ}) + 1.''8 \cos(2Q - M + 306^{\circ}) \\ + 7.''2 \cos(J + 90^{\circ}) + 2.''7 \cos(2J + 270^{\circ}) \\ + 2.''6 \cos(J - M + 175^{\circ}) + 1.''6 \cos(2J - M + 293^{\circ}) \\ + 6.''45 \sin D - K - 0.''35 \cos M + \Delta\psi + d\psi \quad (7)$$

上式中有关参量如下:

平近点角:

$$M = 358^{\circ}28'33.''04 + 129596579.''1T - 0.''54T^2 \quad (8)$$

金星对地日心平黄经差 + 180°:

$$V = 63.^{\circ}07037 + 22518.^{\circ}44299T \quad (9)$$

火星对地日心平黄经差:

$$Q = 165.^{\circ}94905 + 16859.^{\circ}069967T \quad (10)$$

木星对地日心平黄经差:

$$J = 221.^{\circ}64742 + 32964.^{\circ}466939T \quad (11)$$

日月平角距:

$$D = 350^{\circ}44'14.''95 + 1602961611.''18T - 5.''17T^2 \quad (12)$$

光行差常数:

$$K = 20.''48$$

太阳视半径:

$$S.D = 16.'02 + 0.'265 \cdot \cos M \quad (13)$$

儒略日数:

$$J.D = INT(365.25 \times y + 0.8) + 31(m-1) + d + H \cdot h / 24 - 1.5 - z \quad (14)$$

上式中: $y.m.d$ 为观测时的年月日

y = 观测历元 - 1900

$H.h$ —— 以小时表示观测格林时

z —— 月修正数

1 ~ 2 月份时 $z = 0$

3 ~ 12 月份时:

$$z = INT(0.4m + 1.2) + INT[INV \cdot INT(y/4) + 0.8] \quad (15)$$

INT —— 为取整数;

$INV \cdot INT$ —— 为取小数。

上述儒略日数是由1900年1月1日格林零时起算的。它是根据历法原理并取1回归年长度为365.24219878平阳日为准计算的。公式是作者利用反推法整理出的经验公式,可计算到2047年不需要修正。

2. 太阳位置程序编制:

功 能:

本程序可求出: 太阳视赤纬 δ ; 太阳视赤经 α ; 太阳格林时角 t_G ; 春分点格林时角 t'_G ; 和太阳视半径 $S.D$ 。适用于 T1-59 型可编程序计算机用。

寄存区划分: 639.39

$R_{15} \sim R_{30}$ 寄存太阳轨道参量常数。

$R_{00} \sim R_{14}$ 寄存中间计算结果, 其分配如下:

R_{02} —— 儒略世纪数 T ; R_{04} —— 太阳视半径 $S.D$;

R_{05} —— 太阳赤纬 δ_2 ; R_{08} —— 春分点格林时角 t'_{G2}

R_{08} —— 太阳格林时角 t_{G1} ; $R_{12} \sim$ 太阳赤纬 δ_1

R_{13} —— 太阳格林时角 t_{G10} 。

程序编码表: (略)

3. 使用方法:

准备工作:

接通电源。划分存储区一按 4[2nd] [OP] 17、键, 显示: 639.39。

读入磁卡程序一按 [CLR] 键清除显示后将记录该程序 1 号磁卡由磁卡入口插入, 马达自动将磁卡卷入并由出口处取出, 显示该磁卡划分区编号 1 (或 2, 3, 4)。如果区号数闪烁表示程序未读入, 应重复此步骤重新读入。待 4 个存储区全部读入后准备工作即告完成。

操作步骤如下表:

序 号	说 明	输 入	按 键 码	显 示
1	输入观测的年月日	mmdd.yyyy	A	dd
2	输入第一次观测格林时	HH.MMSS	R/S	δ_1
3	求春分点格林时角			t_1^r (闪示)
4	求太阳格林时角		R/S	t_1
5	完成第一次计算		R/S	0
6	输入第二次观测格林时	HH.MMSS	R/S	δ_2
7	求春分点格林时角			t_2^r (闪示)
8	求太阳格林时角		R/S	t_2
9	完成第二次计算:		R/S	0
10	求太阳视半径		B	S.D

4. 精度、分析:

例: 1983年3月21日第一次观测太阳的格林时 $T_0 01^h 30^m 24^s$; 第二次观测太阳的格林时 $05^h 05^m 40^s$ 求两次观测时的太阳赤纬 δ , 格林时角 t 、春分时角 t^r 及太阳视半径 $S.D$ 。

计算结果对比如下表

观测格林时	座标名	T1-59 计 算 结 果	“航海年历”查表结果	差 值
$01^h 30^m 24^s$	δ_1	$-00^\circ 03' 06.''9$	$00^\circ 03.'1S$	$-0.''9$
	t_1	$200^\circ 43' 35.''3$	$200^\circ 43.'6$	$+0.''1$
	t_1^r	$200^\circ 36' 24.''1$	$200^\circ 36.'4$	$-0.''1$
$05^h 05^m 40^s$	δ_2	$+00^\circ 00' 25.''7$	$00^\circ 00.'4N$	$-1.''3$
	t_2	$254^\circ 33' 15.''3$	$254^\circ 33.'2$	$-3.''3$
	t_2^r	$254^\circ 34' 14.''6$	$254^\circ 34.'2$	$-1.''8$
21/3	S.D	16.'086	16.'1	+0.'014

通过与50年代、60、70和80年代的《航海天文历》抽样对比计算结果证明, 上述程序的计算精度, 总体均方误差小于 $\pm 0.'1$; 抽样最大误差为 $8.''3$ 。完全满足天文定位的要求, 并且可使用40~60年, 程序不需要修正。

二、求太阳的观测真高度

1. 数学模型:

修正六分仪观测高度 h_s 的数学模型为我国计算《航海表》所采用的公式:

$$h_0 = h_s + (i + s - d) - \rho + P \pm S \cdot D.$$

式中:

$$\text{眼高差: } d = 1.765 \sqrt{e} \quad (16)$$

$$\text{折光差: } \rho = 1.00145 \operatorname{ctg} ha - 0.00111 \operatorname{ctg}^3 ha \quad (17)$$

$$\text{太阳视差: } P = \frac{8.''8}{R} \cdot \cos h_T \approx 0.'147 \cos h_T \quad (18)$$

$$\text{向径: } R = 1.00014 - 0.01674 \cos M \approx 1 \quad (19)$$

$$\text{半径差: } S \cdot D = 961.''18/R \approx 16.''02 + 0.''265 \cdot \cos M \quad (20)$$

2. 高度修正程序的编制: 适用于 T1-59 型机寄存器分配:

$R_{00} - h_s$	$R_{05} - \delta_2$	$R_{30} -$
$R_{01} - i + s$	$R_{06} -$	$R_{11} -$
$R_{02} - e$	$R_{07} - h_{02}$	$R_{12} - \delta_1$
$R_{03} -$	$R_{08} -$	$R_{13} - t_1$
$R_{04} - S \cdot D$	$R_{09} - t_2$	$R_{14} - h_{01}$

存储区划分: 639.39

程序编码表(略)

3. 使用方法:

在求出第一、二次观测的太阳座标要素后, 将第三张磁卡的程序读入。方法同前, 指示加显示数分别为 1 或 2。然后按下表所列步骤求出二次观测的太阳真高度。

序号	输入值	按 键	显 示 值	说 明
1	DD·mmss	(C)	0	输入第一次观测高度
2	M·ss	((+/-))(R/s)	0.0mm	输入 $i+s$
3	M·m	(R/S)	h_{01}	输入眼高 e 求 h_0
4	DD·mmss	(R/S)	h_{02}	求出 h_{02}

4. 与《航海表》值对比分析:

例:

1980年7月16日, $T_G = 17^h 09^m 48^s$ 观测太阳下边缘高度 $h_s = 32^\circ 21.1'8''$; $T_G = 20^h 40^m 06^s$ 第二次观测太阳下边缘高度 $h_s = 69^\circ 45.5'$ 。指标差 $i' + s = +1.1'$; 眼高 $e = 8.5$ 米。求两次观测的太阳真高度。

操作步骤:

先利用太阳座标程序求出二次观测时的太阳座标, $\delta_1, \delta_2, t_1, t_2$ 。再读入第三张磁卡, 然后按下述步骤求 h_{01}, h_{02} 。

输 入	按 键	显 示	查《航海表》值	差 值
32.°2148*	(C)	32.36333333		
1.1	(R/S)	1.1		
8.5	(R/S)	32.°32097392	32°32.1'2"	+2.1'3"
69°.543	(R/S)	70.0559686	70.°06.1'0"	+0.1'3"

* 输入分的小数后值时应换算为秒。

三、求计算高度、方位和船位

1. 数学模型:

求计算高度和方位的公式采用:

$$h_c = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t_m \quad (21)$$

$$A_c = \sin^{-1} (\sin t_m \cdot \cos \delta \cdot \sec h_c) \quad (22)$$

求观测船位的公式:

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_c + \Delta\varphi \\ \lambda &= \lambda_c + DP \cdot \sec \varphi \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{\Delta h_1 \cdot \sin A_2 - \Delta h_2 \cdot \sin A_1}{\sin (A_2 - A_1)} \\ DP &= \frac{\Delta h_2 \cdot \cos A_1 - \Delta h_1 \cdot \cos A_2}{\sin (A_2 - A_1)} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

2. 程序编制:

存储单元分配:

$$\begin{array}{lll} R_{01} - \varphi_0; & R_{04} - \Delta h_1; & R_{08} - \Delta h_2; \\ R_{02} - \lambda_0; & R_{05} & R_{10} - \varphi_2 \\ R_{03} - A_1; & R_{06} - A_2 & R_{11} - \lambda_2. \end{array}$$

程序编码表: (略)

3. 操作步骤:

例题同上, 第一次观测时的推算航位: $\varphi_{c1} = 39^\circ 08.0' N$; $\lambda_{c1} = 140^\circ 40.0' W$; 第二次观测时的推算航位为: $\varphi_2 = 38^\circ 40.0' N$; $\lambda_2 = 139^\circ 37.7' W$ 真航向 $T_c = 120^\circ$; 航速 $V = 19$ 节。

在计算完太阳座标和观测真高度之后, 按下列步骤操作:

顺 序	输 入 值	按 键	显 示	说 明
1	39.08	(D)	39.1333333	查 <B-105> 表结果:
2	140.4	(+/-)*(R/S)	1.340036595	$\Delta h_1 = +1.2$
3		(R/S)	87.95613232	$A_1 = N87.5E$
4	38.4	(R/S)	38.66666667	
5	139.3742	(+/-)(R/S)	-1.372364226	$\Delta h_2 = -1.3$
6		(R/S)	148.1066913	$A_2 = N149.1E$
7		(E)	38.42238532	$\varphi_0 = 38.42.2N$
8		(R/S)	-139.3605535	$\lambda_0 = 139.36.3W$
		(X=)	交替显示 φ_0, λ_0	

* 输入经纬度值时: N+; S-; E+; W-。根据“表册法”的计算结果对比如下表:

方 法	所 求 经 度	所 求 纬 度	所 需 时 间
程 序 法	38°42.4'N	139°36.1'W	3~5分班
B-105 表 法	38°42.2'N	139°36.3'W	15~20分 钟
对 比 差	-0'.2	+0'.2	10~15分 钟

四、结 论

程序法定位具有快速、精度高的特点,较之“表册法”优越得多。这是实现我国航海技术现代化的一个方面。目前我们已经完成了全部的“太阳定位程序”和“气象导航程序”;恒星定位程序已接近完成。其它如行星、月亮和无线电导航程序也准备不久即将进行研究编制。这是实现渔船航海技术现代化的第一步。然后是进一步研制硬软件技术,使这些程序适用于袖珍型计算机。希望不久的将来、渔船上能够装备上我国研制的航海专用计算机。我们如果能为这一项工作尽一点力,将是十分荣幸的。

参 考 文 献

1. H. M. Nautical Almanac Office "Explanatory Supplement To The Astronomical Ephemeris and The American Ephemeris and Nautical Almanac" London 1961.
2. TI Programmable 58/59 "Source book".
3. 文干 1980《中国海区简易天文定位法》“中国航海”1期
4. 刘荣霖 1960《航海天文学》高教出版社
5. M. K. 文采《球面天文学》
6. 海军水面舰艇学院《航海程序汇编》上册1982. 7.

ABSTRACT

In this paper, the programs of sun's data (declination, GHA, etc) are designed according to the simplified Newcomb sun's orbit formulas. It is intended to offer the skipper of the fishing boat to use the TI-59 Calculator to fix by the sun instead of the Nautical Almanac. The accuracy of data is within $\pm 0'.1$, and it may be used for 60 years long. Furthermore, if the calculator does not contain the Marine Navigation Module, the program fixed by sun are designed for the user, and the Calculative errors fixed are less than $\pm 1n. m$.