

# 基于墨卡托海图的大圆航线设计

陈志平<sup>1</sup>, 杜一村<sup>2</sup>

(1. 中外运集装箱运输有限公司 船舶管理部, 上海 200001; 2. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

**摘 要:**文章在比较大圆航线和恒向线差异的基础上,借助球面三角形的数学特性,设计了大圆航线,给航海人员航线设计提供了备用手段以节省航程,以期为同行提供参考。

**关键词:**墨卡托海图;大圆航线;恒向线

**中图分类号:**U675.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-9891(2016)02-0025-04

## 0 引言

随着船舶自动化程度的不断提升与航海仪器设备的日益升级,船舶的航行也变得更加安全、高效、稳定、经济。现代航海技术将航海人员从过多的重复而繁琐的航海计算中解放出来,给从业人员带来了很大的便利,但一些原理上的理解与掌握是不能随着科技的发展而淡化。在航线设计中,如果脱离电子海图,在墨卡托海图中绘制大圆航线将异常困难。本文将根据球面三角形的数学特性,利用数据计算设计航线,然后在电子海图模拟器中显示数据点,比较大圆航线与恒向线的差异,为航海人员航线设计提供一种备用手段。<sup>[1]</sup>

## 1 海图与航线

海图是以海洋及其毗邻的陆地为描述对象的地图,是为航海需要而专门绘制的一种地图。其中 95% 以上航海用海图是墨卡托海图,它是等角正圆柱投影生成的,具有等角特性。<sup>[2]</sup>

恒向线是船舶始终按恒定的航向航行的航线,是地球上两点之间与经线处处保持角度相等的曲线。大圆航线即基本沿着两点间大圆弧航行的航线。因此,两点间的恒向线航程通常比大圆航线的要长,当距离较短时二者差别不大。当恒向线航线与经线或赤道重合时,恒向线航线与大圆航线的方向、距离相等。在墨卡托投影地图上,恒向线是一条直线,故在航海中常用墨卡托投影地图绘算航迹,计算航线等。而在其他投影地图上,恒向线都是曲线。

大圆航线虽航程短,但如果一直穿越风、流影响大的海区,则不仅影响了船舶安全,而且还降低营运效益。恒向线航线虽应用方便,如果不视情况选用,也必将造成航行时间的延长。因此,船舶驾驶人员应认真对各种条件和因素进行综合分析,得出适合当时环境的最佳航线,在确保安全的前提下,使船舶航行时间最短、最经济,从而引导船舶安全经济地从一个港口航行到另一个港口。<sup>[3]</sup>

## 2 大圆航线设计

为更好地体现大圆航线航程最短的特点,本文选取了高纬度海区航向接近东西,向横跨经度较大的两点,即以纽约到伦敦为例。另外,为了便于设计大圆航线,略去了港口附近的航行动态,选取了起始点(41°00′.0N 065°30′.0W)和终止点(49°38′.0N 006°40′.0W)来设计航线。

### 2.1 计算公式

大圆航线是跨洋航行时采用的地理航程最短的航线。若将地球当作圆球体,地面上两点间的距离,以连接两点的小于 180°的大圆弧长为最短。但由于大圆弧与各子午线的交角,除赤道与子午线外都不相等,因

收稿日期:2016-01-15

作者简介:陈志平(1969—),男,湖南衡阳人,中外运集装箱运输有限公司船舶管理部船长。

此,所谓沿大圆航线航行,实际上是将大圆弧分成若干小段,每一段仍然是沿恒向线航行。

大圆航线设计主要解决两个问题:

(1)求分点,即将整个大圆航线划分为若干段。划分分点的原则一般是取分点经度为整数,以一昼夜左右的航程的距离(经差 $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$ )为一段来划分;

(2)求各分点间的恒向线航向与航程。本文采用公式计算法,解算大圆航向的公式即球面三角形公式。公式计算法分为两步:求大圆始航向和航程;求大圆航线顶点坐标和分点坐标。各部分具体计算公式如下:

步骤 1 求大圆始航向和航程公式:

$$\cos S = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos D\lambda \quad (1)$$

$$\tan C_1 = \frac{\sin D\lambda}{\cos \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2 + \sin \varphi_1 \cdot \cos D\lambda} \quad (2)$$

$$\cos C_1 = \frac{\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos S}{\cos \varphi_1 \cdot \sin S} \quad (3)$$

式中:  $S$  为大圆航程;  $C_1$  为大圆始航向。

由于经、纬度均有名称和符号,在利用以上公式求取航向和航程时,应遵循以下规律:

①起始点纬度  $\varphi_1$  一律取正值,到达点纬度  $\varphi_2$ ,与起始点纬度同名时取正值,异名时取负值。

②经差  $D\lambda$  一律取正值。

③按上述取值解算的  $S$  需转化为海里( $1^{\circ}=60$  海里);其中  $\cos S$  为正值时,  $S$  为小于 5 400 海里( $90^{\circ}$ )的值,若为负值,则  $S$  为大于 5 400 海里( $90^{\circ}$ )的值。

④按上述取值求取始航向时,求得的航向为半圆周法表示的值( $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$ ),其命名的第一个字母与起始点纬度同名,第二个字母与经差同名。如果求得的函数值为负,则航向取大于  $90^{\circ}$ 、小于  $180^{\circ}$  的值。最后,将半圆周法表示的航向换算为用圆周法表示。

步骤 2 求大圆航线顶点坐标和分点坐标公式:大圆航线顶点是大圆航线上纬度到达的最高点,该点出大圆弧与子午线相交成直角,大圆航向为  $90^{\circ}$  或  $270^{\circ}$ 。顶点坐标求取公式如下:

$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_1 \cdot \sin C_1 \quad (4)$$

$$\cot D\lambda_V = \sin \varphi_1 \cdot \tan C_1 \quad (5)$$

$$\lambda_V = \lambda_1 + D\lambda_V \quad (6)$$

式中:  $D\lambda_V$  为起始点至大圆航线顶点的经差;  $\varphi_V$  为大圆航线顶点的纬度;  $\lambda_V$  为大圆航线顶点的经度。

大圆航线各分点的坐标公式为:

$$\cos \varphi_i = \cos(\lambda_i - \lambda_V) \cdot \tan \varphi_V \quad (7)$$

式中:  $\varphi_i$  为大圆航线分点的纬度;  $\lambda_i$  为大圆航线分点的经度。

根据前面讨论的原则确定分点精度后,可利用公式(7)求出分点纬度,然后便可利用航迹计算求出各分点间的恒向线航向和航程。

## 2.2 数据处理

经过计算可得,起止点间的标准大圆航程为 2 469.8 海里,大圆始航向为  $57.3^{\circ}$ ,大圆航线顶点位置为  $50^{\circ}32'.82N$   $21^{\circ}10'5W$ 。分点 I(以  $10^{\circ}$  经差划分)、分点 II(以  $5^{\circ}$  经差划分)和分点 III(以  $2^{\circ}$  经差划分)具体的分点坐标如表 1 所示。

表 1 大圆航线计算的各分点坐标

分点 I	$\varphi_i$	$\lambda_i$	分点 II	$\varphi_i$	$\lambda_i$	分点 III	$\varphi_i$	$\lambda_i$
1	$45^{\circ}16.20'$	$-55^{\circ}00.00'$	1	$43^{\circ}25.80'$	$-60^{\circ}00.00'$	1	$41^{\circ}42.50'$	$-64^{\circ}00.00'$
2	$48^{\circ}01.49'$	$-45^{\circ}00.00'$	2	$45^{\circ}16.20'$	$-55^{\circ}00.00'$	2	$42^{\circ}35.90'$	$-62^{\circ}00.00'$
3	$49^{\circ}43.10'$	$-35^{\circ}00.00'$	3	$46^{\circ}47.50'$	$-50^{\circ}00.00'$	3	$43^{\circ}25.80'$	$-60^{\circ}00.00'$
4	$50^{\circ}29.10'$	$-25^{\circ}00.00'$	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	$50^{\circ}23.00'$	$-15^{\circ}00.00'$	9	$50^{\circ}32.50'$	$-20^{\circ}00.00'$	27	$50^{\circ}11.10'$	$-12^{\circ}00.00'$
/	/	/	10	$50^{\circ}23.00'$	$-15^{\circ}00.00'$	28	$50^{\circ}00.48'$	$-10^{\circ}00.00'$
/	/	/	11	$50^{\circ}00.48'$	$-10^{\circ}00.00'$	29	$49^{\circ}47.70'$	$-8^{\circ}00.00'$

3 大圆航线与恒向线的比较分析

恒向线依然选取了起始点(41°0′.0N ,065°30′.0W)和终止点(49°38′.0N ,006°40′.0W)来计算。本文采用中分纬度算法 ,其相关公式为：

$$\varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$
 (8)

$$\tan C = \frac{D\lambda}{D\varphi} \cdot \cos\varphi_m$$
 (9)

$$S = D\varphi \cdot \sec C$$
 (10)

式中 :保留 N 或 S 符号 ,保留 E 或 W 符号 根据式(9)计算出来的航向是半圆法表示的。由起止点可计算出恒向线的中分纬度为 45°19′.2N ,航程为 2 535.7 海里 ,航向为 78.2°。然后计算分点 I(以 10°经差划分)、分点 II(以 5°经差划分)和分点 III(以 2°经差划分)的各段恒向线航向与航程 ,如表 2 所示：

表 2 不同间隔划分的恒向线计算

分点 I 各段恒向线序号	C	S	分点 II 各段恒向线序号	C	S	分点 III 各段恒向线序号	C	S
1	60.9	526.3	1	59.2	284.6	1	57.8	79.8
2	68.1	443.8	2	62.8	241.2	2	59.0	103.8
3	75.6	407.5	3	66.3	227.4	3	60.4	100.9
4	83.2	387.6	.....			.....		
5	90.9	382.2	10	92.8	191.2	28	97.8	77.7
6	98.0	324.5	11	96.7	193.4	29	99.4	78.3
/	/	/	12	99.9	131.0	30	100.6	52.6
总航程：		2 471.9	总航程：		2 470.4	总航程：		2 469.9

将不同分点航线的航程与标准大圆弧比较 ,得出数据如表 3 所示：

表 3 各航线总航程的比较

参数	大圆弧	以 10°为间隔划分	以 5°为间隔划分	以 2°为间隔划分	恒向线
总航程	2 469.8	2 471.9	2 470.3	2 469.9	2 535.7
与大圆弧航程的差值	0	2.1	0.5	0.1	65.9

由表 3 可知 ,标准大圆航线航程比恒向线航程短了 60 多海里 ,约总航程的 3%。以 10°、5°、2°经度进行分段的航程与标准大圆航线航程相差不大 ,但操作依次复杂 ,需要不停转向 ,所以应根据船速 ,以一昼夜左右的航程距离为一段来划分。

4 大圆航线的电子海图显示

把分点数据输入到电子海图模拟器中 ,显示所设计的大圆航线。

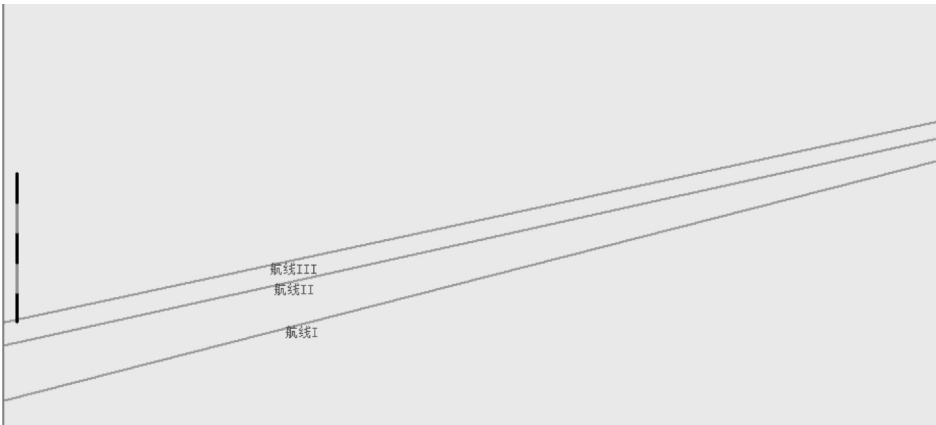


图 1 航线 I、II、III 的细节比较

由图 1 可知 ,航线 III 在最上面 ,然后下面依次是航线 II、航线 I ,因为大圆航线是凸向两极的大圆弧 ,本

航线的起始点和终止点均在北半球,故此大圆航线凸向北极,如图 2 所示。因此可以得出,航线 I、II、III 的平滑程度依次增加,逐渐接近标准大圆航线。



图 2 大圆航线与恒向线的比较

## 5 结束语

本文根据公式计算并绘制大圆航线,深入解析了大圆航线与恒向线。虽然现代电子海图都有设计大圆航线的功能,但本文从理论出发,根据公式计算数据,描绘图形,并进行了比较分析,完成了大圆航线的设计。现在航海仪器越来越先进,也越来越自动化,给航海人员带来了很大的便利,但一些原理上的理解与掌握不可忽视,航海人员在设备故障时应知道该如何查找资料并解决问题,以免造成不必要的损失。

## 参考文献:

- [1]戴冉,王越.航海专业数学[M].大连:大连海事大学出版社,2010.
- [2]郭禹.航海学[M].大连:大连海事大学出版社,2011.
- [3]张强,刘鑫.墨卡托海图特性分析[J].青岛远洋船员学院学报,2011(4):16-18.

# Study on Great Circle Route Planning Based on Mercator Chart

CHEN Zhi-ping<sup>1</sup>, DU Yi-cun<sup>2</sup>

(1.Dept. of Ship Management, Sinotrans Container Lines Co., Ltd., Shanghai 200001, China;

2.School of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** Based on a contrast between the great circle route and the rhumb line, this article, combined with the mathematical characteristics of the spherical triangle, attempts to design the great circle route planning, which is expected to serve as an option for seamen to curtail the voyage.

**Key words:** Mercator chart; Great circle; Rhumb line