

Study of Great Circle Route Planning Based on Mercator Chart

Zhiping Chen

Sinotrans Container Lines Co., Ltd., Shanghai
Email: chenzp@sinolines.com

Received: Jun. 20th, 2016; accepted: Jul. 4th, 2016; published: Jul. 13th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the continuous improvement of the degree of ship automation and the upgrading of marine equipment, the navigation becomes more safe, efficient, stable and economical. But the problem is that the driver's theoretical knowledge is not solid; when the equipment breaks down, the ability to deal with the problem is insufficient, which may cause huge losses. If separated from ECDIS, the route design drawing of the great circle route based on Mercator chart is very difficult. In this paper, in order to avoid the loss, according to the mathematical properties of the spherical triangle, Excel can be used to calculate the data and design route, then data are displayed in the electronic chart, and the differences between the great circle route and rhumb line are compared.

Keywords

Mercator Chart, The Great Circle Route, Rhumb Line, Excel

基于墨卡托海图的大圆航线设计

陈志平

中外运集装箱运输有限公司, 上海
Email: chenzp@sinolines.com

收稿日期: 2016年6月20日; 录用日期: 2016年7月4日; 发布日期: 2016年7月13日

摘要

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, 船舶的航行变得更加安全、高效、稳定、

经济。但随之带来的问题是驾驶员的理论知识不扎实，当仪器设备出现故障时，处理问题的能力不足，可能造成巨大损失。在航线设计中，如果脱离ECDIS，则在墨卡托海图中绘制大圆航线显得异常困难，为了避免损失，可根据球面三角形的数学特性，利用Excel来计算数据并设计航线，然后在电子海图中显示数据点，比较大圆航线与恒向线的差异。

关键词

墨卡托海图，大圆航线，恒向线，Excel

1. 引言

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[1]。

墨卡托海图是等角正圆柱投影生成的，经线为南北向相互平行的直线，其上有量取纬度或距离的纬度图尺[2]；纬线为东西向相互平行的直线，其上有量取经度的经度图尺，且经线与纬线相互垂直；具有等角特性，在图上量取的物标方位角与地面对应角相等；同纬度纬线的局部比例尺相等，不同纬度的局部比例尺，随纬度的升高而逐渐增大。墨卡托海图占目前航用海图的95%以上，在航海中起着重要的作用。

大圆海图采用心射投影的方式，即将地球表面的点，以几何投影的方法，用从地心引出的射线投影到与地面相切的平面上的投影的方法。所有经线为由极点向外辐射的直线，而所有纬线为以极点为圆心的同心圆；经线为南北向相互平行的直线，纬线则为凸向赤道的圆锥曲线；所有大圆弧投影到图上均为直线；仅切点为等角投影，纵向变形大于横向变形；距离愈远，变形愈大。

恒向线是船舶始终按恒定的航向航行的航线，也叫等角航线。恒向线是地球上两点之间与经线处处保持角度相等的曲线。通常比大圆航线要长，当距离较短时二者差别不大。当等角航线与经线或赤道重合时，等角航线与大圆航线的方向、距离相等。在墨卡托投影地图上，等角航线是一条直线，故在航海中常用墨卡托投影地图绘算航迹，计算航线等。在其他投影地图上，等角航线都是曲线(表1)。

大圆航线虽航程短，但如果一直穿越风、流影响大的海区，则不仅了影响船舶安全，而且还降低营运效益；恒向线航线虽应用方便，但如果不视情况选用，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

Table 1. Comparison of Mercator chart and the great circle chart

表1. 墨卡托海图与大圆海图的比较

	墨卡托海图	大圆海图(极切)
投影方法	等角正圆柱投影	平面心射透视投影
变形	随纬度的升高而变形增大	随离切点距离的增大而变形愈大
子午线	垂直于赤道，彼此平行，间距相等的直线	由极点向外辐射的直线
等纬圈	垂直于子午线，相互平行，间距随纬度增高而渐长的直线	以极点为圆心的同心圆
恒向线	直线	凸向赤道的圆锥曲线
大圆弧	凸向近极曲线	直线
图上直线	恒向线	大圆弧
用途	航用海图	画大圆航线、混合航线

船舶航行时间最短、最经济，从而引导船舶安全并经济地从一个港口航行到另一个港口。

2. 大圆航线设计

为更好地体现大圆航线航程最短的优点，故选取高纬度海区航向接近东西，横跨经度较大的两点，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'.0 N, 65°30'.0 W)和终止点(49°38'.0 N, 6°40'.0 W)来设计航线。

一、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。若将地球当做圆球体，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，因此，所谓沿大圆航线航行，实际上并不是船舶不断改变航向，严格沿着大圆弧航迹航行，而是将大圆弧分成若干小段，每一段仍然是沿恒向线航行。这样，就整个航线来说，只是基本上接近大圆弧航线。

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°~10°)为一段来划分。这样，既可一昼夜改变一次航向，又基本上保持在大圆弧上航行，使用比较方便。

2) 求各分点间的恒向线航向与航程。

本文采用公式算法，解算大圆航向的公式即球面三角形公式，公式算法分为两步：① 求大圆始航向和航程；② 求大圆航线顶点坐标和分点坐标。下面具体介绍各部分的公式。

a) 求大圆始航向和航程公式

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

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

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

式中： C_I ——大圆始航向；

S ——大圆航程。

因为经度和纬度都有名称和符号，在采用上面公式求取航向和航程时，应该遵循以下规律：

(1) 起始点纬度 φ_1 一律取正值；到达点纬度 φ_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) 若按上述取值解算的 $\cos S$ 为正值，则航程 S 为小于 5400 n mile (90°) 的值；若为负值，则航程 S 为大于 5400 n mile (90°) 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°~180°)，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°、小于 180° 的值(如果 $\cos C_I$ 为负值，直接求反三角函数即可；如果 $\tan C_I$ 为负值，则求出的 C_I 为负值，应加上 180° 换算为大于 90°、小于 180° 的值)。最后，将半圆周法表示的航向换算为用圆周法表示即可。

若需求取终航向 C_F ，可按从到达点向起航点航行的情况，利用式(2)或(3)求出 C'_F ，然后将 C'_F 加或减 180° 即可。

b) 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，在该点，大圆弧与子午线相交成直角，大圆航向为 090°或 270°。顶点坐标可按以下公式求取[4]:

$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_1 \cdot \sin C_I \tag{4}$$

$$\cot D\lambda_V = \sin \varphi_1 \cdot \tan C_I \tag{5}$$

$$\lambda_V = \lambda_1 + D\lambda_V \tag{6}$$

式中： $D\lambda_V$ ——起始点至大圆航线顶点的经差；

φ_V ——大圆航线顶点的纬度；

λ_V ——大圆航线顶点的经度。

大圆航线各分点的坐标公式为：

$$\tan \varphi_i = \cos(\lambda_i - \lambda_V) \cdot \tan \varphi_V \tag{7}$$

式中： φ_i ——大圆航线分点的纬度；

λ_i ——大圆航线分点的经度。

在根据前面讨论的原则确定分点精度后，可利用该公式求出分点纬度。在各分点求出后，便可利用航迹计算出各分点间的恒向线航向和航程了。

二、数据处理

利用 Excel 编写公式，制作表格，起始点与终止点的大圆航线计算如表 2。

表 3~5 分别是大圆航线计算的分点坐标 I (以 10°经差划分)、分点坐标 II (以 5°经差划分)、分点坐标 III (以 2°经差划分)。

3. 大圆航线与恒向线的实例分析比较

恒向线依然选取了起始点(41°0'.0 N, 65°30'.0 W)和终止点(49°38'.0 N, 6°40'.0 W)来计算。本文采用中分纬度算法。中分纬度算法的相关公式[5]:

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

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

$$S = D\varphi \cdot \sec C \tag{10}$$

式中： $D\varphi$ 保留 N 或 S 符号， $D\lambda$ 保留 E 或 W 符号，根据式(9)计算出来的航向为半圆法表示的，方向符号与 $D\varphi$ 、 $D\lambda$ 一致。

根据公式绘制 Excel 表格，起始点与终止点的恒向线计算如表 6。

表 7~9 分别是分点 I (以 10°经差划分)、分点 II (以 5°经差划分)、分点 III (以 2°经差划分)的各段横向线航向和航程的计算。

Table 2. The basic data of the great circle route calculation

表 2. 大圆航线计算的基本数据

φ_1	λ_1	φ_2	λ_2
41°00.00'	-65°30.00'	49°38.00'	-6°40.00'
S	C_I	φ_V	λ_V
2469.8	57.3	50.547	-21.175

Table 3. Point coordinates of the great circle route calculation I
表 3. 大圆航线计算的分点坐标 I

序号	φ_i	λ_i
1	45°16.20'	-55°00.00'
2	48°01.49'	-45°00.00'
3	49°43.10'	-35°00.00'
4	50°29.10'	-25°00.00'
5	50°23.00'	-15°00.00'

Table 4. Point coordinates of the great circle route calculation II
表 4. 大圆航线计算的分点坐标 II

序号	φ_i	λ_i	序号	φ_i	λ_i
1	43°25.80'	-60°00.00'	7	50°12.70'	-30°00.00'
2	45°16.20'	-55°00.00'	8	50°29.10'	-25°00.00'
3	46°47.50'	-50°00.00'	9	50°32.50'	-20°00.00'
4	48°01.49'	-45°00.00'	10	50°23.00'	-15°00.00'
5	48°59.60'	-40°00.00'	11	50°00.48'	-10°00.00'
6	49°43.10'	-35°00.00'	/	/	/

Table 5. Point coordinates of the great circle route calculation III
表 5. 大圆航线计算的分点坐标 III

序号	φ_i	λ_i	序号	φ_i	λ_i	序号	φ_i	λ_i
1	41°42.50'	-64°00.00'	11	48°14.30'	-44°00.00'	21	50°30.80'	-24°00.00'
2	42°35.90'	-62°00.00'	12	48°38.20'	-42°00.00'	22	50°32.60'	-22°00.00'
3	43°25.80'	-60°00.00'	13	48°59.60'	-40°00.00'	23	50°32.50'	-20°00.00'
4	44°12.40'	-58°00.00'	14	49°18.70'	-38°00.00'	24	50°30.20'	-18°00.00'
5	44°55.70'	-56°00.00'	15	49°35.50'	-36°00.00'	25	50°25.90'	-16°00.00'
6	45°35.90'	-54°00.00'	16	49°50.10'	-34°00.00'	26	50°19.60'	-14°00.00'
7	46°13.10'	-52°00.00'	17	50°02.49'	-32°00.00'	27	50°11.10'	-12°00.00'
8	46°47.50'	-50°00.00'	18	50°12.70'	-30°00.00'	28	50°00.48'	-10°00.00'
9	47°19.10'	-48°00.00'	19	50°20.80'	-28°00.00'	29	49°47.70'	-8°00.00'
10	47°48.00'	-46°00.00'	20	50°26.80'	-26°00.00'	/	/	/

Table 6. Basic data for the calculation of the constant line
表 6. 恒向线计算的基本数据

φ_1	λ_1	φ_2	λ_2
41°00.00'	-65°30.00'	49°38.00'	-6°40.00'
φ_m	C	S	/
45.32	78.2	2535.7	/

Table 7. Constant line calculation with 10 degree interval
表 7. 以 10°为间隔划分的恒向线计算

序号	C	S
1	60.9	526.3
2	68.1	443.8
3	75.6	407.5
4	83.2	387.6
5	90.9	382.2
6	98.0	324.5
总航程		2471.9

Table 8. Constant line calculation with 5 degree interval
表 8. 以 5°为间隔划分的恒向线计算

序号	C	S	序号	C	S
1	59.2	284.6	7	81.3	195.2
2	62.8	241.2	8	85.1	192.1
3	66.3	227.4	9	89.0	190.8
4	70.0	216.1	10	92.8	191.2
5	73.7	207.1	11	96.7	193.4
6	77.5	200.2	12	99.9	131.0
总航程				2470.4	

Table 9. Constant line calculation with 2 degree interval
表 9. 以 2°为间隔划分的恒向线计算

序号	C	S	序号	C	S	序号	C	S
1	57.8	79.8	11	71.8	84.5	21	87.0	76.5
2	59.0	103.8	12	73.3	83.1	22	88.6	76.3
3	60.4	100.9	13	74.8	81.9	23	90.1	76.3
4	61.7	98.3	14	76.3	80.8	24	91.7	76.3
5	63.1	95.8	15	77.8	79.8	25	93.2	76.5
6	64.5	93.5	16	79.4	78.9	26	94.8	76.8
7	66.0	91.4	17	80.9	78.2	27	96.3	77.2
8	67.4	89.5	18	82.4	77.6	28	97.8	77.7
9	68.9	87.6	19	84.0	77.1	29	99.4	78.3
10	70.3	86.0	20	85.5	76.7	30	100.6	52.6
总航程						2469.9		

由上可知，大圆航线的理论总航程为 2469.8 海里，分点 I (以 10°经差划分航线)的总航程为 2471.9 海里，分点 II (以 5°经差划分航线)的总航程为 2470.3 海里，分点 III (以 2°经差划分航线)的总航程为 2469.9

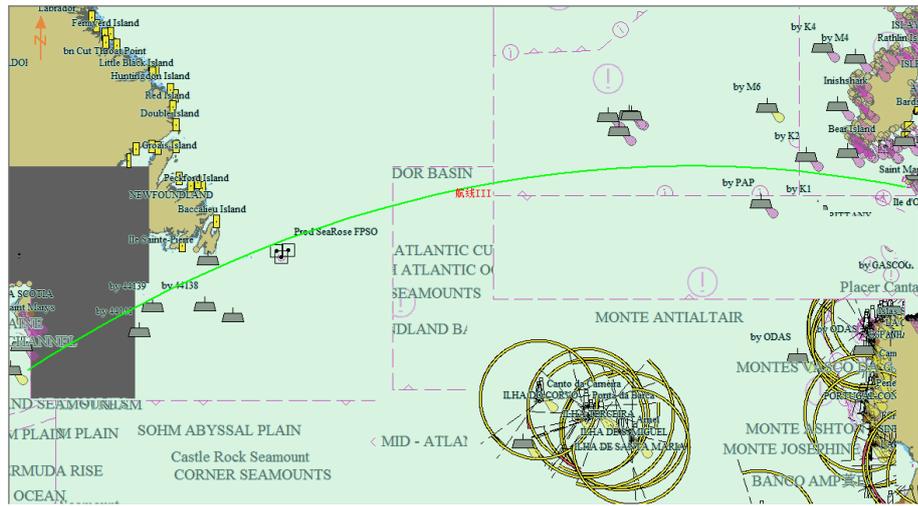


Figure 5. The overall point of III route
图 5. 分点 III 的航线整体显示

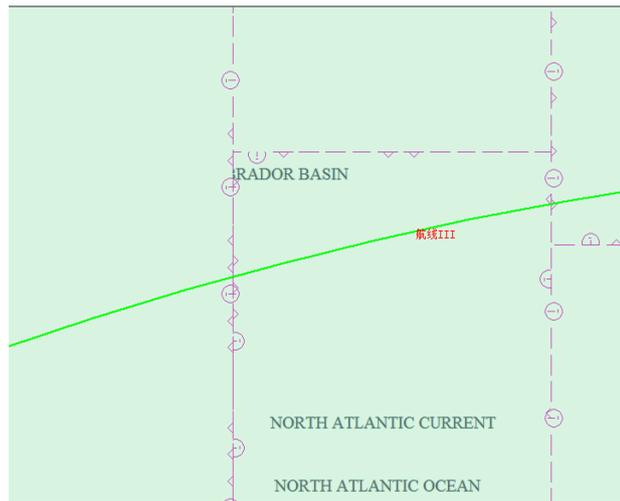


Figure 6. The III route details
图 6. 分点 III 的航线细节显示



Figure 7. Route I, II, III details of the comparison
图 7. 航线 I、II、III 的细节比较



Figure 8. The great circle route and rhumb line comparison
图 8. 大圆航线与恒向线的比较

2) 把设计的相关分点数据导入 ECDIS 模拟器中, 显示分点经差越小, 航线越接近于大圆弧, 但驾驶员操作越复杂, 宜选择 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。

现在航海仪器越来越先进, 也越来越自动化, 使得一些驾驶员的基本理论能力有所降低, 假如仪器设备出现故障, 则驾驶员可能不知所措, 因而可能影响船舶及人身安全, 造成巨大损失。因此, 希望驾驶员不要由于仪器设备比较先进而忽视基本的航海理论知识, 驾驶员在特殊情况下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 (References)

- [1] 郭禹. 航海学[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2011.
- [2] 戴冉, 王越. 航海专业数学[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2010.
- [3] 胡江强, 杨盐生, 李铁山. 恒向线航向和航程的精确计算[J]. 大连海事大学学报, 2005, 31(2): 11-14.
- [4] 仇健, 康卫民. 以计算中间点的方法绘制大圆航线及 Excel 辅助计算[C]//中国航海学会. 中国航海科技优秀论文集. 北京: 人民交通出版社, 2010: 67-74.
- [5] 程传林, 周利江. 利用 Matlab 解析法求解大圆航线[J]. 中国水运(下半月), 2008, 8(4): 20-21.
- [6] 揭军武. 三种大洋航线的分析与选择[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(3): 35-36.
- [7] 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, 32(4): 16-18.

再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>