

# 《航海学》实验指导书

王志明 编

上海海运学院商船学院

航海教研室

## 目 录

实验一 海图作业及海图改正 .....	( 2 )
实验二 六分仪的使用与指标差 .....	( 4 )
实验三 天球坐标及星空演示 .....	( 6 )
实验四 罗经差的测定 .....	( 7 )
实验五 大圆海图的使用 .....	( 9 )

## 实验一 海图作业及海图改正

### 一、实验场地和设备

海图室、中版或英版航海通告、航用海图、平行尺、三角板和分规、铅笔等。

### 二、实验内容与要求

#### 1、实验内容

- (1) 航迹绘算
- (2) 海图改正
- (3) 陆标定位

#### 2、实验要求（2学时）

学生识读海图，包括海图标题栏、图廓的内容，阅读图上的常用图式及图上的注释与注意事项。熟练使用作图工具，学会用平行尺、三角尺在海图上量取航向、物标方位线，用圆规量距离，读取经纬度坐标。绘画航线、进行航线标注，无风流、有风、有流、有风流的航迹推绘算、陆标定位，进行船位标注，求取到达某物标的正横及最近时的距离、方位、时间、计程仪读数等。用航海通告进行海图小改正并进行小改正登记，学会改正海图的基本方法，学会检查海图是否漏改的方法。学会鉴别海图可信度的方法。提交海图作业及其记录。

### 三、实验步骤

- 1、实验员或任课教师示范表演使用作图工具平行尺、三角尺在海图上量取航向、画物标方位线，用圆规量距离，读取经纬度坐标；
- 2、就海图列举实例并指导，让学生学会如何使用海图作业工具。
- 3、实验员或任课教师讲解《航海通告》及如何使用《航海通告》来改正海图；
- 4、就提供给学生的中、英版航海通告列举实例并指导，让学生学会如何用《航海通告》来改正海图。
- 5、实验员或任课教师就海图列举实例并指导学生学会陆标定位作业法及船位标注。
- 6、实验员或任课教师讲解无风流、有风、有流、有风流情况下的航迹绘算作图要求（包括标注）；
- 7、就下列提供的实验作业指导初步学会如何进行航迹绘算，进一步的要求在以后的海图作业评估中

完成。

#### 四、实验作业或报告

作业：

- 1、在海图航行水域标注一点（船位），请分别用平行尺、三角尺和圆规量取该点经纬度坐标值。
- 2、实验员或任课教师就海图给出某时的船位（经纬度坐标），请分别用平行尺、三角尺和圆规画出该时刻的船位。
- 3、某测者 0800 距花鸟山灯塔 18.5 海里，测得花鸟山灯塔的 GB 为  $122^{\circ}$ ， $\Delta G=2^{\circ}W$ ，请画出该方位线并标出船位。
- 4、已知  $CA=120^{\circ}$ ，请根据实验员或指导教师在海图指定航行水域中画出在该计划航向上航程  $S=20$  海里的计划航线。
- 5、就所提供的《周版航海通告》选出某一则通告来改正海图（直接在所提供的海图上改）。
- 6、某船 2000 年 3 月 10 日 1530 位于  $31^{\circ}15'.0N$ ， $123^{\circ}15'.0E$ ，计程仪船速 10 节，计程仪读数  $320'.0$   $\Delta L=5\%$ ， $CA=190^{\circ}$ 。海区有西风 4 级， $\alpha$  取  $2^{\circ}$ ，东北流 2 节，用陀螺罗经航行， $\Delta G=2^{\circ}W$ ，求 1730 的推算船位，应驶的 GC 及  $\alpha$ 、 $\beta$ 。
- 7、某船 2000 年 6 月 8 日 0900 位于 ZhongKuiDao 灯塔 TB315<sup>0</sup>，距离 15 海里，计程仪船速 15 节，计程仪读数  $100'.0$   $\Delta L=5\%$ ，定位后以  $GC=028^{\circ}$  航行，海区有东风 5 级， $\alpha$  取  $3^{\circ}$ ，流向  $135^{\circ}$ ，流速 2 节，用陀螺罗经航行， $\Delta G=2^{\circ}W$ ，求 1000 的推算船位，0900——1000 推算巷迹向 CG 及  $\alpha$ 、 $\beta$ 。

本实验要求学生完成实验报告，报告内容如下：

- 1、实验目的
- 2、实验设备、资料
- 3、实验项目及数据记录
- 4、实验结果（自差曲线图）及体会

## 实验二 六分仪的使用与指标差

### 一、实验场地和设备

海图室、有一定高度视野开阔的露天平台、六分仪、航海天文历等。

### 二、实验内容与要求

#### 1、实验内容

- (1) 六分仪结构和读数
- (2) 六分仪误差的校正
- (3) 六分仪指标差的测定
- (4) 六分仪观测太阳等高度

#### 2、实验要求（2学时）

六分仪读数尤其是高度为负值时的读数；六分仪可校正误差的检查与校正；用太阳测指标差，练习用水天线（模拟）测指标差的方法；练习观测太阳等高度的技巧及方法。教师提供航海天文历。

### 三、实验步骤

#### 1、实验员或教师简介六分仪构造，示范正、负读数值读取方法。

航海六分仪的测角读数需从三处读取：按度数指标在刻度弧上读取整度数；按分数指标在鼓轮上读取分数；游标尺上与鼓轮刻度线对齐的刻度线读取分的小数。如图 1-2-23 所示的六分仪测角读数为：

从刻度弧读取的度数	32°
从鼓轮读取的分数	15'
从游标尺读取的分的小数	0'0
六分仪测角读数	32°15'0

在刻度弧 0°刻度线右侧有 5°负角刻度线。右边第 1 格是-1°，第 2 格是-2°，余此类推。负角的分数和分的小数也是反向的，鼓轮倒转 1 周，度数指标向负角方向移 1°。如果负角读数为-1°20'4，则度数指标应从-1°处向-2°方向移 20'4，即从-1°处鼓轮应倒转 20'4。由于鼓轮和游标尺都是按正角刻的，倒转 20'4，从鼓轮和游标尺上读取的读数是 39'6。所以，用 60'减去从鼓轮和游标尺上按正角读法读出的分和分的小数后，才得负角

的分和分的小数。

- 2、列举实例并指导，让学生学会如何读取六分仪的正、负读数值。
- 3、实验员或任课教师示范表演六分仪可校正误差的检查与校正方法、次序。

动镜是否垂直，可利用刻度弧来检查。把指标杆移到  $35^\circ$  左右，右手平拿六分仪，刻度弧朝外，眼睛从动镜的右前方望去，能同时看到动镜里外两段刻度弧。如果动镜里看到的刻度弧影像与动镜外直接看到的刻度弧衔接成一整体，表明动镜是垂直于刻度弧平面的，无需校正；若上下错开，不相衔接，表明动镜倾斜，需用专用的扳手慢慢转动动镜背面的校正螺丝，直到镜内外的两段刻度弧相衔接成一整体为止。

检查定镜应在动镜已经校正的基础上进行。检查的方法为：右手正拿六分仪，指标杆移到  $0^\circ$  附近，调整好望远镜的焦距，观看一天体（白天用太阳，夜间用亮度适中的恒星），这时在定镜上可以同时看到这个天体的两个影像，一个是直接看到的，另一个是反射影像。转动鼓轮，使天体反射影像上下移动，注意察看这两个影像相遇时有无左右错开的现象。如果反射影像正好通过真像，表明定镜垂直于刻度弧平面，无需校正；若天体反射影像在真像的右侧或左侧通过，表明定镜倾斜，必须进行校正。校正的方法是：转动鼓轮把天体反射影像与真像拉平取齐，然后用专用扳手慢慢地转动定镜背面离架体较远的那颗螺丝，直到两影像左右完全重合为止。

- 4、指导和让学生演示六分仪的垂差、边差的检查与校正。
- 5、实验员或任课教师讲解六分仪指标差的测定方法，并用模拟水天线练习测定指标差；

观测太阳高度时，应利用太阳测定指标差。由于太阳是个圆面，两个圆面不易准确重合，因而改用相切的方法。太阳反射影像先与真像上边缘相切，得读数  $m_1$ ；再使太阳反射影像与真像下边缘相切，得读数  $m_2$ 。两次相切读数的代数和的平均值等于两像重合时的读数  $m$ 。即  $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$  则指标差  $i = 0^\circ - \frac{m_1 + m_2}{2}$

用太阳测指标差的优点是可以检查观测的质量。从图解可以看出，下切读数  $m_2$  和上切读数  $m_1$  之代数差的绝对值等于太阳半径值的 4 倍。即  $R = \frac{|m_2 - m_1|}{4}$

式中： $R$ ——由六分仪观测得到的太阳半径值。测定的太阳半径值可以与《航海天文学》中列出的当天太阳半径值相比较。如果两者数值一致，说明相切准确，指标差可靠；如果测定的太阳半径大，说明观测中两个太阳影像没有切上；测定的太阳半径小，说明切过头了，即两影像的边缘有一部分重叠了。若相差超过  $0.2$ ，则应重测。

- 6、在有一定高度视野开阔的露天平台让学生分组用太阳测定指标差并检查其测定精度。
- 7、让学生分组用太阳测定太阳高度，实验员或任课教师指导观测要领和技巧。

#### 四、作业或报告

本实验要求学生完成实验报告，报告内容如下：

- 1、 实验目的
- 2、 实验设备、资料
- 3、 实验项目及数据记录
- 4、 实验结果及体会

## 实验三 天球坐标及星空演示

### 一、实验场地和设备

天像馆及天像馆模拟设施

### 二、实验内容与要求

#### 1、实验内容

- (1) 星空、星座介绍及观摩
- (2) 天体视运动介绍及观摩

#### 2、实验要求（2学时）

实验员在演示时通过介绍及观摩，让学生对四季星空、星座（星座就是将星空按恒星的排列划分成若干区域，以方便认星和给星体命名）有一定的感性认识，理解测星定位中，星是空中航标，准确认出可用恒星才能利用《航海天文历》确定这参照物标的视位置，用来定位导航。认错星就是认错导航标，会造成严重后果。从这繁杂的星空中认星是很不容易的，因此，熟悉星空，学会认星选星是测量定位的必备条件。

通过实验员的介绍及观摩让学生理解在海上，为了观测天体测定船位，必须知道所测天体的准确位置。由于天体的运动，使得它们的位置坐标不断地发生变化。为了得到天体的准确位置，就需了解和研究天体运动的规律。

### 三、实验步骤

- 1、实验员演示星空、星座，简介四季星空中的主要星座及其特征；
- 2、实验员演示天体视运动，简介天体运动的规律。

### 四、作业或报告

本实验不要求学生完成实验报告。

## 实验四 罗经差的测定

### 一、实验场地和设备

海图室、磁罗经室、磁罗经、装有软铁杆的模拟船、航海天文历、B105 表等。

### 二、实验内容与要求

#### 1、实验内容

(1) 认识磁罗经的结构、测方位、读航向

(2) 罗经差测定及绘画自差曲线

#### 2、实验要求（2 学时）

认识磁罗经的结构、测方位、读航向，由教师设定观测物标，学生观测模拟船在 8 个航向上的该物标的罗方位，求出 8 个罗经差及自差（提供观测地的海图），画出自差曲线。写出实验报告。

### 三、实验步骤

- 1、实验员实物介绍磁罗经的结构（方位圈、罗盘、基线、罗北及真北），演示测方位和读航向；
- 2、列举实例并指导，让学生学会如何使用磁罗经测方位和读航向。
- 3、实验员现场设定船舶首尾线（磁罗经基线）和一个观测物标；
- 4、实验员讲解模拟船在 8 个航向上（4 个基点和 4 个隅点）如何观测该物标的罗方位来求罗经差及自差的方法，并求出 8 个罗经差及自差（提供观测地的海图），画出自差曲线；

当没有适当的叠标用来测定罗经差时，可以利用远距离的显著物标代替。此时，应测定 4 个基点罗航向和 4 个隅点罗航向上的 8 个罗方位  $CB_i$ ，根据磁罗经自差原理，可按

下式计算该物标的磁方位 MB，即：
$$MB = \frac{\sum_{i=1}^8 CB_i}{8}$$

于是，4 个基点和 4 个隅点航向上的自差  $\delta_i$  和罗经差  $\Delta C_i$  为：

$$\delta_i = MB - CB_i \quad \text{和} \quad \Delta C_i = \text{Var} + \delta_i$$



5、实验员将学生分组，就上列模拟情况指导学生完成罗经差测定及绘画自差曲线图。

6、实验员也可以选择用其它方法来测定罗经差。

#### (1) 利用叠标测定磁罗经差

如果在航行海区岸上设有专用的人工校差叠标或导航叠标时，该叠标的真方位是可以在航用海图上或从其它航海资料中获得。只要船舶按一定的航向通过叠标线，并在叠标标志重叠时测得该叠标的罗方位，则该航向上的罗经差和自差值可以按下面公式计算求得： $\Delta C = TB - CB$  和  $\delta = \Delta C - Var$

#### (2) 利用准确船位观察位置已知的物标的罗方位测定罗经差

当有准确船位时，例如有 GPS 船位或其它准确观测船位时，观测位置已知的物标的罗方位，可以从航用海图上直接由准确船位量取被测物标的真方位，或利用 GPS 导航仪自动计算被测物标的真方位，于是，罗经差由真方位减去罗方位求得。

#### (3) 利用天体方位测定罗经差

天体是我们可以利用罗经能够测定方位的最远距离的物标。因此，船位误差的存在对所测罗经差的影响并不明显。只要用罗经观测适当天体的罗方位，例如低高度的太阳或其它天体，即可根据观测天体方位的时间，用航海天文的方法，计算出观测时刻的天体真方位，然后减去罗方位便可求得罗经差。

在测定磁罗经差时必须注意，船舶应在所测航向上稳定航行 3~4min 后进行。

罗经差的测定除了以上几种基本方法，还可利用比对罗经航向的方法来测定。即：当陀罗差准确已知时，用比对陀罗航向和磁罗经航向，求得磁罗经差。这时磁罗经差  $\Delta C$  可由下式求得： $\Delta C = GC + \Delta G - CC$

反之，当磁罗经差准确已知时，陀罗差  $\Delta G$  可由下式求得： $\Delta G = CC + \Delta C - GC$ 。

## 四、作业或报告

本实验要求学生完成实验报告，报告内容如下：

- 1、实验目的
- 2、实验设备、资料
- 3、实验项目及数据记录
- 4、实验结果（自差曲线图）及体会

## 实验五 大圆海图的使用

### 一、实验场地和设备

海图室、大圆海图、航用海图（总图总图即小比例尺航用海图）、平行尺、三角板和分规、铅笔等。

### 二、实验内容与要求

#### 1、实验内容

- (1) 识读大圆海图、认识大圆海图的特点
- (2) 在大圆海图上画大圆航线、混合航线，量出航线的分点的经纬度
- (3) 在墨卡托海图（总图即小比例尺航用海图）上画出大圆航线或混合航线，并填写航线表。

#### 2、实验要求（2学时）

认识大圆海图的特点，引导学生从大圆海图的切点及相距切点较远处认识大圆海图的变形特点。在大圆海图上画大圆航线、混合航线，量出航线的分点经纬度，并在墨卡托海图（总图即小比例尺航用海图）上画出大圆航线或混合航线，并填写航线表。提交海图作业及航线表

### 三、实验步骤

- 1、实验员或任课教师就所提供的大圆海图讲解大圆海图的特点，读取某点经纬度坐标的方法；
- 2、就大圆海图列举实例并指导学生在大圆海图上画大圆航线或混合航线（教师讲解画切点的技巧即先找切点，后画切线），然后按每隔  $D\lambda=5^{\circ}$  进行分点并读取分点经纬度坐标出；
- 3、在墨卡托海图（总图即小比例尺航用海图）上画出大圆航线或混合航线，并按下表填写航线表

NO.	$\varphi$	$\lambda$	CA	S	累计 S	剩余 S
1						
2						
...						

- 4、学生从下列实验作业中选择习题，按上述完成海图作业，写出实验报告。

## 四、作业或报告

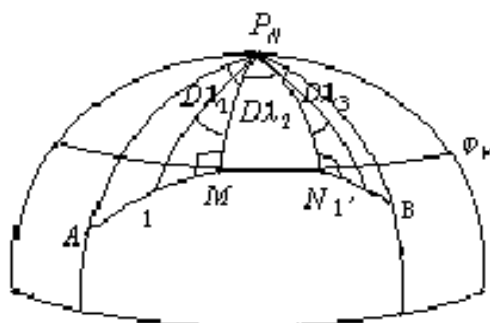
作业：

- 1、某轮从起始点 A (35°00'N 145°00'E) 出发，走大圆航线到达 B 点 (41°00'N 125°00'W)，大圆航线的分点经  $D\lambda=5^\circ$ 。求大圆航线的各分点坐标、在墨卡托海图上画出大圆航线，并按上表填写航线表。
- 2、某轮从起始点 A (35°30'N 145°20'E) 出发，走限制纬度  $\varphi_v$  为  $45^\circ$  的混合航线到达 B 点 (41°00'N 124°30'W)，大圆航线的分点经差  $D\lambda=5^\circ$ 。求大圆航线的各分点坐标、在墨卡托海图上画出大圆航线，并按上表填写航线表。

本实验要求学生完成实验报告，报告内容如下：

- 1、实验目的
- 2、实验设备、资料
- 3、实验项目及数据记录
- 4、实验结果（自差曲线图）及体会

### 附：混合航线的快速算法



- 1、求混合航线的切点 M、N 点的经度 ( $\lambda_m$ 、 $\lambda_n$ )，可用下式计算。

$$\cos D\lambda_1 = \operatorname{tg}\varphi_A \operatorname{ctg}\varphi_v$$

$$\cos D\lambda_3 = \operatorname{tg}\varphi_B \operatorname{ctg}\varphi_v$$

- 2、求大圆弧 MA、NB 的各分点坐标 ( $\varphi_i$   $\lambda_i$ )。

首先比较大圆弧 AM、NB 段的经差  $|D\lambda_1|$  和  $|D\lambda_3|$  的大小，在求得较大经差的大圆弧段的分点后，根据对称性直接写出另一大圆弧段的各分点坐标。设  $|D\lambda_1| \geq |D\lambda_3|$ ，分段点的间隔经差为  $D\lambda$ ，以 M 为基准向起始点 A 进行分点。在球面直角三角形  $1MP_n$ 、 $2MP_n$ 、... $iMP_n$ 、... $nMP_n$  中计算如下：

$$\operatorname{tg}\varphi_i = \operatorname{tg}\varphi_v \cos D\lambda_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中： $\varphi_v$  为限制纬度， $D\lambda_i = i \cdot D\lambda$ ，它以 M 或 N 为起始点按分点间经差确定原则取值，一般取  $5^\circ$  或  $10^\circ$ ， $i$  为从 M 点为起始点的分点编号，最后一个分点编号  $n$  取  $|D\lambda_1|/|D\lambda|$

的整数。计算时， $\varphi_V$ 、 $D\lambda_i$  恒为“+”号，实际航海中 $\varphi_i$  的取号一般与 $\varphi_V$  同名。

则各分点坐标为：

$$\begin{aligned} \text{NO.1} & (\varphi_1 \quad \lambda_m + D\lambda) \\ \text{NO.2} & (\varphi_2 \quad \lambda_m + 2D\lambda) \\ & \dots\dots \\ \text{NO.k} & (\varphi_k \quad \lambda_m + kD\lambda) \\ & \dots\dots \\ \text{NO.n} & (\varphi_n \quad \lambda_m + nD\lambda) \end{aligned}$$

其中船舶东航时， $D\lambda$ 符号取 W，船舶西航时， $D\lambda$ 符号取 E。

另一段大圆弧由切点 N 点向到达点 B 分点并编号，最后一个分点编号  $k'$  取  $|D\lambda_3|/|D\lambda|$  的整数。由于 NB 段分点坐标的纬度相对于 MA 起始段对应分点纬度对称，于是 NB 段的

$$\begin{aligned} \text{各分点坐标分别为：} \quad \text{NO.1}' & (\varphi_1 \quad \lambda_n + D\lambda) \\ \text{NO.2}' & (\varphi_2 \quad \lambda_n + 2D\lambda) \\ & \dots\dots \\ \text{NO.k}' & (\varphi_k \quad \lambda_n + kD\lambda) \end{aligned}$$

其中船舶东航时， $D\lambda$ 符号取 E，船舶西航时， $D\lambda$ 符号取 W。

3、混合航线的第二段等纬圈航线 MN 的航向为  $090^\circ$  或  $270^\circ$ ，航程为  $D\lambda_2 \cos \varphi_V$ 。

由以上可见，利用混合航线前后两段大圆弧相对于切点 M、N 的对称性计算它们的分点，大大简化了计算过程，具有较大的实用意义。

### 计算举例

某轮从起始点 A ( $35^\circ 00' \text{N}$   $145^\circ 00' \text{E}$ ) 出发，走限制纬度  $\varphi_V$  为  $45^\circ$  的混合航线到达 B 点 ( $41^\circ 00' \text{N}$   $125^\circ 00' \text{W}$ )，大圆航线的分点经  $D\lambda = 5^\circ$ 。求混合航线的各分点坐标并在航海图上画出该航线。

解：(1) 求混合航线求混合航线 ( $\lambda_m \quad \lambda_n$ )

$$\cos D\lambda_1 = \text{tg} \varphi_A \text{ctg} \varphi_V$$

$$\cos D\lambda_3 = \text{tg} \varphi_B \text{ctg} \varphi_V$$

用  $\varphi_A = 35^\circ 00' \text{N}$ ， $\varphi_B = 41^\circ 00' \text{N}$ ， $\varphi_V = 45^\circ$  代入上式得：

$$\cos D\lambda_1 = 0.7002 \quad \cos D\lambda_3 = 0.8693$$

由于该船东航， $D\lambda_1$ 、 $D\lambda_3$  符号为 E。则： $D\lambda_1 = 45^\circ 33' \text{E}$ ， $D\lambda_3 = 29^\circ 37' \text{E}$ ，

故用  $\lambda_m = \lambda_A + D\lambda_1$ 、 $\lambda_n = \lambda_B - D\lambda_3$  求得：

$$\lambda_m = 145^\circ 00' \text{E} + 45^\circ 33' \text{E} = 169^\circ 27' \text{W} \quad , \quad \lambda_n = 125^\circ 00' \text{W} - 29^\circ 37' \text{E} = 154^\circ 37' \text{W}$$

即混合航线的切点 M 的坐标 ( $45^\circ \text{N}$   $169^\circ 27' \text{W}$ )，N 点的坐标 ( $45^\circ \text{N}$   $154^\circ 37' \text{W}$ )。

(2) 求大圆弧 MA、NB 的各分点坐标 ( $\varphi_i \lambda_i$ )

因为  $|D\lambda_1| = 45^\circ 33' > |D\lambda_3| = 29^\circ 37'$ ，所以先计算 MA 段大圆弧的分点，再直接写出

NB 段大圆弧的分点坐标。

$$\operatorname{tg}\varphi_i = \operatorname{tg}\varphi_V \cos D\lambda_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中： $\varphi_V=45^\circ\text{N}$ ， $D\lambda_i=i \cdot D\lambda$ ， $i = 1, 2, \dots, i \dots n$ 。 $D\lambda = 5^\circ\text{W}$  (船舶东航)， $n$  取  $|D\lambda_1|/|D\lambda|$  的整数，即  $|45^\circ 33'\text{W}|/|5^\circ|=9.11$ ， $n=9$ 。

则各分点坐标为：

- NO.1 (  $\varphi_1 \quad \lambda_m + 1D\lambda$  ) = (  $44^\circ 53'\text{N} \quad 174^\circ 27'\text{W}$  )
- NO.2 (  $\varphi_2 \quad \lambda_m + 2D\lambda$  ) = (  $44^\circ 34'\text{N} \quad 179^\circ 27'\text{W}$  )
- NO.3 (  $\varphi_3 \quad \lambda_m + 3D\lambda$  ) = (  $44^\circ 00'\text{N} \quad 175^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.4 (  $\varphi_4 \quad \lambda_m + 4D\lambda$  ) = (  $43^\circ 13'\text{N} \quad 170^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.5 (  $\varphi_5 \quad \lambda_m + 5D\lambda$  ) = (  $42^\circ 11'\text{N} \quad 165^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.6 (  $\varphi_6 \quad \lambda_m + 6D\lambda$  ) = (  $40^\circ 54'\text{N} \quad 160^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.7 (  $\varphi_7 \quad \lambda_m + 7D\lambda$  ) = (  $39^\circ 19'\text{N} \quad 155^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.8 (  $\varphi_8 \quad \lambda_m + 8D\lambda$  ) = (  $37^\circ 27'\text{N} \quad 150^\circ 33'\text{E}$  )
- NO.9 (  $\varphi_9 \quad \lambda_m + 9D\lambda$  ) = (  $35^\circ 16'\text{N} \quad 145^\circ 33'\text{E}$  )

NB 段分点坐标的纬度相对于 MA 起始段分点对称，最后一个分点  $k'$  取  $|D\lambda_3|/|D\lambda|$  的整数，即  $|29^\circ 37'\text{E}|/|5^\circ|=5.92$ ， $k'=5$ 。 $D\lambda=5^\circ\text{E}$  (船舶东航)，于是 NB 段的各分点坐标分别为：

- NO.1' (  $\varphi_1 \quad \lambda_n + 1D\lambda$  ) = (  $44^\circ 53'\text{N} \quad 149^\circ 37'\text{W}$  )
- NO.2' (  $\varphi_2 \quad \lambda_n + 2D\lambda$  ) = (  $44^\circ 34'\text{N} \quad 144^\circ 37'\text{W}$  )
- NO.3' (  $\varphi_3 \quad \lambda_n + 3D\lambda$  ) = (  $44^\circ 00'\text{N} \quad 139^\circ 37'\text{W}$  )
- NO.4' (  $\varphi_4 \quad \lambda_n + 4D\lambda$  ) = (  $43^\circ 13'\text{N} \quad 134^\circ 37'\text{W}$  )
- NO.5' (  $\varphi_5 \quad \lambda_n + 5D\lambda$  ) = (  $42^\circ 11'\text{N} \quad 129^\circ 37'\text{W}$  )

(3) 混合航线的第二段等纬圈航线 MN 的航向为  $090^\circ$ ，航程为：

$$\begin{aligned} D\lambda_2 \operatorname{COS}\varphi_V &= (\lambda_n - \lambda_m)\operatorname{COS}45^\circ = (154^\circ 37'\text{W} - 169^\circ 27'\text{W})\operatorname{COS}45^\circ \\ &= 14^\circ 50'\operatorname{COS}45^\circ = 629.3 \text{ n.mile} \end{aligned}$$

最后，将该混合航线各分点按从起始点 A 至到达点 B 的次序重新排序并列表如下 (各分点间的恒向线航向、航程按恒向线航法计算，此处略)：

编号 坐标	$\varphi_i$	$\lambda_i$
A	$35^\circ 00'\text{N}$	$145^\circ 00'\text{E}$
1	$35^\circ 16'\text{N}$	$145^\circ 33'\text{E}$
2	$37^\circ 27'\text{N}$	$150^\circ 33'\text{E}$
3	$39^\circ 19'\text{N}$	$155^\circ 33'\text{E}$

4	40 <sup>0</sup> 54'N	160 <sup>0</sup> 33'E
5	42 <sup>0</sup> 11'N	165 <sup>0</sup> 33'E
6	43 <sup>0</sup> 13'N	170 <sup>0</sup> 33'E
7	44 <sup>0</sup> 00'N	175 <sup>0</sup> 33'E
8	44 <sup>0</sup> 34'N	179 <sup>0</sup> 27'W
9	44 <sup>0</sup> 53'N	174 <sup>0</sup> 27'W
10 ( M )	45 <sup>0</sup> 00'N	169 <sup>0</sup> 27'W
11 ( N )	45 <sup>0</sup> 00'N	154 <sup>0</sup> 37'W
12	44 <sup>0</sup> 53'N	149 <sup>0</sup> 37'W
13	44 <sup>0</sup> 34'N	144 <sup>0</sup> 37'W
14	44 <sup>0</sup> 00'N	139 <sup>0</sup> 37'W
15	43 <sup>0</sup> 13'N	134 <sup>0</sup> 37'W
16	42 <sup>0</sup> 11'N	129 <sup>0</sup> 37'W
B	41 <sup>0</sup> 00'N	125 <sup>0</sup> 00'W