近代航海方法

Ю.К.巴兰諾夫 М.М.列士科夫
А.П.尤欽柯 著

李景森等譯校

人民交通出版社

在本書中研究了近年來得到推广的一些新的航海方法，这对提高我国船員技术水平是很有帮助的。

本書可作我国海船高級船員的参考書。也可作为我国海运学院航海学課程的主要补充教本。

本書系由李景森、錢淡如、陈祖慰、蔣　菁、楊守仁、吳厚烈等合譯，并由李景森校对。

本書所用的專門名詞、代号和标注方式統以大連海运学院航海教硏組所拟定的为根据。

近代航海方法

Ю. К. БАРАНОВ М. М. ЛЕСКОВ. А. П. ЮЩЕНКО

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ НАВИГАЦИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ КАПИТАНАМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»
ЛЕНИНГРАД 1956

本書根据苏联海运出版社1956年列宁格勒俄文版本譯出

李景森等譯校

人民交通出版社出版
（北京安定門外和平里）
北京市書刊出版業营業許可証出字第〇〇六号
新华書店发行
人民交通出版社印刷厂印刷

*

1958年12月北京第一版　　1958年12月北京第一次印刷
开本：737×1092 1/32　　印張：4張
全書：114,000字　　印数：1—1800册
統一書号：15044-5146
定价（10）：0.57元

序　言

由于对航海测定航位准确度的要求提高了，以及在航海中利用了新的助航仪器，所以必须研究航海教科書中尙未叙述过的进行及处理观測結果的某些近代方法。

列宁格勒馬卡洛夫高等航海学校的航海教研組积极参予了这一項工作。

傳播已积累的經驗以及叙述本国及外国航海者的某些現代工作結論，就是本書的主要內容。最后一章进一步明确了与提高船舶航跡推算准确度有关的許多問題。

本書是根据1955年列宁格勒高等航海学校所屬船員訓練班的講义編写而成，这本書应該对于听課者在研究材料时有所帮助。

还应当指出，这本小册子对于想要自修提高业务水平的生产者是有好处的。

第II、III、IV、VI章是Ю.К.巴兰諾夫副教授写的，第VII章是M.M.列斯科夫副教授写的，而第I章則是两个人合写的。

要想更深入研究本書所述的某些問題，可以参考下列書籍：

Ю.К.巴兰諾夫"用扇形无綫电航标在海上測定船位"，水运出版社，1953年版。

B.B.卡夫拉伊斯基选集　第一册。

M.M.列士科夫"以两个陆标測定船位及罗經修正量"，海运出版社，1956年版。

H.H.馬杜薩維奇、駕駛員教学手册，第二版、海軍海道測量局，1951年版。

A.П.尤欽柯"最小二乘方法"，海运出版社，1956年版。

E.Я.塞哥列夫"航海无綫电助航仪器"，海运出版社。

E.Я.塞哥列夫"海上无綫电航設备"，水运出版社，1954年版。

在外国参考書中，可以向駕駛員介紹的是稍加删节并用俄文出版的有关雷达的英国資料：

“航海雷达”，外文書籍出版社，1955年版。

第一章　位置綫法及测定船位的准確度

§1. 等值綫、位置綫及梯度

駕駛員很熟悉应用位置綫来解航海天文的主要問題之一——以天体高度测定船位。法国海軍上将馬尔卡、圣西特—伊列拉的方法目前得到了广泛的采用。

在法国总結了这个方法，結果就促使研究如何将該方法应用在所謂法国海道測量工程师方法上，或“推算船位”法上。很多德国学者也促进了該方法的采用，特别是在处理无綫电方位时。

然而，还是由于苏联学者工作的結果，才使位置綫方法达到最大共同性及取得了实际价值。特别必須指出該方法近代解釋的奠基者 B.B.卡夫拉伊斯基及扩大該方法应用的H.Γ.加里的工作。

位置綫方法所解决的問題中，对航海有特殊意义的有下列三个：

1)求从推算船位到位置綫上的截点的截距大小及方向；

2)根据以更多位置綫組成的誤差图求或然船位；

3)根据更多的測量結果，特别是用誤差椭圓估計观测的准确度。

在研究如何解决这些問題以前，必須先了解等值綫及梯度的概念，并进一步明确位置綫的概念。

滿足某一函数对坐标的常数值的綫，亦即該函数有同一数值的点的軌跡就叫做等值綫。在各种各样的知識領域中，我們都会碰到等值綫。可以举出下列等值綫的例子：等深綫——深度相等的綫；等高綫——高度相等的綫；等磁差綫——磁差相等的綫；等温綫——温度相等的綫；同潮时綫——同时开始高潮的綫。

在航海測定时，我們以两根或几根等值綫的交点求出船位，每一根等值綫都滿足于从观测中所測量出的固定值——方位、角度、距离或距离差。

假定有两根等值綫，相应表示某一函数的两个值U及$U+\Delta U$(見图1)。在給定的增量ΔU的情况下，相鄰的两根等值綫相距越近，則距离Δn越小，則函数U在該区内的变化也越快。該变化以比$\frac{\Delta U}{\Delta n}$或矢量$\vec{g}$来表示最为方便，矢量$\vec{g}$的方向是指向該函数在等值綫上增长的方向，其絕对值等于比$\frac{\Delta U}{\Delta n}$当$\Delta n$趋近于零时的极限。

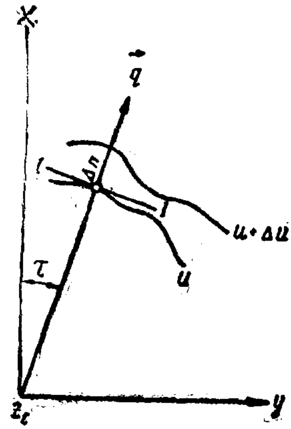

图 1

矢量$\vec{g}$叫做梯度，其模等于：

$$g=\lim_{\Delta n\to 0}\frac{\Delta U}{\Delta n}=\frac{dU}{dn} \qquad (1)$$

这一等式可以簡单地表达为：梯度的模等于函数在法綫方向上的导数。

在航海中，不用公式（1），而用下列近似公式：

$$g=\frac{\Delta U}{\Delta n} \qquad (1')$$

假定Δn的值是不大的。

在航海測定时，測量的值U的增量(例如是由于測量誤差引起的)，会使等值綫移动了Δn的距离；如果已知梯度g的值，Δn可按公式(1′)求出：

$$\Delta n=\frac{\Delta U}{g} \qquad (2)$$

在同样誤差ΔU的条件下，梯度g的值越大，則等值綫的位移Δn就越小，随之船位的測定也就越准确。

等值綫的一小段，是可以用它的切綫的一段Ⅰ—Ⅰ来代替，这一段直綫就叫做位置綫。很显然，位置綫及梯度的方向是互相垂直的。如

果位置綫的方向为方位角 α，則梯度的方向决定于下述的方位角

$$\tau=\alpha\pm90^\circ \qquad (3)$$

在解航海課题时，公式（2）有着很重大的意义。如果除了测量值 U 外，还可用推算船位的坐标算出所謂該函数的"推算值" U_c，則:

$$\Delta U=U-U_c \qquad (4)$$

因此按公式（2）算出的 Δn 就是从推算点到截点的截距 Δn 的值。以位置綫方法解航海課題的实質也就是求截距的值。

在圣西特——伊列拉方法中，因为高度位置綫的梯度等于1，所以解法就簡单了：用公式（2）及（4）可导出求截距的最簡单表示式:

$$\Delta n=h-h_c$$

它的方向是朝向天体在地面上的位置。

然而就是在其他的航海課題中，如果預先求出在进行观测时所测量的所有值的梯度值，則应用公式（2）也沒有什么困难。

找梯度并不是一件难事，但应該分清在短距离和在长距离的情况。在短距离的情况下，可以将地球表面当作平面，而在长距离情况下，則应考虑到地球的球状。

开始我們先求在航海課題中常遇到的可以把地球表面看成平面的梯度的值。

1.从控制点 A 测船 Z 的方位 α（見图2）。等值綫及与其相重合的位置綫都位于方位綫上。以 S 表示距离 AZ，就可得出:

$$\Delta n=S\Delta\alpha \qquad (5)$$

式中 $\Delta\alpha$ 用弧度表示。如用度数表示，則:

$$\Delta n=\frac{S\,\Delta\alpha^\circ}{57.3} \qquad (5')$$

$$\Delta n=\frac{S\,\Delta\alpha'}{3438} \qquad (5'')$$

和（2）比較，考虑到在該情况下 $U=\alpha$，則可得出梯度的值:

$$g=\frac{1}{S}\text{（弧度对长度单位）}\qquad(6)$$

$$g=\frac{57.3}{S}\text{（度对长度单位）}\qquad(6')$$

$$g=\frac{3438}{S}\text{（分对长度单位）}\qquad(6'')$$

梯度的方向

$$\tau=\alpha+90^\circ\qquad(7)$$

例1. **测得从岸上控制点A至船的方位，它的可能誤差为±2′。如果从陆标到船的距离为3浬，該誤差引起的位置綫位移有多大？**

根据公式（6″）

$$g=\frac{3438}{3}=1146\frac{1'}{\text{浬}}$$

根据公式（2）

$$\Delta n=\pm\frac{2}{1146}\text{浬}=\pm 3\text{公尺}$$

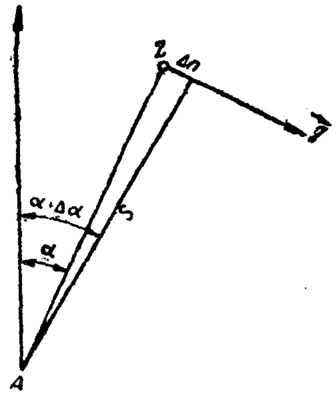

图 2

2. 测出从船至控制点的方位

以上述相似的方法研究，我們用公式（6）、（6′）、（6″）又可得出梯度，但梯度的方向是等于：

$$\tau=\alpha-90^\circ\qquad(8)$$

例2. 以三个方位测定船位；船到控制点的距离为2、3及5浬。由于所取罗經修正量的值有誤差，所以所畫出的三条方位綫不交于一点，而組成了一个誤差三角形。如果使罗經修正量变动$\Delta\epsilon=1^\circ$，以便得出新的誤差三角形从而找出不受系統誤差影响的观测船位，河位置綫移动了多少？

根据公式（2）可得出：

$$\Delta n_1 = \frac{\Delta\varepsilon}{g_1} = S_1\frac{\Delta\varepsilon^\circ}{57.3} = \frac{2}{57.3} = 0.03\text{浬}$$

$$\Delta n_2 = \frac{\Delta\varepsilon}{g_2} = S_3\frac{\Delta\varepsilon^\circ}{57.3} = \frac{3}{57.3} = 0.05\text{浬}$$

$$\Delta n_3 = \frac{\Delta\varepsilon}{g_3} = S_3\frac{\Delta\varepsilon^\circ}{57.3} = \frac{5}{57.3} = 0.09\text{浬}$$

这种位置綫的截距方法，比起直接从远方控制点上畫出变动了的方位綫的方法来說，能减少在构畫上的誤差。

3.我們再看看以六分仪测得的角度来测定船位的情况，要用以下的理由来求角度的梯度。梯度是一种矢量值，而我們知道，矢量的加减是要用几何方法，按平行四边形规则进行的。

在矢量計算中，已經适当地証明了这样的定律：两函数的和或差的梯度，等于此两函数梯度的几何和或差。所有角度都可以看成是两个方向的差，而方向的梯度則如我們所知，可用公式（6）求出。

假定，测得点 A 和 B 的夹角为 α（見图3）。从船位 Z 畫出两方向的梯度，它的模为 $g_1=\frac{1}{S_1}$ 及 $g_2=\frac{1}{S_2}$。按上述定律，这两梯度的封閉綫的值 g_2 就是角度 α 的梯度。

为了求出 g_α 的值，須在三角形 ZAB 及由梯度构成的三角形中畫出高度 h 及 h'。从第一三角形中：

$$\frac{\sin\beta}{S_1} = \frac{\sin\alpha}{S}$$

从梯度三角形中可得：

$$h' = \frac{1}{S_1}\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{S} \qquad (9)$$

因为两个三角形是相似的，故

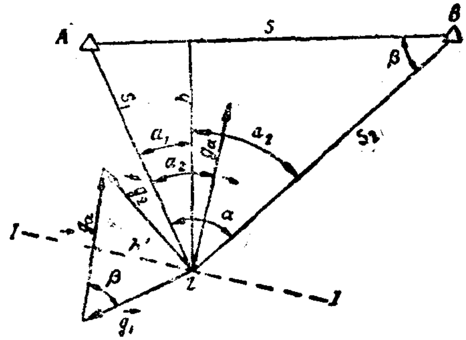

图 3

$$\frac{g\alpha}{h'}=\frac{S}{h} \qquad (10)$$

以（9）（10）相乘，可得出所要求的梯度

$$g_{\alpha}=\frac{\sin\alpha}{h} \qquad (11)$$

上面已經指出，位置綫测定越准确，则梯度就越大。公式（1）表明，必須选擇靠近岸边的控制点（以減少h），又必須使角度α接近于$90°$。

高度h'的方向垂直于梯度$\vec{g}_{\alpha}$，因而它和位置綫，也就是和包含有角α的圓的切綫的方向相重合。

以a_1及a_2表示高度h和边S_1及S_2所構成的夹角。則位置綫I—I和边S_1的夹角为$90°-a_2$。如果从船位畫梯度$\vec{g}_{\alpha}$垂直于位置綫，则截距Δn必須畫在此梯度的方向上。从图上可以看出来，此方向与边S_1的夹角为$90°-(90°-a_2)=a_2$，而且$\cos a_2=\frac{h}{S_2}$。

有时，不用公式（11），而用其他的角度梯度公式更为方便。以$\sin\alpha=\frac{S}{S_1}$及$h=S_2\sin\beta$代入此公式，可得

$$g_\alpha = \frac{S}{S_1 S_2} \tag{12}$$

例3. 假定人的眼睛的分辨力为1分，試求迭标的灵敏度。

以 d 表示两标志間的距离，D表示从船到前面一个标志的距离（見图4）。

Δn 越小，則迭标就越灵敏，所以 Δn 是表示着标志的灵敏情况，在$\Delta\alpha' = 1$分或$\Delta\alpha = \frac{1}{3438}$的条件下，

按照公式（2）

$$\Delta n = \frac{\Delta\alpha}{g_\alpha} = \frac{1}{3438 g_\alpha}$$

而由公式（12），因为 Δn 很小，可認为 $\overline{KA} = \overline{ZA} = D$; $\overline{KB} = \overline{ZB} = D + d$

$$g_\alpha = \frac{d}{D(D+d)}$$

因之

$$\Delta n = \frac{D(D+d)}{3438 d}$$

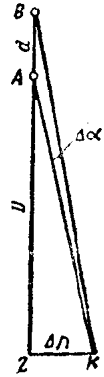

图 4

4. 为了以距离测定船位，测量了距离 S（或根据测量垂直角值导出）。

在这种情况下，等值綫是半徑等于距离 S 的圓（图5）。

很显然，位置綫的位移 Δn 等于距离的增量 S。

所以梯度

$$g = \frac{\Delta S}{\Delta n} = 1 \tag{13}$$

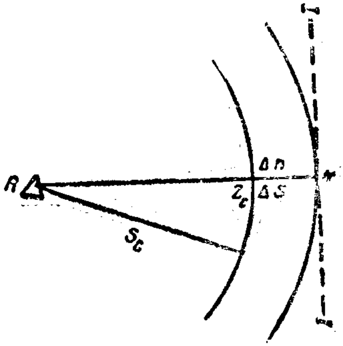

图 5

梯度方向和从点 R 到船位 Z 的方向相重合，而位置綫则和它垂直。

如果将测得的距离 S 减去从計算求出或从海图量取的"推算距离" S_c，即可求出从推算船位到测定船位的截距

$$\Delta n = S - S_c \tag{14}$$

5. 以某一种新式无綫电助航仪器测定从船到发射站 R_1 和R_2 的距离差 $S_1 - S_2$（图 6）。

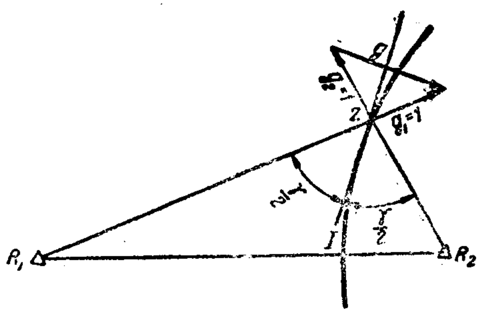

图 6

到既定两焦点的距离差为一常数的点的軌跡是一对双曲綫。

因之在該情况下，等値綫是以发射站为焦点的双曲綫族。

要求出梯度，可应用两函数差的梯度的理論。根据公式（13）$g_1 = g_2 = 1$。梯度三角形是等腰三角形。如果以 γ 表示矢徑 R_1Z 及 R_2Z的夹角，则：

$$g = 2\sin\frac{\gamma}{2} \tag{15}$$

而位置綫方向则和角 γ 的等分綫相重合。

$$\Delta n = \frac{\Delta(S_1 - S_2)}{2\sin\frac{\gamma}{2}} \tag{16}$$

例4. 用相位探测器测得了距离 $S_1-S_2=13.1$浬。根据发射站的坐标及船舶的推算坐标算出的推算差$(S_1-S_2)_c=14.3$浬。如果角 $\gamma=105.°7$，求位置綫到推算船位的截距

解

$$\Delta n=\frac{(S_1-S_2)-(S_1-S_2)_c}{2\sin\frac{\gamma}{2}}=\frac{13.1-14.3}{2\sin 52°51'}=-0.8\text{浬}$$

負号表明，截距应背向梯度的方向，即在垂直于 γ 角等分綫的方向，朝向第一发射站（見图6）。

我們已經研究了当距离不大，地球表面可以当作平面看待时在航海测定中所测量的所有值的梯度。

下面我們把所得的梯度值列为一表。

平 面 梯 度 **表1**

测 量 值	梯 度 的 模	梯 度 方 向
从陆标测船的方位	$g=\frac{1}{s}$	$\tau=\alpha+90°$，式中$\alpha=TC$
从船测陆标的方位	$g=\frac{1}{s}$	$\tau=\alpha-90°$，式中$\alpha=TC$
水 平 角	$g_\alpha=\frac{\sin\alpha}{h}=\frac{s}{s_1s_2}$	$\tau=A_1+a_2$，式中 A 是 s_1 的方位角
距 离	$g=1$	从控制点到船的方向
距 离 差	$g=2\sin\frac{\gamma}{2}$	垂直于角γ的等分綫

当距离很大时，必須注意到地球表面的曲率。在这种情况下，求梯度也不是特别困难的了，但是我們在这里只列出梯度值的表，讀者自己可在序言所載的著作中找到这些梯度的推导。

对于球面距离及球面角，我們仍然沿用在解平面题时所用的符号。

此外，还用到下列符号：

φ——平均緯度；

$D\lambda$——船及发射站的徑差；

p——从船位到发射站子午綫的球面垂直綫。

球面梯度　　　　表 2

測量值	梯度的模	梯度方向
从發射站測船的无綫电方位	$g=\frac{1}{\sin s}$	$\tau=\alpha+D\lambda\sin\varphi+90°$
从船測發射站的无綫电方位	$g=\frac{\sin\alpha}{\mathrm{tg}p}$	由下式得出 a_2 $\cos a_2=\mathrm{tg}p.\mathrm{ctg}s$
距离	$g=1$	从發射站到船位的方向
距离差	$g=2\sin\frac{\gamma}{2}$	垂直于角γ的等分綫

应用本表所載梯度的例子，將在下一章中叙述。

§2. 用兩条位置綫測定船位的准確度的估計

如果在測定船位时总共只作了两次測量，則只能畫出两条位置綫，因此我們除了認为两綫的交点是船位外，别无他法可想。两次測量只能求出船的两个未知坐标，但不能求出其測定誤差。

但是，如果我們知道进行測量的可能誤差，則在这种情况下，我們也可能判断出測定船位的可能誤差范圍。

同时，必須分清系統誤差及偶然誤差的影响。

产生系統誤差的性質及原因，或者我們是已經知道的，或者可以加

以研究的。其中可分出下列几种：

1)定量誤差，不管测量值大小如何，它只使测量結果相差同样的值（例如，不管高度大小如何能見地平傾角使测量高度相差了同样的值）；

2)单面作用誤差，其影响随测量值的大小而变，但不是規律化的。例如，当在地面测量距离时，所测得距离的过大值，不仅是取决于总距离的大小，而且也受地形性質的影响；

3)規律性誤差，它按一定比例使测量結果发生差異。例如，取决于已确定的計程仪修正量的誤差就屈于这一类。它使所得渥程的差異与距离本身成正比例。

偶然誤差是由各种各样的自相矛盾的，本質上与测量工作无关的原因造成的。

經驗証明，偶然誤差具有下列特性：

1)偶然誤差的平均值等于零；

2)数值上相等但符号相反的偶然誤差出現的或然率相等；

3)小的偶然誤差要比大的有更多的出現机会；

4)偶然誤差不超过一定的范圍，該范圍大小与测量准确度有关；

5)在該范圍內偶然誤差可以有任何值。

由于偶然誤差有了这些性質，所以就有可能确定出偶然誤差所服从的某些規律，即所謂統計規律，因为如果所进行的测量及要研究誤差本身的数量越多，則这些規律就遵循得越好。

在很多情况下，很难預見到测量的誤差是偶然誤差还是系統誤差，但是有时可以預見到主要是由于某种性質誤差的影响。例如，以很好地修正过的六分仪测两陆标間的夹角时，可以預料到主要的是由于偶然誤差的作用，而测該物标的方位时如果对所采用的罗經修正量还沒有把握，則可認为主要的是由于沒有考虑到的系統誤差的影响。

首先讓我們研究在系統誤差影响下的测定船位誤差。假定眞船位处于夹角 $\theta<90^\circ$ 的无誤差位置綫 Ⅰ—Ⅰ 及 Ⅱ—Ⅱ 的交点上（見图 7）。如果测量值梯度的夹角也同样为 θ，則在位置綫系統誤差作用下位移了的位置綫将相交于 F_1 或 F_2 点，两点与眞船位的距离为 δ。如果两个梯