利用无綫电助航仪器测定船位

B.E.奥列赫夫斯基 著

方祥麟 何运 譯

李景森 楊守仁 于源福 校

人民交通出版社

本書旨在向船舶駕駛員們介紹：在海上用方位角、测距（距离的）和双曲綫无綫电助航系統，來测定船位的一些基本問題。書中包括这些問題的理論，以及在駕駛台內实际解决这些問題的方法。

該書亦可作为高等航海学校航海学教程中，关于"利用无綫电助航仪器测定船位"部分的教学参考書。

在編寫本書的时候，作者曾参照了，以 С.О.馬卡洛夫海軍上将命名的、列宁格勒海运工程学院 А.П.尤森柯教授領導的船舶駕駛教研組所拟定的教学法指導書。

本書 § 15，关于双曲綫网的构造問題，系由技術科学副博士С.Т.柴以金执筆。

本書譯者为方祥麟、何运。校者为李景森、楊守仁、于源福。

利用无綫电助航仪器测定船位

В. Е. ОЛЬХОВСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА
ПРИ ПОМОЩИ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

(ВОПРОСЫ НАВИГАЦИИ)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»
МОСКВА — 1956

本書根据苏联海运出版社1956年莫斯科俄文版本譯出

方祥麟　何　运　譯，李景森　楊守仁　于源福　校

人民交通出版社出版
（北京安定門外和平里）
北京市書刊出版业营业許可証出字第〇〇六号
新华书店发行
人民交通出版社印刷厂印刷

1959年9月北京第一版　　1959年9月北京第一次印刷
开本：787×1092 1/32　　印張：4 1/2　　張插頁 1
全書：119,000字　　印数：1—1,100　　册
統一書号：15044·5183
定价(10)：0.56元

利用无綫电助航仪器測定船位

Б.Е.奥列赫夫斯基 著

方祥麟 何运 譯

李景森 楊守仁 于源福 校

人民交通出版社

目　录

緒　言

約当偉大的俄罗斯学者 A.C.波波夫发明无綫电极时，无綫电就已用于航海上。A.C.波波夫不仅解决了船舶无綫电通訊問題，而且还叙述了在海上用电磁波测定船位，以及在能見度不良的情况下，保証海上航行安全的可能性。于1897年，A.C.波波夫曾在波罗的海上进行过“欧洲”号运輸艦与“阿非利加”巡洋艦之間无綫电通訊的实驗，在他的一些报告中写道：“于航标上，用电磁波源，加于灯火或音响信号中，可使航标在大霧或暴风雨天气照样可見：用音响显示电磁波的仪器，可以預告出接近航标的程度，而音响信号間的間隔，可用以辨别航标”。

由于我国学者 B.П.伏劳格金，M.B.舒列以金，A.A.彼得洛夫斯基，H.H.契可夫斯基，И.Г.疆列依蒙，A.И.別尔格，M.A.邦士-布魯埃維奇，Б.A.烏外琴斯基，Л.И.蒙捷里士达姆，H.Д.巴巴列克西，E.Я.蔡高列夫及其他許多学者的傑出工作，使无綫电航海在比較短的年代里，取得了頗大的成就。基于这些学者的巨大工作，各种无綫电助航系統就成了現代船舶駕駛上最有效的技术設备。

第一次世界大战时，H.Д.巴巴列克西还是个年青的学者，就很成功地从事船舶测向仪的研究工作。

偉大的十月社会主义革命后，苏联的无綫电航海与其他一般科学技术相輔相承，得以广泛发展。

在二十年代里，苏維埃学者及設計师們，曾創造了多种的无綫电助航系統（无綫电测向仪），有效地应用于船上，日后，并更臻完善。

1930年，苏联物理学院士Л.И.蒙捷里士达姆及H.Д.巴巴列克西研究了借助发射机发出的非調幅輻射信号，以及反射后恢复原状的振动，来测量距离的方法。1932年，在E.Я.蔡高列夫教授領导下，創造了干扰（相位的）无綫电测距仪。

应該指出，在1930～1934年时，Л.И.蒙捷里士达姆，Н.Д.巴巴列克西，Е.Я.蔡高列夫及其同事們的著作中，就已經包含有組成近代相位无綫电助航系統的各种不同方案的实質的思想。

1934年，为了三角测量中的基地及边界测量，他們曾企图将无綫电测距代用于大地测量的工作中。

А.П.尤森柯教授对于大地测量学的工作深有造詣，他对于看不見海岸航行时，应用无綫电测距仪定位的可能性甚为注意。于1935年，由他发起，在黑海进行了实驗，效果良好：用新方法定位的准确度不但超过天文定位的准确度，而且与能見度的条件无关。隨之，在海道测量和在大海中测量时就广泛地应用无綫电测距仪，并日臻完善。

Л.И.蒙捷里士达姆，Н.Д.巴巴列克西，以及Е.Я.蔡高列夫所創制的相位双曲綫无綫电助航系統型的"相位探测器"是苏联学者及設計师們所取得的巨大成就。应該指出，英国广告上所登的"*Decca—Navigator*"无綫电助航系統的工作原理，与"相位探测器"的工作原理，完全一样，但在英国的材料中，并未引述苏联学者多年前在这一方面就发表了的資料。

在航海上，各种无綫电助航系統的广泛应用，增大它的有效范圍，以及提高它的测量准确度等問題，都摆在航海家与海洋制图学者的面前，这一系列重要問題，若不加以解决，就不能保証新定位法的有效应用。

在这里，首要問題是寻求有关处理无綫电助航定位問題中，計算地球表面曲率的最合理的一些方法，以及創制等値綫网的特种海图。

綜合船位綫法扩大了其实际应用范圍，而使得在无綫电助航定位領域中，亦能加以应用。該法近来在航海界应用頗广。

发展位置綫法，及扩大它的实际应用范圍的傑出功績，应屬于苏联学者——В.В.卡夫拉伊斯基教授——現代位置綫理論的奠基者，Н.Г.开留教授，Н.Н.馬士賽維奇教授，А.П.尤森柯教授。

关于用方位无綫电助航系統定位的观测处理的基本問題，在Н.Н.馬士賽維奇教授的"无綫电方位定位"的专題論文（1940年出版）中，有詳尽的論述。

Н.Н.馬士賽維奇所写关于在黑卡托海图上，地测綫曲率修正量的

高次項展开的論著，对无綫电航海亦具有重大的意义。在他的航海天文学講义，駕駛員数学手册（第二版）著作中，有关位置綫法及其他一系列航海学与制图学的問題，均得到了进一步的发展。

測距无綫电助航系統以及双曲綫无綫电助航系統（在离岸甚远航行时，用以测定具有很高准确度的船位）的創制，很需要寻求进行測量时合理的处理方法，特别是制造具有測距网和双曲綫网的特种海图。这些問題在А.П.尤欽柯教授的許多著作中，均有論述。在其著述中，他解决了許多有关各种投影海图的測距及双曲綫网的繪制，以及处理无綫电定位及其定位准确度的估計时位置綫法的应用等重要問題。

在А.П.尤森柯，А.П.别洛布劳夫及К.С.烏鞏夫教授的指导下，近年来，大批年青的学者（В.Н.陆哈林，В.П.科朱浩夫Ю.К.巴兰諾夫，С.Т.柴以金等）亦致力于这些科学领域的研究。

根据第六个五年計划苏联共产党第二十次代表大会的指示，要求“改进海上运輸通訊与无綫电航海設备，用保証船舶安全航行的最完善的无綫电助航仪器来装备海船”。首先要有在任何气象条件下，能精确确定船位的近代无綫电助航仪器。

在第六个五年計划中，还要大力发展海上的捕获事业。用近代的大型海船，来补充捕魚船队。廿次代表大会的指示中規定，要以最新式的无綫电助航仪，装备捕魚船及大型漁船。

不断发展和改进无綫电助航系統，增大其工作范圍，以及提高其测量的准确度，需要不断发展和改进无綫电助航測定結果的处理方法，以及减輕和加速駕駛員的工作的方法。

在船舶駕駛的这个領域內的有益活动，将使我們有效地应用新技术，并将帮助胜利解决苏联共产党第二十次代表大会給海运和漁业船队規定的巨大任务。

第 一 篇

第一章　用远程无綫电助航系統测定船位时位置綫法的应用

近来，航海界在利用方位、测距（距离的）及双曲綫远程无綫电助航系統测定船位时，一般多采用位置綫的方法。

对于无綫电助航仪器测定結果的处理，位置綫法比起直接的分析法，具有許多重要的优点：

1.当利用各种无綫电助航系統时，可使有关测定船位的問題，大都相同，而且也节省时間；

2.当利用各种无綫电助航系統，以及天文和无綫电助航的联合观测方法（根据天体高度及无綫电方位的测定等等）时，可以使测定船位的过程大大地簡化。

3.当远离无綫电台航行时，可利用以等値綫轉移到第二次观测时刻为基础的方位移綫和距离移綫，以及其他测定船位的方法；

4.假若已知测量（观测）的誤差，則无需繁复的計算，就可能估計出任何无綫电助航测定或联合测定的准确度。同时，可以使在解与测定性質无关的类似問題，具有一致性。

由于上述种种优点，所以在近代航海中，位置綫法被广泛地应用在远程无綫电助航系統中。現在我們就开始研究位置綫法，并举一些应用的实例，加以說明。

§ 1　等値綫及位置綫

我們曾在許多知識領域中，碰到过等値綫的問題，例如，等深綫——具有同一深度的綫，等磁差綫——具有相同磁差的綫，等等。

在航海問題中，所用的等值綫，我們將称之为保持函数为常数值的点的几何軌跡，这些値系由观测——方位，角度，距离或距离差而量得者❶。

为了求取船位而进行的一切观测（测取方位，测量船至物标的距离，或两物标間的夹角，等等），都将給我們得出某一个既定的等值綫，为了滿足从观测中所得出的数据，所以船位应該要位于这个等值綫上。若某一个观测物标，或好几个物标的坐标都已知时，就可将等值綫畫在海图上。

在航海定位中，我們是从两条或几条等值綫的相交中来求得船位，这些等値綫皆系滿足由观测所得的两个或几个值（函数）为常数的点的几何軌跡。

我們現在研究等值綫的性質，这些等值綫系以方位、測距和双曲綫无綫电助航系統定位而得的。

利用諸定向無綫电航标，或無綫电测向站定位所得之等值綫

設无綫电航标或无綫电测向站位于某点M，取船的无綫电方位，等于α。如所周知，无綫电地面电波，系沿最短距离傳播者。而地面（«地球扁率»略而不計）两点的最短距离，正是連接該两点的大圓弧。

显然，我們所研究的大圓弧MK，过M点，且与該点之子午綫相交成α角，而若船对定向无綫电航标（无綫电测向站）的方位等于α（图1，a），則該大圓弧，卽为船位所在点的几何軌跡。

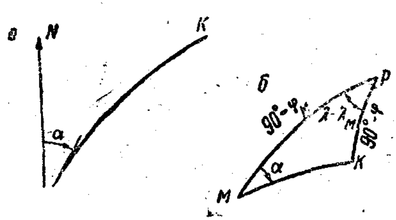

图 1

❶ 在高等数学（无向量場論）中，这类曲綫，称作等位綫。等位綫系滿足函数$u=f(x,y)=\text{const}$或$u=f_1(\rho,\theta)=\text{const}$的点的几何軌跡。

因此，船对定向无綫电航标，或无綫电测向站的方位，一經确定后，我們就得到等値綫，該曲綫系过无綫电航标（无綫电测向站），及与无綫电航标子午綫之交角等于观測方位的大圓弧。

以 φ_M 及 λ_M 表示定向无綫电航标的坐标，φ 及 λ 为位于大圓弧 MK 上任意点的坐标。于是，由图 1，б 等値綫方程 $u=\alpha=\text{const}$ 可写为：

$$\operatorname{tg}\varphi=\operatorname{tg}\varphi_M[\sin(\lambda-\lambda_M)\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{cosec}\varphi_M+\cos(\lambda-\lambda_M)],$$

或

$$\operatorname{tg}\varphi=\operatorname{tg}\varphi_M\operatorname{cosec}C\sin[(C-\lambda_M)+\lambda], \qquad (1)$$

其中 C 取决于表達式：

$$\operatorname{ctg}C=\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{cosec}\varphi_M$$

船对定向无綫电航标（无綫电测向站）的方位 α，和无綫电航标的坐标 φ_M 及 λ_M，均系参常量，而緯度 φ 和經度 λ，系与船位有关的流动坐标。若給 φ 或 λ 以确定值，则由公式（1），可相应地計算出 λ 或 φ，而且，根据所得数据，可将等値綫 $u=\alpha=\text{const}$（大圓弧）；繪于任意投影的海图中。

如大家所知，在墨卡托投影平面上，大圓弧为凸向地极的曲綫。同时，由于墨卡托投影的等角性，在球上的角 α，将等于在投影平面上的角 α'。

在中心投影的图中，大圓弧是以直綫来表示的。不过，由于在中心投影中 $\alpha\neq\alpha'$，所以角 α 与角 α' 之間的关系，由下式决定：

$$\operatorname{tg}(\beta-\alpha')=\operatorname{tg}(\omega-\alpha)\cos ZM,$$

其中

$$\operatorname{tg}\beta=\operatorname{tg}\omega\cos ZM \qquad (1a)$$

对已知的定向无綫电航标（无綫电测向站）角 ω 是固定不变的，同时，弧长 ZM 可根据已知的无綫电航标和切点 Z 的緯度，以及这两点之間（图 2）的經差所构成的球面三角形 PMZ 中求出。

对标准（极）中心投影，将有

$$\operatorname{tg}\alpha'=\operatorname{tg}\alpha\cos ZM,$$

如果考虑到地球的椭圓性，则应视地面无綫电波是沿着大地綫（椭球表面两点間的最短距离）傳播的。但因两者在长度上的不同，以及大

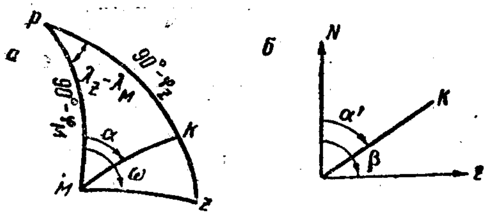

图 2

地綫与垂直截面間的差别較之无綫电测定誤差，要小得多，所以，这些曲綫中的任何一条，均可取作地面无綫电波的軌道。关于在墨卡托和中心投影中，計算地球扁率，而在海图上建立等值綫 $u=\alpha=$const 的問題，我們将在本書的第二篇与第三篇中去研究。

用船用無綫电測向仪定位所得之等值綫

取任意无綫电航标（无綫电站）的无綫电方位 a，我們便得等值綫 $u=a=$con st，它是保持已知无綫电航标（无綫电站）对船的方位为确定的常数值的点的几何軌跡。

显然，大圓弧不适合該条件（图3，a）。在我們所研究的情况中，所得之等值綫，乃系球面曲綫，它具有这种性質，即在該曲綫上每一点，对已知无綫电站的方位值，系一常量。

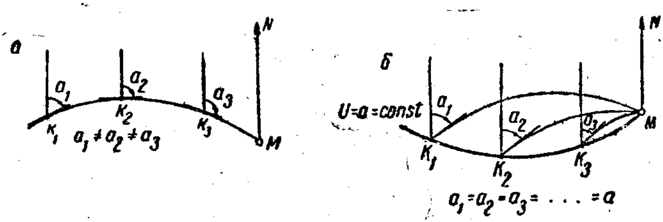

图 3

該球面曲綫是保持已知无綫电航标（无綫电站）对船的方位为常数值的点的几何軌跡，在航海学中，我們称之为恆位綫。

假若自恆位綫某点，与所測无綫电航标，連以大圓弧（我們取作地

面无綫电波軌道），則此大圓弧与經过該点的子午綫之交角，就等于无綫电航标的眞方位a（图3，б）。

恆位綫亦可認为永为常値的球面角的頂点的几何軌跡。該球面角系由子午綫与船和无綫电站所連之大圓弧相交而成。

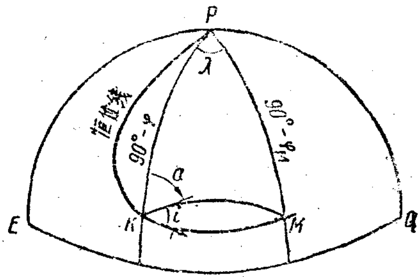

图 4

若于点M設有环形輻射的无綫电航标，而点K系船所在位置。无綫电航标M对船的眞方位等于a。我們繪恆位綫（曲綫PKM），并自船与无綫电航标間，連以大圓弧。

于是，由图4（球面三角形PKM），恆位綫方程可写作：

$$\operatorname{ctg} a \sin\lambda = \operatorname{tg}\varphi_M \cos\varphi - \sin\varphi\cos\lambda \qquad (2)$$

此处，和方程（1）一样，无綫电航标的眞方位a，及无綫电航标的緯度φ_M，作为常量，且均系参数，而船的緯度φ和經度λ（由无綫电航标的子午綫算起），是决定于船位的流动坐标。而方程（2）可用以将恆位綫逐点繪于任意投影地图中。

为了得出在墨卡托海图中所表示出的恆位綫方程，可用方程（2），加以代换

$$x = \ln \operatorname{tg}\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$y = \lambda$$

导入双曲綫函数，我們得出在墨卡托海图上表示出的恆位綫方程：

$$\operatorname{tg}\varphi_M = \sin y \operatorname{ctg} a \operatorname{ch} x + \cos y \operatorname{sh} x$$

图5所示，就是由該方程所定出的曲綫，在該图中所繪的，系对应于$\varphi_M = 20°N$的无綫电航标，每隔10°的恆位綫。这些方位系从无綫电航标，由0°至180°向E和向W計算的。这些恆位綫，組成了两族曲綫，而这些曲綫通过无綫电航标及与該航标相对的緯度$\varphi = 20°S$的点。这些曲綫族以适合条件$\alpha = 90° - \varphi_M = 70°$的恆位綫为界綫。恆位綫

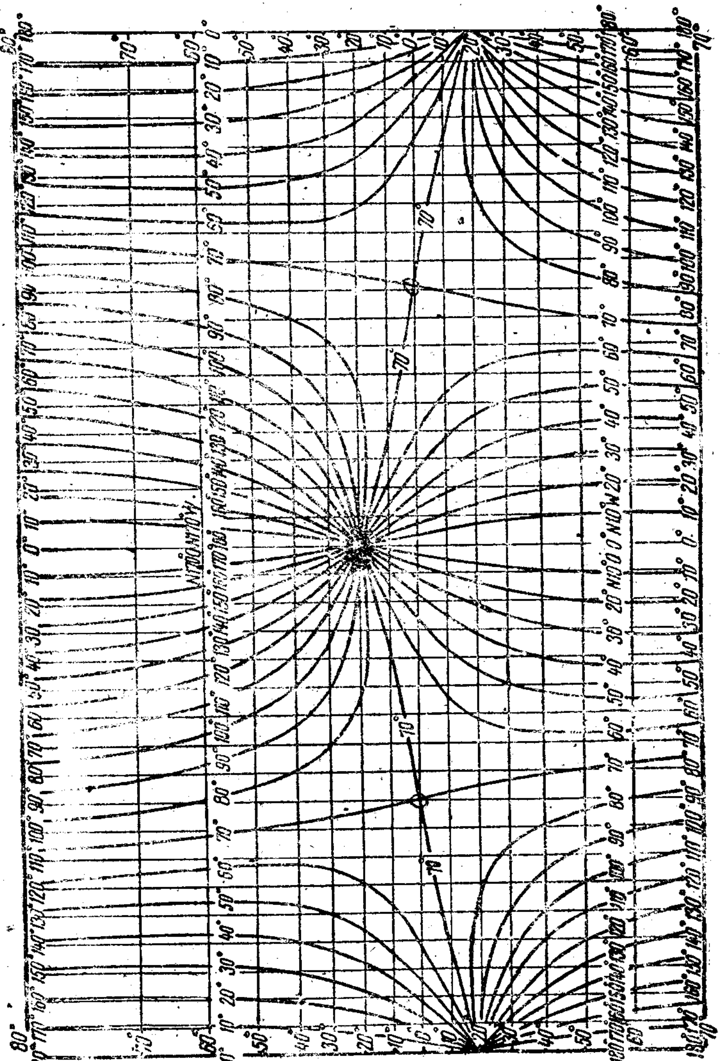

图 5

$$a=90^\circ-\varphi_M=\text{const} \text{ 和 } a=270^\circ+\varphi_M=\text{const}$$

所組成的两枝曲綫的每一枝，系相交于两点，这两点均位于赤道上，各与无綫电航标相距 90° 的經度。在該两点附近，从船上以无綫电方位測定船位是不可能的，因为，观测方位中的誤差，会引起等值綫位置的很大变化。不过，既然上述两点距无綫电航标的距离超过5000浬，所以，实际上，这种情况是沒有意义的。

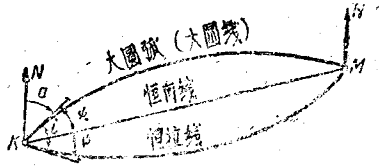

图 6

在任一点上（图 6），介于恆位綫与大圓弧之間的夾角 i，可由如下的公式求得

$$i=\operatorname{tg}\lambda\sin\varphi \qquad (3)$$

用无綫电测向仅在距离不大的范圍內測定船位时，可用下面的公式来代替公式(3)，这在实用上已够准确了：

$$i=\lambda\sin\varphi$$

或

$$\frac{1}{2}i=\frac{1}{2}\lambda\sin\varphi=\psi, \qquad (4)$$

其中 ψ——大圓修正量。

公式(4)表明，在有限距离內，恆位綫与大圓弧的位置，是以恆向綫为对称的，这就可以很方便地根据从船上所測得的无綫电航标(图 6)的方位来畫出恆位綫的方向。

用測距无綫电助航系統定位所得之等值綫

若測定出至坐标已知的某任意点 R 的距离后，我們可認为船是位于球面圓周（《地球扁率》略而不計）上的某一点，該圓系以已知点 R 为圓心，而其球面半徑等于所測距离。

因此，从所測某点 R 之距离 D，可以繪出等值綫，該等值綫乃系地球表面上的球面圓周（图 7）。此等值綫方程，可写成如下的形式：

$$\cos D=\sin\varphi_R\sin\varphi+\cos\varphi_R\cos\varphi\cos\lambda$$

若将球面圓周繪于墨卡托海图上，便得出环形曲綫。根据最近地极是位于該圓周之外，之內，抑或就在該圓周上而有着三种不同形式的环形曲綫。实际上，在利用测距无綫电助航系統定位时，我們仅仅涉及第一种形式的环形曲綫而已（最近地极位于圓周之外）。扁率不大的环形曲綫，与椭圓很相近。

大家曉得，在墨卡托投影中，比例尺从赤道向两极方向，急剧增大。由于这个原因，在海图上，环形曲綫中心C将不与无綫电台R（球面圓周的中心）相重合，而是向着地极方向移动了某一距离（图8）。

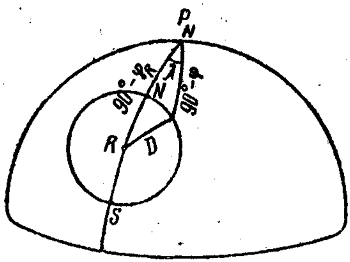

图 7

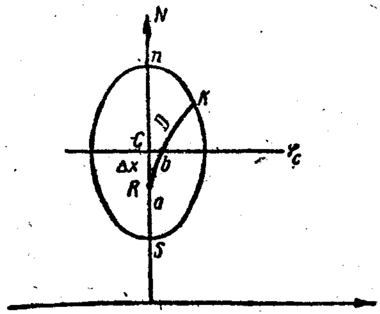

图 8

当距离很小时，环形曲綫可以物标为中心，以所得該物标的距离为半徑，所作的圓来表示。这样，我們就可在墨卡托海图中，根据光学测距仪或物标高度所测算之距离，来定船位了。

不过，当用无綫电助航系統，测出較大的距离时，这种簡化当然是不行的。下面我們援引了 A.П. 尤欽柯教授所計算出来的允許将环形曲綫繪为圓和椭圓的距离D表，該表与环形曲綫中心緯度φc有关。当計算該表时，允許最大差異为1鏈。

最后，我們将引証环形曲綫方程的結論，該結論是由 A.П. 尤欽柯教授給出的。

設于地球上，畫一球面半徑为D（以浬为单位）的圓，該圓的圓心与无綫电台R的位置相重合，而半徑D为测得該点R的距离。于是，由

表 1

φ_c 以度为单位	D以浬为单位。在此表所列范围内，环形曲綫可繪为圓周。	D以浬为单位。在此表所列范围内，环形曲綫可繪为椭圓。
0	190	1344
10	187	1328
20	178	1270
30	164	1179
40	145	1052
50	122	891
60	95	699
70	65	482
80	33	246

图 7，可写为：

$$\cos D=\sin\varphi_R\sin\varphi+\cos\varphi_R\cos\varphi\cos\lambda$$

或

$$\sec\varphi\cos D\sec\varphi_R=\operatorname{tg}\varphi_R\operatorname{tg}\varphi+\cos\lambda$$

和

$$\sec\varphi_R\sec\varphi\left(1-\sin^2\frac{D}{2}\right)-\operatorname{tg}\varphi_R\operatorname{tg}\varphi=\cos\lambda$$

引入墨卡托坐标❶

$$\chi=\ln\operatorname{tg}\left(45^\circ+\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$y=\lambda$$

并用双曲綫函数代换 $\sec\varphi$ 及 $\operatorname{tg}\varphi$

$$\sec\varphi=\operatorname{ch}\chi$$

$$\operatorname{tg}\varphi=\operatorname{sh}\chi$$

我們便得环形曲綫方程

$$\operatorname{ch}\chi_R\operatorname{ch}\chi-\operatorname{sh}\chi_R\operatorname{sh}\chi=\cos y+\operatorname{ch}\chi_R\operatorname{ch}\chi\,2\sin^2\frac{D}{2}$$

❶ 取赤道分的$\frac{1}{\operatorname{arc}1'}$为单位，而角度以弧度为单位。