

无线电定位系统

地文航海教研室编

上海海运学院航海系

一九八五年二月

目 录

第一章 概 论.....	(1)
第二章 无线测向定位.....	(3)
第一节 无线电测向原理.....	(3)
第二节 无线电测向仪的工作原理.....	(6)
第三节 无线电自差及其测定.....	(10)
第四节 无线电测向定位.....	(13)
第五节 无线电测向仪的操作使用.....	(20)
第三章 罗兰A定位.....	(24)
第一节 罗兰A定位原理.....	(24)
第二节 罗兰A接收机及其操作.....	(30)
第三节 天波的辨认和改正.....	(37)
第四节 罗兰A定位.....	(42)
第四章 罗兰C定位.....	(50)
第一节 罗兰C定位原理.....	(50)
第二节 天波改正.....	(59)
第三节 罗兰C接收机及其操作.....	(66)
第四节 罗兰C定位.....	(76)
第五章 台卡定位.....	(81)
第一节 台卡定位原理.....	(81)
第二节 台卡接收机及其操作.....	(90)
第三节 台卡定位.....	(94)
第六章 奥米加定位.....	(102)
第一节 奥米加定位原理.....	(102)
第二节 传播改正.....	(109)
第三节 奥米加接收机及其操作.....	(117)
第四节 奥米加定位.....	(122)

第一章 概 论

船舶在海上航行中,如有陆上物标、岛屿或位置可信赖的浮标在测者的视距范围内,则可通过对物标的方位、距离或水平角的观测确定船舶的位置。在天气晴朗、水天线清晰的条件下,则可通过对太阳、恒星等天体的高度的观测进行天文定位。显然,船上的测者的视距总是有限的,陆上物标的观测还受到能见度的影响;天文定位受到天气条件的影响则更大。为了能在更远的距离上和能见度不良的情况下对物标进行测定,以便确定船舶在海上的位置,于是有许多无线电定位系统的发明和应用。

所谓无线电导航,就是利用无线电的方法来确定船舶的位置并引导船舶在计划航线上安全地航行。

一、无线电定位的基本原理

由无线电波传播的基本理论知:

1. 在理想的同一均匀媒质中,无线电波是直线传播的。
2. 在理想的均匀媒质中,无线电波传播速度是常数。
3. 无线电波在任何两种媒质的边界面上必然反射。

根据上述的无线电波的两个基本传播特性,可以发现与搜索目标,测定辐射电波的物标的方向,测定船舶到目标的距离,以便测定船舶在海上的位置。

二、无线电导航系统的分类

自第二次世界大战以来,船舶无线电定位系统获得很大的发展。目前,无线电定位系统的种类繁多,为了便于研究比较,根据不同的特点可分为不同的种类。

1. 按位置线的形式可分为:测向系统(或称测角系统)、测距系统(或称圆系统)、测距差系统(或称双曲线系统)、测距和系统(或称椭圆系统)及混合系统(如测向/测距系统,圆/双曲线系统;椭圆/双曲线系统)。

2. 按作用距离可分为:近程(50~100海里)、中程(300~600海里)、远程(约1500海里)及超远程(5000海里以上)导航系统。

3. 按测量的电气参量可分为:振幅系统、频率系统、相位系统、脉冲系统及混合(如脉冲/相位)系统。

船舶无线电导航发展至今日,已经产生了许多导航系统与导航设备,人们对船舶无线电导航系统提出的基本技术要求是:性能可靠、抗干扰性强、作用距离远、定位精度高。由于各种导航系统及其导航设备各自具有独特的优点,但却都存在着许多不足之处及使用上的局限性,因此;往往在同一艘船舶上,装备着各种类型的导航设备。鉴于这些设备都不是完善的,各有其长处和短处,于是就产生了一个综合利用这些现有的设备,取长补短、相互补充的想法,以便提高导航的可靠性及其准确度。随着数字电子计算机的发展,大大地促进了这一设想的实现。现在把各种导航设备(所谓多种传感器)有机地组合起来,通过中央计算机进行实时控制和处理各种传感器的输入信息,这就形成了组合导航的概念。目前,无线电导航

系统远远没有满足人们对于船舶导航的要求，如全球覆盖、全天候、高精度和快速连续显示等，这就有待于完善现有的导航体制，进一步发展新的导航体制。可以说，为船舶研制多功能的、适应性能强的、高可靠性的、高精度的组合导航系统，无疑是船舶无线电导航技术发展的主要方向。

第二章 无线电测向定位

无线电测向仪(Radio Direction Finder简称D.F.)是二十世纪初期发展起来的仪器,它是测定岸上无线电台的方位以求得一条无线电方位位置线,如果同时测得两个或两个以上的无线电台的方位,于是求得两条或两条以上的无线电方位位置线,根据它们的交点可以确定观测时刻的船舶位置。在海上,无线电测向仪也可用来接收遇难船舶的SOS的呼救信号,确定遇难船舶的方位。因此,“国际海上人命安全公约”强制规定在1600吨以上的船舶必须装备无线电测向仪。此外,还可以利用陆上一个发射台的电波确定相对于该台的方向的航向。

专供无线电测向用的发射台称为无线电指向标,或称示标台(Radio Beacon)。无线电指向标一般都设置在沿海或岛屿上,它们二十四小时连续向附近海域发射无线电波,在航海图上标有它们的位置,并且在该海区的航标表上查得指向标的地理位置坐标。为了提供多条位置线,由一定数目的指向标组成若干组。每个组由一至六个指向标组成,指向标以相同的频率发射调幅或等幅电报波,周期大约为六分钟。为区分组中的指向标,每个指向标发射它们各自的特征信号。例如:在大连港附近由老铁山、圆岛、大三岛三个指向标组成一组。从00分开始各台轮流发送两分钟的特征信号,周期为六分钟,每小时播发六次,其发射频率为308千赫,它们的特征信号分别为LT、YO、DL的调幅或等幅电报波。指向标尽可能设置得使某一范围内能接收到两个以上的台信号。由于测向仪的作用距离在100海里左右,所以,同一组的指向标间的位置不能太远。

根据不同的需要设有不同用途的无线电指向标。例如:航海用无线电指向标,航空用无线电指向标、雾中导航用无线电指向标、校正船上测向仪用无线电指向标等。关于这些台的设置在航海图及航标表中有标注。

根据发射的方向特性,船用无线电指向标有 种类型:

1. 环射无线电指向标。这种指向标用无方向性天线发射信号。
2. 定向无线电指向标。这种指向标用方向性天线发射信号,船上用一般的或专用的接收机接收信号,进行测向。这种指向标主要用于引航过狭水道或作为远程航行定位用。

船用无线电指向标一般多为环射无线电指向标。

第一节 无线电测向原理

一、天线的方向性

1. 垂直天线的方向性

无线电广播电台为了让四面八方都能收听到广播,一般都采用直立的铁塔形状的天线。这种天线是无方向性的天线。环射无线电指向标用的是无方向性的天线发射无线电信号的。当无线电指向标的天线发射无线电信号时,则在天线周围形成交变的电磁场,它以天线为中心向空间传播开去。假设某地电磁场强度的有效值为 E ,则该地的电场强度的瞬时值 e 为:

$$\varepsilon = \sqrt{2} E \sin \omega t \quad (2-1)$$

式中: ω ——角频率

t ——时间

一根有效高度为 h_v 的垂直天线, 感应电动势的瞬时值 u_v 为:

$$u_v = \sqrt{2} h_v E \sin \omega t \quad (2-2)$$

若用 V_v 表示感应电动势的有效值, 则得

$$V_v = h_v E \quad (2-3)$$

式(2-3)表明一根垂直天线的感应电动势与电磁场强度和天线的有效高度成正比, 与电波来的方向无关。换句话说, 一根垂直天线的接收灵敏度, 只要使垂直天线与指向标保持相等的距离, 在任何方向上都是一样的。这种方向性在极坐标上表示为圆形, 称为圆形图, 如图2-1所示。这种天线称为无方向性的天线, 或称为全向天线。

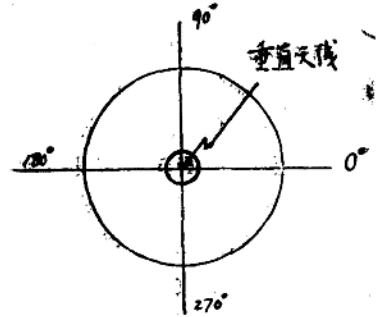


图2-1

2. 环状天线的方向性

如果环状天线面与电波来的方向成 θ 角, 则环状天线感应电动势的瞬时值 u_l 由下式表示。

$$u_l = \sqrt{2} h_l E \sin(\omega t + \pi/2) \cos \theta \quad (2-4)$$

式中: h_l ——环状天线的有效高度。

若用 V_l 表示环状天线感应电动势的有效值, 并设 $V_{l0} = h_l E$, 则有:

$$V_l = V_{l0} \cos \theta \quad (2-5)$$

式(2-5)表明环状天线的感应电动势不仅与电场强度及环状天线的有效高度成正比, 而且与环状天线面和电波交角 θ 的余弦成正比。

当环状天线平面与电波来向一致即平行时 ($\theta = 0^\circ, 180^\circ$), 此时 $\cos \theta = \pm 1$, 感应电动势最大, 即 $|V_l| = V_{l0}$ 。

当环状天线平面与电波来向垂直时 ($\theta = 90^\circ, 270^\circ$), 此时 $\cos \theta = 0$, 感应电动势最小。

当环状天线平面与电波来向处于不同交角时, 则随着交角的不同而产生强弱不同的感应电动势。电波来向和环状天线感应电动势的关系在极坐标上表示为“8”字形图, 如图2-2所示。这种天线称为方向性天线。

为了用环状天线求得电波的来向, 将环状天线旋转一周 360° , 可求出两个信号最强点 ($\theta = 0^\circ, 180^\circ$), 和两个信号最弱点 ($\theta = 90^\circ, 270^\circ$)。实践证明, 根据信号最弱点(即“哑点”)来求得指向标的方向比较准确。但是, 在环状天线旋转一周中将出现两个“哑点”, 即存在双值性问题, 它们的方向差 180° , 所以不能确定电波来自哪个方向。

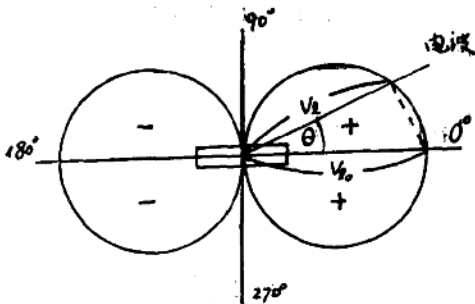


图2-2

这里必须指出的是：上面讨论的“8”字形方向特性图只是一种理想情况，实际上由于环状天线装在船上，而船体是金属的，同时船上又有各种天线和吊杆等，这些物体都对环状天线的感应电动势产生影响，从而使“8”字形方向特性图发生变形。为了克服这一影响，所以在测向仪上都装有“补偿”旋钮，可克服船体金属和其它天线所引起的影响，使“8”字形方向特性接近于理想的情况。

2. 复合天线的方向性

垂直天线与环状天线的组合称为复合天线。由式(2—2)、(2—4)知，垂直天线的感应电动势和环状天线的感应电动势之间有 90° 相位差，并且幅度也不等。如果这两个电动势输入到叠加回路时，将垂直天线的感应电动势的相位错开 90° ，同时调整其幅度，使得垂直天线的电动势和环状天线的最大电动势相等，即

$$V_V = V_{10} = V_0$$

则垂直天线和环状天线的合成电动势 V_R 由下式表示

$$V_R = V_0(1 + \cos\theta) \quad (2-6)$$

式(2—6)表示复合天线的方向性。图2—3是以极坐标表示的复合天线的方向图，这种方向特性称为心形图或心脏线图。

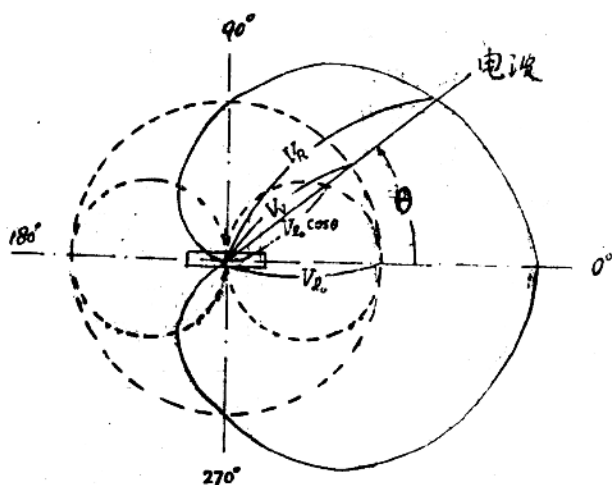


图2—3

这时，当环状天线在 360° 范围旋转时，将只出现一个哑点(即 $\theta=180^\circ$ 时)，这样就有可能确定指向标的方向。

二、测定方向的原理

由于环状天线具有方向性，当环状天线旋转一周(360°)时，在 $\theta=0^\circ, 360^\circ$ 时，信号最强；在 $\theta=90^\circ, 270^\circ$ 时，信号最弱。在实践中，根据信号最弱点(“哑点”)来测定指向标的方向。在测向时，转动环状天线，当转到信号最小时，环状天线面的垂直方向即是指向标的方向，但还不知道指向标在环状天线面的哪一边。如果再把环状天线旋转 90° ，使天线面与电波的来方向一致，垂直天线感应电动势的相位增加了 90° ，于是两信号叠加，得到心形方向特性，就能够决定指向标的方位。这样，利用心形方向特性决定方位的方法称为定边或定

向。定边原理如图 2—4 所示。

第二节 无线电测向仪的工作原理

目前，无线电测向仪的种类很多。按天线结构区分，有单环旋转式环状天线测向仪和固定式环状天线测向仪两种。单环旋转式环状天线测向仪在测向时，需要转动环状天线来寻找指向标的方位，这是最古老的测向仪，现在已经淘汰。固定式环状天线测向仪有几个互相垂直的环状天线，所以也叫双环测向仪。两个环状天线固定装在船舶驾驶台的顶甲板上，不需旋转，这是目前船上使用最多的测向仪。按测向方式来区分，有耳听式和目测式测向仪两类，耳听式测向仪由于“哑点”不尖锐而造成测向误差，而目测式测向仪可以避免这种人为误差。目测式测向仪又可分为两种：一种叫单通道式，另一种为双通道式。所谓单通道式测向仪是指接收机中只有一个接收通道；而双通道式测向仪的接收机中有两路独立的接收通道，这样可以提高测向准确度。

目前在民用船舶上使用最为广泛的测向仪是一种固定式环状天线、目测式全自动测向仪。

下面着重介绍单通道的目测式自动测向仪。

一、构造

无线电测向仪由天线、测角器、接收指示器和电源等组成。

1. 天线

天线部分由两个互相垂直的、固定的环状天线和一个垂直天线所组成。环状天线的环面与船首尾面平行(最好装在龙骨线上)，另一个环面与船首尾面垂直。这两个天线环分别称为首一尾环和左一右环。

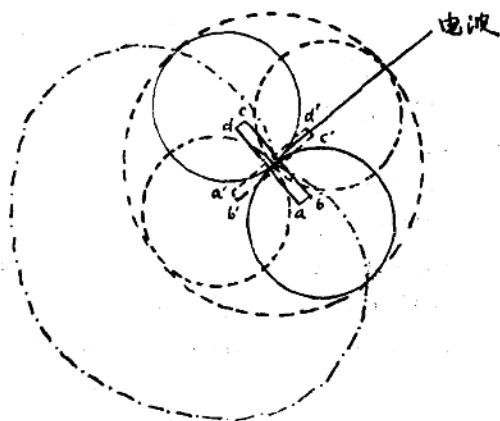


图 2-4

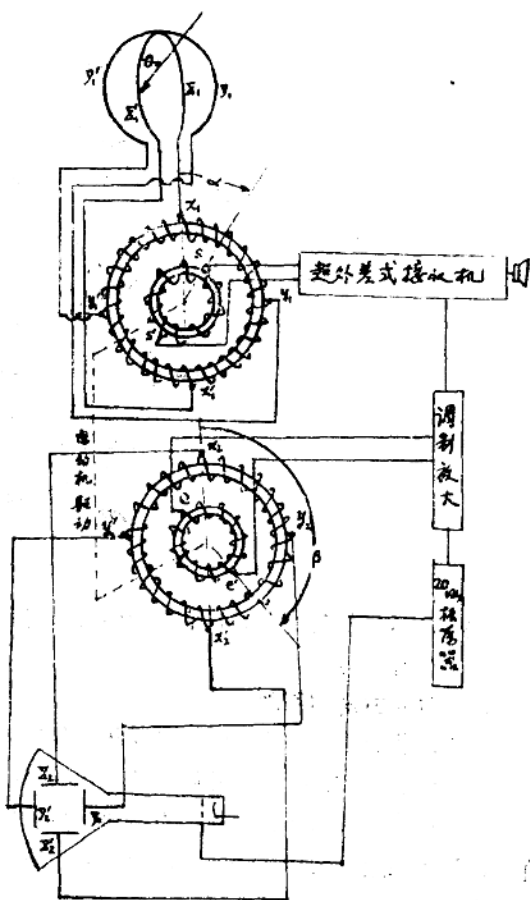


图 2-5

2. 测角器

测角器共分两部分：和环状天线相连接的部分叫“无线电测角器”，和阴极射线管连接的部分叫“扫描测角器”。

如图 2—5 所示，无线电测角器由内外两个线圈组成，它们都是用漆色线在铁氧体的铁芯上绕制而成。外环是励磁线圈(初级线圈)，也称场线圈。它有四个抽头，与环状天线的四个端点相接。内环是寻向线圈(次级线圈)，有两个抽头，通向接收机。

扫描测角器的构造与无线电测角器相似，但它的初级线圈和次级线圈与无线电测角器相反。即外环是固定线圈(次级线圈)，它有四个抽头，分别接到阴极射线管(示波管)的垂直与水平偏转板上；内环是激励线圈(初级线圈)，它的两个抽头与接收机的输出端相接。

电动机是为了驱动无线电测角器的寻向线圈和扫描测角器的激励线圈用。

3. 接收指示器

接收指示器是将接收电波放大、检波并使之在阴极射线管上显示，以测定电波的来向，同时也能够作为收音机无线电广播、通信等的音响装置。

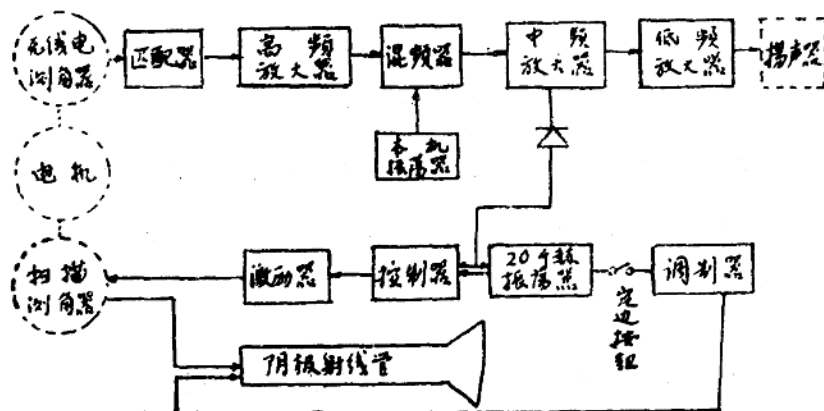


图 2—6

接收指示器的系统框图如图 2—6 所示。音响接收系统采用超外差方式将接收信号进行放大，其输出加到扬声器上。

方位接收系统在不接收电波时，20千赫振荡器的输出通过控制器和激励器使之放大，加到扫描测角器的激励线圈，由扫描测角器的固定线圈输出加到阴极射线管的偏转板上，在阴极射线管的荧光屏上显示圆形图像。

当方位接收系统接收电波时，中频放大器的输出经负向检波，加到控制器，调制20千赫电压，其输出由激励器放大，送到扫描测角器的激励线圈，由扫描测角器的固定线圈输出到阴极射线管的偏转板上，在阴极射线管的荧光屏上显示出螺旋桨状的图像。在定边时，环状天线与垂直天线的接收信号迭加，形成心脏形方向特性，同时20千赫的一部分输出加到调制器，在20千赫电压变负的瞬间，负电压加到阴极射线管栅板，负方向的图像消失，且图形偏转 90° ，而完成定边。

5. 扬声器

扬声器是收听无线电广播、指向标信号、通讯等用的装置。

二、工作原理

1. 无线电测角器

无线电测角器是不用旋转环状天线来测定电波来向的装置。

当电波到来时,如图2—5所示,电波来向与首一尾环形成 θ 角,则环状天线 X_1X_1' 和 Y_1Y_1' 上分别产生感应电压 $V_{10}\cos\theta$ 和 $V_{10}\sin\theta$,如图2—7所示。並有电流流过励磁线圈,因此励磁线圈 x_1x_1' 和 y_1y_1' 中分别产生与感应电压成比例的磁通 B_x 和 B_y ,即

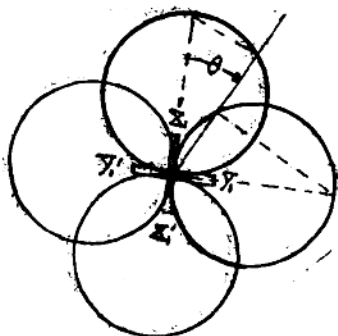


图2-7

$$\begin{cases} B_x = KV_{10}\cos\theta \\ B_y = KV_{10}\sin\theta \end{cases} \quad (2-7)$$

当寻向线圈的引出端 SS' 相对于励磁线圈 x_1x_1' 旋转 α 角时,对应于这个方向上的磁通分量 B_{xa} 和 B_{ya} 由下式决定

$$\begin{cases} B_{xa} = KV_{10}\cos\theta\cos\alpha \\ B_{ya} = KV_{10}\sin\theta\sin\alpha \end{cases} \quad (2-8)$$

由于寻向线圈的感应电压 V_{se} 与合成磁通 $(B_{xa} + B_{ya})$ 成正比,因此,寻向线圈的感应电压

$$\begin{aligned} V_{se} &= K'(B_{xa} + B_{ya}) = K'(KV_{10}\cos\theta\cos\alpha + KV_{10}\sin\theta\sin\alpha) \\ &= kV_{10}\cos(\theta - \alpha) \end{aligned} \quad (2-9)$$

式中: $k = K'K$

由式(2-9)知,寻向线圈的感应电压呈余弦规律变化。即当 $\theta = \alpha$ 时,寻向线圈的感应电压为最大;当 $\theta - \alpha = \pi/2$ 时,寻向线圈的感应电压为最小。也就是说,如果电波到来方向与首一尾环 X_1X_1' 成 θ 角,则当寻向线圈 SS' 与励磁线圈 x_1x_1' 成 θ 角时,寻向线圈的输出电压最大;当寻向线圈 SS' 与励磁线圈 x_1x_1' 成直角时,寻向线圈的输出电压为最小。这种情况正好与环状天线旋转一周的效果完全一样。

无线电测角器的寻向线圈由电动机驱动,每秒钟旋转15周,寻向线圈连续向接收机供给每秒30次最小和最大输出信号。

2. 扫描测角器

扫描测角器是使阴极射线管显示圆形图像(当不接收电波时)用的装置。扫描测角器的激励线圈加上20千赫的扫描载波电压,而从两个固定线圈取出各自的感应电压,分别加到阴极射线管的垂直偏转板和水平偏转板上,从而使阴极射线管上显示的扫描线正确具有与激励线圈 ee' 的转角一致的角度。

假设激励线圈 ee' 间的电压为 V_e ,则当激励线圈 ee' 相对于固定线圈 x_2x_2' 旋转 β 角时, x_2x_2' 间将产生 $KV_e\cos\beta$ 的感应电压, y_2y_2' 间产生 $KV_e\sin\beta$ 的感应电压。上述两个电压分别加到阴极射线管的垂直偏转板和水平偏转板上,则电子束被拉到两电压的合成方向上。如果垂直偏转板的 X_2 方向和合成电压的交角为 β' ,则

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{KV \sin \beta}{KV \cos \beta} = \operatorname{tg} \beta$$

所以, $\beta = \beta'$, 即所显示的扫描线的方向与激励线圈 ee' 的相对位置一致。当加在两偏转板上的合成电压 V_s 为一定值

$$V_R = \sqrt{(KV \cos \beta)^2 + (KV \sin \beta)^2} = KV.$$

时, 扫描线的长度也为一定。由于激励线圈 ee' 以每秒15转的速度旋转, 所以扫描线也以每秒15转的速度在阴极射线管的荧光屏上旋转, 于是得到圆形的图像。

3. 测定方位的原理

测定方位时, 首先使阴极射线管显示出螺旋桨状的图形以表示电波的来向。实际上, 当电波从某个方向到来时, 由于无线电测角器的寻向线圈每秒钟旋转15周, 所以它的输出形成每秒具有30次最小感应点(“哑点”)和最大感应点的波形, 如图2—8(a)所示。这个经过高频放大、变频、中频放大、负向检波后得到如图2—8(b)的波形。这个信号输入到控制器, 调制20千赫的载波, 得到如图2—8(c)的波形。(c)的波形再由激励器放大, 送到扫描测角器的激励线圈。当无线电测角器的输出为零时(相当于旋转式环状天线面与电波来向正交), 激励线圈的输入的20千赫激励波的最大振幅加到阴极射线管的偏转板, 使电子束偏转最大。此时, 阴极射线管显示的扫描线最长。其次, 当无线电测角器的输出最大时(相当于旋转式环状天线面与电波的来向一致), 激励电压为零, 加到阴极射线管的偏转板的电压也为零。因此, 此时不显示扫描线。当无线电测角器的输出在零和最大值之间的任意点时, 相应于该点的控制器的输出电压经放大后加到阴极射线管的偏转板上, 阴极射线管上显示的扫描线长度与控制器的输出电压成正比。

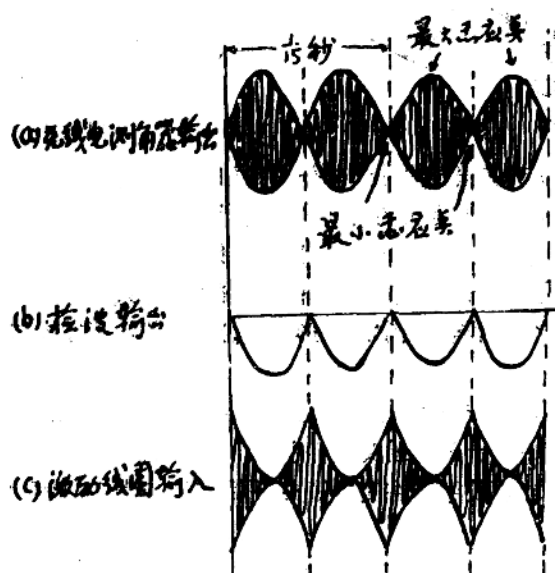


图 2—8

这里需要讨论一下无线电测角器的寻向线圈和扫描测角器的激励线圈的关系。在图2—5中, 若电波从右舷 30° 的方向到来, 显然, 当寻向线圈相对于励磁线圈的 x_1x_1' 方向成 30° 角

时，无线电测角器的输出为最大。对于扫描测角器的激励线圈 ee' 相对于固定线圈 x_2x_2' 方向成 30° 角时，阴极射线管显示出的扫描方向必然与偏转板 X_2 (船首方向) 成 30° 角。但是，由图 2—8 可知，这时并没有向激励线圈加电压，阴极射线管不出现扫描线。因此，为了在电波的来向显示最长的扫描线，必须使激励线圈与寻向线圈相差 90° ，即激励线圈在 x_2x_2' 的左 60° 的地方电压为零，在 x_2x_2' 右 30° 的地方电压最大，阴极射线管显示出最长的辉线，从而在电波的来向上能够出现“8”字形图形(亦叫螺旋桨状图形或叫叶片状图形)。图 2—9 示出这时的螺旋桨状图形。

定边是通过环状天线的“8”字形方向特性和垂直天线的圆形方向特性相加，形成心脏形的方向特性来完成。这样，当无线电测角器的寻向线圈旋转一周后将只出现一个最大值和一个最小值，由于扫描测角器的激励线圈与无线电测角器的寻向线圈在几何位置上相差 90° ，因此，最终得到如图 2—10 所示的心脏形方向性图。

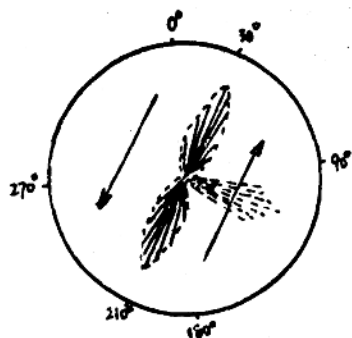


图2—9

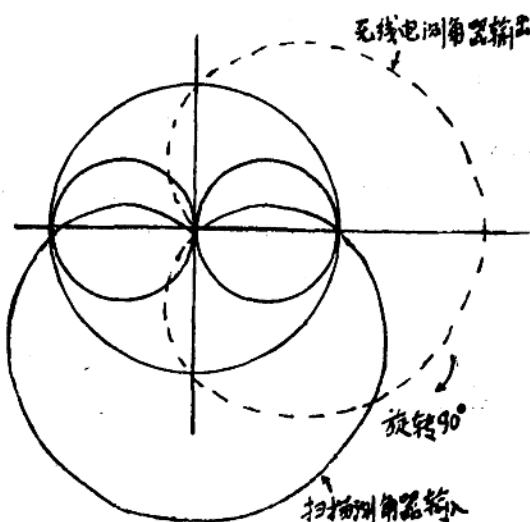


图 2—10

定边的时候，把 20 千赫振荡器的一部分输出加到调制器上，在加于阴极射线管偏转板上的被调制的 20 千赫的激励波为负的瞬间，使加于阴极射线管栅极的电压也为负。于是，阴极射线管栅极为负的半周不发射电子束，即阴极射线管的荧光屏上不显示图像，当控制栅极为正的半周，屏光屏上将出现图像，结果使螺旋桨状图形旋转 90° ，并且只剩下半叶，如图 2—9 中的虚线所示(即螺旋桨状实线图形消失。)从而将心形方向特性表示为直观的图像，就可决定方向。

为了便于决定方向，在荧光屏的上面装置了一个可转动的透明有机玻璃刻度盘，度盘上刻有几条平行线，其中中间一条通过荧光屏中心，在中心的两侧分别刻有两条方向相反的箭头。定边时只要观测半叶螺旋桨所在侧的箭头所指的方向刻度，就是电波的来向。

第三节 无线线自差及其测定

一、无线电自差

所谓由无线电测向仪结构上产生的机器误差主要由直接接收误差、环状天线效应和测角

器误差引起。直接接收误差是由于接收机与调谐线圈屏蔽不良产生直接效应；环状天线电路在电特性上不对称而产生环状天线效应；测角器的励磁线圈和寻向线圈之间的耦合度与寻向线圈的旋转角的余弦或正弦不成比例而产生测角器误差。目前实用的无线电测向仪，都由制造厂采取一定的措施，把上述的机器误差控制在 $\pm 1^\circ$ 以内，所以在实际使用中无须考虑如何防止机器误差。但是，无线电测向仪天线附近的金属导体所产生的干扰误差却是不可忽视的。在电磁场中，测向仪天线附近的金属导体受电磁场的影响而感应了电流，这种电流又在导电物体周围产生二次电磁场。二次电磁场与所观测的指向标的主电磁场一起对测向天线起作用。由于两个电磁场迭加的结果，产生方向特性图的畸变，导致无线电测向仪在测定指向标的方位时产生偏差，这种偏差叫无线电自差(f)。假设指向标的无线电舷角为 RQ ，无线电测向仪的舷角读数为 RQ_1 ，则无线电自差 f 由下式决定，即

$$f = RQ - RQ_1$$

因此，无线电舷角是无线电舷角读数和无线电自差的代数和(如图2-11)。

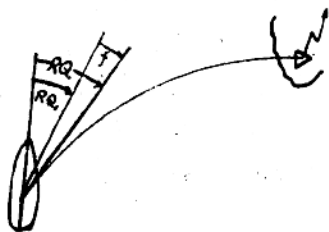


图2-11

根据船舶结构，可能产生二次辐射的物体大致可分为三类：即类似直立天线辐射体，如钢制桅杆、窄而高的管道以及上端绝缘的钢制索具等；类似环状天线的闭合的回路，如桅杆和索具在一起形成的电路；最严重的影响是金属船体的影响。

类似直立天线产生的自差称为半圆自差。当被测电台位于舷角为 000° 和 180° 的方位时，两个电磁场或为同相或为反相。因此都不产生自差；当电台位于舷角 090° 及 270° 的方位上时，产生的自差最大；因此，电台舷角在 360° 范围内变化时，由类似直立天线产生的自差正负变动只有一次，故称为半圆自差。

类似环状天线产生的自差称为象限自差。被测电台舷角为 000° 、 090° 、 180° 及 270° 时，不产生自差；而电台舷角为 045° 、 135° 、 225° 及 315° 时产生的自差最大；电台舷角在 360° 范围内变化时，由类似环状天线产生的自差正负变动二次，故称为象限自差。

金属船体是产生无线电自差的主要来源，此外，还有因为环状天线的安装位置不在船首尾线上、指针不准、方位盘移动以及测向仪本身的机械和电气不对称而产生的自差等等。所以，总的自差 f 为上述各项自差之和，它可用下式表示：

$$f = A + B \sin Q + C \cos Q + D \sin 2Q + E \cos 2Q + \dots$$

式中： Q 为舷角读数， A 为固定误差， B 及 C 分别为位于首尾线和左右舷的类似天线的半圆自差系数， D 及 E 分别为位于首尾线和左右舷的环状二次辐射体的象限自差系数。它们都有正负之分。如位于船首或右舷的为正，位于船尾或左舷的为负。

现在尚没有一种装置能防止天线附近导体产生的上述的干扰误差，所以在利用无线电测向仪定位时，必须预先测定无线电自差，作出无线电自差表或无线电自差曲线。当每次测定指向标的无线电舷角时，必须将无线电舷角读数加上无线电自差(代数和)。

二、自差的测定

无线电自差 f 是随着被测指向标的舷角的变化而变化，不同的舷角对应着不同的自差值。所以应测定不同舷角时的自差。

无线电自差的测定方法如下：选择一个电台，它的天线能够用眼睛观测得到，这种电台可以是海岸上专供测定无线电自差的指向标，也可以是由辅助船携带的电台。测定自差的船舶在电台附近旋转，或者测定自差的船舶抛锚，由辅助船绕测定自差的船舶转圈。用罗经和无线电测向仪同时测定电台的舷角，用罗经测得的电台的舷角 Q 减去无线电测向仪测定的无线电舷角读数 RQ_1 ，便得到无线电自差。即

$$f = Q - RQ_1$$

通常电台的舷角每隔 $10 \sim 15^\circ$ 测定一次无线电自差，这样便可得到电台在不同舷角位置上的无线电自差。为了可靠地测定无线电自差，应进行 $2 \sim 3$ 次回转，取其平均值。

根据测定的自差值，分析自差产生的原因，对自差进行消除与补偿。但是，与磁罗经自差一样，自差不可能完全消除，即还有剩余自差存在，因此，必须再进行一次剩余自差的测定，测定方法与第一次相同。然后编制自差表。无线电自差表如表2—1所示，它是以无线电舷角读数为引数，从表中查取无线电自差的数值和符号。

无 线 电 自 差 表

表2—1

f	RQ_1	RQ_1	f
$-0.^\circ 2$	360°	000°	$-0.^\circ 2$
$-1.^\circ 5$	345°	015°	$+2.^\circ 8$
$-2.^\circ 5$	330°	030°	$+4.^\circ 5$
$-3.^\circ 5$	315°	045°	$+5.^\circ 5$
$-3.^\circ 0$	300°	060°	$+4.^\circ 8$
$-1.^\circ 5$	285°	075°	$+2.^\circ 5$
$+0.^\circ 5$	270°	090°	$+0.^\circ 2$
$+2.^\circ 5$	255°	105°	$-1.^\circ 2$
$+4.^\circ 0$	240°	120°	$-2.^\circ 5$
$+4.^\circ 8$	225°	135°	$-4.^\circ 5$
$+3.^\circ 8$	210°	150°	$-3.^\circ 2$
$+2.^\circ 2$	195°	165°	$-1.^\circ 5$
$+0.^\circ 2$	180°	180°	$+0.^\circ 2$

根据自差表的数据，即可画出自差曲线，如图2—12所示。

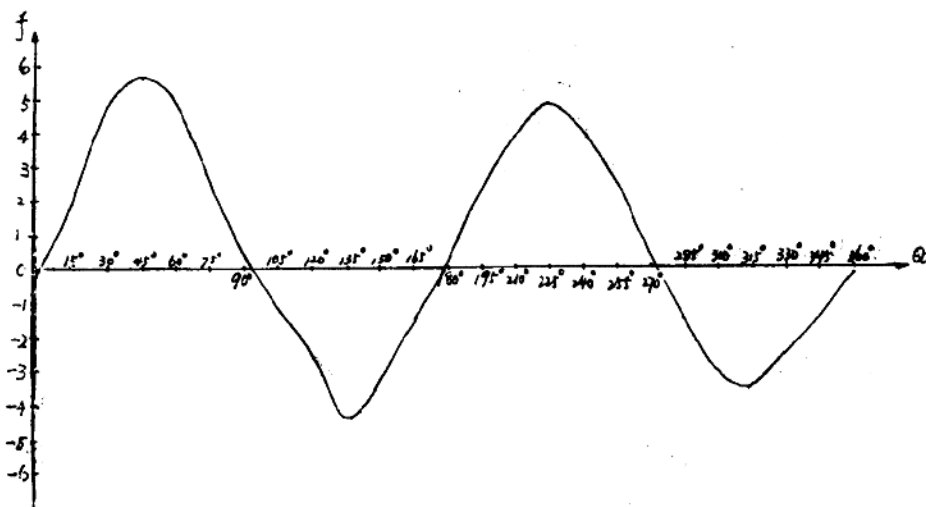


图 2-12

三、自差测定的注意事项

测向仪安装在船上，必须测定自差后才能使用；以后每年修船及船上装载了大宗金属货物时，均应另行测定。一般情况下，每年应测定一次，在测定过程中还应注意下列事项：

1. 必须使测向仪处于正常工作状态，即船上所有天线应加以绝缘，船上设备和属具应按航行时的要求放置，并加以固定。
2. 海上天气和能见度良好，船舶摇摆不大于 4° ，船体横倾角不得大于 5° 。
3. 不宜在日出没前后 1 小时内进行测定。
4. 无线电自差与船舶吃水有关，应分别在空载和满载情况下进行测定。
5. 本船与被测电台间的距离不要太靠近，一般在 1.5 海里以上，同时其间不宜有其它船舶或高大建筑物，也不宜在水陆交叉地带进行测定。
6. 当船上的钢铁设备、金属属具、无线电天线与环状天线相对位置有改变的时候，或是仪器进行过修理，环状天线与垂直天线的位置有变化时，均应进行自差的校正和重新测定工作。

第四节 无线电测向定位

一、无线电方位位置线

利用无线电测向测定位置线可分为两类方式：一类是由岸上的无线电测向站 (Radio Direction Finder Station) 测定船舶所发射的无线电波的方位，这类方式简称“岸测船”；另一类是由安装在船舶上的无线电测向仪测定岸上的无线电指向标所发射的无线电波的方位，这类方式简称“船测岸”。由于它们的测定方式不同，因此所得到的位置线的性质也是不同的。

1. 岸测船方位位置线

如图 2-13 所示，从岸上坐标已知的测向站 M 测得坐标未知的船舶 N 的大圆方位的等值线是和定点测向站 $M(\varphi_M, \lambda_M)$ 的子午线交成所测得的大圆方位 μ 的大圆弧，而位置线乃是该大

圆弧在靠近推算船位的一段切线。

大圆弧方程可由球面直边三角形 $P_N K K_0$ 求得。即

$$\operatorname{tg} \varphi = \sin(\lambda \sim \lambda_0) \operatorname{ctg} \alpha_0$$

式中, α_0 、 λ_0 ——大圆弧参数, 它们可从球面直边三角形 $P_N K_0 M$ 中求出。即

$$\sin \alpha_0 = \sin \alpha \cos \varphi_M$$

$$\operatorname{tg}(\lambda_0 \sim \lambda_M) = \sin \varphi_M \operatorname{tg} \alpha$$

2. 船测岸方位位置线

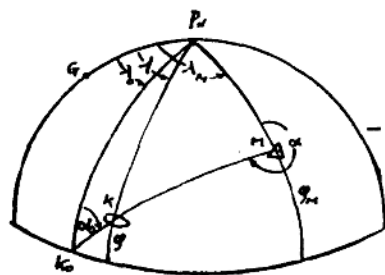


图2-13

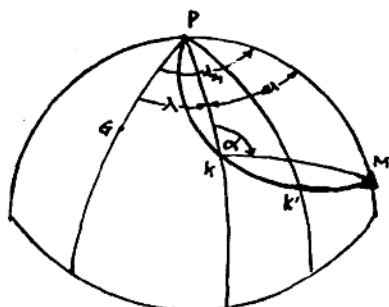


图2-14

如图2-14所示, 从坐标未知的船舶K观测坐标已知的指向标 $M(\varphi_M, \lambda_M)$ 的大圆方位的等值线是恒位线。恒位线是在球面上与一定点具有相等大圆方位的点的轨迹。即在恒位线上任一点测定指向标M的大圆方位均为一定值 α ; 反之, 不在恒位线上的点测定指向标M的大圆方位必然不等于定值 α 。而位置线乃是该恒位线靠近推算船位的一段切线。

恒位线方程可根据球面三角形的四联公式求得。即

$$\operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi_M \cos \varphi \operatorname{csc} \Delta \lambda - \operatorname{ctg} \Delta \lambda \sin \varphi$$

式中: α 、 φ_M 、 λ_M ——恒位线参数;

φ 、 λ ——测定时的船位坐标;

$\Delta \lambda$ ——经差 $\lambda_M \sim \lambda$ 。

应当指出, 从几何学的观点出发, 上述两类测定方式的结果是完全不同的, 必须将它们严格地区别开来。由于船测岸的方式应用得最为广泛, 所以这里只讨论这类方式的位置线及其定位问题。

3. 墨卡托海图上的测向位置线

根据墨卡托投影的性质, 岸测船方式的测向等值线——大圆弧逐点地绘画在墨卡托海图上, 将呈现为一条曲线, 这条曲线在北半球部分凸向北极, 在南半球部分凸向南极(赤道、子午线例外)。因此, 它是一条凸向接近的地极的曲线。

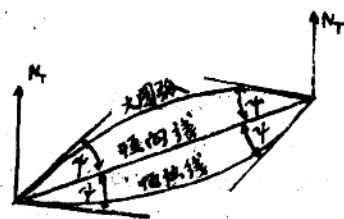


图2-15

如将船测岸方式的测向等值线——恒位线逐点绘画在墨卡托海图上, 则将呈现为一条凹向所接近的地极的曲线。

当船舶离指向标距离不远时, 在墨卡托海图上, 球面上两点(船舶和指向标)间的大圆弧和恒位线是以该两点间的恒向线为对称的, 并且, 大圆弧和恒位线在该两点上的切线分别与

恒向线交成大圆改正量(Half Convergency)的角度(ψ), 如图 2—15 所示。

二、无线电测向定位

1. 无线电真方位

在进行陆标定位时, 需将所测得的罗经方位换算为真方位后方可在海图上绘出船位线。同样, 在进行无线电方位定位时, 也需将观测所得的无线电舷角读数换算为无线电真方位后才能在海图上绘出无线电测向位置线。

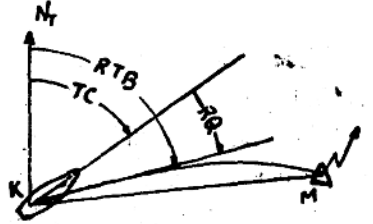


图2—16

由图 2—16 可以看出, 无线电真方位 RTB 可由下式求得

$$RTB = TC + RQ \quad (2-11)$$

于是

$$RTB = CC + \Delta C + RQ_1 + f \quad (2-12)$$

因此, 在读取无线电舷角的同时, 还必须记下在观测时刻的船舶实际罗经航向(一般由操舵者配合报读)。

2. 大圆改正量

无线电波和光波一样, 它们都是沿着球面上两点的最短路径——大圆弧传播的。因此, 用无线电测向仪测得指向标的无线电真方位就是船位 K 到指向标 M 的大圆方位。如图 2—17 所示, 弧 KM 是通过船位 K 和指向标 M 的大圆弧, 大圆方位 $\angle N_T K K'$ 即是指向标 M 的无线电真方位 RTB。

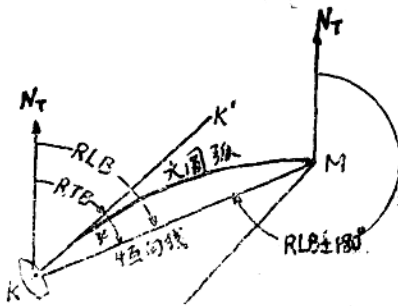


图2—17

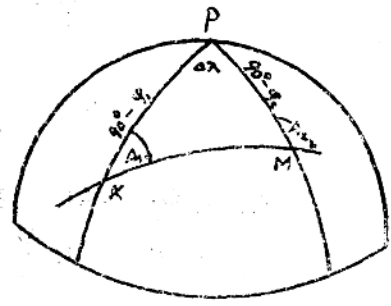


图2—18

如图 2—17 所示, 在墨卡托海图上连接 KM 两点间的直线是恒向线, 通过 KM 两点间的大圆弧为一条凸向近地极(在北半球凸向北极, 在南半球凸向南极)的曲线。无线电波是沿着大圆弧传播的, 但是在墨卡托海图上从 K 点画出测得的大圆方位线(即大圆弧 KM 在 K 点的切线 KK')显然不通过指向标 M。反之, 同样地从指向标 M 点按大圆方位的反方向画出大圆方