

航海学

中 册

王永勤 潘淇祥 主编

袁安存 主审

人民交通出版社

航海学

第二版

王天德 编 王天德 主编

1999年 1月

人民交通出版社

航海学

HANGHAIXUE

中 册

王永勤	潘洪祥	主编
袁安存		主审

人 民 交 通 出 版 社

(京)新登字091号

航海学(中册)

王永勤、潘洪祥 主编

袁安东 主审

插图设计: 秦淑珍 正文设计: 乔文平 责任校对: 刘素燕

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京四季青印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.75 字数: 208千

1993年5月 第1版

1993年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—10000册 定价: 5.50元

ISBN 7-114-01645-X

U · 01093

内 容 提 要

本书共分上、中、下三册出版,中册的主要内容为电子航海学。本册共分为6章,第一章介绍了无线电测向定位,包括电波传播特性、无线电测向接收机和无线电测向的自差及其测定方法,此外,还叙述了无线电测向的其它航海应用;本书的第二、三、四、五章介绍四种主要的无线电导航方法:罗兰A定位,罗兰C定位,台卡定位和奥米加定位,并详细地介绍了各种定位方法的定位原理、定位时所用的接收机以及定位的精度;第六章为船舶组合导航系统。

本书可作为有关海船驾驶和管理人员的技术参考书。

本书第一章由大连海运学院李新江编写,第二、三章由青岛远洋船员学院王永勤编写,第四、五、六章由上海海运学院潘淇祥编写,全书由王永勤、潘淇祥主编,由大连海运学院袁安存主审。

目 录

第一章 无线电测向定位	1
第一节 电波传播特性.....	1
第二节 天线的方向性.....	3
第三节 无线电测向接收机.....	7
第四节 无线电自差及其测定.....	11
第五节 无线电指向标.....	14
第六节 无线电测向定位和其它航海应用.....	16
第二章 罗兰 A 定位	20
第一节 罗兰 A 定位原理.....	20
第二节 罗兰 A 接收机.....	27
第三节 天、地波的传播、识别与天波改正.....	33
第四节 罗兰 A 定位.....	38
第三章 罗兰 C 定位	45
第一节 罗兰 C 定位原理.....	45
第二节 罗兰 C 接收机.....	53
第三节 天波改正.....	69
第四节 罗兰 C 定位.....	75
第四章 台卡定位	80
第一节 台卡定位原理.....	80
第二节 台卡接收机及其操作.....	87
第三节 台卡定位.....	91
第五章 奥米加定位	99
第一节 奥米加定位原理.....	99
第二节 传播改正.....	105
第三节 奥米加接收机及其操作.....	109
第四节 奥米加定位.....	115
第六章 船舶组合导航	121
第一节 概述.....	121
第二节 船舶组合导航简介.....	122
第三节 船舶数据驾驶台系统.....	125

第一章 无线电测向定位

无线电测向定位是最早被海船正式用来导航与定位的一种方法。随着无线电电子技术的发展以及海上运输对船舶导航要求的提高,一些定位精度高,作用距离远的无线电导航系统相继在船上使用,如罗兰系统、台卡系统、子午仪卫星系统和全球卫星定位系统(GPS系统)等。尽管如此,由于无线电测向有其独特的性能,“国际海上人命安全公约”仍然规定1600总吨以上的船舶必须装备无线电测向仪。与其它无线电导航系统相比较,无线电测向具有如下的特殊性能:

- 1.可以测定任何无线电发射台的方位。

- 2.测向仪结构简单,使用方便,通用性强。

- 3.万一船只遇险,只要其发射机能保持正常发射,其它船舶便可利用测向仪测得遇险船的方位并迅速前去营救。

在近距离内,用无线电测向定位的方法与陆标方位定位相似。船舶利用无线电测向仪测定岸上两个以上无线电发射台发射的信号方位获得位置线,采用交叉方位法确定船位。这种专供测向用的发射台称为无线电指向标。

同其它无线电定位仪器一样,影响定位精度最大的因素也是与无线电波的传播密切相关。而无线电测向仪还要考虑船舶本身对其性能的影响。

尽管不同型号的测向仪外观各有所异,但其基本工作原理是相同的。本章将重点介绍无线电波传播的主要特点、测向仪天线系统、测向仪在航海上的应用及其定位精度。

第一节 电波传播特性

一、极化波

对无线电测向来说,无线电波的主要特性是其极化的方式,即电场矢量相对于地球表面的方向。从发射天线辐射出的电波是平面极化波,就是所有电场矢量位于包括传播路线在内的平面内。如果这个平面垂直于地球表面,这种电波就称为竖直极化波。如果电场矢量与地球表面平行,这种波就称为水平极化波。磁场矢量总是与电场矢量成 90° 角。为讨论问题方便,除有特殊说明外,极化都是指电场矢量的方向而言。当电波由天线辐射出去后,电场力线和极化平面均通过天线所在平面。因而,如果发射天线是竖直方向,它就传播竖直极化波。如果发射天线是水平方向,它就传播水平极化波。如果发射天线介于垂直和水平方向中间的某一方向,它就传播斜极化波。测向仪天线只接收竖直极化波。

二、电波传播方式

由于竖直天线辐射出的电波可沿多种路径传播到接收机天线。因此,当发射机天线接近地面时,电波因传播路径不同可分为两种:一种是沿地球表面传播,称为地波。地波途经地面的特性对其传播有影响。另一种是电波离开天线后向上传播,再由电离层反射向下传播到

地面后才能被接收，称为天波。电离层的状态对天波的传播有很大影响。

船用无线电测向仪一般采用中频波段的地波信号，当然，有时也会同时接收到地波和天波两种信号。这时，天波和地波的相互作用会使测定准确的无线电方位带来困难。

下面着重讨论几个在电波传播过程中对其特性将产生较大影响的问题：

1. 地波衰减

在电波的传播过程中，其所途经的地表特性（地面传导性），对地波的传播有较大的影响。假如地面传导性良好，则地球内部的电场应当恒为零，并且电场矢量方向与地表面垂直，即垂直方向。这时，不论发射天线位置如何，靠近地表的电波始终是竖直极化波。实际上，由于地表的不良传导性，电波就要穿入地表，造成电场矢量向着电波传播方向倾斜，而不再是垂直方向，如图1-1所示。由于地表之下，存在电场水平分量，便不仅使电荷运动，

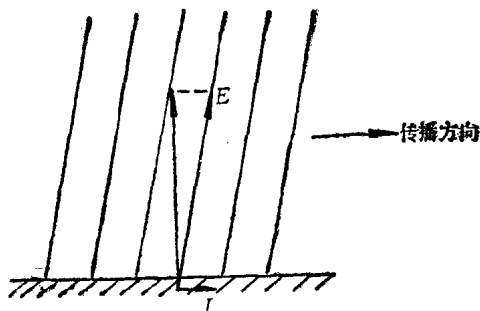


图1-1 地表对电波传播的影响
 E -电场矢量； I -电场水平分量

而且还要不停地消耗能量。这部分能量又必然取自于电波本身。这样，当电波沿地表传播时就要比其在自由空间传播时衰减得厉害。这种衰减的程度主要随电波频率不同而异，频率越高，地波衰减越严重。对中频波段（300~3 000kHz）电波的地波有效覆盖距离为几百海里。该波段的低频部分有效距离可达400n mile，高频部分有效距离只有15n mile左右。对于船用无线电测向仪，其工作频率为100~750kHz，其中又以300~600kHz为主，其有效作用距离一般在100n mile左右。

2. 海岸折射

在电波传播过程中，如果途经地表传导性明显不同（如海、陆交界处）的区域时，电波

的传播速度将发生变化，电波途经陆地的传播速度比途经海面的传播速度低，致使电波在穿越海岸线时发生弯曲，从而导致测定的电波方位会产生误差。这种现象称为海岸折射效应，如图1-2所示。海岸折射误差的大小与方位线和海岸线的交角及无线电指向标到海岸线的距离有关。为减轻上述效应的影响，应尽量选择与海岸线成接近直角的方位线，

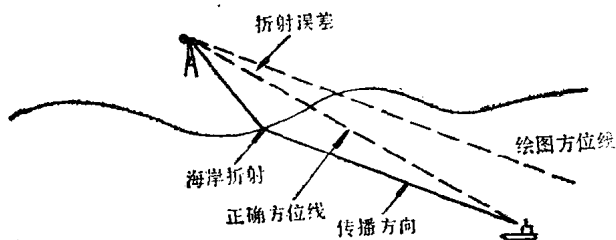


图 1-2

与海岸线成锐角的方位线应避免使用。当方位线与海岸线接近平行时，可能产生5°的方位误差。无线电指向标越靠近海岸线，海岸折射误差越小。

3. 夜间效应

通常，无线电测向仪是测定垂直极化的地波信号，但在某些距离和时间条件下，也可能接收到由电离层反射回地面的天波信号。这些天波的振幅、相位和极化程度都是不稳定的，均与电离层的影响有关。电离层对电波传播的影响主要表现在两个方面：吸收电波能量；改变电波传播路径。电离层反射天波的能力与电波频率有关。频率越高，反射能力越弱。电离层反射中频电波的能力比低频电波要弱。因此，穿入电离层的电波能量就多些。此外，电离

层的反射能力还与电离层的高度有关。电离层的高度是变化的，如图1-3所示。如果电离层的高度低（白天， E 层存在），由于大气密度高，自由电子与空气中的分子频繁地碰撞，大量电波能量被吸收。如果电离层高度较高（夜间， F_2 层存在），大气密度低，电波能量被吸收的程度就会降低。结果，白天，天波便严重衰减。从实际应用的角度考虑可以认为天波几乎不能返回地面，大部分能量已被 E 层吸收。而夜间则有相当强的天波返回地面。因为电离层的状态（高度、电离度）是随着时间、季节和太阳黑子周期变化而变化，所以天波的可靠性是不稳定的。尤其是当同时接收地波和天波时，观测方位不仅困难，而且会产生方位误差。一般情况下，这种误差可达 4° 。这种现象我们称其为夜间效应。夜间效应可发生在日落前1h至日出后1h这段时间内。日落时，由于低高度电离层作用突然消失，对电波能量吸收也急剧下降。日落后几小时，天波吸收就变得很弱。黎明之前，除了地波外，还有电离层反射的天波。此时会使电波方位变化显著，难以获得准确方位。这又称为晨昏朦影影响。在日出、日落前后1h内不能用测向仪来测定方位。

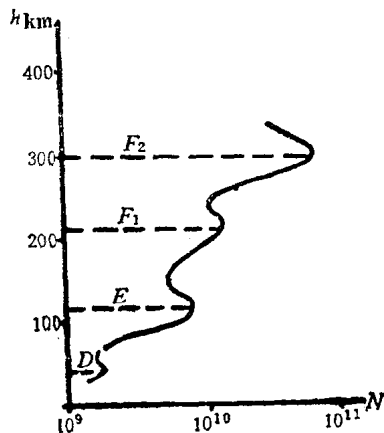


图 1-3

当无线电波传播到测向仪接收天线时，还受船舶的影响。这一问题将在第三节中讨论。

第二节 天线的方向性

一、方向性

在讨论天线的方向性时，常采用方向性图的方法。方向性图是一种表示来自不同方向等强度无线电波在天线中产生感应电动势的相对振幅的几何方法。

如果天线位于空间，无线电波可沿所有方向到达。完整的方向性图应是一个三维坐标极空间图形，因为空间方向性图不易描绘，而且采用两维坐标的平面方向性图完全可以满足需要，所以通常用平面方向性图来讨论天线的方向性。在讨论船用测向仪时，最有意义的是水平面内的方向性图，又称方位极坐标图。

二、竖天线线的方向性

如果给无线电指向标的竖天线通以交变电流，则在天线周围形成辐射电磁场，它以天线为中心向空间所有方向传播。如图1-4所示。

图1-4的 E 为电场方向，与天线位于同一平面内； H 为磁场方向，与电场方向相差 90° ； P 为电波传播方向。如果在电场强度为 E 的电磁场中放置一竖天线，由于电磁场的作用将在天线中感应产生电动势，设其为 V_1 。只要竖天线与无线电指向标的距离保持不变，无论指向标在什么方位上，其感应电动势均不变，等于 V_1 。因此，可以看出竖天线的接收灵敏度（即方向性）在任何方向上都相等。这种天线称之为无方向性天线。

无方向性天线的方向性图是一个圆。如图1-5所示。

图中 r 表示由方位角 θ 入射的电波在天线中感应电动势的振幅。对无方向性天线来说，

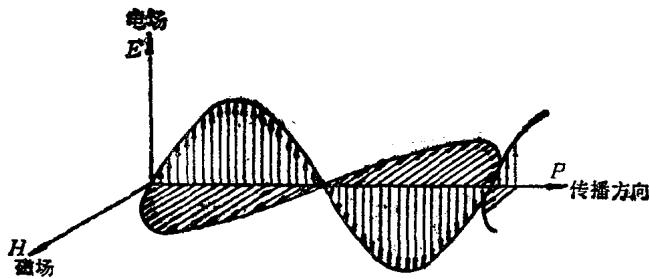


图1-4 电波的电场、磁场和传播方向示意图

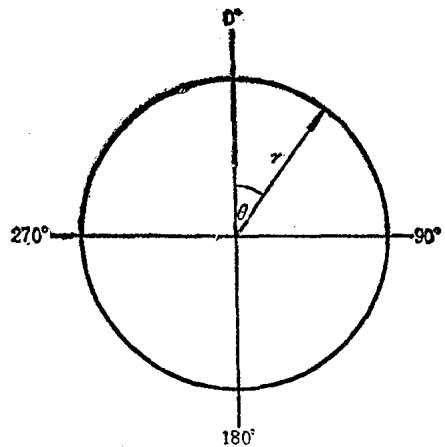


图1-5 垂直天线方向性图

$r = c$ (常数), 显然, 单独采用这种天线是无法测定电波的方向的。

三、环状天线的方向性

可显示方向性的天线有多种, 但海船测向仪实际采用的几乎都是环状天线, 因为它具有较理想的方向性。

1. 环状天线的结构

环状天线的外形和内部结构如图1-6所示。天线的外部是一个圆形的金属屏蔽套管。在

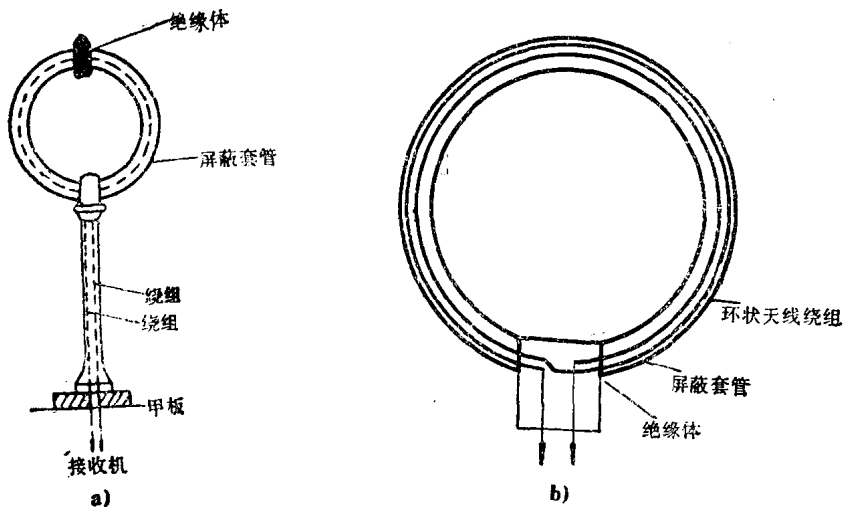


图 1-6

a) 单环环状天线外形, b) 环状天线结构

屏蔽套管内是多股的天线绕组(图中只画出两匝绕组)。屏蔽套管不能形成回路, 否则它会将入射电波也屏蔽掉, 因此, 屏蔽套管是断开的。天线绕组可看作为一个天线圈。但是, 线圈的尺寸与电波的波长相比应是很小的(测向所用的无线电波的波长约为1 000m)。

2. 环状天线的方向性

当将环状天线置于无线电指向标的电磁场中时, 磁力线通过线圈绕组, 如图1-7所示。由于磁力线交替增加和减少, 在环状天线绕组内感应产生电动势。当天线位于如图1-7所示的位置时, 绕组中感应产生的电动势值最大。此时天线平面与电波束的方向平行。如果此时

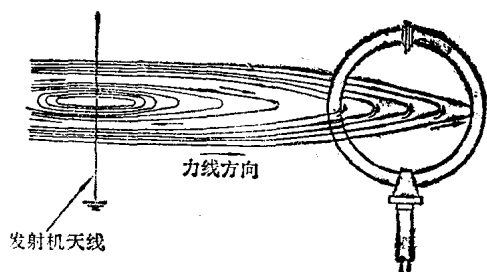


图1-7 在交变电磁场作用下, 环状天线绕组感应产生交变电动势

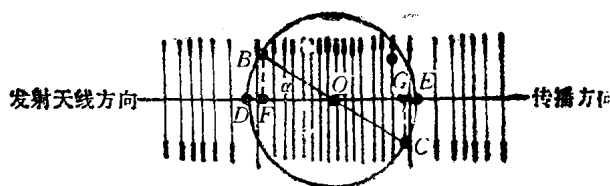


图1-8 环状天线位于任意位置时的接收情况

用导线将环状天线绕组与接收机连接, 便可接到最强的指向标信号。当天线平面绕竖直轴旋转 90° 时, 没有磁力线穿过环状天线平面, 环状天线内便没有感应电动势产生, 也就接收不到指向标的信号了。此时, 天线平面与电波的来向垂直, 若环状天线再绕竖直轴旋转 90° , 此时又一次最大数目磁力线通过环状天线, 接收信号又达到最强。这样, 当环状天线绕竖直轴旋转一周后, 就出现两次最强接收信号, 两次最弱信号。

环状天线位于其它任意位置时的接收情况如图1-8所示。该图为一可绕竖直轴旋转的环状天线俯视图。图中的圆并不代表环状天线, DE 、 BC 分别表示环状天线所处的两个位置时的环状天线; 指向标假设位于左侧很远的距离上; 竖直线代表磁力线。

当天线位于 DE 位置时, 通过的磁力线数目最多。当天线旋转到某一任意位置 BC 时, 通过的磁力线数目比在 DE 位置时为少。这两个位置上通过的磁力线数目之比为:

$$\frac{FG}{DE} = \frac{FO}{DO} = \frac{FO}{BO} = \cos \alpha$$

因此, 环状天线位于 BC 位置时, 天线内感应电动势为 DE 位置时感应电动势的 $\cos \alpha$ 倍。 DE 位置为最强信号位置, 即天线面与电波传来的方向平行。环状天线只要离开这一位置, 而处于任意其它位置 (即天线平面偏离上述位置呈 α 角) 时, 其信号强度与天线面和电波来向交角的余弦成正比。因此环状天线旋转 360° , 就出现两个方向上的信号最强和两个方向上的信号最弱的情况, 具有双值性, 而且其间相差 180° 。这就是环状天线的方向性。

3. 环状天线的方向性图

环状天线内感应产生的电动势与电波传播方向的关系以方向性 (极坐标) 图表示为“8”字形图。如图1-9所示, 假设指向标发射天线位于左方, 当环状天线处于 OD 位置时, 天线内的感应电动势用 OD' 表示, 其值最大。

如果天线转过一个角度 α , 根据以上讨论, 感应电动势降为 $OB = OD' \times \cos \alpha$ 。则 B 点一定位于直径为 OD' 的圆上。因为只有这样, OBD' 角才是直角, 才有 $OB = OD' \cos \alpha$ 成立。由此可以知道, 表示环状天线任意位置

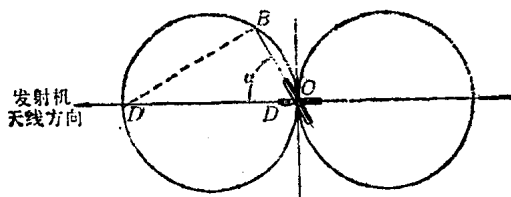


图1-9 环状天线“8”字形方向性图

时, 其中感应电动势的方向性图是由两个圆组成。因此称之为“8”字形方向性图。“8”字形方向性图反映出两个感应电动势最大值的天线位置, 即 $\alpha = 0^\circ$ 和 $\alpha = 180^\circ$; 和两个感应电动势最小值的天线位置, 即 $\alpha = 90^\circ$ 和 $\alpha = 270^\circ$ 。

如果环状天线能够旋转, 再将其绕组与接收机连接就构成一部简单的无线电测向仪, 并

可用其测定指向标的方位。首先将接收机调谐到指向标的工作频率上，然后转动环状天线，直到最大信号振幅或最弱信号振幅位置，就可根据天线平面位置确定指向标的方位。如果采用最强信号位置，指向标一定位于环状天线面延伸方位上。如果采用最弱信号位置，指向标一定位于与环状天线面成直角的方向上。在实际应用中总是采用最弱信号位置而不是最强信号位置。这是因为在最弱信号位置区，环状天线位置的微小变化，会导致信号强度急剧增大，比较容易确定最弱信号位置点的准确位置。相反，如果采用最强信号位置，即使环状天线位置有明显变化，信号强度的减弱变化仍很小，不易准确地确定最强信号点的位置。这一点从“8”字形方向性图上也很容易看出。

4. 定边的原理

上面讨论的简单环状天线“8”字形方向性图具备了航海测向仪的基本条件，但仍存在一个需要解决的问题，这就是方位的双值性。即从方位相差 180° 两个方向传来的信号使环状天线产生相同的输出，即两个最弱信号位置，两者方位相差 180° 。这个问题在实际航海应用中一般是不成问题的。根据推算船位和指向标的准确位置很容易从两个最弱信号位置中确定正确的电波方位。但是，在有些情况下，当指向标的方向根本不知道时（如接收安装在灯船上的指向标信号或他船发射机的信号），就需要有一种方法来确定电波的正确方位，即在两个相反方向中确定哪一边是正确的，这就叫定边。

定边的问题是通过在环状天线上再接入一根竖直天线来解决的。这根竖直天线称为定边天线。前面已经介绍过单根竖直天线的方向特性是：从任何方向入射的电波在竖直天线中感应电动势相等，其方向性图是一个圆。如果竖直天线的输出（圆的半径）正好等于环状天线的最大输出（半个“8”字形圆的直径），则环状天线的两个最大电动势方向中，一个方向互相抵消，另一个方向加倍，这二个方向性图合成的结果产生只有一个信号最弱位置的方向性图，称其为心形方向性图，如图1-10所示。

当竖直天线与环状天线电动势合成时，环状天线“8”字形方向性图右边小圆与竖直天线的方向性圆相位相同，两者相加，即 $OB + OC = OD$ 。而“8”字方向性图左边小圆与竖直天线的方向性圆相位相反，两者相减，即从竖直天线的方向性圆中减去“8”字形方向性

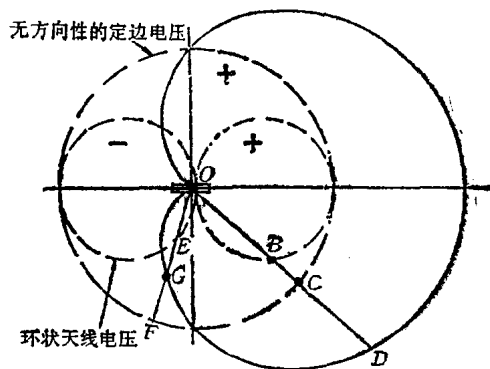


图1-10 环状天线和竖直天线方向性图合成产生定边使用的心形方向性图

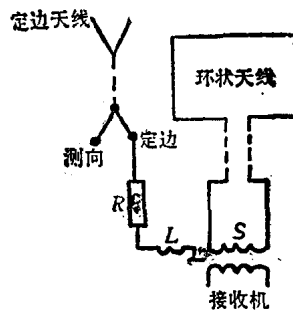


图1-11 测向定边转换开关

图左边小圆， $OF - OE = OG$ 。这样就合成为只有一个最弱信号位置的心形方向性图，如图1-10所示。

为了获得环状天线和竖直天线的合成信号（即心形方向性图的信号），必须将注有“定边”和“测向”的转换开关置于定边位置。如图1-11所示。经竖直天线来的信号用线圈L与线圈S耦合再送接收机。电阻R用于控制竖直天线的接收，使其方向性圆的半径等于“8”

字形方向性图每个小圆的直径。

定边的方法因测向仪的型号不同而异。应参阅测向仪使用说明书。

第三节 无线电测向接收机

一、固定环状天线测向接收机（手动测向接收机）

到目前为止，我们讨论天线的方向性都是根据旋转单个环状天线进行的。这种旋转单环天线的测向仪有一个严重缺点，就是环状天线必须安装在接收机的上方。这往往限制了将天线安装在最佳位置处。于是便发展了以两个互成直角的固定环状天线为基础的测向仪接收

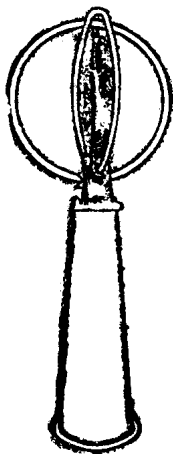


图1-12 固定环状天线外观

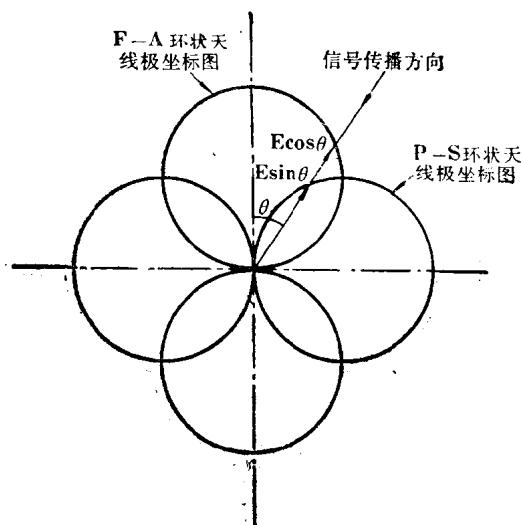


图1-13 固定环状天线测向仪方向性图

机。单个环状天线的原理同样适用于固定环状天线的两个单环。船用测向仪的天线安装位置是这样确定的：一个天线环的平面沿着船的首尾线方向，称为首尾环（F-A环）。另一个天线的平面与首尾环平面垂直，称之为左右环（P-S环），如图1-12所示。

1. 固定环状天线方向性图

如果无线电信号以与首尾环平面成 θ 角到达船，则该信号会在首尾环中感应出与 $\cos\theta$ 成正比的电动势，在左右环中感应出与 $\cos(90^\circ - \theta)$ ，即与 $\sin\theta$ 成正比的电动势。换句话说，两个环状天线将入射电波分解成两个分量，这两个分量分别与信号的方位余弦和正弦成正比，如图1-13所示。这两个分量可用四根内连的金属导线与接收机耦合；从而去掉了转环式的机械约束。同时，再根据这两个分量利用一种装置测定信号的相对方位 θ 。这种用于测定相对方位角 θ 的装置叫无线电测角器（通常称为测角器）。

2. 测角器

测角器由两个与固定环状天线相连接的互相垂直的固定线圈和一个可在这两个固定线圈内部绕其公共轴旋转的线圈组成。两个固定线圈称为场线圈。第三个可旋转的线圈称为寻向线圈。两个固定线圈分别与固定环状天线连接。这样，当接收信号在环状天线内感应的电流通过场线圈时产生磁场，寻向线圈在磁场中转动。场线圈和寻向线圈的设计使得在寻向线圈中感应产生的电动势与寻向线圈平面和场线圈平面间夹角的余弦成正比。即首尾环在寻向

线圈中感应电动势与 $\cos\varphi$ 成正比，左右环在寻向线圈中感应电动势与 $\cos(90^\circ - \varphi)$ ，即与 $\sin\varphi$ 成正比。 φ 角为寻向线圈平面与首尾方向的场线圈平面之间的夹角，如图1-14所示。这样来自方位角为 θ 的入射电波在测角器两个场线圈中产生磁场强度与两个天线环中的电动势成正比，即首尾向测角器场线圈中的磁场强度与 $\cos\theta$ 成正比，而左右向测角器场线圈中的磁场强度与 $\sin\theta$ 成正比。而这两个磁场在测角器寻向线圈中感应的电动势又是其转角 φ 的函数。首尾向场线圈在寻向线圈中感应电动势与 $\cos\varphi$ 成正比，左右向场线圈在寻向线圈中感应电动势与 $\sin\varphi$ 成正比，因此，寻向线圈中感应的合成电动势就与 $\cos\theta\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi$ 成正比。

如果转动寻向线圈直到合成电动势为零，就有：

$$\cos\theta\cos\varphi = \sin\theta\sin\varphi$$

$$\operatorname{ctg}\theta = \operatorname{tg}\varphi$$

$$\theta = \varphi + 90^\circ + n \cdot 180^\circ \quad (n \text{ 为 } 0 \text{ 或任意整数})$$

如果在寻向线圈垂直方向上安装一指针来测定寻向线圈的 φ 角，则 $\theta = \varphi$ 或 $\varphi + 180^\circ$ 。

以上结论对应不同 n 值完全相同。表示寻向线圈每转半周，结果重复一次。由此可知，转动寻向线圈的作用与转动环状天线的作用完全一样。这样就可以用转动寻向线圈代替转动环状天线来测定接收信号的方位。

由于测角器具有与单个环状天线相同的方向性图，它也存在方位的双值性。解决方位双值性的方法也是采用加入定边天线的方法。

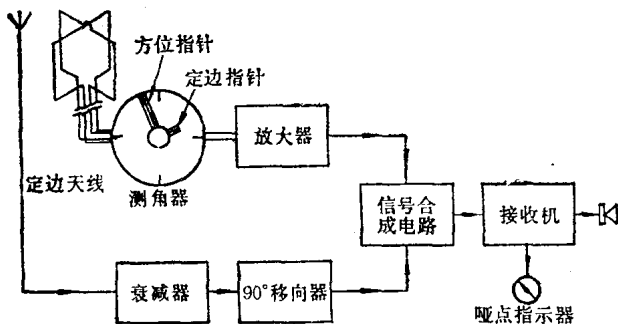


图1-15 固定环状天线测向仪方框图

可自动显示信号的相对方位或真方位，不再需要用手转动测角器的接收机。自动测向仪主要有两类，分别为伺服驱动测角器测向仪和双波道阴极射线管测向仪。

1. 伺服驱动测角器测向仪

这类测向仪的测角器和接收机构成伺服回路。伺服回路使伺服电动机驱动测角器的寻向线圈转到最弱信号位置。伺服电动机是由驱动测角器寻向线圈到最弱信号位置所需的误差电压来驱动的。只要测角器的寻向线圈没有位于最弱信号位置，就产生误差电压，驱动伺服电动机转动寻向线圈到最弱信号位置。当寻向线圈到达最弱信号位置时，误差电压就消失，寻向线圈就稳定在这个位置上。如图1-16所示。

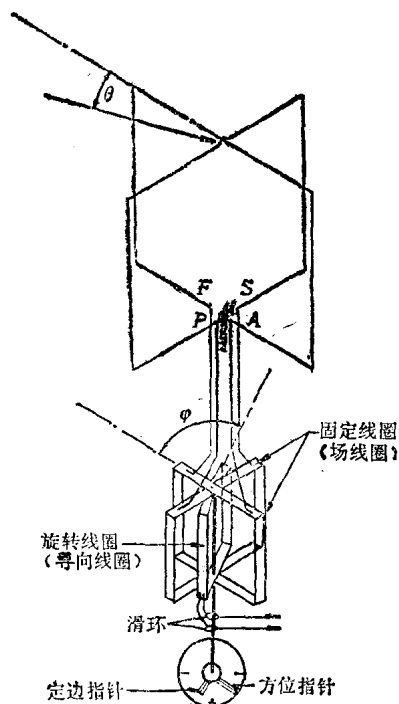


图1-14 交叉环状天线和测角器示意图

带有测角器的固定环状天线测向仪的电路方框图如图1-15所示。只要转动寻向线圈到最弱信号位置（又称哑点位置），则从测角器方位刻度盘上就可读取电波方位。

二、自动测向接收机

自动测向仪是指一旦接收机调谐到所需接收的指向标的发射频率，便

在理论上可能存在测角器线圈指在不正确的最弱信号位置上（与正确最弱信号位置相差 180° ），此时也没有寻向线圈电流。虽然仍有来自竖直天线的电流，但它不会被调制成误差

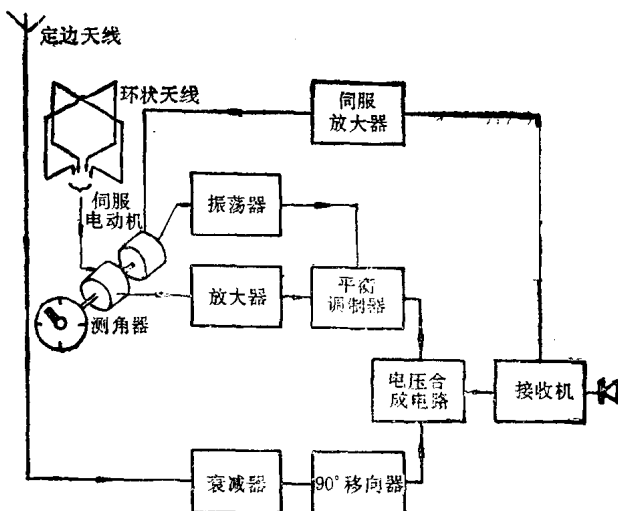


图1-16 自动陀螺测向仪的工作简图

信号，伺服电动机不驱动测角器寻向线圈离开这个不正确的最弱信号位置。实际上，总是存在微小的电气不平衡，加上接收机噪声足以使它不会稳定地停在这个位置上。而一旦测角器的寻向线圈偏离这个位置，就会产生误差信号驱动它转到正确的最弱信号位置上。因此这类测向仪是全自动的，不需要定边。

2. 双波道阴极射线管测向仪

这类测向仪的原理如图 1-17 所示。互相垂直的两个环状天线环分别

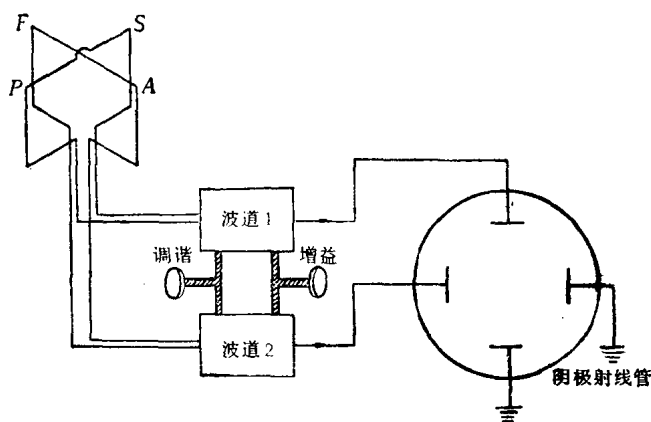


图1-17 阴极射线管测向仪的简要说明

与两个接收波道相连。两个接收波道的输出分别加在阴极射线管的偏转板上。首尾环的天线电压经波道 2 与 X 轴向偏转板连接。左右环的天线电压经波道 1 与 Y 轴向偏转板连接。

前节已经讨论过环状天线输出的电压与入射电波的方位角 θ 的余弦成正比, 如果将这两个电压经适当放大后输给阴极射线管作为偏转电压, 令其为 x 、 y 。则在这两个偏转电压的作用下, 光点就要从荧光屏中心移到 P 点。如果令 φ 为 PO 与 Y 轴的夹角, 则

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

即 $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \theta$

$$\varphi = \theta + n\pi$$

即光迹偏离 y 轴的角度 φ 等于电波的方位角 θ 。 $n\pi$ 表示这类测向仪存在定边问题。由于环状天线感应电动势是交变的，上边的偏转电压 x 、 y 可假设为其最大值，但两电压的比值不变。

所以当电压交变时，亮点在荧光屏上就扫出一条亮线 OP ，当负半周时亮线就延伸到另一方向，则在荧光屏上扫描出一条直线。该扫描线与 y 轴夹角即为电波方位。如果在荧光屏上装一方位刻度盘就可以读取电波的方位读数。由于扫描是扫过荧光屏面，显示两个相反方位，所以必须进行定边。其方法也是采用无方向性的定边天线来解决。通常只将定边天线电动势加到两个天线环中的一个上，利用所显示的信号源是在船首还是船尾（或在左舷还是右舷）来解决双值性。如图1-18b)就是一种定边显示，它说明a)中的正确方位是在船首一边，即为 045° 而不是 225° 。

这类双波道阴极射线管测向仪的原理是简单的，但是使用时必须注意以下几个问题。首先必须注意两个波道一定要具有相同的增益和相同的相位特性，才能保证两个偏转电压的电压比值不变。如果两个波道的增益不等，就会产生象限误差。在四个方位点上 ($000^\circ, 090^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) 不存在象限误差。因为信号只从一个天线平面入射，因此只有一个放大器起作用。

如果信号以与两个环状天线成 45° 角入射，此时象限误差最大。因为如果这时两个波道的增益不同，则其输出阴极射线管上的偏转电压也不同。荧光屏图像就不再指示正确的方位了。对 45° 角入射的电波，电压比应为 1。如果两个波道的放大器的增益差 10%，则其电压比就变成 1.1，其显示方位就成 47.75° ，导致 2.75° 的误差。调节两个波道具有相等的增益不难，但要维持一段时间，尤其是接收不同强度信号，调节增益就需要不断实践，取得经验。

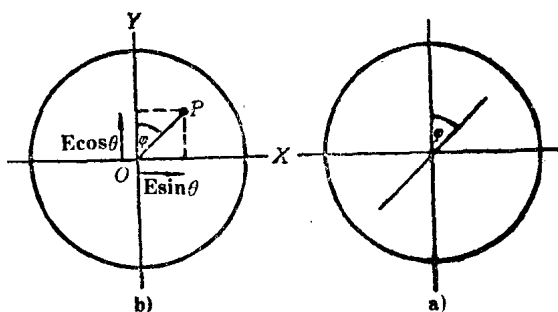


图1-18 阴极射线管测向仪
a) P 点相当于天线环信号最大振幅；b) 按正弦曲线的天线环信号产生的方位线

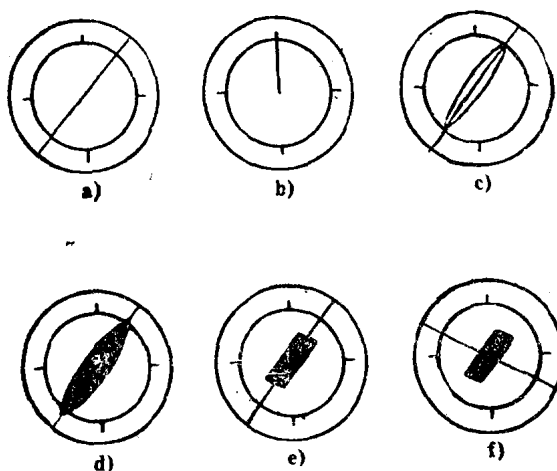


图1-19 双波道阴极射线管测向仪典型图像

路，供测向时调节平衡使用。

图1-19表示双波道阴极射线管测向仪的一些典型信号图形。

图1-19中各分图的解释如下：

- a) 标准图形。正确调节增益得到的图像是一条具有足够长度的直线。
- b) 定边显示。该图像表示正确方位是两个北象限中的一个。
- c) 椭圆图像。可能是由于没正确调节好平衡或到达天线的电波极化异常引起。
- d) 表示调制深度不够。如果达到100%调制，图像应该由零到最大值，再由最大值到零，

其次，两个波道信号输入和输出的相位关系必须相同。如果加在阴极射线管偏转板上的电压相位不同相，荧光屏上出现的图像就不是直线而变成椭圆，给读取准确方位带来困难。两个波段的相位差几度，就会使图像成为很狭窄的椭圆，但并不会因此而引起很大的误差。可将方位标尺的中心线对准椭圆的主轴来读取方位。一般，如果精度要求高，两波道的最大容许相位差为 5° 左右。另外，当到达天线的电波受极化效应影响，由竖直极化波变成圆极化波或椭圆极化波时也会使图像变成椭圆。一般在实际测向电路中有增益和相位平衡调节电路，

中间不应留有空白。

e)、f)为不同强度信号合成的图像。

第四节 无线电自差及其测定

一、无线电自差

船体以及船上的许多设备和附件,如桅杆、烟囱、金属索具、支柱以及无线电台的天线等都是金属,它们受指向标发射的电磁波作用而产生感应电动势。在这种电动势的作用下,导体内产生交变电流,如同发射天线一样,向外辐射电磁波,在其周围形成电磁场。该电磁场称为二次辐射场。这样,测向仪的环状天线受到两种电磁场的作用:

1. 无线电指向标发出的一次场;
2. 二次辐射体发出的二次场。

因此,船上测得的无线电方位,实际上是无线电指向标一次场和二次辐射体的二次场的合成电磁场的方向。从而使所测方向与无线电指向标的真方位之间产生了一个偏差角,称为无线电自差 f ,如图1-20所示。

图中, M 为测向仪环状天线位置,位于船首尾线上,其正前方有二次辐射体 A 。 H_1 为一次场,它与 PM 垂直 (P 为指向标位置)。 H_2 为二次场与 AM 垂直。 H_1 、 H_2 的合成矢量为 H 。 H 的方向偏离了 H_1 的方向。

测向仪指针所指的是无线电舷角读数 Q_{rr} 。它与无线电指向标的正确无线电舷角 Q_r 差了一个角度 f 。即差了一个无线电自差。

显然,无线电舷角 Q_r 与无线电舷角读数 Q_{rr} 之间有着如下关系:

$$Q_r = Q_{rr} + f$$

船舶对测向仪性能产生影响的二次辐射体可归纳为两类:回路型二次辐射体和天线型二次辐射体。回路型二次辐射体是指那些能形成闭合电流回路的辐射体,主要是船体。天线型二次辐射体是指其长度远大于其横截面的导体,如桅杆、烟囱和索具等。不同的二次辐射体产生按不同规律变化的自差。

1. 象限误差

象限误差是由无线电波在船体内感应产生回路电流,该电流反过来又产生二次辐射场而引起的误差。这一类二次辐射场的作用使相对方位被拉向首尾线方向,如图1-21所示。当无线电指向标位于船正前或正后方向时,二次场是很大的,但由于它和初次场方向一致,因此没有合成误差。而当相对方位为 090° 或 270° 时,对于船体方向不能感应产生回路电流,不会形成二次场。因此这二个相对方位也没有误差。即当相对方位为 000° 、 090° 、 180° 、 270° 时误差为零。当相对方位为 045° 、 135° 、 225° 和 315° 时误差最大。例如,

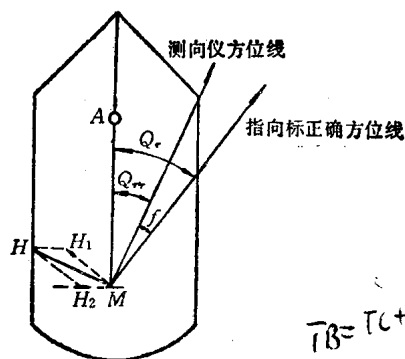


图1-20 无线电自差 f

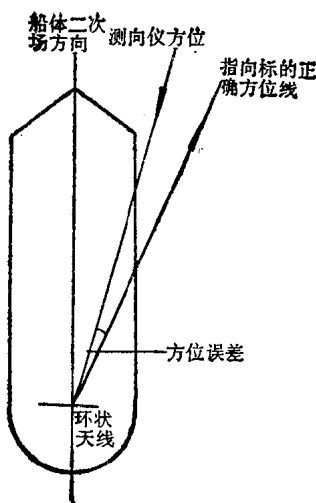


图1-21 船体二次场对方位的影响