

航海学

(下 册)

潘琪祥	主编
钱淡如	主审

上海海运学院

前 言

本书是根据我院海洋船舶驾驶专业专科生的《航海学》教学大纲,同时也兼顾了海洋船舶驾驶员(无限航区)的《航海学》、《地文航海》考试大纲和培训知识的要求而编写的。

本书分上、下两册,总授时教为 130 学时。上册包括航海基础知识,海图,潮汐与潮流,航迹推算和陆标定位等;下册包括无线电定位,航海图书资料和各种航行方法。上册主要由潘琪祥编写,潘杰参加了第一、二章的部分编写工作;下册中,第七、八、九、十、十一章由潘琪祥和顾嵘编写,第十二、十三章由赵仁余编写,第十四、十五、十六、十七、十八章由潘琪祥编写。全书由潘琪祥主编,钱淡如审阅。

由于编者水平有限,时间仓促,缺点与错误难免,望读者予以批评指正。

编 者

1992 年 6 月

目 录

前 言

第七章 无线电方位定位	1
第一节 无线电测向的基本原理	1
第二节 无线电自差及其测定	3
第三节 无线电方位定位	5
第八章 雷达定位	10
第一节 船用导航雷达工作的基本原理	10
第二节 船用导航雷达的航海性能	11
第三节 雷达影象的特点	16
第四节 雷达定位与导航	20
第九章 罗兰定位	28
第一节 罗兰 A 系统概述	28
第二节 天波的辨认和改正	36
第三节 罗兰 A 定位	40
第四节 罗兰 C 系统概述	46
第五节 罗兰 C 定位	51
第十章 台卡定位	58
第一节 台卡系统概述	58
第二节 台卡定位	63
第十一章 奥米加定位	67
第一节 奥米加系统概述	67
第二节 奥米加定位	73
第十二章 航海图书资料	78
第一节 航标与《英版灯标雾号表》	78
第二节 《世界大洋航路》	88
第三节 航路设计图	90
第四节 《航路指南》	91
第五节 《无线电信号表》	94
第六节 《里程表》	101
第七节 《英版海图及其它水道出版物总目录》	102
第八节 《英版航海通告》	103
第九节 《进港指南》	115
第十三章 大洋航行	119
第一节 大圆航线和大圆海图	119

第二节	大洋航行注意事项	122
第三节	气象导航概述	124
第十四章	沿岸航行	125
第一节	沿岸航线的选定	125
第二节	沿岸航行的注意事项	127
第十五章	狭水道航行	128
第一节	进出港航行	129
第二节	岛礁区航行	132
第十六章	雾中航行	134
第十七章	冰区航行	137
第十八章	航行值班	138
第一节	开航准备	138
第二节	航行值班工作	138
第三节	了望	139
第四节	航海日志	140
第五节	航行值班的交接	140

第七章 无线电方位定位

船舶在航行中,如有陆标、岛屿或位置确知的灯标在测者能见距离范围内,则可利用罗经观测物标的方位进行定位。但是,船上测者的能见距离是有限的,而且观测还受到能见度的影响。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,于是无线电助航仪器的发明和应用应运而生。无线电测向仪就是其中较简单的一种。无线电测向仪(Radio Direction Finder 简称 D.F)是测定无线电发射台方向的一种无线电助航仪器,是 20 世纪初出现的一种无线电导航仪器。它虽然不如其它无线电导航仪器定位简便和精度高,但它具有设备简单、比较可靠、成本较低等优点。而且它是迄今为止唯一能测定无线电发射台方向的一种仪器。这对海上救助有重要的实用意义。因此,《国际海上人命安全公约》强制规定在 1600 总吨以上的船舶必须装备无线电测向仪,而且应有接收 2182kHz 和 500kHz 的遇险求救信号的功能。

专供无线电测向用的发射台称为无线电信标(Radio Beacon),或称无线电指向标。无线电信标一般都设置在沿海或岛屿上,它们 24h 连续向附近海域发射无线电波,在航用海图上标有它们的位置,并且在该海区的《航标表》上或者《英版无线电信号表》第 2 卷(Admiralty List of Radio Signals, Vol 2)上可查得无线电信标的地理坐标及其有关资料。无线电测向仪测得一个位置已知的无线电信标的方位之后就能得到一条船位线,如能同时测得两个无线电信标的方位,则两条船位线的交点就是船位。因此,为了提供多条位置线,由一定数目的信标组成若干组,每个组由一至六个信标组成,它们以相同的频率按规定的顺序依次发射调幅或等幅电报波。为了区分组中的信标,每个信标发射它们各自的识别信号。例如,在大连港附近由老铁山、圆岛和大三山岛三个无线电信标组成一组,从 00 min 开始各台轮流发送 2min 的特征信号,周期为 6min,每小时播发 6 次,其发射频率为 308kHz,它们的识别信号分别为 LT、YO、DL。

无线电测向仪的工作频率为 100kHz~1750kHz,其中以 300kHz~600kHz 为主,属中频范围,作用距离在 100n mile 左右,一般不超过 150n mile。

本章重点讨论无线电方位定位的方法,要求了解无线电测向的基本原理及定位的误差问题。

第一节 无线电测向的基本原理

一、环状天线的方向特性

如在无线电信标的垂直天线上通以交变电流,则在天线周期便形成交变的电磁场,它以天线为中心向空间传播开去。如图 7-1 所示,E 为电场的方向(和天线的方向相同),H 为磁场的方向,则 P 表示电磁波的传播方向,它们三者在空间是互相垂直的。

如果在上述的电磁场中放置一垂直天线,由于受电磁场的影响,将在天线上产生感应电动势。只要使垂直天线与无线电信标保持相等的距离,则不论在什么方向上其感应电动势也

总是相等的,所以它的方向特性图呈正圆形。

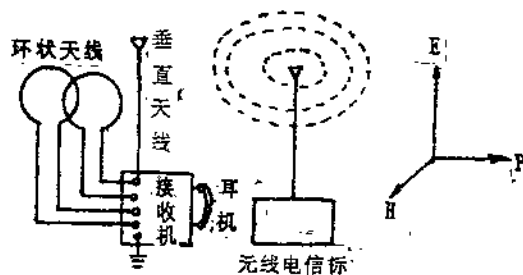


图 7-1

如果在上述的电磁场中放置一环状天线,则情况就不同了。如 7-2(a)所示,当环状天线平面与电磁波传播方向 P 相一致即平行时,由于此时通过环状天线平面的磁力线为最多,所以其感应电动势为最大,即接收机所收到的信号最强,在耳机中听到的声音为最大。

如图 7-2(b)所示,当环状天线平面转到与电磁波传播方向 P 相垂直时,此时通过环状天线平面的磁力线为最少,所以其感应电动势为最小,耳机中听不到声音。

当环状天线平面与电磁波传播方向 P 处于其他不同位置时,则随着交角的不同而接收到强弱不同的信号,耳机中听到声音的大小也不同。

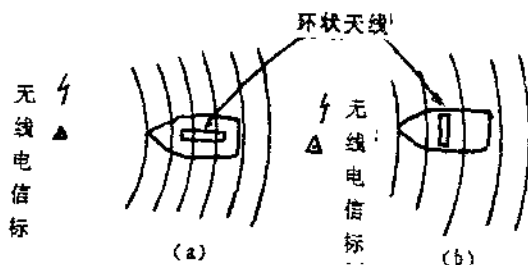


图 7-2

将环状天线平面旋转一周(360°),并测定在不同角度时的信号强度,将得到一个“8”字形的环状天线特性图,如图 7-3 所示。从图中可以看出,当环状天线平面和无线电信标方向垂直(即 $\theta = 90^\circ, 270^\circ$)时,环状天线产生的感应电动势为零,耳机听不到声音,称为“哑点”。利用“哑点”即可测得无线电信标的方向。

当环状天线平面和无线电信标方向一致(即 $\theta = 0^\circ, 180^\circ$)时,环状天线产生的感应电动势为最大,耳机中听到的声音也为最大。

二、利用环状天线测定无线电信标的方向

从上述的讨论中已知,可以通过耳机中所听到声音的最强点或最弱点以判断无线电信标所在的方向。

实践证明,根据声音的最弱点(即“哑点”)来判断无线电信标的方向比较准确。但是在环状天

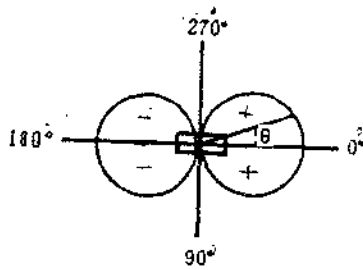


图 7-3

线转动一周中出现两次“哑点”($\theta=90^\circ, 270^\circ$),因此还必需进一步确定,究竟无线电信标是在环状天线平面的哪一边,这就是所谓定边问题。

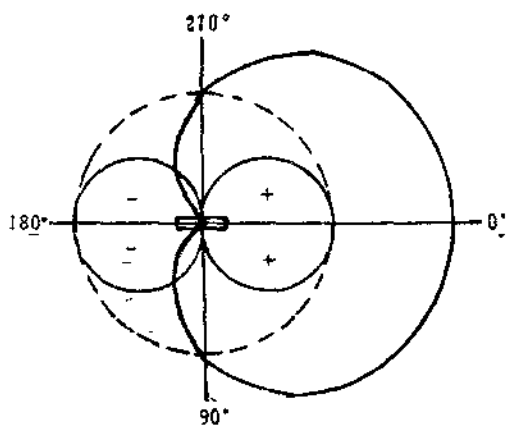


图 7-4

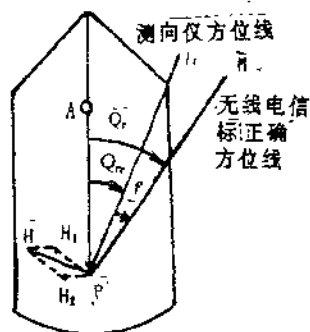
定边的方法是在测向仪中加接一垂直天线,环状天线和垂直天线组成复合天线。这样,输入到测向仪接收机的电压就有两种成份:一种是环状天线产生的“8”字形的感应电压;另一种是垂直天线产生的“圆”形(无方向性)的感应电压。两者相加后得到一心脏形曲线,如图 7-4 所示。这时,当环状天线在 360° 范围旋转时,测向仪耳机中的声音将按照心脏形曲线变化。当 $\theta=0^\circ$ 时,声音很大;而当 $\theta=180^\circ$ 时声音最小,这样便可确定无线电信标的方向。

目前,无线电测向仪发展的种类很多。有上述的旋转状天线测向仪,还有利用测角器的固定环状天线测向仪(双环),后者是当前被普遍使用的一种。从测定方式上分,有耳听式和目视式的。这些不同的测向仪其测向原理也有所不同,以上介绍的仅仅是一种无线电测向的最基本的原理。

第二节 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,它们受无线电信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:一种是无线电信标发出的一次场;另一种是由二次辐射体发出的二次场。因此,船上测得的无线电方位,实际上是无线电信标的一次场和船体的二次场的合成电磁场的方向。从而使所测方向和无线电信标的真方位之间产生一个偏差角,称为无线电自差 f 。如图 7-5 所示, M 为无线电信标, P 为无线电测向仪的环状天线,它位于船首尾线上,设其正前方有二次辐射体 A 。于是,有一次场 H_1 ,它与 PM 垂直;由于二次辐射体的影响,作用在环状天线上的二次场 H_2 与 AP 垂直。 H_1 、 H_2 的合成电磁场矢量为 H 。 H 的方向偏离了 H_1 的方向。无线电测向仪的指针所指的是无线电舷角读数 Q_n ,它与无线电信标 P 的真正的无线电舷角 Q_r 差一个角度 f ,即差了一个无线电自差。



显然,无线电舷角 Q_r 和无线电舷角读数 Q_n 之间有着如下关系: 图 7-5

$$Q_r = Q_n + f \quad (7-1)$$

二、无线电自差的测定

无线电自差是随无线电信标的频率、二次辐射体的结构和位置、船舶吃水以及舷角的不

同而变化。它与磁罗经自差的变化规律有某些相似之处。因此,在处理上也和磁罗经自差相仿。如同对待磁罗经自差一样,如果不掌握无线电自差,则无线电测向仪就失去其应用意义。无线电自差如同磁罗经自差一样,可以通过一定的方法加以校正。

测定无线电自差的目的是测定船舶自身对测向仪测定方位精度的影响。测向仪首次装船时必须认真地校正和测定无线电自差,以后每当甲板建筑,天线附近结构有重大改变时都应及时地进行测定。

1. 测定方法

经常采用的无线电自差测定方法有以下两种:

1) 本船旋回

被测的无线电信标是固定的。本船旋转,视距内的被测电台的舷角将不断变化,于是可测出不同舷角的自差。一般是每隔舷角 10° 或 15° 测一次,即船舶每转过 10° 或 15° 时用罗经测一个舷角作为 Q , 同时用测向仪测一个 Q_{or} , 两者相减之,求得无线电自差 f , 即

$$\text{无线电自差 } f = \text{目测罗经舷角 } Q - \text{无线电舷角读数 } Q_{or}$$

2) 电台旋回

如果附近没有合适的无线电信标可供利用,或航道狭窄,不允许大船旋回,可采用电台转圈的方法,即用一小船装一小型发射台,本船抛锚不动,让小船绕大船转圈。测定自差的方法与本船转圈一样,每隔舷角 10° 或 15° 测一次自差。

经转圈方法第一次测定出的自差,画出自差曲线进行分析后要进行自差消除,尽可能地消除各种误差源,进行必要的补偿,然后再进行第二次转圈测定。最后,以每隔舷角 10° 或 15° 的间隔绘制无线电自差曲线或无线电自差表。

无线电自差表的形式如表 7-1 所示。它是以无线电舷角读数为引数,查取无线电自差的数值和符号。

××船无线电自差表 表 7-1

无线电自差	无线电舷角读数		无线电自差
-0°.2	360°	000°	-0°.2
-1°.5	345°	015°	+2°.8
-2°.5	330°	030°	+4°.5
-3°.5	315°	045°	+5°.5
-3°.0	300°	060°	+4°.8
-1°.5	285°	075°	+2°.5
+0°.5	270°	090°	+0°.2
+2°.5	255°	105°	-1°.2
+4°.0	240°	120°	-2°.5
+4°.8	225°	135°	-4°.5
+3°.8	210°	150°	-3°.2
+2°.2	195°	165°	-1°.5
+0°.2	180°	180°	+0°.2

2. 自差测定注意事项

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量金属货物时,均应重新测定。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的工作状态,即船上甲板设备,如吊杆、索具、救生设备等应处于航行状态,除测向仪天线外,其它天线应断开(但电台接收机天线除外)。

(2) 测定工作应在白天进行,且应避开日出或日落前后至少 1h。

(3) 本船与被测电台间的距离不要太靠近,一般在 1.5n mile 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。

(4) 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° 。

(5) 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。

(6) 当船上钢铁设备、金属索具、无线电天线与环状天线的相对位置有改变时,或者仪器进行过修理,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。

第三节 无线电方位定位

一、无线电真方位

在进行陆标方位定位时,需将所测得的罗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。如图 7-6 所示,无线电真方位 RTB 可由下式求得

$$RTB = TC + Q_n \quad (7-2)$$

根据式(7-1)又可得:

$$RTB = CC + \Delta C + Q_n + f \quad (7-3)$$

$$\text{或} \quad RTB = GC + \Delta G + Q_n + f \quad (7-3')$$

因此,在读取无线电舷角读数 Q_n 的同时,必须记下在观测时刻的船舶实际罗航向(一般是由操舵者配合报读的)。

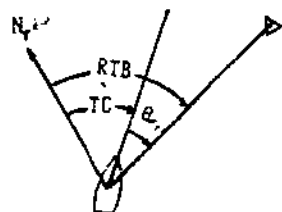


图 7-6

二、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间的最短路径——大圆弧传播的。因此,用无线电测向仪测得的大圆方位即为无线电真方位。如图 7-7 所示,弧 KM 是通过无线电信标和船位的大圆弧。

已知在墨卡托海图上两点间的直线是恒向线。如将通过该两点的大圆弧画在墨卡托海图上,则大圆弧呈现为一条凸向近极(在北半球凸向北极,在南半球凸向南极)的曲线。如图 7-8 所示,船舶在 K 点测定无线电信标 M 的大圆方位(即无线电真方位),由于无线电波是沿着大圆弧传播的,因此在墨卡托海图上从 K 点画出所测得的大圆方位线(即大圆弧 KM 在 K 点的切线 KK')不通过无线电信标 M。换言之,如从无线电信标 M 点按大圆方位的反方向画出大圆方位线也将不通过船位 K 点。

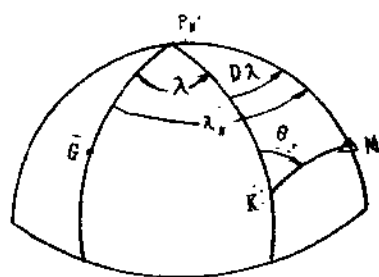


图 7-7

由此可见,在墨卡托海图上,从船位点到无线电信标的大圆方位 RTB 和恒向线方位

RLB 是不一致的,它们之间的夹角称为大圆改正量 ψ ,即

$$RLB = RTB + \psi \quad (7-4)$$

根据理论推导,大圆改正量的近似值可从下式求得:

$$\psi = \frac{1}{2} D\lambda \sin \varphi_m \quad (7-5)$$

式中: $D\lambda$ ——船位(或推算船位)和无线电信标之间的经差;

φ_m ——船位(或推算船位)和无线电信标间的平均纬度。

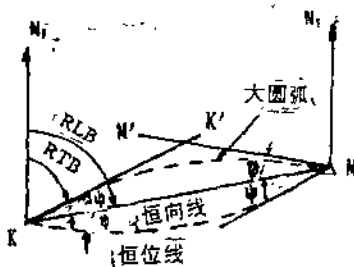


图 7-8

为了便于使用,《航海表》Ⅱ-10a 已计算出大圆改正量的值并列出表格,根据 $D\lambda$ 和 φ_m 两个引数就可查得 ψ 值。

由于在墨卡托海图上大圆弧总是呈现为一条凸向近极的曲线,所以可以根据如下原则确定大圆改正量的符号。

当测者和无线电信标都在北半球时,无线电信标的大圆方位在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内, ψ 为正值;无线电信标的大圆方位在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 范围内, ψ 为负值。

当测者和无线电信标都在南半球时,确定大圆改正量符号的规则恰与北半球的规则相反。图 7-9 可以简明地表示确定大圆改正量符号的规则。

三、无线电方位定位

在无线电方位定位时,如果能够同时测得两个或两个以上(一般为三个)的无线电信标的无线电方位,求得两条或两条以上船测岸台的无线电方位位置线——恒位线,那么,它们的交点便是无线电方位船位。船位符号为“ $\diamond_{D.R.}$ ”。

由于无线电信标的作用距离一般小于 150n mile,因此在进行无线电方位定位时,船舶与无线电信标间的距离是不

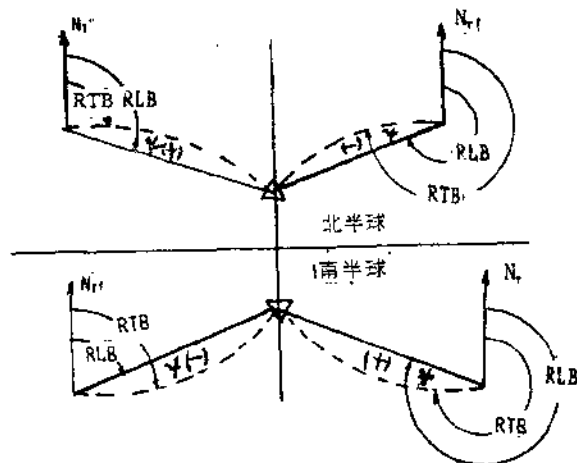


图 7-9

大的。如图 7-8 所示,在墨卡托海图上,通过船位与无线电信标间的恒位线和大圆弧是关于它们间的恒向线对称的。所以,在墨卡托海图上,观测船位应在恒位线上,同时,也应在从无线电信标按该信标的恒向线方位的反方向画出的恒向线上。因此,无线电方位定位的步骤如下:

- (1) 查阅海图,选择适宜的无线电信标,尤其要注意方位线的交角。
- (2) 查阅无线电信号表,并记录无线电信标的有关资料,如工作频率、识别信号、发射时间等。
- (3) 利用测向仪测定无线电信标的方位,在读取无线电舷角读数的同时,记下船舶航向。
- (4) 根据所测定的无线电舷角读数 Q_m 查无线电自差表或无线电自差曲线,求得无线电

自差 f , 并按公式: $Q_r = Q_n + f$, 求得无线电舷角 Q_r 。

(5) 将无线电舷角换算成无线电真方位, 即

$$RTB = TC + Q_r$$

(6) 查大圆改正量表或用公式计算出大圆改正量 ψ , 并利用公式 $RLB = RTB + \psi$ 将无线电真方位换算成恒向线方位。

(7) 在墨卡托海图上, 从无线电信标按恒向线方位的反方向 ($RLB \pm 180^\circ$) 画出位置线。

按上式步骤作出第二条及第三条无线电方位位置线, 它们的交点就是无线电方位船位。

一般情况下, 大圆改正量 $\psi \geq 0^\circ.5$ 时, 应该进行大圆改正量改正。因此, 只要推算船位和无线电信标间的经差超过 1° , 就应该进行大圆改正量的改正。但是, 如果两个位置间的平均纬度小于 20° (N 或 S), 而经差又不超过 2° 时, 大圆改正量可忽略不计。

四、无线电方位定位的精度

无线电方位定位的准确度受着许多因素的影响, 诸如无线电真方位的准确度、测者和无线电信标之间的距离、位置线的交角等等。其中, 无线电真方位的准确度是主要的因素。已知无线电真方位是由下式决定的:

$$RTB = TC + Q_r + f$$

因此影响其准确度的因素也很多, 大致可分析如下。

1. 测定无线电舷角的误差

当利用耳听式测向仪时, 无声角的大小直接影响着无线电舷角读数的准确度, 而无声角的大小又取决于接收地点的电磁场强度、测向仪的灵敏度以及测者的熟练程度等。在良好的收听条件下, 一般无声角为 2° 。

无线电自差的误差也直接影响着无线电舷角的准确度。无线电自差表是根据无线电舷角每变化 $10^\circ \sim 15^\circ$ 所测得的无线电剩余自差而编制的。剩余自差的测定有着一定的误差。而且, 无线电自差是由船体金属所产生的二次电磁场引起。因此, 当船舶在航行时的吃水与测定剩余自差时的吃水不同时, 实际的无线电自差就会与表列的无线电自差不相等。当吃水相差较大时, 这种误差可达 $\pm 2^\circ \sim 3^\circ$ 。

2. 夜间效应

夜间, 在离地面一定高度处存在着电离层, 无线电信标发射的无线电波受到电离层的反射后到达测向仪接收机, 这种反射而来的电波称为天波。天波干扰了由地面直接传播而来的地波产生衰落现象, 使得耳听式测向仪在测定时的哑点模糊且不稳定; 如是目视式测向仪, 则“8”字形图呈变化不定状”。

夜间效应的大小与所测定的电波频率及测定距离有关。频率愈高, 夜间效愈大; 船舶和无线电信标之间的距离愈远, 夜间效应也愈大。对于 300kHz 左右的电波, 测定距离在 100n mile 之外, 由于夜间效应的影响, 其方向变动的最大值约为 $\pm 6^\circ$, 若取其平均方位值, 则可减小到 $\pm 3^\circ$ 以下。

在晨昏朦影期间, 电离层变化最为激烈, 不宜测向。

3. 海岸“折射”误差

无线电波在传播的路程中与海岸线相交, 使得在接近岸线的区域内磁场的相位结构起了变化。由于测定无线电信标方位的是装有环状天线的测向仪, 因此使得这种电磁场相位结构的变化表现为仿佛是无线电波传播方向的变化。

如图 7-10 所示,当电磁场无失真是,等位线(电磁场强度相等的点的连线)为正圆形。测者在测定无线电信标的方位时,使环状天线和等位线相一致(即测定哑点)。由于此时的等位线呈正圆形,故测向仪可正确地测定无线电信标的方位。当无线电波传播路程中与海岸线相交时,电磁场失真,等位线不呈正圆形。但测者在测定时仍力求使环状天线和等位线相一致,因此形成了方向上的误差。无线电真方位与测向仪所测得的方位之间的夹角,称为海岸“折射”误差。

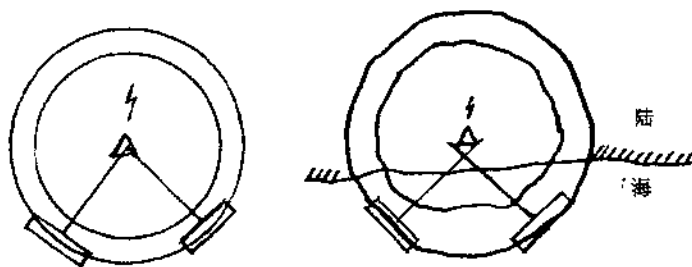


图 7-10

研究证明,海岸“折射”误差具有如下的性质:

- (1) 海岸“折射”误差系由当地地形特点所决定的。
- (2) 误差值的大小与船岸间的距离成反比,当离岸距离大于 10 倍的波长时,“折射”误差消失。
- (3) 误差值的大小还与电波传播路径和海岸线的交角有关,当两者交成 90° 时,“折射”误差为最小;当两者的交角小于 20° 时,这种误差可达 $3^\circ \sim 4^\circ$ 。

两条无线电方位位置线定位的标准差圆半径由下式确定:

$$M = \frac{m_{\text{RTD}}}{57.3 \sin \theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2} \quad (7-6)$$

式中: m_{RTD} ——测定无线电真方位的标准差;

θ ——两条位置线的交角;

D_1, D_2 ——测者与两个无线电信标之间的距离。

综上所述,无线电方位定位的精度受到很多因素的影响,而且又很难确切地知道这些因素究竟有多大的影响。因此,利用无线电方位定位的精度是不高的,尤其离无线电信标的距离较远时,误差更大。由三条无线电方位船位线确定船位时,往往交成一个较大的三角形,可按陆标三方位定位时所出现的误差三角形,作同样的处理。

五、无线电信标的资料

有关我国沿海无线电信标的设置及工作情况的资料详载于各海区的航标表。其内容包括信标的名称、位置、作用距离、频率、音周、工作种类(发射波的性质)、信号发射(信号及周期)以及工作时间等。

有关世界各国沿海无线电信标的设置及工作情况的资料详载于“英版无线电信号表”(The Admiralty list of radio signals, Vol 2)第 2 卷中。其主要内容有:

1. 有关使用无线电信标的须知及参考资料。
2. 无线电信标识别信号的字母索引表:当已知无线电信标的识别信号时,可根据本表查取该信标的名称。

3. 无线电信标的工作说明。
4. 无线电信标字母索引表:当已知无线电信标名称时,可根据本表查取该信标的编号。
5. 附图:按各海区绘出无线电信标的概略位置,并注明名称、识别信号及发射频率。在附图上可根据推算船位选择最有利的几个无线电信标进行观测。

第八章 雷达定位

雷达(Radar)是英文 Radio Detection and Range 的缩略语。它是利用发射的无线电波碰到物标会反射回来的特性以及天线的定向作用来发现物标,并测定其距离与方位。所以雷达在航海上的作用正如它在英语中的含义。

雷达的最大特点是发现物标的方向和距离,在荧光屏上显示出周围物标的影像,在能见度不良时起了望作用。这是其它无线电导航设备所不能取代的。雷达的主要用途有:

1. 探测水面障碍物;
2. 预警碰撞危险;
3. 定位;
4. 导航。

对航海者来说,雷达的重要性不仅在于定位与导航,更重要的是对本船周围的船舶能起跟踪作用,从而避免和防止碰撞。基于这一点,雷达在提供信息的质量方面有了很大的发展。现代远洋船舶和沿海船舶都安装有雷达,有的沿海国家还规定在其水域航行的船舶须按其吨位安装所必需的雷达。国际海事组织(IMO)规定的 500 总吨以上的船舶强制安装雷达,10 000 总吨以上船舶有义务装备两台雷达。

目前船上除安装有船用导航雷达外,尚有自动标绘雷达(ARPA——Automatic Radar Plotting Aid),它是以计算机为基础的船用避碰雷达。1979 年国际海协通过决议,从 1984 年 1 月起将陆续在 1600 总吨以上的各类船舶上安装它。自动标绘雷达将在《雷达与 ARPA》课程中论述。

本章介绍船用导航雷达的工作原理、主要性能,重点讨论雷达影像的特点、定位与导航的方法及其精度。

第一节 船用导航雷达工作的基本原理

一、船用导航雷达的基本组成

船用导航雷达一般由如下五部分组成,即:发射机、接收机(常合称收发机)、显示器、天线和电源变流器。

二、雷达测向、测距原理

雷达采用定向天线将雷达波集中向某一方向发射,当遇到物标时,立即产生回波并返回到天线而被接收,但只能接收在该方向上的反射波。天线由电动机带动,以一定的角速度沿水平方向旋转。因此,发现回波时就可以根据天线方向来确定物标的方向。雷达天线的定向作用在天线所对方向辐射功率最大,其它方向则较小。如同探照灯一样,将光源放在反射器的聚焦点上,射出一条强度很高的窄光束。这有两种好处:一是方向准确;二是大大地增加辐射功率。雷达电磁波也是这样做的。

无线电波以一定的速度在空间传播,当遇到物标时,它具有向着发射体反射能量的性

质。雷达就是利用这种无线电波的反射现象来测定物标的距离和方位的。

雷达发射机通过定向天线按一定的方向发射脉冲电波,当遇到物标时,则脉冲电波的一部分能量就被反射回来,在接收机上就可收到回波。设脉冲从发射出去到回波回来之间的时间间隔为 Δt ,则物标与本船的距离 D 可由下式求得:

$$D = \frac{C \cdot \Delta t}{2} \quad (8-1)$$

式中 C 为电磁波在空间的传播速度, $C=3 \times 10^8$ 米/秒。

实际上不必进行计算,可直接从显示器上测出 D 值。

雷达采用的是定向天线,只能集中地向某一方向发射,也只能接收在该方向上的反射回波。天线由马达带动,以某种角速度沿着水平方向旋转。因为只有当天线转到物标方向时电磁波才能射到物标上,也只有在这个方向才能收到来自物标的反射回波。因此,当发现回波时,就可以根据当时天线的方向来确定物标的方向。物标的方向也可以从显示器上直接测出。这就是雷达测距、测向的基本原理。

雷达平面显示器(PPI, Plane Position Indicator)的荧光屏上的扫描线是顺时针旋转的,而且与天线转动保持同步的。当雷达脉冲波碰到物标并产生回波后,该回波经过放大输入显示器,这就使扫描中的光点呈现较强的辉光。于是,在扫描线的某一位置上形成回波影像。回波影像的方位就是物标方位。由于船至物标的距离与荧光屏中心至回波影像的距离是成比例的,因此,扫描线又可以作为不同比例尺的距离刻度尺。这样,回波影像离荧光屏中心的距离就是船至物标的距离。该距离可按所选择的距离标度显示之。如图8-1所示,雷达工作时,在荧光屏上形成一幅以船(雷达天线)为中心的极坐标平面图象。由于荧光屏的显影是采用平面位置显示法,因此,物标的高低不能显示出来。

第二节 船用导航雷达的航海性能

一、雷达波

1. 船用导航雷达的波长和频率:X波段(波长3cm,频率9300~9500MHz)和S波段(波长10cm,频率2900~3100MHz),它们均属微波波段。该波段的电磁波具有匀速近似直线传播及在同样尺寸的天线的条件下传播方向性较好的优点。船上常用的是3cm波长的雷达,它具有在雨雪和浓雾中传播时电磁能衰减较大的缺点,因此,船上同时还安装10cm波长的雷达,以便达到相辅相成的作用。

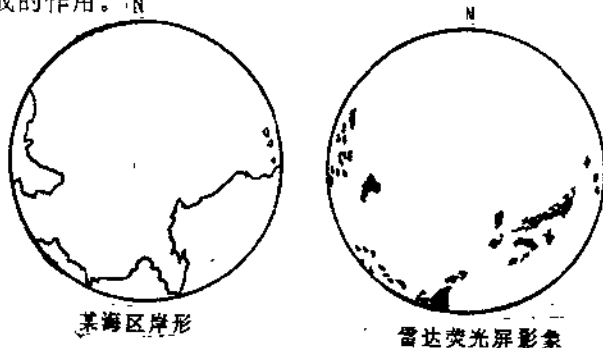


图8-1

2. 脉冲宽度: 又称脉冲持续时间, 它是雷达发射机工作时, 射频脉冲包络的宽度, 以微秒(μs)为单位。船用导航雷达所发射的脉冲宽度约为 $0.05 \sim 2 \mu s$ 。

3. 脉冲重复周期: 它是前一脉冲开始时刻到下一脉冲开始时刻的时间间隔。脉冲重复频率是雷达发射机每秒钟重复发射的脉冲数。脉冲重复周期与脉冲重复频率互为倒数关系。船用导航雷达的脉冲重复频率约为 $500 \sim 5000 \text{ Hz}$, 因此, 雷达脉冲间有一个较长的时间间隔, 这有利于把能量集中起来在极短时间内发射, 以增大雷达作用距离。同时, 这种脉冲发射方式无需鉴别该反射波究竟是哪个发射波产生的。

4. 雷达波束: 如果脉冲能量通过位于辐射体焦点的喇叭形辐射管发射出来, 或直接由隙缝天线的隙缝中辐射出来, 则其绝大部分能量集中在一个方向上形成一个波束。图 8-2 表示辐射功率图, 其中包含有不可避免的漏泄能量形成旁瓣波。反映波束宽度的参数在水平方向上的称为水平波束宽度; 在垂直方向上则称为垂直波束宽度。波束宽度是辐射功率等于

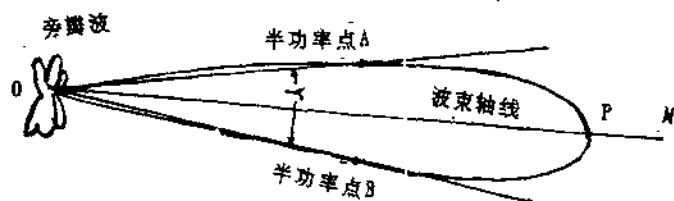


图 8-2

最大辐射功率(在波束轴线方向)二分之一的两个方向间的夹角。图 8-2 中, OM 方向的辐射功率 P 最强, OA 和 OB 方向的辐射功率均降为 $\frac{P}{2}$, OA 和 OB 间的夹角就是波束宽度。船用导航雷达的波束宽度有水平波束宽度和垂直波束宽度。水平波束宽度较窄, 约为

$1^\circ \sim 2^\circ$, 以便提高测定方位的精度和方位分辨力; 为防止当船舶摇摆时漏掉物标, 垂直波束宽度较宽, 约为 $15^\circ \sim 30^\circ$ 。雷达波束有一些旁瓣波将使一部分能量向不必要方向漏泄, 还可能回波回来。

二、雷达作用距离

1. 雷达最大作用距离

雷达的最大作用距离就是对物标回波的最大限度的测定距离。它与雷达的发射功率、传播介质、物标反射能力、天线高度以及物标高度等因素有关。

船用雷达大都采用厘米波段的无线电波。如图 8-3 所示, 厘米波段的无线电波是按光波定律传播和折射的, 但其折射系数稍大于光波的折射系数, 因此雷达地平距离也稍远于视地平距离。雷达地平距离可由下式决定:

$$D = 2.2 \sqrt{h} \quad (8-2)$$

式中: h ——雷达天线高度, 以米为单位;

D ——雷达地平距离, 以海里为单位。

因此, 在具有足够发射功率的条件下, 雷达最大作用距离可由下式确定:

$$D_{\max} = 2.2 (\sqrt{h} + \sqrt{H}) \quad (8-3)$$

式中 H 是以米为单位的物标高度。

雷达最大作用距离也可由《航海表》1-9 中查得。

2. 雷达最小作用距离

雷达最小作用距离就是雷达能够观测物标的最近距离。它与脉冲宽度 τ 、天线高度 h 、雷



图 8-3

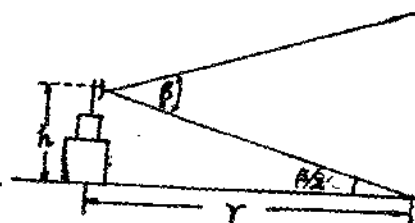


图 8-4

达垂直波束宽度 β 和天线收发开关的恢复时间以及荧光屏上回波光点直径的大小有关。

理论上的最小作用距离可由下式决定：

$$D_{\min} = \frac{1}{2} C \cdot \tau = (h - H) \cdot \operatorname{tg} \left(k \frac{\beta}{2} \right) = (h - H) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (8-4)$$

式中： τ ——以 μs 为单位的脉冲宽度（即脉冲延续时间）；

C ——电波传播速度， $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

但是，还必需考虑到荧光屏上物标回波光点直径的大小，因此实际上的最小作用距离为 $(0.8 \sim 0.9) C \tau$ 。例如，设 $\tau = 0.1 \mu\text{s}$ ，则 $D_{\min} = 30 \text{ m}$ ；设 $\tau = 0.25 \mu\text{s}$ ，则 $D_{\min} = 60 \sim 70 \text{ m}$ ；设 $\tau = 0.5 \mu\text{s}$ ，则 $D_{\min} = 130 \sim 140 \text{ m}$ 。

雷达的最小作用距离还可以用“盲区”来加以说明。

为了使船舶在摇摆时，在雷达的荧光屏上不致失去物标的回波，因此所发射的雷达波在垂直面上具有 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的垂直宽度。所谓“盲区”即指位于天线辐射角下缘，雷达波不能射及的区域。在理论上，雷达“盲区”的半径 r 可由下式求得，见图 8-4。

$$r = h \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad (8-5)$$

式中： h ——天线高度，单位米；

β ——雷达波的垂直波束宽度。

实际测定的“盲区”半径与计算的数值不相符合，应当进行实际的测定。测定时，可使小艇由船首驶离测定船，开始时在荧光屏上是没有回波的，当小艇驶离到一定距离时，在荧光屏上刚刚出现小艇的回波，记下这时小艇与测定船之间的距离就是“盲区”的半径。反之，使小艇由较远处驶向测定船，开始时在荧光屏上是有回波的，当小艇驶近到一定距离时，在荧光屏上刚刚消失小艇的回波，记下这时小艇与测定船之间的距离也就是“盲区”的半径。

显然，天线在水面上的高度是与吃水有关的，因此，在测定“盲区”半径时要注意记录吃水。

一般情况下，驾驶员应在 $D_{\min}$ 和 r 之中选择数值较大者作为该雷达的最小作用距离。

3. 雷达物标发现距离

以上介绍了求取雷达最大作用距离和最小作用距离的概念和方法，无疑地，物标与船舶之间的距离必须大于最小作用距离而小于最大作用距离，才有可能被雷达所发现。但是，即使是位于这两种距离之间的物标也不是一定能被雷达所发现的。在发射功率足够、设备性能良好的条件下，雷达发现物标距离还与物标对电磁波的反射能力有关，这又取决于物标的大小、形状、位置及其表面结构。如陡峭山壁较平坦海岸的发现距离为远，钢质船舶较木质船舶