



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

航海仪器

船舶驾驶专业

主编 陶志刚



人民交通出版社

航海仪器

主编 陶志刚



人民交通出版社

人民交通出版社

中等职业教育国家规划教材（教育部规划教材）

航海仪器

主编 陶志刚

船舶驾驶专业

船舶管理（4年）	尤庆华	主编
船舶操纵（4年）	孙琦	主编
船舶值班与避碰（4年）	赵邦良	主编
航海英语阅读（4年）	吴钟琪	主编
航海英语听力与会话（4年）	刘岗	主编
海洋与气象（4年）	沈四林	主编
船舶结构与设备（4年）	王忠	主编
航海学（4年）	徐宏元	主编
航海仪器（4年）	陶志刚	主编
船舶货运（4年）	王捷	主编

汽车电气设备构造与维修（3年）	周建平	主编
汽车电控发动机构造与维修（3年）	夏令伟	主编
汽车材料（3年）	周燕	主编
汽车使用性能与检测（3年）	杨益明	主编
汽车自动变速器构造与维修（3年）	吴玉基	主编

轮机管理专业

轮机英语（4年）	施祝斌	主编
轮机英语听力与会话（4年）	李秀红	主编
船舶柴油机（4年）	李春野	主编
轮机工程基础（4年）	刘翠萍	主编
轮机维护与修理（4年）	周卫杰	主编
船舶电气设备（4年）	张作化	主编
船舶管理（4年）	刘万鹤	主编
船舶辅机（4年）	陈立军	主编
电工与电子技术（4年）	徐美娟	主编
制图基础与机械制图（4年）	许晶	主编

船体建造与修理专业

船舶焊接工艺（3年）	王鸿斌	主编
船体建造与修理工艺（3年）	华乃导	主编
修造船生产安全技术（3年）	李忠林	主编
船用材料与加工工艺（3年）	顾善明	主编
计算机船舶绘图操作（3年）	彭辉	主编
船体生产设计（3年）	刁玉峰	主编
船舶舾装工艺（3年）	唐永刚	主编
船舶与制图（3年）	魏莉洁	主编

汽车运用与维修专业

汽车发动机构造与维修（3年）	汤定国	主编
汽车底盘构造与维修（3年）	周林福	主编

公路与桥梁专业

工程测量（3年）	张保成	主编
道路材料试验（3年）	伍必庆	主编
公路工程施工技术（3年）	苏建林	主编
钢筋混凝土结构（3年）	柴金义	主编
路面结构（3年）	夏连学	主编
桥梁构造与施工（3年）	王德平	主编
公路工程管理（3年）	梁金江	主编
公路养护与管理（3年）	彭富强	主编

ISBN 7-114-04372-4



9 787114 043727 >

ISBN 7-114-04372-4/U · 03219

定价：16.80元



人民交通出版社

中等职业教育国家规划教材

Hanghai Yiqi

航海仪器

(船舶驾驶专业)

主 编	陶志刚
责任主审	蔡存强
审 稿	孔凡邨
	孙国元

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材,共分九章。内容包括无线电测向仪、罗兰 C、GPS 卫星导航系统、磁罗经、陀螺罗经、回声测深仪和计程仪的基本工作原理、组成及结构、误差产生原因及消除方法、使用维护保养和定位方法等。

本书适合于海洋船舶驾驶专业教学使用,也可作对海船船员适任证书考试的教科书以及供船舶驾驶人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

航海仪器/陶志刚主编. —北京:人民交通出版社,
2002.8

ISBN 7-114-04372-4

I.航... II.陶... III.航海仪器 IV.U666.15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 048384 号

中等职业教育国家规划教材

航海仪器

(船舶驾驶专业)

主 编 陶志刚

责任主审 蔡存强

审 稿 孔凡邦

孙国元

版式设计:姚亚妮 责任校对:张莹 责任印制:张恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:10.25 字数:244 千

2002 年 8 月 第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-1000 册 定价:16.80 元

ISBN 7-114-04372-4

U·03219

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”，教育部全面启动了中等职业教育国家规划教材建设工作。交通职业教育教学指导委员会航海类学科委员会组织全国交通职业学校(院)的教师，根据教育部最新颁布的船舶驾驶、轮机管理、船体建造与修理专业的主干课程教学基本要求，编写了中等职业教育船舶驾驶、轮机管理、船体建造与修理专业国家规划教材共 28 册，并通过了全国中等职业教育教材审定委员会的审定。

本套教材的编写以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据，以职业岗位的需求为出发点，始终围绕职业教育的特点，具有较强的针对性。新教材较好地贯彻了“以全面素质为基础，以能力为本位”的教育教学指导思想，结合对培养学生的创新精神、职业道德等方面的要求，提出教学目标并组织教学内容。新教材在内容的编写上以“必需和够用”为原则，紧扣大纲，深度、广度适中，体现了理论和实践的结合，强化了技能训练的力度。新教材在理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有明显的区别。

本套教材是针对四年制中等职业教育编写的，也适用于船员的考证培训和船厂职工的自学。《航海仪器》是中等职业教育船舶驾驶专业国家规划教材之一，内容包括：无线电测向仪、罗兰 C、GPS 卫星导航系统、磁罗经、陀螺罗经、回声测探仪和计程仪的基本工作原理、组成及结构、误差产生原因及消除方法、使用维护保养和定位方法等共四篇九章。

本书由上海海运学院蔡存强教授担任责任主审，孔凡邨、孙国元副教授审稿。他们对书稿提出了宝贵意见，在此，表示衷心感谢。

参加本书编写工作的有：南京海运学校陶志刚(编写第一、四篇)、上海海事职业技术学院肖建农(编写第二篇、第三篇第六章)、南京航运学校王建国(编写第三篇第五、七章)，全书由陶志刚担任主编，上海海事职业技术学院陆文兴高级讲师担任主审。

限于编者经历及水平,教材内容很难覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广国家规划教材的同时,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业技术学校教学指导委员会

航海类学科委员会

二〇〇二年五月

第一篇 无线电导航系统

第一章 无线电测向仪	1
第一节 无线电测向原理	1
第二节 无线电测向仪与使用保养	5
第三节 无线电测向误差	8
第二章 罗兰 C 导航系统	12
第一节 罗兰 C 导航系统的组成	12
第二节 罗兰 C 导航系统工作原理	17
第三节 罗兰 C 接收机	19
第三章 GPS 卫星导航系统	22
第一节 卫星导航系统概述	23
第二节 GPS 卫星导航系统组成	24
第三节 GPS 系统定位原理	27
第四节 GPS 卫星导航仪	28
第五节 GPS 卫星导航仪定位误差	33

第二篇 船用磁罗经

第四章 船用磁罗经自差校正	38
第一节 磁的基础知识及地磁	38
第二节 船用磁罗经和方位仪	45
第三节 磁罗经的自差原理	50
第四节 磁罗经自差的校正	64

第三篇 航海陀螺罗经

第五章 陀螺罗经的指北原理	74
第一节 概述	74
第二节 陀螺仪及其特性	75
第三节 变自由陀螺仪为陀螺罗经的理论依据与方法	79
第四节 摆式陀螺罗经的等幅摆动和减幅摆动	82
第五节 电磁控制式陀螺罗经原理	88

第六章 陀螺罗经误差及其消除	89
第一节 纬度误差	90
第二节 速度误差	90
第三节 冲击误差	94
第四节 摇摆误差	99
第五节 基线误差	100
第七章 三大典型陀螺罗经	101
第一节 安许茨系列陀螺罗经	101
第二节 斯伯利 MK-37 型陀螺罗经	118
第三节 阿玛-勃朗 MK10 型陀螺罗经	124

第四篇 水声导航仪器

第八章 回声测深仪	129
第一节 回声测深仪的基本原理	129
第二节 回声测深仪	131
第三节 回声测深仪误差	139
第四节 SKIPPER ED-162 型回声测深仪	140
第九章 计程仪	143
第一节 概述	143
第二节 电磁计程仪	144
第三节 多普勒计程仪	147
第四节 声相关计程仪	150
参考文献	153

第一篇 无线电导航系统

第一章 无线电测向仪

无线电测向是无线电导航系统中最早使用的系统。无线电测向仪(radio direction finder - DF)能根据其他船舶的无线电台发射的电波来确定这些船舶的相对方位,所以无线电测向仪可作为搜寻遇险船舶重要仪器之一,因此,“国际海上人命安全公约”规定在 1600 总吨以上的船舶要装备无线电测向仪。随着全球海上遇险与安全系统(GMDSS)的应用,无线电测向系统已不再是唯一的测定遇险船舶方向的无线电导航系统。无线电测向仪与其他定位仪器相比较,其测方位的精度较低(测向精度为 $\pm 2^\circ \sim \pm 5^\circ$),作用距离较近。但其优点是可以测定任何无线电发射台的方向,通用性强,设备简单,使用方便,成本较低,对发射台无特殊要求。因而无线电测向仪作为一种有价值的助航仪器在世界许多地区,包括至今其他导航系统尚未覆盖的区域均可使用。

第一节 无线电测向原理

一、无线电信标的设置

无线电测向系统由无线电测向仪和无线电发射台两部分组成。专供无线电测向用的发射台称为无线电信标,或称示标台(Radio Beacon)、无线电指向标,无线电测向仪可以测定无线电信标的方向,用于船舶的定位和导航等方面。

目前全世界共设立 1900 多个专门用于测向的无线电信标(Radio Beacon),一天 24h 连续向附近海域发射无线电波。船舶航行时,在无线电示标台的作用范围内,可用无线电测向仪进行测向定位。

无线电信标发射的频率范围为 255 ~ 525kHz,常用 291.5 ~ 318.5kHz。由于测向的无线电信标采用中波波段,电波以地波传播为主,故作用距离较近(白天为 100 n mile、夜间为 50 n mile)。因此无线电测向仪属于近距离无线电导航设备。

通常无线电信标设置在沿海或岛屿海岸边缘处。无线电信标一般由 2~6 个台组成台组,称为一个台链。台链内的无线电信标以地名命名,无线电信标先用莫尔斯码发射识别信号,再发射测向信号。台链内的无线电信标按时间分隔制,依次以相同的发射频率发射无线电识别信号和测向信号。无线电信标在海图上用图式和缩写标示出其准确的位置。我国沿海无线电信标的位置及工作情况的资料,详载于各海区的航标表中,其中包括信标的名称、位置、作用距离、频率、工作时间等;世界各国无线电信标的资料载于英版无线电信号表第二卷(The Admiralty List of Radio Signals Vo1.2)及各航海国家的航海出版物中。

现在全向无线电信标有时可能发布气象报告或差分罗兰 C 修正量。从发展看,无线电信标还可以用于传送辅助数据等,例如传送 GPS 的差分修正量。

二、测向仪天线的方向性

测向仪能够测出信标的方向主要是依靠环状天线的方向特性。因此,要了解测向仪的工作原理,首先必须了解测向仪天线的方向特性。天线的方向特性一般用天线中感应电动势的振幅与电波传播方向的几何关系图来表示,称为天线的方向性图。

无线电测向仪的天线系统包括垂直天线和环状天线两部分。在进行测向时,单独或组合使用,以获得所需的方向特性。船用无线电测向仪的环状天线通常由两个垂直的环状天线组成,固定安装在船桅或顶甲板上。

描述天线方向特性的图形,称为天线的方向性图,就是用图形来表示天线对不同方向来的信号的反应的方法。一般用等强度的无线电波在天线中感应电动势的振幅与电波传播方向的几何关系图来表示,如图 1-1。

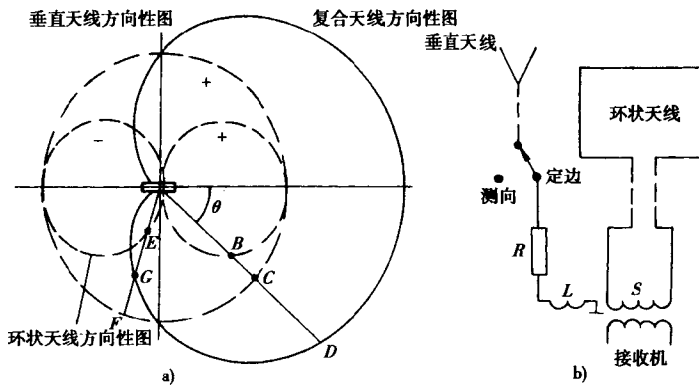


图 1-1

1. 垂直天线的方向性

垂直天线是一种无方向性天线。设电场强度有效值为 E , 垂直天线有效高度为 h , 电波的角频率为 ω , 则电场强度瞬时值的表达式为:

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

垂直天线的感应电势为

$$V_1 = \sqrt{2} h \cdot e \cdot \sin\omega t \quad (1-2)$$

由式(1-2)可见,一根垂直天线所产生的感应电势与电场强度 E 和天线的有效高度 h 成正比,而与电波的来向无关。垂直天线的方向性图用极坐标表示则是一个圆形。我们将垂直天线称为无方向性天线。

2. 环状天线的方向性

环状天线是一种方向性天线。假设电波来向与环面的夹角为 θ (图 1-1a), 环状天线的有效高度为 h_{el} , 其中心的电场强度为 E 。根据电磁感应定律,可以推导出环状天线中产生的感应电势的表达式为

$$V_2 = \sqrt{2} h_{el} \cdot E \cdot \cos\omega t \cdot \cos\theta \quad (1-3)$$

式中: h_{el} ——环状天线的有效高度:

$$h_{el} = \frac{2\pi N \cdot S}{\lambda} \quad (1-4)$$

式中： N ——线圈匝数；

S ——线圈围成的有效面积；

λ ——电波波长。

由式(1-3)可见，环状天线产生的感应电动势 V_2 不仅与电场强度 E 和环状天线的有效高度 h_{el} 成正比，而且还与电波的来向有关，亦即用环状天线收听任何方向等距离的电台信号时，若各电台发射功率相等，则收听效果与环状天线平面和电波来向夹角的余弦成正比。当电波来向与环状天线平面平行($\theta = 0^\circ$ 或 180°)时，其感应电动势最大；当电波来向与环状天线平面垂直($\theta = 90^\circ$ 或 270°)时，其感应电动势最小或零，此时由无线电测向仪监听到的信号声音最小或监听不到信号的声音，称为哑点。环状天线的方向性图在极坐标中是一个“ ∞ ”字形图(图 1-1)。

测向时只要旋转环状天线，当接收信号为最弱点(即“哑点”)时，环状天线平面的垂直方向就是发射台的方向。一般利用环状天线感应电势的最小值(哑点)来确定电波传播方向，这是因为环状天线感应电势的最小值(哑点)附近，环状天线感应电势的变化率较大，比较容易确定哑点的准确位置，测向精度较高。但是，由于环状天线“ ∞ ”字形方向性图有两个哑点，即与环状天线平面垂直的二个相差 180° 的方向都可能是电波传播方向，所以利用环状天线测出的无线电信标方向具有双值性。

3. 复合天线的方向性

在无线电测向过程中，为了消除环状天线“ ∞ ”字形方向特性的双值性，在两个相反方向中，确定哪一边是无线电信标正确方向的过程称为定边。定边的方法是引入垂直天线。垂直天线和环状天线组合后的天线称为复合天线，它的方向性如下：

设环状天线和垂直天线产生的感应电势的振幅相等并且相位相同，则可得到复合天线的感应电势为

$$V_0 = V_m \cdot (1 + \cos\theta) \quad (1-5)$$

式中： V_0 ——环状天线(或垂直天线)感应电势振幅的最大值。

若把电波来向与感应电势大小用极坐标表示，得出复合天线的方向性图为一个心形图或叫心脏形图，有一个感应电势最小点(哑点)和一个感应电势最大点(图 1-1)。

在无线电测向过程中，因为环状天线的“ ∞ ”字形方向特性的哑点比复合天线的心形方向特性的哑点尖锐，故可先旋转环状天线，利用其“ ∞ ”字形方向特性进行精确测向，得到两个可能的方向，再接入垂直天线，形成心形方向特性的复合天线，再次旋转环状天线，用心形方向特性定边，以判定无线电信标的方向。

三、测角器测向原理

测角器是用于测定无线电信标方位角度(舷角或者方位角)的装置。测向仪依靠环状天线的方向性，利用“ ∞ ”字形方向性图来测定发射台方位时，只要旋转环状天线，当接收信号为最弱点(即“哑点”)时，环状天线平面的垂直方向指示出发射台的方向。但是，一般船用无线电测向仪的天线固定安装在船桅或顶甲板上，环状天线不能转动，为此，使用测角器把空间的电磁场引入到接收机中的测角器中来，这样只要转动测角器中的寻向线圈，同样可以测得发射台方位。

测角系统由正交的固定环状天线与测角器组成,其简单原理示意如图 1-2 所示。测角器由两个互相垂直的固定场线圈 A、B 和一个可绕中心轴转动的寻向线圈组成。两个固定场线圈分别与对应的环状天线 A、B 相连接。为了使测角系统的方向性图保持无畸变的“∞”字形方向特性,寻向线圈必须处在场线圈的均匀磁场中,使寻向线圈在转动时与场线圈的耦合按正弦或余弦规律变化。寻向线圈的轴上装有指针,它的方位刻度盘上的示度就是被测无线电信标的方位。

假设被测电台发射电波的传播方向与纵向环 A 的夹角为 θ ,而与横向环 B 的夹角为 $90^\circ - \theta$ 。设两个环状天线中产生的感应电势分别为 V_A 、 V_B ,根据式(1-3)可知 $V_A \propto \cos\theta$ 和 $V_B \propto \sin\theta$ 。 V_A 和 V_B 将在测角器的固定场线圈中产生感应电流,因而产生的磁场 H_y 、 H_x ,根据电磁感应原理可知:

$H_y \propto \cos\theta$, $H_x \propto \sin\theta$ 。设置环状天线和测角器时,由于保证了环状天线与测角器相应回路的各种特性一致,因此, $H_{ym} = H_{xm} = H_m$ 。在固定场线圈中产生的合成磁场为:

$$H_0 = \sqrt{H_y^2 + H_x^2} = H_m \quad (1-6)$$

式(1-6)表明,使用测角器便可把空间磁场引入测角器。如果合成磁场与场线圈 B 平面的夹角为 Ψ ,则

$$\text{tg}\Psi = \frac{H_x}{H_y} = \text{tg}\theta \quad (1-7)$$

所以

$$\Psi = \theta \quad (1-8)$$

式(1-8)说明合成磁场的方向与电波的来向角度相等。不言而喻,若能找出合成磁场的方向 Ψ ,则可求出电波的传播方向。由此可知,只要旋转寻向线圈并根据其输出信号的强弱变化,找出其最小值便可确定电台的方位。由图 1-2 可知,寻向线圈在合成磁场中旋转,垂直于寻向线圈合成磁场的分量在寻向线圈中将产生感应电势;若寻向线圈平面与场线圈 B 平面的夹角为 α 则寻向线圈中的感应电势为

$$V_s = V_m \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad (1-9)$$

式(1-9)说明,当寻向线圈转至 $\alpha = \theta$ 时,感应电势为零(即找到被测电台来波的“哑点”),此时可以从寻向线圈的指针读出被测电台的方位 θ 。

现在,船舶通常安装固定式双环天线的目测式自动无线电测向仪。测向时,将无线电测向仪调谐到无线电信标的发射频率,认真调整各种旋钮后,再利用垂直天线的定边作用,手动或自动定边,然后记下指针或图像所指示方位的读数即可。测向过程是自动完成的。

四、测向仪天线的结构

无线电测向仪的天线系统包括垂直天线和环状天线两部分组成,环状天线通常由两个垂直的环状天线组成,固定安装在船桅或顶甲板上,一个环状天线的平面与船首尾线平行(最好安装在龙骨线上),称为纵向环;另一个环状天线平面垂直于船首尾线,称为横

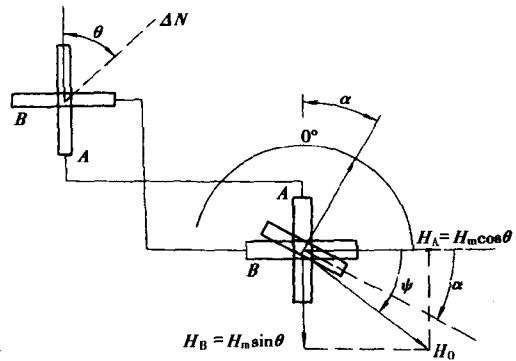


图 1-2

向环。

由于船体及船上其他天线、吊杆等金属物体对环状天线的感应电动势产生影响,环状天线本身及其输出电路不对称和屏蔽不良等原因,在无线电测向仪接收机输入端产生一个无方向的附加电压,和环状天线“∞”字特性电压叠加引起哑点偏移和哑点模糊,影响测向精度,称为天线效应。为了消除天线效应,将环状天线放置在一个接地金属管内,金属管的上部或下部留有切口,切口处用绝缘物封住。金属管的主要作用是使得环状天线对金属管壁的分布电容趋于对称平衡,减小周围不均匀分布的导体和船体的影响,同时又可防止了海水、雨水侵入、增加强度。由于金属管没有形成闭合回路,入射电波能在环状天线上产生感应电势,电势的振幅和电波来向有关。两个环状天线由电缆分别与接收机中的测角器相连。连接电缆采用屏蔽电缆,以防止电缆直接接收信号。将环状天线中点接地。测向仪面板上有天线效应补偿旋钮,可以调节由垂直天线引入的哑点补偿电压,以达到补偿的目的,使哑点最尖锐,使“∞”字形方向特性接近于理论情况。

第二节 无线电测向仪与使用保养

目前船舶通常采用固定式双环天线目测式无线电测向仪,工作中频波段。目测式无线电测向仪有两类,即阴极射线管目测式无线电测向仪和伺服指针式无线电测向仪。下面介绍两种有代表性的无线电测向仪。

一、单波道目测式无线电测向仪

1. 框图原理

单波道目测式无线电测向仪是一种利用阴极射线管显示方向性图的测向仪,它由环状天线、测角器、超外差式接收机和电源等部分组成,其原理框图如图 1-3 所示。

测角器由无线电测角器(高频测角器或叫输入测角器)和扫描测角器(低频测角器或叫输出测角器)组成,并借助同步电机使两者作同步旋转。两个正交环状天线中产生的感应电动势分量经重新组合,用以测量无线电波方位的装置称为无线电测角器。将感应电势分解为垂直和水平两部分,输至阴极射线管以显示电波来向的装置称为扫描测角器。无线电测角器和扫描测角器的结构相同,工作原理相似,不过作用却相反。

两个互相垂直的环状天线分别与无线电测角器定子线圈(场线圈)相联。无线电测角器寻向线圈输出端输出的无线电测向信号经过超外差式接收机的高放级、变频级、中频放大和检波后,与(30kHz)等幅振荡电压相混合并进行调制,其调制波经功率放大输至扫描测角器的旋转线圈,在其固定线圈所感应的电势则分别加到阴极射线管的两对偏转板上,使荧光屏上出现一束与寻向线圈每瞬时位置相对应的亮线,形成如同狭长的“螺旋桨”图形(“∞”字形图)。桨尖指示刻度即为被测无线电信标的方位。

当定边开关放在定边位置时,超外差式接收机输入回路引入了垂直天线信号,将“∞”字形

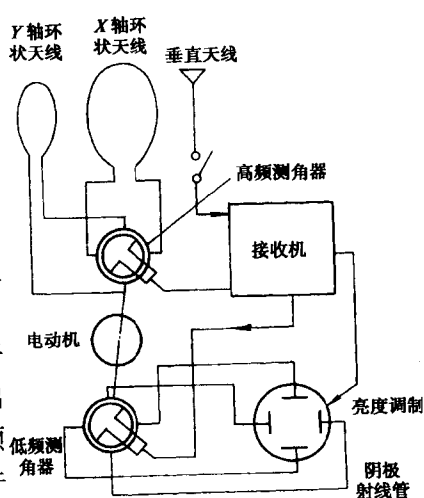


图 1-3

方向图变成心形方向图。该信号经过超外差式接收机放大、检波后与(30kHz)等幅振荡信号进行调制后,经过扫描测角器加到阴极射线管的两对偏转板上,在阴极射线管上显示心形图形。根据心形图及刻度盘预先刻好的箭头,可判断出无线电信标的正确方位。

2. 各控钮的作用

电源控钮:切断或接通电源及调整电压。

航向同步旋钮及按钮:使陀螺罗经复示器的度数对准固定刻度盘的零度,用以测取无线电信标的真方位。

半径调节:控制图形在荧光屏上的大小。

中心调节(在机内):控制图形在荧光屏上的位置,使“∞”字形叶瓣的中心对准方位标尺的中央。

系统转换:置“DF”时,用作测向;置“RCV”时,用作收音。

定边:扳到“自动”时,自动定边;扳到“手动”时,再按手动定边按钮可实现手动定边。

音量:控制扬声器声音大小。

波段:选择被测无线电信标的频率范围。

调谐:选择被测无线电信标的频率。

工作方式:选择无线电信标信号的调制方式。

增益:控制超外差式接收机高放和中放级的放大量。测向时,调增益使荧光屏图形呈“∞”字形叶瓣。

照准尺(方位):调节方位指针对准“∞”字形叶瓣的两尖端。

3. 操作方法

(1)接通电源开关。先扳至“A”位置预热 2min,然后扳至“1”或“2”或“3”位置,使电表指示在标准刻度线上。

(2)调节航向同步旋钮,使可动航向刻度盘以航向对准方位刻度盘上的 0°为宜。

(3)扳系统转换开关至“DF”位置,顺时针方向转动音量旋钮,置工作方式开关至所接收信号的调制方式(例如:A2A 调制方式),以便监听信号。

(4)转动“半径调节”使荧光屏上的圆形图的半径为荧光屏半径尺寸的 3/4。

(5)扳波段开关,调主、细调谐旋钮至欲测无线电信标的频率。

(6)调节增益控制,荧光屏上的图形变成“∞”字形图形。调主、细调谐使“∞”字形变得更尖锐,调谐指示电表偏转最大。

(7)调节照准尺旋钮,使标尺的中线对准“∞”字形尖端,再调增益旋钮、半径旋钮使“∞”字形清晰。

(8)定边。如果自动定边开关放在自动定边位置,无线电测向仪处于自动定边状态;如果自动定边开关置于手动定边位置,需要再手动按下定边按钮进行定边。定边时,根据荧光屏“∞”字形射线偏转方向来观察照准尺上的箭头指示方向,照准尺的中线在此方向上的读数便是方位,内圈为相对方位,外圈为真方位。有些无线电测向仪需按照使用说明书进行定边操作。

4. 特点

单波道目测式无线电测向仪能自动单值测向,简单方便,可看到电波信号的状况;接收机通道只有一个,电路调整方便;需要无线电测角器和扫描测角器;易受电台干扰,产生虚假的方位。

二、伺服指针式无线电测向仪

1. 框图原理

伺服指针式无线电测向仪也称为具有跟踪系统的自动无线电测向仪,由环状天线与垂直天线、测角器、超外差式接收机、方位指示系统和电源等部分组成,其原理框图如图 1-4 所示。

两个互相垂直的环状天线分别与无线电测角器定子线圈(场线圈)相联。无线电测角器寻向线圈输出的无线电测向信号经放大、移相后,使其与垂直天线信号的幅度相等,相位相同。该信号输至平衡调制器,受调制的环状天线信号与垂直天线信号在叠加回路中叠加。当旋转无线电测角器的寻向线圈时,叠加信号的幅度随方位的变化在极坐标系中呈心脏形。该信号经超外差式接收机的高放级、变频级、中次级和检波级后经伺服放大器输至伺服电机,伺服电机带动无线电测角器的寻向线圈与方位指针旋转。当测角器偏离零点接收方向时,整个电路的驱动信号使测角器向零点位置移动。到达零点时,环状天线测角系统输出信号完全消失,调制电压不再起调制作用,伺服检波器无输出,伺服电机停转。此时,方位指针指示出无线电信标的正确舷角读数。调制波幅值为零的另一个零点,由于测角器输出信号相位相差 180° ,因此产生的信号并不使测角器停在这一点上,而是顺着扰动方向使测角器继续转动,一直转动到真正的零点位置时停止。这种测向仪(自动测向时)无需定边,称为伺服指针式自动无线电测向仪。

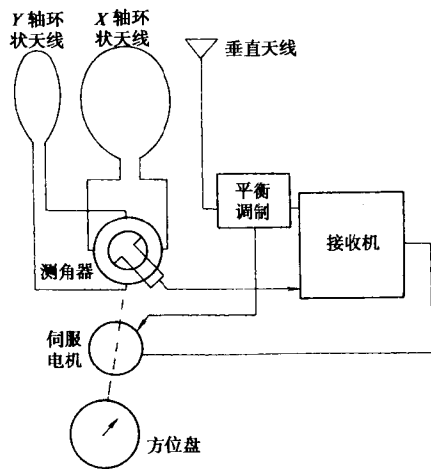


图 1-4

2. 操作方法

(1) ~ (3)与单波道目测式无线电测向仪操作步骤(1) ~ (3)相同。

(4)置波段开关、调谐旋钮至欲测无线电信标的频率。当接收到信号时,电表指针偏到最大,调节增益旋钮使电表读数为 4。

(5)扳系统转换开关至自动位置,这时测角器的长指针指示出无线电信标的真方位;扳系统转换开关至手动位置,需要手动按下定边按钮进行定边,转动测角器,比较测角器的指针所示的两个方位读数,声音较轻者(此时电表读数也较小)即为正确的方位。

3. 特点

伺服指针式无线电测向仪能自动单值测向,线路简单,操作方便;需要测角器和平衡调制器,测向速度慢,若测到不稳定零点,需较长时间返回到稳定的正确方位零点;定边天线相位特性不好时,易产生误差。

三、无线电测向仪的保养与检查

1. 保养

(1)经常清洁无线电测向仪外部,使面板清洁,指示器清晰。

(2)定期清洁测角器转动机件及加注润滑油。

(3)保持环状天线周围 5m 以内的金属索具等的状态与最近一次测定和校正无线电自差时的状态相同。

- (4)保证天线牢靠,环状天线屏蔽管除绝缘部分外应敷油漆保护。
- (5)天线应保持测定无线电自差时之状态,不得移做它用,不得与其他任何物体碰触。
- (6)保持电压正常。

2. 检查

- (1)了解保养执行情况和存在的问题,并加以处理。
- (2)检查测向及定边情况。
- (3)检查无线电自差曲线的图表是否符合要求。
- (4)利用电表测量有关电压及电流,使其符合规定值。
- (5)检查并保持开关、旋钮、继电器、插件、插板接触可靠。

第三节 无线电测向误差

无线电测向误差包括仪器误差、电波传播误差、测向定位误差和无线电测向仪自差。

一、仪器误差

仪器误差是无线电测向仪本身结构、电路的不完善及安装不当等所产生的误差。其主要的误差有直接接收效应、位移电流效应、测角器误差和垂直天线效应等。

直接接收效应是因接收机的调谐线圈、导线等直接接收电波时产生的误差。位移电流效应是在两匝以上的环形天线中,因环圈间存在分布电容而产生位移电流所引起的误差。测角器误差是因测角器的结构、耦合等因素所产生的误差。垂直天线效应(即天线效应)是因环状天线非定向接收,引起哑点偏移和哑点模糊的现象。

无线电测向仪在制造中,已把仪器误差限制在 $\pm 1^\circ$ 以内,在使用时无须考虑该误差。但在平时保养和检修时,务须保持仪器的原有结构,不得随意移动机内的部件及更改电路结构。测向操作时,正确调节天线效应补偿旋钮,使哑点最尖锐,以保证补偿合适。

二、电波传播误差

无线电测向仪的电波传播误差,主要有夜间效应(或称极化误差)及海岸效应两种。

1. 夜间效应

由于椭圆极化的天波对线极化的地波的干涉使测向产生的误差,称为夜间效应,又称极化误差。无线电测向仪主要用垂直极化的地波信号测向。在夜间,离无线电信标超过 20n mile 时,还能接收到较强的天波信号。天波是椭圆极化波,其振幅、相位和极化程度等是变化的,其传播方向与地面有个倾角,因而使测向零点漂移和模糊,而且使接收信号衰减和不稳定,引起方位误差。

日出、日落前后 1h 内,夜间效应最严重,这时不宜进行测向。

距离愈远,夜间效应愈大。在离无线电信标台 30 ~ 50n mile 范围内,地波远强于天波,夜间测向精度不低于白天;距离增大时,夜间效应随之增大,使测向准确度大为降低。

电波频率愈高,夜间效应愈大。在短波测向中,主要接收天波时,白天与晚上均存在夜间效应。

使用阴极射线管目测式无线电测向仪,因夜间效应,椭圆图像随时间摆动,椭圆轴的长度随时改变,在图像摆动不大时,可以求取平均方位读数。使用伺服指针式无线电测向仪,因夜

间效应,使伺服指针随时间摆动变化,在指针摆动不大时,可以求取平均方位读数。减小夜间效应的根本方法是尽量避免接收天波,选择频率低、距离近的无线电信标,并在测定无线电方位时注意读取平均值。

2. 海岸效应

电波通过海岸时,电波等相位面发生扭曲引起测向误差的现象称为海岸效应。陆地和海面的电气参数不同,电波通过海岸线时,由于地面传导性能剧变,地波相速发生变化。如果传播方向不与海岸相垂直,等相位面的不同部分到达海岸线的时间不一致,便引起海岸线附近的过渡区域内等相位面扭曲的现象,形成海岸折射,引起测向误差。

距离海岸愈近,海岸效应愈显著。随着离无线电信标距离的增加,海岸效应逐渐减小。当距离大于 10λ (λ :电波波长)时,海岸效应可以忽略不计。

电波传播方向与海岸线的夹角愈小,海岸效应愈大。夹角为 90° 时,海岸效应可以忽略不计*。

电波频率愈高,海岸效应愈大。为减小海岸效应,应尽量选择频率低,距离船舶大于 10λ 且电波来向与海岸线夹角在 $20^\circ \sim 160^\circ$ 范围内的无线电信标。

三、测向定位误差

测向定位误差主要与观测方位误差和测向位置线的交角有关,主要因素有:

1. 无线电信标的位置与周围环境。
2. 所测无线电方位线的交角。
3. 无线电测向仪的性能,无声角宽度。
4. 夜间效应、海岸效应的影响。
5. 无线电测向仪自差测定精度。
6. 操作者测定方位和读取无线电测向方位读数的经验,熟练程度。

为了提高测向定位精度,应注意下列事项:

1. 在测定前,首先应检查无线电测向仪,并确认其工作状态良好。
2. 应尽可能选择 100n mile 以内的无线电信标进行测定,且本船和无线电信标之间不宜有其他船舶(近处)或明显高大建筑物,也不宜越过陆地、岛屿进行测定。
3. 当选用两个无线电信标测定时,其位置线交角以接近 90° 为最佳,不得小于 30° 和大于 150° ;当选用三个以上无线电信标测定时,应选择多个交点中间的最或然船位。
4. 本船收发信机及收音机天线均应处于绝缘状态。天线附近的金属索具等均应保持在测定自差时的状态,以免产生误差。
5. 在夜间为了避免夜间效应,在离无线电信标 30 ~ 50n mile 范围进行测向,其精度不低于白天;距离增大时,由于夜间效应增大,使测向准确度大为降低,日出前后 1h 内与日落前后 1h 内,夜间效应最甚,不宜进行测向;利用短波测向时,白天与晚上均存在夜间效应。
6. 当船与岸距离较近(小于 10 个波长),且船与无线电信标的连线与海岸线夹角小于 20° 时,因海岸效应,不宜测向。
7. 在恶劣条件下测向时,应多测几次,取其平均值计算定位;为减小船舶倾斜或吃水深度变化时船舶强烈摆动所引起的误差,应在无线电测向舷角为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 时测向或者改变航向测向;在巨浪海况条件下,应偏重于利用无线电波沿着波浪方向或者垂直于波浪方向传播的无线电信标进行测向。