

舰船无线电导航



4

海军大连舰艇学院

舰船无线电导航

主编 瞿学林

主审 宋光普

海军大连舰艇学院

1997年1月·大连

舰船无线电导航

主编: 瞿学林

(大连市中山区解放路 667 号 116018)

海军大连舰艇学院印刷厂

787 × 1092 毫米 1/16 开本 字数 200 千字

印数 0001 - 1500

970420 - 1304 - 0020 - 065

定价: 16.3 元

前 言

本教材是根据我院水面舰艇技术指挥专业和水面舰艇技术航海专业的《航海仪器》教学大纲编写的。供我院水面舰艇技术指挥专业共同科目和航海专业教学使用，也作为舰艇部队航海专业人员和专业技术人员的参考书。

本书根据国内外无线电导航发展的现状和发展趋势，重点介绍罗兰 C、全球卫星定位系统和组合导航三部分的系统组成、工作原理、仪器使用。为使用无线电导航仪器导航和进一步学习新的无线电导航系统打好基础。

全书共分五章。第一、二、五章和全球海上遇险与安全系统等内容由宋光普同志编写，第二、三章和电子海图等内容由瞿学林同志编写，第四章和奥米伽接收机由张卫国同志编写。在编写过程中，得到了教研室全体同志的大力支持，王秀森同志校阅了全书，郑海同志绘制了部分插图。

由于无线电导航发展变化快，我们收集的资料不全，对有些新的资料消化理解不够，加之编写时间很仓促，书中定会存在错误和不当之处，敬请使用本书的同志批评指正。

编者

一九九七年一月

目 录

第一章 概论

第一节 概述	1
第二节 无线电导航	2
第三节 圆-圆导航	12
第四节 双曲线导航	14

第二章 罗兰 C 导航

第一节 导航台工作概况	19
第二节 电波传播	28
第三节 罗兰 C 导航仪工作原理	33
第四节 罗兰 C 图表定位及误差	42
第五节 脉冲/8、差罗兰 C	45

第三章 卫星导航

第一节 概述	48
一、卫星导航系统简介	48
二、卫星导航系统分类	53
三、卫星导航的基础知识	53
第二节 导航星全球定位系统	56
一、GPS 系统的组成	56
二、GPS 信号	61
三、GPS 定位原理	66
四、GPS 接收机	70
五、差分 GPS	84
第三节 GLONASS 卫星导航系统	93

第四章 综合导航

第一节 奥米伽导航系统.....	103
第二节 电子海图.....	109
第三节 舰船综合导航系统.....	115
第四节 全球海上遇险与安全系统.....	120
第五节 测向仪与指向标.....	137
第六节 塔康导航系统.....	142

第五章 舰船用导航设备

第一节 XN - 800 型罗兰 C 导航仪.....	149
第二节 H/HYW002A 型罗兰 C 导航仪.....	163
第三节 H/HYW001A 型罗兰 C 导航仪.....	172
第四节 NAVTRAC GPS 导航仪.....	183
第五节 NAV5200 DX GPS 导航仪.....	206
第六节 JLA - 104 型奥米伽接收机.....	225
第七节 MX - 1105 GPS 导航仪.....	230
第八节 NSS - 2000E 型航海支持系统.....	248
第九节 H/HZD - 002A 型船用综合导航系统.....	274
第十节 ADF - 4800 型测向仪.....	281

第一章 概 论

第一节 概 述

一、导航及其任务

导航的一般含义是引导航行。在技术上，它通常指安全、正确、经济地把舰船、车辆和各种飞行器，从一地引导到另一地的方法和技术。具体地说，导航的任务是在各种气象条件下，引导舰船、飞机等沿着预先规定的航线航行；为保证舰船和飞机的航行安全和提高效率，对舰船和飞机的活动进行调度和实施交通管制；引导车辆在丛林、沙漠等特殊环境中行驶。随着科学技术的发展，导航除了上述任务外，在军事上还包括配合完成侦察、巡逻、反潜、空中集合、空中编队、救援、武器发射等任务；在国民经济中为大陆架研究和开发、海洋调查、铺设海底电缆、捕鱼作业的重复撒网，农林业中的撒药灭火等，提供高精度的位置信息和完成授时、通信和识别等任务。

二、导航方法

导航是一门综合性的技术，随着科学技术的进步和发展，用于完成导航的方法是十分广泛的。现对几种导航方法作一简单介绍。

1、陆标导航

陆标导航是根据地面或海面的固定地物标志，如山川、城镇、岛屿及建筑物等进行定位并引导航行的方法。近代利用电视、雷达等手段观察周围环境图象进行导航，也是这种方法的发展。

这种方法简单、可靠，但不适应高速航行体和未开发地区，并受气象条件限制。

2、天文导航

天文导航是根据测量天体的高度、方位或其它参数进行定位，并引导航行的方法。这个方法不需要导航台，其缺点是受气象条件限制。

3、地磁导航

地磁导航是利用地球的磁效应进行导航的方法。这种方法，导航设备简单、可靠，但精度不高。

4、惯性导航

惯性导航是通过陀螺仪、加速度计等测得有关参数，然后通过计算得到航行体已航行的距离、当前位置、姿态等数据，进行导航的方法。

这种方法不需航行体外的信息源，因而抗干扰性、保密性好；它不受气象和地理条件的限制，特别适合于潜艇、远程航空等导航运用。但是导航精度随工作时间增长而下

降，需要用其它系统提供的信息，进行重调校正。因而在实用中，往往是以其为主与其它导航设备组成组合导航系统。

5、无线电导航

无线电导航是利用无线电技术测量航行体的方位、距离、速度等参数，引导航行体航行的技术。与其上述各导航方法相比，有如下的优点：受气象条件的影响小，基本可实现全天候工作；测量精度高；工作可靠，可实时地给出导航数据。无线电导航易受人为或自然干扰；需岸上设备或卫星配合，抗干扰性、保密性较差。

除上述五种导航方法外，还有利用灯塔、指示灯的灯光导航；利用红外线辐射源的红外线导航；利用波束很窄，但能量高度集中的激光导航；利用超声波的声纳导航等，这些方法在导航中也有一定的运用。

三、基本导航要素

通常与导航有关的基本参量称为导航要素，或称为导航参数。基本的导航要素有位置、航迹、航速、方位、舷角等。

1、位置

舰船在地球表面的位置称为船位。船位由某种坐标表示，如经度与纬度；方位与距离等。

2、航迹

舰船重心在地球表面上运动的轨迹称为航迹。

3、航向

通过舰船重心的子午线北向与船首线在水平面上的夹角称为航向。航向可以从地理子午线、磁子午线和罗经子午线北向起算，相应地可以有真航向、磁航向和罗航向。

4、航速

舰船在无风、无流的静水中单位时间内航行的距离称为航速；舰船在风流和波浪影响下单位时间内实际航行的距离，即舰船对地运动速度，称为实际航速，又称对地速度。有时将舰船相对于水的运动速度称为航速。

5、方位

观测点到所观测物体之间的连线，称为方位线。通过舰船重心的子午线北向与物体方位线之间的夹角，称为方位。方位又分为真方位、磁方位和罗方位。

6、舷角

船首线与物标方位线之间的夹角称为舷角。以船首线为基准，顺时针量到物标方位线或向左、向右量到物标方位线。

以上几个导航要素，在航行中进行导航时，经常需要用到。

第二节 无线电导航

无线电导航是利用无线电波进行定位并引导航行体沿着预定航线航行的技术。它是根据无线电波的传播特性,测量地面或空间导航台发射的无线电波参数(频率、振幅、时间和相位),求得航行体相对于导航台的方位、距离、距离差或距离和等,从而实现定位与导航。

一、无线电导航的技术基础

(一) 无线电波的传播特性和规律

1、无线电波传播特性

无线电导航是通过无线电波的发射和接收获得导航参数的。利用无线电技术测量航行体的方位、距离、速度等参数,是建立在无线电波传播特性的基础之上的。

无线电波传播有三个基本特性:

- (1) 无线电波在任何两种媒质的边界面上必然产生反射;
- (2) 在理想均匀媒质中,无线电波直线传播;
- (3) 在理想均匀媒质中,无线电波传播速度是常数。

根据无线电波反射特性,可以利用无线电方法搜索与发现目标;用无线电波直线传播的特性,可以测定无线电波的传播方向;利用电波传播速度恒定的特性,可以测定到目标的距离,利用这些观测及其组合,就能够建立起各种无线电导航系统。

2、无线电频段划分

无线电波根据频率(或波长)不同,可以划分为各种不同的频段,不同频段的无线电波,有不同的传播方式。表 1-2-1 列出各种导航系统所应用的各频率范围。

无线电波频段的划分

表 1-2-1

频段名称	符号	频率范围	波段名称	波段范围	应用
极低频	ELF	3-30Hz	极长波	100000-10000Km	奥米伽 罗兰 C、台卡、测 罗兰 A 向 仪 卫星 导航、塔康 船用 雷达
超低频	SLF	30-300Hz	超长波	10000-1000Km	
特低频	ULF	300-3000Hz	特长波	1000-100Km	
甚低频	VLF	3-30kHz	甚长波	100-10Km	
低频	LF	30-300KHz	长波	10000-1000m	
中频	MF	300-3000KHz	中波	1000-100m	
高频	HF	3-30MHz	短波	100-10m	
甚高频	VHF	30-300MHz	米波	10-1m	
特高频	UHF	300-3000MHz	分米波(微波)	10-1dm	
超高频	SHF	3-30GHz	厘米波(微波)	10-1cm	
极高频	EHF	30-300GHz	毫米波(微波)	10-1mm	

长期以来，人们习惯上把波长从 1 米到 1 毫米的电磁波统称为微波。在第二次世界大战期间，为了保守微波雷达研究的秘密，采用英文字母表示各频段，这种表示方法沿用至今。它们之间的关系见表 1-2-2 所示。

1 千兆赫以上频段划分法

表 1-2-2

字母代号	频率范围 (GHz)	波长范围
L	1 ~ 2	30 ~ 15cm
S	2 ~ 4	15 ~ 7.5cm
C	4 ~ 8	7.5 ~ 3.75cm
X	8 ~ 12.5	3.75 ~ 2.4cm
K _U	12.5 ~ 18	2.4 ~ 1.6cm
K	18 ~ 27	1.6 ~ 1.1cm
Ka	27 ~ 40	1.1 ~ 0.75cm
Q ~ W	40 ~ 100	7.5 ~ 3mm

3、无线电波传播方式

无线电波的传播特性提供了无线电导航的可能性，在实现导航时，还需注意无线电波不同频段的传播规律。无线电波传播方式主要有地波传播、天波传播、视距传播和波导模传播等方式。

(1) 地波传播

地波传播是指电波沿地球表面传播，又称绕射传播或称地表面波传播。地波传播主要受地表面土壤的电性参数和地形地物的影响，频率愈高，则影响愈大。土壤的电性参数和地形地物随时间的变化一般不大，因此，地波传播稳定可靠。

(2) 天波传播

天波传播是指电波经电离层反射而到达接受点的传播。长波、中波、短波都可以经电离层反射传播。更高频率的无线电波传播可以穿过电离层，因而不能靠电离层反射传播。

由于电离层的形成是太阳辐射等所致，因此随昼夜、季节、地区及太阳本身活动的不同，电离层高度和电子密度都在变化，其中 D 层和 E 层有明显的昼夜变化规律。

由于电离层的变化，接收点天波相位和场强不够稳定；在有多路径传播时，所接受的不同路径的信号在时间上有不同的延迟，有时可达几毫秒，从而导致信号失真。

(3) 视距传播

视距传播是指收、发两端电波处于直视范围的传播。视距传播分为地面视距传播，地面 ~ 空间视距传播，空间 - 空间视距传播三种情况。以这一传播方式工作的是微波和超短波。

(4) 波导模传播

波导模传播是指甚低频信号在大气波导中的传播。地球表面和电离层所构成的是一个球面大气波导，大气波导无侧壁，甚低频信号在水平方向上是全方向传播，而在垂直方向上，则受到大气波导上、下壁的限制，其能量损失较小，可传播很远的距离。

甚低频信号在靠近发射台的区域，不仅有一次模波，还有二次模波和高次模波，它

们相互干扰,使相位稳定性变差。实际上大自然所构成的波导,其传播条件是变化的,尤其是电离层底端的高度昼夜变化很大,影响同一接收点甚低频信号的相位、幅值。

对无线电波的某一频段而言,电波传播方式可能以某种方式为主,也可能多种方式并存。这种情况将对无线电导航系统选择产生影响。

甚高频以上(米波、微波):按视距传播方式工作。由于波长短,天线尺寸可作得较小,容易得到尖锐的方向性图和实现脉冲方式工作;外界干扰小,信号可靠性高。卫星导航系统,微波着陆系统,船用雷达和一些近程导航系统均工作在这个频段上。

高频(短波):地波传播衰减很快,主要靠电离层反射的天波传播。天波传播不够稳定,容易出现衰落现象。该频段不宜选作导航系统用。

中频(中波):传播为地波传播和天波传播。传播特性较稳定,白天地波较强,夜间天波较强。在天、地波同时作用的区域,由于天波的不稳定,将给导航系统工作带来困难。目前,选用此频段的导航系统有无线电测向仪、康索尔和罗兰 A 等。从发展观点来看,该频段不能获得尖锐的方向性,加上大量广播电台充满在该频段,未来的导航系统不会选用此频段。

低频(长波):传播方式为地波传播和由电离层反射的天波传播。在传播过程中,信号的幅度和相位的稳定性好;传播损耗小,适于远距离传输。在此频段的导航系统有罗兰 C 和台卡等。

甚低频(超长波):为波导模传播方式,损耗小,适用远距离传输。一次模波传播,信号相位稳定。工作在此频率段的导航系统有奥米伽。

(二) 定位几何原理

在平面上至少要有两条线相交才能确定一个点的坐标,这些线可以是直线,圆和双曲线。舰船在地球表面上的位置,一般用地理坐标经度和纬度来表示。它是通过测量某些已知地理位置的基准点或导航台的导航参数来实现的。可以测量的导航参数有方位、距离、距离差、距离和等。在导航中,具有固定导航参数点的轨迹称为位置线,位置线也称为等值线。例如:平面方位位置线,是以地面基准点(或导航台)向外辐射的直线;平面距离位置线,是以地面基准点(或导航台)为圆心的圆周;至两个地面基准点(或导航台)具有等距离差的位置线,是以该两个地面基准点(导航台)为焦点的双曲线。对于空中用户,导航参数具有同一数值的点的轨迹不是一条线,而是一个面,至少三个面才能确定一个点的坐标。在球面上的定位与在平面上的定位原理完全一样。

在导航中经常采用位置线相交的方法定位,有以下几种方法可获得位置线:

1、测向法

测向法通常是以航行体测定基准点

(或导航台)的方位,表示两者间的相对方向关系。如图 1-2-1 所示, A 为导航台,在航行体上测得 A 的真方位为 α_A , 则通过 A 作出方位位置线 AP, 它与真北方向之间的夹角为 $180^\circ + \alpha_A$ 。同时测得导航台 B 的真方位, 可得另一条方位位置线。两条方位位置线的交点 P, 确定了航行体的位置。

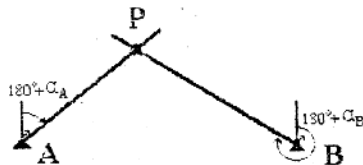


图 1-2-1 测向法定位

2、测距法

在测距法中,测量的导航参数是航行体与导航台(或基准点)之间的距离。从航行体上同时测得两个导航台的距离,便可以得到两条距离位置线,如图 1-2-2 所示,利用两条距离位置线的交点,即可得航行体的位置。由于两条距离位置线的交点有两个,即存在定位双值性。三条距离位置线的交点,所得的位置才是唯一的。

3、测距差法

测距差法测量的导航参数是航行体到两个导航台的距离差,由测距差法测得的距离差位置线是双曲线。从航行体上同时测得两对导航台的双曲线相交,即可得到航行体的位置,如图 1-2-3 所示。

4、综合法

将上述三种方法,进行任意组合,形成综合法。例如,对某个导航台测量的两个导航参数为方位和距离,如图 1-2-4 所示,可得到两条位置线,其交点 P 即是航行体位置。

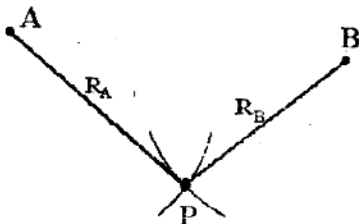


图 1-2-2 测距法定位

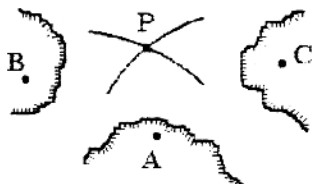


图 1-2-3 测距差法定位

二、对无线电导航系统的基本要求

无线电导航系统的战术技术指标是衡量系统质量的标志,是系统设计的依据。根据系统任务与用途的不同,战术技术的要求也不相同。通常,无线电导航系统的主要战术技术要求有:作用距离、可靠性、精度、工作容量、隐蔽性和抗干扰性等。

(一) 作用距离

作用距离是指在技术指标得到保证情况下,航行体和导航台之间的最大距离。系统的作用距离应该由它们所承担的任务来确定。现在的无线电导航系统的作用距离,可以从几十千米到几千千米乃至全球范围。根据作用距离可以将导航系统分为:近程导航系统、中程导航系统、远程导航系统和超远程导航系统等。

(二) 可靠性

可靠性通常是指导航系统和导航设备,在规定条件下和预定时间内,完成规定功能的能力。导航系统与导航设备的可靠性可用正常工作概率表示。正常工作概率是指在一定使用条件下,在给定的时间间隔内持续保持技术指标不变的概率,也就是在给定时间

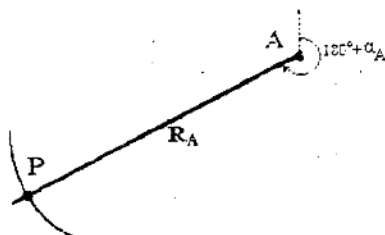


图 1-2-4 综合法定位

间隔内不产生任何故障的概率。

系统工作可靠性应包括电波传播的可靠性与设备本身的可靠性。

电波传播在微波、米波、短波、中波、长波等各个波段，都有不同的特点，因此在考虑系统工作可靠性时，应正确选择波长。

设备本身的可靠性又包括电气与机械的可靠性两方面。电气工作的可靠性是指在给定的气候、温度、湿度范围内，不发生故障的概率。机械工作的可靠性是指应当承受规定的振动与冲击时不发生故障的概率。

(三) 精度

导航系统与设备的精度，是指在规定的使用条件下，能够保持获得导航参数的误差在给定范围内的能力。系统与设备的精度可用误差的大小来表示。

导航参数的误差等于测得的参数与实际参数之差。误差包括系统误差与偶然误差两部分。系统误差是稳定量，可以通过测试得出，并且可以修正测量结果。偶然误差由于具有随机性质，不可能通过一次测量就能确定下来，但可用统计方法求出。通常用均方误差 σ 作为精度的标准，具有概率 $P(\sigma) = 0.68$ 。也有用两倍均方误差 2σ ，具有概率 $P(2\sigma) = 0.95$ 作为精度的标准。

(四) 抗干扰性和隐蔽性

抗干扰性是指在有干扰时，无线电导航系统保持给定性能指标的能力。隐蔽性是指无线电导航设备工作时，不被敌人发现的可能性。

无线电干扰种类很多，有天然干扰、工业干扰、人工干扰等。干扰作用的结果是使无线电设备和系统测定的导航参数准确性降低，甚至失去工作能力。

(五) 工作容量

通常将导航系统能同时提供航行体使用数量的能力，称为工作容量。工作容量的大小，取决于系统和设备的工作原理。对于航行体只需要接收装置的导航系统，它的工作容量是无限的。

此外，还有设备的尺寸和重量，使用操作自动化程度，经济性以及维护、修理方便等要求。

三、无线电导航系统的分类

无线电导航在其发展过程中，对系统分类的方法有多种，有按测量的无线电信号的参数来分类，有按位置线形状来分类，也有按作用距离来分类，以及按导航基准的所在位置来划分等。

(一) 按测量的无线电信号的参数分类

无线电信号可以表示为 $e = E \sin(\omega t - \varphi)$ ，信号中包含了四个参数，即振幅 E 、频率 ω 、时间 t 、相位 φ ，这几个参数可以体现导航参数—方位、距离、距离差等。根据欲测导航参数与信号参数之间的关系，可把无线电导航系统分为振幅系统，相位系统，频率系统和时间系统。

1、振幅导航系统

利用无线电信号的振幅与导航参数之间的依从关系，测定导航参数的导航系统，称

为振幅导航系统。该系统的特点是利用发射天线或接收天线的方向特性；接收设备根据接收到的信号振幅强弱变化与天线方向的关系，来测定导航台的方位。如无线电测向系统，就属于振幅导航系统。

2、相位导航系统

利用无线电信号的相位与导航参数之间的依从关系，测定导航参数的导航系统，称为相位导航系统。该系统的特点是利用无线电波在传播过程中相位延迟与传播距离之间的线性关系，进行测距或测距差等。导航中广泛使用的台卡系统和奥米伽系统，都属于相位导航系统。

3、频率导航系统

利用无线电信号的频率与导航参数之间的依从关系，测定导航参数的导航系统，称为频率导航系统。该系统的特点是利用接收设备测量发射信号与反射信号在传播时间内形成的频率差别或利用对运动产生的多普勒频移来测量距离或距离差。导航中使用的调频式无线电高度表，子午仪卫星系统，都属于频率导航系统。

4、时间导航系统

利用无线电信号的传播时间与导航参数之间的依从关系，测定导航参数的导航系统，称为时间导航系统。时间导航系统利用脉冲工作最容易实现，因此时间导航系统通常称为脉冲导航系统。该系统的特点是接收设备测量脉冲信号先后到达的时间差或测量信号经接收点和基准方向之间的时间间隔来求得距离、距离差或方位。导航中使用的罗兰 A 系统，康索尔系统，都属于时间导航系统。

实际应用中，也有综合系统，如脉冲-相位系统，脉冲-频率系统，脉冲-振幅系统等。

(二) 按位置线形状分类

按照确定位置的位置线几何形状分类，无线电导航系统可分为：

1、测向系统

利用无线电信号测定发射台的方位的系统，称为测向系统或测角系统。系统位置线是射线，又称直线系统。采用这种位置线工作的系统和设备有无线电测向仪，仪表着陆系统等。

2、测距系统

利用无线电信号测定航行体到导航台的距离的系统，称为测距系统。因系统位置线是圆周，又称为圆系统。采用这种位置线工作的系统和设备有无线电高度表，无线电测距器，精密测距系统等。

3、测距差系统

利用无线电信号测定航行体到两个导航台的距离差的系统，称为测距差系统。因系统位置线是双曲线，又称为双曲线系统。采用这种位置线工作的系统，有罗兰 A 系统，

几 种 典 型 的 无 线 电 导 航 系 统

表 1-2-3

系统名称	作用距离		定位精度	基本原理	频率	其它
罗兰 C	远程	白天 1200 海里 (地波) 夜间 2400 海里 (天波)	0.2-0.3 海里 3 海里	脉相双曲线	100KHz	电波入水深度: 3 - 5 米
脉冲8	中程	500 海里	重复精度 50 米	脉相双曲线 圆 - 圆	100KHz	
罗兰 A	中程	白天 700 海里 (地波) 夜间 1400 海里 (天波)	0.5-1.5 海里 2-4 海里	脉冲双曲线	1750-1950 KHz	
台卡	近程	约 350 海里	16 米 - 2 海里	相位双曲线	70-130 KHz	
奥米伽	超远程	单台工作距离: 4500 - 9500 海里	2-4 海里	相位双曲线	10-14KHz	电波入水深度: 十几米
测向仪	近程	150 海里	1-2°	振幅式测向	250-550 KHz 1600-2850 KHz	有的用甚高频
塔康	近程	500 千米	测向 1° 测距 ± 600 米	方位 - 距离	960-1215 MHz	
导航星全球定位系统(GPS)	全球	全球	16-100 米	测伪距	1227MHz 1575MHz	三维位置 三维速度 精密授时
全球卫星导航系统 GLONASS	全球	全球	10-30 米	测伪距	1246MHz 1615MHz	三维位置 三维速度 精密授时
伏尔	近程	500 千米	1-2°	相位式测向	108-118 MHz	
测距器	近程	500 千米	(0.1-1) % 距离	测距离	960-1215 MHz	
微波着陆	近程	37 千米	航向 0.2° 下滑 0.12°	扫描时间 测量	5031-5091 MHz	
仪表着陆	近程	46 千米		航向下 滑航道	108-112 MHz 329-335 MHz	

罗兰 C 系统, 台卡系统, 奥米伽系统, 康索尔系统等。

(三) 按作用距离分类

按照导航系统作用距离的不同, 无线电导航系统可分为:

1、近程导航系统

对舰船来讲, 作用距离在 50 ~ 100 海里; 对飞机来讲, 作用距离约为 100 ~ 500 千米的导航系统, 称为近程导航系统。

2、中程导航系统

对舰船来讲, 作用距离在 500 海里; 对飞机来讲, 作用距离约为 500 ~ 1000 千米的导航系统, 称中程导航系统。

3、远程导航系统

对舰船来讲, 作用距离在 1500 海里; 对飞机来讲, 作用距离约为 2000 ~ 3000 千米的导航系统, 称为远程导航系统。

4、超远程导航系统

对舰船来讲, 作用距离约在 5000 海里以上; 对飞机来讲, 作用距离大于 10000 千米的导航系统, 称为超远程导航系统。

(四) 按导航基准的所在位置分类

按照导航基准所在位置的不同, 无线电导航系统可分为:

1、地面基准系统

以地面导航台为基准的导航系统, 称为地面基准系统。地面基准系统包括: 无线电测向、台卡、地面导航雷达、罗兰 A、罗兰 C、奥米伽和飞机引导着陆等系统。

2、用户基准系统

以用户本身为基准的系统, 称为用户基准系统。用户基准系统包括: 机载导航雷达、多普勒导航雷达、船用导航雷达等。

3、卫星基准系统

以卫星为基准的系统, 称为卫星基准系统。卫星基准系统包括: 子午仪卫星导航系统 (NNSS), 导航星全球定位系统 (GPS), 全球卫星导航系统 (GLONASS) 等。

四、无线电导航的发展

无线电导航是无线电技术在人们生产和社会活动中的应用, 至今已有九十多年的发展历史, 无线电导航的发展过程, 大致可分为三个阶段。

(一) 无线电测向阶段

这个阶段包括从无线电发明到第二次世界大战前这一段时间。这个阶段的特点是, 无线电测向的发展从理论和实验研究开始并制成设备, 最后得到广泛应用。

无线电测向是无线电导航的最早方法, 它随着无线电的发明就开始了。1902 年丁·斯通, 发明了无线电测向仪技术, 但因其用途比一般无线电通信小, 迟迟没能得到应用。1907 年发明了测角器, 开始了无线电测向仪的实用阶段。1908 年第一部实用低频无线电测向器问世。这时没有专门的地面无线电导航台, 其测向是借助方向性天线, 测量广播和通信电台的信号实现的。1926 年出现了第一个地面无线电导航台 (也称为

信标或指向标)。三十年代全向和定向无线电信标,得到了广泛的应用。

我国于1927年首先在长江口花鸟山建立了第一座无线电指向标,1930年开始正式使用。1933年大戛山及余山二灯塔也建立了无线电指向标,以保证长江口的航行安全。1941年在成山头也建立了一座无线电指向标,为海上航行服务。

无线电测向的可靠性和精度虽然都很低,但是对于速度不高、数量不多的,完全依靠磁罗经、航钟或地标导航的舰船和飞机来说,由于克服了气象和环境造成的困难,所以在三、四十年代一直被作为舰船和飞机的主要导航设备。

(二) 地面基准无线电导航阶段

这个阶段包括从二次大战前夕到五十年代末这一段时间。这个阶段的特点是,无线电导航从无线电测向进入以地面基准无线电导航系统定位的阶段。

二次世界大战前夕,除无线电测向仪以外,无线电测距器和无线电高度表已相继研制成功,飞机用仪表着陆系统的雏型也基本形成。但是这些设备远远满足不了战争中双方要出动大量的舰船、潜艇和机群作战导航的需要。因此,当时德、英、美、苏等国都投入了大量的人力、物力研制新型无线电导航系统。

1940年,德国首先研制成功了供指挥潜艇用的“桑尼”(Sonne)系统。随后,美国研制成功了罗兰A(Loran-A)系统,英国研制成功了台卡(Decca)等系统。另外,在飞机着陆引导系统方面,英国除了改进和完善并正式形成仪表着陆系统外,还研制出地面指挥引进(GCA)系统。大战前夕问世的雷达,也是无线电技术应用于导航的一个重要方面,例如英、美、德等国先后制成了地面导航雷达、空用导航雷达,以及航海导航雷达等。

二次世界大战后,是地面基准无线电导航系统大发展的时期。这时期的无线电导航系统有:美国研制成功的伏尔(VOR)、地美依(DME)和塔康(Tacan)系统;对改进后的桑尼系统,美国称为康索兰(Consolan)系统,英国称为康索尔(Consol)系统,苏联称为扇形无线电指向标。美国还研制了罗兰C系统,英国研制了台克垂拉(Dectra)、台尔拉克(Delrac)系统。法国研制了无线电网(Radio mesh)系统等。对飞机着陆引导系统,相继提出并研制了自动地面指挥引进系统、磁性电缆引导着陆系统、“贝尔”自动引导着陆系统、“雷格尔”自动引导着陆系统等。在此期间,各国还研制成功了一系列高精度定位系统,如劳拉克(Lorac)、雷迪斯特(Raydist)、拉娜(Rana)、哈菲克斯(Hi-fix)、道朗(Toran)等系统。

总之,地面基准无线电导航系统在这阶段得到发展,并逐步成熟和完善。

(三) 高性能无线电导航阶段

这个阶段从六十年代开始,至今还在继续着。这个阶段的特点,一方面是改进或完善已有系统的性能;另一方面是研制新的系统,总的目标是为了建立高性能的无线电导航系统。所谓高性能无线电导航系统一般应在全球范围内做到全天候服务,具有高的定位精度和多功能。多功能是指除导航功能外,还可兼作授时、通信、识别等。在军事上还可与武器发射相结合、协同作战;满足布雷扫雷、海上和空中避碰以及打捞救生等多方面的要求。在国民经济领域内、可以在石油勘探、油井架设、海陆测绘、海底电缆敷设等方面应用。

六十年代出现的以卫星作为空间导航台的卫星导航系统,是现代导航技术的一个新