

■ 海 杭

罗兰—C 使用手册

■ 东南大学出版社

(苏) 新登字第 012 号

内 容 简 介

本书是罗兰—C 导航系统用户的基本参考书。全书分三部分，第一部分（一~四章）是有关罗兰—C 的基本知识与使用技巧，内容有：罗兰—C 系统工作原理，低频电波传播模式与修正方法，罗兰—C 信号结构，罗兰—C 固态发射机，罗兰—C 接收机结构，罗兰—C 定位与定位精度分析。第二 三部分（五~七章）介绍了 H/HYW002A、XN800 和 XN—8000 型导航仪的使用方法。

罗兰—C 使用手册

海 杭

*

东南大学出版社出版发行

（南京四牌楼 2 号 邮编 210096）

南京雄州印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13 字数 321.36 千

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷

印数：1—1000 册

ISBN 7—81023—990—2 /TN·74

定价：19.00 元

（凡因印装质量问题，可直接向承印厂调换）

前 言

我国的罗兰—C 导航经过近 10 年的研制生产和工程建设,现在已有三个台链、六个导航台和三个监测站在工作。高质量的罗兰—C 信号覆盖了我国 18000 多公里的海岸线和广大的沿岸汇流区,为海上、陆地和空中的各种用户服务。对国民经济的腾飞和加强国防建设都有着十分重要的意义。导航是引导运动体由一点到达另一点的科学手段,它在船舶航海,寻找锚地、穿过狭窄水道以及对海洋资源开发、渔业、农业、矿业等方面有着广泛的应用。现代罗兰接收机已使导航变成一件简单易行的事,船长们甚至坐在自己的舱里按几下按键就可以知道至关重要的航行参数:船位、航向、船速、航迹差、到达前向航路点的时间,以及流速、流向、推算船位等。这常常给人们一种误解:导航技术再也不像从前那样需要学习许多复杂的测量方法和繁琐难记的计算公式,而简单到只需按一下电扭。事实远非如此。要成为一个好的领航员还是要学很多的知识,为了舰船和全体船员的安全,你需要知道得更多!

船舶导航有许多方法,由此形成多种多样的导航设备。罗兰—C 是目前较先进和常用的一种,有着广泛的应用前景。除了海军和交通部的大量船只装备了这种导航设备以外,许多渔船也安装了罗兰接收机,用来完成导航和捕鱼作业,收到了极好的经济效益。作为生产力的一个积极因素,罗兰—C 导航在我国正在蓬勃发展,相信在不久的将来,人们将更加熟悉它,更加喜欢它。

由于现代罗兰—C 接收机已实现高度集成化和操作自动化,漂亮精巧的罗兰—C 接收机就像一个神奇变幻的小玩具,航海家问什么,它都能给出准确的回答。但是如何判断其答案的可信度,怎样更好地利用它,遇到非正常情况应当如何处置等问题,却需要使用者掌握更多的罗兰知识。目前学术刊物上发表的许多有关罗兰—C 的论文只适合专家们阅读,一般产品手册只介绍使用方法,较少涉及罗兰知识。而目前,全面介绍罗兰—C 的书尚属空白。我国的长河二号导航系统刚刚建成,开发应用也才起步,资料积累还很少。这本书的宗旨就是要全面地、系统地、深入浅出地把罗兰—C 介绍给读者:从发射到接收、从理论到使用、从优点到缺点,让读者正确地认识罗兰—C,以便更好地使用它。

众所周知,20 世纪发生了一场影响深远的技术革命,其威力是历史上无可比拟的。技术革命是竞争的结果。在导航领域里,因这场革命导致无线电导航取得了突破性的进展,各种系统相继诞生,除了罗兰导航外,奥米加导航、卫星导航、以及 VOR/DME 等也加入了导航技术的竞争,尤其是 GPS 出现后,许多运动体安装了 GPS 导航仪。它具有体积更小等许多优越性,但是,在重复精度这样一个非常重要的参数方面,罗兰—C 却是优于 GPS 的。因而从更专业的角度看,罗兰—C 仍不失为当代有效的导航手段。从现在起的几十年内,罗兰—C 的应用前景仍然是很光明的。

最后需要申明者,本书系专为罗兰—C 接收机撰写的手册,所以某些专业性词语,均按机上显示屏所提示的符号书写,以利读者对照。如海里按专业标注应为 n mile,或转换成法定计量值后书写 km 单位符号,但屏幕上显示的却是 NM,所以书中标注为 NM。又如“锁定”英文为“Lock”,却按其屏幕显示“Loc”拼写,如此等等,望读者注意。

本书是在海军司令部航海保证部首长直接领导下,由导航处史世新处长和高级工程师李

家钦提出了编写要求和纲目，海军电子工程学院毕玉林教授编写了第一～四章，海军大连舰艇学院宋光谱副教授编写了第六、七章，海军广州舰艇学院陈大义教授编写了第五章。全书的结构设计和审稿由李家钦高级工程师完成。本书在编写过程中得到导航界同仁的帮助和指教，在此一并表示感谢。

由于我们经验不足，水平有限，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

海杭 1994.1

目 录

第一章 罗兰—C 技术概述	(1)
第一节 引言.....	(1)
第二节 无线电导航.....	(1)
第三节 罗兰导航的发展与应用.....	(8)
第四节 中国的无线电导航和罗兰—C 技术	(22)
第五节 罗兰—C 概念与罗兰—C 技术标准	(23)
第二章 物理环境对罗兰—C 系统的影响	(32)
第一节 低频电波传播的特点	(32)
第二节 ASF 概念及 ASF 修正	(35)
第三节 罗兰—C 地波与天波	(49)
第四节 大气噪声对罗兰—C 信号的影响	(60)
第五节 特定干扰	(63)
第三章 罗兰—C 信号的发送与接收	(65)
第一节 罗兰—C 台链	(65)
第二节 罗兰—C 发射台	(67)
第三节 罗兰—C 接收机	(82)
第四章 定位与定位精度	(112)
第一节 利用专用图表定位.....	(115)
第二节 用经纬度坐标作图定位.....	(116)
第三节 使用罗兰—C 必备的资料.....	(119)
第四节 定位精度.....	(122)
第五节 影响精度的因素.....	(125)
第六节 罗兰—C 导航的应用技巧.....	(135)
第五章 H/HYW002A 罗兰—C 导航仪	(147)
第一节 基本组成及工作原理.....	(148)
第二节 主要特点及技术指标.....	(149)
第三节 面板键盘与画面标志.....	(153)
第四节 选键 (GRI) 定位	(156)
第五节 导航 (NAV) 及航路点 (WPT)	(164)
第六节 计划航线 (TRIP)	(166)
第七节 时钟 (CLK) 画面	(166)
第八节 功能设置 (SET UP) 画面	(180)
第九节 安装说明.....	(182)
第十节 维修说明.....	(185)
第六章 XN800 罗兰—C 导航仪	(185)
第一节 概况.....	(185)

第二节	定位与导航.....	(187)
第三节	专用功能及其它.....	(195)
第四节	安装与维修.....	(198)
第七章	XN8000 罗兰—C 导航仪	(200)
第一节	概况.....	(200)
第二节	定位与导航.....	(203)
第三节	专用功能及其它.....	(209)

第一章 罗兰—C 技术概述

第一节 引言

导航是人类生存的基本保证之一。任何物体的运动都有一个从某一点到另一点的引导过程，包括起始点的确定，航路、航路拐点和目的地等，这个过程就是导航。人们天天在为自己导航，为别人导航，为各种运动体导航。也许是对导航太熟悉的缘故吧，人们却常常意识不到自己的一举一动都要导航，只有到了那些自己力所不及、非要利用特定仪器进行导航时，才被迫认识到导航是多么重要。也只有在这种情况下，人们才会为自己拥有先进的导航手段而自豪，为科学技术的神奇力量而感叹。科学技术是第一生产力！

航海导航只是导航技术的一个特定领域，也是人类最古老的生产活动之一。据地中海沿岸的考古发现，早在 8000 年以前，人类就已开始了原始的航海活动。公元前人们已有能力远航数百海里，并且有了在现代人看来已是相当不错的地区海图。当然，那时人们还只能局限在沿岸航行，远岸航行还是凶多吉少。

早期的航海活动是靠人们记忆沿岸特征、凭经验估算自己的当前位置，并预测如何到达下一个预定点。经历漫长岁月之后，中国人发明了指南针，为人类导航打开了光明之路，使人类驶入海洋的距离增加了几百倍，导航技术的发展速度也加快了几百倍，并导致一种崭新的导航技术——推算航法的出现。在当时，这种技术对航海导航来说已算得上是完美无缺的手段。它保证人们在恶劣的气象条件下，在远离海岸超过视距的海域航行时的安全。航海事业的空前繁荣，促使人们为完善导航技术而发明和改进了许多航海仪器，例如磁罗经、电罗经、船钟，六分仪等。比起指南针和推算航法的发明，这些只不过是导航方面的技术进步罢了，随着人们对几何学与天体运动学知识的深入了解，天文导航出现了，这使导航技术又上了一个台阶。

第二节 无线电导航

历史进入 20 世纪，航海家对于上述导航技术已经相当满意。但是，震惊世界的航行事故、人类生命财产的巨大损失，却仍然震撼着科学家的良知和发明欲望，人们意识到，导航技术现代化应该走在舰船技术现代化的前面。随着船舶吨位、速度、续航力等的提高，对导航技术的要求更高了，有的导航技术已经不能满足要求，例如长时间的坏天气（低能见度、恶劣海况等），可能造成航海家不能参考陆标和天体，推算航法的积累误差大到无法容忍，导致撞船、触礁和搁浅等事故的发生。

人类要冲破大自然的束缚，就必须有新的强有力的技术手段。古埃及人为了征服海洋，曾建起高高的烽火台为航海家引航，这就是现在遍布全球的灯标，但它同样受到坏天气的封锁。

人类经过几个世纪的努力，终于在电子学出现之后，产生了新的导航技术手段，无线电指向标（Radio beacon）出现了，从而进入了无线电导航（Radio Aids of Navigation）的时代。对导航系统的基本要求是具备准确、可靠、实时定位的能力。根据几何学上最简单的公理——两条直线相交只有一个交点，而两条曲线相交就有两个以上的交点的概念。在定位原理上讲，由两条线相交的那个点称为定位点（Position），而这两条线称为位置线（Line of Position）。位置线可以是两条直线（测向定位系统），两条圆周线（测距定位系统），或两条双曲线（测距差定位系统）。从几何学的角度看，这两条位置线也可以是不一样的。可以用上述位置线进行组合，例如一条直线与一条圆周线相交，构成测向—测距系统，这就是我们前面说过的推算航法。

从电子学角度看来，一个电信号，其基本属性有三个：幅度、频率和相位，无线电导航系统的实质就是对电信号属性进行测量的电子测量系统。测量电信号幅度的无线电导航系统称为振幅无线电导航系统，例如无线电测向仪；测量电脉冲到达时间的无线电导航系统称为脉冲无线电导航系统；测量电信号相位的无线电导航系统称为相位无线电导航系统；测量电信号频率的导航系统称为多普勒导航系统（它是利用多普勒频移来定位的）。同样地，电信号这三个要素也可以综合应用，例如，可以把脉冲测量和相位测量结合起来进行，形成一种新的无线电导航系统，称为脉冲—相位无线电导航系统，这就是罗兰—C 无线电导航系统。

尽管无线电导航是基于对电信号三要素（幅度、频率、相位）进行电子测量而获得定位的信息，但是这三要素又是各种无线电干扰的载体。例如，由于某种干扰的存在，造成电信号幅度改变，它就会产生电子测量中的相位误差。众所周知，电子测量仪器的运动会产生多普勒频移，也会造成相位测量误差。还有一个重要参数就是频率，现存的无线电导航系统，其频率范围：在甚低频段有载频为 10kHz 的奥米加导航系统；低频段有罗兰—C 导航系统，载频为 100kHz；在中频段有载频为 2MHz 的罗兰—A 导航系统，在靠近微波段有载频为 400MHz 的子午仪卫星导航系统和载频为 1575MHz 的 GPS 全球定位系统，随着频率的增高，多普勒频移的影响越明显，造成的测量误差越不可忽视。这对设计人员来说非常重要，也应引起使用人员的注意。

电信号的频率 f 的倒数 $1/f = T$ ，称为周期。周期 T 说明电信号的重复特性，也就是说电信号的幅度和相位在同一周期（ T ）内对时间有唯一性，而在不同周期（ T ）中按特定规律重复出现。在电信号参数测量中，虽然得到同样的读数，但它的物理意义却是不相同的，这被称作测量中的多值特性，造成了无线电导航系统中特有的模糊现象。由于干扰或其它原因，在导航仪使用中经常出现的“跳周”现象，就是由多值特性造成的。在定位精度中常常提到的业务概率就是针对多值性提出来的。

如前所述，定位过程中至少要获得两条位置线，也就是说构成无线电导航系统的发射台不能少于两个。为了提高定位精度和冗余技术的需要，通常在一个导航系统中有三个导航台，形成一定的导航覆盖区。例如，测距和测角系统需要两个以上导航台；测距差系统需要三个以上导航台，伪测距系统也需要三个以上的导航台组成一个系统。

应该指出，由于我们经常在海平面上活动，所以习惯于把定位理解为在一个特定平面上进行，也就是我们所说的定位是二维定位（特别是天文定位通常就指在海平面定位）。实际上定位是多维的，如空间定位是三维定位，考虑到时间因素可以是四维定位，如果考虑更多的因素也可以是五维、六维……

无线电导航系统由发送与接收两部分组成。用户通常对接收设备比较熟悉、比较重视。发

送设备是一个复杂的高技术综合系统，它经过几代科技人员的精心研究与设计并不断改进与完善，才有了今天这样成熟的技术。

形成完善的无线电导航系统，除了考虑电子测量的可行性和测量精度外，还有一系列问题有待解决，诸如台链同步方式的选择，信号格式设计，抗干扰设计，系统监控，冗余设计等，只有把这些问题妥善处理之后，才能保证导航电信号的有效使用。

一、台链同步方式

如前所述，一个最简单的无线电导航系统至少要有两个以上的导航台（考虑到冗余，至少要有三个导航台），通常还要有一至二个监测站组成。导航台和监测站组成一个有严格关系的整体，把它称为台链。在一个台链内，台与台之间要有严格的时间同步，这是不言而喻的。在定位过程中我们要测量来自三个以上的导航台的导航电信号，无论是测量脉冲到达时间，还是测量相位，都要求信号的起始点有固定的同步关系。

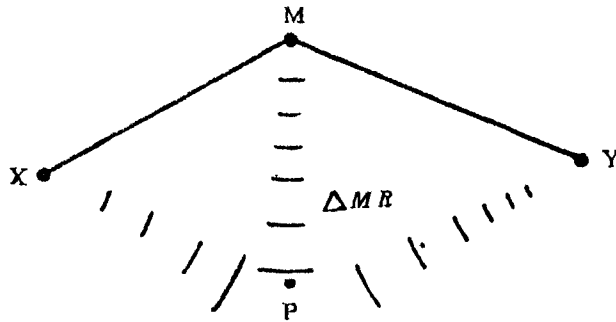


图 1·1 导航系统的示意图

M——导航台、主台 (Master) X、Y——导航台、副台 (Secondary)
MR——监测站 (Monitor) P——观测点 (Position)

由图 1.1 可见，观测点 P 接收来自三个导航台 (M, X, Y) 的信号进行电子测量。如果三个信号 M, X, Y 不能保证严格的同步，那么，在观测点 P 进行的任何测量就失去了统一标准和测量意义。用户在使用无线电导航系统时，应该注意到这一点，例如，电波传播路径、大气噪声干扰等，都可能影响到观测点信号的同步关系。

一般来说，台间同步方式主要有两种：主从同步和自由同步。早期的无线电导航系统，或近程无线电导航系统，多采用主从同步方式。它的优点是在满足使用要求的条件下，系统造价相对低廉，缺点是可靠性差，容易受干扰，同步精度较低，操作复杂。随着科学技术的发展，高稳定度、能满足同步精度要求的廉价的商用原子钟出现了，从而使现在的无线电导航系统多采用自由同步方式。它不像主从同步方式那样完全依赖监测站控制副台跟踪主台时间基准，而是各台按着自由的原子钟时间基准工作，在一定时间段内维持系统同步。采用自由同步的无线电导航系统也设有监测站，它的作用在于监视系统运行的准确性，即在时间基准的长期漂移条件下，保证信号同步在指定的公差之内。当前，一些主要的无线电导航系统，例如，奥米加、罗兰—C、子午仪、GPS 等都采用了自由同步方式。

二、信号格式

信号格式设计是保证无线电导航系统正确无误地工作的重要技术措施，它的设计出发点是：保证定位要求所需的信息量（如导航台的数量和种类、定位率、定位测量要求等）和具备一定的抗干扰能力，并能够消除无线电导航系统固有的多值性。不同的导航系统有不同的信号格式。例如奥米加导航系统共有 8 个导航台实现奥米加信号的全球覆盖，因此，奥米加导航信号格式，应包含 8 个台的导航信息：8 个导航台的名称和相位信息，以便奥米加接收机在全球任何地点接收 8 个台中任何 3 个台的信号均可完成定位。因为它是全球定位系统，可以把 8 个台看成相同的，不分主台、副台，其中任何 3 个台都可以组成一个台链。理论上它可以组成百个（8 中取 3 的组合数）台链。当然，实际使用时，由于昼夜、季节不同，每个台的信号覆盖不同，不可能有那么多的台链可供使用，但在任何观测点能收到 4 个奥米加台的信号是可能的。

罗兰—C 导航系统信号格式与奥米加系统不同，由于它使用地波信号进行定位，不像奥米加系统那样使用“波导”波定位，因而它是一种典型的地区性导航系统，即每一个罗兰—C 台链只能覆盖一个有限的区域，其覆盖区很少与其它台链重合，是比较固定、独立的区域。因而在罗兰—C 台链中，通常有一个台称为主台，而另外的 2~4 个台称为副台，虽然它们的主要任务都是向覆盖区提供导航电信号，但在台链内部它们所起的作用是略有不同的。

主台—在台链控制中起主导作用，它发射的信号作为台链的时间基准，并由它确定台链的重复频率。副台按规定格式保持与它同步。主台同时监视副台信号与它的时差是否在规定的公差内，超差时通知副台做必要的调整。在每个周期内它发射 9 个脉冲。

副台—在自由同步的罗兰—C 台链中，副台与主台虽然已不再是主从关系，但是它在信号格式中必须严格滞后主台信号一个指定的时间，这个时间称为发射延迟，这个时间是系统设计时确定的，它要保证该副台信号与主台信号的时差在覆盖区内保持正值。在每个重复周期它发射 8 个相同的脉冲。

罗兰—C 的信号格式如图 1.2 所示，为了区分主台和副台，脉冲组都加了编码，以便接收机区分主台信号和副台信号。副台的发射延迟决定了罗兰海图上位置线的标称值，通常是不随意更动的，但在战时也可能变动。A 组脉冲和 B 组脉冲采用互补码的形式是为了消除天波影响。

在卫星导航中，由于卫星发送的导航信号不再是连续的模拟量电信号，而是数字化的导航数据码，信号格式由数据格式代替，导航台的编码识别也变成了卫星编号，不同的卫星有不同的编号，这个编号同其它星历信息一起发送给用户。

三、抗干扰

电子系统的最大弱点是易受干扰，因此，抗干扰问题是所有无线电导航系统的共性。不同的导航系统工作在不同的波段，干扰源和受干扰程度各不相同，各种导航系统的抗干扰设计也是各不相同的。在奥米加导航系统中，因为是工作在甚低频波段（10kHz），电波传播是在地球表面与大气电离层形成的球冠波导中进行的，信号衰减较小，传播距离极远，干扰源来自大气噪声和电离层变动，诸如雷电、太阳黑子、昼夜变化、季节变化等，这些噪声是极难利用简单的信号格式设计来消除的，只能利用接收机的信号处理技术来解决。罗兰—C 导航系统工作在低频波段（100kHz），定位测量中使用地波信号，这个波段存在着明显的电离层反

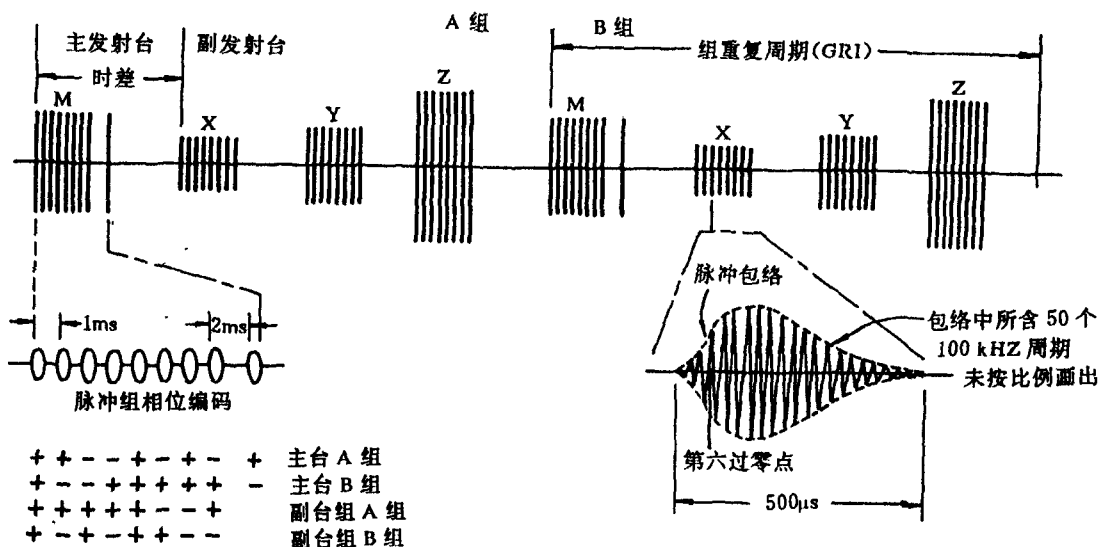


图 1.2 罗兰—C 的信号格式

射，在远离导航台的观测点存在导航电信号的多路径传播问题：地波与天波，也就是说，导航电信号可以沿地球表面和经电离层反射两条路径到达观测点 P，如图 1.3 所示。

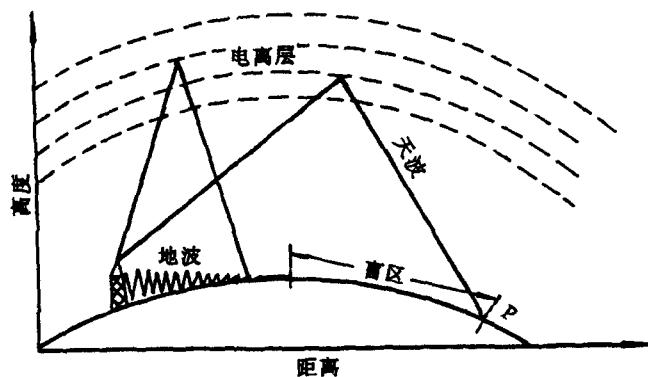


图 1.3 地波与天波

很明显，地波衰减远大于天波，在远区天波场强远大于地波场强。这个干扰有其预知的明显特征：(1) 天波总是比地波迟到；(2) 天波与地波同源；(3) 根据观测，在能利用地波的区域内，天波滞后地波的时间大于 $38\mu\text{s}$ 以上，而在近区可能大于 $1000\mu\text{s}$ 。根据这些特征，罗兰—C 信号的抗干扰设计主要采用了对 8 个脉冲进行相位编码的方式，如图 1.2 所示，利用

相位编码，接收机可以识别天地波，并有效地抑制天波干扰。除此之外，罗兰—C 信号也存在奥米加导航系统中那些干扰，同样应用接收机的信号处理技术加以抑制。

卫星导航系统中主要来自人工干扰和电离层折射的干扰，可使用编码技术进行抑制和用双频接收技术来消除。例如在 GPS 全球定位系统中采用了伪随机噪声码，保证了系统的高抗干扰性。

四、系统监控

无线电导航系统的设计以取得最大覆盖区、最高精度为目的，这就要求系统满足一定的技术标准。从用户角度看，总是希望导航系统连续地长期保持导航信号覆盖。一个电子系统要保持其参数长期稳定，必须形成一个闭环系统，如图 1.4 所示。

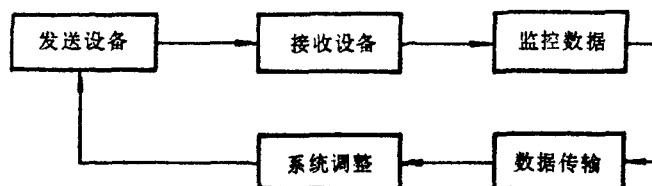


图 1.4 导航系统参数稳定保障体系的运行过程

图中发送设备是导航信号源。接收设备包括广大的用户和系统同步监测接收机，它们把系统的使用情况记录在案，形成系统的监控数据，通过各种渠道汇集到系统管理部门，再由管理部门进行分析研究，以便确定系统参数的调整量，最后送至发送设备进行调整。

应当强调指出的是，图 1.4 的闭环过程，按理导航系统管理部门应该独立完成，但这是很难做到的。因为导航系统管理部门操作的接收设备只限于监测站的接收机，它所获得的监控数据有很大的局限性。一个导航系统的覆盖区大到几百万平方公里，只使用某一点的数据进行系统调控显然不够，这就要求广大的用户把自己的使用情况，通过各种渠道反馈到导航系统管理部门。比如，在已知点的定位误差；返回某点的重复精度；在航定位中与其它定位方法的比对误差；在某海区出现定位失败的情况；受干扰情况等。这些工作虽然会占用使用者宝贵的时间，但从长远看会得到相应的报偿。通讯方式可查阅导航系统管理部门定期出版的有关公报。例如用户使用的是罗兰—C 接收机，就可查阅长河二号系统管理监控中心出版的有关公报。

五、冗余

无线电导航系统的冗余设计是多方面的。这是由导航系统的特殊要求决定的。用户要求导航信号的可利用率要达到 99.99%，这意味着在一年的时间内允许导航设备停机检修的时间只有 8min，如果再把这个指标分配给三个导航台，那么允许每个导航台中断信号的时间不到 3min。这是十分苛刻的要求。为此导航台的各种设备都要保证足够的冗余。供电、空调、发射设备、通讯设备都要有 1:1 的备份。在导航台的配置上也希望给出冗余的位置线，比如，奥米加导航系统中，有时可以给出多达 4 条位置线；在 GPS 全球定位系统中有时可以给出多达 6 条位置线；子午仪卫星导航系统一般可给出 8 条位置线。罗兰—C 导航系统由于受到地理条件的限制，其位置线冗余度较小。

六、无线电导航的优越性

1. 全天候特性

无线电导航相对于其它依赖视觉的导航方法，其最大的优点就是全天候特性。因为它赖以导航定位的是由导航台发出的、覆盖预定海区的电信号，这种电信号具有相当高的稳定性和可靠性。而定位过程的电子测量是在舱内进行的，无论雨天、雾天或狂风巨浪对它都不会产生致命的影响。当然，气候恶劣可能造成精度下降，但不会导致完全不能定位。传说盟军在二次大战中诺曼第突击登陆，就是依仗英国的台卡无线电导航系统。当夜雾迷漫的地中海被德军认为是不可能进行任何海上活动的天然屏障时，盟军依靠精密的台卡导航，突然出现在德军面前，冲破德军赖以生存的钢铁防线，成了第二次世界大战的转折点。

2. 高精度特性

无线电导航与其它导航方法相比，具有极高的定位精度，尤其是很高的重复精度。比如，相位无线电导航重复精度可达 5m，而最先进的 GPS 全球定位系统的绝对定位精度也能达到 5m，这样高的定位精度是其它导航方法不可比拟的。60 年代，我国的石油部门从法国引进了近程无线电定位系统，名曰“道朗”，某标称定位精度也是 5m。

无线电导航的高精度特性，为它提供了广泛的应用前景，特别是当前极有前途的综合导航，不管其规模大小，综合方式有什么不同，总是离不开无线电导航作为其校正设备。这是因为自主式导航是利用船舶运动参数进行导航，它存在着水速和其它误差的时间积累，而无线电导航是利用空间稳定的电信号进行定位，与船舶运动参数无关，不存在积累误差。两者的差别如图 1.5 所示。

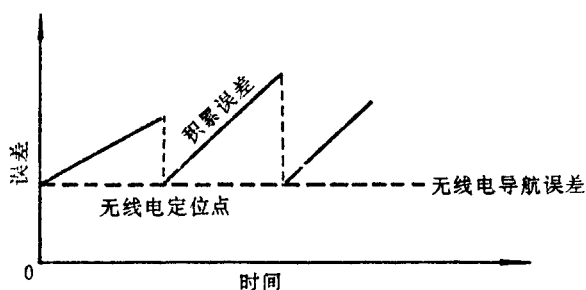


图 1.5 综合导航的误差校正

3. 多功能特性

无线电导航可以保证及时地连续地获取瞬时船位。技能高超的全自动导航接收机其操作可以简便到只要按一下电扭，输入概位数据，它就能向你报告所需要的航行参数：当前位置（经度、纬度），航向、航速、流速、流向、最近的航路点，到该航路点的时间，到达目的地的时间等。这对于处于恶劣海况的航海家来说，都是非常重要的数据。

虽然无线电导航是一种先进导航方法，它毕竟只是许多导航方法中的一种，古老而有效的推算航法仍然是非常方便可靠的。有经验的航海家总是记着：导航技术不厌其高，导航手段不厌其多。

第三节 罗兰导航的发展与应用

无线电导航与自主导航相比有许多独到之处，即全天候、高精度、多功能（这是它的高定位率的引伸），但是它也有某些缺点，那就是信号覆盖区有限、系统维护昂贵。随着电子技术的发展，这些缺点逐渐被克服，罗兰—C 就是成功的例子之一。罗兰是远程导航 (Long range navigation) 英文缩写 (Loran) 的音译，是美国一个导航系列的总称。它从 1942 年开始经过几十年的发展过程，简单地说，就是罗兰的 A、B、C、D 过程，如图 1.6 所示。

罗兰导航由美国麻省理工学院的辐射实验室开始研究，当时曾设想利用高频 (HF) 辐射作为导航信号，但是设计者很快就发现高频信号地波衰减大，远距离导航必须使用中波信号，当时确定辐射频率为 1850kHz (波长 160m)。这就是早期的罗兰—A 系统。它的接收机是用手控移动脉冲台座，使之与接收脉冲重合，以测定时差。我国 60 年代的东方红定位仪与罗兰—A 相类似。

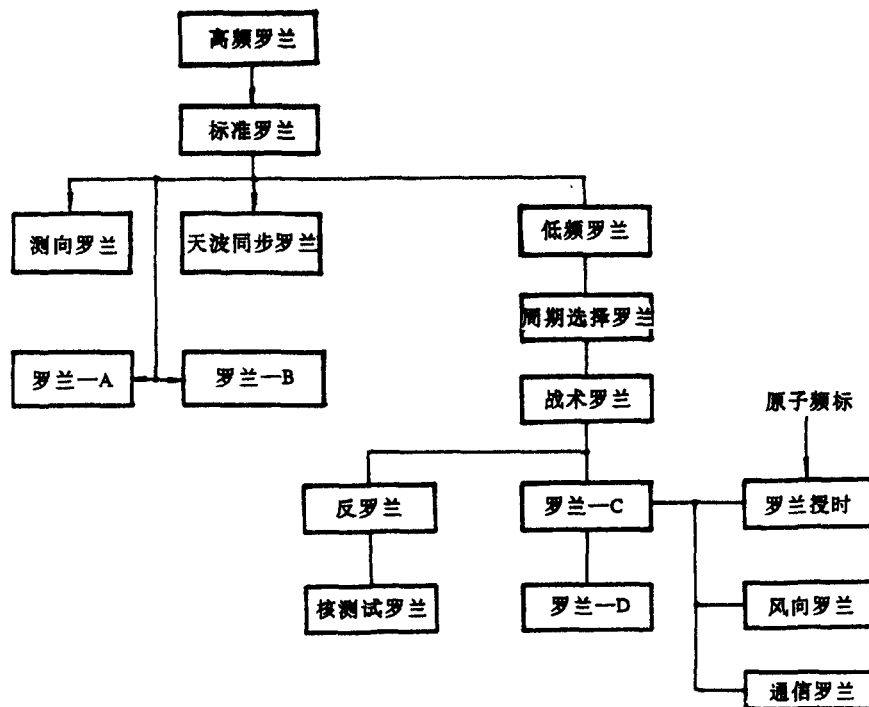


图 1.6 罗兰系列的发展过程

由图 1.6 可见，罗兰导航已经历了很长的发展过程，倾注了许多科学家的心血，同时也经过了用户的需求与权益的反复衡量。最初因空军对轰炸机的引航而提出需求，并在第二次世界大战中发挥过作用，例如，天波同步罗兰曾为轰炸机夜航起过很大的保障作用。

罗兰—A 作为中程导航系统曾服务近 40 年，80 年代以前是世界上的主要导航系统。当时设置了约 80 个罗兰—A 导航台，使信号覆盖区遍及北大西洋和北太平洋，其中大部分由美国

管理。1974年当美国宣布以罗兰—C作为官方的导航系统后，它本土的罗兰—A导航台就关闭了，但其它地方的罗兰—A台仍在工作。至今中国的十个长河一号导航台（罗兰—A）仍在提供良好的服务。罗兰—A与标准罗兰是相同的，罗兰—B是对罗兰—A的改进，试图通过对罗兰—A脉冲的周期匹配提高定位精度，但因波形设计缺陷，难于进行周期识别而被放弃，但它是罗兰—C构想的萌芽。

测向罗兰由于天波干扰对测角精度的影响也被放弃了。

在低频罗兰这一族，是以180kHz而不是以2MHz载频工作的，这是因为地波传播的最佳波段为180kHz（更低的频率虽能传播更远，但导航信息也减少更多）。参照罗兰—B的体制，再找到了一种更好的周期选择方法，就出现了罗兰—C。周期选择罗兰（CYCLAN）就是减少周期选择误差的一种尝试，它指望通过180kHz和200kHz两个频率信号的脉冲包络相比较，解决周期选择问题。但试验的结果是存在明显的天波干扰，故建议在100kHz载频上研究单频的周期匹配系统。美国空军在此基础上研究其远程战术轰炸系统，这就是战术罗兰，它引进多脉冲和脉冲编码的概念，以8个脉冲编码用来试验在900NM距离处消除天波干扰的能力，证明设计是成功的，罗兰技术向前跨进了一大步。反罗兰、核测试罗兰都是美国空军对战术罗兰的具体应用。

1957年，美国海军鉴于北极星潜艇的精密导航的需求而关注罗兰技术。他们打算做一幅大洋海床声纳图用来作为潜艇导航的参考，但是苦于没有精密定位系统。而此时可以胜任此项工作的战术罗兰已被空军放弃，海军只好把战术罗兰的发射机和接收机借来使用。放在玛萨斯温尼牙得（Martha's Vineyard）和丘比特（Jupiter），与卡罗来纳的战术罗兰一起组成新的美国东海岸链。正在研制的战术罗兰接收机也用来作为船用接收机，只是把脉冲编码和脉冲重复周期改成海军所需的格式，就投入了海深测量中。继而海岸警备队干脆把标准罗兰改称罗兰—A，把战术罗兰改称罗兰—C，构成一个地道的海军无线电导航序列。后来美国海军又把罗兰—C接收机装备潜艇，使之成为美国海军的主要无线电导航系统。

到了60年代中期，美国空军突然又对罗兰导航产生了兴趣，并研制了罗兰—D作为武器输送系统的一部分。它实际上就是一种小型罗兰—C，其贡献在于引进了微电子电路，生产了集成化的空用罗兰导航仪。

罗兰—C接收机的发展与研究取得了巨大的成就，对微电子技术的应用和计算机的应用都领先于其它领域。与50年代美国空军B—29轰炸机上使用的接收机/计算机比较，其体积和性能都有了显著的变化。

从上述罗兰—C的发展史可以看出，罗兰导航所追求的全天候、高精度、高定位率和大覆盖区等要求均已基本实现。它克服了无线电导航系统存在的一个致命要害——天波干扰（在一定距离范围内），使系统在白天和夜间都能很好地工作。由于它的作用距离较远（900~1200NM），可以用较少的导航台覆盖沿海广大的海域，又具有精密导航的能力，比其它无线电导航系统具有更大的优越性。因此，1972年，当美国运输部长委托海岸警卫队1972年研究确定一种现有的无线电导航系统，作为在沿海海域官方导航系统的可行性方案时，所考虑的区域就是沿海汇流区（CCZ），其规定的范围是从海港入口处延伸到50NM的浅海区域或大陆架的边缘（100ft水深线），以面积大者为准，但不包括海岸本身。该项研究的初步考虑有三个方面：

1. 广泛了解各种海上用户的使用要求，包括各种舰艇、商船、渔船、游艇、深水拖船等，把它们对无线电导航的要求按大洋航行、近岸航行、引港和港内航行分类。大洋航行是指在

离岸 50NM 以上或离开大陆架的航行（大陆架的定义为水深 200m 以内的水域），这种情况要求定位精度（地理精度为 2drms）2~4NM，能达到 1~2NM 就更好；定位间隔小于 2h，如能达到定位间隔小于 15min 是所期望的，有效定位的时间超过 95%。近岸航行是在大洋线以内的海域航行，即离岸 50NM 以内或在大陆架上航行，如果是单行安全水道，要求水道宽度大于 1NM，双行水道要求大于 2NM。显然这种情况所要求的定位精度要高于大洋航行。对大吨位的船只安全航行，要求定位精度（2drms）高于 1/4NM；定位间隔小于 15min，有效定位时间超过 95%。对小船和游艇，要求定位精度 2NM，定位间隔小于 15min，有效定位时间 95% 以上。引港和港口导航属于内河导航，其水道比近岸航行要窄得多，安全航行的精度要求为 8~20m（2drms）、定位间隔小于 10s、有效定位时间为 99% 以上。这个要求是按大型船只通过繁忙港口或在精密测量过（1/10ft）的水道中航行提出来的。对无线电导航系统的要求除了安全航行以外还有经济指标，这种经济需求常会把一个特定的导航系统分派给某个特定的用户。从经济效益上看，远洋船只宁可使用一种中等精度、定位率较低的远程导航系统；而渔船或近程商船使用这样的导航系统却会有经济损失。科学考察、海道测量和海洋资源开发需要很高的定位精度，例如 1~10m；而其它海洋用户，定位精度 460m 就可以满足要求了。

2. 现有无线电导航系统在满足这些要求方面的有利条件和局限性。

奥米加导航系统

定位精度：2~4NM（2drms）

定位间隔：10s

定位有效时间：95% 以上

如使用差分奥米加技术

在距差分台 50NM 距离上定位精度：500m（2drms）

在距差分台 500NM 距离上定位精度：1NM（2drms）

至少三个奥米加台信号同时覆盖地球上任意点。

罗兰—C 导航系统

定位精度：500m（绝对精度 2drms）

18~90m（重复精度 2drms）

定位有效时间：95% 以上

定位率：10~20 次/s

如使用差分罗兰—C 技术

定位精度：可达 15m

导航信号覆盖北半球各主要水道。

子午仪卫星导航系统

定位精度：20~500m（绝对精度 2drms）

定位间隔：30~120min（只有卫星通过时定位）

定位有效时间：99% 以上

无线电信标

定位精度：（测角精度 $\pm 0.5^\circ \sim \pm 10^\circ$ ）

定位间隔：极小，几乎可连续定位

定位有效时间：95% 以上

罗兰—A 导航系统