

高等学校教材

海洋大地 测量学

武汉测绘科技大学天文重力测量教研室
大连舰艇学院海测教研室 编
天津海洋测绘研究所测量室

测绘出版社

海洋大地测量学

海洋大地 测量学

王守元 主编
王守元 王守元 王守元 王守元 王守元
王守元 王守元 王守元 王守元 王守元
王守元 王守元 王守元 王守元 王守元

王守元 王守元 王守元 王守元 王守元

介 简 容 内

高等学校教材

海洋大地测量学

武汉测绘科技大学天文重力测量教研室
大连舰艇学院海测教研室 编
天津海洋测绘研究所测量室

测绘出版社

内 容 简 介

本书阐述五个方面的问题：一、海洋大地测量中的高精度海上定位技术；二、海洋大地测量控制网的建立；三、海洋重力测量；四、测线和测线网的平差方法；五、利用卫星测高资料研究和确定平均海面、海洋大地水准面及海面地形。

本书为高等院校教材，也可供从事海洋测绘、海洋工程等有关方面的科研、生产和教学人员参考。

海洋大地测量学

武汉测绘科技大学天文重力测量教研室
大连舰艇学院海测教研室 编
天津海洋测绘研究所测量室

*

测绘出版社出版
测绘出版社印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行

*

开本 787×1092 1/16·印张 8.25·插页 1·字数 183 千字

1991 年 5 月第一版·1991 年 5 月第一次印刷

印数 0 001—0 600 册·定价 2.60 元

ISBN 7-5030-0182-8/P·81

前 言

海洋大地测量学是近二十多年来在大地测量和海洋测绘新技术基础上形成的一门分支学科。

当前,我国开展海洋大地测量工作的条件已经具备。社会主义经济建设的发展使海洋开发任务越来越多,辽阔海域里的油气开采、漫长海岸线上的港湾建设以及与世界各国交往所必须的海上交通运输等等,都需要海洋测绘工作,首先是海洋大地测量工作的保障。现在,我国陆地大地测量任务已基本完成,海洋测绘近几年也取得了很大进步,这就为开展海洋大地测量积累了丰富的经验和技能。可以预料,我国海洋大地测量将会得到新的发展。然而,国内尚无这方面的专门著作。为此,我们在参考了国内外有关著作和资料的基础上,结合近几年海洋大地测量学的教学和科研实践,编写了本书,以供从事这方面工作的人员参考。

本书按武汉测绘科技大学和大连舰艇学院两校的海洋大地测量学教学大纲编写,突出了基本内容和原理,并尽可能反映该学科的新技术和新进展。

参加本书编写的人员有:武汉测绘科技大学管泽霖、徐德宝、雷红,大连舰艇学院常庆生、孟德润,天津海洋测绘研究所彭光宇、赵明才、管铮。全书最后由管泽霖、徐德宝修改统稿。

本书经全国测绘教材委员会审定;祝彤、宁津生、郁祚瀛提出了许多宝贵的意见和建议;李明做了部份资料整理工作,吴宪华、刘军在缮写、绘图方面做了大量工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,敬希读者批评指正。

编 者

目 录

第一章	绪论	(1)
第二章	海上定位	(3)
§2-1	概述.....	(3)
§2-2	无线电定位.....	(4)
§2-3	水声定位.....	(17)
§2-4	GPS 全球定位系统.....	(29)
§2-5	组合导航定位系统.....	(33)
第三章	海洋大地测量控制网	(38)
§3-1	概述.....	(38)
§3-2	海底控制点的照准标志和作用距离.....	(40)
§3-3	海底控制点(网)的几何图形.....	(45)
§3-4	海底控制点(网)坐标的测定.....	(47)
第四章	海洋重力测量	(59)
§4-1	概述.....	(59)
§4-2	海洋重力测量的特点及干扰影响.....	(61)
§4-3	海洋重力测量仪器.....	(65)
§4-4	海洋重力资料处理.....	(68)
第五章	测线和测线网平差	(70)
§5-1	概述.....	(70)
§5-2	测线的平差.....	(70)
§5-3	交叉点的平差.....	(84)
§5-4	测线网平差.....	(94)
第六章	平均海面、海洋大地水准面和海面地形	(98)
§6-1	概述.....	(98)
§6-2	潮汐及平均海面.....	(98)
§6-3	海洋大地水准面.....	(103)
§6-4	海面变化及海面地形.....	(107)
§6-5	海洋水准.....	(109)
§6-6	卫星测高.....	(116)

第一章 绪 论

本世纪六十年代以来,许多国家出于经济和军事上的需要,对于海洋的研究已从近海扩展到远海,从局部扩大到全球。新的技术和方法大量涌现,大范围、高精度的海洋研究工作进展很快。这一方面对传统的海洋测绘技术提出了新的要求,另一方面也加快使现代大地测量技术向海洋发展,这就促进了海洋测绘和大地测量的结合。正是在这样的基础上,逐渐形成了海洋大地测量学学科。至今海洋大地测量学不仅有了能反映其特点的较完整内容,而且它还与海洋物理、地球物理等学科密切相关,同时具有许多相互交叉的研究方向。

海洋大地测量的目的和任务,或者说海洋大地测量这一专业名词的定义,早已为测绘工作者所关心,并且提出了各自的见解。例如我国大百科全书中提出:“海洋大地测量是在海面 and 海底以及利用人造卫星在海洋上进行的大地测量工作,主要包括在海洋范围内布设大地控制网,海面和水下定位,测定海面地形和海洋大地水准面等,海洋大地测量为船舰精密导航、海洋资源开发、海洋划界、海面和海底各项工程设计和施工,以及研究海底地壳动态和潮汐变化提供各种数据。”苏联 Балацкий 参照陆地大地测量的目的和任务,阐述了海洋大地测量的定义。他认为两者是相应的,而海洋大地测量是在海洋上完成陆地大地测量所不能进行的工作,例如在建立全球大地网时,“卫星大地测量可将岛屿同陆地联系起来,但不足之处在于它不能包括任何一个海洋大地测量控制点。”这个任务将由海洋大地测量完成。另外“确定海洋上的大地水准面形状有关的问题,同样被认为是海洋大地测量的最重要的任务之一”。Кочия 在阐述了海洋工程、海洋调查等方面对海洋测绘的需要以后,写道:“上述表明,海洋的开发,在科学和技术面前提出了与陆地上所进行的或将进行的相似的海上大地测量任务。但是条件的特殊性,则要求在海上应用另一种手段和方法,与解决海上大地测量的科学任务和实际任务有关的综合性工作,近来被称为海洋大地测量。”1977年8月美国国内与海洋研究有关的九个单位(美国国防制图局DMA、海洋技术协会MTS、国家航空和航天局NASA、国家大地测量局NGS、海洋工程局OOE、国家海洋和大气管理局NOAA、海洋研究所ONR、海军海洋专家局NAVOCEANO以及美国海岸警卫队USCG)讨论了海洋大地测量定义及其研究领域,认为:“海洋大地测量是在海洋上和海洋内建立控制点和确定海洋(包括海底)形态的一门科学。其中包括与海面、海下以及海面附近进行精密测量或定位有关的海事活动。有关测深、海底和海面定位、重力、板块构造、海底扩张、大地水准面起伏、海啸研究、平均海面和潮汐变化等也包含在本学科的范畴内。”

从以上几种海洋大地测量定义的提法看出,海洋大地测量的基本任务是一致的,但对学科的延伸范围有所差异。因此,海洋大地测量的基本任务可类似于大地测量分为实用任务和科学研究任务两部份。实用任务主要是研究海洋大地控制网的建立和海上定位以及

开展此工作所必须采用的技术和方法。科学研究任务主要是确定地球形状和外部重力场(这是与大地测量共同的任务)以及确定占地球表面70%的海洋大地水准面的精细结构。由于海洋大地测量必须用到海洋重力以及卫星测高资料,海洋大地水准面与平均海面以及海面地形又有着密切的内在联系,因此这些也是海洋大地测量的研究内容。实用任务与科学研究任务两者是相辅相成的,实用部分的资料可为科学研究提供数据,而科学研究成果又为完成实用任务提供模型和提高精度。

海洋大地测量的工作是在海洋上进行,测站是在始终处于动态的测量船上,这与大地测量相比是最大的区别。因为所有观测在动态状况下进行,所以同一空间结构网的各个观测(例如坐标、重力和深度等)必须同时测定,且同一观测无法进行重复观测;观测不仅受大气影响,而且还受海水物理性质的影响;在观测仪器、观测方法和观测数据处理等方面与陆地大地测量也不尽相同。从事海洋大地测量工作必须考虑这些特点。

本书主要讨论海洋大地测量的基本任务,对于一些虽属本学科的内容但在其它课程中已有详细介绍,例如物理大地测量、卫星大地测量、海洋潮汐和海洋测绘等,本书将不再重复介绍,读者可参阅有关专业书籍。

本书从第二章起将海洋大地测量的基本问题分五个部分进行讨论。

第二章海上定位。主要讲述用于海洋大地测量的高精度海上定位技术和方法。在介绍不同定位技术(无线电定位、水声定位、卫星定位和组合定位)的基本原理基础上,列举了几种定位系统,并阐明了其特点和在海洋大地测量中的应用。

第三章海洋大地测量控制网。主要介绍海洋大地控制网(主要是海底控制网)建立的基本原则和方法以及在局部或国家统一坐标系中海洋大地控制点坐标的确定方法。

第四章海洋重力测量。主要讨论海洋重力测量不同于陆地重力测量的若干问题,如海洋重力测量的特点、海测系统内常用的海洋重力仪和重力测量数据处理方法等。与陆地重力测量相同部分也不再重复。

第五章测线和测线网平差。由于在海洋上进行重力测量是按测线进行的,每个测点相应的船位坐标的精度直接影响重力值的测定精度。为了提高船位和重力测定的精度,必须进行测线和测线网平差。

第六章平均海面、海洋大地水准面和海面地形。主要讨论在全球或大海域内,利用卫星测高和重力资料对上述问题进行研究。也可以说从海洋大地测量的角度来讨论问题,它与通常海洋学中的研究方式不尽相同。

第二章 海上定位

§ 2-1 概 述

通常把在海上确定船位的工作，称为海上定位。海上船位一般以二维（平面或球面）坐标表示。确定船位有二种基本方法：观测船位法和推算船位法。

一、观测船位法

观测船位法是利用船上的各种导航定位设备，借助于观测外界物标，如岸上的规标、海中的灯塔、无线电岸台、天体、人造卫星等来确定船位。由于这些物标的位置均为已知，因此通过观测船与物标之间的距离、距离差、方位、角度等参量（称为定位参量）就能得到一条表示船与物标间相对位置的位置线。只要有二条位置线，便可交出船位。因此，天文定位、无线电定位、水声定位和卫星定位都属于观测船位法。

位置线，通常是一条直线或曲线，在它上面定位参量都相等，所以它是位置函数的等值线。

若把定位参量看作是待定点（船位）坐标的函数，那么该函数的一般式为：

$$u = f(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_k, y_k, z_k) \quad (2-1-1)$$

其线性式为：

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x_1} \delta_{x_1} + \frac{\partial u}{\partial y_1} \delta_{y_1} + \frac{\partial u}{\partial z_1} \delta_{z_1} + \dots + \frac{\partial u}{\partial x_k} \delta_{x_k} + \frac{\partial u}{\partial y_k} \delta_{y_k} + \frac{\partial u}{\partial z_k} \delta_{z_k} \quad (2-1-2)$$

式中 u 为定位参量。 u_0 为定位参量的近似值。对于一个船位，上式可写成：

$$\frac{\partial u}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial u}{\partial y} \delta_y + \frac{\partial u}{\partial z} \delta_z - (u - u_0) = 0 \quad (2-1-3)$$

但通常船位在海面上，采用二维坐标表示，于是 (2-1-3) 式可写成：

$$\frac{\partial u}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial u}{\partial y} \delta_y - (u - u_0) = 0 \quad (2-1-4)$$

上式称为位置线方程。每进行一次观测，就可获得一条位置线，原则上有二条位置线即可交出船位。当有多余观测时，便可采用最小二乘方法求出船位的平差值。

二、推算船位法

推算船位法是从已知船位的推算点开始，依靠船自身的各种设备（如罗经、计程仪、测量风向风速以及海流流向流速的仪器等），推算出具有一定精度的实时船位。它是采用

观测法确定船位时必不可少的一种辅助方法。

设推算起始点A船位为 (λ_0, φ_0) ，船的航速为 V ，航向为 K ，起航时刻为 t 。在忽略风、流影响且把地球视为圆球体情况下，如图2-1-1所示，那么推算点B的地理坐标 λ 和 φ ，可按下列式求出：

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 + \Delta\lambda \\ \varphi &= \varphi_0 + \Delta\varphi \end{aligned} \right\} \quad (2-1-5)$$

或

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 + S \sec \varphi_0 \sin K \\ \varphi &= \varphi_0 + S \cos K \end{aligned} \right\} \quad (2-1-6)$$

若在平面直角坐标系中，容易得出：

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= V \sin K \Delta t \\ \Delta y &= V \cos K \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (2-1-7)$$

$$\text{所以} \quad \left. \begin{aligned} x &= x_0 + V \sin K \Delta t \\ y &= y_0 + V \cos K \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (2-1-8)$$

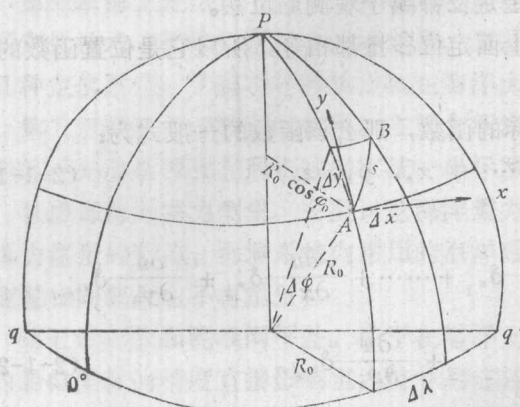


图 2-1-1

推算船位法的特点是所推算的船位精度不高，这主要是由于所使用的各种导航仪器本身存在较大误差，海区风、流影响不易精确修正，而随着航行时间（距离）的增加，误差积累而导致推算船位精度迅速降低。因此，在海洋大地测量中，它只能作为定位的一种辅助手段。

在海上从事海洋大地测量工作，必须借助于船进行。船位确定，是海洋大地测量不可缺少的工作内容。比如，测定海底控制点坐标时，船位必须同时测定；在进行海洋重力测量时，没有船位的重力值是没有意义的。而且，船位的精度还直接影响所观测参量的精度。

海洋大地测量要求的船位精度（定位误差允许范围为几米到十几米，远高于以导航为主要目的的定位精度。因此，它所关注、应用并致力于研究的是那些高精度的定位技术和方法。有鉴于此，本章不去阐述目前用于海上各个领域的名目繁多的定位技术和方法，而仅局限于介绍适用于海洋大地测量的定位技术和方法，重点是高精度无线电定位系统、水声定位系统和能全天候连续提供实时船位的GPS全球定位系统。

§ 2-2 无线电定位

无线电定位是目前应用最普遍的海上定位技术。各种各样性能不同、精度有低有，

应用范围远近有别的无线电定位系统发展很快。介绍这方面的专门书籍也已不少。本节在简述无线电定位基本原理的基础上，突出在海洋大地测量中应用的高精度无线电定位系统的主要特点。

一、无线电定位的基本原理和工作方式

无线电定位或电子测量定位，它是利用电子测量仪器测定水上船（或运动物体）位置的方法。它通常是直接和间接测定无线电波在已知位置的固定点（岸台）与船之间传播过程中的时间、相位、振幅或频率的变化，来确定定位参量：距离、距离差、方位等，从而获得位置线确定船位。

按位置线的确定方式，无线电定位系统的工作方式有：

1. 双距离定位

它的定位参量是距离。距离位置函数式为：

$$D = \sqrt{(x_A - x_L)^2 + (y_A - y_L)^2} \quad (2-2-1)$$

其位置线是以岸台 A 为圆心，以 A 至船 L 的距离 D_A 为半径的圆弧线。如图 2-2-1 所示。当与第二个岸台 B 获得第二条位置线时，则可交出船位 L 。它就是双距离定位方式，也称为双圆定位法。

2. 距离差定位

它的定位参量是距离差。距离差位置函数式为

$$r = \sqrt{(x_A - x_L)^2 + (y_A - y_L)^2} - \sqrt{(x_B - x_L)^2 + (y_B - y_L)^2} \quad (2-2-2)$$

其位置线几何图形为双曲线。如图 2-2-2 所示。二条双曲线（图中标记①和②的双曲线）可交出船位 L 。距离差定位也称为双曲线定位法。它需由三个岸台组成一个岸台组。

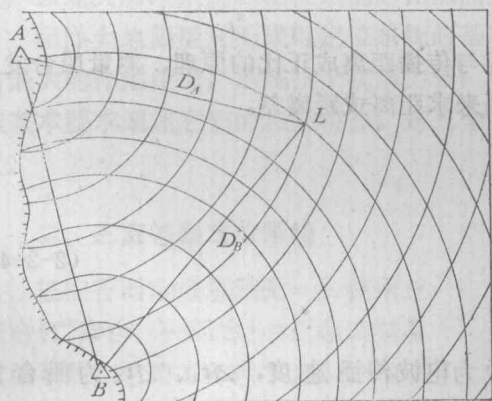


图 2-2-1

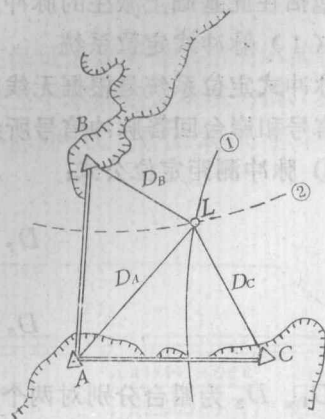


图 2-2-2

3. 双方位定位

它的定位参量是方位。其位置线函数式为

$$K = \text{arc tg} \frac{y_L - y_A}{x_L - x_A} \quad (2-2-3)$$

其位置线为等方位航迹线（直线）。二条等方位航迹线即可交出船位 L 。如图 2-2-3 所示。图中 K_A 和 K_B 分别为船台测向仪测出的岸台 A 和 B 的无线电信标的方位角。

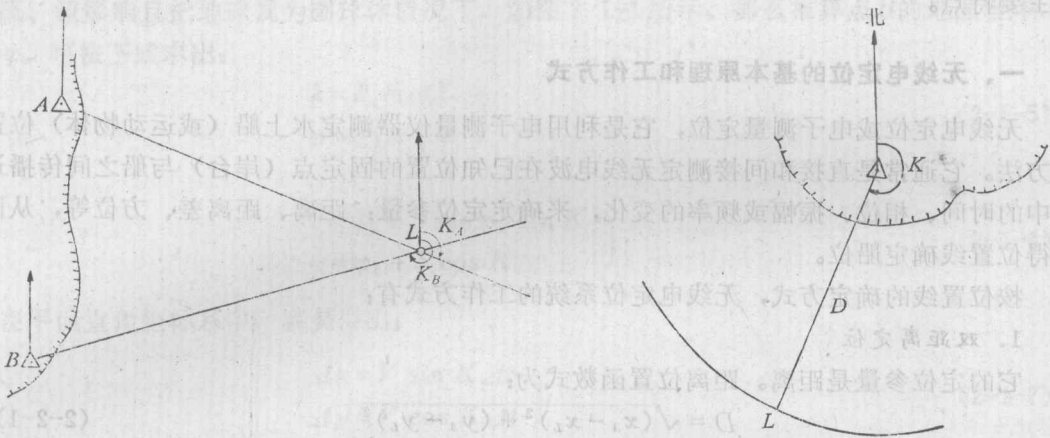


图 2-2-3

图 2-2-4

4. 方位—距离定位

它的定位参量是方位和距离，即方位位置线（直线）和距离位置线（圆弧）相交得出船位。所以它只需一个岸台。如图 2-2-4 所示。除此而外，还有由测深线导标控制的单距离定位，距离和定位以及距离—距离差定位等等。在海洋大地测量中主要应用无线电测距和测距差系统。

按确定定位参量（距离或距离差）的原理，无线电定位系统主要分脉冲式和相位式两种，包括在此基础上派生的脉冲/相位式系统，现简略介绍。

(1) 脉冲式定位系统

脉冲式定位系统是根据无线电信号传播时间与传播距离成正比的原理，测量船台发射脉冲信号和岸台回答脉冲信号所经历的时间间隔来求距离或距离差。

① 脉冲测距定位公式：

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{v}{2} \cdot \Delta t_1 \\ D_2 &= \frac{v}{2} \cdot \Delta t_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-2-4)$$

式中 D_1 、 D_2 为船台分别对两个岸台的距离， v 为电波传播速度， Δt_1 、 Δt_2 为船台发射的询问脉冲信号经两个岸台分别接收后，再发射回答脉冲信号被船台分别接收这一过程中电波传播的时间间隔。

② 脉冲测距差定位公式：

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_1 &= D_A - D_B = v(t_A - t_B) = v \Delta t_1 \\ \Delta D_2 &= D_B - D_C = v(t_B - t_C) = v \Delta t_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-2-5)$$

式中 ΔD 为距离差； D_A 、 D_B 、 D_C 为船台分别至三个岸台的距离； Δt 为船台接收到的由

两个岸台所发射的同步脉冲信号的时间差。

(2) 相位式定位系统

相位式无线电定位系统，是根据无线电信号传播中的相位变化与传播距离成正比的原理，通过测量两连续信号的相位差来求距离或距离差。

① 相位测距定位公式：

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta\phi_1}{2\pi} \\ D_2 &= \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta\phi_2}{2\pi} \end{aligned} \right\} \quad (2-2-6)$$

式中 λ 为无线电波长，它是由所采用的工作频率决定的。 $\Delta\phi$ 为电波信号往返于船台和岸台之间的相位差。

② 相位测距差定位公式：

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_1 &= \lambda \frac{\Delta\phi_1}{2\pi} \\ \Delta D_2 &= \lambda \frac{\Delta\phi_2}{2\pi} \end{aligned} \right\} \quad (2-2-7)$$

这里的 $\Delta\phi$ 为船台接收来自两个岸台同频同相位的同步电波信号的相位差。

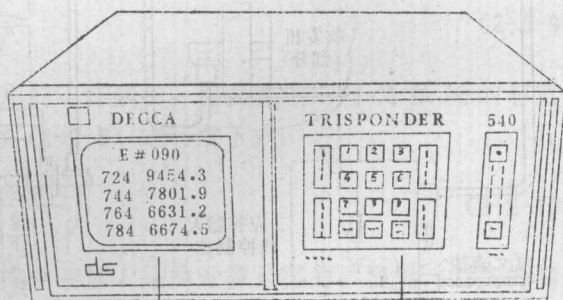
上列各式中的时差值 Δt 和相位差值 $\Delta\phi$ 均可由船台接收机直接测出。

脉冲系统和相位系统各有优缺点。在频率相同的情况下，由于比相精度高于测时精度，所以相位比较系统的定位精度优于脉冲定时系统的定位精度。但脉冲系统不存在多值性，抗干扰能力强，这又是相位系统所不及的。至于两者混合形成的脉冲/相位式定位系统，以兼具脉冲系统和相位系统的优点而另具特色。

海洋大地测量对无线电定位系统的基本技术要求是在保证达到所要求精度的前提下，有最大的作用距离；系统抗干扰能力强；单值性。下面以三个不同定位系统为例，围绕这些基本要求阐述它们的主要特点。这三个定位系统分属于脉冲式、相位式和脉冲/相位式。

二、三应答器定位系统

三应答器定位系统是一种使用三基台(二岸台，一船台)的近程高精度定位系统，它的工作频率为9.3~9.5 GHz，采用脉冲测距方式工作，双圆定位，作用距离可达50 n mile，测距精度为 $\pm 1 \sim 3$ m，定位精度约为 $\pm 2 \sim 5$ m。该系统的特点是无需固定岸台，岸台可根据需要灵活设置；系统设备轻型化，便于安装、使用和维



船台测距仪

图 2-2-5

修；系统耗电小，仅需配备足够的电源，即可实行(岸台)无人管理、自动运转。图 2-2-5 为三应答器系统的船台测距仪。

三应答器的测距原理为脉冲测距。船台每秒钟时序地发射两列载频编码脉冲，脉宽约 $0.5\mu s$ ，位置已知的岸台顺序进行脉冲译码，一旦识别出询问自己的脉冲后就触发自己的发射机，用略有不同的频率以特殊编码脉冲应答船台的询问、船台搜索、跟踪捕获这些编码脉冲。由船台的发射脉冲开启测距仪的计数器，岸台的应答脉冲则关闭测距仪计数器。计数器所计得的时间即为电波的传播时间。为了得到较高的测距精度，船测距仪在规定的单位时间里，连续、快速地测定 100 组距离值，以 1 m 分辨率取其平均值。这个技术称之为“百次累积型”。当船台测定了至两个岸台的距离值，用双圆方式即可确定船台位置。三应答器在自动测距方式中每隔 1 s 提供一个新的定位数据。测定工作在 0.3 s 内完成，并由显示器显示出来。由于系统每 1 s 间隔提供一个新的定位数据，而测定工作仅需 0.3 s，因此，余下的 0.7 s 时间，还可供另二条船进行定位。也就是说，二岸台可供三条船同时定位。至今，三应答器系统已可扩展布设四个至八个岸台，这样不仅可为更多的船台定位服务，而且任一船台既可选取其中任意二个岸台（以最佳位置线交角）进行测距定位，又可按三距离或四距离交会，用平差方法求出船位。

三应答器在解决一般近程系统存在的多路径效应问题上，采取了调整天线高度的简易

方法来消除这种现象。所谓多路径效应，即在某种情况下，接收机接收的应答信号，可能是直达信号和经海面反射信号的叠加信号，从而使测距信号衰减。甚至当两者相位差为 180° 时，会产生所谓“零效应”现象。为解决这一问题，只要采用如图 2-2-6 所示的双重特性天线及配套的转换开关装置，便可实现转换选择不同的天线高度而消除此现象。

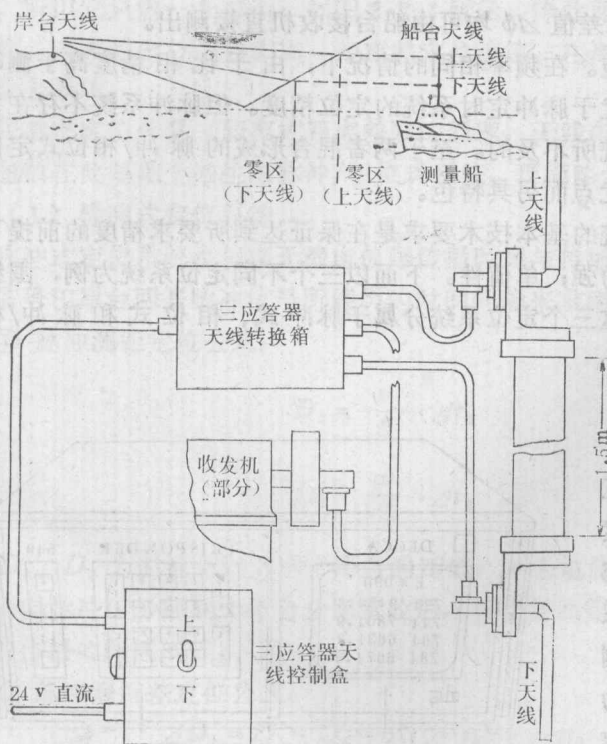


图 2-2-6

1987 年 国家海洋局在渤海大陆架海区进行海洋大地测量试验，采用三应答器定位系统，试验表明，它不失为一种高精度均匀覆盖、灵活可靠、轻便可携的近海定位系统。

三、阿戈定位系统

阿戈 (ARGO) 定位系统是美国 Cubic Western Data 公司

于1977年研制投入使用的一种中程高精度无线电定位系统。它的工作频率为1.6~2.0 MHz,是一种相位式无线电定位系统。系统一般由4个岸台和7用户(船台)构成四距离的重叠格网用以定位。定位精度约5 m。二岸台之间的距离(称为基线)可达200 n mile,因此覆盖面积大。船台白天有效距离为300~400 n mile。船位可根据计算机和数据采集终端直接给出坐标值、偏离预定测线的距离以及欲修正的航向等参数。

岸台和船台所包括的设备大体一致,均由距离测量与处理单元、天线单元、电源设备单元、天线负载(功率匹配)单元所组成。所不同之处是船台多一个控制显示单元。它们的结构和功能在此从略。读者需要时,可参阅使用手册的有关说明。

1. 基本工作原理

阿戈系统为中频相位式无线电定位系统,主要以相位测距方式工作,也可按相位测距差方式工作。

相位测距公式,即(2-2-6)式:

$$D = \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta\phi}{2\pi}$$

式中 $\Delta\phi$ 为电波信号往返于船台和岸台之间(距离为 D)所造成的相位变化量(或称相位差)。众所周知,相位差是由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 周而复始变化的。若以 2π 作为一个相位周,则上式中的 $\frac{\Delta\phi}{2\pi}$,即为相位差 $\Delta\phi$ 所对应的相位周数,其中应包括 N 个整周数,以及不足 2π 的小数部分。于是可将(2-2-6)式写成:

$$D = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \quad (2-2-8)$$

在无线电定位中,习惯于将相位差变化一周,即 $\Delta\phi = 2\pi$ 所相应的距离,称为一个“巷”。一个巷可等分成100个单位,每一单位称为一个分巷。因此,相位整周数 N ,也称为巷整数。不足一个整相位周的小数部份 $\frac{\Delta\phi}{2\pi}$,就称为巷小数,或分巷数。而半个波长的距离,通常称为巷宽。巷宽按下式计算:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} \quad (2-2-9)$$

式中 v 为电波传播速度, f 为阿戈系统使用的工作频率。容易算出,阿戈系统的巷宽在75m~94m范围内。顾及(2-2-9)式,将(2-2-8)式写成下式:

$$D = l \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \quad (2-2-10)$$

上式即为阿戈系统相位测距的基本公式。式中巷宽 l 是由计算获得的。显然,巷宽的精度是保证精确定位的前提。它主要取决于电波传播速度 v 的精确性。由于电波传播路径(如山地、农田、水面等)不同, v 值也不相同。所以在工作前,必须对测区的电波传播速度值进行试验,以取得尽可能精确的 v 值。至于式中电波传播相位的周数,包括整周数 N 和

不足一周的小数部份 $\frac{\Delta\varphi}{2\pi}$ 。一般相位式系统接收机的比相器所测出的相位差只能计算不足一周的小数，即巷小数。相位整周数 N ，比相器无法给出。这就是所谓多值性问题。任何相位式定位系统都必须解决多值性问题。阿戈系统采用累计法对相位整周数进行累计计数，即出测前在比对点上把起始整周数对正确后，随船只航行距离的增加或减少，每行驶一个巷宽距离，相位周数自动累加 ± 1 。为了避免因某种原因造成“丢巷”而出现巷计数错误，阿戈系统还具有 ± 5 巷的巷误差识别功能。船台可随时启动巷识别功能，检测出可能出现的巷计数误差而予以修正。在一般情况下，出现 ± 5 巷的巷计数误差的可能性是不大的。

2. 主要特点

阿戈定位系统的主要特点有：

(1) 采用时间分割多路传输技术

一套标准的阿戈定位系统是由四个岸台和最多可有 7 用户（船台）所组成。为了避免同频率信号的重叠干扰，阿戈系统采用了时间分割多路传输技术，可以互不干扰地进行测距工作。每一工作周期为 2s (2000 ms)，称为一个时间帧。这就是说，每个船台在 2s 内可获得一个新的定位数据。为使系统内各台的工作在时间上同步，在所有的岸台或船台中任选一个位置合适的台作为主台，在 2s 一个时间帧的开始处，发射一定时同步脉冲，此系统中的其余各台，它们必须都能接收到这一脉冲，并利用它进行同步，再开始按系统给各船台规定的时序进行测距。测距的基本过程是由船台首先发出询问脉冲，各岸台收到此脉冲后，按各自接收到的脉冲信号相位，根据时间分割制的时序，依次转发应答脉冲，船台按规定时序接收各岸台发射来的应答脉冲信号后，与它开始发射的询问脉冲信号进行比相，即可得到用以计算分巷数的相位差。当船只运动使分巷值变化，累积到 ± 1 个整巷时，整巷数 N 就会自动增、减一个整数。利用自动累积整巷数的功能，就可以随着船只的运动，随时得出正确的距离读数。阿戈的工作时序参看图 2-2-7。图中每个机动台（船台）所分配到的时间段，称为一个时间槽。

(2) 采用多种工作方式

阿戈定位系统既可采用两距离（双圆）定位，也可采取三距离、四距离定位。在一个时间帧内，采取不同的工作方式所能提供服务的用户数不同。图 2-2-8 中的 (A)、(B)、(C) 分别对应于两距离、三距离和四距离工作方式的情况。两距离定位，没有多余观测，只在较少情况下使用。三距离和四距离定位有多余观测，可采取滤波、平滑等方法来提高定位精度和判断定位质量。此外，阿戈定位系统还可以被动式的单程测距或测距差方式工作。该系统这种多种工作方式的灵活性，既能扩展服务范围，又能提高定位结果的可靠性。

除上述两个特点外，阿戈系统具有数据平滑功能，它给出 10 种平滑因子，可供在不同环境条件下作业时选择使用以对数据进行处理。还能与各种不同的外围设备相连以及能用于飞机作业等等，也都突出显示了阿戈定位系统的特点。

阿戈定位系统近几年已在我国投入使用，实践结果说明，该定位系统定位精度高，性

能可靠，完全可以在近、中程海域进行海洋大地测量工作中使用。

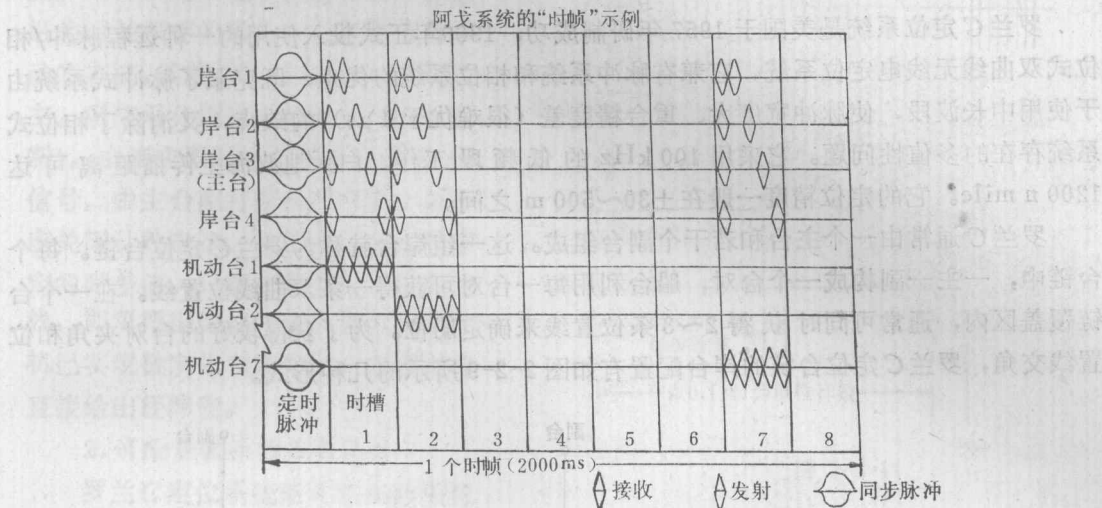


图 2-2-7

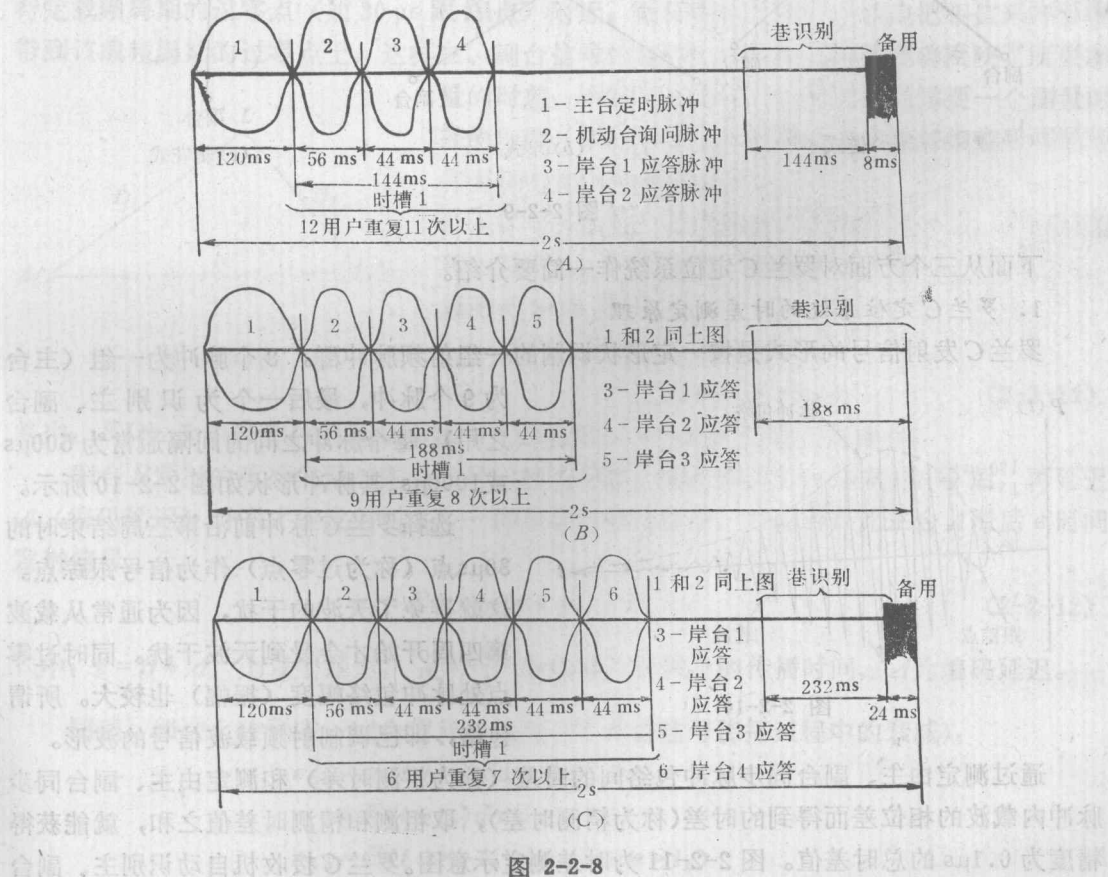


图 2-2-8