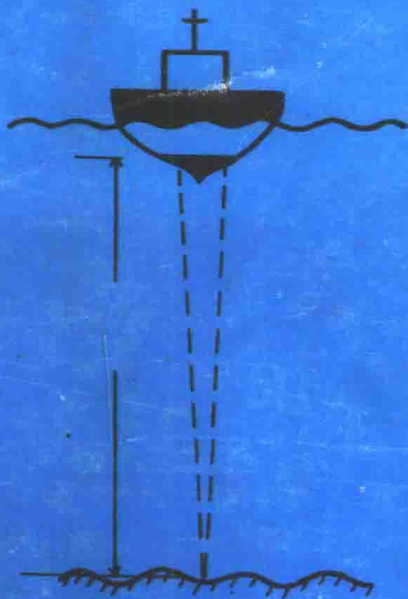


现代测绘科技丛书

水下地形测量

梁开龙 主编



测绘出版社

现代测绘科技

水下地形测量

梁开龙 主编

测绘出版社

内 容 简 介

本书为《现代测绘科技》丛书之一。就水下地形测量技术的几个主要问题：定位方法、测深手段、水位控制与自动成图，作了比较系统的介绍。其中包括沿岸测量自动化系统、GPS在水下测量中的应用、水下声学定位技术；多波束测深、机载激光测深；数据库及自动绘制海底地形图等先进海洋测量技术。

本书可以作为海洋测量、大地测量、工程测量和海洋开发有关方面的教学、科研、生产人员和高校相关专业的高年级学生的参考书。

水 下 地 形 测 量

梁开龙 主编

*

测绘出版社出版

北京大兴星海印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

*

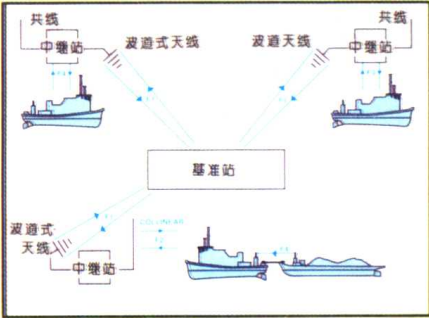
开本 850×1168 1/32·印张 4.75·插页 2·字数 120 千字

1995 年 9 月第一版·1995 年 9 月第一次印刷

印数 0001—3000 册·定价 9.50 元

ISBN 7-5030-0666-8/P·256

北京天测测绘工程公司 天宝船舶监测系统



通讯子系统的范例：
RTCM 协议的信号传输和驳船报告

- GPS——可靠的，
一体化的，
世界范围内的技术
- * 最高精度的商业化定位技术
 - * 免费使用 GPS 数据
 - * 全天候的使用
 - * U.S. 政府提供可靠的商业使用条件

通讯子系统——
船队与陆地通讯的联接

- * 中继站确保了清晰，不间断的信号传输
- * 高品质的通讯设备
- * 频率范围：
可用 UHF/VHF，厘米波，HF 数据通讯平台

基准站子系统——

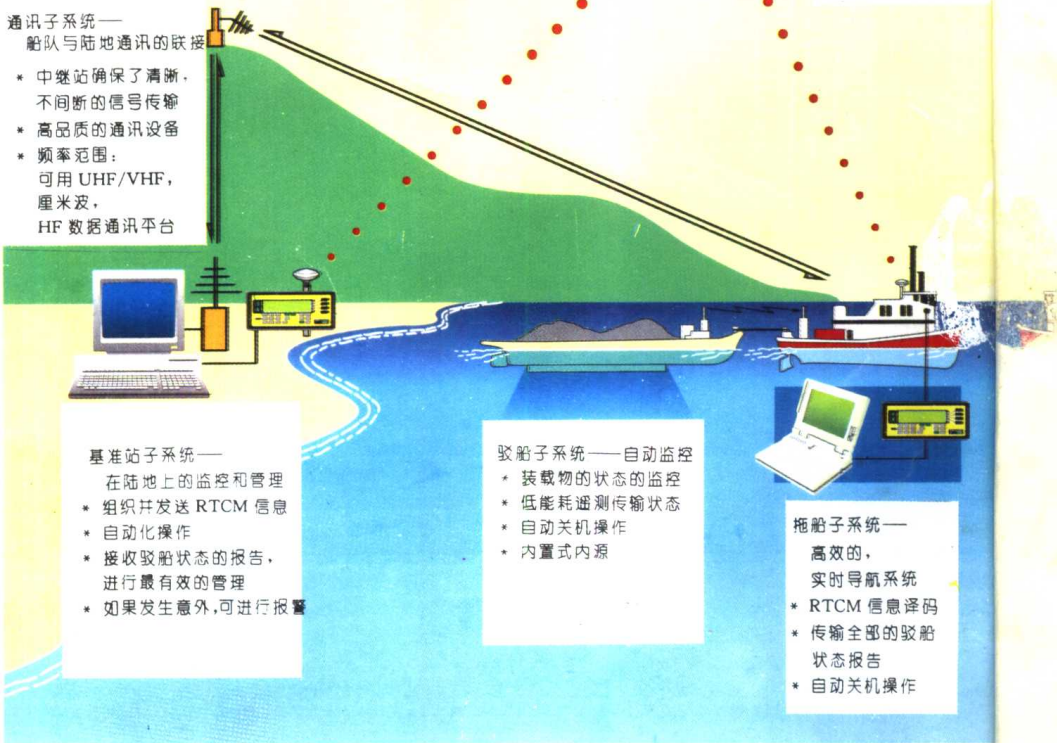
- 在陆地上的监控和管理
- * 组织并发送 RTCM 信息
 - * 自动化操作
 - * 接收驳船状态的报告，进行最有效的管理
 - * 如果发生意外，可进行报警

驳船子系统——自动监控

- * 装载物的状态的监控
- * 低能耗遥测传输状态
- * 自动关机操作
- * 内置式内源

拖船子系统——

- 高效的，
实时导航系统
- * RTCM 信息译码
 - * 传输全部的驳船状态报告
 - * 自动关机操作



北京天测测绘工程公司 '95 隆重推出

天宝海道测量型 GPS 产品
——用于海道测量、制图、船舶进港导航，海上导航的差分 GPS 定位监测系统。



利用高精度差分 GPS 技术进行海洋测量

北京天测公司

地址：北京市海淀区路甲 138 号

燕山大酒店 1612 室

电话：2563388—1612/1614

传真：2564849 转 1612 室

邮编：100086

大连天海公司

辽宁省大连舰艇学院

电话：(0411)2682405—70250

邮编：11608

联系人：张晓明

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员：陈俊勇

副主任委员：宁津生 高俊 张祖勋
楚良才 陈永奇 华彬文

委 员（以姓氏笔划为序）：

于来法	方恒	田应中
朱华统	李德仁	陈绍光
张清浦	林宗坚	陶本藻
钱曾波	黄杏元	梁宜希
喻永昌	廖克	潘正风

出版说明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对80年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化为现实生产力的需要。

本套丛书按专题成册，专题有两种类型：一类偏重学术性，主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

由于GPS（全球定位系统）涉及测量界多方面的应用，内容较多，丛书中将分册配套编写。有关各册主题明确，内容相辅相成，组合起来GPS测量内容就显得比较完整，又发挥了各作者的专长。

丛书编委会于1992年1月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

《水下地形测量》为“八五”规划出版的《现代测绘科技丛书》之一。

本书比较详细地叙述了水下地形测量技术的几个主要方面：定位方法、测深手段、水位控制以及自动成图等有关问题。由于水下地形测量与水深测量密不可分，因此，本书内容在一定程度上也反映了我国目前水深测量技术的现状与发展趋势。

水下地形测量在我国尚处在发展的初期，在我国测绘学科当中，算是年轻的，然而又是重要的一个分支。目前，在测量仪器的研制、测量理论与方法、成图手段诸方面，与国际先进水平相比，尚有一定的差距，很多问题有待探讨。随着我国经济改革开放的深入，发展我国的水下测量技术，不仅仅是发展测绘学科本身的需要，而且更是适应我国经济发展的需要。辽阔的水域存在着巨大的经济潜力，21世纪的测绘学科服务对象的重点之一，将是开发海洋，开发江河湖泊。因此，了解并掌握水下测量技术，是有关专业测量工作者和部分测量管理人员应当做到的。

本书由大连舰艇学院海洋测绘系梁开龙教授主编，并具体撰写了第一、二章和三、四、五章的部分内容；张晓明讲师撰写了第五章一部分和§3.5内容；赵洪杰讲师和王建文讲师分别撰写了第三章和第四章的部分内容。由于水下地形测量涉及的问题比较多，本书限于篇幅不可能面面俱到，加之作者水平所限，叙述的问题难免存在不够全面和错谬之处，敬请批评指正。

在编著本书过程中，作者得到了不少同行大力支持，孔钺助理工程师为本书描绘了大部分插图，在此，一并表示诚挚的谢意。

编 者

1994年10月

目 录

第一章	绪论	(1)
第二章	定位方法	(6)
§2.1	概述.....	(6)
§2.2	无线电定位.....	(7)
§2.3	光学仪器定位.....	(21)
§2.4	差分 GPS 定位.....	(23)
§2.5	水下声学定位.....	(35)
第三章	测深手段	(52)
§3.1	常规测深技术.....	(53)
§3.2	海底地貌探测仪.....	(60)
§3.3	多波束测深系统.....	(69)
§3.4	水下测量技术.....	(81)
§3.5	机载激光测深.....	(84)
第四章	海洋潮汐与水位控制	(90)
§4.1	潮汐分析.....	(91)
§4.2	平均海面与深度基准面.....	(94)
§4.3	水位改正.....	(99)
第五章	自动成图	(109)
§5.1	自动化定位技术.....	(110)
§5.2	数据库系统的建立.....	(119)
§5.3	数字地面模型.....	(126)
§5.4	绘制海底地形图.....	(131)
	参考文献	(140)

第一章 绪 论

同陆地一样，在海洋上与江河湖泊上进行开发的第一阶段工作就是测图。不同的是，在水域是测量水下地形图。

一个国家的海运实力关系到国家的政治、军事地位和经济利益。我国目前海运状况突出矛盾是港口紧张。建设现代化的深水港，开发国家深水岸段和沿海、河口及内河航段，已建港口回淤研究与防治等都需要高精度的水下地形图。

海洋渔业资源是一种具有再生能力的生物资源，要规划和发展我国的海洋渔业，需要了解各地，包括远洋海域的渔场的详细海底地形和水文。同时，沿海地区养殖业的发展也都需要滩涂地区的海底地形、底质、潮汐、水文等测量资料。

海洋石油工业更是方兴未艾，据有关资料报道，海洋石油储量相当陆地石油藏量的三倍多。现已有 40 多个国家在大陆架海域进行石油钻探与开发，年产原油 6 亿吨，占世界原油总产量的 1/4。人们估计，到 2000 年世界石油总产量的一半将来自海底。为了查明海底石油和天然气储量，首要的任务是测量海底地形图、海洋重磁图及判断地质构造的地质图。在以后的石油开采中，在海底敷设输油管道以及海底电缆等工程时，也必须了解海底地形。此外，大洋底锰结核等矿藏的勘探与开发，海洋能的利用，海水淡化与海洋化学资源的研究等工程都需要这方面的资料。

众所周知，370km 专属经济区和大陆架制度已经在世界范围确立起来。90 年代，沿海国家将普遍加强本国大陆架和专属经济区的勘探开发与管理，我国也是这样。为此，首先要对大陆架和专属经济区进行基础测绘和资源远景评估，为开发活动和与邻国划界准备基础图集和资料，这是我国海洋测绘界一项历史使命。我

国与邻国在海域划界和维护海洋权益方面面临的形势十分复杂，而解决海域划界就需要高精度的海底地形图。

在军事上，水下潜艇的活动、近海反水雷作战兵力的使用、战时登陆与抗登陆地段的选择等，其相关区域的水下地形是指弹人员关心的主要内容之一。

从科学研究的角度上看，为了确定地幔表层及其物质结构、研究板块运动、探讨海底火山爆发与地震以及矿藏分布形成的地球物理现象，要用到海洋重磁测量方法以确定大地水准面垂线偏差的变化，并且需要在地壳断裂带、垂线偏差异常区、海底盆地与峡谷、海底山脊地区进行详细的海底地形测量。

水下地形测量的基础为海道测量，由于海道测量的主要目的是为航海服务，所以水深测线间距依比例尺不同而变化。随着测深仪器的发展，尤其是多波束测深系统和侧扫声呐等仪器的使用，使得水下地形测量迅速得到发展，如今已成为世界各海洋国家在海洋测绘方面重要研究领域之一。水下地形图在投影、坐标系统、基准面、分幅、编号、内容表示、综合原则以及比例尺确定等方面都与陆地地形图相一致，但二者测量的方法却相差甚大。水下地形测量主要使用水声仪器，全覆盖测量水底深度。如果在海上或江河入海口处测量，还要加入潮汐影响(水位改正)、仪器换能器吃水改正及声速改正等。从定位手段看，除了近岸测量或江河测量可使用传统的光学仪器实施交会法定位外，其它较远区域多采用无线电定位方法。尤其是全球定位系统(GPS)在海洋测量中的应用，是当前研究的热点问题，大连舰艇学院海洋测绘系在这方面取得了较好的成绩，为水下地形测量提供了一个既方便、精度又高的定位手段，通过在南沙试用，效果颇佳。随着电子计算技术的发展，在外业测量数据的采集以及内业成图方面逐步向自动化方向发展，天津海洋测绘研究所研制的多功能水深测量自动化系统就是我国海测自动化技术的代表。

水下地形图是近 20 年来发展起来的地形图中最重要的一个

新品种。它不论与传统的航海图，还是同原则上保持一致的陆地地形图比较，都有较大的差别。水下地形图属于专题图范畴。前已述及，水下地形图有着多方面的用途，为此对它的内容要求也是多种多样的。水下地形图的精度由测量工作目前可以达到的精度和制图工作的精度来决定。前苏联对水下地形图精度的要求是：水域地物平面位置相对于大地控制点的中误差，按地图比例尺计不超过 1.5mm；岸上物体不超过 0.7mm。

目前，大范围水域资源经济利用的重点，是在海洋近岸基本平坦的浅水区域——大陆架。1958年，日内瓦国际会议议定大陆架限定在 200m 或者略大深度的等深线以内。1982年，《联合国海洋法公约》正式确定了大陆架与 370km 专属经济区等项制度，使沿海国家对从自己本国领海基线量起的 370km 专属经济区和邻接陆地领土的大陆架，都拥有主权和管辖权。也就是说，在该区域内，沿海国家有以勘探和开发、维护和管理自然资源的主权，以及对人工岛屿与设施的建造和使用、海洋科学研究、海洋环境保护和安全的管辖权。其它国家则享有航行、飞越、铺设海底电缆和管道等自由。在专属经济区和大陆架制度下，约有占世界总海域 35.8% 的 1.3 亿平方公里面积水域处于沿海国的管辖之下。在该海域内，蕴藏着 87% 已探明的世界石油储量，可提供 94% 的世界总渔获量。为此，许多沿海国家纷纷抓紧进行以大陆架和大陆坡地区为主的详细专题制图工作。美国、前苏联、日本、英国等，从 70 年代就开始有计划地出版了大量不同比例尺的海底地形图，为各类用户提供服务，产生了良好的效益。美国在 1988 年 11 月统计，已完成本国的 350 万平方公里专属经济区近一半面积的海底测量任务。日本在《200 海里综合调查计划》中，预计测制海底地形图和海底地质构造图共 500 多幅，可覆盖日本沿海全部海域。1978 年已完成 1:1 万海底地形图 24 幅，1984 年出版了 1:50 万海底地形图等专题图，这些图也采用与陆地图统一的图式和投影进行编制，以保证大陆图与水域边缘图

可以衔接。前苏联，1974年制定了《大陆架和专属经济区测绘计划》，1975年开始全面施测，已出版的图件主要是海底地形图。其它海洋国家，如澳大利亚、法国、英国、加拿大、伊朗、荷兰、挪威等都先后进行了大量的大陆架海底地形测量工作。这些国家在这方面，不仅起步早，而且普遍采用新技术。

我国是一个海洋大国。按《联合国海洋法公约》规定，归我国管辖的海域约有300万平方公里。建国以来，我国的海洋测绘事业有了较大的发展，但是80年代以前，主要进行的是比较单一的海道测量，其内容局限于水深测量、底质采集和障碍物探测，由此获取的海洋地理信息，只能满足保证航行安全的需要，其用途有限。随着国际上70年代末海洋科学和海洋开发的迅速发展，我国的海洋测绘事业也加快了前进的速度。在引进国外比较先进的海洋测量设备的同时，积极组织科技人员自行研制了许多有一定水平的新仪器，并采用了不少先进的测量方法。从1988年开始，国务院要求有关部门用10年时间完成我国大陆架海底地形测绘任务，为维护我国海洋权益提供基础和依据。目前，黄海、东海大陆架外缘边界，按比例尺1:20万的图幅，形成条带覆盖，基本完成。另外，与海岸带调查同步进行的沿岸海底地形测量也取得了很大成绩。除此以外，南海也作了大量的专题测量。但与世界上一些主要海洋国家相比，差距仍然较大。据有关部门统计，已实测的海区仅占我国管辖海域总面积的40%，估计尚有180万平方公里的海域需要规划、施测；现有的海图也急待更新；建立统一的陆地与海洋大地控制网，形成坚强的海平面和高程控制基础，是为维护国家主权和开发海洋资源所必需的基础建设，目前海域部分还差得多；以掌握海洋地理各种信息，如海洋地貌、海洋沉积、海洋地质构造、海洋重力异常、海洋磁场、海底地震、海洋物理化学特性、海洋生物等为目的的海洋专题测量还远远满足不了经济发展的需要；与之相应的海洋专题图和系列配套的海底地形图是海洋开发部门最关心的图种，它们具有强大

生命力，是未来海图的重要发展方向，这方面我们还仅仅处在发展的初期；将目前的海洋测绘技术向自动化、高精度、全覆盖方向推进，是满足现代海洋工程建设需要的必由之路，建立满足各方面要求的海洋地理信息系统，将是未来海图走向数字化的方向。总之，要使我国的海洋测绘水平，包括水下地形测量技术，尽快跻身于国际先进行列，尚有一段艰难的路程要走。

第二章 定位方法

§ 2.1 概 述

定位是水下地形测量的一个重要组成部分。无论是测量海底地形，还是测量江河湖泊水底的地貌，都必须把它们固定在某一坐标系统相应的格网内，否则是毫无意义的。

水上定位不同于陆上定位，主要在于待测船位是运动的、实时的。不可能像陆上测量那样用多测回重复测量，以毫米或厘米级精度严密平差求定点位。但水上定位的坐标基准在陆地，也就是说，水下地形测量通常采用与陆上测量相同的坐标系统。

水上定位主要指海洋定位。由于海域辽阔，海洋定位根据离岸距离的近远不同而采用不同的定位方法，如光学定位、无线电定位、卫星定位、水声定位以及组合定位等。

光学定位与陆上定位的原理和方法相同，但以交会方法为主，即通常所用的前方交会法、后方交会法、侧方交会法以及极坐标法等。由于后方交会法多采用六分仪，点位精度比较低，不宜在近岸大比例尺测图中使用，该法已渐被淘汰，故本章中不再提及。极坐标法为近年来国内外研制的沿岸测量自动化系统所常用之方法，尤其适用于港湾大比例尺水下地形测量。无线电定位方法有作用距离远和全天候连续定位等特点，故在海洋定位中应用比较广泛。如海用微波测距仪是目前沿岸海区海上定位的主要仪器之一，作用距离为几十公里，测距精度为 $1\sim 2\text{m}$ 。更远的距离将采用各种不同定位原理的无线电定位系统，其精度也有所不同。卫星定位主要是利用 GPS 定位，GPS 单点定位由于受多种因素影响，精度不高，定位精度为几十米，只可作远海小比例尺海底地形测量的控制。对于较大比例尺测量，可用差分 GPS 技术，其差

分精度小于 5m。对于远海局部海域，如测量大比例尺海底地形或进行海上划界测量，可使用水下声学定位方法，该法在我国尚处于起步试用阶段。

从上述可以看出，任何一种定位方法都是为了某种定位需要而产生的，因此存在一定局限性。目前生产的组合定位系统就是把几种定位系统组合起来，使之互相补偿，以达到减少外界影响，提高定位精度之目的。组合定位系统的种类很多，如 WINS 系统是由卫星接收机、劳兰-C 接收机、LTN-76 惯性导航系统、多普勒声纳系统及计算机等组成；又如 MX1105 卫导—奥米加组合导航仪，是由卫星接收机、奥米加接收机、罗经、计程仪及计算机等组成。随着组合定位系统的出现，必然带来多种定位信息处理的问题。卡尔曼滤波是处理随机过程中的预测和滤波有效的数学方法。它是在时间域上采用递推形式，对观测值进行处理，然后给出系统状态的无偏、最小方差的最佳估计。预测和滤波估计使得组合定位系统容易对信号进行实时处理和控制在。

由于组合定位系统是由其它定位系统所组成，且价格昂贵，在实际水下地形测量中应用较少，故本章内容中没作介绍。

最后要提到的是自动化测量技术。它是以计算机为核心的测量数据采集、处理及绘图一条龙的高级测绘技术，它大大提高了作业效率和减轻了作业劳动强度。目前，国内各有关测量单位正在积极推广这一技术。相信不久，在沿岸和港湾测量中，自动化测量技术将成为最主要的测量手段。由于自动化测量技术集定位、测深和成图于一体，故将该内容放在第五章中介绍。

§ 2.2 无线电定位

由于无线电定位系统具有全天候、连续实时定位的特点，而且在定位精度方面基本上能满足水下地形测量要求的前提下，作用距离远、覆盖范围大，所以，无线电定位系统已成为目前海洋

测量的主要定位手段之一。

无线电定位系统按其作用距离可分为：近程定位系统（作用距离小于 300km），中程定位系统（作用距离小于 1000km），远程定位系统（作用距离大于 1000km）。

无线电定位系统的工作原理，主要有测量距离定位和测量距离差定位。即在陆上设立若干个无线电发（反）射台（称为岸台），通过测量无线电波传播的有关参数，来确定运动的船台相对于岸台的位置。也就是根据两条位置线（采用测距定位，则位置线为两个圆；采用测距差定位，则位置线为两条双曲线。）相交的交点来确定船台的二维坐标。

一、无线电测距定位

如图 2-1 所示，在测量船 P 上设置主台，在岸上两已知点上各设置一副台。定位时，测得主台至副 1 台、副 2 台的距离为 D_1 、 D_2 ，分别以副 1 台、副 2 台为圆心，以 D_1 、 D_2 为半径，所划圆弧之交点，即为所测船位。如果在岸上几个已知点上设置副台，定位时，测得主台至副台的距离为 D_1 、 D_2 、 D_3 ……，则由最小二乘法求得最或然点位。

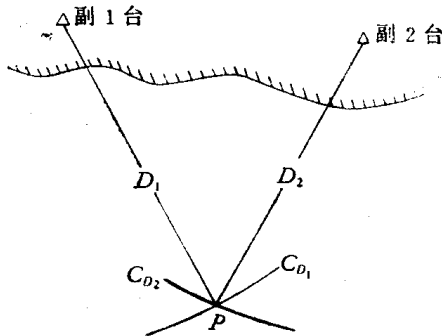


图 2-1 测距定位

无线电测距系统分为脉冲和相位二种类型。脉冲系统的有雷姆（苏）、绍兰、EPJ（美）等。相位系统则比脉冲系统精密，尤