

多波束勘测原理 技术与方法

李家彪 等著



海洋出版社

多波束勘测原理技术与方法

李家彪 等著

海洋出版社

1999年·北京

图书在版编目(CIP)数据

多波束勘测原理技术与方法/李家彪等著. - 北京:海洋出版社, 1999.9
ISBN 7-5027-4834-2

I. 多… II. 李… III. 海底地形-声纳探测, 多波束 IV. P714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 42988 号

责任编辑: 钱晓彬

责任印制: 严国晋

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京市燕山印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销

1999 年 9 月第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17 彩插: 4

字数: 420 千字 印数: 1~1000 册

定价: 45.00 元

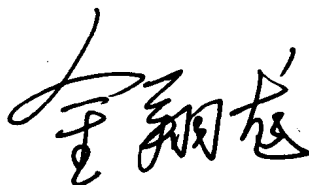
海洋版图书印、装错误可随时退换

序

海底地形测量是海洋调查研究、海洋资源环境开发和海洋工程设计的工作基础。长期以来,传统单波束回声测深技术虽然在海底地形测量中发挥了重要的作用,但由于其测量所需时间长、成本高、精度低、信息量少的缺陷,已不能满足海洋经济发展、海洋权益争夺和海洋规划管理日益增长的新需要。根据这一新形势,国际海道测量组织(IHO)在总结当代测深技术发展水平的基础上于1994年9月的摩纳哥会议上制定出新的水深测量标准,并规定在高级别的水深测量中必须使用多波束全覆盖测量技术。

多波束测深系统是当代海洋基础勘测中的一项高新技术产品。它采取多组阵和广角度发射与接收,形成条幅式高密度水深数据,是计算机技术、导航定位技术和数字化传感器技术等多种技术的高度集成。多波束测深技术自70年代兴起,80年代中、末期又获得了迅速发展并已在人类认识海洋、开发海洋的过程中发挥了巨大的作用,成为各国大陆架专属经济区海洋调查及各项海洋开发、研究精密地形测量中必不可少的技术。美国自1983年宣布建立200海里专属经济区以来,国家海洋大气局(NOAA)就规定使用多波束技术实施专属经济区的分幅调查。

多波束测深系统由于其系统构成的自身特点和勘测实施的复杂要求,客观上要求使用者对多波束技术应有一个全面的了解。遗憾的是目前国内尚没有全面、完整阐述多波束原理、勘测技术和数据处理方法的专著问世,这不仅不利于多波束海洋勘测项目的实施,也不利于多波束测深技术的推广、普及和提高。《多波束勘测原理技术与方法》一书总结了有关国家专项和海洋高技术项目的研究成果和作者海上多波束海底地形地貌勘测的实践,以及多波束系统各项校正、改正、质量控制技术试验的经验,全面、系统地阐述了多波束技术的发展历史、勘测原理和技术方法,在强调概念、原理、测量技术和数据处理方法的完整性的基础上,大量引入了海上勘测的实例,具有较强的实用性和指导性,是多波束测深领域中一本不可多得的教材和指南,也是对多波束测深技术及勘测方法的有益总结和贡献。



1999年8月6日

前言

海洋是全球生命支持系统的一个基本组成部分,也是人类实现可持续发展战略的重要领域。随着人类海洋资源、环境开发研究活动的不断加强,特别是《联合国海洋法公约》颁布以来,人们对海洋基础勘测——海底地形地貌测量的要求不断提高,传统单波束回声测深技术由于其效率或精度上的缺陷,已无法满足当代海洋开发、海洋研究、海洋工程与海洋划界基础测绘的日益增长的各种新的需求。正是在这种背景下,作为当代海洋基础勘测高技术产品的多波束测量系统应运而生,并已在人类认识和开发海洋的进程中发挥越来越重要的作用。

多波束测量系统的诞生代表了海洋测深技术的革命性飞跃。与传统单波束回声测深仪不同,多波束系统是一种多传感器的复杂组合系统,自 70 年代问世以来就一直以系统庞大、结构复杂和勘测技术要求高著称。20 多年来,伴随高性能计算机技术、高分辨显示技术、高精度定位技术和各种数字化传感器及其他相关高新技术的迅速发展,代表海洋地形地貌勘测最新水平的多波束勘测技术不断变革,获得了极大的发展。至 80 年代末,商业实用型多波束系统相继问世,各种新型的多波束系统不断研制出来,并向着小型化、多性能、高精度、高集成和综合化的方向发展。

由于商业型多波束系统的开发只有 10 年的历史,世界各高科技开发商正瞄准多波束这一充满潜力的市场大力革新自己的产品,因此多波束系统及其技术远未定型,其中的一些重要概念和术语也互不统一。由于多波束系统彻底改变了传统测深方法,在波束形成理论、勘测技术和校正及处理方法上形成了自身复杂的特点,若在勘测中不加注意将严重影响勘测精度。此外我国自国外引进多波束技术也只有几年的历史,目前正应用多波束系统进行海底地形探测,国内使用的多波束系统因种类各异,特点有别,亟需建立起适用于全国范围的相应技术方法,同时多波束系统的有关概念、术语及中译名也需加以明确和统一,多波束勘测的技术规范也有必要进一步探讨和完善,而目前国内尚无一本全面系统地论述多波束勘测原理、技术与方法的专著问世,显然这种状况不利于我国海洋多波束的调查与研究。有鉴于此,在总结国家有关专项、大洋矿产资源勘察项目和“863”高技术项目“海底地形地貌的全覆盖高精度探测技术”课题最新成果——多波束地形地貌勘测实践与研究的基础上,我们组织编写了这本《多波束勘测原理技术与方法》,希望能为发展我国多波束勘测技术及其应用有所帮助。

为全面、完整阐述多波束的历史、原理、技术和方法,全书由四个部分共 13 章组成。第一部分为绪论,描述了海洋水深测量在海洋各个领域的重要地位和作用,测深技术由原始水下测量阶段到多波束勘测阶段的发展历程。第二部分为多波束勘测原理,包括多波束系统波束形成的水声原理、多波束系统的测深方法与工作原理,并介绍了目前世界上应用最广的 5 种多波束测量系统。第三部分为多波束勘测技术,包括多波束勘测的设计与实施、多波束勘测的导航定位技术、声速改正技术、潮位改正技术、吃水改正技术,以及多波束勘测的质量控制和精度评估。第四部分为多波束数据处理方法,论述了多波束的数据编辑和数据处理,

包括成图技术,并对多波束振幅信号的处理及其在多金属结核覆盖率估算上的应用进行了探讨。本书除追求多波束勘测有关术语、概念的统一性和原理的完整性外,在多波束勘测技术和数据处理方法上也力求贴近我国目前多波束勘测实际,使其具有较强的实用性和针对性。

本书由国家海洋局第二海洋研究所李家彪担任主编,集体编撰并几易其稿而成。各章作者如下:第一章:王小波;第二章:华祖根、李家彪;第三章:李家彪、华祖根;第四章:王小波、徐赛英;第五章:王小波;第六章:应元康、郑玉龙;第七章:李家彪、张忠华、吴自银;第八章:羊天柱;第九章:郑玉龙、应元康、赵忠宝;第十章:李家彪、王小波;第十一章:吴自银、李家彪;第十二章:高金耀、王小波、应元康、吴自银;第十三章:陶春辉。陈荣华、汪东军对第四章资料的翻译提供了具体的帮助,全书由李家彪、王小波负责统稿,最后由李家彪修改定稿。金翔龙院士在百忙中审阅了全稿,并欣然为本书作序;国家海洋局黄振宗同志和大洋协会郭世勤同志对本书的撰写给予了极大的关怀和支持,并在定稿过程中提出了许多具体意见;吕文正教授提供了有关材料并对部分章节提出了很好的建议;潘玉球教授对第七章水文部分提出了许多宝贵意见,徐赛英完成本书大部分图表的数据处理,在此表示衷心的感谢。本书的研究得到了国家海洋局海底科学重点实验室基金的资助。

本书的出版过程中得到了王建文、郑连福、孙煜华等同志的大力支持和热诚关心,作者对此深表感谢。

由于本书的编写属初次尝试,加上工作深度及自身水平所限,还有一些客观因素的制约,书中谬误和不足之处在所难免,尚祈专家不吝指正。

Multibeam Sounding Principles

Survey Technologies and Data Processing Methods

Abstract

Multibeam echosounding system, as a high precision swath echosounder of new generation, has extensively taken into use in marine science research, resource and environment development and marine project design during the last decade, and now played more and more important roles in the bathymetric survey. Unlike conventional single beam echosounders, multibeam system is a type of complicated system in which multi-sensors have been used, and has its specialties of system configuration, survey techniques as well as data processing methods. So if these specialties not made the acquaintance of, the accuracy of multibeam survey will be seriously affected.

For introducing all main aspects of multibeam system and survey, we divided this book into four parts. In the first part, we review the developing history of multibeam technology and its application in China. In the second part, we present the sounding principles of multibeam system, including underwater acoustic principles on beamforming, basic system configuration, realtime data processing methods and five main multibeam systems. In the third part, we demonstrate how several related techniques and quality control methods in multibeam survey are correctly used, including navigation and positioning, coefficient calibrations, sound velocity profile correction, tidal level correction, transducer arrays draught correction, survey design and implementation as well as quality control and precision evaluation. In the fourth part, we focus on multibeam data processing methods, including data editing, data format transformation, data gridding and its analyses, geodetic reference systems and their transformation, fine postprocessing and charting techniques as well as processing for amplitude signals and its application to coverage estimation of polymetallic nodules.

To help understanding the sounding principles, survey techniques and data processing of multibeam system and raise the utility of this book, we bring in lots of figures and examples, and study survey characteristics and rules which have to be abided in three kinds of typical sea areas in detail. Furthermore, we pay attention to the importance of combination of different kinds of multibeam data formats, discuss the possibility of establishing the general multibeam data format and present a sort of general multibeam data format suggestion.

目 次

第一章 绪论	(1)
第一节 海底地形测量的作用和意义	(1)
第二节 海底地形测量技术的发展历史	(3)
第三节 我国多波束地形勘测的进程	(8)
参考文献	(9)

第一篇 多波束勘测原理

第二章 多波束系统波束形成的水声学原理	(13)
第一节 海水中声波传播的基本概念	(13)
第二节 多波束形成的声学原理	(25)
第三节 多波束声纳的测深能力及其估算方法	(40)
参考文献	(41)
第三章 多波束系统的测深方法与工作原理	(42)
第一节 多波束系统的测深方法和基本构成	(42)
第二节 多波束系统的波束形成和信号处理	(50)
第三节 多波束系统的实时数据处理	(55)
参考文献	(64)
第四章 主要多波束勘测仪器	(65)
第一节 SeaBeam 多波束测深系统	(65)
第二节 ELAC BottomChart 多波束测深系统	(69)
第三节 Simrad 多波束测深系统	(74)
第四节 ATLAS Fansweep 多波束测深系统	(78)
第五节 SeaBat 多波束测深系统	(82)
参考文献	(86)

第二篇 多波束勘测技术

第五章 多波束勘测的设计和实施	(89)
第一节 多波束勘测的技术设计	(89)
第二节 多波束勘测的测线布设	(90)
第三节 多波束系统的参数校正	(92)
第四节 多波束勘测的实施	(96)
参考文献	(98)
第六章 多波束系统的导航定位技术	(99)
第一节 多波束系统的定位技术及方法	(99)

第二节	多波束系统定位数据的处理与评估	(111)
第三节	多波束系统的导航技术及方法	(119)
参考文献		(122)
第七章	多波束系统的声速改正技术	(124)
第一节	声速剖面对多波束测量的影响	(124)
第二节	典型海区声速结构的时空变化	(127)
第三节	声速剖面的测量与处理	(134)
第四节	影响声速改正精度的主要因素	(137)
第五节	声速改正的后处理方法	(140)
参考文献		(145)
第八章	多波束系统的潮位改正技术	(146)
第一节	海图深度基准面	(146)
第二节	平均海面	(150)
第三节	1985 国家高程基准	(152)
第四节	验潮站的有效距离	(154)
第五节	潮位观测的方法及相关仪器	(155)
第六节	潮位预报	(159)
第七节	潮位改正的数学模型	(164)
参考文献		(172)
第九章	多波束系统的换能器吃水改正技术	(174)
第一节	换能器静态吃水改正技术	(174)
第二节	换能器动态吃水改正技术	(177)
第三节	换能器实时吃水改正技术	(180)
参考文献		(182)
第十章	多波束勘测的质量控制和精度评价	(184)
第一节	多波束勘测的技术标准	(184)
第二节	多波束勘测的质量控制	(187)
第三节	多波束勘测的精度评估	(189)
参考文献		(193)

第三篇 多波束数据的处理方法

第十一章	多波束勘测的数据编辑	(197)
第一节	多波束测量中噪音产生的原因	(197)
第二节	多波束数据的编辑原则	(198)
第三节	多波束数据的编辑方法	(201)
第四节	多波束数据编辑的基本计算原理	(204)
参考文献		(207)
第十二章	多波束勘测数据的后处理	(208)
第一节	数据格式的转换与统一	(208)

第二节	精细后处理.....	(214)
第三节	网格化处理和析.....	(221)
第四节	坐标系统及其转换.....	(227)
第五节	网格数据的成图方法.....	(235)
参考文献		(243)
第十三章	多波束振幅信号的处理及其在多金属结核覆盖率估算中的应用.....	(244)
第一节	影响多波束系统振幅信号的主要因素.....	(244)
第二节	多波束反射信号振幅的概率分布.....	(246)
第三节	振幅信号的预处理.....	(247)
第四节	垂直入射时多金属结核的有效反射模型.....	(249)
第五节	垂直入射时多金属结核覆盖率定量估算及评估.....	(253)
参考文献		(257)

Contents

Chapter One Introduction

1. Significance of bathymetric survey for seafloor
2. History of developments on bathymetric survey technologies
3. Process of multibeam bathymetric survey in China

References

Part One Multibeam Sounding Principles

Chapter Two Underwater Acoustic Principles on Beamforming of Multibeam System

1. Basic concepts of sound wave propagation in the sea
2. Acoustic principles of multibeam formation
3. Sounding ability and its estimation methods of multibeam sonar

References

Chapter Three Sounding Methods and Working Principles of Multibeam System

1. Sounding methods and basic configuration of multibeam system
2. Beamforming and signal processing of multibeam system
3. Realtime data processing of multibeam system

References

Chapter Four Main Multibeam Systems

1. SeaBeam multibeam systems
2. ELAC BottomChart multibeam systems
3. Simrad EM – series multibeam systems
4. ATLAS Fansweep multibeam systems
5. SeaBat multibeam systems

References

Part Two Multibeam Survey Technologies

Chapter Five Design and Implementation of Multibeam Survey

1. Technical design of multibeam survey
2. Surveyline arrangement of multibeam survey
3. Calibrations of multibeam systems
4. Implementation of multibeam survey

References

Chapter Six Navigation and Positioning Technology for Multibeam Survey

1. Positioning techniques for multibeam survey

2. Processing and evaluation of positioning data for multibeam survey
3. Navigation techniques and methods for multibeam survey

References

Chapter Seven Correction Technology of Sound Velocity Profiles for Multibeam Survey

1. Influence of sound velocity profiles on multibeam survey
2. Measurement and data processing of sound velocity profiles
3. Temporal – spatial variations of sound velocity structures in typical sea areas
4. Main factors affecting corrective precision of sound velocity profiles
5. Postprocessing methods of correction for sound velocity profiles

References

Chapter Eight Correction Technology of Tidal Level for Multibeam Survey

1. Chart depth datums
2. Mean sea level
3. 1985 national datum level
4. Effective range of tidal stations
5. Methods of tidal observation and relational gauge
6. Tidal prediction
7. Mathematical models of tidal correction

References

Chapter Nine Correction Technology of Transducer Arrays Draught for Multibeam Survey

1. Static draught correction techniques of transducer Arrays
2. Dynamic draught correction techniques of transducer Arrays
3. Realtime draught correction techniques of transducer Arrays

References

Chapter Ten Quality Control and Precision Evaluation of Multibeam Survey

1. Technical standard for multibeam survey
2. Quality control of multibeam survey
3. Precision evaluation of multibeam survey

References

Part Three Multibeam Data Processing Methods

Chapter Eleven Editing for Multibeam Data

1. Causes of making noise during multibeam survey
2. Editing principles of multibeam data
3. Editing methods of multibeam data
4. Basic algorithms in editing for multibeam data

References

Chapter Twelve Postprocessing for Multibeam Data

1. Transformation and combination of data format

2. Fine postprocessing
3. Data gridding and its analyses
4. Geodetic reference systems and their transformation
5. Charting techniques for grid data

References

Chapter Thirteen Processing for Multibeam Amplitude Signals and Its Application to Coverage Estimation of Polymetallic Nodules

1. Main factors affecting multibeam amplitude signals
2. Probability distribution of multibeam reflection amplitude signals
3. Pre – processing of multibeam amplitude signals
4. Effective reflection model of polymetallic nodules as vertical incidence
5. Coverage quantitative estimation and evaluation of polymetallic nodules as vertical incidence

References

第一章 绪 论

第一节 海底地形测量的作用和意义

根据联合国所属有关国际机构共同制定的《海底地形名称标准化准则》,所谓“海底地形”系指海底或海床的一部分,其地势起伏可测或具有明显的地形轮廓。海洋测量是一门综合性很强的学科,所包含的内容很广,主要包括海底地形测量、海道测量、海洋大地测量、海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋各种工程测量和海洋调查测量等。作为一门古老的学科,海底地形测量在海洋测量中占据了极为重要的地位,它的最基本任务,就是测量海水的深度,测绘海底地形图(水深图),也包括定位和其他海上作业。在现代海洋高新技术的介入和支撑下,海底地形测量技术获得了迅速的发展,现已成为世界各海洋国家在海洋测绘方面的重要研究领域之一,在探索洋底地貌、建设海洋工程、开发海洋资源、发展海洋科学、维护海洋权益等方面都发挥了极为重要的作用。

一、海底地形测量与世界海洋调查

在本世纪初,人们对海底地形的认识还停留在不识庐山真面目的阶段。人类对海底地形的认识活动,首先应归功于1925年德国“流星”号在南大西洋的考察。正是由于“流星”号在南大西洋进行了历时长达2年3个月的科学考察,而且又是首次采用电子回声测深法,获得了7万多个海洋深度数据,从而第一次揭示了大西洋洋底起伏不平的轮廓,使人们领悟到深邃的洋底如同陆地地貌一样,有着绵亘不断的海岭、山冈、宽广的海隆、两壁陡峭的海底峡谷、平坦的深海平原和奇妙的平顶海山,海底地形对地球科学家们产生了妙不可言的诱惑。第二次世界大战以后,瑞典“信天翁”号、丹麦“铠甲虾”号和前苏联“勇士”号的海底考察为世界海洋科学考察展开了崭新的一页,尤其是“勇士”号对太平洋海底地形的考察取得了交口称誉的成果。1959~1965年,在政府间海洋学委员会的协调下,组织了由23个国家、40多艘海洋调查船参加的对印度洋的联合调查,这一大规模国际合作的重大收获是弄清了印度洋海底地形概貌,并在此基础上编制了内容翔实、制作精确的印度洋海底地形图。70年代后,借助许多新技术和先进海洋测量仪器的直接应用,海洋调查研究能力取得了长足的进步,对四大洋的海底地形研究无论在深度上和广度上都获得了前所未有的成果,扩大了人们赖以生存和密切关注的地理空间环境。

二、海底地形测量与海洋工程建设

世界沿海国家的各种海洋工程建设正方兴未艾,在进行水下钻探、敷设海底输油管道以及海底电缆等工程建设时,必须了解和详细测量海底地形。引航图、海图的测绘,各项海运工程的规划和施工,港口航道的管理维护及相应的科学研究工作,都必须进行水下地形测量。例如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,海运状况的

突出矛盾是港口紧张,而建设现代化的深水港、开发沿海深水岸段、已建港口的回淤研究与防治等都需要海底地形测量和高精度的水下地形图。围海造地工程设计、海上地球物理勘探、各类潜艇的水下活动、海上制导武器试验、战时登陆与抗登陆地段选择等,都不能缺少水下地形测量的配合。

对于航海业来说,测量海底地形的意义是众所周知的。近年来由于国际航运的发展,海底地形测量资料的传统使用者——航海业,对测量的精度和详细性提出了新的要求。对新开辟的航道、锚地等水域,必须进行详尽水深测量及检查扫测,探明水下障碍物的具体位置、种类、确切水深和范围大小,以确保在一定深度内没有任何水下障碍物,如暗礁、突出岩盘、沉船、遗锚、鱼桩、废旧水工建筑物等。对于那些没有任何水下障碍物的海域,也必须经过必要的探测工作,确认水下安全,使船舶可以畅通无阻。至于打捞海底沉船、进行水下救护、清除水下障碍物、进行航道疏浚整治工程等,都需要进行准确的水深测量,而作为航运区的测量精度和详细性的提高,无论对于航行安全,还是对于保证能按海底地形确定水下作业的位置和方式,均是十分必要的。

三、海底地形测量与海洋资源开发

世界海洋中蕴藏着极为丰富的矿产和食物资源,是人类的一个巨大无比的资源宝库。如海洋渔业资源就是一种具有再生能力的生物资源,据估计地球上 80% 的生物资源在海洋中,世界上的渔场大都分布在大陆架近海,要规划和发展海洋渔业,需要了解近海包括远洋海域的渔场的详细海底地形和水文状况。同时,沿海地区海水养殖业的发展也都需要沿海滩涂及浅海的海底地形、底质、潮汐、水文等测量资料。

海洋矿产资源是人类进行扩大再生产的潜在原料仓库,据不完全统计,海底蕴藏的油气资源储量约占全球油气储量的 1/3,海洋石油工业更是方兴未艾,现有 40 多个国家在大陆架海域进行石油钻探与开发,年产原油 10 亿 t,约占世界原油总产量的 30%。为了开发海底石油和天然气资源,首要的任务就是测量高精度的海底地形。在 90 年代以前,海洋油气的勘探开发主要是在大陆架浅海区进行,预计 21 世纪初可扩展到 1000m 水深的深海区作业,在其后的石油开采中,也必须了解海底地形特征。此外,蕴藏在深海底的多金属结核和多金属热液,亦将是 21 世纪深海矿产开发的重点,而详细的海底地形图对于探查和开采这些有用矿物尤为必要。例如,为了估算海区已发现的多金属结核储量,需要进行三种海底地形图的测量^[1]:(1)预先测量——以确定海底地形是否适合机械开采工作为目的的 1:200 000 比例尺地形测量;(2)估价测量——为确定矿区边界和规模的 1:100 000 比例尺地形测量;(3)详细测量——为设计和开采所用的 1:25 000 比例尺地形测量。在一些海区,反映地形起伏的详细海底平面图还有助于寻找黄金和金刚石等矿藏。

四、海底地形测量与海洋科学研究

从科学研究的角度来看,海底地形测量资料往往是其他学科研究的最基础的地理环境资料。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、海底地震及矿藏分布形成的地球物理现象,除了需要采用海洋重、磁、地震测量方法外,也需要在地壳断裂带、重力和磁力异常区、断陷盆地、海底峡谷、水下山脊等地区进行详细的海底地形测量。第二次世界大战期间,美国地质学家赫斯利用回声测深仪在太平洋各处进行了测量,发现了奇

异的平顶海山 100 多处,这在一定程度上使魏格纳的大陆漂移学说出现了新的转机。50 年代以后,随着测深技术的发展,人们开始了一系列海底调查,先后发现了全球分布的大洋中脊和海底裂谷、磁异常条带及转换断层,由此提出了被称为“地球诗篇”的海底扩张说,而其后的板块构造学说则运用了大量海洋测量资料,集地质、地球物理知识之大成,在地质学领域内掀起了一场革命风暴。在日新月异的海底地形测量技术的推动下,当人们对某些海底现象进行深入研究时,可以此为契机,促使新的理论或学说的建立,推动海洋科学研究知识体系发生新的变革。显而易见,神秘莫测的海底世界,正日益成为人类认识自然、增长知识的新摇篮。

五、海底地形测量与维护海洋权益

当今全世界都面临着人口、资源、环境三大问题,依靠科学技术合理开发海洋是解决这些问题的重要出路之一。随着《联合国海洋法公约》的生效,公约确定的 12 海里领海制度、200 海里专属经济区制度、大陆架制度,以及国际海底区域及其资源是全人类共同继承的财产的规定和公海的管理制度等,将得以贯彻实施。这将使 200 海里以内海域逐步国有化,公海和国际海底向国际社会共同管理方向发展。实际上,海洋已经成为各国开发资源争夺权益的主战场,国际海洋权益的分配、合作和斗争将会引出新的矛盾。为了加强大陆架和专属经济区的勘探、开发与管理,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,这是海底地形测量的一项基本使命。目前,大范围海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,各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。

自 70 年代开始,美国、前苏联、日本、英国、澳大利亚等海洋国家先后进行了大量的大陆架海底地形测量工作,出版了大量不同比例尺的海底地形图。这些国家不仅起步早,而且普遍采用新技术。从总体上来看,我国濒临的边缘海多被周边邻国岛链所包围,在海洋交通和其他海洋权利方面,均属于国际海洋法公约中所谓的“地理不利国家”,而且在 80 年代以前,主要进行的是比较单一的海道测量,由此获取的海洋地理信息,只能满足保证航行安全的需要,其用途十分有限。随着海洋科学和海洋开发的迅速发展,以掌握各种海洋地理信息为目的的海底地形测量和系列配套的海底地形图将加快发展步伐,为维护我国海洋权益、开发海洋自然资源提供所必需的基本资料和基础依据,以促进海洋可持续利用和海洋事业的协调发展。

第二节 海底地形测量技术的发展历史

海底地形测量技术的发展与其测深手段的不断完善是紧密相关的,回顾海底地形的探测从原始的测深铅锤、宽波束、低精度、低集成到窄波束、高精度、多技术高度集成的发展历史,对于理清多波束探测技术的发展脉络、展望水下地形探测系统的发展方向和技术前景是不无裨益的。

一、原始水下测量阶段

人类最早是用竹竿来测量水深的,后来又发展为用一端拴有重锤的绳索测量水深,但当水深较大时,用这些方法测量就很不方便,也很不精确。15 世纪中期,尼古拉·库萨发明了一种测深仪,在中空的浮球上挂一重锤投入海中,重锤着底后自动脱落,空球便浮上海面。测量球体上浮的时间,即可算出海水的深度。一个世纪后,佩勒尔对这种测深器作了改进,用瓷瓶代替空球,在瓶底开一小孔,当瓶子沉入水中后,由于水压的作用海水会进入瓶内,深度越大,瓶内的海水就越多,再用逆运算方法就可计算出水深,这是利用水压来测量水深的开端。随着测深技术的发展,地图上也出现了海洋的深度。地图上最早标出的浅海测深值是胡安·德拉·科萨于 1504 年记录下来的,而最早的深海测深报告则是航海家麦哲伦做的。1521 年,麦哲伦船队在南太平洋将顶端拴有重锤的测深网投入海中,尽管测深网沉降到 3000m 以下,但仍未着底(此处实际水深有 4000m),所以他错误地认为此处就是海洋里的最深点。这次测深虽然没能测出真正的深度,但对于用科学的网索去探知未知的海底是有深远意义的。1872~1876 年,英国“挑战者”号调查船在太平洋、大西洋、印度洋作了 492 个站位的深度测量,这是世界上第一次有系统的海洋测深。“挑战者”号使用了编制的钢索进行测深,为了弄清钢索是否着底,他们在钢索上每隔 100 英寻(182.8m)做上标记,当钢索下降速度剧减时,表明其已达海底,但这样在 6000m 以下的深度里,不可避免地会产生 30~50m 的误差。

随着海底调查工作的开展,测深器也获得了迅速的发展。继布鲁克型测深器(1851 年前后)之后,先后出现了锡格斯比型测深器和有名的开尔文测深器。锡格斯比型测深器比较适用于深海测深,而开尔文测深器是英国的开尔文勋爵于 1874 年发明的,不过他使用钢琴弦作为测量绳。1891 年前后,英国电信公司推出了卢卡斯型测深器,其原理是:当绳索着底时,由于绳索本身的重量,向下的力顿时消失,使制动器突然自动地发生效力,绳索马上停止下滑,这样就可以准确地测出水深。这些测深器不仅当时得到了广泛的应用,有的还一直适用到今天。但这种绳测法的缺陷也是显而易见的,不仅耗费时间,其准确性还受到海浪和海流的影响,特别在深水区测量更加困难。而且这种方法仅能作一个点或一条线的探测,不能进行大面积的探测。由于测量技术所限,截止 1895 年,全世界 200m 以上的海洋测深记录只有 7000 个,而深度超过 2000m 的记录只有 550 个。

二、常规水下测量阶段

由于原始的测深方法费工、费时,精度和效率很低,因此根据测深铅锤所测的有限的水深资料,去进行海底地形图编绘和从事海洋开发研究是不可能的。为了进一步发展海洋考察工作,急需新的先进的测深手段和方法,随着这种需要应运而生的,是本世纪 20 年代出现的回声测深仪。它是利用水声换能器垂直向水下发射声波并接受海底回波,根据其回波时间来确定被测点的水深。利用回声测深仪进行海底地形测量,也称为常规水下测量。回声测深仪的出现,对海底地形的真正了解起了划时代的作用。

其实,关于用“回声测深”的构思最早是法国的阿喇果提出的,1807 年,阿喇果指出利用声反射可以测量海深。1820 年前后,法国物理学家比尤丹特以铃为声源,在马赛附近测得海水平均声速为 $1500\text{m/s}^{[7]}$ 。从那时起,科技界都知道声音不仅可以在水下传播,而且传播