

水利工程 水下探测技术

赵钢 王茂枚 徐毅 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利工程 水下探测技术

赵钢 王茂枚 徐毅 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是一本完整的水利工程水下探测技术大全，主要内容包括水下测量技术、水下光学探测技术、水下声学探测技术、水下电磁学探测技术以及水下探测辅助技术等 5 部分。本书资料系统全面、内容丰富详实、实用性强，是一本对水利工程水下检测具有重要指导意义的参考书。

本书可供从事水利工程专业技术人员使用，也可作为高等学校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目（C I P）数据

水利工程水下探测技术 / 赵钢, 王茂枚, 徐毅编著
— 北京 : 中国水利水电出版社, 2017.6
ISBN 978-7-5170-5550-1

I. ①水… II. ①赵… ②王… ③徐… III. ①水利工
程—水文地质勘探—水下探测 IV. ①P64

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第137610号

书 名	水利工程水下探测技术 SHUILI GONGCHENG SHUIXIA TANCE JISHU
作 者	赵钢 王茂枚 徐毅 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	虎彩印艺股份有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 24.5 印张 581 千字
版 次	2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
印 数	001—500 册
定 价	98.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

水是生命之源、生产之要、生态之基。水利与工农业建设、国民日常需求密切相关，在实现水资源配置、预防自然灾害、支撑工农业发展、维护社会稳定等方面发挥着重要的作用。

水利工程是利国利民的基础性工程设施，其建设给地区经济带来了新生机，赋予了土地新的生命力。水利工程对经济的促进作用表现为：水利水电工程解决了水和电的问题，加大了蓄洪蓄水量，减少自然灾害和减轻用电压力，造福百姓，促进了一方经济发展；水利资源的开发优化了地区经济结构，例如带动地区旅游业发展、渔业和副业的兴盛、服务行业的崛起，由水利工程项目为引导，带动地区经济腾飞。

水利工程一般位于大江大河之上，属于裸露工程。随着时间的流逝，加上所处自然环境较为复杂和恶劣，经长期运营后，会出现各种隐患和病害，严重威胁工程的安全。由于病险，水利工程不能安全可靠地运行，影响合理调度，致使工程应有的蓄洪、拦洪、滞洪、分洪等设计功能无法实现，这使得防洪体系的整体抵御洪涝灾害的能力大打折扣，严重影响了对江河径流调节、水资源优化合理配置等重要作用的发挥。

目前，对水利工程水上结构部分的检测、探测技术已很成熟，相关的规范、规程也很完备，而对于水利工程水下部位的检测、探测技术仍较为欠缺。如水工建筑物水下病害，如裂缝、冲坑、剥蚀等，通常和地基的抗渗稳定、地基变形破坏等紧密相连，处于技术管理工作巡视检查和经常检查的盲区。此类病害的发生和扩展具有隐蔽性，难以及时发现，检测、探测比较麻烦，难度也较大。

积极开展水利工程水下探测，是水利工程安全检测的重要组成部分。通过安全检测及早发现问题和隐患，及时补强加固，防患于未然，保证水利工

程持久安全地运行，对发挥工程效益、促进社会经济可持续发展、保障社会安定和人民生命财产安全、建立和谐社会具有极其重要的意义。

编写本书的目的是为水利工程质量检测工作者提供一本完整的水利工程水下探测技术大全，供从业者学习并掌握其一般原理、技术及应用方法，能更好地从事相关检测工作、解决实际问题。

本书分为5部分，共16章，按照探测技术的原理分为水下测量技术、水下光学探测技术、水下声学探测技术、水下电磁学探测技术以及水下探测辅助技术等5部分。本书由赵钢、王茂枚、徐毅编著，具体分工如下：赵钢负责全书编写大纲的拟订及全书的审定，并具体负责第1~6章的编写，王茂枚负责第8章、第15~16章的编写，徐毅负责第7章、第9~10章的编写，王茂枚和徐毅共同负责第11~14章的编写。本书的编写得到了朱大栋、蔡军、陈楠、周广宇、罗青、舒实、姜果以及南京工业大学石银涛教授的大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，本书难免会有疏漏和不足之处，敬请广大读者与专家提出宝贵意见。

编者

2017年6月

前言

绪论	1
----	---

第1部分 水下测量技术

第1章 水下测量技术概述	3
1.1 水下地形测量的作用与意义	4
1.2 水下地形测量发展历史	6
第2章 单波束测深技术	9
2.1 单波束测深原理	10
2.2 单波束测深仪	10
2.3 水下声波传播特性与经验公式	11
2.4 测深仪吃水改正	12
2.5 船舶姿态测量引起的误差	13
2.6 测深船升沉产生的误差及补偿措施	14
2.7 单波束测深延时效应的分析	14
2.8 海洋潮汐与水位控制	16
2.9 作业流程	18
2.10 应用实例	23
参考文献	36
第3章 多波束测深技术	37
3.1 概述	37
3.2 多波束条带测深技术与单波束测深技术比较	41
3.3 多波束测深系统工作原理	42
3.4 多波束勘测的质量控制和精度评价	64
3.5 多波束勘测的技术设计和实施	77
3.6 应用实例	85
参考文献	100

第2部分 水下光学探测技术

第4章 水下机器人技术	103
4.1 水下机器人国内外研究现状	103
4.2 水下机器人的结构	106
4.3 水下机器人的系统组成及关键技术	115
4.4 水下机器人的分类	117
4.5 小型水下机器人的特点和用途	118
4.6 作业流程	118
4.7 应用实例	120
参考文献	123
第5章 水下电视技术	124
5.1 水下电视技术发展概况	124
5.2 距离选通系统	125
5.3 同步扫描系统	127
5.4 作业流程	129
5.5 应用实例	130
参考文献	138
第6章 水下激光技术	139
6.1 水下激光技术国内外发展现状	139
6.2 系统组成	141
6.3 水下激光成像系统的光学系统	142
参考文献	144

第3部分 水下声学探测技术

第7章 双频识别声呐技术	145
7.1 概述	145
7.2 工作原理	145
7.3 水工建筑物水下检测方案分析——以水闸为例	149
7.4 双频识别声呐水下检测方法	153
7.5 双频识别声呐图像处理	156
7.6 应用实例	167
参考文献	182
第8章 水下三维全景成像声呐技术	183
8.1 概述	183
8.2 系统构成	184
8.3 工作原理	185
8.4 外业技术要点	186

8.5 水下三维声呐图像处理	188
8.6 应用实例	191
参考文献	193
第9章 侧扫声呐技术	194
9.1 概述	194
9.2 系统构成及功能	194
9.3 工作原理	197
9.4 工作参数及影响因素	198
9.5 侧扫声呐图像处理技术	204
9.6 侧扫声呐图像判读技术	215
9.7 应用实例	216
参考文献	218
第10章 浅地层剖面技术	219
10.1 概述	219
10.2 系统构成及参数	219
10.3 工作原理	220
10.4 浅地层剖面资料解译	224
10.5 应用实例	233
参考文献	238
第11章 底泥探测系统	240
11.1 概述	240
11.2 Silas 系统工作原理	243
11.3 应用实例	245
参考文献	264

第4部分 水下电磁学探测技术

第12章 探地雷达技术	265
12.1 概述	265
12.2 系统构成及功能	266
12.3 工作原理	267
12.4 水工建筑物隐患分析	274
12.5 应用实例	278
参考文献	289
第13章 水域高密度电法技术	290
13.1 概述	290
13.2 系统构成	290
13.3 工作原理	291
13.4 外业技术要点	296

13.5 数据处理与解译	298
13.6 应用实例	301
参考文献	305

第5部分 水下探测辅助技术

第14章 水上导航定位系统	306
14.1 概述	306
14.2 GPS定位基本原理	310
14.3 基准站(CORS站)与RTK测量	318
参考文献	323
第15章 水下导航定位系统	324
15.1 水下导航发展的历史和现状	324
15.2 惯性导航系统	331
15.3 水下声学导航定位	335
15.4 水下组合导航系统定位	353
参考文献	358
第16章 平面基准及其相互转换	359
16.1 地心坐标系	359
16.2 参心坐标系	364
16.3 坐标系间的相互转换	367
16.4 高斯投影	371
16.5 独立坐标系	375
16.6 UTM(通用横轴墨卡托)投影	379
16.7 中国国家2000坐标系	380
参考文献	382

绪 论

新中国成立以来,我国兴建了大量的水闸、大坝、泵站等水利工程,已基本形成了防洪抗旱减灾、供水灌溉排水、水土保持及水生态环境保护等比较完整的水利基础设施体系,在防洪除涝、农业灌溉、拦潮蓄淡、城乡供水、生态环境等方面发挥了巨大的作用,取得了显著的经济效益、社会效益和生态环境效益。目前,这些水利水电工程大部分已经投入运行达半个多世纪。在已建的这些水利工程中,有的由于缺乏合理规划、设计标准低、施工质量差、设施不配套等原因而存在“先天不足”;有的经多年运用,在复杂的自然条件和外力作用下,其材料性能和受力状态不断变化,加上管理水平不高,维修养护不够,导致病害的发生、发展,功能下降;有的由于灾害性的因素(如地震、超标准的特大洪水等)造成超载,使结构或构件造成损坏或损伤。

以水闸为例,有关统计资料表明,我国大中型水闸的病险率相当高,至2008年,我国有大型病险水闸248座,占大型水闸总数的51%;中型病险水闸1505座,占中型水闸总数的46%;而数量占优的小型水闸,由于运行环境相对恶劣,设计标准偏低、安全富裕量较少,其出现病险的比例远高于大、中型水闸的病险的比例。

我国目前已建成8.7万多座大坝,由于历史原因和当时的经济、技术条件制约,一些大坝的安全度较低或设计标准偏低等,以及多年运行,年久失修,约有1/3的大坝存在较多的隐患和老化病害,尤其是中小型水库其病害更为严重,影响着这些工程效益的发挥,甚至威胁下游人民的生命财产安全。另外,随着水能资源的深入开发,一些新建或待建的大坝坝址的地质条件越来越复杂,大坝规模越来越大,增加了大坝出事的风险因素。如近些年来我国已建坝高在150m以上的水利工程,有二滩、龙羊峡、乌江渡、白山、三峡等。

由于病险,水利工程不能安全可靠地运行,影响合理调度,致使工程应有的蓄洪、拦洪、滞洪、分洪等设计功能无法实现,这使得防洪体系的整体抵御洪涝灾害的能力大打折扣,严重影响了对江河径流调节、水资源优化合理配置等重要作用的发挥。病险水利工程的安全状况已成为政府和社会的心腹之患,一旦出现重大事故,将严重威胁到人民的生命财产安全,影响经济和社会稳定。因此,需要对水利工程进行定期的检查、探测与维护,以确保工程的安全。目前,由于各方面的原因,仍然还有大量的水利工程在带病运行,对这些工程,如何进行科学、有效地检查、探测就显得极为重要。

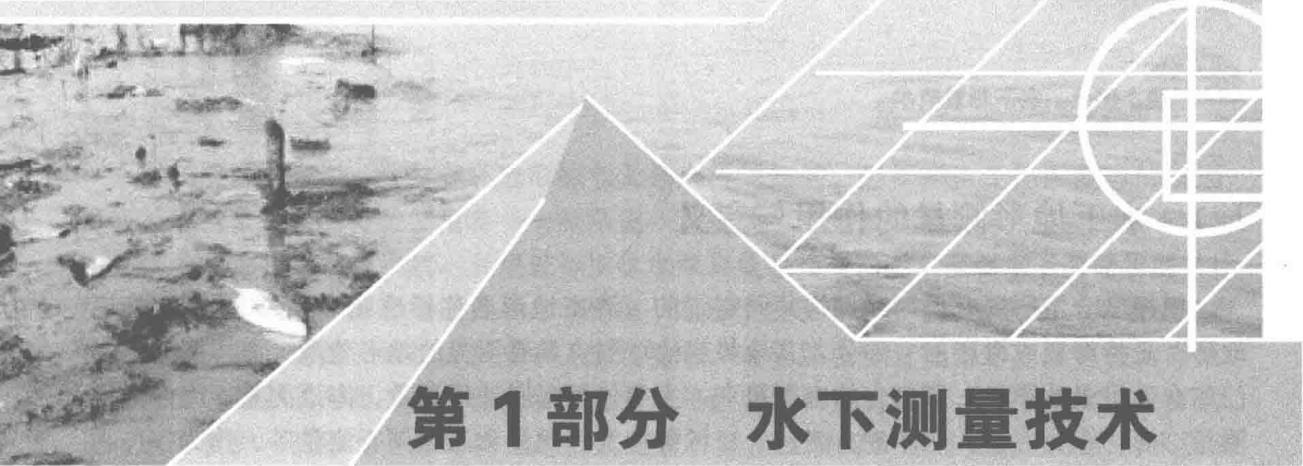
运行中的水利工程,受到各种荷载和自然因素的作用,工作情况随时都在变化,甚至状态也会发生变化。这种由正常状态转化为病害状态或由病害状态转化为危险状态的变化,是一个水利工程由量变到质变的过程,随着时间的推移,必然会出现一些异常的现象。所以加强观测特别是水下工况的观测工作,能及时发现问题,采取有效措施,把隐患消灭在萌芽状态,以确保水利工程的安全运行。例如,我国的丰满水库是坝高为91m的

混凝土重力坝，为新中国成立前修建，工程质量很差。1950年观测成果表明，坝体渗漏严重，坝基扬压力和坝身的水平位移都很大，据观测资料分析，在百年一遇洪水到来时，大坝将会有倾覆的危险。据此进行了紧急加固，从而降低了坝基扬压力和渗流量，提高了大坝的稳定性，保证了大坝的安全；反之，若忽视观测工作，不能及时发现问题，一旦险情发展，措手不及，往往会导致事故的发生。

目前，对水利工程水上结构部分的检测、探测技术已很成熟，相关的规范、规程也很完备，而对于水利工程水下部位的检测、探测技术仍较为欠缺。如水工建筑物水下病害，如裂缝、冲坑、剥蚀等，通常和地基的抗渗稳定、地基变形破坏等紧密相连，处于技术管理工作巡视检查和经常检查的盲区。此类病害的发生和扩展具有隐蔽性，难以及时发现，检测、探测比较麻烦，难度也较大。

因为卫星技术、通信技术、网络技术以及数据处理技术在近些年不断进行更新和发展，海洋测绘的仪器设备和测深手段也不断地更新换代，依靠网络技术正在实现数字测量。3S（空间定位系统“GPS”，地理信息系统“GIS”，遥感技术“RS”）技术的发展与应用也为海洋测绘带来了新的活力。从2000年“数字地球”的提出，越来越多的“数字奥运”“数字城市”等以空间数据为基础的项目应运而生，其中数字海洋是我们建设海洋强国的基础，通过遥感飞行器、卫星系统、海洋探测船以及海底传感器等多个系统进行全面的、实时的数据采集，把海洋中的地质、生物、化学、物理等相关信息转化为高精度的视觉模型，为获取海洋信息搭建数据和网络资源平台。同时，测量结果相对精确，这为我国建设数字海洋提供了最基础的地理数据保障。

水下工程监测技术装备是伴随着海洋资源开发和水下工程施工作业的需要，以及世界科学技术水平的提高而不断发展和完善起来的。按照现有水下监测装备的工作原理，大致可分为光学、声学、电磁学等大类。其中，光学类水下工程监测设备主要有：水下照相、水下电视摄像（或称水下闭路电视）和水下激光线扫描（也称水下激光电视）等。上述光学类设备的特点是观测图像效果直观，但在浑浊水域或光散射较强的水中，因受水环境条件的影响较大（主要是水的浑浊度影响），观察距离有限。与之相比，利用水声原理开发的水下探测设备则不受水质的影响，可在较大的水深和范围内进行水下探测。水下声学设备发展至今，已取得了很大的进展。国际市场上用于水下工程作业的声学探测设备，型号和种类都很多，已成为水下施工作业中不可缺少的常用设备。比如：扫描声呐、剖面声呐、测深声呐、地貌声呐，以及其他声学定位系统等。不过，水下声学探测设备的最大特点是图像的分辨率较低，且解译需要具有一定的专业知识和实践经验。



第 1 部分 水下测量技术

第 1 章 水下测量技术概述

海洋测绘是通过各种仪器透过海水对海底地形、地貌进行探测研究，并通过获得的地理信息数据进行专业海图的制作编制航行资料，其内容目的是获取水下地形信息，为水底地形勘测带来前期成果。海洋测绘面向的测量对象不仅是海洋，还包括江河湖海等水下资源的测量和调查。由于测量对象首先面临水这一特殊介质，所以相关的水下测量就有其自己的独特性。

首先，实时性是其特点之一。水下测量一般在动荡不停的水面上或海面上，在测量载体上多为晃动的，无法像陆地测量一样在稳定的介质上进行观测，这就导致了水下测量无法达到一定的精密程度。其次，海底地形地貌的不可视性。科研人员难以直接对海底地物进行观察，只能通过超声波等声学仪器进行探测，进而分析水下的环境与相关信息。第三，测量的基准是相对变化的。由于各个海域的潮汐变化、河床高低不同，海洋深度基准面无法像传统的大地测量那样有一个统一的基准。第四，测量内容的综合性。海洋测量工作不同部分采用的是不同的技术手段，各种专业仪器需要很好的结合，做到软、硬件的相互兼容才能为准确的测量结果提供技术保障。海洋测绘通过技术探测对水体及水底进行多体系、全面化的测量，从而得出关于气温、水文、盐度以及水底历史建筑跟相关重力、磁力等信息。

海洋测绘中水深测量是主要测量内容之一。改革开放以后，我国沿海、沿江等滨水地区的经济建设得到迅猛发展，水深测量在社会发展中也由最初的点测量发展到面测量。测深方式不断发展，单波束与多波束测深系统依靠声波进行测深，机载激光系统通过发射激光进行测深。目前根据海水的盐度、温度、动荡等特性，多数采用从测量船上发射声波，使其传递到海底然后反射回来，再由换能器接收，以获得测量成果。为了提高航行的经济效益，多波束探测系统也得到越来越多的应用。



1.1 水下地形测量的作用与意义

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”是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快速的发展，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。

1.1.1 海底地形测量与世界海洋调查

在20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多艘海洋调查船参与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。20世纪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。

1.1.2 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设施建设正方兴未艾，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设计和施工，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、西桩、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。

1.1.3 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20世纪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,也将是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1:200000比例尺地形测量;②估价测量——为确定矿区边界和规模的1:100000比例尺地形测量;③详细测量——为设计和开采所用的1:25000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。

1.1.4 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。为了确定地性表层及其物质结构、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力、磁力、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。20世纪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。

1.1.5 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20世纪70年代开始，美国、苏联、日本、英国、澳大利亚等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《联合国海洋法公约》中所谓的“地理不利国家”，而且在20世纪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 and 基础依据，以促进海洋可持续利用和海洋事业的协调发展。

1.2 水下地形测量发展历史

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是从原始的测深铅锤、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。

1.2.1 原始测深方法

人类最早采用竹竿测量水深，后来发展为用一端带有重物的、标定刻度的绳索量测水深。当水深较大时，这些原始的水深量测方法要么显得无能为力，要么实施不方便和测量精度差。

15 世纪中叶, 尼古拉·库萨发明了一种简单的测深器, 在中空的浮球上挂一重锤投入海中, 重锤到达海底, 自动脱落, 空球便浮出海面, 测量浮出海面的时间便可获得水深。一个世纪后, 佩勒尔尼古拉·库萨对测深器作了改进, 用瓷瓶代替空球, 在瓶底开一个小孔, 当瓶子沉入水中后, 由于水压的作用, 海水会进入瓶中, 深度愈深, 瓶内的进水愈多, 根据进水的多少反算海水深度, 这是水压式测深仪的开端。

随着海底调查工作的逐步开展, 测深器也获得了快速的发展。继布鲁可型测深器(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。锡格斯比型测深器适用于深海测量, 开尔文测深器是由英国开尔文勋爵于 1874 年发明的一种使用钢琴弦作为测深绳的测深器。1891 年, 英国电信公司推出了卢卡斯型测深器, 其原理是: 当绳索到达海底时, 由于绳索着底, 自身重量产生的向下力顿时消失, 使制动器突然发生效力, 绳索立即停止下滑, 准确测定水深。这样的测深器不仅在当时受到普遍的欢迎, 而且至今还在广泛使用。这种绳索式测深器的缺陷是工作效率低, 受海浪和海流的影响大, 特别是在深海区, 其弊端显得尤为突出; 另外它仅能在一点或一条测线上测量, 不能进行大面积勘测。

1.2.2 回声测深系统

原始测深方法开创了人类测深的先河, 但由于系统设计思想的不足和水上测量环境的特殊性, 水上测量工作实施不仅费工、费时, 且精度和效率低下。同时, 由于水深点分布过于稀疏, 所得的测深资料不可能用于水下地形图的编绘和海洋开发应用。

为了进一步发展海洋调查和勘查工作, 迫切地需要先进的测深手段和方法提供支撑。随着这种需要的应运而生, 20 世纪 20 年代出现了回声测深仪。它是利用水声换能器垂直向下发射和接收回波, 并根据波束的往返时间以及声速确定水深。利用回声测深仪进行海底地形测量的技术称为常规测深技术, 它对人类认识海底世界起到了划时代的作用。

回声测深仪的出现是海洋测深技术的一次飞跃, 其优点是速度快、记录连续。有了回声测深仪才有了今天真正意义上的海图。但传统测深仪有两大缺陷: 其一, 采样点间距过大, 对海底信息的反映比较粗糙; 其二, 波束角较大, 对微地形测量时, 常引起较大的深度误差。尽管多台回声测深仪相对单台测量效率和测点密度有了提高, 但设备笨重、横向扫幅小, 对海上自然条件要求高, 影响了它的广泛应用。

显然, 传统的回声测深技术已不能完全满足当今海洋调查和研究对海底地形地貌的精细描述要求。

1.2.3 多波束测深系统

20 世纪 70 年代出现的多波束测深系统, 是在回声测深仪的基础上发展起来的。多波束测深系统在与航迹垂直的平面内一次能够给出几十个甚至上百个深度, 获得一条一定宽度的全覆盖水深条带, 所以它能够精确快速地测出沿航线一定宽度范围内水下目标的大小、形状和高低变化, 从而比较可靠地描绘出海底地形地貌的精细特征。与单波束回声测深仪相比, 多波束测深系统具有测量范围大、速度快、精度和效率高、记录数字化和实时自动绘图等优点, 将传统的测深技术从原来的点、线扩展到面, 并进一步发展到立体测深



和自动成图，使海底地形完成得又快又好。这使水深测量又经历了一场革命性的变革，深刻地改变了海洋学科领域的调查研究方式及最终的成果质量。

1.2.4 其他测深技术

在沿海的一些浅海区域还可以使用摄影测量技术以及机载激光测深系统进行水深测定。航空摄影测量利用摄影光束对测深区域进行分析，从而测定水深，但摄影光束对水的穿透能力有限，所以该方法仅限于浅水及清澈水域。其中机载部分由激光测深仪、定位与姿态设备组成，用于采集水深数据；地面部分由计算机、磁带机等数据处理设备组成，用于对采集数据进行综合处理分析。

目前，国内外水下测量中应用最多的还是单波束测深系统及多波束测深系统，以下分别对单波束测深技术及多波束测深技术进行详细介绍。