

测绘科技专著出版基金资助

● 刘雁春 著

HAIYANGCESHEN
KONGJIANJIEGOU
JIQI
SHUJUCHULI

海洋测深空间结构

及其 数据处理

测绘出版社

010001000100100
 0010010010
 0100100100110010100
 01000001000001000
 0100100101
 01000100100100101
 01001001001010101011
 01001010010001
 0100101010001001010101
 0101010101
 0100010001000100
 0010010010
 0100100100110010100100
 01000001000001000
 0100100101
 01000100100100101

TEMPERATURE = 27.000 DEG C
 SHORTS OF TRANSIENT RESPONSE V(1)

* 0.940043E + 00
 FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED
 (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG)
 00E+01 1.211E-01 1.000E+00 1.859E+01 0.000E+00
 00E+02 3.696E-00 2.040E-01 -5.283E+01 -7.141E+01
 00E+03 7.556E-00 2.108E-01 5.575E+01 3.716E+01
 00E+04 2.999E+00 2.472E-01 -1.568E+01 -3.427E+01
 00E+05 8.016E-02 6.607E-03 9.271E+01 7.412E+01
 00E+06 2.039E+00 1.680E-01 2.142E+01 2.829E+00
 00E+07 1.002E+00 8.255E-02 -5.004E+01 -6.862E+01
 00E+08 3.978E-01 8.225E-02 5.847E+01 3.988E+01
 00E+09 1.117E+00 1.086E-01 -1.300E+01 -3.159E+01
 HARMONIC DISTORTION = 5.009684E + 01 PERCENT

SHORTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R)

* 3.999834E + 00
 FREQUENCY FOURIER NORMALIZED PHASE NORMALIZED
 (HZ) COMPONENT COMPONENT (DEG) PHASE (DEG)
 00E+01 7.255E-00 1.000E+00 -4.015E+01 0.000E+00
 00E+02 1.500E-01 2.718E-01 -1.275E+02 -8.731E+01
 00E+03 2.511E-01 7.803E-02 2.370E+02 1.640E+01
 00E+04 2.351E-01 7.224E-02 -9.790E+01 -5.775E+01
 00E+05 1.000E-01 1.462E-01 1.148E+02 1.148E+02
 00E+06 3.369E-02 -6.577E+01 -2.562E+01
 00E+07 1.007E-02 1.513E-02 -1.406E+02 -1.005E+02
 00E+08 1.007E-02 1.014E-02 3.191E+01 8.240E+00
 00E+09 1.007E-02 1.014E-02 -4.370E+01

ISBN 7-5030-1126-2



9 787503 011269 >

ISBN 7-5030-1126-2

定价：24.00 元

测绘科技专著出版基金资助

海洋测深空间结构及其数据处理

刘雁春 著

F. 114
L2

测绘出版社

· 北京 ·

内容提要

本书系统地论述了高精度海洋测深的空间结构及其数据处理理论与方法。主要内容
包括：海洋测深基本空间结构；瞬时测深空间结构及其数据处理；水位（潮汐）改正空
间结构及其数据处理；稳态（图载）深度空间结构及其数据处理；瞬时水深场的再现与
推估；随船一体化海洋测深的新概念和新方法。注重从理论上对测深空间结构和数学模
型的论述，重点研究如何建立高精度海洋测深精细空间结构、数学模型及数据处理方
法。

本书可供高等工科院校有关专业研究生、高年级本科生和从事海道测量工作的专业
技术人员使用，也适用于海洋测绘、海洋调查、海洋工程、航海、航运、海上石油开
发、海洋地质及海洋开发研究等部门的科技人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋测深空间结构及其数据处理/刘雁春著. —北京：
测绘出版社，2002.8
ISBN 7-5030-1126-2

I. 海... II. 刘... III. ①海洋测量：测深—空间
结构②海洋测量：测深—数据处理 IV. P714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 033030 号

测绘出版社出版发行

社址：北京宣武区白纸坊西街3号 邮编：100054

E-mail: ccph@ public. bta. net. cn

三河市艺苑印刷厂印刷·新华书店经销

2003年8月第1版·2003年8月第1次印刷

开本：148×210·印张：8.625

字数：230千字·印数：0001—3000

定价：24.00元

前 言

高精度海洋测深是 21 世纪海洋测量发展的主要方向之一。目前,海道测量在测量技术方面正经历着一场重大的变革,全球卫星定位系统和精密测深系统为海道测量提供了高精度定位及水深信息,同时也拓展了海道测量成果的应用范围。在这种情况下,国际海道测量组织(IHO)1998 年发布了新的海道测量规范,新规范的特点在于:封闭精度指标;开放数据处理。即仅规定严格的精度指标,而将具体的方法实施及数据处理由各国作业机构自行决定。从海道测量的科学本质来看,由于新规范的精度指标比原规范几乎提高了一倍,而且采用了“改正后水深的精度”的总误差限差规定,这就要求各国作业机构必须顾及海洋测深空间的精细结构,从而采用新的数据处理方法。传统的数据处理方法和系统已不能满足新规范的需要。例如,传统的数据处理方法和系统未考虑延时效应、波束角效应、波浪效应、船速效应和水位改正频谱匹配等效应的影响。国际海道测量新规范的发布执行,促使世界各沿海国家有关大学的学者和作业机构的专家,重新研究海道测量的精细空间结构和影响精密测深的各种效应。许多专家学者就此发表了大量的学术论文。正是在这种背景下,本书系统地提出了高精度海洋测深的空间结构及其数据处理理论与方法,希望能促进我国海道测量的理论研究和应用实践的发展,同时在学科意义上能丰富国际海道测量的理论与方法。

本书是在笔者博士论文基础上,综合了大量国内外参考文献和笔者近年来的研究成果而写成。得到了香港理工大学陈永奇教授、武汉大学陶本藻教授和海军大连舰艇学院梁开龙教授的悉心指导,同时,武汉大学刘经南院士、李建成教授、徐德宝教授和尹晖教

授，同济大学刘大杰教授，中国科学院测量与地球物理研究所欧吉坤研究员，国家海洋局第一海洋研究所申宪忠研究员，海军海洋测绘研究所管铮教授、翟国君教授和黄谟涛教授，海军大连舰艇学院暴景阳博士和肖付民博士提出了许多有益的建议，使笔者开扩了思路。本书的部分实验是在香港理工大学完成的，得到了香港工程测量师学会主席陈德祥先生及邓仕坚测量师的支持和帮助。国家测绘科技专著出版基金委员会为本书的出版提供了资助，在此一并表示感谢。

限于水平，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2002年3月于大连

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 海洋定位与海洋测深的发展状况	(5)
§ 1.3 本书的目的及主要内容	(9)
第二章 海洋测深基本空间结构	(11)
§ 2.1 引言	(11)
§ 2.2 海洋界面测量模式	(11)
§ 2.3 海洋测深基本空间结构	(15)
§ 2.4 海洋测深基本空间的时空特性	(21)
§ 2.5 海洋测深空间的数学表征方法	(24)
第三章 瞬时测深空间结构及其数据处理	(26)
§ 3.1 引言	(26)
§ 3.2 瞬时测深基本原理	(26)
§ 3.3 瞬时测深的各项常规改正	(29)
§ 3.4 测深仪波束角对测深的影响及其改正	(46)
§ 3.5 定位与测深的延时效应	(67)
§ 3.6 定位中心与测深中心的偏移效应	(76)
§ 3.7 波浪对测深的影响	(86)
§ 3.8 船速对测深的影响	(99)
§ 3.9 瞬时测深值的数字化选取技术	(107)
§ 3.10 瞬时测深值的综合改正及误差估计	(112)
第四章 水位(潮汐)改正空间结构及其数据处理	(117)
§ 4.1 引言	(117)
§ 4.2 水位(潮汐)改正基本原理	(118)

§ 4.3	水位观测方法及滤波性能分析	(122)
§ 4.4	验潮站有效作用距离的估算	(129)
§ 4.5	点邻域瞬时海面起伏的数学模型	(136)
§ 4.6	断面瞬时海面起伏形态的数学模型	(141)
§ 4.7	区域瞬时海面起伏形态的数学模型	(148)
§ 4.8	瞬时海面数学模型的实例计算与分析	(153)
§ 4.9	瞬时海面数学模型中有关基准面的误差分析	(159)
第五章	稳态 (图载) 深度空间结构及其数据处理	(161)
§ 5.1	引言	(161)
§ 5.2	平均海面的求定理论与方法	(161)
§ 5.3	深度基准面的求定理论与方法	(170)
§ 5.4	潮汐基准面的传递推估技术	(179)
§ 5.5	关于平均海面及深度基准面的误差估计	(189)
§ 5.6	稳态深度场的误差分析与质量评估	(193)
§ 5.7	稳态深度场测线网系统误差调整的简易方法	(198)
§ 5.8	稳态深度场测线网系统误差调整的严密方法	(207)
§ 5.9	稳态深度场的空间表示模型	(227)
第六章	瞬时水深场的再现与推估	(236)
§ 6.1	瞬时水深场再现与推估的时空结构	(236)
§ 6.2	潮汐分析及潮汐预报的误差分析	(239)
§ 6.3	实时潮位发布系统的建立	(247)
第七章	随船一体化海洋测深的新概念和新方法	(249)
§ 7.1	传统水位改正方法中的两种无法克服的效应	(249)
§ 7.2	随船一体化测深 (改正) 的新概念及空间结构	(253)
§ 7.3	随船一体化测深的应用问题	(259)
参考文献		(262)

第一章 绪 论

§ 1.1 引 言

人类赖以生存的地球，70%以上的表面被海水淹没，那些未被淹没的地球陆地部分，只不过是海洋中的“岛屿”。如果能把地球削平，填满海底，那么光滑的地球将全部淹没在一片汪洋大海之中。整个地球表面的水深均达数千米之上。所以，有人产生把“地球”改名为“水球”的想法也并非毫无依据（秦臻，1984）。既然海洋如此深广，如此浩瀚，生活在被海洋包围着的“岛屿”上的人类，就必然同海洋发生着极其密切的关系。自古以来，尽管人们从渔盐之利、航海运输等方面注意到海洋的利用，但人们对海洋的认识毕竟是有限的。几千年来，浩瀚的海洋差不多安然无恙地将其潜在的奥妙稳藏在一片蓝色的海水之中。与宇宙相比，海洋几乎就在人类身旁，可是人类对海洋开发的进程却又明显地落后于对宇宙的开发，其原因就在于层层海水阻隔了人类认识海洋的视野。

近 20 年来，随着科学技术的高度发展，人们对海洋的认识才逐步得到深化。当今的地球，世界人口激增，陆地资源告急，海洋的战略意义越来越明显，“海洋工程”已被列为与生物工程、核工程和航天工程同地位的当今世界尖端科学技术，人类向海洋进军的步伐正在加快，一些政治家和科学家认为：21 世纪是海洋世纪。现代的海洋开发工程主要由 3 个方面组成（陈永奇、李裕忠、杨仁，1991）：（1）海洋空间的开发利用，包括舰船航海、海洋运输、海底管道运输、海底电力及信息输送；（2）海洋自然资源和能源的开发利用，包括生物水产资源、石油及矿产资源和海洋化学资源的

开发, 还有潮汐、波浪等海洋能源的开发; (3) 海岸带的综合开发利用, 包括海港建设、能源设施建设、围海造田工程以及填海扩陆工程。

海洋测绘是一切海洋活动及开发的基础。海洋测绘一直随着海洋事业的发展而发展。早期的航海探险、殖民活动以及水产捕捞促进了海洋测绘的早期发展。18 世纪, 许多国家都成立了海道测量机构, 编制了一系列的航海图。随着航海贸易及海洋测绘的国际性发展, 1921 年成立了政府间的国际海道测量组织 (International Hydrographic Organization, 缩写为 IHO)。目前, IHO 有 59 个成员国, 中国为 IHO 的创建国之一。20 世纪中叶以来, 海洋事业迅速从传统的水产业和航海业向多学科、多行业方向发展。相应地, 海洋测绘也从传统的海道测量和航海图编制向由多分支学科组成的完整的海洋测绘科学体系发展。除航海图之外, 相继出现了海底地形图、海上旅游图以及其它专题海图。

近年来, 随着海洋开发进程的加快, 世界各国政府非常重视海洋测绘工作 (C. Andreasen, 1994)。美国、前苏联、日本、英国、加拿大等国从 60 年代起就开始有计划地进行海洋基础测绘工作。70 年代就出版了大量的不同比例尺的海底地形图。尤其美国, 已测绘的海域面积相当于其本土面积的一倍多。1993 年 3 月 10 日, 美国前总统里根宣布了“200 海里海域专属经济区”后, 美国开展了大规模专属经济区测量, 并成立了专门办公室负责协调。美国国家海洋大气局组织测绘了 2400000km² 多的海域; 美国地质局利用侧扫声纳完成了美国西岸海域、东岸海域、墨西哥湾、夏威夷周边等海域的调查, 出版了 1:50 万的调查海域图。美国已实施的精密海底地形测量面积在 17000km² 以上。日本至今已完成了海底地形图和海底地质构造图共 500 幅, 覆盖了日本沿海全部海域; 1983 年开始了 200 海里以外的海域测量, 1984 年出版了 1:50 万海底地形图、海底地质构造图、磁力异常图和重力异常图等。前苏联 1975 年全面开始进行大陆架和专属经济区测量, 出版了海底地形

图。其它国家，如英国、法国、荷兰、挪威及澳大利亚等国都进行了大量的大陆架测绘工作。在技术方面，这些国家均采用了卫星定位技术，多波束测深、测扫声纳以及计算机辅助成图等高新技术。我国至今已出版了大量沿海及近海各种比例尺的海图以满足航海的需求，于 90 年代初完成了一定比例尺的大陆架海域水深测量。从海洋基本测量看，与世界一些发达国家相比，还存在较大差距。联合国秘书处 1989 年曾对世界海道测量与海图制图情况发表综合评论，并将海道测量及海图制图的能力分为 0~4 共 5 个等级，我国目前的海洋测绘能力为“3”级，而世界上许多发达国家的海洋测绘能力已达到“4”级水平。

海洋测绘的内容包括海洋测量和制图两个方面。本书主要讨论海洋测量。从广义的角度来讲，海洋测量是一门对海洋表面及海底的形状和性质参数进行准确测定和描述的科学（陈永奇、李裕忠、杨仁，1991）。简言之，海洋测量是精确测定海洋空间形态的一门学科。与陆地测量相比较，海洋测量涉及了更多的海洋界面，并且具有更加明显的动态效应（刘雁春、梁开龙，1995）。海洋测量的工作空间及环境是在汪洋大海之中，海水的特性决定了海洋测量的特点。首先海水介质对电磁波和声波不同的吸收能力，决定了海洋测量的两种物理测量模式：水面下为声学测量模式，水面上为电磁波测量模式（秦臻，1984）。其次，海洋测量的工作场所一般在测船上，海水及测船的运动造成海洋测量具有强烈的动态特性。

与陆地测量相似，海洋测量的任务也可分为科学性任务和实用性任务两大类。科学性任务主要包括：（1）为研究地球形状提供海洋数据资料；（2）为研究海底地质的构造运动提供海洋观测数据；（3）为海洋环境研究提供测绘保障。实用性任务是为各种海洋开发工程提供海洋测量服务和保障，实用性任务较为庞杂，主要有：（1）航海及航运；（2）渔业捕捞；（3）资源开发；（4）海上划界；（5）海洋工程（包括近岸工程、近海工程、海底工程、管道工程等）。

海洋测量的内容主要有：(1) 海洋控制测量（含沿岸及海底）；(2) 海洋重力测量；(3) 海洋磁力测量；(4) 海洋定位；(5) 海洋测深；(6) 海底地形测量；(7) 海水面监测。上述内容中，最基本的、最常见的就是海洋定位与海洋测深（A. E. Ingham, 1975, 1984；陈永奇、李裕忠、杨仁，1991；叶久长、刘家伟，1993）。

从学科意义来看，海洋测量学是整个地球测量学的一个重要分支，海洋面积占地球表面积的 70% 以上，这一事实决定了海洋测量学在整个地球测量学中所占的地位，这在研究一些全球性问题时尤为突出，忽略或轻视海洋的全球概念是没有意义的。由于海水阻隔的原因，使得海洋测量的发展总是落后于陆地测量的发展。海洋测量的精度往往比陆地测量的精度低 1~3 个数量级。并且，其学科的发展及科学研究也往往落后于陆地测量。严格地说，时至今日，海洋测量学这一学科的定义及划分仍未统一。随着科学技术的进步及海洋开发进程的加快，继过去单一的海道测量学之后，相继出现了海洋重力测量学、海洋磁力测量学、海洋控制测量学、海底地形测量学、海洋工程测量学及海洋界面测量学。其中，海洋控制测量学和海洋重力测量学及海洋界面测量学又可合称为海洋大地测量学（刘雁春、梁开龙，1995）。除海道测量（服务于航海及航运）和海洋工程测量（服务于海洋工程）之外，其余海洋测量分支均具有科学研究和实用保障双重任务。从海洋测量的发展史来看，首先是由于航海事业发展的需要，逐渐使海洋测量形成一项专门的技术。然后，随着海洋开发事业的发展，对海洋测量提出了更多更高的要求，促使海洋测量的技术不断的更新和发展，其理论也不断地充实、完善，从而逐步形成了一门与海洋学、航海学、地理学、地质学、天文学、大地测量学、工程测量学、航空遥感测量学、制图学等有密切关系的海洋测量学。

目前，全球卫星定位系统（GPS）、多波束测深系统（MSS）、侧扫声纳（SS）、机载激光测深（LS）、卫星遥感（RS）和海洋地理信息系统（MGIS）给海洋测量带来了一场新的技术革命。这些

新技术手段的应用,提高了海洋空间地理信息量的精度,增加了海洋空间地理信息的数量,并且提高了获取海洋空间地理信息量的速率。差分 GPS 的应用,极大地提高了海洋测量的平面定位精度,定位精度一般小于 5 m。尤其是 RTK (Real Time Kinematic) 技术的出现,可使海上动态实时定位精度小于 1m (施品浩, 1994; 周忠谟、易杰军、周琪, 1997), 其中基于 AROF (Ambiguity Resolution On the Fly) 技术的 RTK 的三维定位精度可达厘米级 (G. W. Hein、 H. Landau and H. Blomenhofer, 1991; S. L. Frodge、B. Remondi and D. Lapucha, 1993; 施品浩, 1994)。GPS 具有全覆盖、全天候、高精度的特点,将逐渐代替其它海洋测量手段而占主导地位。多波束测深系统及侧扫声纳系统使过去的点测深及线测深模式转变为条带及区域测深模式,具有全覆盖、高精度的特点,提高了水深数据的获取效率及数据量,正逐渐成为水深数据的主要获取手段。机载激光测深在沿岸浅水区提供了快速测深手段。遥感测深在大洋海底地貌的探测中发挥了重要作用,特别是卫星测高手段在重力场模型精化及海面地形的确定方面作出了突出的贡献。海洋地理信息系统以全新的概念为海洋测量数据的存储、分析、整理及其应用提供了有效的方法和手段,是未来海洋测量数据后处理的发展方向。

§ 1.2 海洋定位与海洋测深的发展状况

正如前述,海洋定位与海洋测深是海洋测量最基本的内容,构成了海洋测量的两大主题。二者共同组成了海洋空间的三维坐标分量,是一切其它海洋测量的基础。由于海洋定位与海洋测深在海洋测量中的重要地位,可以说,海洋定位与海洋测深的发展史实质上就是海道测量 (及海洋测量) 的发展史。

海洋定位方面先后出现了天文定位、六分仪定位、经纬仪定位、无线电双曲线定位、物理测距定位、水下声标定位、全站仪定

位、子午卫星定位和 GPS 全球定位等方法手段 (A. E. Ingham, 1975; 邱醒亚, 1986; A. E. Ingham and V. J. Abbott, 1992; 彭光宇、赵明才, 1993; G. Lachapelle, 1996)。目前, 最常用的是全站仪极坐标定位和 GPS 定位。全站仪极坐标定位仅适用于港口及沿岸测量, 精度可达 1m。前已述及, GPS 定位具有全覆盖、全天候、高精度的特点, 有一统天下的趋势。(伪距) 差分 GPS 使海上动态实时定位的精度为 1~5m, 特别是基于 AROF 技术的 RTK (相位差分) 使海上动态实时定位精度可达厘米级。GPS 这一优良的高新技术定位系统已经使得海道测量 (及海洋测量) 的主要矛盾转移至海洋测深方面。

海洋测深方面先后出现了测深杆、测深锤、回声测深仪、双频测深仪、精密智能测深仪、多波束测深系统、侧扫声纳、机载激光测深和遥感测深等方法手段 (A. E. Ingham, 1975; A. E. Ingham and V. J. Abbott, 1992; 叶久长、刘家伟, 1993; 梁开龙, 1995; G. Lachapelle, 1996)。20 世纪 30 年代初, 回声测深仪的问世替代了传统的测深杆及测深锤, 标志着海洋测深技术发生了根本性变革。然而早期的回声测深仪, 其精度和分辨率较低, 不能满足海底地形地貌测量的要求。经过长期的努力, 后来相继出现了精密回声测深仪 (例如国产 SDH-13D 型测深仪) 和双频测深仪 (例如目前常见的 ECHOTRACDF3200 MK II 型双频测深仪)。与早期的回声测深仪相比, 这些测深仪除了具有吃水改正、声速改正、转速恒定保证等常规功能外, 还具有先进的水深数据数字化采集处理功能, 具有良好的外部接口设备, 并且, 有些现代测深仪还引入船姿传感器 (例如 TSS320B) 从而具有涌浪补偿功能, 这些高性能的测深仪有时也被称为智能测深仪。上述测深仪属于单波束测深仪, 只能测得测量船下方单一位置的深度 (属线状测深模式), 获取的数据量少, 难以满足现代高精度海底水深地形测量的要求。60 年代末, 侧扫声纳系统及多波束测深系统相继问世。多波束测深系统 (MSS) 能够同时高精度地测定多个位置 (属带状测深模式) 的水

深,随着测船的航行,能精密测定海底一定条带范围内的水深地形。首台实际应用的多波束系统是美国通用仪器公司生产的 Sea Beam 系统,该系统于 1977 年正式使用 (R. C. Tyce, 1986)。目前常见的多波束系统有: Sea Beam 950, 2000 (美国); Echos XD (芬兰); Simrad EM (挪威); HS 系列 (日本); Minichart、Bottomchart 及 Hydrosweep 系列 (德国)。已装备多波束系统的国家有: 美国、法国、德国、日本、澳大利亚、荷兰、印度、韩国、英国、意大利、加拿大、挪威、俄罗斯、西班牙等国及中国。其中装备最多的是日本、美国和挪威,我国装备了两套 Sea Beam 2000 系统,安装于我国的海洋调查船上。此外,我国也研制成功了多波束测深系统,已投入使用。侧扫声纳系统 (SS) 可获得直观的海底地貌形态,沉积物类型及结构,以及海底沉物等方面的信息。1960 年首台侧扫声纳系统于英国海洋研究所问世。目前常见的侧扫声纳系统有 Sea MARC 系列 (美国)、GLORIA II (英国), CFBS-30 (德国), BATHY-SCAN (英国), SAR (法国), Benigraph (挪威) 等。80 年代还出现了集测深与海底声学成像于一身的测深侧扫声纳系统 (Bathymetric sidescan Sonar, 缩写为 BASS), 也称为干涉法条带测深系统。尽管从目前技术水平看,总体说 BASS 的测深精度尚不及多波束测深系统 (MSS), 但海底成像能力又优于目前有成像功能的多波束测深系统,而且 BASS 系统较简单,成本较低,安装与使用较方便,因此有着很好的发展前景。同时,多波束测深系统也正在向轻便、低成本的方向发展,并将大幅度提高海底成像的技术水平,综合起来看,二者之间的差别正在逐步缩小,可望研制成取二者之长的新一代海底地形条带式探测系统 (管铮, 1997)。另外,美国、澳大利亚、加拿大、前苏联和瑞典等国相继研制出机载激光测深系统,其穿透深度为 50~100m,测深精度为 $\pm 0.3 \sim \pm 1\text{m}$ (F. A. Haddock and P. S. Fitch, 1985; W. S. Shiver, 1985; J. G. Bodie, 1986)。另一个测深技术是卫星遥感测深 (Wei ji, L. Civco and W. Kennard, 1992; 胡明城、鲁福, 1994), 不过测

量深度较浅（小于 7m），一般用于海洋调查。从海洋测深角度来看，单波束精密测深仪和多波束测深系统是重要的测深设备，前者主要用于浅海区，后者主要用于深海区。

正如前述，高新技术给海洋测量带来了一场新的革命，使海洋测量由静态、2 维向动态实时、3 维以及 4 维方向发展；并且使海洋测量作为一个重要组成部分向着整体及动态全球大地测量发展。GPS 定位系统、精密测深仪及多波束测深系统等高新技术测量系统的出现，使海洋定位与测深由离散、低精度、低效率向全覆盖、高精度、高效率的方向发展，从而进入一个新的发展时期。然而，在这些转变发展过程中，还存在以下三个方面的问题需要解决。

- (1) 海洋测深空间的精细结构；
- (2) 影响测深精度的各种效应（误差）及其改正原理；
- (3) 海洋测深数据处理的方法。

上述问题中，测深空间的精细结构是研究各种效应（误差）的基础，各种效应的改正原理又构成了测深数据处理的依据。三者共同构成了高精度海洋测深的理论和方法。

过去由于海洋定位及测深手段落后，精度和效率都很低，在描述和使用海洋测深空间时，忽略（或根本未顾及）了一些精细结构，同时，也未能全面顾及各种效应（误差）的影响，并且，简化的空间结构及简单的效应改正使得测深数据处理几乎没有什么理论和方法。然而，测深空间精细结构、各种效应改正原理及数据处理方法却是高精度海洋测深的理论基础。

从目前的发展状况来看，海洋测深数据处理理论与方法的研究远远落后于数据采集仪器及系统的发展及应用，即理论（软件）落后于系统（硬件）的发展。并且，由于未能全面顾及各种效应的改正，使最终测深值的精度远低于测深仪器（系统）所具有的测深精度。这种差异比陆地测量更为突出，这是因为海洋测量具有更强烈的动态性和实时性。此外，海洋测量的数据处理理论与方法也不如陆地测量那么丰富，以至于不少人认为海洋测量是一门技术，而不

构成一门学科，这也是由于海洋测量精度低、空间结构简化、数据处理简单造成的。目前，随着高精度定位及测深仪器（系统）的出现，极大地促进了对上述三个方面问题的研究。

§ 1.3 本书的目的及主要内容

本书的目的是对海洋测深的各种效应及相关问题进行新的探索研究，试图为现代及未来的高精度海洋测深，提供较为精细的空间结构及其数据处理理论与方法。本书包括以下主要内容。

1. 海洋界面测量模式及海洋测深基本空间结构的研究。
2. 瞬时测深空间结构及数据处理方法的研究。具体包括：
 - a. 测深仪声速改正和动态吃水改正；
 - b. 测深仪波束角效应；
 - c. 定位与测深的延时效应；
 - d. 定位中心与测深中心的偏移效应；
 - e. 海洋测深的波浪效应；
 - f. 船速对测深影响的直接效应和间接效应；
 - g. 瞬时水深值的数字化选取技术；
 - h. 瞬时测深值的各种效应的综合分析。
3. 水位改正空间结构及数据处理方法的研究。具体包括：
 - a. 水位改正的基本原理；
 - b. 现行水位观测方法滤波性能分析；
 - c. 验潮站有效作用距离的估算；
 - d. 点邻域瞬时海面数学模型的建立；
 - e. 断面瞬时海面数学模型的建立；
 - f. 区域瞬时海面数学模型的建立。
4. 稳态深度场的空间结构及其数据处理方法。具体包括：
 - a. 平均海面的求定理论与方法；
 - b. 深度基准面的求定理论及方法；