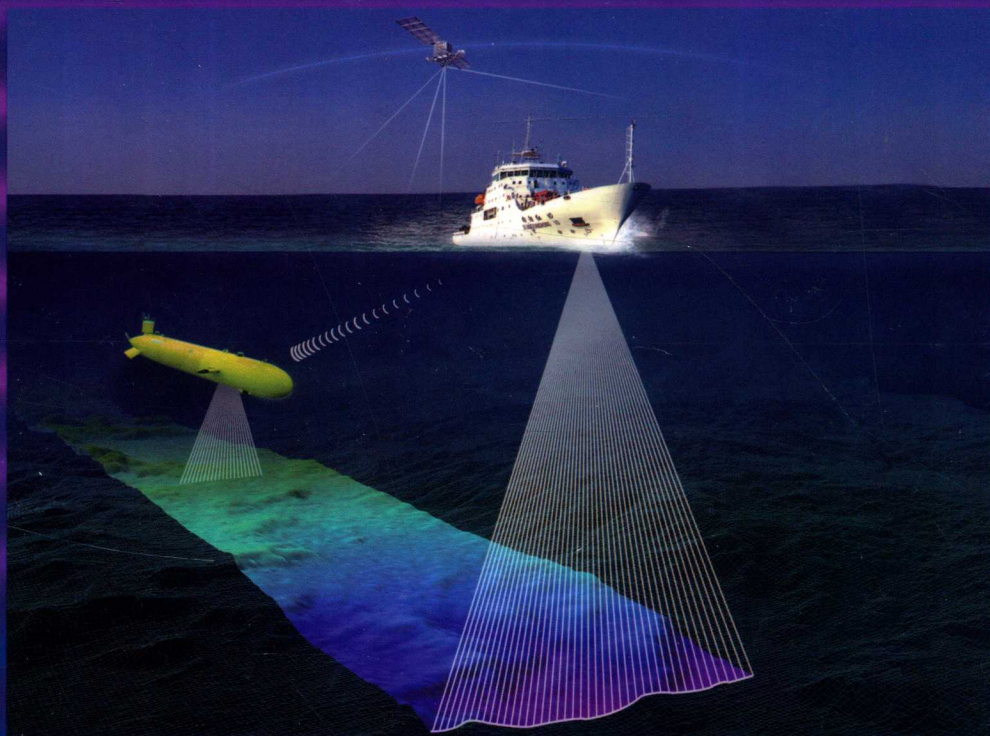


High Resolution
Submarine Geomorphology

高分辨率海底地形地貌
——探测处理理论与技术

吴白银 等 著



科学出版社

高分辨率海底地形地貌

——探测处理理论与技术

吴自银等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

高分辨率海底地形地貌学是海洋地质与海洋测绘的一个前沿分支,为了解地球外部形状、海底构造运动、海底演化提供了直接依据。近 20 年来,以高精度多波束测深、侧扫声呐和浅地层剖面等为主要技术手段的高分辨率海底地形地貌探测得到快速发展,是国际海洋地学研究的前沿和方向之一,促进了传统海底地貌学向高分辨率和定量化方向的发展,在大陆架划界、海底资源调查、海洋工程建设和海洋军事应用等方面得到了广泛应用。

本套书按照学科的特点,对海底地形地貌探测技术、处理技术、成图技术和科学应用研究等内容进行了详细论述。为便于广大读者了解如何获取并基于地形地貌数据进行科学应用研究,突出了理论研究、技术开发和科学应用三者相结合的特点。全套包括两册,本书为探测处理理论与技术分册,系统论述了海底地形地貌探测与数据处理等方面的内容。本书可供相关方面的专业技术人员参考,也可作为高等院校相关专业本科生及研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

高分辨率海底地形地貌:探测处理理论与技术/吴自银等著. —北京:科学出版社, 2017.12

ISBN 978-7-03-052902-2

I. ①高… II. ①吴… III. ①海底地貌—高分辨率—探测技术 IV. ①P714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 117060 号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 白 丹/责任校对:张小霞
责任印制:肖 兴/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 4 月第二次印刷 印张:20 3/4

字数:500 000

定价:188.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

著 作 者 名 单

吴自银 阳凡林 罗孝文 李守军 王胜平
丁维凤 曹振轶 许雪峰 赵荻能 朱心科
应剑云 霍冠英 金绍华 尚继宏 章伟艳
高金耀 李怀明 杨克红 李小虎 梁裕扬
马维林 周洁琼 熊明宽



部分作者合影（从左至右）：韩鹏（责任编辑），王胜平，张田升，丁维凤，梁裕扬，高金耀，赵获能，吴自银，阳凡林，杨克红，章伟艳，马维林，朱心科，罗孝文

中文引用：吴自银，阳凡林，罗孝文，等. 2017. 高分辨率海底地形地貌——探测处理理论与技术. 北京：科学出版社.

英文引用：Wu Z, Yang F, Luo X, et al. 2017. High-resolution submarine geomorphology—theory and technology for surveying and post-processing. Beijing: Science Press.

海洋覆盖着整个地球表面积的 71%，蕴藏着丰富的资源可供人类使用。早期由于科学条件的限制，人们无法对其进行大规模的开发利用。随着社会经济的发展、人口的膨胀和陆地资源逐渐匮乏，人类加快了海洋资源勘探、开发和利用的步伐。21 世纪，开发和利用海洋这一使命变得越来越迫切。

探测和认知海洋是开发利用海洋的基础，海底地形地貌是认知海洋的最基本参量。受海洋巨厚水层的影响，光和电磁波等陆地常规探测技术在海洋探测中受到了限制，声学探测是认知海洋的主要技术手段。多波束测深系统、侧扫声呐系统和浅地层剖面仪等基于声学原理的高新技术装备是探测海底地形地貌的常用仪器设备。多波束测深系统和侧扫声呐系统是海洋地形地貌测量最常用的工具，前者侧重于声呐测深，后者侧重于声呐成像，而浅地层剖面仪主要通过低频声信号往返穿透海底数十米，甚至上百米的地层，了解沉积物和浅地层的分布情况。对这些新型仪器设备的基本工作原理与方法进行全面的总结和论述，能为海洋探测从业者提供实际帮助。

多波束测深系统、侧扫声呐系统和浅地层剖面仪等海底地形地貌探测技术装备均是多传感器的高度集成，随着组合导航、声学、电子和计算机等技术的发展而飞速发展，采集的数据体现了高精度、高密度、高分辨率和多误差源的特点，数据处理技术也伴随着硬件技术在不断发展。无论是多波束测深系统、侧扫声呐系统，还是浅地层剖面仪，由于受仪器自噪声、海况因素、声呐参数设置和声速剖面等因素的影响，测量资料不可避免地存在误差，对这些设备采集的资料进行精细处理也是必不可少的一环，是进行研究和应用的基础，相关的技术方法总结有助于我国海洋信息技术的发展。

海底地形地貌是海底科学的基本内容，在揭示海底的基本特征、变化规律与动力过程中发挥着重要的基础学科作用。海底地形地貌还是进行海底资源探测与研究的基本资料，中国于 20 世纪 80 年代开展了国际海底多金属结

核资源调查, 并成功申请了 7.5 万 km^2 的矿区, 于 20 世纪 90 年代又在国际海底进行了富钴结壳和金属热液硫化物的调查与矿区申请, 近 10 年来又在中国南海发现了天然气水合物资源。研究表明, 这些海底资源的形成与赋存与海底地形有着密切的关系。海底地形地貌研究还为海洋权益维护提供了科技支撑, 按照《联合国海洋法公约》进行大陆架划界是当前全球沿海国高度关注的问题, 包括大陆坡脚点等系列划界界限点, 无不与海底地形地貌密切相关。

建设海洋强国是当代中国海洋人的伟大使命, “关心海洋、认知海洋、经略海洋”, 使蓝色海洋变成透明海洋和智慧海洋。海洋探测技术为建设海洋强国提供了重要保障, 包括多波束测深系统、浅地层剖面 and 侧扫声呐系统在内的海洋探测设备, 正在近海海洋工程探测、陆架管线路由勘查、海洋考古、海洋资源调查、海洋维权和海洋国防等方面发挥着重要作用。在“建设海洋强国”“中国梦”“海上丝绸之路”等国家战略目标的指引下, 中国的海洋探测已从近海走向“深蓝”, 中国科学考察船活跃在全球三大洋和南北极, 科学、规范地开展海洋调查研究工作显得更为重要。

吴自银研究员长期从事海底地形地貌探测与研究, 我见证了他从一个青年学子向中年科技工作者成长的历程, 他领导的海底地形地貌团队取得了诸多科研成果, 这些成果已经服务于国家军事、外交、科研和划界等多方面。《高分辨率海底地形地貌》从学科发展和从业需求的角度, 对海底地形地貌信息的获取、处理、分析和应用等进行了系统的论述, 可作为海底探测行业的技术参考书, 期待其在我国海底探测技术的发展中发挥更大作用。

中国工程院院士

吴自银
2017

海底是水圈、生物圈和岩石圈的重要地质界面，其不仅记录了水圈、生物圈和岩石圈相互作用的详细信息，还记录了海陆相互作用的过程和海陆变迁的历史，气候演化旋回和沉积过程，板块裂离产生、运动和俯冲消亡的历史，因此，海底为研究古气候、古环境、地貌和板块构造等提供了重要的素材。同时，海底还蕴藏着丰富的烃类资源（石油、天然气和天然气水合物等）、热液硫化物、富钴结壳、多金属结核和深海生物基因等资源，是世界海洋科学研究的重要对象。

海底地形是了解地球外部形状、海底构造运动、海底演化的直接依据，也是海洋经济开发、海洋科学研究和海洋军事应用等方面的重要基础数据。海底地貌是自然作用过程孕育的记录，是一部海岸与海底发展历史过程的“天书”。调查研究海洋地貌类型、物质结构与组合特征的过程，就是判读“天书”，解译海洋地貌的成因、变化状态与发展趋势的过程。中国传统管辖海域面积超过 300 万 km^2 ，包括“四海一洋”：渤海、黄海、东海、南海和台湾以东的太平洋海域。中国海海底地貌类型多样、成因复杂，是一部名副其实的“天书”。研究中国海海底地形地貌特征、沉积结构及发育演变趋势，具有极其重要的科学意义。

近 20 多年来，人类作用已经成为地球系统中的第三驱动力并广受关注，对于人类活动背景下的河口与海岸地形地貌演变规律的研究，既有重要的科学意义，更有重要的工程实际应用意义。大陆架上的自然资源主权属沿海国所有，但在相邻和相对沿海国间，存在具体划界问题。近十余年来，大陆架划界因关系到国家海洋主权权益、资源利益和国家安全，已成为全球沿海国海洋权益争夺的新焦点，海底地形地貌是确定大陆架划界界限必不可少的证据；中国“四海一洋”海疆广阔，但与周边邻国存在诸多划界争议，亟须深化海域划界研究。因此，开展海底地形地貌学的划界应用研究对于维护中国海洋权益更具有重要价值。

20 世纪 20 年代，回声测深技术的出现促进了海底地形地貌学研究的第一次飞跃。基于大量测深数据编绘的大西洋、太平洋和印度洋图集，揭示了

绵延数万千米的大洋中脊和转换断层等巨大地貌单元,为板块构造学说的诞生与发展奠定了重要基础。当前,以多波束测深系统为代表的先进的海底探测技术正在促进海底地形地貌学研究的第二次飞跃。多波束测深系统具有全覆盖、高分辨率和高精度的优点,将海底地形地貌的空间分辨率从单波束测深时代的 10~1km 级提升至现在的 10~1m 级。多波束测深系统能分析过去单波束资料难以揭示的海底地形地貌精细特征,将促进海底地形地貌学从定性研究向高分辨率与数字化研究发展。

多波束测深系统、浅地层剖面仪和侧扫声呐系统等地形地貌探测设备已经在当代海洋工程、海洋开发、海洋研究、海底资源环境调查中发挥着极其重要的作用。从航道维护与疏浚到海洋工程的勘测和施工,从边缘海大陆架的勘测到大洋多金属结核及富钴结壳资源的调查,均是这些设备的用武之地。因此,我们有必要对这些技术的国内外研究现状进行总结、分析和对比,了解目前国内在这些领域的研究水平及其与国际研究间的差距,发现存在的问题,为后续的海底探测和研究指明方向。

通过新中国成立以来数十年的发展,尤其是近 20 年来,在国家重大科技项目的支撑下,中国的海洋探测设备研制取得了长足的进步。例如,在多波束测深系统研制方面,哈尔滨工程大学、中国科学院声学研究所、浙江大学等分别研制了不同型号的浅水多波束系统,中国科学院声学研究所牵头研制了全海深多波束测深系统,其中有些产品已经商业化。在运载平台方面,中国已经研制了 ROV、AUV、无人艇和无人机等多种产品,有些产品可与国际产品媲美,“蛟龙号”更是其中的佼佼者。此外,海底原位观测仪器、海底观测网、深海工作站研究等方面也取得了优异成果。这些自主研发的海洋技术装备已改善了中国海洋环境的监测能力,提高了中国综合开发、利用海洋资源和海洋灾害防治的能力,还为海域划界和海洋权益维护提供了有力支撑。但需要指出,目前的海底探测技术还远未形成体系,在中国海洋调查中还在大量使用国外设备,国产设备更少有走出国门销往国外的,因此,中国急需发展生产海洋探测技术装备的民族产业。

海洋探测技术正从单一性能仪器向综合性能仪器发展,如中国已经开始研制集多波束、浅地层剖面和侧扫声呐功能于一体的新型装备。随着传感器技术向“小、精、尖”方向发展,可预见有更多“瑞士军刀”式的多功能海洋仪器设备涌现,既能节省设备购置成本,又能降低调查成本。海洋探测正由传统船载走航式向“自主航行”式及海底原位长期观测方向发展,无人船、无人机、

AUV、Glider 等自主航行器已经开始出现在现代海洋调查中,把传统的船载设备无缝移植到这些自主航行器中,在近岸岛礁、复杂浅滩、陆坡峡谷和深海极端环境中进行精密探测,建立“空、天、陆、海”一体的海洋立体探测与观测技术体系,对海洋进行长期实时在线观测必将是全球未来发展的大趋势。

无论是多波束测深系统、侧扫声呐系统,还是浅地层剖面仪,由于受仪器自噪声、海况因素、声呐参数设置和声速剖面等因素的影响,测量资料不可避免地存在假信号,因此,对这些设备采集的资料进行精细处理是必不可少的一环,也是进行深层次开发、应用的基础,一套好的勘测设备还应该与之匹配的后处理软件。多波束测深系统使用最为广泛,一般的商用多波束系统都附带一套相应的后处理成图软件,用于处理自身系统勘测的多波束数据。在笔者导师金翔龙院士的领导下,中国启动了首期海洋 863 重点项目“海底地形地貌与地质构造探测技术”(820-01-01),开启了中国自主海底地形地貌处理技术的研究。

在海底地形地貌探测与研究方面,中国也取得了诸多成果。中国先后在中国海域执行了多个重大国家海洋专项,如国家海洋勘测专项(2000~2003 年)、西北太平洋专项(2004~2006 年)、外大陆架专项(2006~2008 年)、中国近海海洋环境调查专项(2008~2010 年)、海洋地质保障工程(2010 年至今)、全球海气相互作用专项(2012 年至今)等,通过这些专项任务,中国完成了中国海大部分海域的全覆盖探测,地形地貌测线超过 200 万千米。在此基础上,先后编制了系列图件,获得了一批高质量的研究成果,如《南海海洋图集——地质地球物理》(2007 年)、《东海区域地质》(2008 年)、《中国近海海洋图集——海底地形地貌》(2013 年)、《中国近海海洋——海底地形地貌》(2013 年)、《中国近海自然环境与资源基本状况》(2015 年)。

系统总结近 20 年来中国在海底地形地貌学科中所取得的成果,揭示存在的问题,进一步促进中国海洋科学的发展,也是本书编写的目的之一。首先,要提升理论研究水平,理论研究是进行海洋仪器研制和软件开发的基础,没有高水平的理论研究作为后盾很难研制出高精度的海洋仪器,也不能开发出满足海洋调查研究需求的数据处理软件。目前,中国在多波束和侧扫数据处理方面已经进行了一些理论探索,但在海底声探测技术原创性探索方面仍有较广阔的发展空间。其次,要加强数据利用,通过数十年的海洋调查,中国已经积累了一批高质量的海底声探测数据资料,包括单波束测深、多波束测深、侧扫声呐图像和浅地层剖面等,这些数据资料涉及的海区包括

近海海岸带、大陆架专属经济区、边缘海盆地和国际海底区域等。在调查资料的基础上进行深层次的理论研究,发现并解决存在的海底科学问题,从而为海洋资源的开发利用和海洋权益维护提供及时服务。

全书由吴自银提出详细的撰写提纲,撰写组几经讨论与修改,按照本学科的基本工作思路与流程,将本书分为两册:探测处理理论与技术、可视计算与科学应用。本书为探测处理理论与技术分册,共计 11 章。第 1 章由阳凡林、王胜平、朱心科和吴自银撰写,第 2 章由李守军、阳凡林、赵荻能和吴自银撰写,第 3 章由阳凡林撰写,第 4 章由丁维凤和李守军撰写,第 5 章由罗孝文、阳凡林和吴自银撰写,第 6 章由应剑云、曹振铎、许雪峰和罗孝文撰写,第 7 章由王胜平和罗孝文撰写,第 8 章由吴自银、阳凡林、赵荻能和李守军撰写,第 9 章由丁维凤撰写,第 10 章由罗孝文和王胜平撰写,第 11 章由曹振铎、许雪峰、应剑云、吴自银和熊明宽撰写。张田升和刘洋负责全书的格式梳理和排版。前言和后记由吴自银撰写,全书由吴自银和阳凡林统稿。

本书是多个国家科研项目研究成果的升华与总结,相关研究先后受到国家自然科学基金项目(41476049、41376108、41576099)、全球变化与海气相互作用专项、国家基础性工作专项(2013FY112900)、国家 863 计划项目(2002AA616010、2007AA090901)、科技支撑计划项目(2014BAB14B01)和国家海洋公益专项(201105001)等系列科研项目的资助。

本书体现了系统性和全面性的特点,按照海底地形地貌学科的特点,囊括了海底地形地貌探测、处理、成图和应用研究等方面;还体现了创新性和前瞻性的特点,尤其是在处理技术和成图技术方面,其是著作团队多年研究成果的总结,其中一些技术还申请了国内和国际发明专利;为便于广大读者了解如何基于地形地貌数据进行科学研究,还特别突出了实用性和应用性,这在同类著作中是少见的。

作者导师金翔龙院士在百忙中审阅了本书,并为本书作序,李家彪院士审阅了本书,并提出了指导意见,王小波研究员审阅了本书并提出了结构性的建议,郑玉龙研究员大力支持本书的研究工作,在此一并致谢!

本书可供一线科研人员使用,也可作为本学科基础教育及研究生学习的教材。因作者水平有限,本书难免存在疏漏之处,或者文献引用不当之处,为了更好地推动本学科的发展,敬请各位同行专家批评指正!

著者:吴自银

2017 年 9 月 29 日



序言
前言

第一篇 海底地形地貌探测技术

第 1 章 海底地形地貌探测技术概述.....	3
1.1 船载地形地貌探测技术.....	3
1.1.1 船载探测技术	3
1.1.2 船载定位技术	12
1.1.3 无人船载测量平台	13
1.2 星载与机载地形地貌探测技术.....	15
1.2.1 星载海洋监测技术	15
1.2.2 机载海洋探测技术	17
1.3 水下机器人与海底观测网探测技术.....	20
1.3.1 水下机器人技术	20
1.3.2 海底观测网技术	24
参考文献.....	35
第 2 章 多波束测深技术.....	36
2.1 多波束测深系统的基本原理.....	36
2.1.1 波束的指向性	37
2.1.2 电子多波束工作原理	38
2.1.3 相干多波束工作原理	41
2.2 代表性的多波束测深系统.....	42
2.2.1 浅水多波束测深系统 SeaBat 7125	42
2.2.2 浅水多波束测深系统 R2SONIC 2024.....	44
2.2.3 浅水多波束测深系统 SeaSurvey MS400.....	46
2.2.4 中浅水多波束测深系统 FANSWEEP 20.....	47
2.2.5 深水多波束测深系统 EM120	49
2.2.6 深水多波束测深系统 SeaBeam 3012	52
2.3 多波束测深基本工作方法流程.....	55

2.3.1	多波束测深基本流程	55
2.3.2	多波束测深系统的安装	58
2.3.3	多波束勘测前参数校准	61
2.3.4	多波束勘测测线布设要求	67
2.3.5	多波束勘测声速采集	67
	参考文献	69
第 3 章	机载激光测深技术	71
3.1	机载 LiDAR 测深系统的工作机理	71
3.1.1	系统组成	72
3.1.2	系统工作原理	73
3.1.3	系统校准	77
3.2	机载 LiDAR 测深系统的主要技术参数	78
3.2.1	最大穿透深度	78
3.2.2	最浅探测深度	78
3.2.3	测点密度	79
3.2.4	测深精度	79
3.3	机载 LiDAR 测深点云的波浪改正技术	80
3.3.1	无修正法	81
3.3.2	滤波法	82
3.3.3	惯导辅助修正法	82
	参考文献	83
第 4 章	侧扫与浅地层探测技术	85
4.1	侧扫声呐探测技术	85
4.1.1	侧扫声呐工作原理与构成	85
4.1.2	典型的侧扫声呐设备	88
4.1.3	基本工作流程与方法	93
4.2	浅地层探测技术	95
4.2.1	海底浅地层探测技术的发展	95
4.2.2	浅地层剖面探测技术的基本原理	97
4.2.3	浅地层剖面仪设备组成	101
4.2.4	浅地层剖面探测基本工作方法	105
	参考文献	107
第 5 章	导航定位技术	109
5.1	全球导航卫星系统发展概况	109
5.1.1	GPS 系统	109
5.1.2	北斗系统	110

5.1.3 Galileo 系统.....	112
5.1.4 GLONASS 系统.....	112
5.2 海洋导航定位技术.....	113
5.2.1 水面舰船导航定位技术	113
5.2.2 水下导航定位技术	118
5.2.3 基于电子海图的导航技术	121
参考文献.....	122
第 6 章 潮位测量技术	124
6.1 常规潮位测量技术方法.....	124
6.1.1 常见的潮位测量仪器和方法	124
6.1.2 短期潮位站的布设	128
6.1.3 海平面与垂直基准面	129
6.2 遥感遥测潮位测量技术.....	134
6.2.1 GNSS 观测技术	134
6.2.2 CCD 传感器观测	135
6.2.3 遥感式潮位观测	136
6.3 验潮模式水下地形测量操作实例.....	136
6.3.1 短期潮位站数据采集	136
6.3.2 数据处理	137
参考文献.....	139

第二篇 海底地形地貌后处理技术与方法

第 7 章 海洋垂直基准面的建立技术.....	143
7.1 常用的海洋垂直基准面.....	143
7.1.1 平均海平面	143
7.1.2 海图深度基准面	146
7.1.3 最低天文潮面	149
7.1.4 平均大潮高潮面	150
7.1.5 高程基准	151
7.1.6 大地水准面	152
7.1.7 参考椭球面	153
7.2 海洋无缝垂直基准面的建立.....	154
7.2.1 无缝垂直基准面的定义与要求	154
7.2.2 建立海洋无缝垂直基准体系的重要性与必要性	155
7.2.3 无缝垂直基准面的建立存在的问题	156

7.2.4	海洋无缝垂直基准面的选择	157
7.2.5	无缝垂直基准面的建立	159
7.3	海洋大地水准面精化方法	166
7.3.1	区域(似)大地水准面的精化	166
7.3.2	无缝深度基准面与似大地水准面间的转换	166
7.3.3	无缝深度基准面与参考椭球基准面间的转换	169
7.3.4	海洋垂直基准面间转换的精度评定	169
	参考文献	171
第 8 章	多波束探测数据处理技术与方法	173
8.1	多波束测深系统的常用数据格式	173
8.1.1	L3 公司的三种数据格式	173
8.1.2	Simard 公司 EM 系列数据格式	177
8.2	多波束测深数据处理的基本技术流程	178
8.2.1	多波束测深误差分析	179
8.2.2	综合处理方法和流程	181
8.3	基于 CUBE 算法的多波束异常数据滤波方法	186
8.3.1	概述	186
8.3.2	CUBE 算法的基本原理	188
8.3.3	处理流程与实验分析	197
8.3.4	结果与讨论	199
8.4	基于 MOV 的声速剖面快速精简方法	204
8.4.1	方法与模块	205
8.4.2	关键技术问题研究	208
8.4.3	数据处理时效对比分析	214
8.5	基于等效声速的多波束测深折射误差改正方法	214
8.5.1	声速对多波束系统的影响	215
8.5.2	三层常梯度等效声速剖面模型	218
8.5.3	多波束实测数据折射误差处理	221
8.6	多波束反向散射与水柱数据处理方法	224
8.6.1	多波束声呐散射成像原理	224
8.6.2	声波回波强度与底质类型的关系	226
8.6.3	多波束水柱数据处理及应用	227
	参考文献	235
第 9 章	侧扫与浅地层探测数据处理技术与方法	242
9.1	侧扫声呐数据处理技术与方法	242
9.1.1	侧扫声呐图像处理	244

9.1.2 斜距改正	247
9.1.3 海底目标物提取与底质识别	248
9.2 浅地层探测数据处理技术与方法	251
9.2.1 浅地层剖面采集软件与数据格式	252
9.2.2 浅地层剖面探测数据后处理的主要方法	253
参考文献	262
第 10 章 GNSS 数据处理技术方法及应用	263
10.1 GNSS 的 RINEX 格式解析	263
10.1.1 GPS 观测数据 RINEX 文件及格式说明	264
10.1.2 GPS 导航数据 RINEX 文件及格式说明	267
10.2 GNSS 主要误差的模型改正	269
10.2.1 天线相位偏心的改正	270
10.2.2 相位的 wind-up 改正	271
10.2.3 测站位移影响与改正	272
10.3 GNSS 精密单点定位数据处理方法	274
10.3.1 PPP 模型	275
10.3.2 双频码和相位模型	275
10.3.3 UofC 模型	276
10.3.4 无模糊度模型	276
10.3.5 相位平滑伪距模型	276
10.4 动态差分 GNSS 定位数据处理方法	277
10.4.1 差分 GPS 定位技术方法	277
10.4.2 网络 RTK	281
10.5 GNSS 在海洋学中的拓展应用研究	281
10.5.1 GNSS 海洋学研究及应用	282
10.5.2 GNSS 海洋学研究及应用的进一步开展	285
参考文献	286
第 11 章 潮位数据处理技术与方法	289
11.1 潮位数据的常规分析	289
11.2 潮位数据调和分析	292
11.3 潮位数据预报	293
11.3.1 天文潮预报	293
11.3.2 气象潮预报	294
11.3.3 潮汐表计算	294
11.3.4 潮时计算	294
11.4 潮位数值模型计算	295

11.5 潮汐基准面的关系.....	296
11.5.1 1956 黄海高程系.....	296
11.5.2 1985 国家高程基准.....	297
11.5.3 浙江吴淞基准.....	297
11.5.4 多年平均海平面.....	297
11.5.5 理论深度基准面.....	297
11.5.6 实例分析.....	298
11.6 水深测量的潮位改正.....	298
11.7 近海潮位改正实例.....	299
11.7.1 GPS RTK 验潮方法	300
11.7.2 数据采集.....	301
11.7.3 误差来源分析.....	302
11.7.4 RTK 潮位的姿态校正.....	305
11.7.5 实例应用效果对比.....	306
参考文献.....	307
后记与展望——中国海洋科学调查与研究正由近海走向全球.....	309
名词及索引.....	312