

“十三五”国家重点图书



湖北省学术著作  
出版专项资金

海洋测绘丛书

# 海洋水文测量

田淳 周丰年 高宗军 杨鲲 编著

Oceanic  
Surveying And Mapping



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

“十三五”国家重点图书



海洋测绘丛书

# 海洋水文测量

田淳 周丰年 高宗军 杨鲲 编著

# Oceanic Surveying And Mapping



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

海洋水文测量/田淳等编著. —武汉:武汉大学出版社,2021.5  
海洋测绘丛书  
“十三五”国家重点图书 湖北省学术著作出版专项资金资助项目  
ISBN 978-7-307-21305-0

I.海… II.田… III. 海洋水文—海洋测量 IV.P714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 268862 号

责任编辑:鲍 玲      责任校对:汪欣怡      版式设计:马 佳

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮箱:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16      印张:15.75      字数:371千字      插页:1

版次:2021年5月第1版      2021年5月第1次印刷

ISBN 978-7-307-21305-0      定价:56.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

## 学术委员会

主任委员 宁津生

委 员 (以姓氏笔画为序)

宁津生 李建成 李朋德 杨元喜 杨宏山 陈永奇  
陈俊勇 周成虎 欧吉坤 金翔龙 姚庆国 翟国君

## 编委会

主 任 姚庆国

副 主 任 李建成 卢秀山 翟国君

委 员 (以姓氏笔画为序)

于胜文 王瑞富 冯建国 卢秀山 田 淳 石 波  
艾 波 刘焱雄 孙 林 许 军 阳凡林 吴永亭  
张汉德 张立华 张安民 张志华 张 杰 李建成  
李英成 杨 鲲 陈永奇 周丰年 周兴华 欧阳永忠  
罗孝文 姚庆国 胡兴树 赵建虎 党亚民 桑 金  
高宗军 曹丛华 章传银 翟国君 暴景阳 薛树强

# 序

现代科技发展水平，已经具备了大规模开发利用海洋的基本条件；21世纪，是人类开发和利用海洋的世纪。在《全国海洋经济发展规划》中，全国海洋经济增长目标是：到2020年海洋产业增加值占国内生产总值的20%以上，并逐步形成6~8个海洋主体功能区域板块；未来10年，我国将大力培育海洋新兴和高端产业。

我国海洋战略的进程持续深入。为进一步深化中国与东盟以及亚非各国的合作关系，优化外部环境，2013年10月，习近平总书记提出建设“21世纪海上丝绸之路”。李克强总理在2014年政府工作报告中指出，抓紧规划建设“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”；在2015年3月国务院常务会议上强调，要顺应“互联网+”的发展趋势，促进新一代信息技术与现代制造业、生产性服务业等的融合创新。海洋测绘地理信息技术，将培育海洋地理信息产业新的增长点，作为“互联网+”体系的重要组成部分，正在加速对接“一带一路”，为“一带一路”工程助力。

海洋测绘是提供海岸带、海底地形、海底底质、海面地形、海洋导航、海底地壳等海洋地理环境动态数据的主要手段；是研究、开发和利用海洋的基础性、过程性和保障性工作；是国家海洋经济发展的需要、海洋权益维护的需要、海洋环境保护的需要、海洋防灾减灾的需要、海洋科学研究的需要。

我国是海洋大国，海洋国土面积约300万平方千米，大陆海岸线约1.8万千米，岛屿1万多个；海洋测绘历史“欠账”很多，未来海洋基础测绘工作任务繁重，对海洋测绘技术有巨大的需求。我国大陆水域辽阔，1平方千米以上的湖泊有2700多个，面积9万多平方千米；截至2008年年底，全国有8.6万个水库；流域面积大于100平方千米的河流有5万余条，内河航道通航里程达12万千米以上；随着我国地理国情监测工作的全面展开，对于海洋测绘科技的需求日趋显著。

与发达国家相比，我国海洋测绘技术存在一定的不足：(1)海洋测绘人才培养没有建制，科技研究机构稀少，各类研究人才匮乏；(2)海洋测绘基础设施比较薄弱，新型测绘技术广泛应用缓慢；(3)水下定位与导航精度不能满足深海资源开发的需要；(4)海洋专题制图技术落后；(5)海洋测绘软硬件装备依赖进口；(6)海洋测绘标准与检测体系不健全。

特别是海洋测绘科技著作严重缺乏，阻碍了我国海洋测绘科技水平的整体提升，加重了从事海洋测绘科学研究等的工程技术人员在掌握专门系统知识方面的困难，从而延缓了海洋开发进程。海洋测绘科技著作的严重缺乏，对海洋测绘科技水平发展和高层次人才培养进程的影响已形成了恶性循环，改变这种不利现状已到了刻不容缓的地步。

与发达国家相比，我国海洋测绘方面的工作起步较晚；相对于陆地测绘来说，我国海

洋测绘技术比较落后，缺少专业、系统的教育丛书，相关书籍要么缺乏，要么已出版 20 年以上，远不能满足海洋测绘专门技术发展的需要。海洋测绘技术综合性强，它与陆地测绘学密切相关，还与水声学、物理海洋学、导航学、海洋制图、水文学、地质、地球物理、计算机、通信、电子等多学科交叉，学科内涵深厚、外延广阔，必须系统研究、阐述和总结，才能一窥全貌。

基于海洋测绘著作的现状和社会需求，山东科技大学联合从事海洋测绘教育、科研和工程技术领域的专家学者，共同编著这套《海洋测绘丛书》。丛书定位为海洋测绘基础性和技术性专业著作，以期作为工程技术参考书、本科生和研究生教学参考书。丛书既有海洋测量基础理论与基础技术，又有海洋工程测量专门技术与方法；从实用性角度出发，丛书还涉及了海岸带测量、海岛礁测量等综合性技术。丛书的研究、编纂和出版，是国内外海洋测绘学科首创，深具学术价值和实用价值。丛书的出版，将提升我国海洋测绘发展水平，提高海洋测绘人才培养能力；为海洋资源利用、规划和监测提供强有力的基础性支撑，将有力促进国家海权掌控技术的发展；具有重大的社会效益和经济效益。

**《海洋测绘丛书》学术委员会**

2016 年 10 月 1 日

# 前 言

海洋水文测量是获取海洋几何、物理和化学性质的重要手段，是人类认知、开发和利用海洋的基础。长期以来，我国的海洋水文测量基本上都是近岸测量，其目的是为了满足沿海人民生产、生活的需要，对于我国辖属海域及远海水文要素测量涉足较少。随着我国“一带一路”、“海上丝绸之路”等海洋强国倡议的实施以及计算机、声学、无线电传输和电子等相关技术的快速发展，现代海洋水文测量已进入了一个高速发展时期，初步具备了海洋水文要素获取的实时性、密集性、立体性、长期性和系统性等特点。

为更好地呈现现代海洋水文测量的内容和技术特点，本书在分析现有水文测量技术特点、发展现状和趋势的基础上，重点介绍了海洋水文测量中的水深测量、海洋物理性质测量、海洋化学性质测量、潮汐测量、海流测量、波浪测量、泥沙测量；并在此基础上，介绍了海洋水文要素的整编。最后，为便于理解，结合实例，进一步阐述了上述水文要素的测量和整编过程。

全书共 10 章，章节安排如下：首先，在第 1 章绪论，重点介绍了海洋水文测量的意义，内容，发展历程、现状及趋势；第 2 章水深测量，介绍了测深杆法、测深锤（铅锤、水砣）法、铅鱼测深法、单波束测深法、多波束测深法、机载激光测深法、ADCP 测深法、深度计算法等水深测量方法；第 3 章海洋物理性质测量，主要介绍了温度、盐度、透明度、水色、海发光及海冰观测方法；第 4 章海洋化学性质测量，重点介绍了海水的化学组成、性质及测量方法；第 5 章潮汐测量，介绍了海洋潮汐的基本概念，水尺验潮、井式验潮、超声波验潮、压力式验潮、声学验潮及 GNSS 潮位测量设备及测量和遥报方法；第 6 章海流测量，介绍了海流的测量原理、测量设备、测量方法及数据处理和分析方法；第 7 章波浪测量，重点介绍了波浪的分类、测量原理、测量设备及测波杆测波、压力测波、声学测波、重力测波和遥感测波等方法及成果处理方法；第 8 章泥沙测量，介绍了泥沙的分类、测量原理、测量设备及 6 种泥沙测量方法和数据处理方法；第 9 章海洋水文资料整编，重点介绍了水位、潮位、水文、波浪、潮流和泥沙资料的整编方法；最后，在第 10 章结合海洋水文测量实例，对海洋水文要素的测量和整编过程给予了详细介绍。

本书第 1 章由田淳撰写，第 2 章由周丰年撰写，第 3、4 章由高宗军、冯建国、周丰年等撰写，第 5、7、8、9 章由田淳、周丰年等撰写，第 6 章由杨鲲、安永宁、张田雷、刘盾、文先华、成晔、祁祥礼撰写，第 10 章由刘桂平撰写。此外，黄子轩、储林韬、柴江波、梁文彪等人承担了本书的资料整理、图片绘制和初稿校对工作。

由于本书涉及内容较多，加之编者知识有限，难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水文测量的意义	1
1.2 水文测量的发展历程	2
1.3 水文测量要素	4
1.4 水文测量的现状与发展	5
第 2 章 水深测量	8
2.1 测深杆测深法	8
2.2 测深锤测深法	9
2.3 铅鱼测深法	10
2.4 单波束测深	12
2.5 ADCP 测深	14
2.6 多波束测深	16
2.7 机载激光测深	20
第 3 章 海水物理性质测量	22
3.1 海水温度测量	22
3.1.1 海水温度的分布特征	22
3.1.2 仪器、设备	24
3.1.3 技术方法	32
3.2 海水的盐度测量	38
3.2.1 海水盐度的分布特征	39
3.2.2 海水盐度的表示	39
3.2.3 盐度测量原理	40
3.2.4 技术方法	43
3.3 海水的透明度、水色和海发光观测	44
3.3.1 海水透明度的观测	45
3.3.2 水色观测	47
3.3.3 海发光观测	52
3.4 海冰观测	53
3.4.1 海冰	54

3.4.2 海冰观测 .....	55
<b>第4章 海水化学性质测量 .....</b>	<b>63</b>
4.1 海水的化学性质 .....	63
4.1.1 海水的 pH 值 .....	65
4.1.2 海水的总碱度 .....	65
4.1.3 海水的主要溶解成分 .....	67
4.1.4 海水中的溶解氧 .....	68
4.1.5 海水中的微量元素 .....	68
4.1.6 海水中的营养盐 .....	68
4.2 海水化学性质的测量 .....	70
4.2.1 海水样品采集与储存 .....	70
4.2.2 溶解氧测定 .....	73
4.2.3 pH 值测定 .....	81
4.2.4 亚硝酸盐测定 .....	85
4.2.5 硝酸盐测定 .....	88
4.2.6 氯化物测定 .....	91
4.2.7 总磷测定 .....	94
<b>第5章 潮汐测量 .....</b>	<b>98</b>
5.1 潮汐的基本概念 .....	98
5.1.1 潮汐的产生原理 .....	98
5.1.2 潮汐的基本要素及类型 .....	100
5.1.3 潮汐调和分析 .....	102
5.2 潮位测量原理 .....	109
5.2.1 水尺验潮原理 .....	110
5.2.2 井式自记验潮原理 .....	110
5.2.3 超声波潮汐计验潮原理 .....	110
5.2.4 压力式验潮仪原理 .....	111
5.2.5 声学式验潮仪原理 .....	112
5.2.6 GNSS 验潮原理 .....	113
5.3 常用仪器设备 .....	113
5.3.1 水尺 .....	113
5.3.2 井式自记验潮仪 .....	114
5.3.3 超声波潮汐计验潮仪 .....	115
5.3.4 压力式验潮仪 .....	116
5.3.5 水文专用浮标综合测量系统 .....	117
5.4 通信传输 .....	119

5.4.1	水下数据通信 .....	119
5.4.2	空中数据通信 .....	120
5.4.3	数据集成 .....	120
5.5	技术方法 .....	121
5.5.1	技术指标 .....	121
5.5.2	观测方法 .....	121
5.6	观测成果分析整理 .....	122
<b>第6章</b>	<b>海流测量</b> .....	<b>126</b>
6.1	海流 .....	126
6.2	测量原理 .....	127
6.2.1	机械旋桨式海流计测量原理 .....	127
6.2.2	电磁海流计测量原理 .....	129
6.2.3	声学多普勒海流计测量原理 .....	131
6.2.4	声学多普勒海流剖面仪测量原理 .....	133
6.3	主要仪器设备 .....	133
6.3.1	机械旋桨式海流计 .....	134
6.3.2	电磁海流计 .....	137
6.3.3	声学多普勒海流计 .....	138
6.3.4	声学多普勒海流剖面仪 .....	140
6.3.5	海流计的发展 .....	142
6.4	技术方法 .....	142
6.4.1	技术指标 .....	142
6.4.2	观测方法 .....	145
6.5	观测成果分析整理 .....	149
6.5.1	报表 .....	149
6.5.2	海流矢量图 .....	151
6.5.3	潮流历时 .....	152
6.5.4	潮位及流速-流向过程线 .....	152
6.5.5	潮段垂线平均流速、流向 .....	153
6.5.6	垂线平均最大流速 .....	153
6.5.7	最大流速特征值 .....	154
6.5.8	潮段平均流速垂向分布 .....	154
6.5.9	潮流准调和分析 .....	155
<b>第7章</b>	<b>波浪测量</b> .....	<b>160</b>
7.1	波浪 .....	160
7.1.1	波浪分类 .....	160

7.1.2	波浪要素 .....	161
7.1.3	随机波统计理论基础 .....	162
7.2	测量原理 .....	167
7.2.1	测波杆 .....	168
7.2.2	压力测波仪 .....	168
7.2.3	声学测波仪 .....	168
7.2.4	重力测波仪 .....	169
7.2.5	遥感测波 .....	169
7.3	主要仪器设备 .....	170
7.3.1	重力式测波仪 .....	170
7.3.2	压力式测波仪 .....	175
7.3.3	声学式测波仪 .....	177
7.3.4	遥感测波仪 .....	182
7.4	技术方法 .....	183
7.4.1	技术指标 .....	183
7.4.2	观测方法 .....	184
7.5	观测成果分析整理 .....	185
7.5.1	目测海浪记录的整理 .....	185
7.5.2	仪测海浪记录的整理 .....	186
<b>第8章</b>	<b>泥沙测量</b> .....	<b>188</b>
8.1	泥沙 .....	188
8.1.1	泥沙的分类 .....	188
8.1.2	泥沙絮凝 .....	189
8.1.3	粒径级配 .....	190
8.2	测量原理 .....	192
8.2.1	过滤称量法 .....	192
8.2.2	电磁波遥感法 .....	193
8.2.3	声学法 .....	193
8.2.4	现场激光测沙仪 .....	193
8.3	主要仪器设备 .....	193
8.3.1	泥沙采样器 .....	193
8.3.2	光学式仪器设备 .....	195
8.3.3	声学式仪器设备 .....	201
8.4	推移质泥沙测量技术方法 .....	201
8.4.1	推移质泥沙测验仪器的选择及使用 .....	201
8.4.2	床沙采样器的选择 .....	201
8.4.3	床沙采样器的使用 .....	202

8.4.4 卵石床沙采样器的使用 .....	202
8.4.5 库沙取样及河段床沙调查 .....	202
8.4.6 床沙取样方法 .....	202
8.5 技术指标 .....	203
8.5.1 悬浮泥沙水样采集 .....	203
8.5.2 悬浮泥沙和底质颗分取样 .....	203
8.6 观测成果分析整理 .....	203
<b>第9章 海洋水文资料整编</b> .....	<b>208</b>
9.1 水位资料整编 .....	208
9.1.1 水位资料整编工作内容 .....	208
9.1.2 水位资料整编注意事项 .....	208
9.2 潮位资料整编 .....	209
9.2.1 潮位资料整编工作内容 .....	209
9.2.2 潮位插补原则 .....	209
9.2.3 单站资料合理性检查原则 .....	210
9.3 水温资料整编 .....	210
9.4 波浪资料整编 .....	212
9.5 潮流资料整编 .....	212
9.6 泥沙资料整编 .....	215
<b>第10章 海洋水文测量实例</b> .....	<b>220</b>
10.1 港口人工岛工程海流、泥沙、底质观测 .....	220
10.1.1 概况 .....	220
10.1.2 测量布置 .....	220
10.1.3 测量依据 .....	221
10.1.4 仪器设备 .....	221
10.1.5 现场测量 .....	222
10.1.6 内业计算与分析 .....	223
10.2 洋山深水港施工期潮流跟踪监测分析 .....	225
10.2.1 概况 .....	225
10.2.2 测量布置 .....	225
10.2.3 测量依据 .....	226
10.2.4 仪器设备 .....	227
10.2.5 现场测量 .....	227
10.2.6 成果分析 .....	228
<b>参考文献</b> .....	<b>235</b>

# 第 1 章 绪 论

21 世纪是海洋世纪，目前世界上有 100 多个沿海国家都在开发海洋资源，拓展海洋空间。我国是海洋大国，濒临渤海、黄海、东海和南海，大陆岸线长 18000 千米，岛屿岸线长 14000 千米，海岛 6500 多个，管辖海域约 300 万平方千米，相当于陆地国土面积的三分之一。海洋蕴藏着丰富的资源，不仅有许多重要的渔场，大面积的近海养殖区，还有不可忽视的海上航运通道。海洋经济以年均 20% 的速度增长。海洋正在为人类的生活和生产提供越来越多的资源和能源。

## 1.1 水文测量的意义

发展海洋经济的首要任务就是调查海洋资源现状、估算容量、评估潜力，据此制定合理的开发方案。海洋测绘是了解、探索海洋的最直接手段，其中海洋水文测量既是基础又是核心。中华人民共和国成立初期，由于相对忽视海洋国土教育，海洋科技发展一度缓慢，尽管后来奋起直追，我国海洋科学技术的总体实力与海洋强国之间还存在不小的差距。海洋水文测量技术的落后制约了我国在海洋各个方面的进步。我国的海洋水文测量基本上是近岸测量，其目的是为了满足不同沿海人民生产、生活的需要，然而对于 300 万平方千米的海域监测能力较为欠缺，全球性的海洋水文测量更是很少涉及。如今，计算机技术、先进的能源技术、无线电传输技术和电子技术的应用，使海洋水文测量进入了一个高速发展时期。海洋水文测量正向着实时、密集、立体、长期、系统的方向发展，世界上重要的海洋国家都十分注重海洋水文测量，因此我国应当追踪国际前沿技术动态，深化国际合作，吸取经验，谋求更快更好地发展。

海洋水文测量是为了解海洋水文要素分布状况和变化规律进行的观测。观测项目随调查任务而定，一般包括：水深、水温、盐度、海流、波浪、水色、透明度、海冰、海发光等观测。通过测定海水参数、掌握潮汐规律、追踪波浪传播、把握水文脉动，海洋水文测量为我们开发利用海洋资源提供了基础数据参考和规划制定依据。然而在向海洋要资源的同时也要注重海洋保护，做到可持续发展，为子孙后代留下广阔的生存空间。数据表明，海洋灾害造成的损失近几年也越来越严重。目前，近海环境已经受到了不同程度的污染，主要污染物来源是陆地的生产生活污水的排放。每年直接排入海的污水，包括生活污水和工业污水达到亿吨。在近海海域，尤其是港口、河口、半封闭海湾以及大中城市毗邻海域，造成较为严重的污染。除了污染海水，还有大量的污染物在海底沉积下来，形成新的污染源。每当受到大风吹动搅拌，泛起的沉积物使海水水质迅速下降。陆地上日益增加的农药和化肥的用量也对海洋产生影响，在一些海域影响了生物的生存环境。此外，我国

的养殖总量占全球的74%，每年排放的养殖污水近千亿吨。养殖排放的污水含有大量的营养盐，易导致海水富营养化，诱发赤潮灾害，造成生态系统的紊乱。海上活动的增加导致突发性污染灾害的频次在逐年提高，造成的污染危害也越来越严重。海水水质下降导致海洋生物资源量锐减，养殖病害加剧，灾害损失量加大。每年国家的海洋经济都会因为污染蒙受巨大损失。然而，海洋污染对生态系统的影响更是长期的，有些是不可逆的，还将进一步影响子孙后代的生存环境。

除了受到海洋污染、海洋赤潮等多种海洋环境灾害的影响，我国沿海地区还受到台风、海浪、风暴潮等多种动力现象形成的灾害的影响，是世界上海洋灾害最严重的国家之一。随着经济的快速发展，我国的海上作业活动越来越多，建设了海岛港口和水中港口，因此安全的海上运输变得越来越重要。我国海洋捕捞业是永恒的产业，数百万渔民常年在风浪中作业。我国的滩涂养殖业迅猛发展，成为海洋经济的支柱产业，这些都决定了海上作业的规模和强度在逐年扩大和变强，海上安全问题已经成为不容忽视的问题。

这一切，都需要海洋水文测量提供宝贵的数据，海洋水文测量已经成为海上安全保障的第一需要。随着海洋经济的发展，海洋环境问题、生态问题、灾害问题日益凸显，迫切需要迅速解决这些问题。然而，科技人员苦于没有充分的数据，许多研究工作无法开展。海洋监测能力薄弱已经成为制约我国海洋科技发展的关键因素之一。测量技术水平的相对落后也使得我们很难主导国际级的海洋测量计划。更为紧迫的是，我国还面临着严峻的海洋权益维护问题，与周边国家存在岛屿主权争议与专属经济区和大陆架划界争议，在军事上亦需加强对海洋动力及其他物理要素的监测，来维护我国国防安全。由此可见，海洋水文测量的发展已刻不容缓。

## 1.2 水文测量的发展历程

化石的研究，证明人类起源于非洲大陆。但是，人类与海洋的关系却是相当久远的。公元前8000年左右，人类已经开始了捕鱼活动，借以补充游猎时俘获物的不足。到了15世纪，海洋活动已经非常频繁，除了喧嚣一时的北欧海盗船只游弋于云山雾水之间，从事图财害命活动之外，大部分是从事和平的贸易，船只来往于亚、欧、非三大洲的沿岸。

1492年，哥伦布奉西班牙女王之命，横穿大西洋，寻求通往印度之路；1497年，葡萄牙人达伽马，率领船队绕过非洲好望角，循印度洋北上，到达印度，开辟了东方航线。

1615年，在西班牙政府的支持下，麦哲伦开始了环球航行，历时三年的艰辛航海，用事实证明地球是一个球形，“天圆地方”之说终于寿终正寝。

15—16世纪，船只远涉重洋，“发现”了北美洲、南美洲，“巡礼”了非洲沿岸，“找到”了印度和其他许多岛屿。于是，这一时期被称为伟大的“地理大发现”时代，又称为周游世界活动时期。实际上，在东方，我国航海家郑和于15世纪初率领庞大船队七下西洋，其规模之大、声威之猛，都是“地理大发现”时代所不能比拟的。

英国人科克在1768—1779年间进行了三次世界航行，在航行中已经开始注意与航行有关的一些科学考察。第一次航行期间，他在悉尼到托列斯海峡一带，测量了水深、水温、海流和风，考察了珊瑚礁，绘制了发现的岛屿与大陆海岸线，以及具有水深、海流、

潮流、风的海图。但是，有目的的海洋科学考察是从“挑战者”号开始的。“挑战者”号改装自一艘 2000 吨级英国军舰，自 1872 年 12 月至 1876 年 5 月，历时三年半，游弋于太平洋、大西洋和南极冰障附近，全部航程 127650 千米。它在 362 个点位进行了测深和生物采集，还测量了世界各地海域的地磁、海底地形、海底地质和海洋深层水温的季节变化（首先采用颠倒温度计测温）；发现世界大洋中盐类组成具有恒定性的规律；测量了海流、透明度、海洋动植物等，奠定了现代海外物理学、海洋化学、海洋地质学的基础。“挑战者”号考察报告问世之后，科学界掀起一阵波澜。原来，海洋远不是那么单调和简单，它是一个运动的、到处充满生机的浩瀚水界，有许多秘密还未为世人所知。世界各国争相效仿，于是海洋调查事业如雨后春笋般发展起来。

1831—1836 年，英国的达尔文在“贝格尔号”舰上，做南半球的航行，进行了地质和生物的考察，1859 年出版了《物种起源》一书，提出生物进化论，引起生物界一场巨大的革命。

1873—1875 年，美国“特斯卡洛拉号”在太平洋考察了水深、水温、海底沉积物等，发现了特斯卡洛拉湾渊。

1874—1876 年，德国“羚羊号”在大西洋、太平洋进行以海洋物理学为主的调查。

1877—1905 年，美国“布莱克号”、“信天翁号”在西印度群岛、印度洋、太平洋上进行以浮游生物、底栖动物以及珊瑚礁为主的调查。

1882—1883 年，第一届国际极地年(IPY)观测，研究南北极的气象、极光和地磁等有关现象，首先提出大气循环的报告。

1885—1915 年，摩纳哥“希隆德累号”、“普伦西斯·阿里斯号”等，通过由赤道至北极圈的大西洋、北冰洋、地中海的海洋物理、生物的观测，发现了新的海洋生物和水温较高的摩纳哥海，获得了大西洋的表层海流图，出版了世界海深图，还发现地中海深层水流向大西洋等现象。

1886—1889 年，俄国“勇士号”在世界航行中调查了中国海、日本海、鄂霍茨克海。

1889 年，德国“国家号”在北大西洋进行了名为“浮游生物探险”的调查，汉森进行了浮游生物的垂直和水平分布量的研究。

1893—1896 年，挪威人南森乘“弗腊姆号”在格陵兰、北冰洋作横断闭合调查，其主要发现有：(1)死水现象；(2)风海流偏离风向右边  $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ；(3)记述了北极海流系，其研究结果促使了厄克曼风海流理论的产生。

海洋调查在海洋学各个领域都有重要发现，对当时各国的政治、军事及经济都有很大的促进作用。同时也暴露了海洋调查中存在的一些问题。例如：当时的调查都是分散地进行，调查方法不统一，给海洋资料交流带来了很大困难。所以，1901 年，北欧诸国召开国际海洋研究理事会。研究统一调查方法问题，丹麦人柯纽森制成供分析盐度的标准海水，并在汉森等人的帮助下，出版了海洋常用表。当时各国海洋调查员深感单船走航式调查太落后了：资料太少，又不同步。对海洋的认识，只能通过少得可怜的数据，应该向多船合作方向发展。但是，那时世界正处动荡之中，烽火连绵，战事不断，要想做到多船多国联合实非易事，只有在第二次世界大战之后，多国多船联合调查才成为可能。

1950—1958 年，美国加利福尼亚大学斯克里普斯海洋研究所发起并主持了包括北大

平洋在内的一系列调查,最初由秘鲁和加拿大参加,随后又有美、日、苏等十余艘调查船参加。这次联合调查,是之后进行的一系列大规模联合调查的先声。

国际地球物理年(1957—1958年,IGY)和国际地球物理合作(1959—1962年,IGC)的联合海洋考察,其规模之大是空前的,调查范围遍及世界大洋,调查船有70艘之多,参加国家达17个。

到了20世纪60年代,海洋联合调查参加国越来越多,活动也越来越多:主要有1960—1964年国际印度洋的调查;1963—1965年国际赤道大西洋合作调查;1965—1970年(后又延至1972年)黑潮及其毗邻海区合作调查等。其中1960—1964年国际印度洋调查是由联合国教科文组织发起的,有13国、36艘调查船参加,是迄今为止对印度洋规模最大的一次调查。

1970年,苏联应用几十个资料浮标站,五六艘配备有最新仪器的调查船在大西洋东部进行以海流为主的调查,由于浮标阵是按多边形方式布置的,这次调查代号取名为“多边形”。经过半年多的观测,发现在这个弱流区域内(平均流速为 $1\text{cm/s}$ ),存在着流速达 $10\text{cm/s}$ ,空间尺度约为 $100\text{km}$ ,时间尺度为几个月的中尺度涡旋。这一发现,立即引起海洋学界的重视。1973年3月至6月,美、英、法三国的15个研究所,利用几十个浮标、六艘调查船和两架飞机组成联合观测网,对北大西洋西部的一个弱流海区,进行了一次代号为MODE的大洋动力学实验,观测结果表明那里也存在中尺度的涡旋。

1986—1992年中、日黑潮合作调查,对台湾暖流、对马暖流的来源、路径和水文结构等提出了新的见解,对海洋锋、黑潮路径和大弯曲等有了进一步的认识。

1990年之后,世界大洋范围内的环流调查,即“WOCE”计划逐步展开;同时,热带海洋与全球大气-热带西太平洋海气耦合响应试验,即“TOGA-COARE”也在进行,调查旨在了解热带西太平洋“暖池区”通过海气耦合作用对全球气候变化的影响,从而进一步改进和完善全球海洋和大气系统模式。

无人浮标站的应用可以取得全天候的连续资料,特别是海洋卫星遥感资料问世,开创了空间海洋学时代,海洋立体化调查终于登上历史舞台。

海洋立体观测系统是利用多种技术手段,进行综合的、三维空间的观测组合系统。它应用卫星、飞机、调查船、浮标、岸边测站、潜器、水下装置等作为观测平台,通过各种测量仪器和传输手段,实现资料的同步(或准同步)采集、实时传递和自动处理。海洋立体观测系统可以获取多参数的、完整的海洋资料,实现对海洋大面积、多层次监测,是人类深入了解海洋现象、掌握海洋时空变化规律的重要技术手段。

### 1.3 水文测量要素

海洋水文测量的对象是海洋,而海洋与陆地的最大差别是海底以上覆盖着一层动荡不定的、深浅不同的、所含各类生物和无机物质有很大区别的水体。这一水体的存在,使海洋测量在内容、仪器、方法上有明显不同于陆地测量的特点:这一水体,使目前海洋测量工作只能在海面航行或在海空飞行中展开,而难以在水下活动。海洋测量的内容主要是探测海底地貌和礁石、沉船等地物,没有陆地那样的水系、居民地、道路网、植被等要素,

而且海底地貌也比陆地地貌要简单得多，地貌单元巨大，很少有人类活动的痕迹。但这并不是说海洋测量比陆地测量要简单得多，相反，海洋测量在许多方面比陆地测量要困难。

人们熟知海洋之大，却未必知道需要监测的海洋参数之多。海洋监测对象可以分为动力参数和生态环境参数两大类：

需要监测的动力参数主要有：温度、盐度、潮汐、潮流、海流(流速、流向)、海浪(波高、周期、波向)、海冰、海底地貌等。

需要监测的生态环境参数主要有：海水透明度、泥沙、黄色物质、叶绿素、溶解氧、化学耗氧量、生物耗氧量、有机氮、重金属等。

本书将针对海洋水文要素，介绍其概念、测量方法及其案例。

## 1.4 水文测量的现状与发展

海洋水文测量是测绘科学研究的一个重要组成部分，它的主要任务是对海洋几何场和物理场参数进行精密测定和描述，其目的是为人类的活动提供必要的海洋空间信息。20世纪50年代以来，随着计算机技术和信息获取手段的改进和发展，海洋测量突破了传统海道测量的内容和范围，发展成对海面、水体、海底全方位、多要素的综合测量，获取包括大气(气温、风、雨、云、雾等)、水文(海水温度、盐度、密度、潮汐、波浪、海流等)以及海底地形、地貌、底质、重力、磁力、海底扩张等各种信息数据。传统海洋测量仅局限于基于船载设备的点测量，如单波束测深系统，难以实现面扫测。机载激光测深、多波束测深以及侧扫声呐系统等一批具有全覆盖、高效率和高精度特点的高新技术测量设备的出现，已经使海洋测量从过去的点线测量模式转变为带状测量模式。同时，LiDAR系统、航空重力或磁力测量以及水深遥感的发展和应用，使海洋测量呈现现代化、立体化的态势，海洋测量正在突破传统的时空局限，进入以数字测量为主体、以计算机技术为支撑、以3S(GPS、GIS、RS)技术为代表的现代海洋测量新阶段。

海洋水文测量内容随着工程需求的拓展，涉足的领域也越来越广。卫星遥感、扫测技术、水下摄影、水下电视等非接触式测量技术在海洋测量中的广泛应用，使得遥感技术与海洋测量密切相关。

海洋水文测量是海洋调查中重要的作业内容，与现代海洋测绘的实际需求密切相关。随着走航式温盐深计的出现，动态情况提取不同水层的温度和盐度，为立体海洋温度、盐度分布研究提供了丰富的数据，彻底打破了当前点测量的局限。在遥控、遥报潮位观测和GPS航潮位测量方法出现后，潮位观测自动化和精确性均得到很大程度的提高。海流的流速和流向目前通过测站式或走航式ADCP测定，相较于传统方法，ADCP加快了测量速度，体现了三维流速和流向的特性，从而提高了测量精度和范围。

近年来，随着水下GPS技术的发展，利用GPS实现海底控制点(网)坐标的联测已成为现实。在测深技术方面，与传统的单波束测深相比较，多波束系统具有测量范围大、速度快、精度高、记录数字化以及成图自动化等诸多优点，将测深技术从传统的点、线扩展到面，并进一步发展到立体测图和自动成图，从而使海底地形测量技术发展到一个较高的水平。LiDAR因其具有测量速度快、精度高等特点，在定位、定姿、归位计算和数据融