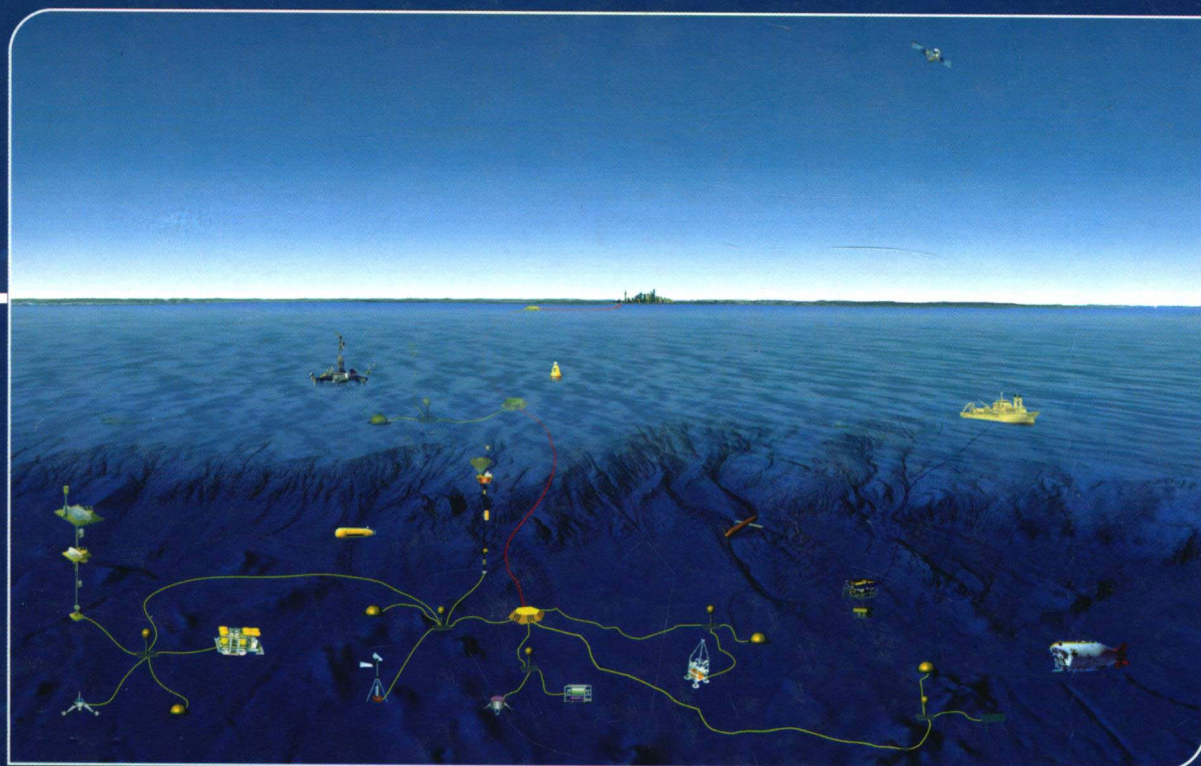




上海海洋科技研究中心（筹） 编著
海洋地质国家重点实验室（同济大学）

海底观测

——科学与技术的结合



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

海底观测

——科学与技术的结合

上海海洋科技研究中心(筹) 编著
海洋地质国家重点实验室(同济大学)



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

原位、实时观测技术的发展,正在使海洋科学从“考察”向“观测”转变,海底观测系统作为地球观测的第三个平台,是实现此项转变的基本手段,已成为发达国家近十年来海洋科技前沿的新热点。本书是中文文献中第一本系统阐述海底观测系统的科学专著,是上海海洋科技研究中心(筹)和海洋地质国家重点实验室(同济大学)在多年资料收集与汇总基础上的集体成果。

本书的特色在于科学和技术的结合,从科学家的视角归纳技术进步在科学中的应用,是国际知识和国内实践的结合。全书从科学和技术结合的角度,全面阐述国际海底观测系统的科学价值和应用实例,简要介绍其关键技术,综述当前国外发展现状和经验教训,最后提出我国发展海底观测网的建议。

目前,我国正在推进海底观测系统的建设,本书可供我国从事海底观测相关工作的科研、技术和管理人员参阅,将有助于建设立项的正确导向,有助于各单位建设海底观测系统工作的顺利开展。同时,海底观测标志着海洋科学发展的新阶段,也为地球科学和生命科学开启了新方向。因此,本书不仅是广大海洋科技界人士及有关师生的重要读本,也值得地球科学和生命科学领域的专业人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海底观测:科学与技术的结合/上海海洋科技研究中心(筹),海洋地质国家重点实验室(同济大学)编著.

--上海:同济大学出版社,2011.10

ISBN 978-7-5608-4702-3

I. ①海… II. ①上…②海… III. ①海底测量
IV. ①P229.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 215325 号

海底观测

——科学与技术的结合

上海海洋科技研究中心(筹) 海洋地质国家重点实验室(同济大学) 编著

总策划 张平官 责任编辑 李小敏 凌 岚 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平 黄 维

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 上海盛隆印务有限公司

开 本 890mm×1194mm 1/16

印 张 17.5

字 数 560 000

版 次 2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4702-3

定 价 268.00 元

目 录

第1章 引言 / 1

- 1.1 从考察到观测——开创海洋科学的新时期 / 1
- 1.2 建设海底观测系统的需求 / 2
- 1.3 海底观测的特色与优势 / 4
- 1.4 编写目的与过程 / 5

第2章 海底观测科学 / 7

- 2.1 物理海洋学 / 8
 - 2.1.1 物理海洋学观测技术的发展 / 8
 - 2.1.2 洋盆尺度的观测 / 10
 - 1. 热带太平洋的 TAO 锚碇浮标阵列 / 10
 - 2. 南大西洋巴西海盆的剖面浮标 / 11
 - 3. 世界大洋的 Argo 计划 / 12
 - 2.1.3 海流通道的观测 / 14
 - 1. 大西洋经向环流减弱之争 / 14
 - 2. 北部溢流 / 15
 - 3. 低纬北大西洋海流 / 16
 - 2.1.4 湍流混合的观测 / 18
 - 1. 内潮与湍流混合 / 18
 - 2. 太平洋湍流混合的观测 / 18
- 2.2 海洋沉积学 / 20
 - 2.2.1 海洋沉积学与观测 / 20
 - 2.2.2 沉积物捕集器测量颗粒沉降 / 21
 - 1. 沉积物捕集器的类型 / 22
 - 2. 沉积物捕集器的应用 / 24
 - 2.2.3 悬移沉积物的原位测定 / 26
 - 1. 海底边界层与雾状层 / 26
 - 2. 悬移沉积物的原位观测方法 / 27

2.2.4	近底过程原位观测的应用 / 30
1.	北大西洋 HEBBLE 计划 / 31
2.	加利福尼亚蒙特里湾 / 33
3.	加利福尼亚 Eel 河口 / 34
4.	台湾高屏溪河口 / 37
2.3	海洋生物 / 39
2.3.1	海洋生物学的新时期 / 39
2.3.2	浮游生物 / 41
1.	浮游植物的化学与光学分析 / 41
2.	光学观测技术与海洋生物光学 / 43
3.	基因技术与微生物海洋学 / 44
4.	浮游动物的观测 / 47
2.3.3	底栖生物 / 49
1.	海底动物的观测 / 49
2.	底栖生物群落与底栖通量 / 52
3.	海底微生物 / 55
2.4	海洋化学 / 59
2.4.1	海洋化学的观测 / 59
2.4.2	羽状流 / 59
1.	近岸海底地下水溢出 / 59
2.	深海热液羽状流 / 60
3.	冷泉的甲烷喷溢 / 63
2.4.3	溶解气体 / 65
1.	甲烷 / 65
2.	溶解氧 / 69
3.	溶解二氧化碳 / 72
2.4.4	营养盐 / 76
1.	营养盐的测定 / 76
2.	营养盐与生产力 / 77
2.4.5	深海海底的化学探测 / 79
1.	生命活动的原位测量和保压装置 / 79
2.	微生物的原位培育实验 / 80
3.	热液口化学参数的原位测定 / 81

- 2.5 海底地震 / 82
 - 2.5.1 海底地震观测的科学目标 / 82
 - 1. 研究地球内部结构 / 83
 - 2. 探测海底地质活动 / 84
 - 2.5.2 海底的地震观测 / 87
 - 1. 海底地震仪的布放 / 87
 - 2. 洋中脊的海底地震观测 / 88
 - 3. 宽频带海底地震仪的深海观测 / 90
 - 2.5.3 海底井下的地震观测 / 91
 - 1. 大洋钻探与井下地球物理观测 / 91
 - 2. 大洋地震网 / 91
 - 3. 西太平洋地震观测网 / 93

第3章 海底观测的若干关键技术 / 97

- 3.1 海洋观测技术的发展 / 97
- 3.2 水下观测的固定装置 / 99
 - 3.2.1 锚系 / 99
 - 3.2.2 着底器 / 104
- 3.3 水下观测的移动装置 / 106
 - 3.3.1 ALPS / 106
 - 3.3.2 水下滑翔机 / 108
 - 3.3.3 海底车 / 110
- 3.4 海底下的观测 / 112
 - 3.4.1 从海底井塞到井下观测系统 / 112
 - 1. 海底井塞的由来与结构 / 112
 - 2. 海底井塞的发展与种类 / 114
 - 3. 海底井下观测系统 / 117
 - 3.4.2 海底节点长期地震观测 / 120
- 3.5 海底观测技术的组合与联网 / 122
 - 3.5.1 观测站 / 122
 - 3.5.2 观测网 / 124

第4章 海底观测系统的现状与趋势 / 129

4.1 海底观测网站的历史与现状 / 129

4.1.1 世界四大深海长期观测站 / 129

1. 夏威夷 HOT 站 / 130
2. 百慕大 BATS 站 / 133
3. 东北太平洋 M 站 / 136
4. 北大西洋 PAP 站 / 139

4.1.2 美洲海底观测站 / 142

1. LEO-15 / 143
2. MVCO / 147
3. MARS / 151
4. HUGO 和 H2O / 155
5. VENUS / 157
6. NEPTUNE-Canada / 160

4.1.3 欧洲海底观测站 / 165

1. GEOSTAR 系列 / 166
2. SN-1 / 169
3. ASSEM / 170
4. “中微子望远镜” / 171

4.1.4 日本海底观测站 / 173

1. 本州相模湾海区的海底观测 / 175
2. 北海道十胜—钏路岸外的海底观测 / 177
3. 四国室户岸外的海底观测 / 179
4. 西太平洋的 VENUS 和 Geo-TOC 观测网 / 180

4.2 海底观测网站的建设计划 / 182

4.2.1 美洲 / 182

1. OOI 计划的形成 / 183
2. 近海观测网 / 186
3. 区域观测网 / 191
4. 全球观测网 / 197

4.2.2 欧洲 / 202

1. 欧洲的 ESONET 和 EMSO 计划 / 202
2. 欧洲海底建网的科学目标 / 204
3. 欧洲的区域海底观测网 / 205
 - (1) 北冰洋网(Arctic) / 206

- (2) 挪威大陆边缘网(Norwegian Margin) / 208
- (3) 北欧海网(Nordic Sea) / 209
- (4) 豪猪盆地网(Porcupine) / 210
- (5) 亚速尔网(Azores) / 212
- (6) 伊比利亚网(Iberian) / 212
- (7) 马尔马拉海网(Marmara Sea) / 213
- (8) 利古里亚网(Ligurian) / 215
- (9) 东西西里网(East Sicily) / 217
- (10) 希腊网(Hellenic) / 218
- (11) 黑海网(Black Sea) / 219
- 4. 2. 3 亚洲 / 223
 - 1. 日本的 ARENA 计划 / 223
 - 2. 日本的 DONET 计划 / 225
 - 3. 我国台湾的“妈祖”计划 / 228

第 5 章 建设我国的海底观测系统 / 232

- 5. 1 建设我国海底观测系统的需求与进展 / 232
 - 5. 1. 1 建设的需求 / 232
 - 5. 1. 2 建设的进展 / 233
- 5. 2 我国海底观测系统的环境与特色 / 235
 - 5. 2. 1 东海内陆架 / 235
 - 5. 2. 2 南海北部 / 237
 - 5. 2. 3 我国海底观测的特色 / 238
- 5. 3 建设我国海底观测系统的方针与途径 / 238
 - 5. 3. 1 科学和技术的结合 / 239
 - 5. 3. 2 通盘规划,稳步前进 / 239
 - 5. 3. 3 充分利用国际合作渠道 / 240

参考文献 / 241

缩略词索引 / 268

第 1 章 引 言

1.1 从考察到观测——开创海洋科学的新时期

一个人类深入海底的新时期,正在来临。500 年前达·芬奇设计潜水服,130 年前凡尔纳写《海底两万里》(图 1-1),在当时都只是科学幻想。今天,不仅人类可以下潜到洋底深渊,机器人可以游弋海底火山,而且正在设计到海底铺设观察网,将要把大洋深处呈现在我们面前(Fornari, 2004)。可以设想,未来的人们打开家里的屏幕,可以像看足球赛那样观赏海底火山喷发的现场直播。其实现场实时观测不仅是深海科学的新方向,更是整个海洋科学的总趋势——一个从考察发展到观测的时代正在来临。

人类对海洋的认识,历来都是通过航海从船上取得。这就注定了我们对海洋过程的观测只能是表面的、零星的、短暂的。这种星星点点、断断续续的观测带来了许多错觉和误会。进入新世纪以来,国际海洋科技界最为令人瞩目的新动向是海底观测系统的建设。美国等

正在海底建设观测系统,要对从海底以下到水层和大气进行实时和连续的长期观测。海底观测系统标志着海洋研究开发的新时期,海洋科学正在走向一场新的革命。千百年来,人类只能乘船从海面观测地球,只能进行零星的观测,从而带来了许多对海洋的错觉和误会。20 世纪地球观测技术的革命性进展,在于遥测遥感对地观测系统的建立。人类终于能够离开地球,从空间获取地球信息,不仅极大地丰富了信息量,而且解放了观测者的视角,开创了“数字地球”和“地球系统”的新阶段。但是遥感技术的主要观测对象在于地面与海面,缺乏深入穿透的能力;而隔了平均 3 700 m 厚的水层,大洋海底难以成为遥感技术的直接观测对象。随着新世纪高科技的发展,海底观测系统正在成为新的热点。假如把地面与海面看作地球科学的第一个观测



图 1-1 (A) 达·芬奇的潜水服设计画; (B) 凡尔纳《海底两万里》插图

平台,把空中的遥测遥感看作第二个观测平台,那么新世纪在海底建立的将是观测地球的第三个观测平台(汪品先,2007)。就像大气科学有了地面气象台站一样,海底观测平台的功能是把深海大洋置于人类的监测视域之内,结果是从根本上改变人类认识海洋的途径,将海洋科学推上新台阶——这也就是学术界对于 2020 年海洋科学的憧憬(Delaney & Barga, 2010)。

海底观测平台建设的结果,将是地球科学又一次来自海洋的革命。因为深海是地球上人类了解最差的部分,海底观测将要改变的不仅是海洋而是整个地球系统科学发展的轨迹。对于海洋科学而言,则是由间断的考察模式,转向原位连续的实验观测模式,是从“看看那里有什么”的访问,转为在时间域里探索地球系统如何变化的监测(Clark, 2001)。借助于计算机、机器人、通讯和传感器等各种技术的进步,人类终于能到深海海底“蹲点调查”,而不是只在海面上“蜻蜓点水”,为海洋科学带来的突破将不只是“点”而是“面”。海底观测平台将会拉近人类与深海的关系,人们在屋里“直接”观赏深海海底现时景色的日子,已经不再遥远。

1.2 建设海底观测系统的需求

海底观测,本身就来自地球系统科学的需求。1980 年代末期开始的全球变化研究,强烈地展示出海洋对全球气候环境的重要性和长期连续观测的必要性,于是学术界的注意力投向深海的海底观测。1991 年,欧洲共同体开始进行海底连续观测的可行性研究,设计能在 6 000 m 之内的海底,进行数月 to 一年连续观测的设施,这就是所谓“深海海底实验室”(Abyssal Benthic Laboratory, ABEL;图 1-2; Berta et al., 1995)。恰如航天技术探测

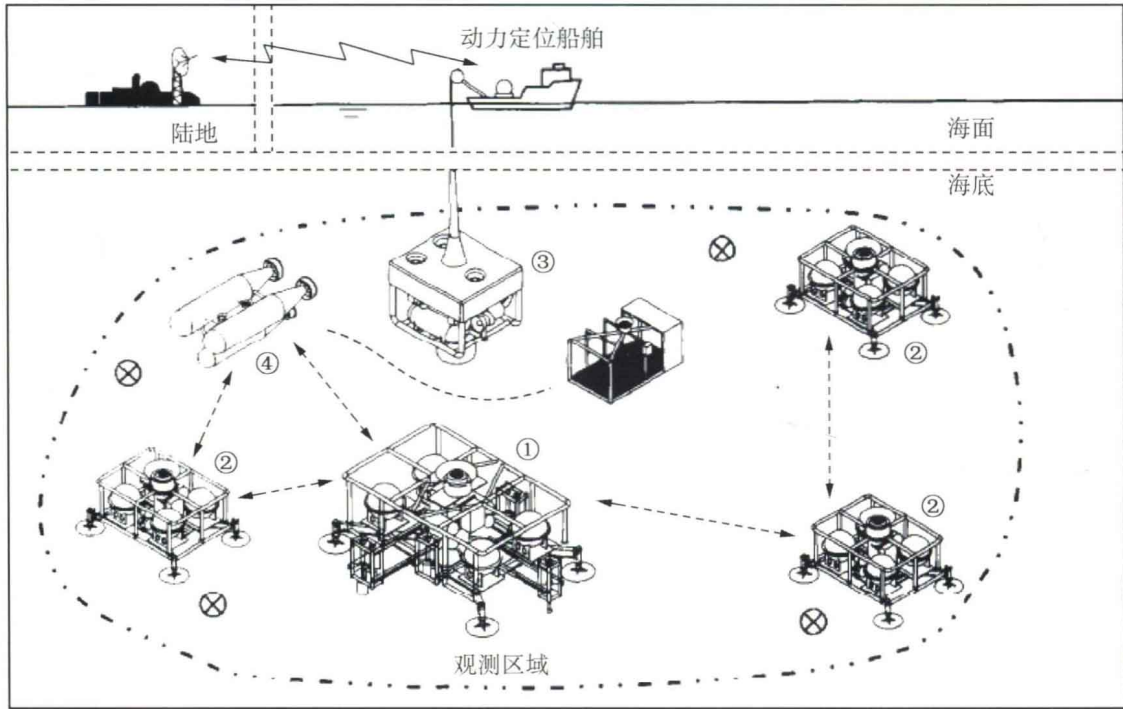


图 1-2 “深海海底实验室”(ABEL)构想图(Berta et al., 1995)

- ① 海底实验室(benthic investigation laboratory);
- ② 卫星定位站(satellite investigation station);
- ③ 投放与释放器(deployment and release module);
- ④ 水下机器人(autonomous underwater vehicle)

“外层空间”一样,“深海海底实验室”的目标是探测地球表面的“内层空间”,科学的需求十分清楚,技术的设计也已切实可行,关键是巨大的预算超过任何一个欧洲国家的能力,只有依靠欧洲共同体才能实现(Thiel et al., 1994)。经过十多年的努力争取和反复研讨,如今欧洲共同体已经形成了整体的规划,从灾害预警和气候环境出发构建欧洲岸外的海底观测网(Ruhl et al., 2011)。

其实,海底设站观测的需求最早是从地震监测提出来的(Sutton et al., 1965),早期的海底观测也有两种不同的源头:一是监测海底地震,二是监测海洋环境。日本最早的海底地震站建于1978年,将4个地震仪放到海底,并且用缆线相连,应当是有缆观测网最早的雏形(Suyehiro et al., 2003)。而最早的生态环境有缆观测站是在美国,1990年代已经有一些在运行之中,Rutger大学的“生态系统长期观测站”(Long-term Ecosystem Observatory, LEO-15)就是一例(4.1节)。这也就是说,海底观测网的观测对象既可以是海底或海底以下的过程,也可以是海水中甚至海水上层的过程,因为通过海底联网才能不受限制,做到实时和连续的观测(Glenn & Dickey, 2000)。

几年前在海洋科技发展的新世纪展望中,深海观测系统的建设始终在美国长远规划中占据中心地位。1990年代晚期美国国家科学委员会(National Research Council, NRC)发布的多次报告中,反复强调要用海底观测站等长期观测系统,去弥补航海调查传统方法的不足。2000年,W. Ryan领导的美国NRC“海底观测站委员会”(Committee on Seafloor Observatories)在佛罗里达开会,专门讨论海底观测的科学价值、技术需求和实施的可行性,会后发表了报告《照亮隐蔽的地球:海底观测科学的未来》(*Illuminating the Hidden Planet: The Future of Seafloor Observatory Science*),提出海底观测这门新的学科,也是第一次给出了海底观测站的定义:“由一系列仪器、探头和指挥器组成的、固定而无人的水下系统,用声波与陆地连接或者用海底接驳盒与海面浮标或光纤缆线相连接。”报告指出,“进行未来多学科研究的成功,海底观测将起很大的作用,在某些领域里将起决定性作用”(National Research Council, 2000)。

1998年,美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)海洋科学部指定了一个“十年小组”去评价“今后十年里海洋科学新发现和新认识中最重要和最有希望的机遇”。小组发布的报告《新千年的海洋科学》(*Ocean Sciences at the New Millennium*)得出七个主题:“海洋在全球气候中的作用”、“长期海洋观测站”、“大洋涡流”、“非平衡生态动力学”、“复杂的近海”、“海底下的海洋”和“大洋岩石圈动力学”。其中不仅突出了建设“长期海洋观测站”的必要性,而且几乎每一项科学目标的实施都含有对长期观测的需求。报告认为,“海洋缺乏广泛分布及相对连续的长序列观测,大概是我们理解大洋和全球气候的长期趋势和周期变化最主要的障碍之一,也是我们理解地震、火山爆发和海底滑坡等突发事件的最主要障碍之一”,因此建议“对长期观测系统的建设、投放和维持,给以最有力的支持”

(Ocean Science Decadal Committee, 2001)。在此基础上,美国国家科学委员会和科学基金会组织了大量研讨活动,提出了建设海底观测站的具体计划(National Research Council, 2003)。从属于总统办公室的美国科学技术理事会的海洋科技联合分会,于2006年12月发布了今后十年美国海洋科学的优先领域,从国家6个方面需求提出了21个优先主题,全都围绕三大重点:一是预测海洋过程,二是基于生态系统的海洋管理,三是海洋观测技术,而前两个重点也要靠第三个重点的发展才能实现。因此,“全球海洋观测系统的建立”已经成为美国的科技国策(NSTC Subcommittee, 2006)。

正是在多种需求的驱动下,海底观测系统在欧洲、美国、日本迅速发展,据2005年的统计,全球已经有28个海底观测站网,1990年代以来举行过许多不同规模的国际研讨会(Favali & Beranzoli, 2006),成为海洋科技界的一大新兴领域。

1.3 海底观测的特色与优势

为什么海底观测系统受到如此的重视?从技术上讲,海底观测具有两大特色和优势。

第一,观测平台深在海底。海上最宝贵、最需要的是连续观测,由于海面作业受到安全条件的限制,往往最需要的时候不能观测,比如台风时的数据就最难获取。如果把观测点放到海底,就可以不受风浪之类的限制,能够连续观测和记录各种突变的信息。更不用说深海海底的过程,现在只能用深潜器或者用地球物理手段,取得零星的或者间接的信息,而对海底的地震源区和热液活动区的了解,都迫切需要进行长期连续的观测。将仪器埋置在洋底钻孔里,能为地震监测提供灵敏度和信噪比最高的手段,也能为地壳内流体和微生物活动提供现场观测的途径。

第二,能源供应和信息传输网络化。以往各种海洋观测的技术,都有能量供应的限制和信息传送的困难,投放在海里的设备即便能自动记录,也只能在几个月之后派船取回,时间长了电池耗尽,不仅不能观测记录,甚至回收都成问题,这也是长期资料和实时信息如此缺乏的原因所在。如果将设在海底和埋在钻井中的监测仪器联网,通过电缆或光纤网络向各个观测点供应能量、收集信息,就能够进行多年连续的自动化观测,也能随时取得实时观测数据,这对于减灾防灾具有特殊意义。

海底观测系统既能向下观察海底和地球深部,又能通过锚系向上观测大洋水层;除了联网之外,还可以投放活动深海观测站,自动与监测网的节点连接上网。其优点不仅在于摆脱了电池寿命、船时与舱位、天气和数据迟到等种种局限性,科学家还可以从陆上通过网络实时监测自己的深海实验,命令自己的实验设备冒着风险去监测风暴、藻类勃发、地震、海底喷发、滑坡等各种突发事件。这是一种全新的研究途径,为观测地球过程开辟了全新的前景。

全新的性能提供全新的机会。海底观测系统打开的是科学上的广阔天地,它可以利用

海底固定和移动的设施,去探索数以千万计的深海物种,开辟深海生态学的研究途径;它可以深入到大洋水柱的深处,揭示大洋内部的环流和化学、生物学过程;固定在上升流区的观测站,将告诉我们上升流如何随时间变化,生态系统又是如何响应这些变化;实时原位的碳通量信息和其他数据结合,将告诉我们 CO_2 海气交换的实况,帮助解开碳循环之谜;大陆边缘的观测网,将看到沉积物从陆架到陆坡,最终如何进入洋底的过程。尤其新鲜的是洋底以下的世界,只有通过海底观测,才能探索“海底下的海洋”——大洋地壳里的水流循环、万年沉睡的微生物群以及天然气水合物的形成;只有海底观测,才能了解大洋中脊热液活动的不断变化,了解热液成矿和“黑暗食物链”生物群的盛衰变幻;也只有海底长期观测,才能具体地告诉我们板块是怎样俯冲的,了解“俯冲工厂”的“产品”,才能提供进一步探索板块内部热量交换、地幔对流和壳幔边界过程的信息,实时提供震源区的动静(Clark, 2001)。

1.4 编写目的与过程

本书的书名是“海底观测”,其实观测的对象从海底以下到上覆水柱,指的是不同于海面观测的水下观测。近来,我国的有关主管部门和学术界,正以高度的注意力凝视着国际海底观测系统建设的动向,满怀热情迎接着海洋科技又一次革命性的变更。与此相关的科技项目正在出台,学术会议纷纷举行,文章书籍也陆续发表和出版。我们注意到,在各种会议上,谈得比较多的是海底观测系统的建设和技术问题,然而有两个非常根本的问题,却不大引起注意:第一,海底观测系统究竟是干什么用的?第二,海底观测网在国际上是怎么发展而来的?其实,海洋的观测既有海底,也有水层;观测手段既有固定平台,也有活动平台;即便是海底的固定平台,也有需要联网和不需要联网之分,绝对不都是“海底观测网”。根据建立的目的不同,既有目标比较单一的专用观测系统(如以声学手段监测水下目标为主的军用观测系统,以地震监测为主的海底地震监测系统),也有强调多学科联合、以海洋探索为目标,甚至建有科普功能的科学观测系统,这两大类的设备复杂程度、数据提供的公开程度悬殊,不容混淆。

我们在讨论观测网建设时,也不能只注意其技术方面。其实国际的经验都总是先有科学问题,才有观测系统的设计。世界各地的海洋各不相同,各国的观测系统也各有差异,只有了解人家是如何提出科学问题,如何据此进行设计的,才能正确考虑我们的观测系统。国外提出海底观测系统是长期海洋观测的发展和需求,是几十年来摸索的结果,建设中的观测网也是现有观测站的提升。我国要争取跨越式的发展,但不能搞“大跃进”一拥而上。我国海洋现场观测的基础极为薄弱,学术界对观测网的认识也不尽一致。尽管大家都同意其重要性,但是究竟建成了做什么、究竟如何建设,看法并不相同。为此,有必要追溯国外的历程,看他们的观测网是怎么发展过来的,海洋观测解决些什么问题,然后才能更好地理解他

们现在的设计,争取在我国的建设中少走歪路。——这正是本书编写的出发点。

本书是上海海洋科技中心(筹)和海洋地质国家重点实验室(同济大学)在多年资料收集与汇总基础上的集体成果。针对我国科学与技术常常脱节的弱点,我们试图从两者结合的层面上介绍海底观测系统,并以服务科学应用为主要目的。作为准备,我们先后印发了两份调查研究报告,包括2006年底的《国际海底观测系统调查研究报告》(海洋地质国家重点实验室(同济大学),2006),和2010年春的《海底观测——专题综述汇编》(《海底观测》编写组,2010)。2008年5月,海洋地质国家重点实验室组织了海底观测国际研讨会(International Workshop on Seafloor Observation),邀请了美国、加拿大、德国、法国、日本等五国的10位海底观测科学家、工程技术专家和管理工作者,在三天的研讨中分别介绍各国的现状和经验,随后还办了三天培训班,传授实际知识。

全书共分5章,除本章引言外,第2章讨论海底观测系统的科学目的,从物理海洋、海洋沉积、海洋生物、海洋化学和海底地震5个方面展开,第3章介绍海底观测系统的若干关键技术,第4章介绍国际现有的观测系统和建设计划,第5章讨论中国建设海底观测网的问题。总体说来,这是一本从科学角度写海底观测的书籍,试图向科学界介绍海底观测新技术提供了哪些研究的新途径和新手段,向技术界说明海底观测系统被学术界拿来做什么用。这本书既不是海洋科学的专著,也不是海洋技术的汇总,只是想在两者交叉的层面为读者提供方便,先按学科(第2章)、后按地区和台站(第4章)对海底观测网进行介绍,并且引用了较多的文献便于读者进一步追踪。本着有所为有所不为的原则,在第3章介绍海底观测的关键技术时,只选择了固定平台、活动装置等几个方面做简单的讨论,并不包含传感器、联网技术、数据管理等部分。

参加本书撰写的有同济大学汪品先、李建如、许惠平、刘志飞、吴加学、范代读、周怀阳、王虎、季福武、李江涛、杨群慧、王汝建、杨挺、薛梅、贺娟、王鹏、吴加学、刘堂晏等,全书由汪品先、李建如主编定稿。其中参加撰写第2章的最多,吴加学撰写2.1节,范代读撰写2.2节,贺娟、王鹏撰写2.3节,周怀阳、王虎、李江涛、杨群慧撰写2.4节,杨挺、薛梅参加2.5节的撰写;许惠平、周怀阳、季福武、王虎等参加了第3章的写作;吴加学、李建如、刘志飞、王汝建参加了第4章的写作。徐景平、吴立新、焦念志等审阅部分章节,Bilal Haq和丁抗等提供资料,翦知湓、许惠平、张艳伟、杨守业、方家松、彭晓彤、薛梅、张燕武、周怀阳、范代读、刘志飞、王汝建、丁抗等分别对本书最终稿的不同章节进行了审校,在此一并致谢。

第2章 海底观测科学

海底观测是科学与技术的结合,也是多种海洋学科的结合。发生在海洋和海洋底下的过程,包含着海洋科学从物理到生物,从海气交换到地球深部的各种学科(图2-1),跨越着时间和空间各十几个数量级(图2-2; Ruhl et al., 2011)。海底的现场观测必然涉及海洋科学的各个部分,但是我们的讨论只能针对海洋科学各个分支逐一展开,从学科的需求出发介绍观测技术。同时由于海洋水体的观测和海底的观测往往难以分割,我们在讨论时将从海洋观测的整体入手,但是重点将放在海底观测上。首先介绍物理海洋和海洋沉积,然后是海洋生物与海洋化学,最后深入到海底以下来讨论地震。

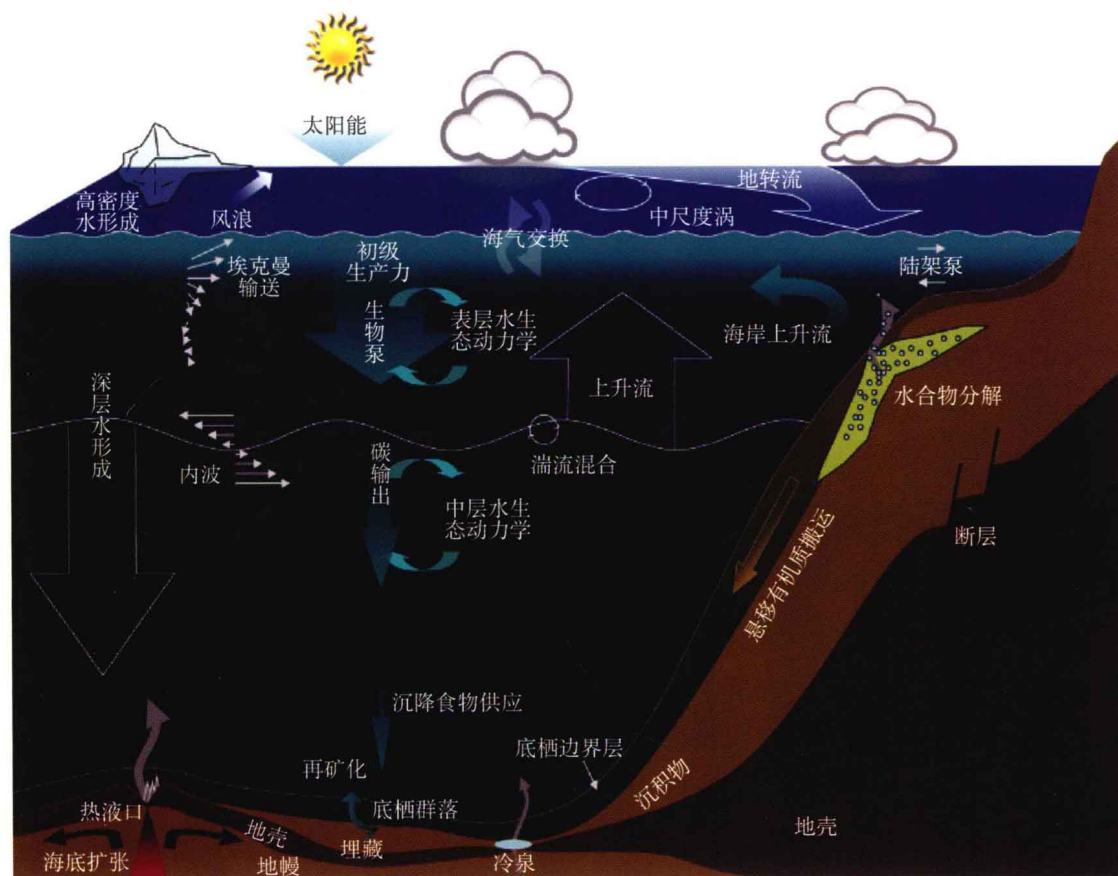
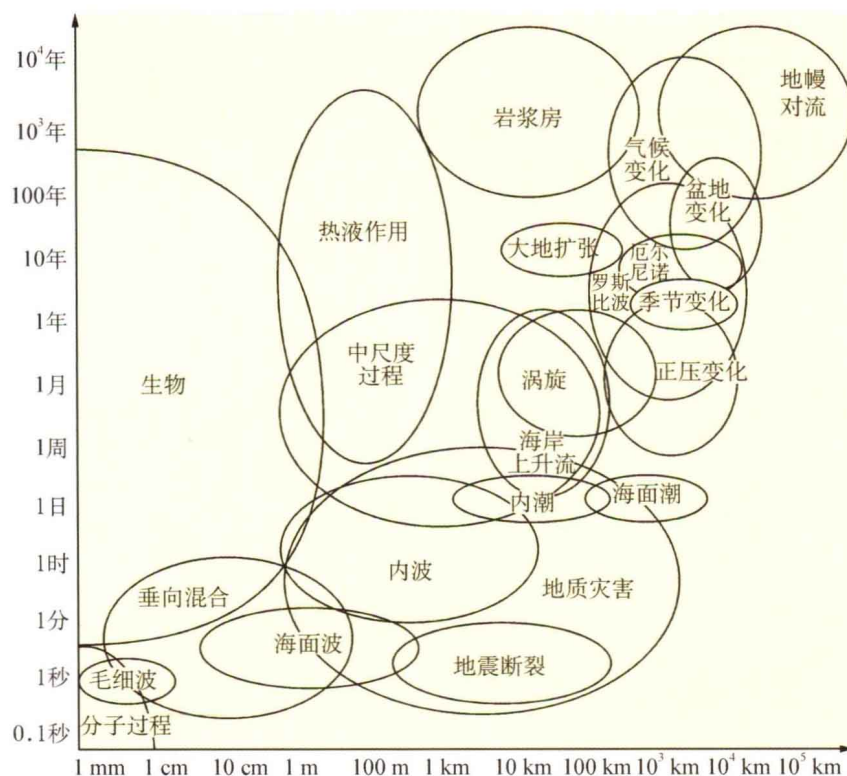


图2-1 主要的海洋过程(Ruhl et al., 2011)

图 2-2 海洋过程的时空尺度(Ruhl et al., 2011)



2.1 物理海洋学

2.1.1 物理海洋学观测技术的发展

海洋科学最早的观测,就是从物理海洋学开始的。近半个世纪以来,海洋的现场观测已经从船载扩展到水里,将仪器投放在海里进行观测,典型的工具就是浮标(buoy)。浮标可以是锚碇类型或者漂浮类型,早期主要局限在海面,现在可以从表层一直到深层,布放各种传感器观测海水的各种参数。一类是自由运动的浮标,如 Argo 计划所用的剖面浮标,属于拉格朗日型(Lagrangian)观测平台;一类是固定的锚碇浮标(moored buoys),属于欧拉型(Eulerian)观测平台。固定的锚碇浮标可以浮在海面,用于观测气象变化、研究海气交换(图 2-3A);也可以潜在水下,称为潜标(图 2-3B)。潜标虽然不能够观测风场和大气信息,但避开了表层风浪、生物腐蚀和人为破坏(Weller et al., 2000)。潜标用于各个海洋学科的观测,远不只是物理海洋学,后面将要介绍的“沉积物捕集器”就是其中一种(2.2.1 节)。

近年来开发的新技术是测制垂向剖面的锚碇浮标,将整套传感器装在一起沿着锚系的缆线上下滑行(图 2-3C)。原来的锚碇浮标只在特定的若干深度位置上安置传感器,而且不同传感器的深度还不相同;新的锚碇剖面系统(moored profiling platform)可以从海底到海面进行几乎连续的观测,而且各种传感器在一起移动,是高分辨率深海观测的理想设施

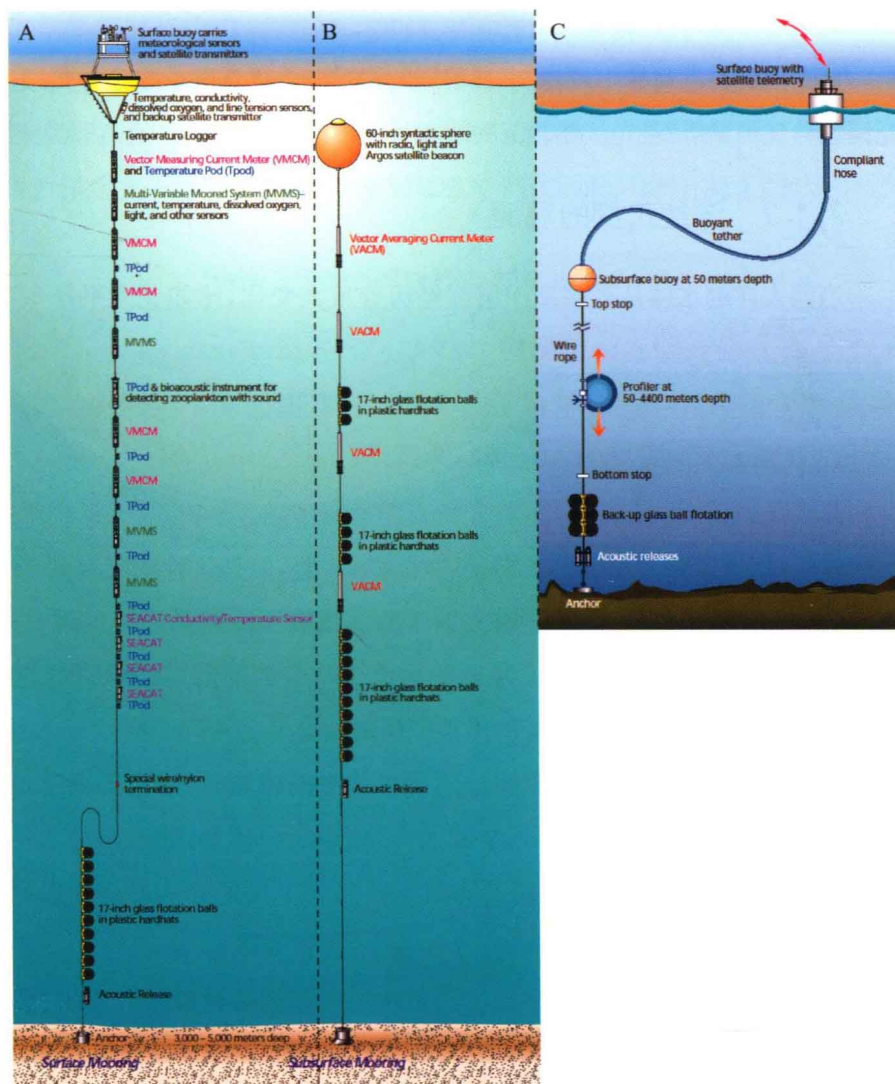


图 2-3 用于海洋观测的锚碇浮标 (Weller et al., 2000)

(A) 固定的锚碇浮标;
(B) 潜标; (C) 测制垂向剖面的锚碇剖面系统, 能沿着缆线上下移动, 从海面到海底测制大量的高分辨率温度、盐度和海流剖面

(Weller et al., 2000)。锚碇剖面系统最初由美国伍兹霍尔海洋研究所研制, 传感器包括电导率-温度-深度记录仪 (Conductivity, Temperature and Depth, CTD) 和声学海流计, 上下滑动速度为 0.3 m/s, 安装的电池理论上足够在 5 000 m 深的海水上下走 100 个来回, 测 200 个剖面、滑行 100 万 m (Doherty et al., 1999)。在欧洲, 德国不莱梅大学制作了另一种类型的锚碇剖面系统, 从 2000 年 9 月起在格陵兰海 3 100 m 的深水试验一年, 专对底部 500 m 海水进行观测, 取得的 35 个深度剖面揭示了内波变化的过程 (Waldmann & Bergenthal, 2002)。关于各种锚系剖面器的技术方面, 我们将在 4.2 节里具体讨论。

随着海洋观测的发展, 不同类型的海洋浮标正在投向各大洋, 既有数十个锚碇浮标组成的 OceanSITES (Ocean Sustained Interdisciplinary Time series Environment observation System) 计划, 又有数千个剖面浮标组成的 Argo 计划。在实施这类全球性计划的同时, 又发展了许多近岸观测系统, 它们更有直接的应用价值, 分布相当广泛, 有的已经取得了重要的成果, 如美国伍兹霍尔海洋研究所的 MVCO 观测站 (Martha's Vineyard Coastal