



国家出版基金项目  
“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
深远海创新理论及技术应用丛书

A New Technology: Submarine  
Observation Network

# 海底观测新技术

张伙带 韩冰 刘丽强 等 编著



海洋出版社



## 内 容 简 介

本书作者通过收集和研读海底观测技术的大量资料并进行分析整理和归纳总结,用简单易懂的语言,系统地概括了多种海底观测技术,配以大量精美的插图。内容主要涉及多种海底观测技术的发展和应⽤,包括深潜器技术和海底观测网络技术等。

本书可供从事海洋地质和海洋工程建设等领域的科技人员和管理⼈员参考,也可供高等院校相关专业师生阅读。同时可作为科普读物供大众阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

海底观测新技术 / 张伙带等编著. —北京:海洋出版社, 2019. 2

ISBN 978-7-5027-9925-0

I. ①海… II. ①张… III. ①海底测量 IV. ①P229.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第033511号

丛书策划: 郑跟娣

责任编辑: 王 溪 屠 强

责任印制: 赵麟苏

出版发行: **海洋出版社**

网 址: [www.oceanpress.com.cn](http://www.oceanpress.com.cn)

地 址: 北京市海淀区大慧寺路8号

邮 编: 100081

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

发 行 部: 010-62132549

总 编 室: 010-62114335

承 印: 北京朝阳印刷厂有限责任公司

版 次: 2019年2月第1版

印 次: 2019年2月第1次印刷

字 数: 288千字

印 张: 12.5

定 价: 90.00元

本书如有印、装质量问题可与本社发行部联系调换

## 《海底观测新技术》编著人员名单

张伙带 韩 冰 刘丽强 姚会强  
陈宗恒 黄文星 朱本铎 杨 永

# 前 言



地球海洋面积约为  $3.35 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，约占地球表面积的 71%。海洋平均水深为 3 730 m，最深处水深约 11 000 m。海底蕴藏着丰富的矿产资源，如石油、天然气、可燃冰等能源矿产和滨海砂矿、多金属结核、富钴铁锰结壳、多金属硫化物、富稀土软泥等金属矿产。随着世界人口不断膨胀和经济不断发展，未来陆地不可再生资源将会越来越少甚至变得短缺。海底火山、地震、滑坡等地质灾害对海底工程具有极大的破坏性，甚至可能引发海啸，严重威胁人们生命和财产安全。同时，海洋是神秘的，充满了科学的未知，许多重要的科学理论如海底扩张、板块构造理论都得益于海洋调查研究。因此，大力发展海洋高新技术、提高深海探测能力、开发矿产资源和防灾减灾等，成为人类社会可持续发展的需要，也是人类探索未知、认识自然的需要。

随着经济的发展和技术的进步，近些年来，深潜器技术和海底观测网技术不断发展，大大提高了人类探索海底的能力，可满足海底短暂观测和长期观测等特殊需求。例如遥控无人深潜器可以到海底开展近底探测和取样作业；载人深潜器还能将科学家送到海底进行短暂观测；海底观测网能长期观测海底，并实时将采集的数据发送到陆地服务器。

本书作者跟踪调研了海底观测这一高新技术的国内外发展动态，系统梳理和总结了多种海底观测技术的发展。本书插图精美，语言通俗易懂，可作为对海底观测技术感兴趣的广大读者的科普性参考读物。

本书共分为 4 章，第 1 章由张伙带编著，第 2 章由韩冰、陈宗恒、黄文星编著，第 3 章由张伙带、刘丽强、朱本铎编著，第 4 章由张伙带、姚会强、杨永编著。

在编著过程中，本书作者得到中国地质调查局广州海洋地质调查局的大力支持。在此表示感谢。

由于研究范围较广，涉及内容多样，本书的论述可能存在挂一漏万，甚至出现谬误，敬请各位读者批评指正。

作者

2018年5月

# Chapter 1

## 第 1 章

## 概 述



## 1.1 海底科学发展简述

地质学家在陆地进行考察，能近距离接触考察对象，通过肉眼进行简单直观的初步判断。再通过仪器设备对考察对象进行深入研究。但覆盖地球表面积约 71% 的海洋直接阻挡了人类对海底的直观认识。在海岸浅水地区，人能下潜数十米到海底，与海底进行近距离接触。但是在水深更大的海底，因为压强过大，人难以下潜到海底。浩瀚的海洋制约了人类对于海底的认识，但是海洋技术的进步又不断促进人类加深对海底的认识。

多年前人类已经设法通过考察船搭载仪器设备的方式对海底进行远距离考察。1872 年，英国“挑战者”号考察船进行了世界上首次环球海洋考察，调查内容涉及海洋生物学、海洋地质学、海洋化学、海洋物理学等，获得了一系列重大发现，开启了近代海洋科学特别是海底科学的发展。例如，发现了大量深海动物，证明生物可以在深海生存，能够承受巨大水压；在大西洋加那利群岛、太平洋塔希提岛和夏威夷群岛附近深海底采到了多金属锰结核，并发现了深海软泥和红黏土。

海底科学在 20 世纪 50 年代后得以迅速发展。第二次世界大战期间，美国海军力量壮大发展，很多高新技术被用到了航海技术上。“二战”结束后，世界和平，很多装备被闲置。一些军舰和装备被用来从事海洋调查研究，获得了有关海底的大量地质地球物理资料，极大地推动了地球科学的进步，是美国科学家赫斯、迪茨于 20 世纪 60 年代初提出的海底扩张说的基础。海底扩张说在海底地形、海底沉积物年龄、海底磁条带异常等证据下得以验证，并最终发展成为现在广泛接受的板块构造理论。

20 世纪 80 年代后，国际海洋形势发生变化。1982 年联合国通过《联合国海洋法公约》，并于 1994 年生效。此公约对内水、邻海、毗连区、大陆架、专属经济区、公海等重要概念进行了界定。规定沿海国为勘探大陆架和开发其自然资源为目的，对大陆架行使主权权利。自此，沿海国家对海底科学的考察侧重于大陆架划界和大陆架海底矿产资源的调查研究。少数国家开展了国际公海的海底矿产资源的调查研究。同时，以大洋钻探计划为代表的国际合作计划也在不断发展。

最近几十年，经济不断发展，沿海国家对海洋越来越重视，海底探测技

术发展迅速。调查船、钻探船、各类地球物理探测仪器、地质取样设备、深潜器、海底观测网络等不断发展，海底探测技术的广度和深度不断刷新。在海底物质与结构、海底矿产资源、深海极端环境、地震机理等领域取得了一系列重大进展和新发现。

浩瀚的海洋蕴藏着丰富的海底矿产资源，如石油、天然气、可燃冰等能源矿产和滨海砂矿、多金属结核、富钴铁锰结壳、多金属硫化物、富稀土软泥等金属矿产。随着世界人口不断膨胀和经济不断发展，未来陆地不可再生资源将会越来越少甚至变得短缺。开发海底矿产资源成为人类未来经济持续发展的必然选择。21世纪，人类进入了大规模开发利用海洋的时期，围绕着海洋主权和海底矿产资源等问题，各国海洋竞争日渐明显。建设海洋强国必须发展海洋高新技术，新时期海洋竞争的突出特征是海洋高新技术的竞争，海洋科技水平和创新能力在海洋竞争中发挥着关键作用。

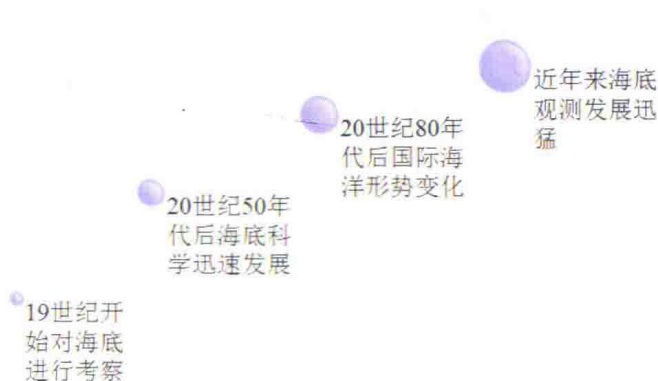


图1.1.1 海底科学发展的不同阶段

## 1.2 海底观测技术简介

如今，通过考察船搭载仪器设备对海底进行远距离探测是开展大范围的区域地质地球物理调查的主要方式。但是，随着科技的发展，将探测平台移至海底，对海底进行近距离探测，通过精准化操作，开展精细化作业的海底观测技术，在海底考察中的重要性不断凸显，成为深海进入、深海探测和深海开发的强大利器，是一个国家海洋科技实力的重要象征。

海洋观测技术在 20 世纪 60 年代以后发展迅速，多种类型的深潜器先后问世，进入海底开展短暂探测。近年来深潜器的研发更是如火如荼。而海底观测网络的建设方兴未艾，满足了人类对海底进行长时间探测并即时获取信息的需求。深海空间站概念初现，像一个可移动的深海龙宫，既能满足人类长期生活在海底的愿望，又能随时移动开展观测作业。

最早实现深海进入的海底观测技术为载人深潜器。最著名的载人深潜器为 1964 年美国建造的载人深潜器“Alvin”号，可以下潜到 4 500 m 的深海。1985 年，它找到了“泰坦尼克”号沉船的残骸。“Alvin”号进行过近 5 000 次下潜，是至今世界上下潜次数最多的载人深潜器。第一次下潜到世界最深处的载人深潜器为美国海军研发的“的里亚斯特”号，于 1960 年实现人类首次下潜至马里亚纳海沟 10 916 m 处。2012 年，我国自行设计、自主集成研制的“蛟龙”号载人深潜器在太平洋 7 000 m 海试成功，最大下潜深度为 7 062 m，成为作业型深潜器最大下潜深度纪录。与载人深潜器“的里亚斯特”号探险目的不同，“蛟龙”号是作业型深潜器，作业范围可覆盖全世界 99.8% 的海域。

遥控无人深潜器是世界上数量最多、使用最广泛的深潜器类型。它最初是由美国海军在 20 世纪 60—70 年代开发的。它不载人，通过“脐带缆”与母船相连，由母船在海面进行操纵，供应电力和通信。相比载人深潜器，遥控无人深潜器更安全、经济、高效。世界上最大深度的遥控无人深潜器是日本的“海沟”号，它于 1995 年下潜到了马里亚纳海沟最深处约 11 000 m 的海底。遗憾的是 2003 年“海沟”号在日本高知县东南海域作业时因电缆突然断裂而不知去向。2014 年，我国自主研发的首台 4 500 m 级遥控无人深潜器“海马”号海试成功。2017 年，我国自主研发的 6 000 m 级遥控无人深潜器“深海科考型”号进行海试，最大下潜深度达 5 611 m，为我国海底观测又添一利器。

20 世纪 80 年代后，随着计算机技术、人工智能技术、微电子技术、小型导航设备、指挥与控制硬件、逻辑与软件技术的突飞猛进，自主式深潜器得到大力发展。自主式深潜器摆脱了“脐带缆”的制约，相对遥控无人深潜器，在海底作业方面更加灵活，活动范围更大。用于马航 MH370 航班搜救工作的美国海军“蓝鳍”号便是自主式深潜器类型。“潜龙一”号和“潜龙二”号是我国近年来自研发的较先进的自主深潜器。

后来出现了复合型深潜器，即遥控无人深潜器和自主式深潜器的综合体，既能利用微细光纤连接深潜器与母船开展作业，成为遥控无人深潜器，也能脱



离脐带缆，灵活开展作业。例如美国伍兹霍尔海洋学研究所于2009年研制成功的“Nereus”号既能在无缆的自治模式下工作，又能在连接小直径光纤的遥控模式下工作，作业深度达到11 000 m，曾在2009年成功下潜到马里亚纳海沟海底并开展科考作业。遗憾的是“Nereus”号于2014年在新西兰东北的克马德克海沟9 900 m的海底丢失。我国自主研制的万米级复合深潜器“海斗”号于2016年海试成功，最大潜深达10 767 m。

无论是载人深潜器、遥控无人深潜器、自主式深潜器还是复合型深潜器，对某一点而言，都是时间短暂的海底观测。为了能长驻海底进行观测获取长时间序列的信息和数据，近20多年，主要海洋国家发展了海底观测网技术。例如加拿大、美国、日本等国家纷纷建设了海底观测网，对特定海底区域进行动态监控。2017年，我国“十二五”国家重大科技基础设施项目“国家海底科学观测网”获批，预算超过10亿元人民币，预计2022年左右建成。

海底观测网络只能动态观察固定范围内的海底区域，于是人们开始设想在深海建设空间站。深海空间站就像集多种功能于一身的地下“龙宫”，科研人员可长期居住在此进行科学研究和其他的活动，还能随时移动，转换研究区域。但现在深海空间站技术主要处于设想和初步研究阶段。本书将主要介绍深潜器技术和海底观测网络技术的发展和应

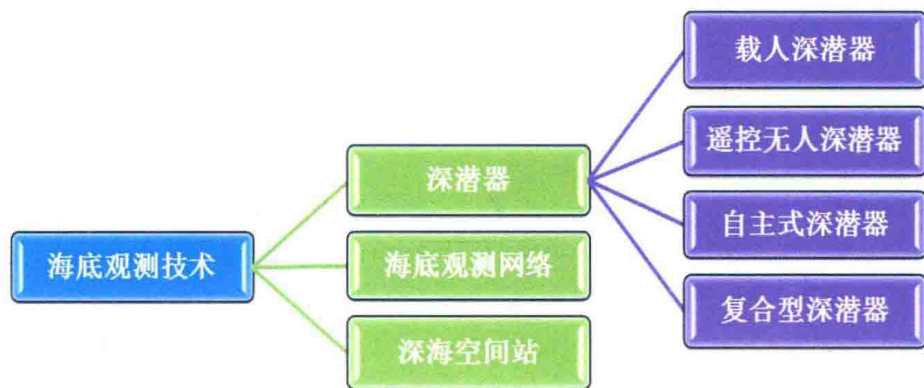


图1.2.1 海底观测技术分类



# Chapter 2

## 第 2 章

# 深潜器



## 2.1 载人深潜器

早在 50 多年前，人类就实现了利用载人深潜器（Human occupied vehicle, HOV）到达世界海洋最深处——马里亚纳海沟的愿望。1960 年，瑞士著名深海探险家雅克·皮卡尔和美国海军中层活尔什乘坐着“的里雅斯特”号载人深潜器下潜到了马里亚纳海沟，下潜深度为 10916 m，创新了潜入海沟的世界纪录。直到 2012 年，被著名导演卡梅隆团队研发的载人深潜器“深海挑战者”号（图 2.1.1）在马里亚纳海沟下潜的 10929 m 水深纪录所打破。

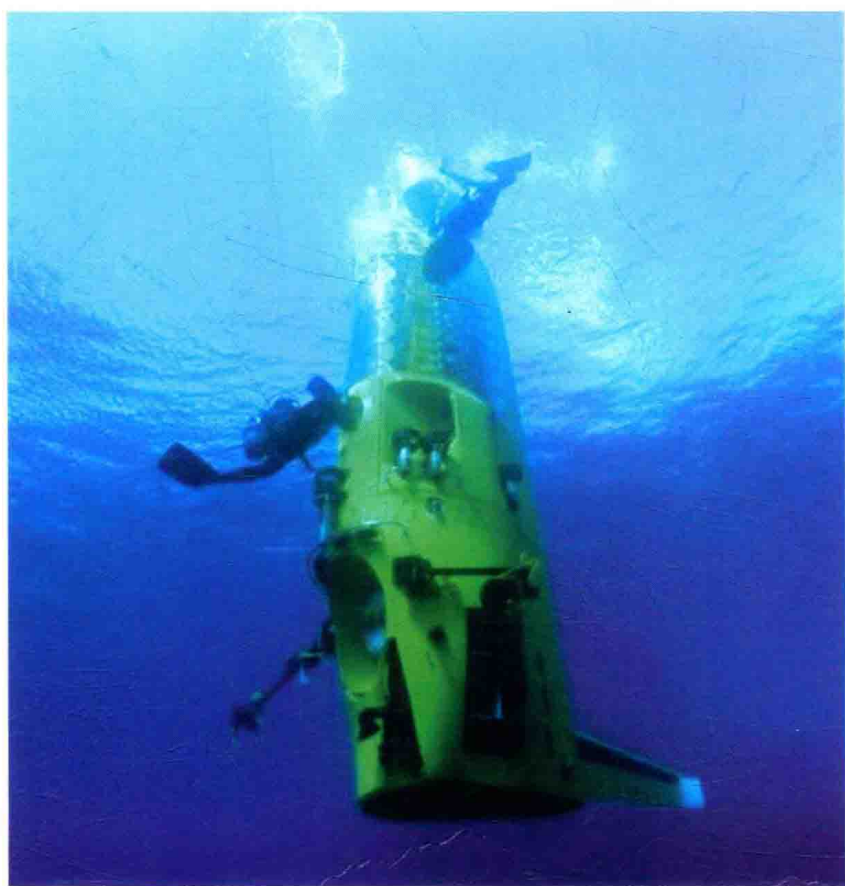


图2.1.1 “深海挑战者”号载人深潜器

但是载人深潜器“的里雅斯特”号和载人深潜器“深海挑战者”号以高科技探险为主要目的，海底考察实用性不强。目前世界上现役的可达到 4500 m 以上深度的载人深潜器有多台，主要以海底观测和应用性作业为目的，其中较为著名的是美国的“Alvin”号、法国的“Nautile”号、俄罗斯的“MIR1”号和“MIR2”号、日本的“Shinkai 6500”号和我国的“蛟龙”号，具体性能指标



见表 2.1.1。我国目前正在研制并预计 2020 年启航的万米级载人深潜器“彩虹鱼”号即将成为全世界第一台作业型全海深载人深潜器。

表 2.1.1 潜深 4 500 m 以上的著名应用型载人深潜器概况表

属性	“Alvin”号	“Nautile”号	“MIR1”号和“MIR2”号	“Shinkai 6500”号	新“Alvin”号	“蛟龙”号
最大下潜深度(m)	4 500	6 000	6 000	6 500	6 500	7 000
覆盖海洋范围	63%	97%	97%	99%	99%	99.8%
潜航员数量(人)	1	2	1 或 2	2	1	1
观察员数量(人)	2	1	2 或 1	1	2	2
最大航速(kn)	2.0	4.6	9.3	4.6	3.4	1
有效负载(kg)	680	200	290	150	182	220
电池类型	铅酸	铅酸	镍-镉	银-锌	锂离子电池	银-锌
电池容量(kw·h)	37.4	38.4	100	86.4	115	140 ~ 150
潜水时间(h)	6 ~ 10	4 ~ 5	10 ~ 15	4	8 ~ 12	12
压载方式	铁板	铁块	压载水舱	铁板	压载水舱	压载水舱+铁块
重量(t)	20	19.3	18.6	26.7	17	22
长度(m)	7.0	8	7.8	9.5	7	8.2
宽(m)	2.6	2.7	3.6	2.7	2.6	3
高度(m)	3.6	3.5	3	3.2	3.7	3.4
内径(m)	2	2.1	2.1	2	2.1	2.1
壳体材料	钛	钛	高镍合金钢	钛	钛	钛
建造年份	1964	1985	1987	1989	2013 年完成第一阶段改造	2012
管理单位	美国伍兹霍尔海洋研究所	法国海洋开发研究院	俄罗斯希尔诺夫海洋研究所	日本海洋科技中心	美国伍兹霍尔海洋研究所	中国大洋协会
搭载母船	“Altantis”号	“Nadir”号和“L’Atlante”号	“Keldysh”号	“Yokosuka”号	“Altantis”号	“向阳红 09”号

## 2.1.1 国外载人深潜器

### 2.1.1.1 美国“Alvin”号

载人深潜器“Alvin”号是美国载人深潜器的代表作（图 2.1.2），也是世界上最著名的载人深潜器，隶属于美国伍兹霍尔海洋研究所（WHOI）。“Alvin”号建造于 1964 年，以伍兹霍尔海洋研究所的海洋学家 Allyn Vine 的姓名命名为“Alvin”，母船为“Atlantis”号。该深潜器建造初期的所有部件基本上已经更换，原来钢铁式结构的壳体已于 1973 年由钛合金的壳体所替代，最大下潜深度可达 4 500 m，可覆盖除深海海底和海沟以外约 64% 的所有海底。如今已经进行过近 4 800 次下潜，运送超过 14 600 名乘客到达深海，并取得超过 680 kg 的样品。例如，1977 年，“Alvin”号在东太平洋海隆——加拉帕哥斯洋脊区近 2 000 m 水深的海底发现了热液喷口，证实了热液活动的存在。1985 年，“Alvin”号在纽芬兰东南海域约 3 740 m 水深的海底发现了“泰坦尼克”号残骸。“Alvin”号是当今世界上下潜次数最多的载人深潜器。之所以“Alvin”号深潜器利用率如此之高，这与其采用开放式管理模式有直接关系，凡是美国科学家或与美国有合作的外国科学家，均可申请使用“Alvin”号深潜器。



图2.1.2 升级改造前的载人深潜器“Alvin”号

美国为了加速对深海的探索步伐，确保其在深海研究及深海技术方面处于领先地位，由美国国家科学基金委员会资助，在2013年对“Alvin”号进行了升级改造（图2.1.3），重新打造了更大的载人舱，更新替换了摄像机和电子元部，零件更新率达80%。“Alvin”号深潜器升级更造后优化性能如下：

- ① 为水下潜航和海底勘察作业提供更好的照明和观测视野；
- ② 新建了基于人体工程设计理念的更合理化的载人舱；
- ③ 有效载荷和推进动力系统更高效；
- ④ 深海探测工具更完善，取样存储空间更充足；
- ⑤ 操纵控制特性具备更高效，导航和通讯系统更完善；
- ⑥ 安全保障系统可靠性更高；
- ⑦ 数据采集能力进一步提高。

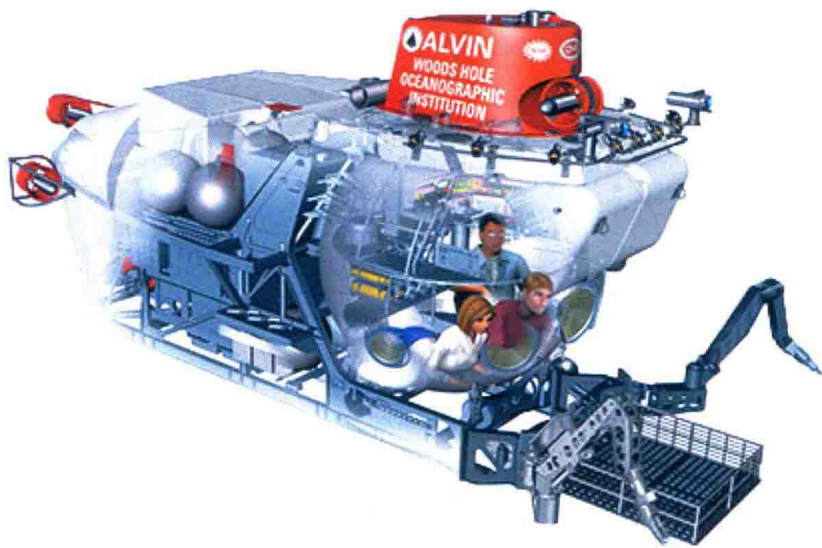


图2.1.3 升级改造后的载人深潜器“Alvin”号

### 2.1.1.2 法国“Nautile”号

“Nautile”号载人深潜器于1985年研制成功，最大下潜深度可达6000 m，由法国海洋开发研究院（IFREMER）管理（图2.1.4）。耐压壳体是由两个钛合金半球体通过螺栓联接而成，具有轻型化的特性。“Nautile”号有两艘支持母船，可进行频繁作业。在大西洋及太平洋等海域完成过多金属结核区域、深海海底生态等调查以及沉船和有害废料等搜索任务，累计下潜了1500余次。