



海洋科技著作出版基金资助出版

· 中国海洋地质丛书之九 ·

海洋地质调查技术

SURVEY TECHNOLOGIES OF MARINE GEOLOGY

张训华 赵铁虎 等 编著



海洋出版社

中国海洋地质丛书之九

海洋地质调查技术

张训华 赵铁虎 等 编著

海洋出版社

2017年·北京

图书在版编目(CIP)数据

海洋地质调查技术 / 张训华等编著. — 北京 : 海洋出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5027-9756-0

I. ①海… II. ①张… III. ①海洋地质-调查方法
IV. ①P714

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 298862 号

责任编辑: 常青青

特约编辑: 莫 杰

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷

2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 50

字数: 1125 千字 定价: 200.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093

总编室: 62114335 编辑室: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换



张训华、赵铁虎研究员领衔的《海洋地质调查技术》专著编写团队成员合影（2016年）



3 000 m 级声学深拖下水



侧扫声呐拖鱼释放



工作区海水声速测量



地热测量释放地热电子探针（国家海洋局第二海洋研究所提供）



单道地震气枪震源释放（左）及水听器释放（右）



小多道地震 24 道固体缆（上）及电火花震源释放（下）



海洋 OBS 测量现场检查（上）及 OBS 释放（下）



海洋 CSEM 系统拖曳式接收单元（左）及海底接收站（右）海试场景



船上实验室，工作人员现场分样



表层取样现场



柱状取样现场



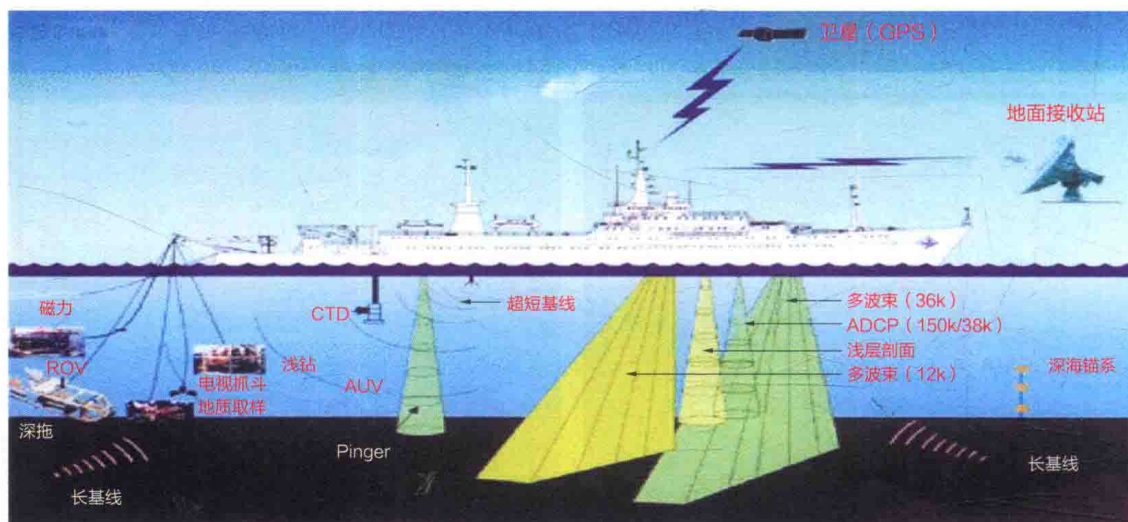
拖网取样现场



大陆架科学钻探 CSDP-2 钻井平台“探海一号”（左）及钻探取样（右）现场（南黄海）



“业治铮”海洋地质调查船



“大洋一号”海上作业示意图

序

《海洋地质调查技术》一书是《中国海洋地质丛书》的第九册，是丛书的收官之作。该套丛书由青岛海洋地质研究所和海洋出版社组织编写出版。丛书前八册可视为学科认知研究的成果集成，而本册书则可当作探测与分析方法的技术集成。

人类在探索和认知自然界规律，特别在利用与改造自然的过程中，必然要依靠强大的技术力量来支撑。工具是物化的技术，是技术的重要要素，人类之所以有别于动物就是会创造工具、使用工具，有技术能力。人们欲观测、探索和研究被海水深深覆盖的海底，必须借助各类海洋技术。海洋探测技术对 20 世纪海底科学或海洋地质-地球物理学的发展有着不可磨灭的突出贡献。20 世纪，在当代先进科学技术支持下而发展起来的海洋探测技术，发现了全球洋底绵延着 8 万多千米长的巨型海底山系（大洋中脊系）和相对洋中脊而对称的海底地磁条带。这些重大发现促成了海底扩张说和板块构造说的形成，推动了地球科学思想的巨大变革，引发了整个地球科学的革命。20 世纪末，新一代的海洋探测技术，又发现了洋底热液喷口和热液流，推断出海底“黑色大洋”和极端生物圈的存在。海洋探测技术的累累战果孕育着海底认知的重大突破，正在将人类对地球的认知推向一个崭新的阶段。

“建设海洋强国”是实现振兴中华与和平崛起伟大中国梦的重要组成部分。建设海洋强国需要几代人脚踏实地的攀登，在这个攀登的过程中，年轻的海洋地质工作者一定會在海洋这个广阔的舞台上演出一幕幕威武雄壮的大剧。《海洋地质调查技术》正是中国地质调查局青岛海洋地质研究所一

批青年海洋地质工作者集体编著的一部集成创新之作。《海洋地质调查技术》是探讨海洋技术的专著，书中系统介绍了海洋地质-地球物理和地球化学的取样、调查、数据采集和分析等各种技术方法，有助读者们了解和掌握这些技术的原理和使用方法。

《海洋地质调查技术》付梓出版之际，张训华研究员邀我作序，我欣然撰文，是为序。



2017年5月

前 言

《联合国海洋法公约》于1994年11月16日生效以后，我国与周边海上相邻及相向的八个国家海域划界问题就提到维护国家海洋主权权益的重要议事日程；随着发展蓝色经济，建设海洋强国上升为国家战略，海洋地质调查工作步入一个新阶段。为了掌握我国管辖海域基础地质、环境地质和资源地质基本情况，满足海洋开发利用和维护海洋主权与权益的需要，国家相继设立了一系列海洋地质调查专项。完成这些国家专项任务都毫无例外地要依靠海洋地质、地球物理和地球化学调查技术及调查方法。通过项目的实施，培养锻炼了一批熟悉各种地质地球物理和地球化学调查技术方法的技术队伍，取得了一批地质地球物理和地球化学资料与数据，获得了一系列地球物理、地质构造、资源勘查和环境地质等方面的成果，为支撑海洋法磋商，维护国家海洋主权权益和发展海洋经济做出了贡献。

青岛海洋地质研究所隶属于国土资源部中国地质调查局，1979年在青岛重建，其前身为1964年建于南京的地质部海洋地质科学研究所。青岛海洋地质研究所建所以来历经几代人的努力于1998年开始正式自行组队独立开展海洋地质调查，2005年拥有了自己的调查船“业治铮”号，并于2006年正式开始独立系统全面的海洋地质调查工作。近20年来，先后承担并出色完成了“HY126”“HY215”“920”“729”“118”“127”等一系列国家专项任务。这些成果在满足国家维护海洋主权权益和海洋开发利用的需求的同时，还获得了包括国家科技进步二等奖、国土资源科学技术一等奖和海洋科技创新一等奖在内的众多奖项，这是对奋战在海洋地质调查研究第一线的科技工作者的肯定和褒奖。我们以此为基础编写出版了一套“中国

海洋地质丛书”，包括《海洋地学前缘》（莫杰编著）、《中国海洋沉积地质学》（何起祥等编著）、《中国海域油气地质学》（蔡乾忠等编著）、《中国海域构造地质学》（张训华等编著）、《中国海洋环境地质学》（刘锡清等编著）、《地球科学探索》（莫杰、李绍全编著）、《中国海域含油气盆地群和早期评价技术》（戴春山等著）、《大洋矿产地质学》（许东禹等著）等八部专著，这八本专业书籍涵盖了海洋地质学各个学科。这次编写出版的《海洋地质调查技术》一书作为海洋地质丛书的收官之作，对近 20 年来的海洋地质调查技术进行了梳理、总结和提升，将使“中国海洋地质丛书”涵盖内容从各个专业学科到方法技术更加系统全面。

2011 年年底，“中国海洋地质丛书”编委会主任委员刘守全研究员提出了编写《海洋地质调查技术》一书及其作为“中国海洋地质丛书”收官之作的建议。在经所领导同意之后，组成了以青岛海洋地质研究所科技人员为主，张训华研究员任组长的《海洋地质调查技术》一书编写组。张训华负责起草了《海洋地质调查技术》编写提纲，制订了编写计划，2012 年开始了编写工作。历经 2 年多的努力，编写组于 2014 年年底完成书稿初稿。2015 年在专家审查的基础上，编写组进行了补充修改完善，终于在 2015 年仲秋之际完成了本书的编写。编写组由老中青科学家组成，具体编写工作则由长期在海洋地质调查一线工作的年轻海洋地质调查人员承担，而具体章节的审查则由在本学科领域具有丰富海洋地质调查经验的中老年科学家来承担，从而保证内容的正确性、科学性、合理性。老中青海洋地质工作者同心协力，就是为了促进海洋地质调查技术发展，为海洋地质调查技术人员提供一部有用的工具书。

本书前言由张训华编写，刘守全审查；第 1 章海洋导航定位技术由单瑞编写，刘焱雄审查；第 2 章海洋遥感探测技术由付军编写，李国胜审查；第 3 章海洋单波束水深测量技术由于得水、方中华编写，刘忠臣审查；第 4 章海洋多波束水深测量技术由白大鹏、杨慧良编写，刘忠臣审查；第 5 章海洋侧扫声呐调查技术由杨源编写，赵铁虎审查；第 6 章海洋浅地层剖面调查技

术由高小惠编写，赵铁虎审查；第7章单道地震调查技术由褚宏宪、顾兆峰编写，吴志强审查；第8章多道地震调查技术由施剑、闫桂京编写，张异彪审查；第9章海洋海底地震仪调查技术由孟祥君、祁江豪编写，郑彦鹏审查；第10章海洋海底电缆调查技术由刘凯、冯京编写，刘怀山审查；第11章海洋重力测量技术由张菲菲、田振兴编写，雷受旻审查；第12章海洋磁力测量技术由张晓波、韩波编写，吴健生审查；第13章海底电磁测量技术由裴建新、齐君编写，李予国审查；第14章地热测量技术由梅赛编写，高金耀审查；第15章海底地质取样技术由郭建卫、虞义勇、窦振亚、胡睿编写，刘守全审查；第16章海洋地球化学调查技术由赵青芳、贺行良编写，李双林审查。莫杰对全书各章进行协调、统编、校对；张训华对全书进行了审定和统稿。

本书编写力求做到“全、准、实”。“全”即本书内容要涵盖当前海洋地质调查的主要技术方法，包括海洋地质、海洋地球物理、海洋地球化学、海洋航空遥感、海底取样等各个方面；“准”即本书内容要做到准确无误，各种技术方法是经长期使用证明其准确可靠的，各种方法是近20年来一直采用并有效的；“实”即指本书的实例均来自于海洋地质调查实际工作，是具体区域地质构造自然真实的反映，是通过地质地球物理和地球化学调查技术获得的实际数据，继而通过数据处理和解释获得科学合理有价值的信息，是了解地质构造特征，解决具体科学问题的真实案例。

历经4年时间，近30位编写组成员付出辛勤的劳动，近20位专家认真审查。虽然我们秉承臻于至善的精神努力写好这本书，但限于我们的水平和能力，书中难免存在错谬之处，还恳请广大读者在使用本书时不吝指正，以免谬种误传。

在本书成稿付梓印刷之际，回想起初的动议和过程，深深体会到坚持的重要和要干事、干成事的艰辛。在此，首先要感谢“中国海洋地质丛书”编委会主任委员刘守全研究员，没有他的提出、坚持、要求就没有本书的编写；要感谢参与编写的所有人员，大家在日常工作繁忙并承担大量海上

调查任务的情况下仍要挤出时间完成编写任务；还要感谢所有对本书内容进行认真审查的专家们，是他们的辛勤劳作使本书内容得以完善；还要感谢为本书出版而进行联系、编辑、审查，为出版做出重要贡献的莫杰研究员和其他科技人员；特别要感谢金翔龙院士亲笔为本书作序，他的序言既为本书增色，也使我们备受鼓舞。

九层之塔，起于垒土；千里之行，始于足下。《海洋地质调查技术》既是“中国海洋地质丛书”的收官之作，它就是一个终点；但它又是一个新的起点，在建设海洋强国的国家发展战略指引下，海洋地质工作又迎来新的发展机遇。我们要驾长风破万里浪，脚踏实地不懈奋斗，不断创造和书写海洋地质调查研究工作的新辉煌。



2017年5月

目 次

第 1 章 海洋导航定位技术	1
1.1 导航定位技术	1
1.2 海洋导航定位测量基准	5
1.3 海面卫星导航定位	9
1.4 水下声学定位	25
参考文献	36
第 2 章 海洋遥感探测技术	37
2.1 遥感技术概述	37
2.2 遥感数据采集	45
2.3 遥感图像处理	51
2.4 遥感技术在海洋调查中的应用	60
参考文献	72
第 3 章 海洋单波束水深测量技术	73
3.1 概述	73
3.2 单波束测深	75
3.3 单波束测深作业程序	86
3.4 案例分析	88
参考文献	102
第 4 章 海洋多波束水深测量技术	103
4.1 理论与原理	103
4.2 技术与方法	111

4.3 仪器与测量	134
4.4 应用与实例（以辽东湾多波束测量为例）	152
参考文献	170
第5章 海洋侧扫声呐调查技术	172
5.1 发展概况	172
5.2 系统的组成和工作原理	175
5.3 调查的技术与方法	189
5.4 应用与实例	216
参考文献	223
第6章 海洋浅地层剖面调查技术	224
6.1 概述	224
6.2 理论与原理	225
6.3 剖面仪组成与类型	230
6.4 工作环节与技术方法	237
6.5 应用与实例	251
参考文献	263
第7章 单道地震调查技术	265
7.1 理论与原理	265
7.2 技术与方法	269
7.3 仪器与测量	281
7.4 应用与实例	289
参考文献	303
第8章 多道地震调查技术	304
8.1 理论及原理	304
8.2 发展历程	324
8.3 海洋二维拖缆地震采集	328