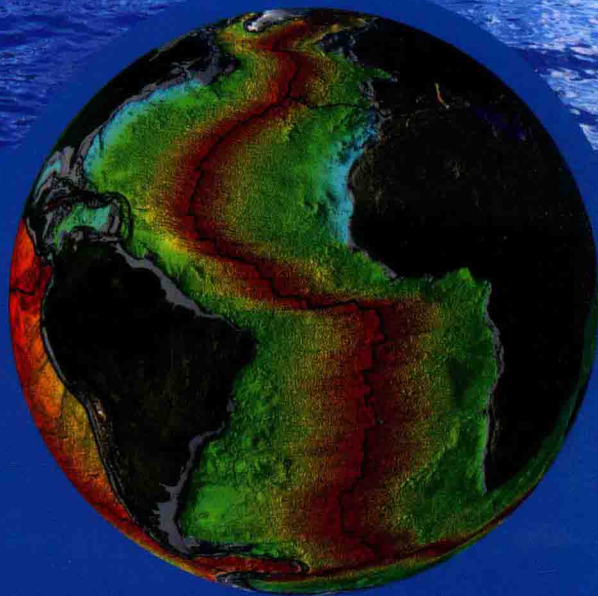




海洋地球物理探测

吴时国 张 健 等 编著



科学出版社

海洋地球物理探测

吴时国 张 健等 编著

本书出版得到了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目课题(2015CB251201)、国家自然科学基金重点项目(91228208)、中国科学院战略先导专项(XDA1103010103、XDB06030400)、中国科学院知识创新工程领域前沿项目(SIDSSE-201403)、国家自然科学基金(41476046、41574074、41174085)、国家自然科学基金——山东省联合基金项目(U606401)、中国科学院创新团队项目(KZZD-EW-TZ-19)和海南省重点研发科技合作项目(DYF2016215)的资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据多年的教学实践和科研经验,综合近5年国内外海洋地球物理探测技术及其应用的最新进展,重点讲述海洋重、磁、电、震、热和放射性等探测方法的基本概念、基本原理,系统阐述海洋地球物理探测资料采集、数据处理、综合解释等方面的基本理论和领域前沿技术,如多波束测深技术、旁侧声呐技术、海底电磁仪技术、垂直缆和海底地震仪等,以及如何应用这些理论和技术去解决具体的海洋科学问题。同时,结合海底地质构造与岩性特点、海洋矿产与能源类型、科学研究热点与发展前景,介绍国内外海洋地球物理探测典型案例和最新进展,为广大读者提供借鉴。

本书可以作为科研院所、大专院校地球科学或海洋科学类专业的参考书,读者可以获得海洋地球物理探测基本理论、方法技术、前沿进展等内容,也可以通过课后习题得到基本训练和知识拓展。

图书在版编目(CIP)数据

海洋地球物理探测 / 吴时国等编著. —北京: 科学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-03-052449-2

I. ①海… II. ①吴… III. ①海洋地球物理学-地球物理勘探-研究
IV. ①P738②P631

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 068771 号

责任编辑: 周 杰 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 铭轩堂

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 6 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 29 3/4 插页: 2

字数: 750 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

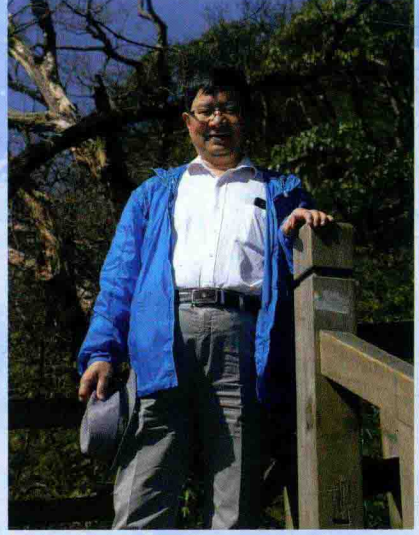


张健教授（左）和吴时国研究员（右）
——梵净山野外考察留影

本书主创人员



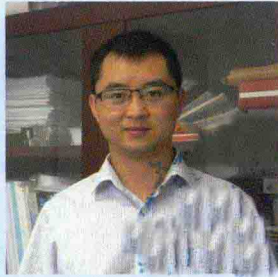
吴时国研究员



张健教授



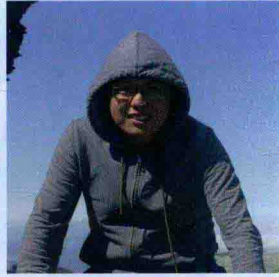
张汉羽



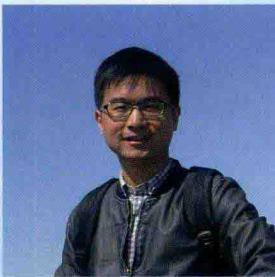
唐显春



高玲举



李午阳



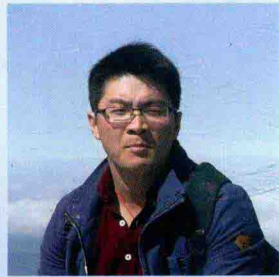
马本俊



董森



秦芹



谢杨冰

序

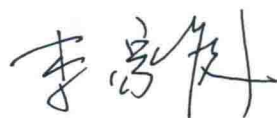
“海洋地球物理”是海洋科学中一门重要的分支学科，科学与技术高度结合，已成为探索海底深部地球圈层的重要手段。

我国的海洋地球物理学发展经历了一些重要阶段。早在 1958 年，刘光鼎先生等老一辈科学家组建了中国第一个海洋物探队，开展渤海、南黄海等海域的海洋地球物理探测实验。1974 年，上海海洋地质调查局在东海开展区域地球物理调查，发现了东海海底的“三隆两盆”构造格局，在西湖拗陷第三系地层中发现了工业油气流，实现了东海油气资源的突破。1978 年，中国科学院海洋研究所在金翔龙、秦蕴珊先生领导下，建立了“科学一号”车载地质地球物理实验室，引进当时先进的海洋地球物理探测仪器设备，使用地震、重力、地磁等手段，开始了科学意义上的海洋地球物理调查。20 世纪 90 年代以来，我国开展了大规模海洋地球物理调查，针对中国海海底地形地貌、重磁异常和地壳结构等进行了系统探测和研究，形成了中国海全海区的海洋地球物理基础图件，出版了《中国海区及邻域地质地球物理图集》（刘光鼎，1993）。2000 年以来，我国海洋地球物理调查进入了崭新的阶段——海底地球物理探测时代。我国成功研制了海底地震仪（OBS）并在南海和西南印度洋海区首先实施了有效探测，逐步组建了有国际竞争力的科技团队，目前正朝着研发海底电磁仪和重力仪等新装备的方向发展。2010 年以来，我国迎来了以“蛟龙号”载人潜器为代表的水下深潜器发展高潮，形成了 ROV、AUV 和 HOV 系统等组成的一系列水下探测体系，为高精度的海底地球物理探测提供了有效平台。

大规模的海洋地球物理探测推动了两轮 973 项目——中国边缘海的形成演化及重大资源的关键问题（2000~2005）、南海大陆边缘动力学及油气资源潜力（2007~2011）的启动，提高了人们对中国海地球物理场和海底构造演化规律的认识，为中国海洋地球物理学科发展奠定了扎实的基础。海洋地球物理探测对象的广泛性和解决实际问题的直接性，使其在研究、观察海底各圈层相互作用和影响方面发挥了不可或缺的作用。中国海洋地球物理学者经过近 60 年的努力，已在大陆架、深海盆地等多方面都取得了许多创新性的成果，且培养和锻炼出了大批专业人才。

呈现在读者面前的这本《海洋地球物理探测》，凝聚了中国科学院海洋地球物理学科两代人的研究结晶，它的出版也是中国科学院大学研究生培养工作的客观需求，意义重

大。二十多年前，我和吴时国、张健一起在中国科学院研究生院攻读博士学位，又进行了中国边缘海两期 973 项目联合研究，见证了他们在海洋地球物理研究领域带领各自科研团队的发展。我十分乐意为该书作序，希望该书能够为中国海洋地球物理学科发展、研究生培养和社会经济建设谱写新篇章。

Handwritten signature in black ink, consisting of three characters: 李洪利.

2016 年 12 月 5 日

前 言

目前,海洋地球物理探测已成为海洋科学领域最重要的研究技术。海洋地球物理探测是研究海洋过程及其资源、环境效应的重要方法技术,它在解决东亚大陆边缘演化与大洋中脊系统动力过程,地球深部结构、构造与动力学,海洋多圈层相互作用过程和成矿机理等方面发挥着重要作用。海底构造和地层信息的观测与提取、深海壳-幔结构和演化、海底成矿预测等研究需要不断改进海洋地球物理探测技术与方法。虽然海洋科学在一些重要方面仍处于探索阶段,一些前沿研究迄今尚无定论,但海洋地球物理在海洋科学研究中不断发展和突破,海洋地球物理的探测技术和手段也得以日新月异的发展。笔者基于海洋重、磁、电、震等探测方法的基本概念、基本原理和技术方法,结合近5年国内外海洋地球物理探测的最新进展,进行提炼总结并编纂成书,即呈现读者手中的这本《海洋地球物理探测》。

《海洋地球物理探测》用作中国科学院大学海洋地质、海洋地球物理、大气海洋等相关学科硕士研究生的通用教材,其主要内容是在《海底构造学导论》(吴时国和喻普之,2005)、《海底构造与地球物理学》(吴时国和张健,2014)等著作的基础上,结合最新的海洋地质研究进展、海洋地球物理探测实例,按照教科书体例编写完成。

本书的撰写以中国科学院大学专业核心课程“海洋地球物理探测”教学大纲为基础,根据近5年来的教学实践和教学经验,重点讲述海洋重、磁、电、震等探测方法的基本概念、基本原理,系统阐述了海洋地球物理探测资料采集、数据处理、综合解释等方面的基本知识以及利用海洋地球物理探测方法解决具体的海洋地质学问题。同时,结合海底地质构造与结构特点、海洋矿产资源与能源类型,介绍国内外海洋地球物理探测典型案例和最新进展,促使学生深入了解学科前沿与发展方向,培养其分析、解决实际问题的能力。

基于此,本书着重于基础知识、基本理论,按照少而精的原则精简和调整。本书共8章,第1章为基本知识和研究方法简介,第2~7章为海洋地球物理探测方法论述,第8章为应用实例与研究进展讲述。根据近年来的发展趋势,作者充实了新的研究成果,使这本书更具时代性。为了加深读者对本书内容的理解,巩固对基本理论和方法技术的记忆,在本书每章之后,均列有若干习题。本书主要由中国科学院深海科学与工程研究所深海地球物理与资源研究室和中国科学院大学地球科学院海洋地球物理(地热与地球动力学)学科组若干同志共同完成。第1章,吴时国、秦芹编写;第2章,吴时国、谢杨冰编写;第3章,吴时国、张汉羽编写;第4章,张健、高玲举编写;第5章,张健、李午阳编写;第6章,张健、董淼编写;第7章,张健、唐显春编写;第8章,吴时国、马本俊编写。最终由吴时国、张健统稿、校稿。

在本书稿完成之际,特别感谢中国科学院深海科学与工程研究所和中国科学院大学的

领导和同事的支持和关心，感谢海洋地球物理同仁的支持，本书吸纳了他们的研究成果。为完成本书，编写组多次开会商讨编写大纲，汇集意见。在编写过程中，李家彪院士提出了宝贵的意见和建议，王吉亮、陈传绪、高金尉、陈万利、谢欣彤、杨森、白宏新等为书稿文字校正、图片改绘付出了辛勤的劳动，在此一并致谢。

海洋地球物理学是一门不断发展的学科，书中介绍的方法、理论可能存在仍需完善之处，敬请读者不吝指正。

吴时国 张 健
2016年7月26日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 海洋地球物理探测的历史与现状	1
1.1.1 海洋地球物理探测历史	1
1.1.2 海洋地球物理探测方法	3
1.1.3 海洋地球物理探测现状	7
1.2 海洋地球物理探测的目的与任务	11
1.2.1 矿产资源探测	12
1.2.2 海洋科学研究	12
1.2.3 国家海洋安全	14
1.3 海洋地球物理探测展望	14
1.3.1 海洋地球物理探测存在的问题	14
1.3.2 海洋地球物理探测技术未来的发展	15
1.4 习题	16
参考文献	17
第2章 海底地形地貌探测	20
2.1 概述	20
2.2 声波测深基本原理	22
2.2.1 海水中声波传播的基本概念	22
2.2.2 利用声波确定海底地形地貌	30
2.3 常用方法与技术	33
2.3.1 回声测深法	33
2.3.2 旁侧声呐测深法	38
2.3.3 多波束测深法	44
2.3.4 具有旁侧声呐和多波束组合功能的多波束测深法	53
2.3.5 多换能器测深法	53
2.4 应用实例	55
2.4.1 冲绳海槽中部热液区地形地貌	55
2.4.2 台湾浅滩海底沙波地形地貌	57
2.4.3 西北太平洋琉球岛弧 Miyako-Sone 台地暗礁地形地貌	59
2.4.4 墨西哥 Ipala 海底峡谷地形地貌	60
2.5 习题	61

参考文献	62
第3章 海洋地震探测	66
3.1 概述	66
3.2 海洋地震探测方法与原理	67
3.2.1 地震波的传播	67
3.2.2 海洋反射地震探测	70
3.2.3 海底折射地震探测	85
3.2.4 海洋多波多分量地震探测	94
3.3 海洋地震数据采集与资料处理	103
3.3.1 数据采集	104
3.3.2 资料处理	134
3.4 应用实例	150
3.4.1 海洋多道反射地震资料处理	150
3.4.2 OBS 数据处理	161
3.4.3 热液硫化物矿区垂直缆探测技术	167
3.5 习题	173
参考文献	173
第4章 海洋重磁测量	180
4.1 概述	180
4.1.1 海洋重力测量发展历史	180
4.1.2 海洋磁力测量发展历史	182
4.2 基本原理	183
4.2.1 海洋重力测量的基本原理	183
4.2.2 海洋磁力测量的基本原理	207
4.3 数据处理采集技术与处理方法	215
4.3.1 海洋重力数据采集技术与处理方法	215
4.3.2 海洋磁力数据采集技术与处理方法	225
4.4 应用实例	229
4.4.1 海底扩张的磁条带	229
4.4.2 洋陆过渡带构造反演	234
4.5 习题	250
参考文献	251
第5章 海洋电磁与放射性测量	253
5.1 海洋电磁法概述	253
5.1.1 基本概念	253
5.1.2 发展历史	254
5.2 海洋电磁法原理	255

5.2.1	海洋电磁勘探环境	255
5.2.2	控制方程	258
5.2.3	海洋大地电磁法	260
5.2.4	海洋可控源电磁法	262
5.2.5	仪器装置	265
5.2.6	数据处理	268
5.2.7	三维反演算法	269
5.3	海洋放射性测量	273
5.3.1	概述	273
5.3.2	方法原理	274
5.3.3	仪器装置	275
5.4	应用实例	276
5.4.1	东太平洋海丘北部被动地幔上涌的电磁学证据	276
5.4.2	墨西哥湾 Gemini 勘探区的海洋 MT 三维反演	278
5.4.3	Haig Fras 地区的放射性地质填图	281
5.5	习题	282
	参考文献	282
第 6 章	海洋地热测量	286
6.1	概述	286
6.2	海洋地热测量原理	286
6.2.1	地球内热	286
6.2.2	岩石的热传递	290
6.2.3	大地热流密度	296
6.2.4	岩石圈热结构	302
6.3	海洋地热测量原理	304
6.3.1	海底热流测量步骤	305
6.3.2	地温梯度的测量	306
6.3.3	沉积物热导率的测量	313
6.3.4	海底热流影响因素与校正	316
6.4	应用实例	317
6.4.1	拉张盆地构造热演化	317
6.4.2	地热与天然气水合物	322
6.4.3	俯冲带的热流	326
6.5	习题	330
	参考文献	330
第 7 章	海洋地球物理测井	336
7.1	概述	336

7.1.1	地球物理测井的发展历程	336
7.1.2	测井的分类	338
7.2	基本原理	339
7.2.1	电法测井	340
7.2.2	声波测井	346
7.2.3	放射性测井	353
7.2.4	核磁共振测井	360
7.2.5	成像测井	361
7.3	随钻测井	367
7.3.1	随钻测量与随钻测井	367
7.3.2	随钻测井的仪器构成	367
7.3.3	随钻测井技术	368
7.3.4	随钻测井技术在地质导向中的应用	370
7.3.5	随钻测井技术的发展趋势	371
7.4	海洋地球物理测井现场采集和处理解释	372
7.4.1	测井仪器系统	372
7.4.2	测井资料采集	372
7.4.3	测井资料处理	373
7.4.4	测井资料解释	373
7.5	应用实例	374
7.5.1	成像测井资料在 Shatsky 海隆构造研究中的应用	374
7.5.2	IODP 随钻测井技术的应用——以南海海槽孕震区实验为例	376
7.5.3	成像测井资料在古潜山构造研究中的应用	380
7.5.4	随钻测井在水平井钻探中的应用	382
7.6	习题	384
	参考文献	384
第 8 章	海底资源地球物理探测	386
8.1	海底资源概况	386
8.1.1	海洋油气	386
8.1.2	天然气水合物	387
8.1.3	多金属结核	389
8.1.4	海底热液硫化物矿床	390
8.2	深水油气地球物理探测	392
8.2.1	深水油气储层地球物理识别技术	392
8.2.2	深水油气储层地球物理识别	399
8.3	天然气水合物地球物理探测	423
8.3.1	天然气水合物系统	423

8.3.2 天然气水合物储层地球物理识别	430
8.3.3 天然气水合物储层资源评价	444
8.4 海底多金属结核地球物理探测	449
8.4.1 海底多金属结核的声学探测技术	449
8.4.2 海底多金属结核覆盖率探测	451
8.4.3 海底多金属结核的电磁探测展望	454
8.5 习题	455
参考文献	455

第 1 章 | 绪 论

海洋地球物理探测，简称“海洋物探”，是通过地球物理探测方法研究海洋地质过程与资源特性的科学。广义的海洋地球物理探测应用于海洋地质、海洋物理、海洋生物和海洋化学等学科研究。通常情况下，海洋地球物理探测主要用于海底科学研究和海底矿产勘探。海洋物探包括海洋重力、海洋磁测、海洋电磁、海底热流和海洋地震等方法。海洋物探的工作原理和陆地物探方法原理相同，但因作业场地在海上，增加了海水这一层介质，故对仪器装备和工作方法都有特殊的要求。船载地球物理探测需使用装有特制的船舷重力仪、海洋核子旋进磁力仪、海洋地震检波器 etc 等仪器进行工作，还装有各种无线电导航、卫星导航定位等装备。海底地球物理观测需要克服高压、供电、防腐等特定要求。

1.1 海洋地球物理探测的历史与现状

1.1.1 海洋地球物理探测历史

人类对海洋的探索，离不开地球物理技术的发展。近年来对海底探测的研究推动了海洋地球科学技术的发展，海洋地球物理探测在前沿科学中一直保持着重要的地位。高精度的导航定位技术、海洋重力测量系统，海洋地磁测量技术、海底地震探测等探测技术在当今海底资源勘查、海洋科学研究、海洋工程及海洋战场环境等方面发挥着不可取代的作用。众所周知，海洋蕴藏着丰富的资源，如石油、天然气水合物、多金属结核结壳、热液硫化物、深海稀土等矿产资源。因此，各国特别是发达国家对海洋资源的争夺日趋激烈，海洋地球物理调查是研究海洋地质学的一个非常重要手段，应密切关注它的发展趋势。

海洋地球物理探测发展至今已有一个半世纪之久，早在 20 世纪 50 年代初期，Ewing 等利用刚出现的精密回声探深仪进行连续水深探测，并绘制海底地形地貌图。Heezen 和 Tharp (1967) 在广泛搜集详细的连续回声测深资料和图件基础上，编绘出世界海底地形图，揭示出海底的地貌形态有大陆架、大陆斜坡、深海平原、海沟、大洋中脊、洋中脊裂谷和转换断裂等。其中，作为全球系统的大洋中脊及在大洋中脊上分布的裂谷和转换断裂系统的发现，对于当代地球科学的发展具有重要意义。

在 20 世纪，海洋地球物理有着辉煌的成就，海洋地球物理的发展推动了地球科学的进展，地球物理探测方法在海底探测上的应用引发了地球科学的革命。20 世纪初，魏格纳根据大西洋岸线的形状及古地磁证据，提出了大陆漂移学说，挑战传统的洋壳格局固定论。但由于保守势力的阻挡，大陆漂移说遭到冷遇，最终被遗忘掉。然而在 50 年代中期

质子旋进式磁力仪的出现, 不仅使海洋磁力测量成为可能, 而且提供了广泛进行连续测量的精密仪器。Mason (1958) 在东北太平洋的磁测中发现了明显的条带状磁异常分布图案。随后, Vacquier (1963)、Mason 和 Raff 等 (1962) 分别证实了条带状磁异常在大洋地区广泛存在, 对海底扩张假说给予了强有力的支持。60 年代广泛的国际合作使海洋地球物理调查与深海钻探相结合, 对海底扩张假说进行了大量的验证。研究人员在世界各大洋地区开展了海洋磁测, 进行地震面波、横波、纵波、海洋重力及海底热流的观测和研究。从而使魏格纳的大陆漂移学说得以认同, 进而推动了整个地球科学的革命, 显然这是海洋地球物理理论和应用发展的结果 (Jones, 1999)。第二次世界大战期间进行的军事性质海洋研究, 也大大促进了海洋地球物理的发展。战争期间由于水中作战的需要, 探测潜艇和其他水下目标的技术取得迅速发展。一些科学家根据声波探测和地磁场的变化, 制造了一系列的海底地球物理军事仪器, 如高精度的地磁仪、水下窃听器等。第二次世界大战之后, 很多致力于这些仪器研究的科学家纷纷进入了大学、研究所和勘探公司工作, 在开放的研究环境中大力促进了海洋地球物理的发展。

第二次世界大战之后随着工业的迅速发展, 人类对石油和矿产资源的需求大大增加。为了满足能源和矿产的需求, 各国的开采从陆地走向了海洋。20 世纪 40 年代初期, 美国一些勘探公司就已经在墨西哥湾和加利福尼亚的浅水区域寻找油气资源 (Sheriff and Geldart, 1995)。20 世纪 50 年代末期, 我国第一个海上地震队, 由中国科学院、地质部及石油工业部组成, 并在渤海湾进行了海上人工地震勘探方法的技术试验, 1964 年我国在渤海建成了第一个海洋油气平台, 并于 1967 年建成了第一个海上油田。为了推动海上勘探的发展, 勘察队很快由浅水区扩展到了深水区, 进而发展了在科考船上获取地震剖面的方法 (吴时国和喻普之, 2015)。海上勘探技术由原来的单一二维地震勘探发展到三维地震勘探, 再到现在的重磁电震综合海洋地球物理勘探。目前海洋地球物理勘探技术已经相当成熟。

海洋地球物理探测分为三个阶段 (表 1-1), 即初创阶段、发展阶段和成熟阶段。

表 1-1 海洋地球物理学的发展阶段

初创阶段	16 世纪若奥·得卡斯特 (Joao de Castro) 在海上系统地调查了磁偏角 1700 年埃德·蒙哈利 (Edmond Halley) 编制了最早的大西洋等偏线图 1819 年汉斯廷 (Hansteen) 编写了第一张地磁水平分量和世界地磁总强度分布图; 由于钢铁船有磁性, 因此, 又制造了木制船加利莱 (Galilee) 号 (1905 ~ 1908 年) 和卡内基 (Carnegie) 号 (1909 ~ 1929 年) 在全世界海洋中进行地磁观测工作 1929 年, 荷兰地球物理学家维宁·迈尼兹用他所改进的用于不稳定地面的摆式仪器 (迈尼兹摆) 装在潜艇上做海上重力测量 1949 年, 布拉德 (Bullard) 研究出在海上测量热流的设备和方法, 1952 年首次在大西洋进行了海洋地热流测量 20 世纪 50 年代初, 美国哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地球观测所的所长尤因教授 (M. Ewing) 在研究墨西哥湾地质构造时, 首先在海上做人工震源海上地震调查工作
------	---

续表

发展阶段	<p>1956 年, 苏联的曙光 (Zarya) 号继续在海洋中开展磁测工作</p> <p>1960 年开始了地磁计划, 作为世界地磁测量的一部分, 在全世界进行了地磁三要素的测量工作</p> <p>1962 年, Magyne 首次在墨西哥湾用单船采集了共深度点地震反射资料, 并进行了多次叠加处理, 得到了信噪比高的地震反射剖面</p> <p>20 世纪 60 年代, 出现了格拉夫-阿斯卡尼亚弹簧式重力仪, 整个测量部分装在以垂直陀螺仪为标准并能自动跟踪它的水平稳定台上。另一个使用普遍的重力仪是拉科斯特重力仪, 测量重力的元件是零长弹簧</p> <p>20 世纪 60 年代, 美国海军开发了利用船底及两侧的声呐传感器测量海底呈带状分布的水深</p> <p>20 世纪 70 年代, 美国哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地球观测所科学家 Stoffa (1979) 设计了双船地震方法, 用两条地震船工作, 将排列长度扩展到 8km, 从而使勘探深度超过 30km</p>
成熟阶段	<p>1985 年, 计算机技术的进步, 多波束测深系统有了很大改进。海上工作时, 设计多波束测深系统的航线间的间隔满足扫描宽度之间有重叠, 可得到海底的详细水深和地貌图</p> <p>目前, 美国 David T Sandwell 和 Walter H F Smith 两位教授在进行海洋磁力测量时将磁力探头装在电缆尾部, 与调查船的距离大于船长的三倍, 船舶磁场的影响可以忽略不计。这样就可以在海洋中连续测量</p> <p>21 世纪初海洋地球物理探测技术已经发展非常成熟, 海底多道地震探测技术、海底网络观测、海洋重磁技术、海洋电磁技术等都已走向成熟。载人潜水器、海底地震仪、海底重磁仪等海洋地球物理仪器层出不穷。海上科考船和钻探平台相继成熟</p>

1.1.2 海洋地球物理探测方法

地球物理学是用物理学理论和方法研究地球内部结构、构造和动力过程, 包括位场理论和波动理论。位场理论包含地球重力场、磁场、温度场、自然电场及直流电场, 相应科学分支有重力测量、磁力测量、地热流测量和电法测量; 波动理论包括声学理论、地震波理论和电磁波理论, 相应的科学分支有水深测量、地震测量和电磁测量。水深测量包含单波束、多波束水深测量和旁侧声呐测量, 地震测量则包含浅地层剖面测量、单道地震测量、多道地震测量、三维地震测量、四维地震测量和折射地震测量。

按照特定探测手段、设备和目的, 通常分为: ①船载地球物理探测, 依托科学考察船 (或搭乘载人潜水器、ROV) 开展多种地球物理调查, 如海洋地震探测方法 (反射、折射)、海洋重磁测量方法、海洋地热测量方法、海洋水深测量方法 (侧扫声呐技术、多波束)、海洋电磁测量方法, 海洋深拖式 γ 射线能谱仪等。②海底地球物理测量, 如海底摄像、五分量海底大地电磁仪宽频带大动态三分量数字记录海底地震仪 (OBS) 等先进的海底探测仪器。把这些海底地球物理设备投放在洋底形成海底地球物理探测系统, 其中海底摄像系统应用最为普遍, 可以直接观测海底地形地貌和地物特征, 具有广阔的应用前景。③井筒地球物理测井, 如声波测井、放射性测井、电阻率测井、成像测井等。下面简单介绍以下 6 种常规的海洋地球物理探测方法。

(1) 海洋地震探测方法

海洋地震探测是利用海洋与地下介质弹性和密度的差异, 通过观测和分析海洋和大地对天然或人工激发地震波的响应, 研究地震波的传播规律, 推断地下岩石层性质、形态及