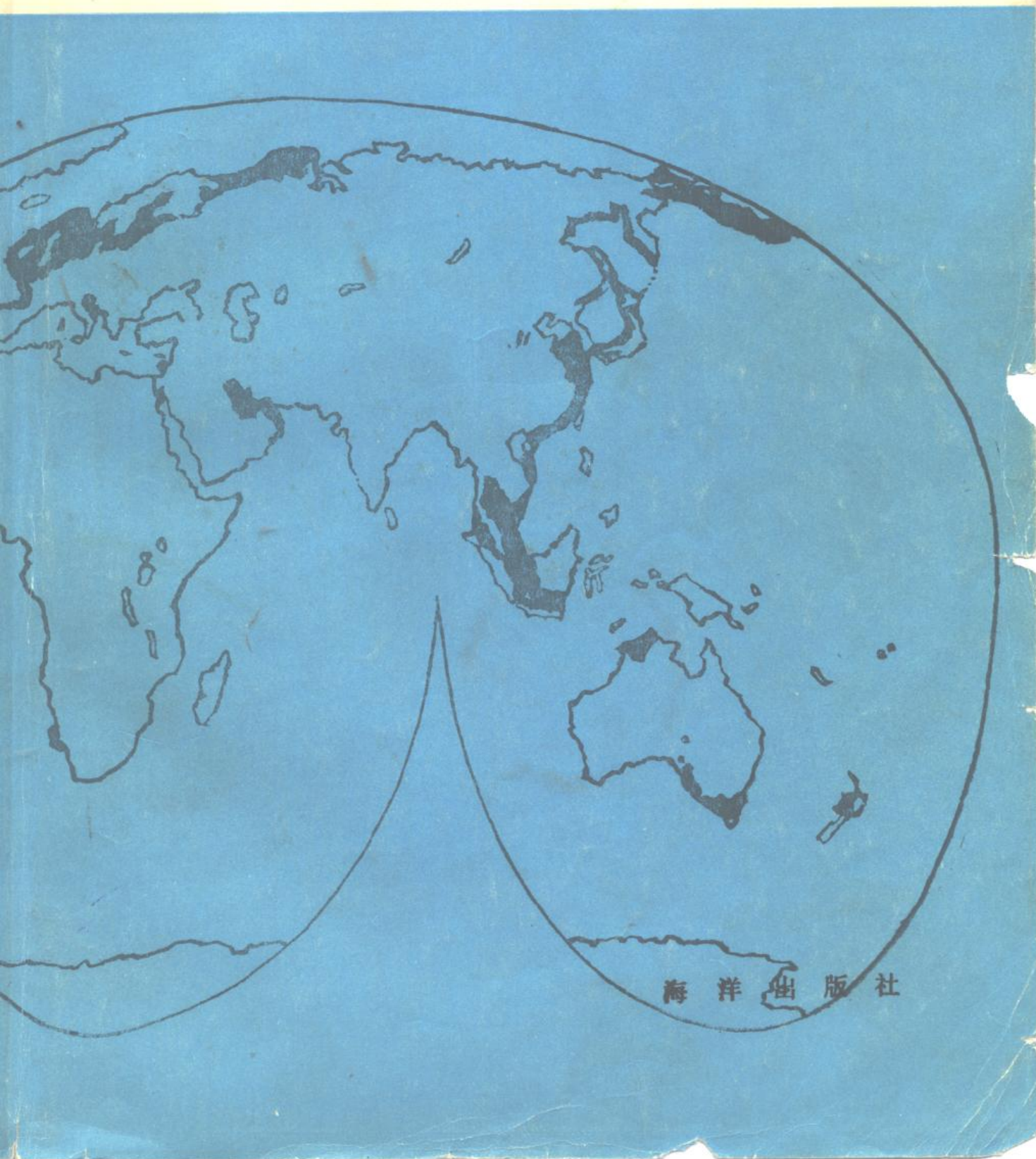


海洋地质学

〔美〕J.肯尼特著



海洋出版社

海洋地质学

〔美〕J. 肯尼特 著
成国栋 谢继哲
许东禹 仇祥华
薛春汀 梁景周 译
叶银灿 刘仁清
谢继哲 校

P. 736
006

海洋出版社

1992年·北京

内 容 简 介

《海洋地质学》是一本系统介绍海洋地质学知识的综合性专著。书中综合了近二十年来海洋地质学研究的成果，并首次将第一次深海钻探的成果系统写入书内，着重介绍了海洋沉积地层学，古海洋学等方面新发展的概念和理论。

该书共十九章，分四大部分，以构造和海洋学为背景，先介绍海洋地球物理、地层学、地质学和海洋学的基本概念，然后介绍近岸过程、大陆边缘、海洋沉积和古海洋学，最后论述近二亿年大洋演化的全球综合研究。该书内容丰富，可供从事海洋地质研究的工作人员，有关大专院校的师生阅读。

Marine Geology

James Kennett

(京)新登字087号

海 洋 地 质 学

〔美〕J·肯尼特 著

成国栋 谢继哲 许东禹 译
仇祥华 薛春汀 梁景周
叶银灿 刘仁清 谢继哲 校

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 35.75 字数: 750千字

1992年1月第一版 1992年1月第一次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-5027-1241-0/P·119 定价: 26.50元

中 文 版 序

中文是十亿人的语文，因此，我感到十分荣幸，看到《海洋地质学》中文版问世。过去二十年来，由于板块学说的发展及科技的进步，海洋地质学及地球物理学取得了迅速的进展。《海洋地质学》一书尝试综述这些进展，提供给研究生、高年级大学生以及专业科研人员参考。我欣见拙作能为贵国海洋地质学及海洋学的积极振兴作出贡献。

海洋地质学及其相关学科的进展日新月异，自从《海洋地质学》在1982年出版以来，人类对海洋地质的知识又有了长足的进步，尤其是有关海底地形、构造运动、中央海岭的形成史及大陆边缘的演化等课题。这些进步主要起因于勘测、观察技术的进步，例如快捷、精细大面积的海底地形的勘测制图，以及深海潜艇的直接观测等。科学家正对中国附近的大陆边缘及其他尚了解不太清楚的海域进行深入调查、研究。在未来《海洋地质学》的修订版中，我将汇整这些新的材料及中国科学家的科研成果。

我衷心感谢盖广生先生组织、主持《海洋地质学》的翻译工作。译事艰辛，我尤其感谢成国栋、谢继哲、梁景周、叶银灿、刘仁清、许东禹、仇祥华、薛春汀诸先生的翻译。

J. 肯尼特谨序

(魏国彦 译)

译 者 的 话

J. Kennett的海洋地质学一出版就得到畅销不是没有原因的。

正如作者在序中所说的,海洋地质学领域内不仅已积累了大量有价值的资料,而且直接引起了所谓的地学革命。可是地学系的大学生却很难得到一本把最近15—20年所发展起来的许多渊博思想进行综述的海洋地质学教科书。这样的教科书不仅能使学生学到扎实的基本功和增强他们的思维能力,且对从事地质工作的专家们亦有参考价值,这就是J. Kennett编写本教科书的出发点。

所谓基本功,就是基本概念正确,工作方法对头。基本功扎实与否是做好任何工作的先决条件,否则将遭到欲速则不达的厄运。因此,作者首先介绍一些与海洋地质学有关的基本概念,之后按领域依次深入展开,最后水到渠成,勾绘出一个全球性的海洋演化过程。

在资料大量增长的今天,综合就承担了越来越重要的角色。作者深知岩石圈、水圈、大气圈、冰冻圈和生物圈等主要地球组分之间的相互制约关系,加之地球实际上是一个大部分被海水覆盖的行星。作者除引用Kuenen的话“没有海洋地质就没有地质学”外,还建议海洋地质学课程有必要加到任何一门大学生地质课程中去。

作者明确表示,他的这本教科书是在板块构造说和岩石圈板块演化的框架内编写的,但他对板块构造说中存在的问题并不采取掩饰态度,而是提出问题,诱人思索,如岩浆源、洋底磁条带等与板块构造说存亡攸关的问题,都进行了详细的、近于对板块构造说发难的讨论。作者在教科书中提出了大量有待解决的问题,这也可以说是该书优点之一。

一本海洋地质学教科书,尤其是以板块构造说为框架的海洋地质学教科书,当然不会涉及太多的陆地地质。固然“没有海洋地质就没有地质学”,但没有陆地地质同样也不会有地质学。在板块构造说早已由海登陆的今天,本书不但应引起海洋地质工作者的注意,译者也希望引起我国陆地地质工作者的兴趣。一旦着眼全球,打破洋陆界限,地学领域内将会出现新的飞跃。

考虑到本书要对专家们起到参考价值,书后的参考文献目录全部附上。近年来国外出版物中用缩写词越来越盛行,译文中保留了原文中的缩写词,并把缩写词的全文和译文附于译者的话后面,以便查阅。

本书是在业治铮教授的指导和成国栋同志的具体组织下集体译出的。序言由谢继哲译,第一章由梁景周译,第二章由叶银灿译,第三章由叶银灿和刘仁清合译,第四章和第五章由刘仁清译,第六章至第八章由谢继哲译,第九章至第十二章由成国栋译,第十三章至第十六章由许东禹译,第十七章至第十九章由仇祥华和薛春汀译,最后由谢继哲做了全部校对并写了译者的话。由于种种原因,译文定稿工作一拖再拖,比原定交付出版日期晚了很多。近几年来,海洋地质学有些领域虽说增加了大量实际调查资料,但在认识方面并无重大突破,本书中所涉及的问题仍需进一步探讨,决不会使人有陈旧过时之感,译者们还是愿意把本书献给读者。但由于水平有限,错误之处在所难免,尚希读者批评指正。

缩 写 词 表

AABW	Antarctic Bottom Water	南极底层水
ABW	Arctic Bottom Water	北极底层水
ACC	Antarctic Circumpolar Current	南极环极流
AMS	Anisotropy of Magnetic Susceptibility	磁化率不均一性
CCD	Calcite Compensation Depth	方解石补偿深度
	Calcium Carbonate Compensation Depth	碳酸钙补偿深度
CCRD	Carbonate Critical Depth	碳酸盐临界深度
CLIMAP	Climate Long Range Investigation Mapping and Planning	气候长期研究、制图和预测
CNEXO	Centre National pour l'Exploration des Océans	法国国家海洋开发中心
DRM	Detrital Remanant Magnetism	碎屑剩磁
DSDP	Deep Sea Drilling Project	深海钻探计划
ECMA	East Coast Magnetic Anomaly	东海岸磁异常
FAD	First Appearance Datum	首次出现基准
FAMOUS	French American Mid-Ocean Undersea Study	法美大洋中部海底研究(法摩斯计划)
GRAPE	Gamma Ray Attenuation Porosity Evaluator	伽玛射线衰减孔隙度求值仪
IPOD	International Program for Ocean Drilling	国际海洋钻探计划
ITC	Intertropical Convergence	热带辐合带
JOIDES	Joint Oceanographic Institute for Deep-Earth Sampling	地球深部采样海洋研究联合机构
LAD	Last Appearance Datum	末次出现基准
LIL	Large-ion Lithophile	大离子亲石的
NADW	North Atlantic Deep Water	北大西洋深层水
OBS	Ocean-Bottom Seismometer	洋底地震仪
TRM	Thermal Remanant Magnetism	热剩磁
WBUC	Western Boundary Undercurrent	西边界潜流
WWSSN	Worldwide Standardized Seismograph Network	世界标准地震仪观测网

序

由于对海洋地质需要一本专门的、新的、内容广泛的教科书，为满足师生们的渴望，才写了这本海洋地质学。海洋地质学领域已变得严密和成熟。人类对海洋资源日益增长的利用和滥用更需扩大我们的海洋地质和地球物理知识。海洋地质知识的突飞猛进使我们对地球有了新的概念。地学中的革命直接来自海洋领域内的科学探索。但至今还没有一本书把最近15—20年发展起来的许多渊博的思想来一个综述。

我的目的是用不定量的方法提供一本包括海洋地质各方面的教科书，其中涉及岩石、沉积物、地球物理、构造、微体化石以及洋盆和其边缘的地层与历史。本教科书收集了大量在别的方面不易见到的资料。全球板块构造革命性概念的提出和由包括深海钻探在内的各种计划的实施，已积累了大量资料，现在需要进行综合。第一次有可能在全球演化的格局内来研究海洋历史；知识大量的增加导致专业化的增强。学科是如此之多，研究者只能希望在少数分科中成为内行，但也不能对其他许多分科毫无所知。正如本教科书所提供的那样，综合承担了一个日趋重要的角色。

打算把它做为高年级大学生或研究生海洋地质学基本课程的这本教科书，几乎不承担海洋学背景方面的任务。但它应该对那些探索本学科研究现状的地质和有关领域的专家们有价值。我也希望它能讲明岩石圈、水圈、大气圈、冰冻圈和生物圈这几个主要地球组分之间的相互关系，其中每一个发生变化最终可能影响及其他一个或几个。

本教科书提供了一个主要谈海洋历史的全球概念。强调了历史的探讨——承认海洋是其历史的产物。地质学的历史本质使它和熟悉的非历史性科学分开。由于这种原因，本教科书包括了一论述古海洋学（地质学科中的一最新学科）的重要部分。古海洋学已经产生出广泛的兴趣，并且正是致力于为已在迅速发展的领域提供正确方向的几个海洋地质学科中的一个。比起其他学科来，古海洋学或许更需要历史性的探索。任何一个古海洋学问题的解决都需要几种研究方法的综合。因此，本教科书试图阐明在海洋地质学领域内能追求的研究范围和多样性，以及通过这些研究能解答全球历史的范围和多样性。例如我们已经研究、并将继续研究的地球气候史就是从研究海洋沉积物得出的。

海洋地质学的一个主要目的就是要综合现代和古典地质概念来了解海洋历史。地质学家传统地从陆地来观察地球，但地球主要是一个大部分充满水的行星：浩瀚的海洋环绕着似岛的陆块。海洋中的大地构造运动最终控制着地球的地形，地质历史内的海洋古环流变化对全球环境产生着非常巨大的影响。因此，海洋地质学课程有必要加到任何一门大学生地质课程中。但这种课程的开展常被缺乏适当的教科书受到挫折。

本教科书是在板块构造说和岩石圈板块演化的框架内编写的。全书共十九章分为四编。第一编阐述构造环境和海洋环境，第二编讲海洋边缘，第三编描述海洋沉积物和微体化石，第四编论海洋历史。各章按概念的自然顺序编排。学生首先被介绍一些有关海洋地球物理、地层、地质和古海洋学的基本概念，这对理解以后各章是必要的，接着就讲近岸过程，大陆边缘，海洋沉积和古海洋学。最后一章是最近二亿年海洋演化的全球性综述。我

的方法是着重机理和过程而不是提供详细的描述。

为读者核对海洋地质学的主要成果和见识会遇到大量相互影响的课题。一个人精通所有这些领域是困难的，我迫切期望我的同事和有关专家提出批评意见和更好的实例以利于将来的修正。海洋地质学有些领域发展迅速。确信在今后三两年内将证实我们的全球古海洋演化知识会有重大的提高。

为了出版，本教科书的引证尽量减少。由于使之保持易读，很多论文未被引用，我希望这样的省略将被认为是合理的。

注：本书作者对有助于本书定稿和出版的专家和工作人员都指名道姓地表示了感谢，在译文中从略。

目 录

第一章 绪论	1
海洋地质学的历史	2
 第一篇 构造环境和海洋环境	
第二章 地球物理和海洋地貌	7
地球物理	7
海洋地貌	13
第三章 海洋地层学、地层对比和年代学	34
地层学	34
沉积物的取样方法	62
第四章 大陆漂移与海底扩张：板块构造说的序曲	70
前言	70
大陆漂移	70
海底扩张	76
第五章 板块构造说	89
基本概念	89
板块构造的几何形态	90
热分布与洋壳的年龄	90
岛弧、海沟和弧后盆地	102
火山活动与板块构造	104
板块构造的驱动机制	118
第六章 海洋构造史	123
全球格局	123
个别大洋历史	125
第七章 洋壳	140
前言	140
洋壳的构造、岩石和起源	141
地壳形成之后的变化	159
洋壳的磁化强度	161
第八章 大洋环流	162
前言	162
表层环流	164
深环流	173
海洋环境的分类	179

第二篇 大洋边缘

第九章 海平面历史和地震地层学	180
海平面变动和海岸带	180
海平面历史	183
地震地层学	188
第十章 近岸地质作用和陆架	197
前言	197
近岸带	198
陆架	212
珊瑚礁	218
第十一章 大陆边缘的类型及背离边缘	220
大陆边缘的类型	220
背离边缘或被动边缘	223
第十二章 会聚边缘或主动边缘	244
会聚边缘	244
转换型主动边缘	269
会聚边缘上的碰撞过程	270

第三篇 大洋沉积物和微体化石

第十三章 陆源深海沉积物	275
深海沉积物的分类	275
陆源深海沉积物	280
第十四章 生物和自生海洋沉积物	317
生物沉积物	317
自生沉积物	343
第十五章 底层流的地质作用：流动和骚动	352
底层流的地质记录	352
研究方法	353
底层流的侵蚀、搬运和沉积作用	360
第十六章 海洋微体化石	374
钙质微体化石	374
硅质微体化石	400

第四篇 大洋史

第十七章 研究古海洋学的方法	415
古海洋学的性质	415
晚显生宙古海洋变化简况	417
古海洋编图的基本方法	420
有特殊古海洋学意义的地区	425
复杂因素和局限性	429

基本手段	433
第十八章 洋盆的古海洋史和沉积史	451
太平洋	454
北大西洋	455
南大西洋	463
印度洋	474
大洋中碳酸钙补偿深度(CCD)历史	479
地质历史中深海沉积间断方式	482
第十九章 全球古海洋演化: 海洋历史上的重大事件	484
前言	484
古生代古海洋学: 古老大陆点滴	486
晚古生代超大洋和超大陆	487
超大洋向分裂的大洋过渡	487
中生代缺氧大洋	489
中生代生物沉积物建造者的起源	490
白垩纪末的大量灭绝	494
新生代古气候历史: 从温暖海洋向寒冷海洋过渡	497
古新世和始新世: 冰川世界序曲	499
始新世末事件	502
生物门类少的渐新世海洋	504
新第三纪大洋——进入冰期状态	508
南极冰盖的形成: 中中新世	511
中新世末事件: 全球变冷和地中海盐度危机	513
晚上新世事件: 冰期的开始	516
第四纪冰川的结局	520
参考文献	524

第一章 绪 论

海洋地质学研究地球被海水覆盖部分的特征和历史。当我们考虑到地球表面有四分之三是被海水覆盖时，其重要性是不言而喻的。海洋地质学研究的区域，从海滩到海成湿地和泻湖、穿过大陆架，直到大洋的最深部分。海洋地质学家和地球物理学家很少把他们的研究局限于海平面以下的区域，因为有关地球和大洋史的大量资料是从暴露在海平面以上的岩石获得的。海洋地质学家和古生物学家经常观察已经上升到地表的海洋沉积物。同样，对洋壳演化感兴趣的人经常考察大洋岛屿，以便更好地认识洋壳的形成过程。所以，海洋地质学家Philip Kuenen (1958) 写的一篇论文的题目是：“没有海洋地质学就没有地质学”。

海洋地质学和地球物理学的基本目的，旨在增进对大洋下面地球的构造，塑造洋底形态诸作用过程的历史和特征以及大洋史与全球史本身的认识。尽管地球物理学家传统上更关心地球的结构，地质学家则主要关心地球的历史，然而他们在发展这一认识中所起的作用显然是一致的。不过，地球物理学家关于大洋结构的发现，已直接使我们在地球史方面的认识取得了某些重大的进展。海洋地质学家与陆地地质学家的区别，主要在于所用手段不同，因为海洋地质学家不能直接到露头上进行洋底取样（潜艇除外），所以现已研究出在海底取样的专门方法。事实上，一切海洋研究都需要某种船只。由于海洋地质学家所用的方法与陆地地质学家截然不同，大洋又是一个巨大的地球化学系统，故他们借以推理的方法也往往与陆地地质学家有别。海洋地质学家也不同于海洋地球物理学家，他们主要参与岩石和沉积物的研究，而地球物理学家则主要研究与地球重力、热流、磁力、地震有关的资料，以及在沉积层和岩层中传播的人工产生的声波。

几乎我们所知有关大洋地质的一切，都是最近30年间发现的。20世纪前半叶，已有大量的直观资料表明，海洋可提供地球特征和历史的重要情报。地球表面的显著特征，就是约有72%被海水所覆盖。这种水、陆的分布并不均匀，因为南半球约有81%被海洋覆盖，而北半球的海洋面积则只有61%。极点位于新西兰的半球，有89%是海，只有11%是陆。地球的大陆区几乎总是（95%）与大洋区成对踵关系。海洋中水的总容积为 $1.35 \times 10^9 \text{ km}^3$ (Menard和Smith, 1966)，而平均深度约为3700m。这与平均高度只有850m的陆地表面形成鲜明的对照。然而，无论大陆还是海洋在地球表面均只形成一个表层。对地球全球所做的研究还表明，世界大洋被巨大的大陆划分为几个大洋和许多海。最长的连续的大洋部分约位于南纬50度以南——这就是南大洋，也称南冰洋。再往北，大洋则被3个巨大陆块——欧亚非、南北美和澳大利亚所分割。地球表面的这种形状只是最近才有的，因为大陆和陆地的相对位置，在整个地质时期一直处于不断变化的状态中。本书在很大程度上就是对这种不断变化的大洋的演化，即构造、地理变迁以及全球环境系统，特别是海洋沉积物与生物之间相互作用的描述。

海洋地质学的历史

地球表面大部分的调查工作，只是过去几十年间，当海洋地质学随着海洋学一起发展起来之时进行的。这一时期是地理学和科学考察的最伟大时代之一。大洋考察时代的开端，约始于150年前，是由几位参加最早的几支科学考察队的考察人员奠基的。在1831—1836年“H.M.S. Beagle”号航行期间，达尔文关于物种起源于进化的观测资料为进一步研究地球的历史奠定了科学的基础。在试图解释珊瑚环礁的起源时，他还提出了有关洋底运动的某些最早的推测。

大洋测深学的知识产生于19世纪中叶。在此之前，几乎没有大洋深度的概念，因为那时测深用的测绳长度都很短。最早精确的深海测深似乎是由 James Ross 爵士于1840年率领“H.M.S. Erebus”号和“Terror”号驶往南极的航行中进行的。在这次考察中，Ross 在一个站位的14 550英尺深处发现了海底，表明洋盆具有相当大的深度。为适应航运的需要，在美国东部近岸区开始了广泛的水深测量工作。至1843年，海岸测量局（后改为美国海岸与大地测量局）已在大约30 000 km²的内陆架上进行了水深测量。1830年，在美国海军部内也设立了一个类似的机构，在 Charles Wilkes 上尉的指导下，负责编制深水区海图。1842年，Matthew Fontain Maury 上尉接替了 Wilkes 上尉，并扩大了工作范围。1866年，这一机构改为美国海军水道测量局。第一张深海测深图就是由 Maury 绘制出版的。由于 Maury 在海军内的影响，他拥有配备10 000英寻打包绳绞车和64磅炮弹（用作测深绳上的重锤）的海军船只。他用多次测量（180次深水测深）获得的资料，编绘了第一张覆盖面积从52°N至10°S的大西洋深海测深图。该图曾作为敷设第一条横贯大西洋的电报电缆的依据。鉴于上述成就，Maury 堪称最早的海洋地质学家。

随着敷设横贯大西洋和其它海底电报电缆的需要，人们对深海底的特征以及在这样的深处是否有生物发生了兴趣。当时一位颇有影响的英国生物学家 Edward Forbes 断言，在水深大于600m的大洋里不会有生物存在。1841年，他乘“H.M.S. Beacon”号在地中海考察时，虽然已捞取到1 380英尺深处的海底生物，但仍坚持这种看法。他把推测的不含生物的大洋深部称做无生物带，并认为该带是由于海水环流减弱以至停滞，氧被耗尽而形成的。直到19世纪60年代，由于发现在提升到海面进行检修的洋底电缆上，附着有生物，这种无生物论才宣告破产。深海仍有生物这一发现，重又激起人们寻找远古生物（活化石）的兴趣。这种生物在相当稳定的深海环境中可能幸存下来。另一涉及深海的重要概念，来自达尔文的密友 Thomas Huxley 所进行的深海钙质软泥的研究。Huxley 注意到，陆上的白垩崖是由类似深海沉积物中保存的浮游生物的微小钙质外壳组成的，并由此提出白垩可能是上升的深海沉积物。

至19世纪60年代，已系统地阐述了有关深海的一系列问题，并形成这样一种思潮：要回答这些问题，可组织一次广泛的考察。倡导这次考察的最有影响的人物之一，就是爱丁堡大学 Edward Forbes 自然史讲座的继承人 Charles Wyville Thomson。Thomson 并不承认进化论，他相信大洋中不同生物种群的垂直分布与其在地层中的垂直分布十分相似。换句话说，他认为随着大洋深度的增大，更多的原生动物将越来越占居统治地位。经交涉，伦敦皇家学会同意发起一项最为雄心勃勃又富有创新精神的史无前例的科学计划——全球

深海考察。这就是Thomson指导下的“Challenger”号考察(1872—1876)。“Challenger”号原是一艘2 300吨的轻型巡洋舰,备有辅助的蒸汽动力,其任务是查明“遍布所有洋盆中的深海环境”。这次考察,至今仍是最长的一次,在4年中几乎航行了70 000海里,完成了近500次深海测深和133次拖网,并从362个站位(每200海里1个站位)获得了各种资料。作为这次考察的结果,描述了715个生物新属和大约4 500个新种。1870年钢缆的采用大大促进了深海取样作业。在马里亚纳海沟一个深为8 180m的深海测深点,成为当时的最深记录。

“Challenger”号考察为海洋地质学奠定了坚实的基础。考察取得的海底沉积物样品为区分海洋沉积物的主要类型、分类及其在整个大洋中一般的分布型式提供了依据。John Murray爵士对深海软泥的形成进行了广泛的研究。他准确地阐述了浮游生物在确定大洋不同深度和纬度的深海沉积物特征中所起的作用。他还区分出不同纬度各种浮游微体化石组合,从而为大洋浮游生物生物地理学奠定了基础。鉴于Murray所做的地质工作的广泛性和卓越贡献,通常把他看作是现代海底地质学的奠基人。他对“Challenger”号报告——多卷的考察成果——的出版曾负主要责任,这些报告直到本世纪30年代,仍然是洋底知识的主要来源。1912年,Murray通过与J.Hjort联合出版《大洋水深》(The Depth of the Ocean)一书而完成了他的事业。多年来,该书一直是最受青睐的海洋学读物之一。尽管“Challenger”号的考察增加了许多有关深海的知识,但几乎没有改变考察前已统治多年的错误观念,即深海是一个具有连续沉积作用的稳定环境。这种荒诞的思想,几乎又过了100年才宣告破灭。

“Challenger”号考察之后的70年,几乎没有收集到有关洋底地质学和地球物理学的新资料。这段期间,大洋主要留给了生物学家去研究。在美国,Delesse和Pourtales根据沿新英格兰至佛罗里达大陆边缘采集的样品,先后于19世纪60年代和70年代分别编绘了沉积物类型图,但此后多年再没有做什么工作。1912年,德国气象学家魏格纳创立了大陆漂移说。然而,经过早期的激烈争论之后,这一学说由于缺乏大洋地质学和地球物理学的各种基本资料而名声扫地。第二次世界大战前的一段时间,一项重大的进展是测量大洋水深的电子回声测深仪的研制,从而取代了费时而又经常发生错误的钢丝绳测深法。回声测深仪的发展来自海底探测的艰苦尝试,并于20世纪30年代德国“Meteor”号在南大西洋考察期间初次使用。于是,大洋的地形制图有了突飞猛进的发展。有许多测线横穿南大西洋的“Meteor”号考察证明,海岭遍布大西洋的中央区域。在北大西洋敷设电缆期间,也发现过这种海岭,当时称为电报海台,但其长度不详,现已被重新命名为大西洋中央海岭,而且发现它是广布于大洋中的海岭系的一部分。

在两次世界大战期间,另一项重大的进展是海上重力测量方法的发展。这是由荷兰物理学家F.A.Vening Meinesz使用潜艇(相当于相对稳定的平台)创造的。Vening Meinesz的最重要发现,是大洋深海沟处(如印度尼西亚附近的深海沟)具有巨大的负重力异常。这说明在这些区域内构造活动阻碍了地壳达到均衡状态。他的观测资料对全球构造理论的发展起了重要的作用。1932年,Vening Meinesz在波多黎各岸外的海沟内乘坐美国潜艇与美国海军普林斯顿重力考察队联合进行了调查。科学家小组中的成员之一,是一位研究生Harry H.Hess,他在后来海底扩张理论(参见第四章)的发展中起了重要的作用。

这一时期,关于深海沉积物的研究工作,几乎毫无进展。1901—1903年的德国南极考

察队曾取到短的沉积物岩芯,并由Philippi于1912年进行了研究。1929—1930年,在“Snel-lius”号考察期间,荷兰考察人员使用了一种称做皮戈特采泥枪的爆破式取样管,可获取长达2m的沉积物岩芯。根据这种岩芯内沉积物和化石的变化,即可确定地质史。本世纪30年代,取自北大西洋的类似岩芯表明,根据浮游微体化石组合和沉积物类型的变化,可把冰期和间冻期区别开来(Schott, 1935; Stetson, 1939; Phleger, 1939; Bramlette和Bradley, 1940)。可惜,沉积物的研究工作进行得太少了,以致无法揭示深部大洋环境的秘密,直到第二次世界大战,人们仍然相信深海底是单调而乏味的,是个水体静止不动的地方。1942年,在H. Sverdrup等人合著的《海洋》(The Oceans)一书中,曾做过这样的叙述:“从海洋学的观点来看,海底地形的第一重要性就在于它构成了海水的底部和侧面边界。”

第二次世界大战对海洋学及其分支——海洋地质学的发展,有着深远的影响。海洋学研究是耗资巨大的,因此巨额经费必须由政府或富翁们资助。战前,来自政府的经费是有限的。某些实质性的财政支持是由富翁们创办的非赢利研究所提供的。这一切均为后来的发展创造了条件,并由于战争的影响而加快了速度。在第二次世界大战中,为适应反潜战的需要,有关声在水中传播的研究得到了发展,从而有助于奠定海洋沉积物地震研究的基础。鉴于海底影响到声的特性,遂开始了大量的海底研究工作,并于1943年初开始了沉积物的制图工作。然而对于科学家们来说,战争的最重要结果,是提高了他们为国家造福的自信心(Schlee, 1973)。战后,海洋学已成为具有坚实发展基础的现代科学。大洋的集中考察开始了,并与陆地地理考察(南极洲除外)的完成在时间上相一致。在海洋学领域内,出现了兴趣的再分配,海洋生物学的优越地位让位于侧重物理科学的更为均衡的研究方法。海洋学必须在政府的支持和政策允许条件下求得发展。1946年,为资助包括海洋学在内的长期研究,成立了ONR(海军研究署)。从40年代中期到60年代末期,ONR在加速发展海洋研究机构方面起有重要作用。1950年,美国科学基金会成立,负有在国内增加对海洋地质研究支持的责任。其他国家,包括苏联、英国、法国、加拿大、新西兰,稍后又又有西德和日本,也开始大力支持海洋地质研究工作。瑞典深海考察(1947—1948)为海洋地质学提供了新的有价值的资料。

在战后的环境中,海洋地质学得到了迅速的发展。由于研究经费剧增,海洋地质学和海洋地球物理学得以进行系统的研究。在世界上大部分海域开始了调查工作。美国有很多大的研究室发展起来了。位于加利福尼亚拉霍亚的斯克里普斯海洋研究所,发展成为美国最大的海洋研究所。该所是20世纪初为进行海洋研究而成立的,1912年并入加利福尼亚大学。1948—1964年任期的所长Roger Revelle把该所工作的重点放在对洋底的研究上。位于马萨诸塞州伍兹霍尔的伍兹霍尔海洋研究所,1930年还是一家私人非赢利研究所,二次大战期间迅速发展成为美国又一家大的研究所。大洋制图由苏联科学家大规模地发展起来,他们绘制了详细的洋底地形和沉积物图集。

到本世纪50年代,回声测深技术已非常完善,可精确而又经济地测量世界各地的大洋水深,深度达到10 000m。现代精密测深仪的分辨率超过1/5 000,即在5 000m深处,小到1m的变化也能测定出来。这一时期,由于海洋船队的增长,大洋深海测深制图得到了发展。继哥伦比亚大学拉蒙特地质研究所(现为拉蒙特-多尔蒂地质研究所)的Maurice Ewing(图1-1)和Bruce Heezen的开创性工作之后,制图计划由Bruce Heezen和Marie Tharp领导,并使著名的太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋图件在华盛顿国家地理协会刊物

《国家地理杂志》上发表。这些图件是如此详细，以致激发了许多科学家在各自感兴趣的领域进行了研究工作。Heezen则致力于海岭系的研究。中央海岭系高三千余米，实际上环绕着地球，其规模超过阿尔卑斯山脉和喜马拉雅山脉。然而作为一个整体被发现，只是25年前的事。是Ewing和Heezen最早意识到地球被这个海岭系所环绕(Ewing和Heezen, 1956)。他们还发现在脊峰上有一个狭窄的槽或裂谷 (Ewing和Heezen, 1956)。Carey把这个中央裂谷解释为一个狭窄的断块，是在裂谷两翼海底移开时，因受张力作用而沉陷的(Carey, 1958)。同一时期，斯克里普斯海洋研究所的 H. W. Menard 考察了东太平洋海隆的顶部，但未见裂谷。



图 1-1 Maurice Ewing和“Vema”号调查船(Lamont-Doherty Geological Observatory供稿)

由Maurice Ewing创立的拉蒙特-多尔蒂地质研究所，战后在发展海洋地质学和地球物理学知识方面，发挥了重要作用。这些活动“把这一学科从一个纯理论研究的停滞状态，改变成为当今最激动人心的研究领域之一。洋底再也不是未知的领域这一事实，主要是出于Maurice Ewing的好奇心，这使他孜孜以求，不断探索”(Wertenbaker, 1974)。在Ewing生涯的早期，他就认识到洋壳与陆壳有着基本的差别。他把这一差别称做严峻的事实。为加深对大洋岩石圈及其沉积特征的认识，Ewing及其同事们发展了在大洋表面附近用水下爆炸人工产生地震波的技术，称之为海洋地震勘探，可提供大洋沉积物厚度和洋底地壳构造的资料。不久，发展了气枪法，它已成为研究沉积物特征应用最广的方法。声波是通过击发表层水中的气枪而产生的。声波从各埋藏沉积层的连续反射，显示出大洋沉积物的微细结构。第二次世界大战后，大量炸药被用于海上的这类研究。Ewing在伍兹霍尔从事的地震调查，是在第二次世界大战前几年开始的，战后他在拉蒙特继续从事这项工作。1953年，他购买了“Vema”号——该所的第一艘调查船。这使得拉蒙特的科学家们能

够更快地发展地震技术。地震反射技术终于成为大多数调查船上的常规方法，从而为认识洋盆沉积物的分布和深部大洋过程提供了依据。Ewing确信，拉蒙特的调查船始终在从事各种资料的收集工作，包括磁力、重力、海底照片及活塞岩芯。为现在和将来的研究积累了大量的资料和沉积物样品。David Ericson和Goesta Wollin进行了十分重要而有开创性的洋盆微体古生物研究工作。与此同时，Emiliani创造了用大洋同位素进行深海沉积物古温度分析的方法。洋底其它一些巨大构造也被发现并绘制成图。其中，最重要的是由Dietz和Menard在太平洋发现的广阔的线性破裂带（Dietz, 1952; Menard, 1953）。现已发现，这些破裂带广布于所有洋盆，并在构造理论中起重要作用。50年代洋盆的制图展现出相当简单的海底地形类型，从而为60年代海底扩张和板块构造学说的发展提供了依据。本书第二和第四两章，叙述了这一时期大洋考察的历史。

现已出现许多新的发展，包括卫星定位导航方法的问世，对于海洋观测站，它所提供的精度可达100m以内。深海钻探自1968年以来一直在继续进行，在本书第三章将予以讨论。近来，深潜器已被用于观测洋底地形，特别是海岭地形。有关深潜研究的开拓性工作，是由Jacques-Yves Cousteau进行的，他也是第一个使用自控水下呼吸器（scuba）的人。美国以外的重要海洋地质研究中心，有英国沃姆利的国家海洋研究所、西德的基尔大学、法国布雷斯特的CNEXO（国家海洋开发中心）、苏联莫斯科的海洋研究所、加拿大新斯科舍的贝德福德研究所和达尔豪西大学、新西兰惠灵顿的新西兰海洋研究所、南非的开普敦大学以及日本的东京大学。在美国国内，有许多研究所从事海洋地质和地球物理的研究工作。