

高等学校教材

# 海洋地质学

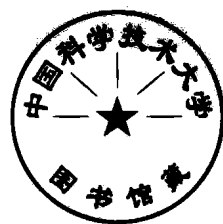
沈锡昌 郭步英编著

- |      |          |
|------|----------|
| 第七章  | 大陆边缘地质构造 |
| 第八章  | 大洋底构造    |
| 第九章  | 海平面变动    |
| 第十章  | 古海洋学     |
| 第十一章 | 海洋矿产资源   |

高等学校教材

# 海洋地质学

沈锡昌 郭步英 编著



中国地质大学出版社

• (鄂)新登字第 12 号 •

• 版权所有 翻印必究 •

内 容 简 介

本书主要介绍海洋岩石圈特征,重点阐述了海岸和海底地形特征,滨海、浅海和深海沉积类型、分布特征与形成机制,大陆边缘和洋底地质构造特征,海洋矿产资源;简述了海洋地质学的研究对象、发展历史、调查方法、海平面变动及其原因和古海洋学(大洋盆地演化和古海水历史)等方面。

该书共分 11 章,附图 131 幅,资料丰富,内容新颖,图文并茂,重视海洋地质中成因机制和模式的分析与总结,吸取并反映了近期国际、国内的海洋地质研究最新成果和新动向,具有较强的理论性和实用性。

本教材适合地质院校地质学、石油地质、构造地质、沉积岩专业,综合大学、高等师范院校自然地理专业、海岸地貌专业,海洋院校海洋地质、海洋物探、海洋生物、海洋化学专业等学生使用,亦可供广大地质技术和科研人员参考。

\* \* \* \*

本书经地矿部遥感地质及第四纪地貌学课程指导委员会通过列入“八五”教材出版计划。

\* \* \* \*

© 海 洋 地 质 学  
沈锡昌 郭步英 编著

---

出 版 中国地质大学出版社(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)  
责任编辑 张华瑛 责任校对 熊华珍  
印 刷 中国地质大学出版社印刷厂印刷  
发 行 湖北省新华书店经销

---

开本 787×1092 1/16 印张 13 插页 1 字数 330 千字  
1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷 印数 1—500 册

---

ISBN 7-5625-0755-4/P·264 定价: 6.10 元

# 前 言

海洋地质学是一门新兴学科，它是研究海水覆盖区岩石圈特征及其演化规律的科学。板块构造理论的问世、深海钻探的实施和古海洋学的发展等，表明海洋地质学处于地质学理论建设的前沿。南京大学任美镔先生指出：“我国地质科学虽有良好的基础，并已取得重大成就，但海洋地质学起步较晚，基础薄弱，陆地地质学家对海洋地质学的最新发展了解不够，使我国地质科学在理论上明显落后于世界前进的步伐”。在当今向海洋进军的年代，不仅海洋部门的人员需要了解这门学科，就是陆地地质人员也必须具备足够的海洋地质知识。中国地质大学的领导和教师深感让研究生和本科生掌握海洋地质基础知识，对于提高他们的地质素质、赶上现代地质学发展的步伐是十分必要的。为此，我们开设了海洋地质课，并编写了教材。

地质矿产部遥感地质、地貌及第四纪地质第二届课程教学指导委员会第一次会议（1987年3月）审阅了教材编写提纲，鼓励我们尽早把教材编写出来。1989年底我们如期写出书稿分上、下两册装订（胶印，56万字），内部试用。课指委<sup>①</sup>第三次会议（1991年11月）对胶印内部教材和修编大纲作了评审；事前从事海洋地质的科研单位和教学单位的有关专家也对该教材作了评审，他们一致给《海洋地质学》内部教材以较高评价，并推荐公开出版。

本书综合了国内外海洋地质学主要领域的研究成果，介绍了近年来的新进展。以海洋地形、海洋沉积、海洋构造和海洋矿产为体系核心，较全面系统地介绍了海洋地质学的各个领域。全书共分11章，一、二、三、四、五、六、九、十章由沈锡昌编写，七、八、十一章由郭步英编写，全书由沈锡昌统稿。在本书前身内部教材编写中，我校方国柱、熊文俊分别写了个别章节。

在本书及内部教材的编写过程中，中国科学院海洋研究所、南海海洋研究所，青岛海洋大学，同济大学，国家海洋局第三海洋研究所，地质矿产部海洋地质调查局（上海）、海洋地质研究所、矿管局、物探局、地质科学院、天津地质矿产研究所，以及中国地质大学（武汉）教务处、出版社、图书资料馆、教辅处、石油系和地质系等单位的领导及有关同志，热情提供帮助、赠送文献、提出建议，使编写得以顺利进行，在此谨表谢意。

本书经课指委先后聘请的中国地质大学杨森楠教授和中国科学院南海海洋研究所范时清研究员审稿，提出不少宝贵意见，我们认真作了修改；中国地质大学出版社、校绘图室为提高本书质量作出了努力，一并在内感谢。

由于编者的水平、时间均有限，又是本学科初编教材，因此不论在取材和论述上都会有不妥和疏漏之处，敬希得到广大读者的批评和指正，以便再版时修正。请将建议直寄作者，深表谢意。

编著者

1992.4

<sup>①</sup> 课指委为地质矿产部遥感地质、地貌及第四纪地质地貌课程指导委员会的简称。

# 目 录

## 前言

|                    |      |
|--------------------|------|
| 第一章 绪论             | (1)  |
| 第一节 海洋地质学的研究对象和意义  | (1)  |
| 一、研究对象             | (1)  |
| 二、研究意义             | (1)  |
| 第二节 海洋地质知识的积累时期    | (2)  |
| 一、航海中海洋地质知识的积累     | (2)  |
| 二、大陆地质调查中海洋地质知识的积累 | (3)  |
| 第三节 海洋地质学的独立时期     | (3)  |
| 一、海洋地质研究机构         | (3)  |
| 二、海洋地质调查           | (3)  |
| 三、海洋地质研究成果         | (3)  |
| 第四节 海洋地质学的蓬勃发展时期   | (4)  |
| 一、海底的三大发现          | (4)  |
| √二、海底扩张和板块构造       | (4)  |
| 三、国际海洋机构和国际合作      | (5)  |
| 四、人工地震和深海钻探        | (5)  |
| 五、中国的海洋地质事业        | (6)  |
| 第五节 海洋地质学的新进展      | (7)  |
| 一、深海钻探的新进展         | (7)  |
| √二、板块学说的新进展        | (8)  |
| 三、古海洋学的新进展         | (8)  |
| 第二章 海洋地质调查方法       | (9)  |
| 第一节 海洋调查概况         | (9)  |
| √一、海洋调查的内容、类型和方式   | (9)  |
| 二、海洋调查的运载工具和仪器设备   | (10) |
| 三、海上定位和水深测量        | (11) |
| 第二节 海洋地球物理勘探       | (12) |
| 一、海洋地震勘探           | (12) |
| 二、海洋地磁测量           | (13) |
| 三、海洋重力测量           | (13) |
| 四、海洋热流测量           | (14) |
| 第三节 海底表层取样和海上钻探    | (14) |
| 一、海底表层沉积物取样        | (14) |

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 二、海上钻探 .....             | (15) |
| 第四节 海底直接观察和水下作业 .....    | (16) |
| 一、潜水目视观察和水下作业 .....      | (16) |
| 二、海下遥感 .....             | (16) |
| 第三章 海洋地形 .....           | (18) |
| 第一节 海岸地形 .....           | (18) |
| 一、海岸地形单元的划分 .....        | (18) |
| 二、影响海岸发育的因素 .....        | (19) |
| 三、海岸的分类 .....            | (21) |
| 四、海岸的演化 .....            | (23) |
| 第二节 大陆边缘地形 .....         | (23) |
| 一、大陆架 .....              | (23) |
| 二、大陆坡 .....              | (24) |
| 三、大陆裙 .....              | (24) |
| 四、海沟和岛弧 .....            | (25) |
| 五、边缘海盆 .....             | (25) |
| 第三节 大洋底地形 .....          | (25) |
| 一、大西洋底地形 .....           | (25) |
| 二、印度洋底地形 .....           | (26) |
| 三、太平洋底地形 .....           | (27) |
| 第四章 滨海沉积 .....           | (29) |
| 第一节 海滩沉积 .....           | (29) |
| 一、海滩沉积环境和发育机制 .....      | (29) |
| 二、海滩地形 .....             | (30) |
| 三、海滩沉积物 .....            | (32) |
| 第二节 障壁沙岛-泻湖沉积 .....      | (34) |
| 一、障壁沙岛-泻湖沉积环境和发育机制 ..... | (34) |
| 二、障壁沙岛-泻湖地形 .....        | (35) |
| 三、障壁沙岛-泻湖沉积物 .....       | (35) |
| 四、障壁沙岛-泻湖沉积相序列 .....     | (33) |
| 第三节 潮坪沉积 .....           | (33) |
| 一、潮坪沉积环境和发育机制 .....      | (37) |
| 二、潮坪地形 .....             | (38) |
| 三、潮坪沉积物 .....            | (39) |
| 四、潮坪沉积相序列 .....          | (41) |
| 第四节 岸礁礁坪沉积 .....         | (41) |
| 一、岸礁礁坪沉积环境和发育机制 .....    | (42) |
| 二、岸礁礁坪地形 .....           | (43) |



|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 三、岸礁礁坪沉积物 .....             | (44) |
| 四、碳酸盐海滩沉积 .....             | (44) |
| ✓ 第五节 三角洲沉积 .....           | (44) |
| 一、三角洲沉积环境和发育机制 .....        | (45) |
| 二、三角洲地形 .....               | (47) |
| 三、三角洲沉积物 .....              | (48) |
| 第六节 河口湾沉积 .....             | (50) |
| 一、河口湾沉积环境和发育机制 .....        | (50) |
| 二、河口湾地形 .....               | (52) |
| 三、河口湾沉积物 .....              | (53) |
| <b>第五章 浅海沉积</b> .....       | (55) |
| 第一节 大陆架浅海的沉积模式 .....        | (55) |
| 一、国外学者对大陆架浅海沉积模式的研究 .....   | (55) |
| 二、中国学者对大陆架浅海沉积模式的研究 .....   | (56) |
| 第二节 冲淡水控大陆架浅海碎屑沉积 .....     | (56) |
| 一、冲淡水控大陆架浅海的沉积环境和发育机制 ..... | (57) |
| 二、冲淡水控沉积地形 .....            | (59) |
| 三、冲淡水沉积物 .....              | (60) |
| 第三节 浪控大陆架浅海碎屑沉积 .....       | (62) |
| 一、正常浪控大陆架浅海的碎屑沉积 .....      | (62) |
| 二、风暴浪控大陆架浅海的碎屑沉积 .....      | (63) |
| 三、陆架浅海沉积物的地球化学特征 .....      | (66) |
| 第四节 潮控大陆架浅海碎屑沉积 .....       | (66) |
| 一、潮控大陆架浅海的沉积环境和发育机制 .....   | (66) |
| 二、潮控大陆架浅海沉积地形 .....         | (67) |
| 三、潮控大陆架浅海沉积物 .....          | (69) |
| 第五节 海流控大陆架浅海碎屑沉积 .....      | (70) |
| 一、强劲海流控大陆架浅海碎屑沉积 .....      | (71) |
| 二、环流中央缓流控大陆架浅海碎屑沉积 .....    | (72) |
| 三、沿岸流控大陆架浅海碎屑沉积 .....       | (73) |
| 第六节 大陆架浅海的生物沉积 .....        | (74) |
| 一、制造浅海碳酸盐的生物 .....          | (74) |
| 二、大陆架浅海的骨骼碳酸盐 .....         | (76) |
| 三、大陆架浅海的非骨骼碳酸盐 .....        | (77) |
| 四、大陆架浅海的有机质沉积 .....         | (79) |
| 第七节 大陆架浅海的化学、生物化学沉积 .....   | (79) |
| 一、海洋沉积物中水成矿物的分类 .....       | (79) |
| 二、自生沉积 .....                | (80) |
| 三、残余沉积 .....                | (80) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 第八节 残留沉积和变余沉积 .....          | (81)  |
| 一、残留沉积 .....                 | (81)  |
| 二、变余沉积 .....                 | (81)  |
| 第六章 深海沉积 .....               | (83)  |
| 第一节 深海沉积物的分类和分布 .....        | (83)  |
| 一、深海沉积物的分类 .....             | (83)  |
| 二、深海沉积物的分布 .....             | (83)  |
| 第二节 深海陆源碎屑沉积 .....           | (85)  |
| 一、浊流沉积 .....                 | (86)  |
| 二、等深流沉积 .....                | (91)  |
| 三、海洋冰川沉积 .....               | (92)  |
| 四、风运沉积 .....                 | (93)  |
| 第三节 深海生物源沉积 .....            | (94)  |
| 一、深海钙质软泥沉积 .....             | (94)  |
| 二、深海硅质软泥沉积 .....             | (97)  |
| 三、深海珊瑚碎屑沉积和有机沉积 .....        | (99)  |
| 第四节 深海火山碎屑沉积 .....           | (99)  |
| 一、深海火山碎屑的沉积环境和发育机制 .....     | (99)  |
| 二、深海火山碎屑沉积的分布和特征 .....       | (99)  |
| 第五节 深海粘土沉积 .....             | (100) |
| 一、深海粘土沉积的环境和发育机制 .....       | (100) |
| 二、深海粘土沉积的分布和特征 .....         | (100) |
| 第六节 深海沉积物的地球化学特征 .....       | (102) |
| 一、深海沉积物主要元素的地球化学特征 .....     | (102) |
| 二、深海沉积物痕量元素的地球化学特征 .....     | (103) |
| 第七章 大陆边缘地质构造 .....           | (104) |
| 第一节 被动大陆边缘地质构造 .....         | (104) |
| 一、大陆架的地质构造 .....             | (104) |
| 二、大陆坡的地质构造 .....             | (106) |
| 三、大陆裙的地质构造 .....             | (107) |
| 四、大陆架-大陆坡-大陆裙的成因及其发展方向 ..... | (107) |
| 第二节 主动大陆边缘地质构造 .....         | (109) |
| 一、海沟的地质构造 .....              | (109) |
| 二、岛弧的地质构造 .....              | (111) |
| 三、边缘海的地质构造 .....             | (112) |
| 四、海沟-岛弧-边缘海盆的形成机制和演化方向 ..... | (113) |
| 第八章 大洋底构造 .....              | (117) |



|                     |       |
|---------------------|-------|
| 第一节 大西洋底构造特征        | (117) |
| 一、大西洋中脊的构造特征        | (117) |
| 二、大西洋无震脊的构造特征       | (121) |
| 三、大西洋深海盆地的构造特征      | (123) |
| 四、大西洋底地磁异常条带的分布     | (124) |
| 第二节 印度洋底的构造特征       | (125) |
| 一、印度洋中脊的构造特征        | (126) |
| 二、印度洋无震脊的构造特征       | (128) |
| 三、印度洋深海盆地的构造特征      | (129) |
| 四、印度洋底的磁异常条带的分布     | (131) |
| 第三节 太平洋底构造特征        | (131) |
| 一、太平洋中隆及次级海脊的构造特征   | (132) |
| 二、东太平洋巨型线形断裂带的构造特征  | (133) |
| 三、西太平洋大洋堤的构造特征      | (134) |
| 四、太平洋深海盆地的构造特征      | (136) |
| 五、太平洋底的磁异常条带的分布     | (136) |
| 第九章 海平面变动           | (138) |
| 第一节 海平面变动的原因        | (138) |
| 一、海水体积的变化           | (138) |
| 二、海盆容积的变化           | (139) |
| 三、地球体运动参数的变化        | (140) |
| 四、动力海平面变动           | (142) |
| 五、不同时间尺度内海平面变动的主要因素 | (142) |
| 第二节 确定海平面变动的依据      | (142) |
| 一、确定海平面高程           | (142) |
| 二、确定古海平面形成时的年龄      | (145) |
| 第三节 海平面变动史          | (145) |
| 一、前第四纪的海平面变动        | (145) |
| 二、第四纪的海平面变动         | (147) |
| 三、海平面变动的未来趋势        | (150) |
| 第十章 古海洋学            | (151) |
| 第一节 大洋盆地的演化         | (151) |
| 一、大洋盆地演化的威尔逊旋回      | (151) |
| 二、三大洋盆地的演化          | (153) |
| 第二节 古海水的历史          | (156) |
| 一、大洋沉积层时代的确定        | (156) |
| 二、古海洋水文             | (160) |
| 三、古海洋化学             | (163) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 四、古海洋生物 .....               | (164) |
| 五、古海洋气候 .....               | (166) |
| <b>第十一章 海洋矿产资源</b> .....    | (169) |
| 第一节 海洋矿产资源的分类 .....         | (169) |
| 一、海洋矿产资源的概念 .....           | (169) |
| 二、海洋矿产资源的分类 .....           | (169) |
| 第二节 滨海砂矿 .....              | (170) |
| 一、滨海砂矿的一般特征及地理分布 .....      | (170) |
| 二、滨海砂矿的类别和矿物组成 .....        | (171) |
| 三、滨海砂矿的形成环境和形成机制 .....      | (171) |
| 第三节 海底磷矿 .....              | (172) |
| 一、海底磷矿的一般特征和地理分布 .....      | (172) |
| 二、海底磷矿的矿物组成和化学成分 .....      | (173) |
| 三、海底磷矿的形成环境及形成机制 .....      | (175) |
| 第四节 洋底锰结核和锰结壳 .....         | (175) |
| 一、洋底锰结核和锰结壳的一般特征和分布 .....   | (176) |
| 二、洋底锰结核和锰结壳的矿物组成及化学成分 ..... | (178) |
| 三、洋底锰结核和锰结壳的形成环境及形成机制 ..... | (180) |
| 四、洋底锰结核和锰结壳的经济价值 .....      | (181) |
| 第五节 海底多金属软泥及硫化物矿床 .....     | (183) |
| 一、红海中央裂谷的多金属软泥 .....        | (183) |
| 二、海底硫化物矿床 .....             | (184) |
| 第六节 海底油气藏 .....             | (186) |
| 一、海底油气藏的开发现状 .....          | (186) |
| 二、海底油气藏的分布 .....            | (187) |
| 三、海底含油气沉积盆地类型 .....         | (188) |
| 结语 .....                    | (190) |
| 主要参考文献 .....                | (191) |

# 第一章 绪 论

## 第一节 海洋地质学的研究对象和意义

### 一、研究对象

海洋地质学是研究海水覆盖区岩石圈特征及其演化规律的学科，重点研究现今的海域范围。40余年前海洋地质学作为地质学的一个分支学科和海洋学的一个分支学科而独立出来。海洋地质学独立后的历程表明，海洋地形、海洋沉积、海洋构造和海洋矿产是其主要研究内容；随着调查手段的革新，研究向纵深发展，古海洋学成了该学科的前沿。

### 二、研究意义

海洋地质的研究具有重大的理论意义。现代海洋占地球表面总面积的  $2/3$  以上，白垩纪时达  $4/5$  左右；据此，不了解海洋就不能正确认识地球，不了解海洋地质就难有全面的地球观。追溯历史，近二三百年来地质学各种理论所依据的资料来自大陆，片面性是不可避免的。本世纪 40 年代以来的海洋调查，特别是 50—60 年代海底地形和海底地球物理等的调查资料促使全球板块构造学说诞生。依据海洋地质和地球物理资料建立的板块理论的问世，引发了一场地学革命，各种传统观念被重新评价，人们开始关注海洋地质，把海洋与陆地作为一个整体来研究。深海钻探的实施促进了这种整体性的研究。

浩瀚的海洋是正在进行沉积作用的天然实验室。全世界大陆上沉积岩的分布面积约占陆地的  $75\%$ ，大多是古海洋的沉积物。对现代海洋沉积物（含沉积矿产）及其环境和机制的研究，不仅丰富了沉积学的内容，而且是“将今论古”的依据。

地球是太阳系唯一有海洋的星球，有了海洋才有生命和人类；人类的发展又依赖海洋，从中获取食物资源和矿物资源。在陆地矿产因开发而逐渐减少的情况下，海洋矿产资源特别诱人。海洋油气资源的开发已实现多年，年产量直线上升，预计到 2000 年，全世界海洋石油年产量可达  $(30-35) \times 10^8 \text{t}$ ，占世界石油年产量的  $50\%$ 。海底锰结核和锰结壳中含有丰富的 Cu、Mn、Ni、Co，而且在继续富集；多金属软泥中 Zn、Cu 等含量很高；一些工业发达国家已对这些多金属海底矿产进行试开采，前景很好。

我国海域辽阔，渤海、黄海、东海和南海的总面积达  $485 \times 10^4 \text{km}^2$ ，相当于我国陆地面积的一半。四大海域地处太平洋西侧的边缘海，属板块聚合边界，沉积环境多样，油气资源丰富，有很多地质理论问题急待探索，有若干资源开发问题和环境保护问题企望解决。我国海岸线总长  $3.2 \times 10^4 \text{km}$ （大陆岸线长  $1.8 \times 10^4 \text{km}$ ，岛屿岸线长  $1.4 \times 10^4 \text{km}$ ），海岸类型多样，滨海砂矿丰富，天然良港众多，都需要开发利用和研究探索。

“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的”（恩格斯，1925）。人类对地球的认识始于大陆，对于占地表总面积三分之二以上的大洋底的认识，因需借助航海，起步较晚，直到 20

世纪 40 年代末海洋地质学才成为一门独立的学科。海洋地质科学史的进程集中体现在研究成果上,而成果与历史人物紧密相连。由科学家创建的研究机构从另一侧面反映了科学进程,机构的建立使科研活动的组织性、目的性增强,于是科研成果增多。航海和调查手段两方面的科技进步往往是取得新发现的先导,大量有价值资料的涌现是形成新理论的基础。

海洋地质学的形成和发展经历了三个时期。首先是漫长的海洋地质知识积累时期,接着是海洋地质学的独立时期,本世纪 50 年代起进入蓬勃发展时期。近十几年,海洋地质学又取得了新进展。

## 第二节 海洋地质知识的积累时期

海洋地质知识的积累,主要包括在航海中对水深、底质和海岛地质等的考察,但对大陆上海相地层、海陆变迁的认识等也是不可缺少的方面。

### 一、航海中海洋地质知识的积累

1872 年“挑战者”号船环球航行之前,郑和(1405—1433)、麦哲伦(Magellan, F., 1519—1523)、库克(Cook, C. J., 1768—1779)、达尔文(Darwin, C. R., 1831—1836)等在航行中零星积累了首批成果:第一张海图(1527)、第一本墨卡托海图集(1579)、第一张具等深线的浅海深度图(1737)、第一次深海测深(1840)、第一幅大洋水深图(1855)、第一批有海流系统测量值的海图(1855),最早的深海沉积资料(1818、1857)和第一本海洋沉积学(1871)著作,以及珊瑚礁成因说(1842)等。

1872 年 12 月 6 日—1876 年 5 月 4 日,英国皇家舰队的“挑战者”(Challenger, H. M. S.)号船(图 1-1)的环球航行,奠定了近代海洋学基础,具有划时代的意义。加拿大

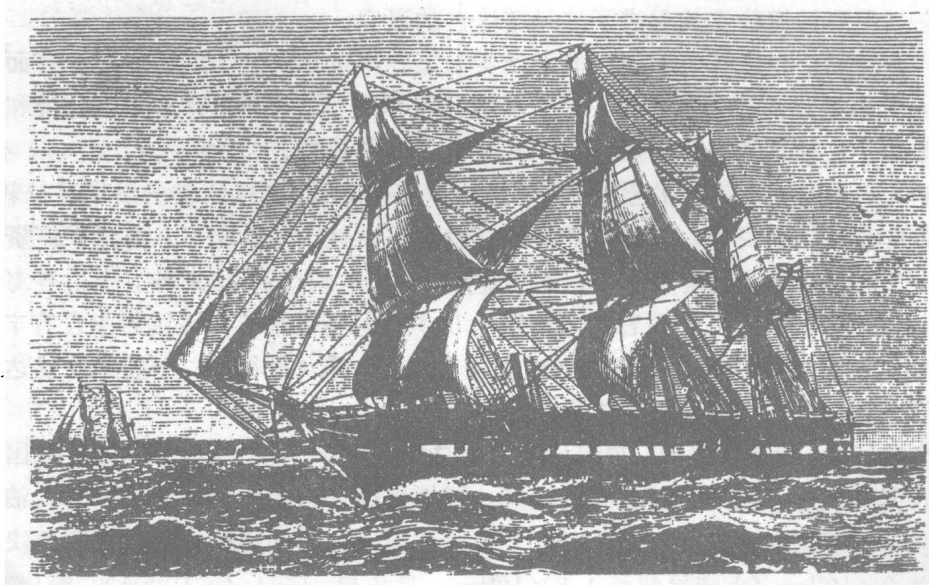


图 1-1 “挑战者”(Challenger, H. M. S.)号船  
(Thomson, C. W.; Murray, J., 1895, 航海报告第一卷)

默莱 (Murray, J.) 比利时雷纳德 (Renard, A. F.) 为《深海沉积》(1891) 一书和第一幅世界大洋沉积物分布图作出了贡献。

1876 年以后至二次世界大战前, 各国先后组织了 80 多个海洋考察队, 一批成果问世: 《海底地质学》(Andree, K. 1920)、地表起伏曲线 (Kossinna, E., 1921)、南大西洋回声测深等深线图 (德国“流星”号船, 1925—1927) 等。

## 二、大陆地质调查中海洋地质知识的积累

我国沈括 (1074)、意大利达·芬奇 (Vinci, L., 1452—1519)、丹麦史登诺 (Steno, N., 1669)、德国埃伦堡 (Ehrenberg, C. G., 1854) 以及默莱 (1890) 等对地层中的海相化石相继研究, 确认这是海陆变迁的证据。

固定论 (Dana, J. D., 1847; Hall, J., 1859) 和活动论 (Suess, E., 1885; Tayler, F. B., 1910; Wegener, A., 1912, 1915) 之争推动了全球构造的研究。大陆漂移说 (1912, 1915) 和英国霍姆斯 (Holmes, A., 1928) 的地幔对流说虽然当时未能得到大多数学者的支持, 却为尔后板块学说的创立打下了一定基础。

## 第三节 海洋地质学的独立时期

20 世纪 30—40 年代是海洋地质学的独立时期。大陆架油田的勘查, 声纳等调查技术的革新, 海洋研究机构的建立等, 使海洋地质知识日益丰富; 40 年代末、50 年代初一批重要著作的问世, 表明海洋地质学已成为一门独立学科。

### 一、海洋地质研究机构

1937 年全世界有 200 多个海洋研究机构。通常先成立海洋生物研究所, 研究海洋地质后改名为海洋研究所。美国有三大海洋研究所: 加利福尼亚大学 Scripps (Scripps, 1923), 伍兹霍尔 (Woods Hole, 1930), 哥伦比亚大学拉蒙特—多尔蒂 (Lamont—Doherty, 1949)。前苏联有国立海洋研究所、科学院海洋研究所 (1941)。

### 二、海洋地质调查

这一时期的环球航行减少, 以重点海域调查为主; 手段上革新了声纳测深技术, 实施了海洋重力测量, 并提出地幔对流是海沟负重力异常的原因 (Meinesz, F. A. V., 1930)。“大西洋”号船 (1936)、“信天翁”号船 (1948) 相继试用人工地震法探测海底沉积层。海底摄影 (Ewing, M., 1940; Owen, D. M., 1947) 和通过深潜器 (Piccard, A., 1949) 让人们看到深海底有生物活动, 还有波浪, 于是深海底单调、恬静的老观念被纠正。活塞取样器能取到 25m 长的未扰动柱状样 (Kullenberg, B., 1946), 深度大于 3000m 的近海海底钻井取得成功等。

### 三、海洋地质研究成果

这一时期有大批著作先后出版。三部奠基性著作的公开发行, 标志着海洋地质学已成为一门独立的学科, 它们是美国谢帕德 (Sherpard, F. P.) 的《海底地质学》(1948)、苏联克莲诺娃 (Кленова, М. В.) 的《海洋地质学》(1948)、荷兰奎年 (Kuenen, Ph. H.) 的《海洋

## 第四节 海洋地质学的蓬勃发展时期

科学史通常经历从量变到质变的过程。新资料逐渐揭露出旧学说的矛盾；同时也孕育了新理论；不显著的发现日积月累到一定程度就会发生突变，科学革命将历史翻到新的一页。海洋地质学独立成为学科，为海洋地质科学的快速发展准备了条件。进入 50 年代后，相关学科的彼此渗透增强，海洋地质调查的技术突飞猛进，出航船舰量多质高，国际合作如雨后春笋，研究成果捷报频传，海洋地质研究进入了一个蓬勃发展时期。

新中国的成立为科学事业的发展提供了良好条件，海洋地质事业亦迅猛发展。

### 一、海底的三大发现

大洋中脊系统、海底热流异常和海底磁异常是改变地球观的海底三大发现。

#### (一) 大洋中脊系统

长期大量的测深和震中调查促使美国尤因 (Ewing, M.) 和希曾 (Heezen, B.) 于 1956 年确认大洋中脊系统是全球最大山系，连续分布在三大洋。裂谷系和横向断裂带是该系统的重要组成部分。

赫斯 (Hess, H. H., 1957) 指出：全球裂谷系的发现 (Heezen, B., 1957)，“动摇了(传统)地质学的基础”。大部分横向断裂带是在 60 年代定位的。1965 年加拿大威尔逊 (Willson, J. T.) 研究断裂带性质后提出这是转换断层。

#### (二) 海底热流异常

海底地温计的发明和改进，为取得资料准备了条件。1969 年时全球地热测点近 3000 个，90% 分布在海洋 (Jacobs, J. A., 1974)。海洋中热流值分布不均，大洋中脊系统为高热流 ( $1.92 \pm 1.64$ ，单位为  $\mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ )，海沟为低热流 ( $<1$ )，岛弧为高热流 ( $>2$ )。

#### (三) 海底磁异常

1954 年发明核子旋进磁力仪，推进了海磁测量 (刘光鼎, 1982)。“先驱”号船测出了第一张海底磁异常条带图 (1956)，“欧文”号船为瓦因 (Vine, F. J.)—马修斯 (Mathews, D. H.) 假说 (1963) 提供了印度洋洋中脊磁测资料。

将古地磁场极性转向与同位素年龄测定相结合、与海底磁异常条带相对比、与深海沉积岩心正向层及反向层厚度相对比之后，考克斯 (Cox, A., 1964) 建立了第一张古地磁年表，瓦因和威尔逊 (1965) 发现条带宽度反映转向时间长短，奥布代克 (Opdyke, N. D., 1966) 发现极性转向地层厚度也反映转向时间长短。这三种关系共同起因于地磁场极性转向和海底扩张 (威尔逊, 1974)。

### 二、海底扩张和板块构造

“地质科学的发展需要与其他各学科边缘杂交和互相渗透” (张文佑, 1982)。板块构造理论的形成经历了大陆漂移、海底扩张和板块构造三个发展阶段。海底地球物理的新成果，使大陆漂移复苏，迪茨 (Dietz, R. S., 1961、1963) 和赫斯 (1962) 几乎同时提出海底扩张说。

海底地磁异常条带 (1963)、转换断层 (1965) 等的发现证实了海底扩张，加上其他一些资料，促使全球构造——板块构造理论的建立。威尔逊首先提出板块一词，并提出大洋中脊、

转换断层和海沟-岛弧系是三种活动带(1965),美国麦肯齐(Mac Kenzie, D.)、巴克尔(Parker, R. L.) 首先用球面几何学分析了板块运动(1967), 美国摩根(Morgan, W. J., 1968) 阐述了现行全球板块构造说的基础, 绘制了第一幅全球板块分布图(大小 20 个板块), 指出洋中脊、海沟、转换断层是板块的边界, 洋中脊为扩张带, 一组转换断层有一个公共的板块旋转轴等。但一般常用的全球六大板块分布图是法国勒比雄(Le Pichon, V., 1968) 提出的。

### 三、国际海洋机构和国际合作

#### (一) 国际海洋机构

现今国际海洋机构分属民间学术团体和政府间组织两个系统。

1. 民间学术团体 国际科学联合理事会下设 18 个联合会, 其中与海洋地质有关的联合会有国际地质科学联合会(JUGS)、国际地理学联合会(IGU)、国际生物科学联合会(IUBS)、国际大地测量与地球物理学联合会(IUGG)等, 后又设海洋学联合会(SCOR)。

2. 政府间组织 主持国际海洋活动的主要是联合国的教科文组织和粮农组织。

#### (二) 国际合作项目

海洋调查的国际合作频繁, 全球性的如“国际地球物理年”(1958—1960)、“上地幔计划”(1961—1971)、“地球动力学计划”(1972—1977)和“深海钻探计划”(1968—1975)、“国际大洋钻探阶段”(1975—1983)、“大洋钻探计划”(1985—1995)、“岩石圈规划”(80 年代, 又延长 5 年)等, 区域性合作不胜枚举。深海钻探从美国起, 走向世界合作。

### 四、人工地震和深海钻探

#### (一) 人工地震

人工地震是获取海洋岩石圈资料的主要手段之一, 虽是间接资料, 但效率高又经济。由于尤因的努力, 地震反射法从 50 年代中期起成为常规作业。尔后形成地震地层学, 维尔(Vial, P. R., 1977)和徐怀大(1983, 1990)对它在国际、国内的传播起了积极作用。

#### (二) 深海钻探(大洋钻探)

深海钻探是获取海洋岩石圈资料的重要手段, 可以据长岩芯验证物探的推测, 并有新发现。事实证明, 在全球范围的深海钻探是研究地球科学的基本手段。

“莫霍计划”失败后, 深海钻探历经了三个阶段。“深海钻探计划”(DSDP, 1968. 8—1975. 8)和“国际大洋钻探阶段”(IPOD, 1975. 11—1983), 均由“格洛玛·挑战者”(Glomar Challenger)号船实施, 15 年间完成了 96 个航次(1—44 航次, 45—96 航次)、624 个钻探站位(1—394 站位, 395—624 站位), 共打 1092 个孔。图 1-2 为第 1—624 站位分布图。“大洋钻探计划”(ODP, 1985. 1—1995)由“乔迪斯·决心者”(JOIDES\* Resolution)号实施, 从第 100 航次起算, 站位续 624 后连编。图 1-3 为 100—129 航次分布图。

深海钻探成果累累, 主要证实了海底扩张、板内热点、弧后扩张、海沟消减和洋壳垂直运动, 查明了洋壳物质、最老沉积物年龄、区域性沉积间断和极地冰盖期, 发现了有价值的生物和新的海底矿产(许靖华, 1987; 唐连江, 1988)。

---

• JOIDES 是“地球深部取样联合海洋研究所”的简称, 1964 年在美国成立, 由美国三大海洋研究所和迈阿密大学共同组建。该所发起 DSDP。



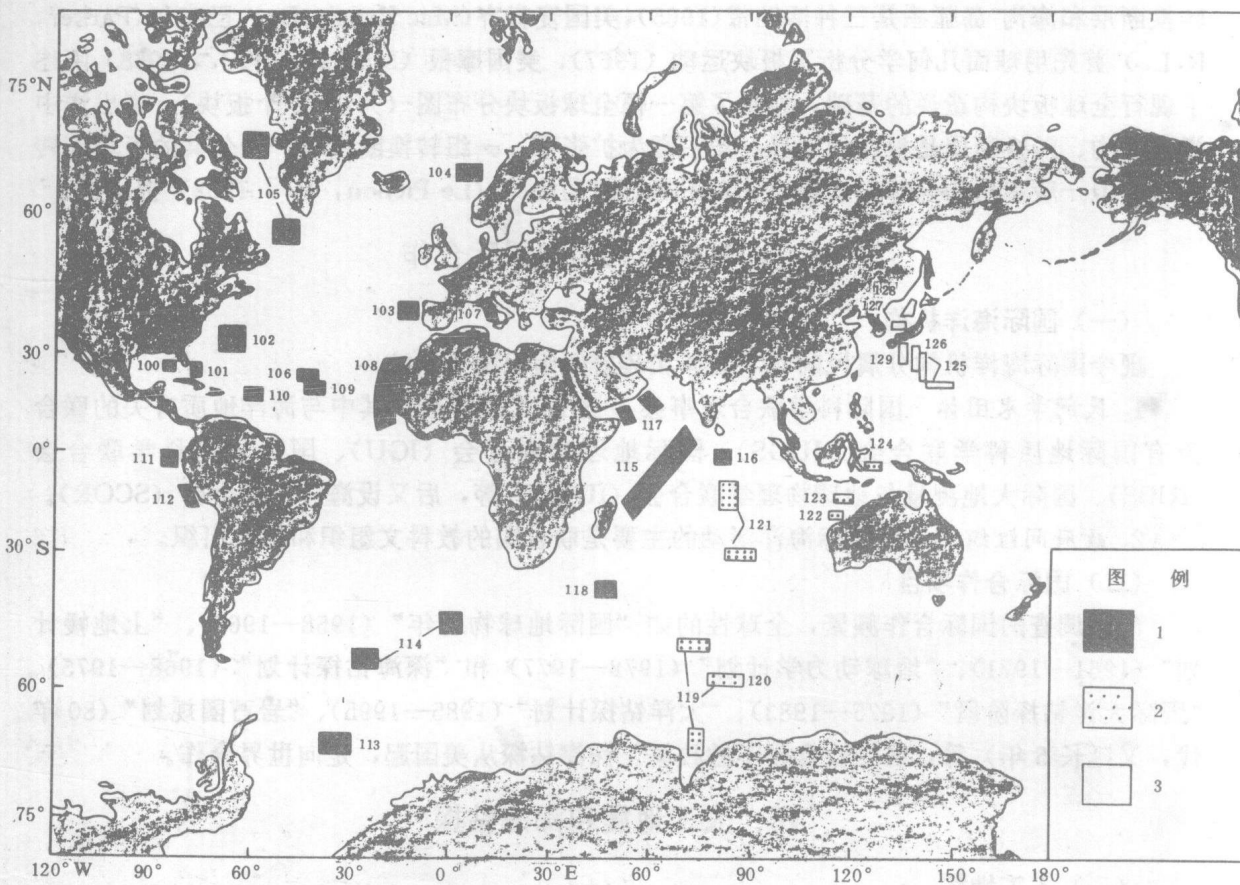


图 1-3 ODP 第 100—129 航次分布图 (Rabinowitz, Philip, D., 1989)

1. 1985—1987 年的航次 2. 1988 年的航次 3. 未来的航次

## 五、中国的海洋地质事业

1956 年起,我国海洋地质事业纳入国家计划,国家科委负责组织和协调。我国先后制定了三个海洋科学规划:12 年规划(1956—1967),10 年规划(1963—1972),8 年规划(1978—1985)。后一规划的目标是查清中国海,进军三大洋,登上南极洲(张瑞祥,1990)。

从事海洋地质的单位主要有地质矿产部的两个海洋地质调查局(上海、广州)和海洋地质研究所(青岛),中国科学院的两个海洋研究所(青岛、广州),国家海洋局的一、二、三所(青岛、杭州、厦门),石油部,青岛海洋大学和同济大学(上海)。两所大学设有海洋地质、海洋物探专业。所、校还培养研究生。中国地质大学(武汉)培养海洋地质方向的研究生。台湾省有台湾大学海洋研究所(台北)和海洋学院(基隆)。

《中国海区及邻域地质—地球物理系列图》\*(1/200 万),以及四个海域的一批专著和论文的出版,标志着我国海洋地质工作达到一个新高度,理论研究提高到一个新的水平。

我国第一个海上油田于 1975 年在渤海建成。继渤海打出我国第一口海上工业油气流井(1967.6.14)后,南海(1977.8)、东海(1983)相继获得工业性油流(张瑞祥,1990)。

\* 据私人通信(1992.1.22),该系列图由刘光鼎任主编,朱夏、叶治铮任顾问,1989 年经评审后,交印刷厂,1992 年出版。

全国海岸带调查有两次(1960—1966, 1980—1986), 有关省、区都编出了海岸带调查报告。

大洋调查序幕于 1976 年由“向阳红 5”号船揭开, “向阳红 16”号船和“海洋 4”号船多次调查锰结核, 找到太平洋两个富矿区, 并已获联合国授予的“先驱投资者”资格。“极地”号船多次开赴南大洋, “海洋 4”号船近年也加入南大洋考察。

“八五”期间将新增两个工作重点: ①海洋环境监测; ②海洋矿产资源调查与开发(莫杰, 1989)。

## 第五节 海洋地质学的新进展

最近一二十年, 海洋地质保持了板块学说引起地质学革命的势头, 其工作和成果超出地质学其他领域, 主要有三大进展。

### 一、深海钻探的新进展

深海钻探主导了海洋地质发展的新潮流, 原因是钻探技术先进, 科学目标正确, 经费来源可靠, 有国际协作, 组织严密。

#### (一) 钻探技术新进展

1. 动力定位新进展 深海钻探作业区往往水深、风大、浪高, 钻探船具有性能良好的自动动力定位系统, 才能稳定在井位上, 持续钻进。“乔迪斯·决心者”号船的该系统设计最大作业水深 8230m(侯桂卿, 1988)。它已多次在恶劣海况(风速 45—50 节、浪高 4m)中钻探成功(Garrison, L., 1991)。

2. 取芯技术新进展 主要有 5 种新技术。

(1) 液压活塞取样器和延伸式岩芯筒 前者取沉积物, 后者取基岩和软硬相间地层。IPOD 第 90 航次将两者联合使用, 取得长度达 575m 的柱状样(袁晓茂, 1986)。

(2) 改进型活塞取样器 ODP 使用后, 岩芯段增长至 10m, 而且层理清晰; 同时能测地热流、磁方位、这些是研究古海洋的第一手资料(Garrison, L., 1991)。

(3) 变容式取芯马达 ODP 用它钻玄武岩, 因仅需钻杆下端 9m 旋转, 故旋转稳定, 取芯顺利。

(4) 能钻透燧石层的新钻头 ODP 第 129 航次使用它, 首次钻透燧石层, 从而取到了太平洋最老的沉积物, 属卡洛夫阶。

(5) 新型升降补偿器 它可抵消钻杆和钻具随船体升降的晃动, 从而提高了岩芯采取率, 并使岩芯扰动程度减至最小。

3. 深水电视系统 这项新成就起到三个作用: ①在声学导孔外, 添了电视导孔; ②监视钻具动态; ③当场看到海底地质地貌现象。

4. 设备最完善的海上实验室 “乔迪斯·决心者”号不仅是目前世界上技术最先进的科研钻探船; 而且设有沉积学、古生物学、地球化学、岩石学、地球物理学的专门实验室, 还配有冷藏岩芯库、图书馆、扫描电镜、X 射线衍射/荧光仪、地震仪、旁扫声纳、大型计算机、摄影机等, 是当今设备最完善的海上实验室。

#### (二) 钻探目标和成果的新进展

1. 钻探科学目标的新进展 深海钻探起初以洋底构造为目标。具有丰富信息的沉积物长岩芯的不断积累, 使科学家的注意力转向古海洋学。

ODP 前任副总裁加里森(Garrison, L., 1991)说: 1991 年 ODP 研究的三大支柱是古海