

AN INTRODUCTION TO
MARINE GEOLOGY

近代海洋地质学

朱而勤 主编



青岛海洋大学出版社

近代海洋地质学

主 编：朱而勤

副主编：王桥先

林振宏

作 者：(以姓氏笔划为序)

王 琦

王桥先

朱而勤

庄振业

李学伦

李桂群

吴铭先

陆念祖

林振宏

青 岛 海 洋 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书主要介绍海洋地球物理及其地质应用,地壳结构模型的新认识,板块构造及地体学说,西太平洋大陆边缘的发展演化历史,沙坝泻湖沉积体系,海岸陆架的沉积动力学,海底岩石学的一些最新成果,海底多金属结核及热液矿床以及海底工程地质等章节。在各章节中详细论述了这些分支领域的最新进展和新概念,本书大部分内容在国内尚属首次系统介绍。

近 代 海 洋 地 质 学

朱而勤 主编

*

青岛海洋大学出版社出版

青岛市鱼山路5号

邮政编码: 266003

新华书店发行

高密县计算机技术服务部微机激光照排

青岛海洋大学印刷厂印刷

*

1991年8月第1版

1991年8月第1次印刷

16开(787×1092毫米) 23.5印张 4插图 540千字

印数1—1000

ISBN 7-81026-019-7/P·2

定价:24.00 元

序 言

自1922年以德文出版第一本《海洋地质学》以来，迄今已有6种海洋地质学相继问世，国内也已出版译著4种，教材1种。近年来海洋地质学进展迅速，仅用某一种出版物不能满足对研究生加深海洋地质学理论教育的需要，因此撰写本书。这几年国内出版了海洋地质学及某些分支学科的专著或教材，如《海洋地质学》、《海洋自生矿物》、《海洋沉积学》、《海洋地球化学》、《古海洋学概论》以及数本有关中国近海的区域海洋地质学专著。本书力求避免与上述出版物的内容重复，而重点论述当前国内外研究的一些前沿课题；因此，本书并未包括海洋地质学的所有分支。

我系和河口海岸带研究所多年来在海洋地质领域的许多方面作了大量调查和研究。本书以本专业的主要科研成果为基础，尽量收集国内外有关资料撰写而成。并尽量反映相应分支学科的新进展、新理论和新成果。各章内容具有相对独立性。部分章节曾在研究生中试用过1—2次，编入本书时又进行了修改和充实。

本书是集体劳动的成果。在本书编写过程中，得到了我校各级领导，特别是秦启仁副校长的关怀和资助。青岛市各兄弟单位如中科院海洋研究所、国家海洋局第一海洋研究所及地矿部海洋地质研究所等给予了很大的支持和帮助。

海洋所喻普之研究员、范守志副研究员对部分章节提出了宝贵意见。黄际遂同志协助绘制图件。对以上单位和同志谨致衷心感谢。本书的错误和不足之处，望读者指正。

朱而勤

1990.5.29

目 录

序 言	1
第一章 绪论	朱而勤···1
第一节 基本概念	1
第二节 学科内容	1
第三节 研究简史	3
第二章 古地磁、大洋磁场及海洋重力	吴铭先···9
第一节 地磁物理学	9
一、点磁极的场及其位	9
二、偶极子的场及其位	10
三、磁性体的场及其位	10
四、岩石的磁化	11
第二节 地磁场	13
一、地磁场的简单解析表示	13
二、地磁场的变化	14
三、地磁场的倒转	15
第三节 粗略估计海洋磁异常的简单二维模型上的磁场	19
一、向下无限延伸的垂直接触带上的磁场	19
二、向下有限延伸的水平层上的磁场	20
三、向下及水平有限延伸的二度水平层上的磁场	21
第四节 Vine 和 Matthews的理论	21
一、Mason和Raff的资料(1961)	21
二、Vine和Matthews理论	23
三、大洋沉积物中的磁场倒转年代	24
四、根据线形异常外推倒转年代	26
第五节 大洋中的线性磁异常	27
一、线性磁异常的鉴别	27
二、太平洋中的磁异常	28
三、印度洋中的磁场	33
四、大西洋中的磁场	35
第六节 大洋磁场研究中的几个其它问题	39
一、海山磁性的计算	39
二、虚地磁极	46

三、岩石圈消亡在磁场上的反映	50
四、转换断层带上的磁场	50
第七节 海洋重力改正与重力异常	52
一、自由空间改正与自由空间异常	55
二、布格改正、布格异常	56
三、区域异常和剩余异常	58
第八节 海洋重力异常的特征	59
一、海脊、海沟上的重力异常	59
二、群岛、海山上的重力异常	65
三、大陆边缘区的重力异常	67
第三章 海洋岩石圈	李学伦 73
第一节 地壳结构	73
一、标准洋壳结构	74
二、洋底地壳结构的侧向变化	74
三、洋壳与陆壳的基本区别	77
四、深海钻探与洋壳研究	79
五、洋壳的形成	81
第二节 岩石圈和软流圈	83
一、面波和低速层	83
二、软流圈和岩石圈的性质	84
三、岩石圈弹性特点与层状构造	85
第三节 海洋岩石圈的演化	87
一、海洋岩石圈演化模式	87
二、海洋岩石圈厚度的定量计算	88
三、海洋岩石圈演化与海底沉降	90
第四节 海底热流与洋壳内的热液循环	93
一、大地热流	93
二、海底热流的分布规律	95
三、海洋地壳内的热液循环	97
四、热液循环的地质涵义	101
五、洋壳初期表面形态变化的热力学模式	102
第五节 结晶洋壳的内部构造和形变	107
一、洋壳内部构造的典型剖面	107
二、洋壳内部构造的各向异性	107
三、洋壳内部构造和形变的动力学机制	109
第四章 板块构造理论及地体学说	王桥先 113
第一节 海底扩张	113
一、大洋中脊	113

二、海底地磁异常与地磁年代表	115
三、大洋中脊热流	118
四、海底扩张速率	120
五、扩展性扩张*	120
六、重迭扩张轴	122
七、轴部岩浆房与重迭扩张轴间的关系	125
八、重迭扩张与扩展性扩张的区别及微板块的发展	126
第二节 板块构造	127
一、转换断层	127
二、板块的划分和边界类型	128
三、板块运动	130
四、无震海岭与热点	132
五、裂谷	134
六、板块运动的驱动力问题	135
第三节 板块俯冲地质	135
一、俯冲带	136
二、岛弧——海沟系	136
三、地震活动	137
四、混杂堆积	138
五、增生楔状体	138
六、双变质带	138
七、蛇绿岩套	139
八、岩浆活动	140
第四节 地体说	141
一、引言	141
二、定义	142
三、类型	142
四、拼合与增生	144
五、分析方法	147
第五章 西太平洋边缘的构造演化	李桂群 149
第一节 概述	149
第二节 大陆的起源及形成	149
一、地质构成	149
二、起源	153
三、形成	155
第三节 演化	162

一、安第斯型大陆边缘发展阶段	162
二、岛弧型陆缘发展阶段	178
三、大规模走向滑动	191
第四节 演化与成矿作用的关系	192
一、安第斯型陆缘阶段	193
二、岛弧型陆缘阶段	194
第六章 沙坝泻湖沉积体系	庄振业 199
第一节 滩脊砂体	200
一、砂砾质滩脊	200
二、贝壳滩脊	201
三、古滩脊	203
第二节 沙坝砂体的沉积特征	203
一、研究历史	203
二、发育条件	204
三、实例	205
第三节 沙坝砂体的沉积特征	206
一、几何形态	206
二、结构	211
三、层理构造	211
四、沉积相	212
第四节 泻湖环境和沉积特征	215
一、发育的类型	215
二、沉积环境	216
三、沉积物	218
四、古泻湖沉积	222
第五节 沙坝泻湖的沉积层序	223
一、海进型层序	223
二、海退型层序	227
三、其它类型层序	229
四、分布规律和发育的阶段性	229
第六节 总结	231
第七章 近岸带及陆架动力沉积作用	朱而勤 234
第一节 引言	234
第二节 近岸带动力沉积作用	236
一、近岸带的类型	237
二、作为大型动态系统的近岸带	243
三、近岸带系统模型	245
四、海滩短期变化的预测模型	248

五、海滩剖面的响应模型	250
第三节 陆架动力沉积学的几个问题	255
一、陆架泥沙搬运	255
二、波浪对沉积的作用	256
三、风暴控陆架的过程响应模式	257
第八章 洋壳岩石剖面	王琦 260
第一节 洋壳岩石剖面	262
一、层2A	262
二、层2B	263
三、层2C	264
第二节 大洋上地幔的组成岩石——大洋超镁铁岩	264
一、上地幔的结构	264
二、超镁铁岩在洋底的分布	268
三、岩石学特征	270
四、各个构造环境下的超镁铁岩特征	273
五、地幔的部分熔融	275
第三节 洋壳层2的组成岩石——大洋玄武岩	277
一、类型	278
二、矿物成分	281
三、结构	284
四、岩石化学	285
五、不同构造环境的岩石特征	294
六、成因	297
第四节 洋壳层3的组成岩石——辉长岩类	298
一、海底出露的条件	298
二、岩石类型	300
三、垂向变化	301
四、岩石化学	301
五、变质作用	301
第五节 活动边缘的火山岩	303
一、喷发方式及产物	304
二、岩石特征	304
三、马利亚纳岛弧——海沟剖面	304
四、成因	307
第九章 深海底金属矿产	林振宏 310
第一节 概述	310
第二节 锰结核和富钴锰结壳	311
一、锰结核	311

二、富钴锰结壳	320
第三节 海底热液矿床	328
一、成矿模式	329
二、分类	329
三、硫化物矿床的类型	332
第十章 海洋工程地质环境	陆念祖...342
第一节 概况	342
一、研究内容	342
二、研究方法	342
第二节 海底沉积物的工程特性	343
一、自然环境	343
二、天然固结状态	343
三、工程地质特性	344
第三节 海底不稳定性	347
一、表征	347
二、影响因素	348
三、主要类型	349
四、实例	352
第四节 海洋工程地质调查	353
一、阶段	353
二、方法	353
三、评价及成果图件	356

CONTENTS

PREFACE	1
CHAPTER 1 INTRODUCTION (by Zhu Er-Qin)	1
I . Basic Conception.....	1
II . Disciplinary Content	1
III . History Outline	3
CHAPTER 2 PALAEOMAGNETISM, GEOMAGNETIC FIELD IN OCEANS AND OCEANIC GRAVITY (by WU MING-XIAN)	9
I . Physics Of Geomagnetism	9
1. Field and Potential Due to a Monopole.....	9
2. Field and Potential Due to a Dipole.....	10
3. Field and Potential Due to Magnetized Block	10
4. Rock Magnetization	11
II . Earth's Magnetic Field.....	13
1. Simple Analytic Expression of Earth's Magnetic Field	13
2. Variations of Earth's Magnetic Field.....	14
3. Reversals of Earth's Magnetic Field	15
III . Magnetic Field of A Simple Two-dimensional Model for Rough Estimating Marine Magnetic Anomalies.....	19
1. Magnetic Intensity from a Vertical Contact Zone Infinite Downward	19
2. Magnetic Intensity from a Slab Finite Downward	20
3. Magnetic Intensity from an Infinitely Long Slab Extended Finite Vertically and Horizontally	21
IV . Theory of Vine and Mathews	21
1. Data of Mason and Raff(1961)	21
2. Theory of Vine and Matthews.....	23
3. Reversal chronology in oceanic sediments	24
4. Extrapolation of Reversal Chronology from Lineated Anomalies	26
V . Lineated Magnetic Anomalies in the Oceans	27
1. Identification of Lineated Anomalies.....	27
2. Magnetic Anomalies in the Pacific Ocean	28
3. Magnetic Anomalies in the Indian Ocean	33

4. Magnetic Anomalies in the Atlantic Ocean	35
VI. Aspects of the Magnetic Anomaly Studies in the Ocean	39
1. Calculation of Magnetization of the Seamounts	39
2. Virtual Geomagnetic Pole	46
3. Identification of Magnetic Anomalies for Consumption of the Lithosphere	50
4. Characteristics of Magnetic Anomalies Over the Transform Fault Zone	50
VII. Marine Gravity Reduction and Anomalies	52
1. Free-Air Reduction and Free-Air Anomaly	55
2. Bouguer Reduction and Bouguer Anomaly	56
3. Regional and Residual Anomalies	58
VIII. Characteristics of Gravity Anomalies in the Oceans	59
1. Gravity Anomalies Over Ridges and Trenches	59
2. Gravity Anomalies Over Archipelago and Seamounts	65
3. Gravity Anomalies Over Continental Margin Regions	67
CHAPTER 3 OCEANIC LITHOSPHERE (by Li Xue-Lun)	73
I. Crustal Structures	73
1. Structures of the Oceanic Crust	74
2. Lateral Variation of Oceanic-Crust Structures	74
3. Principal Difference between Oceanic Crust and Continental Crust	77
4. Deep Sea Drilling and Research on Oceanic Crust	79
5. Formation of Oceanic Crust	81
II. Lithosphere and Asthenosphere	83
1. Surface Wave and Low-Velocity Layer	83
2. Characteristics	84
3. Elastic Characteristics and Layered Structure	85
III. Evolution of the Oceanic Lithosphere	87
1. Evolutional Models	87
2. Thickness Calculations	88
3. Evolution of the Oceanic Lithosphere and Subsidence of the Ocean Floor	90
IV. Heat Flow and Hydrothermal Circulation	93
1. Terrestrial Heat Flow	93
2. Distribution Pattern of Heat Flow	95
3. Hydrothermal Circulation	97
4. Geological Implication of Hydrothermal Circulation	101

5. Thermodynamic Model of Morphological Variation of Initial Crust	102
V . Internal Structure and Deformation in the Crystalline Oceanic Crust	107
1. Standard Profile	107
2. Anisotropy of Internal Structure	107
3. Mechanism of Internal Structure and Deformation	109
CHAPTER 4 THEORY OF PLATE TECTONICS AND TERRANE (by Wang Qiao-Xian)	113
I . Sea Floor Spreading	113
1. Mid-Oceanic Ridge	113
2. Geomagnetic Anomaly and Geomagnetic Polarity Reversal Time Scale	115
3. Heat Flow in the Mid-Oceanic Ridges	118
4. Spreading Rate	120
5. Extended Spreading	120
6. Overlapping Spreading Axis	122
7. Relationship Between Magma Chambers and Overlapping Spreading Axis	125
8. Difference Between Overlapping Spreading and Extended Spreading, and Development of Micro-Plates	126
II . Plate Tectonics	127
1. Transform Faults	127
2. Plate Division and Types of Plate Boundary	128
3. Plate Motion	130
4. Aseismic Ridges and Hot Spots	132
5. Rift Valley	134
6. Driving Force of Plate Motion	135
III . Geology of the Plate Subduction	135
1. Subduction zones	136
2. Island Arc-Trench Systems	136
3. Seismicity	137
4. melange	138
5. Increase Wedges	138
6. Twin-metamorphic Zones	138
7. Ophiolite Suit	139
8. Magmatism in Plate Subduction Zones	140
IV . Terrane Theory	141

1. Introduction	141
2. Definition	142
3. Types	142
4. Combination and Increase	144
5. Analysis Method	147
CHAPTER 5 TECTONIC EVOLUTION OF THE CONTINENTAL MARGIN	
ALONG THE WEST PACIFIC (by Li Gui-Qun)	149
I . Outline	149
II . Origin and Formation of Continent	149
1. Geological Framework	149
2. Origin	153
3. Formation Process	155
III . Evolution	162
1. Evolutional Stages of Andean-Type Continental Margin	162
2. Evolutional Stages of Island-Arc-Type Continental Margin	178
3. Massive Strike-Slips	191
IV . Relationship Between Evolution and Mineralization	192
1. Stage of Andean-Type Continental Margin	193
2. Stage of Island-Arc-Type Continental Margin	194
CHAPTER 6 SEDIMENTARY SYSTEM OF BARRIER LAGOONS (by Zhang	
Zhen-Ye)	199
I . Sand bodies of Cheniers	200
1. Sand-Gravel Cheniers	200
2. Shell Cheniers	201
3. Paleo-cheniers	203
II . Environmental Conditions of Barrier Development	203
1. Research history	203
2. Developmental Conditions	204
3. Example	205
III . Characteristics of Barrier Sand Bodies	206
1. Geometry	206
2. Texture	211
3. Stratification	211
4. Sedimentary Facies	212
IV . Characteristics of Lagoon Environment and Sediments	215
1. Development and Types	215
2. Sedimentary Environments	216
3. Sediments	218

4. Sediments of Paleolagoons	222
V. Sedimentary Sequence of the Barrier-Lagoon System	223
1. Transgressional Sequences	223
2. Regressional Sequences	227
3. Other Sequences	229
4. Distribution Pattern and Evolutional Stages	229
VI. Summary	231
CHAPTER 7 DYNAMIC SEDIMENTATION OF NEARSHORE ZONE AND	
CONTI-NENTAL SHELF (by Zhu Er-Qin)	234
I. Introduction	234
II. Dynamic Sedimentation in Nearshore Zone	236
1. Types of Nearshore Zone	237
2. Nearshore Zone as a Large Dynamic Systems	243
3. Systematic Models of Nearshore Systems	245
4. Predictive Model On Temporal Change of Beach	248
5. Response Model of Beach Profile	250
III. Several Problems about Dynamic Sedimentology on Shelf	255
1. Sediment Transportation on Continental Shelf	255
2. Effects of Waves	256
3. Process-Response Model of Storm-Dominated Shelf	257
CHAPTER 8 PETROGRAPHIC COLUMN OF OCEANIC CRUST (by Wang	
Qi)	262
I. Petrographic Column	262
1. Layer 2A	263
2. Layer 2B	264
3. Layer 2C	264
II. Rocks of Oceanic Upper Mantle——Oceanic Ultramafites	264
1. Structure of Upper Mantle	264
2. Distribution on Ocean Floor	268
3. Petrographic Characteristics	270
4. Ultramafites under Different Tectonic Environments	273
5. Partial Melting in Mantle	275
III. Rocks of Layer 2——Oceanic Basalt	277
1. Types	278
2. Mineral Components	271
3. Texture	284
4. Petro chemistry	285
5. Characteristics in Different Tectonic Environments	294

6. Origin.....	297
IV. Rocks of Layer 3 — — — Gabbroite	298
1. Conditions Controlling Exposure of Gabbroite on Ocean Floor	298
2. Types	300
3. Vertical Variation	301
4. Petrochemistry	301
5. Metamorphism	301
V. Volcanic Rocks in active Margins	303
1. Extrusive Pattern and Products	304
2. Petrographic Characteristics	304
3. Section Across Mariana Island Arc-Trench	304
CHAPTER 9 METALLIC MINERAL RESOURCES ON THE DEEP SEAFLOOR	
(by Lin Zhen-Hong)	310
I. Introduction	310
II. Manganese Nodules and Cobalt-Rich Crusts	311
1. Manganese Nodules	311
2. Cobalt-Rich Manganese Crusts	320
III. Marine Hydrothermal Deposits	328
1. Mineralized Processes	329
2. Classification	329
3. Types of Sulfide Deposit	332
CHAPTER 10 MARINE GEOTECHNICAL ENVIRONMENT (by Liu Nian-Zhu)	
.....	342
I. Introduction	342
1. Disciplinary Content	342
2. Studies Method	342
II. Geotechnical Properties of Marine Sediments	343
1. Natural Environment	343
2. In-Situ Consolidated State	343
3. Geotechnical Properties	344
III. Seafloor Instability	347
1. Geological Features	347
2. Influence Factors	348
3. Types of Features	349
4. Survey Example	352
IV. Marine Geotechnical Investigations	353
1. Major Phases	353
2. Method	353
3. Data and Evaluation	356

第一章 绪 论

第一节 基本概念

地球表面的71%被海水覆盖,实际上地球是一个水球,各大洲象几个岛状陆块被大洋所包围。南半球表面被大洋覆盖了81%,北半球被覆盖了61%。海洋地质学是研究海水覆盖下的这部分地球的特征和演化历史,其主要研究对象是海下岩石圈的形貌、组分、地质构造、地球物理场和演化历史,为认识地球、开发利用地球服务。它既是地质学也是海洋学的下属学科。海洋地质学以传统地质学的理论和基本概念为基础,以新技术为手段,来探索大洋岩石圈,由此所获得的新资料、新理论又促进整个地质学的发展。

海洋地质学的每一进展均对地质学起重要影响,如海底扩张学说,引起整个地学发生了深刻革命。由于大洋构造控制着整个地球表层的形态和地质特征,大洋古环流的变化将给予地质历史时期的全球环境以巨大影响;因此,在某种程度上可以说:“没有海洋地质学就没有近代地质学。”

海洋地质学的每一重大进展不仅将促进地质学的进步,而且对开发利用海洋,保护海洋带来显著效益。海底热液矿床的发现大大充实了矿床成因理论,它是现代矿床成因研究的天然实验室,使可能重新认识各类层控、时控矿床的形成条件、过程和分布规律。由于它富集度大、水深小,易于开采、品位高、多种金属共生和综合利用价值大等优点,极可能将代替研究了一百多年的多金属结核(锰结核)矿产,而成为最有开发远景的深海矿物资源。海洋地质学在海岸带和大陆架的开发利用中也起着极为突出的作用。

第二节 学科内容

海洋地质学的研究领域十分广泛,涉及到地质学的各个部分,主要的分支如下:

1. 海底地貌学 研究海底地貌景观、空间分布及成因,是海洋地质学的经典学科,曾经对海洋地质学的发展,特别是板块构造学说的建立作出了重要贡献。海岸带由于其特殊的政治、经济地位,有关的地貌学受到更多的关注。海底由大陆边缘、洋盆底及洋中脊组成。海底地貌的基本格局受海底地质构造所控制,因此主要是构造地貌和火山地貌,当然也包括部分堆积和侵蚀地貌,如大陆隆、海底峡谷等。海底地貌的主要调查手段为精密测深、侧扫声纳和潜水观察。近年发展较缓慢。

2. 海洋地球物理学 着重研究海洋区的各种地球物理场及其时空变化,包括海洋重力、海底地磁学、海底地震学(研究海底地震波场)、海洋地电学、海洋地热学等下属领域。测量这些地球物理场的地球物理测量,是深入了解海底地质构造、大洋地壳结构的重要手段。