



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

吕炳全 编著

海洋地质学概论

INTRODUCTION TO MARINE GEOLOGY



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

主要内容

本书是根据《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》的要求，在广泛调研的基础上，参考国内外有关文献，结合编者多年的教学经验和科研成果，编写而成的。本书可作为高等院校地质工程、地质资源、地质环境等专业及相关专业的教材，也可供从事地质工作的工程技术人员参考。



海洋地质学概论

HAI YANG DI ZHI XUE GAI LUN

吕炳全 编著

普通高等教育“十一五”国家级规划教材				普通高等教育“十一五”国家级规划教材				普通高等教育“十一五”国家级规划教材			
海洋地质学概论				海洋地质学概论				海洋地质学概论			
书号	定价	ISBN	开本	书号	定价	ISBN	开本	书号	定价	ISBN	开本
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32
15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32	15511	11.80	978-7-312-01111-1	1/32



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书系2006年由教育部审定出版的“十一五”高等院校规划教材之一。书中对海洋地质学科的基本概念、基础理论进行了系统阐述,文字简练、图表清晰,吸收了本学科前沿领域的最新发展资料,内容新颖、丰富,并紧密与当前海洋开发相结合。本书适合海洋地质调查专业、海洋矿产资源专业、海洋工程、海洋环境等专业的本科生、研究生教学使用,并可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋地质学概论/吕炳全编著. —上海:同济大学出版社,2008. 11

ISBN 978-7-5608-3797-0

I. 海… II. 吕… III. 海洋地质学-概论
IV. P736

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 073535 号

吕炳全 著

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

海洋地质学概论

吕炳全 编著

责任编辑 徐国强

责任校对 徐春莲

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 20.5

印 数 1—2100

字 数 512 000

版 次 2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3797-0

定 价 35.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序 言

21 世纪是海洋开发的世纪。人类在陆地上发展、开发了几千年,陆地上的
人口越来越多,资源和能源日益枯竭。当今人们在探求人类生存与发展的新空
间时,有两个方向可供选择:一是海洋;二是宇宙。宇宙无限宽广,宇宙中的无
数星球上有可供人类使用的无穷资源和空间,这令人无比兴奋和向往。然而宇
宙空间毕竟十分遥远,宇宙的开发技术极为复杂,耗资又极大。虽然有些国家
正在努力进入宇宙空间探测,但仅是刚刚起步,我国的探月工程也刚开始实施。
要真正开发利用宇宙空间来满足人类生存与发展的需要还为时久远,远水难解
近渴。海洋却是近在岸边,开发利用海洋比起开发宇宙来得方便、现实和有效。
人类现代的科学技术已经能在开发、利用海洋的活动中发挥作用,据目前初步
调查,海洋里蕴藏的资源、能源和空间比陆地丰富得多,海洋是大自然赐予人类
的一个巨大的资源宝库。初步估算,海底蕴藏的多金属结核中,锰含量约2 000
亿 t,大体相当于陆地储量的 40~1 000 倍;海底磷矿、硫化矿、砂矿亦很丰富;海
洋的潮汐能、海浪能、海流能、海水热能等可再生能源的理论储量约为
1 500 亿 kW,其中可开发利用的约 70 多亿 kW,相当于目前全球发电总量的十
几倍;海水中含有大量化学元素,可提取的元素包括铀、氘、氟等 80 余种;海洋
的水产资源极为丰富,海洋生物有 20 万余种,所能提供的蛋白质占到人类食用
蛋白质的 1/3 左右。此外,浩瀚的海洋空间正引起人类越来越大的兴趣,除了
传统上作为海上航道外,人们正在开拓新的利用领域,包括建设海上城市、海上
机场、海上桥梁、海底隧道、海底仓库等,以期拓展人类生存的空间。海水本身
也是一种重要资源,它不仅可以通过脱盐处理变成淡水,还可以直接用于工业
冷却、印染、清洁、消防,将来还有可能用于农业灌溉。总之,海洋的资源和能源
可以供人类使用几百年甚至上万年,占地球表面积 70.8% 的海洋给人类提供了

巨大的活动场所。人们首先选择了海洋作为人类生存与发展的重要空间是十分正确的。海洋是人类未来的可持续发展的依靠,是人类未来的希望。

在开发利用海洋的过程中,人们的海洋观念也在随之变化。早期人类不能下到海洋中去活动,只能站在岸边,因此对海洋充满神秘感。随后在岸边发展捕捞、晒盐和航行,逐渐进入海洋。历史上,重视海洋的国家都成为发达国家,我国明代郑和在28年中(公元1405—1433年)先后七下西洋,当时是明朝鼎盛时期;60年后,1492年,西班牙支持哥伦布的环球活动,发现了美洲大陆,带给西班牙200年的繁荣;继之,荷兰海洋事业发展起来,称雄一时。18世纪后,英国海洋事业大发展,占领了遍布世界各地的众多陆地和岛屿,号称“日不落国”。迄今,海洋事业强大的国家,大多是发达国家和较发达国家;所有沿海地区都是发达和较发达地区。目前,世界上许多国家视海洋为开拓地,制定了面向海洋、开发海洋的国策。人们已经认识到,海洋是21世纪确立国家地位和经济实力的决定性因素之一,向海洋发展已成为大趋势和各国的战略抉择。我国不仅是陆地大国,也是海洋大国。在维护国家海洋权益、开发海洋资源和能源以及保护海洋环境等方面正在不断努力,不断取得新成就。

因此,海洋科学技术目前已成为世界各国争先发展的高科技领域,在21世纪必将成为人类最为重要的、支柱性的高科技之一。开发海洋,需要获取大范围、精确的海洋数据,需要进行海底勘探、深海钻探、取样、水下施工等。要完成上述任务,需要一系列的海洋开发支撑技术,包括深海探测、深潜、海洋遥感、海洋导航等。美国是世界上最早进行深海研究的国家,“阿尔文”号深潜器曾在水下4 000 m处发现了海洋生物群落,“杰逊”号机器人潜入到了6 000 m深处。1960年,美国的“迪里雅斯特”号潜水器首次潜入世界大洋中最深的海沟——马里亚纳海沟,最大潜水深度为10 916 m。1997年,中国利用自制的无缆水下深潜机器人,进行深潜6 000 m深度的科学试验并取得成功,这标志着中国的深海研究已步入正轨。

海洋地质学是人类在了解和探测海洋的实践基础上逐步形成的学科,它研究海洋的基本性质,探测海洋中的各种地质作用、矿产资源和能源的形成,解释海洋的演变历史和成因。海洋占地球表面的2/3,不了解海洋,就难以认识地球。不仅如此,今天我们认识地球的全部海洋知识,还是探测其他星球上海洋的重要基础。许多学者认为,在太阳系中,火星上可能曾经有过大面积的海洋。木星的卫星木卫二(欧罗巴)很有可能完全被海洋覆盖,其表面的冰层虽然有10

多公里厚,冰层下有流水几乎已被证实。木卫四(卡利斯托)可能也完全被海洋覆盖。海王星的卫星海卫一(特里顿)的表面完全被一层冰覆盖,其冰层下可能已经没有流水了。太阳系外的星球探测中,也不时传来发现水的报道。今后我们要用地球上获得的海洋基础知识来为探究其他星球服务。

最近,地质学家通过实验室模拟,在人们最意想不到的地表之下 1 000 km 以上的地层深处找到了水。在地表之下 650~2 900 km 的深处,是围绕地核周围的高热、高压物质。在这被称为下部地幔层的矿物质中,发现可能包含有其自身质量 20% 的水,温度达 1 000℃ 以上,赋存于承受高压的矿物岩里,可能储藏着相当于地球表面所有大洋水量 5 倍的水。这表明在地球深处存在一个更大的海洋,有待人们去研究和开发,而且该项发现还很可能有助于我们弄清地球是如何形成和发育的。这些都表明,海洋地质学的发展任重道远。

从上述目的出发,本书在《海洋环境与地质》(1997 年出版)一书的基础上,广泛向曾使用过本书的中国地质大学、中国科技大学、厦门大学等征求意见,进行了全面修改,改名为《海洋地质学概论》。对海洋地质学中的最基本的理论和概念作了系统、简明的阐述;其中有国内外近期的研究成果,在许多章节中引入了大洋钻探的成果,也有我们自己的研究成果。特别在海水的基本性质、海水运动及其能源、大洋地壳的结构及其运动、大陆边缘的基本特征、海洋沉积生物、海洋地球化学、深海地质作用过程和沉积作用、缺氧事件、陨击事件和海洋矿产资源等方面作了较详细的阐述。其中“海洋矿产资源”一章在《海洋环境与地质》一书中由孙志国同志撰稿,本书保留了该章的基本内容,但对其中海洋油气资源和热液矿产等部分进行了新资料的补充和改写,增添了新的内容“天然气水合物”。

本书为庆祝同济大学百年校庆(1907—2007 年),向教育部申请“十一五”规划教材而撰写。对支持本书出版的同济大学教务处、同济大学出版社致以感谢。对为本书撰稿的孙志国同志、提供资料和帮助的闵秋宝副教授、王红罡、刘峰、余东华、李霞等同志表示衷心的感谢。

吕炳全

2007.12 上海

目 录

序 言

第一章 绪论	1
1.1 海洋地质学的内容	1
1.2 海洋地质学的历史回顾	3
1.3 21 世纪是全面开发海洋的世纪	6
1.4 我国海洋研究和开发前景	8

第二章 海水的基本性质及其起源

2.1 海水的状态和颜色	11
2.1.1 海水的状态	11
2.1.2 海水的颜色	12
2.2 海水的盐度、温度和密度	12
2.2.1 海水的盐度	12
2.2.2 海水的温度	16
2.2.3 大洋暖池	20
2.2.4 海水的密度	27
2.3 海水的起源	29
2.3.1 水的聚集事件	29
2.3.2 原始水的形成和存在状态	30
2.3.3 太阳系中水的再分配	31
2.3.4 水圈的形成和补充	32

第三章 海水的运动及其能源

3.1 波浪及其能源	34
3.1.1 波浪要素与分类	34

3.1.2	深水波	36
3.1.3	浅水波	37
3.1.4	涌的传播	39
3.1.5	中国海的波浪	39
3.1.6	波浪的折射、绕射和反射	39
3.1.7	波浪能源的开发、利用	40
3.2	潮汐及其能源	42
3.2.1	潮汐的定义与要素	42
3.2.2	潮汐分类和它的不等现象	42
3.2.3	引潮力	43
3.2.4	潮汐椭球与潮汐规律	44
3.2.5	中国近海潮汐	45
3.2.6	潮汐能源的开发、利用	45
3.3	海(洋)流及其能源	47
3.3.1	海流及其分类	47
3.3.2	风海流	48
3.3.3	全球主要表层环流系统	49
3.3.4	深海洋流系统	52
3.3.5	海流能源的开发利用	53
第四章	海洋沉积生物	55
4.1	海洋生物生产力	55
4.1.1	海洋初级生产力	56
4.1.2	海洋动物生产力	56
4.1.3	海洋生物生产力的分布	57
4.2	海洋食物链	57
4.2.1	海洋食物链的定义和特征	57
4.2.2	海洋食物链的类别	58
4.2.3	食物网	59
4.3	海洋沉积生物	59
4.3.1	大型个体海洋沉积生物	59
4.3.2	钙质微体生物	60
4.3.3	硅质沉积生物	62
4.4	深海生态	64
4.4.1	深海生态的基本特点	64
4.4.2	海底热泉生物群落	65
4.5	海底深部细菌的沉积作用	65

第五章 大洋地壳的构造与岩石组成	68
5.1 大洋地壳的结构	69
5.1.1 大洋地壳的分层	69
5.1.2 大洋中脊与深海盆地地壳的不同	70
5.2 大洋中脊及其岩石组成	71
5.2.1 大西洋中脊	72
5.2.2 印度洋中脊	74
5.2.3 东太平洋隆起	75
5.2.4 无震洋脊	77
5.3 大洋盆地的岩石组成	78
5.3.1 印度洋的洋盆	78
5.3.2 大西洋的洋盆	78
5.3.3 太平洋的洋盆	78
5.4 大陆漂移和海底扩张	79
5.4.1 大陆漂移	79
5.4.2 海底扩张说	80
5.4.3 板块构造	81
5.5 板块运动	84
5.5.1 地幔对流是板块运动驱动力	84
5.5.2 板块的俯冲运动	85
5.5.3 俯冲带的岩石组合类型	87
5.5.4 与岛弧—海沟系有关的火山岩系	89
5.6 板块活动与造山运动	89
5.6.1 碰撞造山带	90
5.6.2 俯冲造山带	90
5.6.3 仰冲造山带	90
5.6.4 转换挤压造山带	91
5.7 大洋中的残留陆块	92
5.7.1 洛德豪残留陆块	93
5.7.2 福克兰残留陆块	93
5.7.3 塞舌尔残留陆块	93
5.7.4 罗考尔残留陆块	94
5.7.5 扬马延残留陆块	94
5.7.6 残留陆块形成的机制和存在的问题	95
第六章 全球变化与海面变化	97
6.1 全球变化研究的科学目标	97
6.2 全球变化的现象	99
6.2.1 全球气候变暖	99

6.2.2	大气臭氧层的损耗	99
6.2.3	大气中氧化作用的减弱	100
6.2.4	生物多样性的减少	100
6.2.5	土地利用格局与环境质量的改变	101
6.3	海洋在全球变化中的作用	101
6.3.1	海洋在全球碳循环中的作用	101
6.3.2	调节气候的作用	102
6.3.3	海面升降	104
6.4	海面变化的基本特征	105
6.4.1	海面变化与全球气候的关系	105
6.4.2	海面变化对滨岸的影响	106
6.4.3	海面变化与沉积作用	106
6.5	第四纪的海面变化	107
6.5.1	早—中更新世的海面变化	107
6.5.2	晚更新世的海面变化	107
6.5.3	全新世的海面变化	108
6.5.4	全球海面变化的分区	110
6.6	近百年来海面变化	111
6.7	海面变化的原因	112
6.7.1	海洋水体积的变化	112
6.7.2	洋盆容积的变化	113
6.7.3	海水物理性质的变化	113
6.7.4	海水盐度的变化	113
6.7.5	天文因素效应	113
6.7.6	地球物理因素的变化	114
6.7.7	人类社会经济活动的影响	114
第七章 海岸带		115
7.1	海岸带的定义	116
7.2	海岸带的动力因素	117
7.2.1	波浪、潮汐和海流	117
7.2.2	河流与冰的作用	117
7.2.3	地壳运动	118
7.2.4	生物作用	118
7.3	海岸的分类	118
7.4	垂直岸线的泥沙运动	121
7.4.1	中立线的概念	121
7.4.2	影响中立线的因素	121
7.4.3	均衡剖面的塑造	122

7.5	平行岸线的泥沙运动	122
7.5.1	冲积物流三要素	123
7.5.2	冲积物流形成的堆积体	123
7.6	滨岸沉积相	125
7.6.1	滨岸平原相	126
7.6.2	海滩、潮坪沉积	126
7.6.3	水下岸坡相	127
7.7	合理开发、利用我国海岸带资源	128
7.7.1	海岸地下水资源的合理开发	128
7.7.2	地下热矿水和资源	128
7.7.3	饮料矿水和疗矿水	128
7.7.4	海岸矿产资源	129
7.7.5	海岸带旅游事业	130
第八章 海洋地球化学		132
8.1	海洋中的 CO_2 系统	132
8.1.1	总二氧化碳及其分布	132
8.1.2	海水中的 CaCO_3 与 CO_2 系统	133
8.1.3	海洋生物与 CO_2 系统的关系	133
8.1.4	海水的酸碱性与 CO_2 系统	134
8.2	海水中溶解的气体	135
8.2.1	海水中溶解氧的来源及作用	135
8.2.2	溶解氧在海水中的分布	136
8.3	海水中的微量元素	136
8.3.1	含量和逗留时间	137
8.3.2	影响微量元素分布的因素	139
8.3.3	海水中微量元素的存在形式	140
8.4	海水中的有机物	140
8.4.1	溶解有机物	140
8.4.2	颗粒有机物	141
8.4.3	挥发性有机物	141
8.5	海洋中放射性核素	141
8.5.1	海洋中天然放射性核素	142
8.5.2	海洋中的人工放射性核素	143
第九章 三角洲		145
9.1	三角洲的概念和研究意义	145
9.2	三角洲的发育与类型	145
9.2.1	河口沙坝与汉道河床	146

9.2.2	三角洲的类型	146
9.2.3	三角洲的沉积特征	147
9.3	控制三角洲发育的因素	148
9.3.1	气候	148
9.3.2	径流量与输沙量	148
9.3.3	河口水流特征	149
9.3.4	潮汐作用	149
9.3.5	波浪作用	149
9.3.6	海流作用	150
9.4	河控三角洲	150
9.4.1	黄河三角洲	150
9.4.2	密西西比河三角洲	152
9.5	浪控三角洲	153
9.5.1	韩江三角洲	153
9.5.2	滦河三角洲	155
9.5.3	塞内加尔河三角洲	156
9.6	潮控三角洲	156
9.6.1	长江三角洲	156
9.6.2	恒河-布拉马普特拉河三角洲	157
	第十章 大陆边缘	159
10.1	大陆边缘的概念	159
10.2	大陆架	161
10.2.1	大陆架的概述	162
10.2.2	大陆架的地形特征	163
10.2.3	全球陆架分布与特征	168
10.2.4	陆架沉积特征	174
10.2.5	大陆架的分类	175
10.2.6	陆架的成因	180
10.3	大陆坡	181
10.3.1	大陆坡的概念	181
10.3.2	陆坡地形和构造特征	181
10.3.3	大陆坡的分类	184
10.3.4	陆坡沉积特征	186
10.3.5	陆坡的成因	186
10.4	大陆隆	187
10.4.1	大陆隆的基本特征	187
10.4.2	亚马逊海底扇	188
10.4.3	孟加拉扇和印度河扇	189

第十一章 现代浅海碳酸盐沉积与珊瑚礁	191
11.1 浅海碳酸盐沉积与珊瑚礁的研究	191
11.2 浅海碳酸盐沉积的环境控制因素	194
11.2.1 温度	194
11.2.2 盐度与水深	194
11.2.3 区域海流	195
11.3 浅海碳酸盐组分	195
11.3.1 矿物成分	195
11.3.2 结构组分	196
11.4 滨岸碳酸盐沉积	197
11.4.1 碳酸盐潮坪沉积	198
11.4.2 碳酸盐泻湖沉积	199
11.4.3 碳酸盐海滩沉积	199
11.5 碳酸盐沉积陆架	200
11.5.1 无陆源碎屑的碳酸盐沉积陆架区	200
11.5.2 碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积陆架	201
11.6 现代珊瑚礁	202
11.6.1 珊瑚礁的定义和分类	202
11.6.2 珊瑚礁发育的环境因素	204
11.6.3 岸礁	209
11.6.4 堤礁和环礁	211
第十二章 大洋沉积作用和沉积物性质	214
12.1 大洋沉积物的来源	214
12.1.1 陆源碎屑	214
12.1.2 海洋生物	214
12.1.3 海底风化产物	215
12.1.4 海底火山物质	215
12.1.5 宇宙物质	215
12.2 大洋沉积物的组分和分类	215
12.2.1 大洋黏土矿物	215
12.2.2 钙质生物软泥和碎屑	216
12.2.3 硅质软泥	216
12.3 大洋沉积作用	216
12.3.1 垂直沉降作用	216
12.3.2 远浊流作用	217
12.3.3 底层流效应	217
12.3.4 等深流与等积岩	217
12.3.5 雾浊层效应	219

12.3.6 深海暴流	219
12.4 钙质软泥	221
12.4.1 钙质软泥基本特征	221
12.4.2 影响钙质软泥沉积因素	221
12.5 大洋黏土	223
12.6 硅质软泥	224
第十三章 陨击事件与生物灭绝	226
13.1 事件及其分类	226
13.2 陨击事件的 DSDP 证据	227
13.3 陨击事件及其阶段划分	228
13.4 陨击事件与生物灭绝	229
13.5 陨击坑及其物质组成	230
13.5.1 陨击坑的结构	230
13.5.2 陨击坑的物质组成	231
13.5.3 储聚石油、天然气的陨击坑	231
13.6 界面黏土	231
13.7 小行星撞击地球的可能性	232
第十四章 海洋缺氧事件	233
14.1 氧在水体中的循环	233
14.1.1 水体中氧的供应	233
14.1.2 水体中氧的消耗	233
14.2 缺氧水体的概念	234
14.3 大型缺氧湖盆	234
14.3.1 坦噶尼喀湖和基伍湖	235
14.3.2 黑海水体缺氧环境	235
14.3.3 湖盆缺氧形成的原因	237
14.4 缺氧的开阔海盆	237
14.4.1 印度洋的缺氧海域	238
14.4.2 大西洋的缺氧海域与标志	238
14.4.3 秘鲁-智利岸外的缺氧环境	239
14.4.4 华盛顿、俄勒冈和加利福尼亚岸外的少氧环境	239
14.5 缺氧环境的剖面与标志	240
14.5.1 缺氧环境的剖面	240
14.5.2 缺氧环境的标志	241
14.6 上升流与缺氧环境	242
14.6.1 上升流的概念与类型	242
14.6.2 上升流的性质	242

14.7 上升流沉积相与烃源岩的关系	243
第十五章 海洋灾害和污染及其防治	247
15.1 海洋灾害及其防御	247
15.1.1 风暴潮	247
15.1.2 海啸	249
15.1.3 灾害性海浪	252
15.1.4 海面上升,海水入侵	253
15.1.5 赤潮	254
15.1.6 海冰	255
15.1.7 海底灾害性地质因素	256
15.2 海洋污染与防治	258
15.2.1 海洋环境容量与自净能力	258
15.2.2 石油污染	259
15.2.3 重金属污染	260
15.2.4 有机物污染	260
15.2.5 放射性污染	261
第十六章 海洋矿产资源	262
16.1 多金属结核	262
16.1.1 多金属结核的基本特征	263
16.1.2 多金属结核的分类与成因	265
16.1.3 多金属的结核生长历史与生长速率	268
16.1.4 多金属结核的资源量	268
16.2 铁锰结壳	268
16.2.1 铁锰结壳的特征	269
16.2.2 铁锰结壳的生长历史与生长速率	270
16.2.3 铁锰结壳的资源量	272
16.3 海底热液矿床	272
16.3.1 海底热液矿床的成因类型	273
16.3.2 海底热液的循环系统	274
16.4 海洋砂矿	277
16.4.1 滨海砂矿	277
16.4.2 浅海砂矿	279
16.4.3 海洋砂矿的成矿控制因素	281
16.5 近海油气资源与海底煤矿	281
16.5.1 海底石油与天然气	281
16.5.2 天然气水合物	283
16.5.3 海底煤矿	286

CONTENTS

PREFACE

CHAPTER ONE INTRODUCTION

1.1 Research Contents of Marine Geology	1
1.2 History of Research on Marine Geology	3
1.3 21th, the Century of Overall Development of Ocean	6
1.4 Research and Exploitation Prediction of Marine Geology in China	8

CHAPTER TWO ORIGIN AND PROPERTIES OF SEA WATER

2.1 States and Colors of Sea Water	11
2.1.1 States of Sea Water	11
2.1.2 Colors of Sea Water	12
2.2 Salinity, Temperature and Density of Sea Water	12
2.2.1 Salinity of Sea Water	12
2.2.2 Temperature of Sea Water	16
2.2.3 Ocean Warm Pool	20
2.2.4 Density of Sea Water	27
2.3 Origin of Sea Water	29
2.3.1 Accumulative Events of Water	29
2.3.2 Formation and States of Original Sea Water	30
2.3.3 Water Redistribution in Solar System	31
2.3.4 Origin and Supplement of Hydrosphere	32

CHAPTER THREE SEA WATER MOTION AND ITS CORRESPONDING

ENERGY	34
3.1 Waves and Its Corresponding Energy	34
3.1.1 Wave Elements and Wave Types	34
3.1.2 Deep-water Waves	36