

海洋学

海洋物理学

第1卷

海洋水文物理学

海洋出版社

海 洋 学

海洋物理学

第 一 卷

海 洋 水 文 物 理 学

[苏] B.M.卡缅科维奇 主编
A.C.莫宁

沈积均 杜碧兰 杨华庭 译
苏育嵩 张德山 韩忠南

施正铿 审校

海 洋 出 版 社

1983年·北京

ОКЕАНОЛОГИЯ

Физика океана 1

Ответственные редакторы

В.М. Каменкович

А.С. Монин

Гидрофизика океана

Издательство «Наука» Москва, 1978.

海 洋 学

海洋物理学

第一卷

海洋水文物理学

【苏】 B.M. 卡缅科维奇 主编
A.C. 莫宁

沈积均 杜碧兰 杨华庭 译
苏育嵩 张德山 韩忠南

施正铨 审校

*

海洋出版社出版

(北京复兴门外海贸大楼)

北京印刷一厂印刷

*

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1984年4月第1版

1984年4月第1次印刷

开本：850×1168 1/32

印张：19 插页：1

字数：400,000

印数：1—2,000

统一书号：13193·0111

定价：4.50元

内 容 提 要

本卷为海洋物理学的第一卷《海洋水文物理学》。书中详细地阐述了世界大洋温度、密度和盐度的分布，世界大洋环流及主要海流特征。概述了发生在海洋中的天气式涡旋。讨论了海洋的薄结构，从而揭示了海洋湍流的新概念。本卷还用较大篇幅，详细阐述了小尺度和大尺度的海洋与大气的相互作用。深入地讨论了海洋光学问题以及海水的放射性。

本书还阐述了海水热力学的基础知识和海水动力学的一般规律，为读者提供了必不可少的理论基础。

向读者推荐的这套《海洋学》丛书是多年来研究世界大洋物理、化学、地质和生物过程的综合科学——世界海洋学进展的总结。本丛书将对进一步研究海洋提供必要的科学依据。

《海洋学》丛书由下列五部十卷组成：

海洋物理学

第一卷 海洋水文物理学

第二卷 海洋流体动力学

海洋化学

第一卷 海洋水化学

第二卷 洋底沉积物地球化学

海洋地球物理学

第一卷 洋底地球物理学

第二卷 地球动力学

海洋地质学

第一卷 海洋沉积过程及岩浆作用

第二卷 海洋地质史

海洋生物学

第一卷 海洋生物结构

第二卷 海洋生物生产力

《海洋学》丛书主编序

十九世纪和廿世纪前叶，在有关海洋的科学中，占主导地位的是记叙的方法（因而这些学科统一在“海洋学”这个术语下），并且主要是记叙某些现象和特征的地理分布（开始是区域性质的描述，后来才提高到全球综合描述的水平）。到廿世纪中期，海洋科学的这一发展的必要阶段基本完成，这些学科的专家们由于拥有了积累起来的记叙的基础，能够从分布的记叙转向过程的分析。

现代海洋学——研究世界大洋的物理、化学、地质和生物过程的科学。对这些过程的研究，由于发生这些过程的环境的统一性、这些过程之间相互作用的多样性、研究方法的统一性——对海洋中能量和物质的转化和交换的研究，以及研究的主要技术手段——科学调查船的一致性而统一了。

多卷集《海洋》(The Sea)一书（第一卷是1962年，第二卷和第三卷于1963年，第四卷在1970年，第五卷为1974年出版），是现代海洋学基础的第一部专著。这一部专著的前几卷完成后，已过去了十五年。在这十五年中人类又积累了很多新知识，从而使我们对发生在海洋中的一些过程的认识产生了变化（例如，在海洋物理学领域内，海洋垂直薄结构的报道、在海洋中广泛发现了中尺度的天气式涡旋；在海洋地质领域内，板块构造的结构，就是如此）。

苏联科学院希尔绍夫海洋研究所出版的十卷集《海洋学》丛书，试图叙述全世界积累的反映1977年水平的海洋学主要远景问题的全部知识，希望本丛书能够成为未来十年海洋学进一步研究的基础。

由于对全部十卷预先编订了统一的目录和丛书的作者们（大多数是苏联科学院希尔绍夫海洋研究所的研究员）在著书过程中，互相密切联系，从而保证了本丛书各学科之间的平衡和各卷

的一致性。我们撰写的每一个问题，其内容除力图反映国际水平外，并同时极力做到充分阐明苏联科学家的贡献。

《海洋学》丛书是由海洋物理学、海洋化学、海洋地球物理学、海洋地质学和海洋生物学五部，每部两卷，共十卷集组成的。

《海洋物理学》的第一卷《海洋水文物理学》主要阐述海洋热力学、海洋小尺度流体动力学过程（垂直薄结构、湍流和杂质的扩散）；大气和海洋的小尺度和大尺度相互作用；海洋光学、与大气和海洋有关的光学问题；海洋学远景发展问题，最后是与杂质扩散过程有关的海洋核水文物理问题（即海水放射性的研究）。第二卷《海洋流体动力学》主要研究海洋中小振动的一般理论及其有关的波动的类型。分章叙述海洋中声波、风浪、内重力波和潮波的线性和非线性问题、海啸和罗斯贝波以及洋流的稳定性问题。海流方面大部分篇幅介绍大尺度海流的理论。

《海洋化学》的第一卷《海洋水化学》是研究世界大洋水中的气体、有机物质、营养元素、微量元素和碳酸盐系统组分的分布规律；海水化学状况的变化，在海水中和在海洋与大气的界面，海洋与地壳界面的化学的、物理化学的和生物化学等过程的速度和规模，世界大洋的化学平衡以及海洋的化学污染过程。第二卷《洋底沉积物地球化学》，叙述海洋沉积物的化学组成的形成及其成岩过程（即它们转化为沉积岩石）早期阶段的问题，以及关于世界大洋地球化学演化的现代概念。

《海洋地球物理学》的第一卷《洋底地球物理学》介绍海洋地球物理研究的现代方法和海洋主要地球物理场的有关知识。在第二卷《地球动力学》中，叙述了地球深部构造的现代概念、地壳的演变、构造过程的能量来源；介绍了板块构造理论，还给出了古地球动力学的最新论点，以解释海陆分布和在大动物代不同纪的板块界限。

《海洋地质学》的第一卷是《海洋沉积过程及岩浆作用》，本卷叙述岩石学、矿物学、地球化学、沉积相和底沉积的形成等基

础理论，以及海底火成岩岩石学和海底有用矿物（石油、天然气、多种金属的铁锰结核、含金属的沉积物、磷钙石等等）。第二卷《海洋地质史》介绍了海洋沉积地层学的基本知识，分析了包括深水钻探在内的中生代和新生代地质发展史的资料；综合说明了地球海洋部分古介质的构造和条件。

《海洋生物学》的第一卷《海洋生物结构》，是描述海洋中生命分布的全球性规律和这些规律与周围环境因素的依存关系。第二卷《海洋生物生产力》阐明为探索控制海洋生物生产力途径的科学基础：叙述关于海洋生态系统和关于人类利用海洋生物资源以及关于海洋人为污染对海洋生物影响的基本问题。

《海洋学》丛书可作为大学生和研究生、专门从事海洋学某一学科的物理学家、化学家、地球物理学家、地质学家、生物学家和工程师的教学参考书。该丛书将对科学工作者——各专业的海洋学家，从事商业客运船队、长期天气预报、海洋渔业和海水养殖，以及利用海洋矿物资源和动力资源等问题的工作人员有所裨益。

《海洋学》丛书主编

苏联科学院通讯院士

А. С. Мошин

《海洋水文物理学》主编序

向读者推荐的两卷集《海洋物理学》(第一卷,《海洋水文物理学》;第二卷,《海洋流体动力学》)概括现代海洋物理学广泛的基本问题。书中尝试分门别类尽量详细地阐述最基础的问题,同时无论对理论体系还是实验资料的综合都同等重视。我们力图使读者在阅读本专著时会直接被引进现代科学问题的领域。每章材料的叙述,除了一般的数学物理基础外,不再对读者要求任何海洋物理学的特殊预备知识。然而,一方面,需要阐明的问题多种多样,另一方面,限于篇幅,因此在各个章节的叙述上都需压缩。因为我们偏重于将此两卷集专著当作提高了难度的海洋物理学教材。

本专著的各个章节分别由不同的作者撰写,可是,编者和作者们不止一次共同商讨材料取舍的原则和各类问题的关系,以期达到各个章节应有的联系。至少,我们希望本专著成为互不联系章节的汇集。

我们将简要阐述材料的一般特征。本专著分成两卷(及两卷的定名)是约定的,这首先与出版技术有关。两卷集是统一的整体。两卷集的内容,可由每卷的目录中一目了然。第一卷(《海洋水文物理学》)详细阐述世界大洋温度、盐度和密度分布的基本知识,还阐明世界大洋总环流和主要海流的特性。根据非传统的资料,我们概述了海洋中天气式涡旋分布的试验数据。不久前才在海洋中发现这些涡旋,现在已经查明它们在形成大尺度环流中起重大作用。

其次,海水热力学的基本知识和海水动力学的一般规律,为以后进一步的阐述提供必不可少的理论基础。在这以后,讨论海洋物理场的细微结构,以揭示海洋湍流的新概念。这几乎招致需要完全重新审定我们过去的观点。根据现代资料,这些湍流在海洋的薄水层中发展,因此,其特征是雷诺数小。讨论海洋湍流的特性,用单独一章;本卷主要篇章之一,阐述小尺度和大尺度的

海洋与大气的相互作用，这是全球地球物理学的重要的问题，它是了解地球上气候的关键。较大的一章阐述海洋学的光学问题。研究海水的放射性很重要，用单独一章来讨论。

第二卷(《海洋流体动力学》)主要阐述海洋中各种波动，以及海洋中大尺度流动。在海洋波动分类之后，详细讨论各类波及其特性。

篇幅较大的一章讨论声波及其在海洋中的传播。这里印象最深刻的是：海洋水下声道的存在保证了声音超远程的传播。然后，研究风浪及其生成特性，还研究重力波；我们知道内波在形成海洋湍流区和形成海洋物理场微结构中的重要作用。再往后，讨论海啸波及其在海洋中形成的特性，讨论海洋潮汐及其预报方法。用一大章阐述海洋中的罗斯贝波，以及讨论像大尺度洋流的斜压和正压不稳定性等这些重要的物理机制。虽然罗斯贝波在理论上很早为人们所知晓，但在前不久尚不能实验证明它在海洋中的存在和重要性。如今，在一般意义上，海洋中天气式涡旋只能以罗斯贝波相互作用的观点来解释。第二卷末尾，研究大尺度准稳定洋流的基本模型。

在此两卷集专著中，未包括某些更专门性质的海洋物理学问题，诸如海冰、海洋冰量、海洋电磁场等物理学问题，以及海洋近岸带一些特殊的流体动力学现象(波的破碎、波增水、断续流(Разрывные Течения)，含悬浮质的波流动力学和冲积土的运动等)的描述。读者欲研究这些问题，请查阅专门的文献资料。

此两卷集专著各章的作者们，力图阐明海洋物理学有关问题的现代主要概念和知识，自然，它包括作者本人及其他苏联学者们的独创结果，尤其包括近年来获得的结果。我们高兴地注意到，本专著的作者们和其他苏联学者们，在现代海洋物理学中，个人的创造性贡献是重大的。

《海洋物理学》两卷集的许多节的编写，是根据 А.С.Монин, В.М.Каменкович 和 В.Г.Корт 的著作《世界大洋的变动》(《Изменчивость Мирового Океана》, 列宁格勒, 水文气象

出版社, 1974) 一书的有关内容。本专著的某些章节的叙述, 还取材于莫斯科物理技术学院海洋热力学教研室, 在近几年内给大学生讲课的讲义。

每卷之末列举了广泛的参考文献, 它还很不完全, 其中只包括了与所阐述问题有关范围内最重要的著作。第二卷末尾还列出两卷中的人名和专业术语索引。

须特别指出, 为了读者的方便, 所有的世界大洋图 (无论是原图, 还是引用原文献的图) 均用统一的投影 (Каврайский投影)。

在专著的编辑方面, 吸收作者集体参加。每一章的作者列在目录中, 他们协同编写各自的章节。第一卷第一章由几个作者合写属例外, 第一节和第四节由 М. Н. Кошляков 编写; 第二章由 М. Н. Кошляков 和 В. Н. Степанов 合写; 第三节由 Б. А. Бурков 编写。在有些场合, 据各章作者所请, 某些章的几节由其他学者单独编写或与本章作者合写。

第一卷第二章第一节第 1.2 点由 Т. Б. Цыбанова 参加编写。第四章第四、五节由 И. Д. Лозонацкий 参加编写; 第六节由 А. П. Мирабель 参加编写。第五章第六节和第 10.1 点由 О. В. Решетова 协作编写; 第 9.3 点由 Б. А. Каган 协作编写; 第 10.2 点由 В. Г. Корт 协作编写。第六章第二至六和十八节由 О. В. Копелевич 协作编写; 第七节由 Г. С. Карабашев 协作编写; 第八节由 В. И. Войтов 协作编写; 第十二节由 М. В. Козлянинов 和 Ю. Е. Очановский 协作编写; 第十三、十五节由 А. И. Судьбин 参加编写; 第十四节由 В. Н. Пелевич 协作编写; 第十六节由 Ю. А. Гольдив 协作编写; 第十七节由 В. И. Войтов 和 М. В. Козлянинов 协作编写; 第十一节由 С. Д. Гутшабаш 编写。第七章第二节由 М. М. Доманов 编写。

第二卷第八章: 第四节由 Г. М. Резник 协作编写; 第五节由 С. В. Музылев 编写。

我们热诚感谢所有的工作同志, 没有他们的帮助和良好的态

度，这部专著不可能问世。我们特别感谢 Г.И.Баренблатт 参加专著某些章节的讨论，感谢 А.М.Гусев 对专著第一方案的宝贵意见，感谢 Г.М.Резник 对专著第二卷的宝贵建议和意见。

我们还为本版手稿的装帧和插图的创作劳动，对协作者们致谢，他们是：Е.Г.Агафонова, Е.П.Белова, Л.И.Воронович, Л.И.Лаврищева, Н.И.Солнцева 和 Т.А.Якушев。

В.М.Каменкович, А.С.Монин

目 录

《海洋学》丛书主编序.....	(v)
《海洋水文物理学》主编序.....	(viii)

第一章 世界大洋概述

В.А.Бурков, М.Н.Кошляков, В.Н.Степанов 编著, 张德山 杨华庭 译

1. 世界大洋地貌.....	(1)
2. 世界大洋的盐度场和温度场.....	(4)
3. 世界大洋大尺度海流.....	(34)
4. 海洋中的天气式涡旋.....	(60)

第二章 海洋流体热力学的基本原理

В.М.Каменкович, А.С.Монин 编著, 苏育嵩 译

1. 海水热力学.....	(89)
2. 动力学基本方程.....	(104)
3. 能量关系式.....	(111)
4. 位势涡度方程.....	(115)
5. 若干近似式.....	(119)
6. 边界条件.....	(130)
附录.....	(131)

第三章 海洋水文物理场的薄结构

К.Н.Федоров 编著, 韩忠南 杜碧兰 译

1. 基础知识.....	(134)
2. 大洋水薄结构的形成过程.....	(149)
3. 海洋温跃层分层过程的相互作用.....	(170)

第四章 海洋湍流

А.С.Монин, Р.В.Озмидов 编著, 杨华庭 译

1. 基础知识.....	(181)
--------------	-------

2. 成层对湍流的影响.....(183)
3. 海洋湍流的生成机制.....(187)
4. 湍流的谱结构.....(191)
5. 小尺度海洋湍流.....(201)
6. 大尺度海洋湍流.....(225)
7. 湍流交换系数.....(238)
8. 海洋中杂质的湍流扩散.....(246)

第五章 海洋与大气的相互作用

С.С.Зилитингевич, А.С.Монин, Д.В.Чаликов 编著, 沈积均 译

1. 前言(海洋与大气相互作用的基础知识).....(255)
2. 贴水层大气.....(264)
3. 大气和水表层的微相互作用.....(278)
4. 行星边界层.....(292)
5. 海洋上层.....(315)
6. 实验资料.....(333)
7. 全球性海洋与大气相互作用的相似理论.....(353)
8. 全球性相互作用的数值模拟(GFDL模式).....(372)
9. 全球性相互作用的数值模拟(ИОАН模式).....(387)
10. 实测的大尺度过程.....(416)

第六章 海洋光学

К.С.Шифрин 编著, 韩忠南 杜碧兰 译

1. 用于描述海水光学性质的基本特征值和典型数值...(430)
2. 决定海水光学性质的因素.....(433)
3. 纯水的光学性质.....(437)
4. 海水的光吸收.....(440)
5. 海水的光散射.....(442)
6. 偏振光的散射——斯托克斯(Stokes)参数
和散射矩阵.....(449)
7. 海发光——生物发光和光激发光.....(453)

8. 世界大洋光学特征值的分布与形成原因 之间的关系·····	(456)
9. 描述海洋光场所采用的特征值·····	(464)
10. 海洋上的大气光场·····	(467)
11. 海洋光场的计算方法·····	(472)
12. 水下辐照·····	(477)
13. 水下辐照的振动现象·····	(481)
14. 自然光场的亮度·····	(485)
15. 海水的颜色(水色)·····	(493)
16. 不稳定光场和激光探测法·····	(497)
17. 光学方法在海洋学中的应用·····	(502)
18. 根据光散射特点研究悬浮物质·····	(504)

第七章 核水文物理学

Б.А.Нелепо 编著, 张德山 杨华庭 译

1. 核水文物理学的研究对象·····	(508)
2. 海洋中示踪同位素的一般介绍·····	(514)
3. 核标记的来源·····	(518)
4. 海洋表层的核标记场·····	(525)
5. 放射性同位素的深层分布·····	(527)
6. 辐射状况的预报·····	(532)
7. 核水文物理学的方法·····	(536)
参考文献·····	(539)
《海洋物理学》汉俄名词对照表·····	(571)

第一章 世界大洋概述

1. 世界大洋地貌

现在人们都把世界大洋分为太平洋、印度洋、大西洋和北冰洋。太平洋和大西洋的分界线是合恩角至格雷厄姆地北端的连线；大西洋和北冰洋的分界线是穿越哈得逊海峡、沿格陵兰—加拿大海槛、格陵兰—冰岛海槛和法罗—冰岛海槛，再由法罗群岛至挪威海岸的最西端；大西洋和印度洋的分界线就是通过厄加勒斯角的子午线（东经 20° ）；印度洋和太平洋的分界线是横越马六甲海峡，再沿巽他群岛西部和南部边界和伊里安岛（新几内亚岛）、横越过托雷斯海峡、通过塔斯马尼亚岛南端的子午线（东经 147° ）；太平洋和北冰洋以白令海峡为界。世界大洋（包括所有内海）的总面积等于 361×10^6 平方公里，占地球表面积的70.8%。其中，太平洋为49.5%，大西洋为25.3%，印度洋为21.1%，北冰洋为4.1%（Давидан，1975）。

在世界大洋里可划分许多内海，它们以狭窄、孤立的海峡和大洋相连，或以岛链与大洋相隔（但里海例外，它在现时代已同海洋完全失去连接）。属于大西洋的内海有加勒比海、墨西哥湾、波罗的海、地中海、黑海和里海等；属于印度洋的有红海、波斯湾、安达曼海等；属于太平洋的有马来群岛诸内海、南海、东海和黄海、日本海、鄂霍次克海、白令海等；属于北冰洋的有哈得逊湾。内海的总面积约占世界大洋总面积的10%。

图1清楚地绘出了世界大洋洋底的大尺度形态。它们是：大陆架或大陆浅滩、大陆坡、大陆基和大洋盆地。大洋盆地又分成海盆、中央海岭、深海沟。

大陆架是大洋底毗连大陆的浅水区域和缓倾区域，地质上认为是大陆的延伸。在第四纪冰期（更新世）大陆架大部分高出海

洋水面。通常取200米等深线为大陆架的外界(相对于陆地而言)。大陆架的宽度极不一致。例如,在毗连东西伯利亚地区的北冰洋,大陆架宽度约为800公里。然而在世界大洋的某些区域,大陆架宽度只有几公里。世界大洋大陆架区域的海底平均倾斜度为 2×10^{-3} 。大陆架占世界大洋总面积的7%以上(图2)。波罗的海和黄海、哈得逊湾和波斯湾属于纯陆架海。



图1 北冰洋地形图 (H.A.Марова根据Map of the Arctic Region, 1975年的资料编绘)

大陆坡和大陆基共同构成了由大陆向大洋盆地的过渡区域。大陆坡占据该过渡区域上部(约至3,000米深)较陡的部分,在陡坡区大尺度海底坡度的量级平均为 10^{-2} ,而个别区域达 10^{-1} 量