

物理海洋学

第 1 卷

〔日〕 渊 秀隆 等 著



科学出版社

218596

物理海洋学

第 1 卷

(日) 渊 秀隆 等著

刘玉林 常瑞芳 刘安国 译

王德文 韦树森 校



科学出版社

1985

70061/06

内 容 简 介

本书由三部分组成。第一部分主要叙述海水的基本性质,包括:声、光、电、磁及化学和热力学的基本特性。作者对此作了系统而又全面的介绍。第二部分为海面边界过程,这一部分和第三部分(海洋湍流和扩散)有密切的关系,都是近几十年迅速发展起来的研究课题。

作者根据大量的研究工作,对书中所涉及到的一些理论问题提出了自己的看法,指出今后需待进一步进行研究的的方向和任务。本书可供大专院校师生及从事海洋科学研究的人员阅读和参考。

海洋科学基础講座 I

潮 秀隆 等 著

海洋物理 I

東海大学出版會, 1970

物 理 海 洋 学

第 1 卷

〔日〕潮 秀隆 等 著

刘玉林 常瑞芳 刘安国 译

王德文 韦树森 校

责任编辑 赵徐鹤 谭卫南

科学出版社出版

北京东黄门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1985 年 4 月第一次印刷 印张: 13 3/8

印数: 0001—1,500 字数: 302,000

统一书号: 13031·2874

本社书号: 3945·13—17

定价: 3.15 元

译 者 的 话

本书为东海大学编辑出版的“海洋科学基础讲座”丛书的第一卷。

本书内容包括三个部分。第一部分介绍了海水中声、光、电、磁及化学和热力学的基本特性。这一部分为基础介绍,涉及的面较广。作者将海水中的各种物理及化学特性都作了扼要的介绍。

第二部分讲的是海面边界过程。海面边界过程作为海洋与大气相互作用的一个课题,对其进行全面而深入的研究还只是近三十年来的事。纵览此课题之所以能获得迅速的进展,无疑是适应了物理海洋学和海洋气象学日益发展的需要。它是介于上述二者之间的一门边缘学科。海面边界过程的物理基础最早是在三十年代由 Sverdrup 和 Rossby 提出的,嗣后于五十年代 Roll 总结了以往的研究成果,以《海洋大气物理》一书问世。七十年代初以 Kitaigorodskii* 的专著《海洋与大气相互作用物理学》为代表,概括了海-气动力和热力相互作用的基本概念。鸟羽良明所写的《海面边界过程》则以浅显的文字和基本物理解说,较为全面地论述了海-气系统中海面界面过程的意义以及海上边界层气流的结构和物理量的垂直输送。文中还详细叙述了海面动量的交换,海面气泡及水滴的生成机制,海面蒸发和海面热量交换。因此,这一部分对我国读者较为全面系统地了解这一课题有一定的参考价值。当然,其中

* 即 Китаigorodskii——译者注

也有不足之处，例如对在高风速下上述各种过程的机制以及长波辐射的影响等，都未作详细说明，而这些都是目前尚待研究解决的问题。

本书第三部分介绍湍流和扩散。湍流的研究从本世纪初就引起了海洋学家们的注意。初期的湍流研究是随着海洋中各要素的混合、交换过程的研究而发展起来的。四十年代前后，Kolmogorov 奠定了近代湍流相似理论的基础，从而使海洋湍流的研究得以发展。四十年代末，Stommel 对 Richardson 的相对扩散法则进行了验证。六十年代末 Grant 等人用实验方法求出了小规模湍流谱，实验结果同 Kolmogorov 的 $-5/3$ 幂法则极为吻合。目前海洋湍流的研究工作已涉及到大规模的、大范围的涡动。不仅表面混合层的湍流，就连跃层及深层的湍流情况也有了进一步的认识。在扩散一章中，作者重点介绍了瞬间点源扩散研究中的圆形碎片理论和平流扩散理论。这一部分的内容比较新颖，特别是扩散问题，目前我国有关书籍及文献介绍的还不多。这一部分介绍的内容虽属基础，但对我国读者不无裨益。

最后附带说明一点，就是本丛书 I~IV 卷原书名均为《海洋物理》，似欠妥当；此外各卷中的称呼也极不统一，有时称为“物理海洋”，有时又称为“海洋物理”。因此，为统一起见，将原书名译为《物理海洋学》。

本书译稿曾请山东海洋学院文圣常教授和王彬华教授以及张维同志审阅了部分章节，叶瑛桐先生校订了部分章节，在此一并致谢。

由于译者水平有限，错误和不当之处在所难免，尚请读者不吝指正。

1980 年 6 月于青岛

序 言

当前开发海洋的呼声响彻国内外。

海洋占据着地球面积的三分之二，蕴藏在海洋中的能源、食物资源、矿产资源的数量大得惊人。因而，为了人类的繁荣，呼吁向海洋进军实为十分正确的主张。尤以日本来讲，国土狭小，四面环海，海洋的开发利用更是个刻不容缓的问题。

资源开发、改造和利用自然，只有靠摸清大自然的规律，并巧妙地运用这一规律才能实现。开发海洋亦不例外。开发海洋的呼声越迫切，就越需要充实海洋学的基础知识。这便是筹办本讲座的首要宗旨。

在日本，近代海洋学问世以来已经过了约半个世纪之久。在这几十年的时间里，积累了大量的资料，日本关于海洋学的研究，在世界上已经达到了相当高的水平。然而，虽有须田皖次先生本世纪二十年代著的《海洋科学》，以及数位先辈写的海洋教科书，却尚无一本总括取得了惊人进展的海洋学全貌的日文现代海洋学著作。筹办本讲座的另一个目的即在于此。

目前，海洋学的体系，还不能说已完全确立下来了。科学的许多领域都与海洋相关。所以，本讲座的章节结构中难免出现遗漏的地方及研讨粗细不周之处。此类问题我们希望能通过今后的增补修订逐步改进。

筹划出版本讲座是在 1968 年春。蒙许多读者期待本书出版，而刊行却很不及时，这都只能是编辑委员会的责任，在此谨表歉意。此次刊行之际，承蒙东海大学出版会加藤千曼树、中阵隆夫两氏不吝珠玉，惠以大力支援，谨此深致谢礼。

海洋科学基础讲座编委会 1970 年 8 月 15 日

目 录

第一编 海水的基本性质

淵 秀隆 西村 実 菱田耕造

岩下光男 相馬正樹

第 1 章 海水的物理及化学性质	2
1.1 纯水的基本性质	2
1.1.1 纯水的溶解力	2
1.1.2 纯水的强缩合力与聚合	4
1.1.3 4℃ 左右纯水的最大密度	4
1.1.4 结冰时水的体积最大	5
1.1.5 氢和氧同位素的发现	6
1.2 海水的组成和盐度、氯度	6
1.2.1 海盐组成的恒定性	6
1.2.2 海水的盐度与氯度	8
1.2.3 电导盐度计	9
1.2.4 海水中的微量成分	14
1.3 海水的密度	14
1.3.1 密度、比重与现场密度	14
1.3.2 比容与现场比容	15
1.3.3 现场比容与动力深度偏差	17
1.4 海水的压缩性	18
1.5 海水的粘滞性	21
1.6 表面张力	22
1.7 电导率	23
1.8 渗透压	24
参考文献	27

第 2 章 海水的热力学性质	29
2.1 海水的热膨胀	29
2.2 海水的最大密度与冰点下降	29
2.3 海水的比热	32
2.4 绝热温度变化	35
2.5 热导系数	39
参考文献	40
第 3 章 海水中声波的传播	41
3.1 声波及其单位	41
3.2 声波的传播损失	43
3.3 声的传播速度	46
3.3.1 海水中的声速	46
3.3.2 声速的垂直分布	48
3.3.3 声速在测深中的应用	49
3.4 声线的折射	50
3.5 声波的吸收	52
3.5.1 海水对声波的吸收	52
3.5.2 气泡对声波的吸收	57
3.6 声波的反射与散射	61
3.6.1 反射、散射的量值	62
3.6.2 海面的反射与散射	64
3.6.3 海底的反射与散射	66
3.6.4 深海散射层的散射	70
3.6.5 小物体的反射	72
3.6.6 鱼的反射	74
3.7 海洋噪声	79
3.7.1 定常噪声	80
3.7.2 海上正常噪声的频谱	84
3.7.3 近海噪声	84
3.7.4 间歇噪声	86

参考文献	88
第4章 光在海水中的传播	91
4.1 海水的光学性质	91
4.2 光在海水中的传播	101
4.3 光的测量	115
4.4 水色、透明度、水中视距	118
参考文献	126
第5章 海水中电磁场的特性	129
5.1 海水的电特性	130
5.1.1 电导率	130
5.1.2 介电常数	132
5.1.3 磁导率	133
5.2 空间电磁场	134
5.3 海面上电磁场的反射和折射	137
5.3.1 垂直入射波的反射与折射	137
5.3.2 倾斜入射波的反射与折射	140
5.3.3 入射角和折射角	142
5.4 海水中透射波的电场	143
5.4.1 海水中电磁场的衰减	146
5.4.2 海水中电磁波的波长	147
5.4.3 海水的固有阻抗	149
5.4.4 由空间进入海水的透射波的性质	151
5.4.5 电磁波由空间向海水中传播的实际测量	152
5.5 由海水进入空间的透射波电磁场	153
5.6 海表面上的电磁波通道	158
5.7 雷达波的海面反射	159
参考文献	161

第二编 海面边界过程

鳥羽良明

第1章 大气海洋系统中海面边界过程的意义及其研究

目标	164
1.1 作为热机的大气与海洋	164
1.1.1 把大气、海洋和固体地球看作是一个能量系统	164
1.1.2 大气海洋系统热量收支概况	166
1.1.3 海洋的热收支概况	163
1.2 大气海洋系统的能量转换及其相互作用	163
1.2.1 大气海洋系统的能量转换流程图	168
1.2.2 作为单位过程的海面边界过程	170
1.3 海面边界上的各种过程及其研究目标	170
1.3.1 海面边界过程的各种机制	170
1.3.2 海面边界过程的实质及选取方法	172
1.3.3 尺度和参数化的概念	174
1.3.4 近似方法	175
第2章 边界层内流的结构和物理量的垂直输送	176
2.1 边界层内物理量的输送	176
2.1.1 边界层内的湍流输送	176
2.1.2 湍流输送的物理图像	178
2.1.3 粘滞系数和扩散系数的大小	179
2.1.4 垂直涡动粘滞系数和垂直涡动扩散系数	181
2.1.5 整体公式的意义	182
2.2 中性层结边界中流的结构及动量的垂直输送	184
2.2.1 本节讨论的前提	184
2.2.2 平滑面上的流速分布	184
2.2.3 粗糙面上的流速分布	189
2.2.4 平滑面与粗糙面的条件	190
2.2.5 几个注意事项	191
2.3 热量的垂直输送与非中性边界层结构	192
2.3.1 热量的垂直输送和湍流 Richardson 数	192
2.3.2 流速分布的形状、稳定度长度	195

2.3.3	温度、水汽的分布	198
2.3.4	强迫对流、自由对流	200
第3章	海面的动量交换	203
3.1	海面风应力的测定	203
3.1.1	平均风速的垂直分布法	203
3.1.2	观测平台	207
3.1.3	Reynolds 应力直接测定法	208
3.1.4	风速扰动能量谱法	210
3.1.5	地转风偏差法	211
3.1.6	倾斜水面法	211
3.1.7	单分子膜法	212
3.1.8	测定海面摩擦系数值	213
3.2	支配海面风应力的因素	215
3.2.1	波与流的动量	215
3.2.2	动量输入海中的过程	217
3.2.3	历史的展望	217
3.2.4	粗糙度 Reynolds 数	222
3.2.5	几点补充	224
3.3	风向波、流的动量输送与风浪的破碎	226
3.3.1	动量向波与流的分配	226
3.3.2	前人对风浪破碎的研究	227
3.3.3	风浪破碎与粗糙度 Reynolds 数	228
3.3.4	风浪破碎的实况、表示水面扰动的 Reynolds 数	230
3.3.5	风浪的破碎与过剩动量的去向	233
第4章	海面上气泡和海水滴的形成	234
4.1	海水表面上水滴的形成过程	234
4.1.1	从气泡到水滴的形成过程	235
4.1.2	水滴的化学成分、电荷	237
4.2	气泡、海水滴的生成率及其在边界层的分布	238

4.2.1	海水滴在海面上大气边界层的分布	238
4.2.2	海水滴的生成率	243
4.2.3	水中的气泡	245
4.2.4	海盐粒子的测定方法	246
4.3	海盐粒子的输送过程	248
4.3.1	海盐粒子在海面以上大气中的分布	248
4.3.2	向陆上的输送过程	249
4.3.3	干沉降与降水沉降	255
第5章	海面蒸发和海面热量交换	257
5.1	海面蒸发与海面热量交换过程	257
5.1.1	引言	257
5.1.2	与海水温度、盐度相平衡的水汽密度	258
5.1.3	表皮水温和表皮盐度	259
5.1.4	海面上水汽、温度的分布结构,整体公式	263
5.1.5	海面蒸发和热量交换的测定	267
5.1.6	辐射引起的热量交换	270
5.2	海面蒸发条件下的风浪破碎、海水滴的效应问题	271
5.3	世界海洋表面的蒸发和热量交换	275
结束语		279
参考文献		281

第三编 海洋湍流和扩散

大久保 明

第1章	海洋湍流	292
1.1	序言	292
1.2	湍流的定义	293
1.3	海洋湍流的特性	298
1.4	海洋湍流的发生	299
1.5	湍流场的描述	304
1.6	湍流的积矩、相关函数、能量谱函数	307
1.7	各向同性湍流场	313

1.8	海洋湍流的基础方程式	317
1.9	海洋湍流的动力学	322
1.10	海洋湍流的观测	336
1.11	海洋中的微细构造及其同湍流的关系	345
1.12	温度等其他物理量的变动谱	350
第 2 章	海洋扩散	352
2.1	扩散	352
2.1.1	随机走动	352
2.1.2	Fick 扩散方程	354
2.2	扩散场的描述	355
2.3	根据 Taylor 的连续运动建立的扩散理论	357
2.4	两个粒子的相对扩散 (Richardson 法则)	361
2.5	许多粒子围绕重心的扩散	366
2.6	湍流扩散方程式	367
2.7	海洋扩散研究的简史	371
2.8	海洋扩散的基本解	371
2.9	瞬间点源产生的海洋扩散(其一: 圆形碎片理论)	372
2.10	瞬间点源产生的海洋扩散的实验结果	378
2.11	瞬间点源产生的海洋扩散(其二: 平流扩散理论)	382
2.12	固定连续源产生的扩散	394
2.13	根据叠加原理解连续扩散的方法	398
2.14	垂直扩散率的估算	406
2.15	结束语	407
附录	张量计算	409
	参考文献	415

第一编 海水的基本性质

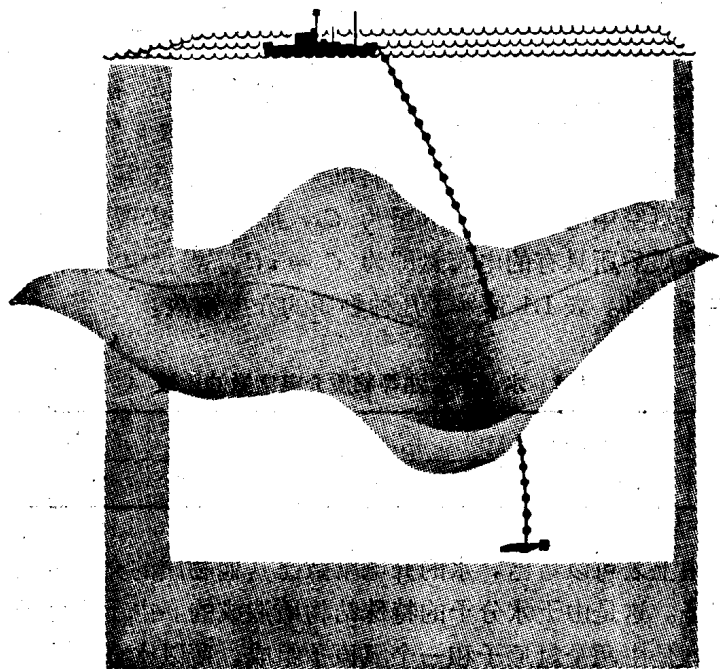
淵 秀隆

西村 実

菱田耕造

岩下光男

相馬正樹



第 1 章 海水的物理及化学性质

淵 秀隆

1.1 纯水的基本性质

1.1.1 纯水的溶解力

纯水具有很大的溶解力，但这种特性却不能用化学结构来解释，而溶解力强却能从物理性质上加以说明。无机溶剂最重要的性质就是介电常数 (dielectric constant)。在所有的液体中，纯水的介电常数最高。电介质的介电常数 ϵ 是这样定义的：电容器中有电介质和没有电介质时，两种电容量之比。假若在真空中电容器的电容量为 C_0 ，那么在电容板之间放入电介质后所具有的电容量即为 $C = \epsilon C_0$ 。根据定义，在真空中 $\epsilon = 1$ 。表 1.1 列举了几种物质的介电常数。

表 1.1 水、空气、油等物质介电常数的比较

	空气	石油	玻璃	云母	水
ϵ	1.0006	2.0	4—10	4.5—7.5	81

由上表可以看出，水的介电常数比其他物质的介电常数大很多。这是由于水分子的特殊结构所造成的。由于水分子的结构是由两个氢原子和一个氧原子组成，所以水分子的自然结构可能如图 1.1(a) 所示：在带负电荷的氧原子的两个对称点上，氧的两个原子键恰好与带正电荷的两个氢原子相

连结,两个氢原子必然结合一个氧原子。但是,这种形式并不是水的实际分子结构,实际的情况如图 1.1(b) 所示: 氧原子的两个原子键与两个氢原子键以 105° — 110° 的键角相结合,

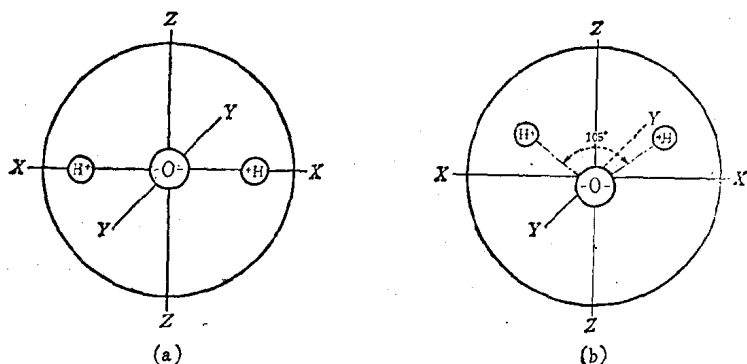


图 1.1 (a) 想像的水分子自然结构 (b) 实际的水分子结构

即两个氢原子带正电荷,一个氧原子带有氢原子两倍的负电荷。由于电荷间具有非对称结构,所以电荷重心的位移便产生了偶极矩——一个电荷的电量与两个电荷间距离的乘积。加之水分子的体积又小,这就是水的介电常数之所以大的原因。

根据库仑定律,两个电荷 e 和 e' 之间的力 F 为

$$F = \frac{1}{8} \frac{ee'}{r^2}$$

上式中的 r 是 e 和 e' 之间的距离, F 为引力或斥力,它随 r 的增大而在电荷间减小。这一规律可应用于水溶液中带电的离子。下面以普通食盐中的 Na^+ 离子和 Cl^- 离子为例加以说明。这里的纯水是电介质,也是两种离子间的溶剂。图 1.2 就是 Na^+ 离子和 Cl^- 离子之间以水为电介质所组成的电容器示意图。

Na ⁺	H ₂ O	Cl ⁻
阳离子		阴离子

图 1.2 电介质水溶液与带电离子组成的电容器模型

电位势 U 为

$$U = \frac{e}{C} = \frac{e}{\epsilon C_0} = \frac{1}{\epsilon} U_0$$

式中, U_0 是真空中电位势。若 ϵ 很大, 则电位势就要大幅度地变小, 根据库仑定律, 两个离子间的引力也就很快地减小。这样一来, 由于水的介电常数 ϵ 很大, 所以水的离解力就强, 结果就使得纯水具有很大的溶解能力。因而, 水的特性之一就是 ϵ 大。

1.1.2 纯水的强缔合力与聚合

上述的偶极矩使水分子之间有很强的作用力。由于水分子有强大的缔合力, 所以形成了分子聚集体, 二、三个或更多的水分子相互附着形成多分子聚集体。液态的水在 0°C 时, 以 $(\text{H}_2\text{O})_n$ 的形式出现, 这一特性就叫做聚合 (polymerization)。含有一、二个或三个基本水分子的分子聚集体分别称为 1 聚水分子 (monohydrol)、2 聚水分子 (dihydrol) 和 3 聚水分子 (trihydrol)。这些不同形式的聚合物间的相对平衡, 取决于温度、前一段时间水的状况以及其他若干因素, 聚合的程度随温度的升高而减小。水的极大的表面张力与粘性、比热与蒸发潜热以及高熔点与沸点都可用上述的纯水的强缔合力或聚合来加以说明。

1.1.3 4°C 左右纯水的最大密度

除了上述的介电常数很大、缔合力很强外, 水还有其他特