

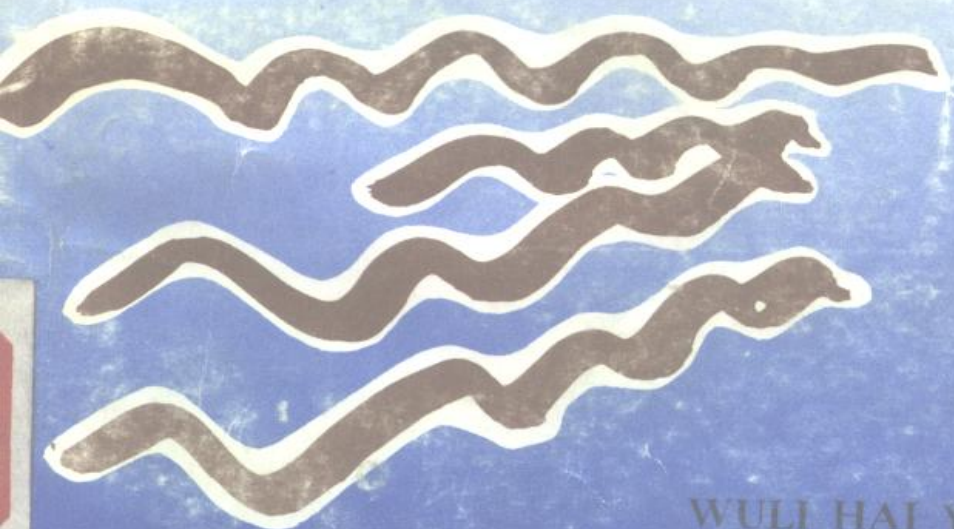
物理海洋丛书

叶安乐 李凤歧 编著

青岛海洋大学出版社

WU LI HAI YANG XUE

物理海洋学



WULI HAI YANG
CONG SHU

56.587
73
二

101533

物理海洋学

叶安乐 李凤岐 编著

青岛海洋大学出版社

101533

鲁新登字 15 号

物理海洋学

叶安乐 李凤岐 编著

*

青岛海洋大学出版社出版发行

青岛市鱼山路 5 号

邮政编码 266003

新华书店经销

青岛海洋大学出版社文字处理中心排版

山东电子工业印刷厂印刷

*

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

32 开本 (850×1168 毫米) 22.125 印张 2 插页 550 千字

印数 1—1500

ISBN 7-81026-061-8/P·10

定价 12.50 元

D 650 62

青 岛 海 洋 大 学
物 理 海 洋 学 教 材 编 审 委 员 会

主 任：文圣常

副主任：施正铿 陈宗镛

委 员：(接姓氏笔划)

王化桐 王景明 冯士竿 余宙文
苏育嵩 苏纪兰 俞光耀 秦曾灏
景振华

10050000

前 言

人类社会面临人口膨胀、资源紧缺和环境污染等一系列问题,海洋的开发利用是解决这些问题的一个重要途径。自70年代以来,沿海各国纷纷划定二百海里专属经济区,到1990年已有80多个国家和地区宣布建立海洋经济区。许多国家扩大并深化对海洋开发利用的领域,加强对海区的宏观控制和海区功能区划,并进行海洋基础理论的调查研究。

我国濒临西太平洋,跨越热带、亚热带和温带三个气候带,大陆架宽广,15m等深线以浅水域和滩涂面积约2亿亩,1989年海水养殖产量为1979年年产量的3.7倍。沿海主要港口码头泊位1240个,海运商船总吨位列居世界第八位,海盐年产量1300多万吨,一直保持世界第一位,近海油气田资源约为90—180亿吨,具有良好的开发潜力。总之,近年来我国海洋产业正在崛起,前景十分广阔。

海洋开发的历史表明,对海洋进行开发利用的成功与否,往往不仅取决于科学技术和管理水平,在很大程度上还依赖于对海洋环境要素分布变化规律的掌握。没有深入而全面地了解海洋状况,特别是不掌握物理海洋要素,例如流、浪、潮和风场等方面的系统知识,要想作出科学的结论是不可能的。因此,在对物理海洋进行系统研究的基础上建立海洋经济开发水域的环境综合保障及其预报体系,是进行海洋开发的一个重要条件。海洋所发生的各种物理过程,其中有不同类型、不同尺度的海水运动。如海洋密度分布不一致产生的“热盐环流”,由海面风应力驱动的风生流和风生环流,由天体引潮力所产生的潮波运动,因各种扰动而产生的风浪、涌

浪、惯性波、行星波等多种波动,以及因上述种种运动所产生的湍流、混合等等,它们是使得海洋环境发生变化的基本动力或原因。这些动力学现象由于它们和海洋生产活动息息相关,很早便受到人们的关注,从学科发展来看,它们历史较长,研究的比较深入和系统,已建立了各自的体系。

我校物理海洋学和海洋气象学系,前身为原山东大学海洋系,她成立近40年了。早在1952年第一任系主任赫崇本教授便卓有远见地把动力海洋学分成海流、潮汐、海浪三门独立的课程进行讲授,使得这些分支学科发展较快,形成了各自的系统,并出版了专著;它们已能直接为生产、海防、航海等方面服务。嗣后,又有风暴潮、海雾等方面的专著问世。如今,浅海动力学、内波和海洋细微结构、海气相互作用、海洋热学和水团等方面的研究均取得一定成果。上述工作为我们编写一套物理海洋学教材打下了良好基础。

开发利用海洋、开展海洋研究工作离不开人才的培养,而人才的培养又离不开教材,要想编写出既能总结本学科的知识体系的精华,又能反映当代本学科发展水平的教材是不容易的,我们愿为此作出努力。

本系列教材不仅适用于大学本科生的学习,对于海洋科学技术的研究、海洋环保、海洋工程、海洋水产、航海和从事管理、应用等方面的工作者均有参考价值。限于编著者水平,不恰当和错误之处,请读者批评指正。

文圣常

1990年10月于青岛

序 言

海洋对人类的过去、现在和未来,都有至关重要的意义。海洋资源开发的诱人前景,海运与军事活动的日益频繁,环境保护愈趋严峻的现实,都使海洋科学越来越为人们所重视。

最近几十年来,海洋科学在国内外均取得了巨大的进展,物理海洋学的迅速发展亦令人刮目。相继问世的物理海洋学各分支的专著,浩如烟海的研究论文和报告,从不同角度论述和发展了物理海洋学的基本理论,极大地丰富了物理海洋学的内容。当然,对于大多数读者而言,面对如此浩繁的文献,难免有目不暇接之虞。

鉴于此,本书较系统地阐述了物理海洋学的基本理论及其发展,并尽量注意反映该学科 80 年代以来的一些新的研究成果,以期使读者了解物理海洋学发展的全貌、已达到的水平及今后发展的动向。本书可作为物理海洋学专业的专业基础课教材,同时也可作为海洋气象和其他有关海洋专业的教学参考书。此外,对于攻读海洋专业的研究生以及其他海洋科学工作者,本书亦可供参考。

由于国际单位制(SI)的推行和我国国家法定计量单位及科学术语(GB)的发布。物理海洋学中过去某些习用的单位和术语,应予废止或修改。为此,本书对所涉及单位和术语,已按新规定予以换算或改写。

为使读者查阅方便,书末附录了部分资料、表格和主要参考文献。

本书的出版,在国内尚属首次尝试,限于笔者的水平,也因时间紧迫,错误与不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

青岛海洋大学、物理海洋与海洋气象系的党政领导以及青岛海洋大学出版社的同志们,对本书的出版给予大力支持;冯士筭教授审阅全书并提出宝贵意见;许多教师给予热情鼓励和具体指导;张增辉先生清绘全书插图,谨此一并致谢。

作者 1991.3

目 录

第一章 海水的物理性质	(1)
§ 1.1 海洋空间的特点	(1)
1.1.1 海洋空间的特点	(1)
1.1.2 海洋与周围环境的相互作用	(4)
§ 1.2 水的特性	(5)
1.2.1 水分子的结构特殊	(6)
1.2.2 水的溶解能力很强	(6)
1.2.3 水的密度变化有反常	(7)
1.2.4 水的热性质特殊	(8)
§ 1.3 海水的盐度	(9)
1.3.1 盐度的首次定义.....	(10)
1.3.2 盐度的重新定义.....	(10)
1.3.3 1978年实用盐度标度	(11)
1.3.4 实用盐度标度的计算.....	(13)
1.3.5 使用盐度历史资料时应注意的问题.....	(15)
§ 1.4 海水的热性质.....	(16)
1.4.1 热容和比热容.....	(16)
1.4.2 体积热膨胀.....	(22)
1.4.3 压缩性、绝热变化及位温	(23)
1.4.4 蒸发潜热及饱和蒸汽压.....	(31)
1.4.5 热传导.....	(33)
1.4.6 沸点升高、冰点降低	(34)
§ 1.5 海水的密度.....	(36)

1.5.1	海水的密度及比容	(37)
1.5.2	密度的简略表示法	(37)
1.5.3	比容偏差和热比容偏差	(38)
§ 1.6	海水状态方程	(39)
1.6.1	克努曾—埃克曼经典状态方程	(40)
1.6.2	皮耶克尼斯和桑德斯特勒姆状态方程	(40)
1.6.3	陈—米勒罗状态方程	(40)
1.6.4	根据声速导出的海水状态方程	(42)
1.6.5	1980年国际海水状态方程(EOS80)	(42)
1.6.6	EOS80的应用	(46)
§ 1.7	海水的声学 and 光学性质	(48)
1.7.1	声波在海水中的传播速度	(48)
1.7.2	海洋中声速的铅直分布	(50)
1.7.3	海洋声学技术在物理海洋学中的应用	(51)
1.7.4	光在海洋中的衰减	(54)
1.7.5	水色和透明度	(56)
1.7.6	光学技术在物理海洋学中的应用	(61)
§ 1.8	海水的其他物性及海冰	(62)
1.8.1	海冰	(62)
1.8.2	海水的其他物理性质	(65)
第二章	世界大洋热量、水量平衡和温、盐、密度场	(68)
§ 2.1	海面热收支	(68)
2.1.1	通过海面进入海洋的辐射能 Q_s	(69)
2.1.2	海面有效回辐射 Q_b	(70)
2.1.3	蒸发耗热 Q_e	(71)
2.1.4	感热交换 Q_h	(73)
2.1.5	海面热收支随纬度的变化	(74)
§ 2.2	三维海洋的热收支	(76)

2.2.1	海面辐射的向下输送与透射辐射·····	(76)
2.2.2	埃克曼抽吸和大风卷吸对上混合层的影响·····	(78)
2.2.3	表层冷却对流与温跃层的消衰·····	(79)
2.2.4	升降流和平流热输送·····	(80)
2.2.5	海洋的全热量平衡·····	(84)
§ 2.3	海洋中的水量平衡·····	(85)
2.3.1	海洋水量平衡与热量平衡的异同·····	(85)
2.3.2	海洋的水量平衡·····	(86)
2.3.3	水量平衡方程·····	(89)
2.3.4	海水的平均滞留时间和海水的年龄·····	(91)
§ 2.4	世界大洋的温度场·····	(91)
2.4.1	海洋水温的大面分布·····	(92)
2.4.2	海洋水温的铅直向分布·····	(97)
2.4.3	水温随时间的变化·····	(101)
§ 2.5	世界大洋的盐度场和密度场·····	(105)
2.5.1	海水盐度的大面分布·····	(106)
2.5.2	海水盐度的铅直向分布·····	(110)
2.5.3	盐度的日变化和年变化·····	(113)
2.5.4	海洋的密度场·····	(114)
§ 2.6	海洋温、盐、密度的细微结构·····	(118)
第三章	世界大洋的水团和环流·····	(123)
§ 3.1	水团的有关概念·····	(123)
3.1.1	水团定义的演化·····	(123)
3.1.2	水型、水系及其与水团的关系·····	(124)
3.1.3	水团的核心、强度、边界与混合区·····	(126)
3.1.4	水团的形成与变性·····	(127)
§ 3.2	水团划分与分析方法·····	(129)
3.2.1	定性的综合分析方法·····	(129)

3.2.2	浓度混合分析方法	(131)
3.2.3	概率统计分析方法	(132)
3.2.4	模糊数学分析方法	(134)
3.2.5	其他方法及展望	(136)
§ 3.3	世界大洋的水团	(139)
3.3.1	水系的划分	(139)
3.3.2	暖水系的水团	(142)
3.3.3	冷水系的水团	(150)
§ 3.4	海洋环流及其与水团的关系	(164)
3.4.1	暖水系的环流	(164)
3.4.2	冷水系的环流	(172)
3.4.3	水团与环流某些关系的讨论	(175)
§ 3.5	海流的大弯曲和中尺度涡	(178)
3.5.1	气候式海流图象与海流的大弯曲	(179)
3.5.2	中尺度涡	(184)
第四章	海水运动基本方程	(188)
§ 4.1	海水动力学和热力学基本方程	(188)
4.1.1	运动方程	(188)
4.1.2	连续方程	(196)
4.1.3	盐量扩散方程	(198)
4.1.4	热传导方程	(200)
4.1.5	热膨胀方程	(201)
4.1.6	海水水层流运动基本方程组	(202)
§ 4.2	边界条件	(204)
4.2.1	运动学边界条件	(205)
4.2.2	自由海面有质量交换时的运动学边界条件和 盐量边界条件	(206)
4.2.3	动力学边界条件	(208)

4.2.4	温度边界条件	(212)
§ 4.3	时间平均的基本方程和边界条件	(212)
4.3.1	基本方程的平均化	(214)
4.3.2	边界条件的平均化	(222)
§ 4.4	铅直向平均基本方程	(224)
§ 4.5	基本方程的尺度分析与简化	(229)
4.5.1	尺度分析	(229)
4.5.2	几种常用的近似与假定	(235)
4.5.3	常用的几种简化方程组	(238)
第五章	海流	(243)
§ 5.1	不考虑摩擦的定常流动——地转流	(244)
5.1.1	梯度流	(244)
5.1.2	梯度流的计算	(247)
5.1.3	倾斜流	(251)
§ 5.2	考虑摩擦的定常流动	(252)
5.2.1	无限深海的漂流	(252)
5.2.2	有限深海的漂流	(257)
5.2.3	漂流的分离	(262)
5.2.4	底流	(263)
5.2.5	非均匀风场的风生流	(267)
5.2.6	升降流	(272)
§ 5.3	非定常流动	(280)
5.3.1	漂流的发展	(280)
5.3.2	惯性流	(281)
§ 5.4	风生大洋环流	(284)
5.4.1	边界层技术	(285)
5.4.2	大洋中部海区风生环流的 Sverdrup 解	(286)
5.4.3	Stommel 的西向强化理论	(291)

5.4.4	Munk 的大洋风生环流理论.....	(295)
5.4.5	大洋环流西向强化的惯性理论	(306)
§ 5.5	热盐环流	(310)
5.5.1	由海底温度扰动引起的热盐环流	(311)
5.5.2	海面温度扰动引起的热盐环流(β -平面)	(317)
5.5.3	有东边界的热盐环流	(320)
5.5.4	密度分布所产生的热盐环流	(322)
§ 5.6	大洋风生—热盐环流	(327)
第六章	海浪	(334)
§ 6.1	线性波动理论	(335)
6.1.1	无旋运动的基本方程	(335)
6.1.2	线性波动	(338)
6.1.3	水深对线性波动的影响	(342)
6.1.4	线性波动的能量	(344)
§ 6.2	线性波动的合成	(347)
6.2.1	驻波	(347)
6.2.2	波群	(349)
6.2.3	初始扰动引起的波动	(353)
§ 6.3	波动的折射和绕射	(360)
6.3.1	波动的折射	(360)
6.3.2	波动的绕射	(366)
§ 6.4	有限振幅波动	(370)
6.4.1	Stokes 波	(371)
6.4.2	Stokes 波的极限情形	(376)
6.4.3	摆线波	(378)
6.4.4	椭圆余弦波	(382)
6.4.5	孤立波	(391)
§ 6.5	海浪的统计性质	(392)

6.5.1	随机海浪过程的平稳性和各态历经性	(393)
6.5.2	波面的分布	(394)
6.5.3	波高的分布	(397)
6.5.4	各种波高间的关系	(403)
6.5.5	周期与波长的分布	(408)
§ 6.6	海浪谱	(410)
6.6.1	能谱和方向谱的概念	(410)
6.6.2	谱的具体形式	(414)
6.6.3	海浪能谱的估计	(431)
6.6.4	方向谱的确定	(438)
6.6.5	海浪谱在波浪要素计算中的应用	(448)
第七章	潮波	(452)
§ 7.1	平衡潮理论	(453)
7.1.1	天体引潮力的主要部分	(453)
7.1.2	平衡潮及其主要结论	(457)
7.1.3	平衡潮的分潮	(462)
§ 7.2	平衡潮理论的订正	(473)
7.2.1	实际海洋中的潮汐与潮流	(473)
7.2.2	分潮调和常数	(487)
7.2.3	分潮流和潮流调和常数	(491)
§ 7.3	潮汐与潮流的分析和预报	(491)
7.3.1	早期调和分析方法	(492)
7.3.2	潮汐最小二乘法分析	(500)
7.3.3	潮汐响应分析	(503)
7.3.4	潮流短期观测的分析	(507)
7.3.5	潮流椭圆要素	(512)
7.3.6	潮汐和潮流预报	(514)
§ 7.4	考虑地球形状的潮波	(518)

7.4.1	全球水域中的潮波	(518)
7.4.2	有界水域中的潮波	(525)
§ 7.5	等深广阔水域中的潮波	(529)
7.5.1	平面 Sverdrup 波	(531)
7.5.2	Poincare 波	(535)
7.5.3	Kelvin 波	(539)
§ 7.6	海峡和矩形海湾中的潮波	(541)
7.6.1	海峡中的 Kelvin 波和旋转潮波系统	(541)
7.6.2	考虑摩擦的 Kelvin 波和旋转潮波系统	(546)
7.6.3	海峡中的 Poincare' 波	(551)
7.6.4	矩形海湾中的潮波	(554)
§ 7.7	变截面海湾和河口中的潮波	(563)
7.7.1	变截面海湾中的潮波	(564)
7.7.2	河口中的潮波	(568)
7.7.3	涌潮	(576)
§ 7.8	浅水潮波	(578)
7.8.1	忽略摩擦的浅水潮波	(579)
7.8.2	考虑摩擦的浅水潮波	(582)
§ 7.9	三维潮波	(585)
第八章	内波	(593)
§ 8.1	小振幅内波的一般特性	(593)
§ 8.2	界面波与内波	(600)
§ 8.3	两层流体中的界面波	(602)
§ 8.4	考虑地转效应的界面波	(607)
§ 8.5	内波对自由海面的影响及其估计	(614)
8.5.1	小振幅内波对自由海面的影响	(614)
8.5.2	界面波对自由海面的影响	(616)
第九章	风暴潮	(620)

§ 9.1 狭长矩形浅水海域中的定常风暴潮	(620)
9.1.1 等深封闭海域中的定常风暴潮	(622)
9.1.2 海底坡度的影响	(623)
9.1.3 等深半封闭海域中的定常风暴潮	(625)
§ 9.2 狭长矩形浅水海域中的非定常风暴潮	(626)
§ 9.3 考虑地转效应的风暴潮	(632)
§ 9.4 大洋风暴潮的生成与传播	(636)
§ 9.5 大陆架上的风暴潮	(642)
9.5.1 深转风暴潮	(644)
9.5.2 边缘波	(647)
附录	(653)
参考文献	(665)