



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

海洋科学导论

冯士筭 李凤岐 李少菁 主编



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112号

内 容 简 介

本书被列入九五国家级重点教材,也是面向21世纪课程教材。全书共分十二章,即绪论、地球系统与海底科学,海水的物理特性和世界大洋的层化结构,海水的化学组成和特性,海洋环流,海洋中的波动现象,潮汐,海洋与大气,海洋生物,海洋中的声、光传播及其应用,卫星海洋遥感、中国近海的区域海洋学。与以往的同类教材相比,新增了三章,即海洋与大气、卫星海洋遥感和中国海的区域海洋学;其他各传统分支学科的内容也有较多的更新。关于环境保护、污染治理与可持续发展等内容,虽未单独成章,但在有关章节中均有意强调了这方面的内容。

本书可作为海洋科学类本科学学生及相近专业学生的基础课教材,亦可作为相近专业的教学参考用书,对从事相近专业的科技人员或有关行业的管理人员,也有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

海洋科学导论/冯士筴等主编. —北京:高等教育出版社,1999

面向21世纪课程教材 九五普通高等教育国家级重点教材

ISBN 7-04-007267-X

I. 海… II. 冯… III. 海洋学-高等学校-教材 IV. P7

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第02797号

海洋科学导论

冯士筴 李凤岐 李少菁 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787×960 1/16

版 次 1999年6月第1版

印 张 32.75

印 次 1999年6月第1次印刷

字 数 630 000

定 价 34.10元

插 页 1

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

主编简介

冯士祚 中国科学院院士,青岛海洋大学教授,曾任青岛海洋大学副校长,国家教委科学技术委员会一、二、三届委员,现任国务院学位委员会学科评议组海洋组组长,全国博士后管理委员会专家组成员,高等学校海洋科学教学指导委员会主任,青岛海洋大学物理海洋研究所所长。科研方向是物理海洋学和环境海洋学。主要著作有:《风暴潮导论》(科学出版社出版,获“1982年度全国优秀科技图书一等奖”)、《物理海洋数值计算》(与孙文心合编,河南科学技术出版社出版,1992)。科研项目“浅海风暴潮动力机制和预报方法的研究”及“拉格朗日余流和长期输运过程的研究——一种三维空间弱非线性理论”分获第二届(1982)及第四届(1989)国家自然科学奖三等奖。

李凤岐 青岛海洋大学教授,博士生导师,曾任青岛海洋大学海洋环境学院副院长。现任高等学校海洋科学教学指导委员会委员,青岛海洋大学教学评估常设专家委员会主任,青岛海洋大学环境科学与工程研究院院长。1995年获全国优秀教师称号,1997年获国家级教学成果二等奖。科研方向为物理海洋学和环境海洋学。主要著作有《物理海洋学》(与叶安乐合编,青岛海洋大学出版社出版,1996年获华东区大学版协优秀图书二等奖)。科研项目“渤、黄、东海近海区大面积水温预报”1981年获山东省科技进步一等奖,“模糊数学方法在水团分析中的应用”、“浅海变性水团分析和预报研究”、“中国近海异常海温分析和预报研究”,分别于1988年、1995年和1997年获国家教委科技进步二等奖。

李少菁 厦门大学教授,博士生导师。曾任厦大海洋学系主任,国家教委科技委一、二届学科组成员,国家自然科学基金委三、四届学科组成员。现兼任中国甲壳动物学会副理事长等。科研方向是海洋浮游生物学和甲壳动物学。主要著作有:《海洋浮游生物学》(与郑重等合著,海洋出版社,获1988年国家教委全国高校优秀教材特等奖,英文版 Marine Planktology, China Ocean Press & Springer-Verlag),《中国海洋浮游桡足类》(与郑重等合著,上海科技出版社,获1995年国家海洋局科技进步二等奖)。科研项目:《锯缘青蟹生殖生物学和人工育苗技术研究》及《闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究》(主要参加者),分获福建省科技进步二等奖(1996)和国家科技进步三等奖(1995)。

序 言

一九九八年是国际海洋年,恰逢厄尔尼诺爆发时期,全球气候异常,中国两江洪水肆虐,海洋成了人们关注的焦点。

海洋是生命的摇篮,她孕育了人类的文明。现今人类的70%以上,过半数的超百万人口的大城市,都离海岸不足100 km,这反映了人类与海洋关系的密切。对于困扰全世界的人口、资源和环境等难题的解决,人们都寄希望于海洋的开发和利用。

海洋的开发和利用,依赖于科学技术的进步,因为对海洋特征和规律的研究,是开发和利用的基础。但是,人类虽早已登上远离地球384 400 km的月球,却至今仍然没能下潜至只有10 km之多的地球海洋的最深处进行直接探测。海洋的探索和研究更具有挑战性。

海洋是一个开放的、具有多样性的复杂系统,其中有各种不同时空尺度和不同层次的物质存在和运动形态。这一属性决定了海洋科学的多学科综合与交叉。例如,与其最相近又相似的大气科学相比,海洋科学就多出海洋生物的一大分支。海洋科学的上述特征在早期的海洋研究中已显示出来,现今海洋科学中的多学科综合与交叉变得更为重要。事实上,现代海洋科学已经发展成为一个复杂的科学体系。它甚至在人-地系统中通过人与海洋相互作用与社会科学相联系。

《海洋科学导论》一书,是为我国海洋类专业大学生编写的基础课教材,比较系统地介绍了海洋科学主要分支学科的基本内容。有别于以往同类教材的是,它注意从地球科学体系看海洋科学,也注意海洋科学本身的体系和各分支学科间的交叉与渗透。新增加的“海洋与大气”、“卫星海洋遥感”等章反映了各分支学科的新研究成果。“中国近海的区域海洋学”及环境保护与污染治理等内容,有助于可持续发展概念的建立。故本教材注意内容的系统、更新和实用。

本书在统一拟订的框架下由不同专业的教师分工撰写,书中融入了教师本人的一部分教学经验和科研成果。全书经过集体讨论修改后定稿。由于海洋科学覆盖较多的分支学科,这些学科的性质有一定差异,还尽量照顾不同专业学生的需要,故书中各章取材的广度和深度不尽相同。各章间的最佳平衡,有待于今后讲授使用过程中探索寻取。本书除作教材外,还可供有关科技工作者参考。

文 重 常

1998年10月28日

前 言

高等学校海洋科学教学指导委员会成立伊始,就赶上了教育部批准的“面向 21 世纪海洋科学类专业教学内容和课程体系改革”的立项研究。通过广泛调研、反复研讨,项目组和教学指导委员会形成了一个共识:需要为海洋科学类本科生及相近专业的学生编写一本面向 21 世纪的共同基础课教材——海洋科学导论。

随着课题研究的深入,对该教材的要求也有了更深刻的理解,即它应该具有基础性、系统性、科学性、先进性和启迪性。海洋科学导论是为一年级下学期至二年级上学期的学生使用的,应面向 21 世纪为海洋科学类本科生及相近专业的学生打下宽厚的基础。鉴于海洋科学业已形成了自己的体系,“导论”就应充分体现其系统性和科学性。作为面向 21 世纪的教材,其内容应具有先进性,其讲述应具有启迪性,在培养学生崇尚创新精神和注重实际能力方面进行一些尝试。

在上述思想的指导下,我们力求从地球科学系统看海洋科学体系,而对海洋科学本身,则以其体系为主线,系统阐述海洋科学的基本概念、基础理论和主要成果,同时又注意介绍各分支之间的内在联系,相互作用、交叉和渗透。海洋与大气、卫星海洋遥感、中国近海的区域海洋学等新章节的设置,各分支学科近年来的主要进展和最新成果的介绍,对各分支学科发展态势和方向的启迪式展望等,是我们进行的新尝试。在提高学生环境保护意识和可持续发展观点等方面,虽未单独编写一章,但在各分支学科的有关章节中,均有意识地强调了这方面的内容;尤其在第四、第九、第十一及第十二章中,更给以较多的篇幅。

作为教材,本书每章均附有思考题或练习题以供复习或选作。为使读者查阅方便,各章也列出了主要参考文献。

本书的编写分工如下:第一章,李凤岐;第二章,李学伦;第三章,王凤钦、李凤岐;第四章,张曼平、谢式南、杨逸平;第五章、第六章,王凤钦;第七章,胡建宇(其中风暴潮为冯士筭撰写);第八章,周发琇;第九章,李少菁、许振祖、钱树本、李永祺;第十章,包青华、刘智深;第十一章,贺明霞;第十二章,李凤岐。

全书初稿完成后,由冯士筭、李凤岐统一修改并定稿。

本书的编写,得到教育部高教司、高等教育出版社的重视与指导,青岛海洋大学、厦门大学给予大力支持和具体的领导。青岛海洋大学文圣常院士、陈宗镛教授、苏育嵩教授、孙孚教授、吴德星教授、刘秦玉教授、武心尧教授、杜勇教授,厦门大学黄奕普教授、许天增教授、杨圣云副教授,中国科学院南海海洋研究所施平教授,中国科学院海洋研究所顾宏堪研究员、邹景忠研究员,国家海洋局第

—海洋研究所丁永耀研究员、吴世迎研究员等,都对书稿提出了宝贵的修改意见;高等教育出版社黎勇奇编审从本书编写大纲的讨论开始,至书稿审读、编辑加工都提出了许多宝贵意见,付出了许多心血;高教社绘图科全体同志为本书清绘插图付出了辛勤的劳动。编、撰者谨在此一并致以衷心的感谢。

张曼平教授不辞劳苦,为本书的文字输入、修改付出了大量的心血,没有他的忘我工作,很难设想本书能及时付印。

本书虽几经修改,但终因时间紧迫、更兼编、撰者学识与水平所限,错误与不足之处在所难免,衷心企盼批评指正。况且海洋科学覆盖的分支学科较多,它们之间的差异较大,又要顾及不同专业学生的基础与需要,故各章的取材广度、深度不同,虽力求协调,但编写的初衷能否实现,还有待专家与读者检验。

主 编

一九九八年十月五日

责任编辑	黎勇奇	
封面设计	张楠	
责任绘图	郝林	吴文信
版式设计	史新薇	
责任校对	王效珍	
责任印制	杨明	



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育“九五”

国家教委重点教材

谨以此书献给中华人民共和国

成立 50 周年和即将到来的廿一世纪！

海洋科学导论目录

第一章 绪论	1
§ 1.1 地球科学	1
1.1.1 地球科学体系	1
1.1.2 海洋科学	5
§ 1.2 海洋科学的发展史	7
1.2.1 海洋知识的积累与早期的观测、研究(18世纪以前)	7
1.2.2 海洋科学的奠基与形成(19~20世纪中叶)	7
1.2.3 现代海洋科学时期(20世纪中叶至今)	8
1.2.4 海洋科学的未来	9
§ 1.3 中国的海洋科学	10
1.3.1 历史的贡献	10
1.3.2 艰难的历程	10
1.3.3 美好的前景	10
第二章 地球系统与海底科学	13
§ 2.1 地球的基础知识	13
2.1.1 地球的宇宙环境	13
2.1.2 地球的形状	14
2.1.3 地球的圈层结构	15
2.1.4 地球的起源与地质时代	18
§ 2.2 海与洋	20
2.2.1 地表海陆分布	20
2.2.2 海洋的划分	22
2.2.3 海水的起源与演化	25
§ 2.3 海底的地貌形态	26
2.3.1 海岸带	26
2.3.2 大陆边缘	27
2.3.3 大洋底	30
§ 2.4 海底构造与大地构造学说	32
2.4.1 大陆漂移	33
2.4.2 海底扩张	33
2.4.3 板块构造	35
2.4.4 海洋盆地的形成与构造演化	37
§ 2.5 海洋沉积	40

2.5.1	滨海沉积	40
2.5.2	大陆架沉积	44
2.5.3	大陆坡-陆隆沉积	45
2.5.4	大洋沉积	45
§ 2.6	海底矿物资源	48
2.6.1	滨海砂矿	48
2.6.2	海底石油和天然气	49
2.6.3	磷钙石和海绿石	49
2.6.4	锰结核和富钴结壳	50
2.6.5	海底热液硫化物	52
2.6.6	天然气水合物	52
§ 2.7	古海洋学与全球变化研究	53
第三章	海水的物理特性和世界大洋的层化结构	56
§ 3.1	海水的主要热学和力学性质	56
3.1.1	纯水的特性	56
3.1.2	海水的盐度	58
3.1.3	海水的主要热性质和力学性质	60
3.1.4	海水的密度和海水状态方程	66
§ 3.2	海冰	69
3.2.1	海冰的形成、类型和分布	69
3.2.2	海冰的物理性质	71
3.2.3	海冰与海况	72
§ 3.3	世界大洋的热量与水量平衡	73
3.3.1	海面热收支	73
3.3.2	海洋内部的热交换	79
3.3.3	海洋中的水平衡	81
§ 3.4	世界大洋温度、盐度、密度的分布和水团	83
3.4.1	海洋温度、盐度和密度的分布与变化	83
3.4.2	海洋水团	100
3.4.3	海洋混合及温度、盐度、密度的细微结构	102
第四章	海水的化学组成和特性	110
§ 4.1	海水的化学组成	110
4.1.1	海水的主要成分	112
4.1.2	微量元素	115
4.1.3	海水中的放射性同位素	118
4.1.4	海洋化学污染物	120
§ 4.2	海水中的二氧化碳系统	123
4.2.1	海水的 pH 值	123

4.2.2	海水的缓冲容量	126
4.2.3	海水的总碱度、碳酸碱度和总二氧化碳	126
§ 4.3	海气界面的气体交换	128
4.3.1	海水中的溶解气体	128
4.3.2	气体在海气界面的交换	130
4.3.3	含硫气体和甲烷	132
4.3.4	氮和惰性气体	132
§ 4.4	海水中的营养元素	133
4.4.1	海洋中氮、磷、硅的主要存在形式	134
4.4.2	海洋中硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐的分布与变化	136
4.4.3	海洋中氮、磷、硅的循环	140
§ 4.5	海洋的化学资源	142
第五章	海洋环流	144
§ 5.1	海流的成因及表示方法	144
§ 5.2	海流运动方程	145
5.2.1	运动方程	145
5.2.2	连续方程	152
5.2.3	边界条件	154
§ 5.3	地转流	154
5.3.1	地转方程及其解	154
5.3.2	地转流场与密度场、质量场之间的关系	156
5.3.3	地转流的动力计算方法	157
§ 5.4	风海流	160
5.4.1	埃克曼无限深海漂流理论	160
5.4.2	浅海风海流的基本特征	162
5.4.3	风海流的体积运输	162
5.4.4	上升流与下降流	163
5.4.5	近岸流的基本特征	164
§ 5.5	世界大洋环流和水团分布	165
5.5.1	风生大洋环流	165
5.5.2	热盐环流	166
5.5.3	世界大洋环流和水团分布	167
第六章	海洋中的波动现象	181
§ 6.1	概述	181
6.1.1	波浪要素	181
6.1.2	海洋中的波浪	182
§ 6.2	小振幅重力波	182
6.2.1	波形传播与水质点的运动	183

6.2.2	波动公式与波动能量	185
§ 6.3	有限振幅波动	189
6.3.1	斯托克斯波的波剖面	189
6.3.2	波速与波高	189
6.3.3	水质点运动轨迹	189
6.3.4	波动的能量	190
6.3.5	波动的振幅与波高	190
§ 6.4	海洋内波	190
6.4.1	界面内波	190
6.4.2	密度连续变化海洋中的内波	192
§ 6.5	开尔文波与罗斯贝波	195
6.5.1	开尔文波	195
6.5.2	罗斯贝波	196
§ 6.6	风浪和涌浪	198
6.6.1	风浪的成长与消衰	198
6.6.2	浅海和近岸海浪	201
6.6.3	海浪的随机性与海浪谱	205
第七章	潮汐	208
§ 7.1	潮汐现象	208
7.1.1	潮汐要素	208
7.1.2	潮汐不等与潮汐类型	209
§ 7.2	与潮汐有关的天文学知识	210
7.2.1	某些天文学的基本概念	210
7.2.2	时间单位	212
§ 7.3	引潮力	213
7.3.1	引潮力的定义	213
7.3.2	引潮力公式	214
7.3.3	引潮力势	215
§ 7.4	平衡潮	215
7.4.1	潮汐静力理论	215
7.4.2	平衡潮潮高公式	217
7.4.3	推算潮时的简易方法——八分算潮法	220
7.4.4	对潮汐静力理论的评价	220
7.4.5	假想天体和分潮	221
§ 7.5	潮汐动力理论	222
7.5.1	潮汐动力理论的基本思想	222
7.5.2	长海峡中的潮汐和潮流	223
7.5.3	窄长半封闭海湾中的潮汐和潮流	223

7.5.4	半封闭宽海湾中的潮汐和潮流	225
7.5.5	各种形态海区中潮波特性的比较	227
§ 7.6	风暴潮	228
7.6.1	定义	228
7.6.2	分类	229
7.6.3	中国的风暴潮	230
7.6.4	预报	231
第八章	大气与海洋	233
§ 8.1	地球大气的平均状态	233
8.1.1	地球大气的成分与气象要素	233
8.1.2	大尺度大气运动的基本特征	242
8.1.3	平均大气环流	244
8.1.4	季风	250
§ 8.2	海洋上的天气系统	252
8.2.1	锋面与温带气旋	252
8.2.2	热带气旋与台风	254
8.2.3	副热带高压	257
8.2.4	热带辐合带	259
§ 8.3	海洋-大气相互作用	260
8.3.1	海洋在气候系统中的地位	260
8.3.2	海洋-大气相互作用的基本特征	264
8.3.3	ENSO 及其对大气环流的影响	267
第九章	海洋生物	272
§ 9.1	海洋生物的环境分区	272
9.1.1	水层部分	272
9.1.2	底层部分	274
9.1.3	海洋环境分区	276
§ 9.2	海洋生物多样性	277
9.2.1	生物多样性概念	277
9.2.2	海洋生物多样性的利用和保护	288
§ 9.3	海洋生物生态类群及生物地理学	296
9.3.1	海洋生物生态类群	296
9.3.2	生物地理学的基本概念及专门名词	304
§ 9.4	海洋生态系统	306
9.4.1	海洋生态系统的基本概念	306
9.4.2	海洋生态系统的组成成分	307
9.4.3	食物链和食物网	308
9.4.4	微型食物网	310

9.4.5	海洋生物生产力	314
9.4.6	海洋生态系统中生物生产过程和反馈调节	319
§ 9.5	海洋环境中的若干生物学问题	321
9.5.1	海洋中的污染物与生物学过程	321
9.5.2	赤潮及其防治	328
9.5.3	海洋污损生物和钻孔生物	333
9.5.4	海洋生物对海水中声和光的物理效应	335
§ 9.6	海洋生物资源的开发利用	341
9.6.1	海洋生物资源	341
9.6.2	海洋药物资源	344
9.6.3	海洋生物资源的持续开发利用	346
第十章	海洋中的声、光传播及其应用	350
§ 10.1	海洋声学概说	350
10.1.1	水声学与海洋声学的发展	350
10.1.2	海洋声学研究内容	351
10.1.3	海洋声学遥感的应用前景	351
§ 10.2	声波的基本理论	352
10.2.1	声波	352
10.2.2	理想流体中的小振幅声波	352
10.2.3	海水中声波的传播速度	354
§ 10.3	海洋的声学特性	356
10.3.1	海水中的声速和声速铅直剖面	357
10.3.2	海水的声吸收	359
10.3.3	海面波浪的声散射	361
10.3.4	海底声学特性	361
10.3.5	海洋内部的不均匀性对声波的影响	363
§ 10.4	浅海中声传播理论和典型水文条件下的声场特征	363
10.4.1	波动声学基础	363
10.4.2	射线声学基础	364
10.4.3	分层不均匀海洋中的射线声学	365
10.4.4	海洋中声的波导传播和反波导传播	366
10.4.5	深海水下声道	367
10.4.6	浅海表面声道	369
§ 10.5	海洋的环境噪声	369
10.5.1	海洋中的噪声源	369
10.5.2	海洋动力学噪声谱特性	370
§ 10.6	海洋声学方法遥测和反演海洋参数	371
10.6.1	声遥测海洋参数	371
10.6.2	利用声波反演海洋气候参数	372

§ 10.7 海洋的光学性质	372
10.7.1 海洋光学中的一些辐射量	373
10.7.2 海-气交界面的光学性质	375
10.7.3 光在海水中的衰减	377
10.7.4 海水中光的散射	378
10.7.5 海洋光学仪器	380
§ 10.8 海洋中的辐射传递理论	381
10.8.1 两流辐射传递理论	381
10.8.2 海洋辐射传递的辐亮度传递过程	382
§ 10.9 水中能见度	385
10.9.1 水下目标的对比度	385
10.9.2 图象在水中的传输	387
§ 10.10 海洋激光雷达及其应用	388
10.10.1 海洋激光雷达水深测量方法	390
10.10.2 海洋激光雷达叶绿素浓度测量方法	391
§ 10.11 水下电视	392
10.11.1 距离选通式	393
10.11.2 视场扫描式	394
第十一章 卫星海洋遥感	397
§ 11.1 引言	397
11.1.1 卫星海洋遥感及空间海洋观测历史背景	397
11.1.2 卫星海洋遥感系统	398
11.1.3 卫星遥感对海洋科学研究的价值	400
11.1.4 90年代的海洋卫星计划	404
§ 11.2 卫星海表温度遥感	405
11.2.1 引言	405
11.2.2 红外辐射计工作原理	405
11.2.3 卫星海表温度的反演	407
11.2.4 卫星海表温度的应用	407
§ 11.3 海色卫星遥感	408
11.3.1 引言	408
11.3.2 SeaWiFS与CZCS海色传感器	409
11.3.3 与海色卫星遥感有关的海洋光学特性	410
11.3.4 海色反演原理	411
11.3.5 海色卫星资料的应用	414
§ 11.4 微波高度计	415
11.4.1 引言	415
11.4.2 卫星高度计的基本原理	416

11.4.3	卫星高度计的应用	419
§ 11.5	微波散射计	422
11.5.1	引言	422
11.5.2	星载微波散射计测风原理	422
11.5.3	星载微波散射计风场的反演	423
11.5.4	SSM/I简介	424
11.5.5	卫星风场资料的应用	425
§ 11.6	星载合成孔径雷达	426
11.6.1	引言	426
11.6.2	SAR 成像原理	427
11.6.3	从卫星 SAR 海浪图象反演海浪方向谱	429
11.6.4	合成孔径雷达在其他海洋研究中的应用	431
第十二章	中国近海的区域海洋学	434
§ 12.1	自然环境概况	434
12.1.1	地理位置、区划和岸线	434
12.1.2	海底地形、沉积与构造	436
12.1.3	径流特征	438
12.1.4	气候概况	441
§ 12.2	海洋水文状况	443
12.2.1	海面热平衡状况	444
12.2.2	水温场、盐度场与密度场	444
12.2.3	跃层、内波与细微结构	457
12.2.4	水色、透明度和声速的分布与变化	462
12.2.5	海冰的分布与变化	466
§ 12.3	水团和海洋锋	470
12.3.1	渤海和黄海的水团	470
12.3.2	东海和南海的水团	473
12.3.3	海洋锋及其和渔场的关系	477
§ 12.4	海洋环流	479
12.4.1	水平环流概况	479
12.4.2	上升流和冷、暖涡旋	482
§ 12.5	潮汐、潮流和海浪	484
12.5.1	潮汐和潮流	484
12.5.2	海浪	486
§ 12.6	海水化学要素的分布与变化	487
12.6.1	溶解氧含量及饱和度	487
12.6.2	活性磷酸盐	489
12.6.3	活性硅酸盐	489
12.6.4	硝酸盐	490