



浙江省重点教材

物理海洋学基础

WULI HAIYANGXUE JICHU

吕华庆 主编



 海洋出版社



浙江省重点教材

物理海洋学基础

吕华庆 主编

海洋出版社

2012年·北京

图书在版编目(CIP)数据

物理海洋学基础/吕华庆主编. —北京:海洋出版社,2012.6

ISBN 978-7-5027-8240-5

I. ①物… II. ①吕… III. ①海洋物理学-高等学校-教材 IV. ①P733

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 063386 号

责任编辑:方 菁

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:18.25

字数:430千字 定价:48.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《物理海洋学基础》 编委会

主编:吕华庆

参编:魏守林 吴仁豪 童元正

编写说明

物理海洋学是海洋科学类专业十分重要的主干课程。该课程旨在使学生系统地掌握物理海洋的基本理论及其发展全貌,掌握动力海洋,包括海流、海浪、潮波、内波和风暴潮的基本概念和海水运动的基本规律,学会研究海洋动力现象的基本思路和方法,为今后从事海洋科学研究奠定扎实的理论基础。

在长期的科学研究实践中,物理海洋学研究是以温度场、盐度场、密度场为基础而展开的,研究领域包括波浪动力学、潮汐学、海流理论、地震海啸理论、海水热力学等。本教材是以温、盐、密、浪、潮、流为主干进行编写的,适用于海洋气象学、海洋工程和物理海洋学专业本科高年级学生,设计学时为 80。

本教材在编写过程中引用了大量的参考文献,尤其是罗伯特·斯图尔特(Robert H. Stewart)的著作《物理海洋学导论》(Introduction to Physical Oceanography),在出版前曾给大多数作者写过信,但由于部分作者的联系地址变更或因其他原因而无法联系到。在本教材出版之际,向所有被引用的参考文献和网络文献的作者深表感谢。

为规范编写,文中外文姓名根据新华通讯社译名资料组编写的《英语姓名译名手册》(新华通讯社译名资料组,1991)译出。不在手册内的和非英、美人士的姓名采用习惯译法。

教材中带“*”号的章节难度较高,仅供教学时参考,不作教学要求。

本教材的出版得到了“浙江省‘十一五’重点教材建设项目”、浙江省海洋与渔业局科研项目“象山港海域环境评价(浙海渔计[2010]218号)”的资助和浙江海洋学院教务处的的大力支持,在此我们表示衷心感谢。

编写组

2011年11月

目 次

绪 论	(1)
第1章 地 球	(6)
1.1 大洋和海	(7)
1.2 大洋尺寸	(8)
1.3 海底特征	(8)
1.4 水准面	(9)
第2章 大气层	(11)
2.1 宇宙中的地球	(11)
2.2 大气风系	(13)
2.2.1 大气环流	(14)
2.2.2 低纬度环流	(15)
2.2.3 极地环流	(15)
2.2.4 中纬度环流	(16)
2.3 行星边界层	(17)
2.4 风速的测量	(17)
第3章 海洋热量收支	(19)
3.1 海洋热量收支	(19)
3.3.1 太阳入射能 Q_{sw}	(19)
3.3.2 海水的红外辐射 Q_{LW}	(19)
3.3.3 感热 Q_s	(19)
3.3.4 潜热 Q_L	(20)
3.3.5 对流热量 Q_v	(20)
3.2 热量收支方程中各项的地理分布	(21)
3.3 子午向热量运输	(22)
3.3.1 大气层顶部的热量收支	(22)
3.3.2 海洋热量运输	(23)
3.4 子午向淡水运输	(24)
3.5 太阳常数变化	(25)
第4章 海水的温度、盐度和密度	(27)
4.1 盐度的定义	(27)
4.1.1 简单定义	(27)
4.1.2 稍完整的定义	(27)
4.1.3 以氯度为基础的盐度定义	(28)
4.1.4 盐度的电导率定义	(28)

4.1.5	1978 实用盐标	(28)
4.1.6	评论	(29)
4.2	温度的定义	(29)
4.3	海表温度和盐度的分布	(30)
4.4	海洋混合层和温跃层	(32)
4.5	密度、位温和位密度	(34)
4.5.1	密度和 σ_t	(34)
4.5.2	位温 θ	(35)
4.5.3	位密度	(36)
4.5.4	海水状态方程	(36)
4.5.5	温度、盐度和密度的精度	(36)
4.6	温度测量	(37)
4.6.1	水银温度计	(37)
4.6.2	高精度辐射计	(38)
4.7	电导率测量	(39)
4.8	压力测量	(39)
4.9	温度、盐度和深度测量	(39)
4.10	混合层厚度的测量	(40)
4.11	海洋中的光学现象	(41)
4.12	海冰	(43)
4.12.1	海水的结冰过程	(43)
4.12.2	海冰的性质	(44)
4.12.3	海冰对海况的影响	(44)
4.12.4	海冰的分布	(45)
第 5 章	海水基本运动方程	(47)
5.1	海洋动力过程中的主要作用力	(48)
5.2	坐标系	(49)
5.3	海水运动形式	(49)
5.4	盐量和质量守恒	(52)
5.5	质点导数 $\left(\frac{D}{Dt}\right)$	(53)
5.6	连续方程	(54)
5.7	盐扩散方程	(55)
5.8	传热方程	(57)
5.9	海水状态方程	(58)
5.10	动量方程	(59)
5.11	运动方程求解	(62)
5.12	罗斯贝数	(63)
第 6 章	湍流、混合和不稳定	(66)

6.1	湍流	(67)
6.2	主要时均方程	(69)
6.3	雷诺应力的计算	(71)
6.4	稳定性	(72)
6.4.1	静态稳定与稳定频率	(72)
6.4.2	动态稳定和理查森数	(74)
6.4.3	双扩散与盐指	(76)
6.5	海洋中的混合	(77)
6.6	垂向平均方程	(79)
第7章	海流	(83)
7.1	惯性流	(83)
7.2	无限深海漂流和埃克曼层	(85)
7.2.1	风生大洋环流理论发展过程中的大事记	(85)
7.2.2	南森的定性论证	(86)
7.2.3	无限深海漂流的埃克曼解	(86)
7.2.4	埃克曼解的证明	(87)
7.2.5	底部埃克曼层	(90)
7.2.6	埃克曼假定的检验	(90)
7.2.7	近海表处流动的观测	(91)
7.2.8	埃克曼质量输运	(92)
7.3	有限深海漂流	(94)
7.3.1	方程组	(94)
7.3.2	求解	(95)
7.3.3	求流速 u 和 v 的表达式	(96)
7.3.4	求海面的复速度 W_0	(97)
7.3.5	表层流的偏角 α_0 的计算	(97)
7.3.6	变换回原坐标系	(98)
7.3.7	漂流引起的体积输运	(98)
7.4	兰缪尔环流	(99)
7.5	地转流	(101)
7.5.1	水静力平衡	(101)
7.5.2	地转方程组	(102)
7.5.3	垂向速度估计	(103)
7.5.4	用海面高度计算海面地转流	(104)
7.5.5	用水文方法测量地转流	(108)
7.5.6	正压流和斜压流	(111)
7.5.7	对地转流的评论	(111)
7.5.8	海流拉格朗日法测量法	(113)
7.5.9	欧拉法测海流	(115)

7.5.10	声海流计	(115)
7.5.11	底流	(118)
7.6	潮余流	(121)
7.6.1	潮余流的产生机制	(121)
7.6.2	潮余流的欧拉与拉格朗日表示方法	(122)
第8章	大洋环流	(124)
8.1	斯维尔德鲁普太平洋东部风生环流理论	(126)
8.1.1	斯维尔德鲁普输运和斯维尔德鲁普平衡	(126)
8.1.2	斯维尔德鲁普解的评论	(130)
8.1.3	流函数	(131)
8.2	施托梅尔风生大洋环流的西边界强化理论	(131)
8.3	蒙克的大洋风生环流黏性理论	(133)
8.3.1	方程组	(133)
8.3.2	求解	(133)
8.3.3	作图	(134)
8.3.4	评论	(134)
8.4	海洋中的涡度	(135)
8.4.1	涡度的定义	(135)
8.4.2	涡度守恒	(138)
8.4.3	涡度和埃克曼抽吸	(140)
8.5	深海环流	(142)
8.5.1	深海环流的重要性	(143)
8.5.2	深海环流理论	(147)
8.5.3	深海环流的观察和水团	(150)
8.5.4	德雷克海峡	(152)
8.5.5	南极绕极流	(153)
8.5.6	大西洋平均环流	(154)
8.6	中国近海海流特征	(155)
8.6.1	东部中国海域的海流	(155)
8.6.2	南海环流	(162)
第9章	海浪	(165)
9.1	海浪理论	(165)
9.1.1	无旋波动的基本方程	(166)
9.1.2	速度势表示的基本方程和边界条件	(167)
9.2	表面二维线性波动	(168)
9.2.1	基本方程和边界条件	(168)
9.2.2	求解	(169)
9.2.3	水深对线性波动的影响	(172)
9.3	线性波动的合成	(174)

9.3.1	驻波	(174)
9.3.2	群速	(176)
9.3.3	有效波高	(178)
9.4	非线性波	(178)
9.5	斯托克斯波 [*]	(179)
9.5.1	导出斯托克斯波的前提条件	(179)
9.5.2	动力学方程和边界条件	(179)
9.5.3	斯托克斯波的研究思路	(179)
9.5.4	斯托克斯波求解	(179)
9.5.5	三阶斯托克斯波的性质	(181)
9.6	盖尔斯特涅尔摆线波	(182)
9.6.1	质点的轨迹与波的压力分布	(182)
9.6.2	摆线波的性质	(184)
9.7	浅水中的重力波	(186)
9.7.1	浅水运动的基本方程	(186)
9.7.2	等深水域中的重力长波	(188)
9.8	考特威-德佛里斯方程和孤立波	(190)
9.8.1	考特威-德佛里斯方程	(190)
9.8.2	孤立波	(191)
9.9	椭圆余弦波	(192)
9.10	海浪与海浪谱	(193)
9.10.1	傅里叶展开	(194)
9.10.2	海表测量	(195)
9.10.3	海浪谱	(198)
9.11	海浪预报	(200)
9.11.1	我国的海浪理论和预报	(201)
9.11.2	文氏谱	(202)
第10章	内波	(204)
10.1	内波现象	(204)
10.2	内波特征	(208)
10.3	内波的产生	(208)
10.4	内波的分类	(209)
10.5	混合型内波表达式和布伦特-韦伊塞拉(Brunt-Vaisala)频率	(209)
第11章	赤道波动	(211)
11.1	开尔文波	(212)
11.2	开尔文波的数学表达式	(212)
11.3	罗斯贝波	(215)
11.3.1	小振幅运动	(215)
11.3.2	线性地转运动	(216)

11.3.3	纬向通道中罗斯贝波的数学表达式*	(217)
11.3.4	准地转罗斯贝波*	(218)
11.4	罗斯贝波的机制	(218)
11.5	赤道过程	(221)
11.5.1	赤道温跃层	(221)
11.5.2	赤道流系	(221)
11.5.3	北赤道逆流的形成机制	(222)
11.5.4	赤道潜流的形成机制	(223)
11.6	厄尔尼诺和拉尼娜现象	(224)
11.6.1	海洋对短暂风扰动的响应是厄尔尼诺发生的必要条件	(224)
11.6.2	典型西风爆发后的赤道波动	(224)
11.6.3	海洋对缓慢风应力变化的响应	(224)
11.6.4	ENSO 模型	(225)
11.6.5	厄尔尼诺理论	(227)
11.6.6	拉尼娜理论	(229)
第 12 章	潮汐理论	(231)
12.1	天文名词和天球坐标系	(234)
12.1.1	天文名词	(234)
12.1.2	赤道坐标系与黄道坐标系	(236)
12.2	天体引潮力	(236)
12.2.1	月球引潮力和引潮势的计算	(237)
12.2.2	太阳引潮力和引潮势的计算	(238)
12.2.3	天体引潮势的主要部分	(238)
12.3	球面三角学基本公式	(240)
12.3.1	正弦公式	(240)
12.3.2	边的余弦公式	(241)
12.3.3	角的余弦公式	(241)
12.4	太阳、月球的运动和时间	(241)
12.4.1	与太阳运动有关的时间	(241)
12.4.2	与月球运动有关的时间	(241)
12.5	平衡潮理论	(242)
12.5.1	平衡潮理论及其主要结论	(242)
12.5.2	平衡潮的分潮	(248)
12.5.3	平衡潮的展开	(249)
12.5.4	平衡潮理论的订正	(252)
12.5.5	分潮调和常数	(254)
12.6	拉普拉斯潮汐动力学理论	(255)
12.6.1	描述大尺度强迫运动潮波的动力学基本方程式	(256)
12.7	同潮图	(263)

12.8	中国东部海域及围边海域的潮汐	(264)
12.9	风暴潮简介	(264)
附录 I	(267)
附录 II	(268)
参考文献	(269)

绪 论

要让一位非专业人士记住“物理海洋学”这个名词并非一件容易事。把这个名词告诉他,几天后再问他,他的回答往往是“海洋物理学”,因为后者容易记住。看来,在讲述本课程之前,区分“物理海洋学”和“海洋物理学”是十分必要的。

海洋物理学主要研究海水各类运动和海洋与大气及岩石圈的相互作用的规律,为海况和天气的监测及预报提供依据;研究海洋中的声、光、电、磁等现象和过程,以掌握其变化规律和物理机制;研究海洋探测的各种物理学方法,从而实现有计划地在海上进行现场专题观测和实验。通过以上三方面的研究,形成海洋物理学中一系列的分支学科,其中主要分支学科有物理海洋学、海洋气象学、海洋声学、海洋光学、海洋电磁学和河口海岸带动力学等。目前所指的海洋物理学,是研究海洋中声、光、电、磁学现象及其变化规律的科学。

物理海洋学是现代海洋物理学中最早发展起来的一个分支学科,其研究内容最为广泛。它主要研究发生在海洋中的流体动力学和热力学过程,其中包括海洋中的热量平衡和水量平衡,海水的温度、盐度和密度等海洋水文状态参数的分布和变化,海洋中各种类型和各种时空尺度的海水运动,如海流、海浪、潮汐、内波、风暴潮、海水层结的细微结构和湍流等,及其相互作用的规律。有人以“研究温度、盐度、密度、海浪、海流和潮汐”概括之,其实并不准确。

我国具有悠久的海洋研究史,然而从认识海洋、从事海洋活动,到开展物理海洋学研究且经历了一个漫长的过程。

我国古代对海洋的认识

(1)关于海洋潮汐,我国殷商时代已出现“涛”字,这个字后来被解释为“潮”字的同义词。

(2)《诗经》中,多次出现“海”字,并有江河“朝宗于海”的认识。

(3)春秋战国时期,齐国的邹衍(公元前204—305)曾提出一种海洋型地球观,即大九洲说。他阐述了世界海陆分布的大势,认为世界很大,像我国这样大的陆地有81个,彼此被“裨海”相隔,又都被“大瀛海”环绕,再外面才是天地接壤之处。这里所说的“裨海”和“大瀛海”,分别相当于今日的“海”和“洋”。后来,晋代葛洪在《神仙传》一书中提出,“东海三为桑田”,明确地表达了海陆屡有变迁的思想。

(4)西汉时期,我国已开辟了从太平洋进入印度洋的航线。《汉书·艺文志》中提到西汉时海中占验书就有136卷,其中《海中日月彗虹杂占》有18卷。

(5)东汉时,利用季风航海已有文字记载。王充是最早对海洋潮汐现象作出科学解释的古代科学家。他在《论衡·书虚》篇中提出“涛之起也,随月盛衰”,对潮汐和月亮的关系进行了论述。

(6) 三国时期,出现了我国第一篇潮汐专论——《潮水论》。

(7) 东晋葛洪和唐代卢肇引进了太阳在潮汐中的作用。窦叔蒙指出,“以潮汐作涛,必待于月;月与海相推,海与月相期”。他对潮汐周期的推算,也很有见地;并绘制了理论潮汐表——“窦叔蒙涛时图”。

(8) 唐宋时期,我国的潮汐研究已达到很高水平。

(9) 现存北宋吕昌明于 1056 年编制的“浙江四时潮候图”,曾被刻成石碑立于钱塘江畔供渡江用。它比欧洲现存最早的潮汐表,大英博物馆所藏的 13 世纪的“伦敦桥涨潮时间表”早得多。

(10) 明朝,出现了我国现存的《东西洋考》、《筹海图编》、《郑开阳杂著》、《武备志》。1405—1433 年,明朝郑和七次下“西洋”,最远到达赤道以南的非洲东海岸和马达加斯加岛,比哥伦布从欧洲到美洲的航行(1492—1504 年)要早半个多世纪,而且在航海技术水平和对海洋的认识上,也远远超过当时的西方。郑和出海,多在冬、春季节,利用东北季风启航,又多在夏、秋季节利用西南季风返航,说明他们已较充分地认识和利用了亚洲南部、北印度洋上的风向和海流季节性变化的规律。

(11) 清代,出现了方观承的《两浙海塘通志》、翟均廉的《海塘录》和俞思谦的《海潮辑说》。俞思谦编辑的《海潮辑说》和翟均廉编辑的《海塘录》等收录了古代不少潮汐著作。

(12) 史载东汉已开始有江浙海塘,在唐代已呈较大规模。以后,关于海塘建设的技术不断改进,先后出现过板筑法、竹笼实石法、坡陀法、纵横叠石法等,并出现备塘河、坦水等附属工程。清代康熙、雍正、乾隆三朝在历代工程的基础上,动员较大人力修建了从金山卫到杭州的石塘。

我国近代以来物理海洋学的研究活动

我国近代物理海洋学研究虽然相对不多,发展速度相对较慢,但以下事例对物理海洋学学科的发展具有积极的推动作用。

(1) 1909 年成立的中国地学会,从地学的角度,对海洋地理、海洋地质、海产生物和海洋气象等进行了研究,并通过其会刊《地学杂志》,宣传海洋科学知识。

(2) 1914 年创办的中国科学社,为促进我国近代海洋科学的发展作出过积极的贡献。

(3) 1922 年,海军部设立海道测量局,我国的海道测量工作开始起步。建于 1928 年的青岛观象台海洋科,是我国第一个海洋水文气象和生物观测研究机构。中国科学社筹建的青岛水族馆也由该科管理。海洋科主办了《海洋半年刊》刊物。

(4) 1937 年下半年至 40 年代末,我国的海洋科学研究绝大部分陷于停顿。1941 年 4—10 月,由马廷英、唐世凤等组织的福建东山海洋考察,成为抗日战争期间国内唯一的一次海洋考察。

(5) 1916 年,竺可桢发表《中国之雨量及风暴说》,论述了海洋气候对我国大陆气候的影响,以及台风生成的原因和侵袭我国的路径;1925 年和 1934 年,他又先后发表了《台风的源地与转向》和《东南季风与我国之雨量》,把沿海的天气现象与海洋环境因素的变化联系起来。青岛观象台台长蒋丙然编著的《中国海及日本海海水温度分配图》,绘制了周年平均

等温线图、周年变差等温线图及各月等温线图共 12 幅,并对海水温度变动的的原因作了说明。

(6)20 世纪 50 年代初期,对海洋水文开展了调查研究。1953 年,在赵九章教授的指导下,有关单位在青岛市小麦岛建立了我国第一个波浪观测站,开始波浪研究。同时,一些单位开始研究天津新港泥沙回淤问题、河流入海河口的演变规律,以及我国近海水声学考察工作。

(7)1956 年,国务院科学技术规划委员会编制了 12 年科学技术发展规划,海洋科学技术发展第一次被列入国家的科学技术规划。

(8)1957—1958 年,中国科学院海洋生物研究所进行了渤海及北黄海西部海洋综合调查,并与水产部黄海水产研究所、海军和山东大学海洋系等单位协作,完成了多次同步观测。

(9)1958—1960 年,国家科委海洋组组织全国 60 多个单位,进行全国海洋综合调查。1960 年,地质部第五物探大队与中国科学院海洋研究所协作,开始在渤海海域进行以寻找石油资源为目标的海洋地球物理调查。同年,地质部航空测量大队对整个渤海和沿海地区,进行了我国首次海上航空磁力测量。

(10)1974 年,中国科学院南海海洋研究所综合考察了西沙群岛海域。

(11)1976—1980 年,国家海洋局根据我国第一次远程运载火箭试验的要求,在太平洋中部特定海区进行了综合调查。

(12)1978—1979 年,国家海洋局等部门参加了第一次全球大气试验,在中太平洋西部进行调查和试验。

(13)1980—1985 年,国家海洋局等部门组织了我国沿海 10 省、市进行全国海岸带和海涂资源综合调查。1983 年,国家海洋局进行了北太平洋锰结核调查和南海中部综合调查。1984 年,我国首次派出南极考察队进行南大洋和南极大陆科学考察。同年,中国科学院南海海洋研究所对南沙群岛邻近海域进行了综合考察。

(14)除上述大型海洋考察活动之外,我国从 20 世纪 50 年代开始还定期进行海洋水文标准断面调查和海道测量,并进行了中美长江口海洋沉积合作调查、海底电缆路由调查等。

郑和下西洋

中国乃至世界海洋史上最光辉的一页是郑和下西洋。郑和下西洋的时间之长、规模之大、范围之广都是空前的。他不仅在航海活动上达到了当时世界航海事业的顶峰,而且对发展中国与亚洲各国家政治、经济和文化上的友好关系,作出了巨大贡献。在中华民族伟大复兴时期到来之际,每一个海洋从业者都必须熟知这一光辉历史。

1405—1433 年,从刘家港出发,穿越马六甲海峡,横渡印度洋,郑和最远到达非洲东海岸和红海沿岸。1405 年 7 月 11 日(明永乐三年)明成祖命郑和率领 240 余艘海船、27 400 名士兵和船员组成的远航船队,访问了许多个在西太平洋和印度洋的国家和地区,加强了我国同东南亚、东非的联系。他每次都由苏州刘家港出发,一直到 1433 年(明宣德八年),一共远航了 7 次。

郑和下西洋具有伟大的历史意义,它展示了明朝前期中国国力的强盛,中国海军纵横大洋的能力,虽然明朝在国土面积上远远比元朝小,但却实现了万国朝贡,盛世追迹汉唐。这

是中国古代历史上最后一件世界性的盛举。

从海洋学上,郑和下西洋在三个方面具有重要意义。

(1)天文航海技术。我国很早就可以通过观测日月星辰测定方位和船舶航行的位置。郑和船队已经把航海天文定位与导航罗盘的应用结合起来,提高了测定船位和航向的精确度,人们称“牵星术”。用“牵星板”观测定位的方法,通过测定天的高度,来判断船舶的位置和方向,并确定航线。这项技术代表了那个时代天文导航的世界先进水平。

(2)地文航海技术。郑和下西洋的地文航海技术,是以海洋科学知识和航海图为依据,运用了航海罗盘、计程仪、测深仪等航海仪器,按照海图、针路簿记载来保证船舶的航行路线。航行时确定航行的线路,叫做针路。罗盘的误差,不超过 2.5° 。

(3)《郑和航海图》。《郑和航海图》是世界上现存最早的航海图集。与同时期西方最有代表性的波特兰海图相比,《郑和航海图》制图的范围广,内容丰富,虽然数学精度较低,但实用性胜过波特兰海图。

物理海洋学的研究内容

海洋是一个巨大的立体空间,海洋中发生的各种现象和过程极其复杂,时空尺度千差万别。物理海洋学研究,除了部分可以在实验室进行外,其余都需在海洋中开展。海洋水深浪大,环境条件严酷,研究技术要求日益提高。随着科学技术的发展,一个以遥感、遥测、遥控、自动化和电子计算机等技术为基础的海洋探测系统迅速发展起来,一个包括海表卫星遥感技术、海底声学测量技术、海洋浮标技术、深潜观测技术等在内的立体海洋探测体系已初步形成。近20年来,物理海洋学一直重视对海洋自身的各种物理现象和过程的研究,不断获得进展,在界面过程与大气关系的研究方面取得了许多成就。这些研究进展和成就丰富了物理海洋学的知识体系。

物理海洋学所研究的问题,可以概括为海洋热盐结构、海水宏观运动、海-气相互作用、海洋湍流等4个主要方面。

(1)海水热盐结构研究包括海洋水体的热平衡和物质平衡,温度、盐度、压力、密度等的时空变化,铅直断面上的温度和密度分布,海洋中的海水混合、扩散和层结,锋面和跃层的形成,温度-盐度曲线和水团的生成,水团的边界(锋面)和混合,暖水和冷水间成篦齿状的水平交错排列,海冰的成因和消长,海水的绝热压缩、绝热膨胀和位温,海洋中等熵面的形成及其分布等。

(2)海水宏观运动研究包括重力场中海水的非周期性和周期性运动,一般又分为海洋环流、海洋波动和海洋潮汐三种,这是物理海洋学的主要研究对象。

①海洋环流研究包括风引起的海流和密度分布不均匀所产生的密度流,大洋环流中流旋的生成和分布,大洋环流西向强化,海流的弯曲和变异,近赤道地区的流系结构,南极绕极流,大洋热盐环流,深海环流与主跃层的关系,海水的辐散和辐合运动与升降流及朗缪尔环流等的关系,中尺度涡及其能量转换,冰漂流等特殊的流动现象,海洋对风应力等的反应,以及近岸海区的环流等。

②海洋波动研究包括海浪的生成和消长,风浪中的能量,风速、风区、风时与海浪要素之

间的关系,海浪谱及其源函数的结构,波-波非线性相互作用中的能量转移,海浪的折射、绕射和反射,海洋近岸波及其相应的沿岸流和离岸流,海洋中的罗斯贝波、陆架波和边缘波,海洋内波和海啸等。

③海洋潮汐研究包括引潮力、引潮势和分潮之间的关系,潮汐静力学理论和潮汐动力学理论,潮波方程及其数值解,潮汐分析和推算原理,海平面及其变化,风暴潮,港湾潮汐余流,浅海潮波和海底摩擦对潮流的影响,河口区的潮汐混合以及潮汐表的制作,各种特殊海域的潮汐,潮流、潮汐和风暴潮的预报等。

(3)海-气相互运动研究包括海-气界面分子过程的动量、热量、水汽和其他物质的输送,近海面湍流边界层中的湍流能量方程,湍流的铅直结构,湍流边界层中各种参量的确定及边界层模式,大气与海洋间的动量和能量的传递及其与风海流和风浪生成的关系;大尺度和中尺度的运动,及其相互作用与天气预报及海况预报的关系;海洋对大气的反馈作用对全球大气环流及气候变化的影响等。

(4)海洋湍流研究包括海洋上混合层、内层和近底边界层中的湍流发生机制,风生漂流和内波场等流速铅直梯度与湍流发生的关系,海洋湍流的谱结构,湍流能量的转换和守恒,海洋湍流的局地相似性,在低纬度和中纬度海域形成温跃层时的表层水和下层水间的混合交换作用,以及由于双扩散等作用所导致的水温阶梯式分布和盐指现象等海洋微细结构。

思 考 题

1. 什么是物理海洋学?
2. 物理海洋学的研究方法主要有哪些?
3. 物理海洋学所研究的主要问题有哪些?