



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

海洋调查方法

侍茂崇 高郭平 鲍献文 编著



青岛海洋大学出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

海洋调查方法

侍茂崇 高郭平 鲍献文 编著

青岛海洋大学出版社
Qingdao Ocean University Press

图书在版编目(CIP)数据

海洋调查方法/侍茂崇,高郭平编著. -青岛:青岛海洋大学出版社,
1999.9

ISBN 7-81067-106-5

I. 海… II. ①侍… ②高… III. ①海洋调查-方法 ②海洋监测-方法
IV. P715

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 62635 号

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)

出版人:刘宗寅

日照日报社印刷厂印刷

新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:22.625 字数:521 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~1000 定价:31.00 元

内容简介

本书是“面向 21 世纪课程教材”中的一种。全书共分为 19 章,包括绪论,深度、温度、盐度、水色、透明度、海流、潮汐、海浪、内波等海洋水文要素,以及相应的气象、化学、生物、地质、海洋物理等要素的调查,海洋调查资料的分析 and 处理,海洋调查的组织等,既介绍最先进的测量仪器,又介绍最先进的调查方法,并注重理论联系实际。

本书可作为高等学校海洋科学和海洋技术专业的教科书。对于从事海洋遥感、海洋环保、海洋工程、海洋水产、航海和海洋管理以及其他海洋科学技术研究等方面工作的人员也是一本很好的参考书。

前 言

海洋调查方法是一门古老而又年轻的课程,从 1953 年我校建海洋系开始,就正式设立了该课程,许多老师都不同程度地讲授过它。但是,它又是不断更新的课程,每一种新仪器、新方法问世,都会带来海洋调查方法的变更。

本书中,我们在介绍海洋仪器的同时,重点介绍仪器的正确使用方法、误差来源,出海调查的组织工作和常用的资料分析方法,以及当前先进的、立体式海洋调查个例。其目的是既能培养直接从事海上工作的优秀调查队员,又能以此为基础,使他们成为优秀的海况分析研究专家。赫崇本先生一生致力于海洋调查方法的提高和改进,特别强调同步资料的重要性。1955 年,他组织学生在烟威渔场进行过一次有趣试验:同时以两条船分别自东、西方向对烟威渔场进行温度观测。根据温度观测结果,两船得出的鲑鱼集群与环境关系的结论竟截然相反。他的良苦用心,给从事海洋调查工作的人起了醍醐灌顶的作用。

对于海洋调查,除去讲授方法之外,我们还要提倡追求真理和献身精神。只有对海洋万千之谜抱着孜孜不倦的探求之心,对海洋开发事业充满热爱和献身精神,才能使海洋科学蓬勃发展、一往直前。

原始的亚历山大潜水钟只能达到水下几米,经过 2 300 多年的努力,已发展成今日装备精良的皮卡尔潜水器,可以达到万米之下的海洋最深部。古人曾想像地球上有着未知的南方大陆,那里永远是繁花似锦的春天;经过几百年出生入死、千回百折的探索,直到 1821 年,人们才发现了南极洲。尽管那里是永久的冰原,却成了今日人类科学的殿堂。100 多年前探险船“挑战者”号从黑暗的深海里偶然采集到一块“黑色石头”,从而发现了取之不竭的多金属结核资源。正是由于全人类的艰苦卓绝的努力,才建立起今天如此博大精深的海洋科学。

这里,还要强调实践第一的观点,那就是每一种先进海洋仪器问世,每一次调查方法的改进,每一个更高层次的实践活动,都可能带来海洋理论的深刻革命。例如:过去用机械装置制成的海流计,测深层流非常困难。20 世纪 50 年代之后,采用声学浮标测流,发现了赤道深层流的方向与表层相反。其结果,从根本上推翻了深层海水基本静止的旧观念。

20 世纪 60 年代之后,人们利用卫星遥感技术,观测大面积海洋参数,

发现在大洋弱流区域内存在着时间尺度为几个月的、大小不一的中尺度涡旋,有人甚至把大洋称之为“涡旋的大观图”。这些形形色色的“团团转”,相当于大气中气旋、反气旋和台风,还具有很大的动能,约占海洋大、中尺度海流动能的 99% 以上。这一发现,向海洋环流理论提出强有力的挑战。

CTD 问世,人们发现海水的温度和盐度等状态参数的分布和变化并不像常规的调查结果所显示的那样光滑而连续,而是存在许多时空尺度较小的复杂结构;其中,特别明显的是在铅直方向上,有一系列的、近乎均匀的水层和较薄的强梯度水层相间的阶梯状结构。在这种小尺度的铅直结构中,强梯度薄层内的梯度值,一般比铅直平均的梯度值高 1~2 个数量级,并常伴随着显著的流速铅直切变,从而双扩散理论应运而生。

由此可见,物理海洋学中重大理论的发现和建立,都是与实践密不可分的。因此,我们应学以致用,走理论与实践相结合的道路。

当本书问世之际,谨向给予热情关怀和大力支持的校、院、系领导,几十年来讲授该课程的十几位老师,特别向宁波海洋学校朱志恩先生表示感谢。青岛海洋大学刘安国、俞光耀、蒋德才、方欣华等教授也对本书的编写提出了宝贵的意见和建议,张增辉高工为本书描绘了大量插图,在此一并表示感谢。

本书的出版,在国内外尚属首次。限于笔者的水平,其内容有待海内外的同行评说和指正。我们诚恳地希望广大读者不吝赐教。

作 者

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 海洋调查简史	(1)
1.1.1 单船调查时期	(1)
1.1.2 多船联合调查时期	(3)
1.1.3 无人浮标站的使用取得全天候的连续资料	(6)
1.1.4 海洋遥感获得大面积同步资料,开创了空间海洋学时代	(8)
§ 1.2 全球海洋观测系统简述	(10)
1.2.1 大尺度气候研究计划	(10)
1.2.2 现有的和计划的全球海洋观测系统及数据管理系统	(12)
§ 1.3 海洋调查的分类及内容	(13)
1.3.1 海洋调查系统的完整构成	(13)
1.3.2 海洋水文观测的分类及内容	(17)
§ 1.4 海洋调查是海洋科学发展的必由之路	(20)
1.4.1 科学海洋学时代,是从“挑战者”号环球海洋考察开始的	(20)
1.4.2 漂流理论是先由冰山运动得到启示而发展起来的	(21)
1.4.3 每一种先进海洋仪器问世,都将引起深刻的海洋学理论的革命	(21)
第二章 深度测量	(23)
§ 2.1 水深测量的意义和目的	(23)
§ 2.2 水深测量的要求	(23)
§ 2.3 深度测量的方法及资料订正	(24)
2.3.1 钢丝绳测深	(24)
2.3.2 回声测深仪测深	(27)
§ 2.4 深海调查深度订正方法的比较	(28)
第三章 水温观测	(31)
§ 3.1 温度观测的基本要求	(31)
3.1.1 水温观测的准确度要求	(31)
3.1.2 水温观测的时次与标准层次	(32)
§ 3.2 各式测温计简述	(33)

3.2.1 液体和机械式温度计	(33)
3.2.2 电子温度计	(33)
3.2.3 远距离海表温度辐射探测	(34)
§ 3.3 玻璃液体温度计	(35)
3.3.1 玻璃液体温度计的测温原理	(35)
3.3.2 玻璃液体温度计的误差	(36)
§ 3.4 表面温度计测温	(38)
3.4.1 仪器的结构	(38)
3.4.2 观测与使用	(38)
§ 3.5 颠倒温度计测温	(39)
3.5.1 颠倒采水器及颠倒温度计的结构和原理	(40)
3.5.2 观测与使用方法	(41)
3.5.3 利用开闭端温度计计算深度误差分析	(46)
§ 3.6 温深系统测温	(47)
3.6.1 电子式温盐深自记仪(CTD)测温	(47)
3.6.2 常用投弃式深温计(XBT)	(49)
3.6.3 温深系统测量时压力与深度的换算	(51)
§ 3.7 遥感测温	(51)
3.7.1 薄层温差的存在	(51)
3.7.2 大气温、湿度和油膜的影响	(52)
第四章 盐度测量	(53)
§ 4.1 盐度的定义和演变	(53)
4.1.1 克纽森盐度公式	(53)
4.1.2 1969 年电导盐度定义	(54)
4.1.3 1978 年实用盐标	(55)
§ 4.2 盐度的测量	(56)
4.2.1 观测时间、标准层次及精度要求	(56)
4.2.2 盐度的测量方法	(56)
4.2.3 利用现场温盐深仪测量盐度原理	(57)
§ 4.3 SYC2-2 型实验室海水盐度计测盐度	(58)
4.3.1 测盐度原理	(58)
4.3.2 SYC2-2 型实验室海水盐度计	(60)
4.3.3 测定方法	(61)
4.3.4 仪器的维护及使用注意	(63)

§ 4.4 海水样品测定结果的整理	(65)
4.4.1 查 R_{15} 算盐度	(65)
4.4.2 查 R_T 算盐度	(65)
第五章 透明度、水色、海发光的观测	(67)
§ 5.1 透明度观测	(68)
5.1.1 透明度定义	(68)
5.1.2 透明度观测	(69)
§ 5.2 水色观测	(70)
5.2.1 水色及其成因	(70)
5.2.2 水色观测	(71)
§ 5.3 海发光的观测	(72)
5.3.1 海发光及其影响因子	(72)
5.3.2 海发光的观测	(73)
第六章 海冰观测	(75)
§ 6.1 海冰概况	(76)
6.1.1 海水结冰与盐度	(76)
6.1.2 海冰的类型	(77)
6.1.3 冰期与冰情	(77)
6.1.4 海冰观测点的选择	(78)
§ 6.2 冰量和浮冰密集度观测	(78)
6.2.1 冰量和浮冰密集度的定义	(78)
6.2.2 观测与记录	(79)
§ 6.3 冰型、冰的外貌特征和冰状观测	(80)
6.3.1 冰型观测	(80)
6.3.2 冰的外貌特征和冰状观测	(81)
§ 6.4 浮冰运动参数和固定冰堆积状况、范围观测	(84)
6.4.1 浮冰运动参数观测	(84)
6.4.2 固定冰堆积状况和范围观测	(86)
§ 6.5 测绘冰情图	(87)
§ 6.6 海冰监测系统	(89)
第七章 海流观测	(90)
§ 7.1 海流观测方法	(91)
7.1.1 浮标漂移测流法	(91)
7.1.2 定点观测海流	(93)

7.1.3 走航测流	(95)
7.1.4 海流连续观测的精度要求	(95)
7.1.5 海流观测的注意事项	(95)
§ 7.2 海流计简介	(96)
7.2.1 机械旋浆式海流计	(96)
7.2.2 电磁海流计	(98)
7.2.3 声学多普勒海流计	(99)
7.2.4 其他测流仪	(99)
§ 7.3 海流观测的持续时间选择	(100)
7.3.1 流速场的描述	(100)
7.3.2 海洋湍流	(100)
7.3.3 观测持续时间长短的选择	(102)
§ 7.4 影响海流观测误差分析	(103)
7.4.1 平台无运动时出现的误差	(104)
7.4.2 平台缓慢移动所产生的误差	(106)
7.4.3 平台的快速运动——波浪场的影响	(106)
7.4.4 铅鱼和吊链的影响	(108)
7.4.5 海洋生物的影响	(108)
§ 7.5 直读式海流计	(109)
7.5.1 仪器结构及工作原理	(109)
7.5.2 仪器操作方法及注意事项	(111)
§ 7.6 声学多普勒海流剖面仪(ADCP)	(112)
§ 7.7 近岸异重流现象与观测	(114)
7.7.1 异重流定义	(114)
7.7.2 理论上的近似推导	(114)
7.7.3 流速的直接观测	(116)
§ 7.8 近底层海流的观测	(117)
7.8.1 近底层海流定义	(117)
7.8.2 钢架的设置与观测点的选择	(118)
7.8.3 观测的实施方法	(118)
7.8.4 确定海底粗糙度 Z_0	(119)
§ 7.9 海流观测资料的整理与分析	(119)
7.9.1 流速流向曲线图	(120)
7.9.2 流速流向曲线的修匀	(121)

§ 7.10 计算余流中误差分析	(121)
7.10.1 浅海潮汐余流的产生机制和实测结果分析	(122)
7.10.2 资料分析方法上的误差	(123)
第八章 海浪观测	(126)
§ 8.1 海浪的基本要素	(127)
8.1.1 海浪的基本要素	(127)
8.1.2 周期、波长和波速	(130)
8.1.3 波向和波峰线	(130)
§ 8.2 测波方法简述	(130)
8.2.1 单点测量	(131)
8.2.2 多点测量	(133)
§ 8.3 目测海浪	(134)
8.3.1 海面状况观测	(135)
8.3.2 波型观测	(135)
8.3.3 波向观测	(136)
8.3.4 周期和平均周期的观测	(136)
8.3.5 部分大波波高及周期的观测	(136)
8.3.6 波长和波速的计算	(137)
§ 8.4 光学式测波仪测波	(138)
8.4.1 测波仪的结构原理	(138)
8.4.2 测波浮标	(140)
8.4.3 安装测波仪和测波浮标	(141)
8.4.4 波浪诸要素的测定	(142)
8.4.5 仪器的维护和保养	(144)
§ 8.5 其他测波仪	(145)
8.5.1 加速度测波仪	(145)
8.5.2 水压式测波仪	(147)
8.5.3 声学式测波仪	(147)
第九章 潮位观测	(149)
§ 9.1 潮位观测的基本概念	(149)
9.1.1 潮位变化的一般规律	(149)
9.1.2 验潮站站址的选择	(150)
9.1.3 海平面与基准面	(151)
9.1.4 验潮仪简介	(153)

§ 9.2 测站的设置	(154)
9.2.1 水尺设置及其维护	(154)
9.2.2 水准点的设置	(156)
9.2.3 验潮井的设置及其维护	(157)
9.2.4 井内外水尺的设置	(159)
§ 9.3 水准联测	(161)
9.3.1 水准仪的主要结构及作用原理	(162)
9.3.2 测量的基本原理和方法	(162)
9.3.3 四等水准测量手簿的记录、整理及其限差的要求	(164)
9.3.4 几种特殊情况下的联测方法	(166)
9.3.5 水准仪和水准标尺的检验	(166)
9.3.6 三等水准测量	(168)
9.3.7 水准仪的维护和测量中的注意事项	(168)
§ 9.4 利用水尺进行潮位观测	(169)
9.4.1 观测与记录	(169)
9.4.2 水位换算	(170)
9.4.3 几种特殊情况的处置方法	(170)
§ 9.5 利用浮筒式水位计进行水位观测	(171)
9.5.1 HCJ1-2 型验潮仪的结构和工作原理	(172)
9.5.2 仪器的安装和使用	(172)
9.5.3 验潮仪的记录观测	(173)
9.5.4 验潮系统的一般故障排除和维护保养	(176)
§ 9.6 其他验潮仪	(176)
9.6.1 挪威安德拉公司的水位记录仪	(176)
9.6.2 SCA6-1 型声学水位计	(177)
§ 9.7 验潮井设置参数的选取	(177)
第十章 海洋遥感、浮标观测及内波调查	(180)
§ 10.1 遥感使人类获得大面积同步资料	(180)
10.1.1 航空海洋遥感	(181)
10.1.2 卫星遥感	(181)
§ 10.2 海洋遥感的主要对象	(184)
10.2.1 海面温度遥感	(184)
10.2.2 盐度观测	(185)
10.2.3 海面风场观测	(186)

10.2.4 海浪观测	(187)
10.2.5 海流观测	(187)
10.2.6 潮汐观测	(189)
10.2.7 水团观测	(189)
10.2.8 海洋水准面观测	(189)
10.2.9 浅海测深	(189)
10.2.10 海冰遥感	(190)
10.2.11 溢油污染遥感	(191)
10.2.12 泥沙、叶绿素观测	(191)
§ 10.3 浮标与潜标观测	(192)
10.3.1 锚定浮标	(192)
10.3.2 漂流浮标	(193)
10.3.3 潜标	(195)
§ 10.4 内波调查	(195)
10.4.1 内波锚系阵列观测	(196)
10.4.2 内波拖曳及投抛观测	(197)
10.4.3 内波中性浮子观测	(198)
10.4.4 内波声学观测	(198)
10.4.5 内波卫星观测	(199)
§ 10.5 水下探测技术	(200)
10.5.1 水声技术	(200)
10.5.2 潜水器	(200)
10.5.3 取样技术	(200)
第十一章 海洋气象、化学、生物、地质和声光调查	(202)
§ 11.1 海洋气象观测	(202)
11.1.1 观测目的	(202)
11.1.2 观测项目	(202)
11.1.3 观测的次数和时间	(202)
11.1.4 能见度观测	(203)
11.1.5 云的观测	(203)
11.1.6 天气现象的观测	(205)
11.1.7 风的观测	(205)
11.1.8 空气温度和湿度的观测	(206)
11.1.9 气压的观测	(206)

§ 11.2 海洋化学调查	(207)
11.2.1 调查目的和方法	(207)
11.2.2 水样的采集	(209)
11.2.3 采样的程序	(209)
§ 11.3 海洋生物调查	(210)
11.3.1 目的、任务和常用名词	(210)
11.3.2 调查的项目和方式	(211)
§ 11.4 海洋地质与地球物理调查	(212)
11.4.1 调查目的和术语	(212)
11.4.2 调查内容	(213)
11.4.3 调查的基本方法和图件	(214)
§ 11.5 海洋声学、光学要素调查	(215)
11.5.1 站位布设和标准层次	(215)
11.5.2 海水声速调查	(216)
11.5.3 海洋环境噪声测量	(217)
11.5.4 海洋光学调查	(218)
第十二章 海洋工程环境调查	(219)
§ 12.1 海洋工程水文	(219)
12.1.1 海浪观测和计算	(220)
12.1.2 潮汐观测和计算	(221)
12.1.3 海流观测和计算	(222)
12.1.4 风暴潮推算	(224)
§ 12.2 海洋工程地质	(224)
12.2.1 底质采样	(224)
12.2.2 粒级划分	(225)
12.2.3 粒度分析	(226)
§ 12.3 悬移质与推移质	(229)
12.3.1 悬移质	(230)
12.3.2 推移质与推移质输砂率	(232)
§ 12.4 海洋环境质量评价	(236)
12.4.1 水质调查项目	(236)
12.4.2 指数法现状评价程序	(236)
12.4.3 污水排放标准	(237)
12.4.4 污染现状数值模拟计算	(238)

12.4.5 拉格朗日余流追踪.....	(238)
第十三章 海洋水文要素非直接观测量的计算	(240)
§ 13.1 海水密度和比容的计算	(240)
§ 13.2 1978 年国际实用盐标与 1980 年国际海水状态方程	(241)
13.2.1 旧的海水密度计算公式	(242)
13.2.2 新状态方程对流速的修正	(243)
13.2.3 新状态方程稳定度与声速的修正	(244)
§ 13.3 海水中声速的计算	(248)
§ 13.4 海流的动力计算	(250)
13.4.1 梯度流流速计算原理	(250)
13.4.2 海流要素的动力计算方法	(251)
第十四章 海洋要素图	(255)
§ 14.1 要素随时间变化图形绘制	(255)
14.1.1 过程曲线	(255)
14.1.2 时间剖面图	(256)
14.1.3 过程曲线的修匀	(257)
§ 14.2 要素空间分布图	(257)
14.2.1 垂直分布图	(258)
14.2.2 平面分布图和断面分布图	(259)
§ 14.3 点聚图和频率分布图	(263)
14.3.1 点聚图	(263)
14.3.2 频率分布图	(264)
§ 14.4 跃层的确定	(265)
14.4.1 跃层强度、深度和厚度	(265)
14.4.2 跃层顶界和底界及其确定	(266)
14.4.3 跃层强度最低的规定	(267)
14.4.4 跃层特征图的绘制	(268)
第十五章 海洋观测中的误差及其处理	(269)
§ 15.1 概述	(269)
15.1.1 数据的作用	(269)
15.1.2 数据的误差	(269)
15.1.3 数据中的信息和噪音	(270)
15.1.4 观测数据的处理	(271)
15.1.5 有效数字	(271)

15.1.6 有效数字的计算法则	(272)
§ 15.2 海洋观测中的误差与误差的产生	(273)
15.2.1 误差的定义	(273)
15.2.2 误差的产生	(274)
15.2.3 算术平均值	(276)
15.2.4 其他几个误差定义	(277)
15.2.5 精密度和准确度	(280)
§ 15.3 偶然误差的正态分布	(281)
§ 15.4 函数误差的传播	(282)
§ 15.5 流速矢量在经线和纬线投影测量的随机误差分析	(284)
§ 15.6 多个变数相关	(285)
第十六章 海洋资料分布曲线的平滑和滤波	(287)
§ 16.1 海洋资料分布曲线的平滑	(287)
16.1.1 图解平滑法	(287)
16.1.2 滑动平均值法	(288)
§ 16.2 潮流滤波器	(292)
第十七章 常用的插值法在海洋观测资料处理中的应用	(294)
§ 17.1 方法简介	(294)
17.1.1 三点拉格朗日 (Lagrange) 抛物插值法	(294)
17.1.2 二次样条函数 (Spline-2) 插值法	(295)
17.1.3 三次样条函数 (Spline-3) 插值法	(295)
17.1.4 阿基马 (Akima) 插值法	(296)
§ 17.2 不同插值法对温盐曲线拟合及讨论	(298)
17.2.1 无温(或盐)跃层情况	(298)
17.2.2 有温(盐)跃层存在,但跃层不强的情况	(298)
17.2.3 有强温(盐)跃层存在的情况	(299)
17.2.4 海洋中具有的多跃层情况	(301)
§ 17.3 几种插值法拟合结果讨论	(302)
第十八章 海洋要素中多年一遇的极值求取	(304)
§ 18.1 皮尔逊Ⅲ型曲线法	(304)
18.1.1 理论基础	(304)
18.1.2 具有 Γ 分布的随机变量 x 的数学期望及均方差	(306)
18.1.3 三参数的皮尔逊Ⅲ型曲线确定	(306)
18.1.4 绘制皮尔逊Ⅲ型理论频率曲线的方法	(309)

§ 18.2 利用耿贝尔曲线计算“多年一遇”	(312)
18.2.1 理论基础	(312)
18.2.2 实例(矩法)	(315)
§ 18.3 有特大值时频率算法	(317)
18.3.1 何谓特大值	(317)
18.3.2 特大值频率算法	(317)
第十九章 调查船观测工作的组织及实施	(322)
§ 19.1 调查任务的制定	(322)
19.1.1 制定任务书内容的准备工作	(322)
19.1.2 任务书的主要内容	(323)
19.1.3 观测项目、方式	(324)
19.1.4 报表	(324)
§ 19.2 测站布设原则、采样间隔、定位与观测时间标准	(325)
19.2.1 站位布设原则及采样间隔选取	(325)
19.2.2 测站定位与观测时间标准	(327)
§ 19.3 选用观测仪器和记录的基本要求	(328)
19.3.1 仪器和设备	(328)
19.3.2 工作日志	(330)
§ 19.4 观测层次、时间和顺序	(330)
19.4.1 观测层次	(330)
19.4.2 大面(或断面)观测	(330)
19.4.3 连续观测	(331)
§ 19.5 人员分工、值班和观测记录的要求	(332)
19.5.1 人员与分工	(332)
19.5.2 值班制度	(332)
19.5.3 观测与记录	(333)
§ 19.6 海洋调查的典型实例——TOGA-COARE 实施计划	(333)
19.6.1 TOGA-COARE 简介	(333)
19.6.2 TOGA-COARE 主要成员及职责	(335)
19.6.3 使用仪器	(336)
19.6.4 调查船工作	(339)
19.6.5 飞机观测	(340)
19.6.6 卫星观测	(340)
19.6.7 陆地辅助观测	(341)