

В. М. 泽什尼尔

[苏] А. И. 巴拉莫诺夫 著

В. Н. 扎布尔达耶夫

# 海洋水文参数 测量方法和设备

海洋出版社

# 海洋水文参数测量 方法和设备

B. M. 库什尼尔

[苏] A. H. 巴拉莫诺夫 著

B. H. 扎布尔达耶夫

赵建民 彭秀莲 刘令梅 译

李允武 校

海洋出版社

1983年·北京

## 内 容 摘 要

本文描述了测量海洋中发生的动力学过程时所使用的现代海洋学测量方法和设备。分析了海洋水文参数变化的统计学特性。研究了海洋水文测量的基本原理以及考虑到被测参数变化、概率起伏特性时所得信息的可靠性等问题。书中分类研究了科学调查船上使用的敏感元件、测量转换器和数字转换器、自动化系统。此外，还对水文观测的标准计量保障给予了极大的注意。

本书可供在实验海洋学领域中从事研究和应用测量技术的人员参考，对于海洋学和海洋物理学专业的研究生以及高年级大学生也是颇有价值的。

Современные методы и  
средства измерения гидрологических  
параметров океана

### 海洋水文参数测量方法和设备

В. М. 库什尼尔

[苏] А. Н. 巴达莫诺夫

В. И. 札布尔德基夫

赵建民 彭秀莲 刘令华 译

李 允 武 校

海洋出版社出版

(北京东兴海贸大楼)

国防科工委印刷厂排版

海洋出版社印刷厂印刷

书店北京发行所发行 各地新华书店经销

\*

1983年4月第1版 1983年4月第1次印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 9 1/8

字数: 200千字 印数: 1—2,000

统一书号: 13193·0193 定价: 1.70元

## 前 言

由于海洋在人类生活中起着巨大的作用，所以最近十年来海洋科学的技术“革新”蓬勃开展。大多数工业发达的国家正在使用和开始建造现代化的科学调查船，制造和设计水上、水下专用海洋学仪器载体：水翼船和气垫船，中深度和深海潜水器，自航和拖曳的竖立船，自容式载人实验室和可控自航器具，漂移和锚定浮标系统。为解决全球海洋学问题成功地实施了人造地球卫星的利用规划。这项技术能否卓有成效地加以利用，在很大程度上取决于测量仪器的装备是否反映了当代无线电电子学和控制论的发展水平。

近几年来，国内外在研制各种类型的无线电电子学仪器方面取得了一定的进展，这些仪器可以在调查船上和岸上实验室内分析海水和底质样品，可以在走航和漂浮的船上的水文站直接测量海水的各种要素等。从飞机、直升飞机和人造地球卫星上远距离探测海面及其活动层的仪器系统正在进行试验并已经取得初步成果。

在L.劳伦、J.威廉等人的著作中列举了一些有关海水基本要素的新的测量方法、现代海洋学仪器的技术特性及海洋学仪器在水文物理学调查实践中的使用方法等资料。乌克兰科学院院士A. Г. 科列斯尼科夫校订的《海洋调查用的现代化仪器》<sup>[116]</sup>、《海洋学仪器》<sup>[92]</sup>和《海洋水文工作指南》等书也专门阐述了这些问题。然而，到目前为止在文献中还没有发表关于主要海洋学参数测量理论、从现代度量角度研制

水文信息一次和二次变换器、分析精度特性及在现场相互校准各种测量系统的综述性文章。本书作者试图在某种程度上填补这一空白并给自己提出了下述任务：

1. 从水文要素在不同时间和空间尺度范围内变化的复合概念出发，分析水文要素(温度、盐度、密度、流速流向)的测量方法。在此基础上确定观测的允许误差并加以说明，以便合理设计海洋学仪器和为数据整理提供数学基础。

2. 在研制敏感元件、测量和数字信息变换器、装置的仪表系统方面，在使用最先进技术的基础上使现有的水文参数测量方法和仪器系统化。

3. 说明在完成最典型海洋学任务时，对水文参数测量精度提出必要的要求的理由，分析在实验室及现场对测量仪器定标和相互校准的现代化方法。

本书以乌克兰科学院海洋水文物理研究所学者在1964—1977年间进行的研究，及从事测量技术及其在海洋研究中使用方法研究的国外学者的近期报告为基础。

作者有意识地仅分析海水水文参数——温度、相对电导率、静压力、密度、流速流向的测量问题。其原因一方面限于本书篇幅，另一方面是上述特性是解决海洋学主要任务中的重要问题。

我们必须指出，乌克兰科学院院士A. Γ. 科列斯尼科夫在发展现代化海洋学实验方法中的巨大功绩，正是在他的倡议和领导下，乌克兰科学院海洋水文物理研究所开始研制科学调查船上使用的信息自动化测量系统。本书叙述的作者的大部分研究是在解决海洋学测量自动化问题时完成的。

乌克兰科学院院士B. A. 涅列波在成书过程中经常给

子关注。乌克兰科学院通讯院士В. И. 别利亚耶夫和地理学副博士В. А. 希列依, 地质学副博士А. Б. 西特尼科夫和Ю. А. 米特罗波利斯基提出了许多宝贵的意见。与Н. П. 布尔加科夫、К. Н. 费多罗夫、Л. С. 西特尼科夫、К. Д. 沙比宁、Г. Н. 库克林、Г. Г. 涅乌伊明、В. В. 叶菲莫夫、М. А. 潘捷列耶夫、В. А. 盖斯基、С. В. 多增科、Г. В. 斯米尔诺夫、В. З. 迪克曼、А. Ф. 伊万诺夫早有成效的讨论使作者对现代化海洋实验调查方法和仪器的认识更加系统化。А. С. 捷普洛娃、Т. Е. 叶罗什科、А. Г. 涅切西娜、И. Г. 什梅列娃在原稿的装帧方面做了大量工作, 作者对上述同志深表感谢。

# 目 录

## 第一章 海洋水文参数的一般特性及其实验研究方法

- (A. H. 巴拉茨诺夫) ..... ( 1 )
- 1.1. 主要水文参数的变化特性 ..... ( 1 )
- 1.2. 研究水文参数各种尺度变化的实验  
方法 ..... ( 17 )
- 1.3. 确定水文参数测量误差的变异性模式 ..... ( 19 )
- 1.4. 测量水文参数的采样方法 ..... ( 27 )

## 第二章 海水的主要热力学参数及其测量特点

- (B. H. 札布尔达耶夫) ..... ( 12 )
- 2.1. 主要热力学关系式 ..... ( 42 )
- 2.2. 海水的比热 ..... ( 45 )
- 2.3. 绝热温度垂直梯度 ..... ( 47 )
- 2.4. 海水的状态参数 ..... ( 48 )

## 第三章 海流测量方法和理论基础

- (B. M. 库什尼尔) ..... ( 78 )
- 3.1. 海流的主要测量方法 ..... ( 78 )
- 3.2. 流速矢量在经线和纬线投影测量的  
随机误差分量 ..... ( 86 )
- 3.3. 流速分量不同步测量时产生的误差 ..... ( 88 )
- 3.4. 离散测量时流速频谱计算的相对误差和  
绝对误差 ..... ( 90 )
- 3.5. 流速矢量分量非线性转换的统计学特  
性 ..... ( 97 )

- 3.6. 稳定平均流条件下速度矢量起伏谱和相关函数的转换 ..... (103)
- 3.7. 流速起伏矢量模和方向的平均 ..... (109)
- 3.8. 速度传感器方向性图对平均流速矢量测量结果的影响 ..... (114)
- 3.9. 各种测量流平均矢量仪器的测量误差比较 ..... (118)

#### 第四章 水文参数的敏感元件, 测量和数字转换器

- (B. И. 札布尔达耶夫, B. M. 库什尼尔) ..... (121)
- 4.1. 海水温度敏感元件和测量转换器 ..... (121)
- 4.2. 电导率初级转换器 ..... (143)
- 4.3. 静压力敏感元件和测量电路的种类 ..... (153)
- 4.4. 流速敏感元件及测量转换器 ..... (157)
- 4.5. 海流流向测量仪 ..... (179)
- 4.6. 用实际的敏感元件以及测量转换器变换水文信号的特点 ..... (185)
- 4.7. 水文信号的数字转换器 ..... (197)

#### 第五章 水文自动测量综合装置

- (A. H. 巴拉莫诺夫, B. M. 库什尼尔) ..... (218)
- 5.1. 深海探测设备 ..... (218)
- 5.2. 拖曳式水文仪器综合装置 ..... (232)
- 5.3. 自动浮标站 ..... (238)
- 5.4. 自容式水文仪器 ..... (249)

#### 第六章 水文测量仪器的精度特性和校准方法

- (B. И. 札布尔达耶夫, B. M. 库什尼尔, A. H. 巴拉莫诺夫) ..... (257)



6.1. 对水文参量测量精度的要求 .....	( 257 )
6.2. 实验室条件下水文测量仪器的校准 方法 .....	( 262 )
6.3 海洋环境中水文仪器的比测.....	( 270 )
<b>使用符号</b> .....	( 294 )
<b>参考文献</b> .....	( 298 )

# 第一章 海洋水文参数的一般特性 及其实验研究方法

## 1.1 主要水文参数的变化特性

海水的特性用温度、盐度和压力来表示，这些参数还决定诸如密度、冰点、声传播速度、光的折射率等海水特性。密度是决定水团静态和动态稳定性的一个重要物理特性。

密度与温度、盐度和压力的关系复杂，可用海水状态方程或数字表表示。当海水受热以及与降水、雪水和大陆径流混合时，海水的密度减小；而当海水冷却、蒸发、结冰时海水变咸，其密度增加。在海洋表面测得的密度值为 $1028.3-996.0$ 公斤/米<sup>3</sup>。深海盆的近底层区域密度最大，在挑战者海盆曾测到了最大的密度值（ $1075.7$ 公斤/米<sup>3</sup>）<sup>[9]</sup>。

海水温度的变化范围为 $-1.95-+35.6^{\circ}\text{C}$ 。在南北极海水中，由于表层海水大量结冰使表层水变咸，温度最底，而在波斯湾则观测到了海水的最高温度（ $+35.6^{\circ}\text{C}$ ）。

海水温度在全球范围内沿深度的分布如图 1.1 所示<sup>[9]</sup>，1 表示极地水型，2 表示亚南极水型，3 表示亚北极大西洋水型，4 表示亚北极太平洋水型，5 表示温热带水型。

根据实验观测的资料看，海水的盐度为 $2-41\%$ 。在与大洋水交换较少的区域，特别是在河口地带（波罗的海的芬兰湾，黑海的第聂伯-布格河口等）盐度值最小。在海水剧烈蒸发和没有大陆径流的地区海水盐度最高。例如，波斯湾表面

海水的盐度为 37—39‰，而地中海东部和红海的盐度则为 40—41‰。大洋盐度变化范围为 27—38‰。

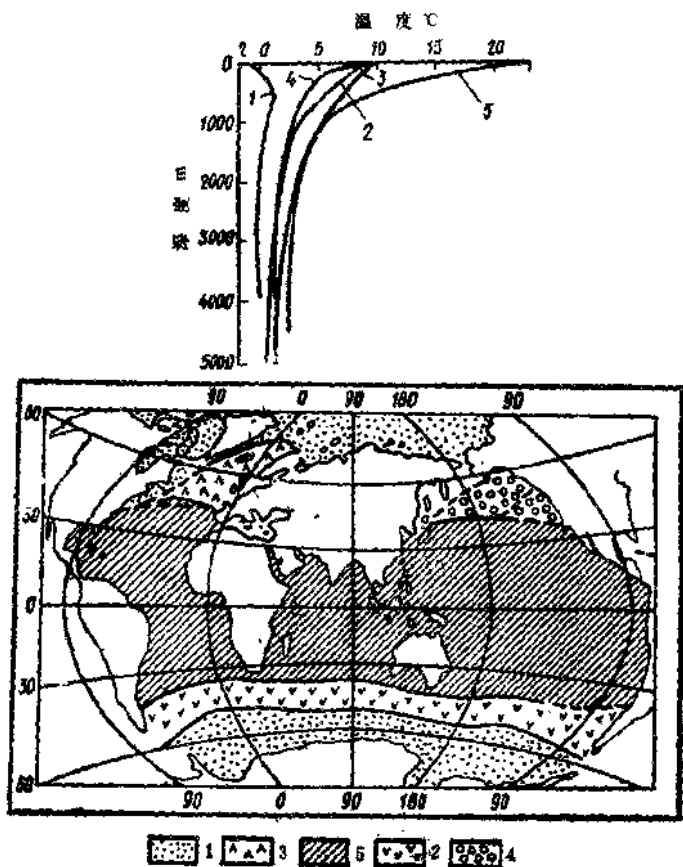


图1.1 世界大洋各区域(1—5)温度沿深度的平均分布

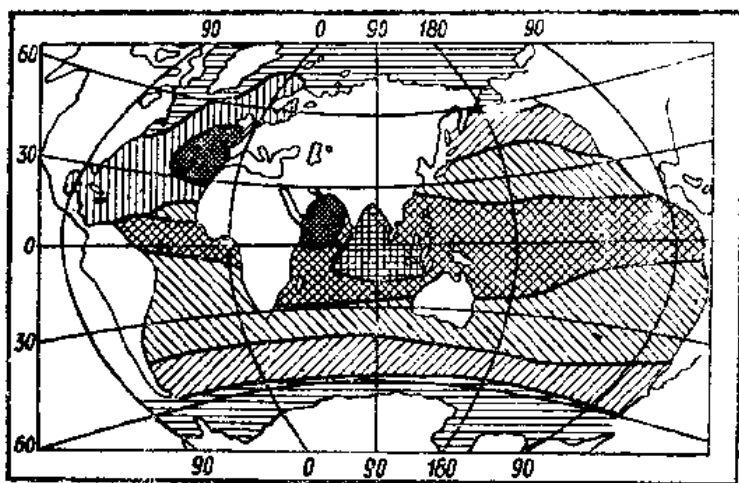
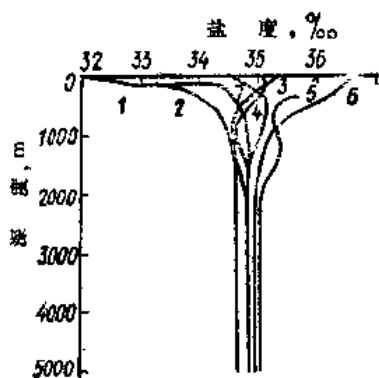


图1.2 世界大洋各区域(1—7)盐度沿深度的平均分布

大洋各个纬度上盐度的垂直分布是不相同的，主要研究了1500—2000米深度以内的分布差别。B. И. 斯杰巴诺夫和B. A. 沙金<sup>[20]</sup>归纳了七种盐度分布。图1.2中1代表极地

型, 2代表亚极地型, 3代表温热带型, 4代表赤道热带型, 5代表北大西洋型, 6代表地中海型, 7代表印度马来亚型。

海洋中压力可能发生的变化取决于海洋的最大深度, 该值为0—126.5兆帕。到目前为止, 海洋学中压力的测量单位还是采用分巴, 1分巴于在平均密度为1030 公斤/米<sup>3</sup> 和自由落体加速度为9.8066米/秒<sup>2</sup>的条件下, 水的深度增加1米。

上述世界大洋各区域温度和盐度沿深度的分布是确定测量装置工作范围的基础。

为了选择观测方法和技术装备, 观测者不仅要了解海洋水文参数的整个测量范围, 而且还要掌握水文物理过程在大中小尺度范围内的变化指数。

实验资料表明, 对于不同的气候带和不同的水团, 水文参数围绕多年平均标准的变化也是不同的。图1.3—1.5列出的是大西洋表面海水的温度、盐度和条件密度与多年平均标准的均方差<sup>[12]</sup>。在大西洋中部, 温度和盐度的均方差分别为1.5°C和0.4‰。在上述图中, 寒暖流边界是以高达5—7°C的最大温度均方差确定的。

盐度均方差的异常值 $\sigma_s$ ,‰是大河淡水注入和北极冰覆盖层融化引起的。在南极没有发现盐度异常, 可以看出, 这是稳定的南极环流影响的结果。在北极冰流出地区, 盐度偏离多年标准的均方差可达2—3‰, 而 $\sigma_s$ ,‰=0.4‰的地带包括了具有大陆径流(亚马孙河、塞内加尔河、尼日尔河、巴拉那河口)淡水影响的广大地区。在河口附近 $\sigma_s$ ,‰可达3.5—4‰。大陆径流仅影响15—30米表层的盐度变化, 在该层以下通常仍观测到该参数的最大值。大西洋亚热带区域盐度和温度的均方差最小,  $\sigma_s$ ,‰和 $\sigma_t$ ,°C分别为0.2‰和0.5—1°C。需要指

出的是，盐度的均方差  $\sigma_s, \text{‰}$  与  $\sigma_t, \text{°C}$  不同，在主要海流地区的表面没有  $\sigma_s, \text{‰}$  的异常地带。看来，这是因为大陆迳流淡水注入表层和它起决定性作用的缘故。

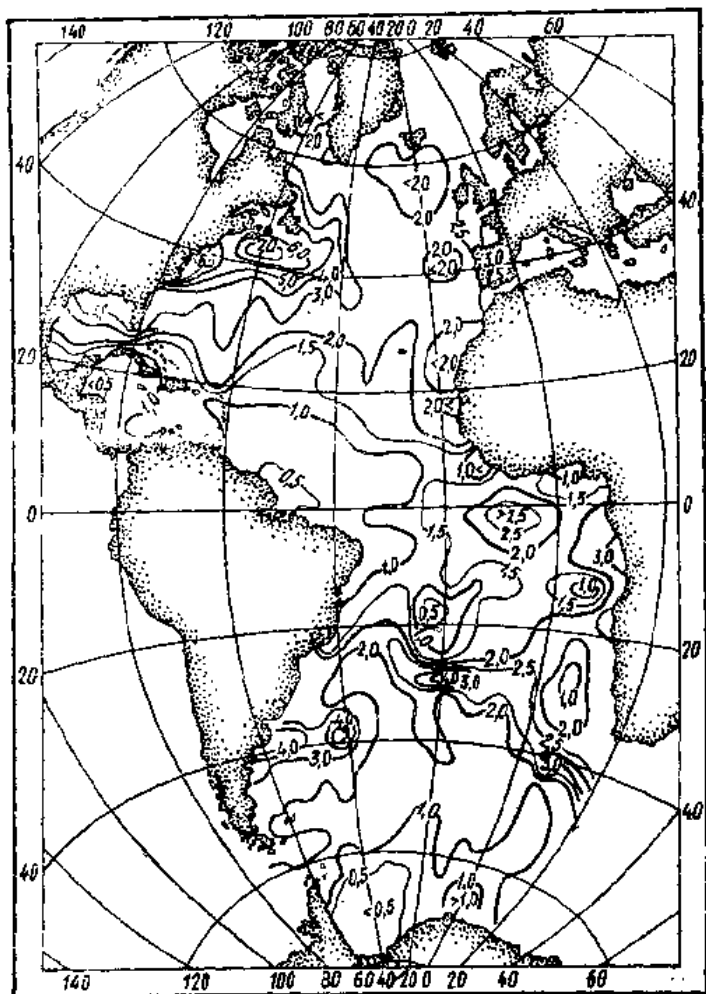


图1.3 大西洋表面海水温度的均方差

中大西洋条件密度的变化不超过 0.5 个条件密度单位，而在湾流和与直布罗陀海峡毗连的地区，它的变化为 1—2 个条件密度单位。



图1.4 大西洋表面海水盐度的均方差

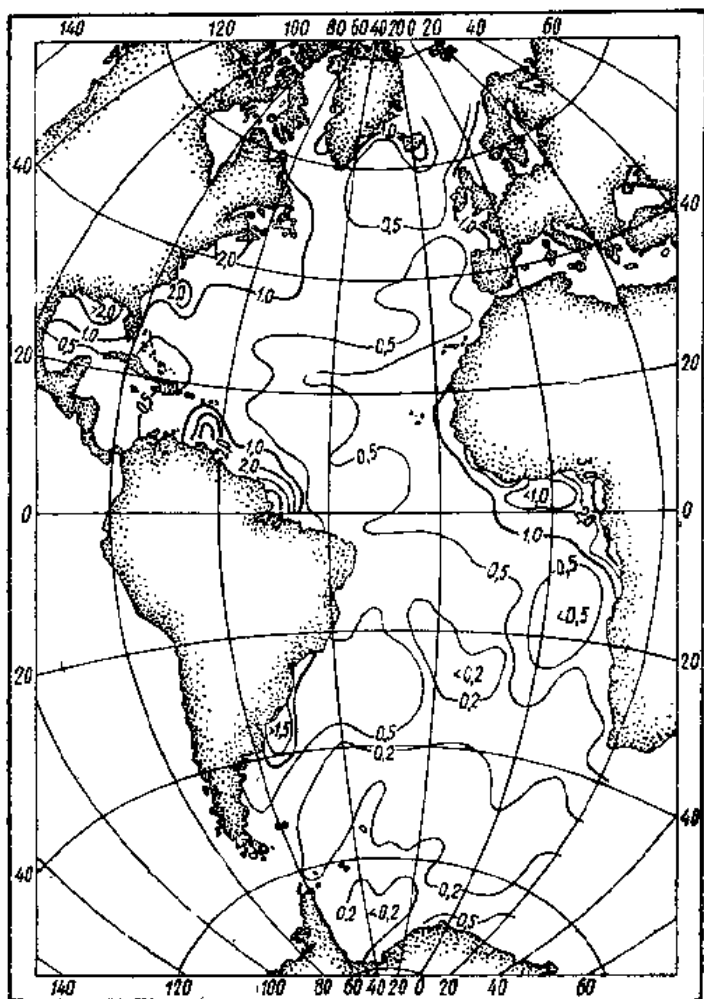


图1.5 大西洋表面条件密度的均方差

在亚马孙河、尼日尔河和密西西比河河口地区，条件密度的均方差由海水平衡时的淡水分量决定，可达3—4个条件密度的单位。条件密度变化的有趣特点是，多年标准的均方差



为1个条件密度单位的地区实际上包围了大西洋区内的所有大陆。

分析大西洋水文特性的变化,可以比较谨慎地得出结论,即它反映的一般规律在其它大洋也同样存在。例如,对印度洋海水结构特性进行的五度经纬度梯形区分析(根据8000个测站的观测资料)表明,大洋条件密度的均方差也不超过0.5个条件密度单位,平均为0.0—0.15个条件密度单位<sup>[6,7]</sup>。

需要指出的是,上面引用的资料既包括了水文特性的年度变化,也包括了它的季节变化。对50—70年内月平均观测进行统计分析<sup>[10]</sup>可以发现,该范围内的变化概率极不均匀。还发现,在上述时间内规则的季节变化占总变化的72%,不规则的占13%,逐年变化仅占5%。在斯迈德的H、Л和E地区(H——北纬60°—63°,西经10°—20°;Л——北纬55°—60°,西经30°—40°;E——北纬50°—55°,西经30°—50°)还发现了周期为3.8、4.7和5.2年的准周期性。分析表明,海水温度的变化多半是全年和半年的周期。在整个观测周期内波动的年平均幅度在E地区为11.6°C,在Л地区为9.4°C,在H地区为8.0°C,因此,平均为9.6°C。应用已知的关系式 $A \approx 6\sigma, ^\circ\text{C}$ ,不难求出季度和多年变化的均方差,它们分别为1.6°C和2.3°C。

可以用文献中引用的资料估计月平均变化,该变化在斯迈德地区为0.76°C,它属于中尺度水文物理过程。

对海洋中尺度和天气现象的详细研究仅是在七十年代才开始的。根据多边形-70(ПОЛИГОН-70)和中大洋动力学试验-1(МОДЕ-1)的实验结果可以确定它们的定性变化<sup>[2,138]</sup>。这些研究表明,在3—5至5—10昼夜的时间范围内,