



海洋数据处理
分析及应用

陈上及 马继瑞 编著

海洋出版社

46.58
2650/29

2650/29

海洋数据处理分析方法及其应用

陈上及 马继瑞 编著

DCS 17

海洋出版社

1991年·北京

内 容 简 介

本书是以海洋观测资料的处理分析方法为主题,针对海洋数据的显著时、空变化的特点,结合新型自记仪器记录的处理,海洋资料质量的统计检验,资料产品设计,海洋环境预报,工程设计参数估计和海洋科学研究的需要,系统地对资料处理、多元统计分析、时间序列的谱分析和参数模型估计等方法作了详尽的叙述.全书共分十三章,包括海洋资料质量控制,CTD系统、安得拉海流计等观测资料的处理、探索分析、回归分析、聚类分析、判别分析、主成分分析、对应分析、极值分析、功率谱、交谱和海流矢量旋转谱分析、线性系统的响应、数字滤波、时间序列分析模型和最大熵谱分析.各种方法的应用均辅以实例。

本书方法性、实用性强,可供广大海洋资料工作者、环境预报人员、海洋科学研究人员参考使用;也可供大专院校海洋水文、气象、地质、生物专业的师生和研究生参考。

(京)新登字087号

海洋数据处理分析方法及其应用

陈上及 马继瑞 编著

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 建筑工业出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 42.125 字数: 960千字

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷

印数: 1-1000

ISBN7-5027-1145-7/O·29 定价: 27.90元

序

对海洋中的各种现象和过程进行现场观测和实验室实验，是了解海洋行为和各种过程机制的重要手段，是海洋科学研究中的重要环节。现代科学技术的进展大大推动了对海洋的观测和实验，使海洋学家收集和积累了大量的海洋数据，这些数据包含着丰富的有关现象和过程的信息。但是数据中的信息一般不是某种单一过程的信息，而是几种不同过程信息的综合，同时还含有无用的干扰信息。因此，在进行海洋科学研究时，如何正确地和充分地海洋数据中提取所关心的现象或过程的信息，从而对该现象或过程作出正确的结论，便是非常值得考虑的一个问题。在这方面，数学领域中发展出的数据处理技术，如概率论、数理统计、随机过程、谱估计、信息论等，已为我们提供了许多可供选择的方法。熟悉这些数学分支的海洋学家，无疑可以得心应手地使用一种或数种方法，正确地和充分地海洋数据中提取所需的信息。但是，现有的许多关于这些数学分支的著作，因论证严密，需用到较高深的数学基础，使广大海洋科技工作者读起来甚感困难。看来，编写一本供广大海洋科技工作者阅读和查阅的海洋数据分析的书是非常必要的。本书正是为满足这一要求而编写的。

作者多年从事海洋数据的处理，并基于处理结果对海洋有关现象和过程进行科学研究。他们结合多年的工作经验，将比较普遍采用的海洋数据处理方法，用一种易为广大海洋科技工作者阅读的方式编写成此书。全书内容翔实，取材得当，结构合理，深入浅出，分析细致。特别应该一提的是，在介绍许多数据处理方法时，辅以海洋上应用的实例，这大大地有利于读者对方法的理解和使用。可以预期，本书的出版将受到我国广大海洋科技工作者、海洋方面的大学生和研究生的欢迎，成为他们学习和查阅的一本好参考书。另外，对于想了解方法的严密推导过程的部分读者，本书也可为他们提供有用的背景知识；在阅读本书之后，将大大减少他们在阅读以严谨论证方式写成的各种数据处理方法的著作时的困难。

鉴于上述，特向我国广大海洋工作者推荐这本新作，相信本书的出版对海洋数据处理分析和研究会有积极的意义。

余宙文 1991.1.17

前 言

随着科学技术和海洋科学的不断发展,大量海洋资料数据文档的建立,CTD、安达拉、多普勒海流计等自记仪器和锚定浮标的广泛使用,连续性高密度自记资料的日益增多,海洋开发、海洋工程发展规模的迅速扩大,准确预报海洋环境、海洋灾害的迫切需要,对海洋资料处理分析工作提出了新的要求,必须由模糊的定性分析过渡到严谨的定量分析,由传统的手工处理进入高效的自动化处理,由简单的数值关系步向复杂的数学模型.近年来,国内外对地学、环境科学的统计分析、统计模拟和统计预报,不论在理论上和方法上都有很大发展,这些方法的应用,为实现海洋数据处理分析的自动化和模式化提供了条件和可能.为适应当前海洋资料工作和研究工作的实际需要,希望本书在海洋领域的科学实验和生产实践中,能成为一本有用的参考书,这就是我们编写本书的出发点和愿望.

针对分析方法的实用性,书中内容尽量避免一些复杂的数学推导,直接引用其最终结果.在方法上,力求简单明了,条理系统,步骤清楚;在应用上,力求结合专业,联系实际,多举实例,以期得到启示.实例中涉及的专业,以物理海洋学、水文气象为主,并牵涉到海洋地质、海洋生物学中的有关问题.

全书共分十三章,包括五个方面的内容:

第一、三章概述海洋资料工作、统计特征量和探索分析.

第二章介绍一些资料的质量检验、自记记录的预处理和插值方法.

第四章至第八章叙述多元统计分析方法,各章依次分别介绍回归分析、聚类分析、判别分析、主成分分析和对应分析等方法.这部分在海洋学中是分析分布特征,主要影响因子的重要基础,是透过现象,抓住本质的主要分析方法.

第九章以较大篇幅介绍各种极值分布和分析方法,并结合风、浪、水位、海流等要素,进行多年一遇极值设计参数的估计.对海洋开发、工程设计很有实用意义.

第十章至第十三章系统地介绍时间序列的功率谱、交谱、海流旋转谱、参数模型及其最大熵谱估计,以及线性系统的响应和数字滤波方法及其应用.这部分是分析海洋运动在时间变化和空间分布上各种大小尺度波动现象的有用工具.

其中,第一章和第三章至第九章由陈上及执笔,第二章和第十章至第十三章由马继瑞执笔.

本书是在国家海洋局、海洋科技情报研究所领导的关怀和支持下编写成的.在编写过程中,得到甘子钧、余宙文教授的关心和大力支持,花了许多精力,审阅了全稿,提出了许多宝贵意见;管秉贤、钮因义教授、逯玉佩高级工程师审阅了第一章;王曦副研究员、何维焕高级工程师为第二章提了建设性意见;孙尚拱教授为第六章提供了资料并提出了宝贵意见;马逢时、刘德辅教授审阅了第九章,方欣华副教授审阅了第十章至第十二章,均提出了修改意见;秦嗣仁同志对书中采用法定计量单位的有关问题给予了具体帮助;许崇

金同帮助搜集了文献；于继业、杜兵和范文静同志参加部分实例的计算工作；刘天华、周贵锋和黄婉莹同志参加绘图工作，谨此表示衷心的感谢。同时，我们还要感谢曾给我们启发、鼓励、支持和帮助的所有同志。

由于我们水平有限，书中的缺点和错误在所难免，热切希望读者批评指正。

作者

1989年12月

目 录

第一章 总 论

1.1 海洋资料在发展海洋科学中的重要意义	(1)
1.1.1 海洋资料是发展海洋科学的必要条件和重要基础	(1)
1.1.2 海洋资料是人们开发利用海洋所必需的科学依据	(3)
1.2 海洋水文资料的基本特点	(5)
1.2.1 海洋资料的应有属性及其与海洋观测条件技术装备等局限性的矛盾	(5)
1.2.2 海洋(尤其浅海)水文要素时间变化的显著性	(6)
1.3 海洋资料获取手段和分析技术的发展趋势	(9)
1.4 海洋资料的分类	(11)
1.4.1 按调查方式分类	(11)
1.4.2 按数理概念分类	(12)
1.5 本书的背景与出发点	(15)
1.6 本书的主要内容	(16)
参考文献	(17)

第二章 海洋资料的质量控制和观测数据的处理方法

2.1 常用的误差精度概念及近似数的运算	(19)
2.1.1 测量误差及其分类	(19)
2.1.2 精度、精密度、准确度和分辨率的含义	(20)
2.1.3 近似数的截取、有效数字的意义和近似数的运算	(21)
2.2 海洋观测资料的质量审查和质量控制	(23)
2.2.1 资料质量审查和质量控制的必要性及要完成的几项主要工作	(23)
2.2.2 海洋观测资料中系统误差的处理	(26)
2.2.3 海洋资料中异常数据的判别处理方法	(27)
2.3 几种新的海洋自记仪器连续观测资料的处理方法和原理	(36)
2.3.1 CTD资料的处理	(36)
2.3.2 安得拉、超声波和多普勒海流计观测资料的处理	(53)
2.3.3 海洋浮标资料及其处理	(60)
2.4 海洋资料处理中使用的内插法	(63)
2.4.1 线性和抛物线插值及其有关的内插法	(63)
2.4.2 三次样条(Spline)函数和Akima插值法	(66)
2.4.3 数值内插法在南森站资料处理中的应用	(70)
参考文献	(72)

第三章 海洋资料的统计特征量及探索分析

3.1 海洋资料的统计特征量	(74)
3.1.1 位置特征量	(74)
3.1.2 离散特征量	(78)
3.1.3 矩和偏态系数	(81)
3.1.4 相关系数及其显著性检验	(82)
3.2 海洋资料的图示方法和频率统计	(83)
3.2.1 图示法	(83)
3.2.2 频率统计图	(88)
3.3 海洋资料的探索分析	(92)
3.3.1 非正态分布简单函数变换成近似正态分布	(92)
3.3.2 强估计	(96)
3.3.3 两组数据的探索分析	(99)
3.3.4 多组数列的探索分析	(101)
3.3.5 异常值的显著性差异检验	(104)
参考文献	(107)

第四章 回归分析

4.1 直线拟合——一元线性回归方程	(108)
4.1.1 直线回归方程的求得	(108)
4.1.2 回归方程的方差检验	(111)
4.1.3 回归方程的精度	(113)
4.1.4 回归方程的稳定性	(114)
4.1.5 回归系数与相关系数的关系	(115)
4.2 曲线拟合——一元非线性回归方程	(116)
4.2.1 回归曲线类型的选配	(117)
4.2.2 曲线回归的检验	(124)
4.3 多项式回归与正交多项式	(125)
4.3.1 多项式回归	(125)
4.3.2 正交多项式	(129)
4.4 阶段回归	(136)
4.5 逐步回归	(138)
4.5.1 逐步回归的基本方法	(138)
4.5.2 逐步回归的基本原理	(139)
4.5.3 剔选变量的准则	(142)
4.5.4 计算步骤	(143)
4.5.5 应用实例	(144)
4.6 双重筛选逐步回归	(150)
4.6.1 基本原理	(151)
4.6.2 算法与步骤	(158)

4.6.3 应用实例	(163)
4.7 积分回归	(166)
4.7.1 基本原理	(167)
4.7.2 计算步骤	(168)
参考文献	(180)

第五章 聚类分析

5.1 聚类分析的基本思想及其在海洋科学研究中的重要意义	(181)
5.2 数据标准化及距离系数、相似系数的计算	(182)
5.2.1 数据标准化	(182)
5.2.2 分类统计量——距离系数及相似系数	(183)
5.3 谱系聚类法	(187)
5.3.1 最短距离法	(188)
5.3.2 最长距离法	(191)
5.3.3 中间距离法	(192)
5.3.4 重心法	(193)
5.3.5 类平均法	(194)
5.3.6 可变类平均法	(195)
5.3.7 可变法	(195)
5.3.8 离差平方和法	(195)
5.3.9 几种谱系聚类法的比较	(198)
5.4 逐步聚类法	(199)
5.4.1 凝聚点的选取	(202)
5.4.2 初始分类的形成	(203)
5.4.3 逐步修改	(203)
5.5 有序样本的聚类——最优分割法	(210)
5.5.1 分割法及其表示方式	(210)
5.5.2 极差分割法	(211)
5.5.3 变差(或方差)分割法	(217)
5.5.4 分类数目的确定	(219)
5.6 模糊聚类分析	(220)
5.6.1 有关模糊聚类的预备知识	(221)
5.6.2 模糊聚类分析	(229)
5.6.3 软划分聚类法	(233)
参考文献	(239)

第六章 判别分析

6.1 引言	(240)
6.2 距离判别	(240)
6.2.1 基本原理	(241)
6.2.2 计算步骤	(243)

6.2.3	计算实例	(243)
6.3	两类判别	(245)
6.3.1	费歇准则下的两类判别	(246)
6.3.2	两类判别的简算法	(251)
6.3.3	建立判别函数所需样本容量的大小	(252)
6.4	多类判别分析	(254)
6.4.1	贝叶斯准则下的多类判别	(254)
6.4.2	费歇准则下的多类判别	(262)
6.5	逐步判别分析	(264)
6.5.1	基本方法	(265)
6.5.2	判别变量(因子)的选入及其判别能力的检验	(265)
6.5.3	扫除变换	(267)
6.5.4	对已入选变量判别能力的检验	(268)
6.5.5	建立判别函数	(268)
6.5.6	计算步骤及应用实例	(269)
6.6	Logistic判别	(276)
6.6.1	数学模型	(277)
6.6.2	最大似然判别函数	(279)
6.6.3	计算方法及步骤	(280)
6.6.4	应用实例	(283)
参考文献		(284)

第七章 主成分分析

7.1	概 述	(286)
7.2	主成分的导出和性质	(288)
7.3	样本数据的主成分分析	(294)
7.3.1	迭代法	(294)
7.3.2	雅可比(Jacobi)方法	(298)
7.3.3	Givens-Housholder方法	(302)
7.4	海洋要素场的经验(自然)正交函数分析	(312)
7.4.1	标量场经验正交函数分解	(313)
7.4.2	矢量场经验正交函数分解	(318)
7.4.3	经验正交函数分解在海洋水文气象中的应用	(320)
7.5	奇异矢量分析及其应用	(327)
7.5.1	奇异值分解方法的基本原理	(327)
7.5.2	奇异值分解的计算步骤	(328)
7.5.3	奇异矢量分析的应用实例	(330)
参考文献		(332)

第八章 对应分析

8.1	概 述	(334)
8.2	对应分析的数据变换法	(334)

8.3	矩阵 $A_{m \times m}$ 与 $B_{n \times n}$ 之间对应关系的基本性质	(337)
8.4	因子载荷和点聚图的解释	(338)
8.5	绝对贡献与相对贡献	(339)
8.6	计算步骤与应用实例	(340)
	参考文献	(347)

第九章 极值分布和重现期极值的估计

9.1	极值分析的重要意义及重现期的定义	(349)
9.2	皮尔逊 III 型曲线	(350)
9.2.1	皮尔逊 III 型曲线方程的导出	(350)
9.2.2	皮尔逊 III 型曲线各参数的确定	(353)
9.2.3	理论频率曲线的绘制	(355)
9.3	极值分布	(356)
9.4	耿贝尔分布	(357)
9.4.1	耿贝尔曲线方程	(357)
9.4.2	耿贝尔频率曲线的绘制	(358)
9.5	威布尔分布	(366)
9.5.1	威布尔概率纸的原理	(367)
9.5.2	威布尔分布直线的绘制	(370)
9.5.3	威布尔分布参数的估计	(372)
9.6	由原始分布求极值分布	(377)
9.7	经验频率曲线的绘制及适线拟合	(378)
9.7.1	几种概率格纸的简介	(378)
9.7.2	经验频率的计算	(381)
9.7.3	皮尔逊 III 型曲线适线法	(383)
9.7.4	三点法	(384)
9.7.5	拟合优度检验	(385)
9.8	风速极大值的计算	(390)
9.8.1	风原始资料的审定	(390)
9.8.2	对风速取值的统一标准化	(391)
9.8.3	多年一遇极大风速值的统计计算	(393)
9.8.4	由历史天气图计算台风区的风速极大值	(399)
9.9	海浪要素多年一遇极大值的计算	(404)
9.9.1	海浪观测记录的审定和规格化	(404)
9.9.2	根据多年年最大波高计算多年一遇设计波高	(407)
9.9.3	应用原始分布, 由 1—2 年短期观测的日最大波高求多年一遇设计波高	(417)
9.9.4	根据历史天气图计算台风区多年一遇设计波高	(421)
9.9.5	应用泊松-耿贝尔复合极值分布推算台风波浪多年一遇设计波高	(429)
9.9.6	多年一遇设计波高对应周期的计算	(433)
9.10	多年一遇最高、最低校核水位的计算	(437)
9.10.1	潮汐资料的审定	(438)
9.10.2	校核高水位和校核低水位的计算	(438)

9.10.3	校核水位的联合分布估计法	(441)
9.11	多年一遇海流极值的估计	(445)
9.11.1	不分流向方位海流流速极值的估计	(446)
9.11.2	各个流向方位上流速多年一遇极值的估计	(448)
9.12	最高、最低水、气温极值的估计	(452)
9.12.1	多年一遇最高最低水、气温极值的估计	(452)
9.12.2	最高、最低设计温度的估计	(455)
	参考文献	(479)

第十章 海洋时间序列的功率谱分析

10.1	与功率谱估计有关的傅里叶分析方法	(481)
10.1.1	傅里叶级数和线谱	(482)
10.1.2	傅里叶变换和能谱密度	(485)
10.2	平稳随机过程的数字特征量和功率谱谱参数及其在海洋学研究中的应用	(488)
10.2.1	平稳随机过程的数字特征量	(488)
10.2.2	平稳随机过程的功率谱及其应用	(492)
10.2.3	谱参数及其在海洋时间序列资料分析中的应用	(497)
10.3	海洋时间序列的取样间隔取样长度和数据窗	(502)
10.3.1	海洋时间序列取样间隔的选择	(502)
10.3.2	有限记录长度和数据窗对谱的计算结果的影响	(505)
10.4	用样本序列的有限离散傅里叶变换计算功率谱	(509)
10.4.1	样本序列的有限离散傅里叶变换和样本粗谱	(509)
10.4.2	样本粗谱的统计特性	(510)
10.4.3	样本谱的平滑及样本平滑谱的统计特性	(512)
10.4.4	用样本序列的有限离散傅里叶变换(DFT)计算功率谱的主要步骤	(515)
10.5	用样本自相关函数估计功率谱	(517)
10.5.1	用样本自相关函数计算样本粗谱	(517)
10.5.2	用延时窗对样本粗谱进行平滑	(519)
10.5.3	样本平滑谱估计的统计特性及延时窗在平滑谱估计中的作用	(520)
10.5.4	用样本自相关函数计算功率谱的具体方法	(524)
10.6	功率谱的置信区间估计和谱分析中的显著性周期成分的检验方法	(525)
10.6.1	功率谱的置信区间估计和表示方法	(526)
10.6.2	周期分析中的显著性谱峰检验方法	(527)
10.6.3	用试验周期法探索序列中的非倍频周期信号	(533)
	参考文献	(535)

第十一章 海洋时间序列的交谱和海流矢量旋转谱分析方法

11.1	互相关函数和交谱	(537)
11.1.1	互相关函数	(537)
11.1.2	交谱及其相位谱和凝聚谱	(539)
11.2	样本交谱的统计特性及凝聚谱相位谱的置信级间估计	(542)
11.2.1	样本交谱的统计特性	(542)

11.2.2	凝聚谱和相位谱的置信区间估计.....	(543)
11.3	样本交谱凝聚谱和相位谱的计算及应用.....	(546)
11.3.1	用样本序列的有限离散傅里叶变换计算交谱凝聚谱和相位谱.....	(546)
11.3.2	用样本互相关函数估计交谱凝聚谱和相位谱.....	(549)
11.3.3	凝聚谱和相位谱在海洋学中的应用.....	(553)
11.4	矢量过程的谱和海流矢量时间序列旋转谱及其有关量	(555)
11.4.1	海流矢量时间序列谱分析方法的发展.....	(555)
11.4.2	矢量过程的谱分解.....	(556)
11.4.3	矢量过程的谱.....	(558)
11.4.4	海流矢量时间序列旋转谱及其有关的量.....	(562)
11.5	海流矢量旋转谱和有关量的估计及其在海洋学研究中的应用	(567)
11.5.1	海流矢量旋转谱和有关量的计算方法统计特性及有关谱的置信区间估计.....	(567)
11.5.2	旋转谱及其有关量在海洋学周期分析和频域相关分析中的应用.....	(571)
11.5.3	用旋转谱及其有关量对海流和内波的动力学假设进行一致性检验.....	(575)
	参考文献.....	(579)

第十二章 线性系统的响应和数字滤波法及其在海洋学研究中的应用

12.1	线性系统对输入的响应及其应用	(581)
12.1.1	线性系统分析中一些常用的概念和术语.....	(581)
12.1.2	线性系统对平稳随机过程的响应.....	(583)
12.1.3	频率响应函数的估计和凝聚谱分析中显著相关临界值的确定方法.....	(584)
12.2	数字滤波法.....	(589)
12.2.1	滤波的基本原理和有关概念.....	(589)
12.2.2	数字滤波中的两个特殊问题及数字滤波器的设计.....	(592)
12.2.3	递归数字滤波法及其在处理CTD资料中的应用	(596)
12.3	海洋数据处理分析中的一些常用数字滤波法	(598)
12.3.1	海洋学中常用的几种低通滤波法.....	(598)
12.3.2	差分滤波及其在海洋资料预白化处理中的应用.....	(601)
12.3.3	用微分方程表示的滤波及其在CTD资料处理中的应用	(602)
12.3.4	海流和水位资料分析中常用的数字滤波法.....	(605)
	参考文献.....	(611)

第十三章 时间序列分析模型及其最大熵谱估计

13.1	自回归模型的意义及其参数的确定	(613)
13.1.1	自回归模型及其平稳条件.....	(613)
13.1.2	自回归模型系数的确定方法.....	(614)
13.2	实的和复的平稳自回归过程的最大熵谱分析方法及其应用.....	(619)
13.2.1	实的平稳自回归过程的最大熵谱估计.....	(620)
13.2.2	最大熵谱分析中的赤池定阶准则置信区间估计和显著性谱峰检验方法.....	(622)
13.2.3	复自回归过程的最大熵谱及用最大熵谱法估计两个实自回归过程的交谱.....	(627)
13.3	滑动平均和自回归-滑动平均模型及其功率谱.....	(630)
13.3.1	滑动平均模型及其功率谱.....	(631)

13.3.2	自回归-滑动平均模型及其功率谱	(633)
13.4	ARMA(p, q)模型的参数估计和检验	(634)
13.4.1	ARMA(p, q)模型参数的初步估计	(634)
13.4.2	ARMA(p, q)模型参数的进一步估计	(638)
13.4.3	对估计模型的检验	(647)
13.5	几种实用的时间序列模型	(651)
13.5.1	自回归积分滑动平均 (ARIMA) 模型和参数化模型	(651)
13.5.2	时间序列的季节性模型	(654)
13.5.3	多维AR(p)模型和混合回归模型	(655)
参考文献	(659)

第一章 总 论

海洋资料是海洋调查、观测的初步成果，是发展海洋事业的一个重要基础。它反映了海洋要素空间分布和时间变化的重要信息。它是海洋科学研究、开发利用、环境保护、环境预报和科学管理的必要依据。对这些资料如何进行处理分析，进一步提高其使用价值，充分利用和发挥其作用，是当前海洋工作的一项重要任务。本书希望为此提供有关方法。在讨论具体方法之前，拟对几个有关问题略抒浅见。

1.1 海洋资料在发展海洋科学中的重要意义

海洋资料在海洋科学、技术和开发中的地位和作用，从下列两个方面可见一斑。

1.1.1 海洋资料是发展海洋科学的必要条件和重要基础

研究海洋科学发展的历史，就可发现，海洋资料获取手段的每一改进，资料工作的每一新进展，都伴随着海洋科学的一次新的突破。

1802~1804年，德国的B.A.v.Humboldt搜集并分析了南美西海岸外海的大洋资料。从而发现了著名的秘鲁海流。

1855年美国的一位海军退伍军人M.F.Maury，系统地搜集了军舰和商船的航海日志和有关海流、风、天气资料，编制了海图，撰著了《海洋自然地理学》(The Physical Geography of the Sea)，从而，有了第一部海洋学经典著作的问世。

1872~1876年，“挑战者”号调查(Challenger Expedition)横渡三大洋，观测了362个海洋水文站，取得大量资料和标本，用20年时间，写出了55卷调查报告，为近代海洋科学开创了新纪元。

1894年，苏联著名海洋学家C.O.Макаров，广泛搜集了1806~1890年北太平洋的水温资料，按 1° 方格并统计编制了太平洋表层和400m层水温分布图，成为太平洋最早的海洋图集。

1893~1896年，挪威“弗雷姆”号调查(Fram Expedition)，在北冰洋观测漂冰时，F.Nansen发现海流方向右偏于风向约 $20^\circ\sim 40^\circ$ 。1902年V.W.Ekman，根据这一发现，提出了风生漂流理论，首次合理地考虑到受湍流摩擦和地转力影响的问题，为海流动力学奠定了理论基础。

1902年，海洋学家根据“瓦尔迪维亚”号调查(Valdivia Expedition)的资料，提出了大西洋垂直环流对称于赤道，首次得出大洋垂直环流的完整概念。

1903年，Helland-Hansen根据“Michael Sars”号船在挪威海的详细调查资料，才应用V.Bjerknes环流理论计算了斜压场深层地转流，再一次标志着海洋学已成为地

球物理学的一个成熟分支学科，开始向动力海洋学挺进。

德国“流星”号(Meteor)船在北大西洋的调查(1925~1927)，观测到6000m水层，取得了大量海水层化、水团环流、实测海流、海底沉积物、化学、浮游生物和气象等资料。这些资料素以代表性好，质量高著称。这次调查不仅创建了一套经典的调查方法，并用核心法和动力计算方法，发现大西洋的深层环流，揭示了大西洋冷水圈的5种水团并非对称于赤道(Wüst, 1950)的奥秘。

“流星”号调查报告对资料的全面分析，激起了各国大规模调查的兴起，其中最负盛名的有“斯内卢斯”(Snellius)号调查(1929~1930, 荷兰)、“发现者”(Discovery)号调查(1930~, 英国)、“阿特兰蒂斯”(Atlantis)号调查(1931~, 美国)、“卡纳基”(Carnegie)号调查(1928~1929, 美国)、“丹纳”(Dana)号环球调查(1928~1930, 丹麦)、日美北太平洋(NORPAC)联合调查(1937~)。通过上述调查，推动了海流动力学的发展。Sverdrup等(1942)的《海洋》(The Oceans)名著，就是在总结上述调查资料和成果的基础上写成的。

1950年，伍兹霍尔(Woods Hole)海洋研究所，用5条船和BT, GEK等新仪器，对湾流进行了同步观测，发现湾流具有“弯曲”和射流等特性。正是这些宝贵资料，帮助了大洋深层环流各种理论的建立，导致了H. Stommel(1958)《湾流》(The Gulf Stream)这本名著的问世。

1952年，美国水产海洋学家T. Cromwell，根据太平洋赤道区金枪鱼延绳钓渔具向东漂移，正与表层西向赤道流相反这一事实，用海流板观测海流，在50~150m层发现了赤道潜流。引起了后来在大西洋、印度洋赤道潜流的相继发现，使人们对赤道大洋环流有了一个完整的概念。

国际地球物理年间，海洋调查的国际合作极盛，使调查资料倍增，世界海洋资料中心应运而生，为全球海洋学家提供服务，促进了国际海洋科学的交流与发展。

1970年，苏联用几十个资料浮标和五六艘设备先进的调查船，在大西洋东部进行“多边形”大洋实验，获得上百万个测流资料。经分析发现，在大西洋的弱流区存在着中尺度涡，其流速达10cm/s，直径约100km，持续时间为几个月，后来为美、英、法等国合作的大洋中部动力实验所证实。从而，改变了海洋学家们一贯认为只有大洋边界和赤道区存在强流的旧概念，重建了大洋环流模式，对过去的风生环流理论提出了异疑，开始用中尺度涡系统对海洋水文物理现象进行天气学分析。标志着海洋水文物理学由研究平均状况的气候学时代，进入了研究逐日变化过程的天气学时代。这是大洋动力实验取得大量资料对海洋学发展的一大贡献。

1978年，美国发射了第一颗海洋卫星(Seasat-A)，应用遥感技术，能全天候地观测全球范围海区的风、海冰、海浪、表层水温等海面状况，使同步取得大尺度海洋综合资料有了新的重大突破。为大尺度大洋环流、海面波动的研究提供了全球性的系统的时间序列资料。

在我国，也有同样的经验，有了系统的调查资料，海洋科学的迅速发展就有了基础。1957~1958年，由国家科委海洋组统一组织的同步观测，首创了多船同步观测的方式，摸索到了在浅海获取水文要素准同时值的好经验，为全国海洋普查创造了条件。1958~1960年，在渤、黄、东、南海进行的全国海洋综合调查，取得大量系统可靠的资料，及时出版

了资料、图集和十多个专题的研究报告，为中国海的海洋科学填补了空白，为后来我国海洋科学的迅速发展奠定了结实的基础。从1963年开始的海洋水文标准断面调查，积累了系统的长期调查资料，为中国近海环流及水文特征的长期时间序列变化的研究，为开展海洋水文预报、渔场资源预报和石油开发提供了必需的资料。1978年中太平洋赤道特定区域的调查，为我国海洋科学向大洋进军拉开了序幕。1978~1979年全球大气实验太平洋西部调查，取得了详细的资料，对赤道流系和水文结构有了基本的了解。

中国科学院（1975~1979）和国家海洋局（1983）在南海中部综合调查所取得的资料，使百余篇调查报告和科学论文纷纷发表，基本掌握了南海的海洋水文特征和变化规律。

1980~1981年，中美长江口海洋沉积合作调查所取得的海洋水文和沉积资料，为进一步研究我国河口现代沉积动力学，提供了重要的科学依据。

1985年我国派出第一个南极考察队和南大洋考察队，此后，每年都派出南极考察队，取得许多珍贵的样本和资料，为南极资源的开发利用做出了贡献。

1.1.2 海洋资料是人们开发利用海洋所必需的科学依据

我国是幅员辽阔的大陆国家，也是海域广阔的海洋国家，海洋资源十分丰富。要开发利用海洋，海洋资料是必不可少的重要科学依据。例如：在石油开发中，钻井船、钻井平台、输油管线、储油罐、油轮系泊设施、油码头等工程建设的规划、设计和施工，都需详细掌握各种海洋气象水文动力要素的变化规律，准确计算风、流、浪、水位的多年一遇极值。比如，钻井船和平台设计标高的确定，靠船垫安装位置的选定，都须根据准确的设计波高、校核最高、最低水位等参数，才能安全可靠、经济实用。不然，若每个平台高度多设计1m，就要多用钢材30多吨，提高造价5万元；若每个平台多设计两层靠船垫，就增加成本2万至3万元。反之，若标高过低，易受风暴潮的淹没和破坏，更会造成巨大的损失。海上石油平台被风暴和巨浪破坏或摧毁的事例是不少的，据统计^①，1955~1980年间全世界共发生海上钻井平台海难事故131起，其中由风暴和巨浪造成的占40%，所受经济损失达2.2亿美元，1980年3月，挪威外海的一个平台被巨浪打翻，上面139人全部罹难。

在我国北方海区，海冰也会对石油开发构成严重威胁。因缺乏渤海海冰资料，对海冰的破坏性估计不足，曾导致1969年和1972年两次流冰推倒平台事故，损失严重。

在发展海洋渔业中，对渔汛和鱼类活动规律影响最大的海洋因素是水温和大风。

海水的温、盐度可用作寻找中心渔场的指标。例如，黄海的青鱼，适温范围终年不超过10°C，夏、秋季常栖息于黄海冷水团的边缘。东海的鲈鱼，适温范围在20°C以上，因此，可参照20°C等温线寻找中心渔场，春汛鱼群常分布在沿岸水（或涌升冷水）与台湾暖流的交汇带。带鱼的适温范围在20（汛初）~15°C（汛末）间，其中心渔场常在长江冲淡水与外海高盐水的流隔附近。大黄鱼约于水温16°C开始群集产卵，于22°C时结束产卵。东海的大眼鲷，最适于16~18°C，盐度34.5左右。越冬渔场，冬、春季水温高的年份，渔汛提前，反之，则渔汛推后。

水温的垂直结构与鱼类活动及捕捞作业条件的关系尤为密切，鲈鱼等中上层鱼类多群集在温跃层以上的近表层，跃层深度越浅，鱼类越群集于近表层，利于围网作业，易获丰

^①陈应珍，张玉淑，国外海洋灾害预警及防御体系的现状和发展趋势，海洋科技情报所，1987。