

沿岸水域 物理海洋学

K.F. 鲍登 著



海洋出版社

56.384
06

沿岸水域物理海洋学

〔英〕 K. F. 鲍 登 著
陈茂廷 田素珍 译
余宙文 甘子钧 校

内 容 简 介

沿岸水域是与人类生活联系密切的海域，对这一水域的研究，早已成为海洋学家的重点课题。本书着重论述了沿岸水域的物理性质及其特征，内容涉及潮汐和潮流、表面波、风海流与风暴潮、沿岸上升流、密度流和盐度分布、交换过程及混合，以及沿岸环流和大洋环流之间的相互作用。

全书采用理论与观测相结合的方式，论述严密，知识面广，可作为海洋学和海洋工程专业的大学生及研究生的教科书，也可作为其他专业科研人员的参考书。

(京) 新登字087号

沿岸水域物理海洋学

[英] K. F. 鲍登 著

陈茂廷 田素珍 译

余宙文 甘子钧 校

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

海洋出版社发行处发行

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.875 字数: 220千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数: 1—300

*

ISBN 7-5027-2870-8/P·244 定价: 7.00元

作 者 序

由陆架水域及其毗邻海域所组成的沿岸水域，其本身具有许多值得考察、研究的独特特征。一般的物理海洋学教科书主要侧重于深海，而其他一些书则侧重于河口。本书则着重论述介于深海和河口之间的沿岸水域，希望以此填补这方面的空白。

本书是以多年来我在利物浦大学和其他一些地方授课的讲稿为蓝本整理而成。至于把这些讲稿扩写成书这个想法，首先是几年前我在西雅图华盛顿大学海洋系休假兼职讲授课程时产生的。全书的处理均采用理论与观测相结合的方式，因为科学也正是以这种方式发展起来的。本书涉及一定的数学知识，但在力求严密的同时，尽可能采用不超过大学一年级数学水平的基本数学知识。

笔者希望本书能作为海洋学和海洋工程专业的大学生及研究生的教科书，也希望本书能为海洋生物学家、化学家和地质学家的研究工作提供物理背景。为了满足那些希望对各专题作进一步研究的科技人员的要求，书中列出了大量内容更为详细的课本及评述性文章。在适当之处也列出一些原始的研究论文，但这种情形不多。

在此，我要感谢帮助我编写本书的同事们，特别要感谢审阅过手稿并提出宝贵意见的利物浦大学海洋系的 R. I. Tait 博士、E. D. Barton 博士、S. R. Ferguson 博士，海洋科学研究所的 N. S. Heaps 博士，北威尔士大学物理海洋系 J. H.

Simpson教授。另外,我还要向为本书准备插图的J. Murphy先生表示感谢。

K. F. 鲍登

1983年8月

目 录

第一章 绪言	(1)
1.1 沿岸水域的特征	(1)
1.2 沿岸水域的自然特征及其效应	(2)
1.3 沿岸水域的实际意义	(3)
第二章 潮汐和潮流	(7)
2.1 引言	(7)
2.2 大洋潮汐	(10)
2.3 动力学方程	(19)
2.4 大陆架上的潮汐	(33)
2.5 海湾内的协振动	(41)
2.6 局部封闭海域的潮汐	(53)
2.7 分潮的叠加	(57)
2.8 潮流	(63)
2.9 潮汐模拟	(69)
2.10 潮能及其耗散	(72)
第三章 表面波	(76)
3.1 引言	(76)
3.2 表面波的动力学	(80)
3.3 波浪的统计处理	(97)
3.4 波浪的生成	(107)
3.5 波浪的传播：涌浪	(118)
3.6 进入浅水的波浪	(121)

3.7	波浪的破碎	(131)
3.8	波浪增水及其效应	(133)
第四章	风海流与风暴潮	(135)
4.1	引言	(135)
4.2	风引起的表面流	(136)
4.3	海面风应力	(138)
4.4	动力学方法	(142)
4.5	风暴潮	(152)
4.6	风暴潮的预报方法	(161)
第五章	沿岸上升流	(179)
5.1	引言: 上升流的特征	(179)
5.2	Ekman-Sverdrup上升流模型	(180)
5.3	上升流的观测	(184)
5.4	上升流的数学模式	(194)
第六章	密度流和盐度分布	(205)
6.1	引言	(205)
6.2	低盐冲淡水	(207)
6.3	锋	(215)
6.4	密度流的动力学	(220)
6.5	陆架水的混合	(230)
6.6	密度分布与海流的相互作用	(238)
第七章	温度分布与季节性温跃层	(245)
7.1	大洋和沿岸区域的热收支平衡	(245)
7.2	温度对热收支变化的响应	(249)
7.3	季节性温跃层的产生	(252)
7.4	层化状态的发展	(269)
7.5	温盐锋的一些性质	(275)

第八章 交换过程及混合	(282)
8.1 交换过程的性质	(282)
8.2 湍流扩散的处理	(284)
8.3 平流-扩散方程	(286)
8.4 一维扩散	(289)
8.5 扩散的特殊情形	(294)
8.6 切变流中的扩散	(313)
第九章 沿岸环流和大洋环流的相互作用	(318)
9.1 相互作用的本质	(318)
9.2 湾流和美国东部大陆架	(319)
9.3 陆架波	(322)
9.4 其他例子	(327)
参考文献	(330)

第一章 绪 言

1.1 沿岸水域的特征

海洋学领域涉及从大洋到海水可到达的河口。在这一水域范围内，许多物理现象和有关理论都是共同的，但是沿岸水域仍然与深海和河口有着很大的不同，所以沿岸水域值得我们单独地加以研究。当然，这三种水域是相互联系，相互依赖的。因此，我们在集中研究沿岸水域时，不能完全忽略另外两个水域。引起沿岸区域海水涨落的潮汐起源于大洋；在海滩上破碎的涌浪的能量可能来自千里之外的风暴。使沿岸水的盐度变得相当低，并使营养盐成分变高的河水，在它们通过河口的途径中会不断地改变其性质。

从经济和环境的观点来看，沿岸水域也有着特殊的作用。海港设施必需安置在海岸上，船舶进出港口时必须航经沿岸水域，而且常常是具有强潮流或强风海流的沿岸水域。在许多地区，利用具有海滩，可供游泳、划船及其他活动的沿岸海滨作为疗养和娱乐场所是不可忽视的方面。世界上多数大渔场是在陆架水域及其毗邻水域，而这些水域的自然条件对渔业生产起着重要作用。尽管将来大洋可能会成为矿产的主要源地，但目前对固体矿物、石油和天然气资源的开发利用仍局限在陆架海域。

1.2 沿岸水域的自然特征及其效应

对于本书的目的，“沿岸水域”这一术语是指陆架水域及其毗邻的半封闭水域，但不包括河口水域。

与4 000m深的大洋相比，沿岸水域的首要特征是深度浅，其一般深度不足200m。陆架边缘通常是以海底平均坡度由1/500突变至1/20为标志。深度很浅的海底对海水运动的限制比深海海底对海水运动的限制大得多。在沿岸水域，海底附近的海流常常很强，而且海底摩擦（在大洋中一般可忽略）可对海水的流动起着重要的作用。

海岸线对海水运动起着侧向的约束作用，迫使海流转向，使海水沿着几乎与海岸平行的方向流动。海岸还可以阻挡海水流向海岸，这一阻挡作用可引起海面的倾斜，而海面的倾斜又反过来作用于海流，并改变海水的运动。海岸的这种阻挡效应，在不同的区域有很大差异。一种极端的情况是海岸缓慢弯曲，且与大洋毗邻，如美国的太平洋海岸及中美洲及南美洲的部分海岸。另一种极端情况是大部分都封闭的海域，它们与其他海域的交流非常有限，如波罗的海。

入海的陆源淡水，常在通过河口之后，具有降低沿岸水的盐度，进而降低密度的作用。如果通过海面的热通量大体相同的话，海岸附近的浅水温度变化就大于深水的温度变化。由于这些效应，沿岸水域的盐度、温度和密度的水平梯度都相对较大，而这种梯度常常是与海流的变化有关。

沿岸水域的上述特征导致了許多重要的物理结果。首先，与大洋的潮汐潮流相比，沿岸水域的潮汐潮流会大为增强，它们的振幅通常会增大，有时因潮汐周潮与沿岸水体振动的自然周期相近而产生共振，致使潮汐和潮流的量值会剧

烈增大。特别在陆架上，潮流流速增大，而海底摩擦对潮流则会有较大的影响。

表面波是海洋中普遍存在的特征。在某些方面，它们的性质处处相似。然而，当波浪传播到浅水时，海底使它们发生变化而最终破碎，并使它们的大部分能量耗散在海滩上。波能的释放，在某些地方引起大量海滨物质的运动，对天然和人造结构物施加相当大的作用力。

海岸和海底也强烈地影响着风海流。在有些区域，会引起风暴潮，而在另一些区域则会出现一些附加效应，例如会出现上升流和产生沿岸急流。

由于水平密度梯度大，因而与大洋相比，密度流常常是沿岸水域的更为显著的特征。这些密度流与由密度驱动的河口环流相比，有些特征是相似的，但起因于地球自转的科氏效应在限制较小的沿岸水域中要显著一些。

然而，对沿岸海域的状况不能离开相邻的大洋而作孤立的考虑。在某些情况下，那些常常是强度会改变或流径会弯曲蛇行的沿陆坡流动的重要洋流，对陆架的状况有着强烈影响。该影响也许是由不同性质的水团侵入陆架，或者从陆架带走海水引起的。通过陆架边缘产生海面梯度，这些洋流也可在陆架上诱导出海流。

1.3 沿岸水域的实际意义

海洋学的发展历史表明了研究与实际应用之间的相互联系。17世纪和18世纪，出于对航海和探险的需要，极大地促进了研究工作的开展，并增加了对洋流的了解。19世纪中叶，为找到铺设电缆的最佳路线，又产生了新的研究动力。与海洋学的其他分支不同，潮汐研究是从沿岸水域着手的，

确切地说，是从沿岸本身着手的。大部分的早期潮汐知识来自港口和码头的水位测量结果。沿岸水域的潮汐理论日趋完善，并与观测结果基本一致起来。大洋潮汐的知识大体上仍然是推测性的，理论必须用沿岸或岛屿的观测资料来加以验证。对大洋潮汐的测量仅在近几年才成为可能。

在沿岸水域航行，特别是进出港口时，需要确切了解海水的深度，需要知道此深度如何受潮汐的影响。由于船只吃水深度的不断增加（尤其是油轮），需要更准确地推算潮汐和预先知道气象条件可能引起的偏差。对于在受限制的狭窄航道上航行的船只，还需要了解潮流及其他海流的情况。

完整的港口设施包括防波堤、突堤和直墙式海堤。在潮差大并需要封闭式船坞的地方，必须建造船坞的闸门。这些设施的建造和维修也要求了解该区域的波况，如波高、周期及波向。波浪不仅会对沿岸结构物施加相当大的作用力，而且还会引起海滩和海床上的物质运动，以致在某些地方引起侵蚀而在另外一些地方引起淤积。尽管波浪较潮汐更难预报，但预报波浪的现有方法还是很有用的。第二次世界大战期间，由于需要预测舰船在海滩的登陆条件，从而推动了对波浪的研究，改进了波浪预报方法。今天，由于海上钻井平台及其他离岸结构的严格要求，又进一步支持了对波浪及其作用的研究。

多年来，渔业的需求也推动了海洋学的研究。其中一个例子就是1902年由北欧渔业国创建的国际海洋考察委员会，后来加拿大、美国和原苏联加入了这一组织，世界其他地方也相继成立了类似的组织。渔民与其他船员一样，都需要航行资料和大浪状况的预报。另外，温度、盐度和化学成分的分佈常常是一个区域渔业产量的很好指标。一种很特殊的情形

是上升流区，尽管人们对上升流区物理过程和出现上升流这种特殊情况的物理过程已经了解得很清楚了，但对强上升流的发生时间及出现区域的预报（如果可能的话）还是很有价值的。对于各种不同的目的，海洋状况预报涉及各种时间尺度的不同问题，这些时间尺度有短期的（从数天到数周）、季度的、年际的和长期的。

几个世纪以来，海洋已经成为直接或经河口流入的废物的储存场所。海水具有分解有机物和杀菌的能力，使得海洋能相当好地应付过去进入海洋的废物。近年来，随着沿海城市人口的增长和化学药品的使用，海洋染污问题变得严重起来。这些化学污染物质包括工业废物、放射性物质和农用杀虫剂及除草剂。多数污染物质，如重金属、滴滴涕、氯化碳氢化合物等，比有机废物会在海洋中滞留更长的时间，它们的影响可从海岸向外伸展得更远。沿岸水使这些废物从海岸向外扩散并最后带入深海的能力，取决于沿岸水的潮汐和海流的状况，在某些情况下，还取决于温盐层结及锋面的存在。

在沿岸水域勘探和开发油气是不断增加沿岸水域利用的显明例证。许多钻井平台的灾难提高了各预报极端海况和相应作用力的要求。在钻井平台、采油平台，以及为它们服务的辅助船队和直升飞机的日常作业中，需要充分了解作业区附近的潮汐、海浪和海流。这些要求已推动了关于波浪、潮汐、风海流及风暴潮方面的海洋学研究。

许多人居住在沿海，也有许多人到沿海参加娱乐和体育活动，因此，保持沿海区域环境的宜人舒适是不可忽视的问题。保障人类生活的品质，维护旅游业的商业价值，这就要求应对商业活动及工业活动对环境的影响作出细致的评价，并在可能时加以控制。海滩及毗邻水域不仅要避免细菌和有

毒化学物质，而且要显得清静，并对海水浴及其他海上活动富有吸引力。当然，有些区域还需要采取措施，使海岸免遭侵蚀及受沿岸物质运移的影响；而在另一些区域，可能需要防止沙坝侵入和泥沙的淤积。划船和风帆等体育运动的普及，要求详细了解海流和波浪的状况，也要求能预报风效应的可靠方法。估计海港作业、电厂及废水处理厂对环境的可能影响，需要了解水域状况，为消除任何有害影响而制订防护计划或补救措施，同样也需要了解水域状况。

如上所述的沿岸水域的不断利用，要求我们进行研究以增加我们对沿岸水域状况的了解，也要求工程师、航海者、渔业科学工作者及其他人员应用这些知识。本书不打算讨论工程问题，也不打算提供足以用来直接解决任何问题的全面的海洋学知识。这些知识需要在专家们的专著中或原始论文中去寻找。本书的宗旨是介绍沿岸水域的观测结果及有关概念，它们对理解这一学科是基本的，同时也指明了当今研究的方向。希望本书不仅有益于即将从事沿岸水域研究的海洋工作者，而且也有益于工程技术人员及其他可能使用本书的人员（原著为1983年版本，书中有的地方未使用SI单位，译文保留原著所使用的单位，请读者注意——译者）。

第二章 潮汐和潮流

2.1 引言

2.1.1 潮汐的主要特征

海面的周期性涨落称为潮汐，它是许多沿岸水域的显著特征。最常见的一类潮汐是这样的，它每天都出现两次高潮和两次低潮，而高潮和低潮的出现时间大约每天往后推迟50min。例如，几乎整个大西洋沿岸都可发现这种类型的潮汐，但世界上也有一些地方存在着各种不同类型的潮汐。实际上，无论什么地方，潮汐都是由不同周期的分潮组成的。前面所说的潮汐形态是受太阴半日分潮控制的，这种分潮用 M_2 表示，它的周期为12h25min，即半个太阴日。月球通过特定地点的子午线的时间每天往后推迟50min，因此，一个太阴日的时间长度是24h50min。潮差被定义为高潮高度和相继低潮高度之差，众所周知，潮差随月相具有周期性的变化。潮差最大时的潮汐称为大潮，它出现在新月或满月之后的一两天内；潮差最小时的潮汐称为小潮，它大约在上弦月和下弦月时出现。大潮和小潮循环交替出现，是因为还出现太阳半日分潮的缘故；太阳半日分潮用 S_2 表示，其周期为12h，此分潮交替地使太阴半日分潮的效应得到加强和削弱。

经常可以看到，同一天的两次高潮的高度不同。例如，连续几天早上的高潮比下午的高潮高。这种特征叫“日潮不等”，它也表现在低潮的高度不等上。“日潮不等”的成因是

周期接近一天的分潮与周期为半天的分潮的叠加。大西洋沿岸的日潮不等通常很小，它仅表现在半日分潮受到微弱的影响。然而，北美西部海岸的日潮不等比较明显，连续高潮和连续低潮之间的差异很显著，以致常用高高潮、低高潮、高低潮和低低潮（简写为HHW，LHW，HLW和LLW）这些术语来区分它们。日潮不等效应经常随时间变化，这个效应在一个太阴月中有两次最大和两次最小。在另外一些区域，包括墨西哥湾和东南亚的部分水域，全日潮占支配地位，每天仅出现一次高潮和一次低潮。

作为潮流的海水水平运动与海面升降具有必然的联系。与水位上升有关的潮流称为涨潮流，与水位下降有关的潮流称为落潮流。在海湾或河口地带，水位高度和潮流之间的关系是直接的，但在开阔海岸或远离陆地的海域，水位高度和潮流之间的关系就不很清楚。水位高度与潮流之间的相位关系，例如，最大涨潮流和高潮之间的时间间隔是随地点的不同而变化的；一般说来，在一个潮周期内，潮流的方向是旋转的，潮流的量值是变化的。

2.1.2 潮汐的观测

潮汐观测涉及对作为时间函数的给定点上的水位测量。在最简单的情况下，可用目测来读取具有刻度的水尺上的水位高度值，但通常是使用某种形式的记录仪来测量水位。这种记录仪通常是靠随验潮井中的水位而升降的浮子来驱动的。所谓验潮井是通过一个孔道与海相连的水井，孔道具有适当的直径，它既能消除短波的作用，又不会阻碍水井内的潮汐运动。对于这类仍被广泛使用的验潮仪，水位变化是描绘在图纸上的。在有些情况下，可以用遥控方式来进行观测，在中心站便可得到不同地点上的几个验潮仪的记录。现

在人们越来越广泛地使用数字式潮汐记录仪，这类仪器可为资料整理提供方便。还有与直接测量水位的验潮仪截然不同的其他仪器，常用的有水压式验潮仪，这种仪器可安置于海岸附近的海底，也可以安置于外海的海底。通常，这种仪器采用内部记录方式，常常是记录在磁带上，每隔一个月或更长的时间才需对这种仪器进行检修。在有些情况下，可以对水位进行遥控测量，数据可通过无线电从海面浮标传送到岸边的测站。Glen(1979)和Huntley (1980)曾对潮汐测量的问题作了更为详细的介绍。

潮流测量技术通常也可同时用来测量其他原因引起的海流，它们具有多种多样的形式，其中包括漂移法（如漂流杆法或漂流浮标法）和多种类型的海流计。现在相当普遍地使用锚系海流计，我们可以把这种仪器布放在海中进行为期一个月或更长时间的测量，测量完成后再将其回收。Neumann (1968)，Pickard和Emery (1982)的书对测流技术问题作了论述。由于测潮、潮流仪器的详细介绍已超出本书的范围，此处不拟赘述。

2.1.3 大洋潮汐和沿岸潮汐

引起潮汐的力来自月球和太阳的万有引力，但就沿岸海域的潮汐而言，引潮力的影响基本上是间接的。沿岸的潮汐是由大洋潮汐驱动的，而大洋潮汐本身则是由引潮力引起的。像地中海和波罗的海，它们仅有狭窄的通道通向大洋，因此，除了固有周期接近潮汐周期的部分水域外，水域中的潮汐都相当小。然而，引潮力确实作用于任何水体上，其中也包括湖水。例如，人们对密执安湖的潮汐就作过测量和研究。该湖主要湖盆的最大潮差大约是8cm，但在可出现共振的附属湖盆格林湾也曾观测到高达18cm的潮差。