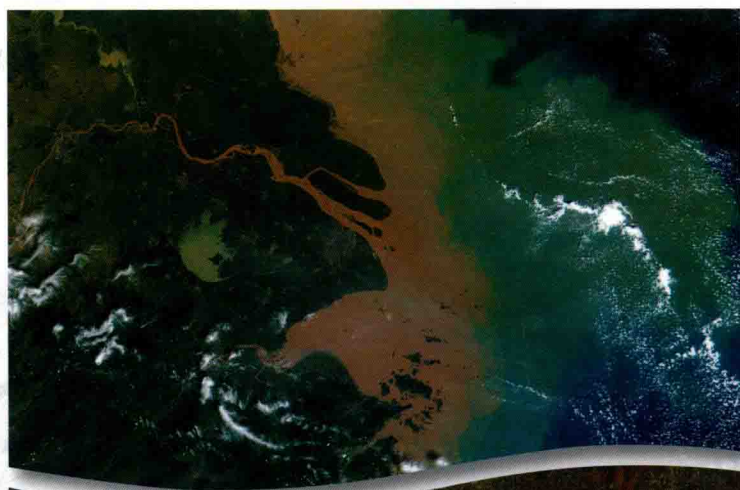


河口生物地球化学

BIOGEOCHEMISTRY OF ESTUARIES

[美] Thomas S. Bianchi 著

于志刚 姚庆祯 姚鹏 等译



海洋出版社

河口生物地球化学

[美] Thomas S. Bianchi 著

于志刚 姚庆祯 姚鹏 等译



海洋出版社

2017年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

河口生物地球化学/ (美) 托马斯·斯蒂芬·比安奇 (Thomas S. Bianchi) 著; 于志刚等译.
—北京: 海洋出版社, 2016. 10

书名原文: Biogeochemistry of Estuaries

ISBN 978 - 7 - 5027 - 9589 - 4

I. ①河… II. ①托… ②于… III. ①河口 - 生物地球化学 IV. ①P343.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 248735 号

图字: 01 - 2009 - 7250

Copyright© 2007 by Oxford University Press, Inc.

“BIOGEOCHEMISTRY OF ESTUARIES, FIRST EDITION” was originally published in English in 2006. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

《河口生物地球化学》一书英文原版于 2006 年首印。本书简体中文版由牛津大学出版社授权出版。

责任编辑: 江 波 王 溪

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

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店发行所经销

2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 39

字数: 910 千字 定价: 120.00 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

献给 Jo Ann 和 Christopher, 感谢他们无尽的支持和耐心!

随着我们对生态系统耦合分析的深入探索，将更多学者的专长集合在一起已变得极为重要。这种学术上的利他主义对于学科发展是非常关键的。

——Robert G. Wetzel

中文版序言

翻译此书的想法始于2008年，当时于志刚教授和我讨论了这样一本书对于正在中国蓬勃发展的河口生物地球化学研究的重要性和必要性。中国近海当前正面临许多问题，此书应能为研究这些发生在动态变化的近海区域之生物地球化学循环提供基本知识框架。这是一本为学习河口生物地球化学和生态系统动力学的研究生而写的书，因为迄今为止还没有关于这一主题的中文专著，所以我们非常期待此书中文译本的出版，并希望能对从事这一领域研究的中国学者有所帮助。

在此书撰写期间，我曾数次到访中国。每次到青岛访问中国海洋大学，我都会受到于志刚教授和他的同事们热情款待，对此我深表感谢！青岛是一个美丽的地方，我很荣幸能与于教授的团队合作。更重要的是，我非常感激于教授和他的课题组成员为准确地翻译此书所付出的大量时间和精力。书稿的翻译过程经历了多个阶段，而且将具有“特定”意义的过程、化合物和生物分类名称、世界河口位置和名称等特殊名词翻译成中文绝不是一项简单的工作。最后需要指出的是，此书的翻译也使我从中受益匪浅，因为他们非常热情地向我指出了在翻译过程中发现的此书第一版中的错误，这对我完善第二版大有裨益。再一次感谢于教授和他的课题组！我们希望中国学者能够喜欢这本书，希望本书对他们未来的研究探索有所帮助。



Thomas Bianchi 博士

Jon Thompson 和 Beverly Thompson 地球科学讲席教授

佛罗里达大学地球科学学院

佛罗里达盖恩斯维尔, 32611-2120

电话: +1-352-392-6138; 传真: +1-352-392-9294

电子邮件: tbianchi@ufl.edu

网页: <http://web.geology.ufl.edu/bianchi.html>

译者序

河口是全球陆海相互作用最为重要的区域，经由河流输送而来的生源要素、有机物等陆源营养物质在这里入海，为海洋初级生产提供了充足的物质基础；潮汐、环流等动力条件的剧烈改造使其化学背景场存在显著的时空差异，进而导致海域生态系统具有很高的生物多样性。河口不仅为海洋生物等提供了赖以生存的栖息地，也是人类经济社会发展所依托的重要场所。然而在人类文明化进程中，河口的生态负荷却正在逐渐加重。统计显示，61%的世界人口居住在沿海地区，我国居住在沿海地区的人口比例也超过了50%。人类活动已经对整个河口的生物地球化学循环产生了不利于生态系统健康的影响，相应的海洋环境和生态学问题也接踵而至，如海水酸化、低氧区扩大、赤潮和水母暴发等异常环境和生态现象频发。为可持续利用河口生境，全面认识河口地区的动力特征、物质收支及生物地球化学循环过程是至关重要的。

国内已有很多大学和研究机构从事河口生物地球化学研究，并取得了丰硕的研究成果，出版了一系列研究专著。令人遗憾的是，目前尚无一本中文版的有关河口生物地球化学的教科书。Thomas Bianchi 教授所著“Biogeochemistry of Estuaries”是一本以河口生物地球化学为重点、涉及河口科学诸多方面的教科书。我课题组与 Bianchi 教授的科研团队有着较长的合作历史，当我们得到这本书的时候，即感到可以译为中文，以供从事该领域研究的学者、特别是高年级本科生和研究生参考。Bianchi 教授欣然接受了我们的提议，并从各个方面给予大力支持。本书共分七个部分，由十六章构成，从河口地形地貌、水动力、水化学、沉积特性、物质循环和人类活动的影响等多方面系统地介绍了河口生物地球化学，各章既相对独立完整，相互之间又密切联系，有利于读者在河口生物地球化学的知识体系中渐博渐通。我们相信，本书的翻译出版对相关领域的读者“登高望远”地掌握该领域的知识框架大有裨益；与此同时，书中引用了大量丰富的典型研究案例，对读者在宽广的视野中“探幽入微”，找准学术前沿并实现突破极具参考价值。

本书从开始翻译到最终定稿历时四年，经历了“翻译—修改—校改—统稿”四个阶段。在“翻译”阶段，于志刚负责第一章，姚庆祯负责第二、第十二、第十五、第

十六章,姚鹏负责第三、第五、第九、第十三章,米铁柱负责第四、第六章,江雪艳负责第七章,甄毓负责第八章,陈洪涛负责第十、第十一、第十四章,许博超负责其余内容;在“修改”阶段,于志刚负责第一、第三、第四、第五章,姚鹏负责第二、第六、第八、第十二、第十五、第十六章,姚庆祯负责第七、第九、第十、第十一、第十三、第十四章;在“校改”阶段,江文胜对第三章、王旭晨对第八和第九章、于志刚对其余共13章进行了认真彻底的校改;最后,为保证全书各章节的格式和表达习惯一致,提高译本的准确性和可读性,于志刚、许博超组织各位译者对全书进行了统稿。在翻译过程中,我们修正了原书中一些明显的技术性错误或表达欠妥之处,并以“译者注”方式进行说明,以便读者更好地理解相关概念及研究案例。为便于读者查询,许博超和甄毓分别负责编写整理了“河口和海湾地名对照表”以及“重要生物和化合物名对照表”。在翻译成文中,我们力求忠于原著,准确表达原意,但同时也充分考虑了汉语表达习惯,以方便中文读者阅读。

特别感谢中国海洋大学杨作升教授、李三忠教授和复旦大学郭志刚教授等专家对翻译过程中产生的有关疑问给予的耐心解答,感谢中国海洋大学邹卫宁先生对地名表的校改。此外,中国海洋大学李欣钰、郭肖伊、杨迪松等同学参与了地名翻译和排版等工作,海洋出版社有关领导和同事们对本书出版给予大力支持,Bianchi教授为中文版出版专门撰写了序言,借此机会,一并表示衷心的感谢。

本书翻译工作受到国家自然科学基金重大国际(地区)合作研究项目(长江口及邻近海域底边界层生物地球化学过程研究,40920164004)资助。

尽管付出了很大努力,但由于译者水平所限,译文中难免存在不足乃至错误之处,我们诚恳地期待读者批评指正。

译者

2015年10月

于中国海洋大学

原著序

在过去的几十年中，全球沿海地区的人口增长很快，由此带来的环境效应对许多河口产生了深远影响。为了从全球尺度和区域尺度更好地理解这些变化对环境所带来的影响，深入了解河口地区的生物地球化学循环，即化学物质的迁移、转化和归宿是至关重要的。例如，对于在全球诸多河口广泛存在的富营养化现象，只有熟悉河口系统的物理动力学过程，才能彻底理解富营养化事件对该河口生态系统的影响程度。从生物地球化学角度认识河口海岸科学需要多学科交叉的基础知识背景，包括化学、生物学、地质学，很多时候还包括大气科学。到目前为止，多数关于河口生物地球化学的书籍在章节编排上太过分散，因而难以用作本科和研究生等大学高等教育课程的教材。我编写这本书的初衷就是为了弥补这一缺憾。本书旨在从全球尺度和区域尺度聚焦河口生物地球化学循环，全面详尽地阐述河口的物理特性、地球化学特性和生态特点。在概述性地介绍了河口科学和生物地球化学循环之后，本书又划分了七个方面的内容：河口物理动力学、河口水化学、河口沉积特性、有机物的来源与转化、生源要素和痕量金属的循环、河口的人为输入和河口的全球影响。

第一章概述主要介绍河口在人类文明化进程中（如贸易、运输和食物资源等方面）所发挥的重要历史作用，世界上很多大城市坐落于河口地区并非偶然现象。本章还介绍了一些与河口相关的生物地球化学循环的基本概念。在随后的第一篇中，主要介绍河口的形成方式和形成时间，介绍综合考虑了地貌学和物理学标准的现行河口分类方法。这是全书的一个重点内容，为认识不同系统中的生物地球化学循环提供了知识框架。在第二篇中，主要介绍河口水体的分子特性、河水海水混合作用和溶解气体。因诸多河流和河口是二氧化碳向大气输送的净源，本部分内容还包括了关于河口中二氧化碳循环的控制因素和河口二氧化碳（及其他温室气体）通量对全球变暖的影响的讨论。在第三篇中，主要讨论保存了流域和水体过程的历史变化信息的河口沉积物。由于河口体系的水深通常较浅，沉积物与上覆水体的相互作用显得尤为重要。在第四篇中，主要讨论河口动力背景下的初级生产力和有机物降解，其中涉及的动力过程在之前的元素循环的相关章节中已有提及。该部分还介绍了一些重要的全样和化学生物标

志物技术,用于示踪这些高度动态的河口系统中的有机物输入。在第五篇中,综述了河口中的生源要素和痕量金属的循环,重点聚焦于天然的和人为来源的常量生源要素。在概括介绍各要素的循环作用之后,还对一些特定生源要素和金属的几个研究实例进行了详细探讨。第六篇涉及了河口中关键的有机污染物和无机污染物,强调分配系数和键合常数在控制污染物对河口生物体有效性影响中所充当的角色。水体中的溶解有机碳的自然循环和悬浮颗粒的矿物组成特征对上述物质的交换过程有重要的影响。该部分还列举了一些关于污染物循环和河口生态系统治理的典型研究案例。最后,第七篇概述性地介绍了大河影响下的陆架边缘海,这是世界上主要的河流/河口与海洋交汇的区域。与传统的河口-海岸带相比,这一区域中发生的过程不同,体系中溶解态和颗粒态物质的存留时间更短,因此更具有将陆源物质输送至深海的潜力。最近的研究表明,河流和河口并非河流相物质向海输送的唯一通道,海底地下水排放可能是另一个陆源物质向海输送的重要途径。该部分最后还讨论了关于地下水排放及其携带入海的陆源物质生态效应的最新研究成果。

这是一本为学习河口生物地球化学和生态系统动力学的研究生而写的教科书。选修本课程的学生应该具有无机化学、有机化学、环境生态学或生态系统生态学和微积分学等基础课程的知识储备。同时,由于囊括了诸多关于河口的典型研究案例以及丰富的图表、目录索引等信息,本书对海洋和环境科研工作者亦极具参考价值。本书的基本框架源于作者多年来执教的全球和河口生物地球化学等相关课程。

致 谢

在诸多热心朋友的帮助下，本书历时四年撰写而成，在此向他们致以诚挚的谢意！尤其要感谢的是 Rebecca Green（杜兰大学）和 Jo Ann Bianchi，两位对本书所有章节都进行了仔细校对，并提出了很有价值的建议。审阅了本书的一个或多个章节的还有以下诸位研究者：Mark Baskaran（韦恩州立大学）、Elizabeth Canuel（威廉玛丽学院弗吉尼亚海洋科学研究所）、Daniel L. Childers（佛罗里达国际大学）、Dan Conley（丹麦国家环境研究所）、John M. Jaeger（佛罗里达大学）、Ronald Kiene（南阿拉巴马大学道菲因岛海洋实验室）、Rodney Powell（路易斯安那大学海事协会）、Peter A. Raymond（耶鲁大学）、Sybil P. Seitzinger（罗格斯大学）、Christopher K. Sommerfield（特拉华大学）、William J. Wiseman（美国自然科学基金极地项目组）。尽管以上诸位对提高本书质量贡献很大，我依然对本书尚存的任何错误负主要责任。我还要感谢杜兰大学地球与环境科学学院我的诸位同事们，多年来我们围绕海岸带环境科学问题进行了多次有益探讨，特别是 Mead Allison、Brent McKee、George Flowers 和 Franco Marcantonio。感谢 Mike Dagg 在多次驱车前往路易斯安那大学海事协会的旅途中的启发性交谈。感谢 Michel Meybeck（巴黎第六大学）、Sid Mitra（纽约州立大学宾汉顿分校）、Scott Nixon（罗德岛大学）和 Hans Paerl（北卡罗来纳大学）等为某些章节提供了有价值的参考文献。感谢具有丰富的撰写论著经验的 Jeffrey S. Levinton 和 Robert G. Wetzel，他们为圆满解决成书过程中出现的各种问题提供了无价的建议和智慧。

特别要感谢 Charlsie Dillon，是他整理了全书的表格，并在获得插图许可过程中进行了大量沟通。该工作的前期还得到了 Jeremy Williams 的辅助。感谢 Cathy B. Smith 对书中的一些插图进行了高质量的重新绘制。所有图书馆内的文献调研都是在路易斯安那大学海事协会进行的，因此我非常感谢图书管理员 John Conover 和 Shanna Duhon 在整个过程中的热心帮助。特别感谢 Michael Guiffre 帮助设计了本书的封面。

感谢我的家人 Jo Ann、Christopher 和 Grandmaster Chester 的耐心和支持，感谢我的父母多年来不断的鼓励。最后，我要感谢 Lyle More 对一个处于关键年龄段、需要得到引导的初学者的鼓励。

目 次

第一章 河口科学与生物地球化学循环	(1)
第一节 河口的重要性	(1)
第二节 河口科学概述	(2)
第三节 人类对河口的影响和管理问题	(3)
第四节 河口生物地球化学循环	(5)

第一篇 河口物理动力学

第二章 河口的成因和地貌学	(9)
第一节 年代、形成及分类	(9)
第二节 不同类型河口的分布和沉积过程	(14)
第三章 水动力学	(25)
第一节 水循环	(25)
第二节 总环流、混合模式和盐度平衡	(31)
第三节 存留时间	(38)

第二篇 河口水化学

第四章 物理性质和梯度	(43)
第一节 热力学平衡模型和动力学	(43)
第二节 水的物理性质和盐类的溶解性	(45)
第三节 河口溶解盐类的来源和混合	(49)
第四节 盐度的定义及其测定方法	(57)
第五节 溶解组分的反应活性	(58)
第六节 离子活度、形态和平衡模型	(59)
第七节 悬浮颗粒物及其对化学反应的影响	(63)

第五章 水中的溶解气体	(66)
第一节 大气的组成	(66)
第二节 大气-水交换	(68)
第三节 河口中二氧化碳和其他溶解气体在水-气界面的通量	(71)

第三篇 河口沉积特性

第六章 沉积物的来源和分布	(83)
第一节 风化过程	(83)
第二节 侵蚀、输运和沉积	(86)
第三节 河口最大浑浊带、底边界层和浮泥	(90)
第七章 同位素地球化学	(96)
第一节 放射性的基本原理	(96)
第二节 河口研究中的放射性同位素	(98)
第三节 稳定同位素	(128)

第四篇 有机物的来源与转化

第八章 有机物循环	(143)
第一节 有机物的产生	(143)
第二节 河口中的颗粒态和溶解态有机物	(146)
第三节 有机碎屑的降解	(161)
第四节 早期成岩作用	(165)
第五节 动物-沉积物关系和有机物循环	(172)
第六节 河口沉积物中控制有机物保存的因素	(174)
第九章 有机物特性	(180)
第一节 总有机物分析技术	(180)
第二节 分子生物标志物	(188)

第五篇 生源要素和痕量金属的循环

第十章 氮循环	(241)
第一节 河口中氮的来源	(241)

第二节	无机氮和有机氮的转化与循环	(251)
第三节	溶解态氮的沉积物-水界面交换	(263)
第四节	一些河口的氮收支	(272)
第十一章	磷和硅循环	(280)
第一节	河口中磷的来源	(280)
第二节	沉积物-水界面磷的交换通量	(284)
第三节	无机磷和有机磷的循环	(289)
第四节	河口磷的收支	(293)
第五节	河口中硅的来源	(296)
第六节	硅循环	(299)
第十二章	硫循环	(303)
第一节	河口硫的来源	(303)
第二节	河口沉积物中无机和有机硫的循环	(304)
第三节	河口水体中无机和有机硫的循环	(316)
第十三章	碳循环	(321)
第一节	全球碳循环	(321)
第二节	溶解无机碳的转化和循环	(321)
第三节	河口二氧化碳和甲烷的释放	(326)
第四节	溶解和颗粒有机碳的转化与循环	(334)
第五节	碳的生态迁移	(342)
第六节	一些河口碳的收支	(345)
第十四章	痕量金属循环	(354)
第一节	痕量金属的来源与丰度	(354)
第二节	金属离子化学基础	(355)
第三节	水体中痕量金属的循环	(361)
第四节	沉积物中痕量金属的循环与通量	(369)
第六篇 河口的人为输入		
第十五章	河口中人类活动的压力	(377)
第一节	河口中人类活动的变化	(377)
第二节	痕量金属的分配与毒性	(381)

第三节 疏水性有机污染物的分配与毒性 (383)

第四节 营养盐输入和富营养化 (390)

第五节 环境变化历史的重建 (393)

第七篇 河口的全球影响

第十六章 河口 - 近海相互作用 (401)

第一节 河流、河口和近海 (401)

第二节 大河影响下的陆架边缘海 (403)

第三节 地下水向近海的输入 (406)

参考文献 (410)

附 录 (563)

索 引 (591)

第一章 河口科学与生物地球化学循环

第一节 河口的重要性

河口是位于陆地和海洋之间的一个半封闭性的水体，在这里，海水明显地被流入的淡水所稀释 (Hobbie, 2000)。“estuary”一词来自拉丁语“aestuarium”，意指沼泽或通道 (Merriam - Webster, 1979)。这些动态生态系统具有世界上最高的生物多样性及生物量。河口区域不仅直接提供河口种的经济鱼类和贝类这些重要资源，而且为重要的陆架经济种类生物提供隐蔽处及食物，这些陆架经济品种的幼体阶段是在河口湿地度过的。例如在墨西哥北部鱼类及贝类的产量很高，这与密西西比河及阿查法拉亚河淡水的注入以及与之密切相联系的河口湿地具有很大的关系 (Chesney and Baltz, 2001)。在这一地区的商业捕捞通常可带来 7.69 亿千克、价值达 5.75 亿美元的海产品。世界上许多近海系统中的渔业生产与经由河流和河口而产生的近岸营养盐的增加呈正相关关系 (Nixon et al., 1986; Caddy, 1993; Houde and Rutherford, 1993)。河口中物理过程和生物地球化学作用在多种空间尺度上是耦合的 (图 1.1; Geyer et al., 2000)。河口环流、河流及地下水的注入、潮汐作用、再悬浮过程及与邻近湿地系统的交换 (Leonard and Luther, 1995) 都是重要的物理变量，其在一定程度上控制着河口生物地球化学循环。

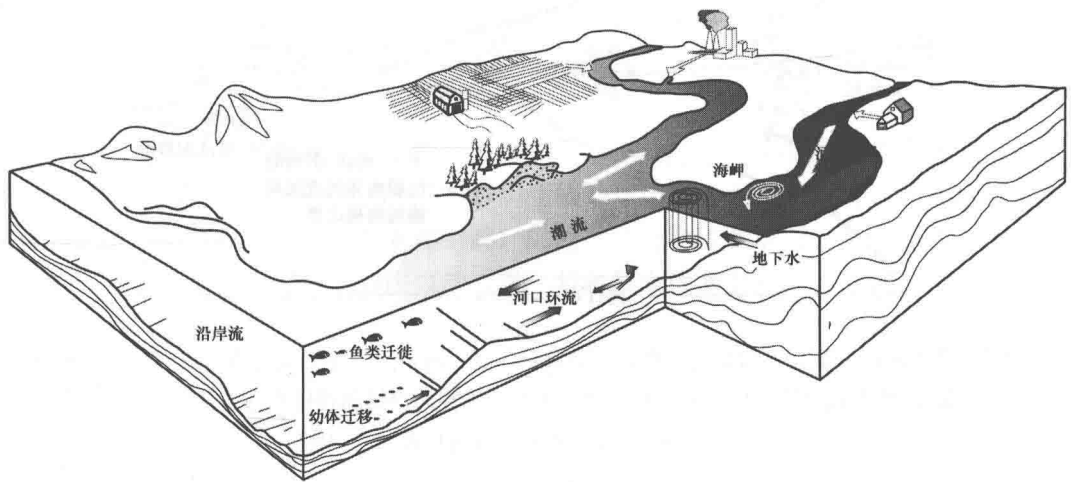


图 1.1 河口中物理过程 (如潮流、河流注入及地下水) 与生物过程 (如鱼类迁徙、幼体迁移) 之间的重要联系示意 (Geyer et al., 2000)

第二节 河口科学概述

由于世界上不同区域的河口之间及河口内部性质差别很大，因此对河口的定义存在很大争议。有许多研究者尝试提出一种全面的、能够被普遍接受的河口定义。Pritchard (1967, 第1页) 基于盐度首先提出的河口定义为“一个半封闭性的近岸水体，它可自由地与开放的海洋相连接，在它之内，海水可以被陆地排出的淡水所稀释”。在 Pritchard (1967) 河口定义的基础上，Dalrymple 等 (1992) 考虑了更多的物理及地貌过程，提出了一个全面的河口概念图 (图 1.2)。在这个示意图中我们可以看到，河口盐度范围很广 (0.1~32)，波浪过程控制着河口口门处，河口中部主要是潮汐过程，河流或河流冲刷过程则发生在河口上部。每个区域物理作用力的相对重要性随季节而变化 (如近岸波浪能量与河流径流)，并且最终决定了河口水体和沉积物的混合动力学。最近，Perillo (1995, 第4页) 提出了一个更加广泛的河口定义，即“向陆延伸到受潮水影响上限的半封闭的近岸水体，在这里，通过一个或几个与开阔海洋自由连接的通道而注入的海水或者任何其他近岸的咸水被来自陆地的淡水所稀释，并可支撑广盐物种在此度过其部分或整个生命周期”。本书以这一定义为基础。其他一些研究表明，应用地貌分类方法在确定北美不同地区河口的典型特征方面是十分有用的，如西海岸 (Emmett et al., 2000)、东北海岸 (Roman et al., 2000) 及大西洋东南海岸 (Dame et al., 2000)。关于河口的起源及地貌的复杂性详见第二章。

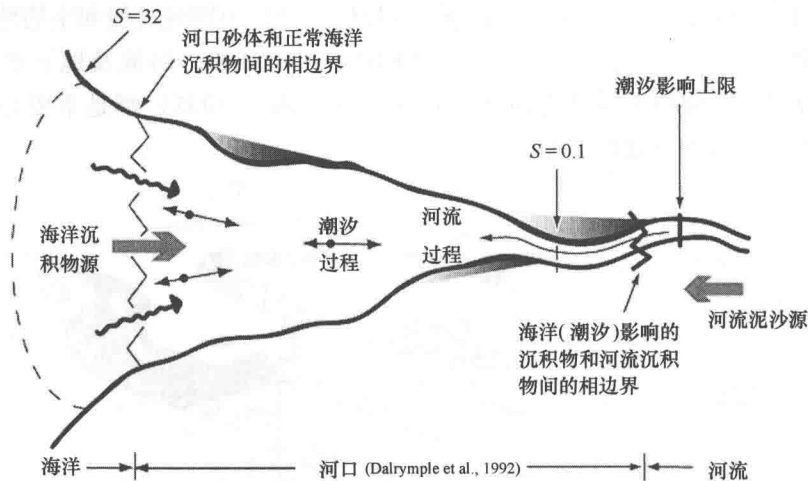


图 1.2 典型河口区划将河口分为上部、中部及口门区，河口上部主要受河流过程控制，在河口中部及口门区波浪及潮汐过程为主要的物理作用力。贯穿河口的物理作用力的强度和来源不同导致形成不同的沉积相 (Dalrymple et al., 1992)

从本质上讲，河口科学领域从最早提出 (20 世纪五六十年代) 到现在经历了身份危机，在大量的文献中有很多关于河口的模糊不清的定义都反映了这一点 (Elliot and McLusky, 2002)。导致这种“身份危机”的部分原因是由于人们通常使用一些习语 (如 bay, sound, harbor, bight) 代替了“estuary”。“河口”一词通常被作为“海洋学”和“湖沼学”领域的独特边界环境，其并不引人注