

CAMBRIDGE

河口动力及形态学

[英] DAVID PRANDLE 著

水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室

李杰 陈文龙 刘春玲 译

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河口动力及形态学

[英] DAVID PRANDLE 著

水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室

李杰 陈文龙 刘春玲 译



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

版权声明

This is a Simplified Chinese edition of the following title published by Cambridge University Press;
Estuaries Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology, 9780521297813, by David Prandle first Published by
Cambridge University Press (2009)

© D. Prandle 2009
All rights reserved.

This Simplified Chinese edition for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & China Water & Power Press (2016)

This Simplified Chinese edition is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorised export of this Simplified Chinese edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and China Water & Power Press.

此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾省）销售。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2016-8950

图书在版编目（CIP）数据

河口动力及形态学 / (英) 戴维·普朗特 (DAVID PRANDLE) 著；李杰, 陈文龙, 刘春玲译. — 北京：中国水利水电出版社, 2016.12
书名原文: Estuaries Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology
ISBN 978-7-5170-5016-2

I. ①河… II. ①戴… ②李… ③陈… ④刘… III. ①河口地貌—动力地质学②河口—水流动—形态—研究 IV. ①TV148②P343.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第313356号

书 名	河口动力及形态学 HEKOU DONGLI JI XINGTAIXUE
原 书 名	Estuaries Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology
原 著	[英] DAVID PRANDLE
译 者	水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室 李杰 陈文龙 刘春玲 译
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	68.00元



凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

内 容 提 要

本书为研究人员、学生、执业工程师及管理人员提供了最新的河口动力、混合、泥沙情势、形态演变知识、实用公式以及新的假设。

其目标是为了解释基础控制过程并将其综合纳入描述性公式，从而使相关公式可以用于指导未来的河口发展。每章重点分析河口系统的不同物理性质，确定关键研究问题、概述理论、模拟和观测方法，强调必要的定量结果。本书允许读者将世界不同河口进行对比分析，为短期管理问题和气候变化等长期问题的解决提供监测、模拟战略。

本书主要是物理海洋学、河口工程学的研究用书和学习用书，为河口领域的专业研究、工程人员、管理人员提供理论参考。

作者简介

DAVID PRANDLE 目前是威尔士大学海洋学院 (University of Wales' School of Ocean Sciences, Bangor) 的名誉教授。他毕业于利物浦大学 (University of Liverpool) 土木工程专业, 并在曼彻斯特大学 (University of Manchester) 攻读博士学位, 主要研究胡格利河 (River Hooghly) 的涌潮传播。此外, 作为顾问为加拿大国家研究委员会 (Canada's National Research Council) 工作了五年, 对圣劳伦斯河和弗雷泽河 (St. Lawrence and Fraser rivers) 进行模拟。然后, DAVID PRANDLE 到英国自然环境研究委员会 Bidson 天文台 (UK's Natural Environment Research Council's Bidson Observatory) 工作, 设计了控制泰晤士河防洪坝 (Thames Flood Barrier) 的操作软件。随后, 开展了大陆架海域及海岸带的潮汐、风暴传播和潮汐能提取、循环与混合、气温与水质的观测、模拟和理论研究。



译者序

河口是径流和潮流相互消长的地区，随着两种动力强弱的沿程变化，在整个受径流区与潮汐影响的范围内，各河段的水流情势、泥沙运动和河床冲淤演变特性都不同。而河口地区一般都是水陆交通便利，物产丰富，经济繁荣发达，普遍存在洪、涝、潮、咸、旱、台风等自然灾害，加之河口地区人类活动频繁、剧烈、滩涂围垦开发，可能造成河口水体污染、生态环境功能下降、河口形态变化等现象，河口的治理开发与社会经济发展、生态环境保护关系甚为密切，必须深入研究和慎重行事。

本书译者李杰、陈文龙、刘春玲所在的珠江水利科学研究院、珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室地处珠江三角洲河口地区。珠江三角洲地区面积 1.1 万 km^2 ，GDP 占全国约 10%，是我国重要的战略经济圈，经济地位举足轻重，毗邻香港、澳门，政治地位十分敏感。珠江河口是一个多区复合、多场耦合、人类活动干扰强烈的复杂系统，具有“三江汇流、网河密布，八口入海，整体互动”的特点，与国内外河口相比，珠江河口水系结构、口门形态、河口动力过程的复杂程度世所罕见。珠江水利科学研究院、珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室科研人员在围绕着珠江流域规划中的问题开展科学研究的同时，重点对有关珠江河口治理开发中提出的问题进行研究，开展了大量有关珠江河口治理开发的研究工作。提出了以“喇叭形”“一主一支”“固滩塑槽，束水攻沙”等水沙控导为核心的多目标综合治理技术，在河口综合治理方面取得了一定的成效。随着时代的变迁，河口治理的新问题也不断出现，如海平面上升、河口的水生态环境变化、河口形态的调控和长期监测等，同时河口地区经济社会高速发展迫切需要协调河口治理开发和保护的关系，保障河口防洪、供水、水生态环境安全，合理调控河口形态变化、科学利用河口滩涂以促进地区可持续发展和环境保护。

DAVID PRANDLE 是威尔士大学海洋学院 (University of Wales' School of Ocean Sciences, Bangor) 的名誉教授，DAVID PRANDLE 编著的《河口动力学及形态学》一书共分为 8 章，分别围绕潮汐动力、潮流、咸潮入侵、泥沙情势、同步河口 (动力学、咸潮入侵与测深学)、同步河口 (泥沙捕获与分选-

稳定形态学)、可持续发展战略等几个方面展开论述,通过诠释河口系统中水沙盐等物质输移过程机理,确定关键的研究问题、理论、模拟和观测方法,推导实用的理论经验公式开展计算,预测未来河口形态的发展,通过定量的计算分析为河口的治理提供决策支持,并将世界不同河口进行对比分析,考虑长期气候变化影响,为河口管理者提供监测、治理方案。本书译者通过对原著《Estuaries Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology》的学习,认为该书以全新的视角,深入浅出、通俗易懂,在河口的水动力、泥沙变化规律、咸潮上溯机理、河口形态学、河口变化监测方法等方面提供了严密的理论推导和丰富的实践案例,因此,希望通过对该书的翻译,可为我国河口动力学、河口管理、河口生态等领域的研究人员、工程人员、管理人员提供全新的综合理论参考和借鉴。

在翻译和统稿过程中,得到了珠江水利科学研究院王现方、徐峰俊、吴小明、陈荣力等专家的热情指导,得到了水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室邓家泉、余顺超、何用、邹华志等专家的关心和支持,另外,本书也得到了中国水利水电出版社、剑桥大学出版社、中山大学的大力支持和帮助。在此,本书翻译人员向所有支持和帮助我们的领导、同事以及其他相关人员表示最由衷的感谢和敬意。

由于时间仓促、水平所限,书中译文难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。联系邮箱:14908381099.com。

译者

2016年11月

符 号 说 明

A	横截面面积
B	河道宽度
C	悬浮浓度
D	水深
E	垂向涡流黏性系数
E_X	潮程长度
F	线性河床摩擦系数
	无量纲摩擦项
H	总水深 $D + \zeta$
I_F	泥沙填充时间
J	无量纲河床摩擦参数
K_Z	垂向涡流扩散系数
L	河口长度
L_I	咸潮入侵距离
L_M	谐振河口长度
M_2	主太阴半日潮汐分潮
M_4	M_2 的 M_6 二级潮
MS_4	M_2 和 S_2 的 MS_t 二级潮
P	潮汐周期
Q	径流
R_1	理查逊数
S_R	斯特劳哈尔数 $U \times P/D$
S_c	施密特数 (K_Z/E)
S_t	分层数
S_X	相对轴向盐度梯度 $1/\rho \quad \partial\rho/\partial x$
S	无量纲盐度梯度
SL	轴向河床坡度
SP	河口间距
T_F	冲刷时间
U	轴向潮流
U^*	潮流振幅

余流组分:

U_0 径流量

U_s	密度流
U_w	风生流
V	侧向潮流
W	垂向潮流
W_s	泥沙沉降速率
X	轴向
Y	侧向
Z	垂向
c	波速
d	粒径
f	河床摩擦系数 (0~0.0025)
g	重力常数
i	$(-1)^{1/2}$
	表(水)面坡度
k	波数 ($2\pi/\lambda$)
m	轴向深度变化指数 (x^m)
n	轴向宽度变化指数 (x^n)
s	盐度
t	时间
t_{50}	悬浮泥沙半衰期 ($\alpha/0.693$)
y	与口门间的无量纲距离
z	$=Z/D$
α	指数沉积率
	指数深度变化 ($e^{\alpha x}$)
$\tan\alpha$	边坡坡度
β	指数悬浮泥沙剖面
	指数深度变化 ($e^{\beta x}$)
γ	泥沙侵蚀系数
ϵ	混合效率 ($B/2D$)
ζ	表面高程
ζ^*	潮位振幅
θ	相对 U^* 的 ζ^* 相位提前
λ	波长
ν	漏斗效应参数 $(n+1)/(2-m)$
π	3.141592
ρ	密度
σ	频率
τ	应力

φ	纬度
φ^E	势能异常
ψ	椭圆方向
ω	潮汐频率 ($P/2\pi$)
Ω	科氏参数 ($2\omega_s \sin\varphi$)

说明：上述符号中，* 表示潮幅；— 表示深度平均；0 表示余流；1D、2D、3D 表示一维、二维、三维；为与参考文献一致，其他标记偶尔会用到，其解释详见出现之处。



目 录

作者简介

译者序

符号说明

1 引言	1
1.1 目标与内容范围	1
1.1.1 过程	1
1.1.2 历史演变	2
1.2 挑战	2
1.2.1 科技进展	2
1.2.2 关键问题	3
1.3 内容	4
1.3.1 顺序	4
1.3.2 潮动力	4
1.3.3 潮流	4
1.3.4 咸潮入侵	4
1.3.5 泥沙情势	6
1.3.6 同步河口：动力学、咸潮入侵和测深学	7
1.3.7 同步河口：泥沙捕获和分选-稳定形态学	8
1.3.8 可持续发展战略	8
1.4 模拟与观测	9
1.4.1 模拟	9
1.4.2 观测	10
1.5 公式和理论框架小结	11
附录 1A	12
1A.1 潮汐的形成	12
1A.2 不旋转的地球	13
1A.3 旋转地球	13
1A.4 赤纬	14
1A.5 椭圆轨道	14
1A.6 太阳引力和月球引力的相对大小	14

1A.7 平衡成分	14
1A.8 旋转潮波	14
1A.9 月分潮、双周分潮和 1/4 分潮	14
参考文献	15
2 潮汐动力学	17
2.1 引言	17
2.2 运动方程	17
2.3 河口局部潮汐响应	19
2.3.1 线性解	19
2.3.2 同步河口解	20
2.4 河口整体潮汐响应	23
2.4.1 宽度和深度随距离 X 的幂值发生变化 (Prandle 和 Rahman, 1980 年)	23
2.4.2 深度和宽度呈指数形式变化 (Hunt, 1964 年; Prandle, 1985 年)	25
2.5 二次摩擦项的线性化	27
2.5.1 单组分	27
2.5.2 双组分	27
2.5.3 三角横截面	28
2.5.4 Q 因子 (Garrett 和 Munk, 1971 年)	28
2.6 高次谐波和余流	29
2.6.1 三角法	29
2.6.2 潮汐方程中的非线性项	30
2.6.3 退潮-涨潮的不对称性	31
2.7 风暴潮-潮汐的相互作用	31
2.8 小结及应用指导	32
参考文献	33
3 潮流	36
3.1 引言	36
3.1.1 对流项	37
3.1.2 密度梯度	37
3.1.3 风场作用	37
3.1.4 方法	37
3.2 二维潮流结构 ($X-Z$)	38
3.2.1 二维解析解	38
3.2.2 与观测值的比较	39
3.2.3 涡流黏度公式, 斯特罗哈数 (Strouhal number)	40
3.3 三维潮流结构 ($X-Y-Z$)	42
3.3.1 潮汐椭圆的顺时针分量和逆时针分量	43

3.3.2	三维解析解	43
3.3.3	对摩擦系数和涡流黏度的敏感性	44
3.3.4	对纬度的敏感性	45
3.3.5	从水面到河床的潮流椭圆变化	47
3.3.6	潮间带的海流	48
3.4	余流	48
3.4.1	风生流	48
3.4.2	潮汐余流	49
3.5	小结及应用	51
附录 3A		52
3A.1	潮流椭圆	52
附录 3B		53
3B.1	湍流模型	53
参考文献		54
4	咸潮入侵	57
4.1	引言	57
4.1.1	分类体系	57
4.1.2	河口混合	59
4.1.3	目前的方法	60
4.2	潮流结构: 径流、混合和分层咸潮入侵	61
4.2.1	径流 Q 的潮流结构	61
4.2.2	充分混合条件下水平密度梯度的潮流结构	62
4.2.3	双层密度情势下的潮流结构	63
4.2.4	表层恒定风力 τ_w 时的潮流结构	64
4.2.5	垂向盐度结构的时间平均值 (混合型)	65
4.2.6	小结	65
4.3	咸潮入侵距离	65
4.3.1	试验推导	65
4.3.2	根据速率组分的推导结论	66
4.3.3	分层“盐水楔”的入侵距离	66
4.3.4	咸潮入侵距离的均值 L_I	67
4.3.5	咸潮入侵的轴向位置	68
4.4	潮汐张力和对流倾覆	69
4.4.1	混合率	70
4.4.2	模拟方法 (Prandle, 2004 年)	70
4.4.3	模型组成	71
4.4.4	模拟结果	71

4.4.5	不同河口条件下的模型应用	72
4.4.6	混合过程	75
4.5	分层	75
4.5.1	流量比 F_R	75
4.5.2	所需能量和时间	76
4.5.3	理查逊数 (Richardson number)	76
4.5.4	分层数	76
4.5.5	垂向盐度差	77
4.6	小结及应用	77
附录 4A		79
4A.1	年温度周期	79
4A.2	海面热量交换	80
4A.3	垂向混合水体的解析解	81
4A.4	大气-海洋耦合模型	82
4A.5	大气模型——太阳能入射、反射、吸收和辐射	83
4A.6	全球通用表达式	84
参考文献		86
5	泥沙情势	89
5.1	引言	89
5.1.1	沉积动力学	89
5.1.2	模拟	89
5.1.3	方法	90
5.2	侵蚀	91
5.2.1	大小潮周期	91
5.2.2	浅水断面的侵蚀量	92
5.2.3	对流效应	93
5.3	沉积	93
5.3.1	对流沉降和湍流悬浮 (佩克莱特数)	93
5.3.2	底部边界条件	93
5.4	悬沙浓度	94
5.4.1	泥沙浓度分布的时间序列	94
5.4.2	指数沉积、悬浮泥沙的半衰期 (t_{50})	95
5.4.3	悬浮泥沙的垂向分布	96
5.5	连续潮流周期中的悬浮泥沙时间序列	97
5.6	悬浮颗粒物 (SPM) 的实测和模拟时间序列	98
5.6.1	观测技术	98
5.6.2	实测时间序列	99

5.6.3	模拟时间序列	100
5.7	小结及应用	102
5.7.1	泥沙悬浮	103
5.7.2	沉积	103
5.7.3	SPM 的潮汐谱	103
附录 5A		104
5A.1	泥沙悬浮的解析表达式	104
5A.2	扩散方程	104
5A.3	解析解	105
5A.4	表层 ($z=1$) 边界条件	105
5A.5	河床边界条件 ($z=2、4、6$ 等)	106
参考文献		107
6	同步河口：动力学、咸潮入侵与测深学	109
6.1	引言	109
6.2	潮汐动力学	109
6.2.1	同步河口法	109
6.2.2	一维动量、连续方程的解析解 (Prandle, 2003 年)	110
6.2.3	潮流、河口长度和深度剖面的显式公式	111
6.2.4	河床摩擦系数的敏感性 (f)	112
6.2.5	同步河口的筛选率	112
6.3	咸潮入侵	113
6.3.1	分层水平和冲刷时间	113
6.3.2	混合区位置, 与径流量有关的余流	114
6.4	河口测深学：理论	115
6.4.1	潮汐动力与分层影响的形态带	115
6.4.2	河口水深：径流流量的函数	116
6.5	河口测深：对观测值的理论评估	117
6.5.1	数据分析	119
6.5.2	形态理论与观测	119
6.5.3	河口正常运转的最小水深和流量	120
6.5.4	河口间距	121
6.6	小结及应用	121
参考文献		123
7	同步河口：泥沙捕获与分选-稳定形态学	125
7.1	引言	125
7.1.1	研究进展	125
7.1.2	研究方法	126

7.2 潮动力、咸潮入侵和径流	128
7.2.1 一维潮汐扩散解析解	128
7.2.2 咸潮入侵	129
7.2.3 径流	129
7.3 泥沙动力学	129
7.3.1 泥沙悬浮、侵蚀、沉积及其垂直剖面	130
7.4 泥沙浓度及其通量的分析模拟器	131
7.4.1 侵蚀速率组分	131
7.4.2 悬浮泥沙质量	131
7.4.3 净泥沙通量	132
7.5 净泥沙通量中各组分的贡献	133
7.5.1 泥沙通量组分: 径流量、盐度和潮流	133
7.5.2 零净泥沙通量的条件	135
7.5.3 对沉降速率 W_s 的敏感性	136
7.5.4 对河床摩擦系数 f 和沉降速率 W_s 的敏感性	136
7.6 泥沙的输入或输出	137
7.6.1 对于半衰期 t_{50} 和潮位、潮流间相位差 θ 的敏感性	138
7.6.2 泥沙捕获与最大浑浊带	139
7.6.3 关于潮汐动能学	139
7.7 河口类型学	140
7.7.1 测深学	140
7.7.2 泥沙情势	141
7.8 小结及应用	142
7.8.1 各组分贡献和敏感性分析	143
7.8.2 零净泥沙通量条件 (即测深稳定)	143
7.8.3 泥沙净输入-输出变化: 小潮到大潮、粗颗粒泥沙到细沙、口门到 河口顶点	143
7.8.4 类型体系	144
参考文献	144
8 可持续发展战略	147
8.1 引言	147
8.2 默西河口 (Mersey Estuary) 的模型研究	147
8.2.1 默西河 (The Mersey) 的潮汐动力、泥沙组成和地形演变	148
8.2.2 模拟方法	150
8.2.3 非黏性泥沙的拉格朗日随机游走颗粒模块	151
8.2.4 沉降速率模拟, $W_s=0.005\text{m/s}$ 和 0.0005m/s	151
8.2.5 对泥沙粒径的敏感性	153

8.2.6 对模型参数的敏感性 155

8.2.7 小结 156

8.3 全球气候变化（GCC）的影响 157

8.3.1 潮汐和涌浪高度的影响 157

8.3.2 测深调整 158

8.3.3 2100 年平均海平面（*msl*）和径流量的变化：深度、宽度和长度变化 159

8.3.4 对潮流、分层、盐度、冲刷和泥沙的影响 160

8.4 建模、观测和监测方法 160

8.4.1 建模 160

8.4.2 观测 160

8.4.3 监测 161

8.5 总结及应用 161

8.5.1 挑战 161

8.5.2 模拟案例分析 162

8.5.3 战略规划 162

8.5.4 全球气候变化（GCC）的影响 163

附录 8A 163

8A.1 业务化海洋学 163

8A.2 预测、临近预报、后报和数据同化 163

8A.3 模型更新换代 164

8A.4 预报 165

参考文献 165