

HEKOU XIANCHAOHUODONG JIQI HUANJING YINGXIANG
ZHUJIANGKOU XIANCHAOSHANGSUWENTI YU DUICE



河口咸潮活动及其环境影响

——珠江口咸潮上溯问题与对策

郭振仁 袁丽蓉 编著

中国环境科学出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

河口咸潮活动及其环境影响 ——珠江口咸潮上溯问题与对策

郭振仁 袁丽蓉 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

河口咸潮活动及其环境影响: 珠江口咸潮上溯问题与对策/
郭振仁, 袁丽蓉编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.6
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)

ISBN 978-7-5111-0796-1

I. ①河… II. ①郭…②袁… III. ①珠江—河口—盐水
入侵—环境影响—研究 IV. ①P641.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 244175 号

广东省国土资源厅地图审核通知书 审图号: 粤S (2012) 026号。

责任编辑 丁莞歆 黄 颖
责任校对 尹 芳
封面设计 何 为

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (科技标准图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 6 月第 1 版
印 次 2012 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 9.75 插图 3
字 数 221 千字
定 价 25.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

《河口咸潮活动及其环境影响——珠江口咸潮上溯问题与对策》

编委会

主 编：郭振仁 袁丽蓉

参加编写人员：刘明清 邓家泉 程香菊 黄道建
周 雯 苏 波 綦世斌 陈清华
王世俊 詹 威 丁晓英

参加工作人员：覃超梅 姜国强 陈泰锦 彭海君
吴小明 赵文谦 于锡军 包 芸
喻丰华 陈荣力 赵 肖 廖 岩
罗 杰 侯 棚 罗莹莹 林国旺

总 序

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长



2011 年 10 月

前 言

在河口河段,含盐的海水在一定条件下(特别是枯季)侵入河道是一种正常的自然现象。河口长期演变的一般规律是:随着河口三角洲的不断延伸,海水入侵的界限(咸水线)也不断后退。然而,自20世纪90年代中期以来,在珠江河口出现咸潮异常上溯的现象,给区域的居民生活和工农业生产带来了巨大的不利影响,人们也有理由怀疑其是否会对区域的生态环境带来改变。这一问题引起了各方面的高度重视。鉴于此,环境保护部、科技部、财政部支持和资助了公益性行业科研专项《珠江口咸潮上溯环境影响与控制技术途径研究(200709049)》,目的是掌握珠江口咸潮活动的规律,查清咸潮上溯的环境影响,并提出应对和控制咸潮上溯的对策措施。项目组由环境保护部华南环境科学研究所牵头,水利部珠江水利委员会珠江水利科学研究院和中山大学协作。在3年的时间里,项目组开展了大量的野外现场调研和监测、数学模拟和室内实验,得出了一批重要成果,向有关政府部门提出了一系列建议。

咸淡水在河口地区的混合是一个十分复杂的水动力学问题。在前述科研项目取得的成果的基础上,本书的编写者又用了近一年的时间进行了较深入的理论梳理和补充研究,并将书中纳入了国家自然科学基金项目“河口表面浮力射流和盐淡水混合研究(50709046)”的部分成果,以期使本书既有一定的理论价值又有对实际问题的回答,从而对关心咸潮上溯问题的各方面读者有一定参考价值。本书第1章归纳了不同类型河口对应的咸潮活动的一般特点;第2章介绍了咸淡水混合的一般动力学机制及咸潮运动数学模拟方法;第3章集中总结了珠江口咸潮活动的主要规律;第4章初步分析了珠江口咸潮反常上溯的可能原因;第5章介绍了珠江口咸潮上溯对区域地表水与地下水水质、土壤与生态

环境影响的监测与调研结果；第6章讨论了多种应对和控制珠江口咸潮上溯问题的工程技术与管理措施及其对比。

值此书出版之际，我们衷心感谢环境保护部科技标准司对我们工作的大力支持和鼓励，特别是赵英民、刘志全、禹军、王泽林、陈胜、李义、尹改、王业耀、贾立敏、李玉梁、单保庆等领导 and 专家的指导和帮助。感谢珠海市水务集团的有关单位和同志的无私帮助，特别是方晔、王杭州、吴红、陈泽颖等领导和有关技术人员的热情支持和协助。

由于河口区咸淡水混合过程的高度复杂性，再加上珠江河口形态的超级复杂性，仅凭现有的研究远远不能全面掌握珠江口及三角洲河网中咸潮活动及其环境影响的全貌，本书所见不过一鳞一爪而已，如有偏颇，敬请读者指正。

编者

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 河口咸潮活动	1
1.2 河口类型与咸潮活动的关系	2
1.3 咸潮运动的研究方法	8
1.4 珠江口咸潮上溯问题	11
第 2 章 咸潮运动的动力学机制和咸潮入侵模型	13
2.1 密度环流	13
2.2 潮汐驱动	17
2.3 混合作用	18
2.4 高度分层的盐水入侵模型	18
2.5 一维潮流平均模型	21
2.6 二维咸潮入侵模型	23
2.7 河口系统的响应时间	27
2.8 三维非稳态模型	28
2.9 珠江三角洲咸潮三维模型	40
第 3 章 珠江河口咸潮运动规律	57
3.1 珠江河口概述	57
3.2 各控制因子对珠江口咸潮的影响	58
3.3 珠江口咸潮运动规律	73
第 4 章 珠江河口咸潮上溯的成因	87
4.1 珠江河口咸潮的历史演变	87
4.2 珠江河口咸潮上溯加剧的成因	89
第 5 章 珠江河口咸潮上溯的环境影响	94
5.1 咸潮上溯对河道水质的影响	94
5.2 咸潮上溯对地下水的影响	100
5.3 咸潮上溯对土壤环境的影响	106
5.4 咸潮上溯对植物群落的影响	109

5.5 咸潮上溯对工农业生产的影响	111
第6章 咸潮上溯控制技术	115
6.1 避咸偷淡	115
6.2 引蓄结合	122
6.3 调水压咸	122
6.4 截挡拒咸	127
6.5 河涌整治	137
6.6 流域生态保护及资源综合管理	137
6.7 各种措施的比较	139
参考文献	140

第 1 章 概 论

河口是河流与受纳水体的结合地段。根据受纳水体的不同,河口可分为入海、入湖、入库和支流河口等。入海河口与其他河口的显著不同在于入海河口是一个半封闭的海岸水体,与海洋自由沟通,受强烈的海洋动力作用;陆域来水与海水存在密度差,在河流动力和海洋动力的作用下形成咸潮这一独特的入海河口现象。

河口地区水源丰沛、物产丰富、交通方便,自古就是人口密集、经济文化发达的地区,因此对河口的研究和治理由来已久,并在近代得到了长足发展。早在公元前 5 世纪,古希腊已有许多有关河口的记载。18 世纪末期,出现了关于三角洲的系统论述。20 世纪 30 年代, R.J.拉塞尔出版了河口方面的重要专著《密西西比三角洲》;50 年代初期, И.В.萨莫伊洛夫出版了综合系统性的河口专著《河口》, H.M.施托梅尔和 D.W.普里查德等在河口的盐淡水混合、河口潮汐动力学等方面做了大量研究,获得了大量研究成果; A.T.伊彭主编的《河口海岸动力学》和 G.H.劳夫主编的《河口学》,反映了 60 年代的河口研究水平; K.R.戴尔在 1973 年著的《河口学物理导论》和 C.B.奥菲瑟在 1976 年著的《河口及毗邻海域的物理海洋学》, H.B. Fischer 等在 1979 年出版的《内陆和近岸水体的混合》反映了 70 年代河口研究的水平;近年在河口方面的专著主要有 1995 年出版的 K. R. Dyer 的《河口沉积物的传输过程》, 2005 年出版的 H.G.Savenijie 的《平原河口的盐与潮》, 2009 年出版的 Peter Nielsen 的《近岸河口过程》等^[1-9]。

中国的入海河口众多,类型复杂。古代有河口记载的文献,尤其是地方志,极其丰富。东汉的王充,早在公元 1 世纪就已科学地解释过钱塘江涌潮的成因。在护岸防灾方面,中国从开发海岸平原资源以来就已有工程措施,有文字记载的始于公元 3 世纪。修建于唐代的它山堰,是中国古代河口御咸蓄淡引水灌溉枢纽工程,与郑国渠、灵渠、都江堰合称为中国古代四大水利工程,至今仍在发挥作用。1950 年来,围绕河口的开发和治理,对长江、黄河、珠江、钱塘江等大河的河口,开展了较系统的观测、调查和研究,并进行了不同规模的治理。这不仅解决了河口治理中的一些实际问题,而且对河口的拦门沙、冲刷槽、分汊潮波变形和环流等一些理论问题的研究,也取得了很大进展^[9-24]。

对河口的研究手段也在不断改进,水工模型和数学模型已被广泛应用,遥感遥测等新技术也已开始应用于河口的研究。

1.1 河口咸潮活动

海洋系统的盐度比较稳定,海岸附近受陆地降水和沿岸流等影响,盐度会有季节性的波动,一般为 20~30 PSU (PSU: 国际标准盐度单位)。海水在潮汐驱动下进入河口

后与河流下泄的淡水发生混合，盐度逐渐减小。河口盐度 S 为 $0.5 \sim 30$ PSU，当含盐度低于 0.5 PSU 时，已不影响农作物的生长，当盐度低于 0.25 PSU 时可以作为饮用水源，所以将盐度为 0.5 PSU 或 0.1 PSU 的地方作为咸水界（图 1.1）^[25]。

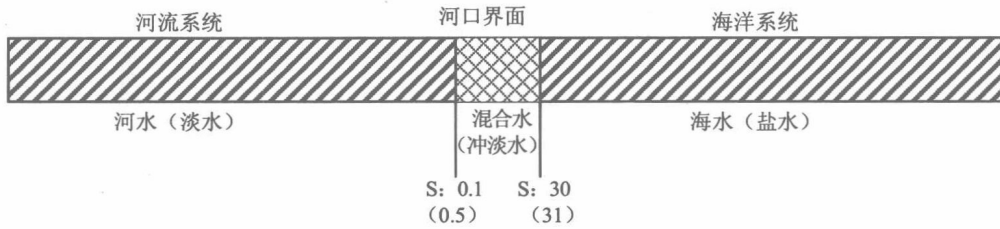


图 1.1 河口盐度划界

咸水界随着潮汐涨落和径流量变化在河口段一定范围内运动，称为咸潮。不过，本书所指的咸潮还不同于潮汐所致的咸水界的运动，而是泛指在任何能够引起河口盐淡水混合特性发生变化的外力作用下，河口盐度分布发生变化，并引起咸水界位置发生变化的过程。

影响河口盐淡水混合特征的因素很多。主要因素有河口几何形状（包括在垂向上的深度，在水平上的断面宽度），淡水流速和潮流速度等。不同的河口形状下，同样的径流量会形成不同的流速；相同的外海潮差会在口门以内形成不同的潮流变化，即使是同一地区相同流量级别的河口，其河口水体运动特性也可能差别很大，具体表现为盐淡水分层不同，潮程幅度不同，盐度沿程变化不同，咸界离口门的距离不同等。在同一河口，径流量大的洪季，咸界向海逼近，径流量小的枯季，咸界向河流系统逼近。潮差变化使得潮流速度发生变化，一方面改变了盐淡水的分层特性，另一方面也改变了水质点在一个潮汐过程沿河道的运动距离，从而影响咸界位置。各种影响因素的作用综合在一起，使得咸潮表现出复杂的运动特点^[25-30]。下面针对不同类型的河口来讨论咸潮活动特点及其与各种影响参数的关系。

1.2 河口类型与咸潮活动的关系

河口和与之相连的海洋、河流都是重要的水生态系统，但是它们存在很多差别，有着各自独特的性质，Savenije^[3]描述了海洋、河流和介于这两者间的河口存在的差别（表 1.1）。不同的学者从不同角度，例如从海洋学、地理学、潮汐特征、盐淡水分层特性等对河口进行了分类研究^[3, 5, 31, 32]。

1.2.1 按海洋-河流动力学划分的河口类型及其与咸潮活动的关系

海洋学根据动力条件和地貌形态的差异，一般把河口分为河流近口段、河口段和口外海滨。河流近口段以河流特性为主，口外海滨以海洋特性为主。苏联学者萨莫伊洛夫在 1952 年提出河口向海洋的边界应在河流最终消失了活力的地方，也就是河流泥沙造成的沿岸浅滩的外边界；向河流的边界应在海洋动力完全消失的地方，也就是由潮汐或增水引起的水位变化影响消失的某个断面。河口段的河流因素和海洋因素则强弱交替地相互作用，

有独特的性质。不同河口因为径流动力和海洋动力的强度比不同表现出不同的特性。表 1.2 给出了美国河口海洋学家 D.W.Pritchard 在 1967 年按照河口海洋动力和径流动力强弱关系给出的河口分类及其盐淡水混合特点^[6]。从表中我们可以看到不同动力和地形条件下，河口的混合能力差别很大。以径流为主导作用力的河口混合能力低，容易在垂向上形成分层，而以潮汐为主导作用力的河口，垂向混合均匀。同时因为盐度分布会影响沉积物絮凝特性的变化，进而影响水体浑浊度和营养物质含量，从而对生物多样性产生影响。

表 1.1 海洋、河口和径流的特性

类别	海洋	河口	径流
形状	盆状体	喇叭形	棱柱形
主要水力学功能	贮存	储存和传输	传输水和沙石等沉积物
流向	没有一定的方向	双向流动	单向（向河流下游方向）
底部坡度	没有确定的坡度	很小的朝向海洋的坡度	朝向海洋的坡度
盐度	盐水	冲淡水	淡水
波浪类型	驻波	混合波	传输波
生态类型	营养贫乏海洋生态系统	营养高度丰富，高生产率 物种多样性丰富	营养丰富 河流生态系统

注：此表基于 Savenije, 2005。

表 1.2 河口的海洋学分类

河口类型	主导作用力	宽深比	混合能力	混合指数 ^(*)	盐度梯度
A	径流	低	低	≥ 1	纵向和垂向
B	径流、潮汐	中等	中等	$< 1/10$	纵向、垂向和侧向
C	潮流、风	高	高	$< 1/20$	纵向、侧向
D	潮流、风	非常高	非常高	—	纵向
河口类型	浑浊度	底部稳定性	生物多样性	举例	
A	非常高	差	低	Mississippi	
B	中等	好	很高	Tames, Mersey	
C	高	一般	高	Delaware Bay	
D	高	差	中等	—	

注：本表基于 Pritchard, 1967。

(*) $I_M: (Q_T T) / (2P_t)$, Q_T 、 T 和 P_t 分别表示径流量。

1.2.2 按潮汐特征划分的河口类型及其咸潮活动特点

按潮汐来划分河口类别一般有两种不同的方法：一种是按照潮汐的振动幅度，另一种是按照潮波的传播特性。

按照潮汐的振动幅度来划分河口类别的观点认为潮差和径流控制河口的混合类别以及环流和盐度的分布。潮差基本上能够反映河口的类别^[8]。表 1.3 给出了基于潮汐的振动幅度划分的河口类型及其盐淡水混合特征。但是，这种方法并不是很好的方法，尤其是潮差比较小的河口，很多潮差小于 2m 的河口并不是如表 1.3 所说的高度分层，而是部分混合或者混合均匀，比如珠江的虎门和黄茅海河口以及冈比亚的 Gambia 河口。

表 1.3 按照潮汐振动幅度对河口进行分类

名称	潮汐振动幅度/m	特征	举例
微幅潮汐河口	<2	大多情况下高度分层	Mississippi, Icefjord
小幅潮汐河口	2~4	部分混合	Mae Klong, Mekong, Lalang, Columbia
中幅潮汐河口	4~6	混合均匀	Thames, Mercey, Tees, Delaware, Pungue
大幅潮汐河口	>6	混合均匀	Seine, Somme, Severn, Bay of Funday

注：此表基于 Hayer, 1975。

按照潮波传播特性来划分河口类型的观点认为潮波与河口地形相互作用形成不同河口的潮差和潮流，因为地形影响，同一河口在不同位置的潮差潮流也会不同。通过分析潮幅的空间变化，Nichols 和 Biggs (1985) 将河口分为超同步河口（潮幅从口门向上游先增大再衰减）、同步河口（潮幅无明显衰减）、低同步河口（潮幅衰减）^[1]。Dyer (1995) 提出在理想河口，由于摩擦引起的能量损失通过河岸收缩的能量汇聚来平衡，使得潮幅沿河口轴线在一定范围内基本保持不变。在超同步的河口，潮幅沿河口是增加的，显然这种增加不会是无限制的，在上游某个地方摩擦会变成主导力量，潮幅趋于衰减。而在低同步的河口，摩擦力大于河岸的汇聚作用，导致潮幅向上游持续衰减^[2, 4, 33-36]。表 1.4 给出按照潮波传播特性来划分的河口类型。对于放大型河口，因为能量汇聚大于摩擦损失，潮波动力在一定范围内沿程增加，混合动力增强，有利于盐淡水混合。相反，衰减型河口能量汇聚小于摩擦损失，潮波沿程衰减，容易在口门内部形成分层。

表 1.4 按照潮波传播特性的河口分类

名称	特性	原因	举例
放大型河口 (超同步河口)	向上游潮汐幅度增加直到 径流动力占优	能量汇聚>摩擦损失	Thames (英国), Seine (法国), Humer (美国)
理想河口 (同步河口)	在河口段潮汐幅度基本保 持不变	能量汇聚=摩擦损失	Elbe (德国), Delaware (英国), Gambia (冈比亚)
衰减型河口 (低同步河口)	向上游潮汐幅度持续衰减	能量汇聚<摩擦损失	Mekong (越南), Pungue (莫桑比克)

注：此表基于 Dyer, 1995。

1.2.3 按照盐淡水分层划分河口类型

许多河口学家按照河口分层特性来划分河口类别^[7, 37]，因而这可能是最常见的一种对河口进行分类的方法，因为它最能体现河口的物理特性。这种分类的优点是它能够帮助理解河口环流的产生机理，判别河口环流强度，从而更好地认识河口的盐度分布。

两种不同密度的水体的混合过程有 3 种类型：

(1) 弱混合型（高度成层型）。咸淡水间有明显分层现象，淡水在咸水的上层下泄，如图 1.2 (a) 所示。此时在交界面上产生的剪切力与咸水密度坡降之间保持平衡，使咸水呈楔状侵入河口。这种情况称为盐水楔异重流或成层型异重流。

(2) 缓混合型。咸水和淡水不存在明显的交界面，水平方向和竖直方向上都存在密度

差, 虽然不出现上下明显分层现象, 但是盐度等值线以类似盐水楔的形状伸向上游, 如图 1.2 (b) 所示。

(3) 强混合型。咸淡水充分混合, 在垂直方向上几乎不存在密度梯度, 而水平方向却有明显的密度梯度, 盐度等值线几乎垂直, 此时不存在盐水楔, 如图 1.2 (c) 所示。

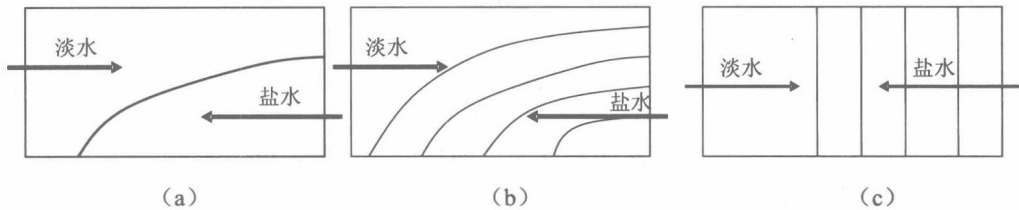


图 1.2 盐淡水混合示意图

表 1.5 给出按照河口盐淡水混合过程和分层特征来划分河口的方法, 需要指出的是一个给定的河口在不同的季节因为径流量的变化可能表现出不同的分层特性, 比如在夏季是分层的, 而在枯季却混合均匀; 在河口的不同区段也会表现出不同的混合特性, 比如在河口下段是混合均匀的, 在中段出现分层; 在潮汐的半月变化过程中因为潮差变化也可能表现出不同的混合特性, 甚至在一天内的潮汐变化中, 混合特性也会发生变化。上述这种盐淡水混合特征在某些河口可能随时间和空间不断变化的现象, 会导致按照这个方法划分的河口类型陷入不确定, 是这种方法的不足。

表 1.5 基于分层特性的河口分类

名称	特性	举例
高度分层或盐水楔型河口	上下两层, 上层淡水, 下层盐水	Mississippi (美国), Mekong (越南, 在洪季时)
峡湾	分成三两层, 上层淡水, 中间过渡层, 底层盐水	Silver Bay (美国)
部分混合型河口	水平和垂向盐度都有盐度梯度, 逐步变化	Mersey (英国), Columbia (美国), Rotterdam Waterway (荷兰)
均匀混合型河口	垂向上基本没有盐度变化	Mekong (越南, 在枯季), Pungue (莫桑比克), Elbe (德国), Scheldt (荷兰)

注: 此表基于 Dyer, 1997。

从上述河口分类中可以看出径流和潮汐是驱动河口咸潮的主要动力。河口分层是海水和淡水的密度差造成的。由潮汐提供的动能会减弱分层, 而由径流提供的势能会加强分层。可以基于学者们定义的表征河口特征的一些无量纲参数的具体量值来对河口作定量分类, 这些参数主要有山潮比 N , 河口 Richardson 数 N_R , 河口数 E_D 。

由 Simmons^[38]提出的山潮比实际上是一个潮周期内淡水流量和进潮量之比:

$$N = \frac{Q_f T}{P_i} \quad (1-1)$$

式中: Q_f ——河流流量, m^3/s ;
 T ——潮汐周期, s ;
 P_t ——潮棱体体积, m^3 。
 Savenije^[39]定义:

$$P_t = EA \quad (1-2)$$

$$E = \frac{u_t T}{\pi} \quad (1-3)$$

式中: E ——潮程, 是水流质点在落憩到涨憩之间移动的距离, m ;
 A ——河口断面面积, m^2 ;
 u_f ——河流流速, m/s ;
 u_t ——潮流速度幅值, m/s 。
 所以山潮比又可以表示为:

$$N = \pi \frac{u_f}{u_t} \quad (1-4)$$

Fisher^[5]提出“河口 Richardson 数”:

$$N_R = \frac{\Delta\rho g Q_f}{\rho B u_t^3} = \frac{\Delta\rho g h_0 u_f}{\rho u_t^3} = \frac{N}{\pi F_D^2} \quad (1-5)$$

式中: B ——河口断面宽度, m ;
 h_0 ——河口口门处的水深, m ;
 $\Delta\rho$ ——海水和河水的密度差, kg/m^3 ;
 ρ ——淡水的密度, kg/m^3 ;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 F_D ——河口内部 Froude 数。

$$F_D = \frac{u_t}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g h_0}} \quad (1-6)$$

Thatcher 和 Harleman^[40]提出了“河口数”的定义:

$$E_D = \frac{1}{\pi} \frac{\rho u_t^3}{\Delta\rho g h_0 u_f} = \frac{F_D^2}{N} \text{ 或 } E_D = \frac{1}{\pi N_R} \quad (1-7)$$

对比这三个参数可以看出, 尽管其表达方式略有不同, 但是表征的都是径流和潮流之间的关系, 后两个参数将口门处的密度也加以考虑。表 1.6 给出了河口分层状况和对应的河口参数量值的关系。