

# 中国南方 河口过程与演变规律

■ 李春初 等著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 中国南方河口过程与演变规律

李春初 等著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书汇集了作者对我国南方最大河口——珠江河口及其他一些独流入海的中、小型河口的研究成果。内容涉及河口、三角洲问题的诸多方面,包括河口性质、范围、分段、类型及功能行为,河优型河口、河一波型河口、波优型河口、潮汐水道和潮优型河口、废弃型河口等不同类型河口的特性,河口陆架水入侵沉积动力作用与盐淡水混合,现代河口三角洲演变过程及其反映的陆海相互作用,珠江河口泥沙、河网特征与河床演变以及珠江三角洲沉积发展与沉积类型等问题。此外,还有珠江河口保护、利用及治理相关问题的讨论。这是一部反映我国南方河口研究进展的学术论著。

本书适于地理、地质、海洋、环境、水利和交通等部门的科研与管理人员以及高等院校相关专业的师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国南方河口过程与演变规律/李春初等著. —北京:科学出版社, 2004  
ISBN 7-03-014035-4

I. 中… II. 李… III. 河口—研究—中国 IV. P343.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 077193 号

责任编辑:吴三保等/责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年9月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2004年9月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—1 500 字数: 368 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

## 序

进入 21 世纪,国家提倡以求真务实精神,用科学发展观研究事物,并鼓励努力创新。近年即喜闻南方地貌学界同仁新说新论不断,如刘尚仁教授对珠江水系阶地的研究,能做到系统、定量地测定各级阶地的绝对年代,指出区内不存在第四纪冰川;黄进教授更由各阶地高差与年代之比求出陆地上升的年平均速度,使丹霞地貌研究进入到定量分析的新阶段,即丹霞地貌发育的年龄和岩壁后退的速度已可测算;张珂博士指出,地貌过程除表层动力和沉积外,还应与深部构造相联系,提出“时间维”为地貌学研究主线观点,则又与用陈国能博士(1996)提出的“花岗岩原地重熔说”解释新构造和准平原地貌成因串起来了。我国流水动力地貌研究的起源较早,如吴尚时师 1939 年提出东、北、西三江汇于广州溺谷湾头之后不断向南堆积的观点,昔日似成定论。但近又有反思,如他的哲嗣吴超羽教授采用数学模式研究珠江三角洲的形成和发展,得出还有南方潮流动力作用的结论,广州溺谷湾向三角洲演化的方式又多一说!惟独三角洲形成之机理,鲜有尽美之作。今李春初教授积 40 年之功力,成《中国南方河口过程与演变规律》一书对之有新释,余甚为欣赏矣!

李春初教授的此书内容丰富,涉及河口、三角洲学问的方方面面。该书值得称道者有两点:多新观点和独到新见解;对学科发展有帮助。如本书开宗明义第一章第一节,即提出一个创新的论点:河口自身原来是一个介于陆地(河流)系统和海洋系统之间的界面。他称此是数十年研究河口的感悟。本人认为此说很有意义,如扩大范围来讲,各种海岸地貌都是陆—海界面上的产物。书中又一个创见是,指出珠江三角洲存在海侵条件下的“溯源充填沉积体系”,这一观点在 20 世纪 70 年代中期即已提出,1976 年余还特邀他来华南师大地理系宣讲过,据称国外也在同期提出类似的见解,后成一新的学问《层序地层学》。春初教授的不少看法常与人不同。如多人认为广州西北部存在“石碣海蚀遗址”,他考察后却提出质疑。海南岛南渡江三角洲北部海岸侵蚀后退的原因,他也与人有异,而用“泥

沙转运和岸滩运动”去分析。他指出南方弱潮环境全新世海侵结束后的河口沿岸带面貌是沙坝—泻湖环境,认为其成因与海平面上升影响下的“滨面转移”过程有关。李教授还在 2001 年提出了珠江三角洲形成“陆海互动”的看法[见:《中国科学》英文版, B 辑, 2001, 44 (supp) 63 ~ 71], 现又进一步发展成《珠江河口陆海互动论》, 这使概念更加系统化、理论化, 自成一家之言, 实为我国河口动力地貌研究的一大成就。余在 2002 年五一节后的第 9 日曾赋诗《读李春初名篇兴作》一首以贺之:

拍案惊奇四十年,  
五江齐汇网河连。  
八口入洋分水道,  
两潮河伴六门边。

建国初期, 我国地貌学已发展成为一独立的学科, 其中之动力地貌学方面, 为当时前辈学者任美锷院士、陈吉余院士等所倡。任师即曾当面对王乃梁兄及本人强调过应对动力地貌加以重视。20 世纪 50 年代有原苏联学者来华讲学, 不久(1957)华东师范大学河口研究室问世, 中山大学也在 1964 年成立了河口研究组, 由叶汇师领导。李春初入河口研究组即致力于河口海岸动力地貌研究, 深为黄进教授等赞扬, 认为中山大学河口研究他日若有成, 当与李兄的工作分不开。今果如所料。余读李兄祝陈吉余院士 80 大寿时所写的文章, 见他道出了很好的体会, 即他说动力地貌学的特点是综合研究动力、沉积(或泥沙运动)和地貌三个过程, 其中泥沙运动是联系动力和地貌之间的纽带, 起关键作用, 故应特别重视研究它。昔钱宁兄(院士)助沈兄玉昌建立河流动力地貌实验室, 后写《泥沙运动力学》和《河床演变学》两书, 就力主这样的论点。本人亦很同意这样研究问题, 如丹霞层中, 每见一片岩壁, 中分两面: 一面是细砂, 一面是粗砂, 却分界不清, 照片中看不出来, 放大镜下也分不清, 显系两股古洪流共存的表现, 其动力机理如何, 当从泥沙运动规律方面寻找原因。李兄还强调“现场原型调查研究比模型研究更重要”, 这一条本人更表赞同。因为地学研究如不亲到现场观察, 多是第二手资料, 不可靠的程度自然增加。野外实察也不可跑一圈回来就了事, 要长期、多次反复进行。所谓“熟则生巧”、“厚积而薄发”即此意。李春初教授的此书显示一优秀科学工作者成功之轨迹, 实非三朝两日、一跃登龙门者所能为! 今国家当兴之时, 求真务实, 尽去浮

躁之风,一扫时弊,是为要义。学海无涯,但并无“惟勤是岸”之理。既无涯,何有岸?是余之体会,只有“人生苦短”之感,但求为人类的知识逐步增长而已矣!中山大学向有岭南学派之风,今此说仍当有用。李教授之书,对我国河口学和动力地貌学之推动,是为功不可没者也!是为序。

84 翁 曾昭璇 敬序

2004 年 3 月 8 日

## 前 言

1963年5月,我在校北门珠江边的码头登专船,随广东省水电勘测设计院的工程师们首次考察珠江河口,从此投身河口研究工作,不觉已有40春秋。40年来,我有幸坚持关注、调查我国南方最大的河口——珠江河口及华南其他一些独流入海的中、小型河口,逐步加深了对它们的认识 and 了解。回想自己之所以能沿着这条道路一直走下去,并有所收获和体会,实得益于两个重要的因素和条件:

一是我们曾有一个团结、合作的研究集体。该集体的前身为中山大学地理系河口研究组(1964~1978)和河口海岸研究室(1978~1990),1990年提升为河口海岸研究所。这个研究集体从一开始就实行多学科交叉,走动力、沉积和地貌相结合的综合研究的道路。我个人的专长原本较偏于地貌方面,通过长期与水文(含泥沙)、地质人员合作共事,我从他们身上学到了许多东西,视野与知识架构也逐渐发生了一些变化。这变化使我终生受益。

二是有较适宜进行河口研究的条件。河口是河流和海洋的交接过渡地带,位置重要,环境特殊,相应有不少独特的科学问题需要进行探索;河口还是经济发达的地区(例如,仅一个广义珠江河口三角洲区域的生产经济总量就占全国的8%),这里有许多实际生产问题要求进行深入的科学研究才能妥善地加以解决。中山大学有利的地理位置,利于我们承担诸多河口研究任务。如我曾参加或主持过的与河口研究有关的主要项目或课题即有:①国家十二年科技发展规划项目“中国典型河口发育演变规律研究”(1964~1966),正是这个项目催生了中山大学地理系河口研究组;②广东省01号重点科研项目“珠江三角洲综合整治调查与关键技术试验”(1980~1983);③国家自然科学基金重大项目“中国河口主要沉积动力过程研究及其应用”的子题:陆架水入侵河口沉积动力过程(1988~1992);④国家“八五”重点科技攻关项目“珠江伶仃洋航道整治技术研究”的子题:伶仃洋滩、槽形成演变与深水航道开发关系研究(1993~1995);⑤国家自然科学基金项目“海南岛南渡江三角洲废

弃演变过程”(1995~1998);⑥广东省自然科学基金项目“珠江河口广州出海水道动力地貌模式及保护利用研究”(1998~2000);⑦国家自然科学基金项目“珠江河口陆海相互作用与河口演变过程研究”(1998~2001)。这些项目和任务的完成,对推动和促进我们的研究工作起了很大的作用。

经多年揣摩,我们终于悟到了河口的一点实质和内涵,主要是对我国南方河口,特别是珠江河口的过程与演变规律问题,有了一些初步的、轮廓性的认识和看法。现提及以下几点。

(1) 陆海相互作用是河口研究的中心科学问题。这可从两方面考察:如以水体的相互作用而言,主要是河水(盐度小于 0.5 或 0.1)和海水(盐度一般大于 30 或 31)亦即淡水和盐水的混合及相互作用;若就动力因素来说,主要是以河流(径流)动力为代表的陆地因素和以潮汐、波浪动力为代表的海洋因素的相互作用。河口陆海相互作用还可以分现代过程和历史过程两方面进行探索。

(2) 从全球范围或地球系统科学的角度来看,河口本身应是一个界面:介于河流系统和海洋系统之间的界面,即陆—海界面。这个界面时宽时窄,就像一个人冬天穿大棉袄夏天穿单衣一样。它无时无刻不在自组织调整其界面过程,包括不断变换界面的位置、幅度(宽度)和结构形式(高度分层型、部分混合型或充分混合型),并使出各种“招数”,以尽可能适应其两侧河流系统和海洋系统的变化及其相互作用和相互影响,而其本身则有防御或卫护河流或海洋系统的功能。河口现代过程及其陆海相互作用的研究,似应以这样的意识或视角来理解、感受河口才好。

(3) 河口演变则须注意历史陆海相互作用的特点及变化。华南诸多河口属于弱潮环境(平均潮差小于 2m)。弱潮环境下的河口演变规律是什么?这应考虑两种情况:

一是冰后期或全新世早—中期海平面上升的影响。因为这时期河流动力不断向陆退缩,海洋潮汐和波浪动力则乘机向陆扩张,其时河口演变包含两方面的内容:向陆一侧河谷内的溯源淤积充填和向海一侧的海岸侵蚀即原河口三角洲的废弃破坏。后者侵蚀破坏的主要动力因素是波浪,其结果是在海平面上升影响下,原河口三角洲的砂质沉积物,在波浪作用下伴随滨面转移过程,不断向陆转运和堆积,最终在沿岸带形成沙坝(堡岛)—泻湖景观。

二是全新世海侵结束后即近 6000 年来的海平面长期基本稳定



时期,河口环境由波浪动力优势渐向河流动力优势转换,现代河口三角洲亦逐渐向海淤积推进发展。这分两个阶段进行:首先缓慢地淤积充填坝(堡)后泻湖;然后“冲决”沙坝岛,向坝(堡)前海域发展。不过,华南绝大部分小河流的河口至今仍在前一发展阶段踌躇不前,只有珠江和韩江两条输水输沙量较丰河流的现代河口三角洲,才超越沙坝岛向海推进甚远。

(4)现代珠江河口三角洲也是在原来(全新世)海侵结束后奠定的沙坝—泻湖海岸背景的基础上,逐渐向海淤积发展形成的。只是当时古海湾向里深入,加之湾内山丘岛屿众多,河口波浪动力弱,沙坝发育的规模很小且不连续(这就是珠江三角洲的最北古海岸线位置)。以后由于西、北江联合三角洲迅速向东南方向凸伸,淤积发展的不平衡性及河—潮相互作用导致现代珠江河口呈现“一正(阳)两负(阴)”的架构关系,此即河控之西、北江联合三角洲及其6个河优型分流河口与其两侧之潮控河口湾(虎门和崖门)相依并存和耦合共生的格局。在此认识的基础上,我们进一步提出了“珠江河口陆海互动论”的理念,以更好地解释珠江河口特点及其形成演变的规律。

这都不过是昔日之孔见而已,未必一定都得当。只是这些成果,得来亦属不易,其中有的资料、思路与看法,或尚有一定的参考价值。故此想到,将它们集中起来,编辑出版这本书,以利交流。本书主要反映我们对南方河口特别是珠江河口的一些研究感想、体会,同时还收录了作者对渤海湾西岸旧黄河河口废弃演变规律和长江河口演变过程的评论性意见,这可丰富本书之内容,利于对比、凸显南方河口与我国其他地区河口之不同。为了促成本书的出版,我在今年连续赶写了“珠江河口系统及其保护利用问题”、“河口自身就是界面:河口研究的新视角”、“弱潮环境现代河口三角洲淤积发展的过程与阶段”和“珠江河口陆海互动论”等内容,这可认为是我们数十年研究河口的主要心得。本书实际是集体调查、研究的成果(众多合作者的名字已在书中相应部位注明),它由已发表(为大部分)和未发表(属小部分)的论著,按章分类编排集成。由于书中各节可独立成篇且形成的时间各不相同,而有关研究又具连续性或认识有一个发展过程,现把它们同时编在一起,难免会有某个问题的说法前后不尽统一或同一论点在不同地方迭出等现象,这些不足之处请读者见谅。

在本书写作、编辑及出版过程中,广东省珠江河口整治指挥部的领导及我的许多同事、朋友给予了热情的关心和支持,年逾八旬的曾昭璇教授长期关注、鼓励我们的研究工作并热情为此书作序,王世俊协助文稿的组织与整理,科学出版社吴三保编审亲力精心编辑,在此请允许我向他们致以诚挚的感谢。

李春初

2003年12月21日

于广州中山大学康乐园

# 目 录

## 序

## 前言

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 第一章 河口性质、范围、分段、类型及功能行为·····                      | 1   |
| 第一节 河口自身就是界面:河口研究的新视角·····                       | 1   |
| 第二节 河口体系及其自动调整作用·····                            | 6   |
| 第三节 珠江河口系统及其保护利用问题·····                          | 13  |
| 第二章 河优型、河一波型、波优型与废弃型河口·····                      | 20  |
| 第一节 珠江磨刀门河口的动力与沉积·····                           | 20  |
| 第二节 西江口磨刀门拦门沙形成演变与口门整治问题·····                    | 29  |
| 第三节 海南岛南渡江三角洲北部沿岸的泥沙转运与岸滩运动·····                 | 38  |
| 第四节 海南岛南渡江三角洲的废弃演变和海岸保护利用问题·····                 | 44  |
| 第五节 渤海湾西南岸大口河的海岸与潮汐通道体系·····                     | 49  |
| 第三章 潮汐水道和潮优型河口·····                              | 56  |
| 第一节 潮汐作用为主河口三角洲的特征·····                          | 56  |
| 第二节 认识珠江,保护珠江:广州至虎门潮汐水道的特性和保护问题<br>·····         | 63  |
| 第三节 河口潮汐水道的动力地貌条件与深水航道开发前景——以珠江广州入<br>海水道为例····· | 68  |
| 第四节 汕头港淤积特征及其发展趋势·····                           | 72  |
| 第四章 河口陆架水入侵与盐淡水混合·····                           | 80  |
| 第一节 高盐陆架水入侵影响我国河口概况与问题·····                      | 80  |
| 第二节 珠江河口湾三大动力—沉积地貌体系及其相互作用·····                  | 86  |
| 第三节 陆架水入侵河口沉积动力过程——以珠江河口湾为例·····                 | 98  |
| 第四节 河口盐淡水混合的几个认识和概念问题·····                       | 120 |
| 第五章 现代河口三角洲的演变过程及其反映的陆海相互作用·····                 | 125 |
| 第一节 全球变化与我国海岸研究问题·····                           | 125 |
| 第二节 珠江河口演变规律及治理利用问题·····                         | 128 |
| 第三节 珠江河口陆海互动论·····                               | 137 |
| 第四节 弱潮环境现代河口三角洲淤积发展的过程与阶段——以华南海岸为例<br>·····      | 145 |
| 第五节 长江河口三角洲问题评述·····                             | 151 |
| 第六章 珠江河口泥沙、河网特征与河床演变·····                        | 158 |

---

|      |                                 |     |
|------|---------------------------------|-----|
| 第一节  | 西江下游(梧州至磨刀门)河床床沙特征及其反映的沿程泥沙运动规律 | 158 |
| 第二节  | 北江下游河床泥沙特征及其对河床演变的影响            | 165 |
| 第三节  | 珠江河口狮子洋浅滩的发育与泥沙来源               | 172 |
| 第四节  | 珠江河口沉积                          | 190 |
| 第五节  | 珠江三角洲的河网特征及其演变                  | 202 |
| 第七章  | 珠江三角洲沉积发展与沉积类型                  | 213 |
| 第一节  | 地质构造因素对珠江三角洲形成的影响问题             | 213 |
| 第二节  | 广州地区的古海岸问题                      | 217 |
| 第三节  | 珠江三角洲沉积特征及其形成过程的几个问题            | 220 |
| 第四节  | 全新世河口三角洲形成发展的若干问题——以珠江河口三角洲为例   | 227 |
| 第五节  | 珠江三角洲的沉积发展与沉积类型                 | 234 |
| 参考文献 |                                 | 240 |

# 第一章 河口性质、范围、分段、类型及功能行为

根据全书内容展开的需要,本章论述河口性质、河口范围、河口分段、河口类型和河口功能行为等问题。相关内容融于各节论述之中。

## 第一节 河口自身就是界面:河口研究的新视角

### 一、陆—海界面是海岸带陆海相互作用研究的重点与关键科学问题

海岸带陆海相互作用(LOICZ)研究计划是国际地圈生物圈计划(IGBP)的核心计划之一,它也是我国全球变化研究的前沿和重要的研究方向(林海,1997;陈宜瑜,1999)。我国目前 LOICZ 研究的重点地区放在河口地带。但如何进行河口陆海相互作用的研究,不同的研究者,考虑的方面和研究的内容不同。有的学者(王颖,朱大奎,周旅复等,1998)主要从沉积学进行研究,有的学者(沈焕庭,2001)通过对河口物质通量的分析计算来了解陆海相互作用,有的(Li Chunchu, Lei Yaping, He Wei et al., 2001)则从近 5000 ~ 6000 年来现代河口三角洲的发展演化过程与规律来看历史过程中陆海相互作用的特点及其变化。无疑地,这些研究对认识河口陆海相互作用都是重要和有意义的。但形势在发展,1999 年 5 月在日本召开的 IGBP 第二次会议把其研究重点集中在地球系统的界面上,海岸带陆海相互作用研究的重点更是明确定位在陆—海界面位置(Berrien III, 1999),新世纪我国海洋学科的发展亦强调应加强陆海相互作用界面过程及其环境效应的研究(陈宜瑜,2001;王辉,徐珏麟,李宝晖等,2000)。这样,作为地球系统主要界面(陆—海界面)之一的河口,其界面问题研究的重要性开始凸显。我国的河口研究,特别是河口陆海相互作用的研究,从现在开始,应尽快适应形势发展的要求,把注意力集中到陆—海界面这个重点或关键科学问题上来。

### 二、应改变视角,将河口自身作为陆—海界面进行研究

河口界面问题的研究,重要的是应改变视角,将河口自身作为陆—海界面来对待。这是因为,从大尺度或地球系统的宏观范围来看,河口本身无疑是一种陆(河流)—海(海洋)界面(尽管从微观小尺度来讲河口中还有各种小的界面形式)。再从界面(boundary)的定义来说,也应有此认识才合适。比如一种定义认为,界面是“两个以上系统在结构上相互联系、相互影响和相互作用并在测度上首先承担和发生的边缘地带区域”(孔令宏,1994;1997)。这意味着:①界面可以是一个“地带区域”;②这个“地带区域”介于系统与系统之间而具有边缘性质;③该“边缘地带区域”存在系统与系统的相互联系、相互作用和相互影

响,并有完整的结构来感受、承担和发生这种相互联系、相互作用和相互影响。另一个定义称界面是“具有卫护和交换功能的系统周界”(曹鸿兴,1997)。按上述定义对照河口:河口处于河流系统和海洋系统相互联系、相互作用和相互影响的交接过渡地带,它既是河流系统的边缘地带,又同时是海洋系统的边缘区域,河口又正好具有卫护河流系统和海洋系统并接受、传递或阻滞其物质、能量和信息的功能,故河口本身应视为界面或言河口自身具有界面性质。无论从河口学的发展需要来讲,还是从全球变化研究和地球系统科学的角度来说,似都应改变视角,将河口自身作为一种界面即陆—海界面来进行研究才好。

### 三、河口界面位置在何处

如何确定河口范围即界定河口界面位置,是将河口自身作为界面进行研究首先要遇到并应解决的一个关键技术(也是科学)问题。对于这个问题,作者有如下看法:

首先要说明的是,我们讨论的“河口界面”,不是河口之中各种微观尺度的小界面,而是将河口自身作为界面的、地球系统宏观尺度的大界面——陆—海界面。这样的界面对某个河口或单个口门来讲应只有一个,并且它应是一个“地带区域”。

其次,可以具体界定,“陆海水体相互作用”的地带为河口(狭义)范围(李春初,1997)。这是依据 Pritchard(1967)对河口的定义:“河口是一个与开敞海洋自由联系的半封闭的海岸水体,其范围可上溯至潮汐影响的界限,而其内部的海水在一定程度上为陆地径流所排出的淡水所冲淡”来确定的。这里所说的海水盐度一般大于 30(或 31),淡水的盐度一般小于 0.5(或 0.1),其间盐度 0.5(或 0.1)~30(或 31)为由冲淡水(或混合水)控制的河口内部(或中心)区域,为狭义的河口范围或广义河口的核心地带。此即河流与海洋、淡水与盐水混合和相互作用的区域(图 1-1)。这是一个盐度、温度和密度极不稳定的区域(不能称之为“水团”),该区域不仅大量地接受河流系统和海洋系统能量和信息的输入及输出,而且还直接发生两系统物质的遭遇及相互作用,并有完整的双向输入端和输出端的结构。图 1-1 的 a 断面处为河流系统的输入端同时又是海洋系统的输出端, b 断面处为海洋系统的输入端同时又是河流系统的输出端,故此区域可视为“河口界面”。这样的区域在珠江河口洪水时长仅十公里左右,枯水时亦不过数十公里,此相对于长达数千公里的河流系统和海洋系统来讲,实属很微而可概化为“面”。天气中冷、暖气团间的界面地带可阔达数百公里,河口界面与之相比是小巫见大巫。

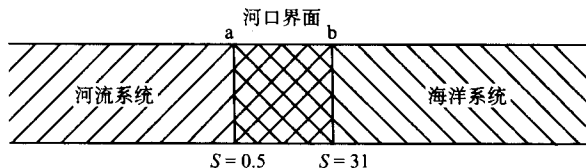


图 1-1 河口界面位置示意图( $S$  表示盐度)

最后尚须指出,广义的河口区还是“陆海动力相互作用”的地带,上述“陆海水体相互作用”的区域只是广义河口区的核心部位而每被称为“河口段”。依据潮汐动力上溯传播

和径流动力向海扩散影响的程度,还可在“河口段”的基础上,向陆和向海扩大河口范围分别划分出“近口段”和“口外海滨”。然而,扩大的河口区域——近口段和口外海滨,虽都各有相反方向的另一个系统残余能量和信息的进入,但都一般不直接发生河流和海洋物质的相互作用,或者所发生的相互作用甚少(大多属间接相互作用的性质),而且近口段和口外海滨的水体基本上分属河流水体和海洋水体,它们皆较均质且性质稳定(属水团性质),故不宜将它们考虑在“河口界面”之内。

## 四、河口界面的功能和行为问题

若以河口自身作为界面,须重视河口的界面性质,在此基础上,进一步研究河口界面的功能和行为。河口界面及其功能和行为的研究宜包括下列问题:

- 1) 不同河口的河口界面区域的界定。河口界面中河流系统和海洋系统的物质、能量和信息输入端和输出端位置的确定。
- 2) 河口界面的主要结构形式及其作用与意义。
- 3) 河口界面的功能和行为,包括一般功能、行为和特殊功能、行为。比如,河口界面对河流系统和海洋系统的适应性问题,河口界面对河流系统和海洋系统的防御性(或卫护性)问题,河口界面的可渗透性和渗透度问题,河口界面的稳定性和组织化程度问题,河口界面的变化阶段与过程问题等。
- 4) 河口界面过程与盐淡水混合作用。
- 5) 河口界面过程与其他重要河口水文现象的关系。
- 6) 河口界面过程的环境效应。

上述问题的研究,有助于在理论上和更深层次上揭示河口的本质和内涵,解读河口陆海相互作用的真谛。

## 五、讨 论

将河口自身作为界面,研究其界面的功能和行为,是过去未做过的研究工作。用河口自身就是界面的视角与思维来感受河口问题,可加深对河口的若干认识、概念及现象的了解和理解,有的还有“横看成岭侧成峰”的新感觉。

### 1. 关于盐水、盐水入侵与盐水楔

“盐淡水混合”是河口学中的一个常见的重要概念或术语。但其中的“盐水”(salt water)何所指,淡水究竟是在和谁(什么水)发生混合,不同的人有不同的理解。我国不少文献(徐君亮,1981;黄胜,卢启苗,1992;中国水利学会泥沙专业委员会,1992;茅志昌,沈焕庭,姚运达,1993;徐建益,袁建忠,1994)习惯把盐度仅在1~10的微咸水(brackish water)即视为“盐水”,这种微咸水的随潮向陆上溯运动便认为是“盐水入侵”,其垂向盐度等值线向陆倾斜分布的现象每被当成“盐水楔”。用河口自身就是界面的思维来看河流和海洋或淡水和盐水的相互作用,当有这样的清晰概念:河流(河水)为淡水,海洋(海水)应就是盐

水,开敞海域之海水的盐度一般大于 30(或 31);“盐淡水混合”应是指海水和河水的混合;河口界面范围内的水体称河口水(包括盐度仅在 1~10 的微咸水),它属混合水或冲淡水性质,即河口水是河流淡水和海洋盐水混合和相互作用的产物。这么说来,把河口微咸水视为“盐水”是否应认为是一种误解?因为这样做的结果是将河口与海洋混为一谈,实际否定了河口的存在。严格的河口盐水入侵的概念,当是指河口外部水体即海水的入侵而言(非外来者的进入,不能称为“入侵”),只有海水入侵河口形成的楔状构造才能称为盐水楔(楔内水体必须较均质)。

## 2. 关于高度分层、部分混合和充分混合等河口类型

众所周知,20 世纪五六十年代,Pritchard(1952)、Simmons 和 Brown(1969)根据河口盐度分布(salinity distribution)特征和盐淡水混合的程度(degree of mixing),将河口划分为高度分层、部分混合和充分混合(或垂直均匀)等三种类型。最近 Dyer(1997)进一步分析了这三种河口类型的物理特征。

高度分层、部分混合和充分混合三种盐淡水混合形式都是发生在河口界面范围内的现象,它们应是河口界面过程响应陆—海相互作用,特别是盐淡水混合和相互作用所做的结构性的调整,并反映河口界面对河流系统和海洋系统的适应性和可渗透性等功能。例如,就其反映的界面可渗透性问题而言,按界面理论(孔令宏,1994;1997),界面的可渗透性( $Y$ )取决于三个因素:界面自复制的要求和能力( $Z$ )、界面适应动态环境的能力( $X$ )和进入界面的信息量( $H$ ),即  $Y = H \frac{\partial X}{\partial Z}$  ( $H$  在特定时段可视为常数)。决定界面可渗透性的关键是  $\partial X$  对  $\partial Z$  的比值。若  $\partial X > \partial Z$  时,  $\partial X$  占主导地位,界面向不稳定方向发展;若  $\partial X < \partial Z$  时,  $\partial Z$  占主导地位,界面趋于稳定;若  $\partial X = \partial Z$  时,  $Y = H$ ,界面处于最优状态。据此可对上述三种河口类型的界面形式进行考察:充分混合型河口的盐淡水混合区域长,即界面的范围宽,其接受信息和调整的适应能力( $\partial X$ )强而自复制要求和能力( $\partial Z$ )弱,因而可渗透性大,界面发育应不够成熟;而高度分层型河口的盐淡水混合区域短,接受信息和调整的适应能力( $\partial X$ )差而自复制要求和能力( $\partial Z$ )强,可渗透性小,界面发育可能较成熟,防御能力亦强,强大的河流动力及其能量欲打破这种界面向海洋渗透(例如产生卷吸混合和内波),但终因作用有限(单位时间内单位面积上的混合量不足),收效不大;倒是部分混合型河口,其界面范围适中,它既有足够的区域或空间适应、接受河流(落潮时)和海洋(涨潮时)输入的物质、信息和能量,又有一定或良好的自复制要求和能力,因之其界面的“新陈代谢”正常而可能处于最优状态中。

## 3. 关于盐淡水混合状态(程度)和盐淡水混合作用(强度)

20 世纪 70 年代我国引进高度分层型、部分混合型和充分混合型等三种河口类型这些概念时,将它们分别转换称为所谓的“弱混合型”、“缓混合型”和“强混合型”,这使它们具有了盐淡水混合作用和强度的内涵。喻丰华和李春初(1998)质疑过这种广为流传的转换说法的科学性,认为盐淡水混合状态(程度)和盐淡水混合作用(强度)是两个不同的概念,不宜混为一谈。例如充分混合型河口,虽然其盐淡水混合的程度较为“充分”或盐度分



布呈现为“垂直均匀”状态,但这类河口的径流量往往比潮流量小几十、几百甚至上千倍,枯季淡水径流量有时可以少到趋近于0,此种情况下,如何有可能产生盐水和淡水的“强混合”?

因此有必要寻求考量“河口盐淡水混合作用(强度)”问题的办法。从河口自身就是界面的视角来观察,这个问题的进一步研究当要顾及以下几点:

1) 应有空间概念。即首先要明确盐淡水混合和相互作用的区域,该区域实际就是河口界面区域。这个区域如果很宽,河流水体和海洋水体相距很远,这对淡水和盐水的直接混合和相互作用未必一定有利;相反若界面区域很窄,在某种时候可能颇有利于盐淡水的直接混合和相互作用。

2) 要有时间概念。即应考虑混合水在河口界面范围内的“滞留时间”(residence time)问题。因为许多情况下(例如在枯季,或在“充分混合型河口”),这一区域的距离宽即混合区的长度较大,其混合水每每是长达数天、十数天甚至更长时间内混合造成,而在另一些情况下(例如在洪季,或在“高度分层型”河口),此区域距离窄即混合区的长度甚短,其混合水可以在一个潮周期内混合形成。若不考虑“滞留时间”(或更新时间)这个因素,易对河口盐淡水混合作用的特性产生误判。

3) 须重视实际混合结果。即应重视以羽状流形式从河口界面(或盐淡水混合区)流出于海洋上层的冲淡水的水量和混合水平(盐度大小)。河口羽(estuarine plume)好比是经河口“盐淡水混合工厂”加工后流出的“废水”,它漂浮在口外海滨的表层水域。这个“废水”流出物的盐度如果较高(例如达20~30),表明其总的混合效果应当较好;如果羽状流流出物的盐度水平较低(例如仅在5~15),说明其总的混合效果可能不甚理想。

究竟该如何具体评判“河口盐淡水混合作用”的强弱,尚待做进一步的探讨。

#### 4. 其他河口现象的界面效应问题

还有其他一些大家熟知的重要河口水文现象,如河口环流、河口最大浑浊带和河口锋等,亦可看成与河口界面的功能和行为有关。例如,河口具有“过滤器”的作用,河口最大浑浊带及其产生的河口淤积现象,便是此种过滤器效应的重要表现(沈焕庭,2001)。从界面论的观点来看,河口最大浑浊带及河口过滤器效应最清楚和最生动地反映了河口界面固有的“防御性”特性——既阻止陆域来沙进入海洋,也拒绝海域来沙进入河流,它们还显示了河口界面“稳定性”、“渗透性”和“可渗透度”的某些特点。

## 六、结 语

河口作为地球系统的大界面——陆—海界面,夹存于河流子系统和海洋子系统之间,它无时无刻不在自组织调整其界面过程,包括不断变换界面的位置、幅度(界面范围)与结构形式(盐淡水混合状态)并使出各种“招数”,尽可能适应其两侧河流和海洋环境的变化及其相互作用和影响。河流或海洋系统的物质、信息与能量,要想分别通过河口出去或进来,都必须经过河口界面的“检查”,结果有的遭“过滤”被拒于门口或口外,有的须“排队”分先后次序等候通过,有的被“储存”起来暂不予处理,有的要为之“扩容”增加传输渠道的