

高盐陆架水入侵影响我国河口概况与问题*

李 春 初

(中山大学地理系, 广州)

收稿日期: 1989年7月28日

河口是河流和海洋的结合地段。河口过程受河流和海洋动力的交互作用和影响。过去, 我国对河口海洋动力因素的研究, 一般侧重在潮汐潮流、盐水入侵与咸淡水混合、波浪和海岸流(或沿岸流)等方面, 较少研究陆架水体或水团对河口过程的作用不可分离, 河口若干重要沉积动力过程的揭示及一些实际生产问题的解决, 有必要重视陆架动力的影响并开展陆架水入侵河口沉积动力过程的研究。

I. 高盐陆架水进侵我国河口的表现

本文所说的陆架水, 是指来自内陆架的高盐水团, 其盐度 >30 , 有的达34.5。因此, 这里讨论的陆架水入侵及河口与陆架水的相互作用, 是超出一般河口盐水入侵和咸淡水作用之外的、河口外缘更深层次的高盐陆架水团向河口的进侵作用。在我国的一些大河河口有明显的进侵表现。

I.1. 珠江河口

早在1960年, Y.K. Chau 和 C.S. Wong^[21] 在香港以南大陆架海区进行水文调查时就发现, 该海区深层陆架水盐度高达34.5, 向岸运动超过30n mile, 产生上升流, 在所有岸边测站均可发现。其表现是, 水温 22°C 的冷水团从陆架底部向岸切入, 5—9月靠近海岸, 7月向陆伸入最远, 前锋可达B₄₅站(桂山岛附近)以内, 9月以后向海退缩以至消失。珠江口实测资料表

明, 夏季高盐陆架水(盐度为30—34)在伶仃洋区域可沿其东侧的暗士顿水道和西侧伶仃水道从底部侵入到该河口湾的中心腹地(图1)。1981年汛期测量资料亦证明有此现象存在^[2], 1978年夏季伶仃洋内伶仃岛附近深槽底层曾测得最大盐度为32.86—34.16^[2]。西江磨刀门虽属河流作用为主河口, 夏季磨刀门拦门沙前缘斜坡也直接由盐度为33的高盐陆架水控制(图2)^[3], 只是该河口拦门沙阻挡了高盐陆架水的进一步向里侵入。

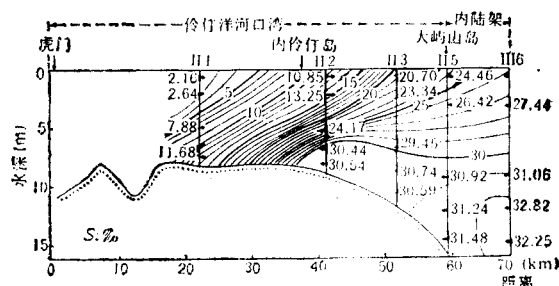


图1 夏季珠江口伶仃洋盐度纵向分布
(1988年7月15日5时, 大潮, 落平)

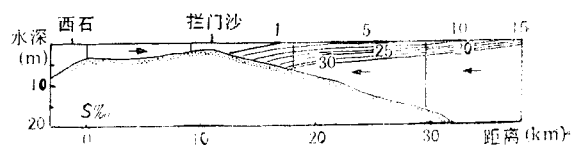


图2 珠江口磨刀门洪季盐度纵向分布

* 国家自然科学基金资助项目; 陈吉余教授和沈焕庭教授审阅全文并提出宝贵意见, 谨此致谢。

I.2. 长江河口

夏季长江口外受台湾暖流的影响。台湾暖流是一股高盐($S > 34$)、低温($t < 20^\circ\text{C}$)的水团,入夏以后沿东海海底凹槽北伸达 30°N 左右,逼临长江口外^[4],由于受长江下泄流(淡水与冲淡水)影响,上述高盐低温水团在底部向陆补偿进侵河口,其净流速方向转为偏西向(图 3)。在此进侵过程中,台湾暖流水团变性为海岸高盐水团,盐度降低至 30—34。夏季长江口外 30 的等盐度线,无论在水平或垂直方向上都是一条特征界线,此界线两侧的盐度有高低之分,盐度分布也有明显的差别,而且还是温度垂向变化的一个转折点,这说明界线两侧是两个不同的水体^[5]。但是长江口拦门沙堆积体^[22],阻挡了沿岸高盐水团的入侵。因此,长江口外高盐陆架水的进侵作用,仅及口外水深 12m 以深的区域,其中在 30°N 以北, $122^\circ30'$ 至 $123^\circ30'\text{E}$ 的水下槽谷区,明显沿槽谷向西北方向侵入。

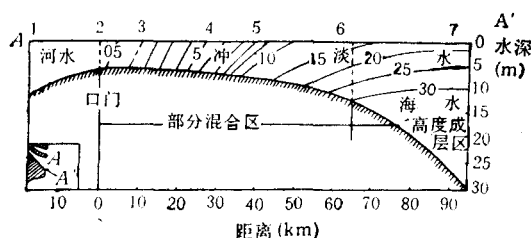


图 3 夏季长江河口盐度纵断面
(1982 年 7 月,大潮)

I.3. 其他河口

通过浙江近海沿岸在夏季存在与台湾暖流活动有关的海底上升流现象^[6,7],上升流的量值虽然很小(垂直向上流速量级 $> 10^{-3}\text{cm/s}$),但作用巨大。这种上升流发生在近海沿岸,必然波及和影响沿岸河口和港湾。例如,甌江口外水深 10—15m 以内区域,夏季即明显受到台湾海峡北上暖流作用的牵引及扩散影响,以致该海区南部海域出现 34 盐度值,随着近岸海水的离岸输送,外海高盐水从底部上升补偿,产生涌人流^[8]。

II. 高盐陆架水入侵对河口沉积动力的影响

高盐陆架水的入侵对河口动力和沉积的影响,本文依据有关资料作初步探讨。

II.1. 增加了结构的层次,使河口动力复杂化

河口由于咸淡水交汇和涨、落潮流往返运动,一般认为河口地区为两相水流和具双层动力结构特点。但高盐陆架水入侵的河口具三层动力结构。夏季珠江口伶仃洋和磨刀门分流口以及长江口的动力结构(图 1,2,3)清楚地表明了这一特点。这三层结构分别由淡水团、冲淡水团和高盐陆架水团组成,其间出现两个锋面,即咸淡水之间的锋面和冲淡水与陆架水团之间的陆架锋面。作者曾经认为,珠江口伶仃洋的河口动力过程,就是这三种水团随着径流的增减、潮汐的涨落和陆架水从底部楔入或退返而相互作用和运动的过程^[23],在此强调了高盐陆架水的入侵与退缩活动是河口的一个重要动力因素,并与径流动力、潮汐动力相提并列。潘定安等在研究夏季长江口咸淡水混合特征时也有类似见解,他们认为,夏季长江口的淡水、冲淡水及高盐海水三种水体之间相互作用和相互影响,在潮汐作用下时进时退,涨落摆荡;在径流作用下,淡水向外扩散;在密度流作用下,高盐海水向陆侵入^[5]。

II.2. 加大了斜压力,促进河口环流和底部上溯流的发展

夏季,我国的珠江、长江等河口既有大量淡水径流向海排泄,又受高盐陆架水向陆进侵作用,在此两相“夹击”之下,其间的冲淡水团被“压缩”:等盐度线高度密集,盐度纵向分布呈似层形;密度的垂直梯度大、水平梯度小;底层沿程密度梯度大、表层沿程密度梯度小;表层水体在正压力作用下为下泄流优势,底层水体则在斜压力作用下以上溯流为主,故这一区域动力环境较封闭,河口环流明显。诚然,一般河口的咸淡水交汇也可出现类似的现象和环流形势,但高盐陆架水的入侵使河口底层沿程密度

梯度加大,即导致斜压力增强,这无疑促进河口环流和底部上溯流的发展。台湾暖流对长江口冲淡水运动的影响,“似乎主要是通过斜压场大小的改变起作用的。”^[9]夏季珠江口伶仃洋的河口环流及正、斜压力均较枯季强。据计算^[10],夏季伶仃洋河口净环流表、底层的最大流速分别达16cm/s和6cm/s以上;正压力一般 $10 \times 10^{-3}\text{cm/s}^2$,最大为 $17.84 \times 10^{-3}\text{cm/s}^2$;斜压力一般 $5 \times 10^{-3}\text{cm/s}^2$ 左右,最大达 $9.4 \times 10^{-3}\text{cm/s}^2$ 。斜压力的作用加大了底层涨潮(或上溯流)流速,如伶仃洋暗士顿水道顶端的断1站(赤湾附近,受高盐陆架水入侵作用),涨潮最大底应力达 $27.63 \times 10^{-3}\text{N/cm}$ 。仅从潮差(赤湾站平均为1.37m)这个指标来看,伶仃洋似属弱潮河口,但该河口湾斜压力较大,这显然与高盐陆架水从底部对伶仃洋的入侵有关。

11.3. 阻碍河口下泄的悬浮泥沙向海搬运和沉积

高盐陆架水呈深蓝色或蓝黑色,含沙量极少,对床底的淤积作用微不足道。但汛期河口有较多的悬浮泥沙入海,常常呈羽状流漂浮在高盐陆架水之上向海扩散。此时表层流为下泄流优势,带出的悬浮泥沙亦可落入中、底层的陆架水中,可是由于高盐陆架水对河口入侵,斜压力与底部上溯流增强,这些泥沙沿底部搬运回返到陆架锋附近及其以上的区域沉积。底部上溯流甚至可冲刷起已经沉积在床底的泥沙使之再悬浮并向陆回返。因此陆架水团象一堵墙似地阻碍着河口泥沙的向海排泄和沉积。其结果陆架水入侵控制的区域淤积作用微弱或出现冲刷现象,而受陆架水团顶托影响的陆架锋以上的冲淡水区域则淤积显著。这在珠江口、长江口及其他河口都有不同程度的反映和表现。

例如在珠江口外30—60m水深的内陆架上分布粗粒的砾砂沉积物,这与南海北部内陆架普遍分布粘土质细粒沉积很不协调。有人认为,这片粗物质为晚第四系古河流相沉积,这里是一个局部冲刷区,是珠江口外复杂的水体交换引起的陆架底部上升流阻碍现代珠江河流泥

沙对它的覆盖造成的^[11]。据香港的资料报道,急水门以上香港水域的暗士顿水道可见晚更新世砂砾层与硬粘土或基岩直接出露床底,这亦说明伶仃洋湾口遭受陆架水入侵的地段现代沉积作用微弱。但陆架锋以上的区域,即伶仃洋中段内伶仃岛附近的区域近代沉积作用较强。如暗士顿水道末端——深圳妈湾附近深槽槽底表层2.21m厚的现代淤泥经²¹⁰Pb测定沉积速率为2.98cm/a,再北一点的大铲湾口表层厚2.38m的淤泥沉积经²¹⁰Pb测定其沉积速率为3.31cm/a。伶仃洋西槽即伶仃水道,其下段受高盐陆架水入侵控制,目前仍保持着水深10m以上的天然深槽地形,可是伶仃水道中段现今属于陆架水顶托影响的冲淡水作用区域,动力环境较封闭,又是河口最大浑浊带所在^[10],故淤积较严重,其自然水深已由100a前的10m深槽淤浅至3—5m,目前主要靠疏浚维持通航水深。珠江口虎门—伶仃洋和崖门—黄茅海两个河口湾,淤积最甚的地段不在拦门沙顶部,而是在陆架水入侵不能达及的拦门沙前缘斜坡上,这正是夏季遭受下泄径流和上溯陆架水“夹击”的冲淡水控制的河口环流地带。

又如长江口,许多文献指出^[12,13,14],122°30'E是长江口现代沉积作用与过程的一条重要分界线。此线大致与高盐陆架水入侵的前锋位置相当,亦是长江口水下三角洲的前缘边界所在。此线以西至长江口门的区域,受冲淡水控制,不仅含沙浓度较口门大,而且淤积作用亦较口门内的拦门沙地区大得多。如1958—1978年20a间,长江口口内共淤积泥沙 $8.12 \times 10^8\text{t}$,平均每年淤 $0.41 \times 10^8\text{t}$;口外淤积 $41.6 \times 10^8\text{t}$,平均每年淤积 $2.1 \times 10^8\text{t}$ ^[12]。因此长江口外至东经122°30'的区域是高速率的堆积区,¹⁴C测年资料估算此区堆积速率可达0.533cm/a,²¹⁰Pb测得的G8003站近期堆积速率为9.0mm/a^[15]。长江口向东扩散的悬浮泥沙基本上以122°30'E为界,此界线以东悬沙浓度很小,相应海床较稳定,为低速率沉积区或稍有侵蚀的区域。其中30°N以北、122°30'至123°30'E的高盐陆架水

入侵控制的、西北~东南走向的水下槽谷(水深 27m, 最大水深 63m), 不仅地形起伏不平, 而且槽底暴露古滨海相沉积物或反映现代底流冲刷改造的残留砂特点。这些情况均与 122°30'E 以西长江口外的高速沉积区形成鲜明对照。

此外, 在浙江南部的河口海岸带亦反映了高盐陆架水入侵对河口沉积造成的影响。据研究^[8], 冬季盛行北向风时, 浙江沿岸流从北向南, 具有水色浑浊、含沙量高的特点, 其时长江口外泥沙几经波浪扰动悬浮随浙江沿岸流南下, 大量泥沙沉积在温州近岸海区。故冬季该海区以淤积为主; 但夏季盛行南向风时, 台湾暖流北上, 该海区由高盐陆架水控制, 沿岸底部出现涌升流, 在此动力因素作用下, 一方面将沿海水域泥沙推向岸边, 另一方面更大量的是把该海域的泥沙向北推移, 整个海域呈现以冲刷为主的总趋势。该海区冬淤夏冲的变幅可达 10~20cm。

II.4. 河口微体生物沉积中出现陆架浅海环境的分子或种属

伴随陆架水的入侵, 河口地带必然出现陆架浅海环境的生物沉积。例如, 珠江口伶仃洋河口湾南段普遍发现陆架浅海窄盐的瓷质壳类(*Miliolina*)、瓶虫类(*Nodosaviacea*)和列式壳(*Buliminacea*)有孔虫^[23,16], 而且壳体大都保存完好, 未见磨损现象, 显系本地原生埋藏, 这与强潮型的钱塘江口有孔虫是以潮流带入的异地埋藏的海相分子为主的情况^[17]不一样。又如长江口, 亦明显存在由海向陆的生物沉积物搬运, 这不仅表现在浮游有孔虫广泛分布, 其壳径大小由外向里逐渐变小, 个体数量向海岸递减, 而且还表现在河口沉积中(如 G8010 和 G8012 站)发现有中部和外部陆架型的底栖有孔虫, 如珍珠面包虫(*Cibicides margaritifera*)和贝氏新上穹虫(*Neoeponides berthelotianus*)^[18], 这亦可能是高盐陆架水入侵造成的。浙江飞云江河口附近发现窄盐台湾砂捍虫(*Ammobaculites taiwanensis*)、现生金伯尔虫(*Guembelitra vivans Cushman*)、弯脊拟博斯凯介(*Parabosque-*

tina sinucostata)等, 证明外海陆架部分物质在海洋动力作用下, 确有向岸运移的趋势^[19]。李家芳等亦谈到过浙江沿海上升流及其影响下内陆架物质向近岸输送的迹象和可能性¹⁾, 其证据是浙江河口和潮间带沉积物中曾发现一种生长在水深 50—70m 浅海环境的凸脊卷转虫(*Ammonia convexidorsa Zheng*)壳体。

III. 问题与讨论

III.1. 高盐陆架水入侵机制

基于目前对陆架水入侵我国河口现象与特点的初步了解, 我们认为, 高盐陆架水在我国不少河口有进侵表现, 可能与下列因素有关。

III.1.1. 内陆架海底上升流的作用 夏季我国东南沿海普遍存在陆架海底上升流现象, 这与夏季我国东南沿海许多水文、气象因素有关。陆架上升流的存在对河口和陆架水对河口的入侵造成了明显的作用和影响。

III.1.2. 径流入海引起的补偿流作用 河口径流(包括冲淡水)漂浮在盐水或高盐水团之上离岸向海运动, 引起底部海水的向陆补偿, 这无疑是高盐陆架水团从底部向河口进侵的一个重要原因。夏季入海流量大, 陆架水入侵作用自然较明显。

III.1.3. 气温影响 夏季, 特别是 7—8 月间的高温季节, 入海河水和表面海水增温明显。如 1988 年 7 月在珠江口伶仃洋湾口内水深 10m 的某测站测得表层冲淡水盐度为 11, 水温高达 31℃; 底层高盐陆架水盐度为 32—33, 水温 24℃。这加大了河口表、底水层的密度梯度, 有利于产生密度流, 促进底部低温、高盐海水的向陆上溯。

III.1.4. 海底地形的诱升作用 珠江口磨刀门, 高盐陆架水进侵仅及拦门沙前缘斜坡 5—7m 水深位置, 而江口的伶仃洋河口湾, 存在水深大于 10m 的天然深槽, 槽底地势自海向陆

1) 李家芳等, 1987. 海洋开发工程技术交流论文集, 国家海洋局第二海洋研究所, 1—20。

逐渐抬高,高盐陆架水可一直沿深槽底部进侵到该河口湾中心腹地。这说明海底地形对高盐陆架水的入侵亦有重要的影响——磨刀门拦门沙隆起阻挡了高盐陆架水的进一步向里侵入,而伶仃洋下段有利的水下地形对海底高盐陆架水的向陆进侵起着一定的诱升作用。

III.1.5. 潮汐影响 高盐陆架水入侵河口的现象,似乎在珠江口这样的河口表现最明显。按潮差,珠江河口属弱潮河口,潮汐动力相对潮差大的河口来说不强或不很强,这不利于河口不同水体的掺混,或者说有利于河口水体层化现象的保留和发展,如此密度梯度的存在,利于高盐水团从底部向陆进侵。此外,涨潮或落潮过程的不同,亦对陆架水的进侵或退缩发展的程度有直接的影响。

以上所述只是初步考虑到的可能影响陆架水进侵河口的一些因素。陆架水在河口的入侵以夏季显著,因此,夏季河口与陆架区若干特有的非潮周期的水文、气象因子,可能对促使高盐陆架水在河口地带的进侵起着重要的作用。

III.2. 对河口动力的影响

高盐陆架水入侵究竟对河口动力有哪些影响,可能还有许多重要的现象有待研究和揭示。上述陆架水入侵促进了上溯流、河口环流和最大浑浊带的形成与发展,这是从纵向上分析陆架水入侵对河口动力造成的影响,而河口的上溯流、环流和最大浑浊带的形成,哪些是正常咸淡水交汇作用所致,哪些是高盐陆架水入侵后进一步推动和发展的,需要具体区分和计算,而且,高盐陆架水的入侵对河口的横向动力结构和变化也可能存在重要的影响,因此有必要研究冲淡水团与高盐陆架水团界面即陆架锋锋面的动力特征和陆架水入侵影响下的河口横向动力变化及其不平衡性问题。有关文献曾报道^[1],长江口下泄混合水(长江冲淡水)与上溯海水(沿岸高盐水)在交界面辐聚,聚合水体沿锋面向北流动。实测资料计算表明,长江口外三层动力体系的净水流方向各不相同:表层受长江径流惯性作用及纵向压力梯度产生的重力

环流的影响,余流方向向东;底层高盐海水余流方向向西;中层混合水受高盐海水顶托、牵引影响,余流方向向北^[20]。许多情况下,在高盐陆架水上溯向陆进侵与河口淡水径流下泄向海扩散的过程中,它们都有向右偏转的现象,因此两者交汇时,动力轴并不重合而是交错分布。陆架水入侵动力轴右偏的原因,除了一般认为的与柯氏力作用有关外,是否还有其他的原因?

III.3. 动力与沉积和动力与地形的关系

如前所述,高盐陆架水入侵控制区沉积作用微弱,随之出现深槽或水下槽谷地形,而冲淡水控制区沉积作用显著,相应出现拦门沙堆积体及其前缘斜坡淤积最盛地段。此外,深槽或水下槽谷地形能诱使高盐陆架水侵入,水下拦门沙堆积体则阻碍高盐陆架水的进一步向陆运动。它们之间的因果关系怎样,究竟是先有深槽造成了陆架水的入侵,还是先有陆架水入侵导致深槽地形的形成?是水下拦门沙堆积体的发育阻挡了陆架水的进侵,还是陆架水的进侵阻止了河口泥沙的进一步向海扩散,从而致使河口拦门沙淤积旺盛呢?看来,应是兼而有之,动力与地形和动力与沉积相互作用和相互影响。提出和讨论这个问题,在理论上认识陆架水入侵与地形、沉积的关系有意义,对于指导某些生产问题(例如深水航道疏浚开发及其回淤问题)的解决也有实用价值。

参 考 文 献

- [1] 珠江水利委员会水文局科研所滨海水文组,1986。珠江口滨海区水文调查报告,珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究文集(四),广东科技出版社,1—61。
- [2] 应秩甫、陈世光,1983。珠江口伶仃洋咸淡水混合特征,海洋学报 5(1): 1—10。
- [3] 李春初,1983。珠江口磨刀门的河口动力与沉积,热带地理 1: 27—34。
- [4] 毛汉礼等,1963。长江口冲淡水及其混合问题的初步探讨,海洋与湖沼 5(3): 183—206。
- [5] 潘定安等,1985。长江河口夏季的盐淡水混合,上海市城市污水排放背景文献汇编,华东师大出版社,54—69。
- [6] 曹欣中等,1983。浙江近海沿岸上升流的初步探讨,中国海洋湖沼学会水文气象学术会议一九八〇年论文集,科学出版社,125—136。
- [7] 胡敦欣,1980。关于浙江沿岸上升流的成因及动力结

- 构的研究,海洋科学集刊 21: 113—133。
- [8] 胡方西等,1981。温州海区海洋水文基本特征,全国海岸带和海涂资源综合调查温州试点报告文集,华东师大出版社,10—47。
- [9] 袁耀初等,1982。东中国海陆架环流的单层模式,海洋学报 4(1): 1—11。
- [10] 田向平,1986。珠江口伶仃洋最大浑浊带研究,热带海洋 5(2): 27—35。
- [11] 李粹中等,1980。南海北部大陆架表层沉积物特征,南海海洋科学集刊,科学出版社,1: 35—50。
- [12] 沈焕庭等,1986。长江河口悬沙输移特征,泥沙研究,3: 1—7。
- [13] 恽益民,1981。长江入海物质的浓度、成分及影响范围,海洋实践 2: 35—36。
- [14] 宋连清等,1981。长江口地区地形和浅地层结构特征,海洋实践 2: 27—29。
- [15] 尤坤元等,1981。长江口外及邻近陆架的现代沉积速率,海洋实践 2: 22—26。
- [16] 李淑鸾,1985。珠江口底质中有孔虫埋葬群的分布规律,海洋地质与第四纪地质 5(2): 83—104。
- [17] 汪品先等,1980。我国若干河口的有孔虫介形虫埋葬群特征及其地质意义,海洋微体古生物论文集,海洋出版社,101—111。
- [18] 章纪申、陈荣华,1981。表层沉积中有孔虫的动力沉积特征,海洋实践,2: 29—34。
- [19] 董永发等,1981。温州海岸带沉积物特征,全国海岸带和海涂资源综合调查温州试点区报告文集,华东师大出版社,191—223。
- [20] 胡辉等,1985。长江口外海滨余流特征分析,华东师范大学学报(自然科学),4: 79—90。
- [21] Chau, Y.K. and Wong, C.S., 1960. Oceanographical investigations in the Northern Shelf Region of the South China off Hong Kong, *Hong Kong Univ. Fish Bull.* 3:1—25.
- [22] Chen jiyu et al., 1982. Description of the river mouth bar in the Changjiang estuary, in *Estuarine Comparisons* (Ed. Kennedy), Academic press, New York, pp. 655—666.
- [23] Li Chun Chu and Wang wenjie, 1986. Sedimentation on the zhujiang River Mouth Region, In: *Modern Sedimentation in the Coastal and Nearshore Zones of China*, (Ed. Ren Meie), China Ocean Press Beijing, Springer-verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp. 231—252.