

长江口外羽状锋的屏障效应及其对水下三角洲塑造的影响*

陈沈良 谷国传 胡方西

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

关键词 羽状锋,屏障效应,冲淡水,高盐水,长江口

河口锋在大多数河口地区均有出现,它在河口过程中有着重要作用。国外 Bowman M.J.1978 年对河口锋的动力学问题作过一些研究,国内有学者 1993 年和 1989 年对长江口河口锋的特征以及对泥沙运移的作用作了阐述,但由于锋的多尺度和瞬时演变的复杂性,加之测试手段的局限,至今尚未取得成熟的理论,对锋的研究目前仍处于初级阶段。近年来在长江口水文观测和河口锋大面调查期间,多次发现清、混水体交汇的羽状锋带,经进一步研究还发现羽状锋带常位于水下三角洲前缘部位上,而且其走向也常和水下三角洲前缘线基本一致。由此引起思考:羽状锋是否存在一种抑制河流入海物质穿越锋面的屏障机理?它对水下三角洲的塑造是否起有某种作用?鉴此,本文就长江口外羽状锋的屏障效应及其对水下三角洲塑造的影响作一初步探讨。首先依据 1988~1989 年长江口河口锋大面调查资料,将现场发现的羽状锋带和当时的盐度场进行对照,确定羽状锋带所在部位的盐度分布特征;然后利用历年海洋水文调查资料,绘制历次盐度平面和断面分布图,并依据盐度分布特征,反推出历次锋带所在的位置,进而把现场观察到的和反推出的锋带位置进行综合统计,得出羽状锋带的多年平均位置,并且从盐度断面图上分析羽状锋的结

构;从锋面结构及其两侧的水体密度,论证锋面屏障效应的存在;最后进行屏障效应和水下地貌形态的关联分析,从而探讨羽状锋对水下三角洲的塑造作用。

1 长江口外羽状锋概况

长江口外陆架高盐水从底层向西入侵,冲淡水从上层向东扩展,常在 $123^{\circ} E$ 附近交汇形成羽状锋面;锋面下部起于陆架基底,上部在与海面交界处常出现清晰的线状锋带。两侧不同水体在锋带上相互交嵌,呈羽状分布,断面上表现为较大的盐度梯度,形成盐度骤变带。骤变带垂直的锋称直立锋,骤变带倾斜的锋称倾斜锋。典型的羽状锋多为倾斜锋。锋面两侧不同性质的水体处于不断的运动状态,故锋面其实是一个动态界面,两种水体相互掺混,不过混合作用较弱,不致于使界面消散,只使界面增厚。羽状锋面通常位于锋区内骤变带的核心部位,即盐度梯度的最大处,它和海面交锋处,常出现辐聚带,在这辐聚带上常有泡沫和各种废弃物汇聚,所以在现场肉眼可观察到锋面出露水表而形成的锋带。

羽状锋的位置和强度受长江入海径流和陆架高盐水入侵的制约,具有明显的季节性变化。夏季时

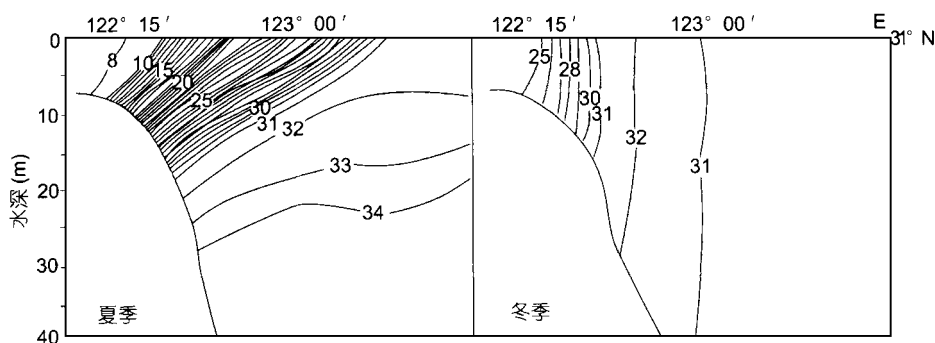


图1 长江口外不同季节的羽状锋

Fig.1 The plume fronts for various seasons out the Yangtze River Estuary

* 高等学校骨干教师资助计划资助。

收稿日期:2001-01-05;修回日期:2001-02-01

江口入海径流量大,冲淡水东扩势力强,致使高盐水入侵边界东移,羽状锋位置离口门较远,同时高盐水势力强盛,多在下层向冲淡水楔入,以强侵型居多,迫使盐度骤变带向外海倾斜,多倾斜锋,锋的强度较大。冬季时入海径流量少,冲淡水东扩势力弱,致使高盐水入侵边界西进,羽状锋位置离口门较近,同时高盐水势力减弱,与夏季相比,盐度相对降低,多在整个水层入侵,以弱侵型居多,盐度骤变带趋于垂直,多为直立锋,锋的强度较弱(图1)。

2 羽状锋的屏障效应

对羽状锋屏障效应的分析,可从锋面两侧的水体密度入手。如图2所示,AB为羽状锋面,并从基底B'倾斜向上之A点,AA'为从出露海表的A点到基底A'点的垂线,△ABA'为锋内区,在理想情况下,可以认为锋内区两边的冲淡水和高盐水的密度各自均匀,则同种水体的压力只是深度的函数,等压面和水平面平行,但是高盐水密度通常比冲淡水大,故两种水体在相同的水深处具有一定的压力差,高盐水侧的压力大于冲淡水侧的压力,从而形成一压力倾斜面,斜压力的方向指向冲淡水侧。根据流体静力学原理,冲淡水侧和高盐水侧的水体压力分别为:

$$P_t = \rho_c gh \quad (1), \quad P_s = \rho_h gh \quad (2)$$

式中, ρ_c, ρ_h 分别为冲淡水侧和高盐水侧的水体密度。斜压力为: $F = \Delta P = P_s - P_t = (\rho_h - \rho_c) gh$ (3)

由锋内区的斜压作用而产生的斜压力具有阻挡冲淡水向外扩展的作用,在此我们称其为“水平屏障力”。式(3)中, g 为重力加速度, h 为水深,只要测定锋面两侧冲淡水和高盐水的密度 ρ_c, ρ_h , 便可得到锋面上任意深度的屏障力。结果显示,锋面的屏障力随水深呈等差级数递增,从1 m深处的 $26.3 \times 10^{-5} N$, 到10 m深处增大到 $262.6 \times 10^{-5} N$, 依次类推到20 m水深以深可达 $525.3 \times 10^{-5} N$ 以上。尽管量值较小,但整个锋面上从表到底乃至整个锋区的盐度骤变带都存

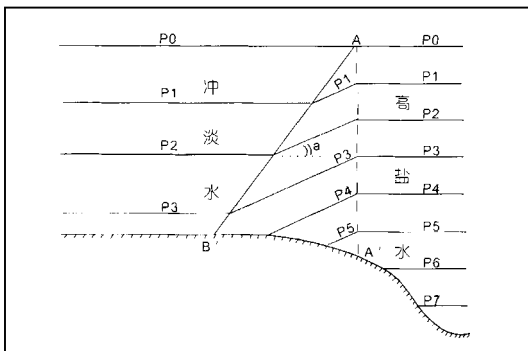


图2 羽状锋的屏障效应

Fig. 2 Sketch map of the barrier effect of plume front

在着这种屏障力,并从上往下逐渐增强。它的存在宛如一道屏障,产生削弱冲淡水向外海扩展的效应,致使冲淡水携带的陆域物质难于穿越锋面输向更远的外海。

进一步从微观角度来看,如果锋面是稳定或静止状态下,泥沙穿越倾斜锋面实际上就是泥沙从上层冲淡水通过界面沉降到下层的高盐水。我们知道泥沙的沉降主要是在重力的作用下克服水体的阻力往底部沉降,而水体中的浮力作用是泥沙沉降的一个主要阻力。在倾斜锋面的上、下层水体对泥沙颗粒的浮力分别为:

$$F_t = \rho_c gD \quad (4), \quad F_s = \rho_h gD \quad (5)$$

式中, D 为泥沙颗粒的体积。可见,泥沙颗粒浮力由于倾斜锋面的上、下层水体的密度差,产生浮力的差异,下层为高盐水,水体密度高,因而浮力大;上层为冲淡水,水体密度小,浮力也小。这个浮力差

$$F' = F_s - F_t = (\rho_h - \rho_c) gD \quad (6)$$

我们称之为“垂向屏障力”。在这个垂向屏障力的作用下泥沙难以沉降进入下层的高密度盐水层,从而在同样的动力条件作用下羽状锋区内泥沙不易沉降,泥沙在上层水体中随锋面的位置移动而迁移。

3 锋面屏障效应对水下三角洲塑造的影响

长江径流每年携带约 $4.86 \times 10^8 t$ 泥沙入海,在口外形成庞大的水下三角洲,其顶部位于长江口拦门沙一带,前缘伸达 $123^\circ E$ 附近(图3),形成水下三角洲的诸多影响因子中,羽状锋的屏障效应也起着一定作用。

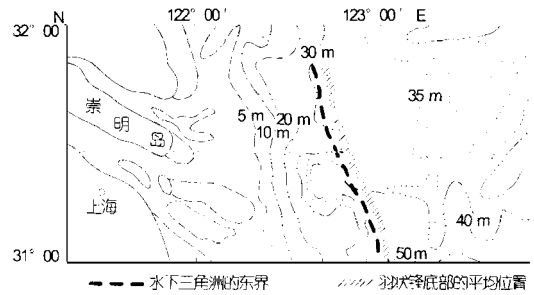


图3 长江口外水下地形和羽状锋位置

Fig. 3 Underwater topography and position of plume front out the Yangtze River Estuary

羽状锋面的屏障效应使得入海泥沙难于穿越锋面,向更远的外海输移,使之聚集在三角洲上方的水体中,为其塑造准备了充足的物质条件,又因冲淡水携带的悬沙量在垂向上通常随水深增大而增多,而锋面的屏障作用也随水深增大而增强,从而更增强了锋面对悬沙的屏障作用,减少了三角洲塑造物质向外海的流失。

据 1975~1982 年、1987~1990 年东海海洋调查和 1982~1983 年上海市海岸带调查的盐度场分析所得的羽状锋位置和 1988~1989 年长江口锋面调查所得的羽状锋位置,经综合统计,得到羽状锋面底部的多年平均位置处于 $123^{\circ} E$,且略成 S-N 向,大致与水下三角洲的前缘相吻合。由此可见,羽状锋的屏障效应对水下三角洲的东界有显著的控制作用,使其难以向外海进一步伸展。

涨潮时,羽状锋面向河口推移,冲淡水扩展范围减小,入海悬沙浓集,在涨憩及其前后的低流速时段内,水体的携沙力降低导致悬沙落淤;落潮时,锋面向海推移,冲淡水向海扩展,所占水域扩大,给悬沙有足够的容存空间,诱导江域悬沙加大入海量。待到落憩及其前后的低流速时段内,悬沙可在更大的范围内落淤。显见,锋面随涨、落潮流推移,导致离口门较远的水域,在一潮周期内悬沙落淤的时间比离较近的水域短,加之越向外海,悬沙越细,落淤能力降低。从而使水下三角洲造成向外海平缓倾斜的地貌形态,而越过羽状锋的多年平均位置, $123^{\circ} E$ 以东的边坡迅速变陡。

谷国传等 1995 年指出夏季长江入海水沙多,陆架高盐水受台湾暖流影响,盐度高,入侵能力强,加大了冲淡水和高盐水的密度差,致使羽状锋充分发育,多倾斜锋面,盐度骤变带宽,锋区范围大,屏障力强,使入海悬沙在水下三角洲水域积聚,当结聚到超过水体的负载能力时,便落淤底部,加速了水下三角洲的发育,所以夏季是水下三角洲的主要沉积期。冬季长江入海水沙少,陆架高盐水势力弱,减小了冲淡水和高盐水的密度差,削弱了羽状锋的强度,多直立锋面,盐度骤变带窄,锋区范围小,屏障力弱,加之冬季风浪大,落淤泥沙未经密实就被再悬浮,悬浮的部分泥沙在锋面的屏障效应和江浙沿岸流的共同作用下向南输移,可见冬季是水下三角洲的缓沉积或微冲期,根据长江口外局部水下地形的测量反映出,夏季泥沙大量落淤,而冬季泥沙再悬浮强,水下地形处于微冲状态,这其中羽状锋起着一定的控制作用。因此,长江口外羽状锋夏强冬弱的变化明显地影响了水下三角洲塑造的季节变化。

THE BARRIER EFFECT OF PLUME FRONT ON THE SUBMERGED DELTA DEVELOPMENT OF YANGTZE RIVER ESTUARY

CHEN Shen-liang GU Guo-chuan HU Fang-xi

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

Received: Jan. 5, 2001

Key Words: Plume front, Barrier effect, Diluted water, High saline water, Yangtze River Estuary

Abstract

Based on data obtained from the survey of the Yangtze River Estuarine front, a detailed analysis of the frontal surface structure, position, intensity and seasonal variations is presented. From the frontal surface structure and water densities of both sides of the front, a formula of frontal surface barrier force is deduced based on the hydrostatic principle, which suggests the barrier effects of estuarine plume front. Furthermore, the correlation analysis between barrier effects and underwater topography indicates the plume front effects on the submerged delta development. That is, the average frontal surface position prevents the submerged delta from further extending eastward, the front movement with flood and ebb causes the submerged delta to slant eastward gently, and the seasonal variations of frontal intensity restricts the submerged delta cycle of summer-deposition/ winter-erosion.

(本文编辑:李本川)