

河口涨潮槽的演变及治理*

沈焕庭 李九发

金元欢

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海 200062) (浙江省海洋及海岸带科技开发中心, 杭州 310012)

提要 根据长江口 1958—1987 年的地形、水文测量资料和研究成果, 对河口涨潮槽的形态特征、水文泥沙特性、形成原因与演变规律作较系统的分析研究。结果表明, 涨潮槽呈上口窄下口宽的喇叭形, 延伸方向受口外潮波传播方向制约, 潮波更多地呈现驻波性质; 涨潮流起主导作用, 余流方向指向上游, 涨潮期含沙量大于落潮期; 涨潮槽的水文泥沙特性有明显的大小潮、洪枯季和年际变化, 其分布可从口外海滨一直延伸到潮流界; 按成因涨潮槽可分为以涨潮流作用为主、由落潮槽被沙嘴分割和由落潮槽退化而成等 3 种类型; 涨潮槽的利用与整治要因势利导, 顺应其演变规律。

关键词 河口 涨潮槽 长江口

落潮槽一般表现为主槽, 涨潮槽一般表现为副槽, 研究涨潮槽的发育过程与演变规律, 在理论上可丰富河口动力地貌学的内容, 在实践上对港口选址、通航航道治理、护岸围垦乃至河口综合开发利用具有重要意义。60 年代陈吉余等(1989)首次对钱塘江河口冲刷槽的形成与演变进行了研究, 取得了重要的研究成果。嗣后, 在某些论述河口河槽演变的论文中对此问题也有所涉及, 但尚无作系统地专门研究。

1 研究方法

利用 1958—1987 年地形、水文测量资料对河口涨潮槽的形态特征、水文泥沙特性、形成原因与演变规律进行分析研究, 结果如下。

2 研究结果

2.1 涨潮槽的形态特征

2.1.1 几何形态 一般而言, 涨潮槽的展宽作用大于刷深作用, 落潮槽的刷深作用大于展宽作用, 所以涨潮槽通常呈现上口窄下口宽的喇叭形, 在纵断面上为上口浅下口深、槽线延伸距离较短, 等深线的闭合端指向上游, 从而使过水断面面积自海向陆逐渐变小。多数涨潮槽属于此种情况, 如长江口的北支, 长兴岛的南、北小泓, 新桥水道, 天生港水道(图 1), 闽江口的梅花水道, 鸭绿江口的老西航道等即是。但在某些强潮河口, 由于潮流强劲及受岩、礁石和河型的影响, 水流下切能力非常强, 在此情况下, 往往会形成一种宽度窄、深度大、边坡陡、纵比降小和槽线延伸距离长的涨潮槽。如杭州湾的金山深槽和钱塘江河口段的激浦深槽就是由强劲的涨潮流冲刷形成的, 均具有上述特点。其中金山深槽, 平均水深 48.2m, 最大水深可达 50—60m, 深槽底宽 1 300m 左右, 长度为 11.7km, 宽深

* 自选课题。沈焕庭, 男, 出生于 1935 年 9 月, 教授。

收稿日期: 1992 年 11 月 9 日, 接受日期: 1993 年 5 月 4 日。

比 (\sqrt{B}/H) 仅为 0.8 左右, 深槽左、右边坡分别为 1%—2%, 4%—6% (曹沛奎等, 1989)。

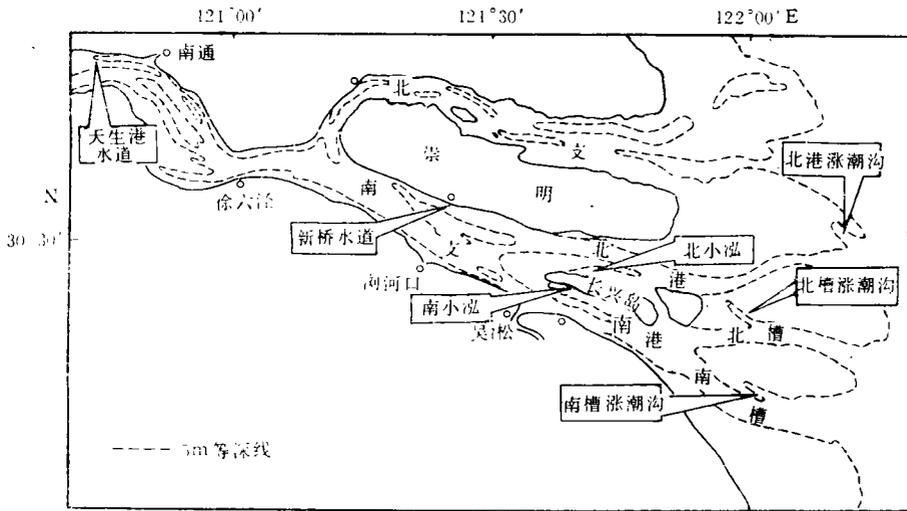


图 1 长江口涨潮槽分布图

Fig. 1 Changjiang River Estuary with flood channel distribution

2.1.2 延伸方向 位于口门附近的涨潮槽的延伸方向在很大程度上受到口外潮波传播方向的制约, 由于外海来的潮波传播方向比较稳定, 故涨潮槽的延伸方向亦相对比较稳定。如在长江口的南槽、北槽和北港下段, 都存在以涨潮流作用为主形成的涨潮槽, 它们虽处于不同的汉道, 但其延伸方向基本是一致的, 都是接近西北向, 与 305° 的潮波传播方向非常吻合, 且对比历史海图可看出, 这一延伸方向长期以来变化极微 (沈焕庭, 1981)。

受地球自转效应影响, 口外海滨和口门附近的涨潮槽其位置在北半球一般都偏向潮波传播方向的右侧, 如长江口门附近和杭州湾的涨潮槽大都位于河口北侧。但从口门往里, 涨潮槽的延伸方向除仍受到河槽边界条件的制约, 如岸边的天然矾头以及岸线的局部突出, 都对潮流流向有一定的挑流作用, 从而改变涨潮槽的延伸方向。如杭州湾澉浦长樯山对涨潮流的挑流作用, 使涨潮槽不帖近北岸山体。

2.2 涨潮槽发育的动力条件

2.2.1 水文特性 涨潮槽多数呈喇叭型, 上口是等深线的闭合端, 传入的潮波在此发生发射、变形强烈, 更多地表现为驻波性质。涨潮流在涨潮槽中占优势地位, 余流方向指向上游。若在此种冲刷槽内修建丁坝, 其坝头冲刷坑出现在上游侧。涨潮槽中的潮差、涨潮流历时等均比同一断面的落潮槽要大。在一些断面由下口向上口急剧收缩的涨潮槽中, 潮波变形尤为强烈, 常出现涌潮现象, 如长江口的北支, 大潮期在灵甸港至青龙港河段就有涌潮现象, 其高度可达 1—2m, 流速可超过 3.7m/s, 含沙量可达 30kg/m³ 以上。涨潮槽内由于涨潮流作用比落潮流强, 盐淡水混合比较强烈, 往往呈垂向均匀混合型(C型) (沈焕庭等, 1986)。盐度也要比同一断面的落潮槽大。

2.2.2 泥沙特性 在涨潮槽中, 涨潮期的含沙量大于落潮期的含沙量。如长江口北支, 大潮期垂线平均含沙量, 涨潮为 2.96kg/m³; 落潮为 2.28kg/m³; 最大含沙量涨潮可达

30.6kg/m³, 落潮为 25.3kg/m³, 净输沙方向一般指向上游。在一个潮周期内, 由涨潮流带入的泥沙往往不能在落潮期全部被带出。如长江口新桥水道的多次实测资料表明, 一个潮周期中有 30% 的泥沙落淤在河槽内, 导致河槽不断淤浅, 其淤积过程由上口逐渐向下口传递。上口淤积以悬沙落淤为主, 床沙组成自上口向下口表现出逐渐粗化的特性。

2.3 涨潮槽的形成原因

由于受地球自转效应和河槽地形变化等因素的影响, 涨落潮流路不相一致是潮汐河口一个普遍的现象。对于水面宽阔、涨落潮量都很大的河口而言, 这种流路分歧的现象尤为显著。流路分歧结果导致河槽发生分歧, 落潮动力轴所在为落潮槽; 涨潮动力轴所在为涨潮槽。涨潮槽的分布范围可从口外海滨一直延伸到潮流界。按其成因大致可分为 3 种类型。

2.3.1 由涨潮流为主塑造而成 此种类型多分布在强潮河口的口外海滨和中潮河口的口门附近。前者如钱塘江河口的金山深槽(图 2)、澈浦深槽, 它们均由强劲的涨潮辐聚水流冲刷而成。后者如长江口南槽、北槽和北港下段航道拦门沙附近的数条平行的涨潮槽。由涨潮流冲刷浅滩形成。此类涨潮槽的延伸方向与外海传入潮波的方向基本一致, 因而比较稳定。

2.3.2 由落潮槽被沙嘴分割而成 位于河口段的涨潮槽大部分属于此种类型。如长江口南支的新桥水道就是被扁提沙嘴从南支中分割而成的。1940 年以前, 长江主泓经由当时的白茆沙北水道下泄, 崇明岛的西南岸线濒临长江大溜, 尔后随着白茆沙南水道的发展, 使白茆沙向北移动, 北水道深槽逐渐淤浅消亡, 至 1958 年白茆沙部分水下沙堤与早期的扁提沙体连成一片, 使新桥水道与南支主槽分离。随着入槽径流的不断减小, 潮流作用增强, 从而使新桥水道转化成一条以涨潮流作用为主的涨潮槽(陈吉余等, 1988), 长江口的天生港水道和长兴岛南、北小泓均有与此类似的形成过程。

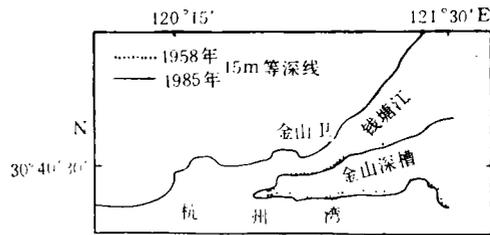


图 2 金山涨潮冲刷槽

Fig. 2 Jinshan flood channel in Zhejiang

2.3.3 由落潮槽退化而成 长江口北支是此种类型的典型范例。北支是伴随着崇明岛这个河口沙岛的形成而产生的, 14 世纪中叶至 18 世纪中叶, 曾是长江入海的主支, 18 世纪中叶以后, 长江主流南徙, 使北支成为长江口的支汊, 但至 20 世纪上半世纪, 北支仍为一个具有落潮槽性质的河口汊道, 当时从北支入海的径流量约占总径流量的四分之一, 落潮流和落潮输沙量占优势, 宽深比小, 至 50 年代以后, 北支因上口变化分流量不断减小, 甚至出现负值, 水量与沙量以净进为主, 向南支倒灌, 涨潮流作用逐渐居优势地位, 宽深比加大达 20—30 左右, 从而演化成一条具有涨潮槽性质的河口汊道。鸭绿江口的老西航道、闽江口的梅花水道(潘定安等, 1991)也属此种类型。

2.4 涨潮槽的演变规律

2.4.1 短周期变化 有大小潮变化、季节性变化二种规律。

大小潮变化 大潮期潮差大、流速大、潮流作用加强, 涨潮槽性质也随之加强, 含沙

量高、泥沙主要淤积在河槽的上段以及向与其相通的主槽倒灌。小潮期反之,潮差小,流速小,潮流作用减弱,涨潮槽性质也随之减弱,垂线平均含沙量低,但近底含沙量较高,泥沙一般淤积在河槽的中、下段,尤其在沙坝的前坡淤积量最大。在某些涨潮槽中,可出现大潮期为涨潮优势流和优势沙,而在小潮期为落潮优势流与优势沙交替变化的情况。

季节性变化 涨潮槽季节性变化的特点基本上与河口河槽的季节性冲淤变化规律一致。在强潮的钱塘江河口,洪季上段河槽冲刷,下段河槽淤积;枯季则为上段淤积,下段冲刷。涨潮槽与上段河槽冲淤变化相应,表现为洪季深度增大,槽端上溯;枯季则为深度减小,槽端退缩(陈吉余等,1989)。季节性垂向冲淤幅度约为1—3m,横向变幅约为20—400m,此种冲淤规律主要原因为:夏季潮量大,潮流作用强,含沙量较小,从而引起河槽冲刷;而冬季含沙量高,潮流作用相对较弱,从而引起河槽淤积。在径流量大、来沙量丰富、潮汐中等强度的长江河口,其涨潮槽由于洪季径流量和来沙量大,枯季径流量和来沙量小,潮流作用强,则表现为洪季淤积量大,枯季淤积量小,或洪淤枯冲的特点。某些涨潮槽因洪枯季水沙条件变化大,会引起槽内优势流的交替变化,即枯季为涨潮优势流,而洪季当径流大量增加时,又转化为落潮优势流。如长江口的新桥水道,枯季时的优势流,在新桥港为42%,堡镇为44%,属涨潮优势流。而洪季时新桥港的优势流达60%,转化为落潮优势流,出现河槽暂时受到冲刷的现象,这是使它能较长时期地得以维持的原因之一。

2.4.2 长期变化 此处的长期变化是指多年变化,其变化规律与涨潮槽的成因有密切关系,现分别探讨。

以涨潮流为主形成的涨潮槽 由于口外潮波主要由天文因素控制,加上外海大尺度地形变化缓慢,故此涨潮槽的延伸方向也比较稳定,其冲淤变化呈现出平移运动的特点:时而增深,时而变浅;时而前移,时而后撤。但总的趋势是随着河口的向海推移,其等深线闭合端不断向海退缩,退缩的快慢受制于河口向海推进的速度。在特定条件下,此类涨潮槽有时可能被下泄洪水袭夺,转化为落潮槽,如长江口北槽伸向横沙东滩的涨潮槽,1973年前是一条-5m等深线未贯通的涨潮槽,后来由于北港下段出现淤积体,北岸崇明东滩的团结沙又向南淤涨,迫使北港水流南偏,1973年遇长江大水(最大流量达70 000 m³/s),北港水流过横沙后向南偏转,横沙东滩涨潮槽被袭夺,-5m等深线全线贯通,河槽容积扩大,转化成一条落潮槽,近年来北港下段的淤积体向海推移,泄洪能力有所恢复,该槽又复淤积,恢复原来涨潮槽的性质。

落潮槽被沙嘴切割形成的涨潮槽 因涨、落潮槽潮波性质和传播速度的差异,在两槽的同一横断面上往往存在位相差,一般是涨潮槽的潮位比落潮槽先涨先落,这不仅形成了水面的横比降,并加大了涨潮槽水面的纵比降。横比降的存在必然产生横向水流,漫滩切割分隔两槽的沙体,先形成串沟,继而发育成沟通涨落潮槽间的横向通道,此种通道大多发生在沙体的中、下段,大量下泄径流通过它注入涨潮槽,对其下段的河槽性质与演变产生重大影响,甚至可使其转化为落潮槽。如长江口的新桥水道,它被扁担沙嘴与南支主槽分隔,1974年5月,复式河槽断面两侧,落潮平均水位差达0.47m,沙嘴上实测过滩流速达2.05m/s,强劲的过滩水流在沙嘴上冲出一条南门通道,此通道经过一段时间发展后又逐渐衰亡,代而取之的是新桥通道的形成,该通道渲泄长江水量的54%左右,致使下

段明显冲深,北港 10m 等深线上溯到临近南门港,使新桥水道下段转化为落潮槽,水深得到显著改善。此类涨潮槽上段的冲淤变化与上口通道淤积体的变化息息相关,若上口水沙条件无大幅度改变,上段将保持涨潮槽性质,河床不断地淤浅,向衰亡方向发展,最终使原分隔涨、落潮槽间的沙体与岸并靠连成一体。

落潮槽退化形成的涨潮槽 此类涨潮槽本身就显示河槽性质已从量变发展到质变,是河槽趋向衰亡的标志。其演变规律主要表现为:随着进槽径流量的减少,涨潮流作用不断增强,水流含沙量加大,河槽淤积加速,河床抬高,河槽容积减小。淤积过程一般是由上口向下口传递,最后趋向衰亡。如长江口北支,从 50 年代末到 70 年代,南、北支交汇处河势发生了较大变化,1958 年后,通海沙与江心沙陆续围垦,1970 年江心沙北汊封堵,徐六泾江面自 13km 缩窄到 5.5km,同时崇明岛西端老白茆沙北靠并岸,使北支上段流路与长江主流呈 90° 交角,水流不畅,北支分流量显著减少,1959 年发现北支水沙盐倒灌入南支,至 70 年代最为严重。据实测资料估算,每年由北支倒灌入南支的泥沙约 $4 \times 10^7 \text{t}$,主要在南、北支分汉口的会潮点附近淤积,早先会潮点位于南支上口与北支进口的结合部,在此堆积形成涨潮水下三角洲(图 3)。随着北支上口不断淤积,河床阻力逐渐加大,会潮点向北支上口转移,加速了北支上段河槽的淤积。统计表明,1958 年以来,北支上、中河段年平均淤积量达 $0.7 \times 10^8 \text{m}^3$,是 1958 年前年平均淤积量 $0.34 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 2 倍多。近 30 年来,整个北支河槽容积减小 $1.9 \times 10^8 \text{m}^3$,上段青龙港断面河宽从 1915 年的 5.8km 缩窄到 1.8km,减小 69%。而下口在潮流和波浪作用下,口门河宽从 1915 年的 12km 扩大到 16km,使北支成为典型的宽浅喇叭形潮汐汉道,但自 1980 年以来,因为会潮点下移等因素的影响,北支倒灌入南支的水、沙大幅度减少,枯水期大、中潮时仍有倒灌现象发生。近年来北支上口冲深,分流量有所增加,上段由淤积转为冲刷,下段淤积严重,整个北支总淤积量比 70 年代成倍增加,淤积以至消亡的总趋势难于逆转,这是此类涨潮槽发展的必然结果。但任其自然发展完成这一过程的时间是相当漫长的。

2.5 涨潮槽的利用与整治途径

涨潮槽的利用与整治既要根据需要,又要因势利导,顺应其演变规律进行。由于不同成因的涨潮槽有不同的演变规律,因而对涨潮槽的利用和整治途径也就不能相同。

2.5.1 以涨潮流为主形成的涨潮槽 此类涨潮槽的特点是:位于口外海滨或口门附近,延伸方向比较稳定,除槽端附近水深较浅外,一般都比较深,故可将其中、下段作为航道来利用。如长江口南槽涨潮槽,它位于航道拦门沙的下游侧,上侧为落潮槽。在开挖南槽—7m 航道时,上段利用落潮槽,下段利用涨潮槽,因而在布置槽线走向时,上下段取的方向有所不同,上段取落潮流的最大流速方向,下段取涨潮流的最大流速方向。实践证明,这样做是符合客观规律的(沈焕庭等,1983)。中段是拦门沙滩顶所在,是水深最浅的地方,也是涨落潮槽分异的部位。加深拦门沙滩顶航道,实质上就是要接通落潮槽与涨潮槽,若能将这两个冲刷槽接近靠拢,使复式河槽向单一河槽方向发展,有利于航道水深的增加。如前所述,此类涨潮槽的轴向比较稳定,要改变它是极困难的。而落潮槽的延伸方向相对易变,也较易控制,故要使落潮槽与涨潮槽镶嵌,应采取措施改变落潮槽的走向去逼近涨潮槽,而不是相反。

2.5.2 由落潮槽被沙嘴分割形成或退化而成的涨潮槽 此两类涨潮槽的特点与演化规

律大同小异,它们都位于河口段,属副槽性质,从长远观点看,随着河口向海延伸都将逐渐衰亡,故一般而言,不宜利用它们作深水航道,或在其岸边建大港。而应用于围垦造地,发展水产养殖,建造蓄淡水库等,潮差大的还可利用潮汐能量发电。这样做除能达到上述目的外,还可使断面呈W形的复式河槽转化为呈U形的单一河槽,使水深和深槽宽度增大,有利于改善主槽的水深。

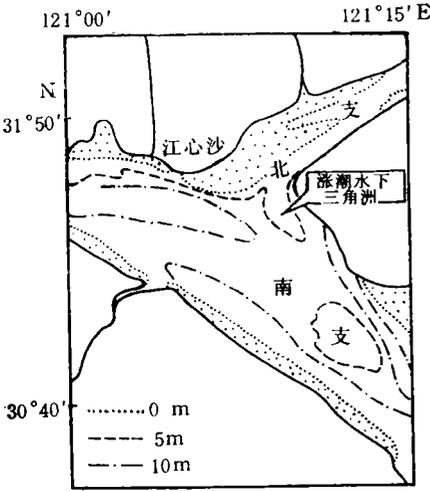


图 3 北支上口涨潮水下三角洲
Fig. 3 Subaqueous delta of flood at north branch upper mouth in Changjiang River Estuary

此两类涨潮槽的盛衰在很大程度上取决于上口落潮分流量以及河槽本身纳潮量的多寡。要整治它们,一般在其上口做工程较为经济合理,往往可以收到事半功倍的效果。欲使此两类涨潮槽保留或发展,则要使其上口畅通,与主槽保持锐角相交,保持一定的过水断面和落潮分流量,河槽走向要与涨潮流方向一致。要做到这些,在涨潮槽发育初期比较容易,如已发展到中、后期就比较困难,不仅耗资大,且效果也不佳。如长江口南通的天生港水道,淤积严重,为了使其复活,1986年曾耗资数10万元,采用疏浚方法,试图开通上口汉道,增加落潮分流量,以维护和增加该水道中、下段的水深。结果是边挖边淤,不到3个月,开通的汉道全部淤平,未能达到预期目的。因此,对发展到中、后期行将衰亡的涨潮槽,采取措施要使其复活,往往是事倍功半甚至是徒劳的。

欲要加速此两类涨潮槽衰亡,在上口建丁坝工程,挑流促淤,使上口水道扭曲或淤浅,入槽的落潮分流量减少,这样可加速其衰亡。若修筑锁坝,见效更快。如长江口江心沙北泓堵坝工程就是一例。江心沙北泓是南、北支分汉口上游的一条纵向汉道,上接南通河段,下连北支,1970年时汉道长度为12km,水深为3m左右,上口10m线已中断,下口宽约为3.7km,有涌潮现象,具有涨潮槽的典型特征。同年在汉道的会潮点附近,建造了一座长2150m的锁坝——立新坝,建坝后汉道淤积大大加速,月淤积量由建坝前的 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增加到 $149 \times 10^4 \text{ m}^3$,淤积速度增大12倍多。至1976年汉道已淤高到4.2m,共围垦土地2.81万亩。不仅如此,江心洲与陆相连后,还使徐六泾河段河槽缩窄,形成一个窄河段,起节点作用,对上下游河道演变起了重要的控制作用,使长江河口段的治理范围大为缩短。应予指出,在此两类涨潮槽的中、下段建丁坝或潜坝工程,增加河床糙度,也有加速其衰亡之效。究竟是在上口抑或中、下段采取工程措施以及采用何种形式的工程措施,则视需要和涨潮槽的实际情况而定。

3 结语

涨潮槽是有潮河口普遍存在的一种地貌单元,对它进行研究,无论从理论上还是实践上均具有重要意义。本文根据大量实测资料及作者等的研究成果,主要以长江河口为例,从动力、地貌、沉积相结合的角度,对河口涨潮槽的形态特征、水文泥沙特性、形成原因、时

空变化规律及整治利用途径作了较全面的初步探讨, 试图以此来引起学者们对涨潮槽的重视, 进一步从定量上对它作深入研究。

参 考 文 献

- 陈吉余等, 1988, 长江河口动力过程和地貌演变, 上海科学技术出版社(上海), 375—389。
 陈吉余等, 1989, 中国海岸发育过程和演变规律, 上海科学技术出版社(上海), 190—207。
 沈焕庭, 1981, 长江河口潮波传播及其对河槽演变的影响, 中国地理学会 1977 年地貌学术讨论会论文集, 科学出版社(北京), 53—61。
 沈焕庭等, 1983, 长江河口通海航道治理研究, 海洋科学, 4: 5—9。
 沈焕庭等, 1986, 长江河口环流及其对泥沙输移的影响, 海洋与湖沼, 21(5): 26—35。
 曹沛奎等, 1989, 杭州湾北部潮流冲刷槽演变分析, 地理学报, 44(2): 157—166。
 潘定安等, 1991, 闽江口川石水道的水文泥沙特性及其内拦门沙成因分析, 华东师范大学学报(自然科学版), 1: 87—96。

EVOLUTION AND REGULATION OF FLOOD CHANNELS IN ESTUARIES

Shen Huanting, Li Jiufa, Jin Yuanhuan[†]

(*Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062*)

[†](*Zhejiang Ocean and Coastal Zone Development Center Hangzhou 310012*)

ABSTRACT

Based on the 1958 to 1987 field data of topography and hydrologic measurements of the Changjiang River Estuary, as well as the new developments, this systematic analysis and study on the figuration features, hydrologic and sedimentary characteristics, formation and evolution of flood channels in estuaries, show that flood channels are trumpet-shaped with narrow upper mouth and wide lower mouth. Their extending directions are controlled by the spreading directions of tidal waves out of the mouths, which in most cases have the features of stationary waves. In flood channels, flood tides have a dominant role. The directions of residual currents are upstream. The suspended sediment concentration during flood tide are larger than that during ebb tide. The hydrologic and sedimentary characteristics of flood channels have obvious variations between spring and neap tides, flood and dry seasons, and years. The flood channels may stretch from the offshore area to the upper limit of tidal current. According to their formation, flood channels can be divided into three types, they are flood channels dominated by flood tides, flood channels formed by ebb channels divided by sand spit and flood channels formed by regression of ebb channels should be guided according to the circumstances and their evolution laws.

Key words Estuary Flood channels Changjiang River Estuary