

河口涨潮沟形成水动力机制初探

宋志尧,严以新,朱 勇

(河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 根据长江口 1965 ~ 2000 年的地形资料和研究成果,应用理论力学中平面汇交力系的平衡条件,对河口涨潮沟形成的水动力机制进行了初步分析和探讨.结果表明,涨潮沟的形成与衰亡与主槽涨潮动力主轴的摆动和涨潮动力的变化密切相关,涨潮沟的利用与整治必须因势利导,顺应其形成机制和演变规律.

关键词 涨潮沟,涨潮动力,长江口,汇交力系

中图分类号 :P731.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2002)04-0045-04

河口是径流和潮流共同作用的地区,这两股水动力在该地区相互作用,此消彼长,塑造了河口独特的地貌形态.涨潮沟,又称涨潮槽,是由涨潮流塑造形成的,是河口地区普遍存在的地貌形态.研究涨潮沟的形成机制、发育过程和演变规律,在理论上可丰富河口动力地貌的内容,在实践上对港口选址、通海航道治理、护岸围垦乃至河口综合开发利用具有广泛的应用价值.20 世纪 60 年代陈吉余^[1]首次对钱塘江河口冲刷槽的形成与演变进行了研究,取得重要的研究成果.1995 年,沈焕庭等^[2]对河口涨潮槽的形态特征、水文泥沙特征、形成原因与演变规律进行了较系统的分析研究.但这些分析论述均侧重于涨潮槽演变规律的研究,沈焕庭等的研究也仅分析了涨潮槽形成的一些外部原因.国内外均鲜见有关解释涨潮槽形成的水动力学内在机制的论著.

长江口是世界著名的潮汐河口,径流量大,潮流亦强,在这两股强劲动力的相互作用下构成了长江口有规律的分汊.长江口槽滩相间、彼此影响,随着主槽的演变,涨潮沟时而形成,时而衰亡,是研究涨潮沟形成机制和演变规律的理想地区.此外,长江口经过近 40 年的研究,特别是近 10 年来通过对深水航道的治理研究,已积累了丰富的地形、水文测量资料和很多宝贵的科研成果,这些都为涨潮沟形成机制的研究提供了必要的基础.

1 分析方法

由理论力学中有关平面汇交力系的平衡条件可知^[3]:平衡力系的合力等于零,即其力多边形肯定是封闭的或力系中所有各力在两个坐标轴的每一轴上的投影的代数和必为零;一旦力系已有的平衡被破坏,为了建立新的平衡,力系中的各力将作相应的调整.

本次分析的基本假定是力系中只有一个力矢发生变化.在此假定下,对 3 个力构成的平衡力系,若只有 A 发生变化,则必导致原平衡的破坏和新平衡的建立,并产生一个次生力矢,如图 1 所示.图 1 还表明,当力 A 的变化趋势不同时,次生力的作用方向也是不同的,如变为 A_1 和 A_2 (虚线)时分别产生的次生力 D_1 和 D_2 (点画线).

在动力与地貌相互作用的分析研究中,如果 A_1 代表作用于沿某等深线以下过水断面的水动力,则此动力的变化以及由此所产生的次生力(大小和方向)对分析和解释主槽两侧该等深线的变化是十分有价值的.

2 分析实例

潮流是水体在潮动力作用下的运动形式,依此涨潮流则是涨潮动力作用的

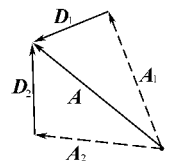


图 1 力矢和次生力矢

Fig.1 Sketch of forces and sub-forces

结果,因此,就涨潮动力而言,可间接地由涨潮流量来反映.对作用于沿某等深线以下纳潮断面的涨潮动力可作如下定义:大小可用该纳潮断面的涨潮流量代表,涨潮流量大说明涨潮动力强,反之亦然;方向可认为是该断面的法向,该方向既是该断面最大涨潮流量的方向,又是涨潮动力主轴所在的方向.

从东南方向传播来的东海前进潮波进入长江口外海,涨潮动力在九段沙外的作用方向略小于口外潮波的前进方向(305°).尔后,该涨潮动力基本上分为3股,一股经南槽口沿南槽向上,一股经北槽口沿北槽向上,还有一股沿横沙浅滩外侧北上,进深槽后涨潮动力得以归顺(图2).以下在假定东海的潮动力和进入南槽及北上的潮动力没有变化的条件下,分析研究因北槽2 m和5 m纳潮断面潮动力(即进入北槽潮动力)的变化和由此形成涨潮沟的可能性.

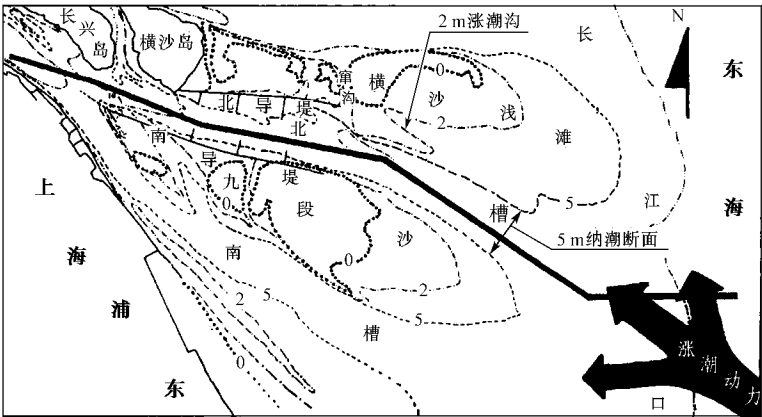


图2 北槽外涨潮动力分解(1997年测图)

Fig.2 Resolution of flood tidal force on seaside of the North Channel
(according to topographic map measured in 1997)

2.1 5 m 纳潮断面

根据1965,1973,1986,1990,1992,1994年和1996~2000年共11年的水深测图,分别确定5 m纳潮断面的涨潮动力的主轴方向,列于表1中.由表1可以得出,在这30余年中5 m等深线的涨潮动力主轴在 $305^{\circ} \sim 309^{\circ}$ 之间摆动.

表1 5 m 纳潮断面涨潮动力主轴方向

Table 1 Direction of flood tidal force at cross section between two 5 m contours on the lower North Channel

年份	1965	1973	1986	1990	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000
方向($^{\circ}$)	305.5	308	309	308	306	306	306	305	306.5	306	306.5

涨潮动力方向的变化只是涨潮沟形成的一个重要因素,另一个重要因素则是涨潮动力的大小.为此,利用平面二维数值模式针对1990年和1997年的地形进行了计算,得到一个潮周期内进入该纳潮断面的涨潮流量分别为10.463亿 m^3 (1990年)和10.078亿 m^3 (1997年),显然1997年比1990年略减0.385亿 m^3 .正是由于涨潮动力在大小和方向上的变化,引起原平衡力系的破坏,为建立新的平衡,势必产生一个次生力,该力的方向应偏右,这就具备了在其右侧形成涨潮沟的动力条件.图3为用1997年地形模拟计算的北槽口枯季大潮潮流椭圆,其长轴可认为是潮动力主轴,而北槽航道轴线的走向在 $307^{\circ} \sim 308^{\circ}$ 之间.进入北槽口涨潮动力主轴则明显小于 307° ,这使得横沙浅滩头部5 m等深线的凹陷基本形成了5 m涨潮沟的雏形,从而证实了上述分析的正确性.

由以上分析可以断定(a)北槽口5 m等深线的涨潮

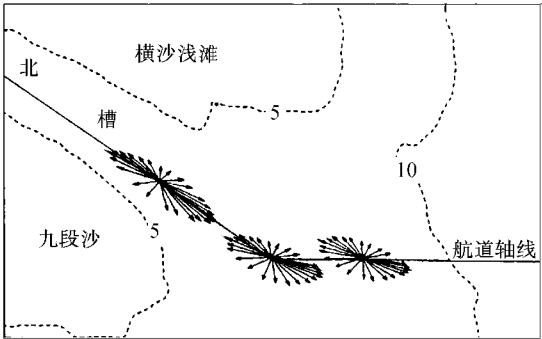


图3 枯季大潮北槽口潮流椭圆(1997年测图)

Fig.3 Tidal current ellipse around the North Channel
mouth for a spring tide dry season
(according to topographic map measured in 1997)

动力主轴方向应在 $306^{\circ} \sim 307^{\circ}$ 之间,一般不会在其两侧出现 5 m 涨潮沟 (b)若涨潮动力主轴方向大于 307° ,次生力作用于九段沙头部,则其附近有可能出现 5 m 涨潮沟,这已被 1986 年的测图所证实(图 4)(c)若涨潮动力主轴方向小于 306° ,次生力作用于横沙浅滩头部,则在其附近有可能出现 5 m 涨潮沟,这也被 1992 年以后的测图所证实(图 4)。1992 年后,北槽口 5 m 等深线的涨潮动力主轴方向均小于 307° ,因此各年测图均发现横沙浅滩头部 5 m 涨潮沟的雏形,而且随着主轴方向的摆动而略有消长(如图 4)。

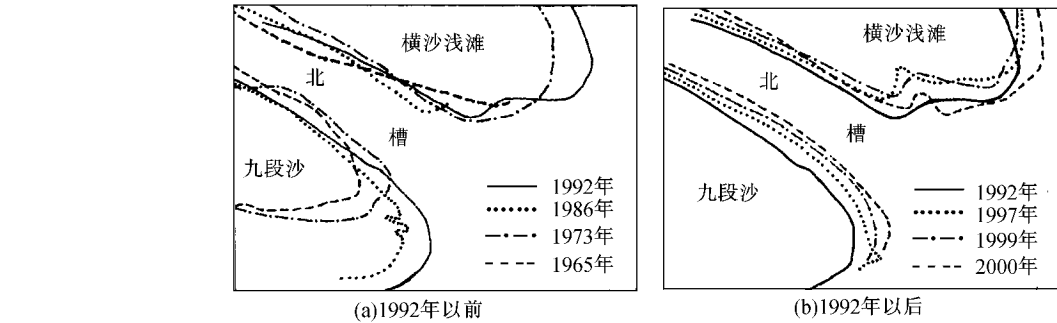


图 4 北槽口 5 m 等深线的变化

Fig.4 Variation of 5 m contour around the North Channel mouth

2.2 2 m 纳潮断面和 2 m 涨潮沟的发育

对 2 m 涨潮沟(见图 2),用上述同样的方法选取了 1990,1994 和 1997 年的测图,应用二维潮流数学模型^[4~5],数值计算了 2 m 纳潮断面涨潮动力的变化情况,分析解释 2 m 涨潮沟的发育演变。

横沙东滩 2 m 涨潮沟可能很早就已经形成(至少在 20 世纪 70 年代初),其形成的机制也可以用上面的分析得到解释,但因为六七十年代的地形测图一般没有浅滩上的数据(2 m 等深线不全),无法进行具体分析。图 5 为 2 m 涨潮沟附近涨急流场(1997 年测图),图中最大流速近 1.8 m/s 。从图中可以看出,由于存在浅于 2 m 的沙脊,该沙脊呈东南走向,主槽(即北槽)与 2 m 涨潮沟中的流路在沙脊头部出现一定分叉,但夹角很小。应当指出的是,北槽主流速方向主要受制于 5 m 等深线,与 2 m 涨潮沟的主流速方向是不可比的。这里主要分析北槽(即主槽)2 m 纳潮断面涨潮动力的变化对 2 m 涨潮沟发育的关系。表 2 为北槽 2 m 纳潮断面和 2 m 涨潮沟涨潮动力的变化,结合 2 m 涨潮沟的伸展速率 1990 年为 500 m/a 、1994~1997 年为 400 m/a ,可知 1990~1994 年 2 m 涨潮沟方向的发育的主要原因是北槽纳潮断面涨潮动力主轴方向的变化,而 1994~1997 年则主要是由于涨潮量的变化促成的,这可能与北槽的深水航道治理一期工程的施工有关。从另一方面还可以看出,主槽动力主轴方向的变化对 2 m 涨潮沟的发育产生的影响要大于涨潮量变化所产生的影响,由此可以断定,涨潮动力主轴方向的变化是涨潮沟形成和发育的主要因素。

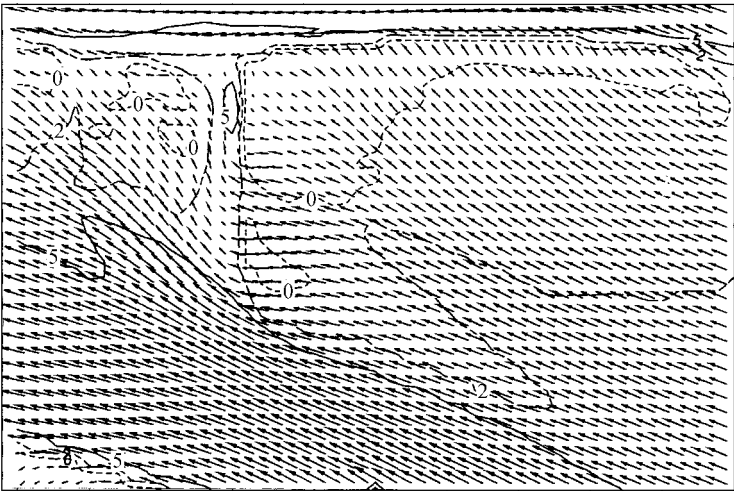


图 5 2 m 涨潮沟附近涨急流场(1997 年测图)

Fig.5 Maximum flood current field around 2 m flood channel
(according to topographic map measured in 1997)

表 2 北槽 2 m 纳潮断面和 2 m 涨潮沟涨潮动力变化

Table 2 Variations of flood tidal force at 2 m cross sections and 2 m flood channel of the North Channel

断面位置	1990 年		1994 年		1997 年	
	方向/(°)	涨潮量/亿 m ³	方向/(°)	涨潮量/亿 m ³	方向/(°)	涨潮量/亿 m ³
北槽 2 m 纳潮断面	299	11.646	294	11.502	293	11.226
横沙东滩 2 m 涨潮沟	300	1.347	300	1.644	300	2.400

2.3 治理工程与 2 m 涨潮沟发育

对长江口一期工程(见图 2)的不同实施方案及超前护堤方案,会对 2 m 涨潮沟产生怎样的影响呢?针对此,本文选取 4 种工程方案用数值模式计算了 2 m 涨潮沟的涨、落潮流量,见表 3。由表 3 可以看出(a)工程实施后,涨潮量和落潮量都是减小趋势,即涨、落潮动力都有所减弱(b)一期工程后涨潮动力的减弱明显,而一期工程结合超前护底则可较大地减弱落潮动力(c)丁坝对涨、落潮动力无显著影响。这说明,一期工程及其超前护底方案可有效地抑制 2 m 涨潮沟的进一步伸展发育,达到工程治理的积极效果。

表 3 工程前后 2 m 涨潮沟涨、落潮流量

Table 3 Flood and ebb discharges through 2 m flood channel before and after regulation 亿 m³

潮流	无工程	一期工程		一期超前护底工程	
		无丁坝	有丁坝	无丁坝	有丁坝
涨潮	2.400	2.280	2.225	2.317	2.238
落潮	1.754	1.738	1.706	1.469	1.464

3 结 论

- a. 利用理论力学的原理和实例分析,可以认为,涨潮沟主要是在原平衡力系中由于其中一个主槽的涨潮动力主轴的变化所产生的次生水动力作用而形成的,并因涨潮量的变化而发育演变。
- b. 对涨潮沟的合理利用和整治,应着眼主槽治理,因势利导,顺应其演变规律。
- c. 长江口一期工程的建设及相关工程措施,可有效地抑制横沙东滩 2 m 涨潮沟的进一步发育。随着工程建设的进展,建议将 5 m 线的涨潮动力主轴方向控制在 307°和 308°之间,可避免主槽两侧形成新的涨潮沟。

参考文献:

[1] 陈吉余. 中国海岸发育过程和演变规律[M]. 上海:上海科学技术出版社,1989. 190~207.
[2] 沈焕庭,张九发,金元欢. 河口涨潮槽的演变及治理[J]. 海洋与湖沼,1995,26(1):83~89.
[3] 黄安基. 理论力学[M]. 北京:人民教育出版社,1981. 68~73.
[4] 宋志尧,彭世银,严以新. 二维潮流数值计算的复合模式[J]. 河海大学学报,1997,25(2):95~98.
[5] 宋志尧,薛鸿超,严以新,等. 潮汐动力场的准三维数值模拟[J]. 海洋工程,1998,26(3):54~61.

Hydrodynamic mechanism of flood tide channel formation at estuaries

SONG Zhi-yao, YAN Yi-xin, ZHU Yong

(Research Institute of Coastal and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the field data of topography of the Yangtze River Estuary from 1965 to 2000 and advances in research, a preliminary analysis is performed of the hydrodynamic mechanism of the formation of flood tide channels at estuaries by use of the equilibrium condition for coplanar concurrent force systems in theoretical mechanics. The results show that the formation and development of flood tide channels are closely related to the variations of values and directions of flood tidal forces in main channels, and that the utilization and regulation of flood tide channels should be based on their formation and evolution regularities.

Key words: flood tide channel; flood tidal force; Yangtze River Estuary; concurrent force system