

长江口南支河床质的运动规律*

阮文杰

(杭州大学河口港湾研究室, 310028)

收稿日期 1992 年 2 月 5 日

关键词 长江口南支, 河床质, 起动, 冲刷, 淤积

提要 对长江口南支河床不同地貌单元上河床质的组成进行了分析, 并通过室内环形水槽试验和现场资料分析、验证, 得出不同河床质的运动规律, 然后在分析各家泥沙运动公式的基础上, 得出适合于长江口南支河床质的运动表达式。

* 国家自然科学基金资助项目。张志忠、姚胜初、黄慧芳等参加了本项试验工作, 谨此致谢。

长江口南支, 通常是指以徐六泾至吴淞口长约65 km 的河段。本文通过对该河段河床质组成和运动规律的分析, 为该河段治理和建筑物设计, 提供必要的依据。

1 河床质组成

据张志忠的分析结果, 南支河床质平均粒径为0.071 mm, 其中砂类占55.56%、粉类占39.32%、粘土类占5.12%。河床质的优势粒径为0.016 ~ 0.125 mm。

主槽和心滩的物质组成一般偏粗, 均以细砂和极细砂为主, 其代表性的颗粒级配如图1中1# 曲线所示。由心滩摆动靠岸而形成的边滩, 为在极细砂组成的基底上覆盖较厚的中、粗粉砂, 其级配见图1中2# 曲线。而部分岸边浅滩, 则以细粉砂和粘土为主, 如图1中3# 曲线所示。

2 运动规律的实验研究

图1 表明, 南支河床质均有一定的非均匀性, 也都含有一定的细颗粒泥砂。利用环形水槽, 对上述天然样和经分离的均匀砂进行冲淤试验, 并以起动、冲刷、淤积三方面来分析其运动规律。

1# 试样为均匀性较好的极细砂, 当流速接近起动值时, 首先是少量较细颗粒在床面上滚动, 随后部分较粗颗粒也开始滚动, 运动形成以单颗粒泥砂滚动为主; 2# 试样为含少量粘粒的非均匀砂, 起动表现为较粗颗粒在床面上滚动和较细颗粒成雾状悬扬同时发生; 3# 试样属粘性非均匀砂, 起动与试样的含水量有关。当含水率大于90% 时, 起动规律与2# 相似, 当含水率小于90% 后, 泥样表面呈片状、小块状剥落, 然后再呈雾状悬扬。三个试样的起动流速随中径增大而增大, 把天然样与从中分离的均匀砂相比, 其起动流速都要高于同类的非均匀砂(表1)。

当流速大于起动值后, 1# 试样以推移质运动为主(图2)。在一定流速范围内推移质以

沙波群体运移, 流速继续增大后沙波即消失。产生沙波的弗汝德数 $1(\mu/\sqrt{gh})$ 为0.32, 沙波消失的弗汝德数为0.55。以沙波运动的泥沙粒径大多在0.05 mm 以上。2# 试样的冲刷过程为较细颗粒悬扬和粗颗粒滚动两种现象同时并存。随着流速增大, 水流含沙浓度相应增加, 粒度级配亦逐渐变粗。当流速为某一恒定值时, 水流含沙量和悬沙、床沙粒度级配均随时间而变, 约经1 ~ 1.5 h, 含沙浓度和级配逐渐达到稳定, 冲刷随即终止。稳定含沙量与一定的流速值相对应, 当流速大于60 cm/s 后, 两者接近直线关系(图2)。此外, 在较细颗粒悬物同时, 床面上尚有波高仅几毫米的羽状沙波沿水流方向运动, 该部分泥沙显然是床沙中较粗颗粒。3# 试样的冲刷过程与2# 类同, 仅因床沙粗颗粒含量很少, 床面亦无沙波出现。

2#, 3# 试样的淤积过程, 基本上为冲刷的逆过程, 表现为稳定含沙量随流速不断减小(图2)、悬沙粒径不断变细。1# 试样由于以推移质运动为主, 流速变化时水流含沙量影响不大, 但沙波运动规模不断减小, 直至床面逐渐恢复平整。

综上所述, 长江口南支河床质的冲淤过程为: 在试验流速小于1.0 m/s 的情况下, 大于0.1 mm 的颗粒以推移质运移为主, 小于0.01 mm 颗粒以悬移质运移为主, 而0.01 ~ 0.1 mm 的颗粒, 悬移质和推移质交换最为频繁, 从而导致悬沙、床沙粒度级配的随机变化。

3 现场资料分析

本文根据已有水文泥沙观察资料, 加以分析判断, 以验证试验结果。

1982 年在鸭窝沙地区, 进行了示踪沙试验¹⁾。当底流速接近0.56 m/s 时, 大部分示踪沙开始运动。示踪沙的容重与天然沙接近, 但粒度偏细、均匀性较差(图1)。由于示踪沙中较粗颗粒与天然沙较细颗粒的粒径相同, 因此

1) 李樟苏, 1983。放射性示踪沙在长江口鸭窝沙航道地区的试验。

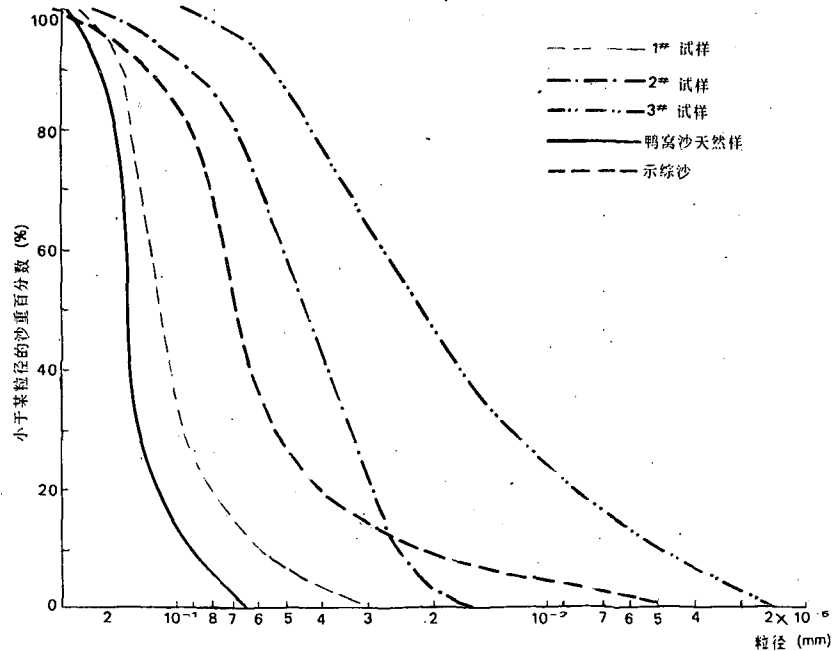


图1 长江口南支河床质粒径级配曲线

Fig.1 Grain distribution curves of bed load in South Branch of the Changjiang River Estuary

表1 长江口南支床质起动流速
Tab.1 The initial moving velocity of the bed load in South Branch of the Changjiang River Estuary

站号	d_{50}	S_c	V_{cs}	V_{cc}	V_{cc}/V_{cs}	V'_c	V'_c/V_{cc}
1#	0.116	1.15	22	18.3	0.83	21.3	0.97
2#	0.047	1.40	32	24.8	0.78	33.0	1.05
3#	0.021	1.95	与含水率有关				
鸭窝沙	0.134	1.13	78	66.2	0.85	74.8	0.96
扁担沙	0.043	1.58	57	38.4	0.67	60.0	1.05
均匀沙	0.164	1.00	19	18.0	0.95	/	/
均匀沙	0.055	1.00	21	20.5	0.98	/	/

注: d_{50} ——河床质中值粒径(mm); V_{cs} ——实测起动流速(cm/s) V_{cc} ——计算起动流速(cm/s); S_c ——分选系数($\sqrt{d_{75}/d_{25}}$), $V'_c = S_c V_{cc}$

可以认为当大部分示踪开始运动时,天然沙亦开始起动。于是推 $d_{50} = 0.135$ mm的河床质,其起动流速约为0.56 m/s,相应的垂线平均流速约0.78 m/s。1981~1982年对鸭窝沙航道的沙波进行现场观察^[1],4月份该地区出现局部沙波,相应的落潮平均底流速为0.62 m/s。8月份当落潮平均底流速为0.84 m/s时,沙波

高为1.1 m。沙波运移的泥沙中径 $d_{50} = 0.15$ mm,分选系数为1.3。12月份沙波消失,床面被 $d_{50} = 0.04$ mm的泥沙所覆盖,此时的落潮平均底流速为0.46 m/s。该资料是以半个潮周期流速的平均值来表示泥沙运动状态的。以上资料还表明该地区泥沙起动底流速在0.46~0.62 m/s之间,与示踪沙推得的结果基本吻合。

1982年在扁担沙边滩上测得,当落潮最大底流速为0.40 m/s时,滩面泥沙的冲刷作用甚小。由此可知, $d_{50} = 0.043$ mm,分选系数为1.58的扁担沙河床质,其起动底流速应大于或等于0.40 m/s。

根据1987年水文测验资料分析,在垂线平均流速水于1.0 m/s的情况下,小于0.1mm的颗粒以推移质运动为主,水于0.01 mm的颗粒以悬移质运动为主,而0.1~0.01 mm的颗粒,悬移质和推移质有着频繁的交流。当垂线平均流速大于1.5 m/s后,大于0.1 mm颗

粒开始悬浮, 但悬浮高度仅为水深的3/5。

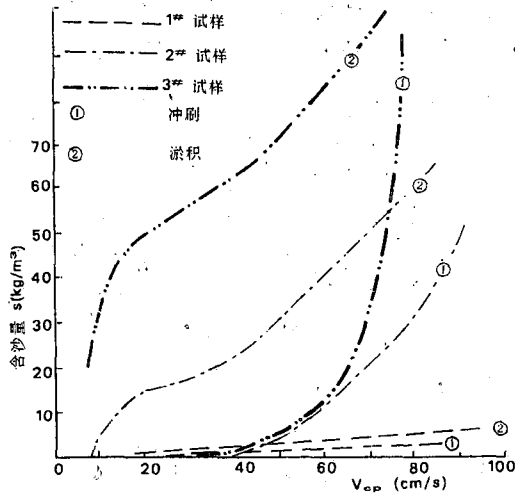


图2 长江口南支稳定含沙量与流速关系
Fig.2 Relationship between current velocity V_{cp} and stable suspend load concentrations in South Branch of Changjiang River Estuary

表2 长江口南支悬沙与底沙粒径对比
Tab.2 The particle diameter comparison of bed load and suspended load in South Branch of the Changjiang River Estuary

位置	类型	粒径百分含量(%)				
		>0.1	0.1 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	<0.005
江心沙	悬沙	0	5.5	46.5	21.4	22.6
	底沙	82.5	11.8	5.7	0	0
白茆沙	悬沙	0.4	4.7	44.5	21.3	29.1
	底沙	57.0	35.5	7.5	0	0
石洞口	悬沙	0.8	9.5	49.5	17.3	22.8
	底沙	47.0	42.5	10.5	0	0

注: 测点位于-10 m等深线附近, 粒径单位以mm计悬沙取落潮垂线平均, 底沙取同一测次的始末平均。

上述现场资料所揭示的泥沙运动规律, 与实验结果基本吻合。

4 河床质运动的表达式

不同学者以理论分析和各自的试验结果为依据, 建立了反映粒径、水深和起动流速关系的半经验半理论公式。本文用实验和实测资料

对各家公式进行验证, 其结果以窦国仁的泥沙起动表达式较为接近。尤其是从南支河床中分离出来的均匀沙, 误差在10%之内(表1), 而天然沙的误差达20%以上, 原因是其非均匀性所引起的。这样的误差范围正好说明南支河床质是属于轻度混合沙。只要对该公式作适当修正, 就能较好地应用于实际。

窦国仁公式所反映的粒径、起动流速关系为一马鞍形曲线^[2]。南支河床质中较粗颗粒泥沙都落在该曲线平缓的鞍部附近, 粒径的变动对河床质的起动流速影响不大。而较细颗粒都落在曲线的左半枝, 其含量的多寡, 直接影响河床质起动流速的大小。天然沙的非均匀性常以分选系数表示。由上述分析可知: 南支河床质的分选系数愈大, 其细颗粒含量愈多, 相应的起动流速亦愈大。因此, 把窦国仁公式中均匀沙的直径改成为非均匀沙的中径, 另外再乘以相应的分选系数即可。

$$U_c = 0.32 S_c \left(\ln 11 \frac{h}{k_s} \right) \left(\frac{r_s - r}{r} g d_{50} + 0.19 \frac{ghs + \varepsilon_k}{d_{50}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中 d_{50} 为河床质的中值粒径, S_c 为该河床质的分选系数, 其它符号见文献^[2]。按上式计算结果, 与实验和测值相比, 误差均在5%以下(表1)。此外, 河床质粒径、沙波高度、水深之间的关系也符合经修正后的表达式:

$$h_s = 0.086 \frac{U h^{3/4}}{g^{1/2} (S_c d_{50})^{1/4}} \quad (2)$$

式中符号同(1)式。因此在无实测资料的情况下, 可用上两表达式来估算南支河床质的运动条件。

5 结语

南支河床质属中等偏细型的轻度混合沙。其中细颗粒含量对运动规律的影响较大, 不仅影响运动形式, 而且影响运动难易程度。

南支河床的心滩和主槽的泥沙最易运动。南支河床之所以动荡不定,主要是组成河床的该部分泥沙在径、潮流作用下易冲易淤之故。由于该部分泥沙大多以推移质运动为主,因此,推移质是南支河床质的主要运动形式,而沙波又是其主要的床面微形态。

边滩和岸边浅滩的物质组成,由于细颗粒含量较多,其抗冲性能均较心滩和主槽好。在边滩冲淤变化过程中,滩沙和悬沙有着频繁的交流。因此,水流挟沙率和挟沙粒径的变化,直接影响滩面泥沙的粒度级配。

本文在分析南支河床质特性的基础上,通过对均匀沙运动公式作适当修正,得出南支河床质的运动表达式。这不但说明南支河床质运动符合泥沙运动普遍规律,而且也扩大了均匀沙运动公式的运用范围。

参考文献

- [1] 周程熹等, 1983. 长江口鸭窝沙航道的沙波问题, 第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集. 水利电力出版社。
- [2] 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研室主编, 河流泥沙工程学上册, 水利出版社。

TRANSPORTION PATTERNS OF BED LOAD IN SOUTH BRANCH OF THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

Ruan Wenjie

(The Research Division of Estuary and Harbor, Hangzhou University, 310028)

Received: Feb. 5, 1992

Key Words: Changjiang River Estuary, Bed load, Sediment transport

Abstract

The composition of bed load in the South Branch of the Changjiang River Estuary was analyzed in this paper. The different bed load transporting patterns were studied, and some formula were given out for the calculation of bed load transport in the South Branch of the Changjiang River Estuary.