

钱塘江河口沉积作用初探*

张志忠 徐志刚

(杭州大学河口与港湾研究室)

提要 钱塘江河口是我国典型的山溪性强潮河口,因其河口有涌潮而举世闻名。一般讲,该河口系陆源与海域两种物质来源、径流与潮流两种动力、淡水与盐水两种介质所构成的复杂多变的沉积环境,形成由悬沙和底质组成的河口现代沉积系统。在杭州湾内砂坎中沙粒级($>0.063\text{mm}$)、粉沙粒级($0.063-0.004\text{mm}$)与粘土粒级($<0.004\text{mm}$)具有2:6:2的比例,折断的锆石晶体标志涌潮对砂坎的巨大影响。

钱塘江河口现代沉积研究始于五十年代末¹⁾,嗣后冯怀珍等对杭州湾泥沙来源,陈吉余和钱宁等人对河口砂坎的历史演变与现代形成过程相继作了论述。1970年以来,我们对近200个底质与1700余个悬沙样品作了较系统的分析。本文根据上述分析资料与前人的研究,就该河口沉积环境、河口悬沙与河口底质等作初步探讨。

一、沉积环境概述

钱塘江河口是我国典型的强潮河口,其潮区界上限在芦茨埠,下于南汇嘴—镇海联线入海(图1)。杭州湾底起伏不大,水深大都在5—10m之间,多年来基本稳定。该湾北与长江口相邻,舟山群岛成为它的天然屏障。这些岛屿受NNE—SSW和NNW—SSE两组构造线所制约,故岛的长轴与峡道走向均呈NW—SE走向,此恰与杭州湾的涨落潮最大流速,流向相一致。

就钱塘江流域来水来沙情况看,它是一条水丰沙少的河流,其平均年径流量为290亿 m^3 ,平均流量 $921\text{m}^3/\text{s}$,大都在梅汛和台汛期间集中下泄,最大洪峰流量为 $29000\text{m}^3/\text{s}$,最小流量仅 $15.4\text{m}^3/\text{s}$,洪枯流量变幅达1900倍,故山溪性特别明显。钱塘江河口涨潮量特别大,达到近 $19\text{万m}^3/\text{s}$,由潮水的比值为0.01,故

山潮水的交汇可深入河口段的上部。纳潮量之巨,除其平面形态外,尚与潮差大密切相关。钱塘江的每年输沙量仅668万吨,平均含沙在 $0.2-0.4\text{kg}/\text{m}^3$,而澉浦断面潮水的平均含沙达 $3-4\text{kg}/\text{m}^3$,极值达 $51\text{kg}/\text{m}^3$ 。因此,潮流输移的泥沙要以亿方计算,澉浦断面每潮进出的泥沙超过1000万吨,其量远远超出流域年输沙量。

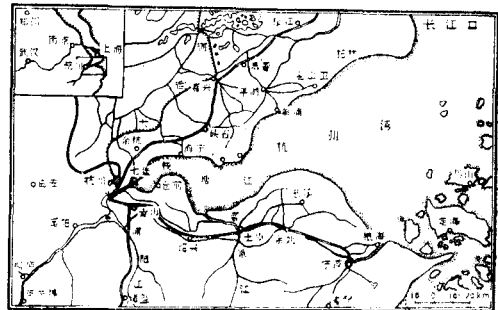


图1 钱塘江河口示意

Fig.1 Location of the Qiantang-jiang Estuary

二、河口的悬沙

钱塘江河口的悬沙浓度已如前述,其粒度

※ 中国科学院赞助的课题;附图由吴贤祚先生清绘,特此致谢。

1) 冯怀珍,1960。钱塘江河口现代沉积与江道演变。

成份的分析, 1976年以来用 TA II 型库尔特计数器作了测定, 现阐述于后。

1. 悬沙粒度的基本特征

杭州湾悬沙的中值粒径的平均值为 $12.61\mu\text{m}$, 这在我国几条大河口中为最大, 而粘土粒级的含量却是最小, 91%多都是粉沙, 见表 1。因此, 以极细沙和粘土含量低、粉沙含沙高为杭州湾悬沙的基本特征。同时, 杭州湾的北部、湾顶与南部的优势粒级存在着差异, 这些必然对湾底和砂坎的沉积产生影响。

2. 悬沙粒径的随潮变化

除前述水流特性外, 宽阔的湾面使柯氏力得到充分的反映, 该湾尚有较弱的逆时针旋转的余流, 这些便决定了悬沙的随潮变化。由表 2 可知, 北部涨潮期的平均中径比落潮期略大些, 南部与湾顶则反之。从中径空间分布来看, 涨潮期北部悬沙略比南部粗些, 落潮期反

之。再从悬沙级配看, 南部涨潮悬沙的极细沙与粗粉沙约是北部的 2—3 倍, 前者中粉沙为优势粒级, 后者则是细粉沙。上述与表 1 的中值粒径, 则清楚地表明杭州湾北部悬沙中径和悬沙级配偏细。为了便于阐明该河口泥沙补给与交换的情况, 再补充表 3。从该表 3 不难看出, 长江口入海南下扩散的泥沙, 对杭州湾起了细化作用。因此, 我们得出较前人更确切的想法。首先, 钱塘江河口有长江口细粉沙以下细粒泥沙的丰富补给, 它对杭州湾底部沉积的影响要比河口段砂坎沉积的影响更大。其次, 涨潮时有湾外海区乃至东海陆架泥沙的内移⁽¹⁾, 落潮时则有河口段泥沙的补给, 故泥沙在较大范围内进行水平与垂直交换。第三, 上述悬沙特性在底质上的反映, 是杭州湾底部 75% 的面积为细粉沙所占据, 故杭州湾的悬沙与底质趋于基本一致, 这是海域来沙的重要属性。

表 1 杭州湾悬沙粒度成份 (%)

Tab. 1 The grain components of the suspended sediments in the Hangzhou Bay

部 位	粒级 (μm)	粒 级 (μm)						平均中值粒径 (μm)
		<4	4—8	8—16	16—32	32—63	>63	
北 部		7.11	30.18	32.03	22.38	6.60	1.68	10.88
湾 顶		7.77	27.68	31.08	26.93	5.53	1.02	11.71
南 部		5.96	22.03	29.00	30.87	10.36	1.62	14.61
平 均		6.95	26.63	30.70	26.73	7.50	1.44	12.31

表 2 杭州湾涨—落潮悬沙粒度成份 (%)

Tab. 2 The grain size components of the suspended sediments in the Hangzhou Bay within a tidal cycle (%)

部 位	站 号	潮 期	粒 级 (μm)						中值粒径 (μm)	备 注
			<4	4-8	8-16	16-32	32-63	>63		
北 部	H ₁	涨 潮	6.53	28.53	33.31	24.15	6.36	0.88	11.37	表中数据为一个潮周期内各层的平均值
		落 潮	7.66	31.22	31.97	20.59	6.95	2.21	10.48	
南 部	H ₂	涨 潮	4.50	20.84	28.92	30.22	12.01	2.53	10.53	
		落 潮	5.84	21.29	30.21	31.80	10.42	1.65	14.68	
湾 顶	H ₃	涨 潮	8.18	27.39	23.63	27.34	5.46	0.79	11.59	
		落 潮	7.05	26.94	32.43	27.94	5.90	2.10	12.23	

表3 长江口外与杭州湾外悬沙粒度成份 (%)

Tab.3 The grain components of the suspended sediments in the region out of the Changjiang Estuary and of the Hangzhou Bay (%)

部 位	粒 级 (μm)	< 4	4—8	8—16	16—32	32—63	> 63	平均中值粒径 (μm)
长 江 口 外		12.58	45.50	25.89	10.55	4.59	0.89	7.10
杭 州 湾 外		14.18	28.67	24.80	18.64	10.53	2.63	8.76

表4 钱塘江河口沉积物类型及其百分比 (%)

Tab.4 The bottom sediment kinds and their Contents (%)

类型	中沙	细沙	极细沙	粗粉沙	中粉沙	细粉沙	极细粉沙	粘土	备注
(%)	0.11	3.16	12.63	25.26	33.68	18.95	5.26	1.05	1960.10— 1981.5 间样品

三、河口的底质

钱塘江河口作为海陆过渡沉积区,与其它河口相比较,有其自身的特点,那就是丰富的海域来沙和强大的涌潮作用,并形成庞大的砂坎堆积体。

1. 沉积物类型与分布特征

钱塘江河口底部沉积物,共检出8类,见表4。除近河口段有少量砾石与沙质沉积外,大都是粗粉沙以下的细粒物质,它们空间分布反映了该河口区两种物质来源、两种动力条件和两种介质环境。沉积物的纵向分布,反映出

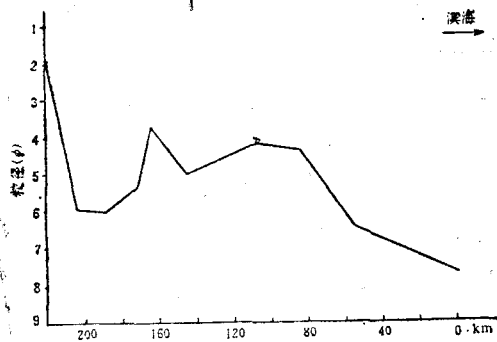


图2 钱塘江河口沉积物中值粒径沿程分布
Fig.2 Longitudinal distribution of the median size of sediment particles in the Qiantangjiang Estuary

河口上游向海细化的规律,但在砂坎部位明显粗化,见图2。因此,可将该河口沉积物的自分布概括成粗-细-粗-细的沉积模式。

2. 沉积动力分选作用

根据前述水文特征,钱塘江河口可称为山溪性强潮河口。它的沉积动力分选作用,仍遵循感潮河口的基本规律。以推移质形式运移的主要沉积在闻家堰以上,潮流所狭带的细粒泥沙可影响到杭州附近东江嘴的塑造,其上不再受此影响。因此,近口段为径流控制下的沉积分异作用,其基本特征与一般河流沉积相类似,即具有季节性间歇沉积。河口段底部沉积特性是和砂坎地形、径流-潮流的作用相一致。在涌潮作用最强的砂坎顶部,其组成物质有中粉沙、粗粉沙和极细沙,而以粗粉沙为主。砂坎表层沉积物中沙粒、粉粒与粘粒之间的比例大致为2:6:2,除肖山头蓬附近的分选系数在3.25外,余均在2.60以下,分选尚好。坎顶两侧物质变细。向陆坡主要是中粉沙和细粉沙,向海坡则是粗粉沙和中粉沙,而且逆坡的分选性比顺坡差些。我们对比了1960年10月和1981年5月的沉积物类型分布图,发现前者极细沙在乍浦的分布范围较大,分选性也好些,表明湾顶砂坎尾部在大潮期是冲刷的,小潮期则略有淤积。因此,我们把河口段沉积动力分异作用,以七堡为界,其上以径流作用为主,其下则以

潮流作用为主。杭州湾为典型的喇叭形河口湾，除其顶部（澉浦附近）和北岸有极细沙和粗粉沙出露外，余都系细粒沉积物，细粉沙是主要沉积物，它占到杭州湾75%的面积。将此特点与表1比较后，则可得出前述悬沙与底质基本一致的结论。该湾底部沉积物的分选系数变化在1.36—2.82之间，其均值为1.94，反比大冲大淤的砂坎体物质的分选性还好，也比湾外浅海沉积的要好。综上所述，山溪性强潮河口沉积动力分异作用，存在以径流和潮流控制为主的两个分异过程，前者以间歇性沉积为特征，后者则以颗粒均细、多次沉积和分选性良好为特点。

3. 砂坎体垂向沉积分选作用

根据七堡断面钻孔资料分析，钱塘江的砂坎是一个镶嵌在浅海相沉积基础之上的透镜体，见图3。砂坎体沉积物中径变化在0.097—0.027mm之间，其平均中径为0.0388mm。它的物质组成与表层物质基本一致。

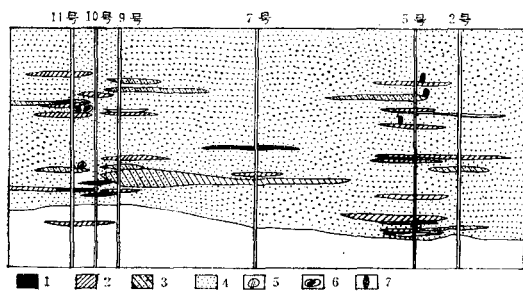


图3 钱塘江河口砂坎沉积结构剖面¹⁾

1. 粉质粘土；2. 粉质壤土；3. 粉质沙壤土；4. 粉沙；5. 贝壳碎片；6. 腐烂木质；7. 含有较多的有机质。

Fig.3 Section of the sedimentary construction of the big sand bar of the Qiantangjiang Estuary

由图3可看出，砂坎体并不是均匀的堆积体，其内由中粉沙至极细粉沙组成的小透镜体，这些大都呈水平状、斜交状的透镜体发育在上层，其下层很薄乃至缺失。小透镜体厚度在0.3—4.0m不等，宽约10—50m，它们粒度粒配的特点是粘土和极细沙两粒级的含量较低，前者一般在3—30%，后者低于10%，故小透镜体的

物质比整个砂坎体来得细些。值得指出的是，小透镜体一般是在涨落潮冲刷槽里发育而成的。由于淤荡性河床强烈变迁，故完整的小透镜体较少见，它们仅占砂坎体的2%左右，由此可知，砂坎体虽有两组沉积结构，其内尚有小透镜体，但从整体来看，其沉积结构还是比较单一的。正因为如此，反映了海域来沙和强大涌潮动力的特性，而流域来沙和径流作用均属次要因素。这里需进一步说明的是，组成砂坎体的物质和涌潮动力是不相适应的。那么，又为何能形成如此巨大的砂坎体沉积呢？这可从物质来源与山潮水比值得到解释，前曾叙及流域来沙量不多，这就抑制了钱塘江河口发育成河口三角洲，其目前平面形态具有很大的展宽率就是很好的佐证。钱宁教授曾提出山潮水比值的概念，凡该值大于0.1的则在口门外或口门附近形成拦门坎，比值小于0.02的则在口内形成砂坎，介于两者之间的则为过渡类型。钱塘江河口的山潮水比值为0.01，故泥沙的沉积部位可一直深入河口段内，它的规模取决于海域来沙的多寡。杭州湾内外的悬沙中径在8.76—12.61 μ m之间，优势粒级为中、细粉沙、粗粉沙粒级含量大都低于10%。因此，要形成以粗粉沙为主的砂坎体沉积，必然经历长时动力分选。

4. 底质的矿物成份

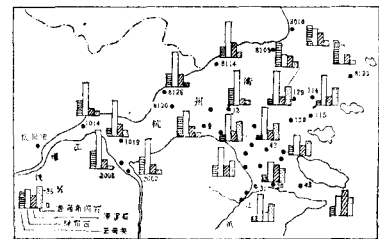


图4 钱塘江河口重矿物组合与其含量²⁾

Fig.4 Basic combination of the minerals and their contents of the bottom sediments in the Qiantangjiang Estuary

¹⁾陈吉余等，1964。

²⁾黄文胜等1983。

钱塘江河口的碎屑物质，在粒度分异过程中，也伴随着矿物的分异作用，出现某些矿物的富集或贫乏，如鳞片状的绿帘石含量最多，其量比甬江口稍低，而较浙江其它河口为高。再如黑云母的含量也较大，约占重矿物的20%，这在浙江诸河中是很少见的。钱塘江河口重矿物组合是：绿帘石、黑云母、绿泥石和普通角闪石，黑云母是特征矿物^[2]，详见图4。

在砂坎体样品中，不仅发现有四方双锥、短柱状的锆石（图5），而且还观察到折断的锆石（图6）。众所周知，锆石是抵抗外界机械力很强的一种矿物，其硬度达6.5—7.5，化学性质又稳定，由折断的锆石表明，涌潮对底部物质的破坏力极大。此外，杭州湾底部的黑云母的颗粒较杭州以上和曹娥江河口的小，粘土充填在黑云母之间，所以杭州湾的细粉沙在10m水深条件下，其起动流速超过2m/s，抗冲性能明显增强，这样该湾底部相对比较稳定，仅在涨落潮主流经过的地方有局部的冲刷。

钱塘江河口的粘土矿物，我们从样品中分离、提纯 $<2\mu\text{m}$ 的粘土作为试样，其X射线衍射分析见图7，半定量计算结果列于表5。

伊利石含量变化不大，蒙脱石、蛭石等膨胀性矿物向下增大一倍多。蒙脱石的颗粒最

小，而表面电荷量最大，它的沿程变化正是杭州湾动力相对较弱、盐度较高的具体反映^[3]。绿泥石在钱塘江河口里呈现高异常，据以往对浙江诸河口沉积研究表明，它是一种海底风化

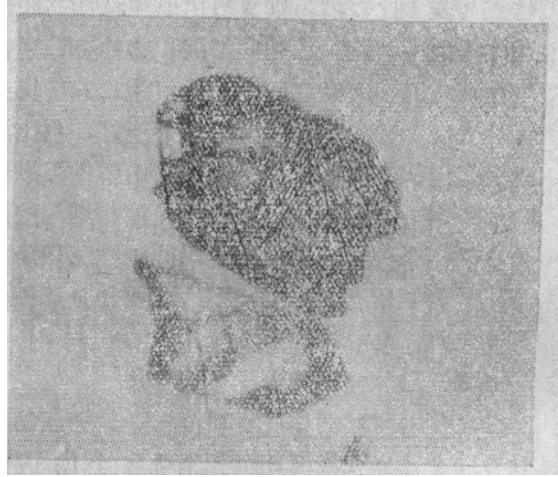


图6 涌潮区折断锆石
Fig.6 Breaking zircon in tidal bore area, singly polarized light($\times 120$)

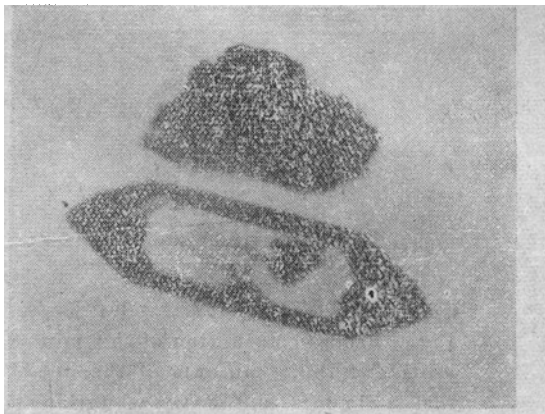


图5 四方双锥和短柱状锆石($\times 120$)
Fig.5 Tetragonal dipyrarnidal and short columnar zircon, singly polarized light($\times 120$)

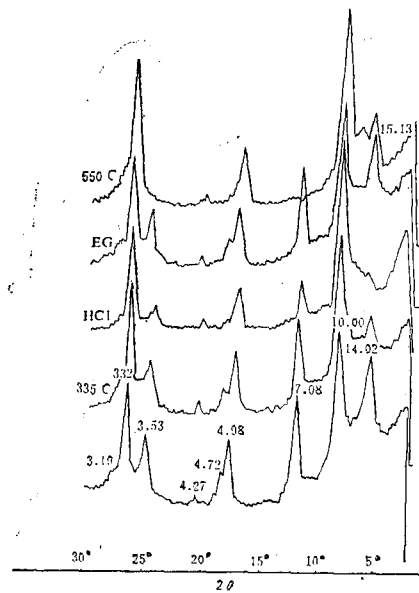


图7 钱塘江河口底质 $<2\mu\text{m}$ X射线衍射线谱
Fig.7 X-ray diffraction spectrum of the bottom sediments($<2\mu\text{m}$) in the Qiantangjiang Estuary

表5 钱塘江河口底质中粘土矿物及其含量(%)

Tab. 5 Clay minerals and their contents (%) of the bottom in the Qiantangjiang Estuary

位置 站号	粘土矿物				蒙脱石+可 膨胀性矿物
	伊利石	绿泥石	高岭石		
河口 段	1005	58	24	13	4
	1016	55	18	22	5
	1019	56	21	13	10
杭州湾	8145	52	21	16	11

的产物。它的含量异常就不难理解了。高岭土

的沿程分布,于砂坎顶部出现含量最高,该粘土矿物的颗粒在粘土矿物中为最大,恰与该河口的动力最强处相吻合。因此,上述沿程变化,除受沉积介质条件和粘土自身特性影响外,还受河口动力条件所制约。

主要参考文献

- [1] 冯怀珍、张志忠, 1964. 浙江近岸浅海沉积. 中国海洋湖沼学会1963年学术年会论文摘要汇编. 64—65页。
- [2] 黄文盛、黄月法, 1984. 浙江省河口重矿物及其组合特征. 杭州大学学报 11(4): 498—504。
- [3] 张志忠、王允菊、徐志刚, 1983. 长江口细颗粒泥沙絮凝若干特性探讨. 第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集. 水利电力出版社, 274—284页。

AN APPROACH TO THE SEDIMENTATION IN QIANTANGJIANG ESTUARY

Zhang Zhizhong and Xu Zhigang

(Estuary and Harbor Research Division, Hangzhou University)

Abstract

The Qiantangjiang Estuary is a typical example of the estuaries with mountain river-macrotidal estuary and sea sourced matter in China, its estuary being world famous for the tidal bore. In general speaking, the Qiantangjiang Estuary is the complex and changeable sedimentary environment formed by two source of the materials, the sea source and land source; two dynamics, the runoff and tide current; two mediums, the fresh water and salty water which from the modern sedimentation system being composed of suspended sediments and bottom materials. The sand grading ($>0.063\text{mm}$), the silt grading ($0.063-0.004\text{mm}$) and the clay grading ($<0.004\text{mm}$) have the ratio of 2:6:2 in the big sand bar inside the Hangzhou Bay. The zircon crystal borken marked the great influence of the tidal bore on the big sand bar.