

珠江入海泥沙的浓度和成分特征及其沉积扩散趋势

陈耀泰
(地理学系)

摘要

分析了珠江入海泥沙浓度的时空分布及成分特性,探讨了3种动力因素作用下泥沙搬运、沉积、扩散的范围和去向,指出河口海区是珠江入海泥沙沉积的良好环境,雷东环流地区为其向西南扩散、沉积的终极场所。

关键词 珠江, 河口, 浓度分布, 泥沙成分, 沉积扩散

珠江由西江、北江和东江等水系组成,跨越滇、黔、桂、粤、湘、赣等省(区),于广东三水县思贤滘和东莞石龙汇入三角洲网河区,后分由8大口门注入南海(图1)。

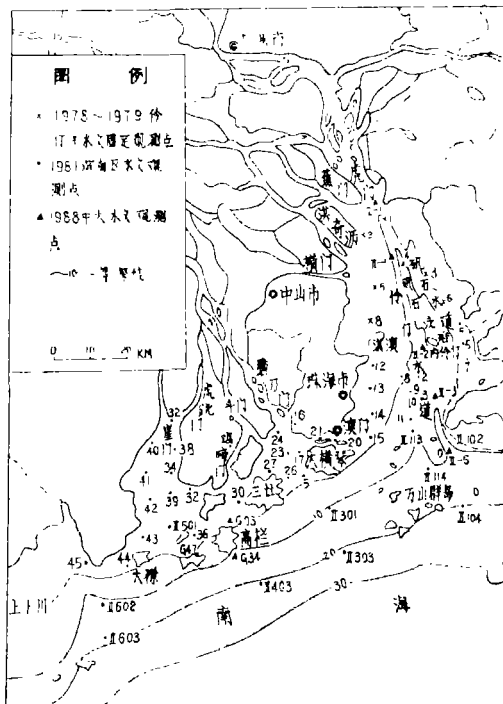


图1 珠江河口区地形及水文观测站点图

Fig. 1 Topographic and hydrometric stations in the Pearl River Mouth

本文1989年12月25日收到

珠江年平均径流量 $3124 \times 10^9 \text{m}^3$, 每年携带约 $8872 \times 10^4 \text{t}$ 的悬沙向海输送。本文根据多年调查研究积累的资料, 并参考1978~1979年伶仃洋水文调查和1981年珠江口滨海调查的资料及有关文献, 对珠江入海泥沙的浓度和成分特性及其沉积、扩散的范围和趋势进行分析和讨论。

1 珠江入海泥沙概况

据对伶仃洋的分析^{2), 3)}, 珠江每年入海的悬沙, 约有 40% ($3548.8 \times 10^4 \text{t}$) 的泥沙(主要为 $< 4 \phi$ 的中、细砂)在三角洲网河区河床落淤, 60% ($5323.2 \times 10^4 \text{t}$) 的泥沙(主要为 $> 4 \phi$ 粉沙级的悬移组分)注入河口湾。此外, 按M.万贝克的公式推算(据悬沙35%计), 每年还有 $3105.2 \times 10^4 \text{t}$ 的胶体微粒入海。因此, 珠江每年合计约有 $8400 \times 10^4 \text{t}$ 以上的细颗粒泥沙进入南海, 并沉积、扩散于河口湾及附近海岸和陆架区域。

从表1可知, 珠江入海的泥沙主要来自西江, 次为北江, 二者合占95.6%。珠江泥沙的季节变化极为显著, 洪水期(4月—9月)多年平均输沙量约占全年的91.53~96.70%⁴⁾。因而, 洪水期入海的泥沙的沉积、扩散更显突出和重要。再者, 来自上游流域和大气降尘以及三角洲地区人类生产活动产生的化学污染物质, 对河口区泥沙的浓度、成分所起的影响亦日趋明显。

表1 珠江多年平均水沙特征统计

Tab. 1 Statistics of the characteristics of the average water and sand for years in the Pearl River

项 目	西 江 (马口)	北 江 (三水)	东 江 (博罗)	其他(流溪河 潭江、增江)	合 计
径流量 ($\times 10^9 \text{m}^3$)	2380.0	394.0	229.0	120.0	3124.0
占总量 (%)	76.2	12.7	7.3	3.8	100.0
悬沙量 ($\times 10^4 \text{t}$)	7660.0	817.0	294.0	101.0	8872.0
占总量 (%)	86.4	9.2	3.3	1.1	100.0
含沙量 (kg/m^3)	0.309	0.205	0.121	/	/

据珠江水利委员会, 1987

2 入海泥沙的粒径与浓度

2.1 粒径的大小与分布

珠江入海泥沙的粒径较细, 悬移质中粉沙级($5 \sim 8 \phi$)约占50%, 粘土级($> 9 \phi$)

- 1) 珠江水利委员会, 珠江三角洲水文特性, 1987
- 2) 珠江水利委员会水文局科学研究所滨海水文组, 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究文集(四), 1986, 1~61
- 3) 董北英, 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究文集(四), 1986, 210~230
- 4) 广东水利科学研究所, 珠江河口区河道特征初步分析, 1976

约占40%, 属于床沙质部分的泥沙($1\sim 4\phi$)仅占10%, 平均中值粒径($Md\phi$)为 8ϕ 。粒径的分布大致以中值为界, 颗粒 $< 8\phi$ 的极细沙、粉沙主要分布河口区西侧的以河流输沙为主的伶仃洋西北部浅滩、磨刀门口外浅滩以及黄茅海西部浅滩地区; 粒径 $> 8\phi$ 的悬浮泥沙一般不随涨、落潮产生变化。因此, 珠江入海泥沙粒径总的分布特点是: 从西至东, 由北向南均呈由粗至细的变化趋势。

2.2 入海泥沙的浓度

入海泥沙的浓度(即含沙量)一般用 kg/m^3 表示。实测表明, 珠江悬浮体的浓度因受径流、潮汐、风浪等多种动力因素的影响, 导致其时、空分布与运动特性上的差异。

2.2.1 浓度的平面分布 洪水期, 一般落潮平均浓度($0.08\sim 0.300\text{kg}/\text{m}^3$)大于涨潮平均浓度($0.04\sim 0.200\text{kg}/\text{m}^3$)。从伶仃洋东岸的福永始向西经伶仃水道再连接 -10m 等深线, 以此为界可将珠江口分成浓度不同的两个区域(图2)。此线以西为高浓度($> 0.06\text{kg}/\text{m}^3$)区, 区内又可分为2个带3个中心。由岸至海2个带为: 高值带($0.16\sim 0.10\text{kg}/\text{m}^3$), 大致分布于0至 -5m 的沿岸海区; 中值带($0.10\sim 0.06\text{kg}/\text{m}^3$), 主要分布于 -5 至 -10m 海区。3个高值($> 0.13\text{kg}/\text{m}^3$)中心分别出现于高值带内: 第一个高值中心位于伶仃洋西北部三口门附近, 涨潮时中心在横门和洪奇沥口(最大值 $0.20\text{kg}/\text{m}^3$), 落潮时中心仍在原处(最大值 $0.304\text{kg}/\text{m}^3$), 但中心值增高、范围外移, 显示悬移质泥沙主要来自河流的特征; 第二个为淇澳岛周围的高值中心, 平均最大值 $0.26\text{kg}/\text{m}^3$; 第三个为磨刀门口外浅水湾高值中心。由于磨刀门渲泄的水沙均居珠江8大口门之冠, 泥沙随径流入湾后, 一是边界条件的展宽, 流速骤减; 二是下泄径流与上溯潮流交汇形成滞流点(带); 三是口外浅滩(水深 $2\sim 3\text{m}$)泥沙受东南风浪的强烈掀动而大量悬浮, 因而造成泥沙浓度增高, 26号测点附近最大潮平均浓度高达 $1.10\text{kg}/\text{m}^3$, 为珠江口悬浮体浓度最高的地段。黄茅海及虎门海区, 因口门输出的沙量相对较少, 而潮流的作用又较强, 故未能形成高值中心。伶仃水道及 -10m 等深线以东及东南的广大海区, 除内伶仃岛东侧因直接受深圳湾泥沙影响出现高值中心外, 其余地方均属浓度 $< 0.06\text{kg}/\text{m}^3$ 的低值区。

枯水期由于上游河川径流和沙量迅速减少, 潮汐作用相对加强, 因而悬浮体的浓度与洪水期有着明显的差异(图3)。一般悬浮体涨潮浓度($0.02\sim 0.25\text{kg}/\text{m}^3$)大于落潮的浓度($0.01\sim 0.20\text{kg}/\text{m}^3$)。平面分布上, 无论涨潮还是落潮, 高浓度区总是出现于河口湾的湾腰地段。高值带从北东的内伶仃岛附近大致沿着 10m 等深线向NE-SW呈宽带状展布。南北两侧相对依次出现中值带及低值带(区), 高值带内分布有4个浓度的高值中心。内伶仃岛周围及淇澳岛南的2高值中心的成因, 一是地形的影响和强劲偏北风的掀沙作用比较强烈; 二是所处的河口湾腰, 为河、海两大动力相互作用和影响的集中地段, 河口环流发育。因而, 受潮流冲刷或风浪掀扬的细颗粒泥沙被搬运到此形成高浓度的混浊区。磨刀门口外浅滩的高值中心以及黄茅海区高值中心的成因则与冬季强劲的东北风浪掀沙作用直接有关。虎门附近因盐水入侵引起的絮凝作用, 悬浮体的浓度相应也较高。枯水期最低浓度区出现伶仃洋西北部的三口门附近海区。

2.2.2 浓度的垂直分布 往复运动的悬浮泥沙, 其浓度的垂直分布主要与泥沙颗粒的沉降速度和垂直方向的水流扩散有关。统计资料表明, 一般水深 $< 5\text{m}$ 的伶仃洋西部、

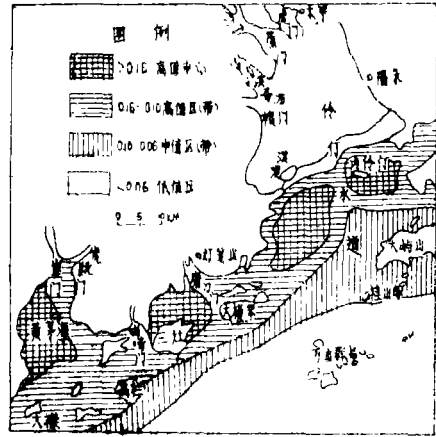
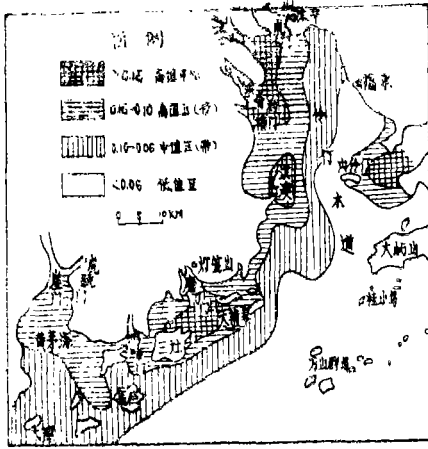


图2 洪水期涨潮平均浓度分布图 (kg/m^3)
Fig. 2 Distribution of average density of flood-tide during flood

图3 枯水期落潮平均浓度分布图 (kg/m^3)
Fig. 3 Distribution of average density of ebb-tide during drought

磨刀门口外、黄茅海西部及其他近岸浅滩区, 由于水深小, 风浪的动力作用强劲, 无论洪、枯季或大、小潮, 悬浮体浓度一般总是表层小于底层。水深 $> 5 \text{ m}$ 的海区, 动力环境不同浓度变化各异, 总的趋势是: 由表层向下悬浮体浓度渐增或渐减, 变化不甚显著。但大约从 $0.6H$ 开始便向底层急剧递增 (表 2)。

表 2 珠江口海区悬浮体平均浓度的垂向分布*

Tab. 2 Vertical distribution of average density in the Pearl River Mouth

层 次	表层 (-0.5m)	中层 ($0.6H$)	底层 (离底 1m)	表层/底层
站 I-1	0.036	0.084	0.322	1:89
I-2	0.017	0.037	0.264	1:15.5
号 III-3	0.014	0.036	0.115	1:8.2

* 中山大学地理系河口室测量, 1988

3 入海泥沙的成分组成

综合有关的研究^{5~7)}(1~2), 珠江悬浮体主要由下述 3 种成分组成。

3.1 无机矿物成分

约占悬浮体总量 90% 以上。主要有碎屑矿物、粘土矿物及海相自生矿物。

3.1.1 碎屑矿物 包括各种轻、重矿物, 约占无机矿物成分的 50~70%。

轻矿物以石英为主, 长石 (钾长石、斜长石) 为次。平面分布, 各口门附近含量最

5) 徐君亮等, 珠江口伶仃洋滩槽发育演变, 1985, 36~43

6) 李春初等, 地理学论文选, 中山大学地理系编, 1984, 94~108

7) 何悦强等, 珠江口海岸带和海涂资源综合调查文集 (四), 1986, 116~128

高, 向海方逐渐减少; 垂向变化, 一般表层含量低于底层。万山群岛一带石英含量最高, 表层高达66.90%, 底层高达32.89%。

重矿物仅占碎屑矿物的1~5%, 但种类繁多, 主要有电气石、角闪石、磁铁矿、钛铁矿、云母类等近30种(类)。口门的近因受往复流和波浪的作用, 重矿物含量较高(3~4%), 个别地段高达15~18%, 口外滨海地区只有1%左右。底层含量普遍大于表层。

由陆向海, 这种轻矿物由高到低及重矿物呈逆相关的变化, 反映悬浮泥沙主要来自陆域河流, 物质分异作用是从陆向海进行的。

3.1.2 粘土矿物 珠江口悬浮体的粘土矿物主要有伊利石(6.52~37.15%)、高岭石(2.04~38.15%)、绿泥石(1.45~29.32%); 次要的有蒙脱石、多水高岭石和三水铝石等。含量约占无机矿物成分30~50%。平面分布, 从口门附近到口外滨海, 高岭石、绿泥石含量逐渐减少, 伊利石则逐渐增高, 前二者与后者呈相互消长关系。垂直方向上, 这3种矿物的含量一般是底层大于表层。

3.1.3 自生矿物 指在海相环境中形成的矿物。悬浮体中多见的自生矿物有硬石膏、方解石、球粒状的黄铁矿和海绿石等。它们含量不多, 分布上总的趋势是, 从口门到外海含量由少到多, 一般底层高于表层。

3.2 有机组分

珠江是我国南方最大的河流, 又处于高温多雨的亚热带, 地面活质产量高, 能给海岸河口和陆架海区提供丰富的有机质来源。据统计^[3], 珠江流域每年约有 $70\sim 80\times 10^4\text{t}$ 的有机质从陆向海输送, 约占悬浮体总量的5~10%, 且自分流口向外海普遍有逐渐递减的变化趋势。如西、北江河口段的有机质含量 $>2.0\%$; 伶仃洋、磨刀门口外河口湾和黄茅海河口湾有机质含量在1.6~2.0%; 口外滨海区一般介于1.2~1.6%; 上、下川岛附近、雷东近岸海区有机质含量普遍 $<1.2\%$ 。

3.3 化学污染物质

珠江口外星罗棋布的岛屿走向多为NE-SW向, 构成阻挡径流外泄和南海海水流进的屏障。加上海、河两大动力在此相互过渡和作用, 如此封闭的环境是很利于随径流下泄的化学污染物质的积聚的。据珠江口污染物质入海通量计算^[4], 每年珠江入海的化学污染物质约有 $7\sim 10\times 10^4\text{t}$, 约占悬浮体总量的1%。其中重金属铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷、镍等 $2.4\times 10^4\text{t}$, 油类物质 $4.9\times 10^4\text{t}$, 六六六、DDT等农药入海通量也日益严重。铜、汞、铅等主要以游离的或络合的离子在水中悬浮, 它们随着悬浮泥沙的沉降而积聚于河口湾内; 锌、镉等主要以溶解态被水流带至外海沉积于其他海区; 油类物质易于随水漂流, 或在风浪作用下与水乳化, 很少沉积进入底质; 农田施用流失的农药成分, 多赋存于水体中或被水生生物吸收而富集。珠江口西部承泄8大口门的主要水沙, 污染物源多。此外, 口外有一股终年西南向的沿岸流的作用及加上海潮的顶托, 至使各分流口注入河口的污染物质延缓了向外海扩散的速度, 造成了化学污染物质均呈从西至东和由北往南含量逐渐递减的分布势态, 伶仃洋是珠江口污染物质含量最高的海区, 次为磨刀门—黄茅海一带水域和香港地区以西、以南水域, 万山群岛以南一带水域为最低含量区。

4 悬浮泥沙的沉积与扩散

珠江入海泥沙多为 $> 4\phi$ ($< 0.063\text{mm}$)的悬移质和溶解质成分,前者呈悬浮状态在水中运移,后者为溶于水中的各种胶体微粒或离子,形成所谓的“化学径流”向海方扩散。这些细颗粒成分注入河口海区后,其搬运、沉积和扩散主要受到3种动力因素作用与支配。

4.1 径流扩散消能作用下的泥沙搬运与沉积

落潮时,河口喷射流挟带的泥沙一般为 $4\phi\sim 8\phi$ ($0.063\sim 0.004\text{mm}$)的细沙和粉沙级组分。它们随径流和落潮流从各分流口以喷射流的形式进入河口湾后,由于边界条件的展宽流速骤减及其自身重量,不断产生机械分异而沉降,最后受阻而终止于离口门不远的盐水楔的前端,分别形成伶仃洋西部浅滩、磨刀门口外浅滩以及黄茅海河口湾浅滩,构成了一个以磨刀门为顶点的向外突出的弧形淤积地带,平均每年以 $2\sim 5\text{cm}$ 的沉速和 $120\sim 150\text{m}$ 的延速扩淤加高和向外伸展,成为现代珠江口海区淤积最快的I号高速沉积中心地区(图4)。

4.2 化学絮凝的促淤作用

粒度 $> 8\phi$ ($< 0.004\text{mm}$)的悬浮体和溶解质的絮凝沉降,首先取决于水体的盐度。据研究^[6],悬浮体在盐度 $2\sim 3\%$ 的河口混合区,絮凝率达95%以上,当盐度在4%时,伊利石和高岭石将产生完全絮凝。实验资料^[9]还表明,中值粒径 $> 9\phi$ 的悬沙于水体盐度20%的情况下,沉速每秒达 0.0001m ,远远高于淡水中的沉速。如泥沙絮凝成团,沉速还会大大加快。珠江口海区盐度值一般在 $2\sim 32\%$,悬浮体中的粘土矿物主要为伊利石和高岭石,因而泥沙的絮凝沉降作用是显著的,尤其于悬浮体浓度的高值区更为突出。如位于湾腰部位的内伶仃岛周围的高值中心,无论洪、枯水期,还是涨、落潮,悬浮体浓度都较高,泥沙颗粒相互碰撞和吸附的机率大,大量的絮凝沉降导致淤积严重。210Pb样品测算出内伶仃岛东南沉积速率每年高达 9.11cm ,表明该处已成为珠江口海区II号高速沉积中心地区。

据1954、1975年份的海图对比推算,河口海区年淤积总量为 $5390\times 10^4\text{t}$,约占珠江入海泥沙的64%,表明现代珠江向南海输送物质的过程中^[9],河口海区仍是泥沙良好的沉积场所。

4.3 海岸流作用下的泥沙迁移和沉积

珠江的入海泥沙除沉积于河口区内,余下的36%约 $3024\times 10^4\text{t}$ 泥沙(一般为 $> 9\phi$ 的粘胶粒和溶解质),随表层淡水扩散输出口外。其中小部分于夏半年受东北向海流影响,向东北及偏东方向扩散外,大部分受终年西向的粤西沿岸流所控制,向粤西内陆架区域扩散和沉积(图4)。这股沿岸流实际上是珠江径流出海后,受近岸风海流作用而转向西的水流,平均流速 $0.2\sim 0.4$ 节,于广海湾——镇海湾贴着海岸向西偏南方向流

8) 窦国仁,泥沙运动讲义,杭州大学地理系翻印

9) 陈耀泰、罗章仁,珠江口沉积速率及其现代沉积特征,1989,待刊

动。经海陵岛后偏离海岸流向西南，在吴川以南、海南岛以北的雷东海区形成顺时针旋转的环流。

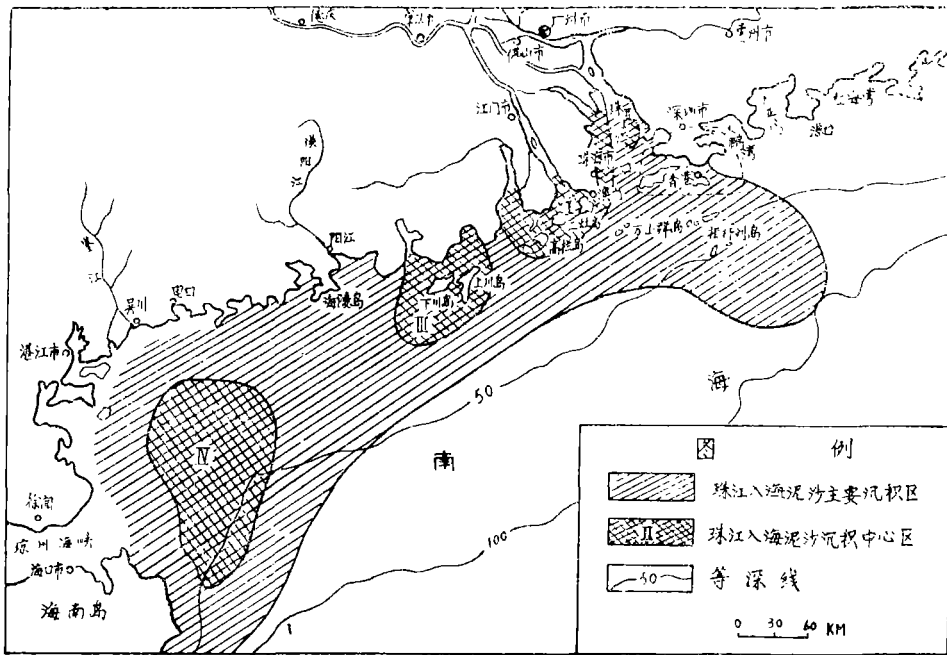


图4 珠江入海泥沙沉积与扩散范围

Fig. 4 Scope of the deposit and the spread of Pearl River sediment flowing into the sea

被粤西沿岸流挟带的细粒泥沙向西南运移，首先遇到大横琴、高栏列岛等岛屿的阻挡，流速突然减慢。到广海湾——镇海湾沿岸又遇上、下川岛、潯洲岛屏障，水动力进一步减弱，悬浮体或溶于水中的离子或络合物因自身的重量或絮凝成团而大量沉降，导致上、下川岛附近海区成为珠江入海泥沙高速沉积的Ⅲ号中心地区。目前该海域-40m以浅地段淤积的均为成分单一、颗粒细腻的粉沙质粘土，原溺谷式的港湾海岸已渐向淤泥质海岸过渡和转化。

珠江入海余下的泥沙汇同漠阳江和鉴江等河流输出的细颗粒成分，一起被粤西沿岸流输送到雷东环流活动区。雷东环流范围宽广、流速缓慢，在它的作用下，一方面由于水体得以充分交混，泥沙浓度增加，悬浮体和溶解质大量落淤和絮凝沉降，致使细颗粒沉积在此呈大面积的分布，构成了珠江入海泥沙高速沉积的Ⅳ号中心地区；另一方面，循环往复的水流作用使沉积物进行很好的筛选分异而出现环带状的分布：自环流中心向外，粒度由细逐渐变粗，即粉沙质粘土→粘土质粉沙→砂·粉沙·粘土，并呈有规律的同心环状构造^[3]。

5 结 语

1 珠江每年约有 $8400 \times 10^4 \text{t}$ 的悬浮泥沙(其中悬移质约 $5300 \times 10^4 \text{t}$,溶解质 $3100 \times 10^4 \text{t}$)输送入海。入海泥沙主要由3种成分组成,无机矿物为主,约占总量90%以上;次为有机组分,约占总量5~10%;化学污染物质约占总量1%。

2 珠江入海泥沙的浓度,洪水期主要受西、北江的影响,枯水期主要受潮流、风浪等影响。平面分布上,无论是涨潮还是落潮,洪水期悬浮体浓度的高值区主要分布于河口海域的西部;枯水期悬浮体浓度的高值区出现于河口湾的湾腰部位。垂直分布上,水深 $< 5 \text{m}$ 的海区,无论洪、枯季或大、小潮,悬浮体浓度一般总是表层 $<$ 底层;水深 $> 5 \text{m}$ 的海区,普遍由表层向下缓慢递增或递减,到 $0.6H$ 后则向底层较快的增加。

3 河口环境为现代珠江向南海输移泥沙过程中最理想的沉积场所。河口湾每年淤积泥沙 $5390 \times 10^4 \text{t}$,约占珠江入海物质的64%,余下的36%泥沙随落潮流输出、扩散、沉积于口外。

4 珠江入海泥沙搬运、沉积与扩散主要受3种动力因素作用和支配。径流扩散消能作用下挟带的粗粒泥沙多为 $4\phi \sim 8\phi$ 的细沙和粉沙,主要扩散堆积于离口门不远、水深 $< 5 \text{m}$ 的海区,形成一个以磨刀门为顶点向东南突出的弧形高速沉积Ⅰ号中心区;化学絮凝沉降产生内伶仃岛周围高速沉积的Ⅱ号中心区;沿岸流作用分别导致上、下川岛附近Ⅲ号及雷东环流Ⅳ号高速沉积中心区的形成和发展。

5 珠江入海泥沙沉积、扩散的范围,主要在珠江口至雷州半岛东侧水深 50m 以浅的近岸带以及内陆架之上。此区间内,粘土质粉沙和粉沙质粘土呈条带状或环带状连续分布,有机质含量由高到低的变化趋势,表明这一地区沉积物的同源特性以及雷州半岛东侧环流区乃是珠江入海泥沙向西南扩散、沉积的终极场所。

参 考 文 献

- [1] 刘先紫等,热带地理,1982,3,32~38
- [2] 李飞永等,热带海洋,8(1989),2,102~109
- [3] 陈耀泰,中山大学学报(自然科学)论丛[12],地理学论文集(2),1987,68~75
- [4] 罗伟权等,热带海洋,4(1985),4,25~32
- [5] Dyer K R, *Estuarine hydrography and sedimentation*, Cambridge University Press, Taunton, England, 1979, 1~15

On Features of Density and Ingredient as Well as Trend
of the Deposit and the Spread of the Sediment
from Pearl River into the Sea

Chen Yaotai

Abstract

The thesis has analysed the space-time distribution of the density and the ingredient features of the Pearl River silt flowing into the sea. The scope and the trend of the transport of the silt, the deposit of the silt, and the spread of the silt as well has been discussed here under three dynamic mechanisms. Hence, we may point out that the sea area around the river mouth is a favourable environment for the deposit of the sediment from Pearl River into the sea, and that the circulatory area in the eastern part of Leizhou Peninsula is the ultimate place where the sediment from the Pearl River spreads and deposits southwest-wards.

Keywords Pearl River, mouth of river, the distribution of the density, the composition of the sediment, deposit and spread

* Department of Geography