

东海悬浮体的分布特征及其演变*

庞重光 王 凡

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

悬浮体系指悬浮在水中, 经过过滤能停留在滤膜或滤纸上的一切物质质点, 其中包括泥沙颗粒、浮游生物及各种胶体物质等。悬浮体浓度分布是自然环境条件的综合反映, 与物质来源, 海洋环流、潮流、波浪等动力要素密切相关。因此, 悬浮体浓度及运移途径是测试环境条件的重要参数, 对其进行研究将对开发港口、合理利用土地资源、保护生态环境具有重要的实际意义, 对于探讨现代沉积过程则具有理论意义。

一、东海悬浮体浓度分布特征及现代沉积作用的研究

东海悬浮体研究始于 1958 年的全国海洋普查, 当时曾进行过大面积的调查, 编绘了海区的悬浮体分布图, 描述了它的分布特征, 估计了影响因素^①; 20 世纪 70 年代, 为了配合东海大陆架的沉积研究, 众多科学家对东海 28.00°~34.00°N、122.00°~127.00°E 海区进行了六次悬浮体调查, 在整理分析调查资料的基础上, 初步得出了东海悬浮体的分布变化规律, 并讨论其物质来源及控制因素, 从而探讨了东海悬浮体的运移特性(恽益民, 1981)。20 世纪 80 年代初中、美科学家们对长江口及东海大陆架海洋沉积作用进行了联合调查研究; 1983 年、1984 年中、美科学家们合作在南黄海等地进行的沉积过程调查; 1987 年初夏山东海洋学院在黄、东海及其毗邻海域进行的包括水文、悬浮体等参数的综合调查; 20 世纪 90 年代以东海海洋通量研究项目为依托, 在东海进行的五航次综合海上调查等, 诸多学者对东海悬浮体输运沉积过程以及分布规律进行了大量研究(秦蕴珊, 1963; Honjo *et al.*, 1974; 蔡爱智, 1982; 杨作升等, 1983; 谢钦春等, 1984; Milliman *et al.*, 1985, 1986; 秦蕴珊等, 1987, 1989; 杨作升等, 1992; 金翔龙, 1992; Li *et al.*, 1997; 孙效功等, 2000; 胡敦欣等, 2001 等), 为今后进一步开展该项研究提供了可靠依据。

1. 悬浮体浓度

悬浮体浓度的平面分布具有三个特征: ①悬浮体浓度自海岸向外海降低, 以

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4892 号。中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-207), 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043803)联合资助

通信作者: 庞重光, 女, 研究员, 现从事近海物质输运和通量研究。E-mail: chgpang@ms.qdio.ac.cn

① 全国海洋综合调查图集, 1961

收稿日期: 2002 年 11 月 26 日

123.00°E 为界分为东、西两部分,西高东低(西部浓度高东部浓度低),等值线走向基本与岸线平行,长江口外 122.00°~123.00°E 之间出现浓度变化梯度带;②终年悬浮体高值区见于河口区,以长江口、杭州湾悬浮体浓度最高;③以 30°N 为界分南、北两部分,东海北部悬浮体浓度高于陆架南部。

在垂直分布上,悬浮体的浓度通常是表层低,其浓度是随着深度的增加而增加的。河口近岸区的浓度垂直梯度远大于陆架区(这里指 123.00°E 以东),夏季大于冬季。

悬浮体浓度随时间的变化,河口近岸区远大于陆架区。在河口近岸区,悬浮体浓度随涨、落潮的变化因地而异;大潮浓度远大于小潮。东海悬浮体浓度有明显的季节变化,冬半年明显大于夏半年,以 4 月份最高,到 8 月份达最低,10 月份以后浓度开始升高,分布范围也开始扩大。

2. 现代沉积作用(悬浮体的运移和沉积)

长江入海悬浮物质:全年以向东南平流运移为主,沿途发生明显沉积,且夏季大于冬季;苏北—长江口—杭州湾—闽浙沿海的浑水带是连续的,流向也是一致的。大部分物质(约 50%)沉积在 123°E 以西的长江口区,在 122°~123°E 之间的海域沉积最为显著,塑造成广阔的长江现代水下三角洲,其前缘的表层沉积物经常发生再悬浮,冬季再悬浮作用显著;在冬季约 20%~30%的长江入海悬浮物质被东海沿岸流沿浙江近岸夹带南下,最远可抵达福建闽江口(淤泥带在舟山群岛以东诸海峡的东口出现粗化现象,这是局部水流作用较强所致,并不否定泥沙流向南连续搬运的客观条件);其余约 20%~30%的悬浮物质以涡动扩散形式向外陆架和冲绳海槽运移。

废黄河口的被侵蚀物质和黄海悬浮物质:冬强、夏弱的黄海沿岸流(主要动力)与潮流余流一起携带黄海悬浮与再悬浮物质(南黄海海底黄河型的表层沉积物被强劲的潮流和波浪掀动)向东南方输运到达东海北部。此输运过程造成的沉积与东海北部的表层沉积物分布相一致,以 123.5°E 为界,东海西部的表层沉积物为长江型物质,东部泥质沉积区主要为黄河型物质。

东海陆架悬浮和再悬浮物质有两种:第一种,陆架外缘和陆架坡折带悬浮和再悬浮物质——东海陆架坡折带位于残留砂区,没有永久性泥质沉积层,表明该带只是细粒物质的暂时停留区,在不同周期变化的动力因素——黑潮、潮汐、暴风浪等叠加作用下,海底经常被扰动,海底物质发生再悬浮,这些再悬浮物质具有向冲绳海槽方向搬运的趋势,海底峡谷往往成为陆源物质向陆架外搬运的重要通道;第二种,内陆架悬浮和再悬浮物质——由细粒的黏土质粉砂和粉砂质黏土组成,在潮流余流和波浪等动力作用下,底质发生再悬浮,具有向岸运移的趋势(实测底流速涨潮大于落潮),并沉积在浙闽近岸和港湾区域。

由实测资料和遥感资料的分析均表明,黄、东海陆架悬浮体向其东部深海区输送具有“夏储冬输”的季节性宏观格局。

二、悬浮体浓度分布特征随时间的演化

从开始研究东海悬浮体(20 世纪 50 年代末)到现在(21 世纪初),已将近半个世纪的时

间,这半个世纪无论工业还是农业均是快速发展的时期,全球变化显著,东海悬浮体的分布及运移规律亦可能发生相应的变化。作者通过收集、整理和分析历史资料,探讨了东海悬浮体随时间的演变规律。

作者收集了1959年5月、7月和10月全国海洋普查时所测的大面资料,由中国科学院海洋研究所等单位完成;1976年4月、1976年12月、1977年6月和8月、1977年12月、1978年2月和4月在东海 $28.00^{\circ} \sim 34.00^{\circ}\text{N}$ 、 $122.00^{\circ} \sim 127.00^{\circ}\text{E}$ 海区进行悬浮体调查的资料,由国家海洋局第二海洋研究所及东海分局等单位共同完成;1980年6月、1981年8月、1981年11月中美长江口及东海大陆架海洋沉积作用联合调查的资料;由中国科学院海洋研究所等单位完成,于1994年4月和10月、1997年2月、1998年7月进行的东海海洋通量研究的调查资料;于1998年11月、1999年5月、2000年11月进行的长江口调查资料以及于2001年8月和2002年1月进行的中国陆海相互作用项目的调查资料等,共22个航次的资料。

测定悬浮体浓度的基本原理较为简单,但是不同人对同一样品的测定结果往往不同,其数值会有一定差别,这是由于在过滤、烘干、称重时存在偶然误差,每批次滤膜质量不同等引起的系统误差等原因造成的。对于悬浮体含量很低的清澈海水,这种在测定时人为造成的差异更应被慎重对待,因为稍不仔细,就会出现量级上的差异。因此,本文收集到的每批次悬浮体浓度数据之间肯定会存在系统偏差。如全国海洋普查时的资料,悬浮体浓度无论在近岸河口区,还是在陆架都显著偏高,尤其是陆架海区,浓度与其他资料相比高一个数量级,是由于当时过滤时未洗盐造成的。20世纪80年代以前过滤时所用的滤纸,与80年代初中美调查之后所用的滤膜相比,存在孔径不太均匀的不足。然而,作者认为这些系统偏差,除全国海洋普查时的资料例外,与实测值相比属于小量,这些资料之间基本可以进行横向对比。

1. 长江入河口区泥沙通量的演变

东海悬浮体的主要物源是长江入海的悬浮物,因此,长江入海悬浮物的多寡将直接影响东海,尤其是长江口区悬浮体浓度的高低。以大通站为例,其断面泥沙年均通量(1953~1999年)为 $4.62 \times 10^8 \text{ t}$,到口门仅为 $3.79 \times 10^8 \text{ t}$ (沈焕庭等,2001)。确切地说,大通站泥沙通量的变化仅代表长江入河口区的泥沙通量,不能将其简单认为是长江入海的泥沙通量(沈焕庭等,2001);因为在大通站所测泥沙进入河口以后,在径流与潮流、盐水和淡水等多种因素作用下,将发生一系列的量变和质变,使河口入海泥沙通量与河流进入河口区的泥沙通量有显著的不同。

长江大通站年平均含沙量从1986年开始大幅降低。1953~1985年年平均含沙量为 0.53 g/L ,1986~1999年年平均含沙量为 0.29 g/L (图1)。据沈焕庭等(2001)的分析及图2所示,从20世纪50年代以来,长江大通站年平均流量无显著的趋势变化,但由于含沙量的降低使输沙率的下降趋势较为明显。

长江大通站多年平均含沙量的年内分配很不均匀,而且比径流量的年内分配更不均匀。从各月平均含沙量来看,最大月平均含沙量出现在7月,为 0.775 g/L ,最小月平均含沙量出现在2月,为 0.094 g/L ,两者之比约为8.24(图3)。

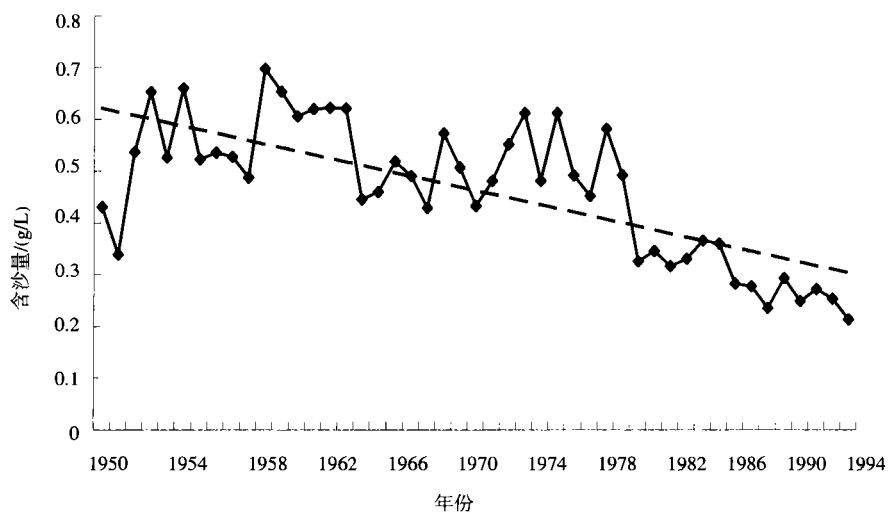


图1 长江大通站年平均含沙量随时间的变化

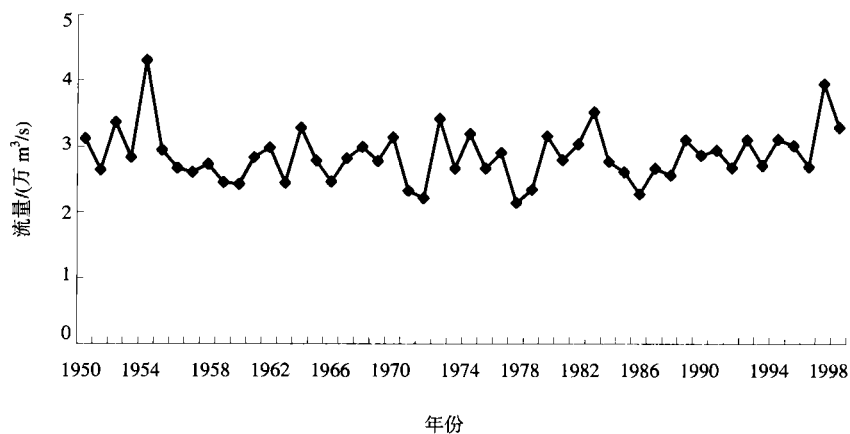


图2 长江大通站年平均径流量随时间的变化

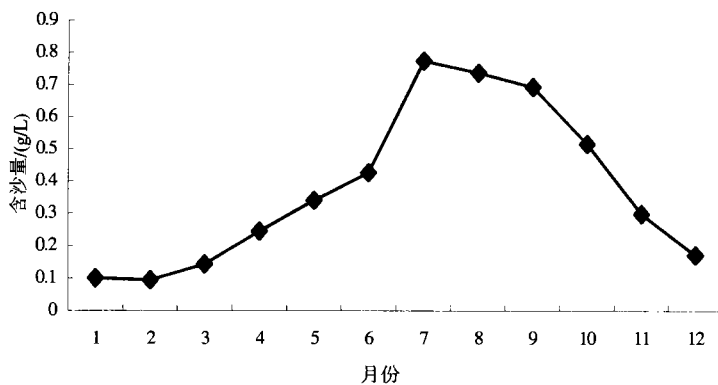


图3 长江大通站多年平均含沙量的年内变化

2. 东海悬浮体浓度随时间的演变

作者共选取 1976 年 4 月、1994 年 4 月、1977 年 8 月、1998 年 7 月、1977 年 12 月、1997 年 2 月 6 个典型航次进行了对比分析。这些资料涵盖春、夏、冬三个季节，时间跨度将近 20 年，基本可以代表长江入海悬沙量发生突变前后的两个阶段，即 1986 年之前和之后。每个航次对应的长江大通站的月平均含沙量见表 1；每个航次调查区悬浮体浓度的平面分布图(包括表层和底层)如图 4~6 所示。

表 1 每航次对应时间长江大通站的月平均含沙量

调查时间	含沙量(g/L)高 (时间: 含沙量)	含沙量(g/L)低 (时间: 含沙量)
春季	1976-04: 0.23	1994-04: 0.10
夏季	1977-08: 0.71	1998-07: 0.54
冬季	1977-12: 0.30	1997-02: 0.08

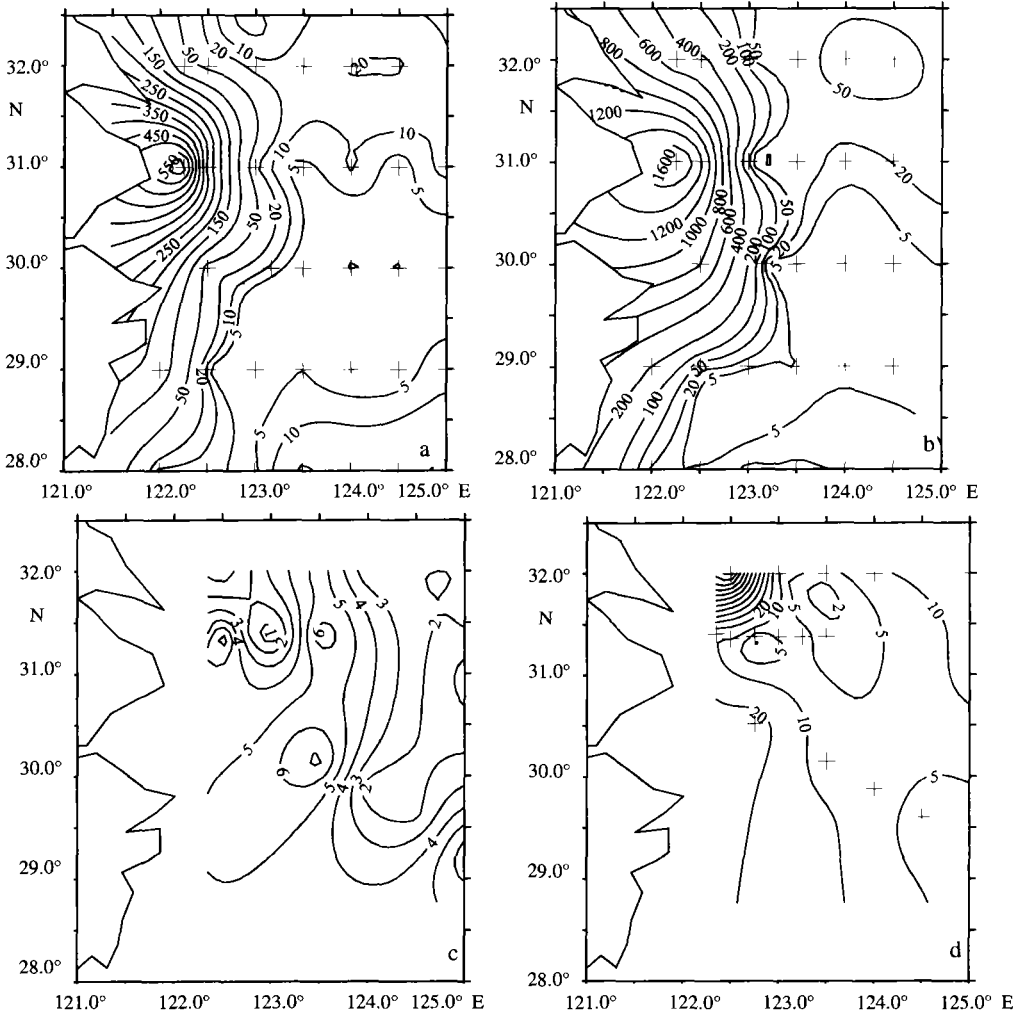


图 4 春季悬浮物浓度平面分布(单位: mg/L)

a.1976 年 4 月表层; b.1976 年 4 月底层; c.1994 年 4 月表层; d.1994 年 4 月底层

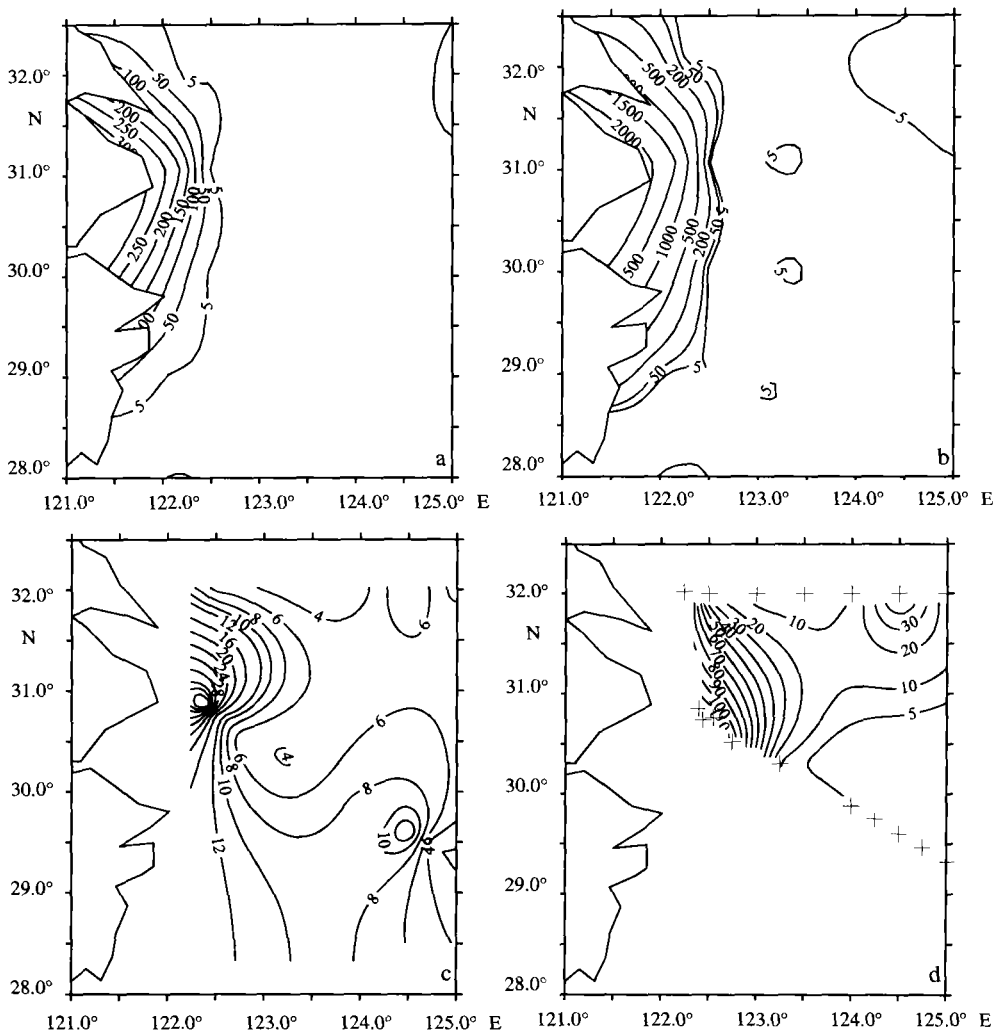


图5 夏季悬浮物浓度平面分布图(单位: mg/L)

a.1977年8月表层; b.1977年8月底层; c.1998年7月表层; d.1998年7月底层

综观图4、图5和图6,从20世纪70年代末到90年代,在整个东海(即调查区),无论表层还是底层,悬浮体浓度的变化十分显著,均发生明显降低,与长江入海悬沙浓度的降低基本对应。

东海悬浮体浓度的分布具有显著的季节差异,冬半年的悬浮体浓度明显高于夏半年。因此,作者分不同季节探讨悬浮体的演变规律。

春季,1976年4月(图4a、b),无论表层还是底层,悬浮体浓度的极高值区均位于长江口门(即入海口处);且浓度很高,表层与底层的极高值分别大于550 mg/L和1600 mg/L。然而,进入20世纪90年代(图4c、d),1994年4月,调查海区悬浮体浓度的降低异常显著,底层浓度的极高值从1976年的1652 mg/L降低到1994年的126 mg/L,降低幅度超过一个数量级;而且极高值的位置从长江入海口转移到了口门以北的区域。1976~1994年,

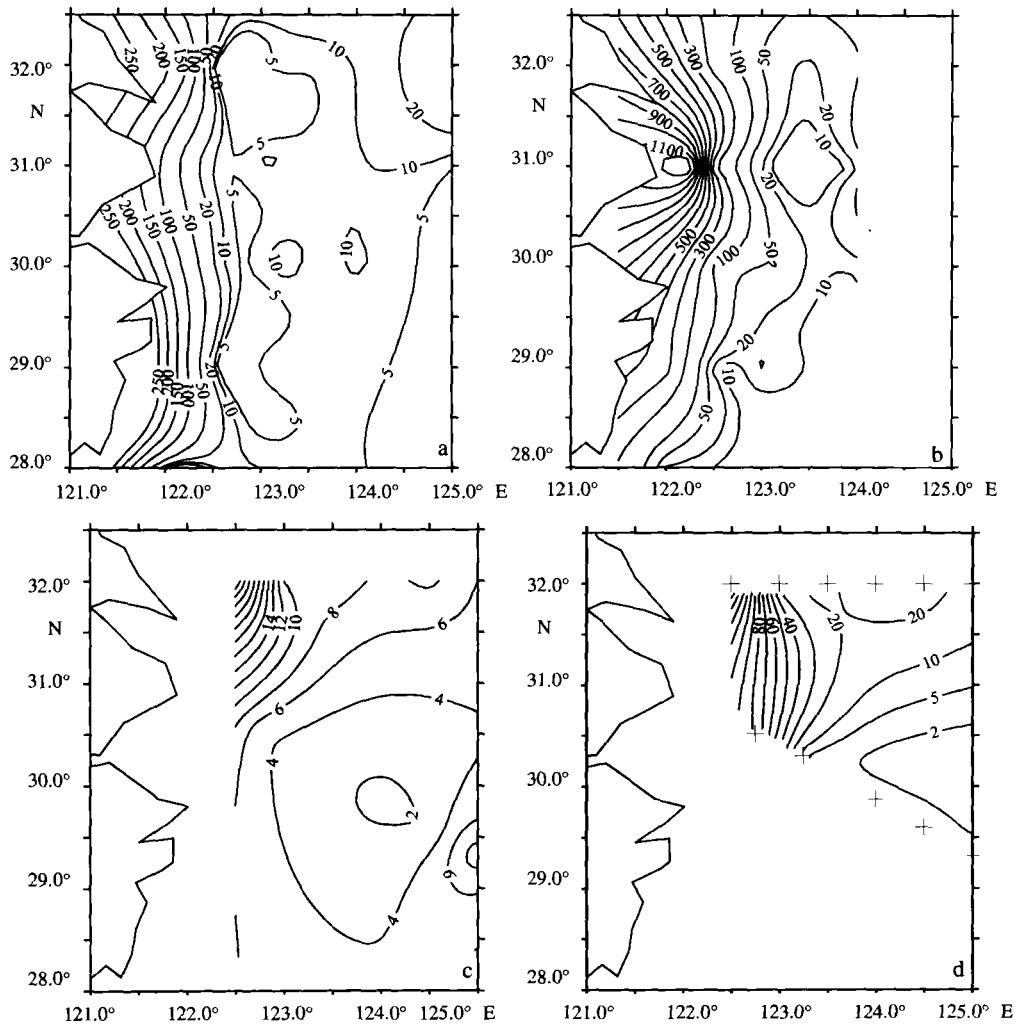


图6 冬季悬浮物浓度平面分布图(单位: mg/L)

a. 1977年12月表层; b. 1977年12月底层; c. 1997年2月表层; d. 1997年2月底层

悬浮体向外海扩散(这里指向东和向南的扩散)的范围明显缩小,从超过 123.50°E 退缩到不到 123.00°E。123.50°E 以东海区悬浮体浓度随时间的变化幅度远小于近岸区,除 30.00°N 以北海区,悬浮体浓度随时间略有减小外,其他海区基本无显著变化。

夏季,1977年8月,悬浮体向外海的扩散范围与1976年4月相比,显著地收缩,无论表层(图5a),还是底层(图5b),悬浮体的扩散均未超过 122.75°E;但在长江口门附近,悬浮体的浓度依然很高。1998年7月(图5c、d),由于本年度长江特大洪水的影响,长江入海悬沙向外海的扩散明显增强,显著地高于1977年8月,到达 123.50°E 以东。然而,在相同位置 30.75°N、122.4°E 处(长江口门附近),1977年悬浮体的浓度仍然高于1998年,分别为 350 mg/L 和 145 mg/L,与1977年(710 mg/L)长江入海悬沙浓度高于1998

年(540 mg/L)的悬沙输入条件相一致。

冬季,选取 1977 年 12 月和 1997 年 2 月为代表(图 6)。由图 6a 可看出,1977 年 12 月表层的悬浮体浓度等值线呈带状分布,与岸线近乎平行;而 1997 年 2 月表层悬浮体浓度的高值区仅分布于 30.50°N 以北(图 6c)。在 32.00°N、122.50°E 位置处(相对高值区),悬浮体浓度变化不大,从 1977 年的 20 mg/L 增至 1997 年的 30 mg/L。该处表层悬浮体浓度的增加主要是由于 1997 年 2 月观测时风浪较大,再悬浮作用增强造成的;底层,在相同位置,两个航次悬浮体浓度的观测结果基本相同,如在 32.00°N、122.50°E 处,1977 年和 1997 年的悬浮体浓度分别为 150 mg/L 和 157 mg/L。在冬季,东海悬浮体的主要物源有长江入海物质,以及黄海的悬浮和再悬浮物质;在东海北部,有时后者可能是最主要的物源。冬季,由于寒潮对东海的频繁作用,海底表层未固结的沉积物再悬浮显著,很大程度上影响该海区悬浮体的浓度。因此,冬季东海悬浮体浓度的高、低与长江入海悬浮泥沙含量的高、低无明显相关。

东海悬浮体浓度随时间(20 世纪 70~90 年代)具有显著降低的趋势,下降幅度在河口近岸区远大于陆架,这种趋势与长江输沙率的下降趋势一致,但两者并非同比例降低。因为影响海区悬浮体浓度高、低的因素远不止物源(主要是长江入海泥沙)这一项,观测时海区的水动力条件等因素亦不可忽视;尤其在冬季,观测时海区的水动力条件会成为影响悬浮体浓度的最主要因素。

三、结 语

1) 河流带入的陆源物质是东海沉积的主要物质来源,其中长江入海物质占 95%,长江入海物质主要向东南方平流搬运,约 50%沉积在 123°E 以西的长江口区,约 20%~30%由东海沿岸流携带南下并沉积,约 20%~30%的入海物质穿越台湾暖流向东海外陆架涡动扩散,直至冲绳海槽及以外海区。夏季有少量长江口悬浮和再悬浮物质进入东海北部,但东海北部物质主要来自废黄河口侵蚀的物质和黄海悬浮物质,它们由黄海沿岸流主要在冬季带到本区来沉积。东海内陆架(<50m)的再悬浮物质具有向岸搬运的趋势;而东海陆架外缘和坡折带处的残留砂受到改造后发生再悬浮,具有向冲绳海槽运移的趋势。黄、东海陆架悬浮体向其东部深海区输送具有“夏储冬输”的季节性宏观格局。

2) 长江大通站年平均含沙量从 1986 年开始大幅降低,从原来的年平均 0.53 g/L,降到年平均 0.29 g/L。从 20 世纪 50 年代以来,长江大通站年平均流量无显著的趋势变化,而输沙率的下降趋势却比较明显,即是由于含沙量降低造成的。

3) 东海悬浮体浓度随时间具有显著降低的趋势,下降幅度在河口近岸区远大于陆架,这种趋势与长江输沙率的下降趋势一致,但两者并非同比例降低。因为,影响海区悬浮体浓度高、低的因素远不止物源这一项,观测海区的水动力条件等因素亦不可忽视;尤其在冬季,观测海区的水动力条件会成为影响悬浮体浓度的最主要因素。

参 考 文 献

孙效功、方明、黄伟, 2000. 黄、东海陆架区悬浮体输运的时空变化规律. 海洋与湖沼, 31(6): 581~587

- 杨作升、J D 米利曼, 1983. 长江入海沉积物的输送及其入海后的运移. 山东海洋学院学报, 13(3): 1~12
- 杨作升、郭志刚、王兆祥等, 1992. 黄、东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局. 海洋学报, 14(2): 81~90
- 沈焕庭、张超、茅志昌, 2000. 长江入河口区水沙通量变化规律. 海洋与湖沼, 31(3): 288~294
- 沈焕庭等, 2001. 长江河口物质通量. 北京: 海洋出版社. 14~28, 119~136
- 金翔龙, 1981. 东海悬浮泥沙研究. 海洋实践, (1): 16~23
- 胡敦欣、韩舞鹰、章申等, 2001. 长江、珠江口及邻近海域陆海相互作用. 北京: 海洋出版社. 57~66
- 秦蕴珊, 1963. 中国陆棚海的地形及沉积类型的初步研究. 海洋与湖沼, 5(1): 71~86
- 秦蕴珊、赵一阳、陈丽蓉等, 1987. 东海地质. 北京: 科学出版社. 31~37
- 秦蕴珊、赵一阳、陈丽蓉等, 1989. 黄海地质. 北京: 科学出版社. 65~98
- 谢钦春、叶银灿、陆炳文, 1984. 东海陆架坡折地形和沉积作用过程. 海洋学报, 6(1): 61~71
- 蔡爱智, 1982. 长江入海泥沙的扩散. 海洋学报, 4(1): 78~88
- Honjo S, Emery K O, Yamamoto S, 1974. Non-combustible suspended matter in surface waters off eastern Asia. *Sedimentology*, 21(4): 555~575
- Li F, Li P, Zhang X R *et al.*, 1997. Transport of suspended matter from the Changjiang River to the East China Sea shelf. *Chin J Oceanol Limnol.*, 15(3): 264~270
- Milliman J D, Li F, Shao Y Y *et al.*, 1986. Suspended matter regime in the Yellow Sea. *Progress in Oceanography*, 17: 215~227
- Milliman J D, Shen H T, Yang Z S *et al.*, 1985. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Continental Shelf Research*, 4: 37~45

The Distributing Features and Temporal Variability of Suspended Matter Concentration in the East China Sea*

PANG Chongguang WANG Fan

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Abstract

About 50-year data on water and sediment discharge of the Changjiang River at the Dotong gauge, and observation data on suspended matter concentration collected in 22 cruises in the East China Sea (ECS) were analyzed to study the tendency of water and sediment discharge of the Changjiang River and the temporal variability of suspended matter concentration in the ECS. From the 1950s up to now, the annually average water discharge of the Changjiang River was not obviously variable, while sediment discharge had declined remarkably since 1986 because of the construction of the Gezhou Dam. Suspended matter concentration in the ECS having obviously decreasing trend with time, was consistent with the variability of sediment discharge of the Changjiang River. Furthermore, the reduction of suspended matter concentration at the Estuary and its adjacent sea area was more than that on the continental shelf. The decrease of suspended matter concentration in the sea was not to the same extent as that in the Changjiang River, because the factors that controlled suspended matter concentration in the studied sea area were the material

* Contribution No.4892 from Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences

source and the hydrodynamic conditions when in-situ observations were being carried out. Especially in winter, the hydrodynamic conditions sometimes would become the major factor controlling suspended matter concentration.