

三峡工程一期蓄水后长江口及其邻近海域悬浮物浓度分布特征

张怀静, 翟世奎, 范德江, 郭志刚, 于增慧, 曹立华, 杨荣民, 张晓东

(中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100)

摘要: 长江三峡工程一期蓄水自 2003-06-01 开始, 到 2003-06-10 结束. 为了研究长江三峡工程蓄水对长江口环境的影响, 在 2003-06-15 ~ 2003-06-25 进行了长江口及其邻近海域环境综合调查. 根据此次调查所取得的实测数据资料, 计算了各站各层位的悬浮物浓度, 结合相应水体的盐度值和温度值, 分析了长江口及其邻近海域悬浮物浓度的分布特征以及蓄水前后悬浮物浓度与分布格局的变化. 结果表明, 长江口及其邻近海域悬浮物浓度自海水表面向海底逐渐增高, 悬浮物主要分布在 123°E 以西的口门地区和近岸的狭长海区. 三峡工程一期蓄水后与蓄水前长江口多年平均含沙量相比, 长江航道和南支地区悬浮物浓度明显下降, 长江航道徐六泾附近地区悬浮物浓度从蓄水前的 400 ~ 500 mg/L 下降到蓄水后的 60.2 mg/L, 南支地区悬浮物浓度从蓄水前的 445 mg/L 下降到蓄水后的 148 mg/L; 长江口邻近海域悬浮物浓度变化不明显, 蓄水前后均为表层悬浮物浓度小于 10 mg/L, 底层悬浮物浓度小于 100 mg/L. 蓄水前后整个研究区悬浮物浓度分布的总体格局相似.

关键词: 三峡工程; 一期蓄水; 长江口; 邻近海域; 悬浮物浓度分布

中图分类号: X143; X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)08-1655-07

Distribution of Suspended Matter Concentration in the Changjiang Estuary and Adjacent Area After the First-Stage Storage of the Three Gorges Project

ZHANG Huai-jing, ZHAI Shi-kui, FAN De-jiang, GUO Zhi-gang, YU Zeng-hui, CAO Li-hua, YANG Rong-min, ZHANG Xiao-dong

(College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The first-stage storage of the Three Gorges Project started on the 1st June, 2003 and ended on the 10th June, 2003. In order to investigate the influences of the Three Gorges Project on the Changjiang Estuary and adjacent area environment, a cruise was carried out from the 15th June, 2003 to the 25th June, 2003 to synthetically study the environment. Suspended matter concentrations (SMC) in different water layers at different sites were calculated and distributions of SMC were discussed combining with salinity and temperature of water based on recovered data. In results, SMC increase from surface to bottom in Changjiang Estuary and adjacent area. Suspended matters are enriched in the water over the river mouth bar and alongshore area which are located at the west of 123°E. Compared to that before the storage, SMC are reduced obviously in the Changjiang course and south branch after the storage. For example, at the Xuliujing, SMC are reduced from 400 ~ 500 mg/L to 60.2 mg/L, and in the south branch, from 445 mg/L to 148 mg/L. In other areas, SMC do not show a significant change that they are both less than 10 mg/L in the surface player and 100 mg/L in bottom player. Generally, the distributed patterns of SMC in the investigation area after the storage are still similar to that before the storage.

Key words: Three Gorges Project; the first-stage storage; Changjiang Estuary; adjacent area; distribution of SMC

三峡水利枢纽工程于 2003-06-10 成功完成一期工程蓄水(达坝前 135 m), 蓄水拦截了长江上游的大量来水来沙^[1], 这必将会对长江下游、河口及其邻近海域的环境造成重要的影响. 在三峡工程一期蓄水之前, 就长江口及其邻近海域悬浮物浓度的分布特征, 国内外已做了大量深入系统的研究^[2-8]. 长江口及其邻近海域的悬浮物浓度分布的变化将直接影响到海洋通量以及长江与东海之间的物质输运和交换, 因此三峡工程一期蓄水后长江口及其邻近海域悬浮物浓度的分布特征对研究该区域的环境变化至关重要^[4]. 为此, 三峡工程一期蓄水结束 5 d 后的关键时期, 进行了对长江口及其邻近海域环境的综合

调查. 本文根据现场测得的悬浮物资料, 结合相应水体的盐度和温度等数据, 分析研究了三峡工程一期蓄水后, 长江口及其邻近海域悬浮物浓度的分布特征以及蓄水前后悬浮物浓度与分布格局的变化.

1 采样与方法

调查采样站位的布设见图 1. 站位的布设形成

收稿日期: 2006-09-11; 修订日期: 2006-12-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412409); 国家自然科学基金项目(40306009)

作者简介: 张怀静(1977~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为河口近海陆海相互作用及其环境效应, E-mail: zhanghuaijing@hotmail.com

了围绕长江口的 2 个近南北向断面(A 断面和 B 断面)、1 个河口区断面和 2 个自河口伸向外海的断面(C 断面和 P-N 断面),站位的布设参考了其它项目的调查断面,以便进行资料的对比.其中 A 断面自长江水下三角洲北端 32°N 附近,沿舟山渔场向南直至 28.5°N 附近,B 断面位于 A 断面东部并与 A 断面近乎平行,河口区断面从徐六泾至长江水下三角洲平原前端的 9 号站(水深约 18.9 m),C 断面大致处在长江北支出口与韩国济州岛的连线上(5~1 号站,水深 25.3~35.7 m),P-N 断面自长江水下三角洲平原前端向东南延伸直至邻近海域(9~21 号站,21 号站水深 50 m).调查采样时间为 2003-06-15~2003-06-25,恰逢长江汛期,长江口航道及长江口 9 站以北各站位处于大潮期,其它各站位处于小潮期.调查船为中国海洋大学“东方红 2 号”综合调查船.采样站位中 4、9、10、11、12、13 和 30 号站为定点采样,其它站位为大面采样.

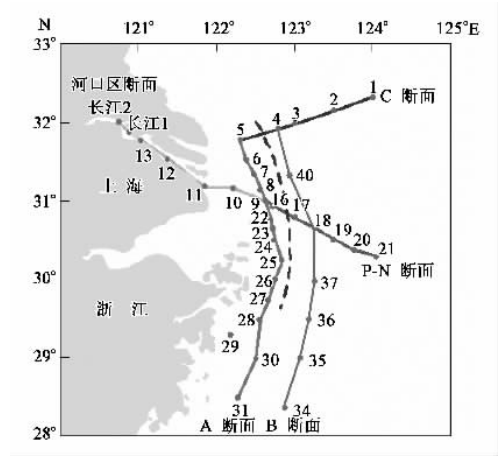


图 1 调查区域和采样站位
Fig. 1 Investigation area and sampling stations

长江 1、长江 2 和 13 号站悬浮物水样用有机玻璃采水器分层采取,其它站位用 Rossette 采水器分层采取,所有站位表层均用水桶采取.一般站位取样层位为表层、0.2*H* 层、0.4*H* 层、0.6*H* 层、0.8*H* 层和底层(*H* 为水深).取得悬浮物水样后立即在船上实验室进行抽滤,滤膜采用直径为 47 mm,孔径为 0.45 μm 的双层微孔滤膜.河道内站位抽滤水样多在 200~300 mL(根据悬浮物浓度),个别站位层位为 50 mL,河口及其邻近海域站位不少于 500 mL.抽滤过后洗盐 5 次,然后放入 40℃烘箱中恒温烘干 24 h,将烘干后的悬浮物样品放入干燥器中静置 4~6 h,最后用十万分之一天平称重,计算并校正,悬浮物浓度计算公式如下:

$$c = \frac{(m_{s2} - m_{s1}) - (m_{l2} - m_{l1})m_{s1}/m_{l1}}{V} \quad (1)$$

式中,*c* 为悬浮物浓度(g·L⁻¹),*m*_{s1} 为抽滤前上层滤膜的空白滤膜质量(g),*m*_{s2} 为抽滤后上层滤膜连同悬浮物样品的质量(g),*m*_{l1} 为抽滤前下层滤膜的空白滤膜质量(g),*m*_{l2} 为抽滤后下层滤膜的空白滤膜质量(g),*V* 为悬浮物水样体积(L).

悬浮物水样温度、盐度数据均由 seabird CTD 与悬浮物样品同步测得.

2 结果与分析

2.1 悬浮物浓度的平面分布特征

从长江河道、河口到其邻近海域,悬浮物浓度差异非常显著,高者可大于 1 000 mg/L,低者则小于 0.5 mg/L.

表层悬浮物浓度分布(图 2a)表明:长江口及其以北(22 号站以北)海区悬浮物浓度高于南部海区.在北部悬浮物高浓度区的 122.5°E 以西(最大浑浊带内)及河道内悬浮物浓度明显高于东部海区.研究区表层水体较均匀,多低盐、中温,为长江冲淡水 and 闽浙沿岸水,其中东南部有一高温、中盐水体,对应悬浮物浓度很低(0.5 mg/L 左右),应为台湾暖流的北部边界.

图 2b 为中层悬浮物浓度分布.很明显,中层悬浮物浓度普遍高于表层.在最大浑浊带内,悬浮物浓度很高,达 600 mg/L.从整个研究区来看,122.8°E 以西悬浮物浓度明显高于东部海区,并且在 122.8°E 附近悬浮物浓度迅速降低,这说明有一股动力强大的水团阻碍了沿岸悬浮物向其邻近海域运移的趋势,这股强大的水团在温、盐分布图中表现为高温、高盐.据李凤岐等^[9]的研究,此水团为台湾暖流.

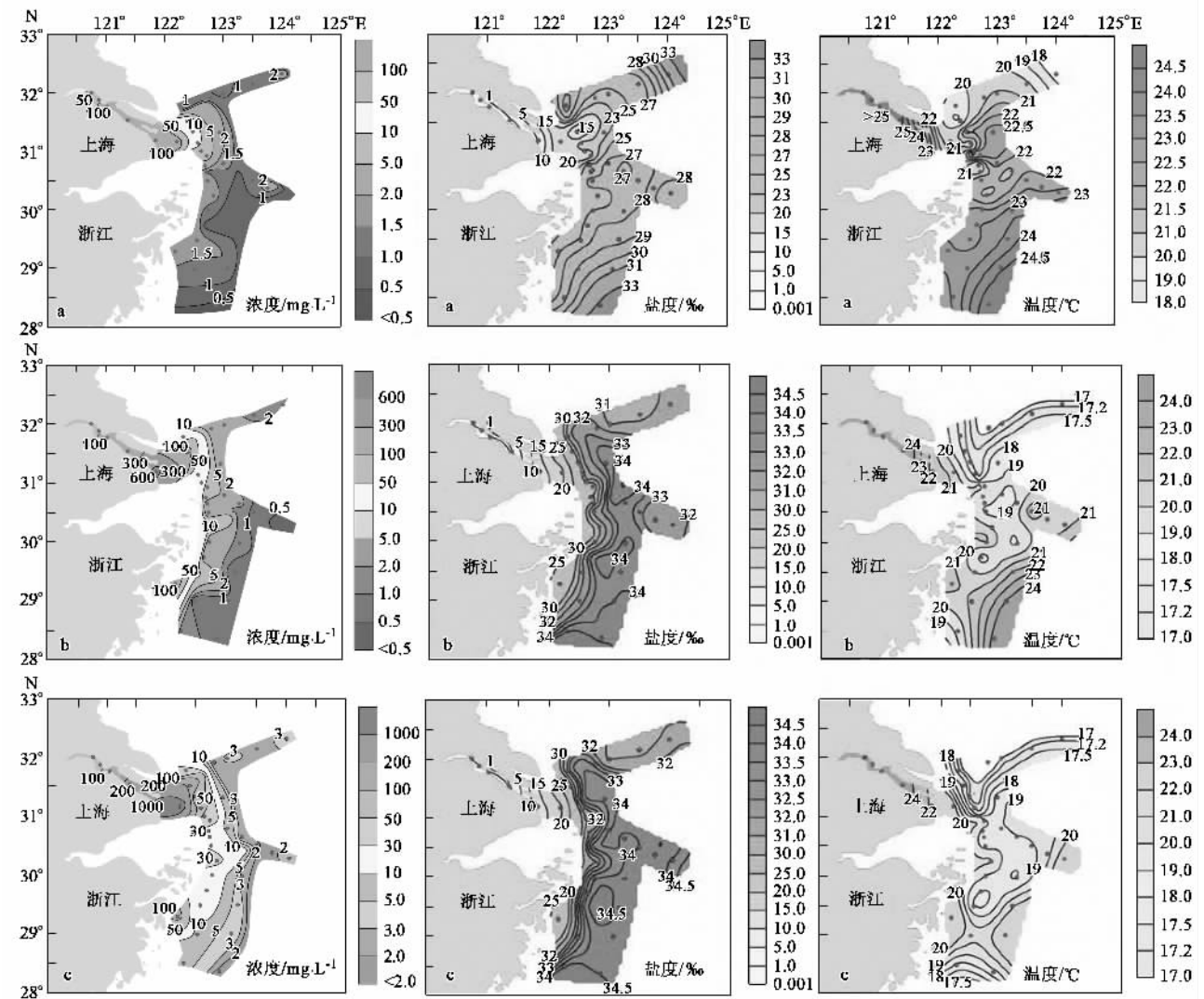
从底层悬浮物浓度分布(图 2c)可以看出:与表层和中层相比,底层悬浮物浓度最高,同时,最大浑浊带内悬浮物浓度超过 1 000 mg/L,达到最高值.就整个研究区域而言,10 mg/L 悬浮物浓度等值线沿 123°E 附近向南经过舟山渔场到达浙江象山附近,使其西部形成一连续的悬浮物浓度高值区.底层盐度与温度分布形式与中层相近,只是高温、高盐水体(台湾暖流)进一步向岸边“逼近”.

总之,长江口及其邻近海域悬浮物浓度自海水表面向海底逐渐增高,悬浮物向 123°E 以东海域的扩散受到台湾暖流北上的制约,从而导致悬浮物高浓度主要局限于 123°E 以西的近岸河口区,只有少量的悬浮物通过表层水输送到 123°E 以东的外海区

域.在近岸带(123°E 以西),长江口门及河道地区悬浮物浓度最高,舟山渔场以及浙江沿岸次之,悬浮物浓度自河口向东南方向逐渐降低.

2.2 悬浮物浓度的垂向分布特征

根据站位的布设、悬浮物浓度的垂向分布分 5 个断面(图 1)加以讨论.



a: 表层; b: 0.6H 层; c: 底层

图 2 悬浮物浓度平面分布

Fig.2 Flat distribution of suspended matter concentration

2.2.1 A 断面

图 3a 显示了 A 断面悬浮物浓度、温度和盐度的分布.整体来看,北部(5~22 号站)长江口外悬浮物浓度明显高于南部(23~31 号站).自北向南无论是表层水还是中、底层水中悬浮物浓度都逐渐降低.在长江口外 5~22 号站(连线近于垂直于长江入海流向)表层水中悬浮物浓度分布差别不明显,但在中、底层水体中悬浮物浓度分布明显地出现 2 个高值区,分别对应于 6 号站和 9 号站附近,由图 1 可知,6 号站和 9 号站分别对应于长江入海口的北、南 2 个分支,应该是 2 分支河口的拦门沙所在地,也即是最

大浑浊带所在.

值得注意的是,30 号站以南中、底层出现一高温、高盐水体,为台湾暖流,说明台湾暖流向岸向北入侵已到达该断面南部地区,并阻碍了长江入海泥沙继续向南扩散.

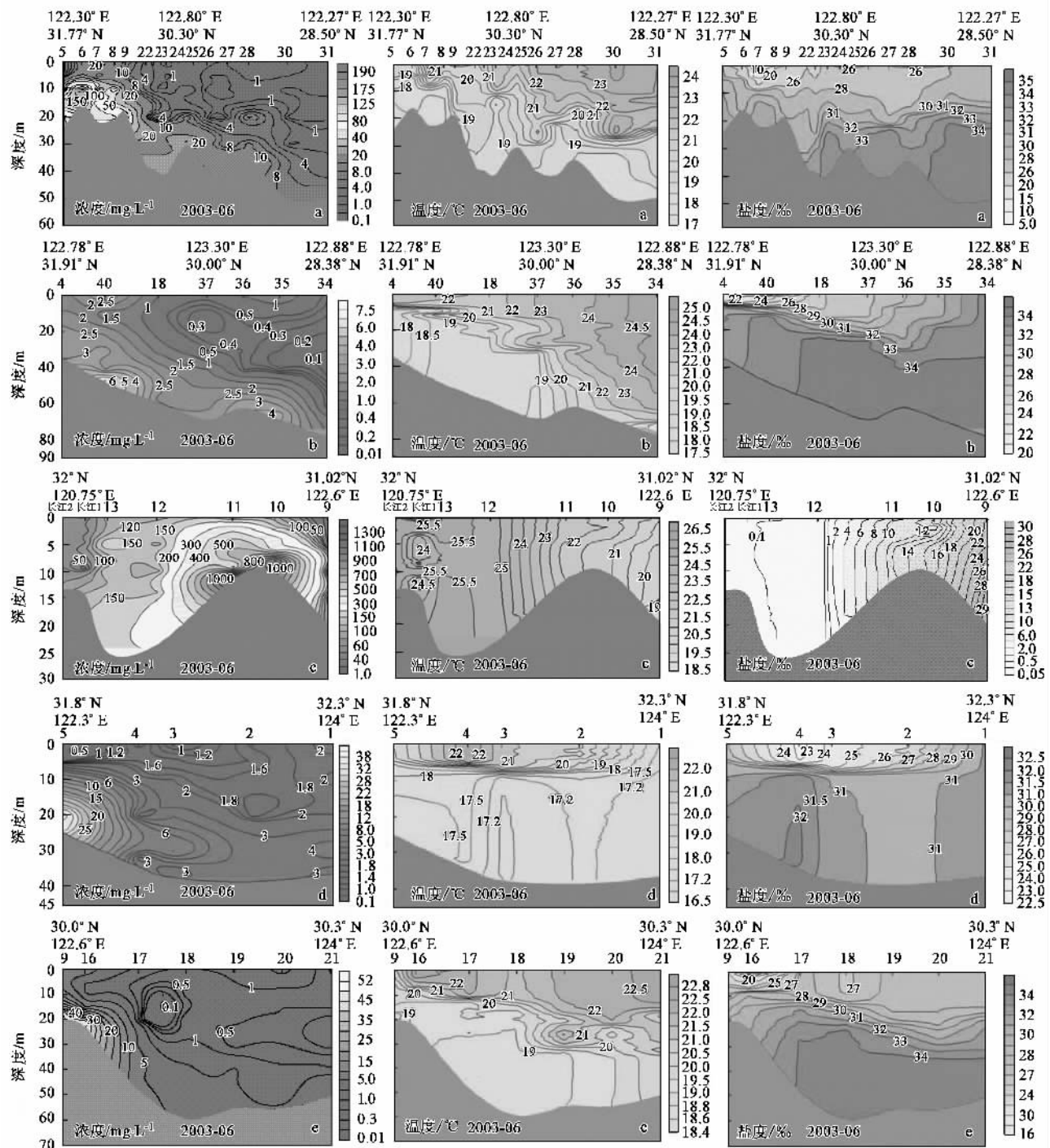
2.2.2 B 断面

B 断面相对远离河口,悬浮物浓度总体远低于 A 断面,但仍有自北向南悬浮物浓度逐渐降低的趋势.长江口南、北 2 分支入海表现不明显,说明已超出最大浑浊带范围.图 3b 中的温度和盐度分布表明:中、底层大面积水体水温 and 盐度均有自南向北

的“侵袭”现象,说明该断面大部分已到达台湾暖流的流路.这股强大的水团,从研究区东南部向岸向北穿过 B 断面和 A 断面的东南区域,与北上的闽浙沿岸流一同将长江携带的泥沙和浙江沿岸的泥沙限制

在长江口门地区和浙江沿岸,无法向其邻近海域扩散,即台湾暖流和闽浙沿岸流对长江及闽浙沿岸水携带的泥沙向东南方向的运移起到了阻隔作用.

2.2.3 河口区断面



a: A 断面; b: B 断面; c: 河口区断面; d: O 断面; e: P-N 断面

图 3 悬浮物浓度垂向分布

Fig.3 Vertical distribution of suspended matter concentration

图 3c 给出了河口区断面悬浮物浓度、温度和盐度的分布.该断面悬浮物浓度较高,均在 50 mg/L 以

上.根据悬浮物浓度的分布,可在 121.3°E(12 号站)附近将河口区断面悬浮物分布分成 2 部分,即西部悬浮物浓度低值区和东部悬浮物浓度高值区.西部悬浮物浓度低值区(悬浮物浓度在 50 ~ 150 mg/L 之间)悬浮物浓度垂向层化现象不明显.水体温度 25 ~ 26℃,盐度小于 0.2‰,垂向分布较均一,表明该水体受长江口外潮汐影响非常小,基本上受淡水控制.东部悬浮物浓度高值区悬浮物浓度垂向层化现象明显,水体盐度在 1‰ ~ 20‰ 之间.悬浮物浓度均在 200 mg/L 以上,最大值出现在 10 号站和 11 号站底层,高达 1 400 mg/L 以上.显然,12 号站和 9 号站之间是长江口的最大浑浊带,也应是淡咸水的混合带.

2.2.4 C 断面

图 3d 给出了 C 断面悬浮物浓度、水体温度和盐度的分布.表层悬浮物浓度普遍较低,中、底层 4 号站以西浓度较高,向东逐渐降低,说明来自长江的悬浮物向东北方向的输运非常有限,在表层水体中,悬浮物扩散甚至没有影响到 5 号站,在底层水体中则越过了 5 号站位,但没有影响到 4 号站以东(北)的海区.温度、盐度分布表明:0.2 H 层处存在一温、盐跃层,上层低温、低盐,对应于长江冲淡水,下层低温、中盐,为黄海混合水^[10].黄海混合水的大面积侵入,阻碍了长江入海泥沙向东北方向运移,使其绝大部分仅局限在 4 号站以西,很少部分通过表层以长江冲淡水的形式向东北方向扩散.

2.2.5 P-N 断面

P-N 断面和长江河口区断面一起从河口区到邻近海域斜贯整个研究区域.2 断面悬浮物浓度分布(图 3c 和图 3e)表明,河口区断面东部悬浮物浓度高值区向东南方向延伸,可到达 P-N 断面西部 17 号站,悬浮物高浓度水团在中、底层水中向海外拓展的范围大于表层水.结合图 3e 中水体温度与盐度分布可以看出,底部高盐度的“盐水楔”到 17 号站附近为止,界线比较明显,而表层水的长江冲淡水边界相对模糊.这种水团的分布特征阻碍了悬浮物继续向东部外海的扩散,使河口区断面东部悬浮物高值区沿 P-N 断面向东南方向的延伸限制在 17 号站以西.这与郭志刚等关于“冬、夏季东海北部悬浮物分布及海流对悬浮物输运的阻隔作用”相一致^[11].

综上所述,长江所携带的大量悬浮物入海后受闽浙沿岸流和台湾暖流的影响,向南的扩散仅局限在近岸的狭长海区内,同时由于黄海混合水团的影响,阻碍了长江入海泥沙向东北方向的运移.总之,悬浮物主要局限在通过 5 号站和 17 号站的弧形线

以西的近岸带(图 1 中虚线).

2.3 三峡工程一期蓄水前后悬浮物浓度及其分布格局的对比

蓄水后徐六泾和南支河道地区悬浮物浓度与蓄水前多年平均含沙量特征值^[12](洪季大潮期整个潮周期的垂向平均值,表 1)相比,在徐六泾附近,蓄水后悬浮物浓度(长江 1 号站和长江 2 号站垂向平均值)较蓄水前明显降低.在长江入海南支主槽内,蓄水后悬浮物浓度(12 号站整个潮周期的垂向平均值)较蓄水前明显降低,但降低幅度有所减小.122.5°E 以东长江口邻近海区悬浮物浓度与蓄水前(2001 年 7 ~ 8 月)的悬浮物浓度^[13]对比可知:蓄水前悬浮物表层浓度小于 20 mg/L,底层浓度小于 150 mg/L;蓄水后(本次调查结果)表层浓度小于 10 mg/L,底层浓度小于 100 mg/L.需要说明的是,蓄水前,7 月和 8 月为长江洪季悬沙量最大的月份,悬沙量高于 6 月^[14],理论上讲 6 月的悬沙量应比 7 月和 8 月的悬沙量略小,而蓄水后本次调查比蓄水前庞重光等的调查结果^[13]略小,恰恰符合这一变化规律,说明三峡工程一期蓄水至 2003-06-25 对 122.5°E 以东长江口邻近海区悬浮物的浓度可能还没有造成明显的影响.

表 1 蓄水前后长江口悬浮物浓度对比表/mg·L⁻¹

Table 1 Concentration contrast of suspended matter before and after the storage of the Three Gorges Project at Changjiang Estuary/mg·L⁻¹

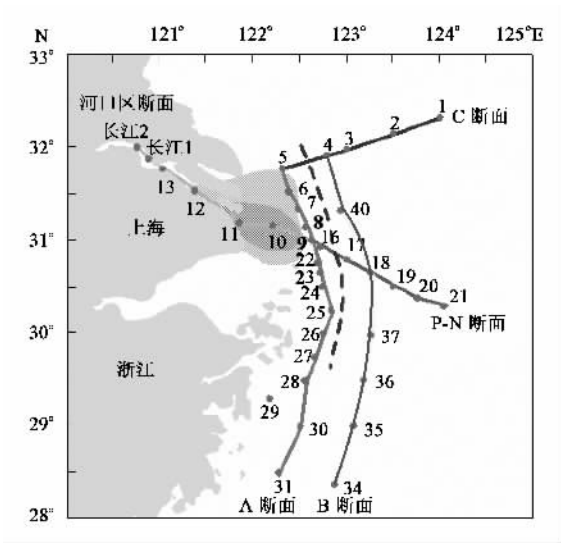
海区	时间	悬浮物平均浓度	悬浮物浓度范围
徐六泾	蓄水前	400 ~ 500	400 ~ 500
	蓄水后	60.2	34 ~ 88
南支	蓄水前	445	120 ~ 1160
	蓄水后	148	50 ~ 400

蓄水前长江口及其邻近海域悬浮物分布格局^[2~4, 13~15]与蓄水后(本研究)相似,均为悬浮物浓度自海水表面向海底逐渐增高,大量悬浮物主要分布在 123°E 以西的口门地区和近岸的狭长海区.说明三峡工程一期蓄水后长江口及其邻近海域悬浮物的分布整体格局还未发生明显的变化.

2.4 最大浑浊带的分布范围

若以悬浮物浓度为 200 mg/L 作为最大浑浊带的临界浓度,则可以给出研究区最大浑浊带的分布范围.由河口区断面(图 3c)可知,长江径流携带的悬浮物在经过南支 12 号站以后,其表层浓度较 12 号站以西海区显著增加,即从 12 号站以西的 150 mg/L 迅速增加到 12 号站以东的 200 mg/L;继续向东,到达 9 号站时,悬浮物浓度降至 100 mg/L 左右.这一表

层悬浮物浓度的变化规律表明:就表层水体而言,长江口最大浑浊带的中心位置应在 12 号站以东和 9 号站以西之间(图 4 深色部分)的区域.



深色为最大浑浊带中心位置,浅色为最大浑浊带边缘
图 4 长江口最大浑浊带位置

Fig.4 Location of turbidity maximum on the Changjiang Estuary

由底层悬浮物浓度平面分布、河口区断面和 A 断面(图 2c、图 3c 和图 3a)可知,12 号站以西和 9 号站以东之间以及 A 断面北支出口 6 号站附近底层水体中的悬浮物浓度高于 200 mL/L,且明显高于周围水体中的悬浮物浓度.这一底层悬浮物浓度的变化规律表明,长江口最大浑浊带的边缘位置控制在图 4 浅色部分区域.

3 讨论

3.1 上游来沙对悬浮物浓度分布特征的影响

长江三峡工程一期蓄水工程启动后,水位抬高,大量泥沙淤积在三峡库区,下游接受上游来沙量也相应地减小.据陈立等的研究,在不考虑沿程冲刷恢复的条件下,宜昌上游来沙量将减小 71.7%,通过大通站的输沙量较建库前将减少 40%^[1].陈吉余等也认为三峡工程蓄水后大通站的悬沙每年将有一定的减少^[16].徐六泾和南支主槽的悬沙基本上以流域供给的冲泻质为主^[12],即徐六泾和南支主槽悬沙浓度受控于上游来沙.所以,三峡工程蓄水后上游来沙量的减少使徐六泾和南支主槽的悬浮物浓度明显降低.

3.2 长江口及其邻近海域水团对悬浮物浓度分布特征的影响

长江口及其邻近海域悬浮物浓度的分布受长江

径流、潮流、闽浙沿岸流、黄海混合水和台湾暖流等水团的影响,各水团的影响范围见图 5.

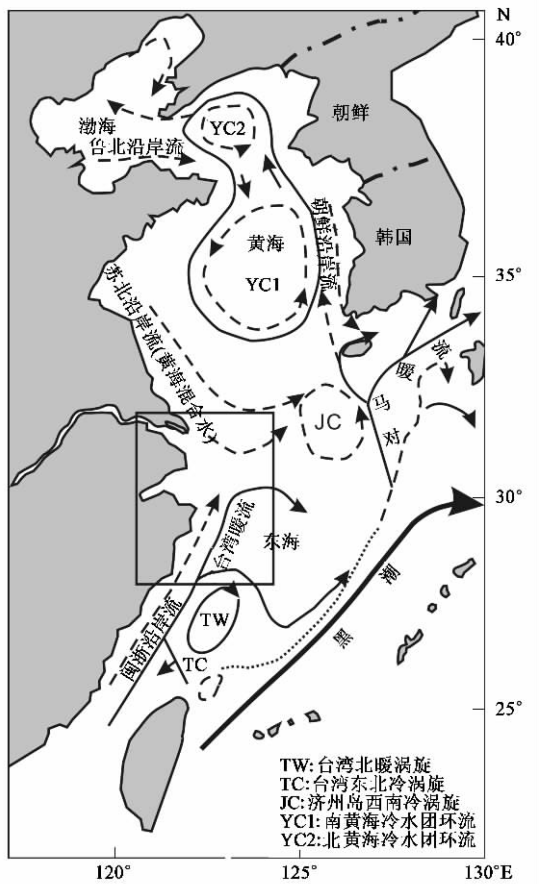


图 5 东中国海夏季环流^[17]
Fig.5 Circumfluence of East China Sea in summer

从图 3c 中可以看出,长江河道内(12 号站以西)上下水体温盐分布较均一,盐度小于 0.2‰,基本上受控于长江径流,使得上下水体中悬浮物浓度较均一,不存在明显的分层现象.

在图 3c 中 12 号站到 9 号站之间存在一悬浮物浓度高值区,尤其在底层,悬浮物浓度高达 8×10^3 mg/L,甚至超过 2×10^4 mg/L.这一高值区正位于最大浑浊带内部.该海区悬浮物浓度较上游和下游显著升高是多种水团共同作用的结果.其一,12 号站到 9 号站之间长江径流和潮流相互作用,水体盐度为 1‰~20‰,正是长江口易发生絮凝的盐度范围^[18],悬浮物颗粒发生强烈的絮凝作用,絮凝颗粒在此沉降,使得该海区底层悬浮物浓度迅速增大;其二,李九发等研究认为,拦门沙以上河段以落潮作用占优势,向口门逐渐转化为涨潮作用占优势,中间有 1 个优势动力相互转换的过渡带,为滞流区,在滞流区附近可形成较高含沙浓度的区域,即最大浑浊带^[12].

11、10 和 9 号站正位于滞流区内,在优势动力作用下,上游和下游来沙向此海区输运,使此海区悬浮物浓度迅速升高;其三,在悬浮物颗粒的絮凝和滞流区积聚泥沙的作用下,长江口拦门沙地区聚集了大量泥沙,这些泥沙在咸淡水交互作用过程中发生再悬浮,使底层悬浮物浓度迅速增加,形成悬浮物浓度特高值区,瞬时悬浮物浓度会达到 $2 \times 10^4 \text{ mg/L}$, 甚至更高。

从图 2b、2c 及图 3a、3b 和 3e 的温度和盐度图中可以看出,有一中温、高盐的水体从研究区南部沿 122.5°E 附近向北穿过 P-N 断面一直入侵至长江口地区,在到达长江口以北后向东北方向偏转,底层可达 32°N , 此水团为台湾暖流^[9]。台湾暖流为“洁净”水,在这种强大“洁净”水动力和温度、盐度结构的阻隔作用下,长江口及浙江沿岸入海泥沙只分布在长江口门附近和浙江沿岸,无法向其邻近海域扩散。同时,由长江和钱塘江等入海径流与海水混和形成的闽浙沿岸流^[19]在东南风的影响下不断北上,阻隔了长江冲淡水携带泥沙向南运移。研究区东北部中、底层(图 3d)出现的低温、中盐黄海混合水大面积入侵长江冲淡水的中、底层,使长江冲淡水以表面一薄层的形式向东北方向扩散,阻碍了长江径流携带的中、底层泥沙向东北方向的运移。在台湾暖流、闽浙沿岸流和黄海混合水的共同作用下,长江携带的大量泥沙被限制在口门和浙江沿岸近岸的狭长区。

4 结论

(1)长江口及其邻近海域悬浮物浓度自海水表面向海底逐渐增高。长江携带的大量悬浮物入海后南部受北上闽浙沿岸流和台湾暖流的影响,使其向南的扩散仅局限在近岸的狭长海区,北部受黄海混合水团的影响,使其向东北方向的运移同时也受到了限制,即悬浮物主要局限在通过 5 号站以东和 17 号站的弧形线以西的近岸带,最大浑浊带大致分布在拦门沙地区。

(2)三峡工程一期蓄水后与蓄水前长江口多年平均含沙量相比,长江航道和南支地区悬浮物浓度明显下降,长江口邻近海域悬浮物浓度变化不明显。

蓄水前后整个研究区悬浮物分布的总体格局相似。

参考文献:

- [1] 陈立,吴门伍,张俊勇. 三峡工程蓄水运用对长江口径流来沙的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, **12**(1): 50 ~ 54.
- [2] 周济福,王涛,李家春,等. 径流与潮流对长江口泥沙输运的影响[J]. 水动力学研究与进展, 1999, **14**(1): 90 ~ 100.
- [3] 沈焕庭,潘定安. 长江河口最大浑浊带[M]. 北京:海洋出版社, 2001.
- [4] 胡敦欣,杨作升. 东海海洋通量关键过程[M]. 北京:海洋出版社, 2001. 25 ~ 30.
- [5] Shi Z, Ren L F, Lin H L. Vertical suspension profile in the Changjiang Estuary[J]. Marine Geology, 1996, **130**: 29 ~ 37.
- [6] Li J F, Zhang C. Sediment resuspension and implication for turbidity maximum in the Changjiang Estuary[J]. Marine Geology, 1998, **148**: 117 ~ 124.
- [7] Chen J Y, Li D J, Chen B L, et al. The processes of dynamic sedimentation in the Changjiang Estuary [J]. Journal of Sea Research, 1999, **41**: 129 ~ 140.
- [8] Shi Z, Zhou H J, Stephen L E, et al. Settling Velocities of Fine suspended Particles in the Changjiang Estuary, China[J]. Journal of Asian Earth, 2003, **22**: 245 ~ 251.
- [9] 李凤岐,苏育嵩. 海洋水团分析[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社, 2002. 362 ~ 374.
- [10] 张启龙,王凡. 舟山渔场及其邻近海域水团的气候学分析[J]. 海洋与湖沼, 2004, **35**(1): 48 ~ 54.
- [11] 郭志刚,杨作升,张东奇,等. 冬、夏季东海北部悬浮体分布及海流对悬浮体输运的阻隔作用[J]. 海洋学报, 2002, **24**(5): 71 ~ 80.
- [12] 李九发,时伟荣,沈焕庭. 长江河口最大浑浊带的泥沙特性和输移规律[J]. 地理研究, 1994, **13**(1): 51 ~ 59.
- [13] 庞重光,王凡,白学志,等. 夏、冬两季长江口及邻近海域悬浮物的分布特征及其沉积量[J]. 海洋科学, 2003, **27**(1): 31 ~ 35.
- [14] 王凡,许炯心. 长江、黄河口及邻近海域路海相互作用若干重要问题[M]. 北京:海洋出版社, 2004. 46.
- [15] 杨作升,郭志刚,王兆祥,等. 黄东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局[J]. 海洋学报, 1992, **14**(2): 81 ~ 90.
- [16] 陈吉余,徐海根. 三峡工程对长江河口的影响[J]. 长江流域资源与环境, 1995, **4**(3): 242 ~ 246.
- [17] 苏纪兰,袁业立. 中国近海水文[M]. 北京:海洋出版社, 2005. 176.
- [18] 沈焕庭,潘定安. 长江河口最大浑浊带[M]. 北京:海洋出版社, 2001. 46.
- [19] 刘树勋,韩士鑫,魏永康. 东海西北部水团分析及与渔场的关系[J]. 水产学报, 1984, **8**(2): 125 ~ 133.