

闽江下游及河口海域水体中 悬浮物的分布特征

赵冬梅,高爱国,李 超,郭占荣,张延颇

(厦门大学海洋与地球学院海洋学系,厦门 361005)

摘 要:采用重量法与浊度法对闽江下游及河口海域中的悬浮物进行了研究。通过对悬浮物的调查得出:平水期水体中悬浮物含量为 5.67~493.8 mg/L,平均为 114.2 mg/L,几乎所有的测站底层悬浮物含量高于表层。从上游向海方向,悬浮物呈增加趋势,高值区出现在琯头到英屿河段的底层,丰水期悬浮物含量为 6.9~138.7 mg/L,平均为 29.7 mg/L,呈中层>底层>表层的分布;同时,悬浮物浓度呈渐增之势,没出现悬浮物明显的富集。平水期温度、盐度、浊度断面资料显示,平水期上下层混合较为均匀,没有出现水体分层现象,在河口区有盐楔存在,最大浑浊带出现位置与盐度 2~5.5 的区域相对应。根据悬浮物的物质来源、水动力环境的分布特征,在调查时段内可将闽江口最大浑浊带划归为“海源——潮致型”。

关键词:闽江;河口区;悬浮物;最大浑浊带;水动力环境

中图分类号: P734.21;P591

文献标识码: A

悬浮物是指悬浮于水体中的泥沙、有机物和微生物等难溶于水的胶体或固体微粒,是水体的重要参数,也是环境监测的一项重要指标。

河口区的悬浮物数量与来自流域的风化和侵蚀产物、海洋潮汐作用所携带的海域悬浮物、生物成因物质及人类活动输入的颗粒物质等有关。它们在水中的悬浮时间取决于①水体的盐度、温度和水动力条件;②悬浮物的形状、密度及大小;③水体与悬浮颗粒的相互作用。因此,河口区水体中的悬浮物性质和浓度具有较大的可变性。

悬浮物是沉积物的主要来源,也是许多元素从表层输送到底层、由河流输入到大洋的主要载体,在元素输送、循环和污染物的清扫中扮演着重

要的角色;此外,悬浮颗粒量还影响着海水的透明度和真光层的厚度,从而影响浮游生物的光合作用和初级生产力;悬浮物本身还可作为微小生物的食物,或作为底栖生物的主要食物来源。因此,研究悬浮物对了解流域的风化过程、物质的输送、污染防治、生态环境保护都有积极意义。

闽江是台湾海峡周边最大的河流,2010 年从闽江注入台湾海峡的水量约为 886.8 亿 m^3 ,输砂量约为 656 万 $\text{t}^{[1]}$,把来自闽江流域的营养物质和矿物质带入台湾海峡。闽江下游及河口海域是闽江与台湾海峡的过渡带,来自闽江流域的物质在此因水动力环境与介质环境的变化或沉淀、或继续迁移,同时潮流带来的邻近海域的物质也会因潮汐作用而在河口区进出、迁移^[2]。陆—海物质在此区相互作用、影响着河口区水体中悬浮物分布与变化及其生物的生长。

2009 年 11 月,厦门大学海洋学系对闽江下游河口区及其邻近海域进行了多学科综合调查。

收稿日期:2012-01-10

基金项目:福建省科技合作重点项目“闽江物质输送对闽江口及其邻近海域的影响”(2009J0025)

作者简介:赵冬梅(1961—),女,工程师,主要从事海洋地球化学科学研究与技术支持工作。E-mail: dmzhao@xmu.edu.cn

笔者在通过对闽江 2 个航次悬浮物的调查与分析,探讨其分布变化特点,为进行更深入的物质输运研究提供资料。

1 采样与现场观察

2009 年 11 月 9—10 日实施 MJB 航次调查,利用“延平 2 号”及 2 艘民船对闽江口及邻近海域、南港和北港进行准同步调查。外业调查共设计调查站位 43 个(图 1),由于受现场环境及调查条件的限制,实际调查站位 39 个,其中基本站 30 个,选测站 9 个(只进行 CTD 观察),获得的表、中、底层悬浮物浓度数据分别为 29、2、20 个及 34 个测站的 CTD 剖面观察资料。

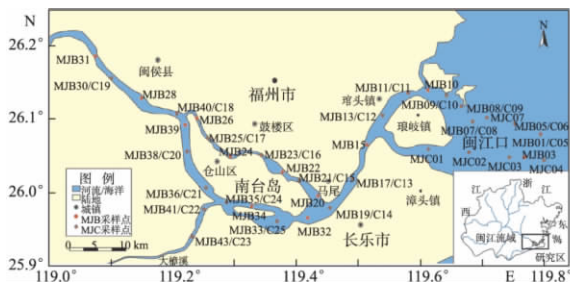


图 1 闽江下游及河口海域水体中悬浮物调查站位示意图

Fig. 1 Location map of the SPM investigation sites along Minjiang River and estuary area

在 MJB19 站进行一个潮周期的定点观察,悬浮物采样为 1 次/2 h(获得表、底层悬浮物浓度数据各 7 个),CTD 观察为 1 次/h。

2010 年 7 月 28—29 日实施 MJC 航次调查,在对 MJB 航次调查成果分析的基础上,对采样站位进行了调整,增加了梅花水道的调查站位(图 1),采集了 25 站 31 个水样进行悬浮物测定,获得表、中、底层悬浮物浓度数据分别为 25、2、4 个。

2 分析与观察方法

2.1 分析与观察

悬浮物可通过称量过滤或离心收集颗粒物重量、或根据光的散射与颗粒物数量的关系,用仪器在现场直接测定。笔者通过使用 2 种观察手段对悬浮物进行了研究。

(1) 重量法 根据《海洋监测规范》(GB 17378. 4—2007)进行悬浮物测定。即:一定体积的水样通过 $0.45 \mu\text{m}$ 事先在 $40\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干并称重的醋酸纤维脂滤膜,过滤完后,在 $40\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下将沉积有悬浮物的滤膜烘干,称量残渣的重量,即可求得水样中的悬浮物浓度。本项目以此法获得悬浮物的重量,并进行站位、层位之间的比较。

(2) 浊度法 利用带浊度的 CTD 进行测定,仪器型号分别为 XR-420 CTD+Tu 和 XR-420-CTD+,测定要素为温度、盐度、深度、浊度。通过观察数据与悬浮物的回归分析,将 CTD 数据转换为悬浮物浓度,分析悬浮物的分布趋势。

2.2 浊度与悬浮体数据转换

据报道,带浊度的 CTD 所测量的水体浊度与悬浮体的含量具有很好的线性相关^[3,4]。将 MJB 航次调查获得的悬浮体含量和浊度数值进行相关性分析,两者具有良好的线性相关性(图 2)。所得回归方程为:

$$Y = 1.0936X - 3.4754,$$

式中: X 为悬浮体含量(SPM);

Y 为浊度值(FTU),数据个数为 50 个,相关系数 $R=0.9001$,远大于 α 为 0.001 时的判别值 0.4514。

据此公式可获得水体中悬浮物的含量,分析调查断面上悬浮物的分布特征。

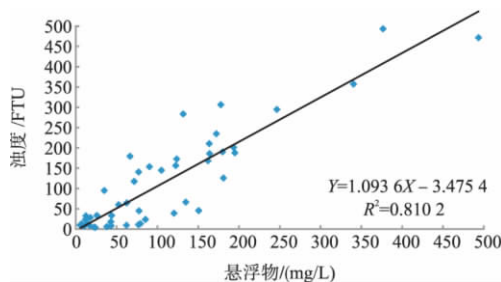


图 2 浊度值与悬浮物的相关性

Fig. 2 Relationship between turbidity and SPM

3 结果与讨论

3.1 水体中悬浮物的含量

为了反映研究区中不同区域内悬浮物的含量分布,将研究区分为 10 个不同的区域,计算各区域内悬浮物的平均值(表 1)。

表 1 闽江流域丰水期/平水期悬浮物测定结果

Table 1 SPM in high-water period and normal-water period in the drainage of Minjiang River

区域	MJB 航次(2009 年 11 月 9—10 日)			MJC 航次(2010 年 7 月 29—30 日)	
	采样站位	表层/(mg/L)	底层/(mg/L)	采样站位	表层/(mg/L)
闽侯段	MJB30、MJB28、MJB40	7.77	6.54	MJC19、MJC18	21.26
北港上游	MJB26、MJB25、MJB24	16.83	17.35	MJC17	26.68
南港上游	MJB39、MJB38、MJB36	29.93	76.80	MJC20、MJC21	20.68
大樟溪	MJB43、MJB41	50.05		MJC22、MJC23	50.36
南港下游	MJB35、MJB34、MJB33、MJB32	98.30	135.70	MJC24、MJC25	50.80
北港下游	MJB 23、MJB22、MJB21、MJB20	44.20	102.80	MJC15、MJC16	36.11
马江段	MJB19、MJB17、MJB15	146.10	215.10	MJC14、MJC13	33.08
长门水道	MJB13、MJB11、MJB9	94.00	381.00	MJC12、MJC11、MJC10	32.83
川石水道	MJB7	174.00	216.00	MJC9、MJC8、MJC7	9.80
梅花水道				MJC1、MJC2、MJC3	56.51
闽江口	MJB5、MJB3、MJB1	63.00	124.00	MJC4、MJC5、MJC6	10.65
最小值		5.67	6.08		6.90
最大值		246.50	493.80		138.70
平均值		79.80	157.10		29.70
变异系数		79.0%	78.1%		88.7%

2009 年 11 月闽江下游及邻近海域,悬浮物含量范围为 5.67~493.8 mg/L,平均为 114.2 mg/L;其中表层含量范围为 5.67~246.5 mg/L($n=35$),平均为 79.8 mg/L,变异系数为 79.0;底层悬浮物含量范围为 6.08~493.8 mg/L($n=29$),平均 157.1 mg/L,变异系数为 78.10(表 1)。平水期除闽侯段是表层悬浮物高于底层外,大部分呈现底层高于表层的特点,这种现象是颗粒的沉降作用、还是潮流的影响、或两者兼而有之?还有待进一步研究。从闽侯往下到马江属于以径流作用为主的河段,悬浮物含量呈渐升趋势;受来自外海悬浮物的叠加,在长门水道附近出现悬浮物高含量区。

2010 年 7 月悬浮物含量范围为 6.9~138.7 mg/L,平均为 29.7 mg/L,变异系数为 88.7%(表 1)。丰水期(MJC 航次)在上游以径流为主的区域(MJC19)、下游径流与潮流相互作用区(MJC14)、以潮流作用为主的河段(MJC10)和河口海域(MJC5)进行分层采样。结果显示:4 站各层的悬浮物含量呈中层(28.2 mg/L)>底层(23.1 mg/L)>表层的分布(14.4 mg/L)。与平水期相比,丰水期由于上游来水量增加,水体挟带泥沙的能力也较强,河水中的悬浮物含量相对较高。

由表 1 可知,平水期闽侯段悬浮物测定结果明显低于丰水期的 MJC 航次,这表明平水期上游来水量减少,挟带泥沙的能力减弱。丰水期由闽侯往下,表层水体中悬浮物含量渐增,与平水期相

比,悬浮物含量变幅较小,似以径流为主,受潮流作用影响较小,大樟溪平水期和丰水期水体中悬浮物含量变化不大。

3.2 水体中悬浮物的分布

在 MJB 航次,利用 3 条船实施现场调查,分别为:①从闽江口的 MJB1 到马江的 MJB19(图 3);②从马江附近的 MJB20 沿北港往上到闽侯竹岐的 MJB30 站(图 4);③从马江附近的 MJB32 沿南港到上游科贡附近的 MJB39 和到大樟溪的 MJB43 站(图 5)3 条航线的准同步现场 CTD+浊度调查,获得了相应的温度、盐度、密度和浊度资料,由此获得了 3 条温度、盐度和浊度剖面。

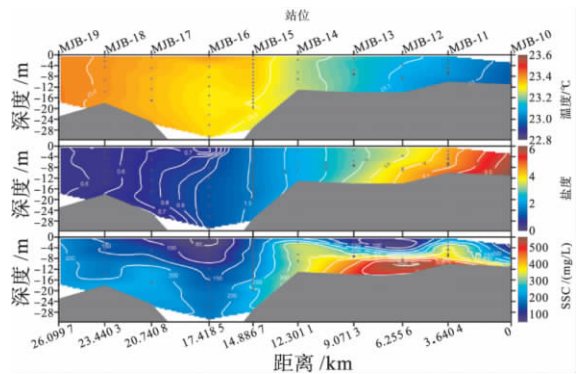


图 3 长门至马尾段悬浮物及温、盐剖面

Fig. 3 Profiles of SPM, temperature, and salinity along the section from Changmen to Mawei

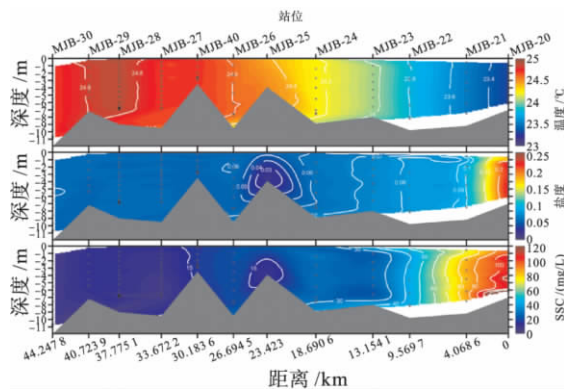


图 4 马尾经白龙江至竹岐段悬浮物及温、盐剖面

Fig. 4 Profiles of SPM, temperature, and salinity along the section from Mawei to Zhuqi via Bailong River

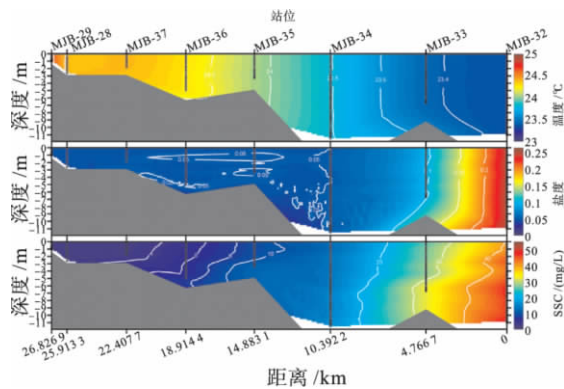


图 5 乌龙江段(马尾至科贡)悬浮物及温、盐剖面

Fig. 5 Profiles of SPM, temperature, and salinity along the section from Mawei to Kegong via Wulong River

由图 3、看出,从闽侯往海方向,水温从 MJB30 的 24.8 °C 经南台岛上端分叉口的 MJB40 站的 24.7 °C,分南、北两支往下经 MJB20 与 MJB32 的 23.4 °C 相汇于 MJB19 站;到 MJB10 站,水温降为 23 °C,温差 1.8 °C,并在河口区显示有低温水入侵的趋势。

从闽侯往下水体盐度均很低,到南支 MJB33 站与北支 MJB21 站盐度尚 < 0.1 (图 3、图 4),到 MJB32 站(南支)与 MJB20(北支)盐度达到 0.2,并呈向海增加的趋势。盐度为 2 的等值线出现在琅岐岛分流口附近的 MJB14 站,至 MJB11 站底层盐度已达 5,往海方向继续增加(图 3)。对照温度断面可知,底层有海水的侵入,存在盐水楔,俞鸣同^[5]曾在此位置进行盐水楔的专门研究。

从闽侯到北支 MJB20 站(图 4)和南支 MJB32 站(图 5),悬浮物的分布与盐度分布极相似。从 MJB19 到 MJB10 浊度分布与温度、盐度

分布有一定的差别(图 3)。在琯头 MJB11 站到英屿 MJB13 站的河段,底部出现了悬浮物高值区,此区域正好位于以潮流作用为主的出海河段的上端,向上便是水深流急的闽安峡谷,进入径流与潮流相互消长河段。对比盐度断面可知,最大浑浊带的上界与盐度 2 等值线位置相对应,下界位于盐度 5~5.5 附近。此区域恰是盐淡水混合较充分的区域。一方面径流携带的物质因介质环境变化发生絮凝;另一方面潮流携带的外海物质在此受径流的阻挡,流速降低,悬浮物也因此而沉降,形成悬浮物高浓度区。

3.3 最大浑浊带

平水期(MJB 航次)在马江—长门水道—川石水道段中悬浮物含量明显增加,表明在河口区存在有最大浑浊带。丰水期(MJC 航次)在河口区水体中悬浮物含量增加虽然不明显,但在长门水道和梅花水道仍存在悬浮物含量增加的趋势。

根据 2 个航次调查时的自然环境特征(气候、降水、径流量、潮汐运动等),闽江口最大浑浊带的形成与泥沙来源及水动力条件有关。

最大浑浊带的悬浮物有河流的、海洋的、水体中的生物颗粒、以及人类排入水体中的固体颗粒等多种来源,可粗分为来自河流上游的陆源物质、从河口外邻近海域搬运而来的海源物质 2 类。它们在最大浑浊带的相互混合,使局部区域的悬浮物比相邻区域富集。根据 2 种来源的悬浮物对最大浑浊带的贡献不同,将它们称之为“陆源”或“海源”悬浮物。从 MJB 航次看,平水期流域径流量小,河流来沙量较少,悬浮物向海方向增加,最大浑浊带悬浮物高,泥沙来源当属“海源”为主;从 MJC 航次看,丰水期河流来沙量较高,尤其是在降雨期间水体中悬浮物较高,相反由于水动力条件的差异,在 MJB 航次出现最大浑浊带的区段悬浮物不是很高,泥沙来源当属“陆源”为主。在大樟溪、南港下游采样观察时恰逢下雨,陆地径流及坡面流带入的泥沙增加,导致水体中悬浮物含量的提高。

悬浮物在特定区段富集需要适宜的水动力条件,在河口区悬浮物富集的区段就在动力平衡带或盐淡水的主混合带。河流携带着泥沙向海运移,进入河口段受潮水的顶托而流速减缓,潮流则驱使泥沙向河口内搬运,进入河口后因径流的下

泄而受阻,两者之间形成在一个匀势相持、净流程很短的平衡区段,在这个区段泥沙在一个潮周期内的净位移很小,滞留时间长并导致悬浮物的积聚;再者,在盐、淡水的混合带内,盐度梯度大,而且指向上游的密度梯度总是助长涨潮流、削弱落潮流,导致向海一侧下层出现净上溯流,使一部分河口外的泥沙重返河口内,也阻截了一部分流域泥沙向海输移。这 2 种因素在河口都起着集聚泥沙的作用,只是主次不同而已。最大浑浊带的位置涨潮时上推,落潮时下移,大潮时偏上游,小潮偏下游。最大浑浊带的动力机制与径流的强弱及潮汐运动有关,或以动力平衡带为主,或以盐水入侵为主^[6]。

闽江口属于山溪性强潮河口,径流变率大、平水期泥沙主要靠海域补给,其最大浑浊带则是枯兴洪衰,特大洪水时,浑浊带甚至被推出口外或含沙浓度大大减小,类似的有瓯江口、椒江口、钱塘江口。

沈焕庭等^[6]对中国河口最大浑浊带研究后,根据泥沙的来源及泥沙集聚机制将最大浑浊带分成陆源—潮致型、陆源—盐致型、陆源—潮盐复合

型、海源—潮致型和海源—盐致型等 5 种类型^[7]。将闽江口最大浑浊带的物质来源、泥沙集聚和分布特征与这 5 种类型的特征进行对比,初步结果表明,闽江口最大浑浊带可划归“海源—潮致型”。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报(2010)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2011.
- [2] 中国海湾志编撰委员会. 中国海湾志(第十四分册)[M]. 北京:海洋出版社, 1998.
- [3] Bartz R J, Zaneveld J R, Pak H. A transmissometer for profiling and moored observations in water [J]. Society of Photo-Optical Instrument Engineers, 1978, 160: 102-108.
- [4] Bishop J K B. Transmissometer measurement of POC [J]. Deep-Sea Research I, 1999, 46: 353-369.
- [5] 俞鸣同. 闽江河口盐水楔活动的研究[J]. 海洋通报, 1998, 17(6): 1-6.
- [6] 沈焕庭, 贺松林, 茅志昌, 等. 中国河口最大浑浊带刍议[J]. 泥沙研究, 2001, 2(1): 23-29.
- [7] 沈焕庭. 我国河口最大浑浊带研究的新认识[J]. 地球科学进展, 1995, 10(4): 210-212.

DISTRIBUTION PATTERN OF SUSPENDED PARTICULATE MATTERS IN THE LOWER REACH AND ESTUARY OF THE MINJIANG RIVER

ZHAO Dongmei, GAO Aiguo, LI Chao, GUO Zhanrong, ZHANG Yanpo

(College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The distribution pattern of suspended particulate matters (SPM) in the lower reach and estuary of the Minjiang River is studied in this paper. The results suggest that SPM content in the normal period of water charge ranges from 5.67 to 493.8 mg/L, with an average of 114.2 mg/L, and the content of SPM is higher at the bottom at almost all the stations. From northwest to southeast, SPM keeps an increasing trend towards the sea. A peak value appears at the bottom layer of the Guantou to Yingyu section. SPM content during the period of high-water charge is around 6.9-138.7 mg/L, with an average of 29.7 mg/L. The SPM content displays a noticeable distribution pattern of middle layer > bottom > surface. From the upper reach to the sea, the concentration of suspended matters smoothly increases, without significant enrichment. Based on the data of temperature, salinity and turbidity, it is inferred that the upper and lower layer are more or less uniformly mixed during normal-water period, and there is no stratification of water. A salt wedge regime is developed in the estuary, and the turbidity maximum zone occurs in the region where salinity is around 2-5.5. According to the source and distribution of SPM, combined with its hydrodynamic environment, it is concluded that the Minjiang River Estuary turbidity maximum zone in the period of investigation belongs to the category of “marine source and tide drive”.

Key words: the Minjiang River; estuary area; suspended particulate matters; turbidity maximum; hydrodynamic environment