

# 中国东部海域泥质沉积区现代沉积速率 及其物源控制效应初探

李军<sup>1,2)</sup>, 胡邦琦<sup>1,2)</sup>, 窦衍光<sup>1,2)</sup>, 赵京涛<sup>1,2)</sup>, 李国刚<sup>3)</sup>

1) 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东青岛, 266071;

2) 青岛海洋地质研究所, 山东青岛, 266071; 3) 国家海洋局北海海洋工程勘察研究院, 山东青岛, 266033

**内容提要:**中国东部陆架(渤、黄、东海)是欧亚大陆和太平洋之间的一个重要物质交换通道,其周边的河流每年向海输入了大量的细颗粒沉积物。这些物质在海洋动力(潮流、波浪、环流等)的作用下形成了多个泥质沉积区(带)。过去的数十年间,国内外学者对东部陆架海沉积物扩散和沉积动力机制进行了深入的研究,但是,目前对陆架泥质沉积的形成机制以及沉积物收支情况还存在争议。本文利用整理的现代沉积速率资料,从物源控制的角度出发,研究了各泥质沉积区10~100a尺度的沉积速率和沉积通量的分布规律,并与全新世泥质沉积记录进行对比,指出物源是控制这些泥质沉积形成的主要因素。河流携带入海物质是这些泥质沉积的主要“源”,而这些泥质区是典型的“汇”。小型河流河口沉积过程和物质贡献需引起重视。定量物源分析需结合物源供应等方面的资料,在遵守沉积物收支平衡的前提下进行。

**关键词:**泥质沉积;现代沉积速率;物源供应;沉积物收支平衡;中国东部海域

近年来,沉积物的“源—汇”(Source to Sink)作用已经成为国内外研究的热点,而细颗粒物质(Fine-grained material)是其主要的研究对象。细颗粒物质作为有机质和其他化学组分的主要载体,在沉积过程中可以在海底埋藏或再循环(Thomas et al., 2004),蕴含着丰富的海洋古环境信息;陆地/海洋来源的碳以及人类活动形成的各种污染物的扩散和堆积过程对海洋生态系统、大气循环和人类活动影响具有非常重要的意义(McKee et al., 2004),细颗粒沉积是研究这些过程的物质基础。具高分辨率、沉积厚度大的细颗粒沉积成为研究第四纪海平面变化和气候变化的良好地质记录(Bianchi and Allison, 2009)。而这些研究,需要基于充分认识细颗粒物质在不同海洋环境里的扩散和堆积过程(McKee et al., 2004),它们是海洋沉积学的重要研究内容。

开展“源—汇”问题的研究,不能不涉及到沉积物的收支平衡(Sediment budget),这是探索陆海相互作用(LOCIZ)的基本途径。由河流携带入海的各种物质是海洋沉积物的主要来源,但是不同河流携

带的物质是有明显差异的,表现在输入通量、沉积物粒度、化学组成等众多方面,从而也造成了在更广阔的、环境更复杂的海洋里形成的沉积物千差万别。物源是控制这些沉积物形成的最基本因素(何起祥, 2011)。

中国东部海域(渤海、黄海和东海)是世界上最为宽广的陆架海之一,长江和黄河等河流为其提供了充足的陆源物质,在适宜的海洋动力条件下形成了多个规模不等的泥质沉积区(图1)。这些泥质沉积区是周边河流输入的细颗粒沉积物的“汇”,同时也是有机污染物(如DDT, OCPs等)和生源元素(C、N、P等)的重要“汇”(胡敦欣和杨作升, 2001;高抒, 2010; Hu Limin et al., 2011)。经过几十年的调查和研究,对于这些泥质沉积体的空间分布和沉积演化有了一定的了解(李广雪等, 2005; Liu J P et al., 2009),积累了丰富的数据资料,甚至建立了相应的沉积模式,也编制了一些相关图件。但是,对于这些泥质沉积区的成因机制和物源问题一直还没有明确的答案,原因甚多,一个可能是我们以前的研究局限于某个区域,缺乏对整个中国东部海域进行整

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号40976036、40506013、40906033)的成果。

收稿日期:2011-06-17;改回日期:2012-04-12;责任编辑:章雨旭。

作者简介:李军,男,1974年生。研究员。主要从事海洋沉积学研究。通讯地址:266071,青岛福州南路62号。Email: junli741001@gmail.com; bangqihu@gmail.com。

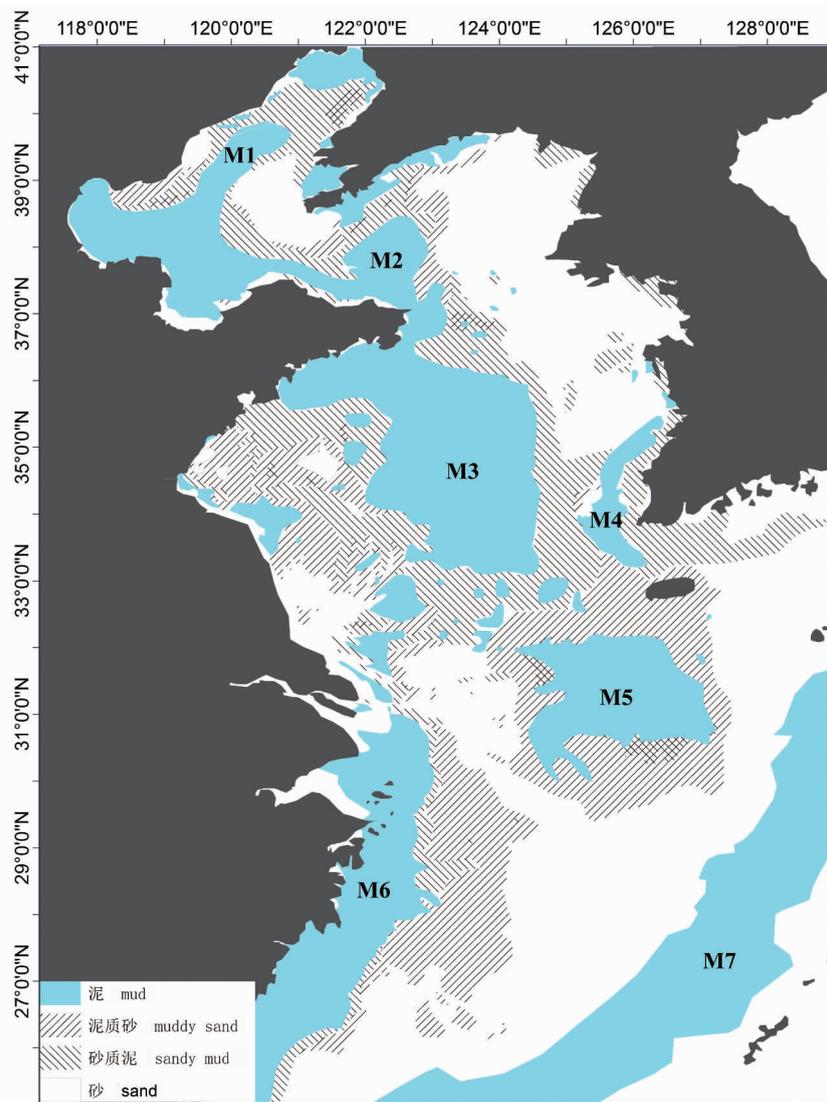


图1 中国东部海域表层沉积物类型与分布(据李广雪等,2005 修改)

Fig.1 Surficial sediment types and their distribution in the East China Seas  
(modified from Li et al., 2005)

M1—渤海中部泥质区; M2—山东半岛北部泥质区; M3, 黄海中部泥质区; M4, 黄海东南部泥质区; M5, 济州岛南泥质区; M6, 浙闽沿岸泥质区; M7, 冲绳海槽泥质区

Mud depositional areas; M1—Central Bohai Sea; M2—Northern Shandong Peninsula; M3— Central Yellow Sea; M4—Southeast Yellow Sea; M5—South Cheju Island; M6—Nearshore of Zhejiang—Fujian; M7—Okinawa Trough

体性和系统性的研究;另外一个可能性是我们过于注重沉积动力的分析,而忽视了对沉积物物质供应平衡的研究。以河流的物源供应为基础,从沉积物的收支平衡(沉积物供应量和堆积量平衡与否)出发,来重新分析这些沉积体的成因,可能是一个新的途径。

本文对中国东部海域泥质沉积区的现代沉积速率( $<100a$ )加以综合分析,得到各个泥质沉积区的

10~100a 尺度沉积速率和沉积通量,从物源供应(主要是河流输入)的角度来探讨这些泥质沉积的成因,以期能对我国东部海域的沉积格局和机制有新的认识。

## 1 材料与方法

本文共收集了从上世纪80年代以来所发表的中国东部海域现代沉积速率( $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 测年方法)359组数据,站位位置见图2。从站位分布上来看,这些站位基本覆盖了中国东部海域的主要泥质沉积区,而在砂质沉积区(残留砂为主)则站位较少。利用ARCGIS9.3软件,将这些数据进行空间分析,绘制出各泥质沉积区的现代沉积速率分布图(图3)。

对于现代沉积通量的计算,本文利用有限元法(Huh Chih-An et al., 2006, 2011),即利用已有的站位相邻的三个站位组成的三角形作为基本单元,每个三角形作为一个计算单元。每个单元的现代沉积通量(sedimentation flux)可用公式(1)来计算(图4):

$$F = S \times SR \times \rho \quad (1)$$

其中, $F$ 为沉积通量( $t/a$ ), $S$ 为单元面积( $\text{cm}^2$ ), $SR$ 为平均现代堆积速率( $\text{cm}/a$ ),取三角形各顶点的平均值; $\rho$ 为沉积物干密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),取各海域相关文献提供数据的平均值。每个单元沉积量的总和即为沉积物现代沉积总量。

需要说明的是,因为 $^{210}\text{Pb}$ 测年方法的局限,本文所做的计算均针对细颗粒沉积物而言,暂不涉及到砂质沉积。

## 2 结果

### 2.1 现代沉积速率的平面分布

从图3可以看出,我国东部海域各泥质沉积区的现代沉积速率的空间变化较大。在渤海海域,黄河水下三角洲邻近海域具有最高的沉积速率,最大值可达 $9\text{cm}/a$ 以上(莱州湾西部);渤海湾内次之,

最大值可达 5cm/a 以上;辽东湾内的沉积速率较低,仅在沿岸海域可达 2 cm/a 左右,一般在 0.6~1 cm/a 之间;在靠近渤海海峡的海域,其沉积速率相对较低,一般均小于 0.4 cm/a。

与渤海相比,黄海海域的现代沉积速率明显较低,均值仅为 0.3cm/a。山东半岛北部泥质区沉积速率多数介于 0.4~1.0cm/a 之间;山东半岛东部和南部海域沉积速率多数介于 0.2~0.4cm/a 之间,个别站点可达 1.0cm/a;南黄海中部泥质区沉积速率为此海区最低,基本上小于 0.2cm/a;黄海靠近朝鲜半岛一侧,沉积速率相对较高,最高可达 1.5cm/a 以上,但高值分布范围较小。

在东海,长江口及其临近海域的沉积速率明显较高,最高可达 6cm/a,大多数变化于 1.0~3.0cm/a 之间。在浙闽沿岸泥质区,其沉积速率也在 0.8cm/a 之间,在沿岸海域,其沉积速率可达 2.0cm/a 以上,整体上表现为从北至南递减的趋势。济州岛东南部泥质区现代沉积速率较低,介于 0.2~0.6cm/a 之间。

## 2.2 沉积物收支平衡

利用现代沉积速率的分布和有限元法,计算各泥质沉积区的十年到百年尺度的沉积通量,结果如表 1 所示。

表 1 各海域估算的沉积物沉积通量

Table 1 Calculated sediment flux for the different sea areas

研究海域	面积 ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )	年堆积量 ( $\times 10^6 \text{ t/a}$ )	占总量 百分比(%)
渤海	6.11	557	32
山东半岛北部	2.07	70	4
南黄海和济州岛以南	4.46	542	31
长江口及其临近海域	0.87	118	7
浙闽沿岸	4.14	462	26
合计	17.65	1749	100

结果表明,在整个中国东部海域的泥质沉积区,其百年尺度的年均沉积通量为  $1749 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,其中渤海海域的沉积通量为  $557 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,为整个东部海域最高,占总量的 32%,与其较高的沉积速率密切相关;山东半岛北部泥质区沉积通量为  $70 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,

表 2 我国东部海域周边入海河流的基本特征和入海泥沙量统计

Table 2 Summary of rivers pouring into the East China Seas

海域	河流	长度 (km)	流域面积 ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )	年径流量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ )	年入海泥 沙量 ( $\times 10^6 \text{ t/a}$ )	海域	河流	长度 (km)	流域面积 ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )	年径流量 ( $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ )	年入海泥 沙量 ( $\times 10^6 \text{ t/a}$ )
渤海	黄河	5463	75.2	426	1089	北 黄 海	鸭绿江	795	6.30	328	1.10
	滦河	877	4.49	46.5	22.2		碧流河	159	0.28	8.76	0.50
	辽河	1396	21.9	39.5	16.9		大洋河	202	0.62	20.5	0.68
	海河	1036	5.22	15.6	18.7		大同江	450	2.00	~	10.0
	大凌河	435	2.35	16.3	27.4		清川江	217	0.96	~	~
	小凌河	206	0.55	4.03	3.64		合计				12.3
	徒骇河	447	0.14	8.97	1.57		南 黄 海	五龙河	124	0.27	5.63
	六股河	158	0.31	6.02	1.48	大沽河		179	0.56	5	0.96
	潍河	242	0.64	14.5	0.92	淮河			13.16	291	11.7
	弥河	206	0.38	4.30	0.84	锦江		401	0.99	58.0	3.95
	马颊河	448	1.22	2.93	0.76	永山江		116	0.28	21.0	1.24
	子牙新河	143	0.52	3.09	0.39	汉江		470	2.62	209	12.4
	小清河	233	1.05	8.78	0.37	合计					31.1
	洋河	100	0.10	17.6	0.18	东 海	长江	6300	180.9	9282	500
	复州河	133	0.16	1.37	0.17		钱塘江	494	4.1	342	4.40
	陡河	121	0.13	13.1	0.12		曹娥江	192	0.652	45.3	1.29
	胶莱河	109	0.38	2.33	0.09		甬江	121	0.43	34.5	0.36
宣惠河	169	0.30	0.44	0.04	椒江		198	0.65	6.66	1.20	
沙河	108	0.09	4.95	0.08	瓯江		376	1.79	146	2.67	
合计				1184.9	飞云河		185	0.37	44.5	6.87	
					交溪		165	0.564	40.6	1.07	
					闽江		2872	6.1	536	7.50	
					合计					519.2	

注:表中中国河流数据主要来自中国海湾志,中国河流泥沙公报等;朝鲜半岛数据引自 Lim et al., 2007。

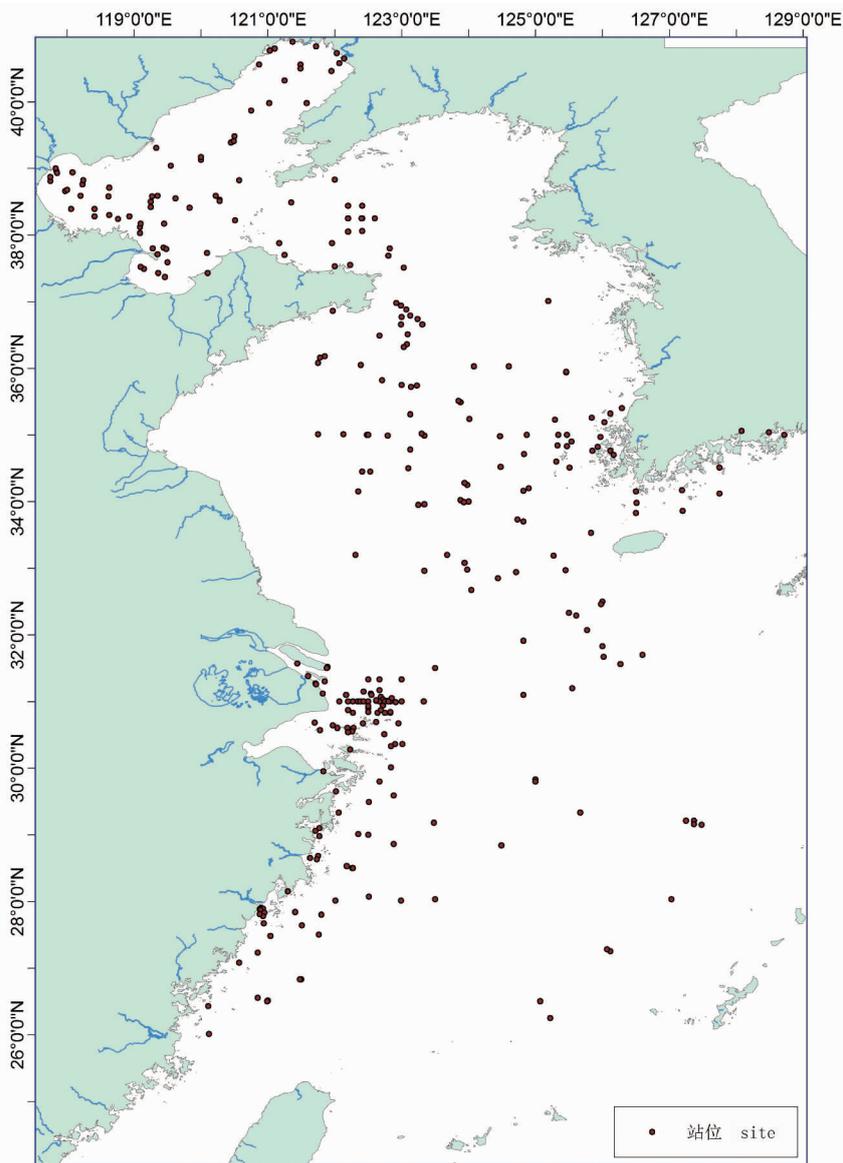


图2 本文使用的 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 测年站位分布

Fig. 2 Map shows the locations of the cores used in this study

资料来源/Data from: 渤海站位引自杜瑞芝等,1990;杨松林等,1993;李凤业和史玉兰,1995;董太禄,1996;宋云香等,1997;赵广明等,2009;胡利民,2010;胡邦琦等,2011;黄海站位引自 Alexander et al.,1991;赵一阳等,1991;李凤业等,1996;李凤业等,1999;Park et al.,2000;齐君等,2004;Liu J P et al.,2004;朱赖民等,2006;Lim et al.,2007;贾海波<sup>①</sup>,2008;胡邦琦等,2011;东海站位引自 DeMaster et al.,1985;金翔龙,1992;谢钦春等,1994;Huh and Su,1999;夏小明等,1999;Su and Huh,2002;Chen Zhongyuan et al.,2004;夏小明等,2004;张志忠等,2005;Liu J P et al.,2006;Guo Zhigang et al.,2007;Wei Taoyuan et al.,2007;杨作升和陈晓辉,2007;张敬<sup>②</sup>,2008;张瑞等,2008;张瑞等,2009;董爱国等,2009;冯旭文等,2009;刘升发等,2009;刘明和范德江,2010;Youn and Kim,2010)

仅占总量的4%;南黄海和济州岛南部海域泥质区沉积通量为 $542 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,占总量的31%;长江口及其临近海域的堆积通量为 $118 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,占总量的7%;浙闽沿岸泥质区的堆积通量为 $462 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,占总量的26%。

## 3 讨论

### 3.1 河流输入及其影响

表2统计了流入中国东部海域的31条河流的长度、流域面积、年径流量和年平均入海泥沙量。渤海入海河流众多,以黄河为代表,每年贡献 $1184.9 \times 10^6 \text{ t}$ 沉积物入海;黄海周边由于没有大型河流入海,以鸭绿江和淮河为代表的11条中小河流每年仅贡献 $43.4 \times 10^6 \text{ t}$ 沉积物;东海周边河流每年输入 $519.2 \times 10^6 \text{ t}$ 沉积物,以长江为代表(表2)。

依据表2,我国东部海域每年入海物质总量可达 $1748 \times 10^6 \text{ t}$ (各海域总和),而由泥质区沉积速率估算的堆积总量为 $1749 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,这一数值与所有入海河流携带泥沙量的总和大致相当。考虑到计算沉积物沉积通量的误差和分析方法,以及由海岸侵蚀、冲刷入海的物质,可以认为河流携带入海物质与海洋泥质区堆积总量基本一致。当然,海洋沉积物中自生组分和生源物质也占有一定比例。但可以肯定的是,我国东部海域现代泥质沉积物主要来自河流输入,其贡献量应该在95%以上。这与胡敦欣和杨作升(2001)估算的陆源物质进入大洋物质总量值较为接近。

### 3.2 小型河流对海洋沉积的贡献

长期以来,我们都主要关注世界大型河流(远源河流)对海洋沉积物的贡献(Liu J P et al.,2009),却忽视了小型河流(短源河流)的作用。事实上,在南太平洋岛屿的研究表明,由一些小型河流携带入海的物质总量并不亚于

世界级大河的贡献(Milliman and Syvitski,1992)。在台湾岛的研究也表明(Dadson et al.,2003;Kao and Milliman,2008),由浊水溪、高屏溪等小型山地河流每年携带入海的物质总量可达 $200 \times 10^6 \text{ t}$ 以

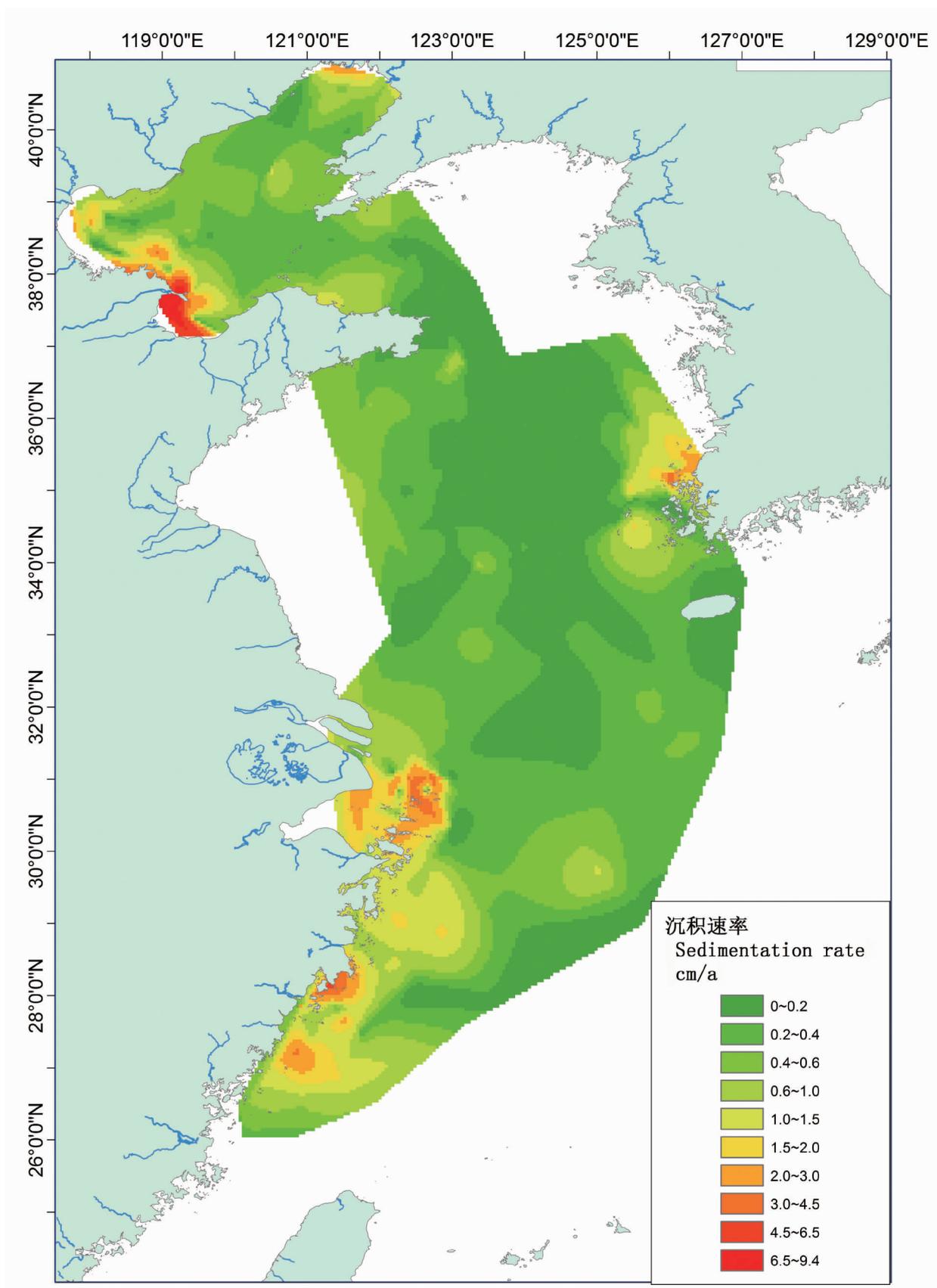


图 3 我国东部海域各泥质沉积区现代 (<100a) 沉积速率的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of modern (<100a) sedimentation rates of muddy deposits in the East China Seas

上,与当前的人类活动(建坝)影响下,长江、黄河入海沉积物通量相当(Wang Houjie et al., 2010; Yang Shilun et al., 2011)。

我们暂且把除长江、黄河以外的入中国东部海域的河流都称之为小型河流。由表2和图5可以看出,这些小型河流的年径流量、年携带入海物质都具有一定的规模。在渤海,除黄河的贡献外,海河、辽河、滦河等其他河流年平均携带入海物质总量可达  $96 \times 10^6$  t, 约为黄河多年平均入海泥沙量的10%。在黄海两侧入海河流年平均携带入海物质总量达  $32 \times 10^6$  t 以上。在东海,除长江以外的其他河流年均输沙量约为  $19 \times 10^6$  t, 为长江年平均入海泥沙量的4%左右。从整个中国东部海域来看,除黄河、长江以外的其他河流年平均携带入海物质的总

量为2亿吨左右。

这些小型河流输入的沉积物对海洋沉积通量也具有一定的影响。图3显示,除长江、黄河河口具有较高的沉积速率外,在许多小型河口外,也存在沉积速率的相对高值,如渤海的海河、辽河等。尤其是在长江以南的沿海海域,可以发现在每条小型河流的河口区其沉积速率都有明显的升高。这表明小型河流对于我国东部海域泥质沉积的形成也具有一定的贡献,虽然其贡献力较小,但足以影响着区域性的局部沉积物供给和堆积过程。我们目前还无法定量计算这些小型河流携带入海物质扩散的范围和供应量,但可以肯定的是,这些河流明显影响着泥质沉积的形成。这可能也是在泥质沉积进行物源判别中存在多源性和难以量化的主要原因(Yang Shouye et al., 2003, Lim et al., 2006)。

Liu J P 等(2007)对浙闽沿岸泥质区的形成机制进行了分析,认为其主要是长江物质沿岸输送并沉积的结果,但同时也指出了小型河流的可能贡献。本文的计算结果表明,长江口及其临近海域的现代年平均泥质堆积总量为  $118 \times 10^6$  t, 而在浙闽沿岸泥质区,其年平均堆积总量可达  $462 \times 10^6$  t, 为前者的近4倍,其总和已经大于长江年平均入海物质总量,也间接佐证了这种认识。

### 3.3 与中全新世泥质沉积速率的对比

众多的研究表明,我国东部海域泥质沉积主要形成于中一晚全新世(7000a BP 以来)(Liu J P et al., 2002, 2004; Liu Jian et al., 2007, Yang and Liu, 2007; Liu Jianguo et al., 2008, 2010)。通过收集中国东部海域几个典型泥质沉积区的钻孔或柱样的 AMS  $^{14}\text{C}$  数据(表3),得到中一晚全新世以来平均沉积速率(千年尺度)(图5)。对比图5和图3,可以看出,在千年尺度上,泥质区的平均沉积速率明显低于现代沉积速率( $^{210}\text{Pb}$ )。在渤海,中一晚全新世沉积速率,最大值出现在黄河口,为  $0.21 \text{ cm/a}$

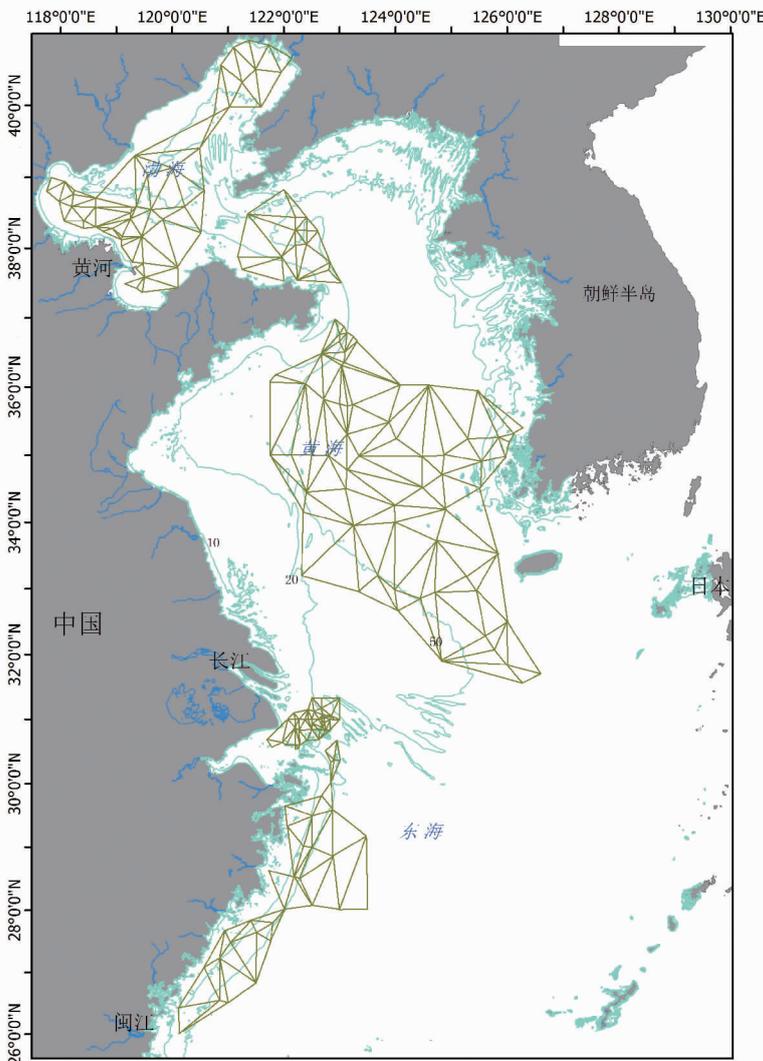


图4 各泥质沉积区沉积通量的计算网格

Fig. 4 Grids for the calculation of sediment flux for the muddy deposits

(HB-1 孔, Liu Jian et al., 2009), 其他各孔揭示的平均沉积速率仅为 0.01 ~ 0.10 cm/a 之间, 并且表现出由黄河口向渤海中部有减小的趋势(刘建国, 2007); 从黄河口向东, 直到山东半岛东部泥质区, 其平均速率也呈明显降低的趋势, 约 0.1 cm/a (NYS ~ 101 孔, Liu Jian et al., 2007); 在南黄海, 基于  $^{210}\text{Pb}$  测年方法获得现代沉积速率(百年尺度)与中一晚全新世高海平面后形成的沉积物厚度分布(千年尺度)(Yang and Liu, 2007)具有明显的一致性, 在各泥质沉积中心, 其现代沉积速率也较高(胡邦琦等, 2011)。在浙闽沿岸泥质区, 千年尺度的沉积速率为 0.1 ~ 0.4 cm/a 之间, 有意思的是其空间变化并非单一的从北向南递减, 而先递减而后递增, 这种变化趋势与百年尺度的  $^{210}\text{Pb}$  沉积速率的结果类似(图 3)。在济州岛西南泥质区, 千年尺度的沉积速率变化于

0.02 ~ 0.2 cm/a 之间, 变化幅度较大。

前人研究依据浅地层剖面并结合钻孔, 绘制了南黄海中部、朝鲜半岛东南以及浙闽沿岸泥质沉积的沉积等厚图(Yang and Liu, 2007; Lim et al., 2007; Liu J P et al., 2007), 并初步计算 7000 年以来各泥质沉积的平均沉积通量, 如南黄海中部大致为  $120 \times 10^6 \text{ t/a}$ , 朝鲜半岛东南大致为  $34 \times 10^6 \sim 85 \times 10^6 \text{ t/a}$ , 而浙闽沿岸则大致为  $240 \times 10^6 \text{ t/a}$ 。如果以现代沉积速率推算, 这些泥质区的沉积总量要远小于其估计值, 说明河流物质的供应有逐渐增加的趋势, 如 2000 年以前长江和黄河总的入海沉积通量仅为现代多年平均的五分之一(Saito et al., 2001), 显然与气候变化和人类活动密切相关(Xu Kehui et

表 3 我国东部海域中一晚全新世泥质沉积区沉积速率统计(基于  $^{14}\text{C}$  测年方法)  
Table 3 Statistics of sedimentation rates for the mid-late Holocene mud deposits in East China Seas ( $^{14}\text{C}$  dating method)

海域	站位	经度 (°E)	纬度 (°N)	沉积厚度 (cm)	AMS $^{14}\text{C}$ 年龄(a)	沉积速率 (cm/a)	数据来源
渤海	M9-2	118.12	38.80	242	6105	0.04	刘建国, 2007; Liu Jianguo et al., 2008, 2010
	M9-4	118.50	38.57	225	4312	0.05	
	M7-4	119.13	38.63	292	6449	0.05	
	M7-6	119.48	38.40	205	7989	0.03	
	M5-5	119.77	38.68	295	6342	0.05	
	M3-3	119.70	39.20	295	8747	0.03	
	M1-3	119.97	39.47	258	8134	0.03	
	B80	120.38	39.65	185	7879	0.02	
	B79	120.20	39.80	295	6879	0.04	
HB-1	118.93	38.15	1846	8838	0.21	Liu Jian et al., 2009	
黄海	YSDP102	125.75	33.82	5167	6400	0.81	李铁刚等, 2000
	YSDP103	125.49	35.49	1825	5530	0.33	Kong et al., 2006
	CC02	123.82	36.13	95	5720	0.02	Kim and Park, 1999
	EY02-2	123.50	34.50	105	7920	0.01	葛淑兰等, 2005
	NYS-101	122.80	37.70	406	6459	0.06	Liu Jian et al., 2007
	NYS-102	121.73	37.93	695	6747	0.10	Liu Jian et al., 2007
	ZY-1	123.00	35.53	375	5632	0.07	胡邦琦, 2010
	ZY-2	122.65	35.52	330	5941	0.06	胡邦琦, 2010
	ZY-3	122.40	35.52	359	7010	0.05	胡邦琦, 2010
	G8024	126.01	31.80	110	6942	0.02	Alexander et al., 1991
	YK7	123.67	36.96	250	6725	0.04	Alexander et al., 1991
	PK48	123.93	34.99	195	9461	0.02	Alexander et al., 1991
YE-2	123.33	35.50	492	6515	0.08	Xiang Rong et al., 2008	
东海	DD2	122.63	29.58	203	1527	0.13	肖尚斌等, 2004
	PC-6	122.57	28.97	429	7602	0.06	肖尚斌等, 2005
	FJ04	125.81	31.68	154	3242	0.05	李广雪等, 2009
	MD06-3040	121.78	27.72	1611	7666	0.21	Zheng et al., 2010
	EC2005	121.33	27.42	3021	6980	0.43	徐方建等, 2009
	B2	125.75	31.75	402	2332	0.17	向荣等, 2006
	B3	125.75	31.50	166	6868	0.02	乔淑卿, 2006
	ECS-0702	122.67	31.01	1899	7257	0.26	Liu Jian et al., 2010

al., 2011)。

### 3.4 物源对泥质沉积形成的控制作用

物源和海洋动力是海洋沉积物形成的两个主要因素。对于二者间的关系, 何起祥(2011)指出“碎屑沉积物的沉积作用处处都要受到物源的制约”。对于陆架泥质沉积物形成的机制, 目前还是一个世界性的难题。来自加利福尼亚陆架(Crockett and Nittrouer, 2004)、亚德里亚海(Brommer et al., 2009)、新西兰 Poverty 陆架(Miller and Kuehl, 2010)等海域的研究结果均显示出了物源控制的直接证据。对于我国东部海域来说, 沉积物物源主要有两个, 一个是河流输入的物质(陆源物质), 另一个是残留物质(架源物质)。在高和低水位体系域

内,陆源物质占据主要地位,在海侵体系域内,架源物质起到重要作用(何起祥,2011)。

从空间位置上,我国东部海域泥质沉积的分布有一定的规律性,即大多数呈泥质条带或团块状发育,其可划分为:① 泥质海岸带(如苏北),② 近岸泥质条带(渤海、北黄海、山东半岛东部、浙闽沿岸泥质区),③ 陆架中部泥质区(济州岛西南泥质区),④ 陆架边缘泥质区(冲绳海槽西坡)。事实上,这些泥质区的动力学机制存在很大的差异,虽然

有一个基本认识是泥质沉积的形成与局部沉积动力环境变弱有关,但其主要的控制因素还是物源。研究表明,我国的东部海域河流中除几条小型河流外,多数河流携带入海的物质均以悬移组分为主(范德江等,2002),且以粉砂质组分占优。在这种物源物质组成的大背景下,当然只能形成以粉砂组分为主的泥质沉积只有在一些小型河口(如六股河)附近才会形成一些小规模的砂质沉积。从而直接反映了物源对沉积的控制作用。另外,利用元素地球化学、

同位素(Sr、Nd等)、粘土矿物、重矿物组合等方法开展的沉积物源分析结果均显示出,它们都具有明显的多源性特征(Yang Shouye et al., 2003),这是我们不可忽视的基本事实。

从物源的角度可以重新认识这些泥质区。依据可能的沉积物来源的贡献潜力,我国东部海域的物源可以划分为:① S1,以现代黄河为主的物源、② S2,以长江为主的物源、③ S3,老黄河口物源、④ S4,朝鲜半岛物源、⑤ S5,小型河流物源和⑥ S6,陆架物源等(图6)。相应地,这些泥质区可划分为(图6):① M-I,以黄河为主要物源的泥质区,包括了黄河口(MI-1)、莱州湾(MI-2)、渤海中部(MI-3)、山东半岛北部(MI-4)和东部泥质区(MI-5);② M-II,以长江为主要物源的泥质区,包括长江口(MII-1)、舟山群岛(MII-2)和浙闽沿岸泥质带(MII-3);③ M-

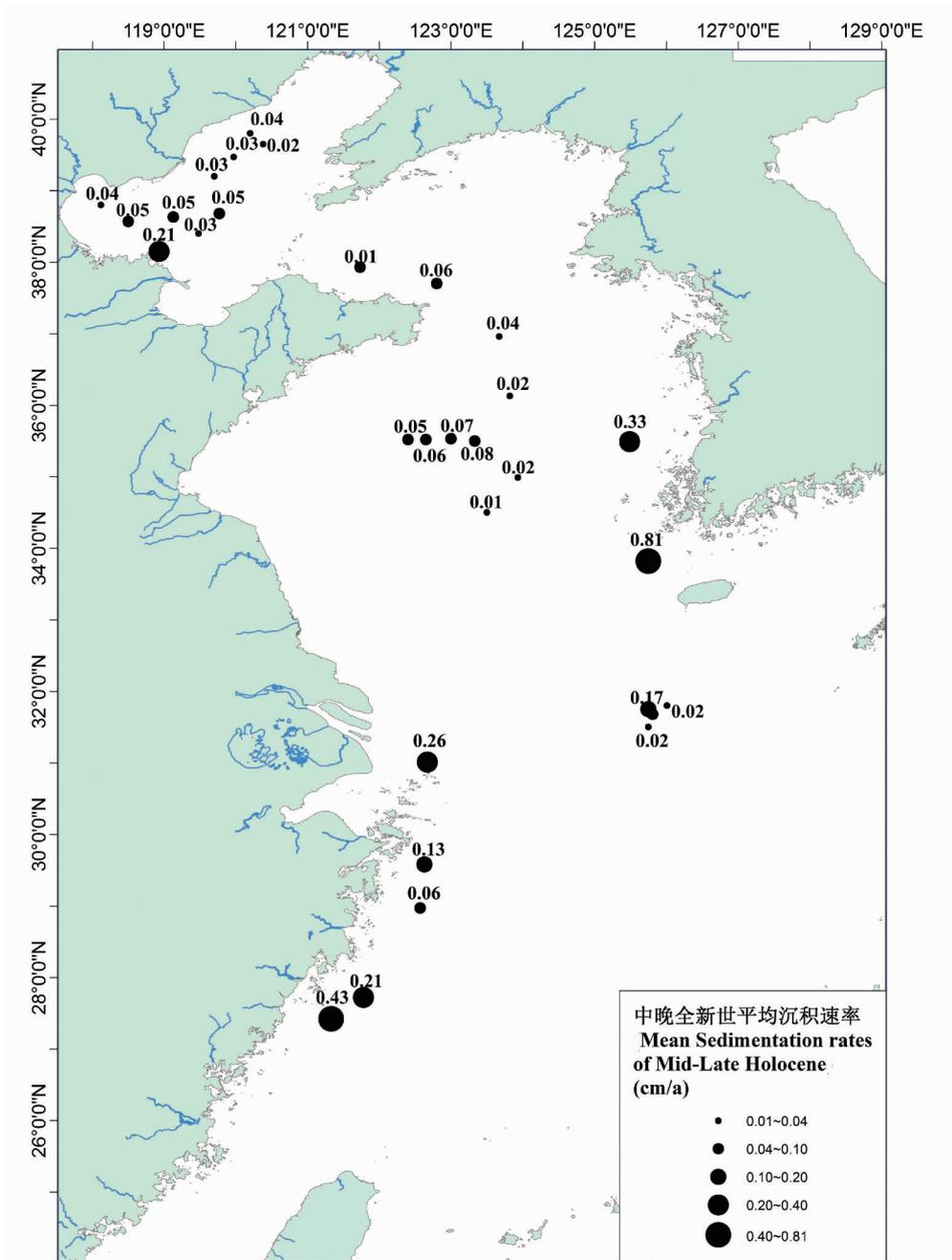


图5 我国东部海域中一晚全新世平均沉积速率分布

Fig. 5 Distribution of mean sedimentation rates for the mid—late Holocene in East China Seas

III,以老黄河口侵蚀物质为主要物源的泥质区,除老黄河口外的泥质区外,可能也包括了长江口以北的几个小泥质斑块;④ M-IV,沿岸或近岸泥质条带,包括渤海北部、北黄海西北部等,其物源主要是来自附近的小型河流;⑤ M-V,混合源泥质区,包括黄海中部泥质区(MV-1)、济州岛东南部泥质区(MV-2)、冲绳海槽泥质区(MV-3)和朝鲜半岛东南近岸泥质区(MV-4)等,其物源较为复杂,目前的认识还不明确。在南黄海内还发育有几个小型的残留泥块(李广雪等,2005)。

在强调物源对泥质沉积控制作用的同时,我们当然也不能忽视沉积动力的因素。有了充足的物源和一定的容纳空间(accommodation space),泥质沉积的形成(物质组成、层序、沉积速率等)就与动力息息相关了。在河口区,一般来说,携带细颗粒物入海的淡水进入到广阔的海洋环境中,由于流体(从淡水到海水)物理化学条件的急剧变化,流速急剧降低,致使多数的细颗粒物会急剧沉淀,在河口区形成速率很高、厚度很大的泥质沉积体。来自河流的小部分细颗粒悬浮物质在沿岸流的搬运下,会顺流而下,在能量较弱的陆架海域(如冷流区、上升流区等),发生快速沉淀,形成一定规模的泥质沉积,但其沉积速率相对变小。

另外,需要指出的是,目前的沉积物物源分析方法均是定性的判断,很难实现量化,其原因就是这些物源分析均基于样品本身,而忽略了一个基本的定律:质量守恒(mass balance)。基于质量守恒和沉积物收支平衡(sediment budget),采用多参数的物源分析方法,可能是实现定量化物源分析和贡献力估算的有效途径(Weltje and Brommer,2011)。

## 4 结论

(1)通过分析我国东部海域泥质沉积区的359

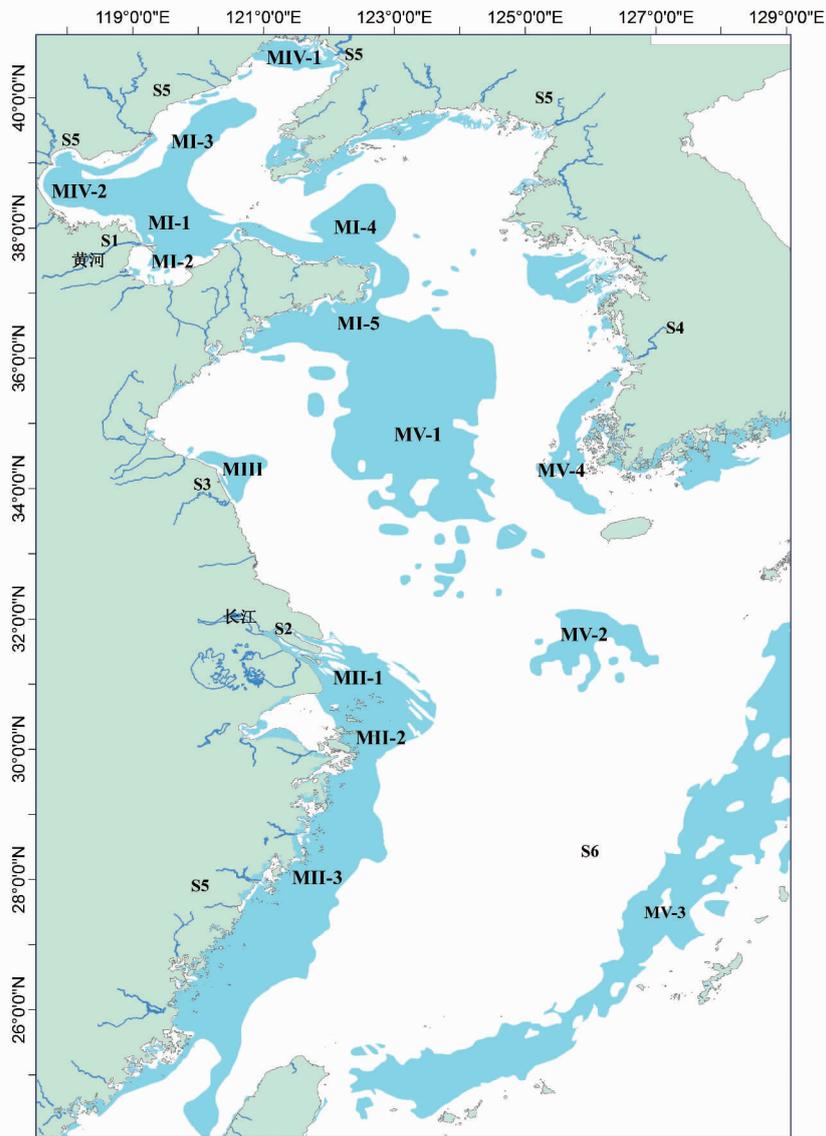


图6 我国东部海域泥质区的物源分类

Fig. 6 Classification of muddy deposits in the East China Seas based on the sediment supply

组 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 沉积速率资料,发现各泥质沉积区的现代沉积速率空间分布差异较大,高沉积速率区集中在渤海现在黄河水下三角洲和长江口及其邻近海域,与黄河和长江的充足物质供应密切相关。黄海海域的现代沉积速率显著低于渤海和东海。

(2)通过有限元法对各泥质沉积区的沉积通量进行了计算。发现近百年来东部海域泥质堆积总量为 $1749 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,与周边河流输入物质总量大致相当。综合分析表明东部海域现代泥质沉积物主要来自河流输入,其贡献量应该在95%以上。

(3)将泥质沉积区百年尺度( $^{210}\text{Pb}$ 或 $^{137}\text{Cs}$ )沉积

速率与钻孔或柱样的千年尺度平均沉积速率 (AMS  $^{14}\text{C}$ 测年)对比发现,两者的绝对值相差较大,但其沉积中心在空间上的变化趋势一致。

(4)从物源的角度对中国东部海域各泥质沉积区进行了重新划分,可划分为黄河源、长江源和混合源等三种基本类型。

(5)定量化的物源分析以遵守质量守恒和沉积物收支平衡的前提下开展,并注重沉积物输运和堆积机理的研究。

**致谢:**本文的完成过程中,何起祥先生提出了许多中肯的意见和建议,在此表示衷心感谢。

### 注 释 / Notes

- ① 贾海波. 2008. 应用鱼鳞沉积信息追溯近 150 年黄海重要鱼种的种群动态. 导师:孙耀. 中国海洋大学硕士论文.
- ② 张敬. 2008. 长江口及邻近海域沉积速率比较研究. 导师:杜金州. 华东师范大学硕士学位论文.

### 参 考 文 献 / References

杜瑞芝,刘国贤,杨松林,周义华,张兵. 1990. 渤海湾现代沉积速率和沉积过程. 海洋地质与第四纪地质,10(3):15~22.

董太禄. 1996. 渤海现代沉积作用与模式的研究. 海洋地质与第四纪地质,16(4):43~53.

董爱国,翟世奎,Zabel M,于增慧,褚忠信. 2009. 长江口外海域岩心沉积物地球化学特征及其对人类活动的响应. 海洋地质与第四纪地质,29(4):107~114.

范德江,杨作升,孙效功,张东奇,郭志刚. 2002. 东海陆架北部长江、黄河沉积物影响范围的定量估算. 青岛海洋大学学报(自然科学版),32(5):748~756.

冯旭文,金翔龙,章伟艳,于晓果,李宏亮. 2009. 长江口外缺氧区柱状沉积物元素的分布及其百年沉积环境效应. 海洋地质与第四纪地质,29(2):25~32.

葛淑兰,石学法,朱日祥,刘焱光,印萍,刘乐军. 2005. 南黄海 EY02-2 孔磁性地层及古环境意义. 科学通报 50(22):2531~2540.

高抒. 2010. 海岸与陆架沉积:动力过程、全球变化影响和地层记录. 第四纪研究,30(5):856~863.

胡敦欣,杨作升. 2001. 东海海洋通量关键过程. 北京:科学出版社.

胡邦琦. 2010. 中国东部陆架海泥质沉积区的物源识别及其环境记录. 导师:杨作升. 中国海洋大学博士学位论文.

胡邦琦,李国刚,李军,杨敏,王利波,布如源. 2011. 黄海、渤海铅-210 沉积速率的分布特征及其影响因素. 海洋学报,33(6):125~133.

胡利民. 2010. 大河控制性影响下的陆架海沉积有机质的“源—汇”作用——以渤、黄海为例. 导师:郭志刚. 中国海洋大学博士学位论文.

何起祥. 2011. 海洋沉积作用的物源控制. 海洋地质前沿,27(1):8~13.

金翔龙. 1992. 东海海洋地质. 北京:海洋出版社.

李凤业,史玉兰. 1995. 渤海南部现代沉积物堆积速率和沉积环境. 黄渤海海洋,13(2):33~37.

李凤业,史玉兰,申顺喜,何丽娟. 1996. 同位素记录南黄海现代沉积环境. 海洋与湖沼,27(6):584~589.

李凤业,杨永亮,何丽娟,史玉兰,朴龙安,崔镇勇. 1999. 南黄海东部泥区沉积速率和物源探讨. 海洋科学,(5):37~40.

李广雪,杨子庚,刘勇. 2005. 中国东部陆架海底沉积环境成因研究. 北京:科学出版社.

李广雪,孙晓燕,刘勇,Bickert T,马妍妍. 2009. 中国东北北部晚全新世表层海水温度变化. 科学通报,54(21):3374~3379.

刘建国. 2007. 全新世渤海泥质区的沉积物物质组成特征及其环境意义. 导师:李安春. 中国科学院研究生院(海洋研究所)博士学位论文.

刘升发,石学法,刘焱光,刘焱光,朱爱美,杨刚. 2009. 东海内陆架泥质区沉积速率. 海洋地质与第四纪地质,29(6):1~7.

刘明,范德江. 2010. 近 60 年来长江水下三角洲沉积地球化学记录及其对人类活动的响应. 科学通报,55(36):3506~3515.

齐君,李凤业,宋金明,高抒,王桂芝,程鹏. 2004. 北黄海沉积速率及其沉积通量. 海洋地质与第四纪地质,24(2):9~14.

乔淑卿. 2006. 全新世以来东海远端泥质区高分辨率物源记录及其对全球变化的响应. 导师:杨作升. 中国海洋大学博士学位论文.

宋云香,战秀文,王玉广. 1997. 辽东湾北部河口区现代沉积特征. 海洋学报,19(5):145~149.

谢钦春,李伯根,夏小明,李炎. 1994. 浙江瓯江口南岸滩相带的时空变化. 地理学报,49(6):509~516.

向荣,杨作升,Saito Y,郭志刚,范德江,李云海,肖尚斌,石学法,陈木宏. 2006. 济州岛西南泥质区近 2300a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化. 中国科学 D 辑:地球科学,36(7):654~662.

肖尚斌,李安春,蒋富清,李铁刚,黄朋,徐兆凯. 2004. 近 2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义. 科学通报,49(21):2233~2238.

肖尚斌,李安春,陈木宏,刘敬圃,蒋富清,李铁刚,谢强,向荣,陈忠. 2005. 近 8ka 东亚冬季风变化的东海内陆架泥质沉积记录. 地球科学,30(5):573~581.

夏小明,谢钦春,李炎,李伯根,冯应俊. 1999. 东海沿岸海底沉积物中的 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 分布及其沉积环境解释. 东海海洋,17(4):20~27.

夏小明,杨辉,李炎,李伯根,潘少明. 2004. 长江口—杭州湾毗连海区的现代沉积速率. 沉积学报,22(1):130~134.

徐方建,李安春,肖尚斌,万世明,刘建国,张永超. 2009. 末次冰消期以来东海内陆架古环境演化. 沉积学报,27(1):118~127.

杨松林,刘国贤,杜瑞芝,张兵. 1993. 用 $^{210}\text{Pb}$ 年代学方法对辽东湾现代沉积速率的研究. 沉积学报,11(1):128~135.

杨作升,陈晓辉. 2007. 百年来长江口泥质区高分辨率沉积粒度变化及影响因素探讨. 第四纪研究,27(5):690~699.

赵一阳,李凤业,Demaster D J, Nittrouer C A, Milliman J D. 1991. 南黄海沉积速率和沉积通量的初步研究. 海洋与湖沼,22(1):38~43.

张志忠,李双林,董岩翔,汪庆华,肖菲,鲁静. 2005. 浙江近岸海域沉积物沉积速率及地球化学. 海洋地质与第四纪地质,25(3):15~24.

朱赖民,杜俊民,张远辉,许江. 2006. 南黄海中部 E2 柱状沉积物来源的稀土元素及微量元素示踪. 环境科学学报,26(3):495~500.

张瑞,汪亚平,高建华,潘少明,张志林. 2008. 长江口泥质区垂向沉积结构及其环境指示意义. 海洋学报,30(2):80~91.

张瑞,潘少明,汪亚平,高建华. 2009. 长江河口水下三角洲 $^{210}\text{Pb}$ 分布特征及其沉积速率. 沉积学报,27(4):704~713.

赵广明,叶思源,李广雪,高国勇. 2009. 渤海湾沉积地球化学记录及其对环境变迁的指示. 海洋地质与第四纪地质,29(5):51~57.

Alexander C, Demaster D, Nittrouer C. 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental—shelf setting: the Yellow Sea. Marine

- Geology, 98(1):51~72.
- Bianchi T S, Allison M A. 2009. Large ~ river delta ~ front estuaries as natural "recorders" of global environmental change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(20):8085~8092.
- Brommer M B, Weltje G J, Trincardi F. 2009. Reconstruction of sediment supply from mass accumulation rates in the Northern Adriatic Basin (Italy) over the past 19,000 years. *Journal of Geophysical Research*, 114(F2):F02008.
- Chen Zhongyuan, Saito Y, Kanai Y, Wei Taoyuan, Li Luqian, Yao Heshun, Wang Zhanghua. 2004. Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(1):91~100.
- Crockett J S, Nittrouer C A. 2004. The sandy inner shelf as a repository for muddy sediment: an example from Northern California. *Continental Shelf Research*, 24(1):55~73.
- Dadson S J, Hovius N, Chen H, Dade W, Hsieh M, Willett S, Hu J, Horng M, Chen M, Stark C, Lague D, Lin J. 2003. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature*, 426(6967):648~651.
- Demaster D J, Mckee B A, Nittrouer C A, Qian Jiangchu, Cheng Guodong. 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4(1~2):143~158.
- Guo Zhigang, Lin Tian, Zhang Gan, Zheng Mei, Zhang Zongyan, Hao Yunchao, Fang Ming. 2007. The sedimentary fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Yangtze River Estuary coastal sea for the past century. *Science of The Total Environment*, 386(1~3):33~41.
- Hu Limin, Lin Tian, Shi Xuefa, Yang Zuosheng, Wang Houjie, Zhang Gan, Guo Zhigang. 2011. The role of shelf mud depositional process and large river inputs on the fate of organochlorine pesticides in sediments of the Yellow and East China seas. *Geophysical Research Letters*, 38:L03602.
- Huh Chih-An, Chen Weifang, Hsu Feng-Hsin, Su Chih-Chieh, Chiu Jui-Kun, Lin Saulwood, Liu Char-Shine, Huang Bor-Jiun. 2011. Modern (<100 years) sedimentation in the Taiwan Strait: Rates and source-to-sink pathways elucidated from radionuclides and particle size distribution. *Continental Shelf Research*, 31(1):47~63.
- Huh Chih-An, Su Chih-Chieh. 1999. Sedimentation dynamics in the East China Sea elucidated from  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$ . *Marine Geology*, 160(1~2):183~196.
- Huh Chih-An, Su Chih-Chieh, Wang Chung-Ho, Lee, Shih-Yu, Lin In-Tian. 2006. Sedimentation in the Southern Okinawa Trough — Rates, turbidites and a sediment budget. *Marine Geology*, 231(1~4):129~139.
- Kao Shuh-ji, Milliman J D. 2008. Water and Sediment Discharge from Small Mountainous Rivers, Taiwan: The Roles of Lithology, Episodic Events, and Human Activities. *The Journal of Geology*, 116(5):431~448.
- Kim D, Park B K, Shin I C. 1999. Paleoenvironmental changes of the Yellow Sea during the Late Quaternary. *Geo-Marine Letters*, 18(3):189~194.
- Kong G S, Park S C, Han H C, Chang J H, Mackensen A. 2006. Late Quaternary paleoenvironmental changes in the southeastern Yellow Sea, Korea. *Quaternary International*, 144(1):38~52.
- Lim D I, Choi J Y, Jung H S, Rho K, Ahn K S. 2007. Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow and East China Seas. *Progress in Oceanography*, 73(2):145~159.
- Lim D I, Jung H S, Choi J Y, Yang Shouye, Ahn K S. 2006. Geochemical compositions of river and shelf sediments in the Yellow Sea: Grain ~ size normalization and sediment provenance. *Continental Shelf Research*, 26(1):15~24.
- Liu J P, Milliman J D, Gao Shu. 2002. The Shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea. *Geo ~ Marine Letters*, 21(4):212~218.
- Liu J P, Milliman J D, Gao Shu, Cheng Peng. 2004. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea. *Marine Geology*, 209(1~4):45~67.
- Liu J P, Li Anchun, Xu Kehui, Velozzi D, Yang Zuosheng, Milliman J D, DeMaster D. 2006. Sedimentary features of the Yangtze River-derived along-shelf clinoform deposit in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 26(17~18):2141~2156.
- Liu J P, Xu Kehui, Li Anchun, Milliman J D, Velozzi D, Xiao Shanbin, Yang Zuosheng. 2007. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea. *Geomorphology*, 85(3~4):208~224.
- Liu J P, Xue Zuo, Ross K, Milliman J D, Li Anchun, Gao Shu. 2009. Fate of sediments delivered to the sea by Asian large rivers: Long-distance transport and formation of remote alongshore clinoforms. *The Sedimentary Record*, 7(4):4~9.
- Liu Jian, Saito Y, Wang Hong, Yang Zigeng, Nakshima R. 2007. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 236(3~4):165~187.
- Liu Jian, Saito Y, Wang Hong, Zhou Liangyong, Yang Zigeng. 2009. Stratigraphic development during the Late Pleistocene and Holocene offshore of the Yellow River delta, Bohai Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 36(4~5):318~331.
- Liu Jian, Saito Y, Kong Xianhuai, Wang Hong, Xiang Lihui, Wen Chun, Nakashima R. 2010. Sedimentary record of environmental evolution off the Yangtze River estuary, East China Sea, during the last ~13,000 years, with special reference to the influence of the Yellow River on the Yangtze River delta during the last 600 years. *Quaternary Science Reviews*, 29(17~18):2424~2438.
- Liu Jianguo, Li Anchun, Chen Muhong, Xiao Shanbing, Wan Shiming. 2008. Sedimentary changes during the Holocene in the Bohai Sea and its paleoenvironmental implication. *Continental Shelf Research*, 28(10~11):1333~1339.
- Liu Jianguo, Li Anchun, Chen Muhong. 2010. Environmental evolution and impact of the Yellow River sediments on deposition in the Bohai Sea during the last deglaciation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38(1~2):26~33.
- Mckee B A, Aller R C, Allison M A, Bianchi T, Kineke G. 2004. Transport and transformation of dissolved and particulate materials on continental margins influenced by major rivers: benthic boundary layer and seabed processes. *Continental Shelf Research*, 24(7~8):899~926.
- Miller A J, Kuehl S A. 2010. Shelf sedimentation on a tectonically active margin: A modern sediment budget for Poverty continental shelf, New Zealand. *Marine Geology*, 270(1~4):175~187.
- Milliman J D, Syvitski J P M. 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment transport to the ocean; the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*, 100:525~544.
- Park S, Lee H, Han H, Lee G, Kim D, Yoo D. 2000. Evolution of late Quaternary mud deposits and recent sediment budget in the

- southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 170(3~4): 271~288.
- Saito Y, Yang Zuosheng, Hori K. 2001. The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene. *Geomorphology*, 41(2~3): 219~231.
- Su Chih-Chieh, Huh Chih-An. 2002.  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  in East China Sea sediments: sources, pathways and budgets of sediments and radionuclides. *Marine Geology*, 183(1~4): 163~178.
- Thomas H, Bozec Y, Elkalay K, Hein J. 2004. Enhanced Open Ocean Storage of  $\text{CO}_2$  from Shelf Sea Pumping. *Science*, 304(5673): 1005~1008.
- Wang Houjie, Bi Naishuang, Saito Y, Wang Yan, Sun Xiaoxia, Zhang Jia, Yang Zuosheng. 2010. Recent changes in sediment delivery by the Huanghe (Yellow River) to the sea: Causes and environmental implications in its estuary. *Journal of Hydrology*, 391(3~4): 302~313.
- Wei Taoyuan, Chen Zhongyuan, Duan Lingyun, Gu Jiawei, Saito Y, Zhang Weiguo, Wang Yonghong, Kani Y. 2007. Sedimentation rates in relation to sedimentary processes of the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(1~2): 37~46.
- Weltje G J, Brommer M B. 2011. Sediment—budget modelling of multi-sourced basin fills; application to recent deposits of the western Adriatic mud wedge (Italy). *Basin Research*, 23(3): 291~308.
- Xiang Rong, Yang Zuosheng, Saito Y, Fan Dejiang, Chen Muhong, Guo Zhigang, Chen Zhong. 2008. Paleoenvironmental changes during the last 8400 years in the southern Yellow Sea: Benthic foraminiferal and stable isotopic evidence. *Marine Micropaleontology*, 67(1~2): 104~119.
- Xu Kehui, Li Anchun, Liu J Paul, Milliman J D, Yang Zuosheng, Liu Char-Shine, Kao Shuh-Ji J, Wan Shiming, Xu Fangjian. 2011. Provenance, structure, and formation of the mud wedge along inner continental shelf of the East China Sea: A synthesis of the Yangtze dispersal system. *Marine Geology*, in press, doi:10.1016/j.margeo.2011.06.003.
- Yang Shilun, Milliman J D, Li Peng, Xu K. 2011. 50,000 dams later: Erosion of the Yangtze River and its delta. *Global and Planetary Change*, 75(1~2): 14~20.
- Yang Shouye, Jung H S, Lim D I, Li Congxian. 2003. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth-Science Reviews*, 63(1~2): 93~120.
- Yang Zuosheng, Liu J Paul. 2007. A unique Yellow River ~ derived distal subaqueous delta in the Yellow Sea. *Marine Geology*, 240(1~4): 169~176.
- Youn J, Kim T J. 2010. Geochemical composition and provenance of muddy shelf deposits in the East China Sea. *Quaternary International*, 230(1~2): 3~12.

## Modern Sedimentation Rate, Budget and Supply of the Muddy Deposits in the East China Seas

LI Jun<sup>1, 2)</sup>, HU Bangqi<sup>1, 2)</sup>, DOU Yanguang<sup>1, 2)</sup>, ZHAO Jingtao<sup>1, 2)</sup>, LI Guogang<sup>3)</sup>

1) *Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology,*

*Ministry of Land and Resources, Qingdao, Shandong, 266071;*

2) *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong, 266071;*

3) *Marine Engineering and Prospecting Institute of North China Sea, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266033*

**Abstract:** The East China Seas (Bohai, Yellow, and East China seas) (ECSs), an important linkage between the global largest continent (Eurasia) and the ocean (Pacific), annually received more than 1.7 billion tons of sediment from the adjacent rivers. These huge amounts of fine-grained material, combined with the effects of tide, wave/storm and current, contributed to several muddy depositional areas in the broad and shallow shelf of ECSs. During the last several decades, many papers have been released and focused on sediment dispersal and sediment dynamics in the ECSs shelf. However, little is known relevant to the modern sedimentation flux ( $SF$ ) and budgets in this large continental marginal sea system. In this study, on the basis of a number of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$ -derived sediment accumulation rate ( $SR$ ) data, we firstly evaluated the modern  $SR$  and  $SF$  over the entire muddy areas of the ECSs shelf, and then calculated a sediment budget for the muddy areas of ECSs shelf to assess whether the sediment mass (input from rivers vs. accumulation flux) is balance or not. We also compared the Modern and Holocene sediment accumulation rates (millennial ~ scale) in different muddy areas. The results show that sediment source is a dominant factor controlling the formation of these muddy areas of the ECSs shelf. The sediment delivered by adjacent rivers is the major sediment source, whereas the muddy areas of the ECSs shelf are typical sediment sink. We emphasized the role of small rivers in the sedimentary process of the local river estuaries and its contribution to the muddy areas. A quantitative sediment provenance study should be conducted by considering constrains of sediment source and sediment mass balance.

**Key words:** muddy deposits; sedimentation rate; sediment budget; sediment supply; east China seas