

全新世以来渤海湾沉积物的粒度特征

刘建国^{1,2}, 李安春¹, 徐兆凯^{1,2}

(1.中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 渤海湾泥质区 M9-2 与 M9-4 站柱状沉积物的粒度分析结果表明, 沉积物粒度组成在垂直分布上有较明显的变化规律, 早全新世期间部分站位(如 M9-2)沉积物较粗, 另一部分站位(如 M9-4)沉积物则较细, 与现代黄河物质粒度近似; 中全新世的沉积物粒度组成变化较大, 但呈减小的趋势, 向类似于黄河物质粒度特征发展, 说明黄河物质对渤海湾影响作用的加强; 到了晚全新世, 黄河物质对渤海湾的影响则明显占据着主导地位, 故沉积物粒度特征与现代黄河物质类似。上述的渤海湾沉积物粒度特征不仅反映出水动力条件的变化(与海平面变化相联系), 更说明了研究区物质来源的变化, 尤其是明显反映出黄河物质对渤海湾阶段性的影响。

关键词: 全新世; 渤海湾; 沉积物; 粒度特征

中图分类号: P736 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2006)03-0060-06

渤海湾地区晚更新世末期气候寒冷干燥, 沙漠发育^[1]。大约在 8~9 ka BP 海水开始侵入渤海, 7 ka BP 左右达到现岸线附近, 6 ka BP 左右海侵达最大范围^[2]。进入全新世以来, 黄河经历了多次较大的改道, 其中在 7~9 ka BP 及公元 1128~1855 年期间黄河自南黄海入海, 而其它时间则是在华北平原上频繁改道, 在渤海湾沿岸多处有入海记录^[3]。

近代黄河每年携带巨量的沉积物不仅沉积在华北平原上, 也有相当部分进入渤海湾直至经渤海海峡影响到黄海海域^[4], 这些入海泥沙对渤海与黄海沉积作用均占据着主导地位^[5], 渤海湾及渤海中部形成的泥质条带也印证这点^[6,7]。至于整个全新世阶段黄河对渤海的影响尚不完全清楚。

沉积物粒度作为反映沉积环境的重要指标, 在海洋沉积环境中有着广泛的应用。其变化不仅可反映海水进退状况, 且其中某些组分质量分数的变化与古气候特征有密切联系^[8,9]。另外, 黄河悬浮体粗细与降雨量关系密切, 年均降雨量较少时形成的悬浮物较粗, 而较多降雨时形成的悬浮体较细^[10]。

前人在渤海沉积特征方面已做过大量工作, 但多集中于表层沉积物的粒度特征的研究, 对渤海湾海域

中柱状沉积物的粒度特征分析较少, 尤其是在运用现代测量方法对全新世以来沉积特征进行高分辨率研究方面。作者通过对渤海湾两柱状沉积物进行高分辨率粒度测量, 分析了全新世以来该区沉积物的粒度特征, 进而探讨了全新世以来黄河物质对渤海湾沉积作用的影响。

1 样品来源及岩芯特征

样品来源于 1993 年中国科学院海洋研究所渤海工程地质调查航次, 岩芯坐标位置(图 1)为: M9-2 (38° 47' 31.269" N, 118° 7' 24.339" E), M9-4 (38° 34' 8.566" N, 118° 29' 35.955" E)。

其中 M9-2 岩芯长 450 cm, 站位水深 17 m, M9-4 岩芯长 540 cm, 站位水深为 19 m, 其岩性描述如表 1 所示。

收稿日期: 2005-03-07; 修回日期: 2005-11-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40576032)

作者简介: 刘建国(1978-), 男, 江西萍乡人, 博士生, 从事海洋地质学研究, 电话: 0532-8298532, E-mail: jgliu@mails.gucas.ac.cn

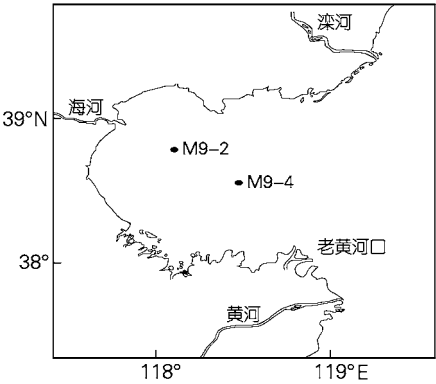


图 1 渤海湾柱样 M9-2，M9-4 站位

Fig.1 Positions of core M9-2 and M9-4 in Bohai Bay

2 分析方法

由于不同的前处理方法对沉积物粒度有一定影响^[11~14]，考虑到沉积物中碳酸盐质量分数一般介于 5%~10%，有机质质量分数常为 0.2%~0.8%，故采用

目前常用的粒度分析方法^[11]，即取适量样品，加 10 mL 的 10% H_2O_2 在 60℃ 水浴中加热 60 min 去除其中的有机质，离心后的沉积物样品加少量蒸馏水浸泡 12 h，再加入 0.05 mol/L 的 $(\text{NaPO}_3)_6$ 溶液 10 mL，并用超声波分散 2 min。最后用法国产的 Cilas 940L 型激光粒度仪(测量范围为 0.3~2 000 μm)进行粒度测量。

以 M9-2 柱 240~245 cm 有孔虫、275~285 cm 泥炭以及 M9-4 柱 220~240 cm 层位有孔虫为材料，AMS¹⁴C 年代测定值分别为 5 705 aBP $\pm$ 40 aBP，7 870 aBP $\pm$ 500 aBP，4 210 aBP $\pm$ 40 aBP，得出 M9-2 与 M9-4 两站全新世地层划分结果见表 2。

3 分析结果

3.1 粒度组成及其变化

渤海湾沉积物的粒度组成随深度增加有明显的变化规律（图 2）。

表 1 M9-2，M9-4 岩芯岩性描述

Tab.1 Description of characters of sediments in the core M9-2 and M9-4

站号	深度 (cm)	岩性描述
M9-2	0~160	黄褐色粘土质粉砂，向下渐变为灰黄褐色，局部含粉砂层或团块及贝壳。
	160~235	灰褐色粘土质粉砂与砂-粘土-粉砂互层。
	235~305	包括粉砂质砂与粘土质粉砂，其颜色由灰褐色向灰黑色递变，且 275~285 cm 和 305~310 cm 两层均为“黑土层”，而 285~305 cm 的“硬粘土层”含有小的贝壳。
	305~410	由粉砂质砂和粘土质粉砂组成，向下沉积物颜色由灰色向黄色过渡，土质变硬。
	410~450	粘土质粉砂，灰色略带黄色向下渐变为黄褐色，其下的 420~450 cm 为硬粘土层。
M9-4	0~190	粘土质粉砂，向下沉积物颜色由黄褐色变为灰褐色，且在 95 cm 与 135 cm 层位含贝壳碎片，并在 180~190 cm 见有粉砂薄层与透镜状层。
	190~290	灰褐色粘土质粉砂，在 240~290 cm 层可见贝壳及砂粒。
	290~340	由褐灰色渐变为黄褐色，含粘土质粉砂与砂质粉砂，在 300 cm 层位见贝壳碎片。
	340~390	黄褐色粘土质粉砂，底部为灰褐色至黑色有机质条带。
	390~490	黄褐色与灰褐色等组成的杂色，沉积物较硬，具网状裂隙和孔穴。
	490~540	由黄褐色与灰褐色组成的硬粘土层，在 506~509 cm 层有一厚约 3 cm 的粉砂层，并在 512~513 cm 有约 0.5 cm 大小的孔穴。

表 2 渤海湾 M9-2 与 M9-4 地层时代划分结果

Tab.2 The borderline of different stages in Bohai Bay during the Holocene

站号	地层深度 (cm)				
	晚全新世	中全新世后期	中全新世早期	早全新世	晚更新世末期
M9-2	0~112	112~235	235~300	300~420	420~453
M9-4	0~160	160~310	310~400	400~530	530~630

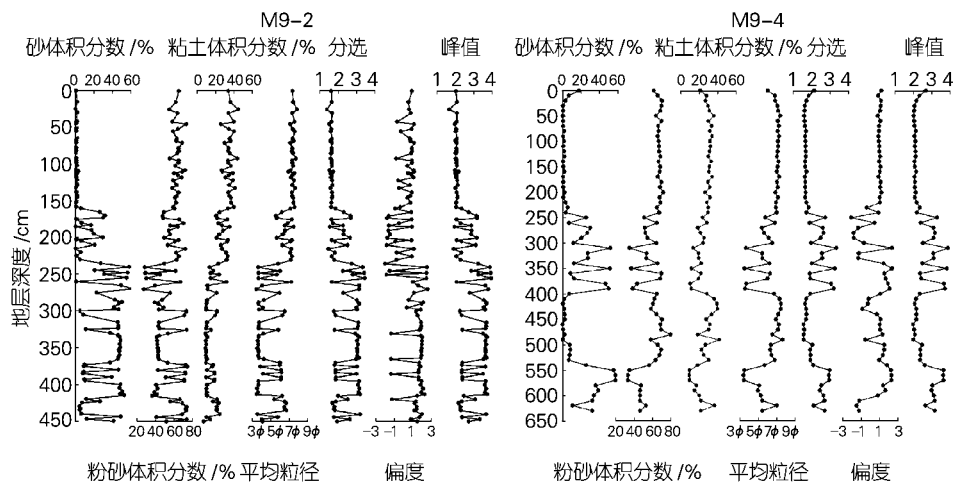


图 2 渤海湾柱状沉积物的粒度组成与粒度参数

Fig.2 Grain size compositions and parameters of the core sediment in Bhai Bay

整个全新世阶段沉积物以粉砂为主,而砂与粘土质量分数在不同时期则交替占一定的优势。晚更新世末期沉积物中粘土与砂质量分数相当;到早全新世,砂质量分数在 M9-2 柱占有优势,同一时期 M9-4 柱以粘土为优势;中全新世沉积物的粒度组成较为复杂,其中前期阶段变化较大,而后期阶段的变化要小于早期阶段,且砂质量分数较低,相应的粉砂与粘土质量分数要大于前期阶段;至晚全新世,沉积物则为粘土质粉砂,粒度细且变化小。

总之,沉积物中的粘土质量分数自中全新世以来有增大趋势,其中砂与粉砂、砂与粘土的质量分数均呈明显负相关(相关系数大于-0.85)。

3.2 粒度参数及其变化

运用 McManus 矩法公式^[15]计算沉积物粒度参数,得出的不同深度沉积物粒度参数如图 2 所示。

从图 2 可知,沉积物粒度参数随着深度增加呈现

出规律性变化。早全新世沉积物粒度参数(见表 3)在 M9-2 与 M9-4 两站差别明显,M9-2 站沉积物较粗,分选较差(平均粒径=3.4 ϕ ~6.2 ϕ ,分选系数=1.8~3.1),M9-4 站的沉积物则较细,分选中等(平均粒径=6.3 ϕ ~7.5 ϕ ,分选系数=1.5~2.1);在中全新世前期阶段,沉积物粒度参数值差别减小,到了中全新世后期阶段,沉积物较粗,分选也为中等(平均粒径=5.4 ϕ ~7.3 ϕ ,分选系数=1.5~2.6);晚全新世的沉积物较细、分选中等(平均粒径=7.0 ϕ ~7.8 ϕ ,分选系数=1.3~1.8)。

沉积物粒度参数间的相关分析表明,平均粒径、分选系数、峰值间相关性好(相关系数>0.95),偏度则与上述参数有明显差别(相关系数均小于0.5),故用偏度对沉积环境进行分析时,要与其它粒度参数区别对待。

表 3 全新世不同阶段渤海湾沉积物粒度组成与粒度参数

Tab.3 Grain size compositions and grain size parameters of the core sediments in Bohai Bay during various stages of the Holocene

站号	时代	样品个数	沉积物体积分数 (%)			平均粒径	分选系数	偏度	峰值
			砂	粉砂	粘土				
M9-2	晚全新世	32	1.11±1.02	63.39±4.29	35.50±4.41	7.36 ϕ ±0.19 ϕ	1.64±0.07	0.52±0.62	2.04±0.10
	中全新世后期	18	13.55±11.84	58.67±8.04	27.78±4.95	6.61 ϕ ±0.66 ϕ	2.09±0.45	-0.60±1.19	2.57±0.49
	中全新世前期	16	37.36±20.02	47.02±15.30	15.62±6.49	4.71 ϕ ±1.30 ϕ	2.79±0.61	1.27±1.34	3.30±0.64
	早全新世	32	35.51±17.49	52.30±13.93	12.19±4.01	4.41 ϕ ±1.12 ϕ	2.72±0.58	1.45±1.10	3.26±0.61
	晚更新世末期	10	20.36±18.93	63.04±12.69	16.60±7.19	5.55 ϕ ±1.23 ϕ	2.11±0.51	1.13±0.89	2.64±0.53
	全新世	98	20.55±20.95	56.23±12.35	23.23±11.20	5.83 ϕ ±1.58 ϕ	2.26±0.67	0.74±1.26	2.74±0.73
M9-4	晚全新世	17	2.41±3.68	67.17±2.29	30.42±3.14	7.08 ϕ ±0.26 ϕ	1.70±0.11	1.02±0.11	2.12±0.13
	中全新世后期	14	16.51±10.64	58.54±7.06	24.95±4.06	6.29 ϕ ±0.63 ϕ	2.25±0.42	-0.84±1.11	2.76±0.44
	中全新世前期	9	32.28±18.34	51.24±13.91	16.47±4.82	4.89 ϕ ±1.23 ϕ	2.66±0.60	1.20±1.45	3.16±0.63
	早全新世	15	5.27±6.48	64.94±5.97	29.79±7.35	6.90 ϕ ±0.55 ϕ	1.79±0.18	0.78±0.83	2.22±0.19
	晚更新世末期	9	39.70±15.42	42.63±7.21	17.66±8.73	4.85 ϕ ±1.20 ϕ	2.68±0.28	0.75±1.62	3.22±0.35
	全新世	55	10.13±14.16	62.70±8.99	27.17±7.06	6.56 ϕ ±1.00 ϕ	1.96±0.47	0.72±1.04	2.41±0.51

总之,全新世以来渤海湾沉积物粒度参数明显存在振荡-稳定-振荡-稳定的变化规律,中全新世后期以来形成的沉积物呈明显变细的趋势,其分选系数与峰值则呈减小趋势,以晚全新世的粒度最细,此时黄河物质输入开始占主导地位。

4 沉积环境探讨

结合全新世以来海平面变化与期间黄土高原气候变化特征,参照黄河河道变迁^[16],沉积物粒度组成与粒度参数可作为沉积环境演变常用的代用指标,在渤海湾全新世沉积环境的研究中有良好的应用效果。

全新世阶段, M9-2 站为滨海沉积环境,主要沉积粉砂质砂;而 M9-4 站为近岸河口环境^[17],主要沉积粘土质粉砂,各参数与晚全新世均很接近,说明此阶段 M9-4 站受黄河物质影响较大,而 M9-2 站由于渤海湾开始受海侵的影响,水动力条件不太稳定,出现上述参数值较大的变化, M9-3 站附近的古河道研究^[18]也证明了这一点。

到了中全新世阶段,随着海平面的上升,两站的沉积物随着时间呈整体变细的趋势,其中早期阶段的沉积物较粗,表明当时物质供应较少且处于动力较强

的环境,由于此时海平面较高,沉积动力环境较稳定,故形成的沉积物粒度变化不大,直至后期阶段由于黄河物质对渤海湾的影响开始加大,渤海湾沉积物向细粒且稳定的粒度特征发展。

晚全新世由于黄河物质的不断供应和相对较为稳定的水动力条件,因此形成的沉积物较细,其粒度参数变化也不大。

结合黄河物质的粒度特征,得出全新世以来黄河物质对渤海湾的影响如下:早全新世,黄河物质对 M9-4 站影响较大,而对 M9-2 站的影响不明显,说明当时黄河物质的影响较局限,并没能到达整个渤海湾;中全新世则为间歇性影响,且有影响加大的趋势,这与其前期阶段黄河从南黄海入海,而后又在华北地区经常性河道变迁,加之其它沿岸河流(如海河,滦河)的可能影响,使得黄河物质对渤海湾的影响表现为间断特征,从而形成的沉积物粒度组成与参数值的变化均较大;到了晚全新世黄河物质的影响虽占据了主导作用,但大量的沉积物及其再悬浮作用^[19]使 1128~1855 年间黄河改道自南黄海入海的历史难以在渤海湾沉积物粒度特征上表现出来。

5 结论

全新世以来渤海湾沉积物的粒度特征,综合反映了沉积动力条件、物质来源供应及海平面升降等变化情况,在不同阶段各个因素的影响强度有所不同。沉积物粒度特征表现为振荡-稳定的周期性变化规律,反映出黄河物质对研究区有明显的阶段性影响,即早全新世对渤海湾的影响仅在局部地区有表现,到了中全新世其影响有明显的加强趋势,直至晚全新世占据了主导地位。

晚全新世黄河在短期内(1128~1855年)改道入南黄海的事件,在沉积物粒度上表现得不够清楚,这可能与随着黄河入海口的推进物源较靠近取样站位有关,加之沿岸河口堆积的大量黄河物质可通过再悬浮作用运输而至,结果使得用粒度特征来反映黄河短期改道事件变得不明显。

沉积物平均粒径、分选系数与峰值三者间高度相关,而它们与偏度均呈弱相关或不相关,故在运用粒度参数进行沉积环境研究时要区别对待。

致谢:中国科学院海洋研究所王红莉实验师在粒度分析中给予了指导和帮助,董太禄研究员提供了渤海湾有关的地质资料,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 夏东兴,刘振夏,李培英,等.渤海古沙漠之推测[J].海洋学报,1991,13(4):540-546.
- [2] 庄振业,许卫东,刘东生,等.渤海南部S3孔晚第四纪海相地层的划分及环境演变[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):27-35.
- [3] Liu J P, Milliman J D, Gao S. The shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea[J]. *Geo-marine Letters*, 2002, 21(4): 212-218.
- [4] Ren Mei-E, Shi Yun-Liang. Sediment discharge of the Yellow River and its effect on the sedimentation of the Bohai and Yellow Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 1986, 6(6): 785-795.
- [5] 秦蕴珊,李凡.黄河入海泥沙对渤海和黄河沉积作用的影响[A].中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊(27)[C].北京:科学出版社,1986.125-135.
- [6] 董太禄.渤海现代沉积作用与模式的研究[J].海洋地质与第四纪地质,1996,16(4):43-53.
- [7] 中国科学院海洋研究所地质室.渤海地质[M].北京:科学出版社,1985.
- [8] 李雪铭.辽南滨海黄土的粒度分析和古气候[J].海洋科学,1991,2:33-37.
- [9] 李雪铭.辽南滨海黄土粒度环境信息高分辨率研究[J].地理研究,2002,21(2):201-209.
- [10] Xu J X. Grain-size characteristics of suspended sediment in the Yellow River, China[J]. *Catena*, 1999 38(3): 243-246.
- [11] 孙有斌,高抒,鹿化煜.前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响[J].海洋与湖沼,2001,32(6):665-671.
- [12] 鹿化煜,安芷生.前处理方法对黄土沉积物粒度测量的实验研究[J].科学通报,1997,42(23):2535-2538.
- [13] 鹿化煜,苗晓东,孙有斌.前处理步骤与方法对风成红粘土粒度测量的影响[J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(3):129-135.
- [14] 王德杰,范代读,李从先.不同预处理对沉积物粒度分析结果的影响[J].同济大学学报,2003,31(3):314-318.
- [15] McManus J. Grain size determination and interpretation [A]. Tucker M. Techniques in Sedimentology [C]. Oxford: Backwell, 1988. 63-85.
- [16] Xue C. Historical changes in the Yellow River delta, China [J]. *Marine Geology*, 1993, 113(3-4): 321-330.
- [17] 渤海石油公司等.渤海南部石油开发区区域性工程地质调查与评价[R].天津:渤海石油公司,1995.
- [18] 韩桂荣.黄海、渤海埋藏古河道区沉积物的地球化学特征 [A].中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊(40)[C].北京:科学出版社,1998.79-87.
- [19] 秦蕴珊.渤海海水中悬浮体的研究[J].海洋学报,1982,4(2):191-200.

Grain size characteristics of sediments in Bohai Bay during Holocene

LIU Jian-guo^{1,2}, LI An-chun¹, XU Zhao-kai^{1,2}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of science, Beijing 100049, China)

Received : Mar.,7, 2005

Key words : Holocene; Bohai Bay; sediments; grain size characteristics

Abstract: The core sediments in the mud area of Bohai Bay are measured with the laser analysis whose measuring range is between 0.3 μm and 2000 μm . The result shows that grain size compositions and grain size parameters of the core sediments have their obvious rules. The sediments are coarse in some parts like core M9-2 during early Holocene, while those of core M9-4 close to the characteristics of modern Yellow River material. The content of grain size compositions has big changes during the middle Holocene, but its trend is closing to minish, that is, they're more and more similar to the characters of the materials of the Yellow River. The impact of the Yellow River materials on Bohai Bay is a leading factor whose result indicates that the characteristics of sediments during this stage resemble to that of modern Yellow River. From the above we can conclude that grain size character not only reflects the changes of hydrological conditions which connect to sea-level changes, but explain the changes of material source, especially reflect the various degree impact of materials from the Yellow River on Bohai Bay during different stages of the Holocene. In addition, the skew is obviously different from other parameters whose relational coefficient is less than 0.5, this is the reason why we should make a difference between the skew and other parameters.

(本文编辑 : 刘珊珊)