

山东半岛近岸海区全新世泥质沉积体研究现状

王安国^{1,2,3}, 张训华^{2,3}, 李广雪¹, 孙钊奇^{2,3}

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;

3 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要: 20 世纪 80 年代以来, 山东半岛近岸海区全新世泥质沉积体引起了地学界的关注, 很多学者对其进行过研究并发表了众多相关论文。综合前人的研究成果认为, 山东半岛全新世泥质沉积体受到黄海暖流和黄海沿岸流的共同作用, 呈现出中间厚、向海向陆减薄的楔形, 并沿山东半岛发育, 其物质来源主要是黄河注入所带来的沉积物; 在形成机制上, 受到海平面上升、潮流和黄河入海口的迁移等多种因素的控制, 成因复杂; 在形成时间上, 现今的研究成果普遍认为该泥楔形成于全新世冰后期海平面上升时期。对目前研究中仍存在的问题进行讨论, 提出了山东泥楔的未来研究方向, 指出应该建立多种水动力耦合作用下的泥沙输运与沉积模式, 着重从海洋沉积动力学角度进行新的研究。

关键词: 山东半岛; 全新世泥质沉积体; 研究现状; 问题与展望

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

大型河流入海, 其携带的沉积物除了在近岸形成冲积扇或三角洲外, 沉积物还可以被海流搬运至远离河口的位置, 形成楔形沉积体, 因为其形状通常表现为向海和向陆减薄的楔形, 所以通常被简称为泥楔。泥楔在我国的发育主要在山东半岛沿岸^[1,2]、浙闽沿岸^[3,4]和广东沿岸^[5]。在国际上, 有研究的且与大型入海河流有关的泥楔主要有湄公河^[6,7]、亚马逊河^[8]、波河(Po River)(亚德里海)^[9]、飞河(Fly River)(新几内亚巴布亚海湾)^[10, 11]等。

黄河是我国的第 2 大河, 据研究数据表明, 平均每年携带入海的泥沙量约为 $1.1 \times 10^9 \text{ t}$ ^[12, 13], 这些入海泥沙除了在渤海形成大规模的三角洲

外, 还有大约 1%^[14]~15%^[15]左右的沉积物通过渤海海峡输送到了黄海海域成为黄海泥质沉积区的重要物质来源。这些沉积物绕山东半岛分布, 北可至北黄海东北部^[16], 南可达南黄海北部海域^[17]。

黄海主要的泥质沉积区包括南黄海中部、南黄海东南部和山东半岛近岸泥质沉积区^[18], 其中, 有学者认为的北黄海西部和南黄海北部泥质沉积区^[19, 20]可以包含在山东半岛近岸泥质沉积区内。这些泥质沉积区由于沉积层序连续性高, 沉积速率相对稳定, 因而成为古环境钻孔研究的理想钻探区域, 同时, 这些泥质沉积在营养盐储运及全球海洋物质循环过程中也起着重要作用^[21]。因此, 最近十几年来, 许多学者对这些泥区的成因、物质来源、沉积动力条件和沉积特征进行了大量研究^[22-26]。关于山东半岛泥质沉积体, 已经有很多人进行过某些方面的研究, 但是研究成果分

收稿日期: 2013-04-28

基金项目: 中国地质调查局海洋地质调查专项 (GZH200900504)

作者简介: 王安国(1984—), 男, 在读硕士, 主要从事海洋地质研究工作。E-mail: wangag1019@163.com

散,尚缺少系统性的总结,鉴于此,本文在综合分析前人研究成果的基础上对山东半岛泥质沉积体的研究现状进行了总结,并提出今后的研究方向。

1 研究区水动力环境

黄海位于中国大陆和朝鲜半岛之间,是全新世海侵所形成的半封闭型陆架浅海,海域面积达 $3.8 \times 10^5 \text{ km}^2$,大部分陆架水深 $20 \sim 80 \text{ m}$,平均水深 44 m ,在“黄海槽”内水深超过 80 m ,最深处可达 140 m ^[16],特殊的地理位置使得其具有复杂的海洋动力系统,海区主要的海流有黄海暖流和沿岸流^[27](图 1)。

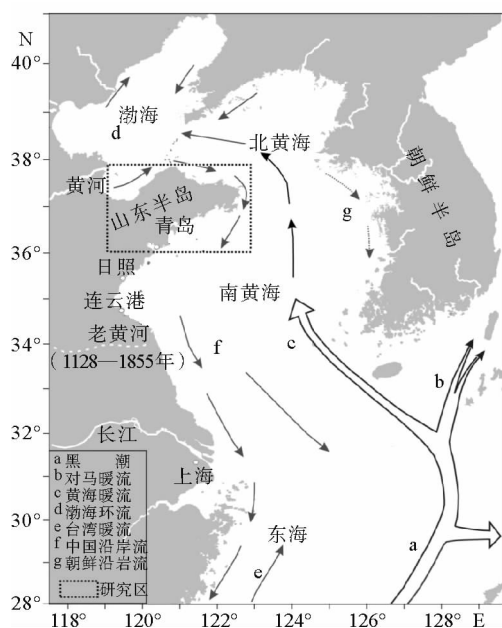


图 1 研究区位置和黄海及其邻区海流图(冬季)
(据文献[27])

Fig. 1 Location of the study area and the current system in the Yellow Sea (winter)
(from reference [27])

黄海暖流乃高温、高盐水体^[18],是对马暖流在济州岛东南方向伸入黄海的一个分支,形成于约 6 kaBP 最高海平面形成之后^[28],大致沿黄海水槽水下洼地向西北流动,平均流速只有 0.1 m/s ,最大不超过 0.2 m/s ,其在北上途中,因受地形和水文气象条件的影响而逐渐削弱。黄海暖流在北上途中 35°N 附近,向左侧分出一股,并

与南下的黄海沿岸流汇合,在成山角以东又分出一股,汇入西朝鲜沿岸流。

黄海暖流北上,沿岸流南下,在该区大体上构成了逆时针旋转的气旋式环流^[29, 30],分别位于济州岛西南、南黄海中部、南黄海东南部和北黄海西部。涡旋造成底层水向涡旋中心辐聚,水体中呈悬浮状态的细粒物质被带进涡旋内沉积下来^[31],与此对应的泥质沉积区被称之为“冷涡沉积”^[32]、“小环流沉积”^[33]或“涡旋泥质沉积”^[31],主要是受潮流场控制而形成,属于潮流沉积^[34],其中山东半岛近岸的泥质沉积最大厚度超过了 40 m ^[1]。

2 研究现状

2.1 分布特征

研究区内泥质沉积体是绕山东半岛发育的,整体呈现中间厚、向海和陆地减薄的楔形(图 2)。

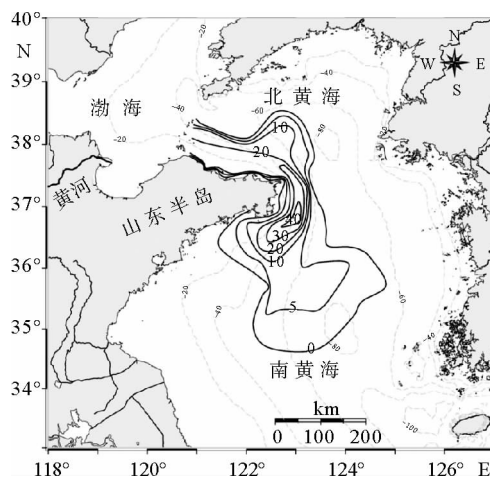


图 2 山东半岛近岸海区全新世泥质沉积体分布
(据文献[35])

Fig. 2 Distribution map of the Holocene mud wedge off the Shandong Peninsula
(from reference [35])

程鹏^[2]等通过浅地层剖面,认为该沉积体中向东倾的斜层理十分清楚,最大厚度可达 40 m ,向东减薄,约在 $123^\circ 10' \text{ E}$ 处尖灭;Liu 等^[1]认为,泥楔是一个从山东半岛东北部绕过山东半岛的反 C 形沉积体,其泥楔最大厚度约为 20 m ;刘欣

等^[36]认为围绕山东半岛形成的楔形沉积体,厚度从近岸地区的 $>40\text{ m}$ 向海逐渐减薄到 0 m ,形成时间推测为全新世黄骅海侵期^[36](图 3);Yang^[35]的研究结果认为泥楔从山东东北部绕过山东半岛之后仍向黄海中部发展,大概呈“ Ω ”状,其最远可以达到 80 m 等深线处,而最大厚度约为 40 m ,出现在 40 m 等深线附近。山东半岛东北部楔形沉积体最厚处达 40 m ,向海普遍变薄,厚度不足 1 m 。它明显地可分为 3 个地震单元和与其相对应的 3 个沉积单元,总体上呈现出由下到上时代逐渐变新、沉积物粒级逐渐变细的态势^[37]。

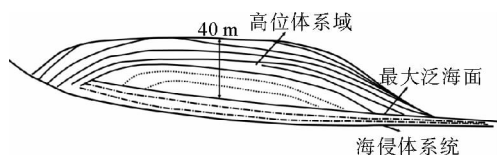


图 3 山东半岛泥楔剖面(据文献^[35])

Fig. 3 The transection of the mud wedge off Shandong Peninsula
(from reference ^[35])

2.2 物源分析

Yang 等^[38]认为,黄海是一个半封闭的陆架浅海,其沉积物主要来自周围的大陆,且以河流搬运为主,几乎不受外海物质的影响。目前,根据山东半岛岸外泥楔的物质来源的研究成果看,较为普遍的认识是由黄河注入所带来的沉积物。

黄河每年携带 $1.08 \times 10^9\text{ t}$ 的细粒沉积物入海,其中约 $9\% \sim 15\%$ 的细粒沉积物向东运移^[12, 39, 40],泥沙入海的运移扩散过程具有明显的季节变化规律,而且这种变化具有年际相似性^[41]。黄河输入渤海的物质,出渤海进入北黄海后,在沿岸流的作用下,在山东半岛北岸沿途沉积^[42],至山东半岛东端,绕成山角转而南下,进而进入黄海形成绕山东半岛的反 C 形沉积体^[12]。

沿途沉积物中富含碳酸盐也被认为是黄河注入所带来的沉积物的证据之一。黄河携带入海的物质主要来源于黄土高原,特征是含有极高的碳酸盐^[38]。碳酸盐富集通常被认为是黄河物质的主要特征之一,黄河沉积物碳酸盐含量高且在细粒沉积物中富集^[43]。因而从沉积物中具有较高

含量的 CaCO_3 和 Ca 可以认为,黄河携带的沉积物是山东半岛岸外泥质沉积的主要物质来源^[44, 45]。

值得指出的是,仅凭沉积物碳酸盐含量来示踪黄河物质会受到海洋沉积物中钙质生物壳的影响。因为海底残留沉积物中钙质结核的丰度及后期动力改造(如碳酸盐的溶蚀与沉淀等)也将导致碳酸盐物源示踪的复杂化^[45]。因此,单纯从沉积物碳酸盐含量判断南黄海中部物质来源是否为黄河或长江物质,是不全面的^[46]。于是另有学者认为,山东半岛岸外泥质沉积体是由山东半岛沿岸流将黄河及沿岸短源河流搬运入海的悬浮物和侵蚀黄河三角洲及滨岸带再悬浮物带到山东半岛沿岸形成的^[47]。

2.3 成因分析

泥楔的形成机制是复杂的。Milliman 等^[13]提出,“山东泥楔”中至少有一部分是从渤海和北黄海搬运到这里的现代沉积物。程鹏等^[24]认为,“山东泥楔”表明黄河物质主要向北和绕过半岛后转而沿山东海岸南下,并在运输过程中逐步由粗到细沉积下来,形成了大片泥质沉积;刘健等^[28, 48]的最新研究成果认为,“山东泥楔”的沉积演化是受多种因素综合作用的结果,如冰后期海平面的阶梯式上升、全新世渤海—北黄海潮流强度及流系的变化、黄河入海口在冰后期海平面上升过程中自渤海海峡向西的后退等;杨子庚^[47]认为,山东半岛泥质沉积区是黄海沿岸流形成的,是山东半岛沿岸流将黄河及沿岸短源河流搬运入海的悬浮物和侵蚀黄河三角洲及滨岸带再悬浮物带到山东半岛沿岸形成的,山东泥质楔状体在近岸部分与沿岸的海湾前水下沙坝及海湾前水下岸坡连接,向海呈楔状尖灭,在浅地层剖面上显示为向海进积超覆的前积斜层;李凤业等^[48]认为,黄河物质出渤海后,主要沿山东半岛向东运移,绕过成山头后继续沿岸而下沉积形成;蒋东辉等^[49]认为,泥质沉积的形成及其沉积物颗粒度是海区最大潮流底应力和沉积物临界起动切应力之间相互作用的结果。

现在普遍认为,泥楔的形成过程是黄河搬运入海的沉积物受洋流的作用进入研究区域沉积,加上受剥蚀的三角洲物质沉积而成的。

王桂芝^[19]等对泥楔的形成提出了假说,推定在距今 11 ka 前后冰后期海平面上升后渤海被部分淹没,黄河在渤海海峡附近入海后所携带的沉积物在陆架区受到环流和科氏力的综合作用而在河口右侧形成水下三角洲。因为河口位置近,水下三角洲得以补充到较多的物质供应而生长。后来随着海平面继续上升后,水下三角洲赖以黄河遗留物质的供应而得以持续生长,遂形成楔状沉积体主体部分(约占目前总体积的 70%)。

2.4 形成时间

关于山东岸外泥质沉积体的形成时间,目前普遍认为是在全新世期间形成的。但对于具体的时间则有不同的争议。王桂芝等^[19]通过对采集自北黄海西部海域的重力柱状样进行¹⁴C 测年分析得出其形成时间约为 11 ka;Alexande 等^[15]则认为“山东泥楔”是距今 7 ka 以来黄河物质扩散形成的水下三角洲,时间跨度大约在 6.2~4.06 kaBP;杨子赓^[47]认为山东半岛泥质沉积区应该形成于距今 7~6 kaBP 期间;刘健等^[28]认为“山东泥楔”大概形成于 11.6~6.5 cal. kaBP 之后的高海平面时期;Milliman 等^[17]认为,山东半岛东端海域的沉积体形成于距今 5 ka 以后;通过对山东半岛南部近岸海区获得的约 3 000 km 高分辨率浅地层剖面 and 钻孔岩心的综合研究认为,楔形沉积体形成于全新世早期(约 11.2 cal. kaBP)。总的来说,研究普遍认为该泥质沉积体形成于冰后期海平面上升时期^[18,50]。

3 问题与展望

就目前研究的成果看来,对山东岸外海区泥质沉积的物质来源、形态展布、形成过程与时间已经有了比较一致的认识,但是对泥楔的沉积物沉积速率和沉积物形成时期的水动力变化的认识还存在争议,尤其对泥质沉积区的输沙量的各种认识都具有一定程度的局限性和片面性,究其原因在于海洋是个复杂的系统,受海底地形、洋流、气候、人类活动等多种因素的综合影响,内部的水沙运动具有复杂性。到目前为止,对我国近海泥质沉积区成因的研究,尤其是对泥质沉积成因的研究,基本上采用定性的、静态的对比分析方法,未

综合研究各种综合因素,如水动力因素(潮流、海流、沿岸流、上升流以及下降流)、海底地形因素、气候变幻因素、人类活动影响等,还未将渤、黄、东海陆架沉积格局作为一个整体,用海洋沉积动力学方法从形成过程与动力机制上研究其成因。因此,对渤、黄、东海陆架砂质与泥质沉积,尤其是泥质沉积形成的水动力条件、形成过程与机理等的认识存在分歧^[18]。

3.1 沉积物速率

黄河入海带来的泥沙经渤海海峡注入研究区,成为研究区的主要沉积物来源。据已有资料研究,该研究区的现代沉积速率较低,顶积层和底积层最多仅有 1 mm/a 或者更少,而前积层也不会超过 8 mm/a^[1]。现今海平面下绕过渤海海峡输出的悬沙量级仅为 $(1\sim 10)\times 10^6$ t/a^[14,42]。整个渤海和南黄海的绝大部分区域的主要物源皆是黄河注入带来的沉积物,总量多于 1 300 km³,但是按照现代沉积物的沉积速率来估计,绕过渤海海峡的黄河物质年沉积速率仅为 6×10^6 t/a^[14]。这种沉积速率是不足以形成如此规模的泥质楔形沉积体的。根据黄河下游冲积扇的面积厚度和形成时间,可以推断出该区域的沉积速率可以达到 1.16×10^9 t/a^[41],远大于按照现代沉积物的沉积速率来计算的到达该区域的黄河物质。

3.2 黄河输沙量

黄河以其巨大的输沙量而闻名于世,在过去的 2 ka 间,每年向渤海大约输入 1.1×10^9 t 的沉积物。据相关统计可知,2 ka 前黄河每年输沙量只有目前水平的 1/10^[51]。由于重力流的原因,多数由现代黄河口输出的沉积物滞留在水下三角洲或三角洲前缘 30 km 范围内^[52],能够被带出渤海并可以进入北黄海的沉积物仅占总量的 1%到 15%^[15],换言之,能进入研究区的黄河每年输入的泥沙量应不大于 2.2×10^7 t。

3.3 黄河口变迁

历史上黄河口发生多次变迁,该泥质沉积体形成时期,曾经发生了 3 次大规模的黄河改道事件:①距今 11~9.6 ka,海平面有 1.8 ka 时间的上升迟缓期,海岸线停留在渤海海峡位置,黄河汇

集了现在的辽河、滦河、海河等流入渤海的短源河流,在渤海海峡入海^[53],入海口位置变动不大,而汇集了较多河流的黄河增加了入海泥沙量,有利于入海沉积物在近河口处堆积,亚洲季风的加强,有利于研究区域沉积物的沉积^[1];②距今 9.6~8.5 ka,黄河汇集了当时的淮河主干流和山东南部一些河流在苏北北部注入黄海,有很多数量的沉积物堆集在河口附近。黄海海岸轮廓已大致形成,黄海西部沿中国大陆一侧终年有盐度较低的黄海沿岸流南下,虽有利于入海泥沙向南扩散,却不利于泥沙沉积,但位于黄河口南的长江口沙体阻碍了黄河入海泥沙向南扩散,促成了早全新世南黄海黄河三角洲或黄河长江复合三角洲^[41];③距今 8.5~7 ka,黄河注入渤海,直到距今 7 ka 这段时间,海岸线从接近现今海岸线的位置向陆地方向移动,约西移了几十千米,河口侧向自由摆动,入海细粒沉积物分散在广阔的范围内,受水盆地浅,故入海细粒泥沙易受波浪和海流作用被搬运到远离河口的海区,成为浅海沉积物的重要组成部分。

4 结论

(1)通过总结目前关于山东岸外泥质沉积的研究成果,包括泥质沉积的物源、形态、成因、形成时间等,指出了目前山东岸外泥楔研究存在的问题,认为目前缺乏对各种因素的综合分析,而导致不同认识的主要原因是未能将我国近海泥质沉积作为一个整体,用海洋沉积动力学方法从形成过程与动力机制上进行研究。

(2)针对山东岸外泥楔的未来研究提出了今后的工作方向建议,认为应采用多学科相交叉,将海洋动力学、泥沙运动力学、沉积学等学科结合起来,建立我国近海陆架区多种水动力(如潮流、海流、沿岸流等)耦合作用下的泥沙输运与沉积模型;采用实测基础上的数值模拟手段,着重从动力学角度,研究山东岸外海区泥沙输运与沉积特征,探讨区域内砂质沉积、泥质沉积及其分布格局的动力学成因及各种水动力条件下,物质的扩散、输运、沉积、再悬浮、再输运、再沉积等的过程。

参考文献:

[1] Liu J P, Milliman J D, Gao S, et al. Holocene development

of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2004, 209(1-4): 45-67.

[2] 程 鹏,高 抒,刘敬圃,等. 北黄海西部全新统分布的初步认识[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 379.

[3] 石学法,刘升发,乔淑卿,等. 东海闽浙沿岸泥质区沉积特征与古环境记录[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(4): 19-30.

[4] Liu J P, Xu K H, Li A C, et al. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea[J]. *Geomorphology*, 2007, 85: 208-224.

[5] 应秩甫. 粤西沿岸流及其沿岸沉积[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 1999, 38(3): 85-89.

[6] Ta T K O, Nguyen V L, Tateishi M, et al. Sediment facies and Late Holocene progradation of the Mekong River Delta in Bentre Province, southern Vietnam: an example of evolution from a tide-dominated to a tide- and wave-dominated delta[J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152: 313-325.

[7] Ta T K O, Nguyen V L, Tateishi M, et al. Sedimentary facies, diatom and foraminifer assemblages in a late Pleistocene-Holocene incised-valley sequence from the Mekong River Delta, Bentre Province, Southern Vietnam: the BT2 core[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 20(1): 83-94.

[8] Nittrouer C A, Austin J A, Field M E, et al. Writing a Rosetta Stone: Insights into Continental-Margin Sedimentary Processes and Strata [M]. Malden, MA: Blackwell Publishing, 2007.

[9] Cattaneo A, Correggiari A, Langone L, et al. The late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: Sediment pathways and supply fluctuations [J]. *Marine Geology*, 2003, 193: 61-91.

[10] Walsh J P, Nittrouer C A. Understanding fine-grained river-sediment dispersal on continental margins [J]. *Marine Geology*, 2009, 263: 34-45.

[11] Slingerland R, Driscoll N W, Milliman J D, et al. Anatomy and growth of a Holocene clinothem in the Gulf of Papua [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(F1).

[12] Milliman J D, Beardsley R C, Zuosheng Y, et al. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms [J]. *Continental Shelf Research*, 1985, 4: 175-188.

[13] Milliman J D, Qin Y S, Park Y A. Sediments and sedimentary processes in the Yellow and East China Seas[M] // Taira A, Masuda F. *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1989: 233-249.

[14] Martin J M, Zhang J, Shi M C, et al. Actual flux of the Huanghe (Yellow River) sediment to the western Pacific Ocean [J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1993, 31(3): 243-254.

- [15] Alexander C, DeMaster D, Nittrouer C. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 1991, 98(1): 51-72.
- [16] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [17] Milliman J D, Qin Y S, Ren M E, et al. Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow River (Huanghe) example [J]. *The Journal of Geology*, 1987, 95(6): 751-762.
- [18] 刘健, 王红, 李绍全, 等. 南黄海北部泥质沉积区冰后期海侵沉积记录[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(3): 1-10.
- [19] 王桂芝, 高抒, 李凤业. 北黄海西部的全新世泥质沉积[J]. *海洋学报*, 2003, 25(4): 125-134.
- [20] 赵一阳, 朴龙安, 秦蕴珊, 等. 南黄海沉积学研究新进展——中韩联合调查[J]. *海洋科学*, 1998(1): 34-37.
- [21] 赵一阳, 李凤业, 秦朝阳, 等. 试论南黄海中部泥的物源及成因[J]. *地球化学*, 1991(2): 112-116.
- [22] 赵一阳, 陈毓蔚. 论黄海沉积物元素区域分布格局[J]. *海洋科学*, 1989(1): 1-5.
- [23] 申顺喜, 李安春, 袁巍. 南黄海中部的低能沉积环境[J]. *海洋与湖沼*, 1996, 27(5): 518-522.
- [24] 程鹏, 高抒. 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净输运趋势[J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(6): 604-615.
- [25] 石学法, 申顺喜, Yi H-i-l, 等. 南黄海现代沉积环境及动力沉积体系[J]. *科学通报*, 2001, 46(增刊): 1-6.
- [26] 王昆山, 石学法, 姜晓黎. 南黄海沉积物的来源及分区: 来自轻矿物的证据[J]. *科学通报*, 2001, 46(增刊): 24-29.
- [27] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [28] 刘健, 李绍全, 王圣洁, 等. 末次冰消期以来黄海海面变化与黄海暖流的形成[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(1): 13-24.
- [29] 汤毓祥, 邹李李. 南黄海环流的若干特征[J]. *海洋学报(中文版)*, 2000, 22(1): 1-16.
- [30] 臧家业. 黄海环流的分析[J]. *科学通报*, 2001, 46(增刊): 7-15.
- [31] 李绍全, 刘健, 王圣洁, 等. 南黄海东侧陆架冰消期以来的海侵沉积特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1997, 17(4): 1-12.
- [32] 申顺喜, 陈丽蓉, 高良, 等. 南黄海冷涡沉积和通道沉积的发现[J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24(6): 563-570.
- [33] 刘锡清, 丛鸿文. 黄海地形特征[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [34] 朱玉荣. 潮流场对渤、黄、东海陆架底质分布的控制作用[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(2): 7-13.
- [35] Yang Z S, Liu J P. A unique Yellow River-derived distal subaqueous delta in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2007, 240: 169-176.
- [36] 刘欣, 高抒. 北黄海西部晚第四纪浅层地震剖面层序分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 61-68.
- [37] Liu J, Yoshiki S, Wang H, et al. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2007, 236: 165-187.
- [38] Yang S Y, Jung H S, Lim D I, et al. A review on the provenance discrimination of the Yellow Sea sediments [J]. *Earth Sci Rev*, 2003, 63: 93-120.
- [39] Lee H J, Chough S K. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 1989, 87: 195-205.
- [40] Park Y A, Khim B K. Origin and dispersal of recent clay minerals in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 1992, 104: 205-213.
- [41] 李国胜, 王海龙, 董超. 黄河入海泥沙输运及沉积过程的数值模拟[J]. *地理学报*, 2005, 60(5): 707-716.
- [42] 秦蕴珊, 李凡. 黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响[C]. *海洋科学集刊*, 1986, 27: 125-136.
- [43] 胡敦欣, 章申, 韩舞莺. 长江、珠江口及邻近海域陆海相互作用[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [44] 陈志华, 石学法, 王湘芹, 等. 南黄海 B10 岩心的地球化学特征及其对古环境和古气候的反映[J]. *海洋学报(中文版)*, 2003, 25(1): 69-77.
- [45] 汤毓祥, 邹峨梅, 李兴宰, 等. 初春南黄海水文特征及环流状况的分析[J]. *海洋学报(中文版)*, 1999, 21(5): 1-11.
- [46] 徐刚, 刘健, 孔祥淮, 等. 南黄海中部泥质沉积成因和物源研究综述[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(2): 8-12.
- [47] 杨子赓. 海洋地质学[M]. 山东: 山东教育出版社, 2005.
- [48] 李凤业, 高抒, 贾建军, 等. 黄、渤海泥质沉积区现代沉积速率[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4): 364-369.
- [49] 蒋东辉, 高抒. 渤海海峡潮流底应力与沉积物分布的关系[J]. *沉积学报*, 2002, 20(4): 663-667.
- [50] 刘健, 朱日祥, 李绍全, 等. 南黄海东南部冰后期泥质沉积物中磁性矿物的成岩变化及其对环境变化的响应[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(6): 583-592.
- [51] Yoshiki S Z Y, Kazuaki H. The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene [J]. *Geomorphology*, 2001, 41(2/3): 219-231.
- [52] Wright L D, Wiseman W J, Bondhold B D, et al. Marine dispersal and deposition of Yellow River silts by gravity-driven underflows [J]. *Nature*, 1988, 332: 629-632.
- [53] 薛春汀, 周永青, 朱雄华. 晚更新世末至公元前 7 世纪的黄河流向和黄河三角洲[J]. *海洋学报*, 2004, 26(1): 48-61.

A REVIEW OF THE SEDIMENTATION OF THE HOLOCENE CLINOFORM OFF SHANDONG PENINSULA

WANG Anguo^{1,2,3}, ZHANG Xunhua^{2,3}, LI Guangxue¹, SUN Dianqi^{2,3}

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Key laboratory of Hydrocarbon Resource and Environmental Geology, Ministry of Land and Resource, Qingdao 266071, China;

3 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Since the 1980s, the Holocene clinoform or the mud wedge around the Shandong Peninsula has raised great attention from marine geologists, and many papers have been devoted to this topic. In this paper, we made a review of the previous research results and published papers. The prevailing opinion believes that the wedge-like sedimentary body, which is thicker in the middle and becomes thinner on the two sides towards the land and sea, is formed under the interaction of the yellow sea warm current and the yellow sea coastal current around the Shandong peninsula. The sediments are mainly from the Yellow River. The formation mechanism of the deposits involves many factors, such as the tide, sea level rising and the shifting of the Yellow River mouth. It was formed in the period of Late Holocene deglaciation when the sea level was rising. We also discussed the problems remained. It is suggested that further researches should pay more attention to the marine sediment dynamics, and the transportation and sedimentation of the fine sediments under the hydrodynamic regime. .

Key words: Shandong Peninsula; Holocene clinoform; research status; problems and prospect

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部

2013 年 1 月 10 日