

黄海西部全新世泥质楔形沉积体的地震识别

孙钿奇,岳保静,王安国

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室,青岛 266071;国土资源部青岛海洋地质研究所,青岛 266071)

摘 要:通过分析 2 000 km 单道地震资料的瞬时振幅强弱和瞬时相位异常,对山东半岛近岸全新世楔形沉积体的形态及分布特征进行了研究。该泥楔呈中间厚、两侧薄的形态,覆盖区域的海底有明显的凸起,向岸侧坡度较小,以较小的角度缓慢抬升,达到最大高度之后以一定角度向海倾斜;泥楔的底界面基本水平,明显切割下伏地层。该泥楔由山东半岛东北侧开始向东、南方向分布,绕过山东半岛东侧之后继续向南或西南方向延伸,形成了一个近似于“γ”形状的沉积体环绕山东半岛。它由近岸端向远岸端逐渐加厚然后再减薄,最大厚度分别位于山东半岛东北和西南(60 m 以上),并以这 2 处为中心向四周逐渐减薄。泥楔从北到南覆盖了山东半岛东部约 36 111 km² 的海底,总体积约有 440 km³,总质量约为 527×10⁹ t,泥楔沉积区从 11 cal. ka BP 至今的平均沉积量可以达到 0.37×10⁹ t/a 之多。

关键词:泥楔;地震单元;沉积物质

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

20 世纪 80 年代以来,南黄海西部存在的泥质楔形沉积体(Muddy clinoform,下文简称“泥楔”)引起了地学界的关注^[1],一直是国内外众多地质学家研究和探讨的热点和重点问题,以往对该沉积体的研究成果亦较多^[2,3]。本文基于近年来在山东半岛近岸海域的单道地震数据,对南黄海西部泥楔的空间分布特征进行较全面的分析,并在此基础上对其沉积物质量进行初步估算,旨在获得对该沉积体的深入了解。

1 区域概况

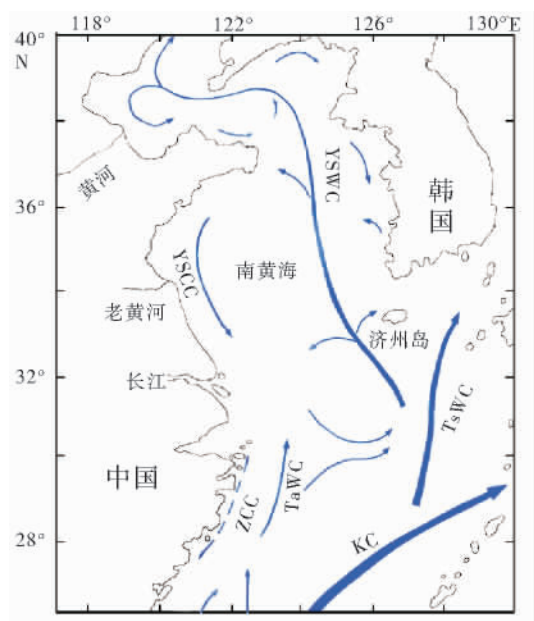
研究区位于山东半岛东部,地理坐标 120.7°—124.5°E,36.0°—38.5°N,主要在南黄海

北部和北黄海西部,即山东半岛东部滨浅海区域^[4](图 1),包括北黄海的烟台湾区和南黄海的千里岩隆起区西侧。

黄海是一个潮流强盛、海流作用相对较弱的海区。黄海环流主要由 2 支基本海流组成:沿黄海西部南下的黄海沿岸流和沿黄海水下洼地北上的黄海暖流(图 1)。其中,黄海沿岸流起源渤海,方向不随季节变化而改变,在 33°N 附近与黄海暖流形成反气旋式环流。黄海暖流在北上途中受地形和水文气象条件的影响逐渐减弱,在 35°N 左右开始向左侧分出一股,并与南下的沿岸流汇合,在成山头以东又分出一股,汇入西朝鲜沿岸流一并南下,而进入北部的暖流余脉则向西转折,经老铁山水道进入渤海,此时势力已经相当微弱^[5]。同时,黄海的潮波主要由半日潮波和全日潮波组成,潮流和波浪的作用对渤海陆架上的沉积物的侵蚀和再悬浮有着不可忽视的作用^[6]。

收稿日期:2012-10-01

作者简介:孙钿奇(1986—),女,在读硕士,主要从事海洋地质研究工作。E-mail:qixitui@163.com



KC:黑潮;TaWC:台湾暖流;TsWC:对马暖流;
YSCC:黄海沿岸流;YSWC:黄海暖流;ZCC:浙江沿岸流

图 1 黄海主要环流(据文献[7,8])

Fig. 1 The main currents of Yellow Sea
(from references [7,8])

在渤海环流作用下,大量黄河输入沉积物经渤海海峡南岸,绕过山东半岛输往黄海,成为研究区域的主要物源,对该区域内的沉积作用有着重要影响^[9,10]。全新世期间,黄河多次改道,包括区域性(注入渤海或者黄海)和局部性(注入渤海的西北部或者西南部)改道。同时,随着人类的开发利用和消耗,黄河出现了流域干旱加剧和水源减少、泥沙量逐渐减少等现象^[11],这些变化对黄海沉积物的输入都有很大的影响^[12]。以往的研究还表明,多数黄河沉积物滞留在水下三角洲或者一定范围内,仅有少量物质被带出渤海进入黄海^[13]。

黄海西部在全新世期间接受了大量的陆源物质而形成规模较大的泥质沉积区^[14],该泥质沉积物围绕山东半岛堆积成楔形沉积体,所以又称之为“山东半岛泥楔”。

2 资料和方法

本文主要基于 2008 年和 2009 年度在北黄海

和南黄海北部采集的单道地震数据。研究区域内共设计有测线 41 条,采样频率为 2 000 Hz,使用的震源为 SI 水枪震源,能量为 1 800 PSI。电缆和气枪拖于船尾后 40 m,气枪位于水下 1 m。采用等时放炮的方式,炮间距 4.5 s,记录长度 1 000 ms,每道采样点 2 000 个。因为野外施工采用的是单道记录,通过数据处理对野外资料的改变能力受到一定的限制,所以资料质量较好的范围主要集中在海底以下 200~300 ms 内。因为本文所需主要资料集中在海底以下 200 ms 以内的浅地层中,虽然整个地震剖面下 2/3 的信息是较难识别的,增强深部有效信号和改善深部信噪比存在困难,但是对本研究的影响较小。总体地震采集资料齐全,缺炮、缺道的现象很少,每条测线地震信息较强的部分位于剖面上部的 1/3,处理时尽最大的努力加强了下部能量,提高了深部地层成像能力。通过对野外地震资料进行一系列的处理工作,得到了质量基本良好的剖面。

本文选取 14 条较为典型的单道地震测线进行研究(见图 2),总长度达到 2 000 km。这 14 条测线覆盖了泥楔分布区,分别为南黄海北部 6 条 NS 向测线(Z1—Z6)和 5 条 EW 向的联络测线(L1—L5)以及北黄海 3 条 NE—SW 向测线(L6—L8)。

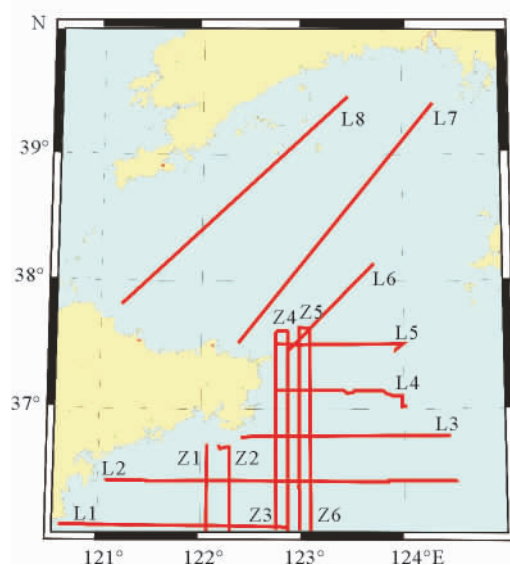


图 2 黄海西部单道地震测线分布

Fig. 2 The distribution of single seismic lines in western Yellow Sea

3 泥楔在地震属性上的识别

研究区域内的泥质沉积体在单道地震剖面上有明显的显示(图 3)。该沉积体近岸侧较薄,随着海水深度的加大,厚度逐渐增加,在某一个点达到最大值之后开始减薄,在地震剖面上呈现为楔

形。泥楔的上界面即为海底,在近岸侧向海方向,随着海水逐渐加深,在泥楔覆盖区海底的倾斜比较平缓,但在远岸端平缓的海底呈较大的角度向海倾斜,然后又逐渐恢复到出现泥楔之前的地貌。虽然直接从地震剖面中可以看出泥楔的大体形态,但是仍却无法明确识别泥楔的下界面,也不能较好地确定泥楔的分布以及形态特征。

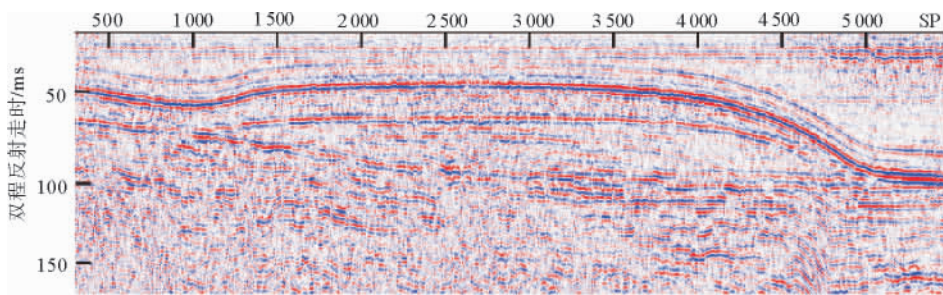


图 3 测线 L3 泥楔地震剖面

Fig. 3 The seismic profile of mud clinoform of Line L3

地震属性是指地震数据经数学变换而导出的关于地震波的几何学、运动学、动力学及统计特征的特殊度量值^[15],是地震波特性的综合反映,有着明确的地球物理含义和定义。地震波的传播是个复杂的过程,是对地层特征的综合反映,地震信号的特征由岩层物理性质及其变异直接引起。地下地层性质的空间变化,导致地震反射波特征的变化,影响地震属性的变化,其分类按属性提取算法和应用领域有多种方式^[16]。把地震属性按照基本信息分类,可以分为时间、振幅、频率和衰减特性 4 大类。时间属性提供构造的信息;振幅的属性提供地层和储层的信息;频率属性提供储层信息;衰减属性提供有关渗透的信息。地震属性的应用非常普遍,然而其统计性特征对地震属性的解释因地区和层段不同而不同。通过合成记录标定,对不同时窗的多种地震属性进行了提取,分析表明,振幅和相位属性的检测结果对于识别泥楔有很大帮助。

瞬时振幅能反映能量上的变化,是在某一特定时刻对地震道能量做出粗略平滑的度量^[17],可用于显示特殊层位的变化。因此,在瞬时振幅剖面中可以更好地分析泥楔的上下界面(图 4)。因为能量的变化,地震波传播速度也发生了变化,所

以在剖面中由海水向海底的过渡振幅明显加强。整个泥楔内部振幅变化不明显,虽然局部可见振幅较强的泥楔内部分层界面,但是泥楔内部基本没有明显的岩性变化,地震道的能量变化不会太明显,所以瞬时振幅剖面很难识别泥楔内部分层。因为泥楔的底部存在较薄的泥炭层^[3],且泥炭在地震剖面上会有强振幅出现^[17-19],所以可以通过强振幅地层的出现来确定泥楔的下界面。

瞬时相位是地震剖面上同相轴连续性的量度,无论能量强弱,它的相位都能显示出来,即使是弱振幅有效波在瞬时相位图上也能很好地显示出来;不考虑能量的大小,只考虑比值,可以增强地震反射的弱同相轴。当声波在各向异性的均匀介质中传播时,其相位是连续的;当声波在有异常存在的介质中传播时,其相位将在异常位置发生显著变化,在剖面图中明显不连续。根据地下的横向连续性,瞬时相位追踪底层的痕迹,刻画岩性异常的边界和地质体的边界^[20],可以有效显示沉积物的不整合面、断层、尖灭和不同倾向层位的反射信号^[21]。因此,在整套地层中,随着物理性质及弹性性质的变化,在瞬时相位图中出现相位不连续的情况,可以很好地看出泥楔的形态和结构。如图 5 所示,海水向海底的过渡面因物理性质的

不同瞬时相位发生明显变化。在泥楔内部可以看出明显的相位异常面,这些面显示出了上下层沉积物的物理性质或者弹性性质不同;很多是因为沉积物的中断,如沉积物质受到侵蚀,形成了不整

合面等。泥楔的下界面——泥炭层无论是物理性质还是弹性性质都明显不同于上下层,瞬时相位剖面图中可以很好的识别泥楔的底界面,该界面的瞬时振幅介于 0.2~0.4 之间。

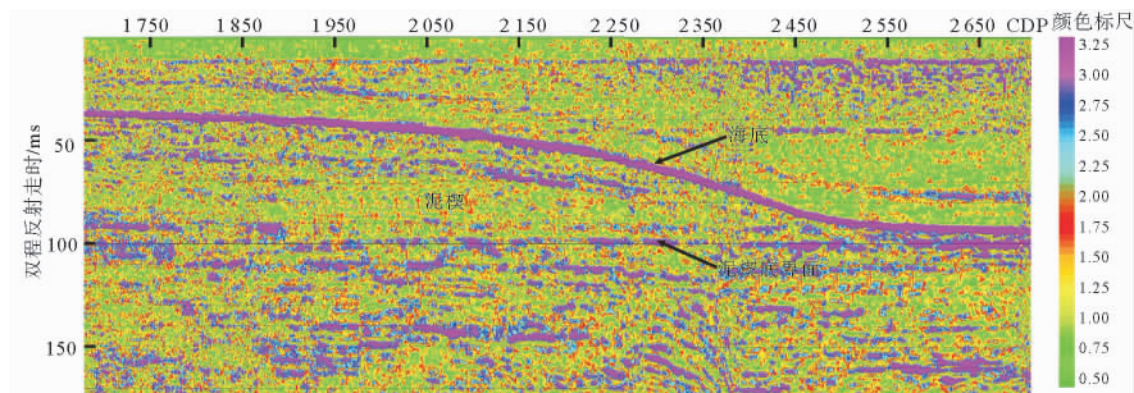


图 4 测线 L3 泥楔的瞬时振幅剖面

Fig. 4 The instantaneous amplitude profile of mud clinoform of Line L3

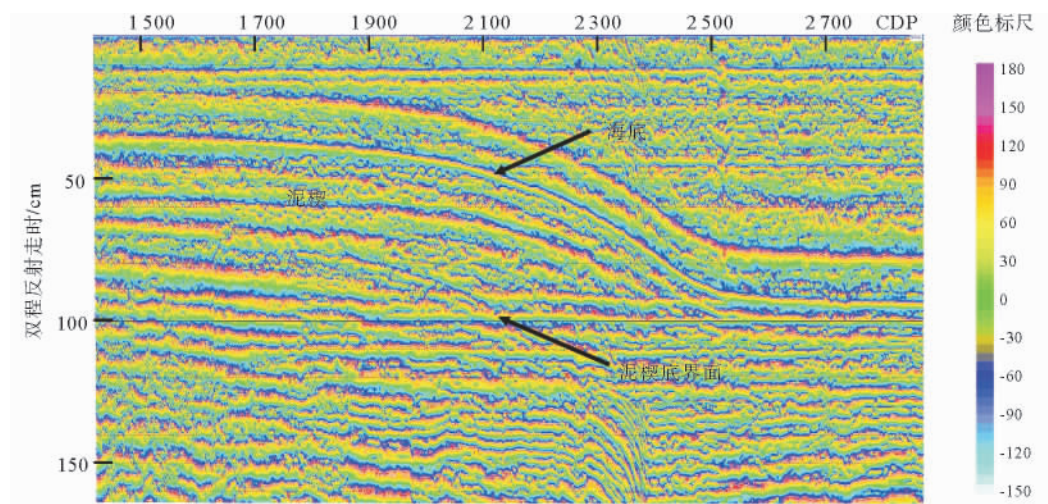


图 5 测线 L3 泥楔的瞬时相位剖面

Fig. 5 The instantaneous phase profile of mud clinoform of Line L3

4 讨论

通过对单道地震资料的瞬时振幅属性和瞬时相位属性的分析,可以较为清晰地观察到泥楔的整体形态:中间厚、两侧薄。泥楔覆盖区域的海底有明显的凸起,向岸侧坡度较小;由海向陆,泥楔表面以一定角度缓慢抬升,直至达到最大高度之后在近岸处出现一个较浅的洼地;泥楔的底界面,

即泥炭层,明显切割下伏地层;同时该界面基本水平,与泥楔未覆盖地区海底呈相似形态。

根据瞬时振幅和瞬时相位属性,可以圈定泥楔覆盖区域。由图 6 可以看出,该泥楔由山东半岛东北侧开始向东、向南方向分布,绕过山东半岛东侧之后继续向南或西南方向延伸,形成了一个近似于“γ”形状的沉积体环绕山东半岛。该沉积体的最大厚度出现在山东半岛东侧海域,若地震波速度按 1 670 m/s 计算的话,局部厚度可达到

60 m 以上,总覆盖面积大约 36 111 km²。经 surfer 软件的计算,泥楔总体积约有 440 km³,若沉积物干容重按 1.2 g/cm³ 计算,该沉积体的质量约为 527×10⁹ t。

以往的研究表明,研究区域的主要沉积物来源于黄河入海带来的泥沙^[2,3]。据已有资料研究,该研究区域现代的沉积速率较低,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^[22]。据估算,现今黄河入海的泥沙通过渤海海峡的输出量仅为 (1~10)×10⁶ t/a^[10,23]。根据已有研究,黄海注入黄渤海区域的沉积物总量多于 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的年沉积量仅为 6×10⁶ t/a^[23],不足以形成如此规模的泥质楔形沉积体。经计算,可以得出泥楔沉积区从 11 cal. ka BP 至今的平均沉积量可以达到 0.37×10⁹ t/a 之多,远超过现今黄河入海的泥沙通过渤海海峡向黄海输出量的估计。究其原因,可能是研究人员大大低估了极端海况条件下黄河入海泥沙通过渤海海峡向黄海输运的能力。

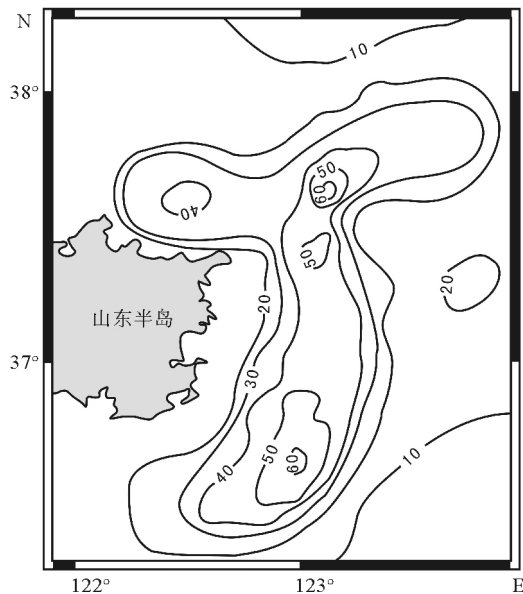


图 6 黄海西部全新世泥楔等厚图(厚度单位:m)

Fig. 6 The isopach map of Holocene mud clinoform in western Yellow Sea

5 结论

(1)通过分析单道地震资料的瞬时振幅强弱

和瞬时相位异常,可以观察到山东半岛近岸泥楔的整体形态:中间厚、两侧薄。泥楔覆盖区域的海底有明显的凸起,向岸侧坡度较小;由海向陆,泥楔表面以一定角度缓慢抬升,直至达到最大高度之后在近岸处出现一个较浅的洼地;泥楔的底界面基本水平,明显切割下伏地层。

(2)黄海西部全新世泥楔由山东半岛东北侧开始向东、向南方向分布,绕过山东半岛东侧之后继续向南或西南方向延伸,形成了一个近似于“γ”形状的沉积体环绕山东半岛。它由近岸端向远岸端逐渐加厚后再减薄,最大厚度分别位于山东半岛东北和西南(60 m 以上),并以这 2 处为中心向四周逐渐减薄。

(3)泥楔从北到南覆盖了山东半岛东部约 36 111 km² 的海底,总体积约有 440 km³,总质量约为 527×10⁹ t,泥楔沉积区从 11 cal. ka BP 至今的平均沉积量可以达到 0.37×10⁹ t/a 之多。

参考文献

- [1] 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]. Journal of Geology, 1987, 95:751-762.
- [2] Liu J P, Milliman J D, Gao S. The Shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea [J]. Geology Marine Letter, 2002, 21:212-218.
- [3] Liu J, Saito Y, Wang H, et al. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea [J]. Marine Geology, 2007, 236(3-4): 165-187.
- [4] 赵 玲. 山东半岛近岸全新世楔形沉积体地球化学特征研究 [D]. 长春:吉林大学, 2007.
- [5] 蓝淑芳, 顾传晟. 南黄海暖流水附近冷水块的分布 [J]. 海洋科学集刊, 1986, 27:45-53.
- [6] Wells J T. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea; Onset of winter monsoons [J]. Marine Geology, 1988, 83(1-4): 273-284.
- [7] 刘 健, 王 红, 李绍全, 等. 南黄湖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.
- [8] 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.
- [9] 杨子康. 海洋地质学 [M]. 济南:山东教育出版社, 2005.
- [10] 秦蕴珊, 李 凡. 黄河入海泥沙对渤海和黄海等沉积作用的影响 [J]. 海洋科学集刊, 1986, 27:125-135.
- [11] Milliman J D, Liu J P. Yang Z S, Yellow River's water and

- sediment discharge decreasing steadily [J]. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 1998, 79(48): 589-592.
- [12] 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.
- [13] Alexander D R, Demaster D J, Nitttrouer C A. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 1991, 98(1): 51-72.
- [14] 王桂芝. 北黄海西部泥质沉积特征与成因探讨 [D]. 青岛: 中科院海洋研究所, 2001.
- [15] 侯伯刚, 杨池银, 武站国, 等. 地震属性及其在储层预测中的影响因素 [J]. *石油地球物理勘探*, 2004, 39(5): 48-61.
- [16] 严又生, 译. 地震属性及其分类 [J]. *国外油气勘探*, 1997, 4: 529-530.
- [17] 冯智慧. 高分辨率复数道分析方法在油气藏描述中的应用 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [18] 洪余刚, 陈景山, 成世琦, 等. 瞬时振幅相干法在储层预测中的应用 [J]. *西南石油学院学报*, 2005, 27(2): 25-27.
- [19] Ruth D, Alex B, Angus B. Characterization of buried undated peat on seismic (Chirp) data, inferred from core information [J]. *Archaeological Prospection*, 2007, 14(4): 261-272.
- [20] 崔伟雄, 李德春, 徐荣华. 煤田岩溶塌陷正演模拟及属性应用 [J]. *物探与化探*, 2011, 35(5): 648-651.
- [21] S kim Scw, Koo N Y. 韩国东海 Ylleung 盆地天然气水合物沉积层的地震属性分析 [J]. *海洋地质动态*, 2008, 25(2): 22-23.
- [22] Liu J, Paul 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.
- [23] Martin J M, Shi Z J, Zhou Q. Actual flux of the Huanghe (Yellow River) sediment to the western Pacific Ocean [J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1993, 31(3): 243-254.

SEISMIC IDENTIFICATION OF THE HOLOCENE MUD CLINOFORM IN WESTERN YELLOW SEA

SUN Dianqi, YUE Baojing, WANG Anguo

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The instantaneous amplitude variation and instantaneous phase anomaly of the single channel seismic profiles reveal the form and distribution of the Holocene mud clinoform off the Shandong Peninsula. The mud clinoform is thick in middle and thin at wedge, while the seafloor where it is covered has obviously risen to the peak and then lean to the shoreward with a smaller angle. The horizontal bottom interface cuts the underlying strata. The γ -shaped mud clinoform surrounds the Shandong Peninsula, spreading to east and south from northeast Peninsula, and extending to south and southwest after bypassing eastern part of the Peninsula. It becomes thicker from the offshore to far shore, and the maximum thickness locations are in the northeast and southwest of Shandong Peninsula (more than 60 m), and with these two locations as centers it changes gradually thinner and thinner. It covers about 36 111 km² of the seafloor, and with the volume about 440 km³ and mass about 527×10⁹ t. The average sediment volume of the mud clinoform area may reach more than 0.37×10⁹ t/a ever since 11 cal. ka BP.

Key words: mud clinoform; seismic stratigraphic unit; sediment