

王敬, 韩忠, 袁星芳. 桑沟湾周边海域晚更新世以来的层序地层[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(9): 68-76.

WANG Jing, HAN Zhong, YUAN Xingfang. Sequence stratigraphy around Sanggou Bay since the Late Pleistocene[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(9): 68-76.

# 桑沟湾周边海域晚更新世以来的层序地层

王敬<sup>1,2</sup>, 韩忠<sup>1,2\*</sup>, 袁星芳<sup>1,2</sup>

(1 山东省第六地质矿产勘查院, 威海 264209; 2 山东省深部金矿探测大数据应用开发工程实验室, 威海 264209)

**摘要:**通过桑沟湾周边海域高分辨率浅地层剖面的地质解译, 结合典型钻孔沉积地层的对比分析, 揭示了研究区晚更新世以来的层序地层序列。研究表明, 桑沟湾周边海域晚更新世以来的地层上覆于基岩之上, 自下而上识别出了具有层序意义的 3 个声学地层单元 (SU2、SU1-2、SU1-1), 与钻孔的 3 个沉积地层单元 (DU2、DU1-2、DU1-1) 对应性良好。桑沟湾周边海域晚更新世以来的层序序列, 形成于末次冰盛期低海面时期及早—中全新世高海面以来, 自下而上包括低水位体系域 (河流-河道充填相沉积)、海侵体系域 (潮流沙脊与滨海相沉积)、高水位体系域 (浅海相沉积)。研究区低水位体系域受河流下切侵蚀作用, 沉积厚度变化较大, 介于 0~15 m; 海侵体系域的沉积厚度普遍介于 4.5~5.5 m, 分布广泛; 高水位体系域由岸向海, 自西南至东北沉积厚度逐渐增加, 最厚处超过 30 m。

**关键词:**桑沟湾周边海域; 晚更新世; 层序地层; 海平面变化

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.125

## 0 引言

南黄海晚更新世以来的地层序列主要受控于海平面变化<sup>[1-2]</sup>, 海平面的波动造成了海陆交互沉积, 形成了特征的层序地层。近年来, 有学者对南黄海及周边海域地层结构、环境演化进行了大量研究, 取得了一系列研究成果, 然而这些研究多集中于浅海区<sup>[3-6]</sup>, 针对南黄海西部近岸地区——桑沟湾周边海域层序地层的研究仍然欠缺, 对该地区地层特征及其沉积响应认识不足。桑沟湾周边海域地理位置优越, 作为山东半岛最开阔的海湾之一, 是中国北方重要的水产养殖区, 这一地区晚更新世层序地层的厘定, 可为该区域海洋牧场的发展规划及工程建设提供地质依据, 并有效支撑服务海洋经济的

可持续发展与海洋生态文明建设。

本文通过高分辨率浅地层剖面与钻孔资料的综合对比解释, 精细厘定了桑沟湾周边海域晚更新世以来的地层格架, 并进一步探讨了这一地质时期研究区的层序地层序列及其对海平面变化的响应。

## 1 材料与方法

山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队于 2019 年 8—9 月在研究区共采集浅地层剖面资料 210 km (图 1)。作业定位采用美国 Trimble 公司 SPS351 卫星/信标差分 GPS 系统, 定位精度优于 1 m。资料采集采用英国 AAE 公司 SBP/AAE 浅地层剖面系统, 震源能量为 300 J, 激发间隔为 800 ms, 滤波为 300~5000 Hz, 测量期间, 调查船速保持在均速 5 节左右。本文剖面时深转换的平均声学速度采用 1 600 m/s。

2019 年 10 月山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队钻获 ZK2 孔 (37°08.339' N、122°41.090' E, 水深 33 m) (图 1), 岩芯长 24 m, 平均取芯率 89.2%。在室内对钻孔岩芯进行拍照、详细岩性描述与精细分样, 大致 4 cm 间隔采样。挑选关键层位 10 件样

收稿日期: 2022-04-22

资助项目: “山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查” (鲁勘字(2019)52 号)。

作者简介: 王敬(1982—), 男, 正高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质及海洋地质等方面的工作。E-mail: lywhwj@126.com

\* 通讯作者: 韩忠(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质及海洋地质等方面的工作。E-mail: hanzhonggl@163.com

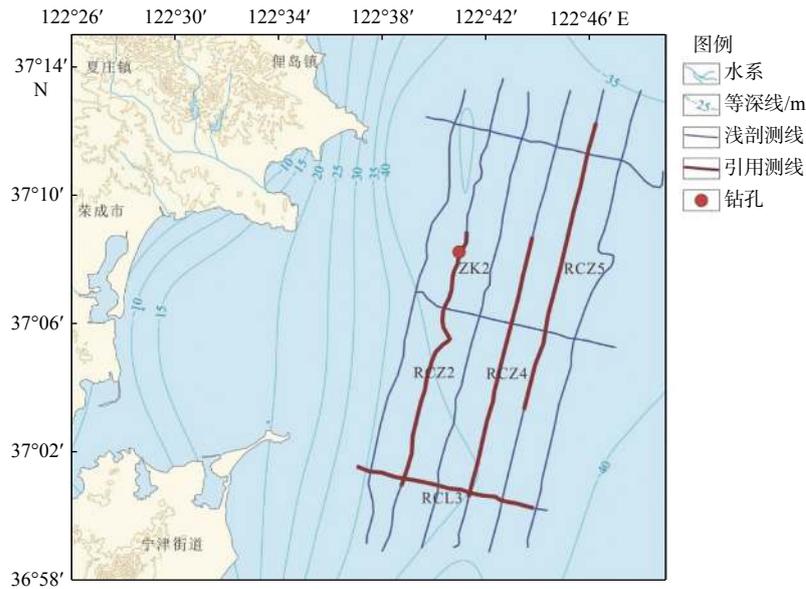


图 1 研究区浅地层剖面与钻孔位置

Fig.1 Locations of shallow seismic profiles and cores in the study area

品在自然资源部海洋地质实验检测中心完成微体古生物鉴定, 样品浸泡 24 h 后, 采用 0.063 mm 的标准筛冲洗, 然后烘干称重, 显微镜下对  $>0.125$  mm 样品进行鉴定统计。根据样品中微体古生物化石丰度实际情况, 采用二分法进行鉴定, 一般微体古生物化石统计个体数  $>100$  枚。微体古生物鉴定结果显示, 介形虫个体数量较少, 且仅出现在个别样品, 本文主要依据底栖有孔虫的鉴定结果对地层划分进行解释。

## 2 声学地层分析

依据浅地层剖面反射的形态结构、振幅强弱、终止类型及叠置方式等, 识别出桑沟湾周边海域晚更新世以来的声学地层界面及介于其间的声学地层单元。研究区这一地质时期自下而上发育 4 个声学地层界面 R3、R2、R1、R0, 这些地层界面将研究区的地层划分为具有层序意义的 3 个声学地层单元或亚单元(SU2、SU1-2、SU1)(图 2-5)。这些声学地层单元时空分布特征存在明显的差异性与规律性。

地层界面 R3 为基岩顶界面, 在研究区广泛分布, 在浅地层剖面上以中-高频、强振幅、较连续反射为主, 其下地层内部反射模糊杂乱, 无层理, 并且对两侧地层有明显扰动, 上覆松散沉积物。研究区 R3 界面埋深变化主要介于海平面以下 40~60 m, 总体呈现自近岸向海逐渐变深的趋势, 埋深最浅处

位于海平面以下 32 m, 主要位于桑沟湾东南部近岸海域, 埋深较深区域位于研究区东北部与东南部, 埋深普遍超过 60 m(图 6)。

SU2 声学地层单元上覆于基岩面 R3 之上, 其顶界面为海进侵蚀面 R2, 上部反射表现为强振幅、层状反射, 下部呈现弱振幅、杂乱的特征。该地层单元主要对应末次冰盛期河流相及后期的河流充填相沉积。该地层单元厚度介于 0~15 m, 存在 4 个厚度中心, 俚岛镇东部海域、爱连湾东南海域、宁津街道东部近岸与浅海区, 厚度普遍超过 5 m(图 6)。

SU1-2 声学地层单元底界面(R2)为一海进侵蚀面, 与顶界面(R1)最大海泛面近似平行, 内部反射特征主要表现为中强振幅、层状结构。SU1-2 声学反射地层单元相当于下全新统, 主要表现为全新世早中期海侵开始至海平面上升至最高海平面期间的滨海相沉积。该地层单元底界面 R2 埋深大部分介于 -40~-66 m, 自西南至东北埋深逐渐增加。SU1-2 地层单元厚度变化较小, 大部分厚度介于 4.5~5.5 m, 多成斑块状分布, 主要存在南部与北部沉积区, 厚度普遍超过 5 m, 南部近岸附近该地层单元在潮流作用下主要表现为潮流沙脊, 高差超过 6 m(图 7)。

SU1-1 声学地层单元是研究区识别出的最上部的地层单元, 下超于最大海泛面 R1, 其内部反射特征主要表现为弱振幅、半透明声学反射层, 结构上表现为加积或低倾角进积。研究区最大海泛面(R1)埋深变化较大, 大部分介于 -36~-60 m, 总体呈现

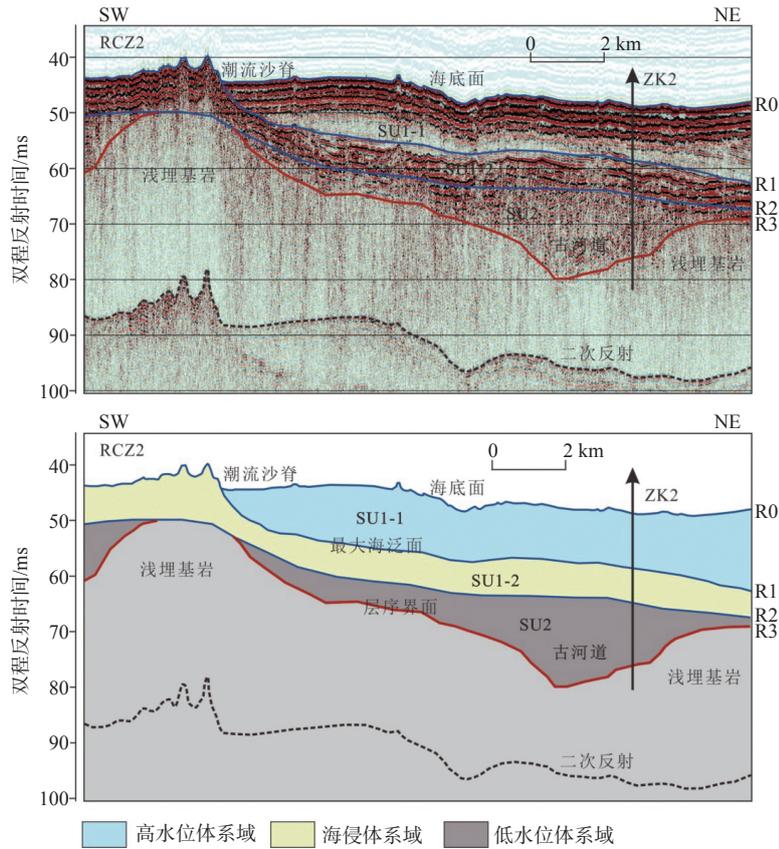


图2 研究区 SW-NE 向过 ZK2 孔声学剖面

Fig.2 SW-NE seismic profile of Line RCZ2 through core ZK2 in the study area

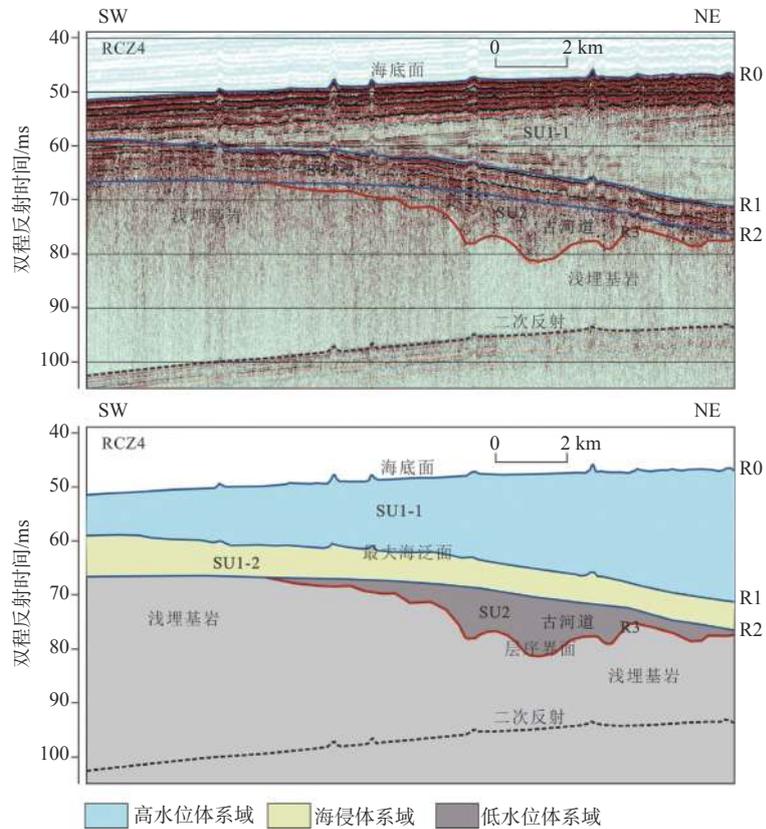


图3 研究区 SW-NE 向声学剖面

Fig.3 SW-NE seismic profile of Line RCZ4 in the study area

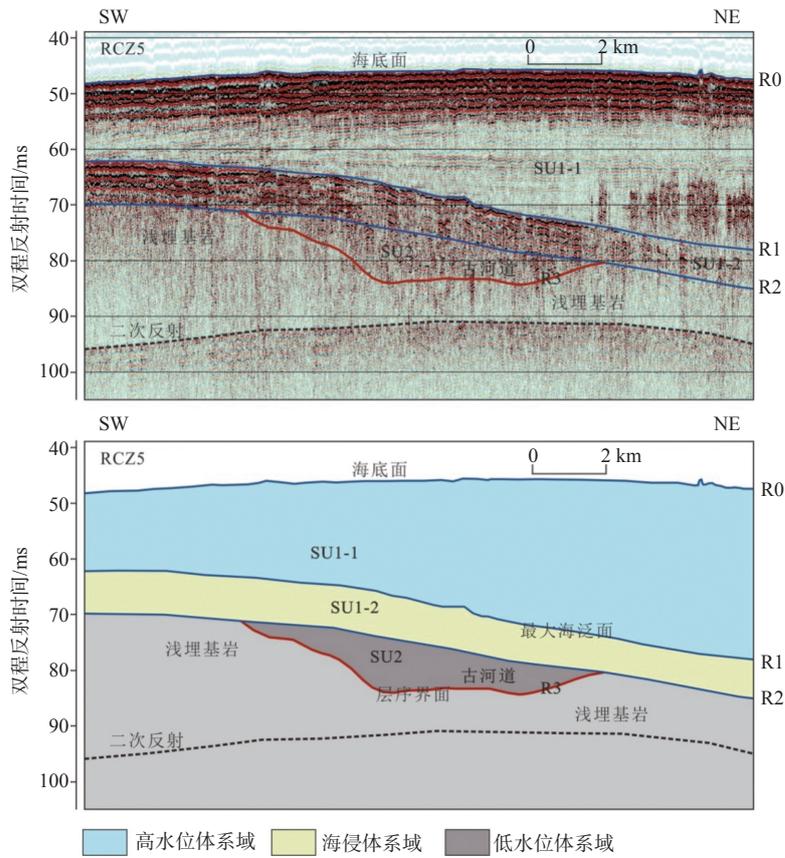


图 4 研究区 SW-NE 向声学剖面

Fig.4 SW-NE seismic profile of Line RCZ5 in the study area

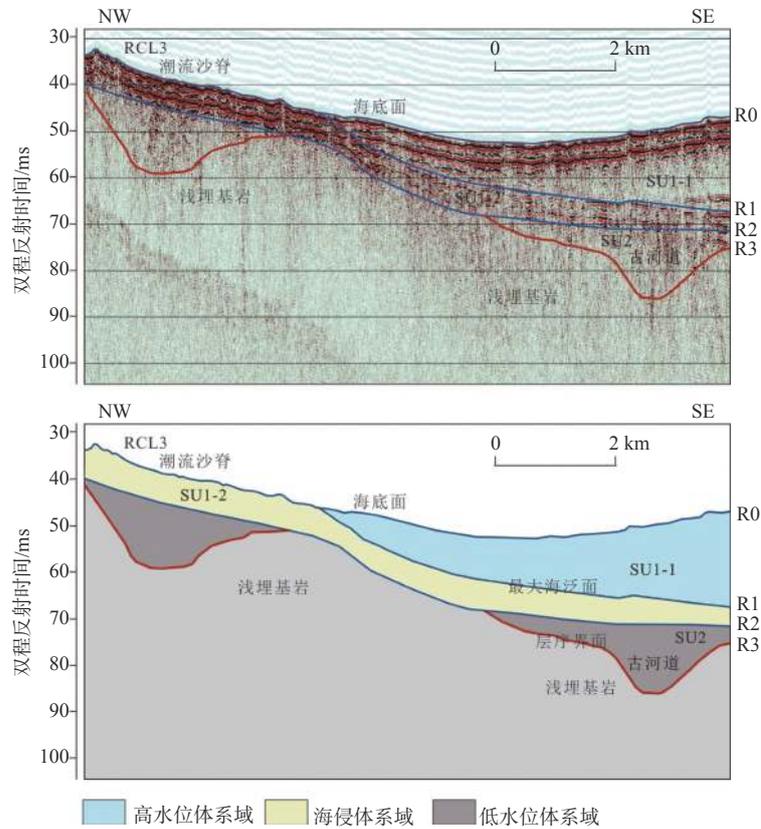


图 5 研究区 NW-SE 向声学剖面

Fig.5 NW-SE seismic profile of Line RCL3 in the study area

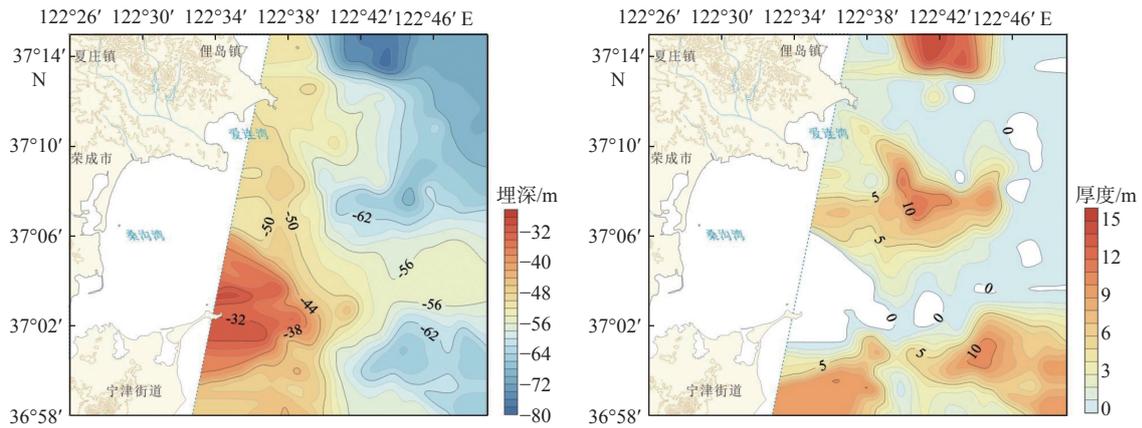


图6 研究区SU2地层单元底界面埋深(左图)与SU2地层单元厚度图(右图)

Fig.6 Depth of bottom boundary and thickness of unit SU2 in the study area

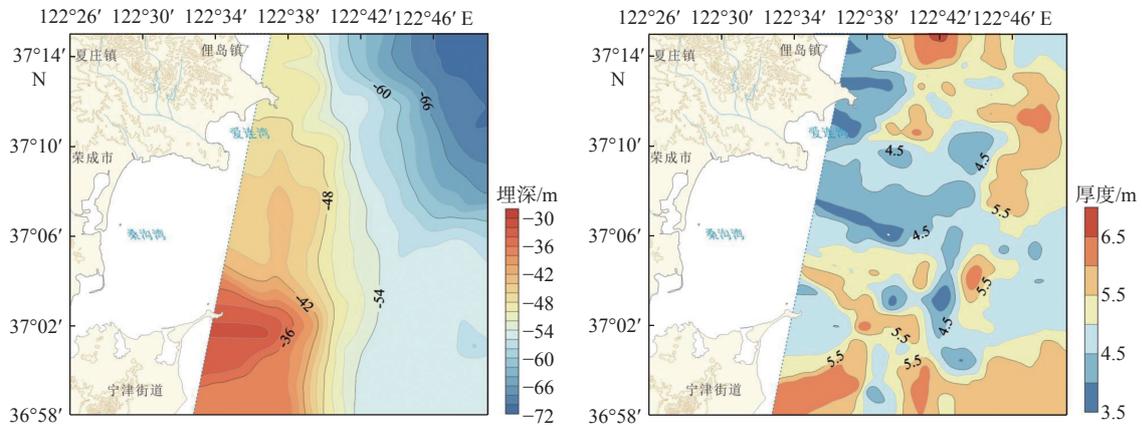


图7 研究区SU1-2地层单元底界面埋深(左图)与SU1-2地层单元厚度图(右图)

Fig.7 Depth of bottom boundary and thickness of unit SU1-2 in the study area

自西向东、自南往北逐渐变深的趋势。SU1-1 声学地层单元最大沉积厚度超过 30 m, 沉积中心主要位

于爱连湾东部海域, 向西、向南逐渐变薄尖灭(图 8), 该单元主要是黄河物质在沿岸流的作用下沉积形成。

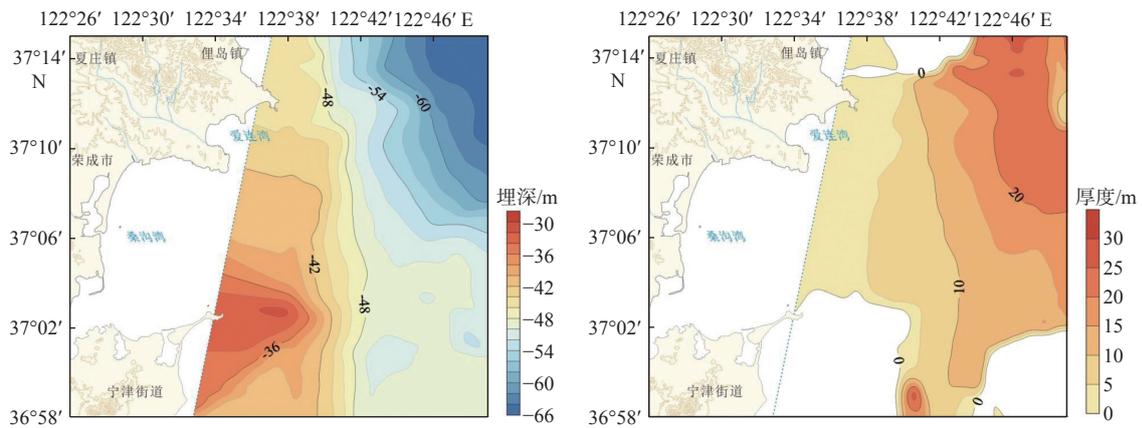


图8 研究区SU1-1地层单元底界面埋深(左图)与SU1-1地层单元厚度图(右图)

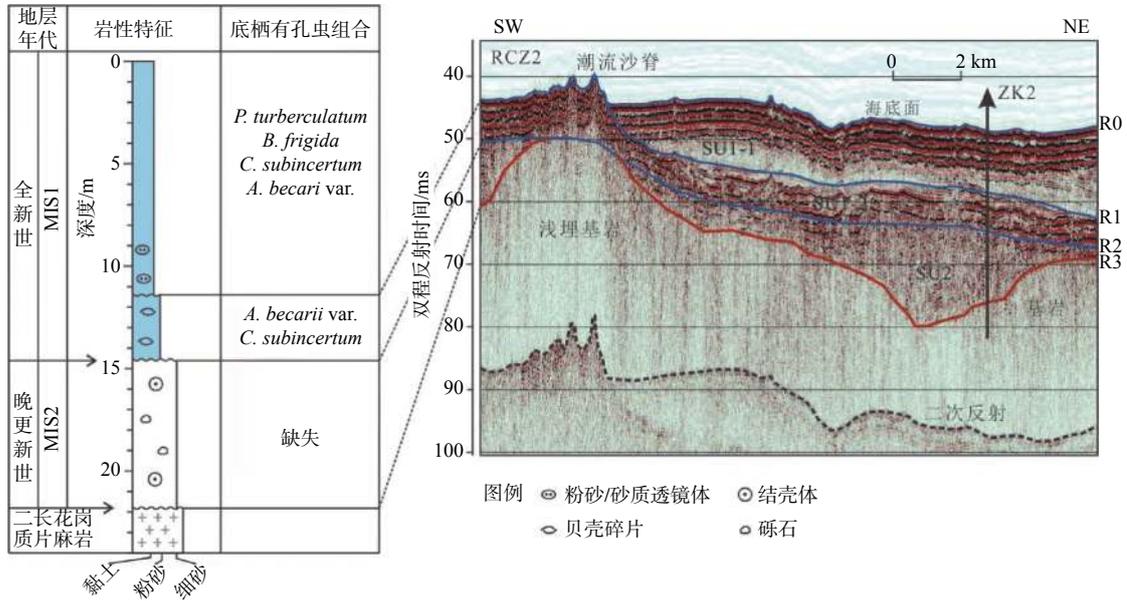
Fig.8 Depth of bottom boundary and thickness of unit SU1-1 in the study area

### 3 钻孔沉积地层分析

由于本文实测的 ZK2 孔未进行测年, 沉积地层

的划分主要基于钻孔的岩性特征与微体古生物鉴定结果, 同时对比周边海域钻孔确定<sup>[4,7]</sup>, 共识别出基岩面以上自老至新的 3 个沉积地层单元(D2、D1-2、D1-1), 这 3 个沉积地层单元与浅地层剖面划定

的 3 个声学地层单元(SU2、SU1-2、SU1)对应性良好(图 9), 主要揭示了末次冰盛期以来海平面上升过程中的地层序列。



剖面位置见图 1  
图 9 研究区 ZK2 孔沉积地层与过孔声学剖面对比

Fig.9 Correlation between the depositional units of the core ZK2 and the seismic units from the profile through the core in the study area

24~21.8 m 段: 对应声学地层单元 SU2 以下的浅埋基岩, 岩性主要为红褐色二长花岗质片麻岩, 成分以长石、石英为主, 含少量黑云母(图 10)。

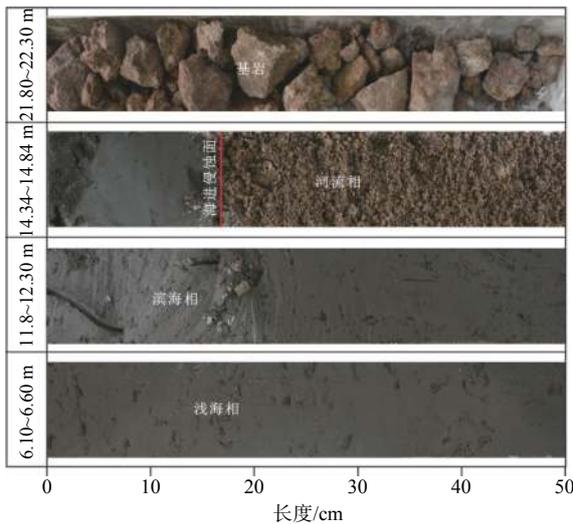


图 10 ZK2 孔典型岩性照片

Fig.10 Pictures of typical lithology of core ZK2

21.8~14.5 m 段(D2): 对应声学地层单元 SU2, 主要为灰褐色、黄褐色、红褐色砂质沉积, 局部含砾石与结壳体, 显示较强的水动力条件。该层段微体古生物鉴定未发现任何完整的海相或陆相微体生

物化石(图 11), 岩性与微体古生物变化综合分析显示, 该层段对应末次冰盛期低海面及之后海平面上升时期的河流-河道充填相沉积。

14.5~11.4 m 段(D1-2): 对应声学地层单元 SU1-2, 主要为灰黑色黏土质粉砂, 局部见贝壳碎片。该层段底栖有孔虫丰度较高, 优势种主要包括滨岸浅水种 *Ammonia beccarii* var.和 *Cribronion subincertum*(图 11), 这 2 个属种是中国陆架滨岸浅水区代表性属种, 在潮上带、潮间带、潟湖与河口湾等半咸水及正常盐度的滨岸浅海广泛分布<sup>[8-10]</sup>, 推断该层位对应全新世早期海水开始侵入到海平面逐渐上升至最高海平面阶段的滨海相沉积。

11.4~0 m 段(D1-1): 对应声学地层单元 SU1-1, 主要为灰黑色、深灰色粉砂质黏土, 岩性较为均一, 下部见粉砂透镜体, 指示了稳定且水深较大的沉积环境。ZK2 孔该层段底栖有孔虫丰度为全孔最高, 优势种以冷水种 *Protelphidium tuberculatum* 和 *Buccella frigida* 为主, 这 2 个属种是中国渤、黄、东海常见的低温低盐的代表性属种, 主要集中在沿岸流影响区以及冷水团控制的范围以内<sup>[8-11]</sup>。此外, 滨岸属种 *Cribronion subincertum* 和 *Ammonia beccarii* var.也占一定比例(图 11), 推断该地层单元形成于全新世高海面以来, 对应浅海相沉积。

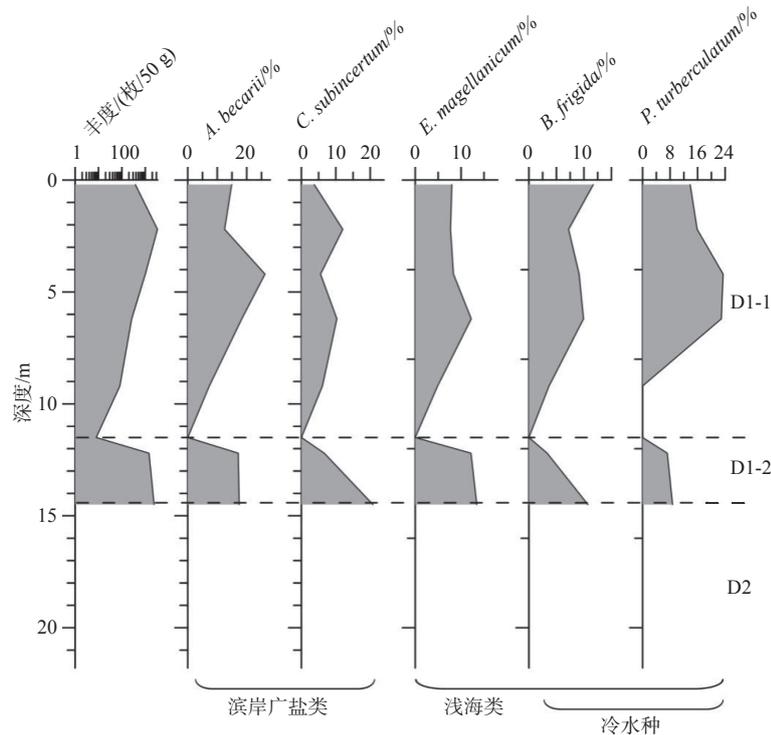


图 11 ZK2 孔底栖有孔虫垂向分布

Fig.11 Downcore distribution of benthic foraminifera in core ZK2

#### 4 晚更新世以来层序地层分析

研究区识别出的基岩之上的3个地层单元形成于末次冰盛期低海面及之后的海平面上升过程,对应一个较为完整的层序,包括低水位体系域、海侵体系域与高水位体系域组合。

桑沟湾周边海域晚更新世以来地层存在明显的沉积间断,对应末次冰盛期低海面时期,这一阶段海平面大幅下降,研究区裸露成陆,河流盛行,表现为高能的沉积环境,对应层序界面 R3,其下为浅埋基岩,其上地层相对连续,包括 SU2、SU1-2、SU1-1 3组地层单元,分别形成于 MIS2 期低海面时期、全新世海平面上升海侵时期、全新世高海面以来 3 个不同地质时期,对应河流-河道充填相沉积、潮流沙脊或滨海相沉积、浅海相沉积,形成了包括低水位体系域、海侵体系域、高水位体系域的层序序列(图 12,表 1)。

桑沟湾周边海域低水位体系域沉积厚度变化较大,呈斑块状空间分布特征,部分区域缺失,最大厚度可达 15 m,主要受末次冰盛期低海面时期高能的河流作用导致,与这一时期可对比的层序地层序列在渤海<sup>[12-13]</sup>、黄海<sup>[14-15]</sup>、东海<sup>[16]</sup>广泛发育。海侵体系域分布广泛,厚度变化较小,对应潮流作用为

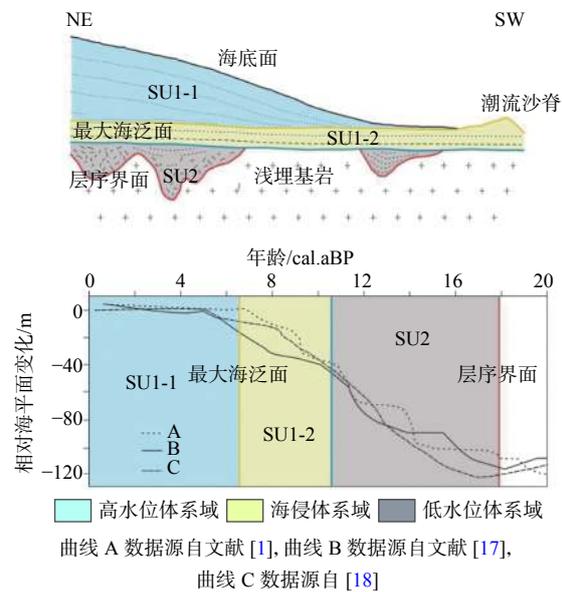


图 12 研究区晚更新世以来层序地层与海平面变化对比

Fig.12 Sequence stratigraphy of the study area and its correlation with sea-level changes since the late Pleistocene

主的沉积环境,除研究东南海域表现为潮流沉积外,大部分海域为滨海相沉积。高水位体系域在桑沟湾周边海域主要表现为自东北浅海至西南近岸逐渐变薄尖灭的分布特征,与山东半岛近岸泥质沉积相对应<sup>[3]</sup>。

已有研究表明,海平面变化是晚更新世南黄海陆架区地层发育与沉积环境演化的主要控制因

表 1 研究区晚更新世以来层序地层划分表

Table 1 Sequence stratigraphy since the late Pleistocene in the study area

地层年代	氧同位素期次	地层底界面	地层单元	体系域	沉积相
全新世	MIS1	R1(最大海泛面)	SU1-1	高水位体系域	浅海相
		R2(海进侵蚀面)	SU1-2	海侵体系域	滨海相
晚更新世	MIS2	R3(层序界面)	SU2	低水位体系域	河流-河流充填相

素<sup>[2,5,14]</sup>。本文论述桑沟湾周边海域晚更新世以来的层序演化主要围绕这一因素展开,同时考虑沉积动力与沉积物来源的影响。

末次冰盛期,海平面快速下降至现今海平面 120 m 以下<sup>[1,17-18]</sup>,黄海陆架裸露成陆,黄河贯入南黄海陆架区并盛行发育<sup>[2,15,19]</sup>,侵蚀先期形成的沉积地层单元,而这一地质时期,桑沟湾周边海域基岩裸露,无沉积地层,受基岩地形的影响,河流流向高程较低的地区,在地层记录中保留下了古黄河相关的河道系统,对应 ZK2 孔 21.8~14.5 m 段(图 9、10),末次冰盛期与古河流密切相关的地层序列在中国陆架区广泛分布<sup>[12,16,20-22]</sup>,同时在全球陆架区可对比<sup>[23]</sup>。

之后,随着海平面进一步升高,海水逐渐入侵桑沟湾周边海域,形成了全新世以来的地层序列。全新世早期,研究区潮流作用占主导,形成潮流作用下的滨海沉积环境,对应 ZK2 孔 14.5~11.4 m 段,南部近岸地区形成潮流沙脊。至全新世中期(7 kaBP),海平面上升并持续至现今海平面的位置<sup>[1,17-18]</sup>,随着潮流作用减弱,研究区形成以沿岸流与黄海暖流为主的现代环流体系,以黄河为主物质经过长距离搬运,在现代环流体系作用下<sup>[3,7]</sup>,形成山东半岛近岸泥质沉积区,对应 ZK2 孔 11.4~0 m 段的浅海相沉积地层(图 9、10)。

## 5 结论

(1) 桑沟湾周边海域晚更新世以来的地层上覆于基岩之上,自下而上划定了 4 个声学地层界面(R3、R2、R1、R0)和具有层序意义的 3 个声学地层单元(SU2、SU1-2、SU1-1),且研究区声学地层单元的划分与钻孔 3 个沉积地层单元(DU2、DU1-2、DU1-1)的划分对应性良好。

(2) 桑沟湾周边海域晚更新世以来的层序序列,自下而上包括低水位体系域(末次冰盛期低海面时期与随后海平面上升过程阶段的河流-河道相充填相沉积)、海侵体系域(全新世早-中期潮流沙脊与滨海相沉积)、高水位体系域(全新世高海面以来的

浅海相沉积)。

(3) 桑沟湾周边海域低水位体系域受河流作用,呈斑块状分布,沉积厚度介于 0~15 m,存在俚岛镇东部海域、爱连湾东南海域、宁津街道东部近岸与浅海区等厚度中心;海侵体系域沉积厚度普遍介于 4.5~5.5 m,分布广泛;高水位体系域由岸向海,自西南至东北沉积厚度逐渐增加,最厚处超过 30 m。

### 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: 45-67.
- [2] LIU J, SAITO Y, KONG X H, et al. Delta development and channel incision during marine isotope stages 3 and 2 in the western South Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 2010, 278: 54-76.
- [3] 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.
- [4] 仇建东, 张勇, 孔祥淮, 等. 山东半岛南部滨浅海区晚第四纪声学地层[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2015, 35(2): 1-10.
- [5] YANG J C, LI G X, LIU Y, et al. Evolution of sedimentary mode since Pleistocene in the central South Yellow Sea, China, based on seismic stratigraphy analysis[J]. *Quaternary International*, 2018, 482(20): 157-170.
- [6] LIU J, ZHANG X H, MEI X, et al. 2018. The sedimentary succession of the last ~3.50 Myr in the western South Yellow Sea: paleoenvironmental and tectonic implications[J]. *Marine Geology*, 399: 47-75.
- [7] 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.
- [8] 汪品先, 章纪军, 赵泉鸿, 等. 东海底质中的有孔虫和介形虫[M]. 北京: 海洋出版社, 1988.1-307.
- [9] 王飞飞, 丁璇, 刘健. 南黄海西部陆架氧同位素3期以来的古沉积环境演化[J]. *微体古生物学报*, 2012, 29(3): 235-252.
- [10] 陈晓辉, 李日辉, 孙荣涛, 等. 末次冰消期以来辽东半岛东南近岸泥质区的古环境演化[J]. *第四纪研究*, 2016, 36(6): 1489-1501.
- [11] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华. 黄海有孔虫、介形虫组合的初步研究[C]. *海洋微体古生物论文集*. 北京: 海洋出版社, 1980. 84-100.
- [12] 陈晓辉, 李日辉, 蓝先洪, 等. 渤海西部晚第四纪地层层序特征及沉积响应[J]. *地球科学*, 2020, 45(7): 2684-2696

- [13] 陈晓辉, 孟祥君, 李日辉. 辽东湾晚第四纪层序地层[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(2): 37-47.
- [14] LI G X, LI P, LIU Y, et al. Sedimentary system response to the global sea level change in the East China Seas since the last glacial maximum[J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 139: 390-405.
- [15] 李凡, 于建军, 姜秀珩, 等. 南黄海埋藏古河系研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 501-508.
- [16] BERNÉ S, VANGER P, GUICHARD F, et al. Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea[J]. *Marine Geology*, 2002, 188: 293-315.
- [17] CHAPPELL J, OMURA A, ESAT T, et al. Reconciliation of late Quaternary sea levels derived from coral terraces at Huon Peninsula with deep sea oxygen isotope records[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 141(1/4): 227-236.
- [18] LEA D W, MARTIN P A, PAK D K, et al. Reconstructing a 350 ky history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core[J]. *Quaternary Sciences Reviews*, 2002, 21: 283-293.
- [19] 蓝先洪, 张宪军, 赵广涛, 等. 南黄海NT1孔沉积物稀土元素组成与物源判别[J]. 地球化学, 2009, 38(2): 123-132.
- [20] YOO D G, CHANG T S, LEE G S, et al. Late Quaternary seismic stratigraphy in response to postglacial sea-level rise at the mid-eastern Yellow Sea[J]. *Quaternary International*, 2016, 392: 125-136.
- [21] WANG Z B, YANG S Y, WANG Q, et al. Late Quaternary stratigraphic evolution on the outer shelf of the East China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2014, 90: 5-16.
- [22] CHEN X H, LI R H, LAN X H, et al. Stratigraphy of late Quaternary deposits in the mid-western North Yellow Sea[J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2018, 36(6): 2130-2153.
- [23] LOBO F J, RIDENTE D. Stratigraphic architecture and spatio-temporal variability of high-frequency (Milankovitch) depositional cycles on modern continental margins: an overview[J]. *Marine Geology*, 2014, 352: 215-247.

## Sequence stratigraphy around Sanggou Bay since the Late Pleistocene

WANG Jing<sup>1,2</sup>, HAN Zhong<sup>1,2\*</sup>, YUAN Xingfang<sup>1,2</sup>

(1 No.6 Institution of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province, Weihai 264209, China; 2 Shandong Provincial Engineering Laboratory of Application and Development of Big Data for Deep Gold Exploration, Weihai 264209, China)

**Abstract:** High-resolution seismic reflection data and depositional stratigraphy of typical cores were studied in detail to determine the sequence stratigraphy since the Late Pleistocene around the Sanggou Bay off Rongcheng in Shandong Peninsula. Results show that the Late Pleistocene strata above bedrock in the study area could be subdivided into three seismic units (SU2, SU1-2, SU1-1 in descending order), and they are well corresponded to three depositional units (DU2, DU1-2, DU1-1) of borehole. The sediment sequence covered deposits during the sea-level lowstand of LGM and the sea-level highstand of early-middle Holocene, comprising lowstand systems tract (LST) (deposits of fluvial to incised-channel filling facies), transgressive systems tract (TST) (deposits of tidal sand ridges and littoral facies); and the highstand systems tract (HST) (deposits of neritic facies since). The LST varies considerably in thickness of 0~15 m due to river erosion, while the TST is widely distributed in the thickness of 4.5~5.5 m, and the HST gradually thickens seaward from SW to NE with a maximum thickness of more than 30 m in the study area.

**Key words:** the adjacent of Sanggou Bay; Late Pleistocene; sequence stratigraphy; sea-level changes