杨娇娇, 陈选博, 刘荣波, 等. 瓯江口南部海域第四纪声学地层[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(8): 11-19. YANG Jiaojiao, CHEN Xuanbo, LIU Rongbo, et al. Acoustic stratigraphy of the Quaternary in the south of the Oujiang River Estuary[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(8): 11-19.

瓯江口南部海域第四纪声学地层

杨娇娇¹,陈选博¹,刘荣波²,徐喆¹,宋委^{2*},王圣民¹,胡凯翔¹,林哲远¹,李昂¹,郑鸿杰¹ (1浙江省水文地质工程地质大队,浙江省海洋勘测研究院,宁波 315000;2 山东省第四地质矿产勘查院,潍坊 261021)

摘 要:利用瓯江口南部海域气枪单道地震剖面资料和第四纪钻孔1的岩芯资料,对研究区 第四纪地层结构进行了划分。将根据地震剖面划分的6个声学地层单元(SU1-SU6)与钻 孔1岩芯划分的沉积地层单元对比,发现二者具有很好的对应关系。其中,SU1和SU3单元 分别为 MIS1、MIS3形成的海相沉积,SU2和SU4单元分别对应 MIS2、MIS4期陆相河流 或河湖相沉积地层,SU5单元对应 MIS5河流-海相沉积地层,SU6单元则对应 MIS6期及更 早的陆相河湖相沉积。对研究区第四纪地层格架的建立和沉积层序分析可为东海第四纪地 质和古环境演化研究提供参考。

关键词:瓯江口南部; 气枪单道地震; 第四纪; 声学地层; 地层格架 中图分类号: P736.2 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.204

0 引言

第四纪以来,受气候冷暖交替变化的影响,东 海陆架区经历了多次海平面上升和下降过程,相应 地,陆架区交替被海水淹没发育海相沉积层或大面 积的暴露发育陆相沉积层^[1-2]。海陆相交互沉积地 层记录了沉积环境特征和沉积演化过程等丰富的 地质信息。对沉积地层结构的研究可为沿海地区 的第四纪地质、工程地质、环境地质调查提供基础 数据,也对了解古地理环境演化和沉积历史具有重 要意义^[1]。

自 20 世纪 70 年代以来,中国陆续在东海陆架 开展了以油气普查、勘探等为目的的海洋地质与地 球物理调查^[3]。随着浅地层剖面测量、单道地震、 多道地震和柱状样、地质浅钻等探测技术的发展及 相关调查资料的积累,对东海第四纪沉积地层的结

收稿日期: 2021-08-04

构和演化也有了较为充分的认识^[2-12]。然而,以往 调查多数集中在东海陆架西北部长江三角洲、杭州 湾沉积区,关于温州湾海域内第四纪研究的报道较 少且相关研究多集中于晚第四纪地质。在以往研 究中,地震手段多为电火花震源单道地震方法,温 州湾内广泛分布的浅层气使得部分海域可获得的 地层信息仅几米甚至更浅^[2,13]。与电火花单道地震 资料相比,气枪震源单道地震测量方法的穿透性强, 在研究区内能够揭示约 370 ms 以浅地层。本文通 过气枪单道地震资料和钻孔数据的对比分析,对瓯 江口南部海域第四纪以来的沉积地层结构进行了 划分,分析了研究区第四纪以来的沉积序列,对东 海第四纪地质和古环境演化研究具有重要指示意义。

1 区域背景

研究区位于瓯江口以南的温州湾海域,北至霓 屿、洞头岛,东至北麂岛(图1)。温州湾的形成受地 质构造的影响强烈,其主要位于浙闽隆起带上, NNE向的温州-镇海大断裂从沿海穿过,海域则有 象山-乐清湾断裂的南延部分穿过,温州湾北部发 育 NWW 向淳安-温州大断裂,南端则有松阳-平阳 断裂^[13],西部为南雁荡山脉边缘组成的低山丘陵, 发源于浙南山区的瓯江、飞云江、鳌江东流入湾。

资助项目:浙江省地质勘查资金项目"浙江省海岸带重点区综合地质调 查(温州重点区)"(〔省资〕2018009);浙江省地质勘查资金项目"浙江省海 岸带重点区综合地质调查(嘉兴重点区)"(〔省资〕2017005)

作者简介:杨娇娇(1988-),女,硕士,工程师,主要从事海洋地球物理调 查与研究. E-mail: yangjj0812@163.com

^{*}通讯作者: 宋委(1988-), 男, 工程师, 主要从事水工环地质、海洋地质 调查方面的研究工作. E-mail: songwei842@163.com

瓯江发源于温州庆元县境内的百山祖,流域面积约为1.81×10⁴ km²,河流每年可携带2.22×10⁶ t 沉积物进入温州湾,是浙江省第2大河流。瓯江出海口被灵昆岛分为北口和南口,口外海滨段分布有典型的

河口拦门沙滩槽体系,地形复杂、浅滩和深槽发育。 温州湾海底地貌主体水下岸坡主要分布于瓯江口、 洞头诸岛以南,水深 0~10 m, 沉积物以粉砂质黏土 为主, 是沿岸流所携带南下细粒泥沙的重要沉积场所。



图 1 研究区内单道地震测线和钻孔位置 Fig.1 Location of signal-channel seismic profile lines and boreholes in the study area

2 资料和方法

为开展研究区第四纪地质研究,在温州市东部 近岸海域部署了气枪单道地震工作,总长约280 km, 测线网格大小约5 km×4 km(图1)。采用的气枪单 道地震测量系统震源为法国Sercel公司生产的210 in³ G.I 气枪震源,接收电缆为法国SIG公司生产的 SIG 16.48.65 接收电缆,数据采集系统为DELPH Seismic Acquisition。根据海上测量试验确定的工 作参数为:气枪压力选择1600~1800 psi;激发间 隔5s;采样率8 kHz;记录量程500 ms;记录格式 为SEG-Y格式。地震剖面解译时,首先选取1条 反射结构清晰、分辨率较高的剖面,根据地震相反 射特征和界面识别标志来进行界面识别和追踪,然 后将剩余剖面与之对比分析,形成界面的闭合。

海域第四纪钻孔 1 位于地震测线 WQL1 和WQ2 交点处, 孔深 182.90 m, 为全孔连续取芯, 泥质层岩芯采取率 95.52%, 砂质层采取率 83.68%。 采取的第四纪样品包括古地磁样品 448 件, 采样间距 0.25~0.4 m 不等, 委托自然资源部南京地质调查中心测试; 粒度样品 386 件, 采样间距 0.25~ 0.5 m 不等,由中国地质大学生物地质与环境地质 国家重点实验室采用筛析法完成测试;AMS¹⁴C 样 品 5 件,由美国 Beta 分析测试有限公司测试,结果 见表 1。

| 表 1 钻孔 1 AMS ^{AC} 年龄 | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Table 1 AMS ¹⁴ C ages of Borehole 1 | | | | | | | | | | |
| 样品编号 | 深度/m | 测年对象 | 年龄/Cal.a BP | | | | | | | |
| 钻孔1-C01 | 8.30 | 贝壳 | 4437 ± 30 | | | | | | | |
| 钻孔1-C03 | 16.70 | 贝壳 | $8\ 353 \pm 30$ | | | | | | | |
| 钻孔1-C06 | 26.68 | 木屑 | $10\ 381 \pm 30$ | | | | | | | |
| 钻孔1-C07 | 32.52 | 木屑 | 10885 ± 30 | | | | | | | |
| 钻孔1-C08 | 53.44 | 木屑 | >43 500 | | | | | | | |

3 结果与讨论

3.1 声学地层划分

根据研究区内气枪单道地震剖面上地震反射 波的振幅、频率、连续性及接触关系等特征,在研究 区内追踪识别了 8 个主要反射界面(T₀-T₆, T_R),并 划分出了 6 个声学地层单元 SU1-SU6,其中,SU6 又可分别划分为 2 个次级声学地层单元 SU6-1 和



Fig.2 The Quaternary stratigraphic column in the study area

SU6-2(**2**)_°

沉积地层中含气会使地震传播速度降低,反 射波能量快速衰减,导致很少或无能量被反射,沉 积地层层反射信息被屏蔽,从而形成"反射模糊 区"^[14-17],因研究区内浅层气的存在,局部地区地震 反射变得模糊、杂乱。

3.1.1 地震单元 SU1

SU1单元位于 T₀与 T₁界面之间,是海底面以 下最新的一个沉积单元。其中,T₀反射界面为海底, 振幅强、连续性好,界面起伏较小,形态上反映海底 地形的起伏变化,研究区内水深变化为-5~-25 m。 T₁为冰后期海平面上升过程中形成的初始海泛面, 振幅强,连续性好,与下伏地层呈假整合或角度不 整合接触关系,在单道地震剖面上十分明显;研究 区内,T₁界面可全区追踪,界面起伏较小,埋深 20~ 50 m,沿 SW-NE 向,埋深基本呈 SW、NE 两端埋 深大,中部埋深浅的特征。

SU1 单元内部呈透明-半透明特征,振幅中等-弱,连续性较好,显著特征为平行至亚水平反射结 构发育,属于席状地震相单元(图 3),该地震单元发 育稳定,厚度变化不大。结合地震反射特征和钻孔 1 岩芯资料判断,认为该单元为全新世海相沉积地 层。研究区内 SU1 单元厚度主要集中在 20~40 m 之间,在霓屿-洞头岛和铜盘岛-大北列岛以南附近 海域厚度相对较大,>30 m,其他区域厚度基本在 20~30 m(图 4)。

3.1.2 地震单元 SU2

SU2 单元位于 T_1 与 T_2 界面之间。其中, T_2 界



Fig.3 The seismic units (SU1 and SU3) of marine deposits revealed by line WQ3-1

面为一侵蚀界面,多呈 V/U 型河谷状下切下伏地层, 将反射特征明显不同的上覆陆相沉积地层与下伏 地层分开; T₂侧向分布极不连续,仅在霓屿-洞头 岛南部附近海域分布,最大下切深度可达 30 m,最 宽近 4 km。

SU2单元外部形态呈河道充填模式,内部结构 与上覆或下伏的地震反射特征有明显不同,以呈现 斜交前积结构、上超平行充填等多种反射结构(图5、 6)为主;在研究区大部分海域,该时期埋藏古河道 沉积缺失,仅在霓屿-洞头岛南部附近海域分布,厚 度变化在0~30m。

3.1.3 地震单元 SU3

地震单元 SU3 位于 T_{1/2} 与 T₃ 界面之间。其中, T₃ 界面为一中等一强振幅反射界面,连续性一般一



图 4 研究区内各地震单元厚度和基岩埋深 Fig.4 The thickness of each seismic unit and the burial depth of the basement rock surface in the study area

好,界面起伏小,局部呈波状反射。在大北列岛--铜 盘岛--线附近及南部海域,T₃界面较容易识别,界 面上下反射特征明显不同(图 3),在研究区北部海 域,T₃界面连续性相对较差,振幅局部较弱甚至无 法识别。研究区内T₃埋深在45~80m,呈东北部 埋深大、东南区域埋深浅的特征,在霓屿岛以南附 近海域埋深最大,可达 80 m。

SU3单元内部以波状、平行/亚平行反射结构为 主,反射波振幅较下伏地层略弱,连续性一般一好,主 要呈现席状地震相,反映滨浅海沉积环境。单元厚度



Fig.5 The seismic unit (SU2) of paleo-channel deposits revealed by line WQL2-1



Fig.6 The seismic unit SU5 of fluvial-marine deposits revealed by line WQ6



3.1.4 地震单元 SU4

SU4 单元顶界面为 T₃ 界面,底界面为 T₄ 界面。 其中, T₄ 界面在大部分区段具有中高等振幅、连续



Fig.7 The seismic reflection interface T_5 and unit SU5 (fluvial-marine deposits) revealed by line WQ6

性较好的反射特征,界面局部呈 V/U 型下切下伏地 层,具有明显的侵蚀特征(图 5);研究区内 T₄ 界面 分布广泛,埋深基本在 70~120 m。

SU4 单元内部以杂乱、亚平行等反射结构为主, 单元厚度基本在 10~45 m, 平均厚度约 30 m, 在研 究区中-东部下切相对较深(图 4)。

3.1.5 地震单元 SU5

SU5 单元位于 $T_4 与 T_5$ 界面之间。其中, T_5 界 面是一分布广泛的高振幅侵蚀界面, 连续性好, 在 研究区东北部海域界面呈 V 或 U 的河谷状下切到 下伏地层之中(图 7), 界面埋深和起伏相应变大, 在 研究区西南部界面相对较平直; T_5 界面埋深多在 110~150 m, 在界面深切区最深接近 170 m。

SU5 地震单元内部以平行/亚平行反射、斜交 反射或杂乱反射结构为主,研究区西南部内部多以 平行/亚平行反射、杂乱反射为主(图 8),在研究区



图 8 测线 WQ2 地震剖面与钻孔 1 地层对比 Fig.8 Stratigraphic correlation between seismic profile of line WQ2 and Borehole 1

东北部, T_5 界面局部切割下伏地层, 呈现大大小小 河道充填沉积, 内部多以斜交反射或杂乱反射结构 为主。SU5 厚度多在 20~50 m之间, 随底界面起 伏而变化, 在 T_5 界面深切区域, 厚度可达近 60 m。 3.1.6 地震单元 SU6

地震单元 SU6 位于 $T_5 = T_R$ 界面之间, T_R 为 基岩界面, 表现为一个强振幅、中高连续性、高低起 伏较大的反射界面(图 7), 该界面埋深在 0~290 m 之间(图 4)。根据单元内部结构特征, SU6 被界面 T_6 划分为 2 个次一级的亚地震单元 SU6-1 和 SU6-2, T_6 界面为一侵蚀界面, 局部呈 V/U 型河谷下切, 连续性中等一好, 振幅一般较强, 在基岩隆起区, 连 续性受基岩影响, 埋深在 125~210 m。

SU6-1 地震单元位于 T₅ 与 T₆界面之间,该单 元内部呈透明一半透明特征,以亚平行反射、高角 度斜交前积反射、杂乱反射为主;与下部 SU6-2 单 元相比,反射同向轴振幅、连续性都相对弱;SU6-2 单元内部多以平行一亚平行反射结构为主,中高等 振幅,连续性较好(图 6)。SU6 单元厚度受基岩起 伏影响较大,厚度基本在 30~110 m 之间,最大厚 度达 140 m,整体呈离岛变厚趋势(图 4)。

3.2 声学地层与钻孔的对比

通过对钻孔 1 岩芯的综合分析(图 8、9),参照 西侧温州陆域第四纪地层的划分^[18],并与附近钻孔 (图 10)、海域各声学反射层进行对比认为:

DU1 沉积单元(0~33.07 m): 与地震单元 SU1 单元对应, 声学剖面上表现为厚度相对稳定的平行 反射结构。岩性主要为灰色黏土、黏土质粉砂和砂-粉砂-黏土, 夹粉砂团块, 厚层状, 流塑或软塑状态, 其底部¹⁴C 年龄为 10 885±30 cal a BP, 为氧同位素 MIS1 期河口-浅海相沉积。

DU2 沉积单元(33.07~35.48 m): 对应单道地 震剖面上的 SU2 单元, 多呈河道充填模式。岩性为 蓝灰-灰黄色粉砂质黏土, 可见大量黄褐色斑块, 可 塑-硬可塑状态, 为氧同位素 MIS2 期河湖相沉积。

DU3 沉积单元(35.48~58.62 m): 对应单道地 震剖面上的 SU3 单元, 声学剖面上以波状、平行/亚 平行反射结构为主。内部岩性为灰色粉砂质黏土, 厚层状, 夹粉砂团块或条带, 局部可见木屑, 软塑-可 塑状态, 底部¹⁴C 年龄>43 500 cal a BP, 为氧同位 素 MIS3 期浅海-滨浅海相沉积。

DU4 沉积单元(58.62~87.82 m): 对应单道地 震剖面上的 SU4 单元。上部(58.62~74.74 m)岩性 为灰色黏土质粉砂,厚层状,偶见有机质斑点或木 屑,可塑状态(其中顶部 0.92 m 为硬可塑);下部 (74.74~87.82 m)岩性为灰-浅灰黄色粉砂质砂,厚 层状,局部具近水平层理,中密-密实状态,为氧同位 素 MIS4 期河湖相-河流相沉积。

DU5 沉积单元(87.82~121.29 m): 对应单道地 震剖面上的 SU5 单元。上部(87.82~101.60 m)为 灰色粉砂质黏土、厚层状, 夹少量粉砂条带, 可塑-硬可塑状态, 古地磁极性对应布莱克亚时, 古地磁 年龄约 114 ka; 中部(101.60~113.64 m)为灰色砂 质粉砂, 具交错层理, 中密状态; 下部(113.64~ 121.29 m)为灰白-浅灰白色砂, 厚层状, 密实状态, 其底部古地磁年龄约 128 ka。本单元下部为氧同 位素 MIS5 期初期河流相沉积; 中、上部为 MIS5 期 滨海-浅海相沉积。

DU6 沉积单元(121.29~182.9 m): 对应单道地 震剖面上的 SU6 地震单元, 其中 121.29~173.52 m 段可与地震亚单元 SU6-1 对应, 173.52~182.9 m 段与 地震亚单元 SU6-2 对应。上部(121.29~132.20 m) 为灰色粉砂质砂, 底部偶见砾石, 密实状态, 为漫滩 沉积; 中部(132.20~152.51 m)为灰色-灰绿色的黏 土和粉砂质黏土沉积, 厚层状, 偶见炭质碎屑, 反映 为河湖相沉积; 下部(152.51~173.52 m)为杂色-灰 色砾、砂、粉砂质砂陆续过渡的河床-漫滩沉积, 具 典型的河流"二元结构", 该层推测为古地磁吉曼卡 亚时, 年龄约 212 ka。底部(173.52~182.9 m)为灰 白-灰绿色砂, 厚层状, 夹粉砂质黏土薄层, 硬-可塑 状态, 反映为河湖相沉积。本单元为氧同位素 MIS6 及更早期的陆相沉积。

3.3 第四纪沉积层序分析

第四纪以来的海面频繁波动,东海陆架区交替 发育了多期海进、海退层序。根据对比分析,研究 区内地震声学地层的划分与钻孔沉积地层划分能 够较好地对应(图 8),本研究中声学反射地层的划 分与前人在东海陆架区的划分基本一致^[2,5,6,12]。

在地震声学剖面上,全区第四纪底部的基岩界 面T_R 埋深在 290 m 以内,向北西侧逐渐抬升至 150 m 左右。以铜盘岛一大北列岛一北麂岛和霓屿岛一大 瞿岛一北麂岛为轴线,基岩面向岛屿轴线两侧倾斜, 呈现出 NW-SE 向谷地,构成了本区第四纪沉积的 基础框架。至氧同位素 MIS6 末,区域形成了 10~ 140 m 以河流或河湖相为主的陆相沉积。进入氧同 位素 MIS5 期后,海平面上升,依次形成滨海和浅海

杨娇娇,等:瓯江口南部海域第四纪声学地层

| 地 | o质 f代 | 深 度 /m | 地层 年龄 | 极性 | | 岩性特征 | 磁倾角 -90 0 90 | 有孔虫 丰度 0 350700 | 沉积相 |
|------|----------------------|--------------|--------------------------------|-----------|---------------------------------|---|-----------------|-----------------------|--------|
| 全新世 | 晚期 | 0 | € 4 437±30 a | | | 黏土,灰色,厚层状,夹粉砂团块,偶见贝壳碎屑, 流塑-软塑 | MW | ~ | 浅海 |
| | 中 期 —— | 20- | € 8 353±30 a | | | 位初位输工, 灰色, 厚层状, 夹材也包块, 流型- 软塑 粉砂质砂, 灰色, 厚层状, 含少量贝壳碎屑, 局部见 左机底团执, 砂砾 中窗 | man | $\langle \rangle$ | |
| | | - | ← 10 381±30 a | | | 有机质因块, 相密-甲密 黏土质粉砂, 灰色, 厚层状, 见兰灰色粘土团块, 偶 见贝壳及碎屑, 局部有炭化木屑, 软塑 | m | | 河口 |
| 晚更新世 | 晚期 | 40- | 10 885±30 a | | | 粉砂质黏土, 蓝灰-黄灰色, 厚层状, 具黄褐色铁锰质 氧化斑, 可塑-硬可塑 | mm | 5 | 河湖 |
| | | - | | | | 粉砂质黏土,灰色,厚层状,夹粉砂团块,偶见木屑, 可塑 | Mymmer | | 滨浅海 |
| | | 60- | >43 500 a | -43 500 a | | 黏土,灰色,厚层状,夹粉砂团块,偶见贝壳碎屑, 流塑-软塑 | | | 浅海 |
| | | - | | | | 黏土质粉砂,灰色,厚层状,偶见有机质斑点或木屑, 可塑(顶部 0.92 m 为硬可塑) | Matha Markan | Jan 1 | 河湖 |
| | | 80- | | | | 粉砂质砂,灰-浅黄灰色,厚层状,局部具近水平层 理,偶夹灰黄色黏土质粉砂团块,中密-密实 | Marany | | 河流 |
| | | - | - 布莱克 114 ka | _ | | 粉砂质粘土, 兰灰-灰绿色, 厚层状, 硬可塑 | MM | ۱ <u>۲</u> | 河湖 |
| | | 100- | | | 粉砂质黏土,灰色,厚层状,夹少量粉砂条带,可 塑-硬可塑 | Manan | | 浅海 | |
| | 早期 | - | | | | 砂质粉砂,灰色,交错层理,夹粘土薄层,中密 | H-W | | 滨海 |
| | 12 | 120- | ~128 ka | / | ZX ZX X ZX Z ZX ZX | 砂, 灰白-浅灰色, 厚层状, 局部夹粉砂团块, 密实 | M | | 河流 |
| 中更新世 | | - | | 1 | | 粉砂质砂,灰色,波状层理,夹砂质条带,底部偶见 砾,密实 | Muching | ļ | 漫滩 |
| | 1 晚期 1 | 140- | | | A - | 黏土,兰灰-灰绿色,厚层状,夹粉砂团块,硬塑 粉砂质黏土,灰色,厚层状,偶见炭屑,硬塑 | Jan | | |
| | | | | | Ø - | 黏土,灰绿色,厚层状,偶见碳屑及钙质结核,硬塑 | | $\left \right\rangle$ | 河湖 |
| | | | 吉曼卡 212 ka | | <u>// </u> | 初砂顶釉工,灰巴,波扒层理,阔见贝冗碎用,硬型 粉砂质砂,灰-深灰色,近水平层理,中密-密实 | S | | 温滩 |
| | | 160- | | | x zx z zx zx | 砂,灰白-灰色,近水平层理,中密-密实 | 5 | | UK PPL |
| | | | | | × 7× 7 0 0 0 | 砾,杂色,砾径 2-4 cm 为主,个别可达 7 cm,次棱角- 次圆状,砂质充填,密实 | | | 河床 |
| | 早期 | 180- | | | ZX ZX X ZX Z ZX ZX | 砂,灰白-灰绿色,厚层状、局部为近水平层理,夹 粉砂质黏土薄层,底部偶见砾,硬-可塑 | M | | 河湖 |

图 9 钻孔 1 柱状图 Fig.9 Stratigraphic column of Borehole 1

沉积, 而初期海水未波及的地区(如钻孔 1)仍为河 流相沉积, 该时期形成了 20~50 m 厚的沉积, 在局 部 MIS6 期下切较深的区域 MIS5 期沉积的厚度可 达 60 m。进入氧同位素 MIS4 期后, 海平面下降, 海水退出本区, 并形成 10~45 m 厚的陆相河流-河 湖相沉积。进入氧同位素 MIS3 期后, 海水再次波 及本区,同时形成 15~45 m 厚的滨浅海-浅海相沉 积。氧同位素 MIS2 期期间,海平面已退至东海陆 架边缘附近(约-120~-150 m),区内 SU2 单元不发 育,仅在霓屿岛-洞头岛以南海域形成宽约 4 km 的 NW-SE 向下切河谷,随后形成最厚可达 30 m 的 河谷充填沉积及河湖相沉积(图 5)。进入氧同位



(钻孔位置见图1)

图 10 研究区钻孔 1 与周边钻孔 2、钻孔 3、钻孔 4 地层对比



素 MIS1 期后,海平面快速上升,区内形成了 20~30 m 厚的河口-浅海相沉积。

4 结论

(1)研究区第四纪沉积地层厚度在 0~290 m 之间。通过对温州东部瓯江口南侧海域单道地震 反射特征层的追踪和解译,识别出了 8 个地层反射 界面(T₀-T₆、TR),并将研究区第四纪地层划分为 6 个一级地震单元(SU1-SU6)。其中, SU6 单元又 可划分为 SU6-1、SU6-2 二级地震单元。

(2)研究区地层的划分与前人在东海陆架区的 划分基本一致,地震声学地层划分与钻孔岩芯划分 的沉积地层具有显著的对应关系:SU1为 MIS1冰 后期海侵形成的河口-浅海相沉积;SU2 对应 MIS2 期河流相或河湖相沉积,SU3 对应 MIS3 期的滨浅 海-浅海相沉积;SU4 对应 MIS4 时期形成的陆相河 流-河湖沉积;SU5 对应 MIS5 期河流-浅海相沉积; SU6 对应 MIS6 期及更早时期的陆相河湖相沉积。

参考文献:

- [1] 仇建东.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,2014,35(2):1-10.
- [2] 崔征科,杨文达.东海陆架晚第四纪层序地层及其沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质,2014,34(4):1-10.
- [3] 李家彪. 东海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 305-358.
- [4] 李达. 东海陆架区浅部地震地层层序及新构造运动特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [5] 刘振夏, 印萍, BERNE S, 等. 第四纪东海的海进层序和海退层 序[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 74-79.

- [6] 郭政言. 东海陆架晚更新世以来地层格架与环境演化[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [7] 徐玉涛. 全新世以来长江三角洲高分辨率层序地层学研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2013.
- [8] 吴自银,金翔龙,李家彪.中更新世以来长江口至冲绳海槽高分 辨率地震地层学研究[J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(2): 9-20.
- [9] 刘振夏, BERNE S, L'ATALANTE科学考察组. 中更新世以来 东海陆架的古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 1-9.
- [10] 王张华,赵宝成,陈静,等.长江三角洲地区晚第四纪年代地 层框架及两次海侵问题的初步探讨[J].古地理学报,2008, 10(1):99-110.
- [11] 刘振夏, BERNE S, L'ATALANTE科学考察组. 东海陆架的古河道和古三角洲[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 20(1): 9-14.
- [12] 陈珊珊, 王中波, 陆凯, 等. 东海北部外陆架MIS 6以来的沉积 地层格架及古环境演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 12-137.
- [13] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志第六分册(浙江省南部 海湾)[M].北京:海洋出版,1993:215-223.
- [14] GARCIA-GIL S, VILAS F, GARCIA-GARCIA A. Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): a case study[J]. Continental Shelf Research, 2002, 22(2): 303-315.
- [15] LEE G H, KIM D C, KIM H J et al. Shallow gas in the central of the Korea Strait shelf mud off the southeastern coast of Korea[J]. Continental Shelf Research, 2005, 25(16): 2036-2052.
- [16] 胡新强,顾兆峰,张训华,等.长江口外海域浅层气地震反射 形态特征及其分布[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(1): 151-157.
- [17] 侯志民,张异彪,蔡春麟,等. 舟山东极岛东侧海底浅层气特征[J]. 海洋石油, 2015, 35(3): 27-30.
- [18] 浙江省第十一地质大队,浙江省温州市城市群环境地质调查 成果报告[R]. 宁波, 2019: 1-525.

Acoustic stratigraphy of the Quaternary in the south of the Oujiang River Estuary

YANG Jiaojiao¹, CHEN Xuanbo¹, LIU Rongbo², XU Zhe¹, SONG Wei^{2*}, WANG Shengmin¹, HU Kaixiang¹, LIN Zheyuan¹, LI Ang¹, ZHENG Hongjie¹

(1 Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Zhejiang Ocean Exploration and Research Institute, Ningbo 315000, China; 2 Shandong Provincial No.4 Institute of Geological and Mineral Survey, Weifang 261021, China)

Abstract: Based on the signal-channel seismic data of air-gun source and lithological data of the Borehole 1, the Quaternary stratigraphy in the south of Oujiang River estuary was recognized. By comparing six stratigraphic units ($SU1 \sim SU6$) interpreted from seismic profiles and sedimentary data from Borehole 1, we found that the seismic units agree well with the borehole ones. The sedimentary units of SU1 and SU3 are marine deposits corresponding to seismic units of MIS 1 and MIS 3, while SU2 and SU4 are fluvial or fluvial-lacustrine deposits corresponding to MIS 2 and MIS 4, respectively. The SU5 unit is fluvial-marine deposit that can be assigned to MIS 5, whereas SU6 is fluvial-lacustrine deposit corresponding to MIS 6 and the older ones. The establishment of the Quaternary stratigraphic framework and the analysis of sedimentary sequence in this study provides an important reference for the Quaternary geology and paleo-environment evolution of the East China Sea.

Key words: south of Oujiang River Estuary; signal-channel seismic of air gun source; Quaternary; acoustic stratigraphic; stratigraphic framework