



苏北射阳河口NTCJ1钻孔沉积序列与年代再认识

夏非, 张永战, 王丽

Rethinking on sedimentary sequence and geochronological framework of Core NTCJ1 in the Sheyang estuary of Northern Jiangsu, East China

XIA Fei, ZHANG Yongzhan, and WANG Li

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022112801>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

南黄海中部隆起晚新近纪—第四纪沉积序列的地层划分与沉积演化

Stratigraphic classification and sedimentary evolution of the late Neogene to Quaternary sequence on the Central Uplift of the South Yellow Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 25

江苏中部海岸晚第四纪沉积物的粒度与磁化率特征及其古环境意义

Characteristics of grain size and magnetic susceptibility of the Late Quaternary sediments from core 07SR01 in the middle Jiangsu coast and their paleoenvironmental significances

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 210

海洋地质与第四纪地质的结合

Marine geology and Quaternary geology: A combination

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 1

珠江口内伶仃洋晚第四纪黏土矿物组成特征及对源区气候变化的指示

Late Quaternary clay minerals in the inner Lingdingyang of the Pearl River Estuary, southern China: Implications for paleoclimate changes at the provenance

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 202

山东即墨马山粗面英安岩年代学与地球化学特征及其地质意义

Geochronology and geochemistry of Mashan trachydacite, JiMo District, Shandong Province and their geological implications

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 138

南海北部陆坡神狐海域SH-CL38站位的粒度特征及沉积记录

Sediment grain size characteristics of the Core SH-CL38 in the Shenhu area on the northern continental slope of the South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 90



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

夏非, 张永战, 王丽. 苏北射阳河口 NTCJ1 钻孔沉积序列与年代再认识[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(6): 59-66.

XIA Fei, ZHANG Yongzhan, WANG Li. Rethinking on sedimentary sequence and geochronological framework of Core NTCJ1 in the Sheyang estuary of Northern Jiangsu, East China[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(6): 59-66.

苏北射阳河口 NTCJ1 钻孔沉积序列与年代再认识

夏非¹, 张永战², 王丽¹

1. 江苏第二师范学院地理科学学院, 南京 211200

2. 南京大学地理与海洋科学学院, 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210023

摘要: 射阳河口位于苏北粉砂淤泥质海岸上, 处在苏北废黄河三角洲侵蚀岸段与江苏中部淤积岸段之间的过渡区域, 是淤蚀交替地带, 系现代海岸地貌演变的节点处, 同时也是晚第四纪古黄河古长江交互作用的关键区域之一。为了深入研究不同大河交互作用下的海岸、陆架晚第四纪沉积层序模式, 最近就苏北射阳河口 NTCJ1 孔沉积序列和年代, 根据该孔的岩性、粒度、介形虫、有孔虫、黏土矿物、地球化学元素和 ESR 测年等结果, 并结合邻近其他钻孔和浅层地震剖面资料进行再研究和再认识, 主要得到以下两点新认识: ① NTCJ1 孔 22.00 m 岩芯记录了 MIS 5 以来的沉积环境演化过程, 可能缺失形成于 MIS 4—2 的第一陆相沉积层, MIS 1 海相沉积层直接上覆于 MIS 5 海相沉积层, 且尚未钻及形成于 MIS 6 的第二陆相沉积层; ② NTCJ1 孔中上部 0~17.95 m 颗粒较细, 以粉砂质为主和暗黄色为基调, 明显上粗下细, 基本为 AD 1128—1855 年间形成的废黄河三角洲沉积, 为一进积序列, 底部可能含有少量全新世滨浅海沉积, 但目前尚难以甄别; 下部 17.95~22.00 m 颗粒较粗, 以细砂质为主和深灰色为基调, 尚未钻穿, 是受到古黄河明显影响的水道充填沉积。

关键词: 沉积序列; 地质年代; 晚第四纪; 南黄海; 江苏中部海岸; 射阳河口

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022112801

Rethinking on sedimentary sequence and geochronological framework of Core NTCJ1 in the Sheyang estuary of Northern Jiangsu, East China

XIA Fei¹, ZHANG Yongzhan², WANG Li¹

1. School of Geography, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 211200, China

2. The Key Laboratory of Coast and Island Development of Ministry of Education, School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract: The Sheyang estuary is located in the muddy coast of Northern Jiangsu, East China, in the transition zone between the eroded coast of the abandoned Yellow River delta in Northern Jiangsu and the silted coast in central Jiangsu, which is characterized by the alternation of erosion and siltation as a node of modern coastal geomorphic evolution, as well as one of the key areas of geo-interactions between the old Yellow River and old Changjiang River during the Late Quaternary. To investigate deeply the Late Quaternary sedimentary sequence models of the coasts and continental shelves under the interactions among different large rivers, the sedimentary sequence and geochronology of 22.00 m-long Core NTCJ1 drilled at the Sheyang estuary were recently re-studied in lithology, grain size, ostracods, foraminifera, clay minerals, elemental geochemistry, and ESR dating, and the results were compared with those of other adjacent cores and shallow seismic profiles. The new results show that: (1) Core NTCJ1 recorded the sedimentary environment evolution since Marine Isotope Stage 5 (MIS 5), the first continental facies layer formed from MIS 4 to MIS 2 may be missing, the MIS 1 marine facies layer overlain directly the MIS 5 marine facies layer, and the second continental facies layer formed in MIS 6 has not been drilled yet; (2) The middle-upper part of Core NTCJ1 sediments (0~17.95 m) are characterized by fine grain size, mainly silty, and dark yellow in color, and obvious reversal graded bedding, which could be interpreted as the abandoned Yellow River deltaic deposits formed between AD 1128 and 1855 with a progradational sequence, and may contain a small amount of the Holocene coastal-shallow marine deposits at the bottom, but it is difficult to identify them yet. The lower part sediments (17.95~22.00 m)

资助项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“辐射沙脊群西洋潮流通道的浅部沉积层序及其形成演化”(41901107); 江苏省高等学校自然科学研究面上项目“辐射沙脊群东北翼浅层沉积结构南北分异研究”(18KJB170003); 江苏第二师范学院引进高层次人才科研启动经费项目(919801)

作者简介: 夏非(1985—), 男, 博士, 讲师, 主要从事河海交互作用与沉积环境演化研究, E-mail: feixia@jssnu.edu.cn

通讯作者: 王丽(1979—), 女, 博士, 副教授, 主要从事喀斯特地貌与第四纪地质、交通地理等研究, E-mail: sshywangli@163.com

收稿日期: 2022-11-28; **改回日期:** 2022-12-08. 周立君编辑

are characterized by coarse grain size, mainly fine sandy, and dark grey in color; they had not been drilled through and could be explained as a channel-fill deposit in the MIS 5 tidal estuary and were obviously influenced by the old Yellow River.

Key words: sedimentary sequence; geochronology; Late Quaternary; South Yellow Sea; middle Jiangsu coast; Sheyang estuary

地球上的海岸和陆架极易受到全球变化和人类活动的影响而且十分敏感,它既是过去和当今全球变化的信息库,也是全球变化的重要贡献者^[1]。在第四纪时期的全球变化背景下,海岸和陆架环境在演化历程中经历过不同的系统响应和状态转换,并且沉积记录分析是研究上述系统响应和状态转换的重要方法和手段,可为不同时期形成的沉积体系的对比提供基础数据,以分析系统演化的过程和机理,促进厘清全球变化与海岸和陆架沉积体系之间的复杂关系^[1-2]。

晚第四纪以来,中国的海岸和陆架地貌与沉积环境演化主要受控于全球性海面升降旋回下的复杂海陆交互作用^[3]。其中,河流与海岸和陆架的交互作用广泛且强烈,尤其对于黄河、长江等大河则更为突出,重要大河与海岸和陆架交互作用的产物、过程和机理应是中国海陆交互作用研究的重要内容^[4]。重要大河与海岸和陆架交互作用形成的沉

积体系蕴藏着丰富的全球变化信息,是重建海面变化、恢复大河河口海岸地貌演化以及估算大河入海沉积物通量和归宿等的重要研究载体^[4]。晚第四纪以来,黄河与长江都曾经在江苏中部海岸注入南黄海,河海交互作用形成一系列沉积,全新世海侵后发育岸外辐射沙脊群^[4](图1)。因此,江苏中部海岸及岸外辐射沙脊群是研究晚第四纪不同大河交互作用下的海岸和陆架沉积层序模式的理想区域,亦是研究晚第四纪黄海海面变化、古长江和古黄河河口海岸地貌演化及入海沉积物通量和归宿等问题的重要载体。

1 地貌和沉积背景

本文研究钻孔所在的区域是苏北射阳河口(图1),在区域地质构造上,它属于扬子准地台北部的苏北-南黄海南部盆地盐阜拗陷中的射阳凸起,在该凸起

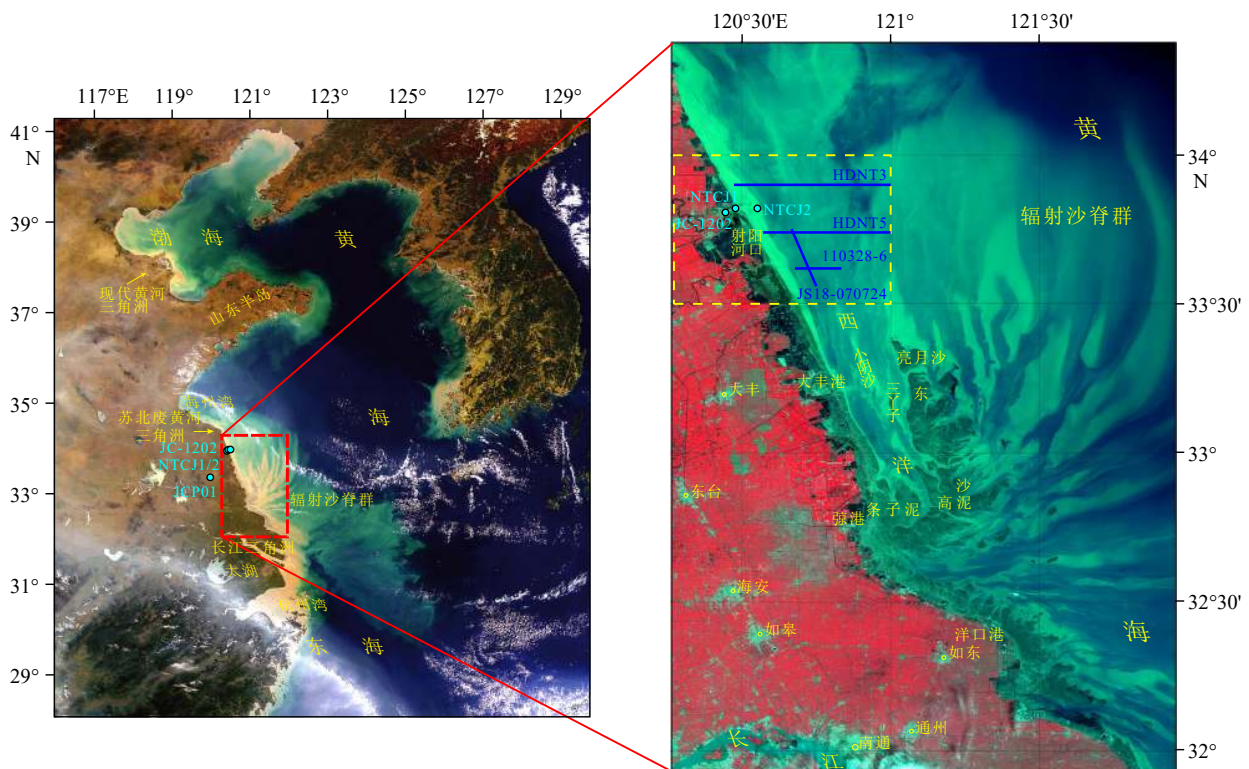


图1 苏北射阳河口及其邻区遥感影像与本文主要研究的钻孔和浅层地震剖面测线位置
图中蓝色线段表示浅层地震剖面测线,青色圆点表示钻孔位置。

Fig.1 Remote sensing imageries of the Sheyang estuary in Northern Jiangsu and its adjacent regions, and the location of sedimentary cores and track lines of shallow seismic profiles mainly studied in this paper

The blue lines show the track lines of shallow seismic profiles. The cyan dots show the location of sedimentary cores.

上有厚达 200~240 m 的第四纪松散沉积物^[5]。在地理位置上,射阳河口位于苏北粉砂淤泥质海岸,处在苏北废黄河三角洲侵蚀岸段与江苏中部淤积岸段之间的过渡区域,是淤蚀交替地带,系现代海岸地貌演变的节点处,同时也是晚第四纪古黄河古长江交互作用的关键区域之一,AD 1128—1855 年黄河南徙经射阳河口以北入海,深刻影响着这一区域的历史地貌演化。射阳河是目前江苏北部重要的通海河流,历史上它曾是一条很好的出海航道,1938 年前曾有 5 000 吨级海轮自上海直达射阳,并沿河上溯至阜宁一带,但 1956 年修建射阳河挡潮闸,之后闸下及外航道出现严重淤积,致使射阳河航行中断,港口瘫痪。为了促进苏北经济全面发展,1978 年国家批准重建射阳港,1994 年射阳港获批为国家二类对外开放口岸,成为我国距韩国、日本最近的港口之一。沿射阳港向上,首先与射阳河、黄沙河等相连,进而又与通榆运河、京杭大运河相接,形成南达长江、北抵京津、辐射江淮的“河海联运”系统^[6]。根据江苏省沿海发展规划要求,射阳港正在建设 3.5 万吨级航道码头,开展 10 万吨级大港前期论证工作。因此,探明射阳河口的晚第四纪沉积层序及其形成演化,可为今后射阳港扩建和持续高质量发展提供重要科学依据。

2 现有认识与再认识

2.1 NTCJ1 钻孔沉积序列与年代的现有认识及其不足

本文再研究和再认识的 NTCJ1 钻孔是中国地质调查局青岛海洋地质研究所依托“1:100 万南通幅海洋区域地质调查”项目于 2002 年 8 月采集分析和研究的,同时采集的还有 NTCJ2 钻孔。NTCJ1 孔(孔位:33°49'15.36"N、120°28'39.48"E)和 NTCJ2 孔(孔位:33°49'14.76"N、120°33'4.98"E)均位于射阳河口,两孔揭露的沉积层序类似,其中

NTCJ1 孔位于射阳河口附近海岸的潮上带高潮线附近,距岸线 260 m 的陆上,孔口标高约 2.0 m,终孔深度 22.00 m,岩芯平均取芯率为 91.50%;NTCJ2 孔位于射阳河口附近海岸的潮下带水深 6.0 m,距离岸线 6 520 m,距离 NTCJ1 孔 6 810 m,终孔深度 20.60 m,岩芯平均取芯率为 76.00%^[7]。原研究者通过对这两个钻孔岩芯进行的地质编录和粒度、地球化学、矿物、微体古生物、测年等项目的室内分析测试,为射阳河口地区的晚第四纪沉积特征和环境演变研究提供了大量基础地质资料,同时原研究者主要根据钻孔沉积物的岩性、粒度、介形虫和有孔虫的分析结果划分出主要的沉积相段,并通过钻孔沉积物的孢粉组合与前人相关的研究结果做对比,断定 NTCJ1 孔和 NTCJ2 孔所揭露的地层均为全新世沉积,进而认为由于射阳河口全新世沉积中有部分是当地和邻近的更老海底沉积物受波浪和潮流的侵蚀、搬运并再沉积而成,其中含有许多与当时环境不符的生物化石,因此这两个钻孔底部获得的 3 个砂质沉积样的 ESR 测年数据(表 1)就必然明显偏老,不能作为定年的依据^[7]。但是,在缺少更多测年数据且仅根据孢粉组合的对比结果就断定沉积年代,显然是不够充分且缺乏说服力的,同时这两个钻孔目前划分出的沉积相段也比较粗略,仅涉及到滨海、浅海、河口和陆相等信息,尚需进一步深入研究以满足其他相关研究的需要。考虑到两孔层序类似,且 NTCJ1 孔取芯率较高,故下面仅就 NTCJ1 孔沉积序列和年代,根据该孔的岩性、粒度、介形虫、有孔虫、黏土矿物、地球化学元素和 ESR 测年等结果,并结合邻近其他钻孔和浅层地震剖面资料进行再研究和再认识。

2.2 NTCJ1 钻孔沉积序列与年代的再认识

根据岩性和粒度分析结果^[7](图 2a-b),可将 NTCJ1 孔分为 3 段,自上而下依次为:① 0~12.86 m 为暗黄色、灰黄色砂质粉砂,其中顶部 0~0.50 m 为暗黄色种植土,内含大量植物根系,本段岩性比较

表 1 NTCJ1 和 NTCJ2 钻孔沉积物石英砂 ESR 测年结果^[7]
Table 1 ESR dating results of quartz sands from the sediments of Cores NTCJ1 and NTCJ2^[7]

样品编号	取样深度/m	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	K ₂ O/%	AD/Gy	年代/ka	备注
1E-2	18.38~18.41	1.44	9.09	1.92	316.9	134.3	可参考
1E-3	21.98~22.00	1.41	7.75	1.94	343.9	150.8	可参考
2E-4	20.57~20.60	1.74	10.9	2.14	240.3	87.4	可参考

注:“1E”和“2E”分别表示 NTCJ1 和 NTCJ2 钻孔样品;测试方法:Ge 心法,测试条件:室温、X 波段、中心磁场为 348 mT、扫宽为 5 mT、调制幅度为 0.1 mT、微波功率为 2 mW、转换时间为 5.12 ms、时间常数为 40.96 ms;测年误差约为 10%~15%;备注内容由本文添加。

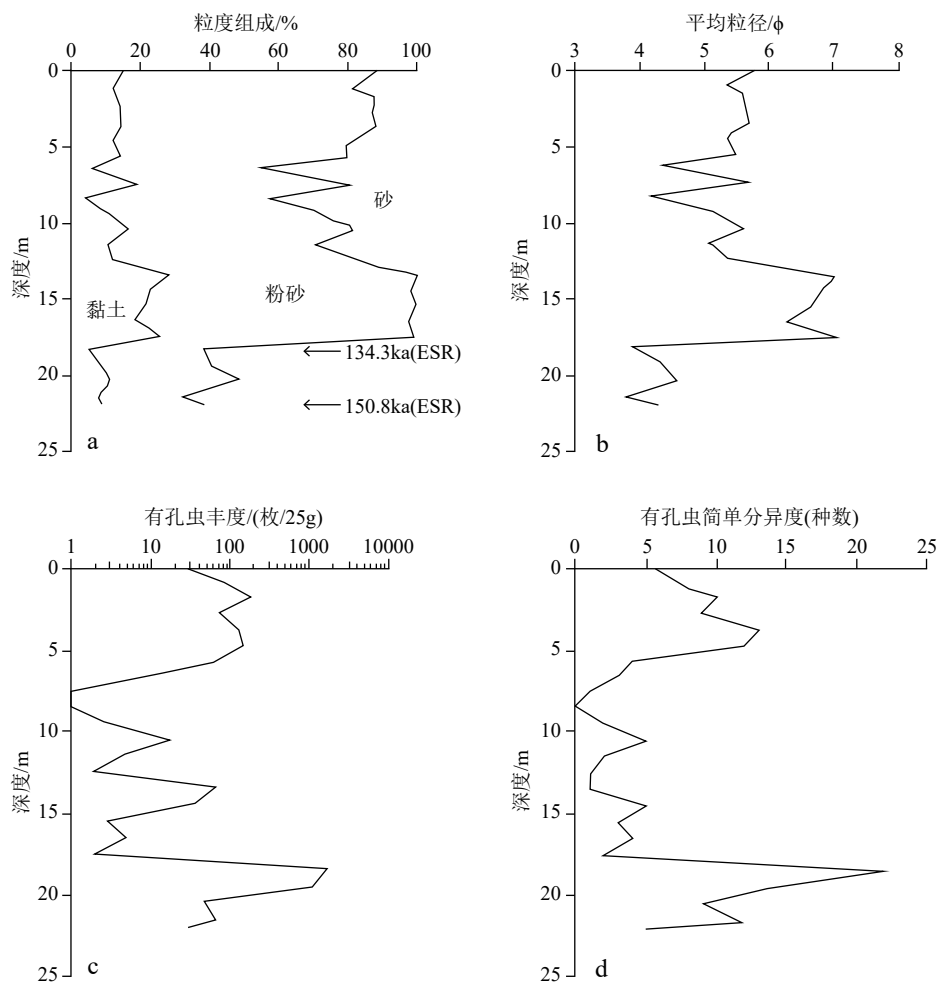


图2 NTCJ1 钻孔沉积物粒度和有孔虫若干参数的垂向分布^[7]

a. NTCJ1 孔粒度组成的垂向分布, b. NTCJ1 孔平均粒径的垂向分布, c. NTCJ1 孔有孔虫丰度的垂向分布, d. NTCJ1 孔有孔虫简单分异度的垂向分布, 图 2a 标示了在 NTCJ1 孔底部获得的 2 个 ESR 测年结果。

Fig.2 Vertical distributions of several parameters of grain size and foraminifera from Core NTCJ1 sediments^[7]

a. Vertical distribution of grain size composition of Core NTCJ1; b. vertical distribution of average grain diameter of Core NTCJ1; c. vertical distribution of foraminifera abundance of Core NTCJ1; d. vertical distribution of foraminifera simple diversity of Core NTCJ1. Two ESR dating results from the bottom of Core NTCJ1 was plotted in Fig. 2a.

稳定, 平均粒径为 4.2~5.8 ϕ ; ② 12.86~17.95 m 为暗黄色黏土质粉砂, 岩性均匀, 平均粒径为 6.3~7.0 ϕ ; ③ 17.95~22.00 m 为深灰色粉砂质砂, 其中 21.26~21.76 m 富含大量贝壳碎片, 平均粒径为 3.8~4.6 ϕ 。从整个钻孔来看, 中上部 0~17.95 m 颗粒较细, 以粉砂质为主, 且明显上粗下细; 下部 17.95~22.00 m 颗粒较粗, 以细砂质为主; 中上部与下部的沉积物颜色也有明显区别, 分别以暗黄色和深灰色为基调, 结合黏土矿物和地球化学元素分析结果(详见下文), 可以推测这一差异可能是由沉积环境发生明显转变导致的, 由沉积速率较小且水深较大的潮汐河口转变为沉积速率很大且水深较小的 AD 1128—1855 年苏北废黄河三角洲。

根据微体古生物(介形虫和有孔虫, 图 2c-d 以

有孔虫结果为代表)分析结果^[7], 可将 NTCJ1 孔分为 4 段, 自上而下依次为: ① 0~6.45 m: 介形虫丰度为 10~134 瓣, 平均值为 65 瓣, 简单分异度为 2~5, 平均值为 4, 优势种为 *Sinocytheridea impressa*; 有孔虫丰度为 16~181 枚, 平均值为 99 枚, 简单分异度为 3~13, 平均值为 8, 优势种为 *Ammonia beccarii* vars.。此段有孔虫、介形虫组合中属种单调, 优势度较高, 可指示水深小于 5.0 m 的滨海环境; ② 6.45~17.95 m: 介形虫丰度很低, 为 0~14 瓣, 一些样品未见介形虫, 简单分异度为 0~3; 有孔虫丰度和简单分异度都较低, 个别样品未见有孔虫, 丰度平均值为 13 枚, 简单分异度平均值为 2, 无优势种; 此段发现的有孔虫和介形虫均为近岸浅水常见属种, 但丰度和简单分异度都很低, 可指示一种

高沉积速率环境^[8],并考虑到区域海岸演变历史,岩性(上粗下细、暗黄色基调),介形虫与有孔虫丰度比值约为0.5(河口三角洲特征)^[9]等,可判断此段应属黄河水下三角洲沉积;③ 17.95~19.60 m:介形虫丰度为18~96瓣,平均值为57瓣,简单分异度为6~13,平均值为10,优势种为 *Bicornucythere bisanensis*、*Neomonoceratina chenaie*;有孔虫极为丰富,丰度平均值为1414枚,简单分异度平均值为18,优势种为 *A. beccarii* vars., *Spiroloculina lucida* 和 *A. annectens* 含量占比很大且仅少于优势种;本段发现的有孔虫 *S. lucida*、*A. annectens* 常为水深小于20 m 浅海中的优势种且含量高,介形虫的优势种亦为水深小于20 m 浅海的优势种,故本段应属水深小于20 m 的浅海沉积;④ 19.60~22.00 m:只有20.32~20.35 m 一段样品中的介形虫十分丰富,丰度为226瓣,简单分异度为26,优势种为 *B. bisanensis*、*N. chenaie*,其余层段介形虫都极少,丰度为0~2瓣,简单分异度为0~1,只见 *Neosinochere elongata*;有孔虫丰度平均值为49枚,简单分异度平均值为12,优势种为 *A. beccarii* vars.;本段有孔虫和介形虫的种数和个数较上段都变少,组合中缺少 *A. annectens* 和 *S. lucida*,说明海相性稍弱,但仍是滨浅海沉积。

黏土矿物分析结果^[7]显示,NTCJ1孔中伊利石占主导地位,含量为44.4%~72.0%(平均值为59.1%);其次为蒙脱石,含量为10.2%~40.0%(平均值为21.2%);高岭石和绿泥石含量相对较低,分别为7.9%~14.0%(平均值为10.9%)和5.7%~14.4%(平均值为8.8%)。这一黏土矿物组成特征,与“相比于长江沉积物,黄河沉积物以伊利石含量低(约60%)、蒙皂石含量高(约15%)、伊利石/蒙皂石比值小于6为特征”^[10-11]基本一致,显示出黄河沉积物源的绝对主导地位。此外,蒙脱石对气候变化反应明显,蒙脱石含量高可能指示着温暖湿润的环境,因此,从0~17.95 m 蒙脱石含量的垂向分布(图3a)来看,若忽略孔深约5.5 m 和10.5 m 两个含量异常的样点,则在孔深约0~5.5 m 和11.2~17.3 m 内可能存在暖湿气候的沉积记录,而约5.5~11.2 m 内可能为干冷气候的沉积记录。

表生地球化学中, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值是反映沉积环境水热结构的重要指标,能表征某些矿物的含量关系,且与气候条件、风化程度有关; $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值小,反映气候相对暖湿,化学风化程度较强;反之,则气候相对干凉,化学风化程度较弱^[12-13]。NTCJ1孔沉积物的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值在17.95~0 m 之间总体

表现出高→低→高→低的四个变化阶段(图3b),可与南宋以来的中国历史气候的温湿变化(图3c-d)进行较好比对^[14],故可作为 NTCJ1 孔中上部沉积年代标尺的辅助判定指标。此外,该孔沉积物 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值与蒙脱石含量的古气候指示也基本一致(图3a-b),可以交叉验证古气候指标的可靠性。

因此,综合以上 NTCJ1 孔岩性、粒度、介形虫、有孔虫、黏土矿物和地球化学元素的分析结果,并对比位于 NTCJ1 孔西南侧的射阳河口 JC-1202 孔、苏北废黄河三角洲 QC4 孔和 BH 系列孔同一沉积层位(JC-1202 孔埋深0~16.26 m 的 DU1 沉积单元、QC4 孔埋深0~12.43 m 的沉积单元、BH 系列孔标高约-14 m 以上的沉积单元)的研究认识^[15-16],可判断0~17.95 m 基本为 AD1128—1855 年间形成的废黄河三角洲沉积,自下而上水深变浅,水下三角洲逐渐淤积成陆,为一进积序列,底部可能含有少量全新世滨浅海沉积(例如,JC-1202 孔埋深16.26~17.00 m 识别出受潮汐影响的全新世滨岸浅水沉积(DU2)^[15]),但限于目前所获资料,尚难以甄别。

射阳河口南北两侧的浅层地震剖面中对应于 NTCJ1 孔 17.95~22.00 m 的 U2 单元层(图4,测线位置见图1),表现出复杂的切割-充填反射结构,广泛分布于江苏中部海岸;结合上述 NTCJ1 孔的各项分析结果,并考虑到射阳河口南侧西洋潮流通道的 07SR01 孔揭示出此层含有丰富的潮汐层理^[17],以及此层地震相的沉积指示^[18],故可以将 NTCJ1 孔 17.95~22.00 m 解释为受到古黄河明显影响的潮汐河口的水道充填沉积,应形成于晚更新世高海面时期,可能为 MIS 5 沉积。年代推断依据如下:① NTCJ1 和 NTCJ2 两个钻孔在该层获得了3个 ESR 测年数据(表1),约为87~150 ka;② JC-1202 孔在该层位(埋深17.00~31.60 m 的三角洲前缘相 DU3 沉积单元)获得了7个测年数据(4个 OSL 数据和3个 AMS ^{14}C 数据),其中 OSL 测年结果介于约60~95 ka,而 AMS ^{14}C 测年结果均大于43.5 kaBP,超过测年上限值^[15];③ 在江苏中部滨海平原,地表以下60 m 内经常出现两个陆相特征显著的沉积层位,可与苏北平原和长江三角洲平原的第一和第二硬黏土层相对比,其中第一陆相沉积层顶板标高约-16~-18 m,形成于 MIS 2 或 MIS 4—2,第二陆相沉积层顶板标高约-36~-38 m,可能形成于 MIS 4 或更早(MIS 6),局部会上下浮动,并且第一陆相沉积层经常只揭露出下部明显的铁锰质浸染沉积或缺失,直接上覆潮汐沉积层,有时会夹杂贝壳碎屑层^[4];④ NTCJ2 孔在埋深13.34、13.76和14.21 m

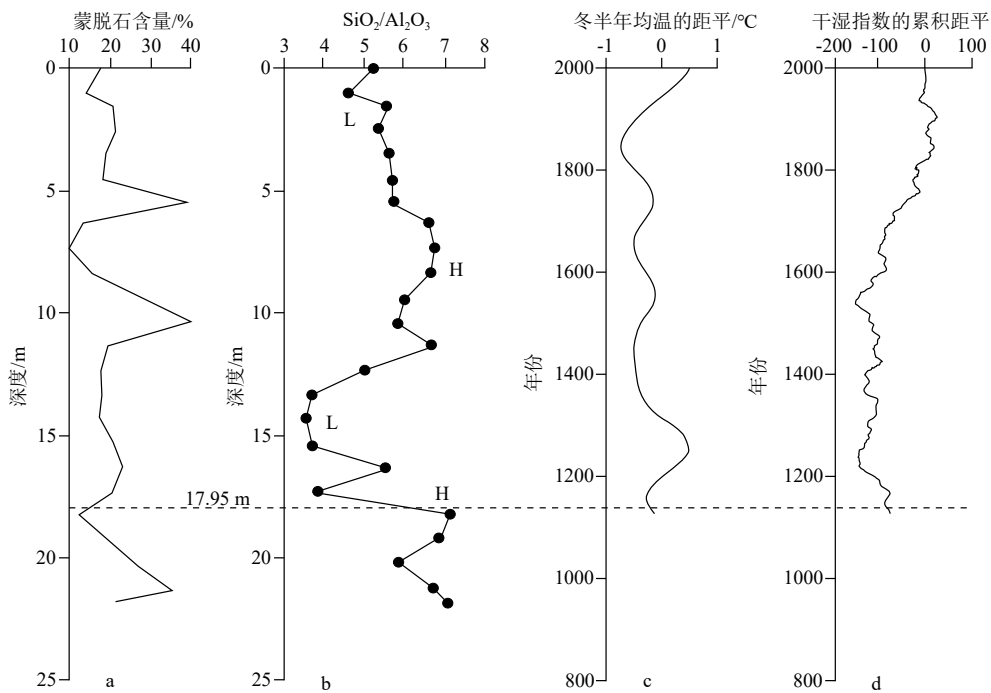


图3 NTCJ1 钻孔沉积物蒙脱石含量和 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的垂向分布及其与历史气候变化的对比

a. NTCJ1 孔蒙脱石含量的垂向分布^[7]; b. NTCJ1 孔 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的垂向分布^[7]; c. 南宋以来中国东中部地区冬半年平均气温的距平^[14]; d. 南宋以来中国东部江淮地区干湿指数的累积距平^[14]; H 表示高比值, L 表示低比值。

Fig.3 Vertical distribution of montmorillonite content and $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios from Core NTCJ1 sediments and comparison between these indices and historical climate changes

a. Vertical distribution of montmorillonite content of Core NTCJ1^[7]; b. vertical distribution of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios of Core NTCJ1^[7]; c. anomalies of the average air temperatures in winter half year for east central regions of China since the Southern Song Dynasty^[14]; d. cumulative anomalies of dry-wet index for Yangtze-Huaihe regions of East China since the Southern Song Dynasty^[14]. Capital H shows the high ratios and capital L shows the low ratios.

三处深灰色砂质粉砂层中分别夹有 5 cm 厚的含铁锰结核层, 指示了明显的陆相暴露环境, 13.63~15.25 m 未检出介形虫和有孔虫^[7], 可与区域内的第一陆相沉积层相对比。因此, 基于上述四点事实可以推断, NTCJ1 孔可能缺失形成于 MIS 4—2 的第一陆相沉积层, MIS 1 海相沉积层直接上覆于 MIS 5 海相沉积层。最近研究报道的苏北平原中部 JCP01 孔 (孔位见图 1) 亦获得了该层位 (埋深 12~24 m 的潮滩相 U2 沉积单元) 8 个高精度的 OSL 测年数据, 介于约 150~86 ka 之间, 解释为 MIS 5 沉积^[19], 也可进一步支撑本文对该层位的年代推断。

3 结论

本文就苏北射阳河口 NTCJ1 孔沉积序列和年代, 根据该孔的岩性、粒度、介形虫、有孔虫、黏土矿物、地球化学元素和 ESR 测年等结果, 并结合邻近其他钻孔和浅层地震剖面资料进行再研究和再

认识, 主要得到以下两点新认识:

(1) NTCJ1 孔 22.00 m 岩芯记录了 MIS 5 以来的沉积环境演化过程, 可能缺失形成于 MIS 4—2 的第一陆相沉积层, MIS 1 海相沉积层直接上覆于 MIS 5 海相沉积层, 且尚未钻及形成于 MIS 6 的第二陆相沉积层。

(2) NTCJ1 孔中上部 0~17.95 m 颗粒较细, 以粉砂质为主和暗黄色为基调, 明显上粗下细, 基本为 AD 1128—1855 年间形成的废黄河三角洲沉积, 为一进积序列, 底部可能含有少量全新世滨浅海沉积, 但目前尚难以甄别; 下部 17.95~22.00 m 颗粒较粗, 以细砂质为主和深灰色为基调, 尚未钻穿, 是受到古黄河明显影响的 MIS 5 潮汐河口的水道充填沉积。

致谢: 本文研究工作得到南京大学王颖院士、高抒教授的支持和指导, 与汕头大学王中波教授就钻孔第四纪年代学等问题进行过多次富有启发性的讨论, 江苏第二师范学院邵依凡同学协助修改图

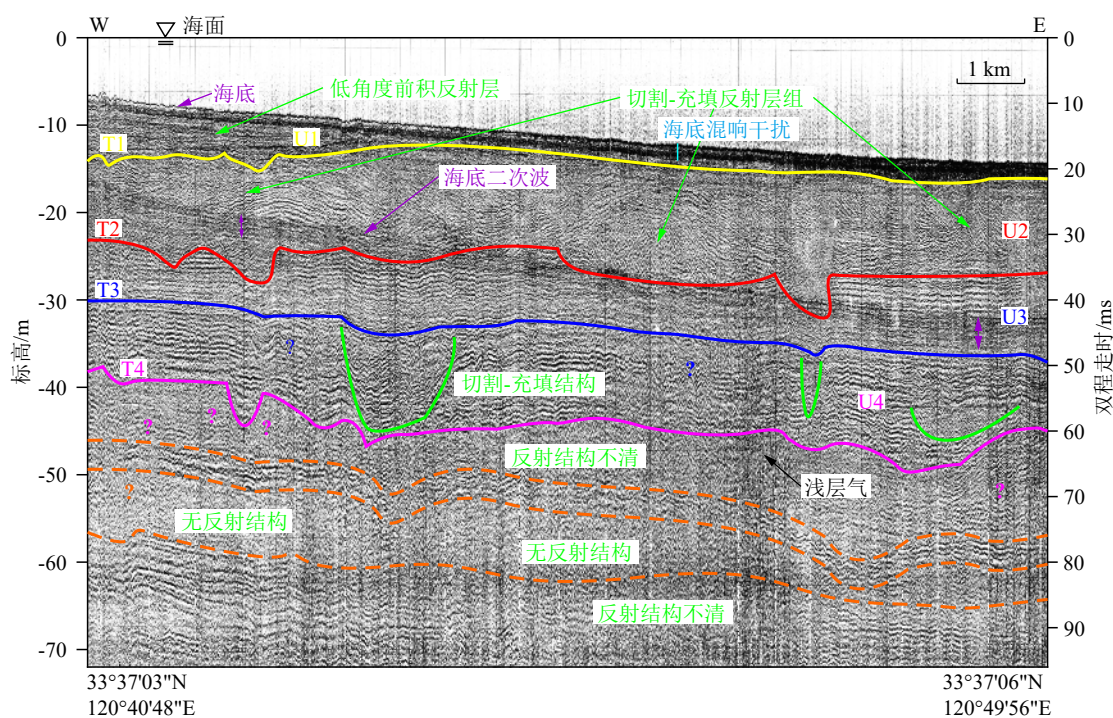


图 4 苏北射阳河口南侧 110328-6 测线的浅层地震剖面及其解释

图中 U 表示地震反射单元, T 表示地震反射界面。

Fig.4 Shallow seismic profile of track line 110328-6 in the southern side of Sheyang estuary, Northern Jiangsu and its interpretations

Capital U shows the seismic units and capital T shows the seismic bounding surfaces.

件, 审稿专家提出了富有建设性的修改意见, 在此一并表示感谢!

参考文献 (References)

- [1] 高抒. 海岸与陆架沉积: 动力过程、全球变化影响和地层记录[J]. 第四纪研究, 2010, 30(5): 856-863. [GAO Shu. Coastal and shelf sedimentation in association with dynamic processes, global change impacts, and stratigraphic records: an overview of the scientific problems [J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(5): 856-863.]
- [2] Gao S, Collins M B. Holocene sedimentary systems on continental shelves [J]. *Marine Geology*, 2014, 352: 268-294.
- [3] 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.
- [4] 夏非, 张永战, 刘德政. 南黄海辐射沙脊群西洋潮流通道的浅部沉积层序及其形成演化再认识[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(4): 13-26. [XIA Fei, ZHANG Yongzhan, LIU Dezheng. Rethinking on shallow sedimentary sequence and its evolution of the Xiyang tidal channel in the Radial Sand Ridge Field, South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2021, 41(4): 13-26.]
- [5] 任美镠. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 1-134. [REN Mei'e. Report for Comprehensive Investigation on Recourses of Coastal Zones and Tidal Flats in Jiangsu Province[M]. Beijing: China Ocean Press, 1986: 1-134.]
- [6] 叶汇. 江苏沿海地区综合开发战略研究(港口交通卷): 江苏沿海地区港口布局与交通网建设研究[M]. 南京: 江苏人民出版社, 2008: 137-145. [YE Hui. Research on the Comprehensive Development Strategy of Jiangsu Coastal Areas (Vol. Port Traffic): Research on the Port Layout and Traffic Network Construction in Jiangsu Coastal Areas[M]. Nanjing: Jiangsu People's Publishing House, 2008: 137-145.]
- [7] 张训华, 张志珣, 蓝先洪, 等. 南黄海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 153-221. [ZHANG Xunhua, ZHANG Zhixun, LAN Xianhong, et al. Regional Geology of the South Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013: 153-221.]
- [8] 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. [XUE Chunting, ZHOU Yongqing, ZHU Xionghua. The Huanghe River course and delta from end of Late Pleistocene to the 7th century BC [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 48-61.]
- [9] 汪品先, 卞云华. 介形虫/有孔虫比值作为沉积环境的标志[J]. 微体古生物学报, 1986, 3(1): 37-50. [WANG Pingxian, BIAN Yunhua. Ostracod/Foraminifer ratios as indicators of sedimentary environments [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1986, 3(1): 37-50.]
- [10] 范德江, 杨作升, 毛登, 等. 长江与黄河沉积物中粘土矿物及地化成分的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12. [FAN Dejiang, YANG Zuosheng, MAO Deng, et al. Clay minerals and geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(4): 7-12.]

- [11] 胡邦琦, 李军, 李国刚, 等. 长江和黄河入海沉积物的物源识别研究进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(6): 147-156. [HU Bangqi, LI Jun, LI Guogang, et al. Distinguishing the Changjiang and Huanghe sediments: a review [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(6): 147-156.]
- [12] 钟巍, 王立国, 熊黑钢, 等. 塔里木盆地南缘和田绿洲中全新世以来气候环境变化与人类活动[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 171-176. [ZHONG Wei, WANG Liguang, XIONG Heigang, et al. Climate-Environment changes and possible human activity effect since Mid-Holocene in Hetian Oasis, southern margin of Tarim Basin [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(2): 171-176.]
- [13] 胡梦琪, 杨爱丽, 张文丽. 常量元素氧化物含量及其比值揭示的中晚全新世以来玛曲高原的环境演变[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 313-321. [HU Mengjun, YANG Aili, ZHANG Wenli. Environmental evolution since the Middle-Late Holocene in the Maqu Plateau reflected by constant element oxides content and ratios [J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(2): 313-321.]
- [14] 葛全胜. 中国历朝气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 61-103. [GE Quansheng. Climate Change in the Past Dynasties of China[M]. Beijing: Science Press, 2011: 61-103.]
- [15] 张欣. 中国东部海岸带-陆架区近20万年来沉积物年代学与沉积环境演化[D]. 中国地质大学(武汉)博士学位论文, 2021: 1-122. [ZHANG Xin. Chronology and sedimentary environment change in the coastal-shelf areas of eastern China since 200 ka[D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences (Wuhan), 2021: 1-122.]
- [16] 夏非. 辐射沙脊群西洋潮流通道的浅部层序地层与沉积环境演化[D]. 南京大学博士学位论文, 2016: 1-187. [XIA Fei. Shallow sequence stratigraphy and sedimentary evolution of the Xiyang tidal channel in the Radial Sand Ridge Field[D]. Doctor Dissertation of Nanjing University, 2016: 1-187.]
- [17] 刘德政, 夏非. 江苏中部海岸晚第四纪沉积物的粒度与磁化率特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(5): 210-220. [XIA Fei, LIU Dezheng. Characteristics of grain size and magnetic susceptibility of the Late Quaternary sediments from core 07SR01 in the middle Jiangsu coast and their paleoenvironmental significances [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2021, 41(5): 210-220.]
- [18] Veeken P C H, Moerkerken B van. Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models[M]. Houten: EAGE Publications bv, 2013: 107-214.
- [19] Gao L, Long H, Tamura T, et al. A ~130 ka terrestrial-marine interaction sedimentary history of the northern Jiangsu coastal plain in China [J]. Marine Geology, 2021, 435: 106455.