

山东芝罘湾附近海域浅地层结构特征

顾效源^{1,2}, 王伟^{1,2}

(1. 山东省海洋地质勘查院, 山东 烟台 264001; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264001)

摘要:通过分析与研究烟台芝罘湾附近海域 420 km 浅地层剖面资料及 6 个钻孔岩心资料,划定了芝罘湾附近海底浅地层层序,并讨论了该研究区海洋地质灾害分布及影响。运用层序地层学和地震地层学的方法,结合钻孔信息对地层反射界面进行了划分,结果显示研究区海域浅地层可划分为 5 个海陆相交互地层单元,代表了本区浅地层自晚更新世以来经历的 3 次海侵和 2 次海退历史。地质灾害分析结果表明:埋藏古河道在全区广泛分布;浅埋基岩在芝罘岛东部海域较为发育,将其作为构造活动或特殊沉积环境的标志,分析了此两类特殊地质体引发海洋地质灾害的可能性及对海上工程建设的影响等。研究结果可为了解区域地质条件、开展海域地质环境保护提供先决条件,对于指导海上工程建设和预防海底地质灾害具有重要的意义。

关键词:芝罘湾;烟台;浅地层;结构特征

中图分类号:P229.1;S953.1

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)02-0131-09

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.02.005

引用格式:GU X Y, WANG W. Characteristics of the shallow stratigraphic structure in the sea area near the Zhifu Bay, Shandong[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(2): 131-139. 顾效源, 王伟. 山东芝罘湾附近海域浅地层结构特征[J]. 海岸工程, 2021, 40(2): 131-139.

晚更新世以来,随着气候的冷暖交替和海平面周期性升降,我国近海陆架经历了多次海侵海退,形成了复杂多样的海陆交互相沉积地层。这些沉积地层包含了丰富的地层沉积环境及沉积演化信息,对了解地层发育、环境演变及指导近海工程皆具有重要的意义。近年来,涉及海域浅地层结构及沉积环境的研究很多^[1-10],山东省等黄海近海海域、上海市等东海近海海域以及辽宁省等渤海近海海域也陆续开展了针对本市区管辖范围的近海海域浅地层结构研究^[1-2],为了解当地海域地层结构特征和指导海域生态环境保护作出了很大贡献^[3-10]。然而,涉及北黄海海域尤其是烟台市近岸芝罘湾附近海域沉积地层的报道则少之又少。本文通过对芝罘湾附近海域浅地层剖面资料及钻孔资料的综合解译与分析,从层序地层学角度对浅地层结构特征进行研究,取得了显著成果,对全面认识芝罘湾附近海域沉积作用发育及指导近海工程建设、海上安全生产具有重要的意义。

1 资料与方法

本研究利用山东省海洋地质勘查院于烟台芝罘湾近岸海域获取的共 420 km(图 1)浅地层剖面资料进行综合分析。

使用设备为英国 AAE 公司生产的 CODA 采集工作站及 CSP-D2400 电火花震源系统。经海试后确定的浅地层剖面工作参数为:激发间隔 500 ms;能量 300 J;带通滤波 200~2 000 Hz;记录量程 200 ms。剖面记录格式为 Seg-Y。由于浅地层剖面受到采集及记录方法的限制,剖面出现多次波、鸣震、侧面波等干扰因

收稿日期:2021-01-26

资助项目:山东省财政地质勘查项目——山东半岛蓝色经济区重点规划区 1:50 000 海岸带综合地质调查(丁字湾)(鲁勘字(2016)69 号);山东省地质矿产勘查开发局 2020 年度局控地质勘查与科技创新项目——山东省海岸带地质环境演变规律与机制(202003);山东省地质矿产勘查开发局 2021 年度局控地质勘查与科技创新项目——山东半岛重点海湾地质环境与开发保护评价(HT202101)

作者简介:顾效源(1989—),男,工程师,硕士,主要从事近海海洋地质调查及研究方面研究。E-mail: ggspeed@126.com

(王佳实 编辑)

素。通过对这些干扰及噪声进行系统地分析,利用滤波及反褶积处理技术^[2,11],揭示了海底 50 m 以浅海域地层信息。

根据浅地层解译信息,选取了研究区内 6 个海域全取心钻孔。此 6 孔于 2015—2016 年由山东省海洋地质勘查院施工完成,钻孔取心率高,实际孔深均在 40 m 以上,各钻孔位置如图 1 所示。

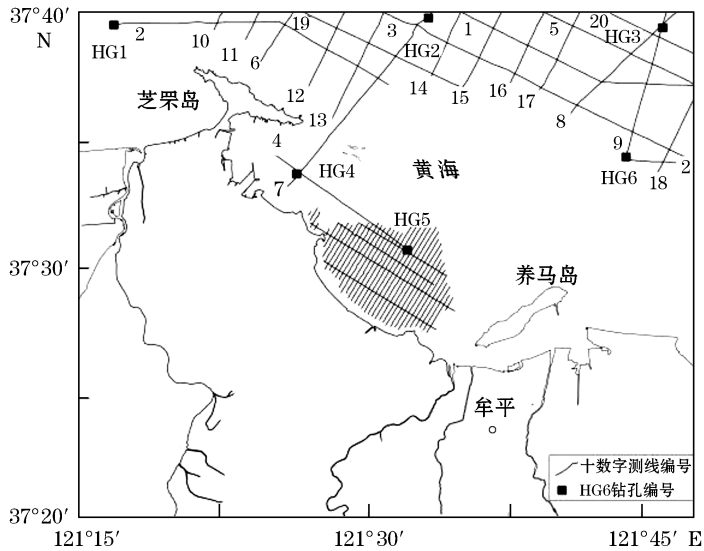


图 1 浅地层剖面测线与钻孔示意图

Fig.1 A sketch map of the surveying lines of shallow stratum profiles and the drilling location

2 结果与讨论

2.1 地层单元划分及沉积环境分析

选取浅地层地震剖面上具有一定意义的特征反射波进行追踪、对比和闭合,得到代表不同时代与沉积环境变化意义的界面。根据对浅地层剖面反射结构特征的分析 and 研究^[10],运用层序地层学和地震地层学的方法,结合钻孔将地层反射界面自上而下进行划分,共分为 D0,D1,D2,D3,D4,D5 和 D6 共 7 个反射界面和 SU₁,SU₂,SU₃,SU₄ 和 SU₅ 五个地层单元(图 2、图 3 和表 1)。

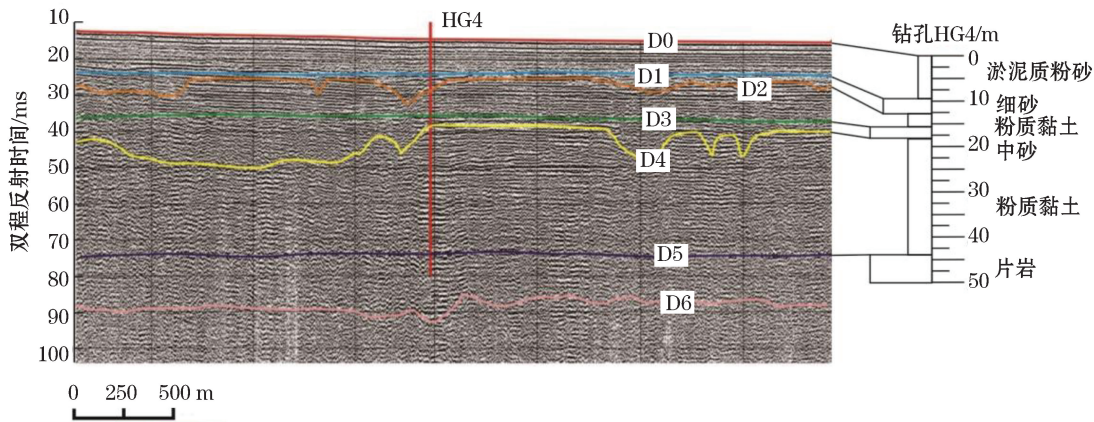


图 2 钻孔 HG4 与测线 4 线浅地层剖面对比

Fig.2 Contrast between borehole HG4 and shallow stratum profile Line 4

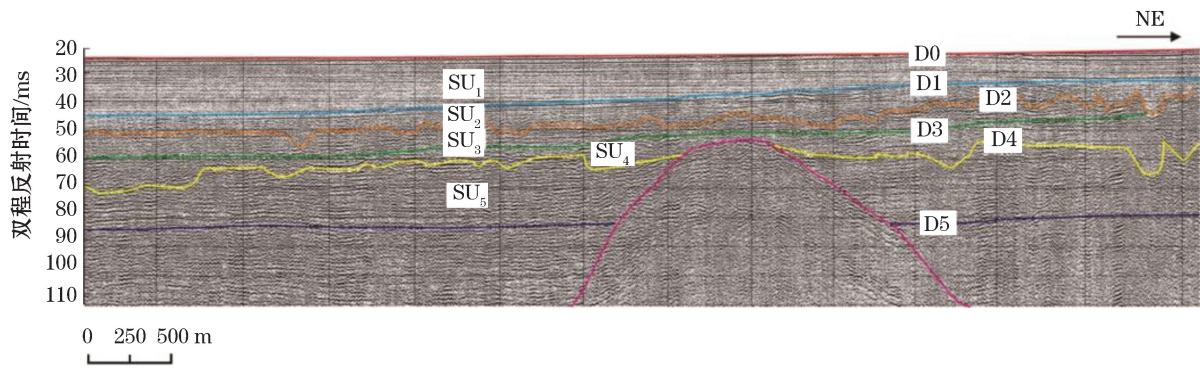


图 3 浅地层剖面划分及其特征
Fig.3 Division and characteristics of shallow strata

表 1 晚更新世地层划分及地震相特征

Table 1 Division and seismic phase characteristics of the Late Pleistocene strata

地层层序				地震相特征		沉积环境
底界面	单元	顶	底	内部反射特征	地震相外形特征	
D1	SU ₁	平行	上超	平行反射,连续性良好	席状	浅海沉积
D2	SU ₂	顶超	侵蚀	平行或发散反射,连续性差	局部透镜状	陆相沉积
D3	SU ₃	平行	上超	平行反射为主,连续性良好	席状	浅海沉积
D4	SU ₃	顶超	侵蚀	平行、亚平行及杂乱反射,连续性一般	局部透镜状	陆相沉积
D5	SU ₅	平行	上超	平行、亚平行反射为主,连续性良好	席状	浅海沉积

2.1.1 地层单元 SU₁

SU₁ 为强振幅、高频率、连续性好的平行结构(图 4),在研究区分布广泛,推测其为全新世海平面上升期形成的沉积环境较稳定的海相层。SU₁ 发育较稳定,厚度变化范围为 5~20 m,以 10~13 m 厚度为主,整体发育特点是北厚南薄,北部最厚处达 20 m 以上,南部最薄处小于 5 m。

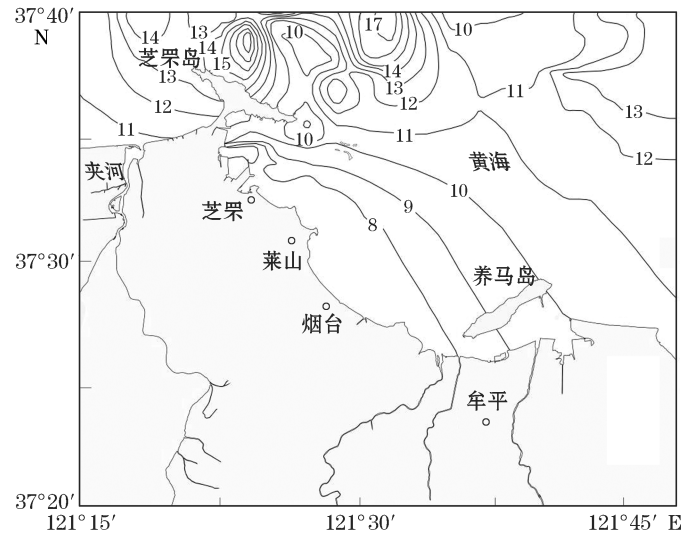


图 4 SU₁ 厚度(m)
Fig.4 Thickness of unit SU₁ (m)

2.1.2 地层单元 SU_2

SU_2 底界面内部结构与上覆或下伏的地震反射特征有明显不同,且有特定的赋存边界及外部形态。地层为不整合反射结构,推测其为末次冰期盛冰期形成的陆相沉积,此单元内埋藏古河道发育。埋藏古河道内部呈现亚平行反射、波状、杂乱反射、高角度倾斜交错及前积反射等特征(图 5)。

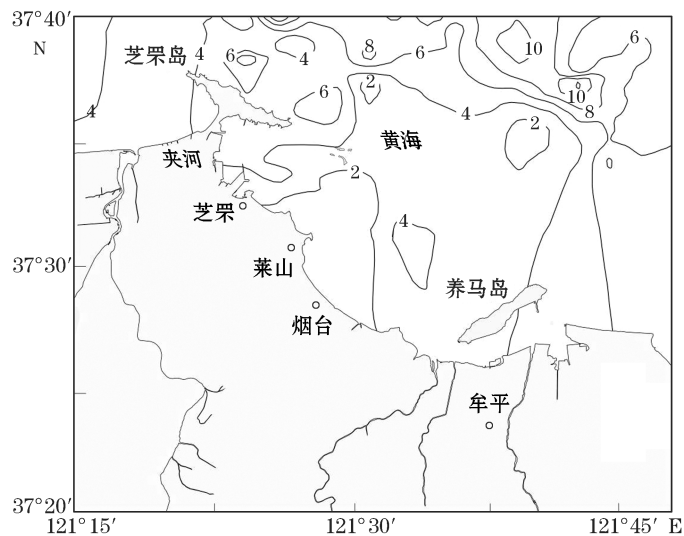


图 5 SU_2 厚度(m)

Fig.5 Thickness of unit SU_2 (m)

研究区内此单元为陆相地层,侵蚀作用较强烈,厚度变化较大,分布较广。厚度范围为 0~16 m,研究区西部的平均厚度约为 2~6 m,东北部厚度最大,而在芝罘岛南部小范围变薄,甚至不发育该单元,说明研究区东北部剥蚀作用较强。

2.1.3 地层单元 SU_3

SU_3 底界面呈现强振幅、连续性较好的反射特征。该单元在研究区有广泛的分布,推测为海平面上升形成的沉积环境较稳定的海相层。发育较稳定,厚度变化不大,大致范围在 5~20 m,研究区内大部分地区此单元的平均厚度约 7~9 m(图 6)。

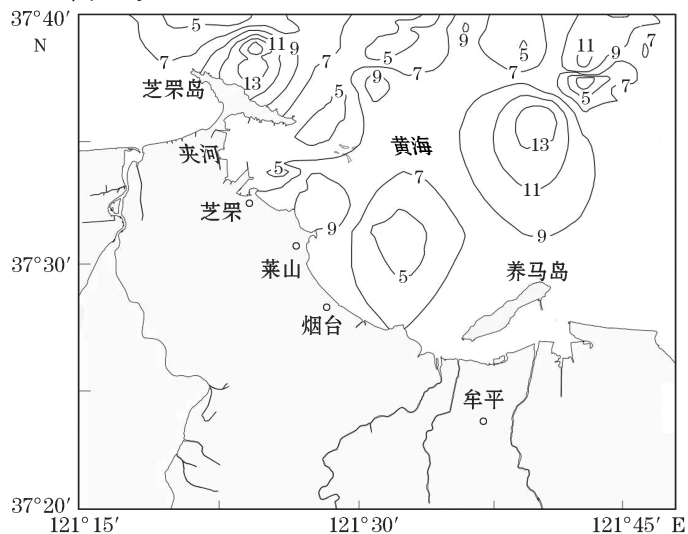


图 6 SU_3 厚度(m)

Fig.6 Thickness of unit SU_3 (m)

2.1.4 地层单元 SU₄

SU₄ 的底界面 D₄,局部具有明显的下切趋势,为受强烈侵蚀作用的不整合面。内部呈现平行及亚平行反射、波状反射、杂乱反射、倾斜交错反射及前积反射等多种反射结构,推测为海平面下降期形成的泛滥平原相沉积,多发育侵蚀沟槽(图 7)。

SU₄ 地层受侵蚀作用影响,厚度变化较大,普遍发育厚度为 5~15 m。东北部和西北部侵蚀作用较为强烈,地层发育较厚,中部侵蚀相对较弱,地层较薄。

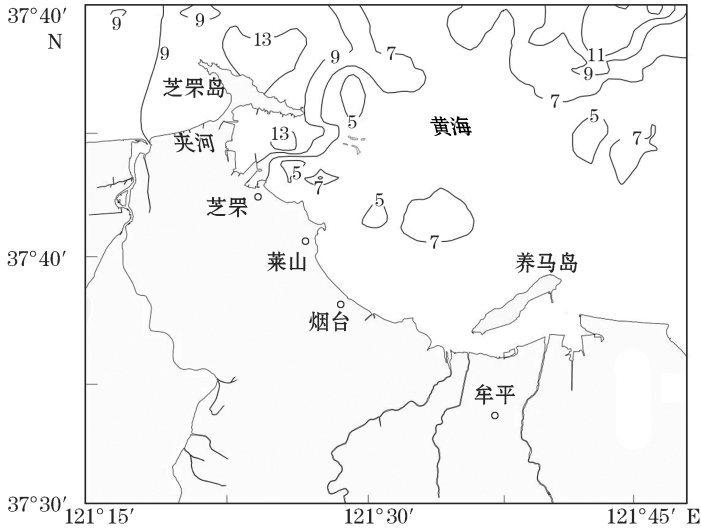


图 7 SU₄ 厚度(m)

Fig.7 Thickness of unit SU₄ (m)

2.1.5 地层单元 SU₅

SU₅ 底界呈现为强振高频、连续性较好的平行及亚平行反射特征。该单元在研究区分布广泛,推测为海平面上升时期形成的沉积环境较稳定的海相层。该地层单元较其他地层单元略厚,发育较稳定,厚度范围为 4~30 m。最厚处厚度大于 30 m,位于研究区北部及芝罘岛附近海域,而最薄处厚度为 4 m,位于西北部(图 8)。

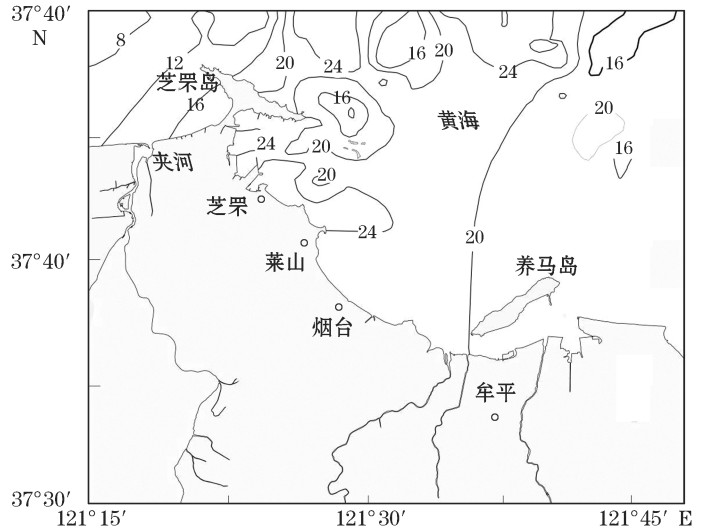


图 8 SU₅ 厚度(m)

Fig.8 Thickness of unit SU₅ (m)

由图 8 可知,研究区地层单元依次为:海相、陆相、海相、泛滥平原相和海相,表现为典型的海陆交互相地层特征。研究区海相地层整体发育特征为北厚南薄,大部分海域各地层单元海相沉积层厚度为 7~13 m,发育稳定,分布广泛。陆相地层受侵蚀作用影响,SU₂ 发育典型的埋藏古河道沉积,侵蚀作用强烈的北部区域陆相沉积层较厚,侵蚀作用较弱的南部和中部海域陆相沉积层较薄。各地层单元陆相沉积层厚度变化范围为 0~16 m。

2.2 地层单元体系域分析

受基准面变化和沉积作用的相互影响,Catuneanu^[12] 提出了包括高位体系域、下降期体系域、低位体系域、海侵体系域和海退体系域的五个体系域。本研究根据上述 5 个体系对海底浅地层进行地层体系划分,并根据钻孔所揭示的浅地层信息,发现研究区海域晚更新世以来至少经历了 3 次海侵 2 次海退(表 2)。

表 2 晚更新世层序划分表
Table 2 Division of Late Pleistocene stratigraphic sequence

地震地层层序分析			体系域	沉积相
地层单元	界面			
SU ₁	顶	D0	海侵 & 高位	滨海相
	底	D1		
SU ₂	顶	D1	海退 & 低位	陆相
	底	D2		
SU ₃	顶	D2	海侵 & 高位	滨海相
	底	D3		
SU ₄	顶	D3	海退 & 低位	陆相
	底	D4		
SU ₅	顶	D4	海侵 & 高位	滨海相
	底	D5		

海退 & 低位体系域:研究区 SU₂ 和 SU₄ 地层单元为海退体系域,发育陆相沉积层。在海平面降至最低点时,整个或部分陆架暴露出海底,之前形成的滨海相沉积层受流水侵蚀,形成了以侵蚀堆积和埋藏古河道堆积的陆相沉积层。

海侵 & 高位体系域:SU₁,SU₃ 和 SU₅ 为地层单位域,发育以平行层理反射为主的浅海相沉积层。

2.3 地质灾害分析

研究区浅海相沉积层及陆相河流和泛滥平原沉积层中多特殊地质体发育。其位置分布主要受地区古地理条件限制,地震剖面的分布、形态和规模与沉积环境有关。此外,研究区内发育的古河道、浅埋基岩等地质体,部分改变了原有地层的形态与内部结构。典型地质体的出现可视为宏观构造活动或特殊沉积环境的标志,同时也可能是导致灾害地质的影响因素,对于指导海上的安全生产具有重要意义。研究区潜在地质灾害分析如下:

1)埋藏古河道

埋藏古河道在研究区普遍存在,作为低海平面时期河流作用形成的陆相沉积层,其下部为河道沉积,以砂为主,侧向加积;底部是以砂砾为主的滞留沉积,反射特征趋于基岩面;上部为河道充填堆积,通常是泥砂互层。研究区识别出两期典型的古河道沉积(图 9),宽数千米,下切深度达 10 m,顶部是海侵河道充填沉积,底部由于流水冲刷等形成高角度交错或杂乱层理。

埋藏古河道多由充填沉积物堆积而成,物理力学性质差异大,承载力分配不均,另外河道充填沉积物多

含动植物碎屑等有机成分,可发育为浅层气,可对海上安全生产造成极大威胁。

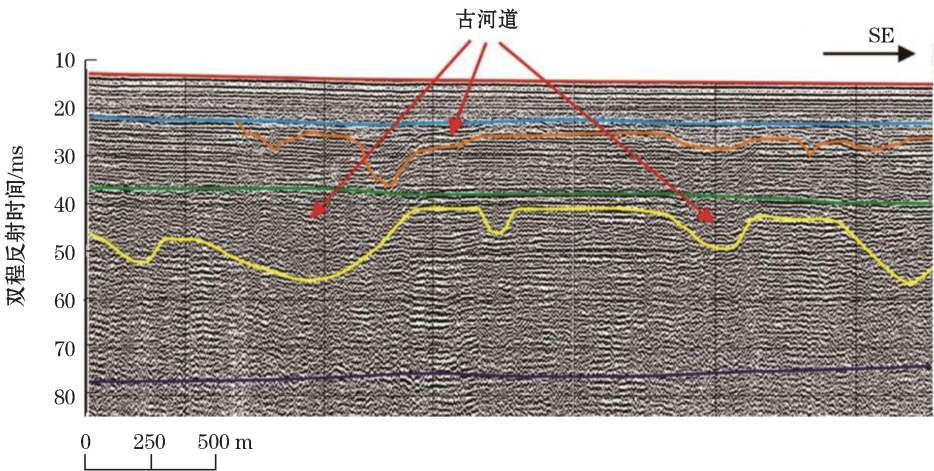


图 9 埋藏古河道

Fig.9 Buried ancient channels

2)浅埋基岩

研究区浅埋基岩位于北部测线 7 附近,芝罘岛东部海域。其内部反射模糊杂乱,无层理,并且对两侧地层有明显扰动,上覆 45 m 厚的沉积物(图 10)。

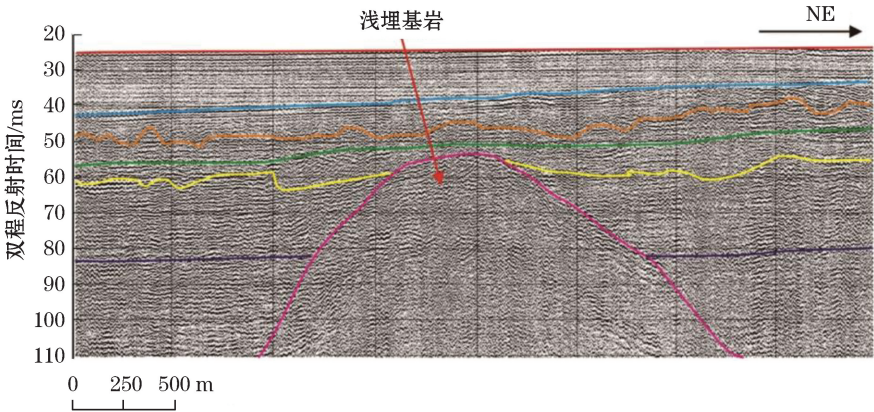


图 10 浅埋基岩

Fig.10 Shallow bedrocks

浅埋基岩由于与围岩的岩性不均一,地层承载力差异显著,不利于持力层的选择,对于海上平台、输油管线铺设等海上工程的实施产生潜在的危害。

3 结 论

本文通过对浅地层剖面资料与海域钻孔岩心资料的对比分析,运用层序地层学、地震地层学的方法对研究区海域浅地层进行了划分,分析了地层沉积结构、沉积环境及特殊地质体发育特征,得到的结论如下:

1)研究区海域浅地层自上而下可划分为:全新世海平面上升期海相层、末次冰期盛冰期陆相沉积层、海平面上升期海相层、海平面下降期泛滥平原相沉积层、海平面上升期海相层五个地层单元,揭示了本区浅地层自晚更新世以来经历的 3 次海侵和 2 次海退历史。

2)研究区海域特殊地质体主要为埋藏古河道及浅埋基岩等,其中埋藏古河道在区内分布广泛,浅埋基岩主要分布在芝罘岛东部。这些地质体在地层剖面上表现为特殊的声学反射特征,部分改变了原有地层的形态与内部结构。

参考文献(References):

- [1] LI J F, XIAO D S, KONG G S, et al. The application of single-channel marine reflection seismic survey to marine geophysical exploration [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2004, 28(4): 365-368. 李军峰, 肖都, 孔广胜, 等. 单道海上反射地震在海上物探工程中的应用[J]. *物探与化探*, 2004, 28(4): 365-368.
- [2] GU X Y, YU J F, HAN M Z, et al. Application of single channel seismic technology in marine geological survey: setting the northern sea area in Chudao Island in Weihai City as an example[J]. *Shandong Land and Resources*, 2020, 36(1): 72-78. 顾效源, 于剑峰, 韩明智, 等. 单道地震技术在海洋地质调查中的应用——以威海褚岛北部海域为例[J]. *山东国土资源*, 2020, 36(1): 72-78.
- [3] ZHAO J P, HE M, ZHANG J Y, et al. Analysis in geological types and characteristics of disasters in Dongying inshore[J]. *Shandong Land and Resources*, 2018, 34(7): 57-62. 赵景蒲, 贺森, 张建英, 等. 东营市近海海域灾害地质类型及特征分析[J]. *山东国土资源*, 2018, 34(7): 57-62.
- [4] CHEN W M, CAO L H. Submarine geo-hazards endanger offshore engineering and its exploring method[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1997, 6(2): 48-54. 陈为民, 曹立华. 危害近岸工程的海洋地质灾害现象及其探测方法[J]. *自然灾害学报*, 1997, 6(2): 48-54.
- [5] HU G, LIU J, ZHOU L Y, et al. Geo-hazards in the offshore area of the northeastern Shandong Peninsula[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(4): 29-35. 胡刚, 刘健, 周良勇, 等. 山东半岛东北部滨浅海地区灾害地质[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(4): 29-35.
- [6] WANG F Q, HU G H, WU Y T, et al. Acoustic subbottom profile and their interpretations in the Jinzhou Bay of the Bohai Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2013, 31(1): 128-137. 王方旗, 胡光海, 吴永亭, 等. 渤海金州湾海域声学浅地层剖面及其解释[J]. *海洋科学进展*, 2013, 31(1): 128-137.
- [7] LUO G F, DENG B, YANG S L, et al. A preliminary study of the high resolution sub-bottom stratigraphic structures and sedimentary features in the mud area along southern distal Yangtze subaqueous delta: an example from the area off eastern Zhujiajian Island[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 32(2): 296-305. 罗光富, 邓兵, 杨世伦, 等. 长江水下三角洲向南延伸泥质带浅地层结构及沉积物特征初探——以朱家尖岛以东海域为例[J]. *沉积学报*, 2009, 32(2): 296-305.
- [8] CHEN X H, ZHANG X H, LI T G, et al. Shallow stratigraphic sequences and their acoustic velocity in the Bohai Strait and surrounding areas[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(1): 69-76. 陈晓辉, 张训华, 李铁刚, 等. 渤海海峡及周边海域浅地层结构及地层声速的拾取[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(1): 69-76.
- [9] QIU J D, ZHANG Y, KONG X H, et al. Shallow acoustic stratigraphy of late quaternary in the coastal and offshore areas of southern of Shandong Peninsula[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2015, 35(2): 1-10. 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.
- [10] SONG Z J, ZHANG Z X, HUANG H J, et al. Characteristics and depositional setting of the high resolution shallow seismic profile in the South Yellow Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(1): 33-40. 宋召军, 张志珣, 黄海军. 南黄海西部海域高分辨率声学地层及其沉积环境[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(1): 33-40.
- [11] GU X Y, KONG X H, WANG W, et al. Distribution and environment assessment of heavy metals in the sediments of Dingzi Bay, Shandong Province[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2019, 35(3): 13-21. 顾效源, 孔祥淮, 王伟, 等. 山东丁字湾表层沉积物重金属分布及污染评价[J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35(3): 13-21.
- [12] CATUNEANU O. Retroarc foreland systems: evolution through time[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2004, 38(3): 225-242.

Characteristics of the Shallow Stratigraphic Structure in the Sea Area Near the Zhifu Bay, Shandong

GU Xiao-yuan^{1,2}, WANG Wei^{1,2}

(1. *Shandong Marine Geological Survey Institute*, Yantai 264001, China;

2. *No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources*, Yantai 264001, China)

Abstract: In this paper, through the analysis and research of 420 km shallow stratigraphic profile data and 6 borehole core data in Zhifu Bay offshore sea area, the shallow stratigraphic sequence is delineated, the distribution and impact of marine geohazards are discussed. Using the methods of stratigraphic and seismic stratigraphy, the stratigraphic reflection interface is divided. The result shows that the shallow strata are divided into 5 stratigraphic units that represent the history of 3 sea erosion and 2 sea retreats experienced in this area since the Late Pleistocene. The results of the geological hazard analysis show that buried palaeochannels are widely distributed throughout the region. Shallowly buried bedrock is more developed in the sea area of east Zhifu Island, as signs of tectonic activities or special depositional environments, the potential of these two types of special geological bodies to cause marine geological hazards and their impact on offshore construction are analysed. It can provide prerequisites for understanding the regional geological conditions and carrying out geo-environmental protection of the sea area, and is of great significance in guiding the construction of offshore projects and preventing geohazards on the seabed.

Key words: the Zhifu Bay; Yantai; shallow strata; structural characteristics

Received: January 26, 2021