

杨云帆,韩宗珠,孔祥淮,等. 山东半岛南部近岸海域新近系以来地震层序及沉积特征[J].海洋地质前沿,2020,36(5):34-42.

# 山东半岛南部近岸海域新近系以来 地震层序及沉积特征

杨云帆<sup>1,2</sup>,韩宗珠<sup>1</sup>,孔祥淮<sup>2,3</sup>,张 勇<sup>2,3\*</sup>

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院,青岛 266100;2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;  
3 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,青岛 266071)

**摘要:**利用近年来在山东半岛南部近海采集的浅地层剖面、单道地震等资料,进行精细处理与解释,结合前人的研究成果,系统地揭示了研究区内自新近系以来沉积层序。结果表明:研究区主要处在千里岩隆起背景上,第四系和新近系直接覆盖于印支期变质岩系上,由于新近系底界面为向东南缓倾的构造形态,故新近纪以来的海侵层不断向西北超覆,各期地层在厚度图上均表现为北西薄、南东厚的楔形体;全新统地层全区均有分布,最大厚度为 15.5 m,整体呈现出楔形体的形态,是最近一次海侵形成的海相地层;上更新统地层的分布受下部构造形态影响较大,在乳山以东海域缺失,整体上在研究区东南部较厚,近岸处减薄,平均厚度约 60 m;中更新世沉积仍受到区域构造背景的控制,越靠近南黄海盆地北部凹陷其沉积越厚,反之越薄,直至尖灭消失;下更新世的沉积格局类似于中更新统,也受控于区域构造背景,其分布范围较中更新统更小更局限;上新世时期,黄海海域继续稳定沉降,构造稳定,期间沉积了一层厚度均匀、平坦的地层,厚度大体呈向西北减薄的楔形,等值线变化相对比较平缓;中新统地层作为裂后拗陷沉积的首套地层,其厚度分布特征与新近系底界面埋深基本一致。

**关键词:**山东半岛南部近海;沉积地层结构;新近系;第四系

**中图分类号:**P618.13 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2019.040

## 0 引言

近年来,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,在南黄海海域获取了大量的地球物理资料和地质资

料,对南黄海晚第四纪的沉积地层结构也有了较为充分的认识<sup>[1-6]</sup>,建立了以 QC2 孔和 QC1 孔为基础的南黄海第四纪层序,可与邻近海区、西太平洋边缘海海区地层进行广泛对比。其中最为典型的 QC2 孔划分出了 Olduvai 亚时(超过 1.7 Ma)以来的地层,揭示出了沉积地层具有海侵层和陆相层相间的特点,并将 Olduvai 亚时以来的南黄海沉积层序划分为 15 个地层段,包括 7 个海侵层和 1 个具海侵迹象的层位,主要海侵层都具备经典的海侵-海退相序列。刘敏厚等<sup>[7]</sup>根据南黄海海域大量的柱状样,利用海相层、陆相层、海陆过渡层等标志层及古地磁、<sup>14</sup>C 测年将黄海晚第四纪的岩心剖面从老到新划分为晚更新世早期的灵

收稿日期:2019-03-10

资助项目:中国地质调查项目(DD20160137, DD20190205, GZH200900501)

作者简介:杨云帆(1994—),女,在读硕士,主要从事矿物学与矿床学方面的研究工作.E-mail:oucyf@163.com

\* 通讯作者:张 勇(1970—),男,博士,教授级高工,主要从事海洋地质研究工作.E-mail:qimgzy@163.com

山岛层;晚更新世中期的早成山头层、黄海槽层、晚成山头层和连云港层;晚更新世晚期的早海洋岛层、黄海层和晚海洋岛层以及全新世的海州湾层、獐子岛层、胶州湾层和老黄河口层。赵月霞等<sup>[8]</sup>利用浅地层剖面资料和 QC2 孔的测年数据,对南黄海中西部晚更新世以来的沉积地层进行了结构划分和地质年代标定,划分出 8 个地震地层单元,并且 U1-U3 为氧同位素 5 期(MIS 5)时的沉积,U4 在氧同位素 4 期沉积,U5 和 U6 在氧同位素 3 期沉积,U7 沉积于氧同位素 2 期,U8 形成于中全新世。宋召军等<sup>[9]</sup>根据南黄海西部海域 4000 公里的浅地层剖面资料,将晚更新世以来的地层划分为 5 套地层。葛淑兰等<sup>[10]</sup>利用磁性地层学的方法研究了位于南黄海中部泥质区的 EY02-2 孔,该孔孔深 70 m,通过地层磁性的正极性期和反极性段的特点建立了南黄海约 880 ka 以来的标准地层剖面。Liu 等<sup>[11]</sup>根据南黄海西部陆架区 4 100 km 的高分辨率浅地层剖面资料和孔深 60.40~70.25 m 的 SYS-0701、0702、0803、0804 四口地质浅钻,结合 AMS<sup>14</sup>C 和光释光(OSL)测年,获得了氧同位素 6 期(189 cal ka BP)以来的沉积地层记录。梅西<sup>[12]</sup>根据南黄海中部泥质区北缘孔深 71.2 m 的 DLC 70-3 孔,结合浅地层剖面声学特征及结合 AMS<sup>14</sup>C 和光释光(OSL)测年,建立了末次间冰期以来的沉积地层序列。除此之外,在南黄海的东侧、朝鲜半岛西侧

海域,利用地质浅钻也揭示了晚第四纪以来的沉积记录<sup>[13]</sup>。如 1995—1997 年青岛海洋地质研究所和韩国能源研究所在南黄海东侧陆架合作施工了 6 个钻孔(YSDP 102、103、104、105、106 和 107)<sup>[14-15]</sup>,首次揭示了该区基岩面以上的第四纪地层<sup>[16-23]</sup>。

以上研究可以看出,对南黄海研究主要集中在第四系沉积层序的研究,而对新近系以来沉积的研究较少,这主要受限于资料的采集。目前,主要认为南黄海新近系—第四系为河流相及海陆交互碎屑沉积相<sup>[24]</sup>。本文结合了近几年来在研究区采集的浅地层剖面与单道地震资料,综合分析揭示了研究区内自新近系以来沉积地层层序。

## 1 材料与方法

### 1.1 野外采集

本文所用资料来源于青岛海洋地质研究所在青岛近海海域所获得的 2 800 km 浅地层剖面资料和单道地震资料,测线及典型剖面位置见图 1。浅地层剖面资料的获取采用英国 AAE 公司生产的数字浅剖系统(SBP/AAE),激发能量为 300 J,激发间隔为 480 ms,带通滤波 320~2 000 Hz,记录量程为 160 ms,穿透深度不小于 50 m,外业采

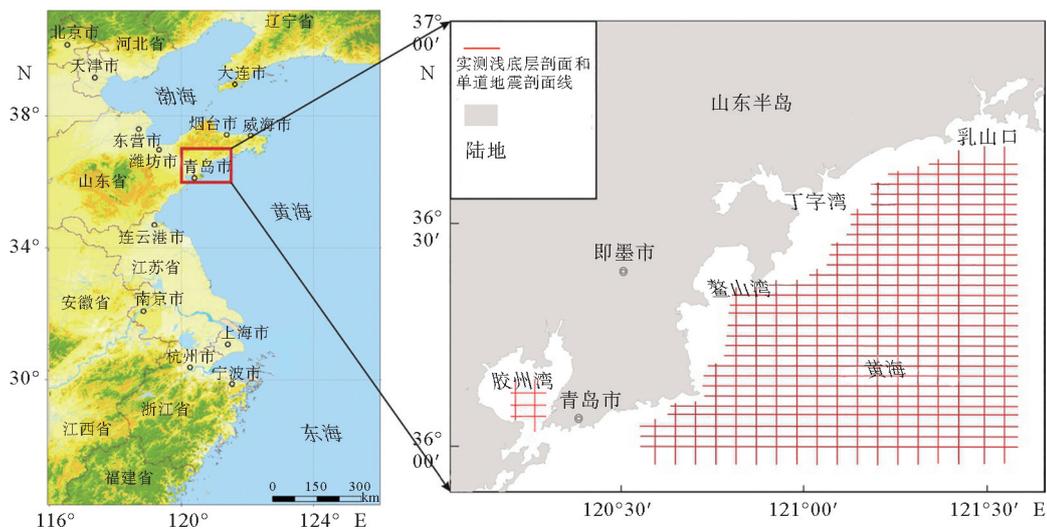


图 1 研究区地震测线分布和典型剖面位置图

Fig.1 The distribution of seismic survey lines in the study area

集时间为2009年7月。单道地震采用 DelphSeismic 采集系统,其能量主要集中在 20~900 Hz,频带范围宽、高频成分丰富、采样率较高,属高分辨地震资料。在近海岸地区基岩埋深浅,其余有效反射一般 >500~600 ms,穿透深度 >300 m,能够很好的揭示新近系以来的地层,外业采集时间为2011年7月。

### 1.2 地震资料解释

通过浅地层剖面 and 单道地震剖面解译出的不同射界面代表着沉积地层的形成相对应的地质时期,其埋深特征及分布规律可以反映当时的沉积环境以及地形特征;不同时代地层的厚度及分布

特征可以反映当时的沉积速率及沉积环境的空间差异。根据实测的浅地层剖面与单道地震联合解释成果,建立了海域新近系以来地层模式(图2)。

浅地层地震层序显示6个主要的地震反射界面(从上至下定名为 R0—R5)、2个次一级反射界面 R<sub>3</sub><sup>1</sup> 和 R<sub>5</sub><sup>1</sup>,这些界面在研究区为连续分布或切割,在全区可追踪,被解释为侵蚀面,在部分剖面上还可以识别出基岩面。这些反射界面将研究区内晚更新世以来的沉积地层划分为6个主要地震单元,由上往下依次命名为 SU1、SU2、SU3、SU4、SU5、SU6,其中 SU3 和 SU5 又被次一级界面 R<sub>3</sub><sup>1</sup> 和 R<sub>5</sub><sup>1</sup> 细分为 SU3-1、SU3-2 和 SU5-1、SU5-2 这4个亚地层单元。

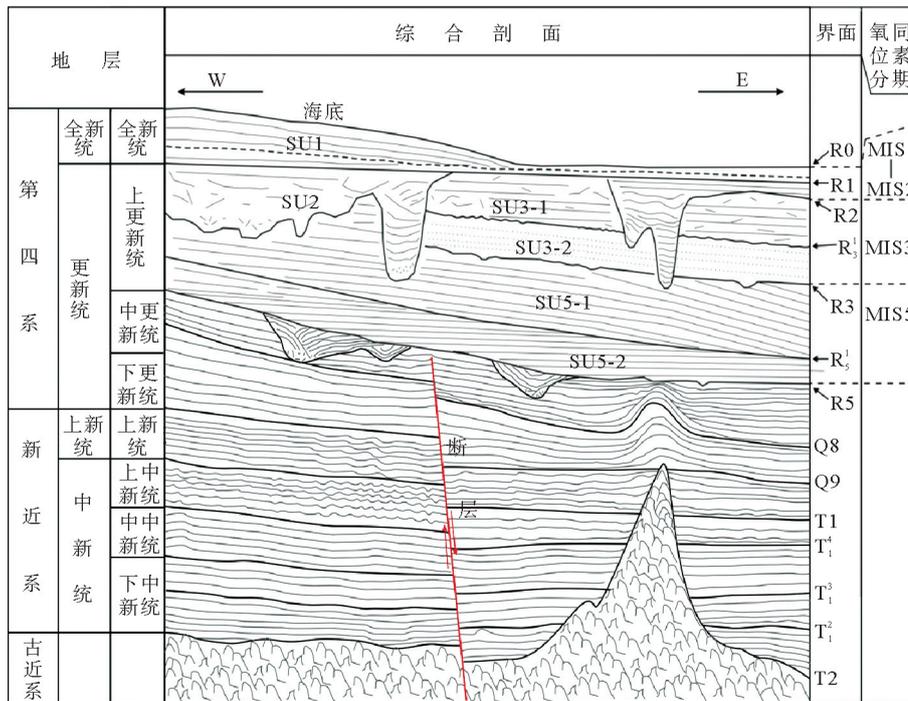


图2 研究区沉积地层结构图

Fig.2 Stratigraphic framework of the study area

在钻井资料以及前人工作的基础上,标定了本研究区单道地震剖面的地层界面:

(1)将本区第四系分为全新统、上更新统、中更新统及下更新统。其中,全新统为黄骅海侵层,底界面定义为 Holocene(大致对应于浅地层剖面中的 R1);上更新统底界面定义为 Q5(对应于浅地层剖面中的 R5);中更新统底为 Q8;下更新统底即第四系底界面为 Q9。

(2)考虑到本区的地质背景、地层划分以及南黄海等区域新近系的地层分层情况,本区新近系分为上新统、上中新统、中中新统和下中新统。其中,上新统底反射界面定义为 T1,上中新统底为 T<sub>1</sub><sup>4</sup>,中中新统底定义为 T<sub>1</sub><sup>3</sup>,下中新统两分之一——下中新统底即新近系地层的底界面定义为 T2,下中新统中部划分出 T<sub>1</sub><sup>2</sup> 反射界面。

(3)Q8、T1、T<sub>1</sub><sup>4</sup> 和 T<sub>1</sub><sup>3</sup> 这几个界面的确定是在

前面界面的约束下解释出的。如对于中更新统底界面 Q8,是首先确定剖面的上更新统底界面 Q5 和第四系的底界面 Q9,然后在两者之间找出一个反射能量强、并可连续追踪的界面确定为中更新统的底界面。同样道理,上新统底界面、上中新统底界面和中中新统底界面的确定是在首先确定第四系底界面和新近系底界面以后,再考察这两者界面之间地层界面的反射强度、连续性和分层关系等从上到下依次确定的。

## 2 地层底界面

### 2.1 新近系底界面

研究区新近系底界面深度图(图 3a)表明,新近系底界面埋深 75~550 m。和第四系底界面类似,研究区新近系底界西北区埋深浅、东南区埋深

大,最浅处出现在靠近海阳—乳山近岸一线,最深处出现在研究区东南角靠近黄淮海槽处,等值线为 NE—NEE 向,表明新近系底界面在近岸区为 SE 向缓倾,逐渐过渡为 SSE 向缓倾。切过本界面的断层和切过第四系底界的断裂相同,各断层断距极小,对本界面的等值线分布无影响。

### 2.2 第四系底界面

第四系底界面埋深约 70~200 m,西北区埋深浅、东南区埋深大,最浅处出现在靠近海阳一线,最深处则在东南角靠近黄淮海槽处,等值线为 NE 走向,表明第四系底界面为一向 SE 缓倾的平缓界面。切过本界面的较大断层有 3 条起走向均为 NE 向,延伸长度各异,区内最长一条断层延伸约 70 km,另两条分别为 10、15 km,区内各断层由于断距极小,其对深度图的等值线延伸几乎无影响(图 3b)。

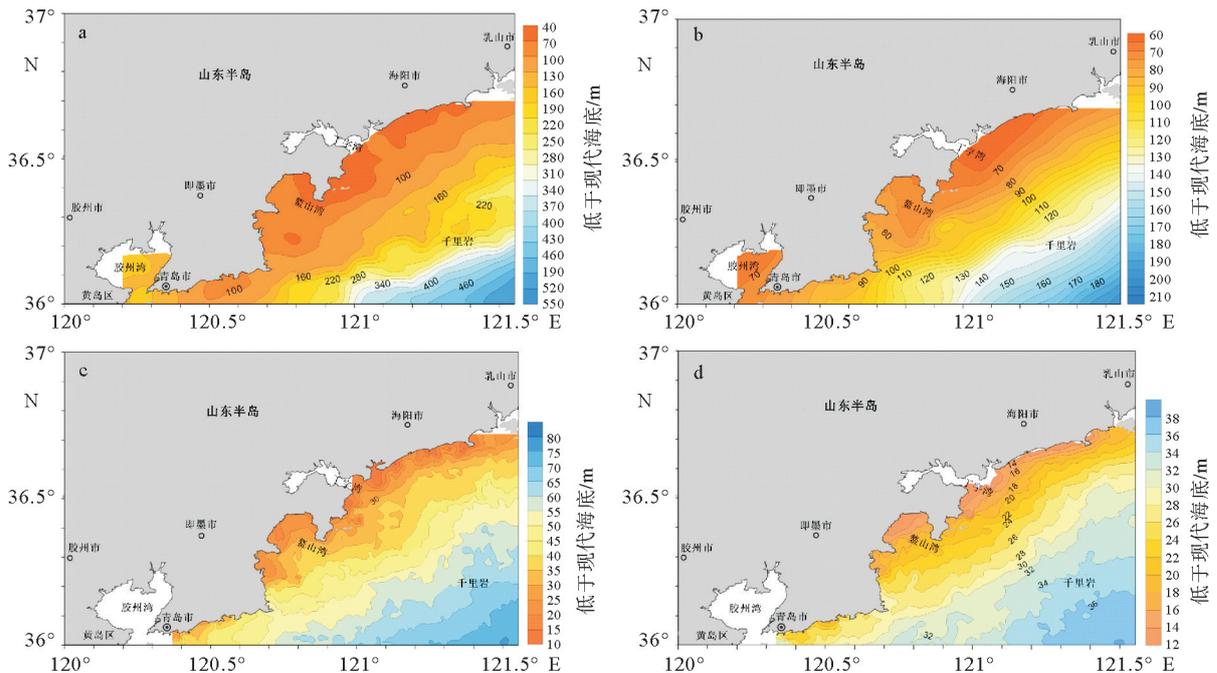


图 3 (a)新近系底界面深度;(b)第四系底界面深度;(c)上更新统底界面深度;(d)全新统底界面深度  
Fig.3 (a) Depth map of Neogene bottom interface; (b) Depth map of Quaternary bottom interface;  
(c) Depth map of Upper Pleistocene bottom interface; (d) Depth map of Holocene bottom interface

### 2.3 上更新统底界面

从研究区上更新统(MIS-5)底界埋深图上(图 3c)可以看出,该沉积地层整体上从陆向海的

方向有埋深增加的趋势。在近岸海区水深 25 m 等深线以内,地层埋深较浅,变化于 30~60 m,大部分没有超过 60 m;25 m 等深线以外海域,地层埋深变化较大,向海逐渐变深,最深可达 80 m。

晚更新世以来的地层,主要是海水进退所形成的地层。因此,上更新统地层埋深与分布特征与历次海侵海退范围及时间密切相关,研究区内独特的沉积特征与晚更新世期间的频繁海侵有关。在经历频繁的海进海退过程中,东南部为最低洼部分,每当一次冰期到来,海平面下降,海水仅局限在东南部残留。此时,研究区西北部出露地表,遭受剥蚀,东南部成为唯一接受沉积区,沉积形成海相地层。当冰期结束,全区海平面上升,全区同时接受沉积,从而形成了西北部埋深较浅、东南部埋深较大的上更新统地层。

#### 2.4 全新统底界面

全新统地层的识别主要依据全新统呈楔状体沉积的特殊形态,以及相关的 QDZ03 孔进行标定的。区内全新统底界最深 38 m,最浅 12 m。其中最深处位于研究区东南角。总体看来,全新统地层全区均有分布,近岸到远海埋深逐渐增加。

从图 3d 可以看出,当时的地势由西北向东南降低,在现代海岸线的近岸地区是一个陡坡,向东南方向逐渐变缓。这与以往的调查认为山东半岛南部水下岸坡主要分布在水深 25 m 以内、沿海岸呈带状分布的特征是一致的<sup>[25]</sup>。另外,在崂山头附近有一个小洼地,阻断了沿岸陡坡的连续性。可能是在全新世海侵过程中海面快速上升,山地岬角使潮流流速增大,加强了侵蚀作用所致。

### 3 不同时期地层厚度及控制因素

受控于大地构造背景,研究区主要处在千里岩隆起背景上,第四系和新近系直接覆盖于印支期变质岩系上,由于新近系底界面为 SE 向缓倾的构造形态,新近纪以来的海侵层不断向 NW 超覆,故各期地层在厚度图上均表现为北西薄、南东厚的楔形体。

#### 3.1 全新统厚度

全新统地层表现为全区分布,最厚处出现在海阳—乳山一线东南海域,最厚处 15.5 m,向南

黄海中部逐渐减薄(图 4a)。全新统厚度在测线上表现为楔形体,该沉积体形态在测线上均有清晰显示,本文将该楔形体命名为山东半岛南部小型泥楔。冰期低海面之后,从约 15 ka BP 海面开始迅速回升,到距今约 6 ka 左右达到最高海面,而后海面相对稳定或在波动中略有下降。这次海侵是我国东部沿海地区分布最广泛的一次。全新统地层是最近一次海侵形成的海相地层,该次海侵在渤中区的 BC-1 孔命名为黄骅海侵,在辽东湾北部的 LD01 孔该次海侵称为盘山海侵<sup>[26]</sup>,在北黄海海域统称为冰后期海侵<sup>[7]</sup>。汪品先等<sup>[27]</sup>人根据沿海各地大量发现的浅水种有孔虫 *Anun-noai*,将此次海侵命名为卷转虫海侵。这次海侵层中各沿岸钻孔的岩心中表现为明显的三分性,即自下而上为海陆过渡相—浅海相—海陆过渡相,海侵较弱的地区则变为陆相—海陆过渡相—陆相。

#### 3.2 上更新统厚度

区内晚更新世以来的地层暂时没有钻孔揭示,本文根据渤中地区 BC-1 孔沧州海侵的底作为上更新统地层的底,对应于氧同位素曲线的布莱克事件。根据晚更新世海平面变化,自下而上将上更新统地层细分为沧州海侵层、渤海 I 海侵层、献县海侵层。研究区内上更新统厚度最大约为 80 m,位于东南部,全区上更新统平均厚度约 60 m,<60 m 的沉积区主要分布于近岸一侧。此外在乳山以东海域缺失上更新统。从分布特征看,上更新统地层仍然受到下部构造形态的较大影响(图 4b)。

晚更新世以来的地层,主要是海水进退所形成的地层。因此,上更新统地层厚度及分布特征与历次海侵海退范围及时间密切相关,研究区内独特的沉积特征与晚更新世期间的频繁海侵有关。在经历频繁的海进海退过程中,研究区东南部为最低洼部分,每当一次冰期到来,海平面下降,海水仅局限在东南部残留。此时,研究区西北部遭受剥蚀,东南部成为唯一接受沉积区,沉积形成海相地层中夹杂的陆相地层。当冰期结束,全区海平面上升,全区同时接受沉积,从而形成了东南部区较厚的上更新统地层。

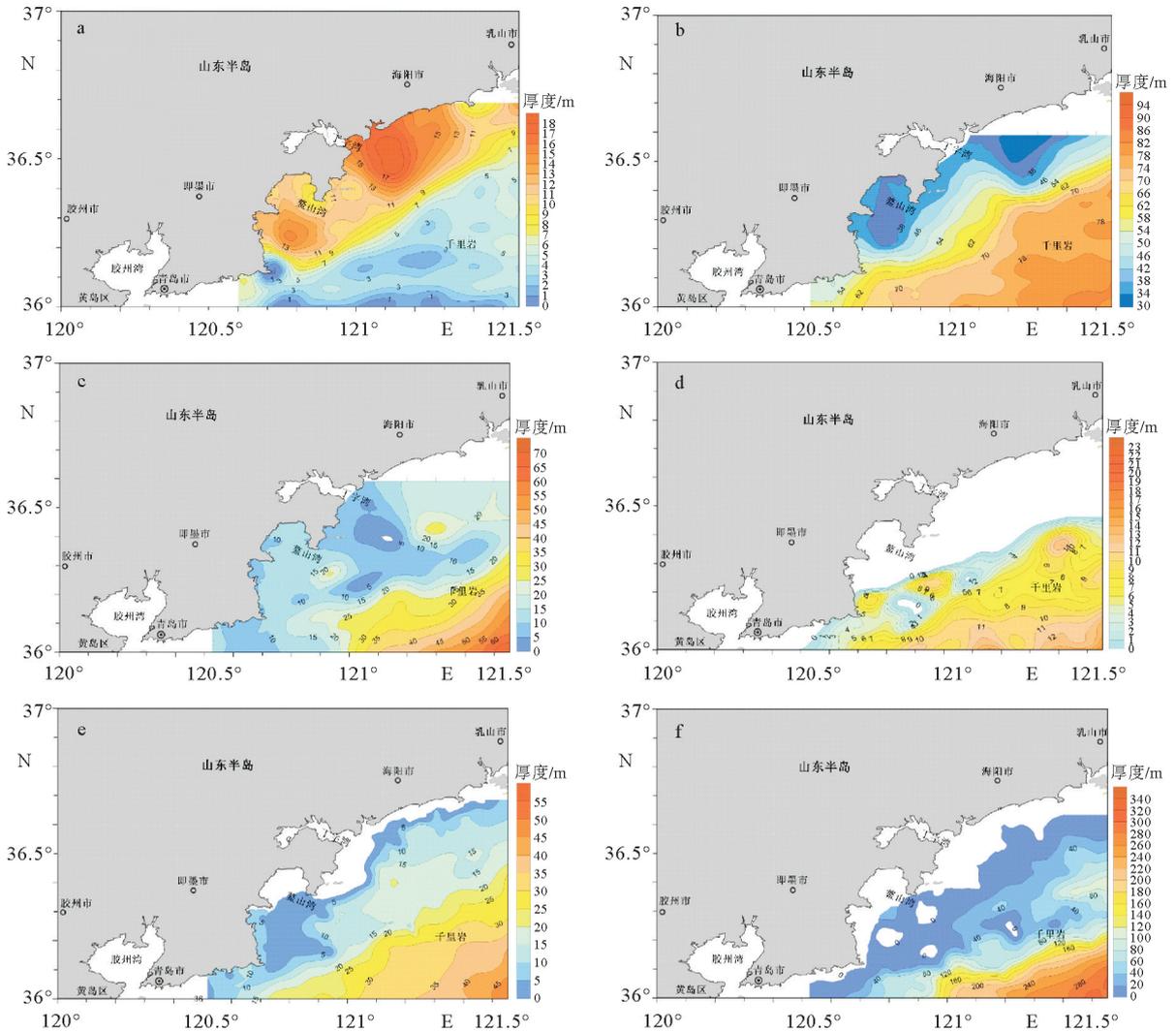


图 4 (a)全新统厚度;(b)上更新统厚度;(c)中更新统厚度;(d)下更新统厚度;(e)上新统厚度;(f)中新统厚度

Fig.4 (a) Holocene isopach map; (b) Upper Pleistocene isopach map; (c) Middle Pleistocene isopach map; (d) Lower Pleistocene isopach map; (e) Pliocene isopach map; (f) Miocene isopach map

### 3.3 中更新统厚度

由于研究区内至今未有揭示中更新统底界的钻孔,本文根据研究区测线地震相特征,进行了中更新统的划分。从中更新统厚度图(图 4c)上可以看出,研究区内中更新统厚度最大超过 60 m,平均厚度 30 m,但大部分地区厚度较薄。根据中更新统厚度分布可将研究区大体分为 3 个区域:①海阳—乳山近岸剥蚀区,缺失中更新统;②位于剥蚀区东南—千里岩岛西北的沉积较薄区,只是较薄区内有零星区域厚度为 4~30 m;③千里岩岛东南部的沉积较厚区。中更新世沉积仍受到区域构造背景的控制,越靠近南黄海盆地北部凹陷

其沉积越厚,反之越薄直至尖灭消失。

### 3.4 下更新统厚度

同样由于研究区内无揭示下更新统底界的钻孔,根据研究区测线地震相特征,进行了下更新统的划分,从下更新统厚度图(图 4d)上可以看出,下更新统的分布范围较中更新统更小更局限。研究区内中更新统厚度 2~20 m,平均厚度 10 m,但大部分地区厚度较薄。根据下更新统厚度分布可将研究区大体分为 3 个区域:①海阳—乳山近岸剥蚀区,缺失下更新统,其面积较中更新统剥蚀区更大;②位于剥蚀区东南—千里岩岛西北的沉积较薄区,只是较薄区内有零星区域厚度在 0~

10 m,且其中存在2个局部高点,其上无沉积;③千里岩岛东南部的沉积较厚区。同样,早更新世沉积仍受到区域构造背景的控制,越靠近南黄海盆地北部凹陷其沉积越厚,反之越薄直至尖灭消失。

### 3.5 上新统厚度

上新世时期,黄海海域继续稳定沉降,构造稳定,期间沉积了一层厚度均匀、平坦的上新统地层。从研究区上新统等厚图(图4e)上可以看到,黄海海域经历了中新世时期的“削高填平”阶段,全区地层厚度大体呈向西北减薄的楔形,等值线变化相对比较平缓。总体来看上新统仍存在西北薄、东南厚的现象,西北部可减薄至尖灭,东南区最厚达55 m,和更新统厚度一样受断层控制不明显。

### 3.6 中新统厚度

渐新世末期,喜马拉雅构造运动Ⅱ幕使地壳整体抬升,地层遭受剥蚀夷平,形成了重要的T2不整合界面,成为古近系与新近系的分界面。中新世时期,南黄海盆地由断陷发育阶段转到裂后拗陷发育阶段,千里岩隆起和南黄海盆地北部凹陷整体沉降接受了水平层状的拗陷型沉积。因此,中新统地层作为裂后拗陷沉积的首套地层,其厚度分布特征大致体现了早期基底的构造形态。从青岛幅研究区中新统等厚图上可以看出(图4f),中新统地层的厚度一般约40~300 m,中新统厚度分布特征与新近系底界面埋深基本一致,表明中新统厚度主要受T2面构造形态影响,受断层影响相对较小。中新统在研究区的东南部厚度最大,向西北逐渐尖灭消失,且在中新统分布区存在数个小的古隆起,这些隆起上也不存在中新统。

## 4 结论

(1)全新统底界面深度图显示,当时的地势由NW向SE降低,在现代海岸线的近岸地区是一个陡坡,向SE方向逐渐变缓,地层全区均有分布,近岸到远海埋深逐渐增加;上更新统地层埋深与分布特征与历次海侵海退范围及时间密切相

关,在经历频繁的海进海退过程中,研究区东南部为最低洼部分,每当一次冰期到来,海平面下降,海水仅局限在东南部残留。当冰期结束,全区海平面上升,全区同时接受沉积,从而形成了西北部埋深较浅、东南部区埋深较大的上更新统地层;第四系底界面为一SE向缓倾的平缓界面,埋深70~200 m;新近系底界面形态与第四系类似,为一向SE缓倾的平缓界面。切过本界面的断层和切过第四系底界的断裂相同,各断层断距极小,对本界面的等值线分布无影响。埋深等值线为NE—NEE,表明新近系底界面在近岸区为SE向缓倾,逐渐过渡为SSE向缓倾。

(2)受控于大地构造背景,研究区主要处在千里岩隆起背景上,第四系和新近系直接覆盖于印支期变质岩系上,由于新近系底界面为SE向缓倾的构造形态,故新近纪以来的海侵层不断向NW超覆,故各期地层在厚度图上均表现为北西薄、南东厚的特点;全新统地层全区均有分布,最大厚度15.5 m,整体呈现出楔形体的形态,是最近一次海侵形成的海相地层;上更新统地层的分布受下部构造形态影响较大,在乳山以东海域缺失,整体上在研究区东南部较厚,近岸处减薄,平均厚度约60 m;中更新世沉积仍受到区域构造背景的控制,越靠近南黄海盆地北部凹陷其沉积越厚,反之越薄直至尖灭消失;下更新世的沉积格局类似于中更新统,也受控于区域构造背景,其分布范围较中更新统更小更局限;上新世时期,黄海海域继续稳定沉降,构造稳定,期间沉积了一层厚度均匀、平坦的上新统地层,全区地层厚度大体呈向NW减薄的楔形,等值线变化相对比较平缓;中新统地层作为裂后拗陷沉积的首套地层,其厚度分布特征与新近系底界面埋深基本一致。

### 参考文献:

- [1] 官晨钟,曲秀华.南黄海4个沉积岩芯的热释光测年及地层划分[J].海洋科学,1991,5:49-52.
- [2] 林和茂,朱雄华.南黄海及中国沿海第四纪海侵层对比——中国近海及沿海地区第四纪进程及事件[M].北京:海洋出版社,1989.
- [3] 顾兆峰,张志珣.南黄海西部浅部地层地震层序及其沉积特征[M].海洋地质与第四纪地质,2009,29(4):95-106.
- [4] 杨子庚,林和茂.中国第四纪地层与国际对比[M].北京:地质出版社,1996.

- [5] 杨子庚. Olduvai 亚时以来南黄海沉积层序及古地理变迁[J]. 地质学报, 1993, 67(4): 357-366.
- [6] 杨子庚. 南黄海陆架晚更新世以来的沉积及环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985, 5(4): 1-19.
- [7] 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉. 黄海晚第四纪沉积. 第 1 版[M]. 北京: 海洋出版社, 1987.
- [8] 赵月霞, 刘保华, 李西双, 等. 南黄海中西部晚更新世沉积地层结构及其意义[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(1): 21-30.
- [9] 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.
- [10] 葛淑兰, 石学法, 朱日祥, 等. 南黄海 EY02-2 孔磁性地层及古环境意义[J]. 科学通报, 2005, 20(22): 2531-2540.
- [11] Liu J, Saito Y, Kong X, 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.
- [12] 梅 西. 南黄海 DLC70-3 孔晚更新世以来的沉积记录与环境效应[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2011.
- [13] Lee H J, Chough S K. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea[J]. Marine Geology, 1989, 87: 195-205.
- [14] Jin J H, Chough S K, Ryang W H. Sequence aggradation and systems tracts partitioning in the mid-eastern Yellow Sea: roles of glacio-eustasy, subsidence and tidal dynamics[J]. Marine Geology, 2002, 184: 249-271.
- [15] 刘 健, 李绍全, 王圣洁, 等. 南黄海东北陆架 YSDP105 孔冰消期以来沉积层序的磁学特征研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 13-24.
- [16] Chang J H, Lee C W, Kim S P, et al. Yellow Sea drilling program for studies on Quaternary geology (analyses of YSDP-102, YSDP-103, YSDP-104, YSDP-104 cores), Mining and Materials Research Report [R]. Korea Institute of Geology, 1997: 32-34.
- [17] Hee J L, Suk H Y. Development of stratigraphy and sediment distribution in the northeastern Yellow Sea during Holocene sea-level rise[J]. Journal of Sedimentary Research, 1997, 67(2): 341-394.
- [18] Kim D, Park B K, Shin I C. Paleoenvironment changes of the Yellow Sea during the Late Quaternary[J]. Geo-Marine Letters, 1999, 18: 189-194.
- [19] Kim J M, Kennett J P. Paleoenvironment changes associated with the Holocene marine transgression, Yellow Sea[J]. Marine Micropaleontology, 1998, 34: 71-89.
- [20] 刘 健, 王 红, 李绍全, 等. 南黄海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.
- [21] 李绍全, 刘 健, 王圣洁, 等. 南黄海东侧陆架冰消期以来的沉积层序与环境演化[J]. 科学通报, 1998, 43(8): 875-880.
- [22] 李绍全, 刘 健, 王圣洁, 等. 南黄海东侧陆架冰消期以来的海侵沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 1-11.
- [23] 杨子庚, 王圣洁, 张光威, 等. 冰消期海侵过程中南黄海潮流沙脊的演化模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 1-9.
- [24] 侯方辉, 张志珣, 张训华, 等. 南黄海盆地地质演化及构造样式地震解释[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(5): 61-68.
- [25] 秦蕴珊, 李 凡, 徐善民, 等. 南黄海水体中悬浮体的研究[J]. 海洋湖沼, 1989, 20(2): 101-112.
- [26] 吴建政, 孙洪光, 亓发庆, 等. 辽东湾北部晚更新世中期以来的地层结构及环境演化[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(4): 452-459.
- [27] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 等. 我国东部第四纪海侵地层的初步研究[J]. 地质学报, 1981, 55(1): 1-13.

## SEISMIC SEQUENCE AND SEDIMENTARY CHARACTERISTICS OF THE NEOGENE IN THE OFFSHORE AREA OF SOUTH SHANDONG PENINSULA

YANG Yunfan<sup>1,2</sup>, HAN Zongzhu<sup>1</sup>, KONG Xianghuai<sup>2,3</sup>, ZHANG Yong<sup>2,3\*</sup>

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 3 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** This study aims to revealing the sedimentary sequence since Neogene in the coastal waters off the southern Shandong Peninsula, China. Detailed processing and interpretation are performed for shallow stratigraphic sections and recently acquired single-channel seismic data for the study area. Results show that the study area is mainly located on the Qianliyan Uplift, with the Quaternary and Neogene strata directly overlying the Indosinian metamorphic rock series. Since the bottom boundary of the Neogene strata is gently dipping to the southeast (SE), and transgressive beds since Neogene have a continuous overlapping pattern towards northwest (NW) direction, the strata of different ages all show a wedge shape pattern thinner in NW and thicker in SE in isopach maps. Holocene strata are widely distributed throughout the study area with a maximum thickness up to 22.5m. They also show a wedge shape in general, representing the marine strata formed by latest transgression. The distribution of Upper Pleistocene strata is strongly affected by underground structures. They pinch out in the waters to the east of Rushan. This set of strata as a whole is relatively thick in the southeast of the study area and gets thinner offshore, with a mean thickness of approximately 60 m. The Middle Pleistocene deposits are still under the control of regional tectonic settings, which become increasingly thicker towards the sag in the northern South Yellow Sea Basin and become thinner until pinching out. The depositional pattern of the Lower Pleistocene strata is similar to the Middle Pleistocene under the control of regional tectonics. However, the former is smaller and more localized in distribution. During Pliocene, the Yellow Sea area continued to subside steadily and remained stable tectonically; a layer of flat strata was deposited in rather uniform thickness in a NW-thinning wedge shape, with relatively moderate changes in thickness. The Miocene strata, as the first deposits of post-rift depression deposits, present a similar thickness distribution pattern with the depth of the Neogene bottom boundary.

**Key words:** Southern Yellow Sea; stratigraphic structure; Neogene; Quaternary