

南黄海西部地区浅层气的浅部埋藏地质背景

顾兆峰¹, 张志珣¹, 刘怀山², 蓝先洪¹

(1. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 根据南黄海西部地区 6 000 km 多的浅地层剖面解释成果, 对浅层气埋藏的载气地质体和地层时代两方面进行了分析。结果表明, 南黄海西部地区浅层气主要存在于埋藏三角洲相、古湖泊相、古河道相、古潮沟相地质体中, 在中更新世晚期以来的两期海相地层(全新世和晚更新世)和两期陆相地层(玉木冰期、里斯冰期)中都存在浅层气的地震反射。

关键词: 南黄海西部地区; 浅层气; 地质背景

中图分类号: P738

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)07-0045-06

一般认为, 除了在表层的现代海洋沉积地层中生成浅层气外, 在距海底数百米的较深地层中也有细菌活动并生成气体^[1]。由于浮力作用, 生成的浅层气极易发生运移。然而由于周围地层的限制, 气体常常原地保存在富含有机物的地层和地质体中。但有些气体会摆脱周围地层的限制并向上运移, 在运移途中可能被封闭于浅部某些地层或地质体中, 也可能直接溢出海底。

目前浅层气的地震反射特征已被广泛认识并接受, 根据浅层气的特征反射识别浅层气已成为研究浅层气分布的基本方法^[2-6]。埋藏背景不同的浅层气应该具有不同的生成与储集地质背景。由于浅层气声学物性的原因而通常无法由地震记录确定载气区的厚度, 也无法准确了解载气区内部的特征, 所以搞清浅层气的埋藏地质背景是深入研究浅层气的重要环节。作者将从载气地质体类型和载气地层的时代两方面进行探讨。

1 浅部地层结构

南黄海第四纪海进海退频繁, 海进期地层基本完整, 海退期往往存在着较大的侵蚀间断。研究区内 QC2 孔(孔深 108.83 m)揭示地层层序较完整且处于研究区中部, 故 QC2 孔揭示了南黄海西部地区的沉积环境和地层岩性^[7,8]。该区浅部地层自上而下为:

表层为全新世和部分晚更新世的海相沉积, 为水平连续层理, 以黏土质粉砂、粉砂质黏土为主, 全新世海相层底部含较多泥炭, 与下伏晚更新世地层不整合接触。

晚更新世玉木冰期晚期陆相地层, 以波状、杂乱层理为主, 河流、沼泽发育, 沉积物以黏土、粉砂为主; 晚更新世玉木间冰期海相沉积, 水平层理发育, 沉积相由中部的海相向西过渡为滨岸三角洲相, 以

粉砂、粉砂质黏土为主, 底部含碳质, 与下伏、上覆地层均呈不整合接触; 晚玉木冰期陆相地层, 河流、沼泽相发育, 以粉砂质黏土为主; 晚更新世早期玉木-里斯间冰期为滨海、浅海相沉积, 发育平行、交错层理, 以黏土、粉砂质黏土、粉砂为主, 与上覆晚更新世、下伏中更新世地层呈不整合接触。

中更新世末期为海相地层, 以粉砂、粉砂质黏土为主。

2 调查方法

该地区的浅地层调查使用了英国应用声学公司(AAE) SBP/AAE 型高分辨率浅层剖面仪系统和英国地质声学公司(GeoAcoustics) Geopulse 5210 型高分辨率浅地层剖面系统。

SBP/AAE 型浅地层剖面仪选用参数为: 震源: 一般 200 J(强震板); 滤波: 500 ~ 5 kHz; 震源释放长度: 35 m(距离船尾); 水听器释放长度: 35 m(距离船尾); 初始增益: ×5、×10; 换能器间距: 6 ~ 7 m; 走纸速度: 0.2 mm/s; TV G1 Rate: 0 ~ 5 gain/s; TV G2 Rate: 300 ~ 500 gain/s; TV G3 Rate: 150 ~ 320 gain/s, 记录长度 150 ms。

Geopulse 5210 型浅地层剖面系统选用参数为: 激发能量: 280 ~ 350 J; 带通滤波: 高频为 2 ~ 5 kHz, 低频为 300 ~ 700 Hz; 震源释放长度 20 m(距离船尾); 水听器释放长度 20 m(距离船尾); 接收器增益: -20, 20, 9 ~ 12; 换能器间距: 3 ~ 7 m; A GC: OFF; TV G: ON, 记录长度 120 ms。

收稿日期: 2007-11-08; 修回日期: 2007-12-20

基金项目: 国土资源大调查项目(200211000001)

作者简介: 顾兆峰(1969-), 男, 副研究员, 主要从事海洋地球物理调查与研究, E-mail: gzf8.1@163.com

采用上述两种方法,在南黄海地区采集了 6 000 km 多的浅地层剖面资料(图 1)。

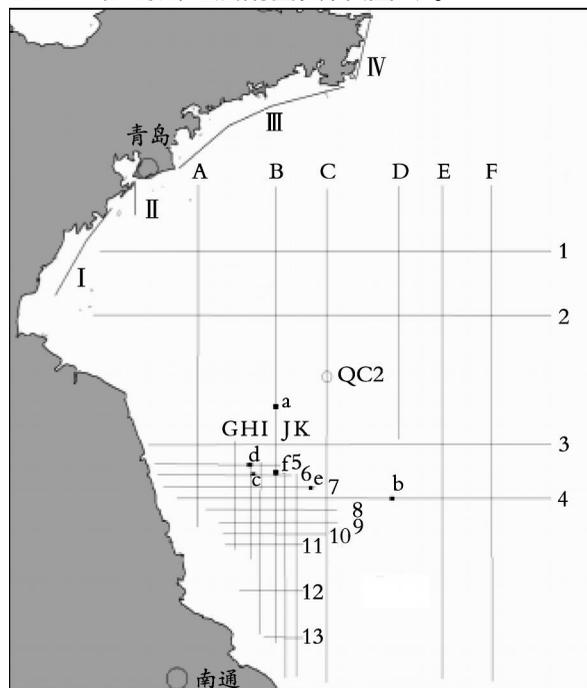


图 1 研究区钻孔、测线及插图剖面位置

Fig. 1 Locations of research area, corehole, survey lines and seismic profile quoted in illustrations

3 载气地质体类型

3.1 埋藏古三角洲地层中的浅层气

晚更新世末期以来,黄河至少两次流经南黄海

地区,形成了两期三角洲^[9]:在 1128 ~ 1855 年黄河南徙苏北入海的 727 a 间,黄河口向海伸展了约 90 km,扁担河口至苏北浅滩北端为当时形成的黄河三角洲,表层为泥质沉积区,由古黄河在全新世携带大量细粒泥沙沉积而成,最厚约 20 m,地层中常见生物贝壳,有机质富集层。因此该处的废黄河三角洲有利于浅层气的生成与保存。此外,黄河在晚更新世晚期也曾有相当长的时间自苏北流入黄海,形成了古黄河三角洲。调查研究资料表明,该三角洲以细砂和粉砂为主,局部为淤泥质沉积。

在扁担河口以东海区,该区西部的两条 SN 向测线揭示了大量浅层气的存在。浅层气形成了声学空白反射、声学幕反射以及声学扰动反射。图 2 为扁担港东面废黄河三角洲相地层中的浅层气形成的声学空白区反射,其屏蔽了下部所有地层。据该声学空白反射区周围的三角洲相沉积地层显示,该处三角洲相地层厚度可达 25 m,因此该处声学空白反射区屏蔽了 10 ~ 15 m 厚的三角洲相地层。声学空白区顶界面不规则起伏,局部出现向上穿刺的羽状强反射,反映了浅层气向上运移的状态。

在废黄河三角洲地区,揭示的浅层气以规模较大的声学空白、声学幕为特征,零星分布声学扰动反射。而下部埋藏三角洲中的浅层气主要为声学扰动、声学幕为主,未见大规模的声学空白区。

3.2 埋藏古湖泊中的浅层气

有关研究^[5,9]和本次采集的浅地层剖面表明,晚

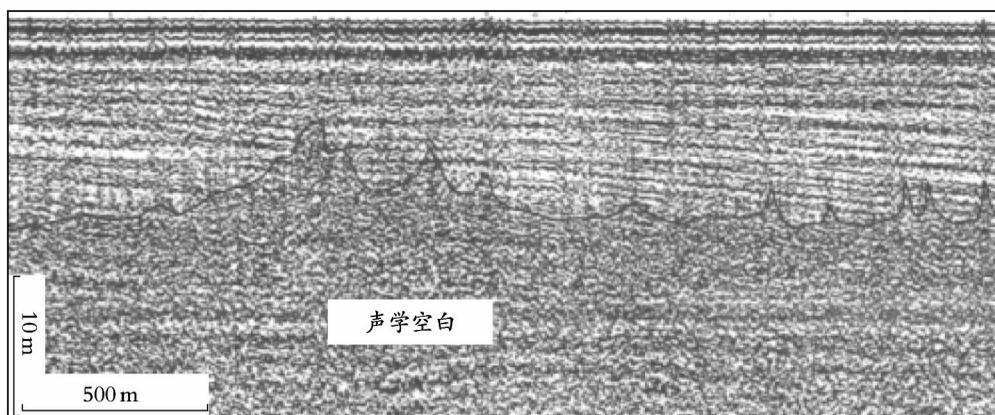


图 2 废黄河三角洲上的浅层气声学空白反射地震记录(B 线 a 处)

Fig. 2 Acoustic blanket of shallow gas in the old Yellow River delta (position a on line B)

更新世末次冰期晚期、全新世初期在南黄海西部地区曾发育了大片的古湖泊。大部分埋藏古湖泊相地层界于全新世海相层与晚更新世末次冰期埋藏古河道之间。埋藏古湖泊内的充填沉积物反射能量通常较弱(弱于上部全新世海相层、下部埋藏古河道的反射强度)。其反射层理细而淡,呈规则的平行或亚平

行反射结构。在两侧底部岸坡处具有波状、低角度斜层理反射。显然充填沉积物应当是软泥或细粒粉砂之类的细粒沉积。

图 3 为 4 线中间埋藏古湖泊相地层中的浅层气记录,在中下部位为三处规模稍大的浅层气声学幕反射,中上部为三处小规模浅层气声学扰动反射。

在湖泊相沉积地层中,浅层气一般为小规模

声学幕反射、声学扰动反射。其反射特征显示湖泊相沉积的中下部地层中通常有机质含量较高,是埋藏古湖泊内的有利产气区。

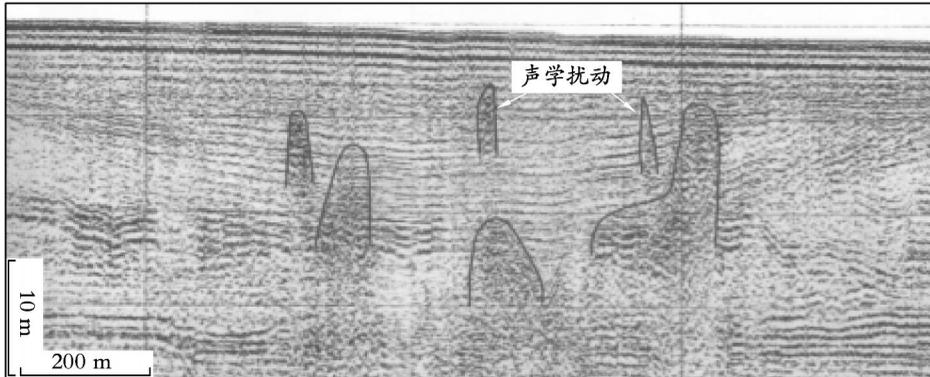


图3 埋藏古湖泊中的浅层气扰动反射(4线b处)

Fig. 3 Shallow gas turbidity in the paleo lacustrine facies (position b on line 4)

3.3 埋藏古河道中的浅层气

浅地层剖面记录显示,南黄海西部地区浅层有2~3期埋藏古河道^[5],其中上层的古河道发育于晚更新世末次冰期晚期,在124°E以西的南黄海广泛分布,北部为古黄河埋藏古河道系,34°N以南为古长江埋藏古河道系。根据地震资料解释得到的全区河道密布的特征看,该地区曾经常发生洪水泛滥、河流改道(或存在较多分叉河道),形成了大量的小型河道与河漫滩沉积。下层河道发育于中更新世晚期,同样河道密布,局部规模较大,但分布范围略小。

古河道内部上下地层特征通常变化较大。其中古河道下部通常为总体反射较强但不均匀的杂乱反射、波状反射和交错层理反射,古河道底部通常为砂质沉积,反映了当时河流流水具有季节性变化明显、

暴涨暴落、水流湍急的特征。河道中部及两侧的河漫滩沉积,反射能量较强,层理发育较好,常见稳定的斜层理、亚平行反射层理,代表了较稳定而缓慢的河流沉积阶段。古河道的上部一般为能量较弱、层理较细的反射,认为是较细软且含水量较大的泥质沉积。

图4为6线上的一段古河道内的浅层气浅地层剖面记录。该古河道宽约2 km,深10~15 m。古河道内可见多个浅层气声学扰动反射,其主体均位于古河道内,扰动区内上部地层相位被加强,下部地层相位被屏蔽。图中右侧的浅层气反射区上部由杂乱斑点反射形成的声学扰动区位于全新世海相层内,反映了古河道内浅层气处于向上运移过程中。

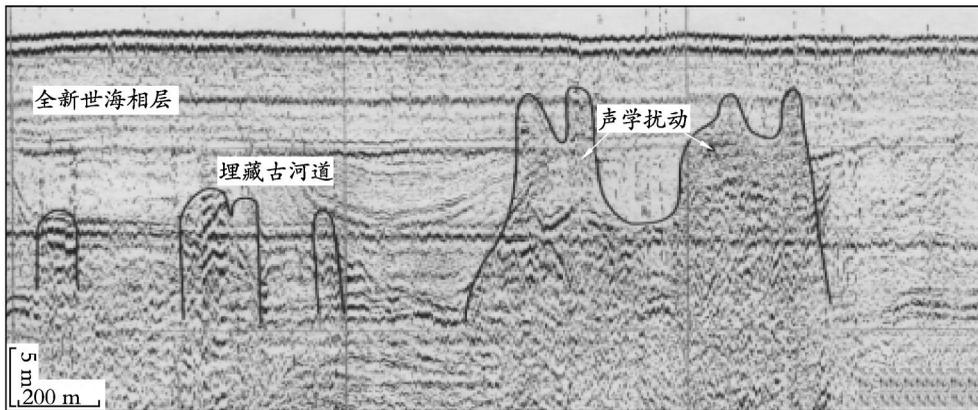


图4 浅滩区北部埋藏古河道中的浅层气地震记录(6线c处)

Fig. 4 Shallow gas in the paleo-fluvial facies in the northern shoal (position c on line 6)

大部分埋藏古河道内发现了浅层气的反射,浅层气反射区一般位于古河道的中下部和河道内低洼部位,少量浅层气反射处于埋藏古河道中间层位中,浅层气通常被河道上部的细软泥层、海相地层封盖,

偶尔可见浅层气反射区的顶界面部分进入现代海相沉积地层中(图4右侧)。埋藏古河道内浅层气以各种小规模声学幕反射、声学扰动反射为主。其顶界面的羽状穿刺反射反映了浅层气向上运移的趋

势。载气区中的强反射部位所处的河道中下部凹陷部位可能代表了河道内有机质含量较多的位置。

3.4 埋藏古潮沟内的浅层气

在坡度平缓、潮汐作用显著但波浪作用较弱的粉沙淤泥质海岸,若有一定数量的沉积物补给,往往发育潮沟,潮沟是潮坪上最活跃的地貌单元^[10]。潮沟内沉积物通常以细颗粒物为主,上段沉积物颗粒较细,下段稍粗。在江苏附近,由于滩地宽广,潮沟迁移改造频繁,沉积物粒度变化比较复杂,但总体来看,自下而上仍有逐渐变细的规律,只是幅度较小而已。滩面水流冲刷型潮沟在江苏北部沿岸(大丰附近)很发育,在那里,潮沟的源头一般在中潮坪上部盐蒿、秧草带外缘,向下延伸至低潮线附近^[10,11],盐蒿、芦苇和扁杆等植物常可在潮间带上部生长,这些植物可能为潮沟提供了有机质物源,所以埋藏古潮沟上段的细粒沉积区中由植物分解形成的有机质

含量相对较高。

图5为H线北段的一段浅地层剖面记录,该处全新世海相层与晚更新世海相层不整合接触。该处埋藏古潮沟发育于晚更新世海相层中,潮沟宽200~300m,呈“V”字型,沟沿上可见平行沟壁的斜层理,潮沟中、上部为无层理的透明反射,该处填充的可能是含水量高的细颗粒物。该处较发育的两个潮沟说明此处当时为粉砂级沉积区,沉积颗粒较细。这些细颗粒物有利于细粒有机质的沉积保存并形成埋藏古潮沟内的有机质富集区,而且和周围的玉木间冰期海相粉砂级沉积物共同阻挡了潮沟下部有机质分解生成的浅层气向上运移,从而形成了潮沟内的局部浅层气富集区。由于该处浅层气浓度较高,能量衰减较快,声速迅速减小,从而在潮沟底部形成了声学空白区和相位下拉现象。

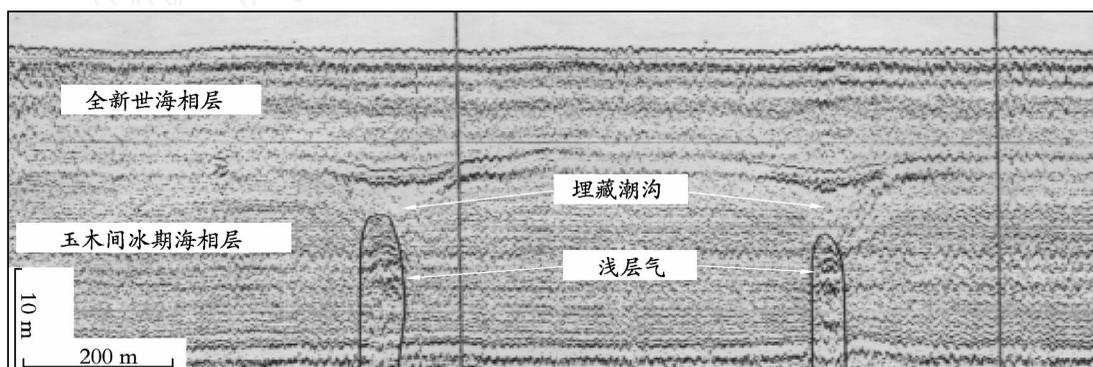


图5 埋藏古潮沟内的浅层气反射地震记录(H线d处)

Fig. 5 Shallow gas in the paleo-tidal channel (position d on line H)

在南黄海西南部的全新世海相层之下发育了较多的潮沟,一般截面宽度为几十至几百米,呈V字形,深2~5m,沟壁陡而直,沟顶较圆滑。多数潮沟下部存在杂乱的声学扰动反射,但规模较小,由于声学屏蔽作用,在个别潮沟内形成了条带状声学空白区。

4 载气地层时代划分

根据埋藏浅层气反射区顶界面所处的不同地质年代,可将浅地层剖面记录到的南黄海西部地区的浅层气划分为4类:

4.1 全新世海相地层中的浅层气

有关研究^[9,12~14]表明,研究区内全新世海相地层中有机质含量相对较少,不会生成大量的浅层气。但在南黄海西部地区的全新世海相地层内发现了较多的浅层气反射(图2、图4),各种类型的浅层气反射均有发现。对该区全新世海相地层中的浅层气

别结果表明,除部分由埋藏古河道、古湖泊内生成并运移到全新世海相地层中的气体(图4埋藏古河道、图3埋藏古湖泊中的浅层气)可被识别出外,其余浅层气反射难以识别气体来源。

全新世地层中废黄河三角洲和吕四岸外部分海区以声学空白、声学幕反射为主,其余一般为晚更新世晚期陆相、过渡相地层中浅层气运移到全新世海相地层中的浅层气,以声学扰动反射为主,在废黄河三角洲为声学空白区、声学幕反射。

4.2 玉木冰期陆相、过渡相地层中的浅层气

晚更新世末,玉木冰期晚期地层包括陆相地层、过渡相地层(埋藏古湖泊相、埋藏古潮沟相地层)。通常其内部气源可以识别,反射区一般位于埋藏古湖泊(图3)、埋藏古河道(图4)、埋藏古潮沟(图5)内的中下部地层中。

该期地层中的浅层气规模较小,以声学幕、声学扰动反射为主,少数浅层气屏蔽下部地层,形成声学

空白区。南黄海西部地区的浅层气大部分为玉木冰期陆相、过渡相地层中的浅层气。

4.3 晚更新世海相层中的浅层气

图6为7线东段晚更新世海相地层内的一个浅层气声学扰动反射区。在晚更新世海相地层的水平层理中,声学扰动区内上部地层被加强且下部地层

被屏蔽,出现下部水平地层反射相位的中断。

晚更新世海相层以浅海相层为主,局部发育古三角洲相地层。该期海相地层中发现了个别浅层气区,为声学扰动反射。在剖面记录上难以识别该期地层内的浅层气来源。但该期地层中的某些扰动反射表明该时代的地层能生成浅层气。

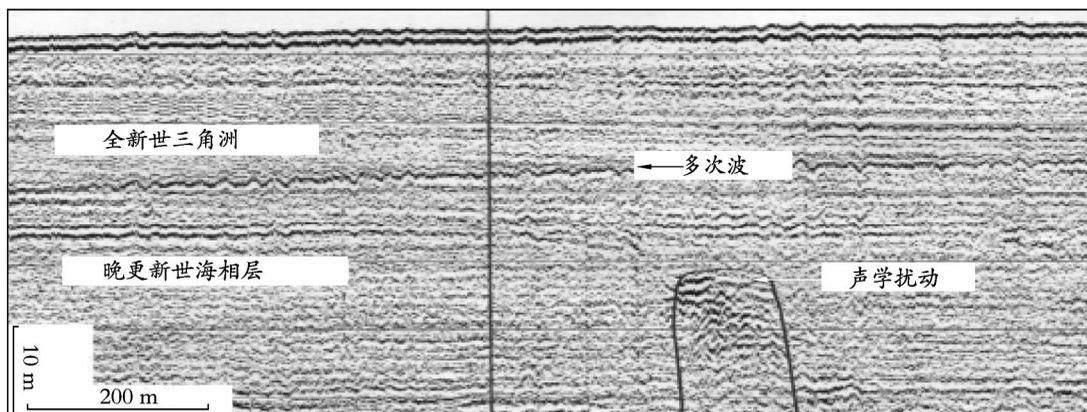


图6 晚更新世海相层中的浅层气地震记录(7线e处)

Fig. 6 Shallow gas in the marine sediments of late Pleistocene (position e on line 7)

4.4 中更新世晚期里斯冰期陆相层中的浅层气

图7为2线上发现的中更新世晚期地层中古河道内的浅层气反射记录,其上部界面为加强的古河道强反射界面,古河道内地层中可见声学扰动反射,下部地层的部分强反射地层相位在该处被屏蔽而出

现中断。

由于该期地层埋藏深度通常超过50m,受上部浅层气干扰及自身反射能量较弱的影响,该期地层的浅层气比较少见。仅在个别地区发现了该期埋藏古河道中的浅层气反射。

由于所获浅层气剖面不能完全揭示南黄海西部

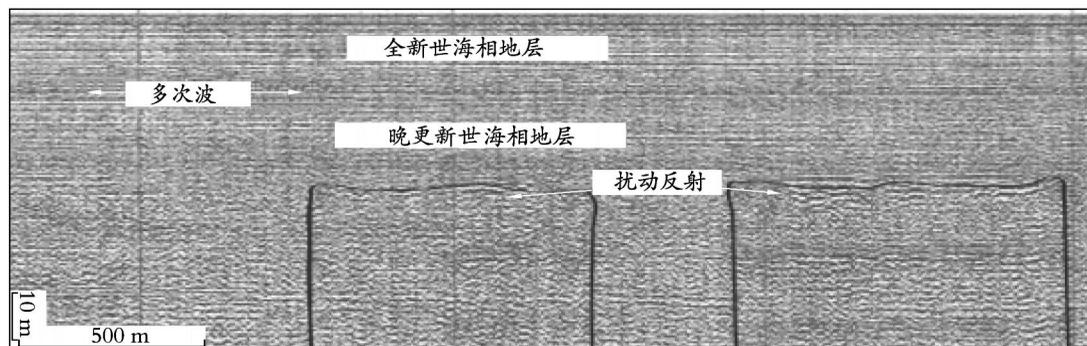


图7 中更新世晚期埋藏古河道中的浅层气地震记录(2线f处)

Fig. 7 Shallow gas in the paleo-fluvial facies of late stage of middle Pleistocene (position f on line 2)

地区中更新世晚期以下的地层,且调查测线上未见这些较深地层中的浅层气反射,所以认为中更新世晚期以下地层中通常没有浅层气反射。

浅层气的产气源。

南黄海西部地区在中更新世晚期以来的两期海相地层(全新世和晚更新世)和两期陆相地层(玉木冰期、里斯冰期)中,都存在浅层气的地震反射。

5 结论

南黄海西部地区浅层气主要赋存于埋藏的三角洲相、古湖泊相、古河道相、古潮沟相地层中,由于其均为富含有机质的地质体,因此它们自身应该就是

致谢:在此感谢刘锡清研究员和李凡研究员在论文写作中给予的热心指导。

参考文献:

- [1] Davis A M. Shallow gas:an overview [J]. *Continental Shelf Research*,1992 ,12(10) :1 077-1 079.
- [2] Judd A G, Hovland M. The evidence of shallow gas in the sediments [J]. *Continental Shelf Research*,1992 ,12 (10) :1 081-1 095.
- [3] Missiaen T, Murphy S, Lonke L , *et al.* Henriët. Very high-resolution seismic mapping of shallow gas in the Belgian coastal zone [J]. *Continental Shelf Research*, 2002 ,22(11) :2 291-2 301.
- [4] Garcia-Gil S, Vilas F, Garcia A. Shallow gas features in incised valley fills (Ría de Vigo, NW Spain) :a case study [J]. *Continental Shelf Research*,2002 ,22:2 303-2 315.
- [5] 李凡,张秀荣,唐宝珏. 黄海埋藏古河道及灾害地质图集 [M]. 济南:济南出版社,1998. 17,71-78,102-107.
- [6] 顾兆峰,张志珣,刘怀山. 南黄海西部地区浅层气地震特征 [J]. *海洋地质与第四纪地质*,2006 ,26(3) :65-73.
- [7] 杨子赓,林和茂. 中国东部第四纪进程与国际对比 [M]. 北京:地质出版社,1993. 79-84.
- [8] 杨子赓,林和茂. 中国第四纪地层与国际对比 [M]. 北京:地质出版社,1996. 31-41.
- [9] 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉,等. 黄海地质 [M]. 北京:海洋出版社,1989. 1-4,43-58,172-178.
- [10] 邵虚生. 潮沟成因类型及其影响因素的探讨 [J]. *地理学报*,1988 ,43(1) :35-43.
- [11] 张忍顺,王雪瑜. 江苏省淤泥质海岸潮沟系统 [J]. *地理学报*,1991 ,46(2) :195-206.
- [12] 刘敏厚,吴世迎,王永吉. 黄海晚第四纪沉积 [M]. 北京:海洋出版社,1989. 178-185,318-325.
- [13] 廖先贵,栾作峰,张相君,等. 南黄海北部沉积物某些有机地球化学特征 [A]. 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室:黄东海地质 [C]. 北京:科学出版社,1982. 160-173.
- [14] 栾作峰. 南黄海北部沉积物的有机地球化学特征 [J]. *海洋与湖沼*. 1985 ,16(1) :93-100.

Shallow geological background of shallow gas in the western South Yellow Sea

GU Zhao-feng¹, ZHANG Zhi-xun¹, LIU Huai-shan², LAN Xian-hong¹

(1. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 2. College of Ocean and Geoscience, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received :Nov. , 8, 2007

Key words :the western South Yellow Sea; shallow gas; geological background

Abstract :Based on the interpretation of about 6 000 km s shallow seismic profile in the western South Yellow Sea , the gas-containing geological bodies and their stratigraphic chronology are analysed in this paper , and the following conclusions are obtained: 1. the shallow gas in the western South Yellow Sea is mostly distributed in the buried delta facies , paleo lacustrine facies , paleo-fluvial facies , and paleo-tidal channel facies; 2. the shallow gas as indicated by seismic reflections is buried in the two stages of marine sediments deposited in Holocene and Late Pleistocene and in the two stages of terrestrial sediments deposited during W rm and Riss glaciations.

(本文编辑:谭雪静)