

北黄海盆地东部前中生界基底特征

肖国林^{1,2}, 孙长虹³, 郑浚茂¹

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071;

3. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

摘要: 北黄海盆地是中国近海唯一未获得油气突破及勘探程度最低的含油气盆地 (朝鲜已在该盆地东部实现了工业性油气突破), 朝鲜在东部凹陷的 3 口钻井证实北黄海盆地东部凹陷主体前中生界基底是下古生界 (P_z) 地层, 与上覆以砂泥岩为主的中—新生界地层在地球物理特征上有很大差异, 该特征提供了以地球物理资料推断和确定中—新生界盆地基底特征的可靠性。通过重力、磁力及大量多道地震资料解释认为, 北黄海盆地前中生界基底最大埋深约 5.5 km, 凹陷主体部位前中生界基底以下古生界碳酸盐岩为主, 其东北角可能存在上古生界碎屑岩基底, 而凹陷南部可能是元古界浅变质岩基底。

关键词: 前中生界基底; 地球物理特征; 北黄海盆地东部

中图分类号: P534.4; TE121.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-8527(2005)02-0261-06

Pre-Mesozoic Basement Characteristics in the Eastern Depression of the North Yellow Sea Basin

XIAO Guo-lin^{1,2}, SUN Chang-hong³, ZHENG Jun-mao¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The North Yellow Sea Basin is the only one offshore petroliferous basin of China that is very lowly explored and where we have not made breakthroughs in oil and gas. However, Korea has discovered commercial hydrocarbon in the east of the basin. Three boreholes of Korea in the eastern depression give evidences that lower Paleozoic strata (P_z) act as the pre-Mesozoic basement of the main body of the eastern depression and differ greatly in geophysical properties from the overlying Mesozoic-Cenozoic strata dominated by sandstone and mudstone. These geophysical data can be reliably used to infer and determine the characteristics of the Mesozoic-Cenozoic basin basement. Based upon the interpretations of gravitational, magnetic and multi-channel seismic data, there is an evidence that the maximum buried depth of the pre-Mesozoic basement is about 5.5 km in the North Yellow Sea Basin. If taking the previous buried depth of 1 km as the boundary of the basement, the eastern depression has an area of about 1,700 km². Pre-Mesozoic basement of the depression mainly consists of carbonate rock of Lower Paleozoic, in the northeast corner of the depression may exist Late Paleozoic basement made up of clastic rock, and there may be Proterozoic basement of epimetamorphic rock in the south of the depression.

Key words: pre-Mesozoic basement; geophysical property; east of the North Yellow Sea Basin

0 引 言

在此钻井, 人们对该盆地的认识主要来自少量的地球物理 (主要为重力、磁力及少量地震) 资料。北黄海盆地的勘探程度较低, 中国至今尚未及朝鲜在盆地东部钻井的零星资料。其前中生界

收稿日期: 2004-09-15; 改回日期: 2004-12-20; 责任编辑: 孙义梅。

基金项目: 北黄海盆地基底地质结构及形成演化研究 (XM(2002)-27A)。

作者简介: 肖国林, 男, 研究员, 博士研究生, 1962年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事中国海域油气地质方面的研究工作。

的基底结构、埋藏深度、中—新生界的沉积及分布等都关系着盆地的结构、形成演化及其含油气前景等关键问题，故成为地质学家们关注的焦点。前人的研究成果主要有两种分歧：一种观点认为盆地内有厚度达 4 000 m 的侏罗纪—白垩纪地层，第三纪地层不发育^[1]，是一个中生界沉积的盆地；另一些观点则认为盆地内发育有巨厚的中—新生代沉积地层，最大沉积厚度达 8 000 ~ 10 000 m，其中上侏罗统—下白垩统厚度达 5 500 ~ 6 000 m，以陆相沉积为主^[2-5]。笔者通过系统地收集朝鲜的钻井资料并结合大量的新的多道地震调查资料，以该盆地东部为重点研究目标，通过对前中生界基底地层的地震反射波组、地层接触关系及地层速度响应等特征的系统解剖研究，对该盆地东部前中生界的基底结构、埋深与岩性分布提出了新的认识。

1 区域对比

经渤海、北黄海向东与朝鲜半岛北部的狼林台背斜和南平台向斜相接的中朝板块上发育了渤海及北黄海两个海域中新世盆地（图 1）。渤海盆地内中生界十分发育，除沙垒田及石臼坨等凸起顶部外，侏罗纪—白垩纪地层在盆地内广泛分布，盆地内前中生界地层主要有作为盆地结晶基底的太古界及早元古代变质岩，中—晚元古代碳酸盐岩，下古生界寒武纪泥、页岩及碳酸盐岩，奥陶纪碳酸盐岩，上古生界石炭纪—二叠纪煤系

地层。

重力及磁力测量成果认为，北黄海海域是胶—辽隆起在海区的延伸^[1-6]。前人^[7]的研究认为，震旦系地层在北黄海仅呈零星发育，缺失整个古生界及下中生界地层，于晚中生代形成了北黄海断陷盆地，盆地前中生界基底是古老的寒武纪地层。另一些研究^[8-9]则认为，盆地前中生界基底以元古界变质岩及古生界为主，古生界主要分布在盆地的中部、东部地区及朝鲜的平南地区，以碳酸盐建造为主。赖万忠 1999 年论述 401 井中在 1 400 ~ 1 872 m 井段为寒武系灰岩及页岩，在 1 872 ~ 2 803 m 井段为元古界变质岩系，岩性为千枚岩、片麻岩、白云岩和灰岩。文献 [10] 也论述了在 401 井钻遇 472 m 的寒武系，岩性为钙质页岩和褐色灰岩。

朝鲜在北黄海盆地东部所钻的 611、605 井均钻遇 O₂₊₃ 碳酸盐岩。此外，朝鲜在西湾（即北黄海）盆地的钻探结果发现该区缺失志留系—泥盆系下统，石炭系为海陆交互相含煤沉积，二叠系为海相碳酸盐岩。

综上所述，北黄海盆地的古生界与华北地台的相似，但其又以发育有中—上奥陶统、中—上泥盆统及下石炭统而有别于华北地台，盆地基底与上覆沉积盖层之间的不整合发育。区域不整合面具有丰富的地质学信息，它不仅是典型的层序界面^[11]，而且反映了地球动力学变化^[12]，也是巨层序划分的基础^[13]，还可据区域不整合面下被削

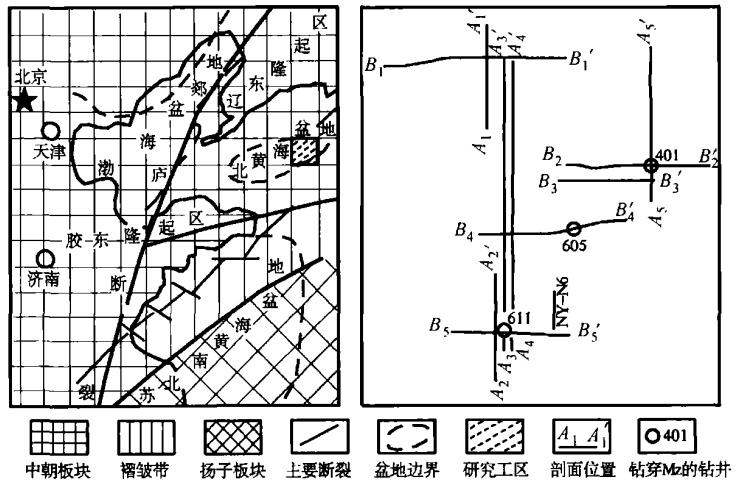


图 1 北黄海盆地位置及研究区示意图（右图剖面位置为左图研究工区放大部分）

Fig. 1 Sketch map of location and research areas of the North Yellow Sea Basin

赖万忠．朝鲜油气与西湾盆地勘探．中国海洋石油总公司．1999．
赖万忠．IEDS 报告．1993．

截岩层的构造变形和削截程度来判断盆地被改造的程度^[14]。正因为盆地基底以古生界碳酸盐岩为主体，而碳酸盐岩与上覆的中—新生界砂泥岩地层在地球物理响应上有很大差异，而且中生代地层与下伏前中生代基底之间广泛发育角度不整合，这就为我们利用地震资料研究北黄海盆地的基底特征提供了很好的条件。

2 地震反射剖面上的不整合特征

目前在盆地东部凹陷内地震剖面上可见到多处 T_g 面上、下的不整合的接触特征。

2.1 过朝鲜 401 井的东西向地震剖面

过朝鲜 401 井的东西向的 $B_2 - B_2$ 地震剖面上 (图 1)，在其 5 600 - 5 800 桩号之间，纵向反射时间在 1.0 ~ 1.4 s 上下存在一个明显的角度不整合接触，而 401 井也恰好在井深 1 400 m 以下钻穿寒武系 () 灰岩夹页岩，层速度达 5 013 m/s，证明该不整合面即为前中生界基底顶面 (图 2)。同样的基底不整合特征在东西向的 $B_3 - B_3$ 地震剖面上也清晰可见。

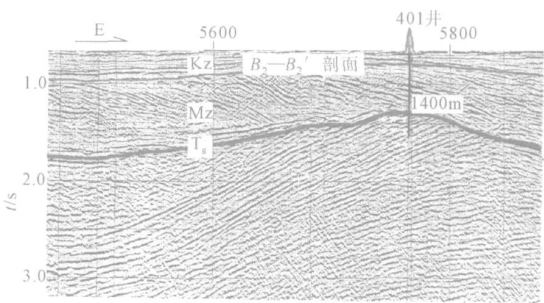


图 2 $B_2 - B_2$ 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触图示
Fig. 2 Map showing T_g unconformity contact on profile $B_2 - B_2$ of seismic reflection

2.2 过朝鲜 611 井旁的南北向地震剖面

$A_4 - A_4$ 及 $A_3 - A_3$ 是过朝鲜 611 井旁东西约 500 m 处南北向地震剖面 (图 1)。611 井在井深约 1 700 m 以下钻遇奥陶系灰岩，顺层追踪证实基底面 (T_g 面) 在 $A_3 - A_3$ 剖面 1 761 桩点和 $A_4 - A_4$ 剖面的 1 781 桩点处，纵向反射时间在 1.5 s 附近 (以下层位层速度大于 5 000 m/s)，两条剖面在 T_g 面以下可见与上覆中—新生界明显不同的区域构造。

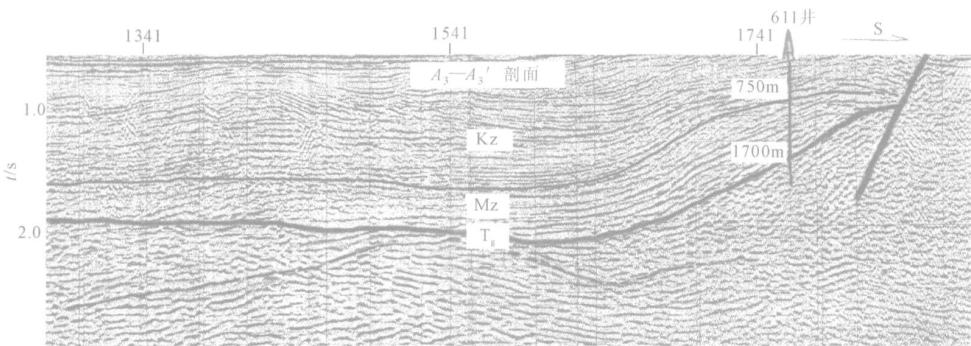


图 3 $A_3 - A_3$ 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触图示
Fig. 3 Map showing T_g unconformity contact on profile $A_3 - A_3$ of seismic reflection

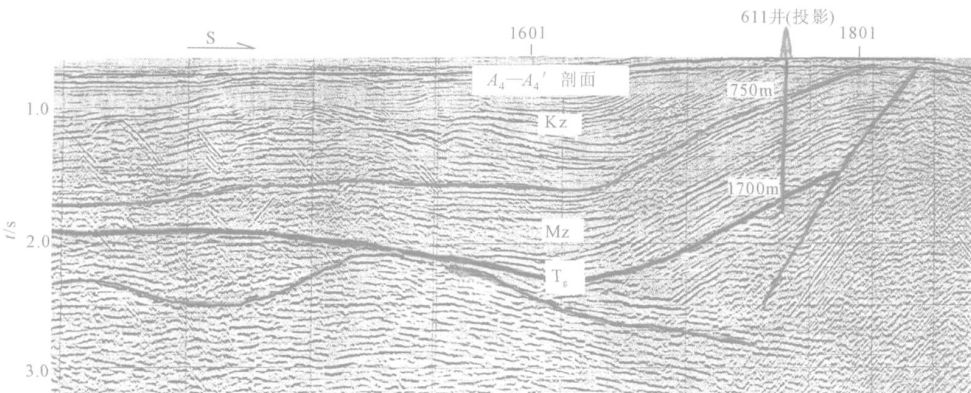


图 4 $A_4 - A_4$ 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触图示
Fig. 4 Map showing T_g unconformity contact on profile $A_4 - A_4$ of seismic reflection

造特征, T_g 为不整合面(图3和图4)。另外,文献[3]据602井分层数据投影到其西侧约5 km的NY-N6测线上(图5),对比论述盆地东部凹陷侏罗统底界深度可能>4 000 m(?),界线位于该剖面2459桩点(602井投影点)纵向反射时间约2.45 s附近,其层速度大于5 000 m/s,也证明剖面上该处的前中生界基底顶面在2.45 s附近。

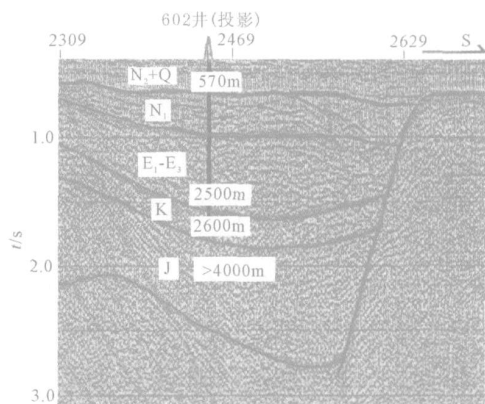


图5 北黄海 NY-N6测线地震剖面
(据参考文献[3]修改)

Fig. 5 Map showing T_g on profile NY-N6 of seismic reflection

2.3 过朝鲜605井旁的东西向地震剖面

B_4-B_4 是过朝鲜605井旁的东西向地震剖面(图1)。605井钻在该剖面721-701桩点中间约<1 km附近,该井已钻遇奥陶系灰岩,在剖面上721-701桩点间,纵向反射时间在2.05 s以下,地震层速度大于5 200 m/s,证明该剖面上721-701桩点附近基底面 T_g 在2.05 s附近,在 T_g 面上、下可清晰见到角度不整合接触(图6)。

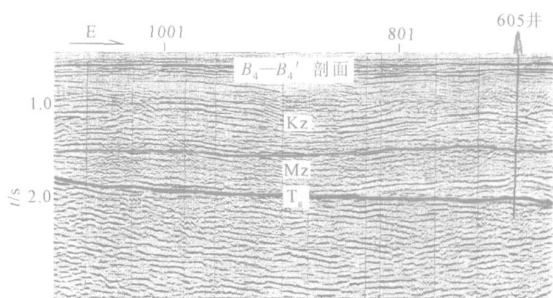


图6 B_4-B_4 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触

Fig. 6 Map showing T_g unconformity contact on profile B_4-B_4 of seismic reflection

以上列举的仅是过井的几条地震剖面上所见到的前中生界基底与上覆地层之间的角度不整合接触关系。除以上已由钻井资料证实的 T_g 上、下

不整合接触外,其他一些剖面,如 A_1-A_1 、 B_1-B_1 地震剖面上,也多处见到 T_g 上、下不整合接触的特征(图7和图8)。

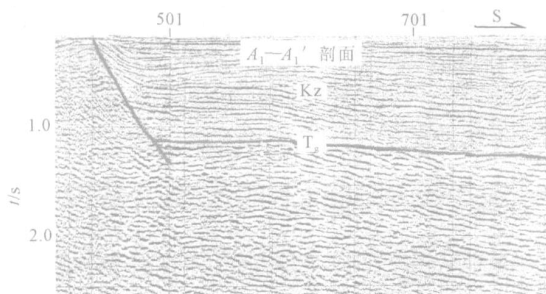


图7 A_1-A_1 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触

Fig. 7 Map showing T_g unconformity contact on profile A_1-A_1 of seismic reflection

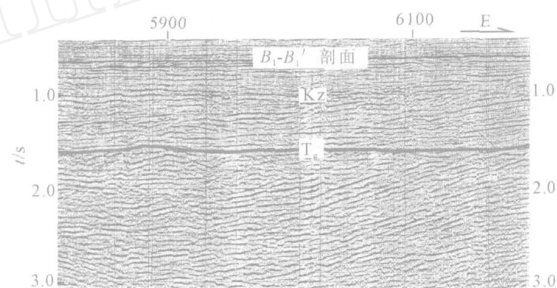


图8 东西向剖面 B_1-B_1 地震剖面上 T_g 上、下不整合接触

Fig. 8 Map showing T_g unconformity contact on profile B_1-B_1 of seismic reflection

3 研究区基底岩性及地层层速度响应

由于目前中国尚无北黄海盆地的钻井和测井资料,地震层速度研究肩负着为地震层序划分、层位解释及主要岩性标定提供依据的任务。目前朝鲜在北黄海盆地东部凹陷内已有3口钻井(401井、605井及611井)钻遇前中生界基底地层。以多道地震资料为主要研究对象,选择有效反射时间大、层位全的剖面段,结合周边盆地地层的地质-地球物理特征,地震层位及过井地震剖面标定的地层层速度-岩性关系等信息,对北黄海盆地前中生界基底特征进行分析。

3.1 北黄海盆地

401井旁(地震测线的 B_2-B_2 与 A_5-A_5 ?线交点)速度谱特征为:井深1 130 m以上地层为新生界,古近系(E)碎屑岩层速度<3 000 m/s;井深1 130~1 400 m为下白垩统(K_1)碎屑岩,其层速度为4 423 m/s;井深1 400~1 872 m为寒武系(?)的灰岩夹页岩,层速度为5 013 m/s;井深1 872~2 803.5 m为元古界(Pt)。

611 井：井深 750 m 以上地层为新生界；井深在 750 ~ 1 150 m 为下白垩统 (K_1)；井深 1 150 ~ 1 700 m 为上侏罗统 (J_3)；井深 1 700 ~ 2 400 m 为上奥陶统 (O_3) 的灰岩。井旁 (地震测线 $B_5 - B_5$ 线与 $A_2 - A_2$ 线交点东侧约 500 m 处) 速度谱特征为：新生界古近系 (E) 碎屑岩地层的层速度 < 3 000 m/s；中生界侏罗系—白垩系 (J - K) 层速度为 3 918 m/s；古生界上奥陶统 (O_3) 灰岩层速度为 5 363 m/s。

605 井已钻遇古生界上奥陶统 (O_3) 灰岩，虽然分层及井深情况不清，但该井处在地震测线 $B_4 - B_4$ 701 桩点处，地震解释该处地层新近系底界位于地震反射时间剖面的 0.615 s 处，古近系底界位于地震反射时间剖面的 1.43 s 处，白垩系底界位于地震反射时间剖面的 1.61 s 处，前中生界基底顶面位于地震反射时间剖面的 2.05 s 处。各层速度谱特征为：新生界古近系 (E) 地层层速度 < 3 053 m/s；白垩系 (K) 层速度为 3 053 ~ 3 917 m/s；侏罗系 (J) 层速度为 4 145 m/s 左右，上奥陶统 (O_3) 灰岩层速度为 5 232 m/s。

综上所述，北黄海盆地东凹地层的地震层速度响应具有如下特征 (表 1)。

表 1 北黄海盆地东凹地层的地震层速度响应
Table 1 The relationship between the interval velocities of multichannel seismic reflection data and stratigraphic in eastern depression of the North Yellow Sea Basin

地 层	地震层速度 / ($m \cdot s^{-1}$)
古近系 (E)	2 000 ~ 3 400
白垩系 (K)	3 000 ~ 4 400
侏罗系 (J)	4 000 ~ 4 900
前中生界 (An - Mz)	灰岩 > 5 000 (5 013 ~ 5 363)

3.2 南黄海盆地

由于北黄海盆地东部仅有 3 口井钻遇前中生界基底，而且基底有同一地震层速度响应，但是否正确？我们可以分析邻近的南黄海盆地已钻遇基底所证实的地震层速度响应来佐证。

南黄海盆地目前已钻遇前中生界的钻井共有 6 口，其中南黄海盆地的北部拗陷有 2 口 (黄 2 井及 KACHI-1 井)，南部拗陷 4 口 (无锡 5-1-1 井、无锡 13-1-1 井、常州 12-1-1 井、常州 24-1-1 井)，6 口井分别钻遇三叠系、二叠系灰岩地层和震旦系千枚岩、硅质灰岩及石英岩，深度段为 1 400 ~ 3 500 m^[15]。除韩国所钻的 KACHI-1 井，我们尚

未掌握其井旁速度谱外，其他井所钻遇的基底层位和岩性均与井旁地震速度谱进行了比较。

无锡 5-1-1 井：井深 1 411 m 以上为新生界砂泥岩；1 411 ~ 2 813 m 为下三叠统青龙组 (T_1q) 灰岩。井旁 (地震测线的 82 线与 19 线交点) 速度谱特征为：新生界古近系阜宁组 (Ef) 碎屑岩层速度 < 3 000 m/s；青龙组 (T_1q) 灰岩层速度为 5 105 ~ 6 212 m/s。

无锡 13-1-1 井：井深 2 035 m 以上为新生界砂泥岩；2 035 ~ 2 228.61 m 为下二叠统栖霞组 (P_1q) 灰岩。井旁 (地震测线的 46 线与 21 线交点) 速度谱特征为：新生界古近系碎屑岩层速度 < 3 000 m/s；栖霞组 (P_1q) 灰岩层速度为 5 703 m/s。

常州 12-1-1 井：井深 1 724.5 m 以上为新生界新近系；1 724.5 ~ 2 052.5 m 为古近系 (E) 碎屑岩；2 052.5 ~ 3 511 m 为下三叠统青龙组 (T_1q) 灰岩。井旁 (地震测线的 44 线与 15 线交点) 速度谱特征显示青龙组 (T_1q) 灰岩层速度为 5 324 m/s。

黄 2 井：井深 492 m 以上为新近系砂泥岩；492 ~ 1 708 m 为古近系砂泥岩；1 708 ~ 1 769 m 为千枚岩、硅质灰岩及石英岩，时代为震旦系 (另一观点认为是震旦系顶部风化面砾石层)。其井旁地震测线 (N50 线 940 桩点) 上，在 1.775 s 以上

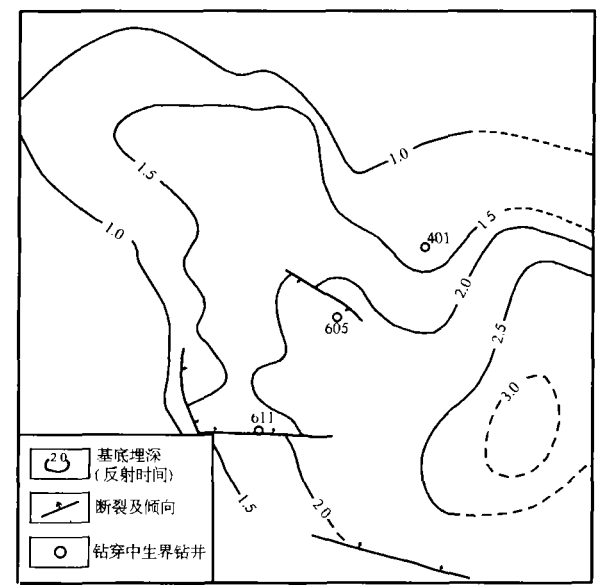


图 9 东部凹陷前中生界顶面 (T_g) 埋深等时图 (单位：s)
Fig. 9 Sketch map of isochron of the buried depth of the pre-Mesozoic top interface (T_g) in the eastern depression

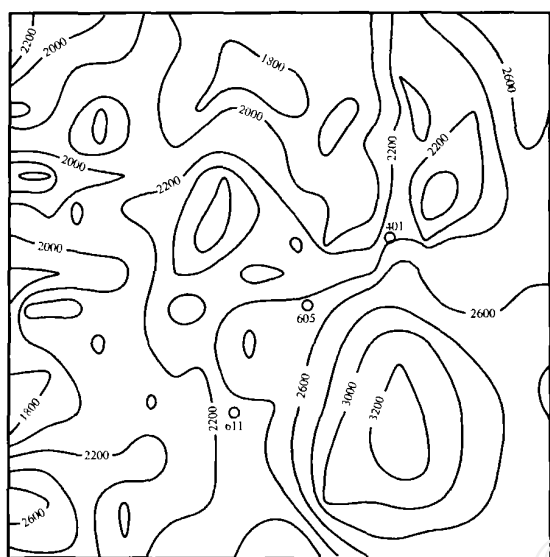


图 10 东部凹陷 5 000 m/s 等层速度层位埋深等时图
(单位: s)

Fig. 10 Map showing isochron of buried depths of horizons with the same interval velocity (5 000 m/s) in the eastern depression

地层的层速度 $< 3\,375\text{ m/s}$, 而在 1.775 s 以下的层速度达 $5\,656\text{ m/s}$

综上所述, 南黄海盆地新生界古近系砂泥岩地层地震波层速度一般 $< 3\,000\text{ m/s}$, 中生界白垩系 (K) 的层速度为 $3\,300 \sim 4\,100\text{ m/s}$, 中、古生界碳酸盐岩的层速度一般在 $5\,100\text{ m/s}$ 以上; 震旦系千枚岩、硅质灰岩及石英岩等岩石的层速度大于 $5\,600\text{ m/s}$

与北黄海盆地东部一样, 南黄海盆地基底层速度与基底岩性的对应关系也非常一致, 证明北黄海盆地内许多地震剖面上所见的 T_g 不整合面应是其前中生界基底顶面 (图 9), 而且东部凹陷主体以层速度大于 $5\,000\text{ m/s}$ 的等层速度面也应基本反映其基底埋深面 (图 10)。

4 结 论

(1) 北黄海盆地东部前中生界与上覆地层之间多处存在明显的角度不整合接触。

(2) 据已钻达基底的钻井和地震资料, 结合周边盆地区域地质、地层岩性与层速度等对应关

系分析, 北黄海盆地东部凹陷主体前中生界基底主要由下古生界 (P_4) 灰岩构成, 推测在凹陷东北角存在有上古生界 (P_2) 砂泥岩地层, 而在凹陷南部局部隆起上可能存在元古界 (Pt) 变质基底。

(3) 以 $5\,000\text{ m/s}$ 等层速度分布和基底 T_g 平面图所示可见, 北黄海盆地东部凹陷的最深位置在南部, 靠近边界控制断层, 最大深度约 $5 \sim 5.5\text{ km}$, 与近期完成的航磁解释结果一致。

参考文献:

- [1] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探 (第四卷) 近海油气区 [M]. 北京: 地质出版社, 石油工业出版社, 1999.
- [2] 王嘹亮, 易海, 姚永坚, 等. 黄海海域沉积特征 [A]. 海洋地质杂志社. 黄海海域油气地质 [C]. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [3] 刘振湖, 姚永坚, 曾祥辉. 北黄海盆地油气远景及勘探的若干问题 [A]. 海洋地质杂志社. 黄海海域油气地质 [C]. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [4] 冯志强, 姚永坚, 曾祥辉, 等. 对黄海中、古生界地质构造及油气远景的新认识 [J]. 中国海上油气 (地质), 2002, 16(6): 367 - 373.
- [5] 蔡东升, 冯晓杰, 高乐, 等. 中国近海前第三纪残留盆地及其勘探潜力与方向 [J]. 中国海上油气 (地质), 2004, 16(1): 1 - 16.
- [6] 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [7] 李乃胜. 黄海三大盆地的演化 [J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 355 - 362.
- [8] 杨艳秋, 戴春山, 刘万洙. 北黄海盆地基底结构特征 [J]. 海洋地质动态, 2003, 19(5): 25 - 26.
- [9] 翟光明. 中国石油地质志, 沿海大陆架及毗邻海域油气区 (上册) 卷十六 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [10] 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向 [J]. 中国海上油气 (地质), 2003, 17(4): 225 - 231.
- [11] 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化 [J]. 现代地质, 2004, 18(4): 555 - 563.
- [12] 李小军, 李景明, 刘立群, 等. 塔里木盆地东部盆山耦合与区带分析 [J]. 现代地质, 2004, 18(2): 164 - 170.
- [13] Maill A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis [M]. New York: Springer Verlay, 1990.
- [14] 陈发景, 张光亚, 陈昭年. 不整合分析及其在陆相盆地构造研究中的意义 [J]. 现代地质, 2004, 18(3): 269 - 275.
- [15] 吴志强. 黄海地层岩石物理特征及其对地震勘探技术的挑战 [J]. 中国海上油气 (地质), 2003, 17(6): 407 - 411.