

文章编号: 0253-9985(2009)04-0444-06

渤海海域湖相碳酸盐岩地震-地质 综合预测方法及应用

宋章强¹, 赖维成¹, 牛成民¹, 薛金宝², 沈洪涛¹, 于圣杰³[1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海油田勘探开发研究院, 天津 300452 2. 中海油能源发展有限公司
采油工程研究院, 天津 300452 3. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083]

摘要: 以岩相古地理学及沉积学为指导, 根据渤海海域大量钻井资料, 指出湖相碳酸盐岩发育受古地貌、古气候、物源供给、构造演化和基底特征等因素影响, 具有孤立、局限分布的特点。模型正演结果表明, 湖相碳酸盐岩地震反射具强反射或丘状反射特征。实践证明, 在地质模式指导下, 地震-地质综合预测湖相碳酸盐岩储层分布是可行的。该方法在渤海海域 B22 地区和 B13 地区进行应用, 取得了良好效果。

关键词: 地震响应; 湖相碳酸盐岩; 储层预测; 渤海海域

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

An integrated seismic-geological approach to predict lacustrine carbonate rock in the Bohai Sea waters

Song Zhangqiang¹, Lai Weicheng¹, Niu Chengmin¹, Xue Jinbao², Shen Hongtao¹, Yu Shengjie³

(1. Exploration and Development Research Institute of Bohai Oilfield, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China;

2. Oilfield Engineering Research Institute, CNOOC Energy Development Company, Tianjin 300452, China;

3. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences Beijing 100083, China)

Abstract Under the guidance of lithofacies paleogeography and sedimentology, we analyzed the data of wells in the Bohai Sea waters and concluded that the development of lacustrine carbonates is influenced by factors such as paleogeomorphology, paleoclimate, provenance, tectonic evolution and basement characteristics. The lacustrine carbonates were found to distribute separately and be limited in certain areas. The results of forward modeling show that the lacustrine carbonates are characterized by strong reflection or mound reflection. Our research proves that it is feasible to predict the distribution of lacustrine carbonate reservoirs with the integrated seismic-geological method under the guidance of geological model. This method has been successfully applied to the B22 area and the B13 area in the Bohai Sea waters.

Key words seismic response; lacustrine carbonate rock; reservoir prediction; Bohai Sea waters

湖相碳酸盐岩广泛发育于中国各陆相含油气盆地中。目前在渤海湾盆地已经找到了许多油气田, 如济阳坳陷的平方王、垦利和邵家, 冀中坳陷的大王庄, 黄骅坳陷的王徐庄和周清庄, 辽河坳陷的高升等均系以湖相碳酸盐岩为主或为重要储层的油气田; 在渤海海域也发现了 J20、J9、C2、B13 等一

批以湖相碳酸盐岩为储层的油气藏或含油气构造。湖相碳酸盐岩是渤海海域重要的油气勘探层。

湖相碳酸盐岩由于生长条件苛刻, 相带窄、相变快、储层厚度薄, 地震反射结构不清楚, 目前尚没有一套成熟的技术方法能够在勘探阶段预测湖相碳酸盐岩储层分布, 国内外对其研究多局限在

收稿日期: 2009-05-05。

第一作者简介: 宋章强(1981-), 男, 硕士, 工程师, 沉积储层预测。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司“十一五”重大基础研究项目(SC06TJ-TQL-004-BH02)。

钻后的分析评价上^[1~12]。近年来,应用地质-地震综合预测技术在渤海古近系碎屑岩储层预测方面取得了较大进展^[13~14]。本文尝试将这一思路应用于湖相碳酸盐岩的预测,以探索适合渤海海域勘探实践的湖相碳酸盐岩预测方法。

1 渤海海域湖相碳酸盐岩地质特征

1.1 湖相碳酸盐岩形成条件

湖相碳酸盐岩是古湖泊由淡水向咸水直到盐水湖泊演变过程中的必然产物,其分布受控于古构造背景、古气候和物源供给等多方面因素^[6~8]。在参阅前人研究成果的基础上,结合 J20 油气田及渤海其他油田古近系沙河街组湖相碳酸盐岩形成条件和分布特征综合分析,断陷湖盆碳酸盐岩发育和分布具有如下特征。

1) 古地貌在湖相碳酸盐岩的发育中起主导作用。

湖相碳酸盐岩的发育分布与浅水湖区中的平缓地形有明显的依存关系,如浅水区的滩、坝、

堤、岛等地形较高部位,古岛屿周围的斜坡带、断阶带、水下古隆起等。这些地带水体浅、阳光充足、能量偏高、营养丰富、生物繁茂,有利于碳酸盐岩的生长。渤海 B13、C2、J20、Q30 等构造都属于这种古地形,碳酸盐岩披覆于隆起高部位,呈片状分布。

2) 湖相碳酸盐岩的发育受陆源碎屑供给的影响。

湖相碳酸盐岩和碎屑岩在空间上呈消长关系分布。陆源碎屑会抑制碳酸盐岩的发育,而碳酸盐岩发育的地方一般没有充分的陆源供给。在J20-1井、B13-2井沙(河街组)一、二段垂相层序上碎屑岩与生屑碳酸盐岩厚度的变化也证明了这一点(图1)。

3) 前古近系底质对碳酸盐岩的发育有明显的影 响。

“硬底”,即非泥质底质是保持水体清澈的前提条件,在波浪的作用下能使水体保持清澈的水体环境,有利于碳酸盐岩的形成。“硬底”包括中生界火山岩,太古宇混合花岗岩,古生界碳酸盐岩、碎屑岩,沙河街组本身的砂砾岩等。若底质为

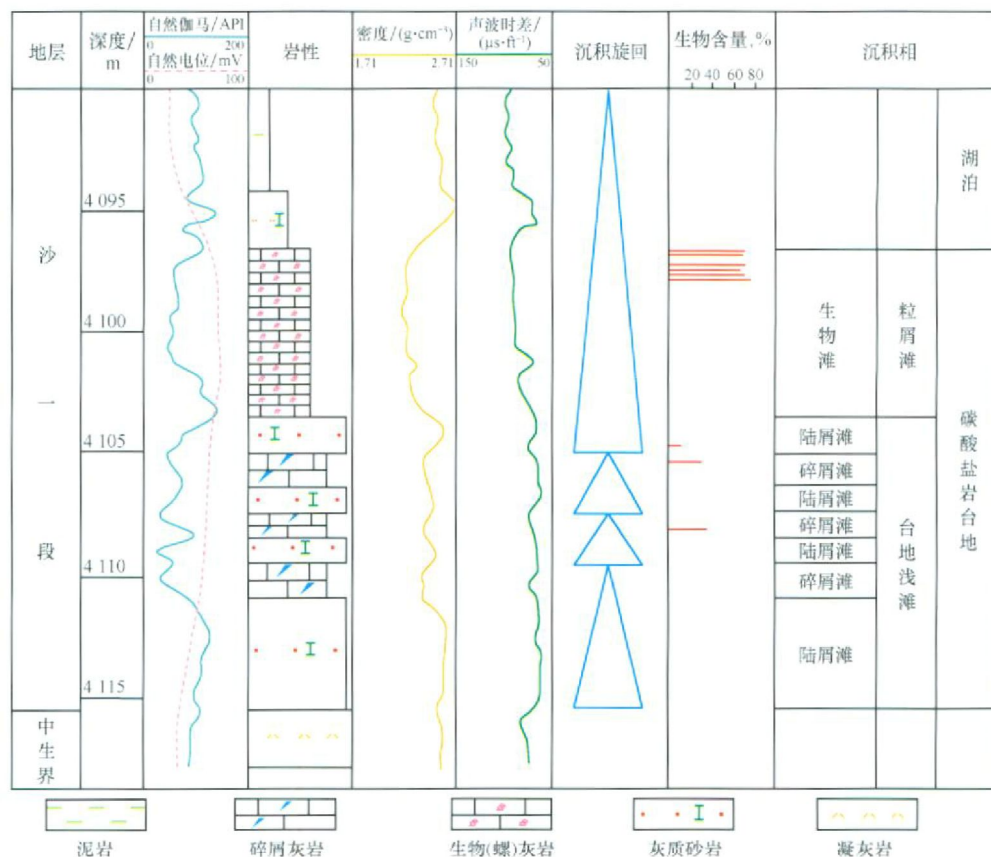


图 1 B13-2井沙一段碎屑岩与碳酸盐岩交互沉积特征

Fig. 1 Alternating clastic and carbonate rocks in the 1st member of the Oligocene Shahejie Formation in well B13-2

古碳酸盐岩沉积将更有利于碳酸盐岩的沉积,因为在湖水侵入时,古碳酸盐岩的溶解能增加水介质的盐度和硬度,为碳酸盐岩沉积提供物质基础。

4) 古气候条件是一个重要因素。

湖相碳酸盐岩较多地形成于湿热的气候条件^[6~8]。对于渤海海域,沙一、二段沉积时期为湿热的气候^[1,12],这是该时期湖相碳酸盐岩广泛发育的原因之一。

5) 湖相碳酸盐岩的发育受构造背景的影响。

在湖盆形成、发育和萎缩的发展阶段中,湖相碳酸盐岩一般发育于构造活动相对稳定、湖盆水体持续缓慢扩张阶段^[6~8]。而渤海海域沙一、二时期处于断拗初期阶段^[15~17],该时期构造活动缓和、湖盆沉降与沉积作用缓慢补偿、湖水开阔,加之适宜的气候条件,可使藻类、介壳类等生物大量生长和繁殖,最有利于湖相生物碳酸盐岩的形成。

1.2 湖相碳酸盐岩沉积模式

目前,国内许多学者已经提出了多种划分湖相碳酸盐岩相模式的方案^[9~12]。然而,湖泊是一个复杂多变的动力系统,湖相沉积明显地受古气

候、古水动力条件和古水介质性质等因素的控制。因此,不同的构造背景,湖泊的沉积环境也是千变万化的。渤海作为一个典型的断陷盆地,碳酸盐岩的发育有其自身特点,总体可概括为断陷湖泊孤立碳酸盐岩台地沉积模式(图 2),J20 构造沙一、二段就是这一模式的典型代表。该沉积模式可进一步划分为前缘斜坡、粒屑滩、台地浅滩、局限台地和泥(云)坪 5 个微相。厚层碳酸盐岩粒屑滩分布在台地高部位,为最有利的储集相带;薄层则分布在斜坡部位。

2 渤海海域湖相碳酸盐岩地震响应

地震反射是由不同岩层之间的波阻抗差异形成的,是包含了地下不同岩层信息和噪声等的综合响应。从湖相碳酸盐岩的分布特点出发,把握其地震响应特征,是预测其分布的技术关键。

2.1 分布特点与地质模式

湖相碳酸盐岩生长条件的特殊性决定了其特有的发育分布特征。

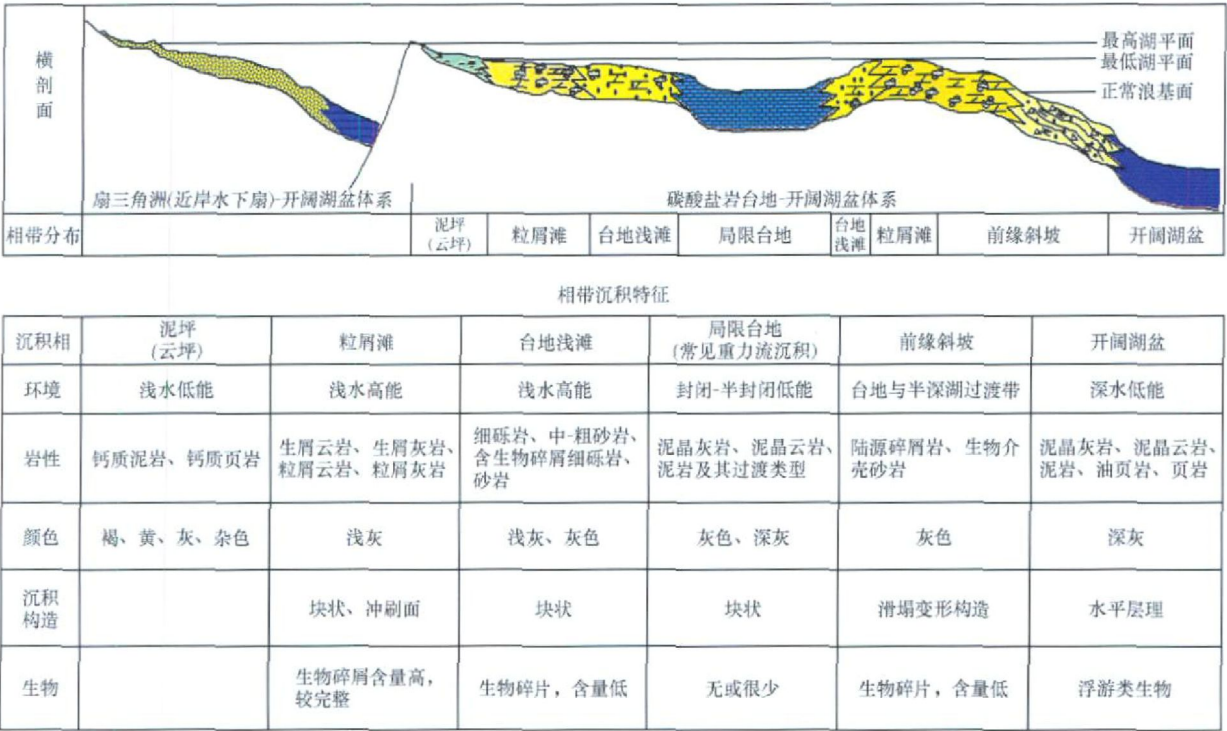


图 2 断陷盆地湖相碳酸盐岩台地沉积模式^[10]

Fig. 2 Platform sedimentation model of lacustrine carbonate rocks in faulted basins

1) 在平面上局限孤立分布

滨浅湖区的斜坡带, 湖相碳酸盐岩呈不连续片状或连续带状环岸分布; 浅水隆起区, 生物或碎屑含量高, 高部位厚度大, 湖相碳酸盐岩呈透镜状特征。

2) 在纵向上多层呈韵律变化, 单层厚度由下至上减薄 (图 3)

湖泊扩张早期, 水体浅, 生物或碎屑相对丰富, 适宜粒屑碳酸盐岩发育, 湖相碳酸盐岩沉积厚度大; 随着湖盆水体的进一步扩张, 水深增加, 碳酸盐岩中颗粒含量逐渐降低, 厚度减小, 湖相碳酸盐岩多呈薄层状夹在深色泥岩中。

2.2 从模型正演看地震响应

碳酸盐岩密度高、速度大, 与泥岩有明显的波阻抗差异^[18], 黄骅坳陷和渤海海域的勘探实践均证明了这一点, 这种波阻抗的差异在地震上易于形成强反射界面。

根据这种波阻抗关系和地质模式对湖相碳酸盐岩进行模型正演, 有助于搞清楚其地震反射特征的变化 (图 4)。底部厚层碳酸盐岩具有明显的丘状外形反射特征, 内部杂乱或空白; 中厚层碳酸盐岩为断续强反射特征, 丘状外形不明显; 上部薄

层碳酸盐岩为连续的强反射。这一特征与渤海海域的勘探实践是吻合的。受地层厚度和地震资料分辨率的影响, 各岩层反射特征略有差异。

3 预测实例

3.1 B22地区

该地区沙一、二段沉积时期具有多个水下高地 (图 5)。根据地震解释结果计算, 其古地形坡度平缓 ($1^{\circ} \sim 4^{\circ}$)。该时期水体浅, 古气候温暖潮湿, 且基底为中生界火山岩和古生界碳酸盐岩, 具备湖相碳酸盐岩发育的地质条件和物质基础。在地震剖面 (图 5) 上, 高部位具有明显的丘状外形, 顶面为强振幅较连续反射, 内部为杂乱弱反射特征, 推测为厚层碳酸盐岩发育区; 而在斜坡部位的 B22-1 井区, 顶面为连续强反射, 钻井证实为薄层含泥生屑云岩, 分析其处于富含碎屑的碳酸盐岩台地浅滩或前缘斜坡带, 同时印证了高部位碳酸盐岩发育的潜力。在湖相碳酸盐岩形成条件和沉积模式指导下, 通过对本区典型地震相的识别, 预测了本区有利碳酸盐岩发育区, 为本区增加了勘探目标层系、开拓了新的勘探思路、降低了勘探风险。

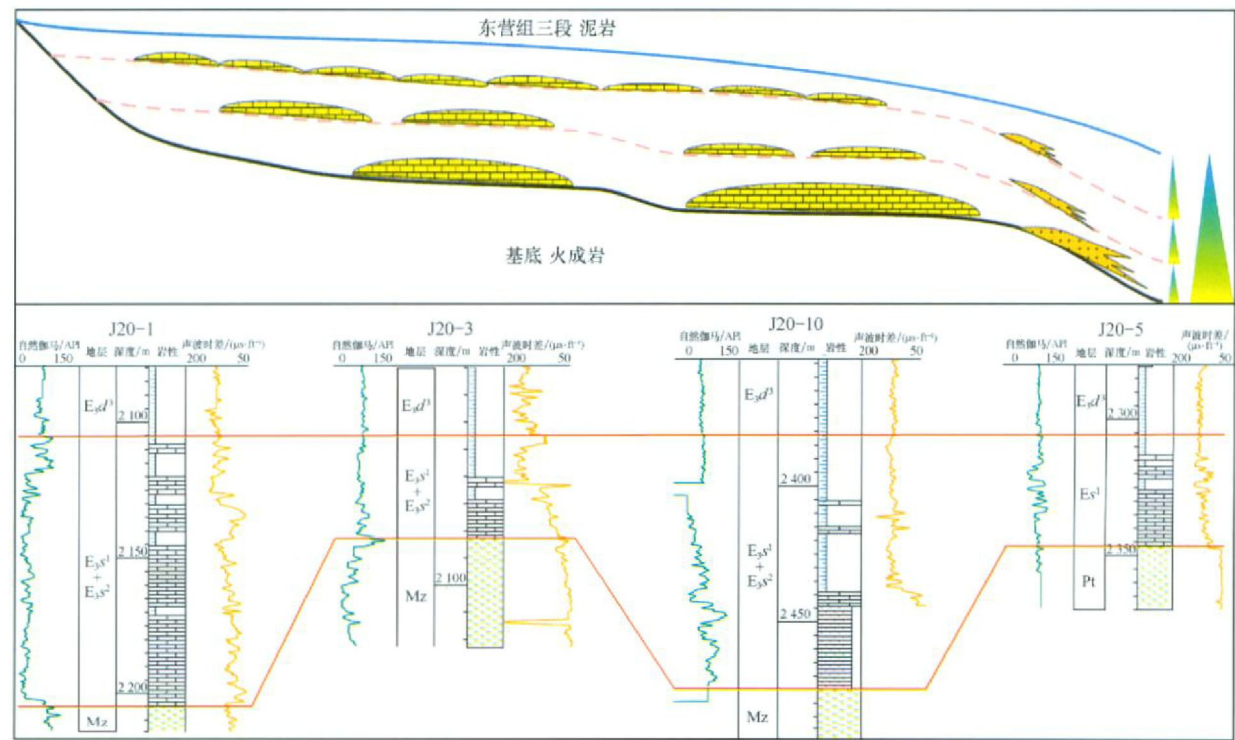


图 3 J20地区湖相碳酸盐岩发育特征与地质模式

Fig. 3 Development characteristics and geological model of the lacustrine carbonate rocks in J20 area

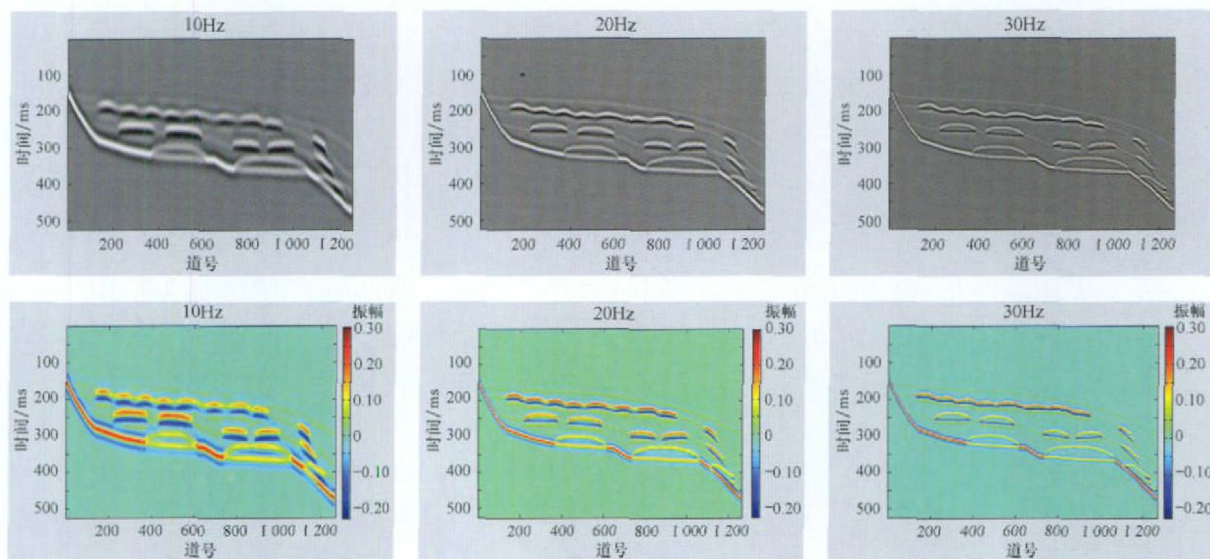


图 4 湖相碳酸盐岩模型正演剖面

Fig. 4 Forward modeling section of lacustrine carbonate rocks

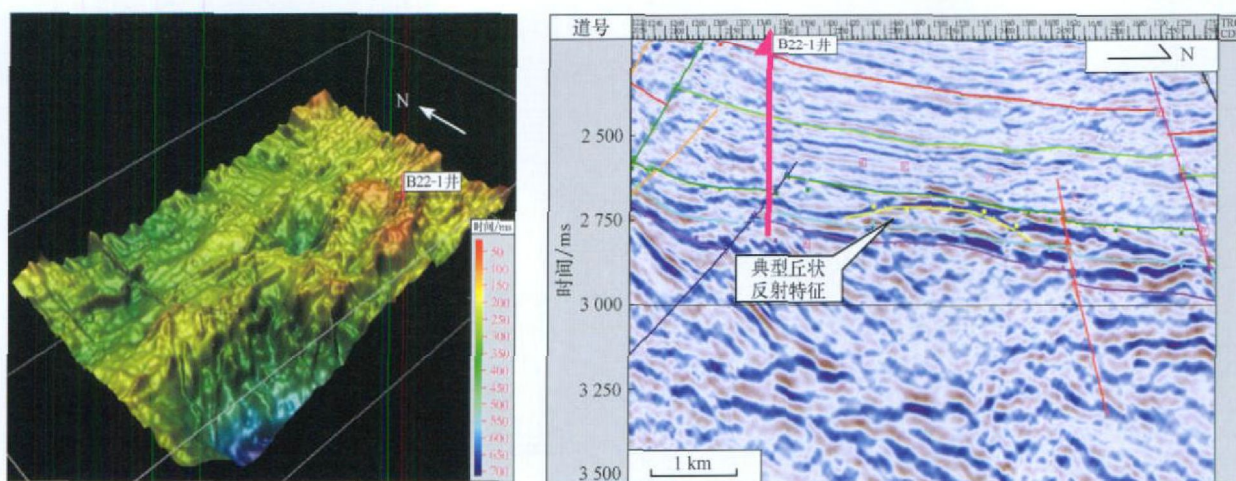


图 5 B22 地区沙一、二时期古地貌和典型地震反射特征

Fig. 5 Palaeogeomorphology of B22 area during the sedimentation of the 1st and 2nd members of the Oligocene Shahejie Formation and their typical reflection signatures

3.2 B13油田

该油田 2008 年进入开发阶段,目的层为沙一、二段碳酸盐岩,储层薄、埋深大(4 000 m 左右)。地震资料品质差,理论上利用地震预测储层是不可行的。而根据古地貌恢复法预测储层,实钻结果并不理想。笔者仔细研究本区地质资料后认为,本区碳酸盐岩储层上覆东(营组)三段和

沙一段顶部稳定厚层泥岩,下部为中生界火山岩,如果碳酸盐岩储层发育,在地震上必定形成强反射界面。理论上反射强弱直接反映储层的发育程度。由于储层薄、埋深大、地震频率低等原因,该强反射峰值与由时-深标定的储层顶部有一定时差^[19]。这一认识为开发井的合理布置提供了参考,并由开发井的实钻结果得到了证实(图 6)。

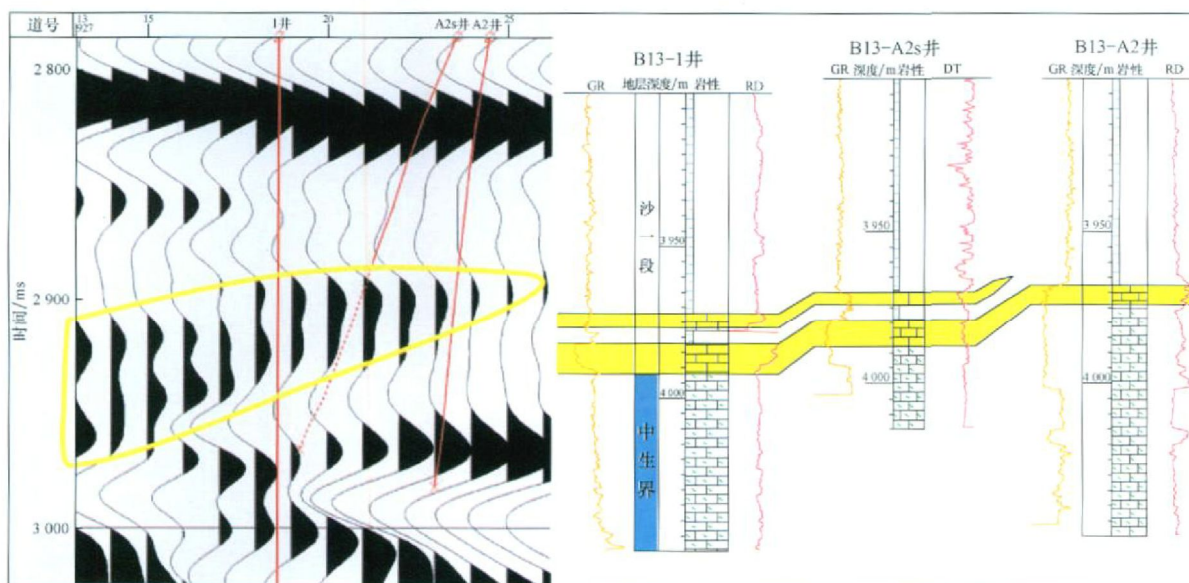


图 6 地震振幅与储层厚度的关系

Fig. 6 Relationship between amplitude and reservoir thickness

4 结论

湖相碳酸盐岩发育受古地貌、古气候、物源供给、构造演化和基底特征等因素影响, 具有孤立、局限分布的特点, 地震上多表现为强反射或丘状反射特征。以岩相古地理学和沉积学为指导, 在地质方法分析湖相碳酸盐岩形成条件的基础上, 用地球物理方法识别其平面展布特征, 既地震-地质综合预测。该方法在渤海海域勘探实践中得到了成功应用。

参 考 文 献

- 1 邓运华. 试论辽东湾坳陷沙河街组碳酸盐岩形成环境及其特征 [J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(6): 32~38
- 2 李家康, 李俊英. 渤海海域沙河街组生物灰岩沉积特点及典型构造分析 [J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(1): 23~37
- 3 王冠民, 鹿洪友, 姜在兴. 惠民凹陷商河地区沙一段碳酸盐岩沉积特征 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 1~4
- 4 张娣, 侯中健, 王亚辉, 等. 板桥-北大港地区沙河街组沙一段湖相碳酸盐岩沉积特征 [J]. 岩性油气藏, 2008, 20(4): 92~97
- 5 金振奎, 邹元荣, 张响响, 等. 黄骅坳陷古近系沙河街组湖泊碳酸盐沉积相 [J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 11~17
- 6 孙钰, 钟建华, 袁向春, 等. 国内湖相碳酸盐岩研究的回顾与展望 [J]. 特种油气藏, 2008, 15(5): 1~6
- 7 夏轻松, 田景春, 倪新锋. 湖相碳酸盐岩研究现状及意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(1): 105~112
- 8 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 (第三版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 346~354
- 9 管守锐, 白光勇. 山东平邑盆地下第三系官庄组中段碳酸盐岩沉积特征及沉积环境 [J]. 华东石油学院学报, 1985, 9(3): 9~20
- 10 赵澄林. 油区岩相古地理 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2001. 295~311
- 11 周自立, 杜韞华. 湖相碳酸盐岩与油气分布关系——以山东胜利油田下第三系为例 [J]. 石油实验地质, 1986, 8(2): 124~132
- 12 杜韞华. 渤海湾地区下第三系湖相碳酸盐岩及沉积模式 [J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(4): 34~41
- 13 赖维成, 徐长贵, 于水, 等. 渤海海域地质-地球物理储层预测技术及其应用 [J]. 中国海上油气(工程), 2006, 18(4): 217~222
- 14 徐长贵, 赖维成. 渤海古近系中深层储层预测技术及其应用 [J]. 中国海上油气(工程), 2005, 17(4): 231~236
- 15 汤良杰, 万桂梅, 周心怀, 等. 渤海盆地新生代构造演化特征 [J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 192~198
- 16 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206
- 17 李军, 王燮培. 渤海湾盆地构造格架及演化 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(1): 63~67
- 18 王濮, 金振奎, 李国发, 等. 薄层生物碎屑灰岩的地震属性检测 [J]. 石油物探, 2007, 46(4): 390~393
- 19 Brown A R. Interpretation of three-dimensional seismic data (six edition) [M]. Tulsa Oklahoma USA: the American Association of Petroleum Geologists & the Society of Exploration Geophysicists, 2004. 199~212

(编辑 李 军)