

南海北部深水区中新世生物礁发育特征*

吴时国^{1,5} 袁圣强^{1,2} 董冬冬¹ 米立军³ 张功成⁴

(1. 中国科学院海洋研究所中国科学院海洋地质与环境重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;
3. 中海石油(中国)有限公司勘探部 北京 100010; 4. 中国海洋石油有限公司研究中心 北京 100027;
5. 中国石油大学(华东) 青岛 266555)

摘要 基于近些年南海北部深水区采集的地震资料,对南海北部深水区中新世生物礁发育特点进行分析、对比和研究,认为西沙隆起地区发育典型的生物礁,具有丘状反射、强振幅、中频、中连和杂乱地震相,发现琼东南盆地北礁地区在中新世梅山组也有似礁相发育。通过对琼东南盆地深水区中新世生物礁层序地层学分析,认为生物礁在中新世梅山组海侵体系域和高位体系域发育。从对北礁地区典型生物礁剖面进行的波阻抗反演来看,其与 LH11-1 生物礁油田的波阻抗非常相似,波阻抗值为 $8 \times 10^6 - 9 \times 10^6 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。古地理分析认为,中新世西沙隆起区与北礁地区处于滨、浅海沉积环境,梅山组时期的陆缘碎屑供给量比较少,适于生物礁发育。

关键词 南海北部,深水区,生物礁,层序

中图分类号 P731

南海生物礁十分发育,并在油气勘探中起到关键作用。新生代生物礁是南海海域一系列第三系含油气盆地主要储集体(陈平等, 2003)。西沙隆起区和东沙隆起区都证实有生物礁发育(陈斯忠等, 1987; 许红等, 1999; 刘春兰等, 2001)。

陆架边缘生物礁碳酸盐岩作为深水油气勘探的重要储层,已经获得证实(Sattler *et al*, 2004; Zampetti *et al*, 2004)。对于南海北部中新世生物礁发育也早有共识(陈斯忠等, 1987; 金之钧等, 1998; 邱燕等, 2001; 刘宝明等, 2003; Sattler *et al*, 2004; 魏喜等, 2006)。但在琼东南盆地浅水陆架区近几十年的勘探和钻探都没有发现大规模的生物礁储层发育,这可能与琼东南盆地的陆架比较窄,离物源比较近,容易受到碎屑岩物源的干扰和抑制有关(Sattler *et al*, 2004; Zampetti *et al*, 2004)。

本次研究依据新采集的地震资料为基础,以西沙隆起区和琼东南盆地南部相对隆起区为研究对象,对其中新世生物礁发育的特征进行探讨(图 1)。总结和分析该地区生物礁地震相发育特点,并与流花

11-1 生物礁油田进行相关地球物理参数类比研究,以为琼东南盆地生物礁油气藏勘探提供研究思路和科学依据。

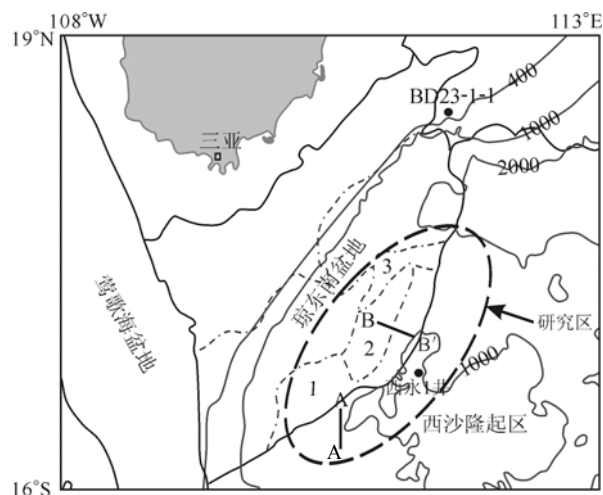


图 1 研究区构造区划图

Fig.1 The structural map of study area
研究区包括:北礁地区(1:北礁西凸起; 2:北礁凹陷; 3:北礁凸起)和西沙隆起北部地区

* 国家基础发展计划 973 项目“南海深水盆地生物礁碳酸盐岩台地成因机理研究”, 2009CB219406 号和“南海新生代大陆边缘沉积演化模式”, 2007CB411703 号。吴时国, 研究员, 博士生导师, E-mail: swu@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2008-03-04, 收修改稿日期: 2008-07-08

1 地质背景

陆架边缘的碳酸盐台地远离物源, 陆源碎屑较少, 是有利于生物礁发育的环境。造礁生物主要是珊瑚和珊瑚藻, 影响珊瑚生长和发育的因素是除了水温, 还有盐度、水深、浊度、溶解的气体、底质以及波浪和水流等。比较适宜的水温为 23—27℃, 主要分布于热带和亚热带; 适合的盐度为 30—40; 礁的发育受到水深的影响, 水深最好小于 50m, 该深度范围内的透明度良好, 使得造礁生物能进行充足的光合作用。中新世是生物礁发育的有利时期, 这个时期全球气候较温暖, 全球现代碳酸盐岩沉积区带主要位于南北纬 30°之间的热带和亚热带区域(Sun *et al.*, 1994), 南海位于这个范围内, 且被证实有生物礁发育。中新世西沙隆起区和琼东南盆地在拗陷期构造相对稳定, 且中新世梅山组处于物源饥饿区, 适宜生物礁发育(张明书等, 1989; 许红等, 1999)。

2 生物礁发育特征

2.1 地震相特征

地震资料是研究海洋生物礁的主要手段, 海相

环境适合生物礁的发育和生长, 在适合的条件下可以大规模发育生物礁。生物礁具有特定的地震相特征, 一般表现为层理不明显、内部反射断续、杂乱或空白、呈丘状反射外形, 并且生物礁油气藏的振幅值有明显异常(Sattler *et al.*, 2004; 余辉龙等, 2005)。地震相特征显示西沙海区梅山组生物礁具有群体发育特点, 在地震相上表现为明显的强振不连续相、强振丘状相、下覆地层空白反射等特点(图 2a)(姚根顺等, 2008)。该生物礁与印尼萨拉瓦提盆地 Island 地区 kais 组生物礁非常类似(余辉龙等, 2005)。深水小型碳酸盐建隆则表现丘状外形, 强振幅, 孤立分布于半深海碎屑岩地层中, 通常发育点礁或塔礁(Erlich *et al.*, 1990)。

琼东南盆地中新世梅山组时期适宜生物礁的发育(陈斯忠等, 1987; 魏喜等, 2005)。作者对该地区梅山组进行了体系域划分, 并进行了地震相的识别, 在北礁地区梅山组的高位和海侵体系域内识别出了强振、中连、中频、杂乱、丘状地震相(图 2b)。该地震相特征与典型的生物礁储层类似(James *et al.*, 1992), 而与 BD23-1 井钻遇的纯灰岩特征不同。神狐

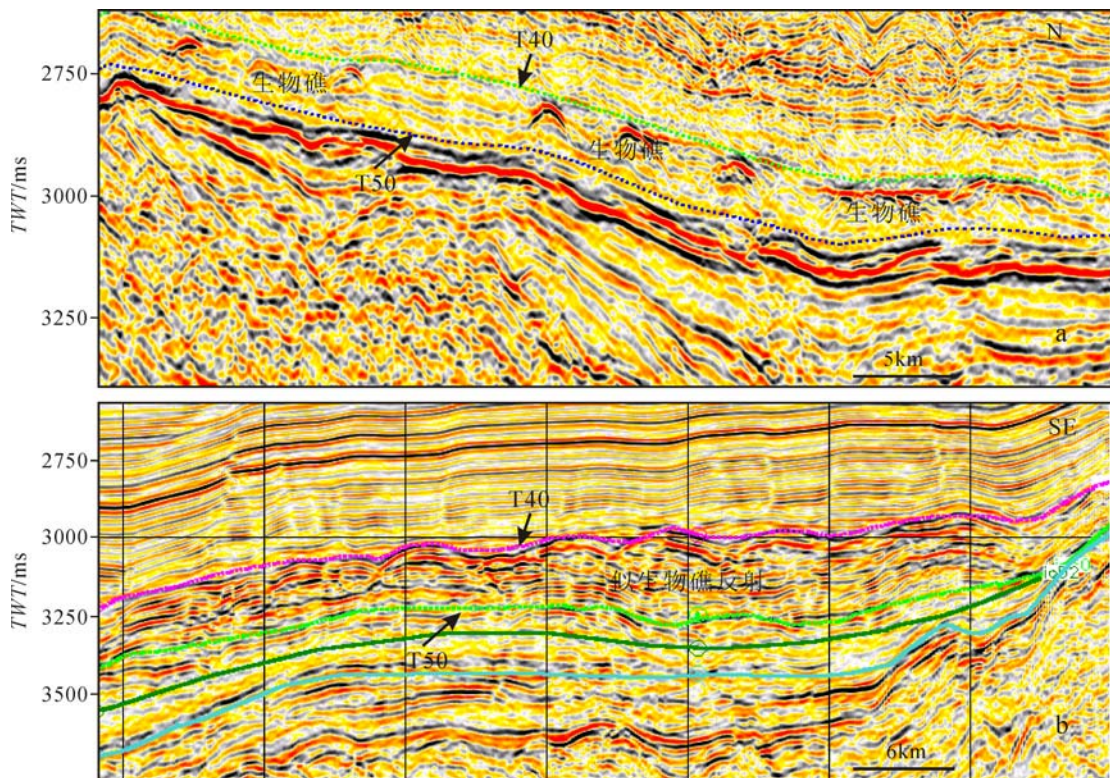


图 2 过研究区的两条地震剖面(图 2a 位置见图 1 中 A-A', 图 2b 位置见图 1 中 B-B')

Fig.2 Two seismic reef profiles across the study area (Locations see A-A' and B-B' in fig.1, respectively)

隆起南缘的 BD23-1 井, 发现了 60m 的纯灰岩, 其反射特征为强反射、强振幅、连续性好, 经钻井证实该岩是致密的非储层类生物礁(刘春兰等, 2001)。

2.2 生物礁的地球物理属性特征

作者对琼东南盆地北礁地区的典型地震剖面进行了反演和相关处理, 发现北礁凹陷地区典型生物礁地震属性剖面(图 3)显示出类似 LH11-1 生物礁油田

的地震属性特征, 表现为不连续的强振幅带, 较为杂乱, 并且在靠凸起的部位这些特征更加明显。对该地区的波阻抗绝对值进行了类比, 发现 BD23-1-1 井致密灰岩的波阻抗基本都大于 $10 \times 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 而 LH11-1 生物礁油田的波阻抗基本都是在 $8-10 \times 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间, 北礁地区的波阻抗大小都在 $8-9 \times 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间, 与 LH11-1 生物礁油田相近。

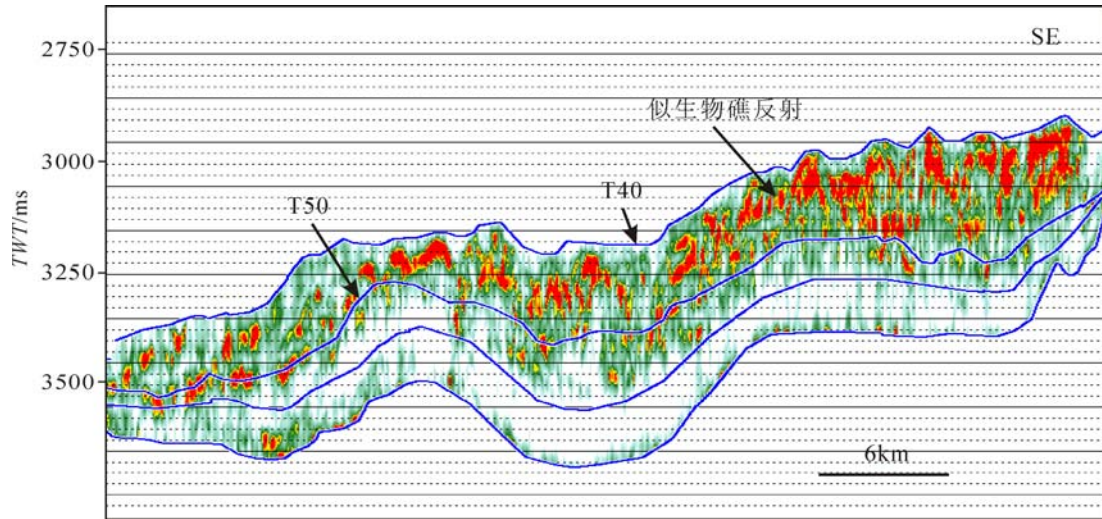


图 3 过北礁地区地震属性剖面图(位置见图 1 中 B-B')

Fig.3 The reef seismic attribute profile in Beijing area (Location is B-B' in fig.1)

从过 LH11-1 生物礁油田的属性剖面上可以看出, 生物礁油气藏的地震属性, 表现为比较明显的强振幅异常、内部反射不连续、杂乱, 并且在生物礁顶底部位都有一层相对较连续的强振幅层, 反映致密岩层(图 4)。而 BD23-1-1 井的纯灰岩的则表现为强振幅、高连续性, 并且一般只有一层明显的强振幅。这种灰岩储油物性差, 孔隙度不到 2%(刘春兰等, 2001)。

3 讨论

3.1 生物礁的地震相特征

生物礁在地震剖面上具有和其他沉积地层不同的地震反射特征, 包括强振、中连、中频、杂乱、丘状、空白等相对特殊的地震相, 使得其与周围地层具有明显的界限(Sattler *et al.*, 2004), 这也是为什么地震剖面往往可以较为清晰的反映出生物礁形态的原因。西沙隆起区域生物礁特点非常典型, 在地震相上表现为明显的强振不连续相、强振丘状相、下覆地层空白反射等特点, 结合西永 1 井钻探对于西沙隆起区中新世地层的揭示, 认为其适合并发育了大规模的生物礁(张书明等, 1989)。北礁凹陷从地震相特征上来

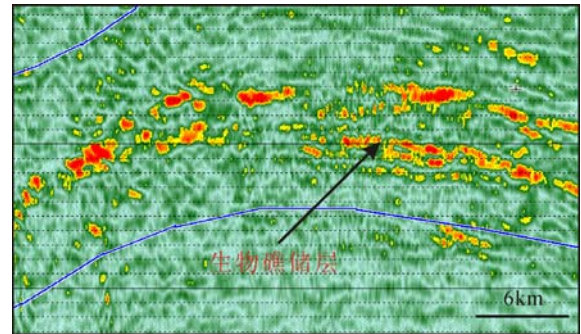


图 4 过 LH11-1 生物礁油田的属性剖面

Fig.4 The reef seismic attribute profile across LH11-1 oil filed

看, 其具有和典型生物礁比较类似的强振、中连、中频、杂乱、丘状等地震相特征, 且与 BD23-1-1 井致密灰岩以及 LH11-1 生物礁油田进行了类比, 发现其波阻抗整体值, 与 LH11-1 生物礁油田的接近。作者认为其可能是生物礁碎屑与陆源碎屑的混合体。

3.2 生物礁古地理分析

生物礁发育需要特定的古地理环境, 对一个地区的物源、水温、盐度、水深、浊度、溶解的气体、底质以及波浪和水流等都有比较严格的要求。那么这

两个地区是否具备这些条件,最关键的是物源供给问题,其直接关系到生物礁的存在,因此对于生物礁发育有利区的古地理分析就显得至关重要。

南海海底扩张大致在 32—17Ma(Taylor *et al.*, 1983),梅山组时期(15.5—10.5Ma)研究区已进入了构造相对稳定的拗陷期,南海已停止扩张。梅山组时期整个西沙隆起和北礁部分地区都位于相对隆起地区,整体为滨浅海环境(邱燕等,1999),同时中新世温暖的气候环境非常适合生物礁的发育,且当时由于持续的海侵使得研究区基本都被海水覆盖,只有少数的海岛出露,其大量的物源只可能从南海北部陆架区提供。对现今陆架-陆坡体系的分析认为,中新世陆架较陡,且物源供给相对不足,以陆架-陆坡加积为特征为主,而不是大规模的前积(Xie *et al.*, 2006),物源供给的不足使得位于琼东南盆地南部的北礁地区及西沙隆起区没有受到明显的物源干扰。而西沙隆起已经有钻井证实并孔处从中中新世就开始有大规模的生物礁生长,一直持续到第四系(张书明等,1989;许红等,1999),显然它没有受到大规模物源的影响,这也是研究区为什么具备发育生物礁的原因。

4 结论

西沙隆起区中中新世(梅山组)生物礁在地震剖面上具有非常典型的强振不连续相、丘状相、下覆地层空白反射等特点,分析认为其为台地型边缘礁与西沙隆起区中中新世梅山组发育生物礁相似,琼东南盆地北礁地区也识别出了类似生物礁发育的特点,其具有层理不明显、内部反射不连续、杂乱或空白和丘状反射地震相特征,且从地震属性参数类比发现该礁体具有和LH11-1生物礁油田相类似的波阻抗值,初步认为该地区发育的类生物礁反射沉积层应该为生物礁与陆源碎屑的混合物。分析认为中中新世物源,对该地区影响较弱,且处于滨浅海环境,加上中新世气候温暖,整体适合礁体发育。

致谢 本文在完成过程中得到了中海石油研究中心勘探部吴景富、吕明、徐强、梁建设、刘志斌、何仕斌、黄若均的大力支持与帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

刘宝明,夏斌,金庆焕,2003.南海盆地演化及碳酸盐岩油气勘探.海相油气地质,8(1—2):10—16,6:64—70
刘春兰,冯正祥,2001.宝岛23-1构造生物礁地质评价.中国海

上油气,15(3):171—175,245—252
许红,蔡峰,王玉净等,1999.西沙中新世生物礁演化与藻类的造礁作用.科学通报,44(13):1435—1439
余辉龙,薛良清,杨福忠等,2005.印尼萨拉瓦提盆地 Island 地区 kais 组生物礁圈闭及含油气特征.海外勘探,6:64—70.
张明书,何起祥,业治净等,1989.西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究.北京:科学出版社,23—35
邱燕,王英民,2001.南海第三纪生物礁分布与古构造和古环境.海洋地质和第四纪,21(1):65—73
邱燕,陈泓君,1999.南海新生代第三纪生物礁层序地层学分析.南海地质研究,11:53—66
陈平,陆永潮,许红,2003.南沙海域第三纪生物礁层序构成和演化.地质科学,38(4):514—518
陈斯忠,胡平忠,1987.珠江口盆地第三纪生物礁及其找油意义.中国海上油气,1(1):3—10
金之钧,庞雄奇,吕修祥,1998.中国海相碳酸盐岩油气勘探.勘探家,3(4):66—68
姚根顺,袁圣强,吴时国等,2008.琼东南盆地深水双物源沉积模式及勘探前景.石油勘探与开发,35(6):685—691
魏喜,邓晋福,谢文彦等,2005.南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气藏潜力分析.地学前缘,12(3):245—252
魏喜,祝永军,尹继红,2006.南海盆地生物礁形成条件及发育趋势.特种油气藏,13(1):10—15
Erlich R N, Barrett S F, Guo Baiju, 1990. Seismic and geological characteristics of drowning events on carbonate platforms. AAPG Bulletin, 74: 1523—1537
James N P, Bourque P A, 1992. Reefs and mounds. In: Walker R G, James N P ed. Facies models: response to sea level change. Geol Assn Can, 323—347
Sun S Q, Esteban M, 1994. Paleoclimatic controls on sedimentation diagenesis and reservoir quality: lessons from Miocene carbonates. AAPG Bulletin, 78: 519—543
Taylor B, Hayw D E, 1983. Origin and history of the South China Sea. In: Hayw DE ed. Tectonic and Geological Evolution of South East Asia Seas and Islands. Part 2, Geophysical Monograph Series, 27 AGU. Washington DC, 23—56
Sattler U, Zampetti V, Schlager W *et al.*, 2004. Late Leaching under deep burial conditions: a case study from the Miocene Zhujiang Carbonate Reservoir, South China Sea. Marine and Petroleum Geology, 21(8): 977—992
Xie X N, Müller R D, Li S T *et al.*, 2006. Origin of anomalous subsidence along the Northern South China Sea margin and its relationship to dynamic topography. Marine and Petroleum Geology, 23(7): 745—765
Zampetti V, Schlager W, Konijnenburg J-H V *et al.*, 2004. Architecture and growth history of a Miocene carbonate platform from 3D seismic reflection data: Luconia province, offshore sarawak, Malaysia. Marine and Petroleum Geology, 21: 517—534

THE MIOCENE REEF DEVELOPMENT CHARACTERISTICS IN NORTHERN SOUTH CHINA SEA

WU Shi-Guo^{1,5}, YUAN Sheng-Qiang^{1,2}, DONG Dong-Dong¹, MI Li-Jun³, ZHANG Gong-Cheng⁴

(1. *Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*; 3. *Exploration Department of CNOOC China Ltd., Beijing, 100010*; 4. *CNOOC Research Center, Beijing, 100027*; 5. *China University of Petroleum, Qingdao, 266555*)

Abstract Based on the seismic data obtained in deepwater area of northern South China Sea in recent years, the development of ancient Miocene reef was analyzed. The seismographic result shows typical reef feature in the Xisha uplift, such as the mound, high amplitude, middle frequency, middle continuity, and chaotic reflection. Some reef-like reflection was found in the Miocene Meishan Formation in Beijiao (northern reef) area of Qiongdongnan (southeastern of Hainan) Basin. Further sequence analysis shows that the reef reflection was developed mainly in the highstand systems tract and transgressive systems tract. The wave impedance from inversion calculation is very similar to that of LH11-1 Reef Oilfield, ranging 8×10^6 — $9 \times 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Paleogeographic analysis shows that the areas of Xisha uplift and Beijiao were located in tropical offshore and neritic environment, and had very few terrigenous supply in the Miocene Meishan period, which favored the development of reef.

Key words Northern South China Sea, Deepwater area, Reef, Sequence, Exploration prospect