

文章编号: 1000-0747(2008)06-0685-07

琼东南盆地深水区双物源沉积模式及勘探前景

姚根顺^{1,2,3}, 袁圣强^{1,2}, 吴时国^{1,4}, 仲闯⁵

(1. 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室; 2. 中国科学院研究生院; 3. 中国石油杭州地质研究院;
4. 中国石油大学(华东); 5. 中国石油新疆油田公司陆梁油田作业区)

基金项目: 国家重点基础发展计划项目(2007CB411703); 中国科学院三期院创新项目(KZCX2-YW-203)

摘要: 基于新采集的地震资料, 从物源供给模式入手, 分析琼东南盆地南部陆坡区新生代地层的沉积层序、物源特征及其油气勘探前景。研究区具典型断陷-拗陷双层地质结构, 表现南北向双物源特点。断陷期物源供给主要来自南部的西沙隆起和西南方向的中南半岛, 同时还接受北部华南地块物源; 拗陷期为以中南半岛物源供给为主。断陷期, 南部沉积物在陵水组形成大规模前积体, 并与北部物源形成的水下扇在凹陷中央交汇; 拗陷期, 三亚组发育大规模浊积水道, 梅山组沉积期研究区东南方向发育较大规模的生物礁, 黄流组沉积末期发育大规模下切谷。第四纪晚期, 北部物源与南部物源在琼东南盆地深水区交汇。地震资料和盆地模拟显示, 位于生烃凹陷上方的多期次水下扇和富砂浊积水道储集层, 是良好的深水油气勘探目标。图7参19

关键词: 琼东南盆地; 双物源; 沉积模式; 深水油气; 勘探前景

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Double provenance depositional model and exploration prospect in deepwater area of Qiongdongnan Basin

YAO Gen-shun^{1,2,3}, YUAN Sheng-qiang^{1,2}, WU Shi-guo^{1,4}, ZHONG Chuang⁵

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. PetroChina Hangzhou Institute of Geology, Hangzhou 310023, China; 4. China University of Petroleum (Huadong), Qingdao 266555, China; 5. Luliang Oil Production Company, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, China)

Abstract: Based on the newly collected seismic data and the provenance supply mode, the depositional sequence, provenance features and oil-gas exploration prospects were analyzed. The study area has the typical double-layer geologic structure of rift-depression, and has double provenance supply in the north and south. The provenance supply in rifting period was mainly from the southern Xisha Uplift and the southwestern Indo-China Peninsula, and was also from the northern South China Block; while the provenance supply in depression period was mainly from Indo-China Peninsula. In the rifting period, the southern sediment formed a large-scale progradation body in Lingshui Formation, and encountered the subsea apron formed by the northern provenance in the central depression; in the depression period, the large-scale turbidite channel developed in Sanya Formation, the large scale reef developed in the southeast of the study area in Meishan Formation in the depositional stage, and the large-scale incised valleys developed in Huangliu Formation in the late depositional stage. In the Late Quaternary Period, the northern provenance and southern provenance joined in the deepwater area of Qiongdongnan Basin. The seismic data and basin modeling indicate that, the reservoirs of subsea apron and sand rich turbidite channel above the hydrocarbon-generating sag can be the good exploration targets in the deepwater area.

Key words: Qiongdongnan Basin; double provenance; depositional model; deepwater hydrocarbon; exploration prospect

1 研究区概况

随着海洋油气勘探的进一步发展, 陆坡深水区逐渐成为海洋油气勘探的主力区, 并已经取得了巨大的油气发现^[1-5]。深水区相对于浅水区具有独特的沉积环境, 受构造影响较小, 主要受重力搬运沉积和牵引流沉积主导, 陆坡区地层-岩性圈闭成为油气勘探中重要的勘探目标。

琼东南盆地位于南海西北部, 为北东向伸展的新

生代盆地。东侧与珠江口盆地相连, 西侧为莺歌海盆地, 南部以西沙隆起为界(见图1)。研究区位于琼东南盆地南部深水区, 现今水深500~1300m, 目前以地震勘探为主, 属于勘探初期阶段。关于琼东南盆地北部浅水区以及陆坡深水区的沉积构造及石油地质条件, 许多学者都有过比较深入的探讨^[6-17], 并对油气勘探成果进行了许多分析; 而关于琼东南盆地南部陆坡深水区的石油地质特征则由于资料缺乏较少有人研究。本文基于新采集的地震资料, 从物源供给模式入手, 分析



图1 研究区位置图

琼东南盆地南部陆坡区新生代地层的沉积层序、物源特征及其油气勘探前景。

2 沉积层序及构造演化特征

2.1 沉积层序

根据地震剖面对比分析,琼东南盆地南部地层层序与北部浅水区地层层序相一致,具有典型的双层结构^[11-14],可划分为拗陷期和断陷期上、下2个巨层序。

下部构造层即断陷期沉积包括始新统(距今 53.3~32 Ma)、崖城组(距今 32~29.3 Ma)和陵水组(距今 29.3~23.3 Ma),上部构造层即拗陷期沉积包括三亚组(距今 23.3~15.5 Ma)、梅山组(距今 15.5~10.5 Ma)、黄流组(距今 10.5~5.5 Ma)和莺歌海组(距今 5.5~1.9 Ma)(见图 2)。不同的是其位于琼东南盆地的最南缘,晚期构造运动较少,拗陷期断裂不发育,整体沉积受西沙隆起和越南隆起影响较大。

2.2 构造演化

根据平衡剖面分析,研究区的构造演化明显受控于南海海底扩张,其断陷期和拗陷期沉积样式有明显差异(见图 3)。断陷期表现为北断南超型构造样式,始新统为分割型断陷湖盆,地层分布十分有限,只在与中央拗陷带相连的位置沉积较厚;崖城组基本覆盖了研究区,南部相对隆起区地层较薄,说明当时水体覆盖面积较广,这与距今 32 Ma 时南海海盆开始扩张造成的大规模海侵有关,该时期崖城组应为半封闭滨浅海相;持续的海侵使得陵水组覆盖整个研究区域,断陷晚期陵水组具有明显的箕状,沉积受断裂控制明显,该时期发育滨浅海相沉积。三亚组沉积期为拗陷早期,构造活动的明显减弱和稳定的水体分布使得研究区广泛接受相对均衡的沉积,地层厚度相对较为均匀,断裂较少,沉积受断裂控制不明显,该时期受海平面和可容空间变化控制,表现出典型的拗陷期特征,主要发育浅海和半深海相沉积;之后梅山组、黄流组和莺歌海组的沉积样式受海平面升降控制明显,梅山组沉积时期由于整体气候温暖、湿润,物源供给相对不足,使得生物礁比较发育;黄流组沉积晚期则由于全球大规模海退发育了大规模下切谷沉积^[15]。

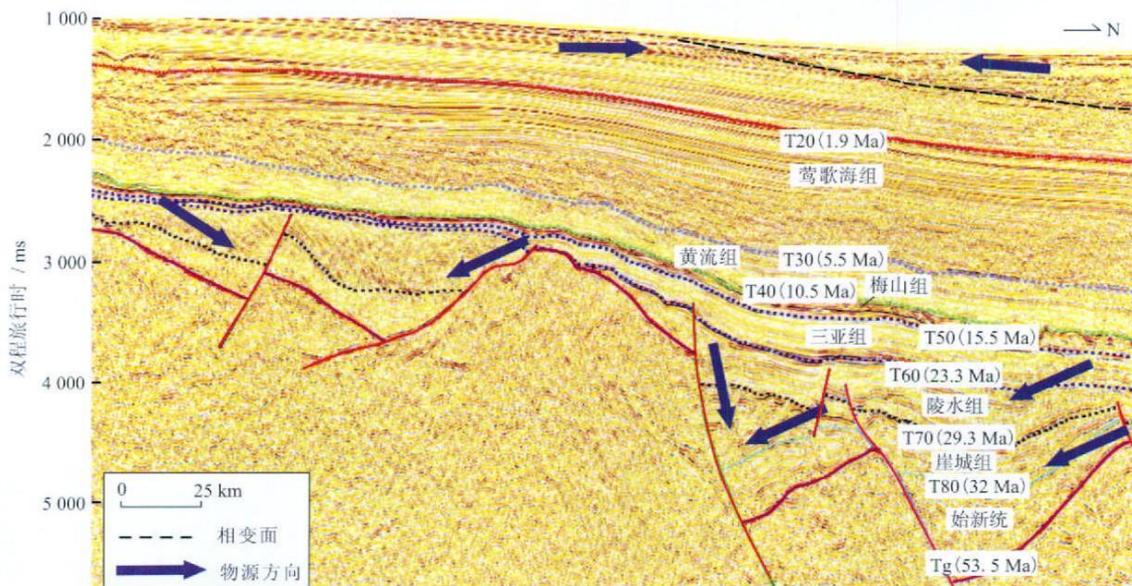


图2 研究区层序地层格架(测线位置见图1,测线2;括号内数据为距今时间)

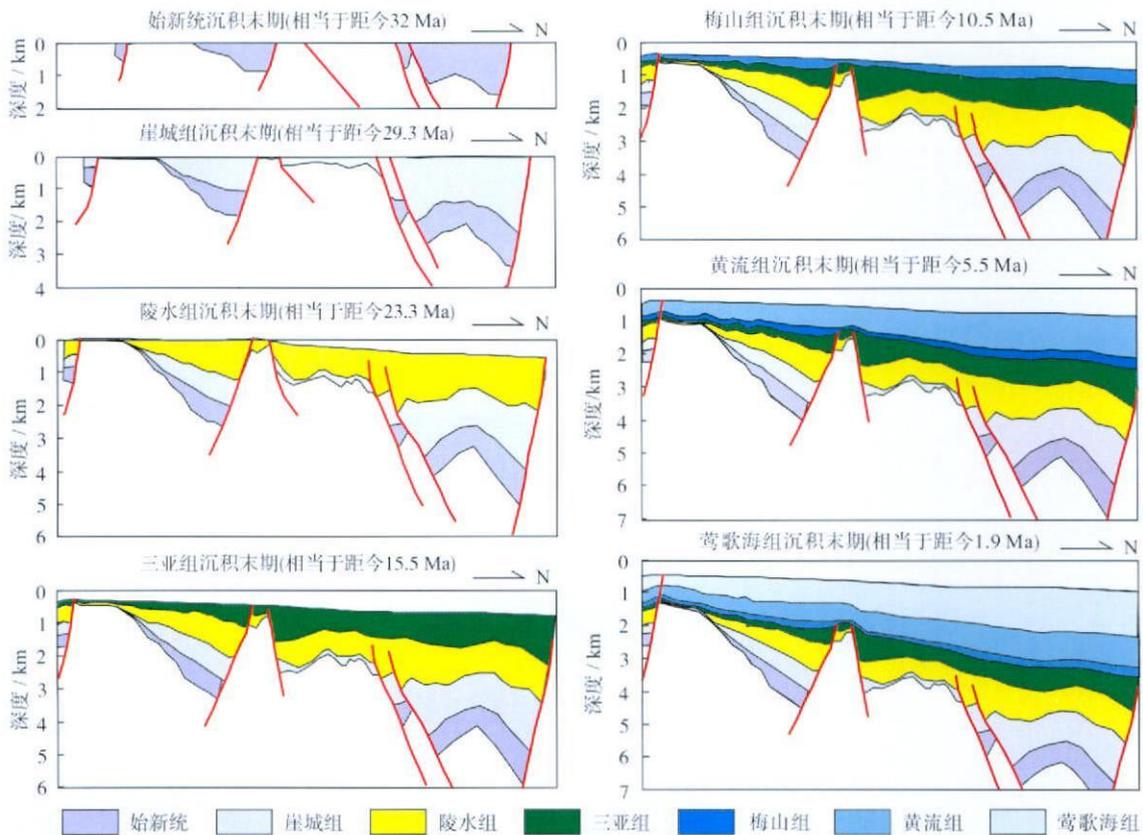


图3 研究区地层发育史(测线位置见图1, 测线3)

琼东南盆地陆架陆坡体系在中中新世晚期开始形成^[12]。姜涛在其博士论文中认为不同构造部位的陆架陆坡出现时间是有所差异的, 琼东南盆地最早从中中新世(距今17.5 Ma)开始出现陆架陆坡, 但仅局限于局部地区, 然后整个盆地的陆坡系统逐渐形成^[16]; 陶维祥等认为琼东南盆地陆架坡折带从三亚组沉积时期就开始形成^[17]; XIE Xi-nong 等认为中新世之后琼东南盆地和珠江口盆地广泛发育的前积体证明其陆架陆坡体系开始形成^[18]。本文认为琼东南盆地北部陆架陆坡体系应该形成于中中新世, 在对研究区沉积相的分析中, 认为从三亚组沉积时期研究区就部分位于深水环境中。

3 双物源沉积作用与沉积模式

3.1 断陷期双物源沉积体系

北部钻井和区域沉积相研究表明, 始新世时期研究区只有部分地区位于水下, 属于不连通的湖泊相环境, 除了北部与琼东南盆地中央拗陷带水体相连以外, 其他3个方位应该都是暴露的陆地, 其物源应该是多方向的, 周围可提供物源的陆地主要有中南半岛和西沙隆起地区; 研究区属于琼东南盆地始新统深湖盆地的南部, 一定程度上受到了来自北部华南地块物源的影响。崖城组沉积时期物源供给模式基本与始新统相

当, 由于开始持续的海侵, 其物源供给量可能小于始新统。陵水组沉积时期整体处于滨浅海环境, 该时期具有非常典型的双物源供给模式(见图4), 西南方向的物源规模较大, 形成明显的前积特征, 与来自北部的物源呈斜交关系, 推测该时期华南地块和中南半岛物源供给都比较充足, 三角洲发育。根据研究区距离中南半岛和华南地块的距离推断, 该时期形成的前积体应该为搬运距离较长、分选性相对较好的前积体和水下扇, 可作为良好的储集层。

3.2 拗陷期单一主物源沉积体系

进入拗陷期(中新世)之后, 研究区开始部分进入深水环境, 整个西沙隆起基本都位于水下, 不再提供物源, 琼东南盆地中央拗陷带也基本位于深水环境。从琼东南北部陆架坡折带位置以加积为主推测华南地块在中新世物源供给相对不足^[18]。该时期三亚组发育了典型的浊积水道(见图5), 该水道地震反射特征表现为强振幅、中频率、小范围内连续性较好, 但是在横向上延续距离较短, 并且强弱振幅相互叠置, 为典型的水道特征。由于该地区只有南北向和东西向二维地震资料, 基于该资料认为该水道为近南北走向, 为来自中南半岛的浊流多期侵蚀而成, 说明三亚组沉积时期中南半岛为研究区的主物源。

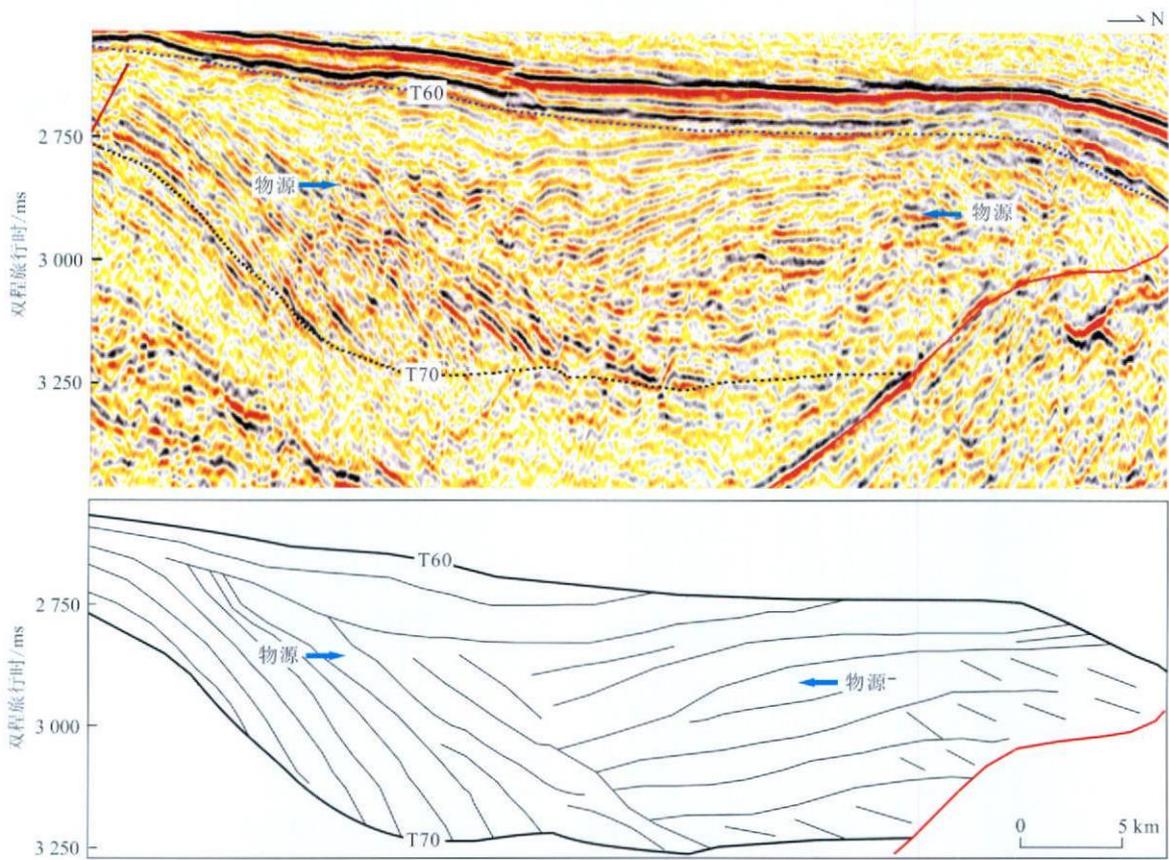


图4 研究区南北走向地震剖面(测线位置见图1,测线4)

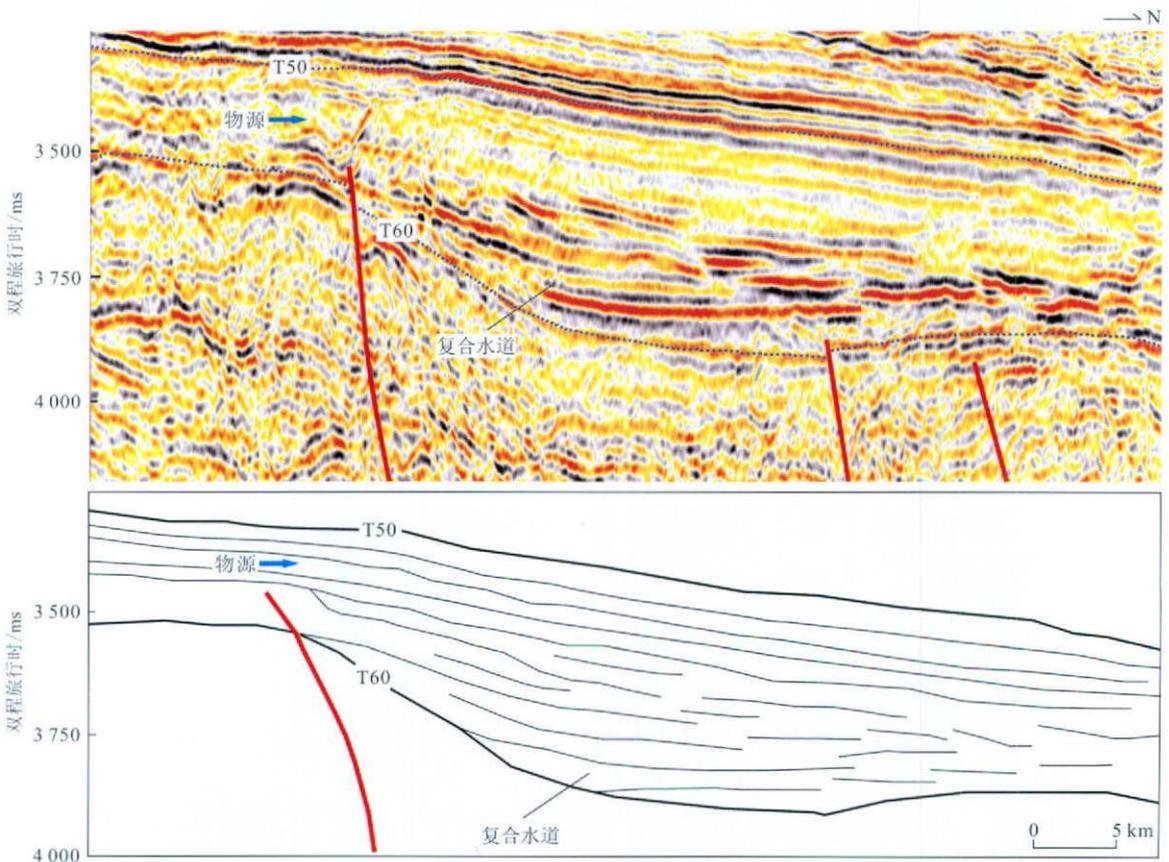


图5 研究区浊积水道剖面图(测线位置见图1,测线5)

梅山组沉积时期, 研究区内东南方向相对隆起的位置发育了较大规模的生物礁, 西南方向邻近中南半岛物源区的相对隆起位置并没有生物礁发育, 然而从沉积环境、地形条件、气候条件等分析, 这 2 个相对隆起的位置都适合生物礁的发育。因此, 本文认为中南半岛在梅山组沉积时期从西南方向对研究区有碎屑物源供应, 破坏了研究区西南隆起带生物礁生长的条件, 但该物源没有影响到研究区东南方向生物礁的大规模发育(见图 6)。

黄流组沉积末期南北走向的地震剖面上下切谷发育很明显, 从剖面上推测该下切谷应为近东西走向, 其形成只可能为来自中南半岛的物源产生的浊流侵蚀造成(见图 7)。

从地震剖面上来看, 拗陷期北部物源的影响很小。从图 2 可以看出, 研究区在第四纪具有明显的双物源交汇, 这反映了第四纪时期北部物源活跃。对于整个拗陷期来讲, 北部物源供给对该地区影响非常小, 主要来自中南半岛的物源供给为主。

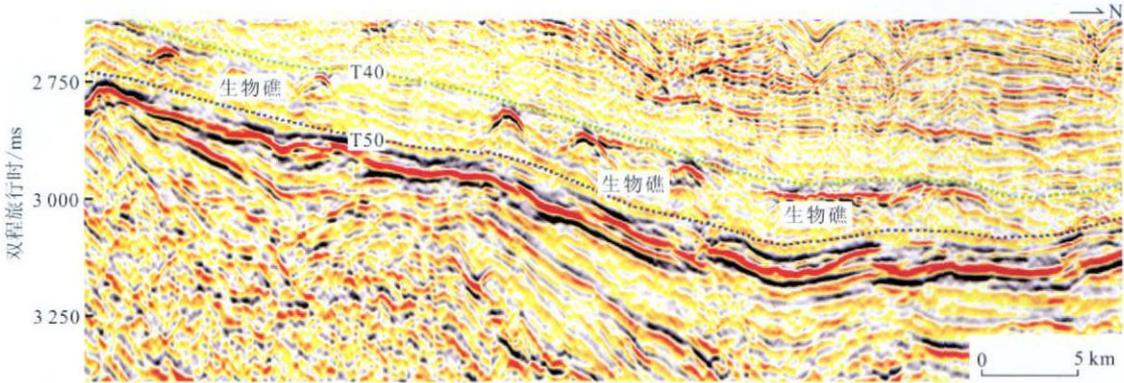


图 6 研究区生物礁反射地震剖面(测线位置见图 1, 测线 6)

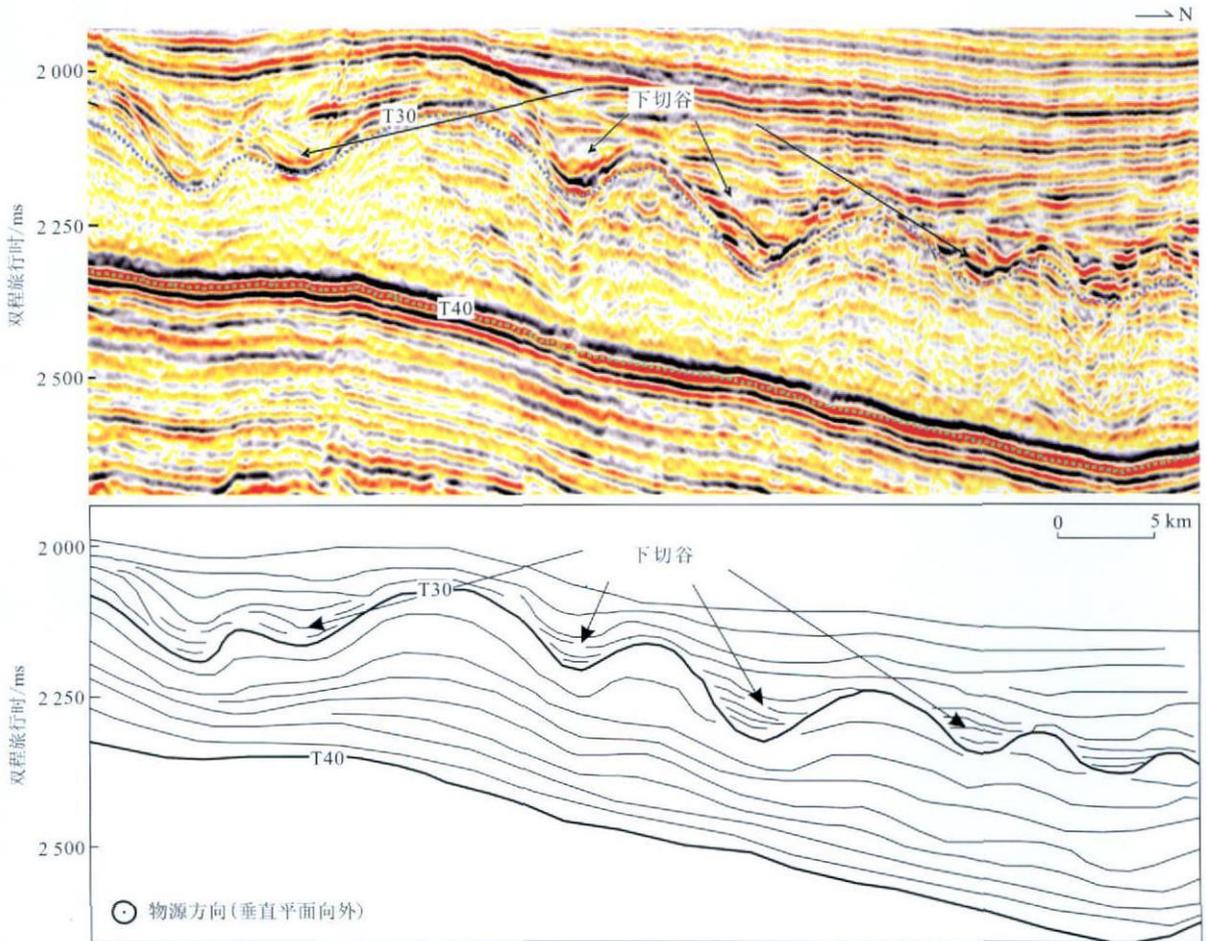


图 7 黄流组界 T30 下切谷充填地震剖面(测线位置见图 1, 测线 7)

4 勘探前景

4.1 油气成藏条件分析

研究区断陷期华南地块物源搬运距离较长, 推测沉积物分选性较好; 而研究区距南部物源较近, 沉积物搬运距离较短, 推测其分选性一般。拗陷期以中南半岛物源供给为主, 研究区较早地进入了陆坡环境, 在三亚组沉积时期发育了规模巨大的浊积复合水道, 梅山组发育了生物礁, 黄流组发育了大规模下切谷充填, 这些特殊地质体可作为潜在的储集层, 特别是三亚组浊积水道和梅山组生物礁还具有比较好的运移和封盖系统。

从烃源条件分析, 研究区始新统属于琼东南盆地中央湖盆的一部分, 具有良好的有机质生成和保存系统, 可与中央拗陷带北部边缘对比, 推测以中—深湖相泥岩为主。盆地模拟结果显示新近系海相烃源岩进入了早期成熟生烃窗, 古近系烃源岩已经进入成熟生烃窗, 且部分进入过成熟生烃阶段, 具有充足的烃源供给。研究区还具有较好的泥岩封盖条件, 这得益于其陆坡深水环境。

4.2 储集层发育特点与勘探前景

琼东南盆地南部陆坡区由于地质地理位置特殊, 使得其具有和琼东南盆地其他地区不同的沉积环境, 且较早地进入陆坡环境, 重力搬运沉积等深水沉积过程主导着该地区的沉积演化, 控制着该地区储集层发育模式。

双物源供给模式对于该地区岩性圈闭的控制作用明显, 主要发育了陵水组三角洲储集层、三亚组浊积水道储集层、梅山组生物礁和黄流组下切谷, 这些特殊的地质体都可以作为潜在的储集体。从现今世界陆坡深水勘探的成功率来看, 浊积水道和下切谷在油气发现中占有非常大的比例^[1-3]。

图5所示的浊积水道长轴方向长20.5 km, 短轴长8.4 km, 最大面积111 km², 最大厚度128.4 m, 振幅强弱相间、相互叠置, 与巴西Campos盆地发现的浊积水道特点几乎完全一致, 类比认为它是富砂的浊积水道, 物源来自其西南方向的中南半岛, 且与下伏烃源岩有断裂连通, 在烃源岩落实的情况下具有巨大的勘探前景。

研究区生物礁在地震剖面上表现为顶界面强振幅反射, 丘状反射向北侧角度大, 上超明显, 而向南侧倾角小; 底界面反射出现上提现象, 厚度明显变厚, 礁体内见变振幅反射, 反射比较凌乱(见图6)。这些特征与南海地区典型生物礁特征类似^[19]。

黄流组大规模的下切谷充填(见图7)发育于黄流

组沉积末期的一次大规模海退, 该时期水体变浅, 河流回春和侵蚀作用在研究区内西南浅水区产生了大规模的侵蚀充填作用, 其侵蚀物源应该来自西南方向的中南半岛, 大规模的海平面下降是诱使浊流发育的主要原因。

5 结论

琼东南盆地南部陆坡区长期具有相对独特的双物源供给特点, 形成独特的沉积模式。断陷期南北方向都有物源供给, 推测南部为近物源分选较差的陆源碎屑物质供应为主, 北部以长距离搬运分选相对较好的细粒物质为主, 且陵水组沉积时期南北物源在中央凹陷带交汇, 双物源供给特点显著。拗陷期以西南部中南半岛物源供给为主, 三亚组沉积时期浊积水道发育、梅山组沉积时期研究区西南部隆起位置生物礁不发育以及黄流组沉积末期大规模发育的下切谷都不同程度上反映了来自西南部的物源供给。琼东南盆地南部陆坡区特殊的沉积背景决定其具有不同于北部的成藏条件, 发育良好的岩性圈闭。综合分析其烃源岩为南部近物源的富有机质碎屑物, 具有较好的生烃潜能; 另外拗陷后期陆坡深水环境沉积了富泥的良好盖层, 认为该地区具有良好的勘探前景, 但是运移通道需要重点落实。

本文在撰写过程中得到中国石油杭州地质研究院海洋所吕福亮所长的帮助, 图件编辑和成文过程中得到付彦辉同志的帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 吴时国, 袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 693-699.
- [2] 杨川恒, 杜栩, 潘和顺, 等. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水区油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 247-256.
- [3] Pettingill H S, Weimer P. World wide deep water exploration and production; past, present and future[J]. The Leading Edge, 2002, 21(4): 371-376.
- [4] Weimer P, Slatt R M, Pettingill H S. Global overview of deepwater exploration and production[A]. Weimer P, Slatt R M. Petroleum systems of deepwater settings[C]. Tulsa: SEG, 2004. 21-39.
- [5] 郑晓东, 朱明, 何敏, 等. 珠江口盆地白云凹陷荔湾深水扇砂体分布预测[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(5): 529-533.
- [6] 何家雄, 夏斌, 孙东山, 等. 琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 53-58.
- [7] 林畅松, 刘景彦, 蔡世祥, 等. 莺琼盆地大型下切谷和海底重力流体系的沉积构成和发育背景[J]. 科学通报, 2001, 46(1): 69-72.

- [8] 刘军, 王华, 姜华, 等. 琼东南盆地深水区油气勘探前景[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(5): 545-548.
- [9] 黄保家. 琼东南盆地天然气潜力及有利勘探方向[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 34-39.
- [10] 王振峰, 何家雄. 琼东南盆地中新统油气运聚成藏条件及成藏组合分析[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2): 107-115.
- [11] 龚再升, 杨甲明, 郝芳, 等. 莺歌海盆地与琼东南盆地成藏条件的比较及天然气勘探方向[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2001, 26(3): 284-290.
- [12] Chen P H, Chen Z Y, Zhang Q M. Sequence stratigraphy and continental margin development of the northwestern shelf of the South China Sea[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77: 842-862.
- [13] 陈志勇, 张启明. 南海北部大陆架西区陆坡的形成与演化[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(1): 1-6.
- [14] 李绪宣, 钟志洪, 董伟良, 等. 琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及其动力学机制[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 713-721.
- [15] 史淑玲, 魏魁生, 石玉军. 南海盆地宝岛—松涛凹陷低位体系域时空组合特征及其与油气赋存关系[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 32-35.
- [16] 姜涛. 莺歌海—琼东南盆地中中新世以来低位扇体形成条件和成藏模式[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2005. 22-40.
- [17] 陶维祥, 何仕斌, 赵志刚, 等. 琼东南盆地深水区储层分布规律[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 554-559.
- [18] XIE X N, Müller R D, LI S T, et al. Origin of anomalous subsidence along the Northern South China Sea margin and its relationship to dynamic topography[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(7): 745-765.
- [19] WU S G, YUAN S Q, ZHANG G C, et al. Seismic characteristics of a reef carbonate reservoir and implications for hydrocarbon exploration in deep water of the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, in press. (doi: 10.1016/j.marpetgeo.2008.04.008.)

第一作者简介: 姚根顺(1962-), 男, 安徽屯溪人, 中国石油杭州地质研究院教授级高级工程师, 中国科学院海洋研究所在读博士, 主要从事石油地质勘探与综合评价工作。地址: 杭州市西湖区西溪路920号, 杭州地质研究院, 邮政编码: 310023。E-mail: yaogs_hz@petrochina.com.cn

联系作者: 袁圣强, 中国科学院海洋所博士研究生, 研究方向为深水沉积。地址: 青岛市南海路七号, 中科院海洋所地质室, 邮政编码: 266071。E-mail: yuanshq04@mails.gucas.ac.cn

收稿日期: 2008-05-15 修回日期: 2008-08-26

(编辑 姚俊梅 绘图 付改荣)

(上接第 667 页)

- [5] 杨俊杰. 中国天然气地质学(卷四): 鄂尔多斯盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [6] 田在艺, 张春庆. 中国含油气沉积盆地论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [7] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [8] 何登发, 任纪舜, 贾承造. 中国叠合盆地地球动力学环境和构造类型[A]. 第二届中国石油地质年会论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [9] 杨华, 席胜利, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成及运聚特征[A]. 傅诚德. 深盆地研究[C]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [10] 付金华, 段晓文, 席胜利. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏特征[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 17-19.
- [11] 戴金星, 李剑, 罗露, 等. 鄂尔多斯盆地大气田的烷烃气碳同位素组成特征及其气源对比[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 18-26.
- [12] 刘新社, 席胜利, 付金华, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 19-23.
- [13] Diesel C F K. Coal-bearing depositional systems-coal facies and depositional environments: 8-coal formation and sequence stratigraphy [M]. New York: New York Publishing Inc., 1992.
- [14] 李增学, 余继峰, 郭建斌, 等. 陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 287-296.
- [15] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报, 1995, 17(1): 17-24.
- [16] 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(增刊I): 23-32.
- [17] 付金华, 魏新善, 任军峰, 等. 鄂尔多斯盆地天然气勘探形势与发展前景[J]. 石油学报, 2006, 27(6): 1-4.
- [18] 杨华, 付金华, 魏新善. 鄂尔多斯盆地天然气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(4): 5-8.
- [19] 付金华, 魏新善, 石晓英. 鄂尔多斯盆地榆林气田天然气成藏地质条件[J]. 天然气工业, 2005, 25(4): 9-11.
- [20] 付金华, 王怀厂, 魏新善. 榆林大型气田石英砂岩储集层特征及成因[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 30-32.
- [21] 傅锁堂, 田景春, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(3): 250-256.
- [22] 赵文智, 汪泽成, 李晓清, 等. 油气藏形成的三大要素[J]. 自然科学进展, 2005, 15(3): 304-312.
- [23] 任纪舜, 邓平, 肖黎薇, 等. 中国与世界主要含油气地区大地构造比较分析[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1491-1499.
- [24] 贾承造, 何登发, 石昕, 等. 中国油气晚期成藏特征[J]. 中国科学, 2006, 36(5): 412-420.
- [25] 戴金星, 卫延召, 赵靖舟. 晚期成藏对大气田形成的重大作用[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 10-19.

第一作者简介: 付金华(1962-), 男, 湖北黄冈人, 博士, 中国石油长庆油田公司教授级高级工程师, 主要从事油气勘探综合研究及管理工。地址: 陕西省西安市未央区, 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 邮政编码: 710021。E-mail: fjhr_cq@petrochina.com.cn

收稿日期: 2007-12-18 修回日期: 2008-05-25

(编辑 黄昌武 绘图 李秀贤)