

# 琼东南盆地构造演化与含煤沉积作用研究

刘海燕<sup>1,2</sup>, 吕大炜<sup>1,2</sup>, 李增学<sup>1</sup>, 郑雪<sup>1</sup>, 史长营<sup>1</sup>, 左修伟<sup>3</sup>, 高丽华<sup>1,2</sup>

1. 山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590;
2. 青岛海洋地质研究所 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266071;
3. 解放军陆军军官学院 三系, 安徽 合肥 230031)

**摘要:**琼东南盆地位于海南岛东南部海域,为新生代形成的北东走向伸展盆地。采用盆地构造演化及地层对比等分析方法,对琼东南盆地构造演化过程以及盆地内沉积成煤作用进行综合分析,认为琼东南盆地的构造演化具有幕式裂陷特征,裂陷期最后一幕的沉积地层(崖城组 and 陵水组)中有成煤作用的发生。通过含煤地层的沉积环境分析,认为崖城组属海陆交互充填阶段,陵水组为浅海环境充填阶段。但该区还存在地层格架不清、煤层空间展布以及盆地演化机制不明等问题,是今后深入研究琼东南盆地的重要方向。

**关键词:**琼东南盆地;构造演化;沉积环境;含煤地层

中图分类号:P618.130.21

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)05-0086-07

## Research Prospect on Tectonic Evolution and Coal-bearing Sedimentary Action in Qiongdongnan Basin

LIU Haiyan<sup>1,2</sup>, LÜ Dawei<sup>1,2</sup>, LI Zengxue<sup>1</sup>, ZHENG Xue<sup>1</sup>, SHI Changying<sup>1</sup>, ZUO Xiuwei<sup>3</sup>, GAO Lihua<sup>1,2</sup>

1. Key Lab of Sedimentary Metallization and Sedimentary Minerals in Shandong Province, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;
2. Key Lab of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, the Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China;
3. The 3rd Department, Army Officer Institute of PLA, Hefei, Anhui 230031, China)

**Abstract:** Qiongdongnan basin is located in the sea area of southeastern Hainan Island, it was a NE-direction extensional basin formed in Cenozoic Era. In this paper, the evolution processes of Qiongdongnan basin structures and the sedimentary incoaltation in the basin were synthetically analyzed by using basin tectonic evolution, stratigraphic correlation and other analysis methods. The comprehensive analysis showed that tectonic evolution in Qiongdongnan basin was of the features of episodic rifting, coal formation occurred in the last rifting sediment strata (Yacheng formation and Lingshui formation). From analysis on the sedimentary environment, we concluded that Yacheng formation was marine-terrigenuous facies filling stage and Lingshui formation was neritic environment filling stage. However, the analysis on the research results in the area found that there still were some problems, i. e., the unclear stratigraphic distributions, unknown coal bed spatial distribution and the mechanism of basin evolution in various stages, etc., and all of them become the main directions of in-depth study of Qiongdongnan basin.

**Key words:** Qiongdongnan basin; tectonic evolution; coal-bearing sediment

琼东南盆地位于海南岛东南部海域,处南海北部大陆边缘西北部,是新生代形成的北东向伸展盆地,海

收稿日期:2012-07-06

基金项目:国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室资助项目(MRE201010);国家自然科学基金项目(41272172);中国博士后科学基金项目(20100471562)

作者简介:刘海燕(1978—),女,河北唐山人,讲师,博士,主要从事地质专业方面教学与研究工作。E-mail:lhylsj@163.com

域面积  $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 盆地面积  $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。经过 30 多年的勘探已经证实,在琼东南盆地尤其是深水区存在着巨大的油气资源潜力<sup>[1-2]</sup>,随着生产的进行和勘探技术的提高,已有的勘探理论已经不能解释已发现的油气资源特点,同时深水区资源的勘探开发技术难题仍未解决。关于研究区仍然存在一些问题,主要表现在含煤地层格架不清、煤层空间分布不明、各阶段盆地充填演化机制及盆地性质存在争议等,鉴于此,本文探讨了琼东南地区构造演化过程与成煤作用之间的相互关系。

## 1 琼东南盆地构造演化

### 1.1 盆地演化特征

琼东南盆地是新生代形成的伸展盆地,其基底为前第三系火成岩、变质岩及沉积岩,属华南加里东褶皱带向海上的延伸部分。南海北部大陆边缘盆地具有幕式裂陷特征,包括 3 期裂陷事件,第一幕为晚白垩末—始新世初,为 NNE 向。第二幕为始新世—早渐新世,又可分为两个阶段,中一晚始新世,走向 NE;始新世末—早渐新世,走向为 NEE。第三幕为晚渐新世,琼东南盆地仍属断陷,再次快速沉降,走向 EW<sup>[3-6]</sup>。各幕断裂的优势走向呈顺时针。另外,雷超等<sup>[7-8]</sup>从不同角度进行分析,认为琼东南盆地深水区构造格局具“南北分带,东西分块”的特点,并对盆地的构造演化应力场特征进行分析,将盆地的构造演化划分为断陷、断拗、裂后热沉降和加速沉降 4 个构造演化幕。李绪宣等<sup>[9-11]</sup>通过地震资料解释指出,琼东南盆地经历了始新世—早渐新世和晚渐新世两期裂陷作用。

综合以上研究成果,通过对琼东南盆地演化的分析,都认为该区演化历史经历了早期断陷、晚期拗陷两个大的构造发育阶段<sup>[12-17]</sup>,即渐新世末期以前的裂陷阶段和中新世以后的拗陷阶段,盆地演化具有被动大陆边缘盆地的基本特征,但构造又呈多期幕式活动,与典型的被动大陆边缘盆地不尽相同<sup>[18-22]</sup>。认为在始新世末期琼东南盆地张裂的发生,而裂陷期最后一幕沉积地层(崖城组和陵水组)中有成煤作用的发生<sup>[23-25]</sup>。

### 1.2 构造展布特点

琼东南盆地内部发育的主要断裂为西缘的 NNW 向 1 号断层、北缘的 NE 向 5 号断层和盆地内的 NEE 向 2 号、3 号断层等,以这些主干断层为界,形成盆地内隆凹相间的构造格局。其构造格局大致可划分为北部拗陷带、北部隆起构造带、中央拗陷带、南部隆起构造带等一级单元和 20 多个二级构造单元。研究区以断层为界,西侧与莺歌海盆地相邻(图 1),东北为神狐隆起并与珠三拗陷相邻,处于印度板块、欧亚板块和太平洋板块的接合部位,受 3 个板块相互作用的影响,构造复杂。北为海南隆起,南与永乐隆起相接,走向近 NE 且平行于南海海盆主要构造线。东侧通过西沙海槽与南海西北海盆沟通,西侧与北西向的莺歌海盆地交接。

## 2 琼东南盆地沉积作用研究

### 2.1 沉积环境分析

经过多年的油气勘探实践,众多专家对琼东南盆地崖城组地层的沉积环境特征进行研究,取得了大量研究成果<sup>[15-17,26-29]</sup>。认为琼东南盆地的沉积充填演化特征受构造演化的控制较为明显,煤层主要发育在辫状河三角洲平原泥炭沼泽环境和潮坪的潮间带上部。琼东南盆地古近纪裂陷阶段沉积充填演化史大致可以分为 3 个阶段,即始新统岭头组陆相湖盆充填阶段、渐新统崖城组海陆交互环境充填阶段和陵水组分割浅海环境充填阶段,煤层主要形成于渐新统的崖城组和陵水组地层中。

对该区沉积环境变化及沉积相、沉积体系的研究也比较多<sup>[9-10,19-24]</sup>,可总结为:始新世,该区主要发育了中深湖沉积体系,其次为滨-浅湖相和冲积扇-河流-扇三角洲沉积体系;早渐新世,由于盆地继续拉张(第三幕张裂运动),海平面上升,沉积范围扩大,海水由西南和东部的冲绳海槽侵入盆地内,盆地出现了海相沉积,由于海水侵入范围有限,与始新世深湖沉积范围相当,因此,盆地内发育陆表海沉积、海岸平原沉积以及部分地区的障壁-泻湖沉积地层,且滨海沉积多以潮汐流为主。因此,本期主要以潮坪沉积体系、障壁-泻湖沉积体系、半封闭浅海沉积体系为主。晚渐新世早期,由于海侵作用,该区沉积范围进一步扩大,水体加深,除部分地区抬升形成低凸起外,其余地方海水侵入,西南和东部海水连接成一体,盆地内部主要发育了浅海沉积和滨海沉积体系,也有小范围的滨岸平原和台地沉积体系,盆地北部由于海南岛隆升形成凸起,使盆地北部发

育了以河流为主的海湾扇三角洲沉积体系。晚渐新世中期,由于北部和南部物源供应增大,盆地北部和南部出现了滨海沉积体系,期间的海湾扇三角洲沉积体系主要受河流和潮汐共同作用的影响,晚渐新世晚期,由于海退造成了盆地多数隆起或凸起,永乐、甘泉等凸起露出水面,松涛、中央、永乐、崖城等凸起范围扩大,盆地内出现了河控浅水三角洲、潮坪以及障壁-泻湖沉积体系,其中扇三角洲沉积体系主要受潮汐作用影响的。

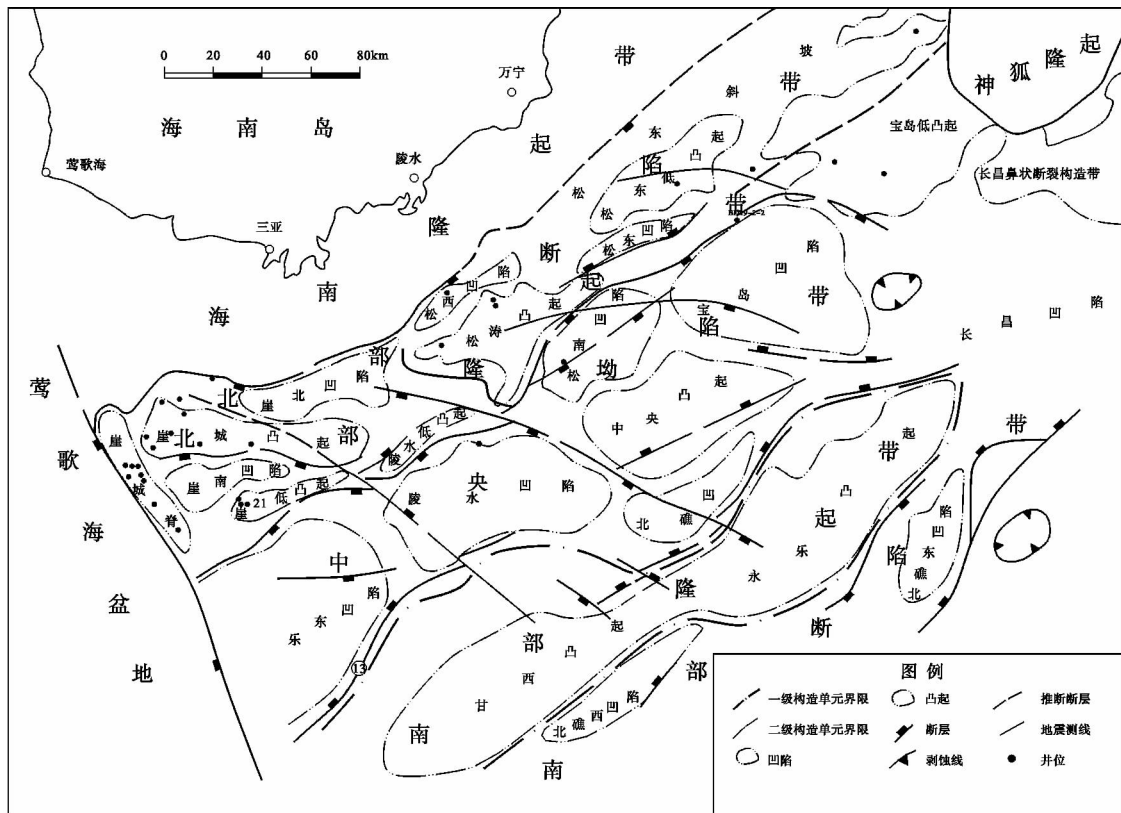


图 1 琼东南盆地区域构造图<sup>[20-21]</sup>

Fig. 1 Regional structure of Qiongdongnan basin

## 2.2 含煤地层研究

前人在盆地沉积以及聚煤作用等方面的研究也取得了很大的进展<sup>[25]</sup>,认为琼东南盆地是位于南海北部大陆边缘的拉张型盆地,盆地发展分为 2 个主要阶段,早期的断陷期,晚期的坳陷期。断陷期包括古近系崖城组和陵水组。坳陷期包括新近系的三亚组、梅山组、流黄组和莺歌海组。以琼东南盆地为例<sup>[26-27]</sup>,对海域区古近系含煤地层特点进行分析,指出辫状河-辫状河三角洲-水下扇体系和潮坪-泻湖体系聚煤作用较强。研究多通过大量的地化实验对烃源岩丰度进行研究,但针对含煤地层研究很少。何家雄等<sup>[18]</sup>详细分析了琼东南盆地产气圈闭 13-1 的气体性质,认为琼东南盆地中储存的煤型气烃源岩是渐新统地层中的煤层,对本区含煤地层具有重要意义。通过各种资料对该区烃源岩的对比追踪分析认为,该区烃源岩的分布主要取决于盆地的构造演化和沉积特征,在不同演化阶段形成的凹陷或坳陷内发育的烃源层年代和特征有较大差异<sup>[30-33]</sup>。本区主要含煤地层为崖城组和陵水组,具体介绍如下。

### 2.2.1 崖城组

琼东南盆地钻井揭露的渐新统地层厚度 484~1726 m<sup>[34-35]</sup>,其中,崖城组最厚可达 482.6~910 m,以崖二段和陵二段泥岩最为发育,已揭示的钻井崖城组普遍含煤,但煤层单层厚度较薄,累积厚度通常小于 6 m,且以光亮型煤为主。崖 13-1-2 井崖城组含煤较多,计 27 层厚度 17.5 m,占总厚的 7.58%。地化分析表明,崖城组泥岩有机碳丰度为 0.41%~1.96%,接近一般一好烃源岩指标。值得注意的是,煤及碳质泥岩有机

碳含量高达 8.55%~65.9%, S1+S2 为 14.3~142.8 mg/g, 具有很好的生气潜力, 是本区的主力烃源岩。崖城组沉积环境总体为半封闭滨浅海(局部可能为浅-半深海)相沉积, 厚度大、分布广, 特别是崖城组泥岩发育, 局部尚发育较多薄煤层, 有机质丰度较高<sup>[34-35]</sup>。在大部分地区均已进入成熟(相当部分已进入高熟—过熟)阶段, 以生气为主, 且在崖南凹陷已找到以煤型气为主的崖 13-1 气田。

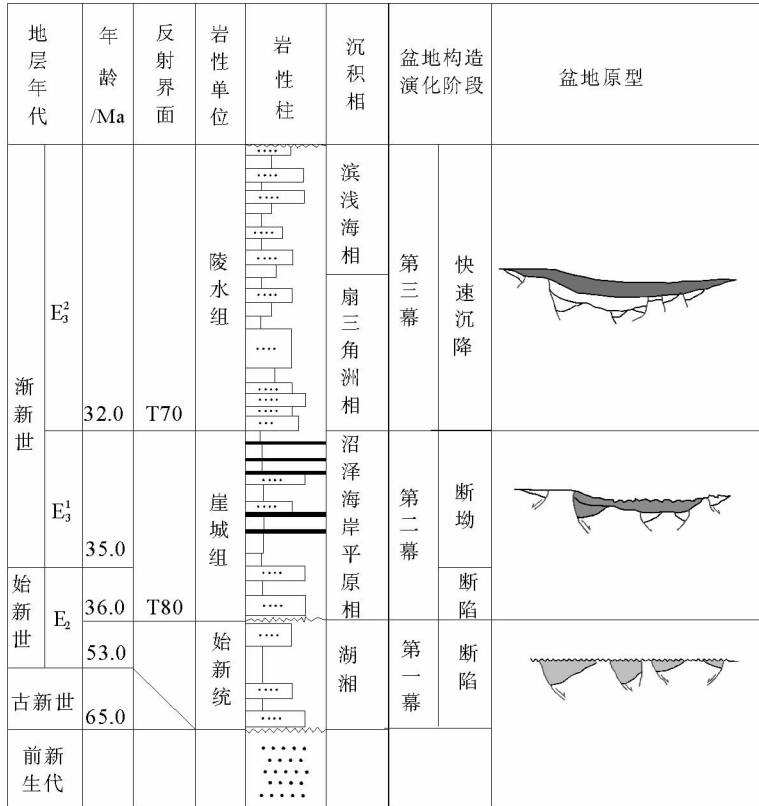


图 2 琼东南盆地古近系盆地演化图<sup>[7]</sup>

Fig. 2 Basin evolution of Paleogene system in Qiongdongnan basin

### 2.2.2 陵水组

陵水组地层在崖南凹陷较发育, 最大厚度超过 3000 m<sup>[34]</sup>。根据崖 13-1-6 井陵水组地层在西北部崖城脊地区见有煤线及少量暗色泥岩, 产状不稳定。据黄保家等<sup>[32]</sup>研究, 该组烃源岩总有机碳(total organic carbon, TOC)为 0.73%, 母质类型为 II—III 型。由于分布局限, 这套地层为次生烃源岩。据李绪宣<sup>[14]</sup>研究表明: 大量已钻井的有机质丰度垂向分布表现为自下而上总有机碳含量逐渐降低。裂陷期封闭-平封闭海沉积环境沉积的烃源岩有机质丰度较高, 其中, 崖城组泥岩总有机碳平均含量为 5.83%、陵水组 1.13%; 而拗陷期的烃源岩有机质丰度较低。

由以上研究来看, 依据琼东南盆地钻孔资料揭露, 其含煤地层主要为渐新统陵水组和崖城组, 含煤层数多, 单层厚度薄, 煤层仅分布在北部的崖南凹陷和松涛凹陷。以往学者对该区含煤地层研究主要从烃源岩角度进行分析, 研究方向主要侧重于有机地球化学方面, 对于本区含煤地层的分布及煤层形成机制, 沉积中心尤其是本区的聚煤规律目前的研究程度还比较低。

## 3 存在问题及研究方向

琼东南盆地作为我国南方一个重要的新生界油气勘探开发区, 目前研究成果主要是关于油气地质条件、盆地构造、区域构造以及油气成藏等方面。但是, 针对古近纪崖城组沉积时期煤的形成与煤系特点、煤的聚

积与分布的研究资料和成果较少,存在以下两个主要问题:

1)聚煤时期盆地类型及盆地性质仍然存在一定争议。南海北部大陆边缘盆地处于张裂期末期,裂谷期主要发生在古近纪,呈多幕裂陷特征和空间的迁移特征,主要结构是断陷或坳陷。琼东南盆地崖城组煤期、陵水组煤期究竟是断陷型盆地还是坳陷型盆地,聚煤时期盆地类型及盆地性质是今后需要解决的问题之一。

2)煤系地层在琼东南盆地的分布有待于进一步分析。琼东南地区只在崖南凹陷、松涛凹陷发现煤层,其他凹陷如深水区的宝岛凹陷、陵水凹陷和乐东凹陷,究竟是否有煤层或煤系分布,是下一步研究的重点。

#### 参考文献:

- [1]李俊良,左倩媚,解习农,等.琼东南盆地深水区新近系沉积特征与有利储盖组合[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(6):109-115.  
LI Junliang,ZUO Qianmei,XIE Xinong,et al. Neogene depositional features and favorable reservoir-cap combinations in the deepwater of Qiongdongnan basin,Northern South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology,2011,31(6):109-115.
- [2]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.  
LIU Jun,WANG Hua,JIANG Hua,et al. Prospects for deepwater oil and gas exploration in Qiongdongnan basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2006,27(5):545-548.
- [3]RU K,PIGOTT J D. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea[J]. AAPG Bulletin,1986,70(9):1136-1155.
- [4]李思田.联合古陆演化周期中超大型含煤及含油气盆地的形成[J].地质前缘:中国地质大学,1997,4(3-4):299-304.  
LI Sitian. Formation of the giant coal bearing and hydrocarbon bearing basins during the Pangea evolution cycle[J]. Earth Science Frontiers:China University of Geosciences,1997,4(3-4):299-304.
- [5]钟泽红,吕明.莺歌海盆地中深层有利储集体分析[C]//2001年全国沉积学大会摘要论文集.武汉,2001,10月16-19日:429-437.
- [6]赵民,张晓宝,吉利明,等.琼东南盆地构造演化特征及其对油气藏的控制浅析[J].天然气地球科学,2010,21(3):494-502.  
ZHAO Min,ZHANG Xiaobao,JI Liming,et al. Characteristics of tectonic evolution in the Qiongdongnan basin and brief discussion about its controlling on reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience,2010,21(3):494-502.
- [7]雷超,任建业,裴健翔,等.琼东南盆地深水区构造格局和幕式演化过程[J].地球科学:中国地质大学学报,2011,36(1):151-162.  
LEI Chao,REN Jianye,PEI Jianxiang,et al. Tectonic framework and multiple episode tectonic evolution in deepwater area of Qiongdongnan basin,Northern Continental Margin of South China Sea[J]. Earth Science:Journal of China University of Geosciences,2011,36(1):151-162.
- [8]雷超,任建业,李绪深,等.琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J].石油勘探与开发,2011,38(5):560-569.  
LEI Chao,REN Jianye,LI Xushen,et al. Structural characteristics and petroleum exploration potential in the deep-water area of the Qiongdongnan basin,South China Sea[J]. Petroleum Exploration and Development,2011,38(5):560-569.
- [9]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):713-722.  
LI Xuxuan,ZHONG Zhihong,DONG Weiliang,et al. Paleogene rift structure and its dynamics of Qiongdongnan basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2006,33(6):713-722.
- [10]李绪宣,刘宝明,赵俊青.琼东南盆地古近纪层序结构、充填样式及生烃潜力[J].中国海上油气,2007,19(4):217-239.  
LI Xuxuan,LIU Baoming,ZHAO Junqing. Paleogene sequence configuration,depositional filling pattern and hydrocarbon-generation potential in Qiongdongnan basin[J]. China Offshore Oil and Gas,2007,19(4):217-239.
- [11]李绪宣,李维新,张益明,等.琼东南盆地天然气成藏特征及地震识别技术[J].中国海上油气,2006,18(2):79-86.  
LI Xuxuan,LI Weixin,ZHANG Yiming,et al. Gas accumulation characteristics and seismic identification techniques in Qiongdongnan basin[J]. China Offshore Oil and Gas,2006,18(2):79-86.
- [12]张启明.莺-琼盆地的演化与构造-热体制[J].天然气工业,1999,19(1):12-18.  
ZHANG Qiming. Evolution of Ying-Qiong basin and its tectonic-thermal system[J]. Natural Gas Industry,1999,19(1):12-18.
- [13]杜振川,丁述理,魏魁生.琼东南盆地第三纪高分辨率层序地层划分特征[J].辽宁工程技术大学学报,2002,21(6):709-



712.

DU Zhenchuan, DING Shuli, WEI Kuisheng. High-resolution sequence division and its petroleugeological significance in tertiary period of Qiongdongnan[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2002, 21(6): 709-712.

[14] 李绪宣. 琼东南盆地构造动力学演化及油气成藏研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2004.

[15] 肖军, 王华, 陆永潮, 等. 琼东南盆地构造坡折带特征及其对沉积的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 55-63.

XIAO Jun, WANG Hua, LU Yongchao, et al. Characteristics of structural slope-break zone and its controlling effect on sediment in the Qiongdongnan basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(3): 55-63.

[16] 田姗姗. 琼东南盆地裂后期构造沉降分析及古地貌恢复[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.

[17] 钟志洪, 王良书, 李绪宣, 等. 琼东南盆地古近纪沉积充填演化及其区域构造意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 29-36.

ZHONG Zhihong, WANG Liangshu, LI Xuxuan, et al. The paleogene basin-filling evolution of Qiongdongnan basin and its relation with seafloor spreading of the South China sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(1): 29-36.

[18] 何家雄, 施小斌, 夏斌, 等. 南海北部边缘盆地油气勘探现状与深水油气资源前景[J]. 地球科学进展, 2007, 22(3): 261-270.

HE Jiexiong, SHI Xiaobin, XIA Bin, et al. The status of the petroleum exploration in the Northern South China Sea and the resource potential in the deep-water areas[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(3): 261-270.

[19] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 43-59.

[20] 赵必强. 琼东南盆地天然气运聚成藏规律研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006.

[21] 李亚敏, 施小斌, 徐辉龙, 等. 琼东南盆地构造沉降的时空分布及裂后期异常沉降机制[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(1): 47-57, 65.

LI Yamin, SHI Xiaobin, XU Huilong, et al. Temporal and spatial distribution of tectonic subsidence and discussion on formation mechanism of anomalous post-rift tectonic subsidence in the Qiongdongnan basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(1): 47-57, 65.

[22] 解习农, 李思田, 葛立刚, 等. 琼东南盆地崖南凹陷海湾扇三角洲体系沉积构成及演化模式[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 64-71.

XIE Xinong, LI Sitian, GE Ligang, et al. Internal architectures and evolving model of bay fan delta system in Yanan Sag of Qiongdongnan basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 64-71.

[23] 魏魁生, 楚美娟, 崔颖凯, 等. 琼东南盆地东部低位体系域的时空组合特征及油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 650-655.

WEI Kuisheng, CHU Meijuan, CUI Yingkai, et al. Characteristics of time-space combination of lowstand system tracts and their exploration significance in eastern Qiongdongnan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 650-655.

[24] 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.

TAO Weixiang, HE Shibin, ZHAO Zhigang, et al. Reservoir distribution in deepwater area of the Qiongdongnan basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 554-559.

[25] 王根发, 吴冲龙, 周江羽, 等. 琼东南盆地第三系层序地层分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 124-128.

WANG Genfa, WU Chonglong, ZHOU Jiangyu, et al. Sequence stratigraphic analysis of the tertiary in the Qiongdongnan basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(2): 124-128.

[26] 李增学, 何玉平, 刘海燕, 等. 琼东南盆地崖城组煤的沉积学特征与聚煤模式[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 542-547.

LI Zengxue, HE Yuping, LIU Haiyan, et al. Sedimentology characteristics and coal-forming models in Yacheng formation of Qiongdongnan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 542-547.

[27] 李增学, 张功成, 王东东, 等. 海域区古近系含煤地层基准面旋回识别与对比: 以琼东南盆地为例[J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1178-1185.

LI Zengxue, ZHANG Gongcheng, WANG Dongdong, et al. Identification and correlation of base-level cycles of coal-bearing strata in Paleogene System of China seas: Taking the case of Qiongdongnan basin as an example[J]. Geoscience, 2010, 24(6): 1178-1185.

[28] 李莹, 张功成, 吕大炜, 等. 琼东南盆地崖城组沉积特征及成煤环境[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(1): 1-5.

- LI Ying, ZHANG Gongcheng, LÜ Dawei, et al. Depositional characteristics and coal forming environment of Yacheng Formation, Qiongdongnan basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(1): 1-5.
- [29]任桂媛,肖军,李彦丽,等. 琼东南盆地崖城组聚煤环境及成煤规律[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(6): 621-623.  
REN Guiyuan, XIAO Jun, LI Yanli, et al. The coal-accumulating environment and coal-forming model of Yacheng Formation in Qiongdongnan basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(6): 621-623.
- [30]陈伟煌. 北部湾盆地生油层成熟门限深度与石油初次运移的探讨[J]. 海洋地质研究, 1982, 2(2): 21-26.  
CHEN Weihuang. The threshold maturity depth of source beds and the primary migration of oil in the Beibu Gulf basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1982, 2(2): 21-26.
- [31]张泉兴,李里,黄保家,等. 莺琼盆地梅山组的生烃特征[J]. 自然科学进展:国家重点实验室通讯, 1994, 4(2): 220-228.  
ZHANG Quanxing, LI Li, HUANG Baojia, et al. Characteristics of hydrocarbon generation of Meishan Group Yingqiong basin[J]. State Key Laboratory of Science Progress-Communications, 1994, 4(2): 220-228.
- [32]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.  
HUANG Baojia. Gas potential and its favorable exploration areas in Qiongdongnan basin[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 34-39.
- [33]董伟良. 南海西部莺-琼盆地天然气勘探领域分析[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 7-11.  
DONG Weiliang. An analysis of the natural gas exploration areas in Ying Qiong basin in western South China Sea[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 7-11.
- [34]胡忠良. 琼东南盆地崖南凹陷烃源岩生烃动力学和油气成藏研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所, 2005.
- [35]姜涛. 莺歌海-琼东南盆地中新世以来低位扇体形成条件和成藏模式[D]. 北京:中国地质大学, 2005.

(上接第14页)

- [4]周世宁,林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1999: 69-71.
- [5]高建良,侯三中. 掘进工作面动态瓦斯压力分布及涌出规律[J]. 煤炭学报, 2007, 32(11): 1127-1131.  
GAO Jianliang, HOU Sanzhong. Dynamic distribution of gas pressure and emission around a diving roadway[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(11): 1127-1131.
- [6]XUE S, XIE J, LI X S, et al. Study on outbursts of coal and gas in Guqiao Mine of Huainan Coal Mining Group[R]. Australia Brisbane; CSIRO Exploration and Mining Report, 2009: 1492-1493.
- [7]XUE S. Development of gas content based outburst control technology in Huainan[C]//China International Conference on Coal Mine Gas Control and Utilization. Huainan, Oct. 23-24, 2008: 252-260.
- [8]XUE S, WANG G, WANG Y C, et al. A numerical simulator of outbursts of coal and gas[C]//2010 Underground Coal Operators' Conference. Wollongong, Feb. 11-12, 2010: 257-263.
- [9]RUTHVEN, D M. Principle of adsorption and adsorption processes[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984: 101-118.
- [10]YANG R T. Gas Separation by Adsorption Processes[M]. London: Butterworths Publishers, 1987: 121-134.
- [11]KING G R, ERTEKIN T, SCHWERER F C. Numerical simulation of the transient behavior coal seam degasification wells [C]//7th Symposium on Reservoir Simulation. San Francisco, Nov. 16-15, 1983: Paper No. 12258.
- [12]XUE S, CHEN S, GUO H. Outburst initiation simulation with a coupled approach[C]//2007 International Symposium on Safety Science and Technology. Jiaozuo, Apr. 16-19, 2007: 1629-1636.
- [13]BERGE P A, WANG H F. Thermomechanical effects on permeability for a 3-D model of YM rock in rock mechanics for industry[C]//Rock Mechanics for Industry Proceedings of the 37th US Rock Mechanics Symposium. Vail, Colorado, June 6-9, 1999: 729-749.