

文章编号:1672-6561(2012)04-0030-06

珠江口盆地番禺低隆起文昌组断裂活动性特征 及其对沉积的影响

宗 奕, 梁建设, 郭 刚

(中海油研究总院, 北京 100027)

摘 要:珠江口盆地番禺低隆起具有文昌组地层沉积, 而断裂活动对文昌组沉积和沉积相展布有重要影响。基于断层活动速率方法, 对文昌组控注断裂活动性特征进行定量研究; 结合沉降速率分析, 对控注断裂活动性强度及断面样式与沉积相展布进行相关性分析。结果表明: 当活动速率大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时, 断裂控制中深湖相沉积; 当活动速率小于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时, 断裂控制中深湖相沉积边缘或三角洲相及滨浅湖相; 中央隆起带文昌组控注断裂活动性和珠 I 坳陷文昌组具有很强的正相关性; 控注断裂的活动性差异控制着沉降中心的发育; 不同断裂构造样式对沉积体系的发育也有一定控制作用, 板式断裂控制的沉降中心靠近断裂边缘, 而铲式断裂控制的沉降中心则更靠近盆地中心; 深入分析断层活动速率大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 且控制文昌组中深湖相的区域, 可能会发现油田。

关键词: 断层; 活动速率; 沉积相; 中央隆起带; 文昌组; 番禺低隆起; 珠江口盆地

中图分类号: P542⁺.3; TE122 文献标志码: A

Characteristic of Fault Activity in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift, Pearl River Mouth Basin and Its Influence on Sedimentation

ZONG Yi, LIANG Jian-she, GUO Gang

(CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: There is Wenchang Formation in Panyu Low Uplift of Pearl River Mouth Basin, and fault activity has an important influence on sedimentation and distribution of sedimentary facies of Wenchang Formation. Based on fault activity rate method, activity characteristic of fault controlled in Wenchang Formation were analyzed quantificationally; combined with sedimentation rate analysis, activity intensity of fault controlled was calculated, and the correlation of fracture type and distribution of sedimentary facies was discussed. The results showed that fault controlled the deposition of middle deep lacustrine facies when activity rate was more than $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$; fault controlled the margin of deposition of middle deep lacustrine facies or delta facies and coastal shallow-lake facies when activity rate was less than $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$; the correlation of activities of faults controlled in Wenchang Formation between central uplift belt and Zhu I Depression was positive; the difference of activities of faults controlled contained the development of subsidence center; the development of sedimentary system was contained by different types of fault structure in a certain extent, subsidence center contained by slab rupture was near the margin of fault, and that contained by shovel rupture was near the center of basin; the area, in which activity rate of fault was more than $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ and the middle deep lacustrine facies in Wenchang Formation

收稿日期: 2012-01-12

基金项目: “十二五”国家科技重大专项研究项目 (2011ZX05023-001)

作者简介: 宗 奕 (1981-), 女, 陕西西安人, 工程师, 工学博士, E-mail: zongyi@cnooc.com.cn.

was controlled, was favorable to explore the oil.

Key words: fault; activity rate; sedimentary facies; central uplift belt; Wenchang Formation; Panyu Low Uplift; Pearl River Mouth Basin

0 引言

珠江口盆地中央隆起带是中国南海重要的油气聚集带^[1-5]。截至2009年底,中央隆起带累计已钻探井110口,其中油气流及油气层井共68口,具有较好的勘探前景。2010年,在中央隆起带的番禺低隆起内部发现文昌组、恩平组沉积期的残余洼陷,并且具备良好的烃源岩条件^[6-11],为隆起带勘探新亮点,突破了隆起带无烃源岩的旧模式。但对番禺低隆起上的文昌组残余洼陷控注断裂活动性特征及其对沉积的影响认识不清,对残余的成藏规律未系统研究,已成为制约本区油气勘探进程的重要因素。笔者基于断层活动速率方法,对珠江口盆地番禺低隆起文昌组控注断裂进行定量活动性特征研究;结合沉降速率分析,对控注断裂活动性强弱及断面样式与沉积相展布进行相关性分析;并通过与相邻的珠Ⅰ坳陷进行对比研究,初步归纳出残余洼陷成藏规律。

1 研究区概况

珠江口盆地位于南海北部大陆架东部近海,为新生代含油气盆地^[12]。盆地划分为“三隆夹两坳”5个次级构造单元:北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带、南部隆起带。番禺低隆起位于中央隆起带盆地中部,东为东沙隆起,西接神狐隆起,向南倾没于白云洼陷,面积为8 350 km²(图1)。3个隆起均呈北东向展布,其洼陷方向也与隆起走向一致。中央隆起带断裂的方向主要为控制文昌组沉

积的近东西向。珠江口盆地经历了多期构造运动演化,沉积了古新统神狐组、始新统文昌组和下渐新统恩平组,发育了文昌组和恩平组2套烃源岩;晚渐新世至早中新世沉积了珠海组和珠江组,是主要的油气产层;中中新世以来形成了广海盆地,沉积了韩江组、粤海组和万山组^[13-15]。

2 断裂活动性特征及其对沉积的影响

2.1 研究方法

断裂控制着断陷盆地的构造格局,也控制着坳陷层序和沉积的发育,因此准确厘定断裂活动的时间和强度对于油气勘探具有重要意义。研究断裂活动性的常用方法包括断层生长指数法、断层落差法和断层活动速率法^[16-20]。

断层生长指数是指被断层所割的地层单元下降盘与上升盘厚度的比值。断层生长指数要求凹陷内各时代不同部位的沉积速率要一致,且断层上、下盘无大的沉积间断,而在凹陷沉积及沉积物来源等因素的影响下,沉积速率差异性较大,因此在空间上该指数不适合用于对比断层活动强弱的相对变化。断层落差指某地质时期垂直于断层走向的剖面上两盘相同层之间的铅直距离。断层落差法要求剥蚀区上、下盘剥蚀厚度一致,未考虑沉积压实效应,并且未考虑时间的概念。

断层活动速率参数可描述断裂的活动特征。断层活动速率法避免了断层生长指数法不能用于对比断层活动相对强弱变化的弊端,弥补了断层落差法由于缺少时间概念所带来的不足,能够更好地反映断裂的活动特点。断层活动速率是指某一地层单元在一定时期内,因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值^[21],即

$$V_f = \frac{H_u - H_d}{T}$$

式中: V_f 为断层活动速率; T 为沉积时间; H_d 为断层下降盘地层厚度; H_u 为断层上升盘地层厚度。

上述3种方法在利用现今地层厚度进行计算时都具有局限性。现今厚度是地史过程中经过压实、剥蚀和构造沉降等作用的产物^[22],只有利用原始地层厚度进行计算才能较为精确地描述当时的断裂活动性。恢复原始地层厚度则需要对沉积史进行重

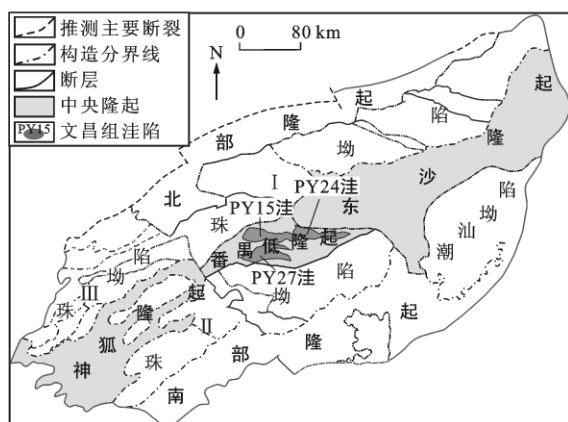


图1 珠江口盆地构造

Fig. 1 Structure of Pearl River Mouth Basin

建,进行压实校正、古水深校正、剥蚀校正和构造变形校正。本研究利用 Trinity 和 Genesis 盆地模拟技术,得到文昌组地层的原始厚度、构造沉降史及沉降速率,并结合断层活动速率法来分析断裂活动性特征。

2.2 断裂活动性特征

断陷控制湖盆沉积,同沉积构造的活动所产生的古地貌对沉积体系域的发育分布起着极其重要的控制作用。番禺低隆起文昌组残洼作为一系列断陷湖盆,其沉积体系特征和展布受到控洼断裂的深刻影响。

本研究分别在番禺低隆起 PY15 洼、PY24 洼和 PY27 洼各选取 5~7 条测线进行活动速率分析,测线位置见图 2。从图 3 可以得出,这 3 个文昌组残洼主干断裂的活动速率差异较大。其中, PY15 洼控洼断裂活动速率主要集中在 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以下,变化幅度较小;而 PY24 洼和 PY27 洼控洼断裂活动速率主要集中在 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以上,且变化幅度较大。

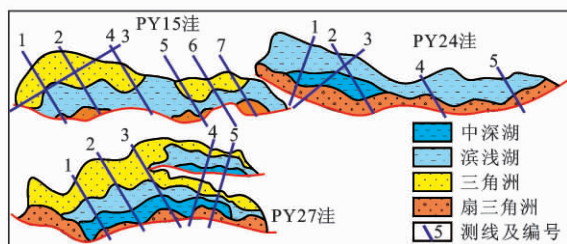


图 2 番禺低隆起文昌组沉积相

Fig. 2 Sedimentary Facies in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift

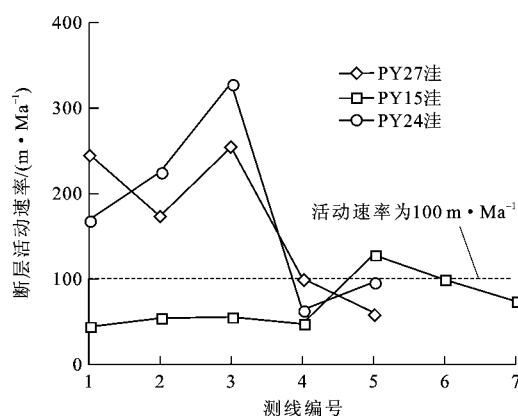


图 3 番禺低隆起文昌组断层活动速率

Fig. 3 Fault Activity Rates in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift

结合文昌组残洼沉积相的研究成果, PY15 洼沉积相主要为滨浅湖相、三角洲相和扇三角洲相组合,而 PY27 洼和 PY24 洼沉积相主要为中深湖相、滨浅湖相、三角洲相和扇三角洲相组合,即 PY15 洼

没有中深湖相沉积。PY15 洼控洼断裂活动速率相对较低;而 PY27 洼和 PY24 洼在具有中深湖相沉积处的控洼断裂活动速率基本都大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 。PY24 洼东部不具有中深湖相沉积,断层活动速率在 $90 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以下;在 PY27 洼中深湖相沉积边缘(如测线 5)控洼断裂活动速率为 $68 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 。

综上所述,番禺低隆起文昌组残洼的控洼断裂活动性特征为:当活动速率大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时,形成较大的可容空间,往往控制中深湖相沉积;活动速率小于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时,形成较小的可容空间,控制滨浅湖相和三角洲相沉积。

2.3 断裂活动性对沉积的影响

断裂控制沉积作用在平面上主要表现为对沉积中心的影响以及沉积相带发育的差异(图 4)。番禺低隆起文昌组残洼沉积体系发育主要受控洼断裂影响,其差异性控制主要分为控洼断裂控制沉降中心发育和控洼断裂不同的构造样式控制沉降中心与盆地边缘距离。

2.3.1 沉降中心差异性分布

控洼断裂的活动性差异控制着沉降中心的发育。文昌组残洼具有 2 个沉积中心,即 PY24 洼西部,其最大沉降速率为 $127 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ (图 4); PY27 洼南部,其最大沉降速率为 $133 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 。2 个沉降中心主要形成了半深湖—深湖相沉积。结合断裂活动性来看,沉降中心对应的活动速率在 $150 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以上,最高可达 $329.5 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 。相对于沉降中心较高的沉降速率和断层活动速率,在断层活动较弱的地区,仅发育滨浅湖相和三角洲相,比如 PY15 洼沉降速率基本在 $70 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以下,而断层活动速率也较低。

2.3.2 构造样式对沉积的控制

断层构造样式的差异控制断裂活动性。不同断层构造样式对沉降中心与盆地边缘的距离具有控制作用。番禺低隆起断裂具有 3 种构造样式:板式断裂、铲式断裂和阶式断裂(图 4)。PY15 洼的板式断裂(如测线 C)控制的沉降中心靠近断裂边缘; PY24 洼的铲式断裂(如测线 B)控制的沉降中心更靠近盆地中心; PY27 洼的阶式断裂(如测线 A)组合控制的沉降中心则向盆地中心逐渐加深。同时,不同断层构造样式也控制着不同沉积体系的发育情况。板式断裂产状陡,落差较大,物源能够快速堆积,所控沉积厚度大;铲式断裂主要控制扇三角洲的发育,与板式断裂相比,砂体沉积厚度相对较薄,但分布更广泛;阶式断裂组合是板式断裂和铲式断裂的过渡类型,控制着一定面积的扇三角洲。

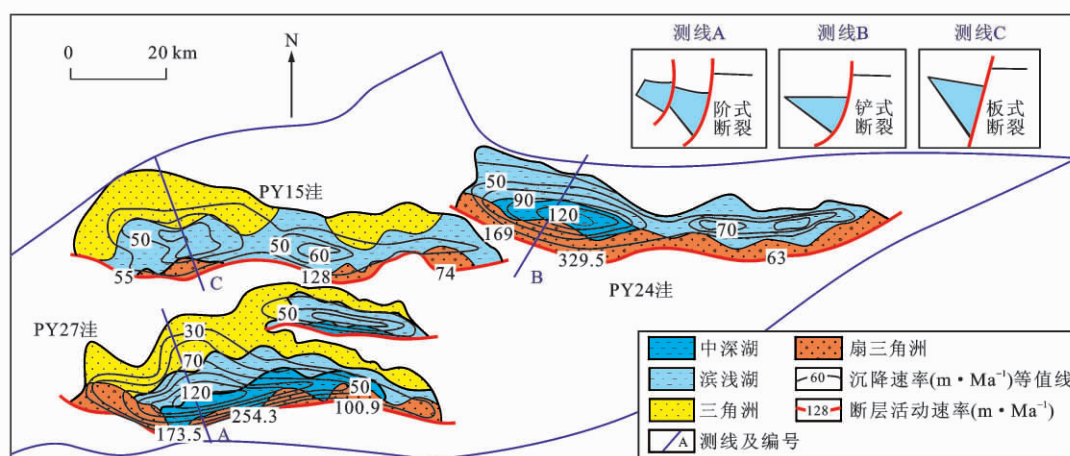


图4 番禺低隆起文昌组沉积相与沉积速率、断裂活动性关系

Fig. 4 Relationships of Sedimentary Facies to Rate and Fault Activity in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift

2.4 番禺低隆起与珠Ⅰ坳陷文昌组控洼断裂对比

番禺低隆起与珠Ⅰ坳陷内恩平凹陷相邻,在地质背景上具有很强的相似性。笔者拟进行对比研究,试图从断裂控制沉积角度,抓住其内部联系,进而为残洼的进一步勘探提供依据。

2.4.1 断裂活动性对比

本研究在珠Ⅰ坳陷分别选取 EP17 洼、PY4 洼、XJ36 洼、HZ26 洼和 LF13N 洼各选取 5 条测线进行活动速率分析(图 5)。这 5 个文昌组残洼主干断裂的活动速率差异较大:EP17 洼控洼断裂活动速率主要集中在 $150 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 以上;PY4 洼、LF13N 洼和 HZ26 洼控洼断裂活动速率一般均高于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$;XJ36 洼控洼断裂活动速率则全部明显低于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ (图 6)。

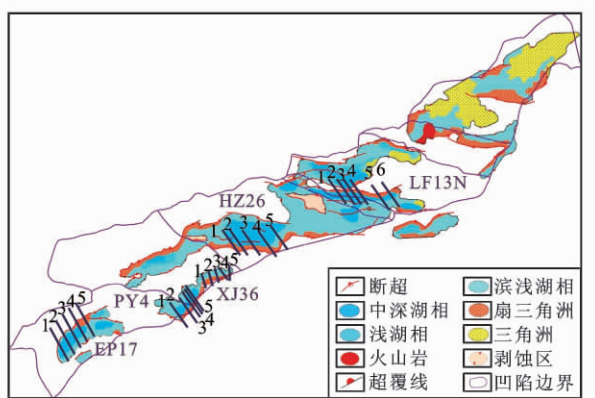


图5 珠Ⅰ坳陷文昌组沉积相

Fig. 5 Sedimentary Facies in Wenchang Formation of Zhu I Depression

结合文昌组残洼沉积相的研究,EP17 洼控洼断裂活动速率最高,主要控制中深湖相沉积。PY4 洼在测线 1 位置的断层活动速率为 $90 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$,

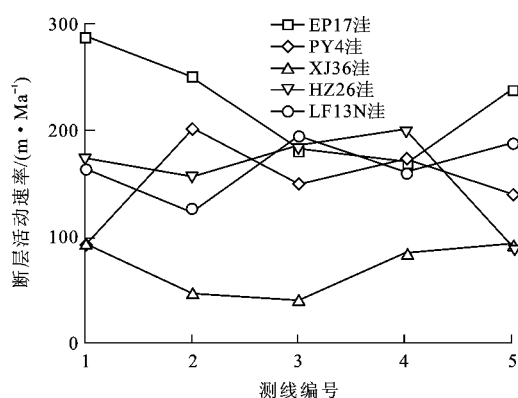


图6 珠Ⅰ坳陷文昌组断层活动速率

Fig. 6 Fault Activity Rate in Wenchang Formation of Zhu I Depression

控制中深湖相沉积边缘;而其他位置点的断层活动速率均大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$,控制中深湖沉积相。XJ36 洼控洼断裂活动速率较低,没有形成中深湖沉积相。HZ26 洼在测线 5 位置的断层活动速率为 $91 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$,仅控制中深湖相沉积边缘,而其他位置点的断层活动速率均大于 $150 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$,形成中深湖相沉积。LF13N 洼控洼断裂活动速率变化较为平缓,均大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$,控制中深湖沉积相沉积。

通过与番禺低隆起断裂活动性对比,笔者认为中央隆起带文昌组控洼断裂活动性和珠Ⅰ坳陷文昌组具有很强的相关性。在文昌组控洼断裂活动速率大于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时,形成中深湖相沉积;在控洼断裂活动速率小于 $100 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ 时,控制中深湖相沉积边缘或三角洲相及滨浅湖相;当活动速率波动较大时,一般控制中深湖相沉积;当活动速率波动比较平稳时,基本不控制中深湖相沉积。

2.4.2 成藏对比

与珠Ⅰ坳陷进行成藏对比,笔者认为文昌组具有中深湖相沉积,且断裂活动性较强的洼陷附近有一系列的油田分布(图5),如EP17洼、PY4洼、HZ26洼、LF13N洼;而XJ36洼附近则没有油田分布。相对于珠Ⅰ坳陷的成功勘探,番禺低隆起文昌组残洼周缘尚未发现油田。因此,深入分析断层活动速率大于 $100\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 且控制文昌组中深湖相的区域,有可能发现油田。

3 结 语

(1)番禺低隆起文昌组控洼断裂活动速率大于 $100\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 时,形成较大的可容空间,往往控制中深湖相沉积;当活动速率小于 $100\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 时,形成较小的可容空间,控制滨浅湖相和三角洲相沉积。

(2)控洼断裂活动性的差异控制着沉降中心的发育。不同断裂构造样式对沉积体系的发育也有一定控制作用,板式断裂控制的沉降中心靠近断裂边缘,而铲式断裂控制的沉降中心则更靠近盆地中心。

(3)番禺低隆起文昌组控洼断裂活动性和珠Ⅰ坳陷文昌组控洼断裂活动性具有很强的相关性。当活动速率波动较大时,一般控制中深湖相沉积;当活动速率波动比较平稳时,基本不控制中深湖相沉积。深入分析断层活动速率大于 $100\text{ m}\cdot\text{Ma}^{-1}$ 且控制文昌组中深湖相的区域,可能会发现油田。从断裂活动性控制沉积角度揭示的珠Ⅰ凹陷成藏规律,可为番禺低隆起下一步勘探提供理论基础。

参考文献:

References:

- [1] 聂逢君,姜美珠,李思田.南海珠江口盆地珠三坳陷油气输导系统研究[J].石油实验地质,2011,33(4):392-401.
NIE Feng-jun,JIANG Mei-zhu,LI Si-tian. Petroleum Migration System in Zhu Ⅲ Depression, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. Petroleum Geology and Experiment,2011,33(4):392-401.
- [2] 祝彦贺.珠江口盆地早中新世陆架-陆坡沉积系统构成及储集体分布[J].西安石油大学学报:自然科学版,2011,26(6):1-9.
ZHU Yan-he. Composition and Reservoir Body Distribution of Continental Shelf-continental Slope Sedimentary System in Early Eocene in Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition,2011,26(6):1-9.
- [3] 郑丹,徐思煌,尚小亮.珠江口盆地惠州凹陷泥岩压实特征及其成因[J].地球科学与环境学报,2010,32(4):372-377.
ZHENG Dan, XU Si-huang, SHANG Xiao-liang. Characteristics and Genesis of Mudstone Compaction in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(4):372-377.
- [4] 张忠涛,秦成岗,高鹏,等.珠江口盆地番禺一流花地区天然气成藏特征及主控因素分析[J].天然气地球科学,2011,22(5):778-783.
ZHANG Zhong-tao, QIN Cheng-gang, GAO Peng, et al. Accumulation of Natural Gas and Main Controlling Factors in PY-LH Zone in Zhujiang River Mouth Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 778-783.
- [5] 周小康,汪瑞良,曾驿,等.珠江口盆地东沙隆起珠江组碳酸盐岩层序地层及沉积模式[J].石油天然气学报,2011,33(9):1-6.
ZHOU Xiao-kang, WANG Rui-liang, ZENG Yi, et al. Carbonate Sequence Stratigraphy and Sedimentary Modes of Dongsha Massif in Pearl River-mouth Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(9): 1-6.
- [6] 朱伟林,王振峰,张迎朝.南海北部陆架盆地非构造油气藏[J].石油与天然气地质,2004,25(4):408-415.
ZHU Wei-lin, WANG Zhen-feng, ZHANG Ying-zhao. Non-structural Reservoirs in Northern Shelf Basins of South China Sea[J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(4): 408-415.
- [7] 朱伟林,米立军,高阳东,等.中国近海近几年油气勘探特点及今后勘探方向[J].中国海上油气,2009,21(1):1-8.
ZHU Wei-lin, MI Li-jun, GAO Yang-dong, et al. Recent Features and Future Directions of Offshore Hydrocarbon Exploration in China [J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(1): 1-8.
- [8] 张迎朝,陈志宏,李绪深,等.珠江口盆地文昌B凹陷及周边油气成藏特征与有利勘探领域[J].石油实验地质,2011,33(3):297-302.
ZHANG Ying-zhao, CHEN Zhi-hong, LI Xu-shen, et al. Petroleum Accumulation Characteristics and Favorable Exploration Directions in Wenchang B Sag and Its Surrounding Areas, Pearl River Mouth Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2011, 33(3): 297-302.
- [9] 于开平,张功成,梁建设,等.珠江口盆地恩平凹陷油气成藏条件研究[J].石油实验地质,2011,33(5):509-512.
YU Kai-ping, ZHANG Gong-cheng, LIANG Jian-she, et al. Petroleum Accumulation Conditions in Enping

- Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2011, 33(5): 509-512.
- [10] 苗顺德, 张功成, 梁建设, 等. 珠江口盆地北部坳陷带文昌组地震反射特征及沉积环境分析[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(5): 844-850.
- MIAO Shun-de, ZHANG Gong-cheng, LIANG Jian-she, et al. Seismic Reflection Characteristics and Sedimentary Environment Analysis of Wenchang Formation in Northern Depression of Zhujiangkou Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(5): 844-850.
- [11] 徐思煌, 朱义清. 烃源岩有机碳含量的测井响应特征与定量预测模型——以珠江口盆地文昌组烃源岩为例[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(3): 290-295.
- XU Si-huang, ZHU Yi-qing. Well Logs Response and Prediction Model of Organic Carbon Content in Source Rocks—A Case Study from the Source Rock of Wenchang Formation in the Pearl Mouth Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2010, 32(3): 290-295.
- [12] 宋洋, 赵长煜, 张功成, 等. 南海北部珠江口与琼东南盆地构造-热模拟研究[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(12): 3057-3069.
- SONG Yang, ZHAO Chang-yu, ZHANG Gong-cheng, et al. Research on Tectono-thermal Modeling for Qiongdongnan Basin and Pearl River Mouth Basin in the Northern South China Sea[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(12): 3057-3069.
- [13] 马文宏, 何家雄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地第三系沉积及主要烃源岩发育特征[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 41-48.
- MA Wen-hong, HE Jia-xiong, YAO Yong-jian, et al. Characteristics of Tertiary Sediments and Main Source Rocks, Northern South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 41-48.
- [14] 何家雄, 陈胜红, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气主要成因类型及运聚分布特征[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 34-40.
- HE Jia-xiong, CHEN Sheng-hong, YAO Yong-jian, et al. Main Genetic Types of Oil and Gas and Characteristics of Their Accumulation and Distribution in North Marginal Basins, South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 34-40.
- [15] 夏斌, 吕宝凤, 吴国干, 等. 南海北部新生代盆地构造迁移及其对烃源岩的制约作用[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(5): 629-634.
- XIA Bin, LU Bao-feng, WU Guo-gan, et al. The Cenozoic Tectonic Transport and Its Control on the Source Rock in the Northern South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(5): 629-634.
- [16] 渠芳, 陈清华. 对孤岛油田西南缘断层活动性的新认识[J]. *地球科学与环境学报*, 2009, 31(4): 394-399.
- QU Fang, CHEN Qing-hua. New Recognitions About Fault Activity of the Southwestern Margin of Gudao Oilfield[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2009, 31(4): 394-399.
- [17] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. *断块油气田*, 1999, 7(2): 15-17.
- LI Qin-ying, LUO Feng-zhi, MIAO Cui-zhi. Research on Fault Activity Ratio and Its Application[J]. *Fault-block Oil and Gas Field*, 1999, 7(2): 15-17.
- [18] 肖英玉, 郝雪峰. 断层生长指数在层序地层单元中应用的局限性[J]. *油气地质与采收率*, 2003, 10(增): 1-3.
- XIAO Ying-yu, HAO Xue-feng. Limitation of Application of Fault Growth Index in the Sequence Stratigraphic Unit[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2003, 10(S): 1-3.
- [19] 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究[J]. *西南石油大学学报*, 2007, 29(3): 20-23.
- CHEN Gang, DAI Jun-sheng, YE Xing-shu, et al. A Comparison of the Fault Growth Index with Fault Throw[J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2007, 29(3): 20-23.
- [20] 庞小军, 李建平, 王冠民, 等. 渤中凹陷石南地区古近系断层活动特征及其对沉积相的控制[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 27(1): 11-16.
- PANG Xiao-jun, LI Jian-ping, WANG Guan-min, et al. Characteristics and Controlling Effect of Fault Activity of Paleogene in Shinan Area of Bozhong Depression on Sedimentary Facies[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2012, 27(1): 11-16.
- [21] 王燮培. 石油勘探构造分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- WANG Xie-pei. *Petroleum Exploration Tectonic Analysis* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990.
- [22] ALLEN P A, ALLEN J R. Basin Analysis: Principles and Applications[M]. 2nd Ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.