

文章编号: 0253-2697(2007)04-0036-05

## 珠江口盆地断层封堵特征及其影响因素

孙龙涛<sup>1,3</sup> 陈长民<sup>2</sup> 詹文欢<sup>1</sup> 申俊<sup>2</sup> 柳保军<sup>2</sup> 吴湘杰<sup>2</sup>

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室 南海海洋研究所 广东广州 510301; 2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司技术部 广东广州 510240;  
3. 中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要:** 珠江口盆地在南东—近南北向拉张应力的作用下形成了北西、近东西和北东向3组断层,其中以正断层为主,正、反向正断层共存。断层两盘的毛管压力差与油气排替压力的关系决定了断层的封堵能力,不同性质的断层在流体运移过程中的作用不同,同一断层在不同时期对流体的控制作用也不同。对珠江口盆地断层的形成机制、发育特征、断面内部结构和应力状态进行了研究,对珠江口盆地断层封堵的特点及其影响因素进行了综合分析。结果表明,封堵盘泥岩含量是断块构造封堵成藏的主要因素,同时断层的断距、起伏状态、走向、倾角、活动时间及次生后期断层均对断层的封堵能力有一定的影响。

**关键词:** 珠江口盆地;断层;圈闭;封堵能力;影响因素;构造成藏

中图分类号: TE111.2 文献标识码: A

### Characteristics and influencing factors of fault sealing in Pearl River Mouth Basin

Sun Longtao<sup>1,3</sup> Chen Changmin<sup>2</sup> Zhan Wenhuan<sup>1</sup> Shen Jun<sup>2</sup> Liu Baojun<sup>2</sup> Wu Xiangjie<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Marginal Sea Geology in Oceanic Institute of South China Sea, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;  
2. Technology Department of CNOOC China Ltd. Shenzhen, Guangzhou 510240, China;  
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Three groups of faults in north-west, east-west and north-east directions were generated in the Pearl River Mouth Basin under the extending stress in the south-east to south-north trending. The faults are almost the normal faults, and the positive and negative normal faults are coexistence. The sealing capacity of the faults is decided by the difference between threshold pressure and the displacement pressure of hydrocarbon. The different faults have the different effect on the fluid migration, and the same fault as a pathway for hydrocarbon migration at the different time has different capability. It is generally considered that the active fault is open and the stable fault is close. The analyses on the characteristics and the influencing factors for the fault sealing, and the study of stress, inner structure, deformation mechanism of the faults show that the content of clay is the key factor controlling the fault trap with hydrocarbon accumulation. At the same time, fault throw, fault trend, obliquity, activity time and subsequent small fault are also the affecting factors for fault traps in the Pearl River Mouth Basin.

**Key words:** Pearl River Mouth Basin; fault; trap; sealing capacity; influencing factor; tectonic reservoir

断层对油气运移和成藏具有非常重要的控制作用<sup>[1]</sup>,断层的复杂性及断层对油气成藏的通道和封堵双重作用,使断层的封堵性研究一直是油气运聚分析的难点。目前的研究表明,断层封堵主要有4种模式:并置<sup>[2-6]</sup>、泥岩涂抹<sup>[7-10]</sup>、破碎作用<sup>[11-13]</sup>和成岩作用<sup>[3]</sup>。断层封堵是控制烃类运移和与断层相关的圈闭构造(断圈构造)成藏的关键因素<sup>[14-16]</sup>。

珠江口盆地是一个新生代张性盆地,在拉张背景下主要形成了披覆背斜、礁以及和断层相关的圈闭构造近500个,其中断圈构造达250多个,占圈闭总数的50%以上。但目前断圈构造勘探成功率较低,仅为

7.5%。因此,笔者对珠江口盆地断层的封堵特征进行了分析,并研究了该盆地断层封堵的规律及主要影响因素。

### 1 珠江口盆地区域及断裂构造特征

珠江口盆地位于南海北部陆缘(图1),受欧亚板块、太平洋板块和印度板块的交互作用,经历了断裂期、凹陷沉降期和断块升降期<sup>[17-18]</sup>3个演化阶段,形成了三隆两坳的构造格局<sup>[19]</sup>。多年的勘探表明,文昌组和恩平组是盆地的主要烃源层,其生烃门限R<sub>0</sub>值约为0.75%,门限深度大致为3700m<sup>[20]</sup>,由此可推导出

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 40476026)、国家自然科学基金重点项目(No. 40238060)和广东省自然科学基金项目(No. 04001309)联合资助。

作者简介:孙龙涛,男,1978年11月生,2006年获中国科学院南海海洋研究所博士学位,现为南海海洋研究所助理研究员,主要从事海洋地质及石油地质研究。E-mail: ltsun@scsio.ac.cn



文昌组在距今 21 Ma 达到排烃高峰,恩平组烃源岩在距今 16 Ma 达到成熟,至今达到高熟<sup>[20]</sup>。富含砂岩的珠海组是主要储层,珠江组、韩江组和粤海组等富含泥岩地层是区域性盖层。珠江口盆地经历了多期海侵事件<sup>[21-22]</sup>,形成了 MFS18.5、MFS16.5、MFS15.5 最大海泛面,并伴有厚层的、分布广泛的泥岩,尤其在含砂率大于 50% 的地区,最大海泛面是储层的直接盖层,如 XJ23-1 含油构造。

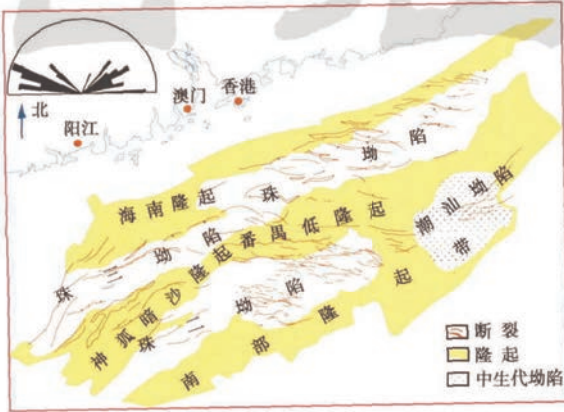


图 1 珠江口盆地区域构造及断裂玫瑰图  
Fig. 1 The geological structure and fault in Pearl River Mouth Basin

珠江口盆地断裂较为发育,以正断层和走滑断层为主<sup>[23]</sup>,逆断层较少。据不完全统计,盆地内发育 1818 条断层,它们控制了本区 72.6% 的局部构造的形成<sup>[17]</sup>。根据重磁<sup>[23]</sup>和地震<sup>[24]</sup>资料,可将珠江口盆地的断裂按走向分为 3 组,即 NE、近 EW 和 NW 向(如图 1 中玫瑰图),其中 NE 向断裂控制了盆地的构造发育和沉积。GPS 监测<sup>[25]</sup>及有限元应力场计算<sup>[26]</sup>表明,珠江口盆地目前处于 NW 向挤压应力场环境中,局部出现地层反转现象<sup>[24]</sup>,因而认为 NE 向断层为压性断层,NW 向断层为张扭断层,近 EW 向断层为压扭性断层。断裂的活动期主要集中在晚渐新世以前和中中新世以后,而晚渐新世—中中新世为断层活动平静时期<sup>[17]</sup>。珠江口盆地在断裂的控制下形成了断背斜、逆牵引背斜、翘倾半背斜和断块等多种与断层相关的构造圈闭(图 2)。

## 2 断裂带力学机制及封堵机理

### 2.1 断面力学性质

断面压力与断层的封堵能力关系紧密<sup>[27]</sup>。在张性盆地中,断层所承受的力主要是构造力和重力。其中,重力在垂直地壳的方向上起作用,它主要使断层两盘在构造活动期或静止期均保持接触状态;构造力与

盆地动力条件有关,它使断层在水平方向上发生拉张、走滑或挤压,因而断层面上所受到的总压力

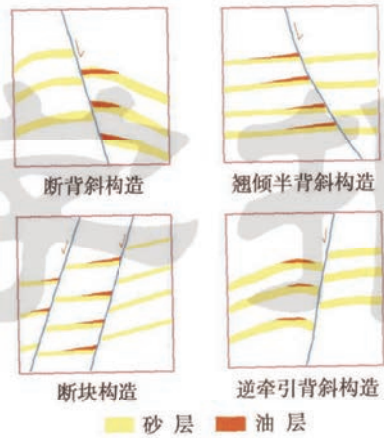


图 2 珠江口盆地主要断圈构造类型

Fig. 2 The main types of fault trap in Pearl River Mouth Basin

$p$  应为上覆地层对断面产生的静岩压力  $p_1$  和区域构造力对断面产生的压力  $p_2$  之和。即

$$p = p_1 + p_2 = Z(\rho - \rho_w)g \cos \alpha + \sigma_1 \sin \beta \sin \alpha \quad (1)$$

式中  $p$  为断层面所受压力,  $10^5$  Pa;  $Z$  为断面埋深, m;  $\rho$  为上覆地层的平均密度,  $\text{kg}/(\text{cm}^3 \cdot \text{m})$ ;  $\rho_w$  为地层水密度,  $\text{kg}/(\text{cm}^3 \cdot \text{m})$ ;  $g$  为重力加速度;  $\alpha$  为断层面倾角,  $(^\circ)$ ;  $\sigma_1$  为区域水平应力, MPa;  $\beta$  为  $\sigma_1$  与断层走向所夹角,  $(^\circ)$ 。

由式(1)可以看出,断面所受压力应是断面埋深、倾角、上覆地层岩石骨架密度、区域水平应力及其与断层走向交角的函数。当断面埋藏越深、断面越缓且  $\sigma_1$  与断层走向的交角越大时,断面上所受到的总压力越大;反之,则越小。一般情况下,压性和压扭性的构造力与重力叠加可使断层面所承受的压力增加,断层滑动期间的压力及摩擦力加大,断层内部充填物的颗粒变细,结构致密,渗透率变小,断层的塑性围岩发生构造变形而使部分裂隙愈合,故压性和压扭性断层在断层活动期之后易于形成封堵。相反,张性和张扭性的构造力则降低重力对断层面所产生的压力,断层滑动期间压力以及摩擦力减小,断层充填物较疏松,因而封堵性较差。同时,在张性盆地中,断面压应力以上覆盖层压力为主,所以断层的封闭性随断面倾角的减小而增大。

### 2.2 断裂带内部物质结构

断裂面既可以是单一的滑动面,又可以是两盘物质在断层内部充填形成的断层核。由于断层的错动,卷入断裂的物质可以是泥岩涂抹形成的未固结的富粘土带和角砾化带,也可以是物质重新固结成岩形成的高度硬化的碎裂带。在成岩性好的地层中,断裂使脆



性地层机械破碎,孔隙发育,对流体的封堵能力变弱。在未成岩或成岩性差的地层中,地层呈塑性,断裂滑动产生涂抹型断层泥,对流体具有较强的封堵作用。

### 2.3 断层封堵机理

断层活动时可形成大量的裂缝,且具有泵吸作用,可以成为流体运移的高孔隙度高渗透率通道,因而活动期的断层通常对流体具有垂向输导能力。断层趋于静止时,断裂的流体输导能力受断裂破碎带发育及断裂两侧岩石的物理性质控制,随着断层闭合,断层带物质的孔隙度和渗透率降低,其对流体的阻挡能力增强,但断裂能否形成封堵,主要取决于断层两侧的毛管压力差与油气排替压力的关系。封堵物的孔喉半径越小,其毛管压力越大,对油气的封堵能力越强<sup>[9]</sup>。相对于未变形的原岩,断层带因断裂滑动使岩石碎裂和粒度减小,其孔隙度较原岩减小一个数量级以上,渗透率减小3个数量级<sup>[12]</sup>。所以在张性盆地中,断层的封堵能力与其所穿过地层的泥岩含量和断面压力有很大关系。泥质含量越高,断面压力越大,越容易形成断裂岩和泥岩涂抹;且断层闭合时间越短,断层的封堵能力越强。

## 3 珠江口盆地断层封堵的主要影响因素

目前在珠江口盆地勘探发现的含油气断圈构造中,主要依靠砂泥对接形成封堵。珠江组及其上覆大套的泥岩下落对上升盘的砂岩储层形成对接封堵,从而形成如LF22-1和PY30-1等含油气构造。因此,在珠江口盆地断层能否形成封堵应考虑两方面的因素:①环境位置因素,即断圈构造所处的沉积环境;②断层自身因素,即断层的断距、起伏状态、活动时间、产状和走向等。

**环境因素:**断圈构造所处的环境决定断层所穿地层的泥岩含量。在珠江口盆地,断圈构造成藏的最关键因素是油源和盖层封堵条件。珠江组及其以上的地层为海相和海陆过渡相沉积,泥岩分布范围广且较为稳定,是盆地的区域盖层<sup>[28]</sup>。在古珠江前三三角洲—陆架相区,泥岩十分发育(大于70%),单层泥岩厚度较大,断层两盘砂泥岩对置的几率增加,而且半塑性泥岩在断层活动中易被挤入下伏砂层的孔隙中,有利于封堵,如LF22-1、HZ27-1和PY30-1等构造;相反,在古珠江三角洲平原和三角洲前缘相区,砂岩发育(大于50%),断层两盘的砂岩易于接触而不利于封堵,如XJ17-3、PY14-5、PY15-1和HZ13-1等构造<sup>[29]</sup>。对珠江口盆地钻探情况分析可知,珠江组泥岩含量大于60%就可以形成较好的封堵,泥岩含量在50%以下很

难封堵<sup>①</sup>,即珠江口盆地断圈构造所处的沉积相环境对油气成藏具有决定性作用。

**断距:**断层的断距在泥岩涂抹定量评价方法SSF<sup>[30]</sup>、CSP<sup>[7]</sup>和SGR<sup>[2]</sup>中均有体现。断距过大会使地层产状在横向上起伏变化大,即使泥岩发育的地区,薄砂层穿插也极易沟通两盘的砂岩层,降低断层的封堵能力,如对PY16-1(最大断距为1580m)和PY27-1(最大断距为1870m)构造钻探的失利。所以,在珠江口盆地断距一般应小于相应地段的珠江组泥岩层厚度。

**起伏状态:**沿断层走向两侧地块的构造起伏不能太大。若起伏较大,沿走向容易使两盘落差值变化,造成多个高点(图3),使其砂岩易于互相接触,从而导致不封堵,如XJ17-3构造。

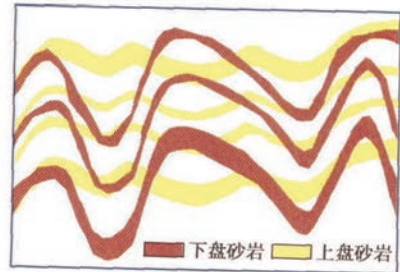


图3 沿断层走向的地层起伏状况

Fig. 3 Strata crossbed along fault direction

**断层面产状:**由于珠江口盆地是一个张性盆地,断层面压力以上覆岩层压力为主,因此,断层面倾角越小,垂向压力越大,断层的封堵能力越强。

**断层走向:**断层走向对断层封堵的影响主要同区域应力场相关。一般来说,断层走向与区域最大主应力越接近垂直,其断面所受的区域压力越大,断面密闭性越好,从而断层的封闭几率越大。在珠江口盆地,现代构造应力场主压应力方向为NW—NWW向<sup>[25-26]</sup>,因而NE向的断层最有利于封堵。如LF22-1构造为断背斜构造,受南北两条弧形正断层夹持,形成一个高断块,NE—近EW向断层控制上升盘储油。

**断层活动时间:**断层是油气垂向运移的主要通道,断层的活动时间与排烃期相一致,是断圈构造成藏的关键。断层晚期活动将对封堵不利,可破坏已成藏。珠江口盆地烃源岩的排烃期主要是 $T_5$ — $T_3$ (文昌组)和 $T_4$ 至今(恩平组),因此断层应该在 $T_2$ 之前形成,即形成时间应与油气运移时间相匹配,而且保证断层不会因“通天”而泄露。

**伴生断层:**伴生断层的活动时间一般晚于圈闭构造的形成时间,晚期断层的存在及其活动对已有构造

①何茂根,刘丽华,刘丛印,等. 珠江口盆地断裂系统及断层圈闭勘探潜力研究. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司技术部, 2002.



的成藏非常不利,甚至可以破坏已成藏。如 LF16-1-1、LF15-2 和 HZ23-1-1 井的失利原因就是晚期断层活动对断圈构造的破坏作用。

断层泥岩:对于断块构造,上升盘成藏的可能性要大于下降盘。在珠江口盆地珠江组之上有几套区域性厚层泥岩,由于断层的错动摩擦使泥岩在断层面上形成泥岩涂层。此涂层对上盘的涂抹上倾,而对下盘的涂抹下倾,所以泥岩涂抹使上升盘储层顶部更容易被封堵<sup>[2]</sup>,从而更有利于成藏。

## 4 实例

### 4.1 PY30-1 构造

由图 4 可见,PY30-1 构造是一个构造形态较为复杂的翘倾半背斜构造,控制断层为一 NE-EW-NW 向环形晚期断裂,上部断面较陡,下部断面相对较缓。由于在上覆盖层沉积时,该构造位于外陆架三角洲前缘末端至前三角洲的位置,其沉积主要为三角洲前缘远砂坝—前三角洲风暴席状砂沉积,因此,  $T_5$  以上沉积了厚度达 500 m 的大套泥岩盖层。北侧地块下掉,断距约为 200 m,使大套的泥岩与上升盘多层砂岩对接,从而形成了多套储气砂层。该构造全部具备断层封堵成藏的有力条件,钻井证实具有商业开发价值。

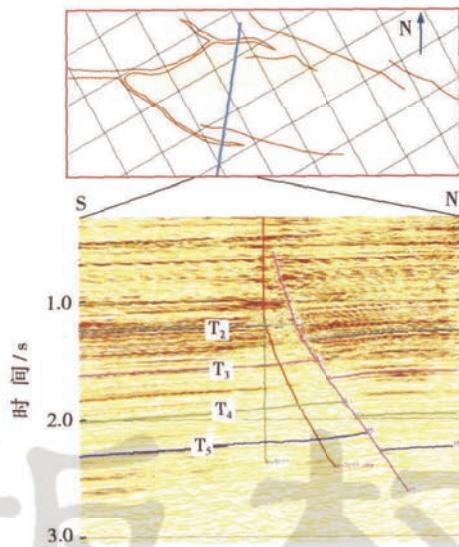


图 4 PY30-1 构造平面图及过井剖面

Fig. 4 Structural plane and transecting seismic profile of PY30-1 structure

### 4.2 PY29-1 构造

PY29-1 构造是一个典型的翘倾半背斜(图 5),位于白云凹陷北侧第二排反向断裂带之上,其储盖组合类似于 PY30-1 构造。但控制该构造的断裂断距大、活动性强,  $T_5$  层的断距超过 600 m,这导致 PY29-1 构造  $T_5$  之下的块状砂岩与下降盘 SB16.5 附近多套物

性较好砂岩的直接接触,从而引起油气的顺层泄露。另一方面,控藏断裂的下降盘的地层产状起伏较大,这

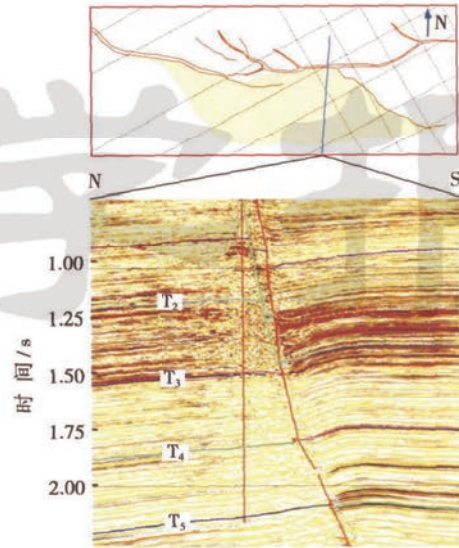


图 5 PY29-1 构造平面图及过井剖面

Fig. 5 Structural plane and transecting seismic profile of PY29-1 structure

与其上升盘呈简单单斜的地层产状有显著不同,很容易形成多个高点(图 3),造成油气泄露。通过钻井证实,断距大和地层起伏大是造成 PY29-1 构造断层封堵性差,未获商业性发现的主要原因。

## 5 结论

(1) 距离油源较近且处于古珠江前三角洲—陆架相区的断圈构造对成藏较为有利。

(2) 沿断层走向地形起伏和断距不宜过大,一般断距小于相应地段的珠江组(粤海组)泥岩层厚度的断圈构造对成藏较为有利。

(3) 在  $T_5$ — $T_2$  之间活动的断裂所控圈闭对成藏较为有利。

(4) NE 和近 EW 向断裂所控圈闭对成藏较为有利。

(5) 缓倾角断层有利于封堵。

(6) 上升盘比下降盘更容易形成断层封堵。

致谢 本研究得到中海石油(中国)有限公司深圳分公司技术部庞雄首席地质师、何敏经理、连世勇工程师等的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

### 参考文献

- [1] 付广,付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用[J]. 世界地质,2001,20(4):344-349.  
Fu Guang, Fu Xiaofei. Controlling of fault transport system and its combination to the formation and distribution of oil or gas reservoirs[J]. World Geology,2001,20(4):344-349.
- [2] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal



- prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 897-917.
- [3] Knipe R J. Juxtaposition and seal diagrams to help analyze fault seals in hydrocarbon reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(2): 187-195.
- [4] Smith D A. Theoretical consideration of sealing and nonsealing faults[J]. AAPG Bulletin, 1966, 50(2): 363-374.
- [5] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(7): 803-811.
- [6] 吕延防, 李国会, 王跃文, 等. 断层封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报, 1996, 17(3): 39-45.  
Lü Yanfang, Li Guohui, Wang Yuewen, et al. Quantitative analyses in fault sealing properties[J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(3): 39-45.
- [7] Bouvier J D, Kaars-Sijpesteijn C H, Kluesner D F, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun River field, Nigeria[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(11): 1397-1414.
- [8] Gibson R G. Fault-zone seals in siliciclastic strata of the Columbus Basin, offshore Trinidad[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(9): 1372-1385.
- [9] Knipe R J. Faulting processes and fault seal[M]//Larsen R M. Structural and tectonic modelling and its application to petroleum geology. Amsterdam: Elsevier, 1992: 325-342.
- [10] 赵密福, 李阳, 李东旭. 泥岩涂抹定量研究[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 60-64.  
Zhao Mifu, Li Yang, Li Dongxu. Quantitative study of shale smear[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 60-64.
- [11] Aydin A, Johnson A M. Development of faults as zones of deformation bands and as slip surfaces in sandstone[J]. Pure and Applied Geophysics, 1978, 116(4): 931-942.
- [12] Antonellini M, Aydin A. Effect of faulting on fluid flow on porous sandstones: Petrophysical properties[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(3): 355-377.
- [13] Gabriesen R H, Aarland R K, Alsaker E. Identification and spatial distribution of fractures in porous siliciclastic sediments[G]//Coward M P. Structural geology in reservoir characterisation. Geological Society of London Special Publication 127, 1998: 49-64.
- [14] Stearns D W, Friedman M. Reservoirs in fractured rocks[G]. AAPG Memoir 16, 1972: 83-106.
- [15] Hardman R F P, Booth J E. The significance of normal faults in exploration and production of North Sea hydrocarbons[G]//Roberts A M. The geometry of normal faults. Geological Society Special Publication 56, 1991: 1-13.
- [16] Nelson R A. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs[M]. Houston: Gulf Publishing Company, 1985: 320.
- [17] 陈长民. 珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 73-83.  
Chen Changmin. Petroleum geology and conditions for hydrocarbon accumulation in the eastern Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2000, 14(2): 73-83.
- [18] 孙珍, 庞雄, 钟志洪, 等. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 489-498.  
Sun Zhen, Pang Xiong, Zhong Zhihong, et al. Dynamics of Tertiary tectonic evolution of the Baiyun Sag in the Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 489-498.
- [19] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 225-231.  
Gong Zaisheng, Li Sitian. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 225-231.
- [20] 代一丁, 庞雄. 珠江口盆地珠二坳陷石油地质特征[J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(3): 169-173.  
Dai Yiding, Pang Xiong. Petroleum geological characteristics of Zhu II Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1999, 13(3): 169-173.
- [21] 彭大钧, 陈长民, 庞雄, 等. 南海珠江口盆地深水扇系统的发现[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 17-23.  
Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. Discovery of deep-water fan system in South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 17-23.
- [22] Pang Xiong, Yang Shaokun, Zhu Ming, et al. Deep-water fan systems and petroleum resources on the northern slope of the South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(3): 626-631.
- [23] 陈汉宗, 吴湘杰, 周蒂, 等. 珠江口盆地新生代主要断裂特征和动力背景分析[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(2): 52-61.  
Chen Hanzong, Wu Xiangjie, Zhou Di, et al. Meso-Cenozoic faults in Pearl River Mouth Basin and their geodynamic background[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(2): 52-61.
- [24] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 8-9.  
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The condition of oil and gas reservoir formation in the east of Zhujiangkou Basin[M]. Beijing: Science Press, 2003: 8-9.
- [25] 王琪, 张培震, 马宗晋. 中国大陆现今构造变形 GPS 观测数据与速度场[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 415-429.  
Wang Qi, Zhang Peizhen, Ma Zongjin. GPS database and velocity field of contemporary tectonic deformation in continental China[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(2): 415-429.
- [26] 李平鲁. 珠江口盆地构造应力场与油气聚集[J]. 广东地质, 1992, 7(4): 71-83.  
Li Pinglu. Tectonic stress field and oil & gas accumulation of Pearl River Mouth Basin[J]. Guangdong Geology, 1992, 7(4): 71-83.
- [27] Downey M W. Evaluating seals for hydrocarbon accumulations[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(11): 1752-1763.
- [28] 施和生, 李文湘, 邹晓萍, 等. 珠江口盆地(东部)砂岩油田沉积相研究及其应用[J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(3): 181-188.  
Shi Hesheng, Li Wenxiang, Zou Xiaoping. A study on sedimentary facies of sandstone oil fields in eastern Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1999, 13(3): 181-188.
- [29] 饶春涛, 李平鲁, 钟宏平. 珠江口盆地断层特征及封闭性研究[J]. 中国海上油气(地质), 1993, 7(4): 7-15.  
Rao Chuntao, Li Pinglu, Zhong Hongping. Discussion on fault features and their sealing in Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1993, 7(4): 7-15.
- [30] Lindsay N G, Murphy F C, Walsh J J, et al. Outcrop studies of shale smear on fault surfaces[G]. International Association of Sedimentologists Special Publication 15, 1993: 113-123.