

珠江口盆地白云深水扇特征及油气成藏主控因素

王存武¹, 陈红汉¹, 陈长民², 庞 雄², 施和生²

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国海洋石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东深圳 518067

摘要: 揭示中国南海北部珠江口盆地白云深水扇的时空展布和油气成藏规律. 无论在理论上、还是在向深海进军的油气勘探实践上都具有十分重要的意义. 以层序地层学理论为指导的地震剖面精细解释, 在白云凹陷北部陆坡区发现了大量深水扇沉积体, 它由众多的盆底扇、斜坡扇、低位楔和下切水道构成. 盆底扇和斜坡扇多期叠加, 平面上成朵叶状, 并与下切水道相连. 研究表明, 白云深水扇成藏的主控因素包括: (1) 白云凹陷具有适合油气生成的活跃烃源岩; (2) 拥有包括断层、不整合面、连续分布的砂体以及流体底辟带在内的发达的输导网络; (3) 低水位期发育的深水扇体与其上覆的高水位期泥岩共同形成了有利的储盖组合; (4) 超压的累积和释放对深部烃源岩的排烃起到了重要作用. 因此, 白云深水扇具有良好的成藏条件, 是珠江口盆地深水勘探的有利目标.

关键词: 珠江口盆地; 白云深水扇; 主控因素; 成藏条件.

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2007)02-0247-06

收稿日期: 2006-04-30

Characteristics of the Baiyun Deep Water Fan and Main Accumulation Controlling Factors in Pearl River Mouth Basin, South China Sea

WANG Cunwu¹, CHEN Honghan¹, CHEN Changmin², PANG Xiong², SHI Hesheng²

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Shenzhen Company, China Offshore Oil Corporation Limited, Shenzhen 518067, China

Abstract It's very significant to discover the law of distribution of the time and space and oil gas reservoir formation of Baiyun deep water fans in Pearl River Mouth basin, South China Sea. Based on the detailed seismologic interpretation guided by sequence stratigraphy theory, a lot of deep water sedimentary bodies, which composed of basin floor fans, slope fans, lowstand wedge and downcut channels, have been found in northern continental slope of Baiyun sag. The basin floor fans and the slope fans developing during several periods overlapped each other in vertical, distributed lobately horizontally, and connected with downcut channels. The research shows that the main accumulation controlling factors of the Baiyun deep water fan include: (1) there are active source rocks with great petroleum generation potentiality in the Baiyun sag; (2) there developed conducting frameworks, which include faults, continue distribution sandstones unconformable surface and diapiric zone; (3) the deep water fans developed during low water periods and the mudstone layers over them developed during high water periods, which are both good factors for petroleum store and cover; (4) the accumulation and leakage of over pressure are important for the hydrocarbon expelling from source rocks. So the Baiyun deep water fan has good accumulation conditions and it can be a favorable object for deep water exploration in the Pearl River Mouth basin.

Key words: Pearl River Mouth basin; Baiyun deep water fan; main accumulation factors; accumulation conditions.

深水扇被定义为: 位于深水陆坡—海盆, 由陆源碎屑沉积物沉积而成的深海扇形沉积体 (Shan mugam and Moiola, 1991, 1995; Reading and Richards, 1994), 它以海平面下降的低水位期形成

基金项目: 国家重点自然科学基金项目 (No. 40238060); 国家面上自然科学基金项目 (No. 40372068).

作者简介: 王存武 (1980-), 男, 博士研究生, 研究方向为盆地分析、成藏动力学. E-mail: cunwuwang@163.com

的低位扇(包括盆底扇、斜坡扇、低位楔状体)为主,已成为深水油气勘探最主要的勘探对象.国外自 20 世纪 70 年代末以来,已在深水扇储集体中发现了大量的油气资源,并已形成了西非、巴西坎波斯盆地和墨西哥湾 3 个深水勘探的热点地区(Shanmugam and Moiola, 1991, 1995; 杨川恒等, 2000).

我国在深水领域的油气勘探起步较晚,这主要受限于深水油气勘探的高成本、高风险和我国前期的以寻找陆上油气田为主的油气勘探战略.近年来,以层序地层学理论为指导的油气勘探在珠江口盆地发现了大量深水扇体,我们称之为白云深水扇(Pang *et al.*, 2004; 彭大均等, 2005; 庞雄等, 2005).它由众多的盆底扇、斜坡扇、低位楔和下切水道构成,盆底扇和斜坡扇多期叠加,平面上呈朵叶状,并与下切水道相连.2006 年 6 月我国第一口水深达 1 480 m 的探井 LW3 + 1 已经成功钻探,在深水扇储集体中获得了突破性的发现,标志着我国在

深水勘探领域的突破.但我国深水扇的研究尚属初级阶段,油气成藏机理尚不十分清楚,探讨油气成藏的主控因素不仅可以更加明晰白云深水扇成藏机理,也会为下一步深水扇的油气勘探提供科学依据.

1 区域地质背景

珠江口盆地位于南海北部大陆边缘,总体呈 NE SW 向展布,东西长约 800 km,面积约 17.8×10⁴ km²,是南海北部一个重要的含油气盆地.它处于欧亚、太平洋和印度洋三大板块交汇处,是一个在加里东、海西、燕山期褶皱基底上形成的准被动大陆边缘盆地(龚再升等, 1997; 陈长民等, 2003)(图 1).

珠江口盆地构造活动异常复杂,三大板块间的相互运动、碰撞,导致南海地区新生代发生了 2 次海底扩张.尤其是发生在晚渐新世至早中新世(约 32 ~ 17 Ma)的第 2 次海底扩张:太平洋板块向欧亚板块

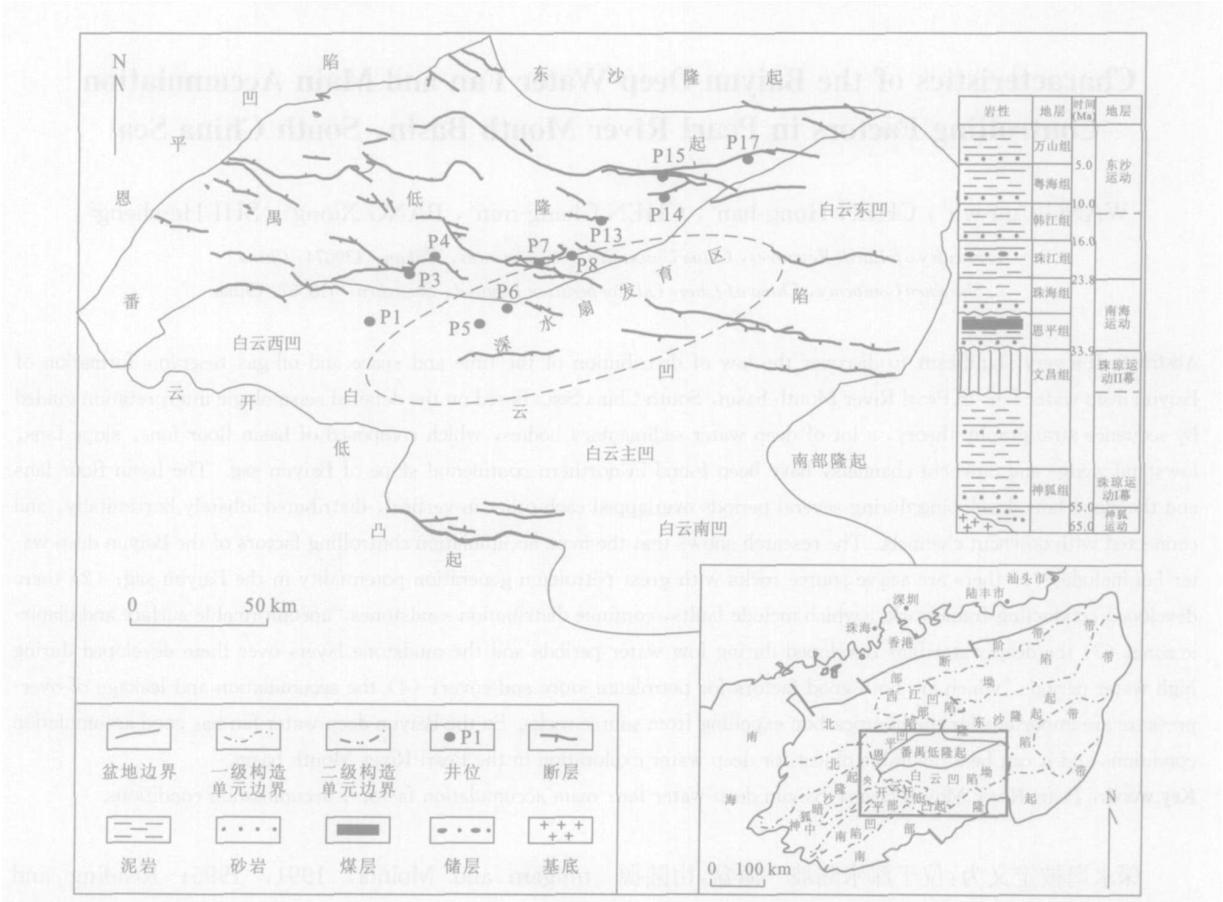


图 1 珠江口盆地构造单元及白云凹陷区域构造位置

Fig. 1 Classification of structural units of Pearl River Mouth basin and tectonic location of the Baiyun sag

俯冲, 俯冲至上地幔的洋壳阻碍了向东南方向蠕动的地幔流, 并导致地幔上隆, 引起了南海北部陆缘的地壳和岩石圈强烈拉张减薄, 南海小洋盆初步形成, 并由此形成了南海北部一系列拉张性盆地, 珠江口盆地就是在这样的构造环境下产生的(刘铁树和何仕斌, 2001; 姚伯初等, 2004). 地壳拉张导致了位于板块交汇处的珠江口盆地形成了南北分带、东西分块的构造格局, 并可划分裂陷、拗陷和断块升降三大演化阶段和 5 次大规模的构造运动(陈长民等, 2003). 白云凹陷是珠江口盆地的 1 个三级构造单元, 北为番禺低隆起, 西侧以 1 条北西向断裂与神狐暗沙隆起和珠 II 凹陷西段相邻, 东侧为东沙隆起, 向南过渡到南海中央海盆(吴湘杰等, 2005). 白云凹陷是南海北部陆缘最大的一个深凹陷, 也是珠江口盆地沉积和沉降中心, 仅第三系就发育了超过 1×10^4 m 的沉积地层.

最新研究表明, 白云凹陷具有裂谷期(断陷期)、断拗期和裂后(拗陷期)发育起来的三层盆地结构特征(《深水扇系统及油气资源》国家自然科学基金和中国海洋石油总公司重点资助项目, 2005), 而不同于典型裂谷盆地具有的裂谷期-裂后热沉降期的双重盆地结构, 发育地层如图 1.

2 白云深水扇特点

珠江口盆地 50 口钻井的高精度古生物定量分析结果揭示出 21 ~ 10.5 Ma 该区共发生了 6 次海平面升降旋回, 每次海平面下降均到达白云凹陷北部陆架边缘, 因而低水位期来自古珠江水系的沉积物得以越过珠 I 凹陷, 向前搬运堆积在陆架—上陆坡区域, 而这一区域具有形成低位体系域(以盆底扇、斜坡扇和下切谷为主)最为有利的条件. 层序地层学研究揭示出白云凹陷 21 ~ 10.5 Ma 共发育 6 期深水扇体, 垂向上相互叠置, 形成了深水扇复合体(Pang *et al.*, 2004; 彭大均等, 2005; 庞雄等, 2005).

以 13.8 ~ 12.5 Ma 深水扇为例来探讨其平面展布特征. 从图 2 可以看出, 沿白云凹陷北坡的陆架坡折带发育了一系列的下切水道, 水道末端发育了 2 个较大的盆底扇, 扇体成朵叶状, 平面上受水道控制. 第 1 个盆底扇在白云主凹处, 平面上呈椭圆形, NEE 向展布, 有 2 个次级沉积中心, 推测物源来自番禺低隆起; 第 2 盆底扇在白云西凹处, 发育了 1 套水道—盆底扇体系, 推测物源来自云开低突起.

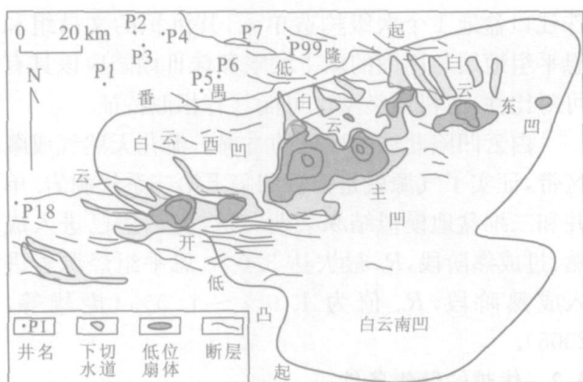


图2 13.8 ~ 12.5 Ma 深水扇平面展布

Fig. 2 Distribution of deep water fan developing during 13.8 Ma to 12.5 Ma

研究发现, 白云凹陷 6 期深水扇基本发育在同一位置, 这与裂后热沉降期白云凹陷持续快速沉降、可容纳空间迅速增大且低水位期古珠江携带大充沛量沉积物输入有关(庞雄等, 2005). 当海平面上升, 白云凹陷处于高水位期时, 古珠江三角洲和滨岸体系主要发育在珠 I 凹陷和番禺低隆起的宽广陆架上, 白云凹陷主要发育前三角洲泥质沉积, 使得低位期沉积的深水扇体具有良好的封盖条件, 能形成以深水扇为主的岩性圈闭.

3 白云深水扇成藏条件与主控因素

3.1 活跃的烃源岩

白云凹陷自下而上发育 3 套烃源岩, 即始新统文昌组、下渐新统恩平组湖相烃源岩和珠海组海相烃源岩, 其中文昌组和恩平组烃源岩是对珠 II 拗陷本区贡献最大的源岩. 文昌组烃源岩在白云凹陷分布面积达 1900 km^2 , 厚度最大达 3 000 m, 具有“低频、连续、强反射”的地震反射特征; 恩平组烃源岩在白云凹陷分布面积达 2860 km^2 , 厚度最大达 2 300 m, 具有“中低频、连续平行强反射”特征(杨川恒等, 2000). 珠 I 凹陷的大量钻井揭示出文昌组、恩平组具有良好的生烃能力, 尤其是近年来白云凹陷北面番禺—流花天然气成藏区带的发现, 证实了文昌组和恩平组具有巨大的生烃潜力(陈长民等, 2003). 文昌组有机质类型以 II₁ 型为主, 部分为 I 型; 恩平组有机质为 II 型, 且以 II₂ 型或偏 II 型为主(王存武等, 2005). 虽然目前珠 II 拗陷的钻井未能揭示出白云凹陷文昌组和恩平组地层, 但珠 II 拗陷是

珠江口盆地 1 个次级构造单元, 其沉积的文昌组和恩平组地层与周围的珠 I 坳陷和珠 II 坳陷应该具有可比性, 有机质类型也可能具有相似特征。

白云凹陷北坡浅水区的番禺—流花天然气成藏区带, 证实了气源就是白云凹陷下第三系气源岩。单井和二维盆地模拟结果表明, 现今文昌组已进入成熟、过成熟阶段, R_o 最大达 3.0%, 恩平组烃源岩进入成熟阶段, R_o 值为 1.0% ~ 1.5% (庞雄等, 2005)。

3.2 优越的储集条件

国外深水油气勘探表明, 陆坡深水浊积岩储层具有优越的储集性能, 并在其中发现了大量油气 (Shanmugam and Moida, 1988; Reading and Richards, 1994; 方爱民等, 1998; 金春爽等, 2003)。当沉积物供给充分, 快速持续堆积在陆架至陆坡区域, 在重力条件下产生滑动并在中、下陆坡区堆积形成浊积岩。白云凹陷 21 ~ 10.5 Ma 间的 6 次海平面升降旋回, 每一次海平面下降都到达了白云凹陷北部陆坡区, 沉积物持续堆积在上陆坡区, 重力滑塌作用必然导致先前堆积的沉积物向下运移堆积, 形成浊积岩, 加之古珠江水系提供的大量优质陆源碎屑物持续供给, 深水扇浊积岩应具有较好的储集性能。

3.3 发达的输导格架

研究区具有发达的输导体系: (1) T5 之下发育 1 套连续稳定、区域分布的滨岸砂体, 构成了横向输导层; (2) 多期构造活动形成了大量断层, 有的断穿 T2 反射层, 断层是油气垂向运移的重要通道; (3) 地震剖面上我们识别出了大量地震模糊带, 这些模糊带表现为地震反射连续性变差或中断, 内部反射较杂乱、甚至为空白反射, 局部见同相轴上拱或下拉现象。凹陷中心的模糊带主要发源于古—始新统文昌组、恩平组, 即工区的主力巨厚烃源岩——泥岩层, 其两侧、顶部常见亮点 (振幅异常), 研究区北部钻井已揭示亮点与气层存在良好对应关系, 由此看来, 模糊带主要为流体底辟成因, 这种地震模糊带实际上是天然气垂向运移的 1 个良好通道 (Hunt, 1990; 张树林等, 1996, 1999; 梅廉夫和徐思煌, 1997; Chen *et al.*, 2003; 王家豪等, 2006)。流体底辟带沟通了埋藏较深的文昌组、恩平组烃源岩与白云凹陷互相叠置的深水扇储集体, 使油气向上运移, 在上部储层聚集成藏 (图 3)。

3.4 地层压力演化与油气成藏的耦合

制约油气运移、聚集的一个重要因素就是流体

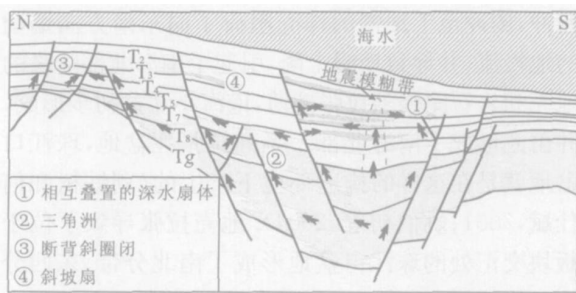


图 3 珠江口盆地白云凹陷输导格架模式

Fig. 3 Conducting framework model of Baiyun sag, PRMB
箭头为油气运聚方向

动力场。流体动力场与油气运移的关系可以概括为 3 个方面: (1) 促使油气自烃源岩排出: 压实排烃和微裂缝混相排烃都与流体场关系密切; (2) 流体势是最终控制油气运移方向及指示有利聚集地区的关键内在因素; (3) 流体动力场的改变可导致已形成的油气聚集发生再次运移, 形成次生油气藏或者促使油气藏散失。研究流体动力场的关键是获得过剩的地层压力。本研究运用 IES 盆地模拟软件, 以现今单井地层压力为约束条件, 正演白云凹陷的 12 条二维剖面的地层压力发育过程。结果表明, 白云凹陷曾经发育 3 个地层压力增压—泄压演化旋回 (石万忠等, 2006), 分别在: ① 50 ~ 38 Ma、② 38 ~ 30 Ma、③ 18.5 ~ 0 Ma (图 4a); 其中, 第 1、第 2 旋回超压幅度较低, 应与早期良好的断裂、砂岩输导体系有关, 而第 3 个超压旋回超压幅度最强, 大约 10.5 Ma 达到最大并之后开始泄压, 这可能与东沙构造运动造成的断层和流体底辟大规模发育有关。这次泄压对工区晚期成藏起到了至关重要的作用, 最终奠定了珠 II 坳陷的油气生—运—聚基本格局: ① 裂陷阶段发育文昌—恩平组烃源岩 (成盆期); ② 裂后沉降阶段生成大量油气 (成烃期); ③ 新构造运动阶段油气大规模聚散 (成藏定型期)。

利用流体包裹体来恢复古压力是目前流体包裹体应用的一个重要方面 (Aplin *et al.*, 2000; 陈红汉等, 2002a, Chen *et al.*, 2002b, 2003)。番禺低隆起部分钻井样品所进行的古压力恢复结果表明, 古压力系数亦表现出旋回性, 这与二维盆地模拟得到第 3 个地层压力演化旋回的结果极为一致 (图 4): 大约从 18.5 Ma 开始形成超压, 10.5 Ma 达到最大超压, 随即开始释放, 演化至今以常压为特征。

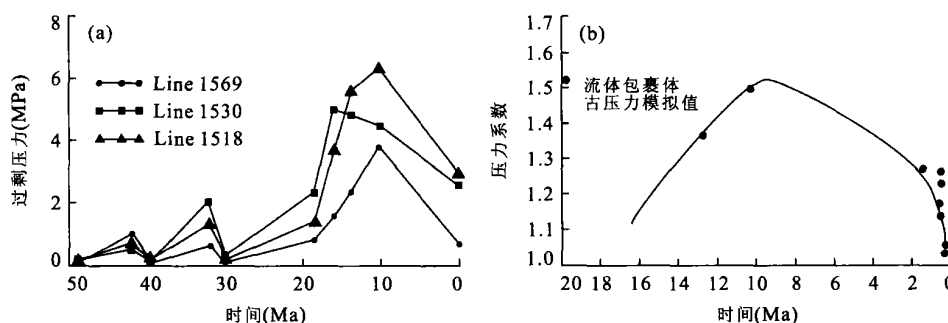


图4 珠江口盆地白云凹陷地层压力模拟结果

Fig. 4 Modeling result of strata pressure in Baiyun sag PRMB

a. 三条主测线地层压力数值模拟结果; b. 流体包裹体热动力学古压力模拟结果

4 深水扇成藏模式

优质的烃源岩、发达的输导格架以及良好的储盖组合是白云凹陷深水扇系统有利的成藏要素, LW3 ± 1 井的成功钻探, 证实了深水扇系统巨大的油气勘探潜力。在探讨白云深水扇系统油气成藏的主控因素基础上, 结合本区各种地质要素, 可以归纳出白云深水扇的成藏模式。文昌组、恩平组生成的油气沿断层和流体底辟带垂向运移至深水扇储层, 并在上覆海相泥岩的封盖条件下聚集成藏, 即“下生上储型”油气成藏模式, 如图 3 所示。这种油气藏应属于地层尖灭或透镜体型岩性油气藏。

5 结论

通过上述研究笔者认为, 白云深水扇具有良好的油气成藏条件, 其成藏的主控因素包括活跃的烃源岩、优越的储集条件、发达的输导格架以及盆地演化过程的超压旋回。归纳起来获得的认识如下: (1) 深水扇受控于区域构造变动和海平面升降旋回, 主要发育在 21 ~ 10.5 Ma 地层中, 垂向上 6 期深水扇体叠置, 平面上主要分布在白云凹陷北陆坡上, 盆底扇成朵叶状并与众多下切水道相连; (2) 古珠江优质的陆源碎屑供给是白云凹陷 6 期深水扇具有优越储集性的保障, 深水扇体与其上高位期形成的厚层泥岩共同构成了白云凹陷深水扇复合体的优质储盖组合; (3) 白云凹陷发达的输导系统使烃源岩排出的油气及时有效的运移至浅部储层, 也使烃源岩与深水扇体有效沟通, 盆地演化过程形成的超压无论是对烃源岩的有效排烃, 还是对油气运移都提供了重要的驱动力; (4) 白云凹陷深水扇成藏模式应为“下生

上储型”, 其形成的油气藏应为地层尖灭或透镜体型岩性油气藏, 属于隐蔽油气藏范畴。

References

- Aplin, A. C., Larter, M. A., Bigge, G., 2000. PVTX history of the North Sea's Judy oilfield. *Journal of Geochemical Exploration*, 69 – 70: 641 – 644.
- Chen, C. M., Shi H. S., Xu, S. C., et al., 2003. Original condition of the Tertiary oil and gas accumulation, Pearl River mouth basin. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chen, H. H., Dong, W. L., Zhang S. L., et al., 2002a. Application of fluid inclusion in palaeopressure modelling research. *Oil & Gas Geology*, 23(3): 207 – 211 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. H., Wang J. H., Xie, Y. H., et al., 2003. Geothermometry and geobarometry of overpressured environments in Qiongdongnan basin, South China Sea. *Geofluids* 3: 177 – 187.
- Chen, H. H., Yao S. Z., Wang, J. H., et al., 2002b. Thermodynamic modeling of fluid bearing natural gas inclusions for geothermometer and geobarometer of overpressured environments in Qiongdongnan basin, South China Sea. *Geoscience* 9: 240 – 247.
- Fang A. M., Li J. L., Hou, Q. L., 1998. Sedimentation of turbidity currents and relative gravity flows: A review. *Geological Review*, 44(3): 270 – 280 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., Li S. T., Xie, T. J., et al., 1997. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the north South China Sea. Science Press Beijing (in Chinese).
- Hunt, J. M., 1990. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. *AAPG Bulletin*, 74(1): 1 – 12.

- Jia, X. M., Yue, L. Q., Wei, Z. L., 2005. Some thoughts for the explorations of deep water resources in our country. *Land and Resources Information*, 7(5): 5 – 7 (in Chinese with English abstract).
- Jin, C. S., Qiao, D. W., Jiang, C. Y., et al., 2003. Advances of oil and gas explorations in worldwide deepwater. *Marine Geology Letters*, 19(1): 20 – 23 (in Chinese with English abstract).
- Liu, T. S., He, S. B., 2001. Deep water hydrocarbon potential along the north continental margin, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 15(3): 164 – 170 (in Chinese with English abstract).
- Mei, L. F., Xu, S. H., 1997. Mechanism and significance of natural hydraulic fracturing of sediments in sedimentary basins. *Geological Science and Technological Information*, 16(1): 39 – 45 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Chen, C. M., Shi, H. S., et al., 2005. Response between relative sea level change and the Pearl River deep water fan system in the South China Sea. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 167 – 177 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Yang, S. K., Zhu, M., et al., 2004. Deep water fan system and petroleum resources on the northern slope of South China Sea. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 626 – 631.
- Peng, D. J., Chen, C. M., Pang, X., et al., 2003. Discovery of deep water fan system in Pearl river Mouth basin, South China Sea. *AAPG Bulletin*, 9: 21 – 24.
- Peng, D. J., Pang, X., Chen, C. M., et al., 2005. From shallow water shelf to deep water slope—The study on deep water fan systems in South China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 1 – 11 (in Chinese with English abstract).
- Reading, H. G., Richards, M., 1994. Turbidite systems in deep water basin marine are classification by grain size and feeder system. *AAPG Bulletin*, 78(5): 792 – 822.
- Shanmugam, G., Moiola, R. J., 1988. Submarine fans, “ characteristics models classification, and reservoir potential”. *Earth Science Reviews*, 24: 383 – 428.
- Shanmugam, G., Moiola, R. J., 1991. Types of submarine fan lobes: Models and implications. *AAPG Bulletin*, 75(1): 156 – 179.
- Shanmugam, G., Moiola, R. J., 1995. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (pennsylvanian jackfork group). *AAPG Bulletin*, 79: 672 – 695.
- Shi, W. Z., Chen, H. H., Chen, C. M., et al., 2006. Modeling of pressure evolution and hydrocarbon migration in the Baiyun depression, Pearl River Mouth basin, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 229 – 236 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. W., Chen, H. H., Shi, H. S., et al., 2005. Research on the origin of natural gas in Panyu uplift, Pearl River Mouth basin. *Natural Gas Industry*, 25(8): 6 – 9 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. H., Pang, X., Wang, C. W., et al., 2006. Discovery and recognition of the central diapiric zone in Baiyun depression, Pearl River Mouth basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 209 – 213 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. J., Zhou, D., Pang, X., et al., 2005. Geophysical field and deep structures of Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *Journal of Tropical Oceanography*, 24(2): 62 – 69 (in Chinese with English abstract).
- Yang, C. H., Du, X., Pan, H. S., et al., 2000. Advances in worldwide deep water hydrocarbon exploration and oil and gas exploration potential in the northern continental slope in South China Sea. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 247 – 256 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Wan, L., Wu, N. Y., 2004. Cenozoic plate tectonic activities in the great South China Sea area. *Geology in China*, 31(2): 113 – 122 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. L., Huang, Y. Q., Huang, X. W., 1999. Fluid diapir structure and its geneses. *Geological Science and Technological Information*, 18(2): 19 – 22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. L., Tian, S. C., Zhu, F. B., et al., 1996. Genesis of diapir structures in Yinggehai basin and its significances to petroleum geology. *China Offshore Oil and Gas*, 10(1): 1 – 6 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈长民, 施和生, 许仕策, 等, 2003. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件. 北京: 科学出版社.
- 陈红汉, 董伟良, 张树林, 等, 2002a. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用. 石油与天然气地质, 23(3): 207 – 211.
- 方爱民, 李继亮, 侯泉林, 1998. 浊流及相关重力流沉积研究综述. 地质评论, 44(3): 270 – 280.
- 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等, 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社.

(下转 266 页)

北京:石油工业出版社,124-133.

贾承造,赵政璋,赵文智,等.2005.陆上主要含油气盆地油气资源与勘探潜力.石油学报,26(增刊):1-6.

姜振学,陈冬霞,邱桂强,等.2003.应用层次分析法研究透镜状砂体成藏主控因素.石油勘探与开发,30(3):44-48.

姜振学,庞雄奇,金之均,等.2002.门限控烃作用及其在有效烃源岩判别研究中的应用.地球科学——中国地质大学学报,27(6):689-695.

姜振学,王显东,庞雄奇,等.2006.塔北地区志留系典型油气藏古油水界面恢复.地球科学——中国地质大学学报,31(2):201-208.

金之钧,张一伟,王捷,等.2003.油气成藏机理与分布规律.北京:石油工业出版社,73-79.

柳广弟,赵文智,胡素云,等.2003.油气运聚单元石油运聚系数的预测模式.石油勘探与开发,30(5):53-55.

庞雄奇,金之均,姜振学,等.2002.油气成藏定量模式.北京:石油工业出版社,129-145.

乔永富,毛小平,辛广柱.2005.油气运移聚集定量化模拟.地球科学——中国地质大学学报,30(5):617-622.

沈平平,赵文智,窦立荣.2000.中国石油资源前景展望及今后10年产量预测.石油学报,21(4):1-6.

盛志伟.1989.关于油气聚集量问题.石油实验地质,11(3):228-233.

宋国奇.2002.多因素油气聚集系数的研究方法及其应用.石油实验地质,24(2):168-171.

王莲芬,许树柏.1990.层次分析法引论.北京:中国人民大学出版社,5-18.

王涛.2000.实施国家可持续发展战略不可替代的重要条件.见:21世纪中国石油战略高级研讨会编.21世纪中国天然气资源战略——中国石油论坛报告文集(第2集).北京:石油工业出版社,5-9.

赵焕臣.1986.层次分析法.北京:科学出版社,1-7.

周杰,庞雄奇.2002.一种生、排烃计算方法探讨与应用.石油勘探与开发,29(1):24-27.

周硕愚.1988.系统科学导引.北京:地震出版社,5-18.

(上接 252 页)

贾明,岳来群,韦子亮.2005.有关我国深海油气资源勘探开发的几点思考.国土资源情报,7:5-7.

金春爽,乔德武,姜春艳,等.2003.国内外深水油气勘探新进展.海洋地质动态,19(1):20-23.

刘铁树,何仕斌.2001.南海北部陆缘盆地深水油气勘探前景.中国海上油气(地质),15(3):164-170.

梅廉夫,徐思煌.1997.沉积盆地沉积物天然水力破裂理论及意义.地质科技情报,16(1):39-45.

庞雄,陈长民,施和生,等.2005.相对海平面变化与南海珠江深水扇的响应.地学前缘,12(3):167-177.

彭大钧,庞雄,陈长民,等.2005.从浅水陆架走向深水陆坡—南海深水扇系统的研究.沉积学报,23(1):1-11.

石万忠,陈红汉,陈长民,等.2006.珠江口盆地白云凹陷地层压力演化与油气运移模拟.地球科学——中国地质大学学报,31(2):229-236.

王存武,陈红汉,施和生,等.2005.珠江口盆地番禺低隆起天然气成因研究.天然气工业,25(8):6-9.

王家豪,庞雄,王存武,等.2006.珠江口盆地白云凹陷中央底辟带的发现和识别.地球科学——中国地质大学学报,31(2):209-213.

吴湘杰,周蒂,庞雄,等.2005.白云凹陷地球物理场及深部结构特征.热带海洋学报,24(2):62-69.

杨川恒,杜栩,潘和顺,等.2000.国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水油气勘探潜力.地学前缘,7(3):247-256.

姚伯初,万玲,吴能友.2004.大南海地区新生代板块构造活动.中国地质,31(2):113-122.

张树林,黄耀琴,黄雄伟.1999.流体底辟构造及其成因探讨.地质科技情报,18(2):19-22.

张树林,田世澄,朱芳冰,等.1996.莺歌海盆地底辟构造的成因及其石油地质意义.中国海上油气,10(1):1-6.