

# 万安盆地中部坳陷——一个巨大的富生烃坳陷

金庆焕, 刘振湖, 陈 强

国土资源部广州海洋地质调查局, 广东广州 510760

**摘要:** 万安盆地位于万安断裂西侧, 是一个大型的走滑拉张盆地, 其中部坳陷为富生烃坳陷, 发育有渐新统湖沼相、海湾相泥岩和下中新统浅海相泥岩 2 套主要烃源岩, 渐新统烃源岩具有良好的生烃潜力, 下中新统烃源岩次之。万安盆地的油气藏主要分布于中部坳陷及其相邻的西北断阶带、北部隆起和中部隆起, 而在北部坳陷、南部坳陷和东部隆起上仅见油气显示。研究表明, 万安盆地这种油气分布特征明显地受中部富生烃坳陷所控制。

**关键词:** 中部坳陷; 生烃潜力; 油气分布; 万安盆地。

**中图分类号:** P618.13

**文章编号:** 1000-2383(2004)05-0525-06

**收稿日期:** 2004-06-05

## The Central Depression of the Wan'an Basin, South China Sea: A Giant Abundant Hydrocarbon-Generating Depression

JIN Qing-huan, LIU Zhen-hu, CHEN Qiang

Guangzhou Marine Geological Survey Bureau, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China

**Abstract:** The Wan'an basin, located in the southwestern part of the South China Sea, belongs to a large scale pull-apart basin. The central depression of this basin is an abundant hydrocarbon-generating sag, which includes two sets of source rocks, that are Oligocene lacustrine mudstones, Early-Middle Miocene marine mudstones. The Oligocene lacustrine source rocks in this depression contain dominantly type I-II kerogen with high organic carbon contents ranging from 0.50% to 2.26% and increasing usually from margin to depression center. The Early Miocene marine source rocks comprise types II-III kerogen and have a relatively low organic carbon content of 0.69%-0.93%. Potential hydrocarbon source index in the most of the depression has ranges of 4-10 t/m<sup>2</sup> with a maximum value of 14 t/m<sup>2</sup> in the Oligocene source rocks and of 4-7 t/m<sup>2</sup> in Early Miocene source rocks. The oil-gas pools in the Wan'an basin are mainly distributed in the central depression and its adjacent areas including the NW fault-step belt, the northern and central lifts. But in the southern and northern depressions and nearby eastern lift, only a few hydrocarbon shows are observed. The results indicate that the oil-gas distribution in the Wan'an basin is obviously controlled by the abundant hydrocarbon-generating sag.

**Key words:** central depression; hydrocarbon-generating potential; oil-gas distribution; Wan'an basin.

### 1 地质概况

万安盆地位于南沙海域西南部万安走滑断裂西侧, 它是在晚始新世末形成的一个走滑拉张沉积盆地。盆地基底为中生代晚期岩浆岩、火山岩和前始新世变质沉积岩。盆地的沉积盖层为一套巨厚的晚始新世—第四纪地层, 由下而上由西卫群、万安组、李

准组、昆仑组、广雅组和第四系等组成(刘振湖, 1995; 刘振湖和吴进民, 1997; 金庆焕等, 2001)。由于盆地各地区在地层、沉积发育以及构造演化上的差异, 盆地可划分为北部坳陷、北部隆起、西北断阶带、中部坳陷、西部坳陷、西南斜坡、中部隆起、南部坳陷、东部隆起和东部坳陷 10 个二级构造单元, 盆地面积为  $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$  (图 1)。

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

**基金项目:** 国土资源部南沙油气勘查专项(No. 93-517)。

**作者简介:** 金庆焕(1934—), 男, 中国工程院院士, 博士生导师, 教授级高级工程师, 从事海洋地质、石油地质研究工作。

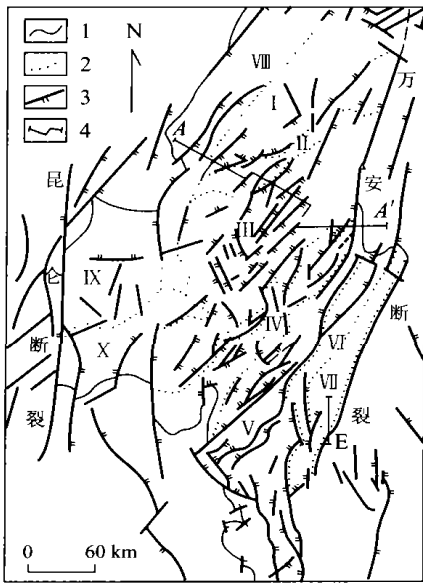


图 1 万安盆地断裂分布及构造区划

Fig. 1 Tectonic units and fault distribution of Wan'an basin  
1. 盆地边界; 2. 二级构造单元元界线; 3. 断裂; 4. 剖面线; I. 北部拗陷; II. 北部隆起; III. 中部拗陷; IV. 中部隆起; V. 南部拗陷; VI. 东部隆起; VII. 东部拗陷; VIII. 西北断阶; IX. 西部拗陷; X. 西南斜坡

中部拗陷为北东走向的双断型地堑, 规模大, 沉降深, 是盆地的沉降沉积中心, 新生代沉积厚度最大达 12 500 m, 是万安盆地最主要的富生烃拗陷, 其面积 16 600 km<sup>2</sup>. 中部拗陷北侧以断层与北部隆起相邻, 拗陷南侧以断层与南部拗陷相隔, 拗陷西侧与西北断阶带相接. 拗陷内断裂极为发育, 主要有 NE 向和 NW 向 2 组断裂. NE 向为万安走滑断裂所派生的一系列次一级正断层, 在盆地形成早期就开始活动, 对拗陷内的沉积作用有较大影响, 自晚中新世以来, 断裂基本停止活动(图 2).

NW 向断裂规模较小. 中中新世和晚中新世期间, 由于万安断裂的走滑方向由右旋为左旋, 中部拗陷晚中新世以前的沉积遭受强烈的挤压变形, 褶皱构造的强度自东向西逐渐减弱, 褶皱构造轴向大

致与盆地东界万安断裂约成 30° 交角. 推测此褶皱作用乃万安断裂走滑挤压所派生. 根据地质构造特征, 中部拗陷经历了张扭断陷期、断拗期、压扭抬升期和区域沉降期 4 个构造演化阶段.

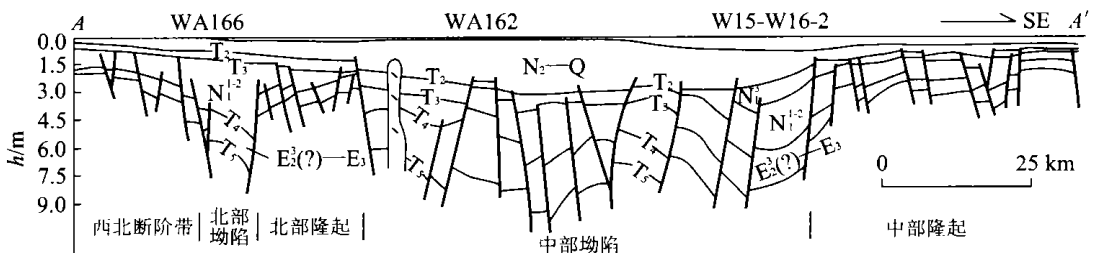
## 2 烃源岩的沉积地球化学特征及生烃潜力

万安盆地热流值为 52~86 mW/m<sup>2</sup>, 基本上处于正常热流值至高热流值区域. 中部拗陷为盆地的较高热流值区, 其现今海底的热流值为 70~86 mW/m<sup>2</sup>, 这样的地温场对烃源岩转化为油气十分有利(刘振湖等, 1996).

在中部拗陷, 发育有渐新统湖沼相、海湾相泥岩和下中新统浅海相泥岩 2 套主要烃源岩, 其中渐新统(T<sub>5</sub>-T<sub>4</sub>)在中部拗陷主要为近海湖沼相分布区(图 3), 而下中新统(T<sub>4</sub>-T<sub>3</sub><sup>1</sup>)在中部拗陷主要为浅海泥岩相分布区(图 4). 中部拗陷西侧的 12B-1 井和 DUA-1 井揭示了渐新统湖沼相泥岩和下中新统浅海相泥岩.

根据地震并结合少量钻井资料, 推算中部拗陷的渐新统和下中新统泥质岩( $P_s < 25\%$ )厚度分别为 800~1 700 m 和 700~1 300 m. 国内外油气勘探表明, 中部拗陷生烃量大, 是万安盆地中、北部主要油气源区, 其油气资源十分丰富, 具有良好的油气勘探前景(刘振湖等, 1996).

渐新统烃源岩的有机碳含量为 0.50%~2.26%, 其中, I-II 型干酪根主要分布于北部拗陷和中部拗陷, 并且从拗陷边缘往中心有机质丰度逐渐增加, 有机质类型从 III 型干酪根向 I 型干酪根过渡, 有机质中富含 C<sub>25</sub>-、C<sub>26</sub>-三环二萜生物标志化合物. 这表明渐新统烃源岩母质是以陆生生物为主, 并曾遭受细菌降解.



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 2 万安盆地构造剖面

Fig. 2 Structural profile of Wan'an basin

下中新统烃源岩有机碳含量为 0.69%~0.93%, 有机质类型为 II—III 型干酪根, 富含五环三萜类(奥利烷, Oleanane) 和甾烷类(双杜松烷, Biscadinanes) 等生物标志化合物, 说明原始有机质中含有一定数量的树脂(图 5).

盆地模拟结果(刘振湖, 2000)表明, 中部拗陷的渐新统烃源岩在中中新世末已达到生烃高峰, 在晚中新世有机质发生热裂解并生成大量的天然气, 而

下中新统烃源岩在中新世末—上新世初达到生烃高峰, 生成大量的油气. 从图 6 可知, 中部拗陷渐新统烃源岩的生油强度在中中新世已达到  $4.5 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ , 下中新统烃源岩的生油强度在晚中新世末达到  $3 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ , 而中中新统烃源岩的生油强度在第四纪已接近  $3 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ . 渐新统烃源岩现今已进入高成熟或过成熟热演化阶段, 其生气强度达  $90 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . 下中新统烃源岩现今已部分进

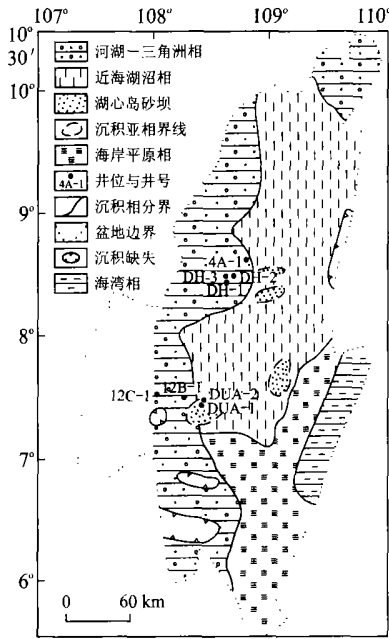


图 3 万安盆地渐新统(T<sub>4</sub>—T<sub>5</sub>)沉积相

Fig. 3 Oligocene depositional facies of Wan'an basin

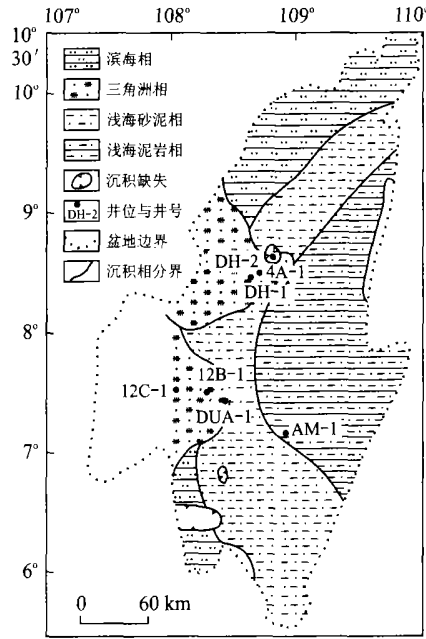
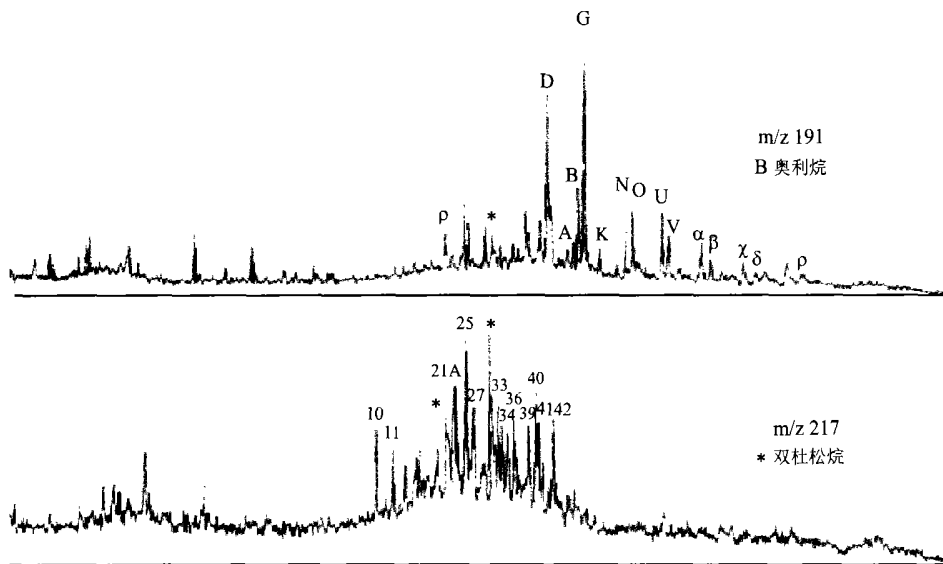


图 4 万安盆地中新统(T<sub>3</sub>—T<sub>4</sub>)沉积相

Fig. 4 Miocene depositional facies of Wan'an basin



(C)19图 5 万安盆地中新统炭质泥岩甾萜烷生物标志化合物分布特征 (Todd et al., 1997)

Fig. 5 Distribution features of biological compound of terpane and sterane in Lower Miocene carbargillite, Wan'an basin

入高成熟或过成熟阶段,其生气强度达到  $30 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。烃源岩潜量指数研究表明,中部拗陷除边缘外大部分地区渐新统烃源岩潜量指数为  $4 \sim 10 \text{ t}/\text{m}^2$ ,局部达  $14 \text{ t}/\text{m}^2$ ;中部拗陷下一中中新统烃源岩潜量指数为  $4 \sim 10 \text{ t}/\text{m}^2$ ,北部拗陷下一中中新统烃源岩潜量指数均为  $4 \sim 7 \text{ t}/\text{m}^2$ ;中部拗陷和北部拗陷 3 套烃源岩总潜量指数为  $10 \sim 22 \text{ t}/\text{m}^2$ ,生烃潜力大,油气源充足。

在南部和东部拗陷,仅拗陷北部渐新统烃源岩潜量指数为  $4 \sim 10 \text{ t}/\text{m}^2$ ,局部达到  $10 \text{ t}/\text{m}^2$ ,下一中中新统烃源岩潜量指数为  $4 \sim 7 \text{ t}/\text{m}^2$ ,而拗陷中、南部渐新统烃源岩潜量指数均小于  $4 \text{ t}/\text{m}^2$ ;下一中中新统烃源岩潜量指数小于  $1 \text{ t}/\text{m}^2$ 。从 3 套烃源岩总潜量指数分布可见,2 个拗陷烃源岩总潜量指数除北部外基本上小于  $4 \text{ t}/\text{m}^2$ ,生烃潜力小,油气源不足。

### 3 油气分布与中部富生烃拗陷的关系

#### 3.1 油气分布

万安盆地的油气勘探始于 20 世纪 70 年代,截至目前,在万安盆地中已经钻探了 80 多口井,发现 36 个见油气显示的构造,并证实了一批含油气构造或油气田(图 6,表 1)。

根据金庆焕和刘宝明(1997)研究,万安盆地的油气分布在纵向和横向上具有以下特征。

(1)在纵向上,油气主要赋存于中新统砂岩储层,其次为中一上中新统礁灰岩或台地相灰岩储层、渐新统砂岩储层。据统计,目前已发现的一批含油气构造或油气田中,其中油气产自中新统砂岩储层有 13 个,渐新统砂岩储层有 4 个构造,中一上中新统碳酸盐岩或礁灰岩储层有 3 个构造,而基岩储层仅见于大熊油田(表 1),这种油气分布特征与盆地中

纵向上油气成藏地质条件密切相关。

在中新统砂岩已发现的 13 个含油气构造或油气田中,有 6 个含油气构造和 7 个以天然气为主的含气构造。前者包括大熊油田、兰龙油田等大型油气田和原油日产量较大的卡左(CC)、飞龙(RB)、西钻石(KCT)和双龙(RD)4 个含油气构造。后者包括海兰宝石(HT)、木精(MT)、飞马(NB)、HA、RVD、RN 和 RDT 等 7 个以天然气为主的含气构造。

中一上中新统碳酸盐岩储层是万安盆地中极其重要的含气层,目前发现了红兰花、西兰花和向日葵北 3 个气田,其产层具有高压特征,单井日产量高,天然气储量大。此外,大熊油田和蓝龙油气田中的中一上中新统灰岩储层中也发现了大量天然气。

在渐新统砂岩储层,目前仅发现大龙(RVD)、都(Dua)、12-B 和 12-C 四个含油气构造。此外,有些报道也认为大熊油田存在渐新统产层。

(2)在横向上,万安盆地油气田或含油气构造主要分布于中部拗陷及其相邻的西北断阶带、北部隆起和中部隆起(表 2,图 6)。在这 4 个二级构造单元的含油气构造中,均获得了高产工业油气流,最高单井日产量超过 1 000 t 油当量。在西南斜坡和西部拗陷目前发现少数含油气构造,而在南部拗陷和东部

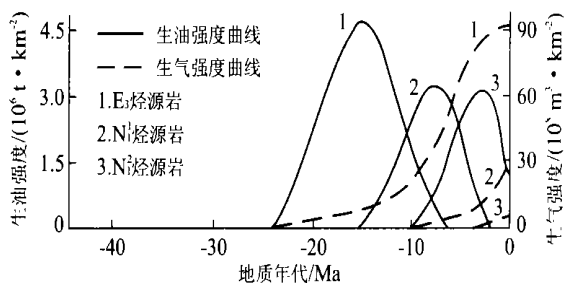


图 6 万安盆地中部拗陷生油、气强度曲线

Fig. 6 Intensity curve of oil and gas-generating in central depression, Wan'an basin

表 1 万安盆地油气藏纵向分布特征

Table 1 Characteristics of vertical oil-gas reservoirs distribution in Wan'an basin

储层时代及岩性	油气藏(田)	构造单元
前第三系基岩	大熊油田	北部隆起
渐新统砂岩	大熊(?),大龙(RVD),12-B,12-C,Dua	北部隆起,中部拗陷,西南斜坡
下中新统砂岩	飞马(NB)、大熊、兰龙、飞龙、卡左(CC)、双龙(RD)、大龙、HA(?),RN,RDT	西北断阶带、北部隆起、中部拗陷
中中新统砂岩	大熊、兰龙	北部隆起,中部拗陷
上中新统砂岩	海蓝宝石(HT)、木精(MT)	中部拗陷
中一上中新统灰岩	大熊、兰龙、西钻石(KCT)、西兰花(LD)、红兰花(LT)、向日葵北(HDB)	北部隆起,中部拗陷,中部隆起

表2 万安盆地油气横向分布

Table 2 Characteristics of horizontal oil-gas reservoirs distribution in Wan'an basin

构造单元	油气田数量/个			最高的测试日产量* (以油当量计)
	油气	凝析油	气	
西北断阶带	2	2	2	1 206 t(CC-1)
北部隆起	1			2 143 t(大熊油田)
中部拗陷	3	2	3	1 131 t(KCT-1)
中部隆起			2	2 260~2 830 t(LD-1)
西部拗陷		1		799 t(HA-1)
西南斜坡			2	233 t(12-B)

\* 按天然气 1 000 m<sup>3</sup> 为 1 t 油和油 7 桶换算为 1 t 计算日产量。

隆起则仅见油气显示, 未发现工业性油气流。

不同时代储层的油气藏或油气显示在不同的构造单元中存在明显的差异。渐新统储层的油气藏或油气显示主要分布于西南斜坡和中部拗陷西部边缘, 前者以气藏为主, 后者则油气兼有。下中新统砂岩储层的油气藏或油气显示主要分布于西北断阶带和北部隆起, 以产油为主的油气藏或凝析油藏。中—上中新统储层的油气藏或油气显示主要分布于中部拗陷和中部隆起, 前者以砂岩储层为主, 除了 KCT 以油为主的油气藏和 MT 气藏中含有一定的轻质油和凝析油外, 基本上都是气藏; 而后者则是以中—上中新统灰岩为储层的气藏。

由于盆地油气地质条件差异和构造应力场不同, 油气藏或气藏大体呈一定的带状分布。西北断阶带和西南斜坡上的 NB、CC、RB、RD、12C、12B 呈一油气藏分布带, 该带中具有两端以产气为主的气藏、中段以产油为主的油气藏的特征; 在中部拗陷中, 兰龙油田、MT 气田及兰龙油田以北的未钻构造可能为一油气藏分布带, KCT 油气田、HT 气田及其北延的构造为一油气藏分布带, HBD 气田和 TT 也可能为一气藏分布带, RVD 气藏和 DUA 油气田可能为一油气田分布带; 在北部隆起上, 大熊油田和 4A、MIX 等油气显示可能为一油气藏分布带; 在中部隆起上, 西兰花气田和红兰花气田为一气藏分布带。

### 3.2 中部拗陷对油气分布控制作用

万安盆地含油气系统研究表明, 盆地内发育了渐新统一中新统含油气系统(图7)(刘振湖, 1998, 2000)。由于不同地区的烃源岩油气生成演化史上存在明显的差异, 万安盆地存在北部活跃生烃洼陷(北部拗陷)、中部活跃生烃洼陷(中部拗陷)以及由南部拗陷和东部拗陷组成的南部活跃生烃洼陷, 因此将其进一步划分为中部、北部和南部3个亚含油气系统。

北部亚含油气系统为一个过充注纵向排油油气中、低阻含油气系统, 其形成的关键时刻应为晚中新世。尽管烃源岩总潜量指数可达 10~22 t/m<sup>2</sup>, 区域油气充注量为过充注, 油气源充足, 各种油气成藏事件具有良好的匹配关系, 但是区域盖层厚度较小、物性差, 油气保存条件差。目前, 在该亚含油气系统中未发现油气藏, 仅见一些油气显示。

以中部拗陷为主体的中部亚含油气系统, 是一个过充注纵向排油油气中、高阻含油气系统, 其形成关键时刻应为晚中新世, 各种油气成藏事件具有良好的匹配关系。不论考虑单独渐新统或者中新统烃源岩的潜量指数, 还是烃源岩的总潜量指数(10~22 t/m<sup>2</sup>), 其区域油气充注量为正常充注—过充注或过充注, 油气源充足。目前, 在该亚含油气系统中已经发现了6个含油气构造(或油气田)和13个含气构造(气藏), 油气藏主要分布于中部拗陷及其相邻的构造单元, 这表明中部拗陷是万安盆地最主要的油气源区。

南部亚含油气系统为一个欠充注纵向排油油气中、低阻含油气系统, 大部分地区的区域油气充注量(小于4 t/m<sup>2</sup>)为欠充注, 油气源不足, 仅北部局部区域油气充注量为正常充注, 油气源较充足, 盖层封盖性能又差。因此, 该含油气系统含油气远景差, 目前除了与其邻近的中部隆起上发现有油气藏外, 大部

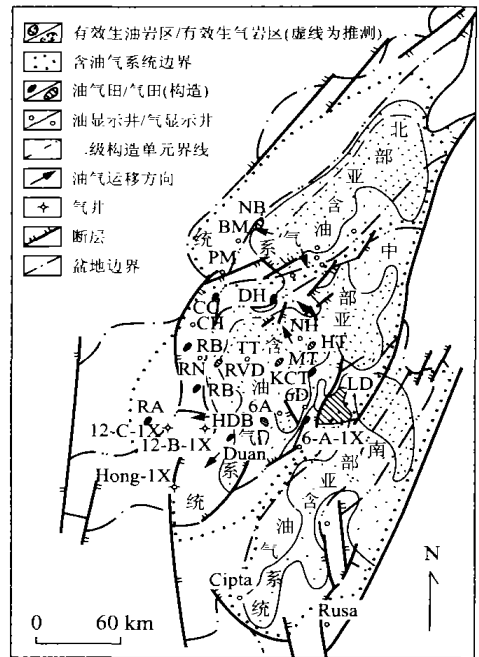


图7 万安盆地渐新统一中新统含油气系统分布

Fig.7 Oligocene-Miocene petroleum system of Wan'an basin

分地区未发现油气藏,仅局部见一些油气显示。

综上所述,万安盆地油气藏分布于中部拗陷及其相邻的构造单元,明显受中部拗陷富生烃拗陷的控制。

## 4 结论

(1)在中部拗陷,发育有渐新统湖沼相、海湾相泥岩和下一中中新统三角洲、滨—浅海相泥岩 2 套烃源岩。其中,渐新统烃源岩具有良好的生烃潜力,下中新统烃源岩次之。(2)万安盆地油气产层主要为中新统砂岩,其次为中—上中新统碳酸盐岩或礁灰岩和渐新统砂岩,个别见于基岩储层。油气藏主要分布于中部拗陷及其相邻的西北断阶带、北部隆起、中部隆起,少数含油气构造分布于西部拗陷,而在北部拗陷、南部拗陷和东部隆起上仅见油气显示。(3)万安盆地的油气分布明显地受中部拗陷富生烃拗陷控制。以中部拗陷作为活跃生烃拗陷的中部亚含油气系统为一个过充注纵向排油气高阻含油气系统,油气前景良好,已经发现了 19 个油气田或含油气构造。在北部亚含油气系统和南部亚含油气系统,前者由于区域盖层差,为一个过充注纵向排油气中、低阻含油气系统,后者由于区域油气充注低,油气源不足,区域盖层封盖性能差,为一个欠充注纵向排油气中、低阻含油气系统,它们的油气前景较差,仅发现一些油气显示。

## References

- Jin, Q. H., Liu, B. M., 1997. Characteristics of oil-gas distribution in the Wan'an basin, South China Sea. *Experimental Petroleum Geology*, 19(3): 234—239 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., Wu, J. M., Xie, Q. Y., et al., 2001. Sedimentary basin analysis and oil-gas resource in west part of South China Sea. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Liu, Z. H., 1995. The research of petroleum pool-forming geo-

logical condition in Wan'an basin, South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, (7): 55—66 (in Chinese with English abstract).

- Liu, Z. H., 1998. The petroleum system and oil-gas distribution in Wan'an basin, South China Sea. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 28: 126—133 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., 2000. Characteristics of petroleum charge system in the Wan'an basin in South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(5): 339—344 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., Liu, B. M., Chen, Q., 1996. The primary research of thermal history of the Wan'an basin in South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 10(6): 364—370 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., Wu, J. M., 1997. The petroleum geology of the Wan'an basin, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 11(3): 153—160 (in Chinese with English abstract).
- Todd, S. P., Dunn, M. E., Barwise, A. J. G., et al., 1997. Characterizing petroleum charge systems in the Tertiary of SE Asia. In: Fraser, A. J., Matthews, S. J., Murphy, R. W., eds., *Petroleum geology of Southeast Asia. Geological Society Special Publication*, 126: 25—47.

## 附中文参考文献

- 金庆焕,刘宝明,1997.南沙万安盆地油气分布特征.石油实验地质,19(3): 234—239.
- 金庆焕,吴进民,谢秋元,等,2001.南沙西部海域沉积盆地分析与油气资源.武汉:中国地质大学出版社.
- 刘振湖,1995.万安盆地油气成藏地质条件的研究.南海地质研究,(7): 55—66.
- 刘振湖,1998.南海万安盆地含油气系统及其油气分布.长春科技大学学报,28: 126—133.
- 刘振湖,2000.南海万安盆地油气充载系统特征.中国海上油气(地质),14(5): 339—344.
- 刘振湖,刘宝明,陈强,1996.南海万安盆地热演化史的初步研究.中国海上油气(地质),10(6): 364—370.
- 刘振湖,吴进民,1997.南海万安盆地油气地质特征.中国海上油气(地质),11(3): 153—160.