

南沙海域万安盆地新生界含油气系统分析

刘伯土, 陈长胜

(中国石化 勘探开发研究院 荆州新区勘探研究所, 湖北 荆州 434100)

摘要: 万安盆地新生界含油气系统由渐新统一中新统烃源岩、前第三纪基岩—中新统储集岩和上新统一第四系区域盖层组成。圈闭类型以断块、背斜和礁隆为主; 主要烃源岩从中中新世末开始进入生、排烃高峰, 现已达到高一过成熟, 且以产气为主; 各类圈闭大多在中中新世末前定型, 并在上新世末基本成藏; 油气运移方式为短距侧向运移与垂向运移并重, 油气捕集方式以高阻系统为主, 油气充注量达到过—正常充注。由此证实, 万安盆地为一生油期较长、成藏较晚、生运聚匹配适宜、保存条件较好、油气蕴藏量丰富的含油气盆地。

关键词: 含油气系统; 新生界; 万安盆地

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

万安盆地位于我国南沙西南海域, 为一在前第三纪基底上发育起来的近南北走向的走滑拉张盆地, 面积约 85 000km², 其中有近四分之三的面积在我国传统海疆线范围内。早第三纪以来, 在走滑断裂扭张-扭压-扭张应力的持续作用下, 先后经历了先断后拗、挤压隆升和区域沉降 4 个演化阶段, 并在盆地主体部位形成呈北东向雁列的三隆四坳构造格局(图 1) 及厚逾万米的新生代沉积。近年来, 国土资源部广州海洋地质调查局通过对该区开展海上地震调查共发现近百个局部构造, 并遴选出一批勘探靶区^[1]。与此同时, 越南等外国石油公司无视我国领海主权, 抢先对油气前景较好的中、北部地区进行油气勘探, 现已发现大熊、兰龙等多个油气田和含油气构造, 有的已投入早期开发。

1 含油气系统^[2]

1.1 烃源岩

万安盆地有渐新统、下中新统和中中新统 3 套时代上连续、热演化程度不一的烃源岩层(图 2), 除中中新统外, 下部两套烃源岩的发育状况明显受三隆四坳构造格局控制。从烃源岩性质看, 由于万安盆地自成盆以来经受了自东向西的海侵过程, 这 3 套烃源岩的沉积相特征, 纵向上呈现由平原河流、近

岸湖沼相—三角洲、滨浅海相—半深海相的变化规律。同时, 随着生物种群由陆生逐渐向海生转变, 有机质类型亦由以 ㊸—㊹ 型为主, 变为以 ㊺ 型为主; 有机碳含量则由近岸湖沼相(渐新统) 的 0.5%~2.26%, 逐渐下降为滨浅海、半深海相(中、下中新统) 的 0.5%~0.93%。这 3 套烃源岩中, 渐新统烃源岩因其厚度大、有机质丰富、成熟度高, 成为盆地最主要的烃源岩。

1.2 储集岩

万安盆地共有 4 套储集岩, 其中, 中新统碎屑岩储层以三角洲砂体和滨浅海砂体为主, 分布较稳定, 顶板埋深 1 500~4 000m, 孔隙度范围 8%~25%。因其埋藏较浅, 孔渗性较好, 目前是盆地最主要的勘探目的层。渐新统碎屑岩储层主要为海陆交互的河道砂体、湖泊砂坝和滨海砂体, 顶板埋深 3 000~7 000m, 孔隙度范围 5%~17%, 孔渗条件较差。中—上中新统碳酸盐岩储层则由浅海台地灰岩和礁灰岩组成, 顶板埋深 1 000~3 000m, 前者主要分布于中中新统, 平均孔隙度 10%; 后者分布于上中新统, 因受虫孔结构和溶蚀作用影响, 孔隙度最高可达 30%, 平均为 20%, 勘探结果表明, 该储层以产气为主。基岩储层主要由前第三纪花岗岩和花岗闪长岩的风化裂隙层构成, 顶板埋深 3 000~10 000m。其中风化层厚 50~100m, 孔隙度 17.5%; 裂隙层最大

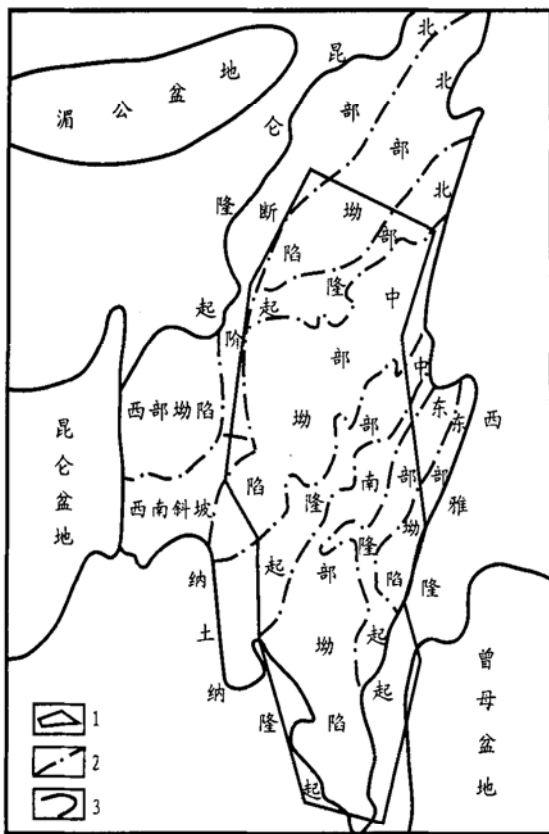


图 1 万安盆地位置及构造区划图

1. 评价范围界线; 2. 二级构造界线; 3. 盆地界线

Fig. 1 Location map and structural classification of the Wan'an Basin

厚度可达 1 000m, 平均 500m, 孔(裂)隙度为 5%。该储层目前仅见油气显示。

1.3 盖层

上新统一第四系是万安盆地进入区域沉降阶段形成的一套浅海、半深海相沉积, 厚度 1 500~3 000m。因其分布稳定、厚度大、泥质岩含量高, 加上后期基本未受构造变动影响, 因而成为下伏含油气层系的良好区域盖层。除此以外, 中新统及渐新统中的泥岩夹层和海泛期形成的密集段沉积又构成下伏储层的局部盖层。

1.4 上覆地层

上覆地层是指含油气系统中位于烃源岩之上的所有地层, 它的作用不只是为油气提供储盖场所, 另一个重要意义是为烃源岩中的有机质向烃类转化提供热作用机制。上中新统、上新统和第四系是该含油气系统整体意义上的上覆地层, 它的底界埋深为 2 000~5 000m, 盆地中、北部深, 南部浅。此外, 3 套相对独立的烃源岩层又有各自不同的上覆地层, 原因是上部烃源岩层相对又构成下伏烃源岩的上覆地层。

1.5 圈闭形成时间

万安盆地的圈闭类型以断块、披覆背斜和褶皱背斜等构造圈闭为主, 主要分布在 3 个隆起带。前两类圈闭多数受长期活动断裂和基底高断块控制, 始于渐新世, 定型于中新世; 后者形成于中中新世末。此外, 尚有礁隆、地层超覆、上倾尖灭砂体等岩性地层圈闭发育, 这类圈闭主要受所在地层的沉积作用控制, 其中礁隆圈闭多数形成于中、晚中新世。

1.6 生、排烃时间

由于万安盆地 3 套烃源岩的发育时间长、埋深变化大, 所以不仅生、排烃的时间跨度长, 而且同一烃源岩在不同构造单元的成熟度也不尽相同。研究表明, 万安盆地生油窗上限的平均埋深为 3 000m, 生气窗上限的平均埋深为 4 000m。在烃源岩较发育的中、北部地区, 渐新统烃源岩在早中新世开始生油, 中中新世达到生油高峰, 现今的 R_o 值一般在 2.5% 以上, 以产裂解气为主。下中新统烃源岩则在中中新世开始生油, 晚中新世达到生油高峰, 现今的 R_o 值为 1.0%~2.5%, 以产高熟原油和伴生气为主。中中新统烃源岩则在上新世开始生油, 现今的 R_o 为 0.5%~1.2%, 以产低熟原油和生物气为主。南部地区烃源岩不发育, 加上盆地沉降幅度小、埋藏浅, 成熟度远低于中、北部地区, 除渐新统和下中新统为成熟烃源岩外, 中中新统烃源岩基本上未成熟。

1.7 关键时刻、持续时间和保存时间

鉴于万安盆地各类圈闭绝大多数在中新世末前形成, 且盆地主要烃源岩亦在中新世和上新世分别达到生油、气高峰, 所以该含油气系统的关键时刻应定在上新世末。在此之前的晚始新世—上新世应为

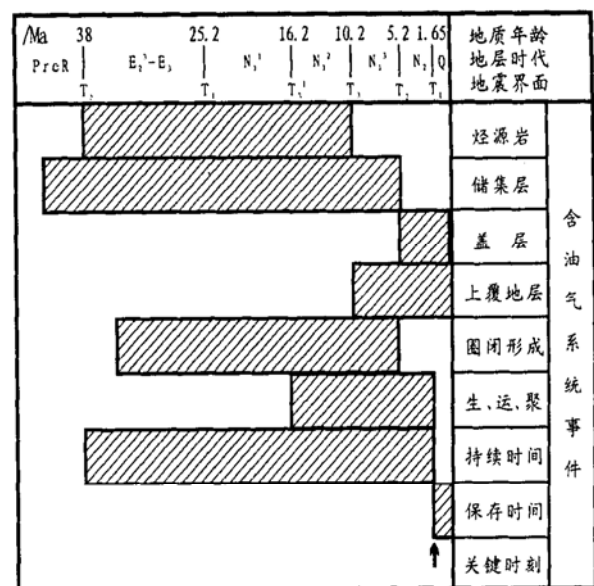


图 2 万安盆地新生界含油气系统事件图

Fig. 2 Event map for the Cenozoic petroleum system in the Wan'an Basin

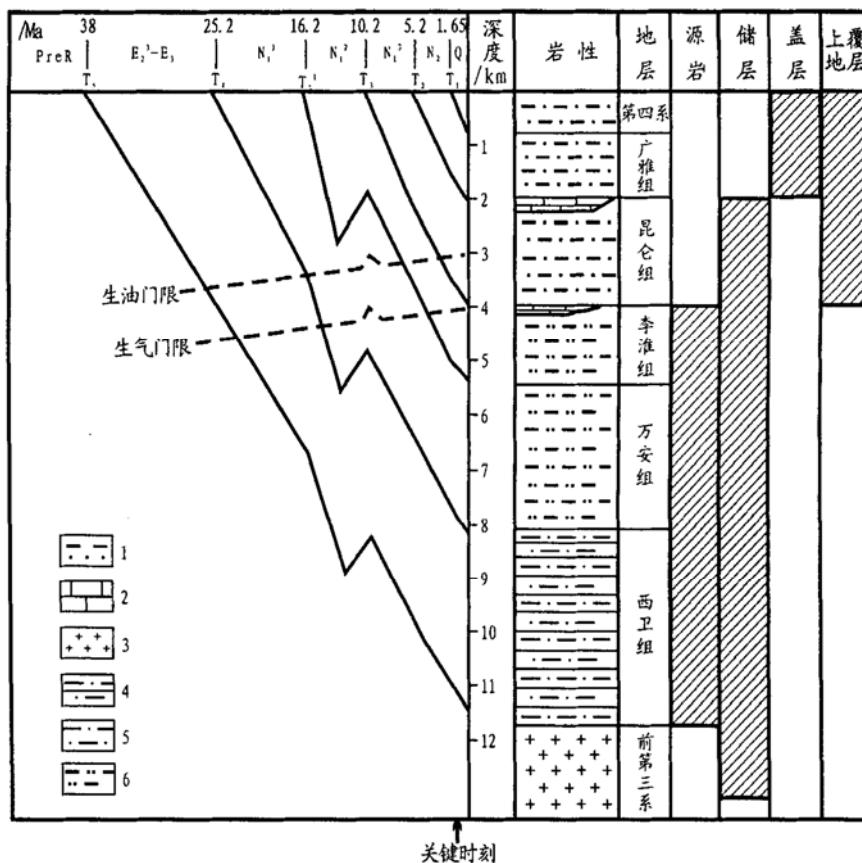


图 3 万安盆地中部坳陷埋藏史图

1. 浅一半深海相; 2. 台地碳酸盐岩; 3. 基岩; 4. 近岸湖沼相; 5. 滨—浅海相; 6. 浅海相

Fig. 3 Burial history of the central sag in the Wan'an Basin

持续时间, 第四纪则为保存时间。关于上述各项地质要素及地质作用时间的关系参见图 2。图 3 给出的是万安盆地中部坳陷的埋藏史, 图中可清楚看出万安盆地的沉降沉积过程和渐新统、下中新统及中新统 3 套烃源岩的生、排烃时间。

2 生成子系统

2.1 烃源岩的区域展布

因受三隆四坳构造格局的控制, 盆地中部和北部两个坳陷的烃源岩最为发育, 总厚度达到 2 500~3 500m, 与之毗邻的中部和北部两个隆起为 1 000~2 000m。盆地南部烃源岩较薄, 坳陷部位为 1 000~2 200m, 隆起部位仅为 100~500m。另据国外的钻井测温资料^[3], 万安盆地的地温梯度在 2.43~4.92 °C/100m 之间, 并有北高南低的变化趋势。除地温梯度外, 埋深是影响烃源岩热演化程度的另一个重要因素。由于盆地中、北部地区的沉降沉积幅度远大于南部地区, 因而决定烃源岩的成熟度亦相应具有中、北部高, 南部低的特点。根据不同地区烃源岩热演化程度的高低, 可将其分为 4 种类型, 即:

iv 类为未成熟源岩区 ($R_o < 0.5\%$), ㊸类为低成熟源岩区 ($0.5\% \leq R_o \leq 0.8\%$), ㊹类为成熟源岩区 ($0.8\% < R_o < 1.5\%$), ㊺类为高或过成熟源岩区 ($R_o \geq 1.5\%$)。其中盆地中、北部地区除隆起部位为 ㊹类源岩外, 其它地区均为 ㊺类源岩, 以产高熟原油和裂解气为主。南部地区只有坳陷部位为 ㊹类源岩, 隆起部位及边部地区均为 iv—㊸类源岩, 以产低熟原油为主。各部位的成熟烃源岩面积见表 1。

2.2 烃源岩潜量指数

烃源岩潜量指数是定量评价区域油气充注量的重要指标, 它按下式计算:

$$SPI = h(s_1 + s_2) \rho / 1\,000$$

式中: SPI 为烃源岩潜量指数 (t/m^2); h 为烃源岩厚度 (m); $s_1 + s_2$ 为烃源岩平均生烃潜量 (kg/t), 其中 s_1 为热解烃, s_2 为残余沥青“ A”; ρ 为烃源岩密度 (t/m^3)。

为了计算方便, 我们预先根据生、聚单元相互关系将万安盆地评价区范围划分为北、中、南 3 个区带。又因烃源岩潜量指数与生烃强度的意义基本相

表1 万安盆地成熟烃源岩面积及油气充注量评价表

Table 1 Area of mature source rocks and evaluation of hydrocarbon-infilling amount for the Wan'an Basin

区带	成熟烃源岩面积/ km ²	烃源岩潜量指数/ (t/m ²)	运移烃方式	油气充注量级别
北部	10 235	17.63	短距侧向兼垂向运移	过充注
中部	14 455	12.01	短距侧向兼垂向运移	正常一过充注
南部	8 310	5.09	侧向运移为主	正常充注
全盆	39 000	12.88	短距侧向兼垂向运移	正常一过充注

同,故用盆地模拟得到的生烃强度取而代之。现将3个区带的烃源岩潜量指数以及根据油气运移排烃方式确定的油气充注量级别一并列于表1。由表可知,北部区带和中部区带的烃源岩潜量指数分别为17.63 t/m²和12.01 t/m²,根据Gerard Demaison提出的油气充注量评价标准^[4],应分别定为过充注和正常一过充注;南部区带的烃源岩潜量指数仅为5.09 t/m²,应为正常充注。造成北部区带充注量高的原因,主要是因为该区带两侧同时有北部、中部两个规模最大的生油坳陷向其充注油气,而中部区带仅北侧接受来自中部坳陷的油气,南侧面临的是充注量较小的南部坳陷,所以尽管中部区带位居盆地腹部,但其油气充注量反而不及北部区带丰富。

3 运移-捕集子系统

3.1 油气运移方式

为了揭示万安盆地的油气运移规律,我们编制了关键时刻含油气系统地质剖面图(图4)。该图横贯盆地北部和中部两个区带,展示了坳陷区与隆起区生、储、盖层的组合关系及油气运移方向和含油气构造位置。由图不难看出,万安盆地的油气驱排方式以短距侧向运移为主,兼有垂向运移。理由是经钻探证实的含油气构造,如西卫16(大熊)、万安滩7(红兰花)、万安西16(西兰花)等主要集中在坳陷两侧的隆起部位,由于盆地具有多个隆坳相间排列的特点,所以这些含油气构造与生油坳陷中心的距离一般均小于30km,应属短距侧向运移。只有盆地西南缘的一些圈闭与生油坳陷相距较远,属中远距离的侧向运移。再从各勘探层的油气运移方式看,作为盆地主要含油气层系的中新统碎屑岩勘探层,是一套以三角洲和滨浅海相为主的砂岩沉积,岩性、岩相分布较稳定,储层孔隙的横向连通性较好。它的上覆地层上新统和第四系为一套分布广、厚度大、泥质岩含量高的区域盖层,对油气具良好的封盖作用。

加上该勘探层的顶、底部分别为T₃、T₄区域不整合界面,它们与所夹持的疏导层一起组成侧向运移所必需的“盖-储”双层结构和低角度斜坡通道,导致坳陷中的油气能顺利通过不整合面和疏导层向隆起区构造部位作短距侧向运移,并在适宜的圈闭中聚集成藏。但是,由于中新统碎屑岩勘探层的油气主要来自下部渐新统和下中新统烃源岩,所以大部分油气在向隆起区作侧向运移前,仍需先经由断裂系统向上部疏导层作垂向运移。中-上中新统碳酸盐岩勘探层的油气运移方式与此大致相仿。渐新统碎屑岩勘探层和基岩勘探层的油气来自渐新统烃源岩,所以油气运移方式以侧向运移为主。只因下部地层受断裂作用的影响较上部地层大,致使早期形成的油气藏易受断层破坏,泄漏的油气将沿断裂向上运移并二次成藏。除此之外,在坳陷两侧也有以垂向运移为主的情形,如西卫24(兰龙)和万安北31构造分别位于中部坳陷的北、南两侧,圈闭中的油气主要由下部地层沿断裂垂向运移而来。

3.2 油气捕集方式

油气捕集方式按油气运聚和保存条件的优劣分高阻和低阻两类。据对万安盆地的成藏条件进行分析,应以高阻系统为主(图4)。首先从运聚条件看,万安盆地在渐新世及中新世中晚期经受了西南海盆运动和万安运动二次较大规模的构造运动。前期在张扭应力作用下形成众多张性断裂和由断阶带构成的三隆四坳构造格局,这些张性断裂多数为长期活动断裂,成为以后油气运移的通道。后期则以压扭应力作用为主,使地层发生褶皱断裂,并形成众多断块和背斜圈闭,为油气提供良好的聚集场所。再从盖层条件分析,该盆地的区域盖层上新统和第四系为一套稳定的泥质岩较发育的海相地层,并且基本未受断裂作用影响,对下伏疏导层及圈闭中的油气具良好的封盖作用。在上述因素共同作用下,从烃源岩中排出的油气很容易经断裂、不整合面和疏导层运移到圈闭中聚集成藏,并受到盖层的良好保护。

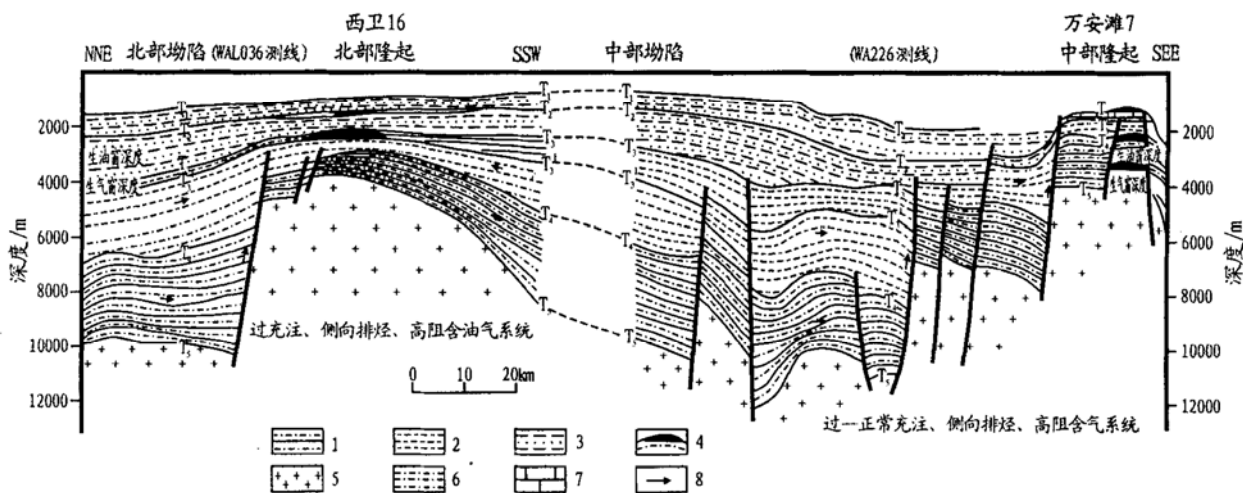


图4 万安盆地新生界含油气系统剖面图

1. $E_2^3 - E_2(T_4 - T_5)$ 近岸湖沼相砂泥岩(源岩及储集岩);
2. $N_1^{1+2}(T_3 - T_4)$ 浅海相砂泥岩(源岩及储集岩);
3. $N_2 - Q(T_2 - T_3)$ 浅一半深海相砂泥岩(区域盖层);
4. 油气藏;
5. 基岩(储集岩);
6. $N_1^{1+2}(T_3 - T_4)$ 滨-浅海相砂泥岩(源岩及储集岩);
7. 台地灰岩(储集岩);
8. 油气运移方向

Fig. 4 A cross-section of the Cenozoic petroleum system in the Wan'an Basin

4 结论

综上所述,万安盆地新生界含油气系统是一个生油期较长、成藏较晚、生运聚匹配适宜、油气充注量丰富、保存条件较好的油气系统,其中盆地的北部和中部区带是油气勘探前景最好的地区。中新统碎屑岩勘探层和中-上中新统碳酸盐岩勘探层又是该盆地最主要的勘探目的层。

参考文献:

- [1] 金庆焕,刘宝明.南沙万安盆地油气分布特征[J].石油实验地质,1997,19(3):234-240.
- [2] 吴冲龙,王燮培,毛小平,等.油气系统动力学的概念与方法原理[J].石油实验地质,1998,20(4):319-327.
- [3] 中国科学院南沙考察队.南沙群岛及其邻近海区综合地质调查研究报告(一)上卷[R].北京:科学出版社,1989.199-202.
- [4] 杨瑞召.石油地质科技动态[M].北京:地矿部石油地质研究所,1992,(3).5-7.

ANALYSIS ON THE CENOZOIC PETROLEUM SYSTEM IN THE WAN'AN BASIN, NANSHA AREA

LIU Bor-tu, CHEN Chang-sheng

(Jingzhou Research Institute of Petroleum Exploration, SINOPEC, Jingzhou, Hubei 434100, China)

Abstract: The Cenozoic petroleum system in the Wan'an Basin is made of the Oligocene-Middle Miocene source rocks, the Pre-Tertiary bedrock-Miocene reservoirs and the Pliocene-Quaternary caprocks. The traps are dominated by fault blocks, anticlines and reefs. The main source rocks reached the peak of hydrocarbon generation and expulsion in the end of the Middle Miocene and presently are in the high- to over-matured stage. Various traps were formed before the end of the Middle Miocene and hydrocarbon accumulation was in its way in the end of the Pliocene. Hydrocarbon migrated both horizontally and vertically in short distance and was caught up by a resistive system. The traps were over- or normal-charged. In a word, the Wan'an Basin is favorable for hydrocarbon exploration as a result of its long hydrocarbon generation, late accumulation and good preservation.

Key words: petroleum system; Cenozoic; the Wan'an Basin