

文章编号: 1001-6112(2000)01-0035-05

南海珠三坳陷油气系统分析

何光玉¹, 吴景富², 刘海滨³, 徐顺利¹

(1. 南京大学地科系, 南京 210093; 2. 中国海洋石油总公司研究中心, 河北高碑店 074010;
3. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

摘要: 通过详细的油气地质特征研究及油(气)源对比, 确定了珠三坳陷的主力生、储、盖层。根据广义的油气系统概念和研究方法, 结合构造和沉积特征分析, 对坳陷进行了油气系统研究。研究表明, 在不同的地质历史阶段, 珠三坳陷中油气系统发育具有不同的特征, 即早期(渐新世晚期—早中新世)只在文昌 A 凹陷中发育一个石油系统, 而到了晚期(中中新世—上新世)则在多个凹陷及凸起上发育多个油气系统。此外, 对每个油气系统的特征及其中的油气运移规律和成藏特征进行了探讨, 并提出了勘探建议。

关键词: 珠三坳陷; 油气系统; 石油系统; 天然气系统; 油气运移

中图分类号: TE122

文献标识码: A

狐、文昌、恩平和珠海组地层, 裂后阶段主要发育了珠江、韩江、粤海、万山组和第四系地层(图 2)。

1 地质概况

珠三坳陷是一个北缓南陡的 NE-SW 向半地槽式陆缘裂谷盆地, 它位于珠江口盆地西部, 西北紧靠海南隆起, 东北紧临珠一坳陷, 东南紧靠神狐隆起, 西南紧临琼东南盆地, 面积 1 万多平方千米, 由文昌 A、B、C 3 个凹陷、琼海凹陷和琼海凸起等多个二级单元构成。其中, 文昌凹陷是最大的凹陷。坳陷内断层发育, 断过基底的大小断层有 100 余条, 主要为张性断层。其中最重要的断层有 3 条, 即 a、b 和 c(图 1), 它们是珠三坳陷的边界断层, 控制坳陷的形成与发展。此外, 还有 2 条重要断层, 即 a 和 b(图 1), 它们对坳陷内油气的运移和聚集具有重大影响。珠三坳陷经历了裂陷发育阶段和裂后发育阶段, 裂陷阶段断裂活动强烈, 裂后阶段断裂活动较弱, 有的断层于 T₄ 界面形成时就已停止了活动, 而到了 T₁ 界面形成时, 坳陷内的断层已基本停止了活动。

与坳陷的两大构造发育阶段相适应, 坳陷内发育了上断下坳两大构造层。裂陷阶段主要发育了神

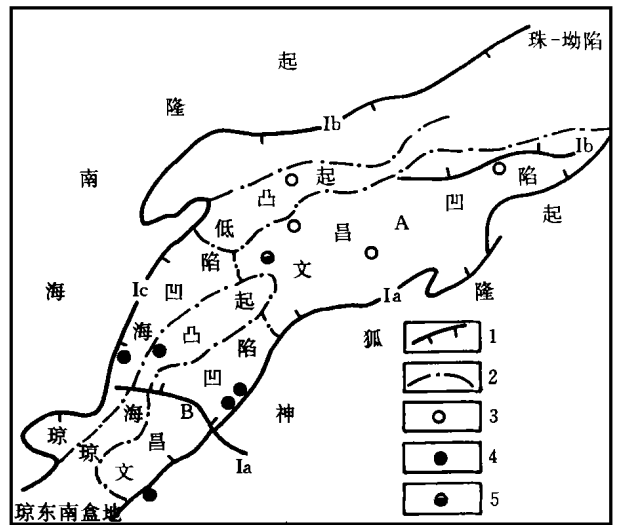


图 1 珠三坳陷构造发育及油气分布简图

Fig. 1 Tectonic framework and oil(gas) distribution in Zhu-Subbasin

收稿日期: 1999-02-27.

基金项目: 中国海洋石油总公司“九五”重大攻关项目(9618)和国家自然科学基金项目(49732005)资助。

作者简介: 何光玉(1968-), 男, 湖南岳阳人, 现为南京大学在读博士后, 从事构造地质、石油地质专业方面的研究。

地质时期	地层	岩性	地震反射	生	储	盖
第四纪						
上新世	方山组					
中新世	晚 粤海组		T ₁			
	中 韩江组		T ₄			
新世	早 珠江组		T ₅			
	晚 珠海组		T ₆			
渐新世	早 恩平组		T ₇	■		
	晚 文昌组		T ₈			
始新世	中 文昌组		T ₉	■		
	早 神狐组					
古新世						
前第三系						

图 2 珠三坳陷地层发育及生储盖分布简况

Fig. 2 Stratigraphic sequence and source rocks, reservoir and cap rocks in Zhu- Subbasin

2 油气地质特征

2.1 生、储、盖特征

珠三坳陷可能的烃源岩有文昌组湖相泥岩、恩平组湖沼相煤系地层和珠海组海湾相泥岩。其中，文昌组地层顶部埋深已达 5000m，厚度可达 3300m，已进入高熟或过熟阶段，有机碳含量为 2.70%，有机质类型以 Ⅰ型为主，因此以生油为主，是重要的油源岩；恩平组煤系地层顶部埋深达 4500m，厚度达 3000m，已进入成熟或高熟阶段，泥岩有机碳含量为 1.47%，有机质类型以 Ⅱ型为主，煤岩有机碳含量达 63.8%，有机质类型以 Ⅱ- 型为主，是重要的气源岩；珠海组泥岩埋深浅，只在文昌 A 凹陷局部地区达到低熟，有机碳含量平均为 0.5%，有机质类型为 Ⅱ- 型，只具有生气能力。

目前，已在珠三坳陷发现了大量的油气。油气产出的特点是既有油，又有气；既有普通原油，又有煤型凝析油；既有油型气，又有煤型气。煤型气及其伴生凝析油主要分布于文昌 A 凹陷及其周缘凸起上。其中，凝析油既具有明显的陆相特征，如 V/Ni 比

低，含硫量低，含蜡量高等，又具有明显的高等植物成因特征，如不含 C₃₀-4-甲基甾烷，而含有丰富的 γ-羽扇烷、奥利烷和双杜松烷等，表明其源岩既不是海相的珠海组泥岩，又不是湖相的文昌组泥岩，而是湖沼相的恩平组煤系地层。普通原油及伴生油型气主要分布于文昌 B 凹陷、琼海凹陷等凹陷及其周缘凸起之上。原油既具有 V/Ni 比低，含硫量低等明显陆相标志，表明其源岩不是珠海组海相泥岩，又含有丰富的 C₃₀-4-甲基甾烷(仅个别不含)，表明其源岩主要是文昌组泥岩。此外，恩平组煤系地层也有少量贡献。可见，珠三坳陷文昌组湖相泥岩是主要油源岩，恩平组湖沼相地层是主要气源岩，而珠海组海湾相泥岩几乎没有贡献。

珠三坳陷主要有 3 套储层^①，它们是珠海组二段、珠江组和文昌组一段，均为碎屑岩储层。其中，珠海组二段和珠江组储层物性较文昌组一段的要好。

珠三坳陷的盖层全部为泥岩^①，从下至上依次为恩平组、珠海组一段、珠江组二段顶部及珠江组一段上部。其中，恩平组与珠江组二段顶是良好区域盖层，珠海组一段是良好直接盖层，珠江组一段上部泥岩突破压力稍低，作为盖层条件稍差。

2.2 构造特征

珠三坳陷主要发育有 2 期构造。第一期为晚渐新世阶段，坳陷内拉张应力场叠加右旋剪切应力场，使坳陷沿 NE 向深大断裂形成褶皱构造带，形成了一批张扭、压扭构造如背斜、半背斜等；第二期为中中新世阶段，坳陷发育右旋剪切应力场，地层再次褶皱上隆，断裂发生反转，形成了一批具有挤压性质的构造如背斜、半背斜等。

3 含油气系统的特征

“油气系统”是由 Dow 于 1972 年提出的“石油系统(oil system)”的概念演变而来的，并已成为当前油气地质领域中研究的热点。目前，对油气系统概念的理解和研究方法主要有 3 种，即以 Magoon (1987) 为代表的结构图解法^[1]，以 Perridon (1992) 为代表的类比法^[2]和以 Demaison (1992) 为代表的成因法^[3]等。其中，又以 Demaison (1992) 的成因分析法应用最为普遍。从名称上就可以看出，上述方法

① 朱伟林. 珠三坳陷勘探与研究工作的建议, 中国海洋石油总公司研究中心(内部资料), 1995.

段佩潜. 珠三坳陷神狐 A、B 凹陷油气成藏模式研究, 海洋石油中心, 1994.

都是从不同的角度来研究油气系统,因而它们最大的缺陷是缺乏从系统论和动力学的观点和角度来系统地、动态地考察油气系统的各种属性及其历史发展过程。显然,应用这些方法来划分和研究油气系统是不合适的。

油气系统概念的最新发展是“广义的”油气系统^[4],它是在上述研究的基础上发展起来的一种全新的概念,其最大特点是从系统论和动力学的角度来把握含油气系统的实质:其内涵是与油气生、排、运、聚、散等过程有关且与周围环境密切联系着的若干相互作用、相互依赖的地质要素与过程(作用)及其描述参数与联系方式的集合体;其外延应包括油气区(或超油气区)、盆地(包括叠合盆地)、凹陷(或成藏组合、区带)等 3 个级别的子系统;其组成实体包含成熟的烃源岩及所有已形成的各类油气藏,并包括油气藏形成时的各类地质要素和作用,在空间上包括所有这些要素和作用都出现的地区,或认为很有希望都出现的地区^{[4][5]}。

根据“广义的”油气系统概念,珠三坳陷的含油气系统具有历史演变性,即早期(早中新世以前)广大坳陷中只在文昌 A 凹陷中发育一个石油系统,而晚期(中中新世以后)则在广大坳陷中发育有 5 个油气系统:文昌 A 凹陷石油系统和天然气系统,文昌 B 凹陷东部石油系统和西部石油系统及琼海凹陷石油系统等。

3.1 早期($E_3^3-N_1^1$)石油系统的特征

珠三坳陷早期只在文昌 A 凹陷发育一个石油系统(图 3)。石油系统垂向上由文昌组油源岩、珠海组二段和文昌组一段砂岩储层及恩平组与珠海组一段泥岩盖层组成;平面上主要局限于文昌 A 凹陷范围。

受构造对沉积的控制作用,珠三坳陷内部地层发育不均匀,各凹陷中以文昌 A 凹陷沉积的地层最厚。到渐新世末,文昌组顶面埋深已达 2800m,表明已进入成熟期(门限 2400m),部分已进入高熟期(门限 3000m)。到早中新世珠江组沉积末,顶面埋深已达 3950m,表明已进入了生油高峰晚期。文昌组源岩排出的油中一部分沿断裂向上运移,一部分沿文昌组一段砂岩和不整合侧向运移,另一部分则保存在文昌组透镜状砂岩储层中。此时,渐新世末形成的构造平均埋深已达 1000m,珠海组一段泥岩已具有一定的物性封盖能力,因此垂向与侧向运移的油气中一部分必定聚集成藏了。需要指出的是,往凹陷东北部运移的油气由于受 b 断裂的阻挡而没能往北部

斜坡上继续运移,因此 b 断裂就成了石油系统的东北边界。

此时,恩平组地层顶面平均埋深只有 2450m(门限 2500m),大部分尚处于未熟—低熟阶段,对形成含油气系统的贡献很小,其它凹陷则由于无成熟源岩而无法形成含油气系统。

3.2 晚期($N_1^2-N_2$)含油气系统的特征

3.2.1 文昌 A 凹陷石油系统与文昌 A 凹陷天然气系统

晚期文昌 A 凹陷石油系统垂向上由文昌组油源岩、文昌组一段砂岩储层和恩平组泥岩盖层组成,平面上主要局限于文昌组沉积中心(图 4)。文昌 A 凹陷天然气系统垂向上由恩平组气源岩、珠海组二段、珠江组二段与珠江组一段砂岩储层和珠海组一段、珠江组二段顶部和珠江组一段上部泥岩盖层组成,平面上主要分布于文昌 A 凹陷及西北缘低凸起之上(图 4)。

恩平组地层由于埋藏浅,进入生、排烃高峰期的时间晚。早中新世珠江组沉积末,文昌组油源岩快要结束生、排油高峰期时,恩平组泥岩尚处于未熟—成熟状态,其地层顶面埋深只有 2450m(门限 2500m)。到中中新世韩江组沉积末顶面埋深达到 2900m,表明部分恩平组气源岩已经进入生、排烃高峰期(门限

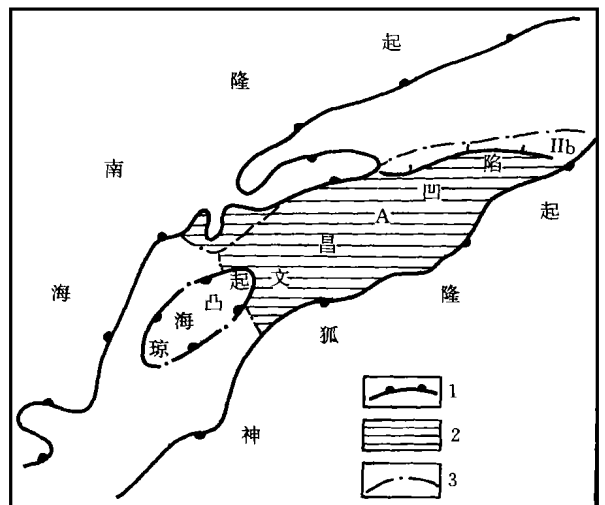


图 3 早期($E_3^3-N_1^1$)文昌 A 凹陷石油系统平面图

1. 珠海组二段超覆线;
2. 文昌 A 凹陷石油系统;
3. 二级构造单元界线

Fig. 3 Distribution of oil system in Wenchang "A" Depression ($E_3^3-N_1^1$)

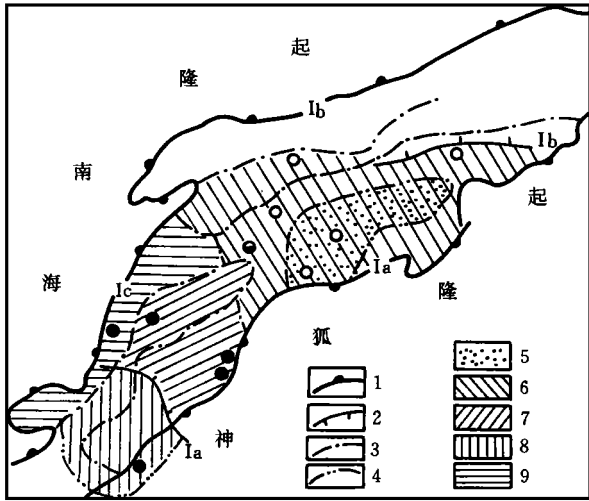


图 4 晚期(N₁-N₂)珠三拗陷含油气系统平面分布图

1. T₆ 超覆线; 2. T₆ 断超线; 3. 构造界线; 4. 系统界线; 5. A 凹陷石油系统; 6. A 凹天然气系统; 7. B 凹东部石油系统; 8. B 凹东部石油系统; 9. 珠海凹陷石油系统。(其它图例同图 1)

Fig. 4 Distribution of oil (gas) systems in Zhu- Subbasin(N₁-N₂)

3100m), 到晚中新世粤海组沉积末, 顶面埋深达 3180m, 表明它已全部进入高熟阶段。恩平组烃源岩排出的天然气中一部分通过断裂和砂岩向上运移, 将珠海组二段砂岩中的文昌组油顶替出来后聚集下来, 余下的则继续向上运移并聚集在珠江组地层中(只有那些珠江组地层不存在圈闭的构造如 WC9-2 没有聚集油气)。被顶替出来的文昌组油则由于恩平组源岩生气量大而不断往上运移和损耗, 最后都散失掉了。恩平组气源岩由于埋藏深且正处于生气高峰期, 因此不仅具有很强的物性封闭能力, 而且具有较强的压力封闭能力(异常压力达 60 ~ 650kg/cm²)。良好的恩平组泥岩盖层使得“自生自储”型的文昌组油得以保存下来, 这样就形成了文昌 A 凹陷含油系统。恩平组源岩排出的天然气中另外一部分则沿 T₇ 不整合作侧向运移, 向凹陷周缘高点聚集。由于 A 凹陷东缘神狐隆起上缺乏良好天然气盖层(埋藏太浅)以及东北部受 I_b 断层的阻挡, 因此神狐隆起上和 A 凹陷东北缘低凸起上都没有油气分布, 油气只分布于 A 凹陷及其西北缘的低凸起上(图 4)。

3. 2. 2 文昌 B 凹东部石油系统与西部石油系统

受 I_a 断裂的控制, 文昌凹陷各次级凹陷发育不均衡, 早期(古新世—早始新世) B 凹陷较 A 凹陷发育, 晚期(中始新世以后) A 凹陷较 B 凹陷发育,

因此 A 凹陷文昌组以上地层比 B 凹陷要厚得多。同样, 受 I_a 断裂控制, 文昌 B 凹陷内部发育也不均衡。由于 B 凹陷东部位于 I_a 断裂下降盘, 西部位于上升盘, 因此 B 凹陷东部较西部地层厚度、烃源岩生烃量等都要大, 生、排烃期也要早。此外, 由于 B 凹陷在中新世开始受控于右旋剪切应力场, 断层 I_a 具压扭性质, 它将文昌 B 凹陷一分为二, 并互相隔绝, 由此就形成了东部与西部两个油气系统(图 4)。

由于埋藏浅, B 凹陷东部文昌组油源岩进入生、排烃高峰期比 A 凹陷要晚, 它是在大约早中新世珠江组二段沉积未开始进入成熟期, 珠江组一段沉积末期开始进入生、排烃高峰期的, 文昌组顶面埋深分别为 2100m 和 2700m。到晚中新世粤海组沉积末文昌组顶面埋深达 3000m, 表明正处于生、排油高峰期。与 A 凹陷一样, B 凹陷文昌组排出的油也可分为 3 部分, 一部分以“自生自储”的形式保存下来, 一部分沿断裂向上运移, 运移的动力主要是浮力。此时 B 凹陷渐新世末以前形成的构造顶面埋深已达 800m 以上, 加上珠海组一段泥岩质纯, 对油来说已具有较强的封盖能力, 因此油气就聚集在珠海组二段砂岩之中。晚期由于构造改造, 油气沿断裂向上发生再运移, 而此时珠江组二段顶部泥岩已具良好封盖条件, 因此部分油气就聚集在珠江组二段砂岩之中。目前在文昌 19-1 构造产出的次生降解原油既属此类。第三部分油则是沿文昌组一段砂岩和 T₈ 不整合面作侧向运移。运移的动力主要是浮力和构造应力(此时 B 凹陷受控于剪切应力场)。受 I_a 断裂的阻挡, 运移的方向主要是向东南面的神狐隆起和向西北面的琼海凸起。由于此时神狐隆起上缺乏储层和良好盖层, 因此往东运移的油气都散失掉了, 而只有往西运移的油气得以聚集并保存下来。由此就形成了 B 凹陷石油系统: 垂向上由文昌组油源岩, 珠海组二段、珠江组二段与文昌组一段砂岩储层和珠海组一段与珠江组二段顶部泥岩盖层组成(图 2), 平面上主要分布于 I_a 断裂东北的 B 凹陷及琼海凸起(图 4)。

B 凹陷西部石油系统垂向上组成与东部一致, 不过由于埋藏浅, 西部文昌组生、排油的时间要晚, 生排油量也要小些。由于排油量少, 纵横向油气都不可能运移太远, 垂向上油气主要分布于珠江组二段顶部泥岩盖层之下, 平面上油气主要分布于凹陷附近不远处(图 4)。油气运移的动力也主要是浮力和构造应力。

B 凹陷中恩平组地层埋藏浅, 源岩尚处于未熟

— 低熟状态, 因此它没有能形成油气系统。

3.2.3 琼海凹陷石油系统

琼海凹陷的研究程度稍低, 但从目前的钻探情况来看它是一个石油系统。

琼海凹陷沉降幅度小, 地层厚度也小, 凹陷中只有文昌组地层达到了成油门限。从目前的情况来看, 文昌组油源岩大约是在上新世万山组沉积期间才进入成熟期的, 至今尚只有一小部分达到生油高峰, 生油能力小。此外, 由于琼海凹陷面积小, 文昌组油源岩的面积和厚度都较小, 因此生油量小, 油气运移的距离短: 垂向上, 油气主要分布于珠江组二段顶部泥岩盖层之下的珠江组二段, 珠海组二段和文昌组一段砂岩储层中, 平面上油气主要局限于凹陷本身(图 4)。

4 结论及建议

(1) 由于文昌 A 凹陷地层厚度大, 目前还没有一口井钻达深部文昌组地层, 因此对 A 凹陷深部地质情况认识不够。但从研究结果来看, A 凹陷深部应有一巨大的石油系统, 油气资源非常丰富, 因此建议加强 A 凹陷深部地层的勘探和研究。

(2) 受 a 断裂的影响, B 凹陷实际上是两个不同的石油系统, 两大石油系统的文昌组油源岩的

生、排油高峰期不同, 生油量差别也很大, 其东部的情况较西部的情况要好得多, 因此建议在面向 B 凹陷的同时, 着重加强 a 断裂北部 B 凹陷区及琼海凸起上的勘探和研究。

(3) 由于海上油气勘探成本高, 为了降低成本, 减少风险, 建议加强计算机模拟方面的研究工作。重点解决珠三坳陷的构造、沉积、地热与油气生、排、运、聚、散等过程之间的耦合关系问题, 搞清楚油气成藏的主控因素及规律, 以进一步指导勘探。由于篇幅有限, 作者将在后续文章中介绍模拟实例。

感谢中国海洋石油总公司研究中心杨甲明总工程师, 中国地质大学资源学院吴冲龙教授、王燮培教授, 南京大学地科系卢华复教授与王良书教授等的热情指导和帮助!

参考文献:

- [1] Magoon L B (ed.). The Petroleum System - a classification scheme for research resource assessment and exploration (abs.) [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(4): 587.
- [2] Perrodon A. Petroleum systems models and applications [J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319 ~ 326.
- [3] Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum system [J]. AAPG Bulletin, 1992, 75(10): 1626 ~ 1643.
- [4] 吴冲龙, 王燮培, 周江羽, 等. 含油气系统概念与研究方法 [J]. 地质科技情报, 1997, 16(2): 43 ~ 50.
- [5] 吴冲龙, 王燮培, 毛小平, 何光玉, 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.

STUDY ON PETROLEUM SYSTEMS IN ZHU- SUBBASIN OF SOUTH CHINA SEA

HE Guang-yu¹, WU Jing-fu², LIU Hai-bin³, XU Shun-ti¹

(1. Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Research Center of China National Offshore Oil Corporation, Hebei 074010, China;

3. Department of Resource, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the study of petroleum geological features in Zhu- Subbasin of South China Sea, the authors determined the main sources, reservoirs and caprocks in the subbasin by analyzing the relationship of oil(gas) and source rocks in this paper. Moreover, according to the newest definition of petroleum system, the author identified the petroleum systems in Zhu- Subbasin by analyzing the characteristics of its tectonics and deposition. The study indicated that there were different oil(gas) systems in Zhu- Subbasin at different periods. Namely, there were only one oil system in Wenchang-A depression in the early and five oil(gas) systems in the whole subbasin in the late. Finally, the authors also studied the rules of oil(gas) migration and the features of pool-forming in these systems.

Key words: Zhu- Subbasin; petroleum system; oil-system; gas system; oil(gas) migration