

文章编号: 1000-0550(2010) 05-0987-19

“源热共控论”: 来自南海海域油气田“外油内气” 环带有序分布的新认识^①

张功成¹ 朱伟林² 米立军² 张厚和¹ 梁建设¹ 屈红军³

(1 中国海洋石油研究总院 北京 100027; 2 中国海洋石油总公司 北京 100010;

3 西北大学地质系 西安 710069)

摘要 南海海域新生代经历印支—南海地台裂谷期、陆间裂谷期和区域沉降阶段, 形成大陆架、大陆坡和洋壳区三大区域构造单元。围绕洋壳区, 大陆坡和大陆架呈准环带状分布格局。沉积盆地主要分布在大陆架和大陆坡上, 亦环绕中央洋壳区呈环带状分布。南海油气勘探活动于 20 世纪 60 年代末期开始, 截至目前已发现数百个油气田, 这些油气田主要分布在南部、北部和西部等大陆边缘。油气田分布主要呈大陆架或其近陆部分以油田为主、大陆坡(也包括邻近大陆架部分区域)以气田为主的“外油内气”特征。油环区凹陷烃源岩以中深湖相泥岩或深海相泥岩为主, 沉积有机质以 I、II 型干酪根为主, 地壳相对较厚、热流值相对较低、烃源岩主要处在生油窗以内, 烃类产物主要是原油。气环区生烃凹陷烃源岩以海陆过渡相泥岩和海相烃源岩为主, 沉积有机质主要是 II₂—III 型干酪根, 地壳厚度相对较薄, 热流值高, 具“超热盆”特征, 烃源岩以生气为主。油环区主力储层是砂岩, 形成于湖相到浅海环境, 存在多套储盖组合。气环区内带存在浅水沉积和深水沉积两套储盖组合, 以深水扇和生物礁储层为主, 盖层主要为海相泥岩。以 300 m 水深为界, 油环带主要位于浅水区, 勘探程度较高; 内带气环主要位于陆架下部及陆坡区, 勘探程度较低。南海海域勘探领域正在由浅水区向深水区发展。南海油气资源丰富, 有望成为我国新的大油气区。

关键词 南海 油田分布 气田分布

第一作者简介 张功成 男 1966 年出生 教授级高级工程师 博士 石油地质 E-mail zhanggc@Cnocc.com.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

南海位于欧亚、菲律宾板块和印度洋三大板块的交汇处, 是西太平洋最大的边缘海, 面积 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占我国陆疆的三分之一, 为渤海、黄海、东海总面积的三倍(图 1)。南海北靠华南古陆, 南至加里曼丹岛, 东临台湾、菲律宾群岛, 西界为中南半岛。南海形状呈菱形, 长轴方向为北东向 30° 。南海总体地形从周边向中央倾斜, 由浅至深依次分布着大陆架(或岛架)、大陆坡(或岛坡)、中央深海平原等地貌类型(图 1)。

南海周缘陆架(或岛架)地形平坦。南海北部大陆架长 1 425 km, 最大宽度 310 km, 是世界上最宽阔的陆架之一。南海西部大陆架北起北部湾口, 南至加堆克群岛, 陆架外缘水深为 200~250 m, 呈南北向条带状分布, 长 720 km, 大部分宽 65~115 km, 南北两

端稍宽, 中间窄, 最窄处仅 27 km。南海东部岛架由台湾岛至菲律宾的民都洛岛及巴拉望岛组成, 呈南北向的狭长条带状, 岛架外缘坡折水深 100 m 左右, 在民都洛西岸外缘坡折处, 水深增大至 100~200 m, 宽 3~14 km, 坡度略大(图 1, 2)^[1, 2]。

南海大陆坡(或岛坡)地形崎岖, 高差起伏大, 是南海地形变化最复杂的区域。南海北部大陆坡东起台湾的东南端, 西至西沙海槽的西端, 呈北东向展布, 全长约 1 350 km, 宽 143~342 km, 与深海平原的分界水深为 3 400~3 700 m, 呈西宽东窄状。南海西部大陆坡北起西沙海槽, 南面以盆西南海岭南端为界, 陆坡外缘水深 3 600~4 000 m, 呈北宽南窄状。南海东部岛坡分布长而深的马尼拉海沟与吕宋海槽, 海沟深达 4 500 m 以上, 菲律宾巴拉望岛的西侧海区, 大部分海底为巴拉望岛的西北岛坡^[1, 2]。

南海洋壳区以平原地貌为主, 宏伟壮观的链状海

^①国家基础科学研究规划项目“南海深水盆地油气资源形成与分布基础性研究”(编号: 2009CB219400)和国家科技重大专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(编号: 2008ZX05025)联合资助。

收稿日期: 2010-05-20 收修稿日期: 2010-06-05

山和线状海山分布其间。南海中央洋壳区,水深 3 400~ 4 300 m,北东—南西向展布,洋壳区与陆坡交接处水深 4 000~ 4 200 m。中央洋壳区具有典型的大洋地壳特征。缺失前中新世地层,上新统一第四系分布广泛,厚度 600~ 1 500 m,其中下部沉积主要充

填于受断裂控制的凹陷中^[1, 2]。

南海海域沉积盆地非常发育,约有 20 多个,总面积超过 100 km²,主要分布在大陆架和大陆坡上(图 1、2、3)。盆地充填地层为新生界,部分区域有中生代残余盆地。南海的油气勘探是逐渐从相邻陆地推

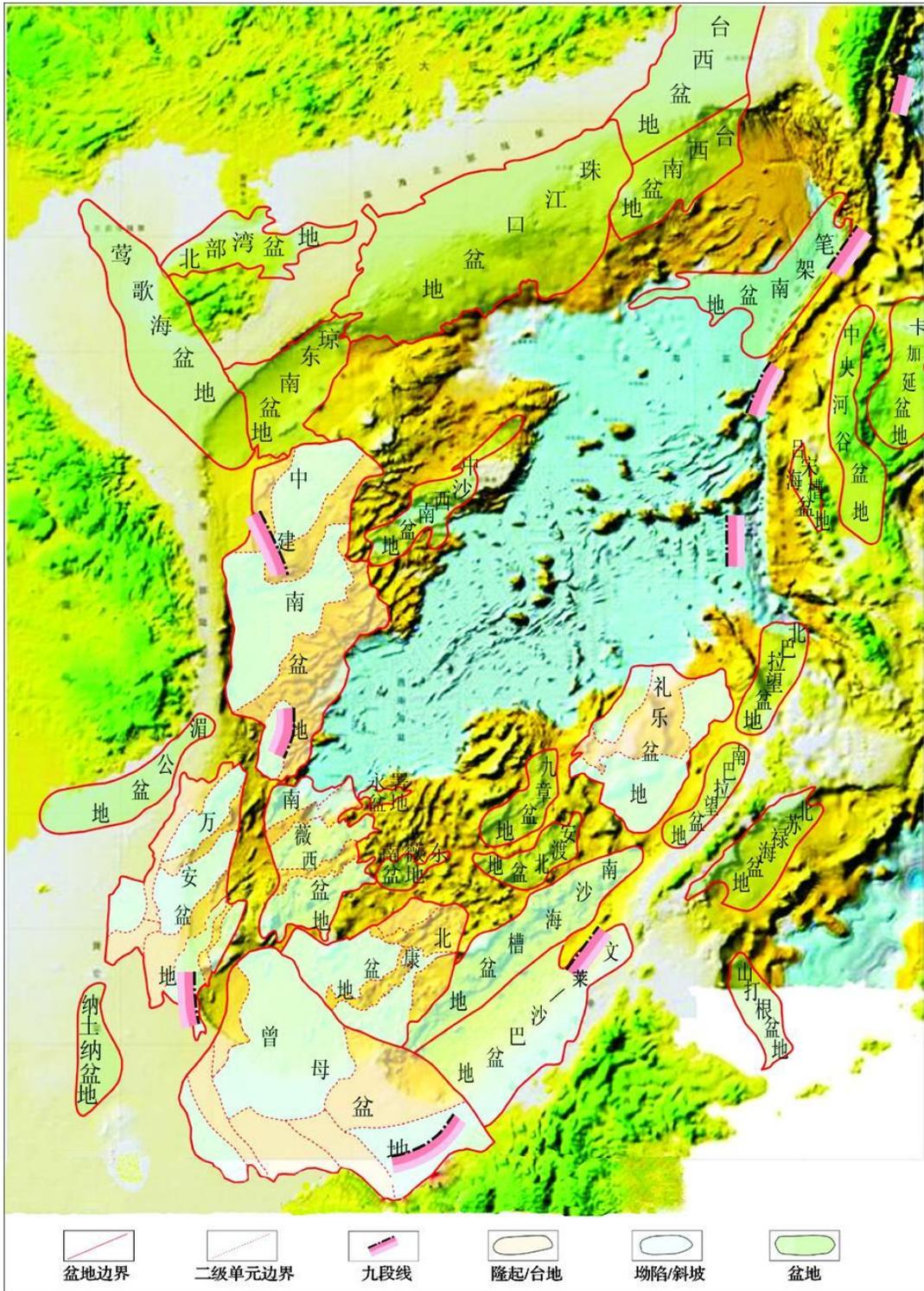


图 1 南海海域沉积盆地分布图

Fig 1 Sedimentary basins distribution in South China Sea

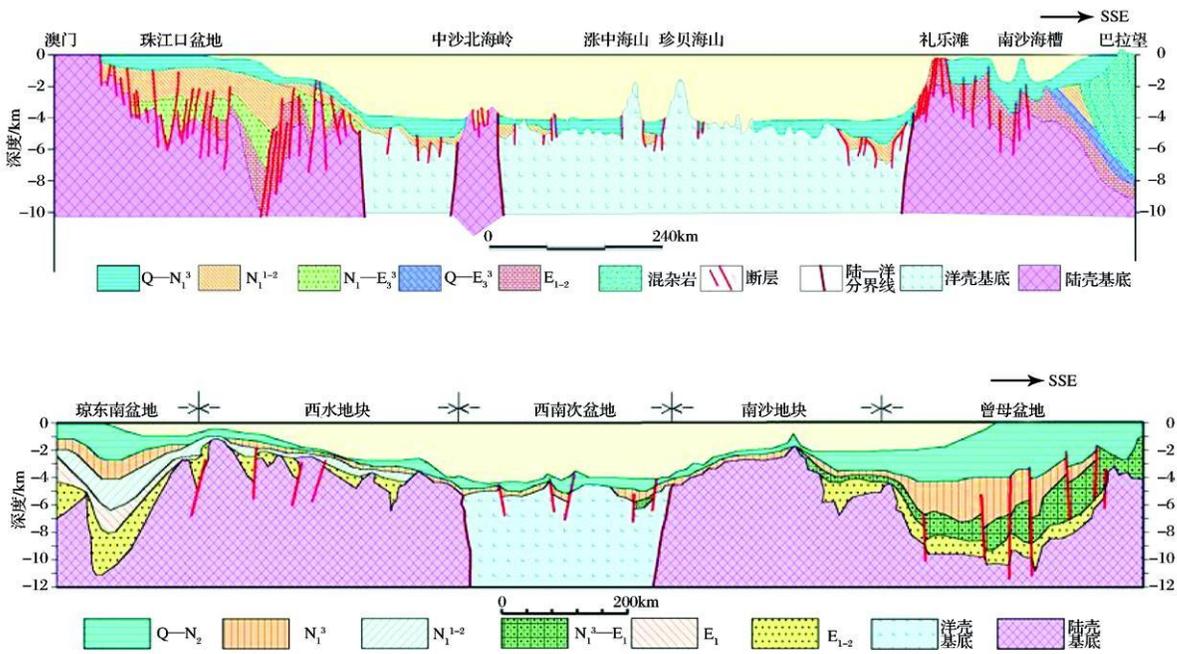


图 2 南海海域南北向区域大剖面 (据吴能友, 2006)

Fig 2 Regional geological cross-sections in South China Sea (after Wu Nengyou, 2006)

进到浅海,并从浅海推进到深海区的。南海海域周边陆地油气勘探开始较早,距今最长有 100 多年历史;海域大规模勘探开发开始较晚,主要在 20 世纪 60 年代中期,距今最长有 50 多年。但不同边缘开始也有差别。南海北部相邻陆地 20 世纪 50 年代开始在三水盆地勘探;1957 年在莺歌海盆地进行气苗调查,1978 年在乐东 8-1 构造上的莺 2 井发现气层;北部湾盆地勘探工作开始于 1963 年,1977 年钻探的湾 1 井为第一口出油井;1974 年珠江口盆地被发现,1975 年在珠江口盆地钻珠 1 井,1979 年该盆地第 5 口探井珠 5 井首次发现油层。1979 年在琼东南盆地首钻莺 9 井井发现油层。南海北部大规模油气勘探起始于 1979 年,20 世纪 80 年代在琼东南盆地浅水区、珠江口盆地珠一坳陷、北部湾盆地涠西南凹陷发现了大批大中型油气田,20 世纪 90 年代在莺歌海盆地发现一批大中型气田,进入新世纪以来在珠江口盆地南部深水区新发现一批大中型气田^[1,3]。

南海南部陆地最早 1866 年曾在文莱拉布安岛钻浅井,产少量石油;1910 年在马来西亚发现米里油田;1929 年在文莱境内发现诗里亚油田;1940 年发现杰拉东油气田;1954 年荷属壳牌公司在沙捞越近海开展地震勘探;1957 年钻 Siwa-1 井,同年在文莱近海钻 SW. Ampa-1 井;1962 年在曾母盆地发现特马纳油

田;1963 年在文莱三角洲发现西南安柏油田;20 世纪 60 年代后期进入勘探高潮,由于采用数字地震技术,资料准确,钻探成功率大为提高,相继发现了大批油气田。

截至目前,在南海各大陆边缘总计发现了数百个油气田,合计探明油气总地质储量上百亿吨油当量,其中石油与天然气约各占一半。从美国能源情报局网页上下载的数据表明,目前南海探明石油储量位居世界海洋石油的第五位,天然气探明储量位居第四位,已成为世界上一个新的重要含油气区。

1 南海海域油气田呈“外油内气”环带状有序分布

南海大陆坡和大陆架环绕中央洋壳区呈环带状分布。在陆架和陆坡区总计约发现数百个油气田,油气田分布呈“外环油内环气”分布特征。油田主要分布在靠近陆地的陆架区或其上倾部位,天然气主要分布在陆坡区及陆架区下倾部位(图 3)。

1.1 南海北部大陆边缘“北油南气”特征

南海北部大陆边缘属于准被动大陆边缘,自北向南,分布有近东西向延展的两个盆地(或坳陷)带,北部盆地(或坳陷)带是北部湾盆地—珠江口盆地北部坳陷带—台西盆地南部坳陷;中南部盆地带包括莺歌

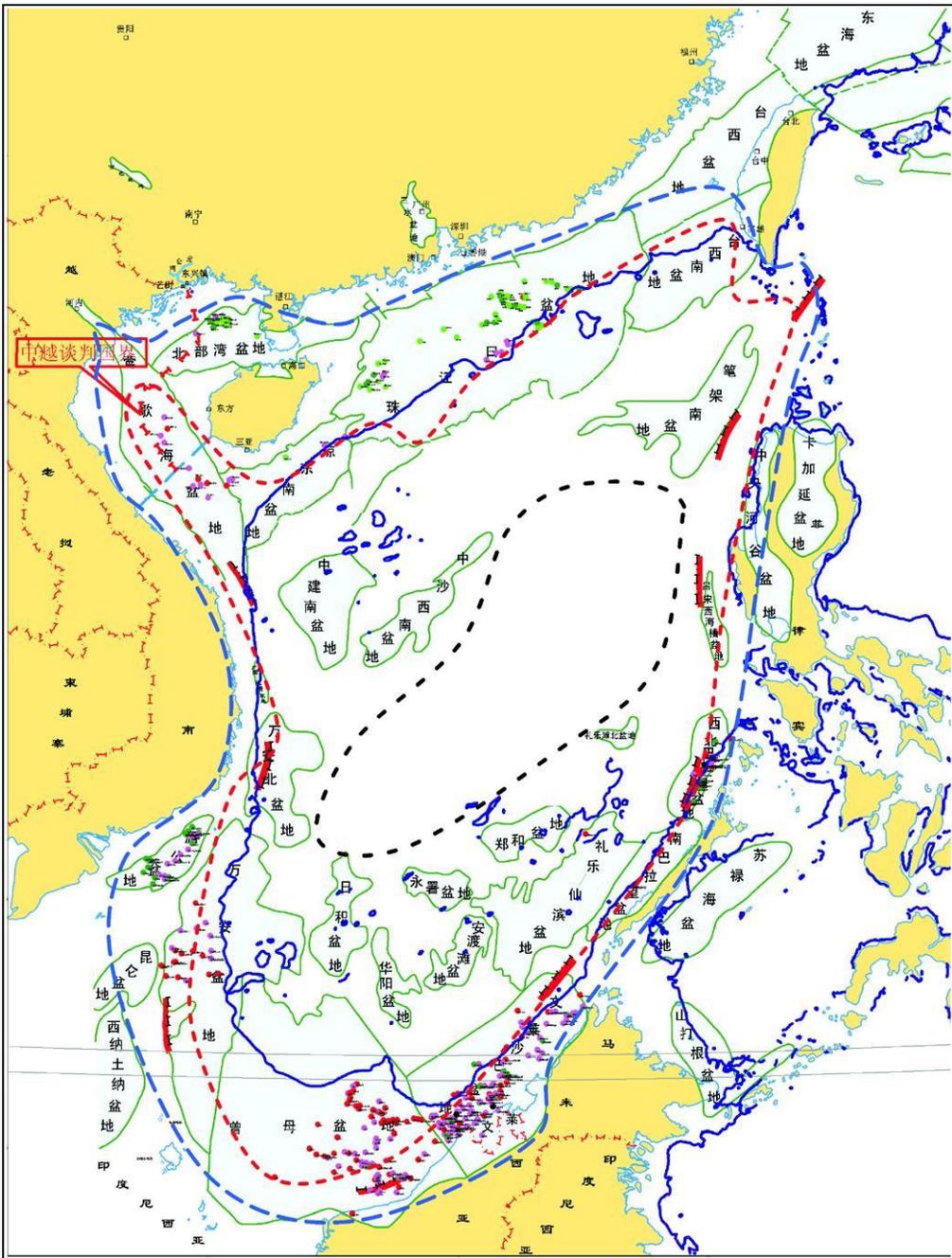


图 3 南海“外环油——内环气”油气田分布图

黑虚线以内为洋壳区,黑虚线与红线之间为气环区,红线与兰虚线之间为油环区,蓝虚线为 300 m 水深线

Fig 3 “Outside oil and insile gas” circle distribution of oil and gas fields in South China Sea

海盆地—琼东南盆地—双峰盆地—珠江口盆地南部拗陷区—台西南盆地等。

北部湾盆地位于外带主要生油。该盆地面积 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 盆地基底为前寒武系和石炭系碳酸盐岩, 盆地盖层为新生代沉积, 最大地层厚度大于 6 km。盆地分为 5 个二级构造单元, 即北部拗陷、企西隆起、

中部拗陷、南部隆起和南部拗陷。截至目前, 该盆地累计发现十多个油田, 探明石油地质储量数亿吨, 没有发现独立的游离商业气藏, 天然气都是溶解气。原油主要分布在盆地北部拗陷的涠西南凹陷和南部拗陷的福山凹陷, 天然气储量很少, 是一个典型的油盆 (图 4)^[3-6]。

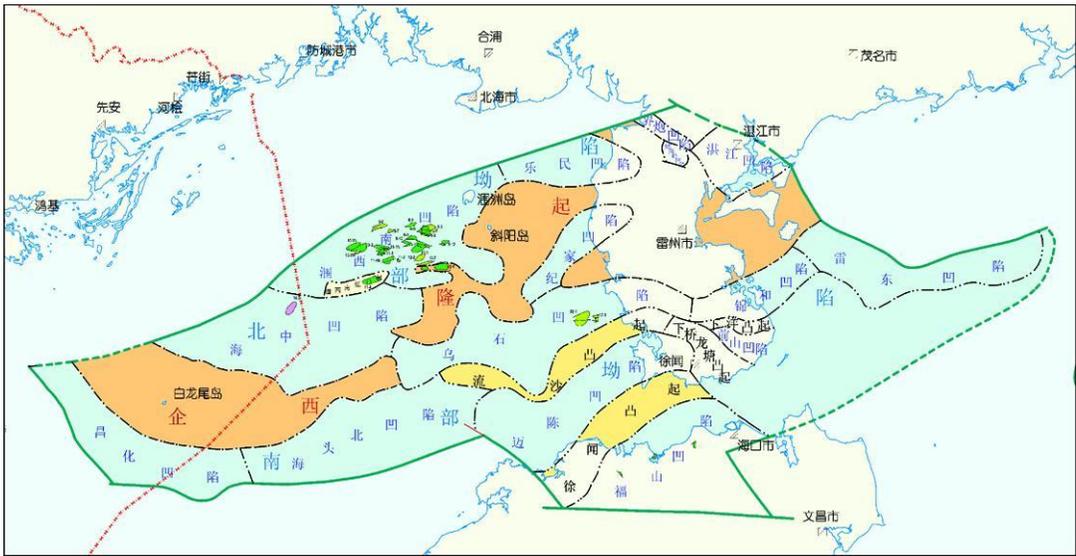


图 4 北部湾盆地油田分布图

Fig. 4 Oil fields distribution in Beibu gulf basin

琼东南盆地位于内带主要生气。该盆地面积约 $9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地基底为前寒武系变质岩和中生代火山岩,盆地盖层为新生代沉积,最大地层厚度大于 10 km 。盆地分为北部坳陷、中部隆起、中央坳陷等。该盆地主力烃源岩是渐新统下部海陆过渡相含煤地层,烃源岩热演化程度高,以生气为主。截至目前,共发现 2 个商业性天然气田,其中崖 13-1 大气田储量近千亿 m^3 。气田分布在中部坳陷西北缘崖南凹陷西部崖城 13 构造带和中部隆起西端崖城凸起上。勘探与研究结果均显示了琼东南盆地是个气盆(图 5) [3 7 8]。

珠江口盆地横跨南海北部大陆边缘的内、外两个

带,既生油又生气,主要表现为外带生油,内带生气。盆地面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地基底为前新生界,盆地盖层为新生界,最大地层厚度大于 15 km 。该盆地分为北部断阶带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带。截至目前,北部珠一坳陷和珠三坳陷及其相邻的隆起区发现的绝大多数都是油田,只在文昌凹陷内部发现几个中小型气田,在探明油气储量当量中,原油占 90% 以上,属于富油带。珠二坳陷与珠一坳陷不同,渐新世裂谷作用强烈,沉降与沉积幅度都比较大,属于叠合断陷,热流值高,以生气为主,目前在其北部番禺低隆起和东部发现一批大中型气田群 [3]。总之,

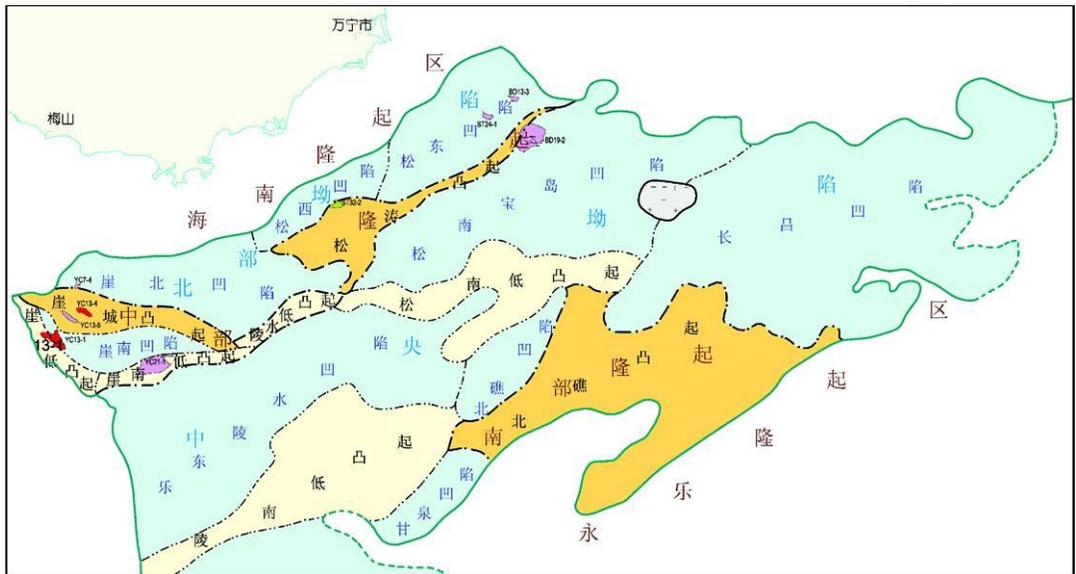


图 5 琼东南盆地气田分布图

Fig. 5 Gas fields distribution in Qiongdongnan basin

北部拗陷带属于油坳,南部珠二拗陷为气坳,呈现“北油南气”分布格局(图6)。

1.2 南海南部大陆边缘“南油北气”特征

南海南部大陆边缘北侧是与南海北缘相似的被动边缘,与今南海的扩张有关,主要表现为拉张构造形态,南侧是碰撞边缘,与古南海的消亡有关,发育一系列自南向北逆掩的叠瓦状构造,属挤压型边缘^[9-18]。

曾母盆地面积 $16.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地基底为早白垩世花岗岩闪长岩和古—始新世变质岩,盆地盖层为渐新世及其以来的新生代沉积,最大地层厚度大于 15 km。根据地震反射特征,可将沉积盖层分为 3 个构造层。下构造层地层时代为古新世—中始新世,是盆地断陷期层系,最大厚度可达 5 000 m,以河流相砂岩夹泥岩沉积为主,地层大多已褶皱变形,与上覆地层及下伏基底均呈角度不整合接触。中构造层是盆地沉降期层系,时代从晚始新世—中中新世,以海相及滨海—浅海相沉积为特征,与下伏地层呈角度不整合接触,与上覆地层呈顶超接触关系。上构造层为浅海—半深海相披覆型层系,时代为晚中新世—第四纪。曾母盆地是一叠合盆地,在盆地北部和中部,古新世至早、中始新世间属于被动陆缘沉积未变质;在盆地南部,由于南沙地块和加里曼丹地块在晚始新世至早渐新世发生强烈碰撞,这套沉积已变质为板岩,仅存在晚渐新世—第四纪前陆盆地沉积。盆地分为 8 个二级构造单元,即东巴林坳陷、南康台地、西巴林隆起、塔陶坳陷、拉奈隆起、索康坳陷、康西坳陷和西部斜坡。综合研究表明,位于东南部的东巴林间坳陷以生油为主,南康台地及康西坳陷以生气为主。截至 2007 年,该盆地累计发现油气田上百个,探明储量很大,气储量占总储量 $6/7$ 左右(图 7)^[19-24]。原油分布在盆地南部东巴林区,天然气分布在南康台地和西部斜坡,呈现“南油北气”分布格局。

文莱—沙巴盆地以廷贾断裂与曾母盆地为邻,西北缘以南沙海槽东南断裂为界,盆地东北端一直延伸到巴拉巴克断裂,它是南沙地块向巽他地块俯冲所形成的弧前盆地,面积约 $9.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[16]。盆地东部(文莱区)的基底为已经褶皱变形的晚渐新世—早中新世梅利甘组—麦粒璠组—坦布龙组的三角洲平原—深水页岩地层;盆地西部(沙巴区)的基底为褶皱的晚始新世—早中新世克罗克组深海复理石。盆地沉积盖层为早中新世或中中新世—第四纪地层,其

沉积环境为从南向北呈北西向靠近物源区的海岸平原,逐渐过渡为浅海环境至开阔海环境,纵向上以海退旋回为主,表现为后期的较粗沉积物依次迭置在前期较细沉积物之上。盆地内新生界厚度大于 10~12 km,主要为三角洲—浅海—深海沉积。该盆地可分为巴兰—文莱三角洲和沙巴两个含油气区。截至 2008 年,累计发现油气田上百个,以产油为主,油占储量四分之三左右。该盆地南部主要为油田,北部为气田,呈现“南油北气”分布格局(图 8)。

北康盆地是位于南沙中部海域的大型新生代沉积盆地,面积 $6.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,其西南部以北西走向的廷贾断裂带与曾母盆地相邻,其东部和北部以宽窄不一的隆起带与文莱—沙巴盆地、南沙海槽盆地、安渡北盆地、南薇东盆地和南薇西盆地相隔,水深 100~2 000 m。基底主体为火成岩体,部分为前新生代变质岩,沉积盖层由第四系、上新统、上中新统、中中新统、下中新统—上渐新统、下渐新统—上始新统和中始新统 7 套地层组成,厚度最大可超过 13 km。盆地演化经历了古新世—中始新世断陷期,晚始新世—中中新世断拗—走滑、挤压隆升期,晚中新世—第四纪区域沉降期,形成 6 个二级构造单元,即西部坳陷、中部隆起、东北坳陷、东南坳陷、东北和东部隆起等。北康盆地发现 1 个气田(图 9)^[25-27]。

1.3 南海西部大陆边缘“西油东气”特征

南海西部大陆边缘沿印支陆块东侧延伸,具强烈的走滑活动性属剪切—拉张型边缘,分布有湄公盆地、万安盆地、莺歌海盆地和中建南盆地,总体沿南海西部边缘的陆架、陆坡区海域呈带状分布。

湄公盆地位于陆架区湄公河口南侧,水深小于 100 m。该盆地面积 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地基底为侏罗—白垩纪花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩。沉积盖层由中始新—第四系组成,地层厚达 10 km。盆地包括 6 个二级构造单元,即西部坳陷、中部隆起、东北坳陷、东南坳陷、东北和东部隆起等。该盆地石油资源十分丰富。湄公盆地目前至少已发现 10 个油田,其中白虎、曙光、黑狮、龙和金枪鱼这 5 个油田的储量约 2.6 亿 t;该盆地属于油型盆地(图 10)。

万安盆地是扭张盆地,总面积约 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 11)。盆地基底为中生代晚期侵入岩、火山岩和前新生代沉积变质岩^[2],盖层由始新统一第四系组成,新生界厚度最大大于 12 km。万安盆地经历了地堑—半地堑、坳陷、压扭和区域沉降等 4 个构造演化

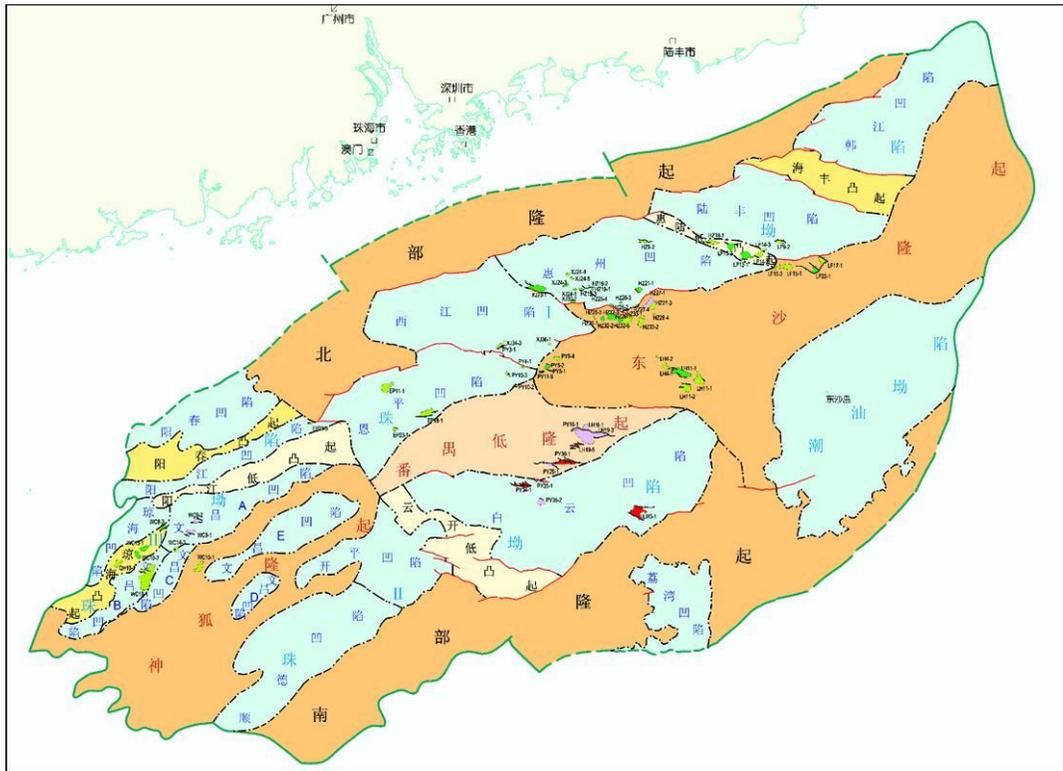


图 6 珠江口盆地油气田分布图

Fig 6 Oil and gas fields distribution in Pearl rivermouth basin

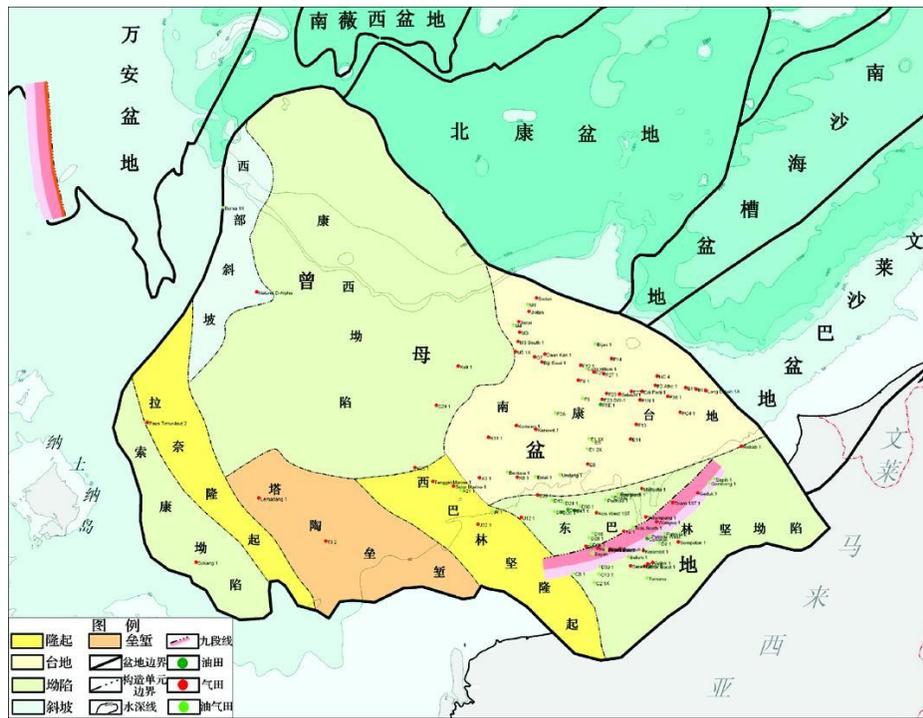


图 7 曾母盆地油气田分布示意图

Fig 7 Oil and gas fields distribution in Zengmu basin

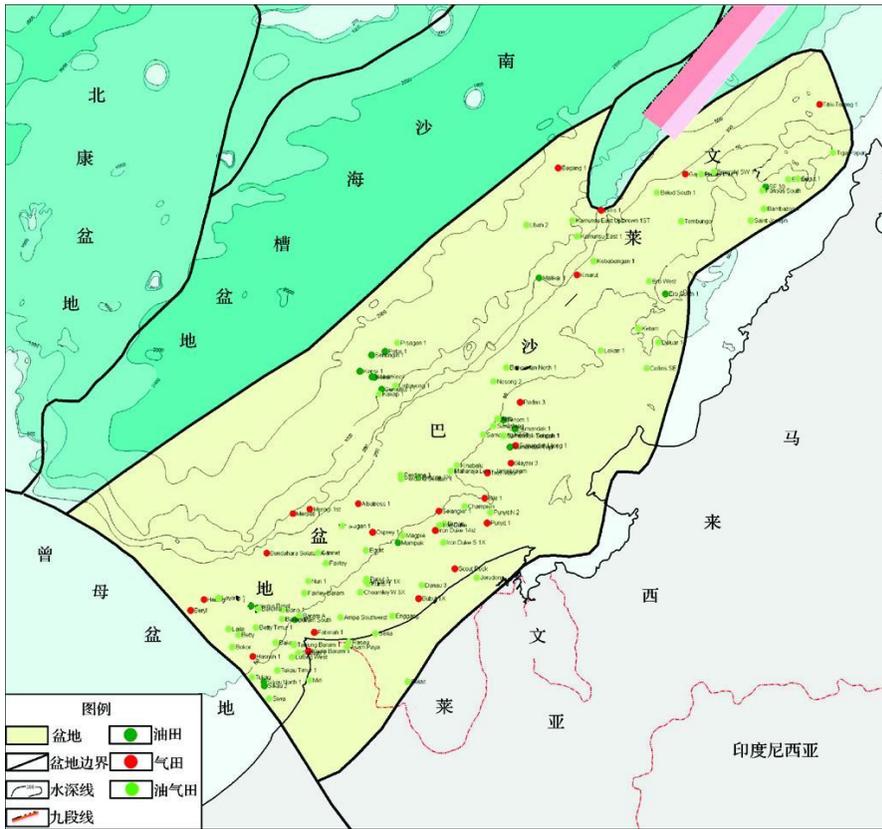


图 8 文莱—沙巴盆地油气田分布示意图

Fig 8 Oil and gas fields distribution in Wenlai-Shaba basin

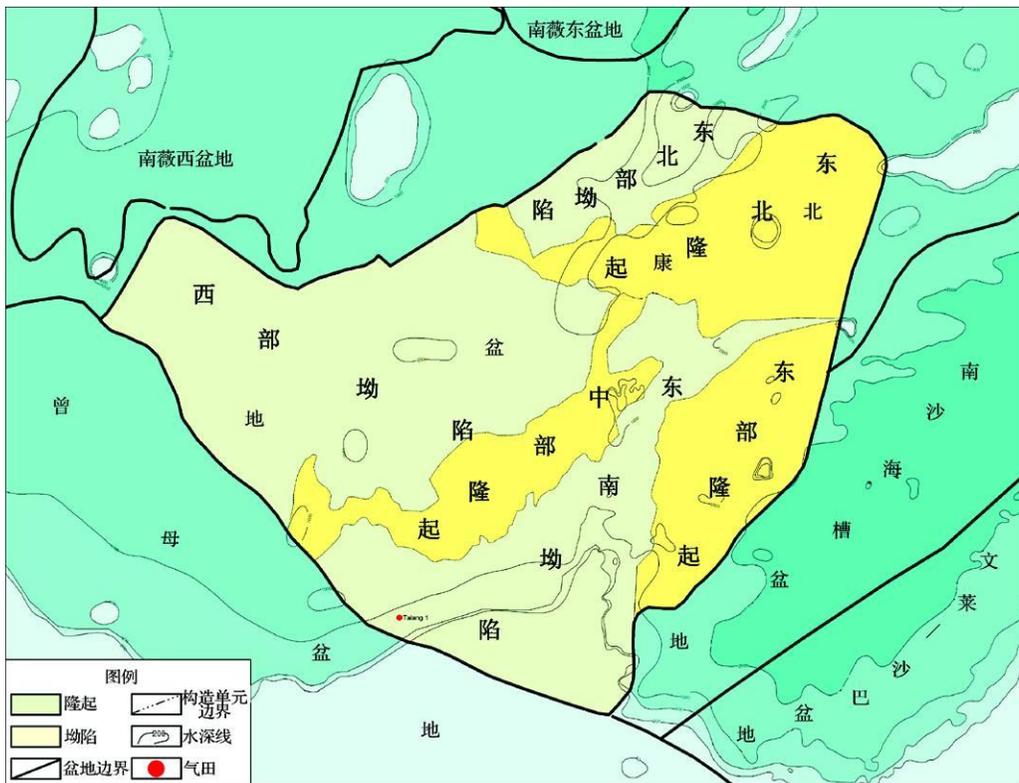


图 9 北康盆地油气田分布示意图

Fig 9 Gas fields distribution in Beikang basin

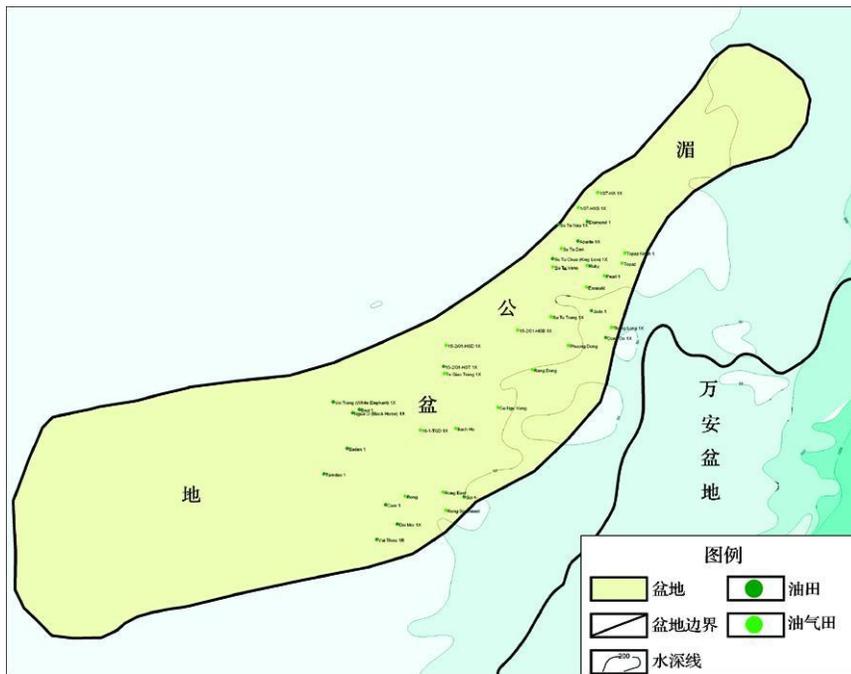


图 10 涪公盆地油气田分布示意图

Fig 10 Oil fields distribution in Meigong basin

阶段。断陷阶段发生于渐新世,是烃源岩形成的主要阶段;拗陷阶段发生于早中新世—中中新世早期,是盆地储集层形成的主要阶段和次要烃源岩的生成阶段;压扭作用发生于中中新世—晚中新世,是盆地构造圈闭形成的重要阶段,也是灰岩储层形成的主要阶段;区域沉降阶段发生于上新世—第四纪,盆地油气勘探目的层的区域性盖层在该阶段形成^[2,16]。万安盆地由 10 个二级构造单元组成,即西部拗陷、西南斜坡、西北断阶、北部拗陷、北部隆起、中部拗陷、中部隆起、南部拗陷、东部隆起和东部拗陷等^[2]。盆地内的二级构造单元主要受北东向断层控制,拗陷一般呈东断西超的箕状,局部呈东、西断的地堑型;低隆起或隆起在盆地边部为古隆起斜坡,在盆中部为断隆。北部拗陷沉积中心位于拗陷南部断层一侧,呈东断西超的箕状。中部拗陷北部厚,南部薄,拗陷呈北东向,沉积厚度一般为 8~12.5 km,南部沉积较薄,为 3~8 km。南部拗陷位于盆地的东南部,拗陷的中—北部为北东向,呈西超东断的箕状,沉积厚度 4~11 km,拗陷南部为北西向,呈西断东斜的箕状,沉积厚度较薄,为 3 000~5 600 m。东部拗陷位于盆地东部,呈 NNE 向,为东断西超的箕状,沉积中心位于东部断层一侧,沉积厚度 5 000~8 000 m^[28]。

万安盆地的油气勘探始于 20 世纪 70 年代,截至目前,累计发现油气田 26 个,主要聚集于中部地区,

油气田分布以中部拗陷为中心,包括北部隆起、西北断阶带和中部隆起等构造单元,并且在中部隆起、北部隆起和中部拗陷上的含油气构造均获得了高产工业油气流。从油气藏产层的时代分析,油气主要产于中新统砂岩、其次为渐新统砂岩、中—上中新统碳酸盐岩。渐新统储层的油气藏主要分布于西南斜坡和中部拗陷西部边缘,并且前者以气藏为主,后者则油气兼有。下中新统砂岩油气藏主要分布于西北断阶带和北部隆起,以产油或凝析油为主。中—上中新统油气藏主要分布于中部拗陷和中部隆起,其中在中部拗陷以砂岩储层为主,除了西钻石油气藏(KCT)以油为主和木精(MT)含气构造含有一定的轻质油和凝析油外,基本上都是气藏,而在中部隆起上则是以中—上中新统灰岩为储层的气藏^[16]。总的来说,石油主要分布在北部隆起及其邻区,天然气主要分布在中部隆起及其邻区(图 11)^[27-30],呈现“西油东气”分布格局。

1.4 南海东部大陆边缘“东油西气”特征

南海东部大陆边缘西缘发育沟、弧、盆组合以及典型的蛇绿岩套,是典型的沟—弧构造体系,属洋壳向陆壳俯冲挤压消亡型边缘。南、北巴拉望盆地位于巴拉望岛和卡拉绵岛西北大陆架及大陆坡上,面积约 $1.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地基底为晚古生代—中生代变质岩、沉积岩和酸性岩浆岩,盖层为上侏罗统一白垩系

海相碎屑岩、凝灰质页岩、上始新统一第四系海相碎屑岩、碳酸盐岩等。截止目前，北巴拉望盆地发现油气田 30 个，南巴拉望盆地发现气田 1 个。北巴拉望盆地油气呈现东部油多，西部气多的特征 (图 12)。

综合南海四周大陆边缘，作者发现其油气分布大致呈“外油内气”的环带状分布特征。内核为南海中

央洋盆区，基底为典型洋壳，沉积层很薄。内环带为过渡壳，沉积盆地或凹陷发育，以气田为主。外环带为偏陆的过渡壳，盆地主要生油。油环与气环分界线位置不完全与陆坡与陆架界线一致 (图 3)，反映了油气分布可能受多个因素控制。

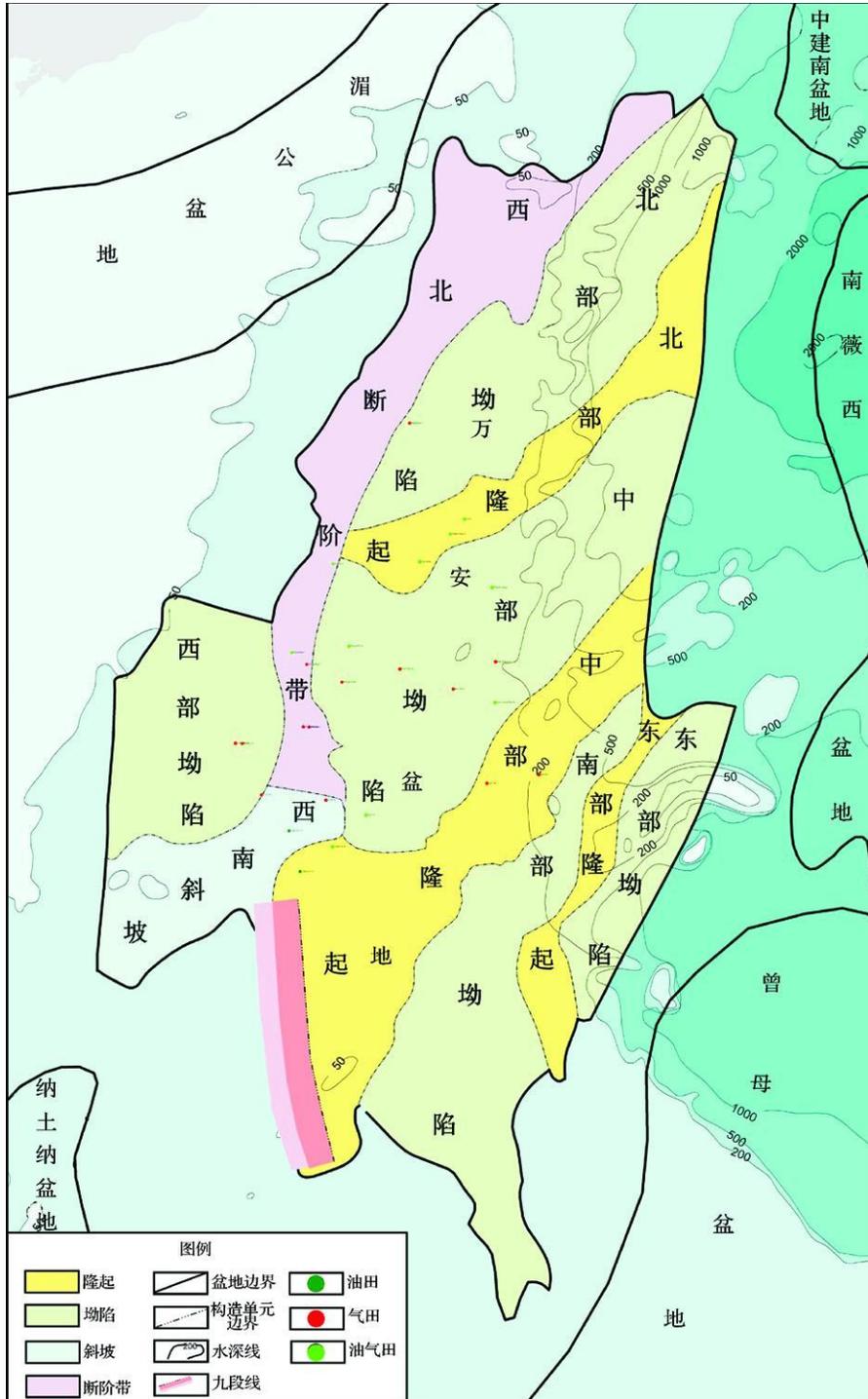


图 11 万安盆地与油气田分布示意图

Fig 11 Distribution of oil and gas fields in Wan'an basin

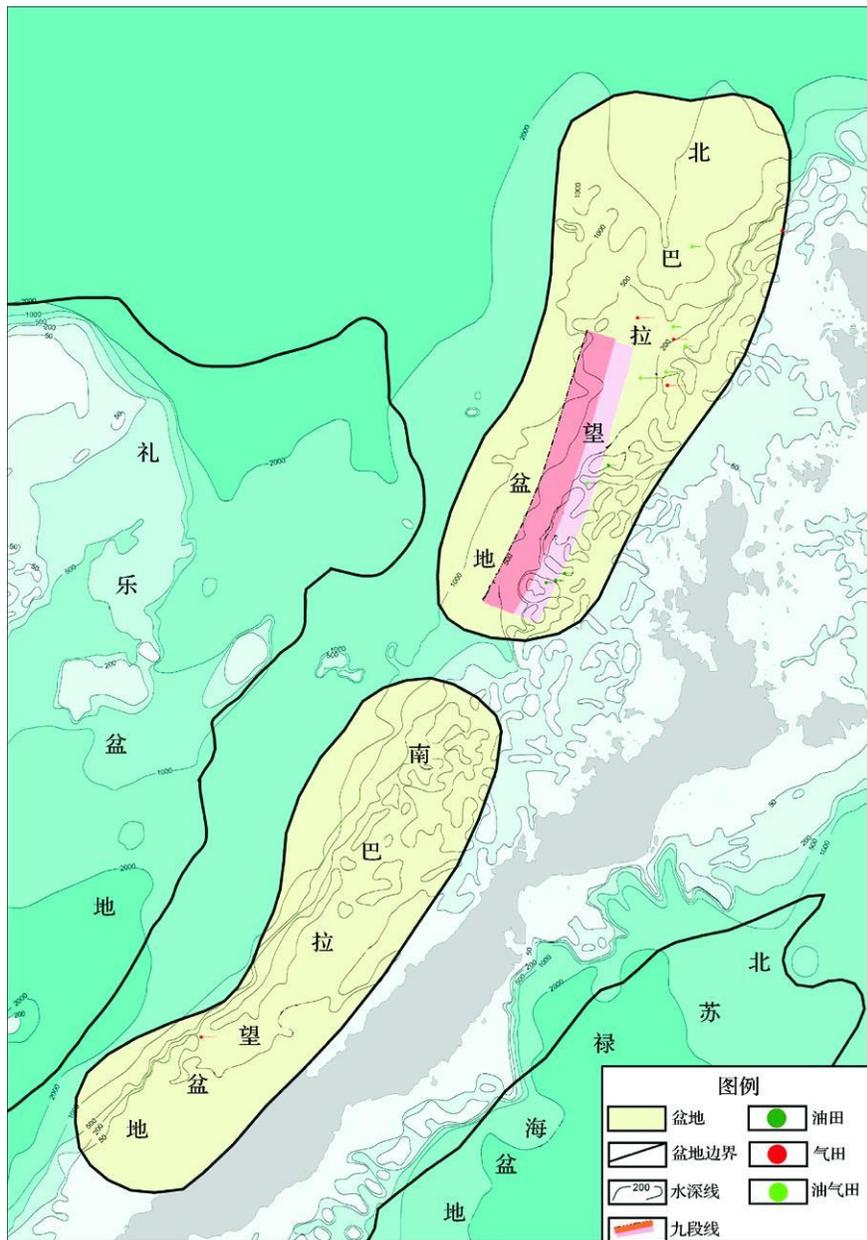


图 12 南、北巴拉望盆地与油气田分布示意图

Fig 12 Distribution of oil and gas fields in Palawan basin

2 “源热共控”南海油气有序分布

2.1 “源热共控”南海北部大陆边缘油气田“外油内气”有序分布

南海北部大陆边缘存在始新统中深湖相和渐新统湖沼相或海陆过渡相或海相泥岩两套烃源岩,前者 I 型和 II₁ 型干酪根发育,后者 II₂ - II 型干酪根发育。南海北部大陆边缘平均热流值为 71.9 mW / m²,外带陆架区地温梯度为 30~40℃ / km,平均热流值 66 ± 9.8 mW / m²;陆坡内带区地温梯度 60~160℃ /

km。平均热流值 77.5 ± 14.8 mW / m²(图 13、14)。

南海北部大陆边缘外带陆架区始新统中深湖相烃源岩埋藏深度普遍处在生油窗内,部分始新统已进入高成熟状态,因此本带的烃类产物主要是油,只在个别埋藏较深的凹陷形成少量天然气。珠江口盆地北部坳陷带(含珠一坳陷和珠三坳陷)烃源岩主要发育在始新世文昌组中深湖相地层中,以 II₁ 型有机质为主。北部湾盆地由于渐新统烃源岩上覆层厚度薄,埋藏浅,热流值低,烃源岩普遍未成熟,因而既未形成石油,也未形成天然气,对成藏没有显著贡献。陆架

区珠一坳陷及珠三坳陷渐新统恩平组烃源岩虽普遍成熟,但对成藏贡献处于次要地位。

南海北部大陆边缘陆坡区内带属于持续沉降凹陷,凹陷内自下而上发育了始新世湖相烃源岩、渐新



图 13 南海北部大陆边缘盆地与油气田分布示意图

Fig 13 Distribution of oil and gas fields in northern margin in South China Sea

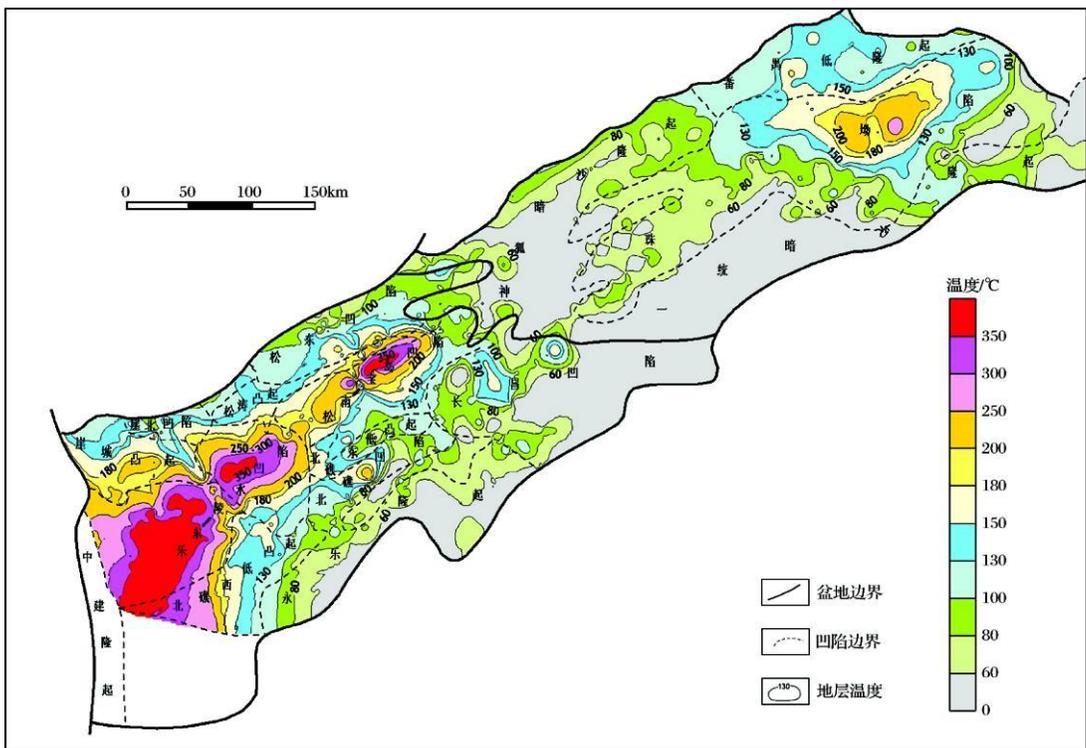


图 14 珠江口盆地南部—琼东南盆地渐新统烃源岩底部现今温度图

Fig 14 Present temperature distribution in Lower surface of Oligocene source rock

in Qiongdongnan and southern PearlMouth Basin

统下部海陆过渡相和上部海相烃源岩。由于新近系厚度大和(或)热流值太高,这三套烃源岩均已成熟且都以生气为主。始新统烃源岩受高温高压作用多处于气窗。渐新统以 II₂型和 II型干酪根为主,也主要生成天然气。如琼东南盆地渐新统崖城组湖沼相和陵水组海相烃源岩。珠二坳陷渐新统恩平组湖沼相和珠海组海相烃源岩。

2.2 “源热联控”南海南部大陆边缘油气田“外油内气”有序分布

曾母盆地烃源岩主要以上始新统一下中新统的曾母组、立地组为主,主要生成天然气。钻井及类比分析结果表明,曾母盆地主要发育渐新统海陆过渡相碳质页岩、煤层和海相泥岩以及下一中中新统海相泥岩两大套烃源岩,有机质类型以 II—II型干酪根为主。据国外研究,在盆地东部地区(东巴林坚坳陷、西巴林坚隆起和南康台地),上渐新统下部烃源岩海岸平原煤层、分流河道间海湾/冲积平原相泥岩和异地煤层为良好的烃源岩,钻井揭示的泥岩厚度为数十米,煤层厚度大于 10 m。煤层有机碳为 40%~80%, S₂值(产烃率)为 40~194 kg/t HI值(氢指数)为 388~406 mg/g 具有好的生烃潜力;冲积平原页岩的生烃潜力很小, S₂值一般小于 5 kg/t 分流河道间海湾页岩有机碳为 1%~21%, S₂值为 3~90 kg/t HI值为 164~435 具有中等一好的生烃潜力。上渐新统一下中新统烃源岩分布在康西坳陷、塔陶垒坳和索康坳陷

等盆地西部,烃源岩为过渡相含煤页岩,有机碳 0.69%~0.93%,有机质类型为 II—II型干酪根,并且往坳陷中心有机质丰度增高,类型变好,具有中一好的生油能力。煤层含有 25%的蜡质腐植化合物,为生油气干酪根。目前钻井尚未揭示中中新统烃源岩的地球化学特征,根据最新地震解释成果分析,中中新统烃源岩主要分布于康西坳陷和南康台地,且两者烃源岩类型有所差异,康西坳陷主要发育海相泥岩和泥灰岩, P_s值(砂岩百分量)为 25%~50%,泥岩厚度一般 1500~2500 m,南康台地烃源岩以浅海泥灰岩相和碳酸盐岩台地相为主^[22]。曾母盆地平均热流值达 97 mW/m²(图 15)。

文莱—沙巴盆地烃源岩为塞塔普深海页岩和前三三角洲泥岩,时代为 E₃上部—N₁下部,最大厚度约 5000 m。有机质类型以潮汐相、海湾相低成熟的 I—II型干酪根为主。南部东区(古俯冲带)为显著低热流背景。

北康盆地中始新统一下渐新统湖沼及海相泥岩、炭质泥岩、煤层发育,品质较好,有机质类型为 II—III型干酪根。中始新统以湖泊、沼泽相泥岩沉积为主,泥岩厚度一般在 200~1200 m 之间,有机碳含量为 0.5%~2.0%,干酪根类型为 II—II型,为较好烃源岩。上始新统一下渐新统在盆地西部为海陆过渡环境,东部为浅海环境,大部分地区泥岩厚度为 200~600 m,凹陷部位厚度为 600~1200 m,有机碳含量为

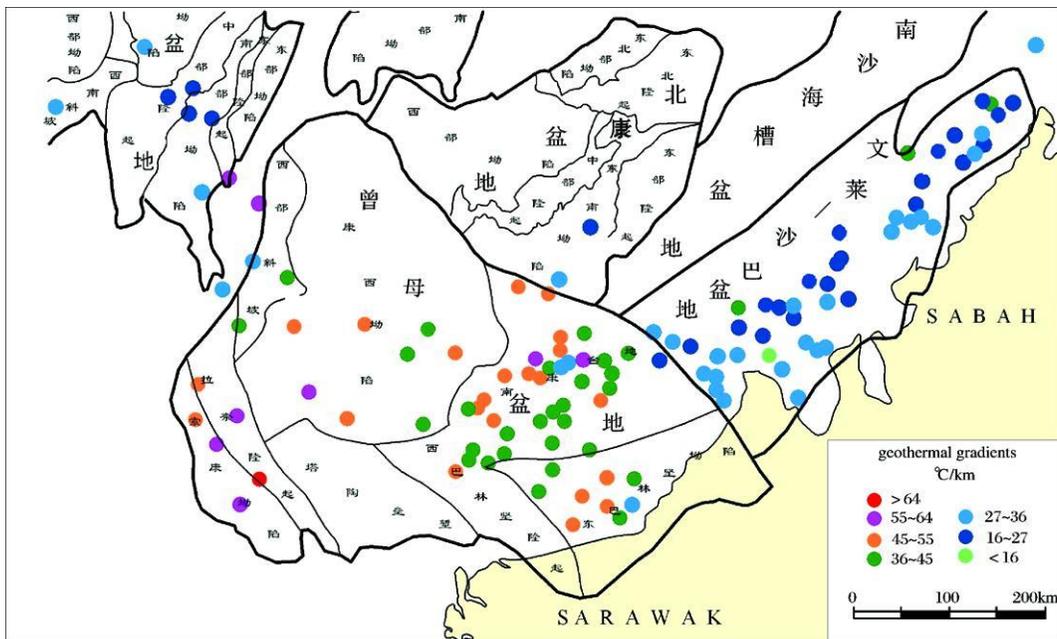


图 15 曾母盆地及文莱—沙巴盆地地温梯度图 (M aztan B H j M adon 1998)

Fig 15 Geotemperature gradients distribution in Wenlai-Shaba basin

0.5% ~ 2.3%, 类型为 II—III 干酪根, 为较好的烃源岩。上渐新统一下中新统为滨海、浅海—半深海环境, 泥岩厚度一般为 400~600 m, 局部地区 600~1100 m, 有机碳含量为 0.63% ~ 1.5%, 类型为 II—III 型干酪根, 为较好烃源岩。目前始新统、渐新统烃源岩处于成熟—高成熟演化阶段, 既生油又生气, 以气为主^[31]。

2.3 “源热联控”南海西部大陆边缘油气田“外油内气”有序分布

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, 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 III—II₂ 型为主, 变为以 II 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。西区边界因断裂扭张及深部热源异常补给为另一高热流背景区; 西部热流受南海西部断裂带影响由北西往东南逐渐升高。北低南高, 与地壳、岩石圈厚度变化一致, 最小值: 24.22 mW/m², 最大值: 121 mW/m², 平均值: 71.9 mW/m²。高值异常与岩浆岩分布、断裂活动有关(图 16)。

2.4 “源热联控”南海东部大陆边缘油气田“东油西气”有序分布

巴拉望盆地烃源岩为尼多组(渐新世—中新世)和塞恩—里弗特组(尼多组之下)。巴拉望西南部圣地亚哥 1 号井底部 90 m 厚的尼多组, 以及塞恩—里弗特组白垩纪页岩的 TOC 高于 20%, S₁+S₂ 为 200~280 mg/g。镜质体反射和热变指数均表明, 此层位生油层完全成熟。只有少数钻井钻到塞恩—里弗特组, 其中大部分位于盆地边缘。在卡德劳 1 号井的塞恩—里弗特组钻到生油岩, 古新世—始新世泥岩和褐煤的 TOC 值达 63%, S₂ 达 113 mg/g。几口含有深水相尼多组钻井钻到良好的生油岩。在加洛克 1 号井覆于尼多组之上的海侵相砂岩层测到石油。尼多组为半深海相碳酸盐, TOC 为 3%, S₁ 高于 2 mg/g。氢指数(HI)高于 200 mg/g。在卡德劳特和西利纳帕坎油

田也见到相似的岩相。加洛克 1 号井生油岩相与尼多和马丁洛克油田相一致。巴拉望西北部尼多组呈深水相表明为原始生油岩层。显然, 塞恩—里弗特组也是生油层。巴拉望西南部滨外存在一个古新世至中中新世冲断复合体。在冲断层中测出油苗和天然气, 表明冲断层或其下方隐伏着生油岩。南沙海域东部, 烃源岩的时代较老。礼乐盆地以古新统泥岩和始新统海相泥岩为主要的烃源岩, 北巴拉望盆地以早—中中新世钙质泥岩为主要生油岩。此外, 还发育了白垩系页岩烃源岩, 并且以生气为主。

2.5 “源热联控”南海油气田环带状有序分布

“源控论”是我国石油地质学家对石油地质学的重要贡献, 突出了烃源灶分布控制油气田分布, 反映油气近源分布的特征。进一步研究发现, 生油凹陷的类型也控制了油气类型, 生油型凹陷主要生成的是原油, 在其内部及周边主要分布的是油田。生气凹陷生成的主要是天然气, 在其内部及周边分布的主要是气田。生油气凹陷分布决定了油气田分布。凹陷是生油还是生气或既生油又生气既取决于内因又受控于外因, 内因主要是烃源岩有机质类型, 外因主要在于烃源岩所经历的最大热作用事件。油气分布受烃源岩和热场双重因素控制, 外环带的石油分布受中深湖或海相泥岩烃源岩及相对低热场控制, 内环带天然气分布主要受海陆过渡相烃源岩及海相陆源沉积有机质及相对高地温场控制(表 1, 图 3)。

南海各沉积盆地主要发育始新统湖相泥岩、渐新统滨岸沼泽相煤系和中中新统海相泥岩、炭质泥岩 3 套烃源岩(表 1)。始新统湖相泥岩有机碳含量在 1.5% ~ 2.0% 之间, 母质类型以 II₁ 型干酪根为主; 渐新统滨岸沼泽相煤系地层中泥岩、炭质泥岩的有机碳含量在 1.0% ~ 2.0% 之间, 以 II₂ 型干酪根为主, 煤层有机碳含量高达 80%, 平均为 23.18%, 主要为 III 型干酪根, 以生气为主; 中新统浅海—半深海相泥页岩有机碳平均为 0.5% ~ 0.7%, 主要为 II—III 型干酪根^[31]。受构造迁移作用控制, 南海各大陆边缘外带陆架区以中深湖相泥岩或海相烃源岩为主, 内带陆坡区或陆架区下部以海陆过渡相和海相烃源岩为主, 局部深层下覆中深湖相烃源岩。

根据南海数百个热流数据, 编制了南海热流趋势分布图, 南海热流值由陆架区向海盆区有逐渐增加的趋势。南海及周边区域热流值介于 13~170 mW/m² 之间, 80.6% 集中于 50~120 mW/m², 热流算术平均值为 76.15 mW/m²。中央海盆区具有显著高热流特

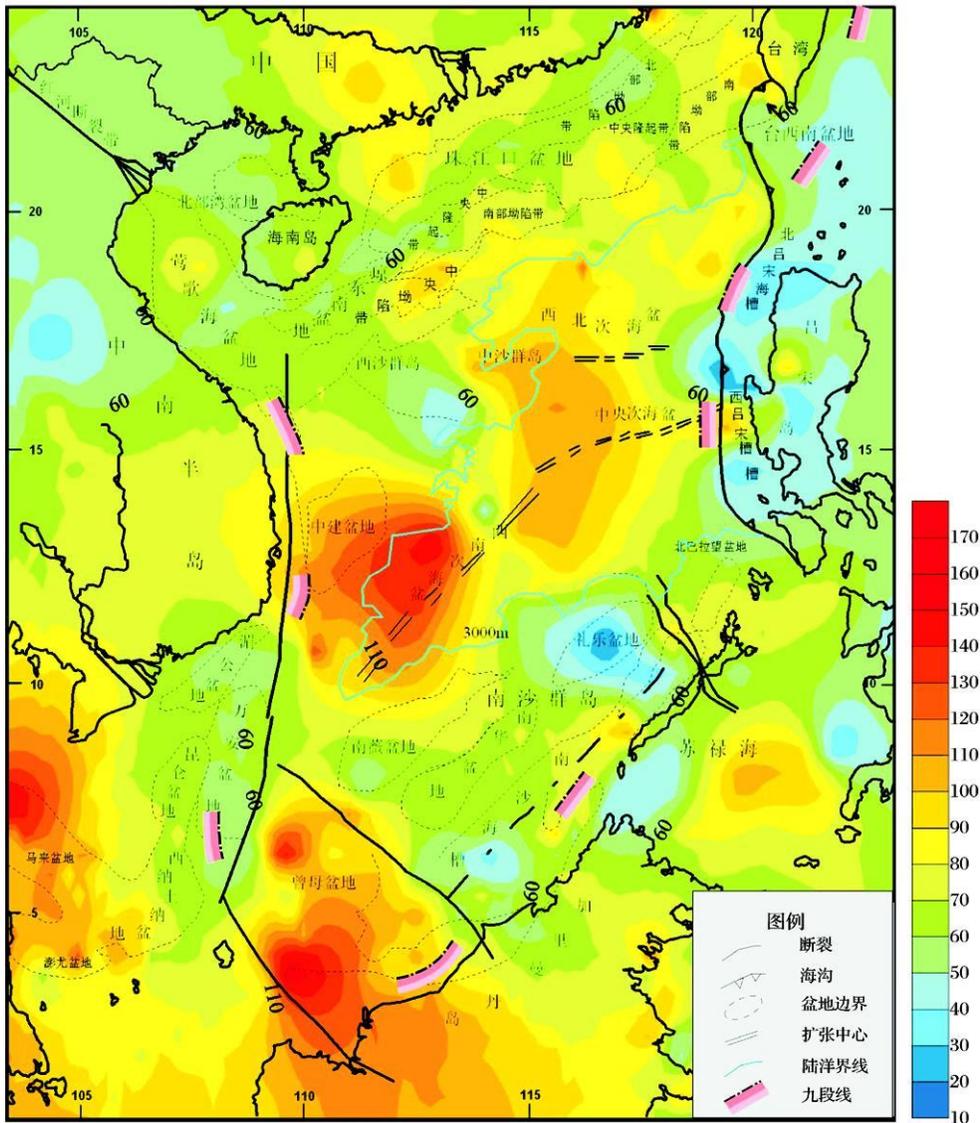


图 16 南海热流图

Fig 16 Heat-flow map in South China Sea

征。南部西部大陆边缘因断裂扭张及深部热源异常补给为另一高热流背景区,热流受南海西部大断裂带影响由 NW 往 SE 逐渐升高,北低南高,与地壳、岩石圈厚度变化一致,最小值 24.22 mW/m^2 ,最大值 121 mW/m^2 ,平均值 71.9 mW/m^2 。北部被动大陆边缘区的热流总体不高,热流值约 60 mW/m^2 ,与稳定大陆的热流相近。南部东区(古俯冲带)为显著低热流背景。南海东部大陆边缘为活动的沟—盆—弧系统,为低热流区。高值异常与岩浆岩分布、断裂活动有关。不同区域的热流分布总体上受控于所在的构造环境。东部次海盆热流随年龄的变化基本符合经验关系的预测;西南次海盆的热流普遍低于预测值,推测是侧向热量流失造成的东部海沟区热流相对较低。南部

边缘廷贾断裂以西和具有剪切性质的南海西部陆缘具有高热流特征。位于拉张背景下的南海北部盆地和中建盆地具有中等偏高的热流值(图 16)。洋壳区热流值高,但目前发现其沉积层时代新,厚度普遍较薄,预测在厚度较大的区域如沉积层烃源岩发育,有可能成烃,且生油气门限比一般陆壳和过渡壳上的盆地要低得多。东、西、南、北各大陆边缘热流不同,总体呈西南大陆边缘最高、西部大陆边缘较高、北部大陆边缘次高、东部大陆边缘最低的态势。即使在同一大陆边缘,也存在纵向差异,如南海北部大陆边缘、南部大陆边缘也都呈西高东低特征,北部大陆边缘莺歌海盆地—琼东南盆地高于珠江口盆地,南部大陆边缘曾母盆地高于文莱—沙巴盆地。但在同一大陆

表1 南海沉积盆地烃源岩特征

Table 1 The character of source rock in the basins in the South China Sea

盆地位置	盆地或拗陷	主要烃源层	时代	沉积相带	岩性	干酪根类型	泥岩有机碳含量 %	主要烃类产物
外带	北部湾盆地	涠洲组	E ₃	湖沼、河沼相	泥岩、碳质泥岩、煤层	II - III	0.4~3.61 平均 0.86	油、气
		流沙港组	E ₂	中深湖相	泥岩	I - II ₁	0.46~4.29 平均 2.03	油
	珠江口盆地北部拗陷带	恩平组	E ₃	湖沼、河沼相	泥岩、炭质泥岩、煤层	II - III	0.4~4.0 平均 1.50	油、气
		文昌组	E ₂	中深湖相	泥岩	I - II ₁	0.60~5.22 平均 2.35	油
西部大陆架	台西南盆地南部拗陷	古新统	E ₁	湖相	泥岩	I - II ₁	0.5~2.0	油、气
带	万安盆地中西部	万安—季准组	N ₁ ¹⁻²	海陆过渡相、海相	泥岩	II - III	0.69~0.93	油、气
		西卫群	E ₃	海陆过渡相、湖相	泥岩、炭质泥岩、煤层	I - III	0.5~2.26	油、气
	中建南盆地		E ₃ -E ₂	湖相	泥岩	II	无资料	油、气
			N ₁ ¹⁻²	海陆过渡相、海相	泥页岩、煤层及炭质泥岩	II - III		
南部大陆架	曾母盆地南部	Setap	E ₃ -N ₁ ²	海陆过渡相、海相	泥岩、炭质泥岩、煤层	II - III	西部 0.63~0.93 东部 1.0~2.10	油、气
	文莱—沙巴南部	Setap	E ₃ -N ₁ ²	海陆过渡相、海相	泥岩、炭质泥岩、煤层	II - III	无资料	油、气
东部大陆边缘	北巴拉望	Pagasa	N ₁ ¹⁻²	海相	页岩、灰岩	II - III	0.50~2.48	油
			E ₂		泥岩			
			K	海陆过渡相	页岩			油、气
内带	台西南盆地北部拗陷	中新统	N ₁	海陆过渡相、海相	泥岩、炭质泥岩、煤层	泥岩、炭质泥岩、煤层	0.5~2.0	气
	珠江口盆地南部拗陷带	文昌—恩平组	E ₃ -E ₂	湖泊相—过渡相	泥岩	I - II	平均 2.35	气、油
	琼东南盆地	崖城组—陵水组	E ₃ -N ₁	沼泽相、过渡相	泥岩、煤层	II - III	0.4~2.50	气、油
	莺歌海盆地	梅山组	N ₁ ²	海相	泥岩	II - III	0.44~2.97	气
西部大陆架	万安盆地东南部	万安—季准组	N ₁ ¹⁻²	海陆过渡相、海相	泥岩	II - III	0.69~0.93	气
		西卫群	E ₃	海陆过渡相、湖相	泥岩、炭质泥岩、煤层	I - III	0.5~2.26	气
带	中建南盆地东南部		E ₃ -E ₂	湖相	泥岩	II	无资料	气
			N ₁ ¹⁻²	海陆过渡相、海相	泥页岩、煤层及炭质泥岩	II - III		
南部大陆架	曾母盆地北部	Setap	E ₃ -N ₁ ²	海陆过渡相、海相	泥岩、炭质泥岩、煤层	II - III	西部 0.63~0.93 东部 1~2	气
	文莱—沙巴盆地北部	Setap	E ₃ -N ₁ ²	海陆过渡相、海相	泥岩、炭质泥岩、煤层	II - III	无资料	气
东部岛坡	北巴拉望西部	Pagasa	N ₁ ¹⁻²	海相	页岩、灰岩	II - III	0.50~2.48	气
			E ₂		泥岩		0.6~3.5	
			K	海陆过渡相	页岩	II - III	0.5~1.0	气
带	礼乐滩盆地		E ₃ -E ₂	海相	页岩	II - III	0.12~1.9	气
			E ₁		泥岩	II - III	0.5~1.0	气
			K ₁	海相	页岩		0.3~1.0	气

缘,陆坡区普遍高于陆架区,下陆架高于上陆架区。各大陆边缘内带高于外带。高热流场区烃源岩以生成天然气为主,低热流场区以生成原油为主。

3 南海油气资源潜力与勘探方向

据专家估计,整个南海盆地群石油地质资源量为226.3亿t,天然气总地质资源量为15.84万亿m³,油气资源非常丰富。南海外带与内带都有很大的勘探潜力。

南海外带虽勘探程度较高,但与高成熟的东部陆地相比,石油勘探潜力广阔。首先目前已证实的富油凹陷仍然有很大的待发现资源。如南海北部大陆边缘外带截至目前被证实最富的生油凹陷——惠州凹陷,最近按7个层系重新评价,其资源量与东营凹陷相当,这无疑为该凹陷的进一步勘探提供了物质基础。其它富烃凹陷如北部湾盆地涠西南凹陷、福山凹

陷、文昌凹陷、陆丰13北、恩平凹陷等也存在过去资源潜力评价偏低的情况。其二,目前已发现的油气藏多分布在浅层,如珠江口盆地陆丰13N、惠州26西江、番禺4文昌A等凹陷油气层主要分布于渐新统上部珠海组一下中新统珠江组底部,而始新统文昌组—渐新统下部恩平组深层和浅层韩江组则发现较少,前第三系几乎没有发现,然而,该盆地断裂非常发育,复式成藏模式屡被证实,这些新层系极有可能成藏。北部湾盆地涠西南凹陷油气主要分布于涠州组,始新统长流组和流沙港组发现较少。其三,非构造圈闭勘探亦方兴未艾,因此以“复式油气聚集带理论”、“富成藏体系理论”为指导,从立体勘探的角度进行综合分析,这些已证实的富油凹陷及其邻区领域的勘探潜力仍十分广阔。其四,目前还存在一批潜在的富烃凹陷,钻探工作量不足,需进一步评价。其五,一些富油凹陷周边的凸起、隆起勘探程度低,尚需进一步

解剖评价。南海南部、西部、东部大陆边缘外带也都存在类似情况。

南海内带勘探程度更低,特别是深水区勘探刚刚开始,勘探潜力最大,新领域较多。如南海北部大陆边缘内带陆坡深水一些大型凹陷沉积了巨厚的第三系湖相、海陆过渡相及海相地层,发育多套、多类型的烃源岩,多以古近系湖相、浅海相泥岩为主,有机质丰度中等,干酪根以 II、III 型为主,具有丰富的油气资源潜力。同时,从钻探结果和地震资料分析可知,深水区发育三角洲、滨浅海相砂岩及低位扇砂体与海相泥岩、台地灰岩与海相泥岩等多套储盖组合。圈闭条件优越,存在多种类型的构造和地层岩性圈闭。位于珠江口盆地南部的白云凹陷,其始新统和渐新统是丰度较高、成熟度适宜的裂陷期优质湖相烃源岩和高产气率的煤系烃源岩,面积超过 10 000 km²,最大厚度达 6 500 m,荔湾 3-1、流花 34-2、流花 29-1 等大气田的发现佐证了该区巨大的资源潜力和良好的勘探前景。琼东南盆地深水区除了背斜、断背斜、断鼻、断块及潜山构造外,还存在大量的地层岩性圈闭,且成群成带发育,构造与储层匹配,运移通道发育,可以形成以中新统滨浅海砂岩或碳酸盐岩为储层的大型低幅背斜油气藏、以早期块断构造晚期大型披覆背斜为主的厚层状砂岩或复合储层油气藏、以中新统发育的低位储集体和南部隆起区发育的生物礁为主体的深水大型岩性或地层圈闭油气藏等,通过烃类检测振幅异常体的搜索及运聚单元等综合研究,预测该区具有较大的资源潜力和良好的勘探前景。一些成熟老区崖南凹陷除在渐新统陵水组发现 YC13-1 大气田之外,其它层系至今未有重大发现,也有很大勘探潜力。南海南部、西部、东部内带沉积盆地众多,其中厚度大于 2 000 m 的就有 12 个盆地,总面积达 178 × 10⁴ km²,南海南部经历了先张后压再热沉降拗陷的三期造盆,沉积厚度大,半封闭的沉积环境有利于有机质的保存,而较强的热作用有利于有机质向烃类转化,储盖组合匹配有利,油气运聚和圈闭形成时间相宜,天然气地质条件非常优越。

值得说明的是,自上世纪六十年代以来,周边国家不顾我国强烈反对,在我国传统疆界九段线内进行了大量勘探开发活动。建议我国有关部门加强南海油气地质研究,加大南沙勘探力度。

参考文献 (References)

- 1 沿海大陆架及毗邻海域油气石油地质志编写组. 中国石油地质志 (第 16 卷) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990 [Editorial Committee of Petroleum Geology of Continental Shelf and Adjacent Sea Area. Petroleum Geology of China Vol 16 [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1990]
- 2 姚伯初. 中国南海海域岩石圈三维结构及其演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2006 [Yao Bochu et al. The 3D Structure and Evolution of Lithosphere in South Sea [M]. Beijing Geological Publishing House, 2006]
- 3 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007 [Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Yang Shaokun, et al. Natural Gas Geology in the Northern Continental Margin Basin of South China Sea [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2007]
- 4 朱伟林, 江文荣. 北部湾盆地西南凹陷断裂与油气藏 [J]. 石油学报, 1998, 19(3): 6-10 [Zhu Weilin, Jiang Wenrong. Relations between fractures and hydrocarbon reservoirs in Weixinan Sag [J]. Acta Petroleologica Sinica 1998, 19(3): 6-10]
- 5 朱伟林. 中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源条件 [M]. 北京: 地质出版社, 2009 [Zhu Weilin. Cenozoic Paleolimnology and Hydrocarbon Source in Oil and Gas Basin of Chinese Offshore [M]. Beijing Geological Publishing House, 2009]
- 6 邓运华. 试论中国近海两个拗陷带油气地质差异性 [J]. 石油学报, 2009, 30(1): 2-8 [Deng Yunhua. Analysis on differences of petroleum type and geological conditions between two depression belts in China offshore [J]. Acta Petroleologica Sinica 2009, 30(1): 2-8]
- 7 张功成, 徐宏, 王同和, 等. 中国含油气盆地构造 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999 [Zhang Gongcheng, Xu Hong, Wang Tonghe et al. Tectonic of Oil and Gas Basins in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1999]
- 8 张功成. 中国近海天然气地质特征与勘探新领域 [J]. 中国海上油气, 2005, 17(5): 289-296 [Zhang Gongcheng. Geological features and new exploration regions of gas in China [J]. China Offshore Oil and Gas 2005, 17(5): 289-296]
- 9 姚伯初, 万玲, 刘振湖, 等. 南海南部海域新生代万安运动的构造意义及其油气资源效应 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 69-77 [Yao Bochu, Wan Ling, Liu Zhenhu, et al. Tectonic significance and its petroleum effect of the Wan'an tectonic movement in the south of the South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(1): 69-77]
- 10 万玲, 吴能友, 姚伯初, 等. 南沙海域新生代构造运动特征及成因探讨 [J]. 南海地质研究, 2003, 12-20 [Wan Ling, Wu Nengyou, Yao Bochu, et al. Cenozoic tectonic movement and the genetic discussion in Nansha Sea Area [J]. Research of Geological South China Sea, 2003, 12-20]
- 11 吴世敏, 周蒂, 刘海龄. 南沙地块构造格局及其演化特征 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(1): 23-28 [Wu Shimin, Zhou Di, Liu Hailing. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha Block, South China Sea [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(1): 23-28]
- 12 龚铭, 李唐根, 伍泓. 南沙海域构造演化与油气资源前景 [J]. 天然气工业, 2004, 24(3): 32-35 [Gong Ming, Li Tanggen, Wu Hong

- [J]. Tectonic evolution and hydrocarbon potential of Nansha offshore area[J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24(3): 32-35]
- 13 姚永坚, 姜玉坤, 曾祥辉. 南沙海域新生代构造运动特征[J]. 中国海上油气, 2002, 16(2): 113-117 [Yao Yongjian, Jiang Yukun, Zeng Xianghui. Cenozoic tectonic movements in Nansha area, South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2002, 16(2): 113-117]
 - 14 丁青峰, 孙丰月, 李碧乐. 东南亚北加里曼丹新生代碰撞造山带演化与成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(2): 193-200 [Ding Qingfeng, Sun Fengyue, Li Bile. Evolution of Cenozoic collision orogen of north Kalimantan and its metallogenesis[J]. *Journal of Jiling University: Earth Science Edition*, 2004, 34(2): 193-200]
 - 15 杨木壮, 吴进民. 南海南部新生代构造应力场特征与构造演化[J]. 热带海洋, 1996, 15(2): 45-52 [Yang Muzhuang, Wu Jinmin. Tectonic stress field and tectonic evolution in the south of South China Sea[J]. *Tropic Oceanology*, 1996, 15(2): 45-52]
 - 16 刘振湖. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 410-417 [Liu Zhenhu. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2005, 29(3): 410-417]
 - 17 姚伯初. 南沙海槽的构造特征及其构造演化史[J]. 南海地质研究, 1996, 01: 6-18 [Yao Bochu. Tectonic characteristics and evolution of the Nansha trough[J]. *Research of Geological South China Sea*, 1996, 01: 6-18]
 - 18 姚伯初, 刘振湖. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布[J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 150-160 [Yao Bochu, Liu Zhenhu. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area, South China Sea[J]. *China offshore Oil and Gas*, 2006, 18(3): 150-160]
 - 19 刘宝明, 金庆焕. 南海曾母盆地油气地质条件及其分布特征[J]. 热带海洋, 1997, 16(4): 18-25 [Liu Baoming, Jin Qinghuan. Hydrocarbon geological conditions and distribution characteristics of Zengmu Basin in southern South China Sea[J]. *Tropic Oceanology*, 1997, 16(4): 18-25]
 - 20 陈玲. 南沙海域曾母盆地西部地质构造特征[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(4): 354-363 [Chen Ling. Geologic structural feature in the west of Zengmu Basin, Nansha Sea area[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2002, 37(4): 354-363]
 - 21 王立飞. 南沙海域曾母盆地西部油气地质条件初步分析[J]. 南海地质研究, 2001, 00: 77-84 [Wang Lifei. Petroleum geology of west part of Zengmu Basin of Nansha area, South China Sea[J]. *Research of Geological South China Sea*, 2001, 00: 77-84]
 - 22 姚永坚, 吴能友, 夏斌, 等. 南海南部海域曾母盆地油气地质特征[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 503-513 [Yao Yongjian, Wu Nengyou, Xia Bin, et al. Petroleum geology of the Zengmu basin in the southern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 503-513]
 - 23 邱燕. 南沙海域曾母盆地构造样式特征及其与油气聚集和圈闭的关系[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 16-22 [Qiu Yan. Typical structural styles and their relationships with hydrocarbon accumulation and traps in the Zengmu basin, Nansha sea area[J]. *Regional Geology of China*, 2005, 24(1): 16-22]
 - 24 邱燕, 陈国能, 谢习农, 等. 南海西南海域曾母盆地新生界沉积充填演化研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 43-52 [Qiu Yan, Chen Guoneng, Xie Xinong, et al. Sedimentary filling evolution of Cenozoic strata in Zengmu basin, southwestern South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(5): 43-52]
 - 25 张莉, 王嘹亮, 易海. 北康盆地的形成与演化[J]. 中国海上油气: 地质, 2003, 17(4): 245-248 [Zhang Li, Wang Liaoliang, Yi Hai. The formation and evolution of Beikang basin[J]. *China Offshore Oil and Gas Geology*, 2003, 17(4): 245-248]
 - 26 王宏斌, 姚伯初, 梁金强, 等. 北康盆地构造特征及其构造区划[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(2): 49-54 [Wang Hongbin, Yao Bochu, Liang Jinqiang, et al. Tectonic characteristics and division of the Beikang basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(2): 49-54]
 - 27 王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 96-102 [Wang Liaoliang, Wu Nengyou, Zhou Zuyi, et al. History of the Cenozoic sedimentary evolution of the Beikang basin, southwestern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2002, 29(1): 96-102]
 - 28 彭学超, 陈玲. 南沙海域万安盆地地质构造特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(2): 37-48 [Peng Xuechao, Chen Ling. Geologic tectonic features of Wan'an basin in Nansha Sea area[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1995, 15(2): 37-48]
 - 29 谢锦龙, 黄冲, 向峰云. 南海西部海域新生代构造古地理演化及其对油气勘探的意义[J]. 地质科学, 2008, 43(1): 133-153 [Xie Jinlong, Huang Chong, Xiang Fengyun. Evolution of Cenozoic tectono-paleogeography and its petroleum significance in the western South China Sea[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(1): 133-153]
 - 30 刘宝明, 夏斌. 我国南海南部油气远景评价——我国专属经济区和大陆架勘测专项研究文集[M]. 北京: 海洋出版社, 2002 [Liu Baoming, Xia Bin. Evolution of Hydrocarbon Potential in Southern South China Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2002]
 - 31 李金有, 郑丽辉. 南海沉积盆地石油地质条件研究[J]. 特种油气藏, 2007, 14(2): 22-26 [Li Jinyou, Zheng Lihui. Study on petroleum geology in South China Sea Basins[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2007, 14(2): 22-26]

The Theory of Hydrocarbon Generation Controlled by Source Rock and Heat from Circle Distribution of Outside-oil Fields and Inside-gas Fields in South China Sea

ZHANG Gong-cheng¹ ZHU Wei-lin² MILI Jun² ZHANG Hou-he¹

LAING Jian-she¹ QU Hong-jun³

(1. Research Institute, CNOOC Beijing 100027; 2. China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100010;

3. Geological Department of Northwest University, Xi'an, 710069)

Abstract After experiencing three-phase tectonic evolution in the Cenozoic, respectively India-nanhai rift period, inter-continent rift period and regional subsidence stage, the South China Sea (in short the SCS) possesses of three tectonic units, respectively continental shelf, continental slope and ocean crust. Surrounding the ocean crust, the distribution of the continental shelf and the continental slope is approximate to ring-zone. The sedimentary basins are mainly located in the continental shelf and the continental slope. The basins surround to the center ocean crust zone, too. In the SCS, the action of the petroleum exploration flourished from the end of the 60s in last century and the hundreds hydrocarbon fields, located in the south/north/west continental margin, have been discovered so far. Those hydrocarbon fields character as the outside-oil and the inside-gas. The oil fields locate mainly in the continental shelf or the area near the land. The gas fields locate mainly in the continental slope or the area near the ocean. In the sags which located in the outside-oil belts, the middle-deep lake facies mud and I & II₁ types kerogen are dominated in the source rocks. In those sags, the crust is relatively thick and the heat flow is relatively lower. The source rocks are in the oil-window and produce the crude oil. In the sags which located in the innerside-gas belts, the marine facies mud & the onshore-offshore mud and II₂-III types kerogen are dominated in the source rocks. In those sags, the crust is relatively thin and the heat flow is relatively higher. The source rocks produce mainly the gas. In the outside-oil zone, there are several petroleum plays. The sandstone, which formed in the environment of the lake and the shallow marine, is the main reservoir. In the innerside-gas zone, there are two petroleum plays, respectively the shallow water sediments and the deep water sediments. The deepwater fan and the reef are the main reservoir. The seal is mainly the marine-facies mudstone. According to the 300m depth, the outside-oil zone, with high exploration, locates mainly in shallow water. The inside-gas zone, with lower exploration, locates mainly in the bottom of the continental shelf and the continental slope. Nowadays, in the SCS, the exploration is transferring from the shallow water area to the deepwater area. With the development of petroleum exploration, the SCS, with the enormous hydrocarbon resource that is comparative to that in the rift area in the eastern China or in the Bohai gulf basins, would be the significant potential hydrocarbon area.

Key words South China Sea, sedimentary basins, oil field distribution, gas field distribution