

文章编号: 1000-0550(2012)01-0001-19

“源热共控”中国近海盆地油气田“内油外气”有序分布

张功成¹ 陈国俊² 张厚和¹ 李友川¹ 梁建设¹ 杨树春¹

(1. 中国海洋石油研究总院 北京 100027; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000)

摘要 源热共控油气形成, 烃源岩是油气形成的内因, 热是油气形成的外因, 内因和外因缺一不可, 二者耦合作用控制了含油气区内油气的形成、资源潜力与分布模式。中国近海沉积盆地主要属于新生代伸展盆地或张扭盆地, 古近纪发生裂陷, 早—中中新世发生区域性热沉降, 晚中新世以来新构造活动在多数盆地比较活跃。中国近海新生代盆地烃源岩主要形成于古近纪裂陷期断陷, 根据沉积充填特征分为陆相断陷和叠合断陷, 陆相断陷指断陷期地层完全为陆相地层充填的凹陷, 叠合断陷指除陆相地层充填外, 还存在海相或海陆过渡相地层充填的断陷。渤海海域、黄海海域、珠江口盆地北部拗陷带和北部湾盆地古近纪断陷都属于陆相断陷, 处于克拉通内部或大陆架, 称为内带; 东海盆地、台西盆地、台西南盆地、珠江口盆地南部拗陷带、琼东南盆地及莺歌海盆地的古近纪断陷都属于叠合断陷, 处在活动大陆边缘或被动大陆边缘陆坡区, 称为外带。内带陆相断陷主要烃源岩为中深湖相源岩, 分布时代包括古新世、始新世和渐新世, 以始新世为主; 外带叠合断陷烃源岩包括湖相烃源岩、海陆过渡相烃源岩和海相烃源岩, 其中以海陆过渡相烃源岩为主, 分布时代包括古新世、始新世、渐新世, 以始新世—渐新世为主。内带湖相烃源岩倾向生油, 外带海陆过渡相和海相烃源岩倾向生气。近海盆地内带热流值低—较高, 外带热流值高一—超高。烃源岩与热场耦合, 内带倾油型烃源岩在相对较低的温度场作用下主要生油, 外带倾气型烃源岩在较高的温度场作用下主要生气。因此, 近海内带主要生油是找油的领域, 外带主要生气是找天然气领域。中国近海石油的主要勘探领域在内带的渤海、南海北部北带和南黄海海域断陷, 天然气主要勘探领域在外带的南海北部陆坡及东海海域。

关键词 烃源岩 热流 油气田分布 有序性 源热共控论

第一作者简介 张功成 男 1966年出生 博士 高级工程师 石油地质学 E-mail: zhanggch@cnooc.com.cn

通讯作者 陈国俊 E-mail: gjchen@lzb.ac.cn

中图分类号 TE121.1 **文献标识码** A

0 引言

中国近海指渤海、黄海、东海和南海北部, 分布着渤海盆地(属渤海湾盆地之海上部分)、北黄海盆地、南黄海盆地、东海盆地、台西盆地、台西南盆地、珠江口盆地、琼东南盆地、北部湾盆地和莺歌海盆地等数十个新生代沉积盆地(部分盆地地下伏中、古生界残余盆地)(图1)。中国近海油气勘探从1957年在海南岛西南莺歌海盆地调查油气苗开始至今, 已经有半个多世纪发展历程, 其间可以分成二大阶段: 20世纪50年代到70年代末为自力更生的早期勘探时期, 20世纪70年代末至今为大规模勘探开发时期。在早期阶段, 基本厘定了盆地地层、构造、沉积特征, 初步揭示了基本油气地质条件, 发现了一些小油田和含油气构造。在第二阶段深化了对盆地地质及成藏条件的认识, 抓住了部分主要盆地各自成藏的主控因素, 选准

了盆地有利成藏组合、有利构造带及重点目标, 发现了一大批油气田, 特别是大中型油气田, 尤其是发现了一批高产油气田^[1~4], 建成了渤海海域、南海北部海域和东海海域三个油气区, 2010年近海油气年产量首次突破5000万吨油当量, 建成了“海上大庆油田”。

要保证“海上大庆油田”能够长期稳产和增产, 需要不断深化对近海海域油气分布规律的认识, 探索剩余油气资源分布, 不断明晰剩余大中型油气田勘探方向。针对近海各主要盆地, 曾创新性地提出过多项认识, 促进了一系列重大油气发现, 如地层圈闭控制了琼东南盆地崖城13-1大气田形成^[1, 2, 5]、构造脊控制了珠江口盆地油气长距离运移形成流花11-1大油田和文昌13-1/13-2油田群^[6, 7]、底辟构造控制了莺歌海盆地中央天然气幕式成藏、新构造运动控制了渤海中部新近系大油田群分布^[8~11]、反转背斜控制了

①国家973项目(2009CB219400)、国家科技重大专项(2008ZX05025、2011ZX05025)和国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ-2007-05)联合资助。

收稿日期: 2011-06-20; 收修改稿日期: 2011-10-21

东海盆地西湖凹陷和丽水凹陷天然气成藏、“源热共控”南海海域油气田呈“外油内气”有序分布^[12]。对整个中国近海油气分布规律,上世纪80—90年代中国海洋石油总公司组织过三次大规模总结^[1~3,13,14],很多学者也作了多次重要的分析^[4,14~19],杨甲明^[16]指出中国海域存在5大富气凹陷;张功成^[18]指出中国近海存在4大4小共8个天然气区,4大气区分布在中国近海外带;邓运华^[19]提出中国近海存在两个盆地带的认识。本文试图从“源热共控论”^[12]的角度对整个中国近海油气分布及形成主控因素作进一步分

析,并对勘探新领域进行预测。

1 中国近海盆地构造演化

中国近海盆地处于中国大陆东缘和南缘,中、新生代期间处于滨太平洋构造域,其中新生代经历了古近纪裂陷、早—中中新世热沉降、晚中新世以来的新构造活动期三大阶段(表1)。但不同时期和同一时期的不同区域造盆作用有很大不同,由于位处滨海,形成了古近纪充填特征的两类不同断陷,进而在近海形成了内带和外带两个盆地带(图1)。

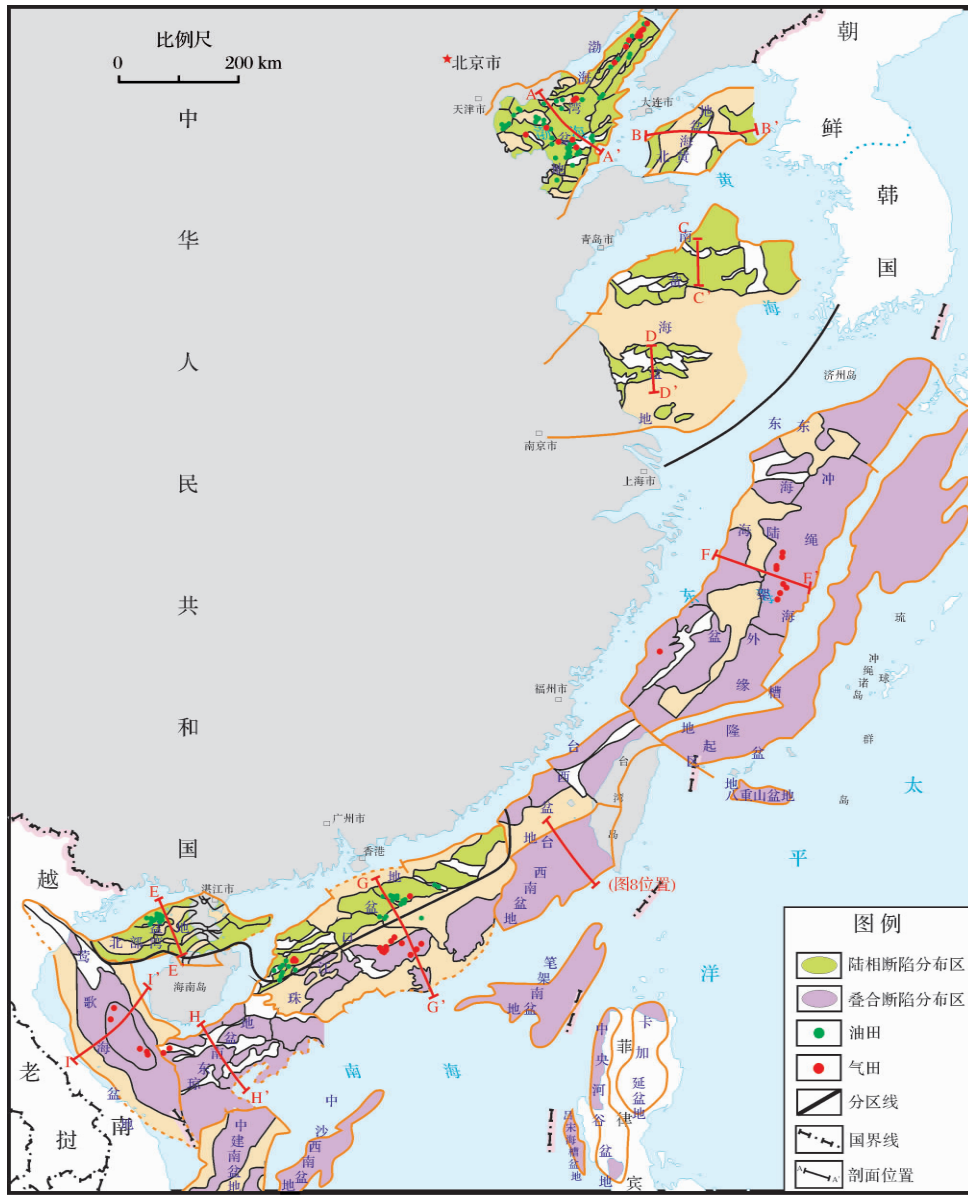


图1 中国近海及邻区新生代沉积盆地断陷类型与油田及气田分布示意图

Fig. 1 Sketch map showing distribution of faulted-depression type oil & gas fields of Cenozoic sedimentary basins in China offshore and adjacent area

古近纪中国海域及其邻区进入活跃的裂陷造盆期,发生了三幕性质不同、规模不同、程度不同和地域不同的裂谷作用(图 1 2;表 1)。

第一裂陷幕主要发育于古新世(南黄海盆地从晚白垩世开始),按裂陷强弱程度分为两类地区(图 1 2;表 1)。强烈裂陷区主要在渤海海域济阳拗陷和辽东湾拗陷、南黄海盆地^[1 2]、东海盆地台北拗陷、台西盆地西部乌丘屿拗陷,都形成了规模较大的断陷群(图 1 2)。其次为零星断陷发育区,南海北部海域仅有零星的断陷发育,如北部湾盆地迈陈凹陷西洼、珠江口盆地北部拗陷带文昌 C 凹陷等^[1 2],仅形成孤立的小型断陷。

第二裂陷幕主要发生在始新世,是近海内带盆地主要裂陷期。按裂陷强弱程度也分为两类地区(图 1 2;表 1)。强烈裂陷区主要在渤海海域^[20]、南海北部大陆边缘的北部湾盆地^[21]、珠江口盆地珠一拗

陷^[22]和珠三拗陷^[7 23]、东海盆地浙东拗陷^[24]都形成了一系列规模较大的断陷。在东海盆地台西拗陷、珠江口盆地中央隆起带^[25]、南海北部大陆边缘外带(莺歌海盆地—琼东南盆地—珠二拗陷)^[26],仅形成一些中小型断陷群。

第三裂陷幕主要发育在渐新世,按裂陷程度也分为两类区(图 1 2;表 1)。裂陷强烈区域包括渤海渤中拗陷、南海北部大陆边缘外带(莺歌海盆地—琼东南盆地—珠二拗陷)^[26],在渤中拗陷为中深湖相沉积,在莺歌海盆地—琼东南盆地—珠二拗陷为海陆过渡相沉积,该期裂陷具有显著的断拗性质^[26]。其它地区裂陷作用较弱。

热沉降期主要发生在中新世早中期,断裂活动弱,盆地整体沉降,沉降幅度小,地层厚度薄^[21 27](图 1 2;表 1)。莺歌海盆地比较特殊,该期沉积厚度较大^[28],可能是局部受到红河断裂带影响的结果。

表 1 中国近海沉积盆地构造—地层简表
Table 1 Strata and tectonic comparison among China offshore basins

地层-构造组合			中国近海内带含油气盆地										中国近海外带含油气盆地													
界	系	段	演化	渤海湾盆地		北黄海盆地		南黄海盆地		北部湾盆地		珠江口盆地(北部)		东海盆地		台西盆地		琼东南盆地		珠江口盆地(南部)		莺歌海盆地				
				名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	名称	岩性	
新生界	沉积层	第四系	新构造期	上新统	平原组	第四系	第四系	东台群	第四系	第四系	第四系	第四系	东海群	头科山组	第四系	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组	乐东组		
				中统	明化镇组	上新统	上盐城组	望楼港组	万山组	三潭组	锦水组	万山组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	莺歌海组	
				上新统	馆陶组	中新统	下盐城组	灯楼角组	粤海组	柳浪组	桂竹林组	粤海组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	黄流组	
				中新统	热沉降期	中新统	下盐城组	角尾组	韩江组	玉泉组	南庄组	韩江组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组	梅山组
		渐新统	裂陷期	上统	三幕	东营组	昌乐组	渐新统	润洲组	珠海组	花港组	木山组	珠海组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	陵水组	
				中统	二幕	沙河街组	龙林组	三裂组	流沙港组	恩平组	平湖组	五指山组	恩平组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	崖城组	
				中统	一幕	孔店组	新里组	戴南组	文昌组	文昌组	温州组	双吉组	文昌组	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	始新统	
				下统	古近纪	孔店组	古新统	阜宁组	长流组	神弧组	明月峰组	王功组	神弧组	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统
				中统	古近纪	孔店组	古新统	阜宁组	长流组	神弧组	明月峰组	王功组	神弧组	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统
				下统	古近纪	孔店组	古新统	阜宁组	长流组	神弧组	明月峰组	王功组	神弧组	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统	古新统
前生界	白垩系	上统		龙盘组	泰州组																					



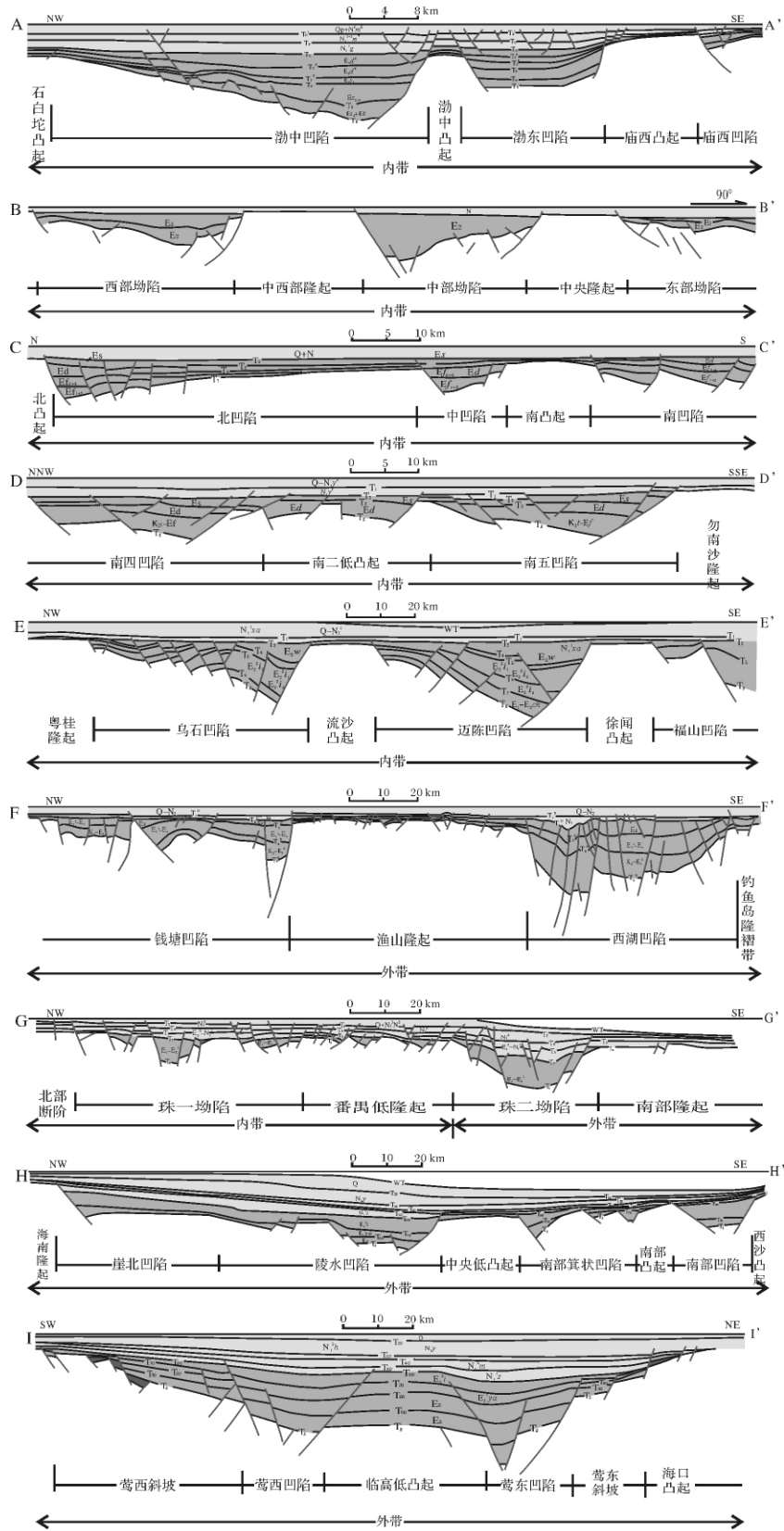


图2 中国近海主要盆地剖面图

(AA': 渤海海域; BB': 北黄海盆地; CC': 南黄海盆地北部坳陷; DD': 南黄海盆地南部南部坳陷; EE': 北部湾盆地; FF': 东海盆地; GG: 珠江口盆地; HH': 琼东南盆地; II': 莺歌海盆地)

Fig. 2 Regional cross-sections of the main sedimentary basins in China offshore

新构造活动主要发生在晚中新世以来,各盆地甚至同一盆地的不同部分活动强度、活动方式不同(图1 2;表1)。渤海海域除辽东湾坳陷西部凹陷及辽西低凸起以外,其它区域新构造运动表现为大规模的断裂活动、快速沉降,特别是营淮断裂带沿线断裂十分发育^[29],渤中凹陷及其邻区数万平方千米的范围快速沉降,造成沉积的欠补偿性,导致大面积浅湖相沉积发育,构成了区域性的盖层。东海海域发生大规模构造反转,如在西湖凹陷形成中央断裂背斜带^[30]。南海北部东段珠江口盆地北西向断层成群成带发育。莺歌海盆地中央坳陷大规模快速沉降沉积并有底辟带大规模成群成带发育^[31]。琼东南盆地中央坳陷主要表现为大规模沉降,断裂活动弱^[32]。台西盆地受台湾岛向西挤压影响反转强烈。北部湾盆地南部福山凹陷及其邻区火山作用活跃^[33]。在北黄海盆地、南黄海盆地和北部湾盆地也发生个别断层正反转或形成逆断层。

中国近海盆地前裂谷期因处于不同区域大地构造单元,性质差距甚大,主体形成于新生代,都经历了裂谷期、热沉降期和新构造期。各盆地都存在裂谷期,但主裂谷期在时代上也有很大差异。热沉降期时间相对一致,都在中新世早中期。新构造期时间都在晚中新世以来,但活动与否及活动强度在时空上都有差别。盆地沉积层结构基本都呈下断上坳的“牛头模式”,热沉降期与新构造期地层展布都呈坳陷型(图1 2;表1)。

中国近海盆地烃源岩都形成于断陷期(南黄海盆地烃源岩从晚白垩世开始形成,莺歌海盆地和台西盆地烃源岩形成时期持续到中新世早中期),断陷内充填的沉积层对油气形成有重要的控制作用。由于裂陷幕及其发育区域的不均衡性,也由于外海海侵作用影响的差异性,形成两类断陷,陆相断陷与叠合断陷(图1)。陆相断陷裂谷期都被陆相沉积充填;叠合断陷裂谷期地层由陆相、海陆过渡相和海相沉积充填,且主要地层是非陆相的。陆相断陷和叠合断陷在中国近海分布呈“内陆(陆相断陷)外叠(叠合断陷)”分布特征。陆相断陷分布在中国近海内带,靠近陆地,包括渤海海域所有断陷、北黄海盆地所有断陷、南黄海盆地所有断陷、珠江口盆地北部坳陷带所有断陷和北部湾盆地所有断陷。叠合断陷分布在近海外带,包括东海盆地所有断陷、台西盆地所有断陷、台西南盆地所有断陷、珠江口盆地珠二坳陷所有断陷、琼东南盆地所有断陷和莺歌海盆地所有断陷。根

据深层断陷构造—沉积充填类型的不同,也将所在的盆地(或坳陷)相应地划分为内带和外带(图1)。

2 中国近海油气田呈“内油外气”有序分布特征

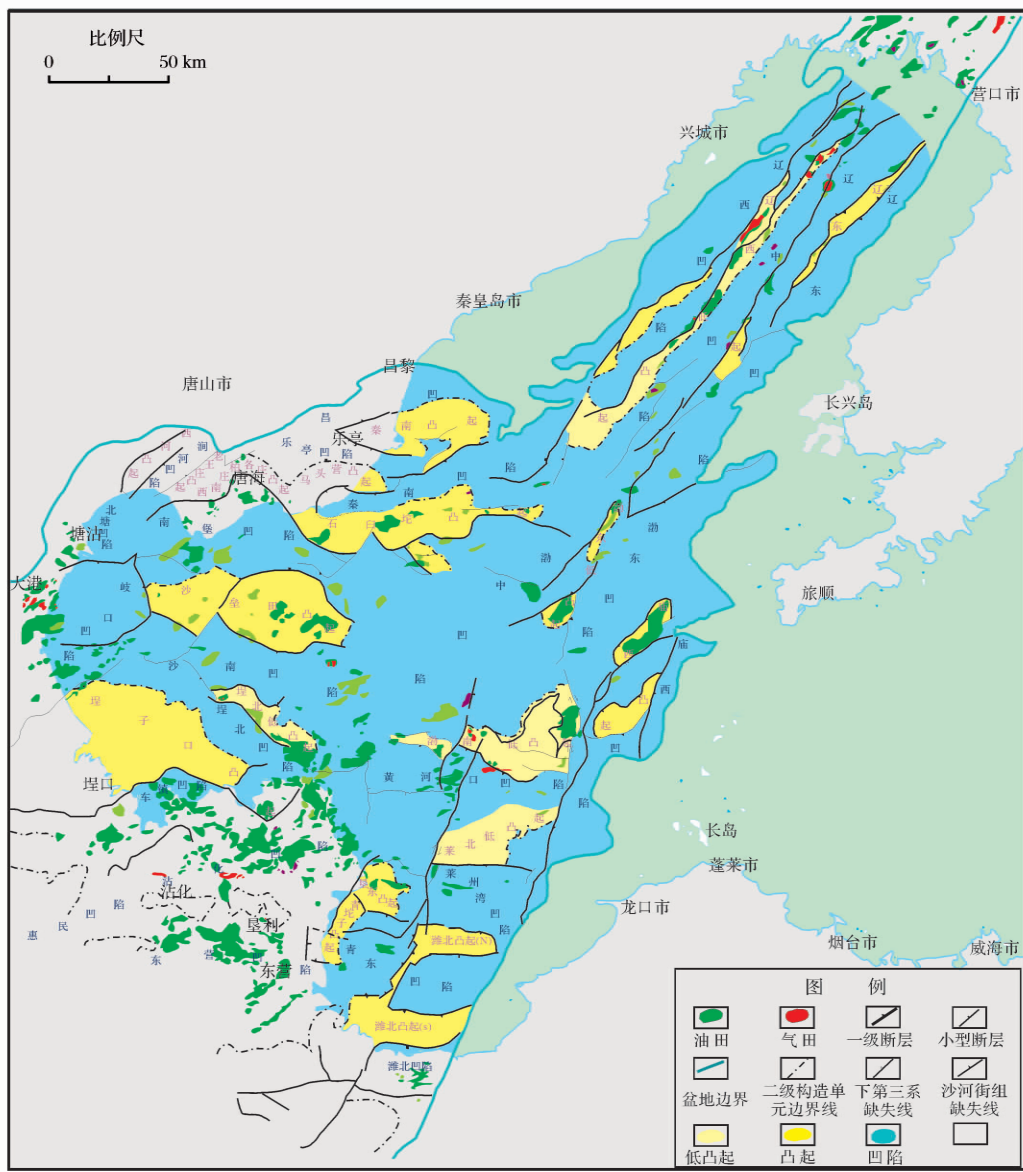
2.1 石油主要分布在近海内带

2.1.1 渤海海域

渤海海域盆地属于华北克拉通大陆板块内部新生代拉分盆地^[20]。其基底形成经历了太古代—早元古代结晶基底、中晚元古代燕辽裂陷槽、古生代—三叠纪克拉通、侏罗—白垩纪隆升等阶段^[34]。新生界盆地具双层结构,下层平面上为“N”字型分布的凹陷群,充填古近系河湖相地层;上层为坳陷期地层,包括热沉降期的中新统中下部馆陶组和新构造期形成的中新统上部及上新统明化镇组与第四系平原组。盆地由4个坳陷和1个隆起5个二级构造单元构成,分别是辽东湾坳陷、黄骅坳陷、济阳坳陷、渤中坳陷及埕宁隆起,三级单元有15个凹陷和13个凸起(图3),除渤中凹陷外,多数凹陷呈“肉(古近系)厚皮(新近系)薄”的结构^[1 2 35]。

渤海海域油气勘探经历了二大阶段。第一阶段为初期自营阶段,自1965年开始至1979年,发现了5个小油田。第二阶段为大发展阶段,从上世纪80年代至今,历经30多年,又可以依据勘探领域及合作勘探程度分为:①对外合作且以合作为主阶段,从1980年到1995年,勘探领域主要是古近系和潜山,合作者发现1个小气田及2个含油构造,自营勘探发现1个大油田(绥中36-1)和一个中型油气田等;②自营带动合作勘探阶段,自1995年到2000年,发现渤中坳陷及其邻区新近系大油田群;③自营勘探阶段,2001年至今,目的层为浅层和中深层,发现大中型优质油气田。截至目前,渤海累计发现一大批油气田及含油气构造,发现三级石油地质储量数十亿吨,2010年产油 $3\ 000 \times 10^4$ t。

渤海海域发现的主要是石油。纵向上石油分布在基底组合(太古界—元古界—中生界)、下组合(始新统沙四—沙三段)、中组合(渐新统沙二段—东营组)、上组合(中、上新统馆陶组—明化镇组),其中上组合是主力成藏组合,中组合居次^[36]。平面上石油主要聚集在凸起区(包括基底组合、中组合、上组合),呈复式油气藏,以上、中组合为主、凹陷陡坡带(中组合、上组合,以上组合为主)及凹陷内部(包括下组合、中组合、上组合)^[36],主要分布在环绕辽中凹陷—

图3 渤海海域构造单元及油气田分布示意图^[34]Fig. 3 Sketch map of oil and gas fields distribution in Bohai bay^[34]

渤中凹陷—黄河口凹陷—莱州湾凹陷周边的凸起 (辽西低凸起、石臼坨凸起、沙垒田凸起、埕北低凸起、渤南凸起、莱北低凸起、庙西凸起、渤东凸起)、营(口)—淮(坊)断裂带沿线及凹陷浅层(图2 3)。渤海海域仅发现少数几个凝析油气藏,天然气主要是溶解气,表现在单个储量少、总储量也少^[37],主要分布在凹陷内及低凸起倾没端的中下成藏组合。渤海海域是典型油盆,在三级探明储量中,石油占95%以上,天然气不足5%。

2.1.2 黄海海域

北黄海盆地位于北黄海海域中部,介于辽东半

岛、胶东半岛和朝鲜半岛之间,外型似椭圆—菱形,西界为庙岛群岛,东与西朝鲜湾盆地相连,南接刘公岛隆起,北邻海洋岛隆起^[38](参见图1、图2)。在区域构造上,北黄海盆地处于中朝地台东南缘胶辽隆起区,盆地基底包括太古代—早元古代结晶变质基底、古生界地台沉积基底。盆地形成与发展自燕山期开始。晚侏罗世—早白垩世为区域断陷期,形成面积大、厚度大的断陷群;早白垩世末区域挤压隆起,至今新世长期处于隆起剥蚀状态;始新世—渐新世再度裂陷沉降,断陷群进一步肢解,沉积范围和沉积厚度受断层控制;渐新世末再度挤压抬升被改造;新近纪盆

地整体沉降,沉积地层厚度较小,但区域上稳定分布,断层也很少发育。因此,北黄海盆地是在华北克拉通内中生代大型断拗盆地基础上形成的新生代伸展盆地。中新世盆地具双层结构,下层为彼此孤立分布的断陷,盆地结构呈盆岭结构;上层为全盆地分布的新近系统一盆地。依据下层断陷结构,将盆地分成西部拗陷、南部拗陷和东部拗陷三个负向单元,及中西部隆起和东部隆起,拗陷次级单元包括多个凹陷及其间的凸起。凹陷多在纵向上呈肉(古近系)薄皮(新近系)也薄的凹陷,古近系一般厚 200~2 000 m,局部 5 000 m;新近系一般 300~600 m。

北黄海盆地地质调查较早,20 世纪 60 年代开始地球物理调查。目前除东部拗陷部分并发现油气外(来自中生界),全盆地没有商业性油气突破。

南黄海盆地属于扬子板块内部晚中生代—新生代继承发育的伸展盆地。盆地基底包括元古界结晶基底、震旦系—下古生界和上古生界—三叠系三套地层。盆地沉积层经历晚白垩世—古近纪局部断陷期和新近纪整体沉降阶段,结构呈两隆两拗格局,包括北部拗陷、中央隆起、南部拗陷和勿南沙隆起(参见图 1、图 2)。北部拗陷和南部拗陷呈三层结构,下部呈断拗结构,上白垩统泰州组和古新统阜宁组分布广,厚度变化不显著,但沉积边界受拗陷边界主断层控制,向中央隆起上超覆尖灭。始新统三垛组和戴南组沉积时期,伸展作用加剧,断裂作用强烈,前期形成的大断拗被解体,形成多个在东北—北北东方向—北西方向串联成带的多个断陷带(其中北部拗陷和南部拗陷各 4~5 排,隆起上也有个别断陷发育),拗陷内凸起上始新统三垛组和渐新统戴南组很薄或缺失。渐新世盆地整体抬升遭受剥蚀改造。总体而言,上白垩统和古近系沉积在拗陷或凹陷内,隆起上缺失。新近纪南黄海盆地整体沉降,地层厚度稳定,分布广,断裂很少活动,地层基本未变形。但沉降幅度不大,相比而言,拗陷区沉降幅度比凸起区大,新构造期只有少数断裂活动或发育新的逆断层与挤压褶皱。

纵向上看,拗陷结构呈肉(晚白垩世泰州组—古近系)较厚皮(新近系—第四系)较薄的特征。古近系 3 000~4 000 m,最厚 6 000 m,新近系北拗 500~1 300 m,南拗一般 1 000~1 800 m。南黄海北部拗陷古近系断陷结构普遍呈北断南超结构,凹陷在近东西方向串联成 5 个带,近南北方向凸凹相间。南黄海南部拗陷古近系断陷结构普遍呈南断北超结构,凹陷在近东西方向串联成 5 个带,近南北方向凸凹相间。

南黄海盆地油气勘探自 20 世纪 60 年代开始,分 1979 年前和 1979 年后两个阶段。目前在海域尚无商业性发现,仅见到几处石油显示,未见天然气显示。南黄海盆地南部拗陷与苏北盆地实际上在同一个拗陷带上。苏北盆地在南部拗陷的高邮凹陷古近系地层中发现一大批中小型油田,油的成熟度总体较低,只发现一个小气田,其气源不是古近系,而是古生界煤系地层。据此推测南黄海新生代盆地为油盆。

2.1.3 南海北部大陆边缘北部拗陷带

珠江口盆地北部拗陷带包括珠一拗陷和珠三拗陷,处于南海北部大陆边缘陆架上,夹持在北部断阶带和中央隆起带之间。三级构造单元包括韩江凹陷、陆丰凹陷、惠州凹陷、恩平凹陷、西江凹陷、文昌 A、B、C 凹陷、阳江凹陷、阳春凹陷、琼海凹陷等十多个凹陷,凹陷被海丰低凸起、惠陆低凸起、阳江低凸起、琼海低凸起等分隔^[1-2](图 1)。凹陷被次级断层进一步分隔成多个洼陷,每一个洼陷都是一个半地堑,洼陷是潜在的生烃单元,多数洼陷呈“肉(古近系)厚皮(新近系)薄”特征^[25]。

珠江口盆地北部拗陷带凹陷分隔性很强,富生烃灶主要受富生烃洼陷(半地堑)控制,已证实的有惠州凹陷惠州 26 洼、陆丰 13 北洼、番禺 4 洼^[39]、恩平 17 洼、珠三拗陷文昌 A 洼和 B 洼^[7-23]等。纵向上油气分布在始新统文昌组—恩平组下组合、渐新统珠海组—下中新统珠江组中组合、中—上新统粤海组—万山组上组合,前古近系基底组合仅见油气显示^[40]。目前发现的油气层主要在中组合。该区域存在四个成藏区带,包括低凸起、陡坡带、洼中隆和缓坡带。惠陆低凸起、西惠低凸起、琼海低凸起、东沙隆起和神狐隆起是主要成藏单元,陡坡带下降盘滚动背斜和凹(洼)中隆油气藏是重要成藏单元。石油主要分布在富烃凹陷边缘断裂带及其相邻凸起或隆起伸入洼陷的构造脊上。

珠江口盆地北部拗陷带及其邻区勘探分二个阶段,第一阶段 1979 年前为自营勘探阶段,在此期间于西江凹陷的珠 5 井首次发现石油,突破了全盆地出油关;第二阶段从 1979 年至今,其中 1979—1997 年,为合作阶段,在惠州凹陷、陆丰凹陷、文昌凹陷及其邻区发现了一批中型优质高产油气田;从 1997 年至今,为自营与合作并举阶段,主要是突破了番禺 4 洼陷和恩平凹陷恩平 17 洼,至此珠江口盆地北部拗陷带南部洼陷带基本都获得突破。

截至目前该区域累计发现油气田及含油气构造

数十个,发现三级石油地质储量十亿吨左右,从1996起至今连续多年保持年产石油 $1\ 000 \times 10^4$ t。珠江口盆地北部拗陷带及其邻区是典型油盆,只在文昌凹陷内部发现几个中小型气田。在三级探明储量中,石油占90%以上,天然气不足10%。据此推测珠江口盆地北部拗陷带为油盆。

北部湾盆地处于南海北部大陆架上,夹持在海南隆起和广西隆起之间。构造单元呈三拗两隆,即北部拗陷、企西隆起、中部拗陷、南部隆起和南部拗陷,三级构造单元包括涠西南、海中、迈陈、乌石、福山等十多个拗陷,拗陷被低凸起、凸起和隆起分隔^[1 2 21](图4)。拗陷被次级断层进一步分隔成多个洼陷,多数拗陷呈“肉(古近系)厚皮(新近系—第四系)薄”,洼陷是潜在的生烃单元,不同洼陷生烃潜力差异很大,已证实富生烃的拗陷仅有涠西南拗陷、福山拗陷和乌石拗陷东洼。纵向上油气分布在古新统长流组—始新统流沙港组下组合、渐新统涠洲组中组合、中、上新统下洋组—角尾组上组合,目前发现的油气层主要在中、下组合,只在上组合内部发现几个中小型油气田,前古近系基底组合仅见个别石炭系灰岩潜山油气藏。石油主要分布在富烃拗陷内部断裂带,洼内近源成藏是本盆地的特色。

北部湾盆地勘探分二个阶段:第一阶段1979年前为自营勘探阶段,在乌石拗陷周边获全盆地首个发现,突破了盆地出油关;第二阶段自1979年至今为大发展时期,其中1979—1997年,为合作阶段,在乌石拗陷、迈陈拗陷、海中拗陷及其邻区钻探了一大批构

造,发现了一批中小型优质高产含油气构造;从1997年至今,为自营与合作并举阶段,主要是突破了涠西南拗陷1、2、3号断裂带,于涠西南拗陷东南缓坡区在构造脊上也找到了大中型油气田,福山拗陷克服火山对地震成像的干扰,在缓坡带反向断块中获得油气发现,其它如海中和迈陈仅有储量小的含油气构造。

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,没有发现独立的商业气藏,天然气主要是溶解气。原油主要分布在盆地北部拗陷的涠西南拗陷和南部拗陷的福山拗陷,天然气储量很少,是一个典型的油盆^[19 41]。

2.2 天然气主要分布在近海盆地外带

2.2.1 东海海域

东海盆地是我国大陆架上最大的新生代沉积盆地,西邻浙闽隆起区,东为钓鱼岛隆起,钓鱼岛隆起以东是冲绳海槽盆地、琉球俯冲带,因此该盆地是典型的弧后盆地。盆地面积超过二十多万平方千米,沉积岩最大厚度逾 1.5×10^4 m。盆地构造格局呈三拗三隆结构,即浙东拗陷、长江拗陷、台北拗陷、渔山东隆起、虎皮礁隆起和海礁隆起。三级构造单元包括西湖拗陷、钓北拗陷、丽水拗陷等,拗陷之间通过低鞍部相连(图1)。

东海盆地是在中生代残余盆地基础上发育起来的,经过古近纪局部裂陷和新近纪区域拗陷两大阶段,期间发生过多次构造反转^[30],更新世—全新世演化为大陆架。古近纪裂陷具有显著的迁移特征。盆

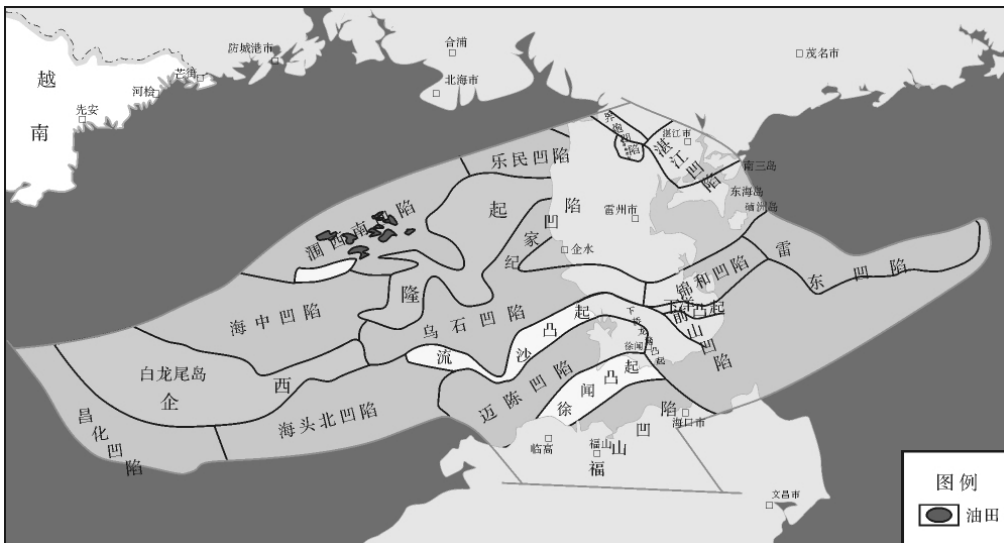


图4 北部湾盆地油田分布示意图

Fig. 4 Sketch map of oil fields distributed in Beibu gulf basin

地西部台北坳陷和长江坳陷裂陷期主要在古新世,丽水—椒江凹陷在古新世时为断陷沉积,发育古新统月桂峰组陆相沉积、海陆过渡相灵峰组、海相明月峰组;始新统陆相瓯江组和温州组;渐新世时的构造运动使坳陷整体抬升剥蚀。长江坳陷自北向南为昆山凹陷、常熟低凸起、金山北凹陷和金山南凹陷,古新世为断陷,始新世—渐新世构造运动使坳陷整体抬升剥蚀,金山南凹陷缺失始新统、渐新统,昆山凹陷缺失渐新统。西湖凹陷始新世裂陷,平湖组海陆过渡相地层厚度巨大,渐新世陆相地层花港组厚度较大。

东海盆地勘探分二个阶段:第一阶段1979年前为区域调查阶段,原地质矿产部上海海洋地质调查局自1974年起开始对东海大陆架进行油气勘查,厘定了盆地构造格局、地层、沉积等基础地质问题及油气地质基本问题。国家海洋局和中国科学院系统、日本、美国和韩国也作了部分路线地质调查。第二阶段1979年至今为盆地、区带和目标勘探阶段,原地质矿产部上海海洋地质调查局、中国海洋石油总公司等做了大量工作,1983年在西湖凹陷西部斜坡带反转断背斜平湖构造获全盆地首个油气田发现;随后除在平湖构造周缘继续有新发现外,在西湖凹陷中央反转带南段发现春晓等气田及一批含油气构造,在台北坳陷丽水凹陷丽水36-1构造获天然气新发现,突破了出气关。

东海盆地存在古潜山(主要在台北坳陷)、古新统月桂峰组—灵峰组下组合(主要在台北坳陷)、始新统一渐新统平湖组—花港组中组合(主要在西湖凹陷)和中新统龙井组—玉泉组上组合(西湖凹陷)四套成藏组合,且都见到了油气显示,在始新统一渐新统成藏组合获商业性油气发现。盆地存在缓坡带、反转背斜带、凸起等区带,已在缓坡区断背斜(平湖等油气田)及凹陷中央反转背斜带(春晓等)获油气发现。自1983年“平湖一井”首获工业油气流发现大气田平湖油气田以来,共获得8个油气田发现及4个含气构造^[42,43],东海盆地没有发现商业性油田,都是气田或油气田。

台西盆地是台湾岛弧之西的弧后盆地,位于台湾海峡和台湾岛西部,浙闽隆起区以东,包括新竹坳陷、南日坳陷、澎湖坳陷、观音隆起、澎湖隆起、澎湖—北港隆起等构造单元(图5),是一个中小型中生代沉积盆地。中生代为弧后宽阔凹陷一部分,受晚白垩世以来的张扭应力的影响,晚古新世发育断陷,始新世末抬升剥蚀,结束断陷发育,中新世再次沉降,进入区

域下降的坳陷发育阶段,上新世以后由于台湾发生弧—陆碰撞,使整个台西盆地成为前陆盆地。

台西盆地油气勘探活动最早发生在台湾岛西部的陆地平原区,从第一口油气流井钻探到至今已有100多年的历史,勘探高峰出现在20世纪60—70年代,先后发现了通宵、铁占山、青草湖、白沙屯、八掌沙和新营等一批气田。1966年后,海域的油气勘探逐渐展开,在1972—1973年间,台湾中油公司在新竹外海钻探了台西盆地海域的第一口探井TUNG-1,此后相继在鹿港外海15 km处CDA-1井和新竹外海20 km处钻CBK-4井等,多处钻探获天然气流^[44]。台西盆地油气都有发现,但天然气占绝大多数。

2.2.2 南海北部大陆边缘外带

该带包括台西南盆地、珠江口盆地珠二坳陷和潮汕坳陷、琼东南盆地和莺歌海盆地,除莺歌海盆地外,都处于陆坡区,这些盆地主要发现的是天然气。其中台西南盆地大部、珠江口盆地珠二坳陷和潮汕坳陷、琼东南盆地中南部处于深水区^[32]。

台西南盆地位于南海北部大陆边缘最东端,盆地从陆架、经过陆坡延伸到洋壳上,面积约 $5.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地总体走向北东,北部与台湾浅滩—澎湖隆起—北港隆起相邻,西靠东沙隆起与珠江口盆地潮汕坳陷,东为台湾中央山脉和南海中央洋盆,向南延展至笔架隆起。该盆地由北部凹陷、南部凹陷及中央隆起等三个构造单元组成(图1f)。在古生界与中生界基底基础上,该盆地新生代经历了三大构造演化阶段。晚古新世—早渐新世裂陷期,形成半地堑和地堑,充填陆相河湖沉积;晚渐新世—中中新世差异热沉降拗陷期,北部坳陷隆起未接受沉积,南部坳陷快速沉降,沉积地层厚达3500 m,从北向南形成浅海到深海沉积;晚中新世—全新世新构造期,南部坳陷再次快速沉降,北部坳陷东部挤压隆起而西部沉降,从北向南形成浅海到深海沉积,北部物源丰富,沉积地层厚度很大^[45]。

台西南盆地上古新统一始新统为一套断陷式河湖充填沉积;向上逐渐发生海侵,下渐新统为砂岩、页岩夹煤层,为滨浅海沉积^[46];上渐新统为海陆过渡相沉积。

迄今为止,在台西南盆地中央隆起中部已钻井30余口,发现CFC、CFS和CGF等油气田和含油气构造,其中以气为主,单井天然气日产最高达 $76 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上^[47]。

珠江口盆地中央隆起以南区域,主要包括潮汕坳

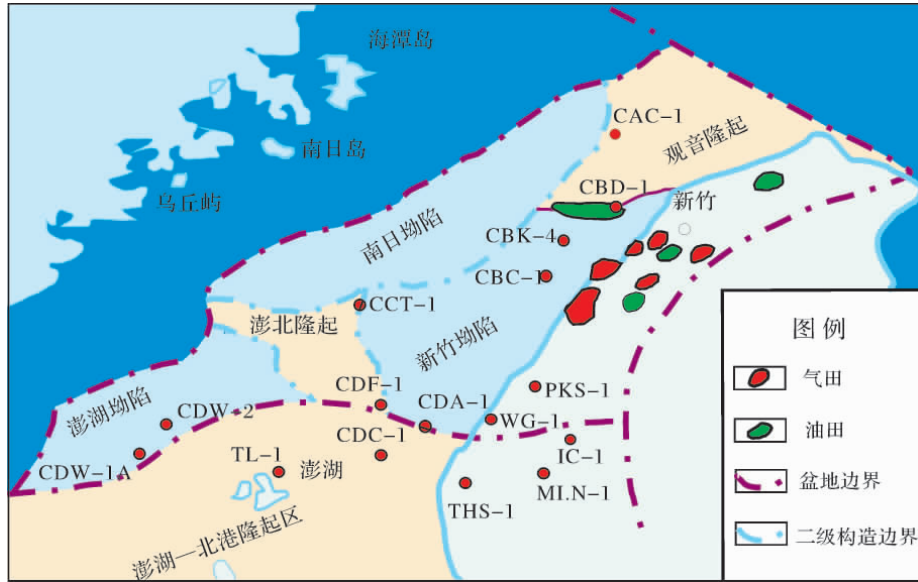


图 5 台西盆地油气田分布示意图^[44]

Fig. 5 Sketch map of oil and gas fields in Taixi basin^[44]

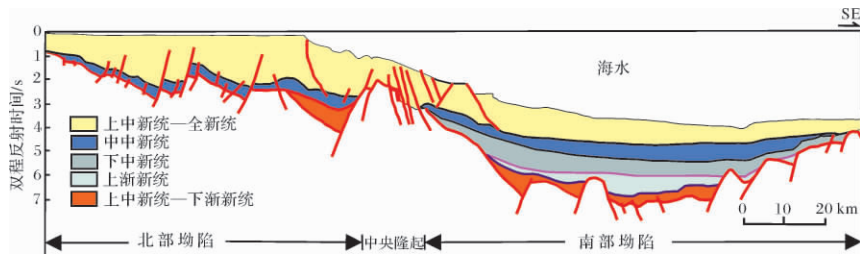


图 6 台西南盆地区域大剖面^[45]

Fig. 6 Regional cross-sections of TAI SW basin^[45]

陷和珠二坳陷，潮汕坳陷主要是中生代残余坳陷，珠二坳陷包括白云凹陷、荔湾凹陷、开平凹陷和顺德凹陷等(图 1; 表 1)，其中白云凹陷勘探潜力大，勘探时间最长，勘探效果好。

白云凹陷分隔性强，除白云主洼外，在其周边分布着与其成生关系密切的多个洼陷，主洼属于深大洼陷。凹陷演化经历了三个阶段：断陷期沉积始新统陆相文昌组、渐新统下部海陆过渡相恩平组、渐新统上部珠海组海相地层；热沉降期沉积有珠江组等海相地层；中新世以后为新构造期。已证实富生烃凹陷包括白云主洼和东北洼。成藏组合包括渐新统上部浅水海相成藏组合和中新世珠江组—粤海组深水海相成藏组合，油气层主要在上部中、上新统深水成藏组合底部盆底扇中。横向上，天然气主要分布在白云主洼的北部斜坡反向断裂带和东部凸起断裂带^[32, 48]，推测云开凸起也是有利的勘探领域。

白云凹陷天然气勘探自 20 世纪 80 年代以来，经历了四个阶段。1) 早期评价阶段(1983 年以前)，早期调查阶段评价白云凹陷总资源量占盆地总量的 52%，吸引了一批外国石油公司进入白云凹陷的北部探区；2) 早期探索阶段(1983—1996 年)，采集了大量二维地震资料，外国公司在凹陷北缘合作区针对浅水区凹陷中水深相对较大的目标钻探井多口(其中 1987 年由西方石油公司钻探的 BY7-1-1 井水深达到 500 m，接近当时的世界纪录)，均未获得商业发现，外国公司相继退出，勘探进入低潮期；3) 证实潜力阶段(1997—2003 年)，中外联合对白云凹陷研究，认识存在分歧，深水区块对外招标“搁浅”，但中国海洋石油总公司始终坚定信心，以证实深水区烃源潜力为目的，选择了白云凹陷北坡较浅区域作为突破口，钻探了多口探井均获成功，发现了储量达千亿立方米的番禺天然气田群；4) 加大投入，迈进深水阶段(2004 至

今) 2004 年开始了白云凹陷深水区的实质性勘探, 勘探工作量大幅度增加, 深水勘探对外合作进入高潮。2006 年 6 月, LW3-1 井钻探获得深水区天然气重大突破, 标志着深水勘探进入新的历史阶段^[48]。

截至目前, 在白云主洼及其周边累计发现多个大、中、小型气田, 探明天然气地质储量数千亿立方米, 在东北洼发现原油。天然气储量远大于石油, 白云凹陷以产气为主。

琼东南盆地夹持在海南隆起区与永乐隆起区之间(图 2H—H' 剖面), 内部分为北部拗陷、中部隆起、中央拗陷、南部隆起和南部拗陷, 该盆地三级构造单元包括崖北拗陷、松西拗陷、松东拗陷、崖南拗陷、乐东—陵水拗陷、松南—宝岛—长昌拗陷、北礁拗陷和华光拗陷等, 以及崖南凸起、松涛凸起、陵南凸起、松南凸起等。这些拗陷经历了三期演化阶段。断陷期沉积有始新统陆相、渐新统下部海陆过渡相崖城组、渐新统上部海相陵水组; 热沉降期沉积有三亚组和梅山组等海相地层; 新构造期中新世以后为黄流组、莺歌海组和乐东组。盆地存在五个成藏组合(基底、崖城组深层组合、陵水组组合、三亚—梅山组合、黄流—莺歌海组浅层组合)和凸起、斜坡带和水道内等成藏单元。已探明油气主要分布在凸起及水道内的披覆背斜、地层圈闭及差异压实背斜中; 纵向上, 在底部组合崖城组、下组合陵水组、中组合三亚—梅山组、上组合黄流—莺歌海组都有发现。

琼东南盆地勘探分二个阶段: 第一阶段 1979 年前为自营勘探阶段, 在松涛凸起莺 9 井获全盆地首个油发现; 第二阶段为合作与自营阶段, 其中 1979—1997 年, 为合作阶段, 在崖南拗陷发现崖城 13-1 大气田及一批含油气构造; 从 1997 年至今, 为自营与合作并举阶段, 自营勘探在崖城凸起获得崖城 13-4 新发现, 合作勘探在陵水拗陷新发现陵水 22-1 气田。截至目前, 共发现 3 个商业性天然气田, 其中崖 13-1 大气田储量近千亿立方米^[1, 2]。气田分布在中部拗陷西北缘崖南拗陷西部崖城 13-1 低凸起构造带、中部隆起西端崖城凸起及盆地中央大型水道(或峡谷)内。勘探与研究均显示了琼东南盆地是个气盆^[18, 41]。

莺歌海盆地夹持在海南隆起区与越南昆嵩隆起区之间, 内部分为莺东斜坡、莺中拗陷和莺西斜坡(图 2 I—I 剖面)。莺中拗陷古近系分北部、中部和南部三个拗陷, 在拗陷中央新近系底辟构造非常发育。

莺歌海盆地勘探分二个阶段: 第一阶段 1979 年前为自营勘探阶段, 在莺 2、6 井获全盆地首个气层发现, 突破了盆地出气关; 第二阶段为大发展阶段, 1979—1997 年发现东方 1-1、乐东 15-1、乐东 22-1 等大气田及一批含油气构造; 从 1997 年至今, 为自营艰难探索阶段。油气发现主要分布在底辟带浅层上新统莺歌海组背斜中, 在底部组合崖城组、下组合陵水组、中组合三亚—梅山组—黄流组发现很少。截至目前, 共发现 3 个商业性天然气田, 其中东方 1-1 大气田储量近千亿立方米^[3]。勘探与研究均显示了莺歌海盆地是个气盆^[18, 41]。

3 “源热共控”近海油气田“内油外气”有序分布

3.1 源热共控石油主要分布在近海内带

3.1.1 渤海海域

渤海海域主要烃源岩是始新统沙河街组湖相烃源岩, 以沙三段最为发育; 次要烃源岩为渐新统东下段湖相源岩^[1, 2, 34, 35, 41, 49]。渤海海域沙三段湖相烃源岩, 有机质丰度居全海域湖相烃源岩之首, 有机质类型主要为 II₁ 型(图 7), 倾向生油。

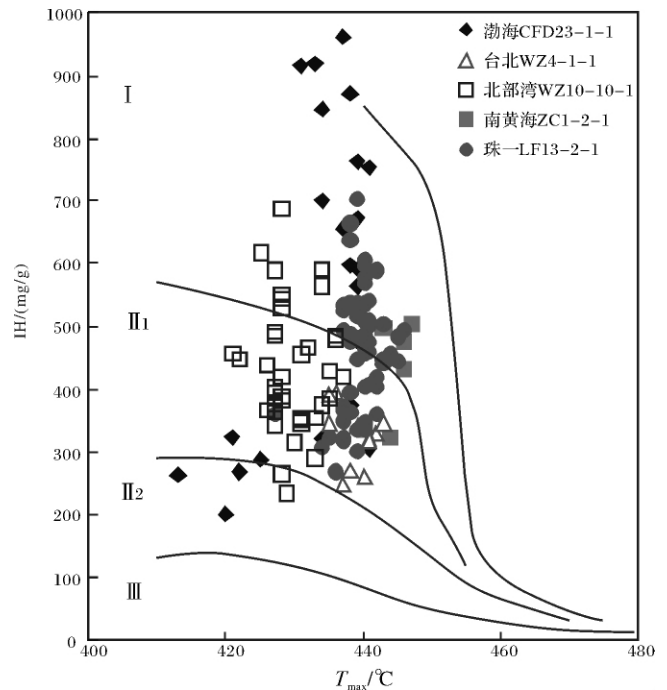


图 7 中国近海海域始新统湖相烃源岩 IH 与 T_{max} 关系图

Fig. 7 Relationship between IH and T_{max} for Eocene lagoon source rocks in China Offshore basins

渤海盆地总体地温梯度较全球平均地温梯度

(30 °C/km) 偏高, 海域 0~3 000 m 的地温梯度平均值为 30.8 °C/km, 分布整体上与渤海盆地构造走向相似, 凸起区一般为 30~45 °C/km, 凹陷区一般为 25~35 °C/km^[50]。基于磷灰石裂变径迹分析数据和大量 R_0 数据结合地层埋藏史进行的热史恢复表明^[51]; 渤海盆地于 25 Ma 前曾经经历过较高热流(70~90 mW/m²) 阶段, 之后表现为持续冷却。

在此热机作用下, 现今时期, 盆地新生界底部有机质成熟度大部分处于成熟—高成熟阶段, 仅在渤中凹陷和歧口凹陷深洼部位小面积进入生干气阶段; 沙一段底部在渤中、歧口和黄河口凹陷进入生油高峰期; 东下段在盆地中均已生油, 并且在渤中、歧口及黄河口凹陷大面积进入生油高峰期, 其中在渤中凹陷已大面积进入生油晚期, 在凹陷中心部位有一定面积进入湿气阶段。

油源研究也表明, 渤海海域原油储量主要来自沙河街组烃源岩, 其次源自东下段烃源岩。

3.1.2 黄海海域

南黄海盆地主要烃源岩为古新统阜宁组中深湖相烃源岩, 其次为晚白垩世泰州组中深湖相烃源岩。泰州组湖相泥岩具有较高的有机质丰度, 有机碳最高含量达到 2.12%, $S_1 + S_2$ 最高达 10.96 mg/g, 有机质类型主要为 II₁ 型, 倾向生油。阜四段烃源岩具有较高的有机质丰度, 有机碳平均含量达到 1.83%, $S_1 + S_2$ 平均达到 4.32 mg/g, 有机质类型为 II₁ 型和 II₂ 型, 倾向油气兼生。

由于勘探程度较低, 南黄海盆地只有零星文献论述该盆地的地温特征, 杨树春等^[52] 研究认为, 南黄海盆地南部拗陷现今地温梯度介于 24~32 °C/km 之间, 平均为 28.6 °C/km; 大地热流介于 65~74 mW/m² 之间, 平均为 69 mW/m², 与苏北盆地的平均大地热流 69 mW/m² 基本相当^[53]。南黄海盆地南部拗陷经历最高古热流是在中生代末(约 66 Ma), 古热流平均值达 106 mW/m², 在新生代则是相对低热流期(三垛组沉积末古热流平均值为 66.1 mW/m², 渐新世末平均值为 75.4 mW/m²), 之后持续下降至现今状态。这种热演化特征与苏北盆地热史特征一致^[54]。

总体而言, 南黄海盆地现今属于地温梯度较低的盆地, 烃源岩的生烃潜力和油气发现与烃源岩的热演化密切相关, 烃源岩热演化程度较高的洼陷, 主要生油, 所发现地质储量大, 勘探成效更好; 但热演化程度低的洼陷, 烃源岩没有成熟。

北黄海盆地古近纪地层岩性偏粗粒, 以红色色调

为主, 缺乏有效烃源岩, 地层埋藏浅, 盆地热流值低, 推测古近系生油能力很差。

3.1.3 南海北部大陆边缘北带

珠江口盆地珠一拗陷和珠三拗陷主要烃源岩是始新统文昌组湖相烃源岩, 次要烃源岩为渐新统恩平组湖沼相烃源岩。文昌组烃源岩具有高的有机质丰度, 主体属于好—很好的烃源岩, 有机质类型主要为 II₁ 型(图 7), 以生油为主。恩平组发育河—湖沼相沉积, 煤系较为发育, 烃源岩有机质主要来源于陆生高等植物, 有机质类型主要为 II₂—III 型, 煤系烃源岩中含有较为丰富的壳质组等富氢显微组分, 具有一定的生油能力, 但以生气为主^[55, 56]。

珠江口盆地北部拗陷带的 121 口钻井平均地温梯度为 36.6 ± 6.0 °C/km, 变化于(25.2~60.8) °C/km 之间^[57]。地表热流数据共 114 个, 最大值为 98.3 mW/m², 最小值为 39.6 mW/m², 平均值为 66 ± 9.8 mW/m²。目前所能恢复的最高古地温梯度出现在古近纪末, 所采用的三口钻井当时古地温梯度分别是: 39.4 °C/km(PY33-1-1)、35.8 °C/km(PY28-2-1) 和 33 °C/km(HZ23-2-1), 对应古热流分别是 90.8 mW/m²、81.0 mW/m² 和 77.0 mW/m², 自渐新世末以来所经历的是一个持续的冷却过程(图 8)。

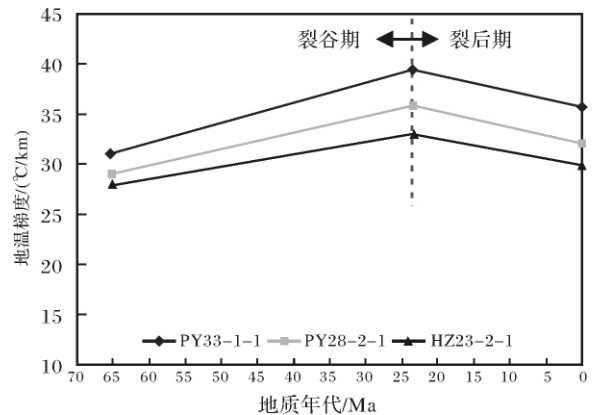


图 8 珠江口盆地北部热演化图

Fig. 8 Thermal evolution history for northern Pearl Mouth basin

珠江口盆地珠一拗陷和珠三拗陷具有相似的热状态, 但由于珠一拗陷和珠三拗陷主要烃源岩存在差异(源存在差异), 两个拗陷的生烃产物和生烃潜力存在很大差异。珠一拗陷已发现了数亿吨原油, 天然气很少。而珠三拗陷已发现的油气地质储量不到 1 亿吨油当量, 并且天然气的数量相对较多, 充分体现了源—热共同控制下两个拗陷油气生成的巨大差异。

油气地球化学研究表明, 珠一拗陷原油主要来源

于文昌组烃源岩,恩平组烃源岩仅仅对凹内及近凹凸起区油田中原油有较大贡献^[55],但恩平组烃源岩却是珠三拗陷的重要气源岩。

北部湾盆地主要烃源岩为始新统流沙港组湖相烃源岩,具有较高的有机质丰度,有机质类型以 II₁ 型为主,倾向生油;次要烃源岩为渐新统涠州组湖沼相源岩,倾向生气。

据钻孔实测温度计算,北部湾盆地现今的平均地温梯度为 37.2 °C/km,平均热流值为 61.71 mW/m²^[58]。汪缉安等^[59]利用钻井温标数据对北部湾盆地进行的热历史恢复结果认为,北部湾盆地古地温梯度在新生代为一持续下降过程,始新世末的最高古地温梯度达到 58.9 °C/km。北部湾盆地流沙港组烃源岩主体现今处于生油窗内,以生油为主。

3.2 源热共控天然气主要分布在外带

3.2.1 东海海域

东海盆地西湖凹陷烃源岩主要发育在始新统平湖组,以海陆过渡相沉积为主,煤系烃源岩较为发育,具有较高的有机质丰度(表 2),有机质类型主要为 II₂-III 型,煤系烃源岩中含有一定量的富氢显微组分,具有一定的生油能力,但更倾向生成轻质油和天然气^[60]。

整个东海地区地温梯度介于 25~43.5 °C/km 间,平均为 32.7 °C/km。福州凹陷各井的地温梯度较大,均值达到 40.6 °C/km;椒江凹陷和丽水凹陷中地温梯度较低,均值为 34.8 °C/km;西湖凹陷最低,均值为 27.2 °C/km。东海盆地地温梯度分布呈现北低南高特征,丽水凹陷和福州凹陷大部分区域为 35 °C/km 以上的高地温梯度区。东海盆地台北拗陷的热流值介于 59.5~81.3 mW/m²,平均为 70.4 mW/m²;西湖凹陷的热流与台北拗陷相差不大,介于 55.3

~84.3 mW/m²,平均值为 71.7 mW/m²。热流在平面上呈现东高西低趋势。

采用古地温梯度法进行的热史恢复结果表明,东海盆地西部的台北拗陷和东部的西湖凹陷具有不同的热流史。西湖凹陷内目前所能恢复的最高古热流出现在渐新世末(68.3~98.6 mW/m²,平均为 83.4 mW/m²),自渐新世末以来所经历的是一个持续的冷却过程。对比而言,台北拗陷自渐新世末到现今则是一个热流升高的过程。台北拗陷经历最高古热流出现在古新世(67~92 mW/m²),平均为 81 mW/m²,自 203 Ma 到 54 Ma 是一个热流增大的过程,自古新世末到渐新世则是一个降低的过程。

在此热体系影响下,东海盆地西部的椒江凹陷月桂峰组底界烃源岩大部分均已成熟, $R_o > 0.7\%$, 进入生油窗,次凹大部分烃源岩已进入湿气窗, $R_o > 1.3\%$, 深部部分烃源岩已进入干气窗, $R_o > 2.0\%$ 。相对而言,东海盆地的东部,有机质成熟度则相对较高,如东部西湖凹陷的平湖组底部烃源岩大部分已进入干气窗, $R_o > 2.0\%$ 。

西湖凹陷的油气勘探结果以凝析油伴生气和煤成气为主,并有数量不多的原油,烃源岩类型与热流控制了该区的油气特征。

台西盆地发育三套烃源岩。白垩系海相泥岩或海陆交互相含煤层系主要分布于澎湖凹陷、南日拗陷及盆地东部新竹拗陷;古新统一始新统的浅海一半深海相烃源岩,主要分布在台西盆地西部拗陷区;渐新统一中新统海相泥岩和三角洲平原相—近海沼泽相含煤岩系,主要发育在盆地东部的新竹拗陷。渐新统一中新统是主力烃源岩。该区热流高,烃源岩主要生气^[44]。

表 2 中国近海海域外带烃源岩有机质丰度统计表

Table 2 Organic abundance of lagoon source rocks in main outerbelt of China Offshore basins

盆地或凹陷	烃源岩层系	源岩类型	TOC/%	$S_1 + S_2 / (mg/g)$	氯仿沥青"A"	总烃(ppm)
西湖凹陷	平湖组	煤	55.30	193.3	5.60	32276
		碳质泥岩	17.50	51.40	1.10	3833
		泥岩	1.37	2.67	0.0890	748
珠二拗陷	恩平组	煤	59.70	283.8	5.24	
		泥岩	1.69	3.20	0.187	
		珠海组	1.16	2.86	0.067	
琼东南盆地	崖城组	煤	55.4	87.40		
		泥岩	0.98	1.41		
莺歌海盆地边缘	梅山组	泥岩	0.40	0.41		
莺歌海盆地中部		泥岩	1.28	0.94		

3.2.2 南海北部大陆边缘南带

台西南盆地烃源岩主要为渐新统一下中新统海相泥页岩,次为侏罗—白垩系近海陆相泥页岩,烃源岩有机质丰度较高,生烃母质类型均为腐殖型母质。热流值高一很高,大部分烃源岩处于成熟到过成熟阶段,以生气为主。

珠二坳陷主要烃源岩为渐新统恩平组沼泽相和湖相烃源岩;次要烃源岩是渐新统珠海组海相和始新统文昌组湖相烃源岩。渐新统恩平组湖沼相煤系烃源岩和湖相泥岩具有较高的有机质丰度(表3),无论恩平组沼泽相烃源岩还是湖相烃源岩其有机质均主要来源于陆生高等植物,有机质类型主要为II₂型,与珠一坳陷和珠三坳陷恩平组烃源岩一样,珠二坳陷恩平组烃源岩同样含有丰富的富氢显微组分,在较低热演化阶段具有生成原油的能力,在热—高温条件下,总体以生成凝析油和天然气为主。珠二坳陷珠海组海相烃源岩同样具有较高的有机质丰度(表2),有机质类型主要为II₂型,有机质主要来源于陆生高等植物^[56],以生气为主。

琼东南盆地主要烃源岩为渐新统崖城组海陆过渡相烃源岩和陵水组海相烃源岩,崖城组海陆过渡相烃源岩具有较高的有机质丰度,为该区主要烃源岩,目前琼东南盆地已发现的油气主要来源于该烃源层。

从有机质来源看,琼东南盆地海陆过渡相和海相烃源岩有机质主要来源于陆生高等植物,有机质类型主要为II₂—III型,倾向生气。

南海北部大陆边缘南带东部珠二坳陷和琼东南盆地主要位于深水区,地温梯度为2.94~5.22℃/hm,平均为3.91±0.174℃/hm;大地热流值为24.2~121mW/m²,平均为77.5±14.8mW/m²^[57]。据袁玉松等^[61]研究,始新世以来,深水区存在多期热流升高的加热事件。裂谷阶段盆地基底热流幕式升高,裂后阶段也并非完全处于热衰减期。琼东南盆地新生代存在56.5~32Ma、32~16Ma和5.3Ma以来三期加热事件;珠江口盆地存在56.5~32Ma和32~23.3Ma两期加热事件。琼东南盆地深水区基底热流始新世末为56~62mW/m²;早中新世末上升到60~64mW/m²;上新世末在深凹陷区最高达75mW/m²。珠江口盆地深水区基底热流始新世末升高到60mW/m²;渐新世末升高到70mW/m²。

在此热演化作用下,南海北部南带有机质成熟度明显较北带高。从南海北部始新统底部现今成熟度分布图(图9)可以看出,琼东南盆地乐东—陵水凹陷和松南—宝岛凹陷大范围内崖城组烃源岩底部热演化程度已经很高,R_o大于4.0%;珠江口盆地白云凹陷恩平组底部烃源岩现今成熟度在凹陷中心部位为

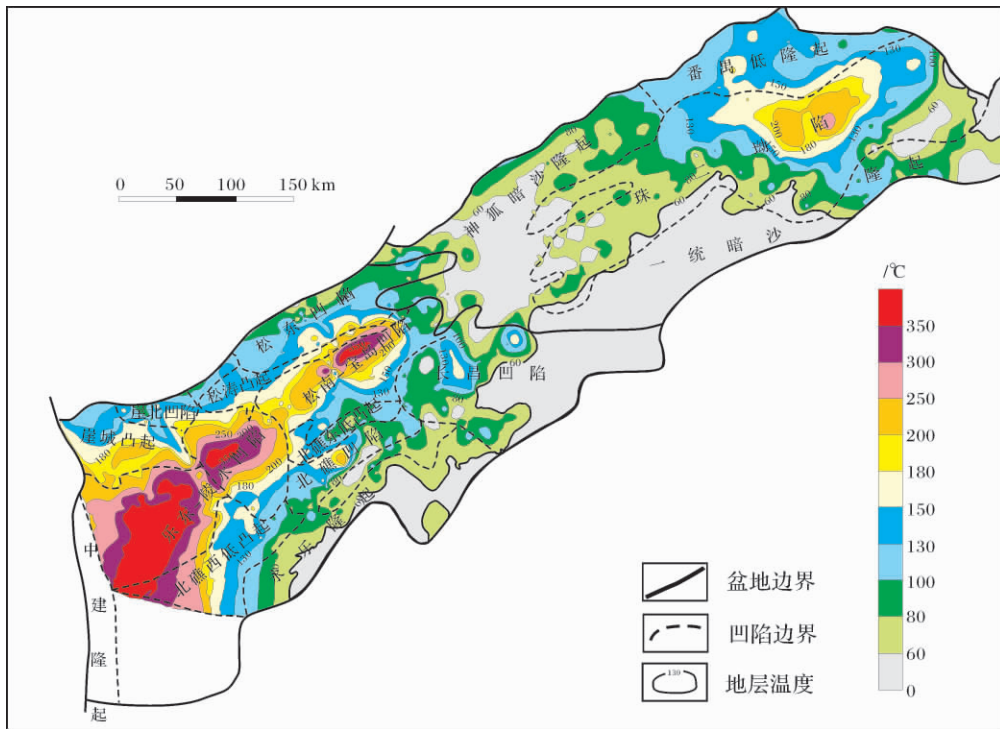


图9 珠江口盆地南部—琼东南盆地渐新统烃源岩底部现今温度图

Fig. 9 Present temperature distribution in Lower surface of Oligocene source rock in Qiongdongnan and southern Pearl Mouth Basin

1.0%~1.6%,正处于生气高峰期,主凹最深处 R_0 达到2%以上。就南海北部深水而言,由于琼东南盆地烃源岩的热演化程度明显高于珠二坳陷的白云凹陷,琼东南盆地深水以气为主,珠二坳陷深水则是油气共存^[56],以气为主。就白云凹陷本身而言,由于白云凹陷主洼烃源岩已经达到高一过成熟阶段,以生成天然气为主,伴有凝析油,而白云凹陷东北洼恩平组烃源岩主要处于低成熟—成熟阶段,主体处于生油窗内,恩平组烃源岩则以生成原油为主^[56]。由此可见,地温的差异从不同级别均控制了烃源岩的生烃产物和油气分布特征。

莺歌海盆地存在中新统和渐新统两套重要烃源岩^[62]。渐新统包括崖城组和陵水组,主要分布于莺歌海盆地东南部及西北部地区,为半封闭浅海及三角洲前缘沉积;中新统包括三亚组、梅山组及莺黄组下部,主要分布于莺歌海盆地的中央坳陷内,为一套巨厚的三角洲—半封闭浅海沉积。莺歌海盆地中新统梅山组海相烃源岩具有较高的有机质丰度(表2),其有机质主要来源于陆生高等植物,有机质类型主要为II₂—III型(图7),倾向生气。

莺歌海盆地属于高温盆地,地温梯度高达42.5°C/km^[63],平均热流值为84.1 mW/m²。热演化模拟^[64]表明,莺歌海盆地现今的高温是多期拉张的继承性和叠加的结果,盆地经历3次拉张演化,盆地基底热流由第1期的63 mW/m²至第2期的65 mW/m²,第3期上升至68 mW/m²左右。这说明盆地每拉张一次,就更热一次,整体处于逐步升温状态,5.2 Ma以来是盆地古地温最高时期,约在1.9 Ma达峰值。在此高温地温场作用下,莺歌海盆地烃源岩主要生气。

4 从“源热共控论”预测近海油气勘探新领域

中国近海沉积盆地生烃凹陷分陆相和叠合两类,在空间上具有“内陆(相)外叠(合)”特征。陆相断陷区热流值相对低,叠合断陷区热流值高。油、气分布有陆相断陷区以生油为主,叠合断陷区以生气为主的特征。由此导致中国近海油气田分布具有“内油外气”有序的特征,受源热共控(图1)。

从“源热共控论”可以进一步预测中国近海油气下一步勘探方向(表3)。在内带,找油有四大区域,且各有特点。

渤海海域古近纪所有13个陆相断陷,中深湖相烃源岩都发育,区域热流值较高,烃源岩主要处在生油窗,凹陷源热条件均具备,呈现“凡凹都生油”特色,中深湖相烃源岩体积大小是控制生油潜力大小的主要因素。

北黄海盆地古近系有机碳含量为0.7%~0.9%,总烃含量为0.02045%~0.0254%,烃源岩丰度很差。该区地温梯度为3.3°C/100,古近系烃源岩普遍埋深浅,局部可达2200~2700 m,烃源岩现今处于成熟阶段早期,绝大多数未成熟。因此,古近系陆相中深湖烃源岩欠发育,热流值低,源热都缺,生油潜力很有限。

南黄海盆地古近纪烃源岩较发育,但埋藏差异大,盆地热流值低,“源不缺但缺热”,只要烃源岩后期埋深足够大使烃源岩成熟,凹陷就有生烃潜力。

南海北部古近纪洼陷之间中深湖相烃源岩发育差别大,处于大陆架高热流值区,生油潜力主要受控

表3 中国近海新生代盆地特征与勘探潜力

Table 3 Potential comparison and contrast for Cenozoic China offshore basins

盆地带	盆地(或坳陷)	主力烃源岩	热	源热组合类型	资源潜力	油气区类型
内带	渤海海域	渤海海域	中深湖相 充足	热盆	源足热足型	很大 油区以原油为主;天然气少
	黄海海域	北黄海盆地	湖相 不发育	冷盆	源不足热不足型	很小
		南黄海盆地	湖相 发育	温盆	源较足热较足型	有一定潜力
南海北部大陆架	珠江口盆地北部	湖相 部分凹陷发育	热盆	源较足热足型	较大—大	
	北部湾盆地	湖相 凹陷发育	热盆	源较足热足型	较大	
外带	东海活动大陆边缘	东海盆地	海陆过渡相煤系 发育	热盆	源较足热足型	较大—大 气区以天然气为主少量原油
	台西盆地	海陆过渡相煤系 发育	热盆	源较足热足型	较大	
南海北部大陆坡	台西南盆地	海陆过渡相煤系 发育	热盆	源较足热足型	较大	
	珠江口盆地南部	海陆过渡相煤系 发育	超热盆	源足热足型	大	
	琼东南盆地	海陆过渡相煤系 发育	超热盆	源足热足型	大	
	莺歌海盆地	海陆过渡相煤系 发育	超热盆	源足热足型	大	

于中深湖相地层发育的规模,中深湖相地层规模越大,凹陷潜力越大,而以浅湖相沉积为主的洼陷,烃源岩差,生油潜力小。

中国近海外带的东海盆地、台西盆地、南海北部大陆边缘外带处在活动大陆边缘或被动大陆边缘外带,热流值都比较高,属于热盆和超热盆,关键在于海陆过渡相烃源岩、海相烃源岩发育质量,尤其是煤系发育程度决定着生气潜力。在部分凹陷,因烃源岩埋藏浅,也能生成石油,但该带深大洼陷都以生气为主。

总之,由于中国近海盆地或凹陷所处的区域大地构造位置不同,各盆地中主要烃源岩的类型存在差异,并且经历了不同的热作用,生烃产物也存在很大差异,有些盆地或凹陷以油为主,而一些盆地或凹陷则以气为主。石油主要分布于渤海海域、黄海海域、珠江口盆地北部坳陷带和北部湾盆地,烃源岩主要是古新世—始新世—渐新世湖相地层,经历了合适的热演化。天然气主要分布于东海盆地、珠江口盆地南部坳陷带、琼东南盆地及莺歌海盆地,烃源岩包括古新世—始新世—渐新世—中新世海陆过渡相、海相和湖沼相烃源岩,经历了相对较强的热作用。因此,中国近海石油的主要勘探领域在渤海、南海北部北带和黄海海域,天然气主要勘探领域在南海北部陆坡及东海海域。

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卷上册)[M]. 北京:石油工业出版社,1990:1-458 [Editorial Committee of Petroleum Geology of Continental Shelf and Adjacent Sea Area. Petroleum Geology of China, Vol. 16 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 1-458]
- 2 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卷下册)[M]. 北京:石油工业出版社,1990:1-682 [Editorial Committee of Petroleum Geology of Continental Shelf and Adjacent Sea Area. Petroleum Geology of China, Vol. 16 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 1-682]
- 3 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探 第四卷 近海油气区 [M]. 北京:地质出版社和石油工业出版社,1999: 911-1234 [Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Petroleum Exploration in China: Vol. 4 [M]. Beijing, Geological Publishing House, Petroleum Industry Press, 1999: 911 ~ 1234]
- 4 朱伟林. 中国近海油气勘探进展[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 18-24 [Zhu Weilin. China offshore oil and gas exploration: review and thinking [J]. Engineering Sciences, 2010, 12(5): 18-24]
- 5 陈伟煌. 崖13-1气田的成藏条件[C]//煤型气地质研究. 北京:石油工业出版社,1987:1-405 [Chen Weihuang. The Reservoir-forming Conditions of Ya 13-1 Gasfield [C]// Coal-type Gas Geological Research. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 1-405]
- 6 邹业初, 陈锡康, 黄宗洪, 等. 从构造脊的研究探讨珠江口盆地(东)油气勘探方向[J]. 中国海上油气:地质, 1991, 5(2): 1-7 [Zou Yechu, Chen Xikang, Huang Zonghong, et al. Discussion on oil & gas prospecting in the Eastern Pearl River Mouth Basin from structural ridges study [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1991, 5(2): 1-7]
- 7 董伟良, 张炳. [J]. 中国海上油气:地质, 1990, 4(3): 1-5 [Dong Weiliang, Zhang Bing. Hydrocarbon prospectivity of Shenhu massif of Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1990, 4(3): 1-5]
- 8 邓运华. 歧口凹陷及邻区上第三系油气藏形成条件和勘探前景分析[J]. 中国海上油气:地质, 1996, 10(6): 355-363 [Deng Yunhua. Analysis of forming conditions of Neogene reservoirs and prospect in Qikou sag and adjacent areas [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1996, 10(6): 355-363]
- 9 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 145-156 [Gong Zaisheng, Wang Guochun, He Qing. The Neogene: a main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong sag and its surrounding areas [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(3): 145-156]
- 10 朱伟林, 王国纯, 周毅. 渤海油气资源浅析[J]. 石油学报. 2000, 21(3): 1-7 [Zhu Weilin, Wang Guochun, Zhou Yi. Potential of petroleum resources in the offshore of Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 1-7]
- 11 米立军. 新构造运动与渤海上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气:地质, 2001, 15(1): 21-28 [Mi Lijun. The neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2001, 15(1): 21-28]
- 12 张功成, 朱伟林, 米立军, 等. “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[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 987-1005 [Zhang Gongcheng, Zhu Weilin, Mi Lijun, et al. 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 [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 987-1005]
- 13 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997:1-216 [Gong Zaisheng. The Major Oil and Gas Fields of China Offshore [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-472]
- 14 龚再升, 王国纯. 中国近海油气资源潜力新认识[J]. 中国海上油气:地质, 1997, 11(1): 1-12 [Gong Zaisheng, Wang Guochun. New thoughts upon petroleum resources potential in offshore China [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1997, 11(1): 1-12]
- 15 朱伟林. 中国近海找油的勘探战略[J]. 中国海上油气:地质, 1997, 11(6): 23-30 [Zhu Weilin. Oil exploration strategy in offshore China [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1997, 11(6): 23-30]
- 16 杨甲明. 中国近海天然气资源[J]. 中国海上油气:地质, 2000, 14(5): 7-12 [Yang Jiaming. Natural gas resources offshore China [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2000, 14(5): 7-12]
- 17 陈斯忠, 宋建民, 陈伟煌. 对海上找气的思考[J]. 中国海上油气:

- 地质, 2003, 17(3): 153-159 [Chen Sizhong, Song Jianmin, Chen Weihuang. Pondering upon offshore gas exploration in China [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2003, 17(3): 153-159]
- 18 张功成. 中国近海天然气地质特征与勘探领域[J]. 中国海上油气, 2005, 17(5): 289-296 [Zhang Gongcheng. Geological features and new exploration realms of offshore gas in China [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2005, 17(5): 289-296]
- 19 邓运华. 试论中国近海两个坳陷带油气地质差异性. 石油学报, 2009, 30(1): 1-8 [Deng Yunhua. Analysis on differences of petroleum type and geological conditions between two depression belts in China offshore [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1): 1-8]
- 20 张功成 朱伟林 邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 14-18 [Zhang Gongcheng, Zhu Weilin, Shao Lei. Pull-apart tectonic and hydrocarbon prospecting in Bohai Bay and its nearby area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 14-18]
- 21 张祉生, 蔺殿忠. 北部湾盆地构造迁移及其对油气的控制作用[J]. 中国海上油气: 地质, 1987, 1(2): 15-21 [Zhang Zhisheng, Lin Dianzhong. Migration of structural deformation and controls of hydrocarbon accumulation in the Beibu Gulf basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1987, 1(2): 15-21]
- 22 李平鲁, 王维平, 贺亚纯, 等. 珠江口盆地构造特征及演化[J]. 中国海上油气: 地质, 1989, 3(1): 11-18 [Li Pinglu, Wang Weiping, He Yachun, et al. The tectonic characters and evolution of the Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1989, 3(1): 11-18]
- 23 张迎朝, 甘军, 邓勇, 等. 珠江口盆地西部文昌 B 凹陷及周边油气成藏组合[J]. 中国海上油气, 2009, 21(5): 304-312 [Zhang Yingzhao, Gan Jun, Deng Yong, et al. Hydrocarbon plays in Wenchang B sag and its surrounding areas, the western Pearl River Mouth basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2009, 21(5): 304-312]
- 24 陶瑞明. 东海陆架盆地地质构造特征及含油气远景[J]. 中国海上油气: 地质, 1990, 4(B06): 17-24 [Tao Ruiming. Geological structural characteristics and oil-gas prospect in East China Sea continental shelf basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1990, 4(B06): 17-24]
- 25 苗顺德, 张功成, 梁建设, 等. 珠江口盆地北部坳陷带文昌组地震反射特征及沉积环境分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 844-850 [Miao Shunde, Zhang Gongcheng, Liang Jianshe, et al. Seismic reflection characteristics and sedimentary environment analysis of Wenchang Formation in Northern Depression of Zhujiangkou Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 844-850]
- 26 张功成, 刘震, 米立军, 等. 珠江口盆地—琼东南盆地深水区古近系沉积演化[J]. 沉积学报, 2009, 27(4): 632-641. [Zhang Gongcheng, Liu Zhen, Mi Lijun, et al. Sedimentary evolution of Paleogene series in deep water area of Zhujiangkou and Qiongdongnan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(4): 632-641]
- 27 茹克. 裂陷盆地半地堑分析. 中国海上油气: 地质, 1990, 4(6): 1-10 [Ru Ke. Half-graben analysis of rift basins [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1990, 4(6): 1-10]
- 28 张启明, 张泉兴. 一个独特的含油气盆地—莺歌海盆地[J]. 中国海上油气: 地质, 1987, 1(1): 10-17 [Zhang Qiming, Zhang Quanxing. A special hydrocarbon bearing basin—Yinggehai basin [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1987, 1(1): 10-17]
- 29 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1-10 [Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu fault on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1-10]
- 30 张敏强, 钟志洪, 夏斌, 等. 东海西湖凹陷中南部晚中新世构造反转与油气运聚[J]. 中国海上油气, 2005, 17(2): 73-79 [Zhang Minqiang, Zhong Zhihong, Xia Bin, et al. Late Miocene tectonic inversion and hydrocarbon migration and accumulation in central and southern Xihu sag, East China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2005, 17(2): 73-79]
- 31 张树林, 田世澄, 朱芳冰, 等. 莺歌海盆地底辟构造的成因及石油地质意义[J]. 中国海上油气: 地质, 1996, 10(1): 1-6 [Zhang Shulin, Tian Shicheng, Zhu Fangbing, et al. Genesis of diapire structures in Yinggehai basin and its significances to petroleum geology [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1996, 10(1): 1-6]
- 32 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区—南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 15-21 [Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area—the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 15-21]
- 33 赵建章, 石彦民, 孙维昭, 等. 海南福山凹陷火成岩分布特征及对油气勘探的影响[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(1): 38-42 [Zhao Jianzhang, Shi Yanmin, Sun Weizhao, et al. Distribution of igneous rock and its effect on petroleum exploration in Fushan sag [J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(1): 38-42]
- 34 朱伟林. 中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源岩条件[J]. 北京: 地质出版社, 2009: 1-239 [Zhu Weilin. The Paleolimnology and Source Rock Condition in China Offshore Petroliferous Basins [J]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 1-239]
- 35 邓运华, 李建平. 浅层油气藏的形成机理—以渤海油区为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1-177 [Deng Yunhua, Li Jianping. Forming Mechanism of Shallow Layer Oil and Gas Reservoir: As an Example from Bohai Sea Oil Region [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-177]
- 36 张功成, 刘志国, 陈晓东, 等. 渤海海域油气勘探组合与区带类型[J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(1): 29-34 [Zhang Gongcheng, Liu Zhiguo, Chen Xiaodong, et al. Hydrocarbon reservoir-seal combinations and play types in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2001, 15(1): 29-34]
- 37 陈晓东, 张功成, 范廷恩, 等. 渤海海域天然气藏类型和形成条件分析[J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(1): 72-78 [Chen Xiaodong, Zhang Gongcheng, Fan Tingen, et al. Gas pool types and their formation conditions in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2001, 15(1): 72-78]
- 38 陈洁. 北黄海前新生代残留盆地勘探潜力分析[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 757-760 [Chen Jie. Potential analysis of expo-

- ration for pre-cenozoic marine residual basins in northern Yellow Sea [J]. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(3): 757-760
- 39 朱伟林, 黎明碧, 吴培康. 珠江口盆地珠三坳陷石油体系 [J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(6): 21-23 [Zhu Weilin, Li Mingbi, Wu Peikang. Petroleum system in Zhu I depression of Pearl River Mouth Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997, 24(6): 21-23]
- 40 何敏, 施和生. 珠江口盆地东部 HZ21-1 气藏及其外围储集体一体化研究 [J]. *中国海上油气*, 2007, 19(2): 79-84 [He Min, Shi Hesheng. An integrated on HZ21-1 gas pool and its peripheral reservoir rocks in Pearl River Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 2007, 19(2): 79-84]
- 41 朱伟林, 米立军, 高阳东, 等. 中国近海近几年油气勘探特点及今后勘探方向. *中国海上油气*, 2009, 21(1): 1-8 [Zhu Weilin, Mi Lijun, Gao Yangdong, et al. Recent features and future directions of offshore hydrocarbon exploration in China [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 2009, 21(1): 1-8]
- 42 李晓兰. 东海陆架盆地西湖凹陷油气发现历程回顾 [J]. *海洋石油*, 2007, 27(2): 14-18 [Li Xiaolan. Discovery course of oil and gas in Xihu Sag, the East China Sea shelf basin [J]. *Offshore Oil*, 2007, 27(2): 14-18]
- 43 黄志超, 叶加仁. 东海海域油气资源与选区评价 [J]. *地质科技情报*, 2010, 29(5): 51-55 [Huang Zhichao, Ye Jiaren. Petroleum resources and regional selection evaluation in the East China Sea [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010, 29(5): 51-55]
- 44 李国永, 徐波, 刘丽芳. 台西盆地烃源岩特征及天然气成藏条件 [J]. *天然气工业*, 2007, 27(5): 48-51 [Li Guoyong, Xu Bo, Liu Lifang. Source rock characteristics and gas reservoiring conditions in West Taiwan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(5): 48-51]
- 45 易海, 钟广见, 马金凤. 台西南盆地新生代断裂特征与盆地演化 [J]. *石油实验地质*, 2007, 29(6): 560-564 [Yi Hai, Zhong Guangjian, Ma Jinfeng. Fracture characteristics and basin evolution of the Taixinan basin in Cenozoic [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(6): 560-564]
- 46 杜德莉. 台西南盆地的构造演化与油气藏组合分析 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1993, 14(3): 5-17 [Du Deli. Tectonic evolution and analysis of oil-gas accumulation in Southwest Taiwan basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1993, 14(3): 5-17]
- 47 何家雄, 夏斌, 陈恭洋, 等. 台西南盆地中生界石油地质与油气勘探前景 [J]. *新疆石油地质*, 2006, 27(4): 398-402. [He Jiaxiong, Xia Bin, Chen Gongyang, et al. Petroleum geology and exploration prospect of Mesozoic and Cenozoic in Taixinan basin, Northern South China Sea [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2006, 27(4): 398-402]
- 48 米立军, 张功成. 南海北部陆坡深水海域油气资源战略调查及评价 [J]. 北京: 地质出版社, 2011: 1-255 [Mi Lijun, Zhang Gongcheng, et al. Strategic Investigation and Evaluation of Oil-Gas Resources of Deep Water Area of Northern Continental Margin in South China Sea [J]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 1-255]
- 49 李友川, 黄正吉, 张功成. 渤中坳陷东下段烃源岩评价及油源研究 [J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 44-48 [Li Youchuan, Huang Zhengji, Zhang Gongcheng. Evaluation of the lower Dongying source and oil source research in Bozhong depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2): 44-48]
- 50 邱楠生, 魏刚, 李翠翠, 等. 渤海海域现今地温场分布特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 412-420 [Qiu Nansheng, Wei Gang, Li Cuicui, et al. Distribution features of current geothermal field in the Bohai Sea waters [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 412-420]
- 51 胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海海域盆地热历史及油气资源潜力 [J]. *中国海上油气: 地质*, 2000, 14(5): 306-313 [Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Luo Yuhui, et al. Basin thermal history and petroleum potential in Bohai basin [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 2000, 14(5): 306-313]
- 52 杨树春, 胡圣标, 蔡东升, 等. 南黄海南部盆地地温场特征及热—构造演化 [J]. *科学通报*, 2003, 48(14): 1564-1569 [Yang Shuchun, Hu Shengbiao, Cai Dongsheng, et al. Geothermal field and thermo-tectonic evolution in Southern South Yellow Sea Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2466-2471]
- 53 王良书, 李成, 施央申. 下扬子区地温场和大地热流密度图 [J]. *地球物理学报*, 1995, 38(4): 469-476. [Wang Liangshu, Li Cheng, Shi Yangshen. Distributions of geotemperature and terrestrial heat flow density in lower Yangtze area [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1995, 38(4): 469-476]
- 54 陈安定, 唐焰. 苏北盆地热史、埋藏史研究及其对南黄海南部盆地油气勘探的启示 [J]. *中国海上油气*, 2007, 19(4): 234-239 [Chen Anding, Tang Yan. A study on the geothermal and burial history of Subei basin and its enlightenments on petroleum exploration in South basin, the southern Yellow Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 2007, 19(4): 234-239]
- 55 李友川, 陶维祥, 孙玉梅, 等. 珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征 [J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 830-834. [Li Youchuan, Tao Weixiang, Sun Yumei, et al. Classification and distribution of oil in Huizhou depression of Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 830-834]
- 56 李友川, 邓运华, 张功成, 等. 南海北部第三系海相烃源岩 [J]. *石油学报*, 2011, 32(2): 217-225 [Li Youchuan, Deng Yunhua, Zhang Gongcheng, et al. Tertiary marine source rocks in the northern South China Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(2): 217-225]
- 57 米立军, 袁玉松, 张功成, 等. 南海北部深水区地热特征及其成因 [J]. *石油学报*, 2009, 30(1): 27-33 [Mi Lijun, Yuan Yusong, Zhang Gongcheng, et al. Characteristics and genesis of geothermal field in deep water area of the northern South China Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(1): 27-33]
- 58 康西栋, 李思田, 李雨梁, 等. 北部湾盆地今古地温场特征及热史演化 [J]. *长春科技大学学报*, 1995, 25(2): 173-177 [Kang Xidong, Li Sitian, Li Yuliang, et al. Study on the geothermal characteristics and thermal history of Beibuwan Basin [J]. *Journal of Changchun University of Earth Science*, 1995, 25(2): 173-177]
- 59 汪辑安. 油气地热研究 [J]. *地球科学进展*, 1992, 7(3): 15-19

- [Wang Jian. Geothermal studies on oil-gas resources [J]. *Advance in Earth Science*, 1992, 7(3): 15-49]
- 60 姜亮. 东海陆架盆地第三系煤系烃源岩油气生成与聚集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002 [Jiang Liang. *The Petroleum Generation and Accumulation of Tertiary Coal-measure Source Rocks in East China Sea Shelf Basins* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- 61 袁玉松, 郑和荣, 张功成, 等. 南海北部深水地区新生代热演化史 [J]. *地质科学*, 2009, 44(3): 911-921. [Yuan Yusong, Zheng Herong, Zhang Gongcheng, *et al.* Cenozoic thermal history of the deep water area of the northern margin of South China Sea [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2009, 44(3): 911-921]
- 62 黄保家, 肖贤明, 董伟良. 莺歌海盆地烃源岩特征及天然气生成演化模式 [J]. *天然气工业*, 2002, 22(1): 26-30 [Huang Baojia, Xiao Xianming, Dong Weiliang. Characteristics of hydrocarbon source rocks and generation & evolution model of natural gas in Yinggehai basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2002, 22(1): 26-30]
- 63 李雨梁, 黄忠明. 南海北缘西缘热演化史 [J]. *中国海上油气: 地质*, 1990, 4(6): 31-39 [Li Yuliang, Huang Zhongming. Thermal evolution in the West of Northern Continental shelf of South Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas: Geology*, 1990, 4(6): 31-39]
- 64 何丽娟, 熊亮萍, 汪集昶, 等. 莺歌海盆地构造热演化模拟研究 [J]. *中国科学: D 辑*, 2000, 30(2): 415-419 [He Lijuan, Xiong Liangping, Wang Jiyang, *et al.* Tectono-thermal modeling of the Yinggehai basin, South China Sea [J]. *Science in China: Series D*, 2001, 44(1): 7-13]

Regular Distribution of Inside-oil Fields and Outside-gas Fields Controlled by Source Rocks and Heat in China Offshore Basins

ZHANG Gong-cheng¹ CHEN Guo-jun² ZHANG Hou-he¹ LI You-chuan¹
LIANG Jian-she¹ YANG Shu-chun¹

(1. Research Institute of CNOOC, Beijing 100027;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract: The hydrocarbon generation is controlled by the source rocks and the heat. The source rock is the essential factor of the hydrocarbon formation and the heat is the subsidiary. The both are necessary factors. The interactional factors result in the hydrocarbon generation and distribution pattern. In China offshore, the sedimentary basins are of the stretch or extend-slip depressions which formed in Tertiary. The syn-rift occurred in Paleogene. The thermal subsidence formed sequently in the early-middle Miocene. From late Miocene, the Neo-tectonic movement happened actively in a great number of basins. The source rocks formed mainly during the period of the paleogene syn-rifting. According to the characters of the sediments, the basins are divided into two groups, namely, the continental/terrestrial rift and the superimposed rift. The continental rift are the sags that the syn-rifting stratum are absolutely composed of the terrestrial sediments. The superimposed rift are the sags filled with the marine sediments or the onshore-offshore sediments besides the terrestrial sediments. Bohai bay basin, Yellow Sea Basin, the northern of the pearl mouth basin and Beibuwan Basin are parts of the continental rifts. Those basins, located in the inner of the craton or the continental shelf, are assigned into the inside belt. The outside belt, consisted of the East China Sea Basin, Taixi basin, Taixinan basin and the southern of the pearl mouth basin, is situated in the active continental margin or the continental slope which is subjected to the passive continental margin. In the inside belt, the main source rocks are the middle-deep lake facies mud which formed in the Paleocene, the Eocene and the Oligocene. The Eocene source rocks are dominated. In the outside belt, the source rocks are composed of the lake facies, the onshore-offshore facies and the marine facies sediments and the onshore-offshore facies is the main source rocks. The geologic age of the source rocks is similar with that of the inside belt but the Eocene-Oligocene is dominated. The source rocks of the lake facies are oil-prone in the inside belt. The source rocks of the onshore-offshore facies are gas-prone in outside belt. The heat flow values are low or slight higher in the inside belt, but these are high or super-higher in the outside belt. Because of the coupling interaction of the source rocks and the geothermal field, the oil-prone source rocks produce the oil in inside belt and the gas-prone source rocks bring out the gas in the outside belt. The inside belt are the main oil-produced area and the exploration would focus on the liquid hydrocarbon. Whereas the outside belt would be the nature gas exploration. The oil exploration should be in Bohai bay basin, the northern of the south China sea and the Yellow sea basin, moreover, the nature gas exploration would be emphasized in the north continental slope of the South China sea and East China Sea basin.

Key words: Source rock; geothermal heat flow; the oil & gas field distribution; regularity; the theory of hydrocarbon generation controlled by source rocks and geothermal heat flow