

南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源

姚伯初, 万 玲, 刘振湖

广州海洋地质调查局, 广东广州 510075

摘要: 通过对构造环境、地球物理场特征、盆地生储盖层发育等方面对比研究, 讨论南海南北部沉积盆地的油气资源分布特征, 为在南海进行油气勘查指明方向。目前油气勘探实践证明, 南海南部的油气资源比北部丰富, 究其原因, 南海北部为被动大陆边缘, 张性沉积盆地的烃源岩体积较小, 而南部挤压环境下形成的沉积盆地的烃源岩体积大; 北部的地热流较南部小, 因此地温梯度也较小, 如北部陆架上的珠江口盆地的热流值在 $53\sim 87\text{ mW/m}^2$ 之间, 平均 67 mW/m^2 , 而南海南部大曾母盆地平均热流值达 97 mW/m^2 , 最大值达 130 mW/m^2 , 故南部边缘烃源岩的成熟度比北部高; 由于南部边缘处于挤压构造环境, 因此在沉积盆地中形成了许多挤压构造, 而北部边缘一直处于张性构造环境, 形成的构造较少且较小; 同时, 南部边缘沉积盆地中, 烃源岩生烃与构造形成在时间上搭配较好。因此, 在南海南部边缘沉积盆地中形成了许多大型油气田, 而南海北部边缘沉积盆地中, 大型油气田较少, 中小型油气田较多。这就是为什么南海南部边缘的油气资源比北部丰富的地质原因。

关键词: 沉积盆地; 被动边缘; 挤压边缘; 油气资源; 地温梯度; 生烃; 南海海域。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2004)05-0543-07

收稿日期: 2004-06-12

Tectonic Dynamics of Cenozoic Sedimentary Basins and Hydrocarbon Resources in the South China Sea

YAO Bo-chu, WAN Ling, LIU Zhen-hu

Guangzhou Marine Geological Survey Bureau, Guangzhou 510075, China

Abstract: This paper discusses the distributing characteristics of petroleum in the South China Sea by comparing on the tectonic environments, the assemble of reservoirs, source and cap rocks between the southern and northern South China Sea in order to demonstrate the exploration guide of the petroleum. Petroleum potential in the southern margin of the South China Sea is better than that in the northern margin according to present petroleum exploration. Possible reasons causing such a difference may be grouped into the following aspects. Firstly, the southern South China margin belongs to an extruding environment in Cenozoic time, where the volume of source rocks is bigger than that in the northern margin belonging to a passive environment. Secondly, heat flow and geothermal gradient in the southern margin are higher than those in the northern margin, for example, heat flow in the Pearl River Mouth basin on the shelf of northern margin is $53\sim 87\text{ mW/m}^2$ with an average value of 67 mW/m^2 ; but in the Zengmu basin in the southern margin, an average heat flow is 97 mW/m^2 with a maximum value of 130 mW/m^2 . This fact indicates that the maturation of source rocks in the southern margin is higher than that in the northern margin. Thirdly, many large scale oil-bearing structures in the southern margin are formed due to the extruding environments in Cenozoic time, but trap structures in the northern margin are relatively little in quantity and small in scale in extension environments. Finally, the coordination between the formation time of trap structures and hydrocarbon-generating time in the southern margin is also better than that in the northern margin. Present hydrocarbon exploration also shows that a number of big oil and gas fields exist in the southern margin, only medium-little oil and gas fields occur in the

基金项目: 国家重大基础研究发展计划“973”项目(G2000046705); 国土资源部重大科技项目。

作者简介: 姚伯初(1940-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事海洋地球物理、区域地质构造调查与研究。E-mail: bcyao@163.net

northern margin. Therefore, petroleum potential in the southern margin is richer than that in the northern margin of the South China Sea.

Key words: sedimentary basin; passive margin; extruding margin; petroleum resource; geothermal gradient; hydrocarbon generation; South China Sea.

南海是西太平洋边缘海中最大的海盆之一,面积约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$. 从其构造发育史看,它具有独特的发育模式,既不是如菲律宾海、日本海那样的弧后盆地,也不是像白令海那样的被岛弧圈捕的边缘海,而是如大西洋那样通过大陆张裂与分离、海底扩张而生成的边缘海盆.

关于南海新生代的构造运动,许多科学家进行过综合研究(何廉声,1988;姚伯初,1993). 姚伯初(1993)认为:新生代南海北部发生过 3 次区域构造运动,在中生代末至新生代早期(K_3-E_1)发生了神狐运动,运动方向为北西—南东,在地表产生一系列北东向构造;第二次运动发生在晚始新世,命名为“南海运动”;在中中新世末期,这里又发生一次区域构造运动,运动方向为北西—南东向,称做“东沙运动”. 因为南海北部在新生代为被动大陆边缘,因此,神狐运动引起的不整合面称为张裂不整合面(rifting unconformity),南海运动产生的不整合面称为分离不整合面(break-up unconformity). 第三次构造运动发生在中中新世末期,在南海北部被称为东沙运动;在南海南部被命名为万安运动.

由此可见,南海新生代构造活动开始于神狐运动,它既是南海北部被动大陆边缘构造发展史的开始,也是南海新生代沉积盆地构造发育史的开始. 这次运动在当时的地表产生一系列北东向断裂和地堑半地堑,此后这些地堑半地堑接收了湖相沉积,最后发育为沉积盆地. 南海运动为另一次张性构造运动,它将原来的地堑半地堑进一步拉开,使盆地进入坳陷阶段;同时,陆缘上最南部的地堑半地堑被拉开,使大陆岩石圈破裂分离,其间发生海底扩张,产生新洋盆,这就是南海新生代第一次海底扩张. 晚渐新世南海第二次海底扩张,进一步对陆缘进行拉张,中中新世末的东沙运动(南海南部为万安运动)使沉降盆地进入全面热沉降阶段,接受了浅海至半深海沉积. 对于南海新生代沉积盆地及其油气资源分布特征,国内科学家已进行过广泛研究(冯志强和缪宛岑,1988;寇才修,1988;金庆焕,1989;吴进民,1991;龚再升等,1997;王光宇等,1998;姚伯初,1998;刘振湖等,2000;姚伯初和刘振湖,2002),他们分别对南海

诸沉积盆地的构造特征及其油气资源远景进行过深入研究,但对南海南、北边缘沉积盆地的油气远景未做对比研究. 本文的重点是对比分析南海南、北边缘沉积盆地的油气资源分布特征,并探讨其油气资源分布差异的构造原因.

1 南海海域沉积盆地及其油气资源

南海海域分布着许多新生代沉积盆地,从北到南,有台西南盆地、珠江口盆地、琼东南盆地、北部湾盆地、莺歌海盆地、西沙海槽盆地、中建南盆地、万安盆地、曾母盆地、北康盆地、南薇盆地、南沙海槽盆地、礼乐盆地、西北巴拉望盆地、文莱—沙巴盆地、泰国湾盆地等大中型新生代沉积盆地(图 1).

在南海北部,珠江口盆地位于广东大陆以南的南海北部陆架与陆坡区,面积 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,新生代沉积超过 10 km. 在盆地中,古近系文昌组和恩平组为生油层,中新统下部珠江组及渐新统上部珠海组是主要储层. 目前已证实由惠州凹陷、西江凹陷和文昌凹陷组成的北部凹陷带是主要的富生烃凹陷带,该凹陷带及其南侧的东沙隆起是盆地的油气富集区. 1997 年,珠江口盆地生产原油 $1200 \times 10^4 \text{ t}$,占中国海洋石油总公司年产量的 80%.

北部湾盆地位于南海西北部北部湾海域,面积 $1.98 \times 10^4 \text{ km}^2$,新生代沉积厚达 10 km. 盆地的烃源岩为古近系,乌石凹陷和涠西南凹陷是主要生烃凹陷. 目前已在石炭系灰岩、始新统流沙港组、渐新统涠州组和中新统角尾组中发现了工业油气流.

台西南盆地位于广东陆架东部,其东部已进入台湾岛. 盆地呈北东走向,面积 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$. 新生代沉积厚 2~10 km,分上、下 2 套构造层. 盆地水深 50~3000 m,200 m 水深内的面积占盆地面积的三分之一. 断裂以北东向为主,北西向次之. 盆地的构造发育史和珠江口盆地相似,从神狐运动开始发育,所不同的是盆地东部,上新世时,吕宋弧与亚洲大陆发生碰撞,形成台湾造山带;盆地东部位于山前地区,岩石圈向下弯曲,沉积了巨厚的上新统及第四系. 因此,总体上台西南盆地是被动大陆边缘上的张

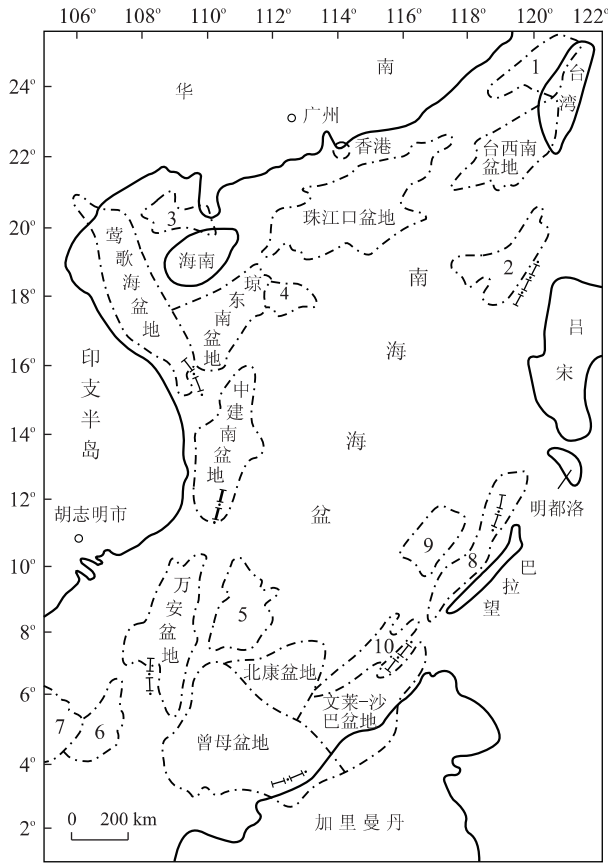


图1 南海沉积盆地分布

Fig. 1 Distribution of sedimentary basins in South China Sea

1. 台湾海峡盆地; 2. 笔架南盆地; 3. 北部湾盆地; 4. 西沙海槽盆地;
5. 南薇盆地; 6. 西纳土纳盆地; 7. 马来盆地; 8. 西北巴拉望盆地;
9. 礼乐盆地; 10. 南沙海槽盆地

裂盆地,但盆地东部从上新世开始为前陆盆地,故该盆地应为复合型盆地。

莺歌海盆地和琼东南盆地位于海南岛周围,目前是中国海域的主要产气区。2个盆地的面积达 $16.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 新生代沉积厚 17 km 。2个盆地虽然相连,但盆地的类型不同,莺歌海盆地是走滑拉张盆地,琼东南盆地是拉张盆地。这2个盆地具有高的沉积速率、高地温梯度和高生烃强度。生油岩主要为始新统文昌组和渐新统崖城组,中新统三亚组也具有一定的生烃能力。目前,已在盆地中发现了崖13-1、东方1-1、乐东22-1和乐东15-1等大中型气田。1997年,崖13-1气田产天然气 $36.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,并向香港供气。据预计,2盆地的天然气储量达 $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是未来中国海域产气的主要盆地。

南沙海域位于北纬 12° 以南的南海南部海域,

属于我国传统海疆线以内,海域面积达 $80 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这里分布着万安盆地、曾母盆地、文莱-沙巴盆地、北康盆地、南薇盆地、南沙海槽盆地、泰国湾盆地、西北巴拉望盆地和礼乐盆地等8个大型新生代盆地,总面积达 $47 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

万安盆地位于南沙海域西部,面积 $6.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,属于我国传统海疆线内的面积为 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,新生代沉积厚达 12500 m 。盆地内发育古新统一始新统陆相沉积,沉积在彼此分割的北东向小断陷中(姚伯初,1997);渐新统和下一中新统为海陆交互相及海相沉积,是盆地的2套主要生油岩系,产层为下一中新统砂岩、中—上中新统台地灰岩及礁灰岩。在盆地内隆起的基底高地上,断裂发育,可能存在基岩储层,为前第三系花岗岩经风化、断裂破坏、热液蚀变等作用形成的大量裂隙、洞穴及孔隙,从而大大提高其孔隙度和渗透率,成为良好储集岩。基岩油层已在邻区湄公盆地白虎油田和万安盆地大熊油田得以证实。白虎油田基岩风化层厚度近 1 km ,拥有 $2740 \times 10^4 \text{ t}$ 的可采储量,是该油田的主要产层;大熊油田基岩储层孔隙度达 $15\% \sim 20\%$,有 60% 的孔隙大小为 0.1 mm 左右。通过盆地模拟计算,万安盆地油气资源量为 $50 \times 10^8 \text{ t}$ 。

曾母盆地位于南沙海域南部的巽它陆架上,其西北部已达上陆坡,面积 $19.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,新生代沉积厚度 $3 \sim 16 \text{ km}$,最厚处达 19 km 。作为前陆盆地,曾母盆地是在南沙地块(古南海北部被动边缘)上从晚始新世至渐新世开始发育的。渐新世—中新世沉积一般厚 $2 \sim 5 \text{ km}$;晚中新世以来的沉积一般厚 $4 \sim 9 \text{ km}$,最厚处超过 10 km 。在盆地南部,原被动大陆边缘上的古新世—始新世沉积因为始新世晚期的陆—陆碰撞而轻微变质;但在盆地北部,由于远离碰撞带,原古新世—始新世被动边缘沉积则变形轻微,因此,对于油气资源来说,始新统仍可作烃源岩。盆地发育有渐新统和下中新统2套主要生油层,在盆地北部,可能还有始新统烃源岩,产层为下中新统砂岩和中—上中新统台地灰岩及礁灰岩。根据盆地模拟计算,曾母盆地油气资源量为 $90 \times 10^8 \text{ t}$ 。

北康盆地位于曾母盆地东北部,其间以北西向展布的廷贾断裂为界。盆地面积 $4.32 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地内发育着古新世以来的新生代沉积,平均新生代沉积厚度为 5 km ,最大厚度达 17 km 以上。北康盆地的主要烃源岩有2套:中始新统陆相湖沼相泥岩、上始新统—下渐新统海陆过渡及滨浅海相泥岩。前

者有机质类型为 I—II₁ 型干酪根,有机质含量为 0.5%~2.0%,在盆地西部坳陷和东南坳陷处于成熟—高成熟阶段,可生成大量油气;后者有机质类型为 II—III 型干酪根,有机质丰度为 0.5%~2.3%,在盆地西南部连成一片,并处于成熟阶段,可生成大量油气,并以生油为主。此外,上渐新统一中中新统浅海—半深海泥岩也具有一定的生烃潜力。根据主要烃源岩的空间分布特征,西部坳陷和东南坳陷是北康盆地的主要生烃凹陷,具有较大生烃潜力。渐新统和中中新统砂岩及中—上中新统灰岩与礁灰岩是主要储层,通过对北康盆地各主要层段的沉积相分析,并与南沙海域主要盆地进行对比,北康盆地的油气储层主要有 2 套:古近系砂岩、中中新统碳酸盐岩。砂岩主要发育在古近系,尤以中始新统砂岩最为发育,砂岩含量一般为 50%~70%,西北和北部大部分地区砂岩含量 >75%。上始新统一下渐新统次之,为近海河湖、三角洲及滨浅海沉积,有利储集相带位于盆地东部的东北坳陷、中部隆起、东南隆起及西部坳陷西北部。北康盆地中中新统浅海台地灰岩和礁灰岩储集性能良好。此外,在盆地内隆起的基底高地及断裂发育处,还可能存在基岩储层,为前第三系花岗岩经风化、断裂破坏、热液蚀变等作用形成的大量裂隙、洞穴及孔隙,从而大大提高其孔隙度和渗透率,成为良好储集岩。经盆地模拟计算,盆地的油气资源量为 44.6×10^8 t。

南薇盆地位于曾母盆地西北部、北康盆地北部,面积 3.26×10^4 km²,新生代沉积厚 8 km。盆地发育有 2 套烃源岩:中始新统陆相泥岩、上始新统一下渐新统海陆过渡相滨浅海泥岩。前者有机碳含量约为 1.0%~2.45%,干酪根为 II—III 型,已达成熟—过成熟阶段,可生成大量油气,并以产气为主;后者有机碳含量约为 0.12%~1.9%,干酪根以 II—III 型为主,处于未成熟—低成熟阶段,仅能生成有限油气。盆地内主要的生烃凹陷有 2 个:中部坳陷和南部坳陷,尤以中部坳陷中部和南部坳陷东北部为最主要的生烃区。盆地的储层与北康盆地类似,主要发育砂岩储层,可分为 2 套:中始新统陆相砂岩、上始新统一下渐新统近岸河湖—滨浅海相砂岩。在上渐新统一中中新统和上中新统中,也可能发育有浅海砂岩和半深海浊积砂岩储层。砂岩储层发育的有利相带主要为冲积平原偏砂相、河流砂相、海岸平原砂相、滨海偏砂相、浅海偏砂相和半深海浊积岩相。有利储集区带位于北部隆起、中部坳陷北部和南部坳

陷东北部。对于南薇盆地砂岩的油气储集特征,国外有一些具体的分析可作参考。邻区曾母盆地渐新统一下中新统海岸平原及滨海相砂岩,其孔隙度达 10%~30%,渗透率为 $(100 \sim 600) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;文莱三角洲中—上中中新统海退层系的砂岩,其孔隙度和渗透率分别是 20%和 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。经盆地模拟方法计算,南薇盆地油气资源量为 19.71×10^8 t。

文莱—沙巴盆地位于东北加里曼丹东北部的近海,面积约 9.4×10^4 km²,新生代沉积厚达 12.5×10^3 m。晚始新世—早渐新世时,南沙地块向东南方向运动,古南海洋壳俯冲于沙巴弧之下,南沙海槽处为俯冲海沟。当时文莱—沙巴盆地处于前弧地区,接受从增生楔来的沉积。在早渐新世时俯冲停止,该区由于岩石圈均衡调整而下降,继续接受来自南部挤压造山带的沉积。盆地西部和东部在基底性质、沉积和构造特征方面存在差异,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—麦瑞组—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—早中新世克拉克组深海复理石。沉积盖层为早中新世或中中新世—第四纪地层,其沉积相带呈北西向分布,而且,从南向北为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的以海退为主,纵向上表现为后期的较粗沉积物依次叠置在前期较细沉积物之上。在地质构造上,西部主要以近东西向至北东向生长断层为主,并发育与之相伴生的滚动背斜、挤压背斜;东部以北东向断层为主,断层多具有走滑性质,并发育扭动构造、泥刺穿构造和背斜。渐新统和下一中中新统是盆地的主要生烃岩,产层为中中新统砂岩。该盆地目前是文莱和马来西亚的重要产油区。

西北巴拉望盆地包括北巴拉望盆地和西巴拉望盆地,总面积约 3×10^4 km²。盆地烃源岩主要为早中新世—中中新世泥质岩,产层主要是早中新世—中中新世砂岩及礁灰岩。盆地分南北 2 个次盆地,北巴拉望盆地位于乌鲁根断裂以东的巴拉望岛和卡拉绵岛西北大陆架及大陆坡上,水深 50~300 m,面积约 1.68×10^4 km²。从区域地质资料来看,北巴拉望地块和礼乐地块是连贯的大陆碎块,它们曾作为亚洲大陆的一部分,一起从中国大陆分离出来,因此,北巴拉望盆地和礼乐盆地都属于裂离陆块上张裂型盆地。盆地基底由晚古生代—中生代变质岩、沉积岩和酸性深成岩所组成,沉积盖层为上侏罗统一白垩系

海相碎屑岩、凝灰质页岩、古新统碎屑岩、上始新统一第四系海相碎屑岩、碳酸盐岩等地层,碳酸盐岩主要发育于上渐新统一中新统、中上中新统和第四系中。断层以北东向为主,北西向断层少量,并发育地垒、地堑和断背斜构造。南巴拉望盆地和北巴拉望盆地的构造和沉积相似。目前,菲律宾通过对外招标,与西方石油公司合作,发现了马拉巴亚、西林纳帕肯 A、西林纳帕肯 B、卡马哥、奥克顿、卡兰努特等 6 个油气田。探明天然气可采储量 $1\ 226 \times 10^8\ \text{m}^3$,石油可采储量 $6\ 754 \times 10^4\ \text{t}$ 。

礼乐盆地位于南沙群岛东北边缘的礼乐滩附近,呈北东走向,属于陆缘裂离断块的张裂型盆地,面积约 $4.5 \times 10^4\ \text{km}^2$ 。盆地基底为中生代海相碎屑岩煤系地层,沉积盖层为古新世—第四纪地层,可分为古新统一始新统、上始新统一中新统和上中新统一第四系等 3 套构造层。盆地内发育北东、北西和南北向 3 组断裂,大多数北东向断裂为反向正断层,形成于古近纪。北西向和南北向断裂以剪切断层为主。主要形成于早中新世。以北东向反向正断裂为构造格架,盆地分为两坳一隆:西北坳陷、中部隆起和东南坳陷。西北坳陷为南断北超的箕状坳陷,沉积厚度一般在 $4\ 000 \sim 5\ 000\ \text{m}$ 之间,受北西向断裂的切割,坳陷呈现南北厚、中间薄的特点;中部隆起地形上相当于忠孝滩、南方浅滩和半路礁一带,与西北坳陷沉积格局相反,该隆起南、北部沉积薄、中间厚;东南坳陷仍是南断北超的箕状坳陷,坳陷南部为盆地的沉积中心,最大厚度超过 $6\ 000\ \text{m}$,北部厚度减薄至 $4\ 000\ \text{m}$ (吴进民,1991)。经盆地模拟计算,礼乐盆地油气资源量为 $7.1 \times 10^8\ \text{t}$ 。

中建南盆地位于南海西部的中建岛以南,主体位于印支半岛的陆架和陆坡区,为走滑拉张型盆地,北东走向。从地理纬度上看,中建南盆地位于南海西部边缘的中部,面积 $13.1 \times 10^4\ \text{km}^2$ 。盆地基底为前第三系,盆地最大沉积厚度超过 $9\ 000\ \text{m}$,主要为古新世—始新世末期形成的断陷沉积层、晚始新世—中新世中期形成的断坳沉积层和中新世后期—现今的坳陷沉积层。盆内主要发育有北东向、北西向、北北西向、东西向和南北向几组断裂。南北向断裂分布在盆地西缘,由一系列大致为南北向的断层组成;北东向断裂大多分布在盆地的中部和东北部,主要为正断层,基本上控制了盆地的地堑沉降区;北西向和北北西向断裂系主要出现在南部和中部,盆地南部的北西向断裂推测为印支半岛上的绥河剪切

带的延伸,该断裂具负花状构造,具有走滑性质。根据地质构造特征,盆地划分为东北坳陷、中部隆起、中西部坳陷和南部断阶带 4 个次级构造单元。中建南盆地新生代沉积地层具有良好的生、储、盖组合,发育了古新统一始新统和中始新统一中新统 2 套烃源岩,河流—冲积扇、扇三角洲和滨海砂岩等是该盆地的良好储层,上中新统一第四系巨厚的半深海—深海沉积为区域盖层。据盆地模拟计算,中建南盆地的总资源量为 $35.95 \times 10^8\ \text{t}$ 。

新生界中存在 3 个可进行区域性对比的不整合反射界面,即北缘的 T_g 、 T_6 和 T_2 ,不整合大致相当于南缘的 V(紫色)、 B^* (青色)和 R(红色)不整合。经区域性追踪对比和钻井资料解释, T_g 或 V 大致相当于声波基底的顶界,在陆缘区主要构成新生界(可能局部包括上白垩统顶部)之底界,反映区域性张裂活动开始的构造活动。在海盆区则反映洋壳基底之顶界,其时代从晚渐新世(海盆边缘)至中中新世(海盆中部)。 T_6 或 B^* 出现在渐新统内部,反映南海扩张前的区域性抬升和夷平作用。 T_2 或 R 出现在中中新统与上中新统之间,在北缘陆—洋过渡带, T_2 呈一向海盆方向倾斜的上超面,标志这一阶段两者之间曾发生过强烈的差异沉降活动,并伴有玄武质岩浆喷溢活动及热事件。北部陆架和上陆坡区,这一构造活动反映吕宋弧与台湾地区欧亚大陆碰撞开始并对南海北部陆缘产生挤压作用;在南海南部陆缘,中中新世未发生了万安构造运动,这是一次非常强烈的构造运动。13~10 Ma B. P. 期间,南海南部的东南,由于菲律宾海板块、澳大利亚板块和欧亚板块的相互作用,对南海南部海域产生过多次挤压。其中,最强的一次应是 13 Ma B. P. 菲律宾海板块和欧亚板块在民都洛岛处的碰撞事件,对南海南部海域产生向西的挤压,这次挤压事件应是引起万安运动的主要原因。因为菲律宾海板块是一个较大的板块,它向西挤压应在南海南部海域产生强烈的构造运动。这次构造活动对南海南部诸沉积盆地的油气资源潜力有非常重要的影响。

2 南海南北边缘沉积盆地油气资源分布特征

在南海北部,目前只有珠江口盆地和莺歌海盆地发现了几个大型油气田,其余盆地仅发现中小型油

气田。南海北部沉积盆地油气年产量不超过 $1\ 400 \times 10^4$ t;而在南海南部,目前已发现许多大中型油气田,年产量超过 $5\ 000 \times 10^4$ t。很显然,南海南部的油气资源比南海北部丰富,是什么原因造成这样的格局呢?

(1)南海北部在新生代为被动大陆边缘,除莺歌海盆地外,其余盆地大都起源于中生代末至新生代早期。当时这里发生了神狐运动,一系列北东向张性断裂开始发生,在地表产生一系列北东向地堑半地堑,此后在它们之中沉积了湖相沉积,直到始新世末,由于热沉降,陆缘逐步沉于水下,广泛接收海陆交互相和海相沉积,沉积盆地逐渐形成。在始新世时,这些湖泊的面积逐步加大,深度加深,接收了富含有机质的烃源岩。由于这些彼此分割的湖泊面积不太大,沉积厚度有限,因此其沉积的烃源岩体积不大,所产生的油气资源量有限,这也决定了这些沉积盆地不可能存在太多的大型油气田。而在南海南部,除万安盆地为走滑拉张盆地外,曾母盆地是前陆盆地,文莱—沙巴盆地和西北巴拉望盆地为前弧盆地。这些盆地从形成之时就开始广泛接收较封闭环境的海相沉积,始新统和渐新统及下中新统皆为烃源岩。这些烃源岩的面积和厚度均较大,如曾母盆地的康西坳陷,面积达 5×10^4 km²。所以,南海南部沉积盆地的烃源岩之体积比北部沉积盆地大得多,因此这些盆地具有产生许多大型油气田的物质条件。

(2)地温梯度的差异。南海地热流和地质构造分区具有紧密的相关性(Wang, 1996)。在南海北部陆缘,热流值一般在 60 mW/m² 左右,与稳定大陆的热流相近;而在南海南部海区的热流值非常高,如曾母盆地的平均热流值达 97 mW/m²。在南部边缘的西部,沿北东方向分布着几个高热流值区,在 $6^\circ \sim 7^\circ$ N、 $119^\circ \sim 111^\circ$ E 处,热流值为 $90 \sim 130$ mW/m²,走向北北东,这是分布在曾母盆地西北部的高热流值区;另一高热流值区的地理位置是 $9^\circ \sim 14^\circ$ N、 $109^\circ \sim 113.5^\circ$ E,热流值为 $90 \sim 130$ mW/m²,走向亦为北北东。在第 1 个高热流值区的南部还有一高热流区,热流值为 $100 \sim 130$ mW/m²,走向为南北向,此高热流区分布在曾母盆地的南部。南海南部高热流值,反映这里地温梯度大;和南海北部相比,在同等深度上,南海南部的温度比北部高。因此,南海南部更有利于沉积中的有机质转化成烃类。Maruyama(1994)用地幔柱构造理论研究全球构造时发现,在南海地区的印支半岛与加里曼丹岛之间,存在一个地幔羽,其深度小于 400 km。他认为,该地幔羽是环太平洋地幔

羽带(中美、北美西海岸、阿留申、西太平洋、斐济等地区之下)中的一个。这些地幔羽的起源与第三纪洋脊俯冲或弧后扩张有关。很显然,南海南部的地幔羽之起源与新生代古南海洋壳(或扩张脊)向加里曼丹—苏禄地块的俯冲有关(姚伯初,1996)。由于这一地幔羽的存在,上地幔部分熔融的岩浆向地表运动,在地表浅层产生高地温梯度和高热流值。加上这里在新生代形成了一系列沉积盆地,沉积了巨厚的新生代沉积($6 \sim 15$ km);同时高地温梯度有利于沉积中的有机质转化为烃类,因此,这里自然成为油气富集区。

(3)在南海新生代沉积盆地中,发育着各类局部构造。如挤压背斜、同沉积背斜、滚动背斜、披覆背斜、泥底辟、断鼻构造、不整合构造、礁岩构造和古潜山构造以及复合构造等。由于南海北部在新生代主要受张性应力场作用,因此,这里的挤压构造很不发育,主要构造类型为同沉积背斜、滚动构造、断鼻构造,仅在台地上发育少量礁灰岩。而南海南部在晚新生代为挤压边缘,挤压构造比较发育,而且在晚新生代沉降速率快,其礁岩构造比较发育。例如,万安盆地的万安滩 7 构造,面积 528 km²,为一自中中新世开始发育的大型碳酸盐台地。曾母盆地的南安 17 构造,是一背斜构造,面积达 486 km²,闭合高度 900 m。在面积为 1.6×10^4 km² 的南康台地上,自中中新世以来沉积了 $200 \sim 300$ m 厚的碳酸盐浅滩沉积,发育着 200 多个礁隆构造,最大的长达 20 km,厚 1.5 km。钻探 43 个礁隆,有 20 个礁体产气。已发现 F14、F13、E6、E8、F23、E11、F28、F6、M3、M1、M4、F29、D12、B11、G7 共 15 个气田。在曾母盆地西部斜坡上发现的纳土纳气田,为一碳酸盐岩构造,气储量达 14×10^4 m³,是一巨型气田。在南海北部已发现的油气田中,除崖 13-1、东方 1-1 和流花 1-1 为大型油气田外,其余均是中小型油气田。产生这一差别的原因除受烃源岩和地温影响外,主要是构造和储层特性差异所致。

(4)在生、储、盖组合及时间搭配上,南海南部诸沉积盆地具有很合适的组合。例如,北康盆地,其烃源岩是始新统、渐新统和下中新统,生烃时间从晚始新世开始一直到第四纪;油气运移时间从中中新世开始,关键时刻为 6 Ma;构造形成时间从中中新世到晚中新世;局部盖层形成时间从晚渐新世开始,而区域盖层形成时间从晚中新世开始。因此,构造形成时间是在生烃高峰时间之前,有利于油气的聚集。这

也是为什么南海南部诸沉积盆地中发现如此多的大中型油气田的原因。

References

- Feng, Z. Q., Miao, W. C., 1988. The geological structure and oil and gas potential in the Pear River Mouth basin. *Geological Research of South China Sea*, (1): 74—80 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., Li, S. T., Xie, T. J., 1997. Continental margin basins analysis and hydrocarbon accumulation of the northern South China Sea. Science Press, Beijing (in Chinese).
- He, L. S., 1988. Polycyclic plate tectonic movements and the Cenozoic tectonics of the South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, (1): 98—108 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., 1989. The geology and petroleum resources in the South China Sea. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Kou, C. X., 1988. The Pre-Oligocene in Pear River Mouth basin; A new oil prospect in the northern South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, (1): 90—97 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., Yao, B. C., Wang, L. L., et al., 2000. The petroleum geology and petroleum bearing system in the Beikang basin of the South China Sea. In: The proceedings of 1996—2000 national scientific researches on key problems. Geological Publishing House, Beijing, 553—556 (in Chinese).
- Maruyama, S., 1994. Plume tectonics. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 100(1): 24—49.
- Wang, G. Y., Yao, B. C., Miao, W. C., 1998. A preliminary study on the southern Taiwan-Soal basin and its prospects of hydrocarbon resources. *Geological Research of South China Sea*, (1): 66—73 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. Y., 1996. Geothermics in China. Seismological Press, Beijing.
- Wu, J. M., 1991. The characteristics of tectonic geology and petroleum resources in the Nansha area of the South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, 9: 24—38 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., 1993. Probing into Cenozoic tectonic movements of the continental margin in northern South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, (5): 1—12 (in Chinese with English abstract).

- Yao, B. C., 1996. Tectonic characteristics and evolution of the Nansha trough. *Geological Research of South China Sea*, (8): 1—14 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., 1997. The re-exploration on the tectonic history of Wan'an basin in Nansha area of the South China Sea. *Geological Research of South China Sea*, (9): 25—41 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., 1998. The tectonic evolution and sedimentary basins of South China Sea in Cenozoic. *Geological Research of South China Sea*, (10): 1—17 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Liu, Z. H., 2002. Distribution of petroleum resources and deep dynamics on the southern margin of the South China Sea. Academic papers of the 80th anniversary of the geological society of China. Geological Publishing House, Beijing, 409—420 (in Chinese).

附中文参考文献

- 冯志强, 缪宛岑, 1988. 南海珠江口盆地地质构造特征和含油气远景. 南海地质研究, (1): 74—80.
- 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社.
- 何廉声, 1988. 多旋回板块构造运动与南海新生代构造. 南海地质研究, (1): 98—108.
- 金庆焕, 1989. 南海地质与油气资源. 北京: 地质出版社.
- 寇才修, 1988. 南海北部珠江口盆地前渐新世找油的新领域. 南海地质研究, (1): 90—97.
- 刘振湖, 姚伯初, 王嘹亮, 等, 2000. 南海北康盆地油气地质与含油气系统. “九五国家重大科研成果学术讨论会”论文. 北京: 地质出版社, 553—556.
- 王光宇, 姚伯初, 缪宛岑, 1998. 台湾浅滩南盆地的初探及油气远景展望. 南海地质研究, (1): 66—73.
- 吴进民, 1991. 南沙群岛地质构造特征与油气远景. 南海地质研究, (9): 24—38.
- 姚伯初, 1993. 南海北部陆缘新生代构造运动初探. 南海地质研究, (5): 1—12.
- 姚伯初, 1996. 南沙海槽的构造特征及其构造演化史. 南海地质研究, (8): 1—14.
- 姚伯初, 1997. 南沙群岛万安盆地构造演化史再探. 南海地质研究, (9): 25—41.
- 姚伯初, 1998. 南海新生代的构造演化与沉积盆地. 南海地质研究, (10): 1—17.
- 姚伯初, 刘振湖, 2002. 中国南海南沙海域油气资源分布和深部动力学特征. 中国地质学会 80 周年学术论文集. 北京: 地质出版社, 409—420.