

全球深水区含油气盆地有效烃源岩的发育规律和控制因素

黄伊然^{1,2}, 张枝焕^{1,2}, 李友川³, 李文浩^{1,2}

(1 中国石油大学(北京)石油天然气成藏机理教育部重点实验室)

(2 中国石油大学(北京)地球科学学院; 3 中国海洋石油总公司研究总院)

摘要 全世界现有 60 多个国家正在进行深水油气勘探,效果显著的地区主要位于被动陆缘盆地。将被动陆缘盆地划分为克拉通内断坳盆地、原洋裂谷盆地、板缘漂移期无陆源碎屑盆地以及板缘漂移期陆源碎屑盆地等四种类型,其构造演化类型基本可分为断陷-坳陷型或断陷-漂移型两种,它们都以断陷期发育的湖相烃源岩为主,在断陷晚期和漂移期则主要发育近海三角洲和海陆过渡相烃源岩,有机质主要来源于陆源碎屑。在被动陆缘深水盆地,纯海相烃源岩发育的可能性相对较低。南海地区是多个微板块拼合、增生和重新组合所形成的,构造环境复杂,其深水区烃源岩形成的环境也多种多样,从湖相、近海三角洲相、海陆过渡相到海相都有发育,但海相的较为少见。海陆过渡相烃源岩的发育主要取决于陆源物质的供给,而海相烃源岩的发育则主要受原始生产力大小的影响。

关键词 深水盆地; 被动大陆边缘; 盆地演化; 烃源岩特征; 全球; 南海

中图分类号: TE112.115

文献标识码: A

世界对能源需求的不断增长,加上浅水区及老油田开发难度的不断增大,使人们的目光开始转向深水区。深水油气勘探(水深大于 300 m)始于 20 世纪 70 年代末期,三十多年的勘探实践证明,深水区是油气蕴藏极为丰富的领域,而且油气产量的增长越来越快。随着深水钻井和开发技术的不断提高,目前世界上可勘探、开发的深水区范围已扩大到了水深 3 000 m 以上^[1]。深水含油气盆地的重要性已不言而喻,而烃源岩是含油气盆地的物质基础,勘探实践表明深水区是有机质富集和大量有效烃源岩发育的有利场所。我国已有多人做过很多深水勘探特点和进展等方面的研究,特别是与我国南海海域深水区石油地质条件的类比,提出了对南海油气地质特征与油气资源量应该引起足够重视^[1-3]。本文主要对全球一些重要深水含油气盆地的烃源岩发育特征做比较分析,总结有效烃源岩的发育规律和控制因素,以为深水油气勘探提供参考。

1 世界深水含油气盆地概况

全球现有 60 多个国家正在进行深水油气勘探,

累计已发现的石油储量超过 250×10^8 bbl,天然气储量达 160×10^8 bbl 油当量。2000—2007 年全球深水区共发现 33 个大型油气田,占同时期全球大型油气田勘探发现的 42%,据估计未来世界油气总储量的 40%将来自于深水区^[4]。美国地质调查局和国际能源机构估计全球深水区最终潜在石油储量可能超过 $1\,000 \times 10^8$ bbl。全球深水区油气分布具有不均一的特点,目前勘探主要集中在墨西哥湾、南大西洋两岸的巴西和西非沿海等地区,分别占了 32%、30%及 22% 的全球深水钻探量^[5]。这三个地区也集中了相当部分的深水油气储量和产量。据 2003 年底统计,在已发现的海洋油气(包括近海到深水)储量中,墨西哥湾有 140 个油田发现,储量达 115×10^8 bbl;巴西有 146×10^8 bbl;南非的安哥拉近海有 41 个油田发现,储量 95×10^8 bbl,尼日利亚有 25 个近海油田,储量 83×10^8 bbl^[6]。此外,大西洋北海地区、地中海沿岸、澳大利亚西北海域以及南中国海海域都在进行深水油气勘探,并不断取得新突破^[4-5]。从统计世界上 43 个巨型浊积体油气田所属的盆地类型可以看出,被动大陆边缘盆地占大多数^[7],深水油气勘探效果显著

收稿日期: 2010-11-22

本文受国家重点发展规划项目(编号:2009CB219402)资助

黄伊然: 1983年生,2006 年本科毕业于长江大学,现为博士研究生,主要从事石油地质和成藏方面的研究。通讯地址: 102249 北京市昌平区府学路 18 号; 电话: (010)89734164

的地区也主要位于被动陆缘盆地。

被动陆缘盆地是指分布在被动大陆边缘的盆地,一般又称大西洋型大陆边缘盆地,其构造位置是一个大陆破裂、洋底扩张背景下形成的从大陆向大洋过渡的广阔带,地壳稳定。被动陆缘盆地以大西洋两岸的分布最为广泛和典型,例如非洲西海岸大陆边缘的加蓬盆地和下刚果盆地,南美东海岸大陆边缘的坎普斯盆地等(图1)^[8]。而墨西哥湾、南中国海、澳大利亚西北大陆架等属局部扩张洋盆的边缘,其盆地发育的早期往往是裂谷或拗陷型盆地,后期才转化为被动陆缘盆地,构造演化相对复杂。其中南海的构造演化更为复杂,由于受欧亚板块、

印度—澳大利亚板块以及太平洋—菲律宾海板块的复合应力作用,南海四周具有不同的边缘性质,发育有100多个沉积盆地,其北缘和南缘北侧属拉张型被动边缘,而南缘南侧特别是印尼海区则主要为弧后盆地。北海盆地则是西北欧克拉通地块内发育南北向断裂的大陆型裂谷盆地^[9]。图1所示的盆地均为目前全球深水油气勘探的主要地区,它们为典型或非典型的被动大陆边缘盆地和南海部分地区的弧后盆地。本文主要对被动陆缘盆地进行研究,同时对南海地区的复杂情况加以分类和探讨,力求总结和对全球深水含油气盆地有效烃源岩的发育规律和控制因素。

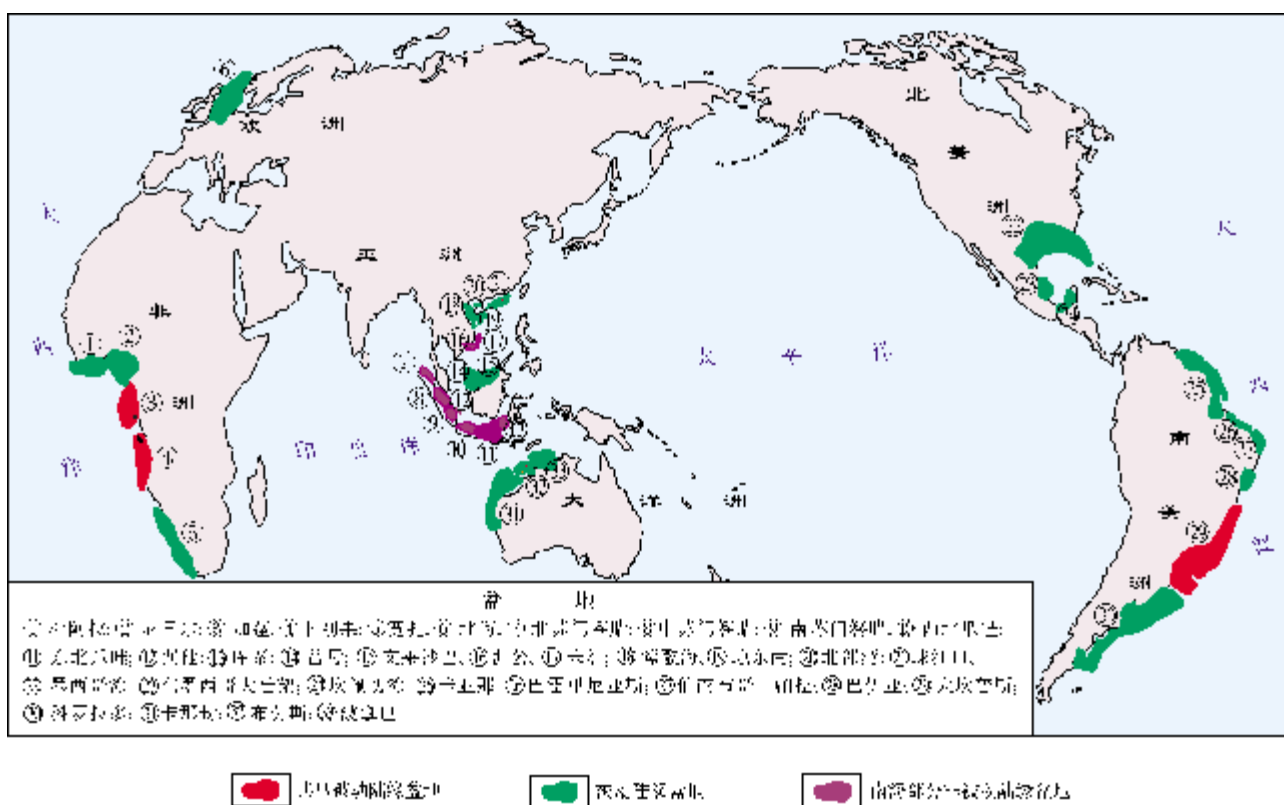


图1 全球主要含油气被动陆缘盆地分布和南海部分非被动陆缘盆地(据文献[8],有修改)

2 被动陆缘盆地分类

从全球范围讲,目前所勘探的大陆边缘深水区是形成于三叠纪晚期劳亚大陆和冈瓦纳大陆破裂以后,在大陆分裂、新洋张开过程中发育起来的^[3],经历了前裂谷期、裂谷期、过渡期及漂移期(或拗陷期)四个阶段,分别对应前断陷层序(基底)、断陷层序、过渡层序及漂移层序(或拗陷层序)四个沉积层序。

但不同地区形成被动大陆边缘盆地的时间和性质不同,沉积充填也各具特色。从烃源岩发育的角度和构造发展演化、大型河流带来的沉积物供给情况等可以将其粗略地划分为四种类型,即克拉通内断拗盆地、原洋裂谷盆地、板缘漂移期无陆源碎屑盆地以及板缘漂移期陆源碎屑盆地(图2)。烃源岩发育的沉积环境包括湖相、近海三角洲相、海陆过渡相到海相。其中无论是哪种盆地类型,断陷层序中湖相泥页

岩烃源岩比较常见,有效烃源岩发育的可能性较大。相比较而言,过快进入拗陷期的断拗盆地和原洋裂谷盆地,或者漂移时期没有大量沉积物供给的板缘盆地其有效烃源岩发育的可能性则相对较小。

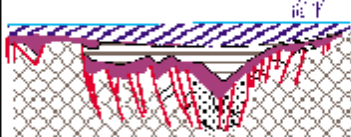
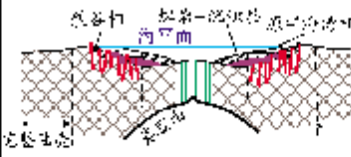
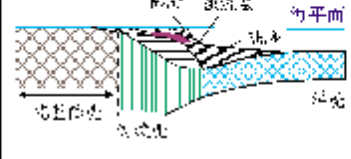
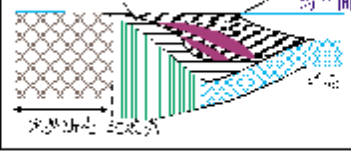
克拉通内断拗盆地 发育在稳定克拉通内部张裂背景下的裂谷盆地,具下部断陷、上部拗陷层序的双层结构。

原洋裂谷盆地 由于大陆分离早期受阻,没有形成板块的分离而是整体进入拗陷的陆缘海相条件。如北海盆地(图1中盆地⑥)是西北欧克拉通内的一个大陆型裂谷盆地,并且是一个拗拉谷^[9]。

板缘漂移期无陆源碎屑盆地 海底扩张和大洋

形成导致了板块的分离和漂移,克拉通分离后,两侧大陆边缘逐渐成盆,大陆边缘的沉降主要有断陷和断离两种,如果漂移过程中没有大量的陆源碎屑沉积,随着水体不断加深,主要形成浅海陆架—深海平原沉积环境,总体表现为持续性拗陷充填,发育海底扇和浊积岩。

板缘漂移期陆源碎屑盆地 在板块漂移过程中如果有大型河流带来的陆源碎屑,其沉积环境则相对不同。最典型的就是尼日尔三角洲盆地(图1中盆地②),发育于早白垩世末期衰退裂谷臂的尼日尔—贝努埃河带来大量碎屑不断向大西洋进积,使得沉积层序不断向海洋推进。

构造类型	盆地类型	示意图	构造、沉积演化	烃源岩发育特征	实例
板内	克拉通内断拗盆地		克拉通分离的大陆断块,经快速沉降,地壳拉伸和地壳减薄,而裂谷、裂谷和拗陷三个阶段。	主要在断陷期发育深相和半深相良好的烃源岩,后期在拗陷期和陆缘海相条件下,也有利于烃源岩发育。	断陷盆地,拗陷盆地
	原洋裂谷盆地		大部分为早期断陷,形成原洋裂谷,原洋裂谷经长期沉降,其沉降速率较慢,后期沉降速率加快,有利于烃源岩发育,后期经拗陷期拗陷充填。	早期断陷中后期及拗陷期可能发育烃源岩。	断陷裂谷盆地,北海盆地
板缘	板缘漂移期无陆源碎屑盆地		在大陆边缘形成很厚的沉积层,其沉积物,在构造上在分离条件下,经快速沉降,其沉降速率较慢,后期沉降速率加快,有利于烃源岩发育,后期经拗陷期拗陷充填。	经拗陷期拗陷期可能发育深相和半深相良好的烃源岩,在拗陷期和陆缘海相条件下,也有利于烃源岩发育。	拗陷盆地,坎普斯盆地,下刚果盆地
	板缘漂移期有陆源碎屑盆地		大陆边缘形成很厚的沉积层,其沉积物,在构造上在分离条件下,经快速沉降,其沉降速率较慢,后期沉降速率加快,有利于烃源岩发育,后期经拗陷期拗陷充填。	由于存在大量的陆源碎屑供给,漂移期有有机质丰富的沉积物,在拗陷期和陆缘海相条件下,也有利于烃源岩发育。	尼日尔三角洲盆地,墨西哥湾盆地

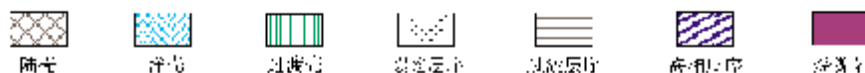


图2 被动陆缘盆地分类和烃源岩发育特征

3 全球主要被动陆缘盆地有效烃源岩发育特征

笔者总结了全球主要深水区含油气盆地的主要烃源岩发育特征如表1所示,盆地构造演化基本可分为断陷—拗陷或断陷—漂移两种类型。

统计发现,断陷时期的湖相烃源岩较为发育,在南美东海岸被动大陆边缘的坎普斯盆地、桑托斯盆地与非洲西海岸被动大陆边缘的下刚果盆地、加蓬盆地等都以断陷期发育的湖相烃源岩为主^[2]。

漂移层序中烃源岩最为发育的是尼日尔三角洲和墨西哥湾盆地。尼日尔三角洲有尼日尔—贝努埃

表1 全球主要被动陆缘含油气盆地烃源岩发育特征统计

盆地或地区	烃源岩发育层位	岩性	烃源岩类型	有机质丰度(%)	成熟度	构造演化阶段	沉积环境
北海盆地	上侏罗统	页岩	Ⅱ型	3~10	成熟,生油窗 3500~4800m	断陷晚期	海陆过渡,近海海相沉积
	中侏罗统	煤层和含煤页岩	Ⅱ—Ⅲ型			断陷早期	海陆过渡相沉积
坎普斯盆地	下白垩统	泥岩,页岩	Ⅰ—Ⅱ型	2~6	成熟	断陷早期	深湖相沉积
尼日尔三角洲	始新统一中新统	页岩	Ⅱ—Ⅲ型	平均2.6	成熟	断后漂移期	海陆过渡相沉积 主要为三角洲相沉积
下刚果盆地	上侏罗统—下白垩统	页岩	Ⅰ—Ⅲ型	平均6	成熟	断陷期	深湖相沉积
墨西哥湾	古新统一始新统	页岩	Ⅲ型	平均1.5~2.7	生油窗 2987~4511m	断后漂移期	海相,三角洲相沉积
	上白垩统	碳酸盐岩、硅质碎屑岩	Ⅱ型	>1.0	生油窗 2469~3780m	断后漂移期	海相沉积
	上侏罗统	泥质灰岩	Ⅱ型	1~2	过成熟	断陷期	海相沉积

河系,墨西哥湾盆地有密西西比河系,大型河流带来的陆源有机质有利于烃源岩的形成。尼日尔三角洲盆地 Akata 组的前三角洲相泥岩是该区的主力烃源岩,有机碳含量平均值为 3% 左右, S_2 绝大多数在 5 mg/g 以上,最高可达 20 mg/g; 有机质属于腐殖质,也含有少量腐泥组分,为Ⅱ型和Ⅲ型混合型,高生烃潜力的有机质多为陆源植物蜡^[10]。墨西哥湾盆地具有多套烃源岩系,其中拉腊米造山运动极大地改变了墨西哥湾西部海岸的古地理环境,提供了巨量的沉积物源,于晚白垩世—早新生代沿深海湾西部边缘沉积下来。依据生物标志物分析,Walters 等人^[11]认为路易斯安那州东部近海地区上新统和更新统的原油可能源自下伏中新统的中下部,而储于路易斯安那陆架西部相同层系的原油可能源自上新统下部^[12]。

陆源有机质供给的充足并不代表着有大规模烃源岩的发育,两者之间的相关性不太明显。例如世界第二大河亚马逊河口下方至今尚未发现重要含油气盆地,而北海盆地上侏罗统发育大规模海陆过渡—近海海相烃源岩也并未发现有大型河流的作用,这很可能是古生产力和保存条件等因素共同作用的结果。

从对被动陆缘深水区烃源岩的统计可以发现,真正以海相藻类为主要有机质来源的有效烃源岩主要是北海盆地的侏罗系基末利阶(Kimmeridge)页岩和墨西哥湾的侏罗系提塘阶(Tithonian)海相页岩与泥质灰岩。北海盆地基末利阶页岩沉积过程中海水

循环受限制,水体富营养化,在持续的缓慢沉降过程中得以保存足够数量的有机质。墨西哥湾的侏罗系提塘阶海相页岩和泥质灰岩优质烃源岩主要形成于超咸化的碳酸盐岩蒸发岩沉积环境,这可以从六环霍烷和 17 α (H)-29,30-双降霍烷的存在以及 C_{29}/C_{30} 霍烷的值较高看出,但这也很可能与盐岩沉积后的藻类勃发密切相关^[11]。

4 南海地区有效烃源岩发育特征

南海地区是多个微板块拼合、增生和重新组合所形成的,发育有 100 多个沉积盆地。由于板块间相互作用方式不同,南海四周具有不同的边缘性质:北缘为华南陆块的延伸部分,发育一系列阶梯状拆离断层和不同规模的隆、拗构造带,属拉张型边缘;南缘北侧是与北缘相似的被动边缘,与现今南海的扩张有关,主要表现为拉张构造形态;南缘南侧是碰撞边缘,与古南海消亡有关,发育一系列自南向北逆掩的叠瓦状构造,属挤压型边缘;西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;东缘发育沟、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的消亡型边缘。南海深水区烃源岩形成的环境也多种多样,从湖相、近海三角洲相、海陆过渡相到海相都有发育,烃源岩发育情况相比更为复杂。

南海西部越南海区的湄公盆地(图1中盆地⑯)和宋红盆地(图1中盆地⑰)原油样品具有明显来源于湖相烃源岩的地球化学特征,包括双峰态分布的

正构烷烃、中等程度姥植比和藿烷同系物 C_{30} 到 C_{35} 之间随着碳数增加而丰度减小、三环萜烷 C_{26}/C_{25} 值大于1、很少见到 C_{30} 甲基甾烷和海相硅藻分解物等^[12-13]。而在南海北部陆缘,深水区发育三套主要烃源岩,即始新统一渐新统湖相烃源岩和渐新统海陆过渡相烃源岩,以及潜在的新近系半封闭海相烃源岩。据计算,琼东南盆地中央坳陷带的总生烃量为 $2610 \times 10^8 t$,其中始新统湖相和崖城组海陆过渡相烃源岩的生烃量占70%;珠江口盆地珠二坳陷的总生烃量为 $1304 \times 10^8 t$,其中文昌组和恩平组湖相烃源岩的生烃量占96%^[14]。在南海南缘北侧的曾母盆地(图1中盆地⑭)主要为渐新统海陆过渡相和下一中中新统海相泥岩两大套烃源岩;文莱沙巴盆地(图1中盆地⑮)在烃源物质以陆生植物为主的海陆过渡相沉积环境中,姥植比明显大于3且样品中普遍存在双杜松烷,可以说明外来有机质的输入占主导地位。值得注意的是这两个盆地煤层都比较发育,而且都具有很好的生烃潜力^[15]。

Doust等人^[16]研究了南海南缘南侧印尼海区主要产油气区的烃源岩发育层位、岩性、主要沉积环境以及与构造演化阶段的匹配关系,在印尼西南部盆地地层剖面上反映了烃源岩发育层位、构造演化阶段及沉积环境(图3)。从图中可以看出,烃源岩形成环境从湖相、近海—三角洲的海陆过渡相到海相均有发育,基本都发育在断陷时期。断陷作用导致苏门

答腊岛整个地区都为地堑和地垒格局,地垒可以作为提供沉积的物源。这些与岛弧有关的边缘盆地常与大西洋型被动陆缘盆地有许多类似之处,所不同的是:这些与岛弧有关的盆地或弧后盆地位于火山弧之后;这些盆地大多数是年轻的(早第三纪晚期和晚第三纪),它们存在的地质年代比大西洋型被动陆缘短。北苏门答腊盆地物源主要为巴里桑山,盆地几乎全部被海相沉积充填,尤其是在北部,包含深海泥岩、页岩及浅水礁灰岩,后者往往是在高部位发展起来的。烃源岩为晚渐新世Bampo组的浅海相泥页岩和中中新世Baong组的半深海相富含黏土的页岩,沉积环境为海陆过渡相至半深海相,有机碳含量平均值为1.9%,最大为3.8%,类型偏向于Ⅲ型干酪根,中、南苏门答腊盆地烃源岩则主要为断陷阶段的始新统一渐新统湖相泥页岩,有机碳含量最高达10%^[17]。结合盆地油气储量对比,印尼海区14个主要产油气区总储量为 $5.31 \times 10^8 bbl$,其中来源于湖相烃源岩的为 $2.86 \times 10^8 bbl$,占53.9%,而来源于海相烃源岩的为 $0.67 \times 10^8 bbl$,占12.6%。这反映了断陷早期发育湖相烃源岩的可能性最大,且所占储量比例也最大;其次是断陷晚期,盆地沉积环境多种多样,近海—三角洲的海陆过渡相和海相都可能发育煤系或泥质烃源岩,因此也可能有主力烃源岩发育;而海相烃源岩则在坳陷期的一定条件下有可能发育,但规模和发育的可能性则相对较小。

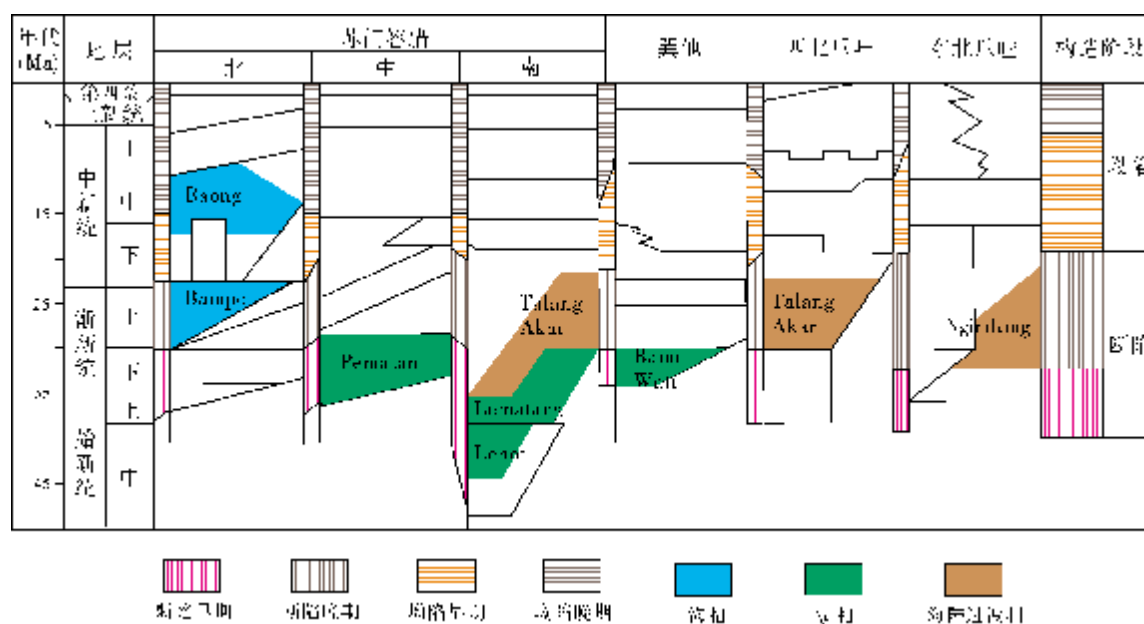


图3 印尼西南部盆地主要烃源岩发育层位、沉积环境及对应演化阶段(据文献[16],有修改)

5 古生产力是海相有效烃源岩发育的主要控制因素

烃源岩分布受古气候、古构造、古环境等多种因素的影响,长期以来就海相高有机质丰度沉积地层形成的主要控制因素一直存在着“保存条件”与“生产力”两方面的争论。已有很多证据证明,“缺氧条件”独立作为有效烃源岩的主控因素有失偏颇,而“古生产力”也与富含有机质的海相烃源岩相关性较好^[18],对于烃源岩形成环境来说表层水的高有机质生产力比底层水的缺氧环境更重要,只要有机质生产力足够高,在含氧的非还原环境中也能形成烃源岩。例如在南海琼东南盆地,通过目前钻探的井收集的元素分析结果,反映上述条件与有效烃源岩形成控制因素之间的关系为: Ba/Ca 值大小反映了古生产力的大小; Ni/Co 值大小反映了还原或氧化的沉积环境; Zr/Rb 值大小反映了水动力条件的强弱。虽然限于分析手段、收集样品及琼东南盆地的海相烃源岩发育不一定具有代表性等缺陷,且目前用元素比值反映沉积环境的评价尚无统一标准,但是通过这些比值仍然能发现一定规律。如图4所示,红圈范围大体上是有机质丰度较高的样品点,可以发现作为崖13-1气田主力烃源岩的崖城组、陵水组烃源岩主要形成于古生产力较高、水动力条件相对较弱的氧化沉积环境中。崖城组、陵水组主要以海陆过渡—滨浅海相的沉积环境为主,属于氧化环境,它实际上不

利于有机质的保存,而水动力条件的影响相对不太明显。古生产力与有机质丰度的相关性较好,对海相烃源岩的发育起了主要的控制作用。对崖城组、陵水组钻井揭示的沉积地层实际上大部分都处于不利于烃源岩形成的沉积环境中。海相地层沉积厚度大、分布范围广,并不能代表有机质丰度高、生油气潜力大,海相有效烃源岩主要取决于原始生产力的大小,其次才是保存条件,当然还受沉积环境、沉积速率、酸碱性及矿物岩石作用等^[19]其他一些因素的影响。

6 对我国南海北部烃源岩发育规律的启示

通过对全球深水含油气盆地烃源岩的分析和统计,可以总结出它们的有效烃源岩形成模式。在断陷作用下盆地发育分为两种,一种是小规模的,没有板块分离的断坳盆地和原洋裂谷盆地,具有断陷裂谷和坳陷沉降双层沉积结构;另一种是大规模持续性有洋壳形成和板块分离漂移的盆地。无论是哪种类型盆地,断陷早期一般都有半深湖—深湖相有机质丰度较高的烃源岩发育,坳陷或漂移期则可能发育海陆过渡相和近海相烃源岩,而海相有效烃源岩的发育则主要取决于古生产力的大小。从烃源岩发育角度来看,南海北部烃源岩的发育与南部盆地相比时间上相差不大,基本在始新世时湖泊逐步加大、加深,接受富含有机质的烃源岩沉积,湖相烃源岩的分布和是否与储盖层配套应该是我们研究的重点。海陆过渡相烃源岩比较发育,但规模和分布主要取决于陆源碎屑的供给。海相烃源岩较湖相和海陆过渡相的少见,目前在南海北部地区尚未证实有大规模广泛的发育,该地区对海相藻类的大规模发育可能并不有利,钻井揭示的有机质含量偏低,因此海相烃源岩的原始物质基础较缺乏,仅可能在局部坳陷能够作为主力烃源岩。

7 结论

(1)被动大陆边缘深水盆地具有丰富物质基础,发育大量有效烃源岩,是油气聚集成藏的有利场所。以南大西洋两岸最为发育,也最为典型,按构造演化阶段和烃源岩发育特征可以将这类盆地分为四种,即克拉通内断坳盆地、原洋裂谷盆地、板缘漂移期无陆源碎屑盆地和板缘漂移期陆源碎屑盆地。

(2)被动陆缘盆地的演化可以分为前裂谷期、裂

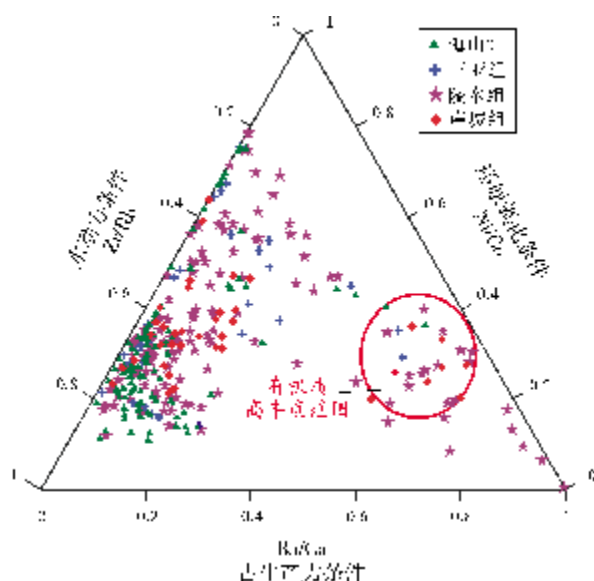


图4 琼东南盆地烃源岩样品沉积环境参数三角图

谷期(断陷期)、过渡期以及坳陷或漂移期四个阶段。其中断陷期的湖相烃源岩是最普遍和最发育的烃源岩,它是否有效则取决于生储盖组合的配置关系。在断陷晚期和漂移期(或坳陷期)则主要发育近海三角洲和海陆过渡相烃源岩,有机质主要来源于陆源碎屑。在被动陆缘深水盆地,纯海相烃源岩发育的可能性相对较低。

(3)南海北部地区普遍发育湖相烃源岩,且丰度高、规模大。

(4)海陆过渡相烃源岩的发育主要取决于陆源物质的供给,而海相烃源岩的发育则主要受原始生产力大小的影响。

参考文献

- [1] 吴时国,袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6):693-699.
- [2] 周蒂,孙珍,陈汉宗. 世界著名深水油气盆地的构造特征及对我国南海北部深水油气勘探的启示[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6):561-572.
- [3] 杨川恒,杜棚,潘和顺,等. 国外深水油气领域油气勘探新进展及我国南海北部深水油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2000, 7(3):247-256.
- [4] Mann P, Horn M, Cross I. Tectonic setting of 79 giant oil and gas fields discovered from 2000-2007: Implications for future discovery trends[R]. Long Beach: AAPG Annual Convention, 2007.
- [5] 陈建文. 深水盆地油气勘探新领域[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8):38-41.
- [6] 吕福亮,贺训云,武金云,等. 全球深水油气勘探简论[J]. 海相油气地质, 2006, 11(4):22-28.
- [7] 陈春峰. 世界深水勘探特点及中国深水勘探现状分析[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(6):835-837.
- [8] 李国玉,金之钧,李俊,等. 世界含油气盆地图集[M]. 北京:石油工业出版社, 2005.
- [9] Glennie K W. Introduction to the petroleum geology of the North Sea[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991.
- [10] Evamy B D, Haremboure J, Kamerling P, et al. Hydrocarbon habitat of Tertiary Niger Delta[J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(1):1-39.
- [11] Walters C C, Cassa M R. Regional organic geochemistry of offshore Louisiana[J]. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 1985, 35:277-286.
- [12] Jogen A, Koefoed B, Nytoft H P, et al. Petroleum composition in the Cuu Long Basin (Mekong Basin) offshore southern Vietnam[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(6): 899-908.
- [13] Petersen H I, Nytoft H P, Nielsen L H. Characterization of oil and potential source rocks in the northeastern Song Hong Basin, Vietnam: Indications of a lacustrine-coal sourced petroleum system[J]. Organic Geochemistry, 2004, 35:493-515.
- [14] 马玉波,吴时国,袁圣强,等. 南海北部陆缘盆地与坎普斯盆地深水油气地质条件的对比[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(4):101-110.
- [15] Curiale J, Morelos J, Lambiase J. Brunei Darussalam characteristics of selected petroleum and source rocks[J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(12):1475-1493.
- [16] Doust H, Noble R A. Petroleum systems of Indonesia[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(2):103-129.
- [17] Hickman R G., Dobson P F, Gervin M. Tectonic and stratigraphic evolution of the Sarulla graben geothermal area, North Sumatra, Indonesia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 23(3):435-448.
- [18] 张水昌,张宝民,边立曾,等. 中国海相烃源岩发育控制因素[J]. 地学前缘, 2005, 12(3):39-48.
- [19] 倪春华,周小进,王果寿,等. 海相烃源岩有机质丰度的影响因素[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2):20-23.

编辑:吴厚松

Development Regularity and Dominant Factors of Hydrocarbon Source Rocks in Worldwide Deepwater Petroliferous Basins

Huang Yanran, Zhang Zhihuan, Li Youchuan, Li Wenhao

Abstract: More than 60 countries are practising oil and gas exploration in the worldwide deep waters. The regions of deepwater exploration effective are mostly in the passive continental margin basins. The tectonic evolution of these basins can be classified into either rifting-depressing or rifting-drifting ones. In these basins, lacustrine source rock was dominant during the rifting phase and paralic deltaic and transitional source rock during the late rifting and the drifting phases. Organic matter in source rock is commonly sourced from terrigenous detritus. The development of transitional source rock depends on terrestrial sediment supplies while that of marine source rock depends on original productivity of sediments. In the region of South China Sea, the deepwater source rock that developed in various sedimentary environments may be lacustrine, paralic deltaic, transitional or less marine.

Key words: Deep-water basin; Passive continental margin; Basin evolution; Characteristics of source rock; South China Sea; Worldwide

Huang Yanran: male, doctor's degree in progress. Add: Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, 18 Fuxue Rd., Changping, Beijing, 102249 China