

DOI: 10.11885/j.issn.1674-5086.2013.08.22.01

文章编号: 1674-5086(2014)02-0009-15

中图分类号: TE132

文献标志码: A

中国边缘海盆地构造演化与油气分布富集规律*

张伟^{1,2}, 何家雄¹, 颜文¹, 张景茹^{1,2}, 李晓唐^{1,2}

1. 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640

2. 中国科学院大学, 北京 石景山 100049

摘要: 中国边缘海盆地处在欧亚、印度—澳大利亚及太平洋三大板块相互作用之新生代最活跃区域, 其中, 南部边缘海盆地尚受南海裂解扩张作用等多种因素的深刻影响, 形成了具有断拗双层结构不同类型伸展型或伸展、走滑、挤压复合型盆地, 沉积充填了古近纪断陷裂谷早期中深湖相地层及其烃源岩、古近纪断陷晚期煤系地层及烃源岩、新近纪拗陷期海相地层及其烃源岩, 为油气形成奠定了雄厚的物质基础。受区域地质背景影响, 边缘海盆地地壳性质及厚度从陆缘区到深海洋盆区具有逐渐递变的特点; 盆地沉降沉积中心亦逐渐向深海洋盆迁移, 导致其大地热流及地热场向洋盆区逐渐升高增强, 加之与晚期新构造运动和烃源供给系统时空上的相互耦合配置, 最终控制了边缘海盆地油气分布富集规律。

关键词: 边缘海盆地; 区域地质背景; 构造演化特征; 主裂谷期烃源岩; 油气富集规律

Characteristics of Tectonic Evolution and Distribution and Enrichment Patterns of Oil and Gas in the Chinese Marginal Basin

Zhang Wei^{1,2}, He Jiaxiong¹, Yan Wen¹, Zhang Jingru^{1,2}, Li Xiaotang^{1,2}

1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Shijingshan, Beijing 100049, China

Abstract: The Chinese marginal basin is located at the most active Cenozoic era, which is formed by the interaction of Eurasia, India-Australia and the Pacific plates, and its southern marginal basin is still subjected to the impact of the South China Sea cracking and expansion and many other factors, so the rift-depression double-layer structure basins have formed, which have different types, such as extensional or composite strike-slip-extrusion type. The sedimentation has filled in the basin, which is mid-deep lake face strata and hydrocarbon source rocks in the early phase of the Paleogene rift Valley, coal-bearing strata and hydrocarbon source rocks in the late phase of the Paleogene rift, and marine strata and hydrocarbon source rocks in the Neogene depression, which has laid a foundation for oil and gas formation. Due to the impact of the regional geological setting, the characteristics and thickness of the marginal basin crust has gradually graded features from the continental margin area to the deep ocean basin area. The basin subsidence deposition center has gradually migrated to the deep ocean basin, which results in the terrestrial heat flow and geothermal field increasing gradually to the ocean basin, coupled with the space-time mutual coupling configuration between advanced new tectonic movement and source supply system, which ultimately controls and restricts the law of oil and gas distribution and enrichment in marginal basin.

Key words: marginal basin; regional geological setting; tectonic evolution characteristics; main rift source rocks; oil and gas enrichment patterns

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.11885/j.issn.1674-5086.2013.08.22.01.html>

张伟, 何家雄, 颜文, 等. 中国边缘海盆地构造演化与油气分布富集规律[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2014, 36(2): 9-23.

Zhang Wei, He Jiaxiong, Yan Wen, et al. Characteristics of Tectonic Evolution and Distribution and Enrichment Patterns of Oil and Gas in the Chinese Marginal Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2014, 36(2): 9-23.

* 收稿日期: 2013-08-22 网络出版时间: 2014-03-21

基金项目: 国家自然科学基金(41176052); 国家重点基础研究发展计划(2009CB219501)。

1 区域地质背景

中国边缘海盆地处于欧亚板块东南缘,与印度—澳大利亚板块及太平洋板块相邻,受控于三大板块相互作用和影响之中,同时亦属太平洋构造域与古特提斯构造域的相互叠置混合区,故其区域大地构造背景及地球动力学条件非常复杂。国内外学者对其进行过大量的研究,有关边缘海盆地成因的研究以 Karig D E 的弧后扩张说为开端^[1],随后大西洋扩张模式、捕获模式、热区模式、陆缘扩张模式等相继提出^[2-3]。刘光鼎系统研究了中国海地球物理场与动力场特征及其与油气的关系^[4]。任建业、李思田深入研究了西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景^[5-6]。总之,中国边缘海盆地由于受中国大陆边缘、印—澳板块、太平洋板块及菲律宾海板块相互作用和南海洋壳形成演化等多种因素的深刻影响和制约,是新生代构造变动最活跃的区域,尤其是中新世以来的新构造运动非常强烈,使其具有独特的区域地质构造背景及油气地质特征,且直接控制影响了其油气分布富集规律及其特点。

1.1 边缘海盆地地壳特征

据龚再升等研究^[7],中国边缘海盆地地壳厚度,从北部到南部,由大陆边缘到陆架陆坡至洋盆区,普遍具有规律性减薄的变化特点。从中国海域莫霍面等深图可看出(图 1),中国边缘海盆地地壳结

构较复杂,地壳厚度变化较大。其中,大陆架外缘地壳厚度较大,约 22~25 km,而海槽区和陆坡深水区及洋盆区地壳厚度薄,如冲绳海槽地壳厚度为 14~20 km,西沙海槽地壳厚度为 16~22 km,琉球群岛—台湾岛以东的菲律宾海地壳厚度小于 12 km,南海中央深海盆地地壳厚度亦小于 12 km。中国边缘海不同海区具有不同的地壳结构特征。

(1) 中国边缘海北部的渤海、黄海地壳结构属典型大陆型地壳。渤海及黄海海区地壳厚度大,厚约 30~35 km,属于典型的大陆型地壳,仅在渤海海域的中部相对较薄,地壳厚度为 28 km,但仍属于大陆型地壳类型。

(2) 中国边缘海东北部东海区地壳结构较复杂,由多种类型地壳构成,地壳厚度变化较大。如东海区西部边缘地带,地壳厚度约 30~35 km;大陆架区为 27~30 km(中部最薄处约 27~28 km);陆坡区为 25~27 km;冲绳海槽约 14~20 km(为地幔隆起);台湾岛为 33~36 km;台湾海峡为 30~34 km;琉球群岛为 25~30 km。再往东的菲律宾海及太平洋地区属大洋型地壳,地壳更薄,且由东往西向大陆俯冲,其俯冲带在琉球海沟通过,厚度仅 5~15 km;

(3) 中国边缘海东南部及南部的南海地壳结构具明显分区性,从大陆边缘陆架浅水区向陆坡深水区及中央洋盆深海区的地壳类型变化明显。

根据南海不同区域莫霍面深度变化图(图 2),

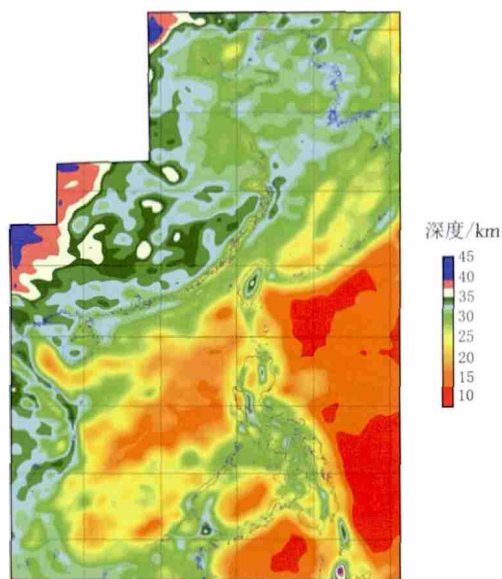


图 1 中国边缘海盆地由陆向海莫霍面深度变化特征(据中海油,2008,修改)

Fig. 1 Depth variation of the Moho from land to sea of Chinese Marginal Basin (Modified after CNOOC, 2008)

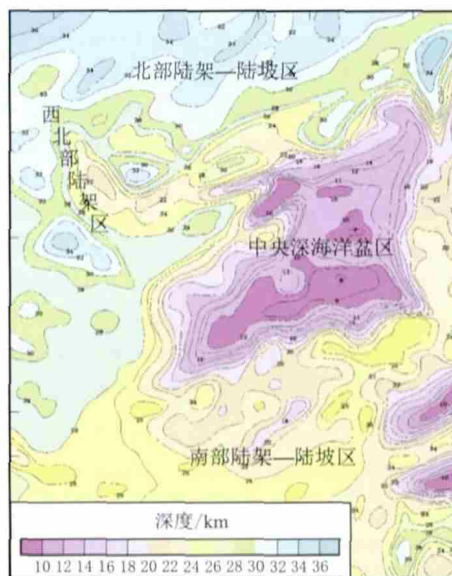


图 2 南海不同区域莫霍面深度变化特征^[8](有修改)

Fig. 2 Depth variation of the Moho of different area in the South China Sea^[8] (Modified)

可大体将南海边缘海盆地分为 5 个区,其地壳结构、厚度及性质从大陆边缘陆架、陆坡区到中央深海洋盆变化非常明显。(1) 南海北部边缘大陆架—陆坡区,包括北部湾盆地、琼东南盆地、珠江口盆地及台西盆地和台西南盆地等相关区域。根据莫霍面等深图,南海北部边缘大陆架—陆坡区呈北东东方向展布,其地壳厚度及地壳类型的基本特点为内陆架,属减薄型大陆型地壳,地壳厚度为 30 km,向南到陆坡减薄为 22 km,陆坡坡脚处约 14 km。由北向南,总体上由大陆型地壳逐渐减薄为陆—洋过渡型地壳。(2) 南海西北部莺歌海盆地海区。根据莫霍面等深图,莺歌海海区呈北西方向展布,到东南端则转为东西方向延展,且与西沙海槽相连,呈弧形。该区地壳厚度约 20~24 km,属于减薄型陆壳,为地幔隆起带,地壳较薄。(3) 中央深海洋盆区。该区是南海地壳厚度最薄的区域,其地壳厚度约 6~12 km,几个海山群处的莫霍面深度可达 14 km,属于典型的大洋型地壳区。(4) 南部陆架—陆坡区西沙、中沙及南沙群岛地区。这些地区地壳厚度较薄,约 20~26 km,尤其是海区(无群岛)地壳厚度约 12~20 km,其地壳类型属于减薄型陆壳和洋—陆过渡型地壳。(5) 南部陆架—陆坡区—南沙海槽地区。南沙海槽区亦为地幔隆起区,地壳厚度非常薄,莫霍面深度约 16~19 km,地壳类型属洋—陆过渡型地壳。

总之,根据中美合作实测的南海北部陆缘的 3 条双船地震扩展排列剖面(ESP)^[8-9]和 1993 年中日合作在南海北部中区所做的一条海底深折射地震剖面^[10],综合各种地质地球物理信息分析,均充分证实南海北部大陆架、大陆坡及中央深海洋盆等地理地貌及构造单元的深部地壳结构非常复杂,地壳厚度及地壳类型变化大,且具有从大陆边缘到大陆坡及中央深海洋盆,地壳厚度逐渐减薄,地壳类型及性质具有逐渐演变为减薄型陆壳、洋—陆过渡型地壳到洋壳的递变规律和特点,并且控制了该区盆地展布及沉积充填规模和地热场及大地热流分布特点,最终制约影响了区域上的油气分布富集规律。

1.2 主裂陷期动力学环境

由于中国边缘海盆地处于陆壳—减薄型陆壳—洋过渡型地壳的过渡区,白垩纪晚期以来,在伸展动力学背景下岩石圈减薄、裂陷,基底构造层发生强烈的断裂变形,产生了一系列不同规模的

半地堑、地堑及半地垒相间的基底结构及断裂系统,进而形成了相间排列的半地堑群^[11],在这些半地堑群的背景上,接受了以古近系为主的裂陷期沉积充填。在此期间,由于这些半地堑群多是彼此分割而独立存在的,故半地堑的沉积范围随着伸展拉张加剧,范围规模亦不断扩大。同时,在某些区域主控大断裂作用下,一系列相间的半地堑在裂后热沉降期,经过破裂不整合面转化为裂后的海相拗陷沉积阶段。

不同类型的中国边缘海盆地,虽然所处区域构造位置不同,有陆内的和陆缘的,但裂陷/断陷沉积充填阶段的沉积物基本上均为河流相、沼泽相及湖泊相等沉积,即均以陆相沉积充填体系为主,且只有少数半地堑与当时的海湾相通,在古近纪晚期不同程度地接受了部分海相沉积或受到不同程度海侵的影响。而裂后的热沉降拗陷沉积阶段,南海和东海各盆地均接受了大规模的海相沉积,只有渤海和南黄海仍然以陆相河流湖泊沉积为主。

总之,中国边缘海盆地,不论是陆内、陆缘的哪种类型的沉积盆地,在古近纪主裂陷期,由于多处在伸展构造体系的区域构造地质及地球动力学背景之下,盆地及其构造区带和局部构造等均主要受伸展构造体系控制,且多以裂谷期的半地堑洼陷形式出现,剖面上多由基底构造层、裂陷/断陷期构造层和上覆裂后拗陷期构造层相互叠置构成了盆地多层结构(图 3),其与中国东部新生代陆相断陷盆地一样,亦在盆地基底构造层之上形成了所谓的“断陷—拗陷双层结构”或“断陷—断拗转换—拗陷三层结构”的盆地特点,进而控制和制约了油气生成与运聚成藏乃至分布富集规律。

2 边缘海盆地主要构造演化特征

2.1 新生代构造沉积发展演化特征

新生代以来,中国东部及边缘海盆地发生了多次重要的成盆构造演化活动^[12-15]。其中,古近纪早期古新世—始新世,主要由于印度—澳大利亚板块向北东方向俯冲,太平洋—菲律宾海海底扩张、洋壳增生(56~17 Ma),导致中国东部及边缘海盆地向东南伸展挤出,地壳减薄,形成北东—北北东走向的断陷带;晚渐新世以后,最重要的构造地质事件则是南海张裂,海底扩张及洋壳增生(32~17 Ma),

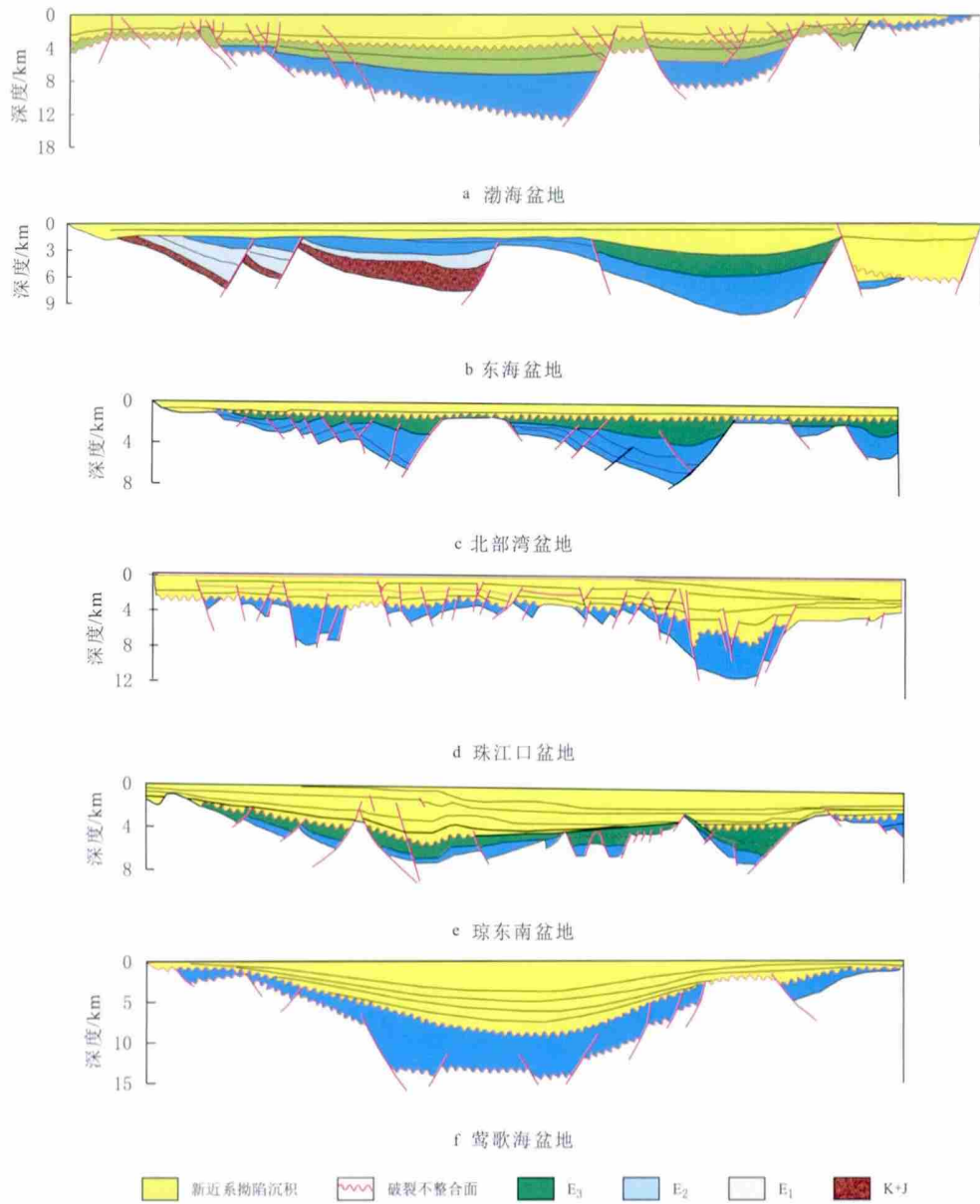


图3 中国边缘海盆地断陷—拗陷双层结构基本特征

Fig. 3 Basic characteristics of the rift - depression double-layer structure of Chinese Marginal Basin

导致太平洋—菲律宾海洋壳增生继续发展；新近纪早中新世末，由于太平洋—菲律宾海板块向中国东部及边缘海盆地俯冲和碰撞，且伴以左行走滑挤压，逐渐形成了海沟、岛弧和边缘海。很显然，这些重要的构造活动及成盆演化过程，最终导致在中国边缘海区形成了一系列新生代伸展盆地群(图4)。

根据成生演变的成盆过程，中国边缘海新生代伸展盆地群的形成，均普遍经历了两大构造发展演化阶段：其一是古近纪伸展张裂/断陷阶段，形成大量半地堑或地堑，沉积充填了一套巨厚陆相沉积物，这种半地堑/地堑陆相沉积体系是断陷盆地中最基本的油气地质单元，构成了断陷盆地陆相油气形成

的地质基础；其二为新近纪裂后海相拗陷热沉降及新构造运动阶段，该期主要形成了海相为主的拗陷沉积充填物及披覆层，且覆盖叠置在早期陆相断陷及附近的隆起之上。必须强调指出，上述中国边缘海盆地形成演化的两个重要阶段即主要地质构造运动幕(期)及所构成的古近纪、新近纪地层层序等均可进行对比，但不同海区边缘海盆地亦存在较明显差异。正是由于存在这种差异性，最终决定了不同类型边缘海盆地的基本石油地质条件及油气富集程度和特点。

2.1.1 古近纪陆相伸展张裂/断陷阶段

中国边缘海盆地在古近纪多处在伸展张裂/断

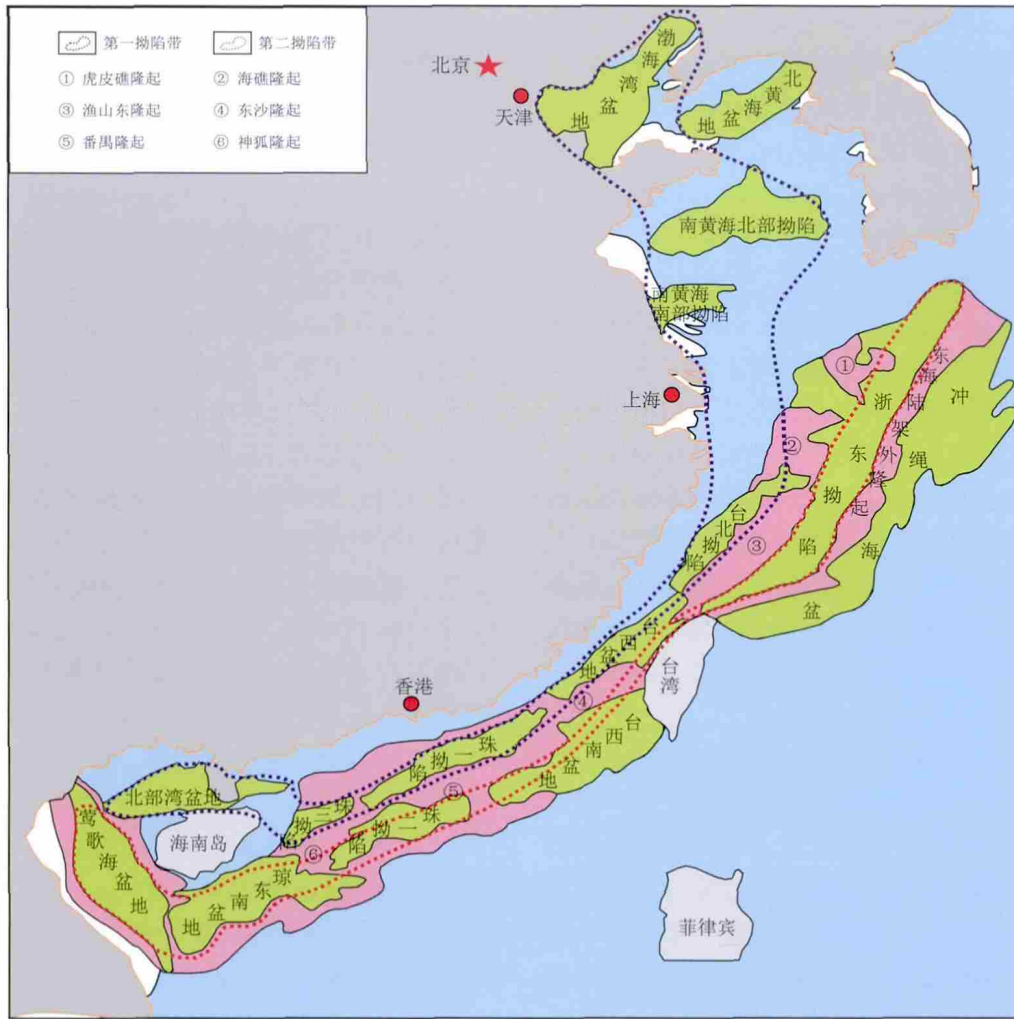


图 4 中国边缘海盆地展布及“内油外气”环带分布规律(据中海油, 1999, 有修改)

Fig. 4 The distribution of Chinese marginal basin and the distribution law of inside-oil fields and outside-gas fields (Modified after CNOOC, 1999)

陷的构造演化阶段, 该阶段形成了大量半地堑洼陷或地堑。半地堑属于被一条基底正断层控制沉积充填物的洼陷, 且该正断层为半地堑的边界断层, 故一般在其下降盘基底正断层附近的断陷沉降最深、沉积充填物最厚, 而在远离边界断层方向处, 则由于基底逐渐抬高而沉积充填变薄, 并最终在缓坡上尖灭。在垂直走向剖面上, 半地堑则多呈不等边的倒三角形或箕状, 而在其内部地震反射则多呈发散状结构。在平面构造图上, 半地堑多呈贝壳状, 且随边界断层的消失而消失。半地堑规模大小差异悬殊, 其中较小的仅数十平方公里, 而较大的可达千余平方公里, 沉积充填物厚度一般为 3~8 km。据龚再升等研究, 中国边缘海盆地古近纪伸展张裂/断陷阶段发生的伸展构造运动可分为 3 幕(期)^[7]。

(1) 古新世初始裂陷幕

白垩纪末或古近纪初期, 在南海北部边缘盆地

发生了神狐运动, 在东海盆地则发生了雁荡运动。此次构造运动之后, 中国大陆东部及中国边缘海, 在前古近纪褶皱、隆起与剥蚀的基础上, 发生了中国边缘海断陷盆地第一幕伸展张裂/断陷作用, 即第一幕伸展断陷/裂陷构造活动, 形成了由众多北东—北东走向半地堑组成的断陷, 且在半地堑洼陷中主要充填了较厚的古新统杂色河流相及山麓冲积相沉积。

(2) 始新世主裂谷期裂陷幕

古新世末期或始新世早期, 南海北部发生珠琼运动第一幕, 东海盆地发生了瓯江运动, 苏北—南黄海南部盆地及南黄海北部盆地则发生了吴堡运动。其重要特点及方式是在区域抬升遭受剥蚀的基础上, 始新世中晚期发生了第二幕伸展张裂/断陷作用, 即第二幕主伸展裂陷活动(主裂谷活动期), 该阶段属伸展裂陷发展的鼎盛时期, 半地堑/地堑规模

大,断陷深且沉降沉积充填速度快,主要沉积充填了大套中深湖相或滨浅湖相沉积;东海则为浅海或海陆过渡相沉积。该时期属中国边缘海盆地最主要的伸展张裂(断陷)期,亦为构造增热事件的高峰期,是中国边缘海盆地主要湖相烃源岩的重要形成发育期。

(3) 渐新世晚期萎缩裂陷幕

始新世末期—渐新世中晚期,区域性再次抬升并遭受剥蚀,并进入了伸展张裂/裂陷第三幕,即晚期萎缩阶段的裂陷幕,南海北部发生了珠琼运动第二幕,东海则发生了玉泉运动(在台湾称浦里运动),在渤海则称为华北运动 I 幕。该阶段构造运动幕最突出的特点是,其伸展张裂作用远小于第二幕(主裂陷幕),且部分断陷已开始向拗陷过渡转化,故亦可称为断拗转换过渡阶段。其沉积充填物主要为河流相或河湖沼泽相及滨海平原沼泽相或浅海相沉积体系。

2.1.2 新近纪及第四纪裂后热沉降海相拗陷阶段

中国边缘海盆地在渐新世中晚期第三幕伸展裂陷构造运动结束后,进入新近纪及第四纪裂后热沉降海相拗陷阶段,该阶段构造演化特征具有两个显著地质特点,其一是由古近纪伸展张裂/裂陷阶段转变为新近纪裂后热沉降海相拗陷阶段的区域破裂不整合面时间,从北向南自东而西逐渐变新;其二是新近纪裂后热沉降拗陷阶段亦经历了 3 幕构造演化发展过程。

(1) 破裂不整合形成时间具有北早南晚、东早西晚的特点

I. 在东海盆地西部和苏北—南黄海南部盆地及南黄海北部盆地,破裂不整合产生在古新世末,即区域上中国北部边缘海盆地破裂不整合形成较早。

II. 从东海盆地东部到南海北部,即从北到南,破裂不整合面产生时间逐渐变新。如东海盆地东北部的西湖凹陷、钓北凹陷,破裂不整合形成于始新世末;而南海北部珠江口盆地珠一拗陷的陆丰、惠州、西江、恩平凹陷及珠二拗陷诸凹陷,破裂不整合形成于早渐新世末,这主要是由于在早渐新世末与晚渐新世初之间,发生了南海运动所致;再往西的珠江口盆地西部珠三拗陷的文昌 A、B 凹陷、西北部莺歌海盆地及琼东南盆地诸凹陷和北部湾盆地诸凹陷,其破裂不整合面则均产生在晚渐新世末。部分盆地,古近系因隆起形成反转构造,导致顶部被夷平。

III. 渤海盆地诸凹陷与南海西北部边缘盆地类似,破裂不整合主要发生在渐新世末,但渤中凹陷略早,发生在始新世末。

(2) 裂后热沉降拗陷阶段亦经历了 3 幕

由于破裂不整合产生的时间不同,中国边缘海盆地不同区域裂后热沉降拗陷阶段也不一致,但多产生在渐新世之后^[14-18]。

I. 第一幕为渐新世末—中新世中期,为中国边缘海重要的热沉降拗陷时期。其特点是海底扩张、洋壳增生,沉降沉积中心向洋迁移,且伴有以下主要地质构造事件:菲律宾海洋壳继续增生,扩张中心轴走向北西—南东;东海盆地整体拗陷;在南海地区则由于印度板块向北东俯冲,南海左行拉开(南北拉开距离约 600 km),导致海底扩张及洋壳增生发生(32~17 Ma)。该时期扩张中心轴走向由东西逐渐转向北东;在南海西北部莺歌海盆地、西沙海槽和南海北部大陆架南缘形成了高地热带;在南海北部大陆边缘形成了台西南、珠二及琼东南盆地南部等大型深水沉积拗陷,沉积厚度达 4~8km,古珠江口三角洲沉积体系在该阶段亦逐渐形成,并展布于南海北部大陆架的中部地区。同时,早中新世末期,南海海洋壳及菲律宾海洋壳板块亦向中国东部及近海开始俯冲。

II. 第二幕为中新世中期—中新世晚期,该阶段是中国边缘海地质构造运动再次活跃的构造增热事件时期。其影响极其广泛,伴有的主要事件为:中新世中期—中新世晚期,菲律宾海板块洋壳向东海俯冲速度加快,琉球海沟、琉球岛弧逐渐形成;在南海东北部边缘晚中新世产生弧后伸展张裂,地壳厚度减薄,形成弧后裂谷—冲绳海槽(西南端海水最深部位水深达 2 719 m);该阶段南海海洋壳停止增生,并向东俯冲,逐渐形成马尼拉海沟及吕宋岛弧,西沙北海槽产生年轻的地堑型裂谷。该时期在南海北部发生了东沙运动,导致大陆架由北向南大规模推进,在新大陆坡区形成了推进式沉积层序;莺歌海盆地所处的红河断裂在中新世末期(大约 5.5 Ma)则由早期渐新世左行走滑转为右行走滑,即发生走滑拉分,形成规模达 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的中央泥底辟隆起背斜构造带;由于中新世中期到中新世末期,南海北部大陆架有两次抬升,并受左行挤压,故在珠江口盆地形成一系列北西西走向的背斜或背斜带。同时,在莺歌海盆地中新统梅山组顶部则形成了较大

的区域性不整合;中新世末期,在台湾岛产生海岸山脉运动,逐渐形成背斜构造带。中新世末,由于东海盆地普遍抬升,并受左行挤压,且由西向东由南向北增强,在西湖凹陷东部形成巨大的挤压背斜构造带,伴有逆断层,在西湖凹陷中心则形成了呈北东南西向展布中央背斜带;在中新世晚期,渤海盆地东部郯庐大断裂活动加剧,由于左行挤压形成了一系列新断裂、花状背斜和披覆背斜。同时,晚中新世构造运动也波及到南黄海盆地,导致“凡川运动”发生,且形成了区域不整合。

III. 第三幕即上新世—第四纪新构造运动。该时期发生的地质构造运动,即为新构造运动,须指出的是,本文所界定的新构造运动比其他学者所称之新构造运动(晚中新世—第四纪)要更晚一些。新构造运动在中国大陆边缘海盆地很多地区均表现较强烈,伴有的主要构造运动事件为:在莺歌海盆地,由于继续受右行走滑伸展作用,导致在中央泥底辟隆起背斜带形成了轴部垂直断裂系和平面上近南北向的五排雁行式断裂系,进而促使泥底辟高温超压热流体沿断裂强烈上侵或刺穿上覆地层薄弱带,有的甚至通过断裂及裂隙直达海底,在海底形成大量麻坑及气烟囱。此时,吕宋岛弧由南向北迁移,在台湾岛陆缘上引发碰撞造山运动,导致台西盆地地层发生强烈褶皱和推掩,形成台湾褶皱带,称之为台湾运动。冲绳海槽弧后裂谷在该阶段亦继续发展,陆壳进一步减薄,形成了高热流(热流密度值平均为 0.15 W/m^2)。同时,新构造运动阶段在海南岛、雷州半岛、东沙群岛及澎湖列岛,以及台湾岛和冲绳海槽等均伴有上新世—第四纪大量玄武岩火山喷发活动。此时北部的郯庐大断裂亦继续活动,且沿断裂带及其附近均有断裂、火山及地震活动。

总之,中国边缘海盆地新生代区域地质及构造演化特征,主要是受印度—澳大利亚板块、太平洋—菲律宾海板块和欧亚大陆板块的相互作用和牵制以及南海扩张等多因素综合影响之最终结果。而中国边缘海盆地新生代区域构造地质特征,则决定了新生代沉积盆地的基本石油地质条件及其差异性,是中国边缘海盆地油气生成和富集成藏的地质基础。

2.2 早期裂陷阶段沉积基本特征

中国边缘海盆地晚白垩世—古近纪裂陷/断陷发展演化阶段多幕伸展构造活动普遍,根据其演化

过程及特点一般可分为3个主要裂陷/断陷伸展幕。

第一裂陷/断陷伸展幕,发生于白垩纪末至古新世或始新世早期,不同盆地亦有所差异。该裂陷/断陷伸展幕在中国陆缘区形成了许多小型半地堑群,在南海各盆地则沉积充填了大套的红色及杂色碎屑岩沉积,如北部湾盆地古新统长流组,珠江口盆地古新统神狐组。渤海及黄海和东海盆地,该裂陷/断陷幕可分为两个次级裂陷幕,早期充填红色粗碎屑岩;晚期快速沉降,首次出现第一裂陷/断陷幕的湖相沉积岩系,即中国边缘海断陷盆地中第一套良好的湖相烃源岩,如渤海盆地古新统孔店组二段和南黄海盆地古新统阜宁组湖相烃源岩,及东海盆地古新统灵峰组—月桂峰组湖相烃源岩;第二裂陷/断陷伸展幕早期,发生于始新世中晚期,直到早渐新世初期,属主裂陷/断陷裂谷期。该期为中国边缘海盆地陆相快速沉降沉积期,该阶段断陷中普遍沉积充填了大套巨厚中深湖相烃源岩,是中国边缘海盆地中最重要的烃源岩形成发育期,如渤海盆地始新统沙河街组,珠江口盆地始新统文昌组,北部湾盆地始新统流沙港组即为其典型代表,这些中深湖相烃源岩有机质丰富,生源母质类型较好(偏腐泥混合型)、生烃潜力大,是中国边缘海新生代盆地的主要油源岩。

第二裂陷/断陷伸展幕晚期,即渐新世早期或渐新世时期,是相对稳定的沉降期,属第二裂陷/断陷伸展幕的次裂陷期,该裂陷阶段逐步出现了浅湖相和沼泽相及海陆过渡相含煤沉积,同时南海北部边缘盆地部分地区亦不同程度受到海侵,出现了海陆过渡相沉积,形成了一套富含有机质的煤系烃源岩且具较大生烃潜力,属中国边缘海新生代盆地的主要气源岩。在该裂陷/断陷伸展幕晚期形成的珠江口盆地渐新统恩平组和琼东南盆地下渐新统崖城组煤系沉积,则是南海北部边缘盆地大气田主要的气源岩。再如渤海盆地渤中和辽中凹陷北部沉积的一套渐新统东营组湖相烃源岩,亦为该裂陷幕晚期的产物,生烃潜力亦较大。

第三裂陷/断陷伸展幕,主要发育于晚渐新世,该裂陷幕在不同盆地发育时期不尽一致。南海北部珠江口盆地东部在该时期,即晚渐新世珠海期已进入拗陷期阶段,沉积了一套海相地层,仅盆地西部的珠三拗陷仍有裂陷活动;南海西北部莺歌海盆地则继续受裂陷控制,晚渐新世陵水期再次加快沉

降;渤海盆地渐新世东营期和北部湾盆地渐新世涠洲期均持续裂陷,直到渐新世末经历破裂不整合后,方全面进入拗陷沉积阶段;而东海盆地西部和南黄海盆地在始新世第二裂陷幕、渐新世第三裂陷幕阶段则相继抬起,缺失上始新统和渐新统。

2.3 盆地沉降沉积中心由陆向海转移

中国边缘海盆地,由于处在大陆边缘向中央洋盆逐渐过渡的特殊位置,其地壳性质及其厚度变化均具有逐渐递变和减薄的特点,故往往具有从大陆边缘向深水海域及洋盆方向,随其莫霍面埋深越来越浅、地壳越来越薄和地壳性质由陆壳逐渐向洋壳转变,其热传导强度亦逐渐加大的特点。

由于边缘海新生代盆地在受伸展拉张沉降过程中,存在着差异热传导,因此制约和影响了沉降沉积中心的转移,最终导致其沉降沉积中心普遍具有由陆向海迁移的特点,进而亦控制和制约了油气生成

成及运聚成藏与分布富集规律。如渤海盆地渤中拗陷,其古近纪和新近纪沉降沉积中心明显存在由太行山、燕山褶皱带和鲁西、辽东隆起向渤中拗陷的转移,故油气生成及含油气层位和油气藏分布等,亦具有由西向北东、由陆地向海域的渤中拗陷逐渐变新、油气富集在年轻的生烃凹陷中心(图 5)或围绕其分布。在济阳、黄骅、下辽河拗陷中的各凹陷,其新生代主要沉积层系厚度变化及不同层位油气分布特点,也充分证实了其沉降沉积中心由陆向海的转移,且导致了生烃层及含油气层位和油气分布富集规律的变化。

东海盆地由陆向海地壳减薄、沉降沉积中心转移亦非常明显。地壳厚度在西边大陆架为 22~30km,往东到冲绳海槽,明显减薄为 14~20 km。盆地裂陷和沉降沉积中心从晚白垩世开始,亦表现出明显的“向洋迁移特点”。

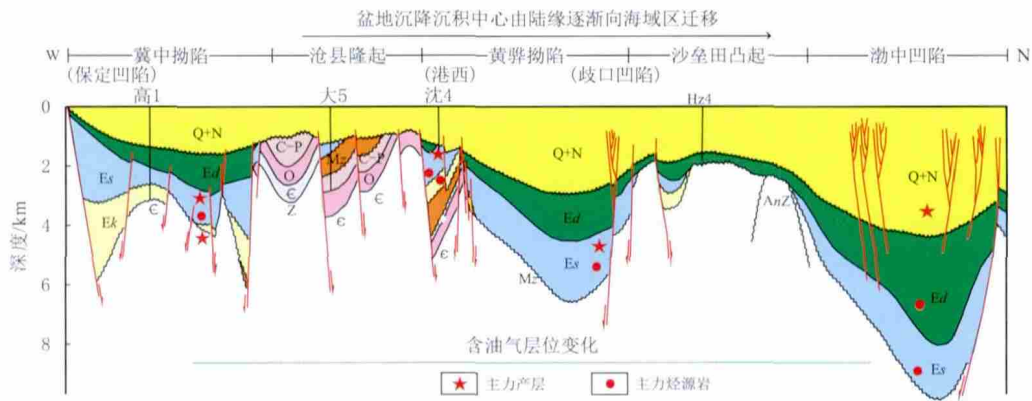


图 5 渤海湾盆地古近系和新近系沉降沉积中心由西南向北东转移特征(据中海油, 2008, 修改)
Fig. 5 Tertiary subsidence-sedimentary center transfer from southwest to northeast of Bohaiwan Basin (Modified after CNOOC, 2008)

东海盆地西部的丽水—椒江凹陷,白垩纪末至古新世已开始断陷,瓯江运动以后(始新世)转入裂后拗陷。而盆地东部的西湖凹陷,则存在明显滞后现象,在始新世方进入断陷阶段,始新世沉积主要受断层控制。始新世末结束了整个盆地的断陷阶段,盆地东部方转入裂后热沉降拗陷。盆地西部始新世末以来长期处于区域性抬升,普遍缺失渐新统至中新统下部,沉积中心则向东转移。盆地西部渐新统—中新统仅残存 300~500 m,而东部厚达 3000 m。中一晚中新世开始,大陆坡及冲绳海槽西北部一带,由于受太平洋板块及菲律宾海板块向西俯冲的影响,开始弧后扩张阶段,形成一系列的地堑和半地堑断陷,进入断陷发育阶段。直到晚上新世方转为裂后拗陷阶段,沉积速率高,沉积厚达

7 000~10 000 m。而冲绳海槽从上新世开始拉张,目前仍处于裂陷阶段的早期。因此,东海盆地裂陷的发育以及其相应时期的沉降沉积中心变化,亦明显存在由西而东、由陆向海转移的特点。

南海北部边缘盆地古近纪和新近纪断—拗阶段和沉降沉积中心,其由陆向海转移的特征更为明显和突出。陆上茂名、三水盆地均为古新世断陷,向南到了海上的珠江口盆地和琼东南盆地的断陷和沉降沉积中心,则自岸边逐渐向陆架、陆坡转移(图 6)。如珠一拗陷的主裂陷期在古近纪,而珠二拗陷主裂陷期则有所推迟;琼东南盆地北部拗陷带主裂陷期和沉降沉积中心亦为古近纪,而向南东的中央拗陷则为新近纪早期,且充填有巨厚沉积,最厚达 7 000 m。莺歌海盆地古近纪和新近纪沉降沉积中

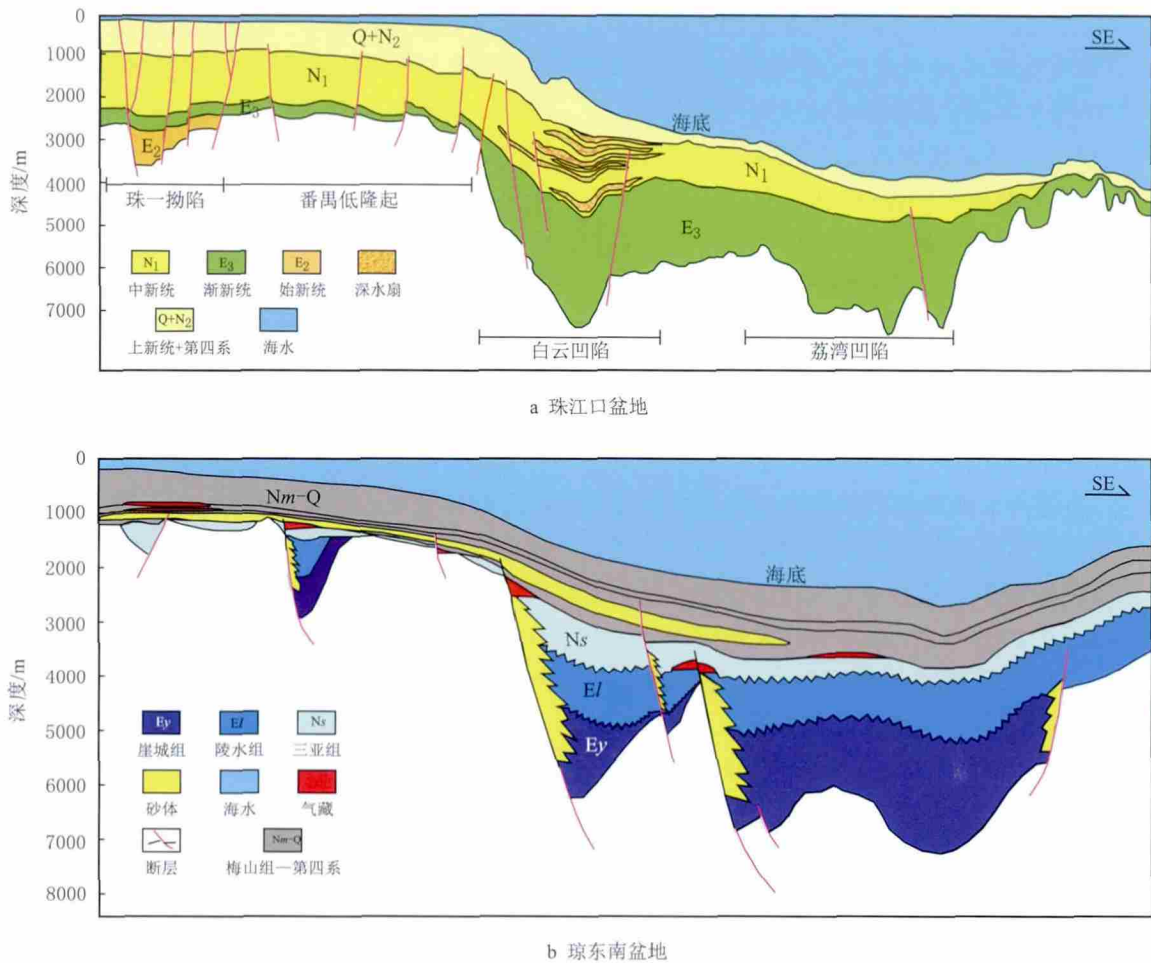


图 6 南海北部边缘盆地古近系和新近系沉降沉积中心由西北向东南转移特征(据中海油, 2008, 修改)
 Fig. 6 Tertiary subsidence-sedimentary center transfer from northwest to southeast of the marginal basins in the northern of South China Sea (Modified after CNOOC, 2008)

心自北西向南东迁移特征更加明显, 自古近系到新近系及第四系, 层层转移, 且沉降沉积中心轴线具有沿北西向雁行式排列与逐层复合叠置的特点。

3 油气分布富集规律及其重要特点

3.1 裂陷期烃源岩是油气形成与富集的物质基础

盆地岩石圈的裂陷伸展及热沉降拗陷作用, 控制着盆地沉降作用和沉积作用, 亦控制了不同层位层段烃源岩的时空展布。根据中国边缘海盆地烃源岩形成的地质条件、地质地球化学特征及发育展布特点, 结合目前油气勘探及研究程度, 可将其划分为 3 种主要类型, 但以裂陷/断陷期形成的始新世中深湖相烃源岩及渐新世煤系烃源岩最佳, 其有机质最丰富、生烃潜力最大, 是形成大量油气的物质基础, 属于该区大中型油气田的主要烃源岩^[19-23]。

油气勘探实践表明, 边缘海盆地裂陷/断陷早期

沉积充填的始新统中深湖相富含有机质巨厚泥页岩生烃潜力大, 以生油为主, 伴生少量油型气。这种类型的湖相烃源岩有机质丰度高、生源母质类型主要为来自中深湖相沉积的低等水生生物和少量陆源有机质构成的偏腐泥混合型或腐泥型生源母质。烃源岩中含有大量代表低等水生生物藻类生源的 C₃₀₋₄-甲基甾烷, 而表征陆源高等植物生源的奥利烷含量较低, 属于生烃潜力极佳的湖相烃源岩。如南海北部边缘盆地的始新统文昌组及流沙港组中深湖相烃源岩、渤海盆地始新统沙河街组三段湖相烃源岩。这些中深湖相烃源岩生源母质均以偏腐泥混合型干酪根为主, 且处在正常成熟演化的大量生烃阶段 (R₀ 为 0.7%~1.2%), 故主要以生成大量成熟石蜡型石油为主, 伴有少量原油(油田)伴生气。目前, 南海北部边缘盆地和渤海盆地已开发的主要大中型油田群产出的大量石油及少量油型伴生气, 均来自这套生烃潜力强的中深湖相偏腐泥混合型烃源岩。

边缘海盆地裂陷晚期渐新世沉积充填的浅湖和河流沼泽相或滨海沼泽相泥岩、碳质泥岩及煤线、煤层等含煤岩系,则属于边缘海盆地裂陷晚期沉积充填的一套生气强度极大的煤系烃源岩。这种类型的煤系烃源岩有机质丰度高,生源母质类型以富含陆源高等植物的偏腐殖型生气母质为主,具有高Pr/Ph比、高奥利烷或高双杜松烷等陆源高等植物标记物特征。高奥利烷及异常丰富的不同类型双杜松烷表明,烃源岩中陆源高等植物的树脂化合物有重要贡献,而高Pr/Ph比则既表明其生源构成偏腐殖型,亦说明成烃环境氧化性较强。

总之,边缘海盆地渐新世裂陷晚期形成的煤系烃源岩,主要由富含树脂体的陆源腐殖型有机物质构成,多以腐殖型干酪根为主,且处在成熟—高熟热演化阶段,生烃潜力大,且以生成大量煤型气为主,伴生少量煤系轻质油及凝析油为其重要特点。这种类型的煤系烃源岩是南海北部边缘盆地大中型气田群和东海盆地气田群的主要烃源岩,这些大中型气田群产出的大量天然气及少量煤系凝析油亦均来自该煤系烃源岩的供给。如珠江口盆地下渐新统恩平组煤系烃源岩及其文昌区、番禺区和荔湾一流花深水区的大中型气田群;琼东南盆地下渐新统崖城组煤系烃源岩及其崖城13-1等大中型气田群;东海盆地丽水凹陷古新统月桂峰组煤系烃源岩及其平湖、春晓气田群等等,均为其典型实例。

中国边缘海盆地裂后热沉降拗陷期形成的偏腐殖型海相烃源岩,目前仅在南海西北部莺歌海盆地海相中新统及上新统底部发现,在南海北部深水区琼东南盆地南部及珠江口盆地南部中新统亦证实存在。这套新近纪裂后拗陷期形成的海相烃源岩有机质丰度普遍偏低,总有机碳平均多在0.5%左右,最高达1.2%。自上而下,从盆地边部向中心,有机质丰度有逐渐增加的趋势,但总体上这套海相腐殖型烃源岩有机质丰度及生烃潜力偏低且以生气为主。这种类型海相烃源岩(中新统梅山组、三亚组和珠江组)有机质丰度总体上偏低,远不如主裂陷裂谷时期形成的古近系陆相烃源岩;生源母质类型以偏腐殖型干酪根为主,但由于受海相环境影响其饱和烃分布中Pr/Ph比一般小于2,远低于裂陷期渐新统崖城组和恩平组煤系烃源岩,表明中新统海相沉积环境与渐新统陆相煤系沉积环境存在较大差异。

必须强调指出的是,这种类型的中新统海相烃

源岩生源物质构成中,其陆源高等植物标记物奥利烷和双杜松烷,特别是双杜松烷等树脂化合物异常丰富。表明其生源贡献主要来自陆缘输入的偏腐殖型陆源高等植物先质,且产气潜力较大。亦须强调指出,南海北部边缘盆地裂后拗陷期沉积的中新统海相烃源岩与东海盆地丽水凹陷裂陷期古新统灵峰组、西湖凹陷始新统平湖组海相烃源岩有机质的生源构成基本类似,其生源母质类型均由海相环境沉积的陆源偏腐殖生源所组成,因此,其亦以大量生气为主,伴生少量凝析油为特征。

综上所述,根据中国边缘海盆地新生代形成演化过程及其沉积充填特点,可以综合判识和确定中国边缘海盆地新生代主要烃源岩或油源岩,均主要沉积充填于早期的主裂陷裂谷发育阶段;而晚期的裂后热沉降海相拗陷阶段,则多发育次要烃源岩或气源岩,表明边缘海盆地裂陷与拗陷不同发育演化阶段与烃源岩有机质丰度、生源类型及烃类产物构成等均存在密切的成因联系。

总之,通过深入剖析总结中国边缘海新生代盆地形成演化过程与古近系和新近系烃源岩沉积充填特征及具体地质条件的差异,可以确定这种具有伸展构造体系背景的断陷盆地中,只有在早期主裂陷/断陷演化发展阶段沉积充填形成的这种富含有机质的中深湖相烃源岩和煤系烃源岩,由于其有机质丰富,生源母质类型较好(偏腐殖混合型和偏腐殖型),生烃潜力大,方可成为边缘海盆地提供油气源的主要烃源灶,能够为该区大中型油气田提供充足的烃源供给。换言之,只有那些在主裂陷期形成的始新统一渐新统中深湖相及煤系烃源岩,才是中国边缘海新生代盆地的主要烃源岩和大中型油气田形成的物质基础。而裂后拗陷时期形成的中新统海相烃源岩属次要烃源岩,仅在某些沉积充填规模巨大的盆地方可成为主要气源岩,如莺歌海盆地。

3.2 富生烃凹陷/洼陷烃源灶控制油气富集

伸展裂陷盆地普遍存在陆相断陷期形成的规模不同的凹陷/洼陷,其与上覆裂后热沉降时期形成的范围较大海相拗陷相互叠置,构成了上覆“大盆”下伏“小洼”的典型双层盆地结构特征^[7]。

由于裂谷期主要烃源岩一般均沉积充填在凹陷/半地堑洼陷内,与呈间互层分布的砂岩储集层能够组成自生自储的半地堑式自源型油气运聚成藏体系。对于上覆海相拗陷型的新近系地层系统,虽亦

能形成良好的储盖组合类型,但由于埋藏浅,地热场弱热力作用有限,有机质热演化程度低,缺乏成熟的有效烃源岩,故只能依赖其下伏深部半地堑洼陷古近系始新统成熟烃源岩提供油气源供给,且必须通过纵向断裂或不整合面及砂体等构成的运聚通道的输送,方可形成他源型下生上储的油气运聚成藏系统及其油气藏。因此,在评价中国边缘海盆地含油气远景及资源潜力时,必须对这两种类型的油气运聚成藏系统及油气藏类型区别对待。但无论是自生自储的“自源型”还是下生上储的“他源型”油气运聚成藏系统及油气藏,对于中国边缘海新生代盆地而言,其主要烃源灶及烃源供给均来自古近系凹陷/半地堑生烃洼陷及其湖相及煤系烃源岩,仅个别盆地某些新近系沉积巨厚、地温场高的局部地区的烃源灶及烃源供给,可来自新近系海相拗陷沉积的中新统海相烃源岩(如莺歌海盆地)。因此,古近系凹陷/半地堑洼陷及其生烃中心,始终是中国边缘海盆地油气勘探中评价和圈定寻找油气富集区的关键。

中国东部新生界陆相断陷盆地油气勘探程度较高的探区和中国边缘海盆地油气勘探实践的结果均表明^[24-35],评价一个具有双层叠置结构的断

陷盆地油气勘探前景时,须非常重视的油气地质条件及特点是,其油气运聚富集与分布并不是严格受上覆裂后拗陷沉积形成的“大盆”所控制和制约,而主要受控于主裂谷断陷时期所形成的凹陷/半地堑生烃洼陷的沉积充填规模及其展布特点。大量油气勘探实践表明,这种具有断拗双层叠置结构的盆地,其深部具有生烃条件的凹陷/半地堑洼陷往往是一个重要的生烃中心,当其与周围及上覆的储集层和构造—岩性圈闭带时空配置良好时,即可构成一个油气生成、运移、聚集和动平衡成藏的基本油气富集单元,而大多数油气田群则多围绕凹陷/半地堑洼陷生烃中心(烃源灶系统)呈向心式环带状分布,如渤海盆地渤中富含生烃凹陷/洼陷中心与围绕其分布的大中型油气田群展布特点(图 7)即为其典型实例。

总之,确定了凹陷/半地堑洼陷生烃中心及其展布规模和特点,综合分析周围与其时空配置最佳的有利油气富集区带及目标,即可发现油气田及油气富集区。必须强调指出的是,不同类型的凹陷/半地堑洼陷,由于所处构造位置及发育演化史的差异,其沉积充填规模及埋藏热演化史均有所不同,故导致其生烃潜力及油气富集程度差异较大。换言之,

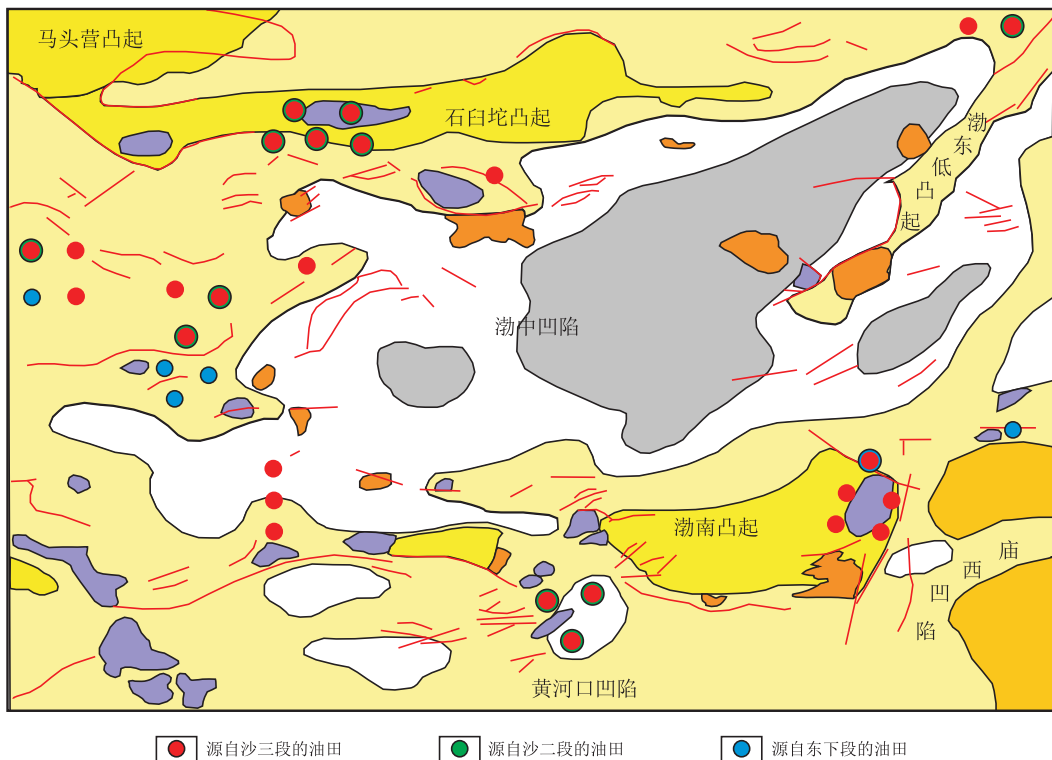


图 7 渤中地区油气田围绕渤中富含生烃凹陷、洼陷分布特点

Fig. 7 The distribution characteristics of oil and gas fields around hydrocarbon-rich depressions and sags in Bozhong area

凹陷/半地堑洼陷生烃潜力及油气富集程度与凹陷/半地堑展布规模、半地堑类型及发育演化特征密切相关。

根据中国新生代陆相断陷盆地及边缘海盆地油气勘探实践^[12-18],生烃半地堑洼陷发育演化特点及形成机制一般可分为3种类型^[24-29]:其一为继承型生烃半地堑,即不同时期均为继承性的沉降沉积,且沉积充填规模大;其二为间断型生烃半地堑,即在烃源岩沉积期或主要排烃期为半地堑沉降期,而后期则经过一段时期的抬升、侵蚀后再下沉接受沉积;其三为衰退型生烃半地堑,其特点为在烃源岩沉积期可能沉降较深、沉积较厚,但后期不断抬升,导致烃源岩遭受剥蚀或其上覆地层遭受剥蚀或沉积太薄而导致深部烃源岩未成熟。

中国东部新生代陆相断陷盆地油气勘探实践表明^[24-33],继承型半地堑生烃强度大,含油气丰富;间断型半地堑生烃强度中等,含油气性亦贫亦富,差别较大;衰退型半地堑则含油气性最差,迄今尚未发现油气田。须强调指出,中国有些边缘海盆地,在盆地形成演化过程中的裂陷伸展阶段,存在古新世和始新世两个时期的裂陷带。其中,古新世裂陷带生烃条件亦并不比始新世裂陷带差,且有较大规模构造圈闭配置,但迄今为止发现的油气储量不多^[12-13]。究其原因,其根本症结所在就是这些边缘海盆地中半地堑洼陷均属间断型或衰退型半地堑,在裂后期甚至断陷期沉积充填的地层均剥蚀严重,故含油气性差。典型的实例如南黄海盆地、东海盆地长江拗陷及钱塘、椒江、丽水等凹陷和珠江口盆地韩江凹陷等,这些地区的古新世裂陷带,从始新世开始区域性抬升,遭受了长时间的风化剥蚀作用,沉积间断达20 Ma左右,其后再接受沉积。很显然,这对古新世烃源岩热演化成熟生烃以及对已形成油气藏破坏等均有重大影响。因此,对古新世裂陷带的生烃潜力评价,不能与始新世裂陷带相提并论。

3.3 受源热控制具有“内油外气”环带分布富集规律

中国边缘海盆地由于处在减薄型陆壳及洋陆过渡型地壳的特殊构造位置,从陆缘区向海域深水洋盆区,其地壳性质及地壳厚度均具有逐渐递变减薄的特点,加之区域沉积充填特征及烃源岩生源母质类型的差异,导致该区总体上油气分布具有“内油外气”(图4)环带分布规律^[36-37],同时亦受“源热”、

圈闭和储盖组合等诸多成藏控制因素的综合影响和制约^[38-39]。

在近陆缘区(邻近大陆边缘陆架浅水区)的内带地壳较厚,属于陆壳或减薄型陆壳性质,盆地沉积充填规模总体上较小,且主要以古近纪陆相断陷沉积为主,新近纪海相拗陷沉积相对较薄,形成了以始新统中深湖相偏油型(偏腐泥混合型)烃源岩为主的烃源灶及其生烃运聚系统,加之近陆缘区内带地壳较厚,其较低地热场及大地热流与之密切配合,故导致近陆缘内带的陆架浅水区盆地形成了以石油为主的油气富集区带,如渤海盆地诸多大型油田群、南海北部众多大中型油田群等,这些油田群均主要分布在这些邻近大陆边缘的陆缘内带浅水区的广大区域。

远离大陆边缘的陆缘外带陆坡—洋盆深水区,即深水陆坡与靠近深海洋盆的过渡区域,由于其地壳性质已递变为洋陆过渡型地壳或洋壳,故地壳厚度大幅度减薄,盆地沉积充填规模大,断陷和拗陷阶段均沉积充填较厚,即盆地断拗双层结构的构造层均较厚,或断陷阶段沉积规模略大于拗陷时期,因此,远陆缘外带不仅存在始新统湖相偏腐泥混合型烃源岩和渐新统煤系烃源岩,还发育中新统海相腐殖型潜在烃源岩,加之与该区高地热场及大地热流的良好配置,最终导致远陆缘外带区形成了以富集天然气为主的油气富集带及大中型气田群。如处在远陆缘区外带的东海盆地、珠江口盆地南部、琼东南盆地南部和莺歌海盆地等,这些远陆缘外带地区均主要富集天然气及其大中型气田群,进而构成了以富集天然气为主的远陆缘外带含气富集区。

4 结 论

(1) 中国边缘海盆地受欧亚板块,印度—澳大利亚板块及太平洋板块三大板块相互作用和影响,区域大地构造背景及地球动力学条件复杂,不同区域边缘海盆地基底岩性特征及基底断裂构造特点差异明显,最终控制和影响了边缘海不同类型盆地的形成与展布乃至油气分布富集特点。

(2) 中国边缘海盆地普遍经历了早期陆相断陷和晚期海相拗陷两大构造演化阶段。盆地总体结构剖面上均由基底构造层(结晶基底)、断陷期构造

层和裂后拗陷期构造层相互叠置构成,形成了所谓“断陷—拗陷双层结构”或“断陷—断拗过渡—拗陷三层结构”的复式叠合盆地,进而控制和制约了油气生成与运聚成藏乃至分布富集规律。

(3) 由于中国边缘海新生代盆地具有从大陆边缘陆架浅水区向深水陆坡—洋盆区地壳性质逐渐递变和地壳逐渐减薄的特点,且在伸展拉张沉降及断陷的形成演化过程中,存在着明显差异热传导,制约和影响了沉降沉积中心从陆缘区向深水洋盆区转移,亦控制和制约了油气生成与运聚富集规律。

(4) 根据中国边缘海盆地新生代油气形成的烃源条件及特点,可将边缘海盆地烃源岩划分为3种主要类型,但以盆地主裂谷断陷期形成的湖相烃源岩及河流沼泽相、滨海沼泽相煤系烃源岩有机质最丰富、生烃潜力最大,是该区大中型油气田群的主要烃源岩,控制和制约了边缘海盆地中油气生成特点及成因类型与油气富集程度。

(5) 中国边缘海盆地普遍具有断拗叠置的双层盆地结构,但多以其深部断陷盆地中的半地堑或地堑洼陷为独立的油气生运供系统;富生烃凹陷/洼陷存在及其展布规模控制和影响了大油气田或油气田群的分布富集。

参考文献

- [1] Karig D E. Origin and development of marginal basins in the western Pacific[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76(11): 2542–2561.
- [2] Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 1982, 10(12): 611–616.
- [3] Tamaki K, Honza E. Global tectonics and formation of marginal basins—role of the western Pacific[J]. *Episodes*, 1991, 14(3): 224–230.
- [4] 刘光鼎. 中国海地球物理场特征[J]. *地球物理学进展*, 2002, 17(1): 1–12.
Liu Guangding. The characteristics of geophysical fields on the China Seas[J]. *Progress in Geophysics*, 2002, 17(1): 1–12.
- [5] 任建业, 李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 203–213.
Ren Jianye, Li Sitian. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western Pacific[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 203–213.
- [6] 康玉柱, 凌翔, 陈新华. 构造体系控油方式[J]. *新疆石油地质*, 2013, 34(4): 375–377.
Kang Yuzhu, Ling Xiang, Chen Xinhua. Petroleum control patterns by structural systems[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2013, 34(4): 375–377.
- [7] 龚再升. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [8] 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘东部的地壳结构[J]. *地球物理学报*, 1994, 37(1): 27–35.
Yao Bochu, Zeng Weijun, Chen Yizhong, et al. The crustal structure in the eastern part of the northern margin of the south China Sea[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1994, 37(1): 27–35.
- [9] 施小斌, 周蒂, 张毅祥. 南海北部陆缘岩石圈热—流变结构[J]. *科学通报*, 2000, 45(15): 1660–1665.
- [10] Yan Pin, Zhou Di, Liu Zhaoshu. A crustal structure profile across the northern continental margin of the South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 2001, 338(1): 1–21.
- [11] 王善书. 我国近海半地堑的石油地质特点及石油勘探开发发展战略[J]. *中国海上油气(地质)*, 1997, 11(6): 389–397.
Wang Shanshu. Petroleum geological characteristics of half-grabens and oil exploration and development strategy in offshore China[J]. *China Offshore Oil and Gas(Geology)*, 1997, 11(6): 389–397.
- [12] 王涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [13] 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [14] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] 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.
- [16] 何家雄, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [17] 宗奕, 梁建设, 郭刚. 珠江口盆地番禺低隆起文昌组断裂活动性特征及其对沉积的影响[J]. *地球科学与环境学报*, 2012, 34(4): 30–35.
Zong Yi, Liang Jianshe, Guo Gang. Characteristic of fault activity in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift, Pearl River Mouth Basin and its influence on sedimentation[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2012, 34(4): 30–35.
- [18] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 133–138.
Gong Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 133–138.
- [19] 马文宏, 何家雄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地第

- 三系沉积及主要烃源岩发育特征[J]. 天然地球科学, 2008, 19(1): 41-48.
- Ma Wenhong, He Jiaxiong, Yao Yongjian, et al. Characteristics of tertiary sediments and main source rocks, northern South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 41-48.
- [20] 何家雄, 陈胜红, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气主要成因类型及运聚分布特征[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 34-40.
- He Jiaxiong, Chen Shenghong, Yao Yongjian, et al. Main genetic types of oil & gas and characteristics of their accumulation and distribution in north Marginal Basins, South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 34-40.
- [21] 何家雄, 陈胜红, 刘海龄, 等. 南海北部边缘区域地质与油气运聚成藏规律[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(5): 91-98.
- He Jiaxiong, Chen Shenghong, Liu Hailing, et al. Geological characteristics and the law of formation of hydrocarbon migration on accumulation, northern South China Sea[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(5): 91-98.
- [22] 何家雄, 陈胜红, 刘海龄, 等. 珠江口盆地白云凹陷北坡一番禹低隆起天然气成因类型及其烃源探讨[J]. 石油学报, 2009, 30(1): 16-21.
- He Jiaxiong, Chen Shenghong, Liu Hailing, et al. Natural gas genetic types and source rocks in the northern slope of Baiyun Sag to Panyu Low Uplift in Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1): 16-21.
- [23] 何家雄, 马文宏, 祝有海, 等. 南海北部边缘盆地天然气成因类型及成藏时间综合判识与确定[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 145-160.
- He Jiaxiong, Ma Wenhong, Zhu Youhai, et al. Integrated identification and determination of genetic types and accumulation time in the marginal basin of northern South China Sea[J]. Geology in China, 2011, 38(1): 145-160.
- [24] 胡见义, 牛嘉玉. 渤海湾盆地油气聚集理论和勘探实践的再深化——为渤海湾含油气盆地发现40周年而作[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 1-5.
- Hu Jianyi, Niu Jiayu. The further deepening of oil-gas accumulation theory and exploratory practice of Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 1-5.
- [25] 李欣, 李建忠, 杨涛, 等. 渤海湾盆地油气勘探现状与勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(2): 140-144.
- Li Xin, Li Jianzhong, Yang Tao, et al. Oil-gas exploration status and future targets in Bohai Bay Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(2): 140-144.
- [26] 赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 华北探区断陷洼槽区油气藏形成与分布[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(2): 1-8.
- Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, et al. Oil and gas reservoir formation and distribution in sags of faults depression in Huabei exploration area[J]. China Petroleum Exploration, 2008, 13(2): 1-8.
- [27] 赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 陆相断陷盆地洼槽聚油理论及其应用——以渤海湾盆地冀中坳陷和二连盆地为例[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 18-24.
- Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, et al. Theory of hydrocarbon accumulation in troughs within continental faulted basins and its application: A case study in Jizhong Depression and Erlian Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 18-24.
- [28] 王冠民, 高亮, 林旭梅, 等. 东营凹陷南斜坡沙四段高频沉积旋回对滩坝砂体的沉积控制作用[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 44-48.
- Wang Guanmin, Gao Liang, Lin Xumei, et al. High frequency cycles and its control action to Lacustrine Shoal Bar in the 4th member of Shahejie Formation in southern slope of Dongying Depression[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(1): 44-48.
- [29] 李丕龙. 断陷盆地油气聚集模式及其动力学特征[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 26-28.
- Li Pilong. Accumulating models of petroleum and their dynamic characteristics in faulted depression basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China: Science & Technology Edition, 2000, 24(4): 26-28.
- [30] 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳坳陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3-10.
- Li Pilong, Zhang Shanwen, Song Guoqi, et al. Forming mechanism of subtle oil pools in fault basins——Taking the Jiyang Depression of the Bohaiwan Basin as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 3-10.
- [31] 庞小军, 李建平, 王冠民, 等. 渤中凹陷石南地区古近系断层活动特征及其对沉积相的控制[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2012, 27(1): 11-16, 22.
- Pang Xiaojun, Li Jianping, Wang Guanmin, et al. Characteristics and controlling effect of fault activity of Paleogene in Shinan area of Bozhong Depression on sedimentary facies[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2012, 27(1): 11-16, 22.
- [32] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素——以济阳坳陷东营凹陷为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 39-45.
- Yu Xinghe, Jiang Hui, Li Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China——A case study of Dongying Sag of Jiyang Depres-

- sion[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 39-45.
- [33] 刘震, 陈艳鹏, 赵阳, 等. 陆相断陷盆地油气藏形成控制因素及分布规律概述[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 121-127.
- Liu Zhen, Chen Yanpeng, Zhao Yang, et al. Overview of hydrocarbon reservoirs controlling factors and distribution characteristics of continental rift basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 121-127.
- [34] 刘池洋. 沉积盆地动力学与盆地成藏(矿)系统[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 1-23.
- Liu Chiyang. Dynamics of sedimentary basin and basin reservoir(Ore) forming system[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(1): 1-23.
- [35] 闫博. 构造转换带对塔南凹陷滑塌浊积岩油藏的控制[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(2): 182-184.
- Yan Bo. Structural transformation zone control of slump turbidite reservoirs in Tanan Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(2): 182-184.
- [36] 邓运华. 试论中国近海两个坳陷带油气地质差异性[J]. 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.
- [37] 张功成, 陈国俊, 张厚和, 等. “源热共控”中国近海盆地油气田“内油外气”有序分布[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 1-19.
- Zhang Gongcheng, Chen Guojun, Zhang Houhe, et al. Regular distribution of inside-oil fields and outside-gas fields controlled by source rocks and heat in China Offshore Basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(1): 1-19.
- [38] 张功成, 朱伟林, 米立军, 等. “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.
- [39] 张功成. 源热共控论[J]. 石油学报, 2012, 33(5): 723-738.
- Zhang Gongcheng. Co-control of source and heat: The

generation and distribution of hydrocarbons controlled by source rocks and heat[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(5): 723-738.

作者简介



张伟, 1987年生, 男, 汉族, 湖北赤壁人, 博士研究生, 主要从事石油地质与海洋地质综合研究工作。E-mail: zhangwei@gig.ac.cn



何家雄, 1956年生, 男, 汉族, 湖北天门人, 研究员, 博士, 长期从事海洋地质与油气地质综合研究工作。E-mail: Hejx@gig.ac.cn



颜文, 1965年生, 男, 汉族, 江西永新人, 研究员, 博士, 长期从事海洋地质、海洋环境地球化学研究工作。E-mail: wyan@scsio.ac.cn



张景茹, 1987年生, 女, 汉族, 山西原平人, 博士研究生, 主要从事石油地质与油气地球化学研究工作。E-mail: 419892286@qq.com



李晓唐, 1989年生, 女, 汉族, 黑龙江大庆人, 硕士研究生, 主要从事石油地质与油气地球化学研究工作。E-mail: Lixiaotang1989@sina.com

编辑: 杜增利

编辑部网址: <http://zk.swpuxb.com>